NIE-기반연구-2018-21

2018

생태계 기후변화 조사 연구

Study of Climate Change Research for Ecosytem

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

이상훈, 한상학, 이창훈, 안나현

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

NIE-기반연구-2018-21

생태계 기후변화 조사 연구

생태연구본부 생태기반연구실

이상훈, 한상학, 이창훈, 안나현

Study of climate change research for ecosystem

Sanghun Lee, Sanghak Han, Changhoon Lee, Nahyun Ahn

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Division of Basic Ecology

Bureau of Ecological Research

National Institute of Ecology

2018

국립생태원


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

참여 외부연구진

분야	연구 주제	참여 연구진	
		전문	일반
육상 생태계	한라산, 지리산, 남산의 식생 동태	윤충원	김지동, 김호진, 변성엽, 송주현, 이정은
	한라산, 지리산, 남산의 물질생산 및 순환	유영한	김의주, 이수인, 이승연, 이응필, 이재근, 정영호
	한라산, 지리산, 남산의 곤충 동태	최세웅 김성수	김낭희, 신보라, 이영준, 이재영, 위정자, 장범준, 정민현
	관악산의 까치 동태	이상임	윤여주
담수 생태계	소양호의 기초수질 및 플랑크톤	김범철 전만식	김기용, 장창원, 정성민, 정유경
	낙동강의 기초수질 및 플랑크톤	주기재	김영민, 김정수, 김효겸, 고의정, 손현희
기수 생태계	함평만의 토양환경 및 염생식물 동태	이점숙	김규현, 김보라, 박소현, 오동필, 유창훈, 최재언

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

요약문

기후변화에 따른 생태계의 구조와 기능의 변화를 장기적으로 연구하기 위하여 주요생태계의 연구를 통해 축적된 자료를 토대로 시계열적 연속적인 변화를 예측하고 이에 적합한 생물다양성 관리 방안을 마련하는 것이 필요하다. 또한 기후변화에 따른 주요생태계의 변화와 취약성 등에 대한 관심이 증가하면서 각종 분석 및 평가가 필요하지만 이를 위한 기초자료가 부족하다. 특히 장기간, 고빈도의 자료가 부족하기 때문에 자료 확보를 위한 연구가 더욱 필요한 실정이다. 본 연구는 장기적인 생태계 변화 조사 연구를 통한 기후·환경 위협요인을 명확히 파악하여 적응정책 지원에 목적이 있다.

연구분야는 크게 육상생태계, 담수생태계, 기수생태계, 도서생태계, 생물계절변화로 구분된다. 육상생태계는 지리산, 한라산, 도시생태(남산, 관악산) 연구지소이며, 담수생태계는 소양호, 낙동강 연구지소, 기수생태계는 함평만 연구지소, 도서생태계는 울릉도 연구지소, 생물계절 변화는 점봉산, 남산, 서천, 완도, 한라산 연구지소에서 수행되었다. 지리산은 소나무림, 신갈나무림, 구상나무림, 한라산은 구상나무림, 남산은 아까시나무림, 소나무림, 신갈나무림에서 연구를 수행하였다. 소양호는 댐 앞의 수심이 가장 깊은 지점을 선정하였고, 낙동강은 중하류에 위치한 적포와 물금지역을 선정하였다. 함평만은 전남 무안군 현경면에 위치하며 폭이 약 12km, 길이 약 17km의 비교적 큰 만을 선정하였다. 육상생태계의 연구 주제는 생산자, 소비자, 물질순환으로 구성되며, 생산자인 식생동태, 소비자인 곤충과 조류의 군집동태, 물질순환은 생태계내부의 탄소 등을 조사하였다. 담수생태계는 기초수질환경과 플랑크톤을 기수생태계는 토양환경과 염생식물 동태를 조사하였다. 생물계절변화는 점봉산에서 식생, 남산에서 조류, 서천과 완도에서 식생, 곤충, 조류, 한라산에서 식생의 계절변화를 연구하였다.

육상생태계의 연구결과, 구상나무 치수 분포는 지리산에서 1-10cm 수고급에서 2016년(311개체/ha), 2017년(57개체/ha), 2018년(227개체/ha), 10-30cm 수고급에서 2016년(17개체/ha), 2017년(35개체/ha), 2018년(10개체/ha)로 나타났으며, 한라산에서는 1-10cm 수고급에서 2017년(60개체/ha), 2018년(662개체/ha), 10-30cm 수고급에서 2017년(46개체/ha), 2018년(345개체/ha), 2018년(10개체/ha)의 분포를 나타냈다. 곤충의 종다양성은 지리산에서 13과 204종 1048개체, 남산에서 9과 121종 455개체, 한라산에서 13과 148종 350개체가 확인되었으며, 지리산, 한라산, 남산 순으로 종수가 나타났고, 개체수는 지리산, 남산, 한라산 순으로 나타났다. 지난 5년간 지리산과 한라산에서 이루어진 조사결과 종 수가

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

줄어드는 양상을 띠고 있었지만 단기간 조사한 결과에서는 이러한 양상을 찾아보기 힘들다. 각 지역별 종 다양성 양상은 차이를 나타내었는데 남산에서는 아카시나무림, 지리산에서는 구상나무림, 한라산에서는 소나무림에서 가장 많은 종 수와 개체수가 채집되었다. 종 수는 지리산에서는 6월과 8월에 높은 값을 나타내는 M-자형인 반면 남산과 한라산과 각각 6월과 7월 최고 양상을 한 번씩 나타내었다. 개체수는 지리산에서는 8월, 남산과 한라산에서는 6월에 최고값을 나타냈다. 금년 조사에서 나타난 계절적 양상은 지난 5년 결과와 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다. 그러나 기후변화에 따른 기상변화 특히 6월부터 7월까지 있는 장마의 영향이나 12월부터 2월까지 추운 겨울 기온 상승 등은 5월과 8월에 출현하는 종에 장기적으로 영향을 미칠 것으로 예상된다. 물질순환 및 생산은 남산 신갈나무림의 현존량은 136.7ton/ha과 유기탄소 축적량(10cm 깊이)은 평균 38.73ton C/ha, 지리산 구상나무림 현존량은 162.29ton/ha과 유기탄소 축적량(10cm 깊이)은 평균 41.51ton C/ha, 한라산 구상나무림 현존량은 121.56ton/ha과 유기탄소 축적량(10cm 깊이)은 평균 55.14ton C/ha로 나타났다. 관악산 까치개체군의 경우 기후변화에 대한 개체군 수준의 반응과 개별 번식쌍의 반응은 다르게 나타나며, 개체군 수준의 번식성공도 연간 변동에서는 산란전 일조량이, 번식쌍의 번식성공도 연내 변동에서는 산란전 기온이 중요한 것으로 나타났다.

담수생태계의 연구결과, 소양호의 시기별 수질 상태는 여름시기인 7-8월 수질이 크게 악화 되었으며 이는 가뭄이 지속되고 30℃이상의 수온상승으로 남조류의 번성이 크게 나타났기 때문으로 판단된다. 식물플랑크톤 종은 총 42종이었으며, 그 중 녹조류가 19종으로 가장 많이 출현하였다. 총 현존량은 26-5,549 cells/mL의 범위로 조사되었고, 동물플랑크톤 개체수는 10.2-332.1 Ind./L 범위를 보였으며, 탄소량은 0.19-82.95 μgC/L 범위를 보였다. 낙동강의 연 강수량은 6월부터 9월까지의 여름 장마 기간 동안의 강수 집중률은 감소하는 추세이며, 수온의 경향성은 적포에서 모니터링 기간 중 34.2℃로 최대 수온을 보이기도 하여, 기온 증가와 여름에 집중되던 강수량의 감소가 수온 증가에 영향을 준 것으로 생각된다. 클로로필 a 농도는 수온이 비교적 낮은 2-3월과 높은 6-8월, 두 번에 걸쳐 증가하였으며 두 지점에서 매우 유사한 양상을 보였다.

기수생태계의 연구결과, 함평만의 토양 함수량은 갈대, 갯잔디, 갯질경, 해홍나물, 큰비쑥 순으로 낮아지며, 점토 함량이 높은 지역일수록 수분함량이 높으며 모래와 자갈에서 생육하는 큰비쑥은 가장 낮게 나타났다. 염도 역시 생육토양의 토성 구성 비율과 깊게 관련이 있으며 전기전도도 역시 염도와 비슷한 양상을 보였다. 유기물 함량 또한 비슷하게 나타났다. 시간이 지남에 따라 조류

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

에 의해 모래가 증가하고 실트와 점토는 감소되는 것으로 파악된다.
도서생태계의 연구결과, 울릉도 너도밤나무림 식생구조를 파악하기 위하여 층위별 주요종을 분석한 결과, 교목층 최대우점종은 너도밤나무로 이외에 고로쇠나무와 황벽나무가 나타났으며, 아교목층 최대우점종은 너도밤나무이며 이외에도 섬단풍나무, 섬피나무, 솔송나무, 풍게나무가 우점종으로 나타났고, 관목층 최대우점종은 너도밤나무이며 이외에도 솔송나무, 마가목, 섬단풍나무가 우점하였으며, 초본층 최대우점종은 일색고사리이며, 이외에도 큰두루미꽃, 바위수국, 산마늘, 관중 등이 우점종으로 나타났다.
생물계절변화 연구결과, 식물계절 변화를 관측하기 위하여 점봉산 온대북부림에 북북동 방향으로 신갈나무와 소나무를 대상수종으로 Image 자료 4,207점, 서천군 마을숲에 북북서 방향으로 대상수종 곰솔과 상수리나무의 Image 자료 1,069점, 완도 난대림에 남남서 방향으로 대상수종을 붉가시나무와 구실잣밤나무의 Image 자료 2,459점, 한라산 아한대림에 북쪽 방향으로 대상수종을 구상나무, 사스래나무의 Image 자료 2,630점을 수집하였다. 곤충 계절변화 관측결과 서천과 완도수목원 두 곳 모두 2017년과 비교하여 나방의 개체수가 두 배 이상 발생한 것을 확인할 수 있었다. 조류의 계절변화 관찰을 위한 번식시기 분석 결과, 국립생태원에서 실시한 인공새집 번식시기 정밀조사결과 Julian Date를 기준으로 첫 산란일은 두 종 모두에서 2018년에 첫 산란일은 빨라진 것이 확인되었다(박새-17년 107일, 18년 96일/곤줄박이-17년 104일, 18년 99일). 첫 부화일은 두 종 모두에서 2018년에 약간 늦어진 것이 확인되었다(박새-17년 119일, 18년 122일/곤줄박이-17년 116일, 18년 117일). 번식성공률은 두 종 모두에서 2018년의 번식성공률이 감소한 것으로 확인되었으나(박새-17년 66.7%, 18년 64.7%/곤줄박이-17년 75%일, 18년 66.7%) 샘플수의 차이로 객관적인 비교는 어려울 것으로 판단된다. 위도별 월간 여름철새는 저위도(완도수목원) 36종, 중위도(국립생태원) 28종, 고위도(남산) 14종이 확인되었다. 여름철새의 도래는 5월~6월에 집중되는 것이 확인되었고, 뻐꾸기과 2종(검은등뻐꾸기, 뻐꾸기)은 저위도 지역에서 다른 지역에 비해 더 길게 출현한 것이 확인되었다.
본 연구는 기후변화 및 생태계 변화에 의한 영향을 규명하기 위한 장기적인 연구로 의의가 크다. 특히 기후변화에 의한 생태계의 영향을 확인하고, 환경과 생물 상호 관계 및 종합적 분석이 가능한 인프라를 구축하였다. 또한 국가적으로 생태계 변화 조사기술이 향상되었으며, 기후변화 및 환경교란에 의한 생태계 변화에 대한 선제적 대응 기술 토대를 마련하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

목 차

요약문 ····· i
목차 ····· v
표목차 ····· viii
그림목차 ····· xvi
Abstract ····· xxvi

I. 서론 ····· 1
1. 육상생태계 ····· 1
가. 식생 ····· 1
나. 곤충 ····· 2
다. 물질순환 ····· 4
라. 관악산의 까치 ····· 6
2. 담수생태계 ····· 7
가. 소양호 ····· 7
나. 낙동강 ····· 8
3. 기수생태계 ····· 9
4. 도서생태계 ····· 11
5. 생물계절 ····· 11

II. 연구내용 및 방법 ····· 14
1. 육상생태계 ····· 14
가. 식생 ····· 14
나. 곤충 ····· 20
다. 물질순환 ····· 23

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라. 관악산의 까치 ····· 29
2. 담수생태계 ····· 36
가. 소양호 ····· 36
나. 낙동강 ····· 38
3. 기수생태계 ····· 41
4. 도서생태계 ····· 45
5. 생물계절 ····· 47
가. 식생 ····· 47
나. 곤충 ····· 48
다. 조류 ····· 50

III. 결과 ····· 57
1. 육상생태계 ····· 57
가. 식생 ····· 57
나. 곤충 ····· 105
다. 물질순환 ····· 115
라. 관악산의 까치 ····· 163
2. 담수생태계 ····· 181
가. 소양호 ····· 181
나. 낙동강 ····· 205
다. 염생식물변화 ····· 227
3. 기수생태계 ····· 218
4. 도서생태계 ····· 242
5. 생물계절 ····· 247
가. 식생 ····· 247
나. 곤충 ····· 250
다. 조류 ····· 260

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

IV. 결론 및 향후계획 ····· 311
1. 육상생태계 ····· 311
가. 식생 ····· 311
나. 곤충 ····· 317
다. 물질순환 ····· 319
라. 관악산의 까치 ····· 323
2. 담수생태계 ····· 326
가. 소양호 ····· 326
나. 낙동강 ····· 327
3. 기수생태계 ····· 328
4. 도서생태계 ····· 330
5. 생물계절 ····· 331
가. 식생 ····· 331
나. 곤충 ····· 332
다. 조류 ····· 334

V. 참고문헌 ····· 336

VII. 부록 ····· 348

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 한라산, 지리산, 남산 장기생태 조사지역 지리정보 ····· 22

<표 Ⅱ-2> 각 조사지별 조사일 ····· 22

<표 Ⅱ-3> Allometric equations for each biomass component against the diameter at the breast height and height in different tree ····· 27

<표 Ⅱ-4> Allometric equations of *Abies koreana* ····· 27

<표 Ⅱ-5> 소양호의 주요 제원과 수문학적 특성 ····· 36

<표 Ⅱ-6> 수질측정항목 및 분석방법 ····· 37

<표 Ⅱ-7> 낙동강 수질 분석방법 ····· 40

<표 Ⅱ-8> 2018 인공새집조사일 ····· 52

<표 Ⅱ-9> 국립생태원 인공새집 설치지점정보 ····· 53

<표 Ⅱ-10> 희리산 자연휴양림 인공새집 설치지점정보 ····· 54

<표 Ⅱ-11> 장태산 인공새집 설치지점정보 ····· 55

<표 Ⅱ-12> 월별 조류상 조사일 ····· 56

<표 Ⅱ-13> 조류 군집 분석 방법 ····· 56

<표 Ⅲ-1> 남산 관속식물문 분포현황 ····· 59

<표 Ⅲ-2> 남산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황 ····· 60

<표 Ⅲ-3> 남산 신갈나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 ····· 61

<표 Ⅲ-4> 남산 신갈나무림 연평균 고사율 ····· 67

<표 Ⅲ-5> 남산 신갈나무림 구성목의 중요치 ····· 67

<표 Ⅲ-6> 남산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 ····· 69

<표 Ⅲ-7> 남산 소나무림 연평균 고사율 ····· 71

<표 Ⅲ-8> 지리산 관속식물문 분포현황 ····· 74

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-9> 지리산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황 ····· 75
<표 Ⅲ-10> 지리산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 ····· 77
<표 Ⅲ-11> 지리산 소나무림 연평균 고사율 ····· 84
<표 Ⅲ-12> 지리산 소나무림 구성목의 중요치 ····· 84
<표 Ⅲ-13> 지리산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 ····· 87
<표 Ⅲ-14> 지리산 구상나무림 연평균 고사율 ····· 93
<표 Ⅲ-15> 지리산 구상나무림 구성목의 중요치 ····· 93
<표 Ⅲ-16> 한라산 관속식물문 분포현황 ····· 96
<표 Ⅲ-17> 한라산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황 ····· 97
<표 Ⅲ-18> 한라산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 ····· 99
<표 Ⅲ-19> 한라산 구상나무림 연평균 고사율 ····· 102
<표 Ⅲ-20> 한라산 구상나무림 구성목의 중요치 ····· 103
<표 Ⅲ-21> 2018년 조사지역별 채집된 종 수와 개체수 ····· 105
<표 Ⅲ-22> 지역별 우점종 (2018년) ····· 108
<표 Ⅲ-23> 남산, 지리산, 한라산 소나무림 지역 우점종(2018년) ····· 109
<표 Ⅲ-24> 남산, 지리산, 한라산 신갈나무림 지역 우점종(2018년) ··· 109
<표 Ⅲ-25> 지리산, 한라산 구상나무림 지역 우점종(2018년) ····· 110
<표 Ⅲ-26> 2017년과 2018년 나방 다양성 비교 ····· 111
<표 Ⅲ-27> Annual standing biomass (ton/ha) of *Q. mongolica* community in the study area ····· 115
<표 Ⅲ-28> Annual standing biomass (ton/ha) of *P. densiflora* community in the study area ····· 116
<표 Ⅲ-29> Annual standing biomass (ton/ha) of *R. pseudoacacia* community in the study area ····· 116
<표 Ⅲ-30> Annual standing biomass (ton/ha) of each community in the study area ····· 117

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-31> Annual standing biomass (ton/ha) of *A. koreana* community in the study area ····· 118
<표 Ⅲ-32> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *Q. mongolica* community in the study area ····· 119
<표 Ⅲ-33> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *P. densiflora* community in the study area ····· 119
<표 Ⅲ-34> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *R. pseudoacacia* community in the study area ····· 120
<표 Ⅲ-35> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* Community and *Q. mongolica* community in the study area ····· 121
<표 Ⅲ-36> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* community in the study area ····· 121
<표 Ⅲ-37> Organic carbon (ton C/ha) of *Q. mongolica* community in the study area ····· 122
<표 Ⅲ-38> Organic carbon (ton C/ha) of *P. densiflora* community in the study area ····· 123
<표 Ⅲ-39> Organic carbon (ton C/ha) of *R. pseudoacacia* community in the study area ····· 123
<표 Ⅲ-40> Organic carbon (ton C/ha) of each community in the study area ····· 124
<표 Ⅲ-41> Organic carbon (ton C/ha) of *A. koreana* community in the study area ····· 125
<표 Ⅲ-42> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *Q. mongolica* community in the study area ····· 126
<표 Ⅲ-43> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *P. densiflora* community in the study area ····· 126
<표 Ⅲ-44> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *R. pseudoacacia* community in the study area ····· 127

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-45> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* Community and *Q. mongolica* community in the study area ····· 128
<표 Ⅲ-46> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* community in the study area ····· 129
<표 Ⅲ-47> Annual litter production (ton/ha) of *Q. mongolica* community ····· 129
<표 Ⅲ-48> Annual litter production (ton/ha) of *P. densiflora* community ····· 130
<표 Ⅲ-49> Annual litter production (ton/ha) of *R. pseudoacacia* community ····· 130
<표 Ⅲ-50> Annual litter production (ton/ha) of *Pinus densiflora* community ····· 131
<표 Ⅲ-51> Annual litter production (ton/ha) of *Abies koreana* community ····· 131
<표 Ⅲ-52> Annual litter production (ton/ha) of *Quercus mongolica* community ····· 131
<표 Ⅲ-53> Annual litter production (ton/ha) of *A. koreana* community in the study area ····· 132
<표 Ⅲ-54> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *Q. mongolica* forest in the study area ····· 133
<표 Ⅲ-55> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *P. densiflora* forest in the study area ····· 133
<표 Ⅲ-56> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 134
<표 Ⅲ-57> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Pinus densiflora* community ····· 134

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-58> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Abies koreana* community ····· 135

<표 Ⅲ-59> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Quercus mongolica* community ····· 135

<표 Ⅲ-60> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litterfall of *A. koreana* forest in the study area ····· 136

<표 Ⅲ-61> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *Q. mongolica* forest in the study area ····· 137

<표 Ⅲ-62> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *P. densiflora* forest in the study area ····· 137

<표 Ⅲ-63> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 138

<표 Ⅲ-64> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *Pinus densiflora, Abies koreana* and *Quercus mongolica* community ····· 139

<표 Ⅲ-65> Weight of litter (ton ha^{-1}) on the forest floor of *A. koreana* forest in the study area ····· 139

<표 Ⅲ-66> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *Q. mongolica* forest in the study area ····· 140

<표 Ⅲ-67> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *P. densiflora* forest in the study area ····· 141

<표 Ⅲ-68> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 141

<표 Ⅲ-69> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *Pinus densiflora, Abies koreana* and *Quercus mongolica* community ····· 142

<표 Ⅲ-70> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *A. koreana* Community in the study area ····· 142

<표 Ⅲ-71> Annual amounts of organic carbon (ton C/ha) along depth of *Pinus densiflora* community ····· 150

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-72> Annual amounts of organic carbon(ton C/ha) along depth of *Abies koreana* community ····· 150
<표 Ⅲ-73> Annual amounts of organic carbon(ton C/ha) along depth of *Quercus mongolica* community ····· 151
<표 Ⅲ-74> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *Q. mongolica* community in the study area ····· 156
<표 Ⅲ-75> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *P. densiflora* community in the study area ····· 157
<표 Ⅲ-76> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *R. pseudoacacia* community in the study area ····· 157
<표 Ⅲ-77> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the and *Q. mongolica* and *A. koreana* community in the study area ····· 158
<표 Ⅲ-78> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *A. koreana* community in the study area ····· 159
<표 Ⅲ-79> Nitrogen (ton N ha^{-1} yr^{-1}) of Tree layer of each community in the study area ····· 161
<표 Ⅲ-80> Phosphorus (ton P ha^{-1} yr^{-1}) of Tree layer of each community in the study area ····· 162
<표 Ⅲ-81> 연도별 추이 자료 요약 (개체군 평균치) ····· 163
<표 Ⅲ-82> 번식 지표 간 상관성 (연별 개체군 평균치) ····· 165
<표 Ⅲ-83> 개체군 연별 자료에 대해 각 시기별 추출한 주성분의 조성 ····· 172
<표 Ⅲ-84> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(새끼수) ····· 173
<표 Ⅲ-85> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(새끼 건강상태) ····· 173

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-86> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(성공한 둥지의 비율) · 173
<표 Ⅲ-87> 둥지 단위 분석에 포함된 자료의 요약 ····· 176
<표 Ⅲ-88> 둥지별 자료에 대해 각 단계별로 추출한 주성분의 조성 ····· 177
<표 Ⅲ-89> 둥지별 번식성공도 자료분석(새끼수) ····· 178
<표 Ⅲ-90> 둥지별 번식성공도 자료분석(새끼의 건강상태) ····· 178
<표 Ⅲ-91> 둥지별 번식성공도 자료분석(산란일) ····· 178
<표 Ⅲ-92> 둥지별 번식성공도 자료분석(한배 알 수) ····· 178
<표 Ⅲ-93> 소양호 조사 시기별 식물플랑크톤 우점종 현황 ····· 195
<표 Ⅲ-94> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤 군집지수 ····· 196
<표 Ⅲ-95> 소양호 동물플랑크톤의 총 출현종 수 및 점유율(체적비) ··· 198
<표 Ⅲ-96> 소양호 동물플랑크톤의 조사시기별 출현종수 ····· 198
<표 Ⅲ-97> 소양호 동물플랑크톤의 개체수(Individual: Ind./L) ····· 199
<표 Ⅲ-98> 소양호 동물플랑크톤의 탄소량(Biomass: μgC/L) ····· 200
<표 Ⅲ-99> 소양호 동물플랑크톤의 우점종 ····· 201
<표 Ⅲ-100> 소양호 동물플랑크톤의 군집지수 ····· 203
<표 Ⅲ-101> 조사지역에서 확인된 식물종 목록 ····· 227
<표 Ⅲ-102> 현화리 지역의 염생식물 군락 종합표 ····· 231
<표 Ⅲ-103> 염생식물 군락의 면적변화 ····· 241
<표 Ⅲ-104> 고정조사구 내 너도밤나무 상관우점군락의 요약 ····· 242
<표 Ⅲ-105> 고정조사구 내 황벽나무 상관우점군락의 요약 ····· 243
<표 Ⅲ-106> 고정조사구 내 고로쇠나무 상관우점군락의 요약 ····· 244
<표 Ⅲ-107> 채집된 나방의 각 과별 종수와 개체수 요약(서천) ····· 250
<표 Ⅲ-108> 채집된 나방의 각 과별 종수와 개체수 요약(완도) ····· 255
<표 Ⅲ-109> 지역별 인공새집 이용률 ····· 260
<표 Ⅲ-110> 종별 인공새집 이용현황 ····· 262
<표 Ⅲ-111> 종별 번식이용 현황 ····· 263
<표 Ⅲ-112> 인공새집의 번식성공여부 현황 ····· 264

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 Ⅲ-113> 년도별 둥지형성기간 ····· 265
<표 Ⅲ-114> 년도별 포란기간 ····· 266
<표 Ⅲ-115> 년도별 육추기간 ····· 267
<표 Ⅲ-116> 년도별 산란, 부화, 유조이소수 ····· 268
<표 Ⅲ-117> 년도별 번식성공계수 ····· 269
<표 Ⅲ-118> 남산 조류상 조사결과 ····· 302
<표 Ⅲ-119> 국립생태원 조류상 조사결과 ····· 304
<표 Ⅲ-120> 완도수목원 조류상 조사결과 ····· 307
<표 Ⅲ-121> 위도별 여름철새 출현 목록 ····· 309
<표 Ⅲ-122> 위도별 월간 여름철새 출현 목록 ····· 310

<표 Ⅳ-1> 까치 번식성공도의 연간 변동과 연내 변동 분석 결과 요약 ····· 325
<표 Ⅳ-2> 서천과 완도에서 공통으로 확인할 수 있었던 종 ····· 333

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

그 림 목 차

<그림Ⅰ-1> 무척추동물의 전지구적 감소 현황과 나비와 나방에 인간이 미치는 영향을 조사한 결과 전체적으로 다양성이 줄어든 것을 확인한 결과 (Dirzo et al., 2014) ····· 3
<그림Ⅱ-1> 남산 조사지 위치 ····· 15
<그림Ⅱ-2> 지리산 조사지 위치 ····· 16
<그림Ⅱ-3> 한라산 조사지 위치 ····· 17
<그림Ⅱ-4> 지리산 소나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-5> 지리산 신갈나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-6> 지리산 구상나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-7> 한라산 구상나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-8> 남산 소나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-9> 남산 아카시나무림 ····· 21
<그림Ⅱ-10> 조사에 사용한 UV bucket light trap ····· 23
<그림Ⅱ-11> A map showing the study area. The red circle indicate the location of the *P. densiflora* community, *Q. mongolica* community and *R. pseudoacacia* community ····· 25
<그림Ⅱ-12> A map showing the study area. The close circle indicate the location of the *P. densiflora*, *A. koreana* and *Q. mongolica* community ····· 25
<그림Ⅱ-13> A map showing the study area. The red circle indicate the location of the *A. koreana* community in the study area ····· 26
<그림Ⅱ-14> 2018년에 서울대 관악캠퍼스에서 조사된 까치 둥지 위치 ··· 30
<그림Ⅱ-15> 2018년에 KAIST 캠퍼스에서 조사된 까치 둥지 위치 ····· 31
<그림Ⅱ-16> 대략적인 까치 번식 스케줄 ····· 32

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅱ-17> 고가사다리로 둥지에 접근하는 모습(왼쪽), 부화 후 까치 둥지 내 존재하는 새끼와 알의 모습(오른쪽)/오른쪽 사진의 숫자는 새끼의 나이 (부화 후 일 수)의 추정치 ····· 33
<그림Ⅱ-18> 낙동강 수계와 조사 지점 개황 ····· 39
<그림Ⅱ-19> 함평만 현화리 조사지역 ····· 41
<그림Ⅱ-20> 현장조사 및 내부분석 사진 ····· 42
<그림Ⅱ-21> 울릉도 너도밤나무군락 조사지역 위치 ····· 46
<그림Ⅱ-22> 식물계절 연구지소 및 digital camera 연구 요약 ····· 47
<그림Ⅱ-23> 조사지 위치(A : 생태원, B : 완도수목원) ····· 48
<그림Ⅱ-24> 유인등 트랩과 채집된 곤충 ····· 49
<그림Ⅱ-25> 인공새집 조사지역 및 번식이용 상황 ····· 50
<그림Ⅱ-26> 위도별 조류상 조사 지역 ····· 51
<그림Ⅱ-27> 인공새집조사장비 및 조사사진 ····· 52

<그림Ⅲ-1> 남산 신갈나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 ····· 57
<그림Ⅲ-1> 남산 소나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 58
<그림Ⅲ-2> 남산 조사지 현황 ····· 58
<그림Ⅲ-3> 남산 조사지 현존식생 ····· 60
<그림Ⅲ-4> 남산 신갈나무림 층위별 종수 ····· 62
<그림Ⅲ-5> 남산 신갈나무림 수종별 직경급 분포 ····· 64
<그림Ⅲ-6> 남산 신갈나무림 수관활력도 ····· 65
<그림Ⅲ-7> 남산 신갈나무림 수간건강상태 ····· 66
<그림Ⅲ-8> 남산 신갈나무림 종다양도 ····· 69
<그림Ⅲ-9> 남산 소나무림 층위별 종수 ····· 70
<그림Ⅲ-10> 지리산 신갈나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 ····· 72
<그림Ⅲ-11> 지리산 소나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 ····· 72

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-12> 지리산 구상나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 ····· 73
<그림Ⅲ-13> 지리산 조사지 현황 ····· 73
<그림Ⅲ-14> 지리산 조사지 현존식생 ····· 76
<그림Ⅲ-15> 지리산 소나무림 층위별 종수 ····· 78
<그림Ⅲ-16> 지리산 소나무림 수종별 직경급 분포 ····· 81
<그림Ⅲ-17> 지리산 소나무림 수관활력도 ····· 82
<그림Ⅲ-18> 지리산 소나무림 수간건강상태 ····· 83
<그림Ⅲ-19> 지리산 소나무림 종다양도 ····· 86
<그림Ⅲ-20> 지리산 구상나무림 층위별 종수 ····· 88
<그림Ⅲ-21> 지리산 구상나무림 수종별 직경급 분포 ····· 90
<그림Ⅲ-22> 지리산 구상나무림 수관활력도 ····· 91
<그림Ⅲ-23> 지리산 구상나무림 수간건강상태 ····· 92
<그림Ⅲ-24> 지리산 구상나무림 종다양도 ····· 95
<그림Ⅲ-25> 한라산 구상나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도 ····· 95
<그림Ⅲ-26> 한라산 조사지 현황 ····· 96
<그림Ⅲ-27> 한라산 조사지 현존식생 ····· 98
<그림Ⅲ-28> 한라산 구상나무림 층위별 종수 ····· 99
<그림Ⅲ-29> 한라산 구상나무림 수관활력도 ····· 101
<그림Ⅲ-30> 한라산 구상나무림 수간건강상태 ····· 102
<그림Ⅲ-31> 한라산 구상나무림 종다양도 ····· 104
<그림Ⅲ-32> 각 산림별 나방 다양성 양상(2018년) ····· 106
<그림Ⅲ-33> 각 산림별 나방 다양성 양상(2018년) ····· 107
<그림Ⅲ-34> 나방 과별 다양성 양상(2018년) ····· 107
<그림Ⅲ-35> 남산, 한라산, 지리산에서 채집된 과별 종수 분포 ····· 108
<그림Ⅲ-36> 한라산, 지리산, 남산에서 채집된 과별 개체수 분포 ····· 108

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-37> 월별 나방 종 다양성 출현 양상(2018년) ····· 111
<그림Ⅲ-38> 월별 나방 종 다양성 출현 양상(2017년) ····· 112
<그림Ⅲ-39> 한라산(hl), 지리산(jr), 남산(nam)의 세가지 숲 유형(구상나무림 akk, 신갈나무림 qmm, 소나무림 pd, 아카시나무림 ac)에서 378종의 나방 출현을 이용하여 군집분석 결과(2018년) ·· 113
<그림Ⅲ-40> 한라산(HS), 지리산(JS), 남산(NS)의 세가지 숲 유형(구상나무림 Ak, 신갈나무림 Qm, 소나무림 P, 아카시나무림 Ac)에서 61종의 나방 출현을 이용하여 군집분석한 결과(2017년) ·· 114
<그림Ⅲ-41> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area ····· 143
<그림Ⅲ-42> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area ····· 144
<그림Ⅲ-43> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 144
<그림Ⅲ-44> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area ····· 145
<그림Ⅲ-45> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area ····· 146
<그림Ⅲ-46> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area ····· 146
<그림Ⅲ-47> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *A. koreana* forest in the study area ····· 147
<그림Ⅲ-48> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 148
<그림Ⅲ-49> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area ····· 148
<그림Ⅲ-50> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 149
<그림Ⅲ-51> Soil organic carbon (ton C ha^{-1}) along the soil depth at the *A. koreana* community in the study area ····· 152

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-52> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *Q. mongolica* forest in the study area ····· 152
<그림Ⅲ-53> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *P. densiflora* forest in the study area ····· 153
<그림Ⅲ-54> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *R. pseudoacacia* forest in the study area ····· 154
<그림Ⅲ-55> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *Q. mongolica* forest in the study area ····· 154
<그림Ⅲ-56> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *A. koreana* forest in the study area ····· 155
<그림Ⅲ-57> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *A. koreana* forest in the study area(Mt. halla) ····· 156
<그림Ⅲ-58> Monthly changes of CO_2 efflux (g CO_2 $m^{-2}month^{-1}$) of the *Q. mongolica* and *A. koreana* community in the study area ····· 159
<그림Ⅲ-59> Monthly changes of CO_2 efflux (g CO_2 $m^{-2}month^{-1}$) of the *A. koreana* community in the study area ····· 160
<그림Ⅲ-60> 까치 개체군의 번식성공도 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST) ····· 166
<그림Ⅲ-61> 까치 개체군에서 새끼를 성공적으로 한 마리라도 이소시킨 둥지의 비율의 연간 변동(파란선: SNU/주황색선: KAIST) ·· 167
<그림Ⅲ-62> 까치 번식쌍의 번식 실패 요인과 그 관찰비율의 연간 변동 (SNU자료) ····· 168
<그림Ⅲ-63> 산란일의 개체군 평균 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST) ····· 168

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-64> 한배 알 수의 개체군 평균 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST) ····· 169
<그림Ⅲ-65> 까치개체군 번식성공도 지표의 연간변동과 기후인자와의 상관성 ····· 174
<그림Ⅲ-66> 까치 번식생태의 연내 변동과 기후인자와의 상관성 ····· 179
<그림Ⅲ-67> 소양호에서 투명도의 변화 ····· 181
<그림Ⅲ-68> 소양호에서 수온의 수직 분포 ····· 183
<그림Ⅲ-69> 소양호에서 SS의 수직 분포 ····· 184
<그림Ⅲ-70> 소양호에서 TP의 수직 분포 ····· 185
<그림Ⅲ-71> 소양호에서 TN의 수직 분포 ····· 186
<그림Ⅲ-72> 소양호에서 TOC의 수직 분포 ····· 188
<그림Ⅲ-73> 소양호에서 Chl.a의 수직 분포 ····· 189
<그림Ⅲ-74> 소양호에서 투명도의 장기변동 ····· 190
<그림Ⅲ-75> 소양호에서 수질의 장기변동 (한강수계관리위원회, 2015(2008~2013)) ····· 192
<그림Ⅲ-76> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤의 분류군별 출현종수 193
<그림Ⅲ-77> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤의 세포수 ····· 194
<그림Ⅲ-78> 소양호에서 식물플랑크톤 군집의 장기변동 (한강수계관리위원회, 2015(2008~2015) ····· 197
<그림Ⅲ-79> 분류군별 개체수 및 탄소량의 상대적 우점 ····· 199
<그림Ⅲ-80> 소양호에서의 동물플랑크톤 주요 우점종 ····· 202
<그림Ⅲ-81> 소양호에서 동물플랑크톤 군집의 장기변동 (한강수계관리위원회, 2015(2008~2015)) ····· 205
<그림Ⅲ-82> 연 평균 기온과 경향성(왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소) ····· 206
<그림Ⅲ-83> 연 강수량과 여름 장마 기간(6~9월)의 강수 집중률 (왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소) ····· 207
<그림Ⅲ-84> 연 평균 수온과 경향성(왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소) ····· 207

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-85> 낙동강 물금 지점에 인접한 양산시 측정소의 일사량, 기온, 일강수량, 연강수량 및 여름 강우 집중률의 연간 변동 ··· 209
<그림Ⅲ-86> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 수온(왼)과 pH(오)의 변동 ····· 210
<그림Ⅲ-87> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 용존산소량(왼)과 포화도(오)의 변동 ····· 211
<그림Ⅲ-88> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 전기전도도(왼)와 알칼리도(오)의 변동 ····· 212
<그림Ⅲ-89> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 탁도의 변동 ···· 213
<그림Ⅲ-90> 물금과 적포 지점에서의 총 질소(왼)와 질산성 질소(오) 농도의 변동 ····· 214
<그림Ⅲ-91> 물금과 적포 지점에서의 총 인(왼)과 인산성 인(오) 농도의 변동 ····· 215
<그림Ⅲ-92> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 이산화 규소 농도의 변동 ····· 216
<그림Ⅲ-93> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 클로로필 a 농도의 변동 ····· 216
<그림Ⅲ-94> 낙동강 물금 지점의 월별 식물플랑크톤 세포수(왼)와 종수(오) ····· 217
<그림Ⅲ-95> 2004년부터 2018년까지의 평균기온 변화 ····· 218
<그림Ⅲ-96> 2004년부터 2018년까지의 3개월 평균 기온변화(1-3월) ·· 219
<그림Ⅲ-97> 2004년부터 2018년까지의 강수량 변화 ····· 219
<그림Ⅲ-98> 2004년부터 2018년까지의 상대습도 변화 ····· 220
<그림Ⅲ-99> 2004년부터 2018년까지의 평균풍속 변화 ····· 220
<그림Ⅲ-100> 현화리 염생식물 군락별 수분함량 측정값 ····· 223
<그림Ⅲ-101> 현화리 염생식물 군락별 PH 측정값 ····· 223
<그림Ⅲ-102> 현화리 염생식물 군락별 염도 측정값 ····· 224
<그림Ⅲ-103> 현화리 염생식물 군락별 전기전도도 측정값 ····· 224

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-104> 현화리 염생식물 군락별 토양 유기물함량 측정값 ····· 225
<그림Ⅲ-105> 2009년~2018년까지의 염생식물 군락별 토양입도분석 · 226
<그림Ⅲ-106> 2004년~2018년까지의 염생식물 유묘출현률 ····· 233
<그림Ⅲ-107> 2004년~2018년까지의 염생식물 생물량 ····· 234
<그림Ⅲ-108> 2016년, 2018년 조사지역 군락변화 비교 ····· 236
<그림Ⅲ-109> 현화리 지역의 현존식생도 ····· 240
<그림Ⅲ-110> 너도밤나무군락 직경급 구조 ····· 245
<그림Ⅲ-111> 너도밤나무군락 수고급 구조 ····· 246
<그림Ⅲ-112> PhenoCam 요약 ····· 248
<그림Ⅲ-113> 식물계절 이미지 분석 및 데이터 자료 변환 요약 ····· 249
<그림Ⅲ-114> 국립생태원 밤나무 군락 과별 종 구성 비율 ····· 251
<그림Ⅲ-115> 국립생태원 밤나무 군락 과별 개체수 구성 비율 ····· 252
<그림Ⅲ-116> 주별 나방의 생물량 변화 ····· 252
<그림Ⅲ-117> 국립생태원 밤나무군락에서 2018년 4월부터 10월까지 출현한 나방 종 및 개체수 변동 ····· 253
<그림Ⅲ-118> 2017년과 2018년 생물량과 기온 변화 비교 ····· 254
<그림Ⅲ-119> 완도수목원 붉가시나무 군락 과별 종 구성 비율 ····· 256
<그림Ⅲ-120> 완도수목원 붉가시나무 군락 과별 개체수 구성 비율 ·· 257
<그림Ⅲ-121> 월별 나방 생물량 변화 ····· 258
<그림Ⅲ-122> 완도수목원 붉가시나무군락에서 2018년 4월부터 10월까지 출현한 나방 종 및 개체수 변동 ····· 258
<그림Ⅲ-123> 2017년과 2018년 생물량과 기온 변화 비교 ····· 259
<그림Ⅲ-124> 국립생태원 인공새집 조사결과 ····· 261
<그림Ⅲ-125> 종별 번식요소 비교(2017-2018) ····· 271
<그림Ⅲ-126> 국립생태원 인공새집 정밀조사 결과(2017-2018) ····· 271
<그림Ⅲ-127> 둥지별 조사결과 ID: A41 ····· 272
<그림Ⅲ-128> 둥지별 조사결과 ID: A71 ····· 273

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-129> 둥지별 조사결과 ID: A18 ····· 274
<그림Ⅲ-130> 둥지별 조사결과 ID: A16 ····· 275
<그림Ⅲ-131> 둥지별 조사결과 ID: A21 ····· 276
<그림Ⅲ-132> 둥지별 조사결과 ID: A22 ····· 277
<그림Ⅲ-133> 둥지별 조사결과 ID: A29 ····· 278
<그림Ⅲ-134> 둥지별 조사결과 ID: A27 ····· 279
<그림Ⅲ-135> 둥지별 조사결과 ID: A31 ····· 280
<그림Ⅲ-136> 둥지별 조사결과 ID: A38 ····· 281
<그림Ⅲ-137> 둥지별 조사결과 ID: A35 ····· 282
<그림Ⅲ-138> 둥지별 조사결과 ID: A141 ····· 283
<그림Ⅲ-139> 둥지별 조사결과 ID: A131 ····· 284
<그림Ⅲ-140> 둥지별 조사결과 ID: A111 ····· 285
<그림Ⅲ-141> 둥지별 조사결과 ID: B221 ····· 286
<그림Ⅲ-142> 둥지별 조사결과 ID: B241 ····· 287
<그림Ⅲ-143> 둥지별 조사결과 ID: B321 ····· 288
<그림Ⅲ-144> 둥지별 조사결과 ID: B331 ····· 289
<그림Ⅲ-145> 둥지별 조사결과 ID: B351 ····· 290
<그림Ⅲ-146> 둥지별 조사결과 ID: B171 ····· 291
<그림Ⅲ-147> 둥지별 조사결과 ID: B161 ····· 292
<그림Ⅲ-148> 둥지별 조사결과 ID: B151 ····· 293
<그림Ⅲ-149> 둥지별 조사결과 ID: B71 ····· 294
<그림Ⅲ-150> 둥지별 조사결과 ID: B121 ····· 295
<그림Ⅲ-151> 둥지별 조사결과 ID: B41 ····· 296
<그림Ⅲ-152> 둥지별 조사결과 ID: C51 ····· 297
<그림Ⅲ-153> 둥지별 조사결과 ID: C61 ····· 298
<그림Ⅲ-154> 둥지별 조사결과 ID: B110 ····· 299
<그림Ⅲ-155> 남산조류의 생활형비율 및 우점종 현황 ····· 300

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-156> 남산조류의 목별 출현 현황 ····· 301
<그림Ⅲ-157> 국립생태원 조류의 생활형비율 및 우점종 현황 ····· 303
<그림Ⅲ-158> 국립생태원 조류의 목별 출현 현황 ····· 303
<그림Ⅲ-159> 완도수목원 조류의 생활형비율 및 우점종 현황 ····· 305
<그림Ⅲ-160> 완도수목원 조류의 목별 출현 현황 ····· 306
<그림Ⅲ-161> 조류 생활형 비교 ····· 308

<그림Ⅳ-1> 서천에서 우점하는 종(A: 잔점박이혹나방, B: 창나방) ···· 332
<그림Ⅳ-2> 완도에서 우점하는 종(A: 털뿔가지나방, B: 푸른나방) ···· 332

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Abstract

This study was conducted to study long-term changes in the structure and function of ecosystems due to climate change. The public's interest in the changes and vulnerabilities caused by climate change is increasing, and various analyses and evaluations are needed to resolve them, but basic data are insufficient. Research is needed to secure data, especially since there is a shortage of data for a long period of time.

The purpose of this study is to clearly identify the causes of climate-environmental threats and to assist the government in its adaptation policy using the results of a long-term ecological change survey.

The terrestrial ecosystem are composed of vegetation dynamic, insect population dynamic, and nutrient cycling at Mt. Nam, Mt. Jiri, and Mt. Halla. Especially, the seedling occurrence rate and mortality rage of the *Abies koreana* such as Korean traditional species was investigated. The water quality and planktonic dynamic of the freshwater ecosystem were investigated at Soyang lake and Nakdong river. The halophyte cynamic and soil environmental of estuary ecosystem were investigated at Hampyeong bay. The plant, insect, and bird biological phenology were investigated to study the seasonal change and the food mismatch at terrestrial ecosystem. The first spawning dates of the *parus major* and *parus varius varius* has advanced slightly for the fast three years.

This research is highly significant as it is a long-term study to identify changes and impacts in the ecosystem caused by climate change. In particular, an infrastructure was constructed to check the effects of ecosystems due to climate change and to enable environmental and biological interactions and comprehensive analysis. In addition, it improved national technologies for surveying changes in ecosystem, and prepared a foundation for preemptive response technologies to identify and predict changes in ecosystem caused by climate change and environmental disturbance.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

I. 서론

1. 육상생태계

가. 식생

지구의 평균기온은 지난 100년(1906~2005) 동안 0.74℃ 상승하였고, 향후 20년 동안 SRES(Special Report on Emission Scenario) 배출 시나리오 범위에 대하여 0.2℃/decade 상승률로 온난화가 진행될 것으로 전망하고 있다(IPCC, 2007). 최근 이와 같은 기후변화의 영향으로 전 세계는 기상으로 인한 재해가 빈번해지고, 사회·경제적 피해의 규모가 대형화되는 추세이다. 한반도의 경우, 지구온난화와 관련되어 지난 75년간 일평균 기온의 총 증가량은 약 1.1℃였으며, 이중 지구온난화와 동반되어 나타난 기온 증가량은 약 1.7℃이고, 도시화에 의한 기온 증가량은 약 0.4℃로 추정되며(김, 1997), 한반도의 기온상승이 전 세계의 기온상승 추세를 상회하는 것은 한반도의 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 국토의 약 70%가 산지로 구성되어 있어 기후의 변화가 다양하고 빠르게 진행되기 때문이다(기상청, 2011). 이러한 기온상승의 원인이 되는 온실가스는 이산화탄소, 메탄 등 여러 가지가 있지만, 이산화탄소가 전체의 55%를 차지하고 있다(환경부, 1996). 이러한 기후변화는 생물다양성의 감소 또는 생물 멸종 원인으로 인류가 풀어야 할 중요한 과제이며(Williams et al., 2007; Beaumont et al., 2011), 기후변화에 의한 생물다양성 변화 연구는 생태학 및 보전생물학의 중요한 연구주제가 되고 있다(Rathcke & Lacey 1985; Woodward & Beerling, 1997; Walther et al., 2002; Parmesan, 2006; Bertin, 2008; Beaumont et al., 2011).

그 중에서 기후변화는 관속식물의 개화·개엽 그리고 단풍 및 결실시기, 곤충의 출현시기와 같은 생물계절반응(Phenlogical response)의 변화를 초래한다. 또한, 극지방으로의 분포지 확산이 다양한 생물종에서 관찰되고 있으며, 이렇게 확산하는 이유는 생물종이 생존력을 높이기 위한 것으로 밝혀지고 있다(Pamesan & Yohe, 2003; Crozier, 2004). 기후변화에 의한 식물의 분포지 변화로는 네덜란드와 노르웨이의 온대성 식물(Thermophilic plants)이 30~40년 전과 비교하여 분포지가 확산하고 있으며, 상대적으로 한대성 식물이 분포역은 감소되고 있는 것으로 보고되고 있다(Tamis et al., 2001). 이러한 기후변화가 한반도 생태계에 미치는 영향을 조사하기 위해 국내에서도 돌매화나무와 시로미(공, 2005), 구상나무(MOE/KIER, 2011) 등에 관한 연구가 있었다.

한반도의 산림식생대 구분 및 수종분포 역시 주로 온도기후에 의해 결정되고(Yim & Kira, 1975; Yim, 1977), 한반도 평균기온 상승이 장기적으로 지속된다

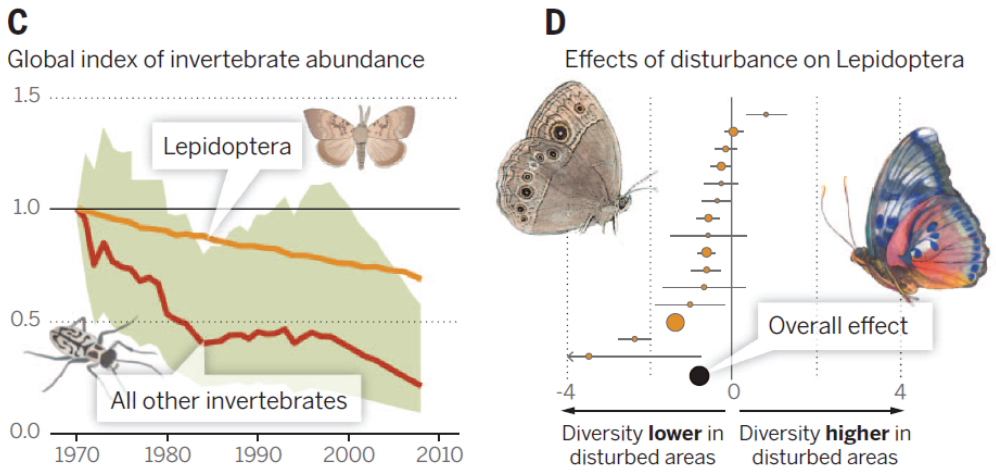
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

면 한반도의 산림식생대도 현재보다 고위도 방향으로 이동할 것으로 예측되는데, 산림식생대의 이동은 식물의 식생 분포와 생육한계선을 빠르게 변화시킬 것으로 예상되며, 이에 따라 난온대 상록활엽수림도 점차 분포지역이 북쪽으로 확대될 것으로 예상되고 있다(양과 심, 2007). 궁극적으로 식생의 분포가 기후변화에 의해 어떠한 영향을 받을 것인지의 예측은 지구차원의 연구목표이기도 하다(Clark et al., 2001). 이러한 기후변화에 따른 환경변화를 모니터링하고 그 동태의 결과를 추적하여 한반도에서 현재와 미래에 일어날 수 있는 환경문제에 대처해야 한다. 기후환경 변화와 생태계 변화 관계는 단기간의 자료를 수집하여 인과관계를 설명하기는 어렵고 장기간의 자료를 수집하여 비교 분석하여야 하며, 이를 위한 생태계 변화에 대한 모니터링 자료를 지속적으로 수집할 수 있는 시스템 구축이 반드시 필요하다. 장기생태연구를 통한 동태 파악 및 DB 구축은 우리나라 국토환경에서 지구온난화에 따라 반응하고 있는 생태계의 변화를 추적하여 환경문제를 분석하고 미래에 다가올 지구환경 변화에 대한 대안을 마련하기 위함을 목적으로 한다.

나. 곤충

전 지구적으로 일어나는 기온상승과 이에 따른 기후변화는 지구상 가장 종 수가 풍부하고 서식지가 넓은 곤충에도 큰 영향을 미치고 있다. 1985년부터 2012년까지 기후변화에 따른 곤충의 영향 연구에 관한 문헌을 분석한 결과 주로 유럽과 북미 등지에서 연구가 이루어졌으며 곤충 중에서도 나비목과 파리목 곤충이 29%, 22%를 차지하여 전체 연구의 절반 이상을 차지한다고 밝혔다(Andrew et al., 2013). 전 지구적으로 인간이 생물다양성에 미치는 영향을 파악한 결과 모니터링이 진행된 무척추동물 중 67%가 감소하는 것을 확인할 수 있었다고 밝혔으며 특히 나비목 곤충의 경우 인간에 의한 환경변화가 크게 작용하고 있다고 밝히고 있다(Dirzo et al., 2014/그림 Ⅰ-1).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림 Ⅰ-1> 무척추동물의 전지구적 감소 현황과 나비와 나방에 인간이 미치는 영향을 조사한 결과 전체적으로 다양성이 줄어든 것을 확인한 결과 (Dirzo et al., 2014)

나비목(Lepidoptera, 나비와 나방)은 전 세계에 약 180,000종이 알려져 있으며 생태계 먹이사슬에서 1차 소비자로서의 역할을 담당하기 때문에 먹이사슬 상위 단계의 생물에게 중요한 먹이 자원으로 이용될 뿐만 아니라 농업과 임업 분야에서 중요한 해충으로 인식되어 해충 구제의 측면에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 화려한 날개와 주간에 활동하는 나비가 환경연구에 많이 이용되고 있지만 산림지대에서는 채집이 어렵고 상대적으로 종 다양성이 높지 않아, 채집이 용이하고 종 다양성이 풍부한 대형나방을 대상으로 연구가 많이 이루어지고 있다(Kitching et al., 2000). 생태계의 중요 구성성분인 곤충 중 나방 종 다양성 조사는 그 지역의 생태계의 특성을 파악하는데 매우 중요한 자료로 사용될 수 있으며, 생태계 관리 및 보전에 매우 효과적으로 이용될 수 있다. 숲에 서식하고 있는 곤충 종 구성에는 산림 면적과 숲의 연령 그리고 인간의 간섭과 같은 요인이 영향을 미친다고 알려져 있으며, 이들 요인 중에서도 숲의 연령과 숲을 구성하고 있는 식물 종이 가장 중요하다고 여겨지고 있다(Brown & Hutchings, 1997; Summerville & Crist, 2002, 2003). 전체 군집의 변화를 감지하는데 나방 종 구성의 변화는 기대했던 만큼 크게 변화를 보이지 않기 때문에 숲 생태계 변화를 감지하기 위해 사용할 나비목 곤충은 나방 전체보다는 숲이나 나방종의 구성의 변화를 나타낼 수 있는 종이나 소규모 종 그룹을 찾는데 초점을 두어야 한다고 주장하고 있다(Summerville & Crist, 2003). 이러한 연구 결과는 자연 상태와 인간의 간섭이 많이 이루어진 지역을

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

대상으로 분포하고 있는 나방을 조사한 결과 자연 상태에서 서식하는 종은 관목 종류와 밀접한 연관을 보인 반면 간섭이 많이 이루어진 곳에서는 단자엽식물과 같은 초본 식물을 기주로 하는 밤나방이 우점을 나타낸 것과 연관이 높다(Kitching et al., 2000). 나방은 결국 생태계에서 에너지 및 물질흐름의 고리 역할을 함과 동시에 인간의 경제활동과 직, 간접적인 관련을 맺고 있어 생태환경을 평가하는데 매우 유용한 도구라고 할 수 있다(Wilson, 1992).

이 연구는 한라산, 지리산, 남산의 대표 식생에 서식하는 초식동물의 다양성이 기후변화에 따라 어떻게 변화해나가는 가를 장기적으로 살펴보는데 목적이 있다. 외국 사례와 2005년부터 2009년까지 남산과 지리산 장기생태 조사지역에서 이루어진 연구결과를 통하여 나방은 우리나라 산림 생태계를 평가하는데 이용될 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이 연구는 지속적인 모니터링이 인간의 간섭에 의해 나타나는 숲의 생태계 변화와 기후변화에 따른 나방 군집 변화를 감지하는데 나방 군집을 이용할 수 있을 것으로 생각되어 한라산, 지리산, 남산에서 소나무림, 신갈나무림, 침엽수림에 서식하는 나방을 조사하였다. 이 연구에서는 산림유형별 지역별 나방 군집의 출현 동태를 파악하였다.

다. 물질순환

탄소의 주요 흡수원인 육상생태계 중에서 산림생태계는 가장 많은 탄소를 저장하고 있고, 이러한 산림생태계 토양의 탄소저장은 식물생산량과 토양으로 유입되는 낙엽과 낙엽의 분해율 등에 의해 결정된다. 산림생태계의 기능은 에너지의 흐름과 물질 순환이며 이는 낙엽의 생산과 분해기능으로 유지된다(Bray & Gorham, 1964; Wiegert & Monk, 1972; Berg & Agren, 1984).

일반적으로 탄소순환은 해양과 대기보다 육지와 대기 사이에서 더 많이 일어나는데(Winjum et al., 1992; Waring & Schlesunger, 1985; 이 등, 2013), 이 육상생태계 중 산림생태계는 가장 많은 탄소를 저장하고 있다. 이 산림생태계는 지구 전체 광합성량 중 약 2/3를 담당하고 있으며, 육상 생태계 탄소의 약 80%와 토양 내 탄소의 약 40%를(Hu & Wang, 2008) 지상부와 지하부 생물량, 고사목, 낙엽층과 토양 유기물의 형태로 저장하고 있다(Dixon et al., 1994).

산림생태계의 탄소 고정량을 추정하기 위해서 산림의 물질생산은 중요한 역할을 하며, 이렇게 생산된 물질은 환경과 식생의 상호작용을 통하여 저장된다(Park et al., 2005; 국립환경과학원, 2013; 국립생태원, 2016; 국립생태원, 2017a; 국립생태원, 2017b). 산림생태계에서 생산된 물질 중 대부분 식물체의 목질부 형태로 축적이 되며 나머지는 낙엽으로 임상에 이입되고, 일부는 방목먹이사슬을

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

통해서 영양단계로 이전된다(Barbour et al., 1987; Barnes et al., 1998).

산림 탄소 고정량을 파악하기 위해서는 산림의 현존량과 순생태계생산량을 추정하는 것이 중요하며(Houghton et al., 1983; Han et al., 2018; Lee et al., 2015; 신, 2013; 원, 2015; 장 등, 2014; 정, 2015; 정 등, 2013; 이, 2013; Jang et al., 2017), 낙엽생산은 매년 다양한 패턴을 보이고, 이러한 패턴은 다양한 환경요인에 의해 결정된다(Rapp & Lossaint, 1981; Shin et al., 2011). 또한 낙엽생산은 임상 내 낙엽층을 유지시키며 먹이사슬에 중요한 역할과 토양으로 영양염류를 재순환시키는 역할을 수행한다(Aburge et al., 2011). 따라서 낙엽생산은 산림의 1차 생산을 조절하는 매우 중요한 요인이다(Cole & Rapp, 1981; Meentemeyer et al., 1982). 토양은 전 생태계에 축적된 총 탄소량의 약 50%이상을 차지하며(Vitousek, 1991), 토양의 물리적·화학적 특성은 식생의 생산성과 다양성에 중요한 영향을 끼친다(Jenny, 1980; Chung et al., 1990; Lag, 1990; Jeong et al., 2017).

남산은 서울의 한복판에 위치하고 있는 대표적인 도시산림생태계이지만, 1984년 남산공원으로 지정되기 이전까지 주거지 등으로 이용되는 등 인간에 의한 간섭이 최근까지 지속적으로 발생하였다. 그러므로 우리나라의 대표적인 도시림인 남산의 산림생태계에 대한 장기적인 모니터링의 수행을 통해서 생태계의 변화 및 그에 영향을 주는 요인에 대한 파악이 필요하다. 지리산은 우리나라 남한에서 고도가 높은 지역이라고 할 수 있으며 따라서 우리나라에서 기후변화에 매우 민감한 지역이라고 할 수 있고, 고도가 높은 지역에 위치한 고산, 아고산 지역은 기후변화에 취약한 생태계로 분류되고 있어(한국생태학회, 2011), 기후변화와 관련된 연구에 있어서 지리산의 차지하는 비중은 매우 중요하다고 할 수 있다. 기후변화에 따른 생태계 변화를 조사하기 위해 장기생태연구의 대상지로 최적의 요건을 갖추고 있는 한라산 아고산대는(구 등, 2001; 송, 2011) 다양한 면에서 내륙에 위치한 다른 아고산대와 비교하여 독특한 특성을 지니고 있다. 따라서, 우리나라의 대표적 도시산림생태계인 남산의 소나무군락, 신갈나무군락, 아까시나무군락과 대표적 아고산지역인 지리산의 소나무군락, 신갈나무군락, 구상나무군락 그리고 섬지역이면서 한반도 남부의 대표적 아고산지역의 한라산의 구상나무군락의 탄소분포와 수지에 대해 알아보기 위해 현존량과 순생산량, 식물체의 유기탄소량, 연간 낙엽생산량과 유기탄소량, 임상 내 낙엽층 유기탄소량 그리고 토양의 유기탄소량을 조사하여 산림생태계 내 탄소순환 동태를 규명하는데 그 목적이 있다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라. 관악산의 까치

최근 들어 전세계적으로 기후변화에 대한 생태계 변화가 보고되고 있다. 생물다양성 감소, 서식지 이용양태 변화, 번식 생태의 변화 등 다양한 현상의 측면에서 기후변화의 영향이 보고되고 있으며, 기후변화가 영향을 미치지 않는 지역이 없을 정도로 광범위한 생태계가 영향을 받고 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 온대지역에 서식하는 조류는 온난화의 영향으로 번식을 앞당긴다는 것이 철새와 텃새를 막론하고 여러 종에서 보고되어 있다(Brown et al., 1999; Crick & Sparks, 1999; Dunn & Winkler, 2009). 그러나 온난화를 위시한 기후 변화의 양상은 지역에 따라 다를 수 있고 그에 따른 동물의 반응 양상과 기후 변화 영향의 강도 역시 다를 것이라 예측할 수 있다.

이에 우리나라에서도 생태계를 장기적으로 모니터링하여 기후변화에 따른 동식물의 생태 변화를 파악하고자 하는 시도가 진행 중이다. 우리나라는 지난 100여 년간 평균 기온이 1.8℃ 증가하여(국립기상과학원, 2018), 133년간 0.85℃가 상승한 세계 평균(IPCC, 2014)에 비교해 볼 때 지구 온난화에 따른 생태계 변화가 더욱 가속화 될 것이라고 예상되고 있다. 지난 100여년간 우리나라 기후변화의 양상과 생명체에 줄 수 있는 영향은 크게 두 가지 측면으로 생각해볼 수 있다. 첫째, 겨울과 봄의 기온상승이 가장 뚜렷하게 나타나고 있고, 겨울이 짧아지고 봄과 여름이 빨라지는 정도가 심해(국립기상과학원, 2018), 이 시기에 번식을 준비하고 번식을 하는 많은 동물의 번식생태가 기후변화의 영향을 받을 가능성이 매우 높다고 판단된다. 둘째, 고온과 관련된 극한기후지수가 증가하여(국립기상과학원, 2018) 늦게 번식하여 여름에도 번식을 하게 되는 번식쌍과 일찍 번식하여 여름 전에 번식이 끝나는 번식쌍이 경험하는 기후 조건이 다르게 되므로, 개체군 내에서 번식시기에 따른 번식쌍의 번식 반응이 다르게 나타날 가능성이 매우 높다. 이에 동물 개체군의 번식 생태를 장기적으로 모니터링하여 기후변화 양상이 동물의 번식 생태에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하는 것은 매우 시의적절하다.

이러한 시도의 일환으로 관악산 서울대학교 캠퍼스에 서식하는 까치 개체군이 1998년부터, 대전 KAIST 캠퍼스에 서식하는 까치 개체군이 2008년부터 모니터링 되고 있다. 까치는 장기 모니터링 대상에 적합한 종으로, 몸집이 비교적 크고 주위에서 가장 흔하게 볼 수 있어 관찰이 용이하다. 지역적으로 구성된 먹이피라미드에서 비교적 상단에 위치하여 포식압이 크지 않아 순수한 개체군의 번식반응을 모니터링할 수 있다는 장점도 있다. 우리나라 기후변화에서 최근 10년간은 최근 30년간 추세와는 달리 겨울에 나타나는 저온 관련 극한기후현상이 증

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

가하였는데, 현재 20여년째 진행되어 온 까치 개체군의 번식 모니터링 기간이 저온 관련 극한기후현상의 영향을 관찰할 수 있는 기간에 해당하여 최근 나타나고 있는 기후변화의 영향도 탐지할 수 있다. 또한 도시환경에 잘 적응하여 인간과 가깝게 하므로, 까치의 번식 생태를 모니터링하면 인간이 인지하지 못하는 환경변화를 파악할 수 있을 것이다.

출산 전과 출산 후로 나눌 수 있는 포유류의 번식과는 달리, 조류는 산란하고 포란하는 기간이 있어서 조류의 번식은 좀 더 많은 단계를 거치게 된다. 종류에 따라 다르지만, 까치와 같은 만숙류(altricial birds)의 경우에는 산란 전, 산란, 포란기, 부화, 육추기, 이소의 단계를 거치게 된다. 따라서 단계별 지표를 산출하면 번식성공도와 기후인자 간의 상관관계에서 단계별 효과를 탐지할 수 있는 장점이 있다. 까치는 연구가 많이 되어 있는 소형 참새목 조류에 비해 산란 전 단계가 매우 길며, 포란기, 육추기도 긴 편이다. 이에 번식 단계마다 기후 조건이 영향을 미칠 가능성이 높다.

까치의 번식 생태, 즉 번식 시기와 번식 성공도의 반응을 장기적으로 조사하여 수집한 자료는 기후변화와의 상관성 분석을 통해 기후 변화가 인간과 가까이 서식하는 동물의 생태에 끼치는 영향을 해석하고 앞으로의 변화를 예측하는 데에 기초자료로 쓰일 수 있다. 본 조사는 까치의 기초 번식 생태 조사를 지속하여 현재까지 모은 자료에 추가적인 정보를 더하고, 얻은 정보를 통계적으로 분석하여 앞으로 기후변화가 야생동물의 번식생태에 어떠한 변화를 불러일으킬지 예측하는 데 목적을 두고 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2. 담수생태계

가. 소양호

전 지구적 관점에서 가장 이슈화 되고 있는 환경 문제는 지구온난화에 따른 기후변화 일 것이다. 많은 연구에서 영향이 보고가 되고 있는데 빙하가 녹고 해수면이 상승하며, 세계 각지에서 이상 기온 현상, 홍수, 가뭄 등 자연재해가 발생하고 있으며 우리나라도 예외 없이 많은 현상들이 나타나고 있다.

우리나라는 하천 및 호수 등 담수, 특히 지표수에 대한 수자원 의존도가 매우 높다. 수자원 의존도가 높은 우리나라에서는 수자원 이용 및 관리 측면에서 기후변화는 갈수기간의 연장, 부영양화 심화, 수질 및 수 생태계 건강성 저하 등의 수자원의 질적, 양적 변화를 초래하고 있다.

기후변화에 의해 기온이 상승하면 수온이 상승하여 수질 및 수생태계에 다양한 영향을 미친다. 뿐만 아니라 기후변화로 수온이 높아지고, 일사량이 증가

하면 식물플랑크톤이 대량 발생할 수 있는 환경이 조성되어 녹조현상이나 냄새를 유발할 수 있다. 다시 말하면 수온의 상승은 조류의 증식과 박테리아의 대사활동 및 영양염류 순환율을 높여 결국 수체의 생산성을 증가시킴으로써 부영양화 과정의 가속화와 호소내에서 조류가 성장하기 좋은 조건을 형성함으로써 녹조현상을 더 빈번하게 유발하여 수질을 악화시킬 수가 있다. 특히, 녹조현상을 일으키는 Microcystis는 신경독성물질인 microcystin을 만들어 내기 때문에 대량 발생시 생태계 및 인간에 악영향을 미칠 수 있다. 이외에도 호소에서는 기후변화에 의해 바람이 변하면 호소의 연직순환이 감소될 수 있고, 이에 따라 바닥층에 DO가 부족하여 저서생물이 감소되는 등 생태계에 악영향을 미친다.

그리고 동물플랑크톤도 호수의 물리·화학적인 변화는 수중생물의 풍부도와 종 조성의 변화를 초래하며(Smitha et al., 2013) 최근에는 기후변화의 영향 등 동물플랑크톤 군집과 환경요인과의 관계에 관한 연구는 지속적으로 이루지고 있다(Valerie et al., 2005; Ana et al.,2009; Rasma et al., 2011).

이렇게 기후 변화는 수온상승과 함께 수체의 증발량, 유량 및 유출량의 변화를 유발하여 수질 및 수생태계 건강에 직간접적인 큰 영향을 미치며 특히 유량 및 수량 등 양적인 취약성이 비해 수질 및 수생태계의 기후변화에 대한 취약성은 더욱 심각하다. 따라서 기후변화에 따라 급격한 생태계 변화를 분석하기 위해 조사 및 예측결과를 바탕으로 효과적인 생태계 관리 대책이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 수질을 비롯한 플랑크톤의 장기간의 연구를 통하여 기후변화의 영향을 알아보는데 기초자료를 제공하는데 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 낙동강

기후변화로 인한 생태계 환경 상태의 변화가 이미 다양한 생태계에 영향을 주고 있는 것이 1950년대부터 시작된 일부 장기생태연구로부터 밝혀지고 있다. 그 중 강과 습지를 포함한 수생태계의 생물 반응과 환경변화는 매우 빠른 속도로 진행되고 있으며, 수환경 자원과 수생태계 서비스 관점에서 그 중요성은 매우 크다. 뿐만 아니라 생태계의 변화는 요소 간의 복잡한 상호작용으로 인해 지연되어 작용하기 때문에 매우 복잡한 반응이다. 담수생태계를 포함한 모든 종류의 시스템은 평형상태를 유지하고 있으며 이는 생태계 수준에서 매우 중요한 특징이 된다. 하지만 일정 수준 이상의 교란이 작용할 경우 생태계는 평형상태를 벗어나게 되어 변화가 발생할 수 있다. 지속적으로 하천에 오염물질이 유입되어 하천 내 질소와 인 같은 영양염류가 증가되는 부영양화가 일어날 경우, 하천에서는 이전에 발생빈도가 적고 그 정도가 약했던 식물플랑크톤의 우점 현상, 군집 다양도의 감소 등 새로운 양상이 발생할 수 있다.

사회는 수환경 자원과 수생태계 서비스에 크게 의존하고 있기 때문에, 평형 상태의 교란을 막기 위해 생태계에 인간의 개입이 생기게 된다. 전 세계적으로 물, 에너지 및 교통수단 등의 목적을 위해 저수량 확보 및 물줄기 전환 등 대형 하천을 변경하고 있으며, 이러한 변화된 환경은 자연하천에 비해 관개 시설로부터의 압력이 높으며 인간의 경제 활동에 영향을 더 크게 받고 있다. 인위적으로 변형된 생태계는 기후변화와 같은 이상 현상이 발생할 경우, 시스템 본연이 갖고 있는 회복력이 약화되어 있기 때문에 평형 상태의 교란된 상태가 유지되고 이에 따라 생태계 내부의 요소들에 더 큰 변화가 야기될 수 있다.

이러한 복잡성을 가진 생태계 변화로 인한 사회적·자연적 영향을 최소화하기 위해서는 장기적으로 생태계를 모니터링 하여 변화의 정도와 원인을 파악하는 것이 필수적이다. 특히, 변화 영향과 위험도를 평가하는 데에는 생활환이 짧고 환경 변화에 대해 보다 단기간에 영향을 받는 생물이 연구 대상으로 적합하다. 수생태계 주요 일차생산자인 식물플랑크톤은 강의 생물다양성과 생태계 생산성에 결정적인 영향을 주는 분류군으로서, 환경변화와 교란에 대해 다른 생물군에 비해 앞서 반응하기 때문에 이를 평가하는데 필수적으로 요구되는 정보를 제공할 수 있다. 본 조사는 조절강의 특징을 보이며 식물플랑크톤의 연간-계절 변화가 뚜렷하게 관찰되고 있는 낙동강을 대상으로 수질 환경과 식물플랑크톤 분포를 알아보기 위해 수행되었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3. 기수생태계

염습지란 주기적으로 해수의 영향을 받으면서 관속식물이 분포하며 (Chapman, 1974) 조차에 의한 최상조선과 최하조선 사이의 지역을 말한다 (Pigott, 1969). 이는 해양생태계와 육상생태계의 완충지대 역할을 하며 해안성염습지와 하구성염습지로 구분된다.

해안성염습지와 하구성염습지에서 인간의 활동으로 인한 염습지 지역의 동식물의 서식처 감소와 생물다양성 감소의 문제는 더 이상 전문가들의 비판만으로 충분하지 않으며, 서식처 보전과 생물다양성 증가와 같은 인간 모두에게 이익이 되는 획기적인 해결책이 필요하다는 주장을 제기하였다(Burher, 2000).

해안성염습지는 토양의 염분 농도가 높아 일반 육상식물이 생장할 수 없는 지역으로 보통 이 지역에 생육하고 있는 식물을 염생식물(halophyte)이라 한다 (명, 2004). 해안성염습지는 내륙에 비하여 식물의 생육에 열악한 환경조성에 적응하여 진화한 생물종들이 분포하고 있으므로 국가의 생물다양성을 보전하는데 높은 가치를 지닌다(Lee & Ignaciuk, 1985).

우리나라 염습지는 서·남해안에 넓은 면적으로 발달되어 있고 물리, 화학, 생물학적 환경요인이 다양하여 비경작지 중 생산성이 가장 높은 생태계로 알려져 있다(Poliakffo-mayber & Meiri, 1969).

우리나라 서·남해안 갯벌의 상부지역에 염생식물이 잘 발달하였으며, 염습지에서 군락을 형성하는 종들은 생육 특성에 맞는 입지조건에서 자생한다(Kim & Song, 1983). 우리나라에 분포하는 염생식물은 21과 44속 57종 4변종 1품종 등 62종이 기록되어있으며, 이 중 33종은 사구에, 29종은 염습지에 분포하는 식물이다(심 등, 2009).

염습지의 식생대는 수질정화, 토양침식, 수자원 보호 등의 기능과 저서동물, 어류, 조류의 생육장 및 휴식장 기능을 가지고 있다(김, 2010).

염생식물의 분포에 미치는 환경요인은 토양의 염도, 해수의 침수 시간 및 횟수, 토성, 지하수위 등의 물리적인요인(Ranwell, 1972; Vince & Teal, 1981)과 종간 상호관계가 염생식물의 분포에 영향을 미친다는 생물학적 요인(Misra, 1938; Buttery & Lambert, 1965; Grace & Wetzel, 1981), 물리적 환경요인들이 복잡하게 작용한다는 생태학적 요인 등이 있다. 염생식물 분포에 대하여 물리적 환경요인이 종합적으로 작용하여 식물의 생태적 과정에 큰 영향을 미치므로 해안성 염습지 군집의 분포와 천이를 결정하는 생태학적 요인으로 연구가 진행된 바 있다(Snow & Vince, 1984). 외국에서의 염생식물의 분포 양상에 관한 연구는 영국, 미국, 일본의 해안을 중심으로 활발히 진행되어 왔다(Pure, 1942; Hinde, 1954; Stevenson, 1954; Vogl, 1966; Champman, 1960; Phleger & Bradshaw, 1966; Macdonald, 1977; Disraelli & Fonda, 1979).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

최근에 들어서 연안습지에 대한 중요성이 높게 평가되며 연구가 활발히 진행되고 있으며, 단순한 기초자료연구에서 생태적, 경제적 가치에 대한 평가 차원으로 발전하는 추세이다. 그러나 연안습지에 대한 연구자료는 생태계 현상파악으로 정적인 연구가 반복 실행되고 있으나, 실제는 변화되어 가는 생태계 연속적 개념으로 이해되어야 하며 동적 연구를 수행하여 생태적 프로세싱을 규명해야할 필요성이 절대적으로 요구된다.

1971년도에 이미 국제사회에서는 람사르협약을 통해 물새의 서식처인 습지를 중요하게 인식하고 보전하는 정책을 의무화 하였다. 우리나라도 1997년 7월에 람사르협약에 가입하면서 연안습지를 효율적으로 보전할 수 있는 방안을 마련할 필요성이 커지고 있다. 따라서 연안습지 생태계의 기후환경과 토양요인분석을 통한 자료를 축적하여 기본 정보를 제공하고 환경변화의 경향성을 도출하며, 연안습지의 구조와 기능의 변화를 측정하는데 장기적인 모니터링이 필요하다.

본 연구는 전라남도 무안군에 위치한 함평만을 중심으로 2004년부터 2018년에 걸쳐 조사한 기후와 토양요인, 염생식물의 발아시기와 유묘출현률, 생물량 등의 데이터와 비교, 분석하여 기후변화에 따른 연안생태계의 염생식물 군락 변화를 추적하여 생태계 장기적 프로세싱을 이해하고자 한다.

4. 도서생태계

최근 세계는 기후변화로 상징되는 환경위기와 고유가로 대표되는 자원위기에 직면해 있다. 특히 기후변화의 경우, 잇따른 기상재해를 유발하고 생태계 질서를 근본적으로 뒤흔들고 있으며, 이에 따른 자원 확보 경쟁의 심화를 일으켜 인류의 생존을 위협하는 요인으로 작용하고 있다. 인간의 활동에 의해 급격히 진행되는 기후변화는 다양한 차원에서의 생태계에 많은 변화를 주고 있다 (Bonan, 2008).

울릉도는 한반도와 일본 열도 사이의 울릉 배호분지 북동주변에 위치한 수심 2,000m의 해저에서 해수면 위의 정상까지 총 높이 3,000m에 이르는 화산섬으로 우리나라 동해상의 최동단에 위치하고 있다(이, 2005). 따라서 외부에서의 종 공급이 어려워 제한적인 종 또는 유전자원을 나타내고 있어 환경변화에 대해 육지보다 취약하다고 할 수 있다(남부지방산림청, 2009). 이러한 외부 교란 요인에 취약한 섬 생태계의 식물군집 및 식물상 변화는 장기적인 관찰을 통해 분석되어야 한다. 또한 울릉도는 한반도 식물구계 구분에서, 울릉도아구로 구분(오, 1978; 이 등, 1981; 임 등, 1980) 하고 있으며, 한국특산식물 및 희귀식물이 많이 출현하고 있으므로, 이에 대한 종 수준 및 군집 수준의 자연자원 연구는 매우 중요하다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

따라서 본 연구에서는 울릉도 너도밤나무 임분의 식생구조 및 종조성을 장기적으로 관찰하여 현재 상태를 판단하고, 기후변화 등 다양한 외부교란의 반응에 대한 자료를 축적하여, 앞으로의 식생 경향을 예측하고자 한다.

5. 생물계절

지구온난화는 자연생태계에 영향을 미쳐 나비 등 곤충의 서식지 북상, 꽃이나 잎의 발아 및 개화시기가 앞당겨지고 있으며, 새의 산란시기 및 철새의 도래시기가 바뀌고 있다. 식물계절현상(phenology)은 지역별 기후변화에 식물이 어떻게 적응하는가를 정의하는데 중요한 자료의 하나로 최근에 생태학적 연구를 위한 중요관심사로 등장하였고, 대중적으로 쉽게 인식될 수 있기 때문에 가장

효율적인 기후변화 지표로 평가되고 있다.

봄철 식물의 개엽, 개화, 신초생장 등 생육초기의 식물계절현상은 기후에 의한 계절 현상을 잘 반영하는 자연지표 중의 하나로 잎의 생장은 기온, 습도, 일장 등의 물리적 환경요인의 영향을 받는데 이는 식물의 생육초기에 매우 중요하다(Flint, 1974).

우리나라 기후변화의 특징 가운데 생물계절에서의 기후변화는 겨울기온의 상승 혹은 짧아진 겨울에 의해 수목의 동아파열, 개엽과 개화시기가 앞당겨지는 것이다. 또 유럽과 북미에서도 지난 반세기 동안 겨울기온의 상승으로 동아파열, 개엽, 개화시기가 평균 10년 동안 1.2일에서 3.8일정도 빨라졌으며, 특히 80년대 후반부터 개엽 이후 낙엽까지 생장기간이 11일이나 연장되었다(Menzel & Fabian, 1999). 선행연구결과 참나무속 목본식물을 대상으로 생육초기 개엽현상을 조사하였는데, 잎의 출현시기와 성숙시기는 비슷하지만, 양엽에 비하여 음엽은 엽면적이 넓고 건중량이 적은 것으로 보고한 바 있고(Viragh & Precsenyi, 1985), 동일 지역 내에서 관목과 교목은 잎의 생장형태가 다름을 밝힌 바 있다(Kaloczy & Precsenyi, 1985). 민병미(1994a; 1994b)는 수종 목본식물의 생육초기 기온과 기온과의 관계를 밝히기 위하여 엽면적과 비엽면적에 대한 분석을 실시하였다.

온대지역의 정상적인 수목 생장은 계절적 기상변화에 따라 생장개시, 왕성한 생장, 생장 둔화, 생장 정지, 그리고 휴면 등의 생활사를 가지고 있으며(Kozlowski & Pallardy, 1997), 수목의 건강도가 저하될 경우 대사활동의 둔화가 나타나게 된다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

많은 종들이 기후 변화의 결과로 생물계절 변화를 겪고 있는 것으로 보이며(Sparks & Carey, 1995; Crick et al., 1997; Menzel & Fabian, 1999; Roy & Sparks, 2000; Stefanescu et al., 2003, Hodgson et al., 2011), 생물계절 변화는 종이 기후 변화에 반응하고 있다는 모든 증거의 많은 부분을 차지한다(Walther et al., 2002; IPCC, 2007; Hodgson et al., 2011). 그러나 이러한 변화를 이해하고 예측하는 것은 어려운 과제다(Visser, 2008; Hodgson et al., 2011). 군락의 성장률과 상호 작용에서 중요한 변화로 이어질 수 있기 때문에 기후 변화 관련 문헌은 생물계절 변경의 잠재적인 해로운 영향에 대한 언급이 가득하다(Asch et al., 2007; Doi et al., 2008; Hodgson et al., 2011).

곤충은 주로 식물을 먹이원으로 하며 상위포식자인 새들에게는 먹이자원으로, 생태계 내에서는 생산자와 상위포식자를 연결하는 중간단계 역할을 담당한다. 나방은 딱정벌레 다음으로 종다양성이 풍부한 분류군이며, 분류학적 연구가

많이 이루어져 연구자들에 의해 생태계에 미치는 영향을 파악하는 지표생물로 이용되고 있다. 나방은 종수에 있어 나비보다 20배 이상 되는 것으로 알려져 있으며 세계적으로 지금까지 알려진 것은 180,000종에 이르는 것으로 추정되고 있다. 나방은 초식동물로 애벌레 기간 동안 특정한 식물의 잎이나 꽃 등을 먹는 1차 소비자 역할을 한다. 화석을 통해 꽃을 피우는 현화식물과 나비목 곤충의 상호작용이 잘 알려졌는데 현화식물은 1억 4천년부터 1억년 사이 급격한 진화를 이루었으며 원시나방류 역시 이 시기부터 화석이 발견되면서 종이 점차 진화하고 늘어난 것으로 알려져 있다. 나방은 자신이 선호하는 먹이식물 1종을 먹는 단식성도 있지만 유사한 식물 여러 종을 먹는 협식성도 많이 알려져 있다. 그 밖에 식물 종류에 상관없이 다양한 식물을 먹는 광식성도 있다(안 등, 2016).

우리 주변 생태계를 잘 나타내기 위해서는 비행능력이 너무 우수하여 멀리서 날아온다면 우리 주변환경에 대하여 말하기 어렵다. 나방 연구자들은 나방을 채집하기 위하여 사용하는 수은등이나 자외선등 등 인공불빛에 몰려드는 나방이 얼마나 멀리서 오는가를 알아보기 위하여 거리를 측정하였다. 나방 종마다 50-250m거리에서 날아온다고 알려져 있는데(Bowden, 1982) 포획-재포획 방법을 실시한 결과 불에 몰려드는 나방은 주변 3미터 안에 있는 것이 대부분으로(Truxa & Fiedler, 2012) 우리 주변 생태학적 변화를 나방 군집이 잘 나타낼 수 있다(안 등, 2016). 본 연구를 통하여 곤충의 생물계절을 주기적으로 관찰하여 생물계절의 변화에 대한 자료를 수집하고 분석하고자 한다.

조류는 큰이동성을 바탕으로 계절 및 상황에 따라 최적의 서식지로 이동하는 분류군이다. 우리나라에서는 봄, 가을시기의 도요류 등 섭금류 및 통과철새의 이동, 여름시기의 파랑새, 꾀꼬리 등 여름철새의 서식 및 번식, 겨울시기의 오리류 등 겨울철새의 서식으로 위의 사실을 뒷받침한다. 조류의 생활사에서 기온은 많은 영향을 끼치며(Smith & Smith, 2006), 특히 번식시기는 기온과 밀접한 연관이 있고, 조류의 분포에도 영향을 줄 수 있는 요인중의 하나로 번식기 동안의 기온 차이가 보고되었다(Leech & Crick, 2007). 본 연구과제에서는 현재 가속화 될 것이라고 예측되는 기후변화에 따른 생물계절변화 현상중 조류의 번식시기 변화와 철새도래시기 변화를 확인하기 위한 기초자료를 수집하고자 하였다. 조류의 번식에 관한 생물계절현상 연구를 위해 인공새집을 설치하여 조사하였으며, 기후변화에 따른 철새도래시기 변화 및 종구성을 확인하기 위해 위도별 월간 조류상 조사를 시행하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

II. 연구내용 및 방법

1. 육상생태계

가. 식생

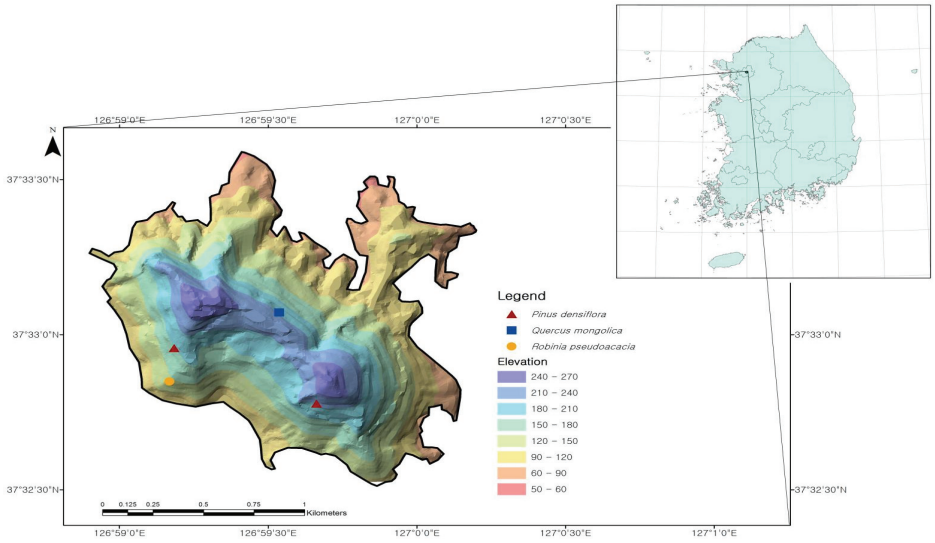
(1) 조사지개황

(가) 남산

남산은 서울시의 중심부로서 북위 37° 32′~33′사이, 동경 126° 58′~127° 0′ 사이에 위치한다. 행정 구역은 서울시 중구와 용산구에 걸쳐 위치하고, 중구의 6개 동(회현동, 남산동, 예장동, 필동, 장충동, 신당동)과 용산구의 4개 동(후암동, 이태원동, 용산동, 한남동)을 포함하고 있다(서울특별시, 1992). 지형은 동서로 달리는 능선을 경계로 하여 북사면은 경사가 급하고 주로 화강암인데 반해, 남사면의 모암은 주로 편마암으로 비교적 완만한 경사에 화강편마암 지대를 이룬다. 기후적으로는 온대성 냉대기후로서, 본 조사지역에 위치한 서울 측후소의 기상자료(중앙기상대, 1990; 기상청, 1991)에 의하면 연평균 강수량은 1,369.8mm이고 연평균기온은 11.8℃, 최한월인 1월의 평균기온은 -3.4℃, 최난월인 8월의 평균기온은 25.4℃이다(이 등, 1998).

남산의 경관요소는 이차림, 조림지 및 도시화 지역으로 대별된다. 이차림은 소나무군락, 신갈나무군락, 개벚나무군락 등으로 구성되어 있다(이 등, 1998). 도시화 지역은 각종 공공시설과 도로가 차지하고 있다. 토지의 소유별 현황은 국유지(80.78%), 사유지(13.3%) 및 공유지(6.0%)의 순서를 보였다(서울특별시, 1992).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅱ-1> 남산 조사지 위치

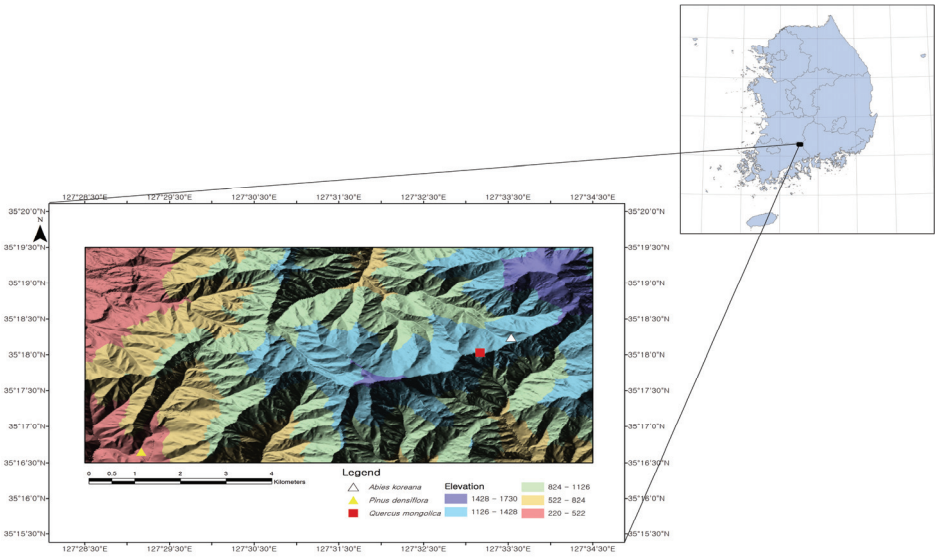
(나) 지리산

지리산은 우리나라 최초로 국립공원으로 지정되었으며 북위 35° 15′~25′사이, 동경 127° 33′~49′사이에 위치한다. 행정구역은 경상남도 함양군, 산청군, 하동군과 전라북도의 남원군, 전라남도의 구례군 등의 3도 5군으로 이루어져 있으며, 면적은 440.485㎢에 달한다.

지리산 지역의 강수량은 지리산을 경계로 남쪽 지역은 1,600~1,800㎜, 북쪽지역은 1,400㎜으로 달라지며 연중 강수량의 50% 이상이 여름철에 집중된다. 겨울의 찬 북서풍과 여름의 남동계절풍을 지리산이 막고 있기 때문에 지리산의 남쪽은 북쪽보다 같은 고도에서 연평균 약 2℃ 정도 높은 것으로 알려져 있다(임과 김, 1992).

지리산은 약 1,526여 종의 식물과 400여 종의 동물 등 다양한 동·식물상을 보유하고 있다. 수직적으로 난대식물에서 한대식물까지 분포하며, 한국 특산 식물과 지리괴불나무 등의 지리산 특산 식물도 분포한다(국립공원관리공단, 2005). 주요 우점 수종은 소나무, 서어나무, 개서어나무, 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무 등이 있고, 고지대에서는 구상나무군락이 나타난다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



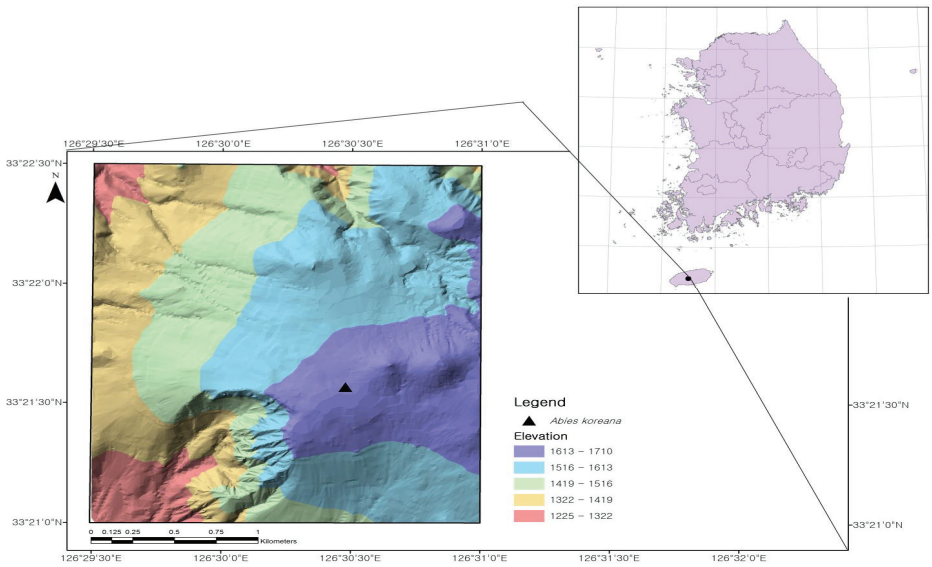
<그림Ⅱ-2> 지리산 조사지 위치

(다) 한라산

한라산은 우리나라 최남단 제주도의 중앙부에 위치하고 있으며, 그 정상부의 지리좌표는 북위 33° 21′ 29", 동경 126° 31′ 53"이고, 해발고도는 남한에서 가장 높은 1,950m이다. 지리적으로 아시아대륙의 동안해역에 위치하고 있어서 겨울철에는 강한 북서 계절풍, 여름철에는 남서 또는 남동 계절풍이 불어온다. Köppen의 기후 구분에 의하면 대체로 산간지방을 제외한 전 지역이 겨울철에는 온화하고 강수량이 비교적 고르게 내리는 아열대 습윤기후에 속하고 있으며, 해발 600m 이상 지역은 한랭 습윤 기후구에 속하는데 연평균 기온은 5.3~10.9℃의 분포로 제주도 해안지방의 연평균기온 15.2~16.2℃보다 5.3~9.9℃ 정도 낮고, 강수량은 2,968~4,746㎜로 해안지방의 강수량 1,095~1,851㎜보다 1,873~2,898㎜ 정도가 많다. 또한 정상지역은 최한월의 평균기온이 -3℃ 이하, 최난월의 평균기온이 10℃ 이상인 아한대 기후대 지역에 속하고 있다(강, 2006).

식생은 방위에 따라 다소 차이가 있으나 대체로 해발 600m까지는 난대 상록활엽수림대, 해발 600~1,400m은 온대 낙엽활엽수림대, 해발 1,400~1,950m은 아한대 또는 아고산식물대이다. 제주도 내에 분포하는 식물은 167과 770속 1,819종 121변종 50품종으로 총 1,990분류군이다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅱ-3> 한라산 조사지 위치

(2) 연구내용 및 방법

(가) 생태계 기후변화 모니터링 방형구

군집의 동태 변화를 연구하는 방법으로는 한 지소에 영구방형구를 설치하여 시간경과에 따른 변화를 장기간 관찰하여 결론을 내리는 장기간연속관찰법의 일환으로 기존의 조사연구 지소인 남산, 지리산, 한라산 내에서 임분의 구성과 구조적 특성이 비교적 안정되어 있는, 즉 생태적으로 가장 전형적인 곳을 선정하여 장기생태모니터링 방형구를 설치하였다. 2017년에 설치한 남산, 지리산, 한라산 각 지소의 보완사항 등을 고려하여 각 대방형구 및 소방형구의 구획을 정비하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 식물상

식물상 조사를 위하여 남산, 지리산, 한라산의 국가장기생태연구 1차 사업 종합보고서(2004-2013)에 조사된 매목조사 자료와 생태계 기후변화 조사지내 현지조사를 통하여 확인된 모든 관속식물의 출현종을 기록하고 일부 종은 사진촬영 및 채집을 실시하였으며 미확인 식물은 실험실로 운반하여 동정하였다. 식물의 동정과 분류는 이창복(1980; 2003), 이우철(1996a; 1996b)의 식물도감에 의거하여 실시하였다. 식물종에 대한 배열순서는 Engler system을 기본적으로 채택한 이창복(2003)의 분류체계로 정리하였고, 학명과 국명은 국립수목원(2007)의 국가생물종지식정보시스템의 자료를 바탕으로 작성하였다.

또한 국립생물자원관(2016)의 국가적색목록, 국가기후변화생물지표, 한국고유생물자원, 생태계교란생물을 참고하여 종을 정리하였다.

남산 식물상 조사의 경우, 2018년 5월 4～7일에 걸쳐 식물상 조사가 이루어 졌으며, 지리산의 경우, 2018년 7월 30일～8월 10일에 걸쳐 식물상 조사가 이루어 졌고 한라산의 경우, 2018년 6월 21～27일에 걸쳐 식물상 조사가 이루어졌다. 식물상의 경우, 식물계절학적 차원에서의 조사시기의 고려가 이루어져야 하지만 금년 식물상 조사의 경우 계절별 조사시기의 부족함이 있었다.

(다) 생태계 기후변화 조사지 동태

남산의 경우, 신갈나무림은 2011년 매목조사 자료(20×20m, 25개소)와 2017년 매목조사 자료(20×20m, 13개소), 2018년 매목조사 자료(20×20m, 12개소)의 총 25개소의 매목조사 자료를 바탕으로 조사지 동태 분석을 실시하였고, 소나무림의 경우, 2011년 매목조사 자료(20×20m, 2개소)와 2018년 매목조사 자료(20×20m, 4개소)를 바탕으로 분석하였다.

지리산의 경우, 소나무림의 경우, 2010～2013년 매목조사 자료(20×20m, 14개소)와 2017년 매목조사 자료(20×20m, 13개소), 2018년 매목조사 자료(20×20m, 12개소)의 총 25개소의 매목조사 자료를 바탕으로 조사지 동태 분석을 실시하였으며, 구상나무림의 경우, 2010～2013년 매목조사 자료(20×20m, 10개소)와 2017년 매목조사 자료(20×20m, 13개소), 2018년 매목조사 자료(20×20m, 12개소)의 총 25개소의 매목조사 자료를 바탕으로 분석하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

한라산 구상나무림의 경우, 2011년 매목조사 자료(20×20m, 15개소)와 2018년 매목조사 자료(20×20m, 15개소)를 바탕으로 조사지 동태 분석을 실시하였다.

1) 조사구 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

생태계 기후변화 모니터링 지소 및 군락별 조사구 구성목의 밀도, 크기, 종조성을 파악하기 위해 ha 당 밀도, 평균흉고직경, 최대흉고직경, ha 당 흉고단면적을 계산하였다.

2) 층위별 종수

생태계 기후변화 모니터링 지소별 군락의 층위별 종수를 파악하였다.

3) 직경급 분포

생태계 기후변화 조사지 내 개체목의 매목조사 자료를 이용하여 흉고직경 <5cm, 5-10cm, 10-20cm 등 흉고직경 10cm 이상부터는 10cm 단위로 직경급을 나누어 ha당 개체수로 환산하여 직경급 분포를 분석하였다.

4) 수관활력도

활력도 1	식물체에 달린 잎의 양이 10% 미만
활력도 2	식물체에 달린 잎의 양이 10~40%
활력도 3	식물체에 달린 잎의 양이 40~60%
활력도 4	식물체에 달린 잎의 양이 60~90%
활력도 5	식물체에 달린 잎의 양이 90% 이상

5) 수간건강상태

AS(Alive Standing)	서있는 상태로 생육
AB(Alive Broken)	부러진 채 생육
AD(Alive Deadtop)	정단부가 고사한 채로 생육
AF(Alive Fallen)	쓰러진 채 생육
AL(Alive Leaning)	기울어 생육
DS(Dead Standing)	선 채로 고사
DB(Dead Broken)	부러진 채 고사
DL(Dead Leaning)	기울어 고사
DF(Dead Fallen)	쓰러진 채 고사

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

6) 연평균 고사율

모니터링구 내 구성수종의 연평균고사율(mortality rate of the yearly mean, mN)을 Sheil & May(1996)의 방법을 이용하여 분석하였다.

$$연평균고사율(mN) = [1-(N_D/N_Z)^{1/t}] \times 100$$

식에서, ND = N년 간 발생한 고사목 본수, N_Z = 비교할 두 집단 중 처음 측정된 살아 있는 개체수, t = 측정 사이의 기간

7) 중요치

개체목들의 점유정도를 파악하기 위해 조사지내 수종을 대상으로 Curtis & McIntosh(1951)의 방법을 이용하여 상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 합산하여 중요치(Importance Value)를 계산하였다.

$$중요치(I.V.) = \frac{RDi + RCi + RFi}{3}$$

식에서, RDi = ni/∑n : 출현한 모든 종의 총개체수(∑n)에 대한 i종 개체수(ni)의 비율, RCi = Ci/∑C : 출현한 모든 종의 총피도의 합(∑C)에 대한 i종의 피도(Ci)의 비율, RFi = Fi/∑F : 출현한 모든 종의 빈도의 합(∑F)에 대한 i 종의 빈도(Fi)의 비율

8) 종다양도

종다양도는 종풍부도와 각 종에 속하는 개체수가 얼마나 고르게 분포하는가를 나타내는 균등도를 동시에 나타내는 척도로서 한라산 구상나무군락 내 개체목들의 다양성, 경쟁 등을 분석하기 위하여 종다양도지수(Shannon, 1946), 풍부도, 균재도, 우점도를 분석하였다(Brower & Zar, 1977).

$$\text{종다양도}(H') = -\sum P_i \times \log P_i = -\sum \left(\frac{N_i}{N}\right) \times \log\left(\frac{N_i}{N}\right)$$

나. 곤충

(1) 조사지개황

한라산 지역에서는 영실 탐방로 위쪽에 위치한 구상나무림과 하례리에 위치한 소나무림, 사제비동산의 신갈나무림을 대상으로 하였다. 지리산 지역에서는 임걸령 샘터 부근 구상나무림과 신갈나무림, 구례군 천은사 뒷편 소나무림을 대상으로 하였다. 남산 지역에서는 2005년 이후 진행된 장기생태연구 영구방형구 조사지점인 소나무림과 아까시나무림, 신갈나무림을 선정하였다(표Ⅱ-1/그림Ⅱ-4~9).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅱ-4> 지리산 소나무림



<그림Ⅱ-5> 지리산 신갈나무림



<그림Ⅱ-6> 지리산 구상나무림



<그림Ⅱ-7> 한라산 구상나무림



<그림Ⅱ-8> 남산 소나무림



<그림Ⅱ-9> 남산 아카시나무림

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-1> 한라산, 지리산, 남산 장기생태 조사지역 지리정보

산	조사지점	지리 좌표	고도
한라산	소나무림	126°37′ E, 33°18′ N	278 m
	신갈나무림	126°30′ E, 33°22′ N	1,410 m
	구상나무림	126°30′ E, 33°21′ N	1,630 m
지리산	소나무림	127°38′ E, 35°16′ N	302 m
	신갈나무림	127°33′ E, 35°17′ N	1,350 m
	구상나무림	127°33′ E, 35°18′ N	1,330 m
남산	소나무림	126°59′ E, 37°32′ N	195 m
	아까시나무림	126°59′ E, 37°32′ N	200 m
	신갈나무림	126°59′ E, 37°33′ N	210 m

(2) 연구내용 및 방법

조사지역에 분포하고 있는 나방 종을 채집하기 위하여 12V 휴대용 건전지로 작동되는 원통형 22W 자외선 등이 설치된 버켓트랩(Bioquip Co., U.S.A.)을 각 조사지역에 1개씩 설치하였다. 채집은 일몰이 시작되는 7시 30분부터 약 5시간동안 타이머를 설치하여 작동하도록 이루어졌으며 가급적 비가 오지 않고 바람이 불지 않는 날로 정하였다(표Ⅱ-2). 달의 밝기가 나방의 활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에(Yela & Holyoak, 1997) 보름달이 있는 날은 피하였다.

채집된 표본은 실험실에서 동정, 분류한 후 데이터베이스로 작성하였다. 종 동정은 국내외의 문헌을 참조하였다.

<표Ⅱ-2> 각 조사지별 조사일

조사지역	조사일 (2018)					
	5월	6월	7월	8월	9월	10월
한라산	5.4	6.2	7.8	8.1	9.4	10.1
지리산	5.11	6.9	7.11	8.4	9.7	10.13
남산	5.14	6.19	7.16	8.16	9.14	10.15

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅱ-10> 조사에 사용한 UV bucket light trap

다. 물질순환

(1) 조사지개황

남산은 서울시 중구 남산동, 회현동, 예장동과 한남동에 걸쳐 있는 산림으로 우리나라 대표적인 도시림이다. 한강으로 이어지는 도심생태 녹지축의 중심 고리이며 총면적 258ha 중 236.46ha는 임야이지만 과도한 인간간섭으로 인한 교란이 심한 지역이다. 연구가 진행된 숲은 남산의 신갈나무림(*Quercus mongolica* forest), 소나무림(*Pinus densiflora* forest) 그리고 조림수종인 아까시나무림(*Robinia pseudoacacia* forest)이며, 2006년에 환경부 국가장기생태연구사업으로 설치된 영구방형구에서 수행되었다(그림Ⅱ-11).

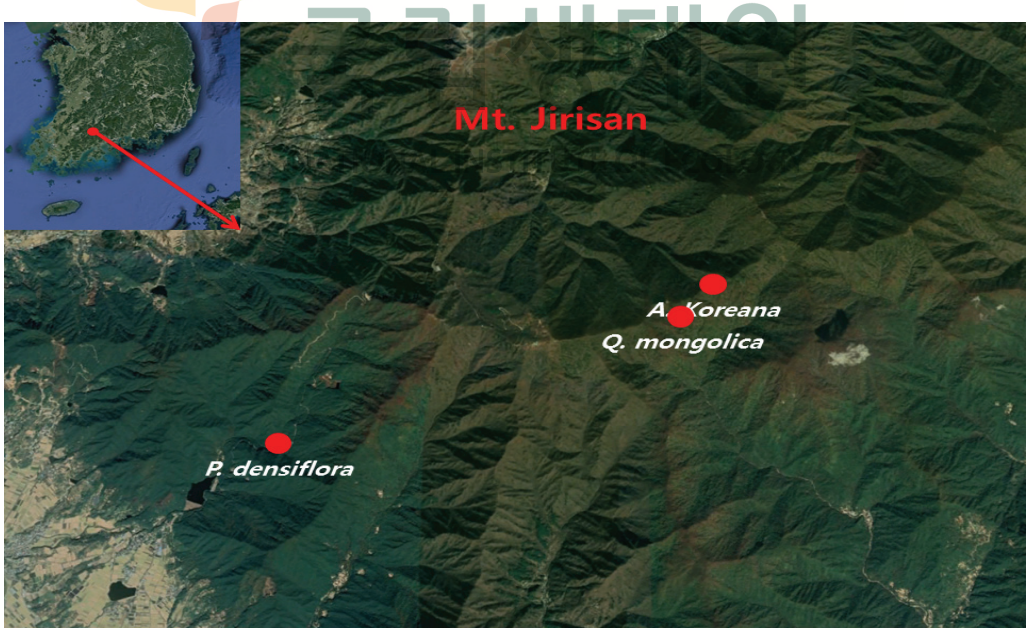
지리산은 전북 남원시, 전남 구례군, 경남 산청군, 경남 하동군 그리고 경남 함양군에 걸쳐있으며 해발 1,916m로 남한에서 두 번째로 높다. 동경 127° 27′~127° 49′, 북위 35° 13′~35° 27′에 위치한 거대한 지리산은 총면적이 440.4km^2, 전북에 107.7km^2 전남에 87.9km^2 경남에 244.7km^2 분포한다. 지리산은 암석의 변성 정도 및 남북사면의 국지적인 기후환경의 차이 등 자연환경에 따라 다양한 산지지형의 특색을 나타낸다. 지리산의 저고도 지역에는 소나무림이 우점하여 분포하고, 아고산지대에는 구상나무인 상록침엽수와 낙엽성인 신갈나무가 넓게 분포하고 있다(국립공원관리공단 국립공원연구원, 2011). 본 연구는 2014년에 환경부 국가장기생태연구사업으로 설치된 영구방형구에서 수행되었으며, 구상나무군락은 해발고도 약 1,378m에 위치한다(N 35° 18′ 14.00", E 127° 33′ 38.5")(그림 2). 신갈나무군락은 해발고도 약 1,293m에 위치하고(N 35° 17′ 49.6" E 127^3 33′ 17.9"), 소나무군락은 해발고도 약 385m에 위치한다(N 35° 16′ 38.6" E 127^3 29′ 10.91")(그림Ⅱ-12).

한라산은 한반도 최남단 제주도에 위치하고 있으며, 해발 1,950m로 남한에서 가장 높다. 우리나라 관속식물 중 약 1/3이 한라산에 분포하고 있으며, 해발고도에 따라 식생대의 수직적 발달이 뚜렷하여 생태학적으로 매우 중요도가 높다(공, 1999). 해발 1,300m 지점 이상에서 아고산 식물 분포를 보이고 있으며, 강한 바람의 영향으로 교목층의 키가 작다. 정상부에는 한랭하고 혹독한 기후조건으로 관목류와 초본류의 극지고산식물과 고산식물이 주로 분포한다(공, 2002). 조사지는 한라산 영실탐방로 인근 N 33° 21´ 31˝, E 126° 30´ 27˝ (그림Ⅱ-13)의 해발 1,660m 지점에 위치한다. 임목밀도는 2,800~3,700본/ha 였으며 교목층의 수고는 약 5m 이었다.

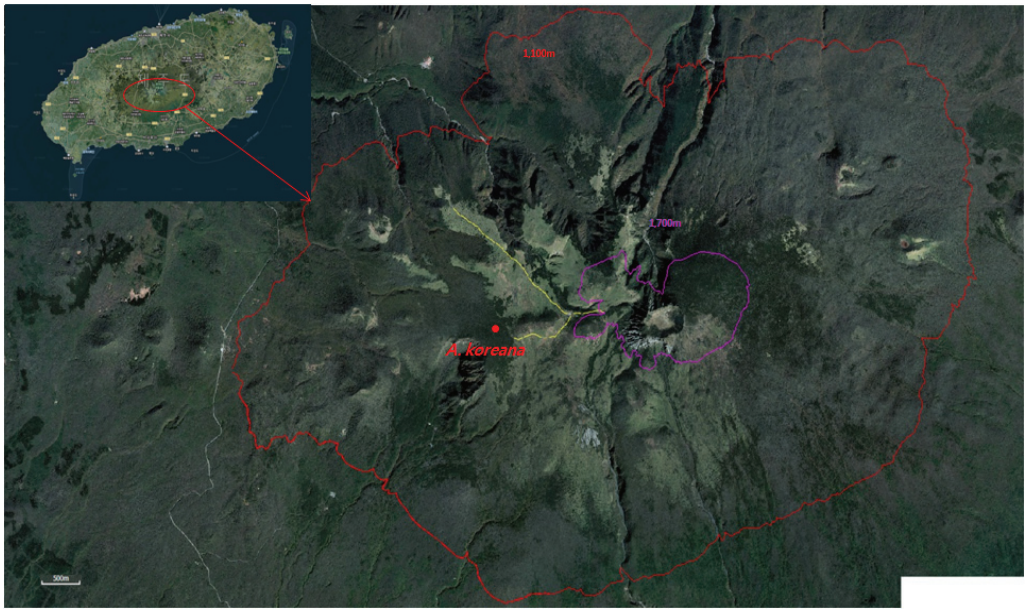
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅱ-11> A map showing the study area. The red circle indicate the location of the *P. densiflora* community, *Q. mongolica* community and *R. pseudoacacia* community



<그림Ⅱ-12> A map showing the study area. The close circle indicate the location of the *P. densiflora*, *A. koreana* and *Q. mongolica* community



<그림Ⅱ-13> A map showing the study area. The red circle indicate the location of the *A. koreana* community in the study area

(2) 연구내용 및 방법

(가) 각 군락의 현존량과 순생산량

1) 교목층의 현존량과 순생산량

교목층의 현존량은 수확법으로는 어렵다. 따라서 교목층의 지상부 줄기와 가지의 현존량은 상대생장식을 이용하여 계산하였다. 잎과 생식기관의 현존량은 litter trap에서 수거된 연간 낙엽생산량으로 계산하였다. 지하부의 현존량은 지상부 현존량의 25%를 적용하여 추정하였다(Jonhnson & Risser, 1974).

조사지소 내 20x20m의 방형구 내에 있는 직경이 2.5cm이상이 되는 수목의 흉고직경(D)과 수고(H)를 측정하였다. 측정한 흉고직경과 수고를 각 교목의 상대생장식에 대입하여 각 군락의 현존량을 계산하였다. 연간순생산량은 다음해의 현존량에서 전년도 현존량을 뺀 값으로 계산하였다.

본 조사에서 각 군락의 현존량 측정을 위해 사용한 상대생장식은 <표Ⅱ-3>과 <표Ⅱ-4>와 같다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-3> Allometric equations for each biomass component against the diameter at the breast height and height in different tree

Species	Allometry	Ref.
Q. mongolica (신갈나무)	$logW_s=0.5526log(D^2H)-0.1228$	강과 곽, 1998
	$logW_b=0.5188log(D^2H)-0.9787$	
P. densiflora (소나무)	$logW_s=0.58482log(D^2H)-0.42417$	강과 곽, 1998
	$logW_b=0.6234log(D^2H)-1.2321$	
R. pseudoacacia (아까시나무)	$logW_s=0.967log(D^2H)-1.582$	김 등, 1986
	$logW_b=0.845log(D^2H)-1.581$	

<표Ⅱ-4> Allometric equations of *Abies koreana*

Species	Range	Allometric			Reference
		Ws	Wb	Wsb	
Abies koreana	1≦DBH<10	0.00743914* DBH* 3.233	0.00782838* DBH* 2.799	0.00394621* (DBH)* 2.841	Wang et al., 2011
	10≦DBH<20	0.01196224* DBH* 2.926	0.00517974* DBH* 2.549	0.00714745* DBH* 2.549	
	DBH≦20	0.13199384* DBH* 2.121	0.00123708* DBH* 3.200	0.0008805* DBH* 3.200	

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 관목층과 초본층의 순생산량

조사지소 내의 관목층의 순생산량 측정은 수확법을 이용하여 2X2m의 방형구에서 지상부를 수확하였다. 수확한 지상부를 잎과 1년생 가지로 구분하여 60℃ 항량이 될 때까지 건조시켜 칭량한 후에 단위면적당 현존량으로 환산하였다. 그리고 관목층의 지하부는 지상부 현존량의 25%를 적용하여 추정하였다(Jonhnson & Risser, 1974). 초본층의 현존량은 1X1m의 방형구에서 초본을 모두 수확하여 실험실에서 건조시켜 칭량한 후 단위면적당 현존량으로 환산하였다.

3) 식물체 유기탄소량

각 군락의 교목층, 관목층 그리고 초본층의 유기탄소량은 건량의 45%를 적용하여 추정하였다(Houghton et al., 1983).

(나) 군락별 연간 낙엽생산(Litter production)

낙엽을 통해 임상으로 회수되는 유기탄소량을 정량하기 위해 지름이 60cm인 원형 litter trap을 설치하여 계절별로 litter trap에 들어있는 낙엽을 수거하였다. 수거한 낙엽은 잎, 목질부, 생식기관, 기타로 분류하여 65℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후에 칭량하였다. 연간 회수된 낙엽의 건량을 기초로 하여 단위면적당 낙엽생산량으로 환산하였다.

(다) 임상낙엽층

임상낙엽층의 낙엽량과 유기탄소량을 정량하기 위해 0.25mX0.25m 방형구를 설치하여 방형구내에 있는 임상낙엽층을 L층(Litter layer)과 F층(Fermentation layer)으로 구분하여 수거하였다. 수거한 낙엽은 실험실로 운반하여 65℃ 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후에 칭량하였다.

(라) 토양의 채집과 분석

본 조사 지소의 유기탄소량을 측정하기 위해 토양 채집은 50cm깊이까지 10cm간격으로 토양을 채취하여 비닐팩에 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 유기물 함량은 풍건세토 5g을 105℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량한 다음 600℃ 전기로에서 4시간 정도 작열시킨 후 건중량에서 회분량을 빼어 계산하였고, 이를 1.724로 나누어 유기탄소함량으로 전환하였다(Black, 1965). 이 자료를 이용하여 단위면적당 토양의 유기탄소축적량을 계산하였다. 유기탄소축적량은 Wang et al., (2002)의 계산식을 이용하였으며 계산식은 다음과 같다.

$$SOC(kg/m^2) = 가비중(ton/m^3) \times 유기탄소함량(g/kg) \times 토양두께(m) \times (1-석력비율-암석비율)$$

토양의 가비중을 측정하기 위해 직경 5cm, 길이 10cm인 원통형의 토양채집기를 이용하여 10cm간격으로 50cm깊이까지 토양을 채집하였다. 채집한 토양은 비닐팩에 넣어 실험실로 운반한 후 105℃ 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켜 칭량하였다. 그 후 이 값을 부피로 나누어 가비중을 계산하였다. 석력함량은 채취한 토양을 2mm체로 걸러 2mm이상 되는 입자의 무게를 측정한 후 전체 무게에서 2mm이상 되는 입자 무게의 비율을 계산하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(마) 토양호흡 및 온도

각 군락의 토양온도는 온도데이터로거(T&D Thermo Recoder)의 센서를 토양의 상층(5cm)에 묻고 1시간 간격으로 모니터링 하였다. 토양호흡은 휴대용 적외선가스분석기(IRGA:EGM-4 PP system, UK)를 이용하여 각 군락의 영구방형구 안에서 측정을 하였다. 조사된 CO_2 방출량을 토대로 군락 별 토양호흡량과 온도에 대한 회귀식을 추정하였으며, 연간 토양 호흡량의 46%를 뿌리 호흡량으로 추정하였다.

(바) 영양염류 분포

1) 질소(Nitrogen)

분쇄한 식물체의 0.5mg을 tin capsule에 각각 봉인하여, 원소분석기(Flash 1112series, Thermo Fisher Scientific, U.K.)를 사용하여 질소(N)의 함량비를 확인하였다. 그 후 현존량에 함량을 곱하여 분포량을 추정하였다.

2) 인(Phosphate)

분쇄한 식물체 1g에 10mL 질산(HNO_3)을 넣고 microwave를 통해 용해를 시킨 후 여과지에 여과를 하였다. 그 후에 유도 결합 플라즈마 분광분석기(Optima 5000 DV, Perkineimer, U.S.)를 사용하여 인(P)함량을 정량하였다.

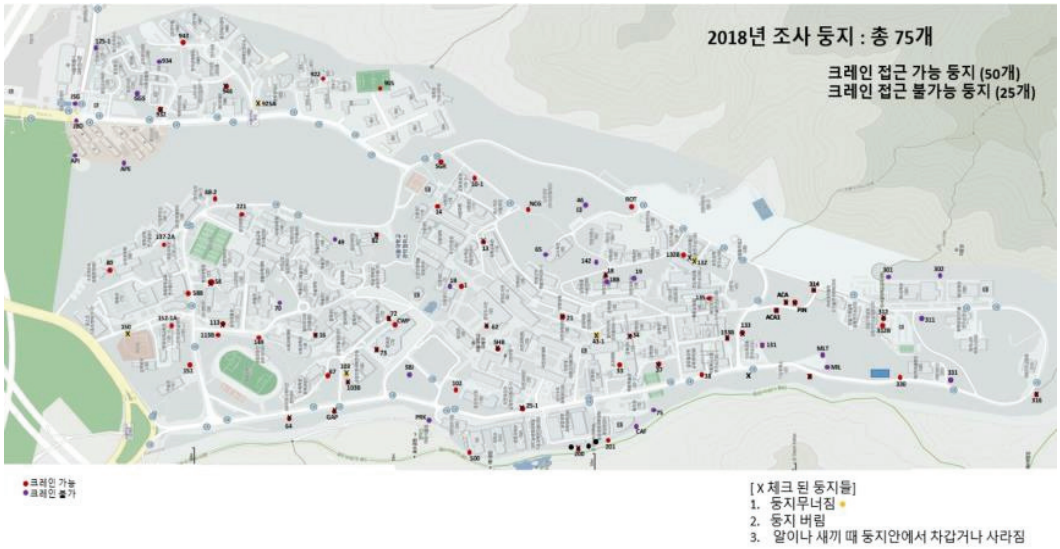
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라. 관악산의 까치

(1) 조사지개황

(가) 서울대 관악 캠퍼스(이하 SNU)

총 교지면적은 620만 6,392㎡으로 서울분지를 둘러싸고 있는 관악산 내부에 위치하고 있어 준도시(semi-urban)환경을 갖고 있다고 볼 수 있다. 병목, 이입 등에 의한 개체군의 급감 및 급증이 없고 포식압이 낮아 기후 변화에 의한 까치 개체군의 반응을 모니터링하기 좋다. 매년 약 40-60개의 둥지가 사용된다. 2018년에는 총 75개의 둥지가 지어졌고, 이 중 고가사다리차로 접근하여 번식생태를 면밀히 조사할 수 있는 둥지가 50개, 고가사다리차로 접근이 불가능한 둥지가 25개였다. 서울대에서 조사된 까치 둥지의 위치를 <그림Ⅱ-14>에 표시하였다.

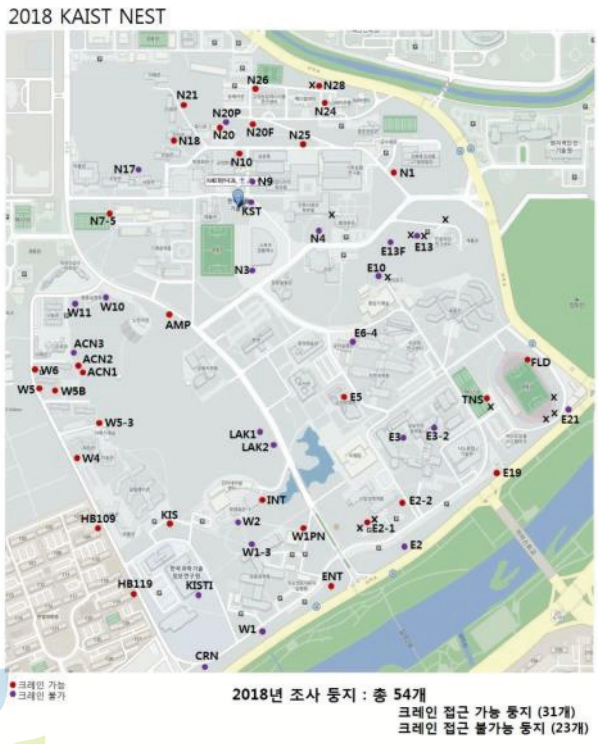


<그림Ⅱ-14> 2018년에 서울대 관악캠퍼스에서 조사된 까치 둥지 위치

(나) KAIST 대전캠퍼스(이하 KAIST)

총 교지면적은 114만 691㎡으로 충청남도 대전광역시 유성구에 자리잡고 있다. 인구밀도, 유동 인구, 건물의 배치 상황이 제1연구지인 서울대 캠퍼스와 비슷하고, 그보다 남쪽에 위치하고 있어 상대적으로 다른 기후 양상을 띄고 있기 때문에 본 조사에서 대조군으로 사용하였다. 매년 약 30-40개의 둥지가 사용된다. 2018년에는 총 54개 둥지가 지어졌고, 이 중 고가사다리차로 접근가능하여 조사된 둥지가 31개, 고가사다리차로 접근이 불가능한 둥지가 23개였다. 2018년에 KAIST에서 조사된 까치 둥지의 위치를 오른쪽 <그림Ⅱ-15>에 표시하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



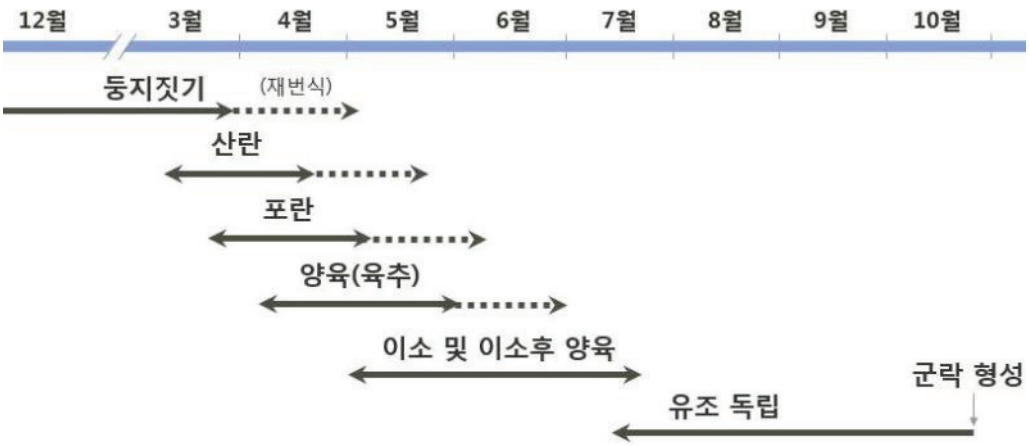
<그림Ⅱ-15> 2018년에 KAIST 캠퍼스에서 조사된 까치 둥지 위치

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 연구내용 및 방법

(가) 조사시기

까치의 번식준비는 이전해 12월부터 시작되나 본격적인 둥지짓기는 1월말부터 시작된다. 외견 상 둥지가 완성되는 2월 중순 이후부터는 번식쌍의 행동을 관찰하여 번식개시시점, 즉 산란일을 추정하였다. 암컷이 둥지에서 나오지 않고 산란이 임박한 것으로 판단되면 고가사다리차를 임대해 둥지에 접근하여 산란을 확인하였으며, 산란한 이후부터는 1주일에 1, 2회 둥지에 접근하여 번식자료를 수집하였다(아래 조사방법 참조). 까치의 대략적인 번식일정을 <그림Ⅱ-16>에 표시하였다.



<그림Ⅱ-16> 대략적인 까치 번식 스케쥴

(나) 조사방법

1) 기초 번식 생태 조사

까치의 본격적인 번식기인 3월부터 6월까지 고가사다리차를 이용해 일주일에 1, 2회 SNU 및 KAIST 조사지 내 까치의 번식상황을 조사하였다. 각 둥지는 고가사다리차로 접근하기 전 미리 직접 관찰을 통해 산란일을 짐작하였으며, 산란이 임박했다고 판단되면 고가사다리차(그림Ⅱ-17 왼쪽)로 둥지에 접근하여 산란일, 알의 무게, 한배 알 수, 새끼의 몸무게, 새끼의 부척(tarsus)길이, 둥지의 크기, 이소 직전 한배 새끼 수를 측정, 기록하고 새끼의 metatarsal vein(새끼가 부화 후 6, 7일 이내) 또는 ulnar vein(새끼 부화 후 6, 7일 이후)으로부터 30~70ul의 혈액채취, 유조의 개체 인식표 부착을 시행하였다. 채취한 혈액 샘플은 마이크로 원심분리하여 혈구와 혈장을 분리한 뒤 -20℃에서 보관하였다. KAIST 대전캠퍼스에서도 마찬가지 방법으로 까치의 번식상황 조사를 시행하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY




<그림Ⅱ-17> 고가사다리로 둥지에 접근하는 모습(왼쪽), 부화 후 까치 둥지 내 존재하는 새끼와 알의 모습(오른쪽)/오른쪽 사진의 숫자는 새끼의 나이 (부화 후 일 수)의 추정치

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 기상요인 조사

기상조건과 번식성공도와의 관계를 파악하기 위해 기상청(http://www.kma.go.kr)으로부터 서울 및 대전 기상대에서 측정된 평균기온, 강수량, 일조시간의 기상요인 정보를 활용하여 기상 인자를 정리했다. 이후 통계 처리단계에서 사용하는 연도별 전체 개체군내 기상 인자와 둥지별 기상 인자가 다르기 때문에 기상 인자 산출 방식도 두 가지로 나누어 시행하였다.

가) 개체군 단위 기상요인

해당연도 개체군 평균 산란일을 기준으로 번식단계를 산란전 90일간, 산란전 30일간, 포란기간(산란 후 22일 간), 양육기간으로 나누어 각 구간마다 평균 일조시간, 평균 풍속, 평균 강수량, 기온 평균 및 표준편차, 영하로 내려간 일 수를 구하였다.

나) 둥지 단위 기상요인

각 둥지의 산란일을 0일이라고 했을 때 산란일 전후를 아래와 같은 6구간으로 나누었다.

ㄱ. -3 단계: 산란전 30일~20일전

ㄴ. -2 단계: 산란전 20일~10일전

ㄷ. -1 단계: 산란전 10일~1일전

ㄹ. 0 단계: 산란~산란후 11일

ㅁ. 1 단계: 산란후 12일~22일

ㅂ. 2 단계: 부화~부화후 10일

ㅅ. 3 단계: 부화후 11일~20일

각 구간에 대해 기온과 강수량, 일조시간의 평균을 구했으며 마찬가지 방식으로 각 기간 동안의 일조시간의 평균표준편차와 기온의 변화율도 구해 둥지의 산란일과 연관된 기상요인 자료를 얻었다. 이 때 -3 단계부터 -1 단계까지는 산란전 단계, 0, 1 단계는 포란단계, 2, 3단계는 양육단계에 해당한다. 개체군 단위와 달리 둥지를 기준으로 한 경우에는 번식에 미치는 기후의 영향을 좀 더 미세하게 파악하기 위하여 위와 같이 단계를 세분화하여 고려하였다.

3) 통계 처리

기후인자가 번식생태에 미치는 영향을 분석하기 위해 두 가지 분석방법을 취하였다. 하나는 특정 연도별 개체군 전체의 번식성공도를 평균내어 개체군 전체 평균 기후인자와 연관시켜 보는 것이고, 다른 하나는 둥지 하나를 단위로 하여 둥지별 기후 인자를 별도로 산출한 뒤 둥지의 번식성공도와 그 기후인자 간의 상관성을 살펴보는 것이다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

가) 개체군 단위 분석 방법

연도별 개체군 전체 자료를 평균 내어 분석한 경우에는 다음 여섯 가지 지표를 번식성공도 지표로 사용하였다.

ㄱ. 평균 산란일: 해당연도 둥지 별 첫 번째 알이 관찰된 날짜의 평균

ㄴ. 평균 한배 알 수: 해당 연도 둥지별 어미가 낳은 알의 최대 개수의 평균

ㄷ. 이소직전 새끼의 수: 전체 개체군에서 해당 연도에 생산된 이소 직전의 새끼 마리 수 총합을 성공한 둥지(새끼를 한 마리라도 만들어낸 둥지)의 개수(<성공한 둥지당 새끼 수>)로 나누어 사용하였다.

ㄹ. 이소직전 새끼의 건강상태: 해당 연도에 생산된 이소 직전의 새끼의 몸무게를 부척골 길이로 나누어 산출한 뒤 이를 평균내었다.

ㅁ. 성공한 둥지의 비율: 해당 연도에 성공한 둥지의 개수를 번식활동을 보인 둥지 개수 전체로 나누었다.

해당연도 개체군 평균 산란일을 기준으로 번식단계를 산란전 90일간, 산란전 30일간, 포란기간(산란 후 22일 간), 양육기간으로 나누어 각 단계마다 일조시간 평균 및 표준편차, 강수량 평균, 표준편차 및 기간별 누적량, 기온 평균 및 표준편차, 영하로 내려간 일 수(겨울)을 추출하였다. 이 후 각 단계마다 기후인자들을 이용하여 주성분 3개를 추출한 뒤, 단계별 기후인자와 번식성공도 지표 간의 상관성을 일반선형복합모델을 이용하여 분석하였다. 모델선택은 P값이 아닌 AICC(corrected Akaike's Information Criterion)에 근거한 후진제거법을 이용하였다. 분석을 위한 통계 프로그램으로는 SAS ver 9.4를 사용하였다.

나) 둥지 단위 분석 방법

둥지 단위 번식성공도 지표로는 한배 알 수, 이소직전 새끼 마리 수와 건강상태를 사용하였다. 새끼의 건강상태는 새끼 단위의 분석을 실시하여 수치화하였으며, 부척골의 길이에 대한 몸무게의 잔차값으로 산출하였다. 앞서 구한 각 둥지의 구간 별 기후인자(평균 기온, 평균 강수량, 평균 일조시간, 기온의 변화율, 일조시간의 평균표준편차) 데이터에서 산란 전 단계, 포란 단계, 양육 단계마다 주성분분석을 통해 주성분을 3개까지 추출하였다. 또한 번식 전 기간에 걸친 기상요인을 설명하는 주성분도 5개까지 추출하였다.

분석은 일반선형복합모델을 이용하여 수행하였다. 분석 대상인 종속변수에 따라 독립변수의 개수가 달라지는데, 예를 들면 한배 알 수의 경우 산란 전 단계의 주성분만 고려하면 되는 반면, 이소직전 새끼 마리 수의 경우 번식의 전 단계의 주성분을 모두 고려해야 한다. AICC에 근거한 후진제거법을 적용하여 특정 종속변수의 변이를 가장 잘 설명하는 독립변수의 집합으로 된 모델을 선택하였다. 주성분추출과 통계분석에는 SAS ver 9.4을 사용하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2. 담수생태계

가. 소양호

(1) 조사지개황

본 연구의 대상지인 소양호는 최대 저수량이 29억톤으로서 국내 최대인 저수지이며, 만수시 최대수심이 118m로서 가장 깊다. 한강의 최상류에 위치하고 있으며 유역의 인구밀도가 10명/km^2 정도로 낮은 편이고 호수의 종방향 최대길이는 60km로 국내 최장이고 체류시간이 약 9개월로 인공호로서는 긴 편이다. 그러나 평균수위에서의 평균너비는 약 0.5km에 불과하여 좁고 긴 나뭇가지형상(dendritic type)을 가지고 있다. 또한 주변이 높은 산으로 둘러싸여 있어 수면에서 바람이 부는 이송거리(fetch)가 짧고, 바람에 의한 난류 발생과 혼합효과가 작다. 그리고 안정된 성층으로 인하여 수직변이가 크게 나타나는 호수이다.

(2) 연구내용 및 방법

조사 기간은 2018년 3월부터 10월까지이며 호수 내 조사는 소양강댐 앞의 수심이 가장 깊은 지점의 수질을 대표수질로 선정하였고 댐 앞 정점에서 월별 2회 이상 조사하였다. 호수 내 수질의 수직분포를 파악하기 위하여 표수층에서는 0m, 2m, 5m, 10m간격으로 채수하여 수질분석을 실시하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-5> 소양호의 주요 제원과 수문학적 특성

최대 만수면적	70 km^2
평균 수면적	44.4 km^2
최대 저수량	29 X 10^8 m^3
평균 저수량	20 X 10^8 m^3
평균 체류시간(residence time)	0.75 yr
평균수심 (mean depth)	33.8 m
최장축 길이	60 km
평균 너비 (mean width)	0.45 km
만수위	해발 198 m
평균 수위	해발 176 m
방류구 위치	해발 130-150 m
유역면적	2703 km^2
유역의 삼림면적	2524 km^2
호수바닥의 해발고도	80 m

수질항목은 수질오염공정시험법에 준하여 측정하고, 이에 제시되지 않은 측정 항목은 Standard Methods법에 따라 측정하였다(APHA, 1998). 투명도, 수온은 현장에서 휴대용 측정기기를 이용하여 직접 측정하였다. 그 이외의 항목인 TOC, SS, TN, TP, Chl. a은 냉장보관 후 실험실로 운반하여 분석하였다.

<표Ⅱ-6> 수질측정항목 및 분석방법

측정항목	분석 방법
투명도	투명도판을 사용하여 측정
수온	전자온도계를 사용하여 측정
TOC	TOC Analyzer 로 측정
TN	persulfate 분해 후 Cadmium reduction법으로 측정
TP	persulfate 분해 후 ascorbic acid법에 의한 흡광광도법
총부유고형물(TSS)	GF/C에 의한 중량법
Chlorophyll-a	공정시험법의 클로로필 a 측정법(UNESCO)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

식물플랑크톤 군집구조 조사는 수질조사 지점과 동일하며, 댐앞지점 표층을 조사하였다. 식물플랑크톤은 500mL 폴리에틸렌 시료병에 담아 Lugol용액으로 현장에서 고정하여 약 2주일 이상 침강시킨 후(APHA, 1998), 이 시료를 siphon으로 상등액을 뽑아 농축시켰다(Sukhanova, 1978). 세포의 계수는 Plamer-Maloney counting chamber를 사용하여 광학현미경 400~1,000배에서 계산하였다. 종 동정은 Hirose & Yamogishi(1977), 水野・高橋(1991)에 의하여 조사하였다.

동물플랑크톤의 시료는 63㎛ plankton net를 이용하여 표층에서 20m까지 수직 예인하였다. 채집된 시료는 폴리에틸렌 병에 담아 sucrose-formalin으로 최종 농도가 4%가 되도록 고정하였다. 고정된 동물플랑크톤 시료는 Sedgwick-Rafter 계수판에 넣고 현미경하에서 저배율(60~150배)로 지각류, 요각류, 윤충류 및 원생동물로 구분하고 각 종별로 계수하여 리터(L)당 개체수로 환산하였다(Mizuno, 1991). 최종 현존량은 종별 개체수(ind./ℓ)로 제시하였으며, 동물플랑크톤 종의 분류는 속명 또는 종명의 수준까지 Mizuno(1975)의 분류 체계를 기준으로 하였다. 검색참고문헌으로, 根來

(1982), Mizuno & Takahashi(1991), 森下(1996) 등을 이용하였다. 동물플랑크톤 우점종의 선정은 개체수로 평가하였다. 동물플랑크톤 우점종의 선정은 개체수로 평가하였다. 종 다양도(Shannon-Weaverm, 1963) 및 풍부도 지수(Margalef, 1958), 균등도 지수(Pielou, 1975) 및 우점도 지수(McNaughton, 1967)는 다음의 식으로 계산하였다.

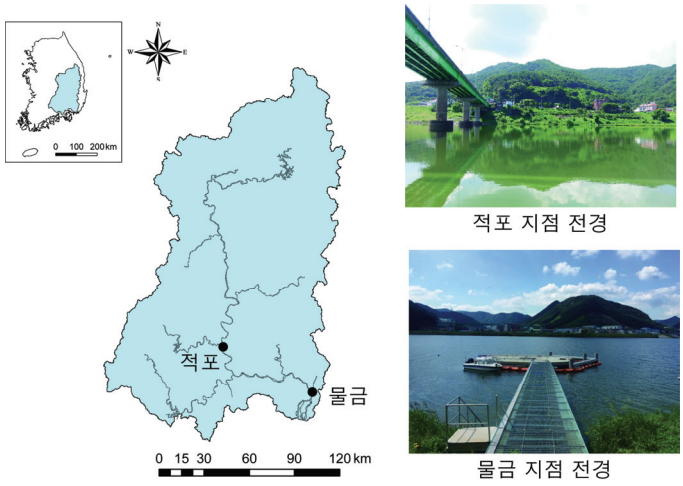
종 다양도 (H′) = $-\sum_{i=1}^{S} Pi\ (\ln Pi)$, S : 전체 종수 Pi : i번째에 속하는 개체수의 비율을 말하며 (ni/N)으로 계산 (N : 군집내의 전 개체수, ni : 각 종의 개체수)
종 풍부도 (RI) = (S-1)/ln(N) S : 총 종수, N : 총 개체수
균등도 (EI) = H′ / ln(S) H′ : 종 다양도, S : 총 종수
우점도 (DI) = (n1 + n2) / N n1: 제1우점종의 개체수, n2 : 제2우점종의 개체수, N : 총 개체수

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 낙동강

(1) 조사지개황

본 연구를 위한 조사지역으로 낙동강 본류 수역의 중·하류에 위치한 적포(경남 창녕군 이방면 현창리, 35° 31′ 42.0" N 128° 21′ 39.8" E), 물금(경남 양산시 물금읍 물금리, 35° 18′ 55.5" N 128° 58′ 25.6" E)의 2지점을 선정하였다(그림Ⅱ-18). 장기생태연구 기간인 2004년부터 월 1-2회의 현장조사를 실시하였다. 기상자료는 기상청의 기상자료개방포털에서 물금 지점에 인접한 양산시(경상남도 양산시 동면 금산리, 35° 18′ 25.4" N 129° 01′ 13.9" E)와 대구(대구광역시 동구 효동로 2길 10, 35° 52′ 40.7" N 128° 39′ 10.7" E)의 자료를 수집하였다.



<그림Ⅱ-18> 낙동강 수계와 조사 지점 개황

(2) 연구내용 및 방법

조사시기는 2003년 장기생태연구의 일환으로 시작된 장기 모니터링 시점부터 본 과업의 기간까지인 2018년 12월까지 조사를 수행하였다. 해당 년도의 기상 특성을 평가하기 위해 2011년부터 8년간의 자료를 이용하여 비교하였다.

현장조사는 각 조사 지점에서 수질 항목 8가지를 측정하고 식물플랑크톤 채집을 수행하였다. 수온과 용존산소량 및 용존산소포화도는 YSI-DO meter(Model 58), pH는 Orion 407A pH meter, 전기전도도는 FISHER conductivity meter(Model 152)를 사용하였다. 탁도(turbidity)는 Micro100 turbidimeter를 사용하였고, 알칼리도(alkalinity)는 폴리에틸렌 병에 채집하여 실험실로 운반한 시료를 이용하여 산-염기 적정법으로 측정한 값을 사용하였다. 클로로필 a 농도 분석은 micro-filter membrane을 이용하여 원수를 거른 이후 90% acetone으로 추출하여 흡광도를 측정하였다(APHA, 1995). 현장에서 루골 용액으로 고정한 식물플랑크톤 시료로부터 Yamagishi et al.,(1984), Akiyama et al.,(1993) 등의 문헌을 참고로 하여 종을 동정하였고, 세즈윅-라프터(Sedgwick-Rafter) 챔버에 골고루 분산시켜 고배율의 광학현미경(ZEISS, Model Axioskop 40) 하에서 저배율 방법을 이용하여 세포수를 계수하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-7> 낙동강 수질 분석방법

조사항목	분석방법	비 고
수온	YSI-DO meter (Model 58)	현장 측정
용존산소	YSI-DO meter (Model 58)	
투명도	ø20cm Secchi Disk	
수소이온농도	Orion 407A pH meter	
전기전도도	YSI Conductivity Model (Model 30)	
탁도	Micro100 turbidimeter (Model 20052)	실험실 분석
클로로필 a 농도	Wetzel & Likens (1996)	
알칼리도	Wetzel & Likens (1996)	
영양염류	Wetzel & Likens (1996)	
식물플랑크톤 생체량	Yamagishi et al., (1984); Akiyana et al., (1993); 박 (2012)	실험실 분석 (현미경 검경)

결과 분석을 위해 장기 생태 연구를 통해 수집한 자료를 포함한 2003년부터 동일 지점에서 수집해 온 수질 측정 자료와 식물플랑크톤 변화를 확인하였다. 기후 변화에 따른 수질 항목 및 식물플랑크톤 군집 특성의 경향성 분석을 위해 회구 분석을 실시하였다. 기상 관측 지점 양산시에서 제공되는 기상자료는 2009년 1월을 기준으로하기 때문에 해당 기간부터의 경향성을 파악하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3. 기수생태계

가. 조사지개황

한반도의 서해 남부에 위치한 함평만은 육지 쪽으로 길게 만입한 최대 폭 약 12km, 길이 약 17km의 비교적 큰 만으로 반 폐쇄된 환경을 이루고 있다. 만 입구는 연구지역의 북서 방향에 위치하며, 최대 수심 약 23m로서 매우 협소한 폭과 급격한 경사를 이루고 있다.

연구 지역으로는 만입구와 내만의 중심에 위치하는 무안군 현경면 현화리 (N 34° 02′ 07.5", E 126° 25′ 7.5")를 선택하였다. 현화리 조사지역의 경우 함평만의 가장 안쪽에 위치하고 있으며 조간대의 폭이 약 1.5km 정도이며 함평만내에서 가장 넓게 염생식물이 분포하고 있으며, 사구성 식물뿐만 아니라 해안성 염생식물 등 종 출현도가 가장 높게 나타날 뿐만 아니라 조류의 영향으로 인한 해안의 퇴적상 변화를 잘 나타내고 있고, 이로 인해 염생식물의 분포변화도를 확연하게 나타내는 특징을 보이고 있다(그림Ⅱ-19~20).



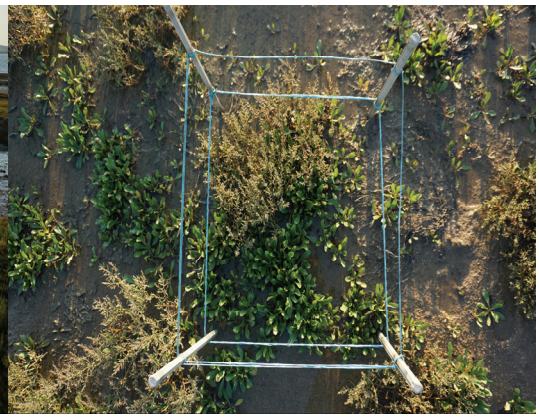
조사지역 위성사진　　조사지역 무인항공기(드론) 촬영사진

<그림Ⅱ-19> 함평만 현화리 조사지역

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



조사지역 전경



방형구 설치



토양 수분 및 유기물함량 측정



유묘길이 측정

<그림Ⅱ-20> 현장조사 및 내부분석 사진

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 연구내용 및 방법

(1) 조사시기

2018. 03. 01.~2018. 10. 31.

(2) 조사방법

(가) 기상측정 방법

기후변화는 함평만에 근접한 목포에서 관측된 기상청 자료를 활용하여 2004년 1월부터 2018년 10월까지 온도, 강수량, 풍속, 습도에 대하여 지속적으로 측정된 값에 대하여 월별 변화하는 정도를 그래프로 정리하였다.

(나) 토양요인분석 방법

토양의 채토는 각 지점별로 염생식물의 군락에서 상부 1cm를 제거하고 15cm 깊이 이내에서 채취하였다. 매월 2차례 각 조사지점(5개 지점)에서 1점의 시료를 채취하여 실험실로 가져온 후 수분함량을 측정하였다. 나머지 토양은 2주간 음건시킨 후 2mm체로 분류한 후 유기물 함량 측정과 다음 토양분석에 이용하였다.

1) 수분함량(Moisture content)

현장에서 채집한 토양 10g을 실험실에 옮긴 즉시 칭량병에 넣어 건조 전 무게를 측정하고, 105℃ 건조기에서 48시간 건조시켜 무게를 측정한 후 토양함수량 차에 의해 수분함량을 백분율로 환산하였다.

$$MC(\%) = \frac{S_f - S_d}{S_f} \times 100$$

2) 유기물함량(Organic matter)

음건토양 10g을 도가니에 넣어 105℃에서 건조시킨 무게를 측정하고, 이것을 다시 550℃ 전기로에서 12시간 작열시킨 무게를 측정한 다음 그 차이를 계산하여 작열 손실량을 구하였다.

3) 토양산도(pH), 전기전도도(Electric conductivity), 염도(Salinty)

음건토양 10g과 증류수를 1:5(w/w)로 혼합하여 60분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜 여과액을 pH, E.C, Salinity meter(Mode63, YSI)로 측정하였다.

4) 토성(Soil texture)

음건토양을 2㎜ 체로 쳐서 토양 50g을 2㎜~0.05㎜는 모래(sand), 0.05㎜이하는 미사(silt)+점토(clay)로 구분하였다.

(다) 염생식물 조사

1) 식물상

본 조사지역의 식물상을 파악하기 위하여 관속식물 이상을 대상으로 채집하였으며, 정(1965), 이(1996), 박(1995), Ohwi(1984) 등의 문헌을 바탕으로 분류, 동정하였고, 식물목록 분류 체계는 Engler 체계에 따라 소산목록을 작성하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 식물군락

염생식물 군락조사는 현지조사를 통하여 이루어 졌으며, 조사 지역에서 표본구를 설치하고 1mX1m 방형구내에 출현하는 전 출현종과 구성종의 우점도와 군도를 다음과 같이 기록하였다.

가) 입지조건의 측정(지형과 토양의 상태)

나) 군락의 계층구조(초본층: herb layer)에 출현종과 초본층의 높이를 기록

다) 각 계층의 구성종에 대한 양과 생육상태를 측정, 양은 피도와 개체수를 종합한 출현종에 대한 우점도(dominance: D)의 7계급으로, 생육상태는 군도(sociability: S)의 5계급으로 표시(Braun-Blanquet, 1964).

3) 생물량 조사

조사지역내 1mX1m 이내 방형구를 이용하여 식물의 지상부를 종별로 취한 다음 폴리에틸렌 주머니에 넣은 후 실험실로 운반하여 이물질을 제거하고, 80℃의 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켜 무게를 측정하였다.

4) 유묘 출현률 측정

조사지역의 염습지에 분포하는 염생식물 5종의 균질한 지역을 선택하여 월별 1mX1m 이내 방형구에 출현한 단위면적당 생존개체수를 측정하고 최대 개체 수에 대한 측정시기의 개체수의 백분율로 계산하였다.

5) 생장패턴 분석을 위한 뿌리와 줄기 길이 생장

조사지역의 염습지에 분포하는 염생식물 5종을 지정 된 군락의 월별 생장률에 맞추어 최소 측정 개체를 채집하고 측정장비(켈리스퍼, 줄자)를 이용하여 뿌리와 초장 길이를 측정하였다.

6) 현존식생도

현존식생도와 식생분포면적 산출은 조사지역의 항공사진과 무인항공기(드론)를 이용하여 정사영상사진을 제작하고 지리정보공간시스템(Qgis) 프로그램을 이용하여 현존식생도 제작과 군락별 분포면적을 산출하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

4. 도서생태계

울릉도의 수리적 위치는 동경 130° 47′ 37"~130° 55′ 20", 북위 37° 33′ 1"~37° 27′ 27" 이다. 행정구역상 경상북도 울릉군에 속하며, 1읍 2면 25리 체제로 구정되어 있다(울릉군, 2007). 지형은 외형상 불규칙한 5각형으로 섬의 중앙부에는 최고봉인 성인봉(해발 984m)이 솟아있고, 그 주변에는 500~900m 안팎의 봉우리가 접하고 있다. 성인봉에서 산맥이 세 방향으로 뻗어 있는데 가두봉, 두루봉, 대풍령의 삼능선이 주맥을 이룬다. 그리고 화산지형과 해안지형 및 염풍화가 곳곳에 나타난다. 지질은 신생대 3기 말에서 4기 초에 일어난 화산활동에 의해 이루어진 현무암류와 이를 덮고 있는 조면암과 응회암으로 대부분 구성되어 있는데 혐무암류의 경우 해수면 아래 2,000m 이상의 해저산체를 이루는 주 구성암체로 추측하고 있다.

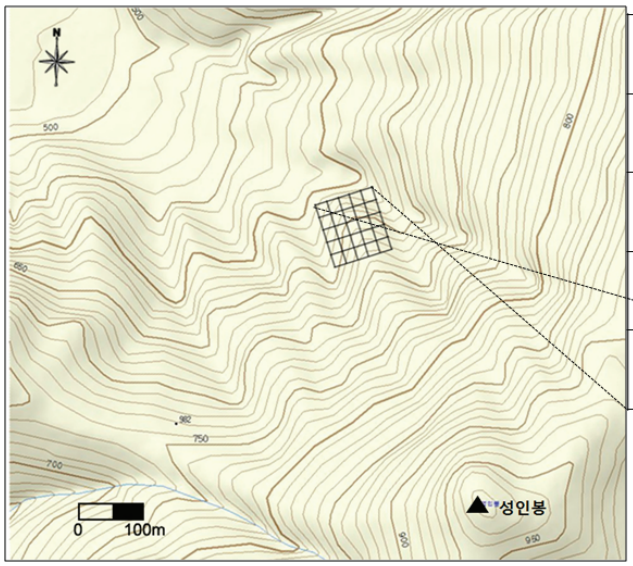
또 조면암과 응회암류는 대체로 현무암류를 덮고 있으며 화산활동의 최종 단계에서 형성된 것으로 보고 있다. 이 중 응회암은 해발에 관계없이 나타나며, 조면암은 주로 고산지대에 많이 분포하고 있다(울릉군, 2007). 울릉도는 기후적으로 한반도의 대륙성 기후와 달리 해양성 기후로써 연중 온난하면서 계절적 강수량 분포가 고르며, 동일 위도 상의 다른 지역에 비하여 온난한 것이 특징적이다.

울릉도는 지구 북반구 온대식생역에 포함된다. 식생지리학적으로 동북아시아 식생형 가운데 울릉도아형(Ulleungdo subtype)으로 구분되며, 산지식생, 해안식생, 내륙초지식생 및 인공조림식생의 4개 식생형이 발달하고 있다. 울릉도의 식생은 내륙과 마찬가지로 과거 산불, 태풍 및 벌채와 같은 인위적 교란을 경험한 이차림이 대부분이다(울릉군, 2007).

고정조사구는 성인봉 등산로 좌측의 능선과 계곡부를 포함하는 너도밤나무림에 설치하였다. 너도밤나무림은 1ha(100m×100m) 크기의 영구방형구를 설치하였다(그림Ⅱ-21).

울릉도 너도밤나무 임분의 식생구조 및 종조성을 장기적으로 관찰하여 현재 상태를 판단하고, 기후변화 등 다양한 외부교란에 대한 반응에 대한 자료를 축적하여, 앞으로의 식생 경향을 예측하고자 한다. 이를 위하여 식생조사와 매목조사 조사를 실시하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



1	6	11	16	21
2	7	12	17	22
3	8	13	18	23
4	9	14	19	24
5	10	15	20	25

<그림Ⅱ-21> 울릉도 너도밤나무군락 조사지역 위치

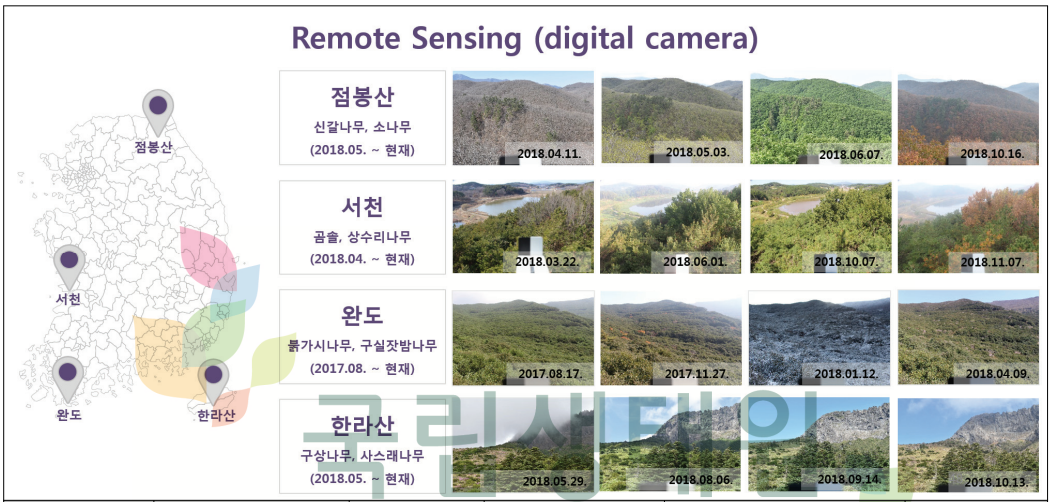
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

5. 생물계절

가. 식생

(1) 식물계절

기후변화와 식물계절 변화 관계를 파악하기 위하여 점봉산(신갈나무림과 소나무림), 서천(곰솔림과 상수리나무), 완도(붉가시나무림과 구실잣밤나무림), 한라산(구상나무림과 사스래나무)을 대상으로 Digital Camera(자동영상촬영장치)를 설치하여 08:00부터 18:00까지 30분 또는 60분 간격으로 RGB Image 수집하였다.



Site	Lat:Long (WGS84)	Elev.(m)	Fotet type	Dominant Species	Year
Jeombong Mt.	N38 02 23.0 E128 27 44.6	950	Temperate Deciduous Forest	*Quercus mongolica*, *Pinus densiflora*	2018
Seochen Gun	N36 02 28.3 E126 43 17.8	20	Village Forest	*Pinus thunbergii*, *Quercus acutissima*	2018
Wando Gun	N34 21 31.0 E126 40 51.3	220	Evergreen Forest	*Qurecus acuta*, *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*	2017
Halla Mt.	N33 21 08.8 E126 31 59.3	1,650	Subalpine	*Abies koreana*, *Betula ermanii*	2018

<그림Ⅱ-22> 식물계절 연구지소 및 digital camera 연구 요약

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

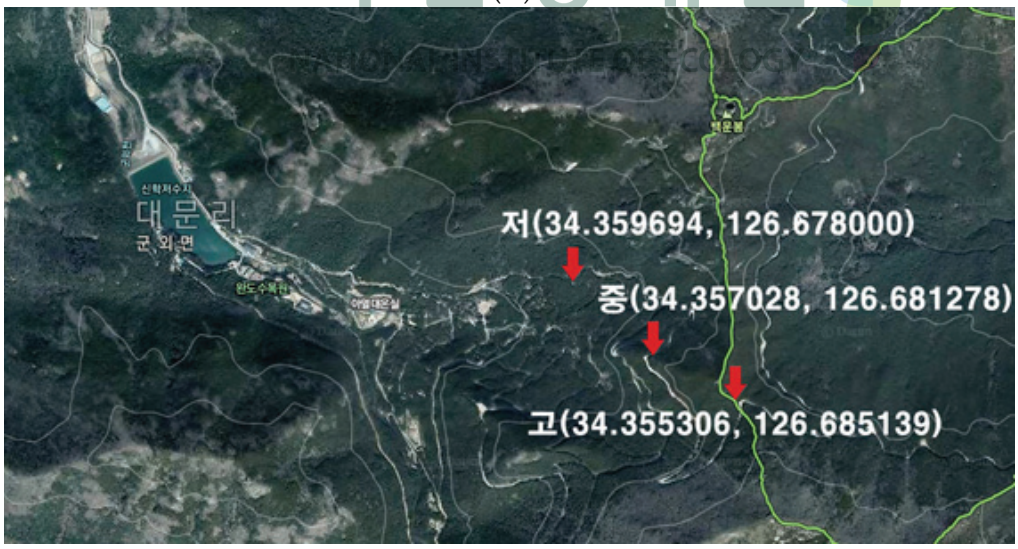
나. 곤충

(1) 조사지개황

조사지역은 국립생태원 내 밤나무군락, 완도수목원 내 붉가시나무군락이다. 기상환경인 온도와 강수량, 풍속 등은 국립생태원은 인근 군산기상대의 자료를 활용, 완도수목원은 인근 완도기상대의 자료를 활용하였다.



(A)



(B)

<그림Ⅱ-23> 조사지 위치(A : 생태원, B : 완도수목원)

(2) 연구내용 및 방법

나방의 개체군 변동을 관찰하기 위해 2018년 4월부터 2018년 10월까지 야간곤충채집을 진행하였으며, 채집 주기는 생태원 내부 1지점(36° 01′ 46.3"N 126° 43′ 41"E)을 매주 1회, 완도수목원의 3지점(고 : 34° 21′ 19.1"N 126° 41′ 6.5"E, 중 : 34° 21′ 25.3"N 126° 40′ 52.6"E, 저 : 34° 21′ 34.9"N 126° 40′ 40.8"E)을 월 1회로 하였다. 나방을 정량적으로 채집하기 위하여 유인등 트랩(BioQuip, universal black light trap)에 타이머를 부착하였다. 유인등 트랩은 22Walt 원형 자외선 등이 12volt 휴대용 건전지로 작동된다. 유인등의 점등과 소등 방법 역시 정량적으로 실시하기 위하여 타이머를 부착하였고, 일몰 후 5시간동안 점등될 수 있도록 설정하였다. 트랩 내부에는 채집된 나방이 손상되지 않도록 하기 위하여 살충제를 넣어두었고, 채집 다음날 아침 트랩을 수거하여 채집된 나방의 무게를 측정하였다. 무게 측정은 대형나방과 소형나방만을 대상으로 하였다. 무게를 측정한 후에는 대형나방을 중심으로 가급적 종 단위까지 동정하였으며 일부 종 수준에서 알 수 없는 종에 대해서도 확인 가능한 수준까지 기록하였다.

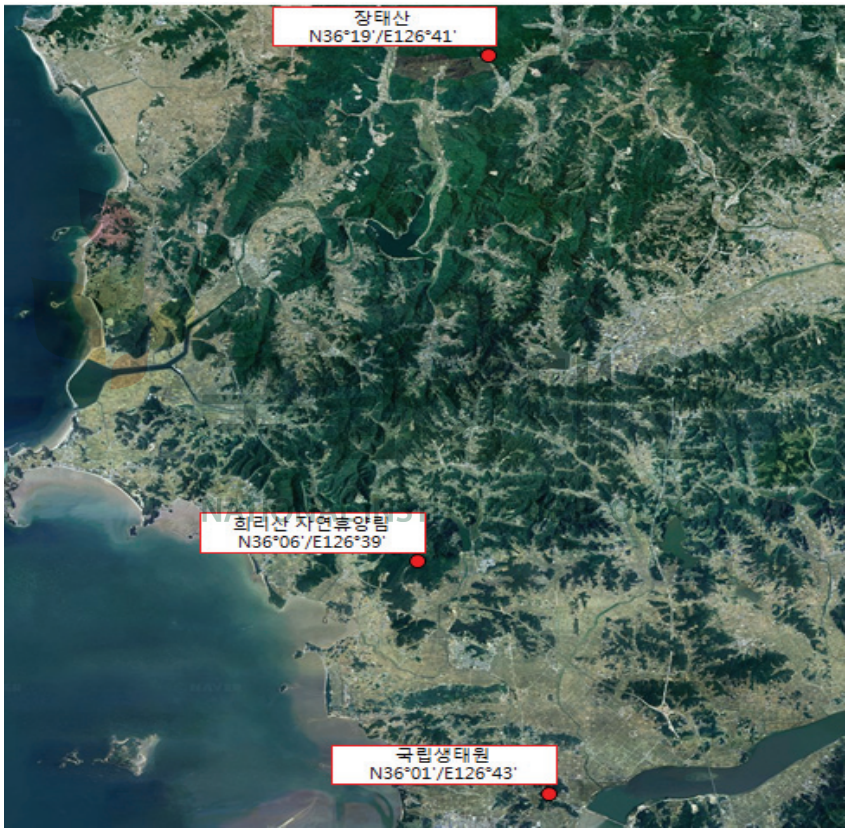


<그림Ⅱ-24> 유인등 트랩과 채집된 곤충

다. 조류

(1) 조사지개황

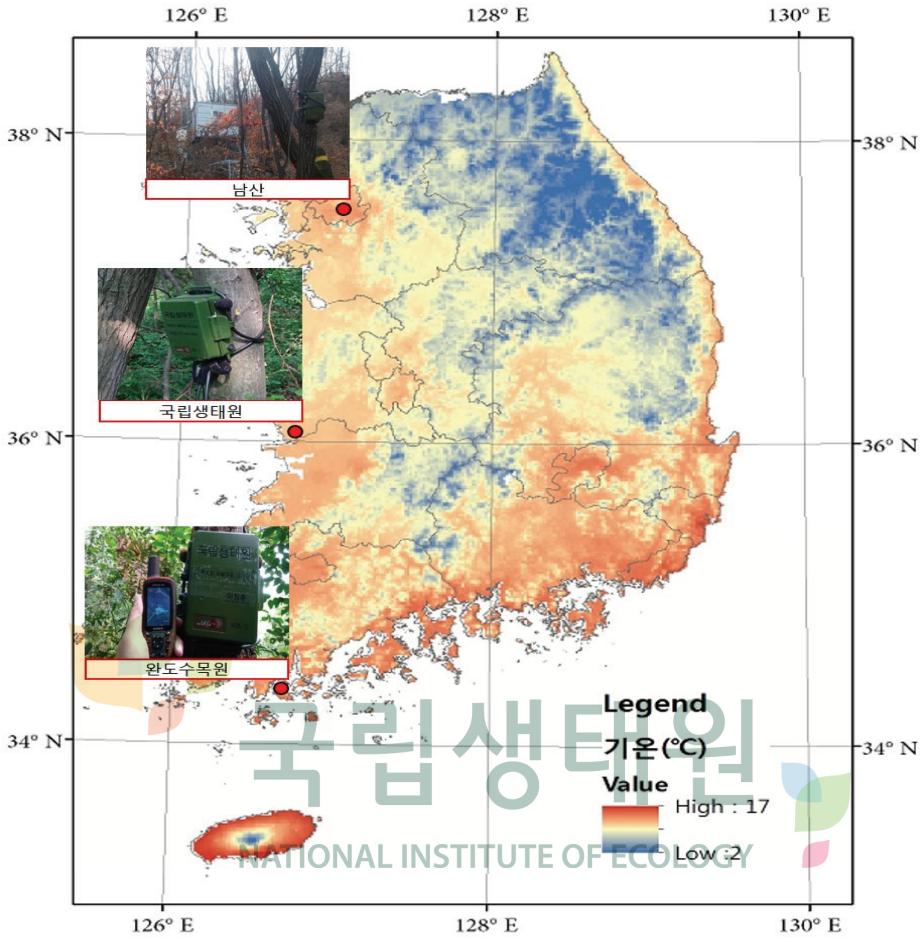
기후변화에 따른 생물계절 변화를 확인하기 위해 조류분야는 인공새집을 이용한 박새류의 번식생태에 대한 연구를 진행하였다. 조류분야의 생물계절 현상 연구를 위해 국립생태원을 대상으로 인공새집을 이용한 번식시기 모니터링을 진행하였으며, 결과의 보완을 위해 희리산 자연휴양림, 장태산 등 두 지역을 대상으로 2회조사를 실시하였다. 국립생태원은 혼효림, 희리산은 침엽수림, 장태산은 활엽수림이 분포하는 식생특성을 고려하였다.



<그림Ⅱ-25> 인공새집 조사지역 및 번식이용 상황

또한, 기후변화에 따른 도래시기 및 조류다양성 변화를 확인하기 위해 위도별(남산, 국립생태원, 완도수목원) 조사지역을 선정하였다. 선정기준은 경도가 동일한 선상내에서 위도차이가 있는 지역을 우선적으로 선정하였다. 본 연구의 생물계절연구지역인 완도수목원과 국립생태원을 포함하였으며, 남산

지역을 추가하여 저위도(완도수목원), 중위도(국립생태원), 고위도(남산)를 구분하였다.



<그림Ⅱ-26> 위도별 조류상 조사 지역

(2) 연구내용 및 방법

조류분야는 인공새집을 이용한 박새류의 번식생태에 대한 조사를 진행하였다. 번식생태에 대한 조사는 생태원은 4월부터 6월까지 주 3회 이상 조사로 정밀조사를 실시하였으며, 희리산 자연휴양림과 장태산지역은 각 지역당 월 1회 조사를 실시하였다. 인공새집의 조사는 번식개체에 미치는 영향을 최소화 하기 위해 내시경카메라(Bosch, GIC 120C)를 이용하여 둥지조성기간, 첫 산란일, 한배산란수, 포란기간, 첫부화일, 육추기간, 이소일 등을 조사하였다.



인공새집



내시경카메라(Bosch, GIC 120C)



박새 알



박새 유조

<그림Ⅱ-27> 인공새집조사장비 및 조사사진

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-8> 2018 인공새집조사일

	월	일								
Date	**4**	6	9	11	13	16	18	20	25	27
Julian date		96	99	101	103	106	108	110	115	117
Date	**5**	2	4	8	11	14	18	21	25	30
Julian date		122	124	128	131	134	138	141	145	150

인공새집은 3개 지역에서 총 259개를 설치하였으며, 국립생태원 87개, 희리산자연휴양림 88개, 장태산 84개를 설치하였다. 설치지점에 대한 정보는 아래와 같다

<표Ⅱ-9> 국립생태원 인공새집 설치지점정보

NO.	GPS	고도	NO.	GPS	고도
A-1	N36°01′47.1/E126°43′37.0	33	B-15	N36°01′54.1/E126°43′12.3	46
A-10	N36°01′43.1/E126°43′40.7	65	B-16	N36°01′54.7/E126°43′13.3	54
A-11	N36°01′44.1/E126°43′35.3	33	B-17	N36°01′54.8/E126°43′15.1	63
A-12	N36°01′43.1/E126°43′36.2	44	B-18	N36°01′55.3/E126°43′16.4	69
A-13	N36°01′41.9/E126°43′36.7	52	B-19	N36°01′55.7/E126°43′17.8	69
A-14	N36°01′41.0/E126°43′35.5	49	B-2	N36°01′49.1/E126°43′14.8	17
A-15	N36°01′39.5/E126°43′35.1	59	B-20	N36°01′56.2/E126°43′19.6	67
A-16	N36°01′39.3/E126°43′36.8	68	B-21	N36°01′56.6/E126°43′21.7	56
A-17	N36°01′40.2/E126°43′38.8	82	B-22	N36°01′50.3/E126°43′29.8	15
A-18	N36°01′42.0/E126°43′40.3	80	B-23	N36°01′53.7/E126°43′28.0	22
A-19	N36°01′41.8/E126°43′33.8	46	B-24	N36°01′54.3/E126°43′26.7	28
A-2	N36°01′47.2/E126°43′38.0	42	B-25	N36°01′54.7/E126°43′25.2	33
A-20	N36°01′43.0/E126°43′32.5	40	B-26	N36°01′55.2/E126°43′24.5	33
A-21	N36°01′39.6/E126°43′33.5	63	B-27	N36°01′56.4/E126°43′23.3	43
A-22	N36°01′40.0/E126°43′32.0	61	B-28	N36°01′54.9/E126°43′28.7	24
A-23	N36°01′40.1/E126°43′30.6	58	B-29	N36°01′55.9/E126°43′28.5	21
A-24	N36°01′40.7/E126°43′29.2	56	B-3	N36°01′49.9/E126°43′13.9	23
A-25	N36°01′41.5/E126°43′28.5	48	B-30	N36°01′57.1/E126°43′28.2	22
A-26	N36°01′41.7/E126°43′27.1	41	B-31	N36°01′57.4/E126°43′26.7	26
A-27	N36°01′40.5/E126°43′27.2	45	B-32	N36°01′56.6/E126°43′26.0	36
A-28	N36°01′39.6/E126°43′28.3	52	B-33	N36°01′57.0/E126°43′24.9	42
A-29	N36°01′39.0/E126°43′29.8	57	B-34	N36°01′57.5/E126°43′25.4	32
A-3	N36°01′47.9/E126°43′38.4	47	B-35	N36°01′57.4/E126°43′23.8	48
A-30	N36°01′39.0/E126°43′31.0	64	B-36	N36°01′57.9/E126°43′10.7	18
A-31	N36°01′43.6/E126°43′15.3	29	B-37	N36°01′58.0/E126°43′11.7	19
A-32	N36°01′43.8/E126°43′16.4	35	B-38	N36°01′58.0/E126°43′12.6	23
A-33	N36°01′44.0/E126°43′17.9	33	B-39	N36°01′58.4/E126°43′14.0	28
A-34	N36°01′44.2/E126°43′19.2	31	B-4	N36°01′50.9/E126°43′11.6	23
A-35	N36°01′42.7/E126°43′18.9	42	B-40	N36°01′58.4/E126°43′15.3	34
A-36	N36°01′42.7/E126°43′17.5	41	B-41	N36°01′58.4/E126°43′16.6	39
A-37	N36°01′42.9/E126°43′16.7	37	B-42	N36°01′58.8/E126°43′18.2	42
A-38	N36°01′42.9/E126°43′14.8	26	B-5	N36°01′50.6/E126°43′10.2	24
A-4	N36°01′48.8/E126°43′39.0	52	B-6	N36°01′49.6/E126°43′09.0	22
A-5	N36°01′47.9/E126°43′40.0	57	B-7	N36°01′51.8/E126°43′12.9	31
A-6	N36°01′46.8/E126°43′41.4	60	B-8	N36°01′52.6/E126°43′11.4	34
A-7	N36°01′45.9/E126°43′42.2	56	B-9	N36°01′54.2/E126°43′11.2	40
A-8	N36°01′45.0/E126°43′42.4	58	C-1	N36°02′20.9/E126°43′11.8	19
A-9	N36°01′44.2/E126°43′41.9	60	C-2	N36°02′21.7/E126°43′11.2	23
B-1	N36°01′49.7/E126°43′16.7	20	C-3	N36°02′22.4/E126°43′10.9	24
B-10	N36°01′55.1/E126°43′09.6	35	C-4	N36°02′23.0/E126°43′11.4	26
B-11	N36°01′54.9/E126°43′08.3	28	C-5	N36°02′24.4/E126°43′11.9	29
B-12	N36°01′54.5/E126°43′07.1	22	C-6	N36°02′25.4/E126°43′12.1	31
B-13	N36°01′56.0/E126°43′08.0	20	C-7	N36°02′26.6/E126°43′12.7	30
B-14	N36°01′56.2/E126°43′09.3	27			

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-10> 희리산 자연휴양림 인공새집 설치지점정보

NO.	GPS	고도	NO.	GPS	고도
A-1	N36°06′36.1/E126°39′52.7	63	B-21	N36°07′02.3/E126°40′10.7	110
A-10	N36°06′45.7/E126°39′55.7	77	B-22	N36°07′03.4/E126°40′11.2	114
A-11	N36°06′46.4/E126°39′57.0	84	B-23	N36°07′04.6/E126°40′11.3	112
A-12	N36°06′46.9/E126°39′57.8	88	B-24	N36°07′05.6/E126°40′11.5	110
A-13	N36°06′47.7/E126°39′58.8	92	B-25	N36°07′06.4/E126°40′12.0	100
A-14	N36°06′48.1/E126°39′59.8	89	B-26	N36°07′06.9/E126°40′13.1	104
A-15	N36°06′48.2/E126°40′00.8	87	B-27	N36°07′07.1/E126°40′14.4	110
A-16	N36°06′48.8/E126°40′02.2	95	B-28	N36°07′08.4/E126°40′14.2	107
A-17	N36°06′49.4/E126°40′03.0	96	B-29	N36°07′11.4/E126°40′14.2	129
A-18	N36°06′49.9/E126°40′03.8	100	B-3	N36°06′50.2/E126°40′01.2	72
A-19	N36°06′50.7/E126°40′04.5	103	B-30	N36°07′12.5/E126°40′14.7	127
A-2	N36°06′36.9/E126°39′53.1	65	B-31	N36°07′13.9/E126°40′15.3	125
A-20	N36°06′51.1/E126°40′05.8	109	B-32	N36°07′14.9/E126°40′16.0	122
A-21	N36°06′52.0/E126°40′06.4	110	B-33	N36°07′16.2/E126°40′16.3	116
A-22	N36°06′52.1/E126°40′07.8	121	B-34	N36°07′17.1/E126°40′16.6	114
A-23	N36°06′52.0/E126°40′08.8	123	B-35	N36°07′18.2/E126°40′17.2	116
A-24	N36°06′51.3/E126°40′09.9	124	B-36	N36°07′19.0/E126°40′16.2	121
A-25	N36°06′50.9/E126°40′10.7	130	B-37	N36°07′20.6/E126°40′17.3	129
A-26	N36°06′50.6/E126°40′12.3	131	B-38	N36°07′22.2/E126°40′18.0	141
A-27	N36°06′50.6/E126°40′13.7	131	B-39	N36°07′23.8/E126°40′18.5	150
A-28	N36°06′50.3/E126°40′14.6	136	B-4	N36°06′51.1/E126°40′02.5	74
A-29	N36°06′51.0/E126°40′14.9	134	B-40	N36°07′25.3/E126°40′20.1	160
A-3	N36°06′37.5/E126°39′53.3	67	B-41	N36°07′26.0/E126°40′18.9	165
A-30	N36°06′52.3/E126°40′14.7	140	B-42	N36°07′24.4/E126°40′17.3	163
A-31	N36°06′52.9/E126°40′14.0	143	B-5	N36°06′51.2/E126°40′03.1	77
A-4	N36°06′38.4/E126°39′53.3	66	B-6	N36°06′51.7/E126°40′03.7	80
A-5	N36°06′40.1/E126°39′53.5	68	B-7	N36°06′52.4/E126°40′04.5	84
A-6	N36°06′40.9/E126°39′53.7	70	B-8	N36°06′52.9/E126°40′05.4	84
A-7	N36°06′42.2/E126°39′53.9	70	B-9	N36°06′53.8/E126°40′06.3	79
A-8	N36°06′44.3/E126°39′54.6	68	C-1	N36°06′56.5/E126°40′07.2	88
A-9	N36°06′45.0/E126°39′55.0	73	C-10	N36°07′06.1/E126°40′08.3	95
B-1	N36°06′49.3/E126°39′58.8	67	C-11	N36°07′07.5/E126°40′09.1	101
B-10	N36°06′53.9/E126°40′07.3	80	C-2	N36°06′57.5/E126°40′07.3	85
B-11	N36°06′53.6/E126°40′08.9	84	C-3	N36°06′58.7/E126°40′07.1	87
B-12	N36°06′54.2/E126°40′09.8	90	C-4	N36°06′59.2/E126°40′07.1	88
B-13	N36°06′55.4/E126°40′09.4	95	C-5	N36°07′00.4/E126°40′07.4	86
B-14	N36°06′55.7/E126°40′08.7	90	C-6	N36°07′02.1/E126°40′08.0	80
B-15	N36°06′56.5/E126°40′08.5	90	C-7	N36°07′02.3/E126°40′08.4	90
B-16	N36°06′57.4/E126°40′08.6	93	C-8	N36°07′03.5/E126°40′08.5	92
B-17	N36°06′58.4/E126°40′08.4	92	C-9	N36°07′04.6/E126°40′09.9	102
B-18	N36°06′59.6/E126°40′08.9	94	D-1	N36°06′53.7/E126°40′00.2	82
B-19	N36°07′00.2/E126°40′09.8	100	D-2	N36°06′53.4/E126°39′59.1	81
B-2	N36°06′49.6/E126°40′00.0	70	D-3	N36°06′52.6/E126°39′58.1	79
B-20	N36°07′01.0/E126°40′10.1	103	D-4	N36°06′52.6/E126°39′56.8	85
B-21	N36°07′02.3/E126°40′10.7	110	D-5	N36°06′51.6/E126°39′55.6	89
B-22	N36°07′03.4/E126°40′11.2	114	D-6	N36°06′51.1/E126°39′54.7	89
B-23	N36°07′04.6/E126°40′11.3	112	D-7	N36°06′50.2/E126°39′53.8	84

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅱ-11> 장태산 인공새집 설치지점정보

NO.	GPS	고도	NO.	GPS	고도
A-1	N36°19′31.8/E126°41′44.0	193	B-35	N36°19′46.3/E126°41′48.1	234
A-10	N36°19′22.6/E126°41′37.8	178	B-4	N36°19′33.5/E126°41′39.1	242
A-11	N36°19′20.0/E126°41′37.0	176	B-5	N36°19′34.2/E126°41′39.3	233
A-12	N36°19′18.9/E126°41′36.8	178	B-6	N36°19′35.0/E126°41′39.9	223
A-13	N36°19′17.7/E126°41′37.0	172	B-7	N36°19′35.7/E126°41′38.6	213
A-14	N36°19′17.2/E126°41′35.2	185	B-8	N36°19′36.7/E126°41′36.0	211
A-2	N36°19′31.0/E126°41′43.5	194	B-9	N36°19′38.1/E126°41′34.0	220
A-3	N36°19′30.1/E126°41′42.6	195	C-1	N36°18 59.0/E126°41′43.8	63
A-4	N36°19′29.6/E126°41′42.0	194	C-10	N36°19′11.5/E126°41′41.2	170
A-5	N36°19′28.3/E126°41′41.5	190	C-11	N36°19′12.8/E126°41′41.4	171
A-6	N36°19′26.9/E126°41′40.9	189	C-12	N36°19′13.8/E126°41′40.9	174
A-7	N36°19′25.4/E126°41′39.0	185	C-13	N36°19′15.4/E126°41′41.2	176
A-8	N36°19′24.4/E126°41′38.6	183	C-14	N36°19′17.0/E126°41′41.4	179
A-9	N36°19′23.6/E126°41′38.4	180	C-15	N36°19′18.4/E126°41′41.7	182
B-1	N36°19′32.9/E126°41′42.8	214	C-16	N36°19′19.4/E126°41′41.7	181
B-10	N36°19′39.3/E126°41′32.7	227	C-17	N36°19′20.6/E126°41′42.6	186
B-11	N36°19′40.6/E126°41′31.7	237	C-18	N36°19′21.6/E126°41′43.2	188
B-12	N36°19′41.5/E126°41′32.0	249	C-19	N36°19′23.1/E126°41′43.7	192
B-13	N36°19′39.9/E126°41′33.8	239	C-2	N36°19′00.4/E126°41′43.3	75
B-14	N36°19′39.0/E126°41′35.4	233	C-20	N36°19′24.3/E126°41′44.1	191
B-15	N36°19′38.9/E126°41′37.1	237	C-21	N36°19′25.2/E126°41′45.0	193
B-16	N36°19′38.8/E126°41′38.7	228	C-22	N36°19′26.8/E126°41′45.5	189
B-17	N36°19′38.7/E126°41′39.7	223	C-23	N36°19′27.6/E126°41′46.8	194
B-18	N36°19′39.7/E126°41′40.3	227	C-24	N36°19′29.2/E126°41′46.8	193
B-19	N36°19′39.7/E126°41′41.7	236	C-25	N36°19′30.4/E126°41′47.2	194
B-2	N36°19′33.5/E126°41′41.5	227	C-26	N36°19′31.5/E126°41′47.3	192
B-20	N36°19′39.6/E126°41′42.9	238	C-27	N36°19′32.7/E126°41′48.0	197
B-21	N36°19′38.5/E126°41′44.4	236	C-28	N36°19′33.8/E126°41′48.2	197
B-22	N36°19′37.9/E126°41′45.2	228	C-29	N36°19′35.8/E126°41′49.6	199
B-23	N36°19′37.3/E126°41′45.7		C-3	N36°19′01.3/E126°41′42.9	80
B-24	N36°19′36.2/E126°41′46.6	201	C-30	N36°19′36.8/E126°41′50.1	201
B-25	N36°19′36.6/E126°41′47.6	200	C-31	N36°19′37.8/E126°41′50.5	205
B-26	N36°19′37.8/E126°41′48.4	202	C-32	N36°19′39.1/E126°41′51.6	214
B-27	N36°19′39.3/E126°41′49.9	204	C-33	N36°19′40.0/E126°41′52.2	216
B-28	N36°19′40.2/E126°41′50.0	206	C-34	N36°19′40.9/E126°41′53.0	218
B-29	N36°19′41.7/E126°41′49.6	212	C-35	N36°19′41.9/E126°41′51.6	228
B-3	N36°19′33.6/E126°41′40.5	234	C-4	N36°19′02.8/E126°41′42.7	91
B-30	N36°19′42.3/E126°41′48.5	218	C-5	N36°19′04.3/E126°41′42.7	99
B-31	N36°19′43.6/E126°41′48.3	227	C-6	N36°19′05.6/E126°41′42.3	106
B-32	N36°19′44.9/E126°41′47.4	235	C-7	N36°19′06.8/E126°41′41.4	115
B-33	N36°19′46.0/E126°41′47.2	238	C-8	N36°19′08.1/E126°41′41.6	171
B-34	N36°19′47.8/E126°41′46.9	244	C-9	N36°19′09.7/E126°41′41.9	171

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

또한, 기후변화에 따른 도래시기 및 조류다양성 변화를 확인하기 위해 위도별(저위도-완도수목원, 중위도-국립생태원, 고위도-남산) 월간조류상 조사를 진행하였으며 첫 도래시기를 확인하기 위해 소리녹음기(Songmeter SM4 Acoustic Recorder; Wild life Acoustic, Inc)를 세 조사지역에 각 1대씩 설치하였다. 소리녹음기는 일출시기(4:00-8:00), 일몰시기(18:00-22:00)를 10분씩 자동으로 on/off 되게 설정 하였다. 녹음된 파일은 Song Scope V4 Software와 Kaleido Scope Pro를 이용하여 분석하였다. 조류상 조사는 조사지역에 대한 전수조사를 실시하였으며, Line Survey방법을 이용하여 반경 50m이내의 종을 소리 및 육안, 쌍안경을 이용하여 종과 개체수 등을 기록하였다. 조사시기에 따른 변수발생을 줄이기 위하여 완도수목원, 국립생태원, 남산지역에 대한 조류상조사는 가급적 동일한주에 실시하였다.

<표Ⅱ-12> 월별 조류상 조사일

조사지역	조사일 (2018)							
완도수목원	1.24	2.21	3.22	4.24	5.29	6.25	9.17	10.8
국립생태원	1.31	2.28	3.28	4.27	5.30	6.27	8.29	9.21
남산	1.29	2.26	4.2	4.30	5.31	6.29	9.7	10.29

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

조사결과를 바탕으로 우점도, 종다양도, 종풍부도, 균등도 등을 분석하였으며, 각 분석값 산출에 대한 방법은 아래에 표기하였다.

<표Ⅱ-13> 조류 군집 분석 방법

우점도(D.I.) Dominance Index (McNaughton, 1967)	D.I.(%) = $\frac{ni}{N} \times 100$ 주) D.I : 우점도지수, N : 총 개체수, ni : 제 i 번째 종의 개체수
종다양도(D′) Biodiversity Index (Margalef, 1968; Pielou, 1966)	D′ = - $\Sigma \frac{ni}{N} \mathrm{Ln}(\frac{ni}{N})$ 주) D′ : 다양도, S : 총 종수, N : 총 개체수, ni : 제 i 번째 종의 개체수
종풍부도(R′) Richness Index (Margalef, 1958)	R′ = $\frac{(S-1)}{\mathrm{Ln}(N)}$ 주) R′ : 풍부도, S : 전체 종수, N : 총 개체수
균등도(E′) Evenness Index (Pielou, 1975)	E′ = $\frac{D'}{\mathrm{Ln}(S)}$ 주) E′ : 균등도, D′ : 다양도, S : 전체 종수

III. 결과

1. 육상생태계

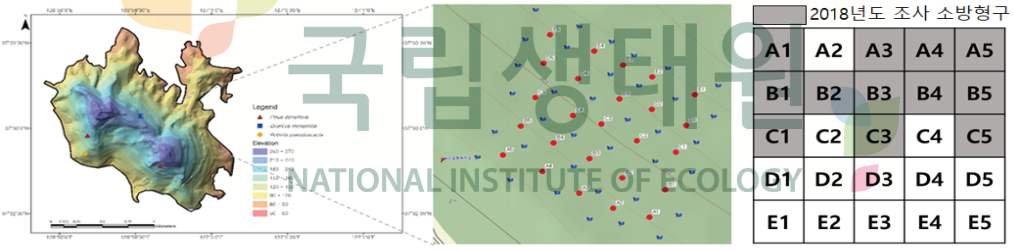
가. 식생

(1) 남산

(가) 생태계 기후변화 모니터링 방형구

1) 신갈나무림

생태계 기후변화 연구을 위해 남산 신갈나무림에 100m×100m 크기의 고정방형구 1개를 2017년 설치하였다. 신갈나무림의 위치는 북위 37° 33′ 5.1"~37° 33′ 7"사이, 동경 126° 59′ 52.4"~126° 59′ 56.3"사이에 위치하며 2017년 조사가 이루어졌던 13개소 이외의 12개소에 대하여 식생 및 매목조사를 실시하였고, 훼손된 방형구 및 태그를 정비하였다. 신갈나무림의 경우, 간벌 등의 숲가꾸기가 이루어져 조사 개체목에도 영향을 주고 있는 것으로 나타나 기관의 협조가 필요할 것으로 사료되었다.

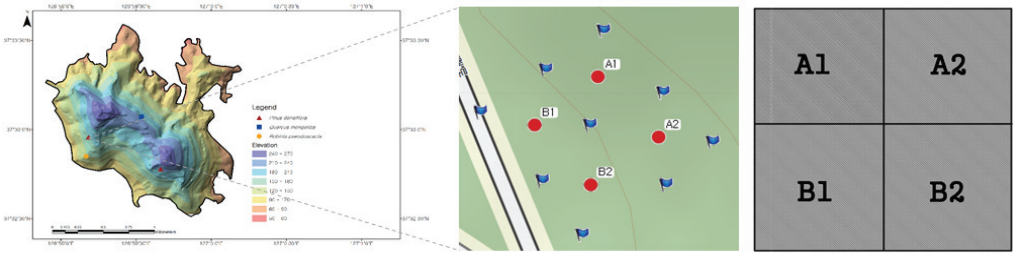


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-1> 남산 신갈나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도

2) 소나무림

소나무림은 2017년 40m×40m 크기의 고정방형구 1개를 설치하였으며, 소나무림의 위치는 북위 37° 32′ 96.1"~37° 32′ 95.9"사이, 동경 126° 59′ 20"~126° 59′ 19.9"사이에 위치한다. 40m×40m 크기의 고정방형구를 대상으로 매목 및 식생조사를 실시하였고, 훼손된 방형구 및 태그를 정비하였다. 신갈나무림 비하여 간벌 등 인위적 간섭에 더 많이 노출되어 조사 개체목에 영향을 주고 있어 기관의 협조가 필요할 것으로 판단되었다.



<그림Ⅲ-1> 남산 소나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도



<신갈나무림 숲가꾸기>



<소나무림 숲가꾸기>



<쓰러진 기존 조사목>



<훼손된 태그>

생물자원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-2> 남산 조사지 현황

(나) 식물상

남산 신갈나무림 내에 분포하는 관속식물문은 41과 66속 80종 1아종 6변종으로 총 87분류군으로 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 17목 30과 50속 61종 1아종 3변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 4목 5과 9속 11종 2변종, 나자식물문의 구과식물강은 1목 2과 2속 3종, 양치식물문의 고사리강은 1목 4과 5속 5종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 백합과 7분류군, 장미과 6분류군, 노박덩굴과 4분류군, 참나무과 4분류군, 콩과 4분류군 등으로 나타났다.

남산 소나무림 내에 분포하는 관속식물문은 29과 46속 49종 1아종 5변종으로 총 55분류군이 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 16목 24과 38속

40종 1아종 4변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 3목 3과 6속 7종 1변종, 나자식물문의 구과식물강은 1목 1과 1속 1종, 양치식물문의 고사리강은 1목 1과 1속 1종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 장미과 9분류군, 백합과 4분류군, 노박덩굴과 3분류군, 단풍나무과 3분류군, 참나무과 3분류군 등으로 나타났다.

2017년 남산 생태계 기후변화 조사지 내에 분포하는 전체 관속식물문은 44과 73속 88종 1아종 8변종으로 총 97분류군으로 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 18목 33과 56속 68종 1아종 5변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 4목 5과 10속 12종 2변종, 나자식물문의 구과식물강은 1목 2과 2속 3종, 양치식물문의 고사리강은 1목 4과 5속 5종, 1변종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 장미과 10분류군, 백합과 7분류군, 노박덩굴과 4분류군, 참나무과 4분류군, 콩과 4분류군 등으로 나타났다.

<표Ⅲ-1> 남산 관속식물문 분포현황

Community	Pylum	class	Fam.	gen.	sp.	subsp.	var.	for.	hybr.	Total
Quercus mongolica	Angiospermae	Dicotyledoneae	30	50	61	1	3	-	-	65
		Monocotyledoneae	5	9	11	-	2	-	-	13
	Gymnospermae	Coniferopsida	2	2	3	-	-	-	-	3
	Pteridophyta	Pteropsida	4	5	5	-	1	-	-	6
	Total		41	66	80	1	6	-	-	87
Pinus densiflora	Angiospermae	Dicotyledoneae	24	38	40	1	4	-	-	45
		Monocotyledoneae	3	6	7	-	1	-	-	8
	Gymnospermae	Coniferopsida	1	1	1	-	-	-	-	1
	Pteridophyta	Pteropsida	1	1	1	-	-	-	-	1
	Total		29	46	49	1	5	-	-	55
Total	Angiospermae	Dicotyledoneae	33	56	68	1	5	-	-	74
		Monocotyledoneae	5	10	12	-	2	-	-	14
	Gymnospermae	Coniferopsida	2	2	3	-	-	-	-	3
	Pteridophyta	Pteropsida	4	5	5	-	1	-	-	6
	Total		44	73	88	1	8	-	-	97

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

남산 조사지 내에서 국가적색목록 관심대상종(LC)으로 목련이 나타났으며 국가고유생물종으로 병꽃나무, 생태계교란종과 귀화식물로 서양등골나물이 나타났다.

<표Ⅲ-2> 남산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황

Species		RS	CSBI	ES	PDE	NP
Korean name	Scientific name					
목련	*Magnolia kobus*	LC	-	-	-	-
병꽃나무	*Weigela subsessilis*	-	-	O	-	-
가죽나무	*Ailanthus altissima*	-	-	-	-	O
아까시나무	*Robinia pseudoacacia*	-	-	-	-	O
서양등골나물	*Eupatorium rugosum*	-	-	-	O	O

* RS : Rare species; CSBI : Climate-Sensitive Biological Indicator species, ES : Endemic species, PDE : Plant disturbing ecosystem, NP : Naturalized plant



<금낭화>



<피나물>



<잣나무>



<덜꿩나무>

<그림Ⅲ-3> 남산 조사지 현존식생

(다) 생태계 기후변화 조사지 동태

1) 신갈나무림

가) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

남산 신갈나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 특성을 2011년 매목조사 자료와 2017-2018년 매목조사 자료와 비교하여 살펴보면 신갈나무의 밀도는 262본/ha에서 179본/ha으로 감소하였고, 최대 흉고직경은 64.0cm에서

60.8cm으로 감소하였다. 평균 흉고직경은 21.8±9.5cm에서 25.0±8.2cm으로 증가하였고, 흉고단면적은 11.645㎡/ha에서 9.698㎡/ha으로 감소하였다.

신갈나무림 전체의 밀도는 1,079본/ha에서 1,146본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 20.5㎡/ha에서 21.0㎡/ha으로 증가하였다.

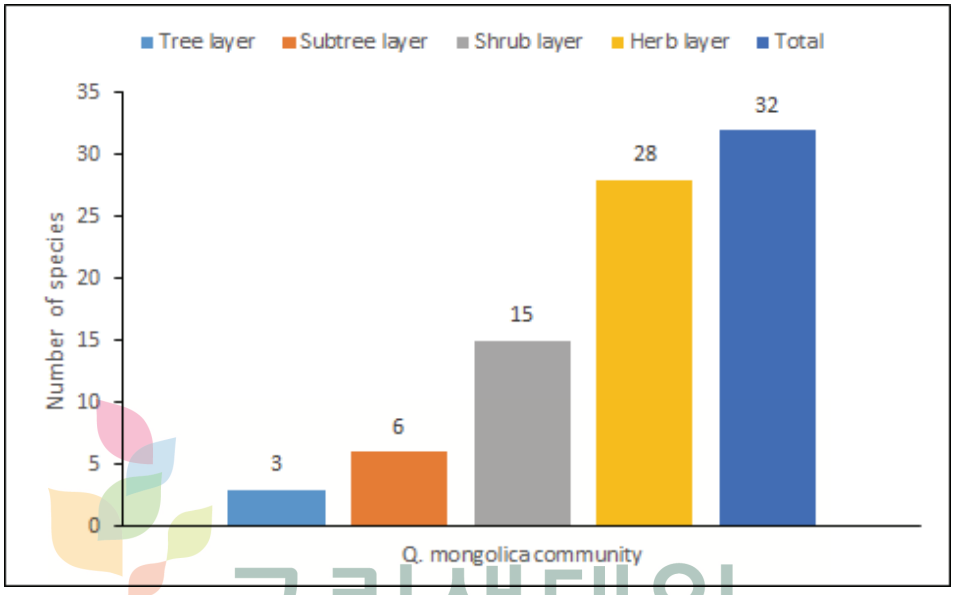
<표Ⅲ-3> 남산 신갈나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

Species		Density(/ha)		Maximum DBH		Average DBH		Basal area (㎡/ha)	
Korean name	Scientific name	2011	2017-2018	2011	2017-2018	2011	2017-2018	2011	2017-2018
신갈나무	*Quercus mongolica*	262	179	64.0	60.8	21.8±9.5	25.0±8.2	11.645	9.698
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	204	178	77.0	73.7	9.6±9.8	11.2±9.8	3.025	3.115
졸참나무	*Quercus serrata*	13	19	70.0	76.0	32.6±14.4	40.2±17.3	1.284	2.838
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	262	370	19.5	21.0	6.1±3.9	6.0±3.5	1.108	1.429
물오리나무	*Alnus sibirica*	9	16	42.0	42.8	30.8±7.2	29.9±10.2	0.705	1.245
음나무	*Kalopanax septemlobus*	2	7	48.7	71.0	41.4±10.3	25.5±28.6	0.278	0.743
때죽나무	*Styrax japonicus*	261	266	16.7	14.4	5.1±2.4	5.4±2.3	0.641	0.715
벚나무류	*Prunus* spp.	32	19	42.0	36.4	17.8±10.1	16.2±9.7	1.048	0.525
갈참나무	*Quercus aliena*	1	1	54.0	46.2	54.0	46.2	0.229	0.168
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	2	4	21.1	37.0	10.6±14.9	17.4±16.4	0.035	0.158
다릅나무	*Maackia amurensis*	3	2	35.0	29.2	17.8±17.5	26.7±3.5	0.123	0.113
참회나무	*Euonymus oxyphyllus*	18	52	14.8	17.0	4.4±4.0	4.1±2.3	0.048	0.091
층층나무	*Cornus controversa*	2	7	19.3	23.4	11.4±11.2	6.0±7.7	0.030	0.048
아까시나무	*Robinia pseudoacacia*	5	6	34.9	20.0	22.7±11.7	7.6±6.9	0.246	0.046
소나무	*Pinus densiflora*	2	1	13.1	13.5	10.5±3.7	13.5	0.018	0.014
일본목련	*Magnolia obovata*	-	2	-	9.8	-	6.8±4.2	-	0.009
잣나무	*Pinus koraiensis*	-	1	-	7.8	-	7.8	-	0.005
산딸나무	*Cornus kousa*	-	1	-	7.6	-	7.6	-	0.005
목련	*Magnolia kobus*	-	3	-	5.7	-	3.8±1.7	-	0.004
소태나무	*Picrasma quassioides*	-	3	-	4.7	-	3.8±1.2	-	0.004
붉나무	*Rhus javanica*	-	3	-	3.3	-	2.8±0.5	-	0.002
회나무	*Euonymus sachalinensis*	-	3	-	2.9	-	2.5±0.4	-	0.002
가죽나무	*Ailanthus altissima*	-	2	-	2.8	-	2.7±0.07	-	0.001
산뽕나무	*Morus bombycis*	-	1	-	3.6	-	3.6	-	0.001
느릅나무	*Ulmus davidiana* var. *japonica*	1	-	30.7	-	30.7	-	0.074	-
Total		1,079	1,146					20.5	21.0

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나) 층위별 종수

남산 신갈나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 3종, 아교목층에서 6종, 관목층에서 15종, 초본층에서 28종이 출현하였으며, 신갈나무림 전체에서 32종이 출현하였다.



<그림Ⅲ-4> 남산 신갈나무림 층위별 종수

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다) 직경급 분포

남산 신갈나무림의 2011년과 2017-2018년의 직경급 분포를 살펴보면 신갈나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2011년에 3개체/ha에서 2017-2018년 5개체/ha로 증가하였고, 5-10cm는 2개체/ha에서 0개체/ha, 10-20cm는 89개체/ha에서 35개체/ha, 20-30cm는 111개체/ha에서 95개체/ha로 감소하였다. 30-40cm는 35개체/ha에서 37개체/ha, 40-50cm는 4개체/ha에서 6개체/ha로 증가하였다. 50-60cm는 1개체/ha에서 0개체/ha로 감소하였으며, 60-70cm는 1개체/ha에서 1개체/ha로 변화가 없었다. 신갈나무 소·중경목(10-30cm)에 해당하는 개체수는 줄은 반면 평균흉고직경이 증가한 이유는 남산의 지속적인 숲가꾸기 및 인위적 교란의 영향인 것으로 사료되었다.

당단풍나무의 경우, 5cm미만은 2011년에 104개체/ha에서 2017-2018년 191개체/ha, 5-10cm는 98개체/ha에서 138개체/ha로 증가하였고, 10-20cm는 41개체/ha에서 40개체/ha로 감소하였다. 20-30cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 증가하였다.

때죽나무의 경우, 5cm미만은 2011년에 144개체/ha에서 2017-2018년 147개체/ha, 5-10cm는 97개체/ha에서 111개체/ha로 증가하였고, 10-20cm 10개체/ha에서 8개체/ha로 감소하였다.

팥배나무의 경우, 5cm미만은 2011년에 68개체/ha에서 2017-2018년 50개체/ha, 5-10cm는 66개체/ha에서 53개체/ha로 감소하였으며 10-20cm는 44개체/ha에서 55개체/ha, 20-30cm는 7개체/ha에서 11개체/ha로 증가하였다. 30-40cm는 7개체/ha에서 5개체/ha로 감소하였으며 40-50cm는 2개체/ha에서 2개체/ha로 변화가 없었다. 50-60cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 증가하였으며 60-70cm는 1개체/ha에서 0개체/ha로 감소하였고 70cm이상은 1개체/ha에서 1개체/ha로 변화가 없었다.

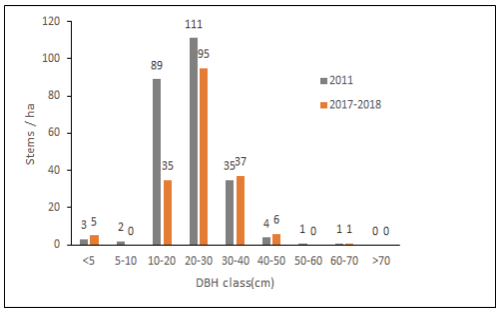
참회나무는 5cm미만은 2011년 9개체/ha에서 2017-2018년 39개체/ha, 5-10cm는 3개체/ha에서 12개체/ha로 증가하였고 10-20cm는 2개체/ha에서 1개체/ha로 감소하였다.

벚나무류는 5cm미만은 2011년 2개체/ha에서 2017-2018년 3개체/ha로 증가하였으며, 5-10cm는 7개체/ha에서 2개체/ha, 10-20cm는 13개체/ha에서 9개체/ha, 20-30cm는 6개체/ha에서 3개체/ha, 30-40cm는 3개체/ha에서 2개체/ha, 40-50cm는 1개체/ha에서 0개체/ha로 감소하였다.

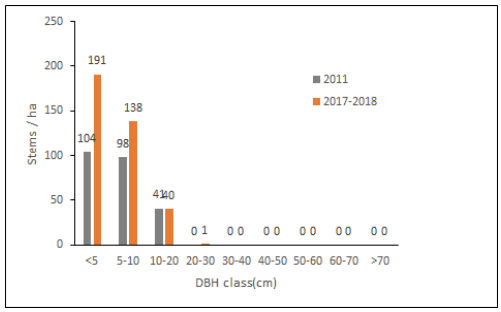
졸참나무는 10-20cm는 2011년 1개체/ha에서 2017-2018년 2개체/ha로 증가하였고 20-30cm는 5개체/ha에서 4개체/ha, 30-40cm는 5개체/ha에서 4개체/ha로 감소하였다. 40-50cm는 1개체/ha에서 5개체/ha, 50-60cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 증가하였으며, 60-70cm는 1개체/ha에서 1개체/ha로 변화가 없었고 70cm이상은 0개체/ha에서 2개체/ha로 증가하였다.

신갈나무림에 나타난 전체 종을 직경급으로 살펴보면 2011년 5cm미만은 330개체/ha에서 2017-2018년 435개체/ha, 5-10cm는 273개체/ha에서 316개체/ha로 증가하였고 10-20cm는 200개체/ha에서 150개체/ha, 20-30cm는 129개체/ha에서 114개체/ha, 30-40cm는 50개체/ha에서 48개체/ha로 감소하였다. 40-50cm는 8개체/ha에서 13개체/ha, 50-60cm는 1개체/ha에서 2개체/ha로 증가하였고, 60-70cm는 3개체/ha에서 2개체/ha로 감소하였으며, 70cm이상은 1개체/ha에서 3개체/ha로 증가하였다.

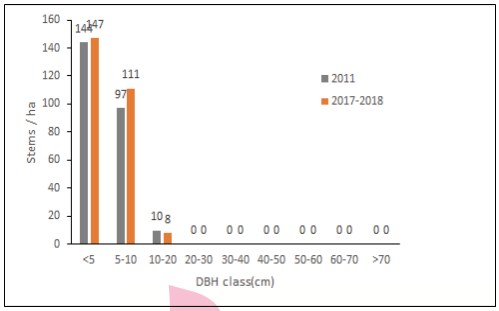
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



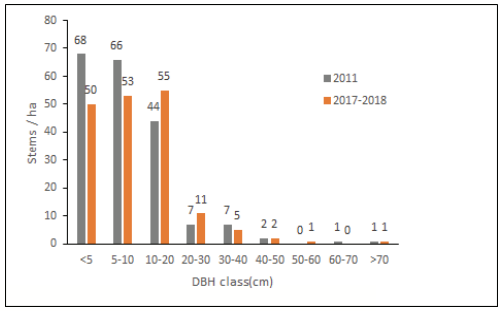
<신갈나무>



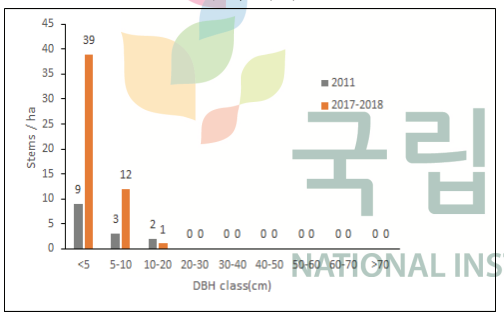
<당단풍나무>



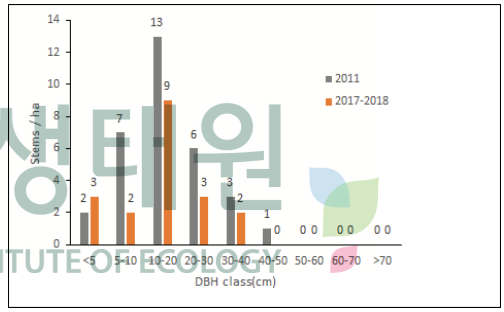
<때죽나무>



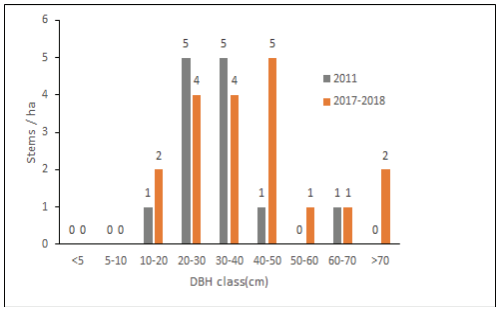
<팥배나무>



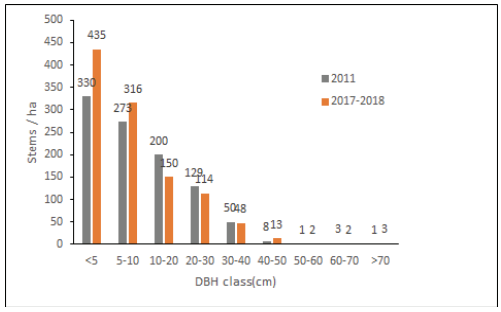
<참회나무>



<벚나무류>



<졸참나무>



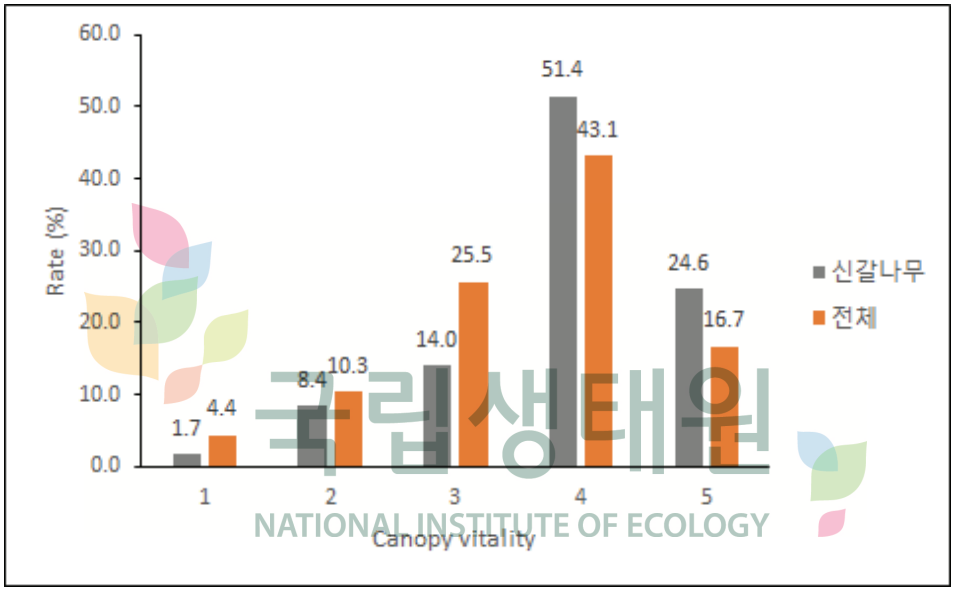
<전체>

<그림Ⅲ-5> 남산 신갈나무림 수종별 직경급 분포

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라) 수관활력도

남산 신갈나무림의 2017-2018년 수관활력도를 살펴보면 신갈나무는 수관활력도 1이 3개체/ha(1.7%), 수관활력도 2가 15개체/ha(8.4%), 수관활력도 3이 25개체/ha(14.0%), 수관활력도 4가 92개체/ha(51.4%), 수관활력도 5가 44개체/ha(24.6%)로 나타났다. 남산 신갈나무림에 나타난 전체 종의 수관활력도를 살펴보면 수관활력도 1이 51개체/ha(4.4%), 수관활력도 2가 120개체/ha(10.3%), 수관활력도 3이 297개체/ha(25.5%), 수관활력도 4가 501개체(43.1%), 수관활력도 5가 194개체(16.7%)로 나타났다.



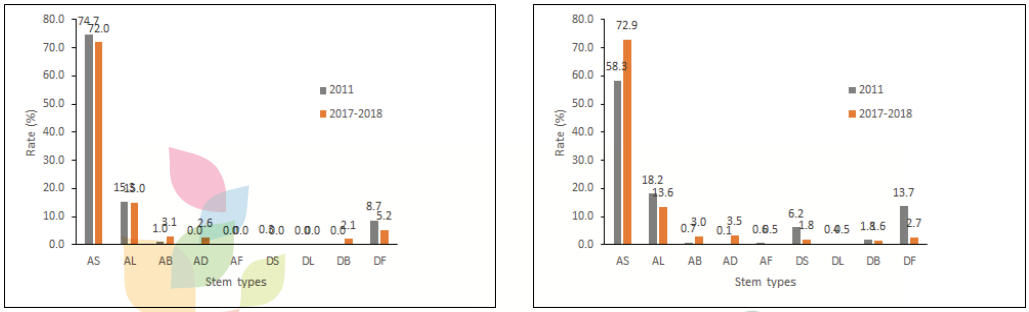
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-6> 남산 신갈나무림 수관활력도

마) 수간건강상태

남산 신갈나무림의 2011년과 2017-2018년의 수간건강상태를 살펴보면 신갈나무의 경우, AS는 2011년 215개체/ha(74.7%)에서 2017-2018년 139개체/ha(72.0%), AL은 44개체/ha(15.3%)에서 29개체/ha(15.0%)로 비율이 감소하였고, AB는 3개체/ha(1.0%)에서 6개체/ha(3.1%), AD는 2011년 0개체/ha(0.0%)에서 5개체/ha(2.6%)으로 비율이 증가하였다. AF는 2011년과 2017-2018년 모두 나타나지 않았다. DS은 1개체/ha(0.3%)에서 0개체/ha(0.0%)으로 비율이 감소하였고, DL은 2011년과 2017-2018년 모두 나타나지 않았다. DB은 0개체/ha(0%)에서 4개체/ha(2.1%)로 비율이 증가하였고 DF는 25개체/ha(8.7%)에서 10개체/ha(5.2%)로 비율이 감소하였다.

신갈나무림에 나타난 전체 종의 수간건강상태를 살펴보면 AS는 2011년 815개체/ha(58.3%)에서 2017-2018년 908개체/ha(72.9%)으로 비율이 증가하였고, AL은 254개체/ha(18.2%)에서 169개체/ha(13.6%)으로 비율이 감소하였다. AB는 10개체/ha(0.7%)에서 37개체/ha(3.0%), AD는 2개체/ha(0.1%)에서 43개체/ha(3.5%)으로 각각 비율이 증가하였고, AF는 8개체/ha(0.6%)에서 6개체/ha(0.5%), DS은 86개체/ha(6.2%)에서 23개체/ha(1.8%)로 비율이 각각 감소하였다. DL은 6개체/ha(0.4%)에서 6개체/ha(0.5%)로 비율이 증가하였고 DB은 25개체/ha(1.8%)에서 20개체/ha(1.6%), DF는 191개체/ha(13.7%)에서 33개체/ha(2.7%)로 비율이 각각 감소하였다.



<신갈나무> <전체>

<그림Ⅲ-7> 남산 신갈나무림 수간건강상태

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

바) 연평균 고사율

남산 신갈나무림의 2011년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 신갈나무는 83개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 5.7%로 나타났다. 당단풍나무는 108개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -5.5%로 나타났다. 때죽나무는 5개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -0.3%로 나타났다. 팥배나무는 26개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 2.1%로 나타났다. 참회나무는 34개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -17.7%으로 나타났다. 벚나무류는 13개체가 감소하였고 연평균 고사율은 7.7%로 나타났다. 졸참나무는 6개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -6.0%로 나타났다. 그 외 수종(18종)은 42종이 증가하였고 연평균 고사율은 -11.7%로 나타났다. 남산 신갈나무림의 전체 수종은 73개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -1.0%으로 나타났다.

<표Ⅲ-4> 남산 신갈나무림 연평균 고사율

Species		Alive		Dead		ND	mN(%)
Korean name	Scientific name	2011	2017-2018	2011	2017-2018		
신갈나무	*Quercus mongolica*	262	179	26	14	83	5.7
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	262	370	10	4	-108	-5.5
때죽나무	*Styrax japonicus*	261	266	19	16	-5	-0.3
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	204	178	7	6	26	2.1
참회나무	*Euonymus oxyphyllus*	18	52	2	0	-34	-17.7
벚나무류	*Prunus* spp.	32	19	3	4	13	7.7
졸참나무	*Quercus serrata*	13	19	0	2	-6	-6.0
Others(18)		40	82	2	82	-42	-11.7
Total		1,092	1,165	69	128	-73	-1.0

사) 중요치

남산 신갈나무림 내 조사된 매목에 대하여 Curtis & McIntosh의 방법을 응용하여 2011년과 2017-2018년도의 중요치를 산출한 결과는 다음과 같다. 2011년도 중요치는 신갈나무가 32.5%, 팥배나무 16.7%, 당단풍나무 15.4%, 때죽나무 14.1%, 벚나무류 6.0%, 졸참나무 3.7%, 물오리나무 3.1%, 참회나무 2.5%, 아까시나무 1.5%, 음나무 1.0%의 순으로 나타났으며 2017-2018년 중요치는 신갈나무 25.1%, 당단풍나무 17.7%, 팥배나무 14.8%, 때죽나무 13.4%, 졸참나무 6.9%, 물오리나무 4.3%, 참회나무 4.3%, 벚나무류 3.6%, 음나무 2.5%, 층층나무 1.2%의 순으로 나타났다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-5> 남산 신갈나무림 구성목의 중요치

Species		RD		RC		RF		IV	
Korean name	Scientific name	2011	2017-2018	2011	2017-2018	2011	2017-2018	2011	2017-2018
신갈나무	*Quercus mongolica*	24.3	15.6	56.7	46.2	16.4	13.6	32.5	25.1
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	24.3	32.3	5.4	6.8	16.4	14.1	15.4	17.7
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	18.9	15.5	14.7	14.8	16.4	14.1	16.7	14.8
때죽나무	*Styrax japonicus*	24.2	23.2	3.1	3.4	15.0	13.6	14.1	13.4
졸참나무	*Quercus serrata*	1.2	1.7	6.3	13.5	3.6	5.6	3.7	6.9
물오리나무	*Alnus sibirica*	0.8	1.4	3.4	5.9	5.0	5.6	3.1	4.3
참회나무	*Euonymus oxyphyllus*	1.7	4.5	0.2	0.4	5.7	7.9	2.5	4.3
벚나무류	*Prunus* spp.	3.0	1.7	5.1	2.5	10.0	6.8	6.0	3.6

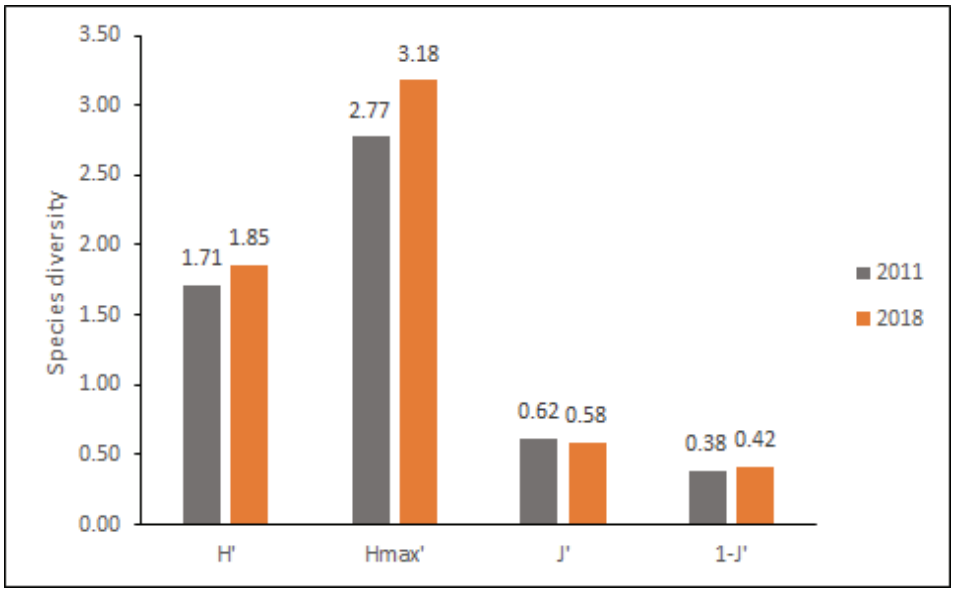
음나무	*Kalopanax septemlobus*	0.2	0.6	1.4	3.5	1.4	3.4	1.0	2.5
층층나무	*Cornus controversa*	0.2	0.6	0.1	0.2	1.4	2.8	0.6	1.2
아까시나무	*Robinia pseudoacacia*	0.5	0.5	1.2	0.2	2.9	2.3	1.5	1.0
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	0.2	0.3	0.2	0.8	1.4	1.7	0.6	0.9
갈참나무	*Quercus aliena*	0.1	0.1	1.1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
목련	*Magnolia kobus*	-	0.3	-	0.0	-	1.1	-	0.5
붉나무	*Rhus javanica*	-	0.3	-	0.0	-	1.1	-	0.5
일본목련	*Magnolia obovata*	-	0.2	-	0.0	-	1.1	-	0.4
다릅나무	*Maackia amurensis*	0.3	0.2	0.6	0.5	1.4	0.6	0.8	0.4
소태나무	*Picrasma quassioides*	-	0.3	-	0.0	-	0.6	-	0.3
회나무	*Euonymus sachalinensis*	-	0.3	-	0.0	-	0.6	-	0.3
가죽나무	*Ailanthus altissima*	-	0.2	-	0.0	-	0.6	-	0.2
소나무	*Pinus densiflora*	0.2	0.1	0.1	0.1	1.4	0.6	0.6	0.2
잣나무	*Pinus koraiensis*	-	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.2
산딸나무	*Cornus kousa*	-	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.2
산뽕나무	*Morus bombycis*	-	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.2
느릅나무	*Ulmus davidiana* var. *japonica*	0.1	-	0.4	-	0.7	-	0.4	-
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

아) 종다양도

군락의 성숙도와 안정도 등의 간접적인 군락의 속성을 파악하기 위하여 Shannon's diversity(H'), 최대종다양도, 균재도, 우점도를 분석한 결과이다. 산림군집의 구조상의 복잡성, 외부교란의 요인으로부터의 안정성, 천이진행과 발달과정상의 성숙도는 종다양성과 정비례하는 경향이 짙은 것으로 여겨지고 있다(Odum, 1969; Louck, 1970; Bazzaz, 1979). 종다양도지수는 우점도와 반비례의 관계를 가지며 우점도가 높은 소수의 종들보다 우점도가 낮은 다수의 종들에 의하여 결정된다(Ellenberg, 1959).

2011년 남산 신갈나무림의 종다양도는 1.71, 최대종다양도는 2.77, 균재도는 0.62, 우점도는 0.38로 나타났고 2017-2018년 종다양도는 1.85, 최대종다양도는 3.18, 균재도는 0.58, 우점도는 0.42로 나타났다. 종다양도는 다소 증가하였지만 균재도는 다소 감소한 것으로 나타났다.



<그림Ⅲ-8> 남산 신갈나무림 종다양도

(2) 소나무림

(가) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

남산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 특성을 2011년 매목조사 자료와 2018년 매목조사 자료와 비교하여 살펴보면 소나무의 밀도는 625본/ha에서 462본/ha으로 감소하였고, 최대 흉고직경은 39.0cm에서 47.0cm으로 증가하였다. 평균 흉고직경은 23.6±6.1cm에서 30.1±6.9cm으로 증가하였고, 흉고단면적은 29.161㎡/ha에서 33.165㎡/ha으로 증가하였다.

소나무림 전체의 밀도는 1,063본/ha에서 1,534본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 33.4㎡/ha에서 36.9㎡/ha으로 증가하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-6> 남산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

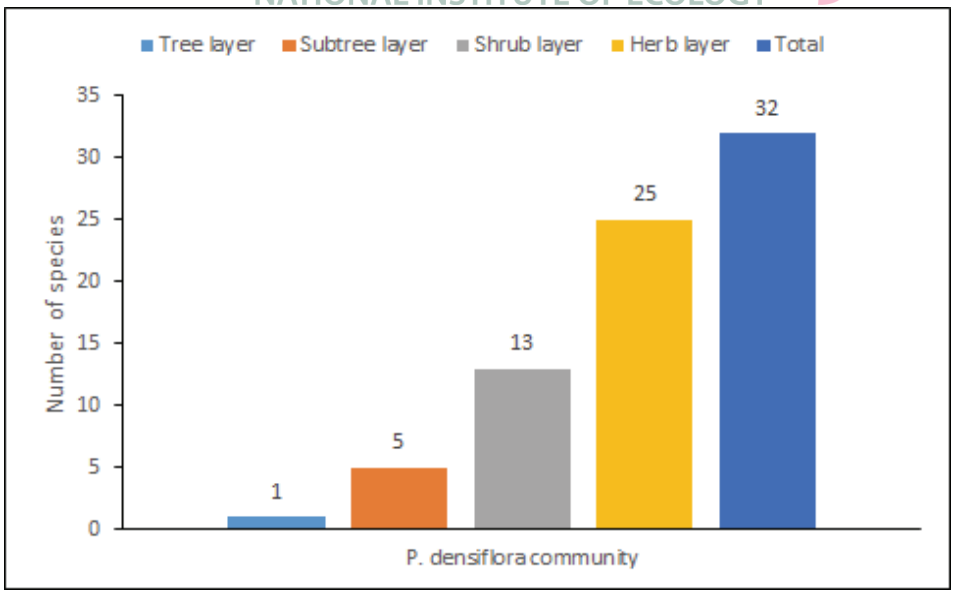
Species		Density(/ha)		Maximum DBH		Average DBH		Basal area(㎡/ha)	
Korean name	Scientific name	2011	2018	2011	2018	2011	2018	2011	2018
소나무	*Pinus densiflora*	625	462	39	47	23.6±6.1	30.1±6.9	29.161	33.165
때죽나무	*Styrax japonicus*	100	403	8	10	5.4±1.5	5.8±1.8	0.241	1.132
벚나무류	*Prunus* spp.	88	150	28	33	15.7±8.6	6.8±6.3	2.141	0.947
청단풍나무	*Acer* spp.	150	150	12	11	7.4±2.4	6.6±2.4	0.697	0.556
아까시나무	*Robinia pseudoacacia*	-	65	-	12	-	6.3±2.7	-	0.230
밤나무	*Castanea crenata*	-	39	-	13	-	7.1±4	-	0.187

당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	-	26	-	11	-	7.4±4.3	-	0.135
신갈나무	*Quercus mongolica*	25	33	26	10	17±12	6.9±2.2	0.709	0.128
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	-	33	-	9	-	6±2.1	-	0.097
아그배나무	*Malus sieboldii*	-	78	-	6	-	3.8±1	-	0.092
다릅나무	*Maackia amurensis*	-	13	-	12	-	8.4±4.8	-	0.081
산뽕나무	*Morus bombycis*	-	33	-	5	-	3.6±1	-	0.033
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	-	13	-	6	-	5.4±1.2	-	0.029
음나무	*Kalopanax septemlobus*	-	13	-	5	-	4.5±1.1	-	0.020
졸참나무	*Quercus serrata*	50	7	19	4	8.3±7.3	4	0.429	0.009
느티나무	*Zelkova serrata*	-	7	-	3	-	3	-	0.005
팽나무	*Celtis sinensis*	-	7	-	3	-	3	-	0.004
참회나무	*Euonymus oxyphyllus*	-	7	-	3	-	3	-	0.004
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	13	-	6	-	6.2	-	0.038	-
상수리나무	*Quercus acutissima*	13	-	3	-	3.4	-	0.011	-
Total		1,063	1,534					33.4	36.9

나) 군락 및 층위별 종수

남산 소나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 1종, 아교목층에서 5종, 관목층에서 13종, 초본층에서 25종이 출현하였으며, 소나무림 전체에서 32종이 출현하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-9> 남산 소나무림 층위별 종수

다) 연평균 고사율

남산 소나무림의 2011년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 소나무는 181개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 4.8%로 나타났다. 때죽나무는 288개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -21.3%로 나타났다. 청단풍나무는 6개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 0.6%로 나타났다. 벚나무류는 56개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -7.3%로 나타났다. 신갈나무는 6개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -3.2%으로 나타났다. 졸참나무는 44개체가 감소하였고 연평균 고사율은 25.7%로 나타났다. 남산 소나무림의 전체 수종은 118개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -1.6%으로 나타났다.

<표Ⅲ-7> 남산 소나무림 연평균 고사율

Species		Alive		Dead		ND	mN (%)
Korean name	Scientific name	2011	2017-2018	2011	2017-2018		
소나무	*Pinus densiflora*	625	444	25	13	181	4.8
때죽나무	*Styrax japonicus*	100	388	38	106	-288	-21.3
청단풍나무	*Acer* spp.	150	144	13	-	6	0.6
벚나무류	*Prunus* spp.	88	144	38	13	-56	-7.3
신갈나무	*Quercus mongolica*	25	31	-	-	-6	-3.2
졸참나무	*Quercus serrata*	50	6	13	-	44	25.7
Total		1,038	1,156	125	131	-118	-1.6

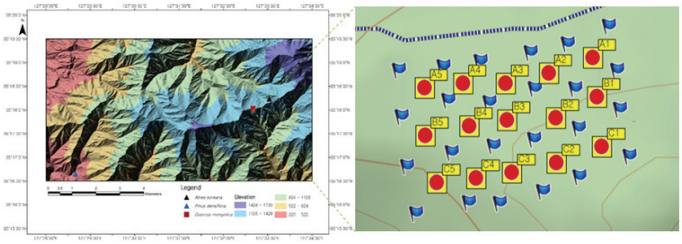
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 지리산

(가) 생태계 기후변화 모니터링 방형구

1) 신갈나무림

생태계 기후변화 연구을 위해 지리산은 신갈나무림에 100m×60m 크기의 고정방형구 1개를 설치하였다. 신갈나무림의 위치는 북위 35° 18′ 0.5"~35° 18′ 0.6"사이, 동경 127° 33′ 1.5"~127° 33′ 2.1"사이에 위치한다. 신갈나무림의 경우, 2017년 방형구 설치와 매목조사 당시 부착했던 태그의 95% 이상이 손실되어 식생 및 매목조사를 진행할 수 없었으며, 다음해 태그를 재부착하여 조사를 진행할 예정이다.

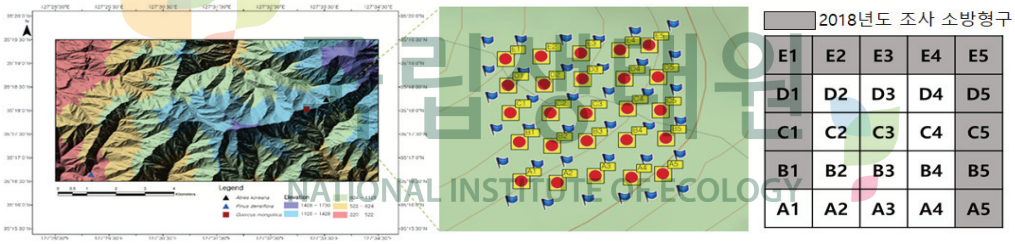


A5	A4	A3	A2	A1
B5	B4	B3	B2	B1
C5	C4	C3	C2	C1

<그림Ⅲ-10> 지리산 신갈나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도

2) 소나무림

지리산 소나무림은 100m×100m 크기의 고정방형구 1개를 설치하였다. 소나무림의 위치는 북위 35° 16′ 66.4"~35° 16′ 66.9"사이, 동경 127° 29′ 13.9"~127° 29′ 14.2"사이에 위치하며 2017년 조사가 이루어졌던 13개소 이외의 12개소에 대하여 식생 및 매목조사를 실시하였고, 훼손된 방형구 및 태그를 정비하였다.

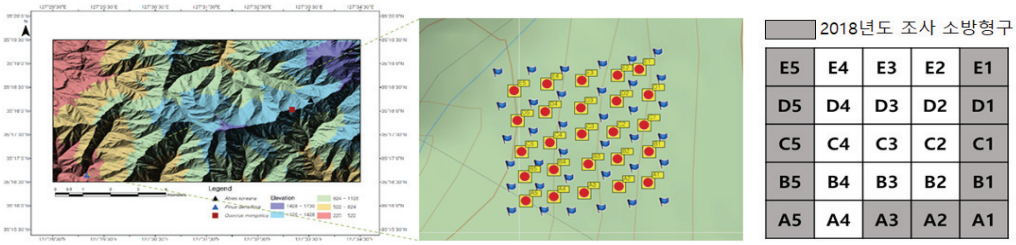


국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-11> 지리산 소나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도

3) 구상나무림

지리산 구상나무림은 100m×100m 크기의 고정방형구 1개를 설치하였다. 구상나무림의 위치는 북위 35° 18′ 24.1"~35° 18′ 18.8"사이, 동경 127° 33′ 47.2"~127° 33′ 54.6"사이에 위치하며 2017년 조사가 이루어졌던 13개소 이외의 12개소에 대하여 식생 및 매목조사를 실시하였고, 훼손된 방형구 및 태그를 정비하였다.



<그림Ⅲ-12> 지리산 구상나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도



<구상나무림 전경>



<훼손된 태그>



<매목조사1>



<매목조사2>

<그림Ⅲ-13> 지리산 조사지 현황

(나) 식물상

지리산 구상나무림 내에 분포하는 관속식물문은 47과 76속 92종 2아종 8변종으로 총 108분류군이 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 19목 33과 52속 63종 2아종 5변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 5목 5과 10속 10종 2변종, 나자식물문의 구과식물강은 2목 3과 4속 4종, 양치식물문의 석송강은 1목 1과 1속 1종, 고사리강은 1목 5과 9속 14종 1변종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 물푸레나무과 6분류군, 면마과 5분류군, 백합과 5분류군, 범위귀과 5분류군, 인동과 5분류군 등으로 나타났다.

지리산 소나무림 내에 분포하는 관속식물문은 60과 96속 115종 10변종으로 총 125분류군이 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 22목 45과 71속 86종 7변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 5목 6과 14속 16종 2변종, 나자식물문의 구과식물강은 2목 4과 4속 4종, 양치식물문의 고사리강은 1목 5과 7속 9종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 백합과 9분류군, 장미과 7분류군, 범의귀과 6분류군, 인동과 5분류군, 자작나무과 4분류군 등으로 나타났다.

2017년 지리산 생태계 기후변화 조사지 내에 분포하는 전체 관속식물문은 71과 127속 169종 2아종 15변종으로 총 186분류군으로 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 24목 53과 92속 123종 2아종 11변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 6목 7과 16속 19종 2변종, 나자식물문의 구과식물강은 2목 5과 6속 7종, 양치식물문의 석송강은 1목 1과 1속 1종, 고사리강은 1목 5과 12속 19종 2변종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 백합과 10분류군, 장미과 10분류군, 인동과 9분류군, 범의귀과과 8분류군, 자작나무과 8분류군 등으로 나타났다.

<표Ⅲ-8> 지리산 관속식물문 분포현황

Community	Pylum	class	fam	gen.	sp.	subsp.	var.	for.	hybr.	Total
Abies koreana	Angiospermae	Dicotyledoneae	33	52	63	2	5	-	-	70
		Monocotyledoneae	5	10	10	-	2	-	-	12
	Gymnospermae	Coniferopsida	3	4	4	-	-	-	-	4
	Pteridophyta	Lycopsida	1	1	1	-	-	-	-	1
		Pteropsida	5	9	14	-	1	-	-	15
	Total		47	76	92	2	8	-	-	102
Pinus densiflora	Angiospermae	Dicotyledoneae	45	71	86	-	7	-	-	93
		Monocotyledoneae	6	14	16	-	2	-	-	18
	Gymnospermae	Coniferopsida	4	4	4	-	-	-	-	4
	Pteridophyta	Pteropsida	5	7	9	-	1	-	-	10
	Total		60	96	115	-	10	-	-	125
Total	Angiospermae	Dicotyledoneae	53	92	123	2	11	-	-	136
		Monocotyledoneae	7	16	19	-	2	-	-	21
	Gymnospermae	Coniferopsida	5	6	7	-	-	-	-	7
	Pteridophyta	Lycopsida	1	1	1	-	-	-	-	1
		Pteropsida	5	12	19	-	2	-	-	21
	Total		71	127	169	2	15	-	-	186

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

지리산 구상나무림 내에서 국가적색목록 중에서 위기종(EN)으로 구상나무가 나타났고, 관심대상종(LC)은 덩굴꽃마리와 말나리가 나타났으며, 자료부족종(NE)으로 도라지모시대가 각각 나타났다. 국가기후변화생물지표종으로는 구상나무, 사스래나무, 주목, 가래고사리가 나타났다. 한국고유생물자원종은 구상나무, 노각나무, 물들메나무, 병꽃나무, 흰괴불나무가 나타났다.

소나무림 내에서 국가적색목록 중에서 관심대상종(LC)은 말나리, 뻐꾹나리가 나타났다. 한국고유생물자원종은 지리대사초가 나타났다.

<표Ⅲ-9> 지리산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황

Community	Species		RS	CSBI	ES	PDE	NP
	Korean name	Scientific name					
Abies koreana	구상나무	*Abies koreana*	EN	O	O	-	-
	사스래나무	*Betula ermanii*	-	O	-	-	-
	주목	*Taxus cuspidata*	-	O	-	-	-
	노각나무	*Stewartia pseudocamellia*	-	-	O	-	-
	물들메나무	*Fraxinus chiisanensis*	-	-	O	-	-
	병꽃나무	*Weigela subsessilis*	-	-	O	-	-
	흰괴불나무	*Lonicera tatarinowii* var. *leptantha*	-	-	O	-	-
	덩굴꽃마리	*Trigonotis icumae*	LC	-	-	-	-
	도라지모시대	*Adenophora grandiflora*	NE	-	-	-	-
	말나리	*Lilium distichum*	LC	-	-	-	-
	가래고사리	*Thelypteris phegopteris*	-	O	-	-	-
	11		4	4	5	-	-
Pinus densiflora	말나리	*Lilium distichum*	LC	-	-	-	-
	뻐꾹나리	*Tricyrtis macropoda*	LC	-	-	-	-
	지리대사초	*Carex okamotoi*	-	-	O	-	-
	3		2	-	1	-	-
Total	구상나무	*Abies koreana*	EN	O	O	-	-
	노각나무	*Stewartia pseudocamellia*	-	-	O	-	-
	사스래나무	*Betula ermanii*	-	O	-	-	-
	주목	*Taxus cuspidata*	-	O	-	-	-
	물들메나무	*Fraxinus chiisanensis*	-	-	O	-	-
	병꽃나무	*Weigela subsessilis*	-	-	O	-	-
	흰괴불나무	*Lonicera tatarinowii* var. *leptantha*	-	-	O	-	-

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

	덩굴꽃마리	*Trigonotis icumae*	LC	-	-	-	-
	도라지모시대	*Adenophora grandiflora*	NE	-	-	-	-
	말나리	*Lilium distichum*	LC	-	-	-	-
	뻐꾹나리	*Tricyrtis macropoda*	LC	-	-	-	-
	가래고사리	*Thelypteris phegopteris*	-	O	-	-	-
	지리대사초	*Carex okamotoi*	-	-	O	-	-
	13		5	4	6	-	-



<뻐꾹나리>



<어수리>



<쥐털이슬>



<좁은잎배풍등>

NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-14> 지리산 조사지 현존식생

(다) 생태계 기후변화 조사지 동태

1) 소나무림

가) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

지리산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 특성을 2010-2013년의 매목조사 자료와 2017-2018년 매목조사 자료와 비교하여 살펴보면 소나무의 밀도는 341본/ha에서 289본/ha으로 감소하였고, 최대 흉고직경은 83.5cm에서 82.0cm으로 감소하였다. 평균 흉고직경은 33.6±10.8cm에서 36.8±10.5cm으로 증가하였고, 흉고단면적은 33.293㎡/ha에서 33.153㎡/ha으로 감소하였다.

소나무림 전체의 밀도는 1,300본/ha에서 1,564본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 43.8㎡/ha에서 48.6㎡/ha으로 증가하였다.

<표Ⅲ-10> 지리산 소나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

Species		Density(/ha)		Maximum DBH		Average DBH		Basal area(㎡/ha)	
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018
소나무	*Pinus densiflora*	341	289	83.5	82	33.6±10.8	36.8±10.5	33.293	33.153
굴참나무	*Quercus variabilis*	129	149	64	70.3	16.4±12.2	19.9±13.0	4.197	6.594
삼나무	*Cryptomeria japonica*	150	169	39.7	44.3	17.8±7.6	18.6±8.5	4.406	5.533
개서어나무	*Carpinus tschonoskii*	89	129	17.4	23.5	6.9±4.3	7.7±4.9	0.456	0.849
때죽나무	*Styrax japonicus*	202	322	12.5	24	4.7±1.7	5.2±2.5	0.395	0.828
느티나무	*Zelkova serrata*	21	34	18.5	21.3	9.1±5.7	8.5±5.5	0.190	0.270
비목나무	*Lindera erythrocarpa*	145	167	27.2	8.9	4.1±2.8	4.3±1.4	0.280	0.268
벚나무류	*Prunus* spp.	30	35	11.5	21.3	4.8±2.4	7.2±4.5	0.069	0.198
졸참나무	*Quercus serrata*	21	25	18.5	20	7.9±5.9	7.5±5.7	0.159	0.171
층층나무	*Cornus controversa*	7	9	15	24.8	8.65±4.9	12.1±6.7	0.052	0.131
산뽕나무	*Morus bombycis*	27	42	15.5	12.5	6.4±3.8	5.5±2.6	0.114	0.122
개옻나무	*Rhus trichocarpa*	37	48	5.1	11.8	3.5±0.8	4.0±1.7	0.038	0.070
상수리나무	*Quercus acutissima*	-	1	-	26.5	-	26.5	-	0.055
느릅나무	*Ulmus davidiana* var. *japonica*	2	12	2.7	16.9	2.7	6.4±3.9	0.001	0.051
대팻잡나무	*Ilex macropoda*	2	15	5	10.3	5	5.5±2.8	0.004	0.043
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	11	9	5.9	12.9	4.3±1.0	6.9±3.3	0.016	0.040
쇠물푸레나무	*Fraxinus sieboldiana*	7	33	4.5	5.5	3.4±0.7	3.4±1.0	0.007	0.032
나도밤나무	*Meliosma myriantha*	7	11	6.9	10	5.3±1.6	5.5±2.4	0.017	0.031
자귀나무	*Albizia julibrissin*	4	2	10.4	16.5	9.7±1.1	13.4±4.5	0.026	0.030
붉나무	*Rhus javanica*	9	5	8.4	9.2	5.4±2.3	5.8±2.3	0.023	0.015
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	5	4	4.5	7.9	4.1±0.4	5.5±1.7	0.007	0.010
물개암나무	*Corylus sieboldiana* var. *mandshurica*	2	10	5.8	4.7	5.8	3.5±0.8	0.005	0.010
개비자나무	*Cephalotaxus koreana*	7	7	5.3	5.7	3.8±1.0	3.8±0.9	0.008	0.008
팽나무	*Celtis sinensis*	2	2	3.6	8.4	3.6	7.1±1.9	0.002	0.008
피나무	*Tilia amurensis*	-	3	-	6.8	-	5.1±1.5	-	0.007
가래나무	*Juglans mandshurica*	-	2	-	6.6	-	6.0±0.8	-	0.006
아그배나무	*Malus sieboldii*	2	3	7.9	7.9	7.9	4.1±3.3	0.009	0.006
고추나무	*Staphylea bumalda*	4	6	3	5	2.8±0.3	3.4±0.8	0.002	0.006
산사나무	*Crataegus pinnatifida*	-	2	-	7.1	-	5.2±2.7	-	0.005
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	2	2	5.9	7	5.9	4.6±3.5	0.005	0.004
소태나무	*Picrasma quassioides*	4	2	4.2	5.3	3.9±0.4	5.1±0.4	0.004	0.004
밤나무	*Castanea crenata*	2	1	4.6	6.9	4.6	6.9	0.003	0.004
산딸나무	*Cornus kousa*	2	3	3.3	4.6	3.3	3.9±0.8	0.002	0.004

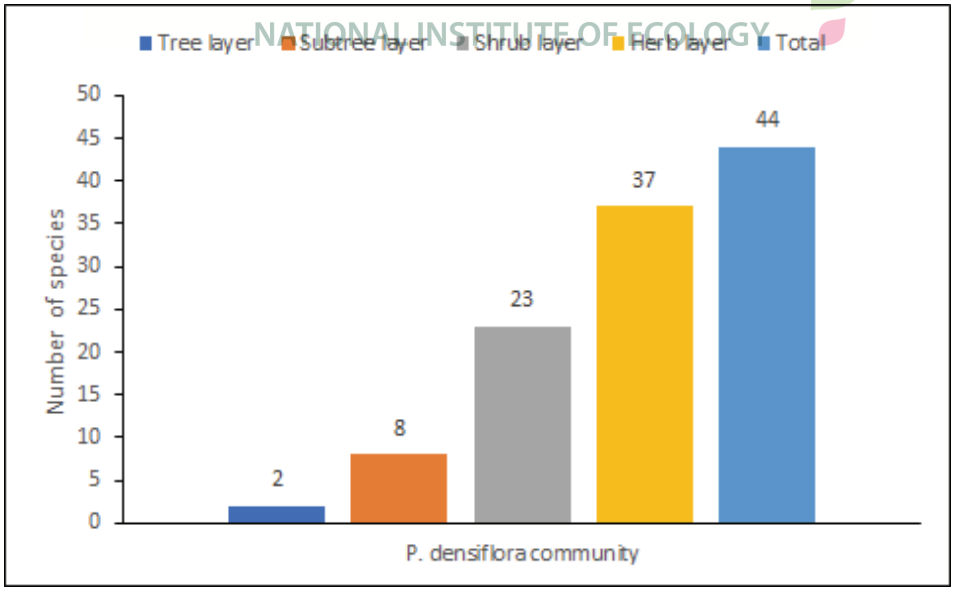
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

곰의말채나무	*Cornus macrophylla*	-	1	-	5.8	-	5.8	-	0.003
합다리나무	*Meliosma oldhamii*	-	2	-	3.9	-	3.8±0.1	-	0.002
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	-	3	-	4	-	3.0±0.9	-	0.002
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	-	1	-	3.3	-	3.3	-	0.001
박달나무	*Betula schmidtii*	-	1	-	3.2	-	3.2	-	0.001
사람주나무	*Sapium japonicum*	2	1	3.2	3	3.2	3	0.001	0.001
고욤나무	*Diospyros lotus*	-	1	-	2.9	-	2.9	-	0.001
서어나무	*Carpinus laxiflora*	11	1	5.7	2.6	4.3±1.3	2.6	0.017	0.001
돌뽕나무	*Morus cathayana*	4	-	7.1	-	6.5±0.9	-	0.012	-
말채나무	*Cornus walteri*	5	-	6.2	-	4.7±1.5	-	0.010	-
산돌배	*Pyrus ussuriensis*	2	-	3.4	-	3.4	-	0.002	-
옻나무	*Rhus verniciflua*	4	-	4.5	-	3.9±0.9	-	0.004	-
참개암나무	*Corylus sieboldiana*	2	-	5.1	-	5.1	-	0.004	-
Total		1,300	1,564					43.8	48.6

나) 층위별 종수

지리산 소나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 2종, 아교목층에서 8종, 관목층에서 23종, 초본층에서 37종이 출현하였으며, 소나무림 전체에서 44종이 출현하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-15> 지리산 소나무림 층위별 종수

다) 직경급 분포

지리산 소나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 직경급 분포를 살펴보면 소나무의 경우, 흉고직경이 5cm 미만은 2010-2013년에 0개체/ha에서 2017-2018년 1개체/ha로 증가하였고, 10-20cm는 34개체/ha에서 9개체/ha, 20-30cm는 89개체/ha에서 58개체/ha, 30-40cm는 143개체/ha에서 133개체/ha로 각각 감소하였으며 40-50cm는 55개체/ha에서 64개체/ha, 50-60cm는 9개체/ha에서 16개체/ha로 각각 증가하였다. 60-70cm는 7개체/ha에서 5개체/ha, 70-80cm는 2개체/ha에서 1개체/ha로 감소하였으며 80cm이상은 2개체/ha에서 2개체/ha로 변함이 없었다. 40cm 이하의 직경급에서 소나무 개체목이 266개체/ha에서 201개체/ha로 감소하였고 40cm 이상의 직경급에서는 75개체/ha에서 88개체/ha로 다소 증가하였는데 이는 천이과정속의 소나무의 위치가 산 능선부의 건조지나 화강암 등의 모암이 노출되어 있는 입지 등과 같이 낙엽활엽수의 정착이 어려운 건조한 입지에 발달되어 있는 곳을 제외하고는 자체적 갱신 및 성목으로의 생육이 원활하지 않은 극상림으로 발달하기 어려운 수종이기 때문인 것으로 사료된다(Song & Jang, 1997).

때죽나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 146개체/ha에서 2017-2018년 180개체/ha, 5-10cm는 52개체/ha에서 133개체/ha, 10-20cm는 4개체/ha에서 8개체/ha, 20-30cm은 0개체/ha에서 1개체/ha로 각각 증가하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

비목나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 129개체/ha에서 2017-2018년 127개체/ha로 감소하였고, 5-10cm는 14개체/ha에서 40개체/ha로 증가하였으며, 20-30cm은 2개체/ha에서 0개체/ha로 감소하였다.

삼나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 0개체/ha에서 2017-2018년 10개체/ha로 증가하였고, 5-10cm는 18개체/ha에서 17개체/ha, 10-20cm는 71개체/ha에서 70개체/ha로 감소하였다. 20-30cm은 52개체/ha에서 58개체/ha, 30-40cm는 9개체/ha에서 11개체/ha, 40-50cm는 0개체/ha에서 3개체/ha로 각각 증가하였다.

굴참나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 18개체/ha에서 2017-2018년 8개체/ha, 5-10cm는 36개체/ha에서 34개체/ha로 감소하였고, 10-20cm는 34개체/ha에서 42개체/ha, 20-30cm은 25개체/ha에서 32개체/ha, 30-40cm는 13개체/ha에서 23개체/ha, 40-50cm는 0개체/ha에서 6개체/ha, 50-60cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 각각 증가하였다. 60-70cm는 4개체/ha

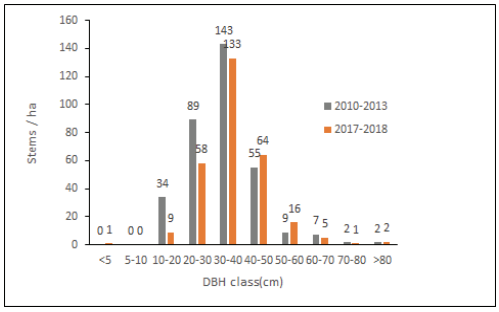
에서 2개체/ha로 감소하였으며, 70-80cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 증가하였다.

개서어나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 48개체/ha에서 2017-2018년 49개체/ha, 5-10cm는 21개체/ha에서 49개체/ha, 10-20cm는 20개체/ha에서 29개체/ha, 20-30cm은 0개체/ha에서 2개체/ha로 각각 증가하였다.

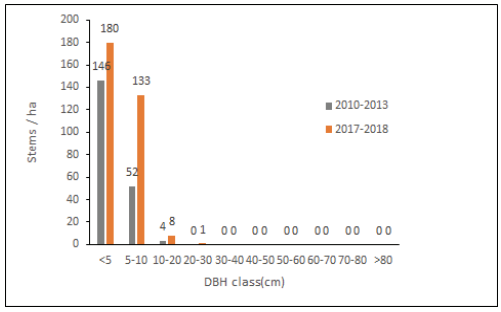
산뽕나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2010-2013년에 13개체/ha에서 2017-2018년 23개체/ha, 5-10cm는 11개체/ha에서 16개체/ha으로 증가하였고 10-20cm는 4개체/ha에서 3개체/ha로 감소하였다.

소나무림에 나타난 전체 종을 직경급으로 살펴보면 2010-2013년 5cm미만은 354개체/ha에서 2017-2018년 398개체/ha, 5-10cm는 152개체/ha에서 289개체/ha로 증가하였고 10-20cm는 166개체/ha에서 161개체/ha, 20-30cm는 168개체/ha에서 151개체/ha로 감소하였으며 30-40cm는 164개체/ha에서 167개체/ha, 40-50cm는 55개체/ha에서 73개체/ha, 50-60cm는 9개체/ha에서 17개체/ha로 각각 증가하였다. 60-70cm는 11개체/ha에서 7개체/ha로 감소하였고, 70-80cm는 2개체/ha에서 2개체/ha, 80cm이상은 2개체/ha에서 2개체/ha로 각각 변함이 없었다.

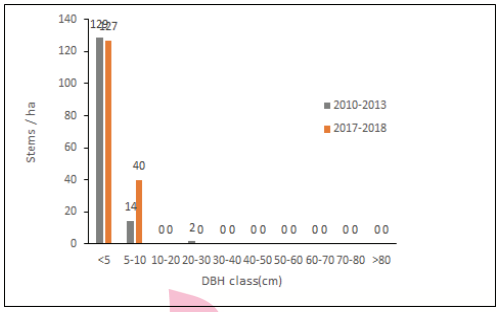
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



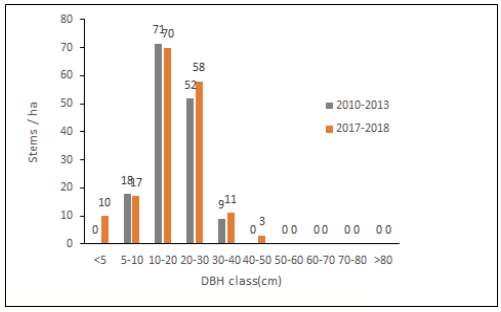
<소나무>



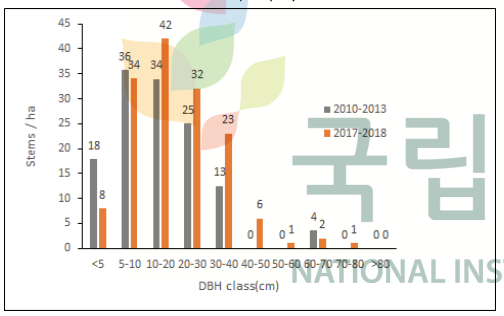
<때죽나무>



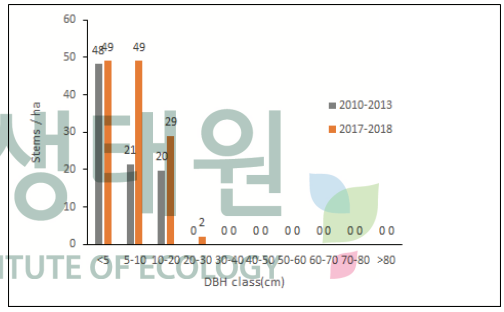
<비목나무>



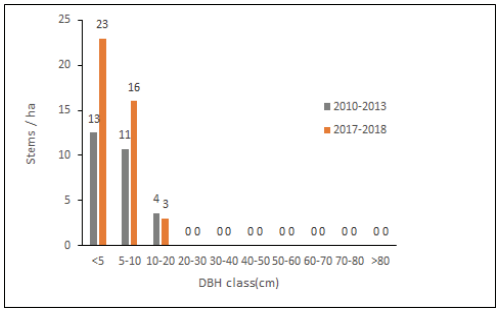
<삼나무>



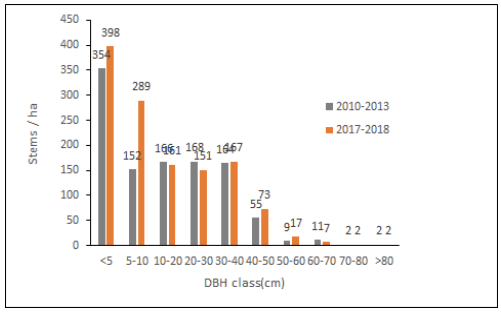
<굴참나무>



<개서어나무>



<산뽕나무>



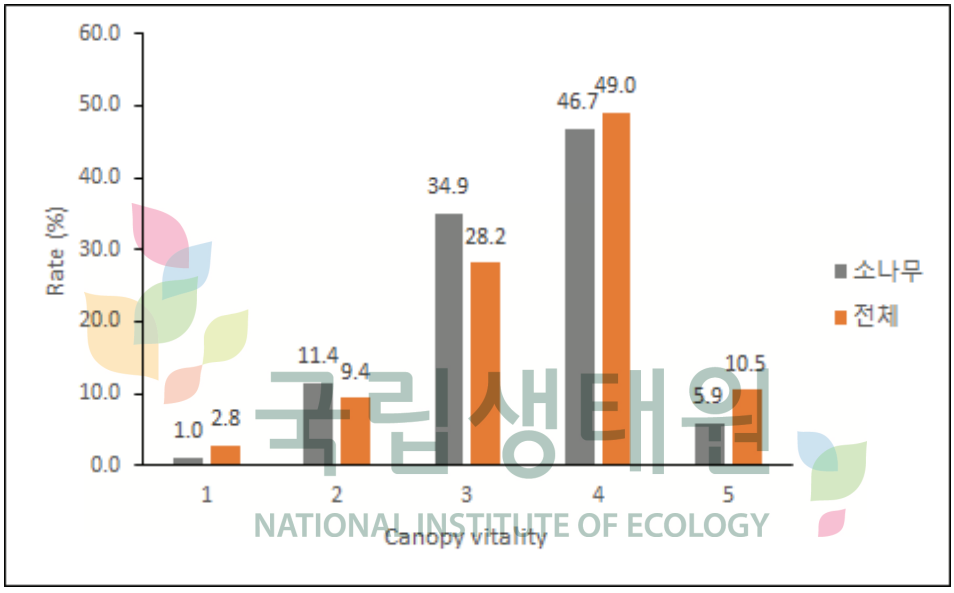
<전체>

<그림Ⅲ-16> 지리산 소나무림 수종별 직경급 분포

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라) 수관활력도

지리산 소나무림의 2017-2018년 수관활력도를 살펴보면 소나무는 수관활력도 1이 3개체/ha(1.0%), 수관활력도 2가 33개체/ha(11.4%), 수관활력도 3이 101개체/ha(34.9%), 수관활력도 4가 135개체/ha(46.7%), 수관활력도 5가 17개체/ha(5.9%)로 나타났다. 지리산 소나무림에 나타난 전체 종의 수관활력도를 살펴보면 수관활력도 1이 47개체/ha(2.8%), 수관활력도 2가 156개체/ha(9.4%), 수관활력도 3이 466개체/ha(28.2%), 수관활력도 4가 811개체(49.0%), 수관활력도 5가 174개체(10.5%)로 나타났다.



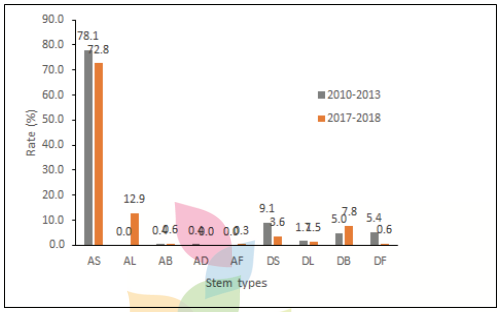
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-17> 지리산 소나무림 수관활력도

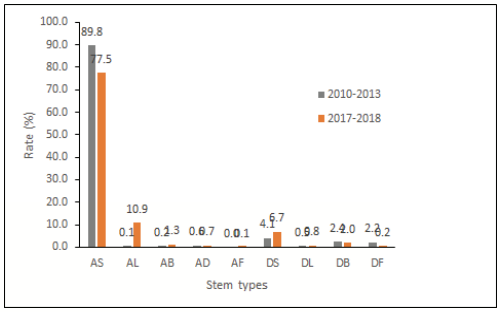
마) 수간건강상태

지리산 소나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 수간건강상태를 살펴보면 소나무의 경우, AS는 2010-2013년 337개체/ha(78.1%)에서 2017-2018년 243개체/ha(72.8%)로 비율이 감소하였고 AL은 0개체/ha(0%)에서 43개체/ha(12.9%), AB는 2개체/ha(0.4%)에서 2개체/ha(0.6%)로 비율이 증가하였고 AD는 2개체/ha(0.4%)에서 0개체/ha(0%)로 비율이 감소하였다. AF는 0개체/ha(0%)에서 1개체/ha(0.3%)로 비율이 증가하였다. DS은 39개체/ha(9.1%)에서 12개체/ha(3.6%), DL은 7개체/ha(1.7%)에서 5개체/ha(1.5%)으로 비율이 각각 감소하였다. DB은 21개체/ha(5.0%)에서 26개체/ha(7.8%)로 비율이 증가하였고 DF는 23개체/ha(5.4%)에서 2개체/ha(0.6%)로 비율이 감소하였다.

소나무림에 나타난 전체 종의 수간건강상태를 살펴보면 AS는 2011년 1,316개체/ha(89.8%)에서 2017-2018년 1,418개체/ha(77.5%)로 비율이 감소하였고 AL은 2개체/ha(0.1%)에서 199개체/ha(10.9%), AB는 4개체/ha(0.2%)에서 24개체/ha(1.3%), AD는 9개체/ha(0.6%)에서 12개체/ha(0.7%), AF는 0개체/ha(0.0%)에서 1개체/ha(0.1%), DS은 61개체/ha(4.1%)에서 123개체/ha(6.7%), DL은 7개체/ha(0.5%)에서 14개체/ha(0.8%)으로 각각 비율이 증가하였고, DB은 36개체/ha(2.4%)에서 36개체/ha(2.0%), DF는 32개체/ha(2.2%)에서 3개체/ha(0.2%)로 비율이 감소하였다.



<소나무>



<전체>

<그림Ⅲ-18> 지리산 소나무림 수간건강상태

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

바) 연평균 고사율

지리산 소나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 소나무는 45개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 2.5%로 나타났다. 때죽나무는 120개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -7.5%로 나타났다. 비목나무는 22개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.2%로 나타났다. 삼나무는 19개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -1.9%로 나타났다. 굴참나무는 20개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.3%으로 나타났다. 개서어나무는 40개체가 증가하였고 연평균 고사율은 -5.8%로 나타났다. 산뽕나무는 15개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -7.2% 지리산 소나무림의 전체 수종은 265개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.9%으로 나타났다.

<표Ⅲ-11> 지리산 소나무림 연평균 고사율

Species		Alive		Dead		ND	mN(%)
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018		
소나무	*Pinus densiflora*	341	289	91	45	52	2.5
때죽나무	*Styrax japonicus*	202	322	4	10	-120	-7.5
비목나무	*Lindera erythrocarpa*	145	167	2	67	-22	-2.2
삼나무	*Cryptomeria japonica*	150	169	0	0	-19	-1.9
굴참나무	*Quercus variabilis*	129	149	11	1	-20	-2.3
개서어나무	*Carpinus tschonoskii*	89	129	0	2	-40	-5.8
산뽕나무	*Morus bombycis*	27	42	0	1	-15	-7.2
Others(39)		214	294	11	11	-80	-5.0
Total		1,296	1,561	118	137	-265	-2.9

사) 중요치

지리산 소나무림 내 조사된 매목에 대하여 Curtis & McIntosh의 방법을 응용하여 2010-2013년과 2017-2018년도의 중요치를 산출한 결과는 다음과 같다. 2010-2013년도 중요치는 소나무 37.1%, 삼나무 9.6%, 굴참나무 9.1%, 때죽나무 8.5%, 비목나무 6.5%, 개서어나무 5.0%, 산뽕나무 2.7%, 벚나무류 2.3%, 개옻나무 2.3%, 졸참나무 2.0%의 순으로 나타났으며 2017-2018년 중요치는 소나무 31.6%, 때죽나무 10.2%, 굴참나무 10.0%, 삼나무 9.5%, 비목나무 6.1%, 개서어나무 6.0%, 산뽕나무 3.0%, 벚나무류 2.4%, 개옻나무 2.2%, 졸참나무 2.2%의 순으로 나타났다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-12> 지리산 소나무림 구성목의 중요치

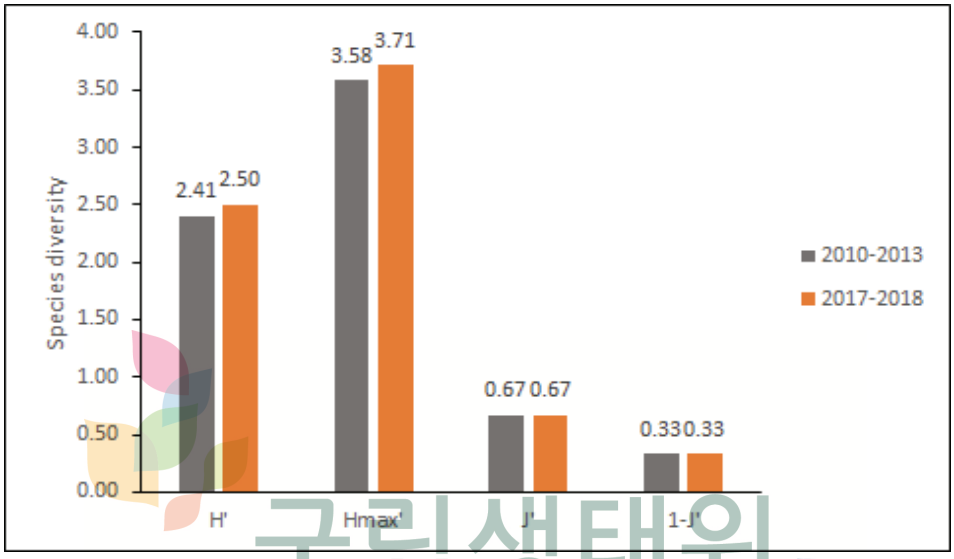
Species		RD		RC		RF		IV	
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018
소나무	*Pinus densiflora*	26.2	18.5	75.9	68.3	9.0	8.0	37.1	31.6
때죽나무	*Styrax japonicus*	15.5	20.6	0.9	1.7	9.0	8.4	8.5	10.2
굴참나무	*Quercus variabilis*	9.9	9.5	9.6	13.6	7.7	7.0	9.1	10.0
삼나무	*Cryptomeria japonica*	11.5	10.8	10.1	11.4	7.1	6.4	9.6	9.5
비목나무	*Lindera erythrocarpa*	11.1	10.7	0.6	0.6	7.7	7.0	6.5	6.1
개서어나무	*Carpinus tschonoskii*	6.9	8.2	1.0	1.7	7.1	8.0	5.0	6.0
산뽕나무	*Morus bombycis*	2.1	2.7	0.3	0.3	5.8	6.0	2.7	3.0
벚나무류	*Prunus* spp.	2.3	2.2	0.2	0.4	4.5	4.7	2.3	2.4

느티나무	*Zelkova serrata*	1.6	2.2	0.4	0.6	3.2	4.3	1.8	2.4
졸참나무	*Quercus serrata*	1.6	1.6	0.4	0.4	3.9	4.7	2.0	2.2
개옻나무	*Rhus trichocarpa*	2.9	3.1	0.1	0.1	3.9	3.3	2.3	2.2
쇠물푸레나무	*Fraxinus sieboldiana*	0.5	2.1	0.0	0.1	1.9	3.0	0.8	1.7
나도밤나무	*Meliosma myriantha*	0.5	0.7	0.0	0.1	1.9	2.7	0.8	1.1
물개암나무	*Corylus sieboldiana* var. *mandshurica*	0.1	0.6	0.0	0.0	0.6	2.7	0.3	1.1
층층나무	*Cornus controversa*	0.5	0.6	0.1	0.3	2.6	2.3	1.1	1.1
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	0.8	0.6	0.0	0.1	1.9	2.3	0.9	1.0
대팻집나무	*Ilex macropoda*	0.1	1.0	0.0	0.1	0.6	1.7	0.3	0.9
느릅나무	*Ulmus davidiana* var. *japonica*	0.1	0.8	0.0	0.1	0.6	1.7	0.3	0.8
개비자나무	*Cephalotaxus koreana*	0.5	0.4	0.0	0.0	2.6	1.7	1.0	0.7
고추나무	*Staphylea bumalda*	0.3	0.4	0.0	0.0	1.3	1.3	0.5	0.6
돌뽕나무	*Morus cathayana*	0.3	-	0.0	-	1.3	-	0.5	-
말채나무	*Cornus walteri*	0.4	-	0.0	-	1.9	-	0.8	-
산돌배	*Pyrus ussuriensis*	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.3	-
옻나무	*Rhus verniciflua*	0.3	-	0.0	-	0.6	-	0.3	-
참개암나무	*Corylus sieboldiana*	0.1	-	0.0	-	0.6	-	0.3	-
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	0.4	0.3	0.0	0.0	1.3	1.0	0.6	0.4
아그배나무	*Malus sieboldii*	0.1	0.2	0.0	0.0	0.6	1.0	0.3	0.4
산딸나무	*Cornus kousa*	0.1	0.2	0.0	0.0	0.6	1.0	0.3	0.4
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	-	0.2	-	0.0	-	1.0	-	0.4
붉나무	*Rhus javanica*	0.7	0.3	0.1	0.0	1.9	0.7	0.9	0.3
피나무	*Tilia amurensis*	-	0.2	-	0.0	-	0.7	-	0.3
자귀나무	*Albizia julibrissin*	0.3	0.1	0.1	0.1	0.6	0.7	0.3	0.3
팽나무	*Celtis sinensis*	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.7	0.3	0.3
가래나무	*Juglans mandshurica*	-	0.1	-	0.0	-	0.7	-	0.3
산사나무	*Crataegus pinnatifida*	-	0.1	-	0.0	-	0.7	-	0.3
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.7	0.3	0.3
소태나무	*Picrasma quassioides*	0.3	0.1	0.0	0.0	1.3	0.7	0.5	0.3
합다리나무	*Meliosma oldhamii*	-	0.1	-	0.0	-	0.7	-	0.3
상수리나무	*Quercus acutissima*	-	0.1	-	0.1	-	0.3	-	0.2
밤나무	*Castanea crenata*	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.3	0.3	0.1
곰의말채나무	*Cornus macrophylla*	-	0.1	-	0.0	-	0.3	-	0.1
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	-	0.1	-	0.0	-	0.3	-	0.1
박달나무	*Betula schmidtii*	-	0.1	-	0.0	-	0.3	-	0.1
시람주나무	*Sapium japonicum*	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.3	0.3	0.1
고욤나무	*Diospyros lotus*	-	0.1	-	0.0	-	0.3	-	0.1
서어나무	*Carpinus laxiflora*	0.8	0.1	0.0	0.0	2.6	0.3	1.1	0.1
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

아) 종다양도

2010-2013년 지리산 소나무림의 종다양도는 2.41, 최대종다양도는 3.58, 균재도는 0.67, 우점도는 0.33로 나타났고 2017-2018년 종다양도는 2.50, 최대종다양도는 3.71, 균재도는 0.67, 우점도는 0.33로 나타났다. 종다양도가 다소 증가하고 균재도는 변함이 없는 것으로 나타났다.



<그림Ⅲ-19> 지리산 소나무림 종다양도

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 구상나무림

가) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

지리산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 특성을 2010-2013년의 매목조사 자료와 2017-2018년 매목조사 자료와 비교하여 살펴보면 구상나무의 밀도는 483본/ha에서 323본/ha으로 감소하였고, 최대 흉고직경은 42.3cm에서 46.2cm으로 증가하였다. 평균 흉고직경은 17.6±8.4cm에서 18.1±9.4cm으로 증가하였고, 흉고단면적은 14.357㎡/ha에서 10.548㎡/ha으로 감소하였다.

구상나무림 전체의 밀도는 1,000본/ha에서 917본/ha으로 감소하였고, 흉고단면적은 31.5㎡/ha에서 28.6㎡/ha으로 감소하였다.

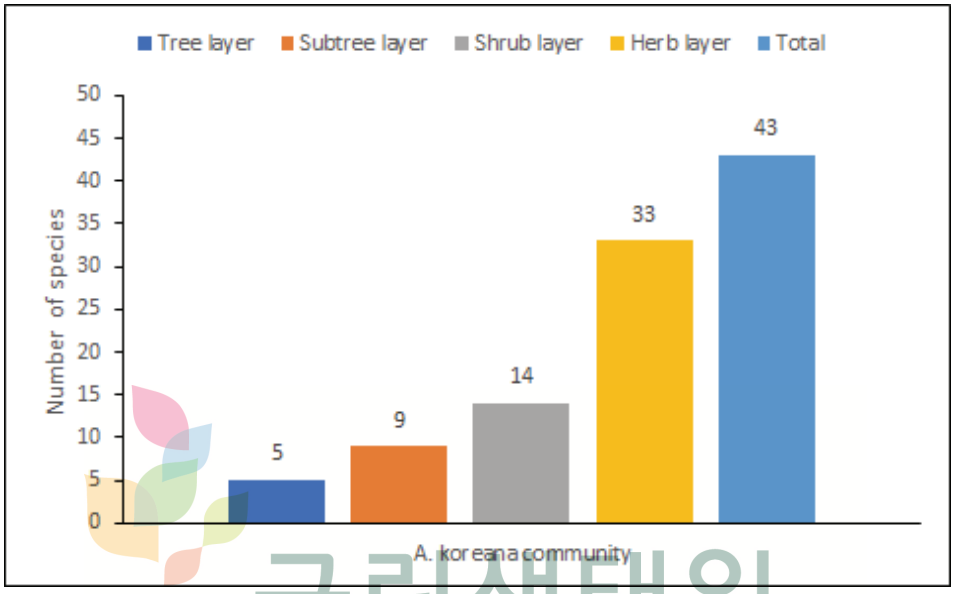
<표Ⅲ-13> 지리산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

Species		Density(/ha)		Maximum DBH		Average DBH		Basal area(㎡/ha)	
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018
구상나무	*Abies koreana*	483	323	42.3	46.2	17.6±8.4	18.1±9.4	14.357	10.548
신갈나무	*Quercus mongolica*	178	107	44.5	72.0	25.3±8.6	28.7±11.1	9.946	7.931
들메나무	*Fraxinus mandshurica*	-	22	-	52.0	-	31.5±10.1	-	1.881
잣나무	*Pinus koraiensis*	23	21	35.0	49.0	17.6±10.8	23.5±11.9	0.731	1.135
쇠물푸레나무	*Fraxinus sieboldiana*	60	98	19.0	22.7	10.7±4.3	10.2±5.0	0.626	0.985
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	65	93	20.3	25.6	10.0±4.2	10.1±4.6	0.600	0.893
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	10	26	20.8	34.9	11.7±6.3	16.5±8.6	0.130	0.700
피나무	*Tilia amurensis*	45	38	30.0	35.3	10.5±7.1	12.1±8.2	0.563	0.632
사스래나무	*Betula ermanii*	-	9	-	41.5	-	28.1±8.6	-	0.604
소나무	*Pinus densiflora*	5	3	46.1	48.2	43.9±3.1	45.8±3.4	0.759	0.496
마가목	*Sorbus commixta*	13	7	31.8	43.0	22.7±8.0	24.3±12.5	0.558	0.399
산딸나무	*Cornus kousa*	8	35	17.9	28.0	11.1±6.2	9.5±6.0	0.087	0.344
기문바나무	*Picea jezoensis*	-	5	-	36.8	-	26.6±9.4	-	0.305
까치박달	*Carpinus cordata*	25	25	10.8	28.9	7.1±2.1	10.5±6.2	0.107	0.289
벚나무류	*Prunus* spp.	5	8	21.8	38.8	12.7±12.9	17.3±10.6	0.096	0.250
대팻잡나무	*Ilex macropoda*	-	12	-	29.2	-	12.6±8.4	-	0.211
물들메나무	*Fraxinus chiisanensis*	20	5	39.2	30.1	30.6±8.3	20.9±10.3	1.561	0.205
층층나무	*Cornus controversa*	-	3	-	34.0	-	20.4±12.9	-	0.124
부게꽃나무	*Acer ukurunduense*	13	8	16.0	16.6	12.7±4.1	12.4±4.9	0.172	0.110
말채나무	*Cornus walteri*	-	2	-	26.2	-	24.5±2.5	-	0.094
주목	*Taxus cuspidata*	-	3	-	32.2	-	13.8±16.0	-	0.085
복장나무	*Acer mandshuricum*	-	1	-	30.2	-	-	-	0.072
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	3	20	8.2	12.3	-	5.5±2.6	0.013	0.058
꽃개회나무	*Syringa wolfii*	-	8	-	16.4	-	7.7±5.2	-	0.052
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	3	3	20.0	21.4	-	12.5±7.7	0.079	0.046
노각나무	*Stewartia pseudocamellia*	5	5	12.4	13.0	8.7±5.3	9.8±4.4	0.035	0.044
서어나무	*Carpinus laxiflora*	8	4	8.0	19.2	6.6±2.3	10.4±6.2	0.027	0.043
음나무	*Kalopanax septemlobus*	-	1	-	16.8	-	-	-	0.022
나래회나무	*Euonymus macropterus*	-	7	-	9.8	-	4.5±2.7	-	0.015
회나무	*Euonymus sachalinensis*	3	4	4.1	8.8	-	5.4±2.3	0.003	0.011
털개회나무	*Syringa patula*	-	7	-	5.5	-	3.7±1.0	-	0.008
청시닥나무	*Acer barbinerve*	-	1	-	3.8	-	-	-	0.001
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	-	1	-	3.5	-	-	-	0.001
때죽나무	*Styrax japonicus*	-	1	-	2.7	-	-	-	0.001
홍괴불나무	*Lonicera sachalinensis*	-	1	-	2.5	-	-	-	0.000
개회나무	*Syringa reticulata* var. *mandshurica*	8	-	4.1	-	3.8±0.4	-	0.008	-
거제수나무	*Betula costata*	18	-	35.4	-	25.6±5.8	-	0.939	-
야광나무	*Malus baccata*	5	-	18.2	-	17.6±0.8	-	0.122	-
Total		1,000	917					31.5	28.6

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나) 층위별 종수

지리산 구상나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 5종, 아교목층에서 9종, 관목층에서 14종, 초본층에서 33종이 출현하였으며, 신갈나무림 전체에서 43종이 출현하였다.



<그림Ⅲ-20> 지리산 구상나무림 층위별 종수

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다) 직경급 분포

지리산 구상나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 직경급 분포를 살펴보면 구상나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2010-2013년에 15개체/ha에서 2017-2018년 16개체/ha로 증가하였고 5-10cm는 80개체/ha에서 56개체/ha, 10-20cm는 213개체/ha에서 134개체/ha, 20-30cm는 133개체/ha에서 79개체/ha, 30-40cm는 40개체/ha에서 32개체/ha로 각각 감소하였다. 40-50cm는 3개체/ha에서 6개체/ha로 증가하였다. 40-50cm 직경급을 제외하고는 구상나무의 모든 직경급에서 개체수가 감소하였는데 이는 지리산 구상나무림의 생장변화 및 쇠퇴현상, 서식지분포 변화와 관련한 기존의 연구와도 일치하는 것으로 나타났으며(Kim et al., 1991; Kim, 1994; Kim, 1998), 구상나무 고사의 원인을 밝히기 위해서는 식생 동태 이외의 다른 분류군 및 연구와의 협업이 필요할 것으로 사료되었다.

당단풍나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2010-2013년에 8개체/ha에

서 2017-2018년 10개체/ha, 5-10cm는 25개체/ha에서 44개체/ha, 10-20cm는 30개체/ha에서 37개체/ha로 증가하였고, 20-30cm는 3개체/ha에서 2개체/ha로 감소하였다.

신갈나무의 경우, 흉고직경이 5-10cm는 2010-2013년에 3개체/ha에서 2017-2018년 1개체/ha, 10-20cm는 45개체/ha에서 24개체/ha, 20-30cm는 78개체/ha에서 36개체/ha, 30-40cm는 38개체/ha에서 30개체/ha, 40-50cm는 15개체/ha에서 11개체/ha로 각각 감소하였고 50-60cm는 0개체/ha에서 2개체/ha, 60-70cm는 0개체/ha에서 1개체/ha, 70cm이상은 0개체/ha에서 1개체/ha로 각각 증가하였다.

쇠물푸레나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2010-2013년에 10개체/ha에서 2017-2018년 21개체/ha, 5-10cm는 18개체/ha에서 28개체/ha, 10-20cm는 33개체/ha에서 48개체/ha, 20-30cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 증가하였다.

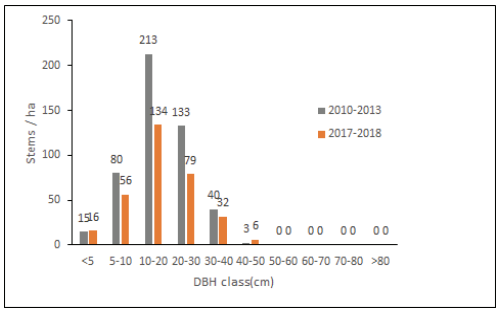
까치박달의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2010-2013년에 5개체/ha에서 2017-2018년 6개체/ha로 증가하였고 5-10cm는 18개체/ha에서 7개체/ha로 감소하였으며 10-20cm는 3개체/ha에서 11개체/ha, 20-30cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 각각 증가하였다.

잣나무의 경우, 흉고직경이 5-10cm는 2010-2013년에 8개체/ha에서 2017-2018년 2개체/ha로 감소하였고 10-20cm는 8개체/ha에서 8개체/ha로 변함이 없었으며 20-30cm는 3개체/ha에서 5개체/ha로 증가하였다. 30-40cm는 5개체/ha에서 4개체/ha로 감소하였으며, 40-50cm는 0개체/ha에서 2개체/ha로 증가하였다.

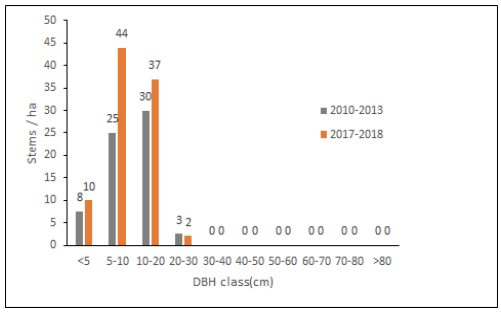
고로쇠나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만에서는 2010-2013년에 0개체/ha에서 2017-2018년 3개체/ha로 증가하였고 5-10cm는 5개체/ha에서 4개체/ha로 감소하였다. 10-20cm는 3개체/ha에서 10개체/ha, 20-30cm는 3개체/ha에서 7개체/ha, 30-40cm는 0개체/ha에서 2개체/ha로 증가하였다.

구상나무림에 나타난 전체 종을 직경급으로 살펴보면 2010-2013년 5cm미만은 38개체/ha에서 2017-2018년 56개체/ha, 5-10cm는 155개체/ha에서 142개체/ha, 10-20cm는 333개체/ha에서 272개체/ha, 20-30cm는 218개체/ha에서 131개체/ha, 30-40cm는 83개체/ha에서 68개체/ha로 각각 감소하였고 40-50cm는 18개체/ha에서 19개체/ha, 50-60cm는 0개체/ha에서 2개체/ha, 60-70cm는 0개체/ha에서 1개체/ha, 70-80cm는 0개체/ha에서 1개체/ha로 각각 증가하였다.

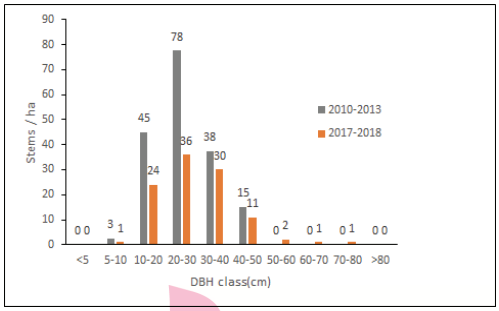
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



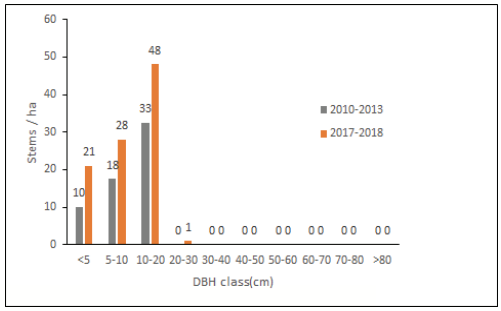
<구상나무>



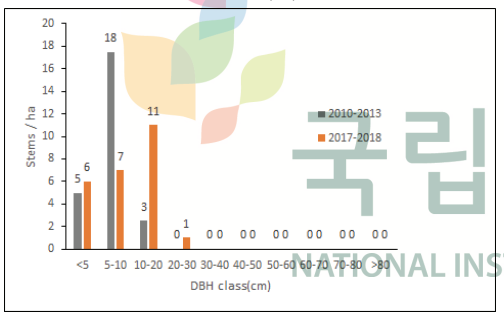
<당단풍나무>



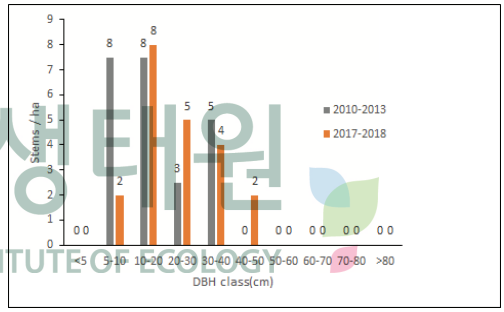
<신갈나무>



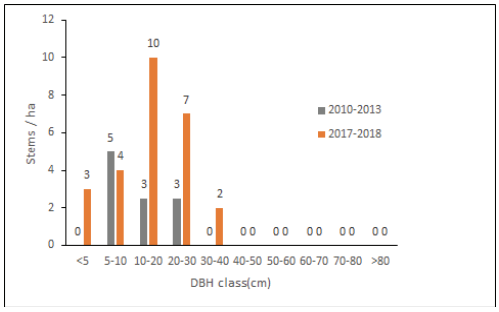
<쇠물푸레나무>



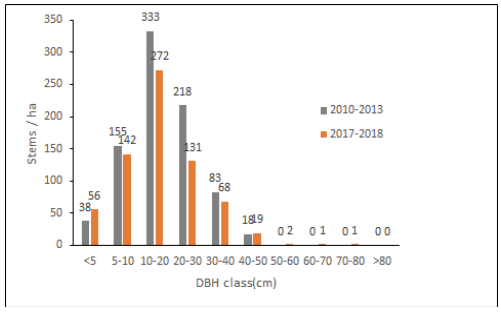
<까치박달>



<잣나무>



<고로쇠나무>



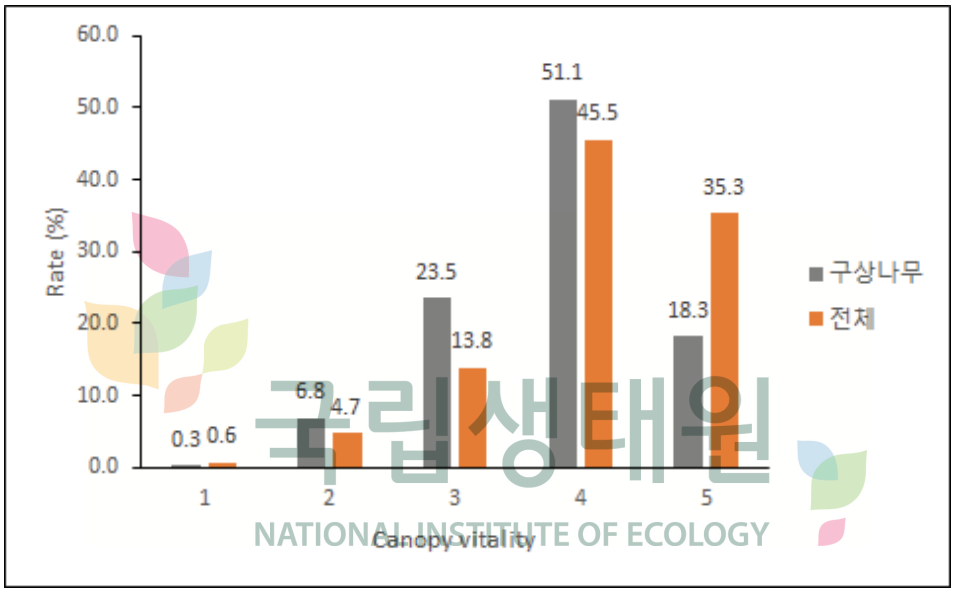
<전체>

<그림Ⅲ-21> 지리산 구상나무림 수종별 직경급 분포

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라) 수관활력도

지리산 구상나무림의 2017-2018년 수관활력도를 살펴보면 구상나무는 수관활력도 1이 1개체/ha(0.3%), 수관활력도 2가 22개체/ha(6.8%), 수관활력도 3이 76개체/ha(23.5%), 수관활력도 4가 165개체/ha(51.1%), 수관활력도 5가 59개체/ha(18.3%)로 나타났다. 지리산 구상나무림에 나타난 전체 종의 수관활력도를 살펴보면 수관활력도 1이 6개체/ha(0.6%), 수관활력도 2가 45개체/ha(4.7%), 수관활력도 3이 132개체/ha(13.8%), 수관활력도 4가 434개체(45.5%), 수관활력도 5가 337개체(35.3%)로 나타났다.

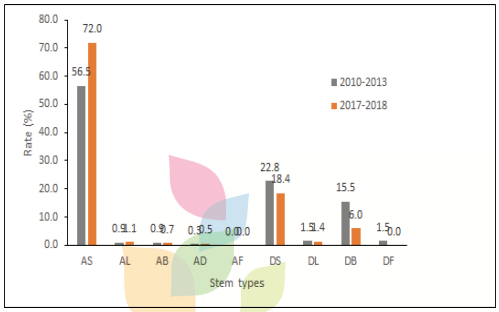


<그림Ⅲ-22> 지리산 구상나무림 수관활력도

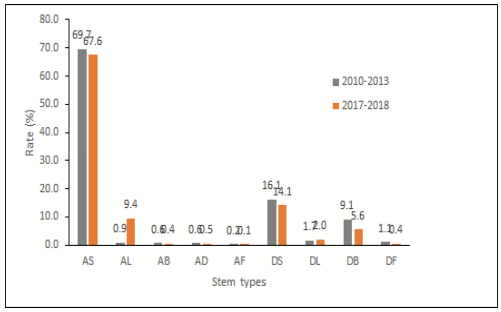
마) 수간건강상태

지리산 구상나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 수간건강상태를 살펴보면 구상나무의 경우, AS는 2010-2013년 1,128개체/ha(56.5%)에서 2017년 827개체/ha(72.0%), AL은 8개체/ha(0.9%)에서 5개체/ha(1.1%)로 비율이 각각 증가하였으며 AB는 8개체/ha(0.9%)에서 3개체/ha(0.7%)로 비율이 감소하였고 AD는 3개체/ha(0.3%)에서 2개체/ha(0.5%)로 비율이 증가하였다. AF는 2010-2013년과 2017-2018년 모두 나타나지 않았다. DS은 188개체/ha(22.8%)에서 80개체/ha(18.4%), DL은 13개체/ha(1.5%)에서 6개체/ha(1.4%), DB은 128개체/ha(15.5%)에서 26개체/ha(6.0%), DF는 13개체/ha(1.5%)에서 0개체/ha(0%)로 비율이 각각 감소하였다.

구상나무림에 나타난 전체 종의 수간건강상태를 살펴보면 AS는 2010-2013년 1,128개체/ha(69.7%)에서 2017-2018년 827개체/ha(67.6%)로 비율이 감소하였고 AL은 15개체/ha(0.9%)에서 115개체/ha(9.4%)로 비율이 증가하였으며 AB는 10개체/ha(0.6%)에서 5개체/ha(0.4%), AD는 10개체/ha(0.6%)에서 6개체/ha(0.5%), AF는 3개체/ha(0.2%)에서 1개체/ha(0.1%), DS은 260개체/ha(16.1%)에서 173개체/ha(14.1%)로 비율이 각각 감소하였다. DL은 28개체/ha(1.7%)에서 24개체/ha(2.0%)로 비율이 증가하였으며 DB은 148개체/ha(9.1%)에서 68개체/ha(5.6%), DF는 18개체/ha(1.1%)에서 5개체/ha(0.4%)로 비율이 감소하였다.



<구상나무>



<전체>

<그림Ⅲ-23> 지리산 구상나무림 수간건강상태

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

바) 연평균 고사율

지리산 구상나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 구상나무는 160개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 6.0%로 나타났다. 당단풍나무는 28개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -5.7%로 나타났다. 신갈나무는 71개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 7.5%로 나타났다. 쇠물푸레나무는 38개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -7.8%로 나타났다. 까치박달은 개체수의 변화가 없었다. 잣나무는 2개체가 감소하였고 연평균 고사율은 1.1%로 나타났다. 고로쇠나무는 16개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -15.8%으로 나타났다. 그 외 수종은 67종이 증가하였고 연평균 고사율은 -5.6%으로 나타났다. 지리산 구상나무림의 전체 수종은 83개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 1.3%으로 나타났다.

<표Ⅲ-14> 지리산 구상나무림 연평균 고사율

Species		Alive		Dead		ND	mN (%)
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018		
구상나무	*Abies koreana*	483	323	340	112	160	6.0
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	65	93	0	0	-28	-5.7
신갈나무	*Quercus mongolica*	178	107	18	1	71	7.5
쇠물푸레나무	*Fraxinus sieboldiana*	60	98	10	2	-38	-7.8
까치박달	*Carpinus cordata*	25	25	0	0	0	0.0
잣나무	*Pinus koraiensis*	23	21	3	1	2	1.1
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	10	26	0	0	-16	-15.8
Others(31)		158	224	5	2	-67	-5.6
Total		1,000	917	375	118	83	1.3

사) 중요치

지리산 구상나무림 내 조사된 매목에 대하여 Curtis & McIntosh의 방법을 응용하여 2010-2013년과 2017-2018년도의 중요치를 산출한 결과는 다음과 같다. 2010-2013년도 중요치는 구상나무 35.6%, 신갈나무 20.8%, 당단풍나무 6.3%, 쇠물푸레나무 5.3%, 피나무 4.7%, 잣나무 3.7%, 거제수나무 3.3%, 물들메나무 3.2%, 마가목 2.3%, 부게꽃나무 2.3%의 순으로 나타났으며 2017-2018년도 중요치는 구상나무 27.5%, 신갈나무 16.1%, 쇠물푸레나무 7.5%, 당단풍나무 6.9%, 들메나무 4.3%, 피나무 4.2%, 고로쇠나무 3.9%, 잣나무 3.7%, 산딸나무 3.5%, 까치박달 2.6%의 순으로 나타났다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-15> 지리산 구상나무림 구성목의 중요치

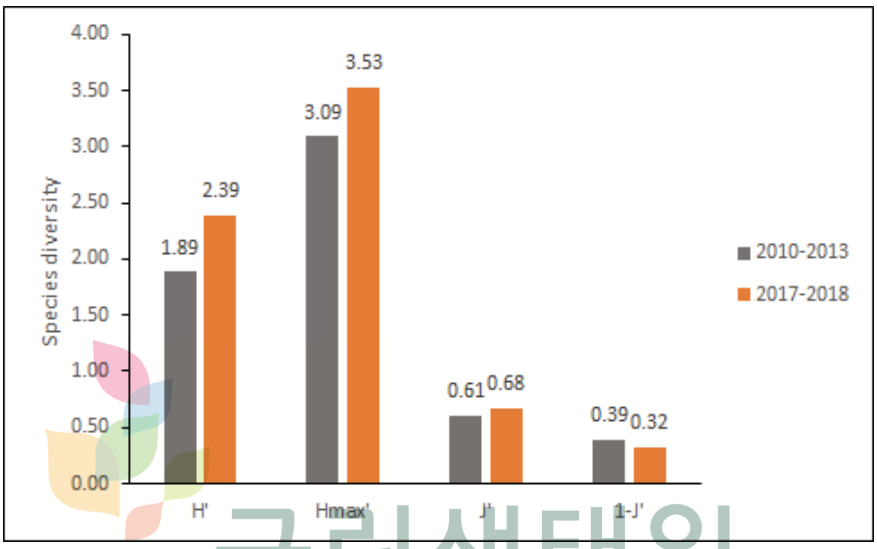
Species		RD		RC		RF		IV	
Korean name	Scientific name	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018	2010-2013	2017-2018
구상나무	*Abies koreana*	48.3	35.4	45.6	37.2	13.0	9.8	35.6	27.5
신갈나무	*Quercus mongolica*	17.8	11.7	31.6	27.9	13.0	8.6	20.8	16.1
쇠물푸레나무	*Fraxinus sieboldiana*	6.0	10.7	2.0	3.5	7.8	8.2	5.3	7.5
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	6.5	10.2	1.9	3.1	10.4	7.5	6.3	6.9
들메나무	*Fraxinus mandshurica*	-	2.4	-	6.6	-	3.9	-	4.3
피나무	*Tilia amurensis*	4.5	4.2	1.8	2.2	7.8	6.3	4.7	4.2
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	1.0	2.9	0.4	2.5	2.6	6.3	1.3	3.9

잣나무	*Pinus koraiensis*	2.3	2.3	2.3	4.0	6.5	4.7	3.7	3.7
산딸나무	*Cornus kousa*	0.8	3.8	0.3	1.2	3.9	5.5	1.6	3.5
까치박달	*Carpinus cordata*	2.5	2.7	0.3	1.0	3.9	3.9	2.2	2.6
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	0.3	2.2	0.0	0.2	1.3	4.3	0.5	2.2
사스래나무	*Betula ermanii*	-	1.0	-	2.1	-	2.7	-	2.0
마가목	*Sorbus commixta*	1.3	0.8	1.8	1.4	3.9	2.4	2.3	1.5
벚나무류	*Prunus* spp.	0.5	0.9	0.3	0.9	1.3	2.7	0.7	1.5
대팻집나무	*Ilex macropoda*	-	1.3	-	0.7	-	2.4	-	1.5
부게꽃나무	*Acer ukurunduense*	1.3	0.9	0.5	0.4	5.2	2.4	2.3	1.2
털개회나무	*Syringa patula*	-	0.8	-	0.0	-	2.4	-	1.0
꽃개회나무	*Syringa wolfii*	-	0.9	-	0.2	-	2.0	-	1.0
소나무	*Pinus densiflora*	0.5	0.3	2.4	1.7	1.3	0.8	1.4	1.0
나래회나무	*Euonymus macropterus*	-	0.8	-	0.1	-	2.0	-	0.9
가문비나무	*Picea jezoensis*	-	0.5	-	1.1	-	0.8	-	0.8
노각나무	*Stewartia pseudocamellia*	0.5	0.5	0.1	0.2	2.6	1.6	1.1	0.8
서어나무	*Carpinus laxiflora*	0.8	0.4	0.1	0.2	2.6	1.6	1.1	0.7
층층나무	*Cornus controversa*	-	0.3	-	0.4	-	1.2	-	0.6
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	0.3	0.3	0.2	0.2	1.3	1.2	0.6	0.6
회나무	*Euonymus sachalinensis*	0.3	0.4	0.0	0.0	1.3	1.2	0.5	0.6
주목	*Taxus cuspidata*	-	0.3	-	0.3	-	0.8	-	0.5
말채나무	*Cornus walteri*	-	0.2	-	0.3	-	0.8	-	0.4
복장나무	*Acer mandshuricum*	-	0.1	-	0.3	-	0.4	-	0.3
음나무	*Kalopanax septemlobus*	-	0.1	-	0.1	-	0.4	-	0.2
청시닥나무	*Acer barbinerve*	-	0.1	-	0.0	-	0.4	-	0.2
물푸레나무	*Fraxinus rhynchophylla*	-	0.1	-	0.0	-	0.4	-	0.2
때죽나무	*Styrax japonicus*	-	0.1	-	0.0	-	0.4	-	0.2
홍괴불나무	*Lonicera sachalinensis*	-	0.1	-	0.0	-	0.4	-	0.2
개회나무	*Syringa reticulata* var. *mandshurica*	0.8	-	0.0	-	1.3	-	0.7	-
거제수나무	*Betula costata*	1.8	-	3.0	-	5.2	-	3.3	-
물들메나무	*Fraxinus chiisanensis*	2.0	-	5.0	-	2.6	-	3.2	-
야광나무	*Malus baccata*	0.5	-	0.4	-	1.3	-	0.7	-
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

아) 종다양도

2010-2013년 지리산 구상나무림의 종다양도는 1.89, 최대종다양도는 3.09, 균재도는 0.61, 우점도는 0.39로 나타났고 2017-2018년 종다양도는 2.39, 최대종다양도는 3.53, 균재도는 0.68, 우점도는 0.32로 나타났다. 종다양도와 균재도 모두 증가한 것으로 나타났다.



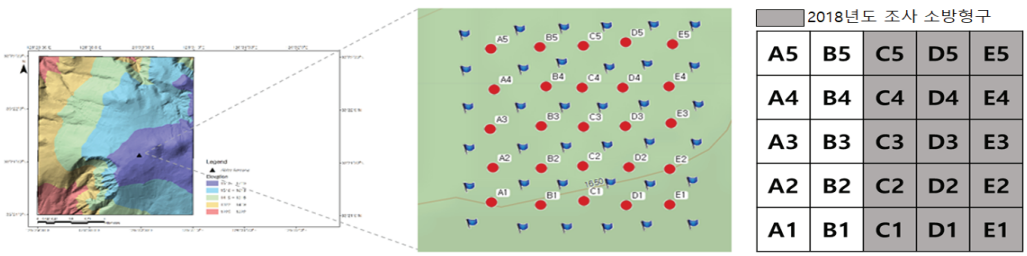
<그림Ⅲ-24> 지리산 구상나무림 종다양도

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(3) 한라산

(가) 생태계 기후변화 모니터링 방형구

생태계 기후변화 연구를 위해 한라산 영실 지역의 구상나무림에 100m×100m 크기의 고정방형구 1개를 설치하였다. 구상나무림의 위치는 북위 33° 21′ 60.9"~33° 21′ 53.7"사이, 동경 126° 30′ 44.5"~126° 30′ 53.3"사이에 위치하며 2018년 C~E열(15개소)의 매목 및 식생조사를 실시하였다.



<그림Ⅲ-25> 한라산 구상나무림 생태계 기후변화 모니터링 방형구 모식도



<구상나무림 전경>



<매목조사>



<구상나무림 전경 2>



<매목조사 2>

<그림Ⅲ-26> 한라산 조사지 현황

(나) 식물상

한라산 구상나무림 내에 분포하는 관속식물문은 41과 73속 82종 2아종 16변종으로 총 100분류군으로 나타났다. 피자식물문의 쌍자엽식물강은 17목 29과 47속 49종 2아종 11변종, 피자식물문의 단자엽식물강은 5목 5과 18속 20종 4변종, 나자식물문의 구과식물강은 2목 3과 3속 2종 1변종, 양치식물문의 석송강은 1목 1과 1속 4종, 고사리강은 1목 3과 4속 7종으로 각각 나타났다. 조사된 관속식물 중 다양성이 높은 상위 5개과는 장미과 10분류군, 벼과 8분류군, 사초과 8분류군, 인동과 6분류군, 국화과 5분류군 등으로 나타났다.

<표Ⅲ-16> 한라산 관속식물문 분포현황

Pylum	class	Fam.	gen.	sp.	subsp.	var.	for.	hybr.	Total
Angiospermae	Dicotyledoneae	29	47	49	2	11	-	-	62
	Monocotyledoneae	5	18	20	-	4	-	-	24
Gymnospermae	Coniferopsida	3	3	2	-	1	-	-	3
Pteridophyta	Lycopsida	1	1	4	-	-	-	-	4
	Pteropsida	3	4	7	-	-	-	-	7
Total		41	73	82	2	16	-	-	100

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

한라산 구상나무림 내에서 국가적색목록 중에서 취약종(VU)은 시로미, 위기종(EN)은 구상나무, 관심대상종(LC)은 게박쥐나물, 눈향나무, 두메대극, 한라개승마, 미평가종(NE)은 개족도리풀, 설앵초, 섬매발톱나무가 각각 나타났다. 국가기후변화생물지표종으로는 구상나무, 눈향나무, 설앵초, 시로미, 가래고사리, 만년석송, 사스래나무가 나타났다. 한국고유생물자원종은 개족도리풀, 구상나무, 두메대극, 설앵초, 섬매발톱나무, 한라개승마, 병꽃나무, 산오이풀, 은꿩의다리, 자주꿩의다리, 제주조릿대, 한라사초, 흰그늘용담이 나타났다.

<표Ⅲ-17> 한라산 국가적색목록, 기후변화지표종, 국가고유생물종, 생태계교란종, 귀화식물 현황

Species		RS	CSBI	ES	PDE	NP
Korean name	Scientific name					
개족도리풀	*Asarum maculatum*	NE	-	O	-	-
게박쥐나물	*Parasenecio adenostyloides*	LC	-	-	-	-
구상나무	*Abies koreana*	EN	O	O	-	-
눈향나무	*Juniperus chinensis* var. *sargentii*	LC	O	-	-	-
두메대극	*Euphorbia fauriei*	LC	-	O	-	-
설앵초	*Primula modesta* var. *hannasanensis*	NE	O	O	-	-
섬매발톱나무	*Berberis amurensis* var. *quelpaertensis*	NE	-	O	-	-
시로미	*Empetrum nigrum* var. *japonicum*	VU	O	-	-	-
한라개승마	*Aruncus aethusifolius*	LC	-	O	-	-
가래고사리	*Thelypteris phegopteris*	-	O	-	-	-
만년석송	*Lycopodium obscurum*	-	O	-	-	-
사스래나무	*Betula ermanii*	-	O	-	-	-
병꽃나무	*Weigela subsessilis*	-	-	O	-	-
산오이풀	*Sanguisorba hakusanensis*	-	-	O	-	-
은꿩의다리	*Thalictrum actaefolium* var. *brevistylum*	-	-	O	-	-
자주꿩의다리	*Thalictrum uchiyamai*	-	-	O	-	-
제주조릿대	*Sasa palmata*	-	-	O	-	-
한라사초	*Carex erythrobasis*	-	-	O	-	-
흰그늘용담	*Gentiana chosenica*	-	-	O	-	-

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

* RS : Rare species; CSBI : Climate-Sensitive Biological Indicator species, ES : Endemic species, PDE : Plant disturbing ecosystem, NP : Naturalized plant



<구상나무 구과>



<섬이질풀>



<민백미꽃>



<만년석송>

<그림Ⅲ-27> 한라산 조사지 현존식생

(다) 생태계 기후변화 조사지 동태

1) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

한라산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성 특성을 2011년의 매목조사 자료와 2018년 매목조사 자료와 비교하여 살펴보면 구상나무의 밀도는 628본/ha에서 582본/ha으로 감소하였고, 최대 흉고직경은 27.6cm에서 29.4cm으로 증가하였다. 평균 흉고직경은 9.4±5.1cm에서 10.0±5.2cm으로 증가하였고, 흉고단면적은 5.683㎡/ha에서 5.769㎡/ha으로 증가하였다. 구상나무 개체수는 감소한 반면 주목의 개체수는 235개체/ha에서 395개체/ha로 크게 증가하였는데 이는 구상나무가 주목보다 낮은 적산온도에서 형성층 활동을 개시하고, 흉고직경이 큰 개체보다 작은 개체들이 낮은 적산온도에서 형성층 활동을 개시하는 것으로 나타나 기후변화가 진행될수록 구상나무의 생육 및 서식지 감소가 뚜렷해질 것으로 예상되는 것도 구상나무 소경목 감소의 원인 중 하나로 사료되었다(Park et al., 2018).

구상나무림 전체의 밀도는 1,555본/ha에서 1,768본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 8.5㎡/ha에서 10.1㎡/ha으로 증가하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

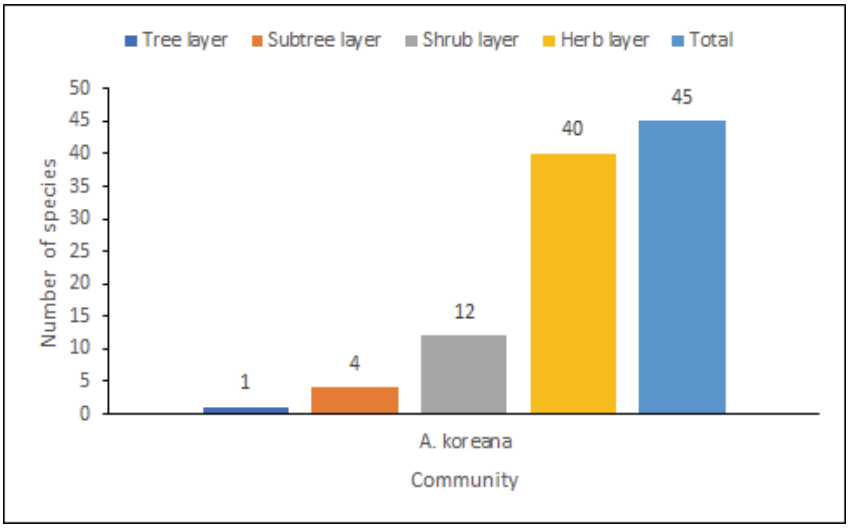
<표Ⅲ-18> 한라산 구상나무림 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

Species		Density(/ha)		Maximum DBH		Average DBH		Basal area(㎡/ha)	
Korean name	Scientific name	2011	2018	2011	2018	2011	2018	2011	2018
구상나무	*Abies koreana*	628	582	27.6	29.4	9.4±5.1	10.0±5.2	5.683	5.769
산개벚지나무	*Prunus maximowiczii*	428	490	13.0	16.9	4.6±2.0	6.0±2.3	0.865	1.593
신갈나무	*Quercus mongolica*	200	205	25.7	26.7	7.4±3.9	8.7±4.0	1.090	1.483
주목	*Taxus cuspidata*	235	395	20.5	15.2	5.5±3.0	5.4±2.2	0.731	1.064
시스래나무	*Betula ermanii*	8	5	12.3	13.1	6.6±4.6	11.1±1.8	0.040	0.049
털진달래	*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*	7	40	3.6	5.2	2.3±0.9	3.2±0.8	0.003	0.034
노린재나무	*Symplocos chinensis* f. *pilosa*	2	17	4.5	6.7	4.5	4.5±1.6	0.003	0.029
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	2	2	9.9	12.4	9.9	12.4	0.013	0.020
윤노리나무	*Pourthiaea villosa*	20	10	6.0	6.2	3.9±1.4	4.4±1.4	0.027	0.016
병꽃나무	*Weigela subsessilis*	13	12	3.1	5.8	2.0±0.6	3.5±1.4	0.004	0.013
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	3	3	4.8	5.7	3.7±1.6	5.3±0.6	0.004	0.007
붉은병꽃나무	*Weigela florida*	-	3	-	4.0	-	3.5±0.8	-	0.003
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	2	2	3.3	4.0	3.3	4.0	0.001	0.002
분단나무	*Viburnum furcatum*	-	2	-	3.5	-	3.5	-	0.002
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	3	2	5.2	2.0	3.4±2.6	2.0	0.004	0.001
산철쭉	*Rhododendron yedoense* f. *poukhanense*	3	-	4.0	-	3.1±1.3	-	0.003	-
Total		1,555	1,788					8.5	10.1

2) 층위별 종수

한라산 구상나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 1종, 아교목층에서 4종, 관목층에서 12종, 초본층에서 40종이 출현하였으며, 신갈나무림 전체에서 45종이 출현하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-28> 한라산 구상나무림 층위별 종수

3) 직경급 분포

한라산 구상나무림의 2011년과 2018년의 직경급 분포를 살펴보면 구상나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 117개체/ha에서 2018년 107개체/ha, 5-10cm는 273개체/ha에서 225개체/ha로 각각 감소하였고 10-20cm는 213개체/ha에서 215개체/ha, 20-30cm는 25개체/ha에서 35개체/ha로 증가하였다.

산개벚지나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 282개체/ha에서 2018년 187개체/ha로 감소하였고 5-10cm는 137개체/ha에서 275개체/ha, 10-20cm는 10개체/ha에서 28개체/ha로 각각 증가하였다.

주목의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 130개체/ha에서 2018년 205개체/ha, 5-10cm는 83개체/ha에서 175개체/ha로 각각 증가하였고, 10-20cm는 20개체/ha에서 15개체/ha, 20-30cm는 2개체/ha에서 0개체/ha로 각각 감소하였다.

신갈나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 57개체/ha에서 2018년 28개체/ha로 감소하였고, 5-10cm는 113개체/ha에서 123개체/ha, 10-20cm는 27개체/ha에서 48개체/ha, 20-30cm는 3개체/ha에서 5개체/ha로 증가하였다.

윤노리나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 15개체/ha에서 2018년 7개체/ha, 5-10cm는 5개체/ha에서 3개체/ha로 각각 감소하였다.

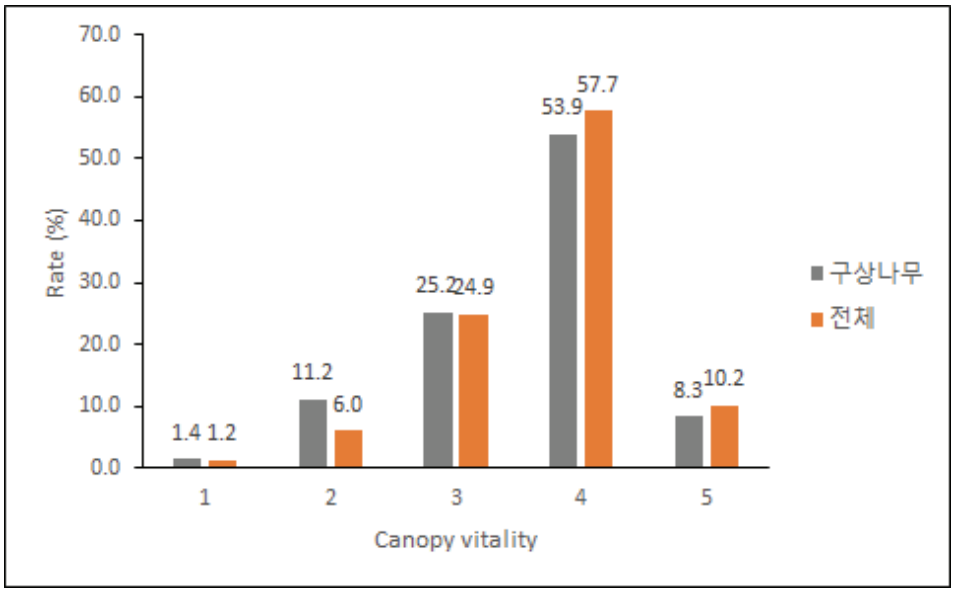
사스래나무의 경우, 흉고직경이 5cm미만은 2011년에 3개체/ha에서 2018년 0개체/ha, 5-10cm는 3개체/ha에서 2개체/ha로 감소하였으며 10-20cm는 2개체/ha에서 3개체/ha로 증가하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

구상나무림에 나타난 전체 종을 직경급으로 살펴보면 2011년 5cm미만은 603개체/ha에서 2018년 533개체/ha로 감소하였고 5-10cm는 615개체/ha에서 803개체/ha, 10-20cm는 272개체/ha에서 310개체/ha, 20-30cm는 30개체/ha에서 40개체/ha로 각각 증가하였다.

4) 수관활력도

한라산 구상나무림의 2018년 수관활력도를 살펴보면 구상나무는 수관활력도 1이 5개체/ha(1.4%), 수관활력도 2가 39개체/ha(11.2%), 수관활력도 3이 88개체/ha(25.2%), 수관활력도 4가 188개체/ha(53.9%), 수관활력도 5가 29개체/ha(8.3%)로 나타났다. 지리산 구상나무림에 나타난 전체 종의 수관활력도를 살펴보면 수관활력도 1이 13개체/ha(1.2%), 수관활력도 2가 64개체/ha(6.0%), 수관활력도 3이 264개체/ha(24.9%), 수관활력도 4가 612개체(57.7%), 수관활력도 5가 108개체(10.2%)로 나타났다.



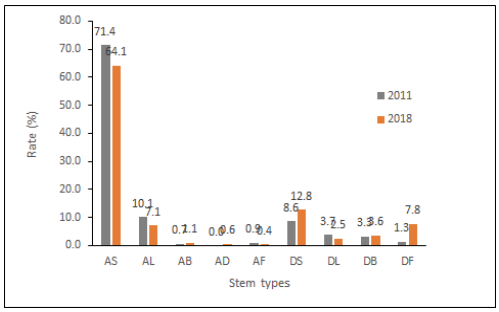
<그림Ⅲ-29> 한라산 구상나무림 수관활력도

5) 수간건강상태

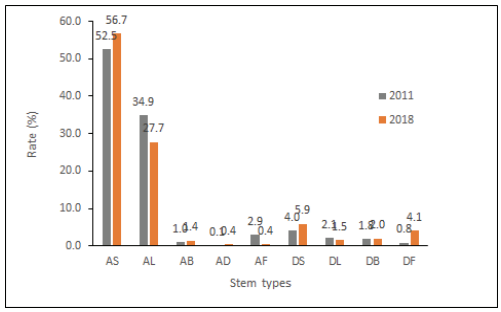
한라산 구상나무림의 2011년과 2018년의 수간건강상태를 살펴보면 구상나무의 경우, AS는 2011년 540개체/ha(71.4%)에서 2018년 508개체/ha(64.1%), AL은 77개체/ha(10.1%)에서 57개체/ha(7.1%)로 비율이 각각 감소하였으며 AB는 5개체/ha(0.7%)에서 8개체/ha(1.1%), AD는 0개체/ha(0.0%)에서 5개체/ha(0.6%)으로 비율이 증가하였으며, AF는 7개체/ha(0.9%)에서 3개체/ha(0.4%)으로 비율이 감소하였다. DS은 65개체/ha(8.6%)에서 102개체/ha(12.4%)으로 비율이 증가하고, DL은 28개체/ha(3.7%)에서 20개체/ha(2.5%)로 비율이 감소하였다. DB은 20개체/ha(3.3%)에서 28개체/ha(3.6%), DF는 10개체/ha(1.3%)에서 62개체/ha(7.8%)로 비율이 각각 증가하였다.

구상나무림에 나타난 전체 종의 수간건강상태를 살펴보면 AS는 2011년 893개체/ha(52.5%)에서 2018년 1,158개체/ha(56.7%)로 비율이 증가하였고 AL은 593개체/ha(34.9%)에서 565개체/ha(27.7%)으로 비율이 감소하였고 AB는 17개체/ha(1.0%)에서 28개체/ha(1.4%), AD는 2개체/ha(0.1%)에서 8개체/ha(0.4%)로 각각 비율이 증가하였다. AF는 50개체/ha(2.9%)에서 8개체/ha(0.4%)로 감소하였고 DS은 68개체/ha(4.0%)에서 120개체/ha(5.9%)으로 비율이 증가하였고 DL은 35개체/ha(2.1%)에서 32개체/ha(1.5%)로 비율이 감소하였다. DB은 30개체/ha(1.8%)에서 40개체/ha(2.0%), DF는 13개체/ha(0.8%)에서 83개체/ha(4.1%)로 비율이 각각 증가하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<구상나무>



<전체>

<그림Ⅲ-30> 한라산 구상나무림 수간건강상태

6) 연평균 고사율

한라산 구상나무군락의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 구상나무는 47개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 1.2%로 나타났다. 산개벚지나무는 62개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.1%로 나타났다. 주목은 160개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -8.3%로 나타났다. 신갈나무는 5개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -0.4%로 나타났다. 윤노리나무는 10개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 10.1%로 나타났다. 사스래나무는 3개체가 감소하였고 연평균 고사율은 7.6%로 나타났다. 그 외 수종은 47종이 증가하였고 연평균 고사율은 -13.9으로 나타났다. 한라산 구상나무림의 전체 수종은 213개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.0%으로 나타났다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-19> 한라산 구상나무림 연평균 고사율

Species		Alive		Dead		ND	mN (%)
Korean name	Scientific name	2011	2018	2011	2018		
구상나무	*Abies koreana*	628	582	128	212	47	1.2
산개벚지나무	*Prunus maximowiczii*	428	490	10	22	-62	-2.1
주목	*Taxus cuspidata*	235	395	5	10	-160	-8.3
신갈나무	*Quercus mongolica*	200	205	2	7	-5	-0.4
윤노리나무	*Pourthiaea villosa*	20	10	-	-	10	10.1
사스래나무	*Betula ermanii*	8	5	-	2	3	7.6
Others(10)		35	82	2	13	-47	-13.9
Total		1,555	1,768	147	265	-213	-2.0

7) 중요치

한라산 구상나무림 내 조사된 매목에 대하여 Curtis & McIntosh의 방법을 응용하여 2011년과 2018년도의 중요치를 산출한 결과는 다음과 같다. 2011년도 중요치는 구상나무 41.9%, 산개벚지나무 19.1%, 주목 14.4%, 신갈나무 13.8%, 사스래나무 2.1%, 윤노리나무 2.7%, 병꽃나무 1.6%, 함박꽃나무 1.0%, 털진달래 1.0%의 순으로 나타났으며 2018년도 중요치는 구상나무 35.5%, 산개벚지나무 20.4%, 주목 16.8%, 신갈나무 13.9%, 털진달래 4.8%, 노린재나무 1.6%, 병꽃나무 1.4%, 윤노리나무 1.4%, 사스래나무 1.0%의 순으로 나타났다.

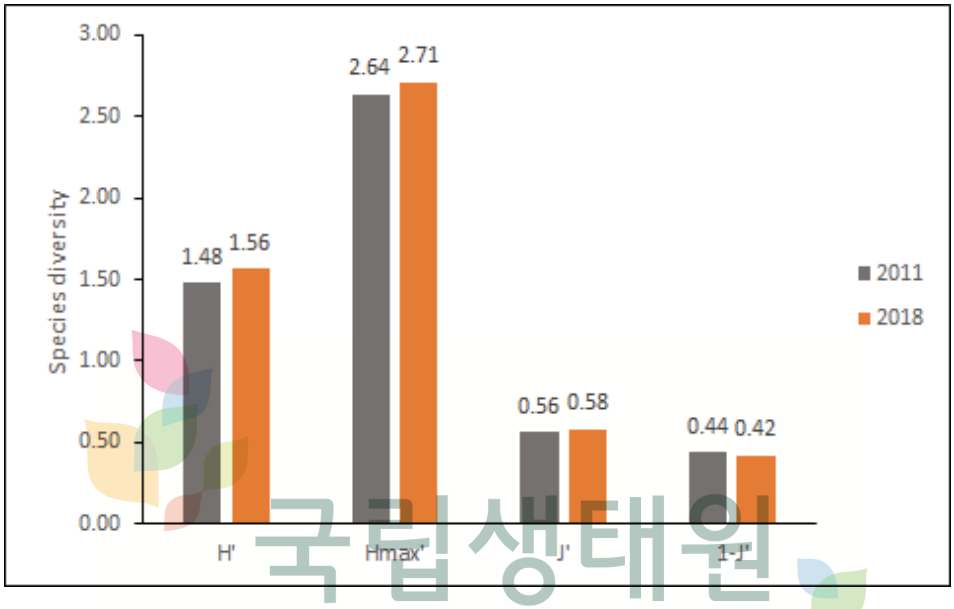
<표Ⅲ-20> 한라산 구상나무림 구성목의 중요치

Species		RD		RC		RF		IV	
Korean name	Scientific name	2011	2018	2011	2018	2011	2018	2011	2018
구상나무	*Abies koreana*	40.4	32.9	67.1	57.2	18.2	16.5	41.9	35.5
노린재나무	*Symplocos chinensis* f. *pilosa*	0.1	0.9	0.0	0.3	1.3	3.5	0.5	1.6
당단풍나무	*Acer pseudosieboldianum*	0.2	0.2	0.0	0.1	1.3	1.2	0.5	0.5
병꽃나무	*Weigela subsessilis*	0.9	0.7	0.1	0.1	3.9	3.5	1.6	1.4
분단나무	*Viburnum furcatum*	-	0.1	-	0.0	-	1.2	-	0.4
붉은병꽃나무	*Weigela florida*	-	0.2	-	0.0	-	2.4	-	0.9
사스래나무	*Betula ermanii*	0.5	0.3	0.5	0.5	5.2	2.4	2.1	1.0
산개벚지나무	*Prunus maximowiczii*	27.5	27.7	10.2	15.8	19.5	17.6	19.1	20.4
산철쭉	*Rhododendron yedoense* f. *poukhanense*	0.2	-	0.0	-	1.3	-	0.5	-
신갈나무	*Quercus mongolica*	12.9	11.6	12.9	14.7	15.6	15.3	13.8	13.9
윤노리나무	*Pourthiaea villosa*	1.3	0.6	0.3	0.2	6.5	3.5	2.7	1.4
주목	*Taxus cuspidata*	15.1	22.3	8.6	10.5	19.5	17.6	14.4	16.8
털진달래	*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*	0.4	2.3	0.0	0.3	2.6	11.8	1.0	4.8
팥배나무	*Sorbus alnifolia*	0.1	0.1	0.2	0.2	1.3	1.2	0.5	0.5
함박꽃나무	*Magnolia sieboldii*	0.2	0.1	0.0	0.0	2.6	1.2	1.0	0.4
고로쇠나무	*Acer pictum* subsp. *mono*	0.1	0.1	0.0	0.0	1.3	1.2	0.5	0.4
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

8) 종다양도

2011년 한라산 구상나무림의 종다양도는 1.48, 최대종다양도는 2.64, 균재도는 0.56, 우점도는 0.44로 나타났고 2018년 종다양도는 1.56, 최대종다양도는 2.71, 균재도는 0.58, 우점도는 0.42로 나타났다. 종다양도와 균재도 모두 증가한 것으로 나타났다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-31> 한라산 구상나무림 종다양도

나. 곤충

(1) 종다양성 현황

2018년 5월부터 10월까지 남산, 지리산, 한라산에서 매월 1회씩 채집한 결과 지리산에서 13과 204종 1,048개체, 남산에서 9과 120종 455개체, 한라산에서 13과 148종 350개체가 확인되었다. 각 과별로 채집된 종 및 개체수는 다음과 같다(표Ⅲ-21). 종 수는 지리산, 한라산, 남산 순으로 나타났지만 개체수는 지리산, 남산, 한라산 순으로 나타났다.

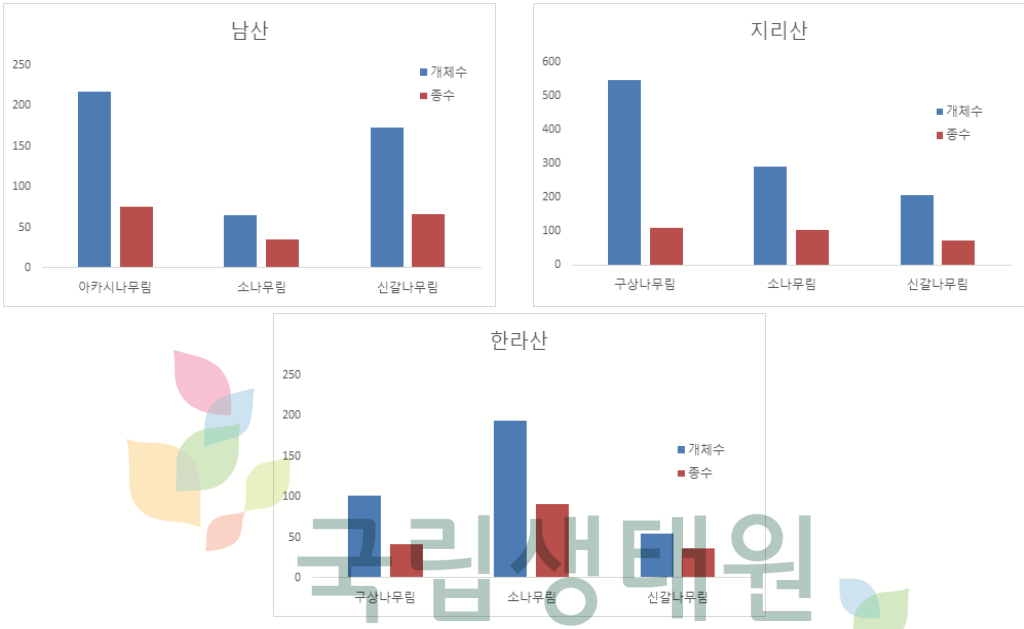
<표Ⅲ-21> 2018년 조사지역별 채집된 종 수와 개체수

	남산		지리산		한라산	
	종수	개체수	종수	개체수	종수	개체수
Bombycidae 누에나방과	1	1				
Brahmaeidae 왕물결나방과			1	1		
Drepanidae 갈고리나방과	6	37	9	17	6	7
Endomidae 반달누에나방과			1	3		
Erebidae 태극나방과	41	125	38	182	41	91
Geometridae 자나방과	33	139	85	594	47	125
Lasiocampidae 솔나방과			1	5	1	6
Limacodidae 쐐기나방과	3	34	4	35	1	1
Noctuidae 밤나방과	30	98	40	119	33	89
Nolidae 혹나방과	2	2	8	13	5	6
Notodontidae 재주나방과	3	10	12	59	6	11
Saturniidae 산누에나방과			1	2	1	1
Sphingidae 박각시과			3	12	3	4
Thyrididae 창나방과	1	9			1	6
Uraniidae 쌍꼬리나방과			1	6	2	2
Zygaenidae 알락나방과					1	1
합계	120	455	204	1,048	148	350

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 각 산림별 종 다양성 양상

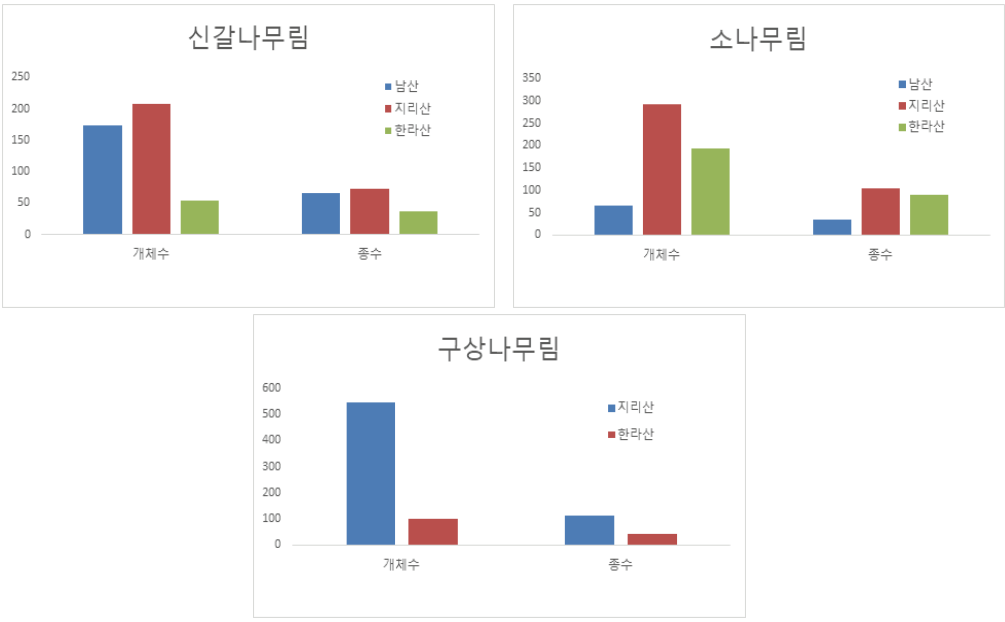
조사지역에서 채집된 나방의 산림별 다양성 양상은 많은 차이를 나타내고 있다. 남산에서는 아카시나무림, 지리산에서는 구상나무림, 한라산에서는 소나무림에서 가장 많은 종 수와 개체수가 채집되어 산림별 다양성 양상에서 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다(그림Ⅲ-32).



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-32> 각 산림별 나방 다양성 양상(2018년)

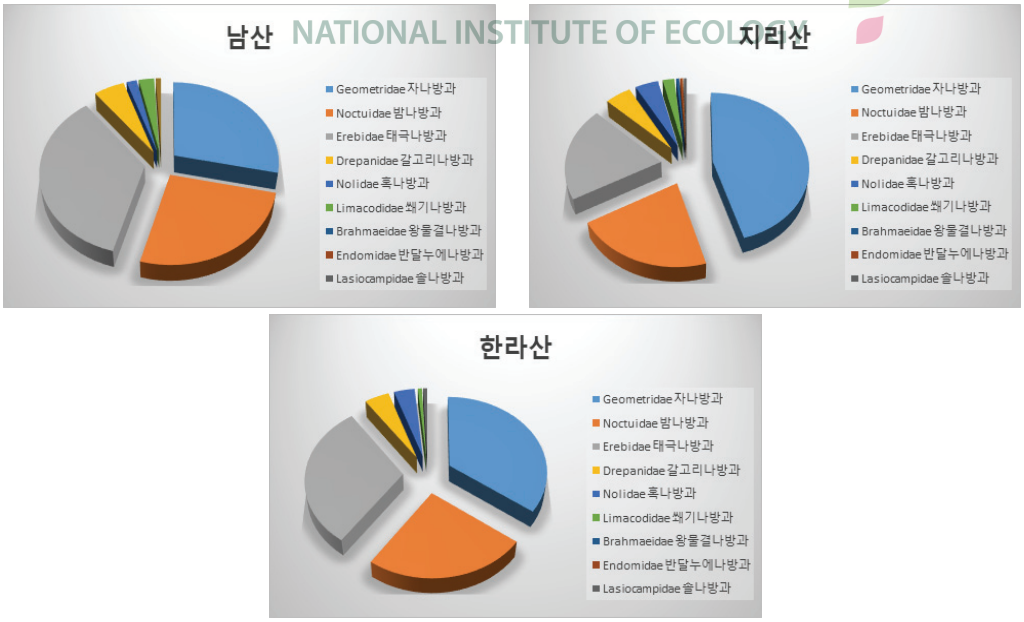
각 산림을 대상으로 지역별 다양성 양상을 살펴보면 소나무림에서는 지리산에서 개체수가 가장 많았지만 지리산과 한라산에서 종수가 유사한 양상을 나타냈다(그림Ⅲ-33). 남산에서는 개체수와 종 수 모두 매우 낮았다. 신갈나무림의 경우 남산에서 확인된 종과 개체는 지리산과 유사한 양상을 나타내었다. 남산 신갈나무림과 남산 소나무 양상을 비교하는 경우 신갈나무림의 경우 남산에서 확인된 종과 개체는 지리산과 유사한 양상을 나타내는 반면 남산의 소나무림은 큰 차이를 나타내고 있어 남산 소나무림의 경우 생태적 변화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 구상나무림에서는 지리산에서 종과 개체수가 많이 나타났다. 이러한 차이는 한라산에 분포하는 구상나무림이 높은 고도에 위치하고 있어 기후변동의 폭이 커서 나타난 것으로 생각한다.



<그림Ⅲ-33> 각 산림별 나방 다양성 양상(2018년)

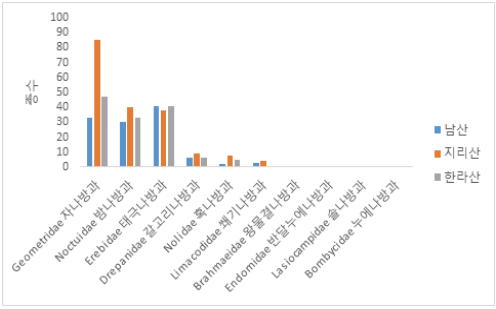
과별로 종 다양성을 살펴본 결과 종 다양성이 가장 풍부한 지리산에서 13과, 남산에서 9과 그리고 한라산에서 13과가 확인되어 종 다양성과 과별 다양성은 높은 상관관계를 나타내었다(그림Ⅲ-34).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

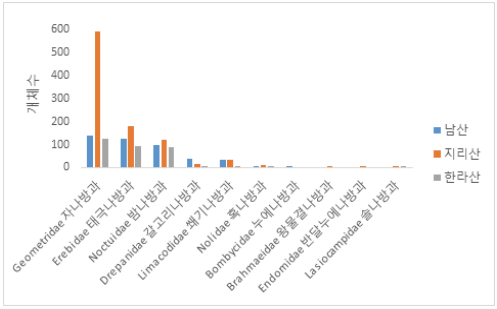


<그림Ⅲ-34> 나방 과별 다양성 양상(2018년)

조사지역에서 확인된 나방의 과별 다양성을 종 수 측면에서 조사한 결과 지리산에서는 자나방과가 가장 많았으며 다음으로 밤나방과, 태극나방과 순이었다. 남산에서는 자나방과가 가장 많았으며 다음으로는 태극나방과, 밤나방과 순이었으며 한라산 또한 자나방과가 가장 많았으며 다음으로는 태극나방과, 밤나방 순으로 나타났다(그림Ⅲ-35). 세 지역 모두 우점하는 과별 개체수 분포양상은 종 수와 동일하게 나타났다(그림Ⅲ-36).



<그림Ⅲ-35> 남산, 한라산, 지리산에서 채집된 과별 종수 분포



<그림Ⅲ-36> 한라산, 지리산, 남산에서 채집된 과별 개체수 분포

(3) 우점종

2018년 남산, 지리산, 한라산에서 가장 많은 개체수를 가진 우점종을 확인한 결과 남산에서는 쌍점흰가지나방, 무늬짤름나방, 흰점쐐기나방, 한국밤나방, 줄구름무늬가지나방, 털뿔가지나방 순으로 나타났으며 지리산은 연노랑물결애기자나방, 털뿔가지나방, 숲가지나방, 다색띠큰가지나방, 넓은띠담흑수염나방 순이었다. 한라산에서는 넓은띠담흑수염나방, 털뿔가지나방, 남방회색애기자나방, 흑점박이흰가지나방, 연노랑물결애기자나방, 각시검띠물결자나방, 담색쌍검은밤나방 순으로 나타났다. 전체 세지역의 공통 우점종은 털뿔가지나방, 넓은띠담흑수염나방 두 종으로 나타났다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-22> 지역별 우점종 (2018년)

남산		지리산		한라산		전체	
쌍점흰가지나방	43	연노랑물결애기자나방	82	넓은띠담흑수염나방	17	털뿔가지나방	107
무늬짤름나방	40	털뿔가지나방	77	털뿔가지나방	13	연노랑물결애기자나방	90
흰점쐐기나방	24	숲가지나방	72	남방회색애기자나방	12	넓은띠담흑수염나방	78
한국밤나방	23	다색띠큰가지나방	61	흑점박이흰가지나방	9	숲가지나방	74
줄구름무늬가지나방	17	넓은띠담흑수염나방	54	연노랑물결애기자나방	8	다색띠큰가지나방	61
털뿔가지나방	17			각시검띠물결자나방	8	쌍점흰가지나방	44
				담색쌍검은밤나방	8	무늬짤름나방	40

소나무림 우점종은 남산에서는 애기담홍뾰족날개나방, 쌍점흰가지나방, 매미나방, 흰점쐐기나방, 흰점국화밤나방, 무늬짤름나방 순으로 나타났으며, 지리산은 털뿔가지나방, 쌍무늬꼬마밤나방, 점분홍꼬마짤름나방, 일본두줄밤나방, 밑무늬물결자나방 순이었다. 한라산에서는 털뿔가지나방, 넓은띠담흑수염나방, 남방회색애기자나방, 아리랑꼬마밤나방, 흰그물무늬창나방 순으로 나타났다(표Ⅲ-23).

<표Ⅲ-23> 남산, 지리산, 한라산 소나무림 지역 우점종(2018년)

남산		지리산		한라산		전체	
애기담홍뾰족날개나방	8	털뿔가지나방	63	털뿔가지나방	12	털뿔가지나방	77
쌍점흰가지나방	5	쌍무늬꼬마밤나방	17	넓은띠담흑수염나방	12	쌍무늬꼬마밤나방	17
매미나방	5	점분홍꼬마짤름나방	12	남방회색애기자나방	12	넓은띠담흑수염나방	14
흰점쐐기나방	5	일본두줄밤나방	10	아리랑꼬마밤나방	6	아리랑꼬마밤나방	13
흰점국화밤나방	4	밑무늬물결자나방	9	흰그물무늬창나방	6	점분홍꼬마짤름나방	12
무늬짤름나방	4					남방회색애기자나방	12

신갈나무림 우점종은 남산에서는 한국밤나방, 무늬짤름나방, 흰점쐐기나방, 쌍점흰가지나방, 창나방, 참나무갈고리나방 순으로 나타났으며, 지리산은 연노랑물결애기자나방, 넓은띠담흑수염나방, 점줄재주나방, 다색띠큰가지나방, 털뿔가지나방 순이었다. 한라산에서는 넓은띠담흑수염나방, 연노랑물결애기자나방, 한국밤나방, 점줄재주나방, 무늬짤름나방 순으로 나타났다(표Ⅲ-24).

<표Ⅲ-24> 남산, 지리산, 한라산 신갈나무림 지역 우점종(2018년)

남산		지리산		한라산		전체	
한국밤나방	18	연노랑물결애기자나방	29	흰점뒷노랑밤나방	6	넓은띠담흑수염나방	32
무늬짤름나방	15	넓은띠담흑수염나방	26	흑점박이밤나방	4	연노랑물결애기자나방	29
흰점쐐기나방	13	점줄재주나방	17	쌍무늬꼬마밤나방	3	한국밤나방	18
쌍점흰가지나방	11	다색띠큰가지나방	11	점보라밤나방	3	점줄재주나방	17
창나방	8	털뿔가지나방	6	노랑테불나방	3	무늬짤름나방	15
참나무갈고리나방	7						15

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

구상나무림 우점종은 지리산에서는 숲가지나방, 연노랑물결애기자나방, 다색띠큰가지나방, 넓은띠담흑수염나방, 끝갈색흰가지나방 순이었다. 한라산에서는 연노랑물결애기자나방, 각시검띠물결자나방, 흑점박이흰가지나방, 물결쌍검은밤나방, 앞선두리불나방 순으로 나타났다. 두 지역 공통 우점종은 연노랑물결자나방, 넓은띠담흑수염나방으로 확인되었다(표Ⅲ-25).

<표Ⅲ-25> 지리산, 한라산 구상나무림 지역 우점종(2018년)

지리산		한라산		총합계	
숲가지나방	67	연노랑물결애기자나방	8	숲가지나방	68
연노랑물결애기자나방	51	각시검띠물결자나방	8	연노랑물결애기자나방	59
다색띠큰가지나방	50	흑점박이흰가지나방	8	다색띠큰가지나방	50
넓은띠담흑수염나방	27	물결쌍검은밤나방	7	넓은띠담흑수염나방	31
끝갈색흰가지나방	22	앞선두리불나방	5	끝갈색흰가지나방	24

(4) 2017년과 2018년 지역별 나방 다양성 비교

2017년과 2018년을 비교한 결과 지역별 출현 양상에 차이를 나타냈다. 지리산에서는 모든 산림에서 종과 개체수가 늘어난 반면 한라산 구상나무림에서는 증가하였지만, 신갈나무림과 소나무림에서는 감소하였다. 남산은 아카시나무림에서 크게 늘어난 양상을 보였다(표Ⅲ-26). 지난 5년간 지리산과 한라산에서 이루어진 조사결과 종 수가 줄어드는 양상을 띠고 있었지만 단기간 조사한 결과에서는 이러한 양상을 찾아보기 힘들다. 이러한 결과를 바탕으로 조사지역의 나방 군집에 대한 장기적인 모니터링을 통하여 기후변화로 인한 직접적인 영향 또는 간접적인 영향에 따라 곤충 군집 변화가 어떻게 이루어지는지를 감시할 필요가 있다.

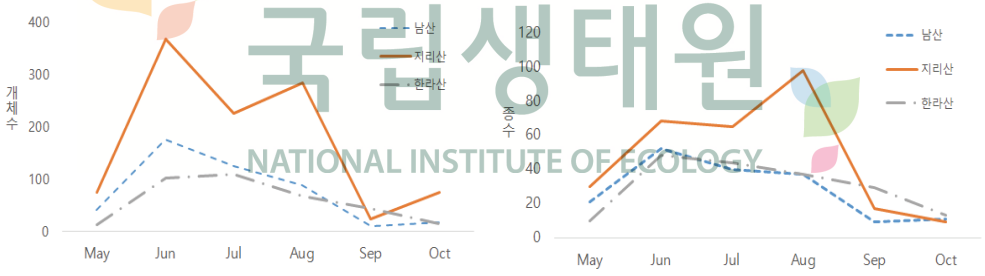
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-26> 2017년과 2018년 나방 다양성 비교

		소나무림		신갈나무림		아카시나무림		구상나무림		전체	
		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
남산	개체수	60	65	174	173	75	217	-		309	455
	종수	32	35	65	66	29	76			81	120
지리산	개체수	426	292	301	208	-		373	548	662	1048
	종수	147	104	72	73			98	111	186	204
한라산	개체수	247	194	68	54			66	102	387	350
	종수	106	91	31	37			18	42	138	148

(5) 계절별 출현 양상

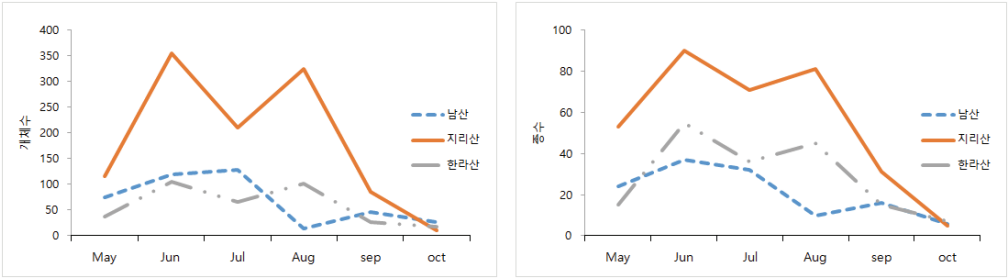
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-37> 월별 나방 종 다양성 출현 양상(2018년)

각 조사지역에서 채집된 나방 군집의 계절적 양상은 종 수와 개체수에서 지역별 차이를 나타냈다. 종 수는 지리산에서는 6월과 8월에 높은 값을 나타내는 M-자형인 반면 남산과 한라산과 각각 6월과 7월 최고 양상을 한번 나타내었다. 개체수는 지리산에서는 8월, 남산과 한라산에서는 6월에 최고 값을 나타냈다(그림Ⅲ-37). 2017년 월별 출현 추이는 지리산과 한라산에서 종 수의 경우 M-자형(쌍봉형)을 나타내 6월과 8월에 증가하는 양상을 나타내고 있다. 남산에서는 종과 개체수 모두 단봉형을 나타내고 있으며 종수는 6월, 개체수는 7월에 가장 많이 나타났다. 2017년(그림Ⅲ-38)과 2018년

월별 비교를 통하여 한라산의 출현 양상이 M자형에서 단봉형으로, 남산에서 개체수가 최고값을 나타내는 시기가 7월에서 6월로 당겨진 것을 알 수 있었다.



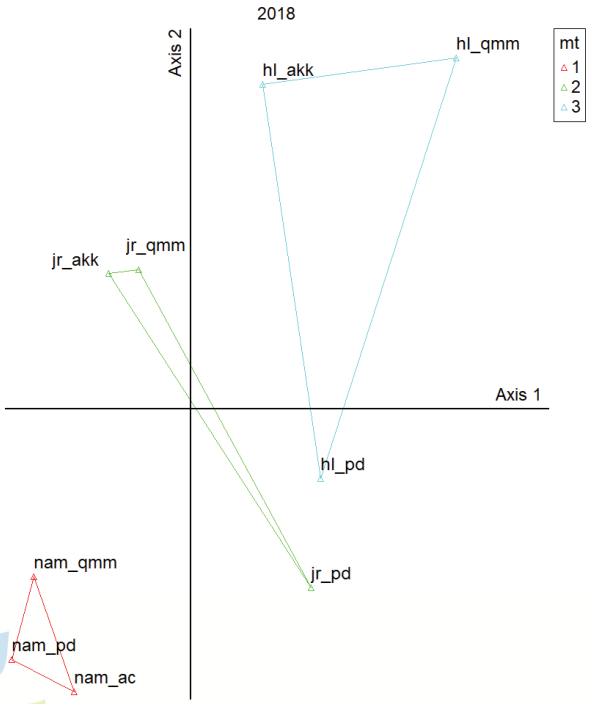
<그림Ⅲ-38> 월별 나방 종 다양성 출현 양상(2017년)

그러나 이러한 계절적 양상은 지난 6년 결과와 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다. 그러나 기후변화에 따른 기상변화 특히 6월부터 7월까지 있는 장마의 영향이나 12월부터 2월까지 추운 겨울 기온 상승 등은 5월과 8월에 출현하는 종에 장기적으로 영향을 미칠 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 꾸준한 모니터링이 필요하다고 생각한다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(6) 군집유형

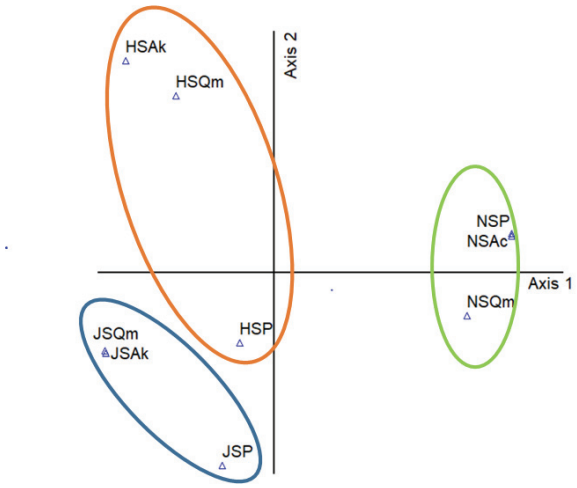
한라산, 지리산, 남산에 출현하는 나방 군집 구조를 알아보기 위하여 NMS(Non-metric Multidimensional Scaling) 분석을 실시하였다. 2018년 한라산, 지리산, 남산의 3 유형의 산림에 출현하는 모든 종은 378종으로 2017년인 357종보다 31종이 증가하였다. 숲에 출현하는 나방 종 378종과 9개 지점(세개 산 * 세 개숲 유형)을 대상으로 군집분석을 실시한 결과 동일한 숲 유형과 지리산, 한라산 등 고산과 남산 도시 숲에 따라 나방 군집에 차이를 나타내는 것으로 나타났다(그림Ⅲ-39).



<그림Ⅲ-39> 한라산(hl), 지리산(jr), 남산(nam)의 세가지 숲 유형(구상나무림 akk, 신갈나무림 qmm, 소나무림 pd, 아카시나무림 ac)에서 378종의 나방 출현을 이용하여 군집분석 결과(2018년)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

이러한 결과는 산림 유형이 가장 큰 요인으로 밝혀졌으며 숲의 유형은 지리산과 한라산과 같은 고산과 남산과는 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 2017년 남산과 지리산, 한라산에서 조사한 결과와는 큰 차이를 나타내지 않았다(그림Ⅲ-40).



<그림Ⅲ-40> 한라산(HS), 지리산(JS), 남산(NS)의 세가지 숲 유형(구상나무림 Ak, 신갈나무림 Qm, 소나무림 P, 아카시나무림 Ac)에서 61종의 나방 출현을 이용하여 군집분석한 결과(2017년)

숲에 서식하고 있는 나방 종 구성에는 산림 면적과 숲의 연령 그리고 인간의 간섭과 같은 요인이 영향을 미친다고 알려져 있는데, 이들 요인 중에서도 숲의 연령과 숲을 구성하고 있는 식물 종이 가장 중요하다고 여겨지고 있다(Brown & Hutchings, 1997; Summerville & Crist, 2002, 2003). 2017년과 2018년 한라산, 지리산, 남산 나방 조사에서도 식생유형이 주요한 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다.

추후 남산, 지리산, 한라산에서의 지속적인 모니터링을 통하여 환경변화가 초식곤충인 나방 군집 구성에 어떠한 영향을 미치는가를 알 수 있는 기초적인 자료를 쌓는 것이 중요하다. 남산은 우리나라 최대도시인 서울의 한가운데에 위치하고 있어 인간에 의한 오염 및 서식지 간섭이 많이 일어나고 있어 이에 대한 변화양상을 살펴볼 필요가 있으며 지리산과 한라산도 기후변화 및 인간 간섭에 의한 교란이 자주 일어나기 때문에 이 지역들에서의 서식지 이용에 따른 나방 종 구성 변화에 관심을 기울일 필요가 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다. 물질순환

(1) 현존량(Standing biomass)

(가) 남산

1) 신갈나무군락

신갈나무군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 현존량은 <표Ⅲ-27>과 같다. 신갈나무군락의 현존량은 2009년부터 2018년까지 각각 94.68, 85.32, 93.13, 97.41, 102.51, 99.68, 101.97, 107.60, 137.67 그리고 136.70ton/ha 이었으며, 2009년부터 2018년까지 현존량은 평균 106.67ton/ha이었다.

<표Ⅲ-27> Annual standing biomass (ton/ha) of *Q. mongolica* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	6.03	4.07	0.96	3.25	4.01	1.15	0.61	4.56	5.87	4.71
	Stem	63.31	65.56	66.80	67.83	70.86	71.40	73.56	74.07	94.31	94.91
	Branch	6.41	6.63	6.75	6.85	7.14	7.19	7.40	7.45	9.53	9.59
	Root	18.94	19.06	18.63	19.48	20.50	19.94	20.39	21.52	27.43	27.30
Shrub layer				-	-	-	-	-	-	0.42	0.10
Herb layer				-	-	-	-	-	-	0.11	0.09
Total		94.68	95.32	93.13	97.41	102.51	99.68	101.97	107.60	137.67	136.70

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 소나무군락

신갈나무군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 현존량은 <표Ⅲ-28>과 같다. 소나무군락의 현존량은 2009년부터 2018년까지 각각 109.70, 120.33, 120.05, 125.47, 128.53, 118.49, 130.68, 135.11, 123.78 그리고 142.68ton/ha 이었으며, 2009년부터 2018년까지 현존량은 평균 125.48ton/ha이었다.

<표Ⅲ-28> Annual standing biomass (ton/ha) of *P. densiflora* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	5.24	3.82	1.55	4.55	5.06	1.71	1.16	3.23	2.02	5.53
	Stem	71.55	75.60	77.26	78.34	79.91	80.76	84.48	85.67	78.83	88.53
	Branch	10.97	16.85	17.23	17.48	17.84	12.33	18.91	19.19	17.75	19.92
	Root	21.94	24.07	24.01	25.09	25.71	23.70	26.14	27.02	24.65	28.50
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.08
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.12
Total		109.70	120.33	120.05	125.47	128.53	118.49	130.68	135.11	123.78	142.68

3) 아까시나무군락

아까시군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 현존량을 <표Ⅲ-29>와과 같다.

소나무군락의 현존량은 2008년에 105.26ton/ha, 2009년에 105.44ton/ha, 2010년에 87.81ton/ha, 2016년에 41.89ton/ha, 2017년에 34.69ton/ha, 2018년에는 34.93ton/ha 이었다. 현존량은 평균 125.48ton/ha이었다. 아까시나무군락의 경우 기존에 설치한 방형구의 경계 및 일부가 훼손되어 2016년 9월에 방형구를 재설치를 하였으며, 이전 방형구와 비교하여 현재 방형구에 있는 수목의 밀도가 낮고 크기 또한 작아서 현존량의 차이가 컸다.

<표Ⅲ-29> Annual standing biomass (ton/ha) of *R. pseudoacacia* community in the study area

Component \ Year		2008	2009	2010	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	3.36	4.26	3.81	-	1.69	4.07
	Stem	22.04	21.21	18.01	7.16	7.57	16.68
	Branch	57.69	56.48	47.65	17.08	18.26	6.93
	Root	20.77	20.49	17.37	-	6.88	6.92
Shrub layer		1.20	2.30	0.48	17.53	0.25	0.24
Herb layer		0.20	0.70	0.49	0.12	0.05	0.09
Total		105.26	105.44	87.81	41.89	34.69	34.93

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 지리산

2018년 소나무군락의 현존량은 171.71ton/ha이었다(표Ⅲ-30). 잎+생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 0.58, 12.56, 124.18, 34.33ton/ha이었고, 기관별 현존량은 줄기가 제일 많았고, 뿌리>가지>잎+생식기관 순으로 낮아졌다. 2016년부터 2018년까지 구상나무군락의 현존량은 각각 157.49, 169.81, 163.03ton/ha이었으며, 연구기간 평균은 163.44ton/ha 이었다. 신갈나무의 경우 2016년의 잎+생식기관에 대한 현존량 자료가 없어 2007년부터 2013년과 2017년과 2018년까지의 자료를 이용하였다. 2007년부터 2013년과 2017년부터 2018년까지 각각의 현존량은 94.11, 97.33, 102.12, 104.64, 106.8, 108.95, 110.55, 128.91 그리고 147.83ton/ha이었다.

<표Ⅲ-30> Annual standing biomass (ton/ha) of each community in the study area

Component \ Year		*Pinus densi flora*	*Abies koreana*			*Quercus mongolica*								
		2018	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. organ	0.58	6.55	2.94	1.04	2.57	2.72	3.64	2.91	3.11	3.34	2.92	2.83	1.74
	Branch	12.56	25.58	27.10	28.86	20.75	21.49	22.38	23.06	23.50	23.92	21.41	10.97	17.69
	Stem	124.18	93.86	98.3	100.52	51.97	53.65	55.75	57.74	58.83	59.90	61.11	84.72	96.53
	Root	34.33	31.5	32.09	32.61	18.82	19.47	20.44	20.93	21.36	21.79	22.11	24.63	28.99
Shrub layer		0.01	-	8.21	4.11	-	-	-	-	-	-	-	5.34	2.67
Herb layer		0.05	-	1.17	0.59	-	-	-	-	-	-	-	0.42	0.21
Total		171.71	157.49	169.81	163.03	94.11	97.33	102.12	104.64	106.80	108.95	110.55	128.91	147.83

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(다) 한라산

2009년부터 2018년까지 구상나무군락의 현존량은 각각 99.69, 107.28, 108.16, 109.38, 92.01, 112.18, 112.6, 117.5, 108.53 그리고 122.82ton/ha 으로 연구기간 평균 109.02ton/ha 이었다(표Ⅲ-31). 구상나무군락의 현존량은 2012년까지 꾸준히 증가하다 2013년에 급격히 감소하였다. 이는 2012년 태풍 볼라벤의 영향으로 영구 방형구내 DBH가 큰 구상나무 3그루가 넘어져 고사하였기 때문이다. 이후 2013년에 추가로 4그루의 DBH가 작은 구상나무가 고

사하였다. 2014년 매목조사를 통해 2그루의 구상나무가 교목으로 포함되었으며, 2015년에 추가로 4그루의 구상나무가 고사하였다. 2014년 이후 2016년까지의 현존량은 꾸준히 증가하다가 2017년의 현존량이 감소하였지만, 2018년에 다시 증가하였다.

<표Ⅲ-31> Annual standing biomass (ton/ha) of *A. koreana* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	5.24	3.82	1.55	4.55	5.06	1.71	1.16	3.23	2.02	5.53
	Stem	71.55	75.60	77.26	78.34	79.91	80.76	84.48	85.67	78.83	88.53
	Branch	10.97	16.85	17.23	17.48	17.84	12.33	18.91	19.19	17.75	19.92
	Root	21.94	24.07	24.01	25.09	25.71	23.70	26.14	27.02	24.65	28.50
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.08
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.12
Total		109.70	120.33	120.05	125.47	128.53	118.49	130.68	135.11	123.78	142.68

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 연간 순생산량(NPP; Net Primary Production)

(가) 남산

1) 신갈나무군락

신갈나무군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 순생산량은 <표Ⅲ-32>와 같다. 연도별 순생산량은 2009년에 0.64ton ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 -2.19ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2011년에 4.28ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2012년에 5.10ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2013년에 -2.82ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2014년에 2.29ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2015년에 5.63ton $ha^{-1}yr^{-1}$, 2017년에 -0.10ton $ha^{-1}yr^{-1}$ 이었다. 2016년의 순생산량은 군락의 변경으로 산출하지 못하였다.

<표Ⅲ-32> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *Q. mongolica* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	-1.96	-3.11	2.29	0.76	-2.86	-0.54	3.94	군락 변경	-1.16
	Stem	2.26	1.24	1.03	3.03	0.54	2.16	0.51		0.59
	Branch	0.22	0.12	0.10	0.29	0.05	0.21	0.05		0.06
	Root	0.13	-0.44	0.86	1.02	-0.56	0.46	1.13		-0.13
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-		0.42
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-		0.11
Total		0.64	-2.19	4.28	5.10	-2.82	2.29	5.63		-0.10

2) 소나무군락

조사지역의 소나무군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 순생산량을 <표Ⅲ-33>에 나타내었다. 연간 순생산량은 2009년에 10.64ton ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 -0.29ton ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 5.42ton ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 3.06ton ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에 -10.04ton ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에는 12.19ton ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에는 4.43ton ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에는 -11.86ton ha^{-1} yr^{-1}, 그리고 2017년에는 19.77ton ha^{-1} yr^{-1}이었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-33> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *P. densiflora* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	-1.42	-2.27	3.00	0.51	-3.36	-0.55	2.08	-1.22	3.52
	Stem	4.05	1.66	1.08	1.57	0.85	3.71	1.19	-6.83	9.70
	Branch	5.88	0.38	0.25	0.36	-5.52	6.59	0.28	-1.44	2.17
	Root	2.13	-0.06	1.08	0.61	-2.01	2.44	0.89	-2.37	3.85
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.48
Total		10.64	-0.29	5.42	3.06	-10.04	12.19	4.43	-11.86	19.77

3) 아까시나무군락

조사지역의 아까시나무군락에서 추정한 교목층, 관목층 및 초본층의 순생산량을 <표Ⅲ-34>에 나타내었다. 연간 순생산량은 2008년에 2.44ton ha^{-1} yr^{-1}, 2009년에 -7.89ton ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 0.50ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

<표Ⅲ-34> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *R. pseudoacacia* community in the study area

Component \ Year		2008	2009	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	3.36	4.26	2.38
	Stem	-0.83	-3.20	-1.58
	Branch	-1.21	-8.83	-0.64
	Root	-0.29	-3.12	0.04
Shrub layer		1.20	2.30	0.25
Herb layer		0.20	0.70	0.05
Total		2.44	-7.89	0.50

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 지리산

구상나무군락의 2016년과 2017년의 순생산량은 각각 2.94, 11.98ton ha^{-1} yr^{-1}으로 평균 연간 순 생산량은 7.48ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-35). 교목층의 순생산량은 2016년과 2017년 모두 줄기에서 가장 높았다. 관목의 순생산량은 8.21ton ha^{-1} yr^{-1}, 초본은 1.17ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

신갈나무군락의 2007년부터 2012년까지와 2017년에 추정한 연간 순생산량은 각각 5.64, 6.68, 6.8, 4.87, 5.03, 5.36 그리고 27.56ton ha^{-1} yr^{-1}로 평균 연간 순생산량은 8.85ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-35). 2007년부터 2012년까지 교목층의 순생산량은 잎 + 생식기관이 가장 높았으나 2017년에는 줄기가 가장 높았다. 관목의 순생산량은 5.34ton ha^{-1} yr^{-1}, 초본은 0.42ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

<표Ⅲ-35> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* Community and *Q. mongolica* community in the study area

Component \ year		*Abies koreana*		*Quercus mongolica*						
		2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2017
Tree layer	Leaf+Rep. organ	-3.61	-1.9	2.57	2.72	3.64	2.91	3.11	3.34	-1.09
	Branch	1.52	1.76	0.74	0.89	0.68	0.44	0.42	0.49	6.72
	Stem	4.44	2.22	1.68	2.1	1.99	1.09	1.07	1.21	11.81
	Root	0.59	0.52	0.65	0.97	0.49	0.43	0.43	0.32	4.36
Shrub layer		-	8.21	-	-	-	-	-	-	5.34
Herb layer		-	1.17	-	-	-	-	-	-	0.42
Total		2.94	11.98	5.64	6.68	6.8	4.87	5.03	5.36	27.56

(다) 한라산

2009년부터 2017년까지 구상나무군락의 순생산량은 각각 11.45, 7.03, 0.65, -10.01, 23.54, 0.65, 7.45, 2.46 그리고 13.71ton ha^{-1} yr^{-1} 으로 연구기간 평균 6.33ton ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-36). 연구기간 평균 교목층의 순생산량을 잎+생식기관, 가지, 줄기, 뿌리 순으로 살펴보면 3.01, -0.17, 2.19, 0.50ton ha^{-1} yr^{-1} 였고, 관목층은 0.54ton ha^{-1} yr^{-1}, 초본층은 0.26ton ha^{-1} yr^{-1} 였다. 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016년 그리고 2018년에는 순생산량이 증가하였지만 2012년에는 감소하였다. 이는 최근 기상이변, 기후변화 등으로 인한 아고산대 구상나무의 고사의 원인 때문에 2012년의 순생산량이 감소하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-36> Net primary production (ton ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	3.23	3.41	1.93	4.26	2.07	2.1	4.06	5.1	0.96
	Stem	1.74	0.71	-0.54	-3.26	0.21	-0.76	0.53	-1.73	1.56
	Branch	4.16	1.83	-1.24	-8.43	16.27	-1.12	2.19	-2.17	8.18
	Root	1.51	0.27	0.14	-3.47	4.12	0.02	-0.06	-0.67	2.68
Shrub layer		0.61	0.61	0.29	0.66	0.62	0.31	0.51	1.07	0.15
Herb layer		0.20	0.20	0.07	0.23	0.25	0.1	0.22	0.86	0.18
Total		11.45	7.03	0.65	-10.01	23.54	0.65	7.45	2.46	13.71

(3) 식물체 유기탄소분포량

(가) 남산

1) 신갈나무군락

신갈나무군락의 2009년부터 2018년까지 추정한 교목층, 관목층 그리고 초본층 유기탄소량은 <표Ⅲ-37>와 같다. 신갈나무군락의 연도별 유기탄소량은 2009년에 42.61ton C/ha, 2010년에 42.90ton C/ha, 2011년에 41.91ton C/ha, 2012년에 43.83ton C/ha, 2013년에 46.13ton C/ha, 2014년에 44.86ton C/ha, 2015년에 45.89ton C/ha, 2016년에 48.42ton C/ha, 2017년에 61.95ton C/ha 그리고 2018년에 61.51ton C/ha 이었다.

<표Ⅲ-37> Organic carbon (ton C/ha) of *Q. mongolica* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	2.71	1.83	0.43	1.46	1.80	0.52	0.28	2.05	2.64	2.12
	Stem	28.49	29.50	30.06	30.52	31.89	32.13	33.10	33.33	42.44	42.71
	Branch	2.88	2.98	3.04	3.08	3.21	3.24	3.33	3.35	4.29	4.32
	Root	8.52	8.58	8.38	8.77	9.23	8.97	9.18	9.68	12.34	12.29
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.05
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.04
Total		42.61	42.90	41.91	43.83	46.13	44.86	45.89	48.42	61.95	61.51

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 소나무군락

소나무군락의 2009년부터 2017년까지 추정한 교목층, 관목층 그리고 초본층 유기탄소량은 <표Ⅲ-38>와 같다. 소나무군락의 교목층의 유기탄소량은 2009년에 49.36ton C/ha, 2010년에 54.15ton C/ha, 2011년에 54.02ton C/ha, 2012년에 56.46ton C/ha, 2013년에 57.84ton C/ha, 2014년에 53.32ton C/ha, 2015년에 58.81ton C/ha, 2016년에 60.80ton C/ha, 2017년에 55.70ton C/ha 그리고 2018년에 64.21ton C/ha 이었다.

<표Ⅲ-38> Organic carbon (ton C/ha) of *P. densiflora* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	2.36	1.72	0.70	2.05	2.28	0.77	0.52	1.46	0.91	2.49
	Stem	32.20	34.02	34.77	35.26	35.96	36.34	38.01	38.55	35.47	39.84
	Branch	4.94	7.58	7.75	7.87	8.03	5.55	8.51	8.64	7.99	8.96
	Root	9.87	10.83	10.80	11.29	11.57	10.66	11.76	12.16	11.09	12.82
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.03
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.22	0.05
Total		49.36	54.15	54.02	56.46	57.84	53.32	58.81	60.80	55.70	64.21

3) 아까시나무군락

아까시나무군락의 2008년부터 2017년까지 추정한 교목층, 관목층 그리고 초본층 유기탄소량은 <표Ⅲ-39>와 같다. 아까시나무군락의 교목층의 유기탄소량은 2008년에 46.37ton C/ha, 2009년에 47.45ton C/ha, 2010년에 39.51ton C/ha, 2016년에 21.42ton C/ha 그리고 2017년에 18.31ton C/ha 이었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-39> Organic carbon (ton C/ha) of *R. pseudoacacia* community in the study area

Component \ Year		2008	2009	2010	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	1.51	1.92	1.71	-	0.76	1.83
	Stem	9.92	9.54	8.10	3.22	8.22	7.51
	Branch	25.96	25.42	21.44	7.69	3.41	3.12
	Root	9.35	9.22	7.82	-	3.10	3.11
Shrub layer		0.54	1.04	0.22	7.89	0.11	0.11
Herb layer		0.09	0.32	0.22	0.05	0.02	0.04
Total		47.37	47.45	39.51	18.85	15.61	15.72

(나) 지리산

2018년 소나무군락의 유기탄소 분포량은 77.27ton C/ha이었다(표Ⅲ-40). 교목층의 기관별 유기탄소 분포량은 줄기가 55.88ton C/ha 으로 가장 높았으며 뿌리(15.45ton C/ha) > 가지(5.65ton C/ha) > 잎 + 생식기관(0.26ton C/ha) 순이었다. 관목과 초본의 유기탄소 분포량은 각각 0.01ton C/ha, 0.05ton C/ha이었다.

2016년부터 2018년까지 구상나무군락의 유기탄소 분포량은 각각 70.87, 76.41, 75.47ton C/ha이었으며, 평균 유기탄소 분포량은 74.25ton C/ha이었다(표Ⅲ-40). 교목층의 기관별 평균 유기탄소 분포량은 줄기가 74.25ton C/ha 으로 가장 높았으며, 뿌리(14.43ton C/ha) > 가지(12.23ton C/ha) > 잎 + 생식기관(1.58ton C/ha) 순이었다. 2018년 관목과 초본의 유기탄소 분포량은 각각 1.85ton C/ha, 0.26ton C/ha이었다.

2007년부터 2013년까지와 2017년부터 2018년까지 신갈나무군락의 유기탄소분포량은 42.35, 43.80, 45.99, 47.09, 48.06, 49.03, 49.75, 58.01 그리고 66.52ton C/ha으로 조사기간 평균 유기탄소 분포량은 50.07ton C/ha이었다(표Ⅲ-40). 교목층의 기관별 평균 유기탄소 분포량은 줄기가 29.01ton C/ha으로 가장 높았으며 뿌리(9.93ton C/ha) > 가지(9.41ton C/ha) > 잎 + 생식기관(1.29ton C/ha) 순이었다. 2018년 관목과 초본의 유기탄소 분포량은 각각 1.20ton C/ha, 0.09ton C/ha이었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-40> Organic carbon (ton C/ha) of each community in the study area

Component \ Year		*Pinus densi flora*	*Abies koreana*			*Quercus mongolica*								
		2018	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
Tree layer	Leaf+ Rep. organ	0.26	2.95	1.32	0.47	1.16	1.22	1.64	1.31	1.40	1.50	1.31	1.27	0.78
	Branch	5.65	11.51	12.2	12.99	9.34	9.67	10.07	10.38	10.58	10.76	10.98	4.94	7.96
	Stem	55.88	42.24	44.24	45.23	23.39	24.14	25.09	25.98	26.47	26.96	27.50	38.12	43.44
	Root	15.45	14.18	14.44	14.67	8.47	8.76	9.20	9.42	9.61	9.81	9.95	11.08	13.05
Shrub layer		0.01	-	3.69	1.85	-	-	-	-	-	-	-	2.4	1.20
Herb layer		0.05	-	0.53	0.26	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.09
Total		77.27	70.87	76.41	75.47	42.35	43.80	45.99	47.09	48.06	49.03	49.75	58.01	66.52

(다) 한라산

2009년부터 2018년까지의 구상나무군락의 식물체 유기탄소분포량은 각각 44.85, 48.27, 48.67, 49.23, 41.4, 50.48, 50.68, 52.89, 48.85 그리고 55.27ton C ha^{-1} 이었고, 연구기간 평균 49.06ton C ha^{-1} 이었다(표Ⅲ-41). 구상나무군락의 교목층의 유기탄소 분포량을 잎+생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 순으로 살펴보면 연구기간 평균 1.43, 9.32, 28.23, 9.7ton C ha^{-1} 이었으며, 관목층에 0.24ton C ha^{-1}, 초본층에 0.14ton C ha^{-1} 이었다. 식물체에 분포하고 있는 유기탄소량은 2013년을 제외하고 2009년부터 매년 증가하는 경향을 보였으나 2017년에는 감소하였다. 하지만, 2018년에 식물체에 분포하고 있는 유기탄소량은 다시 증가하였다.

<표Ⅲ-41> Organic carbon (ton C/ha) of *A. koreana* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	1.45	1.53	0.87	1.92	0.93	0.95	1.83	2.30	1.04	1.47
	Stem	9.51	10.30	10.62	10.37	8.91	9.00	8.66	8.90	8.12	8.82
	Branch	24.63	26.5	27.33	26.77	22.97	30.29	29.79	30.78	29.8	33.48
	Root	8.9	9.58	9.7	9.76	8.2	10.06	10.07	10.04	9.74	10.94
Shrub layer		0.27	0.27	0.13	0.30	0.28	0.14	0.23	0.48	0.07	0.2
Herb layer		0.09	0.09	0.03	0.10	0.11	0.04	0.1	0.39	0.08	0.36
Total		44.85	48.27	48.67	49.23	41.40	50.48	50.68	52.89	48.85	55.27

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(4) 식물체 유기탄소 순생산량

(가) 남산

1) 신갈나무군락

신갈나무군락의 2009년부터 2018년까지 추정한 유기탄소 순생산량은 <표Ⅲ-42>와 같다. 연도별 유기탄소 순생산량은 2009년에 0.29ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 -0.99ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 1.93ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 2.29ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에 -1.27ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에 1.03ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에 2.53ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 -0.05ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

<표Ⅲ-42> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *Q. mongolica* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	-0.88	-1.40	1.03	0.34	-1.29	-0.24	1.77	군락 변경	-0.52
	Stem	1.02	0.56	0.46	1.36	0.24	0.97	0.23		0.27
	Branch	0.10	0.06	0.04	0.13	0.02	0.09	0.02		0.03
	Root	0.06	-0.20	0.39	0.46	-0.25	0.21	0.51		-0.06
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-		0.19
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-		0.05
Total		0.29	-0.99	1.93	2.29	-1.27	1.03	2.53		-0.05

2) 소나무군락

소나무군락의 2009년부터 2016년까지 추정한 교목층, 관목층 그리고 초본층 유기탄소 순생산량은 <표Ⅲ-43>과 같다. 소나무군락의 교목층의 유기탄소 순생산량은 2009년에 4.79ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 -0.13ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 2.44ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 1.38ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에 -4.52ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에 5.49ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에 1.99ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에 -5.34ton C ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2017년에 8.89ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-43> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *P. densiflora* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	-0.64	-1.02	1.35	0.23	-1.51	-0.25	0.93	-0.55	1.58
	Stem	1.82	0.75	0.49	0.71	0.38	1.67	0.54	-3.08	4.37
	Branch	2.65	0.17	0.11	0.16	-2.48	2.96	0.12	-0.65	0.98
	Root	0.96	-0.03	0.49	0.28	-0.90	1.10	0.40	-1.07	1.73
Shrub layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
Herb layer		-	-	-	-	-	-	-	-	0.22
Total		4.79	-0.13	2.44	1.38	-4.52	5.49	1.99	-5.34	8.89

3) 아까시나무군락

아까시나무군락의 2008년부터 2017년까지 추정한 교목층, 관목층 그리고 초본층 유기탄소 순생산량은 <표Ⅲ-44>와 같다. 아까시나무군락의 교목층의 유기탄소 순생산량은 2008년에 2.44ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2009년에 -7.89ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 0.50ton C ha^{-1} yr^{-1}이었다.

<표Ⅲ-44> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *R. pseudoacacia* community in the study area

Component \ Year		2008	2009	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	1.51	1.92	1.07
	Stem	-0.37	-1.44	-0.71
	Branch	-0.54	-3.97	-0.29
	Root	-0.13	-1.40	0.02
Shrub layer		0.54	1.04	0.11
Herb layer		0.09	0.32	0.02
Total		2.44	-7.89	0.50

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 지리산

구상나무군락의 2016년과 2017년에 추정한 유기탄소 순생산량은 각각 1.32ton C ha^{-1} yr^{-1}, 5.38ton C ha^{-1} yr^{-1}이었으며 평균 유기탄소 순생산량은 3.35ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-45). 교목층의 기관별 평균 유기탄소 순생산량은 줄기(1.5ton C ha^{-1} yr^{-1})가 가장 높았으며 가지(0.74ton C ha^{-1} yr^{-1})>뿌리(0.25ton C ha^{-1} yr^{-1})>잎+생식기관(-1.24ton C ha^{-1} yr^{-1}) 순이었다. 관목층과 초본층의 평균 유기탄소 순생산량은 1.85ton C ha^{-1} yr^{-1}, 0.27ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

신갈나무군락의 2007년부터 2012년까지와 2017년에 추정한 유기탄소 순생산량은 2.54, 3.01, 3.06, 2.19, 2.26, 2.41 그리고 12.41ton C ha^{-1} yr^{-1}로 평균 유기탄소 순생산량은 3.98ton C ha^{-1} yr^{-1}이었다(표Ⅲ-45). 교목층의 기관별 평균 유기탄소 순생산량은 줄기(1.35ton C ha^{-1} yr^{-1})>잎+생식기관(1.11ton C ha^{-1} yr^{-1})>가지(0.67ton C ha^{-1} yr^{-1})>뿌리(0.49ton C ha^{-1} yr^{-1})순이었다. 관목층과 초본층의 평균 유기탄소 순생산량은 각각 0.34ton C ha^{-1} yr^{-1}, 0.03ton C ha^{-1} yr^{-1}이었다.

<표Ⅲ-45> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* Community and *Q. mongolica* community in the study area

Component \ year		*Abies koreana*		*Quercus mongolica*						
		2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2017
Tree layer	Leaf+Rep. organ	-1.63	-0.85	1.16	1.22	1.64	1.31	1.40	1.50	-0.49
	Branch	0.69	0.79	0.33	0.40	0.31	0.20	0.19	0.22	3.02
	Stem	2	0.99	0.76	0.95	0.90	0.49	0.48	0.54	5.32
	Root	0.26	0.23	0.29	0.44	0.22	0.19	0.19	0.14	1.97
Shrub layer		-	3.69	-	-	-	-	-	-	2.4
Herb layer		-	0.53	-	-	-	-	-	-	0.19
Total		1.32	5.38	2.54	3.01	3.06	2.19	2.26	2.41	12.41

(다) 한라산

2009년부터 2018년까지 구상나무군락의 유기탄소 순생산량은 각각 5.15, 3.15, 0.28, -4.49, 1.68, -0.17, 3.36, 1.83 그리고 6.17ton ha^{-1} 으로 연구기간 평균 1.88ton ha^{-1} 이었다(표Ⅲ-46). 연구기간 평균 교목층의 유기탄소 순생산량을 잎+생식기관, 가지, 줄기, 뿌리 순으로 살펴보면 1.36, -0.08, 0.98, 0.23ton ha^{-1} 였고, 관목층은 0.53ton ha^{-1}, 초본층은 0.25ton ha^{-1} 였다. 2009, 2010, 2011, 2013, 2015, 2016 그리고 2017년에는 순생산량이 증가하였지만 2012년과 2014년에는 감소하였다. 이는 최근 기상이변, 기후변화 등으로 인한 아고산대 구상나무의 고사가 원인으로 2012년과 2014년의 유기탄소 순생산량이 감소했기 때문이다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-46> Net primary production of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of *A. koreana* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tree layer	Leaf+Rep. Organ	1.45	1.53	0.87	1.92	0.93	0.95	1.83	2.30	0.43
	Stem	0.79	0.32	-0.24	-1.47	0.09	-0.34	0.24	-0.78	0.70
	Branch	1.87	0.82	-0.56	-3.79	7.32	-0.50	0.99	-0.98	3.68
	Root	0.68	0.12	0.06	-1.56	1.85	0.01	-0.03	-0.30	1.20
Shrub layer		0.61	0.61	0.29	0.66	0.62	0.31	0.51	1.07	0.07
Herb layer		0.2	0.2	0.07	0.23	0.25	0.1	0.22	0.86	0.08
Total		5.15	3.15	0.28	-4.49	1.68	-0.17	3.36	1.83	6.17

(5) 낙엽생산량

(가) 연간 낙엽 생산량의 변화

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 2009년부터 2018년까지의 연간 낙엽생산량은 7.48, 5.45, 1.91, 4.01, 4.36, 1.21, 1.29, 4.99, 7.16 그리고 5.38ton/ha이었으며, 평균 낙엽생산량은 4.32ton/ha이었다(표Ⅲ-47).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-47> Annual litter production (ton/ha) of *Q. mongolica* community

Component	*Quercus mongolica*									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
leaf	4.95	3.51	0.83	2.46	3.59	1.11	0.55	3.65	5.25	3.17
wood	1.27	1.26	0.77	0.71	0.34	0.06	0.66	0.42	1.29	0.66
rep. org	1.08	0.56	0.13	0.79	0.42	0.04	0.07	0.91	0.62	1.54
others	0.18	0.13	0.19	0.04	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01
Total	7.48	5.45	1.91	4.01	4.36	1.21	1.29	4.99	7.16	5.38

나) 소나무군락

소나무군락의 2009년부터 2018년까지의 연간 낙엽생산량은 7.23, 5.95, 2.58, 5.84, 6.26, 1.93, 1.43, 5.17, 4.89 그리고 6.48ton/ha이었으며, 평균 낙엽생산량은 4.78ton/ha이었다(표Ⅲ-48).

<표Ⅲ-48> Annual litter production (ton/ha) of *P. densiflora* community

Component	*P. densiflora*									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
leaf	4.60	2.93	1.39	4.12	4.48	1.63	0.82	3.14	3.33	4.53
wood	1.67	1.96	0.69	1.22	1.15	0.22	0.27	0.70	0.52	0.93
rep. org	0.63	0.89	0.15	0.43	0.58	0.08	0.33	1.29	0.73	1.00
others	0.33	0.18	0.34	0.07	0.05	0.01	0.01	0.03	0.31	0.02
Total	7.23	5.95	2.58	5.84	6.26	1.93	1.43	5.17	4.89	6.48

다) 아까시나무군락

아까시나무군락의 2017년과 2018년의 연간 낙엽생산량은 각각 1.80ton/ha, 4.62ton/ha이었으며, 평균 낙엽생산량은 3.21ton/ha이었다(표Ⅲ-49).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-49> Annual litter production (ton/ha) of *R. pseudoacacia* community

Component	*R. pseudoacacia*	
	2017	2018
leaf	1.44	3.71
wood	0.06	0.54
rep. org	0.25	0.36
others	0.05	0.02
Total	1.80	4.62

2) 지리산

연간 낙엽생산량은 신갈나무군락이 소나무군락과 구상나무군락보다 더 많았다.

소나무군락의 2018년의 연간낙엽생산량은 0.64ton/ha 이었다(표Ⅲ-50). 구상나무군락의 2008년부터 2013년까지 그리고 2016년부터 2018년까지의 연간

낙엽생산량은 4.03, 4.71, 3.84, 5.26, 8.11, 4.0, 7.60, 3.24 그리고 1.42ton/ha이었으며, 평균 낙엽생산량은 4.69ton/ha이었다(표Ⅲ-51). 신갈나무군락의 2008년부터 2013년 그리고 2017년부터 2018년까지의 연간 낙엽생산량은 3.35, 4.48, 3.58, 3.83, 4.11, 3.60, 3.07 그리고 2.08ton/ha이었으며, 평균 낙엽생산량은 3.51ton/ha이었다(표Ⅲ-52).

<표Ⅲ-50> Annual litter production (ton/ha) of *Pinus densiflora* community

Component	*Pinus densiflora*
	2018
leaf	0.49
wood	0.06
rep. org	0.09
others	0
Total	0.64

<표Ⅲ-51> Annual litter production (ton/ha) of *Abies koreana* community

Component	*Abies koreana*								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
leaf	3.04	3.56	2.90	3.97	3.83	3.02	5.37	2.89	0.59
wood	0.70	0.81	0.66	0.91	3.70	0.69	1.05	0.30	0.39
rep. org	0.15	0.17	0.14	0.19	0.30	0.15	1.18	0.05	0.45
others	0.14	0.16	0.13	0.18	0.28	0.14	0	0	0
Total	4.03	4.71	3.84	5.26	8.11	4.00	7.60	3.24	1.42

<표Ⅲ-52> Annual litter production (ton/ha) of *Quercus mongolica* community

Component	*Quercus mongolica*							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
leaf	2.59	3.47	2.77	2.96	3.17	2.78	2.72	1.57
wood	0.50	0.67	0.53	0.57	0.61	0.54	0.23	0.29
rep. org	0.13	0.17	0.14	0.15	0.16	0.14	0.11	0.17
others	0.13	0.17	0.14	0.15	0.16	0.14	0	0.05
Total	3.35	4.48	3.58	3.83	4.11	3.60	3.07	2.08

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3) 한라산

2009년부터 2017년까지 구상나무군락의 연간 낙엽생산량은 3.42, 4.01, 2.94, 5.57, 2.66, 2.81, 4.66, 5.77, 2.56 그리고 3.68ton/ha로 평균 3.81ton/ha였다(표Ⅲ-53). 2012년에는 낙엽생산량도 많았고, 이는 태풍 볼라벤으로 인해 구상나무 4그루가 쓰러졌으며, 강한 바람에 의해 부러진 목질부가 리터트랩에 많이 들어있었기 때문이다.

<표Ⅲ-53> Annual litter production (ton/ha) of *A. koreana* community in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf	3.11	3.34	1.49	3.94	1.83	1.87	3.91	4.90	2.05	3.12
	Wood	0.09	0.54	0.63	0.96	0.43	0.50	0.60	0.66	0.14	0.42
	Rep. Organ	0.12	0.07	0.44	0.33	0.23	0.23	0.16	0.20	0.28	0.14
	Misc.	0.10	0.06	0.38	0.34	0.27	0.21	0.00	0.01	0.01	0
Total		3.42	4.01	2.94	5.57	2.66	2.81	4.66	5.77	2.56	3.68

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 낙엽의 유기탄소량

1) 남산

가) 신갈나무군락

낙엽생산을 통해 신갈나무군락의 임상에 유입되는 유기탄소량은 <표Ⅲ-54>와 같다. 2009년부터 2018년까지의 신갈나무군락 낙엽의 총 유기탄소량은 2009년에 3.37ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 2.45ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 0.86ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 1.80ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에 1.96ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에 0.54ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에 0.58ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에 2.25ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 3.22ton C ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2018년 2.42ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

<표Ⅲ-54> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *Q. mongolica* forest in the study area

Component	*Quercus mongolica*									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
leaf	2.23	1.58	0.37	1.11	1.62	0.50	0.25	1.64	2.36	1.42
wood	0.57	0.57	0.35	0.32	0.15	0.03	0.30	0.19	0.58	0.30
rep. org	0.48	0.25	0.06	0.35	0.19	0.02	0.03	0.41	0.28	0.69
others	0.08	0.06	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	3.37	2.45	0.86	1.80	1.96	0.54	0.58	2.25	3.22	2.42

나) 소나무군락

낙엽생산을 통해 소나무군락의 임상에 유입되는 유기탄소량은 <표Ⅲ-55>와 같다. 2009년부터 2017년까지의 소나무군락 낙엽의 총 유기탄소량은 2009년에 3.26ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 2.68ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 1.16ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 2.63ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에 2.82ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에 0.87ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에 0.64ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에 2.33ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 2.20ton C ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2018년에 2.92ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-55> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *P. densiflora* forest in the study area

Component	*P. densiflora*									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
leaf	4.60	2.93	1.39	4.12	4.48	1.63	0.82	3.14	3.33	4.53
wood	1.67	1.96	0.69	1.22	1.15	0.22	0.27	0.70	0.52	0.93
rep. org	0.63	0.89	0.15	0.43	0.58	0.08	0.33	1.29	0.73	1.00
others	0.33	0.18	0.34	0.07	0.05	0.01	0.01	0.03	0.31	0.02
Total	7.23	5.95	2.58	5.84	6.26	1.93	1.43	5.17	4.89	6.48

다) 아까시나무군락

낙엽생산을 통해 아까시나무군락의 임상에 유입되는 유기탄소량은 <표Ⅲ-56>과 같다. 2017년부터 2018년의 아까시나무군락 낙엽의 총 유기탄소량은 각각 0.14ton C ha^{-1} yr^{-1}, 4.63ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다.

<표Ⅲ-56> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litter of *R. pseudoacacia* forest in the study area

Component	*R. pseudoacacia*	
	2017	2018
leaf	1.44	3.71
wood	0.06	0.54
rep. org	0.25	0.36
others	0.05	0.02
Total	0.14	4.63

2) 지리산

소나무군락의 2018년 연간 낙엽 유기탄소량은 0.29ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-57).

구상나무군락의 2008년부터 2013년까지 그리고 2016년부터 2018년까지의 연간 낙엽 유기탄소량은 1.81, 2.12, 1.73, 2.37, 3.65, 1.80, 3.42, 1.46 그리고 0.64ton C ha^{-1} yr^{-1}이었으며, 평균 낙엽 유기탄소량은 2.11ton C ha^{-1} yr^{-1}이었다(표Ⅲ-58).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

신갈나무군락의 2008년부터 2013년까지 그리고 2017년부터 2018년까지의 연간 낙엽 유기탄소량은 1.51, 2.02, 1.61, 1.72, 1.85, 1.62, 1.38 그리고 0.94ton C ha^{-1} yr^{-1}이었으며, 평균 낙엽 유기탄소 생산량은 1.58ton C ha^{-1} yr^{-1} 이었다(표Ⅲ-59).

<표Ⅲ-57> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Pinus densiflora* community

Component	*Pinus densiflora*
	2018
leaf	0.22
wood	0.03
rep. org	0.04
others	0
Total	0.29

<표Ⅲ-58> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Abies koreana* community

Component	*Abies koreana*								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
leaf	1.37	1.60	1.30	1.79	1.72	1.36	2.42	1.3	0.27
wood	0.31	0.37	0.30	0.41	1.67	0.31	0.47	0.13	0.18
rep. org	0.07	0.08	0.06	0.09	0.14	0.07	0.53	0.02	0.2
others	0.06	0.07	0.06	0.08	0.13	0.06	0	0	0
Total	1.81	2.12	1.73	2.37	3.65	1.80	3.42	1.46	0.64

<표Ⅲ-59> Annual amount of organic carbon(ton/ha) returned to floor via litterfall of *Quercus mongolica* community

Component	*Quercus mongolica*							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018
leaf	1.17	1.56	1.25	1.33	1.43	1.25	1.22	0.71
wood	0.22	0.30	0.24	0.26	0.28	0.24	0.1	0.13
rep. org	0.06	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06	0.05	0.08
others	0.06	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06	0	0.02
Total	1.51	2.02	1.61	1.72	1.85	1.62	1.38	0.94

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3) 한라산

2009년부터 2018년까지 구상나무군락에서 낙엽생산을 통해 임상으로 유입되는 유기탄소량은 1.54, 1.8, 1.32, 2.46, 1.2, 1.26, 2.1, 2.6, 1.15 그리고 1.66ton C ha^{-1} yr^{-1} 로 평균 1.71ton C ha^{-1} yr^{-1} 였다(표Ⅲ-60). 낙엽의 유기탄소량을 잎, 목질부, 생식기관, 기타 순으로 살펴보면 2009년에 1.40, 0.04, 0.05, 0.05ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2010년에 1.5, 0.24, 0.03, 0.03ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에 0.67, 0.28, 0.2, 0.17ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에 1.77, 0.43, 0.15, 0.11ton C ha^{-1} yr^{-1},

2013년에는 0.82, 0.19, 0.10, 0.08ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에 0.84, 0.23, 0.1, 0.09ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에 1.76, 0.27, 0.07, 0ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에 2.21, 0.3, 0.09, 0ton C ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에 0.92, 0.06, 0.13, 0.04ton C ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2018년에 1.4, 0.19, 0.06, 0ton C ha^{-1} yr^{-1} 이였다.

<표Ⅲ-60> Annual amount of organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) returned to forest floor via litterfall of *A. koreana* forest in the study area

Component \ Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tree layer	Leaf	1.40	1.50	0.67	1.77	0.82	0.84	1.76	2.21	0.92	1.4
	Wood	0.04	0.24	0.28	0.43	0.19	0.23	0.27	0.3	0.06	0.19
	Rep. Organ	0.05	0.03	0.20	0.15	0.10	0.1	0.07	0.09	0.13	0.06
	Misc.	0.05	0.03	0.17	0.11	0.08	0.09	0	0	0.04	0
Total		1.54	1.80	1.32	2.46	1.20	1.26	2.10	2.6	1.15	1.66

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(6) 임상낙엽량

(가) 임상낙엽량

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 낙엽층별 임상 낙엽량은 <표Ⅲ-61>과 같다. 2010년부터 2013년 그리고 2016년부터 2018년까지 평균 임상 낙엽량은 10.76ton/ha 이었다. 신갈나무군락의 층별 임상 낙엽량은 2010년에 L층이 6.01ton/ha, F층이 3.31ton/ha으로 총 9.32ton/ha, 2011년에는 L층이 5.03ton/ha, F층이 2.14ton/ha으로 총 7.17ton/ha, 2012년에는 L층이 5.20ton/ha, F층이 5.83ton/ha으로 총 11.03ton/ha, 2013년에는 L층이 5.93ton/ha, F층이 4.37ton/ha으로 총 10.30ton/ha, 2016년에는 L층이 8.19ton/ha, F층이 5.52ton/ha으로 총 13.70ton/ha, 2017년에는 L층이 4.78ton/ha, F층이 7.03ton/ha으로 총 11.81ton/ha, 2018년에는 L층이 7.70ton/ha, F층이 4.31ton/ha 이었다.

<표Ⅲ-61> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *Q. mongolica* forest in the study area

Component \ Year	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
L-layer	6.01	5.03	5.20	5.93	8.19	4.78	7.70
F-layer	3.31	2.14	5.83	4.37	5.52	4.37	4.31
Total	9.32	7.17	11.03	10.30	13.70	11.81	12.01

나) 소나무군락

소나무군락의 낙엽층별 임상 낙엽량은 <표Ⅲ-62>와 같다. 2010년부터 2013년 그리고 2016년부터 2018년까지 평균 임상 낙엽량은 9.00ton/ha 이었다. 소나무군락의 층별 임상 낙엽량은 2010년에 L층이 6.25ton/ha, F층이 2.96ton/ha으로 총 9.21ton/ha, 2011년에는 L층이 5.79ton/ha, F층이 3.05ton/ha으로 총 8.84ton/ha, 2012년에는 L층이 5.14ton/ha, F층이 4.87ton/ha으로 총 10.01ton/ha, 2013년에는 L층이 5.67ton/ha, F층이 3.67ton/ha으로 총 9.34ton/ha, 2016년에는 L층이 3.52ton/ha, F층이 3.20ton/ha으로 총 6.72ton/ha, 2017년에는 L층이 2.98ton/ha, F층이 6.80ton/ha으로 총 9.78ton/ha 그리고 2018년에는 L층이 5.04ton/ha, F층이 4.04ton/ha으로 총 9.08ton/ha 이었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-62> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *P. densiflora* forest in the study area

Component \ Year	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
L-layer	6.25	5.79	5.14	5.67	3.52	2.98	5.04
F-layer	2.96	3.05	4.87	3.67	3.20	6.80	4.04
Total	9.21	8.84	10.01	9.34	6.72	9.78	9.08

다) 아까시나무군락

아까시나무군락의 낙엽층별 임상 낙엽량은 <표Ⅲ-63>과 같다. 2008년부터 2010년 그리고 2016년과 2018년까지 평균 임상 낙엽량은 6.67ton/ha 이었다. 아까시나무군락의 층별 임상 낙엽량은 2008년에서 2010년 L층이 1.77ton/ha, F층이 2.72ton/ha으로 총 4.50ton/ha, 2016년에는 L층이 3.74ton/ha, F층이 2.77ton/ha으로 총 6.51ton/ha, 2017년에는 L층이 3.63ton/ha, F층이 4.54ton/ha으로 총 8.17ton/ha 그리고 2018년에는 L층이 2.93ton/ha, F층이 4.57ton/ha으로 총 7.5ton/ha 이었다.

<표Ⅲ-63> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *R. pseudoacacia* forest in the study area

Year / Component	2008~2010	2016	2017	2018
L-layer	1.77	3.74	3.63	2.93
F-layer	2.72	2.77	4.54	4.57
Total	4.50	6.51	8.17	7.5

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 지리산

본 조사지역의 낙엽층별 임상 낙엽량을 <표Ⅲ-64>에 종합하여 나타내었다.

소나무군락의 2018년의 평균 임상 낙엽량은 10.41ton/ha이었고, L층과 F층을 합친 층 입상낙엽량은 20.82ton/ha이었다.

구상나무군락의 2016년, 2017년 그리고 2018년의 평균 임상 낙엽량은 각각 2.64, 2.38 그리고 5.39ton/ha이었다. L층과 F층을 합친 층 임상낙엽량은 2016년에 5.27ton/ha, 2017년에 4.75ton/ha 그리고 2018년에 10.77ton/ha이었다.

신갈나무군락의 2016년, 2017 그리고 2018년의 평균 임상 낙엽량은 각각 4.46, 4.19 그리고 5.55ton/ha이었다. L층과 F층을 합친 층 임상낙엽량은 2016년에 8.92ton/ha, 2017년에 8.38ton/ha 그리고 2018년에 11.09ton/ha이었다.

<표Ⅲ-64> Weight of litter (ton/ha) on the forest floor of *Pinus densiflora*, *Abies koreana* and *Quercus mongolica* community

Component	*Pinus densiflora*	*Abies koreana*			*Quercus mongolica*		
	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
L-layer	11.79	3.09	3.1	6.46	3.90	4.82	5.62
F-layer	9.03	2.18	1.65	4.31	5.02	3.56	5.47
Total	20.82	5.27	4.75	10.77	8.92	8.38	11.09
Average	20.82		6.93			9.46	

3) 한라산

2010년부터 2018년까지 구상나무군락의 임상 낙엽량은 평균 4.48ton/ha로 L층에 평균 2.5ton/ha, F 층에 평균 1.98ton/ha가 분포하고 있었다(표Ⅲ-65). 2010년부터 2018년까지 L층의 임상낙엽량은 각각 3.27, 3.26, 2.82, 1.96, 2.26, 1.75, 1.78, 2.03, 그리고 3.35ton/ha 였으며, F층의 임상낙엽량은 각각 2.82, 2.13, 1.62, 0.61, 1.88, 1.47, 2.07, 2.45, 그리고 2.74ton/ha 였다.

<표Ⅲ-65> Weight of litter (ton ha^{-1}) on the forest floor of *A. koreana* forest in the study area

Year / Component	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
L-layer	3.27	3.26	2.82	1.96	2.26	1.75	1.78	2.03	3.35
F-layer	2.82	2.13	1.62	0.61	1.88	1.47	2.07	2.45	2.74
Total	6.09	5.4	4.45	2.57	4.14	3.22	3.85	4.48	6.09
Average					4.48				

(나) 임상낙엽량의 유기탄소량

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 임상낙엽층 별 유기탄소량은 <표Ⅲ-66>과 같다. 2010년부터 2013년, 그리고 2016년부터 2018년까지의 임상 낙엽층의 유기탄소량은 평균 4.84ton C/ha 이었다. 신갈나무군락의 층별 임상 낙엽층의 유기탄소량은

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2010년에 L층이 2.70ton C/ha, F층이 1.49ton C/ha으로 총 4.19tton C/ha, 2011년에는 L층이 2.26ton C/ha, F층이 0.96ton C/ha으로 총 3.22ton C/ha, 2012년에는 L층이 2.34ton C/ha, F층이 2.62ton C/ha으로 총 4.96ton C/ha, 2013년에는 L층이 2.67ton C/ha, F층이 1.97ton C/ha으로 총 4.64ton C/ha, 2016년에는 L층이 3.69ton C/ha, F층이 2.48ton C/ha으로 총 6.17ton C/ha, 2017년에는 L층이 2.15ton C/ha, F층이 3.16ton C/ha으로 총 5.31ton C/ha, 2018년에는 L층이 3.47ton C/ha, F층이 1.94ton C/ha으로 총 5.40ton C/ha 이었다.

<표Ⅲ-66> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *Q. mongolica* forest in the study area

Component \ Year	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
L-layer	2.70	2.26	2.34	2.67	3.69	2.15	3.47
F-layer	1.49	0.96	2.62	1.97	2.48	3.16	1.94
Total	4.19	3.23	4.96	4.64	6.17	5.31	5.40

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나) 소나무군락

소나무군락의 임상낙엽층 별 유기탄소량은 <표Ⅲ-67>과 같다. 2010년부터 2013년 그리고 2016년부터 2018년까지의 임상 낙엽층의 유기탄소량은 평균 3.93ton C/ha 이었다. 소나무군락의 층별 임상 낙엽층의 유기탄소량은 2010년에 L층이 2.81ton C/ha, F층이 1.33ton C/ha으로 총 4.14ton C/ha, 2011년에는 L층이 2.61ton C/ha, F층이 1.37ton C/ha으로 총 3.9ton C/ha, 2012년에는 L층이 2.31ton C/ha, F층이 2.19ton C/ha으로 총 4.50ton C/ha, 2013년에는 L층이 2.55ton C/ha, F층이 1.65ton C/ha으로 총 4.20ton C/ha, 2016년에는 L층이 1.58ton C/ha, F층이 1.44ton C/ha으로 총 3.02ton C/ha, 2017년에는 L층이 1.34ton C/ha, F층이 3.06ton C/ha으로 총 4.40ton C/ha 그리고 2018년에는 L층이 2.27ton C/ha, F층이 1.82ton C/ha으로 총 4.09ton C/ha 이었다.

<표Ⅲ-67> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *P. densiflora* forest in the study area

Component \ Year	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
L-layer	2.81	2.61	2.31	2.55	1.58	1.34	2.27
F-layer	1.33	1.37	2.19	1.65	1.44	3.06	1.82
Total	4.14	3.98	4.50	4.20	3.02	4.40	4.09

다) 아까시나무군락

아까시나무군락의 임상낙엽층 별 유기탄소량은 <표Ⅲ-68>과 같다. 2008년부터 2010년, 그리고 2016년부터 2018년까지 임상 낙엽층의 유기탄소량은 평균 3ton C/ha 이었다.

<표Ⅲ-68> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *R. pseudoacacia* forest in the study area

Component \ Year	2008~2010	2016	2017	2018
L-layer	0.80	1.68	1.63	1.32
F-layer	1.23	1.25	2.04	2.03
Total	2.02	2.93	3.67	3.38

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 지리산

본 조사지역의 낙엽층별 임상 낙엽층의 유기탄소량을 <표Ⅲ-69>에 종합하여 나타내었다.

소나무군락의 2018년의 임상 낙엽층의 평균 유기탄소량은 4.69ton C/ha이었고, L층과 F층을 합친 총 유기탄소량은 9.37ton C/ha이었다.

구상나무군락의 2016년, 2017년 그리고 2018년의 임상 낙엽층의 평균 유기탄소량은 각각 1.19, 1.07 그리고 2.43ton C/ha이었다. L층과 F층을 합친 총 유기탄소량은 2016년에 2.37ton C/ha, 2017년에 2.14ton C/ha 그리고 2018년에 4.85ton C/ha이었다.

신갈나무군락의 2016년, 2017년 그리고 2018년의 임상 낙엽층의 평균 유기탄소량은 각각 2.01, 1.89 그리고 2.5ton C/ha이었다. L층과 F층을 합친 층 유기탄소량은 2016년에 4.01ton C/ha, 2017년에 3.77ton C/ha 그리고 2018년에 4.99ton C/ha이었다.

<표Ⅲ-69> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *Pinus densiflora*, *Abies koreana* and *Quercus mongolica* community

Component	*Pinus densiflora*	*Abies koreana*			*Quercus mongolica*		
	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
L-layer	5.31	1.39	1.4	2.91	1.76	2.17	2.53
F-layer	4.06	0.98	0.74	1.94	2.26	1.6	2.46
Total	9.37	2.37	2.14	4.85	4.01	3.77	4.99
Average	9.37		3.12			4.26	

3) 한라산

2010년부터 2018년까지 구상나무군락의 임상 낙엽의 유기탄소량은 평균 2.01ton C/ha 로 L 층에 평균 1.14ton C/ha, F 층에 평균 0.89ton C/ha 가 분포하고 있었다(표Ⅲ-70). 2010년부터 2018년까지 L층의 임상낙엽량은 각각 1.47, 1.47, 1.27, 0.88, 1.02, 0.79, 0.9, 0.91 그리고 1.51ton C/ha 였으며, F층의 임상낙엽량은 1.27, 0.96, 0.73, 0.27, 0.85, 0.66, 0.93, 1.10 그리고 1.23ton C/ha 였다. 이 결과 F층(44%)보다 L층(56%)에 더 많은 유기탄소가 축적되어 있었다.

<표Ⅲ-70> Organic carbon (ton C/ha) on the forest floor of *A. koreana* Community in the study area

Year / Component	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
L-layer	1.47	1.47	1.27	0.88	1.02	0.79	0.9	0.91	1.51
F-layer	1.27	0.96	0.73	0.27	0.85	0.66	0.93	1.10	1.23
Total	2.74	2.43	2.00	1.16	1.87	1.45	1.73	2.01	2.74
Average					2.01				

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

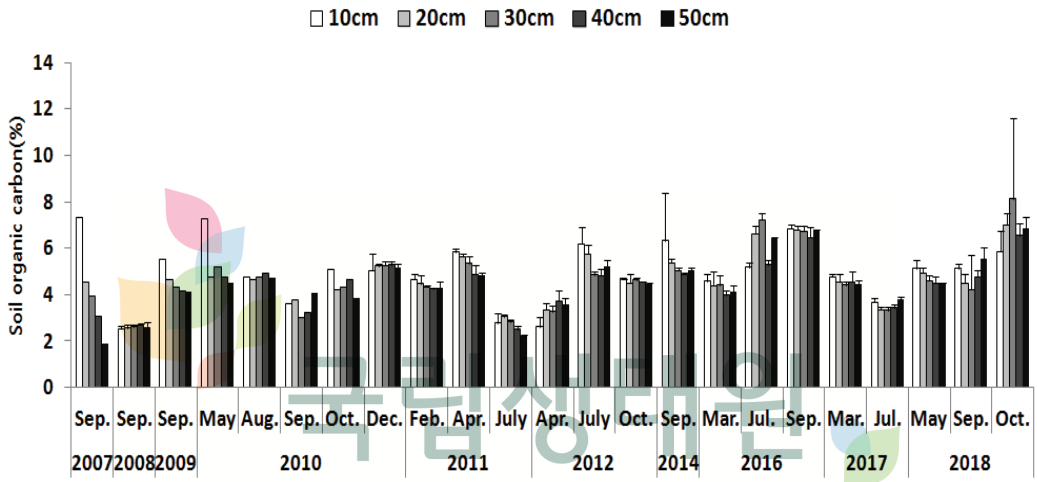
(7) 토양의 분석

(가) 토양의 유기탄소함량

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 2007년부터 2012년, 그리고 2014년, 2016년부터 2018년까지의 유기탄소함량은 10cm 깊이에 4.96%, 20cm 깊이에 4.61%, 30cm 깊이에 4.49%, 40cm 깊이에 4.30%, 50cm 깊이에 4.31% 이었다(그림Ⅲ-41).

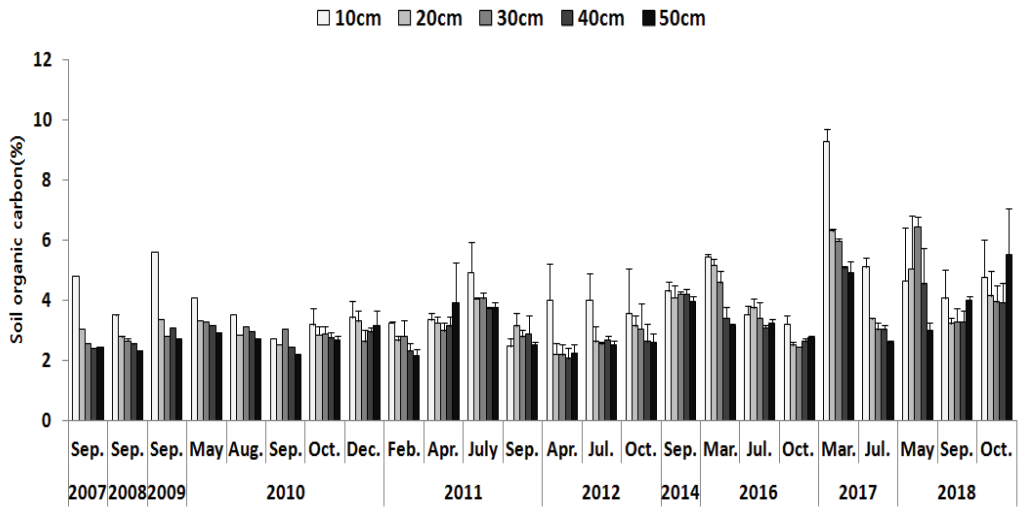


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-41> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area

나) 소나무군락

소나무군락의 2007년부터 2012년, 그리고 2014년, 2016년부터 2018년까지의 유기탄소함량의 깊이별 평균은 10cm 깊이에 4.19%, 20cm 깊이에 3.44%, 30cm 깊이에 3.35%, 40cm 깊이에 3.12%, 50cm 깊이에 3.08% 이었다(그림Ⅲ-42).

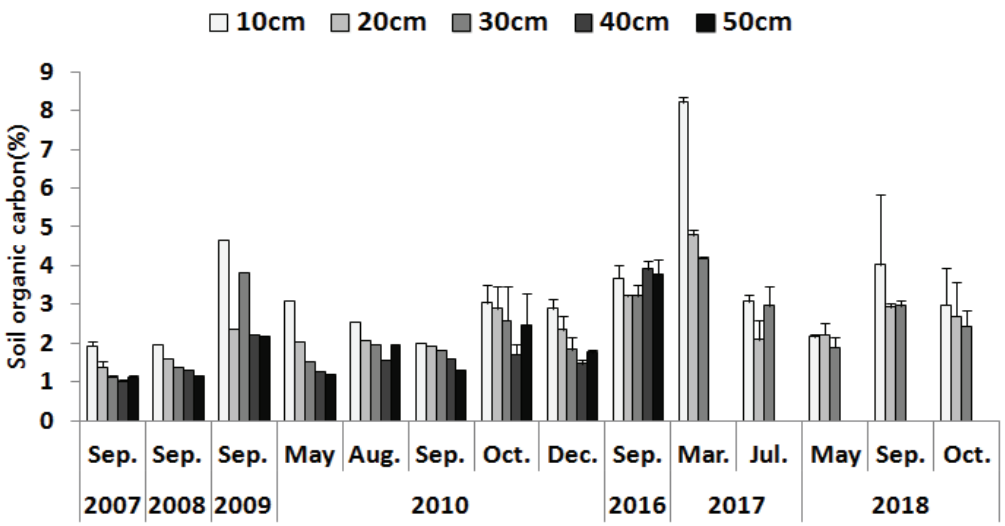


<그림Ⅲ-42> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area

다) 아까시나무군락

아까시나무군락의 2007년부터 2012년, 그리고 2014년, 2016년부터 2018년까지의 유기탄소함량의 깊이별 평균은 10cm 깊이에 3.3%, 20cm 깊이에 2.47%, 30cm 깊이에 2.41%, 40cm 깊이에 1.78%, 50cm 깊이에 1.88% 이었다(그림Ⅲ-43).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-43> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area

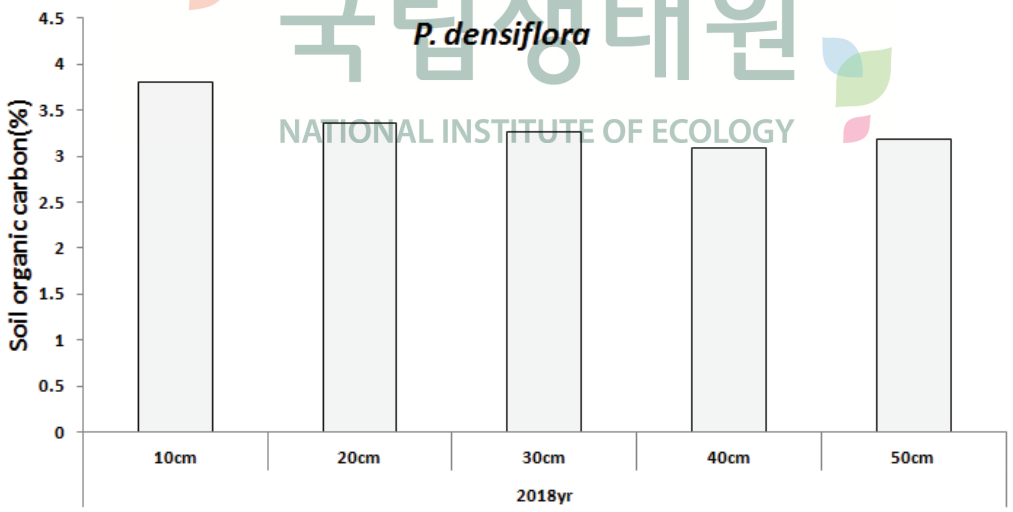
2) 지리산

소나무군락의 2018년 평균 토양 유기탄소 함량은 3.34%이며, 깊이별 평균 유기탄소 함량은 0~10cm가 3.81%, 10~20cm 3.36%, 20~30cm 3.27%, 30~40cm 3.09% 그리고 40~50cm이 3.19%이었다(그림Ⅲ-44).

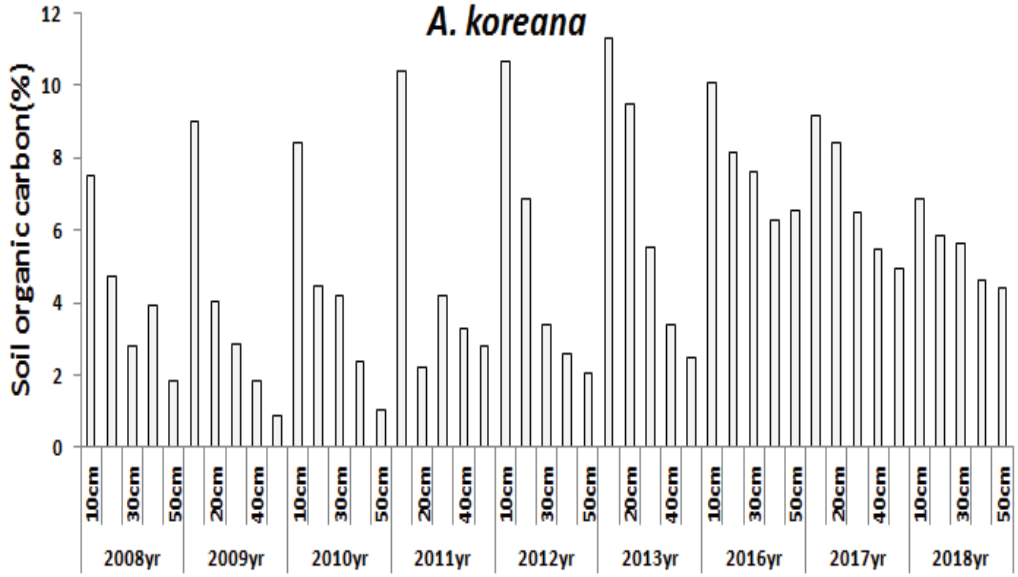
구상나무군락의 2008년부터 2013년까지 그리고 2016년부터 2018년까지의 평균 토양 유기탄소 함량은 4.15%, 3.71%, 4.10%, 4.57%, 5.10%, 6.43%, 7.73%, 6.9% 그리고 5.47%이며 깊이별 평균 유기탄소 함량은 0~10cm가 9.27%, 10~20cm 6.01%, 20~30cm 4.73%, 30~40cm 3.75% 그리고 40~50cm이 2.99%이었다(그림Ⅲ-45).

신갈나무군락의 2008년부터 2013년까지 그리고 2016년부터 2018년까지의 평균 토양 유기탄소 함량은 4.38%, 2.78%, 2.88%, 3.67%, 3.64%, 4.51%, 6.05%, 7.31% 그리고 7.67%이며 깊이별 평균 유기탄소 함량은 0~10cm가 7.64%, 10~20cm 5.4%, 20~30cm 4.56%, 30~40cm 3.35% 그리고 40~50cm이 2.87%이었다(그림Ⅲ-46).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

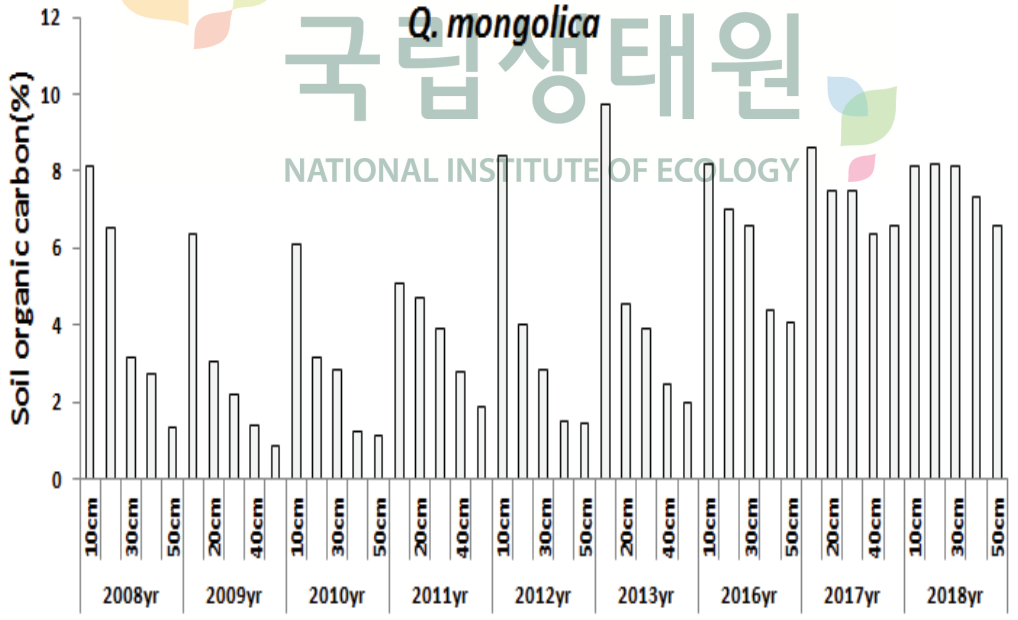


<그림Ⅲ-44> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area



<그림Ⅲ-45> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area

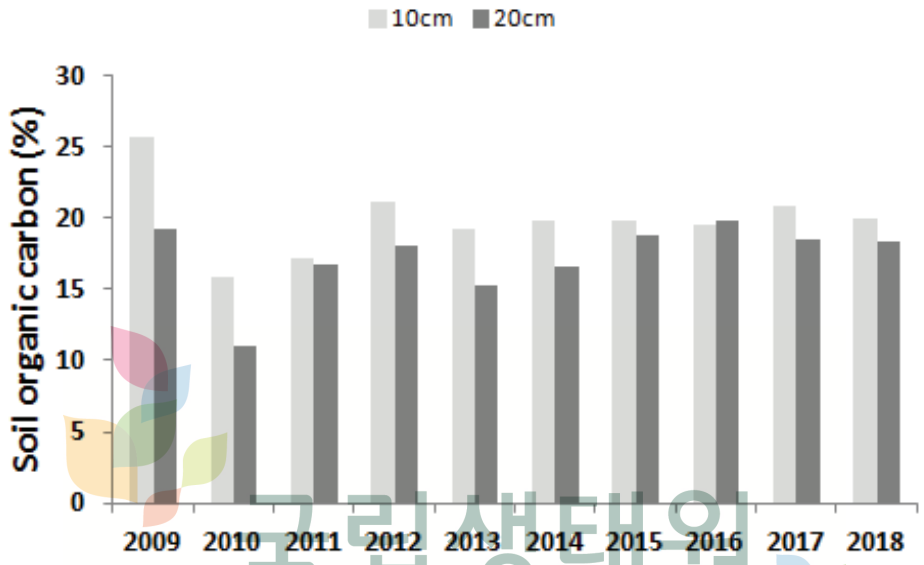
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-46> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *Q. mongolica* forest in the study area

3) 한라산

2009년부터 2018년까지의 평균 토양 유기탄소 함량은 22.46%, 13.41%, 16.96%, 19.61%, 17.26%, 18.23%, 19.32%, 19.68%, 19.68% 그리고 19.32%이며 깊이별 평균 유기탄소 함량은 0~10cm가 19.88%, 10~20cm 17.28%이었다(그림Ⅲ-47).



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

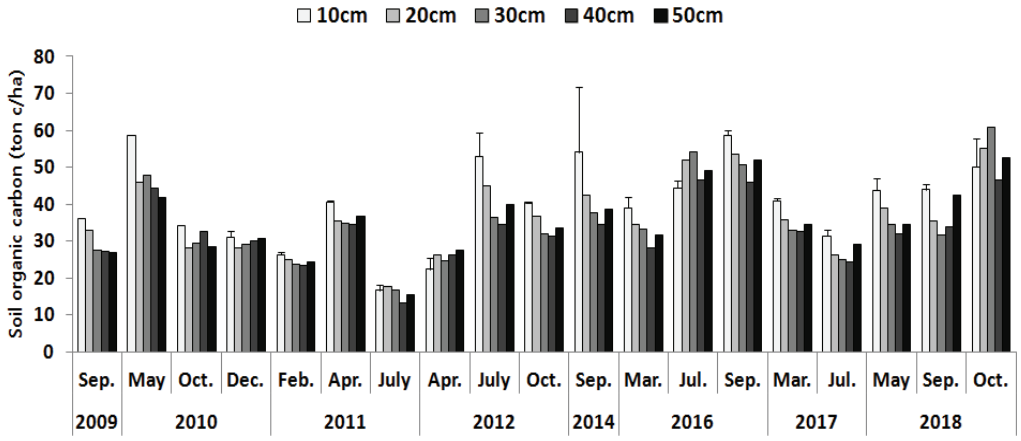
<그림Ⅲ-47> Soil organic carbon content(%) along the soil depth at the *A. koreana* forest in the study area

(나) 토양의 유기탄소축적량

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 40.3ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 36.6ton C/ha, 30cm 깊이에서 평균 34.9ton C/ha, 40cm 깊이에서 평균 32.7ton C/ha, 50cm 깊이에서 평균 35.3ton C/ha 이었다(그림Ⅲ-48).

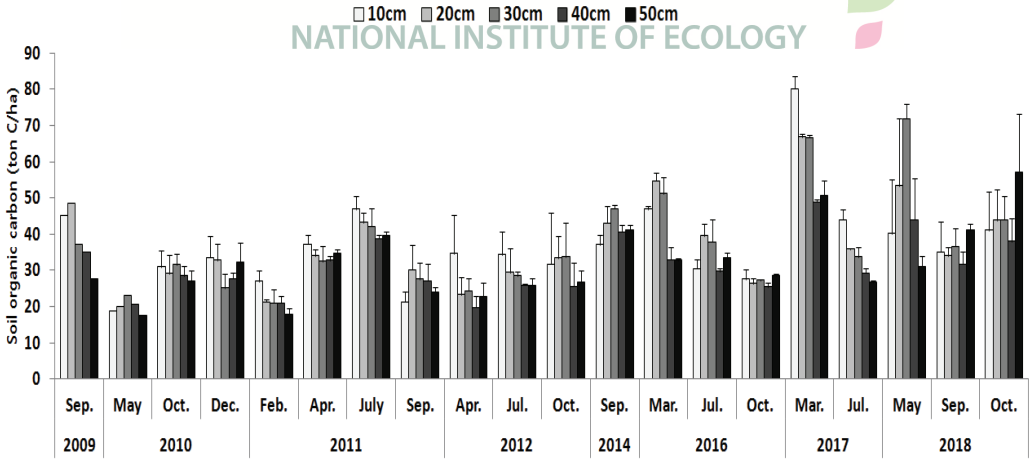


<그림Ⅲ-48> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area

나) 소나무군락

신갈나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 37.2ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 37.1ton C/ha, 30cm 깊이에서 평균 37.1ton C/ha, 40cm 깊이에서 평균 31.1ton C/ha, 50cm 깊이에서 평균 31.9ton C/ha 이었다(그림Ⅲ-49).

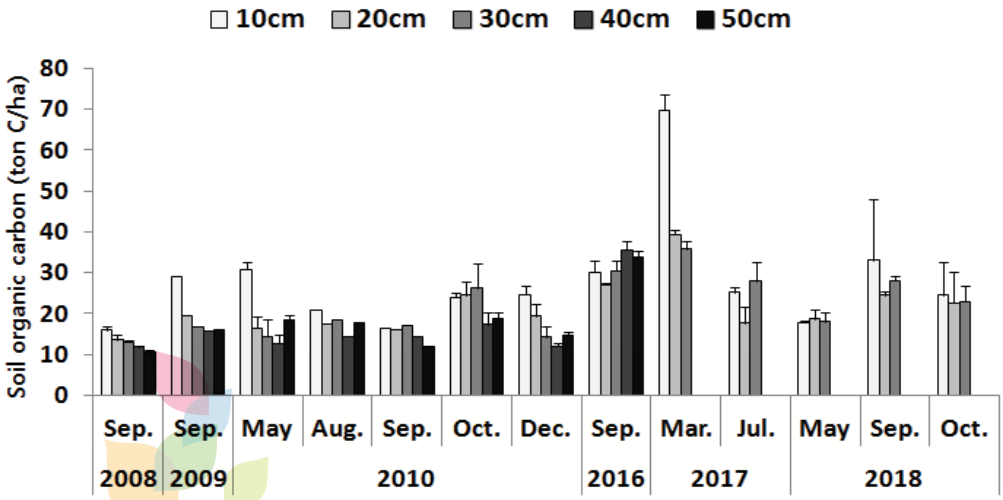
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-49> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *P. densiflora* forest in the study area

다) 아까시나무군락

아까시나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 27.9ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 21.3ton C/ha, 30cm 깊이에서 평균 21.8ton C/ha, 40cm 깊이에서 평균 16.7ton C/ha, 50cm 깊이에서 평균 17.8ton C/ha 이었다(그림Ⅲ-50).



<그림Ⅲ-50> Soil organic carbon (ton C/ha) along the soil depth at the *R. pseudoacacia* forest in the study area

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 지리산

본 연구지역인 소나무군락, 구상나무군락과 신갈나무군락의 유기탄소 축적량을 각각 <표Ⅲ-71>, <표Ⅲ-72> 그리고 <표Ⅲ-73>에 나타내었다. 소나무군락의 2018년 토양 유기탄소 축적량은 116.11ton C/ha이며, 깊이별 평균 유기탄소 축적량은 0~10cm가 32.19ton C/ha, 10~20cm 25.01ton C/ha, 20~30cm 19.96ton C/ha, 30~40cm 17.74ton C/ha 그리고 40~50cm이 21.21ton C/ha이었다.

구상나무군락의 2008년부터 2013년까지와 2016년부터 2018년까지의 토양 유기탄소 축적량은 108.76ton C/ha, 93.55ton C/ha, 106.4ton C/ha, 117.61ton C/ha, 130.86ton C/ha, 168.94ton C/ha, 210.89ton C/ha, 161.58ton C/ha 그리고 149.84ton C/ha이며, 깊이별 평균 유기탄소 축적량은 0~10cm가 37.53ton C/ha, 10~20cm 32.53ton C/ha, 20~30cm 29.55ton

C/ha, 30~40cm 21.62ton C/ha 그리고 40~50cm이 17.47ton C/ha이었다.

신갈나무군락의 2008년부터 2013년까지와 2016년부터 2018년까지 토양 유기탄소 축적량은 110.35ton C/ha, 70.82ton C/ha, 73.57ton C/ha, 94.91ton C/ha, 93.13ton C/ha, 116.57ton C/ha, 158.95ton C/ha, 195.2ton C/ha 그리고 206.21ton C/ha이며 깊이별 평균 유기탄소 축적량은 0~10cm가 38.94ton C/ha, 10~20cm 22.38ton C/ha, 20~30cm 23.61ton C/ha, 30~40cm 19.75ton C/ha 그리고 40~50cm이 19.74ton C/ha이었다.

<표Ⅲ-71> Annual amounts of organic carbon (ton C/ha) along depth of *Pinus densiflora* community

Year	Soil depth					Total
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	
2018	32.19	25.01	19.96	17.74	21.21	116.11
Mean	32.19	25.01	19.96	17.74	21.21	116.11

<표Ⅲ-72> Annual amounts of organic carbon(ton C/ha) along depth of *Abies koreana* community

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Year	Soil depth					Total
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	
2008	30.97	26.16	17.77	23.15	10.67	108.76
2009	36.98	22.25	18.22	11.01	5.08	93.55
2010	34.60	24.83	26.77	14.11	6.10	106.40
2011	42.71	12.25	26.77	19.61	16.26	117.61
2012	43.90	38.05	21.56	15.48	11.86	130.86
2013	46.53	52.57	35.32	19.95	14.57	168.94
2016	41.45	45.18	48.93	37.05	38.28	210.89
2017	32.34	39.03	34.4	26.99	28.82	161.58
2018	28.30	32.45	36.20	27.26	25.62	149.84
Mean	37.53	32.53	29.55	21.62	17.47	138.71

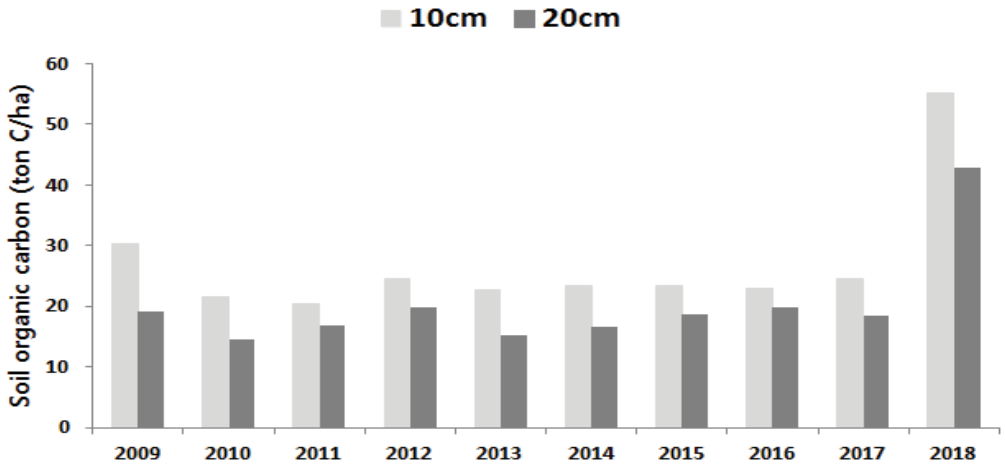
<표Ⅲ-73> Annual amounts of organic carbon(ton C/ha) along depth of *Quercus mongolica* community

Year	Soil depth					Total
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	
2008	41.43	27.14	16.36	16.15	9.27	110.35
2009	32.39	12.83	11.41	8.20	5.99	70.82
2010	31.03	13.08	14.71	7.17	7.59	73.57
2011	26.00	19.61	20.11	16.39	12.79	94.91
2012	42.85	16.71	14.71	8.88	9.99	93.13
2013	49.65	18.89	20.11	14.34	13.59	116.57
2016	41.78	29.20	34.07	25.88	28.01	158.95
2017	43.82	29.78	38.78	37.7	45.11	195.2
2018	41.51	34.16	42.19	43.00	45.36	206.21
Mean	38.94	22.38	23.61	19.75	19.74	124.41

3) 한라산

2009년부터 2018년까지 구상나무군락의 토양유기탄소 축적량은 각각 49.49, 36.11, 37.02, 44.30, 37.92, 39.97, 42.13, 42.80, 43.04 그리고 97.89ton C/ha 으로 연구기간 평균 47.07ton C/ha 이었다(그림Ⅲ-51). 2009년부터 2018년까지 토양 깊이별 유기탄소량은 10cm 깊이에서 년도별로 30.34, 21.65, 20.29, 24.53, 22.66, 23.38, 23.37, 23.00, 24.58 그리고 55.14ton C/ha 로 평균 26.9ton C/ha 이었다. 20cm 깊이에서 년도별로 19.15, 14.45, 16.73, 19.76, 15.26, 16.59, 19.79, 18.46 그리고 42.75ton C/ha 로 평균 20.17ton C/ha 이었다. 토양유기탄소량은 조사기간 동안 항상 10cm가 20cm 보다 더 높았다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-51> Soil organic carbon (ton C ha^{-1}) along the soil depth at the *A. koreana* community in the study area

(8) 토양호흡

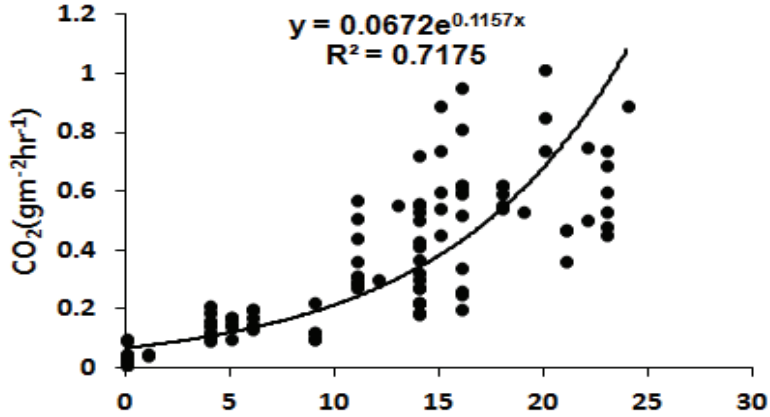
(가) 토양온도와 토양호흡량과의 회귀식

1) 남산

가) 신갈나무군락

토양호흡과 토양온도와의 관계는 지수함수관계가 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 신갈나무군락의 회귀식은 지수함수로 추정하였다. 신갈나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 $y = 0.0672e^{0.1157x}$ 였으며 결정계수 R^2은 0.7175 이었다(그림Ⅲ-52).

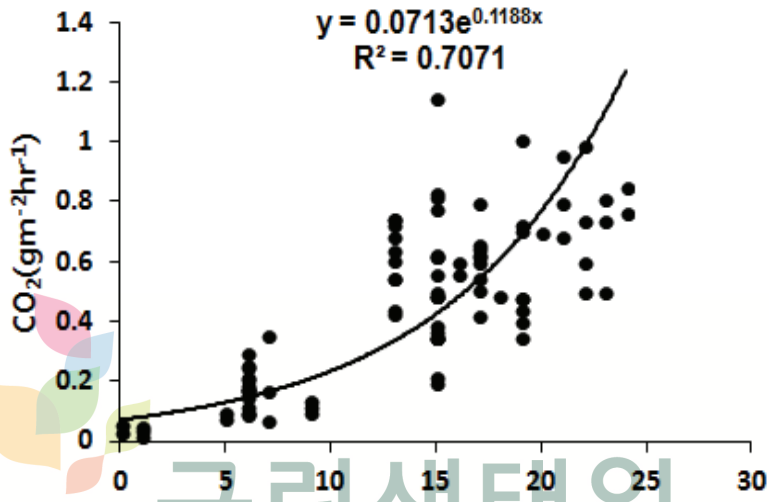
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-52> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *Q. mongolica* forest in the study area

나) 소나무군락

토양호흡과 토양온도와의 관계는 지수함수관계가 가장 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 소나무군락의 회귀식은 지수함수로 추정하였다. 소나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 $y = 0.0713e^{0.1188x}$ 였으며 결정계수 R^2은 0.7071 이었다(그림Ⅲ-53).

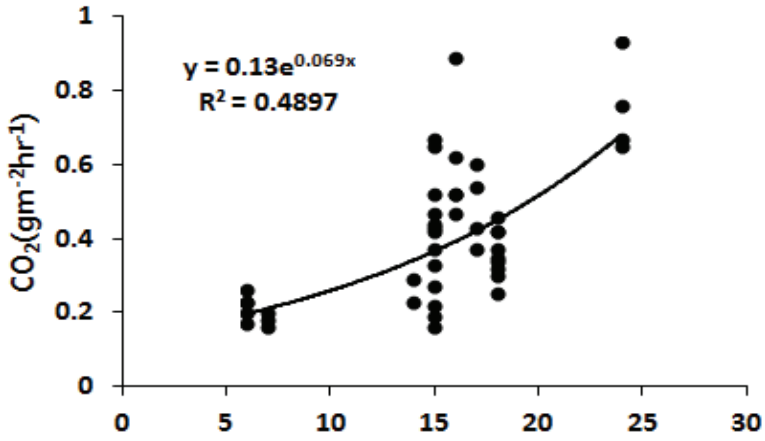


국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-53> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *P. densiflora* forest in the study area

다) 아까시나무군락

토양호흡과 토양온도와의 관계는 지수함수관계가 가장 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 아까시나무군락의 회귀식은 지수함수로 추정하였다. 아까시나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 $y = 0.13e^{0.069x}$ 였으며 결정계수 R^2은 0.4897 이었다(그림Ⅲ-54).



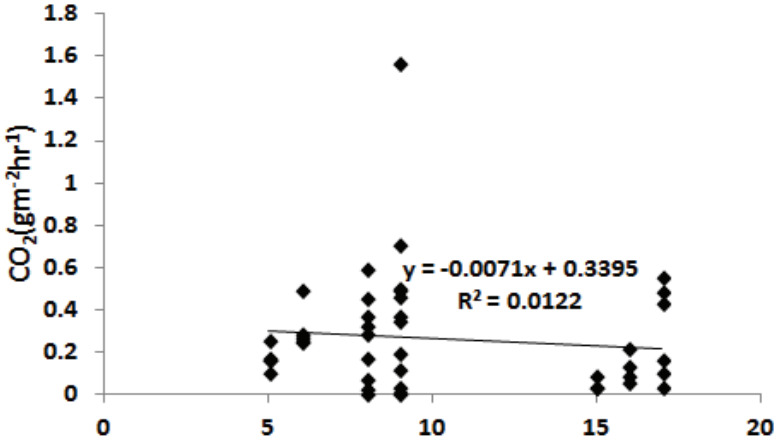
<그림Ⅲ-54> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *R. pseudoacacia* forest in the study area

2) 지리산

가) 신갈나무군락

토양호흡과 토양온도와의 관계는 선형함수관계가 가장 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 신갈나무군락의 회귀식은 선형함수로 추정하였다. 신갈나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 y = -0.0071x+0.3395 였으며 결정계수 R^2은 0.0122 이었다(그림Ⅲ-55).

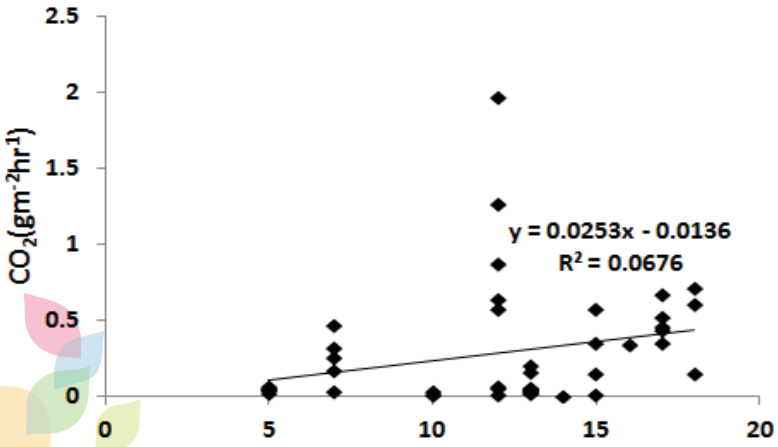
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-55> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *Q. mongolica* forest in the study area

나) 구상나무군락

토양호흡과 토양온도와의 관계는 선형함수관계가 가장 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 구상나무군락의 회귀식은 선형함수로 추정하였다. 신갈나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 y = 0.0253x-0.0136 였으며 결정계수 R^2은 0.0676 이었다(그림Ⅲ-56).

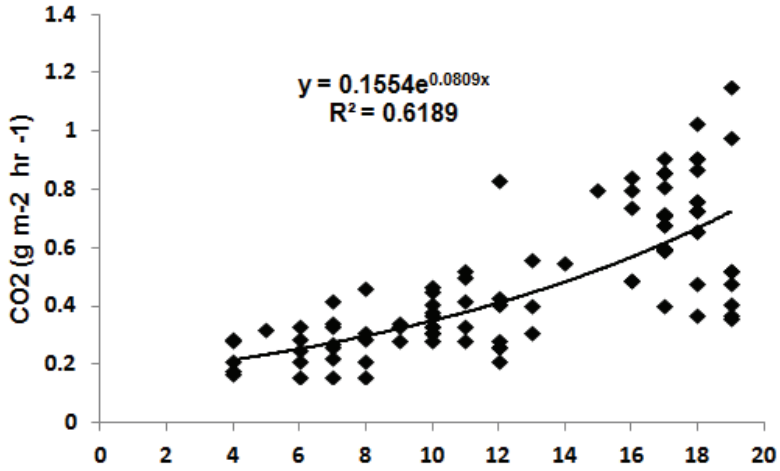


<그림Ⅲ-56> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *A. koreana* forest in the study area

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3) 한라산

토양호흡과 토양온도와의 관계는 지수함수관계가 가장 높은 설명력을 보이는 것이 확인되었다. 따라서 구상나무군락의 회귀식은 지수함수로 추정하였다. 구상나무군락의 토양온도와 호흡량의 회귀식은 $y = 0.1154e^{0.0809x}$ 였으며 결정계수 R^2은 0.6189 이었다(그림Ⅲ-57).



<그림Ⅲ-57> The relationship between the soil respiration and the soil temperature of the *A. koreana* forest in the study area(Mt. halla)

(나) 토양호흡량

1) 남산

가) 신갈나무군락

신갈나무군락의 토양호흡량은 평균 29.43ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 2010년에는 7.1ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에는 32.9ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에는 34.5ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에는 29.5ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에는 30.9ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에는 29.7ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에는 35.8ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에는 37.1ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2018년에는 27.4ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}이었다(표Ⅲ-74).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-74> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr-1) of the *Q. mongolica* community in the study area

Type	Year									Mean
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Soil respiration (ton $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$)	7.1	32.9	34.5	29.5	30.9	29.7	35.8	37.1	27.4	29.43
Organic carbon (ton $CO_2 \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$)	1.9	9.0	9.4	8.0	8.4	8.1	9.8	10.1	7.5	8.0

나) 소나무군락

소나무군락의 토양호흡량은 평균 34.6ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 2010년에는 9.79ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2011년에는 33.07ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2012년에는 38.49ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2013년에는 37.89ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2014년에는 40.43ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2015년에는 33.60ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2016년에는 42.55ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2017년에는 36.28ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 그리고 2018년에는 39.34ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}이었다(표Ⅲ-75).

<표Ⅲ-75> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *P. densiflora* community in the study area

Type	Year									Mean
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Soil respiration (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	9.79	33.07	38.49	37.89	40.43	33.60	42.55	36.28	39.34	34.6
Organic carbon (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	2.67	9.02	10.50	10.33	11.03	9.16	11.60	9.89	10.73	9.44

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다) 아까시나무군락

소나무군락의 토양호흡량은 평균 18.44ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 2017년에는 26.62ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}, 2018년에는 10.26ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}이었다(표Ⅲ-76).

<표Ⅲ-76> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *R. pseudoacacia* community in the study area

Type	Year		Mean
	2017	2018	
Soil respiration (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	26.62	10.26	18.44
Organic carbon (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	7.26	3	5.13

2) 지리산

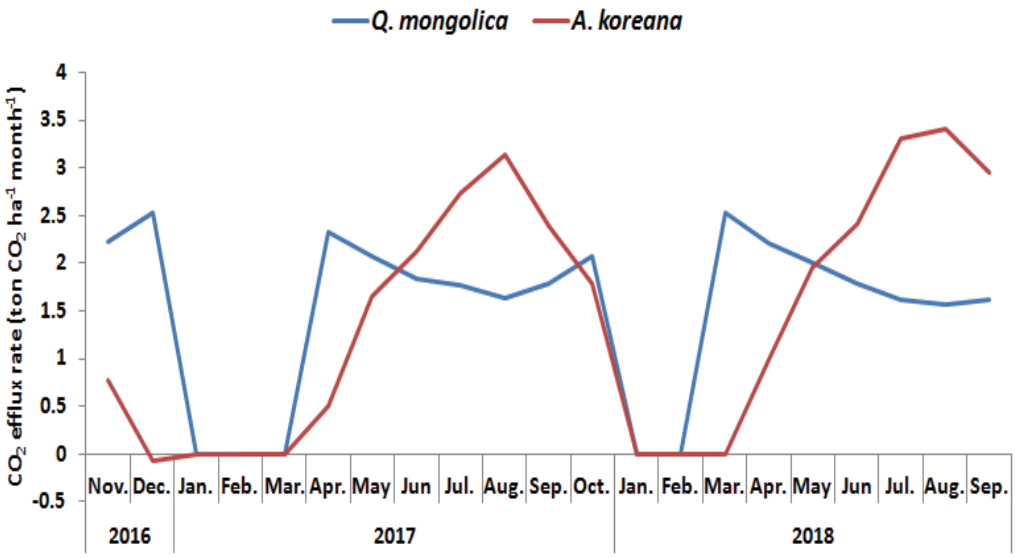
신갈나무군락의 2018년 1월부터 같은 해 9월까지의 월별 토양호흡량은 0, 0, 2.53, 2.21, 2, 1.78, 1.61, 1.57 그리고 1.62ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 로 총 13.32ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 였다. 3월의 토양호흡량이 가장 높았으며, 기온이 낮은 1월과 2월의 토양호흡량은 0으로 나타내었다(그림Ⅲ-58).

구상나무군락의 2018년 1월부터 같은 해 9월까지의 월별 토양호흡량은 0, 0, 0, 1, 1.95, 2.42, 3.31, 3.41 그리고 2.96ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 로 총 15.05ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 였다(표Ⅲ-77). 8월의 토양호흡량이 가장 높았으며, 기온이 낮은 1, 2, 3월의 토양호흡량은 0으로 나타내었다(그림Ⅲ-58).

<표Ⅲ-77> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the and *Q. mongolica* and *A. koreana* community in the study area

Type	*Q. mongoilca*	*A. koreana*
	2018	2018
Soil respiration (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	13.32	15.05
Organic carbon (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	3.63	4.1

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-58> Monthly changes of CO_2 efflux (g CO_2 $m^{-2}month^{-1}$) of the *Q. mongolica* and *A. koreana* community in the study area

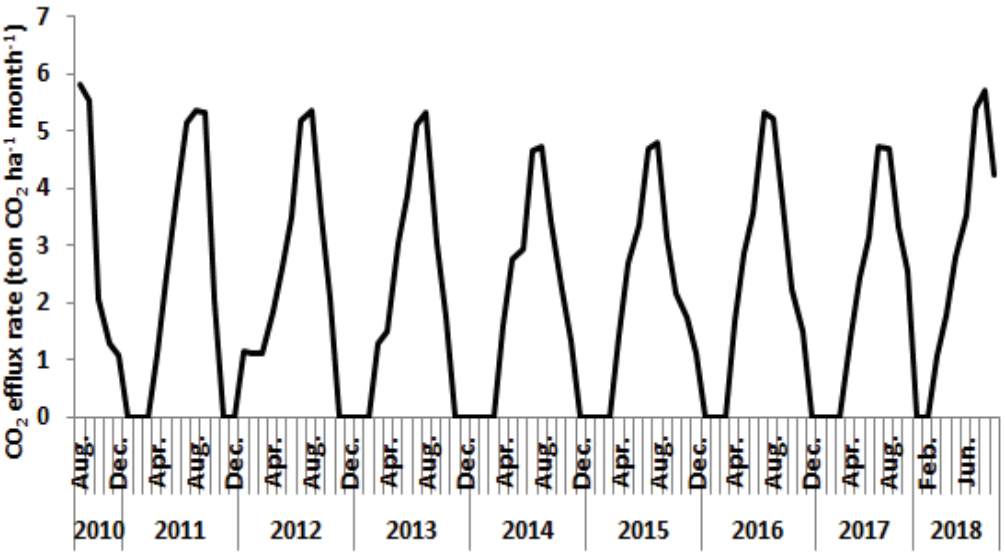
3) 한라산

2010년 8월부터 2018년 9월까지의 토양호흡량을 연도별로 살펴보면 15.76, 25.18, 27.45, 24.92, 24.01, 25.45, 26.37, 24.07 그리고 24.52ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}로 평균 24.19ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 였다(표Ⅲ-78). 2016년과 2017년에는 7월에 토양호흡량이 가장 높았으며, 나머지는 모두 8월에 토양호흡량이 높았다(그림Ⅲ-59). 2010년 8월부터 2018년 9월까지 토양호흡을 통해 대기 중으로 방출되는 유기탄소량을 연도별로 살펴보면 4.3, 6.87, 7.49, 6.8, 6.55, 6.94, 6.8, 6.56 그리고 6.69ton C ha^{-1} yr^{-1} 로 평균 6.56ton C ha^{-1} yr^{-1} 였다(표Ⅲ-78).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-78> Annual soil respiration (ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1}) and organic carbon (ton C ha^{-1} yr^{-1}) of the *A. koreana* community in the study area

Type	Year									Mean
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Soil respiration (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	15.76	25.18	27.45	24.92	24.01	25.45	26.37	24.07	24.52	24.19
Organic carbon (ton CO_2 · ha^{-1} · yr^{-1})	4.3	6.87	7.49	6.8	6.55	6.94	6.8	6.56	6.69	6.56



<그림Ⅲ-59> Monthly changes of CO_2 efflux (g CO_2 $m^{-2}month^{-1}$) of the *A. koreana* community in the study area

(9) 영양염류분포

(가) 질소(nitrogen)

모든 군락의 교목층 총 질소량은 <표Ⅲ-79>에 나타내었다.

남산 신갈나무군락의 교목층 총 질소량은 $4.5252*10^{-4}$ ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 $0.89463*10^{-4}$, $3.1319*10^{-4}$, $0.49868*10^{-4}$ ton N/ha 으로 분포되었다. 남산 소나무군락의 교목층 총 질소량은 $4.7632*10^{-4}$ ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 $0.88538*10^{-4}$, $2.9216*10^{-4}$, $0.95617*10^{-4}$ ton N/ha 으로 분포되었다. 남산 아까시나무군락의 교목층 총 질소량은 $1.6835*10^{-4}$ ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 $0.77270*10^{-4}$, $0.55044*10^{-4}$, $0.36035*10^{-4}$ ton N/ha 으로 분포되었다.

지리산 신갈나무군락의 교목층 총 질소량은 $4.1375*10^{-4}$ ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 $0.032300*10^{-4}$, $3.1853*10^{-4}$, $0.91988*10^{-4}$ ton N/ha 으로 분포되었다. 지리산 구상나무군락의 교목층 총 질소량은 $4.6739*10^{-4}$ ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 $0.07200*10^{-4}$, $3.2166*10^{-4}$, $1.3853*10^{-4}$ ton N/ha 으로 분포되었다. 지리산 소나

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

무군락의 교목층 총 질소량은 4.5910*10^{-4} ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 0.014400*10^{-4}, 3.9738*10^{-4}, 0.60288*10^{-4} ton N/ha 으로 분포되었다.

한라산 구상나무군락의 교목층 총 질소량은 3.9176*10^{-4} ton N/ha 이며, 잎+생식부, 줄기, 가지의 질소량은 각각 0.52160*10^{-4}, 2.4552*10^{-4}, 0.94080*10^{-4} ton N/ha 으로 분포되었다.

<표Ⅲ-79> Nitrogen (ton N ha^{-1} yr^{-1}) of Tree layer of each community in the study area

Component		Mt. Namsan			Mt. Jirisan			Mt. Halla-san
		Quercus mongolica	*Pinus densiflora*	*Robinia pseudoacacia*	*Quercus mongolica*	*Abies koreana*	*Pinus densiflora*	*Abies koreana*
		2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018
Tree layer	Leaf+Rep. organ	0.89463 *10^{-4}	0.88538 *10^{-4}	0.77270 *10^{-4}	0.032300 *10^{-4}	0.07200 *10^{-4}	0.014400 *10^{-4}	0.52160 *10^{-4}
	Stem	3.1319 *10^{-4}	2.9216 *10^{-4}	0.55044 *10^{-4}	3.1853 *10^{-4}	3.2166 *10^{-4}	3.9738 *10^{-4}	2.4552 *10^{-4}
	Branch	0.49868 *10^{-4}	0.95617 *10^{-4}	0.36035 *10^{-4}	0.91988 *10^{-4}	1.3853 *10^{-4}	0.60288 *10^{-4}	0.94080 *10^{-4}
Total		4.5252 *10^{-4}	4.7632 *10^{-4}	1.6835 *10^{-4}	4.1375 *10^{-4}	4.6739 *10^{-4}	4.5910 *10^{-4}	3.9176 *10^{-4}

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 인(Phosphorus)

모든 군락의 교목층 총 인량은 <표Ⅲ-80>에 나타내었다.

남산 신갈나무군락의 교목층 총 질소량은 3.2740*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.64037*10^{-5} ton P/ha, 2.1829*10^{-5} ton P/ha, 0.45073*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다. 남산 소나무군락의 교목층 총 질소량은 3.4152*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.71937*10^{-5} ton P/ha, 1.8592*10^{-5} ton P/ha, 0.83664*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다. 남산 아까시나무군락의 교목층 총 질소량은 1.2624*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.55309*10^{-5} ton P/ha, 0.38364*10^{-5}

ton P/ha, 0.32570*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다.

지리산 신갈나무군락의 교목층 총 질소량은 3.4152*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.71937*10^{-5} ton P/ha, 1.8592*10^{-5} ton P/ha, 0.83664*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다. 지리산 구상나무군락의 교목층 총 질소량은 3.3815*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.058500*10^{-5} ton P/ha, 2.1109*10^{-5} ton P/ha, 1.2121*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다. 지리산 소나무군락의 교목층 총 질소량은 3.1470*10^{-5} ton P/ha 이며, 잎+생식부, 가지, 줄기의 질소량은 각각 0.011700*10^{-5} ton P/ha, 2.6078*10^{-5} ton P/ha, 0.52752*10^{-5} ton P/ha으로 분포되었다.

<표Ⅲ-80> Phosphorus (ton P ha^{-1} yr^{-1}) of Tree layer of each community in the study area

Component		Mt. Namsan			Mt. Jirisan			Mt. Halla-san
		Quercus mongolica	*Pinus densiflora*	*Robinia pseudoacacia*	*Quercus mongolica*	*Abies koreana*	*Pinus densiflora*	*Abies koreana*
		2018	2018	2018	2018	2018	2018	2018
Tree layer	Leaf+Rep. organ	0.64037 *10^{-5}	0.71937 *10^{-5}	0.55309 *10^{-5}	0.023120 *10^{-5}	0.058500 *10^{-5}	0.011700 *10^{-5}	0.42380 *10^{-5}
	Branch	2.1829 *10^{-5}	1.8592 *10^{-5}	0.38364 *10^{-5}	2.2201 *10^{-5}	2.1109 *10^{-5}	2.6078 *10^{-5}	0.15624 *10^{-5}
	Stem	0.45073 *10^{-5}	0.83664 *10^{-5}	0.32570 *10^{-5}	0.83153 *10^{-5}	1.2121 *10^{-5}	0.52752 *10^{-5}	0.82320 *10^{-5}
Total		3.2740 *10^{-5}	3.4152 *10^{-5}	1.2624 *10^{-5}	3.0746 *10^{-5}	3.3815 *10^{-5}	3.1470 *10^{-5}	2.8094 *10^{-5}

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라. 관악산의 까치

(1) 까치 개체군의 번식 생태 연간 변동

1998년부터 2018년까지 SNU에서, 2008년부터 2018년까지 KAIST에서 수집한 까치 개체군 번식자료의 연별 평균 자료는 아래 <표Ⅲ-81>과 같다.

<표Ⅲ-81> 연도별 추이 자료 요약 (개체군 평균치)

개체군	연도	한배 알 수	산란일 (율리안일)	새끼 수	새끼 건강상태	성공한 둥지비율(%)
SNU	1998		75	2.8	1.99	43.2
	1999		79	3.2	1.49	53.8
	2000	6.30	84	2.4	1.47	50.0
	2001	5.79	75	2.8	1.32	30.2
	2002		78	2.7	1.32	38.3
	2003	6.70	78	2.3	0.74	21.1
	2004	6.83	76	2.6	1.45	48.0
	2005	6.11	81	2.52	2.06	51.9
	2006	6.00	82	1.62	1.89	38.7
	2007	6.48	86	2.39	1.19	35.2
	2008	6.46	86	1.76	1.77	44.6
	2009	6.45	80	2.77	1.80	69.8
	2010	6.27	91	3.07	1.74	59.0
	2011	5.61	95	2.09	0.54	67.3
	2012	6.26	89	3.40	1.82	45.6
	2013	5.90	87	2.00	1.86	33.3
	2014	6.41	85	3.83	3.62	61.7
	2015	6.26	89	2.46	3.57	54.1
	2016	5.88	89	2.76	3.49	43.7
	2017	6.50	89	2.70	3.52	49.2
	2018	6.37	90	2.83	3.51	41.8

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

개체군	연도	한배 알 수	산란일 (율리안일)	새끼 수	새끼 건강상태	성공한 둥지비율(%)
KAIST	2008	4.89	72	3.68	1.90	45.7
	2009	6.24	78	3.50	1.82	77.4
	2010	6.85	83	2.79	0.49	66.7
	2011	6.38	81	3.69	0.54	79.1
	2012	5.63	74	3.25	1.64	44.4
	2013	5.93	94	2.85	1.69	44.8
	2014	6.54	77	3.44	3.57	78.0
	2016	6.96	77	3.72	3.75	52.9
	2017	5.93	81	2.57	3.36	41.2
	2018	6.50	75	3.79	3.57	35.0

까치개체군의 번식성공도를 연도별 평균치로 산출한 결과, 한배 알 수는 4.89 - 6.96개, 산란일은 72 - 95일, 이소 직전 새끼 수는 둥지 당 1.62 - 3.83마리, 새끼의 건강상태는 3.19 - 3.80, 성공한 둥지의 비율은 21.1 - 79.1%의 값을 가졌다.

이 번식지표간 상관성을 분석한 결과(표Ⅲ-82) 산란일과 새끼 수 사이에는 음의 상관성이 나타났고, 새끼 수, 건강상태, 성공한 둥지의 비율 사이에는 양의 상관성이 나타났다. 조류에서 개체군 평균 산란일은 그 개체군이 놓인 환경조건과 상관성이 있다고 알려져 있다. 산란일이 빨라지는 것은, 산란전 환경이 온화하여 먹이가 풍부한 시기가 앞당겨질 것임을 의미하며, 질이 좋은 부모의 산란일이 빠르다는 일반적인 연구결과를 고려할 때, 산란일이 빨라지는 것은 그 해에 번식에 참여하는 암컷의 전반적인 건강상태가 좋음을 의미한다고 볼 수 있으며 이로 인해 산란일과 새끼 수와 음의 상관성을 가지게 된다고 생각할 수 있다. 번식에 참여하는 암컷의 건강상태가 좋으면 새끼가 많이 생산되는 것 뿐만 아니라 새끼의 건강상태 또한 높을 것을 쉽게 예측할 수 있으며, 이에 알 및 새끼의 생존율이 증대될 것이므로 번식에 성공하는 둥지의 비율 역시 높을 것이라 예측할 수 있다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-82> 번식 지표 간 상관성 (연별 개체군 평균치)

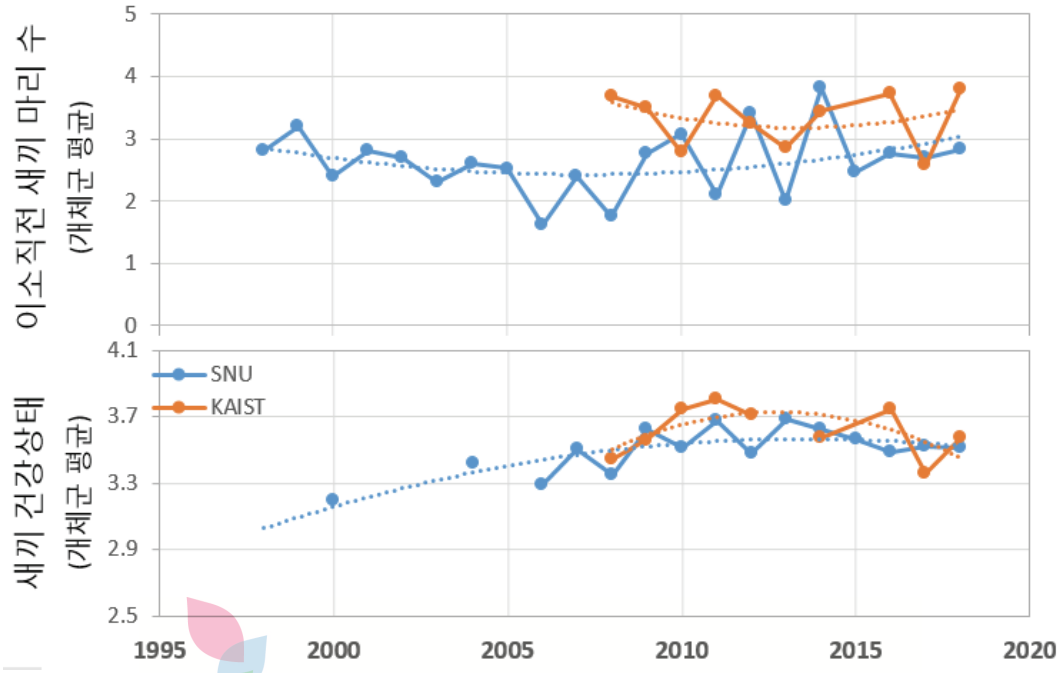
지표	한배 알 수	산란일	새끼 수	새끼 건강상태	성공 둥지 비율
한 배 알 수	1	-0.058	0.047	0.146	0.163
산란일		1	**-0.396**	-0.060	0.119
새끼 수			1	**0.445**	**0.389**
새끼 건강상태				1	**0.442**
성공 둥지 비율					1

(가) 새끼 마리 수와 건강상태의 연간 추이

현재까지 수집된 자료를 바탕으로 보건대 SNU와 KAIST에서 까치의 번식성공도의 연간추이는 비슷한 것으로 나타났다. 두 개체군에서 까치의 번식성공도 중 새끼 마리 수와 건강상태의 연간 추이를 <그림Ⅲ-60>에 나타내었다.

1998년부터 2018년까지 SNU에 서식하는 까치 개체군 번식성공도의 연간변동을 조사한 결과 2006-2008년을 거치면서 감소했던 개체군 전반에 걸쳐 생산된 새끼의 수(이소직전까지 생존한 새끼의 수만 포함)는 최근 들어 다시 회복되는 추세로 나타났으며 새끼의 건강상태는 새끼 수와는 반대의 양상을 보이는 것으로 나타나 개체군 전반적인 번식성공도에는 자손의 양과 질 간의 trade-off가 관찰되는 듯하다(그림Ⅲ-60). SNU의 경우 2010년에 들어서면서는 새끼 수의 연간변동폭이 커진 것으로 나타난다. 이는 최근 10년 간 한반도의 기후변화 양상이 그 이전과는 달리 저온 관련 극한기후현상이 증가하여 기후의 변동폭이 커졌다는 보고(국립기상과학원, 2018)와 연관지어 볼 수 있는데, 까치 개체군의 번식성공도가 환경 조건 변동에 따라 민감하게 반응하고 있음을 미루어 짐작할 수 있다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

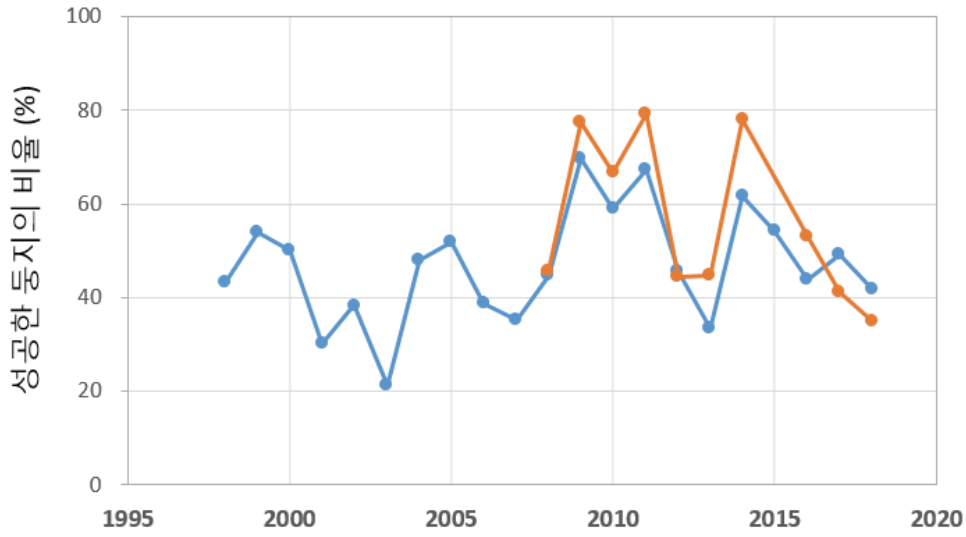


<그림Ⅲ-60> 까치 개체군의 번식성공도 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 실패한 둥지의 비율과 그 원인의 연간 추이

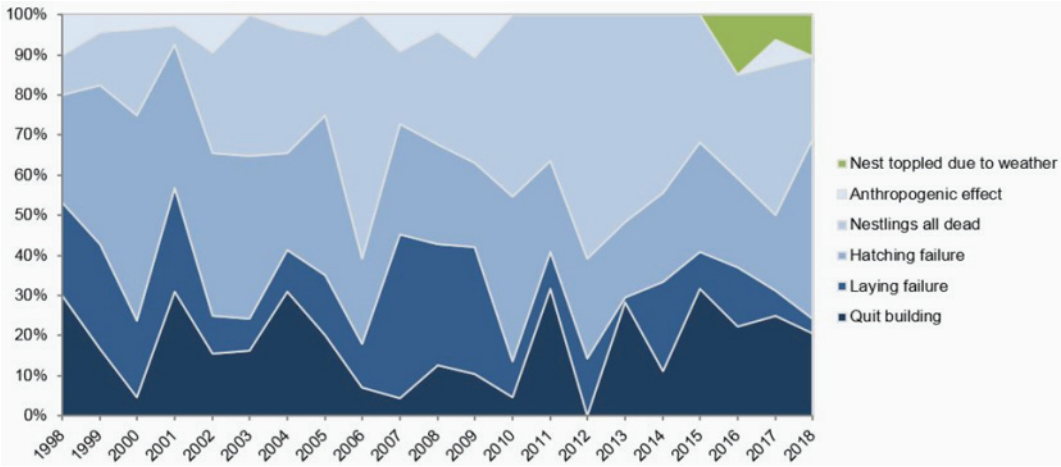
특정 해에 새끼를 성공적으로 한 마리라도 이소시킨 둥지의 비율(그림Ⅲ-61)은 연간 변동폭이 매우 컸으나 SNU와 KAIST에서의 양상이 매우 유사하게 나타났다. 이 지표와 앞의 새끼 마리 수 및 건강상태 연간 추이를 분석한 결과 SNU와 KAIST 개체군의 번식생태에는 질적인 차이가 존재하지 않는다고 판단하여 이후 기후인자와의 상관성 분석에는 개체군의 차이는 변수로 고려하지 않고 자료를 pooling하여 분석하였다.



<그림Ⅲ-61> 까치 개체군에서 새끼를 성공적으로 한 마리라도 이소시킨 둥지의 비율의 연간 변동(파란선: SNU/주황색선: KAIST)

SNU에서 각 번식쌍이 번식에 실패하는 경우 그 요인을 조사하여 그 빈도의 변화를 <그림Ⅲ-62>에 나타내었다. 조사가 시작된 초기부터 2000년대 초반까지는 알과 관련된 시기의 번식실패(laying failure, hatching failure)가 가장 많이 관찰된 반면, 2000년대 중반 이후로는 부화한 새끼의 생존 실패(nestling all dead)가 가장 큰 번식실패 요인에 해당한다. 특히 2010년 이후로는 새끼의 생존 실패가 개체군 번식실패의 50%에 해당하는 경우도 나타났다. 최근 10년 들어서는 저온 관련 극한기후현상이 증가하였음(국립기상과학원, 2018)을 고려하면, 겨울의 극한기후가 번식쌍이 만들어내는 새끼의 질을 전반적으로 감소시켜 새끼의 사망률이 높아졌을 수 있다는 가설을 세울 수 있다. 이 가설은 좀더 장기적인 자료가 수집되면 보다 높은 신뢰성을 가진 분석을 수행하여 테스트할 수 있을 것이다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

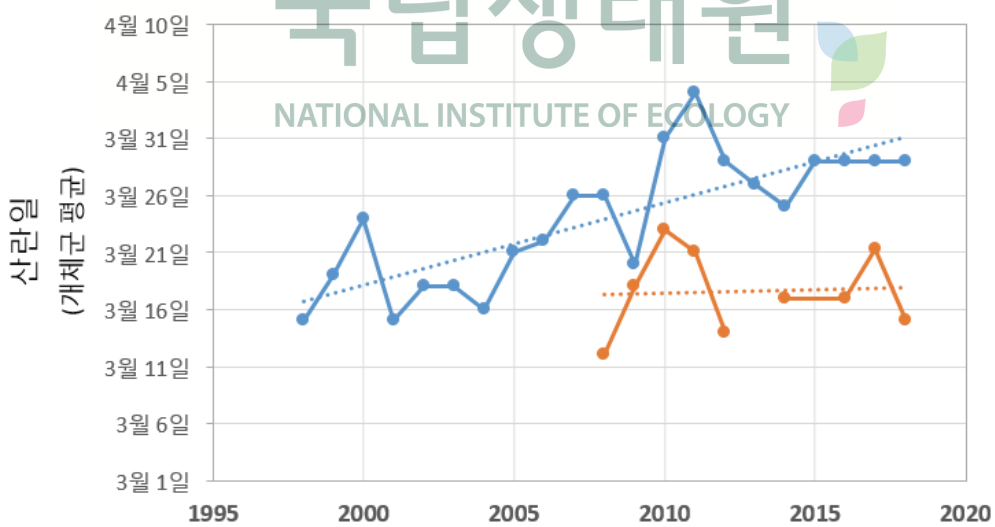


<그림Ⅲ-62> 까치 번식쌍의 번식 실패 요인과 그 관찰비율의 연간 변동(SNU자료)

(다) 산란일과 한배 알 수의 연간 추이

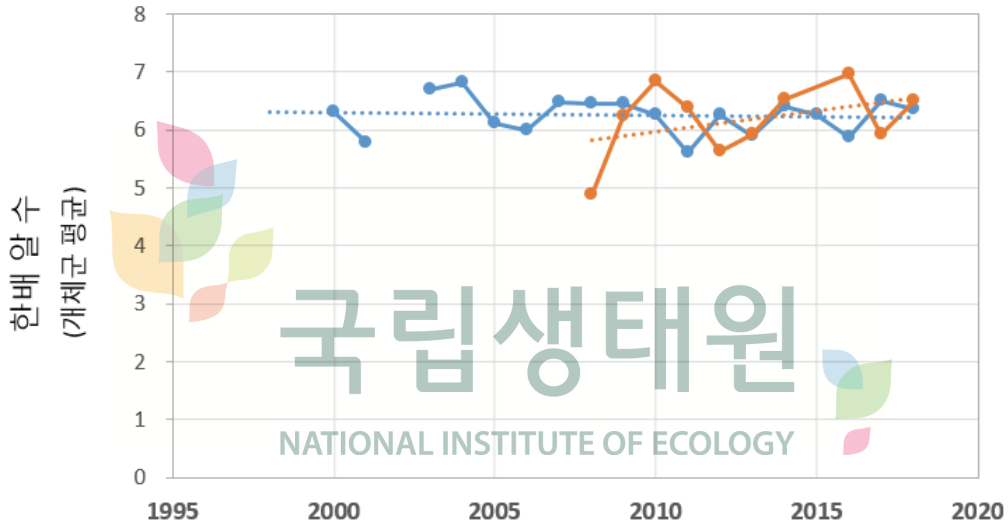
개체군 전반적으로 생산된 새끼 수와 건강상태의 연간변동은 두 개체군에서 결과가 유사하며 일정한 추이를 보이고 있지 않은 반면, 알 단계에서 관찰되는 번식성공도의 연간변동 <그림Ⅲ-63>은 양상이 다르게 나타났다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-63> 산란일의 개체군 평균 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST)

해가 거듭될수록 까치 개체군의 산란일은 지연되고 있으며, 특히 SNU에서는 산란일 지연이 매우 뚜렷하게 나타났다. 지구온난화로 인해 많은 야생조류의 산란일이 빨라지는 추세가 보고되고 있는데, 까치의 경우 산란일이 전반적으로 지연되고 있는 것은 까치의 산란일이 단지 기온이 아닌, 좀더 복합적인 환경요인에 영향을 받을 가능성이 있음을 시사한다(아래 '번식성공도와 기후인자 간의 상관관계' 참조). 최근 들어 큰 폭으로 변동하고 있는 새끼 수의 양상과는 달리(그림Ⅲ-60), 한배 알 수는 평균 6.5개 정도에서 비교적 일정하게 유지되고 있으며, 이는 SNU나 KAIST 개체군 모두에서 관찰된다(그림Ⅲ-64).



<그림Ⅲ-64> 한배 알 수의 개체군 평균 연간 추이(파란선: SNU/주황색선: KAIST)

(2) 번식성공도와 기후인자 간의 상관관계

(가) 연간 변동 - 개체군 단위 분석 결과

까치개체군 전반적인 번식성공도 연간 변동과 기후인자 간의 상관성을 분석하기 위해 해당 연도 번식단계별 기후인자를 산출하여 그로부터 주성분을 추출한 결과를 <표Ⅲ-83>에 나타내었다. 그리고 이 주성분을 독립변수로 사용하여 각 개체군 번식성공도 지표와의 상관성을 탐색한 결과를 <표Ⅲ-84~86>과 <그림Ⅲ-65>에 요약하였다.

개체군 단위 분석 결과 까치 개체군의 번식성공도 연간변이(개체군 평균치)는 산란전 기후와 포란기의 기후가 양육기의 기후보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(표Ⅲ-84~86). 새끼 수와 새끼의 건강상태는 산란전 기후 뿐만 아니라 포란기의 영향이 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(표Ⅲ-84, 85). 그 반면, 알 관련 번식생태지표는 기후조건과의 상관성이 크게 나타나지 않았다(후진제거법을 수행하는 동안 모든 변수가 제거되었다).

개체군 평균 새끼 수에 관해서 살펴보면, 산란전 90일 간은 일조시간이 짧은 해일수록, 산란전 30일 간은 기온이 낮은 해일수록, 포란기에는 강수량이 많고 일조시간과 기온이 변동이 큰 해일수록(즉 빠르게 증가할수록) 개체군 전반적으로 새끼가 많이 태어나는 것으로 나타났다(표Ⅲ-84/그림Ⅲ-65). 이는 까치가 번식을 준비하는 겨울의 기후가 온화할수록 개체군 전반적으로 생산되는 새끼의 수가 많을 것이라는 예상과 반대되는 결과이다.

개체군 평균 새끼의 건강상태에 대해서 살펴보면, 산란전 90일 간은 일조시간이 길고 추운 해일수록, 산란전 30일 간은 강수량이 많은 해일수록, 포란기에는 강수량이 적고 일조시간과 기온이 낮고 변동이 적은 해일수록, 양육기에는 강수량이 일정하고 일조시간의 변동이 큰 해일수록 개체군 전반적으로 태어나는 새끼의 건강상태가 좋은 것으로 나타났다(표Ⅲ-85/그림Ⅲ-65). 위의 새끼 수의 결과와 같이 생각해보면, 겨울과 초봄에 기후가 너무 높으면 새끼의 수와 건강상태에 좋은 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다. 작년까지의 분석결과에서는 산란전 기후에서 기온과 일조시간이 높고 많을수록 번식성공도가 좋게 나타났는데, 겨울간 극한기후 및 이상기후가 관찰되는 빈도가 높아지면서 상관성의 양상이 뒤바뀌기 시작한 것으로 추정할 수 있다. 이러한 결과가 향후 계속 비슷한 양상을 나타날지 아니면 작년 결과와 비슷한 양상으로 돌아갈지는 더 장기적 자료가 축적되어야 판단할 수 있을 것이다.

성공한 둥지의 비율은 포란기와 양육기의 일조시간이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한 가지 주목할 점은, 성공한 둥지의 비율, 새끼의 수와 건강상태가 모두 포란기 주성분3과 상관성이 나타났으나 그 양상은 달랐다는 점이다. 포란기 주성분3은 성공한 둥지의 비율은 일조시간 및 기온의 변동과 음의 상관성을 지닌 주성분인데(표Ⅲ-83), 성공한 둥지의 비율과 새끼의 수는 이 주성분과 양의 상관성을(표Ⅲ-84, 86/그림Ⅲ-65), 새끼의 건강상태는 음의 상관성을(표Ⅲ-85/그림Ⅲ-65) 가졌다. 포란기는 초봄에 해당하는 기간인데, 이때 일조시간이 많고 기온의 변동이 크면 번식성공도가 좋게 나타날 것을

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

예측할 수 있으나 새끼의 건강상태에 대해서는 그렇게 나타나지 않은 것이다. 다만 새끼의 건강상태와 포란기 주성분3의 상관성은 다른 두 번식지표와의 상관성에 비해 그 효과가 적은 것으로 추정되는 바(t와 estimate의 절대값에 비추어) 새끼의 건강상태가 포란기 일조시간 및 기온의 증가량과 상관성이 매우 큰 것인지는 좀더 자료 분석을 면밀히 해봐야 할 것으로 사료된다.

산란 전 기후가 산란일과 한배 알 수와 큰 상관성을 가질 것이라는 예상과는 달리, 후진제거법을 실시한 결과 산란일과 한배 알 수를 설명하는 모델에는 어떠한 변수도 남지 않았다. 이로부터 산란일과 한배 알 수에 산란전 기후가 영향을 미치지 않는다고 판단하는 데에는 무리가 있다고 생각된다. 왜냐하면 어떠한 변수선택법을 차용하느냐에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있고, 본 연구에서 차용한 후진제거법에서는 순차적으로 변수를 선택하는 변수 간의 상관성에 따라 모델에서 제거되거나 모델에 잔류하는 변수가 결정될 가능성이 있기 때문이다. 산란전 기후와 개체군 전반의 평균 알 수와 산란일 간의 상관성을 비교하기 위해서는 좀더 심층적인 추가분석이 필요할 것이다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-83> 개체군 연별 자료에 대해 각 시기별 추출한 주성분의 조성

단계	기후 인자	주성분1	주성분2	주성분3
산란전 90일간 (주성분 3까지 설명력 72.3%)	평균 일조시간	-0.126	**0.686**	0.158
	일조시간 변동	0.233	**0.615**	0.134
	평균 강수량	**0.553**	-0.187	0.132
	강수량 변동	**0.530**	-0.065	0.213
	누적 강수량	**0.515**	0.013	0.084
	평균 기온	-0.022	-0.013	0.261
	기온 변동	0.253	0.327	**-0.613**
	영하 일 수	-0.119	0.076	**0.666**
산란전 30일간 (주성분 3까지 설명력 75.2%)	평균 일조시간	-0.316	0.061	0.480
	일조시간 변동	0.276	0.013	0.484
	평균 강수량	**0.526**	0.159	-0.103
	강수량 변동	**0.521**	0.122	0.080
	누적 강수량	**0.501**	-0.022	0.018
	평균 기온	0.031	**-0.641**	0.310
	기온 변동	0.012	0.289	**0.649**
	영하 일 수	-0.153	**0.680**	-0.026
포란 기간 (주성분 3까지 설명력 76.6%)	평균 일조시간	0.004	0.214	**0.721**
	일조시간 변동	0.242	**0.557**	-0.180
	평균 강수량	**0.548**	-0.261	0.004
	강수량 변동	**0.568**	-0.099	-0.085
	누적 강수량	**0.540**	0.187	-0.032
	평균 기온	0.013	**0.669**	0.190
	기온 변동	0.161	-0.288	**0.635**
양육 기간 (주성분 3까지 설명력 79.0%)	평균 일조시간	-0.435	0.240	0.160
	일조시간 변동	0.140	0.482	**0.771**
	평균 강수량	0.486	0.079	-0.306
	강수량 변동	**0.520**	0.119	-0.057
	누적 강수량	0.456	0.325	0.002
	평균 기온	-0.208	**0.583**	-0.257
	기온 변동	0.183	**-0.494**	0.466

*굵은 글자로 표현한 것이 기여도가 높은 기후인자

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-84> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(새끼수)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란90일전 주성분2	-2.98	-0.39±0.13	5,24	3.55	3.36
산란30일전 주성분2	3.14	0.29±0.09			
포란기 주성분1	1.76	0.12±0.07			
포란기 주성분2	3.52	0.51±0.15			
포란기 주성분3	3.21	0.35±0.11			

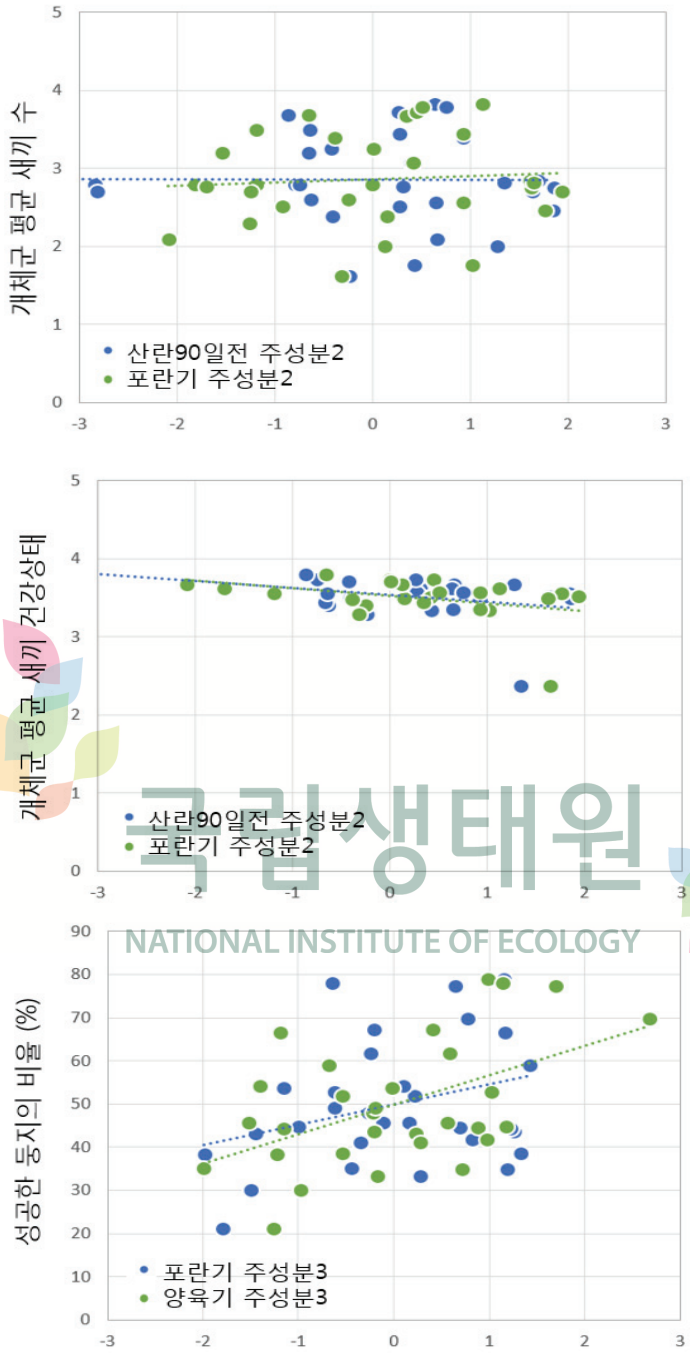
<표Ⅲ-85> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(새끼 건강상태)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란90일전 주성분2	1.56	0.13±0.08	8,14	4.35	-26.83
산란90일전 주성분3	2.49	0.13±0.05			
산란30일전 주성분1	2.31	0.07±0.03			
포란기 주성분1	-1.78	-0.06±0.04			
포란기 주성분2	-2.81	-0.15±0.05			
포란기 주성분3	-1.47	-0.06±0.04			
양육기 주성분1	-3.14	-0.14±0.04			
양육기 주성분3	1.83	0.14±0.08			

<표Ⅲ-86> 개체군 연간 번식성공도 자료분석(성공한 둥지의 비율)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
포란기 주성분3	2.29	5.85±2.55	2,27	5.68	197.62
양육기 주성분3	2.00	5.58±2.78			

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-65> 까치개체군 번식성공도 지표의 연간변동과 기후인자와의 상관성

(나) 연내 변동 - 둥지 단위 분석 결과

까치 개체군 번식의 연내 변동 분석, 즉 둥지 단위의 분석에는 번식자료가 좀더 면밀하게 수집되고 분석에 충분한 수의 표본이 확보된 해의 자료만 사용되었다. 분석에 사용한 자료의 요약을 <표Ⅲ-87>에 나타내었다.

각 둥지마다 번식 단계별로 산출된 기후인자를 기반으로 산란전, 포란, 양육 단계 각각 3개씩의 주성분을 추출하였고 주성분 3개까지의 설명력은 48.7 - 60.3%였다(표Ⅲ-88). 이 단계별 주성분을 이용하여 둥지별 번식성공도와의 상관성을 탐색하였는데, 그 결과를 <표Ⅲ-89~92>와 <그림Ⅲ-66>에 나타내었다. 모든 번식성공지표와 상관성을 갖는 것으로 나온 기후인자는 산란전 주성분 1이었는데, 이는 산란전 기간의 기온으로 구성되어 있는 주성분이었다(표Ⅲ-88). 산란전 기온이 조류의 번식성공도에 영향을 미치는 것은 크게 놀랄 일이 아니나, 본 연구의 결과에서는 그간 알려진 것과는 반대로 이 기간 동안 기온이 높을수록 새끼 수가 적었고, 새끼의 건강상태도 좋지 않았으며, 산란일도 늦어졌고, 한 배 알 수도 적은 것으로 나타났다(그림Ⅲ-66). 이 중 새끼 수와 건강상태의 결과는 연평균 번식성공도와 기후인자와의 상관관계 분석에서 얻은 결과와도 일치하는 내용이다(표Ⅲ-86/그림Ⅲ-65).

둥지별 번식성공도에도 개체군 평균 번식성공도 지표와 마찬가지로 산란전과 포란기의 기후가 중요하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기후 인자 중에는 평균 기온(산란전 주성분1, 포란기 주성분1)과 기온의 증가량(산란전 주성분3, 포란기 주성분3), 강수량(산란전 주성분2, 포란기 주성분2)이 중요했으며, 일조시간은 번식지표와의 상관성이 나타나지 않았다. 결과를 종합해보면, (i) 산란전 기온이 낮고 포란기에 기온이 높을수록 이소직전 새끼 수는 많았고, (ii) 산란전에는 평균 기온은 낮지만 기온이 빠르게 증가하며 강수량이 적고 포란기 기온이 높을수록 새끼의 건강상태는 좋았으며, (iii) 산란전 기온이 낮고 강수량이 적을수록 산란일이 빠르고 한배 알 수도 많았다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-87> 둥지 단위 분석에 포함된 자료의 요약

개체군	연도	둥지개수	산란일	한배 알 수	새끼 수
SNU	2000	21	90 ± 14.7	6.46 ± 0.7	3.36 ± 1.4
	2004	22	84 ± 8.3	6.77 ± 1.2	4.06 ± 1.4
	2006	19	88 ± 10.6	6.70 ± 0.9	2.39 ± 0.9
	2007	21	78 ± 10.2	6.88 ± 1.1	4.28 ± 1.8
	2008	33	85 ± 12.7	6.45 ± 1.4	3.04 ± 1.1
	2009	21	78 ± 10.1	6.76 ± 1.0	3.81 ± 1.7
	2010	22	91 ± 12.4	6.17 ± 0.9	3.16 ± 1.0
	2011	25	89 ± 10.0	6.19 ± 1.0	-
	2012	26	93 ± 14.0	6.34 ± 1.0	3.92 ± 1.2
	2013	14	86 ± 12.5	5.86 ± 1.2	2.43 ± 0.9
	2014	29	86 ± 13.7	6.71 ± 1.1	4.58 ± 1.3
	2015	22	87 ± 14.4	6.66 ± 1.5	3.79 ± 1.7
	2016	20	89 ± 12.3	6.47 ± 1.0	3.14 ± 1.0
	2017	30	89 ± 10.1	6.53 ± 1.1	3.45 ± 1.3
	2018	23	89 ±12.0	6.23 ± 0.9	2.82 ± 1.3
KAIST	2008	18	77 ± 8.0	6.69 ± 1.0	4.52 ± 1.7
	2009	21	79 ± 8.7	6.29 ± 1.0	4.40 ± 1.4
	2010	19	79 ± 10.2	5.68 ± 1.3	3.51 ± 1.0
	2011	26	76 ± 8.6	7.04 ± 1.0	4.94 ± 1.7
	2012	14	73 ± 7.6	6.94 ± 1.3	3.11 ± 0.9
	2014	29	74 ± 9.7	6.87 ± 1.1	4.33 ± 1.3
	2016	18	77 ± 5.9	7.27 ± 0.7	4.04 ± 1.4
	2017	14	82 ± 10.9	6.00 ± 0.8	3.17 ± 1.2
	2018	14	76 ± 7.4	6.87 ± 1.2	4.81 ± 1.2

*자료는 평균 ± 표준편차로 표기

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-88> 둥지별 자료에 대해 각 단계별로 추출한 주성분의 조성

단계	인자	단계	주성분1	주성분2	주성분3
산란전 (주성분 3까지 설명력 48.9%)	평균 기온	-3	**0.428**	0.352	-0.092
		-2	**0.465**	0.288	0.122
		-1	**0.517**	0.215	-0.002
	평균 강수량	-3	-0.099	0.337	-0.342
		-2	-0.086	**0.399**	0.279
		-1	-0.068	**0.397**	0.124
	평균 일조시간	-3	0.328	-0.321	0.358
		-2	0.330	-0.312	-0.158
		-1	0.242	-0.311	-0.165
	기온의 증가량	-3	-0.081	-0.061	**0.585**
		-2	0.119	-0.090	-0.365
		-1	0.127	-0.090	0.331
포란 (주성분 3까지 설명력 59.3%)	평균 기온	0	**0.604**	0.042	0.031
		1	**0.633**	0.037	0.052
	평균 강수량	0	0.149	**0.621**	0.243
		1	0.174	**0.537**	-0.316
	평균 일조시간	0	0.250	-0.421	-0.209
		1	0.248	-0.322	0.431
	기온의 증가량	0	0.240	-0.202	-0.411
		1	0.017	-0.025	**0.663**
양육 (주성분 3까지 설명력 60.3%)	평균 기온	2	**0.567**	0.175	0.234
		3	**0.592**	0.241	0.143
	평균 강수량	2	-0.003	**0.664**	0.168
		3	-0.134	0.038	**0.614**
	평균 일조시간	2	0.315	**-0.492**	-0.0327
		3	0.387	0.083	**-0.505**
	기온의 증가량	2	0.242	-0.416	0.193
		3	-0.052	0.217	**-0.476**

*굵은 글자로 표현한 것이 기여도가 높은 기후인자

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-89> 둥지별 번식성공도 자료분석(새끼수)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란전 주성분1	-2.77	-0.20±0.07	3,481	5.27	912.55
포란기 주성분1	1.71	0.14±0.08			
포란기 주성분3	2.90	0.17±0.06			

<표Ⅲ-90> 둥지별 번식성공도 자료분석(새끼의 건강상태)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란전 주성분1	-4.21	-5.73±1.36	4,1543	8.04	13681
산란전 주성분2	-1.84	-1.79±0.97			
산란전 주성분3	2.65	2.96±1.12			
포란기 주성분1	1.83	2.84±1.55			

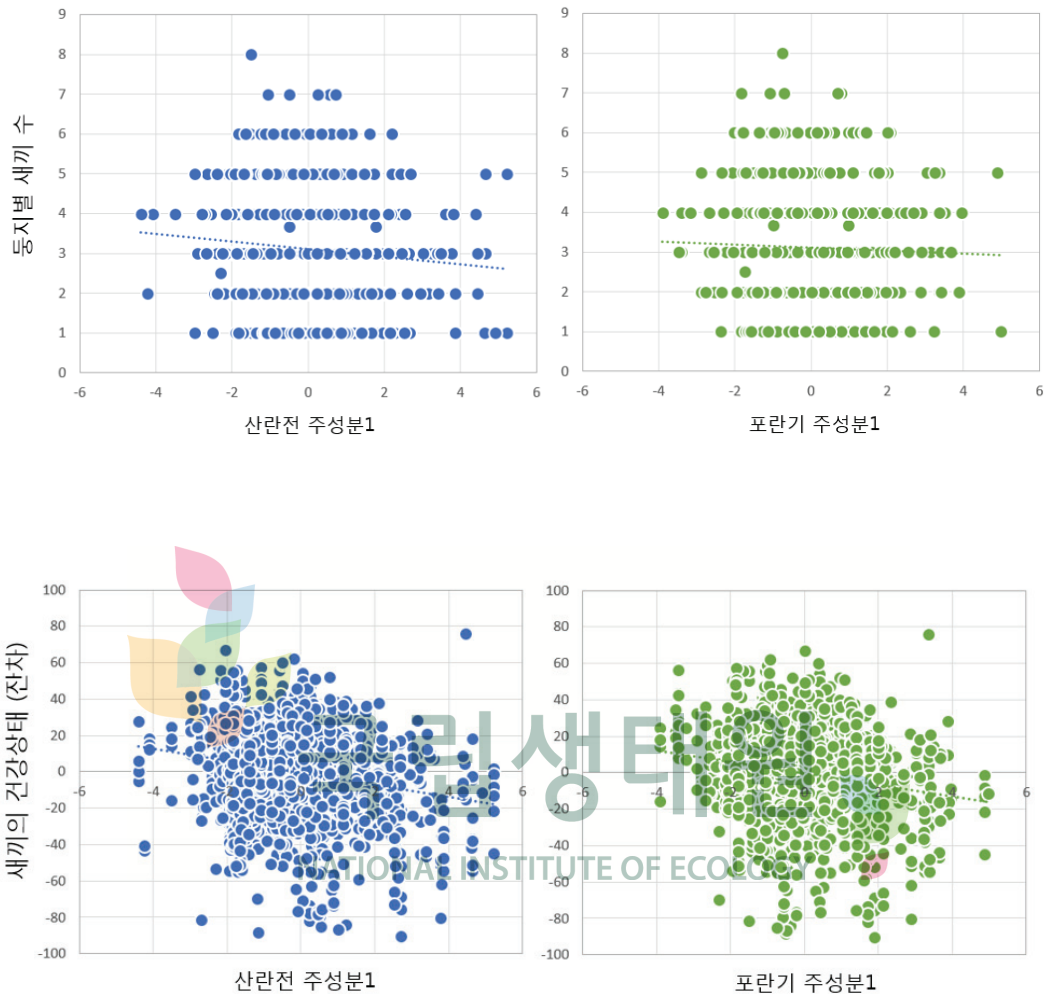
<표Ⅲ-91> 둥지별 번식성공도 자료분석(산란일)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란전 주성분1	35.82	6.12±0.17	3,513	544.78	2398.66
산란전 주성분2	18.67	3.52±0.19			
산란전 주성분3	-1.52	-0.36±0.23			

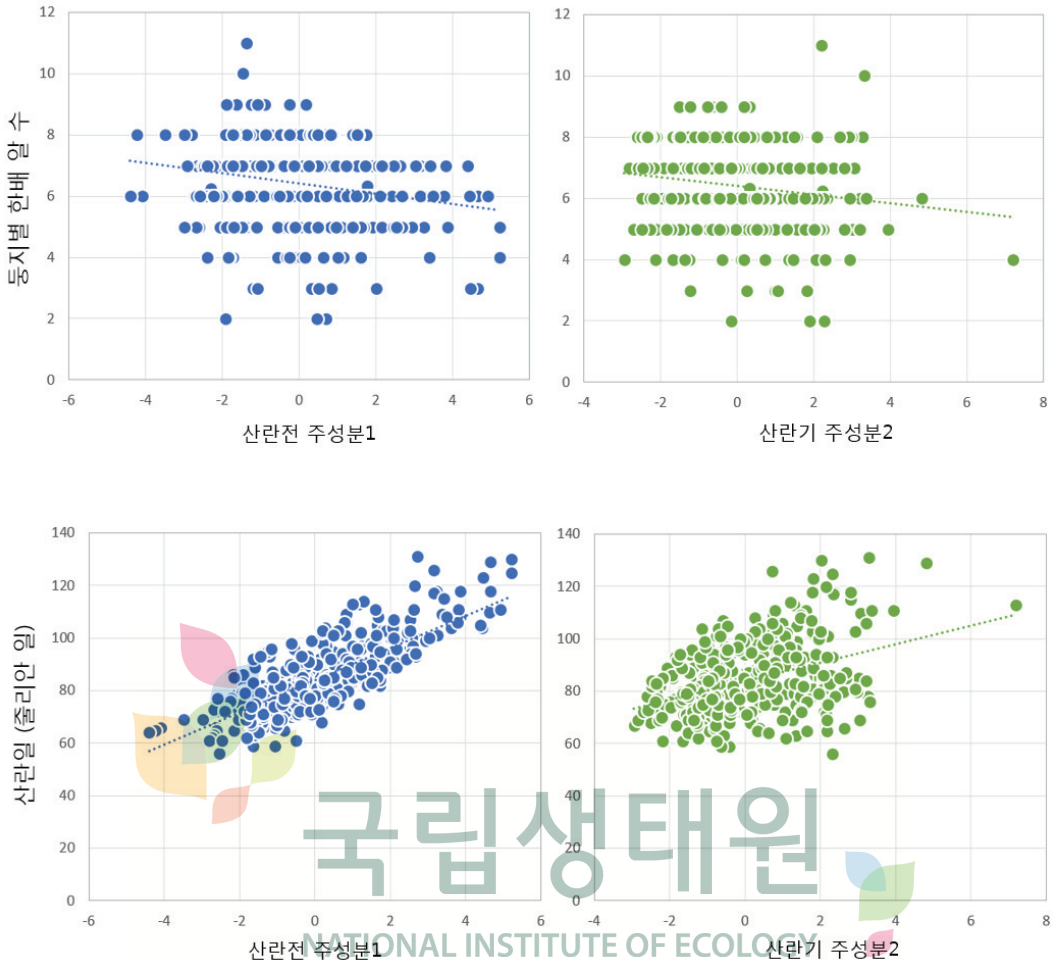
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-92> 둥지별 번식성공도 자료분석(한배 알 수)

변수	t	Estimate±SE	df	F	AICc
산란전 주성분1	-5.14	-0.17±0.03	2,500	20.92	666.31
산란전 주성분2	-3.94	-0.14±0.04			



<그림Ⅲ-66> 까치 번식생태의 연내 변동과 기후인자와의 상관성



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-66> (계속)

2. 담수생태계

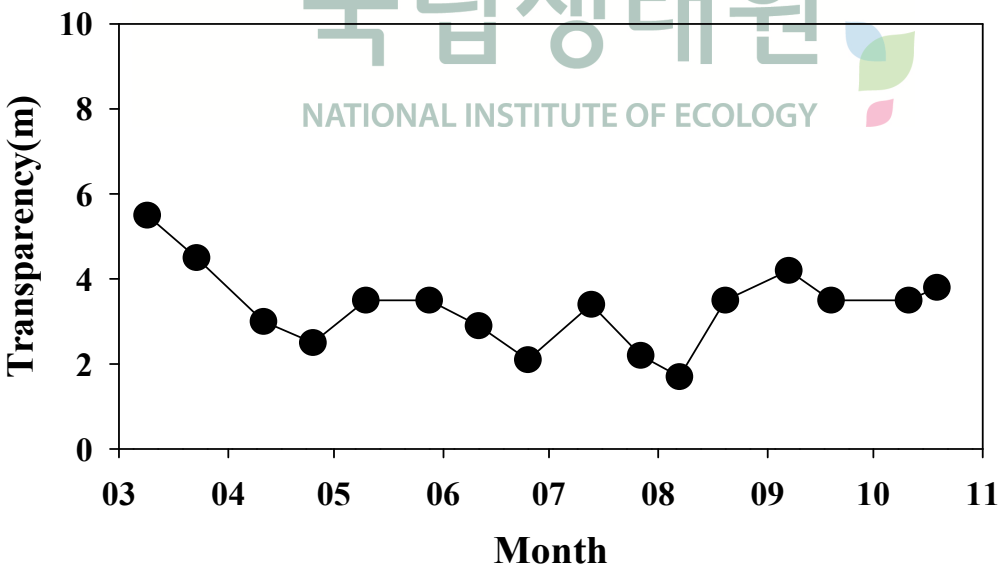
가. 소양호

(1) 수질

(가) 투명도

2018년 3월부터 10월까지 조사 기간 동안 소양호의 투명도를 조사한 결과 평균 3.3m였고, 9월 9일 조사에서 5.5m로 가장 깊었다. 호수에서 투명도는 식물플랑크톤의 성장이나 고탁도의 유입에 영향을 크게 받는데 2018년 3월 이후 소양호에서 투명도가 서서히 감소하는데 이는 봄 시기에 기온이 상승하면서 식물플랑크톤 증식으로 인해 감소한 것으로 보인다. 이러한 현상은 대부분의 대형 저수지에서 나타나는 현상이며 이외에 2018년 7월말부터 8월초까지 투명도가 급격히 낮아지는 특징을 보였다. 특히 8월 7일 에 투명도가 1.7m로 가장 낮았는데 이는 식물플랑크톤의 급격한 증식으로 인한 것으로 판단된다. 특히 남세균의 증식이 뚜렷하게 나타났기 때문이고 이후 9월 이후 수온이 낮아지면서 남세균은 감소하면서 투명도는 점차 개선이 되었고 이후 약 4m 내외로 유지가 되었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-67> 소양호에서 투명도의 변화

(나) 수온과 SS

소양호에서 수온은 조사 기간 동안 5.3~31.3℃로 4월말 이후 급격히 증가하기 시작하여 5월 28일 조사에서 표층 20.1℃ 수온이 높아지면서 점차 상하층 간의 온도차에 의해 성층현상이 강해지고 있는 것으로 나타났다. 2018년의 경우 7월 이후 강우량이 줄어들고 강한 일사량이 7월 말부터 표층의 수온이 30℃이상으로 나타났고 8월7일 조사에서 가장 높았으며 8월 내내 30℃ 이상 유지되었고 상하층 간의 온도차에 의해 성층현상이 강하게 나타났다. 그러나 8월 말 큰 강우 이후 수온은 점차 낮아지기 시작하였다. SS는 6월까지는 0.1~4.4mg/L의 범위를 보이며 양호한 상태를 보였지만 역시 6월 표층에서 다소 증가하는 경향을 보였는데 이는 역시 플랑크톤의 증식 때문으로 보인다. 역시 7월 이후 SS는 높아지기 시작하였고 8월 7일에는 평균 4.4mg/L로 가장 높게 나타났다. 이는 수온이 높아지고 식물플랑크톤의 대량 증식이 나타났기 때문으로 보인다. 이후 점차 SS는 낮아졌으며 가을에 접어들어 비교적 일정하게 유지가 되었고 8월 말 이후 평균 약 1.2mg/L로 나타났다.

(다) TP와 TN

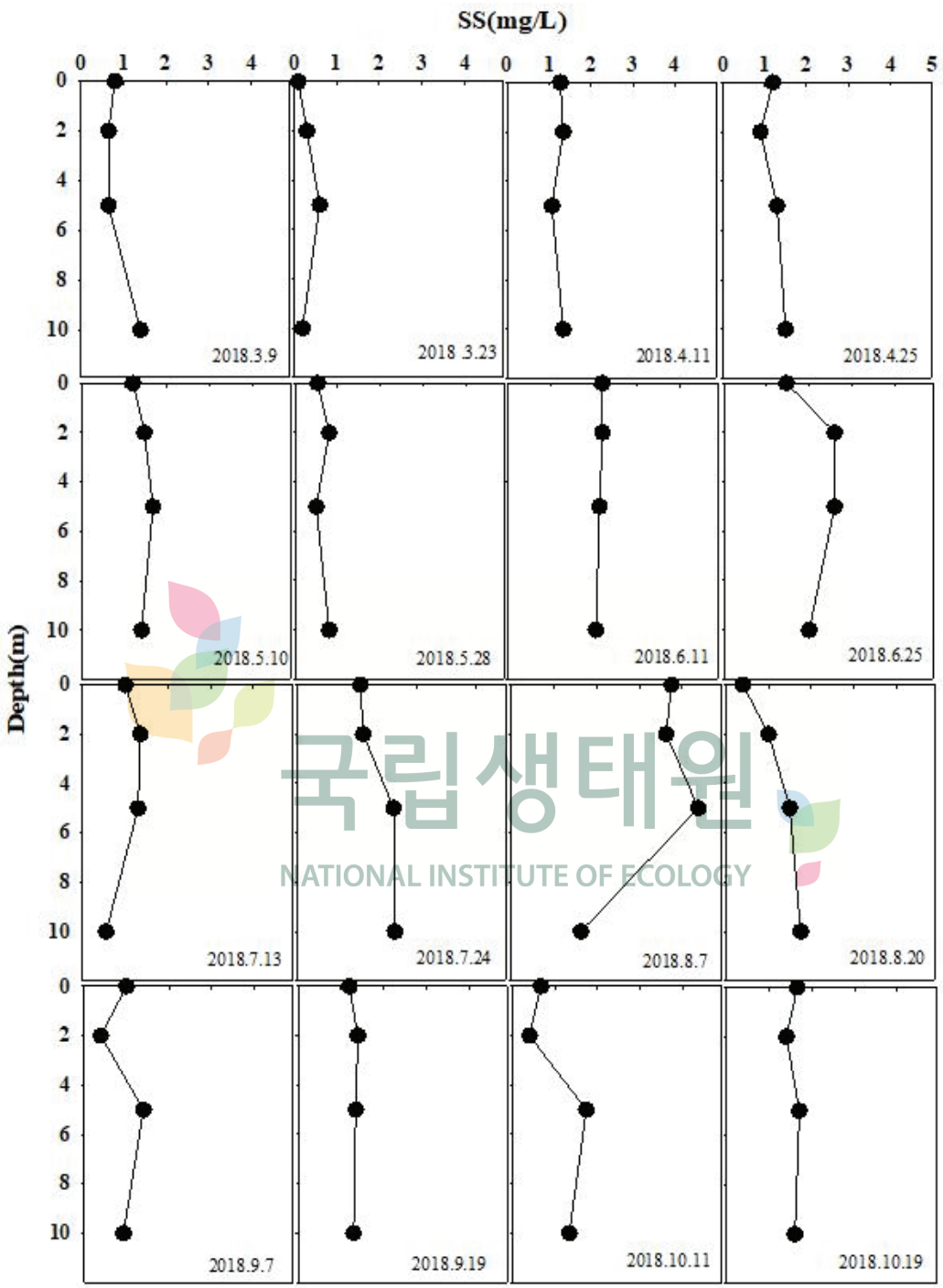
인은 세포막과 핵산의 주요 성분이며 생물에 필수적인 원소이다. 인이 부족하면 세포분열을 못하므로 성장이 정지된다. 담수에서의 인은 용해도가 낮아 대부분 인이 수중생물의 성장에 제한영양소가 되며 반대로 바다에서는 인의 용해도가 커서 인은 풍부하고 질소가 제한영양소가 된다. 특히 우리나라의 호수에서는 다른 나라에 비해 질소 농도가 높은 편이어서 거의 모든 호수에서 인이 일차제한영양소이며 식물플랑크톤의 양을 좌우한다. 조사 기간 동안 소양호에서 TP농도는 평균 9.7(±6.53)㎍/L로 나타났고 최근 3년 동안의 농도보다 다소 높은 특징을 보였다. 특히 봄 시기 5월 이후 수심별로 다소 증가하는 특징을 보였고 8월 7일에 가장 높은 농도를 보였는데(26.5㎍/L) 이는 역시 식물플랑크톤의 증식으로 인해 나타난 현상으로 보인다. 이후 일시적으로 낮아졌다가 평균 10㎍/L이상으로 높아지는 경향을 보였다. 질소의 경우 질소배경농도가 높은 편으로 질소로 인해 조류 성장을 제한하는 경우는 거의 없다. 소양호에서도 6월까지 TN은 1.27(±0.24)mg/L로 시기별, 수심별로 농도의 변화가 크지 않았다. 그리고 수질의 변화가 크게 나타나는 여름 이후에도 1.37(±0.29)mg/L로 강우기 이전과 크게 차이를 보이지 않았다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



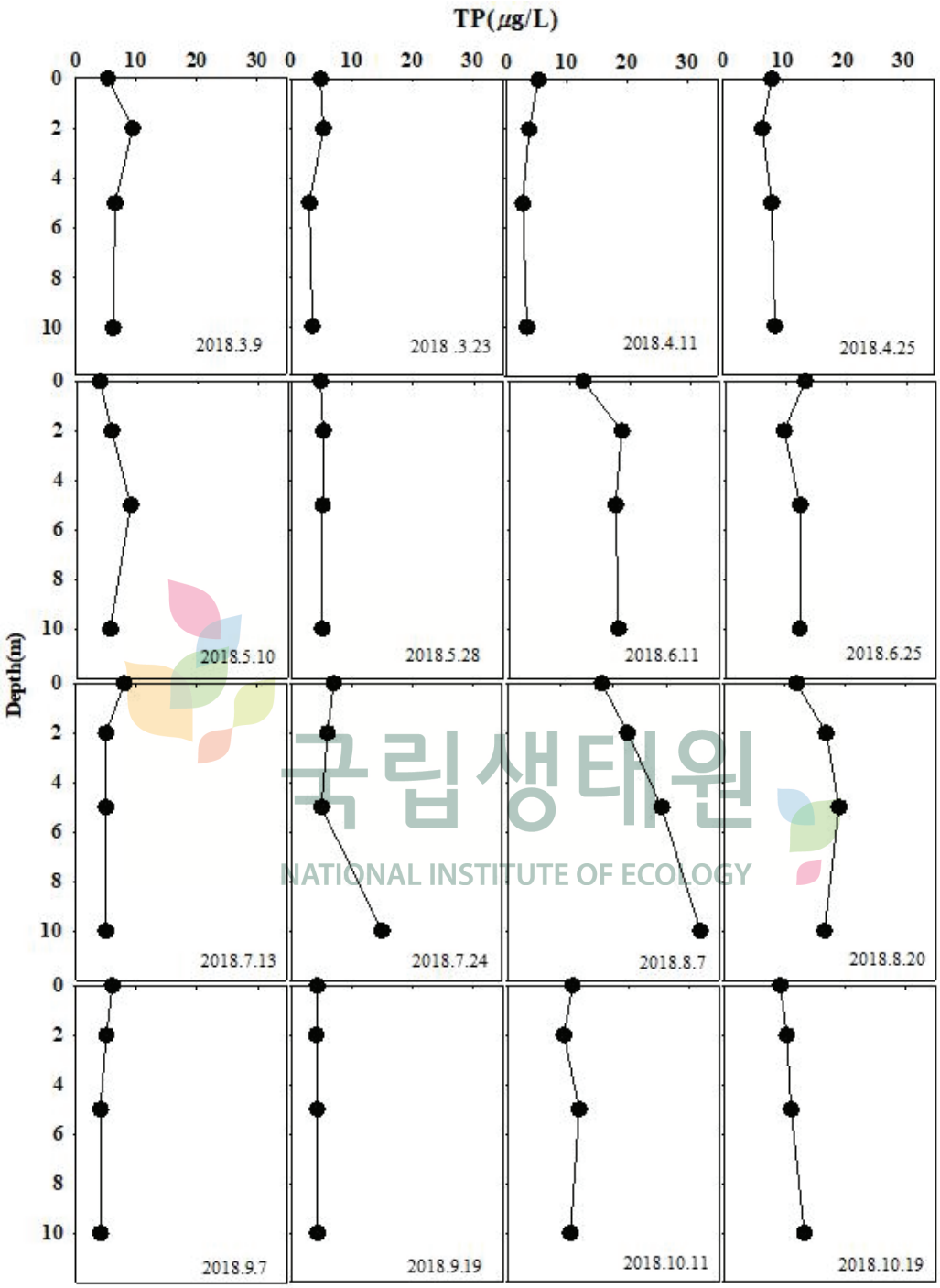
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-68> 소양호에서 수온의 수직 분포



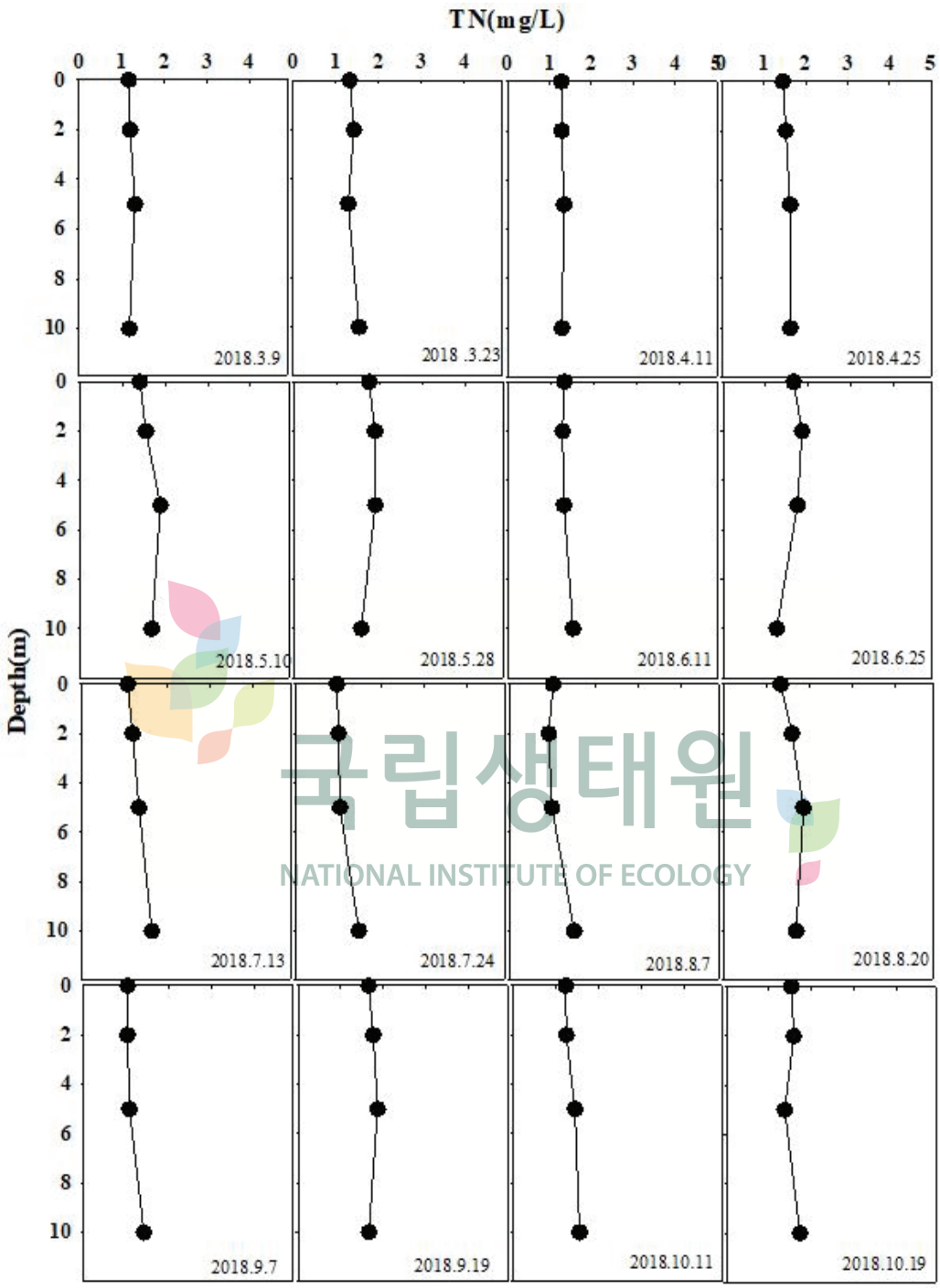
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-69> 소양호에서 SS의 수직 분포



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-70> 소양호에서 TP의 수직 분포



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-71> 소양호에서 TN의 수직 분포

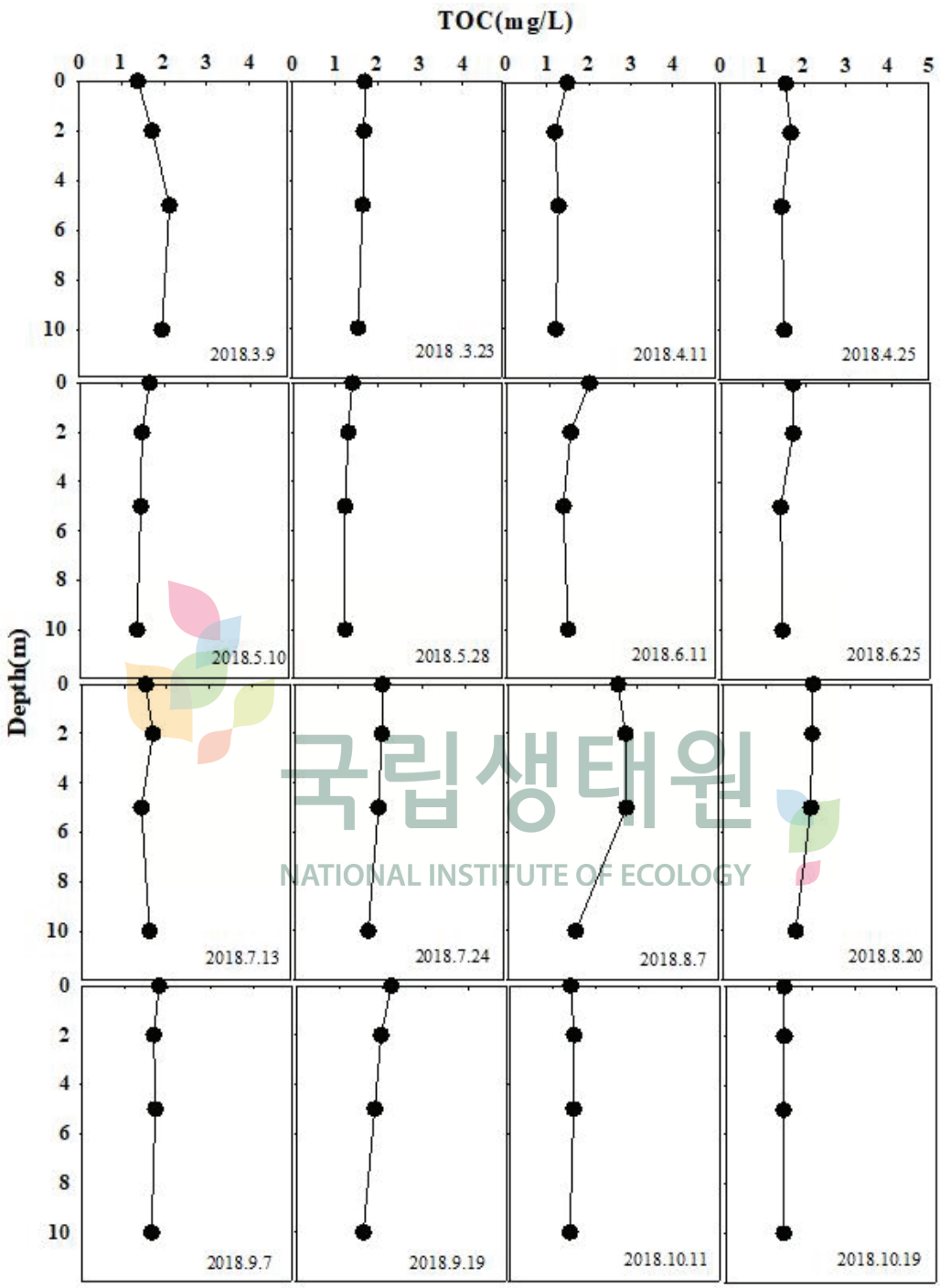
(라) TOC와 Chl.a

TOC(Total Organic Carbon : 총유기탄소)란 물속의 모든 산화될 수 있는 유기탄소의 총량을 나타내는 것으로 수질의 주요오염지표로 활용되고 있으며, 수돗물정수공정에서 소독부산물 생성가능성을 추정할 수 있는 항목이다. 호수에서 일반적으로 BOD로 측정되지 않는 난분해성 유기물을 반영하지 못하기 때문에 유기물의 지표로서는 BOD보다는 COD 또는 TOC로 사용되고 있는데 조사 기간 동안 소양호에서 6월까지는 TOC 1.18~1.70mg/L의 범위를 보이고 있었고 조사 기간 동안 낮은 농도를 보이면서 시기별, 수심별 큰 차이를 보이지 않았다. 강우기 이후에도 평균 1.78(±0.39)mg/L 강우기 이전과 큰 차이를 보이지는 않았지만 8월 7일 조사에서 2.41mg/L로 가장 높았다.

그리고 광합성에 의존하며 살아가는 대부분의 식물들은 chlorophyll-a 외 여러 가지 색소를 가지고 있다. 이중 광합성에 직접 관여하는 것은 chlorophyll-a이며 다른 색소들은 보조색소이기 때문에 모든 식물에 공통적으로 들어있는 chlorophyll-a를 측정하여 식물 플랑크톤의 밀도 및 현존량을 추정할 수 있고 호수의 부영양화도도 판정을 할 수가 있다. OECD에서는 최대 8$\mu g \cdot L^{-1}$이하에서는 빈영양호, 8～25$\mu g \cdot L^{-1}$는 중영양호, 25～75$\mu g \cdot L^{-1}$는 부영양호로 판정을 하고 있다.

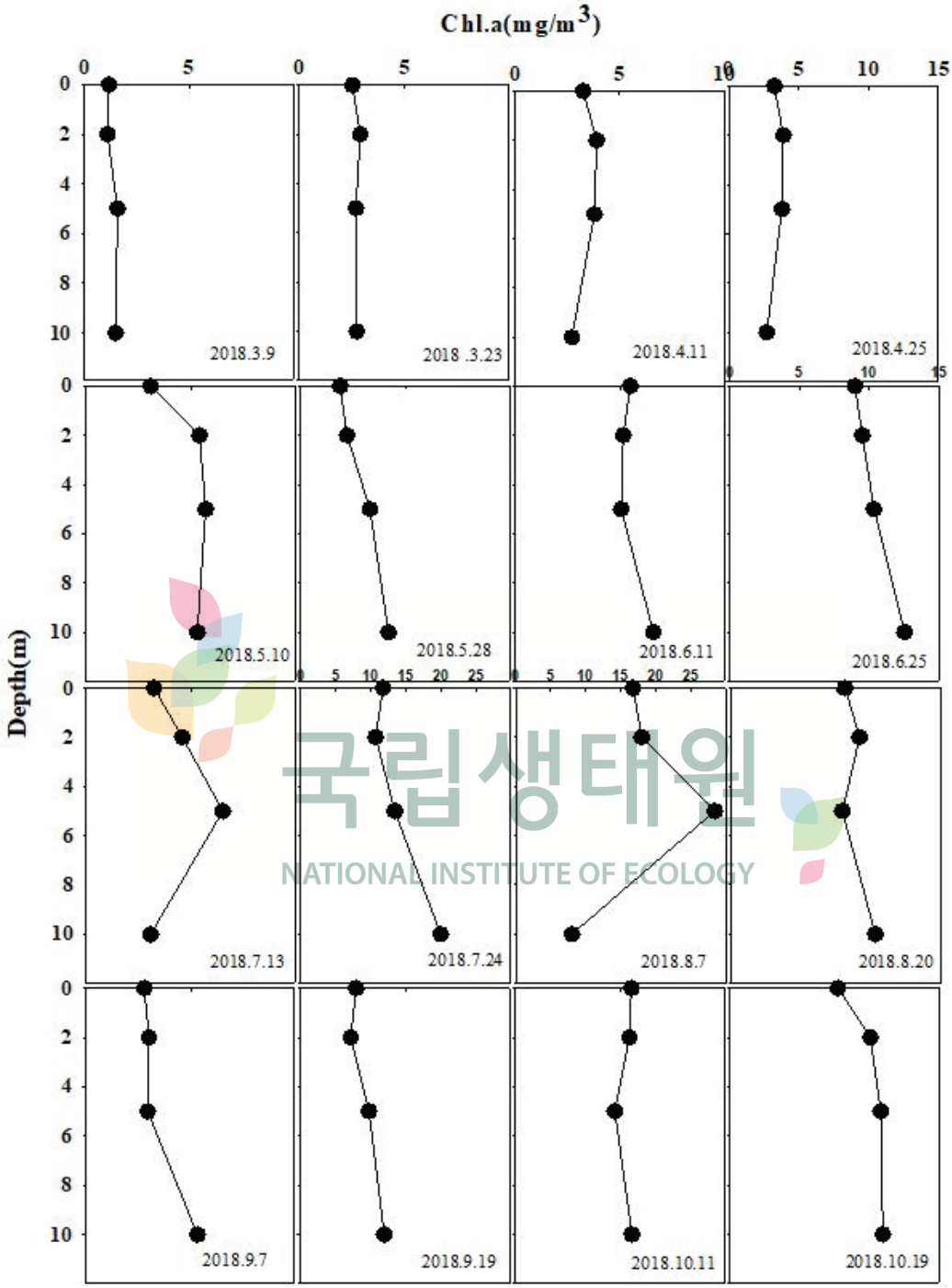
Chl.a 농도는 6월까지는 표층에서 1.9~8.9mg/m^3의 범위를 나타냈는데, 6월 말부터 점차 수심별로 농도차가 점차 크게 나타났고, 6월 25일에 표층에서는 8.9mg/m^3로 나타났지만 수심 10m에서 12.5mg/m^3로 나타났다. 그러나 7월 조사부터 크게 증가를 하였는데 특히 7월 24일과 8월 7일에는 각각 13.9mg/m^3, 17.8mg/m^3로 매우 높은 농도를 보였고 9월 이후에는 4.6mg/L 감소를 하였다. 특히 7월과 8월의 농도증가는 기온의 상승으로 인한 남조류 증식 때문으로 판단된다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



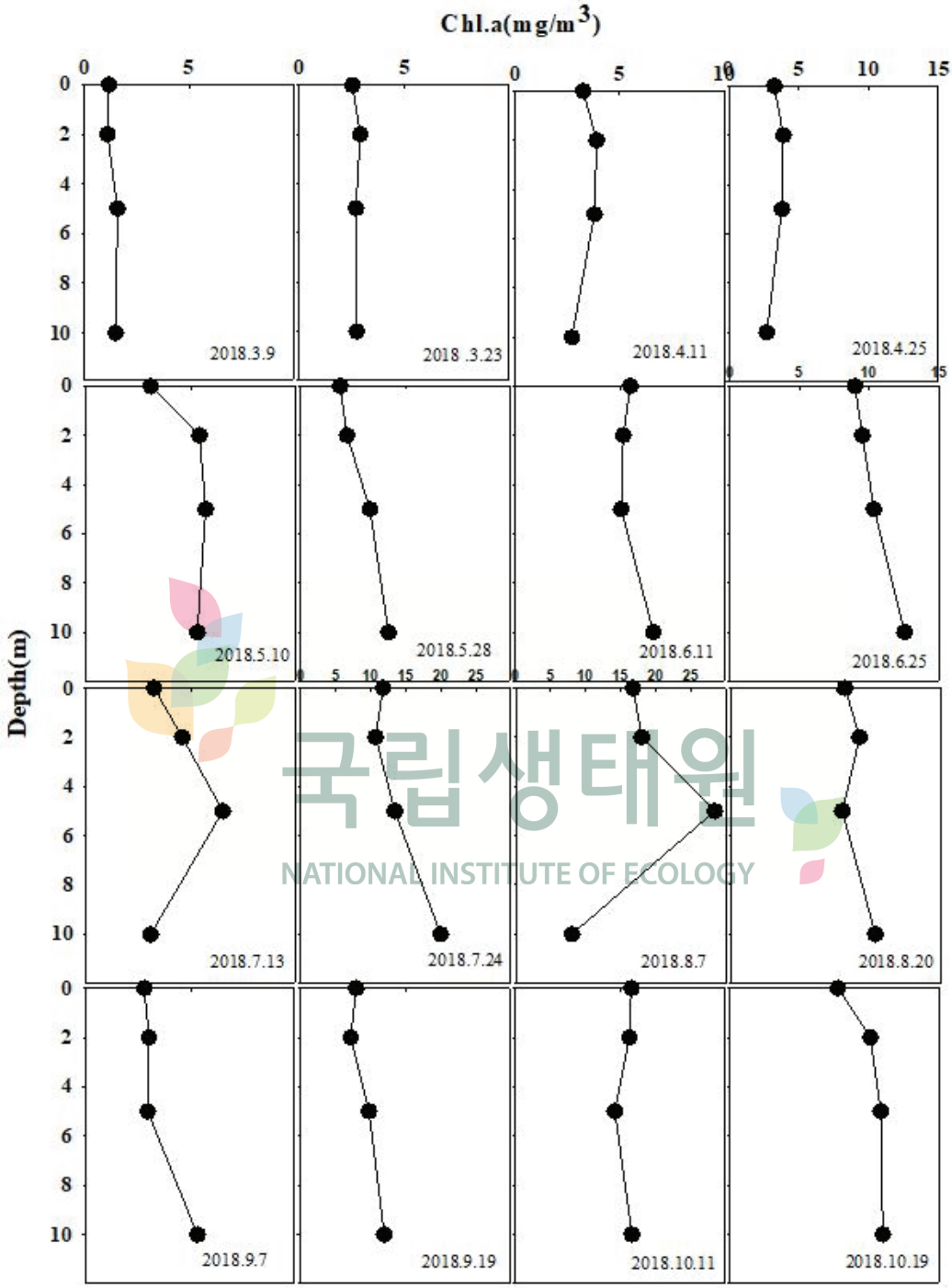
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-72> 소양호에서 TOC의 수직 분포



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-73> 소양호에서 Chl.a의 수직 분포



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-74> 소양호에서 투명도의 장기변동

(마) 소양호 수질의 장기변동

소양호의 투명도는 대체로 약 4m이상을 유지하였다. 1990년대 가두리 양식장의 영향으로 녹조가 발생하여 투명도가 낮았고 2006년의 집중강우에 의한 탁수유입 등 입자상 물질의 영향으로 일시적으로 표층에까지 영향을 주어 투명도가 매우 낮아지기도 하였다. 소양호에서 투명도는 계절적인 영향이 크게 나타났는데 봄철 식물플랑크톤 성장, 강우기 이후 급성장 등으로 인해 투명도가 악화되기는 하지만 대체로 양호한 투명도를 나타내었다.

소양호에서 수질 항목 별로 수질변화를 살펴보면 DO는 수온이 높아지는 시기에 감소하였으며 평균 9.2mg/L로 약 6.2-13.9mg/L의 농도 범위를 보인다. 연중 유사한 패턴을 보였고 수온이 낮아 기체의 용해도가 높아져 DO가 증가한 것으로 보이며, 강우기 이후에는 수온이 높고 플랑크톤의 증식과 사멸에 의한 분해과정에 DO가 소비되는 것으로 보이며 연도별로 차이는 없는 것으로 나타났다.

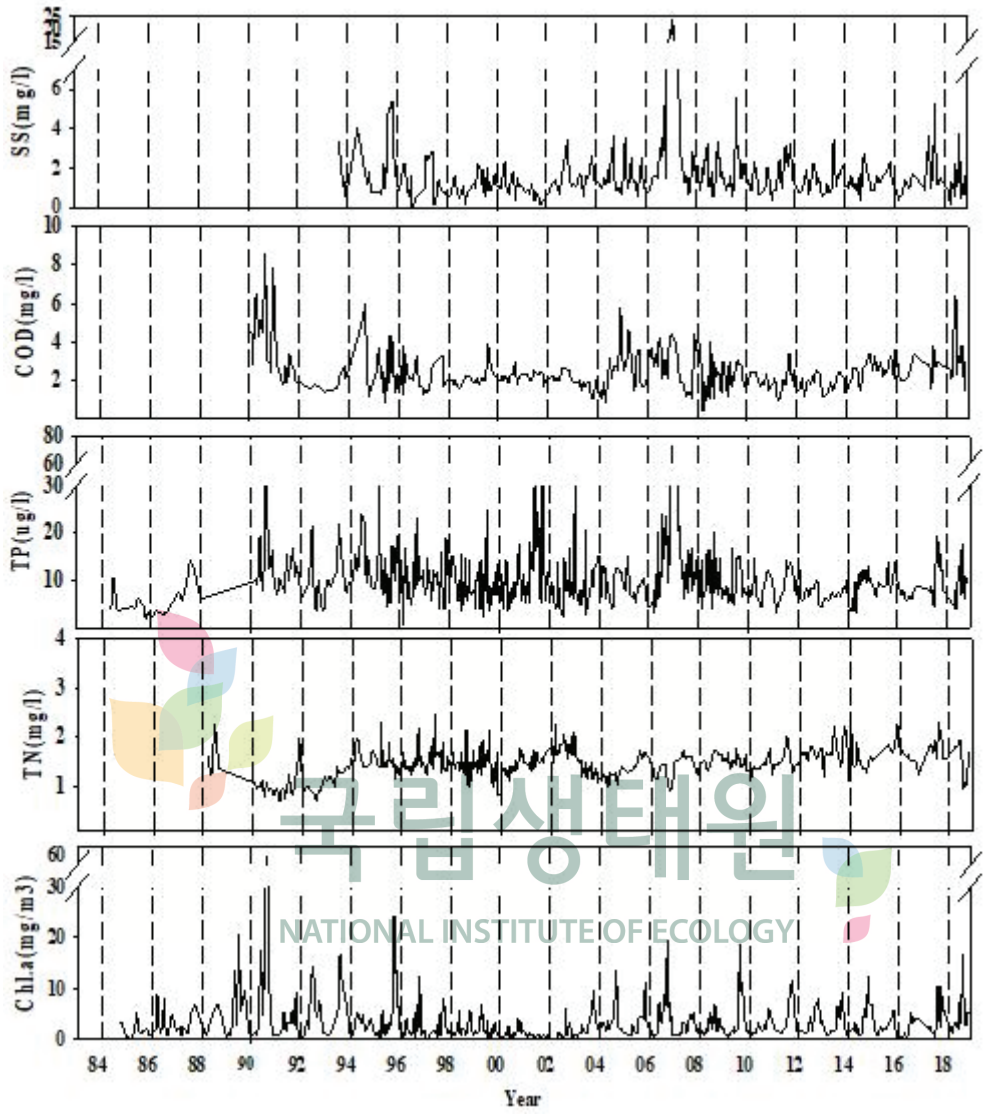
COD의 평균은 2.43mg/L로 호소수질 등급 Ⅰb의 좋음 등급에 해당하였는데 대개 겨울에 감소하고 봄, 여름, 가을에 증가하는 경향을 보였는데, 식물플랑크톤 증식의 영향으로 계절적 차이는 보였지만 큰 변동은 보이지 않았다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

SS는 평균 2.04mg/L의 농도를 보였으며, 2007년 1월 23.4mg/L로 가장 높은 값을 나타냈고 강우 시 중층으로 유입된 탁수가 혼합기에 접어들어 표층에까지 영향을 주었기 때문이다.

소양호에서 TP는 평균 10.37μg/L의 농도를 보였는데 2000년대 이후 증가하기 시작하였고 2007년 1월 가장 높은 49.8μg/L로 나타났다. 그리고 SS 변동과 유사한 경향을 보여 강우시기에 탁류의 유입과 관련이 있었다. 반면 TN의 평균 농도는 1.46(±0.28)mg/L로 연간 큰 농도 변화는 없다.

소양호 표층의 Chl.a 의 농도는 평균 3.08mg/m^3로 나타났는데 대부분 강우기 또는 강우기 직후 최대농도가 나타나는 특징을 보였다. 이는 강우시 발생한 탁수가 호수의 식물플랑크톤 증가에 영향을 준 것으로 보인다. 특히 가두리 양식장 철거 이후 소양호에서 Chl.a 의 최대 농도가 점점 커지는 경향이 나타났다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

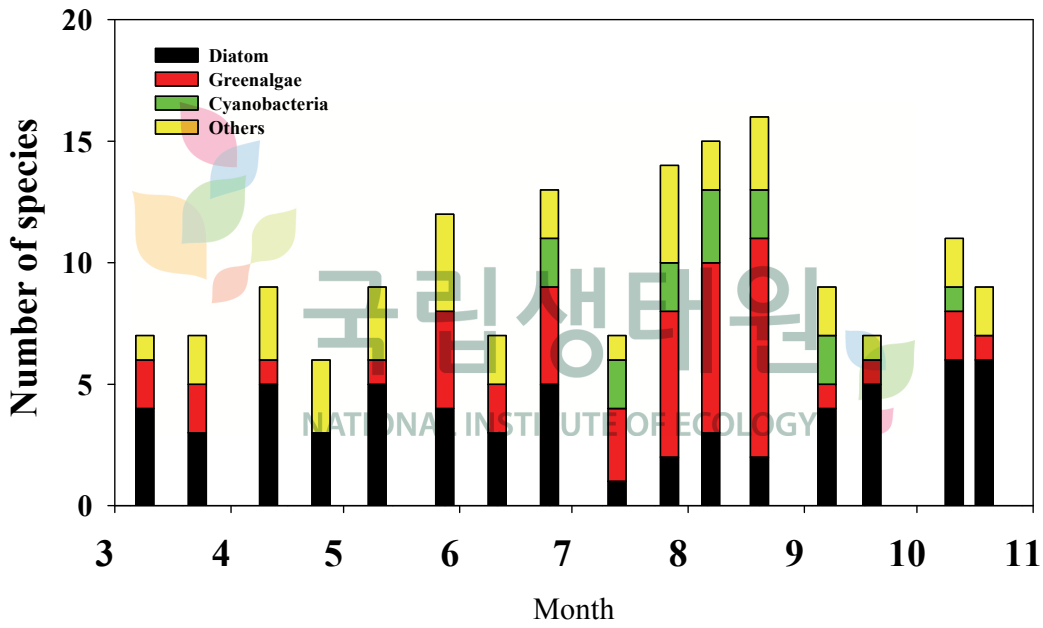
<그림Ⅲ-75> 소양호에서 수질의 장기변동
(한강수계관리위원회, 2015(2008~2015))

(2) 식물플랑크톤

(가) 종조성 및 현존량

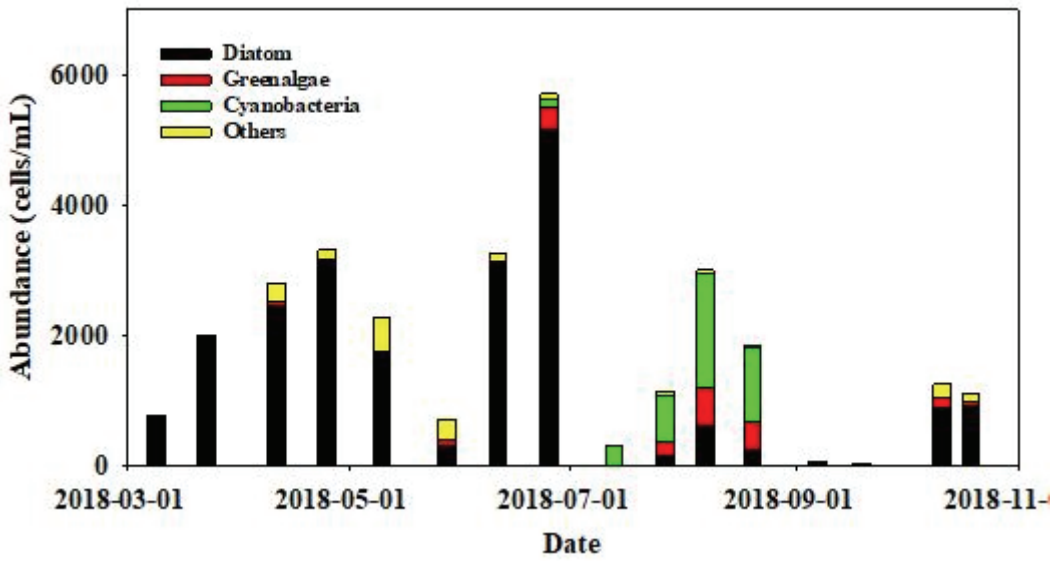
조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤은 총 42종으로 규조류 12종(28.6%), 녹조류 19종(45.2%), 남조류 6종(14.3%), 기타조류 5종(11.9%)으로 조사되었고, 출현 종수는 3월 조사에서 가장 적었고 개체수 또한 매우 적었다. 식물플라크톤의 개체수는 강우기 이후인 7월말에 크게 증가를 하지만 2018년에는

강우기 이전 6월 조사에서 가장 많았다. 출현종의 총 개체수로는 대부분 규조류가 우점을 하였고 7월과 8월에는 남조류의 비중이 가장 높은 특징을 보였다. 그리고 9월 이후에는 대부분 규조류의 출현이 두드러지는 특징을 보였다. 분류군별 소양호 식물플랑크톤 현존량은 조사시기에 따라 차이가 있었으며, 총 현존량은 26~5,706cells/mL의 범위로 조사되었다. 3월부터 식물플랑크톤 현존량이 6월까지 지속적으로 증가 하였고 이 시기 규조류의 현존량이 가장 많았다. 특히 7월~8월 조사에서 식물플랑크톤중 남조류의 현존량이 급격히 증가 하였고 8월 7일 조사에서 가장 높은 남조류 현존량을 보였다. 반면 9월 현존량은 크기 않았고 다시 규조류 현존량이 증가 하였다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-76> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤의 분류군별 출현종수



<그림Ⅲ-77> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤의 세포수

(나) 우점종과 군집분석

소양호의 시기별 우점종을 살펴보면 3~6월 조사에서 규조류가 우점하였으며, 우점종을 살펴보면 우상목 규조류인 *Fragilaria crotonensis*와 *Asterionella formosa*였고 5월에는 주로 기타 조류인 *Dinobryon divergens*와 우점하는 것으로 분석되었다. 그리고 7월~8월에는 남조류가 우점을 하였으며 우점종은 *Anabaena spiroides*였고 가을 시기인 9월 이후에는 규조류인 *Fragilaria crotonensis*가 주로 우점 하였다.

소양호의 식물플랑크톤 군집지수를 살펴보면 우점도 0.47~0.94, 종다양도 0.46~1.96, 균등도 0.24~0.89, 종풍부도는 1.00~1.99의 범위로 분석되었으며, 6월 식물플랑크톤이 크게 번성한 시기에 우점도가 매우 높았고 역시 종다양도와 균등도가 매우 낮은 특징을 보였다. 보통 남조류가 우점하는 시기에는 녹조 현상이 나타날 정도로 군집지수에 큰 영향을 주지만 소양호에서는 이 시기 우점을 했지만 개채수가 크게 증가를 하지 않았기 때문에 군집지수에서 뚜렷한 특징을 보이지 않았다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-93> 소양호 조사 시기별 식물플랑크톤 우점종 현황

Date	우점종	우점율 (%)	아우점종	우점율 (%)
3/9	*Fragilaria crotonensis*	74.1	*Synedra acus*	10.2
3/23	*Fragilaria crotonensis*	85.1	*Asterionella formosa*	11.4
4/11	*Asterionella formosa*	82.0	*Cryptomonas* sp.	9.4
4/25	*Asterionella formosa*	90.2	*Synedra acus*	3.9
5/10	*Asterionella formosa*	48.4	*Synedra acus*	21.9
5/28	*Synedra acus*	37.0	*Dinobryon divergens*	22.4
6/11	*Synedra acus*	78.6	*Cyclotella* sp.	16.8
6/25	*Synedra acus*	85.6	*Pleurotaencium* sp.	4.1
7/13	*Anabaena spiroides*	90.3	*Phormidium tenue*	4.1
7/27	*Anabaena spiroides*	58.9	*Fragilaria crotonensis*	12.6
8/7	*Anabaena spiroides*	55.1	*Cocconeis* sp.	18.6
8/20	*Anabaena spiroides*	59.0	*Cocconeis* sp.	12.4
9/7	*Cryptomonas* sp.	27.6	*Aulacoseira distans*	19.7
9/19	*Fragilaria crotonensis*	38.5	*Cyclotella* sp.	23.1
10/11	*Fragilaria crotonensis*	42.7	*Cyclotella* sp.	20.6
10/19	*Fragilaria crotonensis*	50.6	*Acnthoceras zacharisii*	16.0

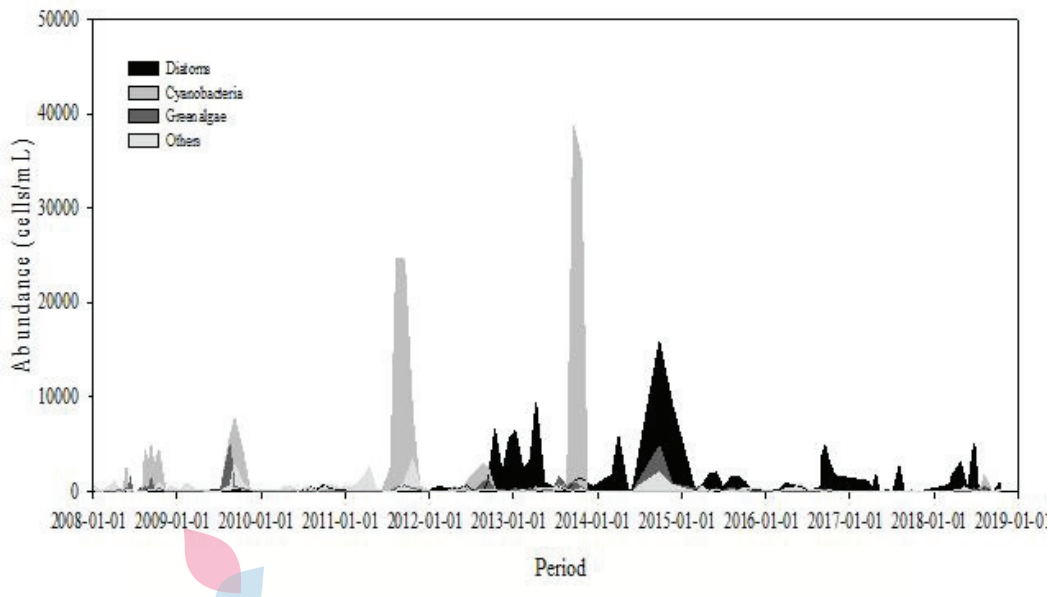
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-94> 소양호에서 출현한 식물플랑크톤 군집지수

Date	우점도(DI)	종다양도(H′)	균등도(E)	종풍부도(RI)
3/9	0.84	0.96	0.49	0.90
3/23	0.96	0.55	0.28	0.79
4/11	0.91	0.73	0.33	1.00
4/25	0.94	0.45	0.25	0.63
5/10	0.70	1.36	0.62	1.00
5/28	0.59	1.71	0.69	1.57
6/11	0.95	0.69	0.36	0.74
6/25	0.90	0.71	0.28	1.39
7/13	0.94	0.46	0.24	1.04
7/27	0.72	1.54	0.58	1.85
8/7	0.74	1.56	0.58	1.75
8/20	0.71	1.57	0.57	1.99
9/7	0.47	1.96	0.89	1.85
9/19	0.62	1.65	0.85	1.84
10/11	0.63	1.68	0.70	1.40
10/19	0.67	1.56	0.71	1.14

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(다) 식물플랑크톤 장기 변동



<그림Ⅲ-78> 소양호에서 식물플랑크톤 군집의 장기변동
(한강수계관리위원회, 2015(2008~2015))

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

소양호에서의 식물플랑크톤 세포수는 수온이 증가하는 여름철 이후 증가하고 이후 감소하는 경향을 보였다. 여름 시기 이후 식물플랑크톤의 증가는 녹조류와 남조류의 증식으로 나타났다. 대체로 호수에서는 봄철에는 *Asterionella* 등과 같은 규조류가 대량으로 증가, 7월과 8월의 여름 시기에는 남조류의 세포수도 함께 증가, 가을철로 접어들면서 다시 규조류가 우점하는 경향을 보인다. 그러나 2014년 이후 2017년까지 여름철 남세균의 세포수가 매우 적게 관찰되었다. 이는 식물플랑크톤의 성장과 관계된 여러 요인의 영향이 복합적으로 나타난 현상으로 보이는데 그중에서 가장 큰 요인은 유역의 가뭄에 의한 영향으로 판단된다. 강우시 유역으로부터의 인 유입이 매우 적었기 때문에 남조류가 크게 번성하지 못하는 결과를 가져온 것으로 판단된다. 하지만 2018년에는 여름시기인 7월~8월에 남조류가 우점을 하였는데 수온과 일사량이 매우 높았기 때문이며 소양호가 보통 인농도가 낮고 2018년에는 특히 강우량이 매우 적어 유역으로부터의 인유입이 적었기 때문에 남조류의 폭발적인 bloom이 나타나지 않았다.

(3) 동물플랑크톤

(가) 출현종 수 및 그룹별 점유율

소양호 댐앞 지점에서의 동물플랑크톤 조사는 소양호의 동물플랑크톤 조사는 2018년 3월부터 10월까지 총 16회 실시하였다. 조사기간에 출현한 동물플랑크톤 종은 지각류 3종, 요각류 5종, 윤충류 27종, 기타종 12종으로 총 47종이 출현하였다. 조사시기별로는 7~22종의 범위를 보였다. 그리고 체적비로 본 점유율은 요각류가 60.79%로 가장 높게 나타났다.

<표Ⅲ-95> 소양호 동물플랑크톤의 총 출현종 수 및 점유율(체적비)

분류군	출현종수	체적비(%)
Cladocerans	3	20.08
Copepods	5	60.79
Rotifers	27	19.10
Others	12	0.04
합계	47	100.00

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-96> 소양호 동물플랑크톤의 조사시기별 출현종수

분류군	3/9	3/23	4/11	4/25	5/10	5/28	6/11	6/25	7/14	7/27	8/7	8/20	9/7	9/19	10/11	10/19
Cladocerans				1	1	1	1	1	2	2	3	1	2	3	2	1
Copepods	2					2	2	2	4	3	4	3	4	4	3	2
Rotifers	8	6	6	7	6	8	7	9	7	5	8	14	12	9	5	7
Others	1	1	2	1	1	2			5	1	1	4	4	2	1	1
합계	11	7	8	9	8	13	10	12	18	11	16	22	22	18	11	11

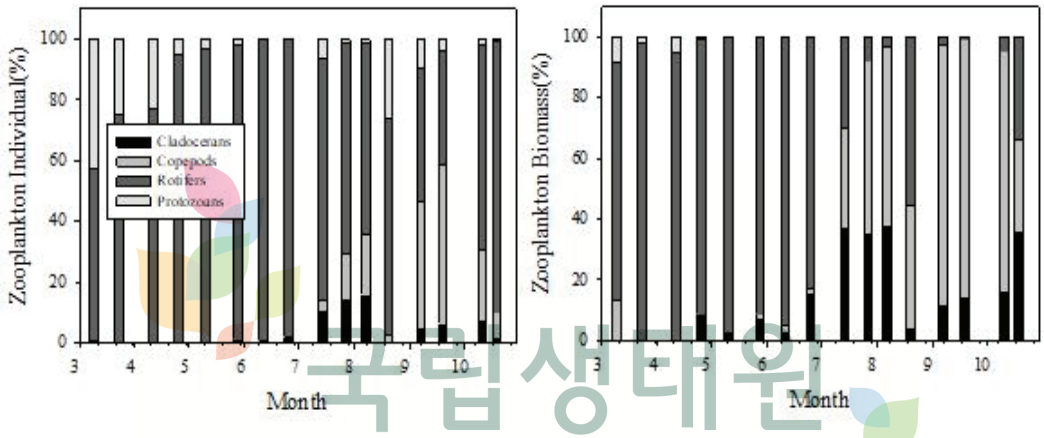
(나) 동물플랑크톤의 현존량

조사기간 동안 소양호의 지점별 동물플랑크톤 개체수는 10.2~332.1Ind./L 범위를 보였으며, 탄소량은 0.19~82.95μgC/L 범위를 보였다.

동물플랑크톤의 개체수는 5월~6월, 8월에 증가를 보였으며, 봄 시기에는

윤충류 *Polyarthra vulgaris* 개체수가 총 개체수의 40.0%수준으로 가장 많았으며, 8월에는 윤충류 *Keratella valga* var. *tropica*가 70.0%이상으로 가장 많았다.

동물플랑크톤의 탄소량은 크기가 큰 갑각류의 현존량이 증가한 시기인 7월~8월, 9월에 높게 나타났다. 여름시기에는 지각류 *Diaphanosoma brachyurum*, 요각류 *Mesocyclops leuckarti*가 주요 출현하였으며, 가을에는 요각류 *Eodiaptomus japonicus* 현존량이 증가를 보였다. 2017년 봄 시기인 5월에 지각류 *Daphnia galeata*가 출현하여 총 탄소량의 약 90.0%를 차지한 것에 비해 2018년에는 *D. galeata* 가 출현하지 않는 것으로 나타났다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-79> 분류군별 개체수 및 탄소량의 상대적 우점

<표Ⅲ-97> 소양호 동물플랑크톤의 개체수(Individual: Ind./L)

분류군	3/9	3/23	4/11	4/25	5/10	5/28	6/11	6/25	7/14	7/27	8/7	8/20	9/7	9/19	10/11	10/19
Cladocerans	-	-	-	0.2	0.5	0.9	1.2	4.0	10.8	12.0	8.3	0.9	4.1	4.1	1.2	0.2
Copepods	0.1	-	-	-	-	0.3	0.9	0.9	3.8	12.6	10.5	5.5	35.1	34.0	4.2	0.9
Rotifers	32.1	34.4	22.0	76.4	238.3	110.1	330.0	231.5	82.4	57.7	32.9	163.1	36.8	24.1	11.9	9.1
Others	24.2	11.2	6.6	3.9	7.5	1.8	-	-	6.2	1.0	0.7	59.0	7.9	2.6	0.3	0.1
합계	56.4	45.7	28.6	80.4	246.3	113.1	332.1	236.4	103.2	83.3	52.4	228.5	83.9	64.8	17.6	10.2

<표Ⅲ-98> 소양호 동물플랑크톤의 탄소량(Biomass: μgC/L)

분류군	3/9	3/23	4/11	4/25	5/10	5/28	6/11	6/25	7/14	7/27	8/7	8/20	9/7	9/19	10/11	10/19
Cladocerans	-	-	-	0.10	0.28	0.46	0.64	2.17	6.26	21.04	19.46	0.46	9.27	11.88	2.89	0.49
Copepods	0.06	-	-	-	-	0.10	0.56	0.22	5.55	33.55	30.52	4.66	67.80	70.46	14.39	0.41
Rotifers	0.35	0.79	0.18	1.02	9.17	5.77	21.50	11.58	5.01	4.61	1.62	6.32	1.89	0.61	0.84	0.46
Others	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	-	-	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
합계	0.45	0.81	0.19	1.12	9.45	6.33	22.70	13.98	16.85	59.21	51.59	11.46	78.96	82.95	18.12	1.36

(다) 동물플랑크톤의 우점종 및 군집분석

소양호 동물플랑크톤의 우점종은 지각류, 요각류, 윤충류 3분류군으로 구분하고 개체수와 탄소량으로 평가하였다.

동물플랑크톤의 개체수로 평가한 우점종은 9월을 제외하고 모든 시기에서 윤충류로 평가되었으며, 주요 우점종에는 *Synchaeta stylata, Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha, K. cochlearis* var. *tropica, Polyarthra vulgaris*가 있다.

탄소량으로 평가한 우점종은 3월부터 6월까지는 대부분 윤충류가 우점종으로 평가되었다. 7월부터는 지각류 *Bosmina longirostris*가 우점하기 시작한 이후 가을시기까지 대부분 요각류 *Mesocyclops leuckarti, Eodiaptomus japonicus*가 우점종으로 평가되었다. 조사기간 동안 소양호 동물플랑크톤 군집지수는 종다양도 0.85~1.90, 균등도 0.35～0.76, 우점도 0.54～0.89, 풍부도는 1.27~4.74의 범위를 보였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-99> 소양호 동물플랑크톤의 우점종

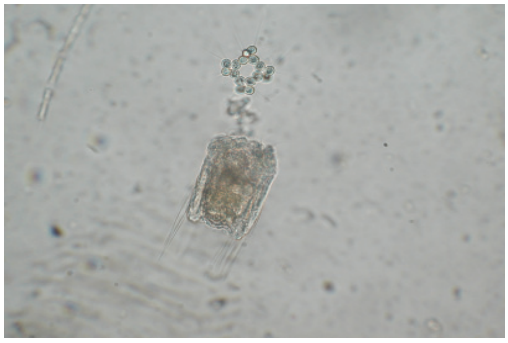
조사 시기	개체수 우점종	(%)	생물량 우점종	(%)
3/9	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha*	56.0	(RO) *Synchaeta stylata*	37.4
3/23	(RO) *Synchaeta stylata*	45.7	(RO) *Synchaeta stylata*	78.2
4/11	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha*	67.4	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha*	31.9
4/25	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha*	86.6	(RO) *Asplanchna priodonta*	31.4
5/10	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha*	57.1	(RO) *Polyarthra vulgaris*	73.1
5/28	(RO) *Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha* var. tropica	55.9	(RO) *Polyarthra vulgaris*	47.4
6/11	(RO) *Polyarthra vulgaris*	41.3	(RO) *Polyarthra vulgaris*	46.1
6/25	(RO) *Polyarthra vulgaris*	42.5	(RO) *Polyarthra vulgaris*	54.8
7/14	(RO) *Polyarthra vulgaris*	27.4	(CL) *Bosmina longirostris*	34.3
7/27	(RO) *Polyarthra vulgaris*	64.2	(CO) *Mesocyclops leuckarti*	51.0
8/7	(RO) *Polyarthra vulgaris*	28.2	(CO) *Mesocyclops leuckarti*	41.2
8/20	(RO) *Keratella valga* var. *tropica*	54.7	(CO) *Eodiaptomus japonicus*	30.4
9/7	(RO) *Polyarthra vulgaris*	25.3	(CO) *Eodiaptomus japonicus*	47.7
9/19	(CO) *Nauplius*	19.4	(CO) *Eodiaptomus japonicus*	60.7
10/11	(RO) *Polyarthra vulgaris*	61.5	(CO) *Eodiaptomus japonicus*	74.4
10/19	(RO) *Polyarthra vulgaris*	50.8	(CL) *Diaphanosoma brachyurum*	36.1

CL(Cladocerans), CO(Copepods), RO(Rotifers)

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



Keratella cochlearis var. *tecta* f. *microcantha*



Polyarthra vulgaris



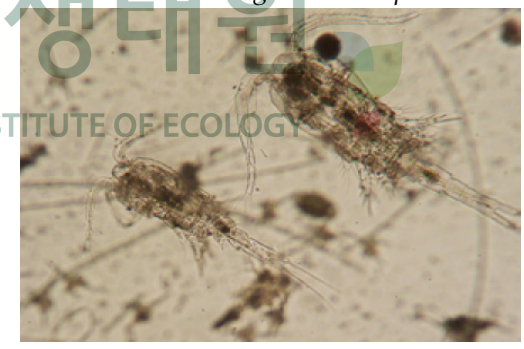
Synchaeta stylata



Keratella valga var. *tropica*



Eodiaptomus japonicus



Mesocyclops leuckarti

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-80> 소양호에서의 동물플랑크톤 주요 우점종

<표Ⅲ-100> 소양호 동물플랑크톤의 군집지수

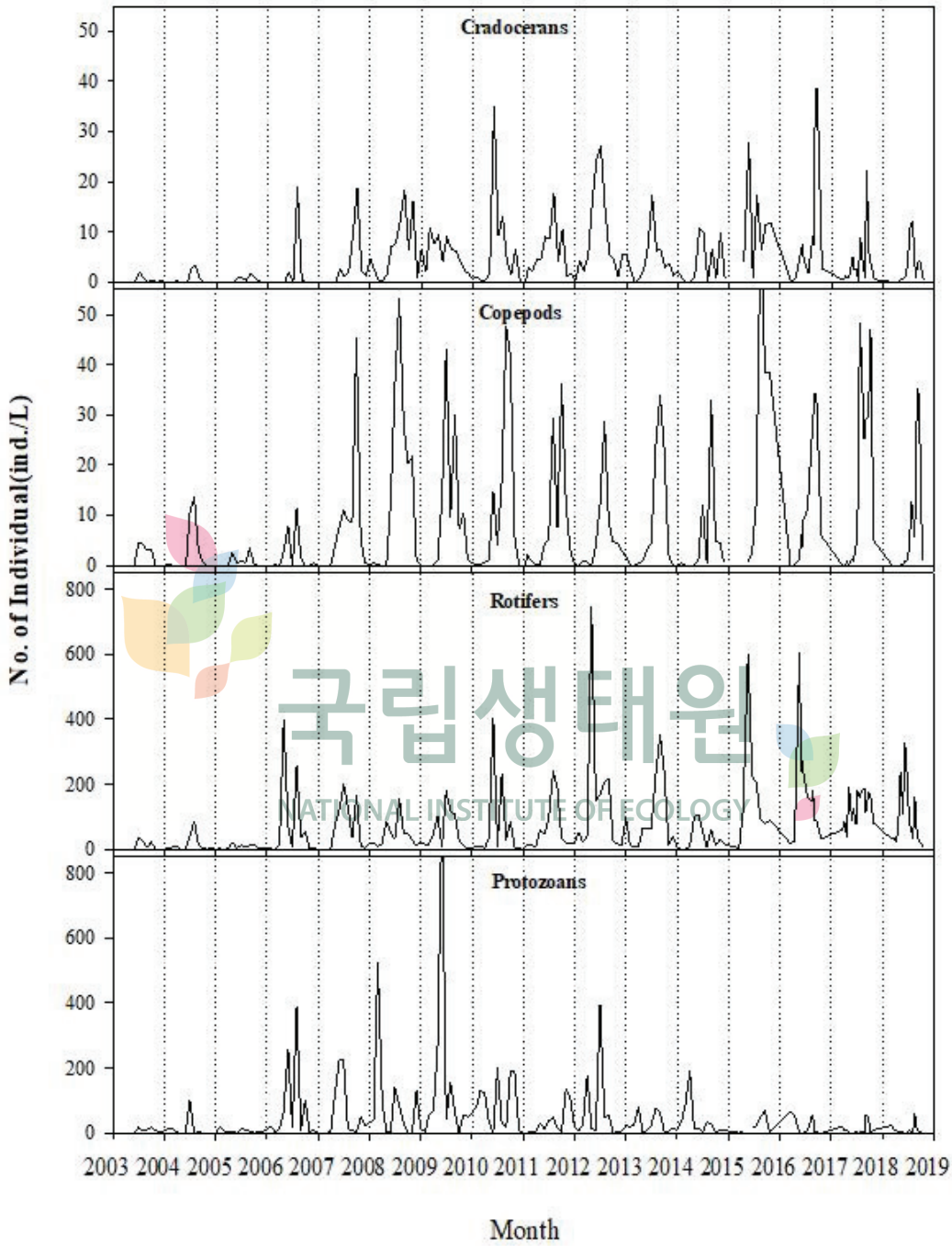
구분	3/9	3/23	4/11	4/25	5/10	5/28	6/11	6/25	7/14	7/27	8/7	8/20	9/7	9/19	10/11	10/19
다양도	1.76	0.87	1.67	1.66	0.90	1.30	1.17	1.45	1.81	1.28	1.45	1.90	1.38	1.21	0.85	1.37
균등도	0.73	0.45	0.70	0.76	0.43	0.51	0.51	0.58	0.63	0.53	0.52	0.62	0.45	0.42	0.35	0.57
우점도	0.57	0.88	0.57	0.54	0.89	0.82	0.88	0.70	0.60	0.81	0.75	0.55	0.75	0.75	0.89	0.65
풍부도	2.48	1.57	2.09	1.82	1.27	2.54	1.55	2.01	3.67	2.26	3.79	3.87	4.74	4.08	3.48	4.30

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(라) 동물플랑크톤 장기 변동

소양호에서의 동물플랑크톤은 대부분 봄철인 5월경부터 개체수가 증가하기 시작하였고, 강우시기에는 개체수 감소, 이후 가을철인 9~10월경에 개체수가 다시 증가하는 패턴을 보였다. 소양호처럼 온대호수에서 미생물먹이망 등에 의해 식물플랑크톤 증가, 동물플랑크톤의 성장을 증가하는 경향을 보인다. 특히 집중 강우 이후에는 동물플랑크톤의 현존량뿐만 아니라 윤충류 및 원생동물과 같은 소형 동물플랑크톤의 출현종이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 소양호에서도 유사한 패턴으로 천이 양상을 보였는데 특히 2006년의 집중강우가 발생한 후 한 달 뒤인 8월에는 동물플랑크톤의 개체수 증가가 나타났었다. 그러나 반대로 강우량이 매우 적었던 2014년에는 동물플랑크톤 개체수는 전년도에 비해 약 매우 크게 감소한 것으로 나타났다. 이처럼 소양호에서 여름 집중강우는 동물플랑크톤 밀도와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되며 이는 여름 집중강우 시 유입된 높은 영양염 농도와 유기물양이 식물플랑크톤의 성장을 가져오고 이후 먹이연쇄에 의해 동물플랑크톤의 성장에 영향을 준 것으로 판단된다. 그러나 2018년에는 7월 이후 가뭄으로 강우량이 매우 적었고 남조류의 번성 등의 영향으로 동물플랑크톤 개체수 증가가 나타나지 않았으며 요각류와 윤충류의 증가가 두드러지게 나타났다. 이후 8월말 조사에서 일시적으로 윤충류가 크게 나타났지만 대체로 낮은 개체수를 보이는 특징을 보였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-81> 소양호에서 동물플랑크톤 군집의 장기변동
(한강수계관리위원회, 2015(2008~2015))

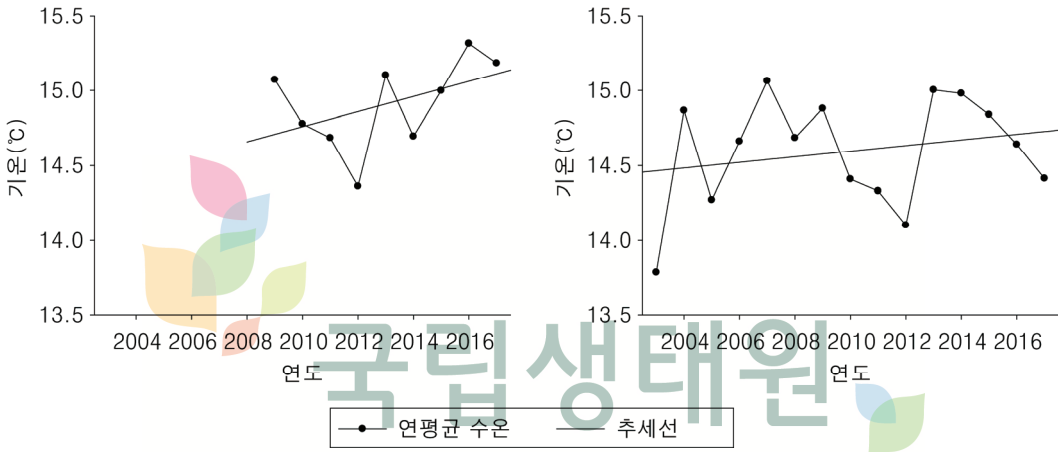
나. 낙동강

(1) 기후 요소 및 수질 항목의 장기 변화

(가) 기후 요소의 변화

1) 장기 기온 변화

기후변화에 따라 우선적으로 영향을 받는 요소로 기온과 강수량을 선택하여 경향성 분석을 수행하였다. 연 평균기온을 이용하여 추세를 분석한 결과, 양산에서는 0.050, 대구에서는 0.019의 기울기로 기온이 증가하는 약한 경향을 보였다(그림Ⅲ-82). 해당 년도 조사 기간인 2018년 1월부터 10월까지의 평균 기온은 양산시 16.4±9.6℃, 대구 16.0±10.3℃였다.

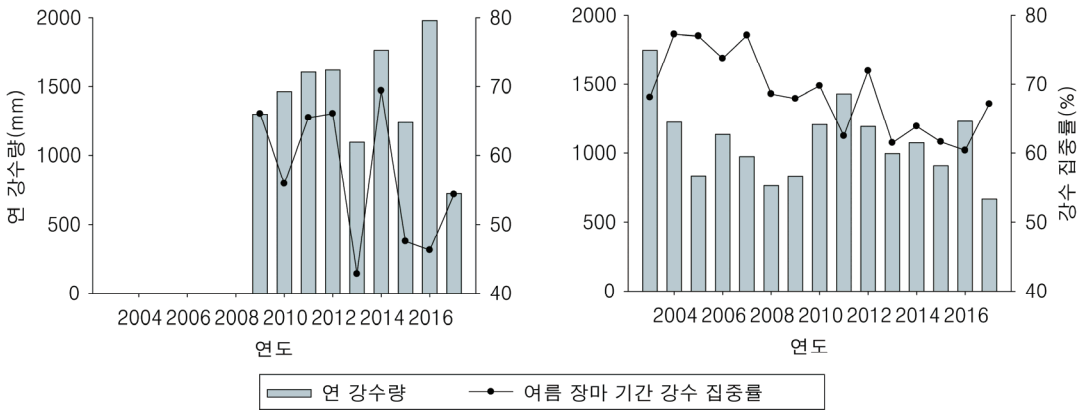


<그림Ⅲ-82> 연 평균 기온과 경향성(왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 장기 강수량 변화

2017년까지의 연 강수량은 평균 1,420.3±380.1mm(양산시), 1,079.9±278.8mm(대구)로 비교적 충분하게 나타났으나, 6월부터 9월까지의 여름 장마 기간 동안의 강수 집중률은 감소하는 추세에 있는 것으로 보였다(그림Ⅲ-83). 한 해 전인 2017년에는 양산시 720.2mm, 대구 663.7mm로 조사 기간 중 가장 적은 강수량을 보였으나, 올해에는 10월을 기준으로 1,504.2mm, 1,256.6mm로 총 강수량이 평균에 가깝게 회복하였다.

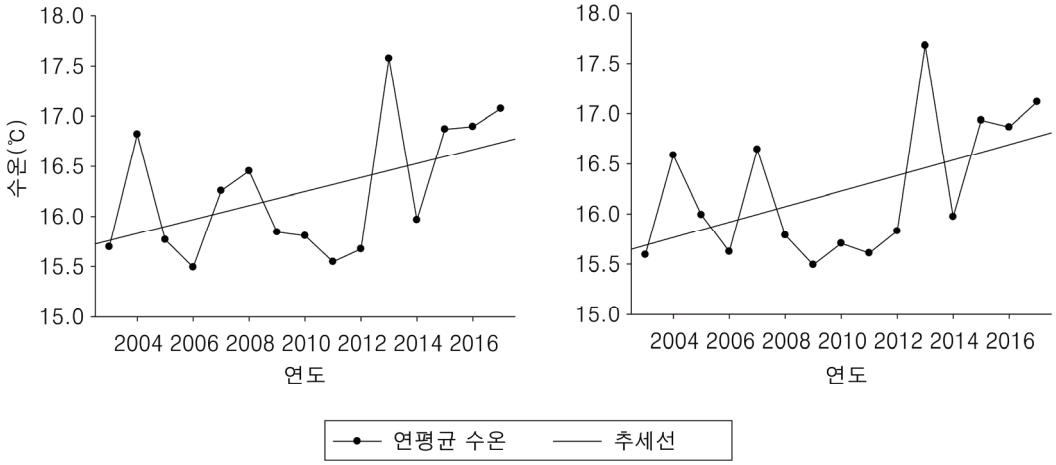


<그림Ⅲ-83> 연 강수량과 여름 장마 기간(6~9월)의 강수 집중률
(왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소)

(나) 수질 항목의 변화

하천생태계에서 유량이나 강수량의 변화는 수질의 변화에 직결되기 때문에 수문학적 요인에 따라 변화하는 수온의 장기적인 변화를 파악하고자 하였다. 먼저 수온의 경향성 분석을 위해 연 평균수온을 이용한 시계열 선형회귀분석 결과, 기울기는 물금에서 0.070, 적포에서 0.078로 두 지점에서 연 평균수온이 증가하고 있었으며 연 평균 약 0.07℃의 수온증가 경향을 보였다(그림Ⅲ-84). 특히 올해 적포에서는 모니터링 기간 중 34.2℃로 최대 수온을 보이기도 하여, 기온 증가와 여름에 집중되던 강수량의 감소가 수온 증가에 영향을 준 것으로 생각된다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-84> 연 평균 수온과 경향성(왼: 양산시, 오: 대구 기상 관측소)

(다) 기상 자료

본 연구의 조사지점과 인접한 위치인 양산시의 기상자료로 합계 일사량(MJ/m^2), 평균 기온(℃), 그리고 일강수량, 연 강수량 및 여름 강수량(mm)을 <그림Ⅲ-85>에 나타내었다. 일사량은 어떤 지역의 기후를 결정하는 요소이며 대표적인 기상 변수인 평균 기온과 강수량에 영향을 준다. 세 가지 변수 모두 한반도의 뚜렷한 계절적 변동에 부합하는 양상을 보였다. 2011년부터 2018년까지의 자료 수집 결과 평균적인 합계 일사는 12.5MJ/m^2였으며 2015까지 연 평균 13~14MJ/m^2 내외를 유지하였으나 2016년 이후부터 10MJ/m^2 이하로 감소하였다. 일조시간은 연 평균 5.8~7.2시간의 범위 내였으며 평균 6.3시간으로 연간 변화가 크지 않았다.

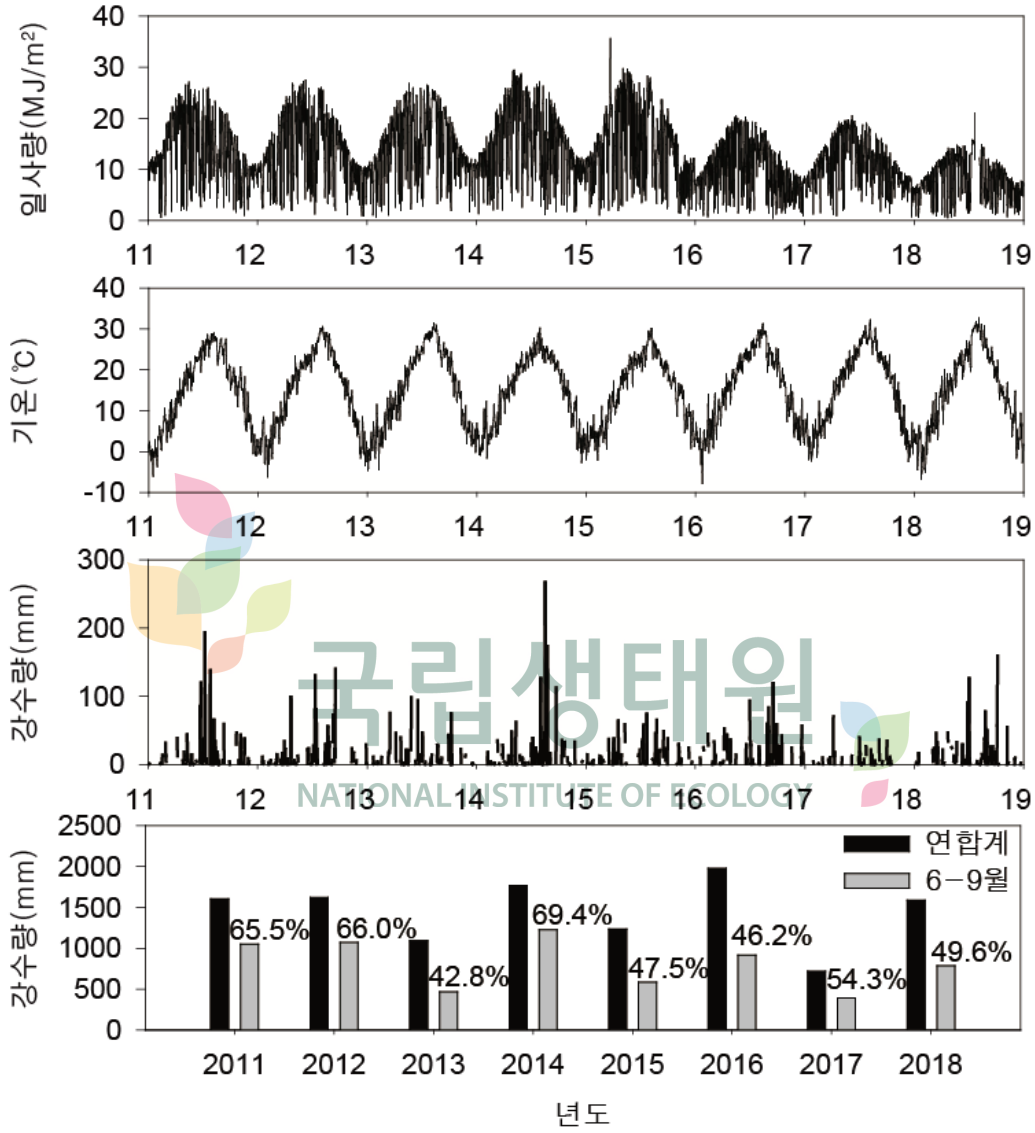
연 강수량은 720.2~1,767.4mm이었으며 여름철인 6월에서 9월 동안에 연 전체 강수량의 69.4%에서 적게는 42.8%가 발생하여 대부분의 강우가 여름철에 집중하여 내리는 것으로 관찰되었다. 2017년은 가장 가물었으며 장마 기간의 강수량 또한 적었다. 가장 강수량이 많았던 해는 2014년으로 여름에 총 1,226.4mm의 강수가 내렸으며 일강수량이 최대 267mm로 최대 규모의 폭우가 발생하였다. 여름철 강우의 발생 형태는 1시간 최다강수량을 기준으로 2011, 2012, 2014, 2016년은 짧은 시간동안 많은 강수가 내리는 집중된 형태를 보였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

연 평균기온은 14.4~15.3℃ 전후로 나타났으며, 조사기간 평균 14.8℃이었다. 연도별 최고기온은 2011년 29℃에서 2018년 32.7℃까지 꾸준히 증가하는 추세를 보였으나 연도별 최저기온은 -7.8에서 -2.1℃로 불규칙적인 변동양상을 나타내었다. 조사기간 내에 여름철 일 최고기온의 평균값은 30.2℃이며 연도별 추세는 다소 증가하는 양상을 보였다. 2018년이 31.7℃로 가장 높았고 2014년에 28.6℃로 가장 낮았으며 이는 2014년 여름 기간에 지속적인 장마로 기온이 예년에 비해 증가하지 못한 것으로 생각된다.

기상요소들의 연도별 변화 추이는 일조 시간에 있어서는 큰 차이가 없었으나 합계 일사량은 2016년 초반을 기준으로 확연하게 감소하였다. 특히 여름의 경우 기온과 강수량에서 연도별 변화가 뚜렷하게 나타났다. 여름의 최고기온 및 평균 기온은 연도별로 증가하는 추세를 보였다. 여름철 강수량이 최근 4년이 과거에 비해 낮으며 연중 강수량에서 여름이 차지하는 비율 또한 감소한 것을 확인하였다. 여름철 기온의 상승은 수온을 증가시키며, 수표면부터 가열되어 하천 수체에 열적 성층현상이 발생하기도 한다. 성층화된 수체는 수직적 혼합이 충분하지 않아 저층에서 저산소 구간이 형성될 수 있으

며 이는 어류 등 수중에서 호흡하는 모든 생물에 영향을 미친다. 또한 저산소 조건에서 하천 퇴적층의 미생물이 무산소 호흡을 하면서 영양염의 방출이 증가할 수 있다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-85> 낙동강 물금 지점에 인접한 양산시 측정소의 일사량, 기온, 일강수량, 연강수량 및 여름 강우 집중률의 연간 변동

(3) 수질 환경 조사

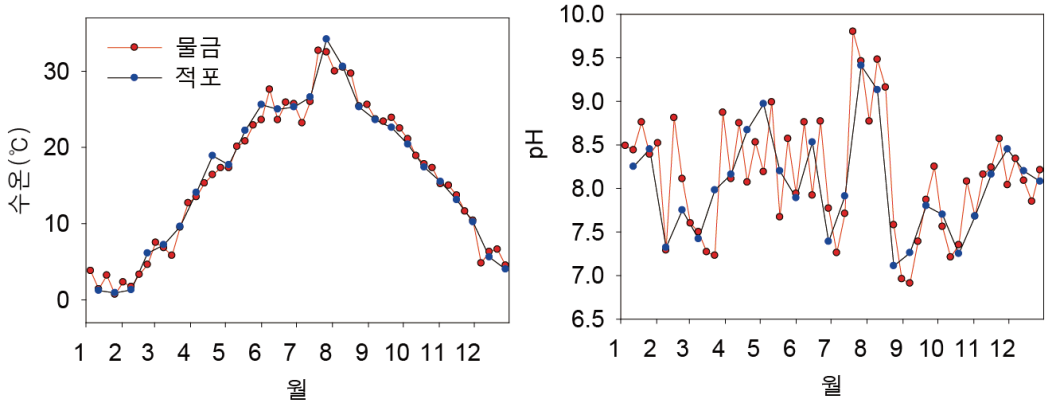
(가) 수온

2018년 낙동강 중·하류 물금, 적포 지점에서 수온 변화를 <그림Ⅲ-86>에 나타내었다. 여름철에 고수온, 겨울철에 저수온기를 갖는 계절적 양상이 뚜렷하게 나타났다. 본 과업 기간인 2018년에 물금에서는 0.7~32.7℃ 전후를 기록하였고, 평균 16.3±9.4℃를 보였다. 적포 지점에서는 0.9~34.2℃, 평균 16.3±9.7℃의 수온을 기록하였다. 두 지점 모두 최저수온을 보인 시기는 1월이었으며, 최고 수온을 보인 시기는 7월이었다.

(나) 수소 이온 농도지수

수소 이온 농도지수는 특히 광합성량에 의한 영향을 크게 받는데, 광합성이 활발히 진행될 경우 수체 내 용존 이산화탄소량이 감소하면서 수소 이온 농도지수가 높아지게 된다. 조사기간인 당해연도 중 물금에서는 6.9~9.8 전후를 기록하였고, 평균 8.1±0.7 을 보였다. 적포 지점에서는 7.1~9.4 범위 내였고, 평균 8.0±0.6 을 나타내었다. 물금에서는 7월에 최고, 9월에 최저치를 기록하였는데, 9월 최저치는 조사당일 물금 지역에서 높은 유속의 탁류 유입으로 인한 것으로 생각된다. 적포에서도 7월에 최고치를 기록하였으며 8월에 최저치를 기록하였다. 앞서 광합성량이 수소이온 농도지수에 영향을 주는 점을 고려할 때, 7월의 높은 수소이온 농도지수는 남조류 대번성에 따른 광합성량의 증가에 기인한 것으로 생각할 수 있다(그림Ⅲ-86).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-86> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 수온(왼)과 pH(오)의 변동

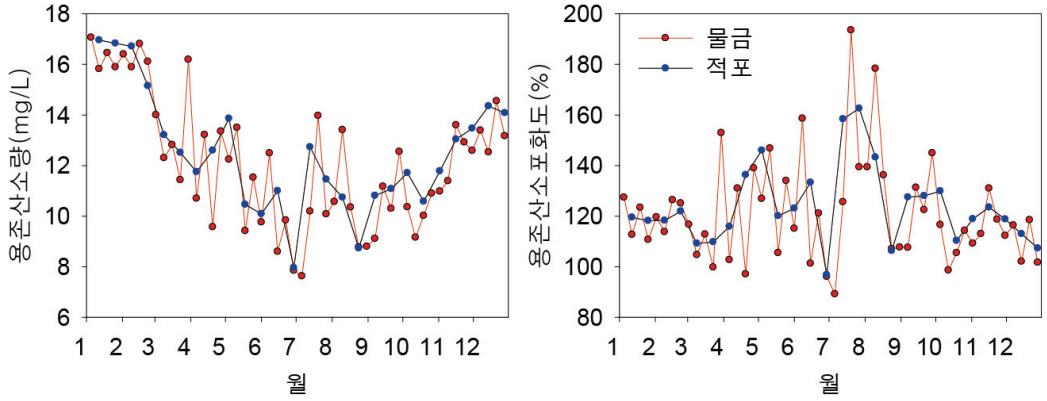
(다) 용존산소량

2018년 낙동강 중·하류 물금, 적포 지점에서의 용존산소량 변화를 <그림Ⅲ-87>에 나타내었다. 용존산소량은 여름철에 낮고 겨울철에 높은 패턴을 보였는데, 이는 수온과 용존능의 반비례 관계에 의한 것이다. 조사기간인 2018년에 물금에서는 7.6~17.1mg/L 전후를 기록하였고, 평균 12.1±2.5mg/L를 보였다. 적포에서는 8.0~17.0mg/L, 평균 12.4±2.3mg/L의 용존산소량을 기록하였다. 물금에서는 7월에 용존산소량이 최저치를 보였으며, 적포에서는 6월에 가장 낮았다. 최고치를 보인 시기는 두 지점 모두 1월이었다. 두 지점 모두 7, 8월에 용존산소량의 변화가 컸는데, 이는 남조류 대번성에 의한 것으로 생각된다.

(라) 용존산소포화도

2018년 해당 조사지점에서 측정된 용존산소포화도 변화를 <그림Ⅲ-87>에 나타내었다. 용존산소포화도의 변화는 용존산소량과 그 양상이 거의 일치하였으며, 계절적 패턴 또한 뚜렷하였다. 조사기간(2018년) 중에 물금에서는 89.2~193.5% 전후를 기록하였고, 평균 121.2±20.1%를 보였다. 적포 지역에서는 96.8~162.6%, 평균 123.7±15.6%를 보였다. 두 지역 모두 7월에 최고치를 보였고, 물금에서는 7월, 적포에서는 6월에 최저치가 나타났다. 용존산소량과 유사하게 용존산소포화도는 7월에 변화가 크게 나타났다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

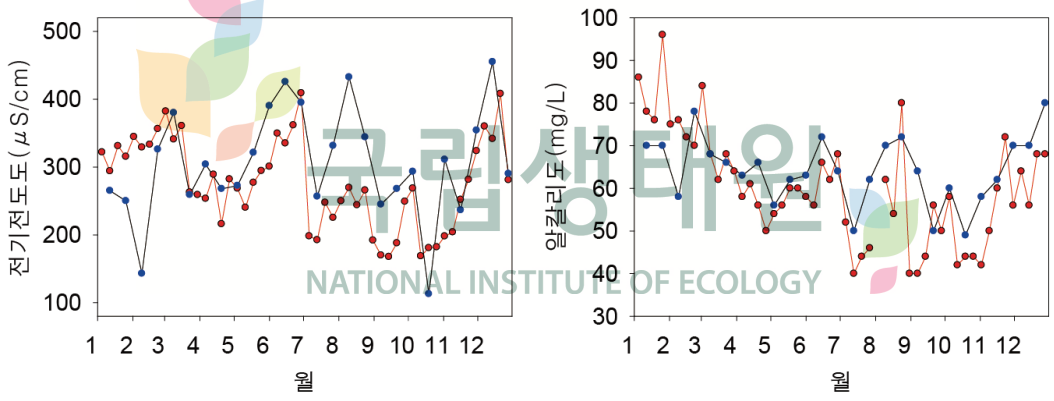


<그림Ⅲ-87> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 용존산소량(왼)과 포화도(오)의 변동

(마) 전기전도도

전기전도도는 수체에 녹아있는 양이온과 음이온 양에 의해서 결정되며, 저항의 역수 값으로 표현한다. 즉, 높은 전기전도도는 수체 내에 이온이 많음을 의미하고, 이는 주변으로부터의 이온성 물질의 유입이 있음을 반증하는 것이다. 이러한 특성에 의해 전기전도도는 간접적인 수질오염 평가 기준으로 활용될 수 있다. 본 연구의 조사기간(2018년) 중 물금에서는 167.8~409.0μS/cm 전후를 기록하였고, 평균 277.3±65.2μS/cm를 보였다.

적포에서는 113.0~455.0μS/cm, 평균 311.4±84.5μS/cm로 나타났다. 물금에서는 녹조 띠가 형성되기 시작한 6월 말에 최고치를 보였으며, 9월에 최저치를 기록하였고, 적포에서는 12월에 최고, 10월에 최저치를 보였다. 7월부터 8월까지 적포와 물금 지점에서 전기전도도의 차이가 크게 나타났는데, 이는 해당 시기에 금호강 및 황강의 지류부의 높은 전기전도도가 적포 지점에 영향을 크게 주기 때문이라고 생각할 수 있다(그림Ⅲ-88).



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-88> 낙동강 물금과 적포 지점에서의 전기전도도(왼)와 알칼리도(오)의 변동

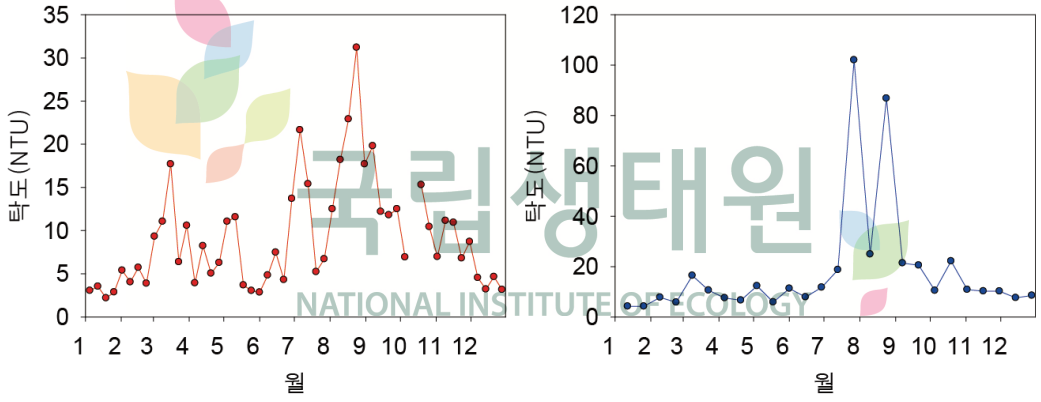
(바) 알칼리도

2018년 낙동강 중·하류 물금, 적포 지점에서 알칼리도 변화를 <그림Ⅲ-88>에 나타내었다. 알칼리도는 수체의 산 중화 능력을 나타내는 척도로, 용존되어 있는 수산화물(OH^-), 탄산염(CO_3^{2-}), 중탄산염(HCO_3^-)의 태를 탄산칼슘($CaCO_3$)의 태로 환산한다. 이온의 양을 측정하는 항목인 전기전도도 역시 이 항목들을 측정하므로, 대체로 전기전도도와 유사한 패턴을 보였다. 여름에 낮고 겨울에 높은 계절성을 보였으나, 그 정도가 전기전도도보다는 약하고 불명확하였다(그림Ⅲ-88). 조사기간인 2018년 물금에서는 40.0~96.0mg/L 전후를 기록하였고, 평균 60.2±13.0mg/L였다. 적포에서는 49.0~80.0mg/L, 평

균 64.3±7.9mg/L으로 나타났다. 물금의 알칼리도 최고치는 1월에 측정된 것이며 최저치는 8월과 9월에 확인되었다. 적포의 경우 12월에 최고치가 측정되었으며 10월에 가장 낮은 측정값을 보였다.

(사) 탁도

낙동강 물금과 적포 지점에서 2018년 동안 측정된 탁도를 <그림Ⅲ-89>에 나타내었다. 탁도는 수체 내의 부유물질 및 생물에 의해 생기는 물의 탁함 정도를 측정하는 항목으로, 번성한 식물플랑크톤에 의해서 또는 강우에 의한 토사 및 부유물질 유입에 의해 증가한다고 알려져 있다. 조사기간(2018) 중 물금에서는 2.2~31.2NTU 범위의 측정값을 보였고, 평균 9.3±6.2NTU를 보였다. 적포에서는 4.2~102.0NTU, 평균 18.0±23.3NTU를 나타냈다. 적포에서 7월부터 8월까지 특이적으로 높은 탁도가 측정되었는데, 이는 강한 바람에 의해 상하층의 수체가 혼합되었기 때문으로 생각된다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

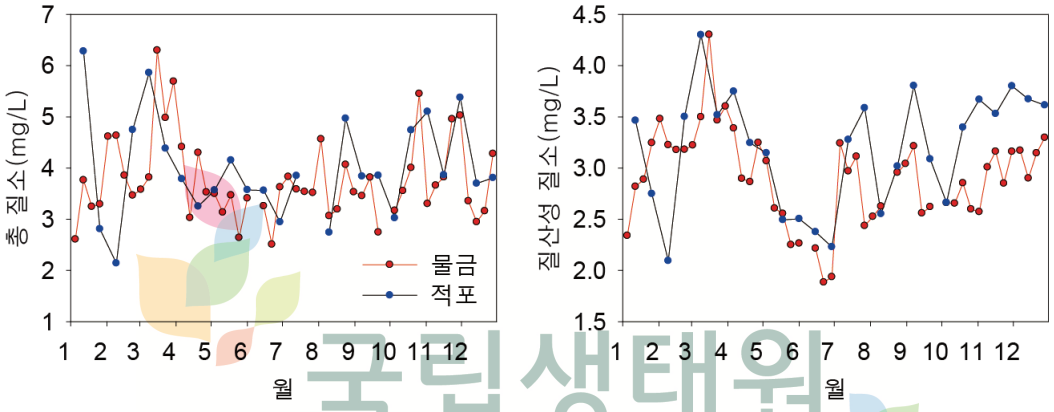
<그림Ⅲ-89> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 탁도의 변동

(아) 총 질소

수체 내의 총 질소량은 그 수체의 생산력을 좌우하는 중요한 지표이다. 총 질소 농도는 비교적 계절성이 뚜렷하게 나타나는 측정항목으로, 겨울에 증가하고 여름에 감소하는 양상을 보인다. 조사기간인 2018년 물금에서 총 질소의 농도는 2.5~6.3mg/L 전후로 나타났으며, 평균 3.8±0.8mg/L이었다. 적포에서는 2.1~6.3mg/L, 평균 4.0±1.0mg/L으로 측정되었다. 물금에서는 3월에 최고치를 보인 후 점차 감소하여 6월에 최저치를 보였다. 적포의 총 질소 농도의 최고치는 1월에 측정된 것이며, 최저치는 2월에 측정된 것이었다(그림Ⅲ-90).

(자) 질산성 질소

질산성 질소는 지하수에 비해 지표수에서 미량으로 존재하나 먹는 물 및 지하수 수질 환경 기준 일반오염물질로 분류되는 항목 중 하나이다. 계절적 변화가 뚜렷하지는 않으나 전반적으로 그 농도가 겨울에 높고 여름에 낮았다. 조사기간 동안 물금에서는 1.9~4.3mg/L 전후를 기록하였고, 평균 2.9±0.5mg/L의 농도를 보였다. 적포에서는 2.1~4.3mg/L, 평균 3.2±0.6mg/L의 질산성 질소 농도가 측정되었다. 두 지점 모두 3월에 측정 농도 값이 최고치를 보였으며, 물금에서는 6월, 적포에서는 2월에 가장 낮은 값을 보였다(그림Ⅲ-90).



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

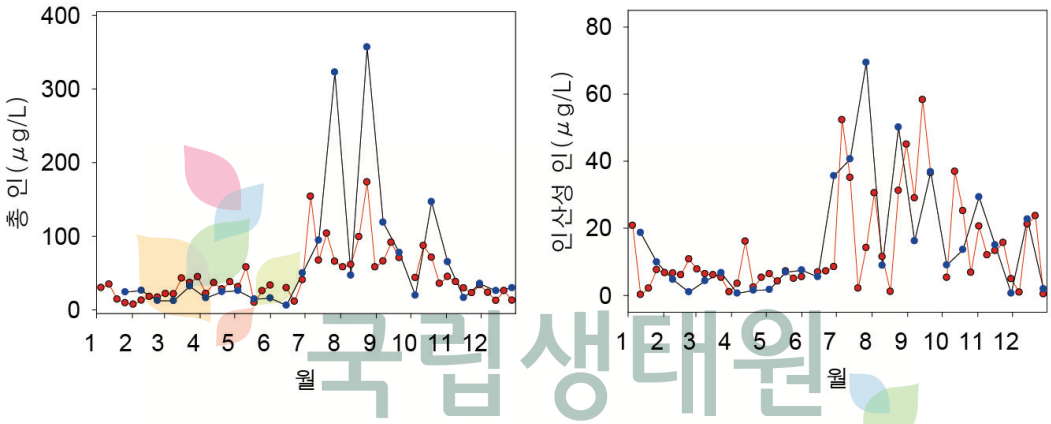
<그림Ⅲ-90> 물금과 적포 지점에서의 총 질소(왼)와 질산성 질소(오) 농도의 변동

(차) 총 인

낙동강 물금과 적포 지점에서 2018년 동안 측정된 총 인의 농도를 <그림Ⅲ-91>에 나타내었다. 총 인 농도는 해당 수체의 영양 단계를 평가할 수 있는 지표 중 하나이다. 전체 기간 평균 총 인의 농도가 물금에서 44.5±34.4μg/L, 적포에서 64.6±90.0μg/L로 나타나 낙동강이 부영양화 되어있음을 반증하나, 과거에 비해 크게 감소한 것을 확인할 수 있었다. 총 질소 농도의 연간 변화에 비해 뚜렷한 계절성이 나타나지는 않았으나, 여름철에 그 농도가 급격히 증가하는 양상이 관찰되었다. 이는 여름 기간에 집중강우 및 유량의 급증에 의한 것으로 생각된다. 본 연구기간인 2018년 동안 물금에서는 7.3~173.4μg/L 전후로, 적포에서는 6.0~356.7μg/L로 나타났다. 각 지점에서 모두 가장 높은 총 인 농도는 8월에 확인되었으며, 최저치의 경우 물금에서는 2월, 적포에서는 6월에 측정되었다. 두 지점 모두 여름 기간(7, 8월)에 총 인 농도가 높고 전후로 그 농도가 감소하여 전반적인 양상에 부합하였다.

(카) 인산성 인

인산염 인은 질소계 영양염류와 함께 식물플랑크톤의 성장에 필요한 무기염류로서, 그들이 이용 가능한 인의 형태이다. 과도한 인산염의 유입은 식물플랑크톤의 과도한 성장을 초래할 수 있고, 이로 인한 이차적인 수질의 변화가 일어날 수 있기 때문에 주요한 수질 측정 항목 중 하나이다. <그림Ⅲ-91>에 2018년 1월부터 12월까지 물금과 적포 지점에서의 인산염 인 측정값을 나타내었다. 물금에서 인산염 인은 0.2~58.3μg/L, 평균 14.0±14.0μg/L로 나타났고, 적포 지역에서는 0.6~69.4μg/L, 평균 16.1±17.6μg/L로 나타났다. 두 지역 모두 9월에 최고치를 보인 후 꾸준히 감소하여 11월에 최저치를 보였다.



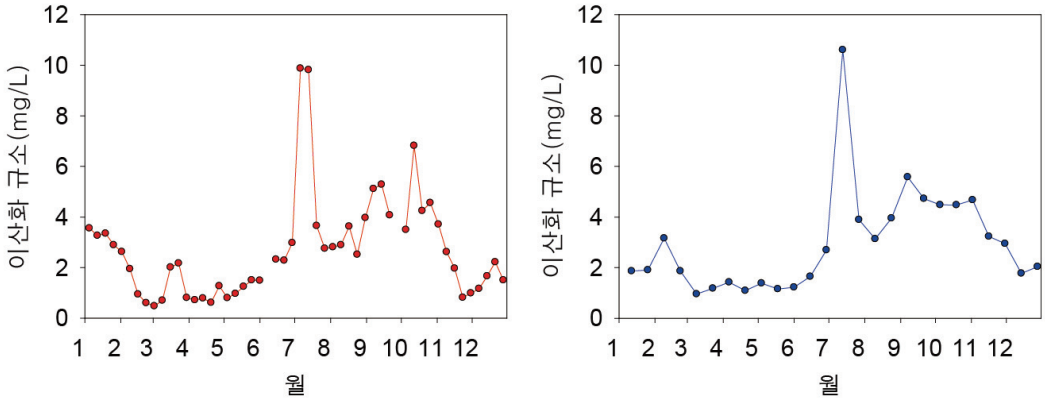
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-91> 물금과 적포 지점에서의 총 인(왼)과 인산성 인(오) 농도의 변동

(타) 이산화 규소

2018년 1월부터 12월까지 낙동강 중·하류의 물금, 적포 지점에서의 실리카 농도의 변화이다(그림Ⅲ-92). 조사지점별로 측정값에 차이가 크지 않았으며, 비슷한 변화양상을 보였다. 실리카 농도는 규조류와 연관이 큰 측정 항목으로 규조류가 우점하기 시작하는 11월 이후로 그 농도의 감소가 관찰된다.

본 연구기간(2016년 6월~11월) 동안 물금지역에서 실리카 농도는 0.5~9.9mg/L 전후로 나타났고 평균 2.7±2.0mg/L을 보였다. 적포 지점에서는 1.0~10.6mg/L, 평균 3.0±2.1mg/L을 나타내었다. 두 지점에서 모두 7월에 실리카 농도가 가장 높은 값을 보였으며 최저치는 3월에 나타났다. 이는 겨울철 규조류의 번성에 따라 수체 내의 이산화 규소가 충분히 소비되었기 때문에 나타난 결과라고 생각된다.



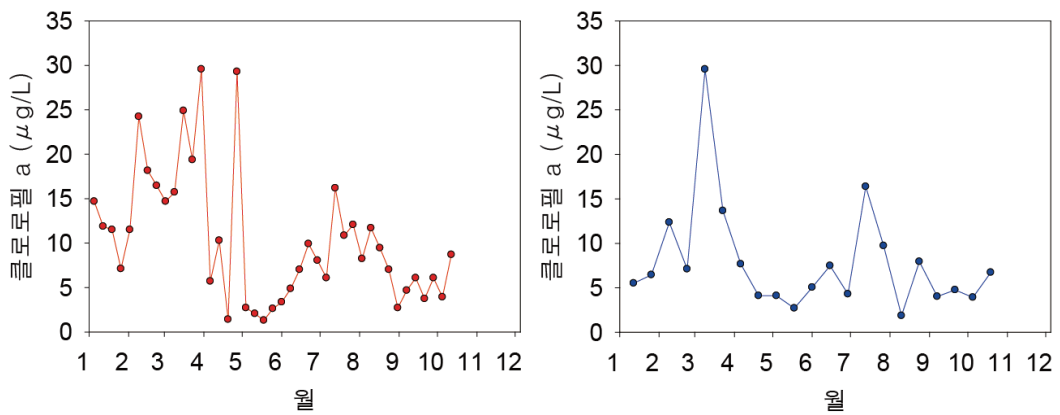
<그림Ⅲ-92> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 이산화 규소 농도의 변동

(4) 식물플랑크톤 조사

(가) 생체량 결과

식물플랑크톤 생체량 분석을 위해 클로로필 a 농도를 분석하였으며, 10월까지의 결과만 포함하였다. 클로로필 a는 모든 식물플랑크톤이 광합성을 위해 사용하는 색소로서, 식물플랑크톤의 생체량을 잘 대변하는 항목이다. 클로로필 a의 농도는 측정항목 중 가장 역동적으로 변동하였는데, 여름철에는 남조류, 겨울철에는 규조류의 식물플랑크톤이 번성하여 클로로필 a의 농도를 급격하게 증가시키기 때문이다. 해당 조사기간인 2018년에 클로로필 a 농도는 물금에서 1.3~29.6μg/L의 범위에서 9.3±6.2μg/L의 평균값을 보였고, 적포 지점에서는 1.9~29.6μg/L, 평균은 7.9±6.2μg/L로 측정되었다. 클로로필 a 농도는 수온이 비교적 낮은 2-3월과 높은 6-8월, 두 번에 걸쳐 증가하였으며 두 지점에서 매우 유사한 양상을 보였다(그림Ⅲ-93).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

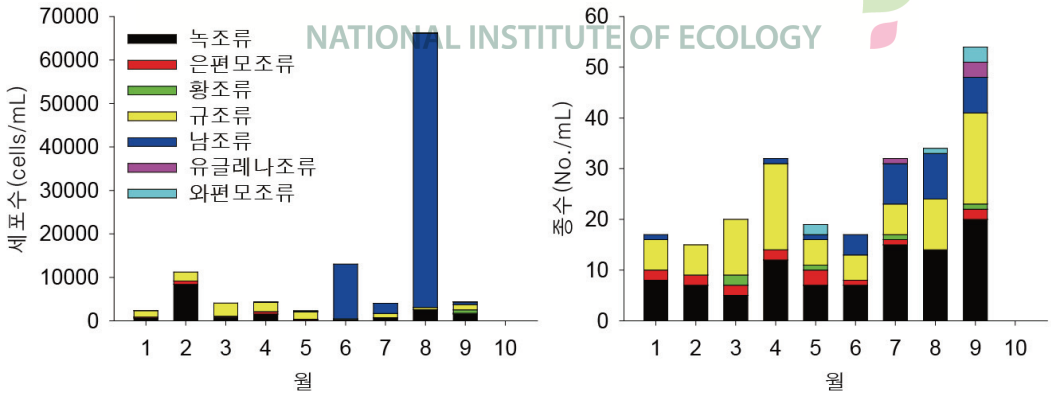


<그림Ⅲ-93> 낙동강 물금(왼)과 적포(오) 지점에서의 클로로필 a 농도의 변동

(나) 세포수 결과

낙동강 물금 지점에서 관찰된 식물플랑크톤의 세포수와 종수를 <그림Ⅲ-94>에 나타내었다. 2월에는 녹조류 *Monoraphidium griffithii*, 3월에는 *Fragilaria crotonensis*가 높은 밀도를 보여 이 시기의 클로로필 a 농도 증가에 영향을 준 것으로 보인다. 이후 5월에 2,302cells/mL로 조사 기간 중 가장 낮은 밀도를 보인 이후에, 수온이 증가함에 따라 남조류가 우점하는 군집으로 천이가 일어나면서 클로로필 a 농도가 증가하는 경향을 보였다. 6월부터 8월까지 남조류 *Microcystis aeruginosa*가 우점하였으며 7월 말에 농도가 감소한 데에는 강우가 큰 영향을 주었을 것으로 보인다. 8월 20일에는 총 66,209cells/mL 중 남조류가 63,134cells/mL를 차지하여, 특히 이 시기에 심각한 남조류 대번성이 발생하였음을 알 수 있다. 식물플랑크톤 총 종수는 2월에 15종으로 가장 적었으며, 9월에 54종으로 가장 다양하게 보고되었다. 가장 다양한 종이 보고된 분류군은 녹조류로, 9월 14일 조사 시 20종이 보고되었다. 가장 적은 종이 보고된 분류군은 유글레나조류로, 9월에는 *Euglena* sp., *Trachelomonas granulosa*와 *Trachelomonas hispida*의 3종이 관찰되었다. 2017년에는 *Microcystis*의 우점 이후에 *Aphanizomenon*이 출현하여 남조류가 9, 10월까지 우점하는 현상을 보였으나, 2018년에는 황조류 *Synura uvella*가 높은 밀도를 보여 천이 과정에서 차이를 보였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



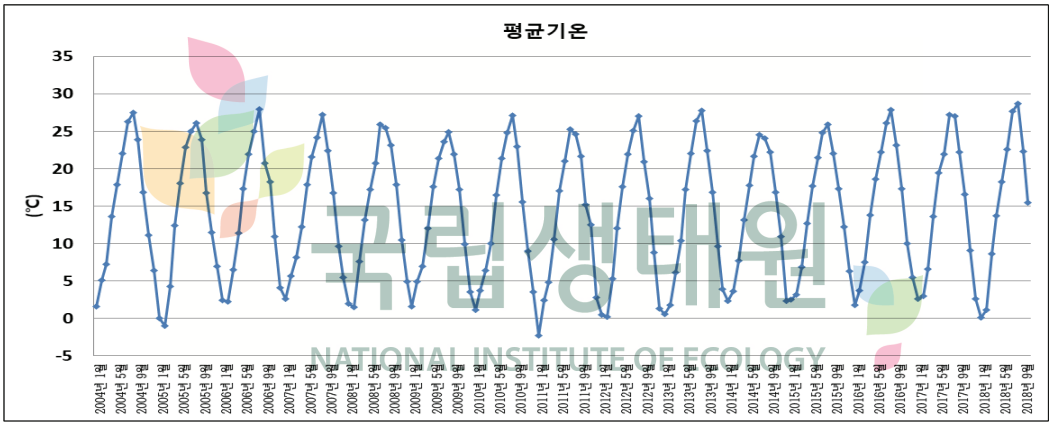
<그림Ⅲ-94> 낙동강 물금 지점의 월별 식물플랑크톤 세포수(왼)와 종수(오)

3. 기수생태계

가. 기후요인 분석

함평만에 근접한 지역 목포에서 관측된 기상청 자료를 참고하여 온도, 강수량, 상대습도와 풍속에 대한 정보를 2004년부터 2018년까지 한 달 주기로 기상청 기상장치에 저장된 데이터를 이용하여 분석하였다(그림Ⅲ-95).

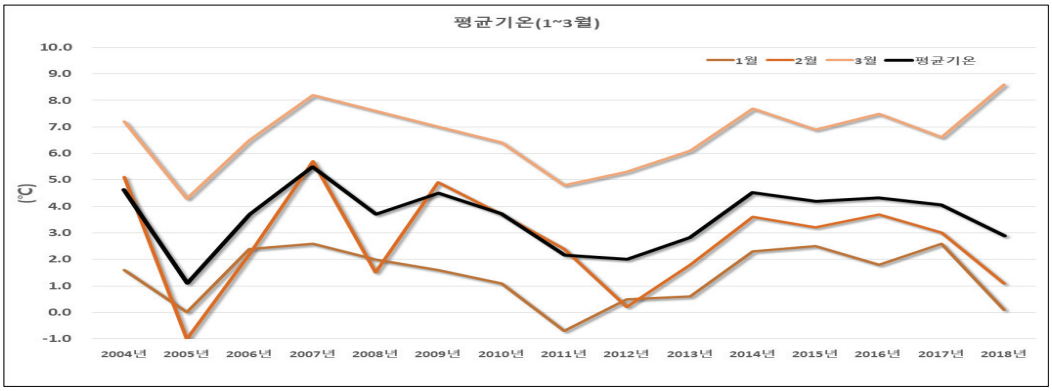
2004년 1월부터 2017년 10월까지 측정한 온도변화를 보면 함평만의 연평균기온은 2004년 14.96℃, 2005년 13.92℃, 2006년 14.05℃, 2007년 14.49℃, 2008년 14.17℃, 2009년 13.79℃, 2010년 13.51℃, 2011년 13.1℃, 2012년 13.05℃, 2013년 13.76℃, 2014년 13.93℃, 2015년 14.42℃, 2016년 14.68℃, 2017년 14.33℃, 2018년 10월까지 평균 15.85℃로 같은 기간 동안 조사된 평균기온은 2004년이 가장 높고 다음으로 2016년도에 가장 높게 나타났다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-95> 2004년부터 2018년까지의 평균기온 변화

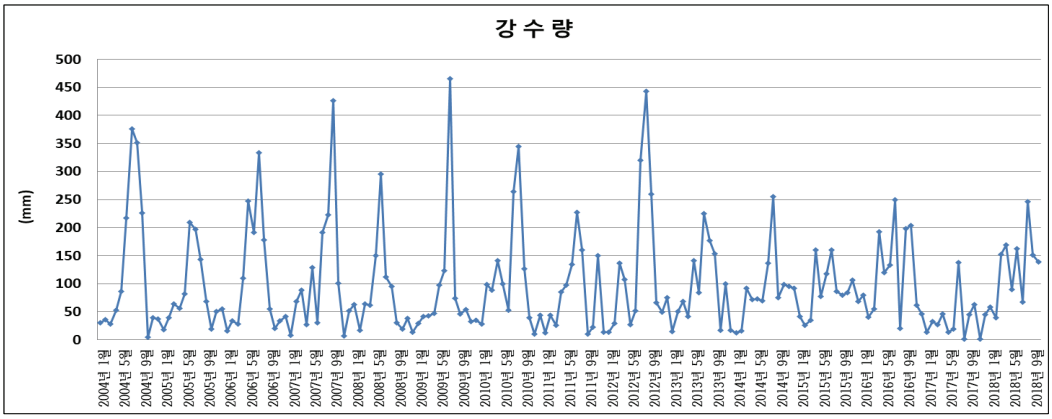
염생식물 군락형성에 중요한 요인 중 하나인 유묘출현이 이루어지는 1, 2, 3월의 평균 기온을 각각 년도 별로 정리하면 2004년 4.63℃, 2005년 1.1℃, 2006년 3.7℃, 2007년 5.5℃, 2008년 3.7℃, 2009년 4.5℃, 2010년은 3.73℃, 2011년 2.17℃, 2012년 2.0℃, 2013년 2.83℃, 2014년 4.53℃, 2015년 4.2℃, 2016년 4.33℃, 2017년 4.06℃, 2018년 2.06℃으로 나타났다. 연평균 기온이 가장 높았던 2007년에는 이상고온 현상으로 1, 2, 3월 평균 기온 역시 5.5℃로 나타났다(그림Ⅲ-96).



<그림Ⅲ-96> 2004년부터 2018년까지의 3개월 평균 기온변화(1-3월)

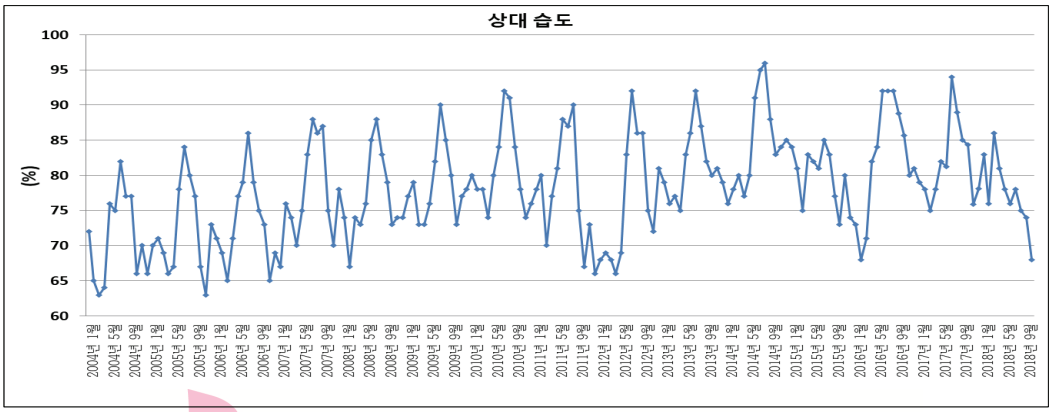
연도별 총강수량은 2004년도 1,483.3mm, 2005년도에 1,002.7mm, 2006년도 1,288.3mm, 2007년도 1,350.6mm, 2008년도 960.5mm, 2009년도 1,088.5mm, 2010년도 1,335.7mm, 2011년도 982.1mm, 2012년도 1,557.5mm, 2013년도 1,089.7mm, 2014년도 1,087.7mm, 2015년도 1,041.6mm, 2016년도 1,398mm, 2017년도 711.4, 2018년도 10월까지 총강수량은 1,273.9mm로 나타났다. 특히 2008년, 2011, 2017년은 강수량이 1,000mm을 넘지 않아 평년 강수량에 비해 낮게 나타났으며, 우기철인 6월에서 9월까지의 강수량을 비교하면 2004년 1,170.2mm, 2005년 618.8mm, 2006년 757.8mm, 2007년 871.6mm, 2008년 533.0mm, 2009년 708.7mm, 2010년 788.2mm, 2011년 532.3mm, 2012년 1,073.8mm, 2013년 639.7mm, 2014년 536.4mm, 2015년 443.4mm, 2016년 601.0mm, 2017년 468.8mm, 2018년 627.2mm로 나타났다. 강수량이 적은 2008년도와 2011년에는 각각 533.0mm, 532.3mm로 평년에 비해 낮은 수치를 보여주었다(그림Ⅲ-97).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



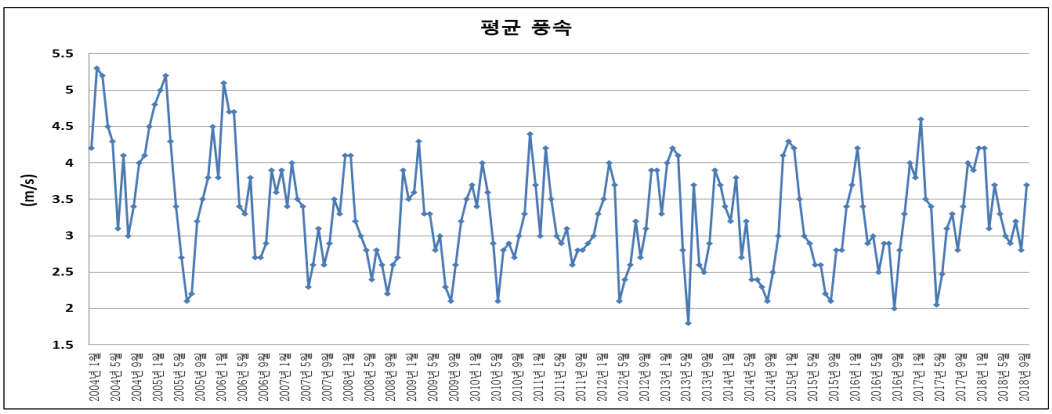
<그림Ⅲ-97> 2004년부터 2018년까지의 강수량 변화

2004년부터 2018년까지의 상대습도는 각각 71.1%, 72.1%, 73.3%, 77.4%, 76.7%, 78.6%, 80.8%, 77.7%, 76.3%, 81.4%, 84.4%, 79.8%, 82.5%, 81.6%으로 2014년이 84.4%로 가장 높게 나타났으며 2018년 10월 현재까지의 평균습도는 77.5%로 나타났으며 상대습도는 서서히 증가하는 경향성이 뚜렷하게 나타났다(그림Ⅲ-98).



<그림Ⅲ-98> 2004년부터 2018년까지의 상대습도 변화

2004년부터 2018년까지 연평균 풍속은 2004년 4.14m/s, 2005년 3.73m/s, 2006년 3.72m/s, 2007년 3.21m/s, 2008년 3.03m/s, 2009년 3.13m/s, 2010년 3.23m/s 2011년 3.13m/s, 2012년 3.2m/s, 2013년 3.29m/s, 2014년 2.93m/s, 2015년 3.03m/s, 2016년 3.1m/s, 2017년 3.4m/s, 2018년 3.4m/s 로 나타났다. 지속적으로 평균풍속이 감소하는 모습을 보이고 있는데(그림Ⅲ-99), 여름철 평균풍속은 평균기온과 낮은 음의 상관관계를 보이지만 겨울철 평균풍속과 평균기온 간에 비교적 높은 음의 상관관계를 보인다(이, 2012). 이러한 결과는 함평만 지역의 평균기온이 증가한다는 것을 볼 수 있다.



<그림Ⅲ-99> 2004년부터 2018년까지의 평균풍속 변화

나. 토양요인분석

2004년 1월부터 2018년 10월까지 함평만에 출현하는 군락에 대한 각각의 토양요인을 알아보기 위해 pH, 토양함수량, 유기물함량, 염분농도, 전기전도도, 토성을 조사하였다.

본 조사지인 전남 무안군 현경면 현화리는 함평만에서 염생식물 군락이 가장 넓게 분포하고 종 다양성도 가장 높게 나타나는 지역이다. 이중 조사지역에 대표적으로 분포하는 갈대(*Phragmites communis*), 해홍나물(*Suaeda maritima*), 갯잔디(*Zoysia sinica*) 군락을 선정하여 토양분석을 실시하였고, 갯질경이(*Limonium tetragonum*)는 2009년부터, 큰비쑥(*Artemisia fukudo*)은 2016년부터 추가로 조사하였다. 토양요인을 연도별로 정리한 결과는 다음과 같다.

(1) 수분함량(moisture contents)

2004년~2018년 갈대 군락의 토양수분함량은 17.83%～37.80%로 평균 25.87%를 나타내어 식물군락 중 가장 높게 나타났으며, 갯잔디 군락은 8.26%～23.02%로 평균 17.63%로 나타났고, 해홍나물 군락은 5.09%～20.33%로 평균 11.94%를 나타났다. 2009년~2018년 갯질경이 군락은 토양수분함량은 6.97%～16.10%로 평균12.45%로 나타났고, 2016년~2018년 큰비쑥 군락은 2.78%~9.61%로 평균 5.26%를 보이며 5개의 군락 중 가장 낮게 나타났다(그림Ⅲ-100).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) pH

2004년~2018년 갈대 군락의 pH은 5.65～6.79로 평균 6.47을 나타났으며, 갯잔디 군락은 6.19～7.15로 평균 6.60를 나타났고, 해홍나물 군락은 6.24～7.30로 평균 6.90로 5개 군락 중 가장 높게 나타났다. 2009년~2018년 갯질경이 군락은 pH은 6.42～6.94로 평균 6.80를 나타났고, 2016년~2018년 큰비쑥 군락은 6.21~7.05로 평균 6.69을 나타냈다(그림Ⅲ-101).

(3) 염도(salinity)

2004년~2018년 갈대 군락의 염분농도는 8.35ppt～13.25ppt로 평균 10.29ppt으로 가장 높게 나타났으며, 갯잔디 군락은 3.55ppt～12.80ppt로 평균 8.58ppt로 나타났고, 해홍나물 군락은 2.10ppt～8.80ppt로 평균 5.53ppt로 나타났다. 2009년~2018년 갯질경이 군락은 염분농도는 3.20ppt～10.30ppt로 평균 5.77ppt로 나타났고, 2016~2018년 큰비쑥 군락은 1.90ppt~3.65ppt로 평균 2.55ppt를 나타내며 가장 낮게 나타났다(그림Ⅲ-102).

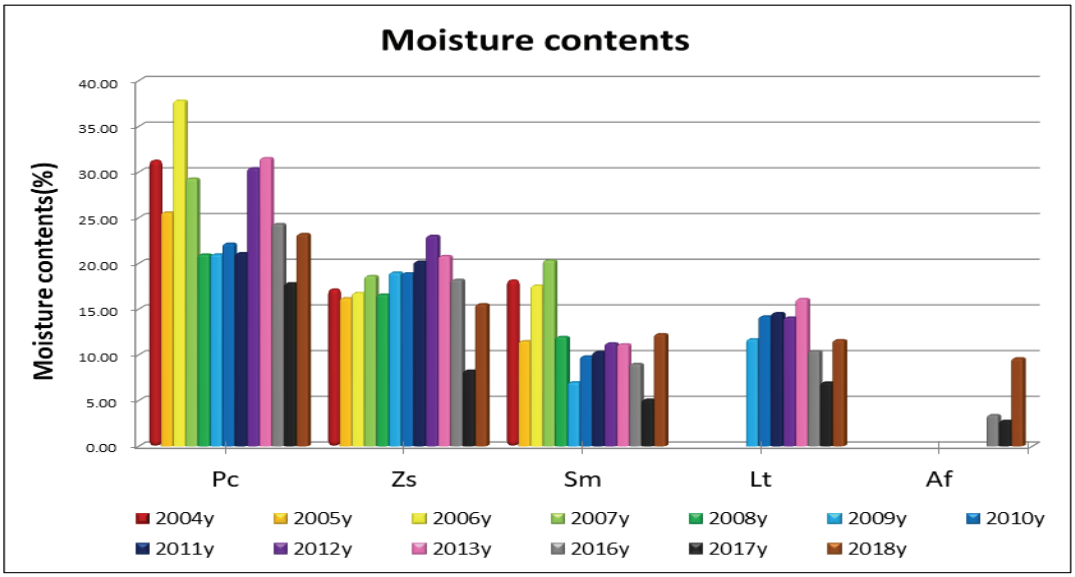
(4) 전기전도도(electronic conductivity)

2004년~2018년 갈대 군락의 전기전도도는 16,515us/cm～24,345us/cm로 평균 19,357us/cm으로 가장 높게 나타났으며, 갯잔디 군락은 8,555us/cm～20,123us/cm로 평균 15,294us/cm로 나타났고, 해홍나물 군락은 4,097us/cm～12,670us/cm로 평균 10,106us/cm로 나타났다. 2009년~2018년 갯질경이 군락은 전기전도도 8,869us/cm～2,0298us/cm로 평균 12,221us/cm로 나타났고, 2016년~2018년 큰비쑥 군락은 3,352us/cm~9,738us/cm로 평균 6,467us/cm를 나타내며 가장 낮은 값을 보였다(그림Ⅲ-103).

(5) 유기물함량(orgarnic matters)

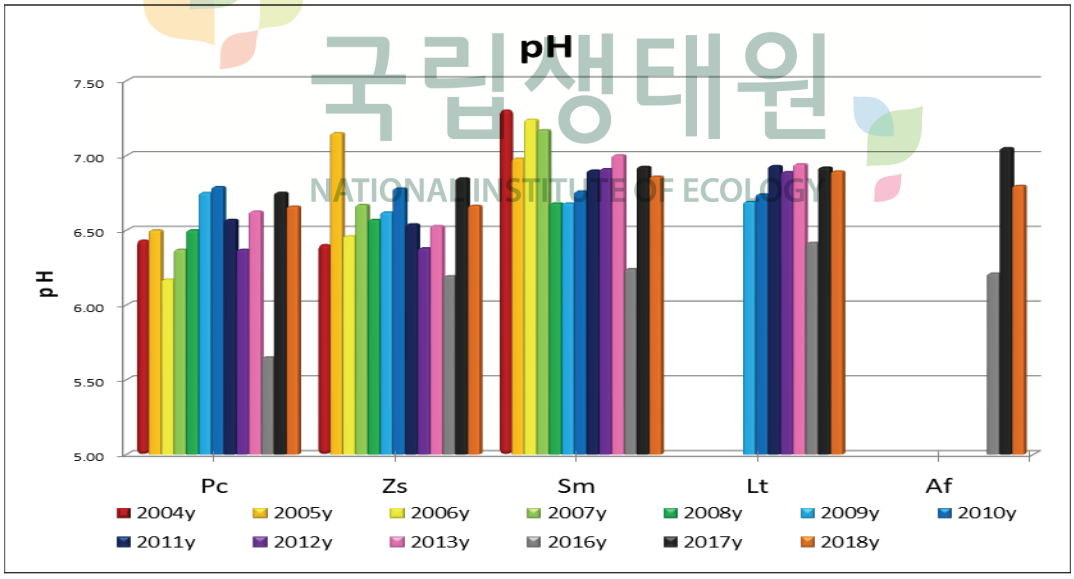
2004년~2018년 갈대 군락의 유기물함량은 1.90%～6.04%로 평균 3.87%를 나타내어 가장 높게 나타났으며, 갯잔디 군락은 1.50%～6.27%로 평균 3.47%로 나타났고, 해홍나물 군락은 0.50%～3.78%로 평균 1.94%를 나타났고, 2009년~2018년 갯질경이 군락의 유기물함량은 1.41%～3.03%로 평균 2.11%로 나타났고, 2016년~2018년 큰비쑥 군락은 0.70%~1.16%로 평균 0.97%를 나타내며 5개 군락 중 가장 낮게 나타났다(그림Ⅲ-104). 유기물함량은 식물의 생장을 촉진시키는 각종 비타민과 유기산이 원천이 되며(Brady & weil, 2002), 토양의 치환성 양이온과 수분의 함유 능력을 향상시킨다(Blank, 1957/그림Ⅲ-104).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-100> 현화리 염생식물 군락별 수분함량 측정값

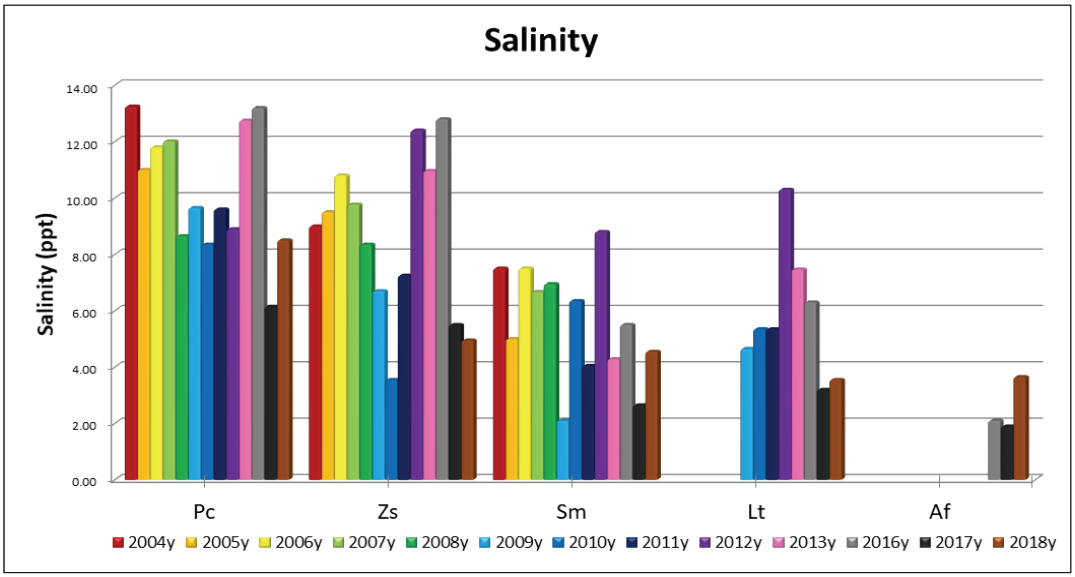
(Pc(갈대): *Phragmites communis*, Zs(갯잔디): *Zoysia sinica*, Sm(해홍나물): *Suaeda maritima*, Lt(갯질경이): *Limonium tetragonum*, Af(큰비쑥): *Artemisia fukudo*)



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

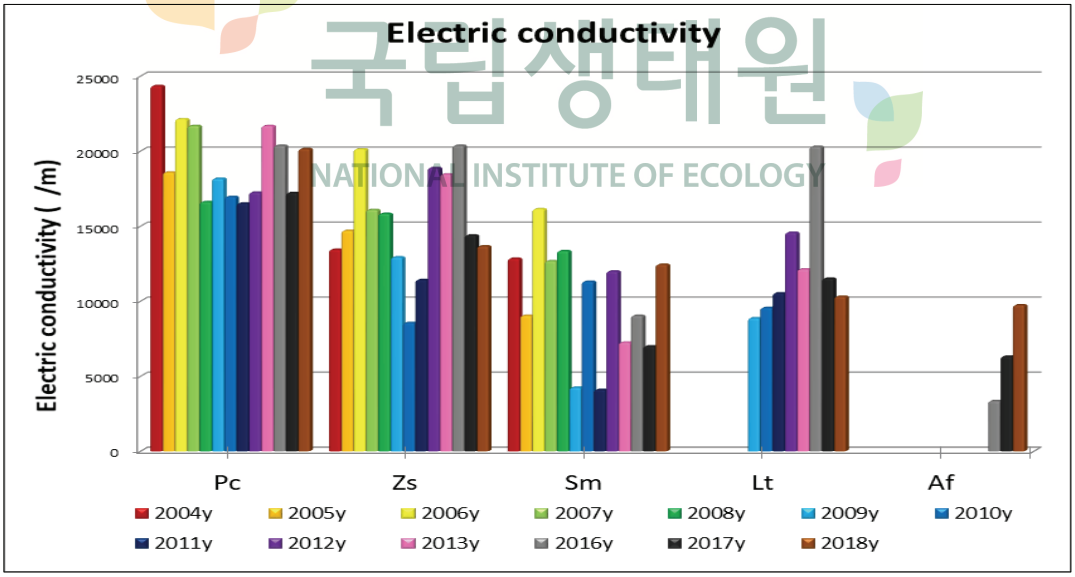
<그림Ⅲ-101> 현화리 염생식물 군락별 PH 측정값

(Pc(갈대): *Phragmites communis*, Zs(갯잔디): *Zoysia sinica*, Sm(해홍나물): *Suaeda maritima*, Lt(갯질경이): *Limonium tetragonum*, Af(큰비쑥): *Artemisia fukudo*)



<그림Ⅲ-102> 현화리 염생식물 군락별 염도 측정값

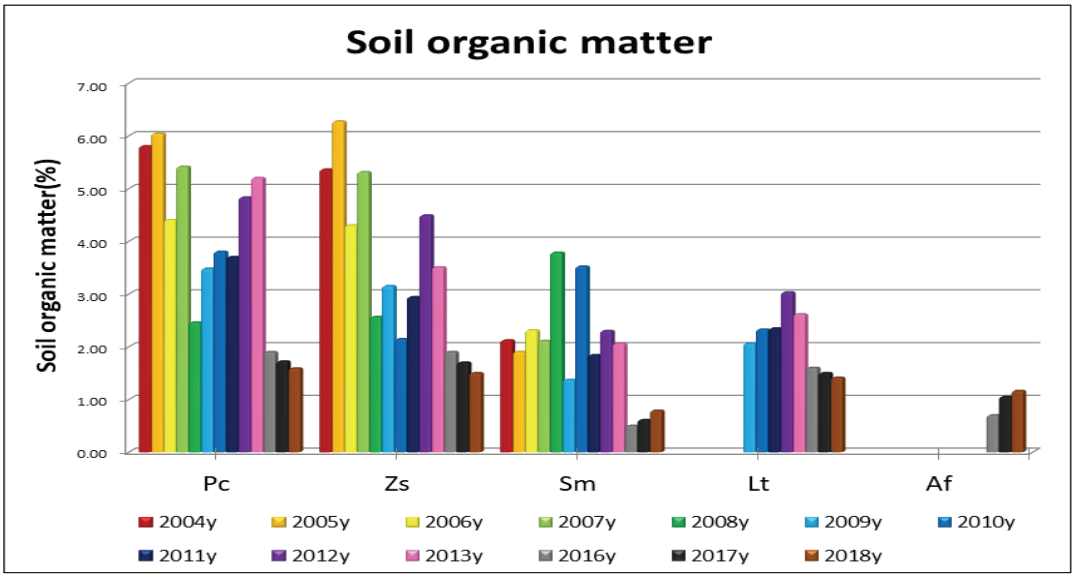
(Pc(갈대): *Phragmites communis*, Zs(갯잔디): *Zoysia sinica*, Sm(해홍나물): *Suaeda maritima*, Lt(갯질경이): *Limonium tetragonum*, Af(큰비쑥): *Artemisia fukudo*)



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-103> 현화리 염생식물 군락별 전기전도도 측정값

(Pc(갈대): *Phragmites communis*, Zs(갯잔디): *Zoysia sinica*, Sm(해홍나물): *Suaeda maritima*, Lt(갯질경이): *Limonium tetragonum*, Af(큰비쑥): *Artemisia fukudo*)



<그림Ⅲ-104> 현화리 염생식물 군락별 토양 유기물함량 측정값
(Pc(갈대): *Phragmites communis*, Zs(갯잔디): *Zoysia sinica*, Sm(해홍나물): *Suaeda maritima*, Lt(갯질경이): *Limonium tetragonum*, Af(큰비쑥): *Artemisia fukudo*)

(6) 토성

갈대군락의 2009년~2018년 sand 57.6~90.7%, silt+clay 9.3%~42.4%로, 갯잔디군락는 sand 60.9%~93.1%, silt+clay 6.9%~39.1%로, 해홍나물군락은 sand 66.4%~95.1%, silt+clay 4.9%~33.6%로, 갯질경군락은 sand 65.8%~92.2%, silt+clay 4.9%~34.2%로, 큰비쑥군락의 2016년~2018년 sand 73.3~96.2%, silt+clay 3.8~26.7%로 나타났다.

토성 변화를 군락지별로 분석해보면 각각 군락별로 이용되어지는 토성이 서로 다르게 나타나고 있으며, 조사된 데이터로는 비교적 뚜렷한 변화를 보였는데 2017년부터 갈대, 갯잔디, 갯질경 군락에서 모래함량이 매우 증가됨을 보였다. 이는 시간이 지남에 따라 조류에 의해 모래가 증가하고 실트와 점토는 감소되는 것으로 파악된다(그림Ⅲ-105).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-105> 2009년~2018년까지의 염생식물 군락별 토양입도분석
(*Phragmites communis*:갈대, *Zoysia sinica*:갯잔디, *Suaeda maritima*:해홍나물, *Limonium tetragonum*:갯질경이, *Artemisia fukudo*:큰비쑥)

다. 염생식물변화

(1) 식물상

현지조사를 통하여 파악된 관속식물은 21과 51속 52종 1아종 4변종 2품종, 총 59분류군으로 확인되었고, 이 중 염생식물은 6과 18종으로 명아주과, 갯질경이과, 메꽃과, 현삼과, 국화과, 벼과 등 염생식물은 전체 출현종에 대하여 30.5%를 나타내었다(표Ⅲ-101).

특히, 연안선을 따라 퇴적된 모래톱을 중심으로 해홍나물, 갯질경이, 갯잔디, 큰비쑥, 퉁퉁마디, 갯질경이 등이 주로 분포하고 있으며, 담수가 유입되는 제방 지역을 중심으로 갈대가 분포하고 건조한 고위염습지에는 나문재가 분포하였다. 특히 제방 근처에 모래퇴적이 두드러진 곳에는 사구식물인 갯그령과 갯메꽃이 소수 분포하여 다양한 식생구조를 이루고 있다.

<표Ⅲ-101> 조사지역에서 확인된 식물종 목록

Family name	Scientific name	Korean name	Halophyte
Equisetaceae 속새과	*Equisetum arvense*	쇠뜨기	
Pinaceae 소나무과	*Pinus thunbergii*	곰솔	
Cannabinaceae 삼과	*Humulus japonicus*	환삼덩굴	
Polygonaceae 마디풀과	*Rumex crispus*	소리쟁이	
	Rumex obtusifolius	돌소리쟁이	
Chennopodiaceae 명아주과	*Atriplex gmelini*	가는갯능쟁이	○
	Atriplex hastata	창명아주	○
	Atriplex subcordata	갯능쟁이	○
	Chenopodium album var. *centrorubrum*	명아주	
	Chenopodium virgatum	버들명아주	○
	Kochia scoparia var. *littorea*	갯댑싸리	○
	Suaeda asparagoides	나문재	○
	Salicornia herbacea	퉁퉁마디	○
	Suaeda maritima	해홍나물	○
	Salsola collina	솔장다리	○
	Salsola komarovii Iljin	수송나물	○
Phytolaccaeae 자리공과	*Phytolacca americana*	미국자리공	
Portulacaceae 쇠비름과	*Portulaca oleracea*	쇠비름	
Rosaceae 장미과	*Duchesnea chrysantha* (Zoll. & Moritzi) Miq.	뱀딸기	
Leguminosae 콩과	*Kummerowia striata*	매듭풀	

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

	Glycine soja	돌콩	
	Lespedeza cuneata	비수리	
	Robinia pseudo-acacia	아까시나무	
	Amorpha fruticosa L.	족제비싸리	
	Vicia angustifolia var. *segetilis*	살갈퀴	
	Pueraria lobata (Willd.) Ohwi	칡	
Meliaceae 멀구슬나무과	*Melia azedarach* L.	멀구슬나무	
Euphorbiaceae 대극과	*Mallotus japonicus*	예덕나무	
Vitaceae 포도과	*Ampelopsis brevipedunculata* f. *citrulloides*	가새잎개머루	
Onagraceae 바늘꽃과	*Oenothera odorata*	달맞이꽃	
Plumbaginaceae 갯질경이과	*Limonium tetragonum*	갯질경이	○
Asclepiadaceae 박주가리과	*Metaplexis japonica*	박주가리	
Convolvulaceae 메꽃과	*Calystegia soldanella*	갯메꽃	○
Verbenaceae 마편초과	*Clerodendron trichotomum*	누리장나무	
Labiata 꿀풀과	*Acalypha australis*	깨풀	
Scrophulariaceae 현삼과	*Linaria japonica*	해란초	○
Compositae 국화과	*Aster subulatus*	비짜루국화	
	Artemisia fukudo	큰비쑥	○
	Artemisia princeps	쑥	
	Artemisia scoparia Waldst. et Kit.	비쑥	
	Erigeron annuas	개망초	
	Erigeron canadensis	망초	
	Lactuca indica var. *laciniata*	왕고들빼기	
		노랑코스모스	
Gramineae 벼과	*Elymus mollis*	갯그령	○
	Phragmites communis	갈대	○
	Imperata cylindrica var. *koenigii*	띠	
	Zoysia sinica	갯잔디	○
	Cymbopogon tortilia var. *goeringii*	개솔새	
	Echinochloa crus-galli	돌피	
	Eragrostis ferruginea	그령	
	Ischaemum anthephoroides	갯쇠보리	○
	Miscanthus sinensis var. *purpurascens*	억새	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

	Setaria faveri	가을강아지풀	
	Digitaria sanguinalis	바랭이	
	Avena fatua	메귀리	
	Eleusine indica	왕바랭이	
	Lolium multiflorum Lam. var. *multiflorum*	쥐보리	
Commelinaceae 닭의장풀과	*Commelina communis*	닭의장풀	

(2) 염생식물 우점 군락

본 조사지역의 염생식물 군락은 표 조작법에 따라 종합상재도표를 작성하였다. 주요 우점군락은 갈대 군락(*Phragmites communis* Community), 갯잔디 군락(*Zoysia sinica* Community), 해홍나물 군락(*Suaeda maritima* Community), 갯잔디-큰비쑥(*Zoysia sinica-Artemisia fukudo* Community), 큰비쑥(*Artemisia fukudo* Community), 갯질경이 군락(*Limonium tetragonum* Community) 등으로 구분되었다(표Ⅲ-102).

(가) 갈대 군락(*Phragmites communis* Community)

이 군락은 군락높이 218.6~272㎝, 식피율 100%이었으며, 평균출현종은 1종이었고, 분포지역은 해안 제방을 중심으로 담수가 유출되는 해안 가장자리에 군락을 형성하고 있다. 이 군락은 낙동강(김 등, 1981), 섬진강(오와 임, 1983), 영산강(김, 1975) 하구 지역을 중심으로 가장 넓게 분포하고 있으며, 염소택지의 대표적인 염생식물군락이다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(나) 갯잔디 군락(*Zoysia sinica* Community)

이 군락은 군락높이 18~23.8㎝, 식피율 65%이었으며, 평균 출현종은 2종이었고 수반종은 해홍나물, 큰비쑥, 갯질경이로 나타났다. 분포지역은 해안 연안에 퇴적된 모래펄 지역을 중심으로 군반 및 소반 형태로 형성하고 있다. 이 군락은 해안 연안에 퇴적된 모래펄이 형성된 지역을 중심으로 군반형태로 분포하는 기수성 염습지의 염생식물군락이다.

(다) 해홍나물 군락(*Suaeda maritima* Community)

이 군락은 군락높이 35.3~44.4㎝, 식피율 80%이었으며, 평균출현종은 2.5종이었고 수반종은 갯잔디, 큰비쑥, 갯질경이, 나문재, 퉁퉁마디 등이 나타났

다. 분포지역은 해안 연안에 퇴적된 모래가 형성된 지역을 중심으로 군락을 형성하고 있다. 이 군락은 해안 연안에 형성된 사주지역을 중심으로 군락을 형성하는 해안성 염습지의 염생식물군락이다.

(라) 갯잔디-큰비쑥 군락(*Zoysia sinica-Artemisia fukudo* Community)

이 군락은 군락높이 11~40.5cm, 식피율 70%이었으며, 평균출현종은 1.5종이었고 수반종은 해홍나물, 갯질경이, 갯잔디 등으로 나타났다. 분포지역은 해안 연안에 퇴적된 모래펄이 형성된 지역을 중심으로 군락을 형성하고 있다.

(마) 큰비쑥 군락(*Artemisia fukudo* Community)

이 군락은 군락높이 43.8~47.7cm, 식피율 70%이었으며, 평균출현종은 1.5종이었고, 수반종은 갯잔디, 해홍나물 등으로 나타났다. 분포지역은 해안연안에 모래펄이 형성된 지역을 중심으로 군락을 형성하고 있다.

(바) 갯질경이 군락(*Limonium tetragonum* Community),

이 군락은 군락높이 10~27㎝, 식피율 60%이었으며, 평균출현종은 1.2종이었고 수반종은 해홍나물, 퉁퉁마디 등으로 나타났다. 분포지역은 사주와 사주사이 염습지이며, 해수가 오랫동안 잔류하는 곳으로 군락을 형성하고 있다. 이 군락은 퇴적된 사질토의 저조위선과 고조위선 생육지에 엉성한 군락을 형성하는 기수성 염습지의 염생식물군락이다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-102> 현화리 지역의 염생식물 군락 종합표

Community type	군락	1	2	3	4	5	6
Size of quadrat(㎡)	방형구 크기	1	1	1	1	1	1
Average number of species	평균출현종	1.0	2.0	2.5	2.3	1.3	1.0
Differential species of community	**군락구분종**						
Phragmites communis	갈대	5.5	·	·	·	·	·
Zoysia sinica	갯잔디	·	4.4	1.1	2.2	1.1	·
Suaeda maritima	해홍나물	·	1.1	5.5	+	+	2.2
Zoysia sinica-Artemisia fukudo	갯잔디-큰비쑥	·	·	·	4.4	·	·
Artemisia fukudo	큰비쑥	·	1.1	+	2.2	4.4	
Limonium tetragonum	갯질경이	·	+	+	+	·	4.4
Companions	**수반종**						
Atriplex gmelini	나문재	·	+	+	·	·	+
Salicornia herbacea	퉁퉁마디	·	·	+	·	·	+

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(3) 유묘출현률

다년생 염생식물인 갈대, 갯잔디와 1~2년생 염생식물인 해홍나물, 갯질경이, 큰비쑥의 시간경과에 따른 유식물 출현률을 측정하였다.

다년생인 갈대 유묘출현률이 100%에 도달하는 시기는 2010년 3월, 2009년 4월, 2012년과 2013년 5월, 2008년, 2011년, 2016년, 2017년 6월에 도달한 후 서서히 감소하는 경향을 보였는데, 2018년의 경우 유묘출현률 100%에 도달하는 시기는 8월 달로 기존 10년간의 데이터 중 제일 늦은 시기를 보였다.

다년생인 갯잔디 유묘출현률이 100%에 도달하는 시기는 2010년 5월, 2009년, 2012년, 2013년, 2016년, 2017년 6월, 2008년 7월, 2011년 8월, 2018년 9월에 도달한 후 대체로 서서히 감소하는 경향을 보였다.

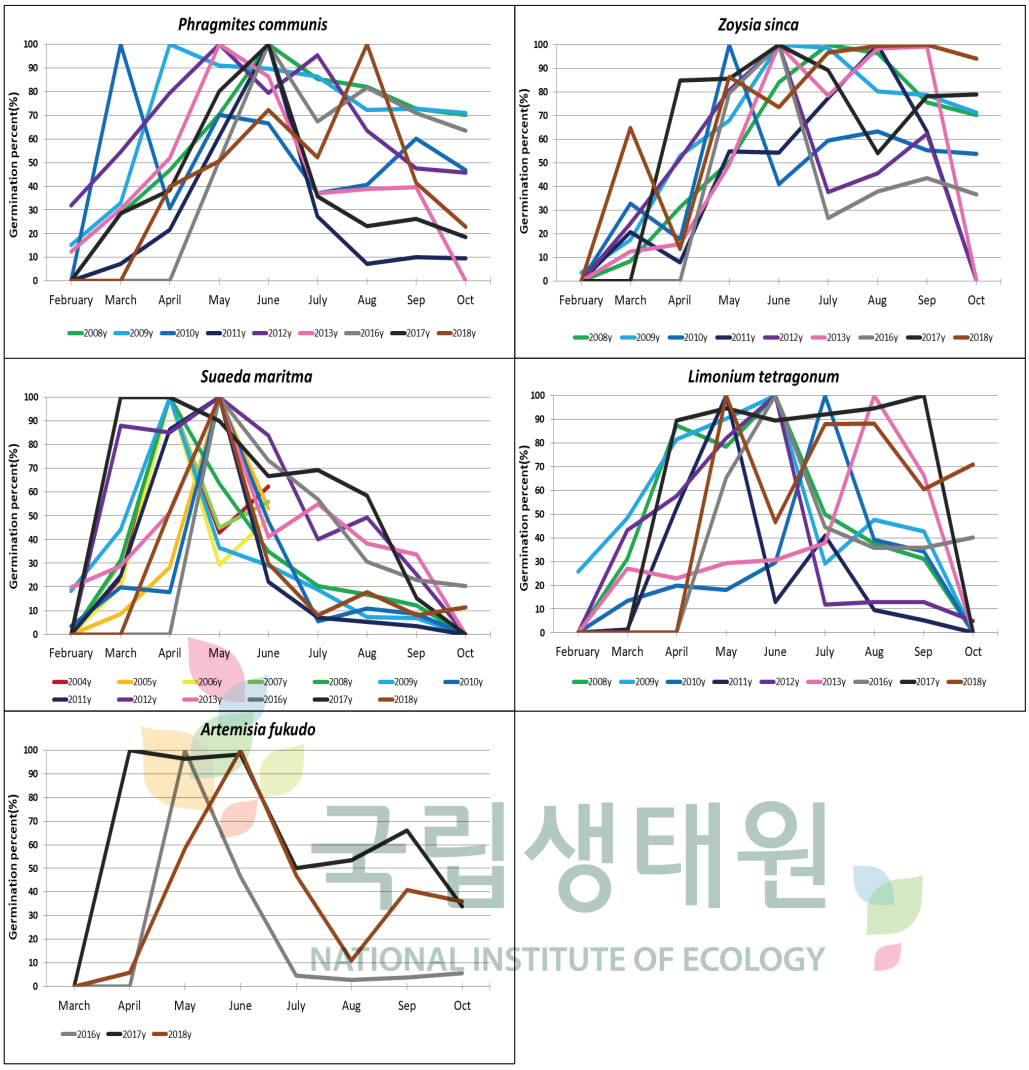
갯질경이 유묘출현률이 100%에 도달하는 시기는 2011년, 2018년 5월, 2008년, 2009년, 2012년, 2016년 6월, 2010년 7월, 2013년 8월, 2017년 9월에 도달한 후 급격히 감소하는 경향을 보였다.

해홍나물 유묘출현률이 100%에 도달하는 시기는 2017년 3월, 2004년, 2006년, 2008년, 2009년 4월, 2005년, 2007년, 2010년, 2011년, 2012년, 2013년, 2016년, 2018년 5월에 도달한 후 급격히 감소하는 경향을 보였다.

큰비쑥 유묘출현률이 100%에 도달하는 계절은 2017년 4월, 2016년 5월, 2018년 7월에 도달한 후 급격히 감소하는 경향을 보였다.

동일한 연안 염습지에서 유묘 출현시기가 빠른 종은 종간경쟁에서 유리한데(Fischer & Miles, 1973), 해홍나물은 갯질경이, 갈대, 갯잔디, 큰비쑥보다 먼저 출현하여 공간을 점유함으로써 생육전략에 유리하며(Ross, 1968), 안전영역을 차지하는데 중요한 생태적 의미(Harper, 1977; Mack & Harper, 1977)를 지니고 있지만 시간이 경과됨에 따라 다년초에 비하여 유묘출현률이 감소되는 반면 다년초인 갈대, 갯잔디 등은 안전적인 영역을 차지하고 있는 것은 조석작용이 빈번한 중·저위 염습지에서 정착하는데 유리한 것으로 사료된다(그림Ⅲ-106).

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



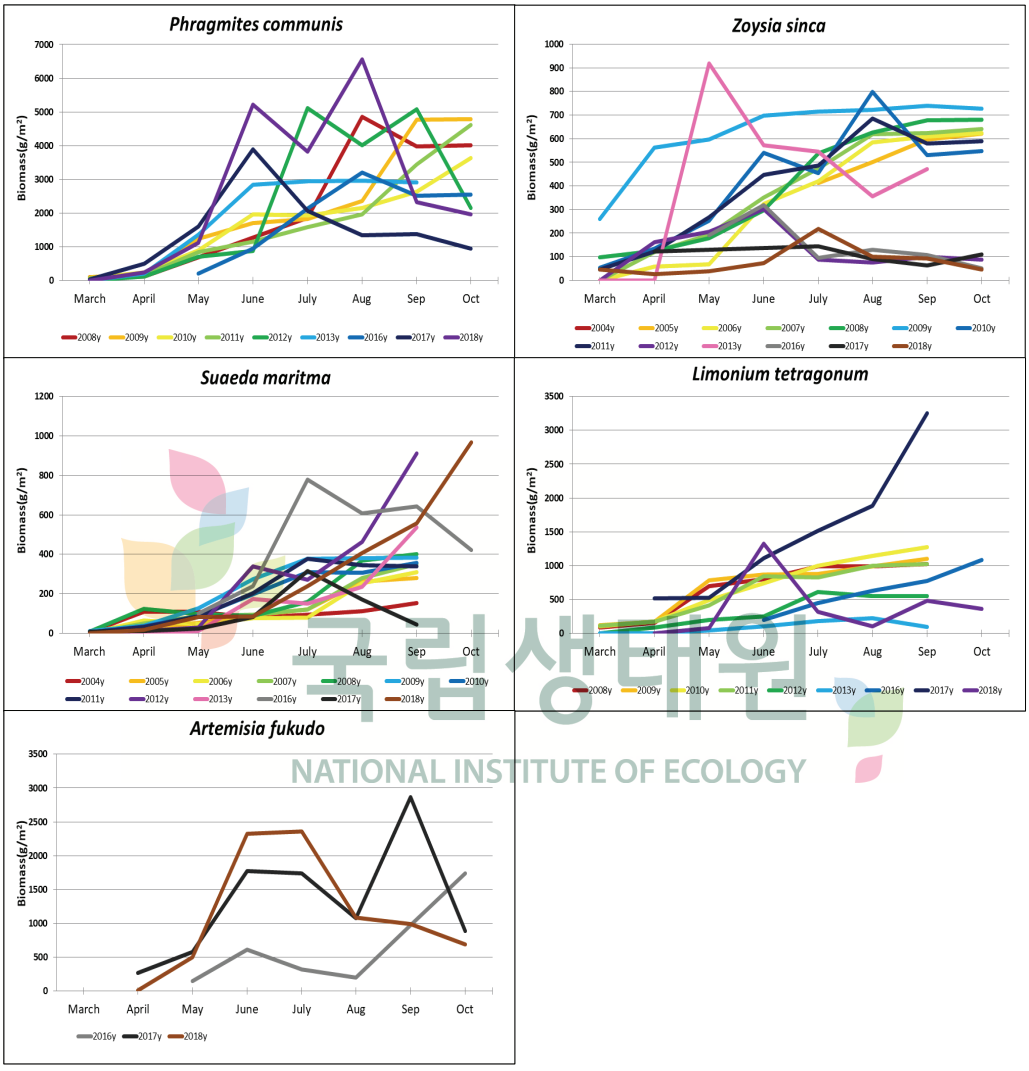
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-106> 2004년~2018년까지의 염생식물 유묘출현률
(*Phragmites communis*:갈대, *Zoysia sinica*:갯잔디, *Suaeda maritima*:해홍나물, *Limonium tetragonum*:갯질경이, *Artemisia fukudo*:큰비쑥)

(4) 염생식물의 생물량

갈대는 생물량이 3월~5월 증가하다가 6월에는 급격히 빠르게 증가하였고, 갯잔디는 생물량이 3월부터 7월까지 서서히 증가하다가 감소하였다. 갯질경이는 생물량이 5월부터 6월까지 급격히 증가하였고, 해홍나물은 4월과 5월 사이에 서서히 증가하다가 6월이 지나면서 빠르게 증가하였다. 큰비쑥은 4월부터 7월까지 생물량이 크게 증가하다가 감소하였다(그림Ⅲ-107). 이는 해수면 가장자리에 생육하는 해홍나물은 유식물이 출현이 빨라 생장초기에 지표

면에 착근함으로써 유리한 생장패턴을 가졌으며, 1~2년생 생활형인 갯질경이, 큰비쑥과 다년생인 갈대, 갯잔디는 빠르게 환경에 적응하여 많은 뿌리의 착근으로 생장 후기에 안정된 환경에 유리한 전략의 생장패턴을 나타냈다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-107> 2004년~2018년까지의 염생식물 생물량
(*Phragmites communis*:갈대, *Zoysia sinica*:갯잔디, *Suaeda maritima*:해홍나물, *Limonium tetragonum*:갯질경이, *Artemisia fukudo*:큰비쑥)

(5) 현존식생

2004년 재방을 따라 해홍나물, 갯잔디, 큰비쑥, 갈대군락 등이 분포하였고, 2007년 퉁퉁마디 군락이 새로 분포하였으며, 2008년 해홍나물, 갯잔디, 갯질경이 군락의 분포 면적이 확대되었으며, 큰비쑥 군락은 갯잔디 군락의 분포 확대로 혼군락을 형성하였다. 2010년에 해홍나물 군락 중 북쪽군락은 점점 감소하며 갯질경이과 혼군락을 형성하다가 2012년에 들어 파편화되며 감소되는 경향으로 나타났다.

2013년에는 퇴적지형의 변화로 해홍나물 군락 분포면적이 감소하고 갯잔디-큰비쑥군락이 분포가 확대되었고, 2016년에는 다시 해홍나물 군락 분포면적이 크게 증가하였고, 갈대군락 분포 면적은 조금씩 증가하는 경향으로 나타났다. 갯질경이 군락, 큰비쑥 군락 분포는 급속히 감소하였고 갯잔디-큰비쑥 군락 분포는 서서히 증가추세를 보였다.

갈대 군락이 2008년도 이후에 조금씩 분포면적이 증가하는 형태를 보이고 있는데 이는 해안 제방 가장자리에 분포하고 해안 쪽에 퇴적지형이 파랑에너지를 감소시키는 조류의 영향을 받지 않아 군락 형성에 조금씩 증가하는 것으로 사료된다.

갯잔디 군락이 상부에 위치하여 2008년도부터 증가하기 시작하여 2012년도까지 증가하다 2013년에 다시 감소하는 형태를 보이고 있다. 갯잔디 군락이 분포하는 지역은 염습지 내에서 조류의 영향을 비교적 적게 받는 곳이었으나 시간이 지남에 따라 조류의 영향이 커지고 갯잔디-큰비쑥 군락이 확대됨으로써 그 분포 면적이 감소한 것으로 사료된다.

또한, 2009년도부터 새롭게 우점한 갯질경이 군락은 분포면적이 다소 감소하였으며, 점점 감소하였던 큰비쑥 군락이 새롭게 나타나기 시작했다.

2017년도의 현존 식생은 갈대 군락, 갯잔디 군락, 갯잔디-큰비쑥 군락, 갯질경이 군락, 나문재 군락, 큰비쑥 군락, 해홍나물 군락, 해홍나물-갯질경이 군락 등 총 8개의 식물군락이 분포하고 있으며, 2016년도 비교하면 해홍나물-갯질경이 군락이 새로이 추가되었다. 함평만의 염생식물 군락 중 갈대 군락, 갯잔디 군락, 갯잔디-큰비쑥 군락, 큰비쑥 군락 등은 안정적으로 유지되고 있으며, 해홍나물 군락은 조류의 흐름으로 인해 퇴적층의 지형이 변화되면서 세력이 확대되거나 갯질경이와 혼군락을 형성하는 것으로 나타났다.

2018년도의 현존 식생은 협소했던 나문재 군락은 사라지고 각 우점군락의 수반종으로 나타나고 있으며, 해홍나물 군락은 갯잔디 군락과의 경쟁에 밀려 크게 감소하였다. 제방이 형성되고 시간이 지남으로서 조수간만의 차로 인한 사주의 너비는 점점 좁아지고 높아지며, 길어지고 있으며 이에 해홍나물 군락 형성에 영향을 미치고 있다. 그 외에 제방 뒤로 경작지를 형성함으로써 토양이 유실되어 제방 안으로 들어와 인접한 갈대 군락의 토양 변화로 인해 면적이 줄어들고 군락의 파편화가 진행될 것으로 보인다(그림Ⅲ-108, 109).

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



2016년 해홍나물군락



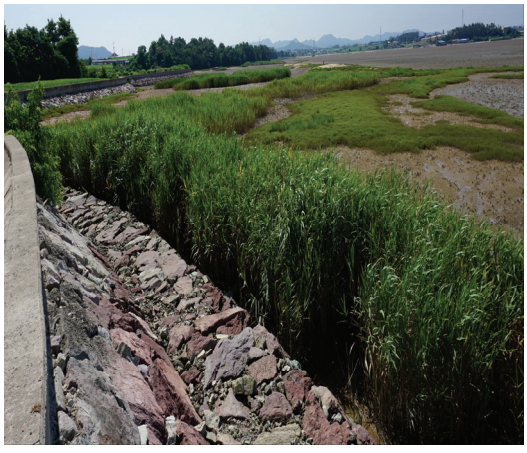
2018년 사주에 덮힌 해홍나물군락



2016년 해홍나물군락



2018년 해홍나물군락 면적 감소

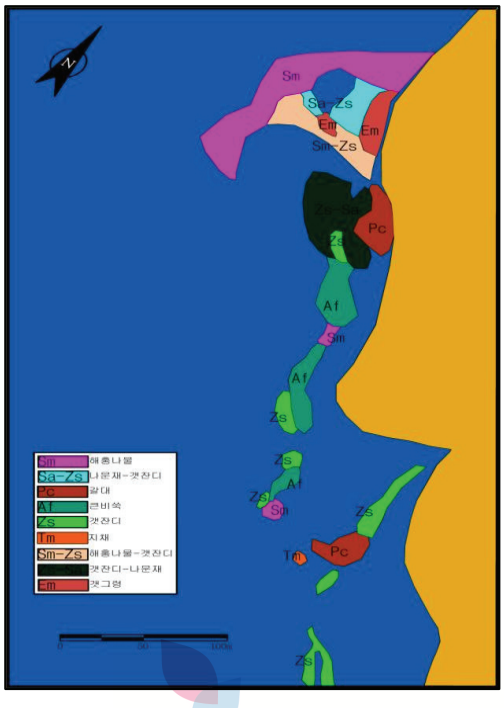


2016년 갈대군락

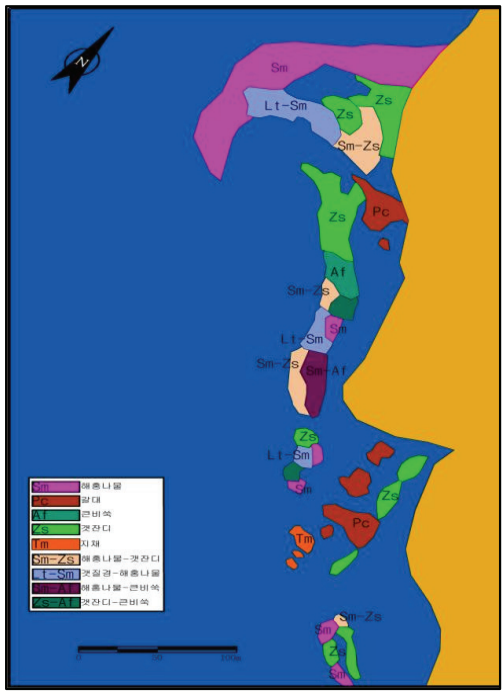


2018년 갈대군락

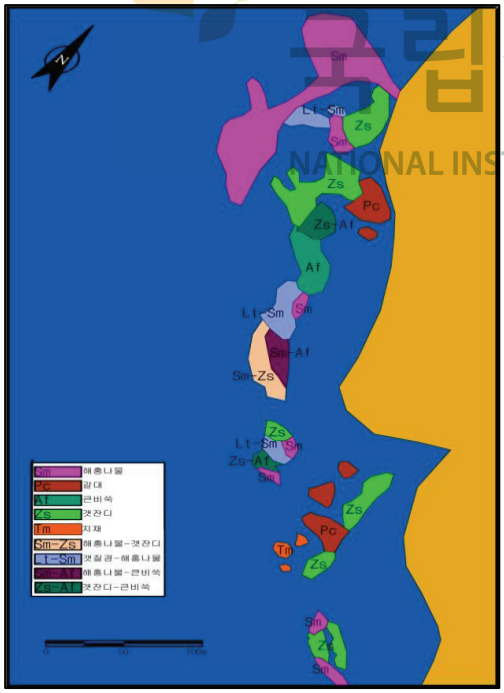
<그림Ⅲ-108> 2016년, 2018년 조사지역 군락변화 비교



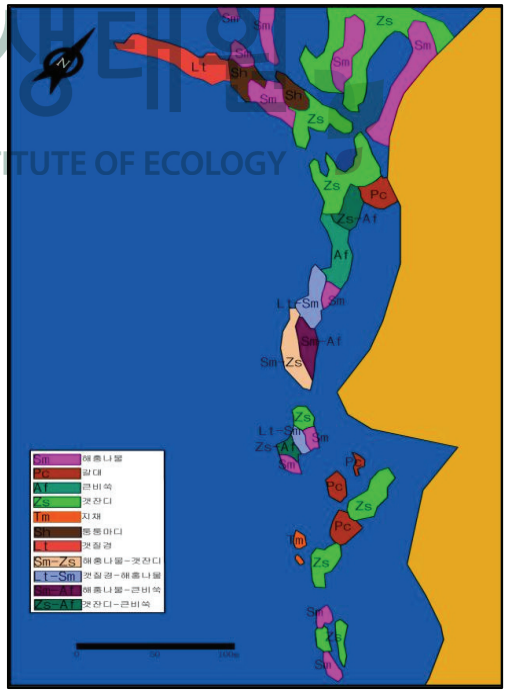
(2004년)



(2005년)

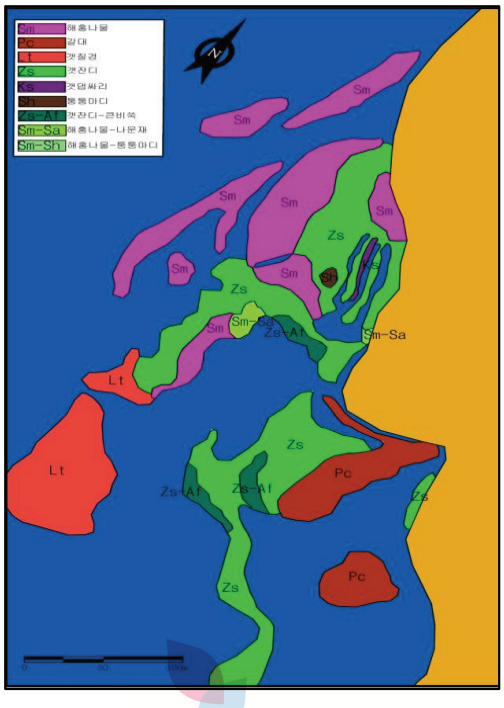


(2006년)

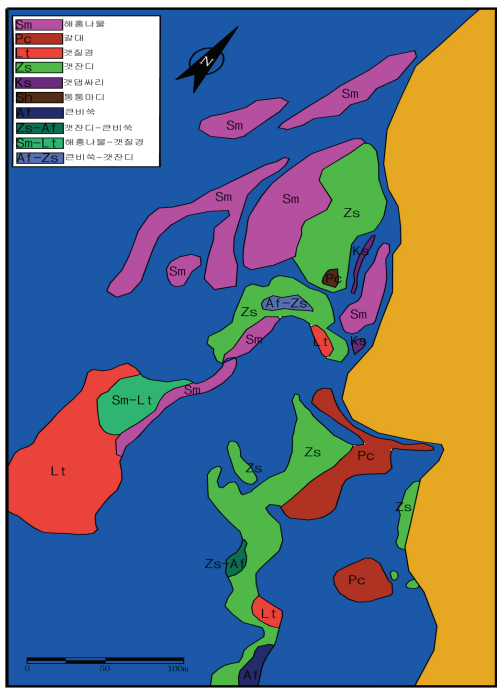


(2007년)

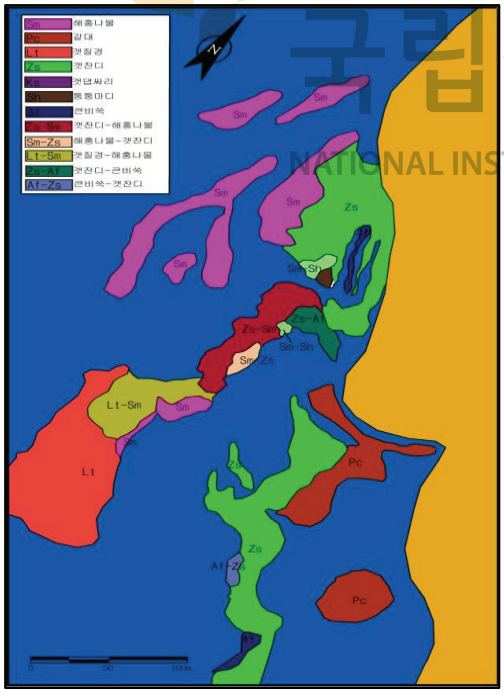
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



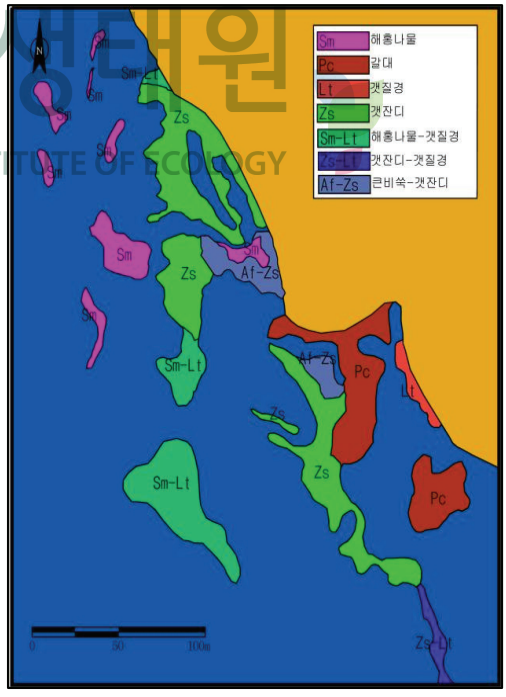
(2008년)



(2009년)

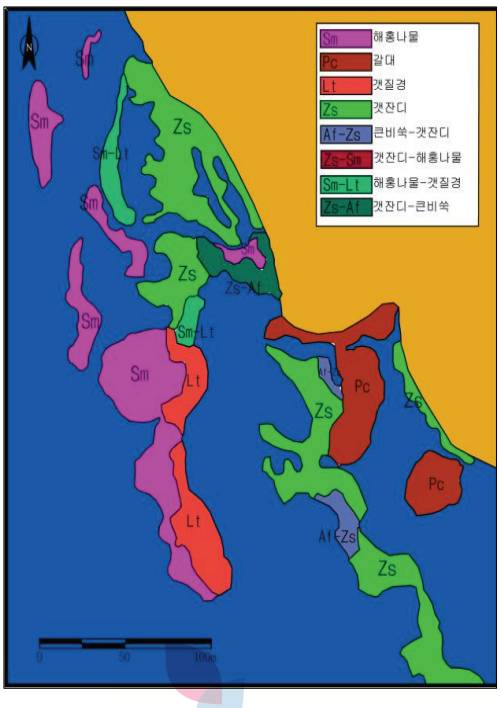


(2010년)

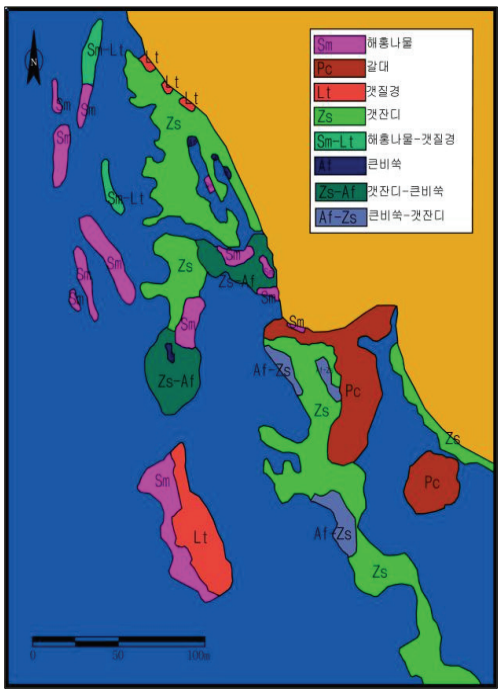


(2011년)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

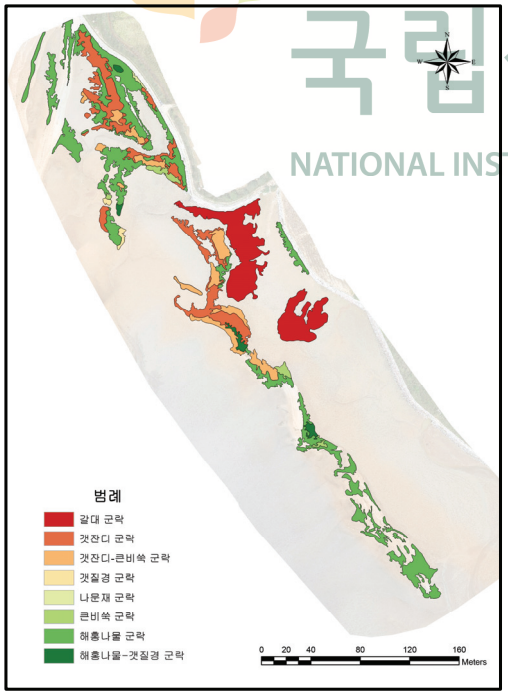


(2012년)

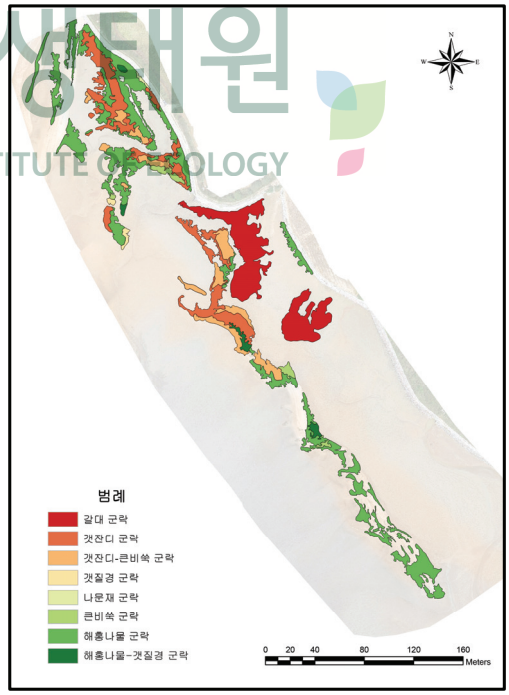


(2013년)

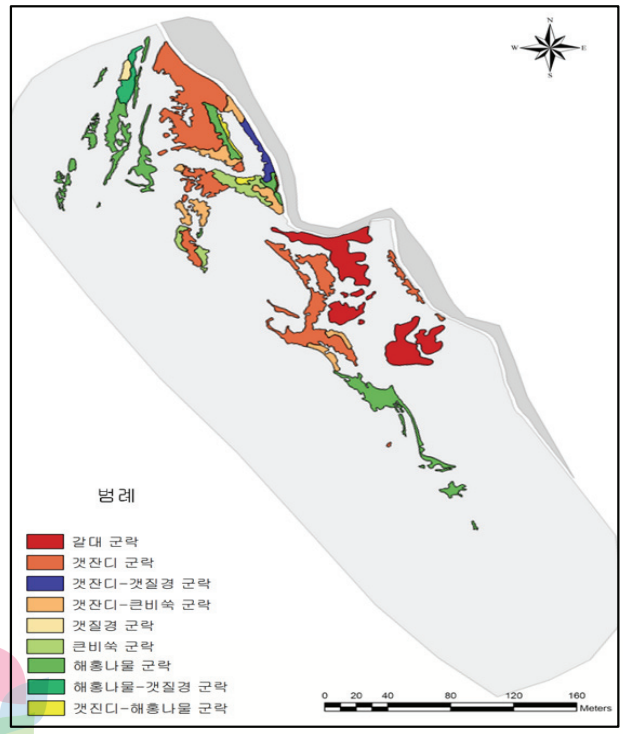
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



(2016년)



(2017년)



(2018년)

<그림Ⅲ-109> 현화리 지역의 현존식생도

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(6) 염생식물 군락의 면적변화

현화리의 갈대군락은 다년생으로 잦은 조수의 영향과 제방과 인접한 나지로부터 경작지가 형성되면서 따라 투기된 토사로 인해 염습지 토양의 급격한 토양변화로 대군락이 분화되어 소군락으로 형성되는 경향을 나타내었다. 그 결과 전체적으로 군락의 면적이 감소하는 경향을 보였다.

현화리의 갯잔디 군락 역시 다년생으로 잦은 조수의 영향으로 생장에 어려움이 있었지만 전체적으로는 증가하고 있으며, 갯잔디 군락 역시 지하경으로 번식하는 종으로 생육환경만 적정하게 유지된다면 속도는 느리지만 생육기간 내내 번식과 생장이 가능한 종으로 연안염습지에 중요한 종으로 사료된다.

해홍나물군락은 일년생으로 분포면적이 감소와 증가를 반복하며 분포를 이루고 있다(표Ⅲ-103).

<표Ⅲ-103> 염생식물 군락의 면적변화

군락 \ 년도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		2016	2017	2018
갈대	1,623.0	1,615.6	1,675.0	2,070.2	2,264.0	2,506.9	2,580.5	2,910.5	2,948.4		3,029.2	3,083.7	2603.9
갯잔디	2,366.5	2,441.6	2,480.0	3,023.3	2,225.3	2,320.4	2,206.7	2,878.6			2,852.7	2,852.7	4619.8
퉁퉁마디	42.8	32.4	150.0	233.9	95.4	90.2	122.3	-	-		-	-	-
해홍나물	-	-	-	898.7	740.3	1,035.6	4,350.5	5,038.2	3,057.1		5,904.7	6,484.1	2732.1
해홍나물-갯질경이	-	-	-	898.7	740.3	1,035.6	4,350.5	5,038.2	3,057.1		-	360.3	307.9
갯잔디-큰비쑥	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1,355.3	1,472.9	1148.0
갯잔디-해홍나물	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	150.2
갯잔디-갯질경이	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	258.2
큰비쑥	-	-	-	-	-	-	-	-	-		296.1	312.8	593.6
갯질경	-	-	-	-	-	-	-	-	-		93.0	112.3	102.3
나문재	-	-	-	-	-	-	-	-	-		34.0	34.0	-

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

4. 도서생태계

가. 상관우점군락

(1) 너도밤나무군락

고정조사구 내 너도밤나무군락의 평균암석노출도 18.75%, 평균토양노출도 23.88%, 평균낙엽층 깊이 5.63cm의 입지환경을 보였다. 층위별 평균식피율은 교목층(89.47%), 아교목층(38.88%), 관목층(42.36%), 초본층(76.84%)로 나타났으며, 층위별 평균수고는 교목층(18.71m), 아교목층(8.18m), 관목층(3.50m), 초본층(1.26m)이며, 층위별 평균흉고직경은 교목층(31.21cm), 아교목층(11.87cm), 관목층(4.93cm)이며, 층위별 우점종으로는 교목층과 아교목층에 너도밤나무가 우점하였고, 관목층은 너도밤나무, 솔송나무, 풍게나무, 섬단풍나무, 마가목, 섬피나무, 초본층은 큰두루미꽃, 일색고사리, 바위수국, 산마늘, 만병초가 우점하였다.

<표Ⅲ-104> 고정조사구 내 너도밤나무 상관우점군락의 요약

구분		최소	최대	평균
입지환경	암석노출도(%)	0	60	18.75
	토양노출도(%)	5	70	23.88
	낙엽층 깊이(cm)	0	64	5.63
식피율 (%)	교목층	80	95	89.47
	아교목층	0	85	38.88
	관목층	10	65	42.36
	초본층	35	95	76.84
수고 (m)	교목층	15	24	18.71
	아교목층	0	11.8	8.18
	관목층	2	6	3.5
	초본층	0.5	8	1.26
흉고직경 (cm)	교목층	23	52	31.21
	아교목층	0	17	11.87
	관목층	4	6.5	4.93
우점종	교목층	너도나무		
	아교목층	너도밤나무		
	관목층	너도밤나무, 솔송나무, 풍게나무, 섬단풍나무, 마가목, 섬피나무		
	초본층	큰두루미꽃, 일색고사리, 바위수국, 산마늘, 만병초,		

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 황벽나무군락

고정조사구 내 황벽나무군락의 평균암석노출도 2.5%, 평균토양노출도 12.5%, 평균낙엽층 깊이 3.5cm의 입지환경을 보였다. 층위별 평균식피율은 교목층(90.00%), 아교목층(21.66%), 관목층(21.66%), 초본층(87.5%)로 나타났으며, 층위별 평균수고는 교목층(21.00m), 아교목층(8.66m), 관목층(3.43m), 초본층(0.9m)이며, 층위별 평균흉고직경은 교목층(44.33cm), 아교목층(8.66cm), 관목층(4.16cm)이며, 층위별 우점종으로는 교목층에 황벽나무, 아교목층에 너도밤나무, 풍게나무, 관목층은 너도밤나무, 섬단풍나무 초본층은 일색고사리, 관중이 우점하였다.

<표Ⅲ-105> 고정조사구 내 황벽나무 상관우점군락의 요약

구분		최소	최대	평균
입지환경	암석노출도(%)	0	5	2.5
	토양노출도(%)	5	20	12.5
	낙엽층 깊이(cm)	2	5	3.5
식피율 (%)	교목층	90	90	90
	아교목층	0	35	21.66
	관목층	15	30	21.66
	초본층	80	95	87.5
수고 (m)	교목층	17	23	21
	아교목층	0	13	8.66
	관목층	2	5.3	3.43
	초본층	0.6	1.2	0.9
흉고직경 (cm)	교목층	31	54	44.33
	아교목층	0	16	8.66
	관목층	3	5.5	4.16
우점종	교목층	황벽나무		
	아교목층	너도밤나무, 풍게나무		
	관목층	너도밤나무, 섬단풍나무		
	초본층	일색고사리, 관중		

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(3) 고로쇠나무군락

고정조사구 내 고로쇠나무군락의 평균암석노출도 5.00%, 평균토양노출도 6.66%, 평균낙엽층 깊이 3.16cm의 입지환경을 보였다. 층위별 평균식피율은 교목층(75.00%), 아교목층(10.00%), 관목층(15.00%), 초본층(91.66%)로 나타났으며, 층위별 평균수고는 교목층(20.83m), 아교목층(10.33m), 관목층(2.66m), 초본층(1.00m)이며, 층위별 평균흉고직경은 교목층(43.00cm), 아교목층(13.00cm), 관목층(3.66cm)이며, 층위별 우점종으로는 교목층에 고로쇠, 아교목층에 고로쇠나무, 너도밤나무, 관목층은 너도밤나무, 등수국, 초본층은 일색고사리, 관중, 고비가 우점하였다.

<표Ⅲ-106> 고정조사구 내 고로쇠나무 상관우점군락의 요약

구분		최소	최대	평균
입지환경	암석노출도(%)	5	5	5
	토양노출도(%)	0	15	6.66
	낙엽층 깊이(cm)	1.5	5	3.16
식피율 (%)	교목층	50	90	75
	아교목층	5	15	10
	관목층	5	25	15
	초본층	90	95	91.66
수고 (m)	교목층	20	22	20.83
	아교목층	7	15	10.33
	관목층	2	3	2.66
	초본층	0.8	1.2	1
흉고직경 (cm)	교목층	40	48	43
	아교목층	12	14	13
	관목층	3	4	3.66
우점종	교목층	고로쇠나무		
	아교목층	고로쇠나무, 너도밤나무		
	관목층	너도밤나무, 등수국		
	초본층	일색고사리, 관중, 고비		

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

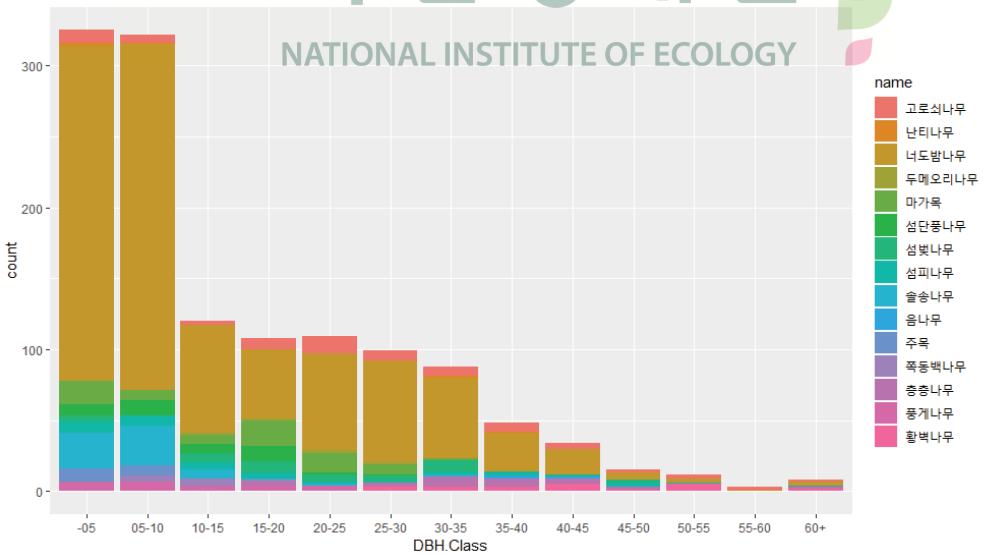
나. 너도밤나무군락 구조 특성(직경급 및 수고급 구조)

(1) 직경급 구조

일반적으로 식생구조의 변화는 현재 나타나고 있는 식생을 이용하거나 크기 계급을 이용한 분석법을 이용하기도 한다(Austin, 1976). 너도밤나무군락의 교목층과 아교목층을 형성 할 수 있는 수종을 대상으로 흉고직경 1cm 이상 개체목을 측정하여 분석하였다. 이러한 분포도에서 직경은 연령과 비례하므로 직경급 분포도는 연령 분포도와 유사한 것으로 간주된다. 따라서 직경급 분포도의 모양은 그 개체군의 지속적 유지 가능성 여부를 판단하는데 중요한 정보를 제공하게 된다(Barbour et al., 1987).

고정조사지 너도밤나무군락의 너도밤나무, 고로쇠나무, 마가목, 솔송나무, 섬벚나무, 섬단풍나무, 섬피나무 등의 주요 교목-아교목성 수종들의 흉고직경급별 개체분포를 분석한 결과, 직경급이 커질수록 빈도가 낮아지는 구조를 보이고 있다. 너도밤나무의 흉고직경급별 개체분포는 5cm 미만과 5-10cm의 소경목에서 가장 많은 개체수를 보이며, 10-15cm(76개체), 15-20cm(49개체), 20-25cm(68개체), 25-30cm(72개체), 30-35cm(57개체), 35-40cm(27개체), 40-45cm(18개체), 45-50cm(5개체), 45-50cm(5개체), 50-55cm(3개체), 60cm+(3개체)로 10cn 미만의 소경목을 제외하고 정규분포형을 이루어 당분간 너도밤나무 군락으로 유지될 것으로 사료된다.

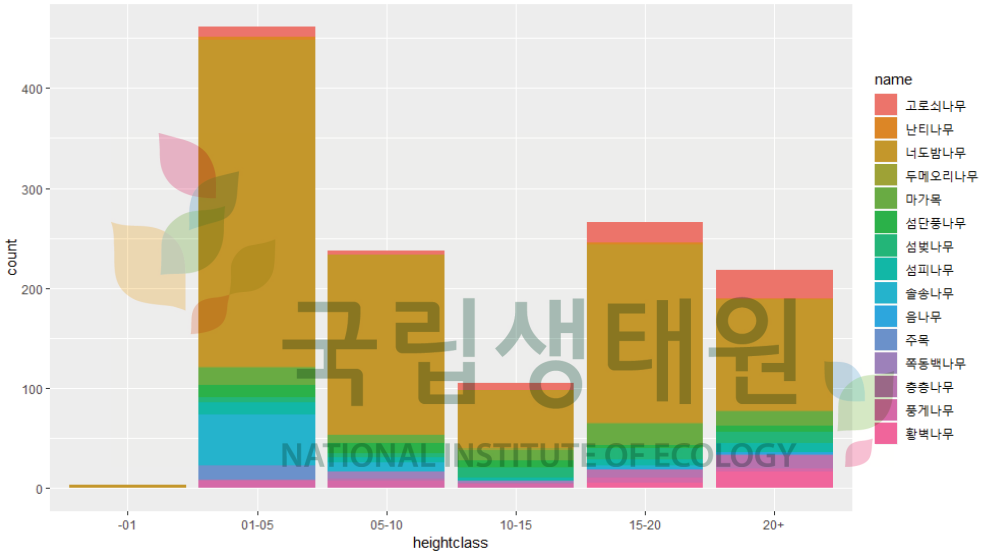
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-110> 너도밤나무군락 직경급 구조

(2) 수고급 구조

울릉도 너도밤나무군락의 수고급 구조는 흉고직경급 구조와 다르게 1m 미만의 초본층에서는 개체수의 빈도가 매우 낮고, 관목층을 이루는 1-5m급에서 높은 빈도와 아교목층을 이루는 10-15m급에서는 중상층을 이루는 다른 수고급들에 비하여 낮은 빈도수를 나타냈다. 이는 울릉도 너도밤나무군락의 층위별 수직 구조에서 관목층-아교목층 높이에서 복잡한 구조를 보이며, 다음 높이에서는 빈도수가 낮고 교목층 높이에서 다시 복잡한 구조를 보이는 것으로 나타났다. 너도밤나무 개체군의 수직구조는 너도밤나무군락의 수직구조와 유사하게 나타났다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-111> 너도밤나무군락 수고급 구조

5. 생물계절

가. 식생

(1) 식물계절

생육 초기의 생장 시작시기와 생장 패턴의 분석은 생육초기의 식물의 생장상태를 이해하는데 중요한 요소로서 조사지역에서 각 수종의 생장특성을 파악하고 차후 기후변화에 따른 적응방법에 관한 기초자료로 활용이 가능하다. 식물계절 변화를 관찰하게 위하여 온대북부(점봉산; 곰배령), 마을숲(서천; 국립생태원), 난대림(완도; 완도수목원), 아한대림(한라산; 남벽)에 자동영상촬영장치(Digital Camera)를 설치하였다. 점봉산은 해발 950m로 온대북부의 온대낙엽수림이며 대상종은 신갈나무와 소나무이다. 점봉산의 Digital Camera는 NNE방향으로 Nikon D5600을 사용하여 f/4.1조리개 값으로 30분(08:00부터 18:00까지)간격, 2018년 04월 11일부터 2018년 12월 31일까지 하루 약 25개의 Image 자료를 4,207점(50.4GB)를 수집하였다. 서천군은 해발 20m로 마을숲이며 대상종은 곰솔과 상수리나무이다. 서천군의 Digital Camera는 NNW 방향으로 Canon EOS 700D을 사용하여 f/12.9조리개 값으로 30분(08:00부터 18:00까지)간격, 2018년 08월 14일부터 2018년 12월 31일까지 하루 약 25개의 Image 자료를 1,069점(10.0GB)를 수집하였다. 완도의 Digital Camera는 SSW 방향으로 Canon EOS 700D을 사용하여 f/8.0조리개 값으로 60분(08:00부터 18:00까지)간격, 2017년 08월 17일부터 2018년 12월 31일까지 하루 약 12개의 Image 자료를 2,459점(18.3GB)를 수집하였다. 한라산의 Digital Camera는 N 방향으로 Nikon D5600을 사용하여 f/4.6조리개 값으로 30분(08:00부터 18:00까지)간격, 2018년 05월 18일부터 2018년 12월 31일까지 하루 약 25개의 Image 자료를 2,630점(29.1GB)를 수집하였다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

▪ **Summary of PhenoCam site**

	JeombongMt.	Seochen	Wando	Halla Mt.
Forest Vegetation Zone (Ueki, 1933)	Northern Part (Temperate zon)	Southern Part (Temperate zon)	Warm Temperate Zone	Arctic Zone (Subalpine forest)
Vegetation type	Mongolica oak Forest	Village Forest	Broad-Leaved Evergreen Forest	Korean fir Forest
Dominant Species	*Quercus mongolica, Pinus densiflora*	*Pinus thunbergii, Quercus acutissima*	*Qurecus acuta, Castanopsis cuspidata var. sieboldii*	*Abies koreana, Betula ermanii*
Manufactur; model	Nikon D5600	Canon EOS 700D	Canon EOS 700D	Nikon D5600
Direction of FOV*	NNE	NNW	SSW	N
Fnumber	f/4.1 (28mm)	f/12.9 (18mm)	f/8.0 (18mm)	f/4.6 (34mm)
Interval	08:00 – 18:00 (30min or 60min)			
Type	Digital Camera			
Stie				

*FOV: filed of view

<그림Ⅲ-112> PhenoCam 요약

식물계절 이미지 자료(PhenoCam image data)는 각 phenocam 연구지소별 5단계를 걸쳐 이미지 자료를 변환한다.

(1) data record(contain genreal meatadata for each site), JSON format과 standard text 파일로 전환한다. <sitename>_meta.json과 <sitename>_meta.text sitename 형식은 YYYY-MM-DD, MM의 범위는 01-12 그리고 DD의 범위는 01-31로 한다.

(2) data record, ROI(regions of interest) list files, image mask files을 순차적으로 생성한다. 파일 형식은 <sitename>_<veg_type>_<ROI_ID_number>_roi.csv로 한다.

(3) data record, 모든 이미지(time series)에 대하여 ROI 컬러 분석을 한다. 파일 형식은 <sitename>_<veg_type>_<ROI_ID_number>_ roistats.csv로 변경한다.

(4) data record, 1일 단위와 3일 단위로 압축한다. <sitename>_<veg_type>_<ROI_ID_number>_1day.csv와 <sitename>_<veg_type>_ <ROI_ID_number>_3day.csv 한다.

(5) data record, greenness rising과 greenness falling 단계를 추정한다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

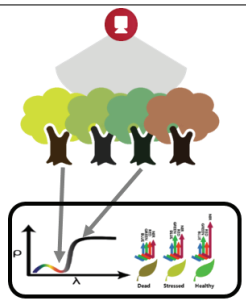


Image anyalsys
(RGB extracte)

Pixel digital number(DN)
$G_{CC} = G_{DN}/(R_{DN} + G_{DN} + B_{DN})$
G_{CC} : Green Chromatic coordinate
R_{DN} : Red DN; G_{DN} : green DN; B_{DN} : Blue DN

Phenophase
(RGB extracte)

Data Record 1
- contains general metadata for each site

Data Record 2
- contains ROI list files and image mask files used for image processing

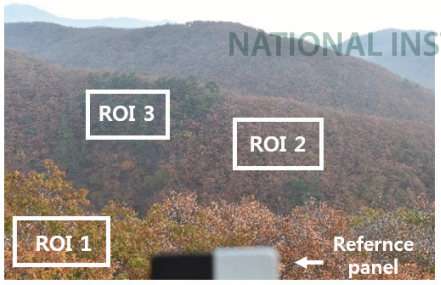
Data Record 3
- contains all-image time series of ROI colour statistics, calculated for ecery image in the archive, using data record 2

Data Record 4
- contains summary time series of ROI colour statistics, calculated for 1 and 3 day aggregarion periods form data record 3

Data Record 5
- contains phenological transition dates, calculated form data record 4

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

1. Image File Format : sitename_YYYY_MM_DD_hhmmss.jpg



Fov form digital camera, Regions of interest(ROI)

2. ROI
   a. ROI list files
   b. Binary "image mask files
   c. Smple image for each mask file

3. <sitename>_<veg_type>_ROI_ID_number>_roistats.csv

4. <sitename>_<veg_type>_ROI_ID_number>_1day.csv
   <sitename>_<veg_type>_ROI_ID_number>_3day.csv

5. <sitename>_<veg_type>_ROI_ID_number>_1day_transition_dates.csv
   <sitename>_<veg_type>_ROI_ID_number>_3day_transition_dates.csv

<그림Ⅲ-113> 식물계절 이미지 분석 및 데이터 자료 변환 요약

나. 곤충

(1) 서천 국립생태원

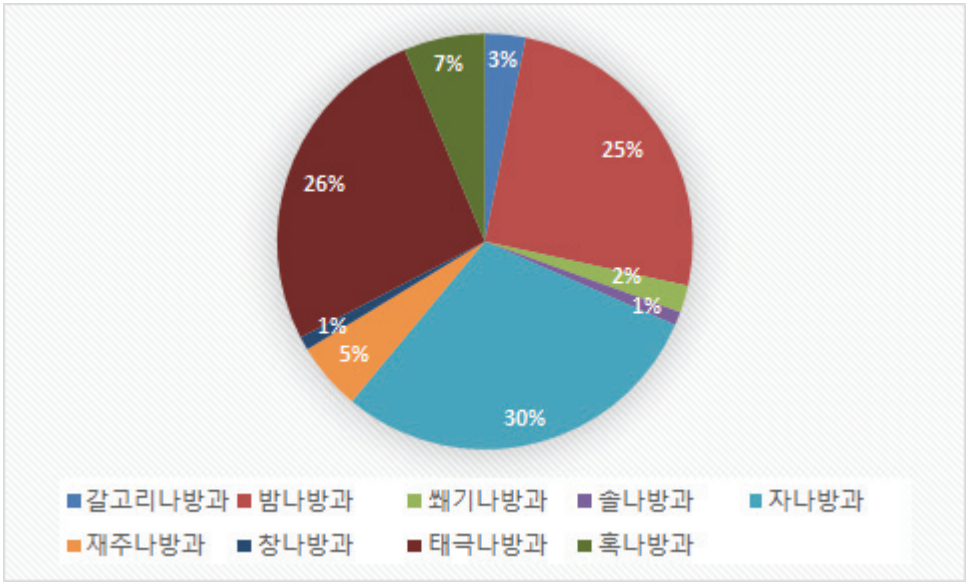
야생성 나방의 개체군 변화에 대해 4월부터 10월까지 매주 조사를 실시한 결과 전체 나비목은 총 11과 2,941개체가 확인되었고, 그 중 소형나방을 제외한 대형나방을 총 9과 95종 1,185개체를 확인하였다. 각 과의 종수는 자나방과가 28종으로 가장 많았으며, 다음으로 태극나방과 25종, 밤나방과 24종이다. 각 과의 개체수는 혹나방과가 767개체로 가장 많았으며, 다음으로 자나방과 124개체, 밤나방과 114개체 순이었다.

<표Ⅲ-107> 채집된 나방의 각 과별 종수와 개체수 요약

과명		종수	개체수
갈고리나방과	Drepanidae	3	12
밤나방과	Noctuidae	24	114
쐐기나방과	Limacodidae	2	23
솔나방과	Lasiocampidae	1	1
자나방과	Geometridae	28	124
재주나방과	Notodontidae	5	22
창나방과	Thyrididae	1	42
태극나방과	Erebidae	25	80
혹나방과	Nolidae	6	767
합계 9과		95종	1,185개체

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

각 과의 종 구성 비율은 자나방과가 30%로 가장 높으며, 다음으로 태극나방과 26%, 밤나방과 25%, 혹나방과 7%, 재주나방과 5%, 갈고리나방과 3%, 쐐기나방과 2%, 창나방과와 솔나방과가 1%를 차지했다.

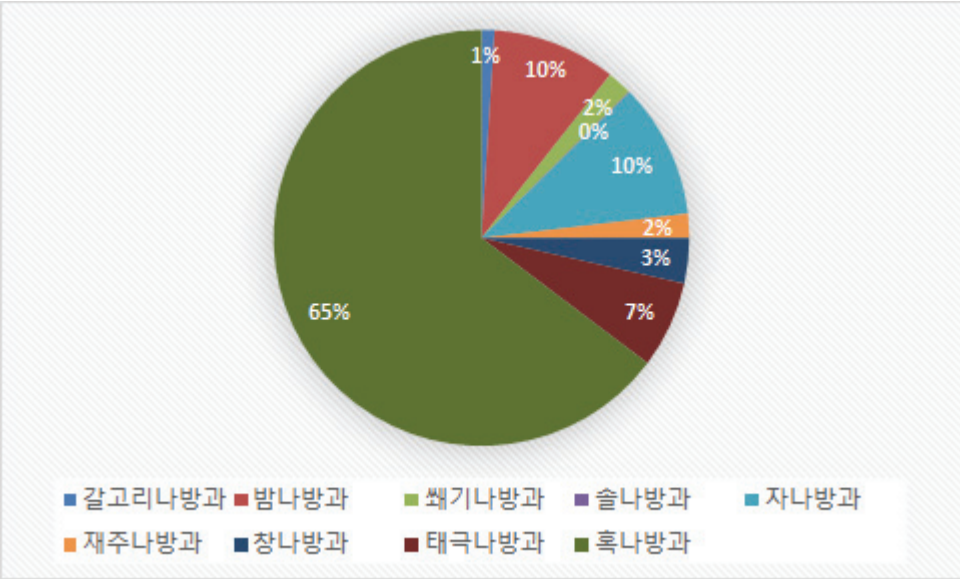


<그림Ⅲ-114> 국립생태원 밤나무 군락 과별 종 구성 비율

각 과별 개체수 비율은 혹나방과가 65%로 가장 높으며, 다음으로 자나방과와 밤나방과 10%, 태극나방과 7%, 창나방과 3%, 재주나방과와 쐐기나방과 2%, 갈고리나방과가 1%를 차지한다.

종수가 많아 가장 우점한 종은 혹나방과의 잔점박이혹나방으로 총 757개체가 채집되었다. 다음으로 창나방 42개체, 갈색줄수염나방 31개체, 털뿔가지나방 28개체이다. 특히 잔점박이혹나방이 많이 채집된 것을 확인할 수 있었는데, 이는 채집된 전체 개체수의 63.9%에 해당하며, 잔점박이혹나방의 전체 개체수의 87%에 해당하는 개체수가 6월초인 24번째 주에 집중되어 나타났으며, 이것은 2017년도 조사에서 잔점박이혹나방이 집중해서 나타났을 때와 비슷한 시기인 것을 확인할 수 있었다. 다음으로 우점한 창나방은 2016년, 2017년과 비슷한 개체가 채집된 것을 확인할 수 있었다.

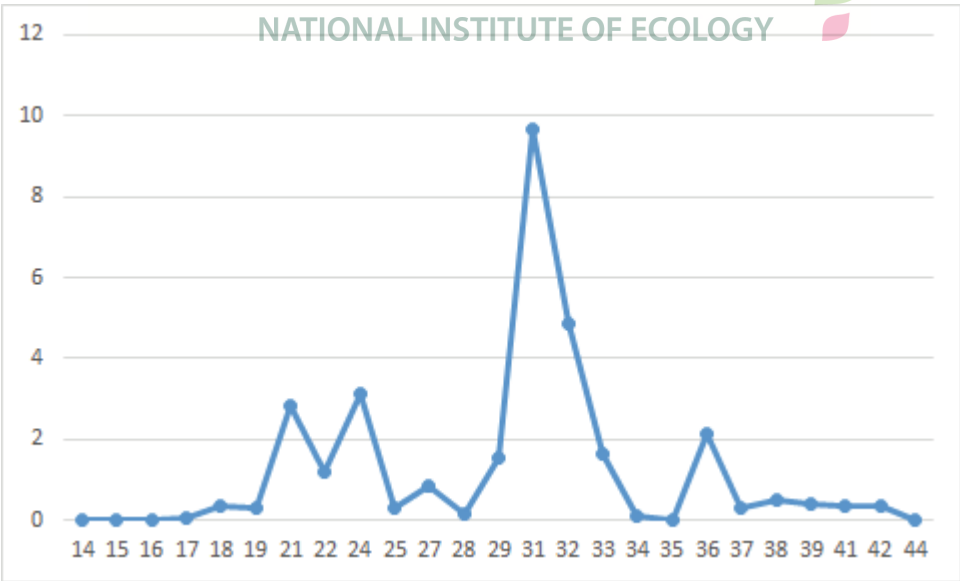
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-115> 국립생태원 밤나무 군락 과별 개체수 구성 비율

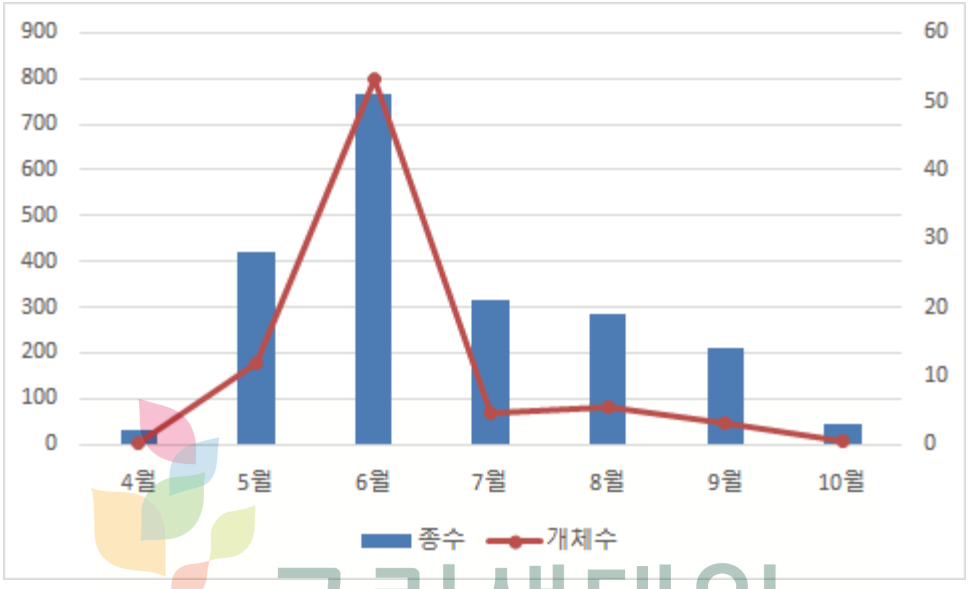
채집된 나방의 무게를 측정한 결과, 6월에 가장 많은 생물량을 확인하였던 2017년과는 달리, 2018년은 7월에 가장 많은 생물량을 확인할 수 있었으며, 2017년에 가장 큰 생물량을 확인 한 때는 6월 첫째 주인 23주차였지만, 2018년은 7월 마지막 주인 31주차인 것을 확인할 수 있었다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-116> 주별 나방의 생물량 변화

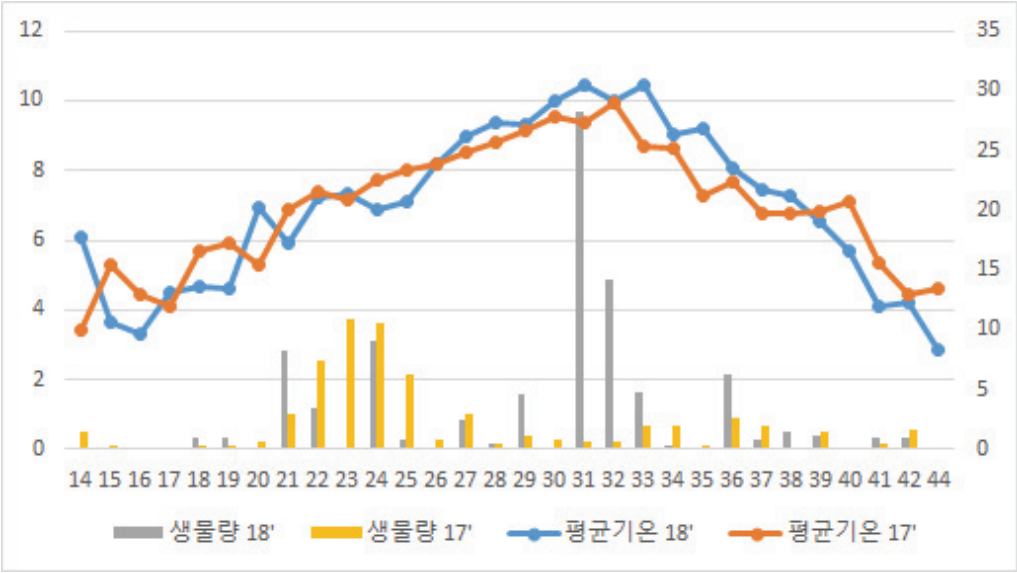
나방의 종과 개체수는 2017년도와 마찬가지로 6월에 가장 많이 출현하였다. 종수와 개체수의 출현양상은 매우 유사하게 나타났으나, 2017년 여름인 7월과 8월에 비하면 2018년 7월과 8월에 더 많은 종수와 개체수를 확인 할 수 있었다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-117> 국립생태원 밤나무군락에서 2018년 4월부터 10월까지 출현한 나방 종 및 개체수 변동

조사기간 중 평균기온은 20℃이다. 평균기온이 가장 높은 때는 7월 마지막 주인 31주차로 30.5℃를 기록하였고, 가장 낮은 때는 10월 마지막 주인 44주차로 8.4℃였다. 일 최고기온은 8월 세 번째 주인 31주차에 36.3℃로 가장 높았고, 10월 마지막 주인 44주차에 13.4℃로 가장 낮았다. 일 최저기온은 7월 마지막 주인 31주차에 26.7℃로 가장 높았고, 4월 세 번째 주인 16주차에 2.7℃로 가장 낮았다. 2017년과 2018년을 비교하였을 때 평균기온이 가장 높은 주차는 31주차와 32주차이며 최고기온이 가장 높은 주차는 2017년과 2018년이 31주차, 33주차인 것으로 비슷한 시기로 관찰되었으나, 2018년에 기록적인 폭염으로 인하여 평균기온은 2018년이 2017년과 비교하면 1.5℃ 더 높았고, 최고기온은 2018년이 2017년보다 3.1℃ 더 높았다. 2017년과 2018년의 평균기온이 가장 높은 31주차와 32주차의 개체수 및 생물량 모두 2018년에 2017년보다 훨씬 많이 관찰되었다.



<그림Ⅲ-118> 2017년과 2018년 생물량과 기온 변화 비교

(2) 완도수목원

야생성 나방의 개체군 변화에 대해 4월부터 10월까지 조사한 결과, 총 14과 1,545개체가 확인되었으며, 그 중 소형나방을 제외한 대형나방을 대상으로 조사를 실시한 결과 총 11과 94종 605개체를 확인하였다. 각 과의 종수는 자나방과가 34종으로 가장 많았으며, 다음으로 태극나방과 25종, 밤나방과 16종이다. 각 과의 개체수는 자나방과가 279개체로 가장 많았으며, 다음으로 태극나방과 117개체, 밤나방과 107개체 순이었다.

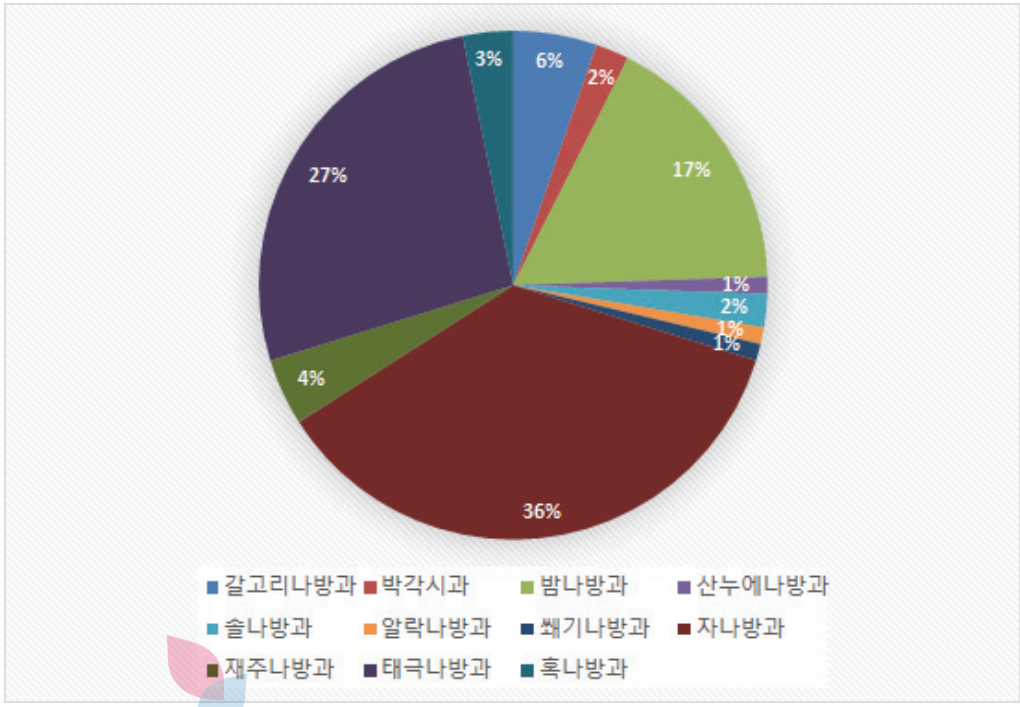
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-108> 채집된 나방의 각 과별 종수와 개체수 요약

과명		종수	개체수
갈고리나방과	Drepanidae	5	26
박각시과	Sphingidae	2	3
밤나방과	Noctuidae	16	107
산누에나방과	Saturniidae	1	4
솔나방과	Lasiocampidae	2	9
쐐기나방과	Limacodidae	1	1
알락나방과	Zygaenidae	1	3
자나방과	Geometridae	34	279
재주나방과	Notodontidae	4	8
태극나방과	Erebidae	20	117
혹나방과	Nolidae	3	48
합계 11과		94종	605개체

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

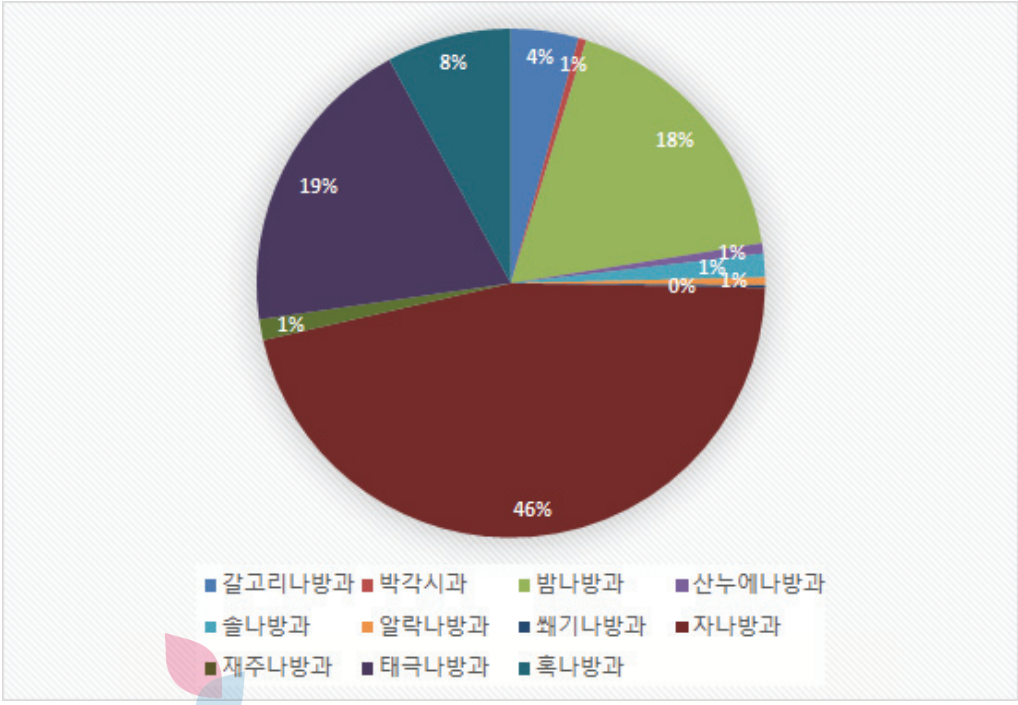
각 과의 종 구성 비율은 자나방과가 36%로 가장 높으며, 다음으로 태극나방과 27%, 밤나방과 17%, 갈고리나방과 6%, 재주나방과 4% 등을 차지한다.



<그림Ⅲ-119> 완도수목원 붉가시나무 군락 과별 종 구성 비율

각 과별 개체수 비율은 자나방과가 46%로 가장 높으며, 다음으로 태극나방과 19%, 밤나방과 18%, 혹나방과 8%, 갈고리나방과 4% 등을 차지했다. 종수가 많아 가장 우점한 종은 자나방과의 털뿔가지나방으로 총 40개체가 채집되었다. 다음으로 푸른나방 34개체, 민갈고리나방 19개체이다.

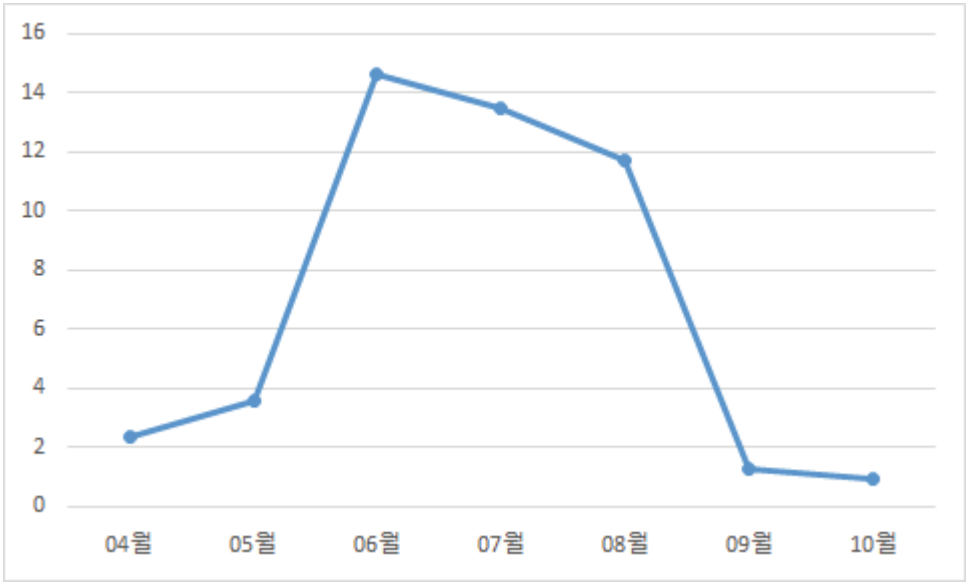
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-120> 완도수목원 붉가시나무 군락 과별 개체수 구성 비율

채집된 나방의 무게를 측정한 결과, 4월에는 2.3559g 이었으며, 6월에는 14.615g으로 지속적으로 증가하였다. 이후 7월은 6월과 비슷한 생물량을 보이다가 점차 감소하는 것을 볼 수 있었다. 2017년과 비교하면 가장 많은 생물량이 관찰된 것은 6월로 동일하였다.

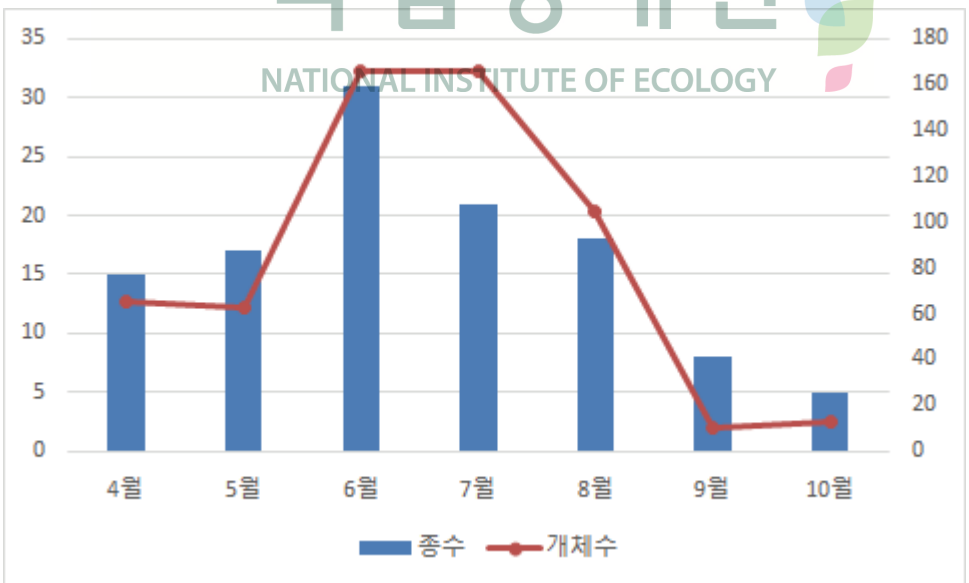
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-121> 월별 나방 생물량 변화

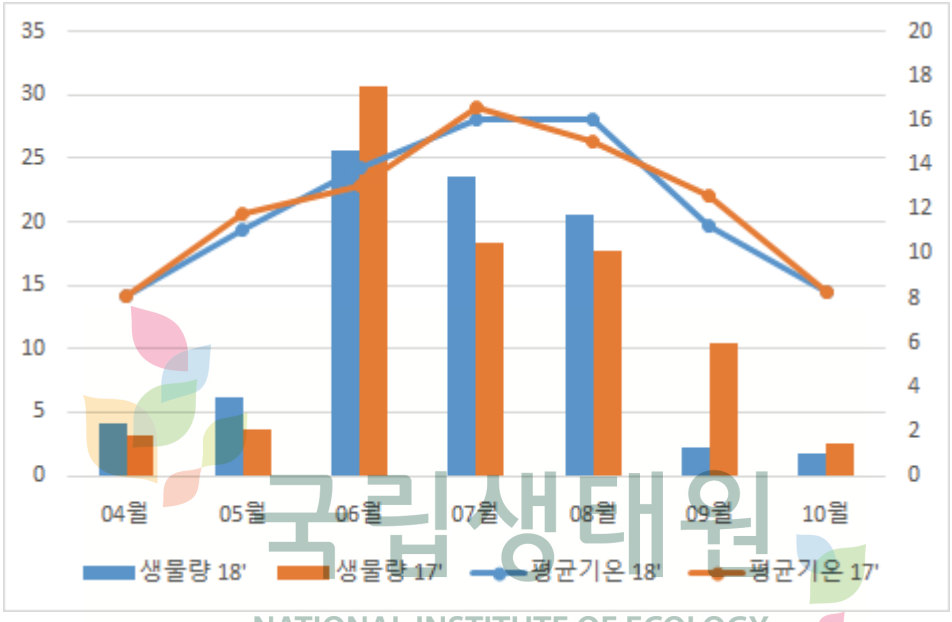
나방의 종과 개체수는 6월에 가장 많이 출현하였으며, 이후 종 수와 개체수가 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 종수와 개체수의 증감양상은 생물량과 비슷한 경향을 띠는 것을 볼 수 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-122> 완도수목원 붉가시나무군락에서 2018년 4월부터 10월까지 출현한 나방 종 및 개체수 변동

조사기간 중 평균기온은 21.1℃이다. 평균기온이 가장 높은 때는 8월로 27.9℃를 기록하였고, 가장 낮은 때는 4월로 14.2℃였다. 2017년과 2018년을 비교하면 2017년은 7월에 평균기온 26.9℃로 가장 높았고, 2018년 8월에 평균기온 27.9℃로 가장 높았으며, 생물량이 가장 많이 관찰된 달은 6월로 동일하였지만, 종수와 개체수는 2017년은 5월에 가장 많이 관찰되었고, 2018년은 6월에 가장 많이 관찰되었다.



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-123> 2017년과 2018년 생물량과 기온 변화 비교

다. 조류

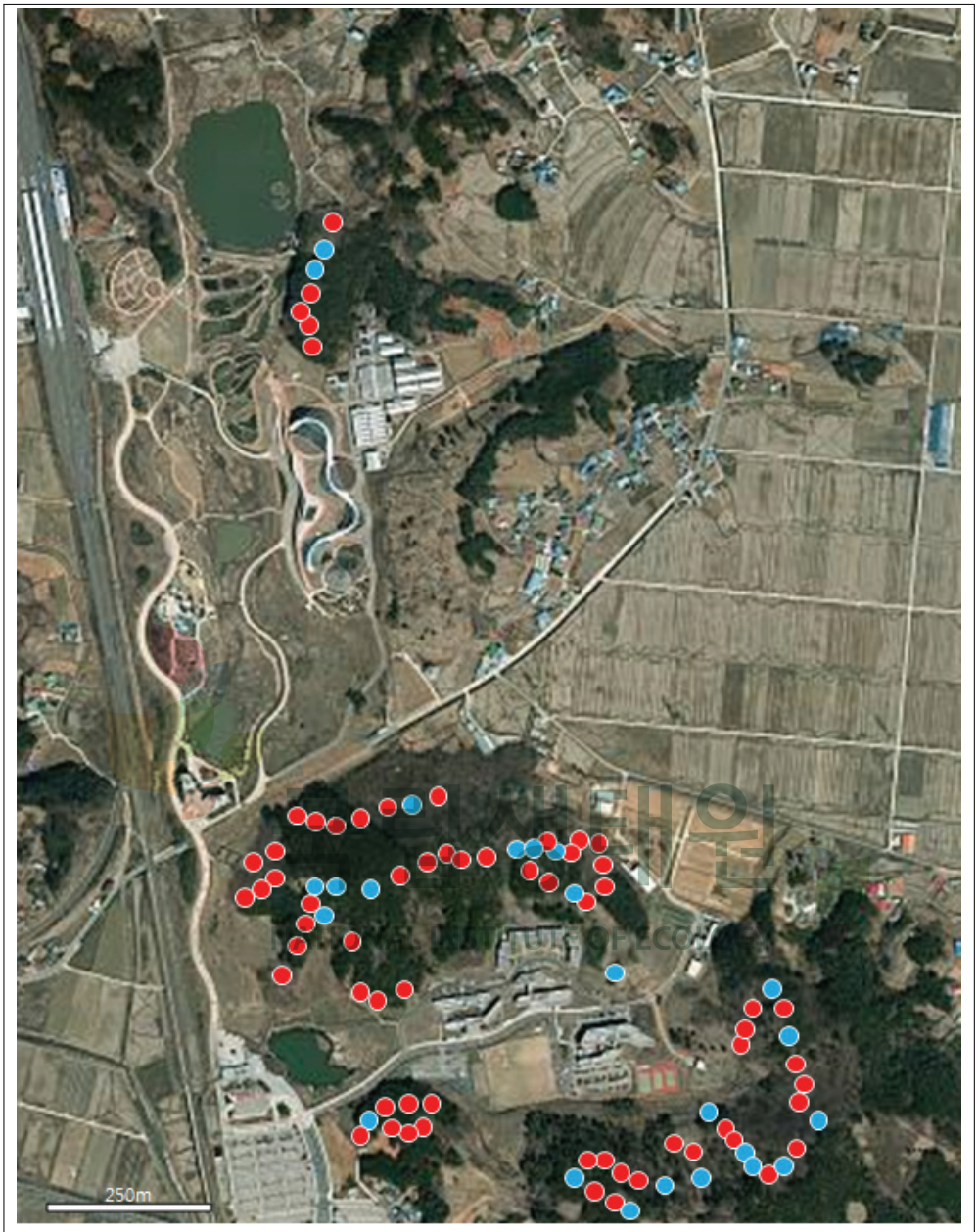
(1) 인공새집 모니터링

2018년의 기후변화에 따른 생물계절 변화를 확인하기 위한 인공새집 조사결과 총 253개의 인공새집 중 번식에 이용된 인공새집은 47개로 18.6%의 번식이용이 확인되었다. 이중 국립생태원은 총 86개의 인공새집 중 20개가 번식에 이용되어 23.3%의 번식이용률이 확인되었으며, 희리산 자연휴양림은 총 85개의 인공새집 중 11개가 번식에 이용되어 12.9%, 장태산은 총 82개의 인공새집 중 17개가 번식에 이용되어 20.7%의 번식이용률이 확인되었다. 작년도(2017) 조사결과와 비교시 전체 이용률은 24.7%에서 18.6%로 감소하였으며, 지속적으로 관리중인 국립생태원 지역을 제외한 나머지 지역은 이용률이 감소한 것으로 확인되었다.

<표Ⅲ-109> 지역별 인공새집 이용률

새집이용현황	국립생태원		희리산		장태산		합계	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
인공새집	87	86	88	85	84	82	259	253
번식새집	11	20	30	11	23	17	64	47
이용률(%)	12.6	23.3	34.1	12.9	27.4	20.7	24.7	18.6

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



<그림Ⅲ-124> 국립생태원 인공새집 조사결과

현지조사결과 인공새집을 통한 번식이 확인된 종은 곤줄박이, 박새, 딱새 등 3종이 확인되었다. 인공새집의 이용이 확인되었으나, 종이 확인되지 않은 경우는 분석에서 제외하였다. 박새와 곤줄박이가 주로 이용하는 것으로 확인되었으며, 장태산 지역에서는 딱새의 이용도 확인되었다. 지역별 비교시 국립생태원 지역은 박새 17개, 곤줄박이 3개의 순으로 확인되었으며, 총 2종 20개의 새집이용이 확인되었다. 희리산 자연휴양림지역은 곤줄박이 6개, 박새 3개의 순으로 확인되었으며, 총 2종 9개의 새집이용이 확인되었다. 장태산은 곤줄박이 4개, 박새 4개, 딱새 3개의 순으로 확인되었으며, 총 3종 10개의 새집이용이 확인되었다. 전년도(2017년) 조사결과와 비교시 비율적으로는 박새의 새집이용이 증가한 것으로 확인되었으며, 작년에 확인된 진박새는 본 조사에서는 확인되지 않았다.

<표Ⅲ-110> 종별 인공새집 이용현황

종명	국립생태원		희리산		장태산	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
곤줄박이	4	3	5	6	5	4
박새	6	17	2	3	1	4
진박새			3		1	
딱새					2	3
합 계	10	20	10	9	9	10

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

국립생태원 지역을 대상으로 한 인공새집 번식시기 정밀조사결과 곤줄박이와 박새 2종의 번식이 확인되었다. 3월 1일부터 일주일의 간격으로 모든 둥지를 대상으로 둥지형성을 확인하였으며, 4월 6일을 기준으로 둥지형성의 조짐을 보이는 28개 둥지를 집중적으로 모니터링 하였다.

현지조사결과 곤줄박이는 2017년 4개, 2018년 3개의 새집이용이 확인되었으며, 박새는 2017년 6개, 2018년 17개의 새집이용이 확인되었다. 이 중 2017년, 2018년도에 모두 이용된 인공새집은 3개였으며(A141, A16, A41), 각 둥지에서는 매년 다른종이 번식하여 종에 따른 선호는 아닌 것으로 판단된다.

<표Ⅲ-111> 종별 번식이용 현황

No.	ID	곤줄박이		박새	
		2017	2018	2017	2018
1	A111				○
2	A131				○
3	A141		○	○	
4	A16	○			○
5	A18		○		
6	A21				○
7	A22				○
8	A23			○	
9	A27				○
10	A29				○
11	A31				○
12	A38			○	
13	A41	○			○
14	A51	○			
15	A71				○
16	B151				○
17	B191	○			
18	B241				○
19	B331		○		
20	B351				○
21	B36			○	
22	B41				○
23	B71				○
24	B81			○	
25	C36			○	
26	C51				○
27	C61				○
합 계		4	3	6	17

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

현지조사결과 번식성공은 2017년 7개, 2018년 14개의 인공새집에서 확인되었으며, 번식실패는 2017년 3개, 2018년 6개가 확인되었다. 2017년, 2018년도에 모두 이용된 인공새집은 3개(A141, A16, A41) 중 A141, A16은 두 해 모두에서 번식이 성공하였으나, A41은 2017년도는 실패한 반면, 2018년도는 성공하였다.

<표Ⅲ-112> 인공새집의 번식성공여부 현황

No.	ID	번식성공		번식실패	
		2017	2018	2017	2018
1	A111		○		
2	A131		○		
3	A141	○	○		
4	A16	○	○		
5	A18		○		
6	A21		○		
7	A22		○		
8	A23			×	
9	A27		○		
10	A29		○		
11	A31		○		
12	A38	○			
13	A41		○	×	
14	A51	○			
15	A71		○		
16	B151				×
17	B191	○			
18	B241				×
19	B331				×
20	B351				×
21	B36	○			
22	B41				×
23	B71				×
24	B81			×	
25	C36	○			
26	C51		○		
27	C61		○		
합 계		7	14	3	6

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

번식시기 정밀조사 결과를 시계열 자료로 분석하기위해 둥지형성기간, 포란기간, 육추기간으로 나누었으며, 번식현황을 확인하기위해 번식 개체수에 대한 분석을 진행하였다. 날짜의 표기는 년도별 비교를 위하여 Julian date를 사용하였다.

<표Ⅲ-113>과 같이 둥지형성기간은 2017년도는 최소 11일부터 최장 37일로 평균 17.1일, 2018년도는 최소 2일부터 최장 32일로 평균 15.7일의 둥지형성기간이 확인되었다. 둥지형성기간의 종료는 첫 산란일 전일을 기준으로 하였다.

<표Ⅲ-113> 년도별 둥지형성기간

No.	ID	2017				2018			
		종명	시작일	종료일	기간	종명	시작일	종료일	기간
1	A111					박새	96	105	10
2	A131					박새	포란시작		
3	A141	박새	93	106	14	곤줄	96	105	10
4	A16	곤줄	93	106	14	박새	96	105	10
5	A18					곤줄	96	98	2
6	A21					박새	96	114	19
7	A22					박새	96	109	14
8	A23	박새	93	110	18				
9	A27					박새	96	109	14
10	A29					박새	96	114	19
11	A31					박새	96	105	10
12	A38	박새	93	106	14				
13	A41	곤줄	93	106	14	박새	96	109	14
14	A51	곤줄	93	129	37				
15	A71					박새	96	109	14
16	B151					박새	96	127	32
17	B191	곤줄	93	103	11				
18	B241					박새	96	116	21
19	B331					곤줄	96	114	19
20	B351					박새	96	114	19
21	B36	박새	93	113	21				
22	B41					박새	96	114	19
23	B71					박새	96	138	실패
24	B81	박새	93	106	14				
25	C36	박새	93	106	14				
26	C51					박새	96	114	19
27	C61					박새	96	114	19

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-114>와 같이 포란기간은 2017년도는 최소 12일부터 최장 23일로 평균 16일, 2018년도는 최소 9일부터 최장 26일로 평균 16.3일의 포란기간이 확인되었다. 포란기간의 종료는 첫 부화일 전일을 기준으로 하였다.

첫 산란일은 2017년 104일, 2018년 96일로 더 빨라진 것으로 확인되었으나, 평균 첫 산란일은 2017년 110.1일, 2018년 111일로 평균 첫 산란일 추세는 유사한 것으로 확인되었다.

<표Ⅲ-114> 년도별 포란기간

No.	ID	2017				2018			
		종명	시작일	종료일	기간	종명	시작일	종료일	기간
1	A111					박새	106	123	18
2	A131					박새	96	121	26
3	A141	박새	107	120	14	곤줄	106	123	18
4	A16	곤줄	107	129	23	박새	106	123	18
5	A18					곤줄	99	116	18
6	A21					박새	115	133	19
7	A22					박새	110	127	18
8	A23	박새	111	122	12				
9	A27					박새	110	127	18
10	A29					박새	115	127	13
11	A31					박새	106	121	16
12	A38	박새	107	118	12				
13	A41	곤줄	107	129	23	박새	110	123	14
14	A51	곤줄	130	145	16				
15	A71					박새	110	127	18
16	B151					박새	128	140	13
17	B191	곤줄	104	115	12				
18	B241					박새	117	실패	
19	B331					곤줄	115	실패	
20	B351					박새	115	127	13
21	B36	박새	114	129	16				
22	B41					박새	115	123	9
23	B71					박새	실패		
24	B81	박새	107	실패					
25	C36	박새	107	122	16				
26	C51					박새	115	127	13
27	C61					박새	115	127	13

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-115>와 같이 육추기간은 2017년도 최소 15일부터 최장 20일로 평균 17.3일, 2018년도 최소 15일부터 최장 22일로 평균 17.3일의 육추기간이 확인되었다. 육추기간의 종료는 이소일을 기준으로 하였다.

첫 부화일은 2017년 116일, 2018년 117일, 평균 첫 부화일은 2017년 126.4일, 2018년 126.7일로 부화일 추세는 유사한 것으로 확인되었다.

첫 이소일은 2017년 135일, 2018년 138일, 평균 첫 부화일은 2017년 142.7일, 2018년 142.2일로 이소일 추세는 유사한 것으로 확인되었다.

<표Ⅲ-115> 년도별 육추기간

No.	ID	2017				2018			
		종명	시작일	종료일	기간	종명	시작일	종료일	기간
1	A111					박새	124	138	15
2	A131					박새	122	-	-
3	A141	박새	121	137	17	곤줄	124	141	18
4	A16	곤줄	130	144	15	박새	124	138	15
5	A18					곤줄	117	138	22
6	A21					박새	134	150	17
7	A22					박새	128	143	16
8	A23	박새	123	-	-				
9	A27					박새	128	143	16
10	A29					박새	128	143	16
11	A31					박새	122	138	17
12	A38	박새	119	135	17				
13	A41	곤줄	130	-	-	박새	124	143	20
14	A51	곤줄	146	163	18				
15	A71					박새	128	143	16
16	B151					박새	141	-	-
17	B191	곤줄	116	135	20				
18	B241					박새	-	-	-
19	B331					곤줄	-	-	-
20	B351					박새	128	-	-
21	B36	박새	130	146	17				
22	B41					박새	124	-	-
23	B71					박새	-	-	-
24	B81	박새	-	-	-				
25	C36	박새	123	139	17				
26	C51					박새	128	143	16
27	C61					박새	128	148	21

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-116>과 같이 산란수는 2017년도 최소 6개, 최대 10개로 평균 7.9개였으며, 2018년도 최소 4개 최대 10개로 평균 7.5개인 것으로 확인되었다. 유조부화 수는 2017년도 최소 5개체, 최대 9개체로 평균 7.3개체였으며, 2018년도 최소 3개체, 최대 7개체로 평균 7.2 개체인 것으로 확인되었다. 유조이소 수는 2017년도 최소 6개체, 최대 10개체로 평균 6개체였으며, 2018년도 최소 4개체, 최대 10개체로 평균 4.6개체인 것으로 확인되었다.

<표Ⅲ-116> 년도별 산란, 부화, 유조이소수

No.	ID	2017				2018			
		종명	산란	부화	유조이소	종명	산란	부화	유조이소
1	A111					박새	10	9	6
2	A131					박새	8	6	2
3	A141	박새	9	7	6	곤줄	6	5	3
4	A16	곤줄	7	7	5	박새	8	7	4
5	A18					곤줄	6	6	3
6	A21					박새	9	8	7
7	A22					박새	8	8	5
8	A23	박새	8	8	-				
9	A27					박새	8	8	6
10	A29					박새	7	6	4
11	A31					박새	5	5	5
12	A38	박새	10	8	7				
13	A41	곤줄	6	5	-	박새	8	8	4
14	A51	곤줄	7	8	8				
15	A71					박새	9	9	4
16	B151					박새	10	10	-
17	B191	곤줄	6	6	3				
18	B241					박새	8	-	-
19	B331					곤줄	6	-	-
20	B351					박새	8	8	-
21	B36	박새	8	8	6			-	-
22	B41					박새	5	-	-
23	B71					박새	-	-	-
24	B81	박새	9	-	-				
25	C36	박새	9	9	7				
26	C51					박새	9	8	8
27	C61					박새	4	4	4
평	균		7.9	7.3	6.0		7.5	7.2	4.6

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-117>과 같이 번식성공계수는 다음과 같다. 알에서 유조로 부화한 확률을 부화성공률, 유조에서 이소에 성공하는 확률을 육추성공률, 알에서 이소에 성공하는 확률을 번식성공률로 표기하였다. 부화성공률은 2017년도 최

소 77.8%, 최대 114.3%로 평균 95% 였다. 100% 이상의 수치는 산란 수 조사 시 겹쳐져 있거나 숨겨져 있어 산란수가 누락된 것으로 판단된다. 2018년도는 최소 75%, 최대 100%로 평균 93.7%인 것으로 확인되었다. 육추성공률은 2017년도 최소 50%, 최대 100%로 평균 78.2%였으며, 2018년도 최소 33.3%, 최대 100%로 평균 68.7%로 확인되었다. 번식성공률은 2017년도 최소 50%, 최대 114.3%로 평균 75%였으며, 2018년도 최소 25%, 최대 100%로 평균 63.6%인 것으로 확인되었다. 번식성공계수 비교시 2017년도가 모든 수치에서 더 높은 값을 나타냈으나, 2018년도에 비해 샘플수가 적어 일반적인 비교는 어려울 것으로 판단된다.

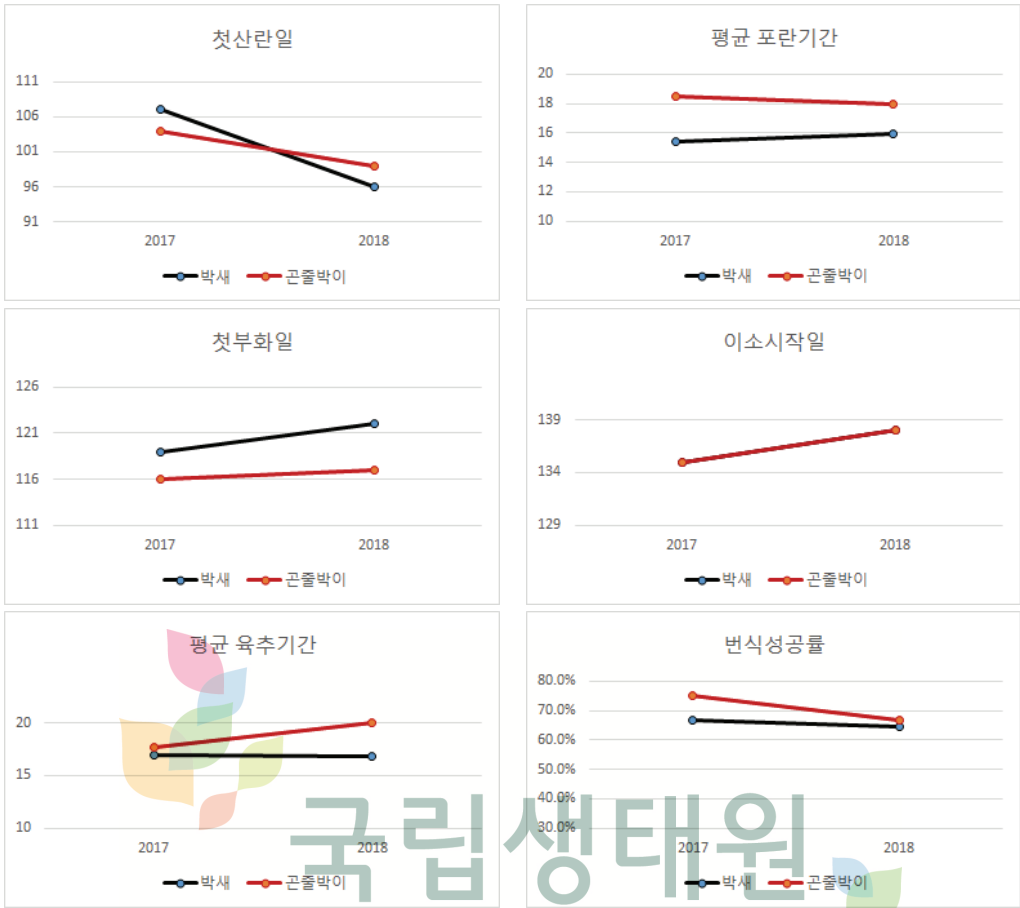
<표Ⅲ-117> 년도별 번식성공계수

No.	ID	2017				2018			
		종명	부화성공	육추성공	번식성공	종명	부화성공	육추성공	번식성공
1	A111		-	-	-	박새	90.0	66.7	60.0
2	A131		-	-	-	박새	75.0	33.3	25.0
3	A141	박새	77.8	85.7	66.7	곤줄	83.3	60.0	50.0
4	A16	곤줄	100.0	71.4	71.4	박새	87.5	57.1	50.0
5	A18		-	-	-	곤줄	100.0	50.0	50.0
6	A21		-	-	-	박새	88.9	87.5	77.8
7	A22		-	-	-	박새	100.0	62.5	62.5
8	A23	박새	100.0	-	-		-	-	-
9	A27		-	-	-	박새	100.0	75.0	75.0
10	A29		-	-	-	박새	85.7	66.7	57.1
11	A31		-	-	-	박새	100.0	100.0	100.0
12	A38	박새	80.0	87.5	70.0		-	-	-
13	A41	곤줄	83.3	-	-	박새	100.0	50.0	50.0
14	A51	곤줄	114.3	100.0	114.3		-	-	-
15	A71		-	-	-	박새	100.0	44.4	44.4
16	B151		-	-	-	박새	100.0	-	-
17	B191	곤줄	100.0	50.0	50.0		-	-	-
18	B241		-	-	-	박새	-	-	-
19	B331		-	-	-	곤줄	-	-	-
20	B351		-	-	-	박새	100.0	-	-
21	B36	박새	100.0	75.0	75.0		-	-	-
22	B41		-	-	-	박새	-	-	-
23	B71		-	-	-	박새	-	-	-
24	B81	박새	-	-	-		-	-	-
25	C36	박새	100.0	77.8	77.8		-	-	-
26	C51		-	-	-	박새	88.9	100.0	88.9
27	C61		-	-	-	박새	100.0	100.0	100.0
평	균		95.0	78.2	75.0		93.7	68.1	63.6

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2017년도, 2018년도 인공새집 조사자료를 이용하여 종별(박새, 곤줄박이)로 비교분석한 결과, 첫 산란일은 박새 2017년 107일, 2018년 96일, 곤줄박이 2017년 104일, 2018년 99일로 두 종 모두에서 2018년에 첫 산란일은 빨라진 것이 확인되었다. 평균 포란기간은 박새 2017년 15.4일, 2018년 15.9일, 곤줄박이 2017년 18.5일, 2018년 18일로 유사한 것으로 확인되었다. 첫 부화일은 박새 2017년 119일, 2018년 122일, 곤줄박이 2017년 116일, 2018년 117일로 두 종 모두에서 2018년에 약간 늦어진 것이 확인되었다. 이소시작일은 박새 2017년 135일, 2018년 138일, 곤줄박이 2017년 135일, 2018년 138일로 두 종 모두 동일하였으며, 2018년에 3일 늦어진 것이 확인되었다. 평균 육추기간은 박새 2017년 17일, 2018년 16.8일, 곤줄박이 2017년 17.7일, 2018년 20일로 박새는 두 해 모두 유사한 반면 곤줄박이는 다소 길어졌다. 번식성공률은 박새 2017년 66.7%, 2018년 64.7%, 곤줄박이 2017년 75%일, 2018년 66.7%로 두 종 모두에서 2018년의 번식성공률이 감소한 것으로 확인되었으나, 2018년도에 비해 샘플수가 적어 비교가 어려울 것으로 판단된다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-125> 종별 번식요소 비교(2017-2018)

Julian Date			91~99	100~109	110~119	120~129	130~139	140~149	150~159	160~165
Date			4/1~4/9	4/10~4/19	4/20~4/29	4/30~5/9	5/10~5/19	5/20~5/29	5/30~6/8	6/9~6/14
Species	Year	N								
박새	'17	6								
	'18	17								
곤줄박이	'17	5								
	'18	3								

:등지형성, :첫 산란일, :포란, :첫 부화일, :육추, :첫 이소일, :종료

<그림Ⅲ-126> 국립생태원 인공새집 정밀조사 결과(2017-2018)



180406 180409 180413



180416 180420 180425



180427 180502 180504



180508 180511 180514



180518 180521 180523

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-127> 둥지별 조사결과 ID: A41


180406


180409


180413

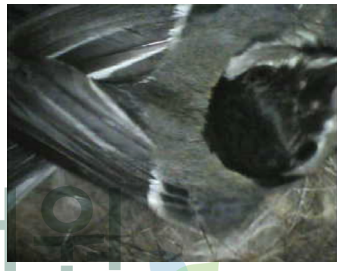

180416


180418


180420


180425


180427


180502


180508


180511


180514


180518


180521


180523

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-128> 둥지별 조사결과 ID: A71


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-129> 둥지별 조사결과 ID: A18


180406


180409


180411

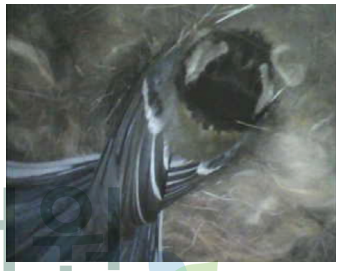

180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-130> 둥지별 조사결과 ID: A16



180406



180409



180411



180416



180418



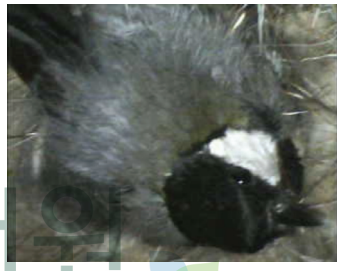
180420



180425



180427



180502



180508



180514



180518



180521



180528



180530

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-131> 둥지별 조사결과 ID: A21


180406


180409


180411


180416


180418


180420


180425


180427


180504


180508


180511


180514


180518


180522


180523

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-132> 둥지별 조사결과 ID: A22


180406


180409


180411


180416


180418


180420


180425


180427

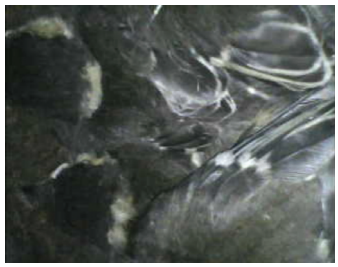

180504


180508


180511


180514


180518


180521


180523

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-133> 둥지별 조사결과 ID: A29


180406


180409


180411


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180508


180511


180514


180518


180521


180523

<그림Ⅲ-134> 둥지별 조사결과 ID: A27


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-135> 둥지별 조사결과 ID: A31


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180511

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-136> 둥지별 조사결과 ID: A38


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180504


180511

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-137> 둥지별 조사결과 ID: A35


180406


180409


180411

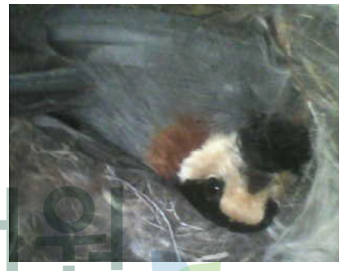

180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180518


180521

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-138> 둥지별 조사결과 ID: A141



180406



180409



180411



180413



180416



180418



180420



180425



180427



180502



180504



180508



180511



180514

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-139> 둥지별 조사결과 ID: A131


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-140> 둥지별 조사결과 ID: A111


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180502


180508


180511


180514


180518


180523


180530

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-141> 둥지별 조사결과 ID: B221


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-142> 둥지별 조사결과 ID: B241


180406


180409


180411

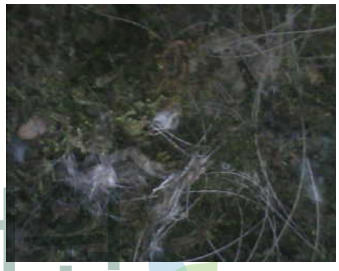

180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504

ECOLOGY

<그림Ⅲ-143> 둥지별 조사결과 ID: B321


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY


180502


180504


180508


180511


180514


180523

<그림Ⅲ-144> 둥지별 조사결과 ID: B331


180406


180409


180411

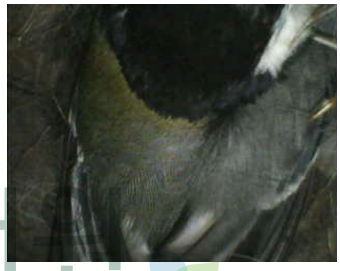

180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-145> 둥지별 조사결과 ID: B351


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-146> 둥지별 조사결과 ID: B171


180406

180409

180411

180413

180416

180418

180420

180425

180427

180502

180504

180508

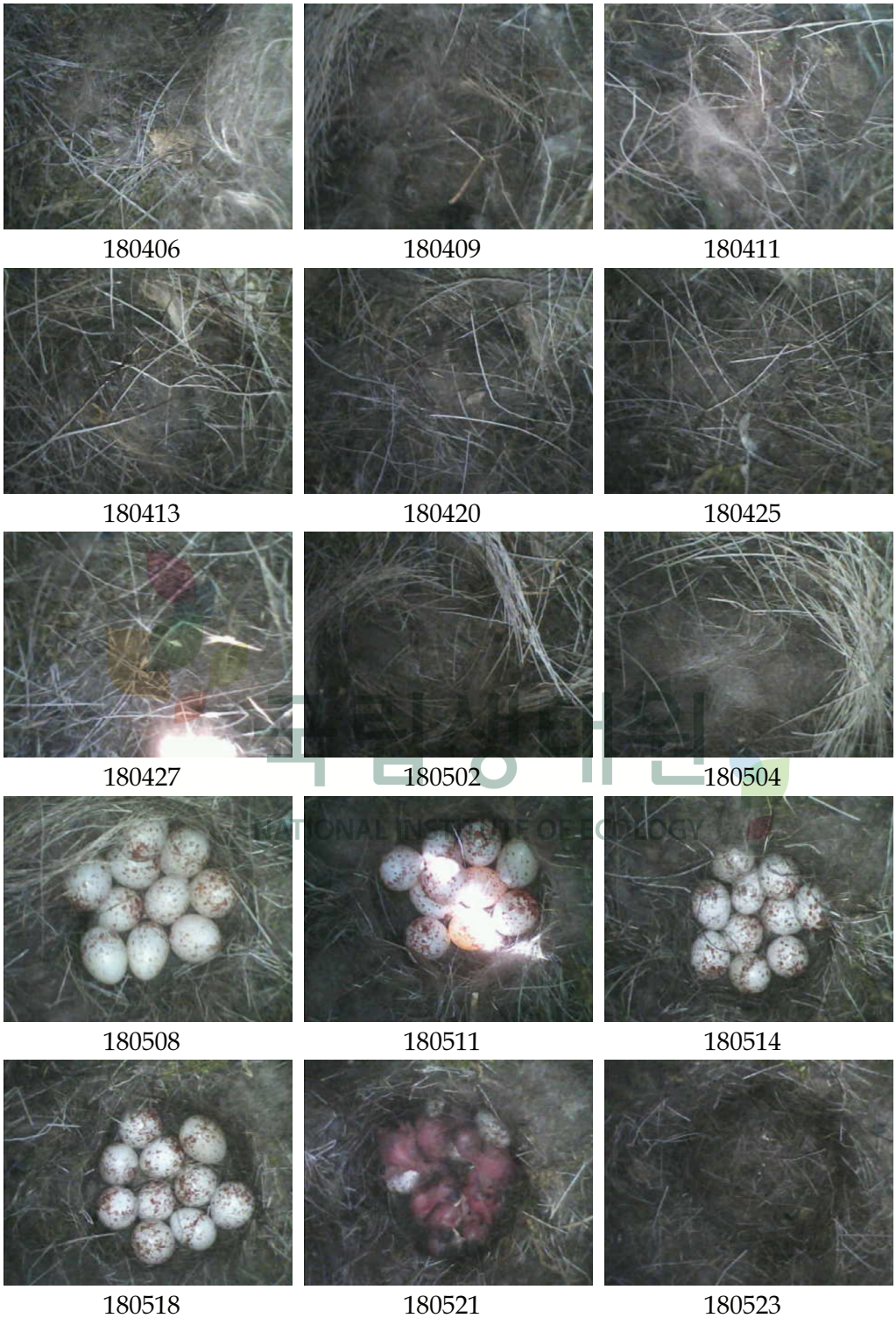
180511

180514

180518

<그림Ⅲ-147> 둥지별 조사결과 ID: B161

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-148> 둥지별 조사결과 ID: B151


180406


180409

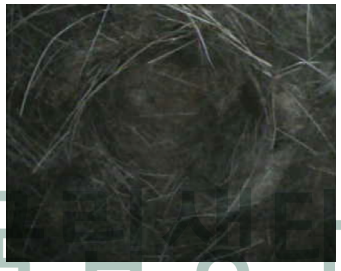

180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508


180511


180514


180518

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-149> 둥지별 조사결과 ID: B71



180406



180409



180411



180413



180420



180427



180504

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-150> 등지별 조사결과 ID: B121


180406


180409


180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180502


180504


180508

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-151> 둥지별 조사결과 ID: B41


180406

180411

180416

180418

180420

180425

180427

180502

180504

180508

180511

180514

180518

180521

180523

<그림Ⅲ-152> 둥지별 조사결과 ID: C51


180406


180409


180411


180413


180416


180420


180425


180427


180504


180508


180514


180518


180521


180523


180528

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-153> 둥지별 조사결과 ID: C61


180406


180409

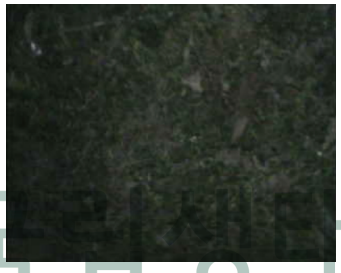

180411


180413


180416


180418


180420


180425


180427


180508


180511

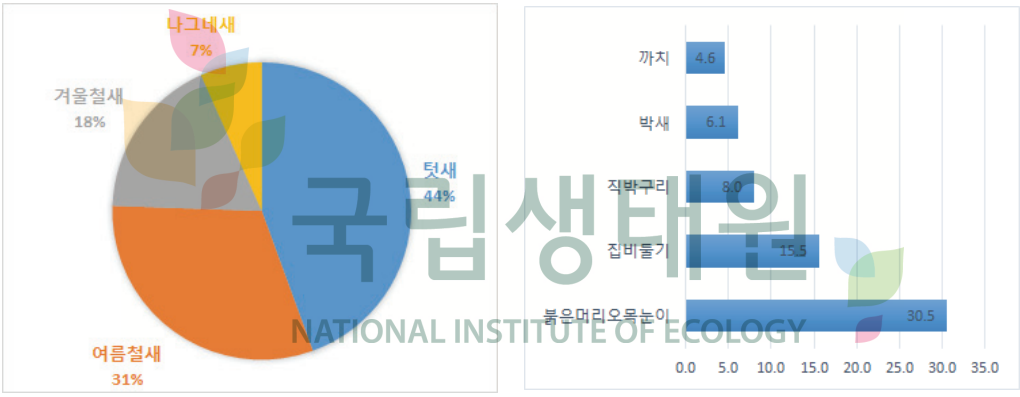
국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-154> 둥지별 조사결과 ID: B110

(2) 기후변화에 따른 철새도래시기 및 종구성 변화

2018년 위도별 월간 조류상 조사결과 남산지역은 총 9목 26과 45종 1,358개체가 확인되었으며, 종다양도 지수는 2.58로 분석되었다. 균등도는 0.68로 확인되었으며, 종풍부도는 6.1로 산출되었다.

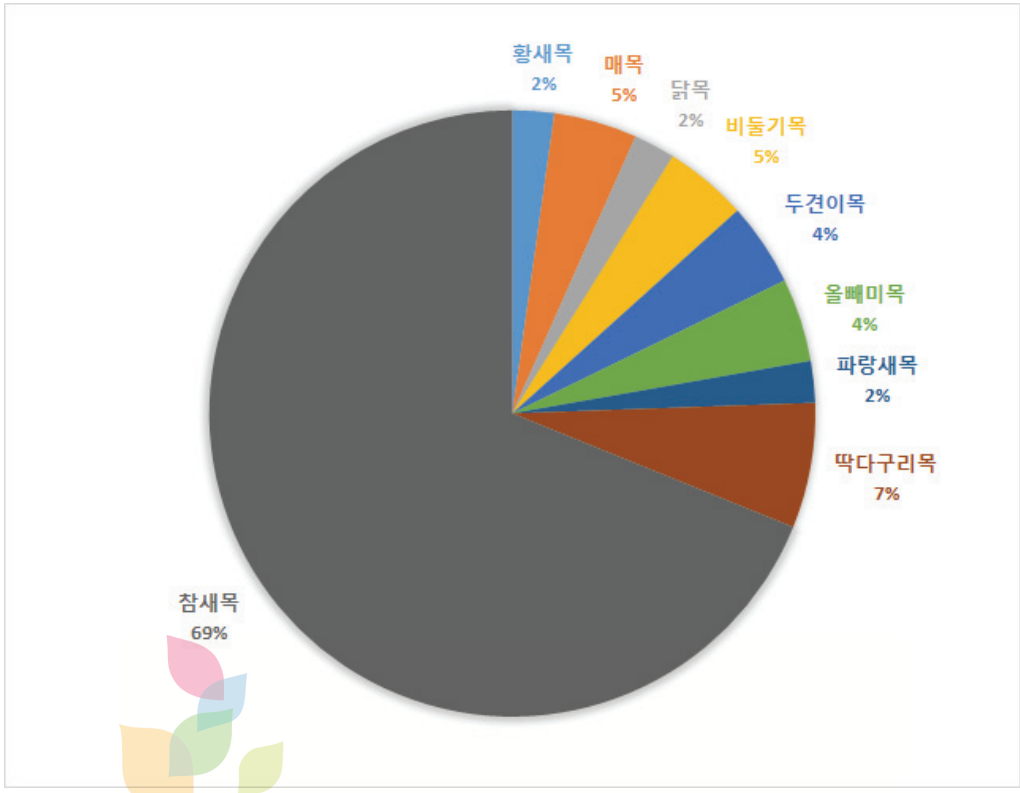
1월부터 10월까지의 조류상 조사결과 생활형별 종수현황은 텃새 20종(44.4%), 여름철새 14종(31.1%), 겨울철새 8종(17.8%), 나그네새 3종(6.7%)으로 확인되었다. 우점종 현황은 제 1우점종 붉은머리오목눈이(414개체, 30.5%), 제 2우점종 집비둘기(211개체, 15.5%), 제 3우점종 직박구리(108개체, 8.0%), 제 4우점종 박새(83개체, 6.1%), 제 5우점종 까치(62개체, 4.6%)의 순으로 분석되었다. 목별 종수 현황은 황새목 1종(2.2%), 매목 2종(4.4%), 닭목 1종(2.2%), 비둘기목 2종(4.4%), 두견이목 2종(4.4%), 올빼미목 2종(4.4%), 파랑새목 1종(2.2%), 딱따구리목 3종(6.7%), 참새목 31종(68.9%)으로 확인되었다.



생활형 비율 우점종

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-155> 남산조류의 생활형비율 및 우점종 현황



<그림Ⅲ-156> 남산조류의 목별 출현 현황

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

남산지역의 월간 조류상 조사결과 1월 조사는 20종 130개체로 제 1우점종은 집비둘기, 제 2우점종은 붉은머리오목눈이로 확인되었으며, 종다양도는 2.19, 균등도는 0.58, 종풍부도는 3.9로 산출되었다. 2월 조사결과 15종 214개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 되새로 확인되었으며, 종다양도는 1.85, 균등도는 0.49, 종풍부도는 2.61으로 산출되었다. 3월 조사결과 17종 163개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 직박구리로 확인되었으며, 종다양도는 2.26, 균등도는 0.59, 종풍부도는 3.14로 분석되었다. 4월 조사결과 19종 192개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 집비둘기로 확인되었으며, 종다양도는 2.41, 균등도는 0.63, 종풍부도는 3.42로 분석되었다. 5월 조사결과 24종 221개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 참새로 확인되었으며, 종다양도는 2.37, 균등도는 0.62, 종풍부도는 4.26으로 분석되었다. 6월 조사결과 21종 181개체로 제 1우점종은 집비둘기, 제 2우점종은 붉은머리오목눈이로 확인되었으며, 종다양도는 2.3, 균등도는 0.6, 종풍부도는 3.85로 분석되었다. 9월 조사결과 16종 77개

체로 제 1우점종은 직박구리, 제 2우점종은 곤줄박이로 확인되었으며, 종다양도는 2.52, 균등도는 0.66, 종풍부도는 3.45로 분석되었다. 10월 조사결과 20종 180개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 집비둘기로 확인되었으며, 종다양도는 2.22, 균등도는 0.58, 종풍부도는 3.66으로 분석되었다(표Ⅲ-118/부록-2).

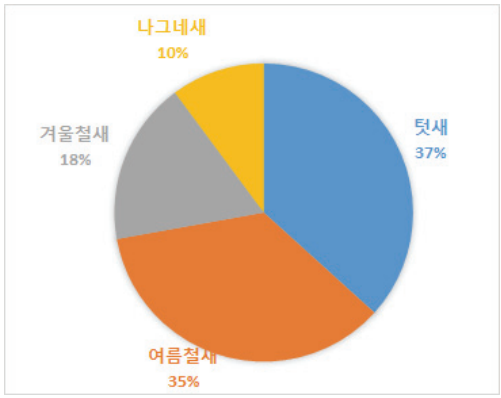
<표Ⅲ-118> 남산 조류상 조사결과

	조사시기(월)							
	1	2	3	4	5	6	9	10
개 체 수	130	214	163	192	221	181	77	180
종 수	20	15	17	19	24	21	16	20
종다양도(H′)	2.19	1.85	2.26	2.41	2.37	2.30	2.52	2.22
균등도(E′)	0.58	0.49	0.59	0.63	0.62	0.60	0.66	0.58
종풍부도(R′)	3.90	2.61	3.14	3.42	4.26	3.85	3.45	3.66

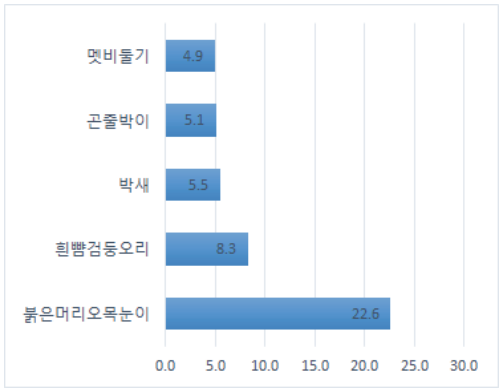
위도별 월간 조류상 조사 결과 국립생태원 지역은 총 13목 31과 79종 2,889개체가 확인되었으며, 종다양도 지수는 3.2로 분석되었다. 균등도는 0.73으로 확인되었으며, 종풍부도는 9.79로 산출되었다.

1월부터 10월까지의 조류상 조사결과 생활형별 종수현황은 텃새 29종(36.7%), 여름철새 28종(35.4%), 겨울철새 14종(17.7%), 나그네새 8종(10.1%)으로 확인되었다. 우점종현황은 제 1우점종 붉은머리오목눈이(653개체, 22.6%), 제 2우점종 흰빰검둥오리(241개체, 8.3%), 제 3우점종 박새(159개체, 5.5%), 제 4우점종 곤줄박이(147개체, 5.1%), 제 5우점종 멧비둘기(143개체, 4.9%)의 순으로 분석되었다. 목별 종수 현황은 사다새목 2종(2.53%), 황새목 6종(7.59%), 기러기목 5종(6.33%), 매목 8종(10.13%), 닭목 1종(1.27%), 두루미목 1종(1.27%), 도요목 4종(5.06%), 비둘기목 1종(1.27%), 두견이목 3종(3.8%), 올빼미목 3종(3.8%), 파랑새목 2종(2.53%), 딱따구리목 4종(5.06%), 참새목 39종(49.37%)으로 확인되었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

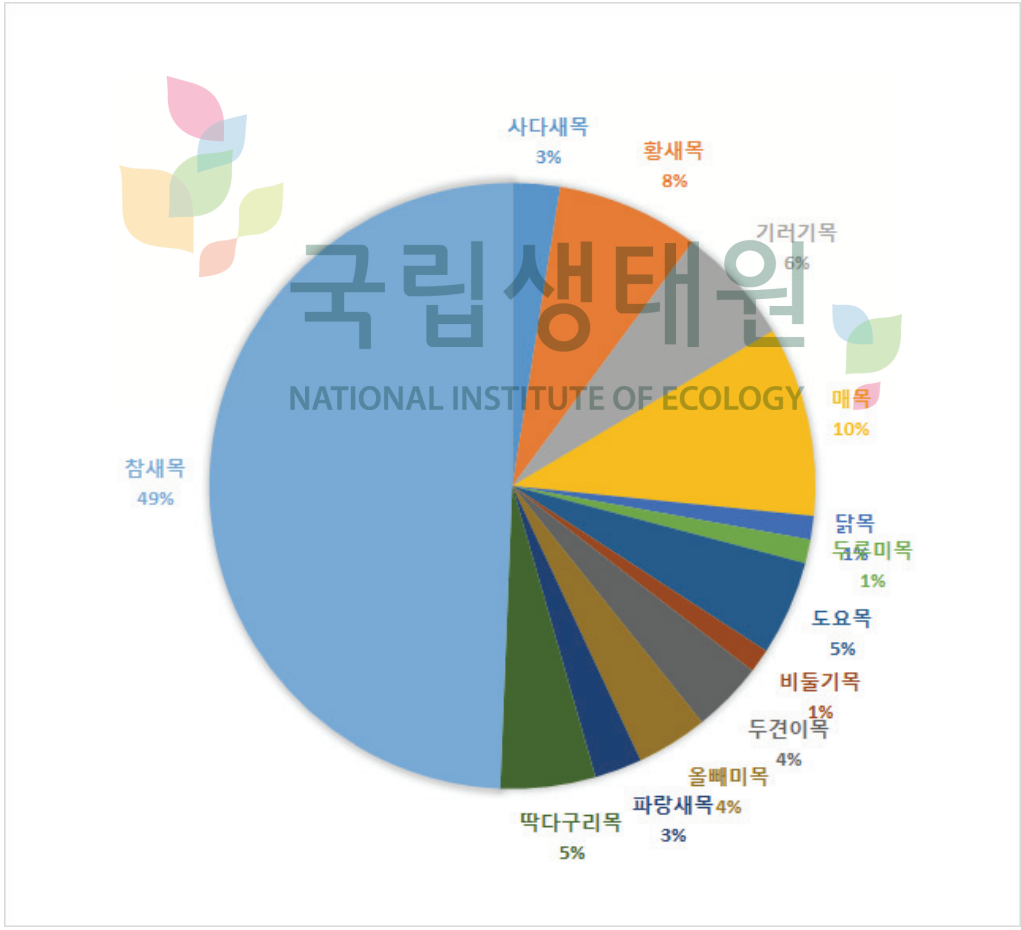


생활형 비율



우점종

<그림Ⅲ-157> 국립생태원 조류의 생활형비율 및 우점종 현황



<그림Ⅲ-158> 국립생태원 조류의 목별 출현 현황

국립생태원 지역의 월간 조류상 조사결과 1월 조사는 28종 272개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 직박구리로 확인되었으며, 종다양도는 2.55, 균등도는 0.58, 종풍부도는 4.82로 산출되었다. 2월 조사결과 33종 545개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 흰뺨검둥오리로 확인되었으며, 종다양도는 2.56, 균등도는 0.59, 종풍부도는 5.08로 산출되었다. 3월 조사결과 29종 529개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 흰뺨검둥오리로 확인되었으며, 종다양도는 2.7, 균등도는 0.62, 종풍부도는 4.47으로 분석되었다. 4월 조사결과 33종 394개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 찌르레기로 확인되었으며, 종다양도는 2.82, 균등도는 0.65, 종풍부도는 5.35로 분석되었다. 5월 조사결과 40종 345개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 멧비둘기로 확인되었으며, 종다양도는 3.04, 균등도는 0.7, 종풍부도는 6.67로 분석되었다. 6월 조사결과 32종 248개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 흰배지빠귀로 확인되었으며, 종다양도는 2.81, 균등도는 0.64, 종풍부도는 5.62로 분석되었다. 8월 조사결과 27종 221개체로 제 1우점종은 물까치, 제 2우점종은 붉은머리오목눈이로 확인되었으며, 종다양도는 2.79, 균등도는 0.64, 종풍부도는 4.82로 분석되었다. 9월 조사결과 23종 157개체로 제 1우점종은 물까치, 제 2우점종은 붉은머리오목눈이로 확인되었으며, 종다양도는 2.71, 균등도는 0.62, 종풍부도는 4.35로 분석되었다. 10월 조사결과 24종 178개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 흰뺨검둥오리로 확인되었으며, 종다양도는 2.36, 균등도는 0.54, 종풍부도는 4.44로 분석되었다(표Ⅲ-119/부록-3).

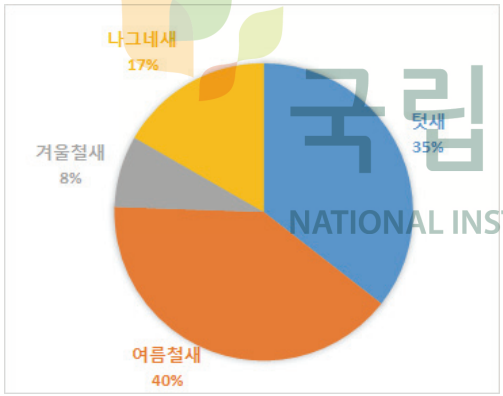
국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅲ-119> 국립생태원 조류상 조사결과

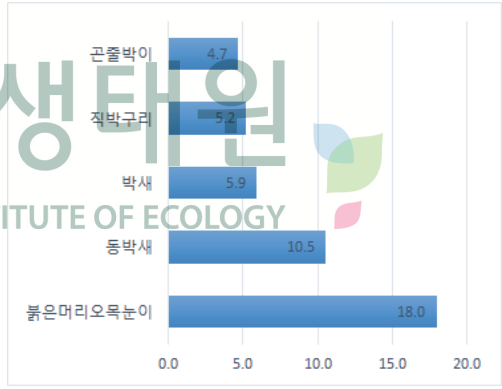
	조사시기(월)								
	1	2	3	4	5	6	8	9	10
개 체 수	272	545	529	394	345	248	221	157	178
종 수	28	33	29	33	40	32	27	23	24
종다양도(H′)	2.55	2.56	2.70	2.82	3.04	2.81	2.79	2.71	2.36
균등도(E′)	0.58	0.59	0.62	0.65	0.70	0.64	0.64	0.62	0.54
종풍부도(R′)	4.82	5.08	4.47	5.35	6.67	5.62	4.82	4.35	4.44

위도별 월간 조류상 조사 결과 완도수목원 지역은 총 14목 35과 90종 2,626개체가 확인되었으며, 종다양도 지수는 3.31로 분석되었다. 균등도는 0.73로 확인되었으며, 종풍부도는 11.3로 산출되었다.

1월부터 10월까지의 조류상 조사결과 생활형별 종수현황은 텃새 32종(35.6%), 여름철새 36종(40%), 겨울철새 7종(7.8%), 나그네새 15종(16.7%)으로 확인되었다. 우점종현황은 제 1우점종 붉은머리오목눈이(472개체, 18%), 제 2우점종 동박새(277개체, 10.5%), 제 3우점종 박새(156개체, 5.9%), 제 4우점종 직박구리(137개체, 5.2%), 제 5우점종 곤줄박이(123개체, 4.7%)의 순으로 분석되었다. 목별 종수 현황은 사다새목 1종(1.11%), 황새목 6종(6.66%), 기러기목 1종(1.11%), 매목 9종(10%), 닭목 1종(1.11%), 도요목 5종(5.56%), 비둘기목 1종(1.11%), 두견이목 4종(4.44%), 올빼미목 3종(3.33%), 쏙독새목 1종(1.11%), 칼새목 1종(1.11%), 파랑새목 2종(2.22%), 딱따구리목 4종(4.44%), 참새목 51종(56.67%)으로 확인되었다.



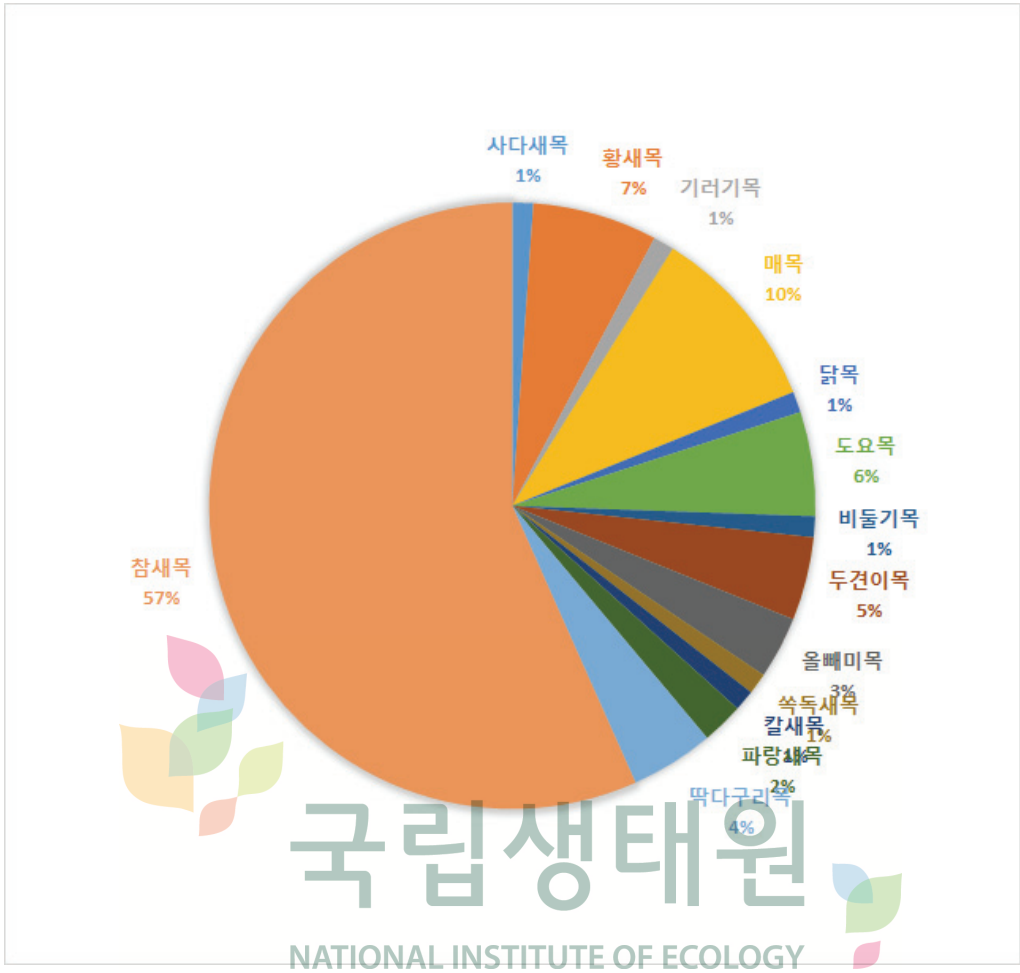
생활형 비율



우점종

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-159> 완도수목원 조류의 생활형비율 및 우점종 현황



국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<그림Ⅲ-160> 완도수목원 조류의 목별 출현 현황

완도수목원 지역의 월간 조류상 조사결과 1월 조사는 19종 277개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 동박새로 확인되었으며, 종다양도는 2.24, 균등도는 0.5, 종풍부도는 3.2로 산출되었다. 2월 조사결과 16종 154개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 직박구리로 확인되었으며, 종다양도는 1.24, 균등도는 0.28, 종풍부도는 2.98로 산출되었다. 3월 조사결과 29종 360개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 동박새로 확인되었으며, 종다양도는 2.86, 균등도는 0.64, 종풍부도는 4.76으로 분석되었다. 4월 조사결과 36종 338개체로 제 1우점종은 노랑턱멧새, 제 2우점종은 곤줄박이로 확인되었으며, 종다양도는 3.15, 균등도는 0.7, 종풍부도는 6.01로 분석되었다. 5월 조사결과 57종 545개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 칼새로 확인되었으며, 종다양도는 3.48, 균등도는 0.77,

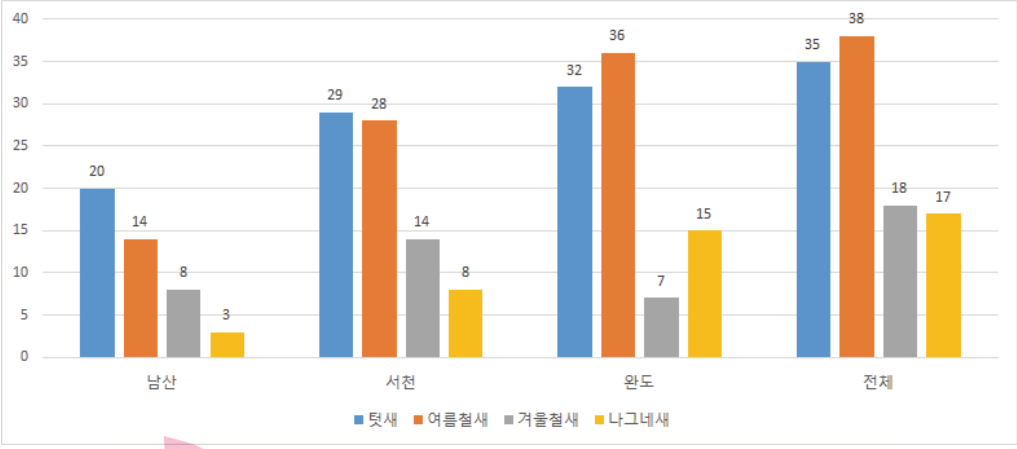
종풍부도는 8.89로 분석되었다. 6월 조사결과 37종 310개체로 제 1우점종은 동박새, 제 2우점종은 흰배지빠귀로 확인되었으며, 종다양도는 3.02, 균등도는 0.67, 종풍부도는 6.28로 분석되었다. 9월 조사결과 28종 294개체로 제 1우점종은 동박새, 제 2우점종은 붉은머리오목눈이로 확인되었으며, 종다양도는 2.56, 균등도는 0.57, 종풍부도는 4.75로 분석되었다. 10월 조사결과 39종 348개체로 제 1우점종은 붉은머리오목눈이, 제 2우점종은 물까치로 확인되었으며, 종다양도는 2.9, 균등도는 0.65, 종풍부도는 6.49로 분석되었다(표Ⅲ-120/부록-4).

<표Ⅲ-120> 완도수목원 조류상 조사결과

	조사시기(월)							
	1	2	3	4	5	6	9	10
개 체 수	277	154	360	338	545	310	294	348
종 수	19	16	29	36	57	37	28	39
종다양도(H′)	2.24	1.24	2.86	3.15	3.48	3.02	2.56	2.90
균등도(E′)	0.50	0.28	0.64	0.70	0.77	0.67	0.57	0.65
종풍부도(R′)	3.20	2.98	4.76	6.01	8.89	6.28	4.75	6.49

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

자동소리녹음장비(SM4) 및 현지조사결과를 이용한 조류의 위도별 생활형을 분석한 결과 전체 108종 중 텃새 35종(32.4%), 여름철새 38종(35.2%), 겨울철새 18종(16.7%), 나그네새 17종(15.7%)의 생활형이 확인되었다.



<그림Ⅲ-161> 조류 생활형 비교

위도별 월간 여름철새는 저위도(완도수목원) 36종, 중위도(국립생태원) 28종, 고위도(남산) 14종이 확인되었다(표Ⅲ-121). 확인 종수는 조사지역에 따라 서식지 다양성, 면적, 인위적 간섭이 모두 다른 지역으로 서식환경이 가장 다양한 완도수목원지역에서 가장 많은 종수가 확인되었으며, 반면 서식지가 고립되어 있고, 인위적 간섭이 많은 남산지역에서 가장 적은 종수가 확인되었다. 또한 위도에 따라 저위도 지역의 여름철새가 다양한 경향도 있기 때문에 단순한 비교는 어려울 것으로 판단된다.

이중 전 지역에서 확인된 여름철새는 13종으로 해오라기, 검은등뻐꾸기, 뻑꾸기, 소쩍새, 솔부엉이, 파랑새, 노랑할미새, 알락할미새, 흰배지빠귀, 산솔새, 큰유리새, 찌르레기, 꾀꼬리가 조사되었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

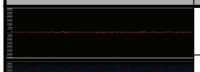
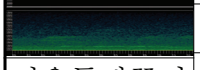
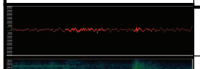
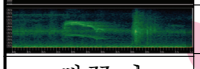
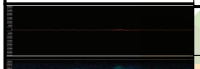
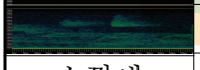
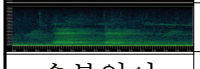
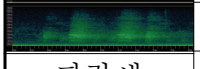
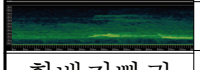
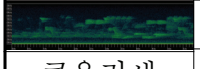
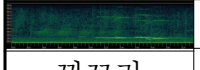
<표Ⅲ-121> 위도별 여름철새 출현 목록

학 명	종 명	저위도 (완 도)	중위도 (서 천)	고위도 (서 울)
Nycticorax nycticorax	**해오라기**	○	○	○
Butorides striata	검은댕기해오라기	○	○	
Bubulcus ibis	황로	○	○	
Ardea cinerea	왜가리	○	○	
Ardea alba modesta	중대백로	○	○	
Egretta garzetta	쇠백로	○	○	
Accipiter soloensis	붉은배새매	○	○	
Falco subbuteo	새호리기	○	○	
Gallinula chloropus	쇠물닭		○	
Actitis hypoleucos	깝작도요	○	○	
Cuculus micropterus	**검은등뻐꾸기**	○	○	○
Cuculus canorus	**뻐꾸기**	○	○	○
Cuculus saturatus	벙어리뻐꾸기	○	○	
Cuculus poliocephalus	두견이	○		
Otus sunia	**소쩍새**	○	○	○
Ninox scutulata	**솔부엉이**	○	○	○
Caprimulgus indicus	쏙독새	○		
Apus pacificus	칼새	○		
Alcedo atthis	물총새	○	○	
Eurystomus orientalis	**파랑새**	○	○	○
Pitta nympha	팔색조	○		
Hirundo rustica	제비	○	○	
Cecropis daurica	귀제비	○		
Motacilla cinerea	**노랑할미새**	○	○	○
Motacilla alba leucopsis	**알락할미새**	○	○	○
Lanius tigrinus	칡때까치	○	○	
Turdus hortulorum	되지빠귀	○		
Turdus pallidus	**흰배지빠귀**	○	○	○
Cettia diphone cantans	섬휘파람새	○		
Acrocephalus orientalis	개개비	○	○	
Urosphena squameiceps	숲새			○
Phylloscopus coronatus	**산솔새**	○	○	○
Luscinia cyane	쇠유리새	○		
Saxicola torquatus	검은딱새	○		
Ficedula zanthopygia	흰눈썹황금새	○	○	
Cyanoptila cyanomelana	**큰유리새**	○	○	○
Sturnus cineraceus	**찌르레기**	○	○	○
Oriolus chinensis	**꾀꼬리**	○	○	○
종 수		36	28	14

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

자동소리녹음장비(SM4) 및 현지조사결과를 이용한 조류의 위도별 생활형을 분석한 결과 모든 지역(저위도, 중위도, 고위도)에서 확인된 여름철새 13종의 월별 출현을 분석하였다(표Ⅲ-122). 여름철새의 도래는 5월~6월에 집중되는 것이 확인되었고, 뻐꾸기과 2종(검은등뻐꾸기, 뻐꾸기)은 저위도 지역에서 다른 지역에 비해 더 길게 출현한 것이 확인되었다.

<표Ⅲ-122> 위도별 월간 여름철새 출현 목록

종 명	위 도	출현시기									
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
	저			■	■	■	■			■	
	중					■	■				
검은등뻐꾸기	고				■						
	저					■					■
	중					■	■				
뻐꾸기	고					■	■				
	저				■	■					
	중				■	■					
소쩍새	고				■	■	■				
	저					■	■				
	중					■	■				
솔부엉이	고					■					
	저					■	■				
	중					■	■	■			
파랑새	고					■	■				
	저				■	■	■	■	■	■	■
	중				■	■	■	■	■	■	■
흰배지빠귀	고				■	■	■	■	■	■	■
	저					■					
	중						■				
큰유리새	고						■				
	저					■	■	■	■		
	중					■	■	■	■	■	
꾀꼬리	고						■	■	■	■	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

IV. 결론 및 향후계획

1. 육상생태계

가. 식생

(1) 생태계 기후변화 모니터링 방형구 설치

남산, 지리산, 한라산 2017년 기 설치된 고정방형구의 훼손 정도를 파악하고 보수하였고 탈락된 알루미늄 태그를 재부착하여 지속적인 모니터링을 실시할 수 있게 하였다. 남산 신갈나무림과 소나무림의 경우 간벌 등의 숲가꾸기가 이루어지는 등 조사 개체목에 영향을 주어 지속적인 모니터링에 인위적인 교란이 가해져 자연적인 경향을 파악하는데 어려움이 있는 것으로 판단되어 기관의 협조가 필요할 것으로 사료되었다.

(2) 식물상

남산의 생태계 기후변화 조사지 내 신갈나무림과 소나무림에 분포하는 관속식물문은 총 44과 73속 88종 1아종 8변종으로 총 97분류군으로 나타났고, 지리산의 생태계 기후변화 조사지 내 소나무림과 구상나무림에 분포하는 관속식물문은 71과 127속 169종 2아종 15변종으로 총 186분류군으로 나타났다. 한라산의 생태계 기후변화 조사지 내 분포하는 관속식물문은 41과 73속 82종 2아종 16변종으로 총 100분류군으로 나타났다.

국가적색목록 중 취약종(VU)은 한라산에서 시로미가 나타났고 위기종(EN)은 지리산과 한라산에서 구상나무가 나타났으며 관심대상종(LC)은 남산에서 목련, 지리산에서 덩굴꽃마리, 말나리, 뻐꾹나리, 한라산에서 게박쥐나물, 눈향나무, 두메대극, 한라개승마가 나타났다. 미평가종(NE)종은 지리산에서 도라지모시대, 한라산에서 개족도리풀, 설앵초, 섬매발톱나무가 나타났다.

국가기후변화생물지표종은 지리산에서 가래고사리, 구상나무, 사스래나무, 주목이 나타났고 한라산에서 구상나무, 눈향나무, 설앵초, 시로미, 가래고사리, 만년석송, 사스래나무가 나타났다. 한국고유생물종은 지리산에서 구상나무, 노각나무, 물들메나무, 병꽃나무, 흰괴불나무, 지리대사초가 나타났고 한라산에서 개족도리풀, 구상나무, 두메대극, 설앵초, 섬매발톱나무, 한라개승마, 병꽃나무, 산오이풀, 은꿩의다리, 자주꿩의다리, 제주조릿대, 한라사초, 흰그늘용담이 나타났다. 생태계교란종은 남산에서 서양등골나물이 나타났다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(3) 생태계 기후변화 조사지 동태

가) 조사지 구성목의 밀도, 크기 및 종조성

남산 신갈나무림의 조사지 구성목의 밀도는 신갈나무가 2011년 262본/ha에서 2017-2018년 179본/ha으로 감소하였고 흉고단면적은 11.6㎡/ha에서 9.7㎡/ha으로 감소하였다. 반면에 신갈나무림 전체의 밀도는 1,079본/ha에서 1,146본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 20.5㎡/ha에서 21.0㎡/ha으로 증가하였다. 남산 소나무림의 조사지 구성목의 밀도는 소나무가 2011년 625본/ha에서 2018년 462본/ha으로 감소하였지만 흉고단면적은 29.2㎡/ha에서 33.2㎡/ha으로 증가하였다. 소나무림 전체의 밀도는 1,063본/ha에서 1,534본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 33.4㎡/ha에서 36.9㎡/ha으로 증가하였다.

지리산 소나무림의 조사지 구성목의 밀도는 소나무가 341본/ha에서 289본/ha으로 감소하였고 흉고단면적 또한 33.3㎡/ha에서 33.2㎡/ha으로 감소하였다. 소나무림 전체의 밀도는 1,300본/ha에서 1,564본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 43.8㎡/ha에서 48.6㎡/ha으로 증가하였다. 지리산 구상나무림의 조사지 구성목의 밀도는 구상나무가 483본/ha에서 323본/ha으로 감소하였고 흉고단면적 또한 14.4㎡/ha에서 10.5㎡/ha으로 감소하였다. 구상나무림 전체의 밀도는 1,000본/ha에서 917본/ha으로 감소하였고, 흉고단면적은 31.5㎡/ha에서 28.6㎡/ha으로 감소하였다.

한라산 구상나무림의 조사지 구성목의 밀도는 구상나무가 628본/ha에서 582본/ha으로 감소하였지만 흉고단면적은 5.7㎡/ha에서 5.8㎡/ha으로 증가하였다. 구상나무림 전체의 밀도는 1,555본/ha에서 1,768본/ha으로 증가하였고, 흉고단면적은 8.5㎡/ha에서 10.1㎡/ha으로 증가하였다.

나) 층위별 종수

남산 신갈나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 3종, 아교목층에서 6종, 관목층에서 15종, 초본층에서 28종이 출현하였으며, 신갈나무림 전체에서 32종이 출현하였다. 남산 소나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 1종, 아교목층에서 5종, 관목층에서 13종, 초본층에서 25종이 출현하였으며, 소나무림 전체에서 32종이 출현하였다.

지리산 소나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 2종, 아교목층에서 8종, 관목층에서 23종, 초본층에서 37종이 출현하였으며, 소나무림 전체에서 44종이 출현하였다. 지리산 구상나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 5종, 아교목층에서 9종, 관목층에서 14종, 초본층에서 33종이 출현하였으

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

며, 신갈나무림 전체에서 43종이 출현하였다.

한라산 구상나무림의 층위별 종수를 살펴보면 교목층에서 1종, 아교목층에서 4종, 관목층에서 12종, 초본층에서 40종이 출현하였으며, 신갈나무림 전체에서 45종이 출현하였다.

다) 직경급 분포

남산 신갈나무림의 직경급 분포를 분석한 결과, 신갈나무는 2011년도와 2017-2018년도 모두 정규분포형의 모습을 띄고 있었으며 10-30cm 직경급에서 개체수가 줄어든 것으로 나타났는데 이는 남산 조사지역내 숲가꾸기 등의 인위적 교란의 영향 때문인 것으로 사료되었다. 30-50cm 직경급에서는 개체수가 증가하였다.

지리산 소나무림의 직경급 분포를 분석한 결과, 소나무는 2010-2013년도와 2017-2018년 모두 정규분포형의 모습을 띄고 있었고 40cm이하의 직경급에서 개체수가 줄어든 것으로 나타났고 40-60cm 직경급에서는 개체수가 증가한 것으로 나타났다. 이는 조사지내에서 양수인 소나무가 천이가 진행될수록 입지 경쟁에서 밀리고 있는 것으로 판단되었다.

지리산 구상나무림의 직경급 분포를 분석한 결과, 구상나무는 2010-2013년도와 2017-2018년도 모두 정규분포형의 모습을 띄고 있었으며 5cm이하의 직경급에서 개체수는 큰 차이가 없었지만 5-40cm 직경급에서는 모두 개체수가 감소하는 것으로 나타나 구상나무의 개체수 및 서식지 감소에 대한 기후변화 및 아고산 수종의 세력 및 서식지 감퇴와 관련한 타 연구와 비슷한 결과가 나타났다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

한라산 구상나무림의 직경급 분포를 분석한 결과, 구상나무는 2011년도와 2018년도 모두 정규분포형의 모습을 띄고 있었으며 10cm 이하에서는 직경급에서 개체수가 줄어들었으며 10cm 이상의 직경급에서는 개체가 다소 증가한 것으로 나타났지만 전체적인 개체수는 감소하는 경향으로 나타났다. 지리산 구상나무림과 동일하게 전체적으로 구상나무의 개체수가 감소하는 추세를 나타내고 있으며 내륙산림생태계 내에서의 구상나무와 도서산림생태계 내에서의 구상나무 모두 개체수가 감소하는 결과가 나타났다.

라) 수관활력도

남산 신갈나무림의 수관활력도 분포를 분석한 결과, 신갈나무의 수관활력도는 4~5(60~90%)에 해당하는 비율이 76.0%로서 수관활력이 우수한 편인 것으로 나타났으며 전체종의 수관활력도 4~5(60~90%)에 해당하는 비율 58.0%

와 비교했을 때도 신갈나무의 수관활력도가 높은 것으로 나타났다.

지리산 소나무림의 수관활력도 분포를 분석한 결과, 소나무의 수관활력도는 4~5(60~90%)에 해당하는 비율이 52.6%로 나타났으며 전체종의 수관활력도 4~5(60~90%)에 해당하는 비율 59.5%와 비교했을 때 소나무의 수관활력도가 낮은 것으로 나타났다. 지리산 구상나무림의 수관활력도 분포를 분석한 결과, 구상나무의 수관활력도는 4~5(60~90%)에 해당하는 비율이 69.4%로 나타났으며 전체종의 수관활력도 4~5(60~90%)에 해당하는 비율 80.8%와 비교했을 때 구상나무의 수관활력도가 낮은 것으로 나타났다.

한라산 구상나무림의 수관활력도 분포를 분석한 결과, 구상나무의 수관활력도는 4~5(60~90%)에 해당하는 비율이 62.2%로 나타났으며 전체종의 수관활력도 4~5(60~90%)에 해당하는 비율 67.9%와 비교했을 때 구상나무의 수관활력도가 낮은 것으로 나타났다.

마) 수간건강상태

남산 신갈나무림의 2011년도와 2017-2018년도의 수간건강상태의 분포를 분석한 결과, 신갈나무의 수간건강상태는 AS(Alive Standing)가 2011년 74.7%에서 2017-2018년 72.0%로 감소하였다. AB(Alive Broken)는 1.0%에서 3.1%로 증가하였고 AD(Alive Dead)는 0.0%에서 2.6%, DB(Dead Broken)는 0.0%에서 2.1%로 증가하는 등 전체적인 수간건강상태가 나빠지는 것으로 나타났다. DF(Dead Fallen)의 경우, 2011년도 8.7%에서 2017-2018년도 5.2%로 감소하였는데 이는 당시 쓰러져 고사해 있던 신갈나무들이 시간이 경과함에 따라 부식되어 종 동정이 불가능했기 때문인 것으로 사료되었다.

지리산 소나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년도의 수간건강상태의 분포를 분석한 결과, 소나무의 수간건강상태는 AS(Alive Standing)가 2010-2103년 78.1%에서 2017-2018년 72.8%로 감소하였으며 AL(Alive Leaning)이 2010-2013년도 0.0%에서 2017년도 12.9%로 증가하였고 DS(Dead Standing)가 2010-2013년도 9.1%에서 2017년도 3.0%로 감소하였다. 지리산 구상나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년도의 수간건강상태의 분포를 분석한 결과, 구상나무의 수간건강상태는 AS(Alive Standing)가 2010-2103년 56.5%에서 2017-2018년 72.0%로 증가하였으며 DS(Dead Standing)가 2010-2013년도 22.8%에서 2017-2018년도 18.4%로 감소하였고 DB(Dead Broken)가 2010-2013년도 15.5%에서 2017-2018년도 6.0%로 감소하였다.

한라산 구상나무림의 2011년도와 2018년도의 수간건강상태의 분포를 분석한 결과, 구상나무의 수간건강상태는 AS(Alive Standing)가 2011년 71.4%에

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

서 2018년 64.1%로 감소하였으며 AL(Alive Leaning)이 2011년도 10.1%에서 2018년도 7.1%로 감소하였다. 반면에 DS(Dead Standing)가 2011년도 8.6%에서 2018년도 12.8%로 증가하였고 DF(Dead Fallen) 역시 2011년도 1.3%에서 2017년도 7.8%로 증가하여 구상나무의 생목이 감소하고 사목이 증가하는 경향을 파악할 수 있었다.

바) 연평균 고사율

남산 신갈나무림의 2011년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 신갈나무는 83개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 5.7%로 나타났지만 남산 신갈나무림의 전체 수종은 73개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -1.0%으로 나타났다. 남산 소나무림의 2011년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 소나무는 181개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 4.8%로 나타났다. 반면에 남산 소나무림의 전체 수종은 118개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -1.6%으로 나타났다.

지리산 소나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 소나무는 45개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 2.5%로 나타났지만 지리산 소나무림의 전체 수종은 265개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.9%으로 나타났다. 지리산 구상나무림의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 구상나무는 160개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 6.0%로 나타났다. 지리산 구상나무림의 전체 수종은 83개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 1.3%으로 나타났다.

한라산 구상나무군락의 2010-2013년과 2017-2018년의 연평균 고사율을 살펴보면 구상나무는 47개체/ha가 감소하였고 연평균 고사율은 1.2%로 나타났다. 한라산 구상나무림의 전체 수종은 213개체/ha가 증가하였고 연평균 고사율은 -2.0%으로 나타났다.

사) 중요치

남산 신갈나무림의 2011년도와 2017-2018년의 중요치를 분석한 결과, 신갈나무는 2011년 32.2%에서 2017-2018년 25.1%로 중요치가 감소한 것으로 나타났다.

지리산 소나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년의 중요치를 분석한 결과, 소나무는 2010-2013년 37.1%에서 2017-2018년 31.6%로 중요치가 감소한 것으로 나타났다. 지리산 구상나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년의 중요치를 분석한 결과, 구상나무는 2010-2013년도 35.6%에서 2017-2018년 27.5%로

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

중요치가 감소하였다.

한라산 구상나무림의 2011년도와 2018년의 중요치를 분석한 결과, 구상나무는 2011년도 41.9%에서 35.5%로 중요치가 감소하였다.

아) 종다양도

남산 신갈나무림의 2011년도와 2017-2018년도의 종다양도 분석 결과, 종다양도는 1.71에서 1.85으로 증가하였고 균재도는 0.62에서 0.42로 감소하였다.

지리산 소나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년도의 종다양도 분석 결과, 종다양도는 2.41에서 2.50으로 증가하였고 균재도는 0.67에서 0.67로 변화가 없었다. 지리산 구상나무림의 2010-2013년도와 2017-2018년도의 종다양도 분석 결과, 종다양도는 1.89에서 2.39으로 증가하였고 균재도 또한 0.61에서 0.68로 증가하였다.

한라산 구상나무림의 2011년도와 2018년도의 종다양도 분석 결과, 종다양도는 1.48에서 1.56으로 증가하였고 균재도 또한 0.56에서 0.58로 증가하였다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 곤충

2018년 5월부터 10월까지 남산, 지리산, 한라산에서 매월 1회씩 채집한 결과 지리산에서 13과 204종 1,048개체, 남산에서 9과 120종 455개체, 한라산에서 13과 148종 350개체가 확인되었다. 각 지역별 종 다양성 양상은 차이를 나타내었는데 남산에서는 아카시나무림, 지리산에서는 구상나무림, 한라산에서는 소나무림에서 가장 많은 종 수와 개체수가 채집되었다. 산림 유형에 따른 지역별 다양성 양상은 소나무림에서는 개체수는 지리산에서 가장 많았고 종 수는 지리산과 한라산에서 유사한 양상을 나타냈지만 남산은 개체수와 종 수 모두 매우 낮은 값을 나타내었다. 신갈나무림은 남산과 지리산에서 확인된 종과 개체는 유사한 양상을 나타내었다. 지리산에서는 모든 산림에서 종과 개체수가 늘어난 반면 한라산 구상나무림에서만 증가하였고 신갈나무림과 소나무림에서는 감소하였다. 남산은 아카시나무에서 크게 늘어난 양상을 보였다. 2017년 연구에서는 지리산 소나무림, 신갈나무림, 구상나무림에서 확인된 종은 각각 142종 417개체, 67종 286개체, 95종 365개체가 채집되었다. 한라산 소나무림, 신갈나무림, 구상나무림에서는 각각 98종 234개체, 29종 65개체, 13종 39개체가 채집되었으며 남산에서는 소나무림, 아카시나무림, 신갈나무림에서 각각 28종 74개체, 25종 74개체, 60종 197개체가 채집되었다. 2017년은 2016년과 비교할 때 남산에서 채집된 나방군집이 크게 감소한 것으로 나타났다. 2017년과 2018년을 비교한 결과 지역별 출현 양상에 차이를 나타냈다. 지리산에서는 모든 산림에서 종과 개체수가 늘어난 반면 한라산 구상나무림에서는 증가하였지만, 신갈나무림과 소나무림에서는 감소하였다. 남산은 아카시나무림에서 크게 늘어난 양상을 보였다. 특히 지리산, 한라산과 같은 고산과 남산 도시 산에서 산림 유형에 따른 나방군집 다양성 차이를 비교한 결과 남산 신갈나무림에서는 확인된 종과 개체가 지리산과 유사한 양상을 나타내는 반면 남산의 소나무림은 지리산과 큰 차이를 나타내고 있어 남산 소나무림에서 생태적 변화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

각 조사지역에서 채집된 나방 군집의 계절적 양상은 종 수와 개체수에서 지역별 차이를 나타냈다. 종 수는 지리산에서는 6월과 8월에 높은 값을 나타내는 M-자형인 반면 남산과 한라산과 각각 6월과 7월 최고 양상을 한번씩 나타내었다. 개체수는 지리산에서는 8월, 남산과 한라산에서는 6월에 최고값을 나타냈다. 2017년 월별 출현 추이는 지리산과 한라산에서 종 수의 경우 M-자형(쌍봉형)을 나타내 6월과 8월에 증가하는 양상을 나타내고 있었고 남산에서는 종과 개체수 모두 단봉형을 나타내고 있으며 종수는 6월, 개

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

체수는 7월에 가장 많이 나타났다. 2017년과 2018년 월별 비교를 통하여 한라산의 출현 양상이 M자형에서 단봉형으로, 남산에서 개체수가 최고값을 나타내는 시기가 7월에서 6월로 당겨진 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 계절적 양상은 장기간의 자료를 통하여 변화양상을 파악하는 것이 필요하다고 생각한다. 최근 기후변화에 따른 기상변화 특히 6월부터 7월까지 있는 장마의 영향이나 12월부터 2월까지 추운 겨울 기온 상승 등은 5월과 8월에 출현하는 종에 장기적으로 영향을 미칠 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 꾸준한 모니터링이 필요하다고 생각한다.

나방의 과별 다양성은 이전 연구와 동일하게 자나방과, 태극나방과, 밤나방과 순으로 나타나 분류학상 큰 변동은 나타나지 않았다. 현재까지 이루어진 한라산, 지리산, 남산 장기생태 조사지역에서 이루어진 결과를 통해 어떤 지역의 생태계를 평가하는데 나방 종 구성의 관찰을 통하여 이루어질 수 있다는 것을 알 수 있었고 이것을 바탕으로 인간의 간섭에 의해 나타나는 숲의 생태계 변화를 감지하는데 특정 나방의 종이나 그룹을 이용할 수 있을 것이다. 남산은 도시 속에 위치하고 있어 인간에 의한 오염 및 서식지 간섭이 많이 일어나고 있으며 소나무림의 경우 나방 군집 다양성이 현저하게 줄어드는 양상은 주의 깊게 살펴보아야 할 것으로 생각한다. 지리산과 한라산 고산 지대에 서식하는 구상나무림의 경우 지구온난화로 취약한 종으로 알려져 있다. 해발고도가 높아 기상 조건에 의한 나방 샘플링이 영향을 받지만 이 지역에 대한 기후변화에 따른 초식곤충 다양성 및 종 구성에 관심을 기울을 필요가 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다. 물질순환

(1) 결론

우리나라의 대표적 도시산림생태계인 남산의 소나무군락, 신갈나무군락, 아까시나무군락과 대표적 아고산지역인 지리산의 소나무군락, 신갈나무군락, 구상나무군락 그리고 섬지역이면서 한반도 남부의 대표적 아고산지역의 한라산의 구상나무군락의 탄소분포와 수지에 대해 알아보기 위해 현존량과 순생산량, 식물체의 유기탄소량, 연간 낙엽생산량과 유기탄소량, 임상 내 낙엽층 유기탄소량 그리고 토양의 유기탄소량을 조사하였다.

남산에서 2018년 소나무군락의 현존량은 142.68ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 5.53, 19.92, 88.53, 28.50ton/ha 이였다. 관목층과 초본층은 각각 0.08, 0.12ton/ha 이였다. 2018년 신갈나무군락의 현존량은 136.7ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 4.71, 9.59, 94.91, 27.3ton/ha 이였다. 관목층과 초본층은 각각 0.1, 0.09ton/ha 이였다. 2018년 아까시나무군락의 현존량은 34.93ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 4.07, 16.68, 6.93, 6.92ton/ha 이였다. 관목층과 초본층은 각각 0.24, 0.09ton/ha 이였다. 소나무군락과 신갈나무군락, 아까시나무군락의 연간 낙엽생산량은 6.48, 5.38, 4.62ton/ha 이였고, 소나무군락의 낙엽생산량이 가장 많았다. 소나무군락, 신갈나무군락, 아까시나무군락의 평균 임상낙엽량은 각각 28.38, 37.55, 23.42ton/ha 이였고, L층과 F층을 합친 임상낙엽량은 각각 56.77, 75.1, 46.84ton/ha 이였다. 소나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 38.73ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 43.71ton C/ha, 30cm 깊이에서 50.86ton C/ha, 40cm 깊이에서 37.84ton C/ha, 50cm 깊이에서 43.12ton C/ha 이었다. 신갈나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 45.90ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 43.14ton C/ha, 30cm 깊이에서 42.38ton C/ha, 40cm 깊이에서 37.46ton C/ha, 50cm 깊이에서 43.17ton C/ha 이었다. 아까시나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 25.16ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 21.95ton C/ha, 30cm 깊이에서 23.01ton C/ha 이었다. 소나무군락, 신갈나무군락, 아까시나무군락의 토양호흡량은 각각 39.34, 28.3, 10.26ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 소나무군락의 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $2.9216*10^{-4}$, $9.5617*10^{-5}$, $8.8538*10^{-5}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $1.8592*10^{-5}$, $8.3664*10^{-6}$, $7.1937*10^{-6}$ ton P/ha으로 분포되었다. 신갈나무군락의 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $3.1319*10^{-4}$, $4.9868*10^{-5}$, $8.9463*10^{-5}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $2.1829*10^{-5}$, $4.5073*10^{-6}$, $6.4037*10^{-6}$ ton P/ha으

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

로 분포되었다. 아까시나무군락의 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $5.5044*10^{-5}$, $3.6035*10^{-5}$, $7.7270*10^{-5}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $3.8364*10^{-6}$, $3.2570*10^{-6}$, $5.5309*10^{-6}$ ton P/ha으로 분포되었다.

지리산에서 2018년 구상나무군락의 현존량은 162.29ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 0.45, 28.86, 100.52, 32.46ton/ha 이였다. 2018년 신갈나무군락의 현존량은 142.99ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 0.17, 17.69, 96.525, 28.6ton/ha 이였다. 2018년 소나무군락의 현존량은 171.04ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 0.09, 12.56, 124.18, 34.21ton/ha 이였다. 구상나무군락과 신갈나무군락의 연간 낙엽생산량은 각각 1.42, 2.08ton/ha 이였고, 신갈나무군락의 낙엽생산량이 구상나무군락보다 많았다. 구상나무군락과 신갈나무군락 평균 임상낙엽량은 각각 7.41, 5.39ton/ha 이였고, L층과 F층을 합친 임상낙엽량은 각각 14.82, 10.77ton/ha 이였다. 신갈나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 41.51ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 34.16ton C/ha, 30cm 깊이에서 42.19ton C/ha, 40cm 깊이에서 43ton C/ha, 50cm 깊이에서 45.36ton C/ha 이었다. 구상나무군락의 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 28.3ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 32.45ton C/ha, 30cm 깊이에서 36.2ton C/ha, 40cm 깊이에서 27.26ton C/ha, 50cm 깊이에서 25.62ton C/ha 이였다. 구상나무군락과 신갈나무군락의 토양호흡량은 각각 15.05, 13.31ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 구상나무군락의 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $3.2166*10^{-4}$, $1.3853*10^{-4}$, $7.2000*10^{-6}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $2.1109*10^{-5}$, $1.2121*10^{-5}$, $5.8500*10^{-7}$ ton P/ha으로 분포되었다. 신갈나무군락의 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $3.1853*10^{-4}$, $9.1988*10^{-5}$, $3.2300*10^{-6}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $2.2201*10^{-5}$, $8.3143*10^{-6}$, $2.3120*10^{-7}$ ton P/ha으로 분포되었다.

한라산에서 2018년 구상나무군락의 현존량은 121.56ton/ha 이였고, 잎 + 생식기관, 가지, 줄기, 뿌리의 현존량은 각각 3.26, 19.6, 74.4, 24.31ton/ha 이였고, 연간 낙엽생산량은 3.68ton/ha 이였다. 평균 임상낙엽량은 19.05ton/ha 이였고, L층과 F층을 합친 임상낙엽량은 38.11ton/ha 이였다. 유기탄소 축적량은 10cm 깊이에서 평균 55.14ton C/ha, 20cm 깊이에서 평균 42.75ton C/ha 이었다. 토양호흡량은 24.52ton CO_2 ha^{-1} yr^{-1} 이었다. 교목층의 줄기, 가지, 잎+생식부의 질소량은 각각 $2.4552*10^{-4}$, $9.4080*10^{-5}$, $5.2160*10^{-5}$ ton N/ha으로 분포되었고, 인량은 각각 $1.5624*10^{-5}$, $8.2320*10^{-6}$, $4.2380*10^{-6}$ ton P/ha으로 분포되었다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

(2) 향후 계획

(가) 낙엽분해

낙엽분해는 식물생장에 필요한 영양염류를 공급하는 주요한 경로가 되고 있으며, 산림생태계의 임상에 축적된 낙엽의 분해는 그 지역의 기후, 지형과 토양 특성, 기질의 화학적 특성, 시간과 분해 생물과의 상호작용 등 여러 가지 복합적인 요인의 영향을 받는다. 낙엽의 분해는 기본적으로 미생물의 활동에 의해 진행되기 때문에 분해율은 기온과 낙엽의 수분함량 뿐만 아니라 낙엽의 질에 의해서도 많은 차이가 있을 수 잇다. 일반적으로 기후가 넓은 지역적인 규모에서 분해율을 조성하며, 작은 규모에서 낙엽 조성의 차이가 분해율을 결정하는 중요한 요인이다. 따라서 향후 조사에서는 낙엽분해에 대해 조사는 것이 바람직하다고 생각된다. 조사계획은 다음과 같다.

1) 낙엽주머니 제작

낙엽의 분해는 리터백(litterbag)법을 사용한다. 낙엽주머니 제작에 사용되는 낙엽은 각 식물군락에 떨어진 낙엽을 회수하여 건조기에 65°C 건조기에 48시간 이상 건조시킨 뒤, 두께가 2mm인 나일론 그물을 이용한 낙엽주머니를 25cmx20cm 크기로 만들어 낙엽 10g을 넣은 뒤 유출되지 않도록 밀봉한다. 제작된 낙엽주머니는 각 식물군락의 지형적 특성을 고려하여 경사나 강우등에 의한 유실이 없도록 편평한 공간에서 임상과 서로 겹치지 않게 설치한다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2) 분해율 계산

회수한 낙엽주머니의 내용물을 65°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량한 뒤 남아있는 잔존량을 처음에 넣은 낙엽량으로 나누어 백분율로 표시한다.

(나) 토양수분모니터링

수분은 식물 생장에 필요한 여러 가지 물질 가운데 가장 많은 양이 요구되는 것이며, 산림 내 식물의 생장에 영향을 주는 여러 가지 환경요인 중 가장 부족하기 쉬운 요인이다. 수분은 식물의 모든 생리적 현상에 영향을 주기 때문에 수분공급은 지리적 수종의 생육분포와 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 기후에 따른 토양의 수분함량을 지속적으로 모니터링하기 위해 기계를 설치하는 것이 필요하다.

(다) 종자생산량 측정

식물의 번식에 중요한 역할을 하는 종자는 그 산림의 재생성 및 회복력의 중요한 지표이므로 정확한 측정을 하는 것은 매우 중요한 일이다. 따라서 종자생산량을 측정하는 방법은 현재조사에도 리터트랩(litter trap)을 이용한 종자 생산량을 대략 측정하지만 1mx1m 또는 2mx2m 등의 소형방형구를 설치하여 그 방형구내에 종자(동물의 먹이)를 정확히 세서 그 산림지역에 단위면적 당 생산된 종자 개수를 파악하고 이러한 변화를 주요 섭식 동물개체군의 변동과의 관계를 분석한다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

라. 관악산의 까치

까치는 잡식성이며 적응력이 뛰어난 조류이므로 다른 조류에 비해 기후조건의 영향을 덜 받으며, 더구나 포식압이 적고 먹이가용성이 비교적 일정한 반도시화된 환경에 서식하므로 개체군 번식성공도의 변동폭이 적을 것이라 예상할 수 있으나 20여년 간에 걸친 연구 결과 까치 개체군의 번식성공도는 양과 질적으로 변동이 크게 나타났다.

기후 인자와 번식성공도 지표 간의 상관성을 단계별로 탐색한 결과, 까치 개체군에서 생산되는 새끼의 수와 건강상태에 산란전 기간과 포란기의 기후가 새끼를 실제로 양육하는 양육기의 기후보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 연간 변동(개체군 평균치)과 연내 변동(둥지별 자료) 두 수준 모두에서 관찰된 결과인데, 실제로 새끼에게 먹이를 물어 나르는 시기의 기후보다 그 이전에 번식을 준비하거나(산란전) 양육을 준비하는(포란) 기간의 기후가 까치의 번식성공도에 중요함을 암시한다고 볼 수 있다. 이 두 기간의 기후는 새끼의 먹이환경보다는 어미의 영양상태에 영향을 미치는 환경을 결정짓는 데에 더 중요한데, 어미의 영양상태는 여러 지표로 표현되는 번식성공도에 전반적인 영향을 미칠 것이므로 이러한 결과는 충분히 납득할 수 있는 결과이다.

그러나 산란전 기간의 기후가 까치의 번식성공도와 갖는 상관성은 예측과는 다른 양상으로 관찰되었다. 산란전 기후가 온화하면 번식성공도가 높을 것이라는 예상과는 달리, 산란전 기온이 낮은 조건이 새끼의 수, 건강상태, 한배 알 수 모두를 향상시키고 산란일도 앞당기는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 현재까지 알려진 조류의 번식생태에서 보고된 바와는 다른 양상이다. 왜 까치에서만 이렇게 특이한 양상이 나타나는 것인지에 대해서는 보다 심층적인 분석이 필요해 보인다. 다만, 매해마다 자료를 업데이트해가면서 분석을 실시해오는 동안 현재까지는 산란전 기후가 온화하면 번식성공도가 높아지는 양상이 나타나다가 올해 반대의 양상이 나타난 것으로 보아, 최근 10년 간 증가하고 있는 저온관련 극한기후현상의 효과가 자료에 축적되어 통계분석 결과로 드러나는 것이 아닌가 추측된다.

까치는 다른 조류에 비해 번식기간이 길기 때문에 번식 준비 기간에는 저온관련 극한 및 이상기후를, 양육기간에는 고온 관련 극한기후를 겪을 가능성이 높다. 올해 자료를 분석한 결과 양육기간의 기후조건은 번식성공도에 큰 영향력을 행사하지 않는 것으로 보인다. 이는 (i) 많은 경우 까치의 번식이 고온 관련 극한기후가 발생하기 전에 종료되기 때문이거나, (ii) 까치의 번식이 고온 극한기후에는 덜 민감하기 때문일 수 있다. 이 둘 중 어느 가설이

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

맞는지 파악하기 위해서는 단순히 새끼의 수와 건강상태 뿐 아니라 기생동물의 발생빈도, 이소한 새끼의 생존율과 같은 건강상태 지표의 연장선상에 있는 지표를 활용하거나, 새끼의 먹이환경을 좀더 직접적으로 드러낼 수 있는 지표(먹이 급여횟수나 혈장내 carotenoid 농도 등)을 활용해야 할 것으로 판단된다.

연간 변동과 연내 변동에서 기후인자와 번식성공도 간의 상관성이 모두 일치하는 양상으로 나타난 것은 아니었다. 표 8에서 보는 바와 같이, 두 수준에서 모두 산란전 기온은 낮고 포란기 기온 증가가 급격한 것이 새끼의 수와 건강상태 모두를 증가시키는 데에 도움이 되는 반면, 산란전 기간의 강수량과 포란기의 기온은 개체군 전반에 미치는 영향과 각 번식쌍(둥지) 수준에 미치는 영향이 달랐다. 이 결과는 동물개체군의 번식생태를 파악함에 있어서 단순히 개체군 평균치만이 아니라 각 번식쌍의 반응도 고려해야 함을 시사한다. 동물의 개체군에서 모든 번식쌍이 같은 시기에 번식을 하는 것이 아니며, 해마다 번식쌍 간의 번식시기 차이가 일정한 것도 아니다. 어떤 번식쌍은 이른 시기에, 또 어떤 번식쌍은 늦은 시기에 번식을 하여 한 해 내에서도 이들이 겪는 기후조건은 서로 다르며, 어떤 해에는 이른 시기에 번식하는 번식쌍이 많고, 또 다른 해에는 늦은 시기에 번식하는 번식쌍이 많을 수도 있다. 따라서 동물의 번식생태를 특정 해에 조사된 개체군 전체 평균치로만 이해한다면 기후변화에 따른 번식생태의 변화를 잘못 이해하게 되기 쉬울 뿐만 아니라 실제 자연에서 진행되고 있는 기후에 따른 번식생태의 변화의 여러 측면을 놓치기 쉽다. 이는 최근 기후변화에 대한 동물 개체군 연구에서도 지적되고 있는 바이다(Carey, 2009). 이에 동물개체군의 번식생태를 제대로 파악하고 그에 미치는 기후변화의 영향을 제대로 탐지하기 위해서는 두 가지 수준의 분석이 병행되어야 한다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표Ⅳ-1> 까치 번식성공도의 연간 변동과 연내 변동 분석 결과 요약

번식성공	연간 변동 분석으로 얻은 기후인자 조건 (연도별 평균 자료)	연내 변동 분석으로 얻은 기후인자 조건 (둥지별 자료)
새끼 수 많은 조건	산란90일전 일조시간 적음	
	산란30일전 기온 낮음	산란전 기온 낮음
	포란기 강수 많음	
	포란기 기온 낮음	포란기 기온 높음
	포란기 기온 증가 큼	포란기 기온 증가 큼
새끼의 건강상태 좋은 조건	산란90일전 일조시간 많음	
	산란90일전 기온 낮음	산란전 기온 낮음
		산란전 기온 증가 큼
	산란30일전 강수 많음	산란전 강수 적음
	포란기 강수 적음	
	포란기 일조시간 일정, 기온 낮음	포란기 기온 높음
	포란기 일조시간 적음, 기온증가 적음	
	양육기 강수량 일정	
	양육기 일조시간 변동큼	
산란일 빠른 조건		산란전 기온 낮음
		산란전 강수 적음
		산란전 기온 증가 적음
한배 알 수 많은 조건		산란전 기온 높음
		산란전 강수 많음

※일치하는 결과(검정색)/상반된 결과(회색)

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2. 담수생태계

가. 소양호

조사 기간 동안 소양호에서 평균 수질은 SS, TP, TN, TOC, Chl.a 각각 1.57(±0.85)mg/L, 9.87(±6.69)㎍/L, 1.58(±0.33)mg/L, 1.64(±0.36)mg/L, 6.55(±4.89)mg/m^3였고 7월 이후 조류의 성장으로 Chl.a 가 크게 증가하는 등 일시적으로 수질이 악화되는 현상이 나타났지만 대부분 항목이 양호한 수질 상태를 보였다. 또한 시기별 수심별로 큰 차이를 보이지 않았다.

소양호에서 조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤 총 종은 42종이었으며, 그 중 녹조류가 19종으로 가장 많이 출현하였다. 또한 각 시기별 분류군별 출현 종수는 7월 이후 증가를 하는 특징을 보였고, 출현종의 총 개체수로는 7월 이전까지는 대부분 규조류가 우점을 하였고 특히 7월과 8월의 식물플랑크톤 번성은 남조류인 *Anabaena spiroides*가 우점을 하는 것으로 조사되었고 우점율은 70%대로 매우 높지 않았다.

동물플랑크톤의 개체수는 10.2~332.1Ind./L, 탄소량은 0.19~82.95㎍C/L 범위를 보여 시기별 차이를 보였다. 조사 시기 동안 주요 우점종은 주요 우점종: *Synchaeta stylata, Keratella cochlearis* var. *tecta* f. *microcantha, K. cochlearis* var. *tropica, Polyarthra vulgaris*로 나타났고 윤충류의 개체수가 가장 많았다. 특히 3월~6월에는 *Polyarthra vulgaris* 로 개체수가 총개체수의 40% 수준으로 나타났고 8월 이후에는 *Keratella valga* var. *tropica*가 70.0% 이상 차지하는 것으로 나타났다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 낙동강

하천생태계는 기후변화와 같은 자연적인 변동과 인공 구조물 및 폐수와 같은 인위적인 영향을 받는 복잡한 생태계이다. 특히 여름철 집중강우기에 연강우량이 집중되는 한반도의 경우 기후변화로 인한 하천의 유량 및 수질의 변화는 하천의 1차 생산자인 식물플랑크톤의 출현 패턴에 영향을 줄 수 있기 때문에 이를 종합적으로 고려하는 것이 필요하다.

수량에 의해 야기되는 문제점으로는 하천 흐름의 정체와 건천화, 그리고 홍수를 들 수 있다. 상류 댐 저수량의 감소 또는 보 구간 수량의 감소로 인해 하류부의 유속 저하와 정체 현상이 생기게 되며 이에 의해 강이 저수지와 같은 성향을 보이게 된다. 대형 하천의 경우에는 각 생물군집에 요구되는 적정 유속과 같은 강의 특성이 사라지는 경우, 어류와 저서성대형무척추동물 등의 군집이 수체 내에서 크게 감소하는 것으로 보고되고 있다(Kingsford, 2000; Nilsson et al., 2005). 이와 같은 생태적 변화를 막기 위해서는 댐이나 보와 같은 인공구조물의 적절한 방류가 필요하다(Jeong et al., 2007).

1990년대 초반 여름 가뭄으로 인한 수온 및 체류시간의 상승으로 인해 남조류의 대번성이 수년간 관찰된 이후로 여름철 꾸준한 담수생태계의 지속적인 문제로 인식되고 있다. 특히 2014년 이후로 남조류의 우점현상이 더 이른 시기에 발생하여 오랜 시간동안 지속되고 있어 문제 종들에 대한 저감 방안이 필요한 시점이다. 2017년에는 강수량이 매우 적고 수온이 매우 높아 여름철 고수온기의 지속 기간이 길었다. 이 시기에는 고수온기에 *Microcystis aeruginosa*의 우점 이후에 *Aphanizomenon flos-aquae*가 출현하여 유해성 남조류가 9, 10월까지 우점하는 현상이 관찰되었으나, 2018년 강수량이 보통 수준에 이르러 황조류 *Synura uvella*가 높은 밀도를 보여 천이 과정에서 차이를 보였다. 이를 통해 강수량과 관련된 수질 인자들이 복합적으로 영향을 주어 생물 군집에 영향을 주는 것을 파악할 수 있다.

종합하면, 현재 상태를 20년 전과 비교하여 기후변화가 일어나 여름철 집중되던 강수량이 크게 감소하고 수온이 증가했다고 말하기에는 어려움이 있으나, 기후 변화로 인해 변화하는 환경 인자들을 파악하고 이에 대한 생물 군집의 반응을 파악하여 대응 전략을 세우는 것이 필요할 것이다. 현장 조사를 통해 얻어지는 자료는 실험 설정을 통해 얻는 자료에 비해 통계적 분석을 위한 처리나 인과 관계 파악이 매우 어렵다. 따라서 생태계 환경 문제 해결을 위해서는 장기적이고 지속적인 모니터링을 통해 풍부한 자료를 수집하여, 각각의 환경요인들에 대한 정확한 이해와 각 요인 간의 관계 파악이 필요할 것이다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3. 기수생태계

2004년부터 2018년에 걸쳐 조사한 기후변화와 토양요인, 염생식물의 유묘 출현률, 생물량 및 식물군락 변화 데이터를 분석하였다.

갈대 군락, 갯잔디 군락, 갯질경이 군락, 해홍나물 군락, 큰비쑥 군락을 중심으로 기후요인인 온도, 강수량, 풍속, 상대습도, 토양요인으로 수분함량, 유기물함량, pH, 전기전도도, 염도, 토성, 총질소, 염생식물로 생물량, 유묘출현률, 식물상, 식물군락, 현존식생도, 우점군락 면적을 분석하였다.

함평만의 평균기온은 년도에 따라 다소 높고 낮은 정도가 반복되고 있지만 2004년에 4.63℃로 최고평균기온을 기록하였으나 2018년은 2.90℃로 현저히 감소했음을 볼 수 있었다. 종자 발아율이 군락형성에 중요한 영향을 미치는데, 종자 발아에 영향을 주는 1, 2, 3월달의 평균기온은 2012년 기점으로 증가하는 것으로 보였으나 2018년 다시 감소하였으며, 2004년부터 2017년까지의 여름철(6~9월) 강수량은 평균 696mm를 나타냈는데 2018년은 627.2mm로 평년에 비해 감소했음을 볼 수 있었다. 상대습도는 서서히 증가하다 2014년도에 평균 상대습도 84.4%로 가장 높게 나타났으며 이후 증가와 감소를 반복하고 있다.

여름철의 평균풍속과 평균기온과의 상관관계는 낮은 반면 겨울철 두 변수 간의 상관관계는 높은 음의 상관관계를 보여주는데(이, 2012), 평균풍속은 지속적으로 감소하고 있다는 것은 평균기온이 증가한다는 것으로 볼 수 있다.

토양함수량은 갈대, 갯잔디, 갯질경, 해홍나물, 큰비쑥 순으로 낮아진다. Clay 함량이 높은 지역일수록 수분함량이 높으며 모래와 자갈에서 생육하는 큰비쑥은 가장 낮게 나타났다.

pH는 6.2~6.9 사이의 약산성에서 시간과 종의 변화에 따라 특별한 변화는 나타나지 않았다. 염도 역시 생육토양의 토성 구성 비율과 깊게 관련이 있으며 전기전도도 역시 염도와 비슷한 양상을 보였다. 유기물 함량도 역시 비슷한 양상을 보였다. 총 질소량은 갯잔디가 가장 높게 나타났으며 갈대 해홍나물, 큰비쑥, 갯질경이 순으로 이는 생물량과 관련이 깊은 것으로 보인다. 즉 갯잔디 군락이 가장 넓게 분포하며 갈대, 해홍나물 순으로 분포면적이 줄어드는 순으로 연관되어 있다.

토성은 비교적 뚜렷한 변화를 보였는데 시간이 지남에 따라 조류에 의해 모래와 실트가 증가하고 점토는 감소되는 것으로 파악된다. 기후온난화에 따른 파랑에너지가 증가하고 있음을 간접적으로 시사하고 있다.

유묘출현률은 다년생인 갈대와 갯잔디, 2년생인 갯질경이, 큰비쑥은 유묘

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

발아기간이 일년생 해홍나물 보다 초기발아가 늦게 일어나며 발아시기는 3월에서 2월로 빠르게 앞당겨지고 있다. 다년생 염생식물이 군락을 형성하기 이전에 먼저 군락을 형성하는 경향을 보이고 있으며, 생물량의 경우 다년생인 갈대, 갯잔디, 갯질경이는 3월달에 서서히 증가되다 6월이 지나면서 크게 증가하는 경향을 보였다.

염생식물 군락은 전체적으로 면적이 크게 증가하는 형태를 이루고 있으나 시간이 지남에 따라 점차 군락의 형태를 유지하지 못하고 파편화되는 모습을 보이고 있으며 2013년도에는 다소 군락면적이 감소한 형태를 보였고, 2016년에는 갈대군락, 해홍나물군락은 면적이 증가하였으나 갯잔디 군락은 급격히 감소하는 경향을 보였으나, 당년 조사결과는 갈대군락과 해홍나물 군락의 면적은 감소하였고 대신 갯잔디의 면적변화가 크게 증가한 것으로 보였는데 이는 외부로부터의 토사 유입으로 인해 염습지 환경에 영향을 준 것으로 판단된다.

결론적으로 염생식물 군락을 이루는데 중요한 요인은 염생식물이 요구하는 토양의 조성과 초기발아 시기인 것으로 보인다. 조류에 의해 지속적인 토성의 변화가 수반되면 발아할 수 있는 염생식물의 종류가 토성에 따라 변화하고 일년생 염생식물의 경우 초기 발아시기에 일정한 면적의 군락을 형성하지 못하면 이후에 발아되는 다년생 염생식물에 밀려 군락을 형성하지 못하는 결과를 가져온다.

따라서 연안습지 생태계 보전을 위해 지속적으로 기후환경변화에 대한 토양환경과 염생식물 요인의 변화에 대한 기초정보를 수집하고 모니터링을 해야하는 당위성이 제기된다.

향후계획은 다음과 같다.

가. 함평만 조사지역(전라남도 무안군 현경면 현화리)의 기후환경과 토양요인분석 및 염생식물의 생장패턴, 생물량 등 기후변화에 따른 연안생태계의 염생식물 군락 변화를 추적.

나. 장기 모니터링을 통한 염생식물 군락의 효율적 보전 방안 도출을 목표로 환경변화에 따른 연안생태계 구조와 기능의 변화를 관찰하고 연안 생태계의 주요 환경요인 database 구축.

다. 염생식물 군락과 환경요인과의 관계성을 규명하여 맞춤형 식생대 보전과 복원을 위한 기초자료 제공.

라. 환경 변화에 따른 염생식물 군락의 반응을 규명함으로써 생태계 변화에 대한 식물의 적응성을 장기적인 프로세스로 설명할 수 있을 것으로 기대.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

4. 도서생태계

울릉도 너도밤나무 임분의 식생구조 및 종조성을 장기적으로 관찰하여 현재 상태를 판단하고, 기후변화 등 다양한 외부교란의 반응에 대한 자료를 축적하여, 앞으로의 식생 경향을 파악하기 위하여 고정조사구 내 너도밤나무군락의 식생조사, 매목조사를 실시하였다. 너도밤나무군락의 평균암석노출도 18.75%, 평균토양노출도 23.88%, 평균낙엽층 깊이 5.63cm의 입지환경을 보였다. 층위별 평균식피율은 교목층(89.47%), 아교목층(38.88%), 관목층(42.36%), 초본층(76.84%)로 나타났으며, 층위별 평균수고는 교목층(18.71m), 아교목층(8.18m), 관목층(3.50m), 초본층(1.26m)이며, 층위별 평균흉고직경은 교목층(31.21cm), 아교목층(11.87cm), 관목층(4.93cm)이며, 층위별 우점종으로는 교목층과 아교목층에 너도밤나무가 우점하였고, 관목층은 너도밤나무, 솔송나무, 풍게나무, 섬단풍나무, 마가목, 섬피나무, 초본층은 큰두루미꽃, 일색고사리, 바위수국, 산마늘, 만병초가 우점하였다. 직경급 구조는 직경급이 커질수록 빈도가 낮아지는 구조를 보이고 있다. 너도밤나무의 흉고직경급별 개체분포는 5cm 미만과 5-10cm의 소경목에서 가장 많은 개체수를 보이며, 10cn 미만의 소경목을 제외하고 정규분포형을 이루어 당분간 너도밤나무 군락으로 유지될 것으로 사료된다.

기후변화에 따른 너도밤나무군락의 종조성 변화 및 식생동태 경향을 파악하기 위하여 향우 이전 조사 자료를 통해 10년간의 너도밤나무의 기후변화 영향을 분석 할 것이다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

5. 생물계절

가. 식생

식물 활성은 계절에 따라 dormancy - activity growth(green up - maturity) - senescencedormancy의 생활사를 가지며, 이는 생태계 프로세스의 중요한 역할을 한다. 식물계절은 육상생태계에서 기후변화에 따른 생물학적 영향에 매우 민감한 지표를 나타내준다. 봄철 식물의 개엽, 개화, 신초생장 등 생육초기의 식물계절현상은 기후에 의한 계절 현상을 잘 반영하는 자연지표 중의 하나로 잎의 생장은 기온, 습도, 일장 등의 물리적 환경요인의 영향을 받는데 이는 식물의 생육초기에 매우 중요하다.

기후변화와 식물계절 변화 관계를 파악하기 위하여 점봉산(신갈나무림과 소나무림), 서천(곰솔림과 상수리나무림), 완도(붉가시나무림과 구실잣밤나무림), 한라산(구상나무림과 사스래나무림)을 대상으로 Digital Camera(자동영상촬영장치)를 설치하여 08:00부터 18:00까지 30분 또는 60분 간격으로 RGB Image 수집하였다. 점봉산은 해발 950m로 온대북부의 온대낙엽수림이며 대상종은 신갈나무와 소나무이다. 점봉산의 Digital Camera는 NNE방향으로 Nikon D5600을 사용하여 f/4.1조리개 값으로 30분간격, 하루 약 25개의 Image 자료를 4,207점(50.4GB)를 수집하였다. 서천군은 해발 20m로 마을숲이며 대상종은 곰솔과 상수리나무이다. 서천군의 Digital Camera는 NNW 방향으로 Canon EOS 700D을 사용하여 f/12.9 조리개 값으로 30분간격, 하루 약 25개의 Image 자료를 1,069점(10.0GB)를 수집하였다. 완도의 Digital Camera는 SSW 방향으로 Canon EOS 700D을 사용하여 f/8.0조리개값으로 60분 간격, 하루 약 12개의 Image 자료를 2,459점(18.3GB)를 수집하였다. 한라산의 Digital Camera는 N 방향으로 Nikon D5600을 사용하여 f/4.6조리개 값으로 30분 간격, 하루 약 25개의 Image 자료를 2,630점(29.1GB)를 수집하였다.

향후 각 식물계절 지소별 이미지 자료를 활용하여 대상종의 생활사를 추정한다. 이이지 분석 방법은 식물계절 이미지 자료(PhenoCam image data)는 각 phenocam 연구지소별 5단계를 걸쳐 이미지 자료를 변환한다. (1) data record(contain genreal meatadata for each site), JSON format과 standard text 파일로 전환한다. (2) data record, ROI(regions of interest) list files, image mask files을 순차적으로 생성한다. (3) data record, 모든 이미지(time series)에 대하여 ROI 컬러 분석을 한다. (4) data record, 1일 단위와 3일 단위로 압축한다. (5) data record, greenness rising과 greenness falling 단계를 추정한다.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

나. 곤충

2017년과 비교하여 충청남도 서천의 밤나무군락과 전라남도 완도의 붉가시나무림 군락에서 조사된 나비목의 전체적인 개체수는 늘었지만, 종수는 줄어들은 것을 확인할 수 있었다. 2017년과 마찬가지로 2018년에도 서천 국립생태원 내부와 전라남도 완도수목원에서 이루어진 조사에서 월별 최대 종수와 개체수, 최대 생물량이 비슷한 시기에 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 2017년에 이어 2018년에도 서천 국립생태원 내부에 잔점박이혹나방이 대발생하는 시기를 확인하였기에 추후에도 지속적으로 조사를 할 필요가 있다. 서천과 완도수목원 양쪽에서 채집이 가능했던 나방들의 경우, 개체수나 출현빈도에서 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 1904년 기상관측을 시작한 이래 역대 최악의 폭염이 발생한 2018년 여름의 경우, 조사지역인 서천과 완도수목원 두 곳 모두 경관과 환경상의 변화는 일어나지 않았으며, 서천과 완도수목원 두 곳 모두 2017년과 비교하여 전체 나방의 개체수가 두 배 이상 발생한 것을 확인할 수 있었다. 이는 나방의 서식환경과 기온과 같은 요인들로 인한 것으로 생각할 수 있다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



(A)



(B)

<그림Ⅳ-1> 서천에서 우점하는 종(A: 잔점박이혹나방, B: 창나방)



(A)



(B)

<그림Ⅳ-2> 완도에서 우점하는 종(A: 털뿔가지나방, B: 푸른나방)

<표Ⅳ-2> 서천과 완도에서 공통으로 확인할 수 있었던 종

갈고리나방과	
넓은뾰족날개나방	*Tethea ampliata*
밤나방과	
띠꼬마밤나방	*Prodeltote pygarga*
은무늬밤나방	*Macdunnoughia purissima*
줄회색밤나방	*Zanclognatha griselda*
앞노랑점밤나방	*Xestia stupenda*
솔나방과	
사과나무나방	*Odenestis pruni*
자나방과	
네눈가지나방	*Hypomecis punctinalis*
두줄가지나방	*Rikiosatoa grisea*
먹줄초록물결자나방	*Chloroclystis v-ata*
먹그림가지나방	*Menophra senilis*
물결큰애기자나방	*Scopula floslactata*
세줄날개가지나방	*Hypomecis roboraria*
솔밭가지나방	*Xerodes rufescentaria*
이른봄애기물결자나방	*Eupithecia clavifera*
점짤룩가지나방	*Xerodes albonotaria*
털뿔가지나방	*Alcis angulifera*
재주나방과	
곧은줄재주나방	*Peridea gigantea*
태극나방과	
갈색줄수염나방	*Herminia tarsicrinalis*
검은띠수염나방	*Hadennia incongruens*
줄점불나방	*Spilarctia seriatopunctata*
노랑배불나방	*Katha deplessa*
세줄무늬수염나방	*Herminia arenosa*
줄회색수염나방	*Zanclognatha griselda*
혹나방과	
은무늬모진애나방	*Gabala argentata*
잔점박이혹나방	*Manoba microphasma*

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

다. 조류

본 연구는 기후변화에 따른 생물계절변화 현상 중 조류의 번식시기 변화와 철새도래시기 변화를 확인하기 위한 기초자료를 수집하였다. 국립생태원, 희리산 자연휴양림, 장태산의 3개 지역에 설치한 인공새집 연구결과 2017년 24.7%(64/259), 2018년 18.6%(47/253)의 이용률이 확인되었다. 국립생태원에서 실시한 인공새집 번식시기 정밀조사결과 Julian Date를 기준으로 첫 산란일은 두 종 모두에서 2018년에 첫 산란일은 빨라진 것이 확인되었다(박새-17년 107일, 18년 96일/곤줄박이-17년 104일, 18년 99일). 첫 부화일은 두 종 모두에서 2018년에 약간 늦어진 것이 확인되었다(박새-17년 119일, 18년 122일/곤줄박이-17년 116일, 18년 117일). 평균 포란기간은 유사한 것으로 확인되었다(박새-17년 15.4일, 18년 15.9일/곤줄박이-17년 18.5일, 18년 18일). 이소시작일은 두 종 모두 동일하였으며 2018년에 3일 늦어진 것이 확인되었다(박새-17년 135일, 18년 138일/곤줄박이-17년 135일, 18년 138일). 평균 육추기간은 박새는 두 해 모두 유사한 반면 곤줄박이는 다소 길어졌다(박새-17년 17일, 18년 16.8일/곤줄박이-17년 17.7일, 18년 20일). 번식성공률은 두 종 모두에서 2018년의 번식성공률이 감소한 것으로 확인되었으나(박새-17년 66.7%, 18년 64.7%/곤줄박이-17년 75%일, 18년 66.7%) 2018년도에 비해 샘플수가 적어(17년 N=10, 18년 N=20) 단순수치를 이용한 비교는 어려울 것으로 판단된다. 향후 번식조사결과를 축적하여 기온, 습도 등 기상조건의 변화와 번식시기변화와의 상관관계를 분석 할 예정이다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

기후변화에 따른 철새도래시기 변화 및 종구성을 확인하기 위해 1월부터 10월까지의 위도별 월간 조류상 조사를 실시한 결과 고위도(남산/9목 26과 45종 1,358개체), 중위도(국립생태원/13목 31과 79종 2,889개체), 저위도(완도수목원/14목 35과 90종 2,626개체)의 조류서식을 확인하였다. 서식환경이 가장 다양한 완도수목원지역에서 가장 많은 종수가 확인된 반면, 서식지가 고립되어 있고, 인위적 간섭이 많은 남산지역에서 가장 적은 종수가 확인되었다. 또한 위도에 따라 저위도 지역의 여름철새가 다양한 경향도 있기 때문에 단순한 비교는 어려울 것으로 판단된다. 소리녹음기(Songmeter SM4 Acoustic Recorder; Wild life Acoustic, Inc)를 이용한 위도별 월간 여름철새 도래현황 분석결과 남산 14종, 국립생태원 28종, 완도수목원 36종으로 확인되었다. 소리녹음기(Songmeter SM4 Acoustic Recorder; Wild life Acoustic, Inc)를 이용하여 현지조사에서 확인이 어려운 첫도래일과 서식기간을 확인하기 위한 보조자료로 활용하였으며, 3지역(저위도, 중위도, 고위도)에서 모두 서식이 확인된 여름철새는 해오라기, 검은등뻐꾸기, 뻐꾸기, 소쩍새, 솔부

엉이, 파랑새, 노랑할미새, 알락할미새, 흰배지빠귀, 산솔새, 큰유리새, 찌르레기, 꾀꼬리 등 13종으로 확인되었다. 모든지역에서 4~5월에 대부분의 종이 도래하는 것으로 확인되었으며, 뻐꾸기과 2종(검은등뻐꾸기, 뻐꾸기)은 저위도 지역에서 다른 지역에 비해 더 길게 출현한 것이 확인되었다. 위도에 따른 여름철새 도래시기의 및 서식기간의 차이는 확인되지 않았다. 소리녹음장비의 데이터카드 오류, 소리녹음기기의 오작동, 베터리방전 등 여러가지 변수를 방지하기 위해 한지역에 2개씩 소리녹음장치를 설치였으나, 장비가 커버 할 수 있는 지역이 제한되어있어 첫 도래일 및 서식기간에 대한 정확한 시기를 특정 할 수는 없을 것으로 판단된다. 소리녹음장비로만 모든 지역을 확인하기 위해서는 대량의 기기 및 소리녹음 분석을 위한 시간이 필요하기 때문에 현지조사를 기본으로 하고 소리녹음장비는 보조자료로 이용하는 것이 비용과 시간을 고려하였을 때 합리적인 것으로 판단된다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

V. 참고문헌

강상준, 곽애경. 1998. 상대생장법에 의한 남한강 유역 삼림의 생산량 및 생산성 비교. 임산에너지 17(1): 8-22.

공우석. 1999. 한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위. 대한지리학회지 34(4): 385-393.

공우석. 2002. 한반도 고산식물의 구성과 분포. 대한지리학회지 37(4): 357-370.

공우석. 2005. 지구온난화에 취약한 지표식물 선정. 한국기상학회지 41(2-1): 263-273.

구경아, 박원규, 공우석. 2001. 한라산 구상나무의 연륜연대학적 연구-기후변화에 따른 생장변동 분석. 한국생태학회지 24(5): 281-288.

국립공원관리공단 국립공원연구원. 2011. 지리산국립공원 자연자원조사. 국립공원관리공단 국립공원연구원. pp. 103-176.

국립기상과학원. 2018. 한반도 100년의 기후변화. 국립기상과학원, 서귀포. 31pp.

국립생물자원관. http://species.nibr.go.kr/

국립생태원. 2016. 기후변화 리스크 평가를 위한 기초생태연구. 국립생태원.

국립생태원. 2017a. 생태계 기후변화 조사 연구. 국립생태원.

국립생태원. 2017b. 전국 단위 생태계서비스 평가 체계 수립을 위한 연구. 국립생태원.

국립환경과학원. 2013. 국가장기생태연구사업. 국립환경과학원.

기상청. 2011. 기후변화 시나리오 이해 및 활용사례집. 기상청. 서울 pp. 44.

김갑태, 김준선, 추갑철. 1991. 반야봉지역 삼림군집구조에 관한 연구: 구상나무림. 한국환경생태학회 5(1): 25-31.

김갑태. 1998. 지리산 아고산대 수목의 생육감퇴와 입지인자와 관련성. 한국과학연구 4(1): 41-47.

김정우. 1997. 기후변화 예측 기술. 환경부 및 과학기술처.

김철수, 장윤석, 오장근. 1987. 우이도의 식물상과 식생에 관한 연구. 연안생물연구 4: 1-56.

김태욱, 이경재, 김갑덕, 김준선. 1986. 아까시나무조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회 1(1): 107-116.

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

명현호. 2004. 한국 서·남해안 염습지에 분포하는 칠면초 군락의 생육지 특성과 형태 및 유전적 변이에 관한 연구. 목포대학교 대학원 석사학위 논문.

박수현. 1995. 한국 귀화식물 원색도감. 일조각.

박준희, 최은비, 김요정, 서정욱, 박홍철. 2018. 덕유산 국립공원 구상나무와 주목의 흉고직경별 형성층 활동 개시와 적산온도와의 관계. 한국목재공학회 학술발표 논문집 2018(2): 12.

박준희, 최은비, 서정욱, 박홍철. 2018. 덕유산 향적봉 구상나무, 잣나무, 가문비나무, 주목의 계절별 형성층 활동과 적산 온도와의 관계. 한국목재공학회 학술발표논문집 2018(1): 53.

송국만. 2011. 한라산 구상나무림의 식생 구조와 동태. 박사학위논문. 제주대학교.

송호경, 장규관. 1997. 소나무림과 신갈나무림의 흉고직경급 분포와 천이에 관한 연구. 한국산림과학회 86(2): 223-232.

신창환. 2013. 월악산 신갈나무림의 탄소수지 및 영양염류 순환. 공주대학교 박사학위논문.

심현보, 조원범, 최병희. 2009. 한반도 해안염습지와 사구 염생식물 분포. 한국식물분류학회지 39(4): 264-276.

안정섭, 최세웅, 이상훈, 정세호. 2016. 한라산 장기모니터링지역의 나방 다양성과 분포. 국립생태원.

양금철, 심재국. 2007. 남한의 기후와 지형적 특성에 근거한 주요 식물군락의 분포. 한국환경생물학회 25(2): 168-177.

원호연. 2015. 월악산 신갈나무림, 굴참나무림, 소나무림의 유기탄소 분포 및 순환을 통한 생태계서비스 가치평가. 공주대학교 박사학위논문.

이규진. 2013. 상수리나무림의 탄소수지 및 영양염류 순환. 공주대학교 박사학위논문.

이승호. 2012. 한국에서 풍속 변화에 관한 연구. 대한지리학회지 47(2): 347-358

이우성, 류민우. 2009. 남북기상협력의 경제적 파급효과에 관한 연구. 통일문제연구 21(2): 117-155.

이재호, 이준석, 전영문, 채남이, 이재석. 2013. 생태계 탄소순환 이해를 위한 국내 토양호흡 연구의 고찰. KJEE. 46:310-318.

이창복. 1990. 대한식물도감. 향문사 서울

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

장래하, 조규태, 유영한. 2014. 한라산 아고산대 구상나무림에서 연간 물질생산과 유기탄소량 변화. Korean J Environ Ecol. 28(6):627-623.

정태현. 1965. 한국식물도감(목.초본류). 삼화출판사. 서울.

정헌모, 김해란, 신동훈, 이경미. 이승혁, 한영섭, 장래하, 이상경, 김태규, 유영한. 2013. 남산의 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 낙엽생산과 토양유기탄소 동태. Korean J Environ Biol. 31(2):87-95.

한국생태학회. 2011. 생태계와 기후변화. 서울특별시. pp 40-45.

환경부. 1996. 환경백서. 환경부.

根來健太郎. 1982. 琵琶湖のプランクトン. 滋賀縣立衛生環境センター.

森下雅子. 1996. 川と湖の博物館：2 動物プランクトン. 山海堂.

Abugre S, Oti-Boaten C, Yeboah MF. 2011. Litterfall and decomposition trend of *Jatropha curcas* L. leaves mulches under two environmental conditions. Agric Biol J N Am. 2: 462-470.

Akiyama M. 1977. Illustrations of the Japanese fresh-water algae. Uchidarokakuho Publishing Company, Tokyo.

American Public Health Association & American Water Works Association. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association Inc., Washington, DC.

Ana LP, Ulisses MA, Sonia CM, Filipe M, Miguel AP. 2009. Changes in zooplankton diversity and distribution pattern under varying precipitation regimes in a southern temperate estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 82: 341-347.

Andrew NR, Hill SJ, Binns M, Bahar MH, Ridley EV, Jung MP, Fyfe C, Yates M, Khusro M. 2013. Assessing insect responses to climate change: What are we testing for? Where should we be heading? PeerJ 1:e11 DOI 10.7717/peerj.11.

Barbour MG, Burk JH, Pitts WD. 1987. Terrestrial plant ecology. The Benjamin Cummings, Menlo Park, California. 634p.

Barnes BV, Zak DR, Denton SR, Spurr SH. 1998. Forest ecology. 4th ed. John Wiliy & Sons Onc., New York, NY.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Beaumont LJ, Pitman A, Perkins S, Zimmermann NE, Yoccoz NG, Thuiller W. 2011. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. Proceedings of the National Academy of Sciences 108(6): 2306-2311.

Berg B, G Agren. 1984. Decomposition of needle litter and its organic chemical components of needle litter during decomposition. In long-term decomposition in a scots pine forest I. Can. J. Bot. 60:1310-1319.

Bertin RI. 2008. The control of floral evocation and morphogenesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 39(1): 175-219.

Black CA. 1965. Methods of soil analysis, part 2. American society of agronomy, Inc., Madison, Wisconsin. pp 1562-1565.

Bowden J. 1982. An analysis of factors affecting catches of insects in light-traps. Bulletin of entomological Research. 72(04): 535-556

Brady NC, Weil RR. 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th Edition. Agroforest. Syst. 54(3), 249.

Braun Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde. Springer-Verlag, Wien and New York.

Braun-Blaunket, J. 1964. Pflanzensoziologie Grundzuge der vegetation der vegetation 3. Auf. Springer-Verlag. Wien. New York. pp. 865.

Bray JR, Gorham E. 1964. Litter production in forests of the world. Adv. Ecol. Res. 2:101-157.

Brown JL, Li SH, Bhagabati N. 1999. Long-term trend toward earlier breeding in an American bird: a response to global warming? Proc Natl Acad Sci U S A. 96(10): 5565-5569.

Brown Jr KS, Hutchings RW. 1997. Disturbance, fragmentation and the dynamics of diversity in Amazonian forest butterflies. In Biological dynamics of tropical forest fragments (Laurance WF, Bierregaard RO, eds.), pp. 91-110. Chicago Univ. Press.

Buttery BR, Lambert JM. 1965. Competition between *Glyceria maxima* and *Phragmites* communiss in the region of Surlingham Broad, I. The competition mechanism. J. Ecol, 53: 163-181.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Carey C. 2009. The impacts of climate change on the annual cycles of birds. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 364(1534): 3321-3330.

Chapman JV. 1960. Salt marshes and salt desert of the world. Leonard Hill books. Ltd. London. pp. 392.

Chapman JV. 1974. Salt Marshes and Salt Deserts of the World. Intersciences, New York, 3-22pp.

Choi SW, An JS. 2013. What we know and do not know about moth diversity from seven-year-monitoring in Mt. Jirisan National Park, South Korea. Journ. Asia-Pacific Entomol. 16: 401-409.

Chung YG, Carl W, Ramm CE. 1990. Relationship between soil-site properties and bamboo (*Phullostachys bambusoides*) growth. Kor J For oc. 79: 16-20.

Clark JS, Lewis M, Horvath L. 2001. Invasion by extremes: population spread with variation in dispersal and reproduction. American Naturalist 157: 537-554.

Cole DW, Rapp M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. In Dynamic Properties of Forest (Reiche DE, eds). International Biological Programme 23. Cambridge University Press, Cambridge. pp 341-409.

Crick HQP, Dudley C, Glue DE, Thomson DL. 1997. UK birds are laying eggs earlier. Nature. 388: 526 – 526.

Crick HQP, Sparks TH. 1999. Climate change related to egg-laying trends. Nature 399: 423.

Crozier L. 2004. Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship, Ecology 85: 231-241.

Curtis. McIntosh RP. 1951. An upland forest contiunmin the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.

Dirzo R, Young HS, Galetti M, Ceballos G, Issac NJB, Collen B. 2014. Defaunation in the anthropocene. Science 345: 401-406.

Disraeli DJ, Fonda RW. 1979. Gradient analysis of the vegetation in a brackish marsh in Bellingham Bay.

Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Solomon AM, Trxler MC, Wisniiewskim J.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science. 263: 185-190.

Doi H, Gordo O, Katano I. 2008. Heterogeneous intra-annual climatic changes drive different phenological responses at two trophic levels. Climate Research. 36: 181–190.

Dunn PO, Winkler DW. 1999. Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. Proc Biol Sci. 266(1437): 2487-2490.

Ellenberg H. 1956. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. Eugen Ulmer, Stuttgart. 136pp.

Grace JG, Wetzel RG. 1981. Habitat partitioning and competitive displacement in Cattails(Typha) experimental field studies. Amer. Nat. 118: 463-474.

Han YS, Lee EP, Park JH, Lee SY, Lee SI, You YH. 2018. Organic carbon distribution and cycling in the *Quercus glauca* forest at Gotjawal wetland, Jeju Island, Korea. Journal of Ecology and Field Biology. 42:8

Hinde HP. 1954. The vertical distribution of salt marsh phanerogams in relation to tide levels. Ecol. Monogr.24:209-225.

Hodgson JA, Thomas CD, Oliver TH, Anderson BJ, Brereton TM, Crone EE. 2011. Predicting insect phenology across space and time. Global Change Biology. 17(3): 1289-1300

Houghton RA, Hobbie JE, Melillo JM, Moore B, Peterson BJ, Shaver GR, Woodwell GM. 1983. Changes in the carbon content of terrstrial biotal biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO_2 to the atmosphere. Ecol. Monoger. 53: 235-262.

Hu H and Wang GG. 2008. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina Piedmont between 1936 and 2005. Forest Ecology and Management. 255(5-6): 1400-1408.

IPCC. 2007. Climate Change, 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

IPCC. 2007. Climate Change, 2007: The Physical Science Basis, Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jang RH, Jeong HM, Lee EP, Cho KT, You YH, 2017. Budget and distribution of organic carbon in *Taxus cuspidata* forest in subalpine zone of Mt. Halla. Journal of Ecology and Field Biology. 41:4.

Jenny H. 1980. The soil resource, origin and behavior. Ecological Studies Vol 37. Springer-Verlag, New York. 377p.

Jeong HM, Jang RH, Kim HR, You YH. 2017. Soil CO_2 efflux in a warm-temperature and sub-alpine forest in Jeju, South Korea. Journal of Ecology and Field Biology. 41:23.

Jeong KS, Kim DK, Joo GJ. 2007. Delayed influence of dam storage and discharge on the determination of seasonal proliferations of *Microcystis aeruginosa* and *Stephanodiscus hantzschii* in a regulated river system of the lower Nakdong River (South Korea). Water Research 41: 1269-1279.

Johnson FL, Risser PG. 1974. Biomass annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak*blackjack oak forest. Ecology 55: 1246-1258.

Kingsford RT. 2000. Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. Austral Ecology 25: 109-127.

Kitching RL, Orr AG, Thalib L, Mitchell H, Hopkins MS, Graham AW. 2000. Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest. J. Appl. Ecol. 37: 284-297.

Lag V. 1990. Forest increment and distribution of plant species in relation to forest soil conditions. In Proceedings of the first International Symposium

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

on Forest Soils. pp 22-27.

Lee SH, Jang RH, Cho KT, You YH. 2015. Budget and distribution of organic carbon in *Quercus serrata* Thunb. ex Murray forest in Mt. Worak. Journal of Ecology and Field Biology. 38(4): 425-436.

Leech DI, Crick HQP. 2007. Influence of climate change on the abundance, distribution and phenology of woodland bird species in temperate regions. Ibis, 149(s2), 128-145.

Macdonald KB. 1977. Coastal salt marsh. In Terrestrial vgetation of California. M.G. Barbour and J. Major(eds.). Wiley-Interscinece, New York, p. 263-294.

Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systems Bulletin 3: 36-71, University of Louisville. Systems Science Institute, Louisville, Kentucky.

McNaughton SJ. 1967. Relationships among functional properties of Californian grassland.

Meentemeyer V, Box EO, Thompson RT. 1982. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. Bioscience. 32:125-128.

Menzel A, Fabian P. 1999. Growing season extended in Europe. Nature. 397:659 - 659.

Misra RD. 1938. Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the English lakes. J. Ecol. 38:441-451.

Mizuno T, Takahashi N. 1991. An Illustrated guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai University Press.

Mizuno T. 1975. Illustrations of the freshwater plankton of Japan (in japanese). Hoikusha Publishing Co., LTD.

Mizuno T. 1991. An Illustrated Guide to Freshwater Zooplankton in Japan. TOUKAI University Publications.

MOE/KIER. 2011. Korea Climate Change Assessment Report 2010. Korea Institute of Environmental Research.

Nilsson C, Reidy CA, Dynesius M, Revenga C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. Science 308: 405-408.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Ohwi J, 1983. Flora of japan.

Pamesan C, Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421:37-42.

Pamesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 637-669.

Park IH, Kim DY, Son YH, Yi MJ, Jin HO, Choi YH. 2005. Biomass and net production of a natural *Quercus mongolica* forest in Namsan, Seoul. Korean Journal of Environment and Ecology.

Phleger FB, BradShaw JS. 1966. Sedimentary environments in a marine marsh. Science, 154: 1551-1553.

Pielou EC. 1975. "Ecology diversity." J. Wiley and Sons, New York.

Pigott CD. 1969. Influence of Mineral Nutrition on the Zonation of Flowering Plants in Coastal Salt-Marshes. In Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants, Rorison I. H.(ed.). Blackwell, Oxford.

Poliakoff-Mayber A, Meiri A. 1969. The response of plants to changing salinity. Final Tech. Rept, U.S. Dept. Agr. Proj. A10-SWC-7.

Purer EA. 1942. Plant ecology of the coastal salt marshlands of San Diego County, California. Ecol. Monogr. 12:81-111.

Ranwell DS. 1972. Ecology of salt marsh sand dune. Chapman and Hall, London, pp.258.

Rapp M, Lossaint P. 1981. Some aspects of mineral cycling in the garrigue of Southern France. In: Di Castri F, Goodall DW and Specht RL (eds), Ecosystems of World. Mediterranean Type Shrublands (vol. 11), Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam. pp 289-302.

Rasma D, Arturs Š, Davis G, Jana P. 2011. Effects of climate change on zooplankton community structure of the middle stretch of the Daugava river over the last 50 years. ecohydrology and hydrobiology, 11: No.(1-2), 79-96.

Rathcke B, Lacey EP. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. Annual Review of Ecology and Systematics 179-214.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Roy DB, Sparks TH. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. Global Change Biology. 6(4): 407–416.

Shannon CE, Wiener W. 1963. The mathematical theory of communication. llinoise Univ. Press. Urbana. pp.177

Shin CH, Won HY, Mun HT. 2011. Litter production and nutrient input via litterfall in *Quercus mongolica* forest at Mt. Worak National Park. Journal of Ecology and Field Biology. 34(1):107-113.

Smith RL, Smith TM, Hickman GC, Hickman SM. 2006. Elements of ecology. Benjamin Cummings.

Smitha P, Shivashankar, Venkataramana GV. 2013. Zooplankton Diversity of Chikkadevarayana Canal in Relation to Physico-Chemical Characteristics. Journal of Environmental Biology, 34: 819-24.

Sparks TH, Carey PD. 1995. The responses of species to climate over 2 centuries – an analysis of the Marsham phenological record, 1736–1947. Journal of Ecology. 83(2): 321–329.

Stefanescu C, Penuelas J, Filella I. 2003 Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. Global Change Biology, 9(10): 1494–1506.

Stevenson RE. 1954. The marshland at Newport Bay(California). Ph.D.DIDDERT., Oregon State Univ. Cornallis, OR.

Summerville KS, Crist TO. 2002. The effects of timber harvest on forest Lepidoptera: community, guild, and species responses. Ecol. Apps. 12: 820-835.

Summerville KS, Crist TO. 2003. Determinants of lepidopteran community composition and species diversity in eastern deciduous forests: roles of season, ecoregion and patch size. Oikos 100: 134-148.

Tamis WLM, Vant's ZM, Meijden RV. 2001. Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20th century explained by climatic and other environmental characteristics. In: Long-term effects of climate change on biodiversity and ecosystem processes 23-51.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Truxa C, Fiedler K. 2012. Attraction to light-from how far do moths (Lepidoptera) return to weak artificial sources of light?. European Journal of Entomology. 109(1): 77-84

Vale RD, Benoit S, Pierre C, Michel L. 2005. Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environment: The Gironde estuary (France). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 64:171-184.

Van AM, Tienderen PH, Holleman LJM, Visser ME. 2007. Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example. Global Change Biology. 13(8): 1596 – 1604.

Visser ME. 2008. Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences. 275(1635): 649 – 659.

Vitousek PM. 1991. Can planted forests counteract increasing atmosphere carbon dioxide. Journal of Environmental Quality. 20: 348-354.

Vogl RJ. 1966. Salt marsh vegetation of upper New Port Bay, California. Ecology 47:80-87.

Walther GR, Post E, Convey P. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature. 416: 389 – 395.

Wang J, Zhang C, Xia F, Zhao X, Wu L, Gadow K. 2011. Biomass structure and allomertry of *Abies nephrolepis* (Maxim) in Northeast China. Silva Fennica 45(2): 211-226.

Waring RH, Schlesinger WH. 1985. Forest Ecosystem; Concept and Management. Academic Press, New York. 340p.

Wiegert RG, Monk CD. 1972. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.). Ecology 53:949-953.

Williams JW, Jackson ST, Kutzbach JE. 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. Proceeding of the National Academy of Sciences 104(14): 5738-5742.

Wilson EO. 1992. The diversity of life. Norton, New York.

Winjum JK, Dixon RK, Schroeder PE. 1992. Estimating the Global potential of

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

forest and agro forest management pracices to sequester carbon. Water, Air and Soil Pollut. 64: 213-227.

Woodward FI, Beerling DJ. 1997. The Dynamics of Vegetation Change: Health Warnings for Equilibrium "Dodo" Models. Global Ecology and Biogeography Letters 6:413-418.

Yamagishi T, Akiyama M. 1984. Photomicrographs of the fresh-water algae. Uchida Rokakuho, Tokyo.

Yela JL, Holyoak M. 1997. Effects of moonlight and meteorological factors on light and bait trap catches of noctuid moths. Environ. Entomol. 26: 1283-1290.

Yim YJ, Kira T. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula Ⅰ, Distribution of some indices of Thermal climate. Japanese Journal of Ecology. 25(2): 32-43.

Yim YJ. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula Ⅳ, Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. Japanese Journal of Ecology. 27: 269-278.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

VII. 부록

1. 식생

▪ 표본



No.	1
Location	Mt. Namsan
Community	*Quercus mongolica*
Latitude/Longitude	N37 32 57.5 E126 59 11.4
Date	2018.05.04. - 05.07.
Scientific name	*Hylomecon vernalis*
Common name	피나물



No.	2
Location	Mt. Namsan
Community	*Quercus mongolica*
Latitude/Longitude	N37 32 57.5 E126 59 11.4
Date	2018.05.04. - 05.07.
Scientific name	*Symplocos chinensis* f. *pilosa*
Common name	노린재나무

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



No.	3
Location	Mt. Namsan
Community	*Quercus mongolica*
Latitude/Longitude	N37 32 57.5 E126 59 11.4
Date	2018.05.04. - 05.07.
Scientific name	*Viburnum erosum*
Common name	덜꿩나무



No.	4
Location	Mt. Namsan
Community	*Quercus mongolica*
Latitude/Longitude	N37 32 57.5 E126 59 11.4
Date	2018.05.04. - 05.07.
Scientific name	*Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum*
Common name	둥굴레

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY



No.	5
Location	Mt. Namsan
Community	*Quercus mongolica*
Latitude/Longitude	N37 32 57.5 E126 59 11.4
Date	2018.05.04. - 05.07.
Scientific name	*Dicentra spectabilis*
Common name	금낭화

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

2. 곤충

<표 부록-1> 2018년 남산, 지리산, 한라산에서 채집한 대형나방 데이터베이스 자료

학명	국명	남산			지리산			한라산		
		소나무림	신갈나무림	아카시나무림	구상나무림	소나무림	신갈나무림	구상나무림	소나무림	신갈나무림
Family Bombycidae	누에나방과			1						
Bombyx mandarina	멧누에나방			1						
Family Brahmaeidae	왕물결나방과				1					
Brahmaea tancrei	산왕물결나방				1					
Family Drepanidae	갈고리나방과	9	13	15	4	10	3	1	5	1
Agnidra scabiosa	참나무갈고리나방		7	6						
Auzata nigrata	얼룩갈고리나방	1			1	2				
Auzata superba	작은민갈고리나방						1			
Deroca inconclusa	남방흰갈고리나방					1			1	
Ditrigona virgo	쌍점줄갈고리나방					1				
Episestis nikkoensis	작은가을뾰족날개나방		4	2						
Habrosyne aurorina	애기담홍뾰족날개나방	8		7	1				1	
Macrocilix mysticata	민갈고리나방								1	
Nordstromia japonica	황줄점갈고리나방		1		2		2			
Oreta insignis	큰갈고리나방								1	
Oreta loochooana	멧재이갈고리나방					2			1	
Oreta pulchripes	노랑갈고리나방					3				
Parapsestis argenteopicta	점박이뾰족날개나방							1		1
Sabra harpagula	물결갈고리나방					1				
Tethea ampliata	넓은뾰족날개나방		1							
Family Endomidae	반달누에나방과				1		2			
Mirina christophi	반달누에나방				1		2			
Family Erebidae	태극나방과	21	38	66	82	57	43	16	66	9
Adrapsa simplex	별박이수염나방								1	
Aemene altaica	좀점박이불나방								1	
Amphitrogia amphidecta	톱날개짤름나방								1	
Anatatha misae	수레바퀴짤름나방								1	
Araeopteron amoenum	멧꼬마짤름나방		1	1						
Artaxa subflava	독나방					1				
Autoba tristalis	사랑꼬마짤름나방								1	

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Aventiola pusilla	꽃무늬꼬마짤름나방	1							1	
Aventiola trigonifera	두점깨다시짤름나방					1				
Barsine striata	홍줄불나방					1			3	
Bastilla maturata	보라끝수중다리나방			1						
Blasticorhinus hoenei	태백무늬나방	1		2						
Bryophilina mollicula	연푸른꼬마밤나방		1							
Calliteara lunulata	붉은수염독나방									1
Catocala dissimilis	끝흰무늬박이뒷날개나방				2					1
Catocaladuplicata	꼬마노랑뒷날개나방		1							
Catocala jonasii	뾰족노랑뒷날개나방					1				
Chrysorithrum amata	사랑무늬나방	1	3							
Cidariplura gladiata	흰점멧수염나방			1						
Collita griseola	노랑테불나방				3					3
Corgatha argillacea	흰점애기짤름나방					2				
Corgatha costimacula	분홍애기짤름나방			1						
Corgatha pygmaea	검은줄애기짤름나방					3				
Cyana hamata	붉은줄불나방				1					
Diomea jankowskii	세모무늬잎짤름나방								3	
Dolgoma cribrata	앞날개무늬불나방				8		2		1	
Edessena gentiusalis	큰흰점수염나방								2	
Edessena hamada	쌍복판눈수염나방		1	2					1	
Ercheia niveostrigata	청백무늬나방			1						
Euproctis similis	흰독나방					1				
Ghoria collitoides	앞노랑검은불나방				4	1	1			
Ghoria gigantea	앞선두리불나방							5		
Gonepatica opalina	붉은띠수염나방			1		3				
Gynaephila maculifera	무늬짤름나방	4	15	21						
Hepatica anceps	황토색수염나방				1		4			
Herminia arenosa	세줄무늬수염나방			2						
Herminia grisealis	꼬마수염나방								2	
Herminia tarsicrinalis	갈색줄수염나방						1			
Hydrillodes morosa	넓은띠담흑수염나방	1	5		27	1	26	4	12	1
Hypena melanica	먹구름수염나방				2					
Hypena squalida	흰줄수염나방						1	2		
Hypena trigonalis	대만수염나방								2	
Hypena tristalis	검은무늬수염나방		1							
Hypenodes humidalis	꼬마짤름나방								1	1
Hypopyra vespertilio	큰갈색띠밤나방								1	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Hypostrotia cinerea	비로도잎짤름나방			1						
Ilema eurydice	포도독나방									1
Katha deplessa	노랑배불나방					1				
Kidokuga piperita	무늬독나방		1	1						
Leiostola mollis	쌍줄짤름나방	1	1	8	1	6				
Lemyra boghaika	등붉은뒷흰불나방				15		4			
Lophoruza pulcherrima	꽃꼬마짤름나방			3						
Lymantria dispar	매미나방	5	1	1						
Lymantria mathura	붉은매미나방					1	1		3	
Lymantria monacha	얼룩매미나방				4			1		
Manulea japonica	각시불나방		1			3				
Mecodina nubiferalis	남방구리밤나방								1	
Mesoplectra griselda	줄회색수염나방			2						
Micronoctua occi	미소짤름나방			4						
Miltochrista miniata	주홍테불나방				1	1				
Mocis annetta	구름무늬나방								2	
Numenes disparilis	흰띠독나방					1				
Oruza glaucotorma	흰무늬꼬마짤름나방								1	
Oruza kunsuki	백운꼬마짤름나방								1	
Oruza submirella	어리노랑줄꼬마짤름나방					1				
Pangrapta lunulata	별박이짤름나방					1				
Pangrapta perturbans	산그물무늬짤름나방			1					1	
Pangrapta textilis	북방끝짤름나방	2		1		2				
Panilla petrina	잔줄짤름나방			1						
Paracolax contigua	노랑무늬수염나방		1			1			1	
Paracolax fascialis	왕수염나방				5		2		2	
Paracolaxfentoni	잔물결수염나방			2						
Paracolax pryeri	흰점보라수염나방								3	
Paracolax sugii	외점박이수염나방								1	
Paracolax trilinealis	줄수염나방	1								
Paracolax tristalis	둥근줄수염나방			2						
Paragona inchoata	담흑꼬마짤름나방					5			5	
Rivula inconspicua	두점짤름나방	1	2	1						
Rivula sericealis	점노랑짤름나방		1	1						
Schrankia separatalis	띠꼬마짤름나방	1						3		
Simplicia niphona	곧은띠수염나방								1	
Sinarella rotundipennis	검은점수염나방								1	
Somena pulverea	꼬마독나방		1			2			1	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Sophta ruficeps	팥흑점꼬마짤름나방					1				
Sophta subrosea	점분홍꼬마짤름나방				2	12				
Spilarctia seriatopunctata	줄점불나방							1		1
Spilarctia subcarnea	배붉은흰불나방			1						
Stenbergmania albomaculalis	흰점노랑잎수염나방		1			3				
Sypnoides fumosa	애흰줄썩은잎나방			1						
Tamba corealis	참짤름나방								4	
Zanclognatha fumosa	지옥수염나방				4		1			
Zanclognatha helva	노랑수염나방				2	1				
Zanclognatha lunalis	흑수염나방			1						
Zanclognatha tarsicrinalis	꼬마흑수염나방			1						
Zanclognatha triplex	끝점흑수염나방	2							4	
Family Geometridae	자나방과	14	35	90	350	131	113	43	74	8
Abraxas grossulariata	줄노랑얼룩가지나방				1		1			
Abraxas latifasciata	참빗살얼룩가지나방				1					
Abraxas niphonibia	각시얼룩가지나방			1					1	
Aethalura ignobilis	아지랑이물결가지나방					1				
Alcis angulifera	털뿔가지나방	2	5	10	8	63	6		12	1
Amoebotricha grataria	검은띠물결자나방	1								
Amraica superans	노박명굴가지나방	1								
Angerona prunaria	오얏나무가지나방				1		1			
Antipercnia albinigrata	알락흰가지나방					2				
Arichanna albomacularia	흰점가지나방				2		1			
Arichanna melanaria	뒷노랑점가지나방			1			3	1		
Asthena nymphaeata	흰애기물결자나방				3		1			
Asthena sachalinensis	두줄무늬흰물결자나방				1		1			
Astygisa morosa	네줄붉은가지나방				1					
Auaxa sulphurea	외줄노랑가지나방		1							
Biston panterinaria	노랑띠알락가지나방								1	
Bupalus vestalis	깃검은가지나방				1		1			
Cabera griseolimbata	뒷검은그물가지나방					2				
Callabraxas compositata	배노랑물결자나방		1	1					1	
Catarhoe obscura	쌍무늬물결자나방			2					1	
Chiasmia hebesata	세줄점가지나방					2				
Chlorissa obliterata	애기푸른자나방					1				
Chloroclystis obscura	배붉은꼬마물결자나방			1						
Chloroclystis v-ata	먹줄초록물결자나방			1		1				
Cleora insolita	그늘가지나방						2			

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Comibaena amoenaria	네점푸른자나방				6	2	4			
Comostola subtiliaria	애기네눈박이푸른자나방								2	
Corymica pryeri	큰노랑애기가지나방					1				
Culpinia diffusa	붉은다리푸른자나방							1	1	
Deileptenia ribeata	솔검은가지나방				14		3	4		
Dindica virescens	각시자나방				1		1			
Duliophyle majuscularia	누런큰가지나방								1	
Dysstroma cinereata	두점박이물결자나방				2			2		
Ecliptopera umbrosaria	큰톱날물결자나방			3	2				1	
Ectropis excellens	줄고운가지나방		1	4	1	1				
Electrophaes corylata	금띠물결자나방				1					
Endropiodes indictinaria	두줄짤룩가지나방				1					
Episteira nigrilinearia	초록고운물결자나방								1	
Eupithecia actaeata	앞삼점애기물결자나방						1			
Eupithecia consortaria	너도애기물결자나방		2							
Eupithecia detritata	긴날개애기물결자나방				1					
Eupithecia persuastrix	가을애기물결자나방					1				
Eupithecia proterva	고로쇠물결자나방									1
Eupithecia signigera	삼각무늬애기물결자나방				10		1			
Eupithecia subbreviata	맵시꼬리물결자나방						1			
Eustroma aerosum	노랑그물물결자나방				2		1			
Eustroma melancholicum	톱날물결자나방				11		2			
Fascellina chromataria	갈고리가지나방								2	
Gandaritis agnes	회색물결자나방				2					
Garaeus mirandus	흰무늬가지나방				8		2			
Gymnoscelis esakii	끝뾰족점물결자나방	1								
Hemithea tritonaria	녹색푸른자나방		1							
Heterolocha aristonaria	뒷분홍가지나방			1						
Heterothera postalbida	밑무늬물결자나방				1	9	1			1
Hydrelia adesma	점꼬마물결자나방				1				1	
Hydrillodes morosa	넓은띠담흑수염나방			1						
Hydriomena impluviata	넓은띠물결자나방							3		
Hypomecis punctinalis	네눈가지나방		1	3					4	
Hypomecis roboraria	세줄날개가지나방			1		5				
Hysterura declinans	흑띠검정물결자나방				4		1			
Idaea auricruda	줄굵은애기자나방				1	7			2	
Idaea biselata	연노랑물결애기자나방				51	2	29	8		
Idaea impexa	노랑띠애기자나방					1				

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Idaea trisetata	기생애기자나방		1							
Isturgia vapulata	쥐빛가지나방								1	
Jankowskia fuscaria	줄구름무늬가지나방	1	1	15						
Jodis dentifascia	큰물결푸른자나방								3	
Jodis lactearia	두줄애기푸른자나방		2	2	1	2				
Lobogonodes multistriata	애기잔물결자나방					1				
Lomographa bimaculata	쌍점흰가지나방	5	11	27		1				
Lomographa temerata	흑점박이흰가지나방		1		8		2	8	1	
Macaria liturata	다색띠큰가지나방				50		11			
Macaria notata	숲가지나방				67		5	1		1
Martania saxea	각시검띠물결자나방				4		1	8		
Menophra senilis	먹그림가지나방	1	3	4	1	1	2		1	
Meteima mediorufa	우수리가지나방				1					
Micracalicha sardida	Micracalicha sardida						1			
Microcalicha seolagensis	구름가지나방				1		1			
Microlygris complicata	큰애기물결자나방			3						
Myrioblephara cilicornaria	꼬마신랑가지나방				1					
Ninodes splendens	보라애기가지나방								2	
Nothomiza aureolaria	앞노랑가지나방								2	
Nycterosea obstipata	갈색각시물결자나방		1	1						1
Odontopera arida	남방갈고리가지나방				1		1	1		1
Orthocabera sericea	노랑줄흰가지나방				6		2			
Ourapteryx nivea	연노랑제비가지나방					1			2	
Ourapteryx subpunctaria	제비가지나방				5		4			
Parabapta clarissa	연푸른가지나방		1			1				
Paradarisa chloauges	Paradarisa chloauges								2	
Paradarisa consonaria	영실회색가지나방				1	1				
Pareclipsis gracilis	끝짤룩노랑가지나방		1	3		2			2	
Parectropis similaria	흰무늬노랑가지나방						2			
Pasiphila chloerata	연초록물결자나방									1
Pasiphila debiliata	검띠초록물결자나방				1					
Pennithera comis	검정두눈물결자나방				1					
Pennithera djakonovi	솔밭물결자나방				5		4			
Phthonandria atrilineata	뽕나무가지나방					1			2	
Phthonosema tendinosaria	뿔무늬큰가지나방	1	1	3						
Plagodis dolabraria	줄고운노랑가지나방				3		1			
Plagodis pulveraria	띠넓은가지나방				5	1	1			
Protoboarmia simpliciaria	팽나무가지나방								3	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Pseuderannis lomozemia	흰띠가지나방				2					
Pylargosceles steganioides	끝무늬애기자나방			1						
Racotis petrosa	참물결가지나방						1		1	
Rheumaptera neocervinalis	겹물결자나방							1		1
Rhynchobapta cervinaria	두줄갈고리가지나방				7	7	2			
Rikiosatoa grisea	두줄가지나방				1	3				
Scardamia aurantiacaria	금빛가지나방	1								
Scopula epiorrhoe	남방회색애기자나방								12	
Scopula ignobilis	넉점물결애기자나방					1			4	
Scopula subpunctaria	큰흰애기자나방				6		2			
Scopula superciliata	물결애기자나방					4				
Scopula vojnitsi	잔줄애기자나방					1				
Selenia sordidaria	톱니보라끝가지나방				1					
Sibatania mactata	왕그물물결자나방				1					
Spilopera debilis	끝갈색흰가지나방				22	1	3	2		
Synegia hadassa	톱니무늬가지나방							1		
Taeniophila unio	세줄흰가지나방				4		1			
Thera variata	머리물결자나방				1			2		
Timandra comptaria	홍띠애기자나방				1	1			1	
Trichopteryx hemana	뒷잔날개물결자나방						1			
Tristrophis veneris	볌제비가지나방				2		1			
Tyloptera bella	얼룩물결자나방								2	
Xandrames dholaria	흰띠왕가지나방								2	
Xanthorhoe muscicapata	가흰물결자나방			1						
Xerodes rufescentaria	솔밭가지나방				1					
Family Lasiocampidae	솔나방과				5				5	1
Dendrolimus superans	솔송나방				5					
Paralebeda femorata	대만나방								5	1
Family Limacodidae	쐐기나방과	7	17	10	23	4	8	1		
Austrapoda dentata	흰점쐐기나방	5	13	6	4	3	2			
Ceratonema christophi	대륙쐐기나방	1		1	14		3			
Latoia sinica	뒷검은푸른쐐기나방				4	1	3	1		
Microleon longipalpis	꼬마쐐기나방	1	4	3						
Thosea sinensis	극동쐐기나방				1					
Family Noctuidae	밤나방과	11	57	30	45	62	12	36	22	31
Acronicta major	왕뿔무늬저녁나방							1		1
Acronicta rumicis	배저녁나방		5	1						
Agrotis segetum	거세미나방			1						

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Albocosta triangularis	앞노랑검은밤나방				1					
Amphipyra acheron	뒷검은까마귀밤나방					3			2	
Amphipyra erebina	지옥까마귀밤나방					1				
Amphipyra livida	까마귀밤나방							1		
Amphipyra pyramidea	피라밑까마귀밤나방		2	1						
Amphipyra schrenckii	흰점까마귀밤나방						1			
Amphipyra tripartita	흰줄까마귀밤나방					1				
Anabelcia staudingeri	산저녁나방					1				
Anaplectoides virens	큰녹색밤나방							2		1
Apamea aquila	붉은나무결밤나방									1
Athetis albisignata	흰점국화밤나방	4	1	4						
Athetis gluteosa	각시띠담색밤나방									1
Athetis lapidea	각시담흑밤나방					7				
Athetis stellata	국화밤나방	1	4							
Atrachea nitens	소리쟁이밤나방	1		1					3	
Axylia putris	썩은밤나방		1							
Bryomoia melachlora	둥근무늬이끼밤나방					1				
Bryophila granitalis	이끼밤나방							1		
Camptoloma interioratum	꽃무늬나방		1							
Chasminodes nigrilineus	갈색무늬은빛밤나방				2					
Chorisia rectilineata	아리랑꼬마밤나방	2	4	6		5			6	
Chorsia costimacula	앞무늬꼬마밤나방								1	
Chorsia noloides	북방꼬마밤나방		3							
Chytonix albonotata	꼬마쌍흰눈밤나방		1							
Condica cyclicoides	보라회미무늬밤나방		2							
Cosmia sanguinea	고동색줄무늬밤나방						4			
Cosmia trapezina	한국밤나방		18	5	2					
Cosmia unicolor	깊은산밤나방		3							
Cranionycta jankowskii	지옥저녁나방				6	3				
Cryphia griseola	눈버섯밤나방					1				
Cryphia mediofusca	줄이끼밤나방							1		1
Daseochaeta viridis	가을녹색밤나방					1				
Diarsia brunnea	흰점갈색밤나방							1		
Diarsia canescens	물결밤나방	1	4	2	3		1	1		
Diarsia deparca	흰점밤나방		1						1	
Diarsia pacifica	붉은밤나방									1
Dryobotodes angusta	좁은띠밤나방		1							
Etlorta edentata	꼬마복숭아밤나방		1		3		1			

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Eucarta arctides	북극각시밤나방			2						
Eucarta fasciata	밑검은밤나방					1				
Eugraphe versuta	빠른점무늬밤나방							2		
Euromoia subpulchra	주홍흰무늬저녁나방				2	3				
Gerbathodes paupera	흰무늬애저녁나방					1				
Hemiglaea costalis	황색예쁜밤나방			1						
Hermonassa arenosa	흑점박이밤나방				2			3		4
Hermonassa cecilia	점박이밤나방			1						1
Hoplodrina euryptera	주을밤나방									1
Koyaga falsa	쌍무늬꼬마밤나방				9	17		3		3
Maliattha bella	양끝무늬꼬마밤나방						1			
Maliattha signifera	넓은띠흰꼬마밤나방								1	
Microxyla confusa	세모무늬꼬마밤나방					1				
Mniotype satura	썩은잎밤나방			1						
Moma alpium	높은산저녁나방						1			
Mythimna divergens	긴쌍띠밤나방				4	1				
Mythimna salebrosa	날개흰점줄무늬밤나방							4		
Mythimna separata	멸강나방									1
Naranga aenescens	벼애나방					1				
Niphonyx segregata	엉경퀴밤나방		1	1		1				
Orthogonia sera	모진밤나방								1	2
Ozarba punctigera	곧은띠꼬마밤나방					1				
Panthea coenobita	솔버짐나방							3		
Phlogophora illustrata	크림밤나방				1					
Polyphaenis subviridis	회록색밤나방	1								
Prometopus flavicollis	국화작은밤나방				4					
Protegira songi	큰얼룩무늬밤나방	1	1	1						
Protodeltote distinguenda	극락꼬마밤나방					1				
Protomiselia bilinea	일본두줄밤나방					10				
Sideridis honeyi	아지랑이밤나방		1							
Sineugraphe bipartita	담색쌍검은밤나방				1			4	2	2
Sineugraphe oceanica	물결쌍검은밤나방						1	7		
Sophta subrosea	점분홍꼬마짤름나방		1							
Sphragifera biplaga	꼬마봉인밤나방								3	
Sphragifera sigillata	봉인밤나방				1					
Spodopteradepravata	잔디밤나방		1							
Spodoptera pecten	남방빗살수염밤나방								1	
Trachea atriplicis	메밀거세미나방								1	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Trachea punkikonis	흰점숨대나방			1						
Trichosea ludifica	북방배노랑버짐나방				1					
Triphaenopsis jezoensis	북방뒷노랑밤나방				1		2			2
Triphaenopsis lucilla	흰점뒷노랑밤나방							1		6
Xenotrachea niphonica	금색예쁜밤나방				1					
Xestiac-nigrum	씨자무늬거세미밤나방			1						
Xestia ditrapezium	민들레거세미밤나방				1					
Xestia fuscostigma	점보라밤나방							1		3
Family Nolidae	혹나방과		2		4	8	1	3	3	
Gabala argentata	은무늬모진애나방		1			1				
Gadirtha impingens	남방껍질나방					2				
Gelastocera exusta	검은띠애나방							1		
Iragaodes nobilis	앞노랑모밤나방				2	1			1	
Macrochthonia fervens	애기푸른나방					1				
Meganola gigantoides	울릉혹나방								1	
Negritothripa hampsoni	흰무늬껍질밤나방					1				
Nola confusalis	선비혹나방							2		
Nola exumbrata	Nola exumbrata					1				
Nola kanshireiensis	어리두줄혹나방								1	
Nycteola sp.	이끼밤나방류		1							
Pseudoips prasinanus	쌍줄푸른나방				2		1			
Siglophora sanguinolenta	붉은무늬갈색애나방					1				
Family Notodontidae	재주나방과	3	3	4	26	8	25		10	1
Allodonta leucodera	끝흰재주나방								2	
Cnethodonta grisescens	뒷검은재주나방						1		1	
Drymonia dodonides	점줄재주나방				14		17			
Ellida viridimixta	흰무늬재주나방				1					
Euhampsonia cristata	곱추재주나방									1
Euhampsonia splendida	푸른곱추재주나방	1				1				
Fentonia ocypete	밤나무재주나방		2						3	
Leucodonta bicoloria	흰날개재주나방				9		3			
Lophocosma atriplaga	검은줄재주나방					1				
Neodrymonia delia	노린재나무재주나방					1				
Notodonta torva	솔개재주나방						1			
Peridea gigantea	곧은줄재주나방					1				
Pheosiopsis cinerea	비녀재주나방						3			
Semidonta biloba	겹날개재주나방	2	1	4						
Shaka atrovittatus	긴띠재주나방								1	

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Stauropus fagi	재주나방				1					
Syntypistis cyanea	떼죽나무재주나방								3	
Syntypistis subgeneris	연갈색재주나방				1	4				
Family Saturniidae	산누에나방과					2				1
Actias artemis	긴꼬리산누에나방					2				
Saturnia jonasii	한라산누에나방									1
Family Sphingidae	박각시과				7	4	1		2	2
Ambulyx japonica	갈고리박각시									1
Kentrochrysalia streckeri	물결무늬점박각시				6	3	1			
Marumba spectabilis	제주등줄박각시					1				
Marumba sperchius	등줄박각시									1
Phillosphingia dissimilis	벚나무박각시								2	
Sphinx morio	솔박각시				1					
Family Thyrididae	창나방과		8	1					6	
Rhodoneura sugitanii	흰그물무늬창나방								6	
Striglina cancellata	창나방		8	1						
Family Uraniidae	쌍꼬리나방과					6		1	1	
Dysaethria moza	흑점쌍꼬리나방							1		
Dysaethria simplex	갈색띠쌍꼬리나방								1	
Oroplema plagifera	검은띠쌍꼬리나방					6				
Family Zygaenidae	알락나방과							1		
Chalcosia remota	뒤흰띠알락나방							1		
총합계		65	173	217	548	292	208	102	194	54

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

3. 생물계절(조류)

<표 부록-2> 남산 조류 목록

학 명	국 명	남산 월별조사결과							
		1	2	3	4	5	6	9	10
ORDER CICONIFORMES	황새목								
FAMILY Ardeidae	백로과								
Nycticorax nycticorax	해오라기							○	
ORDER FALCONIFORMES	매목								
FAMILY Accipitridae	수리과								
Buteo buteo	말똥가리		○	○					○
FAMILY Falconidae	매과								
Falco tinnunculus	황조롱이	○					○		
ORDER GALLIFORMES	닭목								
FAMILY Phasianidae	꿩과								
Phasianus colchicus	꿩	○	○	○	○	○	○	○	
ORDER COLUMBIFORMES	비둘기목								
FAMILY Columbidae	비둘기과								
Columba livia var. *domestica*	집비둘기	○	○	○	○	○	○	○	○
Streptopelia orietalis	멧비둘기	○	○	○	○	○	○	○	○
ORDER CUCULIFORMES	두견이목								
FAMILY Cuculidae	두견이과								
Cuculus micropterus	검은등뻐꾸기				○				
Cuculus canorus	뻐꾸기					○	○		
ORDER STRIGIFORMES	올빼미목								
FAMILY Strigidae	올빼미과								
Otus sunia	소쩍새					○	○		
Ninox scutulata	솔부엉이					○			
ORDER CORACIIFORMES	파랑새목								
FAMILY Coraciidae	파랑새과								
Eurystomus orientalis	파랑새					○	○		
ORDER PICIFORMES	딱다구리목								
FAMILY Picidae	딱다구리과								
Dendrocopos kizuki	쇠딱다구리	○	○	○	○		○		○
Dendrocopos major	오색딱다구리			○			○		
Picus canus	청딱다구리	○			○	○			○
ORDER PASSERIFORMES	참새목								
FAMILY Motacillidae	할미새과								
Motacilla cinerea	노랑할미새						○		

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Motacilla alba leucopsis	알락할미새					○			
Anthus rubescens	밭종다리		○						○
FAMILY Pycnonotidae	직박구리과								
Microscelis amaurotis	직박구리	○	○	○	○	○	○	○	○
FAMILY Bombycillidae	여새과								
Bombycilla japonica	홍여새	○							
FAMILY Prunellidae	바위종다리과								
Prunella montanella	멧종다리				○				
FAMILY Turdidae	지빠귀과								
Zoothera aurea	호랑지빠귀				○				
Turdus pallidus	흰배지빠귀				○	○	○	○	○
Turdus naumanni	노랑지빠귀	○	○						
Turdus eunomus	개똥지빠귀	○							○
FAMILY Timaliidae	붉은머리오목눈이과								
Paradoxornis webbianus	붉은머리오목눈이	○	○	○	○	○	○		○
FAMILY Reguliidae	상모솔새과								
Regulus regulus	상모솔새	○							
FAMILY Sylviidae	휘파람새과								
Urosphena squameiceps	숲새							○	
Phylloscopus inornatus	노랑눈썹솔새					○			
Phylloscopus coronatus	산솔새				○	○		○	
FAMILY Muscicapidae	솔딱새과								
Muscicapa griseisticta	제비딱새								○
Cyanoptila cyanomelana	큰유리새						○		
FAMILY Aegithalidae	오목눈이과								
Aegithalos caudatus magnus	오목눈이			○					○
FAMILY Paridae	박새과								
Parus major	박새	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus ater	진박새			○		○			
Parus varius	곤줄박이	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus palustris	쇠박새			○		○			
FAMILY Emberizidae	멧새과								
Emberiza rustica	쑥새	○							○
Emberiza elegans	노랑턱멧새	○		○	○	○	○		○
FAMILY Fringillidae	되새과								
Fringilla montifringilla	되새	○	○						○
FAMILY Passeridae	참새과								
Passer montanus	참새		○			○		○	
FAMILY Sturnidae	찌르레기과								
Sturnus cineraceus	찌르레기				○	○		○	
FAMILY Oriolidae	꾀꼬리과								

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Oriolus chinensis	꾀꼬리						○	○	
FAMILY Corvidae	까마귀과								
Garrulus glandarius	어치	○		○	○	○	○	○	○
Pica pica	까치	○	○	○	○	○	○	○	○
Corvus macrorhynchos	큰부리까마귀	○	○	○	○	○	○	○	○
합계		130	214	163	192	221	181	77	180
종수		20	15	17	19	24	21	16	20
종다양도(H′)		2.19	1.85	2.26	2.41	2.37	2.30	2.52	2.22
균등도(E′)		0.58	0.49	0.59	0.63	0.62	0.60	0.66	0.58
종풍부도(R′)		3.90	2.61	3.14	3.42	4.26	3.85	3.45	3.66

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 부록-3> 국립생태원 조류 목록

학명	국명	국립생태원 월별조사결과								
		1	2	3	4	5	6	8	9	10
ORDER PELECANIFORMES	사다새목									
FAMILY Phalacrocoracidae	가마우지과									
Phalacrocorax carbo	민물가마우지				○					
Phalacrocorax capillatus	가마우지		○	○						
ORDER CICONIFORMES	황새목									
FAMILY Ardeidae	백로과									
Nycticorax nycticorax	해오라기					○				
Butorides striata	검은댕기해오라기							○		
Bubulcus ibis	황로					○				
Ardea cinerea	왜가리	○	○	○	○	○	○	○	○	
Ardea alba modesta	중대백로	○	○	○	○		○	○	○	○
Egretta garzetta	쇠백로				○	○	○		○	○
ORDER ANSERIFORMES	기러기목									
FAMILY Anatidae	오리과									
Anas rubripes	청둥오리		○	○						
Anas poecilorhyncha	흰뺨검둥오리		○	○	○	○	○		○	○
Anas clypeata	넓적부리		○							
Anas crecca	쇠오리		○	○						
Aythya ferina	흰죽지			○						
ORDER FALCONIFORMES	매목									
FAMILY Accipitridae	수리과									
Accipiter soloensis	붉은배새매						○			
Accipiter nisus	새매				○					
Accipiter gentilis	참매									○
Buteo buteo	말똥가리	○	○	○						
Buteo hemilasius	큰말똥가리									○
FAMILY Falconidae	매과									
Falco tinnunculus	황조롱이	○		○					○	
Falco subbuteo	새호리기						○	○		
Falco peregrinus	매				○					
ORDER GALLIFORMES	닭목									
FAMILY Phasianidae	꿩과									
Phasianus colchicus	꿩	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ORDER GRUIFORMES	두루미목									
FAMILY Rallidae	뜸부기과									
Gallinula chloropus	쇠물닭					○				
ORDER CHARADRIFORMES	도요목									

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

FAMILY Scolopacidae	도요과									
Gallinago gallinago	꺅도요					○				
Tringa nebularia	청다리도요				○					
Tringa ochropus	삑삑도요					○				
Actitis hypoleucos	깝작도요					○				○
ORDER COLUMBIFORMES	비둘기목									
FAMILY Columbidae	비둘기과									
Streptopelia orietalis	멧비둘기	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ORDER CUCULIFORMES	두견이목									
FAMILY Cuculidae	두견이과									
Cuculus micropterus	검은등뻐꾸기					○	○			
Cuculus canorus	뻐꾸기					○	○			
Cuculus saturatus	벙어리뻐꾸기					○	○			
ORDER STRIGIFORMES	올빼미목									
FAMILY Strigidae	올빼미과									
Otus sunia	소쩍새				○	○				
Ninox scutulata	솔부엉이					○	○			
Asio flammeus	쇠부엉이	○								
ORDER CORACIIFORMES	파랑새목									
FAMILY Alcedinidae	물총새과									
Alcedo atthis	물총새						○	○		
FAMILY Coraciidae	파랑새과									
Eurystomus orientalis	파랑새					○	○	○		
ORDER PICIFORMES	딱다구리목									
FAMILY Picidae	딱다구리과									
Dendrocopos kizuki	쇠딱다구리	○	○	○	○		○	○	○	
Dendrocopos leucotos	큰오색딱다구리	○		○	○		○			
Dendrocopos major	오색딱다구리		○		○	○		○		○
Picus canus	청딱다구리		○	○	○					○
ORDER PASSERIFORMES	참새목									
FAMILY Hirundinidae	제비과									
Hirundo rustica	제비				○	○	○	○	○	
FAMILY Motacillidae	할미새과									
Motacilla cinerea	노랑할미새				○	○	○	○		○
Motacilla alba leucopsis	알락할미새					○			○	
Motacilla alba lugens	백할미새	○	○							
Anthus rubescens	밭종다리	○	○							○
FAMILY Pycnonotidae	직박구리과									
Microscelis amaurotis	직박구리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
FAMILY Laniidae	때까치과									
Lanius tigrinus	칡때까치							○		

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Lanius bucephalus	때까치	○	○		○	○	○			
FAMILY Turdidae	지빠귀과									
Zoothera aurea	호랑지빠귀			○	○					
Turdus pallidus	흰배지빠귀				○	○	○	○	○	○
Turdus naumanni	노랑지빠귀	○	○							
Turdus eunomus	개똥지빠귀		○							
FAMILY Timaliidae	붉은머리오목눈이과									
Paradoxornis webbianus	붉은머리오목눈이	○	○	○	○	○	○	○	○	○
FAMILY Sylviidae	휘파람새과									
Acrocephalus orientalis	개개비					○	○			
Phylloscopus coronatus	산솔새			○		○		○		
FAMILY Muscicapidae	솔딱새과									
Phoenicurus auroreus	딱새	○	○	○	○		○	○		○
Muscicapa griseisticta	제비딱새							○		○
Ficedula zanthopygia	흰눈썹황금새					○				
Ficedula mugimaki	노랑딱새		○							
Cyanoptila cyanomelana	큰유리새						○			
FAMILY Aegithalidae	오목눈이과									
Aegithalos caudatus magnus	오목눈이	○		○					○	
FAMILY Paridae	박새과									
Parus major	박새	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus varius	곤줄박이	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus palustris	쇠박새	○	○	○	○	○			○	
FAMILY Emberizidae	멧새과									
Emberiza cioides	멧새	○							○	
Emberiza tristrami	흰배멧새				○					
Emberiza chrysophrys	노랑눈썹멧새									○
Emberiza rustica	쑥새	○								
Emberiza elegans	노랑턱멧새		○	○	○	○	○		○	
Emberiza pallasi	북방검은머리쑥새	○	○							
FAMILY Fringillidae	되새과									
Fringilla montifringilla	되새	○	○							
Carduelis sinica	방울새	○	○	○		○				○
FAMILY Passeridae	참새과									
Passer montanus	참새			○	○	○				
FAMILY Sturnidae	찌르레기과									
Sturnus cineraceus	찌르레기				○	○		○		
FAMILY Oriolidae	꾀꼬리과									
Oriolus chinensis	꾀꼬리					○	○	○	○	
FAMILY Corvidae	까마귀과									
Garrulus glandarius	어치	○	○	○	○	○	○	○	○	○

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Cyanopica cyanus	물까치	○	○			○		○	○	
Pica pica	까치	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Corvus macrorhynchos	큰부리까마귀		○	○	○	○	○	○		○
합계		272	545	529	394	345	248	221	157	178
종수		28	33	29	33	40	32	27	23	24
종다양도(H′)		2.55	2.56	2.70	2.82	3.04	2.81	2.79	2.71	2.36
균등도(E′)		0.58	0.59	0.62	0.65	0.70	0.64	0.64	0.62	0.54
종풍부도(R′)		4.82	5.08	4.47	5.35	6.67	5.62	4.82	4.35	4.44

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

<표 부록-4> 완도수목원 조류 목록

학명	국명	완도수목원 월별조사결과							
		1	2	3	4	5	6	9	10
ORDER PELECANIFORMES	사다새목								
FAMILY Phalacrocoracidae	가마우지과								
Phalacrocorax capillatus	가마우지				○				
ORDER CICONIFORMES	황새목								
FAMILY Ardeidae	백로과								
Nycticorax nycticorax	해오라기					○			○
Butorides striata	검은댕기해오라기					○			
Bubulcus ibis	황로					○			
Ardea cinerea	왜가리			○	○	○	○	○	○
Ardea alba modesta	중대백로							○	
Egretta garzetta	쇠백로				○	○			○
ORDER ANSERIFORMES	기러기목								
FAMILY Anatidae	오리과								
Anas poecilorhyncha	흰뺨검둥오리			○			○		○
ORDER FALCONIFORMES	매목								
FAMILY Accipitridae	수리과								
Pandion haliaetus	물수리								○
Haliaeetus albicilla	흰꼬리수리							○	
Accipiter soloensis	붉은배새매							○	
Accipiter nisus	새매	○							
Accipiter gentilis	참매				○				
Buteo buteo	말똥가리		○	○					
FAMILY Falconidae	매과								
Falco tinnunculus	황조롱이			○		○			
Falco subbuteo	새호리기					○	○	○	
Falco peregrinus	매								○
ORDER GALLIFORMES	닭목								
FAMILY Phasianidae	꿩과								
Phasianus colchicus	꿩	○		○	○	○	○	○	
ORDER CHARADRIFORMES	도요목								
FAMILY Scolopacidae	도요과								
Gallinago gallinago	꺅도요						○		
Tringa nebularia	청다리도요								○
Actitis hypoleucos	깝작도요					○			
Heteroscelus brevipes	노랑발도요								○
FAMILY Laridae	갈매기과								
Larus crassirostris	괭이갈매기								○

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

ORDER COLUMBIFORMES	비둘기목								
FAMILY Columbidae	비둘기과								
Streptopelia orietalis	멧비둘기	○	○	○	○	○	○	○	○
ORDER CUCULIFORMES	두견이목								
FAMILY Cuculidae	두견이과								
Cuculus micropterus	검은등뻐꾸기			○	○	○		○	
Cuculus canorus	뻐꾸기					○			○
Cuculus saturatus	벙어리뻐꾸기				○	○			
Cuculus poliocephalus	두견이					○	○		
ORDER STRIGIFORMES	올빼미목								
FAMILY Strigidae	올빼미과								
Otus sunia	소쩍새				○	○			
Bubo bubo	수리부엉이								○
Ninox scutulata	솔부엉이					○	○		
ORDER CAPRIMULGIFORMES	쏙독새목								
FAMILY Caprimulgidae	쏙독새과								
Caprimulgus indicus	쏙독새				○	○	○		
ORDER APODIFORMES	칼새목								
FAMILY Apodidae	칼새과								
Apus pacificus	칼새					○	○		
ORDER CORACIIFORMES	파랑새목								
FAMILY Alcedinidae	물총새과								
Alcedo atthis	물총새				○	○		○	
FAMILY Coraciidae	파랑새과								
Eurystomus orientalis	파랑새					○	○		
ORDER PICIFORMES	딱다구리목								
FAMILY Picidae	딱다구리과								
Dendrocopos kizuki	쇠딱다구리	○	○	○	○	○	○	○	○
Dendrocopos leucotos	큰오색딱다구리						○		○
Dendrocopos major	오색딱다구리	○		○			○	○	○
Picus canus	청딱다구리	○	○	○	○		○	○	○
ORDER PASSERIFORMES	참새목								
FAMILY Pittidae	팔색조과								
Pitta nympha	팔색조					○			
FAMILY Hirundinidae	제비과								
Hirundo rustica	제비				○	○	○	○	
Cecropis daurica	귀제비						○		
FAMILY Motacillidae	할미새과								
Motacilla flava taivana	긴발톱할미새						○		
Motacilla cinerea	노랑할미새				○	○	○	○	○
Motacilla alba leucopsis	알락할미새					○			

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

Motacilla alba lugens	백할미새			○					
Anthus hodgsoni	힝둥새	○							
Anthus rubescens	밭종다리	○							
FAMILY Pycnonotidae	직박구리과								
Pycnonotus sinensis	검은이마직박구리					○			
Microscelis amaurotis	직박구리		○	○	○	○	○	○	○
FAMILY Laniidae	때까치과								
Lanius tigrinus	칡때까치					○	○		
Lanius bucephalus	때까치				○	○			○
FAMILY Turdidae	지빠귀과								
Zoothera aurea	호랑지빠귀			○	○	○			
Turdus hortulorum	되지빠귀					○			
Turdus obscurus	흰눈썹붉은배지빠귀						○		
Turdus pallidus	흰배지빠귀			○	○	○	○	○	○
Turdus naumanni	노랑지빠귀		○						
FAMILY Timaliidae	붉은머리오목눈이과								
Paradoxornis webbianus	붉은머리오목눈이	○	○	○	○	○		○	○
FAMILY Reguliidae	상모솔새과								
Regulus regulus	상모솔새		○	○					
FAMILY Sylviidae	휘파람새과								
Cettia diphone cantans	섬휘파람새			○	○	○	○		
Acrocephalus orientalis	개개비					○			
Phylloscopus inornatus	노랑눈썹솔새					○			
Phylloscopus coronatus	산솔새				○	○			
FAMILY Muscicapidae	솔딱새과								
Luscinia cyane	쇠유리새					○			
Luscinia cyanura	유리딱새				○	○	○		
Phoenicurus auroreus	딱새	○	○	○	○	○	○		○
Saxicola torquatus	검은딱새					○			
Muscicapa griseisticta	제비딱새								○
Ficedula zanthopygia	흰눈썹황금새					○			
Cyanoptila cyanomelana	큰유리새					○			
FAMILY Aegithalidae	오목눈이과								
Aegithalos caudatus magnus	오목눈이	○		○			○	○	○
FAMILY Paridae	박새과								
Parus major	박새	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus ater	진박새			○		○	○		
Parus varius	곤줄박이	○	○	○	○	○	○	○	○
Parus palustris	쇠박새	○	○	○	○	○			○
FAMILY Zosteropidae	동박새과								
Zosterops japonicus	동박새	○	○	○	○	○	○	○	○

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

FAMILY Emberizidae	멧새과								
Emberiza cioides	멧새								○
Emberiza tristrami	흰배멧새					○			
Emberiza pusilla	쇠붉은뺨멧새								○
Emberiza chrysophrys	노랑눈썹멧새								○
Emberiza elegans	노랑턱멧새			○	○	○	○	○	○
FAMILY Fringillidae	되새과								
Carduelis sinica	방울새		○	○	○				○
FAMILY Passeridae	참새과								
Passer montanus	참새	○			○	○			○
FAMILY Sturnidae	찌르레기과								
Sturnus sericeus	붉은부리찌르레기							○	
Sturnus cineraceus	찌르레기				○	○	○		○
FAMILY Oriolidae	꾀꼬리과								
Oriolus chinensis	꾀꼬리					○	○	○	
FAMILY Corvidae	까마귀과								
Garrulus glandarius	어치	○	○	○	○	○	○	○	○
Cyanopica cyanus	물까치	○			○	○		○	○
Pica pica	까치	○		○	○	○	○	○	○
Corvus macrorhynchos	큰부리까마귀		○	○	○	○	○	○	○
합계		277	154	360	338	545	310	294	348
종수		19	16	29	36	57	37	28	39
종다양도(H′)		2.24	1.24	2.86	3.15	3.48	3.02	2.56	2.90
균등도(E′)		0.50	0.28	0.64	0.70	0.77	0.67	0.57	0.65
종풍부도(R′)		3.20	2.98	4.76	6.01	8.89	6.28	4.75	6.49

국립생태원 NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

NIE-기반연구-2018-21

생태계 기후변화 조사 연구

Study of climate change research for ecosystem

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

발 행 일 : 2018년 12월
발 행 인 : 박용목
발 행 처 : 국립생태원
충청남도 서천군 마서면 금강로 1210
지 은 이 : 이상훈, 한상학, 이창훈, 안나현
문 의 : 041-950-5380
홈페이지 : www.nie.re.kr
제 작 : 사)한국장애인이워크협회일자리사업장
(02-2272-0307)
Design by PONT(blue-pont@daum.net)

ISBN : 979-11-89730-49-9

© 국립생태원
이 책은 저작권법에 의해 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 무단복제를 할 수 없습니다.

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

국립생태원
NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

비매품/무료
93400
9 791189 730499
ISBN 979-11-89730-49-9