

2018

8월

NIE

해외교류연구원 활동보고서



CONTENTS

1. 호주 장기생태연구 동향	1
2. 독일 장기생태연구	7
3. 캐나다 장기생태연구 현황	13

호주 장기생태연구 동향

지 형 근

I. 서 론

장기생태연구는 미국, 유럽, 아프리카를 비롯해 세계 곳곳에서 나타나고 있는 생태연구 방향성을 보여준다. 특히 전 세계적인 기후변화와 극적인 환경변화, 자연재해 등과 같은 이슈들과 연계하여 생태계를 관찰할 때 장기간의 연구기록은 환경에 대해 정확히 이해할 수 있는 기반을 제공한다. 또한 이러한 상황 속에서 생태계의 변화가 인간 사회와 경제활동에 미치는 영향을 분석하기 위해서도 장기생태연구의 필요성이 충분히 인식되고 있으며 더 나아가 정책을 발전시키는 일에 중요한 역할을 수행할 것이라 주장되고 있다. 호주에서도 오래전부터 개별 과학자 및 연구기관의 노력에 의해 장기생태연구가 진행되어 왔지만, 국가적 차원에서 장기생태연구의 방향성을 제시하고 체계를 만들어가는 흐름은 최근에 나타나기 시작했다.

II. 본 론

1. 장기생태연구 필요성 인식

호주국립대학교(Australian National University, ANU)의 Youngentob 박사와 동료 연구자들이 생태연구분야에 종사하거나 관련된 전문가들을 대상으로 조사하여 85명의 응답을 토대로 (2013년 기준) 호주 장기생태연구 현황을 분석하였다 (참고: Youngentob 외, 2013). 관련 연구 자료에서 아래 다섯 가지 세부 사항에 대해 조사 결과를 요약하고 있으며 이를 통해 호주의 효율적인 장기생태연구 능력 향상을 위한 정책의 발전 방향성을 모색하였다. 호주국립대학교는 현재 국가 장기생태연구를 이끌어가는 대표적인 연구기관이기 때문에 Youngentob 박사의 연구 내용은 호주의 최근 장기생태연구 현황에 대한 전반적 상황 이해와 앞으로 필요한 활동들을 찾아내는데 중요한 역할을 수행할 것으로 보인다.

가. 장기생태연구 목적 및 성격

85명의 응답자중 2명을 제외한 83명은 7년 혹은 그 이상 기간의 장기적 생태연구 활동을 진행 중에 있으며 가장 오래된 연구 활동은 1926년부터, 가장 최근에 시작된 연구 활동은 2004년에 시작되었다. 83명이 진행 중인 장기생태연구 프로젝트의 진행 중인 평균 활동기간은 23.4년이었으며 대다수(76건)가 현재 프로젝

트였다. 가장 빈번한 Landscape 유형의 연구 주제로는 ‘개방산림지대 유칼립 나무’가 25건으로 가장 많았고 관속식물이 60%로 가장 많은 연구 대상인 것으로 밝혀졌다. 위험요소에 대한 연구에서는 ‘서식지 저하’가 52건으로 많았으며 그 뒤를 이어 ‘개간’, ‘불’에 대한 연구가 각각 22건 20건으로 나타났다.

나. 장기생태연구 참여 및 기여

본 연구에 따르면 호주 장기연구는 개인의 연구가 77.6%로 기관(42.4%)이나 특정 위원회(11.8%)가 진행하는 연구보다 월등히 높게 나타났다. 참여자들의 대부분은 과학자들이었고 기술자와 대학원생들이 소수 있었으며 행정업무 종사자들이 가장 적은 숫자로 나타났다. 주목할 만한 것은 ‘기타’에 해당되는 경우 중 자원봉사 형태의 연구 활동이 주를 이루었는데 그중 대부분은 대학원생이 포함되었다.

다. 자료관리 및 접근성

장기생태연구 관련 자료들은 ‘컴퓨터 기반 데이터 자료’와 ‘출판물’이 가장 보편적인 기록 유형으로 나타났다. 86.9%의 연구자들은 관련 자료에 연구 대상 지역을 표기하고 있으며 90.5%는 연구 방법을 명시하고 있다. 또한 응답자의 67.9%는 장기생태연구 프로그램이 두 곳 이상의 연구 지역을 대상으로 진행 중인 것으로 밝혀졌다. 연구 자료 접근성에 대해서는 80%가 ‘공동 연구자 및 과학 분야 협력기관’을 통해 접근하도록 되어 있으며, 8.2%만이 ‘일반 대중’에게 자료를 공개하고 있고 10.6%는 ‘본 연구기관만 취급’ 가능한 형태의 자료인 것으로 조사 되었다.

라. 연구 결과물

연구결과 보고서는 주로 ‘동료평가 학술 저널’을 통해 발표되고 있으며 (24.1%), 그 뒤를 이어 ‘기술보고서’ 형태의 결과물 발표가(11.1%) 보편적이었다. 반면 책 출판을 통한 연구 결과물 발표는 0.6%로 가장 많이 이용되지 않는 방법으로 나타났다. 장기생태연구 프로그램(혹은 프로젝트)별 연구 결과물 발표 횟수는 0회에서부터 학술저널 200회 등 상이한 수치를 보였다 (저널 평균 7회; 보고서 평균 4회).

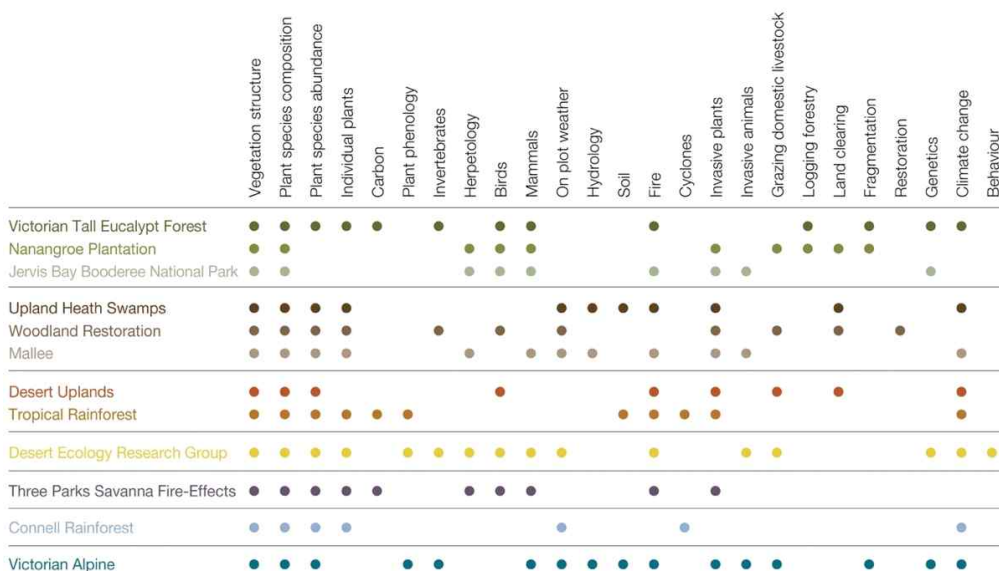
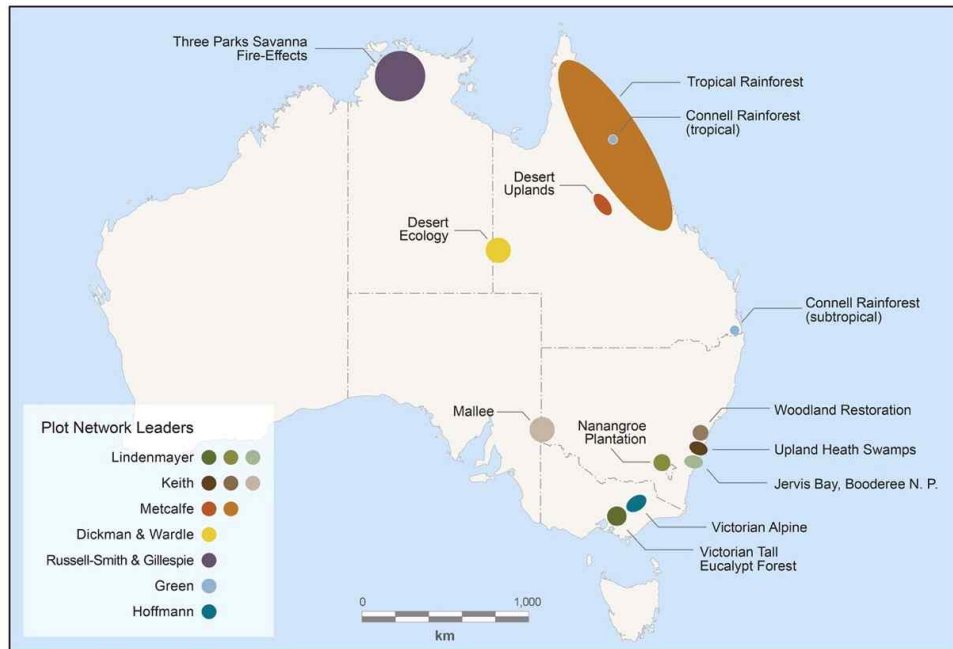
마. 펀딩

장기생태연구를 위한 펀딩은 ‘경쟁적 보조금 (Competitive Grant)’가 38.9%이며 25.6%는 ‘비경쟁적 보조금 (Non-competitive Grant)’ 형태인 것으로 나타났다. 보조금의 출처는 대개 정부자금이며 다른 형태의 public 혹은 private 펀딩이 뒤를 이었다. 조사된 장기생태연구 활동의 40.8%에 해당하는 다수의 프로젝트는 연평균 연구사업 규모가 호주달러 \$5,000 에서 \$50,000 사이에 해당하는

것으로 나타났으며, 소수(6.6%)의 사업은 \$250,000 이상의 연구비용이 매년 지출되고 있는 것으로 조사되었다.

2. 대표 사례: Long Term Ecological Research Network (LTERN)

독립적으로 진행되던 장기생태연구 활동(plot)을 네트워크(network) 형성을 통해 호주 생태환경에 치명적인 영향을 주는 이슈들을 효과적으로 다루기 위하여 LTERN이 2012년 설립되었다. 호주에서 가장 큰 대학 연구기관인 호주 국립



<그림> 장기적 생태연구 활동의 기별적 활동을 기반으로 수립된 네트워크 형성 현황 (출처: TERN www.tern.org.au)

대학교에 위치해 있으며 본 대학으로부터 지원을 받고 있는 LTERN은 현재 12개의 독립적인 모니터링 및 장기생태연구 활동을 통합하여 운영하고 있다 (그림 참

조). 참여중인 프로그램은 열대 및 아열대 우림, 유칼립투스 숲, 말리나무 삼림 지대, 목초지, 고산 식물 지대와 사막지역을 대상으로 하며 생태연구활동의 내용은 식생물 연구에서 부터 토지이용, 보존, 재생, 관광과 농업에 이르기까지 다양한 내용을 포함하고 있다. 이처럼 지역과 연구대상 그리고 연구 방식의 다양성을 하나의 네트워크로 연결함으로 호주지역의 종합적인 장기 생태연구 활동에 새로운 활력을 불어일으키고 동시에 관련 연구 기관들과 가상의 네트워크를 통해 정보 및 연구결과 공유를 진행함으로 호주 생태연구 발전에 기여하고 있다. LTERN은 연구의 방향성과 네트워크의 효율성을 유지하고 발전시키기 위해 독립적 연구 활동들을 디자인하고 포함하는데 다음 중점 연구내용을 포함하고 있다.

- 산불과 벌목이 식생 환경에 어떤 영향을 주고 생물다양성에 영향을 주는가?
- 식생과 탄소 바이오매스의 관계는?
- 외래종의 침입과 번식이 고산지대 생태에 미치는 영향은?
- 화재 이후에 식물 종들의 생존력과 시간에 따른 회복력의 차이는?

3. LTERN의 위기

2017년 호주국립대학 생물환경대학 소속의 Lindenmayer 교수 외 68명의 학자들이 저명한 학술지 Science에 Save Australia's ecological research 라는 제목으로 호주의 장기생태연구 활동의 존속 위기가 찾아왔음을 알리고 LTERN을 지키기 위한 호주 정부의 즉각적인 자금 지원이 필요하다고 역설했다(참고: Lindenmayer 외, 2017). 조금 더 구체적으로 내용을 살펴보면, LTERN은 현재 호주정부로부터 지원을 받고 있는 Terrestrial Ecosystem Research Network(TERN)에 속해있으며 유럽, 중국, 남아프리카 등 전 세계 여러 나라에서 나타나고 있는 장기생태연구 개선을 위한 접근방법을 같은 맥락에서 호주에 적용하여 국가의 생태연구 능력 향상과 함께 국제적 장기생태연구 능력향상에 이바지하려는 목적을 갖고 있다. Lindenmayer 교수는 미국의 경우 연간 5백 60만 (미국)달러 규모의 정부지원금이 장기생태연구에 집중되고 있으며 많은 국가들도 점차 이 분야의 국가예산을 늘려가고 있는 반면 TERN의 Quarterly Newsletter에 따르면 2018년 1월 1일 부로 호주 정부의 LTERN 보조금이 단절되었고 해당연구기관인 호주국립대학의 재량으로 운영되고 있다.

Ⅲ. 결 론

호주의 장기생태연구 동향에 대해 연구하면서 나타난 특징은 국가적 차원의 체제구축 및 발전을 주도하는 주체가 호주국립대학으로 한정되어 있다는 것이다. 학술적으로 또 사회적으로 영향력 있는 연구중심 대학기관에서 문제인식을 갖고

LTERN이라는 이니셔티브를 설립하여 장기생태연구의 중요성을 역설하고 전 세계적인 연구 흐름을 쫓아가려는 노력을 보였다. 한편 ‘장기생태연구’ 이슈에 대한 정부 혹은 다른 주체들의 관심과 노력은 미비한 것으로 보이며 전체적으로 이 분야의 발전에 대한 의지가 독립적인 연구에서 국가차원의 통합적 관리로 전환되는데 역부족인 것으로 보인다. 국가 차원의 장기생태연구에 큰 활력을 불어넣을 것이라는 기대 속에서 2012년에 설립된 LTERN이 5년 만에 정부 보조금의 단절을 경험하며 정부의 지속적인 보조를 요구하는 것을 볼 때 지속 가능한 시스템 구축과 여론화 과정 속에서 국가차원의 장기생태연구 발전 초기단계에 있다고 보인다. LTERN은 호주사회에서 가장 두드러진 장기생태연구 동향인 것으로 볼 때 LTERN의 실패는 단순히 독립적 연구들의 연결고리 기능의 실패뿐만 아니라 호주의 장기생태연구 활동에 침체 혹은 미미한 발전으로 이어질 것으로 우려된다. 호주 사례에서 도출되는 시사점은 과학자들의 개별적 의지와 노력이 사회 전반의 인식을 전환하고 정부의 의지를 이끌어낼 때 국가차원의 장기생태연구 발전이 효과적으로 진행될 수 있다는 점이다.

참고문헌

K.N. Youngentob, G.E. Likens, J.E. Williams & D.B. Lindenmayer (2013) A survey of long-term terrestrial ecology studies in Australia. *Austral Ecology*, 38, pp.365-373.

Lindenmayer D. & 68 additional authors (2017) Save Australia' s ecological research. *Science*, 357, 6351, pp. 557.

TERN (2017) Quarterly Newsletter, Issue 16.

참고 웹사이트

LTERN, www.ltern.org.au

TERN, www.tern.org.au

독일 장기생태연구

김 동 균

I. 서 론

연구의 기간은 연구 성향에 따라 달라지지만 생태학에서 장기간의 연구는 타 연구에 비해 변화가 느리다는 환경의 특성 때문에 더욱 중요하다. 그렇지만 지속적으로 한 지역 또는 한 연구주제를 장기간에 걸쳐 연구하는 것은 인력, 비용적 문제가 필연적으로 발생하므로 모든 생태 연구에 적용할 수 없다는 한계가 있다. 유럽의 경우 생태학적으로 학술적 가치가 있다고 판단되는 지역은 이미 20세기 중반부터 지속적인 모니터링이 시행되고 있다. 장기간의 생태연구는 지구환경변화 같은 단기간 연구로 변화를 확신하기 힘든 생태적 변화를 확인 가능하게 해주며 앞으로의 환경 변화를 예측하는데 중요한 데이터를 제공한다는 역할을 한다. 이 보고서에서는 독일 지역에서 시행되고 있는 장기 생태연구의 현황을 살펴보고자 한다.

II. 본론(조사내용)

1. 독일 장기 생태 연구의 설립 목적

독일 및 다수의 유럽 지역 국가는 국제 장기 생태 연구 협회 (ILTER; International long-term ecological and ecosystem research)에 가입되어 장기 생태 연구를 시행하고 있으며 독일은 LTER-D를 명칭으로 사용하고 있다. LTER-D에서 시행되고 있는 장기 생태 연구의 대부분은 환경 변화 모니터링에 초점을 두고 점진적 또는 주기적 변화를 관찰하고 있다. LTER-D는 2004년에 설립되었으며 현재까지 약 30개의 지역이 LTER-D의 관리 하에 장기연구를 진행하고 있다. 연구지역은 산지, 평야에서 심해, 극지에 이르는 전 생태계적 범위로 연구지원이 이루어지고 있다.

전형적인 독일의 연구비 지원 기간은 약 2-5년 정도에 해당한다. 다수의 연구가 이 기간 내에 결과를 도출할 수 있지만 생태계의 변화를 지속적으로 관찰해야 할 경우 2-5년의 연구 기간은 결과를 해석하기에 불충분한 기간으로 판단하여 장기적으로 관리해야 할 연구를 특별 지정하게 되었다. 지정된 연구 주제 또는 연구 지역에서 나온 데이터는 통합 관리하여 연속적인 데이터 생산이 가능하도록 하였으며 이를 통해 지속적인 환경 변화 모니터링이 가능하게 하였으며 기간은 통상적으로 20년 이상으로 지정한다. 환경 변화의 지속적인 모니터링은 정확한 기후변화 시나리오를 예측 가능하게 하여 이를 바탕으로 지속 가능한 개발 전략을 짜는데 중요한 지표로 사용되고 있다.

2. 독일 장기 생태 연구 협회 현황

가. 비 대학 연구기관

(1) Alfred Wegner Institute (Helmholtz Center for Polar and Marine Research)

AWI는 Bremerhaven에 위치한 극지 및 해양 연구소다. 남극, 북극의 극지 연구와 더불어 네덜란드, 독일, 덴마크의 서쪽 해안에 위치한 Wadden sea 연구가 이 연구소의 주된 연구 주제다.

AWI는 LTER-D의 소속 연구기관으로서 장기 생태 변화연구 또한 진행 중이다. 그 중 북극 심해의 장기 모니터링 (LTER Observatory HAUSGARTEN)은 1999년부터 진행되어 21개의 관측 지점에서 250-5000m의 Profile을 지속적으로 측정하고 있다. 이 연구를 통해서 지구 온난화에 따른 빙하의 두께 변화, 먹이 사슬 변화에 대한 데이터를 축적하고 있으며 매년 해당 지역의 심해저를 무인 잠수정(Remotely Operated Vehicle, ROV)을 통해 모니터링하고 있다.

독일의 서쪽 해안에 위치한 Wadden sea는 네덜란드, 독일, 덴마크에 걸친 해안으로 유네스코 자연유산에 등재된 생태학적 가치가 높은 지역이다. Wadden sea의 생태학적 변화는 Heliogoland에서 장기적으로 모니터링 되고 있다. 이곳에서는 1960년대부터 생물학적, 물리적, 화학적 데이터들을 지속적으로 측정되고 있다.

장기 연구는 매년 지속성의 측면에서 인력 소모가 크기 때문에 현실을 감안하여 자동측정이 가능하도록 기술을 발전시키고 있다. 예를 들어 Heliogoland에는 Ferry box 라는 자동 데이터 측정 장치를 도입하여 고정된 지점에서 자동적으로 플랑크톤 수, 염도, 온도를 매분 측정할 수 있도록 하였다. 더 넓은 범위의 데이터를 얻기 위해서 Cuxhaven - Helgoland를 왕복하는 정기 여객선에 Ferry box를 설치하여 적은 비용에 효과적으로 데이터를 얻고 있다.

(2) GEOMAR -Helmholtz Center for Ocean Research Kiel

GEOMAR는 독일의 해양연구소로 동쪽 해안의 Baltic sea에 인접한 Kiel에 위치한 해양 연구소다. 해양에 관련된 모든 분야를 폭넓게 연구하며 극지방 보다는 주로 온대 지역의 해양 시스템에 대해 연구를 한다.

장기 생태 연구지로는 Bocknis Eck가 알려져 있다. Bocknis Eck은 Eckernförde 만의 입구에 위치하고 수심 약 30m, 뿔층으로 이루어졌으며 1957년부터 지속적으로 관측되어 왔다. 해수면이 비교적 낮고 담수의 영향이 큰 Baltic sea의 특성과 상 계절별 염도의 차이, 성층 (stratification) 현상에 의한 저 산소 현상에 따른 생물의 적응에 대한 연구가 활발하다. Bocknis Eck은 초기에 CTD(염도, 온도, 수심), 산소농도, 플랑크톤 수만 측정되었으나 현재는 혼탁도, 다수의 영양 염류, 미량 가스(Trace gas)까지 측정하고 있다.

(3) Helmholtz Center for Environmental Research UFZ - TERENO project

UFZ는 생물다양성, 수자원 보호, 토양 보호를 주된 목표로 삼는 연구소다. UFZ의 중요한 역할 중 하나는 개발과 환경보호 간의 중재 역할을 하여 개발에 따른 생태계 피해를 최소화하며 이를 대중에 알리는 것이다. UFZ에서 장기 생태연구로 참여하고 있는 프로젝트는 TETENO project이다.

TERENO project에서는 지구 환경 변화에 따른 지상 생태계의 변화를 지속적으로 관찰하며 다양한 국가에서 참여하고 있지만 독일에서 다수의 연구자들이 참여하여 방대한 데이터를 업로드 하고 있는 프로젝트이다. 독일에서 TERENO project의 연구지역은 크게 네 부분 (Northeastern Lowland, Harz/Central Lowland, Eifel/Lower Rhine Valley, Bavarian Alps/pre-Alps)으로 나뉜다.

TERENO project의 주된 연구 목적은 환경변화에 따른 지상 시스템의 변화, 지상 시스템에서의 수자원 교환 과정, 인간의 활동에 의한 지상 시스템의 변화 관찰에 있다. TERENO project는 지상 시스템에서 얻을 수 있는 데이터를 여러 지역, 국가에서 공유하여 지구의 환경 변화를 보다 넓은 시각으로 볼 수 있게 하였으며 지역적 변화 관찰을 넘어 전 지구적 변화 관찰을 통해서 장기적, 광범위 적인 환경 변화를 확인할 수 있게 하였다.

(4) IGB Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries

IGB는 담수 생태를 연구하는 연구소로 장기 생태연구는 Rita Adrian 교수에 의한 베를린의 Müggelsee 호수가 대표적이다. Müggelsee는 베를린의 남동쪽에 위치한 호수로 면적은 7.3km²에 달하고 최대 수심 8m에 이르는 가장 큰 호수이며 1999년부터 지속적으로 모니터링 되고 있다.

주된 연구는 호수의 교란과 복원력을 규명한다. 이를 위해서 호수의 영양 성분, 플랑크톤의 개체 수 및 환경 변화에 따른 생리학적 변화, 호수 내 생물 다양성과 같이 상이한 시스템 레벨에서 연구를 진행한다.

나. 국립공원 및 생물권 보호 구역

(1) EUROPARC Germany eV

1991년에 설립된 EUROPARC는 국립공원 보호를 위해 민간에 의해 설립된 협회다. 이곳에서는 국립공원 보존과 관리에 관심이 있는 모든 전문가, 비전문가, 비영리단체 등이 참여하고 있다. 이들의 활동은 주 및 연방 당국 또는 자연 보호 기관에 협조하고 환경 파괴를 야기할 수 있는 기업의 개발 승인 과정에 참여하여 기업과 시민간의 불일치점을 최소화하고 해결책을 제시한다. 또한 국립공원 보호를 위한 시민 교육을 통해 자연 보호에 대한 시민 인식 개선에 도움을 주고 있다.

이들의 장기적인 생태 연구는 대부분 아마추어에 의해 이루어지는 특징을 가지고 있다. 대부분의 생태 연구는 비전문가 또는 어린 아이도 쉽게 확인 가능한 부분에 한정된다. 그러나 참여하는 연령 폭이 굉장히 넓고 활동 지역 또한 독일 지역 전체에 골고루 분포하기 때문에 제한된 전문가 수의 한계를 극복할 수 있는 바탕이 되고 있다. 실제로 연구기관에서 행해지는 연구에 직접적으로 참여하기도 하며 주 및 연방 당국의 환경 분야 관련 의사 결정에 참여한다는 점에서 상당한 지위를 가지고 있는 것을 확인 할 수 있다.

(2) National Park Bavarian Forest

Bavarian Forest 국립공원은 1970년에 지정되었으며 독일-체코 국경의 Bavaria에 위치해 있다. 대부분 낮은 언덕 또는 평야로 이루어져 있으며 중부 유럽의 전형적인 자연 환경을 대표하는 지역이다. 인간의 개입을 최소화하기 위해 노력 중이며 비 개발 지역을 2027년 까지 75%까지 늘릴 계획이다.

Bavarian Forest 국립공원은 숲으로 이루어져 있어 이와 관련된 생태 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 Bavarian forest는 외래종이 침입하지 않는 지역으로 외래종 침입 방지와 자연 보존에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 장기 생태 연구는 1976년부터 이루어 졌으며 이를 위해서 50m 높이의 대기 관측 시스템, 지표수 및 지하수 수질 관측 시스템 등을 갖추고 있다.

주요 연구 과제로 Bavarian Forest에 서식하는 생물종을 밝혀내는 것으로 현재 까지 7300종이 서식하는 것으로 알려졌지만 약 7000종이 더 서식할 것으로 예상하고 이들의 서식지를 알아내기 위해 지속적으로 연구 중이다. 특히 빙하기 이후의 원시림의 경우 특별 관리 지역으로 선정하여 원시림의 훼손을 방지하고 이 부근에 서식하는 생물 분포를 파악하는데도 힘쓰고 있다. 특히 생태계에서 Keystone species의 역할을 하는 Tinder sponge, Red-edged porlins, red deer, bark beetles와 같은 생물들은 전체 생태계의 건강도를 파악할 수 있는 생물로서 장기 생태 연구에서 우선적으로 연구되고 있다.

(3) National Park Berchtesgaden

National Park Berchtesgaden은 높은 산악지역 (최고해발 2,713m)과 계곡 등 비교적 험준한 자연 환경을 가졌다. 1978년부터 보호 지역으로 지정되어 관리되어 왔으며 독일-오스트리아 국경 근처 Bavaria의 남동쪽에 위치해 있다.

이곳에서의 장기연구는 주로 모니터링 형태로 진행되고 있다. 장기적으로 모니터링 되고 있는 생물종은 1) Bark beetle 2) Bats 3) Golden Eagle 이 있다. Bark beetle의 경우 1985년부터 지속적으로 모니터링 되어 왔으며 매년 봄에 개체 수 파악이 진행된다. 주로 페로몬을 이용한 덫이 이용되고 공원 전 지역

에 약 65개의 관측 덫이 설치되어 있다. 박쥐의 경우 현재까지 약 6종이 관찰되었다. 박쥐의 존재를 확인하기 위해서 ‘Bat box’ , 사진 촬영 또는 사체를 통해서 종의 존재 여부와 개체 수 추측을 진행하고 있다. Golden eagle(*Aquila chrysaetos*)은 2002년부터 지속적으로 모니터링 되고 있으며 현재까지 약 5개의 서식지가 파악되고 있다. 지속적인 모니터링으로 Golden eagle 같은 희귀 조류의 서식 및 번식을 용이하게 하기 위해서 번식기에는 패러글라이딩, 행글라이딩 등 서식지 주변에서 인간의 활동을 금지하고 있다.

III. 결론

장기 생태 연구는 단기 연구로는 밝힐 수 없는 생태계 시스템의 상호작용을 밝힐 수 있다는 데에 큰 의미가 있는 연구 방법이다. 그러나 생태계 시스템의 경우 장기적인 변화를 파악하는데 시간이 많이 소요되며 그만큼 많은 인력과 자본이 요구되는 것 또한 장기 생태 연구를 시작하기 어렵게 하는 요인이 된다. 그럼에도 불구하고 장기적인 모니터링은 생태계 변화를 거시적인 관점에서 볼 수 있게 하며 장기적으로 환경을 보존, 관리한다는 관점에서 필수적인 데이터를 제공하기 때문에 결론적으로 필요한 연구 방법임에는 분명하다. 독일에서는 장기 생태 연구를 지속적으로 진행하기 위해서 관측 장비의 자동화를 적극적으로 추진하고 있는 추세이며 또한 시민들의 참여를 통해서 물리적으로 제한된 전문가의 수를 보완하려는 노력도 진행되고 있다. 또한 국립공원을 관광 자원으로만 보지 않고 진정으로 자연 보호를 위해서 인간의 접근과 훼손을 최소화하려는 노력 또한 진행되고 있다. 생태적으로 중요한 지점을 파악하고 환경 변화에 쉽게 노출될 수 있는 지역을 파악하여 모니터링 함으로서 환경 변화에 따른 생태계 변화를 예측하고 이에 대비할 수 있는 가이드라인을 제시할 것으로 예상된다.

참고 웹사이트

독일 지역 장기연구 프로젝트: www.ufz.de/lter-d/index.php?en=42518

유럽 연합 장기연구 프로젝트: www.lter-europe.net

Alfred Wegner Institute, www.awi.de

Bavarian Forest, www.nationalpark-bayerischer-wald.bayern.de

Bocknis Eck, www.bokniseck.de

Europarc, www.europarc-deutschland.de

GEOMAR, www.geomar.de

Helmholtz Center for Environmental Research UFZ, www.ufz.de

IGB, www.igb-stechlinsee.de/ www.igb-mueggelsee.de

IOW, www.io-warnemuende.de

Leibnitz Institute for Ecological Spatial Development, www.ioer.de

Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF) eV, www.zalf.de

Northwest German Forestry Research Institute, www.nw-fva.de

National Park Berchtesgaden, www.nationalpark-berchtesgaden.bayern.de

Research center Julich, www.fz-juelich.de

Senckenberg Research Institute, www.senckenberg.de

캐나다 장기생태연구 현황

장 지 훈

I. 서 론

캐나다 온타리오 천연자원부는 1991년 봄, 장기적인 지속 가능 임업 이니셔티브의 일부인 장기 생태 연구 (LTER)의 하나로서 지속 가능한 임업 구상 (Sustainable Forestry Initiative)을 발표했다. 캐나다 장기 생태 연구 프로그램은 거시적으로 산림에 대한 정책 개발을 지원하는 과학 기반 지식을 제공하고 생태계의 건강을 감시하는 역할을 해왔다. 지속 가능한 임업의 응용과학 및 기술 섹션의 일환으로 5 년간의 프로그램 개발 단계를 거쳐 410 만 달러의 예산이 소요된 것으로 알려져 있다. 다양한 기관들이 온타리오 주에서 장기간의 연구를 지원했고 1980년 이래로 캐나다 산림청은 산성 강수가 관용에 미치는 영향을 조사해 왔다. 터키 호수 연구 사이트의 경목 숲 생태계, 토양 및 호수 산성화 연구는 환경부에 의해 주도되어왔다. 거의 20 년 동안 캐나다 온타리오 주 하프 레이크 (Harp Lakes)와 캐나다 수산부 (Canada Department of Fisheries)에 의해 연구된 온타리오 주 북서쪽 Experimental Lakes Area의 연구는 35년이 넘는 상당한 장기 연구로 알려져 있다.

과거 장기간의 생태 연구 프로그램은 공식적으로 거의 이루어지지 않았다. 자금 조달 기관에 의해 인정받아야 했지만, 실제로는 장기간의 연구에 기인한 주요한 지속적인 자금 조달을 받지 못하여 중단되는 일이 빈번하였다. 그럼에도 불구하고 기대와 달리 반복된 연구 결과와 점진적인 연구 범위의 확장으로 연구자들은 이전에 알려지지 않은 것을 다수 관찰하게 되었다. 이와 같은 과거 연구 발전과정과 성과를 바탕으로 현재 진행되거나 계획 중에 있는 캐나다 정부 차원의 장기 생태 연구를 알아보고자 한다.

II. 본 론

1. 장기 생태 연구로서의 국립공원 연구(CanadaPark, 2017)

가. 연구 현황

캐나다 국립공원(Parks Canada)은 과학적 이해를 넓히고 관리, 계획 및 운영 관행에 대한 책임 있는 결정을 내리기 위해 기본적인 조사 및 모니터링 활동을 하고 있고 모든 연구 활동은 생태적 무결성이 유지되도록 장려되고 관리되고 있다. 일반인에게도 국립공원 혹은 그 연구에 대해 관심이 있을 경우 온라인 조사 및 수집 허가 시스템을 이용하여 도움을 받을 수 있다.

국립공원은 다른 연구들과는 상대적으로 안정된 상태인 자연 환경과 그 구성 요소를 연구할 수 있으므로 생태학적 벤치마크 역할을 하는 장기 생태 연구 사이트로 활용된다. 공원 기반 연구는 공원 관리 및 분석을 돕는 가치뿐만 아니라 자연 생태계에 관한 과학 지식의 증대에 기여하고 있다. 공원에서 이루어지는 과학적 연구는 자연스럽게 일어나는 생태계에서의 변화뿐만 아니라 인간의 개입에 의해 변화되는 자연 현상들을 밝혀내는데 도움을 줄 수 있기 때문에 그 가치는 더욱 높다고 할 수 있다.

나. 장기 생태 연구 사례

2017년 캐나다 국립공원에서는 다음과 같은 다양한 연구가 수행된 바 있다.

(1) 공원 계획

캐나다 국립공원 설립 및 관리를 위한 최적의 생태적 경계의 설정에 목표를 두고 있다. 매니토바의 인터레이크 (Interlake) 지역의 제안으로 시작된 국립공원 계획. 광범위한 생태학적 고려 사항을 고려한 크기와 구성을 가진 공원을 조성하기 위해 지리적 기반 분석 접근법이 사용되었다. 생태 데이터베이스를 이용한 접근방식으로 다음과 같은 사항을 달성하였다.

- 지역적, 대략적인 규모 및 지역적 규모에서의 육상 및 수생태계와 생물학적 및 생리학적 특징의 발생 및 공간 분포 측면에서의 목표의 정확한 표현
- 생태 및 진화 과정의 유지 및 보호 지역의 생태적 경계를 정의하기 위해 경관 생태 원리에 기반을 둔 새로운 접근법을 개발하는 방식

(2) 전통적인 생태 지식과 천연 자원 관리 : 북부 캐나다에서의 사례 연구

원주민 그룹, 학계, 정부 및 NGO가 협력하여 전통적인 생태 지식 (TEK)을 의사 결정에 사용하거나 통합하는 것을 목표로 해 2002년부터 시작된 프로젝트가 현재 자원 관리에 어떻게 영향을 미치는지 탐구하는 프로젝트이다. 4-5건의 사례 연구 관리 체계를 형성하는 원주민 체계와 지식 체계를 문서화할 계획이며 의사 결정 과정에서 TEK 용어, 개념 및 절차의 사용에 대해서도 다룰 예정이다.

(3) 쿠치부광 공원 (Kouchibouguac National Park)에서의 과학적 조개 관리 방법의 적용

1981년부터 이 지역 주변의 주민들은 공원에서 상업용 어업뿐만 아니라 부드러운 껍질 대합 (*Mya arenaria*)과 같은 전통적인 조업을 시작하였다. 1993년 이전부터 늘어나는 어획량에 대비해 조개 개체군의 장기 생존을 보장하는 효과적인 관리 체계가 전무했다. 1993년부터 1996년까지 실시된 조개

개체수 조사는 개체수를 넘어서는 과도한 수확률을 보여 주었고 그 결과에 따라 1997년부터 1999년까지 2년 동안 조개 채집이 금지되어 지역 수확기의 소득 손실이 발생했다. 새로운 모니터링 프로그램은 설문 조사 중 조개 침대(bed)에 대한 데이터를 수집하고 현지 수확기에 대한 전통적인 지식을 고려하도록 하였다. 데이터는 지리 정보 시스템 (Geographic Information System, GIS)으로 분석되고 매핑되어 밀도와 연령 분포를 볼 수 있는 조개 침대를 나타낼 수 있다. 이 방법을 통해 관리자는 수확 준비가 된 침대뿐만 아니라 각 침대의 수용 수준을 예측하여 회전 방식의 수확 방법을 구현할 수 있으므로 수확의 과잉으로 인해 생길 수 있는 피해를 예측할 수 있다.

(4) 고급 고 방사 분석 (AVHRR) 모니터링

2001-2002년 대규모의 인공위성 이미지를 사용하여 세 가지 모니터링 목표를 달성하는 프로젝트를 진행하였다. 이는 식물 군체의 분열을 정량화하고, 큰 호수에서 얼음이 사라지는 간격을 측정하고, 인간의 접근이 불가능한 북부 공원에서 일찍 초목이 자라는 장소를 확인하는데 목표가 있다. 이러한 목표를 모두 충족시키면 대규모 공원의 피해 및 지구 온난화가 국립공원 네트워크의 생태학적 무결점에 미치는 역할을 이해하는 데 도움이 된다.

(5) 엘스미어 섬(Ellesmere Island)의 피어리 순록(*Peary caribou*) 개체수 현황 모니터링과 현재 인구 수준에 영향을 미치는 요인

지난 40년 동안 엘리자베스 여왕 (Elizabeth Islands)의 피어리 순록 (*Peary caribou*) 개체 수는 90% 이상 줄었다. 가장 최근의 급격한 감소는 1994년과 1997년 사이였으며 쇠퇴의 유력한 원인은 극심한 겨울과 봄 날씨에 기인 한 것으로 나타났다. 2001-2002년, 엘스미어 북부 지역 순록의 개체 규모와 분포를 기록하기 위한 학제간 프로젝트가 시작되었고 이 프로젝트는 또한 AVHRR 위성 이미지인 식물 생산성 지표를 사용하여 순록의 중요한 서식지를 식별하는 것을 목표로 한다. 병행하여 인구 감소의 정도는 유전자 분석 (population bottlenecks)에 의해 평가 된다.

(6) 생태계 관리 - 해안 브리티시컬럼비아 고생물학 : 육지 해양 상호 작용

마지막 대륙 빙하 이후 생태계 구조와 육지, 담수 수생 및 해양 시스템 간의 상호 작용을 관리하는 환경 요인에 대한 이해를 개발하기 위해 고지 학적 기술을 사용하는 새로운 연구 프로그램이 2001년에 착수되었다. 캐나다의 서해안에서의 유럽 정착 이전의 생태계의 구조와 기능을 이해하고 생태학적 완전성, 생물학적 보전 및 기후 변화와 관련된 문제에 어떻게 적용되는지

연구한다. 식생활, 수생 생물 및 연어 존재의 변화는 캐나다의 서해안을 따라 방사성으로 측정된 퇴적물 핵을 사용하여 조사되고 캐나다의 보호 지역에 대한 생태학적 무결성의 척도로 사용된다.

(7) 북부 국립공원 연구

캐나다 국립공원의 합계 면적은 약 300,000 평방킬로미터로 이탈리아의 크기와 비슷하다. 전통적인 기술과 지식을 사용하여 이 지역의 원주민들과 협력할 뿐만 아니라 우주에서의 최신 이미징 기술과 결합된 혁신적인 조사 방법을 가지고 공원 시스템 내에서 다양한 생태계 배열에 대한 장기적인 지식을 축적한다.

캐나다는 1960년대부터 인공위성 기술에 대한 실질적인 전문 지식을 육성하여 한 세대 전에 상상할 수 없었던 지속적인 환경 관측을 수행 할 수 있게 했다. 이는 캐나다 국립공원이 세계에서 가장 큰 공원 중 일부를 관리 할 수 있게 해준다.

지상 환경의 복지는 20세기 초 캐나다 국립공원 창설과 함께 도입 된 기본 개념이었다. 이것은 캐나다 북극 및 아 북극 지방의 모든 곳을 탐구하는 글로벌 이니셔티브 인 국제 극지 (Polar Year) 기간 동안 진행된 조사를 포함하여 이 기관의 활동을 지속적으로 추진하는 개념이다. 대규모 북부 공원을 도보로 측량하는 것은 풍경에 대해 가장 많은 세부 사항을 제공하지만 상당한 시간과 노력이 요구되는 반면 궤도 진입하는 인공위성은 신속하게 광대한 영역의 정보를 제공 할 수 있지만 한계 또한 존재한다. 지상과 하늘에 접근 방식을 통합함으로써 공원의 전체 상태에 대해 훨씬 더 많은 것을 배울 수 있기 때문에 연구자들은 툰드라, 담수 및 다른 샘플링을 공원의 작은 부분에 집중시켜 지역에 대한 전통적인 지식으로 결과를 향상시킨 다음 기존 결과를 위성 이미지의 데이터와 최종적으로 연결한다.



[그림 1] Map of northern National Parks (CanadaPark, 2017)

2. 실험 호수 지역 (Experimental Lakes Area)

가. 개요

케노라 (Kenora)에 위치한 실험 호수 지역은 환경에 미치는 인간의 영향에 대한 이해를 높이기 위해 작은 호수에서 실제 실험을 수행 할 수 있는 독특한 연구 시설이다. IISD Experimental Lakes Area (2014년 이전에 ELA로 알려진 IISD-ELA) 은 캐나다의 온타리오 주 케노라 지역의 초기 담수호 58개를 포괄하는 독특한 국제연구기지이다 (Wikipedia, 2018). 캐나다 연방 수산부 (Fisheries and Oceans Canada)가 이전에 운영 한이 시설은 캐나다 연방 정부 (Canadian Federal Government)의 자금 지원을 받지 못하고 현재 국제 지속 가능 발전 연구소 (IISD)에서 관리 및 운영하고 있다. IISD-ELA는 전체 생태계 접근법을 사용하고 부영양화에 중점을 둔 담수에 대한 장기간의 전체 호수 조사를 수행한다. ELA는 기후학, 수 문학, 물 관리에서 주요 문제를 다룬다.

나. 연방 정부의 예산 투입 결정

최근 2018년, 해양 및 해안 경비대 장관은 이 시설에 앞으로 4년에 걸쳐 총 4백만 달러를 투자한다고 발표했다. (ForbesRyan, 2018) IISD - Experimental Lakes Area는 북부인들에게 커다란 자부심으로 알려져 있다. 연방 기금은 캐나다 보리 호수의 어업 건강과 생산성의 장기적인 추세와 생태학적 변화를

확인하는데 도움이 되는 다양한 지표를 모니터링 하는 장기 생태 연구 프로그램을 지원할 것이다. 이 연구에 의해 생성된 공개 데이터 세트는 대중, 연구자 및 정부가 인간 및 환경의 스트레스 요인이 담수 생태계에 어떻게 영향을 미치는지 이해하고 캐나다의 담수 자원과 생태계에 대한 과학 기반 관리를 촉진 할 수 있게 될 것이다. 투입되는 재원은 연구 시설에서 수행된 연구에 대한 담수 자원을 보호하는데 도움이 되는 기술에 도움이 될 수 있게 한다는 게 정부의 의도이다. IISD - Experimental Lakes Area는 담수 수질에 대한 광범위한 지표에 대한 비교할 수 없는 반세기의 데이터를 보유하고 있고 데이터를 공개적으로 공유하여 최대한의 영향을 줄 수 있도록 하고 있다 (CanadaFisheries, 2018).

다. 연구 문헌

ISD Experimental Lakes Area와 관련된 연구 활동은 1968년부터 현재까지 이어지고 있으며 저널 기사 및 대학원생 논문으로 보관되어 있다. 무려 1000여 권의 심사숙고 된 과학 간행물에 설명되어 있다. 진행 중인 연구 프로젝트는 연구 페이지에서 찾을 수 있고 다음과 같이 2018년도에 두 가지 연구 결과를 검색할 수 있다 (ELA, 2018).

제 목	저 자	저 널
Long-term responses of nutrient budgets to concurrent climate related stressors in a boreal watershed	Craig A. Emmerton; Ken G. Beaty; Nora J. Casson; Jennifer A. Graydon; Raymond H. Hesslein; Scott N. Higgins; Hisham Osman; Michael J. Paterson; Andrew Park; Jacques C. Tardif	Ecosystems
Addition of silver nanoparticles has no long-term effects on natural phytoplankton community dynamics in a boreal lake	Conine, Andrea L.; Rearick, Daniel C.; Paterson, Michael J.; Xenopoulos, Marguerite A.; Frost, Paul C.	Limnology and Oceanography Letters

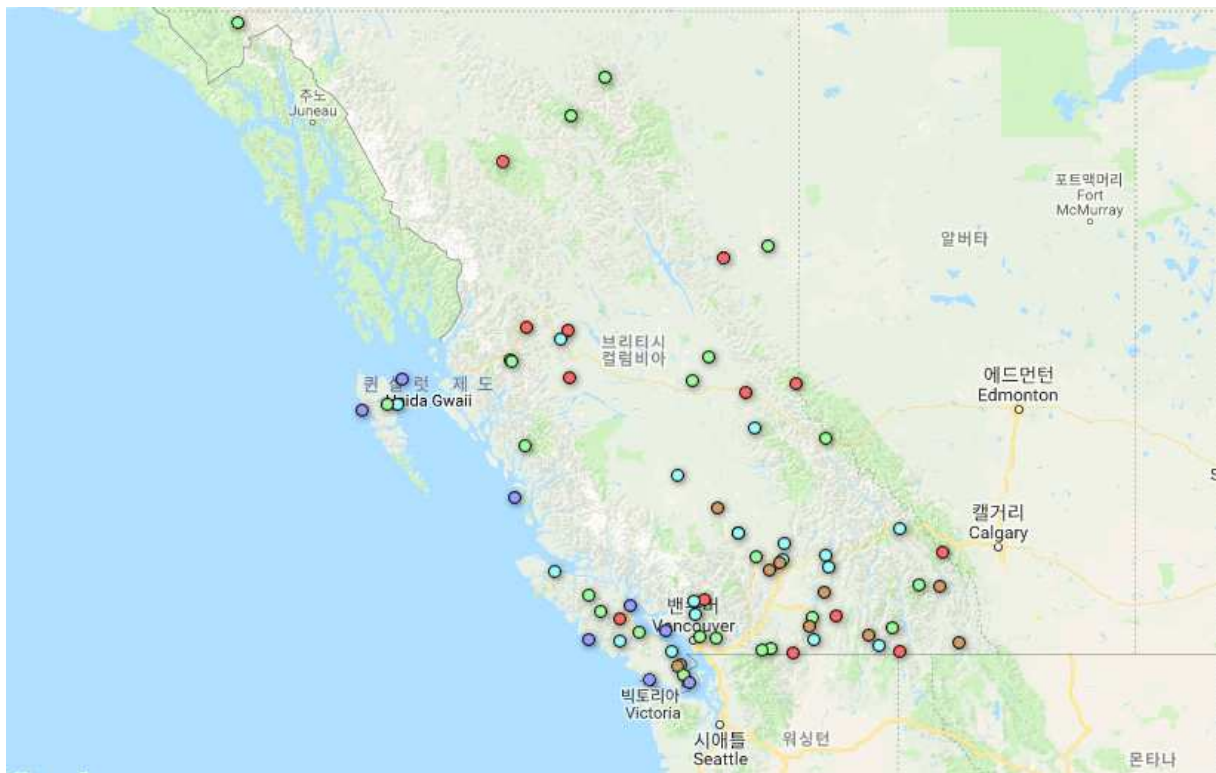
3. 브리티시컬럼비아 주립공원 (BC Parks) 장기 생태 모니터링 프로그램 (ParksBC, 2018)

가. 장기 생태 모니터링 프로그램 개요

브리티시컬럼비아 주의 보호 지역은 1천 4백만 헥타르 이상에 이른다. 공원은 인간의 직접적인 영향으로 부터 격리되어 생태를 모니터링하기 위한 장소라는 점에서 오랫동안 벤치마크로 인식되어 왔다. 브리티시컬럼비아 주립공원의 장기 생태 모니터링 (Long Term Ecological Monitoring, LTEM) 프로그램은 해양 및

조간대 생물권에서 고산 및 하위 고산 생물 분포 지역까지의 브리티시컬럼비아의 자연에서 발생하는 생태 변화를 모니터링 한다. 10, 20, 50년 등의 주기로 모니터링 결과가 취합 및 분석되는데 이 모니터링의 결과는 매우 다양하고 지형학적으로 복잡한 지역의 추세와 변화율을 설명하는데 매우 유용하다.

이 프로그램은 브리티시컬럼비아 주 전역의 기후 변화에 대한 생태계 반응을 추적하고 적시에 추세를 공개하기 위해 2011년 주립공원에서 시작된 프로그램이다. 브리티시컬럼비아 주 전역에 걸쳐 토지를 소유하거나 관리하고 있는 관리 담당의 주체는 주정부의 자연 자원을 보호하기 위하여, 다양한 정보를 근거한 의사 결정의 수단으로 브리티시컬럼비아 주 관할 생태계 변화를 알아야 할 필요성이 있다. 그러한 면에서 브리티시컬럼비아 국립공원의 LTEM 데이터베이스는 토지 관리자에게 귀중한 자원으로 사용되고 있다. 브리티시컬럼비아 주 내의 각 관리 지역에서 사소한 정보를 입력할 수 있도록 하는 동기를 이끌어내는데 의의가 있다. 그러한 프로그램의 프레임 워크는 역사적으로 대규모 예산을 필요로 했던 장기 모니터링 프로젝트의 단점을 극복하고 있다.



[그림 2] BIOME (세계 전역에서 육지 생물을 매핑하는 한 가지 방법) 설명 모니터링 사이트 맵 (ParksBC, 2018)

나. 장기 생태 모니터링 프로그램의 운영 방식

장기 생태 모니터링의 참여로 브리티시컬럼비아 주립공원은 LTEM 프로그램의 초기 단계에 있으며 각계의 파트너와 자원 봉사자가 데이터를 수집하고 데이터베이스를 구축 할 수 있도록 지원하고 있다. 생태 모니터링은 시스템의 상태를 결정하기 위해 생태계에서 선택된 객체와 값을 반복적으로 관찰하여 시간을 측정한다. 장기 생태 모니터링 연구에서 밝혀지고 있는 추세는 인류가 점점 더 많이 겪고 있는 급속한 기후 변화에 대한 각기 다른 생물체와 지역의 다양한 반응을 보여주고 있다. 이 프로그램에는 직접 고지대, 초원, 습지대, 삼림과 조간대의 다섯 가지 생물 군이 감시된다. 각 Biome(세계 전역에서 육지 생물을 매핑하는 한 가지 방법)에는 주립공원 직원 또는 자원 봉사자가 수행하는 1-3 가지 준척이 있다. 각주의 관리 구역 (현재 50개)은 시간 경과에 따른 종의 변화 (고산지, 초원 또는 조간대)와 생산성 (습지 및 삼림)을 측정하는 두 가지 도표를 설정하고 있다.

4. 고래 관광에 대한 해양 장기 생태 모니터링 연구

고래 관광은 선진국과 개발도상국의 주요 산업이다. 세계 각국에서 고래 산업의 관리 및 보전은 사회, 경제적, 생태학적 요인들로 인해 발생하지만 장기간의 생태학 연구는 종종 빠져있다. 빅토리아 대학의 고래 연구소 (Whale Research Lab)는 고래 관광과 관련하여 회색고래의 이동 패턴을 연구했다 (StevensonKira, 2016).

25년 넘게 밴쿠버 섬 클레이콧만(Clayoquot Sound)의 고래의 지속 가능한 고래 관찰법과 기타 자원의 사용을 검토하여 이 지역 남부에서 고래 관찰이 어떻게 진행되는지 관광 보트의 동선과 관광산업의 압력과 관계하여 분석하고 정량화했다. 2012년 및 2013년에는 고래 관광철에 따라 회색 고래의 존재에 영향을 미치는 계절과 생물학적 역학에 따라 달라지는 점을 발견하였다.

Ⅲ. 결 론

이 보고서는 캐나다에서 현재 진행되고 있는 장기 생태 연구의 현황과 계획을 소개하고 있다. 캐나다는 현재 세계에서 그 어느 나라보다도 주도적으로 환경 및 생태 연구 및 프로젝트를 진행하고 있는 나라로 손꼽히고 있다. 앞서 살펴 본 바와 같이 드넓은 공원을 확보한 캐나다 국립공원의 장기 생태 연구가 두드러지고 있고 각 주정부의 독특한 자원 및 지형을 탐구하기 위한 자체 프로그램도 활발하게 이루어지고 있다. 상당히 오래된 역사를 가진 온타리오 주 일원의 실험 호수지역은 캐나다 연방정부와 오랜 인연을 가지고 있었지만 지원 중단과 복원 등의 과정을 거치면서 최근 4년간 4백만 달러의 연구비 투자 계획을

가지게 됐다. 기술적인 부분에 있어서는 시대의 흐름에 따라 위성을 활용한 위치 정보, 유전자 정보 분석, 데이터 수집 및 마이닝 등의 기술을 이용하고 이미지 프로세싱도 활용하는 경향이 두드러진다.

참고문헌

- Canada, F. a. (2018, 08 01). *Cision*. Retrieved from Government of Canada Invests \$4 Million in Long-term Ecosystem Research at the Experimental Lakes Area:
<https://www.newswire.ca/news-releases/government-of-canada-invests-4-million-in-long-term-ecosystem-research-at-the-experimental-lakes-area-689792851.html>
- Canada, P. (2017, 07 18). *Park Canada*. Retrieved from Research in National PArks: <https://www.pc.gc.ca/en/nature/recherche-research>
- ELA. (2018, 08 21). *IISD-ELA*. Retrieved from Publications:
<https://www.iisd.org/ela/science-data/publications/>
- Forbes, R. (2018, 08 02). *\$4 million for ELA research*. Retrieved from Kenoraonline:
<https://www.kenoraonline.com/local/4-million-for-ela-research>
- Parks, B. (2018, 08 20). *BC Parks*. Retrieved from BC Parks' Long Term Ecological Monitoring Program:
<http://www.env.gov.bc.ca/bcparks/partnerships/item/>
- Stevenson, K. K. (2016). Using Long-Term Ecological Research to Promote Sustainable Whale-Watching Practices in Clayoquot Sound, British Columbia. *Tourism in Marine Environments*, 11, no. 4, 243-249.
- Wikipedia. (2018, 8 15). *Experimental Lake Area*. Retrieved 8 15, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Experimental_Lakes_Area

참고 웹사이트

BC Parks, <http://www.env.gov.bc.ca/bcparks>
IISD ELA5, <https://www.iisd.org/ela/>
Park Canada, <https://www.pc.gc.ca/en/nature/>