

2018

7월

NIE
해외교류연구원
활동보고서



CONTENTS

- | | |
|------------------------------|----|
| 1. 호주 침입외래종 관리
연구동향 및 사례 | 1 |
| 2. 독일 침입외래종 관리
연구동향 및 사례 | 8 |
| 3. 캐나다 침입외래종 관리
연구동향 및 사례 | 14 |

호주 침입외래종 관리연구동향 및 사례

지형근

I. 서론

외래종은 자생지에서 벗어나 다른 지역에 정착하며 새로운 지역에 터를 잡고 보편적인 생물체로 발전한 동물, 식물, 기생균 및 질병을 유발하는 유기체를 말한다. 따라서 한 지역의 토종이 다른 지역에 정착하여 규모가 증가하면 그 지역의 외래종이 되는데, 호주에 유입된 외래종들은 보통 해외에서 들여온 농작물, 목초, 조경수 혹은 취미와 여가를 위해 반입된 동물, 애완견, 가축에서 비롯되었다. 유입된 외래종들은 오랜 시간에 걸쳐 개체수가 증가하면서 토착종에 위협이 되기도 하고, 생태계 파괴를 야기하기도 하며 동시에 농업과 같은 인간의 주요 사회 경제 활동에도 영향을 주고 있으며 호주 정부는 현재 직면한 환경문제들 가운데 가장 심각한 문제들 중 하나로 외래종 유입을 주목하고 있다.

예를 들어 수수두꺼비(*Rhinella marina*)나 모기고기(*Gambusia Holbrooki*)는 과거에 유해동물들의 개체 수를 조절하기 위해 의도적으로 도입되었으나 결국 호주의 토종 생명체와 생태계에 위협을 가하는 외래종이 되었다. 또 다른 예로 *Mimosa Pigra*라는 이름을 갖고 있는 열대아메리카지역의 식물은 급속한 속도로 호주에 번식하여 북쪽지역 800km² 이상에 걸쳐 번식했으며 다른 지역으로 계속 확장되고 있다. 종종 이러한 외래종들이 질병을 유발할 수 있는 균과 바이러스를 동반하는 경우도 있어서 위험성이 있다. 호주로 이주해온 유럽인들에 의해 들여온 *Phytophthora Cinnamomi*라는 흙에서 자라는 균들이 호주의 토종 식물들의 잎마름병(혹은 모잘록병, dieback)을 유발하였으며 앵무새들의 깃털병(Beak and Feather Diseases)까지도 발생시킨 것으로 알려져 있다.

호주에서 관찰되는 침입외래종에 의한 피해는 경제적 가치로 환산했을 때 수백만 달러에 달하는 것으로 보고되고 있다. 호주 정부는 주정부 및 관련 전문가들과 함께 외래종에 대한 다양한 연구 활동을 진행해 나가면서 생태계 균형을 유지하고 또 회복할 수 있는 방안들을 모색하고 있다. 한편 정부 보고서에 따르면 침입외래종을 제거하는 방법은 많은 경우 현실적인 대안이 되기 힘들기 때문에 침입외래종이 유발하는 피해를 최소화하면서 종들을 관리하고 개체수를 줄여나가는 방법에 중점을 두고 있다. 이번 보고서는 최근 연구 자료와 사례들을 통해서 호주에서 관찰되는 침입외래종 꿀벌과 불개미의 연구 동향 및 관리 방안 등을 분석하고 있다. 이번 조사에서 사용된 연구 자료는 호주 정부의 과학연구 기관인 Commonwealth Science & Industrial Research Organisation (CSIRO)와 호주정부 기관 Department of Agriculture, 그리고 비정부 기관이지만 정부와 긴밀한 협업 관계 속에서 침입외래종 연구와 관리에 힘쓰는 Invasive Species Council의 최근

연구 자료를 활용했으며 각 기관의 웹사이트에서 다양한 사례 조사 및 활동 내용을 확인할 수 있다.

II. 본 론

1. 외래종 꿀벌(Honey Bee)의 유입 가능성 분석 강화 사례

최근 항구를 통해 들어오는 외래종들에 대해 예측불가능한 상황과 그에 따른 경제적 환경적 손실이 상당히 증가하고 있다. 호주 정부가 운영하는 최대 규모의 과학연구 기관인 CSIRO가 발표한 침입외래종 관리 및 대처 방안에 대한 한 연구 자료는 꿀벌에 대한 사례조사를 토대로 항구별 외래종의 유입 가능성을 분석하고 수치화된 데이터를 제시함으로써 감시 및 관리 활동에 실질적인 판단 기준을 제공하였다 (참고: Heersink 외, 2016, Quantifying the Establishment Likelihood of Invasive Alien Species). 연구결과가 실질적인 외래종 관리에 도움이 되면서 동시에 침입외래종 관리를 위한 방법론의 발전이라는 측면에서 가치 있는 연구 결과를 제시하고 있다. 항구별 외래종 유입가능성 산출 방식(그림1)은 생명체의 원산지 국가(그림2)와 호주 각 항구의 특성(그림3)을 고려하고 있다.

가. 접근 가능성 산출 (Quantifying Approach Rate)

접근 가능성 산출은 다음 네 가지 항목들에 대한 연구 조사 내용을 기반으로 계산 공식을 제시한다: (1)국가별 침입 외래종의 흡수 가능성, (2)해외에서 호주로 오는 항해기간 동안의 외래종 생존 가능성, (3)침입외래종의 유입 빈도와 선박들의 정박 빈도의 상관관계, (4)항구별 특성에 의해 나타나는 차단 가능성 및 능력.

나. 항구별 수용성 산출 (Quantifying Port Receptivity)

항구별 수용성은 각 항구의 시설과 이를 둘러싼 환경이 외래종들이 선박에서 육지로 이동하고 또 주변 환경으로 잠입하며 발달하기까지의 종합적인 가능성들을 분석한 결과이다. 계산 과정은 크게 두 단계로 이뤄진다: 우선, Alighting Kernel이라 지칭된 첫 단계에서는 외래종이 선박에서 나와 우선적으로 정착할 수 있는 적합한 잠재적 서식지까지의 이동 거리에 대한 조사결과이며, 둘째, Species Distribution Model (SDM)은 외래종들이 장기적으로 정착할 수 있는 항구도시 내의 생태조건 및 환경에 대한 연구 결과이다.

다. 항구별 유입 가능성 (Quantifying Port-Based Establishment Likelihood)

산출된 접근 가능성과 항구별 수용성을 토대로 최종적인 연구 결과물인 항구별 침입외래종 발달 가능성이 조사된다. 연구 보고서에는 ‘Establishment

Likelihood' 항목으로 표시되어 있으며, 침입 외래종 꿀벌 *Mellifera*에 대해서는 Fremantle 항구가 29.3148로 가장 높은 가능성을 보이고 있으며 또 다른 종인 Cerana는 Brisbane 항구가 26.4779로 가장 높은 가능성을 기록하였다.

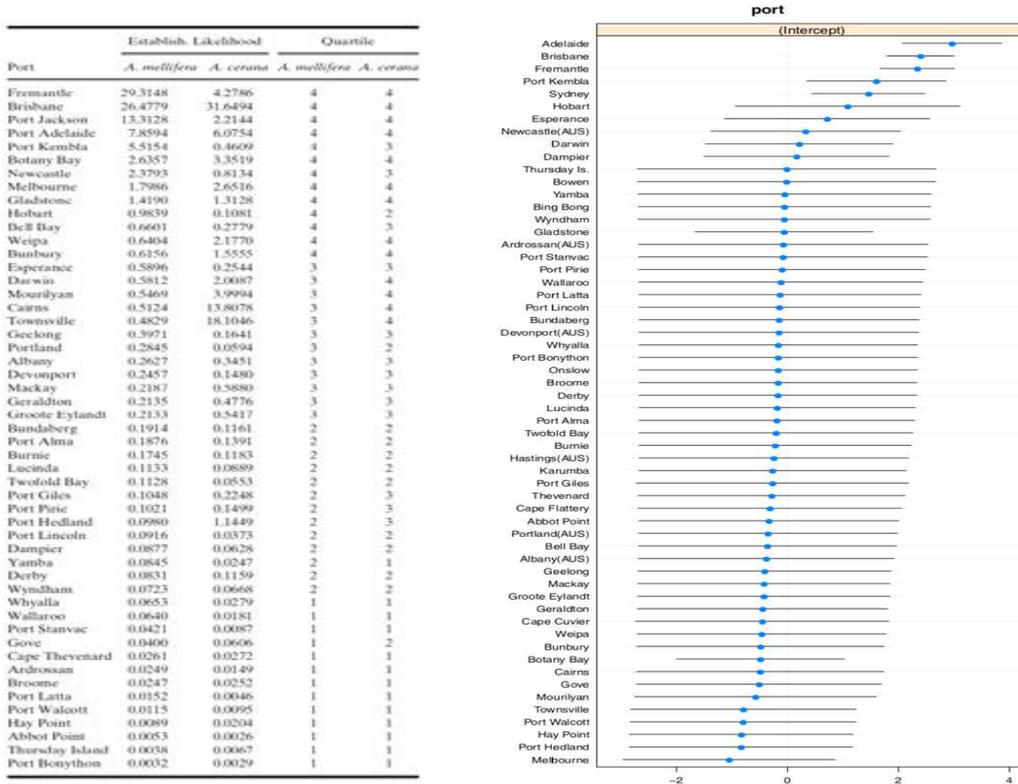


그림1. (좌) 최종 평가결과: 호주 항구별 외래종 꿀벌 유입 가능성 평가

그림2. (우) 무선효과 평가결과: 호주로 유입되는 꿀벌의 원산지 국가

(출처: Heersink 외, 2016)

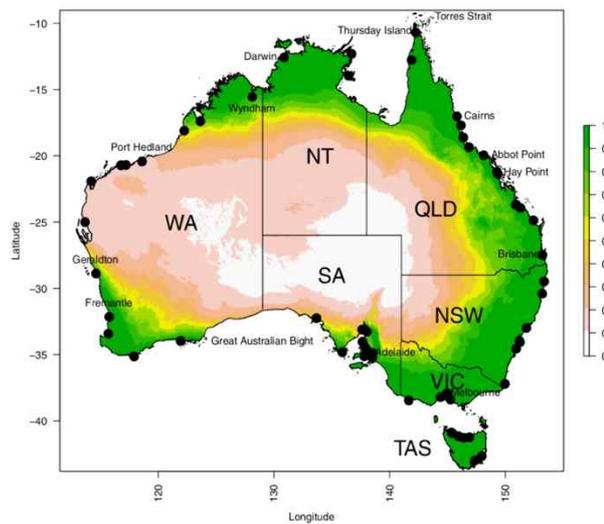


그림3. 무선효과 평가결과: 호주 항구에서 감지되는 외래종 꿀벌

(출처: Heersink 외, 2016)

2. 불개미(Red Imported Fire Ant) 외래종 사례 및 대응방안

불개미는 많은 숫자의 여왕개미들이 존재하고 개체수가 다른 개미나 곤충과 동물들보다 월등히 많다. 2-6mm 크기의 작은 몸집에 공격을 할 수 있는 침을 갖고 있는데 공격성이 강하고 많은 숫자의 불개미들이 함께 활동하여 몸집이 훨씬 큰 먹이들을 위협할 수 있다. 불개미는 호주뿐만 아니라 전 세계적으로 가장 위협적인 침입외래종으로 평가되고 있으며 호주의 생물들과 생태계를 위협하는 대표적인 종이다.

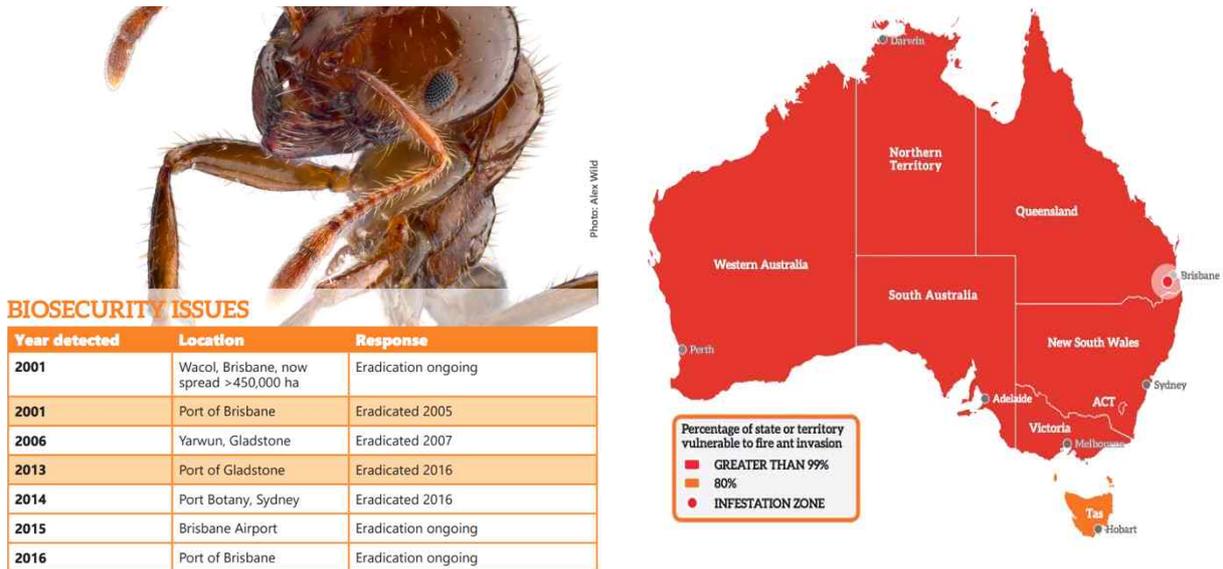


그림4. 최근 호주 불개미 피해 발생 및 경과
(출처: Invasive Species Council, 2017)

가. 최근 불개미 사례

호주에서 발견되는 외래종 불개미는 남아메리카 산으로 추정되며 수입품 유통 과정에서 선박을 통해 유입된 것으로 추정된다. 불개미는 호주의 특정 항구를 통해 들어오기 보다는 여러 항구에서 불규칙적으로 유입, 발견되고 있으며 최근 2016년에는 브리즈번 항구에서, 전년도에는 같은 지역의 공항에서, 2014년에는 시드니의 Botany항구에서 발견되었다. 브리즈번의 두 사례는 (2017년 11월 기준) 제거작업이 진행되고 있으며 시드니 사례는 현재 침입외래종 불개미의 제거작업이 종료되었다. 아래 그림 자료에서 표시되어 있듯이 2001년에 브리즈번 Wacol지역에서 발생한 불개미 번식 사례는 16년이 지난 지금까지도 제거작업이 진행되고 있다.

나. 경제적 피해

호주의 지방정부들은 2016년 중반까지 3억 3천 (호주)달러 예산을 불개미 퇴치를 위해 사용하였으며 향후 10년간 3억 8천 달러의 추가적인 예산을 계획하고

있다. 막대한 자금이 불개미 제거 및 억제를 위해 사용되고 있지만 예상되는 불개미 피해에 대한 경제적 손실에 비하면 적은 비용임을 정부 보고서에서 밝히고 있다. 예를 들어 퀸즐랜드 주의 보고에 따르면 South East Queensland 지역만 향후 30년간 450억 달러에 해당하는 경제적 피해가 예측된다고 한다. 사람의 신체 건강에도 위협을 가하는 불개미는 호주 전역에 걸쳐 매년 140,000 의료상담 및 3000 건의 과민성 반응에 대한 추가적인 조치를 필요로 하기 때문에 사전 조치 및 신속한 대응이 요구된다.

다. 최근 불개미 대처 현황

Table 1 Control scenarios considered in the study

Scenario	Surveillance and treatment budget a (\$m)	Share of budget spent on remote sensing surveillance (%)	Sensitivity of remote sensing surveillance (%)
1	\$10.5	0	na
2	\$10.5	10	High (70)
3	\$10.5	10	Low (40)
4	\$10.5	50	High (70)
5	\$10.5	50	Low (40)
6	\$10.5	90	High (70)
7	\$10.5	90	Low (40)
8	\$21.0	0	na
9	\$21.0	10	High (70)
10	\$21.0	10	Low (40)
11	\$21.0	50	High (70)
12	\$21.0	50	Low (40)
13	\$21.0	90	High (70)
14	\$21.0	90	Low (40)

Note: a Annual program budget for surveillance and treatment. na Not applicable.

그림5. 연구에서 고려된 컨트롤 시나리오 (출처: Australian Government, 2014)

호주 Biosecurity Committee(생물보안 위원회)는 계속되는 피해사례 확산 방지 및 관리를 위해 종합적인 비용효율 조사 실시를 정부에 건의했으며, 원격탐사 (remote sensing)를 활용한 발전된 불개미 감시 시스템 구축과 과학적 데이터 기반의 정책 발전 시스템을 마련하는데 초점을 두었다. 위원회 건의에 따른 최종적인 정부의 최종 방침은 다음 세 가지 절차로 구성되었으며 14가지 시나리오가 제시되었다.

첫째, 외래종 불개미의 대책 방안을 기반으로 한 불개미 번식 예측 모델링: 이를 위해 Spring(외, 2012)과 Scanlan(외, 2006)의 연구내용이 각각 ‘대책 방안에 따른 불개미 번식’ 과 ‘정부의 어떠한 노력이 없을 경우의 불개미 번식’ 을 예측한다. 대책 방안의 대안은 크게 천만 에서 이천만 달러 규모의 대안으로 구분되며 원격탐사 관련 활동이 주요 활동으로 계획되어 있다.

둘째, 관련 활동에 관한 비용 예측: 필요한 비용 분석은 과거 관련 활동 예산

기록을 기반으로 측정되었으며 1만 제곱미터 면적당 원격탐사비용 60 달러와 치료(대처)비용 70달러로 분석되었다. 한해 들어가는 전체 예산은 위에서 언급한 두 가지 경우로 나뉜다. (천만, 이천만 달러).

셋째, 잠재적인 경제적·비경제적 영향력 분석: 잠재적인 비경제적 영향(non-market impacts)은 Spatial Dataset을 토대로 불개미 침입으로 인한 생물 다양성 및 생태 시스템에 미치는 잠재적 영향을 모델링한 결과를 토대로 한다. 한편 경제적 영향은(market impacts) ‘거주자에 대한 영향’, ‘공공 인프라에 미치는 영향’, ‘여가활동, 여행, 상업에 끼치는 영향’, ‘농업에 미치는 영향’을 포함한다.

Ⅲ. 결 론

침입 외래종 관리는 호주의 환경과 경제에 큰 손실을 주고 있으며 다양한 외래종들이 현재까지 영향력을 발휘하고 있다. 침입 외래종을 완벽하게 탐지하고 막는 일은 현실적으로 불가능에 가깝지만 호주 정부와 각 주정부는 피해를 최소화하는 목적에 맞추어 다양한 활동들을 전개하고 있다. 특별히 이번 보고서에서 살펴본 외래종 꿀벌의 경우 호주 항구들에 대한 전체적인 조사를 토대로 외래종 유입 및 번식의 가능성을 분석하였고, 우선적인 조치가 필요한 항구들을 도출함으로써 항구 관리자들과 환경관련 정부부처의 결정에 도움이 될 만한 연구결과를 제시하고 있다. 외래종의 원산지 국가에서 꿀벌이 선박에 들어갈 수 있는 가능성과 향해 기간 동안 꿀벌의 생존 가능성, 그리고 호주 항구에서 번식하고 인근 도시로 확장해나갈 수 있는 가능성들을 종합적으로 분석함으로써 심도 깊은 연구 결과를 보였으며 동시에 꿀벌 외에 다른 외래종 유입 가능성 분석에 적용 가능한 합리적인 침입 외래종 관리 방법을 제시하고 있다. 또 다른 사례인 불개미 관리에 대한 연구 사례는 원격탐사(remote sensing)를 활용한 외래종 관리를 14가지의 시나리오를 갖고 분석하여 예산에 따른 합리적인 접근 방법을 분석하여 관련 정부 부처에서 실질적인 외래종 관리 프로그램을 계획하고 예산을 편성할 때 도움을 줄 수 있는 연구결과를 제시하고 있다. 이번 보고서에서 제시된 두 가지 사례는 외래종 생물에 대한 연구뿐만 아니라 관리를 위한 방법에 대해서도 심도 깊은 연구들이 진행되고 있음을 시사한다.

참고문헌

Australian Government (2004) Invasive species in Australia. Department of the Environment and Heritage.

Australian Government (2014) Cost-effectiveness of biosecurity response options to red imported fire ants in South East Queensland. Department of Agriculture ABARES.

Heersink D., Caley P., Paini D. & Barry S. (2016) Quantifying the establishment likelihood of invasive alien species introductions through ports with application to Honeybees in Australia. Risk Analysis, 36(5), pp. 892-903.

Invasive Species Council (2017) Case Study: Red imported rife ant.

Scanlan J.C., & Vanderwoude C. (2006) Modelling the potential spread of *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) (red imported fire ant) in Australia, Australian Journal of Entomology , vol. 45, pp. 1-9.

Spring D., Croft L. & Kompas T. (2012) Simulation modelling of fire ant spread, draft report prepared for the Australian Centre for Biosecurity and Environmental Economics, Canberra, August.

독일 침입 외래종 관리 연구동향 및 사례

김 동 균

I. 서론

외래종의 침입은 인간의 활동과 기후 변화에 따라서 최근 수십 년 사이 전 세계적으로 급격하게 증가하고 있다. 외래종은 농업, 수산업, 원예업 등 인간의 의도에 의해서 유입되어 우연적 사고에 의해 생태계에 유입되기도 하며 기후의 변화로 자연스럽게 유입되기도 한다. 상당수의 외래종들은 토착종에 아무 영향을 미치지 않고 기존 생태계에 자연스럽게 한 부분을 차지한다. 그러나 몇몇 외래종의 경우 토착종의 번식을 방해하고 서식지를 차지하여 기존 생태계를 교란하는 문제를 야기하고 있다. 침입 외래종은 환경, 경제, 시민의 건강 등 다양한 범주에서 문제를 발생시켜 전 세계적으로 침입 외래종에 대한 객관적인 연구가 진행되고 있다.

이 보고서에서는 독일의 침입 외래종 현황과 관리 방법 그리고 최근 연구 동향을 알아봄으로써 대한민국의 침입 외래종 관리에 도움을 주고자 한다.

II. 본론(조사내용)

1. 독일의 침입 외래종 현황

가. 외래종 관련 용어 정의

(1) Neobiota

Neobiota는 독일 내에서 서식하지 않지만 인간의 활동에 의해서 유입된 동물(neozoa)과 식물(neophytes)을 의미한다. 대부분 인간에 의해 유입된 동물과 식물의 경우 인간의 의도에 의해서 유입된 경우가 많다. 예를 들어 장식용 식물인 glandular bog (*Impatiens glandulifera*), 사냥용으로 유입된 아메리카 너구리 (*Procyon lotor*)등이 있다. 그러나 위의 사례와 다르게 의도하지 않았지만 외부로부터 유입된 종도 있다. 가령 식물의 씨앗들은 육상 운송수단에 의해서 유입되고 Cup shell (*Crucibulum*), *Corbicula fluminea* 같은 수생 생물들은 선박의 평형수로부터 대부분 유입되고 있다. 육상과 수상의 운송수단은 neobiota 유입에 가장 큰 역할을 하고 있으며 1492년의 아메리카 대륙의 발견과 이후 그에 따라 급격하게 증가된 무역량이 외래종 유입을 가속하고 있다.

(2) Non-native species

Non-native species는 1492년 이전에 유입된 동물 (archaeozoa)과 식물 (archaeophytes)로 정의되고 archaeobiota로 불린다. Non-native species와

neobiota는 인간의 활동에 의한 외래종 유입이 급격하게 증가한 1492년을 기준으로 나뉘지만 두 범주 모두 독일에서 서식했던 토착종이 아닌 외부로부터 유입된 종이라는 사실은 동일하다. 독일의 토착종 (indigenous species)의 기준은 마지막 빙하기 이후로 독일 지역에 스스로 정착한 모든 생물로 정의한다. 토착종이 언제 어떻게 독일 지역에 정착했는지는 토양 또는 늪지에 매몰된 화석 기록을 통해서 밝혀낸다. 추가적으로 토착종은 아니지만 인간의 개입 없이 스스로 독일 지역에 정착, 수 세대 번식에 성공하여 특정 서식지 확립에 성공한 동물 (agrivora)과 식물(agriopytes)을 established alien species 로 정의한다.

(3) Invasive species

경제적 관점에서 다른 종에 부정적인 영향을 미치는 외래종을 Invasion species로 정의한다. Invasion species는 일반적으로 토착종과 경쟁을 통해서 그들의 서식지와 영양 자원을 차지함으로써 결과적으로 토착종의 감소를 야기한다. 그러나 과학적 관점에서는 토착종에 미치는 영향을 고려하지 않고 타 지역으로부터 유입되어 그들만의 서식지와 군집을 형성한 모든 종들을 Invasive species로 정의하기도 한다.

나. 외래종 유입 현황

현재까지 neobiota와 archaeobiota를 통틀어 약 1000종의 외래종이 유입, 정착한 것으로 보고되고 있다. 유입 및 정착까지 성공한 종들은 유사한 기후대에서 서식하던 생물이 대부분이다.

Archaeobiota는 대부분 중앙아시아에서 유입되었고 특히 신석기 시대의 농업 혁명 때 유입 된 종들이 다수 차지한다. 이때 유입된 생물은 척추동물 9종, 무척추동물 11종, 식물 226종, 버섯 및 이끼류 6종으로 총 252종이 보고되고 있다.

Neobiota는 약 800종이 유입 및 정착하였고 약 2000종이 유입 되었으나 서식지 확립은 불안정한 상태로 존재한다. 유입 및 정착한 생물은 척추동물 46종, 무척추동물 273종, 식물 452종, 버섯류 37종이 보고되고 있다.

2. 독일의 외래종 유입 및 확산 절차

가. 자연적 확산

환경의 변화에 따른 자연적 확산은 대부분 느린 속도로 진행된다. 그러나 최근 지구온난화 시나리오는 지구의 평균 온도가 2100년까지 1.1°C 에서 6.4°C 가 증가할 것으로 예측되고 있으며 기후 변화의 가속에 따라 자연적 요소에 따른 확산 정도도 급격하게 변하고 있다. 기후변화는 모든 생물에 영향을 미치지 만, 외래종들은 토착종들과 비교하여 더 높은 적응능력과 확산 잠재력을 가지고

있는 것으로 보고되고 있다. 이 경우 기후 변화에 따라 토착종의 개체 수는 감소하고 외래종의 개체 수는 증가하게 된다. 특히 독일 지역 내에 유입된 많은 외래종들은 온난한 기후를 선호하는 경향이 있어 온난화 가속에 따라 정착 가능성이 높아지고 있다.

가령 온난화 현상으로 인해 water primrose (*Ludwigia grandiflora*)는 중부유럽에서 점차 북부 유럽으로 서식지를 확산하는 추세이며 겨울의 기온 감소 정도가 적어지면서 독일 내에서 hemp palm (*Trachycarpus fortunei*)의 발견 정도가 급격하게 증가하고 있다. 수생 생물들 또한 온난화에 의해 외래종의 번식 정도와 확산 정도가 변화하고 있다. 많은 외래 mussel 종들은 주로 발전소의 냉각수 배출지역 부근에서 발견되었으나 온난화의 증가로 번식지역이 급격하게 확산되고 있다.

나. 인위적 확산

자연적 확산과 반대로 인위적 확산은 대부분 예상하지 못한 장소, 시간에서 발생한다. 자연적 확산은 기후 변화에 따라 점진적으로 확산된다면 인위적 확산은 생물종이 기존에 서식하던 곳에서 동떨어진 곳에서 발견되는 경우가 많다. 이것은 대다수의 인위적 확산이 운송수단의 매개로 발생하기 때문이다. 운송수단은 자연적 격리에 의해 나뉘어져 있던 생물의 분포를 쉽게 극복하고 다른 지역으로의 이동을 비교적 쉽게 야기하여 자연 상태에서 특정 생물종이 닿을 수 없는 지역으로 이동하게 한다.

독일의 침입 외래 식물 (neophyte)의 50%는 정원 장식용, 농업, 임업용으로 인간의 의도로 유입되었으며 나머지 50%는 운송수단에 의해서 의도하지 않았으나 유입되었다. 외래 척추동물의 대부분은 낚시, 사냥을 위해 의도적으로 유입되었고 무척추동물의 대부분은 의도하지 않았지만 유입되었다.

3. 독일의 침입 외래종 방지 대책

가. 외래종 침입 기본 방지 대책

독일에서는 외래종 유입에 대한 최우선 방안으로 유입 자체를 사전에 방지하는 것을 우선으로 하고 있다. 이 방안은 Federal Nature Conservation Act의 § 40을 기본 방침으로 하며 다음과 같은 내용을 포함한다. 1) 이전 100년 동안 자연 생태계에서 발견되지 않은 동물과 식물을 유입할 때는 관할 당국의 승인이 필수적이다. 2) 만일 유입할 동물과 식물이 해당지역에 유전적인 근원을 가지고 있다면 1)의 제한을 따르지 아니한다. 3) 유입한 동물과 식물이 토착종에 위협을 가할 가능성이 있거나 생태계를 교란할 가능성이 있다면 유입을 허가하지 아니한다.

외래종 유입 방지 대책에도 불구하고 독일 영토 내에 유입된 외래종들에 대해서는 다음과 같은 3가지 방안으로 외래종들을 관리한다.

(1) 사전교육

대부분의 외래종 유입은 부주의에 의해서 발생한다. 그렇기 때문에 사전 교육과 주의를 통해서 외래종의 유입을 상당수 방지할 수 있다. 독일에서 발견되고 있는 많은 외래 식물 중 상당수가 정원을 가꾸는 과정에서 유입되고 있으며 사냥용으로 유입시킨 동물이 야생에 적응하여 외래종으로 보고되기도 한다. 특히 특정 직업군 (농업, 임업, 원예업, 양봉, 도로건설 및 조경 사업 등)은 그들의 활동에 의해서 외래종 유입이 상대적으로 용이하다. 위의 경우, 사전 교육 및 주의 조치를 통해 외래종의 유입을 최대한 사전 차단한다.

2010년에는 neobiota 전문가와 Federal Agency for Nature Conservation이 함께 블랙리스트를 만들어 외래종 유입에 대한 객관적인 기준을 마련하였고 정기적으로 이 목록을 업데이트 한다.

(2) 모니터링

이미 유입되어 서식지를 확립해가는 외래종에 대해서는 그들의 확산 정도와 번식정도를 지속적으로 모니터링 한다. 외래종의 침입을 초기에 발견, 모니터링 하기 위해서 여러 분류군의 과학자들이 참여하며 쉽게 구분하기 쉬운 종의 경우 아마추어 전문가들의 참여를 독려한다.

(3) 통제 및 제거

이미 독일에 유입된 상당수의 외래종들은 독일의 자연 생태계에 적응하여 생태계의 일부를 형성하고 있다. 이 경우 독일의 생태계로 받아들이고 토착종과 동일한 지위를 얻는다. 특정 외래종을 제거하기 위해서는 대상 종이 생태계를 교란하거나 토착 생물종의 서식을 방해한다는 사실이 입증되어야 한다. 생태계 교란과 토착 생물종의 서식 방해가 입증된다면 외래종 제거가 승인되며 제거 작업이 이루어진다. 그러나 외래종 제거는 많은 인력과 재정적 지원이 필요하며 제거작업을 할 경우 토양 훼손하고 토착 동물과 식물에 의도치 않은 영향을 미칠 수 있기 때문에 철저한 사전 연구가 필수적이다.

4. 외래종 침입 관련 최근 프로젝트

가. 독일로 유입된 외래종 관리

(Creation of a management handbook for dealing with alien species in Germany)

현재까지 축적되어온 외래종 목록을 정리하고 외래종들이 토착종에 미치는 영향을 평가하여 향후 독일 연방정부의 외래종 선정 및 관리에 대한 기준을 제시하기 위한 연구이다.

나. 외래 유관속 식물과 척추동물에 대한 침입 관리

(Nature conservation invasiveness assessments of non-resident vascular plants and vertebrates)

생태계 보존적 관점에서 다수의 외래 유관속 식물과 척추동물은 토착 생물 종 다양성을 감소시키는 것으로 보고되고 있기 때문에 해당 외래종들에 대한 집중적인 관리 및 연구의 필요성을 인지하여 시행된 연구이다. 이 연구에서는 외래종의 침입 정도를 3단계 (invasive, potentially invasive, previously non-invasive)로 나누어 관리하고 향후 외래종 분류에 기준을 제시하였다.

다. 기후 변화에 따른 생물 이동 연구

(Neobiota and climate change: development of a forecasting and early warning system)

최근 10년간 중부 유럽에서 기후변화가 뚜렷하게 관측되었고 이에 따라 생물의 이동과 확산이 예상되어 기후 변화에 따른 생물의 이동과 생물의 서식지 이동에 따른 생태계의 영향 파악을 목적으로 연구되었다. 중부 유럽지역 연구인만큼 독일, 오스트리아가 함께 연구에 참여하였다. 이 연구를 통해서 침입 외래종을 평가하는 기준을 개발하고 특정 외래종이 생태계 보존에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 기준 또한 마련하였다.

Ⅲ. 결론

근본적으로 외래종의 유입은 자연현상의 일부이기 때문에 침입 외래종 자체를 부정적으로 보는 것은 잘못된 시선이다. 지구 역사의 흐름의 관점에서 기후 변화와 지각 변동에 따라서 생물들은 멸종과 탄생을 반복하고 그들의 서식지를 바꿔왔다. 지난 수십 년간 지구의 평균 온도는 급격하게 변화였고 생물들은 그들의 존속을 위해서 서식지를 점차 바꾸고 있다. 이런 변화는 자연현상의 일부로서 인간이 이들의 존속을 결정해서는 안 될 것이다. 그러나 인간의 활동에 의해서 유입되고 있는 침입 외래종들은 기존 서식지와는 전혀 다른 장소에서 발견되고 있다. 이 경우 주변 생태계와 동화되지 않고 기존 생태계를 교란시키는 주범이 되어 많은 문제를 야기하고 있다. 이 범주에 속하는 대부분의 외래종들은 제거의 대상이 되고 제거 과정은 많은 인력과 재정적 도움이 필요하며 때로는 돌이키기 어려운 상태로 확산된 경우도 다수 보고되고 있다. 이와 같은 ‘소 잃고 외양간 고치는’ 현상을 미리 방지하기 위해서라도 인간의 활동에 의한 외래종의 유입을 막을 체계적인 시스템 구축과 세부적인 관련 법률 제정이 필요할 것으로 예상된다.

참고문헌

- Christian Wiesner, Christian Wolter, Wolfgang Rabitsch und Stefan Nehring. Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich und mögliche Auswirkungen des Klimawandels. 2010. BfN-Skripten 279
- Ingrid Kleinbauer, Stefan Dullinger, Frank Klingenstein, Rudolf May, Stefan Nehring und Franz Essl. Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich. 2010. BfN-Skripten 275
- Stefan Nehring, Ingo Kowarik, Wolfgang Rabitsch und Franz Essl (Hrsg.). Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. 2013. BfN-Skripten 352
- Stefan Nehring, Franz Essl und Wolfgang Rabitsch. Methodik der naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für gebietsfremde Arten. 2015. BfN-Skripten 401
- Stefan Nehring, Franz Essl, Frank Klingenstein, Christelle Nowack, Wolfgang Rabitsch, Oliver Stöhr, Christian Wiesner und Christian Wolter. Schwarze Liste invasiver Arten:Kriteriensystem und Schwarze Listen invasiver Fische für Deutschland und für Österreich. 2010. BfN-Skripten 285
- Wolfgang Rabitsch, Stephan Gollasch, Maike Isermann, Uwe Starfinger und Stefan Nehring. Erstellung einer Warnliste in Deutschland noch nicht vorkommender invasiver Tiere und Pflanzen. 2013. BfN-Skripten 331
neobiota.bfn.de

캐나다 침입외래종 관리 연구동향 및 사례

장 지 훈

I. 서론

침입외래종은 자연 상태의 과거 또는 현재의 균형을 벗어난 인간의 행동에 의해 도입된 식물, 동물 및 미생물의 종으로서 인간의 건강을 포함하여 환경, 경제 또는 사회를 위협하는 존재이다. 2010년까지 분류하여 평가된 11,950의 야생종 중 12%가 캐나다에서 원래 분포하던 토종이 아닌 것으로 집계되고 있다. 물론 그 중 소수만이 토종 생태계에 위협적 존재가 되고 그보다 더 극소수가 침입종으로 분류되지만, 극소수의 생물 종일지라도 생태학적, 경제학적 피해는 엄청날 수 있다. 침입 종은 토종 생물종을 대체하여 경쟁 할 수 있기 때문에 생물 다양성에 해를 끼친다. 성장하기 위한 자원 확보를 위하여 서식지를 약화시키고 질병을 확산시키며 심지어 토종과 교배하여 잡종으로 번성하기도 한다. 최근에는 기후 변화가 침입종의 번성의 큰 요인이 되고 있고 광범위한 선박 이동과 육상 운송으로 의도하지 않은 외래종의 도입을 야기한다. 침입외래종의 통제는 막대한 비용을 필요로 하기 때문에 완벽한 통제는 거의 불가능하다. 서식지 파괴로 큰 몸살을 겪은 전 세계 생태계는 생물 다양성에 있어서 두 번째로 큰 위협으로 침입외래종의 확산으로 꼽고 있다. 지구 온난화에 따른 북부 기후 조건의 변화로 종의 범위가 확대됨에 따라 침입종은 북부 캐나다 생태계에 대한 새로운 위협이 되고 있다. (Government Canada 2018)

2004년에 연방 정부는 주정부와 협력하여 캐나다에 대한 침입외래종 전략을 개발했다. 이 국가 전략은 캐나다의 토착 생물 다양성을 보호하고 가축과 식물을 침입외래종으로부터 보호하기 위해 노력하는 내용을 다음과 같은 네 가지 우선순위를 설정하여 제시하고 있다.

- 새로운 침입 방지
- 예방 실패 시 새로운 침입자 조기 발견
- 새로운 침입자에 대한 신속한 대응
- 확립 된 침입자 및 확산 침입자의 관리 (봉쇄, 박멸 및 통제)

2004년 이래로 특정 부문 또는 관할 구역에 초점을 맞춘 다양한 보완 전략이 국가 전략을 지원하기 위해 개발되었다. 연방 정부, 주정부는 침입외래종을 지속적으로 우선순위로 구분한다. 캐나다의 2020년 생물 다양성 목표 및 목표에는 "2020 년까지 침입 외래종 도입 경로가 확인되고 우선 경로와 종에 대한 위험 기반 개입 또는 관리 계획을 수립한다."는 조항이 포함되었다. (Canada Environment 2004)

II. 본론

1. 해양 생태계 외래종 관리

가. 연안 외래종

(1) 백연어와 유럽 녹색 게

캐나다 연방 정부는 총 254개 동식물을 금지 외래종으로 지정하여 관리하고 있다. 대표적인 외래종으로 백연어 (Asian Carp) 와 유럽 녹색 게 (European green crab)가 있는데 오대호 연안에서 주로 서식하는 백연어는 길이가 1.3미터에 이르고 천적이 없을 뿐만 아니라 식용이 불가하여 번식을 통제할 수가 없어 토종 생태계를 위협하는 주범이다. 2007년에 발견된 유럽 녹색 게의 경우는 토종 홍합, 조개 등의 갑각류 등에 대한 위협이 되는 대표적 외래종으로서 캐나다 동부의 프린스 에드워드 아일랜드(P.E.I.), 퀘벡, 남부 뉴퍼들랜드에 널리 퍼져 극심한 생태계 교란을 야기하고 있다.

수많은 비토종들이 캐나다의 연안 해양 수역에서 정착하였지만 침입성 외래종의 영향은 P. E. I 의 연안에서 가장 심각하다. 집중화된 농업 및 양식 활동으로 인해 P. E. I.의 해안은 침입종의 정착 및 영향에 보다 취약한 환경이었다. 1997년 이래로 4종의 바다 해충 (tunicate)이 P. E. I.에서 확산되었고 세인트로렌스 만 남쪽의 다른 지역에서도 쉽게 퍼졌다. 유럽의 녹색 게는 해충의 포식자를 먹어 치우고 서로 공생하며 주변 일대의 환경 문제를 악화 시킨다는 증거도 있다. (Government Canada 2018)

(2) 유입경로

유럽 녹색 게는 토종게와 조개, 홍합, 어린 물고기 및 다른 많은 종의 경쟁자적 입장에 있다. 서로 비슷한 먹이를 공유하는 경쟁자의 입장이다. 캐나다의 연안 해양 침입의 주요 원천은 선체와 선박의 밸러스트 (Wikipedia 2018) 수인데 밸러스트 시스템은 선박의 추진기, 방향타의 효율적인 작동과 균형 유지를 위하여 정착항의 해수를 대량 담고 운행하기 때문에 목적항의 항구에서 배출되는 경우 토종 생태계를 위협하는 외래종이 함께 배출되는 악영향을 초래할 수 있다. 캐나다에서는 이 밸러스트 수를 통한 추가 도입을 막기 위해 밸러스트수에 대한 새로운 규정이 제정되었다.(Locke Hanson, ElisM 2007)

나. 연안 외래종 번식의 주요 원인과 관리

(1) 밸러스트 수 관리 및 검사

오대호 - 세인트로렌스 해로 시스템 (St. Lawrence Seaway System)은 세계에서 가장 엄격한 밸러스트 수 관리 및 검사 규정을 가지고 있다. 최신 조치가

2006년에 도입 된 이래, 오대호 (Great Lakes)에서 운송으로 인해 새로운 수생 성 유해종이 발견되지 않았다. 완전히 적재되지 않았을 때 화물선은 안정성을 유지하기 위해 물을 사용해야 한다. 선내로 펌핑되면, 밸러스트 수는 선박의 선체에 내장 된 좁은 구멍인 밸러스트 탱크에 저장된다. 한 항구에 기내로 펌핑 된 밸러스트 수는 수생 생물이 유입될 수 있으며 밸러스트가 다른 항구에서 배출되면서 같이 방출 될 수 있다.

해외에서 오대호로 들어오는 모든 선박은 여전히 바다에 있는 동안 밸러스트 수를 교환 (pump out)해야 하며, 빈 탱크에는 해수를 배출해야한다. 이러한 과정은 잠재적인 침입 종을 포함한 생물체를 밸러스트 탱크에서 물리적으로 제거 하는 데 도움이 된다. 규정 준수를 위해 캐나다 정부는 세인트로렌스 해로의 관문인 몬트리올의 오대호에 진입하는 모든 해양 선박을 검사하고 테스트한다. 캐나다 정부가 자금을 지원 한 최근 연구에 따르면 밸러스트 수 교환과 세척 과정은 5대호 및 세인트로렌스 항로 지역의 생태계를 침범 할 수 있는 담수 동물 플랑크톤을 제거하거나 근절시키는데 99.993 %의 효과가 있음을 보여주었다. (Sarah Bailey, 외. 2010)

(2) 해양 침입 외래종 관리를 위한 캐나다와 미국의 협력

- 그레이트 십 이니셔티브 (Great Ships Initiative) - 효과적인 밸러스트 수 처리 기술의 개발 및 배치를 촉진하기 위해 해양 산업은 미국과 캐나다의 연방 및 주 정부 및 비정부기구와 협력하여 세계 유일의 담수 밸러스트 처리 기술 테스트 시설을 설립했다. Great Ships Initiative (GSI)는 2006년에 해양 산업에 기여한 기금으로 시작되었다. Northeast-Northwest Institute는 University of Wisconsin-Superior와 University of Minnesota-Duluth가 제공하는 연구 서비스로 프로젝트를 관리한다.

- 오대호-향해 밸러스트 수 협동조합 - 2009년에 시작된 협동조합은 관련 정보를 공유하여 밸러스트 수를 통한 수생 유해성 종의 도입 및 확산 위험을 줄이는 방법을 논의하기 위해 업계, 주, 연방 정부 및 학계의 대표 등의 공동체이다. 오대호 밸러스트 수 협동조합의 노력을 통해 밸러스트 수 배출을 규제하려는 정부의 노력이 규제 안정성과 연속성을 유지하면서 의미 있는 결과를 얻기 위해 보다 잘 조율되고 있다.

- 업계 최고 모범사례 - 미국 및 캐나다 국내선은 북미를 떠나지 않기 때문에 결과적으로 외국종을 유입 할 위험이 없음에도 불구하고, 호수 운송인 협회 (LCA)와 캐나다 선주 협회 (CSA)는 수생 유해 물질의 이동을 최소화하기 위해 선주가 정기적으로 밸러스트 탱크를 검사하고 축적된 퇴적물을 제거도록 강제 하였고 침입종이 존재하는 지역을 지정하여 밸러스트 수 유입 및 얇은 물에서

의 밸러스트 작업을 최소화도록 권고하고 있다. (Commerce Chamber 2018)

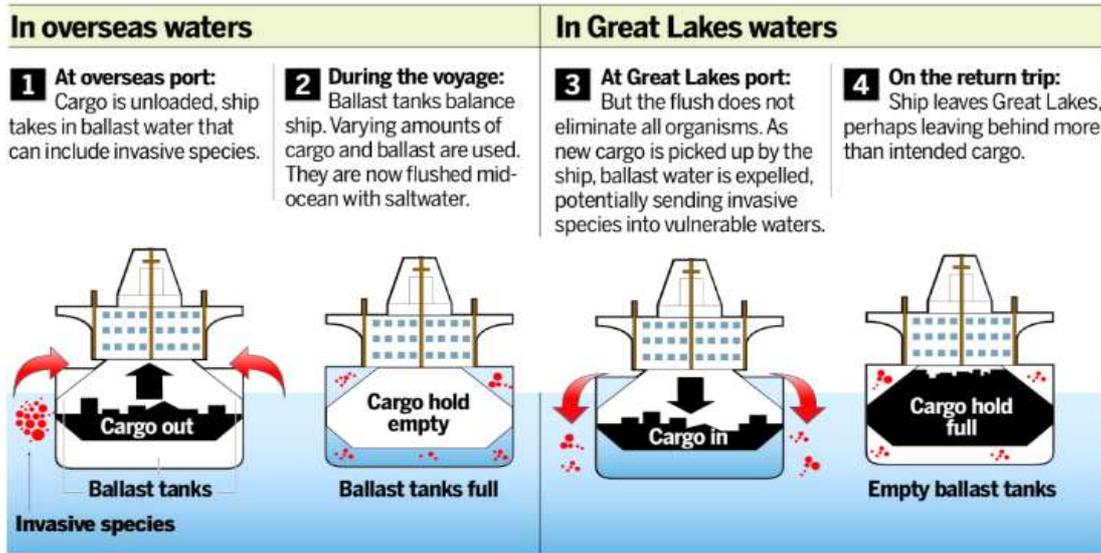


그림1. Ballast를 통한 외래종 유입과정
(출처: <http://blog.savetheriver.org/?p=8746>)

1. 식물 외래종 연구 및 관리

가. 연구

(1) 외래종의 번식에 대한 유전적 접근

외래종의 번창에 대한 근본적인 연구도 있는데 로버트 콜라 우티 박사 (Rapid Evolution의 캐나다 연구 위원장)의 연구가 그 대표적인 예이다. 그는 침입종에서 신속하게 발생하는 유전적 변화를 확인하여 새로운 환경에서 번성하도록 하는 연구에 전념하고 있다. 특히 보라색 루스 세리아 (*Lythrum salicaria*)와 마늘 겨자(*Alliaria petiolata*) 두 가지가 캐나다에서 가장 공격적인 잡초로써 생태학적으로 우세한 이유를 진화론적이고 유전학적으로 설명하고 있다.

그의 연구실은 현장 실험을 통계적, 양적, 유전학 및 차세대 시퀀싱의 최첨단 방법과 결합하여 일부 종들이 새롭고 변화하는 환경을 지배하게 되는 이유에 대한 유전적 이유를 조사하고 있다. 다년간의 연구를 통해 침입종 모니터링 및 관리 기술에 큰 발전을 가져왔으며 식물 자원의 더 높은 수확량을 보장하고 급변하는 세계에서 생물 다양성 손실을 억제 할 수 있는 더 나은 방법을 찾아가고 있다.

그가 속한 토론토 대학의 연구에 따르면 자생 식물과 경쟁하여 광 및 영양 성분을 독차지하고 야생 동물의 서식지를 파괴 할 수 있는 침입 종인 보라색 루스 셀리아 종은 온타리오 북부로 퍼지면서 약 3주 일찍 꽃을 피우며 매우 빠르게

진화한다고 한다. 이로 인해 종의 개체수가 30배 이상 증가하여 추운 기후에서 번성 할 수 있었다. 그 동안의 연구는 지역 기후에 빠르게 적응하는 침입 종의 능력은 일반적으로 확산에 영향을 미치는 중요한 요인임이 간과되고 있었다.

대신 초식 동물, 포식자, 병원체 또는 기생충을 포함한 천적으로부터의 탈출과 같은 요인들이 종들이 어떻게 침입하게 되는지를 설명하는 것으로 여겨졌다. 기후에 대한 지역적 적응의 진화는 자연을 벗어나는 것보다 재생산을 증가시켰다. 종들이 지역 기후로 빠르게 진화 할 수 있다는 것을 이해하는 것은 침입종의 확산과 종의 기후 변화 대응 방법을 예측하는 데 중요하다.

개체군이 지역 적응을 빠르게 할 수 있는지에 대한 여부를 결정하기 위해 연구자들은 3개의 다른 기후 지역 (미국 동부의 북쪽, 남쪽 및 중간 위도)에서 종자를 모은 다음 종의 분포에 따라 차이가 있는지 확인하기 위해 3 곳에서 각각 실험을 하였다. 각각의 일반적인 위치와 가장 유사한 위도에서 수집 된 식물은 항상 다른 식물보다 높은 적합성을 가짐을 발견했다. 예를 들어, 북부 위도에서 수집 된 식물인 티민스 (Timmins)는 온타리오의 북부 지역에서 자라났을 때 가장 높은 적합성을 보였으나, 버지니아의 남부 지역에서 적응하기에는 남부 위도에서 수집 한 식물에 비해 가장 낮은 적합성을 보였다.

연구진은 북부 식물이 20일을 먼저 개화하지만 남부식물에 비하여 왜소한 식물의 유전적 차이가 국지적으로 적응 된 개체군을 설명 할 수 있는지 궁금해 했다. 그래서 다음 단계의 연구에서, 그들은 일반적인 정원의 환경에서 다윈의 자연선택설에 의거하여 개화시기를 직접 측정했다. 이르게 꽃이 피는 식물은 가장 다수의 번식을 하기 때문에 가장 북쪽 지역에서 적응력이 있는 것으로 나타났다. 꽃가루 확산이 늦은 식물은 수분기가 부족하고 꽃이 서리 손상을 입기 쉬운 성장기가 끝날 무렵에 재생산되기 시작했다. 그러나 늦은 번식을 하는 이러한 남부 식물은 성장 지연이 길어질수록 식물이 더 커지고 더 많은 종자를 생산할 수 있기 때문에 남부 지역의 환경에 의해 자연 선택되었다. 놀랍게도 이러한 차이는 미국의 동해안에 초기 도입 된 후 종의 이동에 따라 지난 50 년 동안 진화 해왔다. (RColautti 2013)

(2) 외래종과 토종의 경쟁 및 온도 환경 연구

빙케톡시쿰(*Vincetoxicum rossicum*)은 캐나다 온타리오 주 남부에서 점점 침략적이 되고 있는 우크라이나와 남동부 러시아에서 기원 된 외래종이다. 평온한 지역, 열린 들판, 숲 가장자리와 최저 층, 공원, 도로 가장자리 및 철도 제방에서 성공적으로 자라는 것으로 나타났다. 외래종 식물은 다른 식물에 비해 크고 조밀하여 빛에 효과적으로 대항하기 때문에 잘 적응한다.

빙케톡시쿰의 침입은 국부적으로 토종 식물들을 대체하는 것으로 나타나기도

하고 지역 토양 유기체와 수분 매개체 종의 멸종을 불러일으키기도 한다. 빙케톡시쿰은 또한 그 뿌리에서 다른 식물에 독성을 내뿜고 주변 토양으로 배출되는 화학 물질을 생성한다.

그러나 연구진은 온도 요인이 빙케톡시쿰의 번식에 영향을 미치는 요인임에 집중하고 더 추운 성장 조건에서 번식하는 데 오랜 시간이 걸린다는 점을 연구하기 시작하였다. 온도 조건의 변화는 출아, 개화 및 수분 형성에 상당한 지연을 일으키기에 충분하다. 따라서 생명주기를 완료 할 수 없는 환경은 북부 기후로 확산 될 수 있는 능력을 제한할 수 있다. 이 가능성을 시험하기 위해 연구진은 온타리오 북부와 남부의 시물레이션 온도 조건 하에서 온타리오 주 전역에서 매우 풍부한 솔리다고 카나덴시스 (*Solidago canadensis*) 와 경쟁시켰다. 캐나다의 침윤성 종 연구소 (Infrared Species Research Institute)의 로라 샌더슨(Laura Sanderson)과 페드로 안투네스(Pedro Antunes)는 "더 시원한 조건에서 성장이 지연 되었음에도 불구하고 현재의 분포 범위에서 전형적으로 나타나는 온도 영역에서 여전히 많은 종자를 생산했다."고 밝혔다. 다만 솔리다고 카나덴시스와의 경쟁으로 빙케톡시쿰의 체력과 총 바이오매스가 감소한다는 것을 발견했지만 총 바이오매스의 상대적 감소는 더 컸다. 여전히 빙케톡시쿰의 확산을 막기에는 역부족임을 보여주는 연구였다고 할 수 있다.

(LauraSanderson, PedroAntunes 2013)



사진1. 빙케톡시쿰(*Vincetoxicum rossicum*)
(출처: phys.org)

(3) 인공지능을 이용한 침입종 관리

앨버타 대학교 (University of Alberta)는 생물학 및 통계학 분야의 전문 지식과 기계 학습의 힘을 결합하여 환경 관리자를 위한 간편하고 사용하기 쉬운 도구를 제작하였다. (YanyuXiao 2018) 의사 결정 트리를 생산하는 이 도구는 환경 관리자가 다양한 침입 종 관리 전략의 결과를 예측하여 수로에서 어느 접근 방식을 채택 할 것인지 결정하는 데 도움을 준다. 침입종의 사후 관리 비용은 천문학적이기 때문에 상대적으로 경제적인 예방과 통제에 관심을 가지고 수학 및 통계 과학 전문가 그룹과 연구에 나섰다.

수학 생물학에는 일반적으로 침입 종의 박멸을 이해하는 데 훌륭한 도구가 많다고 알려져 있다. 기계 학습 전문가이자 컴퓨팅 과학 교수 인 러스 그레이너는 (Russ Greiner) 기계 학습은 특정 침입이 특정 접근법을 사용하여 박멸 될 가능성이 있는지 예측할 수 있는 많은 보완 도구를 제공한다고 주장했다. 환경 관리자는 박멸에서 보급 및 확산 완화에 이르기까지 모든 침략을 처리하기 위한 최상의 전략을 결정할 때 이를 사용할 수 있다. 이 연구는 중요하게 고려해야 할 3 가지 요소가 있음을 보여주었다.

- 서식지 유형
- 침입 지역의 양
- 억제 시도가 있었는지 여부

이 연구와 결과물은 최종 사용자가 꼭 프로그래밍을 하거나 프로그램에 환경 인자를 입력하는 등의 전문가적 역량을 필요하지 않게 분석된 의사결정 트리를 이용하여 환경관리자가 쉽게 활용할 수 있게 하는데 목적을 가지고 있다.

III. 결론

침입성 해조류에서 물고기, 물벼룩에 이르기까지 해양 환경과 담수 환경 모두에서 수생 침입종의 종류는 다양하다. 육상에서도 기후 변화를 겪으면서 온도 변화에 민감한 식물은 힘을 잃어가고 보다 척박한 환경에서 빠르게 번식할 수 있는 식물들은 빠르게 토종 환경을 지배하고 있다. 야생종은 자연 보호론자, 자연 주의자, 농부, 산림업자 및 야생 동물 관리자의 공통된 적이지만 빠르게 변화하는 세계에서 성공하는 방법에 대한 가치 있는 정보의 잠재적 원천이기도하다. 지구 상에 70억이 넘는 인간 존재가 지구 생태계를 근본적으로 변화시키고 있다. 전 세계적으로 수천 종의 개체수가 감소하고 있으나 침입 종은 새로운 지역으로 급속도로 퍼지고 있으며, 이들은 새로운 종의 번식으로 번창하고 있다. 또한 침입 종은 인간의 건강과 복지에 중요한 수분 공급, 식량 및 수자원 생산 또는 질병

통제와 같은 생태계 서비스를 방해 할 수 있다.

캐나다 정부는 일찍이 연방정부가 침입성 동식물에 대한 전략을 제시하고 주정부와 협력하여 국가 차원의 관리를 하고 있다. 캐나다의 2020년 생물 다양성 목표를 통해 2020년까지 침입 외래종 도입 경로가 확인되고 우선 경로와 종에 대한 위험 기반 개입 또는 관리 계획을 수립하기로 하였다. 아울러 민간차원의 외래종 침입 관리 및 연구도 두드러지는데, 선박의 밸러스트를 통한 외래 수생물의 유입 차단을 위한 캐나다와 미국의 협력이 그 예이다. 또한 대학 연구소에서는 그동안 결과 중심적이고 현상 중심적이었던 외래 침입종의 확산에 대한 관점에서 벗어나 유전적으로 침입종이 우월한 이유에 대한 접근법을 제시해 근본적으로 침입 종을 차단하거나 유익하게 이용할 수 있는 연구를 진행 중이기도 하다. 한편 온도의 요인이 어떻게 침입종의 생존과 확산에 기여하는지에 대한 메커니즘에 대한 연구가 소기의 성과를 거두었고 인공지능과 빅 데이터를 이용한 침입종의 유입경로와 파급효과에 대한 생물학과 수리 통계학의 협업도 돋보이는 연구 성과라 하겠다.

참고문헌

CanadaEnvironment. “An invasive alien species strategy for Canada.”
September, 2004.

Commerceof MarineChamber. “Ballast Water Initiatives.” 2018년 July월.
<http://www.marinedelivers.com/ballast-water-initiatives>.

GovernmentCanada. “Invasive Non-native Species.” 2018년 August월.

LauraASanderson, PedroMAntunes. “The exotic invasive plant Vincetoxicum
rossicum is a strong competitor even outside its current realized
climatic temperature range.” “Neobiota” , 2013: 16.4012 .

LockeAHanson, ElisKM. “Invasion of the southern Gulf of St. Lawrence by
the clubbed tunicate (Styela clava Herdman): potential mechanisms for
invasions of Prince Edward Island estuaries.” “Journal of Experimental
Marine Biology and Ecology” , 2007: 342:69-77.

R JColautti . “Rapid Adaptation to Climate Facilitates Range Expansion of an Invasive Plant.” “Science” , 2013.

SarahABailey, MatthewGDeneau, LaurentJean, ChrisJWiley. “Evaluating Efficacy of an Environmental Policy to Prevent Biological.” “Environmental Science & Technology” , 2010: 7.1.

Yanyu와Xiao. “Evaluation of machine learning methods for predicting eradication of aquatic invasive species.” “Biological Invasions” , 2018: DOI: 10.1007/s10530-018-1715-2.

참고 웹사이트

Chamber of Marine Commerce,

<http://www.marinedelivers.com/ballast-water-initiatives>

Government of Canada,

<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/biodiversity/invasive-alien-species-strategy.html>

PHYS.ORG,

<https://phys.org/news/2013-03-european-invader-out-competes-canadian-usual.html#jCp>

PHYS.ORG, <https://phys.org/news/2018-05-ai-canada-invasive-species.html>

PHYS.ORG, <https://phys.org/news/2013-10-local-climate-invasive-species.html>

Springer Link, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-018-1715-2>

Wikipedia. “Ballast.” 2018년August월. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ballast>