

2017
해외교류
연구원
활동 보고서

11월

목 차

활동 보고서 (11월)

1. 캐나다[1]	1
2. 캐나다[2]	7
3. 노르웨이	14

해외교류연구원 활동 보고서 (11월)

「캐나다의 침입 외래종 관리연구동향」

1. 외래종의 현황과 관리사례
2. 외래종 관리 연구사례
3. 기타사례

1. 외래종의 현황과 관리 사례

현재 캐나다는 연방 정부의 규제 하에 총 254개 외래종을 금지 동식물로 지정하여 관리하고 있다. 대표적인 외래종으로 Asian Carp¹⁾ (백연어) 와 European green crab²⁾ 을 들 수 있는데 오대호 연안에서 주로 서식하는 백연어는 길이가 1.3m 에 이르고 천적이 없을 뿐만 아니라 식용으로도 알맞지 않아 캐나다를 포함한 북미에서 급격하게 번식하여 토종 생태계를 위협하는 주범으로 인식되고 있다. 2007년에 발견된 유럽 녹색 게의 경우는 토종 홍합, 조개 등의 갑각류 등에 대한 위협이 되는 대표적 외래종으로서 캐나다 동부의 프린스 에드워드 아일랜드, 퀘벡, 남부 뉴퍼랜드에 널리 퍼져 극심한 생태계 교란을 야기하고 있다.

이러한 외래종의 위협과 박멸에 대한 연구는 오래 전부터 진행되어 왔으나 백연어의 예에서 볼 수 있듯이 외래종의 관리의 매우 어려운 실정이다. 표적 독성물질이나 미끼, 전기 충격을 이용한 장벽 등의 오랜 연구가 지속되고 있지만 경제성이나 효율성 면에서 여전히 많은 숙제를 안고 있다. 최근 2017년 백연어 관리에 대한 연구에 의하면 Environmental DNA 기술을 도입하고 PCR³⁾ 방법을 이용하여 일정한

1) Asian carp 는 1970 년 미국 남부 어부들이 메기 양식장의 거품을 걷어내기 위해 도입, 발생한 이후 일부가 미시시피강으로 유입되어 빠르게 번식하여 미국, 캐나다 전역에 광범위하게 퍼져있는 것으로 알려져 있음

2) European Green Crab 은 10cm 정도의 게의 일종으로 이름그대로 북부 유럽에서 1818년에 북미로 유입되었으며 1년에 100km² 정도 영역이 넓어지고 있는 실정이며 특유의 딱딱한 껍질과 집게로 토종 게, 굴, 장어 등을 빠르게 멸종시키고 있음.

3) 중합효소 연쇄 반응(PCR, Polymerase chain reaction), DNA 중합효소를 이용하여 DNA의 양을 증폭시키는 기술이다. DNA가 아주 적은 양이더라도, 우리가 원하는 부분을 엄청난 양과 높은 정확도로 크게 늘릴 수 있다. 또한 장비가 단순하여 현재는 책상 위에 놓을 수 있는 장비로도 간단히 사용할 수 있으며 증폭에 걸리는 시간 역시 2시간 정도로 짧다는 장점을 가지고 있어서, 현대 생물학의 모든 분야에서 가장 중요한 기반 기술로 이용되고 있다. 현대 생물학에서 없어서는 안 될 가장 중요한 기술에 속한다.

성과를 보인 바 있다. 이 연구는 백연어의 DNA를 원천적으로 탐지하는 기술을 시험하여 보다 간단하고 신속하게 외래종을 발견할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 생물 종에도 확대할 수 있는 가능성을 보여줬다.

가장 최근이라고 할 수 있는 캐나다 연방 정부의 외래종 실태 조사에 의하면 2012년부터 2015년까지 캐나다에서 추가적인 신규 외래종은 아직 발견되지는 않고 있다. 이는 체계적이고 종합적인 캐나다의 외래종 연구와 프로젝트의 결과로 볼 수 있는데, 그 관련활동의 근간은 2004년 수립된 캐나다 침입 외래종 전략 (An Invasive Alien Species Strategy for Canada(Environment Canada))이라고 할 수 있다. 이를 통하여 다양하고 신속한 외래종 경보체계를 제공하고 있고, 특히 2005년부터 2010년까지는 8천 5백만 캐나다 달러를 투입하여 침입 외래종 협력 프로그램 (Invasive Alien Species Partnership Program)을 시행하고 다양한 학계, 산업계, 지역사회와 정부가 협력하여 총 114개의 프로젝트를 완료하였다.

2. 외래종 관리 연구 사례

앞서 백연어에 대한 탐지 연구의 사례와도 같이 침입 외래종 전략 발표 이래 여러 가지 실용적인 연구가 진행되고 있는데 2014년 이후로 발표되거나 진행되고 있는 최신 연구에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

먼저 태평양에 접한 서부 BC 주는, 60%의 면적이 삼림으로 이루어져 있어 산업 수출량의 30%를 목재가 차지할 정도로 임업사업의 비중이 크다. 외래종으로 인한 질병으로 인해 세계 시장에서 캐나다 목재의 수출이 금지될 경우를 대비하기 위하여 최근 브리티시 콜롬비아 대학 리차드 햄린(Dr. Hamelin) 연구팀은 침입 외래종의 유전자 서열의 해석과 함께 외래종 신속 식별도구개발을 진행 중이다. BioSurveillance of Alien Forest Enemies (BioSAFE)라고 명명된 이 프로젝트는 삼림 전문가들이 잠재적 위험에 대한 원인을 미리 탐지하고 식별하며 병충해의 창궐을 막고 외래종 중점 관리를 위한 의사 결정 도구를 사용하는데 목적이 있다. 이 실시간 평가 도구는 외래종에 의한 병충해의 다양성과 그 기원에 대한 사전 지식의 부재라는 점이 있어 문제점을 가지고 있지만 식별이 신속하고 정확하다는 장점뿐만 아니라 위험평가 방법의 개선과 목표화된 생체 관측이 가능하다는 점에서 의미를 부여할 수 있다.

캐나다의 수도가 위치한 온타리오 주는 오대호와 그 주변 생태계를 대상으로 외래종 연구가 활발하게 이루어지고 있고 최근 2015년에는 미생물을 이용한 토종과 침입 외래종의 공생을 위한 사례 연구가 진행된 바 있다. 1900년대 유럽으로부터 유입된 갈대(Phragmites Australis)는 오대호 주변을 중심으로 미국 북부와 캐나다 남부로

번성하여 북미 토종 갈대를 위협하고 있다. 외래종 갈대의 번식은 단순히 토종의 피해만을 야기하는 것뿐만 아니라, 습지의 생물 종 다양성을 해치는 결과를 초래하였고 화재의 위험을 증대하는 등 직간접적인 피해를 불러일으키고 있다. 이에 대응하여 화학적 물리적 제초와 인위적인 전소, 바이오메스의 제거 등의 복합적인 방법을 통해 개체수를 감소시키고 있지만 이는 일시적인 대응에 불과하다는 평가다. 이 연구에서 소개하는 미생물 조작법은 일반적으로 나타나는 갈대의 번식과 관련된 곰팡이, 병원균 등을 제어하여 토종갈대의 증식을 돕고 외래종의 번식을 방지하는 미생물의 역할에 초점을 두고 있다. 현재 초기 단계에서 개념적인 연구가 진행되고 있으며 향후 수년 내 현장 적용 등을 거쳐 일정 성과가 기대된다.

한편 해상 외래종에 대한 연구도 진행되고 있는데, 2014년도 Management of Biological Invasions라는 생물 학술지에 게재된 로열 브리티시 컬럼비아 (Royal British Columbia) 박물관의 연구에 의하면 수출입 상선에 설치된 해수상자(흙수선 아래 해수 유입 시설)는 유기물이 쉽게 부착되는 구조와 성질을 가지고 있어 잠재적인 외래종 유입 통로가 될 수 있다고 한다. 이 연구는 해수상자와 외래종 유입의 상관관계와 선박의 구조와 항해 이력에 따른 외래종 증가에 주목하였는데 캐나다 BC 주의 서부 해안에 정박한 39척의 상선으로부터 82개의 해수상자를 조사한 결과 46%에 해당하는 선박에서 외래종이 발견되었으며 해수상자의 세척을 포함한 최근 유지보수 시점, 그리고 선박의 출항 기점은 외래종의 발생과 상관관계가 있다는 점을 발견했다. 이 연구는 해수상자가 해안 외래종 유입의 주 통로라는 근거를 제시했을 뿐만 아니라 해수상자에 부착되는 물질이 어떠한 경로와 시점에 따라서 달라지는가에 대한 복잡성을 보여줬다는 부분에서 의의를 가지고 있다.

앞서 살펴 본 외래종의 관리 측면 이외에도 외래종의 무의식적인 유입에 대한 인간의 습관에 대해서 연구한 사례도 있다. 토론토 대학에서 진행한 이 연구는 알려져 있지 않은 생물에 대한 허가 되지 않은 보관이나 방생이 쉽게 관리되지 않는 부분에 대하여 주목하였고 조사 대상을 낚시 미끼 방생 행위로 한정지어 인간의 습성에 대한 설문조사와 예측모델을 사용하여 연구를 진행했다. 그 결과, 인간이 자연에 미치는 무의식적인 행동은 왜곡된 인식과 순간의 편의에서 비롯된다는 점을 발견하였다. 실험대상자들은 미끼의 방생이 오히려 생태계에 도움이 될 것이라는 왜곡된 인식을 가지는 경향이 있었으며 행위자가 외래종의 위협과 관련되어 있는 이해 당사자가 아닌 이상 잠재적 외래종 미끼의 자연 방사 행위에 대해 어떤 동기도 찾을 수 없었다.

이와 비슷한 사례로 생물, 환경 관련 전문가와 일반인의 외래종에 대한 인식의 차이에 대한 연구도 있는데, 그 인식의 차이는 두 집단에서 외래종에 대한 각종 정보에 대한 해석이나 추론을 다르게 하는 것에서 비롯되는 것이 아니다. 오히려 외래종의 문제에 대한 의사결정, 정보 교환 등의 과정을 대하는 상이한 태도에서

비롯되거나 이해당사자 각자의 가치에 대한 신념이 다르기 때문에 외래종 관리의 정책에서 잦은 이견을 보일 수밖에 없다고 지적한다. 더 나아가 외래종 관리에 있어서 이해 당사자 간 외래종의 특성과 해결책에 대한 보다 투명하고 차별화된 토론이 있어야 한다고 연구자는 제안한다.

3. 기타사례

한편, 외래종에 대한 연구에서 한 발 더 나아가, 외래종에 대한 연구자들의 왜곡된 관점을 지적한 사례도 있다. 맥길 대학의 앤소니 (Anthony Ricciardi) 교수는 기후학이나 의학 분야에서 흔히 이루어지는 증거들에 대한 부정이나 왜곡 등이 침입 외래종 연구에서도 연구자들 사이에서 광범위하게 나타나고 있고 특히, 외래종에 대한 왜곡된 주장을 펼치기 위하여 객관적인 검증단계를 거치는 전문가 동료 평가 (Peer review)를 기피하면서 상대적으로 검증이 허술한 포럼과 언론 등에 공공연하게 이루어지는 모습을 지적하고 있다. 이는 침입 외래종에 대한 연구뿐만 아니라 이를 조절하고 통제할 정부의 정책을 지체시키는 요인이 되기 때문에 연구자들의 보다 객관적이고 적극적인 외래종의 위험성에 대한 홍보를 요구하고 있다.

반면, 비록 학계 연구 사례는 아니지만 한 언론은 사실을 통해 외래종 관리에 대한 다른 관점을 제시하기도 했다. 그 사실은 2010년 라발(Laval) 대학교의 클라우드 라보이 (Claude Lavoie) 교수의 습지 생태와 털부처손(purple loosestrife)의 관계에 대한 한 저널 논문을 근거로 제시하며 털부처손이 습지생태계를 파괴한다는 근거는 미약하며 오히려 인간에 의한 피해를 덮기 위한 희생양이 되었을 뿐이라는 주장을 했다. 그 뿐만 아니라 모든 캐나다인들이 악성 외래종이라 믿고 있는 얼룩무늬 마합류 (Zebra mussels)가 오히려 수질을 정화시켰고 설령 실제 생태계를 파괴한 외래종이라고 할지라도 emerald ash borers 이나 에리 호수(Lake Erie) 의 해파리의 경우, 그 피해 사례는 실제 드물고 그 결과 또한 경미하다고 한다. 말미에 이 사실은 북미지역이 원산인 낙타의 경우를 예로 들면서 능동적인 외래종 연구의 필요성을 주장하였는데, 낙타는 현재 오히려 중동의 토종으로 알려져 있을 정도로 현지에서 잘 적응하고 있고 인류사에서도 캐나다가 현재 세계 어느 국가보다도 해외 이민자들을 가장 적극적으로 받아들여 모범적인 다민족 국가의 모습을 보이고 있듯이 외래종에 대한 관점을 긍정적으로 바뀌어야 한다고 주장한다.

〈참고자료〉

- 1) Report outlines steps to keep Asian carp out of Great Lakes, CBC NEWS, 2017, retrieved from <http://www.cbc.ca/news/canada/windsor/report-outlines-steps-to-keep-asian-carp-out-of-great-lakes-1.4237932>
- 2) Wozney, Kristyne M., and Chris C. Wilson. "Quantitative PCR multiplexes for simultaneous multispecies detection of Asian carp eDNA." *Journal of Great Lakes Research* (2017)
- 3) An Invasive Alien Species Strategy for Canada(Environment Canada, government of Canada, 2004
- 4) Device for the rapid detection of seven common bloodstream infections and assessment of antibiotic susceptibility, 2017
- 5) Kowalski, Kurt P., Charles Bacon, Wesley Bickford, Heather Braun, Keith Clay, Michèle Leduc-Lapierre, Elizabeth Lillard et al. "Advancing the science of microbial symbiosis to support invasive species management: a case study on Phragmites in the Great Lakes." *Frontiers in microbiology* 6 (2015).
- 6) Frey, Melissa A., Nathalie Simard, David D. Robichaud, Jennifer L. Martin, and Thomas W. Therriault. "Fouling around: vessel sea-chests as a vector for the introduction and spread of aquatic invasive species." *Management of Biological Invasions* 5, no. 1 (2014): 21-30.
- 7) Drake, D. Andrew R., Rebecca Mercader, Tracy Dobson, and Nicholas E. Mandrak. "Can we predict risky human behaviour involving invasive species? A case study of the release of fishes to the wild." *Biological invasions* 17, no. 1 (2015): 309-326.
- 8) Fischer, Anke, Sebastian Selge, René van der Wal, and Brendon MH Larson. "The public and professionals reason similarly about the management of non-native invasive species: a quantitative investigation of the relationship between beliefs and attitudes." *PloS one* 9, no. 8 (2014): e105495.
- 9) Ricciardi, Anthony, and Rachael Ryan. "The exponential growth of invasive species denialism." *Biological Invasions*(2017): 1-5.
- 10) Canada should embrace invasive species, 2017, MACKEAN'S, Retrieved from <http://www.macleans.ca/news/canada/a-welcome-invasion/>

11) Lavoie, C., 2010. Should we care about purple loosestrife? The history of an invasive plant in North America. *Biological Invasions*, 12: 1967–1999.

12) Thompson, Ken. *Where Do Camels Belong?: Why Invasive Species Aren't All Bad*.

Greystone books, 2014. Refer to

<http://books.google.ca/books?hl=en&lr=&id=bZ9gBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Claude+Lavoie+purple+loosestrife&ots=vRO4ZQKBBu&sig=efy3eHsx-ANITIBbfsYJLNSf5WM#v=onepage&q=Claude%20Lavoie%20purple%20loosestrife&f=false>

해외교류연구원 활동 보고서 (11월)

「캐나다의 생태계서비스 평가연구동향」

1. Ecosystem Service Toolkit

2. 생태계 서비스 평가의 예

1. Ecosystem Service Toolkit

1,400백만 달러가 투입되어 2001년에 시작되고 2005년에 발행된 UNEP의 새천년 생태계 평가(MEA, Millennium Ecosystem Assessment)에 따르면 캐나다는 이 평가에 참여한 95개의 활동국 중 하나이다. 캐나다는 서부 BC 주 해변지역을 중심으로 하여 학계, 산업계, 사회단체, 공공기관, 원주민 단체 등이 협력하여 2004년까지 "Coastal British Columbia" 라는 프로젝트로 생태계 서비스 평가를 진행하였다. 평가 항목은 세부적으로 식량, 생물다양성, 목재, 유출 규제, 문화 등이 있고 UNEP로부터 채택된 전 세계 18개의 평가 보고서들 중 하나로 자리매김하고 있다.

캐나다는 지난 20년 동안 연방 정부와 각 주 정부가 협력하여 생물다양성의 지속가능성과 보존에 대한 지원을 하고 있다. 그 활동의 일환으로 캐나다 생물종다양성 전략, 다양성 성과 프레임워크, 그리고 2020년 생물다양성 목표를 발전 및 이행하고 있다. 2009년 Value of Nature to Canadian Study(VNCS)는 캐나다 자연의 경제적, 사회문화적, 생태학적 중요성에 대한 정보를 발전시키도록 태스크포스를 구성하였고 2012년에 비로소 '캐나다 자연 조사'가 발표 되었다.

이와 함께 캐나다 정부는 각기 다른 스케일과 광범위한 의사 결정으로 이루어지는 생태계 서비스 평가에 관심을 가져 VNCS 환경 기후변화 사무국의 주도로 15년에 걸친 범세계적 공동 심의 과정을 거쳐 생태계 서비스 도구(Ecosystem Services Toolkit)를 개발하여 사용하고 있다. 이는 정부 각 기관뿐만 아니라 자문기관, 연구자가 실용적이고 단계적으로 생태계 서비스 평가와 분석을 할 수 있도록 하는 지침을 제공하고 있다. 이 도구에서 제공하는 접근법은 학제간 연구를 통해 생물물리학, 사회학, 경제학, 전통적, 실용적 지식을 모두 통합을 지향한다. 또한 야생동물의 관리와 환경 평가, 공간 계획 등의 각기 상이한 정책 방향에 대한 생태계 서비스

분석의 방법론과 통합에 대한 지침을 제공한다. 이러한 평가는 지역 전략 환경 평가, 토지 및 공간 사용 계획 등의 지역 기반 계획과 환경영향평가, 전략적 환경평가, 규제 및 정책 개발 등의 규제 의사 결정분석, 보호구역 설치 및 관리, 생태계, 종족 관리, 침습성 외래종 관리 등의 환경관리 및 피해 등에 널리 적용된다. 총 6 단계로 이루어진 평가는 다음과 같은 과정으로 진행된다.

- 1 단계: 문제점과 맥락의 정의
- 2 단계: 생태계 서비스의 우선순위와 평가로 얻게될 이득에 대한 식별
- 3 단계: 평가 질문 사항에 대한 해답을 평가하기 위한 필요사항의 식별
- 4 단계: 척도, 자료출처 및 분석 도구의 사용 및 식별
- 5 단계: 평가 응답에 대한 종합
- 6 단계: 평가결과에 대한 해석 및 공유

2. 생태계 서비스 평가의 예

알버타 주는 2014년부터 알버타 생물다양성 감시기구(ABMI, Alberta Biodiversity Monitoring Institute)를 통해 주정부 관할의 생태계 서비스에 대한 평가를 진행하고 있다. ABMI는 1997년대 과학자와 자원매니저가 합동으로 생물군에 대한 조사를 위한 독립적이고 장기적인 프로그램의 필요성을 느껴 설립한 비영리기관이다. 현재 대표적인 4개의 프로젝트를 진행 중인데 이 중 하나의 프로젝트가 생태계 서비스 평가에 해당된다. ABMI는 2015년과 올해 2017년 생태계 서비스와 생물다양성 과학 심포지엄을 개최한 바 있는데 2015년의 주요 화두는 생태계서비스가 토지 이용 관리에 미치는 영향, 북방림의 생물다양성의 한시적 상쇄에 따른 경제 생태학적 평가, 생태계 서비스 평가 점수화에 대한 연구 등의 다양한 대상과 방법론에 대한 것이었던 것에 비해 2017년은 습지 생태계 서비스의 평가가 주요 연구 주제로 다루어지고 있다.

습지의 생태계 서비스 혜택에 대한 평가 프로젝트는 생태계 서비스와 습지 생태계 기능의 연결에 의한 프로세스의 의사 결정과정을 개선하는데 목적이 있다. 이는 알버타 환경 및 지속가능 자원 개발부의 생태계 서비스 10개년 로드맵 중 하나의 프로젝트로서 2010년부터 진행되고 있고 산업계와 학계, 시민단체, 일반기업 등 다양한 분야에서 지원을 받고 있다. 이 프로젝트는 어떻게 습지 관련, 생태계 서비스 접근방법이 사회적, 환경적, 경제적 효과를 가져 오는데 이용될 수 있는지에 대해서 연구하는 것을 목적으로 하고 최종적으로는 다음과 같은 이해를 증진하고자 한다.

- 다양한 스케일, 다수의 생태계 서비스 혜택
- 전략적 투자 분야의 선택 (생물종다양성, 수자원보존, 수질개선 등)
- 경쟁 위임과 균형의 식별

이 프로젝트는 현재 이미 상당부분 진전 되었으며 다양한 관측으로부터 도출된 정보들을 수집하고 생태계 서비스 방법론을 이용한 습지 보존의 알려진 결정들을 가능하게 하는 권장사항들을 개발하고 있다. 생태계 서비스 항목 측면에서 보면 홍수 조절, 수질정화, 탄소 저장, 관광, 미관, 수자원공급, 교육, 수분(pollination)을 정량(비용)/정성적인 측면으로 측정하여 평가할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

이 프로젝트에서는 생태계 서비스 측정 모델링의 과거 연구의 방법론을 광범위하게 다음과 같이 소개하고 있다.

연구 도구	연도	주 제
Cold Regions Hydrological Model (CRHM)	2014	습지 저장과 범람을 포함한 수자원의 사이클을 고려한 한랭지역 서부 캐나다 평원 구형 지역 수자원 프로세스 시뮬레이션
Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	2016	강유역의 수자원 보유와 흐름, 침전과 농약의 허용치에 대한 토지 관리 방법의 영향을 예측하는 도구에 대한 연구
Integrated Modelling for Watershed Evaluation of BMPs (IMWEBs)	2016	강유역의 수질과 수량을 대상으로 한 최선 관리 기법(BMP4)의 성과를 평가하는 연속 시계열 도구에 대한 연구
Alberta Biodiversity Monitoring Institute Water Purification	2016	부식된 최적물과 영양, 그리고 화확물질을 제거한 면적의 확대에 기여하는 지역을 식별하기 위한 강수량과 표층수의 흐름의 시뮬레이션에 대한 연구
Alberta Biodiversity Monitoring Institute Biodiversity	2016	ABMI의 생물다양성 감시 프로그램을 통하여 수집된 데이터를 기반으로 ABMI 생물다양성 손상 색인을 사용하는 연구
Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)	2016	탄소저장, 생물다양성, 수자원생산, 수질정화, 퇴적물 감소, 관광 및 미적 가치 등으로 세분화된 모델을 사용하여 생태계 서비스의 가치를 평가하는 연구
Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)	2014	확률론적 방법에 의한 매핑 소스, 침식, 흐름을 통한 생태계 서비스와 그 사용자에 대한 평가로서 모든 모델은 지역과 국가의 인자와 함께 인간에 대한 수혜를 고려하여 평가됨
Social Values for Ecosystem Services (SolVES)	2015	문화적인 생태계 서비스의 인식된 사회적 가치에 대한 연구로서 사회문화적 관점에 중점을 두었다는 점에서 타 연구와 다름.

이 밖에 BC 주에서는 서두에 언급한 바와 같이 해안지역을 중심으로 연구가 진행되었다. 최근 2017년에는 BC 주 Westham 섬의 농업과 야생 생태계의 통합에 대한

4) 최적관리기법(BMP, Best management practices)은 북미에서 흔히 사용되는 수질오염의 조절에 대한 기법을 가리킨다. 비점오염원에 의해 초래되는 오염량을 수질 목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 수질 제어 기법이다.

평가를 Millenium Ecosystem Assessment framework를 적용하여 진행하였다. Delta Farmland & Wildlife Trust 라는 비영리 단체의 주도아래 현재 농장의 경작 활동에서 생태계 서비스를 높일 수 있는 세부적인 방안을 준비하고 하고 GIS 와 InVEST 등의 맵핑, 시뮬레이션 툴을 이용하여 분석한 결과 뚜렷한 생태계 서비스 개선 효과가 나타났다. 철새의 서식과 이동을 용이하기 위해 간작⁵⁾을 다양화하여 동물의 식량을 유지하고 경작의 주기를 조절하여 서식지를 확보하며 꽃이 풍성한 식물의 비중을 높여 수분을 개선하는 등의 조치를 통해 농업과 주변 생태계가 공생할 수 있는 여건을 평가하였다.

5) 간작은 주된 작물 사이에 딴 작물을 심어 가꾸는 것으로 사이짓기라고도 한다.

〈참고자료〉

- 1) 대부분의 참고자료는 Canada 연방 정부의 Ecosystem Service Toolkit 매뉴얼과 Alberta 주의 Alberta Biodiversity Monitoring Institute(ABMI) 에서 시행하는 생태계 서비스 평가 프로젝트를 참고하였으며 타 주의 연구 동향은 ABMI 에서 상당수 보유하고 있어 추가적인 문헌고찰은 이루어지지 않았음
- 2) Hassan, Rashid, Robert Scholes, and Naville Ash. "Ecosystems and human well-being: current state and trends, vol 1. Findings of the condition and trends working group of the Millennium Ecosystem Assessment." (2005).
- 3) <http://www.millenniumassessment.org/en/SGA.Canada.html>
- 4) <http://biodivcanada.ca/default.asp?lang=En&n=24D8B61F-1>
- 5) Federal, Provincial, and Territorial Governments of Canada. 2014. 2012 Canadian Nature Survey: Awareness, participation, and expenditures in nature-based recreation, conservation, and subsistence activities. Ottawa, ON: Canadian Councils of Resource Ministers.
- 6) Ecosystem Services Toolkit: Completing and Using Ecosystem Service Assessment for Decision-Making - An Interdisciplinary Toolkit for Managers and Analysts, derived from <http://biodivcanada.ca/default.asp?lang=En&n=B443A05E-1>
- 7) <http://www.abmi.ca/home.html>
- 8) Native Plant Solutions and Ducks Unlimited Canada. 2017. Wetlands and their benefits: review and synthesis of tools and models assessing wetland ecosystem services. A report prepared for the Alberta Biodiversity Monitoring Institute and the Alberta North American Waterfowl Management Plan Partnership.
- 9) Pomeroy, J. W., D. M. Gray, T. Brown, N. R. Hedstrom, W. L. Quinton, R. J. Granger, and S.K.Carey. 2007. The cold regions hydrological model: a platform for basing process representation and model structure on physical evidence. Hydrological Processes 21: 2650-2667.
- 10) Yang, W., Y. Liu, M. Cutlac, P. Boxall, M. Weber, A. Bonnycastle and S.

Gabor. 2016a. Integrated economic-hydrologic modeling for examining cost-effectiveness of wetland restoration scenarios in a Canadian prairie watershed. *Wetlands* 36: 577-589.

11) Yang, W., Liu. Y.B., and Shao, H. 2016c. IMWEBs (Integrated Modelling for Watershed Evaluation of BMPs)-Wetland Model Technical Report. A report submitted to Alberta Biodiversity Monitoring Institute, 131 p.

12) Habib, T. J., S. Heckbert, J.J. Wilson, A.J. Vandenbroeck, J. Cranston and D.R. Farr. 2016. Impacts of land-use management on ecosystem services and biodiversity: an agent-based modelling approach. *PeerJ* 4: e2814.

13) Alberta Biodiversity Monitoring Institute. 2015. Manual for species modeling and intactness (20029), version 2016-04-14. Alberta Biodiversity Monitoring Institute, Alberta, Canada. Report available at: <https://www.abmi.ca>. 18 p.

14) Sharp, R., H.T. Tallis, T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood, R. Chaplin-Kramer et al. 2016. InVEST user's guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

15) Villa, F., K.J. Bagstad, B. Voigt, G.W. Johnson, R. Portela, M. Honzák and D. Batker. 2014. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLOS ONE* 9: e91001.

16) Sherrouse, B.C. and D.J. Semmens. 2015. Social Values for Ecosystem Services, version 3.0 (SolVES 3.0)—Documentation and user manual: U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1008, 65 p.

17) Zhang, Yuan, Julie E. Wilson, and Les M. Lavkulich. "Integration of Agriculture and Wildlife Ecosystem Services: A Case Study of Westham Island, British Columbia, Canada." *Agricultural Sciences* 8, no. 05 (2017): 409.

해외교류연구원 활동 보고서 (11월)

「노르웨이 생태계 서비스 가치평가 연구동향」

1. 노르웨이 생태계 서비스
2. 노르웨이 생태계 서비스 가치평가
3. 세부 평가 결과

1. 노르웨이 생태계 서비스

국제적으로 생태계 서비스에 대한 연구가 활성화됨에 따라 노르웨이 정부도 2013년 노르웨이 생태계 서비스에 대한 총괄적인 내용을 다룬 연구보고서인 'Natural benefits-on the values of ecosystem services (NOU, 2013)'를 발간하였다.

NOU(2013)은 생태계 서비스를 공급, 조절, 문화 서비스로 구분하여 각 분류별 서비스 내용 및 가치들을 검토하였다. 노르웨이 생태계 서비스 중 공급 서비스로는 어업 및 어패류 생산, 목재와 펄스 생산, 농가의 생산 활동, 바이오 에너지, 유전자 정보 등이 있다. 조절 서비스는 홍수 및 산사태로부터의 보호, 산림 내 해충과 질병 조절, 탄소 고정, 수분(pollination)등이 포함된다. 문화 서비스는 레크레이션과 에코 투어리즘, 건강과 웰빙, 정신적 안정 등이 있다.

2. 노르웨이 생태계 서비스 가치평가

노르웨이 생태계 서비스에 대한 가치평가 연구로는 Skre (2017)가 대표적이다. 동 연구는 노르웨이에서 가장 중요한 생태계 서비스가 무엇인지를 규명하기 위해, 직접 및 간접 측정 방법을 활용하여 서비스 내용별 화폐 가치를 평가하여 비교하였다. Skre (2017)는 노르웨이 생태계 서비스를 산, 숲, 농촌 지역, 담수 생태계, 해양 생태계에서 비롯되는 서비스들로 구분하여 그 가치를 화폐 가치로 환산하였다.

평가 결과를 보면, 해양과 관련된 생태계 서비스의 가치가 가장 큰 값으로 추정되었다. 그 다음으로 농촌 지역에서 비롯되는 생태계 서비스와 담수 생태계 서비스가

높은 가치를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 평가 내용은 다음의 표와 같이 정리된다.

구 분	면적(Km ²)	면적 비율(%)	평균 가치(NOK)
산	165,000	50	8,000
숲	117,000	36	37,500
농지	9,000	3	46,850
도시 지역	3,000	1	14,300
해양 가치 및 섬	16,000	6	121,000
담수	14,000	4	44,000
총계	324,000	100	271,650

[표 1] 노르웨이 생태계 서비스 가치 평가 결과(총괄)
(출처: Skre(2017))

3. 세부 평가 결과

3-1산 관련 생태계 서비스 가치

산 관련한 생태계 서비스들 중에서는 야외 활동의 가치가 사냥과 순록 축산업의 가치보다 훨씬 더 큰 것으로 추정되었다.

구 분	내 용	추정 가치 (백만NOK/yr)	참고문헌
공급 서비스	뇌조(grouse) 사냥 으로 인한 순수입	16	Andersen et al. (2010)
조절 및 문화 서비스	사냥 선호들	459~648	Andersen et al. (2009), Skonhoft and Gudding (2010)
공급 서비스	야생 순록 사냥의 육류 가치	13	Bråtå et al. 2010), Nellemann et al. (2001)
공급 서비스	국내 순록의 육류 가치	141	Tømmervik et al. (2013)
		600~800 (70~90 MEUR)	
조절 및 문화 서비스	야외 활동 (간접 추정치)	7,500	Lindhjem and Magnussen (2012)

[표 2] 산 관련 생태계 서비스 가치 평가 결과
(출처: Skre(2017))

3-2. 숲 관련 생태계 서비스 가치

숲과 관련된 서비스들 중에는 레크레이션으로 비롯되는 건강 편익이 가장 큰 가치를 갖는 것으로 나타났다. 그 다음은 탄소 고정이며, 생물다양성이 높은 숲들을 보호하는 것에 대해서도 비교적 높은 지불의사액이 측정되었다.

구 분	내 용	추정 가치 (백만NOK/yr)	참고문헌
공급 서비스	탄소 고정	7,500~9,000	Lindhjem and Magnussen (2012)
공급 서비스	숲 생산물 (목재, 연료, 사냥, 바이오매스)	6,200	SSB (2012) NOU (2013)
공급 서비스	보충적 서비스들 (임대 수입, 낚시와 사냥 라이선스)	726	Lindhjem and Magnussen (2012)
조절 서비스	추정된 레크레이션 가치 (건강 편익 및 지불의사액)	10,000~20,000	Lindhjem and Magnussen (2012)
공급 서비스	무스(moose)로부터 의 피해(방목과 충돌)	300~400	Olaussen and Skonhoft (2011)
문화 서비스	산림 관리	3,600	Lindhjem (2007)
문화 서비스	산림 보호 (1.4~2.8%)	3,000~4,000	Lindhjem and Navrud (2011)
		31,000~44,000 (=3,400~5,000 MEUR)	

[표 3] 숲 관련 생태계 서비스 가치 평가 결과
(출처: Skre(2017))

3-3. 농촌 지역의 생태계 서비스 가치

농촌 지역에서 비롯되는 생태계 서비스들은 공급 서비스들(식량 생산 및 가공)이 주류를 이루고 있다. 식품 가공 관련 가치와 우유, 계란, 육류 등의 생산에서 비롯되는 수입이 높은 가치를 갖는 것으로 평가되었다.

구 분	내 용	추정 가치 (백만NOK/yr)	참고문헌
공급 서비스	식물 생산으로의 수입(곡물, 감자 등)	7,100	SSB (2012)
공급 서비스	동물 생산으로의 수입 (우유, 계란, 육류 등)	18,700	SSB (2012)
공급 서비스	식품 가공	20,000	SSB (2012), SSB (2013)
조절 서비스	야생 동물 방목의 가치	800	Asheim and Hegrenes (2006)
조절 서비스	수분(pollination)과 꿀 생산	250	SSB (2012)
		46,850 (= 5,200 MEUR)	

[표 4] 농촌 지역 생태계 서비스 가치 평가 결과
(출처: Skre(2017))

3-4. 담수 관련 생태계 서비스 가치

담수 생태계에서는 야생 연어 어업의 가치가 가장 높게 평가되었다. 이는 수질 개선을 위한 지불의사액 보다 높게 수준으로 나타났다.

구 분	내 용	추정 가치 (백만NOK/yr)	참고문헌
조절 서비스	레크리에이션을 위한 개선된 수질	1,800~3,500	Magnussen (1992)
조절 서비스	개선된 수질(추정치)	1,600	Magnussen et al.(1995)
조절 서비스	홍수와 침식 조절	50~100	Sælthun et al.(2000)
조절 및 문화 서비스	낚시의 레크리에이션 가치	500~1,500	Navrud (2004)
조절 서비스	연어 낚시의 레크리에이션 가치	30,000	Toivonen et al.(2004)
공급 서비스	연어 낚시(추정치)	260	Kjelden et al.(2012)
조절 서비스	칼슘 처리	104~128	DN (2011)
		38,800~50,600 (=4,300~5,600 MEUR)	

[표 5] 담수 관련 생태계 서비스 가치 평가 결과
(출처: Skre(2017))

3-5. 해양 관련 생태계 서비스 가치

해양 생태계 서비스는 노르웨이 생태계 서비스 중 가장 높은 순위를 차지하고 있다. 이는 주로 공급서비스(어업 관련)의 사용 가치가 높은 데에서 기인하였다. 또한 관광과 해양 내 탄소고정에 대한 가치도 높게 평가되었다.

구 분	내 용	추정 가치 (백만NOK/yr)	참고문헌
조절 서비스	개선된 수질	100	Barton et al. (2012)
조절 서비스	석유 유출사고 예방	150	Klethagen (2005)
조절 서비스	해양 내CO2 고정	20,000~40,000	Magnussen et al.(2010)
공급 서비스	어류 생산	24,000	SSB (2012)
공급 서비스	바다 양식 생산	30,000	Henriksen et al.(2012)
공급 서비스	바다 양식 관련 가치들	20,000	Henriksen et al.(2012)
조절 서비스	낚시 레크리에이션	5,200	Magnussen et al.(2010)
공급 및 문화 서비스	관광(마케팅 가치)	12,500	Magnussen et al.(2010)
조절 서비스	환경 보호 (육상 기반 해양 양식)	1~15,800	Armstrong et al.(2008)
조절 서비스	산호초	112,000	Armstrong et al.(2008)
		110,000~132,000 (=12,000~14,000 MEUR)	

[표 6] 해양 관련 생태계 서비스 가치 평가 결과
(출처: Skre(2017))

〈참고자료〉

- 1) Andersen O, Kaltenborn B, Pedersen HC, Storaas T, Faye-Schjøll E, Solvang H (2009) Spørreundersøkelse blant rypejegere etter jaktseasonen 2006/07. Datagrunnlag og noen sentrale funn 2006-2011. NINA Rapport 379. Norsk Institutt for Naturforskning
- 2) Andersen O, Kaltenborn BP, Pedersen HC, Storaas T, Faye-Schjøll E, Solvang H, Moa PF, Hagen BR (2010) Undersøkelse blant rettighetshavere i Rypeforvaltnings- prosjektet 2006-2011. Datagrunnlag og noen sentrale funn. NINA Rapport 433. Norsk Institutt for Naturforskning
- 3) Armstrong CW, Kahui V, Aanesen M (2008) Økonomisk verdsetting av havmiljø-Anvendelse på havområdene i Lofoten-Vesterålen. Norges fiskerihøgskole, UiT og NORUT for Miljøverndepartementet.
- 4) Asheim L, Hegrenes A (2006) Verdi av for frå utmarksbeite og sysselsetting I beitebaserte næingar. Notat 2006-15. Norsk Institutt for Llandbruksøkonomisk Forsking, Oslo. [ISBN 0805-9691]
- 5) Barton D, Holen S, Lindhjem H, Magnussen K (2012) Valuation of Ecosystem Services from Nordic Watersheds -- From awareness-raising to policy support? (VALUESHED).2012:506. TemaNord <https://doi.org/10.6027/tn2012-506>
- 6) Bjørdal I (2007) Markslagklassifikasjon I økonomisk kartverk. 1. Norwegian Institute of Bioeconomy Handbook
- 7) Bråtå HO, Hagen SE, Overvåg K (2010) Villrein og villrein fjellet som kolde til verdiskaping og samfunnsutvikling. Østlandsforskning, ØF-report 6/2010
- 8) Bryn A (2008) Recent forest limit changes in south-east Norway: Effects of climate change or regrowth after abandoned utilisation? Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography 62 (4): 251-270. <https://doi.org/10.1080/00291950802517551>
- 9) Henriksen K, Sandberg MG, Olafsen T, Bull-Berg H, Johansen U, Stokka A (2012) Verdiskaping og sysselsetting i norsk sjømatnæring 2010 -- en ringvirkningsanalyse. SINTEF report A23089
- 10) Kjelden J, Krogdahl R, Heggem V, Baardsen S, Stensland S, Aas Ø (2012) Elvenerundt Trondheimsfjorden: laks og verdiskaping. Temabooklet 48. Norsk Institutt for Naturforskning

- 11) Klethagen I (2005) Er økt oljevernberedskap samfunnsøkonomisk lønnsomt? Enbetinget verdssettingsstudie av økt oljevernberedskap M.Sc. Thesis. Norwegian University of Bioscience (UMB), Ås
- 12) Lindgaard A, Henriksen S (2011) Norsk rødliste for naturtyper 2011. Artsdatabanken
- 13) Lindhjem H (2007) 20 years of stated preference valuation of non-timber benefits from Fennoscandian forests: A meta-analysis. *Journal of Forest Economics* 12 (4): 251-277. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2006.09.003>
- 14) Lindhjem H, Magnussen K (2012) Verdier av økosystemtjenester i skog i Norge. NINA Rapport 894. Norsk Institutt for Naturforskning
- 15) Lindhjem H, Navrud S (2011) Are Internet surveys an alternative to face-to-face interviews in contingent valuation? *Ecological Economics* 70 (9): 1628-1637. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.04.002>
- 16) Lindhjem H, Sørheim MD (2012) Urbane økosystemtjenester I Norge; Status, utvikling, Verdi og kunnskapshull. Report Vista Analysis no. 2012/37. Vista Analyse AS, Oslo.
- 17) Magnussen K (1992) Valuation of Reduced Water Pollution Using the Contingent Valuation Method; Methodology and Empirical Results. University of Life Sciences(UMB)
- 18) Magnussen K, Bergland O, Navrud S (1995) Overføring av nytte-estimer: Status for Norge og utprøving knyttet til vannkvalitet. NIVA-rapport 3257. Norsk Institutt for Vannforskning
- 19) Magnussen K, Navrud S, San Martin O, Bjørnstad I, Gausen OM (2010) Verdsetting av marine økosystemtjenester; Metoder og eksempler, Report TA-2582. SWECO, Oslo.
- 20) Navrud S (2004) Value transfer and environmental policy. *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics* 2004/2005 <https://doi.org/10.4337/9781845420680.00014>
- 21) Nellemann C, Vistnes I, Jordhøy P, Strand O (2001) Winter distribution of wild reindeer in relation to power lines, roads and resorts. *Biological Conservation* 101 (3): 351-360. [http://doi.org/10.1016/s0006-3207\(01\)00082-9](http://doi.org/10.1016/s0006-3207(01)00082-9)
- 22) Norderhaug A, Austad I, Hauge L, Kvamme M (2013) Skjøtselboka for kulturlandskap og gamle norske kulturmarker. Landbruksforlaget, Oslo.

- 23) NOU(Official Norwegian Report), (2013). Natural-benefits – on the values of ecosystem services. <http://www.regjeringen.no/en/dokumenter/nou-2013-10/id734440/>
- 24) Nybø S, Certain G, Skarpaas O (2012) The Norwegian Nature Index -- state and trends of biodiversity in Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 66 (5): 241-249. <http://doi.org/10.1080/00291951.2012.743168>
- 25) Olaussen JO, Skonhoft A (2011) A cost-benefit analysis of moose harvesting in Scandinavia. A stage structured modelling approach. *Resource and Energy Economics* 33 (3): 589-611. <http://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.01.001>
- 26) Rolstad J, Majewski P, Rolstad E (1998) Black Woodpecker Use of Habitats and Feeding Substrates in a Managed Scandinavian Forest. *The Journal of Wildlife Management* 62 (1): 11. <http://doi.org/10.2307/3802260>
- 27) Sælthun N, Gothschalk L, Krasovskaia I, Berg H, Voksø A, Kristensen S, Eggestad H, Skoglund M, Wathne M (2000) Økonomisk risikoanalyse for flommer. HYDRA rapport R03. Bioforsk Jord og miljø, Ås
- 28) Skonhoft A, Gudding PA (2010) Rypejakt i Norge Forvaltning og økonomi. *Samfunnsøkonomen* 8: 41-53.
- 29) Skre O (2017) Ecosystem services in Norway. *One Ecosystem* 2: e14814. <http://doi.org/10.3897/oneeco.2.e14814>
- 30) SSB (2012) Statistical Yearbook of Norway. 131. Statistics Norway, 397 pp. [ISBN 978-82-537-8490-8]
- 31) SSB (2013) Statistical Yearbook of Norway. 132. Statistics Norway, 397 pp. [ISBN 978-82-537-8738-1]
- 32) Toivonen AL, Roth E, Navrud S, Gudbergsson G, Appelblad H, Bengtsson B, Tuunainen P (2004) The economic value of recreational fisheries in Nordic countries. *Fisheries Management and Ecology* 11 (1): 1-14. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2003.00376.x>
- 33) Tømmervik HA, Bjerke JW, Laustsen K, Johansen BE, Karlsen SR (2013) Overvåking av vinterbeite i Indre Finnmark 2013. NINA Report 1066. Norsk Institutt for Naturforskning, Tromsø

