

2017
해외교류
연구원
활동 보고서 

9월

목 차

활동 보고서 (9월)

1. 미국	1
2. 캐나다[1]	15
3. 캐나다[2]	23
4. 노르웨이	28

해외교류연구원 활동 보고서 (9월)

「미국의 기후변화 리스크 평가」

1. 서론
2. EPA 기후변화 및 리스크 평가 (CIRA) 연구 사업 디자인과 구조
3. CRIA 연구 결과-미래 기후 예측 시나리오
4. CRIA 리스크 평가 결과
5. 지역별 기후변화 예측, 리스크 평가 틀 제공
6. 그 외 기후변화 리스크 평가/개선 정책 연구사례
7. 맺음말

1. 서론

1.1. 미국 내 기후변화 리스크 평가 주요 연구 현황

미국 내 기후 변화관련 연구는 1990년 시행된 법안, Global Change Research Act(GCRA)를 토대로 진행되고 있다. GCRA는 기후변화, 온난화와 관련된 예측과 환경/경제/보건/안전에 관한 리스크 평가 연구보고서를 4년마다 발행하는 것을 의무화 한다. 이를 위해 **US Global Change Research Program (USGCRP)**과 **National Climate Assessment (NCA)**등의 정부기관 연계 연구프로그램이 개설, 운영되고 있다.

National Climate Assessment 는 현재 13개의 연방정부와 **Advisory Committee** 의 활동으로 구성되며, 2000년 첫 보고서를 발행 한 이 후 현재까지 3차보고서 (2014) 까지 발행되었다. National Climate Assessment는 연구 보고서는 IPCC 의 연구에 사용된 모델(Coupled Model Intercomparison Project model, CMIP3 and CMIP5 models)을 사용, 기후변화와 리스크를 예측하였으며, 연구결과가 웹페이지로 운영, 제공되고 있다. (<http://nca2014.globalchange.gov>).

NCA 연구결과는 하나의 보고서로 비교적 손쉽게 독립된 웹페이지를 통해 접할 수 있으며, IPCC와 같은 평가 시스템을 도입하였으므로 여기서는 EPA에서 진행된 또

다른 미국의 주요 기후변화, 리스크 평가연구사업을 중점적으로 분석하였다.

National Climate Assessment 의 주 연구 기관 중 하나인 US EPA 는USGCRP 외에 기관 내에서 독립적으로 기후변화/리스크 평가사업(Climate Change and Risk Analysis Project-CIRA)을 진행하고 있다.

EPA 의CIRA 사업은 USGCRP (NCA)의 연구보고서와 같은 골격으로 구성되어 있으나 IPCC, NCA와는 다른 모델을 사용한 점, 리스크 평가를 미국 주요사업/자원 및 주요 사안에 초점을 두고 시행한 점, 그리고 리스크를 최소화하기 위한 개선 방안과 정부 정책의 제안/빠대와 실제 활용 가능한 다양한 모델, 틀을 제공하고 있어, 주정부 및 지방자치제의 활용가능성이 매우 높다. 따라서 EPA CIRA 사업과 관련 보고서, 참고 자료 및 웹페이지는 한국의 관련 연구/사업 설계 및 정책 설정에도 도움이 될 것으로 판단된다.

2. EPA 기후변화 및 리스크 평가 (CIRA) 연구 사업 디자인과 구조

2.1 온난화 기체발생 예측 모델 설계디자인

EPA의 CIRA사업은 현재에서 2100년을 예측 시간축으로 하여 크게 두개의 시나리오를 설정하고 있다. 첫째, **Usual Business Condition: 아무런 개선의 노력없이 현재의 경제발전의 속도와 온난화기체 발생의 정도를 지속하는 경우, 둘째, 개선노력을 진행하는 경우(2100년 이산화탄소 농도 462 ppm)**로 나누어 미래 기후변화를 예측하였다. 온난화 기체 발생 시나리오는 MIT 에서 개발한 Emissions Predictions and Policy analysis (EPPA) 모델과 Integrated global model (IGSM) 이 사용되었다 (**EPPA-IGSM scenarios**).

2.2. 미래 기후예측

EPPA-IGSM에 의해 예측된2100년까지의 기체발생량은 기상모델(**CAM**)에 입력되어 미래 온도, 강수량, 이산화탄소 농도, 습도, 태양 복사량, 복사열 등의 자료를 산출해 낸다.

2.3. 리스크 평가

위의 기후 예측결과를 토대로 리스크 평가는 총 6분야, 보건/사회기반시설/전기전력/수자원/농업/생태계 영향으로 나누어 진행되었다. 각 분야의 요소들은 상호연관되

어 간접적/ 누적의 (cumulative) 영향을 미칠 수 있으나, 그 관계가 복잡하고, 정량적으로 평가하기가 어려운 점을 들어 이 평가에서는 직접적인 영향을 주로 고려하여 리스크를 추산하였다. 직접적으로 대입할 수 있는 모델이 없는 경우에는 설문조사 혹은 경험식을 이용하여 리스크를 예측하였다(예, 수질정화를 위해 얼마를 투자할 의사가 있는가?).

2.4. 기후변화 적응 및 준비를 위한 정책 기반 설정

기후변화 적응 및 개선방안 연구는 EPA CIRA 연구와는 별개로 진행된 연구로, EPA 내 Climate Change Adaptation Resource Center (ARC-X)의 형태로 운영되고 있다. ARC-X는 기후변화 리스크 평가 연구 결과를 토대로 진행된 사업이며, 그 연관성과 한국 내 적용가능성을 고려하여 본 보고서에서 다루고자 한다.

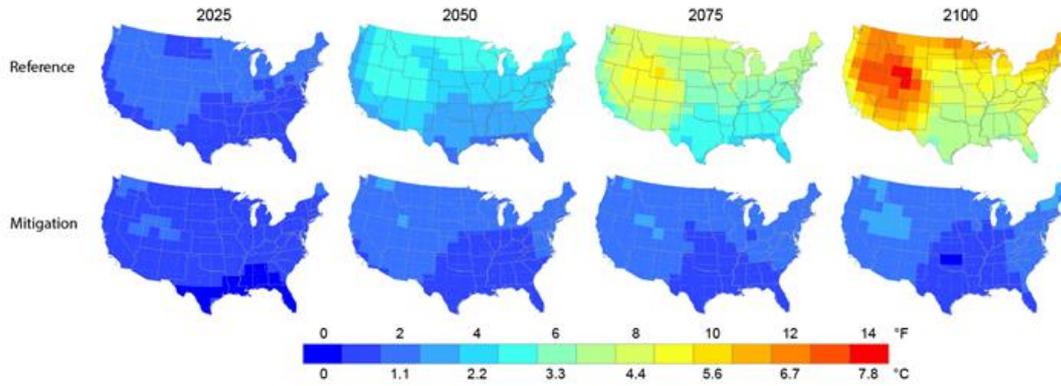
3. CRIA 연구 결과-미래 기후 예측 시나리오

CRIA의 미래 기후예측 결과, 이산화탄소 및 온난화기체 감소 등의 개선노력을 추진한 경우, 기후 변화를 현저히 감소 할 수 있는 것으로 나타났다. 아무 노력도 하지 않는 경우, 미국 평균 기온은 5도 증가, 해수면은 약 1cm 상승 할 것으로 예측되었으며, 강수량도 현재에 비해 50% 이상 증감할 것으로 예상되었다(표 1). 지역별로는 중서부를 중심으로 큰 기온상승과 강수량 변화가 예측되었고(그림 1, 2), 해수면 상승은 전 해안지역에서 모두 진행될 것으로 보인다(그림 3).

Scenarios (by 2100)	Inaction-Reference	Mitigation
CO2 concentration	826 ppm	462 ppm
Mean Air Temperature	5 C (9 F, max.14F)	1.4 C (2.6 F, max.4F)
Precipitation	-50 % ~+60 % change	-20 % ~ +30 % change
Sea level rise	+56 inch (1422 mm)	+37 inch (940 mm)

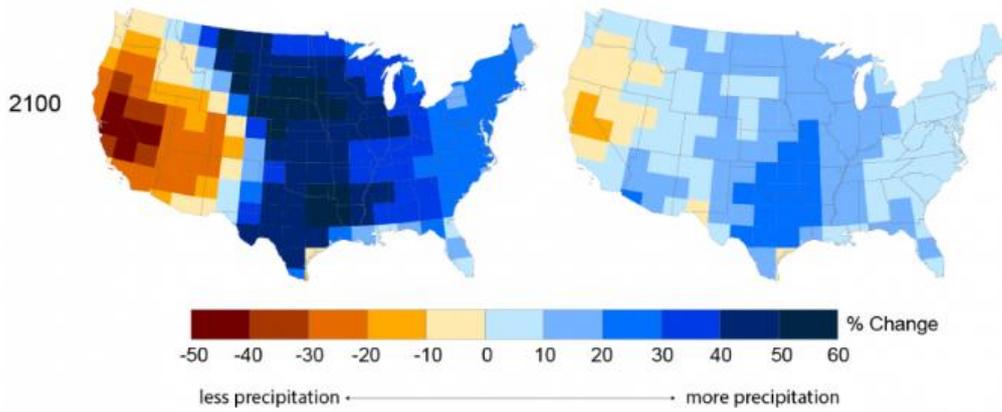
[표1] 미래 기후 예측 결과 요약
(2100년도 예측 값을 1980-2009년도 평균값과 비교하여 환산한 결과)

Change in annual mean surface air temperature relative to present-day (1980-2009 average)
for IGSM-CAM under the Reference and Mitigation scenarios (CS 3°C).

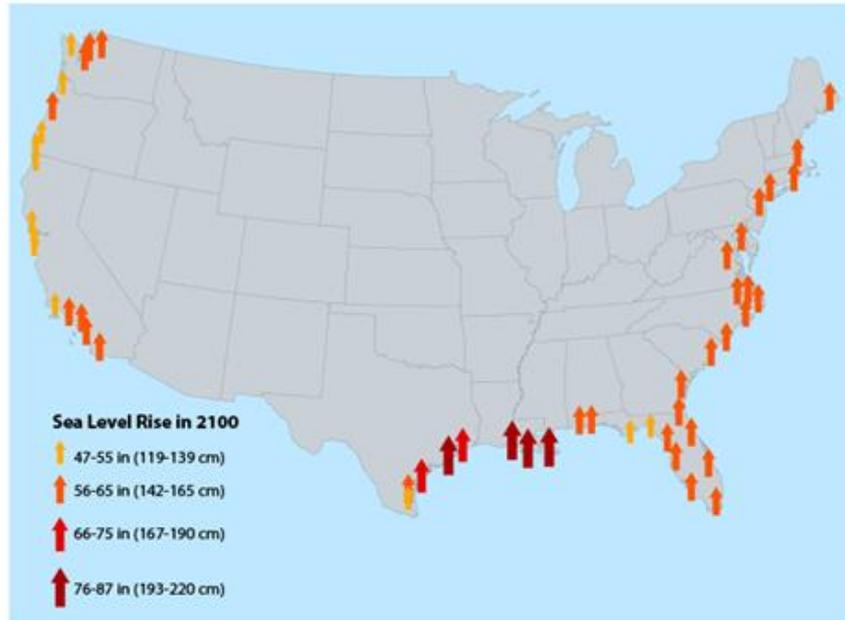


For more information, visit EPA's "Climate Change in the United States: Benefits of Global Action" at www.epa.gov/cira.

[그림 1] 지역별 평균기온 상승정도 예측 시나리오
(기온 변화는 1980-2009년 평균 측정값과 비교 환산되었다)



[그림 2] 지역별 평균 강수량 변화 예측 시나리오
(강수량 변화는 1980-2009년 평균 측정값과 비교 환산되었다)



For more information, visit EPA's "Climate Change in the United States: Benefits of Global Action" at www.epa.gov/cira.

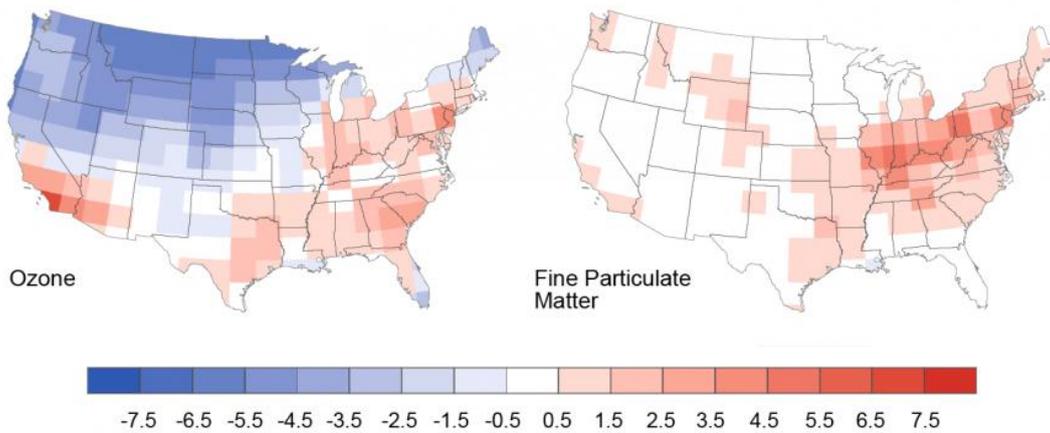
[그림 3] 아무 개선 노력을 하지 않은 경우, 2100년 해수면 상승 예측 시나리오 (변화 정도는 현재의 해수면 측정값과 비교 환산되었다.)

4. CRIA 리스크 평가 결과

4.1. 보건/복지 (Public Health)

CRIA 는 기후변화가 건강에 미치는 영향을 크게 1) 대기오염, 2) 이상 기온, 기상현상, 3) 노동력 감소, 4) 수질변화로 나눠 평가하였다.

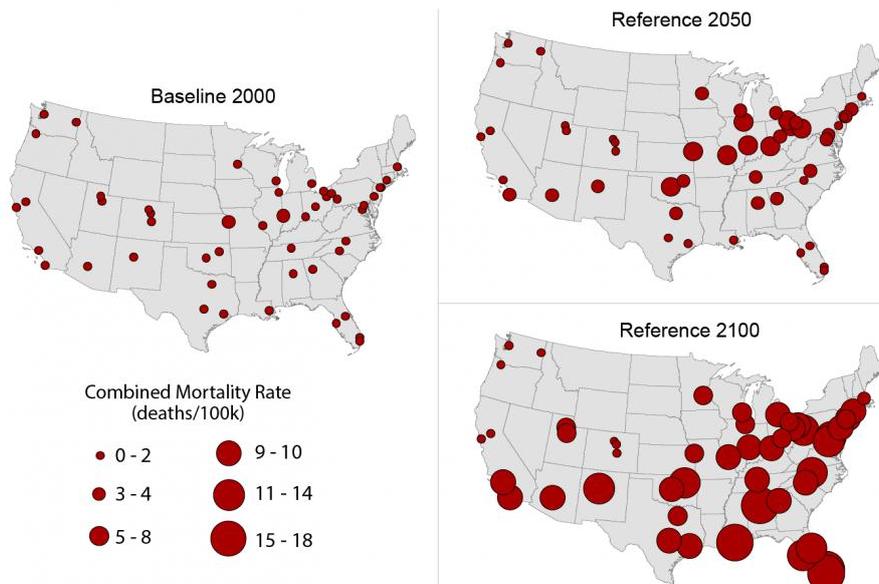
1) 대기 오염: 개선이 없는 예측 시나리오의 경우, 2100년 평균 PM2.5 는 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 것으로 예측되었다. 오존농도는 평균적으로 감소할 것으로 예측되었으나, 인구밀집 도심지역, 특히 동부와 남부에서 평균 4.7 ppb 증가할 것으로 추산되었다(그림 4).



[그림 4] 오존(ppb), PM2.5 (ugm-3)농도 변화

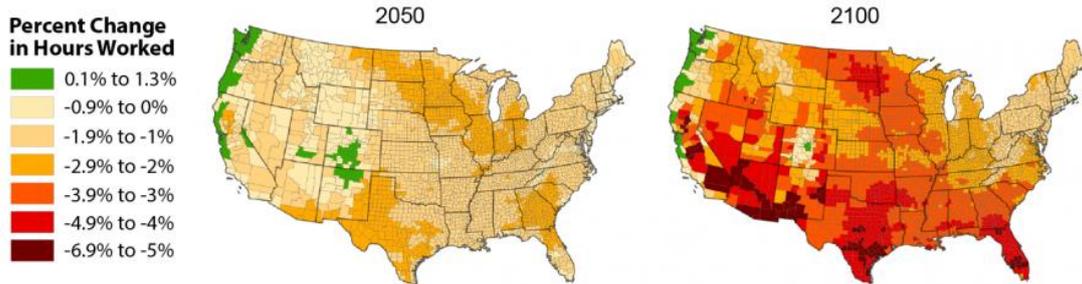
예측된 대기오염도는 Environmental Benefits Mapping and Analysis Program 에 입력되어 대기오염에 따른 사망률 증가, GDP 감소율로 환산된다. 모델결과, **기후변화 개선노력 시행 시 5만 7천명의 미성숙아 사망을 예방할 수 있는 것으로 나타났으며, 이에 따른 경제적 효과는 9300억 달러에 달한다.** 이 외에 기후변화에 따른 대기오염은 각종 호흡기 질환 등을 유발할 수 있으나, 본 연구에서는 사망률만이 고려되었다.

2) 기온 상승: 2100년 기온상승으로 인해 동남부를 중심으로 총 13000명이 사망할 것으로 추정하였다. 기후변화 개선노력 수행시 사망 방지율은 93%에 달하며, 이에 의한 경제적 효과는 2000억 달러로 추정되었다.



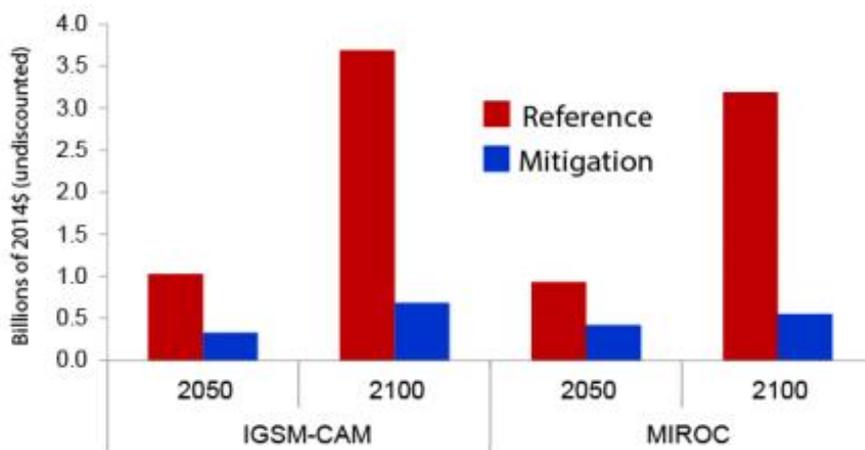
[그림 5] 기온상승에 의한 2100년 미국 사망률 환산결과

3) **노동력 감소:** 남부를 중심으로 기후변화로 인한 노동력감소는 최대 5-7%에 달할 것으로 예측되었으며, 특히 외부활동을 요하는 일에 큰 피해를 가져올 것으로 예상되었다. 이는 총 1700억 달러의 경제적 손실이며, 기후 개선 노력의 시나리오에서 1100억 달러의 손실을 예방할 수 있는 것으로 추산되었다.



[그림 6] 기후변화에 따른 노동력 감소 환산 결과

4) **수질오염:** 개선노력 수행의 경우, 2100년 수질오염에 따른 경제적 부담을 약82% 감소할 수 있는 것으로 평가 되었으며, 이는 300억 달러에 달한다.



[그림 7] 미래 수질오염에 따른 경제적 부담 (손실) 예측 결과

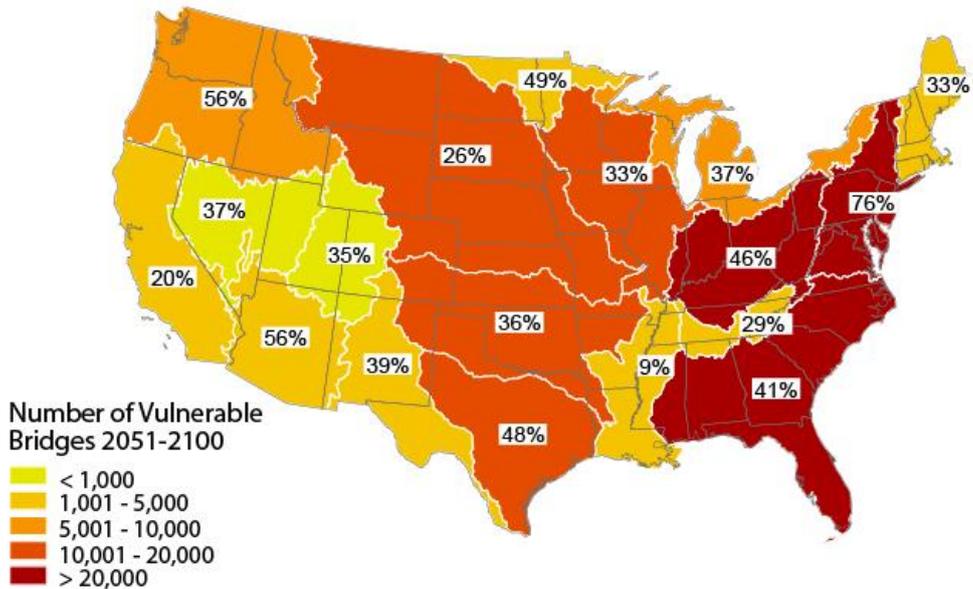
4.2. 사회기반시설 (Infrastructure)

사회기반시설은 크게 1) 다리/교량, 2) 도로, 3) 도심 유출수 배수/처리, 4) 해안지역 건물, 재산, 5) 환경 정의 (Environmental Justice)로 나눠 리스크 평가되었다.

1) **다리/교량:** 강수량의 변화와 이상기후로 인한, 잦은 홍수, 태풍, 강수량 증가와 수

심, 수량의 증가로 인한 안전성을 기준으로 평가되었다. 그 결과, **19만개의 교량이 2100년 안전하지 않을 것으로 평가되었으며, 보수 및 개선작업에 총 1940 억 달러가 지출될 것으로 예상되었다.** 기후 개선노력 시 이의 60%를 예방할 수 있는 것으로 보인다.

Estimated number of vulnerable bridges in each of the 2-digit hydrologic unit codes (HUCs) of the contiguous U.S. in the period from 2051-2100 under the Reference scenario using the IGSM-CAM climate model. The map also shows the percentage of inland bridges in each HUC that are vulnerable due to climate change.



For more information, visit EPA's "Climate Change in the United States: Benefits of Global Action" at www.epa.gov/cira.

[그림 8] 기후변화에 따른 안정성 부적합 교량의 수와 증가율 환산결과

2)도로: 기온상승과 잦은 동결-융해는 도로 크래킹을 유발한다. 이로 인한 경제적 부담은 100억 달러로 추정되며, 개선 노력 시 42-74억 달러의 절감효과를 얻을 수 있다.

3) 도심 유출수 배수/처리시설: 도시개발과 강수량 변화 모델결과, 2100년 총 50개 미국 도시 기준 도심 유출수 배수처리 관련시설 준설과 보수에 따른 경제적 부담이 총 120억 달러에 달하며, 기후 개선 노력 시 64억 달러의 절감효과를 볼 수 있는 것으로 추정되었다.

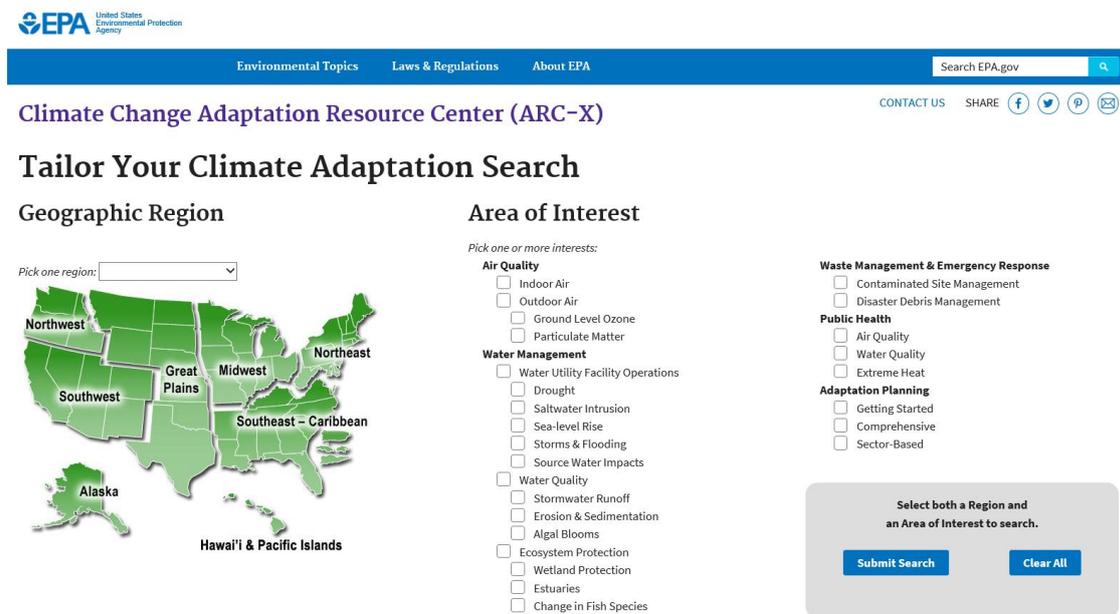
4) 해안지역: 해수면 상승과 태풍, 홍수로 인한 해안지대 부동산 리스크가 매우 크다. 2100년 기준 미국 해안지역 부동산 피해가 1조로 추정되며, 개선 시나리오 모델링의 경우, 피해는 8100 억으로 감소된다. 가장 피해가 큰 17개 지역 중 최대 피해지역 3곳은 플로리다 마이애미, 잭슨빌과 템파로 예상되었다.

4.3. 이외 리스크 평가 항목

EPA 는 위에 제시된 항목 이 외 전력, 수자원(Water Resources), 농업/ 산림자원 (Agriculture & Forestry), 그리고 생태계 (Ecosystems) 분야의 리스크를 평가하였다. 예를 들어, 가장 큰 홍수 피해는 동부지역과 텍사스에서 발생할 것으로 예상되며, 이 지역의 피해액은 10-37 억 달러로 추정된다. 기후변화 개선 노력시 약 30 %의 피해액 예방 효과를 가져 올 것으로 보인다.

5. 지역별 기후변화 예측, 리스크 평가 툴 제공

EPA는 미국 전지역 기후변화 예측 모델 결과와 주 분야의 리스크 평가를 수행, 보고함과 동시에, 지역별로 기후변화 예측과 리스크 평가를 수행할 수 있는 툴을 제공하고 있다. Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool (CREAT) 이 EPA 에서 온라인으로 제공되는 기후변화 리스크 평가법으로, Climate Change Adaptation Resource Center (ARC-X)에서 확인, 사용할 수 있다. 사용자가 지역과 관심분야를 선정하면, 기후 모델링과 리스크 평가 결과를 확인할 수 있으며, 개선 및 보호를 위한 가상 전략 방법을 제시해준다. 이를 기준으로 지자체의 비용 효율 평가를 수행, 지자체 의사결정에 반영하기를 추천하고 있다.



[그림 9] EPA에서 제공하는 기후변화 리스크 평가 툴의 예

6. 그 외 기후변화 리스크 평가/개선 정책 연구사례

EPA의 CRIA연구 이외에도 지자체를 중심으로 한 지역별 기후변화 리스크 평가와 개선방안에 대한 노력이 활발하다. 그 중 가장 발전되고, 참고가 될 만한 예를 소개하고자 한다.

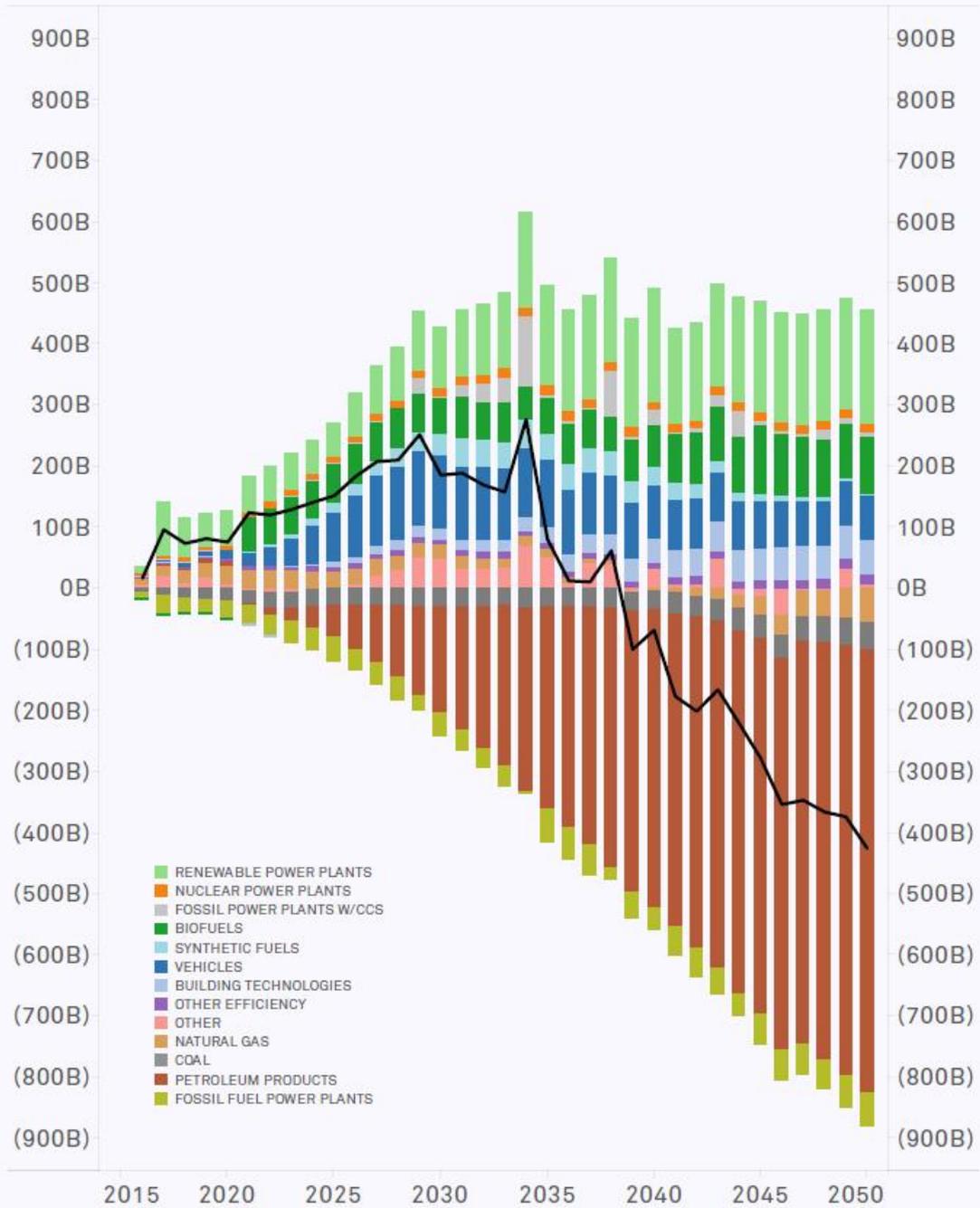
6.1. Risky Business.org

Risky Business는 마이클 블룸버그를 중심으로 한 기업가들이 구성한 단체로, **기후 변화에 따른 경제적 리스크 평가와 개선 전략 확립을 목적으로 한다.** 사업 리스크 위원회를 구성하여 2013년 이후 총 2개의 연구 보고서를 발표하였다. **첫번째 보고서는 경제 리스크 평가를 주제로 최근 발표된 두번째 보고서는 개선전략과 비용-효율 평가를 주제로 다루고 있다.** 두 보고서 모두 미국의 경제면을 자세히 분석하여, 정부기관과는 또 다른 관점의 리스크 평가 결과를 확인할 수 있는 매우 좋은 자료로 평가되고 있다. 따라서 한국의 경제면 리스크 평가에도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

그림 10 은 경제 리스크 개선 전략 중 하나로 제시한 저탄소, 무탄소 연료로의 전환에 필요한 비용과 효율을 계산한 그래프이다. 재생에너지, 바이오연료, 합성연료, 핵연료 등의 저탄소연료의 전환의 비율과 전환율을 1년 단위로 나눠 비용-효율을 확인하고 있다. 같은 방법이 **총 9개 분야(노동력, 해수면 상승, 부동산 가치, 사망률, 일사병, 기온상승, 농작물 생산, 강수/태풍, 에너지)에 나눠 적용, 리스크와 개선비용-효율이 화폐가치로 환산되어있다.**

Net As-Spent Investments and Fuel Expenditures: Changes from High-Carbon Reference Case

Annual Net Costs: Mixed Resources Pathway



[그림10] 기후 개선 비용-효율 비교 결과(괄호 안=기후 개선 전략 (저탄소연료 전환) 비용, 위=저탄소연료 전환 효과, 검은 선=순차익)

6.2. 뉴욕시

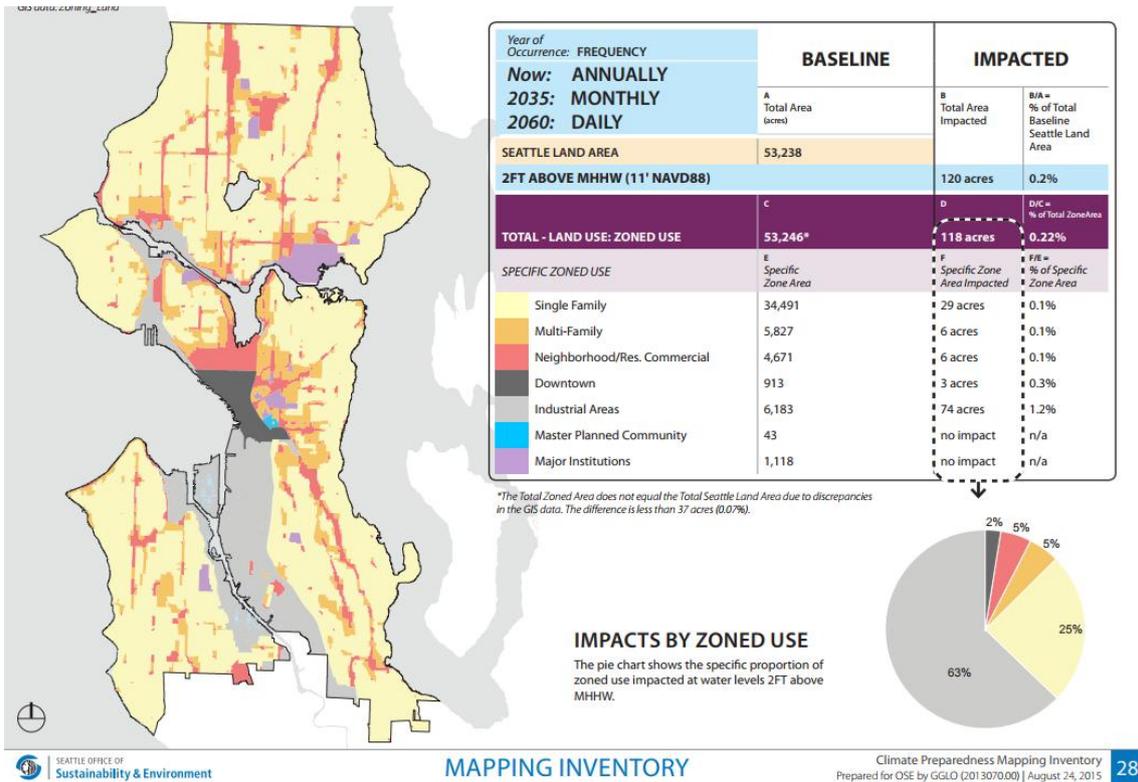
허리케인 샌디의 피해 이후 뉴욕은 “지속가능한 뉴욕시”를 모토로, 도시디자인과 기후 변화 관련 연구 사업을 지속해 왔으며, 2017년 4월 “**Climate Resilience Design Guidelines**”을 발표했다. 이 지침서는 도시계획과 디자인 등 뉴욕 건물과 사회시설의 디자인과 건설, 관리에 미래 기후변화의 시나리오를 적용하여 리스크를 최소화 하는 방법을 제시하고 있다. 예를 들어, 도심지 열섬효과를 최소화 하는 방법, 비용 효율이 높고 도심유출수를 줄이는 디자인, 저영향개발, 레트로핏, 효과적인 도심지 기상데이터의 활용방법 등 뉴욕 뿐 아니라 대부분의 대도시의 도시계획 건설에 적용될 수 있는 다양한 정보를 포함하고 있다.

6.3. 캘리포니아 주정부

캘리포니아 주정부에서는 Climate Action team 을 따로 꾸려, 2006년부터 정기적으로 기후변화와 리스크 평가를 수행하고 있으며, 10개의 세부 분야로 나눠 기후변화 관련 평가사업과 개선 정책을 수행하고 있다. 세부분야는 1) 농업, 2) 생물다양성, 3) 해안, 해양 기후, 4) 산림, 5) 도시계획과 사회기반시설, 6) 보건, 7) 연구, 8) 정부 정책, 9) 정부협력, 10) 수자원, 에너지로 나뉘어져 있다. 기후변화, 온난화기체 발생 관련 연구 결과를 토대로 각각의 개선 목표와 정책을 수립, 수행하고 있다.

6.4. 시애틀 시

시애틀은 뉴욕과 캘리포니아 주정부의 통합형태의 리스크 평가 및 정책을 진행하고 있어, 미국 내에서 기후변화 관련 연구, 사업과 개선 전략을 주도적으로 수행하고 있다. 시애틀은 IPCC, EPA 보고서와 시 자체 기후예측 연구 보고서를 토대로 기후 준비전략 (Climate Preparedness Strategy)를 세워, 보호해야 할 생태계, 지역, 개선해야 할 기반시설 등의 우선순위와 체계를 세워(Focus Areas) 순차적으로 사업을 진행하고 있다. 예를 들어, 해수면 상승에 의한 시애틀의 피해가 가장 심각할 것으로 예상되므로, 시애틀에서는 수리모형을 이용, 여러 단계의 해수면 상승 시나리오를 구성, 피해지역과 피해액, 개선방안을 모색하고 있다. 그림 11은 해수면 상승 시나리오 중 하나의 결과로, 다양한 토지 이용도와 면적, 피해지역의 면적과 토지 이용도를 보여준다. 기후 변화 적응, 개선 관련 사업으로 **Green Stormwater Infrastructure, Puget Sound response assessment, Building resilient cities guidebook** 등을 진행하고 있다.



[그림 11] 해수면 상승시 시애틀 피해지역 토지 이용도와 면적 추산결과

7. 맺음말

미국의 연방정부 주체의 기후변화 리스크 평가 및 개선전략 확립을 위한 노력은 2010-2016년 오바마 정권시절을 중심으로 활발히 진행되었다. 동부와 서부의 지자체, 그리고 독립 연구기관, 비영리 단체에서도 각지역, 관심분야를 중심으로 기후변화와 리스크 평가, 개선전략을 세우는 노력을 지속하고 있다. 각 연구에서 서로 다른 모델, 시나리오를 기본으로 기후를 예측, 리스크 평가를 수행하나, 본 보고서에서 자세히 다룬 EPA의 기후변화 예측과 리스크 평가 분야, 항목과 NCA의 리스크 평가의 항목이 미국 내에서 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 모델의 조건과 시나리오에 따른 연구 결과에 차이가 있을 수 있으나, 기후변화의 일반적인 추세, 지역적 변화 추이는 많은 연구에서 대동소이하다.

기후변화 리스크 평가 연구 중 특히 EPA에서 제공하는 리스크 평가 온라인 툴, RiskyBusiness의 보고서, 시애틀과 캘리포니아 주의 기후변화 개선 전략 지침서, 리스크 평가는 모든 자료가 상대적으로 쉽게 검색되며, 웹페이지에서도 논리적으로 정리, 디스플레이 되어 있는 점, 자세한 부가 설명과 관련 자료들을 쉽게 찾을 수

있는 점 등 연구성과의 향후 활용도와 투명성 또한 매우 높아 한국의 관련 연구와 정책 확립 시에도 좋은 참고자료로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

〈참고자료〉

- 1) <http://www.epa.gov/cira>
- 2) <http://riskybusiness.org/>
- 3) <http://nca2014.globalchange.gov>
- 4) <http://www.seattle.gov/environment/climate-change/planning-for-climate-impacts>
- 5) <http://www.dec.ny.gov/energy/100236.html>
- 6) <http://www.nyc.gov/html/sirr/html/home/home.shtml>
- 7) <http://www.fws.gov/slamm/>
- 8) http://climatechange.ca.gov/climate_action_team/reports/climate_assessments.html
- 9) <http://resources.ca.gov/climate/safeguarding/research/>

해외교류연구원 활동 보고서 (9월)

「캐나다의 기후변화 리스크 평가 방법론」

1. 개요
2. 기후변화 리스크 관리의 주체 및 기본 방향
3. 기후변화 리스크 평가의 방법 및 각 기관의 접근 방법

1. 개요

2016년 3월 캐나다 국무 총리(First Minister)는 국제 파리 기후 협약을 달성하기 위한 일환으로 밴쿠버 선언을 통해 녹색 성장과 기후 변화에 관한 범캐나다 (Pan-Canada) 구상을 발표하였다. 그 구상은 2030 년을 목표로 위해물질의 수준을 현재보다 30% 저감된 2005 년 수준으로 낮추기로 하고 현재의 경제구조를 기후변화에 대응한 저탄소 녹색 성장으로 이동하는 비전을 제시했다. 캐나다의 이러한 기후변화 대응 계획은 탄소세의 부과, 고효율 건축물과 자동차, 청정에너지를 이용한 전기 생산 등을 담고 있으며 연방정부를 필두로 하여 각 주정부는 다음과 같은 네 가지 분야의 정책 업무 그룹을 설정하여 활동하고 있다.

- 특정 세부 완화 방안 업무 그룹
- 기후 변화 적응 및 회복력 업무 그룹
- 탄소세 부과 체계 연구 업무 그룹
- 녹색 기술, 혁신, 일자리 창출 업무 그룹

이러한 활동에는 오염배출 저감, 기술개발 및 혁신, 고용 창출, 공해 물질에 대한 부과금, 기후변화의 영향 등이 포함되어있는데, 특히 기후 변화 적응과 회복력 업무 그룹 (Working group on adopting and climate resilience)은 연방정부 주도하에 각 주정부와 기타 기관들이 함께 캐나다 전체의 리스크 평가를 진행하는 계획을 제시하고 있다.

이 그룹은 기후 변화가 캐나다에 미칠 파급효과와 이를 연구하기 위한 정보, 기술, 자원 등을 발굴하고 북극 인근과 해안 등 이른바 취약지역의 생태계를 유지하는 방법을 탐구하고 있다. 궁극적으로는 기후변화가 일으키는 자연재해로부터 어느 정도의 영향을 국민이 받게 되고 국가가 국민을 보호하는데 있어 어떠한 역량이 필요한

지 가능해 보는 것이 이 활동의 최종 목표이다.

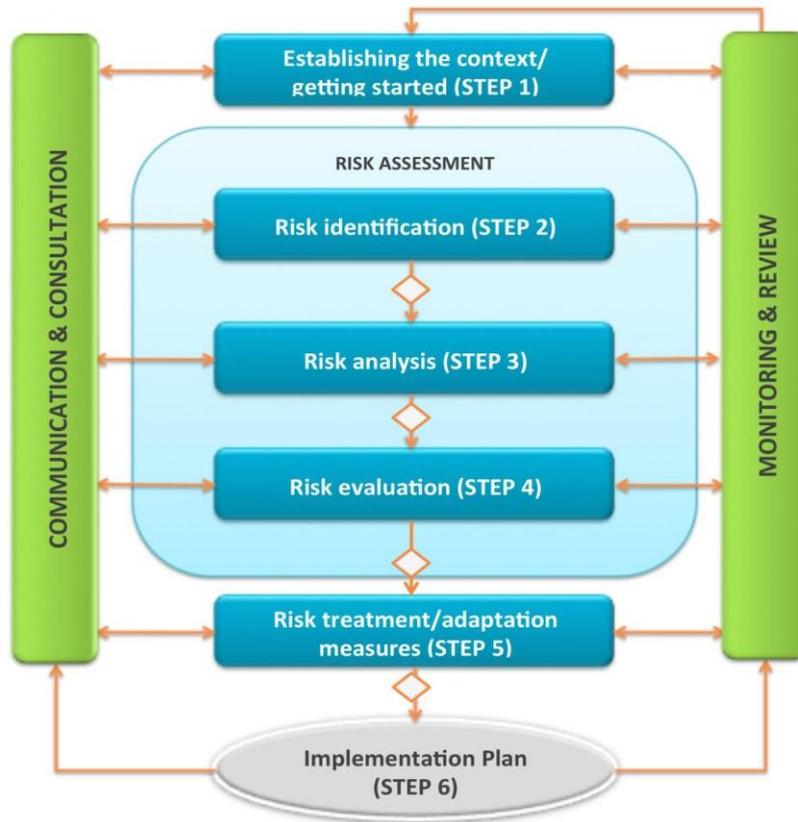
2. 기후변화 리스크 관리의 주체 및 기본 방향

기 서술한 바 같이 캐나다는 연방 정부가 기본적인 정책 방향을 제시하고 실질적인 평가와 계획 및 실행은 주정부 주도하에 이루어지고 있다. 연방 정부의 2014 년 보고서 '기후변화에서의 캐나다' (Canada in a Changing Climate) 에서 제시한 모델에 따르면 다수의 산업 분야는 이른바 적응 가능한 관리 평가 프로세스 의 접근법을 도입하고 있다. 그림 1 에서 보는 바와 같이 이와 같은 접근법은 위험에 대한 감독과 조정, 실험, 재평가를 실시간으로 시행하면서 이를 융통성 있고 즉각적으로 수용하는 프로세스를 담고 있다.



[그림 1] 적응 관리 평가 프로세스
(출처: Leger and Road, 2012, Figure 2-1, p.8)

마찬가지로 기후 변화 위험 관리 프로세스도 각 주정부에서 담당을 하고 있는데 이 위험관리의 접근 방식은 크게 상이하지 않아 일반적인 안전 환경 분야의 산업 표준인 International Organization for Standardization, ISO 31000 이 제시한 위험 평가 (Risk assessment)의 프로세스에 따라 그림 2 와 같이 위험을 식별-분석-평가-관리하는 과정으로 진행된다.



[그림 2] 리스크 평가 순서도
(출처: ISO 31000)

3. 기후변화 리스크 평가의 방법 및 각 기관의 접근 방법

기후 변화 위험 평가의 예로 연방정부의 인가로 설립된 민간 기구인 동부 메니토바 주의 토착 환경 자원 센터에서 발행한 기후변화의 위험 관리(Managing the Risk of Climate Change) 보고서를 들 수 있다. 이 보고서는 기존의 원주민 커뮤니티의 자연 환경 문제 연구의 연장선상에서 새롭게 부상하게 된 기후변화에 대한 위험을 인식하고 평가하기 위한 방법론을 제시하고 있다. 보고서에 따르면 기후 변화에 따른 위험을 다음과 같이 정량화하여 정의하고 있다.

$$\begin{aligned} \text{위험} &= \text{발생 확률} \times \text{영향} \times \text{인식} \\ \text{(Risk)} &= \text{(Probability)} \times \text{(Consequence)} \times \text{(Perception)} \end{aligned}$$

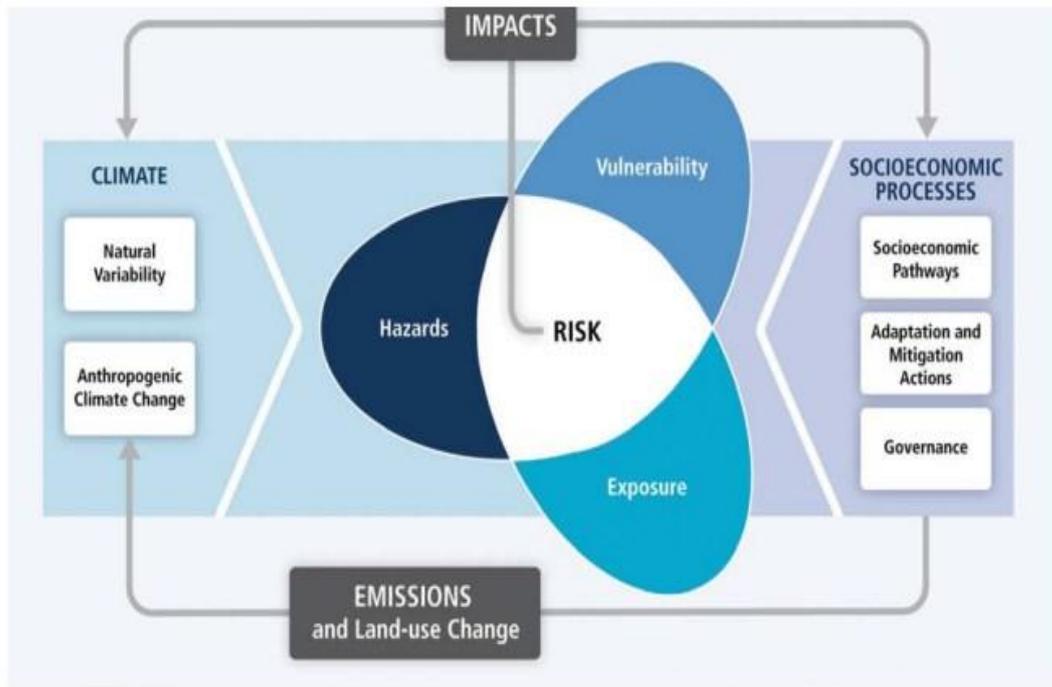
일반적인 위험평가 모델인 기후변화에 따른 피해의 발생 확률에, 그 결과로 나타날 수 있는 영향의 곱으로 위험을 나타낸다. 이것을 바탕으로 이해당사자의 피해 수용 정도를 일컫는 '인식'을 하나의 요인으로 추가하여 기후 변화의 위험을 수식화 하고 있다. 이를 토대로 ISO 31000 의 모델을 도입한 캐나다 연방의 접근 방식과 같이 6 개의 프로세스를 거치게 된다.

- 1) 착수 : 자연 재해의 지역, 대상 등의 기본적인 사항과 영향을 평가하기 위한 정보와 자원의 현황 등을 수집 및 파악
- 2) 위험 식별: 기초적인 단계에서 수집된 정보를 토대로 잠재된 위험 요소의 발생빈도와 그 결과로 빚어지는 영향을 단순화 하여 사전 분석
- 3) 위험 분석: 위험의 발생빈도를 다섯 등급으로 나누어 분류. 위험에 따른 영향을 사회적 요인, 경제적 요인, 환경 요인, 문화적 요인 등의 네 가지로 분류하여 다섯 단계의 등급으로 점수화
- 4) 위험 평가: 위험 평가 매트릭스를 이용하여 위험 요소의 우선순위를 결정
- 5) 위험 취급과 적응 방법 결정: 가용한 대응 대안을 나열하고 대상의 수용가능 정도와 비교하여 적응 가능한지 가늠
- 6) 이행 계획수립: 5 단계까지 검토된 전략을 이행하고 지속적인 감시를 위한 방안을 마련하고 상급기관의 최종적인 승인을 득함

이와 유사하게 CIER 가 제시한 과정은 착수-사전분석-위험평가-위험 조절과 적응 전략 결정-이행과 감시의 용어는 다소 상이하나 기본적인 흐름은 같은 모습을 보이고 있다.

캐나다의 수도가 위치한 온타리오주는 기후변화의 영향과 잠재된 위험을 예상, 규정하여 저감하는, 수용 가능한 공공의료 시스템을 지원하기 위해 주 보건부(Ministry of Health and Longterm Care) 주도로 '기후 변화와 건강 도구'(Climate Change and Health Toolkit)를 개발하여 2016 년 8 월부터 사용하고 있다. 같은 해 발간된 온타리오의 기후 변화와 건강 취약성 및 적응도 평가 지침(Ontario Climate Change and Health Vulnerability and Adaption Assessment Guidelines)에 따르면 이러한 위험성 평가는 일반화된 건강 영향 평가 및 위험 영향 평가와 유사하다. 단, 추가적으로 기후변화를 겪게 되는 인구의 수와 특성에 대한 요인들과 기후변화 요소들의 상호 관계를 포함시켜 보다 종합적인 평가를 유도한다.

그림 3 은 기후 변동성과 변화의 위험에 대한 구조도로서 위험의 영향(Impact)이 기후변화에 따른 위험(Hazard)과 노출집단의 취약성(Vulnerability), 그리고 그 집단의 노출정도(Exposure)의 3 요소에 따라 결정되어지는 인과관계를 보여준다. 그 결과물은 다시 기후인자와 기후변화대책에 영향을 주고 동시에 오염배출물도 기후인자에 영향을 미치는 상호 연결되고 순환하는 기후변화와 영향의 관계를 나타낸다.



[그림 3] 기후 변동성과 변화에 따른 위험 구조도
 (출처: Ontario Climate Change And Health Toolkit,2016,Figure 3,p.A16)

위와 같은 위험과 원인의 구조를 정의한 후 아래의 표 1 과 같이 총 6개 단계의 과정을 거쳐 취약성과 적응성 평가를 거치게 된다.

단계	활동	세부 활동
1	구조 범위 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 재해에 따른 질병 규정 • 프로젝트 팀 식별 • 평가 계획 • 정량적 정성적 정보 식별 • 의사소통 계획 개발
2	취약점과 수용성을 고려한 현존 위험 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 정량적 정성적 정보 검토 • 기후 민감성 질병과 기후 경향관의 상관관계 평가 • 환경오염의 경향 기술 • 위험에 노출된 개인 및 집단의 취약성 파악 • 정책의 효율성 평가 • 미래 취약성과 적응 대안을 위한 분명한 기준 개발
3	미래 건강상의 위험에 대한 예측	<ul style="list-style-type: none"> • 정량적 정성적 정보 검토 • 변화된 날씨 패턴 하의 현재 위험 변화 예측
4	기후변화와 관련된 추가적인 건강상의 위험을 관리하기 위한 정책의 식별 및 우선순위 정립	<ul style="list-style-type: none"> • 정량적 정성적 정보 검토 • 현 정책과 프로그램을 효율성 개선 혹은 새로운 정책의 준비 • 대안들의 우선순위 파악과 가용자원의 식별 • 현존하는 제약사항들을 파악하고 극복 방안 모색 • 기후 변화와 적응 계획 개발
5	건강상의 위험을 관리하기 위한 대안적인 프로세스의 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 감시 계획 개발 • 감시 척도 개발 • 모범 사례 및 교훈의 공유
6	타 분야에서 시행된 완화 및 적응의 대안들과 잠재적 건강상 이득 검토	<ul style="list-style-type: none"> • 검토 • 적응과 완화의 대안을 통한 시너지 효과를 식별

```

graph TD
    A[Frame / scope assessment] --> B[Describe current health risks]
    B --> C[Project future health risks]
    C --> D[Identify and implement options]
    D --> E[Establish an iterative process]
    E --> F[Examine co-benefits / co-harms]
    F --> A
  
```

[표 1] 위험성 평가 6단계
(출처: Ontario Climate Change And Health Toolkit,2016,Figure 4,p.A19)

한편 국가 기관 이외에 캐나다 보험 협회 차원에서도 위험 평가 도구를 제시하고 있는데 이른바 지방자치단체 위험 평가 도구 (Municipal Risk Assessment Tool, MRAT) 라는 온라인으로 접근 가능한 수단을 제공하여 지역 커뮤니티, 엔지니어와 보험회사가 사업 구상이나 사고 분석에 있어 기후변화에 따른 사회기반 시설의 잠재적인 피해를 방지하는데 기여를 하고 있다. MRAT 은 홍수와 하수시설의 범람으로 인한 위험도가 높은 지역을 식별할 뿐만 아니라 보수 및 교체에 대한 적절한 대안을 제시하는 서비스를 제공하고 있다.

기타 현재 공공 사회 기반시설 엔지니어링 취약성 위원회 (Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee)의 규약이 사회기반시설을 대상으로 하여 기후 변화 위험과 취약성에 대한 연구에 활발하게 활용되고 있고 시와 주 단위의 기후 변화에 따른 위험성 평가를 홈페이지를 통해 다수 공개하고 있다.

<참고자료>

- 1) Clean growth and climate change working group reports, (2016) Retrieved from: <http://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/canada-priorities/clean-growth-working-group-reports.html>
- 2) Working Group on Adaption and Climate Resilience, Final Report (2016) Retrieved from: http://www.climatechange.gc.ca/Content/6/4/7/64778DD5-E2D9-4930-BE59-D6DB7DB5CBC0/WG_Report_ACR_e_v5.pdf
- 3) Warren, F.J. and Lemmen, D.S., editors (2014) Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation; Government of Canada, Ottawa, ON, 286p
- 4) Leger, W. and Read, J. (2012) Adaptive management: strategy and legacy; in Lake Superior Regulation: Addressing Uncertainty in Upper Great Lakes Water Levels; Final report to the International Upper Great Lakes Study Board, Adaptive Management Technical Work Group, 167p

- 5) International Organization for Standardization's document ISO 31000 Risk management – Principles and guidelines, First edition, November 15, (2009)
- 6) Ontario Climate Change And Health Toolkit (2016), Retrieved from:
http://www.health.gov.on.ca/en/common/ministry/publications/reports/climate_change_toolkit/climate_change_toolkit.aspx
- 7) Ministry of Health and Long-Term Care, (2016) Public Health Policy and Programs Branch Ontario Climate Change And Health Toolkit, Ontario Climate Change And Health Vulnerability And Adaptation Assessment Guidelines, Technical Document
- 8) Insurance Bureau Of Canada, (2011), Municipal Risk Assessment Tool, Retrieve from:
<http://www.mrat.ca/>
- 9) PIEVC 차원에서 시행된 다수의 평가 자료들을 확인 할 수 있음.
<http://pievc.ca/assessments>

해외교류연구원 활동 보고서 (9월)

「캐나다의 기후변화 리스크에 대한 인식」

1. 기후 변화 현황
2. 기후 변화에 대한 책임
3. 기후 변화 정책에 대한 관심
4. 기후 변화 위험에 대한 대중의 인식
5. 실재적인 위험과 인식의 괴리

1. 기후 변화 현황

캐나다 환경 기후 변화부에 따르면 2016년 평균 기온은 평균 기준인 1961년부터 1990년보다 2.1 도 상승하였으며 1948년 이래로 네 번째로 높은 기온을 나타냈다. 1948년부터 2016년까지의 증가세도 뚜렷하여 지난 69년 동안 평균 기온은 무려 1.7도 상승하였다. 강수량 또한 기준 기간에 비해 4.9% 상승하였고 1948년 이래로 16번째로 많은 강수량을 기록하면서 증가세도 뚜렷하여 69년간 약 20%의 상승을 나타냈다.

이러한 급격한 기후 변화는 이미 국제기구와 학계, 정부에 의해서 오래 전부터 연구되고 대응 방안에 대한 논의가 끊임없이 진행되어 왔지만 현 상황에 대한 인식과 원인에 있어서는 국가와 집단에 따라 다른 양상을 보이고 있다. 대부분 기후 변화가 인류의 활동에 의해서 더 가속화 되고 있다는 부분에 대해서 어느 정도 공감대가 형성되어 있다고 여겨지고 있지만 실제 기후 변화와 인간의 활동에 대한 상관관계를 부정하는 연구 및 여론은 여전히 존재하며 높은 위도와 상당량의 불모지가 존재하는 캐나다는 기후 변화가 가져올 경제적 이득에 대해 오히려 최근의 변화를 긍정적으로 바라보는 여론이 존재한다.

그러한 점을 비추어 볼 때 기후 변화는 과학적 문제 제기에 대한 합리적인 대응이라는 단순한 방정식이 아닌 기후 변화와 인간 활동의 상관관계를 얼마나 인정하느냐라는 변수와 대상이 되는 국민과 현재의 인적 물적 환경이 얼마나 그 위험을 수용할 수 있는느냐라는 변수 등이 고려되는 복잡한 활동임을 인식하는 것이 중요하다고 하겠다.

2. 기후 변화에 대한 책임

과거의 여론조사에 의하면 다수의 캐나다인은 인류가 기후 변화의 주원인은 아니라고 믿는 경향이 강했다. 2007년 알버타주 엔지니어 1,000명을 대상으로 한 조사에서 2/3에 해당하는 응답자는 지구 온난화를 인류와 지구의 자연적인 흐름이 복합적으로 나타난 결과이며 특히 그 응답자 중 반 이상은 기후 변화에 있어 인류가 미치는 영향을 강하게 부정했다.

그러나 최근의 여론조사에 의하면 61%의 캐나다인들은 인류가 기후 변화의 주범이라는 것에 이의를 제기하지 않는다. 몬트리올 대학의 연구진이 전국의 5000명을 대상으로 2011년부터 진행한 5년간의 연구 결과에 의하면 44%의 응답자는 지구 온난화와 인류의 활동은 강한 상관관계가 있다고 믿고 있는 것으로 조사되었다. 이 연구 결과에서 주된 시사점은 캐나다 국민이 과거보다 인류가 기후 변화에 대한 책임이 있고 이를 개선하기 위한 노력을 경주해야 한다는 인식의 전환이 점차 이루어지고 있다는 점이다. 뿐만 아니라 이 연구는 지역별, 성향별 특성을 구분하고 측정을 진행하여 그 의미를 더 해 준다.

응답자의 분포를 그래픽 화하여 전국 지도에 다양한 스펙트럼으로 표시를 한 결과 자원 개발 관련 산업이 발달된 캐나다 서부 알버타와 사스카추완 주에서는 여전히 기후변화에 대한 인류의 책임을 부정하는 여론(67%)이 압도적이었다. 이는 정치적 성향과도 유사한 형태로 나타나 보수적 성향의 알버타 주와는 다르게 진보적 정치 성향의 퀘벡 주에서는 평균을 웃도는 78%의 응답자가 기후변화에 대한 인류의 책임을 인정했다. 이는 또 다른 여론조사에서도 비슷한 형태로 나타나, 이른바 진보진영으로 일컬어지는 녹색당, 신민주당, 자유당에서는 모두 70% 이상을 보인 반면, 보수당은 42%만이 인정을 하는 결과를 나타냈다.

3. 기후 변화 정책에 대한 관심

한편, 최근 조사된 캐나다 150주년 기념 기후변화 설문조사에 따르면 57%의 국민은 정부가 기후 변화 정책에 있어 더 많은 역량을 발휘해야 하고 특히 18~34살에 해당하는 밀레니엄 세대는 기후변화 정책에 70%넘는 전폭적인 지지를 보내는 것으로 나타났다. 이러한 일련의 변화와 관심에도 불구하고 정부에 요구하는 여러 가지 정책의 우선순위에 있어 기후 변화와 관련된 일련의 환경 정책에 대한 기대는 현실적인 사안에 비하여 현저히 떨어지는 편이다.

Global News가 Ipsos에 의뢰한 설문조사에 따르면 현 자유당 집권 초기 국민의 기

대 정책 순위 중 기후변화는 여러가지 아젠다 중 9 위를 차지하며 13% 정도의 응답자만이 언급했을 정도로 상대적으로 저조한 관심을 보였다. (의료 40%, 실업대책 39%) 물론 대한민국의 6%에 비하면 두 배에 가까운 수치이지만 캐나다 내에서 볼 때 모든 정책 순위에 있어서 차지하는 비중은 상대적으로 낮은 편이라 할 수 있다.

이와 같이 상대적으로 저조한 기후 변화 정책에 대한 국민의 요구에도 불구하고 2007년부터 2014년까지 조사된 기후 변화의 대응책임 및 주체에 대한 여론은 압도적으로(50% 이상)이 정부의 법안과 표준의 개발이 가장 중요하다고 답하였고 그 뒤를 이어 산업분야(19%), 소비자(12%), 모든영역(12%) 순으로 중요하다는 결과를 보였다. 나아가 기후 변화로 인한 영향에 대한 대중의 관심이 세부적으로는 어떠한 대상과 분야로 집중되어 있는지 조사한 결과, 자녀와 미래 세대에 미칠 영향에 대한 고민이 가장 많았고 그 뒤를 이어 야생종 멸종, 가뭄, 홍수, 해수면 상승, 여름기온 상승, 농임업분야 실업 등의 순으로 캐나다 국민들은 관심과 우려를 나타내고 있다.

4. 기후 변화 위험에 대한 대중의 인식

Environmental Research and Public Health 저널에 게재된 미국, 캐나다, 몰타를 대상으로 한 기후변화로 인한 건강 위험에 대한 대중의 인식에 대한 논문에 의하면 캐나다 국민은 북극 빙하의 해빙을 가장 우려스러운 결과로 인식하고 있고 그 뒤를 이어 폭풍우의 증가, 야생 서식지의 감소, 홍수, 가뭄 순으로 우려를 표시하고 있다. 캐나다의 높은 위도 특성상 미국인이 가장 우려하는 가뭄, 흑서 등과 다른 인식의 양상을 보이고 있다. 이 연구에서는 이러한 상이함을 문화적, 지역적 차이, 응답자 개개인의 경험의 차이에서 비롯된다고 해석하고 있다. 한 편 더 나아가 캐나다인은 개인적인 건강상의 위협에 대해서 태양에 의한 화상과 호흡곤란을 가장 높은 위험으로 인식하고 있고 일사병, 재해에 의한 부상, 암, 전염병 등의 순으로 위험하다고 느끼고 있다.

5. 실재적인 위험과 인식의 괴리

앞서 살펴 본 바 같이 기후 변화에 대한 대중의 공감대는 점차 높아지는 경향을 보이고 있지만 개개인의 성향과 지역적 특성으로 인해 사안마다 다른 인식을 나타내고 있으며 지역적인 문제에 국한되는 모습을 보이고 있다. 기후 변화 위험의 평가에 대한 연구는 보다 근본적이고 거대한 담론을 다루는 수준에 있지만 정책 입안자는 오히려 선구적 입장에서 교육하고 계몽하기 보다는, 고효율 전기기구 구입에 대

한 지원금이라든가 유류세금 부과 등의 근시안적인 대안에만 의존하는 경향을 보이고 있다.

뿐만 아니라 이러한 정책들로 인해 국민 개개인이 감당할 수 있는 위험의 수준이 오히려 낮아질 수 있음을 간과하고 있다. 캐나다 농업의 사례를 예로 들면, 정부 차원의 경작물 보험 프로그램(Crop Insurance Program)은 매년 다변화되는 기후로 인해 입게 되는 흉작의 피해에 대해 일정부분의 손해를 보험으로 지원해주는 제도로 일견 합리적으로 보이지만 이는 기반시설의 개선이나 경작지의 이전 등의 근본적이고 거시적인 고민을 엿볼 수 없는 대책이다. 이에 캐나다는 기후변화에 대한 연구 및 정책의 입안에 있어 기존의 문제제기와 분석을 계속하면서 동시에 문제에 대한 인식과 지역적 문화적 특성을 고려한 수용 가능성에 초점을 두는 방향으로 나아가고 있다.

<참고자료>

- 1) Climate Trends and Variations Bulletin (2016), Environmental and Climate Change Canada
- 2) Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235-239.
- 3) Why Canadians' climate concerns don't always line up with the evidence: We're relatively less worried than we were in 2007 and our beliefs split sharply along political lines. CBC News, 5 March 2017. Retrieved from: <http://www.cbc.ca/news/canada/calgary/climate-beliefs-canada-alberta-ekos-1.4007632>
- 4) University of Montreal. Cjancements Climatiques, Public opinion on climate change, (2015), Retrieved from: <http://www.umontreal.ca/climat/engl/overview.html>
- 5) FocusCanada 2014, Canadian public opinion about climate change, (2014), David Suzuki Foundation
- 6) The Canada 150 Climate Change Survey was an online survey conducted by Environics Research with a representative sample of 1,015 adult Canadians (18 years of age or older), between January 30 and 31, (2017).Retrieved from: <http://www.bullfrogpower.com/majority-of-canadians-support-more-action-on-climate-change/>

7) Climate change a low priority for most Canadians: Ipsos poll, (2015), retrieved from: <http://globalnews.ca/news/2366032/climate-change-a-low-priority-for-most-canadians-poll/>
iii Akerlof, Karen et al. Public Perceptions of Climate Change as a Human Health Risk: Surveys of the United States, Canada and Malta, *Int. J. Environ. Res. Public Health* (2010), 7, 2559-2606; doi:10.3390/ijerph7062559

8) 알버타 주정부는 2016 년부터 알버타 에너지 효율 프로그램의 일환으로 고효율 샤워기, 가전제품, LED 전구 등의 구입에 50% 이상의 지원금을 투입하고 있으며 알버타 탄소세를 도입하여 유류제품에 4인 가족 기준 202 달러의 세금을 부과하고 있다.

9) 정부는 이 프로그램을 통해 에이커당 217 달러를 지원해 주고 있다. Retrieved from: http://www.canada.ca/en/agriculture-agri-food/news/2017/02/2017_saskatchewancropinsurancceprogramannouncement.html

10) Lemmen, Donald S. (2004), Risk and Resilience:A Canadian Perspective on Climate Change Adaptation, SBSTA 20 Adaptation Workshop

해외교류연구원 활동 보고서 (9월)

「노르웨이 기후변화 리스크 평가」

1. 평가 현황
2. 주요 평가결과

1. 평가 현황

노르웨이 기후변화 시나리오 개발을 위한 포괄적 연구는 1997년 RegClim project의 형태로 시작되어, 2007년 이후 NorClim project로서 지속되고 있다. 동 프로젝트에는 노르웨이 내 모든 주요한 연구기관들 및 대학들이 참여하고 있다. 노르웨이 기후변화 영향 예측에 관한 연구들이 수행되어 왔으며, 연구 결과들은 기후변화 적응 연구 및 대책 수립을 위한 기초자료로 활용되고 있다.

노르웨이 기후변화 영향 예측에 대한 대표적 연구로는 Hansen-Bauer et al.(2009)의 'Norway in 2100'이 있다. 현재(1961-1990)와 두 가지 미래 시나리오 기간(2021-2050과 2071-2100)에 대한 영향 예측이 이루어졌다.

국가 차원에서 이루어진 첫 번째 기후변화 취약성 평가는 2010년 'Norwegian report on Climate Change Adaptation'이라는 보고서로서 발간되었다. 동 보고서는 노르웨이 자연 환경 및 사회 환경에 대한 기후변화 영향과 취약성을 규명하고자 하였다.

총 17명의 위원회 멤버로 구성되어 평가하였고 이들은 정부 기관, 산업체, NGOs를 대표하는 위원들로 구성되었다. 그리고 광범위한 이해관계자들의 의견을 수렴하여 총 2년 동안의 평가 기간을 거쳤다. 그 후, 2013년에는 Climate Change Adaptation in Norway라는 보완된 형태의 기후변화 적응 대책이 발표되었다.

2. 주요 평가 결과

생태계는 자연선택과 세대를 거친 변화를 통해 다양한 기후 조건들에 지속적으로

적응해왔다. 그러나 현재 문제가 되고 있는 기후변화로 인한 생태계 취약성은 기후 변화의 속도가 생태계 및 종의 적응 속도보다 더 빠르다는 데에서 비롯된다. 기후 변화로 인한 노르웨이 생태계 변화는 이미 시작되었다. 특히 육상생태계의 변화가 가장 두드러지게 나타나고 있다. 담수 및 해양 생태계의 경우는 기후변화로 인한 영향 및 결과가 여전히 높은 불확실성 하에 놓여있다.

2-1 육상생태계

노르웨이의 육상생태계는 기후변화로 인한 생태계 변화가 관측되고 있다. 철새들이 조기 귀국을 하고, 일부 동물들은 성적으로 일찍 성숙하는 모습을 보이고 있으며, 동물과 식물 모두에서 더 높은 생산 및 재생산이 나타나고 있다.

일부 식물들은 좀더 북쪽으로 진출하거나 더 높은 고산지대로 번식을 확장하고 있다. 위성을 통한 맵핑 결과를 보면, 1980년대 이래로 노르웨이 일부 지역들의 성장 계절이 2주에서4주까지 증가하고 있음을 알 수 있다.

○ 고산 툰드라 생태계

고산 툰드라 생태계는 기후변화에 특히 취약한 것으로 나타난다. 기후변화는 수목 한계선과 채소 재배지(vegetable zone)의 고도를 더욱 높였다. 그 결과 산악지역의 종의 변화에 영향을 주고 있다.

고산 종들은 더 이상 적당한 자연 서식지를 찾을 수가 없어 이주를 하고 있다. 또한 일부 종들은 멸종될 것으로 예측된다. 멸종 예상 종들로는 북극 여우(arctic fox), 야생 순록(wild reindeer), 고산 식물들(alpine plants)이 있다. 새로운 종들과의 경쟁은 고산 툰드라 생태계에 새로운 위협 요소가 되고 있다. 예를 들어, 고산지역으로 이주한 빨간 여우들은 북극 여우들과 경쟁을 한다.

수목한계선은 사상 최고 높이로 이동하였고 그로 인해 연속적인 고산 지역의 면적과 수는 감소하였다. 야생순록을 비롯한 고산지역 서식종들은 크고 연속적인 고산 지역에 의존하기에, 복합적인 압력 요인들을 경험하게 될 것이다.

○ 산림 생태계

식물의 성장철(growing season)은 더 길어지고 더 따뜻해질 것으로 예상된다. 그 결과, 산림 생태계는 더 빠른 성장을 하며 더 많은 1차 생산(primary production)을 하게 된다. 더 따뜻한 기후를 선호하는 종들의 생산이 더 높아질 것이며, 그로 인한 산림 종 구성의 변화도 예측된다. 즉, 활엽수(broadleaf) 종들이 많아지고 이는 남쪽

지역의 소나무(pine)와 전나무(spruce)들을 대체하게 될 것이다.

기온 상승은 산림의 북쪽으로 확장과 더 높은 지대로의 확장으로 이어질 것이다. 북쪽 지역의 산림들은 장기적인 기후변화에 취약하며, 단기적으로는 기후변화로 인한 태풍, 해충 발생, 가뭄, 산림화재와 같은 요인들에 의해 피해를 입을 수 있다. 이러한 기후변화로 인한 영향들은 산림 건강, 활력, 생산성에 심각한 위협을 가할 수 있다.

○ 습지

노르웨이에는 늪지(bogs)를 비롯한 습지들이 인간활동으로 인해 침식되어 왔다. 농업 목적의 배수, 임업, 초탄(peat moss)과 장작(fire wood)의 수확과 같은 인간 활동들은 습지 침식의 원인이 된다. 기후변화로 인해 증가된 강수량은 그러한 습지 침식을 가속화시킨다.

습지 침식은 특히 남부와 동부 노르웨이 지역들 중 여름에 더 높은 기온과 낮은 강수량을 갖는 지역들에서 특히 더 심하게 나타날 것으로 예상된다. 또한 'palsamires'와 같은 특정 습지 유형에서 더욱 심각하게 나타날 것이다. 물론 기후변화로 증가된 강수량으로 인해 노르웨이 다른 지역들에서는 습지가 증가할 가능성도 존재한다.

○ 외래종

침입 외래종들을 위한 조건들도 기후변화의 영향 하에 놓여있다. 현재는 많은 외래종들이 노르웨이의 추운 겨울 조건을 견디지 못하고 있지만, 앞으로는 더 따뜻한 겨울이 될 것으로 예상되기에 더 많은 해로운 외래종들이 생존하고 확산될 수 있을 것이다.

2-2 담수생태계

기후변화는 담수생태계의 생산, 바이오매스, 생애주기, 종 구성에 영향을 끼칠 것이며, 그 영향의 결과들은 다양하고 복잡하게 나타난다. 폭우와 홍수의 증가는 더 많은 유출수(runoff)를 만들며, 입자상 물질의 이동과 영양염 침출을 변화시키며 그 외 다른 오염들도 야기시킨다.

강변의 더 높은 침식율과 입자상 물질의 유출, 농업지역으로부터 유입되는 영양염들은 더 큰 문제들을 야기시킬 수 있다. 이러한 경향성들은 이미 노르웨이 동부 지역의 소규모 하천들에서 나타나고 있다.

입자상 물질과 오염물질들은 해안으로 이동하고, 결국은 해양생태계에 대한 환경적 압력도 높이게 된다. 무빙(ice-free) 계절은 더 길어지며, 수온은 높아질 것이다. 일부 어종들(연어, 송어, 북극곤들매기)은 섭씨20도를 초과하는 온도가 치명적일 수 있다.

2-3 해양생태계

○ 해양 산성화

기후변화는 해수 온도를 상승시키고 이는 해수 내 더 높은CO2 함량을 갖도록 만든다. 이는 결국 해양 산성화를 야기 시킨다. 해양산성화는 해양의 탄산칼슘 침식 능력에 변화를 초래하며, 결국 탄산석회를 함유한 해양 생물체들에 영향을 미친다. 이는 높은 압력과 낮은 수온을 갖는 심해에서 더 크게 나타난다. 즉, 북극 지역을 중심으로 한 노르웨이 주변 해양이 영향에 더 빨리 노출될 것이며, 그 후 더 온화한 지역으로 영향이 확산될 것이다.

탄화석회를 포함한 생물체들에는 산호말류(coralline algae), 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 갑각류, 연체동물, 산호가 포함된다. 노르웨이 해양에는 많은 한류성 산호초들이 서식하고 있다. 세계에서 가장 큰 한류성 산호초 단지도 존재한다. 산호초들은 가장 종이 풍부한 생태계 중 하나이다.

또한 많은 물고기들이 활발하게 서식하는 곳이다. 해양산성화는 이러한 산호초 해양생태계에 부정적 영향을 끼친다. 금세기 말까지 노르웨이 산호초와 관련된 탄화석회 생물들 중 최대70%가 사라질 것으로 예상된다.

식물플랑크톤은 해양생태계의 기초를 형성한다. 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 먹으며 자라고, 이들은 많은 물고기들의 주요한 식량이다. 석회질 골격을 가진 플랑크톤 종들은 산성화된 해양에서는 더 이상 살아갈 수가 없을 것이다. 산성화는 많은 영양 수준들에 주요한 영향을 미칠 수 있다.

○ 어종 변화

심해로 인해 노르웨이 바다는 동물플랑크톤의 일종인 요각류(copepods)의 핵심 생산지역이다. 요각류는 청어와 고등어 어린 물고기들을 위한 중요한 식량자원이다. 북해에서는 일반적 요각류들의 수가 상당수 감소하고 있는데, 이는 해수 온도 상승으로 인한 것이다. 요각류의 감소와 늦은 시기에 알을 낳는 플랑크톤의 증가는 봄에 알을 낳는 어종과 그들의 먹이들 간의 불일치를 유발시킬 수 있다. 또한 바다새들과 해양포유류들, 청어 간의 불일치도 야기 시킬 수 있다.

그러나 구체적인 생태계 변화 결과들과 특정 어종들의 변화에 대해서는 아직까지

잘 알려지지 않다. 요각류(동물플랑크톤)의 북쪽으로의 이주는 한대 어종의 남방 한계선의 북쪽으로 이동을 유발할 것이다. 대구, 해덕, 청어, 고등어와 같은 어종들은 그들의 이주 패턴들이 달라질 수 있다.

21세기 내에 온대 및 아열대 어종들인 정어리, 멸치, 유럽 농어, 참치들이 북해 내의 일반적인 어종이 될 것이다. 북극해에서는 북극 곤들매기, 북극 대구와 같은 어종들이 바렌츠해의 일부 지역에서 사라질 것이다. 하지만 이 모든 어종 구성의 변화들과 어종별 양의 변화, 나아가 해양생태계 내의 총 생산은 변화에 대해서는 아주 불확실성이 높은 상태이다.

○ 바다새

해안을 따라 서식하는 바다새들은 최근 그 수가 급격하게 감소하고 있다. 바다새의 수는 까나리, 청어, 빙어와 같은 먹이감들의 이용가능성 변화와 밀접한 관련이 있으며, 기후변화에 매우 민감하다.

<참고자료>

- 1) Norwegian Ministry of climate and environment (2014). "Norway's Sixth National Communication under the Framework Convention on Climate Change". Status report as of January 2014.
http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/nc6_nor_resubmission.pdf
- 2) Hanssen-Bauer, I, H Drange, EJ Førland, LA Roald, KY Børsheim, H Hisdal, D Lawrence, A Nesje, S.Sandven, A Sorteberg, S Sundby, K Vasskog og B Ådlandsvik (2009) Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing (In English: Climate in Norway 2100 – Background material to Official Norwegian Report (NOU) on Climate Adaptation). Norsk klimasenter, september 2009,.
- 3) Meld. St. 33 (2012 – 2013) Klimatilpassing i Norge (White paper on climate adaptation in Norway)
<http://www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/no/pdfs/stm201220130033000dddpdfs.pdf>
- 4) NOU 2010:10 (2010) Adapting to a changing climate
<http://www.regjeringen.no/en/dokumenter/nou-2010-10-2/id668985/>
- 5) European Climate Adaptation Platform Website :
<http://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/norway>

