

# NIE Issue Brief

NIE IB 16-03(통권 3호) 2016년 12월 29일 | 발행처 : 국립생태원 | 발행인 : 이희철 | www.nie.re.kr

## 극한 기후·기상 현상 증가에 따른 생태계 영향과 대응

생태기반연구실 홍 승 범

### 1. 들어가며

최근 지구 온난화와 기후변화에 따른 전 지구적 피해 우려가 커지면서, 그에 대응한 적응대책 관련 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다. 특히, 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)에서는 온도 및 강수의 점진적인 변화와 함께 가뭄, 홍수와 같은 단발적인 극한 기후·기상 현상의 증가도 매우 중요하게 다루고 있다.<sup>1)</sup> 2015년 파리협정에 따라 2020년 이후부터 돌입하게 될 신기후체제(Post-2020)에서도 극한 기후·기상 현상 문제에 의한 “피해와 손실” 관련 협의 내용을 포함하면서, 개도국들에 대한 국가 간 지원체제를 통해 적극적인 대응책 마련을 요구할 정도로 극한 기후·기상 현상 증가를 매우 중요한 이슈로 다루고 있다.

생태분야에 대한 극한 기후·기상 현상의 영향 및 피해도 위와 같은 국제적 흐름 속에서 중요하게 다루어지고 있는 부분 중 하나이다. 하지만, 생태분야는 이에 관련한 국내의 기본 법률조차 부재한 상태이고, 국가 차원의 정기적인 생태계 변화 감시 및 평가 또한 시작단계에 불과하다. 더욱이 생태계 분야와 관련된 지금까지의 국내 연구 내용들이 평균적인 기온, 강수 변화 등 점

진적인 변화에만 초점이 맞추어져 있었다. 물론, 기후변화라는 것이 보통 30년 이상의 평균적인 기후요소들에 대한 변화를 지칭하는 용어이기에, 생태계의 장기적인 변화 관찰을 통한 연구는 매우 필수적이긴 하나, 급진적이고 단기적인 극한 기후·기상 현상의 영향도 기후변화 위해요소로서 생태계 분야에서 간과되어서는 안 될 필수적인 부분이다.

### 2. 증가하고 있는 극한 기후·기상 현상

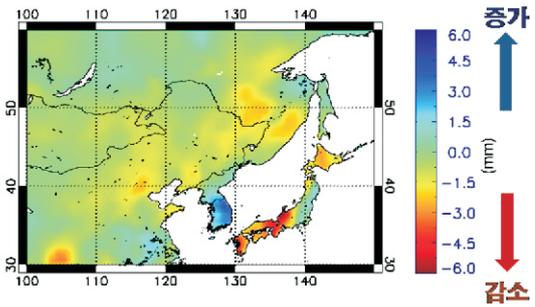
IPCC에서는 이미 오래전에 장기간에 걸친 평균적인 기후변화 위해요소 외에, 급진적인 변화를 야기하는 극한 기후·기상 현상 증가에 대한 우려를 밝힌 바 있다.<sup>2)</sup> 즉, 평균적인 기후변화가 기상현상의 변동폭(또는 변화폭) 증가를 수반하여 극한 기후·기상 현상과 관련한 자연재해 발생 증가를 야기한다는 것이다(그림 1). IPCC에서 제공하고 있는 미래 기후변화 시나리오를 바탕으로 국내의 기후변화를 조명해 보면, 점진적인 평균 기온상승과 함께 약간의 평균 강수량 증가가 예측된다. 이처럼 평균적 변화 결과만으로 해석할 경우 한반도가 아열대화 될 것이라고 전망할 수 있지만, 강수의 연간 변동폭을 관찰해 보면 이야기는 달라

1) IPCC (2014) Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

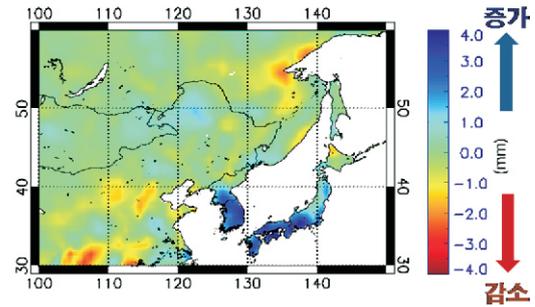
2) IPCC (2001) Climate change 2001: The Scientific Basis, Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

진다. 즉, 평균적인 강수 증가의 이유가 간헐적이면서 특정 시기의 강수집중 현상의 증가일 수 있기 때문이다. 강수량이 증가한다 해도 강수의 일수가 감소한다면 우리나라는 집중 호우 현상과 가뭄현상에 더욱 몸살을 앓을 수 있다. IPCC 4차 보고서도 미래의 태풍과 홍수 현상 증가에 따른 피해 취약 지역이 동아시아 국가들에 집중되어 있다고 밝힌 바 있으며<sup>3)</sup>, 실제로 과거 60년 이상의 동아시아 강수 변화 경향을 관찰해 보면 연간 강수 총량의 소폭 증가와 함께 변동폭도 증가하는 것으로 나타난다 (그림 2)<sup>4)</sup>. 또한, 국내 기후변화 연구진들

### 과거 60년간의 강수 변화 추세

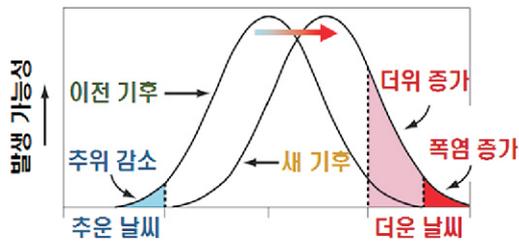


### 과거 60년간의 강수 변동폭 변화 추세

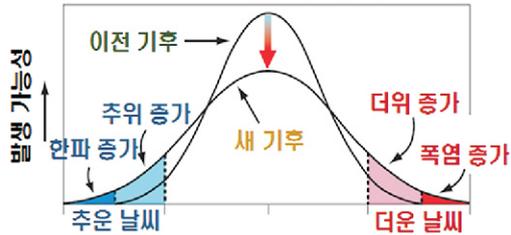


〈그림 2〉 한반도 중심의 동아시아 최근 60년간(1951-2010) 강수 변화 추세(위)와 강수 변동폭 변화 추세(아래) (자료제공: NASA)

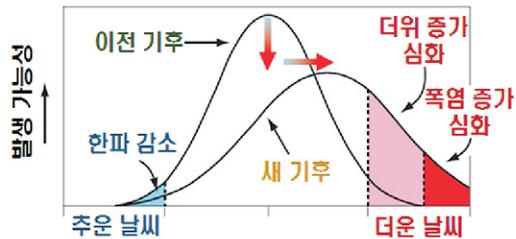
### 평균 온도 증가



### 온도 변동폭 증가



### 온도 평균 및 변동폭 증가



〈그림 1〉 지구 온난화와 극한 기후·기상현상과의 관계<sup>2)</sup>

에 의해 가뭄현상 증가에 대한 보고<sup>5) 6)</sup>들이 나타나고 있음을 볼 때, 그 영향에 대한 연구가 매우 시급하다 할 수 있다.

### 3. 극한 기후·기상현상에 의한 생태계 피해

극한 기후·기상 현상 증가에 따른 생태계의 영향은 매우 다양하고 광범위하게 나타나는데, 무엇보다 한파나 폭염에 의한 피해가 심각하게 나타날 수 있다. 생태계가 점진적인 온도 변화를 견뎌내며 순응할 수 있는 특성을 보일 수 있지만, 같은 온도 변화라 하더라도 한파에 의한 냉해와 같이 급진적인 변화에 의한 피해는 회복하기

2) IPCC (2001) Climate change 2001: The Scientific Basis, Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

3) IPCC (2012) Managing the risks of extreme events and disaster to advance climate change adaptation, A Special Report of Working Group I and II of IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.

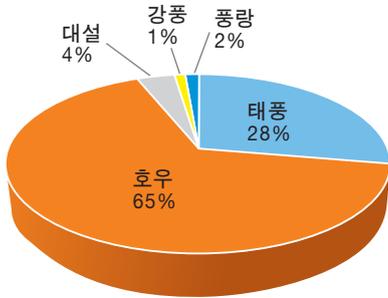
4) 홍승범 외 (2016) 기후대별 주요 생태계의 기후조절 기능 변화 연구, 2016 연차보고서, 국립생태원

5) 김남성, 김종석, 장호원, 이주현 (2015) 기후변화를 고려한 한반도 극한가뭄에 따른 수문학적 위험도 분석. 한국방재학회, 15(4), 45-52

6) 박현우, 「지난해 강수량 역대 세번째로 적어..."가뭄 경향성 심화"」, 『연합뉴스TV』, 2016.01.05

어려울 수 있다. 강수와 관련한 극한 기후·기상 현상으로는 폭우, 우박, 가뭄 등과 복합적인 현상을 수반하는 태풍, 산불, 곤충 대발생 등이 있는데, 국내의 극한 기상과

최근 10년간 극한기상 현상에 의한 피해액



〈그림 3〉 최근 10년간의 극한 기상 현상관련 자연재해 피해 현황<sup>7)</sup>

관련한 생태계의 피해는 온도 보다는 강수와 바람 등에 의한 사례가 훨씬 많다. 약 10년간의 국내 자연재해 통계에 따르면 태풍과 호우가 전체 자연 재해 피해의 90% 이상을 차지할 만큼 제일 크게 나타나고 있다(그림 3). 이들 현상과 관련된 생태계 피해로는 폭우에 의한 산사태, 그로인한 생태계 파괴, 가뭄에 의한 건조 스트레스, 강풍에 의한 생물 피해 등 다양한 사례들이 있을 수 있다. 더욱이, 가뭄과 폭우 등 극단적인 이상 기후현상의 증가는 반복적인 극심한 건조 스트레스 및 토양 내 산소결핍 등을 초래하여 생태계의 회복력에 심각한 타격을 줄 수 있으며, 이러한 문제는 우리나라와 같은 중위도의 온대지방에서 발생 가능성이 높다고 보고되고 있다.<sup>8), 9)</sup>

최근에도 극한 기상 현상에 관련한 사례가 있었다. 부산, 울산, 경주, 제주 일대를

강타했던 태풍 차바가 그것이다. 기상청의 공식 발표에 의하면 제주도 한라산 일대의 이번 태풍 규모는 순간 최대 풍속 56.7m/s, 순간 강수 624.5mm 등 기록적인 강풍과 폭우를 동반했다고 한다. 제주도의 아고산은 현무암 위에 토양층이 매우 빈약하게 발달되어 있는데, 이러한 특수한 환경에서 우리나라 고유 침엽수종인 구상나무가 넓게 분포하고 있다. 최근 이 구상나무의 집단 고사문제가 사회적 이슈가 되면서 기후변화가 그 원인이라고 밝히고 있으나, 아직 구체적인 보전 대책을 세울 만큼 정확한 원인 규명은 이루어지지 않은 실정이다. 구상나무의 생육 특징이 뿌리를 땅 속 깊이 내리기보다 수평적으로 얽은 토심에 뻗어나감을 감안할 때, 태풍 차바와 같은 강풍에 의한 영향은 구상나무 집단 고사 현상 연구를 위한 매우 중요한 대상이 된다. 즉, 이렇게 서식하고 있는 구상나무들은 특정 속도 이상의 풍속에 매우 취약할 수밖에 없기 때문이다. 실제로, 그 일대의 고사한 구상나무 중 뿌리가 들린 채로 고사한 나무가 상당수 관찰되고 있다.

위와 같은 현상들은 장기적으로 생태계 내의 구조와 기능들의 극단적인 변화<sup>10), 11)</sup>, 심각한 생태계의 교란, 전체 생태계의 물질순환계 변화<sup>12), 13)</sup> 등의 문제를 수반한다. 특히, 물질순환계의 변화는 생태계의 회복력을 약화시켜 기후변화에 의한 부정적인 영향을 더욱 가중시킬 수 있다고 보고되고 있다<sup>13)</sup>. 이는, 극한 기후·기상 현상들의 영향이 광범위한 생태계 훼손 및 파괴 등 일시적으로 발생하는 문제로 끝나는 것이 아니라, 극단적인 훼손 후에 장기적으로 발

7) 국민안전처 (2015) 2015 재해연보.

8) Knapp, A. K., C. eier, D. D. Briske, and coauthors (2008) Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems, *BioScience*, 58(9), 811-821.

9) Zeppel, M. J. B., J. V. Wilks, and J. D. Lewis (2014) Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants. *Biogeosciences*, 11, 3083-3093.

10) Parmesan, C., T. L. Root, and M. R. Willig (2000) Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 443-449.

11) Kurz, W. A., C. C. Dymond, G. Stinson and coauthors (2008) Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change, *Nature*, 452, 987-990.

12) Piayda, A., M. Dubbert, C. Rebmann, and coauthors (2014) Drought impact on carbon and water cycling in a Mediterranean *Quercus suber* L. woodland during the extreme drought event in 2012. *Biogeosciences*, 11, 7159-7178.

13) Xiao, J., S. Liu, and P. C. Stoy (2016) Preface: Impacts of extreme climate events and disturbances on carbon dynamics. *Biogeosciences*, 13, 3665-3675.

생하는 생태계 내의 종 구성 및 구조, 그에 따른 기능 변화 등의 문제들도 고려되어야 함을 시사한다.

#### 4. 생태계 보전을 위한 대응 방향

이처럼 기후변화와 관련하여 생태계의 극한 기후·기상 현상에 의한 영향을 무시할 수 없으며, 오히려 이들 영향이 훨씬 더 급진적이며 파괴적이라는 점에서 좀 더 적극적인 적응 대책 수립을 위한 연구가 요구된다. 즉, 극한 기후·기상 현상을 생태계의 기후변화 위해요소의 관점에서 바라보고 생태계 피해 현황 파악과 생태계 피해 및 변화에 대한 지속적인 모니터링 수행이 선행되어야 한다. 생태계 변화 관찰을 위한 모니터링 수행 시 필수적으로 고려되어야 할 사항은 첫째로, 극한 기후·기상 현상에 대한 생태계 내 생물들의 생존 가능한 한계치이다. 생태계는 극한 기상 요소라는 스트레스에 노출될 때, 그 요소들의 강도뿐만 아니라, 발생 빈도 및 간격에도 영향을 받는다. 즉, 그 요소들에 대해 적응 또는 견딜 수 있는 있는 정도에 따라, 그 피해의 규모가 달라지기 때문에, 그러한 한계치에 대한 연구가 가능해야 한다. 이를 위해, 기본적인 모니터링과 함께 극단적 피해 후의 회복과 관련된 변화 모니터링이 필수적이며, 인위적인 극한 상황 하에서의 모의실험 등도 위의 한계성 연구에 필요한 부분이다.

둘째로, 태풍, 호우, 한파 등과 같은 극한 기후·기상 현상에 대한 생태계 영향을 파악하기 위해서는 생태계 관점에서 바라보는 시간적 규모가 훨씬 줄어들어야 한다. 즉, 시시각각 변하는 극한 기후·기상 현상들의 현황 파악을 위해서는 최소 1시간 이상의 높은 시간 해상도(자료의 시간 간격)가 필수적이기 때문에, 주로 연평균 또는 계절평균 등의 변화를 관찰하는 생태분야 자료와 연계하여 연구하는 데 한계가 있다. 반면, 극한 기후·기상 현상을 생태계의 공간적 규모에서 관찰하기 위해서는 기후·기상 자료들의 공간적 해상도(또는 분해능)가 훨씬

높아져야 한다. 기상청에서 제공되는 기후·기후 자료들은 분 단위 수준의 매우 높은 시간 해상도를 갖고 있지만, 최대 12km 이상의 상대적으로 매우 낮은 공간 해상도(격자단위 자료의 격자간 거리) 때문에 생태계 수준의 연구에 활용하기에는 한계가 있다. 생태계는 공간적으로 매우 복잡하고 다양한 분포를 보이기 때문에, 극한 기후·기상 현상에 대한 영향 또한 지역적으로 매우 상이할 수밖에 없다. 따라서 생태학적인 접근을 위해서는 10m 이상의 매우 높은 공간해상도의 기후·기상 자료들이 필수적이다. 다행히, 국내외 위성 관측 기술의 발전과 기상 예측 모형의 발달로 실시간 기상 정보들이 점점 더 고해상도(약 1km 정도 수준)의 자료로 공급되고 있긴 하지만, 생태계 연구를 위해서는 현재의 저해상도 자료를 수 10m 이상의 초고해상도 자료로 재생산할 수 있는 고도의 자료 상세화 기술 개발이 여전히 필요하다.

셋째로, 미래의 극한 기후·기상 현상에 대한 대응책 마련을 위해 기후·기상 변화와 생태계와의 상호작용이 고려된 기후·생태 통합모형 개발이 필요하다. 극한 기후·기상 현상은 장기적인 변화 정보뿐만 아니라, 매우 짧은 시간 내에서 일어나는 변화까지 고려해야 하기 때문에, 평균적인 온도, 강수 정보만을 활용하던 기존의 생태 모형으로는 이러한 현상에 대한 생태계 예측 평가는 거의 불가능하다. 즉, 실시간으로 급변하는 대기 변화에 대하여 생태계가 받게 될 스트레스의 누적 변화, 한계치를 벗어날 경우의 영향 등을 모의 할 수 있는 모형이 개발되어야 한다. 또한, 기후변화에 의한 생태계 영향이라는 일방향적인 모형 활용에서 그치는 것이 아니라, 기후, 기상 요소와 생태계, 더 나아가 생태계 간의 상호작용까지 고려할 수 있는 양방향적인 상호관계 모형을 개발하는 것도 매우 중요하다. 특히 식생은 전 지구적인 기후변화에 영향을 미칠 뿐 아니라, 지역적인 기후, 기상 조절에도 관여하기 때문에, 기후·식생 간 상호작용에 대한 모형은 미래의 정확한 생태계 변화를 모의하기에 매우 중요한 요소이다.

마지막으로, 극한 기후·기상 현상에 대응한 생태계 보전 정책과 관련하여, 인위적인 보전 방안과 함께, 생태계의 순기능을 활용한 자체 대응 능력 연구도 매우 필요한 부분이다. 극한 기후·기상현상에 대응한 생태계의 보호 관리는 생태계 자체의 보전 뿐만 아니라, 농업, 수자원, 건설 등 타 분야의 극한 기상현상에 대한 충격 완화 차원에서 매우 효과적인 대응 방안이기 때문이다. 이미 해외 선진국들에서는 생태계를 활용한 적응 기술(Ecosystem-Based Adaptation)을 표방하며, 자연 친화적인 기후변화 적응 기술 개발을 시작하고 있다<sup>14)</sup>. 즉, 생태계의 물 조절, 기후조절 등과 같은 고유 기능을 강화시켜 극한 기후·기상 현상과 같은 기후변화의 부정적인 영향들을 완화시키기 위한 노력의 일환인 것이다. 가령, 가뭄의 경우 생태계의 물 조절 기능을 심분 활용하여 가뭄현상의 규모를 완화할 수 있도록 방재정책과 연계한다면, 극한 현상에 대한 충격 완화와 동시에 생태계를 보호할 수 있는 두 마리 토끼를 잡게 되는 효율성을 제고할 수 있다. 특히, 이러한 생태계의 조절 기능은 생태계 서비스를 평가하는 기본 대상이 되기도 한다.

## 5. 마무리하며

국내에서는 생태분야를 제외한 타 분야(대기, 수문, 해양, 농업 등)에서 위와 같은 극한 기후·기상현상 연구가 이미 활발히 진행되어 왔다. 이는 각 분야의 극한 기후·기상 현상들이 인간 사회에 직접적인 영향을 주기 때문인데, 인간 사회에 간접적인 영향을 주게 되는 생태분야는 지금까지 소외되었다 해도 과언이 아니다. 더욱이, 지금까지 기후변화와 관련된 국내의 생태분야 연구들이 대부분 점진적인 평균 온도변화에 그 초점이 맞추어져 있었기 때문에, 장기적인 관찰과 분석이 요구되는 기후변화 영향에 대하여 국가 차원의 현실적인 대응책 마련에 한계점을 갖고 있었다. 하지만,

이제 극한 기후·기상 현상들의 피해 증가에 대한 국제적 우려와 현재 우리나라에서도 실시간으로 벌어지고 있는 관련 피해사례들을 고려해 볼 때, 이들 현상에 따른 생태계의 피해를 최소화하고 보전하기 위한 노력을 더 이상 지체할 수 없다. 극한 기후·기상 현상에 따른 생태계의 잠재적 피해 예측 평가가 제대로 이루어지고 그에 따른 국가 생태계 보호를 위한 구체적인 정책이 마련되기 위해서는 실질적이고 정책 지향적인 관련 연구과제들의 발굴이 매우 시급한 시점이다.

최근 이상기후현상의 규모와 발생 빈도가 증가함에 따라 이에 대한 영향을 평가하고 대응방안을 마련하기 위해, 국무조정실과 기상청에서 매년 관계부처 합동으로 기후변화 보고서가 발간되고 있다. 이 보고서 작성을 위해 국립환경과학원, 국립농업과학원, 국립산림과학원 등 여러 기관들이 참여하고 있으며, 농업, 국토교통, 산업·에너지, 방재, 산림, 해양수산, 환경 및 건강 등 다양한 분야에서 매해 발생했던 이상기후 현상에 대한 피해 현황, 주요 원인 분석 및 대응책 등이 실려 있다. 여기에 생태분야에 대한 내용은 환경 분야라는 큰 범주 내에서 지엽적으로 다루어지고 있을 뿐, 전 생태분야에 걸친 다양하고 구체적인 활동이 매우 미약한 실정이다. 이에 이제부터라도 이상기후 현상에 대한 우리나라의 생태계 보호를 위해 다양한 연구 활동과 효과적인 정책 마련 등 좀 더 적극적인 노력들이 있어야 할 것으로 본다.

14) Munang, R. I., Thiaw, K., Alverson, M., Mumba, J., Liu, and M. Rivington (2012) Climate change and ecosystem-based adaptation: a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 67-71.