

기후변화 영향평가 및 적응

2차시

기후변화 영향 및 취약성, 그리고 리스크



1. 기후변화 영향

인간의 산업활동에 기인한 기후변화는 단순히 기온상승뿐만 아니라 해수면 상승, 극한 기상의 출현빈도 증가 등 다양한 형태로 기후시스템에 영향을 주고, 궁극적으로 우리 삶에 영향을 줄 수 있다. 이러한 영향은 현재 기후에 이미 적응된 기후 및 인위적 시스템의 입장에서 볼 때 보통 부정적인 경우가 많으며 실제로 심각한 피해를 초래하기도 한다. 기후변화로 인해 기후시스템은 이미 여러 방면에서 영향을 받고 있으며, 그 중 일부는 과학적으로 거의 확실시 되고 있다. 실제로 북극과 아시아 지역 빙하 감소에 따른 강의 유출량 증가, 해양온난화에 따른 어업생산량 변화, 동물군의 북상, 임목의 고사량 증가 및 수 감소 등이 상당부분 기후변화에 의한 것으로 여겨지고 있다.

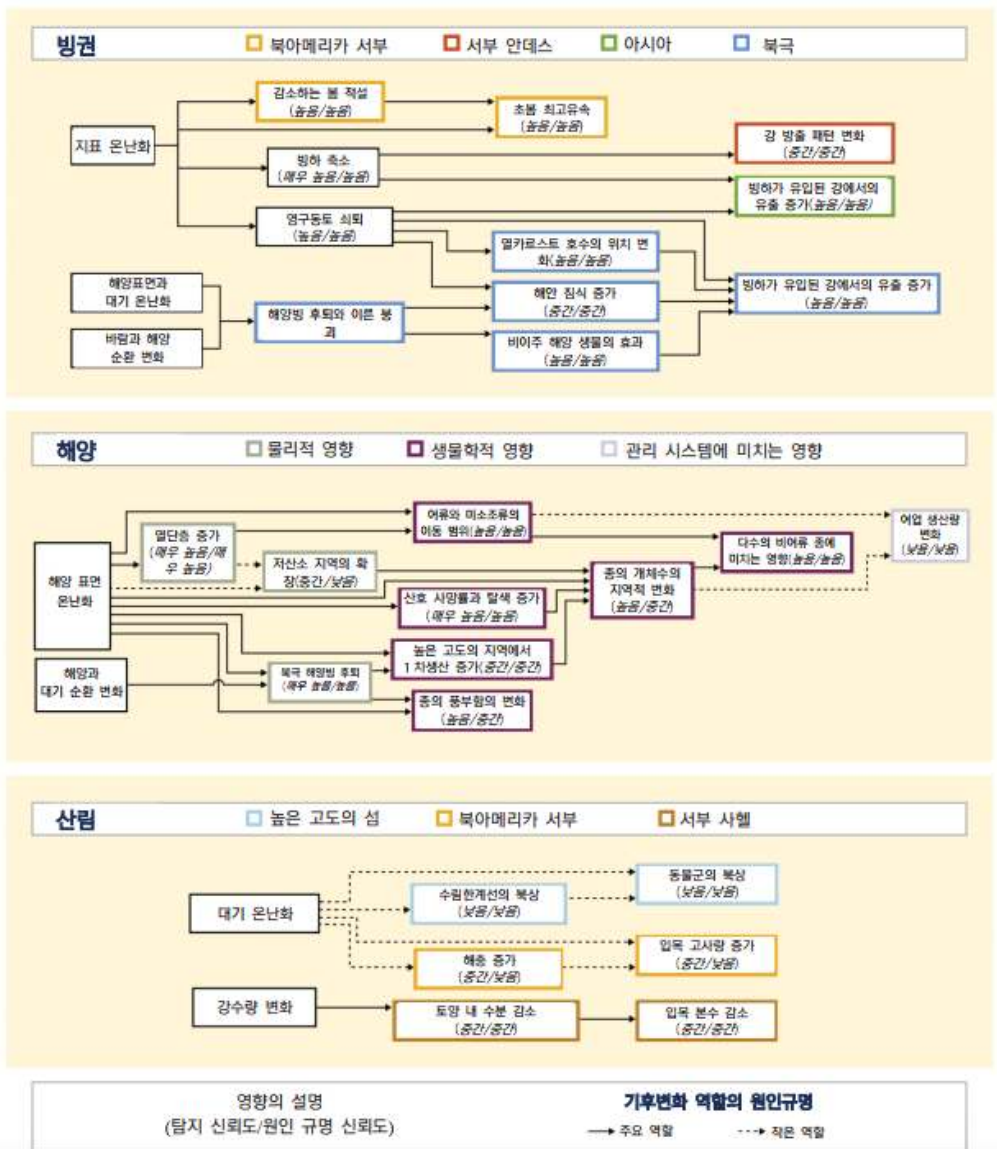


그림 2-1. 기후변화 영향 (IPCC 2014)

대부분 기후변화 영향은 어떤 지역의 안정적 시스템에 부정적으로 작용하는 경우가 많아 문제가 된다. 예를 들면 북극해의 해빙감소는 해빙 위에 새끼를 낳아 기르는 북극물개의 번식에 심각한 타격을 줄 수 있다. 더 빠르게 해빙이 녹으면서 해빙 위의 새끼가 물에 빠져 죽는 경우가 발생하고 있기 때문이다. 북극물개의 개체 수 감소는 상위 포식자인 북극곰의 개체 수 감소로 이어질 수밖에 없다.

더 큰 문제는 이러한 북극해빙 감소의 영향이 북극 생태계에 한정되지 않는다는 것이다. 첫째로 북극해빙의 감소는 대기 중으로 더 많은 수증기를 공급하고, 대기순환장에 영향을 주어, 결과적으로 우리나라를 포함한 중위도 국가에 극심한 한파나 폭설을 유발하는 것으로 분석되고 있다. 실제로 최근 수십 년 간의 시베리아 지역의 기온은 오히려 하강하였으며, 최근 연속적으로 기록적인 한파가 유럽과 미국 등지를 강타하고 있다. 좀 더 장기적으로는 영화 투모로우에 나온 것처럼 북극 표면 해수의 염도가 낮아져 해수가 가라앉지 않게 되고, 이에 따라 북대서양 해류순환이 약화될 수 있다. 이로 인해 기존에 겪어보지 못 했던 기후를 경험하게 될 수도 있다. 둘째로 해빙의 감소가 툰드라 지역에 이례적인 강수를 가져오고 결과적으로 순록의 먹이인 이끼를 얼어붙게 만들어 순록이 떼죽음당할 수 있다는 연구결과가 나오기도 하였다. 좀 더 일반적으로 이해하면 모든 생명체는 생물학적 활동이 가능한 최고 및 최저 온도 범위가 있으며, 최적온도도 가지고 있다. 그러므로 온도의 변화에 따라 생명체의 생리활동(동식물의 호흡, 식물의 광합성 및 증산, 동물의 성장 및 생식 등)과 동식물의 이동 및 분포가 결정된다. 즉, 기후변화에 따른 기온상승은 동물의 극한 이동을 유도하는 한편, 동물의 성장 속도를 빠르게 할 수 있다. 예를 들어 교미, 알 낳는 시기, 동면 시간, 철새의 이동 시기 등이 변화할 수 있다. 간접적으로는 각 종의 고유서식처가 변화할 수 있다. 동물은 식물에 비해 이동성이 높으므로 온도의 증가에 따른 영향에 보다 적극적으로 대처할 수 있다. 즉, 동물의 생리를 변화시킴으로써 그 서식처에 적응하고 서식할 수 없는 경우 서식처를 이동함으로써 적응할 수 있다. 하지만 만약 이동할 마땅한 서식처가 없을 경우 그 동물은 결국 멸종할 수도 있다.

식물은 동물과 달리 이동성이 매우 떨어지므로 변화하는 기후에 적응하는 것이 쉽지 않다. 온도의 점진적 변화에 맞추어 식생이 적응하는 방법은 식생대가 낮은 속도로 북상하거나 남하하는 방법뿐이다. 화분분석법에 의한 연구에 따르면 식생은 종에 따라 100년에 40km-200km까지 이동할 수 있다고 한다. 만약 이와 같은 식생대의 자생적인 이동속도가 기후변화의 속도보다 매우 느릴 경우 해당 식생은 살아남을 수 없다. 온도 증가에 따른 직접적인 영향은 식생대의 이동 또는 교체 등을 예로 들 수 있다 (그림 2-5). 반면 간접적인 영향으로는 폭우에 따른 산사태, 건조도 증가에 따른 산불발생 빈발 등을 예로 들 수 있다 (그림 2-6).



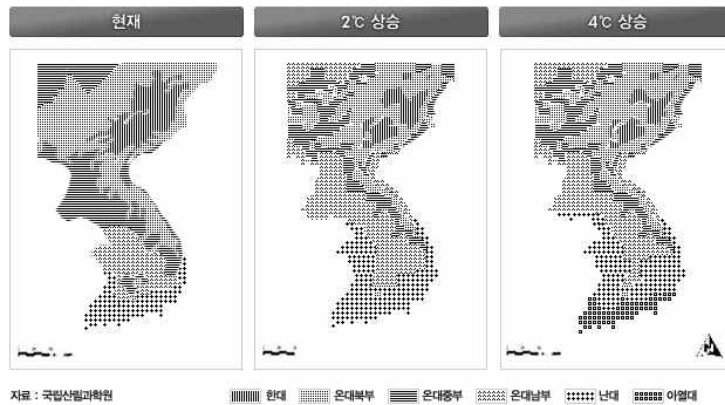


그림 2-5. 온도변화에 따른 우리나라 식생대 변화

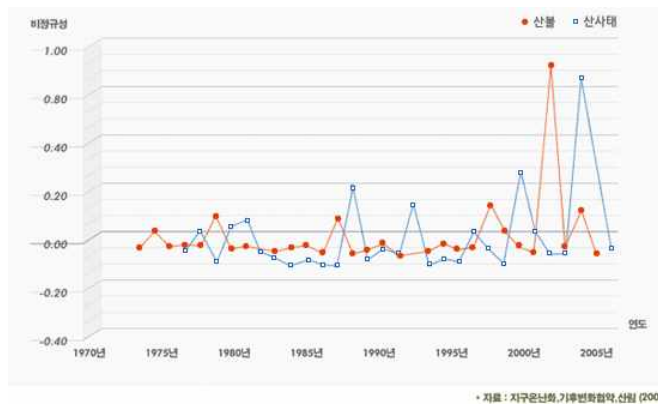


그림 2-6. 최근 산불 및 산사태 변화경향

한편, 툰드라 및 고위도 산악지대(alpine)는 특히 온도변화에 민감하다. 온도의 증가에 따라 이 지역에 전혀 새로운 식생대가 생길 수 있다. 이 지역의 토양은 영구동토층(permafrost)라고 불리는데 이 층이 녹음으로 인해 땅의 불안정성이 높아지고 더어모카르스트(Thermokarst, 지하부 얼음이 녹아 지표의 지형이 무너진 지형)가 발생할 수 있다. 더 중요한 점은 기후시스템 구성요소(생물권)로서의 툰드라 및 알파인 지역 생태계 구조 및 기능 변화는 기후되먹임 효과를 발생 시킬 수 있다는 것이다. 예를 들어 툰드라 및 알파인 지역은 그 온도가 낮음으로 인하여 토양에 많은 양의 탄소가 분해되지 않은 채로 저장되어 있는 커다란 탄소의 저장고로서의 역할을 하는데, 기온이 지속적으로 상승함으로써 토양 내의 미생물의 생물학적 과정은 활발하게 이루어지게 되어 오랫동안 저장되어있던 토양 탄소가 미생물의 분해 작용으로 인해 대기 중으로 메탄을 방출시켜 양의 기후되먹임 역할을 할 수 있다. 메탄은 중요한 온실기체 중 하나임을 우리는 지난 강의에서 배운 바 있다. 즉, 방출된 메탄이 기온을 더 상승시키고, 영구동토층이 더 녹게 되고, 더 많은 메탄이 방출되는 양의 되먹임이 발생하는 것이다 (그림 2-7). 이런 의미에서 툰드라 및 알파인 지역의 변화는 면밀하고 지속적인 모니터링이 필요하며 그 영향을 최소화하기 위한

여러 조치 및 정책들이 고민될 필요가 있다.

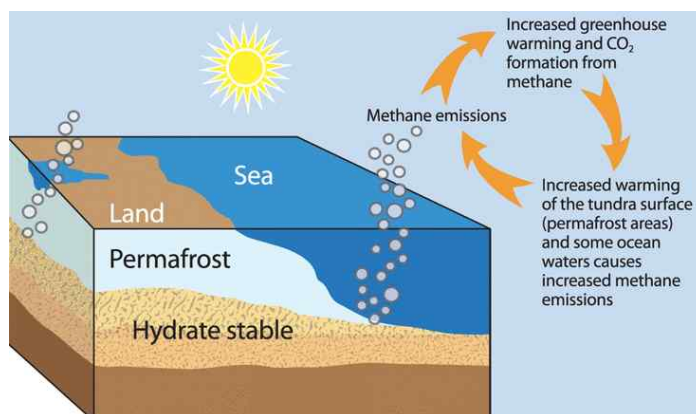


그림 2-7. 영구동토층의 변화와 양의 기후되먹임 (그림출처: The Oldspeak Journal: Increasing Methane Releases From Thawing Arctic “Permafrost” Is Accelerating Global Warming, As Industrial Civilization Plunders On)

기온상승에 따른 식물과 동물의 행동양식 변화는 궁극적으로 생태계 시스템에 영향을 준다. 예를 들어 Great Tits(*Parus major*)라고 불리는 새가 온도의 변화로 인해 너무 일찍 부화한다고 하자. 아기 새의 먹이는 나무의 새싹인데 만약 아직 새싹이 나지 않는다면, 이 새가 다른 먹이나 새로운 서식처를 찾지 못 하는 한 멸종할 수 밖에 없을 것이다. 물론 기후변화는 새싹도 빨리 나게 하는 경향이 있으므로 사실이 문제는 이렇게 단순화하여 생각할 수만은 없다. 하지만 적어도 기존의 안정적인 생태계 시스템이 새로운 양상으로 변화할 것이라는 것은 자명해 보인다. 변화하는 생태계 시스템에 적응하지 못 해 멸절하는 종이 늘어날수록 생물다양성 감소로 이어져 단순히 한 지역의 식물 혹은 동물 종의 멸절이 아닌 전지구적 문제로 대두될 수 있다. 기후변화는 상당수의 전염병을 증가시키는 방향으로 작용하고 있으며, 궁극적으로 보건문제를 발생시킬 수 있다 (그림 2-9).

Table 6.1: Examples of how diverse environmental changes affect the occurrence of various infectious diseases in humans (Reference 5)

Environmental changes	Example diseases	Pathway of effect
Dams, canals, irrigation	Schistosomiasis	▲ Snail host habitat, human contact
	Malaria	▲ Breeding sites for mosquitoes
	Helminthiasis	▲ Larval contact due to moist soil
	River blindness	▼ Blackfly breeding, ▼ disease
Agricultural intensification	Malaria	▲ Crop insecticides and ▲vector resistance
	Venezuelan haemorrhagic fever	▲ rodent abundance, contact
Urbanization, urban crowding	Cholera	▼ sanitation, hygiene; ▲ water contamination
	Dengue	▲ Water-collecting trash, ▲ Aedes aegypti mosquito breeding sites
Deforestation and new habitation	Cutaneous leishmaniasis	▲ proximity, sandfly vectors
	Malaria	▲ Breeding sites and vectors, immigration of susceptible people
	Oropouche	▲ contact, breeding of vectors
Reforestation	Visceral leishmaniasis	▲ contact with sandfly vectors
	Lyme disease	▲ tick hosts, outdoor exposure
Ocean warming	Red tide	▲ Toxic algal blooms
Elevated precipitation	Rift valley fever	▲ Pools for mosquito breeding
	Hantavirus pulmonary syndrome	▲ Rodent food, habitat, abundance

▲ increase ▼ reduction

그림 2-9. 환경변화에 따른 전염병의 증감 (출처:WHO)

우리나라는 그동안 전염성질환의 유병이 낮은 선진국형 양상을 보여 왔다. 그러나 지난 10년간의 추이를 보면 쯔쯔가무시증, 렘토스피라증, 신증후군 출혈열 등이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 세균성 이질은 1999년, 2000년, 2003년에 상당히 높아졌던 기록을 보이고 있다. 말라리아는 1998년 이후 약간씩 감소하고 있다. 특히 렘토스피라증 및 쯔쯔가무시증은 8월에서 10월에 가장 많이 발생하므로 기후변화의 영향을 가장 많이 나타내는 질병이라고 할 수 있다 (그림 2-10).

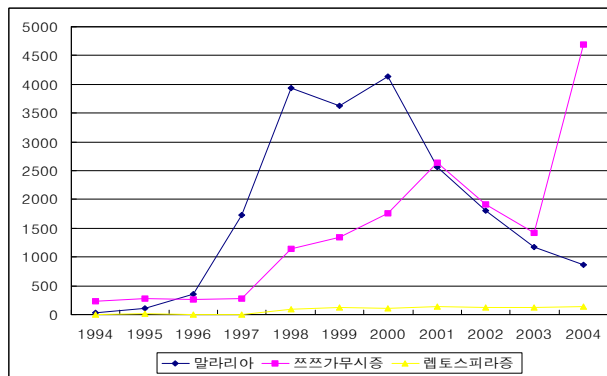


그림 2-10. 연도별 주요 매개체 전염질환 발생빈도의 추이 (단위:명)

또한, 기후변화에 따른 전염병의 증가와 달리 온도상승 자체가 건강에 영향을 미칠 수 있다. 우리나라 국민의 연간 사망분포는 일반적으로 여름철에 사망률이 낮고 겨울철에 사망률이 높은 경향이 있는데, 1999년부터 2003년까지의 월별 연간 사망자수의 분포를 보면 겨울철 사망은 다소 감소하고 여름철 사망이 약간 증가하는 경

향이 나타나고 있다. 이는 기후변화에 따른 겨울철 및 여름철 온도상승과 무관해보이지 않는다. 일반적으로 장시간 고온에 노출되면 세포손상으로 효소의 변성 또는 비활성화, 세포막 파괴로 단백질 합성 장애, 열스트레스로 인한 심장의 부담 증가 등이 발생하고, 결과적으로 일사병, 탈진, 열기절, 만성질환자의 사망위험증가 등을 가져올 수 있다. 실제로 고온으로 인한 심장질환자의 사망은 36.5°C에서 1°C 증가할 때마다 사망률이 28.4% 증가하는 것으로 보고된 바 있다. 열지수 37 °C이상에서 1°C 증가할 때마다 사망자가 8명씩 증가한다는 보고도 있다. 서울의 경우 29.9°C에서 1°C 상승할 때마다 사망률이 3.0% 증가하고 폭서가 7일 이상 지속 시 사망증가가 9% 이상인 것으로 보고되기도 하였다.

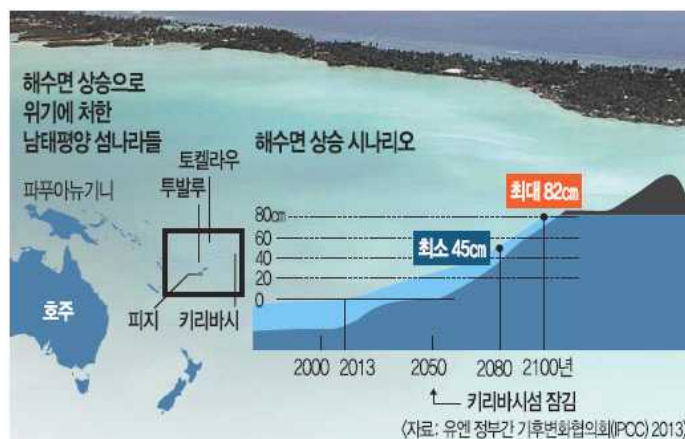
최근 5년간(2012~2016년) 온열질환 발생현황



◇ [자료=질병관리본부]

기후변화에 의한 해수면 상승도 중요한 기후변화 영향 중 하나이다. 여러 도서 국가들이 해수면상승에 의해 사라질 수 있다는 사실은 대부분의 사람들에게 이미 잘 알려져 있다. 전세계 인구의 절반가량이 해양으로부터 200km 반경 안에 살고 있으며, 수백만 명은 해수면으로부터 불과 5m 높은 연안 저지대에 살고 있다. 해수면 상승은 다음의 3가지 형태로 영향을 미칠 수 있다. 첫째, 연안침식이 강해져 해안지대를 감소시킬 수 있다. 침식되는 총면적은 기본적으로 해안의 경사도에 영향을 받는데, 해안의 경사는 파도가 얼마만큼의 깊이까지 침식시킬 수 있는가를 결정하므로 매우 중요하다. 만약 1 cm의 해수면 상승이 있다고 할 때 이는 보통 약 1m 만큼의 해안선 손실을 발생시킨다. 만약 해안 침식이 되는 지역에 파도의 세기가 더 세거나 해안선 경사도가 낮다면 해안선 손실이 일어나는 면적은 더 커지게 된다. 이런 경우에는 만약 1m 의 해수면 상승이 일어난다고 가정할 때 약 1km에 달하는 해안선의 손실이 발생할 수 있다. 둘째, 지하수를 오염시킬 수 있다. 많은 연안이나 도서지역에서는 용수로 지하수를 사용한다. 지하수의 밀도는 염수에 비해 낮기 때문에 연안지역의 경우 지하수가 하층부의 염수 위에 떠있게 된다. 해수면 상승이 일어나면 이런 담수가 차지하는 비율은 적어지게 되고 염수가 담수 지하수로 침투할 수 있다. 마지막으로 범람에 따른 영향이 있다. 앞서 언급한 것처럼 태평양, 인도

양, 캐리비안의 군소 도서 국가들은 해수면 상승에 매우 취약한데, 예를 들어 키리바티, 몰디브, 마셜군도, 투발루 등의 산호초에 둘러싸인 나라들의 경우 300,000만 명 이상의 인구가 해발고도 불과 3m 이내의 저지대에 살기 때문에 해수면 상승이 일어날 경우 불가피하게 이주를 해야 하는 상황이다. 저지대의 강 하구도 역시 취약한 지역이다. 미시시피강, 나일강, 간지즈 강, 오리노코강 등의 저지대가 바로 그것인데 1m의 해수면 상승이 일어난다고 가정할 경우, 미국에서 약 30,000 km²의 연안지대가 침수될 것이며 26-82%에 달하는 연안습지가 소실될 수 있다. 이처럼 기후변화 영향이란 기후 및 인위적 시스템이 기후변화로 인해 겪게 되는 새로운 형태의 경험을 포괄적으로 일컫는다고 할 수 있다.



해수면 상승 시나리오

2. 기후변화 취약성 및 적응

앞서 설명한 것처럼 영향(impact)이란 자연 및 인위적 시스템에 대한 기후변화의 결과를 의미한다. 기후변화의 영향이 어느 부문에서 나타나는가에 따라 기후변화의 영향을 시장적 영향(market impact)과 비시장적 영향(non-market impact)으로 구분하기도 한다. 시장적 영향이란 시장의 거래와 연결되어 있고 국내총생산에 직접적인 영향을 주는 것으로, 농산품의 공급과 가격변화를 그 예로 들 수 있다. 비시장적 영향이란 생태계 혹은 인간의 복지에 영향을 주거나 또는 시장에서 거래되는 것과는 직접적인 연관이 없을 때를 말한다. 이러한 영향을 모두 합쳐서 집합적 영향(aggregate impact)이라 하는데, 이는 부문 혹은 지역에 걸쳐 나타나는 모든 영향을 통합한 것을 의미한다. 영향의 집합은 서로 다른 부문과 지역에서 나타나는 영향의 상대적 중요성을 인식할 필요가 있다. 예를 들어 집합적 영향의 측정은 영향을 받은 사람의 전체 수, 순일차생산성(net primary productivity)의 변화, 변화를 겪는 시스템의 수, 그리고 경제적인 비용의 총합 등을 포함한다.

적응을 위해서는 기후변화의 영향에 취약한 부분을 발견하는 노력이 필요하다. 즉 취약성이 큰 부분을 찾아내는 작업은 적응을 위한 첫 단계이다. 취약성(vulnerability)이란 기후 변동성(climatic variability)이나 극단적인 기상 현상을 포함하는 기후변화 영향에 대하여 적응능력을 제하고도 대처할 수 없는 정도로 정의할 수 있다. 그래서 취약성은 일반적으로 시스템이 노출된 기후 변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도, 그리고 시스템의 적응능력의 함수로 표현된다(그림 2-13). 시스템의 민감도는 기후변화에 대해 어떤 시스템이 얼마나 반응하느냐의 정도를 나타낸다. 예를 들어 폭염에 발생하였을 때에 영유아나 노인은 이에 민감하게 반응할 수 있는 것에 반해 건장한 청년은 덜 민감하게 반응할 것이라는 개념이다. 적응능력이란 기후변화의 영향에 적응할 수 있는 시스템, 지역 또는 사회의 능력을 뜻한다. 적응능력은 이를 촉진 또는 억제하는 경제적, 사회적, 제도적, 기술적 조건에 따라 달라진다. 따라서 국가마다 심지어 국가 내에서도 지역마다 그 수준이 매우 다를 수 있다. 취약성을 파악해야 하는 이유는 기후변화 영향이 모든 지역에서 공통적으로 나타나지 않기 때문이다. 어떤 지역은 대홍수에 고통을 받기도 하고, 어떤 지역은 수자원 부족에 직면할 수도 있다. 또 어떤 지역은 가뭄의 빈도와 강도가 커지기도 하고, 다른 어떤 지역은 폭풍우, 눈사태 등과 같은 극한의 기상상황에 시달리기도 한다. 따라서 취약성 평가는 취약성이 큰 부문(sector)과 지역(장소)을 중심으로 선택과 집중하는 적응전략을 세울 수 있게 도울 수 있다.

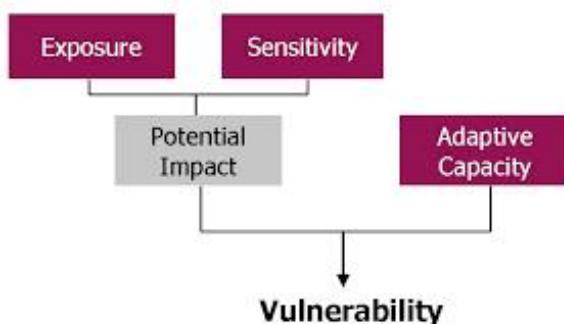


그림 2-13. 취약성 개념도

취약성 외에 리스크라는 개념도 제시되고 있다 (그림 2-14). 취약성의 개념과 유사하지만 다른 부분은 리스크는 위해요인 (hazard), 노출도 (exposure), 민감도 (sensitivity)의 함수로 이루어진다는 점이다. 위해요인은 기후변화에 따른 위험기상 현상의 강도나 빈도수를 지칭하며, 노출도는 위해요인에 의해 영향을 받을 수 있는 시스템의 규모를 의미하며, 민감도는 위해요인에 의해 영향을 받는 시스템이 얼마나 쉽게 영향을 받는 가에 대한 정도를 나타낸다. 취약성 개념과 매우 유사한 부분이 있으나 실제 함수로서 구현되는 부분에서 다소간 차이가 있다. 하지만 두 개념 모두 적응을 위한 도구로서의 활용도 측면에서 같다고 볼 수 있다.

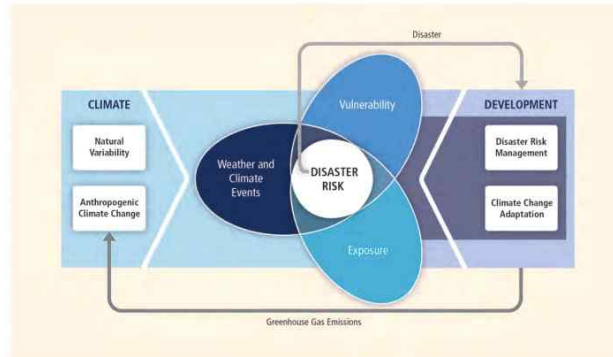


그림 2-14. 리스크 개념도

위와 같은 취약성 혹은 리스크 평가는 궁극적으로 부적응 (maladaptation)을 막기 위함이다. 3차시에서 적응에 대해 더 자세히 공부하겠지만 여기서 적응이란 무엇인지 먼저 간단히 살펴보면 다음과 같다. 적응(adaptation)은 현재 나타나고 있거나 미래에 나타날 것으로 보이는 기후변화의 파급효과와 영향에 대해 자연·인위적 시스템이 조절을 통해 피해를 저감시키거나, 더 나아가 유익한 기회로 촉진시키는 활동으로 정의할 수 있다. 즉, 적응은 발생할 가능성이 있는 피해를 줄이거나 기후변화로 인한 기회를 활용하기 위한 과정을 말한다. 적응 문제는 기후변화 이슈와 관련하여 다음과 같은 두 가지 측면에서 중요성을 갖는다. 하나는 영향과 취약성 평가와 관련된 것이고 다른 하나는 대응 방안의 개발과 평가에 관한 것이다. 적응은 적응을 하는 과정과 적응이 이루어진 상태 둘 다를 의미한다. 그러나 적응은 분야에 따라 해석이 달라질 수 있는데, 예를 들면, 생태학에서 적응이란 생물체 또는 생물종이 자신을 둘러싼 환경에 맞추어 가는 변화를 의미하는 반면 사회과학에서 적응은 개인과 사회경제 시스템의 집합적 행위에 의한 조정의 의미로 사용이 되고 있다. 적응은 다음과 같은 세 가지 요소로 구성이 된다. 첫째, 누가 또는 무엇이 적응을 하는가, 둘째, 어떤 기후변화의 현상에 대해 적응이 이루어지는가, 셋째, 적응 과정과 형태는 어떠한가 등이다.



기후변화 영향 및 취약성 평가를 위한 장기 계획의 필요성

앞서 기후변화 영향 및 취약성 평가의 개념을 되짚어보면 영향 및 취약성 평가를 위해 다양한 자료가 필요함을 알 수 있다. 일반적으로 기후노출도는 과거부터 미래까지의 기상 및 기후변수로 표출된다. 기후변화 적응계획의 수립이 기초지방자치단체 수준까지 이루어진다는 점을 고려하면 우리가 확보하고 있는 신뢰할만한 기후노출도 관련 변수의 공간해상도는 상대적으로 낮은 편이다. 하지만 다른 자료에 비해 비교적 오랜 기간의 관측 자료와 미래전망 자료를 확보할 수 있다. 민감도나 적응능력과 관련된 변수는 일반적으로 영유아인구, 노령인구, 지역내총생산, 면적당 쌀생산량 등 다양한 사회경제 변수가 대부분이다. 이와 같은 자료는 기후노출도 관련 변수에 비해 훨씬 더 짧은 기간에 대해서만 정리되어있고, 공간해상도도 매우 낮다. 사실상 대부분의 분야에 있어 어떤 통계적 관련성에 기반한 영향 및 취약성 평가는 당장은 어려운 상황이다. 즉, 본격적인 기후변화 영향 및 취약성 평가 수행을 위해서는 필요한 변수에 대해 분야별로 체계적으로 분류하여 높은 공간해상도로 장기간 동안 해당변수를 조사, 분석, 정리할 필요가 있다. 기후변화 영향은 광범위한 분야에서 다양하게 발생하므로 각 분야별로 정보를 수집하고 DB화하는 것이 효율적일 수 있다. 하지만 최종사용자 입장에서 분야별DB외에 통합DB의 제공은 효과적인 기후변화 영향 및 취약성 평가에 도움을 줄 수 있다. 궁극적으로 성공적인 기후변화 적응을 위해서는 범부처, 다학제 간의 긴밀한 협업이 필수적이다.

● 정리하기

1. 기후변화 영향

기후변화 영향이란 기후 및 인위적 시스템의 입장에서 기후변화로 인해 겪게 되는 새로운 형태의 경험을 포괄적으로 일컫는다고 할 수 있다. 대부분의 기후 및 인위적 시스템은 현재 기후에 최적화되어 있으므로 특별한 조치를 취하지 않는 한 기후변화는 이들 시스템에 부정적인 영향을 미칠 확률이 높다. 기후변화는 생태계, 건강, 연안, 산림 등 다양한 분야에 광범위하게 영향을 미칠 수 있다.

2. 기후변화 취약성 및 적응

기후변화 취약성이란 기후변화 영향에 대하여 적응능력을 제하고도 대처할 수 없는 정도로 정의할 수 있다. 그래서 취약성은 일반적으로 시스템이 노출된 기후 변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도, 그리고 시스템의 적응능력의 함수로 표현된다. 한편, 적응이란 기후변화의 파급효과와 영향에 대해 자연·인위적 시스템의 피해를 저감시키거나, 더 나아가 유익한 기회로 촉진시키는 활동으로 정의할 수 있다.



● 참고 문헌

IPCC, 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

IPCC, 2007. Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Kim et al. 2014. Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss, Nature Communications, 5:4646.

Forbes et al. 2016. Sea ice, rain-on-snow and tundra reindeer nomadism in Arctic Russia, Biology Letters, 12:20160466.

최광용 외. 2005. 「높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000」, 豫防醫學會誌, pp.283-290.

Diaz, 2004 Fam Community Health. 2004 Jul-Sep;27(3):218-29

Wilson, M.L., 2001. Ecology and infectious disease, in Ecosystem Change and Public Health: A Global Perspective, J.L. Aron and J.A. Patz, Editors. Johns Hopkins University Press: Baltimore. p. 283-324.

