KEI 한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

기후변화 영향평가 및 적응

1차시

기후변화란?

1. 기후와 기후시스템의 이해

기후변화를 본격적으로 논의하기에 앞서서 기후란 무엇인지 그리고 기후시스템이란 무엇인지 먼저 이해할 필요가 있다. 기후는 일반적으로 '장기간동안 어떤 특정 지역에서 특정 계절 혹은 시기에 나타나는 평균적인 기상'으로 정의된다. 예를 들어 오늘 혹은 내일의 날씨 등 매 시점마다 바뀌는 특성은 '기상'이라고 표현하는 반면, 1월 1일의 30년간 평균적인 날씨와 같이 장기간에 대한 특성은 '기후'라고 표현한다. 보통 어떤 특정지역의 기후는 주로 기온과 강수량에 의해 결정되므로, 그 지역의 기후를 논할 때 이들 두 변수를 중심으로 논하는 경우가 많다. 예를 들어 열대우림, 사막 등의 기후는 기온과 강수량으로서 충분히 대표될 수 있다. 또한 이와 같은 지역적 기후특성은 위도, 고도, 수륙분포, 지형 등에 의해 조절되는데, 이처럼 기후요소에 영향을 주는 요소를 기후인자라고 한다. 이와 같은 기후의 정의를 고려하면 '기후변화'는 평균적인 날씨특성이 바뀌는 것을 의미한다고 할 수 있다. 그러므로 엄격한 기준으로 본다면 어떤 지역에서 설령 일주일 이상 이상고온현상이 나타난다고 해서 해당현상을 기후변화라고 단정짓기는 어려우며, 만약 상당히 긴 기간에 걸쳐 이상고온현상이 더 자주 발생한다는 사실이 관측된다면 기후변화로 의심해볼 여지가 생기게 된다. 하지만 궁극적으로 어떤 기후변화가 인류활동에 의한 것이라는 결론을 내리기 위해서는 그 외에도 고려해야할 사항이 많이 있으며, 이와 관련해서는 다음 장에서 더 자세히 다룰 것이다.

기후시스템은 크게 대기권, 해양권, 빙권, 생물권 (혹은 지표)의 4가지로 구성되며 각 권역 내 혹은 각 권역 간 상호작용을 통해 기후요소의 전구적인분포를 조절한다. 여기서 기후요소란 평균기온, 평균습도, 평균 강수량 등을 수치적으로 표현한 값을 나타낸다. 기후시스템의 각 권역은 고유의 특성과 역할을 지니고 있다. 대기권의 가장 중요한 역할은 물과 에너지를 수송하여 전구에 걸쳐 재배치시키는 것이다. 또한, 생명체에 해로운 태양복사에너지 (자외선)과 우주복사에너지가 지표에 도달하기 전에 차단해주며, 온실효과를 발생시켜 지구의 기온을 따뜻하게 만들고, 기온의 일교차가 급격하지 않도록 유지시켜주는 역할도 한다. 해양권은 해류를 통해 극으로 에너지를 수송시키며, 많은 양의 에너지, 화학물질, 물을 저장 및 공급할 수 있는 저장소 역할을 한다. 특히, 해양권은 화석연료의 연소 및 삼림감소에 의해 방출되는 이산화탄소 225억 톤 중 대기 중에 잔류하는 120억 톤을 감한 약 105억 톤을 흡수하는 것으로 알려져 있다. 해양권의 이산화탄소 흡수로 인해 대기 중 이산화탄소 농도증가는 상당히 감속되고 있는 것으로 분석된다. 하지만 해양의 이산화탄소 저장능력은 해양온도가 상승함에 따라 현저하게 저하되므로 기후변화에 의해 해수온도가 상승하면 오히려 대기 중 이산화탄소 농도 증가가 현재보다 가속화될 수 있다. 말하자면 해양은 어떤

경우에는 대기 중의 이산화탄소의 일부분을 흡수하고 다른 경우에는 대기 중에 이산화탄소를 방출할 수도 있는 것이다. 한편, 빙권은 특히 해양에서 겨울철에 상대적으로 따뜻한 해양과 대기 사이의 에너지 교환을 막는 절연체 역할을 한다. 기후변화에 매우 민감하여, 그 심각성을 빨리 알려준다는 측면에서 '광산의 카나리아'라고도 불린다. 생물권은 에너지 균형, 지역기후에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 사막의 경우, 에너지 균형이 주로 현열과 복사에너지에 의해 이루어진다. 식생으로 덮여 있는 경우에는 증발산이 활발해져 현열의 역할이 감소하는 반면 잠열의 역할이 커진다. 이처럼 기후시스템은 각 권역 간 상호작용으로 구성된다.

2. 기후변화의 개념 및 원리

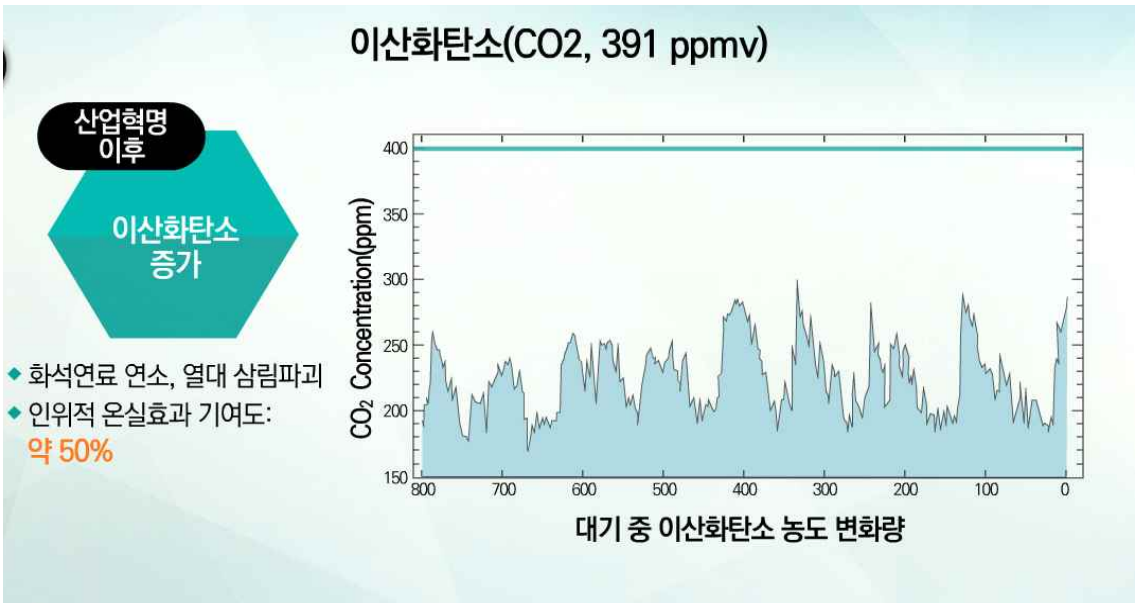
2.1 전구에너지 균형

지금과 같은 안정적인 지구의 기후는 지구로 유입되는 태양복사에너지와 우주로 방출되는 지구복사에너지 사이의 균형에 의해 이루어진다. 에너지를 수송, 전달하는 방법에는 크게 복사, 대류, 전도의 세 가지가 있는데, 지구가 우주 (외부계)와 에너지를 교환할 수 있는 유일한 방법은 복사이다. 그 이유는 대류와 전도는 에너지를 전달하는 매개체의 존재가 필요하나 우주에는 이러한 매개체의 존재가 매우 희박하므로 복사를 통해서만 에너지 수송이 가능하기 때문이다. 평균적으로 지구로 유입되는 태양복사에너지는 평방미터당 340W이며, 지표면으로부터 우주로 방출되는 지구복사에너지는 유입되는 태양복사에너지와 평형을 이룬다. 단순히 스테판-볼츠만 법칙 (방출복사에너지∝온도4제곱)으로 계산하면 지구의 평균기온은 섭씨 –18도가

되어야 한다. 하지만 실제 지구의 평균기온은 섭씨 15도보다 훨씬 낮은 온도이다. 이러한 차이가 나는 원인은 지구의 대기가 지구복사에너지를 흡수했다가 지표로 재방출하는 온실효과 때문이다. 하지만 모든 대기 중의 기체가 지구복사에너지를 흡수하는 것은 아니다. 지구복사에너지를 흡수하는 기체를 온실기체라 부르는데, 지구 대기의 극히 일부를 구성하지만 지구의 기온을 현재와 같이 유지시키는 데에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 주요 온실기체는 다음과 같다.

① 이산화탄소 (CO_2, 391 ppmv)

이산화탄소는 대기 중으로 일단 방출되면 100년 이상 대기 중에 머무른다. 이산화탄소의 대기 중 농도는 19세기말 약 290ppmv에서 1982년 340ppmv, 최근에는 391ppmv까지 증가하였다. 산업혁명 이전 대기 중 이산화탄소 농도는 장기변동성을 보이긴 하였으나 산업화 이후와 같은 급격한 상승을 보인 적은 없었다. 산업화 이후 이산화탄소 증가는 주로 화석연료의 연소와 열대 삼림파괴에 의한 것으로 보이며, 이산화탄소의 인위적 온실효과 기여도는 약 50%를 차지하는 것으로 분석된다.



② 메탄 (CH_4, 1.8 ppmv)

대기 중으로 배출된 메탄은 대기 중에 십 년 정도 분해되지 않고 머무르며, 지구복사에너지를 흡수하는 능력은 이산화탄소와 비교하여 1분자 당 10~100배에 달한다. 메탄의 대기 중 농도는 매년 0.016±0.001ppm씩 증가하고 있다. 대기 중의 메탄은 다양한 자연 및 인위적 과정으로 생성된다. 메탄의 농도는 금세기에 들어와서 현저한 증가를 보이고 있으며, 주로 석탄이나 천연가스의 채굴, 천연가스 수송, 농경, 대량사육에 의해 방출되는 것으로 보이며, 인위적 온실효과 기여도는 약 15~20% 정도로 분석된다.

③ 아산화질소 (N_2O, 324 ppbv)

아산화질소는 대기 중에 방출되면 약 180년간 대기 중에 머무른다. 아산화질소 1분자 당 이산화탄소에 비해 100~1,000배 정도 지구복사에너지를 잘 흡수한다. 아산화질소의 대기 중 농도는 1600년~1800년 289±10 ppbv에서 현재 약 324 ppbv까지 상승하였다. 아산화질소는 주로 토양이나 화학비료, 그리고 화석연료의 연소 등에

의해 배출되는 것으로 보이며, 인위적 온실효과 기여도는 5% 정도인 것으로 분석된다.

⑤ 프레온가스 (CFCs)
프레온가스는 1930년대 이후, 사용량이 급격히 늘었는데, 주로 냉장고, 에어컨 등의 냉매제, 절연체 및 반도체의 세척제, 그리고 각종 스프레이 제품에 사용되었다. 대기 중에 방출된 프레온가스는 400년 이상 분해되지 않고 머무른다. 이산화탄소에 비해 약 1만6천 배 가량 지구복사에너지를 더 잘 흡수한다. 실제 대기 중의 농도는 0.001ppmv 이하로 적지만 인위적 온실효과에 대한 기여도는 20% 정도이다. 한편, 프레온가스는 오존층 파괴의 원인물질로 지목되면서, 현재는 대체품인 HCFC가 주로 사용되고 있다.

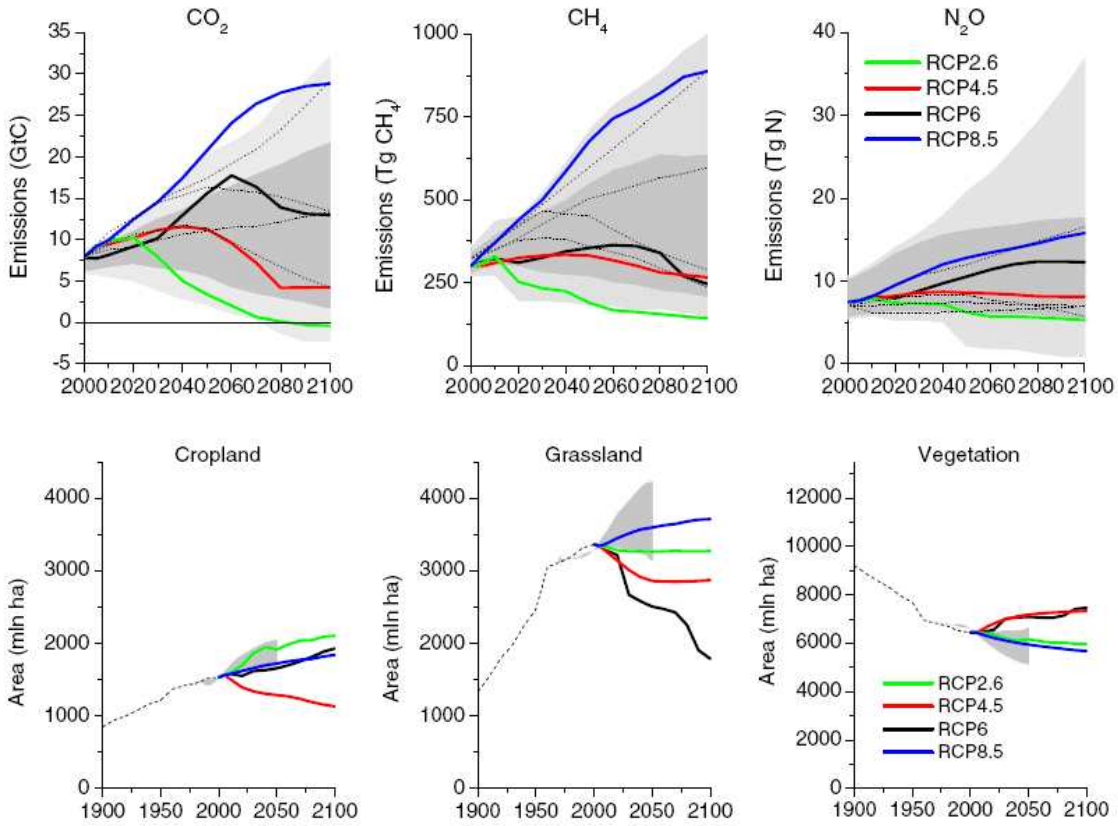
⑥ 수증기
수증기는 대기 중에서 가장 온실효과에 기여가 큰 기체이다. 온실기체는 산업화에 따른 이산화탄소 배출과 같이 인위적인 온실기체로 분류되지는 않는다. 하지만 대류권 수증기 농도는 기온에 의존성이 커 강한 되먹임 작용을 일으킬 수 있으므로, 기후변화에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 되먹임 작용에 관해서는 다음 장에서 더 자세히 다룰 것이다.

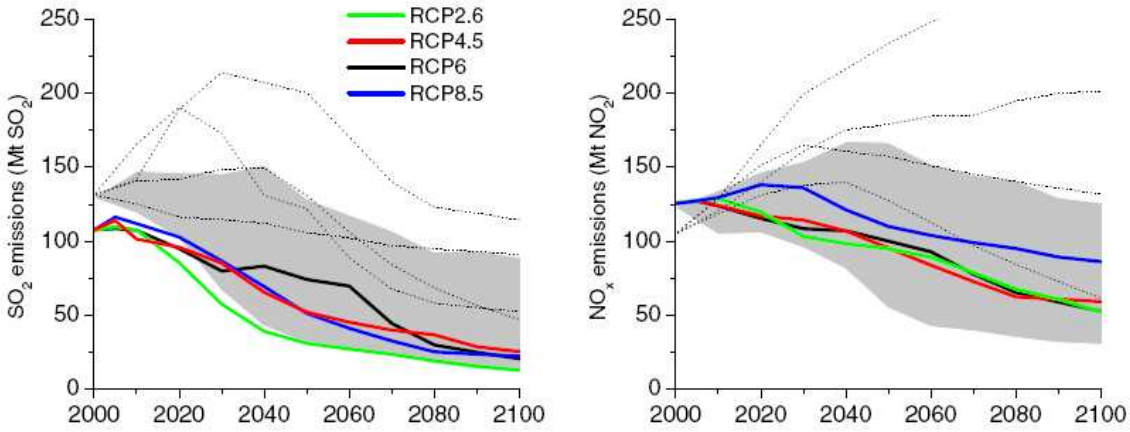
2.2 기후변화의 구성요인과 기후변화 시나리오의 이해

본장에서는 1장에서 제기되었던 "왜 일주일이 넘게 이상고온현상이 나타나더라도 기후변화에 의한 것이라고 말할 수 없는가'에 대해 자세히 짚고 넘어가고자 한다. 2.1장에 따르면 우리가 겪은 혹은 미래에 겪을 기후변화는 산업화 이후 인위적으로 배출된 온실기체의 증가에 따른 영향일 것이다. 하지만 그렇다고 해서 2000년대 들어 우리가 겪은 수많은 기상이변 (태풍, 가뭄, 폭우 등)이 '인류에 의한' 기후변화로부터 기인한 것이라고 단정지어 말할 수는 없다. 왜냐하면 기후변화는 인위적 강제력 (anthropogenic forcing), 자연적 강제력 (natural forcing), 내부변동성 (internal variability)으로 구성되기 때문이다. 인위적 강제력은 지구에너지 균형에 영향을 주는 모든 인류활동의 결과물 (예: 온실기체 증가, 지표면 변화 등)을 의미한다. 자연적 강제력은 화산활동, 소행성충돌 등과 같이 지구에너지 균형에 영향을 주는 모든 자연현상을 의미한다. 마지막으로 내부변동성은 엘니뇨/라니냐와 같이 기후시스템 자체가 스스로 가지고 있는 변동성을 의미한다. 그러므로 인위적 강제력은 분명히 기후변화에 영향을 주지만 우리가 현재 겪는 기후변화는 자연적 강제력과 내부변동성도 함께 포함되어 나타나는 것이기 때문에 인위적 강제력 효과만을 떼내어 직접적으로 가늠하기는 어렵다. 예를 들어 엘니뇨 현상이 일어난 해에는 일반적으로 더 강한 태풍이

발생하게 되므로, 특정연도에 강한 태풍이 크게 증가하더라도 이것이 기후변화에 의한 것인지 아닌 지는 당장은 알기 어려운 것이다.

그래서 우리는 보통 인위적 강제력의 효과를 언급할 때, 기후변화 시나리오에 기반한 전구기후모형을 사용해 인위적 강제력의 기후변화 기여도를 분석한다. 기후변화 시나리오는 일반적으로 기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change Representative)의 제5차 보고서에서 채택한 대표농도경로 (RCP, Representative Concentration Pathways) 시나리오가 사용된다. RCP 시나리오는 2100년경 복사강제력을 현재 기후 대비 특정값 (2.6, 4.5, 6.0, 8.5 W/m^2)에 도달시키는 온실기체, 에어로솔 (aerosol), 토지이용 변화의 다양한 시나리오에 대한 대표경로 시나리오이다 <그림2-4, 2-5, 2-6>. RCP 시나리오에 근거한 인위적 강제력 정보를 전구기후모형에 대입하여 미래 기후변화를 추정하게 된다. 이 때 각 모형은 모형 자체가 갖는 편차와 자체 내부변동성을 가지고 있다. 이를 제거하기 위해 다중모형 앙상블 (multi-model ensemble: 여러 개 모형의 결과값의 평균)을 적용하게 되고, 자연스럽게 인위적 강제력에 의한 효과를 중점적으로 볼 수 있게 된다.





2.3 다양한 기후변화 되먹임 작용과 기후모형의 불확실성

인류활동에 의한 기후변화를 추정하기 위한 다중모형 앙상블 기법은 앞서 소개한 바와 같이 기후모형의 내부변동성과 개별모형이 갖는 편차를 제거해주는 역할을 한다. 동일한 RCP 시나리오 하에서도 기후모형에 의한 전망이 기후모형마다 매우 다양한데, 이는 결국 기후변화의 불확실성이 매우 크다는 사실을 시사한다. 이러한 불확실성의 원인은 초기값 문제, 대기의 움직임을 지배하는 방정식의 비선형성, 기후모형 격자보다 작은 규모의 현상에 대한 모수화의 한계 등 다양할 것이다. 모든 요인이 중요하지만 여기서는 좀 더 비전공자도 정성적으로 이해하기 쉬운 요인 중 하나인 기후변화 되먹임 작용을 소개하고자 한다. 기후변화 되먹임은 크게 기후변화를 가속화 시키는 양의 되먹임과 감속시키는 음의 되먹임으로 나뉠 수 있으며, 기후변화를 증폭 내지 감쇠 시킨다는 측면에서 기후변화 정도를 크게 좌우할 수 있다. 하지만 기후모형별로 이러한 기후변화 되먹임 작용의 강도가 서로 많이 다르기 때문에 결과적으로 기후변화 전망도 모형별로 달라질 수 있다.
대표적인 기후변화 되먹임 작용에는 플랑크 되먹임 (Planck feedback), 수증기 되먹임 (water vapor feedback), 해빙-알베도 되먹임 (ice-albedo feedback), 구름 되먹임 (cloud feedback) 등이 있다. 위 되먹임 작용에 대해서 각각 간단히 소개하면 다음과 같다.

① 플랑크 되먹임
플랑크 되먹임은 대표적인 음의 되먹임 작용으로 지구 복사평형온도의 네제곱은 지구로부터 방출되는 지구복사에너지와 비례한다는 스테판-볼츠만 법칙 (Stefan-Boltzmann Law)에 근거한다. 만약 대기의 구성성분이나 알베도와 같은 다른 요소를 무시할 수 있다면, 지표온도가 올라갈수록 스테판-볼츠만 법칙에 의해 더 많은 양의 지구복사에너지가 방출될 것이다. 지구복사에너지가 지구로부터 더 많이 방출된다는 것은 지구가 더 빠르게 냉각된다는 것을 의미한다. 즉, 온도가 올라가는

만큼 온도를 낮추려는 경향을 가지므로 플랑크 되먹임은 대표적인 음의 되먹임이라고 할 수 있다.

② 수증기 되먹임

수증기 되먹임은 대표적인 양의 되먹임 작용이다. 일반적으로 대기 중 수증기의 양은 클라우지우스-클라페이론 관계 (Clausius-Clapeyron relationship)를 따른다. 간단히 요약하면 상대습도가 일정하다는 가정 하에 온도가 올라갈수록 대기 중 수증기의 양은 증가한다. 앞선 장에서 언급한 바와 같이 수증기의 온실효과는 가장 강력하므로 기온상승에 따라 대기 중 수증기가 증가하고 온실효과가 강화되는 양의 되먹임이 발생하게 된다.

③ 해빙-알베도 되먹임

지구의 온도가 상승하면 따라 북극 해빙이 녹아서 감소하게 된다. 해빙이 녹아 없어진 자리는 바다로 메워지게 되는데, 일반적으로 해빙은 바다에 비해 알베도가 높기 때문에 해빙의 감소는 북극지방의 알베도 감소로 이어진다. 알베도가 감소하면 더 많은 양의 태양복사에너지가 북극에 흡수될 수 있게 되고 이에 따라 온도가 더 상승하게 된다. 그러므로 해빙-알베도 되먹임 역시 대표적인 양의 되먹임 중 하나라고 할 수 있다.

④ 구름 되먹임

구름 되먹임은 다른 되먹임 작용과 달리 구름의 두께, 높이, 지표상태, 태양복사 입사각 등에 따라 역할이 달라져 그 자체로 불확실성이 큰 되먹임 작용 중 하나이다. 일반적으로 낮고 두꺼운 구름은 태양복사에너지를 차단하는 역할이 더 강해 지구온도를 낮추는 역할을 하는 반면, 높고 얇은 구름은 태양복사에너지는 거의 통과시키는 반면 지구복사에너지는 흡수해 지구온도를 높이는 역할을 한다. 기후변화에 따라 구름의 역할이 양의 되먹임일지 음의 되먹임일지에 관해서는 아직까지 연구가 계속되고 있으며, 확실히 결론이 나지 않은 상태이다.

3. 기후변화 실태 및 미래전망

기후변화에 대한 IPCC 제5차 보고서의 결론

① 기후변화 실태

■ 1850년 이래로 지표기온상승은 그 어느 때 보다도 지난 30년 간 (1982-2012년) 지속적으로 가속되었다. 1880-2012년 기간 동안 지표기온은 약 0.85도 상승하였다. 하지만 전구평균 지표기온은 뚜렷한 10년 및 경년 변동성을 보이므로 단기간의

자료에 근거하여 지구의 평균기온이 지속적으로 상승하였다고 단언하기는 어렵다.

■ 북반구 중위도 육지에서의 평균강수량은 1901년부터 증가했지만, 그 외 위도의 경우 증감경향이 뚜렷하지 않다.

■ 해양은 1971-2010년 간 기후시스템에 축적된 에너지의 90%를 흡수하고 있다. 전구적인 규모에서 해양온난화는 표면 근처에서 가장 높고, 해양 상층부 75m를 기준으로 했을 때 1971-2010년 간 10년 당 섭씨 0.11도 상승하였다.

■ 산업화 이후 해양은 계속해서 이산화탄소를 흡수하여 해양의 산성화도 점진적으로 이루어져 pH는 0.1 감소하였다.

■ 북극의 연평균 해빙면적은 1979-2012년 동안 10년당 3.5-4.1%의 속도로 감소하였다. 특히, 여름철의 평균면적 감소가 가장 급격하였다. 남극의 연평균 해빙면적은 동 기간 동안 10년당 1.2-1.8%의 속도로 증가하였다. 그러나 남극의 경우, 지역에 따라 면적이 감소한 지역도 존재한다.

■ 전지구 평균 해수면은 1901-2010년 간 0.19 m 상승하였다. 19세기 중반 이후 해수면 상승률은 19세기 이전 2천년간 평균상승률을 크게 상회한다.

■ 1950년 이래로 다수의 극한 기상 및 기후 현상에서 변화가 관측되었으며, 이 중 일부는 인간활동과 관련된 것으로 극한저온, 극한고온, 극한해수면 상승, 호우빈도 증가 등이 해당한다.

■ 기후변화에 따른 다수 지역의 강수량 변화, 눈과 빙하의 녹지화 등은 수문시스템에 영향을 주어 수자원의 양과 질을 변화시켰다. 또한, 육상, 담수, 해양의 생물종 다수의 지리적 범위, 활동시기, 이주시기, 개체 수, 종간 상호작용을 변화시켰다. 작물생산량에도 일반적으로 부정적인 영향을 주는 것으로 분석되고 있다.

② 미래 기후변화 전망 (1986-2005년 대비 2081-2100년 예상변화)

■ 평균 지표기온은 RCP 2.6에서 섭씨 0.3-1.7도, RCP4.5에서 섭씨 1.1-1.7도, RCP6.0에서 섭씨 1.4-3.1도, RCP8.5에서 섭씨 2.6-4.8도 상승할 것으로 예상된다. 특히, 북극 지역의 온난화는 지구 평균 온난화 속보다 더 빠를 것이다. 이러한 전망은 주요 화산폭발 사건이 없고 일부 자연적 배출원 (예: 메탄, 아산화질소)이나 총 일사량에 변화가 나타나지 않을 것이라는 가정을 바탕으로 한 것이다. 평균

지표기온의 상승에 따라 일·계절 시간범위에서 육지지역 극한고온현상은 더욱 증가하는 반면, 극한저온 현상은 감소할 것으로 전망된다. 하지만 간헐적으로 발생하는 겨울의 극한혹한 현상은 계속해서 나타날 수 있다.

■ 강수량의 변화는 일정하지 않을 것이다. RCP8.5에서는 고위도 및 적도 부근 태평양의 연평균 강수량은 증가할 가능성이 높다. 중위도 및 아열대 건조지역의 평균 강수량은 대개 감소하는 반면 중위도 습윤지역의 평균 강수량은 대개 증가할 것으로 보인다. 대부분의 중위도 대륙 및 열대습윤지역에서는 극한 강수현상의 빈도 및 강도가 증가할 것이다.

■ 전구적으로 해양의 온난화는 지속될 것이며, 열대 및 북반구 아열대 지역의 해양표면에서 온난화가 가장 강하게 나타날 것으로 전망된다. 해양의 산성화는 RCP2.6에서는 21세기 중반 이후 느리게나마 회복될 것으로 보이지만, 다른 모든 시나리오에서는 21세기 말까지 해양 산성화는 지속될 것으로 보인다. 해양 표면의 pH는 RCP2.6에서 0.06-0.07, RCP4.6에서 0.14-0.15, RCP6.0에서 0.20-0.21, RCP8.5에서 0.30-0.32 감소할 것이다.

■ 해수면 상승범위는 RCP2.6에서 0.26-0.55m, RCP8.5에서는 0.45-0.82m가 될 것으로 보인다.

■ 모든 RCP 시나리오 하에서 북극 해빙의 감소가 예상되며, RCP8.5에서는 21세기 중반 이전 여름 해빙이 가장 적은 9월에 해빙이 전혀 없는 북극해가 예상된다.

■ 남극 대륙의 빙하를 제외한 지구 빙하량은 RCP2.6에서 15-55%, RCP8.5에서 35-85%까지 감소할 것으로 전망된다.

■ 지구 표면 평균기온 상승에 따라 영구동토층이 감소할 것이 확실하며, RCP2.6에서는 37%, RCP8.5에서는 81%까지 감소할 것으로 전망된다.

■ 기후변화는 많은 종들의 멸종위기를 야기할 것으로 보이며, 미래 식량안보에도 부정적인 영향을 미칠 것으로 전망된다. 또한 기존의 건강문제를 대개 악화시키는 방향으로 작용할 것으로 예상된다. 궁극적으로 기후변화에 따른 인구이동이 증가할 것이며, 이주하는 데에 필요한 재원이 부족하여 이주하지 못 하는 인구는 극단적 기상현상에 높은 수준으로 노출될 것으로 예상된다.

기후변화 전망의 불확실성과 올바른 활용방향

- 기후변화에 적응하기 위해서는 기후변화 전망자료가 필수불가결하나 그 전망자료의 불확실성은 매우 크다. 현재로서는 단일모형에 근거하지 않은 다중모형 앙상블 기법이 최적의 대안으로 제시되고 있으나, 실제로는 대부분 기후모형이 현재 기후변화를 잘 모사하지 못 하는 경우도 있다. 대표적으로 최근 관측되는 북극 해빙의 급격한 감소가 제대로 모사되지 않는다는 사실을 들 수 있을 것이다. 결국 개별모형의 편차를 최소화하기 위한 방향으로의 노력 또한 지속적으로 이루어져야 함을 시사한다.

- 기후모형의 미래전망은 상당한 불확실성을 함유하고 있기 때문에 전망자료를 정책적으로 활용할 시에는 반드시 확률적 접근방법을 적용해야만 한다. 명시적으로 정해진 전망 값을 그냥 사용할 경우, 실제와 매우 동떨어진 정책결정을 내릴 수도 있으므로 주의해야만 한다.

- 대부분의 기후전망 자료는 인위적 요인에 의한 평균적인 미래변화를 유추하기 위한 것이므로 예를 들어 2020년의 정책결정을 위해 2020년 전망자료를 활용해서는 안 된다. 그 이유는 다중모형 앙상블 기후전망에는 인류에 의한 인위적 강제력만을 함유하므로 실제 우리가 겪는 단기 기후변화 (내부변동성+자연적 강제력+인위적 강제력)와는 상이할 수밖에 없다. 상기와 같은 내용으로 활용이 가능한 자료는 일반적으로 수십 년 예측 (Decadal forecasting), 계절 예측 (Seasonal forecasting)과 같은 형태로 제공된다.

● 정리하기

1. 기후와 기후시스템

기후는 일반적으로 특정지역에 특정 장기간 동안의 기상요소 (예, 기온, 강수량 등)을 평균한 값으로 표현된다. 기후는 일반적으로 기후시스템을 구성하는 4가지 권역(대기권, 해양권, 생물권, 빙권)의 영향을 받으며, 각 권역은 물 순환, 탄소 순환 등의 측면에서 각각 상호작용을 한다.

2. 기후변화의 개념 및 원리

최근의 지구기온 상승은 상당부분 대기 중 온실기체 (예. 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 프레온가스 등) 증가에 따른 온실효과 강화에 의한 것으로 분석되고 있다. 하지만 실제 기후변화는 인위적 강제력 외에 내부변동성과 자연적 강제력에 의해서도 발생한다. 일반적으로 다중모형 앙상블 기법은 개별모형의 편차 외에 내부변동성 효과도 제거하여 비교적 순수하게 인위적 강제력에 의한 미래기후변화 전망을 볼 수 있다.

3. 기후변화 실태 및 미래전망

과거 수십 년 동안 기온 상승, 해수면 상승, 북극해빙면적 감소 등은 통계적으로 거의 확실하게 나타나고 있으며, 지역별 강수량의 증감도 일부 지역에서는 유의하게 나타나고 있다. 이러한 추세는 미래에도 지속되어 시나리오별로 평균기온은 0.3-4.8도, 해수면 상승은 0.26-0.82m이 예상된다. 북극해빙은 21세기 중반 이전에 여름철에 완전히 자취를 감출 것이다. 한편, 강수량의 증감은 미래에도 지역별로 불확실성이 여전히 크게 나타나지만, 일반적으로 강수가 많은 지역은 더 많이 오고 적은 지역은 더 적게 오는 양상을 보일 것으로 전망된다.

● 참고 문헌

Dennis L. Hartmann 2016: Global Physical Climatology, second edition. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
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

Penal 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