



기후변화 대응을 위한 기술 발전 전략



김 백 조
국립기상연구소
정책연구팀장



이 성 로
국립목포대학교
내풍기술연구단
교수



김 호 경
국립목포대학교
내풍기술연구단
교수

1. 서론

전 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 기상이 변이 빈번히 발생되고 있다. 이에 따라 황사, 태풍, 집중호우, 폭염, 폭설 등과 같은 기상이변으로 인한 자연재해의 피해가 대규모로 확대됨에 따라 기후변화에 대한 전 세계인들의 관심이 나날로 증대되고 있다. 21세기 지구 온난화는 자연 생태계는 물론 인간의 건강과 사회경제적 활동의 중심인 수자원, 농림수자원, 산업, 대기질, 연안 지역, 거주지 등 자연과 인간의 모든 부분에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 전망된다.

기후변화는 우리의 삶과 경제, 사회 운영 방식에 근본적인 과제를 던지고 있으며, 이는 단순히 현재의 삶의 방식을 그대로 유지하면서 해결될 수 있는 문제가 아니다(정래권, 2008). 흔히 생각하듯 기술의 발전과 일부 에너지 효율 향상으로 해결되기에는 너무 근본적인 문제이다. 경제성장을 계속하면서도 기후변화의 생태적 취약성을 더

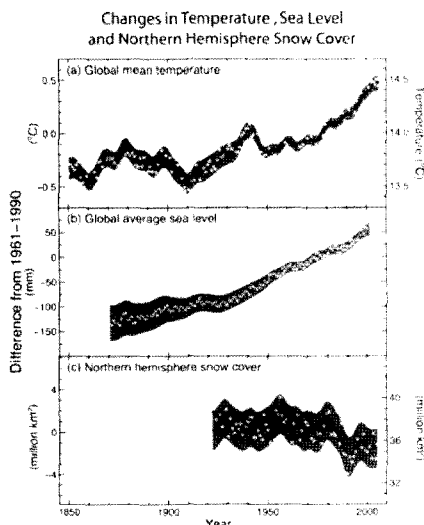
이상 악화시키지 않기 위해서는 에너지, 경제, 기후간의 악순환으로부터 선순환으로 전환하여야 한다.

또한, 인류의 활동으로 인해 발생하고 있는 기후변화를 정확하게 예측하는 것은 국가가 지속 가능한 성장을 실현하기 위한 전략 수립의 핵심도구이다. 국가차원의 기후변화 대응을 위해 기후변화 과학측면에서 제시된 여러 가지 기획, 연구보고서를 참조하여 기술 전략을 살펴보고자 한다. 특히 국가발전의 성장 동력과 직결되는 기후변화 대응 전략은 과학에 근거한 정보를 기반으로 중·장기적 관점에서 수립할 필요가 있다. 여기서 “기후변화 과학연구”는 기후변화 영향 평가 및 적응 방안에 관한 기술 분야로서 한반도 온실가스 감시·관측기술 개발, 기후변화시나리오 활용기술 개발 및 기후변화 예측을 위한 시뮬레이션인 지구시스템모델 개발, 기후변화 메커니즘 규명연구 등을 수행하는 것을 의미한다.

2. 기후변화와 그 영향

20세기 관측 자료에 나타난 바와 같이 온난화로 홍수, 가뭄, 열파의 빈도가 증가하고, 태풍이나 허리케인의 세기가 강화될 가능성도 높다. 고산지대의 빙하와 북극의 해빙이 녹는 속도도 더욱 빨라질 것이다. 자연재해의 빈도와 세기가 증가하면서 막대한 피해가 발생할 가능성이 높으며, 이로 인하여 개발도상국의 경우 사회경제적으로 심각한 영향을 받을 수 있다.

기온상승은 지구온난화를 대표하는 현상으로 지난 100년(1906~2005년)동안 전지구 평균기온은 0.74℃ 증가하고 최근 50년간 지구온난화 추세는 0.13℃/10년으로, 이 상승률은 최근 100년간 추세의 2배에 해당한다(그림 1). 강수량의 변화는 1990년에 육지, 특히 고위도에서 증가, 아열대에서 감소만이 언급되었던 것이 1995년에는 북반구 고위도 육지에서, 특히 가을철 강수량이 증가하였고 20세기동안 육지 강수량은 전 지구적으로는 약 1% 증가함을 밝혔다. 반면에 사헬, 지중해 연안, 남아프리카 및 남아시아 일부 지역에서는 건조화가 관측되었다. 우리나라도 기온이 약 4℃ 상승하고 강수량은 15~20% 증가할 것



(그림 1) 관측된 기후변화 증거 : (a) 기온상승, (b) 해수면 상승, (c) 적설 면적 감소

으로 전망된다. 이에 따라 호우와 가뭄이 심화될 가능성도 높다. 또한 빙하와 적설면적의 변화는 위성관측자료 분석에서 북반구 지표면 적설범위의 감소, 특히 봄에 두드러짐이 관측되었다. 해수면 상승에 대한 수치는 최근에 이르러 정량화되었으며, 전구평균 해수면은 1961~2003년에 연간 1.8 mm 상승, 특히 1993~2003년은 상승률이 가속화되어 연간 3.1 mm 상승하였다(그림 1). 20세기동안 전 지구적으로 극심한 가뭄 또는 호우 지역의 증가는 적지만, 아프리카, 아시아 등 일부지역에서는 가뭄빈도와 강수량 수 십년간 증가함을 밝혔다. 호우사례 빈도는 대부분의 육지지역에서 증가하고, 극한기온의 변화는 지난 50년간 관측되었으며 더운 낮과 더운 밤, 열파가 빈번하게 발생하고 있다고 보고하였다.

3. 기후변화 대응 국제 동향

1) 기후변화 감시

기후변화를 정확하게 예측하기 위해서는 무엇보다 대기의 구성성분과 대기질, 에너지와 물질(특히 물과 탄소)의 생지화학적 순환에 대한 이해가 없이는 불가능하다. 전지구적으로 화석 연료를 사용함으로써 인해 발생하는 대기 중 CO₂의 반 정도가 육상 및 해양생태계에 흡수되어 제거되고 있는 것으로 알려져 있으나 현재 이에 대한 과학적 이해가 매우 빈약한 실정이다. 이미 유럽과 북미 대륙은 20여년 전부터 CarboEurope과 북미 탄소 프로그램(North America Carbon Program, NACP)과 같은 과학기술 프로그램들을 정책적으로 구축하여 긴밀한 국가간 협력을 통해 대륙차원의 전략적 대응을 단계적으로 실행해 오고 있다. 미국의 기후변화과학 프로그램에서는 지난해 11월에 미국 뿐만 아니라 캐나다와 멕시코를 포함하는 북미대륙의 탄소수지 보고서를 발간한 바 있다(King et al., 2007).

2) 기후변화 예측

기후변화에 관한 과학적 이해는 기후변화 예측을 위한

지구시스템모델들의 개선 및 다양한 시뮬레이션 자료의 확보를 통해 이루어진 것이다. 선진국에서는 국가 연구기관을 중심으로 지난 20여년 간 통합적인 지구기후시스템의 모델링에 박차를 가해왔다. 영국 기상청의 기후변화 연구센터인 Hadley Centre에서는 대기와 해양-해빙, 지표, 에어러솔, 육지와 해양의 탄소순환과 황순환 과정이 포함된 통합 지구시스템모델인 HadGEM을 개발하였으며, 미국의 경우는 대기과학연구센터와 대기해양청, 우주항공청 등에서 다양한 지구시스템모델을 개발하여 왔다.

3) 기후변화 영향 평가

최근 지구온난화로 인한 환경 변화와 생태계 변화를 과학적으로 예측, 평가하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 선진국에서는 기후변화 영향평가 및 적응 방안에 대한 연구 및 대책 마련이 1990년대 후반부터 활발하게 이루어져 왔다. 기후변화 시나리오를 이용한 21세기 기후 전망뿐만 아니라 자연 재해, 해양 환경, 수문 환경에 대한 영향을 예측한 연구가 다수 수행되었다. 정책 입안자 및 결정자에게 기후변화 적응 및 완화 노력을 위한 정보를 제공하기 위하여 선진국에서는 포괄적이고 체계적인 프로그램을 운영하고 있다. 영국의 경우 1997년부터 영국기후영향프로그램이 시작되었고, 미국은 1990년대부터 대통령 과학자문위원회의 요구에 의하여 미국 기후변화연구 프로그램을 중심으로 기후변화 영향평가 및 적응 방안에 관한 연구를 수행하고 있다. 호주는 CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) 산하 기후영향그룹이 기후변화 영향평가를 주관한다(권원태, 2008).

4. 기후변화과학의 기술 전략

1) 감시·관측부문 : 아시아 탄소추적시스템 개발

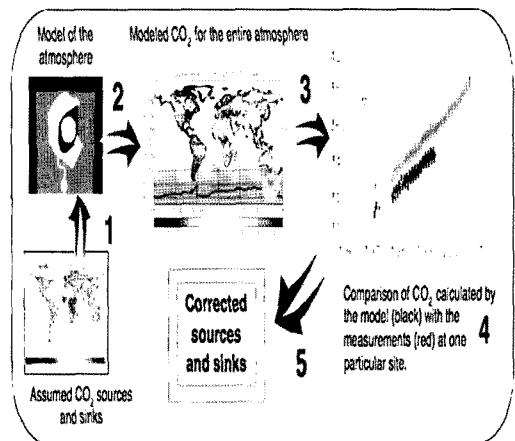
아시아 탄소추적시스템(Asian Carbon Tracking System, ACTS)은 미국 해양기상청(NOAA)의 지구시스템연구소에서 CO₂순환 메커니즘의 규명과 기후 정책대응

을 위해 지난 30여년 동안 개발하여 최근에 공개된 탄소 추적자(Carbon Tracker)의 하부구조와 첨단기술을 기반으로 하는 아시아 지역의 대기 중 탄소의 방출과 제거 상황을 추적 감시하게 될 첨단 '자료동화' 도구이다.

이 첨단 시스템을 조속히 개발하여 실질적인 재해방지와 기후변화 협약대응 정책입안에 활용하려는 것이 ACTS의 최종 목적이다. ACTS는 첨단관측, 재고조사, 대기-생물권-해양-화학 수송 모형의 시너지를 기반으로, 첨단 앙상블 자료동화 기법을 사용하여 생물권, 해양, 화석 연료, 산불, 수송 등에 의한 탄소의 방출과 흡수량을 산출하게 된다(김준 등, 2007).

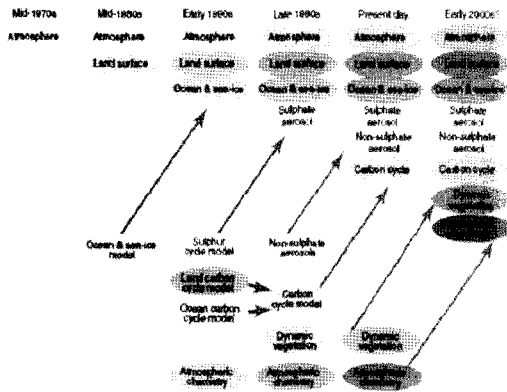
이 탄소 추적 시스템은 아시아의 육상 생태계 및 주변 해양에 의한 자연적인 탄소 흡수와 방출의 3차원적 변화를 감지할 뿐 아니라 기후 시스템 내의 이산화탄소의 순환 메커니즘의 규명을 가능하게 할 것이다(그림 2).

아시아 탄소 추적 시스템이 개발 되면, 한국을 포함하여 주요 탄소배출국가인 중국, 일본, 인도 등의 아시아 온실기체 배출 및 감축 상황을 정확히 감지할 수 있는 기술력을 확보함으로써, 교토 협약의 이행 여부와 참여 효과를 감지할 뿐만 아니라, 배출권 거래 관련 의사결정 및 관리 시스템을 현실적으로 지원하게 될 것이다.



〈그림 2〉 탄소추적시스템 모식도

The Development of Climate models. Past, Present and Future



〈그림 3〉 지구시스템모델 개발 과정

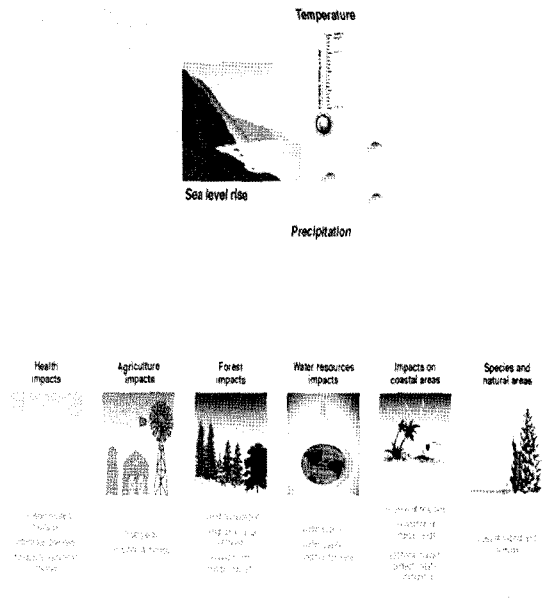
2) 예측부문 : 지구시스템 개발

지구시스템모델은 대기권, 수권, 지권, 빙권, 생물권 등으로 구성되어 있는 지구기후시스템의 장기간에 걸친 변화를 분석, 예측할 수 있는 수치모델로서, 지구기후시스템에 영향을 주는 각 기후과정들 간의 복잡한 상호작용들을 표현하기 위해서는 대기, 해양, 해빙, 지표, 물순환, 에어러솔, 탄소 및 황 순환, 생태역학, 대기 화학 등의 부문 기술이 총체적으로 결합된 모델이 되어야 한다(그림 3).

대기-해양-해빙-지표-에어러솔-탄소 및 황순환을 포함하는 선진국 수준의 통합 지구시스템모델 개발은 직접적으로는 기후변화 시나리오의 산출을 통해 국가 차원의 기후변화 대응책 수립에 기여할 뿐만 아니라, 국내 모델링 커뮤니티의 활성화를 통해 기술 분야를 다양화시키고 전문인력을 양성하는데 큰 도움이 될 수 있다(권원태 등, 2007).

3) 영향부문 : 기후변화 영향평가 기술 개발

지구 평균 기온상승이 우리나라도 예외가 아니었어 육상에서는 작물 재배지역의 변화와 식물 분포의 변화가 나타나기 시작하였으며, 해양에서도 어종 변화 등이 감지되고 있는 시점이다. 그러므로 이와 같은 상황을 관망하고 있기에는 기후변화의 영향이 너무 시급한 과제이다. 뿐만 아니라 이제는 보다 장기적인 국가의 중요한 계획을 수립



〈그림 4〉 기후변화 영향 분야

함에 있어서도 기후변화에 대한 고려가 반드시 필요한 시점에 와 있다(이승호 등, 2006).

기후변화에 대한 영향 평가는 다양한 측면에서 시도되어야 한다(그림 4). 또한 기후변화가 다른 하나의 현상에 영향을 미치기도 하지만 반대로 그 현상이 기후변화에 영향을 미칠 수도 있다. 나아가 기후변화는 다양한 분야와 다양한 지역에 영향을 미치고 그로 인한 영향을 받을 수 있다. 이와 같이 복잡한 기후변화의 영향평가를 위해서는 정확한 기후변화의 예측, 다양한 분야의 기후변화 영향 평가 그리고 지역별 기후변화 영향 평가가 필요하다.

5. 결론

기후변화는 장기간에 걸쳐(수십 년 또는 그 이상) 지속되는 기후 평균 상태가 통계적으로 의미 있는 변동을 하는 것을 의미한다. 기후변화는 기후시스템의 내부 상호작용이나 외부 강제력(forcing)에 의해 일어날 수 있다. 최근의 기후변화는 산업화 이후로 온실가스의 증가에 의한 대기 조성의 변화, 산업화로 인해 토지 이용도의 변화 등으

로 인해 일어나고 있다. 또한, 기후변화의 양상은 지구온난화로 일컬어지는데, 이는 엘니노 현상의 강화, 수퍼 태풍의 빈번한 발생, 극지방의 빙하의 녹음, 성층권 오존층 파괴 등 다양한 변화가 수반된다. 따라서 기후변화 대응을 위한 기상기술 발전 전략을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기후변화 원인을 이해하고 기후변화 원인 물질들의 흡수·배출 메커니즘 규명을 위하여 기후변화 감시망 확충 등 **기후변화 감시 역량을 강화**하여야 한다. 특히 기후변화 예측을 위해서는 기후변화 과정에서의 탄소순환의 변동을 탐지하고 그 메커니즘을 규명하는 것이 필요하다(기상청, 2007b).

둘째, 선진국 수준의 기후변화 예측 기술을 확보하기 위해서는 **지구시스템모델 개발**에 역량을 집중하여야 한다. 지금까지 단발적이고 산발적으로 이루어져왔던 지구시스템 모델링 기술 개발이 보다 체계적이고 결집된 형태로 이루어져 관련 기술을 진일보시키는데 결정적인 역할을 할 것이다(권원태 등, 2007).

셋째, 국가차원의 기후변화 적응·영향 및 취약성 분야의 대응책 마련을 위한 **한반도 기후변화 시나리오 및 영향평가 기술 개발**에 전략적 투자를 하여야 한다(김백조 등, 2008).

이처럼 신뢰도 높고 가치 있는 기후변화 감시·예측정보 생산으로 사회·경제적으로 복합적인 기여가 가능하다(권원태, 2008). 첫째, 기후변화로 인한 기상재해의 피해 경감을 가져올 수 있다. 둘째, 기후변화협약 협상시 유리하게 이끌 수 있는 근거자료가 될 수 있다. 마지막으로 기상·기후산업의 국제 경쟁력 강화에 기여할 수 있다. 또한 아시아-태평양 지역 기후변화 감시, 예측 부문에서 리더십을 발휘할 수 있을 것이다.

한편, 기후변화의 진행속도가 점차 빨라지고 있으며, 이에 따른 국가적인 대응도 시급하다. 이러한 점에서 한국형 지구시스템모델을 개발하여 국가표준 기후변화 시나리

오를 구축하고, 이로부터 기온, 해수면, 극한기후 변화 등과 같은 일차적 기후변화 예측은 물론 보다 상세한 사회·경제적 시나리오 등 종합적인 시나리오를 구축하여 장기적인 정책결정 과정에 크게 기여할 것이다(기상청, 2007a). 이와 같은 기상청의 대응과 노력은 기후변화 대응 경제, 산업, 생활 변화에 대응하기 위한 국가의 거시적 정책 마련에 필요한 결정적 과학정보를 제공하게 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주요사업 “기상기술전략개발연구”와 목포대학교 내풍기술연구단을 통하여 지원된 국토해양부 지역특화연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 기상청, 2007a: 기후업무 발전계획(2007-2011), 26pp
- [2] 기상청, 2007b: 기후변화감시 발전계획(2007-2011), 29pp
- [3] 권원태 등, 2007 : 지구시스템모델 개발 방안에 관한 연구, 기획보고서, 기상연구소, 101pp.
- [4] 권원태, 2008 : 기후변화 대응을 위한 기상청의 역할, 기상기술정책지, 1권 1호, pp.3-10.
- [5] 김백조, 김경립, 2008 : 국가기상기술로드맵 수립의 배경과 의의, 기상기술정책지, 1권 1호, pp.58-61.
- [6] 김준 등, 2007 : ACTS-아시아 탄소 추적 시스템 개발, 기획보고서, 기상연구소, 92pp.
- [7] 이승호 등, 2006 : 기후변화영향평가 및 적응방안에 관한 연구, 기상청, 314pp.
- [8] 정래권, 2008 : 시장 기반 기후 체제와 우리의 역할, 제3회 기상산업 발전을 위한 심포지움 자료집, 2008년 6월 26일, 서울 공군회관, pp.43-48.
- [9] King, A. W. et al., 2007 : The first state of the carbon cycle report (SOCCR), North American Carbon Budget and Implications for the Global Carbon Cycle, U.S. Climate Change Science Program, Synthesis and Assessment Product 2.2, 242pp.