

특별기고

기후변화의 쟁점과 물

윤주환[†]

고려대학교 환경시스템공학과 교수
한국물환경학회 명예회장

Current Issues on Climate Change and Water

Zuwhan Yun[†]

Professor, Department of Environmental Engineering, Korea University
Honorary President, Korean Society on Water Quality

Abstract

The IPCC's standing on the anthropogenic warming is discussed in this article. The differences between the climate alarmist and skeptics have been addressed in terms of scientific and policy stand point of view. The political and economical significances of climate change have been discussed, too. Although atmospheric temperature and rainfall precipitation are two most important factors in the climate change, most of the recent attentions have drawn on mainly temperature and CO₂ issue. In spite of argues on the uncertainty in anthropogenic warming related to CO₂, the inevitable climate change should correspondingly change the humanity in near feature.

keywords : Climate change, CO₂, Water, Alarmist, Skeptics

1. 배경

기후변화(climate change)는 이제 과학적 현안에서 인류의 관심사가 되고 있다. 기상학에서 시작된 기후변화 관찰의 결과가 정치·경제·사회 전반에 엄청난 파급효과를 주는 세계적 정책으로 변모하고 있는데, 그 정책들은 각 개인의 사상이나 국가의 정체성과 문화적 특성마저도 변화시킬 수 있는 폭발적인 개념을 내재하고 있다. 하지만 일반인들뿐만 아니라 물분야 전문가들까지도 그간 기후변화와 관련된 과학적 쟁점과 이로 인한 정책의 중요성을 잘 인식하지 못하고 막연하게 수용하고 있는 것 같다.

기후변화에서 물은 기온과 함께 가장 중요한 요소이다. 왜냐 하면 기온변화는 강우패턴과 강수량에 직접 영향을 주며, 강수특성의 변화는 국가의 물관리정책을 바꿀 수 있기 때문이다. 우리나라에서는 기후변화에 대응하여 4대강살리기 사업 등이 추진되고 있지만, 물은 기후변화의 쟁점에서 비껴나 있었던 것 같다. 이제 기후변화와 관련된 쟁점을 재평가할 시점이 된 것 같다. 이 기고는 기후변화와 연관하여 화석연료에 의한 인위적 온실가스(Anthropogenic Greenhouse Gas) 배출에 대해 현재 제기된 과학적 쟁점을 재조명하면서, 기후변화와 관련된 우리 물문제도 살펴보기로 한다.

2. 기후변화 관련 그간 동향

매일 바뀌는 날씨(weather) 자료가 모여서 기후(climate)¹⁾라는 통계적 평균 개념이 만들어 진다. 인간은 기후 변화를 다양한 형태로 기록하여 왔지만 정량적 평가가 가능해진 것은 최근이다. 지구의 평균 기온은 태양에서 들어오는 복사 에너지와 지구표면 및 대기가 에너지를 반사, 흡수, 배출하는 관계에서 결정된다. 태양 주위를 도는 지구 궤도의 변동 등으로 인한 태양 에너지 입사량의 변화는 지구의 에너지 수지에 영향을 주어 기후변화를 유발하게 된다 (IPCC, 2007, 환경부 번역판). 그런데 최근 지구의 평균기온은 꾸준히 상승하는 추세이다. 그림 1은 NASA 자료에서 추출한 전세계 기상관측소의 기온측정자료의 평균값 변동 추이를 보여주고 있는데, 1880년 이래 기온이 상승하며, 1940년대 이후 잠시 내려가는 추세를 보이다가 최근 20여년간 다시 상승하고 있다.

이러한 기온상승 문제를 규명하기 위하여 1986년 UNEP (United Nation Environment Program)와 WMO(세계기상기구)는 UN의 하부조직으로 기후변화에 대한 정부간 협의체인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)를 조직한다. IPCC는 지금까지 4차의 평가보고서를 발간하였는데, 초기에는 큰 주목을 끌지 못하였다. 심지어 IPCC는 1차 평가 보고서(IPCC, 1990)가 기후변화의 인위적 영향력

[†] To whom correspondence should be addressed.
envzyun@korea.ac.kr

1) 기후란 지구상 어느 지역의 온도, 강우, 습도, 기압, 바람 등 기상요소들의 장기간(예를 들어 30년 정도) 통계적 평균 수치를 뜻한다.

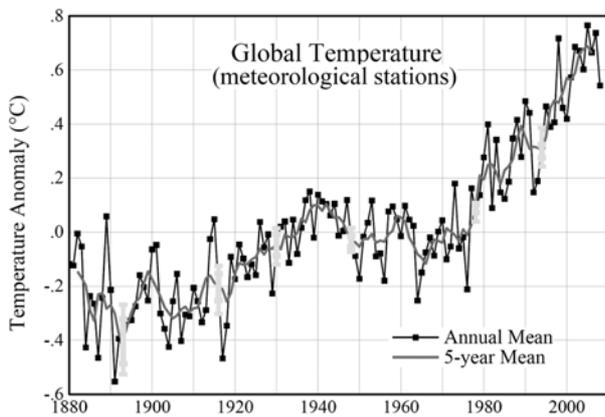


그림 1. global annual-mean surface air temperature change derived from the meteorological station network. Uncertainty bars (95% confidence limits) are shown for both the annual and five-year means, account only for incomplete spatial sampling of data (NASA, last modified in 2009. 1. 9.).

에 대해 관측에 근거한 증거를 거의 제시하지 못했다고 자체 평가하였다. 이후 2차 평가보고서(IPCC, 1995)는 기후변화의 원인으로 인간의 영향력을 암시한다고 결론 지었으며, 연이은 3차 평가보고서(IPCC, 2001)는 ‘지난 50년 간 관측된 온난화의 대부분은 온실가스 농도의 증가 때문이었을 법하다’고 결론 내려 기후변화와 관련하여 전 세계적 정책의 필요성을 제기하였다. 이후 4차 보고서(IPCC, 2007)²⁾는 기후변화의 원인으로 인위적인 온실가스에 대한 강한 확신을 보여주고 있으며, 이후 기후변화는 각국의 관련 정책결정과 집행에 큰 영향을 주게 된다.

특히 IPCC 4차보고서는 지구기후의 온난화는 “의심할 여지가 없을 정도로 명백”하며, 이것은 대기와 해양의 지구 평균 온도의 상승, 눈과 얼음의 광범위한 용해, 지구평균 해수면 상승 등의 관측 자료에서 확실하다고 결론내리고 있다. 또한 20세기 중반이후 지구 평균기온 상승의 대부분은 “인위적인 온실가스의 농도 증가”에 의해 발생했을 가능성이 매우 높다(very likely)고 하여 3차보고서에서 진일보한 확신을 보여주고 있다.

기후변화와 관련하여 소위 보스토크(Bostok)자료가 자주 언급된다. 두께 3750 m의 남극대륙 얼음 위에 위치한 보스토크 기지(Станция Восток)³⁾에서 굴착 채취한 얼음시료 내의 미세한 공기방울의 성분 분석을 통하여 지난 40만년간의 지구 기후의 변화과정을 짐작하게 되었다. IPCC 보고서(IPCC, 2007)에서 발췌한 그림 2의 왼편 그림을 보면 지난 40만년 간 지구기온과 탄산가스 농도는 동조하여 변화

하였고 그 상관관계가 매우 높아서 탄산가스에 의한 온실효과가 큰 영향을 준 것으로 보인다. 특히 그림 2의 오른쪽 그림이 보여주는 최근 급격한 기온상승과 CO₂ 농도 상승은 인위적인 요인, 즉 산업혁명이후 화석연료에서 배출된 CO₂가 축적된 온실효과 결과로 생각하고 있다.

IPCC 보고의 영향으로 기후변화에 대응하여 다양한 정책이 만들어지고 있는데 그 과정에서 1992년 소위 리우환경회의에서 UNFCCC(UN Frameworks for Convention on Climate Change)가 만들어지고 이후 1997년 교토기후변화의정서(Kyoto Protocol)에서 보다 강제력을 가지게 된다. 또 CDM(Clean Development Mechanism: 청정개발체제), 배출권거래제도 등 우리 생활에 큰 영향을 주는 정책들이 도입되고 있다.

3. 기후변화 원인에 대한 쟁점

기후변화에 대한 논쟁과 입장

1990년 IPCC 1차보고서 이후 기후변화 원인에 대해 다양한 논쟁이 있었다. 그중 소위 하키스틱 논쟁⁴⁾이 가장 잘 알려져 있는데 그림 2의 우측 상단의 탄산가스 농도가 마치 Hockey stick을 닮은 형태로 평평하다가 급격히 증가하므로 이름 붙여진 것이다. 이 자료의 원형은 1998년 버지니아대학의 기후학자인 Michael Mann 등이 실측자료와 추정 모사한 자료를 조합하여 제시한 것인데 자료의 통계적 신뢰성에 대한 논쟁과 검증이 있었다. 또 기상 전문가들 사이에서는 관찰된 탄산가스 농도의 급격한 증가의 원인이 화석연료로 인한 탄산가스 배출에 의한 것인지 아니면 다른 자연적 이유 때문인지에 대하여 첨예한 논쟁이 계속되고 있다.

그런데 2007년경부터 구미(歐美) 학계는 기후변화 원인에 대하여 입장을 표명하게 된다. 보수적인 학계 입장에서 온난화가 화석연료에서 배출된 탄산가스에 의한 것이 과학적으로 확실하다면 지지입장 표명과 같은 구차스러운 행동을 할 필요가 없을 것이다. 기후관련 학계의 지지입장 표명은 계속되는 학술적 논쟁을 종식시키고, 각국 정부에 화석연료 사용저감을 위한 “정치적 압력”을 가하는 의미가 강했다. 다만 기후변화와 관련된 주류 과학계 중 미국석유지질학회(American Association of Petroleum Geologists) 만은 거의 유일하게 아직도 기후변화의 화석연료 탄산가스 온난화 원인론에 대하여 의견이 양분되어 있어 매우 흥미롭다. 자세히 보면 기후관련 과학자들의 대부분은 IPCC 입장을 지지하지만, 일부는 조심스럽게 기후변화 심각성만을

2) 1차보고서는 흔히 FAR(First Assessment Report), 2차보고서는 SAR(Second Assessment Report), 3차보고서를 TAR(Third Assessment Report), 그리고 4차보고서는 FAR(Fourth Assessment Report)의 약자로 불린다.

3) Восток (Bostok = 러시아어로 동쪽)기지는 구소련에 의하여 1957년 건설된 남극연구기지로 남극을 탐험한 재정러시아의 해군장교 파디 파테에비치 벨링스가우젠이 이끈 탐험선의 선명으로 명명됨.

4) 2003년에 촉발된 소위 Hockey Stick 논쟁은 기후변화 자료의 통계적 신뢰성에 대한 것이다. 이와 관련하여 미국에서 National Research Council 조사보고서(2006)와 상반된 의견의 Wegman 보고서(2006)가 만들어졌다. Mann 등의 자료는 IPCC 보고서에 자주 사용되었는데, 최근(2009.9) 이들이 나무 나이테 자료로 재구성한 20세기 기온 상승자료의 “부적절한 통계기법” 사용 의혹이 밝혀지면서 논란이 가열되고 있다. 하지만 우리나라에서는 하키스틱 논쟁도 일부 전문가 이외에는 거의 알려지지 않았을 뿐 아니라 우리 주류언론은 아예 다루지도 않았다.

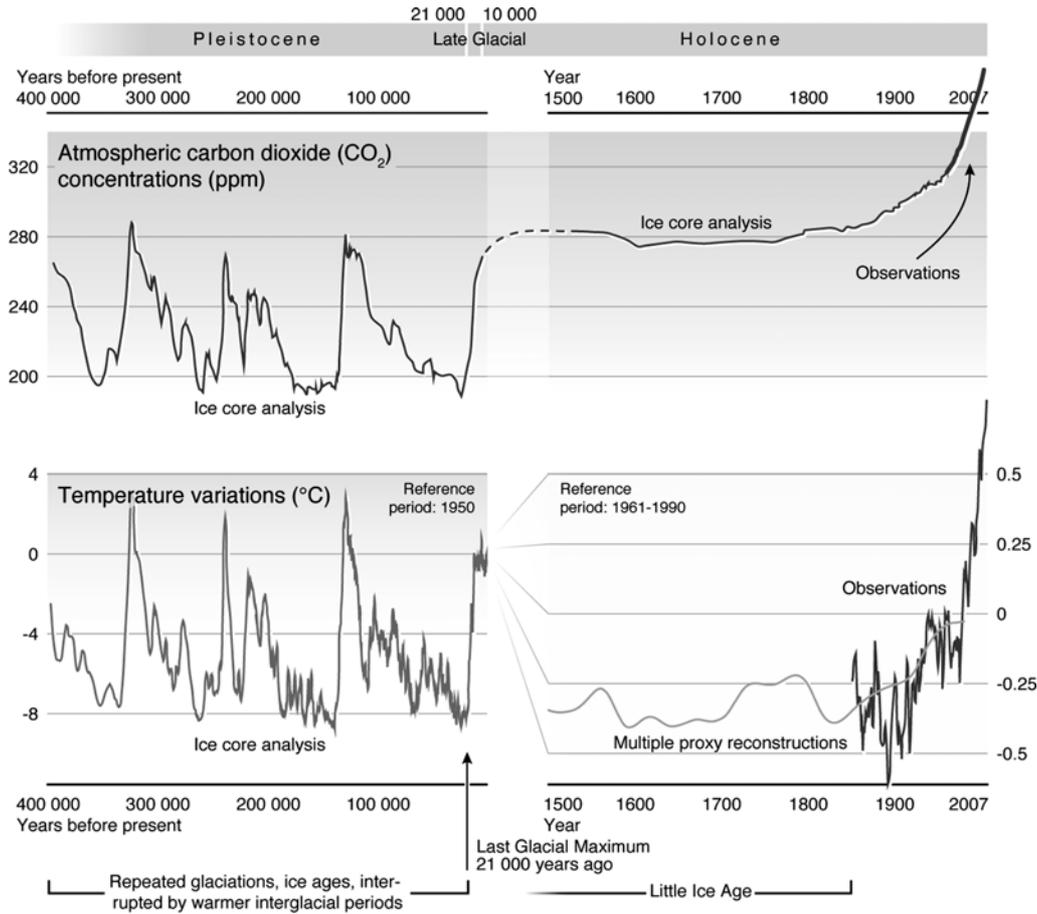


그림 2. IPCC(2007)가 제시한 기온변화와 CO₂의 상관관계 개념. 순환되는 빙하기와 온난기 기온은 CO₂ 농도와 연관이 있으며, 1860년 이후 지금까지 자료를 보면 기온상승과 CO₂는 높은 상관관계가 있다고 제시함. 특히 최근 급격한 CO₂ 농도 증가는 인간의 화석연료 사용에 의한 축적 이외는 설명이 난이한 것으로 유추함.

언급하거나 기후변화에 대한 인간의 영향은 인정하면서 상대적으로 화석연료 온난화 원인론에 대한 입장은 밝히지 않는 경향도 분명히 있다. 반대로 화석연료 온난화 원인론에 회의적 입장을 취하는 과학자들은 소수이며 정치·경제적 이유로써 반대하는 측도 있다.

기후변화와 관련하여 논쟁이 지속되는 배경에는 첫째, IPCC는 20년이나 지난 최근 4차보고서에 와서야 기후변화에 대한 인간간섭의 확신과 탄산가스에 의한 온난화를 표명하고는 있지만, 기후변화 예측 자체가 극히 제한된 실측자료로 기후를 모사(simulation)하므로 신뢰도 및 불확실성의 문제가 아직도 남아 있기 때문이다.⁵⁾ 둘째, 1990년 IPCC 1차 보고서 이후 유럽 국가들이 에너지정책 전환에 맞물려 강제성을 띤 기후변화협약을 추진하면서 이해 당사자 간의 충돌이 심해지면서 화석연료 탄산가스 온난화설에 대한 논쟁의 토양을 만들어 진 것 같다.⁶⁾ 셋째, IPCC에 참여하는

과학자, 행정가들이 정부의 영향권 아래 있어 기후변화 예측의 과학적 진실에 대한 자유로운 비판과 검증이 힘들다는 측면도 있다.

그런데 우리나라에서는 그간 구미(歐美)에서 벌어진 기후변화에 대한 과학적·정책적 논쟁에 대하여 잘 알려져 있지 않았다. 심지어 기후변화 문제는 국제협약과 관련된 문제 정도로 이해된 것 같다. 여기서 기후변화와 관련하여 가장 최근에 제기된 과학적 쟁점사항을 논쟁을 소개하고자 한다.

기후변화의 요인에 대하여

지구의 기후변화를 야기하는 다양한 자연적인 요인이 있다. 그 중 기후변화의 장기기적 요인으로 IPCC 보고서(2007)도 제시하는 바와 같이 Milankovitch cycle(밀랑코비치 기후변화주기설)이 힘을 얻고 있다. 세르비아의 토목공학자이자 수학자인 Multin Milankovitch는 지구 기후변화의

5) IPCC의 기후변화 모델(GCM)의 신뢰도와 불확실성은 계속 보완되어야 할 것으로 보인다. 가장 최근에도 MIT의 기후학자 Lindzen과 Choi(2009)는 탄산가스에 의한 기후민감도는 IPCC의 추산보다 6배 이상 낮다는 주장이 나오고 있다. IPCC TAR의 검토자이며 탄산가스 온난화 회의론자인 Lindzen의 주장이 힘을 얻는다면 화석연료 탄산가스를 온난화 원인으로 지목한 IPCC의 모델은 더욱 엄밀한 과학적 검증대상이 될 것이다.

6) 한국도 화석연료-탄산가스 다량 배출국이지만 그간 개발도상국의 대우를 받도록 하였는데, 이 과정은 과학적 배경 보다는 정치적 타협의 결과이다. 한편, 선진국 사이에서도 기후변화협약이 과학적 진실에 근거하기보다는 정치경제적 이해관계에 의하여 조정되는 것은 이러한 이유 때문으로 본다.

원인은 지구의 주기적 세차운동과 지구가 불완전한 다원형 궤도로 태양을 공전하는데 기인한다고 주장하였다.⁷⁾ 하지만 밀랑코비치 기후주기설은 지구의 장주기적 기후변화패턴과는 비교적 잘 일치하나 10만년 미만의 소주기 기후변화는 지구 세차운동 등의 영향이 적어서 의문시 된다. 그의 자연적 요인으로는 우주선(Cosmic ray)⁸⁾과 태양활동 변화, 심지어 해류 변화와 같은 다양한 자연적인 원인들도 기후변화에 큰 영향을 주고 있으나 전 지구적 기후변화원인을 완전히 설명하지는 못하고 있다.

인위적인 기후변화 요인으로 온실가스가 가장 흔히 언급된다. 대기 중의 온실가스로는 수분(water vapor), CO₂, CH₄, N₂O, 오존(O₃) 등이 중요하다. 이 가스들의 온실효과를 가름하는 지구온난화지수(Global warming potential)는 CO₂를 1로 할 때 100년을 주기로 보면 CH₄가 약 25배, N₂O는 298배 정도 된다(IPCC, 2001). 한편, 대기 중의 수분은 온실효과가 가장 큰 것으로 알려져 있지만 현재 기온 상승과의 연관성은 잘 정리되어 있지 않으며 지속적으로 연구되어야 할 것이다.⁹⁾

현재 IPCC를 필두로 한 주류 기상학자들은 산업혁명 이후 인간이 사용한 화석연료로부터 방출·축적된 탄산가스가 온실효과를 야기하여 최근의 온난화현상이 생긴 것으로 보고 있다. 이 이론은 탄소순환계(Carbon cycle)에 대한 정확한 이해를 필요로 한다. 우리가 Carbon cycle을 검증하려면 생물, 생태, 삼림, 지표수와 해양 등 탄소가 방출·흡수·순환되는 자연적 요소와 에너지와 산업활동 등 인위적 요소에 대한 정확한 정보가 필요하다. 그런데 대부분의 자연적 요소에 대한 확실한 정보가 부족하므로 추정된 물질수지를 이용한 거시적 순환모델(Global Circulation Model)로 모사하므로 불확실성 문제가 항상 내재되어 정책적으로 활용하는데 걸림돌이 된다.¹⁰⁾

- 7) 밀랑코비치이론은 “빙하기 궤도 이론”으로 알려져 있다. 지구 자전축의 황도경사각(기울기)은 약 22°와 24.5° 사이에서 변하고, 두 경사각은 약 41,000년을 준주기로 변한다. 또 지구 공전 궤도의 이심률은 400,000년과 약 100,000년의 좀 더 긴 준주기를 갖으며 이러한 천체운동 결과 태양에너지의 변위로 빙하기가 주기적으로 도래한다고 설명함. Hays (1976) 등이 Science지에 이 이론을 검증한 논문을 발표하여 신뢰성을 갖게 된다.
- 8) 덴마크의 물리학자 Svenmark 등(2009)은 지구에 도달하는 우주입자의 영향에 의하여 구름형성 등이 영향을 받으며 구름은 냉각효과를 준다고 주장하였다. 이와 관련하여 Climate Research in Denmark (2009)의 웹사이트를 볼 것
- 9) 일반적으로 대기의 온실효과를 말할 때 수분의 기여도는 36~72%인 반면 CO₂는 9~26%라는 주장(Kiehl et al, 1997)도 있다. 일부 기후변화 회의론자들은 자연적 원인의 결과 지구가 더워져서 대기 중 습기가 증가하여 온난화가 가속화된 것으로 주장하나 이와 관련된 찬반 양측 모두로부터 검증된 연구결과는 많지 않다.
- 10) 예를 들어, 미국은 전세계 에너지의 25% 이상을 사용하므로 CO₂ 규제를 핵심으로 하는 교토협약의 주요당사자가 되어야 하지만 CO₂ 원인설에 대한 정보부족과 기후변화의 불확실성, 그리고 자국산업에 대한 이해관계 등으로 인하여 초기 비준에 참여하지 않았다. 심지어 오바마 정부 출범 후 기후변화법은 미하원에서 219:212로 간신히 통과(2009.6.29)되었으나 상원에서는 지연되고 있는데 경제적 문제가 가장 큰 것 같다.

CO₂ 분석기록과 온난화의 관계

지구적 규모의 탄산가스 온난화이론의 핵심적인 질문은 “탄산가스 농도 증가로 인한 온실효과로 기온이 상승되는가, 아니면 기온이 상승하니 탄산가스 농도가 증가하는가?”이다. 기후변화 논란 초기에 남극 보스토크 빙핵(氷核) 분석자료는 CO₂와 기온의 상관관계를 보여주어 일반인과 비전문가들에게 탄산가스가 온난화의 원인이라는 강한 선입견을 심어 놓았다¹¹⁾. 앞의 그림 2를 보면 탄산가스농도증가가 기온상승을 유발한 것 같이 보인다. 하지만 최근 Luthi 등 (2008)이 Nature지에 발표한 논문에서 탄산가스의 가장 큰 저장고(sink)인 해양의 역할에 대한 연구 필요성을 제기하고 있다(그림 3). 즉, 지난 80 만 년간 기온 냉각기의 탄산가스 농도는 180 ppmv 까지 내려가고 또 기온이 상승할 때는 올라가는데, 당시에는 인위적인 방해가 없으므로 평균기온의 anomaly(변위)와 CO₂의 관계를 보면 저장고인 바다에 용해되거나 배출되는 탄산가스 양이 큰 영향을 주는 것으로 시사하고 있다.

이러한 측면에서 지질학적 평균기온과 CO₂ 농도 분석자료는 상관관계가 약하다는 의문도 제기되어 있다. 즉, Callion 등(2003)은 Science에 발표한 논문을 통해 Bostock 자료에서 기온 상승 후 800년 정도의 lag time이 지난다음 CO₂ 농도가 상승하였다고 주장하고 있다(그림 4). 이들의 주장이 사실이라면 최소한 지난 80만년간 기온상승이 CO₂의 온실효과에 의한다는 주장에 의문이 생긴다. 이 빙핵자료를 기온과 CO₂의 상관관계를 예시하는 사례로만 언급되거나, 심지어 Bostok 자료는 수십만 년된 기포의 측정자료이므로 정확성을 담보하기 힘들며 이런 자료가 기후변화와 CO₂의 관계를 나타낼 수 없다고 주장되기도 한다¹²⁾. 따라서 2007년의 IPCC 보고서는 최근의 지구온난화는 산업혁명 이후 화석연료에 의한 탄산가스 축적이 중요한 원인임을 규명하는 쪽으로 노력하는 한편, 기후예측의 불확실성 문제도 많이 배려하고 있다.

Carbon Cycle과 대기중 CO₂의 수명주기

전지구적 기후예측모델은 기본적으로 많은 계수를 통계적으로 추론하여 사용하는 한계가 있다. 만약 인위적으로 축적된 CO₂가 최근 온난화의 요인이라면 전지구적 탄소순환계(Global Carbon Cycle)를 따지는 탄소수지(Carbon budget, 혹은 carbon balance)가 매우 중요해진다. 탄소수지를 이해하는데 핵심적인 사항은 탄산가스의 대기 중 수명주기(lifetime 또는 retention time)이다. 즉, 화석연료로부터 방출된 탄산가스가 어느 기간 대기 중에 존재하며 그 탄산가스는 어디로 전환되는가 하는 것이다.

대기 내 가스의 수명주기는 방출된 가스가 섭동(perturbation)에 의해 초기량의 37%까지 감소되는 데 걸리는 시간

- 11) Al Gore 전 미국 부통령은 대중 정치집회에서 CO₂의 기온상승을 예시하는 자료로서 이런 자료를 이용하였다.
- 12) 비록 Science와 같은 권위있는 학술지에 발표된 논문이지만 이러한 지질학적 자료 분석의 정확성에 대하여서는 기후변화론자와 회의론자 중 일부도 의문을 제기 하였다.

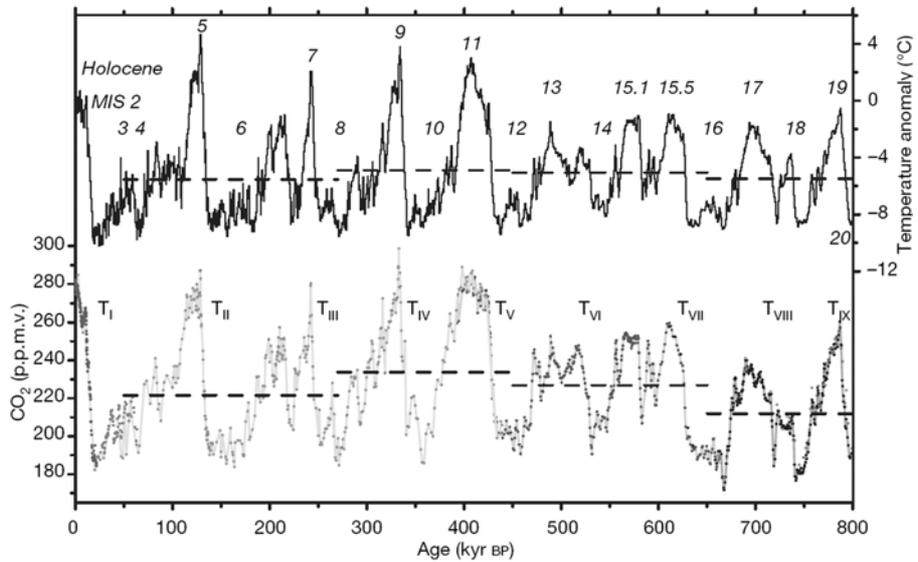


그림 3. Compilation of CO₂ records and European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) Dome C temperature anomaly over the past 800 kyr. TI = Taylor dome data, TIII~TV = Bostok data, TVI~TVII~TIX = Luthi et al's measurement (2008). Luthi 등(2008)이 Nature지에 발표한 기온과 CO₂와의 관계인데 탄산가스 농도는 가장 큰 탄소저장고인 해양이 큰 영향을 준 것으로 생각하고 있다.

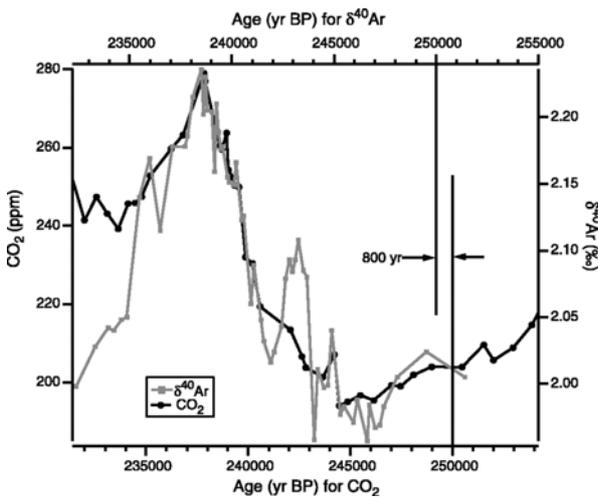


그림 4. 보스토크 빙핵 기후자료. 그림은 Caillon et al (2003)이 Science에 발표한 것으로 기온 상승과 CO₂ 농도 증가사이에 약 800년의 시간차가 나는 것으로 보고하고 있다. (여기서 BP = Before Present) 만약 기온 상승 후 CO₂ 농도가 증가했다면 최소한 예전 기후변화의 원인은 탄산가스에 의한 온난화는 아니라고 볼 수도 있다.

으로 정의된다(메탄의 수명은 12년, N₂O는 110년, HCFC-22는 약 12년 정도; IPCC, 2007). 그런데 배출된 CO₂는 대기-해양 간 가스 전달, 화학적 과정(예: 기상현상), 생물학적 과정(예: 광합성)등의 기작을 통해 대기, 해양, 육지 사이에서 교환되므로 정밀한 측정이나 추산이 어렵다.

IPCC의 3차보고서(2001)에서는 대기 중에 방출된 CO₂의 수명주기를 50년~200년 정도라고 하였지만, 최근 IPCC 보고서(2007)는 CO₂의 수명주기를 산정할 수 없다고 정정하여 기후예측모델의 신뢰성에 의문을 남기고 있다. IPCC 모

델에 의하면 방출된 CO₂의 절반 이상이 1세기 내에 대기에서 제거되지만 일부(약 20%)는 대기에 수천 년 동안 잔류하며 제거과정이 느리기 때문에 대기의 CO₂는 방출량을 현재 수준보다 상당히 감소시키더라도 장기간 계속 증가할 것으로 보고 있다. 심지어 Archer 등의 논문(Archer, 2005; Archer and Brovkin, 2008)에서는 “화석연료로부터 방출된 CO₂는 대기 중에 영원히 존재한다.”라고까지 주장하고 있으며 이 개념이 IPCC 기후예측모델의 핵심적 요소가 되고 있다.

하지만 이에 대한 반론도 만만치 않은데 Essenhigh의 최근 연구(2009)에 의하면 인위적으로 방출된 CO₂의 체류시간은 5년 정도로 산정하고 있어 양측의 추정값은 물론 개념적으로도 엄청난 차이를 보여 주고 있다. Essenhigh를 비롯한 비판론자들은 자연적 요인(태양에너지 변동이나 cosmic ray 조사량의 변동 등 다양한 원인)에 의하여 일단 지구가 온난화 주기에 들어서면 해양의 탄산가스 흡수량이 줄어들어 대기 중의 CO₂가 증가할 뿐 아니라, 온도 상승에 따라 CO₂의 방출량도 증가된 결과라고 주장하고 있다. 따라서 현재의 CO₂ 증가는 화석연료에 의한 인위적인 증가로만 볼 수 없다고 본다. 만약 CO₂의 수명주기가 200년 혹은 그보다 더 길면 현재 CO₂ 농도 증가는 화석연료에 기인한다는 이론이 힘을 얻지만 짧다면 IPCC 모델은 상당한 수정이 불가피하다.

탄소수지는 기후변화협약과 관련하여 중요한 의미를 갖는다. 그 이유는 탄산가스를 많이 배출한 국가가 지구온난화에 대해 더 많은 책임을 져야 한다는 의미이며 이는 바로 경제적 부담이 되기 때문이다. 이와 관련하여 화석연료를 가장 많이 사용하는 미국은 탄산가스 규제와 관련된 협약에 대비하여 탄산가스배출에 대한 정교한 관측을 준비하고 있었다(SOCCR, 2007). 현재 탄산가스의 측정은 전세계

표 1. 기후변화에 있어 Climate alarmist와 CO₂ skeptics의 논점*

| | 온난화 경각론자 (Climate Alarmist) | 기후변화 회의론자 (Climate or CO ₂ Skeptics) |
|----------|---|--|
| 인적특성 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ IPCC, WMO, UNEP 등의 주류 과학자 및 정부관련 행정가 ◎ 규제적, 판료주의적 ◎ Greenpeace 등 유럽 급진 환경 단체의 영향을 크게 받음 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 주로 비주류 학계 및 사실단체 ◎ 친기업적, 자유시장경제적 입장 ◎ 다국적 석유 및 에너지기업과의 연관성이 의심됨 |
| 대표기관 | IPCC | Cato Institute - NIPCC - Heartland Institute ¹⁴⁾ |
| 기후변화 논점 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 근래 기후변화(온난화)는 산업혁명 이후 화석연료에서 발생된 온실가스인 CO₂와 같은 인위적 요인이 확실함 ◎ 배출된 CO₂의 대기 중 체류시간은 매우 길어서 축적됨 ◎ 산업혁명 이후 대기 중 CO₂ 상승은 인위적 요인 이외에는 설명할 수 없음 ◎ 기후변화 예측모델(GCM)의 불확실성이 있으므로 지속적인 연구가 필요함 ◎ CO₂농도 증가가 현실이므로 기온 상승을 막기 위하여 온실가스 감축 노력(교토 협약 등)을 강제해야 함 ◎ 궁극적으로 방출된 CO₂를 포집하여 다시 땅에 묻어야 함 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 기후변화의 원인이 화석연료로 인한 CO₂ 때문이라는 과학적 증거가 희박함 ◎ 온난화 영향이 가장 큰 대기 중 습기(vapor)나 온난화 결과 방출되는 메탄가스 등의 영향이 의도적으로 낮게 평가되었음 ◎ 최근 기온상승은 자연적 이유 때문이며 기온상승 결과로 CO₂ 농도가 증가함 ◎ 배출된 CO₂의 대기중 체류시간은 매우 짧음 ◎ GCM에 의한 기후변화 예측의 불확실성이 너무 크고 교토협약 등으로 온실가스감축을 하더라도 IPCC 모델에 의한 기온 감소효과는 극히 낮아 정책적 현실성 낮음 ◎ 탄산가스 포집은 경제성과 현실성이 결여된 과도한 규제 |
| 에너지정책 관점 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 대체에너지와 신재생에너지로의 신속한 정책 전환 ◎ 원자력에 대하여 부정적 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 대체에너지인 원자력의 위험성과 신재생에너지의 비경제성을 고려할 때 단기간 내 감축은 불합리함 |
| 경제정책 관점 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 탄산가스 저감을 위한 정부의 적극적 개입과 규제가 필요함 ◎ 친환경기술 규제에 의한 새로운 산업구조 창출 | <ul style="list-style-type: none"> ◎ 기후변화를 기화로 한 과도한 정부개입은 자유시장 경제를 해치고 경제성장을 낮추어 오히려 문제점을 심화시킴 ◎ 기후변화 적응을 위한 급격한 산업구조개편은 실업 문제를 야기하며 복지 분야에 대한 재정 축소 문제가 생김 |

*이 표에 제시된 비교는 포괄적으로 특징을 정리한 것이므로 양측의 특징을 정확히 반영하지 못할 수도 있음.

100여 군데에서 간헐적으로 이루어지고 있으나 부정확하므로 지구궤도상에서 Global carbon cycle을 측정하여 규명하려 하고 있다. 이 프로그램은 원래 미주 지역의 탄산가스 배출과 섭동과정을 측정하는 것이 목적이거나 그 과정에서 해양 등 지구상의 탄소 sink의 전환과정을 이해하게 될 것이므로 화석연료에 의한 지구온난화설을 검증하는 부차적인 목적도 달성할 것으로 예상되고 있다.¹³⁾

온난화 원인의 입장차이와 미래방향

지난 세기부터 관측된 기후변화는 하나의 팩트(fact)이다. 하지만 온난화원인에 대한 입장차로 인하여 IPCC로 대변되는 소위 온난화 경각론자(Alarmist)와 재야 단체를 위주로 한 기후변화회의론자(Skeptics)들의 입장과 논점은 극단적으로 갈리고 있다. 표 1에 기후변화 탄산가스 온난화 원인설을 두고 Alarmist와 Skeptics간의 입장과 논점을 필자

가 나름대로 정리하였다. 양측의 논점 차이는 정치적·경제적 이해관계도 큰 영향을 준 것으로 보인다. 예를 들어 기후변화 협약에는 탄산가스 저감기술을 소유한 국가와 없는 국가, 선진국과 후진국, 화석연료 다소비 국가와 아닌 국가, 에너지 소유국가와 수입국가 간의 첨예한 이해대립이 과학적 진실과 얽혀들어 정치적 이슈화 되고 있는 것 같다. IPCC는 이러한 대립과 갈등 원인의 상당부분을 제공하였다는 비판에서 자유롭지 못하다.

여기서 인간은 짧은 시간동안 지구환경을 급격히 변화시켜 왔다는 것을 잊지 말아야 한다. 지구 인구 밀도는 산업혁명 초기인 1800년에 6.57인/km²에서 2009년에는 45.6인/km²로 7배나 증가하였다. 지구 역사상 평균무게 60kg의 생명체가 67.8억 개체 이상¹⁵⁾이 존재한 경우가 없었다. 이 인구를 먹이기 위하여 막대한 녹지와 삼림이 단기간 농지로 바뀌었고, 에너지 사용량 역시 엄청나게 증가하였다. 지

13) 그러나 양측 모두에게 다행스럽게도 지난 2009년 2월, 2억7천만 불이 소요된 NASA의 Orbiting Carbon Observatory(OCO) 위성은 미국 캘리포니아 반덴버그 공군기지를 이륙하였지만 궤도진입에 실패하였다. 이 위성은 US Carbon Cycle Science Program의 일환으로 그간 기후변화의 원인과 관련된 근본문제인 Carbon sink를 측정하게 되어 있었다. 미국 의회는 향후 OCO위성을 다시 건조해야 할지 대안에 대하여 청문회를 개최하였는데 이 프로그램은 지연이 불가피할 것으로 보인다.

14) NIPCC(Nongovernmental International Panel on Climate Change)는 비주류 기상학자 및 NGO 등이 IPCC의 CO₂ 원인설에 대하여 비판적인 시각을 가지고 결성한 단체. 2008년 및 2009년 뉴욕시에서 Conference를 통하여 IPCC의 입장에 대하여 반론을 제기하였다. Heartland Institute는 보수적인 자유시장경제론자로서 에너지기업의 지원을 받는 것으로 의심되며 이들의 보고서(Bast and Bast, 2009)에 논점이 잘 나타나 있다.

15) 미국 인구통계국 2009년 9월 추산치

난 200년간 인구 증가에 의한 자연환경의 변화요인들이 기후변화 예측모델에 잘 반영되었는지는 의문이다.¹⁶⁾ 화석연료사용에 의한 탄산가스 온실효과가 기후변화의 주된 원인 인지는 앞으로 과학지식이 쌓여가면서 확인되겠지만 우리가 가진 인간성(Humanity)에 대한 사고(思考)의 근본적인 변화가 필요한 시점이다.

4. 기후변화의 정치·경제적 영향

정치적 영향

기후변화 이슈는 인류에게 환경과 자원에 대한 새로운 사고의 전기를 마련하였다는 데 큰 의미가 있다. 그 결과 야기된 정책변화는 우리의 정치·경제·사회 심지어 문화 분야의 전반에 새로운 패러다임을 만들고 있다. 비록 IPCC가 화석연료에 의한 CO₂배출을 기후변화 원인으로 지목한 과학적 근거의 불확실성을 완전히 해소하지는 못했지만, 기후환경문제의 중요성을 일깨워 준 것은 중요한 업적이라 하겠다. 또한 Al Gore의 기후변화 대응활동이 정치적 목적과 일부 부정확한 정보¹⁷⁾를 활용한 것이라 하더라도 일반 대중을 계몽한 업적은 칭찬 받을 만하다.¹⁸⁾

역사적으로 과학적 발견이나 발명이 정치적·경제적 목적으로 활용된 경우는 많으나 과학이 능동적으로 정치와 경제의 쟁점을 만든 경우는 거의 없었다. 따라서 이 분야 전문가들의 양심과 투명성, 그리고 균형감각이 어느 때 보다 중요하다. 지혜(wisdom)없는 지식(knowledge)은 재앙(catastrophe)이다. 기후변화 alarmist와 skeptics 사이에 극단적으로 의견이 갈리면서 과학의 정치화라는 우려할 사태의 전조가 보인다. 지구자원을 남용한 인간이 그 책임을 져야 하는 것은 당연하다. 하지만 대표적인 skeptics인 체코 대통령 Klaus는 기후변화 패러다임이 친환경의 명분아래 경제활동의 자유는 물론 인간이 가져야 할 생각의 자유와 행동양상까지도 변경시키고 규제할 수 있다는 경고¹⁹⁾를 하고 있는데, 기후변화를 연구하는 주류 학자들과 Alarmist들도 경청할 필요가 있다. 모니터링 시스템의 매트릭스(matrix)로 엮여진 과학의 창살이 우리가 바라는 녹색신세계는 아니기 때문이다.

기후변화의 경제적 의미

기후변화 패러다임이 경제환경의 변화를 유도한 것에 주목해야 한다. 정책변화에 민감한 민간기업들은 기후변화를 계기로 신속하게 친환경적인 경영 개념을 도입하고 있다. 기업들은 이미 기후변화를 기회로 새로운 시장 창출에 나서고 있고, 시장에서는 친환경기술에 의한 선택과 도태가 이루어지고 있다.²⁰⁾

기후변화로 인한 경제 환경 변화는, 매우 역설적이게도 자본과 기술이 부족한 중소기업²¹⁾과 저소득층, 그리고 저개발 국가들을 가장 취약하게 만들고 있다. 이들을 위하여 국가별로 새로운 규제적 보호막이 만들어질 가능성이 있다. IPCC도 이러한 측면에서 후진국에 대한 선진국들의 원조를 요구하고 있지만 선진국들이 당면한 산업구조 개편과 복지제정 수요를 감안하면 공허한 구호가 될 공산이 크다. 이미 선진국에서조차 취약한 자국 산업 보호를 위한 녹색보호주의(Green Protectionism)의 조짐이 보이고 있다.

녹색보호주의는 기후변화 대응 및 환경정책을 표면적 이유로 내세우며 실질적으로는 외국기업의 자국시장 접근을 제한하고 자국기업의 환경 관련 분야의 경쟁력 확보를 도모하는 보호무역주의의 한 형태로 보고 있다(기획재정부, 2009). 경제의 세계화 추세에서 선진국과 후진국의 기술격차는 좁혀지고 있으며 노동비용을 감안할 때 선진국의 경쟁력은 하락하고 있으므로 친환경기술과 기준을 새로운 무역장벽으로 만들고 있다는 의미이다. 녹색보호주의의 배경은 환경회의론(Environmental Skepticism)²²⁾과 유사한데, 그간의 환경운동이 너무 과도하였다는 부정적인 생각과 함께 경제문제가 보다 우선시되기 때문이다.

에너지 정책에 대하여

기후변화에 대응하여 미국과 유럽국가들로 부터 탄소세 도입을 검토하거나 신재생에너지 사용을 늘리기 위한 다양한 (일부는 혼동되는) 정책시그널이 나오고 있다. 여기서 이들 정책들이 단지 기후변화→탄산가스→온난화→화석연료 감소와 같은 논리 때문에 만들어 진 것이 아니라는 점을 인식해야 한다. 이미 1973년 오일쇼크 이후 에너지 자원의 소유자와 사용자 간의 정치적·경제적 괴리에 대한 해결방안이 강구되고 있었고, 그 과정에서 기후변화가 계기가 되어 탈화석연료화 정책이 실행된다고 보는 것이 더 정확하다.

16) 1997년 IPCC 보고서의 탄소수지에서 상당한 부분의 탄소가 "Missing Sink"로 추산하고 있다. 현재 과학으로는 아직 탄소수지를 완전하게 정립하기 힘든 것 같다. 이후 모델들은 도시화와 deforestation 등이 감안되고 있으나 민감도와 온난화 영향에 대한 정확성은 잘 알려져 있지 않다.
17) Al Gore는 "불편한 진실(2006)"에서 보스토크 자료를 활용하여 기온상승은 CO₂ 때문이라는 강한 시사를 하였는데, 여기서 보듯이 그가 인용한 40만년 전의 기후자료는 완전히 검증된 것이라 보기 힘들다.
18) 이러한 업적을 감안하여 2007년 노벨평화상은 IPCC와 미국의 전 부통령 Al Gore가 공동 수상하였다.
19) 클라우스(Václav Klaus)는 경제학자이자 교수로서 체코공화국의 대통령으로 선출되었다. 보수적 자유시장경제론자로서 탄산가스 온난화에 대한 그의 생각은 Blue Planet in Green Shackles (2007)에 나타나 있다.

20) 기후변화협약 등에 따라 에너지 절약, 오염방지 등의 친환경기술이 적용되지 않는 상품의 수출이 힘들어 질 수 있다. 따라서 친환경기술이 미래 기업의 성장을 좌우할 것이다.
21) 일례로 대한상의는 기후변화와 관련하여 중소기업의 고체연료사용 규제를 오히려 완화할 것을 요구하고 있다(2009. 8. 28. 대한상의 경영연구원 홈페이지 참고). 기후변화 규제가 확산되면 기술력이 부족한 후진국의 중소기업들은 한계상황에 몰릴 것으로 보인다.
22) 환경회의론은 녹색정치(green politics)와 같은 과도하고 교조(敎條)적인 환경운동의 결과라고 보는 시각도 있다. 예를 들어 우리나라의 천성산 도룡뇽 소송사건으로 대표되는 극단적인 환경운동은 2조원의 기회비용과 함께 환경운동에 대한 냉소주의를 야기한 대표적인 사례이다.

비록 환경과 정치적인 부담은 막대하나 화석연료보다 경제적인 에너지원은 아직 없다. 당분간은 차선책인 원자력의 이용이 늘어나다가 핵융합발전과 같은 궁극적인 에너지원으로 옮겨갈 것이다. 현실적으로 풍력, biogas, 태양광, 수력과 같은 신재생에너지는 아직 효율성과 공급 안정성과 규모, 특히 경제성 측면에서 당분간 인류의 에너지 대안이 되기 힘들다. 따라서 중단기적으로는 에너지를 적게 쓰는 효율화기술이 아마도 유일한 경제적인 대안이 될 것이다.

구미 국가들이 탄소세나 탄산가스배출권거래, 탄산가스포집과 같은 정책들을 추진할 때 경제적 타당성보다는 기후변화 방지를 위한 보험(insurance)²³⁾이라는 측면을 많이 보는데 정책적 측면에서 합리성을 잘 살펴야 할 것이다. 탄소세는 에너지 효율화를 강조하게 되므로 친환경적 측면이 있고 배출권거래제는 기술확산과 새로운 산업창출 측면도 있지만, 물리화학적 탄산가스포집기술의 적용은 효과 측면에서 과도한 것으로 보인다. 탄산가스 강제적 포집은 온실가스 저감 및 기온저감 효과는 논외로 하더라도 각국 정부들이 복지나 취약계층에 사용해야 할 재정까지 소모하는 너무나 “사치스러운 기후변화보험(Lavish Climate Insurance)”이라고 사료된다. 또 물리화학적 기법에 의한 탄산가스의 강제 포집과 같은 극단적이고 교조적인 정책보다는 유연한 정책사가 필요한 시점이다. 강제적인 탄산가스 포집보다는 인간이 훼손한 녹지를 다시 복원하여 녹색식물로 하여금 탄소를 포집케 하는 것이 오히려 현실적이고 친환경적인 대안이다. 녹지복원 정책은 중저임의 노동력을 많이 사용하게 되므로 산업구조개편으로 발생하는 막대한 유희인력을 활용하는 완충적인 녹색직장을 주는 기능도 있다.

저탄소 녹색성장에 대하여

현재 한국 정부는 저탄소-녹색성장을 새로운 경제정책으로 삼고 있다. 이 개념은 국민과 전문가들을 혼동시키는 여러 개념을 담고 있어 보다 명확한 정리가 필요하다. 저탄소 정책은 탄산가스 저감 정책으로 읽히기도 하지만 사실은 기존 에너지 효율화 정책의 유사어로 보아 무방하다. 2008년 우리나라는 4,535억불을 수출하면서 1,425억불의 에너지를 수입하였는데, 이러한 상황으로는 더 이상 경제성장이 어렵다는 인식이 힘을 얻고 있다. 따라서 에너지 자립과 효율화는 경제성장을 위한 절대적 명제이므로 저탄소 정책은 적절한 대안으로 보인다. 하지만 현실적으로 아직 화석연료를 대체할 만한 에너지원은 없다. 그리고 효율화는 느리며 막대한 기술투자와 국민의 고통분담이 필요하다. 따라서 정책효율성 측면에서 선택과 집중이 문제가 제기된다. 태양광 같은 분야는 미래를 위한 투자로 의미가 있지만 풍력이나 기타 신재생에너지는 보조적인 수단일 뿐이다. 저탄소 정책에서 물리화학적 탄소포집기술 같은 것은 기후협약에 대비한 홍보적 효과는 있으나 온난화를 막는데 크게 도

움이 되지 않는다. 단기적으로 원자력의 환경적 악영향을 저감하는 기술과 장기적으로 핵융합기술에 매진하는 것이 오히려 합리적일 것이다.

한국정부의 녹색성장은 경제성장을 하되 경제성장의 패턴을 환경친화적으로 전환 시키자는 개념으로 환경과 경제개발의 선순환적 경제성장으로 정의²⁴⁾하고 있으나 추상적인 것으로 보인다. 우선 녹색성장을 경제 지표로 정량화할 필요가 있다. 또 경제와 환경이 시너지 효과를 내는 것을 녹색성장이라고 하지만 환경에서 경제성을 따지기는 힘들다. 환경이라는 무형의 요소, 예를 들어 녹지나 생태, 물환경(water environment), 온난화와 같은 이슈는 기본적으로 경제활동과는 상충된다. 배출권 거래제도 같은 것은 탄산가스에 대한 지엽적인 정량화지표로서 의미가 있지만 녹색성장의 추상성을 경제지표화해야 하는 방안은 장래 숙제로 남을 것이다.

5. 기후 변화와 물

한국의 기후 및 강우특성 변화

기후의 여러 인자 중 기온(temperature)과 강우(rainfall)는 동등한 수준으로 중요하다. 하지만 지금까지 IPCC는 관련 보고서들을 내면서 기온변화의 원인에 대하여 논쟁하다보니 정작 강우와 같은 실질적인 문제를 다루는 비중이 낮았다는 비판이 있다. 일례로 IPCC(2007)의 여러 모의모델(GCM)들에 대하여 Koutsoyinnis 등(2008)은 기온과 강수량 등 실측자료를 이용하여 수문학적 검증은 한 결과 IPCC 모델은 대단위 지역에서 강수량의 증감 수준 정도를 나타내는 포괄적인 것일 뿐 실질적인 도움은 되지 않는다고 지적하고 있다. 따라서 기후변화와 물의 측면에서는 개별 국가단위로 수자원 측면의 강수예측 모델을 구성하고 검증해야 한다.

그림 5는 우리나라의 기온 변화추이를 보여주고 있는데 세계평균기온 상승폭 보다 더 큰 것으로 나타나고 있다. 물론 측정오차²⁵⁾도 신뢰성 측면에서 거론되기도 하나 기온 상승추세가 뚜렷한 것은 틀림없는 사실이며, 한반도 전반에서 기후변화로 인한 식생과 물환경의 체감적 변화는 확실한 것 같다. 그런데 우리나라의 강수특성변화를 구체적으로 살펴보면 문제가 더 심각해짐을 알 수 있다.

우리의 강수특성은 그림 6에 보듯이 변화하고 있다. 즉 우리나라의 강수량은 1920년 이래 증가하는 추세다. 또 년평균 강우일수는 조금씩 줄어들면서 비의 강도는 더 세지고 있다. 우리나라는 몬순기후의 특성을 가지고 있어 하절기 7, 8, 9월에 대부분의 강우가 집중되고 있는데, 강우가

24) 녹색성장위원회(2009) 홈페이지 참고할 것.

25) Station 측정오차는 기후변화 논쟁에서 흔히 제기되는 문제점이다. 전세계적으로 대부분 도시 근교에 위치한 측정시설은 확장되는 도시화로 인한 열섬효과 등의 영향을 받고 있다. 물론 이러한 오차를 보정하는 기법도 적용되나 완전한 것은 아니다. 이러한 한계로 인하여 온난화 자체도 이러한 측정오차를 감안하지 않아서 생겼다는 주장도 있는 실정이나 학술적으로 증명된 자료는 많지 않다.

23) Manne과 Richels(1992)은 탄산가스 저감정책은 일종의 보험으로 보아야 한다고 하지만 그 비용이 매년 1조달러에 달할 것이라고 주장하였다. 이에 따라 대부분의 기후변화론자들은 기후변화 정책을 보험적 성격으로 보기도 한다.

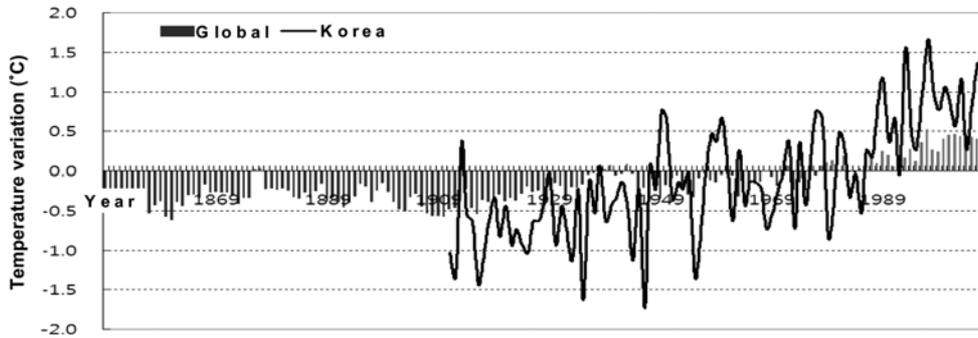
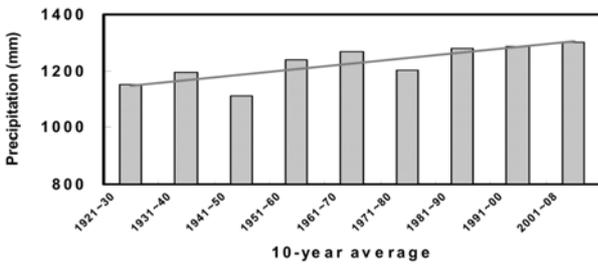
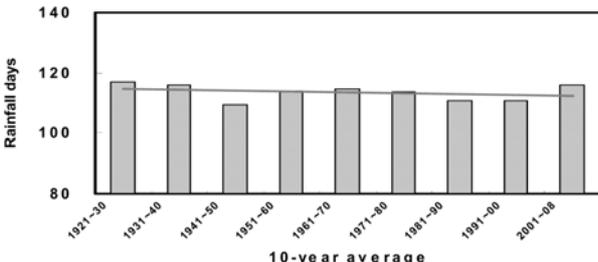


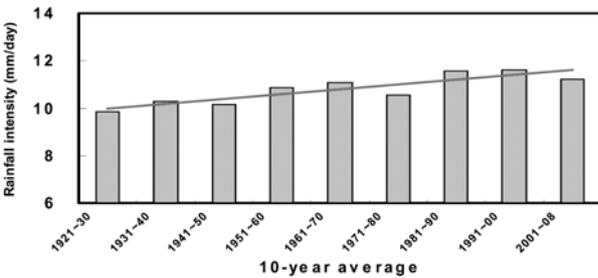
그림 5. 최근 100년간 세계 평균기온 변화와 한국의 기온변화. 세계 기온변화 보다 한국의 기온상승 경향이 더 심각하다.



(a) 10년 평균 강수량 (mm)



(b) 10년 평균 강우일수 (d)



(c) 10년 평균 강우 강도 (mm/d)

그림 6. 우리나라 강우 특성의 변화 추이. 연간 강수량은 증가 추세에 있으며 강우일수는 감소하고 있다. 그리고 강우강도는 강해지는 추세를 보여주고 있다(1921~2008 기상청 자료, Data rearranged by author).

단기간에 더 많이 집중된다는 의미이다. 바꾸어 말하면 우기에 강우가 집중된다면 건기는 더 길어지고 지역적 편차도 더 커질 수 있다는 의미이다. 이러한 추세는 통계뿐만 아니라 체감적으로 느껴지고 있는 실정으로 우리 전통 물환경은 이미 변모하고 있다고 봐야한다. 이에 따라 우리 물환경의 생태적 다양성을 보전하면서 새로운 환경에 적응하기 위한 다양한 전략적 모색이 필요한 시점이다.²⁶⁾

기후변화 측면에서 물과 에너지

기후변화와 물은 상호연관성이 매우 크다. 물을 공급하고 처리하는데 에너지가 필요하며 물은 또 에너지 생산의 필수적인 요소이다. 또 물이 사용되는 곳에서 에너지가 사용되며 에너지가 사용되는데 물도 사용된다. 도시생활에서 물과 에너지 사용은 밀접한 함수관계에 있다. 인구증가와 도시집중, 기후변화, 보건과 환경에 대한 관심증가는 물과 에너지에 대한 통합화된 새로운 정책을 필요로 한다. 물과 에너지를 유기적으로 결합한 통합정책은 기후변화에 대응하는 신성장동력으로서 새로운 친환경적 경제성장의 기회를 제공하며 진정한 의미에서 녹색성장이 가능할 것이다.

물과 에너지의 통합관리 산업적 측면에서 물과 에너지는 망(網)산업적 특성²⁷⁾을 공유한다. 적절한 가격과 정책, 그리고 규제정책수단은 이 분야의 기술혁신과 친환경적 관리를 위하여 필수적인 측면에서 물과 에너지는 매우 유사하다. 불행히도 우리나라에서 물은 통합관리되지 못하고 가장 비효율적인 분야로 남아 있으므로 에너지와 함께 통합관리하는 방향으로 발전되어야 할 것이다.

에너지 효율화와 에너지 회수 비록 물 분야의 에너지 사용량이 전체 에너지 사용량의 2~3%에 지나지 않지만 에너지 생산을 위한 기초요소라는 측면에서 효율적 관리가 필요하다. 하수도 분야는 에너지 회수가 가능하므로 산업적 측면에서 재조명되어야 한다. 수자원-상수-하수-재이용과 같은 물 순환체계는 장기적으로 자원적 측면에서 통합관리되면서 새로운 녹색성장분야가 될 것이다.

물인프라 재구축 댐, 상하수도시설, 하천을 관리하는 물인프라는 주기적으로 재구축해야 하는데 기후변화로 인한 강우특성의 변화는 재구축의 시점을 앞당기고 있다. 물인프라는 국민의 환경적 요구뿐만 아니라 기후변화 대응 측면과

26) 공동수(2009)는 기후변화 측면에서 우리 물환경과 수생태 보전을 위한 종합대책의 필요성을 제기하고 있다.

27) 물은 관망(pipeline network)을 통하여 공급·관리되며, 전기는 유선 전력망, 대부분의 액상 화석연료 역시 물리적인 배급 교통망을 통해 공급되므로 망산업(network industry)이라 한다(저자 주).

국가경쟁력 유지 측면, 그리고 막대한 재정이 소요되므로 전략적 재구축 방안이 모색되어야 한다. 우리의 4대강살리기 사업은 크게 보면 물인프라 재구축사업으로 볼 수 있다.

기후변화에 대비한 물관리 법제도의 정비 우리의 강수관련 각종 통계가 이미 기후변화의 영향을 보여주고 있음에도 불구하고 물관련 법제도는 아직 50년 전의 형태이다. 우선적으로 강우 특성변화를 고려한 관련 기준의 현실화가 필요하다. 한편, 이러한 기준을 관리하고 규제하는 우리 정부 부서부터 통합하여 일원화 할 필요가 있다. 기후변화를 감안할 때 물관리 일원화는 아무리 강조해도 부족하다. 우리 물관리는 환경부, 국토해양부, 농식품부, 행안부, 지자체 등으로 분산되어 물관리의 전문성과 효율성을 기대하기 힘들다. 지금 4대강 살리기 사업도 따지고 보면 후진적인 우리 물관리 시스템이 야기한 것으로 지적된다(윤주환, 2009).

사 사

이 연구는 필자의 개인적 시각이 반영된 것으로 한국물환경학회의 공식 입장은 아닙니다. 모든 질의는 저자(envzyun@korea.ac.kr)에게 해 주시기 바랍니다.

참고문헌

- 공동수(2008). 기후변화와 우리 수생태보전 전략. 한국물환경학회 추계 학술포럼, 서울, SETEC.
- 기획재정부(2009). 보도자료: Green Protectionism (녹색 보호주의) 동향 및 시사점, 2009, 7. 31.
- 윤주환(2009). 물환경 측면에서 본 강살리기. *자연과 문명(대한토목학회지)*, 57(8), pp. 22-27.
- Archer, D. and Brovkin, V. (2008). The millennial atmospheric lifetime of anthropogenic CO₂. *Climatic Change*, 90, pp. 283-297.
- Archer, D. (2005). Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time. *J. Geophysical Res.*, 110, C09S05, doi:10.1029/2004JC002625.
- Bast, J. and Bast, D. (eds.) (2009). Climate Change Reconsidered. Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change (NIPCC), Chicago, Ill.
- Caillon, N. et al. (2003). Timing of Atmospheric CO₂ and Antarctic Temperature Changes Across Termination III. *Science*, 299, pp. 1728-1731.
- Climate research in Denmark (2009). <http://www.denmark.dk/en/menu/About-Denmark/Science-Research/Research-Areas/Climate-Research/Cosmic-Rays-And-Climate/>.
- Essenhigh, R. (2009). Potential Dependence of Global Warming on the Residence Time (RT) in the Atmosphere of Anthropogenically Sourced Carbon Dioxide. *Energy & Fuels*, 23, pp. 2773-2784.
- Haug, G. et al. (2003). Climate and the Collapse of Maya Civilization. *Science*, 299, pp. 1731-1735.
- Hays et al. (1976). Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*, 194(4270), pp. 1121-1132.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1990). Policy-makers summary. In *Climate Change*, J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums (eds.), The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1995). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR4) of the IPCC, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007). 기술 요약보고서 (Technical Summary). 번역판, 환경부.
- Kiehl, J. T. and Trenberth, K. E. (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(2), pp. 197-208.
- Kikuchi, R, Gorbacheva, T., and Gerardo, R. (2009). Reconsideration of atmospheric CO₂ lifetime: potential mechanism for explaining CO₂ missing sink. *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-3381.
- Koutsoyinnis, D., Efstratidis, A., Mamassis, N., and Christofides, A. (2008). Rapid Communications: On the credibility of climate predictions. *Hydrological Sciences*, 53(4), pp. 671-684.
- Luthi, D. et al. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000 - 800,000 years before present. *Nature*, 453, pp. 379-382.
- Mannne, A. and Richels, R. (2009). *Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of Carbon Dioxide Emission Limits*. MIT Press: Cambridge, MA; cited in EPRI Journal, Dec 1992.
- Meehl, G. et al. (2004). Combinations of Natural and Anthropogenic Forcings in Twentieth - Century Climate. *J. Climate*, 17, pp. 3721.
- Svensmark, H., Bondo, T., and Svensmark, J. (2009). Cosmic ray decreases affect atmospheric aerosols and clouds. *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2009GL038429(in press).
- Tans, P. (1997). Editorial comment: The CO₂ lifetime concept should be banished. *Climate Change*, 37, pp. 487-490.
- The First State of the Carbon Cycle Report (SOCCR): The North American Carbon Budget and Implications for the Global Carbon Cycle, Synthesis and Assessment Product 2.2 (2007). Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research.