

지구온난화에 대한 국제 동향¹⁾

김 동 욱²⁾

강원대학교 지구환경공학부 환경공학과

서 론

45억 년 전 지구가 처음 생겼을 때 대기는 이산화탄소 99%와 아르곤 등 미량물질 1%로 구성되어 있었다. 지구상에 생명이 없는 죽음의 시간이 10억 년이 흐른 후에 최초로 바다에 생명이 출현하였다. 오존층이 없는 대기를 통해 태양으로부터 쏟아져 들어오는 자외선 등 생명체에 유해한 광선을 바닷물이 여과해주었기 때문에 육지보다 먼저 바다에서 생명이 탄생할 수 있었던 것이다.

최초 바다생물은 광합성 능력이 있었다. 바다생물의 광합성으로 대기 중의 이산화탄소가 줄어들고 대신 산소가 대기에 유입됨에 따라 육지에서도 생명체의 출현 가능성이 점점 높아지게 되었다. 산소가 자외선과 작용하여 오존을 생성하고 성층권의 오존이 태양 등 우주로부터 들어오는 유해광선을 여과함에 따라 바다생물이 지상에서도 생활할 수 있게 되었다. 지상의 생명체는 더욱 왕성한 광합성으로 더 많은 이산화탄소를 흡수하고 산소를 대기에 방출함에 따라 산업사회 이전의 대기는 질소 78%, 산소 21%, 이산화탄소 0.028%, 아르곤 등 기타 물질이 0.972%의 조성성분을 가지게 되었다.

대기 중 이산화탄소의 농도는 산업사회 이전의 280 ppm에서 2005년에는 380 ppm으로 100 ppm이나 증가하였다. 그것은 인간에 의한 화석연료 사용 등으로 인한 것이었다. 앞으로 이와 같은 추세가 그대로 계속된다면 2090년에는 대기 중 이산화탄소 농도가 750 ppm이 되고 기온은 6°C 이상 상승하여 지구생태계에 상상할 수 없는 나쁜 영향을 미치게 될 것이다.

이러한 범지구적인 재앙의 발생을 사전에 방지하기 위해 국제사회는 유엔을 중심으로 유엔기후변화기본협약이라는 틀 속에서 1992년 이래 대책을 마련하여 추진하고 있으나 산업사회의 원동력인 에너지와 관련된 이산화탄소 감축은 나라마다 사정이 달라 현재까지 뚜렷한 돌파구를 찾지 못하고 있다.

1990년에 전 세계 이산화탄소 배출량은 226억 톤이었으나 2004년에는 290억 톤으로 오히려 28%가 증가하였다. 그것은 중국, 인도 등과 같은 거대한 인구를 가진 국가의 이산화탄소 배출량이 급격히 증가했기 때문이다. OECD 국가들이 중심이 된 기후변화협약 부속서 I 국가들이 교토의정서를 기본으로 이산화탄소 배출량 줄이기에 나서고는 있으나 세계 전체적인 이산화탄소 배출량 감소는 여러 가지 난제를 안고 있다.

1)International Actions for the Protection of Global Warming

2)KIM, Dong-Wook, Department of Environmental Engineering, Kangwon National University

탄소순환과 기온상승

1. 지구의 탄소순환

해양퇴적층과 퇴적암에 포함된 탄소의 양은 100,000조 톤이 넘지만 대기 중의 탄소순환에 직접 또는 간접으로 관여하는 탄소는 대기, 육상 및 바다 생물체, 토양 및 유기물 등에 포함된 탄소 중 일부다. 자연상태에서의 탄소순환을 보면 육상생물체의 광합성 및 호흡작용으로 연간 600억 톤의 대기 중 탄소가 교환되고 바다와 대기 간 900억 톤의 탄소가 교환된다.

그러나 인간에 의한 토지이용 형태의 변경으로 연간 15억 톤의 탄소가 대기 중으로 방출되고 5억 톤의 탄소가 흡수되며 화석연료의 사용으로 연간 55억 톤의 탄소가 대기에 추가로 방출된다. 바다에 의해 연간 20억 톤의 탄소가 흡수되면 인간에 의해 추가로 대기에 방출되는 탄소의 양은 연간 45억 톤이 된다(그림 1).

2. 이산화탄소 농도와 기온상승

대기 중 이산화탄소의 농도는 산업사회 이전, 최소한 420,000년 간 그대로 유지되어

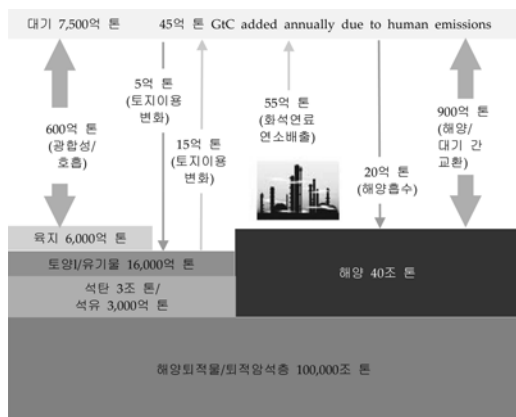


그림 1. 탄소순환(2005).

자료원: Center for Climate Research, Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin, Madison, 2006).

왔던 것이며, 확실하지는 않지만 그 전 2000만 년 간 변화하지 않았을 것이다. 그러나 산업화가 진행된 과거 250년 간 대기 중의 이산화탄소 농도는 280 ppm에서 380 ppm으로 100 ppm이나 증가하였다. 그것은 인간에 의한 화석연료 사용과 시멘트 생산, 산림벌채와 농경 등 토지이용의 변화로 인한 것이었다.

향후 탄소배출량이 1990년 탄소배출량의 50% 수준일 경우 100년 후인 2090년의 대기 중 이산화탄소 농도는 425 ppm이 되고, 1990년 수준일 경우 525 ppm, 그리고 현재의 증가추세가 그대로 지속된 경우 750 ppm이 될 것으로 추정된다(그림 2).

산업사회 이전을 기준으로 대기 중의 이산화탄소 농도가 400 ppm일 때 0.8-2.8°C, 450 ppm일 때 1.0-3.8°C, 550 ppm일 때 1.5-4.7°C, 650 ppm일 때 2-6°C, 750 ppm일 때 2.2-6°C 이상으로 기온이 상승할 것으로 추정된다(그림 3).

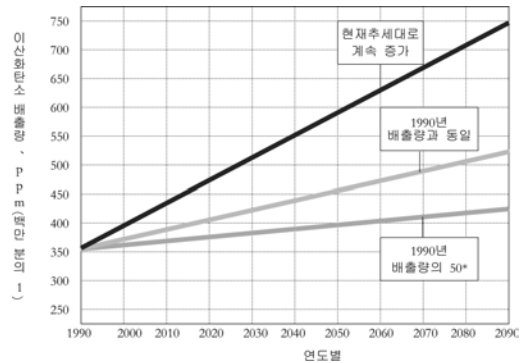


그림 2. 대기 중 탄소배출량 및 탄소농도(IPCC, 2002).

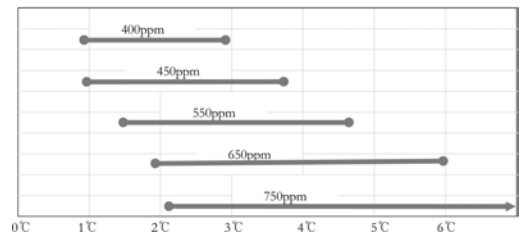


그림 3. 대기 중 이산화탄소 농도 및 온도변화(IPCC, 2002).

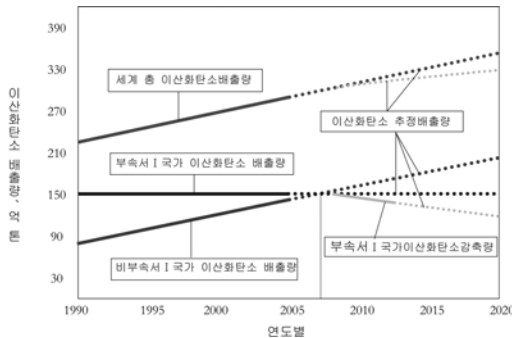


그림 4. 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가의 이산화탄소 배출량(IPCC, 2007).

세계의 이산화탄소 배출량

2005년 세계의 이산화탄소 배출량은 28,983 백만 톤으로 1990년의 22,643백만 톤에 비해 6,340백만 톤, 28% 증가하였다. 이러한 증가는 주로 중국, 인도 등 개발도상국의 이산화탄소 배출량이 급격히 증가한 때문이었다. 같은 기간에 유엔기후변화기본협약 부속서 I 국가의 이산화탄소 배출량은 15,042백만 톤에서 15,128백만 톤으로, 86백만 톤, 0.6% 증가하였으나 비 부속서 I 국가의 이산화탄소 배출량은 7,601백만 톤에서 13,855백만 톤으로, 6,254백만 톤, 82% 증가하였다(그림 4).

기온상승의 영향

이러한 기온변화는 인간건강, 농업과 식량 생산, 산림, 생태계와 생물다양성, 연안지역과 해수면 상승, 수자원, 에너지 생산과 사용, 공공용지와 위락, 극지방과 도서지역, 국내적 또는 국제적인 영향 등 그 영향의 범위가 넓고 깊으며 시간적으로 장기간 계속되어 지구생태계에 돌이킬 수 없는 파괴적인 영향을 미칠 가능성이 있다.

1. 현재 발생하고 있는 기후변화의 증후들

현재 세계 곳곳에서 발생하고 있는 한발

과 홍수, 열파와 강렬한 열대성 사이클론 등 극한 기후가 기후변화의 증거들이다. 기온상승으로 물의 증발량이 많아지고 대기의 포화용량이 커지면서 공기는 더 많은 수분을 함유하게 된다. 이것은 많은 강수량을 의미한다. 이와는 반대로 사막과 같은 건조지역에서는 기온이 상승하면 공기 중 수분이 더욱 빨리 사라지면서 가뭄과 사막화가 가속화된다.

지구촌 곳곳에서 가뭄과 홍수가 더욱 혹독해지고 발생빈도가 증가하고 있다. 북미대륙과 남미대륙의 동부지역, 북유럽과 북부 및 중부 아시아 지역의 강우빈도가 현저히 증가하였으며 1970년 이래 북대서양에서는 열대성 사이클론의 발생빈도가 증가하고 있다. 사하라사막 주변지역, 지중해지역, 남아프리카와 남아시아 일부지역에서는 이상 건조기후가 계속되고 있다. 반대로 홍수도 빈발하고 있다. 1996년과 1997년의 라인강의 범람, 1998년과 2002년의 동유럽의 홍수, 2000년의 모잠비크와 유럽의 홍수 등이다. 2004년 방글라데시의 홍수로 국토의 60%가 물에 잠기기도 했다.

1960년대 이후 북반부의 중위도 및 고위도에 있는 눈의 약 10%가 사라졌으며 빙하와 얼음산의 상당부분이 녹아 해수면 상승의 원인이 되었다. 1961-2003 기간 중 해수면은 연평균 1.8 mm 상승했으나 1993-2003 기간 중에는 3.1 mm 상승했다. 극지방이 아닌 지역의 높은 산에 쌓인 눈도 많이 녹았다. 스위스에 있는 고산지역의 눈은 거의 3분의 2가 녹았다.

과학자들은 지금까지 기후변화로 인해 발생하는 420여 가지의 물리적 요인과 생물종이나 생물군집의 변화를 관찰하였다. 알프스에서는 몇몇 식물종의 서식지가 10년 사이에 1-4 m 위쪽으로 이동했으며 정상에서만 발견되었던 몇몇 식물종은 사라지고 없었

다. 유럽에서는 1971-1995 사이에 65종 중 20종의 조류의 산란이 최소한 8일 정도 앞당겨진 것으로 조사되었다.

2. 기후변화의 미래영향 예측

기후변화로 인한 금세기의 해수면 상승의 영향은 심각한 수준에서 재앙 수준에까지 이를 것으로 예측된다. 향후 100년 간 최소 기온상승 예측치는 1900년부터 지금까지 온도 상승폭인 0.6°C의 2배는 될 것이다.

혹독한 기상이변이 더욱 자주 발생하고 있다. 산업사회 전에 비해 해수면은 이미 10-20 cm 상승하였다. 해수면 상승은 기후공정과 귀환특성과 관련된 시간규모 때문에 몇 세기 간 계속될 것이다. 그린란드 얼음판의 수축은 2100년 이후까지도 계속되어 해수면 상승의 원인이 될 것으로 예측된다. 이러한 수축이 수세기 간 계속된다면 그린란드의 얼음판은 실질적으로 거의 녹게 되며 이로 인해 해수면은 약 7 m 상승하게 된다.

인구가 밀집된 연안지역을 따라 강열한 태풍과 홍수의 발생빈도가 높아지고 열대태풍의 진로가 북상하면서 강수, 바람, 기온의 형태가 변할 것이다. 고위도 지역의 강수량이 증가하는 반면 대부분의 열대 및 아열대지역의 강수량이 감소하여 식량생산량이 감소할 것이다. 미국의 “곡물지역”(grain belt)과 같은 대륙의 중앙부와 아시아의 광활한 면적이 가뭄에 시달릴 것으로 예측된다.

기온상승으로 산림, 습지, 초지지역 등이 영향을 받으면 향후 수십 년 안에 포유류의 25%와 조류의 12%가 멸종되고 현재 연간 100만 명 이상이 사망하는 말라리아와 같은 전염성 질병의 발생 범위가 더욱 넓어질 것이다. 초지의 과도방목, 산림벌채, 벌거벗은 농경지 등은 기온상승에 더욱 취약하다. 과거의 기후변화는 수천 년 또는 수만 년의 기간을 두고 진행되었기 때문에 자연이 거기

에 적응할 수 있는 공간과 시간이 지금보다는 충분하였다.

세계 각국의 이산화탄소 배출량 감축노력

1. 세계 모든 국가의 참여 필요

세계는 이산화탄소의 배출량을 감축하기 위해 1992년 유엔기후변화기본협약이 체결된 이래 많은 노력을 해오고 있다. 이러한 노력이 국제적으로 구체화한 것이 1997년 제3차 기후변화협약당사국총회에서 채택된 교토의정서이다. 교토의정서의 1차 목표는 부속서 I 국가의 이산화탄소 감축량을 2008-2012 제1차 감축기간 중 1990년 배출량의 평균 5.2%, 총 782백만 톤을 감축하는 것이다.

그러나 이러한 목표치는 중국, 인도와 같은 개발도상국의 이산화탄소 배출량의 급격한 증가로 말미암아 그 효과가 크게 감소되고 말았다. 지난 15년 간 비 부속서 I 국가의 이산화탄소 연평균 배출량의 증가규모가 417백만 톤, 감축기간 중 2,085백만 톤 이상 증가할 가능성이 있음을 고려하면 부속서 I 국가의 이산화탄소 감축노력은 세계 전체의 이산화탄소 증가세를 멈추는 데는 큰 도움이 되지 못할 것으로 보인다.

이러한 문제를 해결하는 방법은 부속서 I 국가 등 선진국들이 이산화탄소 감축량을 1990년 배출량의 50% 이상 감축하고 중국, 인도 등 개발도상국들의 이산화탄소 배출량의 상한선을 설정한 다음 기술개발과 자본 투자를 통해 공약기간을 정해 가능한 수준으로 감축해 나가는 것이다.

그것은 비 부속서 I 국가의 현재와 같은 이산화탄소 배출량의 증가추세를 그대로 방치할 경우 지구온난화문제는 해결될 수 없기 때문이다. 이런 점에서 제2차 공약기간이 시작되는 2013년부터 이산화탄소 배출량을 누

가 언제까지 얼마나 줄이는가 하는 것이 가장 중요한 문제가 될 것이다.

2. 부속서 I 국가의 이산화탄소 감축노력

1) 캐나다

캐나다의 2005년 기준 이산화탄소 배출량은 기준년도인 1990년 배출량보다 27% 증가한 583,379천 톤으로 교토의정서 목표치와 33% 차이를 보이고 있다. 2020년까지 이산화탄소 배출량이 추가로 26% 증가할 것으로 예상된다. 2005년 기준으로 2020년까지 20%, 2050년까지 60~70%의 이산화탄소를 감축할 계획이다.

2) 일본

일본의 2005년 기준 이산화탄소 배출량은 기준년도인 1990년 배출량보다 13% 증가한 1,293,469천 톤으로 교토의정서 목표치와 19% 차이를 보이고 있다. 일본의 이산화탄소 배출량 삭감계획은 2050년 CO₂ 대폭 삭감을 위해 각 분야별 혁신적 기술개발의 강화, 개도국 등에서의 크레딧 취득, 에너지절약, 차세대자동차·연료 개발, 신에너지 도입 등을 주요 내용으로 한다. 그밖에 바이오 연료 기술의 개발, “Cool Earth 50”의 추진, ODA 사업을 통한 배출권 취득 등을 통해 이산화탄소를 감축할 계획이다.

3) 미국

미국의 2005년 기준 이산화탄소 배출량은 기준년도인 1990년 배출량보다 20.3% 증가한 6,089,490천 톤으로 교토의정서 목표치와 27.3% 차이를 보이고 있다. 2012년까지 2002년 대비 18% 감축하고, 재생연료기준(Renewable Fuel Standard)을 의무화하여 2008년 재생에너지 사용 목표를 90억 갤런으로 정하고, 2022년까지 바이오연료(에탄올)의 사용을 연간 360억 갤런으로 증가함으로

써 이산화탄소 배출량을 20% 감축한다. 거기에는 2020년까지 자동차 평균연비기준을 현행보다 40% 증가한 갤런 당 35마일(리터당 15km)로 개선하는 내용도 포함되어 있다.

4) 호주

호주의 2005년 기준 이산화탄소 배출량은 기준년도인 1990년 배출량보다 37.3% 증가한 384,161천 톤으로 교토의정서 목표치와 29.3% 차이를 보이고 있다. 호주는 교토의정서상의 2008-12년 기간 중 감축목표인 90년 배출가스수준의 108%를 달성한다는 목표를 정하고 있다. 2020년에는 90년 온실가스 배출수준의 120%로 증가할 것으로 전망하고 있다.

5) 영국

영국의 2005년 기준 이산화탄소 배출량은 기준년도인 1990년 배출량보다 -5.6% 증가한 557,546천 톤으로 교토의정서 목표치와 2.4% 차이를 보이고 있다. 영국은 post-Kyoto 체제(선진국의 책임 부담과 신흥경제권의 동참)에 대한 범세계적 합의, 범세계적인 저탄소경제 건설(시장실패 해소 및 개도국 지원을 위한 탄소시장 개혁 및 신기술 개발), 취약 국가 국민에 대한 보호(개도국에 대한 기후변화 영향평가 지원) 등을 제안하였다. “범세계적인 저탄소경제 건설”을 위한 신기술 개발과 관련하여 개도국에 부합하는 기술개발을 추진하기 위해 최근 미국, 영국, 일본 3개국 주도로 세계은행에 기술개발기금을 마련키로 하였다.

참고문헌

정문식, 김종오, 박경열, 서정민, 오의경, 정용택, 조영채, 최성부, 1996. “대기오염개론”, 신평문화사.

- Sarmiento, J. L., and N. Gruber, 2006. "Ocean biochemical dynamics", Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Center for Climatic Change, 1996. "The present carbon cycle", Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin at Madison.
- IPCC(2007), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom.
- IPCC, 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", The Intergovernmental Panel on Climate Change, Hayama, Kanagawa, Japan.
- IPCC, 2003. "Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change, and Forestry", National Greenhouse Gas Inventories Programme, H. S. Eggleston(eds.).
- UNFCCC, 2003. "National Communications: Greenhouse Gas Inventories from Parties included in Annex I to the Convention, UNFCCC Guidelines on Reporting and Review. Conference of Parties, Eighth Session, New Delhi(FCCC/CP/2002/8), March 28, 2003.