

기후변화와 이상기상 발생의 현황과 미래

문 승 의
기 상 청 장

Overview of Climate Change and Unusual Regional Climate and the Future

Sung-Eui Moon

Korea Meteorological Administration

Abstract

The Asian summer monsoon has a profound social and economic impact in East Asia and its surrounding countries. The monsoon is basically a response of the atmosphere to the differential heating between the land mass of the Asian continent and the adjacent oceans. The atmospheric response, however, is quite complicated due to the interactions between the atmospheric heat sources, land-sea contrast, and topography. The occurrence of extreme summertime floods in Korea, Japan, and China in 1998 and 1999 has highlighted the range of variability of the East Asian summertime monsoon circulation and spurred interest in investigating the cause of such extreme variability. While ENSO is often considered a prime mechanism responsible for the unusual hydrological disasters in East Asia, understanding of the connection between ENSO and the East Asian monsoon is hampered by their dynamic complexities.

Along with a recent phenomenon of weather abnormalities observed in many parts of the globe, Korea has seen its share of increased weather abnormalities such as the record-breaking heavy rainfalls due to a series of flash floods in the summers of 1998 and 1999, following devastating Yangtze river floods in China.

A clear regime shift is found in the tropospheric mean temperature in the northern hemisphere middle latitudes and the surface temperature over the Asian continent during the summer with a sudden warming since 1977. Either decadal climate variation or climate regime shift in the Asian continent is

evident and may have altered the characteristics of the East Asian summer monsoon. Considering the summertime rainfall amount in Korea is overall increased lately, the 1998/99 heavy rainfalls may not be isolated episodes related only to ENSO, but could be a part of long-term climate variation. The record-breaking heavy summer rainfalls in Korea may not be direct impact of ENSO. Instead, the effects of decadal climate variation and ENSO may be coupled to each other and also to the East Asian summer monsoon system, while their individual impacts are difficult to separate.

1. 서론

최근 세계는 도처에서 발생하는 기상이변과 그로 인한 각종 재앙으로 심한 몸살을 앓고 있다. 지구의 허파라고 불리는 아마존 유역과 인도네시아 열대 우림의 산불과 연무 현상, 동유럽의 홍수와 멕시코의 한파 등 자연재해가 지구촌 곳곳에서 기승을 부렸으며, 이상고온, 가뭄, 홍수 등 기상이변이 속출하여 세계 각국이 엄청난 인명피해와 경제적 손실을 입고 있다. 이러한 기상이변의 주요 원인으로 최근 급격히 증가하고 있는 화석 연료의 사용에 의한 지구환경 파괴와 지구 온난화가 주목을 받고 있다.

지구 온난화에 대한 주장은 계속 논란의 대상이 되고 있으나, 여러 가지 관측 자료들은 현재 지구상에서 지구 온난화가 실제 나타나고 있다는 다양한 증거를 제시하고 있다. NOAA(미국 해양기상국)의 극궤도위성이 관측한 지구 표면에 덮인 눈을 분석한 결과 최근 북아메리카와 아시아 대륙에서 눈에 덮인 면적이 최근 20년간 약 10% 정도 감소하고 있다는 것이 발견되었으며, 북극의 경우 해빙의 두께와 면적이 모두 감소하고 있음이 입증되었다. 20세기의 지구평균 기온은 1940년대와 1980년대에 급격한 기온 증가가 있었으며, 초기의 기온 증가는 중·고위도에서 주로 나타났으나, 최근의 기온 증가는 전 지구적으로 나타나고 있다[그림 1].

지구 온난화에 대한 연구 결과 중 각종 고기후 자료를 분석하여 얻은 기온 변화 정보는 지난 천년간의 기온 증가가 20세기 동안 지구평균 기온 증가의 50%에도 미치지 못함을 보여 주었다. 또한 GFDL(미국 지구 유체역학 연구소)의 해양-대기 접합모델을 이용한 지구기온 변화경향을 분석한 결과에서도 20세기의 기온 증가와 같은 큰 폭의 자연 변동은 찾을 수 없었다. 이와 같은 연구 결과들은 최근의 기온증가가 단순히 자연 변동의 일부로 생각하기 어렵다는 것을 제시해 주고 있다.

2. 지구 온난화의 요인

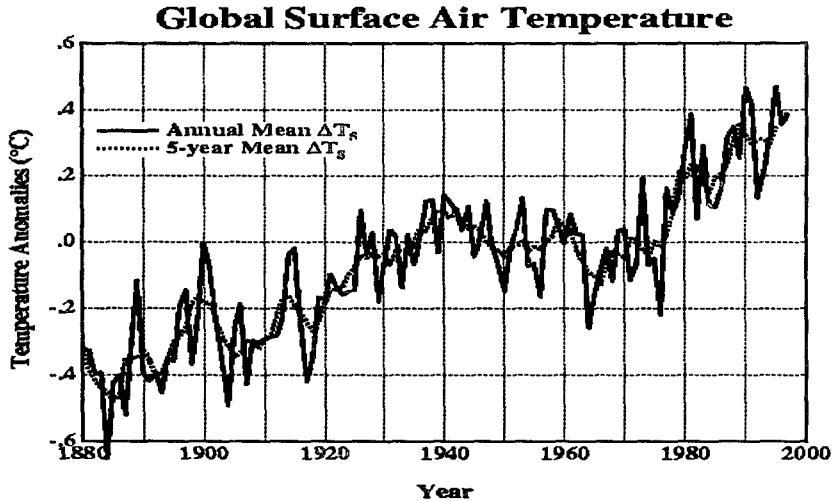


그림 1. 전 지구 지표기온 변화

지구 온난화는 석유류의 연소에서 발생하는 이산화탄소, 축산 폐수 등에서 발생하는 메탄과 과용되는 질소 비료의 여분이 분해되면서 발생하는 아산화질소 등 소위 온실 기체들이 대기로 들어가 잔류하면서 그들의 온실 효과로 대류권의 기온이 상승하는 현상이다. 온실효과란 이산화탄소 등의 온실기체가 지구로 들어오는

짧은 파장의 태양복사에너지는 통과시키는 반면 지구로부터 나가려는 긴 파장의 복사에너지를 흡수하여 지구 대기의 온도를 상승시키는 작용을 말한다. 이산화탄소가 대기 중에 잔류하는 기간은 100-250년, 메탄은 12년, 아산화질소는 120년 등이며, 이들의 기나긴 잔류기간 때문에 온실 기체의 방출이 지속되는 한 대기 중의 농도는 치솟을 수밖에 없다. 특히 한번 대기로 들어간 이산화탄소 분자는 우리가 살아있는 동안에 대기를 벗어나 바다로 들어가거나, 탄소 동화작용 중인 나뭇잎이나 풀잎 또는 식물성 플랑크톤의 먹이가 될 확률이 극히 낮다. 지구 온난화의 필연적 결과로 기온 상승 이외에 성층권 기온의 하강, 해수면온도의 전반적 상승, 극지 기온의 뚜렷한 상승과 빙하의 빠른 파괴, 해수면의 전반적 상승, 조수 구조의 변화, 사막의 확장 등이 예상되고 있으며, 이 가운데 몇 가지는 이미 관측되고 있다.

기온 상승의 가장 강력한 요인인 이산화탄소는 1958년 Mauna Loa에서 대기 중 농도가 315ppm이었으나, 1994년에는 약 40ppm이 증가하여 355 μ m이 되었으며, 그 증가 양상이 지수 함수적이라는 특성을 가지고 있다[그림 2]. 특히 20세기 기온

상승의 원인이 이산화탄소의 영향이라는 연구가 제시된 이래 대기 대순환 모델을 이용한 기후변화 연구가 1980년대 이후에 본격적으로 시작되었으며, 이러한 연구 결과들은 1990년 IPCC에 의해 이산화탄소가 현재의 추세(1%/1년)로 증가할 경우 지구평균 기온이 100년에 1.5~4.5℃ 정도로 증가한다는 시나리오로 요약되었다.

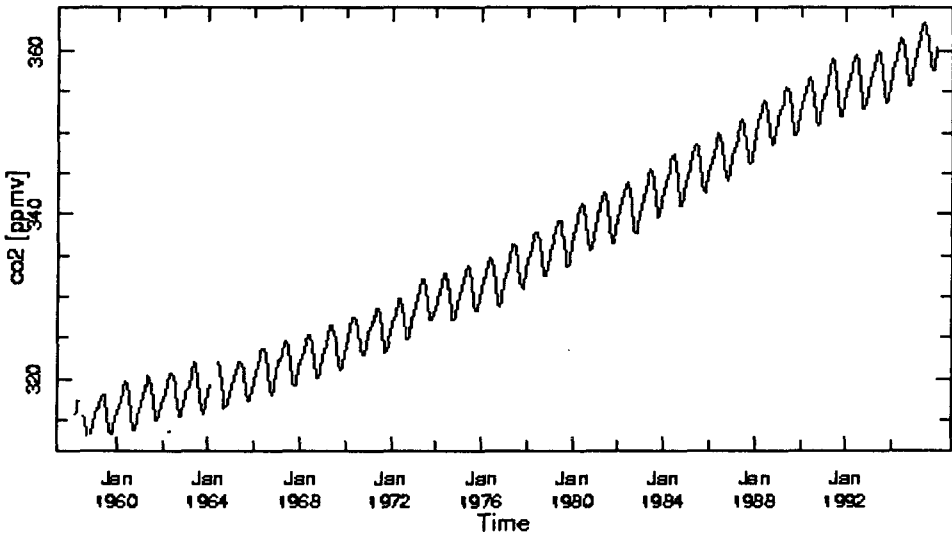


그림 2. CO₂ 변화

지구 온난화가 계속될 경우 21세기의 지구 기후는 현재와 비교해 볼 때 현저히 다른 형태로 나타날 것이며, 대기 중에 증가된 에너지를 재분배하는 과정에서 야기되는 기상이변은 예측하기 힘들다. 해양과 대기간의 상호작용에 의해 발생하는 엘니뇨현상도 대기 중의 에너지 균형을 유지하기 위한 자연현상의 한 형태로 해석되고 있지만, 최근의 엘니뇨 발생 추세로 볼 때 그 빈도와 강도에 있어서 심상치 않은 변화를 보이고 있다.

3. 엘니뇨와 라니냐

세계적으로 이상기후를 유발시키는 엘니뇨란 남미 해안으로부터 중태평양에 이르는 열대 동태평양의 넓은 해역에서 해수면온도가 지속적으로 높은 현상을 말한다. 엘니뇨(El Niño)의 어원은 스페인어로 '남자 아이(The Child)'를 뜻하며, 특히 이 현상이 페루 연안에서 크리스마스 때쯤 자주 나타나므로 '아기예수'를 의미하기도 한다. 엘니뇨는 원래 계절적으로 매년 12월경 페루 연안에 찾아오는 난류를

일컬었으며, 바나나와 코코넛의 수확기와 더불어 난류를 따라 많은 고기떼가 찾아와 풍요로움을 하늘에 감사하는 뜻으로 페루 어민들은 크리스마스와 연관시켜 엘니뇨라 불렀다. 한편 남미 페루 연안에서는 수년에 한번씩 높은 해수면온도가 1년 이상 지속되었으며, 플랑크톤의 감소에 의해 어획고가 급격히 감소하고, 남미 서해안 일대에 호우가 빈발하는 등 이상기상에 의한 피해까지 함께 나타났는데 이러한 이상 고수온 현상도 남미 연안의 국지적인 현상의 일종으로 생각되어 함께 엘니뇨라고 불렀다.

1950년대 이후 해양 및 대기의 관측망이 늘어나면서 이 지속적인 고수온 현상이 남미 연안의 국지적인 현상이 아니고, 열대 태평양의 날짜 변경선 부근까지 미치는 대규모 현상으로, 남미연안에 나타나는 현상은 그 일부에 지나지 않음이 밝혀지게 되었다. 엘니뇨현상은 어획량 감소와 홍수의 발생 등 페루의 사회·경제에 타격을 줄뿐만 아니라 전 지구에 걸쳐 대기순환 및 기후에 영향을 미쳐 열대지역 뿐만 아니라 중·고위도지역까지 포함하는 세계 각지의 날씨에 증대한 영향을 주고 있음을 알게 되었고, 엘니뇨는 이제 국지적인 페루 연안의 난류보다는 적도 동태평양에서 발생하는 대규모적 고수온 현상의 의미로 널리 사용되고 있다.

정상 상태에서의 열대태평양의 해수면온도와 수위는 동태평양보다 서태평양에서 높지만, 엘니뇨 발달에 따라 무역풍이 약해지면 열대 서태평양의 수온과 수위가 낮아진다. 만약 무역풍이 평년보다 강해지면 엘니뇨와 반대로 열대 서태평양의 해수면온도와 수위가 상승하고, 열대 동태평양에서는 강한 무역풍의 영향으로 찬 해수의 용승현상이 강해져 이상 저수온 현상이 나타난다. 이러한 열대 동태평양의 이상 저수온 현상에 대해서 미국의 해양학자 Philander가 엘니뇨와 반대되는 현상이라 하여 '라니냐(La Niña)'라 부를 것을 제안했다. 'La Niña'도 스페인어로 'La'는 여성명사에 붙이는 정관사이며, 'Niña'는 여자 아이를 의미한다.

4. 엘니뇨 추세

열대 동태평양의 엘니뇨 감시 구역에서 지난 30년간의 해수면온도 변화를 살펴보면 1982~1983년뿐만 아니라 1986~1987년, 1997년에도 비교적 강한 엘니뇨가 발생했으며, 1990년부터 1994년까지는 약한 엘니뇨 상태가 지속되었다. 대표적인 라니냐는 1988~1989년에 강하게 나타났다. 일반적으로 엘니뇨의 평균 발생 주기는 3.5년 정도로 알려져 있으나, 2년~6년 정도의 간격으로 주기성 없이 불규칙하게 나타나고 있다. 1982/83년 엘니뇨는 해수면온도가 평년보다 5.0℃나 높은 분포를 보이며 강하고 지속적으로 발달해 20세기 최대의 엘니뇨로 알려졌으나, 1997년 봄부터 발달하기 시작한 1997/98년 엘니뇨가 1997년 겨울철에 1982/83년 엘니뇨의 수준에 도달하면서 더욱 강력한 엘니뇨로 기록되었다.

이와 같이 1970년대 중반까지는 엘니뇨(+)와 라니냐(-)의 발생빈도가 비슷하였으나, 그 이후에는 라니냐의 발생이 줄고, 엘니뇨의 발생이

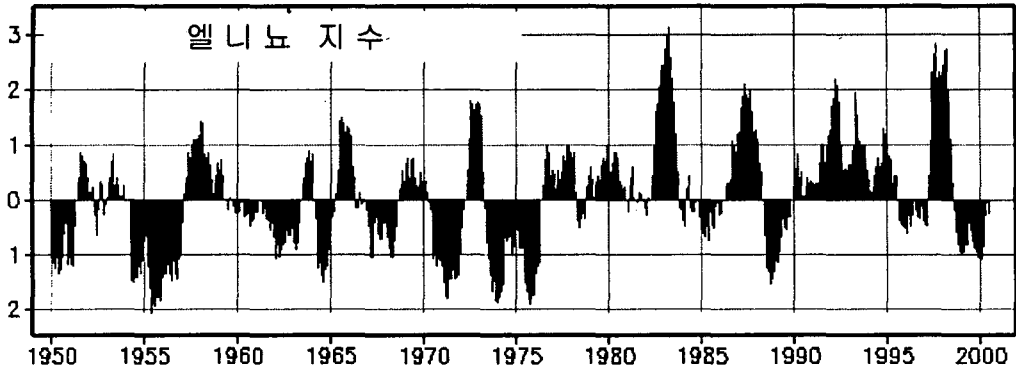


그림 3. 엘니뇨 지수 변화(1850 - 2000)

빈번해지는 추세를 보이고 있으며, 이러한 변화와 함께 그 세기도 강해져서 20세기 최대로 일컬어졌던 1982/83년 엘니뇨를 능가하는 엘니뇨가 1997/98년에 발생하여 각종 기상재해를 초래하였다[그림 3]. 최근 100년간의 기후 변화를 조사해 보면 그 변화 폭이 점점 커지는 경향이 나타나고 있으며, 가뭄이나 홍수 등의 극단적인 기후 형태가 빈번해지고 있다.

5. 지구 온난화와 엘니뇨

1979년 이후에 나타난 엘니뇨들은 그 이전에 나타났었던 엘니뇨들보다 더 강한 경향을 보이고 있어 이제 엘니뇨도 지구 온난화의 영향을 받아 변질되고 있는 것이 아닌가하는 의구심을 더욱 북돋우고 있다. 뿐만 아니라 지구 온도가 상승하게 되면 엘니뇨현상이 더 빈번해질 것이며, 이로 인해 지역에 따라 가뭄과 홍수가 극심해지고, 해수면이 상승할 것이라고 기상학자들은 경고하고 있다.

최근 세계는 도처에서 발생하는 기상이변과 그로 인한 각종 재앙으로 심한 몸살을 앓고 있다. 1997년에 발생한 20세기 최대 규모의 엘니뇨에 이어 1998년에 라니냐가 발생하면서 전세계는 지난 3년간 가뭄, 홍수, 폭염, 한파를 비롯한 각종 이상기후에 시달려왔으며, 그로 인해 막대한 인명과 재산의 피해가 발생하였다. 한편 1998년의 지구 온도는 기상통계가 시작된 이래 가장 높았으며, 이러한 고온현상이 발생한 것은 대기 중에 남아있는 엘니뇨의 영향과 온실효과 때문인 것으로 추정되고 있다.

홍수: 1997년 봄부터 엘니뇨가 발달한 이후 전세계적으로 41개국에서 홍수가 다발하였다. 1998년 여름 중국의 호우가 수개월 동안 지속되면서 양쯔강 중류구간의 수위가 최고 기록을 돌파하였고, 인구 밀집지역을 보호하기 위해 상류지역 제방의 일부를 인공적으로 폭파하는 등 일부 지류의 제방을 포기하는 사태가 벌어졌다. 이러한 중국 양쯔강 홍수로 3천명 이상의 사망 및 실종자가 발생하였고, 2억5천여 명의 이재민이 발생하였으며, 558만채의 가옥과 3,840만 헥타르의 농경지가 침수되는 등 큰 피해가 발생하였으며, 1999년 여름에 또다시 홍수가 발생해 700여명이 사망하였다. 1999년 12월에는 베네주엘라에서 홍수와 산사태가 발생해 수 만명이 사망하였으며, 피해액이 약 2조 달러에 달했다. 최근에는 인도, 방글라데시, 베트남, 캄보디아 등 동남 아시아 지역에서 계속되는 호우로 한달 이상 홍수가 지속되면서 2천명 가까운 사망자가 발생하였으며, 메콩강의 세계적인 곡창지대 피해도 계속 증가하고 있다.

엘니뇨의 피해는 우리 나라도 예외가 아니었다. 1998년 7월 31일 밤 지리산 지역에 갑자기 쏟아진 200mm 이상의 집중호우로 야영객 등 95명의 인명피해가 발생하였고, 887억원의 재산피해를 가져온 데 이어 8월 18일까지 이례적으로 강한 집중호우가 연이어 서울·경기도 북부지역과 충청북도 보은 등 중부와 남부지방을 오가며 발생하여 244명의 사망 및 실종자와 14만명의 이재민이 발생하는 등 큰 피해가 있었다. 이 집중호우 기간에 경기도 서해안 지역에서는 1000mm가 넘는 비가 내려 불과 19일 동안 1년에 내릴 비의 양과 거의 맞먹는 강수량이 기록되었다. 1998년 여름철에 겪었던 기록적인 호우에 의한 상처가 가시기도 전에 1999년 여름에 또다시 경기 북부지역에 7월 31일부터 8월 4일까지 5일 동안 강수량이 800mm를 넘는 호우가 집중되면서 홍수가 발생해 64명의 인명피해와 2만5천 여명의 이재민 등 큰 피해가 발생하였다.

가뭄: 엘니뇨 발달에 따라 지구촌 일부 지역에서는 비가 장기간 지속되며 홍수피해가 발생한 반면, 일부 지역에서는 비가 오지 않아 20여 개국에서 가뭄으로 식량부족 등의 피해가 속출하였다. 1997년 4월부터 10개월 동안 동남아시아에서는 가뭄으로 인한 산불 및 연무 피해가 13억 8천만 달러에 달했고, 호흡기 질환 등 각종 건강문제와 환경문제가 유발되었다. 1998년 봄에도 세계 도처에서 가뭄이 지속되어 인도네시아는 13만ha 이상의 우림이 불에 타 2억2천만 달러의 피해가 발생하였고, 브라질 아마존강 유역은 30년만에 최악의 상태로 61만여 헥타르의 우림이 불에 타 소실되었다. 아마존강 유역의 열대 우림 지역 면적은 한반도의 30배가 넘는 650만km²로 지구상 생물 종의 절반이 살고 있으며, 세계 산소 생산량의 절반을 차지하고 있어 아마존강 유역 산불에 의한 열대 우림의 소실은 앞으로 지구 산소 공급량의 감소와 이산화탄소량의 증가를 초래하여 지구 생태계에 미치는 영향이

클 것으로 우려되고 있다. 또한 올해 전반기에는 아프가니스탄, 파키스탄, 이란, 중국 화북지방 등 아시아 지역과, 아프리카의 에티오피아에서 가뭄이 심하였고, 미국 남서부 지방에서는 최근까지도 가뭄 현상이 지속되었다.

폭염: 홍수와 가뭄 외에도 기상이변으로 지속적인 고온현상에 의한 피해도 심각하게 나타났다. 엘니뇨가 절정에 달했던 1997년 12월부터 2개월 후인 1998년 2월에 북미 대륙과 아시아 대륙에 광범위하게 고온현상이 나타났고, 1998년 5월에는 인도에서 50년만에 최악의 폭염(최고기온 51℃)이 4주간 지속되면서 2,300여명이 사망하였다. 올해에는 유럽 일부 지역에서 봄철부터 기온이 40℃ 이상 오르며 폭염이 10주 이상 지속되었으며, 미국 일부 지역에서는 9월까지도 기온이 40℃ 이상 오르는 고온현상을 보였다. 동아시아 지역에서도 6월 중순 전반에 중국 베이징에서 기온이 40℃까지 상승하는 등 봄철부터 최근까지 지역에 따라 고온현상이 지속되고 있다.

지구 온난화 현상이 현재와 같은 추세로 계속 진행될 경우 21세기에는 지구 온도가 평균 3.5도 상승하게 될 것이고, 지구 전체 삼림의 43%가 사라질 것이라는 연구 결과도 있다.

한파: 대기의 움직임이 이상한 조짐을 보이며 극단적인 기상변화를 초래하여 일부 지역에서는 폭염으로 시달린 반면 일부 지역에서는 한파에 시달렸다. 1997년 겨울에는 유럽, 모스크바, 우크라이나에서 북극기단의 남하에 의한 갑작스런 폭설로 110여명이 사망하였고, 방글라데시에서도 비정상적으로 남쪽까지 남하한 이상한 파로 120여명이 동사하였다. 멕시코에서도 이상추위로 63명이 사망하였고, 470여명이 호흡기질환에 시달렸다.

열대성 저기압: 엘니뇨의 영향으로 1997년 11월에는 때아니게 세력이 강한 태풍 린다(LINDA)가 동남아시아 지역을 휩쓸며 3천 여명의 목숨을 앗아갔고, 아카폴코에서는 이상진로를 보이며 북상하던 강력한 허리케인 폴린(POLYN)에 의해 2,100여명이 희생되었다. 1998년 3월에는 세력이 강한 사이클론이 인도양에서 발생하여 인도 동부를 휩쓸면서 650여명의 목숨을 앗아갔으며, 1998년 10월에는 초대형 허리케인 미치(MITCH)의 영향으로 중미 지역에서 2만 2천여명이 사망·실종되었고, 국가 경제가 흔들릴 정도의 엄청난 재산피해가 발생하였다.

6. 기후 대책

선진국들은 21세기를 시작하는 시점에서 해결해야 할 가장 심각한 문제로 엘니뇨와 기후변화 문제를 다루고 있으며, 그 원인을 주로 화석 에너지 사용과 각종 온실기체의 무절제한 사용으로 규정하고, 지구와 인류의 생존을 위해 전세계적인 차원의 국제협약을 추진해 오고 있다. 기후변화에 대한 세계적인 대책은 미국 국가 기후계획(1987년), 기후변화에 관한 정부간 회의(IPCC, 1988년), UN 환경보호 각료 이사회 조약교섭(1989년), 제2회 세계 기후회의 각료선언(1990년), 기후변화에 관한 UN 기본협약 채택(1992년)에 이어 최근 일본 교토에서 열린 제3차 기후변화 협약 회의(1997년 12월)에서는 우선 선진국을 대상으로 온실기체 배출량을 2008년부터 2012년 사이에 단계적으로 감축하여 1990년 수준 이하로 만들자는 데 합의하였다. 우리 나라는 아직은 선발개도국이라 즉각적인 의무 준수 부담은 없지만, 이미 OECD 가입국이므로 결국 선진국 입장에 따를 수밖에 없는 실정이며, 규제 의무 강화 움직임이 1998년 11월 아르헨티나에서 개최될 제4차 기후변화 협약 회의에서 가시화 될 전망이므로 이에 대한 대비책을 마련해야 할 것이다.

최근 기후 문제는 사회, 경제 및 정치적인 관심사로 등장하고 있다. 당장 발등에 떨어진 경제적인 불이익과 그 위협에서 벗어나는 것도 시급한 문제이지만, 다음 세대들에게 안전하고 건강한 지구를 물려주길 바란다면 지구환경을 보존하자는 세계적인 노력에 동참해야 할 것이다.

참고문헌

IPCC, 1995 : *IPCC Second Assessment, Climate Change 1995*, IPCC, pp63.