

# 기후변화와 자연재해



서애숙 >>  
기상청 수원기상대장



김태균 >>  
기상청 합천관측소장



이정미 >>  
기상청 수원기상대 예보사

## 1. 서론

전세계적으로 진행되고 있는 지구온난화는 이제 의심의 단계에서 본격 진행 단계로 넘어가고 있는 것으로 보고되고 있으며, 호우의 빈도와 강도 그리고 태풍의 강도가 증대하고 있다. 지난 30년동안 6,367건의 자연재해가 발생하여 2백만명 이상이 목숨을 잃었으며 누적하여 총 51억명이 자연재해에 영향을 받았고, 1억 8

천 2백만명이 집을 잃었고 1조 4천억달러의 손실을 입혔다. 2004년 미국방성의 비밀보고서인 펜타곤 리포트에 따르면 향후 15년 이내에 기후변화로 인해 전세계 수백만명이 목숨을 잃게 된다고 보고하고 있다.

2001년에 발간된 IPCC 3차 평가보고서에 따르면, 20세기에 지구 평균기온이 0.6℃ 상승하였으며, 원인은 인간의 산업활동으로 인한 이산화탄소 등 온실가스의 대기 중 농도증가 때문이라고 결론지었다. 온실효과를 유발하는 온실가스 중 가장 중요한 기체인 이산화탄소의 대기 중 농도는 산업혁명의 280 ppm과 비교하여 2000년에는 370 ppm으로 30%이상 증가되었다고 보고된 바 있다(권원태, 2005).

이 글의 목적은 기후변화와 지구온난화에 대해서 살펴보고, 기후변화에 수반된 전세계적인 자연재해의 현황에 대해서 알아보았다. 그리고, 지구온난화를 일으키는 주범인 온실가스를 줄일 수 있는 방안 대해서도 살펴보았다.

## 2. 기후변화

### 2.1 기후와 기후시스템

기후는 수십년 동안의 온도, 습도, 강수량 등과 같은 기상요소들의 평균이다. 기후요소에는 일사량, 일

조시간, 기온, 강수량, 습도, 증발량, 구름량, 기압, 바람 등이 있으며, 이들 요소의 지역적 특성을 주고 있는 위도, 고도, 수륙분포, 지형, 식생 등은 기후인자라고 불린다. 지구의 기후시스템은 그림 1과 같이 대기권, 수권, 설빙권, 생물권, 지권 등으로 구성되어 있으며, 각 권역의 내부 혹은 권역간 복잡한 물리과정의 상호작용하여 현재의 기후를 유지한다. 기후시스템을 움직이는 에너지의 대부분은 태양에서 공급되며, 기후시스템 속에서 여러 형태의 에너지로 변하고 최종적으로 지구장파복사의 형태로 우주로 방출된다. 대기 상층을 통과하는 태양복사에너지는 구름, 오존, 수증기 등에 의해 흡수되나 대부분 지표까지 내려와 흡수된다. 지표면에 흡수되는 태양복사는 지표의 성질에 따라 흡수율이 달라진다.

지표는 지표의 온도에 비례하는 적외복사를 대기로 방출하는데, 지표에서 방출된 적외

복사의 일부는 대기의 온실가스에 의해 흡수되어 다시 지표로 되돌아오지만 대부분은 외계로 방출된

다. 지표에 흡수된 복사에너지는 열로 전환되어 대기의 난류과정을 통해 대기로 전달된다.

## 2.2 기후변화와 기후변동

기후변화(Climate Change)란 전지구 대기의 조성을 변화시키는 인간의 활동이 직접적 또는 간접적으로 원인이 되어 일어나는 기후의 변화이다. 이에 반해 기후변동(Climate Variability)은 충분한 시간동안 자연적인 원인에 의해 야기되는 기후의 변화이다.

기후변화의 요인에는 화석연료 과다 사용에 따른 이산화탄소 등의 온실가스의 현저한 증가, 인위적인 에어로졸에 의한 태양 복사의 반사와 구름의 광학적 성질의 변환, 과잉 토지 이용이나 장작과 숲 채취 등에 의한 토지 피복의 변화 등이 있다.

기후변동의 요인에는 화산분화에 의한 성층권의 에어로졸 증가, 태양활동의 변화, 태양과 지구의 천문학적 상대위치 관계 등이 있다.

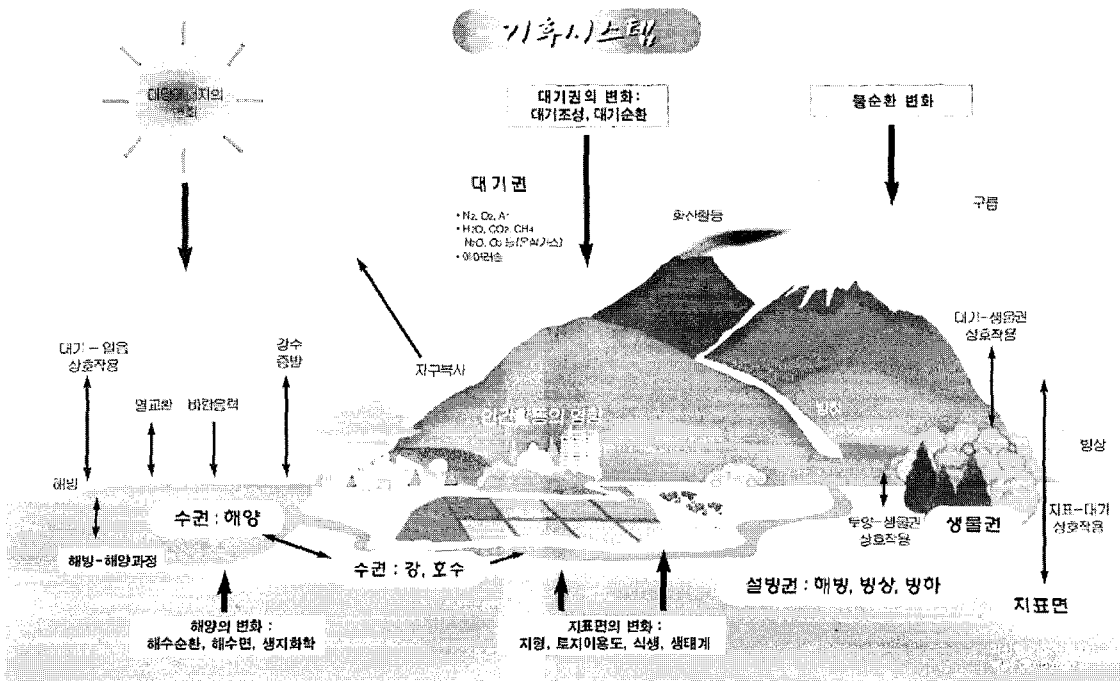


그림 1. 기후시스템

### 2.3 지구온난화

지구온난화는 화석연료의 연소에서 발생하는 이산화탄소, 축산폐수 등에서 발생하는 메탄, 과용되는 질소 비료의 여분이 분해되면서 발생하는 아산화질소 등 온실가스들이 대기로 들어가 잔류하면서 그들의 온실효과로 대류권의 기온이 상승하는 현상이다. 태양으로부터 지구로 향하는 일사에너지는 대기를 통과해 지표면에 도달하여 그 곳을 가열한다. 가열된 지구표면으로부터 방사되는 에너지는 파장이 10 $\mu$ m 정도의 적외선으로 대기 중의 수증기와 이산화탄소에

의해 강하게 흡수된다. 이로 인해 지구표면으로부터 방출된 에너지는 직접 우주공간으로 유출되지 않으며, 적외선을 흡수하는 수증기와 이산화탄소가 동시에 그 온도에 상응한 강도의 열방사를 행한다. 대기는 태양복사에 대해서는 상당히 투명도가 높고 입사된 태양에너지의 약 반이 지표면에 의해 흡수되나, 지표로부터의 적외복사에 대해서는 창영역 이외에서는 흡수력이 강하고 불투명하므로 지구표면으로부터의 열방사의 유출을 막는다. 이로 인해 일사에 의해 지구표면에 방사된 에너지는 지구표면 근처에 모이고 대기 상층보다 온도가 높아지게 된다. 이 때 지구표면온도는 동일한 양의 일사를 받을 경우 대기층이 없었던 경우의 온도보다 높아지게 되며, 대기층에 의한 이 효과를 온실효과라 한다. 그런데 지표로부터 방사되는 적외선을 흡수하는 기체는 이러한 수증기뿐만 아니라 탄산가스, 메탄, 오존, 이산화질소, 프론 등도 있다. 이러한 기체는 수증기가 흡수하지 않는 파장에 적외선의 흡수대를 가지고 있어 이러한 기체가 증가할 경우 당연히 우주로 빠져나갈 열이 대기에 남아 온도를 상승시킨다. 바로 이러한 현상이 지구 온난화와 직접 관계되는 것이다.

1861년 이후로 가장 온난했던 순서는 1998, 2002, 2003, 2004, 2001년이다. 21세기 들어서 기록이 4번이나 갱신되었다. 이러한 지구온난화는 지구 평균기온이 15.4 $^{\circ}$ C의 고온을 나타낸 1990년 다음에 기온을 저

하시킨 1991년 피나투보 화산 폭발에도 불구하고 계속 발생하였다.

### 2.4 엘니뇨와 라니냐

#### 2.4.1 엘니뇨

El Nino는 열대 태평양의 광범위한 구역에서 해수면 온도가 평년에 비하여 약 2~3 $^{\circ}$ C 가량 높아지는 현상으로 3~7년의 주기로 나타난다. 이때에는 열대 태평양상의 대기가 해수면으로부터 평년보다 더 많은 에너지를 공급 받게 되는데 이 증가된 에너지가 중·고위도로 수송되면서 대기순환 기구가 왕성하게 된다. 특히 대기의 대순환을 유도하는 주 에너지원인 열대지방의 강수 형태가 태평양상의 증발량변화와 함께 크게 변화하면서 지구 대기순환이 평년과 상당히 달라지게 된다. 이와 더불어 지구 여러지역에 이상기후를 초래한다.

엘니뇨의 어원은 스페인어의 '어린 소년' 또는 '아기 예수'이다. 엘니뇨가 남미 페루 등에서 매년 크리스마스를 전후해 주로 영향을 주기 때문에 붙여진 이름이다. 한편, 엘니뇨가 '어린 소녀'라는 스페인어에 해당하는 것인 '라니냐'는 엘니뇨와 반대의 뜻으로 해수면의 온도가 평년보다 낮은 때를 가리킨다.

엘니뇨현상이 발생하는 원인은 그림 2에서 보여주는 것과 같이 평년에 적도 태평양상에서 대규모 해류는 무역풍에 의하여 동에서 서로 흐르게 된다. 또한

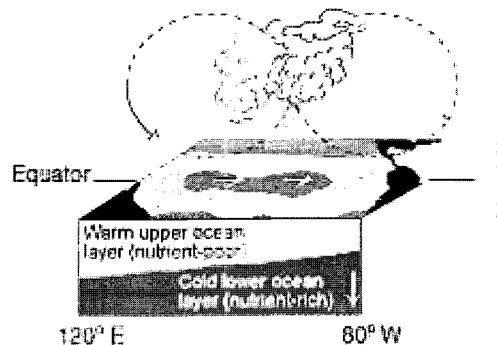


그림 2. 엘니뇨의 발생원인

적도지방에서는 코리올리 힘이 작용하지 않으므로 바람에 의하여 해면에 가해진 힘은 해수면의 높이 차를 유도하여 인도네시아 지역은 해수면이 높고 남미 연안은 낮게 된다. 이와 함께 남미연안에서는 동으로 쓸려가는 바닷물을 보충하기 위하여 바다밑층의 차가운 물이 해면으로 올라오게 되고, 인도네시아 지방에는 따뜻한 해면의 물이 아래로 내려가게 된다. 이 결과 인도네시아와 남미연안의 해수면 온도차는 약 8~10℃ 가량 나게 된다. 그러나, 몇 년 주기로 태평양상의 무역풍이 크게 약화되는 때가 있는데 높은 해수면 상태에 있는 인도네시아 지방의 따뜻한 물이 낮은 해수면 상태인 동태평양으로 흐르게 되어 중태평양에서 동태평양에 걸친 광범위한 구역에 해수면의 온도가 평년보다 약 2℃ 가량 상승하게 된다. 이 때를 엘니뇨라 한다. 과거에 발생했던 엘니뇨가 세계에 미친 영향에 대해서 살펴보면 '82~'83년에 발생한 엘니뇨는 전세계적으로 2천여 명의 목숨을 앗아갔고, 2백50억 달러에 이르는 막대한 재산피해를 냈다. 지난 '82년에 북미지역의 태평양 연안에는 북반구 사상 최대의 파도가 밀려와 캘리포니아에서만 14명이 숨지고 1만 5천여 명이 긴급 대피했으며, 2억 6천 5백만 달러의 재산피해를 냈다. 그리고 캘리포니아에서는 노아의 방주를 연상시키는 엄청난 폭우로 25명이 목숨을 잃었다. 남캘리포니아에 전력을 공급하는 에디슨사는 파도와 폭우 때문에 정전사고가 발생해서 그것을 복구하는 데에 1천 5백만 달러의 비용을 들여야 했다. 그 해에 미국은 전국의 옥수수 수확량이 30% 이상 줄었다. 한편 동남아시아의 필리핀에서는 농산물의 생산량 감소를 포함해서 총 41억 페소(1억 5천 8백만 달러)에 상당하는 피해를 입었다. 그리고 아프리카에서는 엄청난 가뭄 때문에 수많은 사람들이 굶어 죽었고, 중남미 지역도 폭우, 홍수나 극심한 가뭄으로 인적으로나 물적으로 큰 피해를 입었다. 일본은 '93년에 엘니뇨에 의한 전례 없는 홍작으로 외국 쌀을 긴급 수입하는 등의 소동을 빚었다. 한편, LA지역은 '97년 9월 5일까지 1백 98일 동안 비가 내리지 않아서 70년만에 비가 연속으로 내리지 않은 날의 최

장기록을 세웠으며, 샌프란시스코의 금문교 주변도 수온이 기록적으로 상승해서 이 지역에서는 볼 수 없었던 열대어 등이 몰려들었다. 이처럼 엘니뇨는 지난 50여년 동안 13회 발생하여 여러 가지 지구상의 기상 이변을 일으켜왔다.

#### 2.4.2 라니냐

적도 무역풍이 평년보다 강해지면 서태평양의 해수면과 수온이 평년보다 상승하게 되고, 찬 해수의 용승 현상 때문에 적도 동태평양에서 저수온 현상이 강화되어 엘니뇨의 반대현상이 나타난다. 이러한 현상을 라니냐(스페인어로 여자아이)라고 한다.

그림 3은 라니냐의 발생원인을 보여준다. 동태평양을 가로지르는 대기 하층에서의 편동풍의 증가와 열대 동태평양의 대류권계면 부근의 대기 상층에서의 편서풍의 증가로 동태평양의 수온이 평년보다 낮아지게 된다. 정상 상태일 때 적도 부근의 태평양 해수 온도는 동태평양에 찬 바닷물이, 서태평양에 따뜻한 해수가 위치하게 된다. 그러나 라니냐 현상이 발생하면서 원래 찬 동태평양의 바닷물은 더욱 차가워지고 이 찬 바닷물이 서진한다. 따라서 인도네시아 등 동남아시아에는 격심한 장마가, 페루 등 중남미엔 가뭄, 그리고 미국에는 심한 경우 극지방 같은 추위가 도래한다.

라니냐도 엘니뇨와 마찬가지로 현재로서는 발생과정은 물론 활동주기와 기상에 미치는 영향 등이 대부분

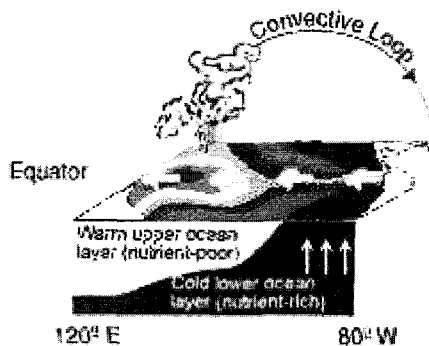


그림 3. 라니냐의 발생원인

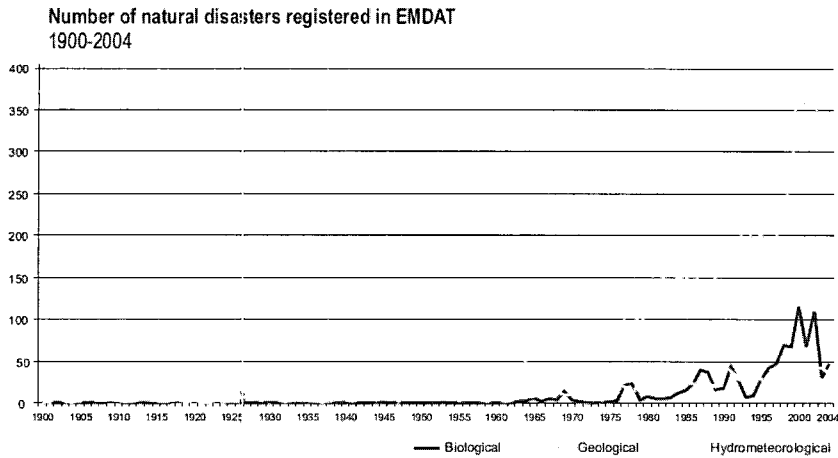


그림 4. 자연재해건수(1900~2004년)

표 1. 자연재해 분포(1900~2004)

|           | 기상재해  | 지진재해  | 질병재해  | 합계    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1900~1909 | 32    | 34    | 5     | 71    |
| 1910~1919 | 73    | 26    | 7     | 106   |
| 1920~1929 | 61    | 27    | 10    | 98    |
| 1930~1939 | 75    | 33    | 3     | 111   |
| 1940~1949 | 120   | 51    | 3     | 174   |
| 1950~1959 | 235   | 55    | 1     | 291   |
| 1960~1969 | 469   | 82    | 37    | 588   |
| 1970~1979 | 779   | 121   | 64    | 964   |
| 1980~1989 | 1,497 | 227   | 167   | 1,891 |
| 1990~1999 | 2,037 | 314   | 360   | 2,711 |
| 2000~2004 | 1,750 | 186   | 372   | 2,308 |
| 합 계       | 7,128 | 1,029 | 1,156 | 9,313 |

두렷이 규명되어 있지 않아서 대책마련이 쉽지 않다.

### 3. 자연재해

#### 3.1 지난 100년간 자연재해 추이

자연재해는 자연현상에 의해 인명과 재산 손실을 가져오는 재해로 정의할 수 있다. 오늘날 지구는 규모에 있어서 전례 없는 자연재해에 직면하고 있다. EM-DAT(응급 재해 데이터베이스)에 등록된

1900~2004년의 자연재해건수를 살펴보면, 기상재해, 지진재해, 질병재해가 1950년도까지는 같은 경향을 보이다가 1950년도를 기점으로 기상재해가 다른 재해와는 비교가 안 될 정도로 폭발적으로 상승해오고 있음을 알 수 있다(그림 4). 표 1은 EM-DAT에 등록된 원인별 재해건수를 10년 단위로 나타낸 것이다. 이 표에서는 1950년부터는 기상재해건수가 거의 2배씩 증가하는 것을 보여준다.

#### 3.2 최근 30년간 자연재해 추이

그림 5는 EM-DAT에 등록된 최근 30년간 자연재해로 인한 경제적 손실을 보여준다. 여기서 회색막대는 그 당시에 가장 피해가 컸던 사건과 피해규모를 나타낸다. 1989년까지는 500억달러 미만의 피해규모를 보이다가 1990년대부터는 그 양상이 크게 달라져서 2000~2002년도를 제외하고는 500억달러를 초과하게 된다. 그리고, 2005년에는 허리케인 카트리나의 영향으로 1,310억 달러의 경제적 손실을 입게 된다.

그림 6은 1970~2004년까지 재해를 유발한 유형에 따른 재해건수를 나타낸다. 재해유형에는 가뭄, 홍수, 지진, 질병, 산사태, 화산폭발, 산불, 폭풍, 메뚜기떼 등이 있는데, 이 중 홍수와 폭풍이 다른 재해와는 양상이 다르게 꾸준히 상승하고 있다.

Annual reported economic damages from natural disasters: 1975-2005

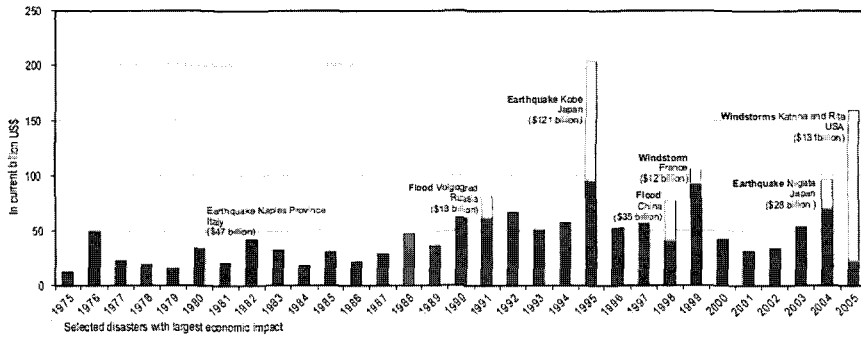


그림 5. 자연재해로 인한 경제적 손실(1975~2005)

Number of natural disasters by type of triggering hazards 1970-2004

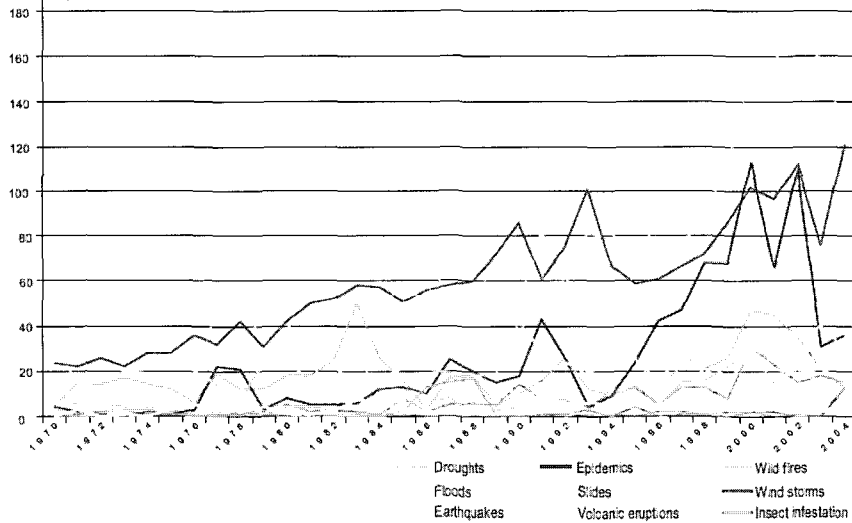


그림 6. 유형별 재해건수(1970~2004)

### 3.3 최근 10년간 자연재해 추이

그림 7은 1995~2004년까지 재해를 유발한 유형에 따른 재해비율을 나타낸다. 기상과 관련된 재해가 75%, 지진과 화산폭발과 관련된 재해가 9%, 질병과 관련된 재해가 16%를 차지하여 기상재해가 월등히 높음을 알 수 있다. 그림 8은 그림 7을 세분화한 것인데, 가장 비율이 큰 것 순으로 홍수, 폭풍, 가뭄, 질병, 지진, 산사태 등이다. 이 중 홍수와 폭풍이 전체 자연재해 중 51.8%를 차지해 저기압이나 태풍과 관련해서 발생할 수 있는 자연재해의 비중이 절반 이상

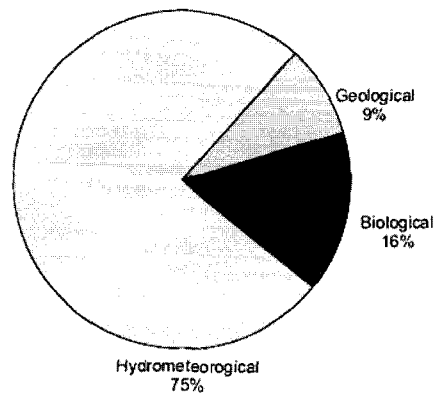


그림 7. 재해유형에 따른 자연재해 비율(1995-2004)

**World distribution of disasters:  
by triggering hazards  
1995 - 2004**

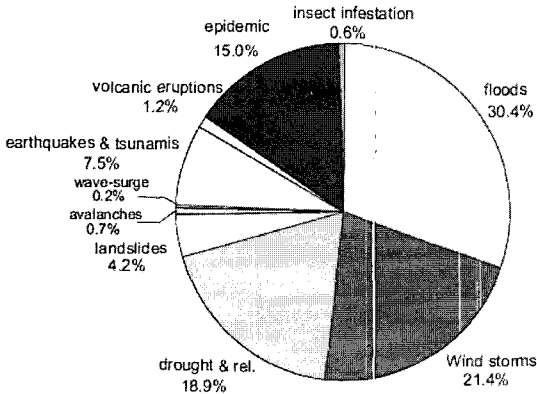


그림 8. 재해유형에 따른 분포 (1995-2004)

을 차지하였다는 것을 알 수 있다.

**4. 기후변화 대응 방안**

향후 기후변화에 대한 대책은 온실가스의 배출을 줄이는 것이 가장 중요하다. 교토의정서의 함의로 국제적인 온실가스 감축 노력이 전개되고 있지만, 그 효과는 50~100년 이후에 나타날 것으로 보고 있다. 지구온난화가 진행중에 있으므로 기후변화에 의한 재해 예방 대책을 수립하는 것은 지속가능한 발전을 위해 매우 시급한 일이라 할 수 있다.

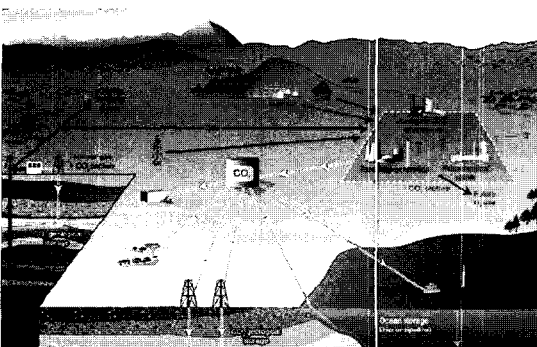


그림 9. 온실가스 획득, 저장시설

기후변화에 대응하기 위해 온실가스를 줄이는 것 과 더불어 노력을 기울여야 할 것은 온실가스를 획득, 저장하는 최신의 기술을 활용하는 것이다. 온실 가스를 획득, 저장하는 기술은 산업체나 발전소에서 발생하는 이산화탄소를 분리해서, 원격 저장소(지하, 해저)에 옮겨서 대기와 장기간 격리시키는 것이다.

이산화탄소 획득기술을 적용할 수 있는 곳은 큰 규모의 석유화학시설과 바이오에너지 시설, 이산화탄소 배출 산업체, 천연가스업체, 발전소 등이 있다. 이러한 시설에서 획득한 이산화탄소를 압축해서 지하 깊은 곳에 저장하거나 해저에 저장한다(그림 9).

**5. 결론**

산업혁명 이후로 인간의 화석연료의 사용 과 도시 화와 경작 등으로 인해서 온실가스의 농도는 계속 증가하고 있는 추세다. 이로 인해 20세기의 기후변화를 초래하게 되었다. 육지와 해양 표면 기온은 따뜻해졌고, 지역적인 강수 패턴도 변하게 되었다. 엘니뇨의 횡수와 강도도 증가하게 되었다.

IPCC의 시나리오에 따르면 지구의 평균기온은 21세기 말에 1.4~5.8℃ 따뜻해 질 것으로 예측을 했고 해양보다는 육지가, 열대지역보다는 고위도 지역이 더 따뜻해 질 것으로 예측을 했다. 이와 관련된 해수면 상승은 약 0.09~0.88 m로 추정했다. 일반적으로 강수량은 고위도 지역이 증가하고 적도지역과 아열대 지역은 감소하겠지만 집중호수 횡수는 증가할 것이라 예측했다.

EM-DAT에 등록된 자연재해자료를 분석해보면, 1950년 이후로 기상관련 자연재해가 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있었고, 최근 30년간 자연재해 유형과 최근 10년간 자연재해 유형에서도 기상관련 자연재해가 가장 비중이 크고 또한 가파른 상승추세에 있음을 알 수 있었다. 따라서, 기상관련 자연재해가 앞으로도 계속적으로 증가할 것으로 예측된다. 특히 최근 10년간의 재해 유형을 보았을 때 저기압이나

태풍과 관련한 자연재해가 절반 이상을 차지하였으므로 앞으로 이에 대한 대비책이 있어야 할 것이다.

인간의 산업활동과 관련해 온실가스를 많이 배출하고 도시화를 통해 많은 산림을 파괴해 지구온난화가 가속화되고 있지만, 지구온난화를 막을 방법들이 이미 과학자들에 의해서 제시되고 있다. 그것은 온실가스 배출을 억제하고 온실가스를 포획해서 바다나 지하에 저장하는 기술을 활용하고, 산림을 파괴하는 도시화를 완화시키고, 온실가스를 방출하지 않는 대체에너지 기술을 개발하는 방법 등이다.

## 참고문헌

- 권원태(2005) 기후변화의 과학적 현황과 전망, 한국기상학회지, 제41권, 2-1호, pp. 325~336.
- 신임철, 이희일, 권원태, 정효상(2005) 고기후학의 관점에서 바라본 현재의 기후변화, 한국기상학회지, 제41권, 2-1호, pp. 229~237.
- Jai Ho Oh(2002) Climate Change and Society for the 21st Century, Korean Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 5, pp. 121~129.
- Thomas E. Graedel, Paul J. Crutzen(1997) Atmosphere, Climate, And Change. Scientific American Library.
- D. Guha-Sapir, D. Pargitt, P.Hoyois(2004) Thirty years of natural disasters 1974-2003:the numbers. Presses universitaires de Louvain.
- WMO(2005) WMO statement on the status of the global climate in 2004. WMO, No. 983.
- Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos, Leo Meyer(2005) IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge University Press.
- IPCC(2006) Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. WMO.
- WMO(2006) World Climate News No. 28, WMO.
- WMO(2005) World Climate News No. 27, WMO.
- WMO(2005) World Climate News No. 26, WMO.
- WMO(2004) World Climate News No. 25, WMO.
- WMO(2004) World Climate News No. 24, WMO.
- WMO(2003) World Climate News No. 23, WMO.
- WMO(2003) World Climate News No. 22, WMO.
- WMO(2002) World Climate News No. 21, WMO.
- WMO(2002) World Climate News No. 20, WMO.
- WMO(2001) World Climate News No. 19, WMO.
- WMO(2001) World Climate News No. 18, WMO.
- WMO(2000) World Climate News No. 17, WMO.
- WMO(2000) World Climate News No. 16, WMO.