

# 기후변화

## 환경기후과학

\* 이 수업자료는 많은 부분이 서울대학교 김상우 교수님이 제공해주신 정보로 구성되었습니다. 양질의 수업을 위해 자료를 제공해주신 김상우 교수님께 감사를 드립니다.



## “기후변화”와 “지구온난화”

### CLIMATE CHANGE

is a broader term that refers to long-term changes in climate, including average temperature and precipitation.

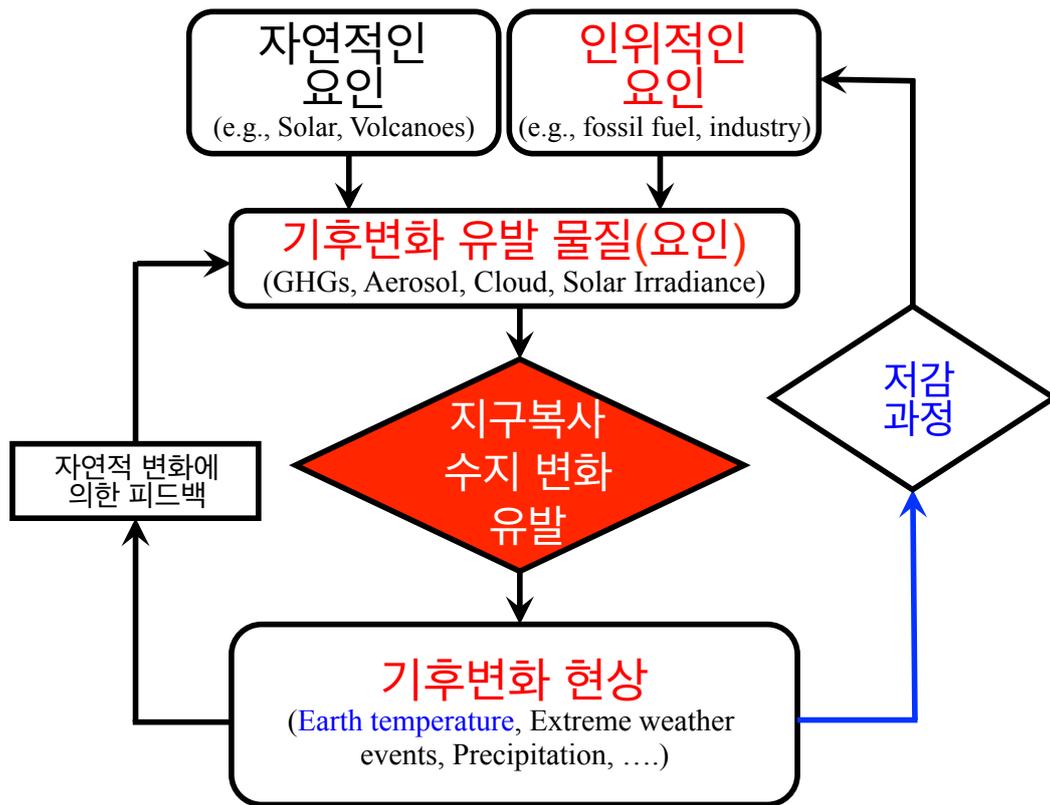


### GLOBAL WARMING

is the increase of the Earth's average surface temperature due to a build-up of greenhouse gases in the atmosphere.



# 기후변화 과정



## 지구온난화

### 1. 지구온난화(Global warming)의 정의

인간의 다양한 경제활동으로 인해 배출되는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 등의 온실기체가 대기 중에 누적되어 지구의 복사에너지 수지를 변화시킴으로써 **지구의 온도가 지속적으로 상승**하고 있는 현상

### 2. 지구온난화의 원인

대기는 태양으로부터 유입하는 단파복사에너지는 투과하지만, 지표면에서 반사되어 방출되는 장파복사에너지는 흡수하여 온도 보존. 온실기체의 농도 증가로 필요 이상의 장파 복사에너지를 흡수하여 지구의 대기온도를 상승시킴.

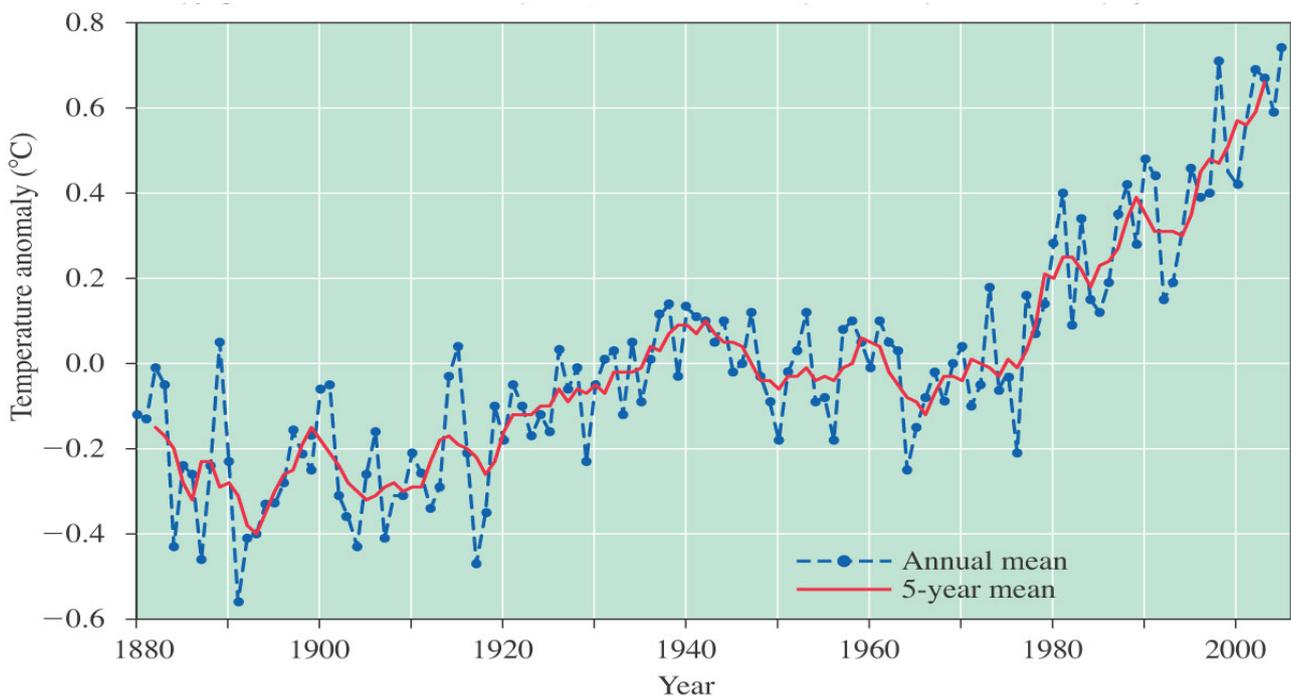
# 지구온난화

## “지구온난화”하면 떠오르는 생각들?

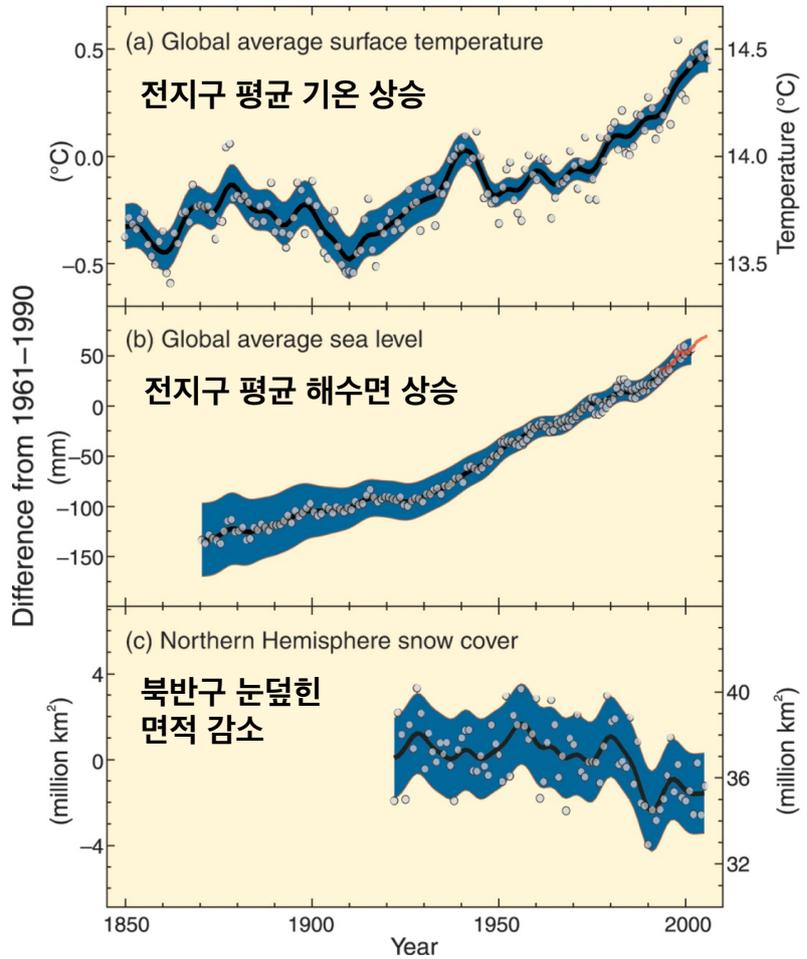
- 온실기체(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 등)의 증가
- 지표면 평균기온 상승,
- 해수면 상승
- 빙하의 감소
- 악기상에 의한 재해 증가?
- CO<sub>2</sub> 규제, 교토의정서
- 산업활동 위축?

# 지구온난화

## 지표면 평균기온 상승



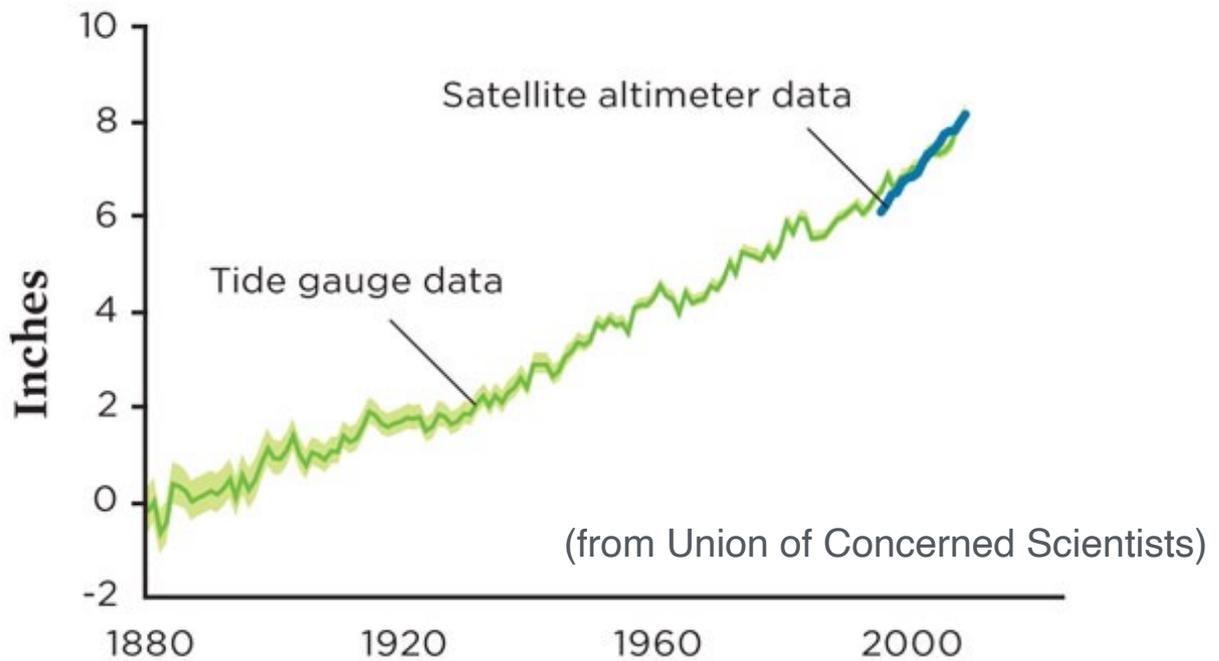
# 지구온난화



# 지구온난화

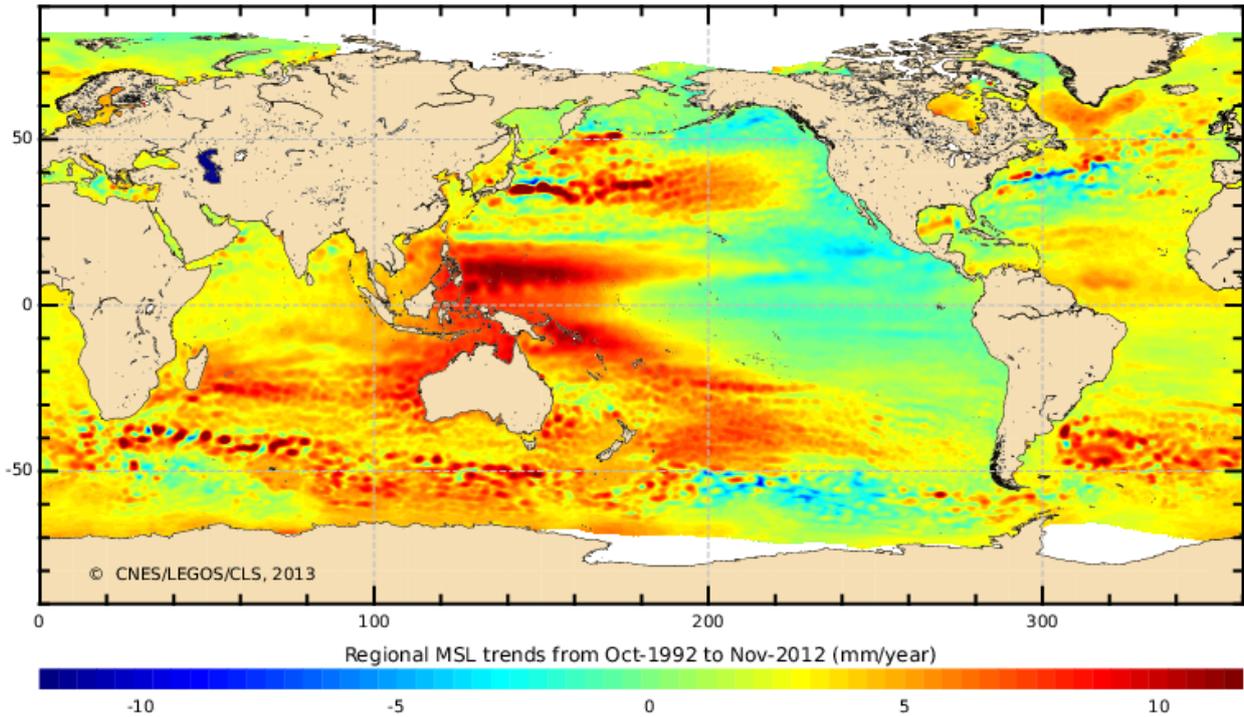
## 지구 평균해수면 상승

Average Global Sea Level Rise since the Industrial Revolution



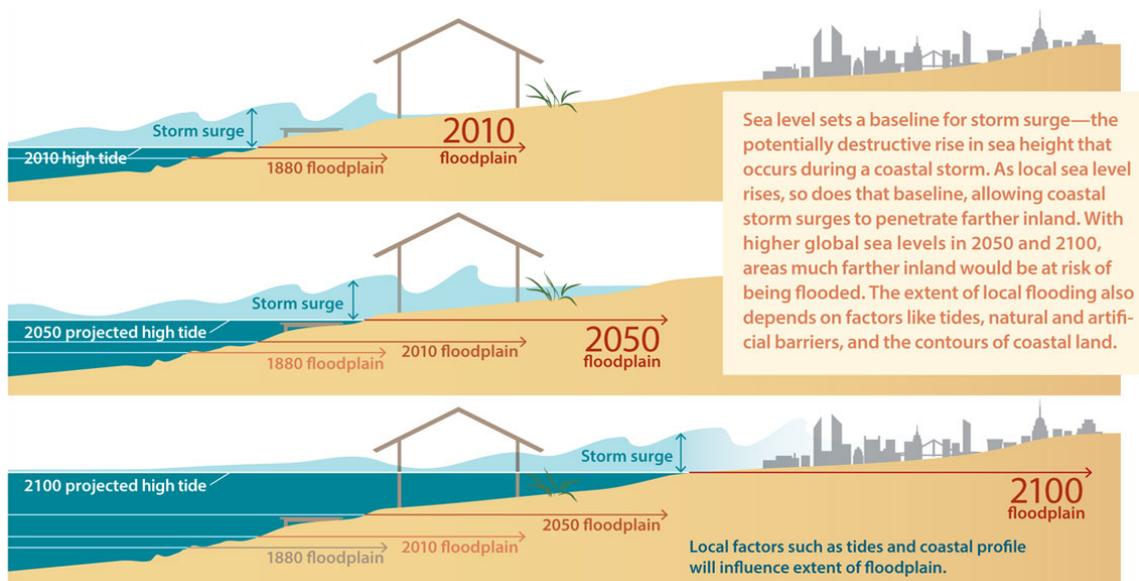
# 지구온난화

## 지구 평균해수면 상승



# 지구온난화

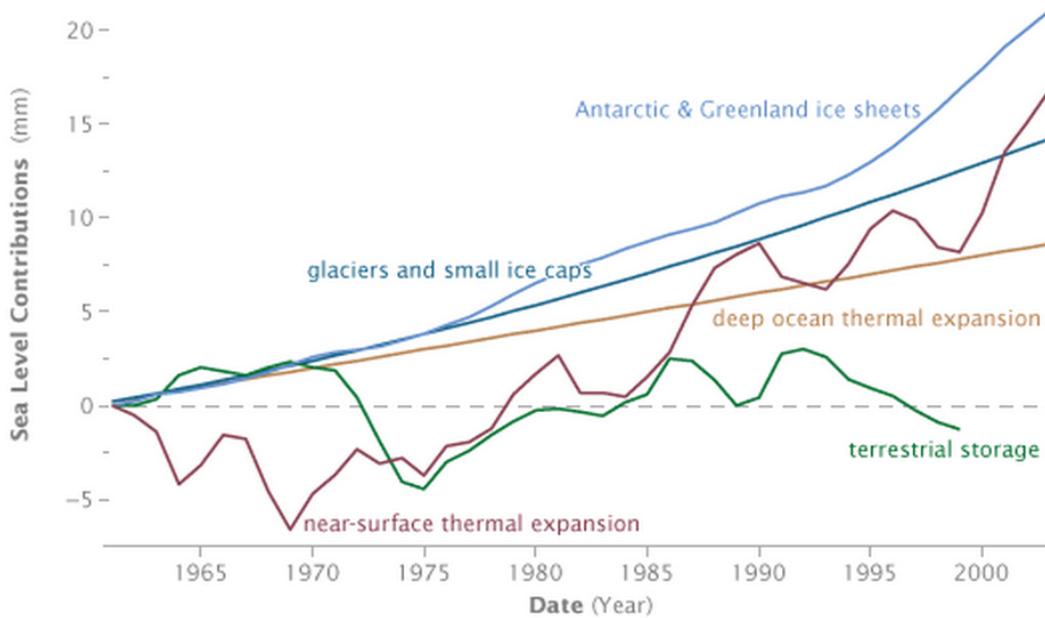
평균해수면 상승 → 대도시의 침수, 폭풍해일의 피해증가



# 지구온난화

## 평균해수면 상승의 원인

그린란드, 남극 빙하, 육빙의 감소, 해양의 열팽창



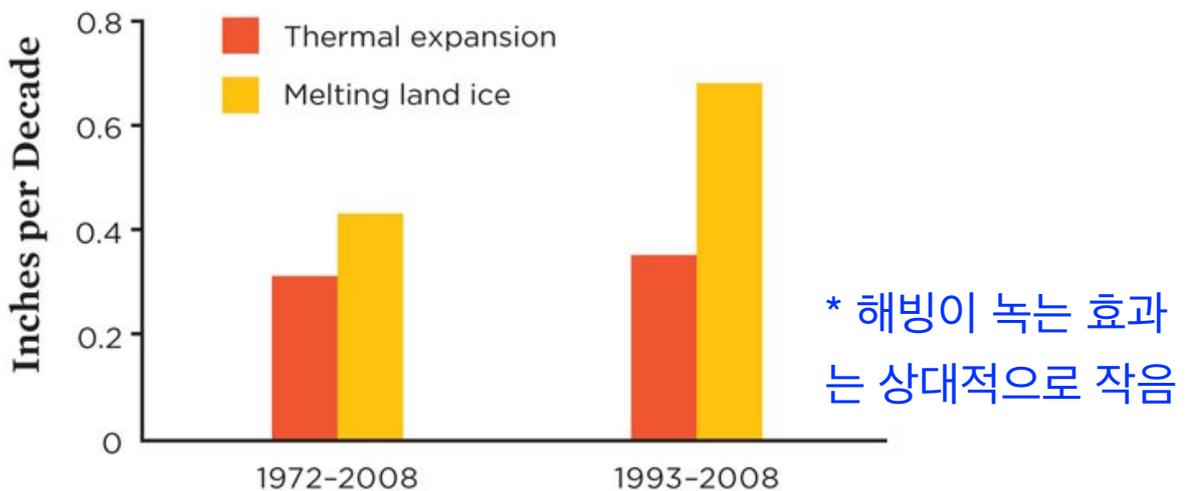
(from NASA Earth Observatory)

# 지구온난화

## 평균해수면 상승의 원인

그린란드, 남극 빙하, 육빙의 감소, 해양의 열팽창

Climate-related Contributions to Global Sea Level Rise



\* 해빙이 녹는 효과는 상대적으로 작음

(from Union of Concerned Scientists)

# 지구온난화



Present-day sea level rise (Anny Cazenave)

# 지구온난화



1974년 히말라야



2004년 히말라야

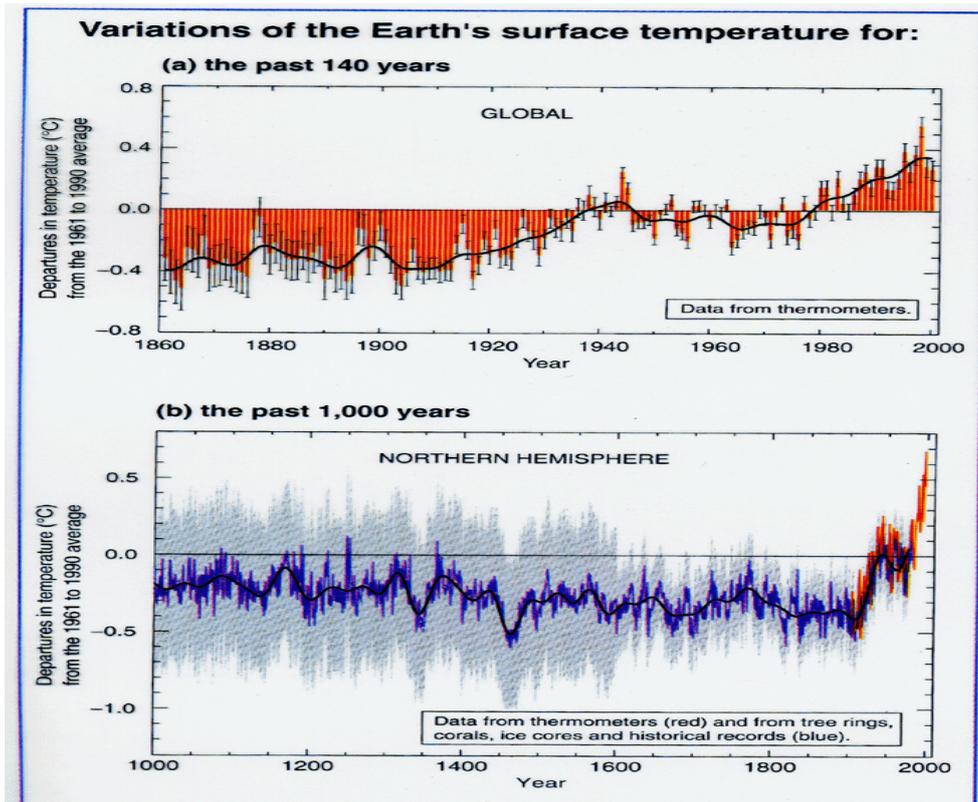


1928년 파타고니아



2004년 파타고니아

# 지구온난화 - 자연적으로 일어나는 변동?



## 지구온난화

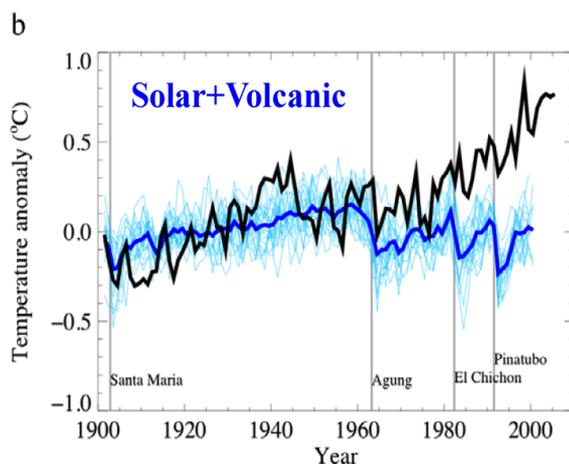
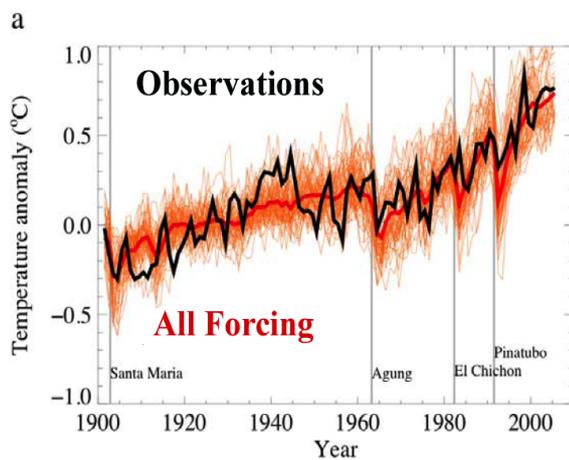
### 전세계 기후모형 실험

**검정선:** 관측된 온도

**붉은선:** 자연적, 인위적 요인을 모두 포함하여 컴퓨터수치 모의 결과

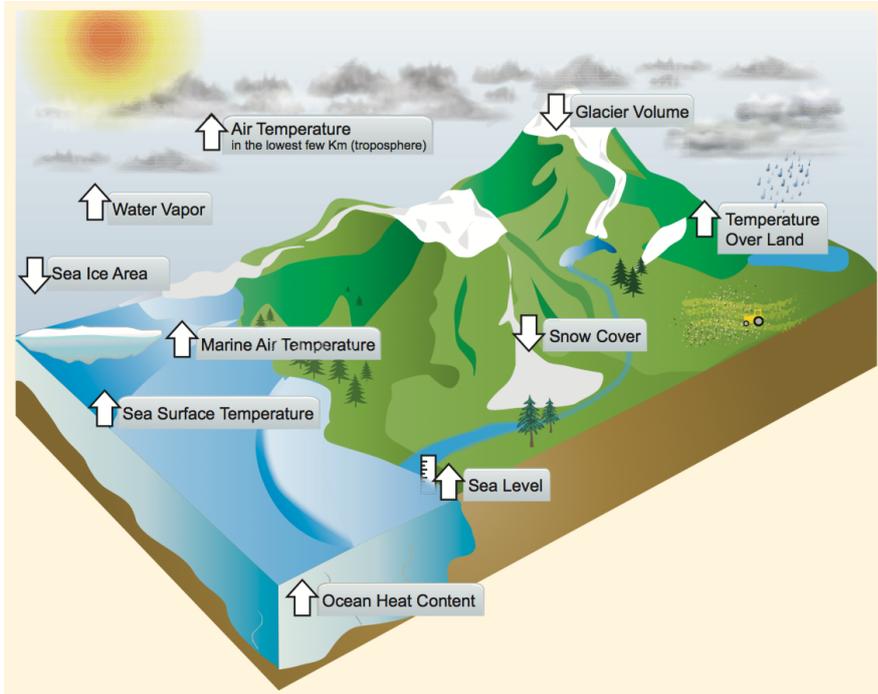
**파란선:** 자연적인 요인(화산, 태양 활동)만을 고려한 컴퓨터 수치 모의 결과

지금의 지구온난화는 인간의 경제활동으로 배출된 온실기체에 기인한 것은 명백한 사실임 (IPCC)



# 지구온난화

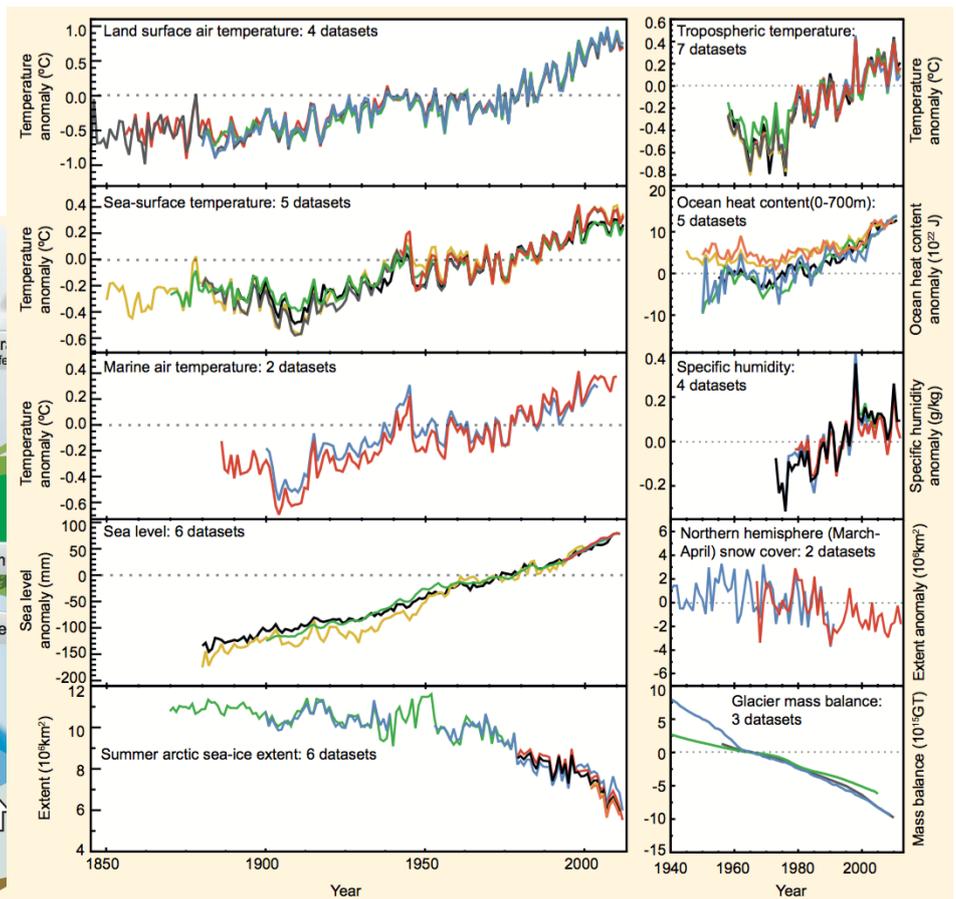
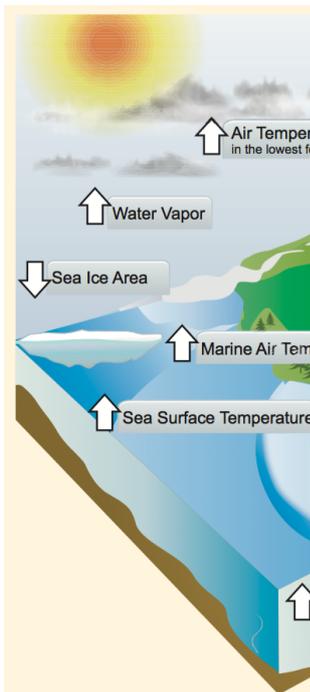
## 일관된 증거들



(from IPCC AR5)

# 지구온난화

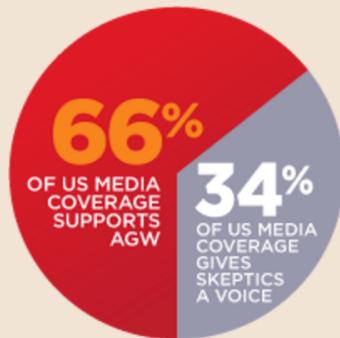
## 일관된 증거들



(from IPCC AR5)

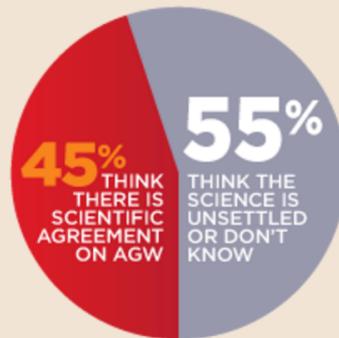


**WHY CONSENSUS MATTERS: THE CONSENSUS GAP** There is a large gap between the public perception of consensus on anthropogenic global warming (AGW) and the reality of 97% agreement among climate scientists. This “Consensus Gap” has real-world implications. Research into climate change attitudes has found that a correct perception of scientific consensus is linked to support for climate policy. In other words, when people don’t realize there’s a scientific consensus, they’re less likely to support climate action. This underscores the importance of closing the Consensus Gap.



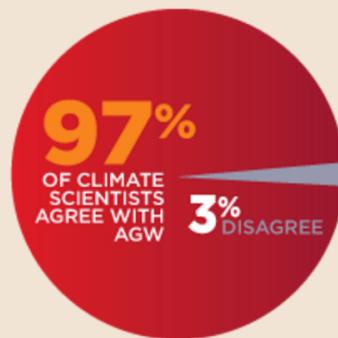
**THE MEDIA**

gives the very small number of skeptics a disproportionate amount of media attention, considering the overwhelming scientific consensus agreeing with AGW.  
[source info](#)



**THE PUBLIC**

is then effectively confused and misinformed on the science behind AGW.  
[source 1](#), [source 2](#)



**THE SCIENCE**

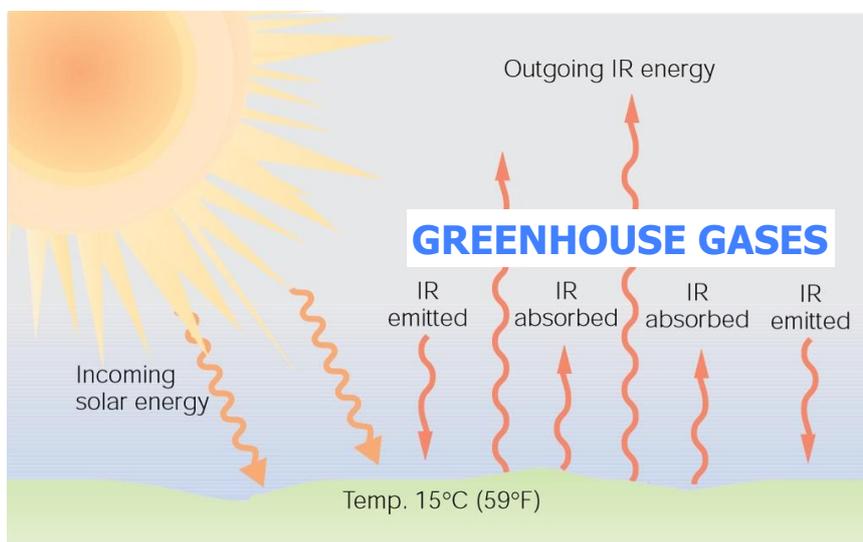
meanwhile has come out overwhelmingly in agreement over the causes of global warming. This has not been conveyed through the media, and is little-known among the public at large.  
[source 1](#), [source 2](#), [source 3](#)

(from concensusproject.com in June 2016)

## 지구온난화

### 온실효과

태양으로 부터 오는 가시광선 영역의 단파 복사에너지는 대기에 흡수되지 않고 대부분 통과하지만, 지구로 부터 방출되는 장파 복사에너지는 온실기체에 의해 흡수되어 지표면으로 재방출됨



# 지구온난화

## 온실효과

태양으로 부터 오는 가시광선 영역의 단파 복사에너지는 대기에 흡수되지 않고 대부분 통과하지만, 지구로 부터 방출되는 장파 복사에너지는 온실기체에 의해 흡수되어 지표면으로 재방출됨



(from wikipedia)

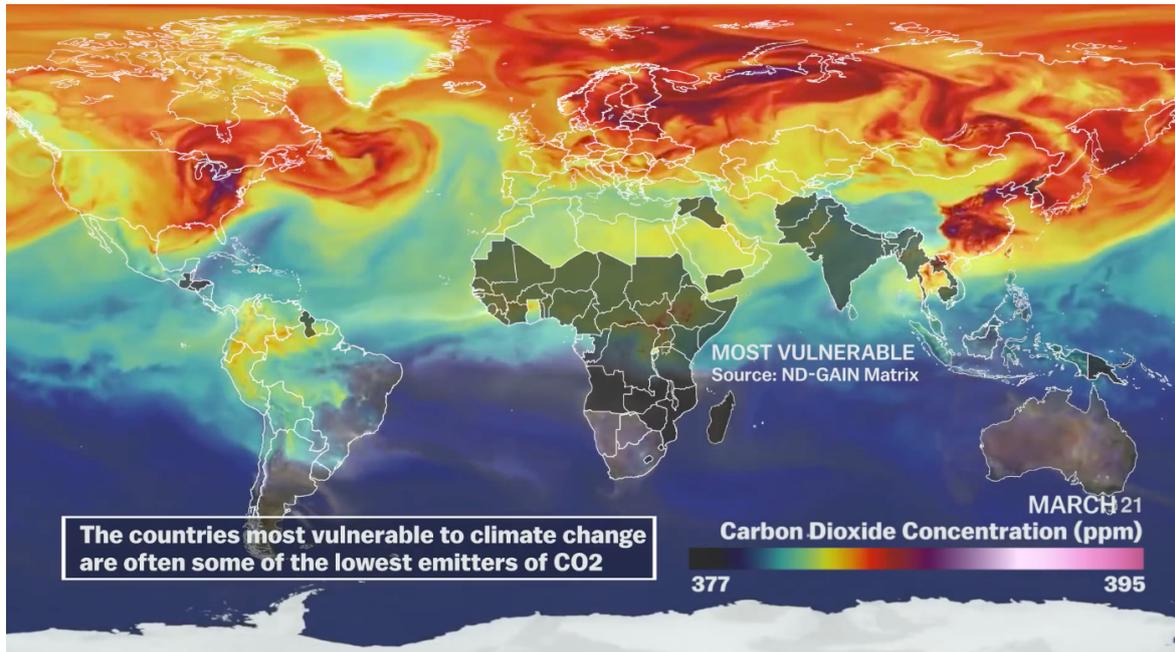
# 지구온난화

## 온실기체 (greenhouse gases)

Gas	산업혁명 이전 농도	현재농도	온실기체 효과 기여도
CO <sub>2</sub> (이산화탄소)	280 ppm	400 ppm (+43%)	60%
CH <sub>4</sub> (메탄)	700 ppb	1800 ppb (+257%)	15%
O <sub>3</sub> (오존)	~0 (대기권)	70 ppb	8%
N <sub>2</sub> O (아산화질소)	~0	500 ppb	5%
Halocarbons (CFCs)	0	780 ppt	12%

# 지구온난화

## 지역별 이산화탄소 배출

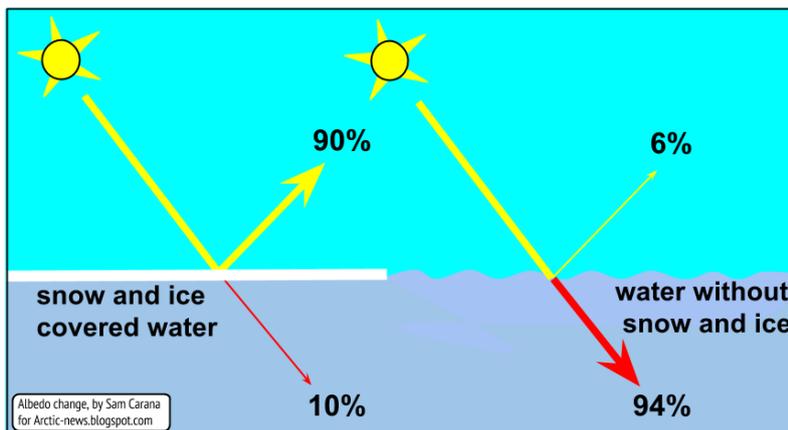


(from NASA - simulation)

# 지구온난화

## 피드백 (feedback, 되먹임)

피드백이란 어떤 원인으로 인해 일어난 결과가 다시 그 원인에 영향을 미쳐 결과를 더욱 강화하거나 (양성 피드백) 약화시키는 (음성 피드백) 현상.

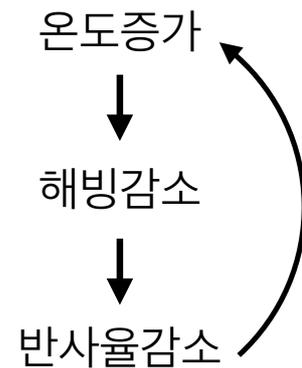
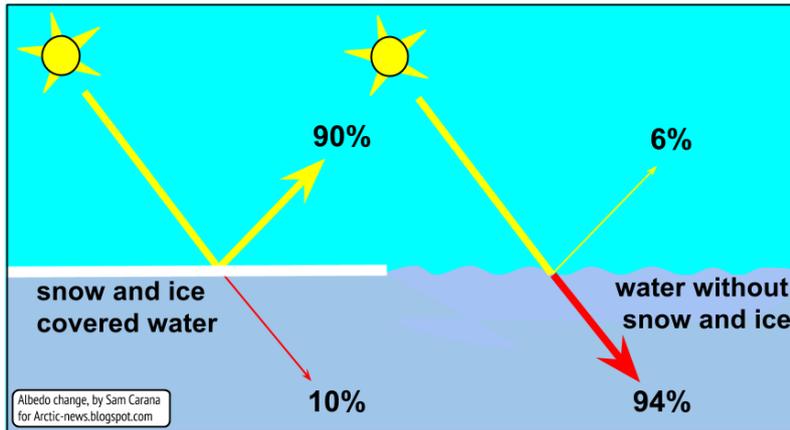


# 지구온난화

## 피드백 (feedback, 되먹임)

피드백이란 어떤 원인으로 인해 일어난 결과가 다시 그 원인에 영향을 미쳐 결과를 더욱 강화하거나 (양성 피드백) 약화시키는 (음성 피드백) 현상.

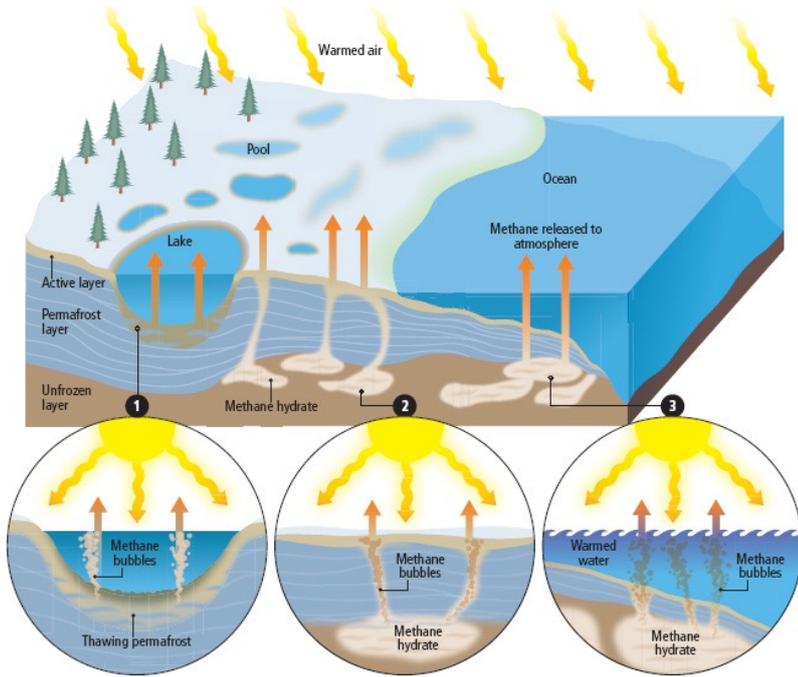
## 얼음-반사 피드백



빙하는 많은 양의 태양복사에너지를 반사하는 반면, 해양은 대부분의 태양복사에너지를 흡수한다 (그림출처: 위키피디아)

# 지구온난화

## 영구동토층 탄소 피드백 (숨겨진 위험: 메탄)



(Simpson 2009, Scientific American Earth)

# 지구온난화

## 북반구 호수 및 동토층에 저장된 메탄 (불타는 기포)



National Geographic Society/Corbis

# 국제사회의 대응



## 기후변화 대응

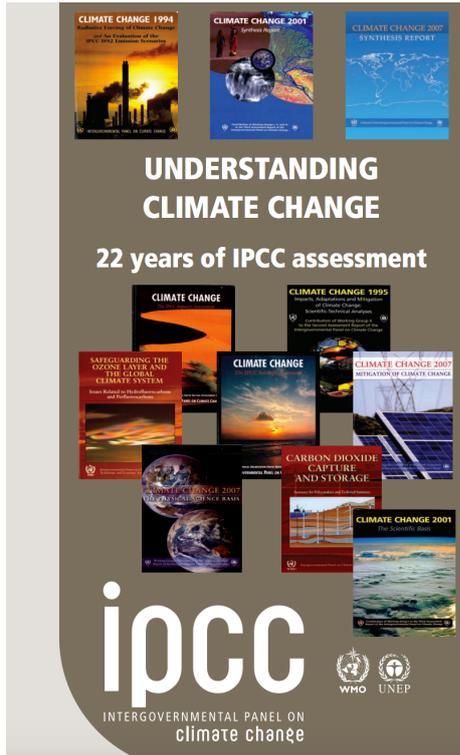
### 1. 국제적인 대응노력

- 1979년 개최된 제1차 국제 기후총회에서 기후변화문제의 심각성을 국제사회가 공유
- 1988년 11월에는 유엔환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)가 공동주관으로 기후변화 현상 규명, 영향 및 대응전략 분석 등 광범위한 검토를 위해 '**기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)**'을 설립
- IPCC는 과학적 연구의 교두보 역할을 하고 있으며 3개의 분과 (Science, Impacts, Mitigation)로 구성되어 전세계 2,000여 명의 과학자가 참여, 활동

UNEP: United Nations Environment Programme

WMO: World Meteorological Organization

# 기후 변화에 관한 정부간 패널 (IPCC)



- 세계 기상 기구(WMO)와 국제 연합 환경 계획 (UNEP)에 의해 1988년 설립된 조직
  - 인간 활동에 대한 기후 변화의 위험을 평가
  - 기후 변화에 관한 국제 연합 기본 협약 (UNFCCC)의 실행에 관한 보고서를 발행
    - 초대 평가보고서 (FAR): 1990 (1992)
    - 두 번째 평가보고서 (SAR): 1995
    - 세 번째 평가보고서 (TAR): 기후보고서 2001
    - 네 번째 평가보고서 (AR4): 기후변화 2007
    - 다섯 번째 보고서 (AR5): 기후변화 2014
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)  
[\(https://www.ipcc.ch/\)](https://www.ipcc.ch/)



## 기후변화 대응

### 2. 기후변화협약 채택

- 기후변화협약(UNFCCC)은 1992년 5월 유엔환경개발회의의 (UNCED)에서 채택되어 1994년 3월 공식적으로 발효
- 우리나라는 1993년 12월 세계 47번째로 가입하였으며, 1998년 11월 현재 176개국이 가입
- "인간이 유발하는 지구 기후시스템의 교란을 방지할 수 있는 수준으로 대기 중의 온실가스를 안정화시키는 것"을 목표로 함
  - ✓ 예방원칙: 기후변화에 대한 불확실성이 있더라도 국제사회는 대응 필요
  - ✓ 공동의, 그러나 차별화된 책임원칙: 기후변화에 대해 모든 국가가 공동으로 책임을 지나 의무부담에 있어서는 차별적인 책임이 적용
  - ✓ 형평성원칙: 모든 국가의 지속가능한 성장 보장, 개발도상국 특수상황 배려

UNFCCC: United Nations  
 Framework Convention on Climate Change

# 기후변화 대응

## 3. 교토의정서 (Kyoto Protocol)

- 1997년 일본 교토에서 열린 제3차 당사국총회에서 채택
- 선언적 의미를 넘어서 협약을 실현하기 위한 구체적 방안 마련
- 선진국의 구속력 있는 감축목표 설정, 온실가스 배출에 관한 권리를. 상품으로서 사고 팔 수 있는 (배출권거래제도) 제도 마련
- 배출권거래제도는 향후 에너지절약 및 이용효율 향상, 신재생에너지 개발 등 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 새로운 기술분야에 대한 투자 및 무역이 확대될 수 있는 계기
- 가입국간의 이해관계 대립으로 개발도상국 참여, 신축성 체제의 도입을 위한 구체적이고 제도적 장치와 관련된 문제는 합의에 이르지 못한 한계점

# 기후변화 대응

## 3. 교토의정서 (Kyoto Protocol)

- 1997년 일본 교토에서 열린 제3차 당사국총회에서 채택
- 선언적 의미를 넘어서 협약을 실현하기 위한 구체적 방안 마련
- 선진국의 구속력 있는 감축목표 설정, 온실가스 배출에 관한 권리를. 상품으로서 사고 팔 수 있는 (배출권거래제도) 제도 마련

교토의정서에 도입된 시장 요소		
구 분	조항	주요 내용
공동이행제도 (JI)	제6조	부속서 I 국가(A국)가 다른 부속서 I 국가(B국)에 투자하여 온실가스 배출을 감축하면 그 가운데 일부를 A국의 감축으로 인정
청정개발제도 (CDM)	제12조	부속서 I 국가(A국)가 비부속서 I 국가(C국)에 투자하여 온실가스 배출을 감축하면 그 가운데 일부를 A국의 감축으로 인정
배출권거래제 (ET)	제17조	온실가스 감축 의무가 있는 국가들에 배출 할당량을 부여한 후, 해당 국가들이 서로 배출권을 거래할 수 있도록 허용 (환경부)

### 기후 변화협약 관련 일정

- 2005년**  
교토의정서 발효
- 2007년 12월 14일**  
발리 로드맵 채택
- 2008~2012년**  
교토의정서 1차 이행기간
- 2009년**  
교토의정서 대체 새 협약 채택 예정
- 2013~2017년**  
새 협약 이행기간 자료: 환경부



### 한국의 온실가스 배출 현황

- 배출량 **5억9000만 t**
- 증가율(1990~2004년) **90.1%**
- 1인당 배출량 **12.28t**
- 증가율(1990~2004년) **69.5%**

자료: UNFCC

### 온실가스 배출량 국가 순위 (2004년 현재, 단위: t)

1 미국	70억6700만
2 중국	47억3000만
3 러시아	20억2000만
4 인도	미신고
5 일본	13억5500만
6 독일	10억1500만
7 캐나다	7억5800만
8 영국	6억6500만
<b>9 한국</b>	<b>5억9000만</b>
10 이탈리아	5억8000만

자료: UNFCC

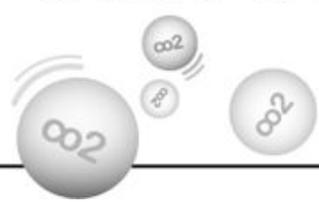
### 정부 온실가스 감축 목표



## 기후변화 대응

### 파리 협정과 교토의정서 비교

 <b>교토의정서</b>		<b>파리 협정</b> 
일본 교토 제3차 기후변화협약 당사국총회(COP3)	<b>개최국</b>	프랑스 파리 제21차 기후변화협약 당사국총회(COP21)
1997년 12월	<b>채택</b>	2015년 12월12일
주요 선진국 37개국과 유럽연합(EU)	<b>참여 국가</b>	개발도상국 포함 196개국
2008 ~ 2020년	<b>적용시기</b>	2020년 교토의정서 만료 이후
기후변화 주범인 온실가스를 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 7개로 규정	<b>주요 내용</b>	지구 평균기온 상승폭을 산업화 이전 대비 1.5도까지 제한하기로 노력
온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축		선진국은 2020년 이후 개도국에 매년 최소 1,000억 달러 지원
선진국에만 온실가스 감축 의무 부과		선진국과 개도국 모두 자발적 온실가 감축목표(INDC) 제출, 온실가스 저감에 참여
		INDC에 국제적 구속력 부여하지 않음
		2023년부터 5년마다 이행 상황 점검



# 기후변화 대응



# 기후변화 대응



## 1992년 유엔기후변화협약 채택(1994년 발효)

1992년 환경개발회의(UNCED)에서 서명을 시작한 기후변화협약은 형평성, 공통의 그러나 차별화된 책임과 개별 국가의 능력을 고려하여 선진국과 개발도상국에 다른 종류의 기후변화 대응 의무를 부과하였다.

※ 2016년 5월 현재, 196개국과 유럽연합(EU)이 당사국. 우리나라는 1993년 가입.



## 1997년 (COP3) 교토의정서 채택(2005년 발효)

기후변화협약을 구체적으로 이행하기 위하여 제3차 당사국총회가 채택한 교토의정서는 제1차 공약기간인 2008년에서 2012년까지 선진국의 온실가스 배출량을 1990년도 수준에 비하여 평균 5.2% 감축하도록 규정하고 있다.

※ 2016년 5월 현재, 191개국과 유럽연합(EU)이 당사국. 우리나라는 2002년 비준.



## 2007년 (COP13) 발리행동계획 채택

제13차 당사국총회는 발리행동계획을 채택하여 교토의정서 제1차 공약기간 이후에 적용될 합의문을 채택하기 위한 Post-2012 협상을 시작하였다.

# 기후변화 대응



## 2009년 (COP15) 코펜하겐 총회에서 post-2012 협상 결렬

Post-2012 협상 시한이었던 2009년 제15차 당사국총회에서 국가 간 의견 차이와 협상 과정상 문제로 협상이 결렬되어 기후체제에 위기를 초래하였다.



## 2011년 (COP17) 더반 총회에서 교토의정서 공약기간 연장, 신기후체제 수립을 위한 Post-2020 협상 개시

제17차 당사국총회는 교토의정서 제2차 공약기간을 2013년부터 2020년까지로 정하였으며, 2015년 제21차 당사국총회를 협상 시한으로 설정하고 신기후체제를 위한 Post-2020 협상을 시작하였다.

\* 교토의정서 제2차 공약기간을 규정한 도하개정문은 2016년 5월까지도 발효되지 않음.



## 2015년 (COP21) 신 기후체제의 기반이 되는 파리협정 채택

# 기후변화 대응

### 분야별 온실가스 감축 시도

- 산업 부문**

  - 저탄소 신공정 기술 도입
  - 폐열회수발전, 열병합발전 등 연료대체 기술 개발
  - 온실가스 배출권 거래제 시행
- 수송 부문**

  - 전기차 수소차 등 그린카 도입
  - 연비 개선(2015년 km당 140g 기준을 2020년 km당 97g으로 강화)
  - 경유 및 휘발유에 바이오연료 혼합비율 증가
  - 고속철도 및 광역철도 확충, 원격근무, 자전거 활성화 등
- 건물 부문**

  - 단열 및 냉난방 성능 강화
  - 자연냉방기술 등 설비효율 개선
  - 가전기기 고효율화
- 폐기물 및 농업 등 부문**

  - 폐기물 감량
  - 매립가스 발전 등 가연성 폐기물의 에너지화
  - 가축분뇨 에너지화 및 사료 품질 향상
- 발전 부문**

  - 화력발전의 단계적 축소
  - 신재생에너지 공급 의무화(RPS) 제도 시행
  - 풍력, 태양광, 지열 등 적극적 확대
  - 스마트그리드, 탄소포집저장(CCS) 기술 개발

(from <http://news.donga.com>)