




## 3. 기후변화 현상과 영향

---

제3주차 강의 (비대면)

담당교수 강 승 진



## 강 의 순 서

가. 기후변화 현상

나. 온실가스-기후변화 원인 물질

다. 기후변화의 영향



# 지난시간 학습내용 요약

- 에너지사용의 유용한 점
  - 산업혁명 시기에 화석연료를 사용하면서 대량생산이 가능해짐
  - 에너지의 사용은 인류에게 물질적 풍요와 편리한 생활을 가능하게 함
- 에너지사용의 문제점
  - 환경문제: 대기오염과 미세먼지 문제
    - 3대 대기오염물질: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM
  - 기후변화문제: 지구 기온의 상승으로 인한 전지구적 환경문제
    - 화석연료 사용으로 인한 온실가스(CO<sub>2</sub> 등) 배출
  - 에너지 시설에 대한 주민 수용성 문제
    - 님비 현상(NIMBY: Not In My Back Yard): 에너지 시설에 대한 기피
  - 기타 문제
    - 자원고갈 및 에너지안보, 사고 및 안전문제



# 가. 기후변화 현상

- 기후변화(Climatic Change)
    - 여러가지 요인에 의해 지구 기온이 상승하는 현상
    - 지구온난화(Global Warming)라고도 함
  - 기후변화의 원인
    - 자연적인 원인
      - 태양 복사에너지의 변화
      - 지구 공전궤도의 변화
      - 화산활동, 지각활동 등 자연변화
      - 기후시스템의 자연 변동
    - 인위적인 원인
      - 온실가스와 에어러졸의 농도 증가: 온실효과
      - 삼림 파괴 및 환경변화
- \* 문제점: 인위적인 원인이 자연적인 균형을 깨고 있음



# 가. 기후변화 현상

- 온실효과(Greenhouse Effect)
  - 태양 복사열의 일부가 대기중에 흡수되어 기온이 올라가는 현상
    - \* 마치 겨울에 온실 안의 기온이 외부보다 높게 나타나는 현상
  - 자연적 온실효과
    - 태양 복사열의 일부는 자연상태의 대기에 흡수되어 대기 온도를 적절하게 유지시키는 역할을 함: 지구기온을 온화하게 하여 생물 성장에 적합
      - \* 자연적 온실효과: 기온 33°C 상승시킴 → 지구 평균기온 15°C 유지
  - 인위적(Anthropogenic) 온실효과
    - 자연적인 온실효과 이외에 화석에너지 사용 증대에 따른 온실가스 증가로 추가적으로 기후가 변화하는 현상
    - 즉, 인류가 추가적으로 야기하는 온실효과임 → 전지구적 문제

# 온실효과

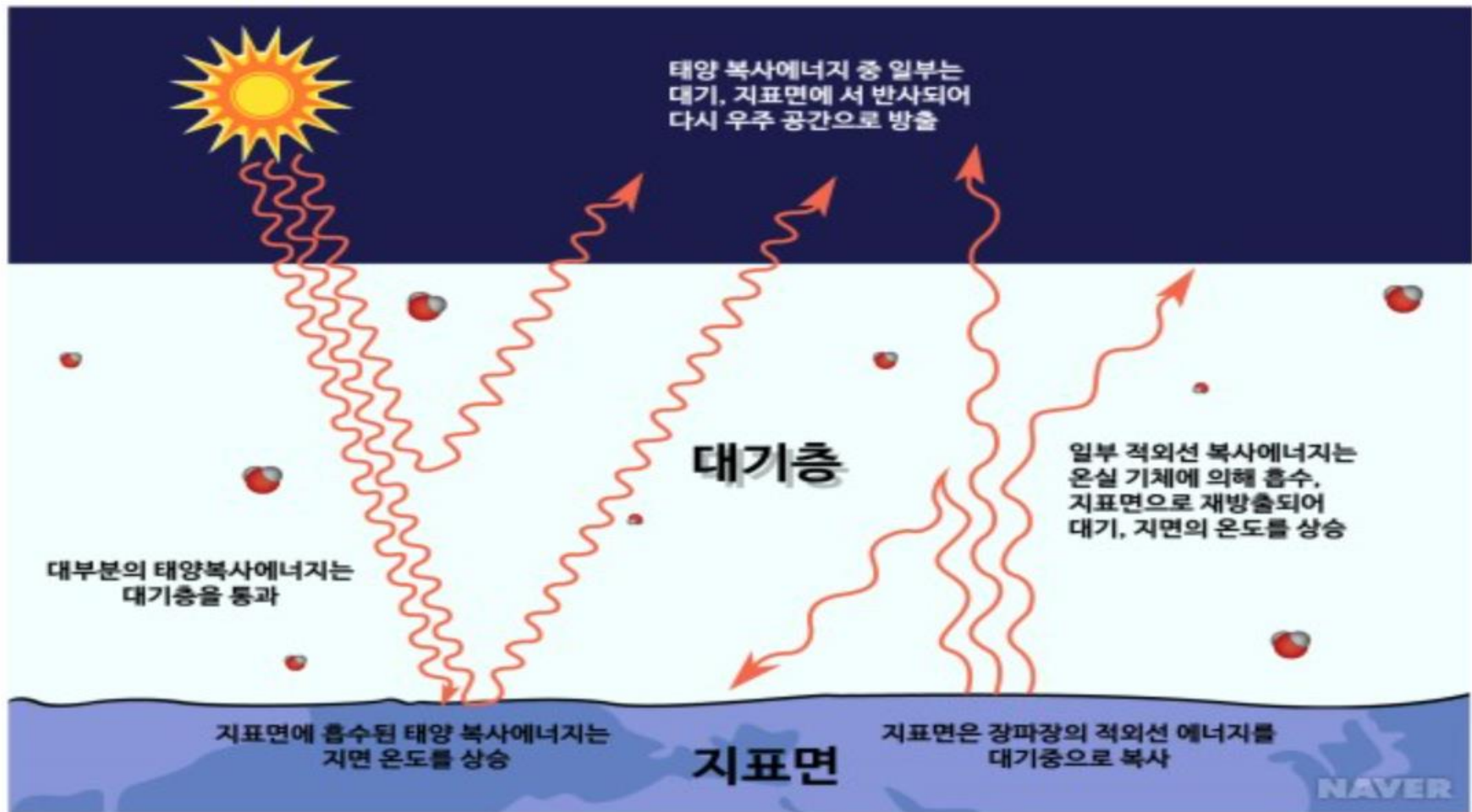


그림 1. 지구 대기에 섞여있는 온실가스는 대기와 같은 온도를 가지고 있고, 대기는 지표면보다 일반적으로 춥기때문에, 온실가스가 방출하는 빛은 지표면이 방출하는 빛보다 적은 강도를 가지게 된다.(출처 : 한국기상학회)



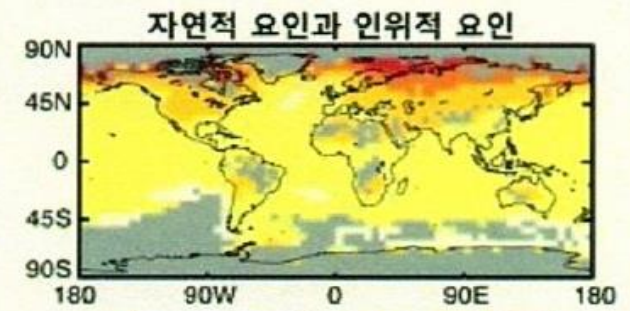
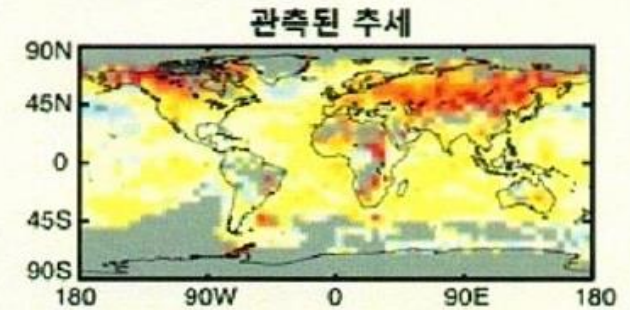
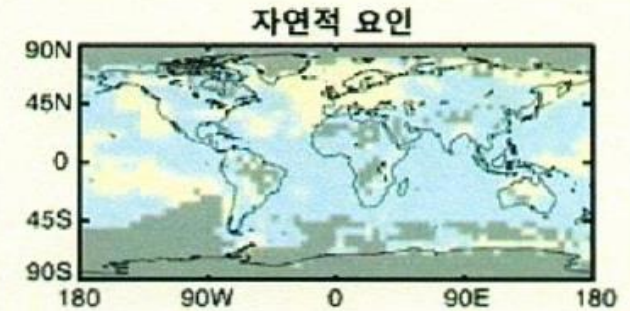
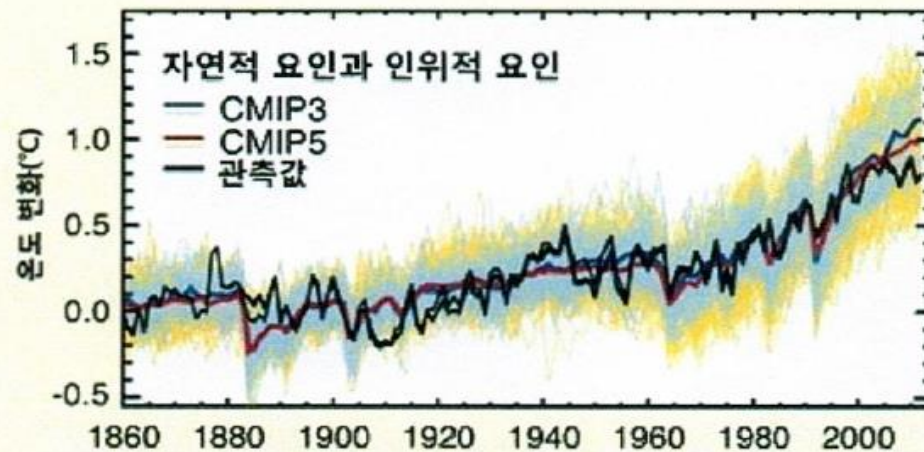
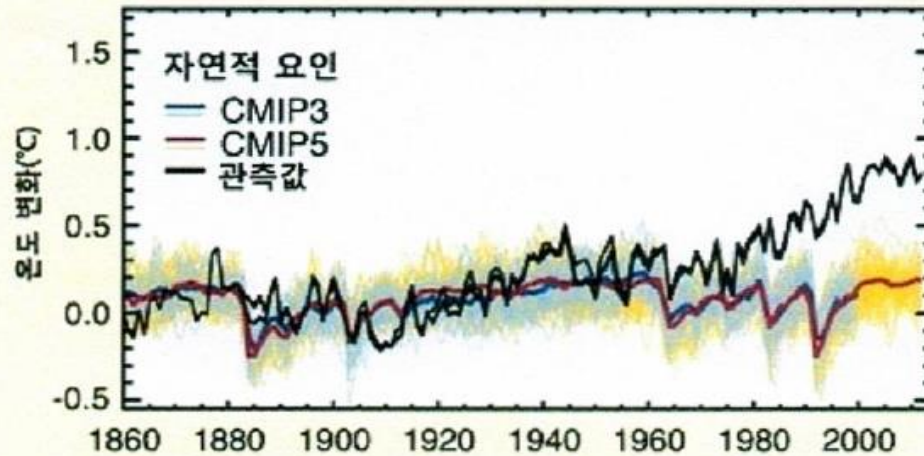
# 가. 기후변화 현상

- 전 지구적인 기후변화: 이상기후 현상 증가
  - 지난 130여년(1880-2012년) 간 지구 평균기온 0.85°C 상승
  - 지구 평균 해수면은 19cm 상승: IPCC 제5차 평가보고서(2013년)
- \* IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
  - 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC): 기후변화에 대한 과학적 연구를 수행함
  - 1988년 유엔환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)가 공동으로 설립
  - 전세계 각국의 기상학자, 생태학자, 경제학자 등 약 7,000여명이 참여
  - 1990년 기후변화에 관한 제1차 평가보고서(AR1) 발간 후 2013년까지 총 5차례 평가보고서 발간
- 2018년의 경우 전 지구 평균기온은 19세기 후반보다 1.0°C 상승
  - 특히, 최근의 기온 상승폭이 높음
- 북극해 빙하면적 감소로 인한 한파와 폭설 가능성 증가
  - 1979년 이래 9월 기준 북극의 해빙면적이 지속적으로 감소 추세
  - 이로 인해 유럽, 북미, 동아시아 등에 한파 및 폭설 유발



# 가. 기후변화 현상

## 자연적 요인과 인위적 요인이 기후변화에 미친 영향 비교



-2 -1 0 1 2  
1951-2010 동안의 온도 변화 (°C)





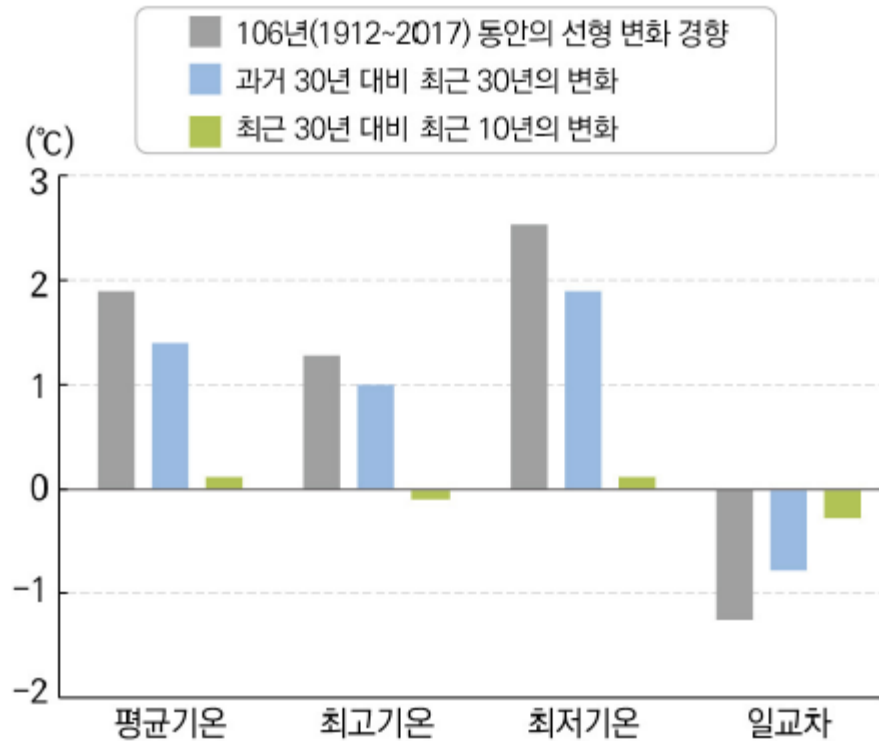
# 가. 기후변화 현상

- 한국의 기후변화 (정부, 제2차 기후변화대응 기본계획, 2019)
  - 지난 106년간 평균기온  $1.8^{\circ}\text{C}$  상승, 폭염.한파 등 기상이변 증가
  - (기온) 1912년(6대 지점 관측) 대비 매 10년마다  $0.18^{\circ}\text{C}$  상승
    - 계절적으로 겨울  $+0.25^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 봄  $+0.24^{\circ}\text{C}$  기온상승이 큼
    - 2018년 여름평균기온  $25.4^{\circ}\text{C}$ 로 역사상 가장 높음(서울 최고기온  $39.6^{\circ}\text{C}$ )
  - (강수량) 지난 106년 동안 연간 강수량  $16.3\text{mm}/10\text{년}$  증가
    - 연간 강수일은 변화가 없음 → 특히 여름철 폭우가 자주 발생함
  - (계절) 과거 30년과 최근 30년 비교 시 여름이 길어지고 겨울이 짧아지는 지구온난화 현상 발생
    - 여름 기간  $+19\text{일}$ , 겨울 기간  $-18\text{일}$ )

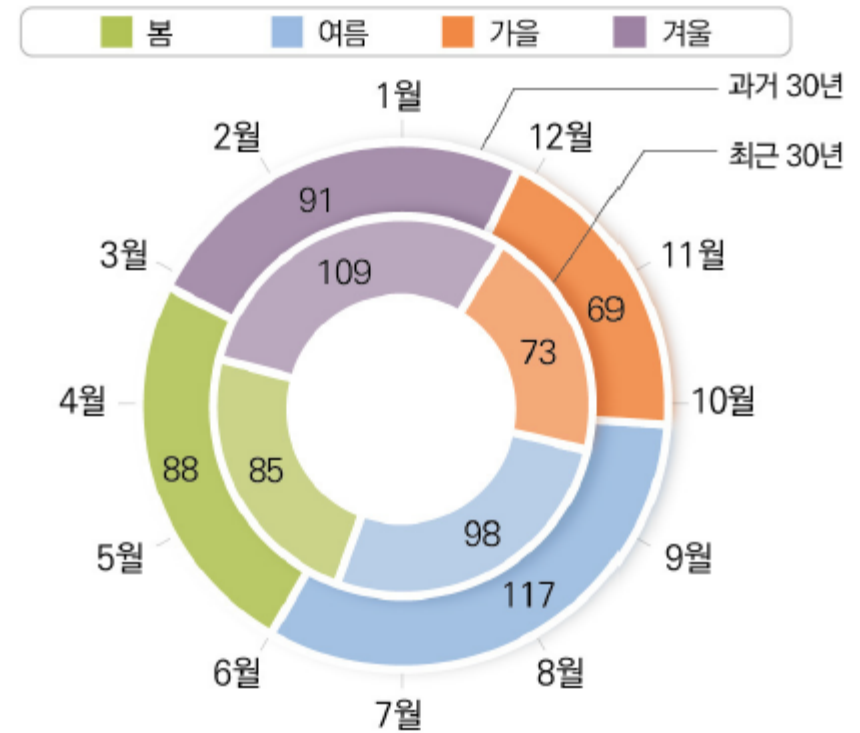
# 가. 기후변화 현상

[그림 1-1] 우리나라 이상기후 현상

우리나라 기온변화(1912~2017년)



우리나라 계절길이 변화(과거 30년 vs 최근 30년)



출처 한반도 100년의 기후변화(국립기상과학원, 2018)



## 나. 온실가스

- 온실가스(Greenhouse Gases: GHG)
  - 지구온난화를 유발하는 인위적인 온실가스
    - 태양 복사열을 흡수하여 대기 기온을 상승시킴
    - 대기 중에 배출되면 오랫동안 머물러 있음(100년 이상 체류)
  - 주요 인위적인 온실가스와 배출원
    - 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ): 화석연료 연소, 산림벌채, 시멘트 생산 등
    - 메탄( $\text{CH}_4$ ): 논농사(쌀 경작), 가축(되새김동물) 사육, 폐기물 매립, 연료 연소
    - 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ): 질소비료 사용, 화학공장, 연료연소(일부)
    - 수소불화탄소(HFCs): 냉매 사용(냉장고, 에어컨)
    - 과불화탄소(PFCs): 반도체 제조공정(식각공정)
    - 육불화황( $\text{SF}_6$ ): 절연제(고압전류 차단기), 반도체 공정
  - 이러한 온실가스는 경제활동과정에서 배출됨
    - 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료 사용으로  $\text{CO}_2$  가 대량으로 배출됨

## 나. 온실가스

- 온실가스의 종류와 특징

구 분	이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	메탄 (CH <sub>4</sub> )	아산화질소 (N <sub>2</sub> O)	F 가스 (HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub> )
대기체류기간	5-200년	12년	114년	45-260년
배출원	화석연료 연소, 산림벌채	쌀경작, 가축사육, 폐기물 매립	질소비료 사용, 화학공정	냉매, 반도체 제조공정, 절연제
산업혁명 이전 농도	275 ppm	722 ppb	270 ppb	0
2011년 농도 (증가율)	391 ppm (40%)	1,803 ppb (150%)	324 ppb (20%)	-
지구온난화지수 (GWP, 100년간)	1	23	296	1,100-22,200

자료: IPCC, Climate Change 2013, WG-1 Technical Summary



## 나. 온실가스

- 주요 온실가스 배출 과정

- 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ): 가장 많은 온실가스(전체의 약 65%)

- 석유, 석탄, 천연가스 등 화석연료 연소과정에서 발생 → 연료속의 탄소 연소
    - 산림벌채: 광합성으로 이산화탄소를 흡수하여 저장하는 나무를 베어 버림
    - 시멘트 생산: 석회석을 가열하여 분해하는 과정에서 이산화탄소 발생

- \*  $\text{CaCO}_3$ (석회석) → 가열 분해 →  $\text{CaO}$ (시멘트 원료) +  $\text{CO}_2$ (이산화탄소)

- 메탄( $\text{CH}_4$ ): 두번째로 많은 온실가스(전체의 약 15%)

- 논농사: 논바닥이 물에 잠기면, 흙 속의 유기물이 공기(산소)가 없는 상태에서 분해되면서(혐기성 발효) 메탄이 발생
    - 소 되새김질: 소가 먹은 풀이 소화되기 쉽게 하려고 첫째 위에서 메탄발효가 일어남. 이를 되새김질 하려고 입으로 토해낼 때 다량의 메탄 배출
    - 쓰레기 매립: 땅속에서 공기가 없는 상태에서 유기물이 분해될 때 메탄 발생
    - 석유, 천연가스, 석탄 등의 생산과정에서 소량의 메탄 방출(탈루성)

## 나. 온실가스

- 주요 온실가스 배출 과정(계속)
  - 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ )
    - 질소비료 사용: 질소비료의 암모니아 성분이 분해되면서 발생
    - 화학공정: 암모니아 및 질산 생산 공정에서 발생
  - 수소불화탄소(HFCs)
    - 에어컨, 냉장고의 냉매로 사용됨 → 냉매가 대기중에 누출될 때 발생
  - 과불화탄소(PFCs)
    - 반도체 및 디스플레이 패널 정밀가공을 위한 웨이퍼 식각공정에서 사용됨
  - 육불화황( $\text{SF}_6$ )
    - 고압전기를 다룰 때 자기장을 약화시키므로 내부에 육불화황 가스로 채운 고압전기 차단기를 사용함. 최근 반도체 제조공정에서도 사용됨

※ 기타 온실가스(국내에서 규제되지 않는 가스)

- $\text{NF}_3$ (삼불화질소): 디스플레이, 반도체 제조공정에서 사용됨. 국내 온실가스 통계에는 비반영
- CFCs(프레온가스): 과거에 냉매로 사용, 오존층 파괴물질로 밝혀져 1996년부터 점차 사용이 금지됨



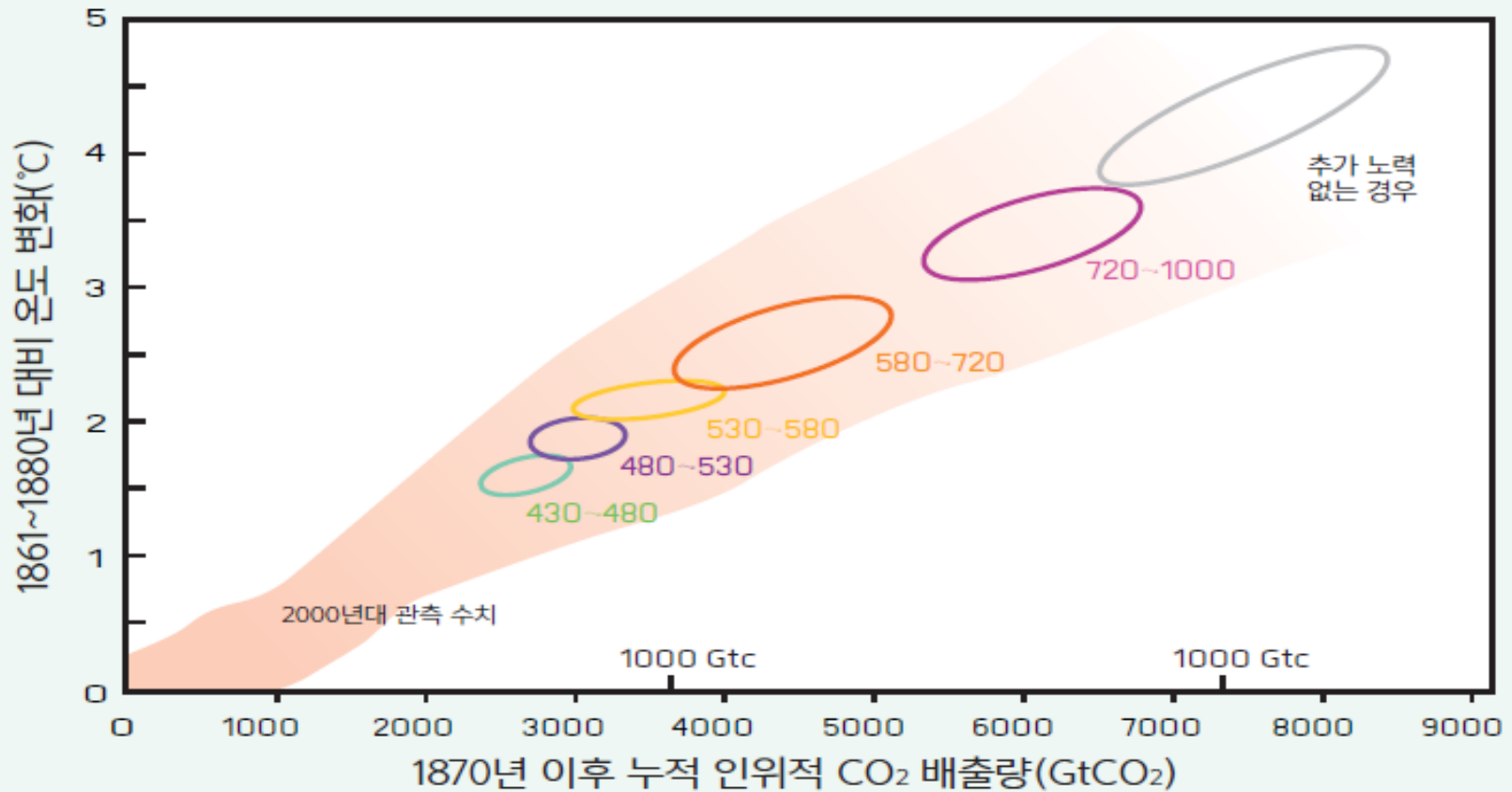
## 다. 기후변화의 영향

- 미래의 기후변화 진행은?
  - IPCC 제5차 평가보고서(2013년) 전망: 2100년에 예상되는 시나리오
    - 이산화탄소 농도: 현재(2013년) 391 ppm → 490 ~ 1260ppm 예상
      - \* 2018년 CO<sub>2</sub> 농도: 연평균 407.8ppm (세계기상기구, WMO)
    - 지구 평균기온 상승: 현재(2013년) 0.85°C → 2.6 ~ 4.8°C
      - \* 기온 상승은 인간의 건강에 나쁜 영향을 줌: 열사병, 열대 풍토병 등
    - 해수면 상승: 현재(2013년) 19 cm → 45 ~ 82cm
      - \* 해수면 상승으로 저지대 범람, 소규모 도서국가 국토 상실(예, 투발루)
    - 해수 산성화 진행: PH 지수 현재 8.2 → 7.8
      - \* 해수 산성화가 진행되면 해양 동식물의 생육 조건에 나쁜 영향을 줌



## 다. 기후변화의 영향

누적 이산화탄소 배출량과 온난화의 관계



출처 IPCC, 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report.



## 다. 기후변화의 영향

- 기후변화의 영향은 기상, 환경, 경제 등 모든 분야에 영향을 미침
  - 기후변화의 예상되는 피해
    - 폭염: 기온상승으로 열사병 증대, 고온 기후로 대규모 산불 발생
      - 인간의 건강에 나쁜 영향
    - 열대 폭풍우 증가: 태풍의 빈발, 세력이 강해짐
    - 강수 유형 변화: 지역에 따라 폭우, 가뭄(사막화) 발생
    - 빙하 감소: 북극지방과 육상(고산지대)의 빙하 감소
    - 해수면 상승: 빙하가 녹고, 수온 상승으로 발생 → 저지대 침수, 해안 침식
    - 해수 산성화: 해양 생물 생육 조건 변화 → 일부 생물 멸종 가능성
    - 생태계 변화: 기온상승으로 동식물 서식조건 변화
      - 육상 생태계 변화 → 농작물 재배 환경 변화 → 식량 문제 발생 우려
      - 해양 동물 이동 → 어획량 변화



## 다. 기후변화의 영향

- 세계 기상이변과 피해
  - 유럽.아시아 등 전 세계적으로 이상고온, 한파 발생
    - 폭염.산불: 유럽과 동아시아 지역의 기록적인 폭염현상 발생
      - \* 2017년 여름 스페인, 포르투갈 최고기온 40℃ 기록
    - 2019년 아마존 유역 및 호주 등에서 대규모 산불 발생
    - 한파.폭설: 2018년 미국, 캐나다에서 100년만의 최강 한파와 폭설 발생
      - \* 2021년 2월초: 미국 중부지역에 북극한파 닥침, 텍사스 지역 기온 -20℃ 기록
  - 사회.경제적 피해
    - 기상이변으로 인한 폭풍, 홍수, 이상고온 현상으로 수많은 인명피해 발생
    - 1998-2017년간 세계 기후재해 피해액 2,245억 달러로 추산\*
      - \* 자료: 국제재해경감전략기구, "경제적 손실, 빈곤 및 재해"→ "제2차 기후변화대응 기본계획" (2019.10)에서 재인용함
    - 인명, 시설 피해도 크지만, 농업, 관광업, 서비스업 등 유관산업에 연쇄적으로 부정적인 영향을 미쳐 경제적 피해 더욱 증가



## 다. 기후변화의 영향

- 한국의 기상이변과 피해
  - 한반도에 강한 한파와 기록적인 폭염 등 발생
    - 한파: 2018년 1월말-2월초 전국 평균기온은 1973년 이후 두번째로 낮았고, 국내 상층의 찬 공기가 지속 유입되면서 한파가 지속
      - \* 한파의 원인: 지구 북반구의 제트기류가 약해지면서 **북극한파**가 확산됨
    - 폭염: 2018년 여름철 전국 평균기온은 1973년 이후로 가장 높았고, 전국적 무더위가 이어지면서 낮에는 폭염, 밤에는 열대야가 발생
  - 우리나라 사회.경제적 피해
    - 기후변화로 인한 호우, 태풍, 대설 등으로 재산 및 인명피해 발생
    - 최근 10년간 기상재해로 152명의 인명피해 및 약 20만 명의 이재민 발생, 재산피해와 복구에 따른 경제적 손실은 10조 7천억원 발생
    - 특히, 태풍과 호우로 인한 피해액이 전체 피해규모의 88%에 달하여 기상재해 원인 중 가장 큰 비중을 차지함

# 다. 기후변화의 영향

## • 기온상승에 따른 기후변화의 영향 분석

온도 상승	물	식량	건강	토지	환경	급격한 변화
1°C	5천만 명의 물 공급 위협	온대 지역에서 곡물 생산이 약간 상승	최소 30만 명이 기후와 관련된 질병으로 사망 (설사, 말라리아, 영양실조 등)	영구동토가 녹아 캐나다와 러시아 등의 지역에서 건물과 도로 파괴	적어도 10%의 육상생물이 멸종 위기 80%의 산호가 표백	대서양의 열염분 순환이 약해지기 시작
2°C	몇몇 지역에서는 물 사용 가능성이 20-30% 감소 가능성	열대 지역에서 곡물 생산이 급격하게 감소	아프리카에서 4-6천만 이상의 사람들이 말라리아에 노출	매해 천만 명에 이르는 사람들이 해안침수 겪음	15-40%의 생물 멸종 위기 북극곰 등 북극 생물 멸종 위기	그린란드 빙상이 녹기 시작하여 해수면 상승, 최종적으로 7m까지 상승
3°C	남유럽에서는 10년마다 극심한 가뭄 발생 10-40억 이상의 사람들이 물 부족으로 고통	1억 5천-5억 5천만 이상의 사람들이 굶주릴 위험 고위도 지역에서 농산물 생산량 정점 도달	1-3백만 이상의 사람들이 영양실조로 사망	매해 최대 1억 7천만 명 까지 해안침수 겪음	20-50%의 생물 멸종 위기 아마존 열대우림 파괴	몬순 등 대기 순환에 급격한 변화가 발생할 위험 상승

자료: Nicolas Stern, "스턴보고서: 기후변화의 경제학", 2006. (환경부 홈페이지 번역본 참조)

# 다. 기후변화의 영향

## • 기온상승에 따른 기후변화의 영향 분석(계속)

온도 상승	물	식량	건강	토지	환경	급격한 변화
4°C	남아프리카와 지중해 지역에서 물 사용 가능성 30-50% 감소 가능성	아프리카에서 농산물 생산량 15-35% 감소	아프리카에서 8천만 명에 이르는 사람들이 말라리아에 노출	매해 최대 3억 명까지 해안침수 겪음	북극 툰트라 절반 정도 상실 절반 이상의 자연보호구역 이제 기능 상실	서남극 빙상의 붕괴 위험 상승 대서양의 열염분 순환 (THC)이 완전히 붕괴될 위험 상승
5°C	히말라야 빙하가 사라져서 중국과 인도의 수많은 사람에게 영향을 미칠 가능성	해양 산성화가 계속되어 해양 생태계가 심각하게 파괴		해수면 상승이 군소도서국과 저지대(플로리다), 그리고 뉴욕, 런던, 도쿄 등 세계의 주요 도시들을 위협		
5°C 이상	최근 연구에 따르면, 온실가스 배출이 계속되면 지구 평균 온도가 5°C보다 더 상승할 수 있다. 이런 수준의 온도 상승은 지난 시기(age)와 오늘날의 온도 상승과 동등한 수준이며 엄청난 혼란과 대규모 인구 이동을 초래할 것이다. 그러한 변화의 결과는 재앙적일 것이지만 지금 모델로는 인간의 경험을 벗어난 수준의 온도 상승에 따른 결과를 파악하기는 매우 어렵다.					

자료: Nicolas Stern, "스턴보고서: 기후변화의 경제학", 2006. (환경부 홈페이지 번역본 참조)



---

**수고하셨습니다.**