

지구온난화가 만든 기후위기

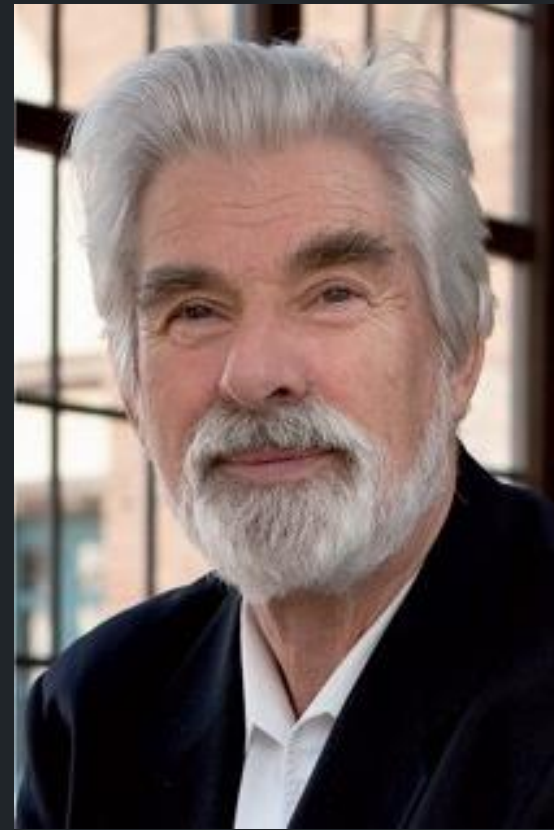


국종성
포항공과대학교

2021년 노벨 물리학상: 기후학자들이 수상!!!



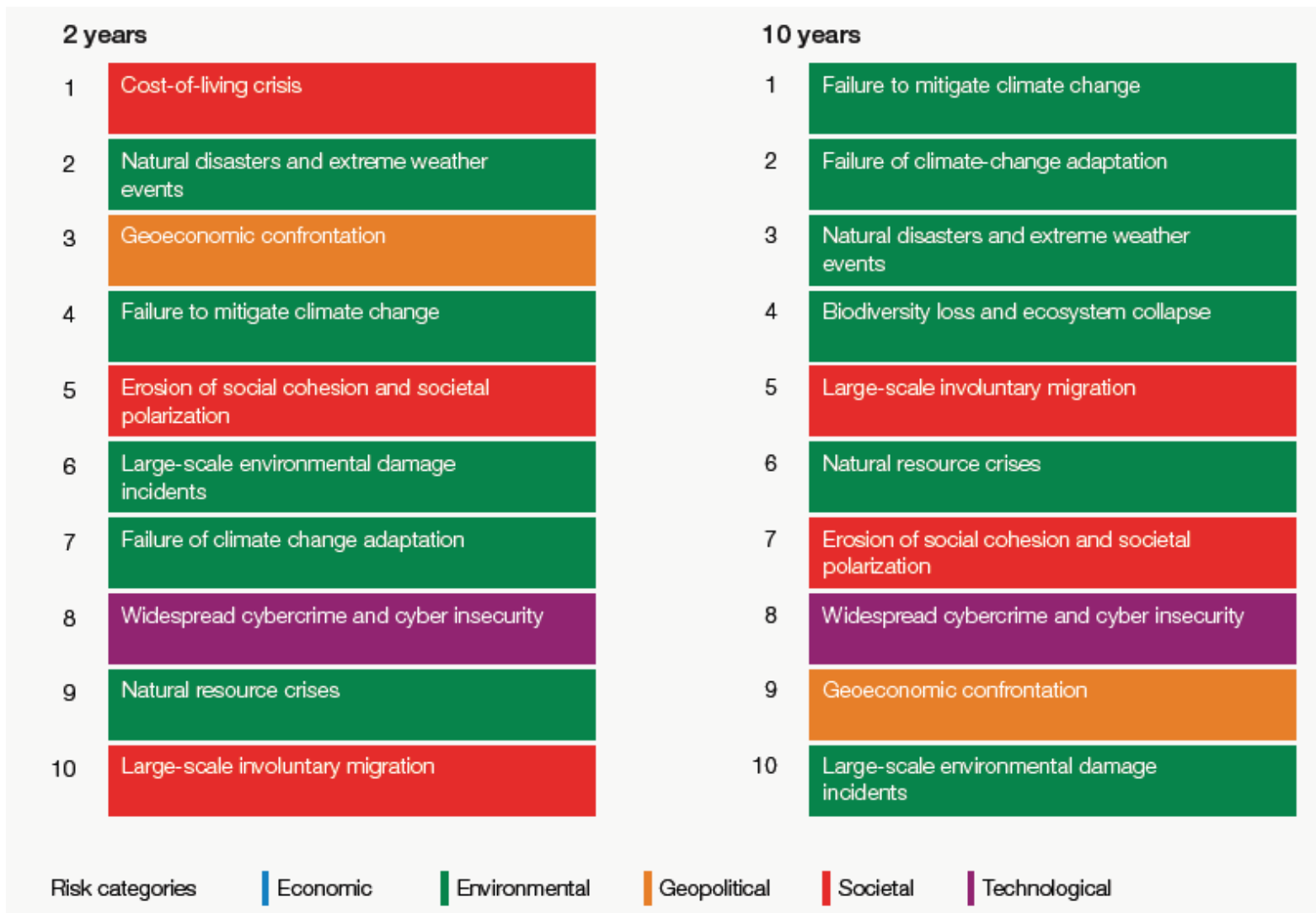
Syukuro Manabe



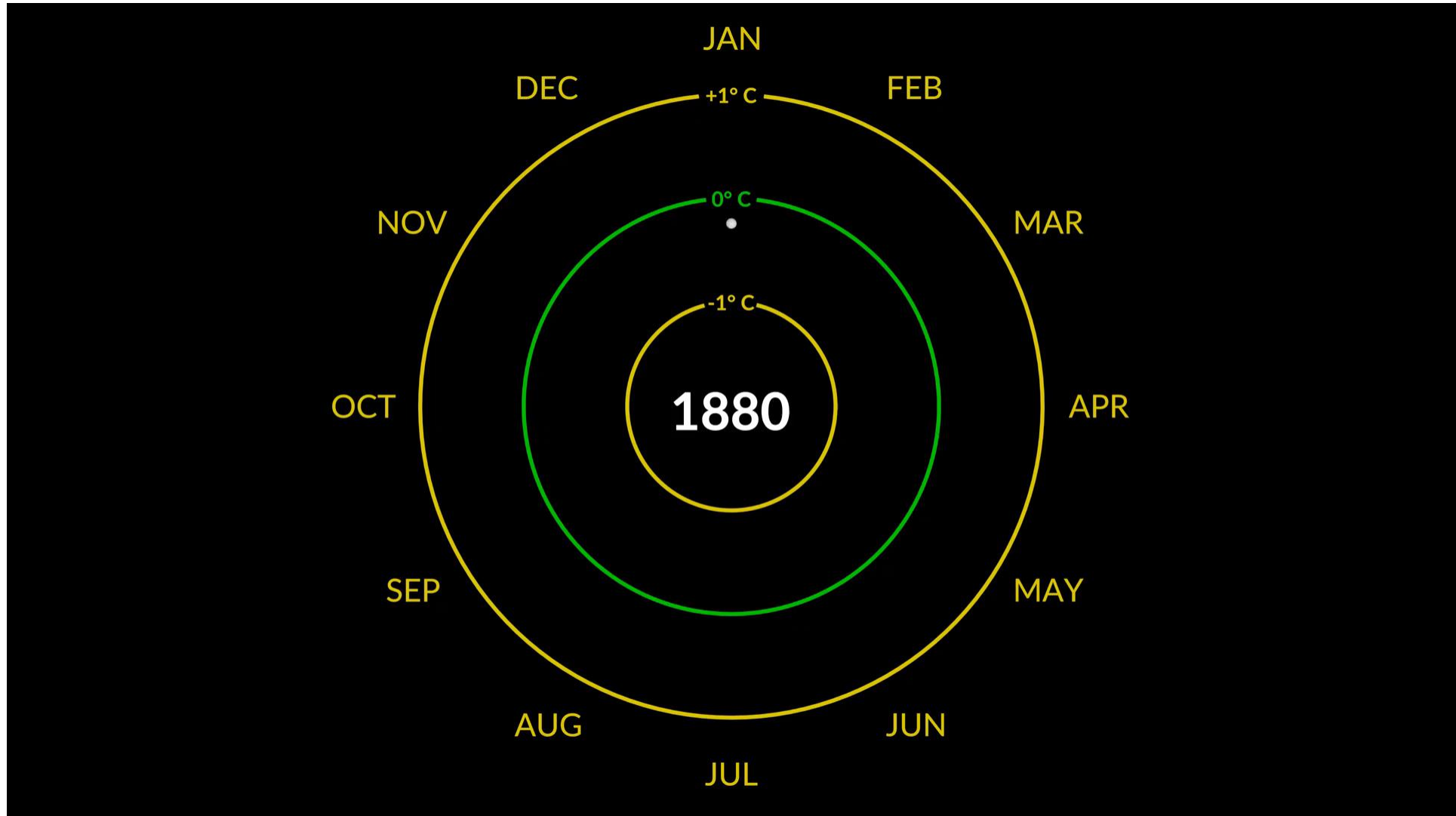
Klaus Hasselmann

**“지구 기후를 물리적으로 모델링하고, 기후 변동성을 정량화 하여,
신뢰할 수 있는 지구온난화 예측에 기여”**

세계경제포럼에서 뽑은 향후 위기 순위

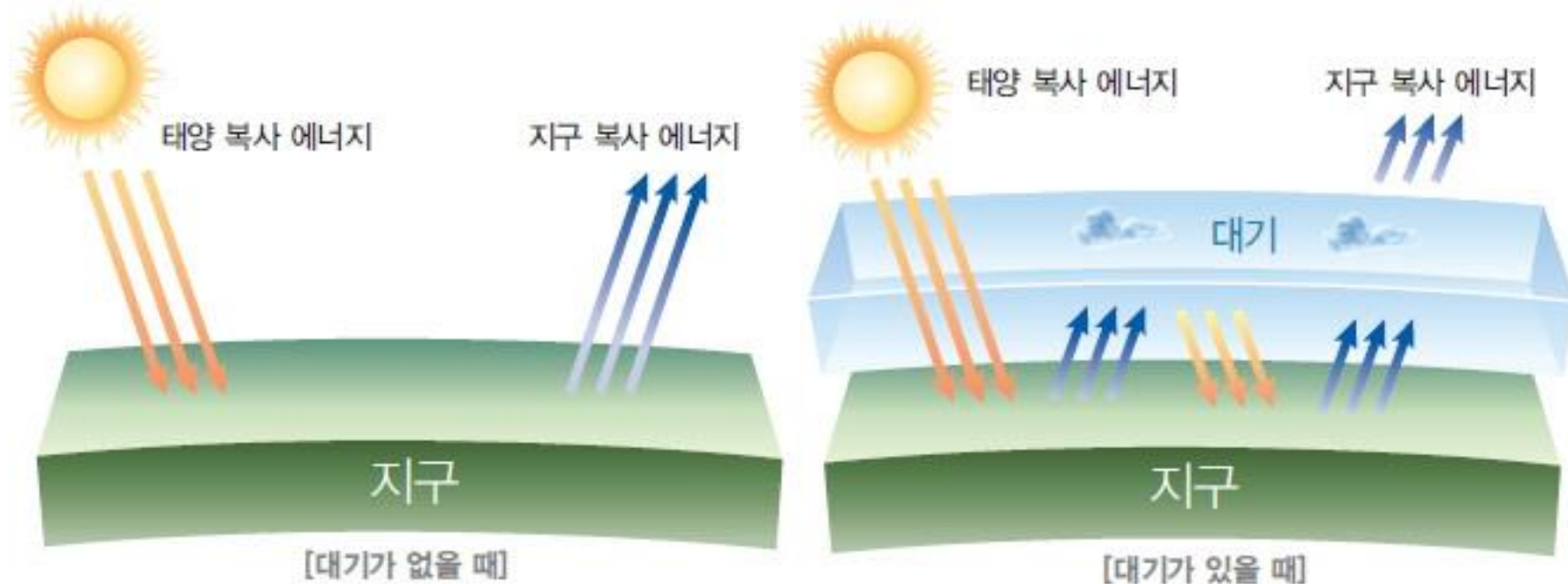


기후 나선 (Climate Spiral)

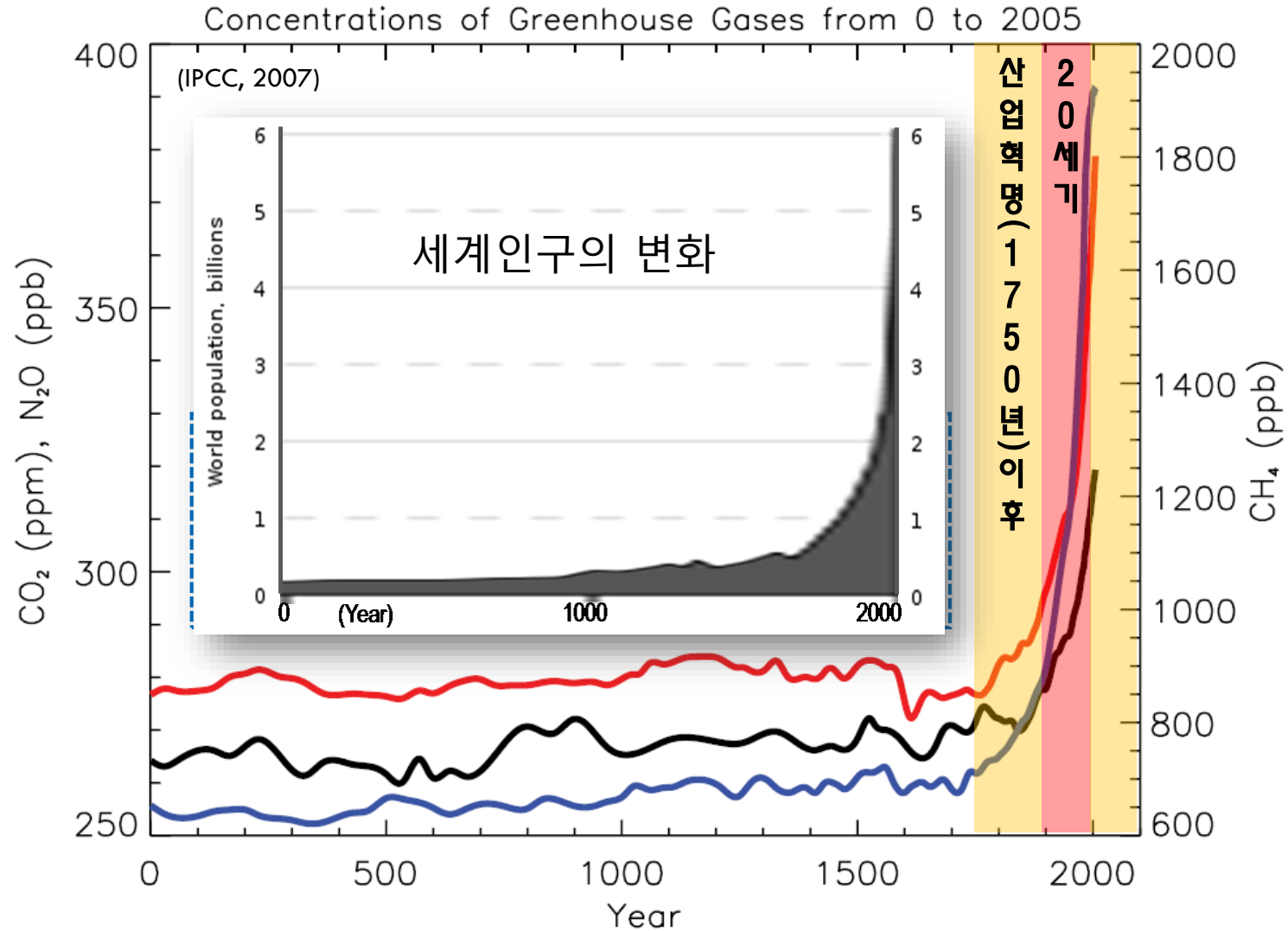


지구온난화: 온실 효과

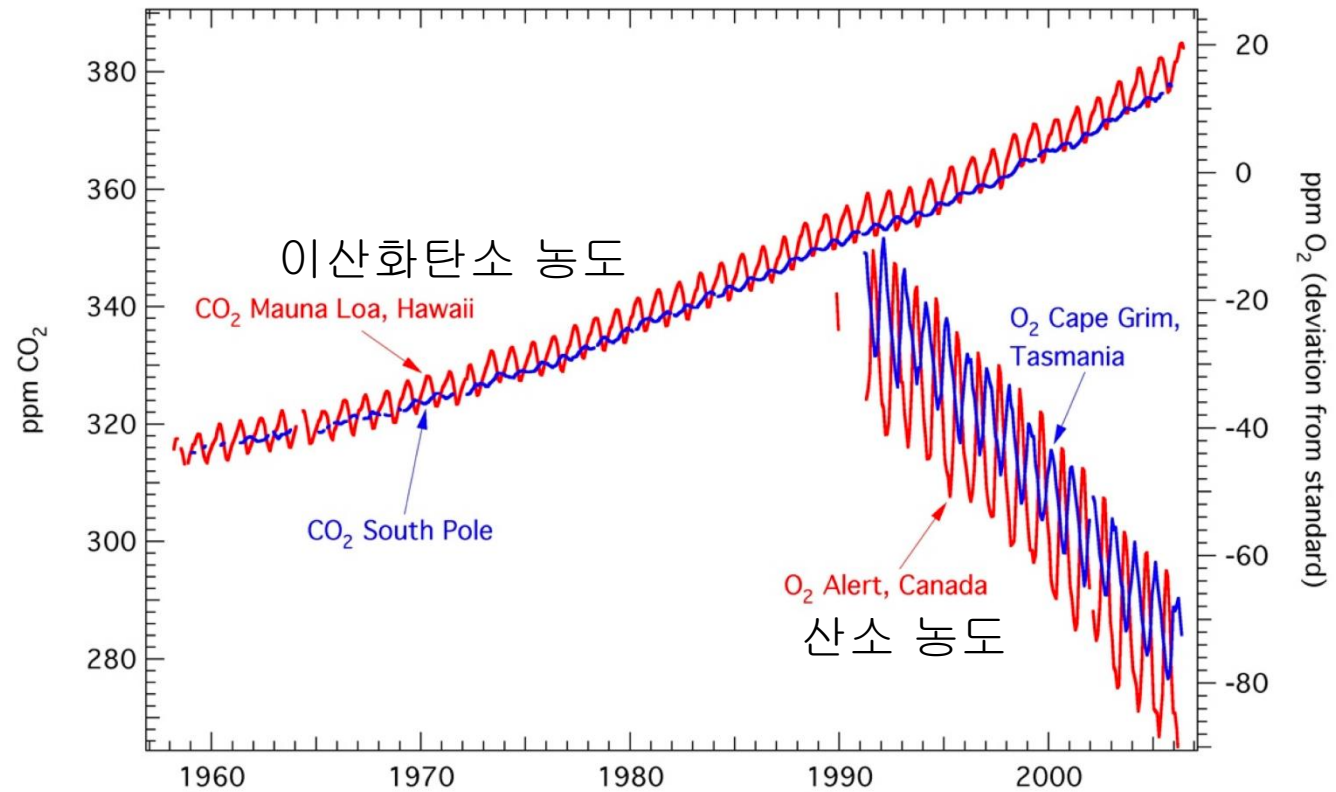
온실기체 : H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O ,



온실기체 농도 증가



이산화탄소와 산소



최근 지구촌 곳곳의 폭염

HOTTEST DAY IN HISTORY

INFERNO Homes on fire in Worthington yesterday

2022년 7월 영국



SBS NEWS 중국 149년 만의 폭염...가로수에 불이 붙었다 / SBS

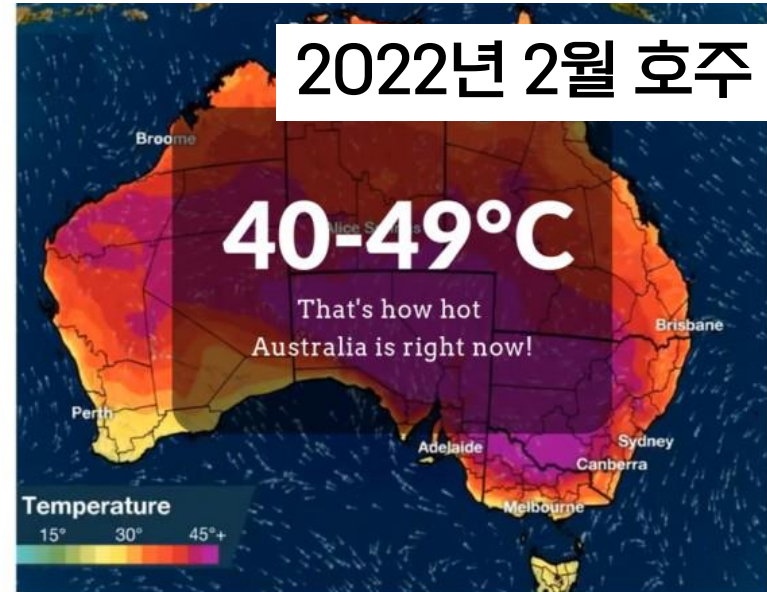
2022년 7월 중국



2022년 7월 일본



2022년 2월 호주



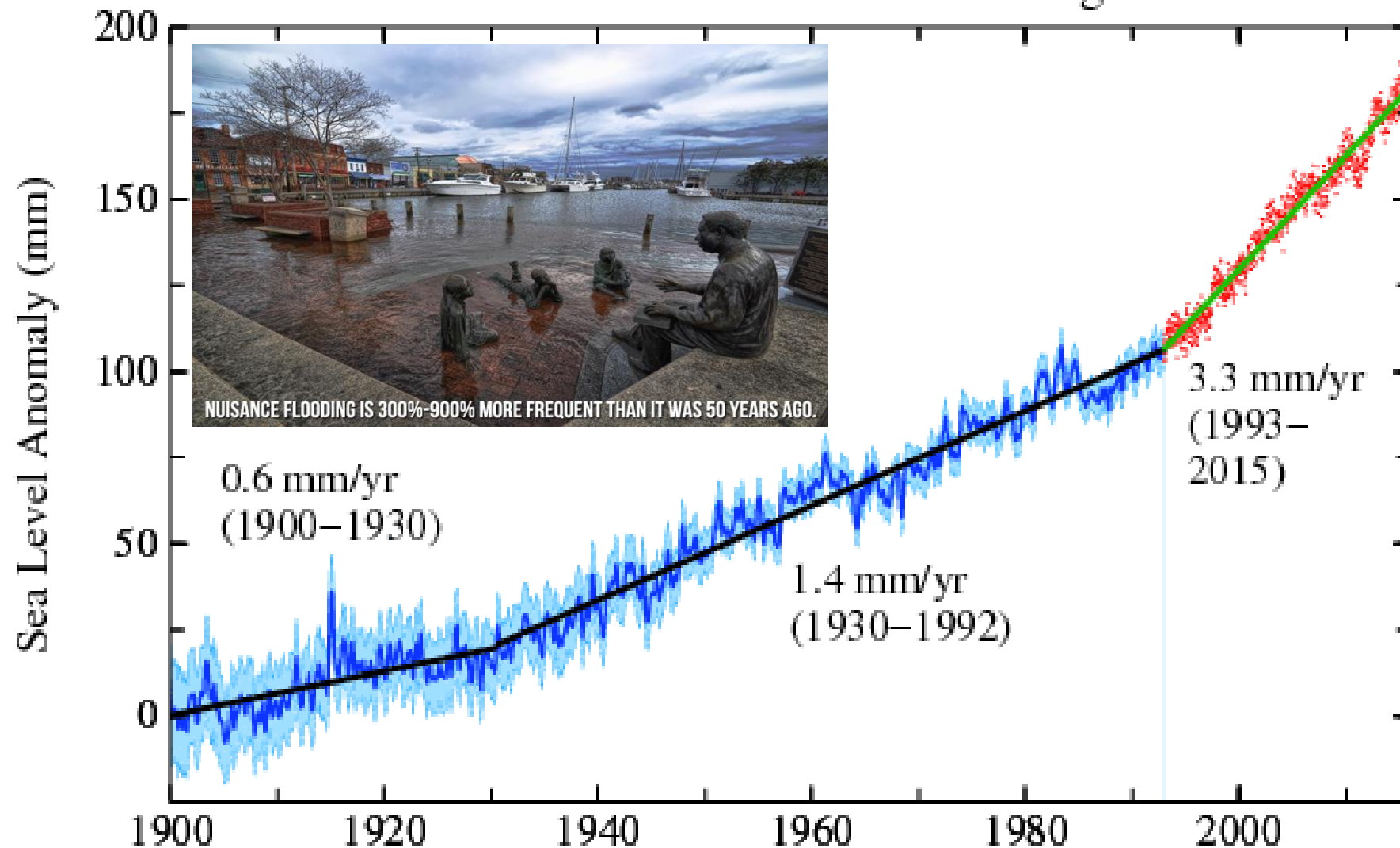
기후변화에 의한 해양환경 변화



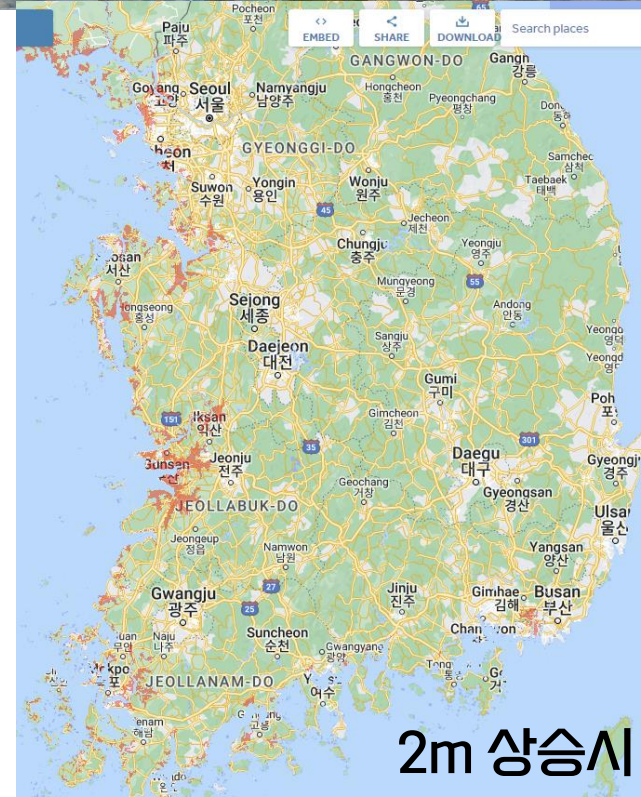
해수면 상승

해수면 상승은 가속되고 있다!!

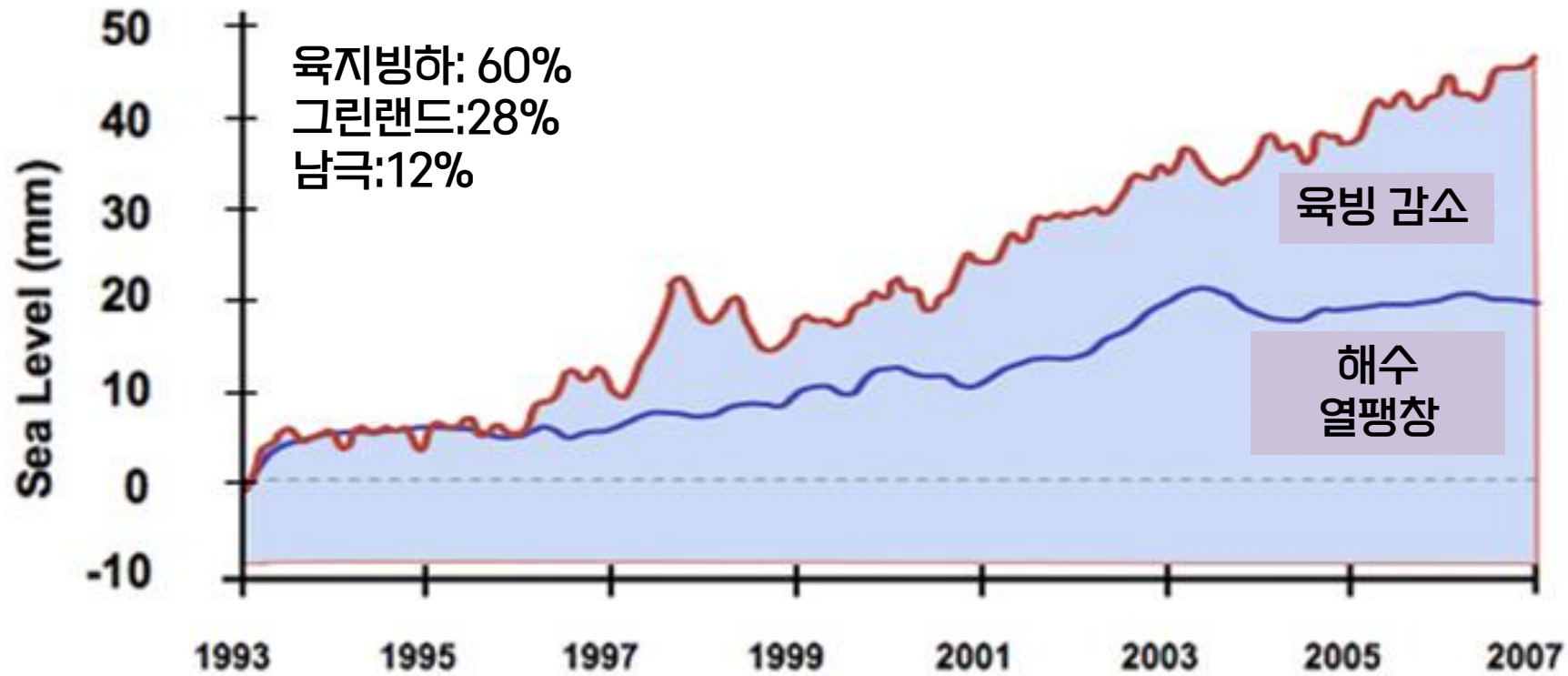
Global Mean Sea Level Change



해수면 상승



해수면 상승 원인



퀴즈 !!

➤ 남극의 빙하가 다 녹으면 전지구 해수면은 얼마나 상승할까?

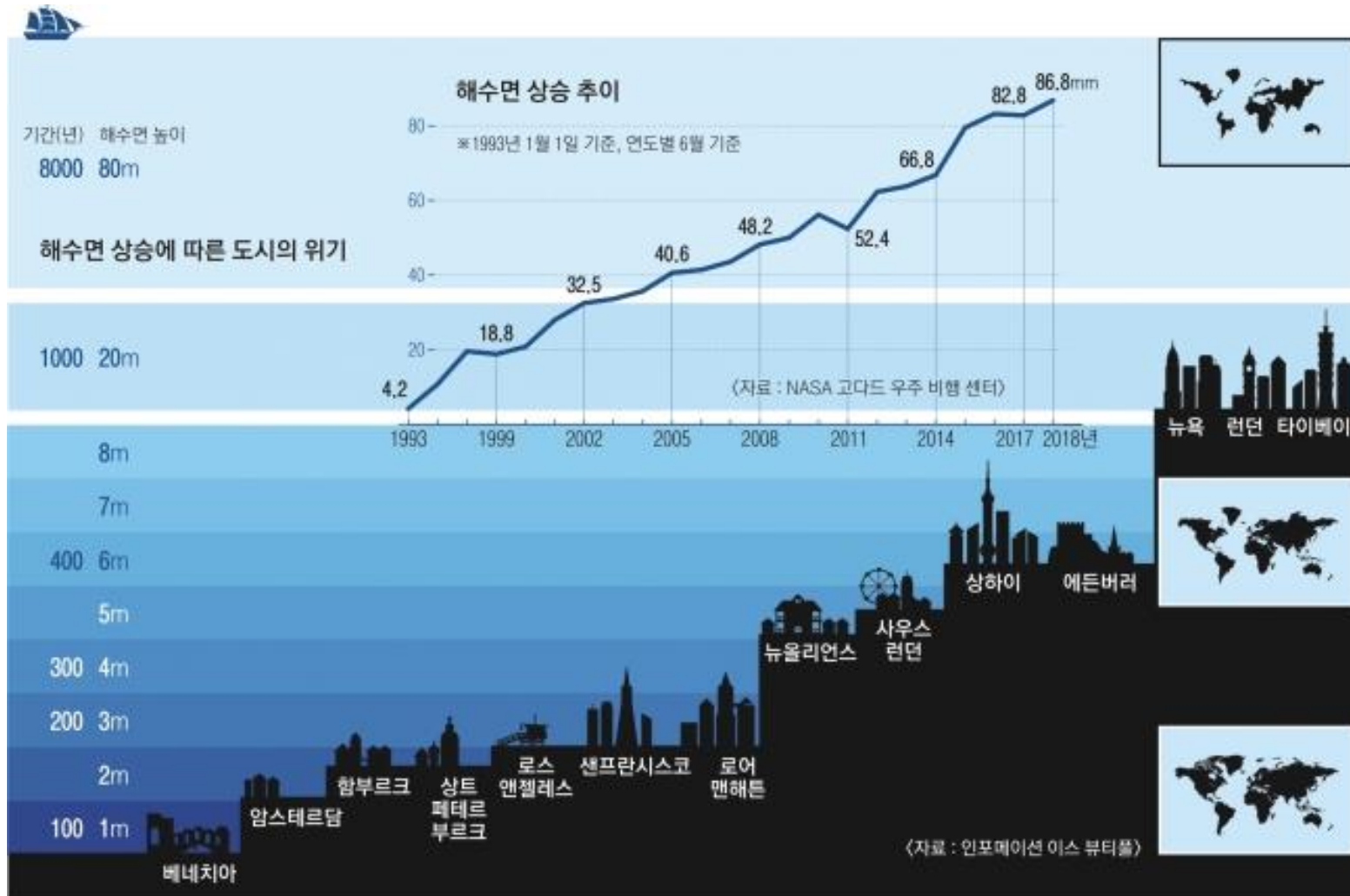
힌트:

1. 지구 물의 약 2%는 남극 빙하로 있다.
2. 전지구 바다의 평균 깊이는 약 3800m 이다.

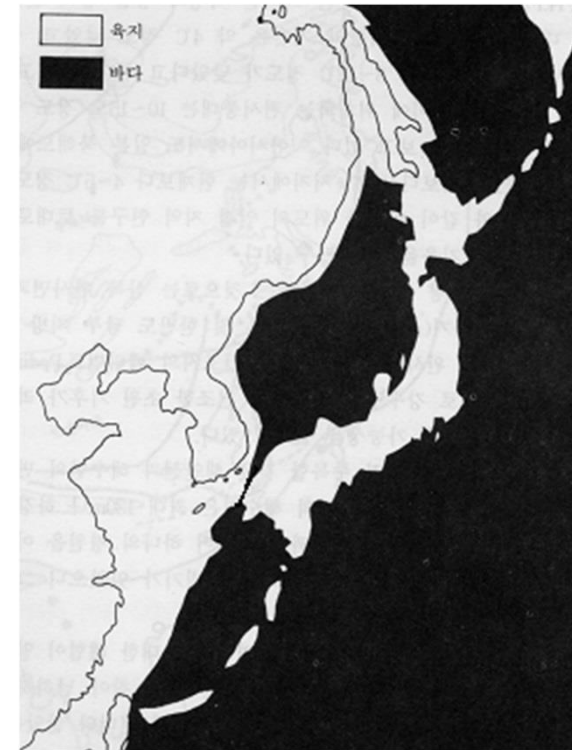
➤ 북극의 해빙($28,000\text{km}^3$)이 다 녹으면 전지구 해수면은 얼마나 상승할까?



해수면 상승이 지속된다면...

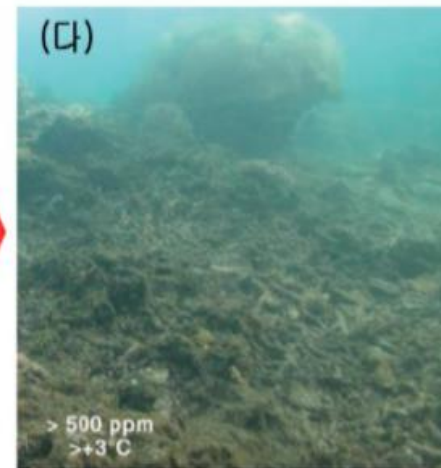
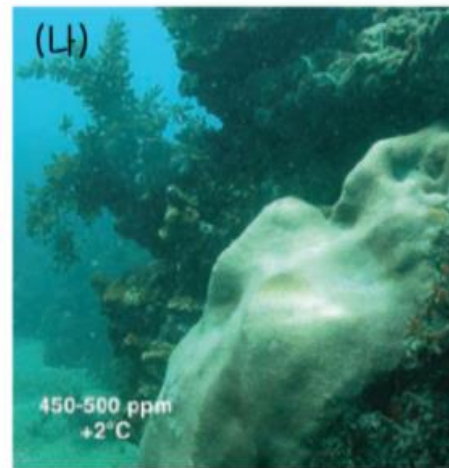
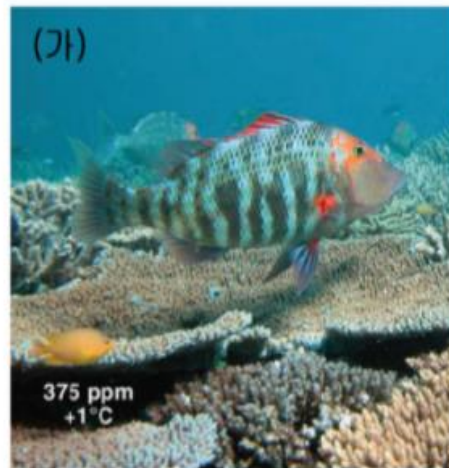
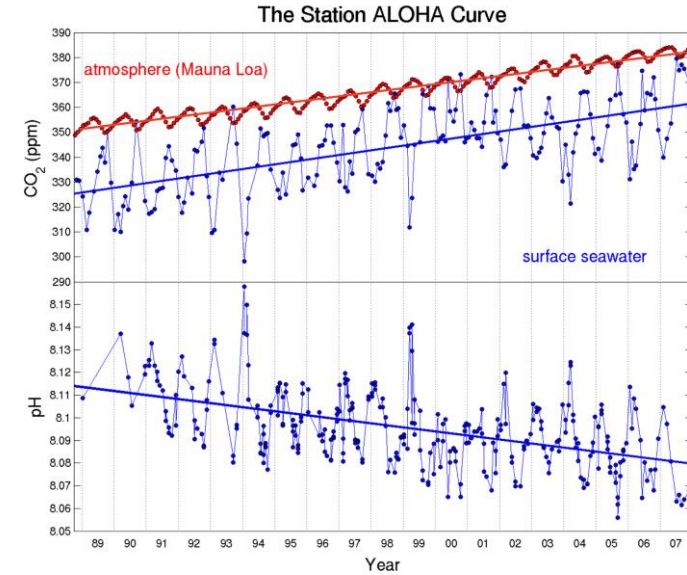
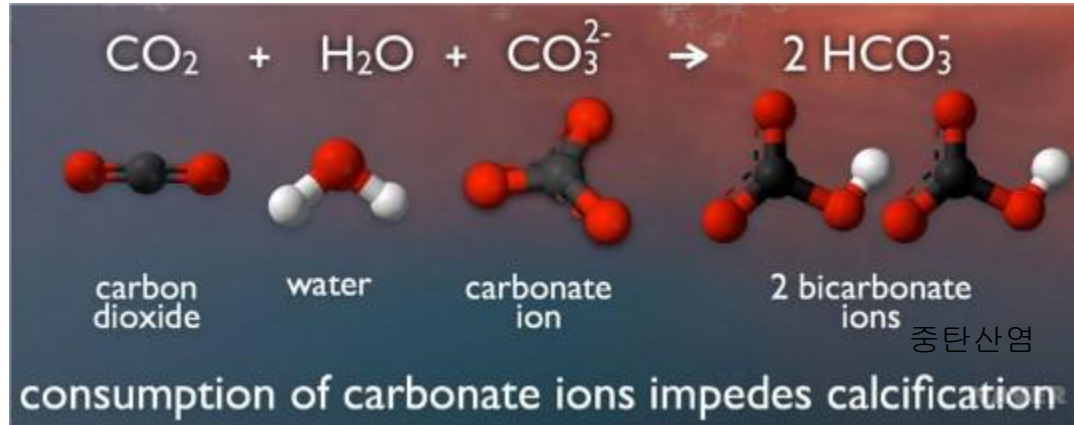


최근 빙하기 (LGM) 시기의 해수면



- 18,000년 전 해수면은 지금보다 약120m 낮았음.

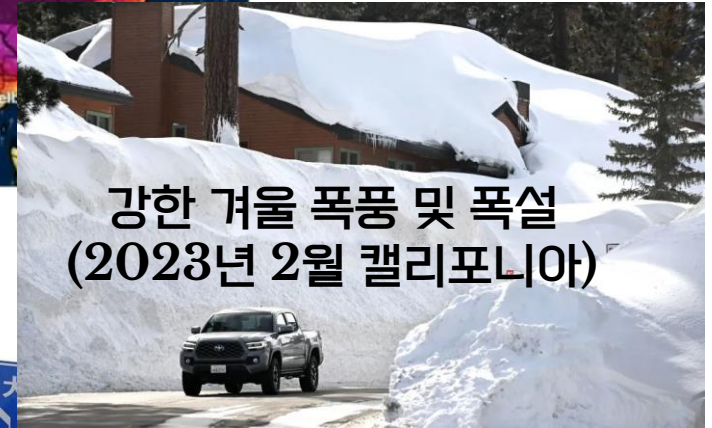
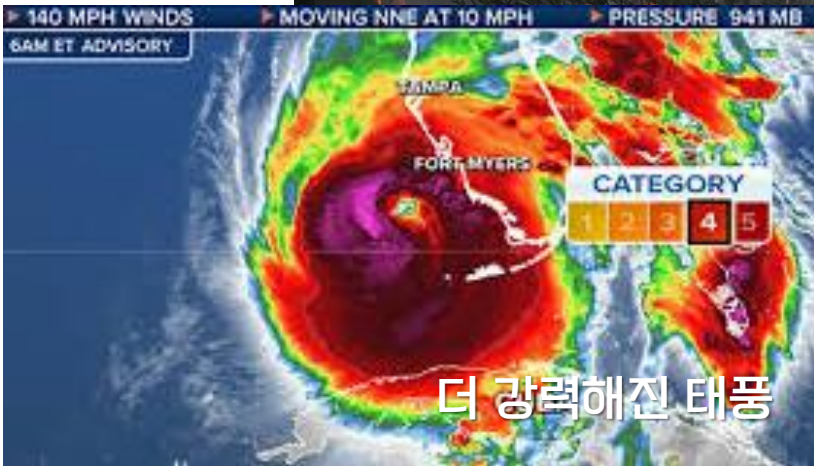
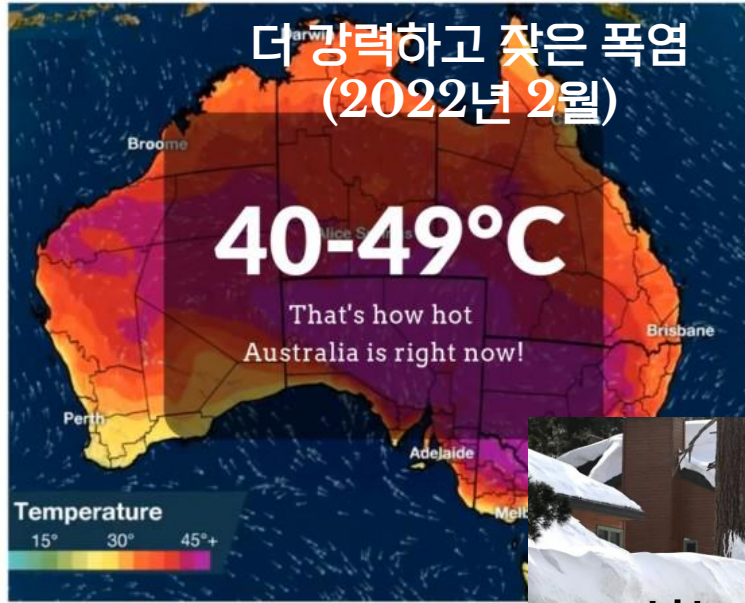
해양산성화



[기후변화 시나리오(산성화 및 수온 증가)에 따른 산호초 및 주변 생태계 구조 변동 예상 시나리오:

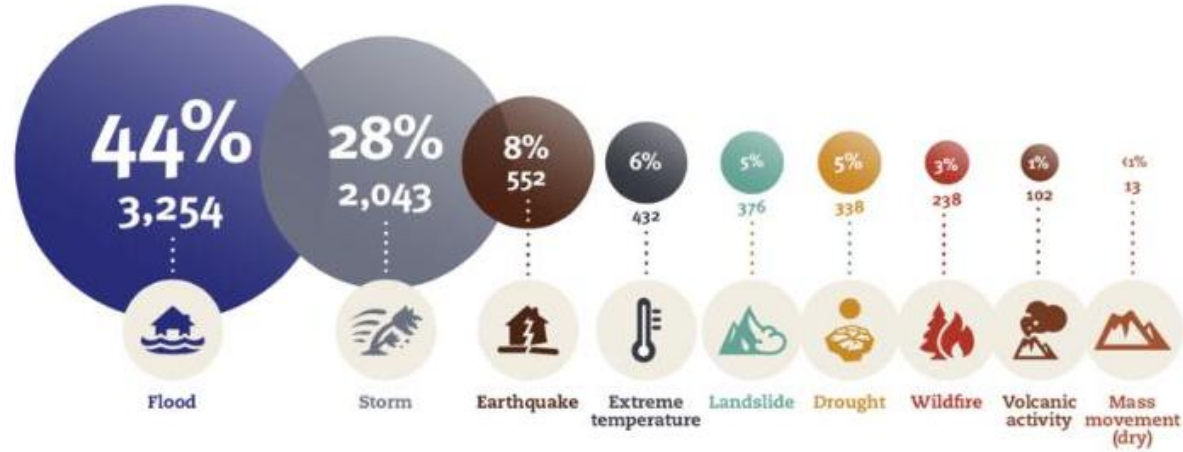
(가) 현재, (나) 2030~40년, (다) 2050년 이후. 출처: Hoegh-Guldberg et al, Nature 2007]

기후위기는 현재 진행형!! 더 강력해질 극한 기상



인간활동에 의해 증가된 극한 기후 현상

Percentage of occurrences of disasters by disaster type (2000-2019)

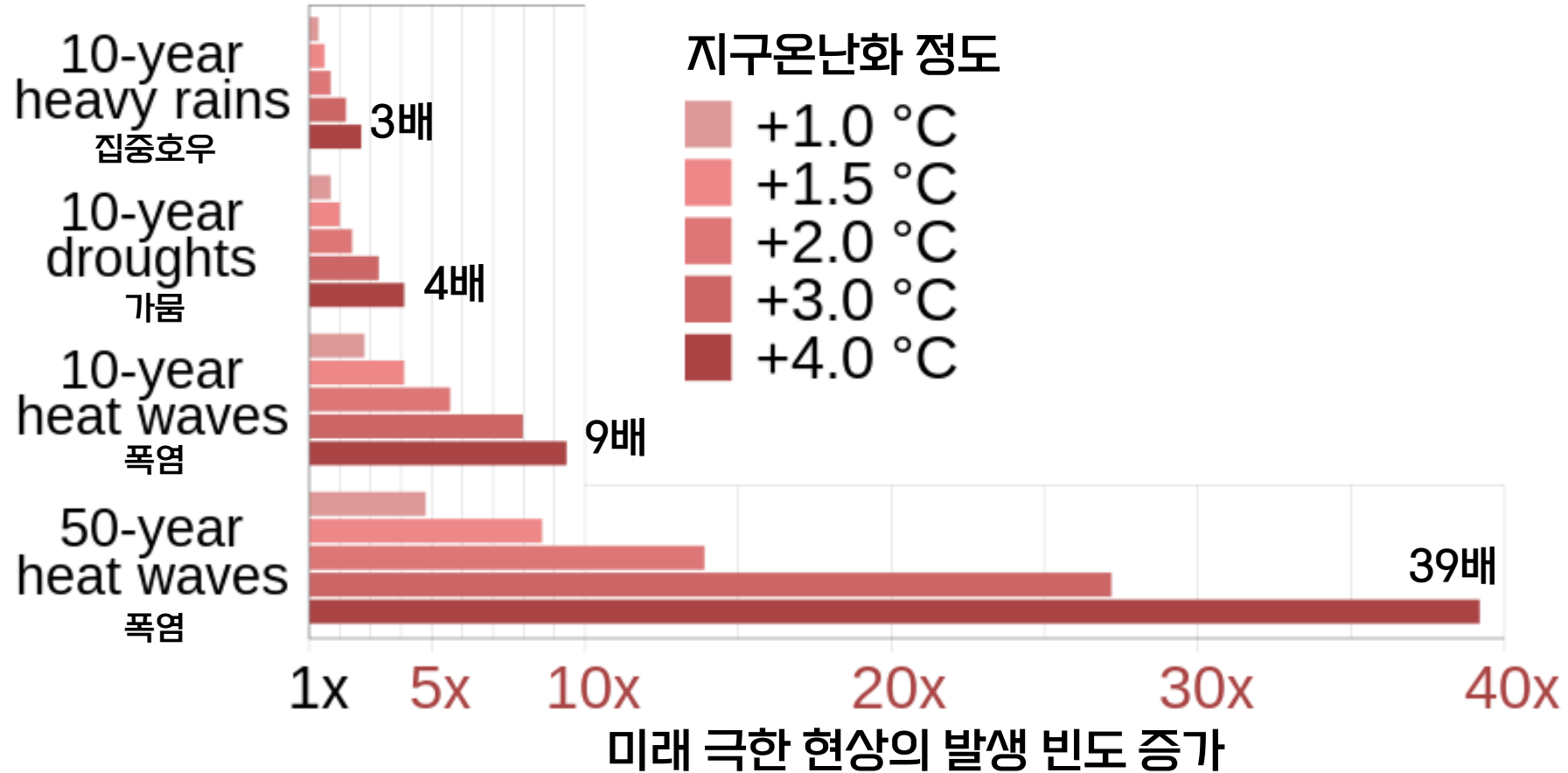


Disaster Impacts:
1980-1999 vs. 2000-2019



미래 극한 현상은...

미래 극한 현상의 발생 빈도 증가



지구온난화에 의한 복합 극한 현상의 증가!!



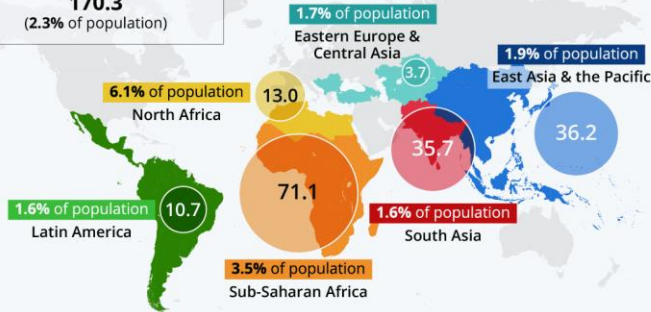
기후위기는 단순한 환경문제가 아님, 정치적, 경제적 사회적 위기 초래!!!

기후난민의 증가!!

Climate Change, the Great Displacer

Average number of internal climate migrants by 2050 per region (in millions)*

Total in surveyed regions
170.3
(2.3% of population)



기후변화로 '기후 난민' 생길 수도...2050년엔 20억 명이 기후 난민 전락
2050년 한국인도 '기후 난민' 되나

[일렉 2015년 10월 14일 1809] | 최종편집 2015년 10월 14일 1800



* 그리스 해변에 도착해 육지로 올라오고 있는 시리아 난민들 - Angelos Tsorbinis 제공

세 살배기 시리아 난민 알만 쿠르디가 지난달 터키 해안에서 숨진 채 발견돼 전 세계가 충격에 빠지면서 난민 문제가 수면 위로 떠올랐다. 과학자들은 시리아 내전으로 빚어진 대규모 난민 사태의 근본적인 원인이 기후변화 때문이라는 연구 결과를 내놨다.

● 시리아 내전 배후엔 기후변화 있다

식량가격 상승의 원인



- 기후변화**
기후 패턴이 변하면서 세계의 주요 곡창지대가 더욱 지속 불가능해질 것
- 산업적 농업**
농업의 산업화는 환경악화 그리고 생물다양성 유실을 불러옴
- 자본 투기**
과도한 자본 투기로 인해 식량가격 변화 속도와 심각성 증가
- 불평등**
불평등한 자원 접근은 지역소비 축소로 이어짐
- 손실과 낭비**
전세계에 풍족한 양의 식량이 생산되고 있으나 너무나 많은 양이 '사라지고' 낭비됨

기후변화로 인한 식량 가격 상승

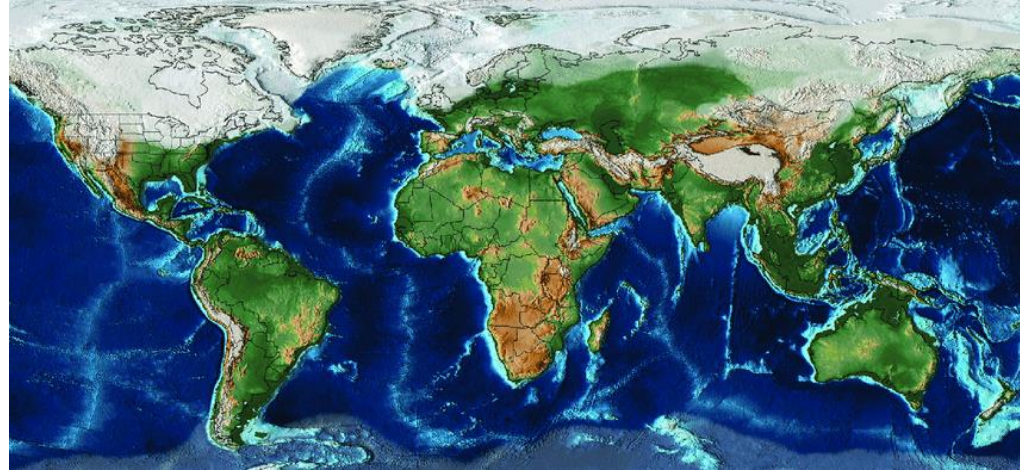
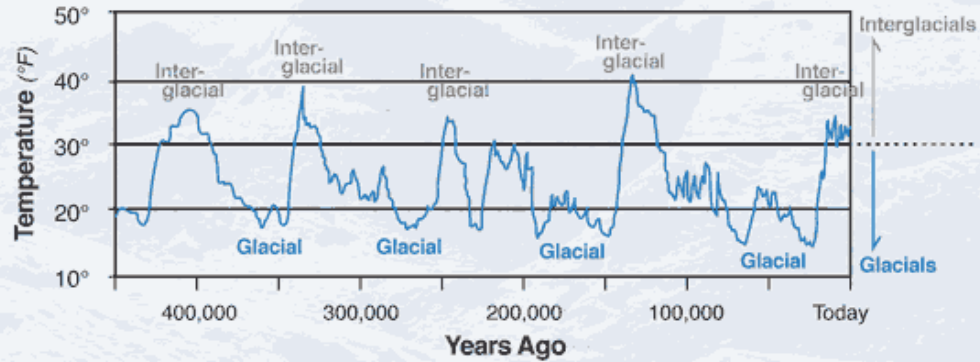
기후변화가 전쟁을 만든다



기후변화 문제는 단순히 국내기후 환경의 변화뿐만 아니라, 지구촌 곳곳의 기후변화가 국내 정치, 경제, 사회적 문제에 다양하게 연관이 되어있음을 인식해야함.

과거의 지구 기후

Glacial-interglacial cycles over the past 450,000 years



엠 (Eemian) 간빙기

- 13만년 전
- 현재보다 온도 2도 높았음
- 해수면 고도 5-8m 높았음
- 호모사피엔스 아프리카 거주

최근 빙하기 (LGM)

- 2만2천년 전
- 현재보다 온도 6도 낮았음
- 해수면 고도 120m 낮았음
- 북반구 고위도 대부분이 빙하로 뒤덮였음

기후변화의 속도

엠 간빙기(+2도) → 최근 빙하기 (-6도) : 0.007도/100년

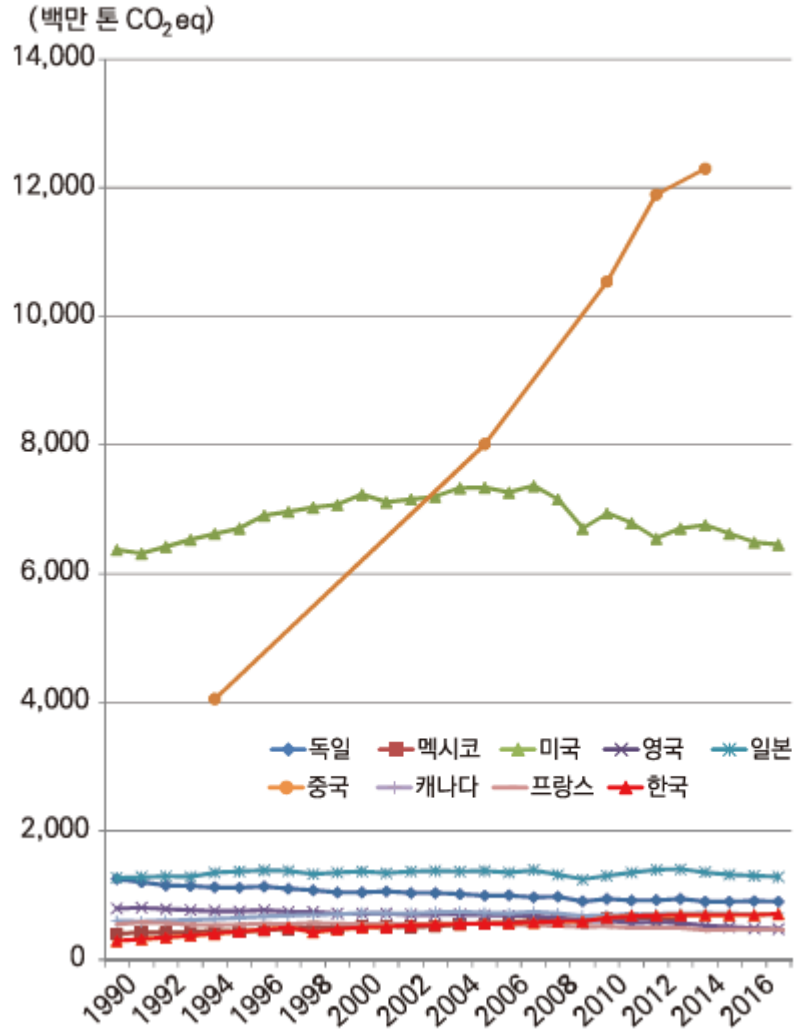
최근 빙하기 (-6도) → 홀로세 : 0.05도/100년

인류세, 최근 지구 온난화 : 1.1도/100년

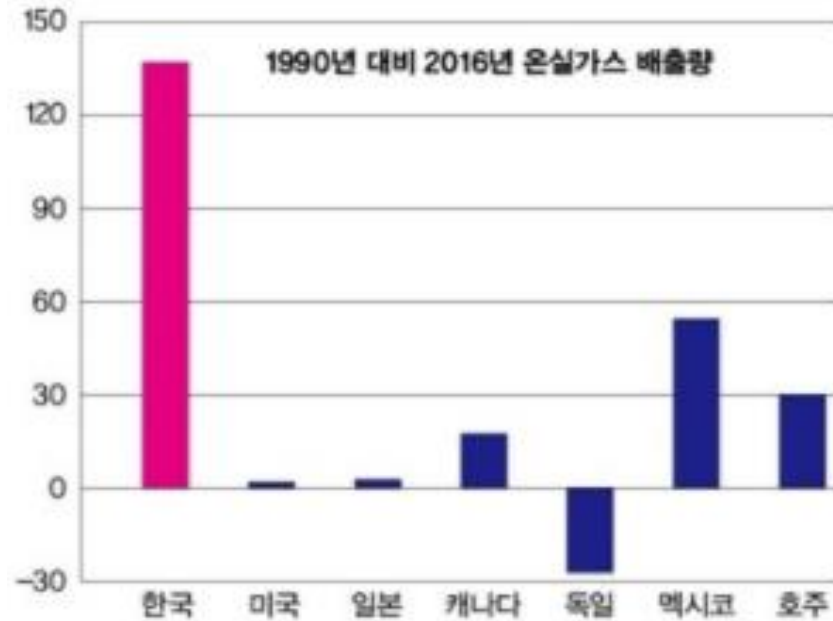
앞으로 100년 ??? : 1-5도/100년

국가별 온실가스 배출량

국가별 온실가스 배출 추이

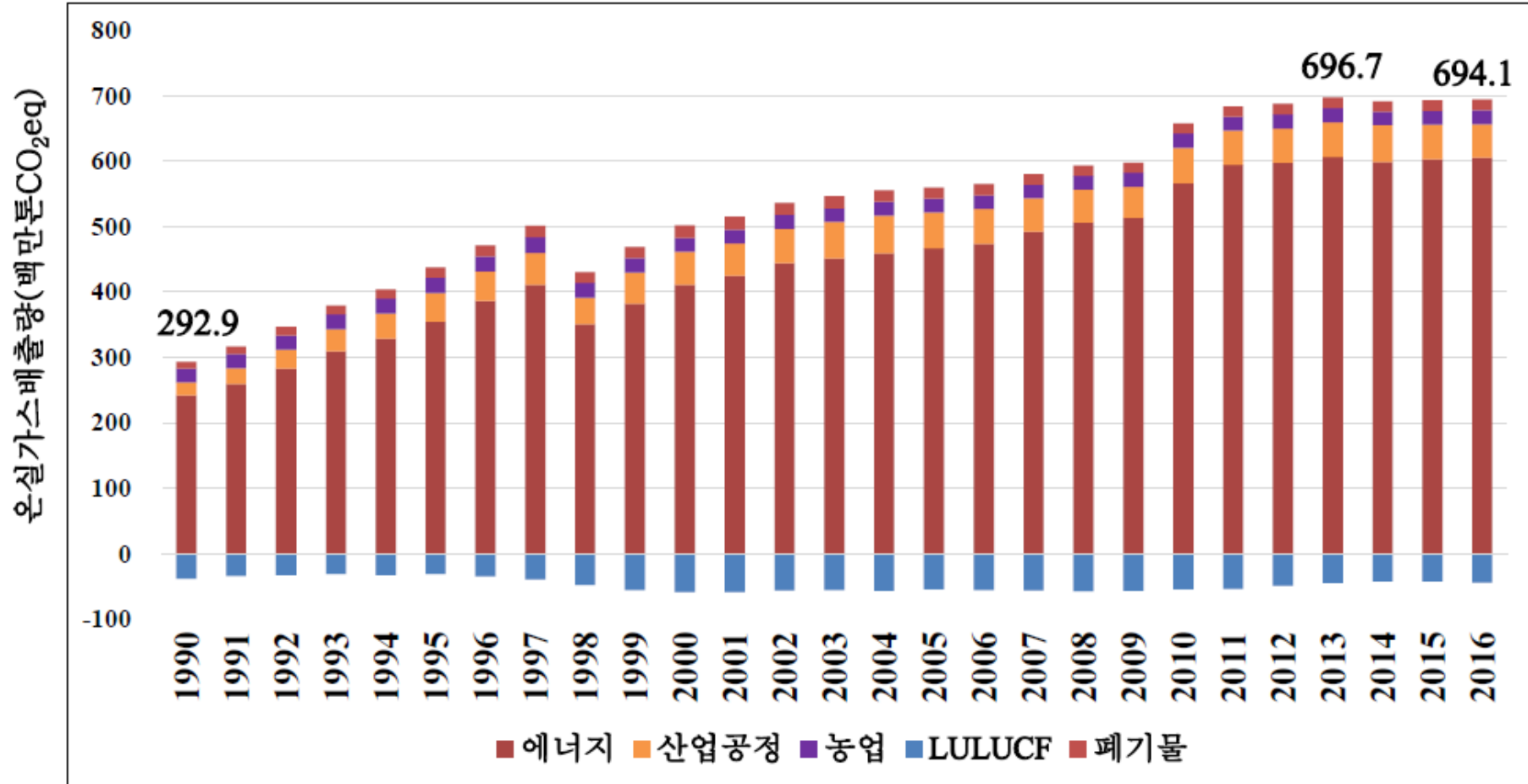


한국은 온실가스 배출 증감 최고국



단위: %, 자료: 2019년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2017) 보고서

우리나라 온실가스 배출량



자료 : 온실가스종합정보센터(2018), 국가 온실가스 인벤토리(1990-2016) 요약

1.5도 상승까지 남은 탄소 배출량



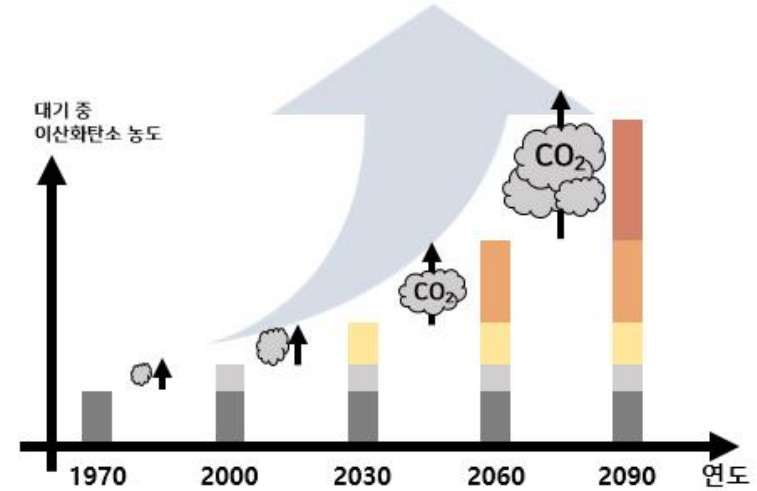
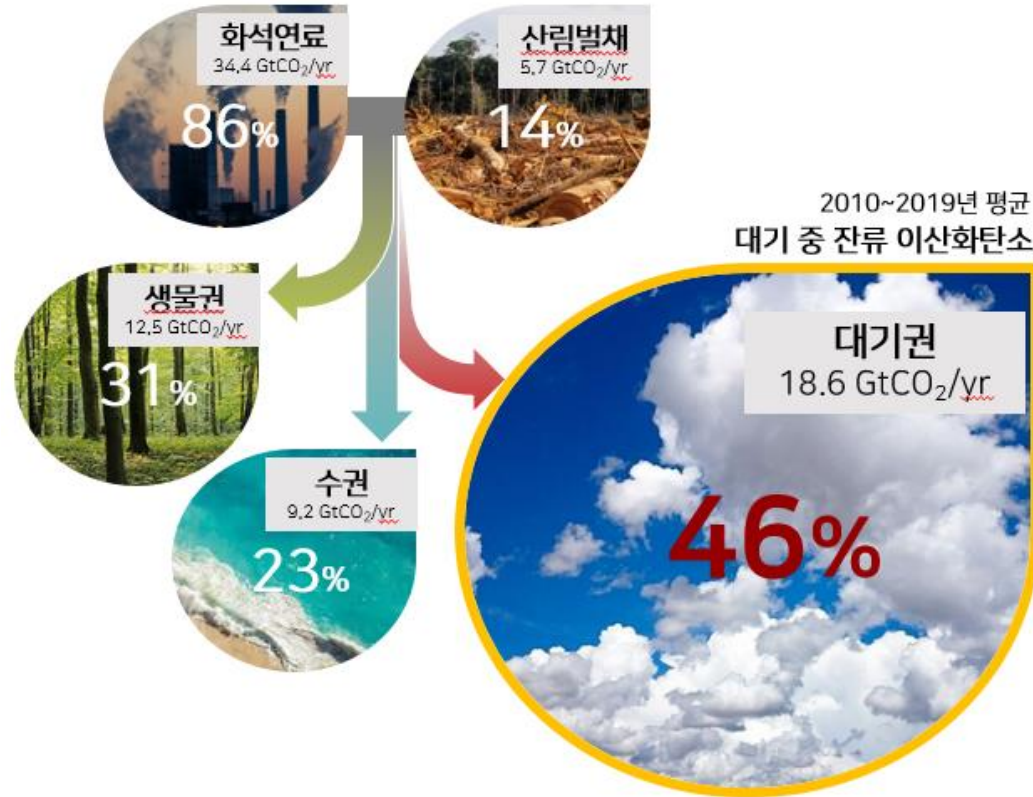
산업화 이전 대비
전 지구 평균기온

1.1°C 상승

- 1** 평균온도 **1.5°C** 이상 상승은 그 영향을 예측할 수 없고, 되돌릴 수 없는 피해를 야기함
- 2** 2018년부터 배출되는 탄소의 배출량이 **4200억 톤**을 초과하면 67%의 확률로 **1.5°C** 기후저지선에 도달할 것
- 3** 2017년 기준 전 지구 탄소배출량 **420억 톤**
→ 현재와 같은 추세로 배출이 계속될 때 남아있는 시간은 **10년**

IPCC 「지구온난화 1.5 °C 특별보고서」

탄소 배출 및 탄소 순환



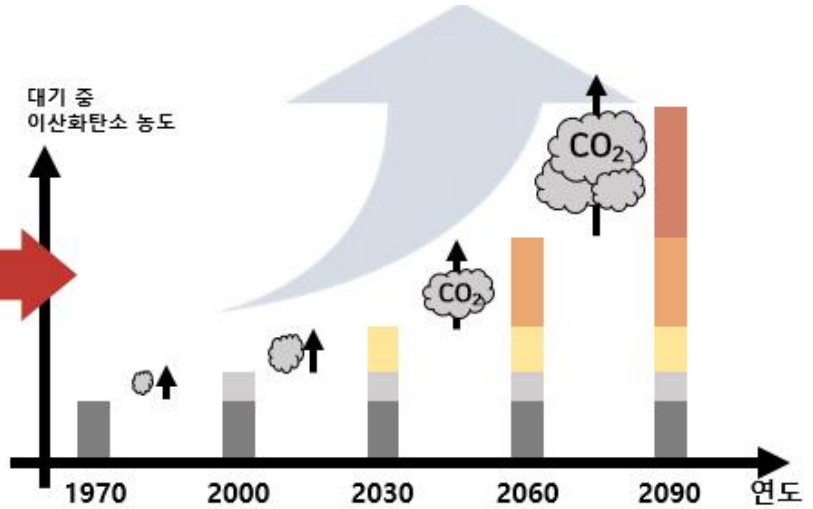
1970년 이후
 약 880 Gt의 이산화탄소가 대기 중에 누적됨

지구 대기 조성 변동
 산업화 이전 : 0.028 %
 2021 현재 : 0.042 %

탄소중립

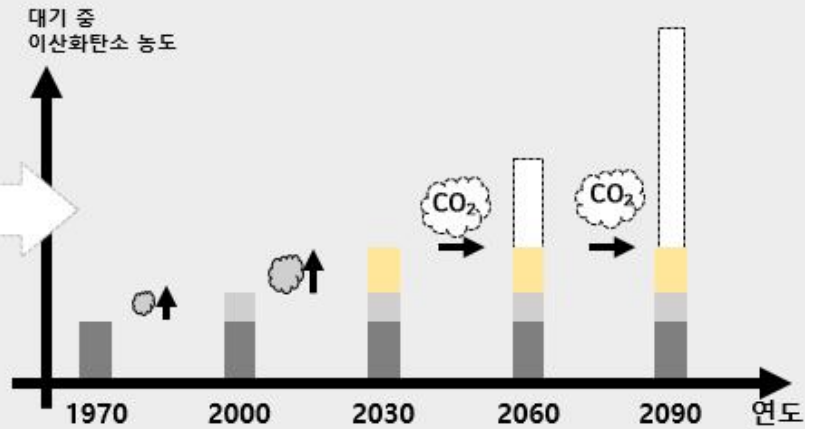
BAU

현재와 같은 추세로
온실가스 배출이
계속될 때



탄소중립

온실가스 배출을
적극적으로
줄여나갈 때



탄소중립으로 가는 길

2018년 기준

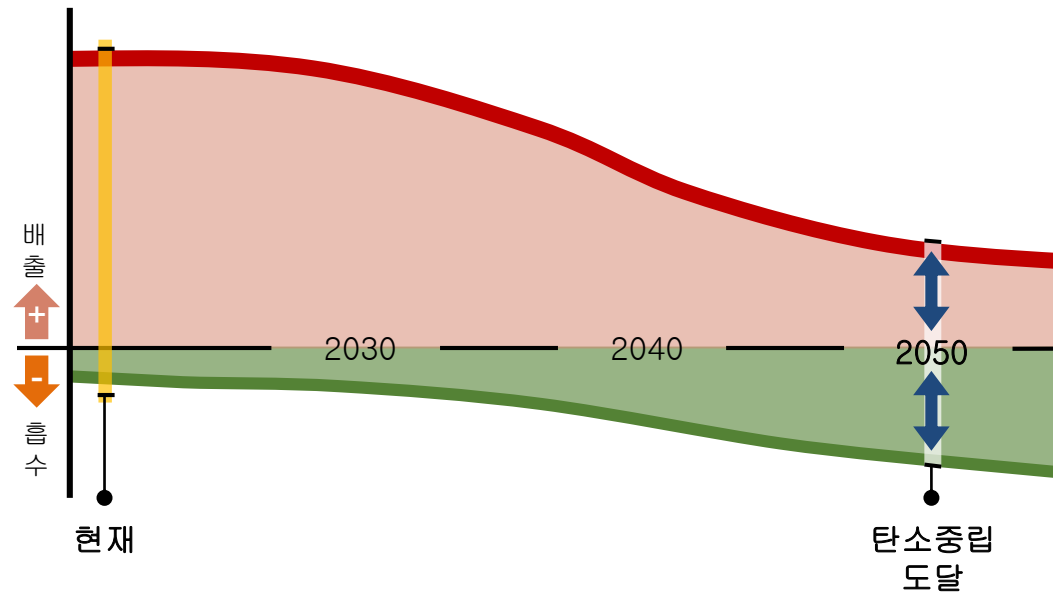
탄소 배출량

발전 (37%) 석탄화력발전소
산업 (29%) 제조업 공장, 시멘트 공정
수송 (13%) 도로, 항공, 해운
건물 (7%) 가정, 상업, 공공

탄소 흡수량

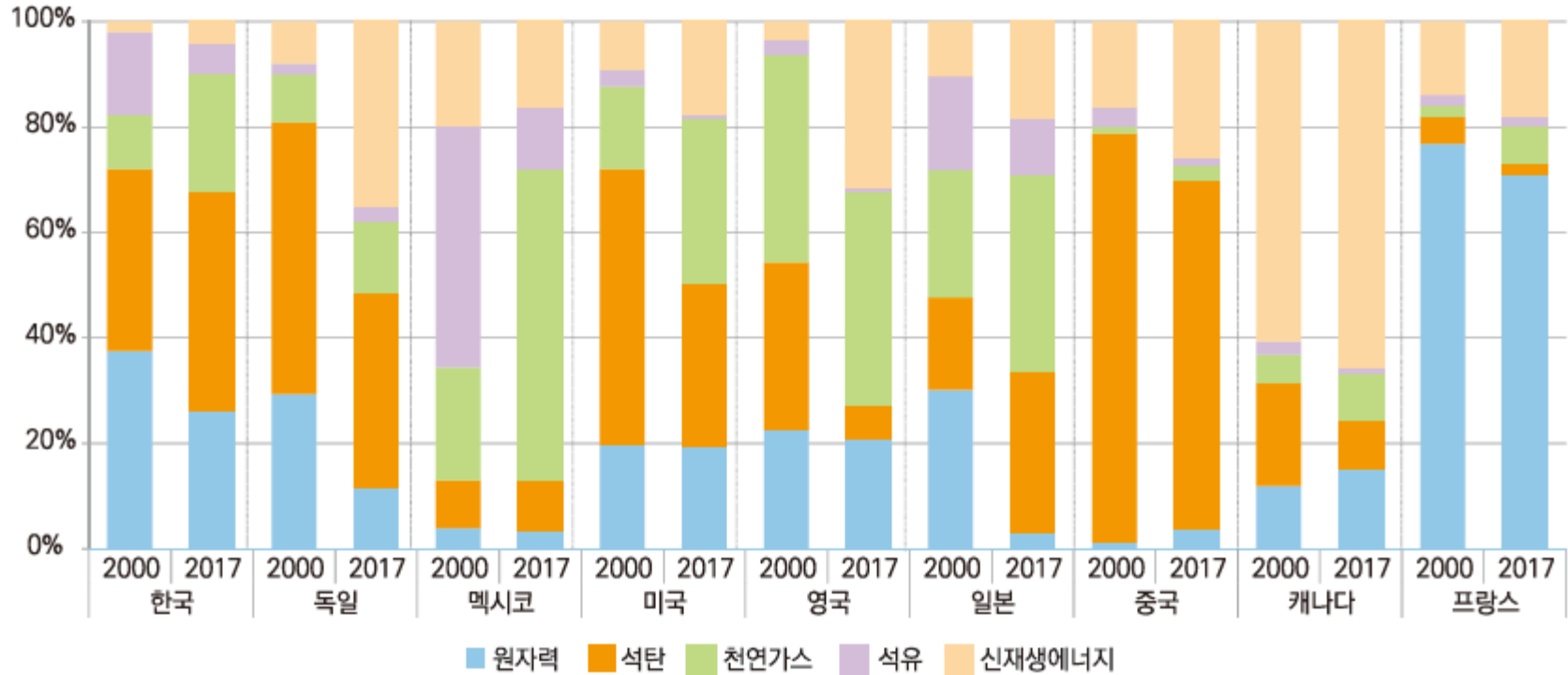
자연적 (6%) 숲, 도시공원, 녹지
(+ 인위적 CCUS)

2030년까지 2017년 배출량 대비 24.4 % 감축
2050년까지 탄소중립 달성



배출량 저감 흡수량 증가

국가별 발전 전원 비중



자료: IEA(2019b), 이상엽 외(2020), p.104에서 재인용.

태양광발전

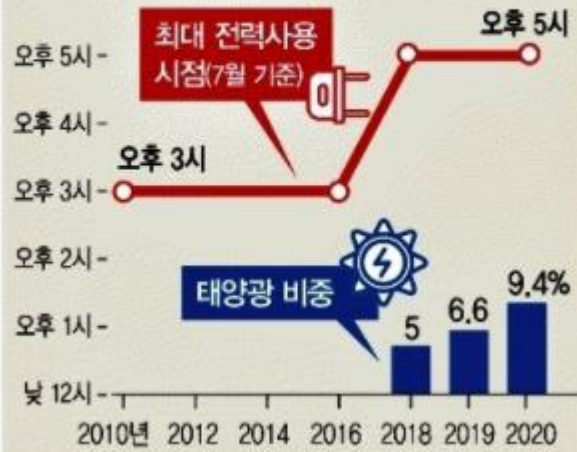
한겨레

2021년 7월 23일 금요일 001면 종합

전력피크 오후 3시→5시...‘태양광의 힘’

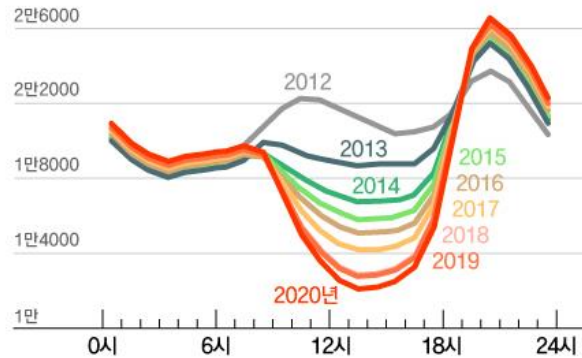
최대 전력사용 시점과 태양광 비중 추이

자료: 전력거래소, 양이원영 의원실



오리 형태 나타내는 캘리포니아주 전력수요(Duck Curve)

단위: MW, 태양광 제외 발전원, 3월 기준



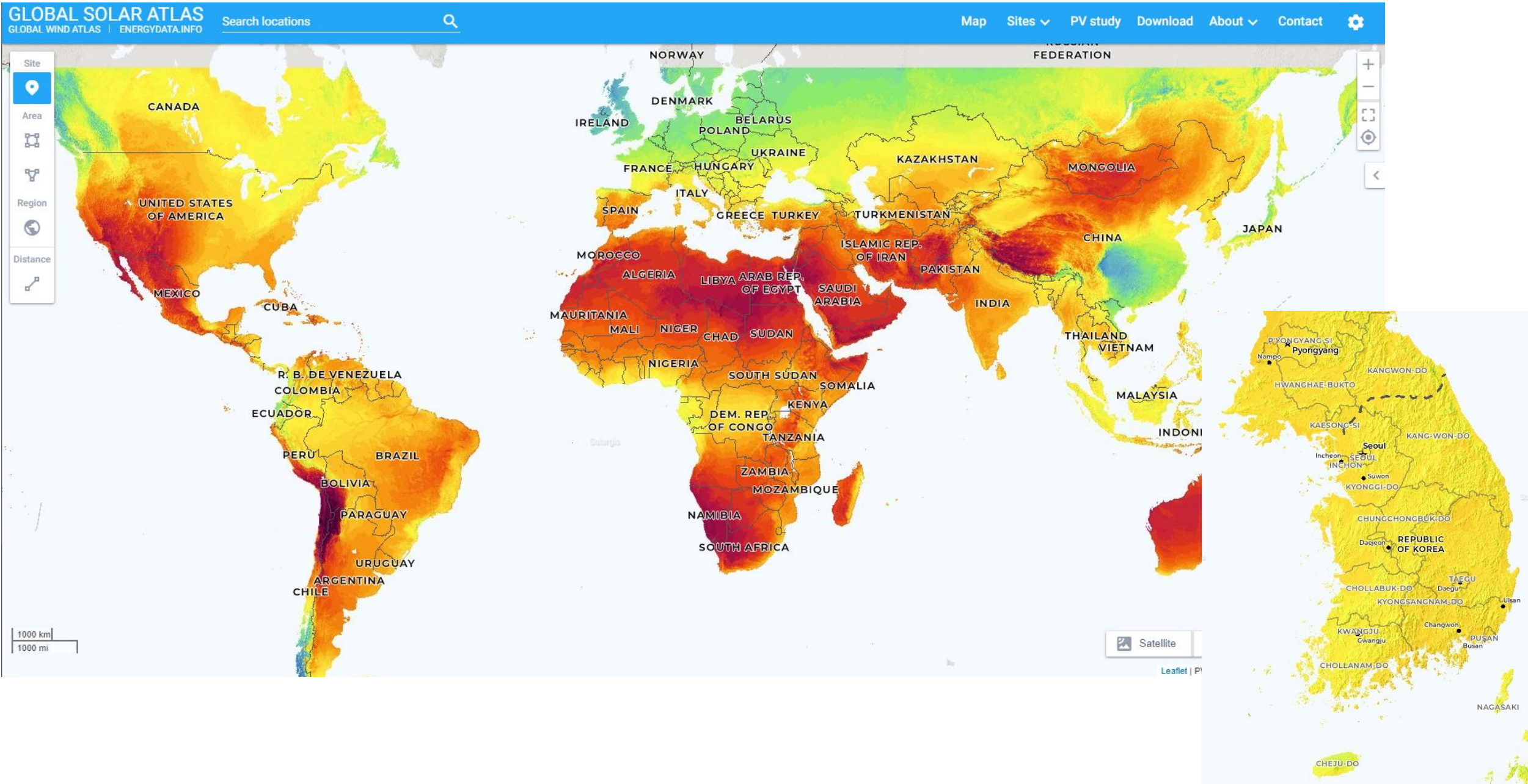
자료: 노동성 서울대 원자력정책센터 연구위원, 미 에너지국 The JoongAng



프랑스 Edouard Lucas 대학에 설치된 태양광 도로 [사진=슬리플렉스]



잠재 태양광발전 지도

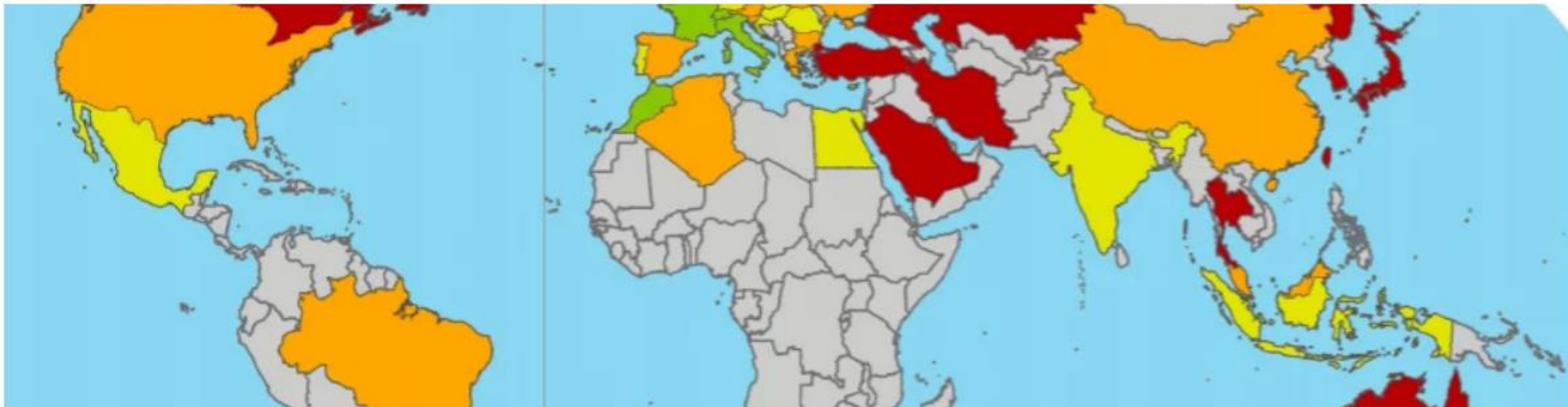


우리나라 기후변화 대응 현주소

- ✓ 기후변화대응지수(CCPI) 2020년 61개국 중 58위
- ✓ 온실가스 배출 세계 7위
- ✓ 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 이산화탄소 배출량 증가율 1위
- ✓ OECD 국가 중 재생에너지 발전 비중 하위 2위, 석탄발전 비중 상위 4위
- ✓ 기후 악당 국가
- ✓ WEF(다보스포럼) 2018년 환경성과 지수: 세계 180개국 중 60위

South Korea Ranks As One Of The Worst Countries For Climate Change

 John Holland · News · December 1, 2016 · 4 min read

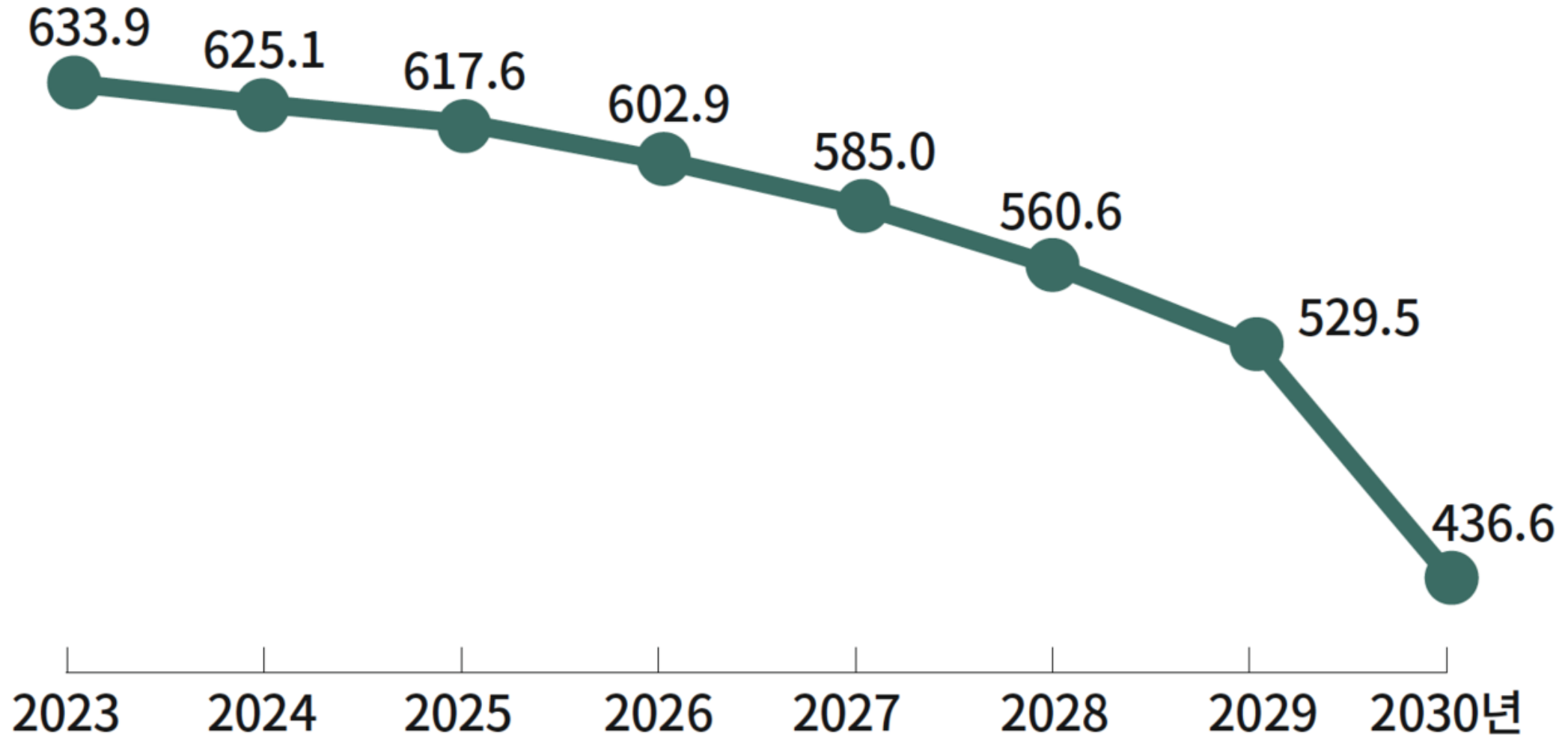


2030 탄소저감 목표

(단위: 백만톤CO₂e, 괄호는 '18년 대비 감축률)

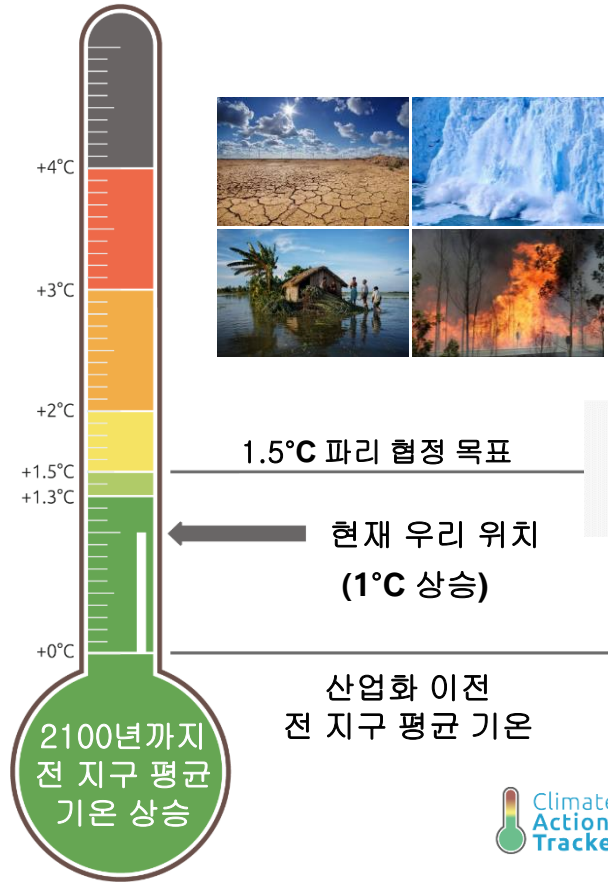
구분	부문	2018년 배출량	2030 목표	
			기존 NDC ('21.10)	수정 NDC ('23.3)
배출량 합계		727.6	436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
배출	전 환	269.6	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%) ¹⁾
	산 업	260.5	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건 물	52.1	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수 송	98.1	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	24.7	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	17.1	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수 소	(-)	7.6	8.4 ²⁾
	탈루 등	5.6	3.9	3.9
흡수 · 제거	흡수원	(-41.3)	-26.7	-26.7
	CCUS	(-)	-10.3	-11.2 ³⁾
	국제감축	(-)	-33.5	-37.5 ⁴⁾

<그림 1> 한국의 온실가스 감축 목표 (단위:100만t CO_{2e})

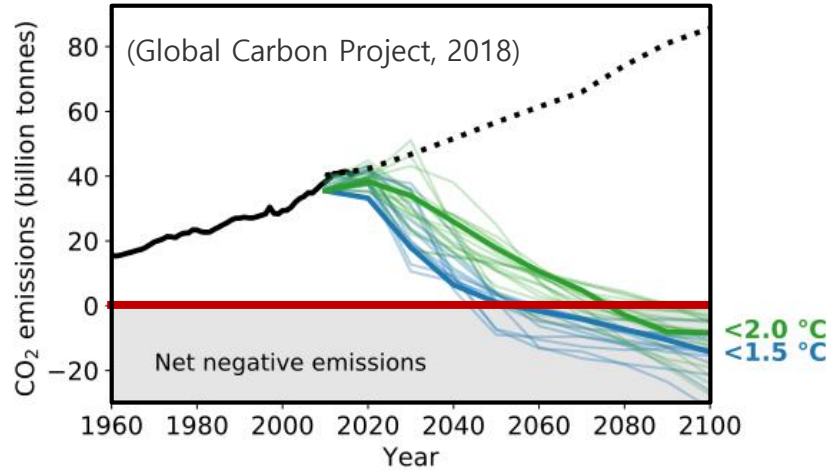


자료:제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)

곧은 타임은 지났다!!



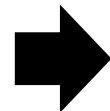
온난화 완화를 위한 탄소 배출량 목표



파리 협정(2015) 채택



- 전문가들은 1.5도 이상 기온 상승 시 돌이킬 수 없는 재앙 초래 예상
- 기후변화완화를 위해 전세계 국가들이 기온 상승을 1.5°C 이하로 규제하기로 합의
- 하지만 현재까지(2018년) 이미 1°C 상승
- 탄소(CO₂)배출량 저감 노력만으로는 온난화 완화 목표 달성 불가능



배출량 저감을 넘어선 새로운 해결 방안이 필요함

기후 공학

- 기후변화정부간협의체(IPCC)는 국제사회에 기후 공학을 기후변화 대응의 핵심 수단으로 삼을 것을 제안함
- 기후와 경제 모두의 희생 없이도 인류가 직접 기후를 조절하여 온난화를 완화시키는 다양한 기후 공학 기법이 제시됨



이제까지 제시된 기후 공학 예시

기후 공학적 방안

지구의 복사 에너지 조절

지구의 반사도를 높여 지면으로 들어오는 태양 에너지 감소

대기 CO₂ 포획 및 저장

지구온난화의 주범인 대기 CO₂를 자연의 흡수 능력 증폭 또는 인위적 포획/저장을 통해 제거

↓
지구온난화를 최대 0.6°C만큼 완화시킬 수 있을 것으로 기대 (Lawrence et al., 2018)

기후테크



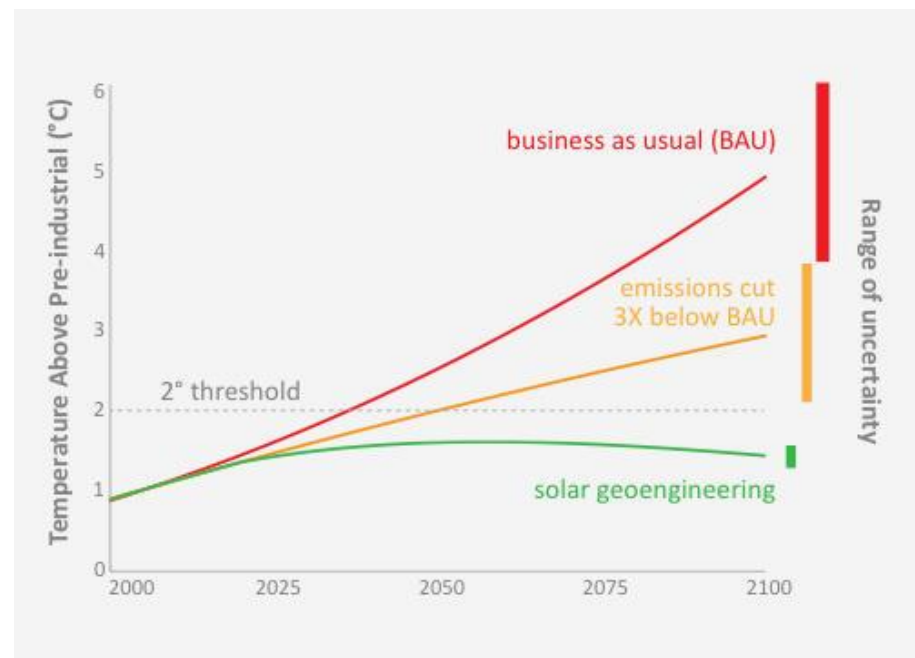
스위스에 있는 클라임웍스의 DAC 설비/사진=클라임웍스

DAC(Direct Air Capture, 대기 중 직접 탄소포집)

- ✓ 테슬라 창업주 일론 머스크는 2021년 4월부터 2025년 4월까지 기술을 포함한 가장 좋은 CDR(Carbon Dioxide Removal, 탄소제거기술)을 선정하는 대회
- ✓ 마이크로소프트(MS) 창업주 빌 게이츠도 기후변화에 대응할 첨단 신재생에너지 기술을 지닌 스타트업에 투자하는 '브레이크스루 에너지 벤처스'라는 벤처캐피탈을 2020년 설립하고 다양한 DAC 기술 기업을 지원
- ✓ 미국 정부도 탄소 정책의 하나로 DAC 연구기술, 설비 확대 지원을 위해 대규모 투자를 진행. 미국 에너지부(Department of Energy: DOE)에서 발표한 내용에 따르면 약 35억달러(약 5조원)에 달하는 정부 지원금을 DAC 허브 건설에 쓸 예정
- ✓ 우리나라도 지난 6월 2030년까지 민관 합동으로 약 145조원 규모의 R&D(연구개발) 및 투자 지원을 통해 기후테크 분야 유니콘 10개 육성과 신규 일자리 10만개를 창출하겠다고 발표

美 백악관, 태양지구공학 5개년 연구계획 수립 중... '과학계 의견 엿갈려'

오말리, 2022-10-24



2021년 3월 미 국립과학공학의학한림원(NASEM)이 보고서 발간

- 기후문제 대응 방안 중 하나로 태양지구공학 연구를 추진해야...

- 미 정부가 향후 5년간 지구공학 연구에 2억 달러(당시 한화 약 2,200억원)를 투입하는 것을 제안

▲태양지구공학 연구 목적, 사회배경, 모델링 시나리오와 의사결정 전략 설정

▲투입 분자 특성 및 대기 물질간의 상호관계, 잠재적 결과와 생태계에 대한 영향 등 기술적인 측면 분석

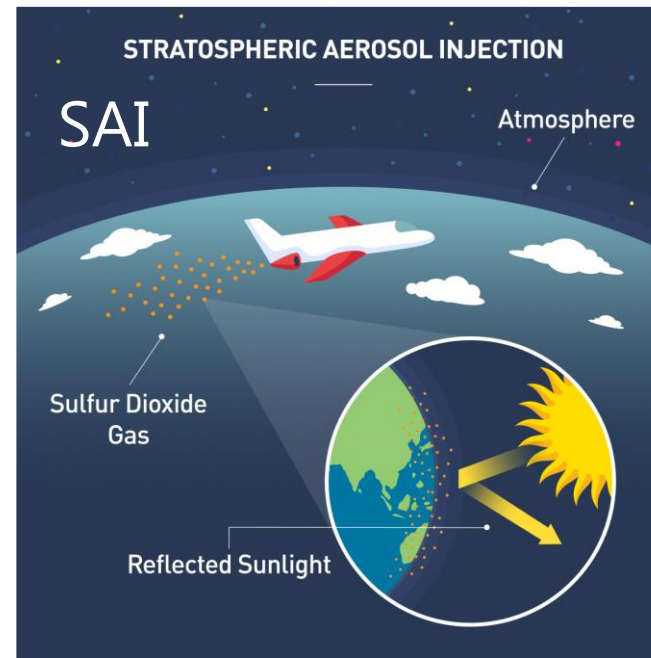
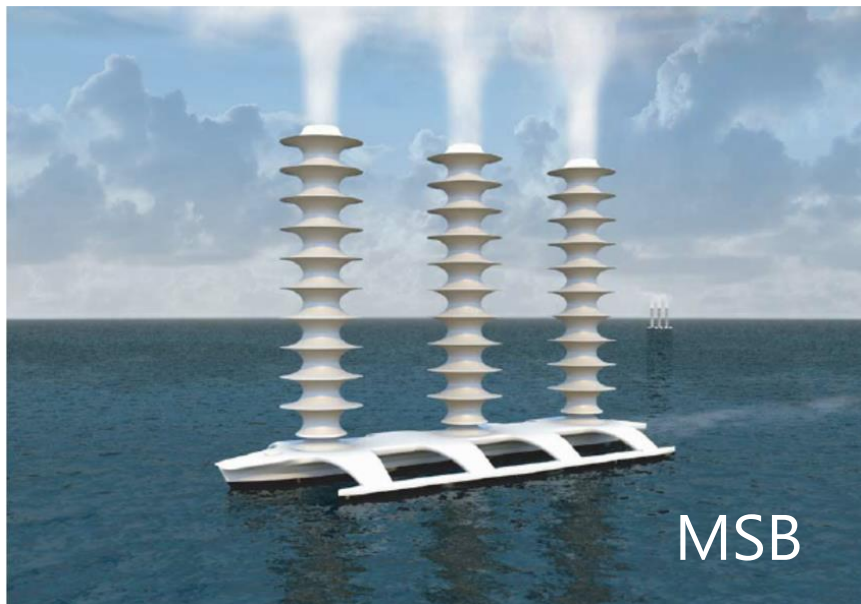
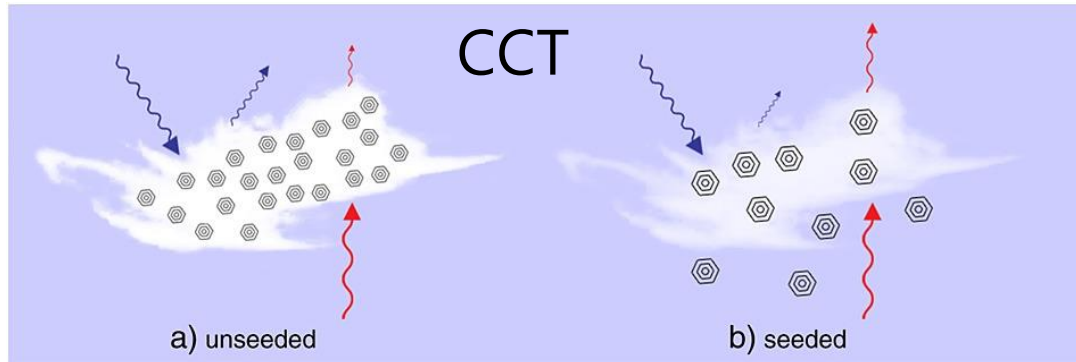
▲태양지구공학에 대한 인식과 참여, 효과적인 거버넌스 등 사회적인 측면 등 3가지 우선 과제를 제시

➔ 조 바이든 미국 대통령은 태양지구공학과 관련해 연구계획 수립 착수를 주문

➔ 2022년 백악관 과학기술정책실(OSTP)은 이른바 '태양지구공학(solar geoengineering)' 기술의 타당성 평가를 위해 5개년 연구계획을 수립

기후공학: 복사강제력 조절

- 1) cirrus cloud thinning (CCT) : Storelvmo et al. 2013
- 2) marine sky brightening (MSB) : Salter et al. 2008
- 3) stratospheric aerosol injection (SAI)

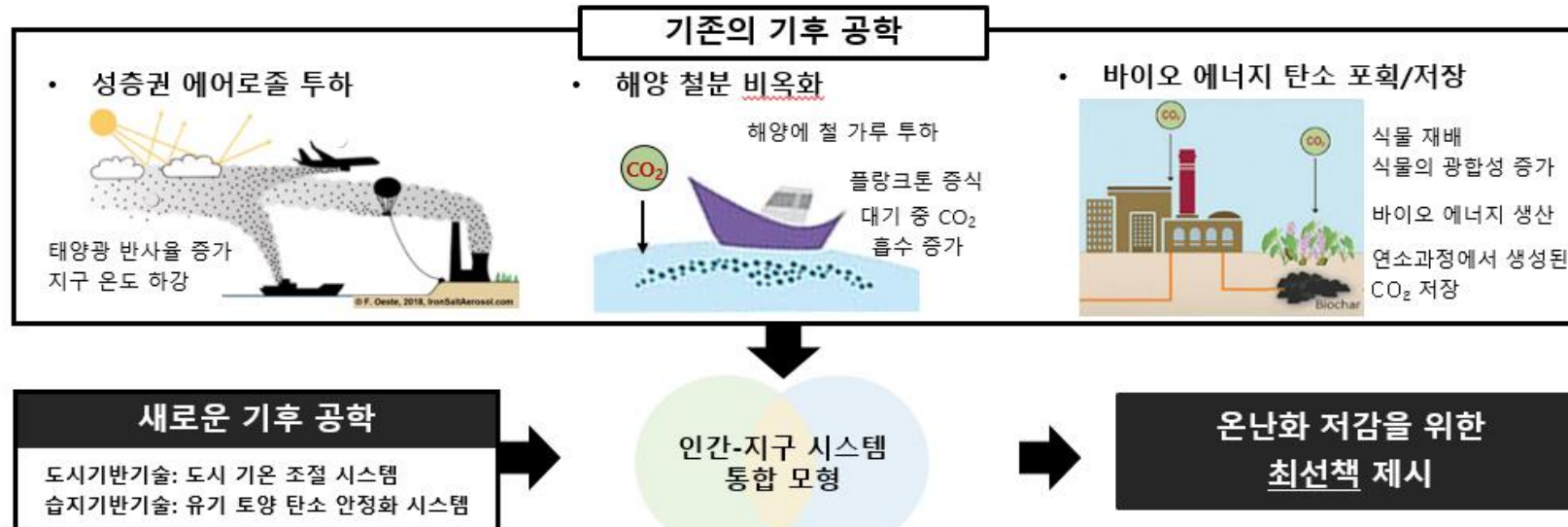


기후 공학 실효성 논란

확실한 **평가/검증**을 통한 **최선책** 도출 시급

◆ 현재 기후 공학의 한계점

- 지구는 매우 복잡하고 비선형적인 시스템이므로 기후 공학에 따른 지구 시스템의 반응을 예측하는 것은 매우 불확실함
- 기후 공학의 실효성 평가에 있어서 기후 변화에 반응하는 인간 사회 및 정책 결정 등에 대한 요소는 고려되지 않음
- 의도치 않은 심각한 부작용 발생 가능
예) 성층권 에어로졸 투하 - 직달/산란 일사량 변화로 식물 광합성, 곤충/동물, 태양열 발전 효율에 악영향
- 성층권 오존층 파괴, 산성비 등으로 지하수 오염
- 하나뿐인 지구를 대상으로 실험하기에는 위험성이 너무 큼



기후 공학 논쟁 이슈!!

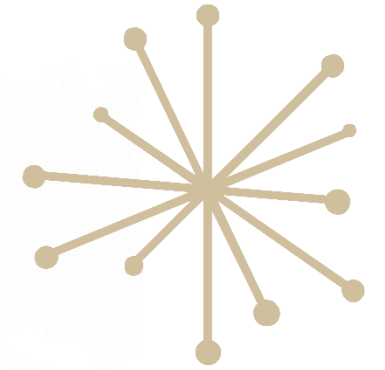
기후변화로 인한 기후 재난!! vs 기후공학의 부작용에 대한 두려움!!

- ✓ 기후공학이 탄소 감축 정책의 추진 동력을 약화시키는 책략으로 이용
 - CCS 기술 개발과 더불어 미래에 예견되는 기후재난으로 인한 피해를 최소화하기 위한 포트폴리오 전략으로서 고려돼야 함
 - 과학자, 공학자, 의학자, 사회학자 등 다양한 방면의 전문가가 참여해기후공학이 갖는 기술적, 경제적, 윤리적, 의학적 함의 전반을 공론화해 검토가 필요
 - 우리나라에서도 우리의 기후 환경에 맞는 기후공학 방안을 발굴하고, 실현 가능성을 검토하는 것이 필요한 시점



CW-7

Thank You!



jskug1@gmail.com
<http://csl.postech.ac.kr>

〈스페인 속담〉

신은 항상 용서하시고,
우리는 때때로 용서하지만,
자연은 절대 용서하지 않는다!!!

