

## 제1회 기후리스크관리 포럼



사단  
법인

한국리스크관리학회



# 기후 위기와 미래 전망

변영화 박사(국립기상과학원)

# 기후 위기와 미래 전망

국립기상과학원 변영화



## 세계경제포럼 Global Risks Report 2022

FIGURE 1.3

“Identify the most severe risks on a global scale over the next 10 years”



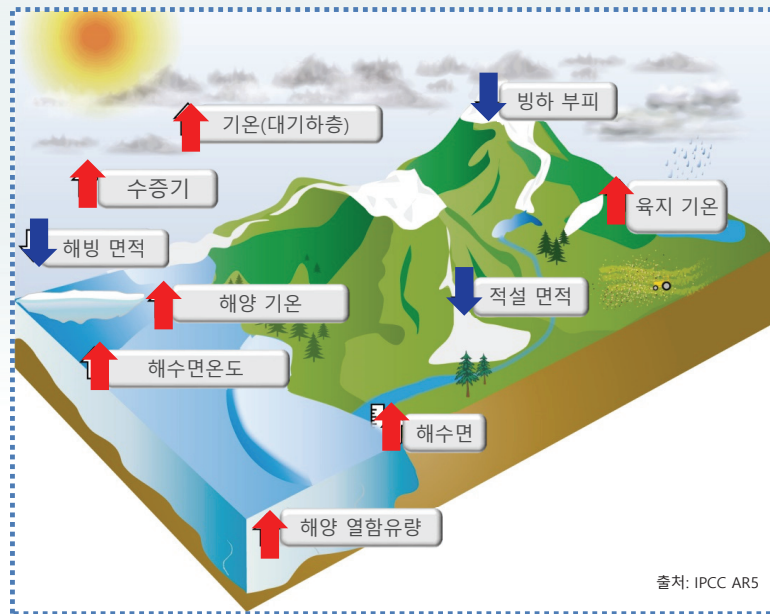
Source: World Economic Forum Global Risks Perception Survey 2021-2022

- ✓ 중장기적으로 세계가 당면할 10대 위기  
→ 환경 분야 위기가 절반
- ✓ 기후변화 대응 실패는 중장기적으로 가장 큰 위기 요소로 인식하나 응답자 68%가 현재 기후변화 대응 수준은 초기단계라고 답변
- ✓ 극한 현상은 중장기적 위기 요소임과 동시에 향후 1~2년 내 가장 큰 위기 요소로 인식



# 왜 기후 위기에 주목하는가

## 온난화로 인한 지구물리시스템의 변화

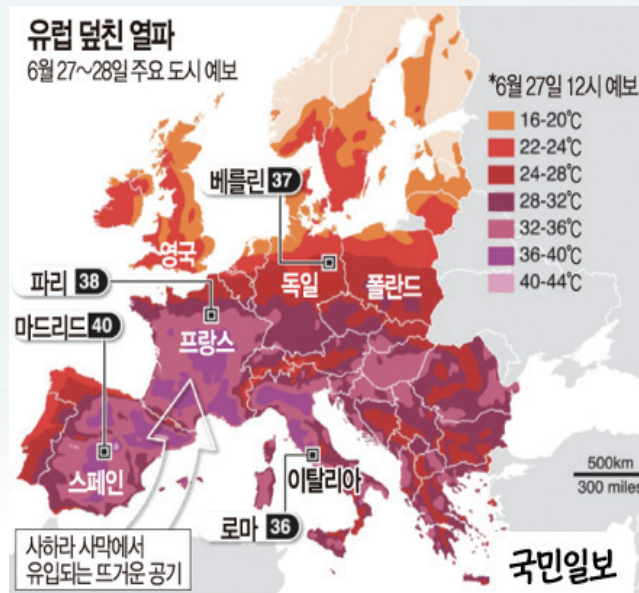


평균 추세,  
극한 변화, ...

## 사회경제적 영향과 직결

물순환(water cycle) 변화  
 식량 안보 (농업, 산림 등)  
 생태계 변화  
 해양 변화 (수산, 생태계)  
 보건과 생활환경  
 ...

## 최근의 전지구 이상기후 사례 (I)



- ❖ 2019년 6~7월 유럽 폭염  
[ 최고기온 기록 ] 프랑스 45.9°C,  
벨기에 41.8°C  
독일 42.6°C,  
네덜란드 40.7°C (2,964명 사망)

세계 곳곳 때 이른 무더위

**Heat Products**

연말뉴스TV 15:13

TUESDAY 10 AM - 9 PM

**Impacts**

- Record or near record heat with widespread highs in the 90s to low 100s.
- Increased risk of heat related illnesses.

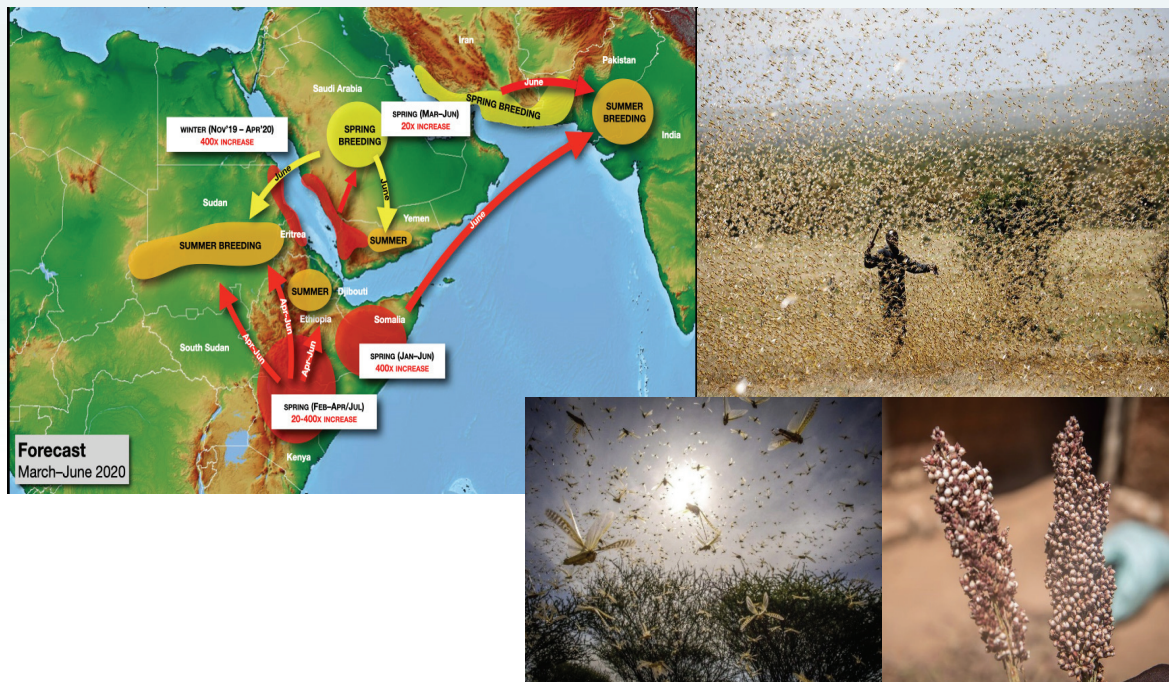
**Preparedness Actions**

- Limit outdoor strenuous activities during the hottest time of the day.
- Do not leave kids or pets in vehicles.
- Stay in air conditioned areas.
- Drink plenty of fluids.
- Extra care for pets, crops, and livestock.
- Watch for hot pavement when walking.

채널 23 샌프란시스코 등 미 서부 대부분 열파 주의보

- ❖ 미국 이상기온 및 폭설 피해 속출
  - 서부 열파, 데스벨리 48.9°C 기록  
(100년 만의 6월 열파)

## 최근의 전지구 이상기후 사례 (II)

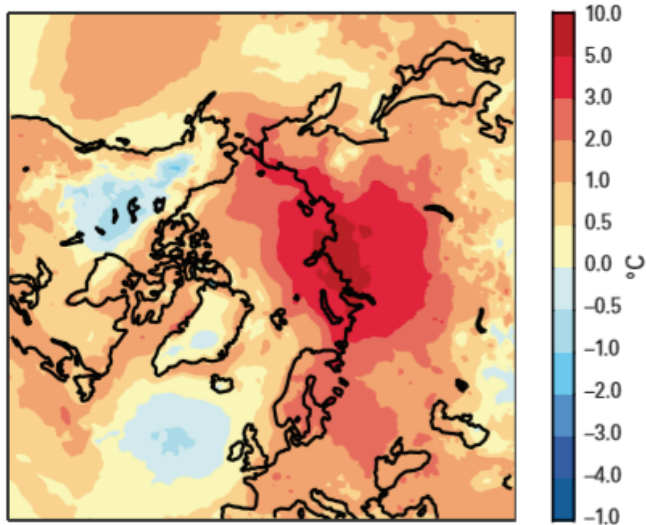


- 2018년 5월 사이클론으로 오만-예멘-사우디아라비아 비가 온 후 개체수 급격히 증가
- 2018년 10월 2차 사이클론으로 2019년 3월에는 8000배로 증가 → 이란/파키스탄/인도로 이동
- 2019년 10월에는 소말리아+에티오피아로 이동
- 2019년 12월 동아프리카에 사이클론으로 비가 온후 개체수 증가 → 케냐+탄자니아+우간다로 이동
- 메뚜기떼...수천억 마리 → 자연 생태계 초토화 → 식량 부족

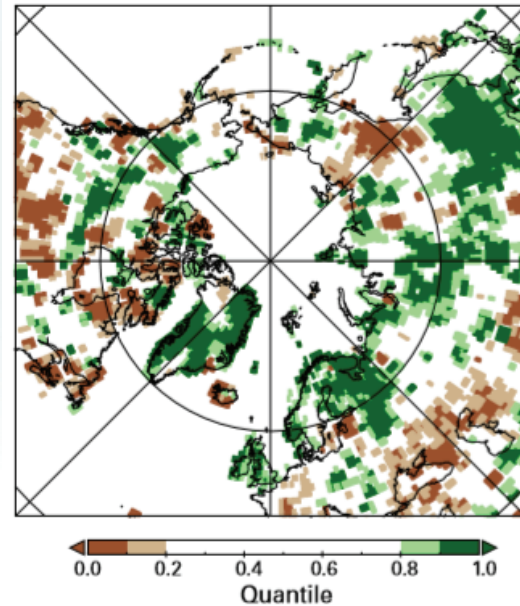


## 최근의 전지구 이상기후 사례 (III)

1981~2010년 대비 2020년 기온 편차



1951~2010년 대비 2020년 강수량 퍼센트



2020년 시베리아 산불



- 북극의 온난화는 전지구 평균 대비 2배 이상으로 가속화 → 북극 생태계 영향 및 주변 대기 순환에 영향
- 2020년, 평년 대비 5°C 이상의 시베리아 지역 고온 발생. 해수온이 상승하고, 부근 해빙 녹음으로 9월 해빙은 기록 상 2번째로 최저치. 또한 고온으로 인한 가뭄 및 산불 발생으로 지역 생태에 영향.

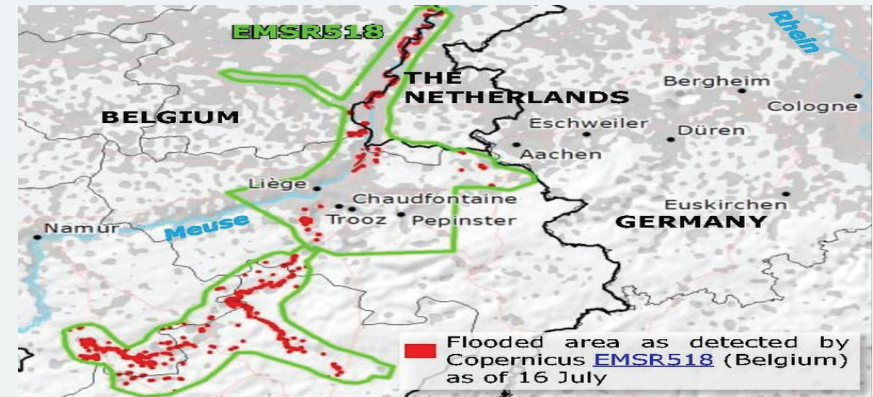


## 최근의 전지구 이상기후 사례 (IV)

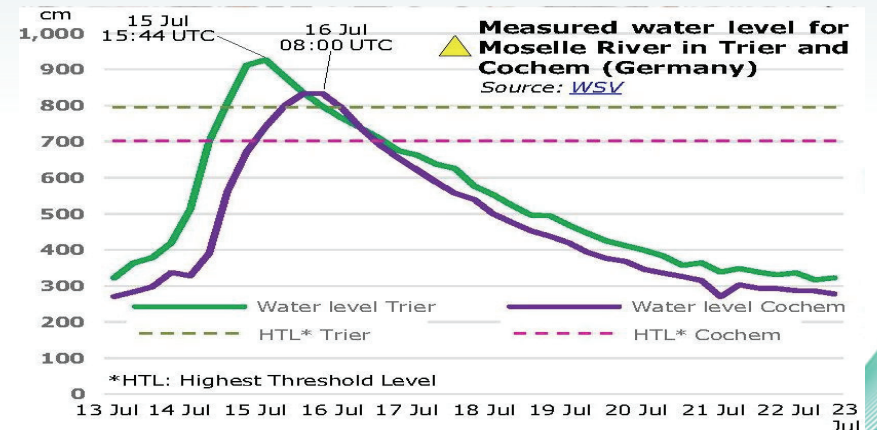


### ❖ 2021년 7월 유럽 홍수

- 7월 15일 독일 쾰른지역 24시간 강수는 154mm로 7월 한달 강수(87mm)의 두배
- 홍수로 인한 실종자 1300여명 및 사망자는 독일 133명, 벨기에 27명 등 피해



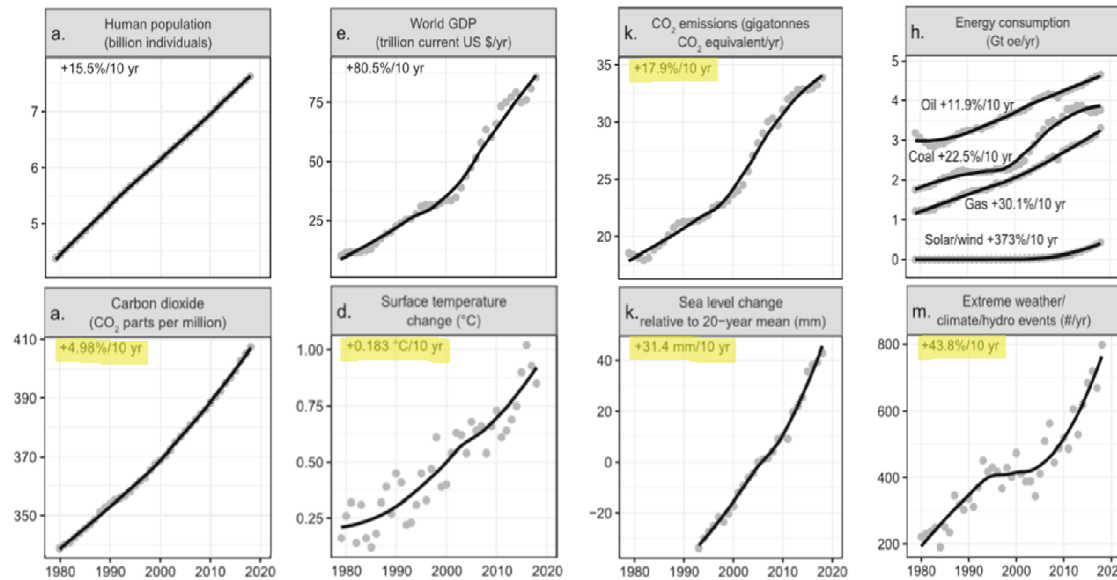
**NATIONAL FLOOD MONITORING DURING THE LAST 24 HOURS REPORTED BY NATIONAL SERVICES**  
Source: EFAS



## 기후 위기, 인간 활동의 결과

(BioScience, 2020)

1979년부터 현재까지의 연변화



### ❖ 인간활동의 변화

- 인구의 증가, 경제의 성장 등 인간 활동의 변화는 에너지 수요와 관련, 온실가스의 지속적 배출을 야기

### ❖ 지구환경의 변화

- 대기 중 온실가스 농도의 증가로 온난화가 지속되고
- 이로 인한 극한현상의 강화로 재난재해 증가

# 기후변화의 영향은 주로 재난재해로 다가온다

Climate Hazard during 1970~2019  
(WMO, 2020 State of Climate Services)

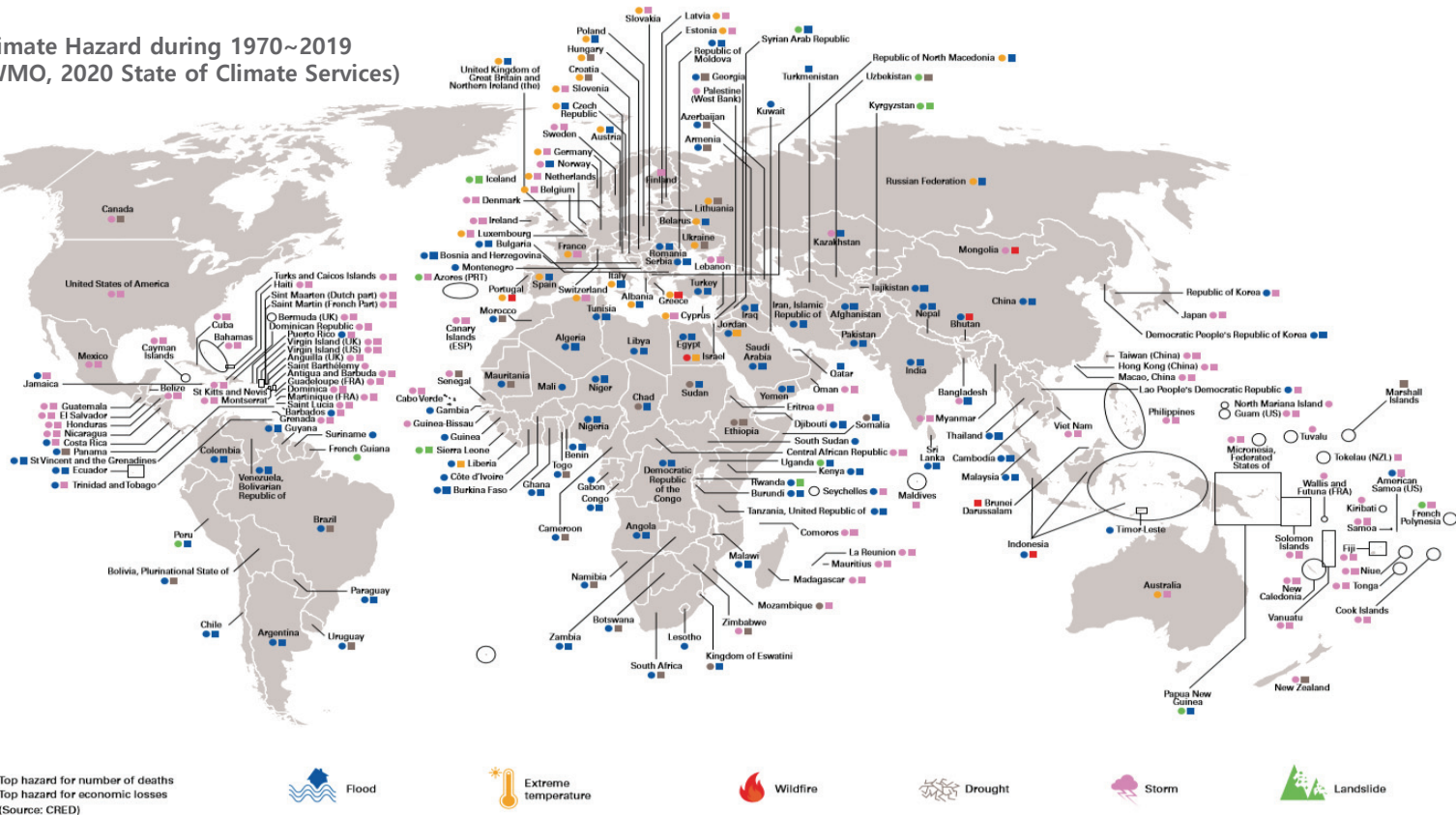


Figure 2: Map of deadliest and most costly weather, water and climate related hazards for each country [Source: WMO analysis of 1970-2019 data from the Emergency Events Database of the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED]

✓ 많은 지역에서 인명 및 경제적 피해를 가져다 주는 주된 재해 요인은 폭풍 및 홍수.

✓ 유럽 등 일부 지역에서는 극한기온에 의한 사망자 피해



## 기후변화의 영향은 주로 재난재해로 다가온다

Climate Hazard during 1970~2019  
(WMO, 2020 State of Climate Services)

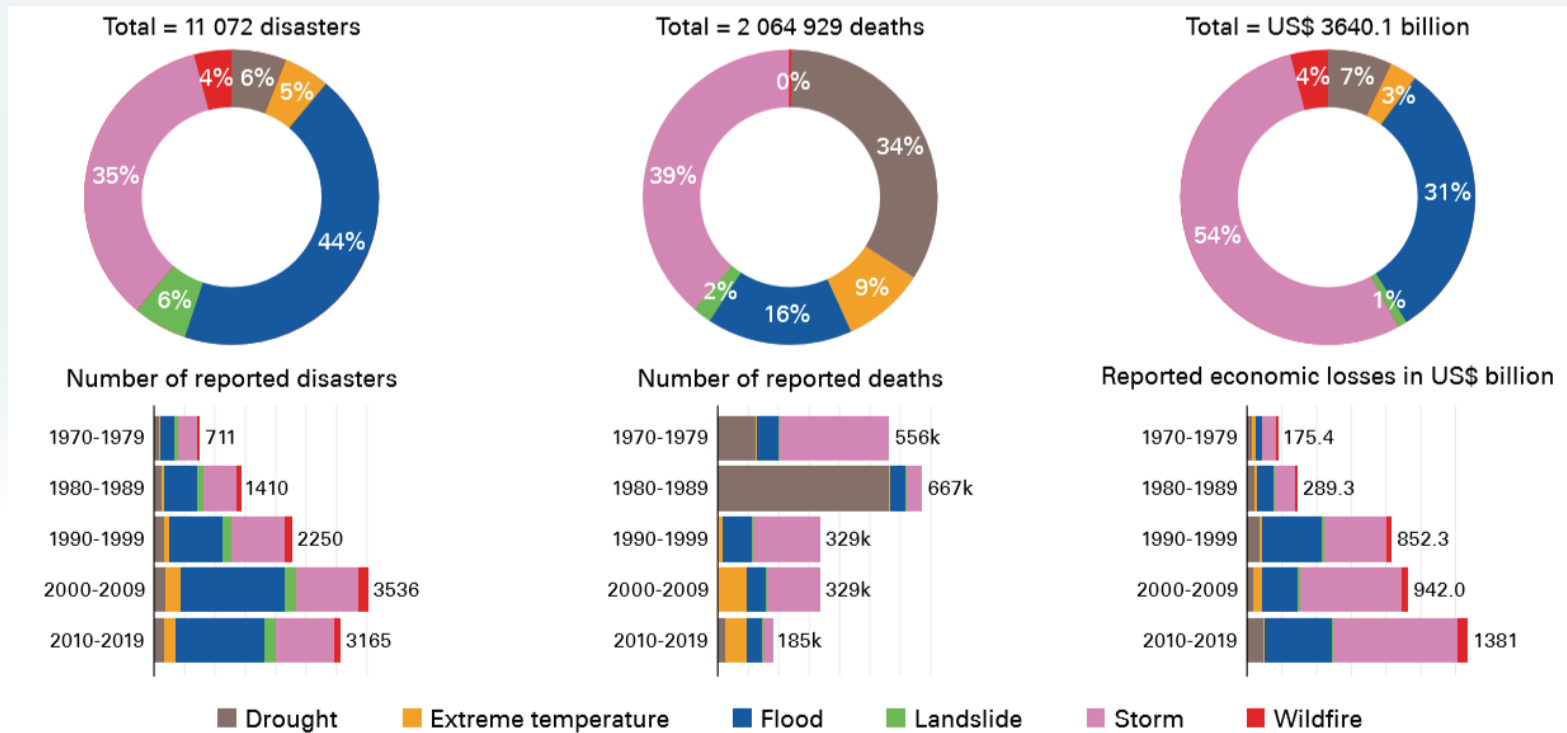
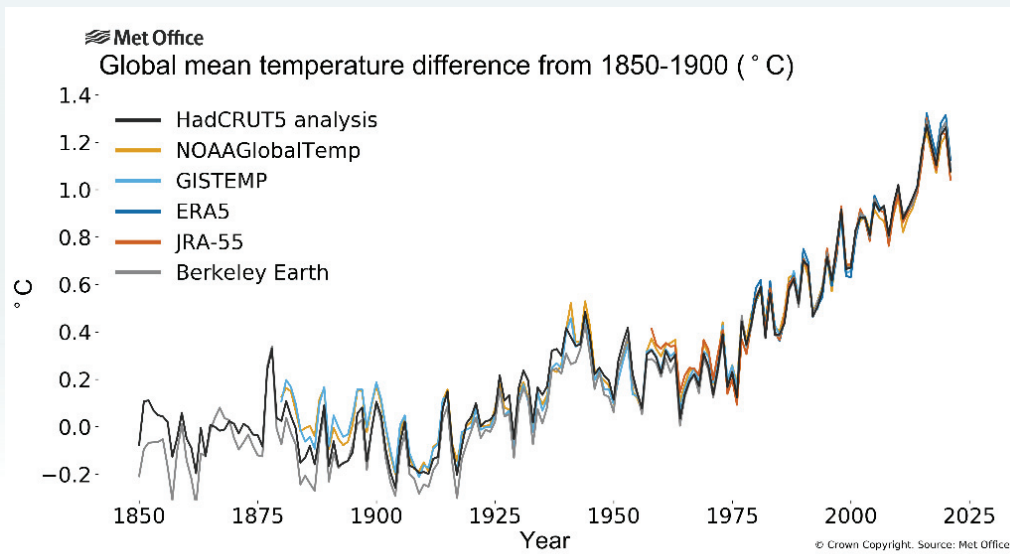


Figure 3: Distribution of (a) number of disasters (b) number of deaths, and (c) economic losses by main hazard type and by decade, globally.

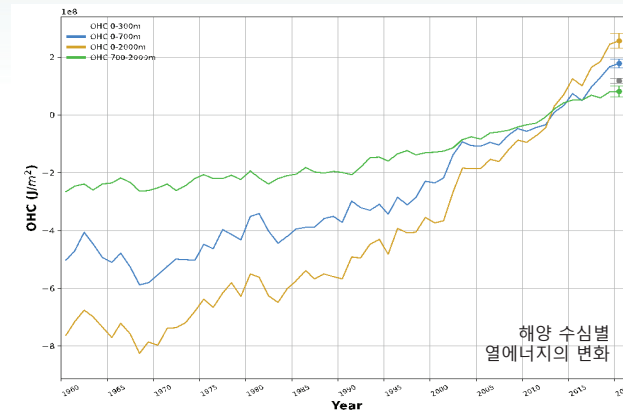
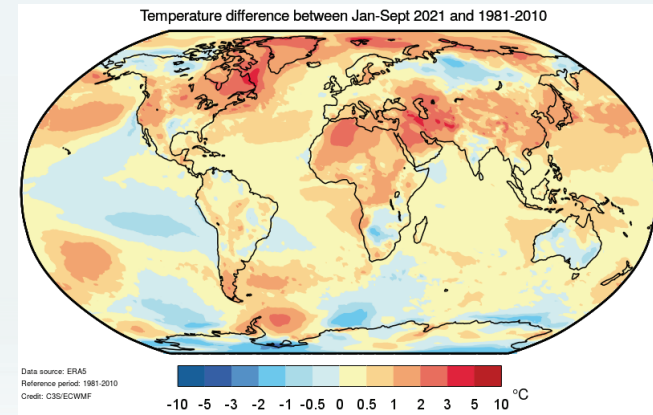
1970년대 대비 2010년대는 재난 건수 5배 증가, 인명 피해는 1/3 감소, 경제적 손실은 7배 증가



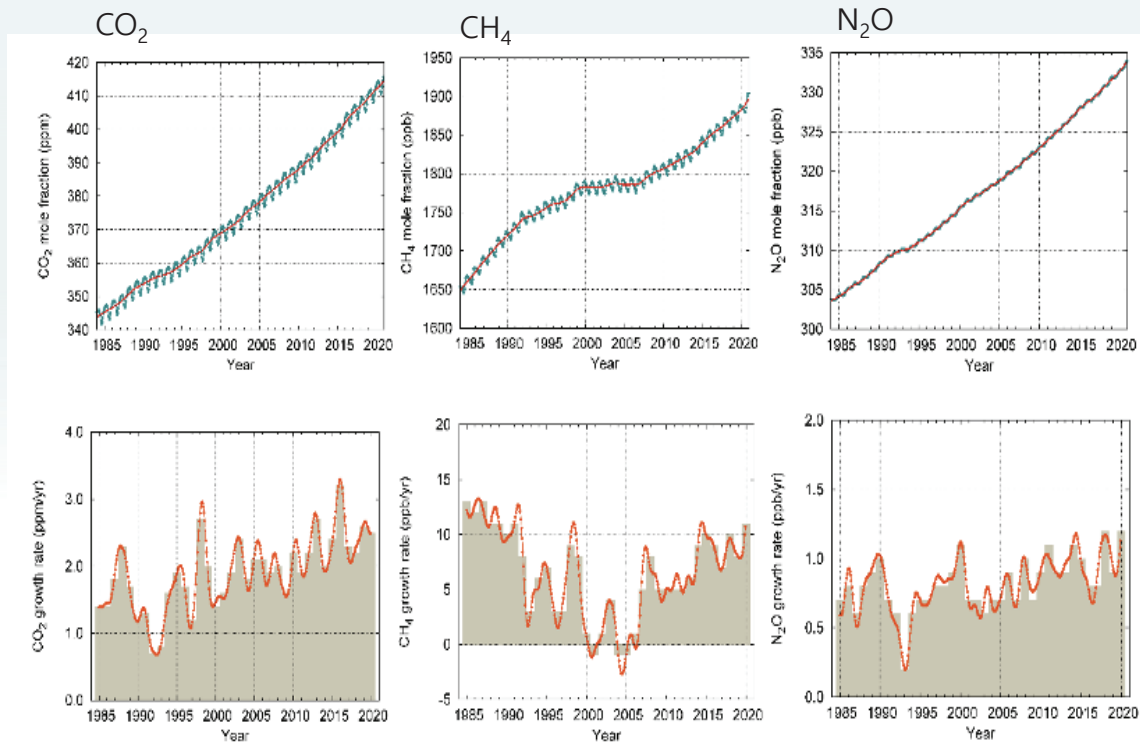
## 온난화가 가속화되고 있다 (State of Global Climate 2021, WMO Provisional Report, Oct 2021)



- 2021년 1~9월 기온은 산업화 이전 시기 대비 1.09°C 상승
- 2015~2021년의 전지구 연평균 기온은 가장 온난했던 해의 1~7위에 모두 위치
- 약 90%의 열을 흡수하는 해양도 지속적으로 온난화



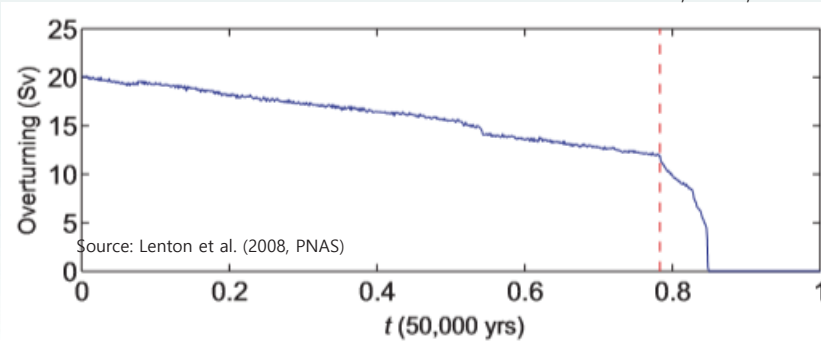
## 현재 온실가스의 수준 (State of Global Climate 2021, WMO Provisional Report, Oct 2021)



- 2020년 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도는 413.2 ppm으로 1750년 대비 149% 수준
- CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O는 각기 1,889 ppb 및 333.2 ppb로 1750년 대비 각기 262%와 123%에 달함

# 온난화가 어느 임계점을 넘는 순간 기후는 되돌릴 수 없다

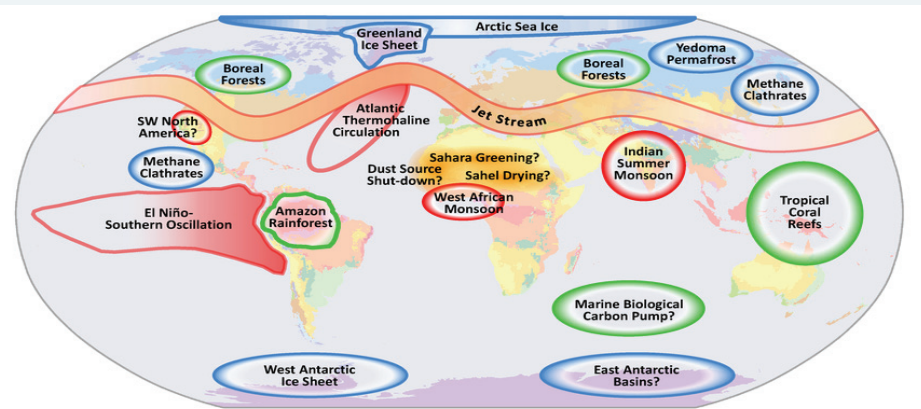
대서양 해류순환(Atlantic ThermoHaline Circulation)의 예  
Source: Lenton et al., 2008, PNAS



Source: Lenton et al. (2008, PNAS)

- ✓ 약 5만년 동안 CO<sub>2</sub>의 4배증 및 약한 담수 유입을 가정한 CLIMBER-2 모델의 시나리오
- ✓ 해류 순환이 서서히 약화되다, 어느 순간 갑자기 붕괴

## Tipping Elements – 지구시스템의 아킬레스건



- Cryosphere Entities**
  - 그린란드 빙상 붕괴, 서남극 빙상 붕괴
- Circulation Patterns**
  - 대서양 해류순환의 붕괴, 강력하고 지속적인 엘니뇨 발생
- Biosphere Components**
  - 아마존 열대우림 파괴

Source: Potsdam institute for Climate Impact Research (updated from Lenton et al.(2008, PNAS), etc.)

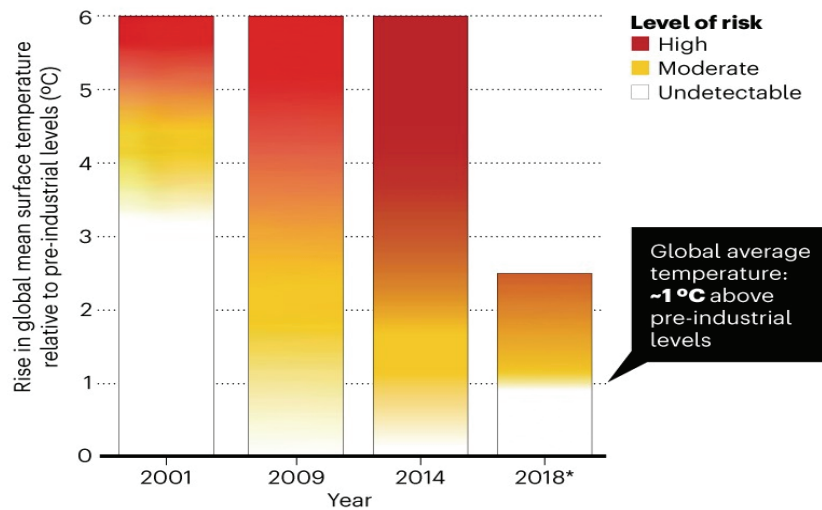
- 주요한 기후변화 Tipping point : 빙권, 순환, 생태 요소
- 여러 급변화들이 상호작용하여 변화 속도와 강도가 증폭될 수 있다

## 기후변화의 임계점에 다다르고 있다

Source: Lenton et al., 2019, Nature

### TOO CLOSE FOR COMFORT

Abrupt and irreversible changes in the climate system have become a higher risk at lower global average temperature rise. This has been suggested for large events such as the partial disintegration of the Antarctic ice sheet.



\*The 2018 IPCC Special Report: *Global Warming of 1.5 °C* focuses on the temperature range up to 2.5 °C.

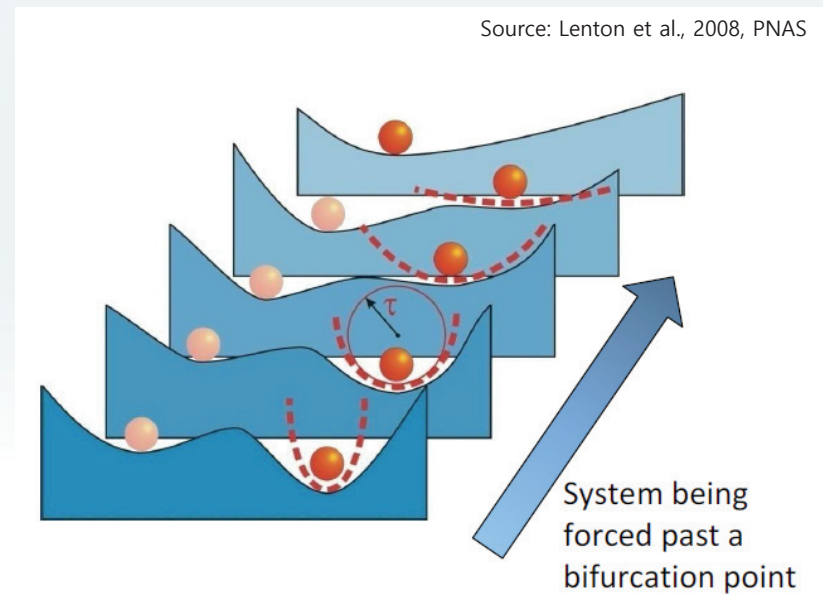
©nature

- 과거 tipping point는 5°C 온난화 상황에서 일어날 수 있다고 알려졌으나 최근 연구는 2°C 이하 온난화에서도 발생 가능성을 언급
- 그린란드 및 서남극 빙상 손실 가속화 등 온난화로 인한 tipping element의 변화가 이미 감지



## 기후 위기

- 기후변화의 영향은 극한 현상의 증가로 인해 재해와 맞물려있다
- 최근의 온난화 속도는 그 어느 때보다도 빠르다
- 온난화가 지속되면 현재 기후를 지탱할 수 있는 임계점을 초과할 것이다



# IPCC AR6 WGI 보고서(2021.8) : 현재의 기후 상태

## ❖ 인간 영향에 의한 온난화는 명백한 사실이며, 광범위하고 빠르게 변화

- 산업화 이전 시기(1850~1900) 대비 최근 10년(2011~2020)은 1.09°C 상승
- 관측된 기온 상승은 인간 영향에 의한 온난화 기여도와 일치

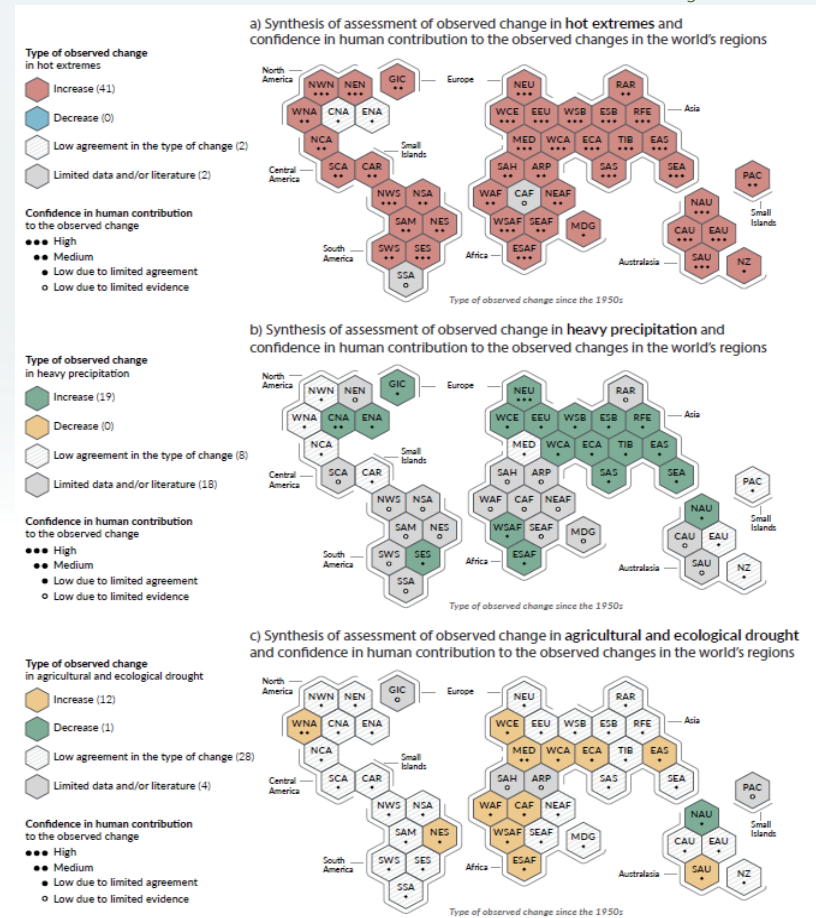
## ❖ 최근의 변화 규·모상태는 수세기~수천년에 걸쳐 전례없는 변화임

- 현 CO<sub>2</sub> 농도는 최소 2백만년 간 전례없는 수치이며, 최근 전지구 평균기온은 최소 지난 2천년 동안 그 어느때 보다 빠르게 상승
- 북극 해빙 및 빙하 후퇴, 전지구 평균 해수면 상승, 해양 산성도의 변화는 수천년~수백만년 전 이래 전례없는 수치를 보임

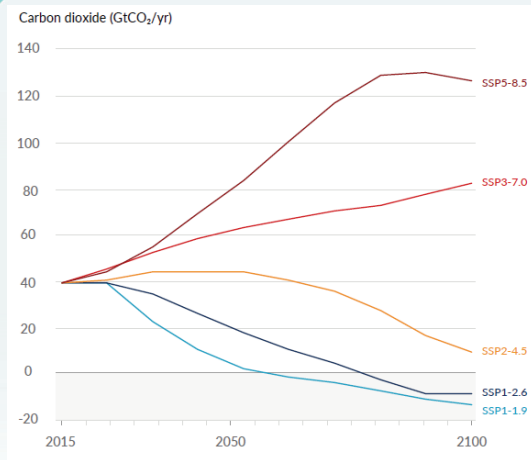
## ❖ 인간이 유발한 기후변화는 이미 전지구에 걸쳐 모든 지역에서 극한현상에 영향

- 극한고온 및 해양열파 증가, 극한저온은 감소
- 1950년대 이래 대부분의 육지지역에서 호우의 빈도와 강도가 증가
- 복합극한현상 증가

IPCC AR6 WGI Figure SPM.3 발췌



## IPCC AR6 WGI 보고서(2021.8) : 미래 전망



< SSP에 따른 미래 시기별 전지구 지표 온도의 변화 >

IPCC AR6 WG1 Table SPM.1

시나리오	근미래 (2021~2040)		중미래 (2041~2060)		먼미래 (2081~2100)	
	최적 추정치 (°C)	높은 가능성 범위(°C)	최적 추정치 (°C)	높은 가능성 범위(°C)	최적 추정치 (°C)	높은 가능성 범위(°C)
SSP1-1.9 (최저배출)	1.5	1.2 ~ 1.7	1.6	1.2 ~ 2.0	1.4	1.0 ~ 1.8
SSP1-2.6 (저배출)	1.5	1.2 ~ 1.8	1.7	1.3 ~ 2.2	1.8	1.3 ~ 2.4
SSP2-4.5 (중배출)	1.5	1.2 ~ 1.8	2.0	1.6 ~ 2.5	2.7	2.1 ~ 3.5
SSP3-7.0 (고배출)	1.5	1.2 ~ 1.8	2.1	1.7 ~ 2.6	3.6	2.8 ~ 4.6
SSP5-8.5 (최고배출)	1.6	1.3 ~ 1.9	2.4	1.9 ~ 3.0	4.4	3.3 ~ 5.7

❖ **최소 금세기 중반까지 전지구 평균기온은 지속적으로 증가**

- 1850~1900년 대비 먼미래(2081~2100년)의 전지구 기온 상승 폭은 최저 1.0~1.8°C에서 최고 3.3~5.7°C

❖ **산업화 이전 시기 대비 1.5°C 온난화는 대부분 시나리오에서 근미래(2021~2040)에 도달**

- 온실가스의 상당한 저감이 없다면, 21세기 중반 동안 1.5°C 및 2°C 온난화 초과

❖ **추가적인 온난화에 따라 극한의 변화는 지속적으로 커질 것**

- 극한고온, 호우, 가뭄의 빈도와 강도 증가 / 영구동토의 해동, 눈덮힘 및 빙하, 해빙의 감소

## IPCC AR6 WGI 보고서(2021.8) : 기후영향인자(Climatic Impact-Driver, CID)의 변화

	Climatic Impact-Driver																													
	Heat and Cold				Wet and Dry						Wind				Snow and Ice				Coastal and Oceanic			Other								
	Mean air temperature	Extreme heat	Cold spell	Frost	Mean precipitation	River flood	Heavy precipitation and pluvial flood	Landslide	Aridity	Hydrological drought	Agricultural and ecological drought	Fire weather	Mean wind speed	Severe wind storm	Tropical cyclone	Sand and dust storm	Snow, glacier and ice sheet	Permafrost	Lake, river and sea ice	Heavy snowfall and ice storm	Hail	Snow avalanche	Relative sea level	Coastal flood	Coastal erosion	Marine heatwave	Ocean and lake acidity	Air pollution weather	Atmospheric CO <sub>2</sub> at surface	Radiation at surface
<b>Asia</b>																														
Arabian Peninsula	↗	↗ ***	↘ **	↘																			↗		1	↗			↗	
West Central Asia	↗	↗ ***	↘ ***	↘	5		↗		↗			↘					↘						↗		1,2	↗			↗	
West Siberia	↗	↗ ***	↘ ***	↘	↗		↗					↘					↗	↘										↗		
East Siberia	↗	↗ ***	↘ ***	↘	↗		↗					↘					↗	↘										↗		
Russian Far East	↗	↗ ***	↘ ***	↘	↗		↗					↘					↗	↘					↗		1,2	↗	↗	↗		
East Asia	↗	↗ ***	↘ ***	↘			↗			↗		↘		↗ 3			↗	↘					↗		1,2	↗		↗		
East Central Asia	↗	↗ ***	↘ ***	↘			↗			↗		↘					↗	↘										↗		
Tibetan Plateau	↗	↗ ***	↘ ***	↘			↗					↘					↗	↘										↗		
South Asia	↗	↗ ***	↘ ***	↘	↘		↗					↘					↗	↘					↗		1	↗		↗		
Southeast Asia	↗	↗ ***	↘ ***	↘	4		↗					↘		↗ 3			↗	↘					↗		1,2	↗		↗		

**Key for observational trend evidence**

↗	Past upward trend (medium or higher confidence)
↘	Past downward trend (medium or higher confidence)

**Key for level of confidence in future changes**

High confidence of increase (or more)
Medium confidence of increase
Low confidence in direction of change
Medium confidence of decrease
High confidence of decrease (or more)
Not broadly relevant

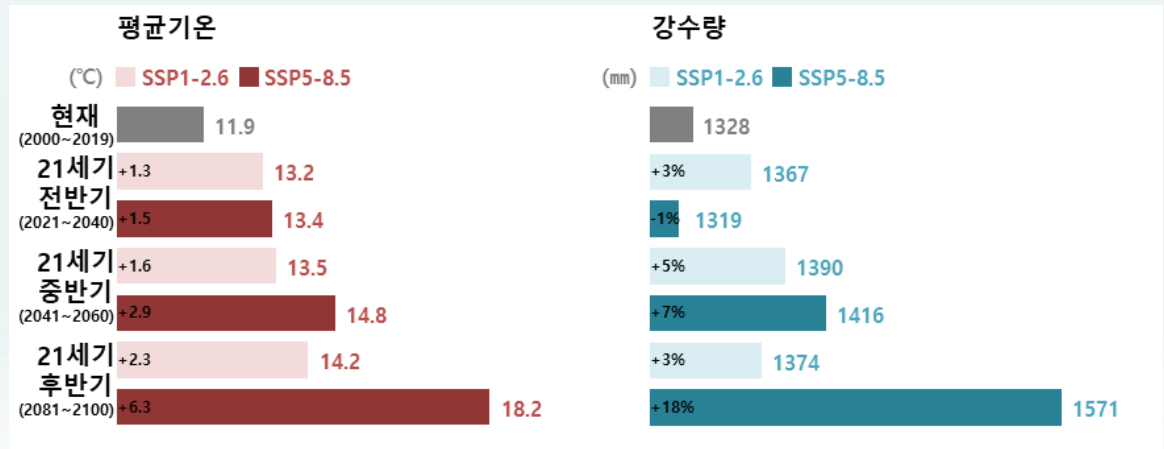
**Key for attribution evidence**

***	High confidence (or more)
**	Medium confidence

동아시아 지역: 극한고온 현상과 평균강수량 및 호우의 증가, 해수면 및 해수온 상승 등에서 높은 신뢰도

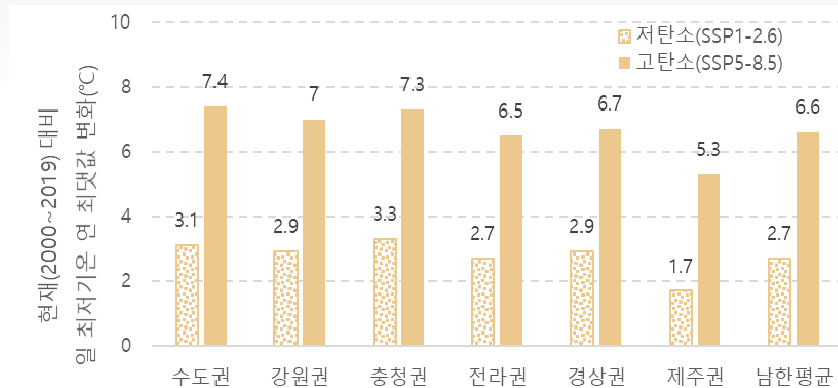
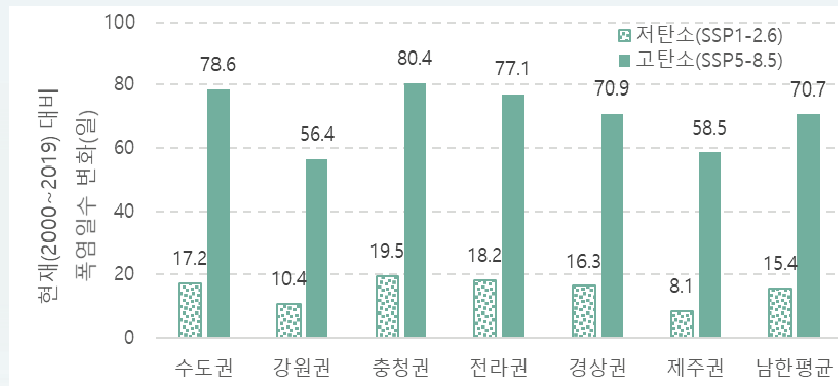


## 탄소 배출에 따른 우리나라 미래 변화



- ✓ 21세기 중반기(2041~2060년)는 현재(2000~2019) 대비 기온 +1.6~+2.9°C 상승, 강수량 +5~+7% 증가 전망
- ✓ 온실가스 배출 격차가 더욱 커지는 21세기 후반기에 저탄소 시나리오는 온난화 추세 완화, 고탄소 시나리오에서는 추세 심화

## 우리나라 권역별 극한 기온의 미래 변화



✓ 미래 극한 고온현상은 고탄소 시나리오에서 비교적 증가 추세가 뚜렷

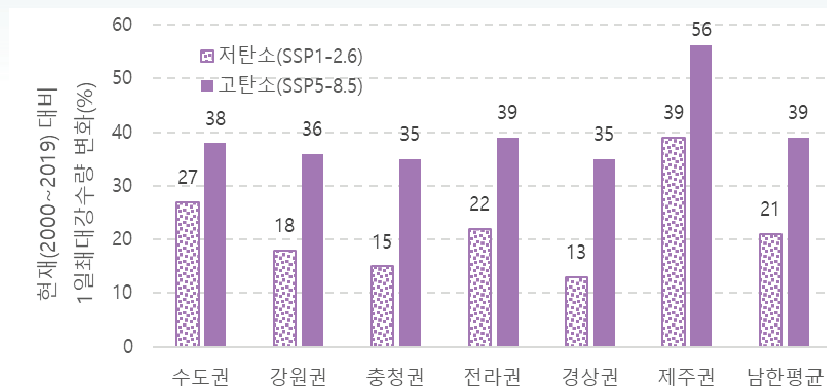
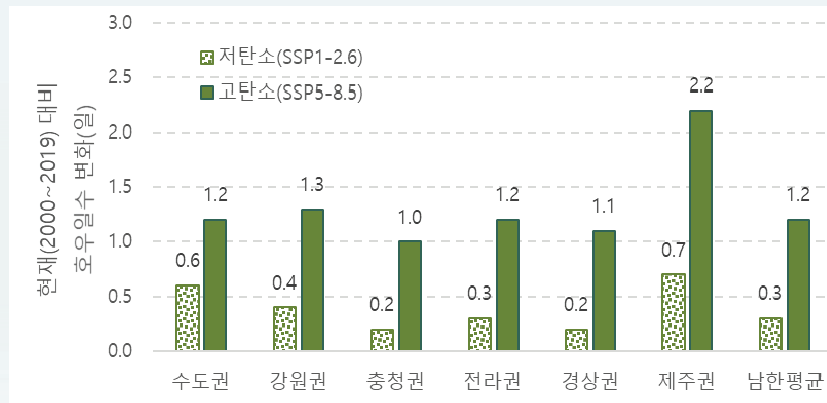
✓ 중부지방(강원 제외) 중심으로 폭염일수 증가 폭이 큼

\* 현재 : 경상권 12일, 수도권/충청권 7.8일/8.7일

21세기 후반기 : 경상권 82.9일, 수도권/충청권 86.4일/89.1일

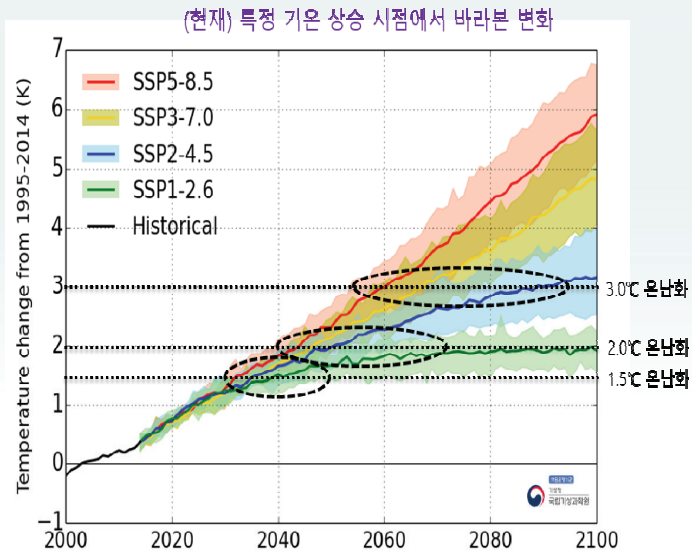
✓ 열대야와 관련된 일 최저기온 변화 경우, 중부지방의 기온 증가 폭(+7.0~+7.4°C)이 다른 지역(+5.3~+6.7°C)에 비해 상대적으로 커짐

## 우리나라 권역별 극한 강수의 미래 변화



- ✓ 21세기 후반기 극한 강수현상은 고탄소 시나리오에서 뚜렷한 증가 추세
- ✓ 제주권은 1일 최대 강수량 및 호우일수의 증가가 가장 큰 지역이 될 전망
  - \* 21세기 후반에 호우일수 2.2일 증가, 1일 최대 강수량 56% 증가
- ✓ 제주를 제외한 나머지 권역의 극한 강수 현상은 비교적 유사한 수준으로 증가

## 지구온난화 수준별 동아시아 지역 극한 기후의 영향

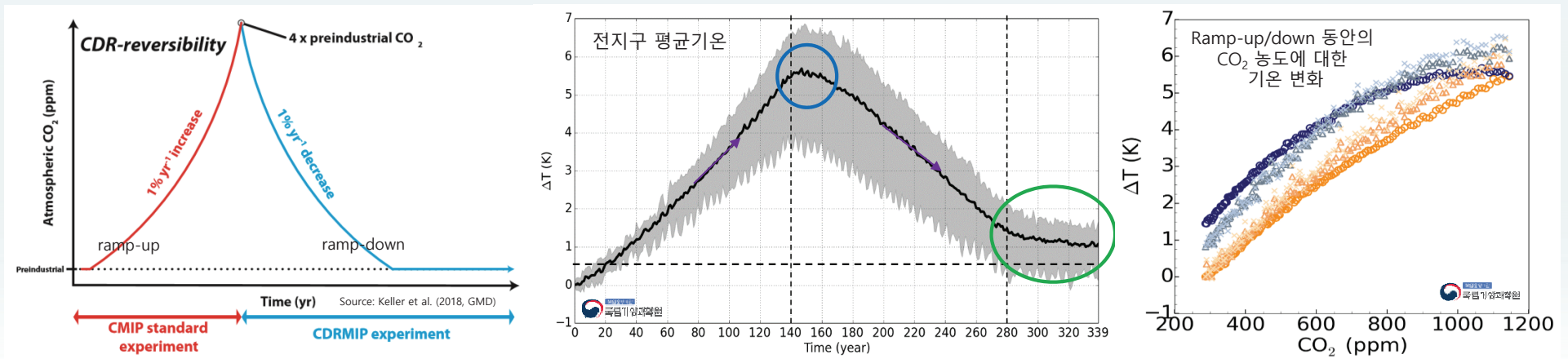


	1.5°C → 2.0°C	1.5°C → 3.0°C
일최고기온의 연최대값	+55%	+170%
온난일	+70%	+200%
일최저기온의 연최소값	+65%	+200%
한랭야	-65%	-160%
5일최대강수량	+70%	+200%
상위5% 극한강수량	+75%	+200%
상위5% 강수일수	+60%	+180%

- ✓ 동아시아 육지 지역의 극한현상은 1.5°C → 2.0°C 기온 상승 시 55~75%의 변화를 보이고, 3.0°C로 온난화 되는 경우엔 1.5°C 상승 때보다 2배 정도 더 증가
- ✓ 1.5°C로 온난화를 제한해야 고온, 호우 등 재난재해와 연관된 극한현상을 줄일 수 있음



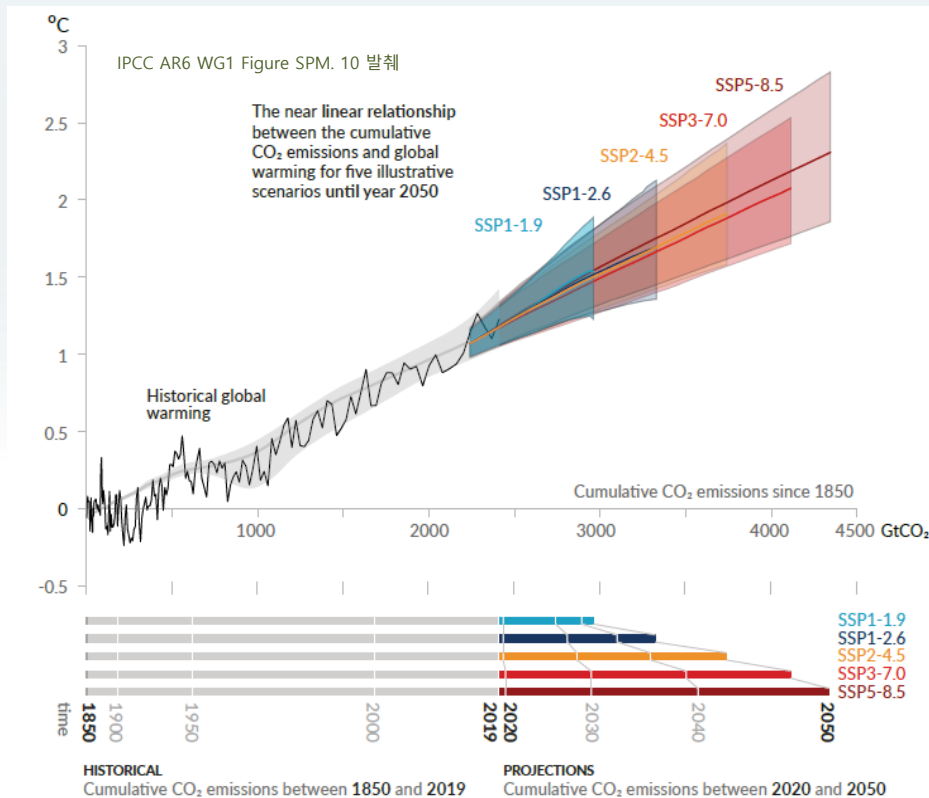
## 신속한 탄소 감축만이 살 길이다



- ✓ 온실가스 증가/감축 시 기온 변화는 다른 경로를 보인다
- ✓ CO<sub>2</sub> 감축에도 온난화 시그널은 지속적으로 남은 상태
- ✓ 현재와 같은 기후를 유지하기 위해서 넘지 말아야 할 온난화 수준은?

## IPCC AR6 WGI 보고서(2021.8) : 미래 기후변화 억제

< 1850~1900년부터의 누적 CO<sub>2</sub> 배출량에 따른 전지구 지표 온도의 변화 >



❖ 온난화를 억제하기 위해서는 탄소 넷제로를 통한 누적배출량의 제한 및 다른 온실가스의 감축 필요

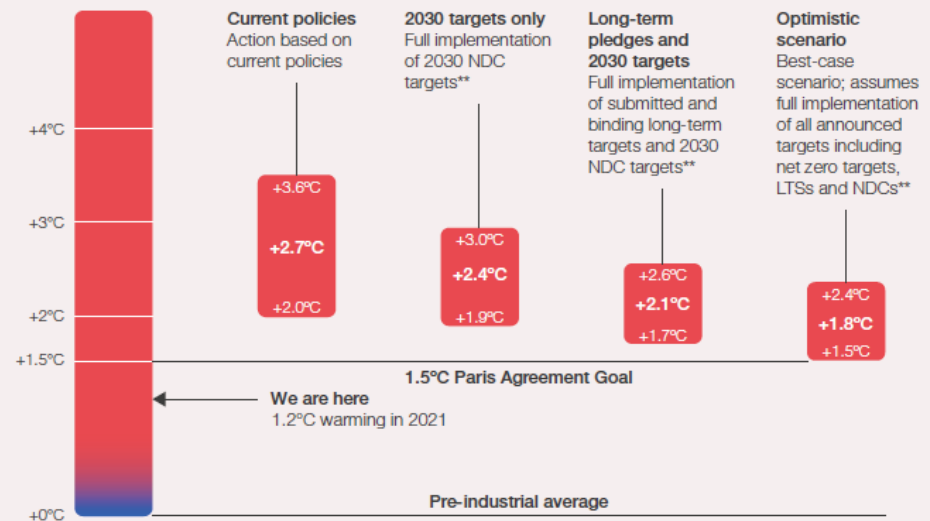
- 누적된 인위적 CO<sub>2</sub> 배출과 전지구 평균기온의 변화는 선형적 비례 관계; 1,000 GtCO<sub>2</sub>마다 0.27~0.63°C 변화
- 1850~2019년 동안 누적 CO<sub>2</sub> 배출량은 2,390 ± 240 GtCO<sub>2</sub>
- 1.5°C 온난화 제한을 위한 잔여탄소배출총량은 400 ± 220 GtCO<sub>2</sub> (온난화 제한 67% 확률 / non-CO<sub>2</sub> 변동)
- CH<sub>4</sub>의 감축은 에어로졸 감소로 인한 기온 상승을 상쇄하고, 지표 오존 감소로 대기 질 향상에 기여

# 세계경제포럼 Global Risks Report 2022



FIGURE 2.1

## Global Temperature Scenarios by 2100

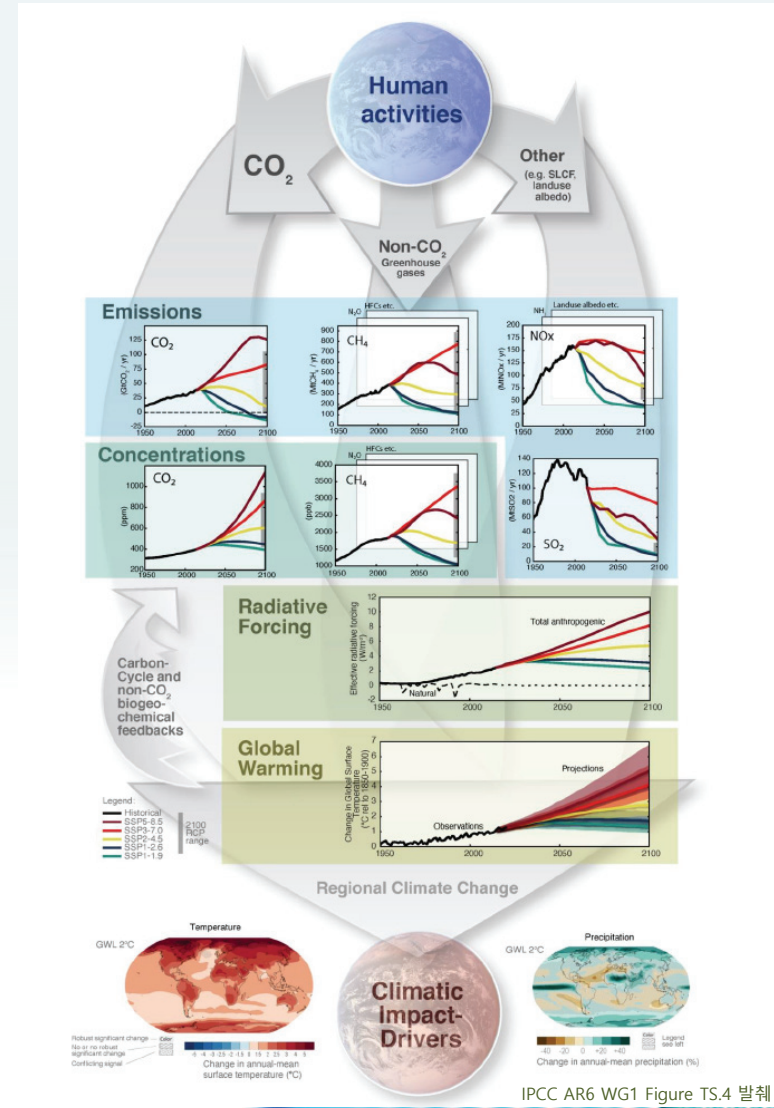


\*\* Nationally determined contributions (NDCs) are non-binding national plans for climate action, including targets for GHG emissions reductions. Long-term strategies (LTSs) are national mid-century development plans for confronting climate change. If 2030 NDC targets are weaker than projected emissions levels under current policies, then current policies are used here.

Source: Based on the Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/>

## 제언

- ✓ 기후변화는 자연 생태계 및 인간사회를 위협하는 요인 → 기후위기에 대한 민감도 증가 추세
- ✓ 탄소 감축만이 미래 세대가 살아갈 지구환경을 안전하게 유지할 수 있다
- ✓ 기후위기는 “과학적으로 서술은 되지만 그 답은 과학만으로는 찾을 수 없는 기술사회적 문제” → 공동체 구성원의 숙의와 협력 필수



IPCC AR6 WG1 Figure TS.4 발췌



# Thank You

