



# 미래 기후 전망 자료 활용 기후 변화 영향 평가

김선태

2023.9.26

기후정보생산 및 활용 사용자 워크숍



# 전지구평균기온

- 산업혁명 이전 기간 (1850-1900) 평균보다  $1.45 \pm 0.12$  °C 높았음
- 174년간 기록한 것 중 가장 더운 해였음.
- 최근 10년 평균은 1.14 °C 로서 최고기록을 갱신함 (6~12월 모든 달에 대하여 기록적으로 따뜻함).

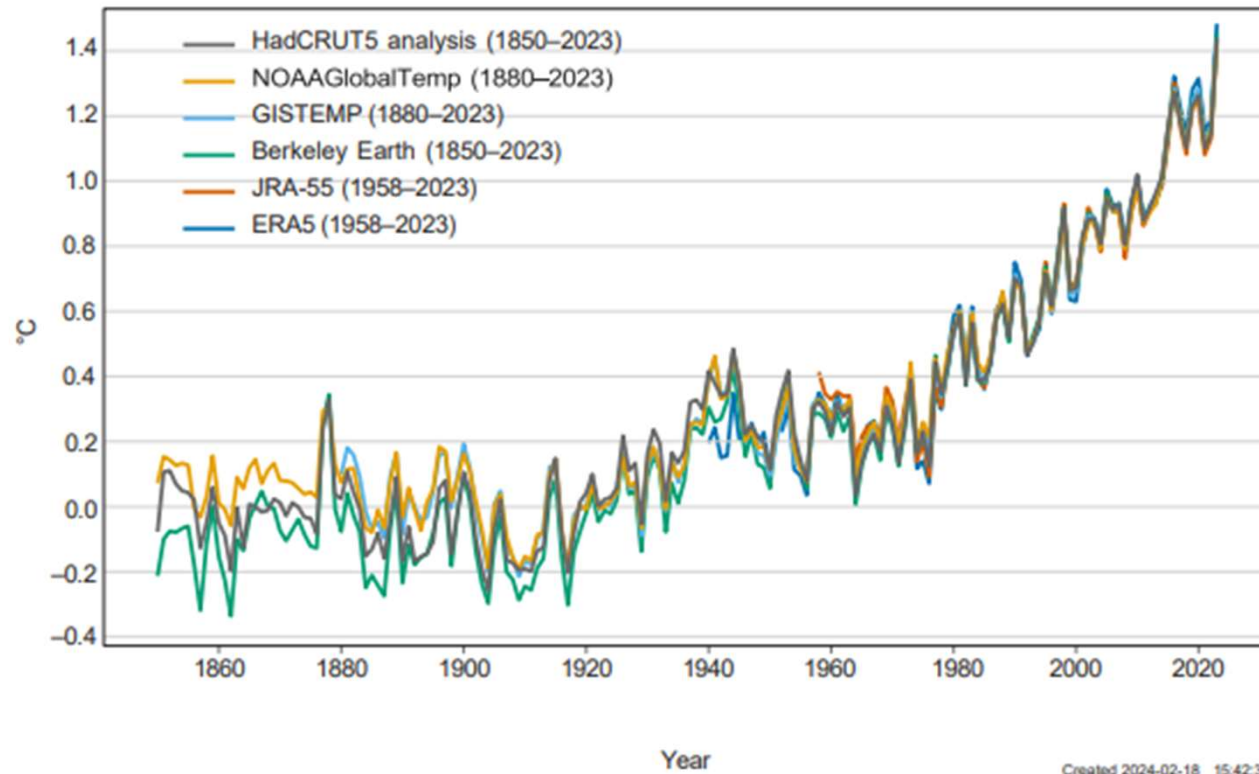


그림 2. 연평균 전지구 온도 아노말리(1850-1900 대비)  
출처: 6개 데이터 세트 자료.  
세부사항은 [Data set and methods](#) 참조

WMO State of Climate 2023

# 기후변화의 원인?

## 지구온난화의 주범은 온실가스입니다.

온실가스로 인한 심각한 기후변화와 인간의 환경파괴가  
지구를 위협하고 있어요!



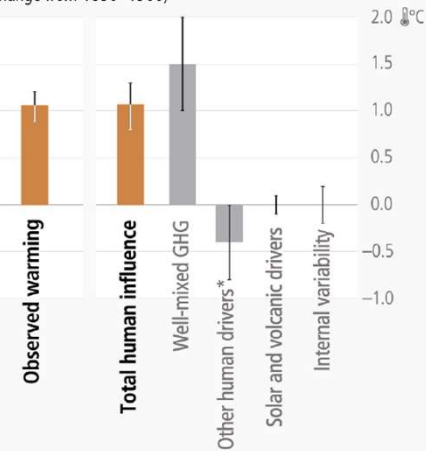
### 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 보는 기후변화의 원인

연도	IPCC 보고서	의미
1990	1차(AR1)	지구가 더워지는 기후변화 현상이 관찰되지만, 인간의 영향인지 확신할 수 없다.
1995	2차(AR2)	기후변화는 인간 영향이 원인 중 하나일 수 있다.
2001	3차(AR3)	기후변화는 인간 영향이 66% 이상이다.
2007	4차(AR4)	기후변화는 인간 영향이 90% 이상이다.
2013	5차(AR5)	기후변화는 인간 영향이 95% 이상이다.
2023	6차(AR6)	기후변화는 전적으로 인간활동에 의해 초래

※ 자료: IPCC, <식량위기 대한민국>(남재작) 등

#### d) Humans are responsible

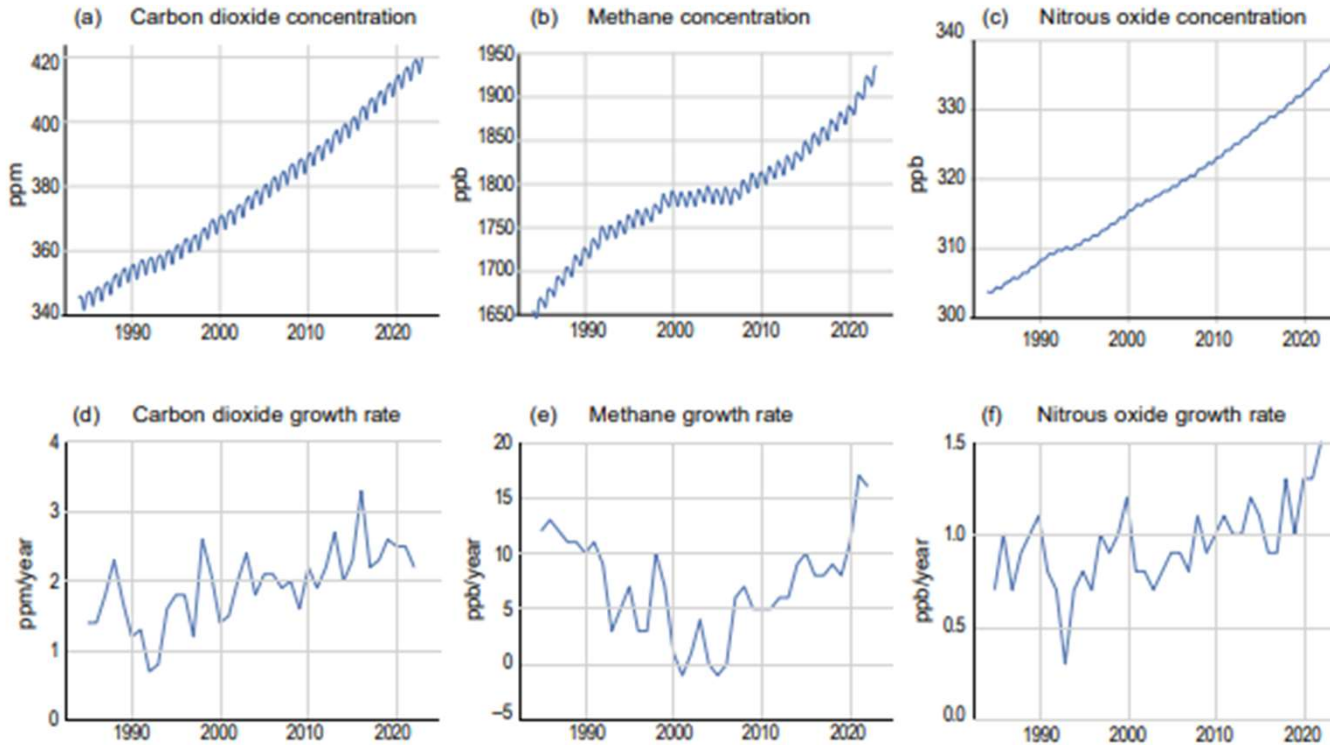
Observed warming is driven by emissions from human activities with GHG warming partly masked by aerosol cooling 2010–2019 (change from 1850–1900)



\*Other human drivers are predominantly cooling aerosols, but also warming aerosols, land-use change (land-use reflectance) and ozone.

IPCC AR6 (2023)

# GHG 농도



- 새로운 GHG 농도 기록 갱신
- 메탄 농도 증가속도 2021년 다음으로 두번째
- 아산화질소 증가율 최고치 기록

Carbon Dioxide  
 $417.9 \pm 0.2$  ppm  
 150% of preindustrial

Methane  
 $1923 \pm 2$  ppb  
 264% of preindustrial

Nitrous Oxide  
 $335.8 \pm 0.1$  ppb  
 124% of preindustrial

# 기후변화란 무엇인가?

## 일반적인 정의

인간의 활동에 의한 온실 효과 등의 **인위적인 요인**과 화산폭발, 성층권 에어로졸의 증가 등의 **자연적 요인**에 의한 효과를 포함하는 전체 자연의 평균 기후변동

## 기후위기 대응을 위한 탄소중립 · 녹색성장 기본법상 정의

**기후변화**: 사람의 활동으로 인하여 온실가스의 농도가 변함으로써 상당 기간 관찰되어 온 **자연적인 기후변동에 추가적으로 일어나는 기후체계의 변화** (기후위기 대응을 위한 탄소중립 · 녹색성장 기본법 제2조)

**기후위기**: 기후변화가 극단적인 날씨뿐만 아니라 물 부족, 식량 부족, 해양산성화, 해수면 상승, 생태계 붕괴 등 인류 문명에 **회복할 수 없는 위험을 초래하여 획기적인 온실가스 감축이 필요한 상태**를 말한다. (기후위기 대응을 위한 탄소중립 · 녹색성장 기본법 제2조)

## IPCC 정의 | Intergovernmental Panel on Climate Change

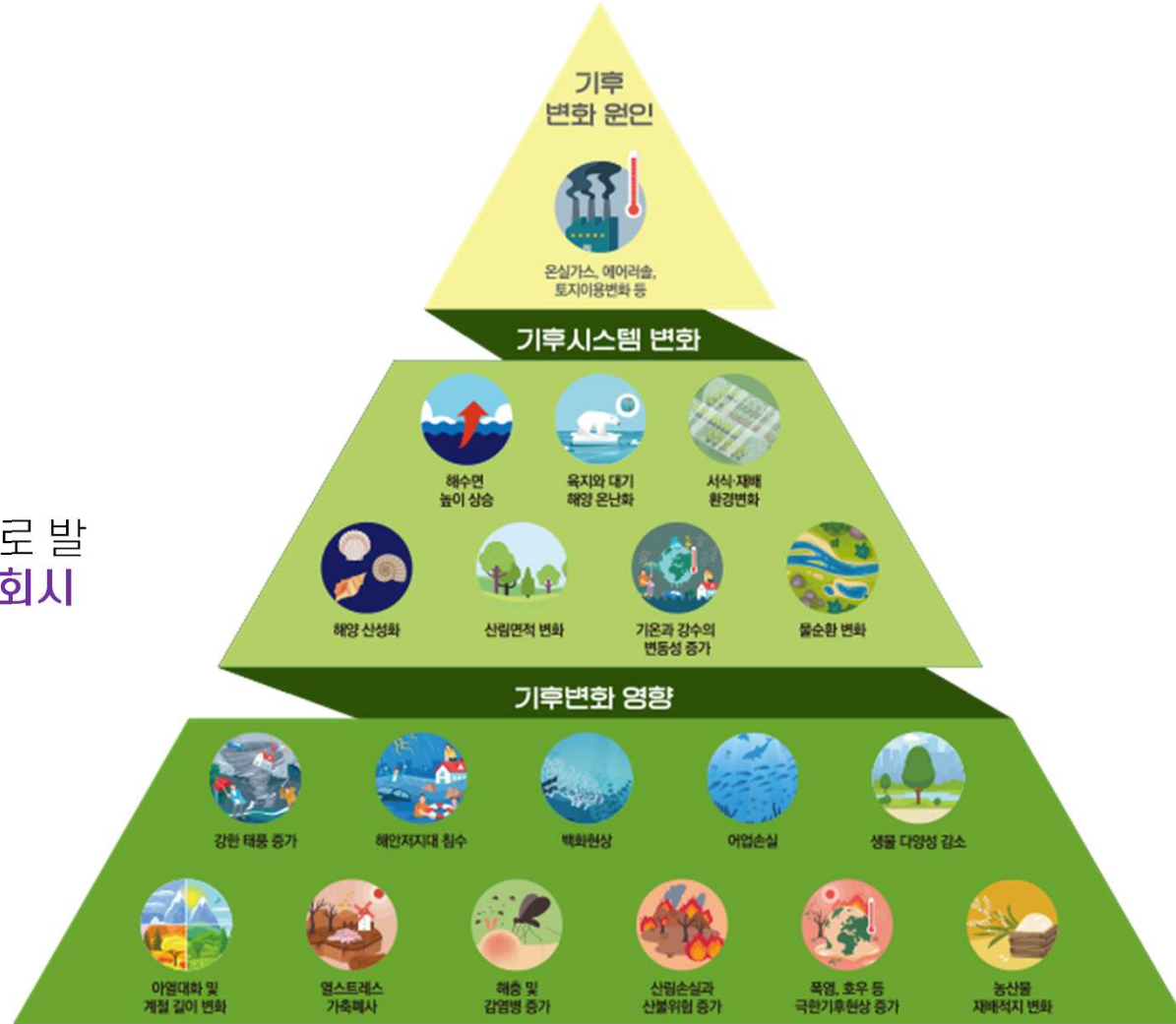
장기간에 걸친 기간(수십년 또는 그 이상)동안 지속되면서, 기후의 평균상태나 그 변동 속에서 통계적으로 의미 있는 변동 "**인간 행위로 인한 것**" 이든 "**자연적인 변동(Variability)**"이든 시간의 경과에 따른 기후의 변화를 포괄

## UNFCCC 정의 | United Nations Framework Convention on Climate Change

전 지구 대기의 조성을 변화시키는 인간의 활동이 직접적 또는 간접적으로 원인이 되어 일어나고, 충분한 기간 동안 관측된 자연적인 기후변동성에 추가하여 일어나는 기후의 변화. 기후변화협약은 "**인간 행위에 의한 기후변화**"만으 **로 정의**. UNFCCC는 대기 조성을 변경시키는 인간활동으로 인한 기후변화와 주로 자연적 원인에 의해 일어나는 기후변동성을 구분

## 기후변화 영향

자연적이거나 인공적인 원인으로 발생한 기후의 변화가 자연과 사회시스템에 미치는 영향



# 파리 (2도 제한) 협약

## 파리협약

미국, 캐나다 등의 불참, 중국, 인도 등이 개발도상국으로 분류되어 감축의무 제외, 감축의무 국가들의 온실가스 배출량이 전체 22%에 불과, 새로운 기후체계 필요성 제기  
 산업혁명 이전 보다 2도 이하 제한 감축 목표 동의

### Climate change: the long road to a global deal



## 환경개발에 관한 UN회의 (UNCED):

114개국 정상들이 지구환경문제 논의, 기후변화협약(UNFCCC) 채택(형평성, 공통의 그러나 차별화된 책임 및 개별국의 능력 원칙에 따라 선진국과 개도국에 다른 종류의 기후변화 대응 의무 부과)  
 1919년 수준으로 GHG 감축 동의

## 당사국 총회(COP) 매년 개최 시작

세계 각국 정부가 기후변화에 대응하기 위한 정책을 논의

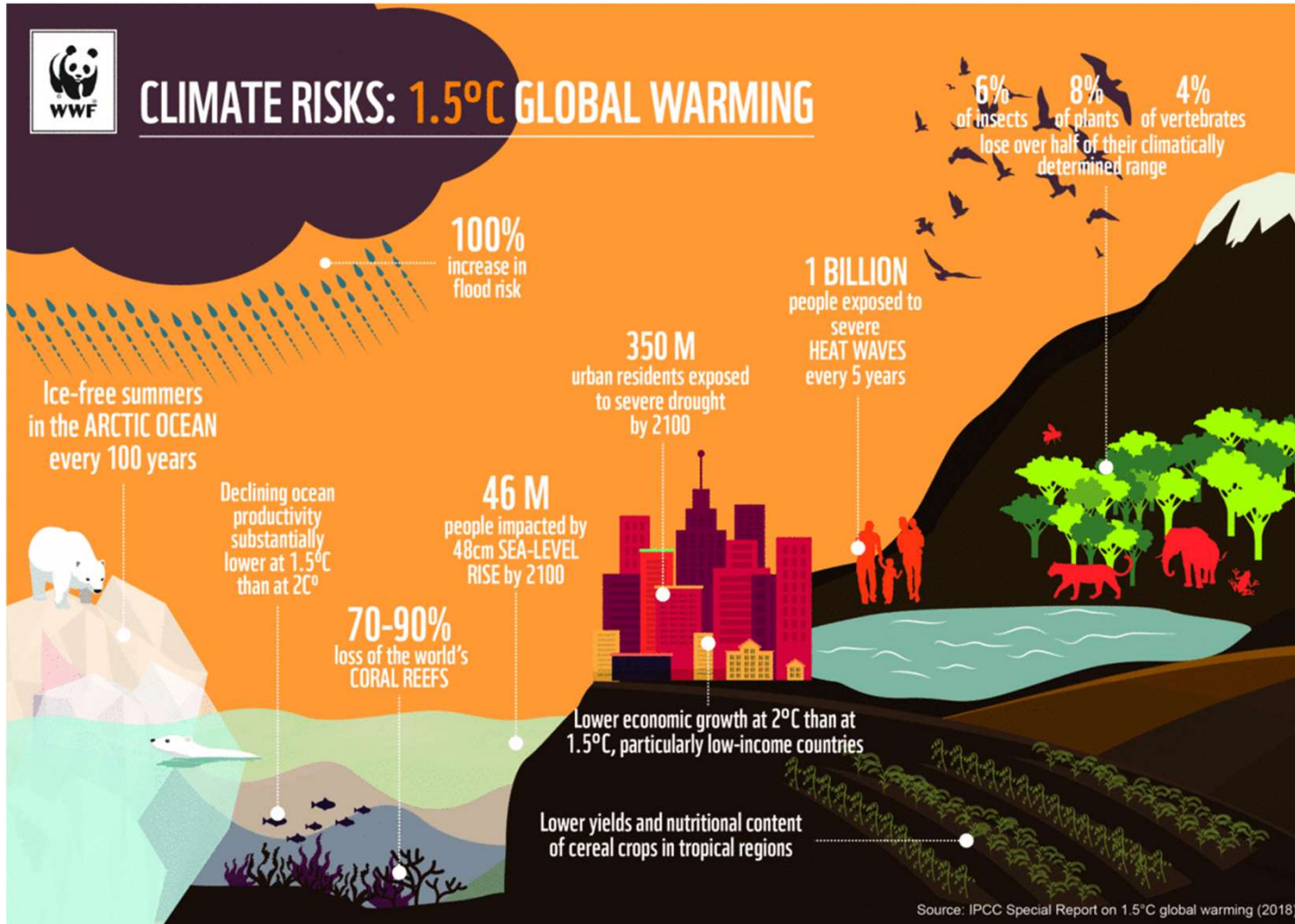
## 교토 의정서

많은 국가들이 2012년 1990년 수준에서 5.2% 아래로 감축에 동의

## 2015 Paris Agreement:

proposed an aspiration to “hold the increase in the global average temperature to well below 2°C against preindustrial levels and pursue effort to limit the temperature increase to 1.5°C”.

# 전 지구 기온 1도 증가의 의미?



# 기후변화에 관한 정부 간 패널 (IPCC)

- 세계기상기구(WMO)과 산하기관인 환경계획(UNEP)에 의해 1988년 설립
- 인간활동에 대한 기후변화의 위험을 평가하여 그 영향 및 실현 가능한 대응 전략을 주기적으로 평가하고, 기후변화에 대한 UNFCCC의 실행에 대한 기후변화 평가보고서 발행(5~6년 주기)
- 제6차 평가보고서(2023)는 총 4개의 보고서로 구성
  - ✓ 3개의 실무그룹(WGI, II, III) 보고서와 1개의 종합보고서(SyR; Synthesis Report)
  - ✓ WG I :기후변화의 과학적 근거, WG II : 기후변화의 영향·적응·취약성, WG III : 기후변화의 완화



- CMIP (Climate Model Intercomparison Project) Phase 6 자료
  - ✓Historical, 여러 강제력 분리, 미래 시나리오
- 지역 기후 모델 활용한 상세화 자료 (CMIP6 자료의 고해상도 화)
- Large Ensemble 실험 자료 (기후변화 attribution)

# 기후변화 자료

## CMIP

- 과거기후모의 (historical run): 1850년 부터 현재(2014년)까지의 관측된 기후 강제력에 의한 모의
- 미래 전망 모의(SSP run): 과거기후 모의 자료의 마지막 값에서 시작 SSP 강제력에 따른 2100년까지 모의



- 세계 유수 기후 센터에서 in-house 모델을 사용 공통된 시나리오 자료를 강제력으로 기후 자료 생산 함.

- ✓다중 모델 자료 활용 과거기후 대비 미래 기후에서 주요 기후 변수들의 변화 분석 가능
- ✓모델 consensus, 모델들의 과거 기후 모의 스킵 등 활용 하여 미래 기후변화 영향 결과 도출

**WCRP CMIP6**  
World Climate Research Programme

Home Contact Us Data Nodes Status You are at the [ESGF@DOE/LNL node](#) [Technical Support](#)

WARNING: Not all models include a variant "r11p1f1", and across models, identical values of variant\_label do not imply identical variants! To learn which forcing datasets were used in each variant, please check modeling group publications and documentation provided through ES-DOC.

CMIP6 project data downloads are unrestricted. Downloads should be performed with the -s option to a wget script without the need to login. When using this method for download, ensure you are not using additional options, eg. -s and -H should never be combined.

Enter Text:     [More Search Options](#)

Show All Replicas  Show All Versions  Search Local Node Only (Including All Replicas)

Total Number of Results: 382969  
-1- 2 3 4 5 6 Next >>

Please login to add search results to your Data Cart  
Expert Users: you may display the search URL and return results as XML or return results as JSON

1. CMIP6.ScenarioMIP.CC.Cma.CanESM5.ssp126.r121p2f1.Amon.wap.gn  
Data Node: [crd-esgf-drc.ec.gc.ca](#)  
Version: 20190429  
Total Number of Files (for all variables): 1  
Full Dataset Services: [Show Metadata](#) [List Files](#) [WGET Script](#) [LAS](#) [Show Citation](#) [PID](#) [Further Info](#)
2. CMIP6.ScenarioMIP.CC.Cma.CanESM5.ssp126.r121p2f1.day.hifs.gn  
Data Node: [crd-esgf-drc.ec.gc.ca](#)  
Version: 20190429  
Total Number of Files (for all variables): 1  
Full Dataset Services: [Show Metadata](#) [List Files](#) [WGET Script](#) [LAS](#) [Show Citation](#) [PID](#) [Further Info](#)
3. CMIP6.ScenarioMIP.CC.Cma.CanESM5.ssp126.r121p2f1.day.hifs.gn  
Data Node: [crd-esgf-drc.ec.gc.ca](#)  
Version: 20190429  
Total Number of Files (for all variables): 1  
Full Dataset Services: [Show Metadata](#) [List Files](#) [WGET Script](#) [LAS](#) [Show Citation](#) [PID](#) [Further Info](#)
4. CMIP6.ScenarioMIP.CC.Cma.CanESM5.ssp126.r121p2f1.day.hifs.gn  
Data Node: [crd-esgf-drc.ec.gc.ca](#)  
Version: 20190429  
Total Number of Files (for all variables): 1  
Full Dataset Services: [Show Metadata](#) [List Files](#) [WGET Script](#) [LAS](#) [Show Citation](#) [PID](#) [Further Info](#)
5. CMIP6.ScenarioMIP.CC.Cma.CanESM5.ssp126.r121p2f1.day.hursmax.gn  
Data Node: [crd-esgf-drc.ec.gc.ca](#)  
Version: 20190429  
Total Number of Files (for all variables): 1  
Full Dataset Services: [Show Metadata](#) [List Files](#) [WGET Script](#) [LAS](#) [Show Citation](#) [PID](#) [Further Info](#)

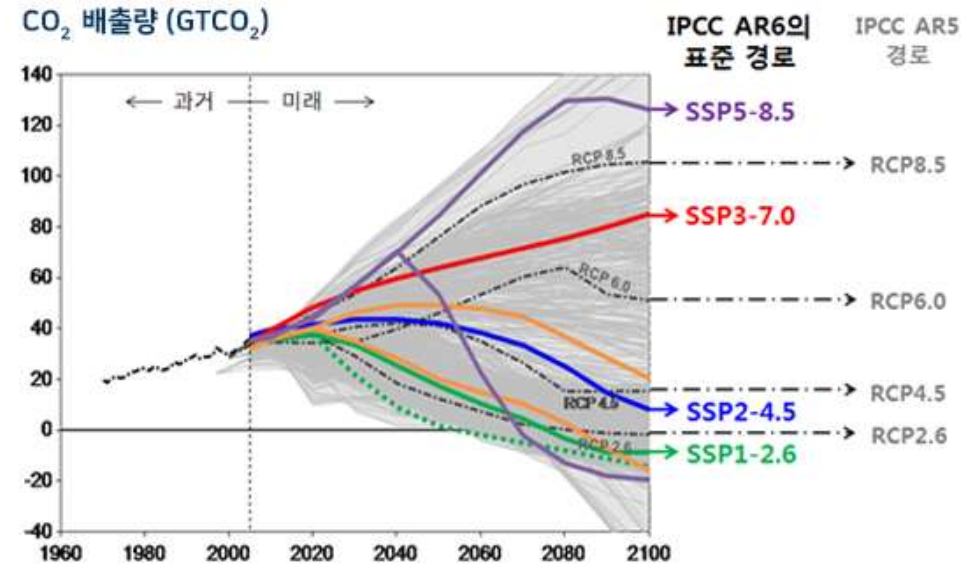
4AOP-v1-5	ECMWF-IFS-HR	MPI-ESM-1-2-HAM
ACCESS-CM2	ECMWF-IFS-LR	MPI-ESM-1-2-HR
ACCESS-ESM1-5	ECMWF-IFS-MR	MPI-ESM1-2-LR
ARTS-2-3	FGOALS-f3-H	MPI-ESM1-2-LR
AWI-CM-1-1-HR	FGOALS-f3-L	MPI-ESM1-2-XR
AWI-CM-1-1-LR	FGOALS-g3	MRI-AGCM3-2-H
AWI-CM-1-1-MR	FIO-ESM-2-0	MRI-AGCM3-2-S
AWI-ESM-1-1-LR	GFDL-AM4	MRI-ESM2-0
BCC-CSM2-HR	GFDL-CM4	MRI-ESM2-0
BCC-CSM2-MR	GFDL-CM4C192	NESM3
BCC-ESM1	GFDL-ESM2M	NICAM16-75
CAMS-CSM1-0	GFDL-ESM4	NICAM16-85
CAS-ESM2-0	GFDL-GRTC0DE	NICAM16-9S
CESM1-1-CAM5-CMIP5	GFDL-OM4p5B	NorCPM1
CESM1-CAM5-SE-HR	GFDL-RFM-DISORT	NorESM1-F
CESM1-CAM5-SE-LR	GISS-E2-1-G	NorESM1-LM
CESM1-WACCM-SC	GISS-E2-1-G-CC	NorESM2-MM
CESM2	GISS-E2-1-H	RRTMG-LW-4-91
CESM2-FV2	GISS-E2-2-G	RRTMG-SW-4-02
CESM2-WACCM	GISS-E3-G	RTE-RRTMGp-181204
CESM2-WACCM-FV2	HadGEM3-GC31-HH	SAM0-UNICON
CIESM	HadGEM3-GC31-HM	TaiESM1
CMCC-CM2-HR4	HadGEM3-GC31-LL	TaiESM1-TIMCOM
CMCC-CM2-SR5	HadGEM3-GC31-LM	UKESM1-0-LL
CMCC-CM2-VHR4	HadGEM3-GC31-MH	
CMCC-ESM2	HadGEM3-GC31-MM	
CNRM-CM6-1	HIRAM-SIT-HR	
CNRM-CM6-1-HR	HIRAM-SIT-LR	
CNRM-ESM2-1	IITM-ESM	
CanESM5	INM-CM4-8	
CanESM5-CanOE	INM-CM5-0	
E3SM-1-0	INM-CM5-H	
E3SM-1-1	IPSL-CM6A-ATM-HR	
E3SM-1-1-ECA	IPSL-CM6A-LR	
EC-Earth3	IPSL-CM6A-LR-INCA	
EC-Earth3-AerChem	KACE-1-0-G	
EC-Earth3-CC	KIOST-ESM	
EC-Earth3-LR	LBLRTM-12-B	
EC-Earth3-Veg	MCM-UA-1-0	
EC-Earth3-Veg-LR	MIROC-ES2L	
EC-Earth3P	MIROC6	
EC-Earth3P-HR		
EC-Earth3P-VHR		

- 세계기후연구프로그램 (WCRP)의 CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) 이라는 프로젝트를 통해 산출

## SSP(Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회 경제 경로)자료

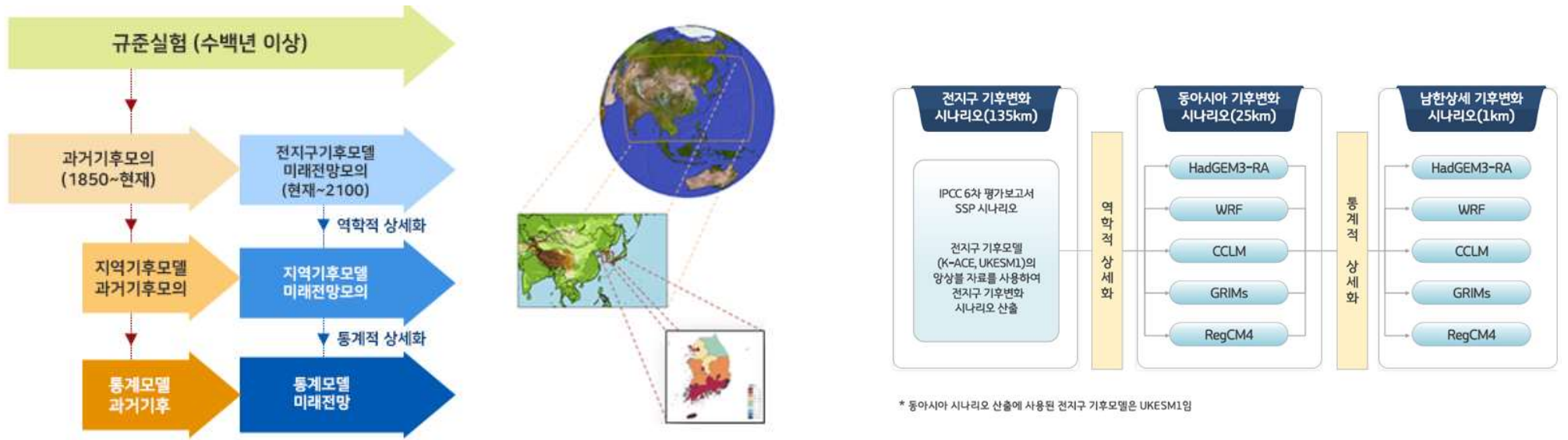
- IPCC 6차 평가 보고서를 위해 2100년 기준 복사강제력 강도와 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응노력에 따라 5개의 시나리오를 구별
- 인구 통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술발달, 사회적 인자, 정책 고려

<b>SSP5-8.5</b>	산업기술의 빠른 발전, 화석연료 사용 높고, 도시위주 무분별한 개발 가정
<b>SSP3-7.0</b>	기후변화 완화정책에 소극적, 기후변화에 취약한 사회구조 가정
<b>SSP2-4.5</b>	기후변화 완화와 경제발전정도가 중간 단계를 가정
<b>SSP1-2.6</b>	화석연료 사용 최소, 친환경적 지속가능 경제성장 가정



# 기후변화 자료

## 상세화 자료



- CMIP 전 지구 기후 시나리오 자료들은 135km 공간 해상도를 가짐 - 세부적인 지역의 기후 분석의 어려움이 있음
- **역학적 상세화**: CMIP 시나리오 자료를 입력 값으로 하는 지역 기후 모델을 활용 동 아시아 등 **특정 지역의 고해상도(25km) 자료 생산**. 전지구 모델에서 표현하기 어려운 작은 규모의 대기현상과 지형효과 등이 반영 될 수 있음.
- **통계적 상세화**: 통계적 방법 활용 국가 공간 규모(예: 대한민국)의 **초 고해상도 (1km 해상도) 기후변화 시나리오 자료 생산**.

## Large Ensemble

### • Single model initial-condition large ensemble(SMILE):

- ✓ 다른 초기조건 사용, 동일 외부 강제력 (예 지구온난화 시나리오)과 한 개의 모델 사용 → 단일 모델의 수십개 이상의 자료 생산 가능
- ✓ 기후시스템의 내부변동성과 외부 강제력(즉 인간활동에 의한 지구온난화)의 영향을 정량화 및 분리 가능.
  - CMIP 모델 자료는 한 개의 모의 결과여서 모델 내부 변동성과 외부 강제력 영향 분리 불가능
- ✓ 이상기후 이벤트의 sample을 증가시켜서 분명한 외부 강제력 즉 지구 온난화의 기후 이벤트 발생에 대한 영향 여부 분석 가능

Modeling Center	Model Version	Model Resolution (atm/ocn)	Years	Initialization Method	Forcing (Number of Members)	Reference (*ESGF reference)
CCCma	CanESM5	~2.8°x2.8°/~1.4°x0.9°	1850-2014	Macro	hist-nat (50), hist-GHG (50), hist-aer (30), hist-sol (50), hist-volc (50)	??
CNRM	CNRM-CM6-1	~1.4°x1.4°/nominal 1°	1850-2014	Macro	hist-nat (10)	*Voldoire (2018)
NASA	GISS-E2-1-G	~2°x2.5°/~1°x1.25°	1850-2014	Macro	hist-nat (20)	*NASA GISS (2019)
IPSL	IPSL-CM6A-LR	~2.5°x1.25°/~1.0°x0.5°	1850-2014	Macro	hist-nat (10)	Boucher et al. (in review)
MIROC	MIROC6	~1.4°x1.4°/nominal 1°	1850-2014	Macro	hist-nat (50)	Tatebe et al. (2019)
NCAR	CESM1-CAM5	~1.3°x0.9°/nominal 1.0°	1920-2080	Micro	everything-but-GHG (20), everything-but-anthropogenic-aer (20), everything-but-biomass-burning (15; only until 2029), everything-but-LULUC (5; only until 2029)	Deser et al. (2020, J. Climate)
NCAS	HadGEM3-GC3.1	~1.25°x1.9°/nominal 1.0°	1850-2014	Macro	Aerosol scaling: 0.2× (5), 0.4× (5), 0.7× (5), 1.0× (5), 1.5× (5)	Dittus et al. (2020, Geophys. Res. Lett.)

# CMIP 시나리오 자료 활용

IPCC AR6 SPM

With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced

IPCC AR6 Figure SPM.2

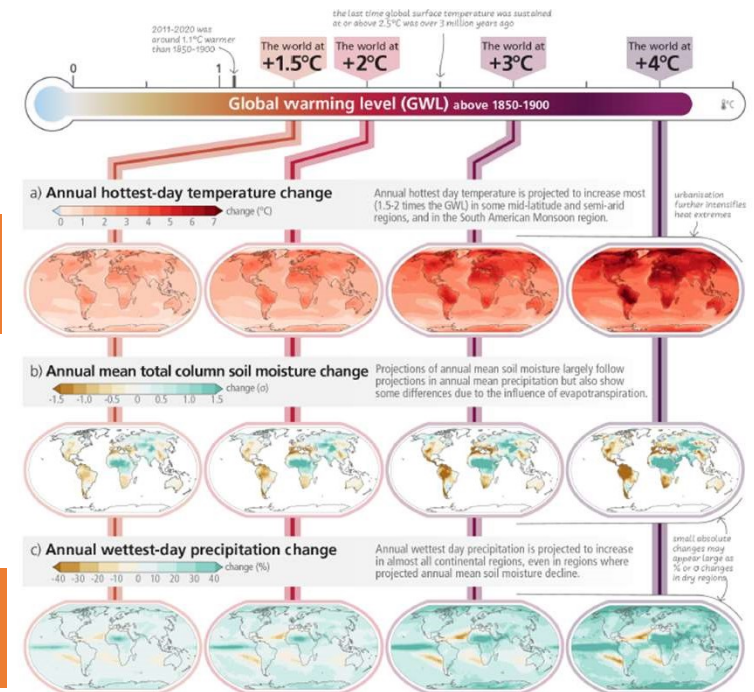
지구 온난화가 증가할 때마다, 평균 기후와 극 변화는 더 광범위해지고 뚜렷해진다

지구온난화 수준별 연간 일최고기온의 변화

지구온난화 수준별 가뭄 강도 변화

지구온난화 수준별 연간 최대 1일 강수량 변화

With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced



# Future climate change is projected to increase the severity of impacts across natural and human systems and will increase regional differences

다양한 지구온난화 수준에서의 위험 온도 조건에 노출 되는 동물 종의 비율

지구 온난화 수준 별 인간 건강에 치명적인 극한 기온과 습도 조건이 발생하는 한해 동안 총 날수

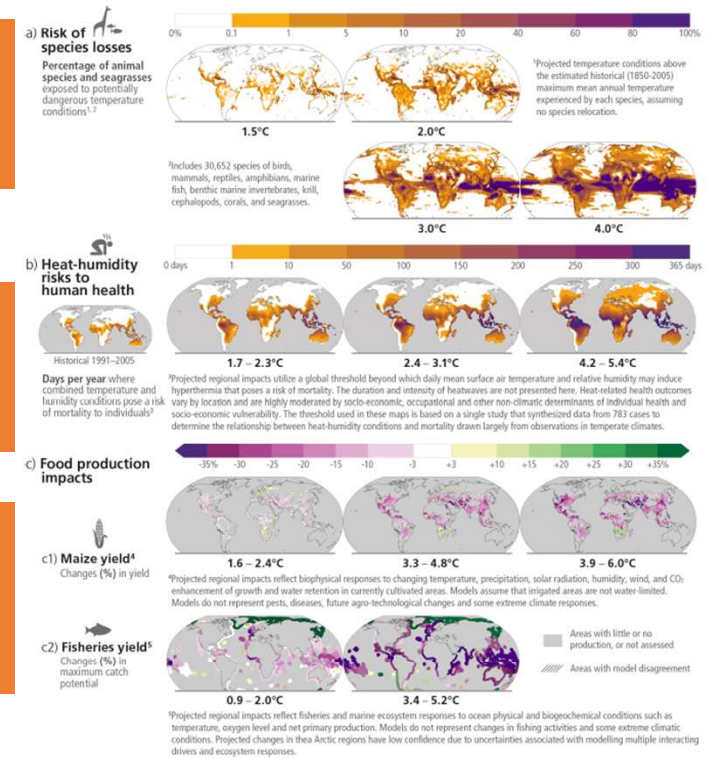
식품 생산에 미치는 영향  
옥수수 생산량의 변화  
최대 어업 잠재력 변화

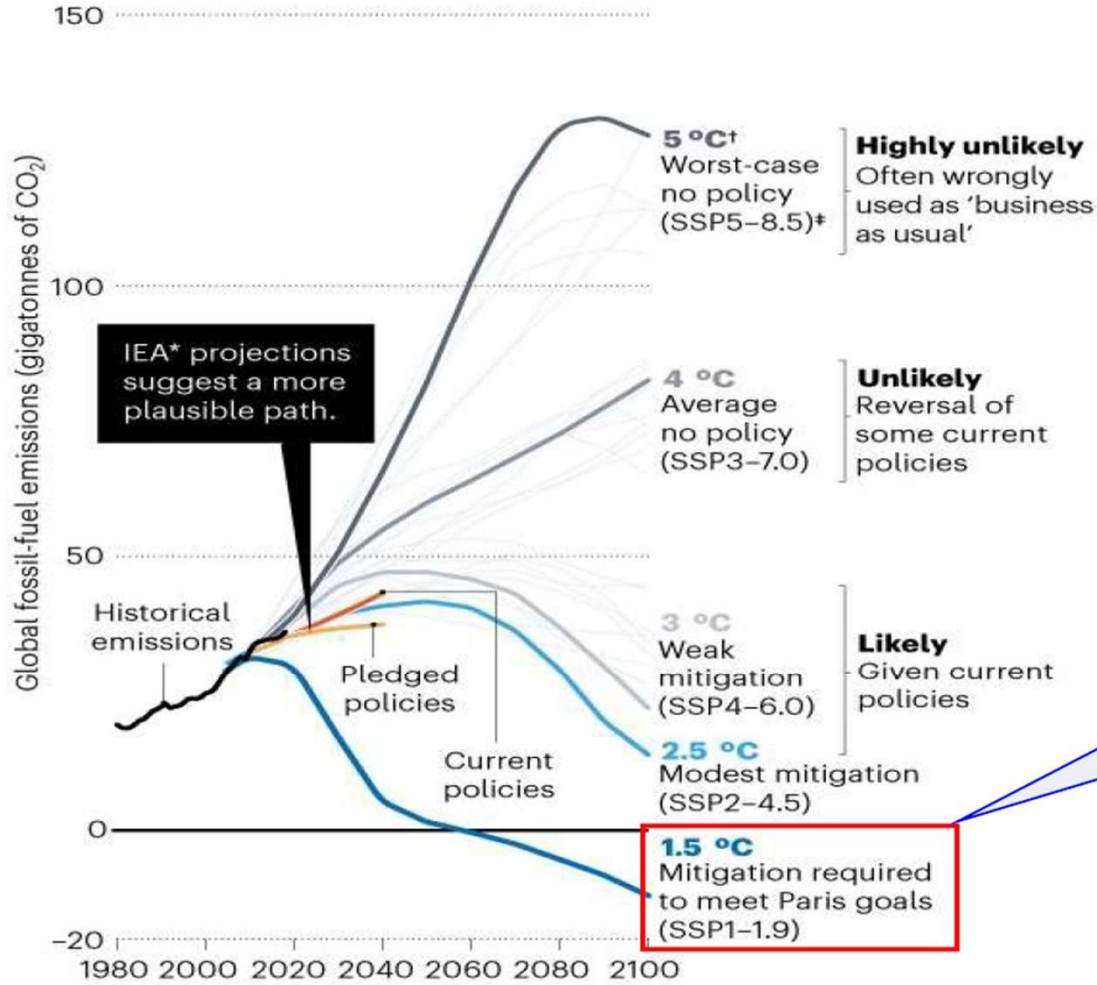
미래 기후변화는 자연과 인간 시스템 전반에 각성을 증가시키고, 지역적 차이를 증가시킬

IPCC AR6 Figure SPM.3

## Future climate change is projected to increase the severity of impacts across natural and human systems and will increase regional differences

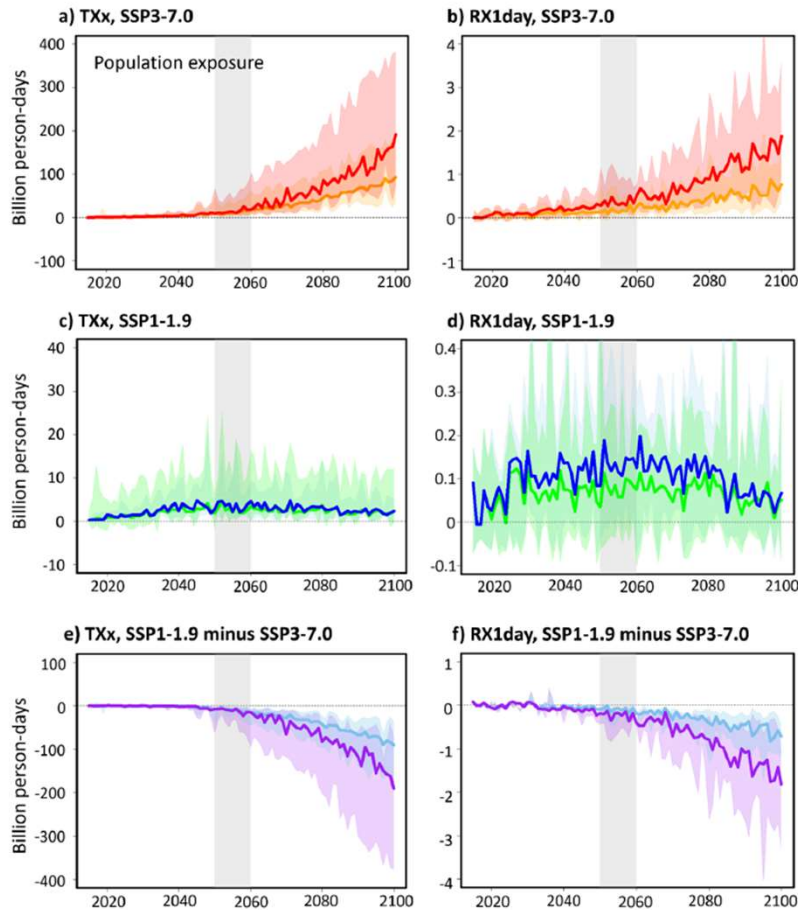
Examples of impacts without additional adaptation





SSP1-1.9 scenario focuses on limiting the warming level to below 1.5°C, which corresponds to the goal of the Paris Agreement.

## 1) Global PE changes to climate extremes (30-year return events)



### If global warming keeps continuing, the 2100 is..

- PE to hot extremes: **192 billion** person-days (914 times)
- PE to heavy extremes: **1.87 billion** person-days (11 times)

### If carbon neutrality in the 2050s i

탄소중립 정책 성공은 극한 기후 노출 인구를 현저히 감소

- A minimal shift in PE to climate extreme (i.e. SSP3-7.0)
- PE to hot extremes: **4.65 billion** person-days (22 times)
- PE to heavy extremes: **0.19 billion** person-days (1.12 times)
- **Model spread is cross to zero line** → Future PEs are indistinguishable from historical ones

### 4) Population exposure (PE, Jone et al., 2015, 2018; Xie et al. 2021)

= *Extreme events x Population count (unit: person-days)*

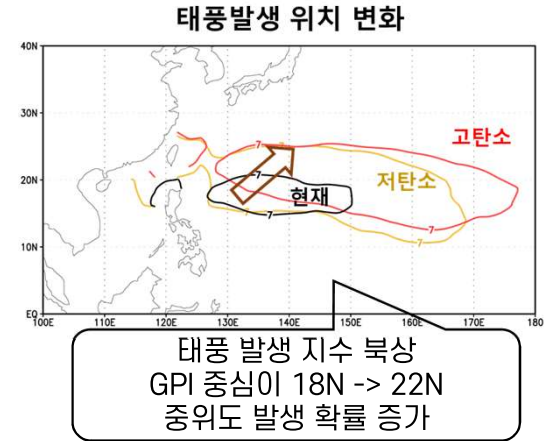
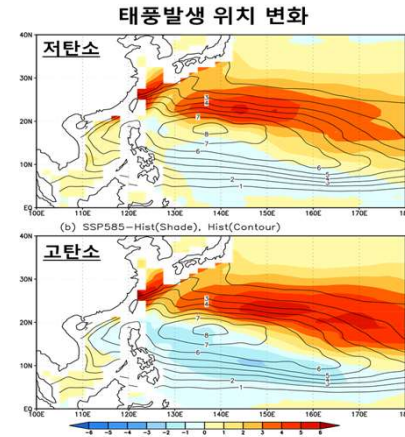
# 동아시아 상세시나리오 자료 활용

## APCC 연구결과

# 한반도 태풍 미래 전망

## 전지구모형 기반 태풍활동지수 변화

- CMIP6 전지구 시나리오 모델 중 UKESM 모형을 이용하여 기후변화에 따른 시나리오별 미래 태풍 변화 전망을 태풍 활동 지수, **Genesis Potential Index(GPI)**를 이용하여 분석
- 현재(Historical, 1979-2014) 대비 저탄소 시나리오와 고탄소 시나리오 전망을 비교



- 태풍발생 위치(GPI>7)가 현재 북위 18도에서 미래 북위 22도로 북상하는 동시에 동서로 확장함,
- 고탄소 시나리오에서 더욱 뚜렷한 공간패턴 변화 및 강도 변화를 보임

### GPI(Genesis potential index)

Genesis potential index (GPI) (Murakami and Wang, 2010)

$$\text{Modified GPI} = |10^5 \eta|^2 \left(\frac{\text{RH}}{50}\right)^3 \left(\frac{V_{\text{pot}}}{70}\right)^3 (1 + 0.1 V_s)^{-2} \left(\frac{-\omega + 0.1}{0.1}\right)$$

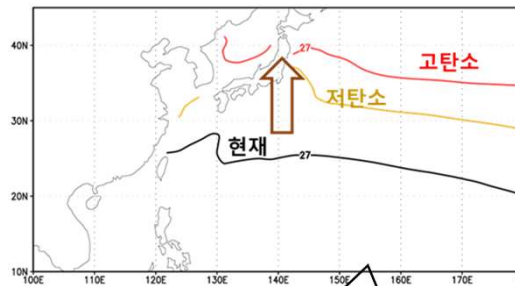
Absolute vorticity at 850-hPa    Relative humidity at 700-hPa    Potential intensity    Vertical wind shear    Omega at 500-hPa

### PI(Potential Intensity)

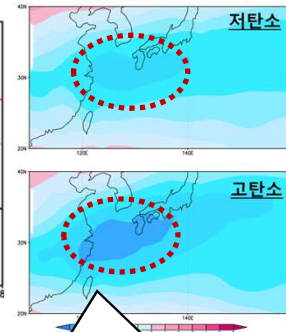
$$V_{\text{max}} = \alpha \sqrt{\left\{ \left(\frac{C_k}{C_D}\right) \left(\frac{T_s}{T_o}\right) (CAPE^* - CAPE)_m \right\}}$$

$\frac{C_k}{C_D} = 0.9$   
 $C_k$  = the exchange coefficient for enthalpy  
 $C_D$  = a drag coefficient  
 $T_s$  = SST  
 $T_o$  = the mean outflow temperature (temperature at the level of neutral buoyancy)  
 $CAPE^*$  = the convective available potential energy of air lifted from saturation at sea level in reference to the environmental sounding  
 $CAPE$  = that of boundary layer air (the vertical sounding is an environmental sounding)

### 해수면 온도 변화



### 연직바람시어 변화

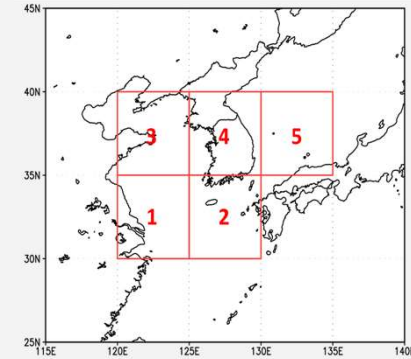


- 태풍 활동 지수 (GPI)기여 변수 상세 분석 결과, 잠재강도(PI)관련 SST는 고탄소 중위도 지역에서 매우 강한 고온 현상을 보이며 이러한 고온 지역이 한반도 인근까지 확장됨
- 연직바람시어(VWS)는 중위도 지역에서 큰 감소, 이러한 변화는 WNP에서 발생한 태풍이 한반도 주변 지역까지 도달할 경우 태풍이 더 오래 지속될 수 있음을 의미함

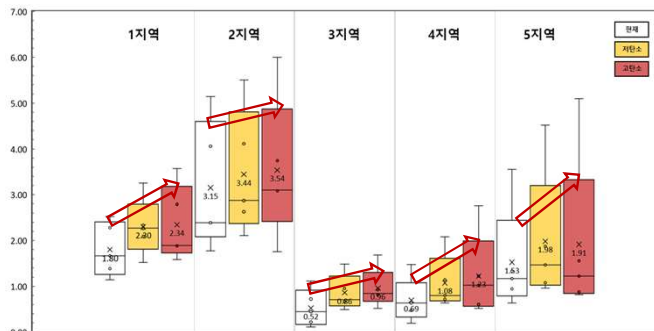
# 한반도 태풍 미래 전망

## 동아시아 고해상도 모형 기반 태풍 밀도 변화 분석

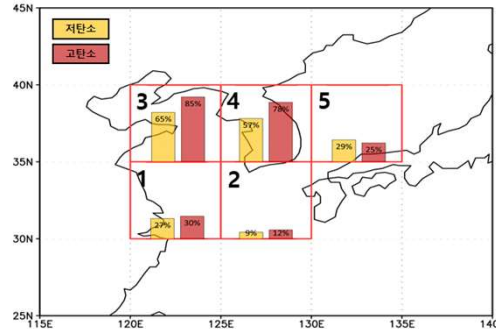
- 태풍활동지수를 통해 주요 태풍 발생 해역(WNP)의 태풍 발생 미래 변화는 알 수 있지만, WNP 발생 태풍 중 한반도에 직간접적 영향을 주는 태풍의 미래 변화에 대해서는 알 수 없으므로, 고해상도 상세 기후 시나리오로 추가 분석
- CORDEX-EA 25km 5개(RegCM, GRIMs, WRF, CCLM, HadGEM3-RA)모형 6시간 자료를 이용, 모형별 임계값(하단 파란 박스)에 기반하여 태풍을 감지하고 추적함
- 한반도 인근 5개 지역을 선정(하단 붉은 박스)하고, 현재 대비(1979-2014) 지역별 미래 전망 분석



태풍 진로 밀도 미래변화



변화율

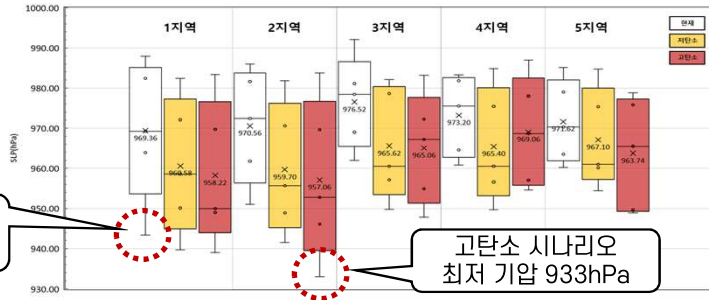


- 5개 지역 모두 증가 추세(증가율 12~85%)이며 고탄소 시나리오에서 증가율이 특히 높음
- 현재 기후에서 태풍발생 고밀도 지역(1,2,5 지역)의 증가율보다 저밀도 지역(3,4지역)의 증가율이 높음
- 서해>내륙>남서해>동해>남해 순으로 증가율이 높을 것으로 전망되며, 고탄소 시나리오 경우 서해(3지역)와 내륙(4지역)에서 85%, 78%의 증가율로 각각 전망됨

# 한반도 태풍 미래 전망

## 동아시아 고해상도 모형 기반 태풍 강도 변화 분석

최저 중심 기압 미래변화

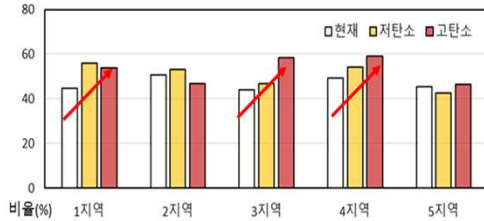


현재(1979~2014) 기간  
최저 기압 943hPa

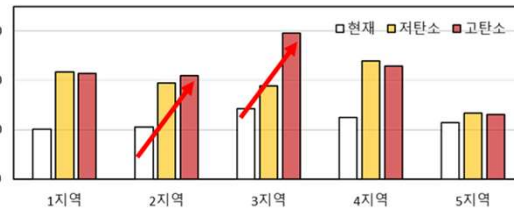
고탄소 시나리오  
최저 기압 933hPa

- 중심 기압은 현재 대비 모든 지역에서 강화되는 추세로 나타남.
- 고탄소 시나리오에서는 2지역에서 최저 중심기압 933hPa의 태풍을 전망함.

현재 대비 강한 태풍 비율



현재 대비 매우 강한 태풍 비율



※ 태풍은 중심기압이 낮고 풍속이 빠를수록 위력이 강력함



# 한반도 상세시나리오 자료 활용

APCC 연구결과

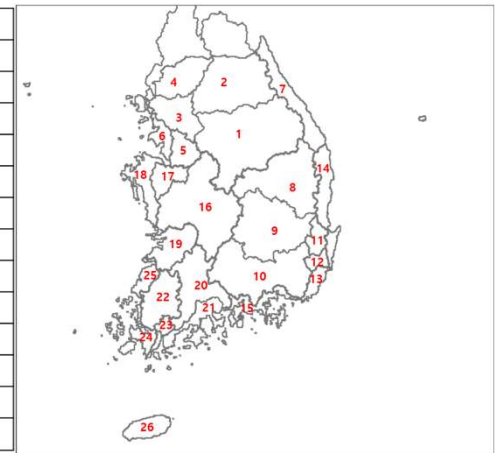




- 수공 구조물 설비 설계는 강수량 빈도해석(예, 100년 빈도 강수량, 즉 100년에 한번 나타날 극한 강수량)에 의한 확률 강수량을 기반으로 이루어짐.
- 현재 과거 관측 자료의 확률 강수량을 기반으로 설계 되어있어서, 기후변화 영향으로 예를 들면 100년 빈도 강수량의 크기가 증가한다면 수공구조물의 홍수 위험도가 증가한다는 것을 의미함.
- 미래 기후변화의 피해를 최소화하고 잘 적응하기 위해서 미래 기후변화에 따른 확률 강수량 변화를 평가해야함.

- 기상청 대권역(26개) 하천별 미래 기후변화 시나리오에 따른 홍수위험도[재현빈도(20,50,100년) 강수량 변화율 기반]를 산정하고자 함

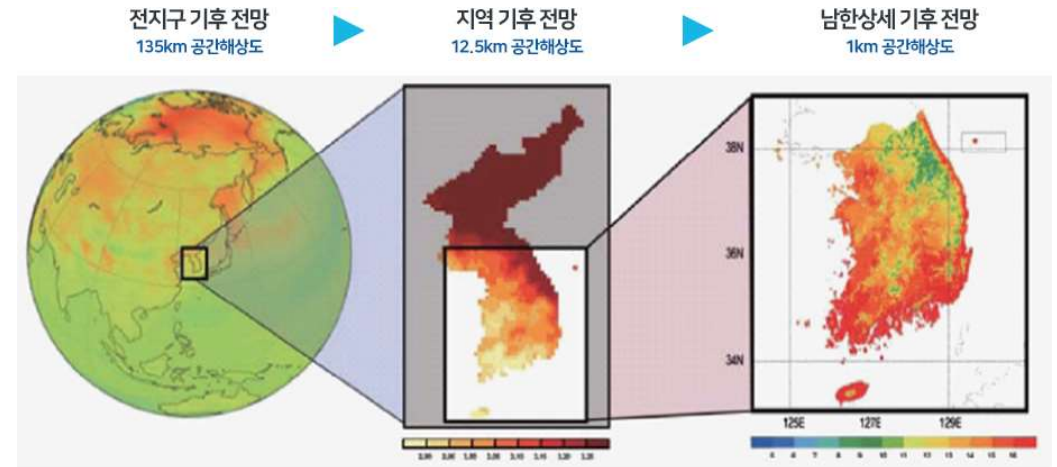
번호	KMA 대권역	번호	KMA 대권역
1	남한강	14	낙동강동해
2	북한강	15	낙동강남해
3	팔당댐 하류	16	금강
4	임진강	17	삼교천
5	안성천	18	금강서해
6	한강서해	19	만경동진
7	한강동해	20	섬진강
8	낙동강상류	21	섬진강남해
9	낙동강중류	22	영산강
10	낙동강하류	23	탐진강
11	형산강	24	영산강남해
12	태화강	25	영산강서해
13	회야수영	26	제주도



# 미래 홍수위험도 전망

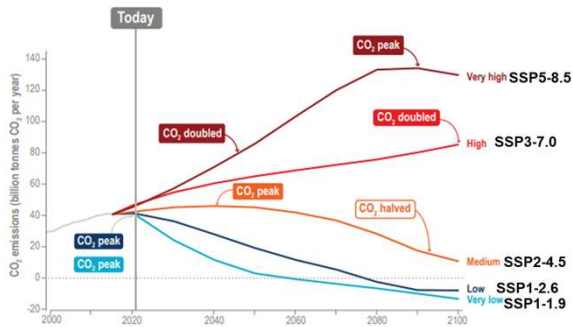
## 한반도 상세(1Km) 일 누적 강수량

- 현재 관측자료 (2000-2019): 한반도 관측 자료 사용 통계적 상세화 적용 (MK-PRISM)
- 미래 시나리오(2021-2100): SSP1-2.6, SSP5-8.5 (역학적, 통계적 상세화 적용)
  - ✓ 지역 기후 모델: HadGEM3-RA, CCLM, WRF, RegCM, GRIMs
  - ✓ 변수: 평균기온, 최고기온, 최저 기온, 강수량
  - ✓ 격자: 1km



HadGEM2-AO CMIP6 모델(UKESM) 시나리오 자료	HadGEM3-RA 지역 기후 모델 (역학적 상세화)	PRIDE 통계적 상세화
기상관측자료를 PRIDE에 적용하여 상세 관측 자료 생산		

### SSP (Shared Socioeconomic Pathway) 시나리오 경로



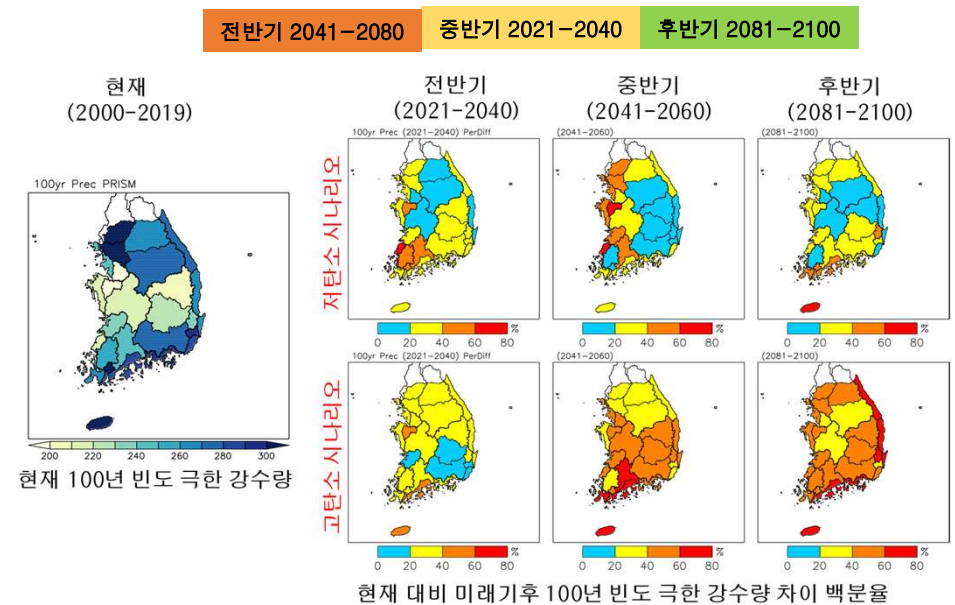
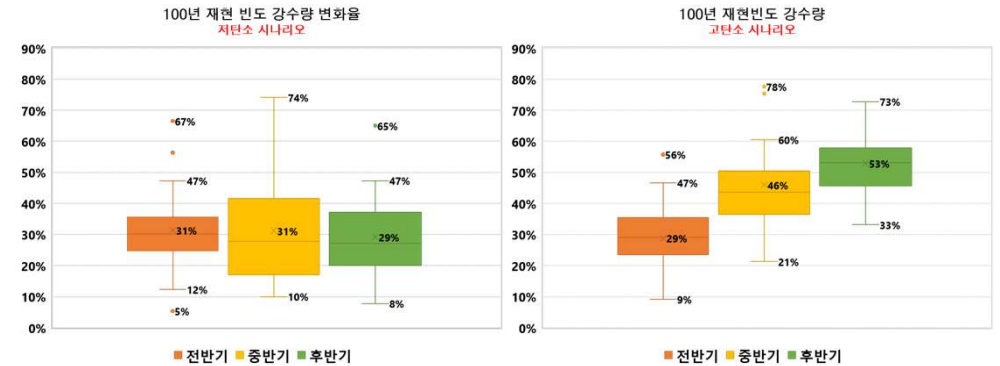
고탄소 시나리오 (SSP5-8.5)

저탄소 시나리오 (SSP1-2.6)

# 미래 홍수 위험도 전망

## 전국 및 26개 권역별 평균

- 미래 유역별 현재(2000~2019년) 대비 기후 변화 시나리오에 따른 재현빈도 극한 강수량의 변화량(백분율)으로서 정량화함
- **고탄소 시나리오**: 100년 재현빈도 극한 강수량 변화율은 현재 대비 21세기 전/중/후반기에 각각 29%, 46%, 53% 증가하는 것으로 전망
- **저탄소 시나리오**: 현재 대비 21세기 전/중/후반기에 100년 빈도 극한 강수량이 각각 31%(14.35~162.6mm), 31%(5.68~168.0mm), 29%(18.94~280.56mm) 증가가 예상, 전반기 이후에는 고탄소 시나리오의 극한 강수량 증가에 비해 상당히 감소할 것으로 전망
  - ✓ 이는 향후에 탄소중립 정책의 효과로 지구온난화 진행속도가 줄어들 수 있어, 홍수의 원인이 되는 극한 강수의 감소로 인한 홍수발생 가능성을 낮출 수 있다는 것을 암시함



## 태양광 잠재량 평가

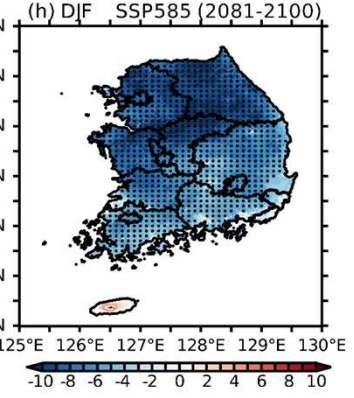
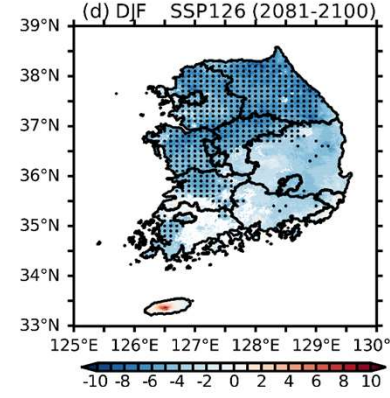
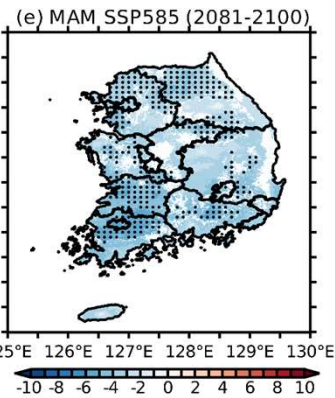
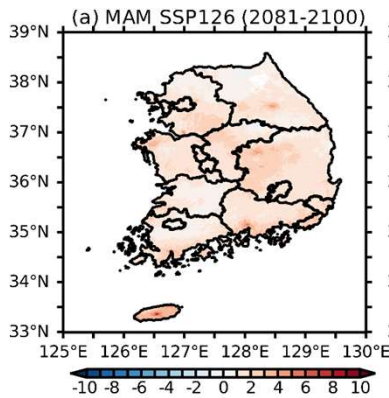
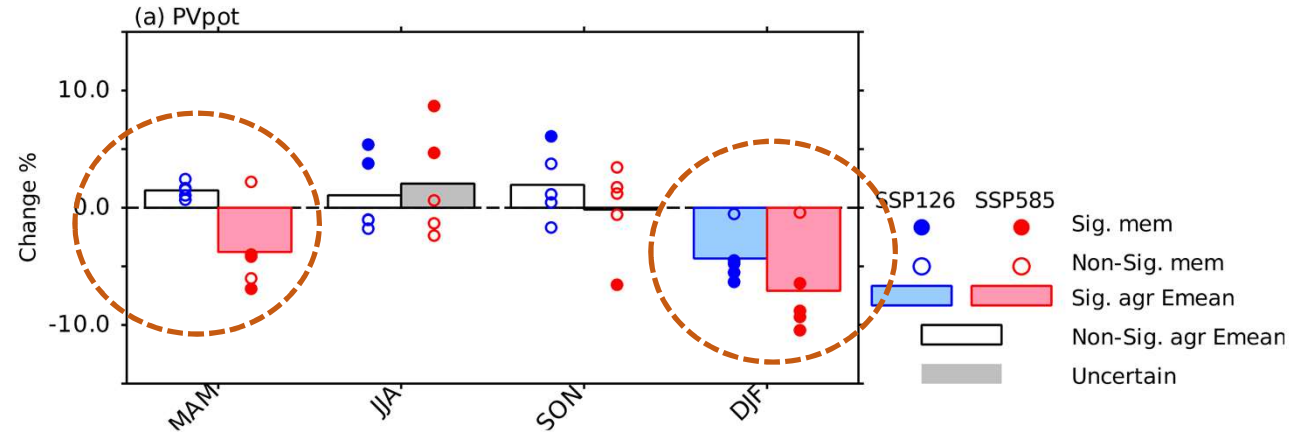
$$PVpot(t) = P_R \frac{RSDS(t)}{RSDS_{stc}}$$

- *STC*: 표준 시험 조건 ( $RSDS_{STC} = 1,000 \text{ Wm}^{-2}$ )을 의미하며 이 조건에 대해서 측정된 전력 출력으로 PV 장치의 공칭 용량이 결정됨.
- $P_R$ : 성능비율 (performance ratio), 셀 온도의 변화에 기인하는 PV 셀 효율성 변화를 나타내는 식
$$P_R = 1 + \gamma(T_{cell}(t) - T_{STC}), T_{STC} = 25^\circ\text{C}, \gamma = -0.005^\circ\text{C}^{-1}$$
$$T_{cell}(t) = c_1 + c_2 TAS(t) + c_3 RSDS(t) + c_4 VWS(t)$$
$$c_1 = 4.3^\circ\text{C}, c_2 = 0.943, c_3 = 0.028^\circ\text{Cm}^2\text{W}^{-1}, c_4 = -1.528^\circ\text{Csm}^{-1}$$
- 주변조건이 STC에 상응한다면  $PVpot = 1$  이고 전력생산량은 정격값에 도달함.

# 태양광 에너지 전망

## 태양광 잠재량 변화

(2009-2014) 평균대비



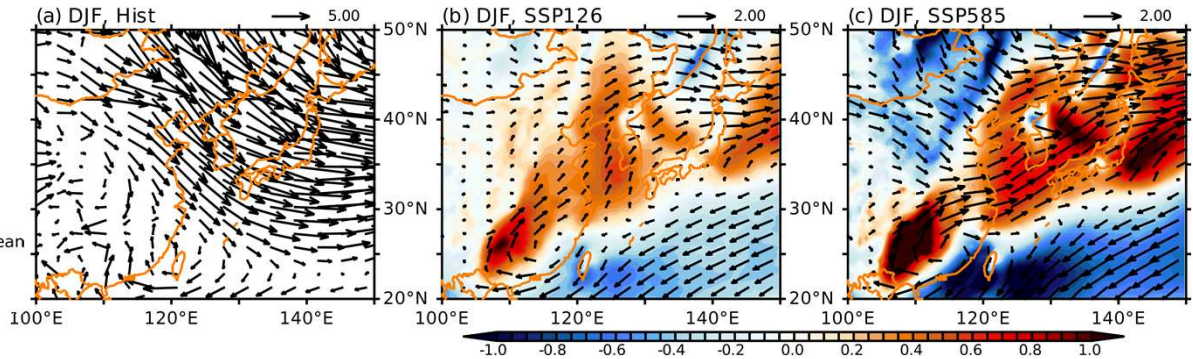
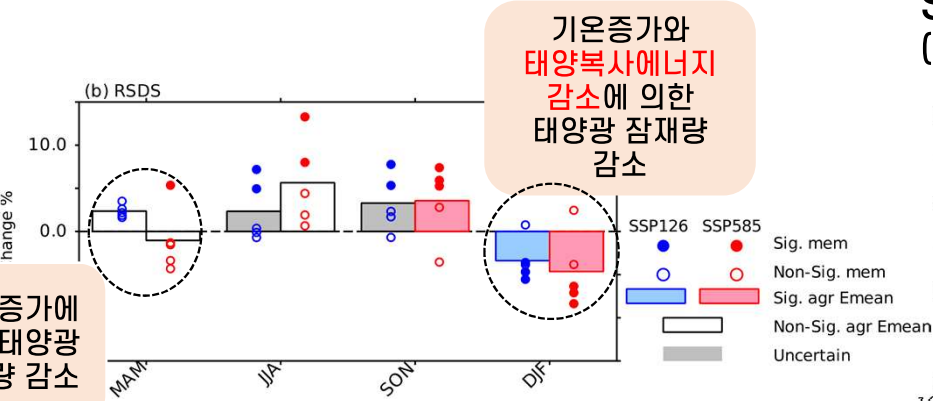
- (봄/겨울철) 21세기 후반기 태양광 발전 감소 경향.
  - ✓ 고탄소 시나리오에서 감소 경향 더 큼
  - ✓ 서울, 경기, 인천, 충청남/북도에서 상대적으로 잠재량 감소폭 더 큼

# 태양광 에너지 전망

## 미래 변화 원인 (관측과 동아시아 상세화 자료 활용)

### SSP-Hist (HadGEM3-RA, CCLM, WRF 평균)

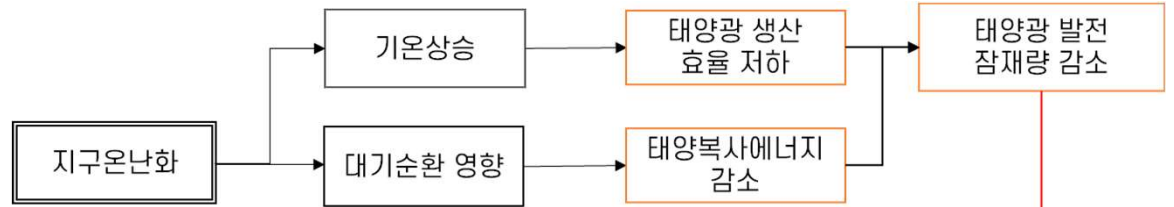
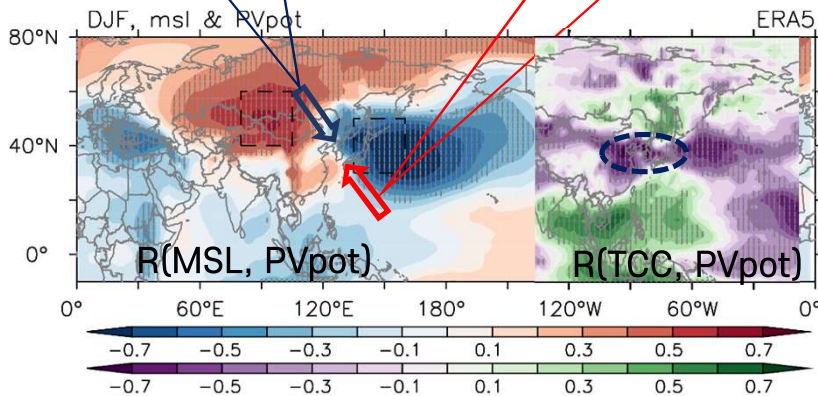
겨울철 태양광 에너지 감소 원인 (태양복사 감소 원인): 남풍의 영향 증가



기온 증가에 의한 태양광 잠재량 감소

건조한 북풍 영향 → 구름 감소 → 태양복사 증가

습한 남풍 영향 → 구름 증가 → 태양복사 감소



기후변화 영향 저감과 적응 위해서

- 탄소 배출 감소 필요
- 재생에너지 발 설비 및 기술 개발 계획에서 전망 정보 활용 필요

# Large Ensemble 모델 자료 활용

## Climate Change Attribution

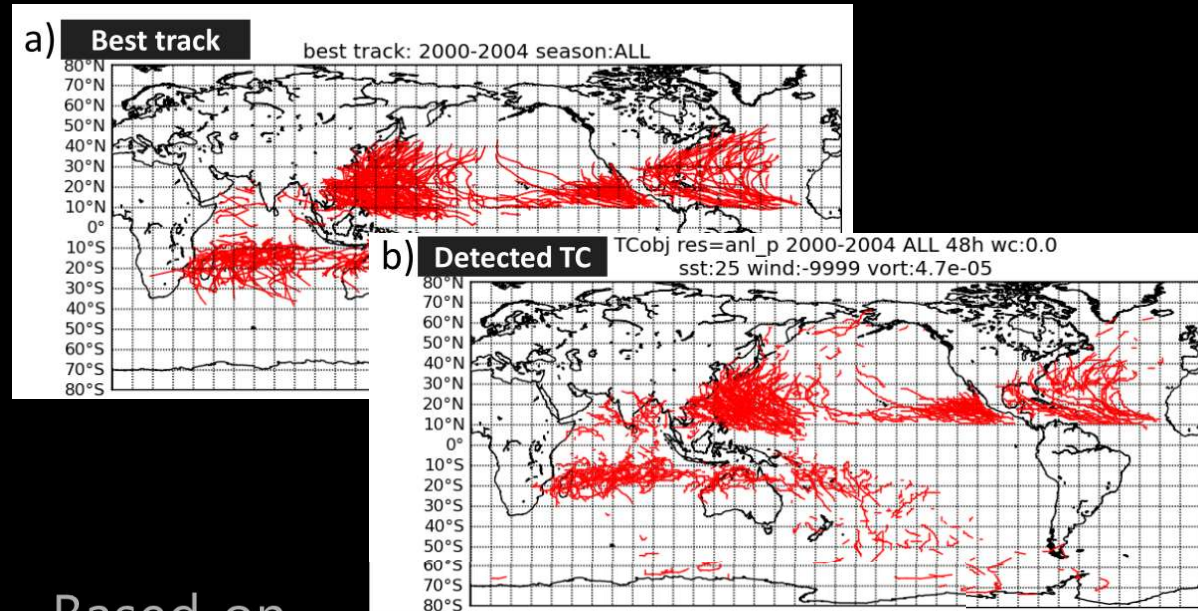
# Large Ensemble Climate Simulation & Objective Detection



database for Policy Decision making for Future climate change

- Mizuta et al., 2017

- + AMIP-type experiments
- + 60km resolution
- + Historical / Non-warming experiments
- + 100 ensemble simulations for each experiment (1961 – 2010)



Based on

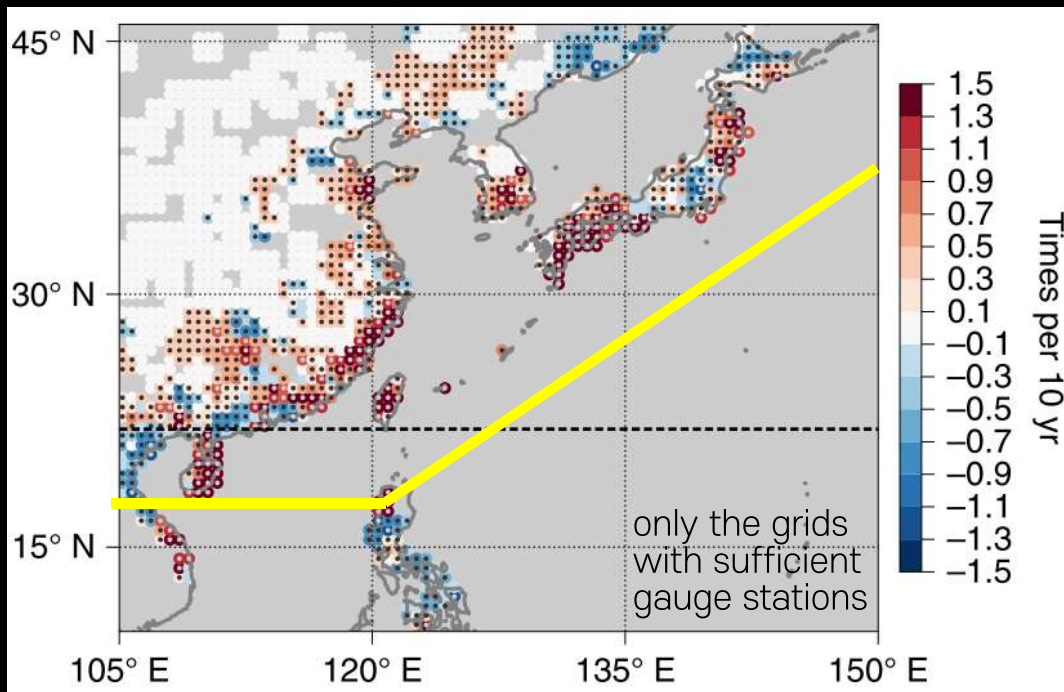
- + Sea level pressure
- + Vorticity
- + Wind speed
- + Temperature profile (warm core)

Utsumi, Kim et al. (*J. Geophys. Res. Atmos.*, 2016)

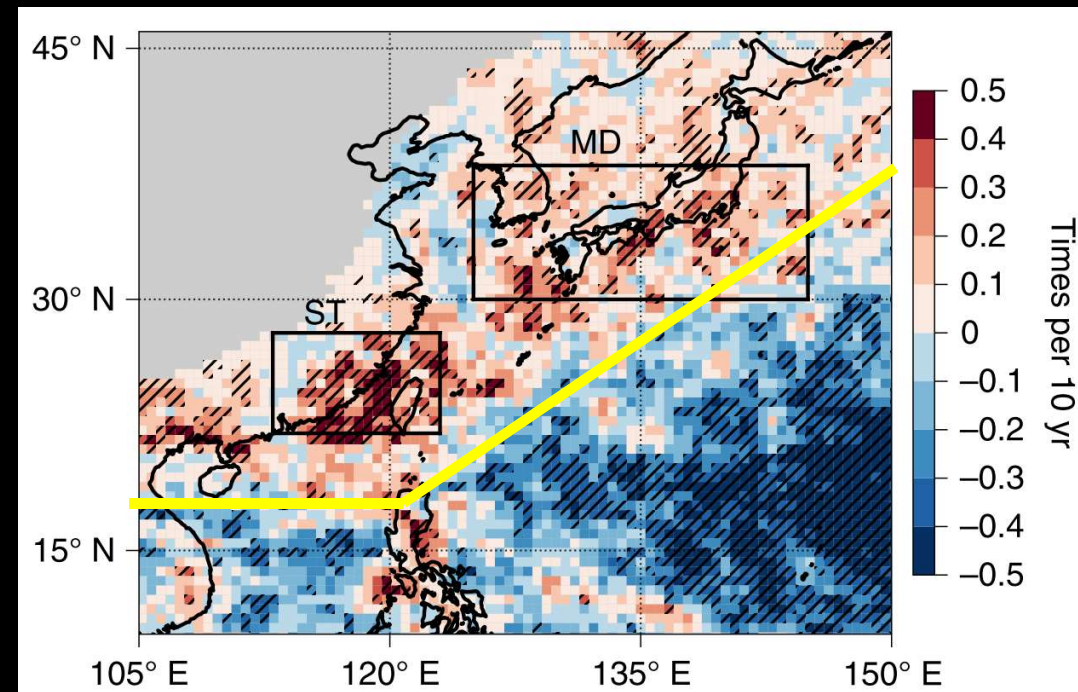
# Pattern Similarity

동아시아 지역 태풍 관련 극한 강수의 최근 증가는 인간활동에 의한 온난화 때문임

Typhoon Heavy Rainfall Changes (OBS)  
1961-1985 to 1986-2015



Typhoon Heavy Rainfall Changes (SIM)  
Hist - Nat: (1981~2010)



+ Frequency changes in observed typhoon heavy rainfall **vs** human impact on typhoon heavy rainfall show similar spatial patterns.

# Climate simulation dataset

To detect the front

6 hourly, JRA55

Weather chart (2000–2010; Utsumi et al., 2014) → For verifying the detected front

To detect the frontal rainfall

Daily, APHRODITE

To demonstrate anthropogenic greenhouse gases forcing impacts

Daily, CESM1 LE historical (HIST, 40ens)

& all-but-greenhouse gases forcing (XGHG, 20ens)

Fixed greenhouse gas  
forcing at 1920 condition

Research periods:

historical earlier period (P1) : 1958 – 1982 (25-yr)

historical later period (P2) : 1991 – 2015 (25-yr)

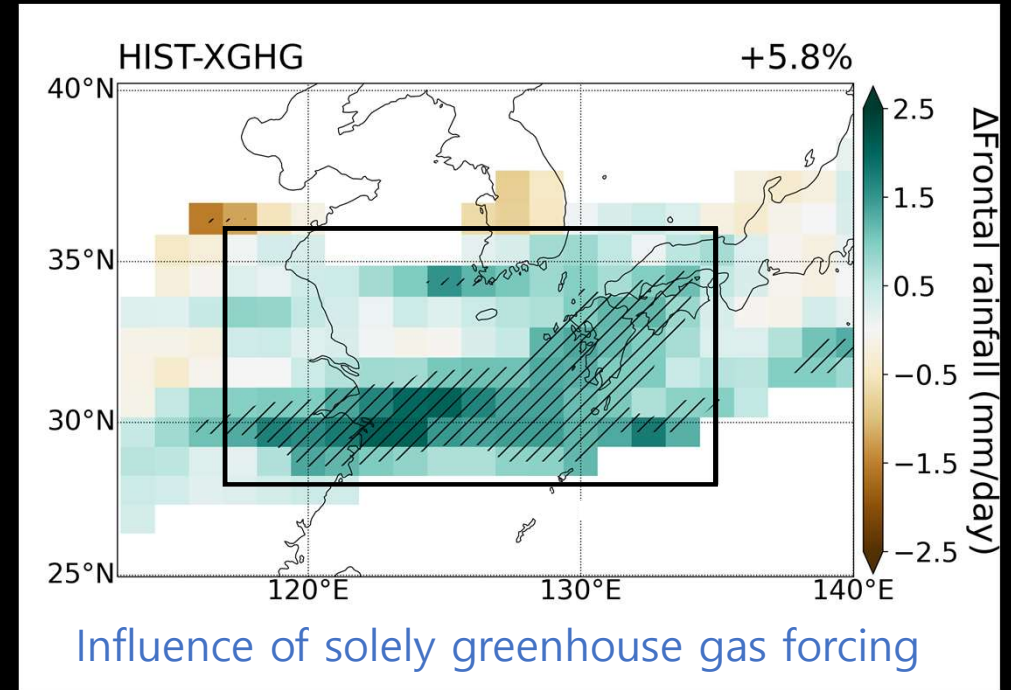
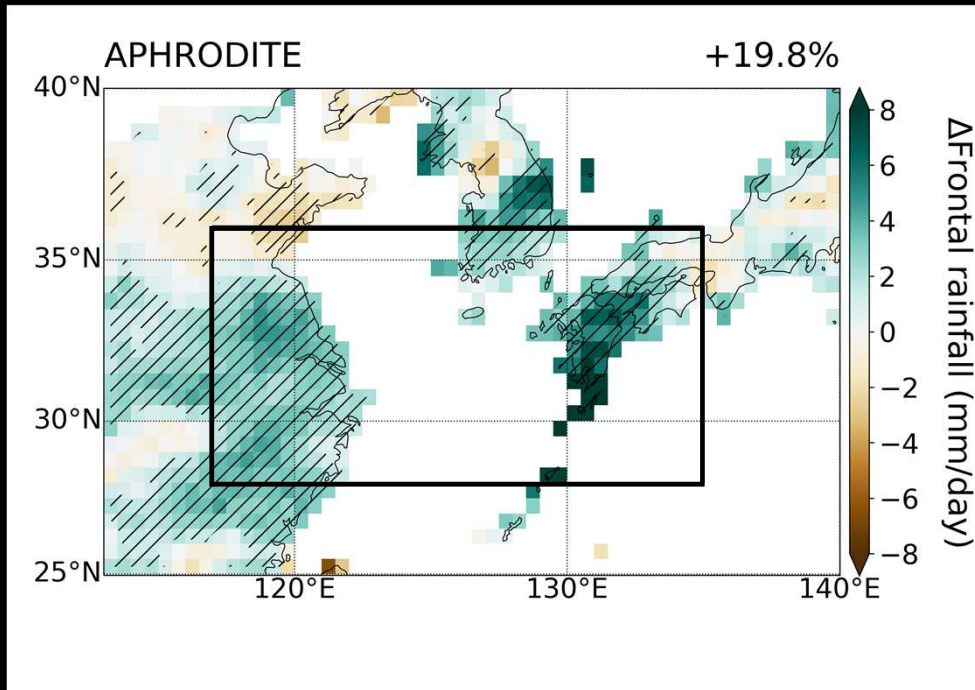
Target season: Active front season (16 June – 15 July, 30 days)

# Observed changes in frontal rainfall intensity

동아시아 몬순 (장마) 강수 최근 증가는 인간활동에 의한 온난화 때문임

P2 (1991–2015) – P1 (1958–1962)

HIST – XGHG during P2 (1991–2015)



- + In the recent period, the intensification of frontal rainfall has been influenced by greenhouse gas forcing.
- + The intensity of frontal rainfall became enhanced by 19.8% along the coastal regions of EA.

From KAIST 김형준 교수 발표자료



감사합니다.

[Seontae.kim@apcc21.org](mailto:Seontae.kim@apcc21.org)

