



2021년 지구 온난화 경향과 전세계 이상기후 현상

명복순
APEC 기후센터



Table of CONTENTS

I. 2021년 전지구 기후 및 온난화 경향

- 온실가스 농도와 해양열용량
- 전지구 기온 및 해수면고도
- ENSO/라니냐
- AO와 극지역 해빙 및 그린란드 빙하

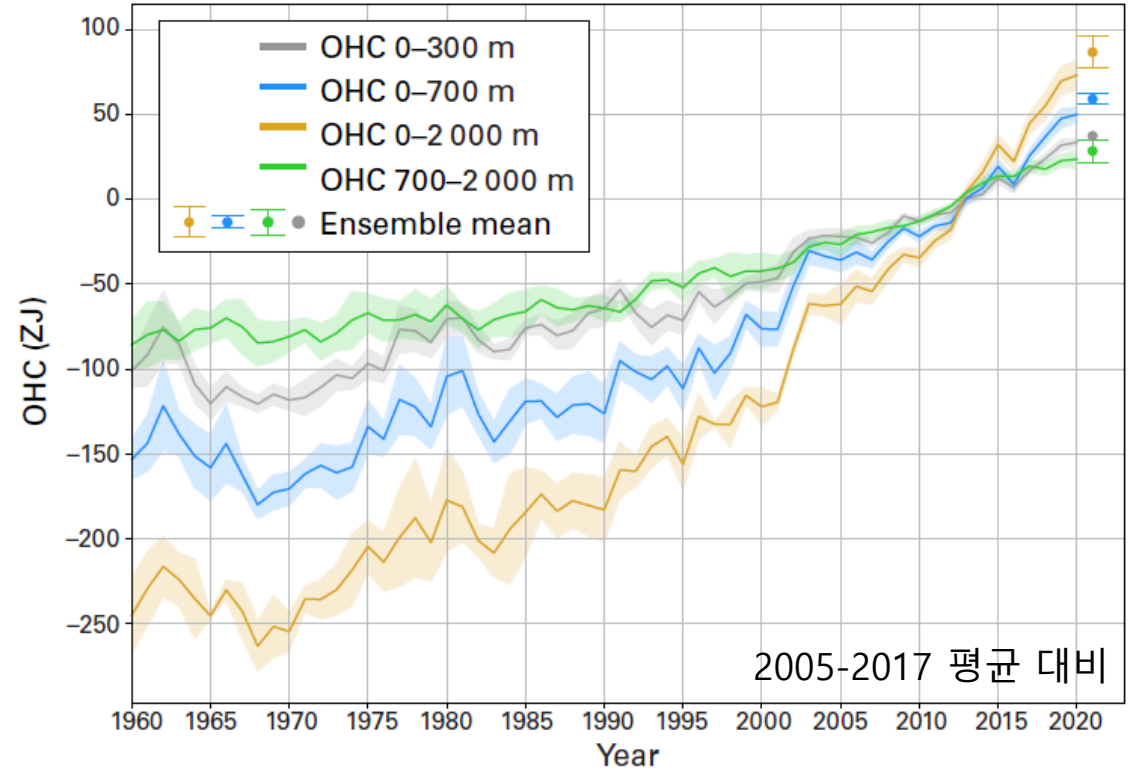
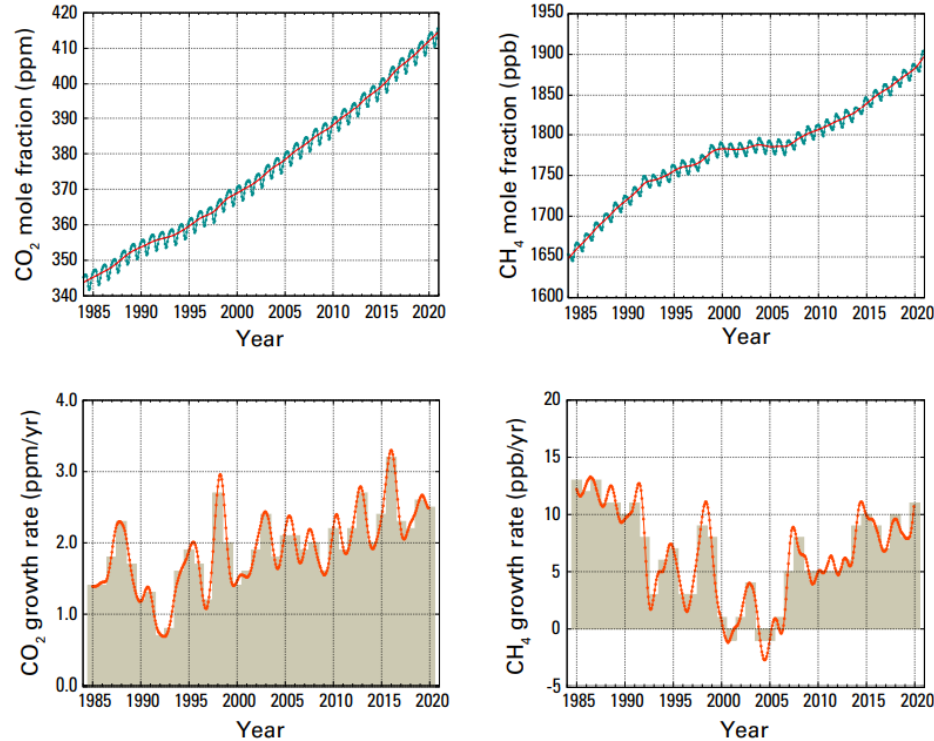
II. 2021년 전세계 이상기후 현상 및 원인

- 북미 겨울 한파 및 폭설
- 북미 여름 폭염/산불 및 가뭄
- 유럽 여름 폭염 및 산불
- 오세아니아 3월 폭우
- 서유럽 7월 폭우
- 미국 허리케인

III. 요약 및 시사점

I. 전지구 기후 및 온난화 경향

온실가스 농도와 해양열용량(OHC)

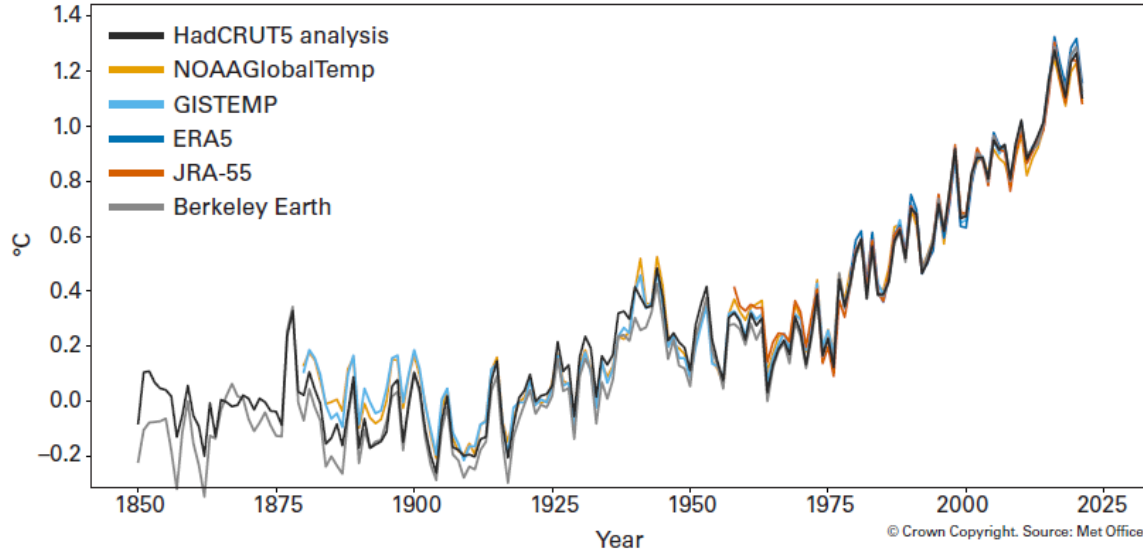


- CO₂ 농도: 413.2±0.2 ppm
- CH₄ 농도: 1889±2 ppm
- CO₂와 CH₄ 농도가 계속 증가하는 가운데 그 증가율 역시 상승 중

- 해양 열용량이 역대 최고값을 기록한 가운데 0-2000m 평균 열용량의 증가율이 가파름

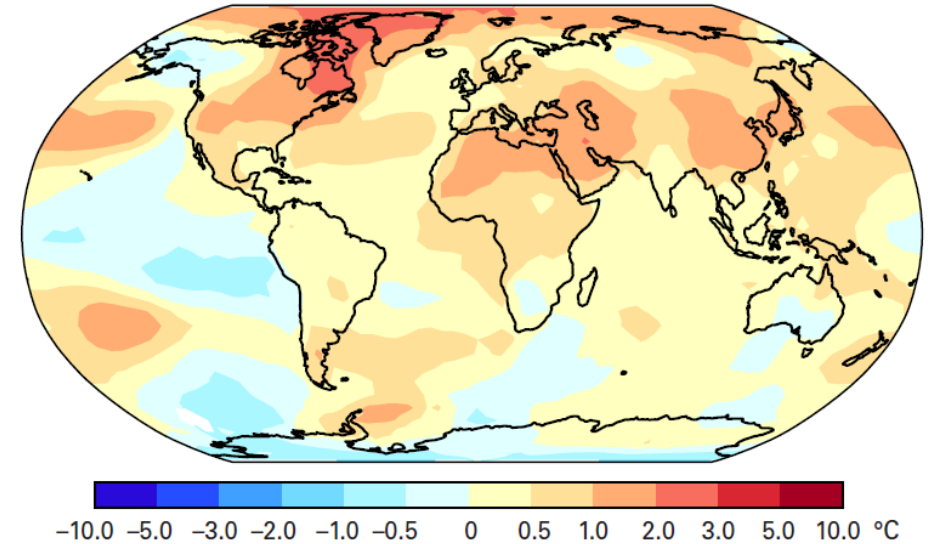
전지구 기온

산업화 이전 대비 전지구 연평균 기온 차이



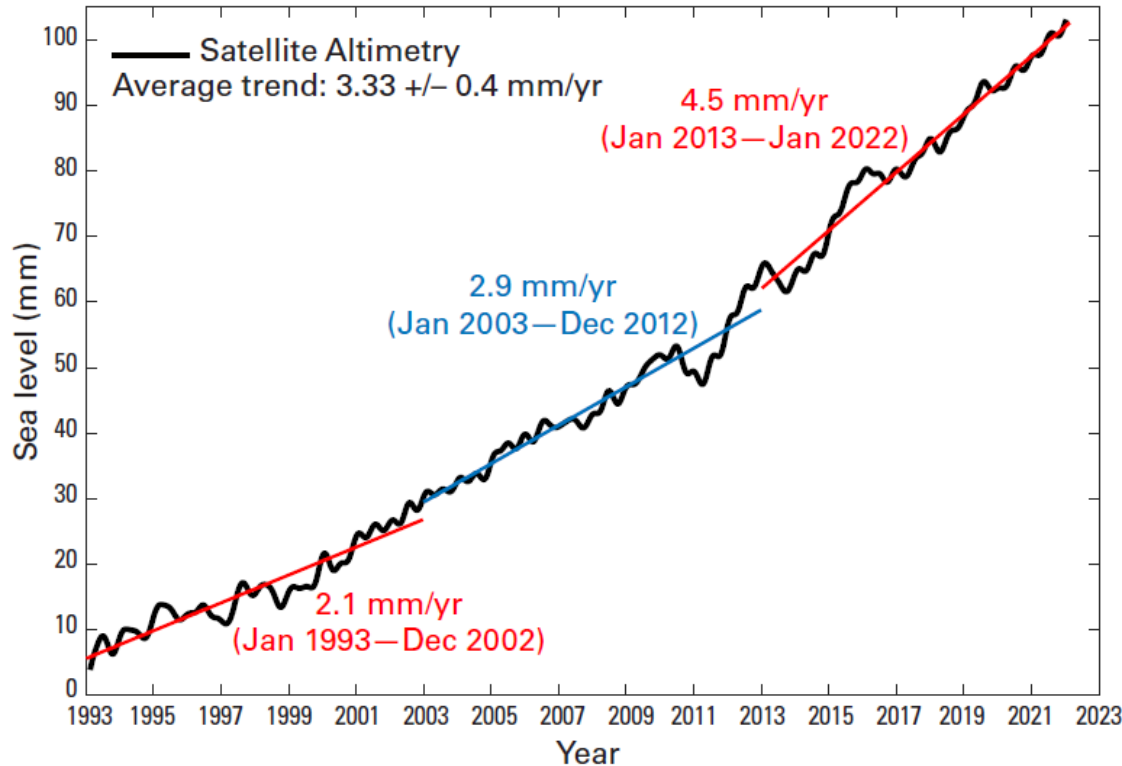
- 산업화 이전 기간에 비해 전지구 평균기온 1.11 ± 0.13 도 높은 기온
- Double-Dip 라니냐의 영향으로 최고 기온에는 못미쳤으나 2015~2021의 7년은 역사상 가장 더웠던 해로 기록됨

2021년 연평균 지표기온 편차(1981-2020 대비)

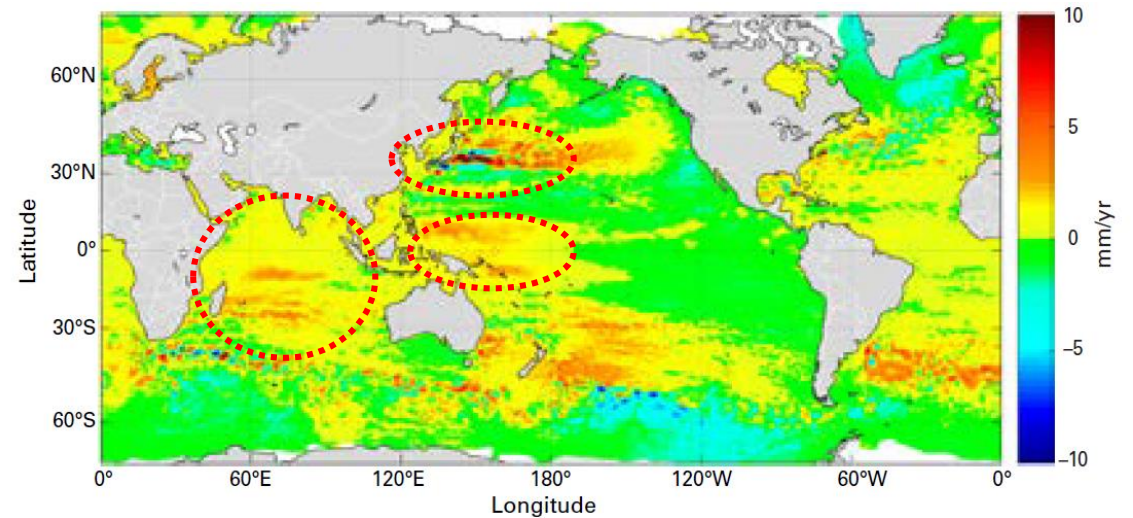


- 북극, 북아메리카, 그린란드, 북아프리카, 중동, 동아시아 등의 북반구 중위도와 고위도의 기온이 특히 높았음
- 라니냐의 영향으로 열대 중태평양 기온이 낮고, 남아프리카와 호주 동남부 역시 평년보다 낮았음

해수면고도



해수면고도 트렌드(1991-2020 평균 제거)



- 해수면고도 역시 역대 최고 값을 기록함.
- 최근기간(2013-2022년) 4.5mm/year의 상승률
- 지역적인 편차가 존재하며 인도양과 열대서태평양, 한반도 주변 포함 북태평양에서 증가율이 특히 높음

I. 전지구 기후 및 온난화 경향

ENSO 및 라니냐

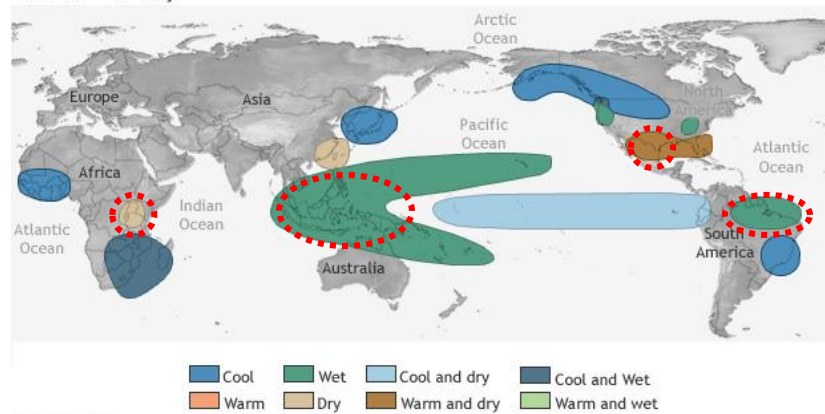
ONI Index

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0									

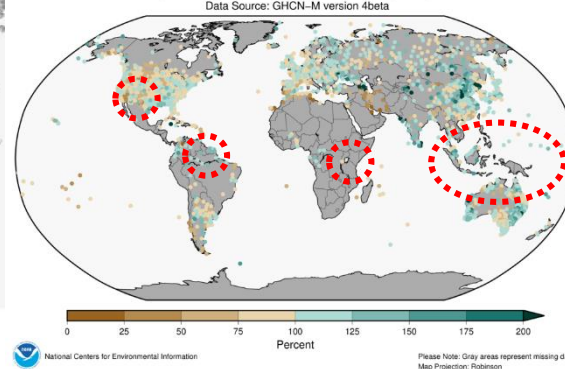
- 2020년 중반부터 라니냐 발달하여 2020/21 DJF 기간에 중간 강도의 라니냐 발생
- 봄철에 약화되었다가 여름 이후 재발달로 Double-Dip 형태를 보임
- 2022년도 2021년과 비슷하게 진행 중

LA NIÑA CLIMATE IMPACTS

December-February



Land-Only Percent of Normal Precipitation Jan-Dec 2021 (with respect to a 1961-1990 base period)

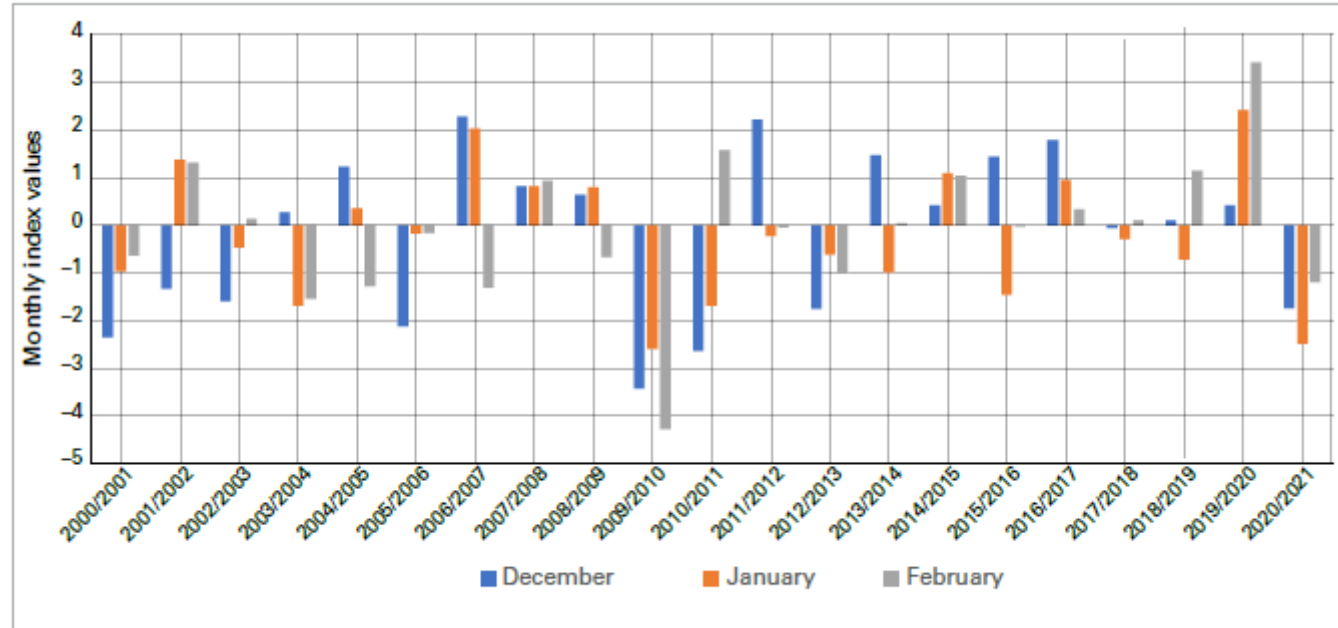


- 라니냐의 영향으로 2020/21 겨울 동아프리카와 미국 서남부에 가뭄, 열대 서태평양, 남미 북서부에 평년보다 많은 강수 발생

From NOAA

겨울철 북극진동(AO)

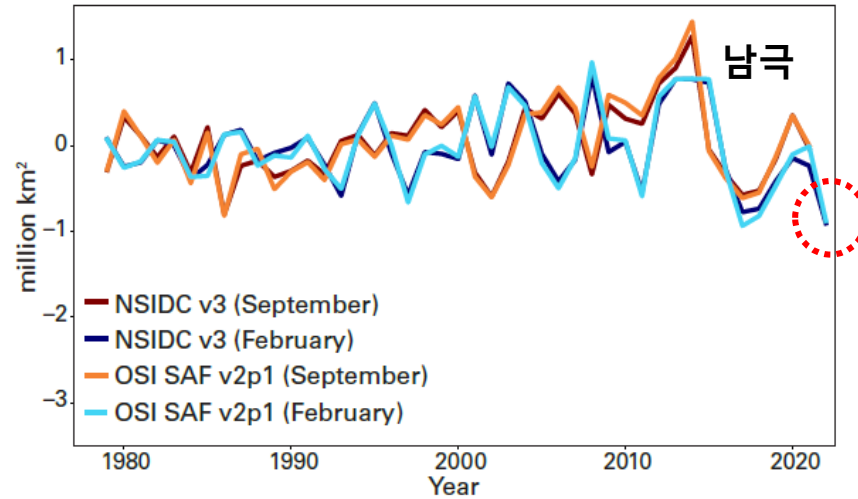
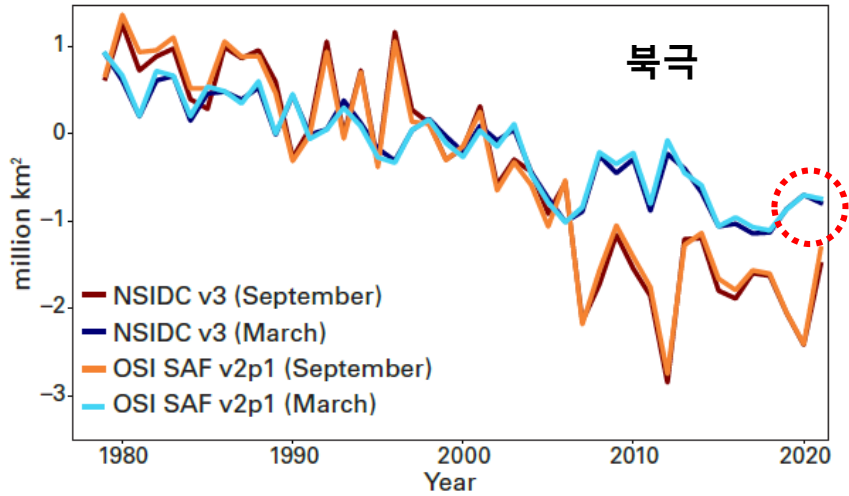
겨울철 월별 AO 지수 시계열



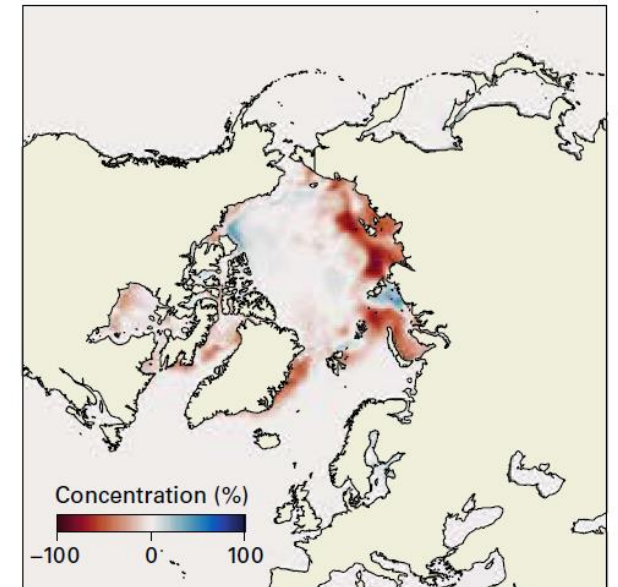
- 2000년 이후 2009/10 다음으로 음의 AO가 강했던 2020/21 겨울이었음
- 강한 음의 AO로 인해 북아메리카 겨울이 매우 추웠음

I. 전지구 기후 및 온난화 경향

극지역 해빙면적



7월 북극해빙농도 편차

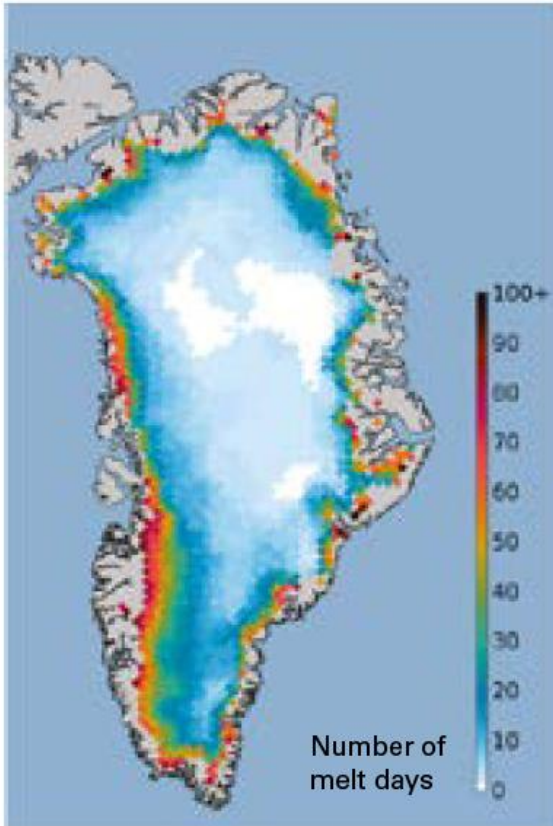


- 북극: 2020/21 겨울철 음의 AO로 인해 북극이 따듯해 지며 3월 해빙 면적이 적었음, 9월에는 평년보다 낮은 수준이었으나 최근 10년 대비 적은 양은 아니었음
- 남극: 남극 해빙 면적은 2013년까지 증가하다 그 이후 급격한 감소 추세를 보임. 2021년 해빙 면적이 매우 적었으며 특히 해빙 면적이 가장 줄어드는 2월 값이 매우 낮았음.

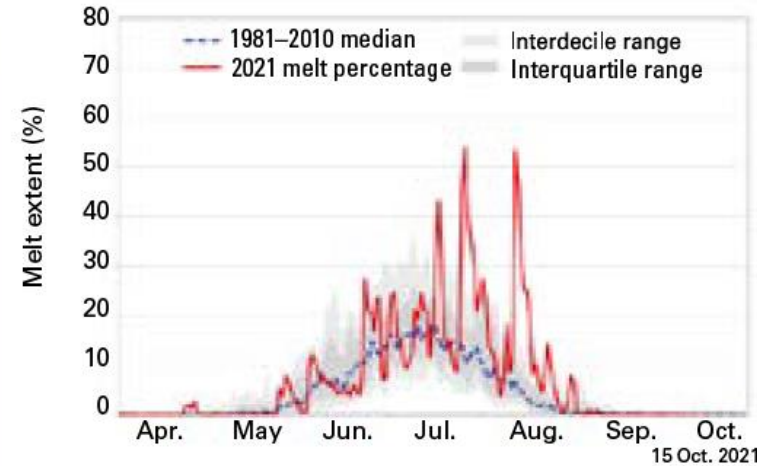
I. 전지구 기후 및 온난화 경향

그린랜드 빙하

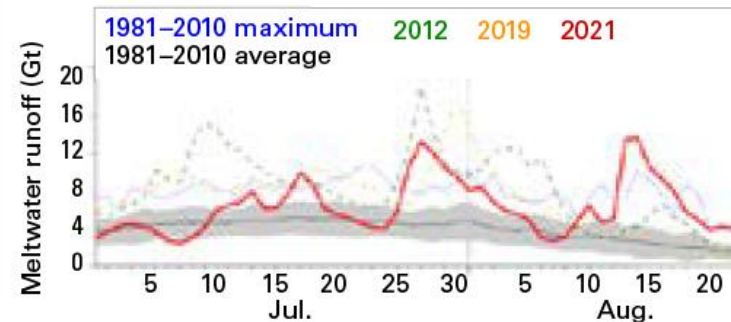
(a) Greenland cumulative melt days
1 Jan. – 15 Oct. 2021



(b) Greenland melt extent 2021

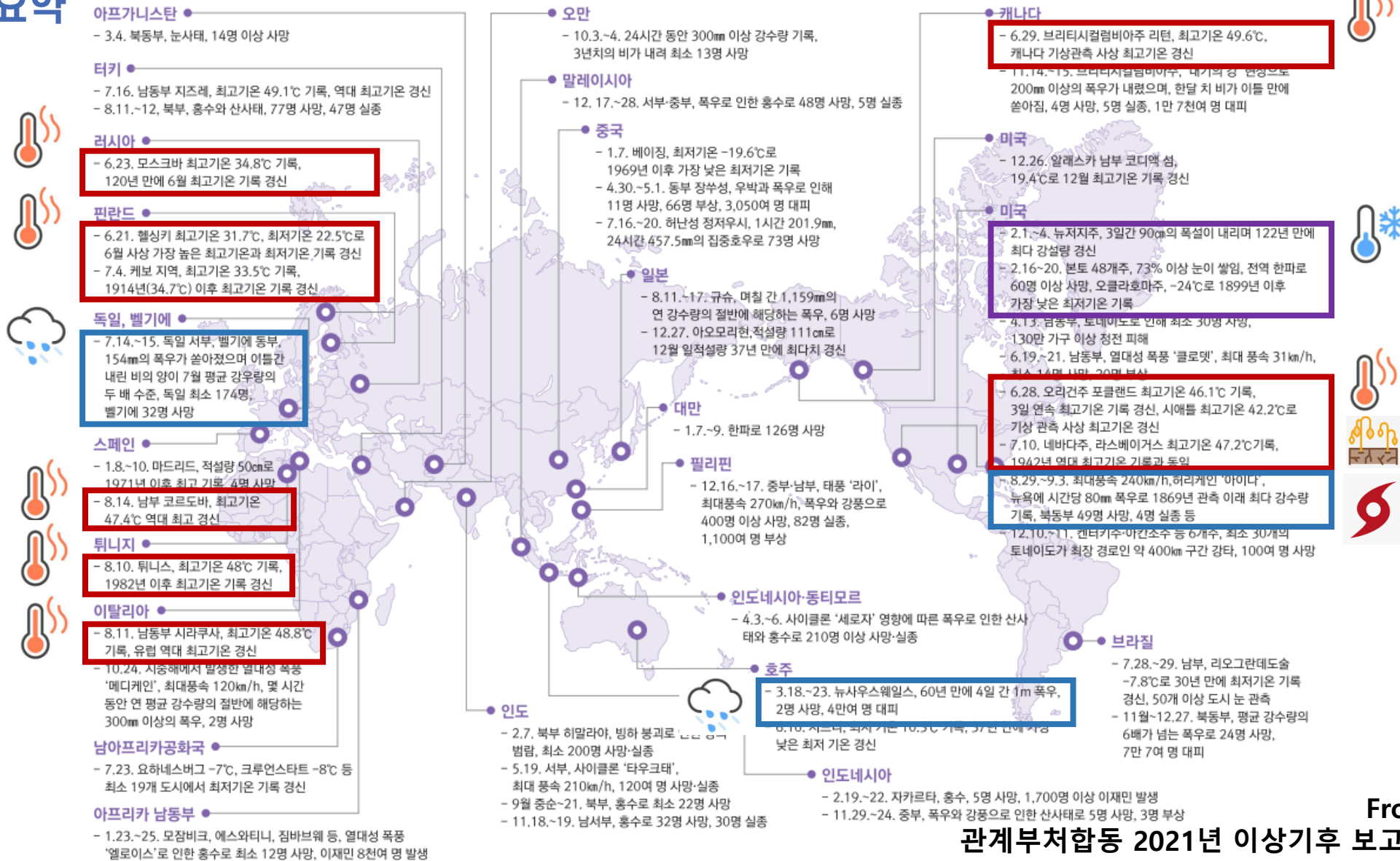


(c) Modelled meltwater run-off, July-August 2021



- 7월초까지 평년수준의 그린랜드 빙하 녹음
- 8월에 융해지역 급격히 증가함
- 특히 8월에 관측사상 처음으로 그린랜드 빙하의 가장 높은 관측지점에서 눈이 아닌 비가 관측되었음.

전세계 이상기후 요약

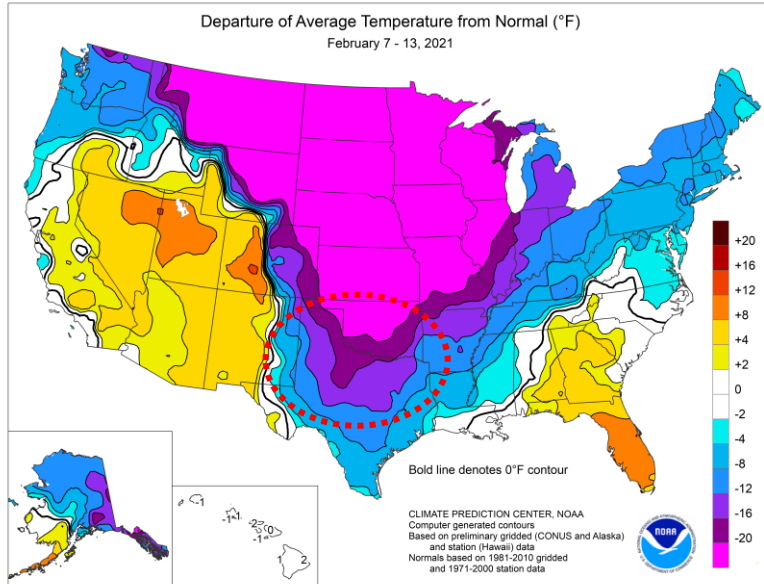


II. 전세계 이상기후

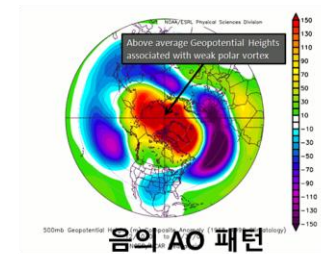
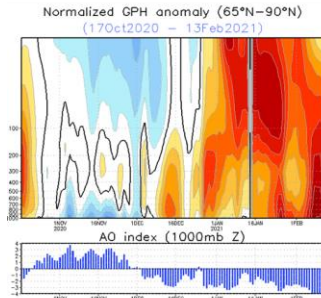
북미 겨울 한파 및 폭설

현황

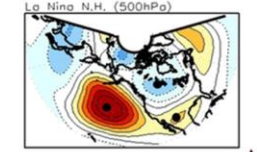
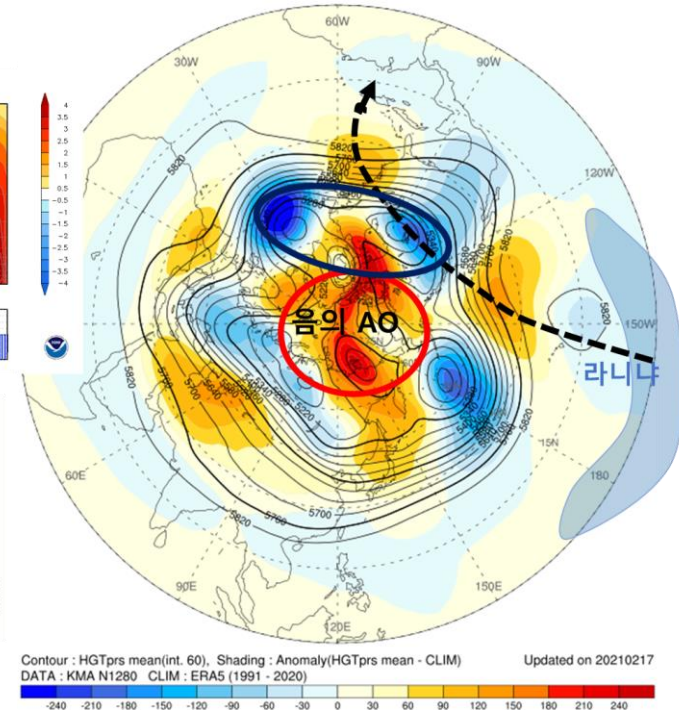
2/7-13 북미 기온 편차장



원인분석



500hPa Geopotential Height(gpm) Mean 10Feb2021 - 16Feb2021 Climate Prediction Division / KMA



라니냐 원격상관 패턴

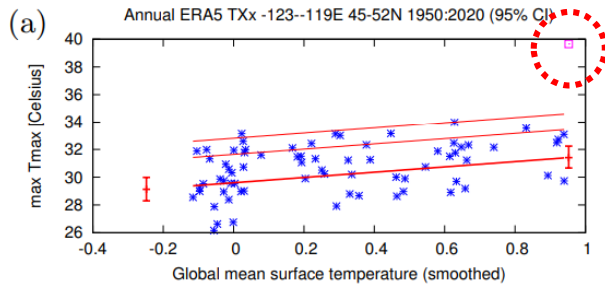
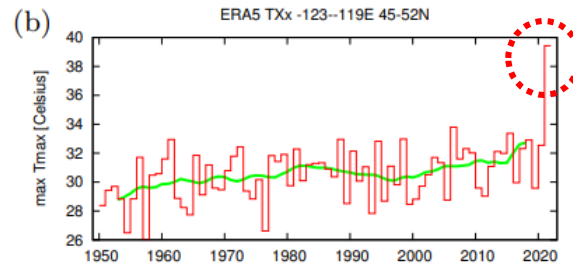
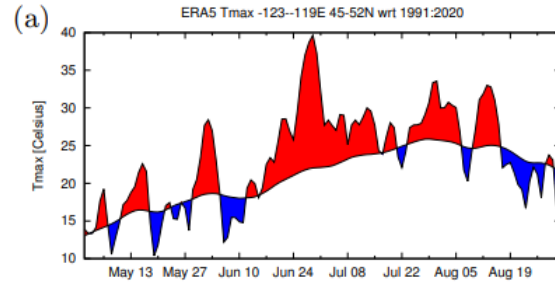
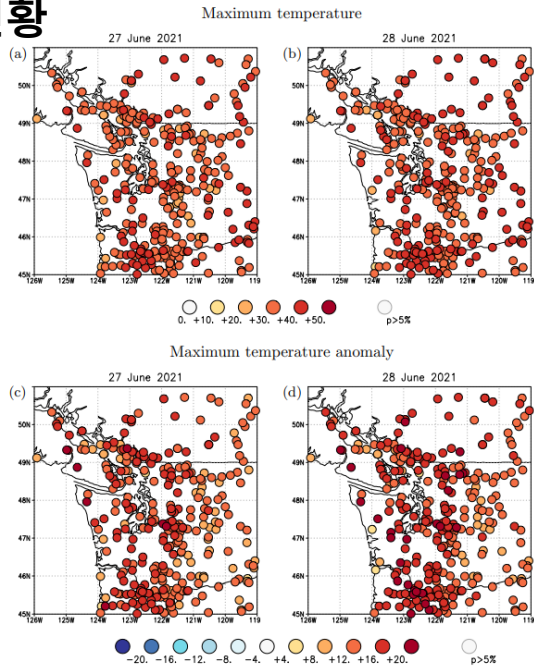
- 1/26-28일간 미서부에 강풍, 폭우 및 폭설로 인해 홍수와 산사태가 발생
- 1/31-2/2 뉴저지에는 폭설
- 2월 텍사스 포함 중남부 기록적인 한파와 겨울 폭풍 발생, 텍사스지역 장기 전기 공급 중단

- 북미 북중부 강한 저기압 발달로 인한 한기 남하
- 라니냐로 인한 북태평양 고기압, 북미대륙 저기압 발달
- 이에 더해 음의 AO 현상으로 제트류 약화 및 극의 찬기류 남하에 호조건

II. 전세계 이상기후

북미 초여름 폭염/산불

현황

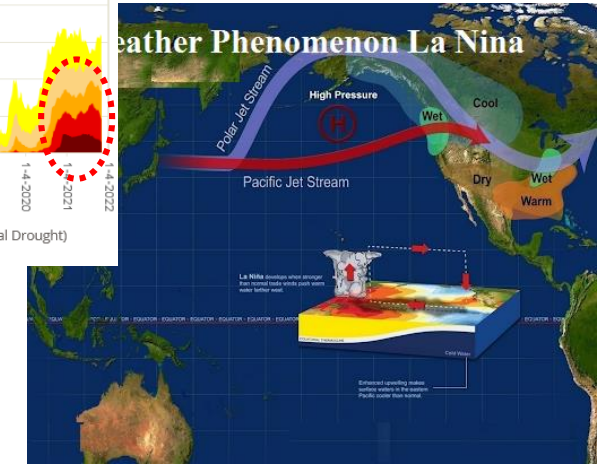
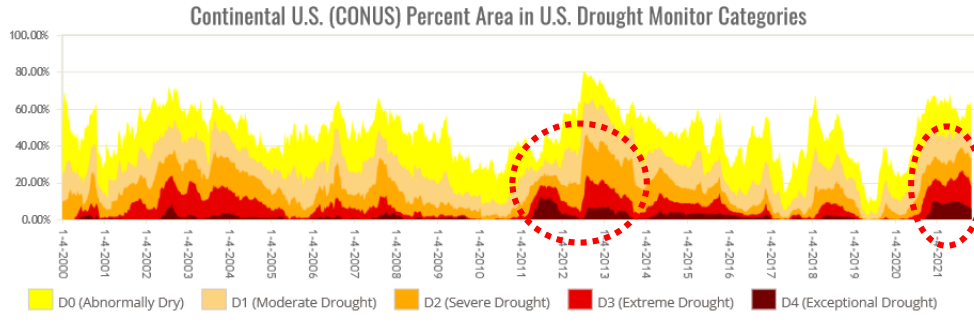
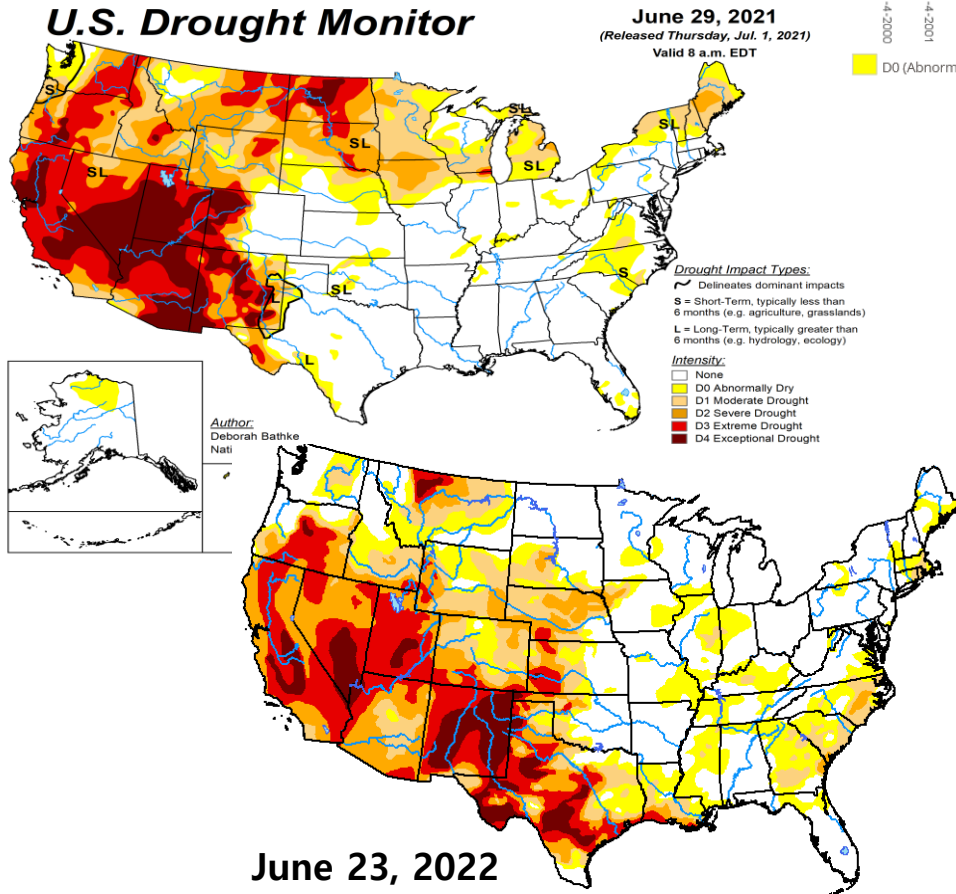


- 가뭄 상황 아래 6월 중순부터 시작된 북미의 폭염이 8월까지 지속됨
- 폭염이 절정이었던 6월 말 미국 북서부와 캐나다 남서부에 대부분 섭씨 40~50도의 기온을 기록함(평년보다 20도 이상의 고온): 캐나다 브리티시 컬럼비아 주의 작은 도시에서 6/29일의 섭씨 49.6도를 기록, 시애틀도 6/28일 42도를 기록(6월 평년 21.1도)
- 극한 폭염으로 인한 온열 질환 관련 사망자와 환자가 폭증, 캐나다 브리티시 컬럼비아 주에서는 6월 25일부터 7월 1일까지 일주일간 최소 719명이 돌연 사망함
- 폭염/가뭄과 함께 발생한 대형 산불로 인해 극심한 사회/경제적 피해와 인명 피해가 발생함: 브리티시 컬럼비아 주에서 6/30~7/1 이틀동안 180 여건의 산불이 발생하였고 캘리포니아 딕시 산불(8/18 발화)은 주 역사상 단일 산불로 가장 큰 산불로 기록됨
- 이 폭염은 일반적인 GEV(Generalized Extreme Value) 분포로 분석되지 않는, 1000년 또는 1만년의 return time 이벤트로, 모델 재현 실험을 통해 인간활동에 의한 지구온난화가 아니고는 발생하기 어려운 사례로 분석되었음(Philip et al., 2021)

From
Philip et al. (2021)

북미 가뭄

현황



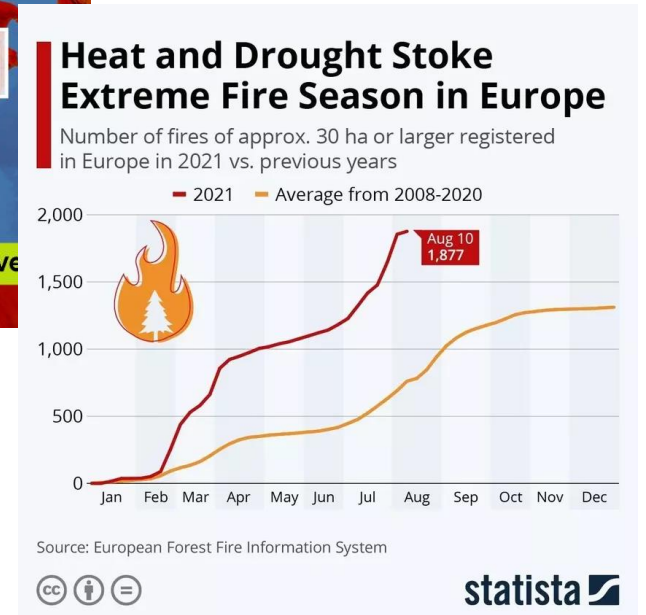
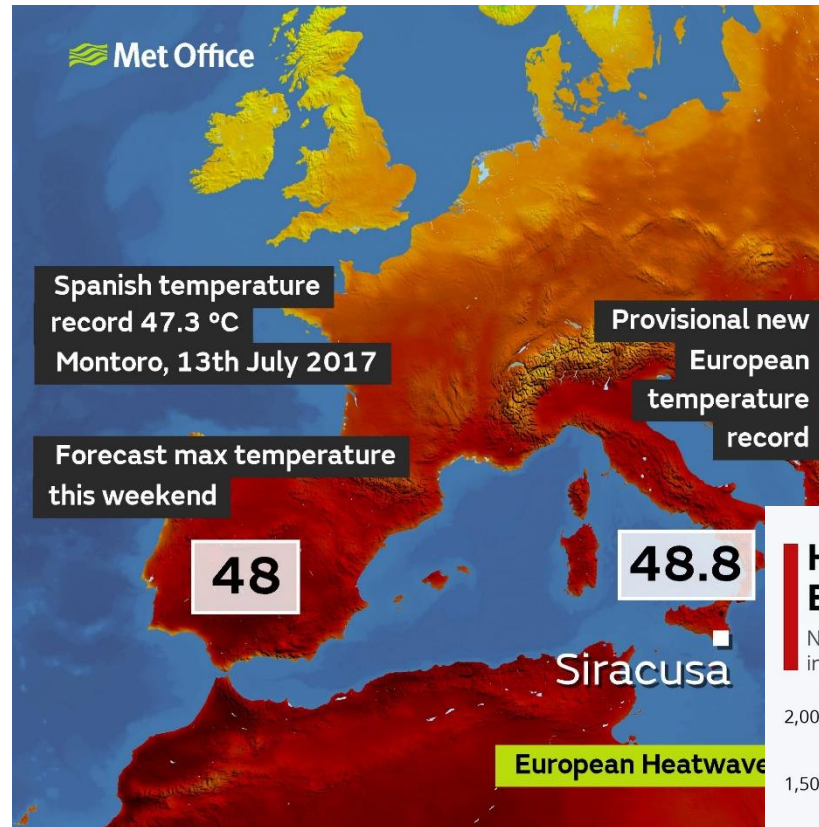
- 2021년 6월 29일 기준 미 서부지역의 거의 모든 지역이 D0(Abnormally Dry) 이상의 가뭄 상태에 해당하며 남서부 대부분의 지역은 극심한 가뭄 상태인 D4(Exceptional Drought) 레벨 상태임
- 이 가뭄은 라니냐로 인해 2020년 여름부터 발달하였는데 2021년 여름(7월)에 가장 극심한 상태에 이른 후 현재도 진행중임
- 2011~2013년에 발생했던 극심한 서부 가뭄과 견줄만한 가뭄으로 일부 과학자들은 대가뭄(Megadrought)이라는 용어를 사용하기도 함

II. 전세계 이상기후

유럽 여름 폭염/산불

현황

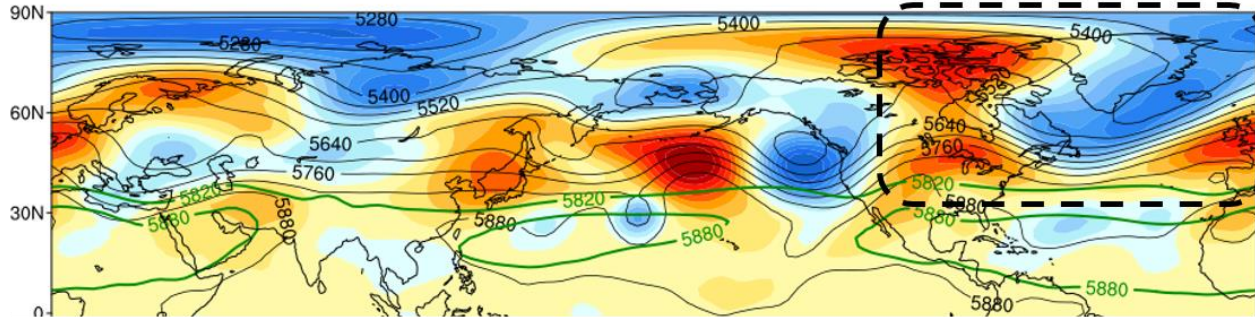
- 2021년에 유럽지역은 역대 가장 높은 여름철 평균기온을 기록함
- 핀란드의 헬싱키는 6월의 최고 기온을 기록하고 (21일에 31.7도), 에스토니아 쿤다는 116년만에 가장 높은 6월 최고 기온(23일 34.1도)을 기록함
- 7월 20일 터키 남동부는 60년만에 섭씨 49.1도로 국내 최고 기온 기록을 경신함
- 8월 그리스의 최고기온은 47.1도로 1987년 이후 역사적인 최악의 폭염을 기록하였고 3명이 숨짐
- 그리스, 러시아, 터키 곳곳에서 산불이 발생, 화재 건수가 평년에 비해 약 2.5배에 달하는 규모이며 피해 규모 역시 기록적이었음



II. 전세계 이상기후

북미 폭염/가뭄/산불과 유럽 폭염/산불 원인

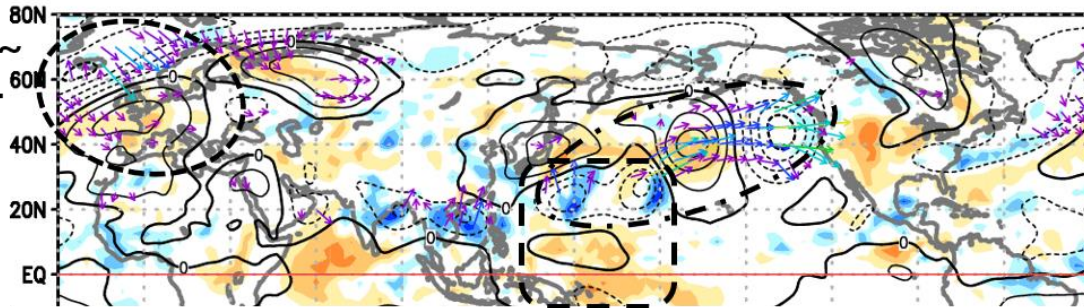
500hPa GPH Mean
07Jun2021 ~ 13Jun2021



a. 양의 NAO

09Jun.2021 - 13Jun.2021

c. 북대서양~
북유럽 파동
전파



b. 중태평양 대류 억제- 아열대 대류 강화
→ 북태평양~북미 파동 전파

- 폭염의 직접적 원인은 북미 중부의 강한 고기압과 유럽 남부 지역의 강한 고기압으로 인한 열돔 현상임
- 라니냐의 영향으로 중국 남부와 일본 남동쪽에 대류가 강화되어 북태평양~북미까지 파동 전파 구조가 발달하여 북미의 고기압성 순환이 더욱 강화됨
- 이에 더해 6월 초·중순 북대서양을 중심으로 양의 NAO가 발달하며 북미 고기압과 유럽 고기압을 더욱 강화시켜 열돔이 생성된 것으로 추정됨
- Zhu and Li (2016)에 따르면 아열대 서태평양 대류 활동이 중위도 제트기류를 따라 북미 지역으로의 파동 전파를 유도하는 현상이 1990년대 이후 강화되어 미국의 여름 기후에 영향을 주고 있는데 동아시아 몬순 강화(약화) 시 북미 서안에 저기압성(고기압성) 흐름이 발달한다고 알려져 있음.

호주 3월 폭우

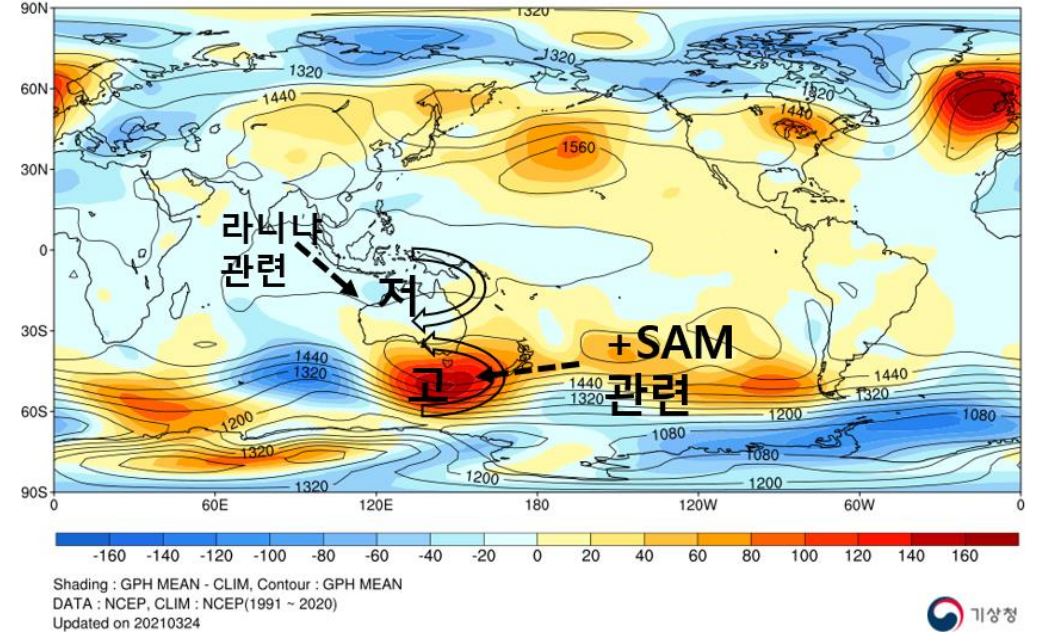
현황



- 호주 동남부에 3월 18-24일간 홍수가 지속, 시드니 서부지역은 반 세기 동안 볼 수 없었던 최악의 홍수사태를 맞았음
- 이번 홍수는 1961년 11월 이후 최악의 홍수로 헤이스팅스 강의 수위는 130여 년 전인 1888년 이후 가장 최고에 달했음

원인분석

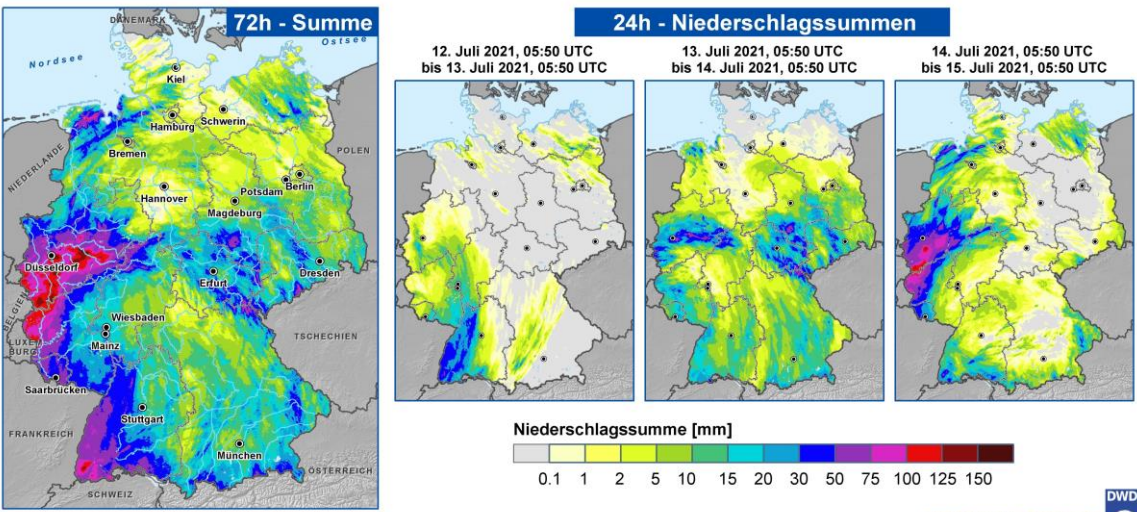
850hPa GPH Mean
15Mar2021 ~ 21Mar2021



- 라니냐와 연관된 서태평양의 대류 강화 신호가 남·북반구 아열대 지역으로 이동되어 나타나면서 호주 북동부 지역으로 저기압성 순환과 강수 현상이 나타남
- 이에 더해 양의 SAM(Southern Annular Mode) 영향으로 호주 남동부 지역으로 강한 고기압성 흐름이 자리 잡으면서 저기압과 고기압의 가장자리로 강한 수렴대가 형성되어 폭우를 유발한 것으로 추정됨

서유럽 7월 폭우

현황 Tief Bernd über Deutschland, Summe des Niederschlags aus Radar: 12. Juli, 05:50 UTC - 15. Juli 2021, 05:50 UTC

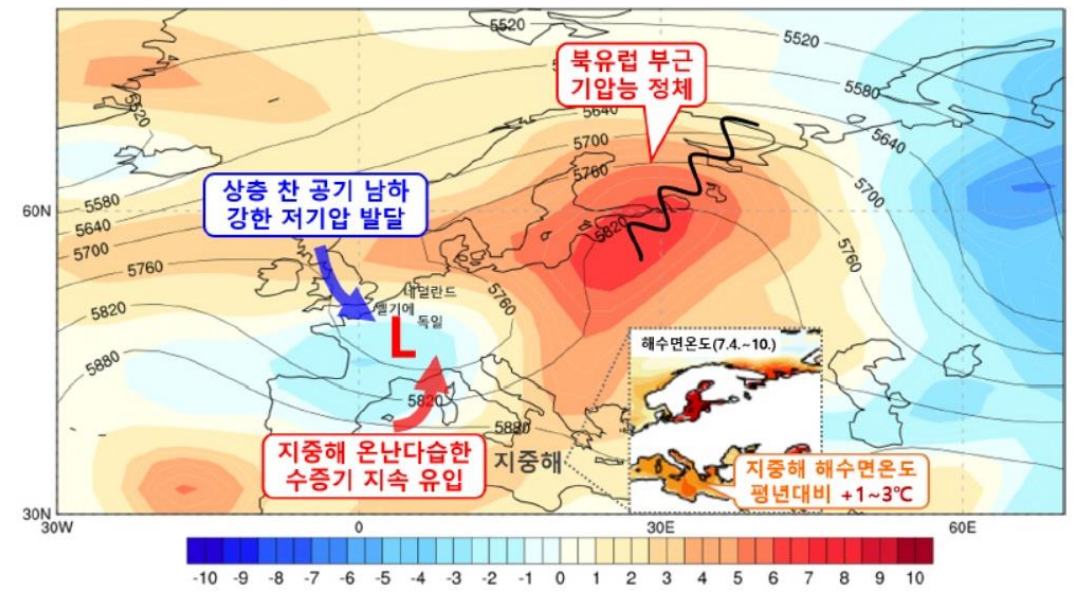


Klimadaten und Darstellung: © Deutscher Wetterdienst 2021 (Stand: 15.07.2021); Geodaten: © GeoBasis-DE/BKG 2020 (Stand: 01.01.2020).



- 7월 중순 서유럽에 100년 만의 기록적인 폭우가 쏟아지면서 독일과 벨기에에서 최소 120여 명이 사망
- 7월 12일에 영국에서 시작, 14-15일 독일 서부와 벨기에, 네덜란드, 룩셈 부르크가 접한 지역 대부분에 폭우가 내렸는데, 특히 24시간 동안 이들 지역에서 한 달 총 강수량에 해당하는 100-150mm의 물 폭탄이 쏟아짐. 독일과 벨기에에는 100년 만의 기록적인 폭우임.

원인분석



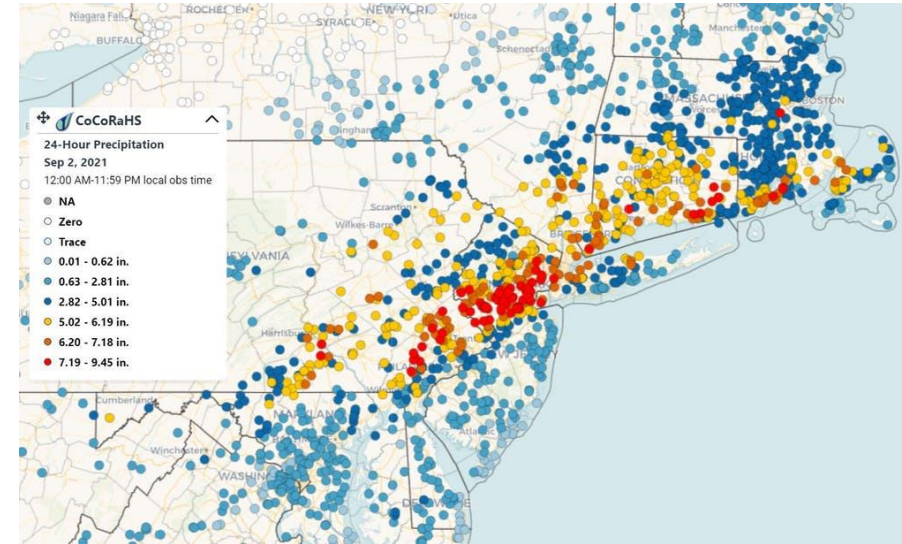
- 7월 초반부터 북유럽 부근에 고기압성 순환이 정체되어 7월 중순 서유럽에 저기압 '베르트'가 정체됨에 따라 지중해에서 고온 다습한 남풍 기류가 유입되어 폭우가 발달하는데 기여함
- 기후 모델 재현 실험 결과 서유럽의 기록적인 폭우는 지구 온난화가 원인일 가능성이 있으며, 평년보다 9배 이상 강도의 폭우가 쏟아질 가능성이 있음 (World Weather Attribution)

II. 전세계 이상기후

미국 허리케인



24시간 누적 강수



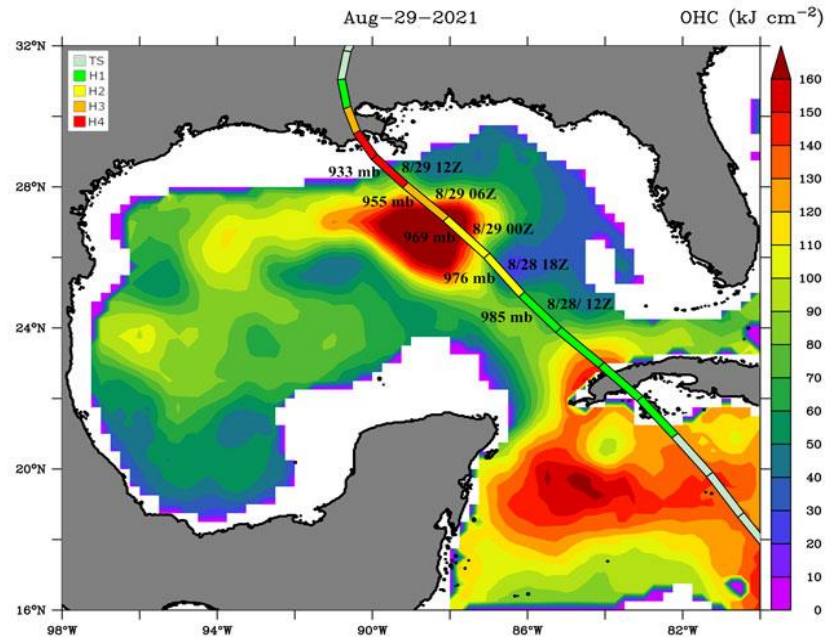
- 허리케인 카트리나 참사 16주기가 되는 날(8/29) 허리케인 아이다(Ida)가 3일간 카테고리 1에서 4로 급속하게 발달한 후 미국 루이지애나 주에 상륙함(최저 중심기압 930 mbar, 최고 풍속 240 km/h로 미국 최악의 허리케인들과 유사한 강도)
- 극심한 바람과 홍수로 루이지애나 해안가 지역의 많은 건물과 가옥이 파괴되었고 뉴올리언즈 지역 대부분이 정전되어 백만명의 인구가 영향을 받았음

- 루이지애나에 상륙한 이후 급격히 약화되었으나 3일 후 아팔라치안 산맥을 넘으며 다시 강화되었고 동부 내륙으로 이동하면서 열대폭풍과 합쳐지며 기세를 키웠음. 매릴랜드 주, 펜실베니아 주, 뉴욕 주 등에 토네이도와 홍수를 유발하여 사망자가 발생하였음.
- 아이다로 인해 115명의 사망자(미국내 95명의 사망자 포함)와 미국 내 950억의 경제적 피해(2000년 이후 허리케인으로 인한 피해 중 7위에 해당)가 발생함

II. 전세계 이상기후

미국 허리케인

멕시코만 해양열용량과 아이다 이동 경로



- 카리브해와 멕시코만 중에서도 아이다가 이동한 경로의 열용량이 매우 높은 상태여서 아이다가 급속히 발달한 것으로 보임
- 미국 북동부에서 재강화된 이유는 미국 대륙에 상륙한 이후로 쇠퇴하던 아이다가 북쪽의 온난/한랭전선과 만나 재발달했기 때문이며 지구온난화로 인해 공기가 머금을 수 있는 수증기의 양이 늘어났기에 폭우의 강도 역시 증가한 것으로 추측됨

III. 요약 및 시사점

- 온실가스 증가와 함께 지구 온난화가 계속된 2021년
- 라니냐 Double-Dip 현상으로 전세계 평균기온 상승이 약간 주춤하였으나 역대 가장 더웠던 7년(2015-2021)이 지속됨
- 라니냐 관련 이상기후 현상들이 많이 발생하였는데 라니냐의 강도 자체는 그리 강하지 않았음
- 일부 이상기후 현상들(예, 6월말 북미 폭염, 7월 중순 유럽 폭우)은 인간활동에 의한 지구온난화의 영향을 배제하고는 설명할 수 없을 정도의 극값을 기록함(지구온난화로 인한 대기 정체 증가?)
- 상상을 초월하는 극한 이상기후와 그로 인한 복합재난(특히 장기가뭄에 폭염 발생시 대형 산불 증가, 이후 홍수 발생시 산사태 위험 증가)의 가능성에 대비해야 함

State of the Global Climate 2021

The infographic features a central image of Earth from space. To the right, a list of climate events is presented with icons and text:

- Global mean temperature:** The global mean temperature in 2021 was around 1.11 ± 0.13 °C above the 1850–1900 pre-industrial average. This is less warm than some recent years due to the influence of La Niña conditions at the start and end of the year. The most recent seven years, 2015 to 2021, were the seven warmest years on record.
- Sea level rise:** Global mean sea level reached a new record high in 2021, rising an average of 4.5 mm per year over the period 2013–2021.
- Antarctic ozone hole:** The Antarctic ozone hole reached a maximum area of 24.8 million km² in 2021. This unusually deep and large ozone hole was driven by a strong and stable polar vortex and colder-than-average conditions in the lower stratosphere.
- Greenland melt event:** Greenland experienced an exceptional mid-August melt event and the first-ever recorded rainfall at Summit Station, the highest point on the Greenland ice sheet at an altitude of 3 216 m.
- Heatwaves:** Exceptional heatwaves broke records across western North America and the Mediterranean. Death Valley, California reached 54.4 °C on 9 July, equalling a similar 2020 value as the highest recorded in the world since at least the 1930s, and Syracuse in Sicily reached 48.8 °C.
- Hurricane Ida:** Hurricane *Ida* was the most significant of the North Atlantic season, making landfall in Louisiana on 29 August, equalling the strongest landfall on record for the state, with economic losses in the United States estimated at US\$ 75 billion.
- Flooding:** Deadly and costly flooding induced economic losses of US\$ 17.7 billion in Henan province of China, and Western Europe experienced some of its most severe flooding on record in mid-July. This event was associated with economic losses in Germany exceeding US\$ 20 billion.
- Drought:** Drought affected many parts of the world, including areas in Canada, United States, Islamic Republic of Iran, Afghanistan, Pakistan, Turkey and Turkmenistan. In Canada, severe drought led to forecast wheat and canola crop production levels being 35%–40% below 2020 levels, while in the United States, the level of Lake Mead on the Colorado River fell in July to 47 m below full supply level, the lowest level on record.

2021년 이상기후 보고서



관계부처합동

2021년 이상기후 보고서

References

World Meteorological Association (2022) State of the Global Climate 2021
 관계부처합동 (2022) 2021년 이상기후 보고서



감사합니다.

