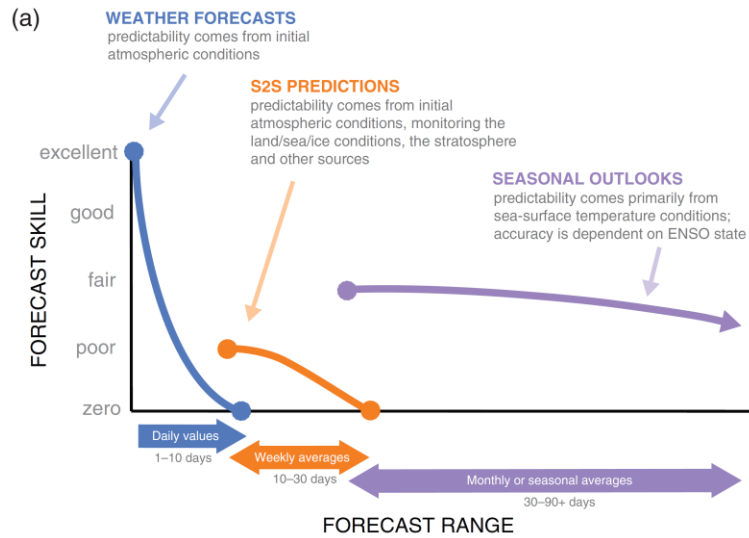
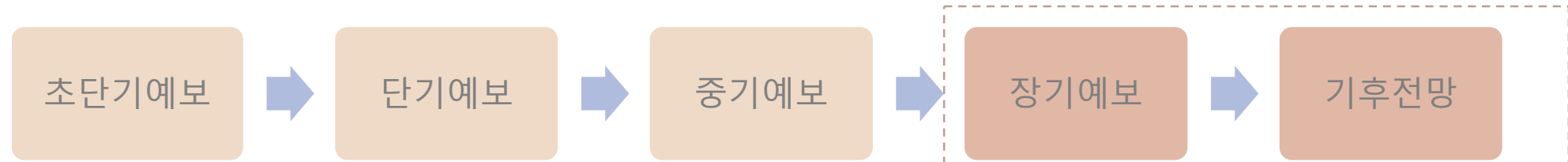


기후 감시와 분석

기후분석과
임슬희

기후예측과 기후분석



장기예보: 기온, 강수량

- 1개월 전망 → 11일 이후부터 4주까지, 주별 예보
- 3개월 전망 → 다음 월 부터 3개월까지, 월별 예보

기후전망: 기온, 강수량, ENSO

- 계절기후전망 → 다음다음 계절, 연4회
- 연기후전망 → 다음해, 1년에 한번

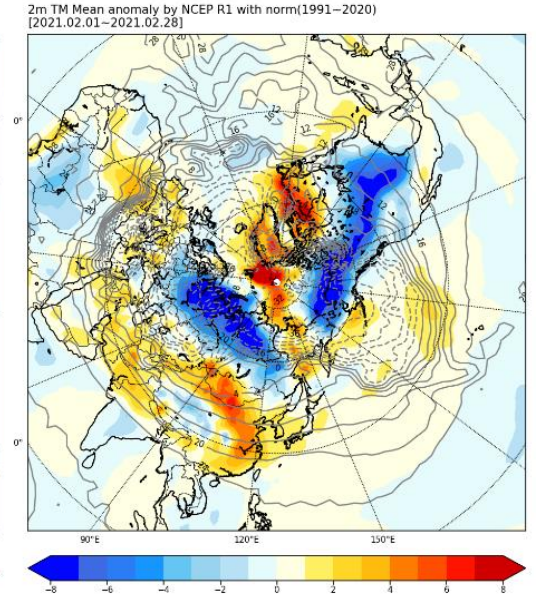
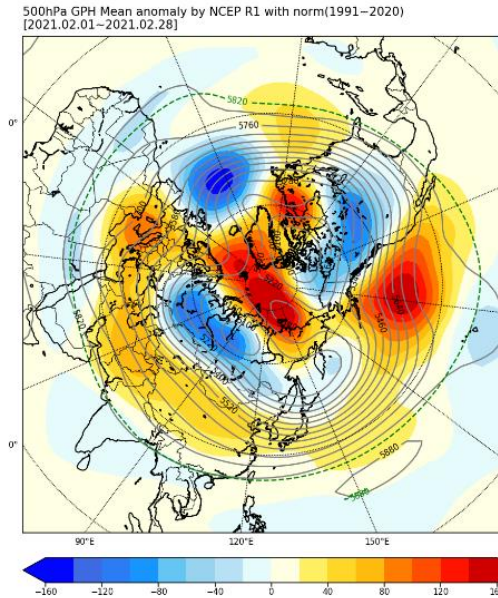
기후예측

- ✓ 장기예보에서는 비교적 긴 시간동안 대기와 상호작용하는 해양, 지면 상태 등이 중요하게 작용
→ boundary condition (경계조건)
- ✓ 모델 성능 개선이 지속적으로 이루어지고 있음에도, 여전히 역학 모델의 예측성에 한계가 있음
- ✓ 예보 정확도 향상을 위해, 과거자료로부터 통계적인 분석을 통해 얻어진 기후분석 결과를 함께 활용

기후예측과 기후분석

- ✓ 기후예측(장기예보)은 단기예보에 비해 불확실성 높음
 - 단정 예보 불가능, 일정 기간의 평균상태를 기준값(평년, 기후값)에서 벗어나는 정도로 예측
- ✓ 주단위, 월단위, 계절단위의 비교적 긴 시간규모에 대해 **평년 대비 경향성 예보**
 평년보다 높음(많음) / 비슷 / 낮음(적음)

- ✓ **평년** (기후값, Climatology, Climatological Standard Normal)
 - 주어진 지점에서 경험하는 평균적인 상태 (기준값)
 - 과거 연속된 30년 기간 동안의 평균값으로 정의
 (1991~2020년 평균, 1981~2010년 평균, 10년 단위로 이동)
- ✓ **편차** (anomaly) $x' = x - \bar{x}$
 - 특정 시점의 값에서 같은 기간의 평년 값을 뺀 값으로 정의
 - 평년에서 얼마만큼 벗어나 있는가



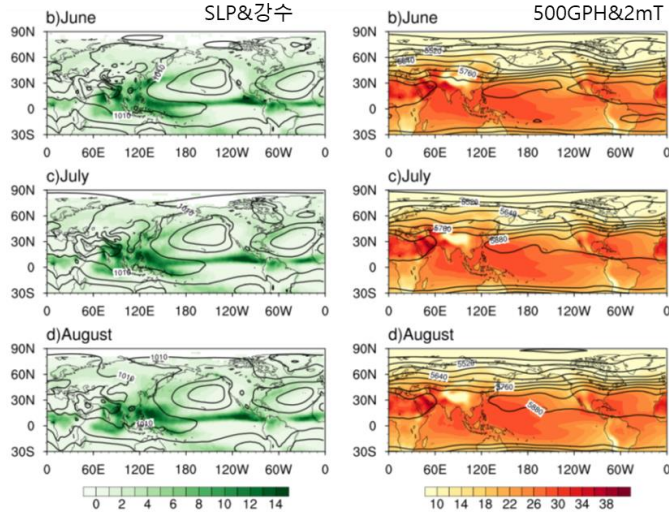
- ✓ 실선: 해당 기간의 관측값
- ✓ 채색: 해당 기간의 편차 (관측값-평년값)

- ✓ 양(음)의 지위고도 편차
 - 평년보다 높은(낮은) 기압
 - 기압능(기압골) 발달
 - 높은(낮은) 기온과 관련

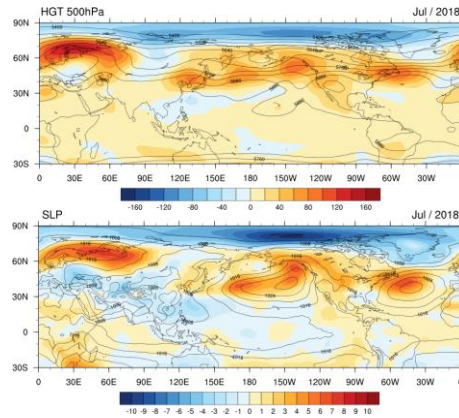
기후예측과 기후분석

편차를 분석!

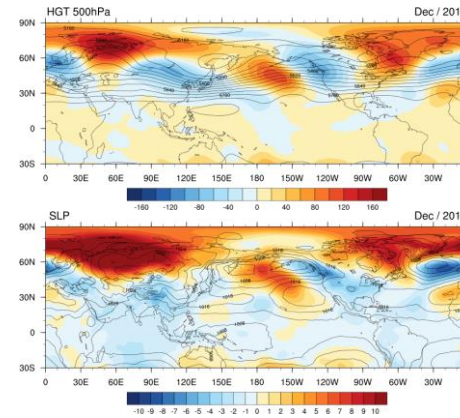
기후값 (1991-2020년)



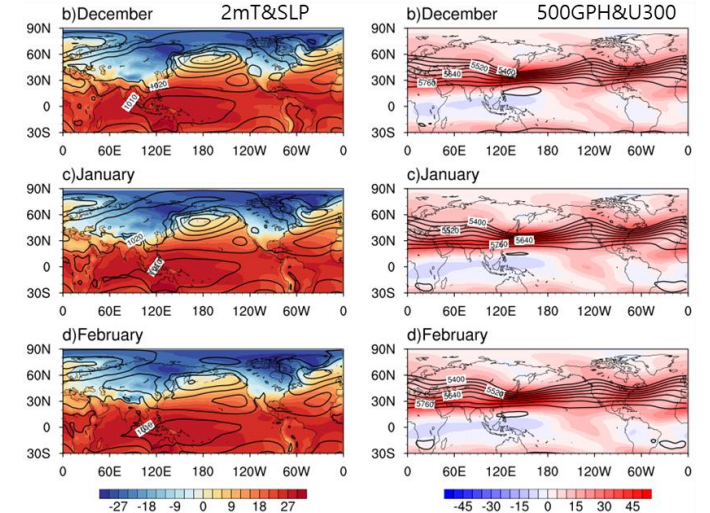
2018년 7월



2012년 12월



기후값 (1991-2020년)



실선: 월평균, 채색: 편차

- ✓ 북반구 여름철 → 북태평양 고기압, 북대서양 고기압이 지배적
- ✓ 북태평양고기압 강도, 형태에 따라 우리나라에 미치는 영향 달라짐 → 북태평양고기압의 서쪽 가장자리 변동성이 기온,강수 변동성에 큰 영향

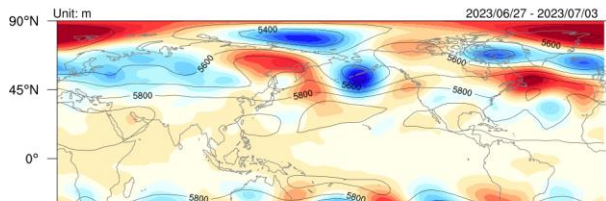
- ✓ 겨울철 지상기압 서고동저 형태 → 서쪽 대륙고기압, 동쪽 알류산 저기압 발달, 북풍계열 바람 지배적
- ✓ 우리나라 기온은 대륙고기압과 알류산 저기압 변동에 따른 북풍계열 바람 변동과 깊은 연관 → 대륙고기압 발달과 확장으로 북풍 계열 바람 강화되면 대륙의 찬 공기 남하로 기온 하강

기후감시 요소와 원격상관

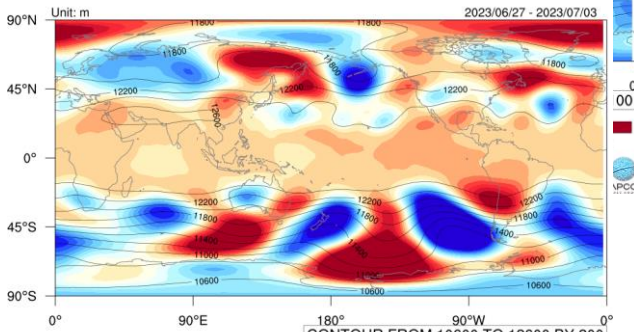
- ✓ 우리나라는 중위도에 위치
- 열대 강제력 + 중·고위도 영향 모두 받음 → 전지구 규모의 다양한 자료 감시 필요

- 북반구 기압계 동향

500hPa GPH Mean



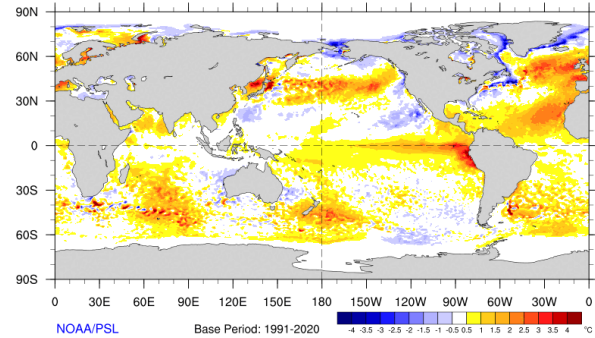
200hPa GPH Mean



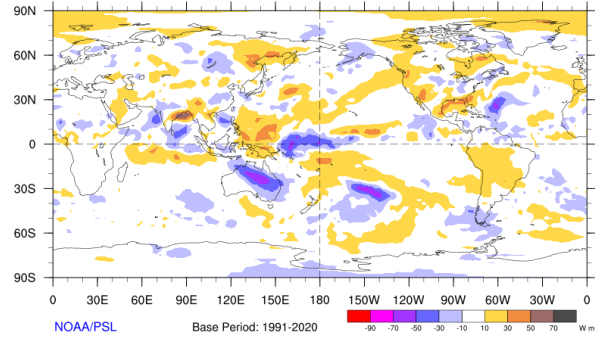
Shading: MEAN-CLIM. Contour: GPH MEAN
DATA: NCEP, CLIMATE/1991-2020
Updated on: 2023-07-06

- 해수면온도(Sea Surface Temperature)

Monthly SST Anomaly 2023/06/04 - 2023/07/01

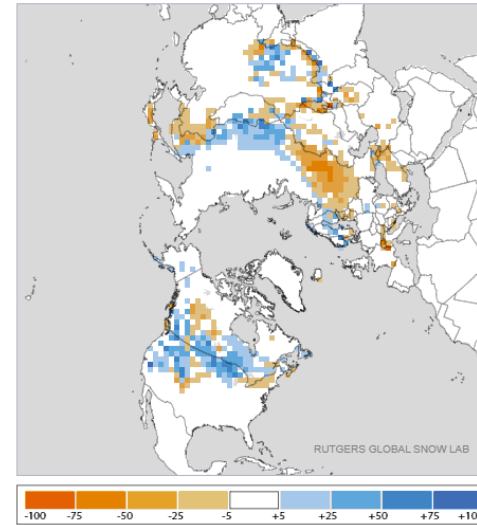


7-Day Average OLR Anomaly 2023/06/28 - 2023/07/04

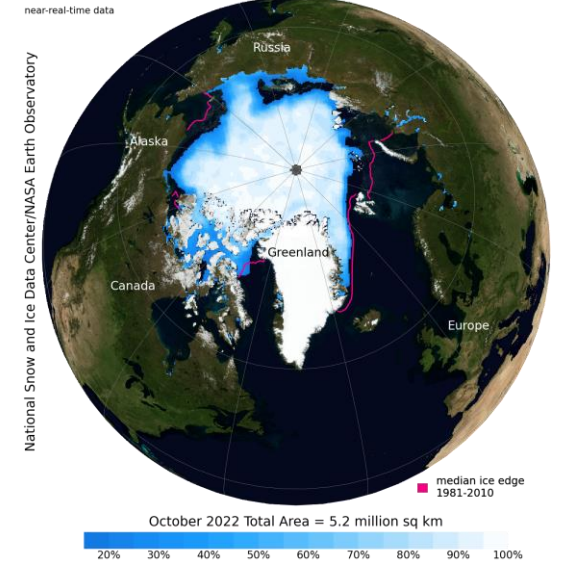


- 상향장파복사(Outgoing Longwave Radiation)
- (-)OLR → 대류활동 활발 (상승운동)
- (+)OLR → 대류활동 억제 (하강운동)

Monthly SCE Departure - April 2023



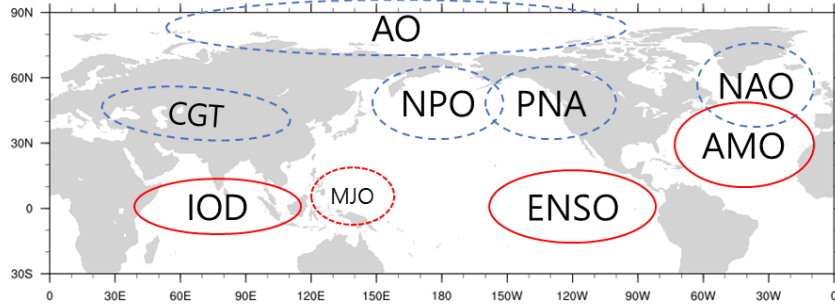
- 눈덮임 (Snow Cover)
- 가을 유라시아 눈덮임 속도
- 봄 티베트고원 눈덮임



- 북극 해빙 (Sea Ice)

기후감시 요소와 원격상관

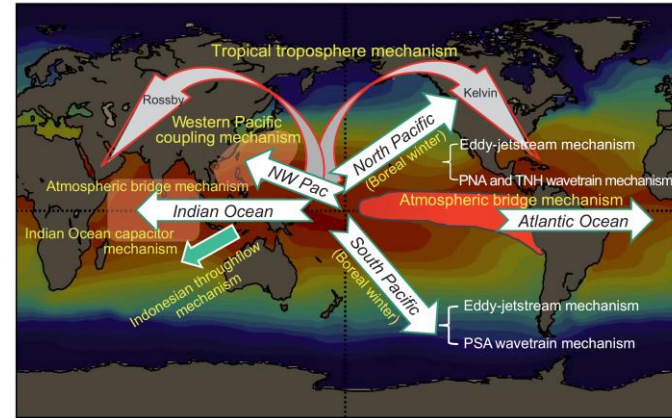
- ✓ 원격상관 (Teleconnection) :
 - 지리적으로 멀리 떨어진 지역의 변수가 서로 관련성을 보이는 기후 편차 (climate anomaly)
 - 신뢰할 만한 원격상관을 이용해 장기예보 예측성 향상



- El Nino Southern Oscillation (ENSO)
- North Atlantic Oscillation (NAO)
- Pacific/North American pattern (PNA)
- Madden Julian Oscillation (MJO)
- Indian Ocean Dipole (IOD)
- Arctic Oscillation (AO)
- Circumglobal Teleconnection (CGT)

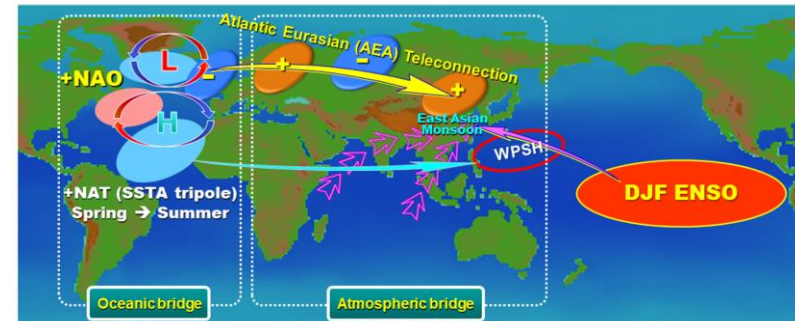
...

ENSO Teleconnection Mechanisms



Yang et al. 2018

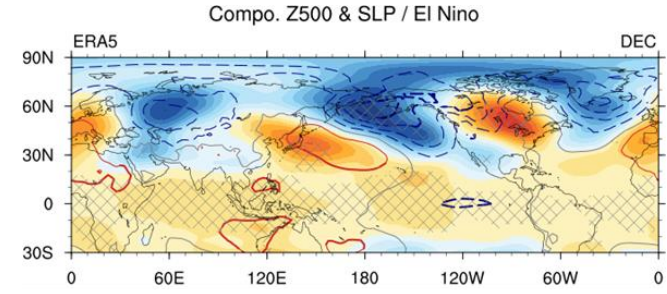
Figure 2. A schematic illustrating the major teleconnection mechanisms through which ENSO affects the global climate.



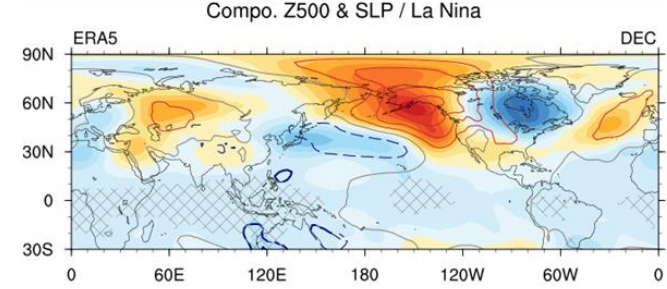
Li et al. 2019

분석 방법 (통계적 방법)

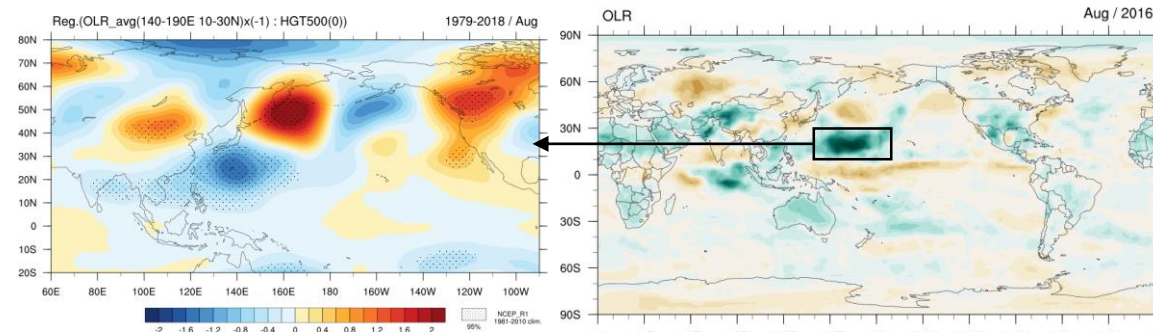
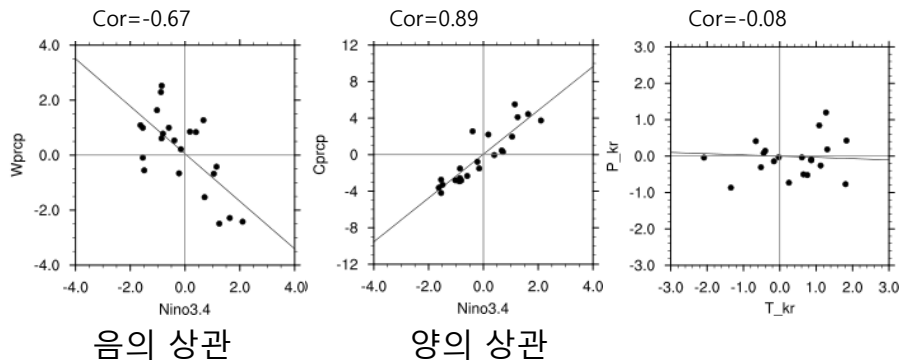
- ✓ 상관분석 (correlation analysis) :
변수 간의 밀접한 정도를 분석
- ✓ 회귀분석 (Linear Regression analysis) :
종속변수 y와 독립변수 x와의 선형 상관 관계를 함수로 모델링하는 통계기법 $y = ax + b$
- ✓ 합성장 분석 (Composite analysis) :
주어진 조건에 대하여 대상이 되는 변수의 추정값
(주어진 조건에 대한 대상 변수의 산술 평균)



엘니뇨 해
Z500 합성장



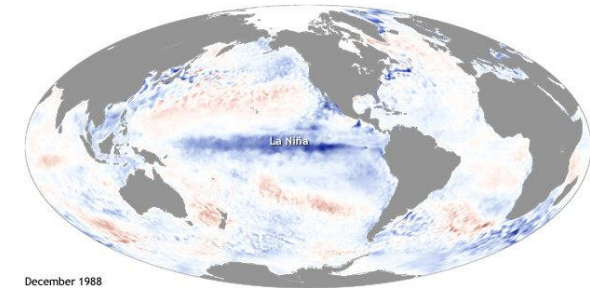
라니냐 해
Z500 합성장



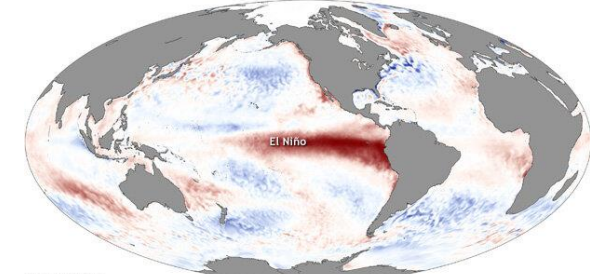
아열대 북서태평양 지역 OLR에 회귀분석한 z500

El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

- ✓ 열대 동태평양과 중태평양 해수면온도(SST)가 평년보다 높은(낮은) 상태가 지속되는 현상 (엘니뇨/라니냐)
- ✓ 열대 태평양에서 나타나는 현상이지만 대기과 해양의 원격상관을 통해 전 지구에 영향
- ✓ 봄~여름철 발생해 겨울철에 최성기에 이른 뒤 봄~여름철에 쇠퇴
- ✓ 열대 서태평양과 중태평양 대류활동 변화는 중위도로의 대기파동을 유발

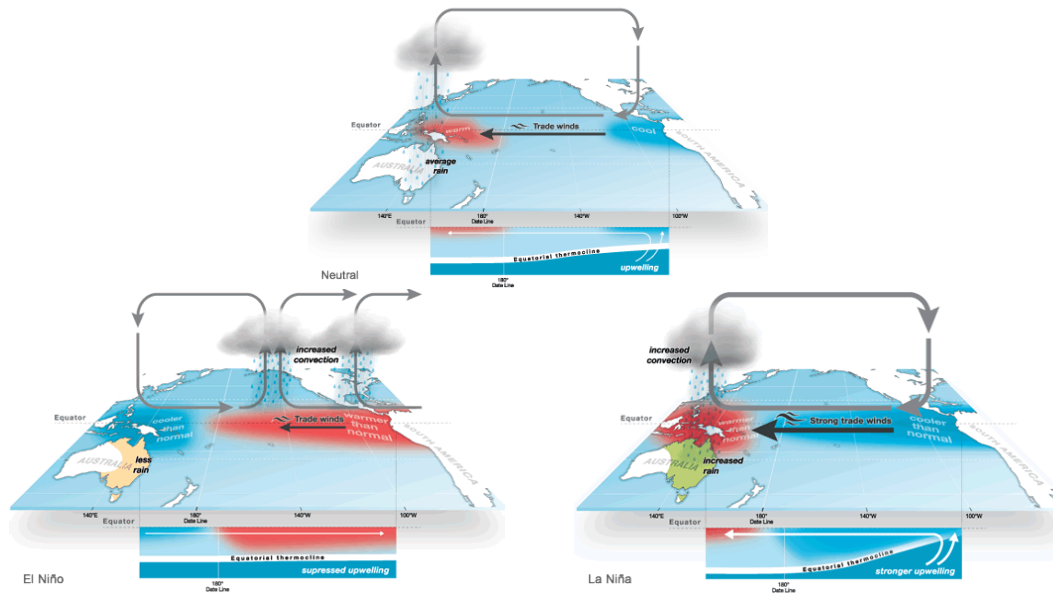


December 1988

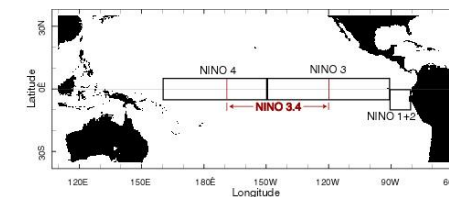
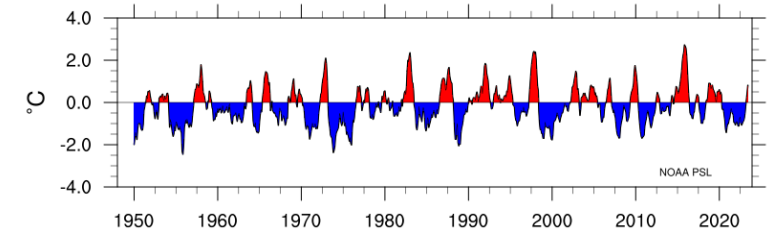


December 1997

Difference from average temperature (°C) 출처: NOAA Climate.gov



Nino3.4 지역에서 평균한 SST anomaly



겨울철 엘니뇨 영향

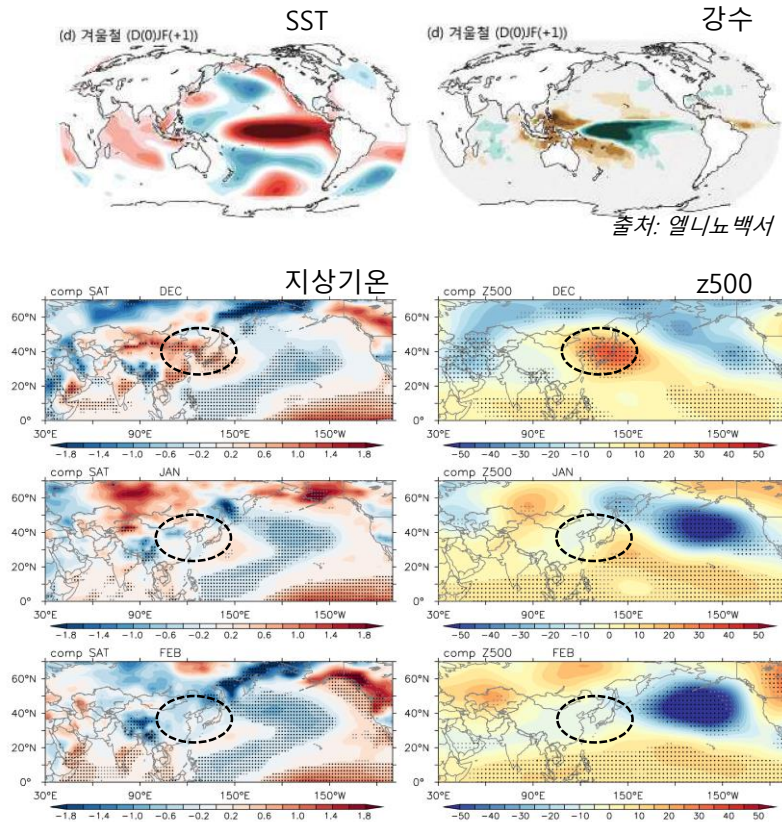


그림 6.9. 1973년 이후 엘니뇨 해에 대한 12월, 1월, 2월, (좌) 지상기온 편차 및 (우) 500hPa 지위고도 편차 합성도

표 6.2. 엘니뇨일 때, 겨울철 우리나라 기온 및 강수 현황
+(-): 평년비슷범위보다 높은(낮은) 해 횟수, 0: 평년비슷범위 이내 해 횟수

엘니뇨 해	기온			강수		
	+	0	-	+	0	-
12월	10	7	0	4	4	3
1월	4	9	4	5	7	5
2월	6	4	7	7	6	4

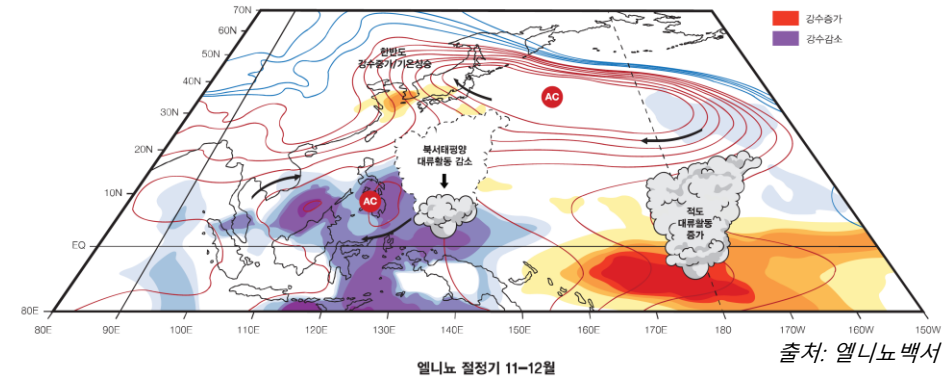


그림3-4-12. 엘니뇨 절정기 11-12월 한반도 영향 모식도.

- ✓엘니뇨 시기 중태평양 양의 강수 편차, 서태평양 음의 강수 편차
- Gill-Type 대기 반응, 로스비파 전파 (열대지역 상층 저기압, 중위도 고기압성 흐름)
- 중위도 한반도 동쪽에 연직 순압 구조 고기압성 순환 유도
- 남풍 편차 동반하며 온난 습윤한 공기 유입
- 우리나라 온난/습윤 경향

겨울철 라니냐 영향

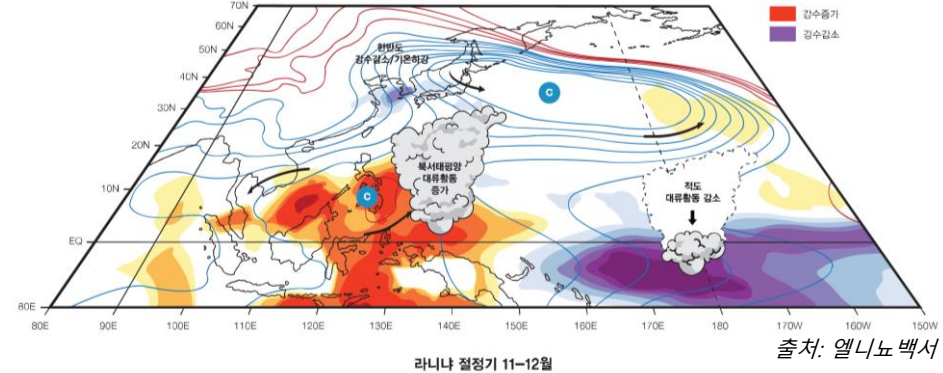
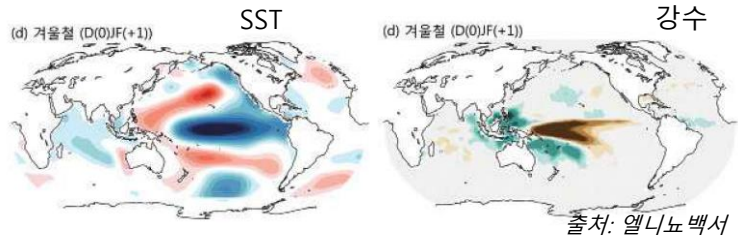


그림3-4-13. 라니냐 절정기 11-12월 한반도 영향 모식도.

- ✓라니냐 시기 서태평양 양의 강수 편차, 중태평양 음의 강수 편차
- Gill-Type 대기 반응, 로스비파 전파 (열대지역 상층 고기압, 중위도 저기압성 흐름)
- 중위도 한반도 동쪽에 연직 순압 구조 저기압성 순환 유도
- 북풍 편차 동반하며 차고 건조한 공기 유입
- 우리나라 춥고 건조한 경향

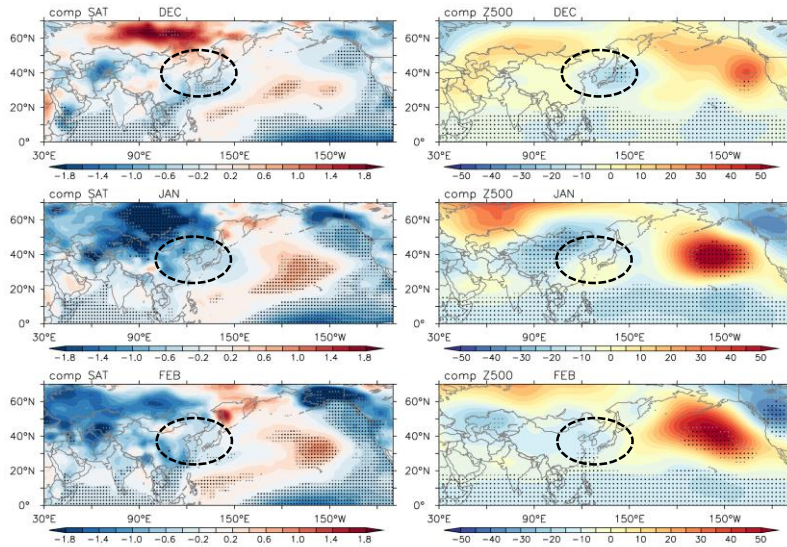
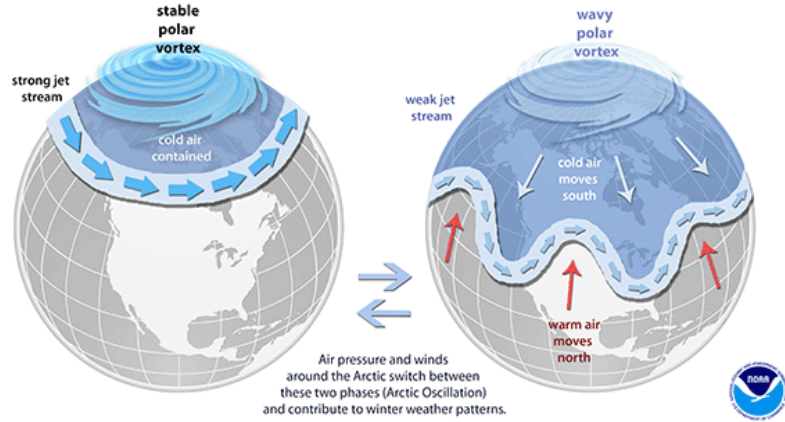


그림 6.10. 라니냐 해에 대한 12월, 1월, 2월, (좌) 지상기온 편차 및 (우) 500hPa 지위고도 편차 합성도

표 6.3. 라니냐일 때, 겨울철 우리나라 기온 및 강수 현황
+(-): 평년비슷범위보다 높은(낮은) 해 횟수, 0: 평년비슷범위 이내 해 횟수

라니냐 해	기온			강수		
	+	0	-	+	0	-
12월	3	4	6	4	2	7
1월	2	6	5	4	4	5
2월	3	4	6	3	4	6

북극진동 (Arctic Oscillation)



- ✓ 북극진동: 북극 찬 공기의 소용돌이가 수십 일, 수십 년을 주기로 강약을 되풀이하는 현상
 - 양의 북극진동 → 북극 소용돌이 강화, 극 지역 음의 지위 고도 편차, 중위도 양의 편차 → 동아시아 양의 편차, 동아시아 기압골 약화 → 북풍 약화로 한기 남하 약화
 - 음의 북극진동 → 북극 소용돌이 약화, 극 지역 찬 공기 남하로 한파 가능
- ✓ 겨울철 중요한 인자임에도, 정확한 예측이 어려움

표 6.6. 북극진동지수와 우리나라 기온 및 강수와의 동시상관관계

상관계수	12월	1월	2월
기온	0.40*	0.46*	0.38*
강수	0.09	0.36*	0.16

※ 통계적으로 95% 수준에서 유의한 값은 *표시, 분석기간: 1973~2020년

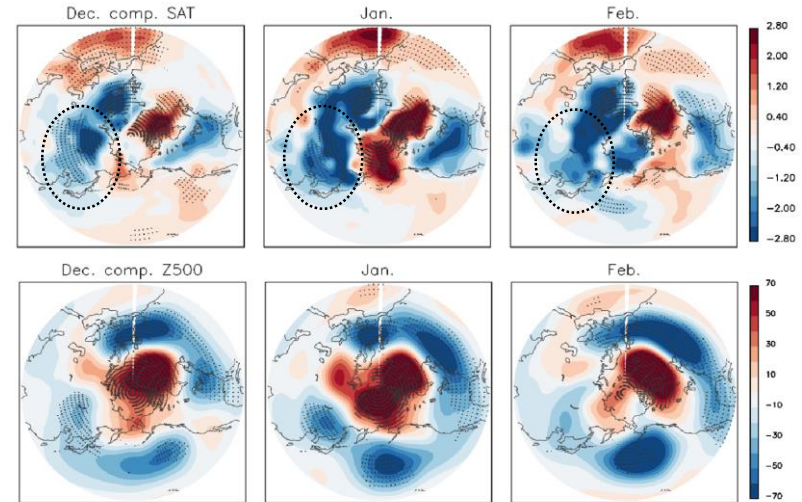
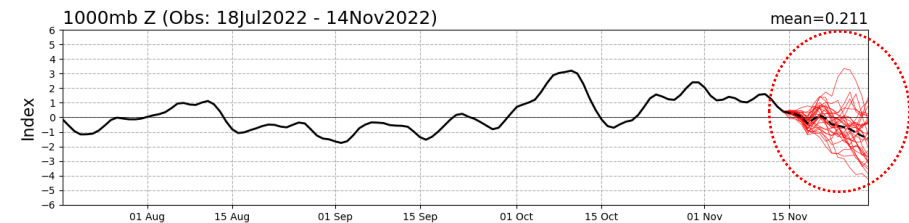


그림 6.19. 음의 북극진동 해(AO지수<-0.75 표준편차) 12월, 1월, 2월에 대한 (위) 지상기온 편차 및 (아래) 500hPa 지위고도 편차 합성도
 ∙ : 통계적으로 95% 수준에서 유의한 지역

AO Index: Observed & GEFS Forecasts



유라시아 눈덮임

✓ 유라시아 대륙 눈덮임과 대륙고기압 발달

- 10월에 눈덮임 속도가 빠르면 → 11월에도 유라시아 대륙에 눈덮임 많은 경향
- 평년보다 빠른 유라시아 눈덮임 → 대륙의 대기 하층 공기를 차갑게 하고 대륙고기압의 이른 발달에 기여 → 초겨울 우리나라 한파 발생에 영향

✓ 10월 눈덮임 속도와 북극진동

- 10월 빠른 눈덮임 → 11월에도 눈덮임 많은 경향 → 행성파의 연직전파 강화 → 겨울철 성층권 극소용돌이 약화 (북극지역 양의 지위고도 편차) → 음의 북극진동 유도

Monthly SCE Departure - October 2022

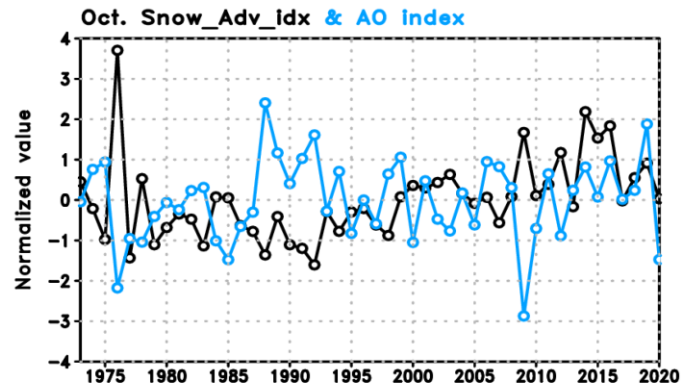
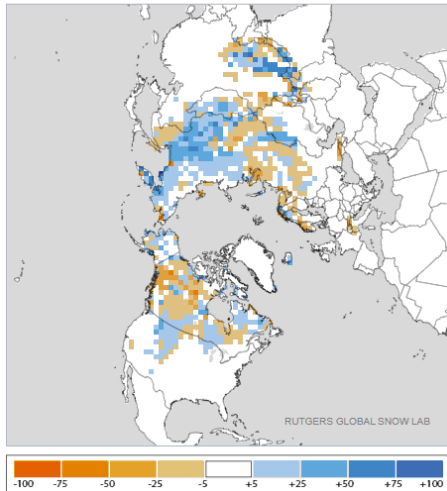
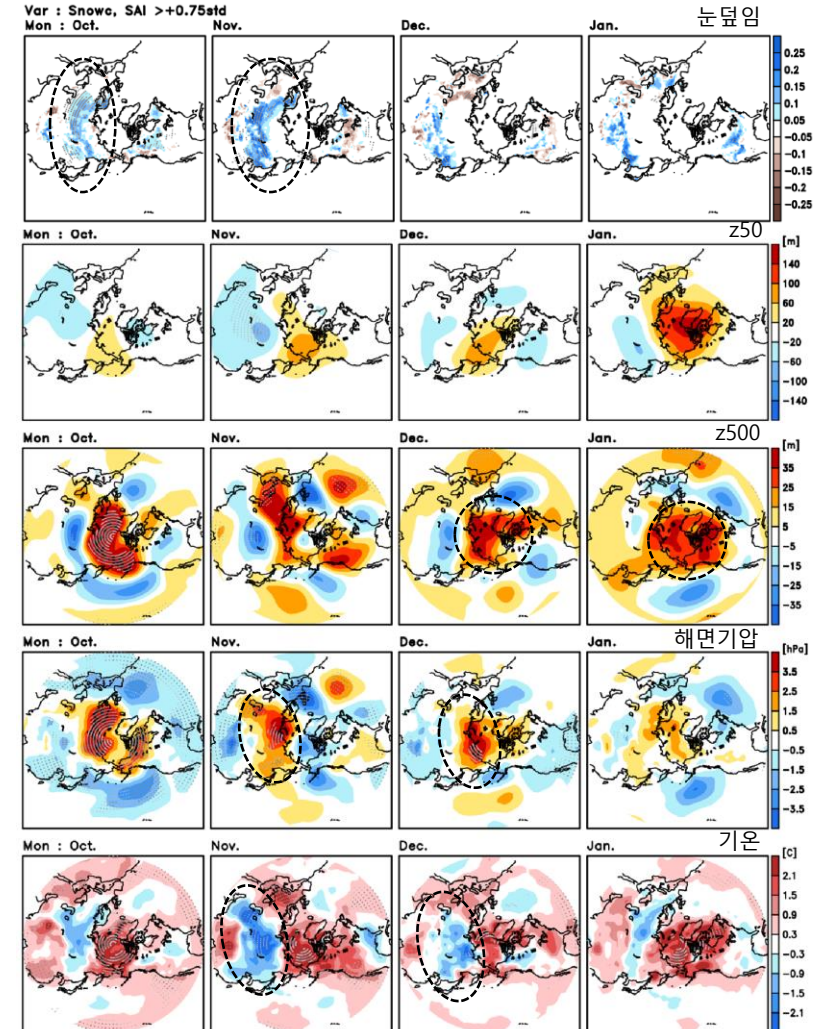
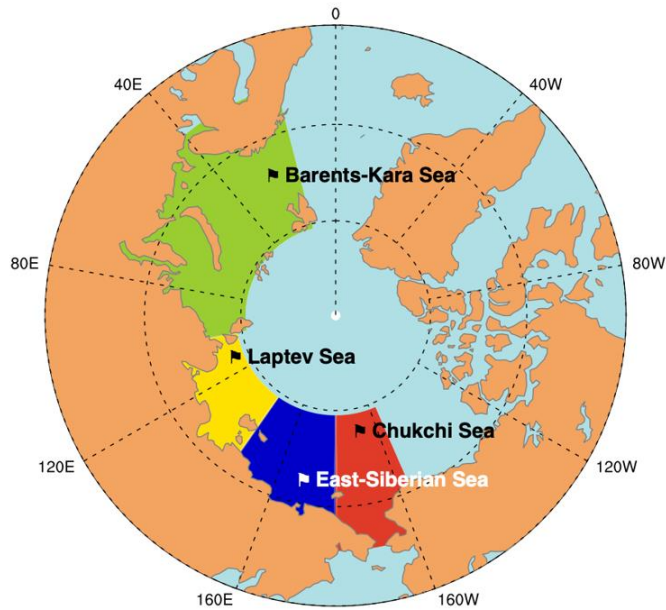


그림 6.38. 1973~2020년 동안 10월 유라시아 눈덮임속도
지수(검정선: NOAA CDR (Climate data record) 자료)와
겨울철 평균 북극진동지수(파랑선) 시계열

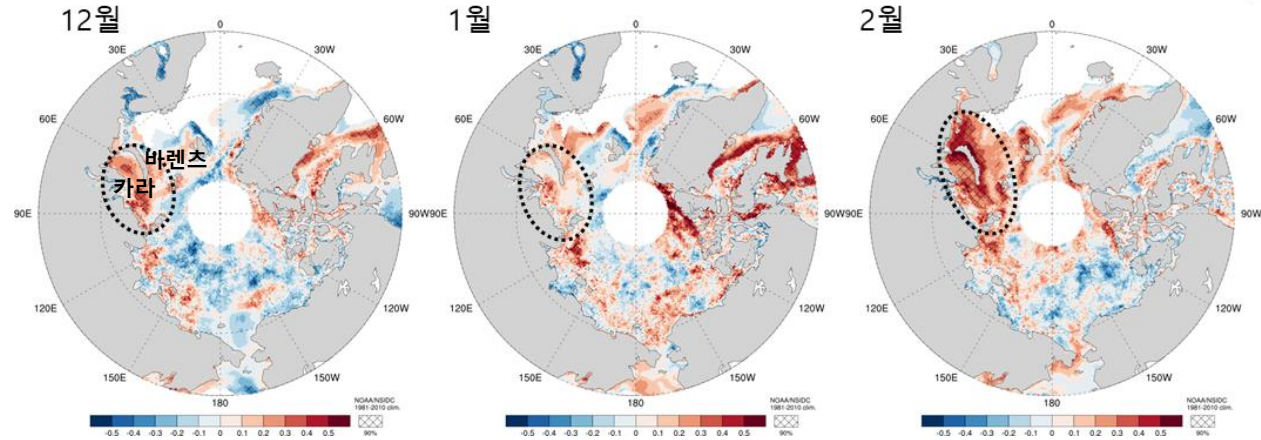


북극 해빙 영향

우리나라 기온과 북극 해빙 상관계수



출처: 국가기상위성센터

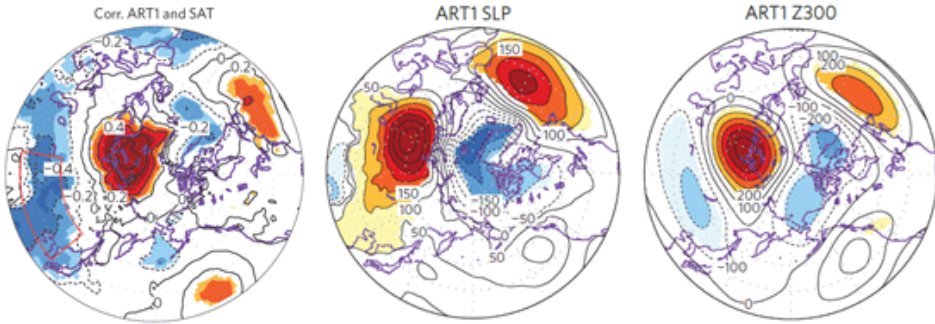


✓ 바렌츠/카라 해 해빙과 우리나라 12월, 2월 기온 양의 상관
→ 해빙 평년보다 적으면 우리나라 기온 낮을 가능성

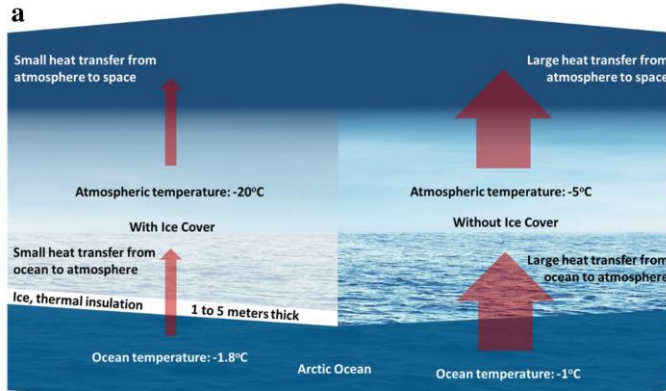
표 6.23. 겨울철 바렌츠/카라 해의 해빙이 적을 때, 우리나라 기온 및 강수 현황
+(-): 평년비율 범위보다 높은(낮은) 해의 횟수, 0: 평년비율 범위 이내 해의 횟수

평년보다 적은 바렌츠/카라 해 해빙	기온		
	+	0	-
12월	4	1	6
1월	4	5	2
2월	0	2	5

북극 해빙 영향 - 바렌츠/카라 해 해빙



겨울철(DJF) 바렌츠-카라해에서 평균한(30°-70°E, 70°-80°N) 지표기온 편차에 대한 (좌) 북극 지역 지표기온 편차와의 상관계수, (중) 해면기압과 (우) 300hPa 지위고도장의 선형회귀분석 (Fig.2, Fig.3 in Kug et al. 2015)



Hunt et al. 2020

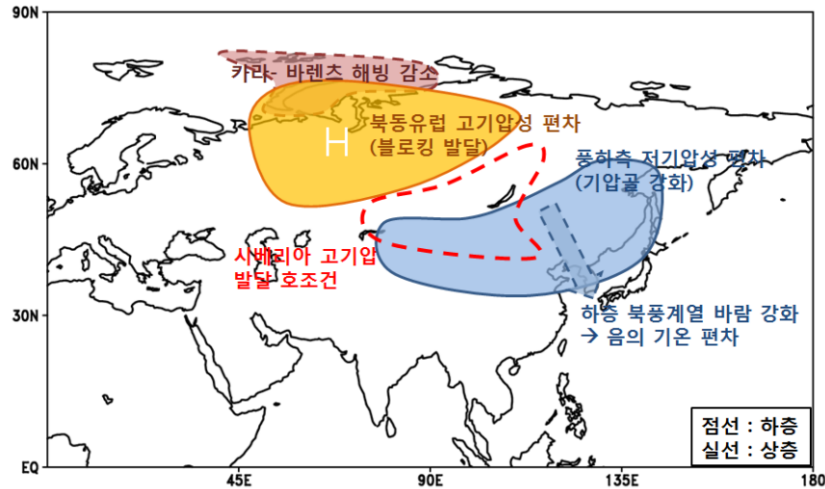
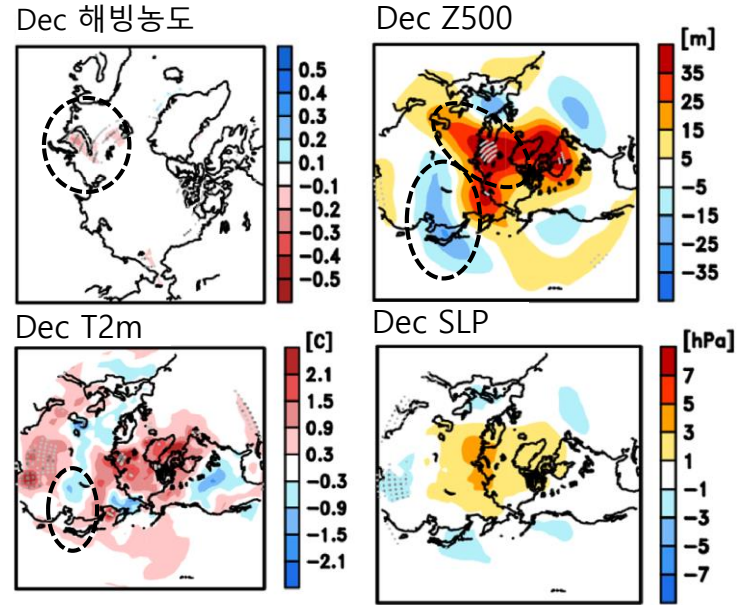
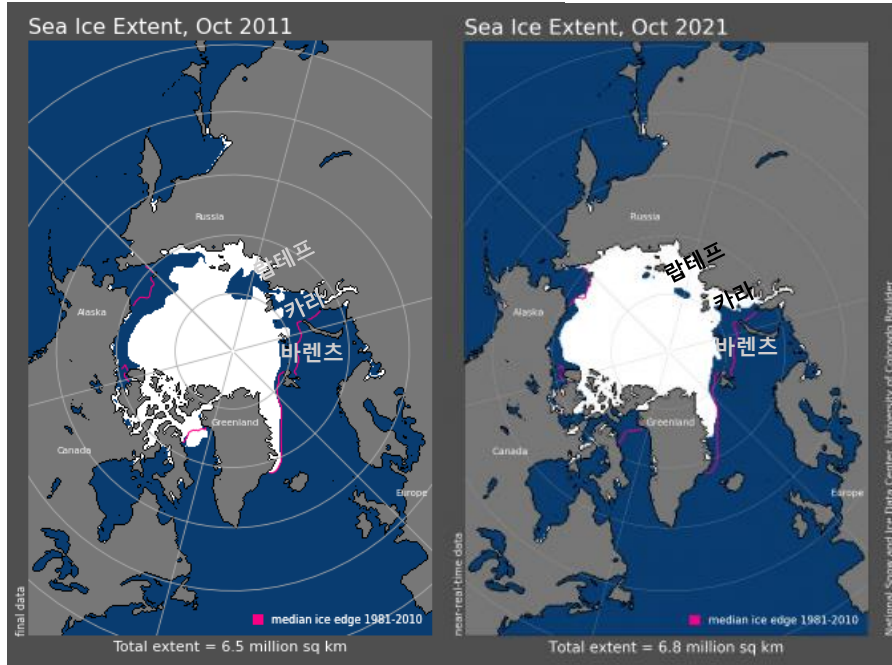


그림 6.30. 겨울철 바렌츠/카라 해 해빙이 많이 녹았을 때의 대기 순환장 및 한파 발생 모식도

- ✓ 바렌츠/카라 해 해빙 적으면
- 바다에서 대기로 열/수증기 방출 증가
- 해빙으로 덮였을 때 보다 대기 온도 증가
- 북동유럽 고기압성 편차 발달
- 풍하측 시베리아와 동아시아 지역 기압골 강화
- 우리나라 저온 유도

북극 해빙 영향 - 랍테프 해 해빙



10월 랍테프 해 해빙 적었던 해의 12월 해빙농도, 500hPa 지위고도, 지상기온, 해면기압 편차 합성장

표 6.25. 10월 랍테프 해 해빙지수와 우리나라 겨울철 기온과의 지연상관계수
통계적으로 95% 수준에서 유의한 값은 *표시, 분석기간: 1973/74~2020/21년

상관계수	12월	1월	2월
기온	0.39*	0.04	0.09
강수	0.00	0.14	-0.11

※ 랍테프 해 해빙지수: 65°N~80°N, 105°E~150°E 영역에서 평균된 해빙농도 편차

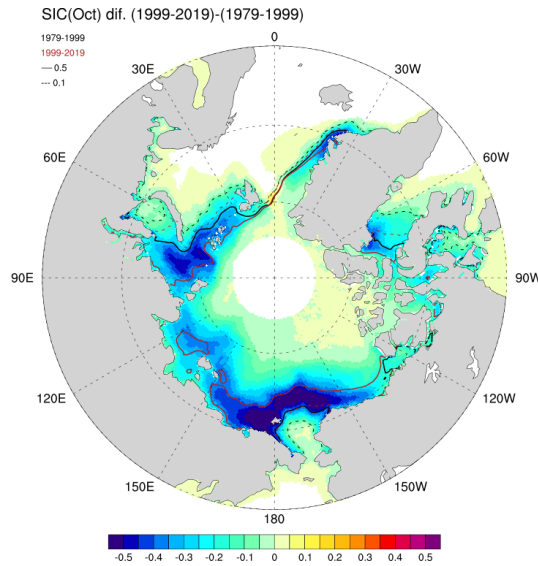
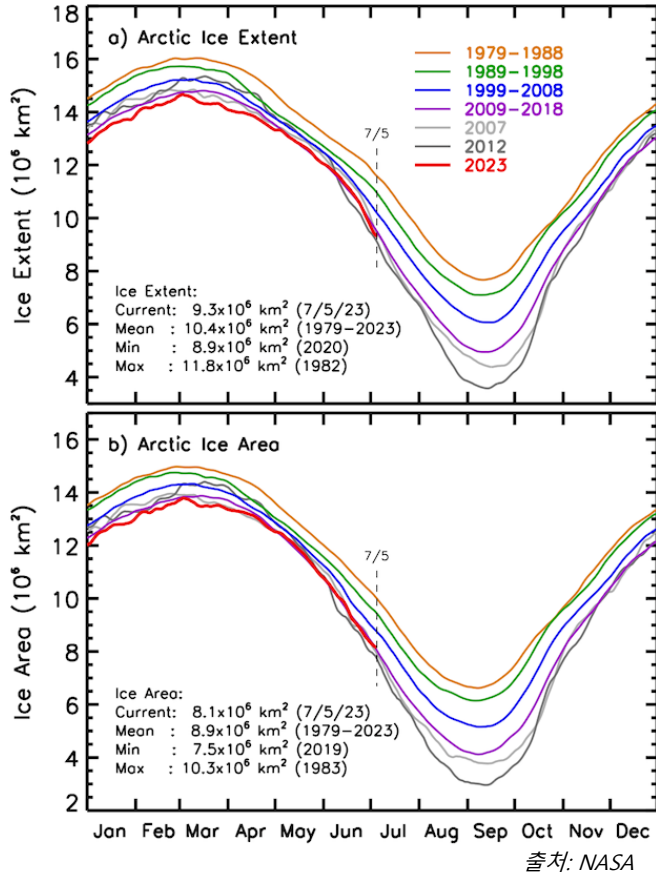
✓ 10월 랍테프 해 해빙이 적으면

→ 12월에 바렌츠/카라 해 해빙도 적은 경향

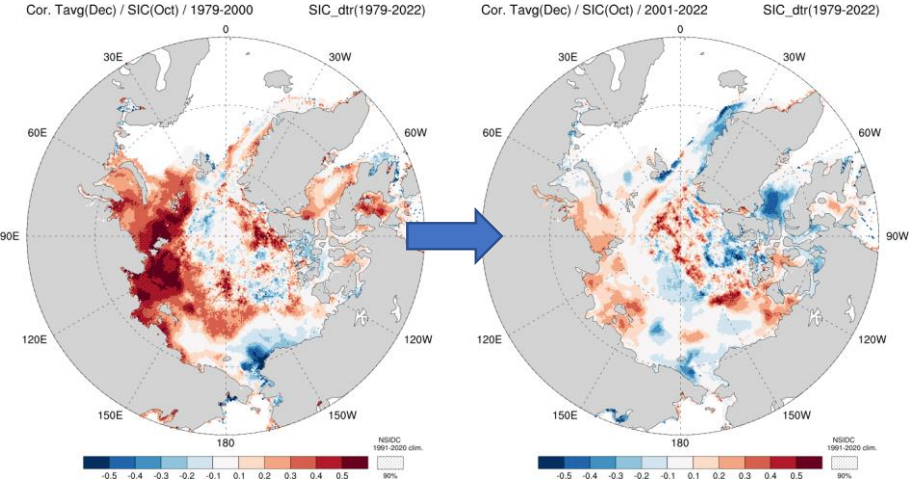
→ 12월 북동시베리아 지역 강한 양의 지위고도 편차

→ 동아시아 지역 북풍 강화, 한기 남하로 기온 하강

북극 해빙 면적의 변화

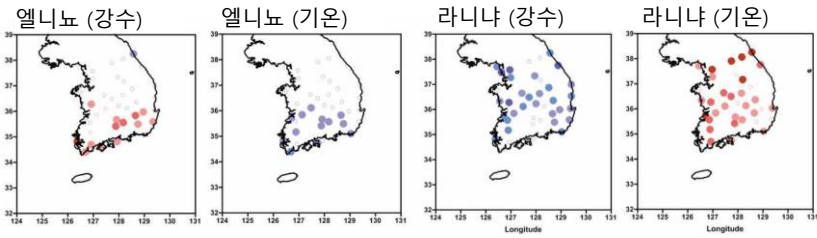


우리나라 12월 기온과 가을철 북극 해빙농도 상관계수 변화



- ✓ 북극 해빙 면적은 꾸준히 감소 추세, 2000년대 이후 급격한 감소
- ✓ 2000년대 이후 해빙과 우리나라 기온 상관성에 변화
- ✓ 바렌츠/카라 해 해빙과 북동유럽 지역 고기압성 편차 발달 간의 인과관계 ..?
- ✓ 겨울철 카라/바렌츠 해와 가을철 랍테프 해의 해빙 감소는 대기와의 상호작용을 통해 풍하측에 위치한 시베리아 및 동아시아 지역 순환장에 영향 미칠 수 있음

여름철 ENSO 영향



엘니뇨,라니냐 시기 여름철(7/7-8/16) 우리나라 기온,강수 합성장

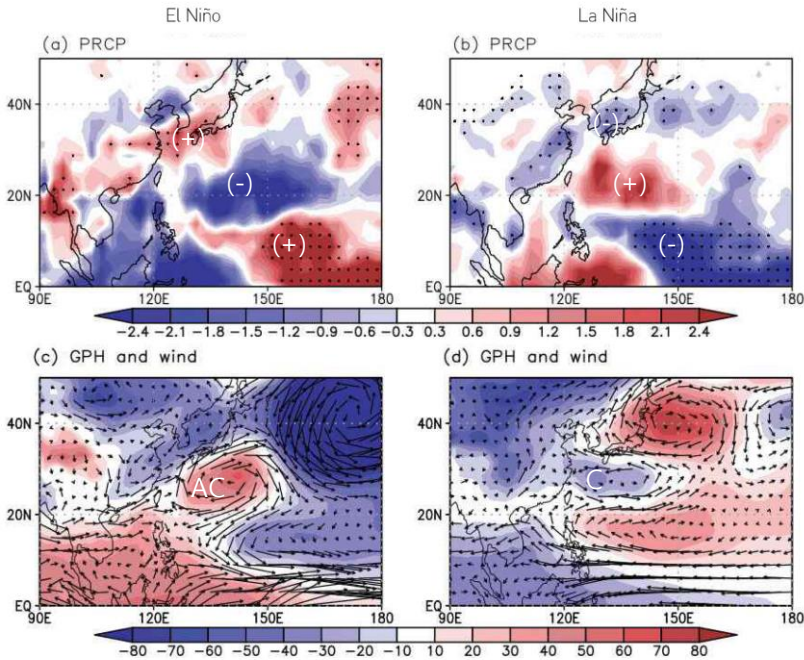
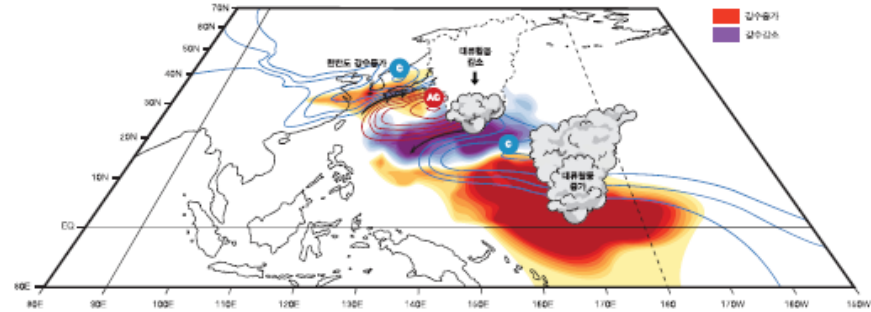


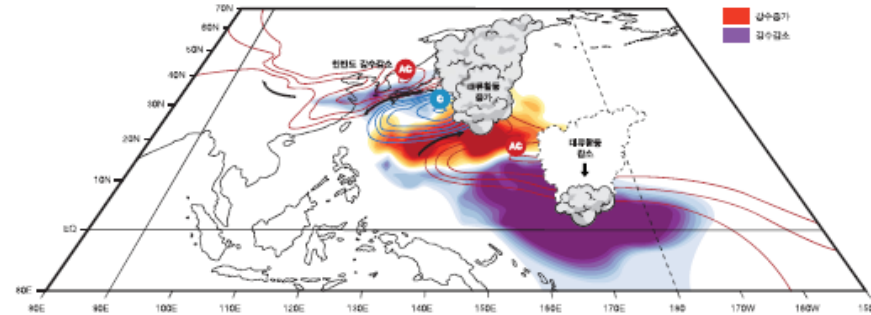
그림3-2-6. 엘니뇨·라니냐에 따른 여름철 강수와 순환장의 합성도(기간: 7/7-8/16, 검은색 점: 90% 이상 유의한 지역을 의미함).

출처: 엘니뇨백서



엘니뇨 발달기 여름 (7월 중순-8월 중순)

그림3-2-9. 엘니뇨 발달기 여름 한반도 영향 모식도.



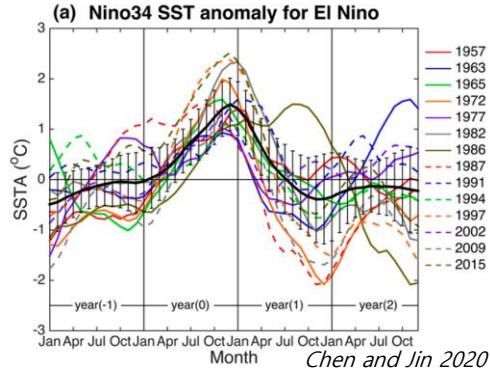
라니냐 발달기 여름 (7월 중순-8월 중순)

그림3-2-10. 라니냐 발달기 여름 한반도 영향 모식도.

출처: 엘니뇨백서

- ✓엘니뇨/라니냐 발달기 여름철 (3-셀 구조)
- 엘니뇨 발달기, 열대 중태평양 양의 강수 편차
- 아열대 저기압성 순환, 음의 강수 유도
- 음의 강수 북서쪽(한반도 남동쪽)에 고기압성 흐름 유도
- 한반도에 남서풍 영향, 온난 습윤 공기 유입

여름철 엘니뇨 영향



- ✓ 엘니뇨·라니냐와의 상관성은 통계적인 결과, 엘니뇨·라니냐가 모두 같은 시기 발생·소멸하지는 않음
- ENSO 진화과정에 따라 월별로 우리나라 기온·강수 특징이 다르게 나타남
- 실제 예보에 적용하기 위해서는 열대 태평양에서의 대류활동 및 기압계 발달 상황 감시 필요

중립→엘니뇨로 발달

El Niño developing year(79,82,86,90,94,97,02,04,06,09,15) Summer

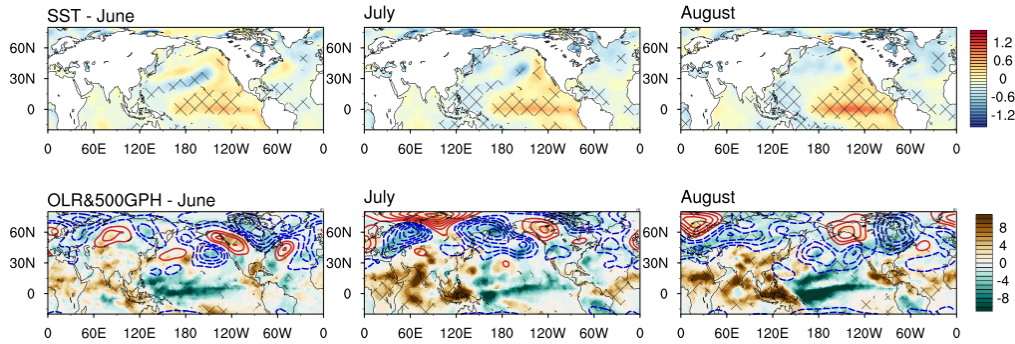


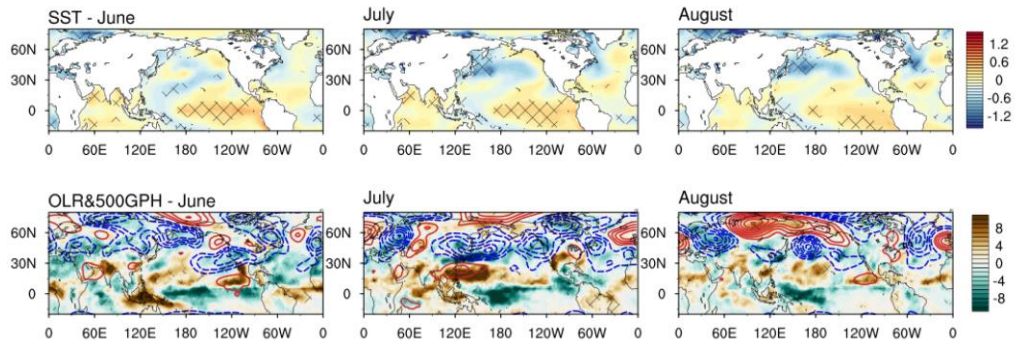
표 7.3. 엘니뇨 발달 해(중립에서 엘니뇨 발달의 6-8월 우리나라 기온 편차(°C)와 강수량(mm). 붉은(파란) 채색: 평년보다 높음(낮은) 기온, 녹색(갈색) 채색: 평년보다 많은(적은) 강수량. *: 각 요소의 평년비슷범위

연도	6월		7월		8월	
	기온편차 (°C)	강수량 (mm)	기온편차 (°C)	강수량 (mm)	기온편차 (°C)	강수량 (mm)
	±0.3*	101.6~174.0*	±0.6*	245.9~308.5*	±0.5*	225.3~346.7*
1979	0	290.1	-0.5	179.3	-0.2	296.2
1982	-0.3	33.3	-0.8	199.3	0	277.2
1986	-0.4	230.1	-1.8	219.2	-0.5	233
1990	-0.4	318.8	0.5	269.4	1.1	168.2
1994	-0.4	112.8	3.1	87.8	1.6	218
1997	0.3	193.1	-0.1	319	0	229
2002	-0.5	71.5	-0.3	240.7	-1.5	614
2004	0.2	233.5	0.4	307.9	-0.3	318.9
2006	-0.3	153.7	-1.6	642.2	1.2	125.5
2009	0.3	132.2	-1.1	498.8	-0.8	152.6
2015	0.1	96	-0.4	181.5	-0.1	113.4

- ✓ 7월,8월 대류억제신호 동아시아 까지 확장 → 건조경향
- ✓ 7월 저기압성 순환 영향 → 기온 낮은 경향
- ✓ 8월 저기압성 편차 남하 → 저온경향 약화됨

엘니뇨→엘니뇨 지속/중립

El Niño persistence year(80,83,92,03,05/87,91,19) Summer

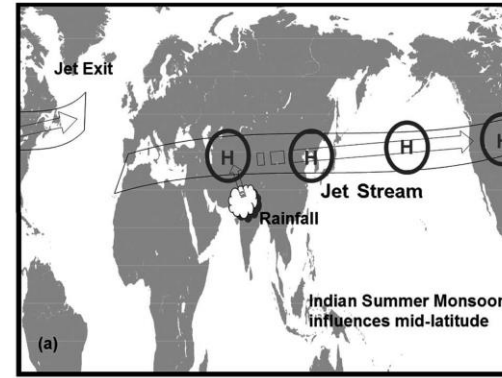


연도	6월		7월		8월	
	기온편차 (°C)	강수량 (mm)	기온편차 (°C)	강수량 (mm)	기온편차 (°C)	강수량 (mm)
	±0.3*	101.6~174.0*	±0.6*	245.9~308.5*	±0.5*	225.3~346.7*
1980	0.1	165	-2.0	336.4	-3.1	309.7
1983	-0.4	109.9	-1.1	268.9	0.5	184.3
1992	-1.4	42.2	0.2	181	-1.0	259.2
2003	-0.7	188.9	-2.3	472.5	-1.5	339.5
2005	0.8	163.7	0.1	295.5	-0.3	304.7
1987	-0.2	139.7	-0.8	464.3	-0.8	451.3
1991	0.6	148.6	-0.5	395.1	-1.4	239.9
2019	-0.2	148.3	0.1	225.8	0.9	136.4

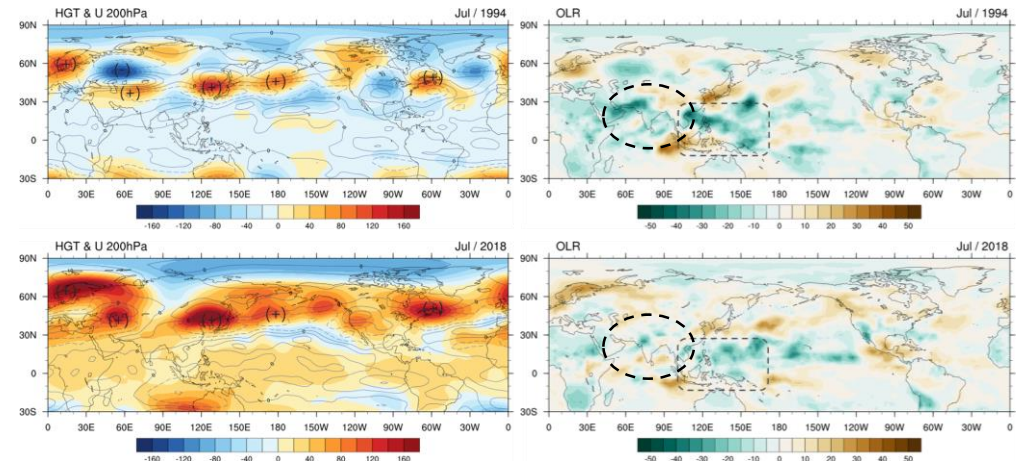
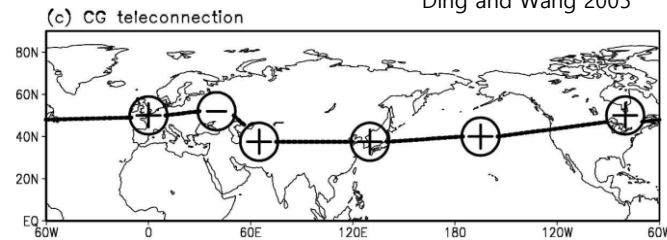
- ✓ 7월부터 북서태평양 대류 억제, 우리나라 주변 저기압성 편차 → 7월,8월 기온 낮은 경향

Circumglobal Teleconnection (CGT)

- ✓ 북반구 여름철 200hPa 지위고도장에서 제트기류 지역을 따라 동서방향으로 변동성 크게 나타나는 패턴
- ✓ 중앙아시아 지역의 큰 변동성이 원격상관을 통해 동아시아에 영향
- ✓ 인도지역 강수와 관련
- ✓ CGT 패턴이 나타났을 때 인도 북서쪽에서 강수 증가 신호 (인도 여름몬순 강화) → 강화된 강수에 의한 상승운동 강화 → 이로 인해 유도된 강제력이 중앙아시아 지역 상층에 고기압성 순환 형성 → 중위도 제트기류를 따라 파동을 형성 → 동아시아 지역 고기압성 편차, 덥고 건조한 영향

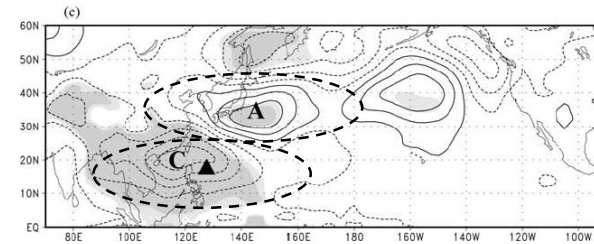
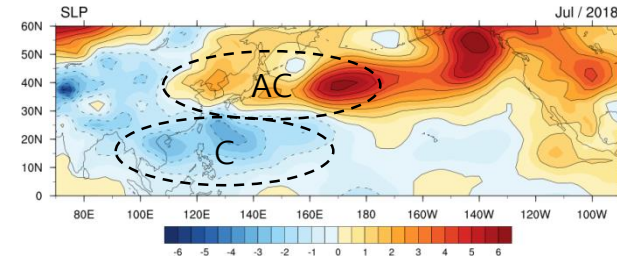
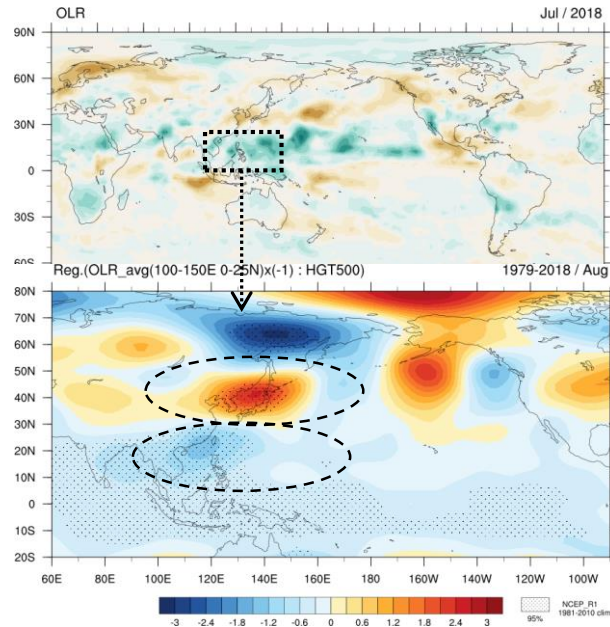


Ding and Wang 2005

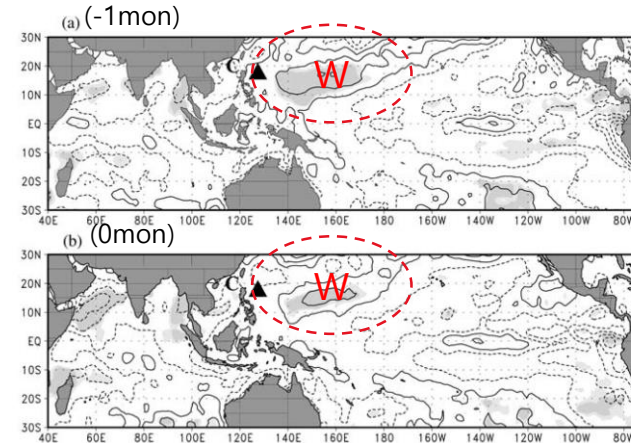


Pacific-Japan (PJ) 패턴

- ✓ 열대(아열대) 서태평양 지역의 대류활동에 의해 유도되는 남북 방향의 대기 파동
- ✓ 아열대 서태평양 지역 대류활동 강화 & 저기압성 순환, 일본 남동쪽 대류활동 억제 & 고기압성 순환 발달
- ✓ 양의 PJ 패턴과 관련해 필리핀 해 주변 지역 양의 해수면온도 편차 뚜렷



Kosaka and Nakamura 2006



양의 PJ 패턴일 때 해수면온도 편차 합성장

여름철 기온 예측을 위한 예측인자 (7월 예시)

출처: 우리나라 여름철 월별 강수 변동 및 극한 기온 예측 기술 개발(2016 R&D), APCC 명복순 박사님

- ✓ 우리나라 7월 기온과 다양한 대기/해양 변수들간의 회귀분석을 통해 가장 상관성이 높은 지역을 선정, 물리과정 메커니즘 분석을 통해 예측인자 제시

4월 해수면 온도

기간	4월
영역	(90~120°E, 25~40°S) +(120~140°E, 0~20°N) -(90~110°E, 10°S~5°N)

- 호주 대륙의 서쪽 남인도양에서 강한 양의 편차, 동인도양 부근에서 강한 음의 편차, 필리핀 동쪽 해 부근에서 상대적으로 약한 양의 편차가 나타나면, 한반도와 일본을 포함하는 동아시아에서 95% 유의 수준을 만족하는 양의 편차가 나타남

Regressed SST anomalies during April against Kor. July Temp.

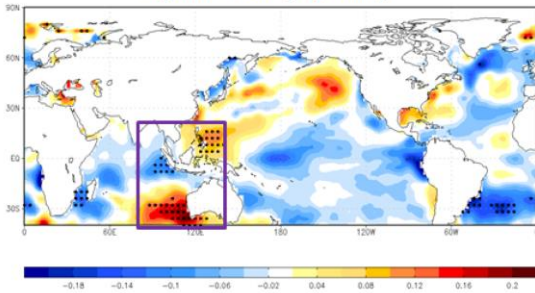
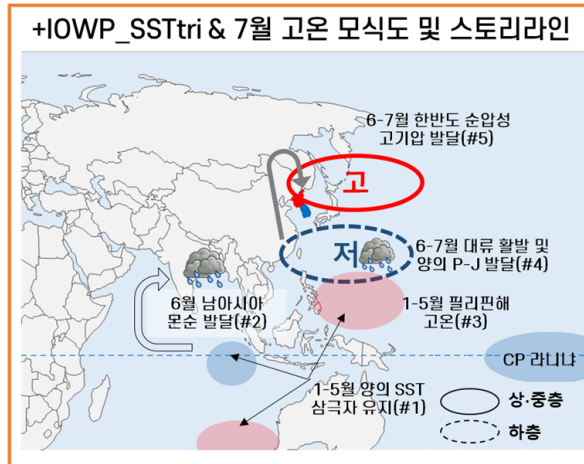


그림 4.58. 한반도 7월 기온을 4월 SST에 대한 회귀 패턴

4월 양의 열대 SST 삼극자 ⇒ 7월 한반도 고온

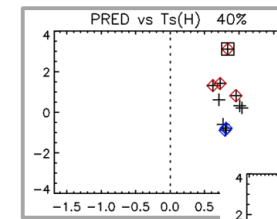


- (남아시아 몬순 및 필리핀해 대류 활발) 라니냐가 약하게 유지되는 가운데 4월에 필리핀해 및 호주 서안에 고온이, 동인도양에 저온이 발달한 경우(#1) 인도양 저온이 북철 인도양 전역으로 확장되어 6-7월 남아시아 몬순이 활발해짐(#2). 필리핀해에서는 고온이 5월까지 유지됨에 따라(#3) 6-7월에 필리핀해 북부에 저기압 및 대류가 발달하여(#4) 6-7월 양의 P-J 패턴이 발달하여 동아시아 북동부에 고기압을 유도(#5), 한반도에 고온이 발생함. (호주 서안 고온이 7월까지 유지)
- (ENSO 연관성 및 예측성) 대부분 이전 겨울 라니냐 해(CP 타입), 저온의 경우에 비해서 예측성 낮지만 최근 예측성 좋음(2019-2022)
- (타인자 연관성) 3-4월 북중국 눈덮임이 많음

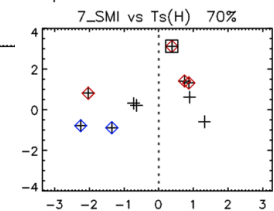
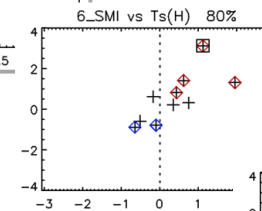
감시인자 및 정확도(0.75σ 기준)

고온	4월	6월	7월
상세 역학과정	높은 SST 삼극자	남아시아 몬순 활발	남아시아 몬순 활발
변수 및 지역	IOWP_SSTtri	V850-V200 70-110E 10-30N	V850-V200 70-110E 10-30N
정확도	40%	80%	70%

* RED: 평년 이상, BLUE: 평년 이하



RED: 고온
BLUE: 저온
+: 평년기온
□: 1994



여름철 기온 예측을 위한 예측인자 (7월 예시)

출처: 우리나라 여름철 월별 강수 변동 및 극한 기온 예측 기술 개발(2016 R&D), APCC 명복순 박사님

3월 500hPa 지위고도

기간	3월
영역	(10~40°E, 25~45°N), +(60~90°E, 20~50°N), -(0~45°E, 55~70°N)

- 3월 유라시아 대륙 500hPa 지위고도에 상대적인 저기압과 고기압의 양극패턴이 강하게 나타날 경우, 한반도 7월 기온이 상승함

Regressed 500hPa GPH during March against Kor. July Temp.

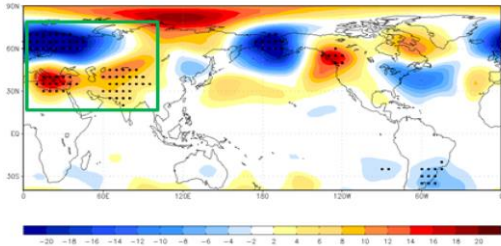
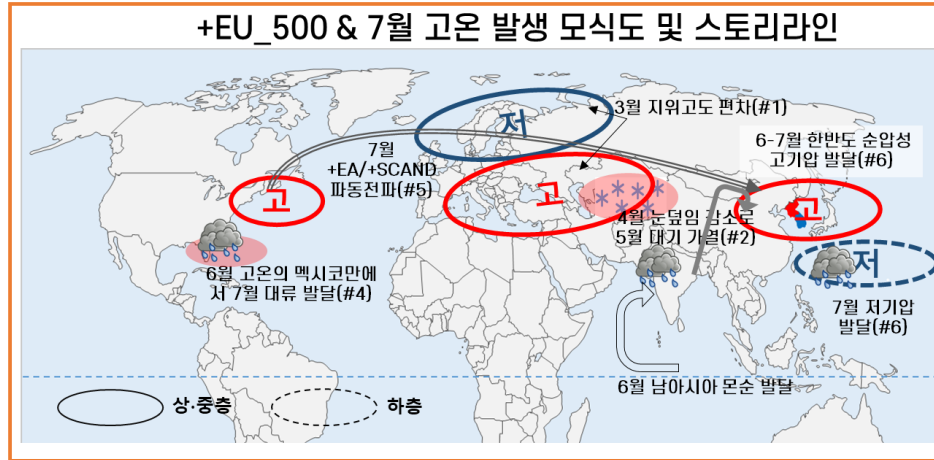


그림 4.55. 한반도 7월 기온을 3월 500hPa 지위고도에 대한 회귀 패턴

3월 양의 유럽 Z500 ⇒ 7월 한반도 고온

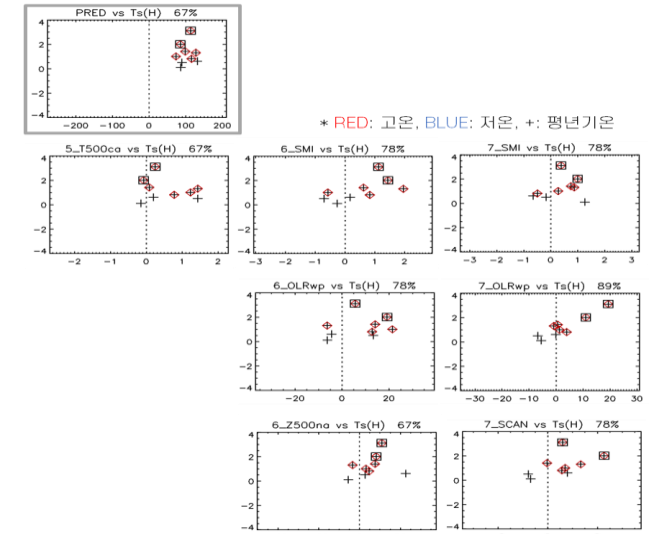


- (남아시아 몬순 발달) 3월 유라시아에 지위고도 쌍극자가 발생하여(#1) 4월 중앙아시아에 눈덮임이 감소하면 5월 대기가 가열됨(#2)에 따라 대륙-해양 기온차가 증가하여 6~7월 남아시아 몬순이 발달함(#3).
- (대서양 파동전파) 6월 미국 멕시코만 동쪽에 고기압성 흐름 발달로 해수면온도가 상승(>27도)하면 7월 그지역에 대류가 발달하여(#4) 유라시아로 양의 East Atlantic 또는 Scandinavia 패턴의 동서방향 파동을 전파시켜(#5) 동아시아에 순압성 고기압, 일본 동쪽에 순압성 저기압을 유도함(#6)
- (한반도) 상기 서술된 남아시아 몬순에 의한 남북방향 파동전파와 대서양으로부터의 동서방향 파동전파의 중첩으로 한반도에 순압성 고기압이 발달하여 고온이 발생함(#6)
- (ENSO 연관성 및 예측성) 이전 겨울 약한 라니냐가 지속될 경우(남아시아 몬순 및 열대 서태평양 저기압 발달 호조건) 7월 고온 예측성 좋았으나 최근 예측성은 감소 추세
- (타인자 연관성) 4월 북미 Z850과 유의미한 양의 상관성

감시인자 및 정확도(0.75σ 기준)

고온	3월	5월	6월	7월
상세 역학과정 (몬순 발달)	높은 EU_Z500	인도 북부 중층 대기 가열	남아시아 몬순 활발	남아시아 몬순 활발
변수 및 지역	EU_Z500	500hPa Tair 60-90E 30-50N	V850-V200 70-110E 10-30N	V850-V200 70-110E 10-30N
정확도	67%	67%	78%	78%
상세 역학과정 (WP 대류 발달)			남중국해 대류 활발	남중국해 대류 활발
변수 및 지역			OLR 115-140E 10-20N	OLR 115-140E 10-20N
정확도			78%	89%
상세 역학과정 (대서양 파동)			멕시코만 하층 고기압	유라시아 파동전파
변수 및 지역			Z850 270-300E 30-45N	EA or SCAND
정확도			67%, 78%	67%, 78%

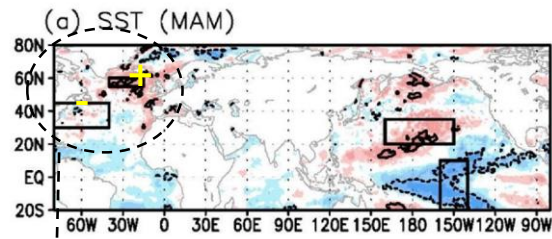
* RED: 평년 이상, BLUE: 평년 이하



장마 강수 예측 통계모형

출처: Kim et al. 2017,
Lee and Seo 2013, ...

- ✓ 장마 강수 지수(6/15~7/29강수)와 높은 상관관계 보이는 SST, OLR, 눈덮임 지역을 선정
- ✓ 교차검증을 통해 예측값과 관측값이 높은 상관관계수 갖도록 인자를 선정 → 통계모델 구축



장마강수에 회귀분석한 봄철 해수면온도

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

$$\hat{Y} = +0.41[NA1] + 0.46[NPC] - 0.40[CNINO]$$

$$\hat{Y} = +0.57[NA1] + 0.33[NPC] - 0.41[WNP(OLR)]$$

$$\hat{Y} = +0.53[NA1] - 0.34[NIO] + 0.47[EUSC]$$

$$\hat{Y} = -0.39[NAC] + 0.47[NPC] - 0.50[CNINO],$$

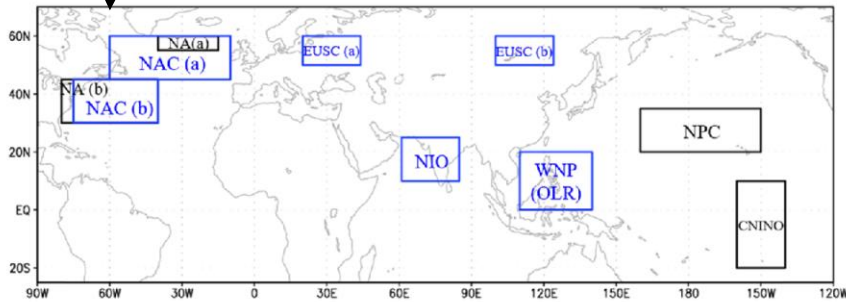


Table 1. List of selected predictors. Each predictor is highly correlated with the Changma precipitation time series, which is statistically significant at the 90% confidence level.

Predictors	Areas	Period
North Atlantic 1 (NA1)	[40°-15°W, 55°-60°N] - [80°-40°W, 30°-45°N]	4/6-4/25
Northern Pacific change (NPC)	160°-210°E, 20°-35°N	(4/11-4/30) - (3/22-4/10)
Central Pacific NINO (CNINO)	160°-140°W, 15°S-10°N	4/1-4/20
northern Indian Ocean (NIO)	61°-85°E, 10°-25°N	4/16-5/5
western North Pacific (WNP(OLR))	110°-140°E, 0°-20°N	5/11-5/30
North Atlantic change (NAC)	[60°-10°W, 45°-60°N] - [75°-40°W, 30°-45°N]	(5/1-5/31) - (4/1-4/30)
Eurasian snow cover (EUSC)	[20°-44°E, 50°-60°N] - [100°-124°E, 50°-60°N]	3/1-5/31

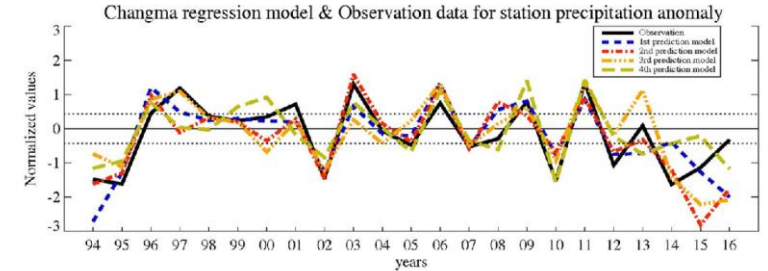


Fig. 3. Observed (black solid line) and predicted precipitation anomalies for each model (1st prediction model: blue dashed line, 2nd prediction model: red dashed-dot line, 3rd prediction model: orange dash-dot-dot-dot line, and 4th prediction model: yellow long-dash line). The dotted horizontal lines represent 0.43 and -0.43, respectively.

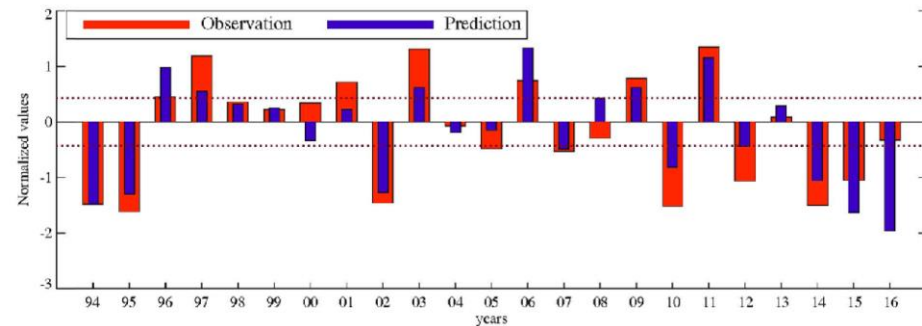


Fig. 4. Observed (red bars) and ensemble-mean predicted (blue bars) precipitation anomalies. The dotted horizontal lines represent 0.43 and -0.43, respectively.

장기예보 생산

1개월 & 3개월 예보

장기예측 모델 자료
기상청 장기예측모델,
WMO 장기예보선도센터,
APCC MME

관측기반 분석
실태분석, 예측인자,
통계모형, 유사사례, ...



예보토의

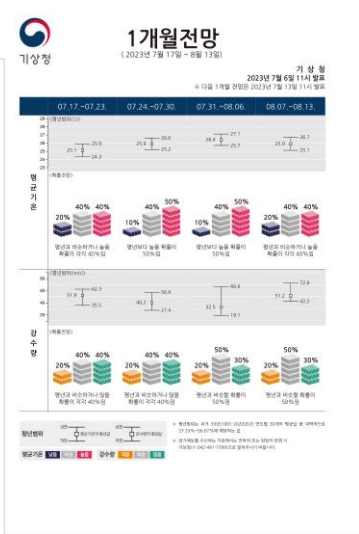
내부토의
기후예측과
지방기상청
APCC

외부토의
국내 기후예측 전문가
회의
한중일 합동 회의

종합

사후분석

발표 및 통보



요약 3개월전망 핵심

- 기온 전망: 우리나라 동부, 고기압성 순환이 강화되어 7~9월은 평년과 비슷하거나 높을 것으로 전망됩니다.
- 강수량 전망: 7월과 8월은 평년과 비슷하거나 많겠으나, 9월은 평년과 비슷할 것으로 전망됩니다.
- 해수면온도: 북극, 북대서양 등 기온저지대는 시간적 지연에 따라 변동성이 커 기온이 평년 수준을 넘어서고, 지중해 지역은 평년 이하로 낮아질 수 있으나, 북동 인도양 일부는 3개월전망용 확인하여 추사가 바뀔 수 있습니다.

1. 기온 전망

- 7~9월 기온은 평년과 비슷하거나 높겠습니다.
- 기후예측모델 결과
 - 호주, 캐나다 등 전 세계 11개 기상청 및 관계 기관이 제공한 기후예측모델 16개는 기온은 7~9월 모두 평년보다 높을 확률이 50~70%로 예측하였습니다.
 - * 호주, 중국, USA, 영국, 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 일본, 중국, 이탈리아 기상청 제공한 4개 기상예측모델은, 이상
 - * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 13/22(55%), (8월) 11/26(43%), (9월) 6/23(27%)

2. 강수량 전망

- 기후예측모델 결과
 - 전 세계 기상청 및 관계 기관이 제공한 11개 기후예측모델에서 강수량은 7월과 8월은 평년보다 많을 확률이 50~70%로, 9월은 세 모델(중국/USA/영국)만 평년과 비슷한 확률로 예측하였습니다.
 - * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 23/30(77%), (8월) 30/31(97%), (9월) 32/34(94%)

3. 해수면온도 전망

- 북대서양(20°N~50°N)의 해수면온도가 심한 이상 추기(약 20~30일) 평년보다 높거나 낮은 상태에서는 엘니뇨 또는 라니냐 발생 확률이 10% 이하로 낮아지는 등, 북대서양 해수면 온도 변동성이 작아 평년 이하로 낮아질 수 있으나, 북동 인도양 일부는 3개월전망용 확인하여 추사가 바뀔 수 있습니다.
- 대기권층: 남중국해 지역에서 북극권으로 저기압이南下하여, 평년과 유사한 고기압성 순환(제1순환) 순환이 발달하여 나타나는 현상

□ 기후예측모델 분석결과

- 기온이 평년보다 높을 수 있는 주요 요인에 대해 설명하였습니다.
 - 북극에 음의 북대서양진동(북극진동)이 함께 전도양의 평년보다 높은 해수면온도가 나타난 경우, 북대서양과 동아시아 지역이 해수면온도가 상승하여 우리나라 기온이 평년보다 높을 경향이 있습니다(7월).
 - 최근 겨울의 라니냐 현상에 의해 북극의 열대 서해빙이 높은 해수면온도 인자(지속될 경우)를 통해 서해빙에 영향을 미쳐서 저기압성 순환이 발달하게 됩니다. 이로 인해 우리나라 추도가 '대기' 추위를 형성하여, 우리나라 추도가 고기압성 순환이 강화됩니다(8월, 8월), (2월 11)

□ 7월과 8월 강수량은 평년과 비슷하거나 많겠고, 9월은 평년과 비슷하겠습니다.

- 기후예측모델 결과
- 전 세계 기상청 및 관계 기관이 제공한 11개 기후예측모델에서 강수량은 7월과 8월은 평년보다 많을 확률이 50~70%로, 9월은 세 모델(중국/USA/영국)만 평년과 비슷한 확률로 예측하였습니다.
- * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 23/30(77%), (8월) 30/31(97%), (9월) 32/34(94%)

□ 7~9월 기온은 평년과 비슷하거나 높겠습니다.

- 호주, 캐나다 등 전 세계 11개 기상청 및 관계 기관이 제공한 기후예측모델 16개는 기온은 7~9월 모두 평년보다 높을 확률이 50~70%로 예측하였습니다.
 - * 호주, 중국, USA, 영국, 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 일본, 중국, 이탈리아 기상청 제공한 4개 기상예측모델은, 이상
 - * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 13/22(55%), (8월) 11/26(43%), (9월) 6/23(27%)

□ 그러나, 기온이 높지 않을 수 있는 변동 요인도 있어 설명하였습니다.

- 6월에 북인도양의 해수면온도가 상승한 경우 대류 활동이 강화되고, 북서태평양 지역에는 하강기류가 유도되어 고기압성 순환이 강화됩니다. 이로 인해 대기 흐름이 발달하여 7월에 평년과 같은 동아시아 지역을 형성하고, 우리나라를 북쪽 유입이 빈번하게 기온이 평년보다 낮을 수 있습니다(8월).
- 가을철 예상되는 양의 KPO(Indian Ocean Dipole)는 엘니뇨와 더불어 동인도양과 서태평양의 대류를 억제시켜 우리나라에 저기압성 순환을 유도함에 따라 기온 상승 가능성이 있습니다(9월).

2. 강수량 전망

- 기후예측모델 결과
 - 7월과 8월 강수량은 평년과 비슷하거나 많겠고, 9월은 평년과 비슷하겠습니다.
 - 기후예측모델 결과
 - 전 세계 기상청 및 관계 기관이 제공한 11개 기후예측모델에서 강수량은 7월과 8월은 평년보다 많을 확률이 50~70%로, 9월은 세 모델(중국/USA/영국)만 평년과 비슷한 확률로 예측하였습니다.
 - * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 23/30(77%), (8월) 30/31(97%), (9월) 32/34(94%)

□ 기후예측모델 분석결과

- 7~9월 강수량이 평년 이하로 낮아질 수 있는 주요 요인에 대해 설명하였습니다.
 - 엘니뇨 나타나는 경우 7월과 8월 북대서양 해수면온도가 증가하여 대류활동이 강화되고 7월과 8월 북대서양 동아시아 지역으로 대기의 흐름을 형성하여 우리나라 추도가 '대기' 추위를 순환이 강화됩니다. 이로 인해 남중국해 상층의 유입이 빈번하게 기온이 평년과 비슷하거나 높을 수 있습니다(8월), (2월 11)

□ 7~9월 기온은 평년과 비슷하거나 높겠습니다.

- 호주, 캐나다 등 전 세계 11개 기상청 및 관계 기관이 제공한 기후예측모델 16개는 기온은 7~9월 모두 평년보다 높을 확률이 50~70%로 예측하였습니다.
 - * 호주, 중국, USA, 영국, 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 일본, 중국, 이탈리아 기상청 제공한 4개 기상예측모델은, 이상
 - * 앙상블 평균* 확률분포(비확률분포): (7월) 13/22(55%), (8월) 11/26(43%), (9월) 6/23(27%)



감사합니다.

