

우리나라 기온과 강수량의 과거 극값 사례 분석집



1.	우리나라 기온·강수 극값 사례	··· 1
2.	 여름철 극값 사례 - 기온 2.1. 5월 기온 최고, 강수 최소 사례 : 2017년 5월 2.2. 6월 기온 최고 사례 : 2013년 6월 2.3. 7월 기온 최고, 강수 최소 사례 : 1994년 7월 2.4. 8월 기온 최고 사례 : 2013년 8월 2.5. 5월 기온 최저 사례 : 1992년 5월 2.6. 6월 기온 최저 사례 : 1992년 6월 2.7. 7월 기온 최저 사례 : 1993년 7월 2.8. 8월 기온 최저 사례 : 1993년 8월 	••• 7 • 17 • 24 • 30 • 37 • 44 • 49 • 55
2.	 여름철 극값 사례 - 강수 2.9. 5월 강수 최다 사례 : 1997년 5월 2.10. 6월 강수 최다 사례 : 1990년 6월 2.11. 7월 강수 최다 사례 : 2006년 7월 2.12. 8월 강수 최다 사례 : 2002년 8월 2.13. 6월 강수 최소 사례 : 1982년 6월 2.14. 8월 강수 최소 사례 : 2016년 8월 	63 · 65 · 72 · 77 · 83 · 89 · 94
3.	겨울철 극값 사례 - 기온 3.1. 12월 기온 최고 사례 : 2015년 12월 ···································	99 101 108 114 120 126 132
3. 찬	겨울철 극값 사례 - 강수 1 3.7. 12월 강수 최다 사례 : 1991년 12월 1 3.8. 2월 강수 최다 사례 : 1990년 2월 1 3.9. 12월 강수 최소 사례 : 1987년 12월 1 3.10. 1월 강수 최소 사례 : 2011년 1월 1 3.11. 2월 강수 최소 사례 : 2000년 2월 1	 139 141 146 152 157 163 169

표 목 차

Ŧ	1.	여름철과	겨울철	평균기온의 최고·최저 해	4
Ŧ	2.	여름철과	겨울철	강수량의 최다·최소 해	5

그 림 목 차

그림	1.	1981-2017년 (좌) 여름철 (5~8월), (우) 겨울철 (12~2월) 월평균기온의 전국 평균값 시계열······
그림	2.	1981-2017년 (좌) 여름철 (5~8월), (우) 겨울철 (12~2월) 월강수량의 전국 평균값 시계열······
그림 그림	3. 4.	2017년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열9 2017년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
ㄱ리	5	시계열 ····································
	J.	지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 10
그림	6.	2017년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s만 나타냄)
그림	7.	2017년 5월 하향지표태양복사 편차 [W/m2], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s] ······ 11
그림 그림	8. 9.	2017년 5월 애구원폰도 편차 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
그림	10.	2015년 5월 - 2017년 12월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 지수
그림	11.	동아시아 제트지수와 강수편차의 상관성. 채색된 부분은 95% 신뢰구간 (Park et al. 2010 Fig.8(b). 동아시아 제트지수는 두 지역에서 영역 평균된 200hPa 동서바람 편차의 차이로 정의되었음. U200[(40°-51°N, 120°-180°E] - U200[21°-32°N, 110°-170°E])
그림	12.	· 봄철(MAM) WQBO와 EQBO시기의 (좌) 강수 합성장 차이, (우) 200hPa 동서바람 합성장 차이, 채색은 90% 이상 신뢰구간 (Seo et al., 2013 Fig2(b), Fig3(c)) 14
그림	13.	2009-2017년 적도(5S-5N) 성층권 동서바람 편차의 시간-연직 분포 (QBO) 15
그림	14.	. 1880-2018년 5월 평균기온 편차 (Base period 1951-1980). 전구 관측소 (station) 자료 평균 ···································
그림 그림	15. 16.	2013년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 17 2013년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열
그림	17.	2013년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa

그림 18. 2013년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 19 그림 19. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2013년 6월 평균값과 (실선) 6월 기후값 (점선) -------19 그림 20. 2013년 6월 해수면온도 편차 20 그림 21. 2013년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 20 그림 22. 2011년 6월~2014년 1월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 지수 21 그림 24. 봄철 (3-4월) 유라시아 눈덮임의 EOF 분석 (좌) 공간구조, (우) 주성분 시계열 (Fig.3 in 원유진 외, 2017) -------22 그림 25. 2011년 6월 - 2014년 1월 북극진동 지수 22 그림 26. (좌) 양의 북대서양진동일 때의 지위고도 편차, (중) 북대서양진동 지수와 지표온도 편차와의 상관성, (우) 북대서양진동 지수와 강수 편차와의 상관성 23 그림 27. 1994년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 24 그림 28. 1994년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열 24 그림 29. 1994년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 25 그림 30. 1994년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 26 그림 31. 1994년 7월 하향지표태양복사 편차 [W/m2], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s] ··· 26 그림 32. 1994년 7월 해수면온도 편차 27 그림 33. 1994년 7월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 27 그림 34. 1992년 7월 - 1995년 2월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 지수 그림 35. 양의 CGT 해와 음의 CGT 해 간의 200hPa 지위고도 편차장의 합성장 차이 28 그림 36. 양의 PJ 패턴 해의 해면기압 편차장 합성도 29 그림 37. 2013년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 30 그림 38. 2013년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 그림 39. 2013년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 31 그림 40. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2013년 8월 그림 41. 2013년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 32 그림 42. 2013년 8월 하향지표태양복사 편차 [W/m2], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]··· 33 그림 43. 2013년 8월 해수면온도 편차 34 그림 44. 2013년 8월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 34

그림	46.	아열대 서태평양지역 평균한 OLR에 대한 8월 500hPa 지위고도 선형회귀장 35
그림	47.	2013년 8월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차
그림	48.	1992년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 37
그림	49.	1992년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열
그림	50.	1992년 5월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차
그림	51.	1992년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)
그림	52.	(좌) 1990년 5월 — 1992년 12월 북극진동 지수, (우) 1992년 5월 1000hPa
		지위고도 편차
그림	53.	1992년 5월 해수면온도 편차
그림	54.	1992년 5월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차
그림	55.	1990년 5월 - 1992년 12월 (좌) Nino 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 지수 41
그림	56.	1880-2018년 5월 평균기온 편차 (Base period 1951-1980). (좌) 전구 관측소
		(station) 자료 평균, (우) 북반구 관측소 자료 평균
그림	57.	양의 북극진동 패턴 (1000hPa 지위고도 편차의 EOF 첫 번째 모드) 42
그림	58.	(좌) 양의 서태평양패턴일 때의 지위고도 편차, (중) 서태평양패턴 지수와 지표온도
		편차와의 상관성, (우) 서태평양패턴 지수와 강수 편차와의 상관성 43
그림	59.	1992년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 44
그림	60.	1992년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열 ~~~~~ 44
그림	61.	1992년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 45
그림	62.	1992년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 46
그림	63.	1992년 6월 해수면온도 편차 47
그림	64.	1992년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 47
그림	65.	1990년 6월 - 1993년 1월 Nino3, Nino3.4 지수 ···································
그림	66.	1993년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 49
그림	67.	1993년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열
그림	68.	1993년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 50
그림	69.	1993년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 51
그림	70.	5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1993년 7월
		평균값과(실선) 7월 기후값(점선) 51
그림	71.	1993년 7월 해수면온도 편차 52
그림	72.	1993년 7월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차

그림	73.	1991년 7월 – 1994년 2월 Nino3, Nino3.4 지수 ······	53
그림	74.	1993년 7월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차	53
그림	75.	1993년 5월부터 9월까지 해수면온도 편차	54
그림	76.	1993년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열	55
그림	77.	1993년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수령	ţ
		시계열	55
그림	78.	1993년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa	
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차	56
그림	79.	1993년 8월 850hPa 지위고도(채색)와 바람(벡터) 평균값	57
그림	80.	1993년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만	
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)	57
그림	81.	5880gpm, 5820gpm (하늘색), 12520gpm, 12480gpm (연두색) 선의 1993년 8월	
		평균값과(실선) 8월 기후값(점선)	58
그림	82.	1993년 8월 해수면온도 편차	59
그림	83.	1993년 8월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차	59
그림	84.	1991년 8월 – 1994년 3월 Nino3, Nino3.4 지수 ······	59
그림	85.	1993년 8월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차	60
그림	86.	1993년 제7호 태풍 로빈(ROBYN) 이동 경로	60
그림	87.	1997년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열	65
그림	88.	1997년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수령	۶ ۶
		시계열	65
그림	89.	1997년 5월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa	
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차	66
그림	90.	1997년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만	
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)	67
그림	91.	1997년 5월 해수면온도 편차	68
그림	92.	1997년 5월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차	68
그림	93.	1995년 5월 - 1997년 12월 Nino3, Nino3.4 지수 ······	68
그림	94.	우리나라 5월 강수에 회귀 분석한 850hPa 지위고도 편차. 점은 통계적으로 90%	
		유의한 지역	69
그림	95.	(좌) 서태평양패턴(북태평양진동) 지수, (우) 서태평양패턴 지수에 회귀 분석한	
		850hPa 지위고도 편차. 점은 통계적으로 99% 유의한 지역	69
그림	96.	1997년 5월 중 강한 강수가 있었던 (위) 6일-8일 평균, (아래) 11일-14일 평균한	
		(좌) 해면기압 편차와 (우) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차	70
그림	97.	1990년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열	72
그림	98.	1990년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수령	ļ.
		시계열	72
그림	99.	1990년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa	
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차	73
그림	100). 1990년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상민	ŀ

		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 74
그림	101.	5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1990년 6월
		평균값과(실선) 6월 기후값(점선) ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
그림	102.	1990년 6월 해수면온도 편차
그림	103.	1990년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차
그림	104.	1988년 6월 - 1991년 1월 Nino3, Nino3.4 지수 ···································
그림	105.	1990년 제5호 태풍 오펠리아(OFELIA) 이동 경로
그림	106.	2006년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열77
그림	107.	2006년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열
그림	108.	2006년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 78
그림	109.	2006년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 79
그림	110.	5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2006년 7월
		평균값과(실선) 7월 기후값(점선) 79
그림	111.	2006년 7월 해수면온도 편차 ~~~~~ 80
그림	112.	2006년 7월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 80
그림	113.	2004년 7월 - 2007년 2월 Nino3, Nino3.4 지수 ······ 80
그림	114.	2006년 7월에 발생한 제3호, 제4호, 제5호 태풍 이동 경로 81
그림	115.	2002년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열83
그림	116.	2002년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열 83
그림	117.	2002년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 84
그림	118.	2002년 8월 6-15일 850hPa 지위고도 편차와 바람편차 85
그림	119.	2002년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 85
그림	120.	2002년 8월 해수면온도 편차 86
그림	121.	2002년 8월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 86
그림	122.	2000년 8월 - 2003년 3월 Nino3, Nino3.4 지수 ······ 86
그림	123.	2002년 8월에 발생한 제15호 태풍 루사(RUSA) 이동 경로 87
그림	124.	적도에서 잠열 방출 강제력에 대한 하층 대기의 반응. 실선은 음의 기압 편차,
		벡터는 바람을 나타냄. (modified Fig.1(b) in Gill 1980)
그림	125.	1982년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열89
그림	126.	1982년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열
그림	127.	1982년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 90
그림	128.	1982년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만

나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 91 그림 129. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1982년 6월 그림 130. 1982년 6월 해수면온도 편차 92 그림 131. 1982년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 92 그림 132. 1980년 6월 - 1983년 1월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 그림 133. 2016년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열94 그림 134. 2016년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 그림 135. 2016년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 95 그림 136. 2016년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 그림 137. 2016년 8월 하향지표태양복사 편차 [W/m2], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]·96 그림 138. 2016년 8월 (좌) 해수면온도 편차, (우) 선형 추세를 제거한 해수면온도 편차 … 97 그림 139. 2016년 8월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 97 그림 140. 2014년 8월 - 2017년 3월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 그림 141. 2015년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 101 그림 142. 2015년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열 101 그림 143. 2015년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 ·············· 102 그림 144. 2015년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 103 그림 145. (좌) 2013년 12월 - 2016년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차·103 그림 146. 2013년 12월 - 2016년 7월 북대서양진동 지수 103 그림 147. 2015년 12월 해수면온도 편차 104 그림 148. 2015년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 ……………………………………………… 104 그림 149. 2013년 12월 - 2016년 7월 (좌) Nino3, Nino3.4 지수, (우) 인도양 쌍극자 모드 지수 104 그림 150. 겨울철(NDJ) Nino3 지수에 회귀분석한 (a)12월과 (b)1월의 850hPa 지위고도 편차(채색)와 바람 편차(벡터). 검정 벡터는 통계적으로 90% 유의한 값 (Fig.5 in Son et al. 2014) ------ 106 그림 151. (좌) 양의 북극진동일 때, (우) 음의 북극진동일 때 지표기온편차 합성장 (Fig.1 in Jeong and Ho 2005) ------ 106 그림 152. 북대서양진동 지수에 회귀분석한 북반구 지표기온 (Fig.1(b) in Wang et al. 2010) 106 그림 153. 1989년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 108 그림 154. 1989년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량

		시계열 108
그림	155.	1989년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 ···································
그림	156.	1989년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 110
그림	157.	(좌) 1987년 1월 - 1989년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 110
그림	158.	1989년 1월 해수면온도 편차 111
그림	159.	1989년 1월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 111
그림	160.	1987년 1월 – 1989년 8월 Nino3, Nino3.4 지수 ······
그림	161.	1973년 - 2017년 1월의 동아시아 겨울몬순 지수
그림	162.	1987년 1월 - 1989년 8월 (좌) 서태평양패턴(북태평양진동) 지수, (우)
		북대서양진동 지수 113
그림	163.	2007년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 114
그림	164.	2007년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열 114
그림	165.	2007년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 115
그림	166.	2007년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 116
그림	167.	(좌) 2005년 2월 - 2007년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 116
그림	168.	2007년 2월 해수면온도 편차
그림	169.	2007년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 117
그림	170.	2005년 2월 - 2007년 9월 Nino3, Nino3.4 지수 ······ 117
그림	171.	정규화된 겨울철(DJF) 한반도 13개 지점 기온 편차와 시베리아(60°-140°E) 블로킹
		빈도수 (Fig.7 in 이현수 외 2007)
그림	172.	AO와 ENSO 위상에 따른 500hPa 지위고도(실선)와 지표온도(채색) 편차 합성장
		(Fig.12(d) in Cheung et al. 2012) 118
그림	173.	2005년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 120
그림	174.	2005년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우)
		강수량 시계열 120
그림	175.	2005년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 121
그림	176.	2005년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 122
그림	177.	(좌) 2003년 12월 - 2006년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차·122
그림	178.	2005년 12월 해수면온도 편차 123
그림	179.	2005년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 123
그림	180.	2003년 12월 - 2006년 7월 Nino3, Nino3.4 지수 ······ 123
그림	181.	1973년 - 2017년 12월의 동아시아 겨울몬순 지수
그림	182.	겨울철(DJF) 바렌츠-카라해에서 평균한(30°-70°E, 70°-80°N) 지표기온 편차에 대한

(좌) 해면기압과 (우) 300hPa 지위고도장의 선형회귀분석 (Fig.3 in Kug et al.

그림 183. 1981년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 126 그림 184. 1981년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 그림 185. 1981년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 127 그림 186. 1981년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 128 그림 187. (좌) 1979년 1월 - 1981년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 128 그림 189. 1981년 1월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 129 그림 191. 1984년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 132 그림 192. 1984년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 132 그림 193. 1984년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 133 그림 194. 1984년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 134 그림 195. (좌) 1982년 2월 - 1984년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 134 그림 199. 1973년 - 2017년 2월의 동아시아 겨울몬순 지수 136 그림 200. MJO 위상 2-3일 때 300hPa 유선함수장(실선)과 OLR(음영) 합성도 (Fig.5 in Jeong et al. 2008) ------- 137 그림 201. 1984년 1-3월 MJO 위상 다이어그램 (RMM1, RMM2 phase space) (좌) 일본 기상청, (우) 호주 기상청 자료 ~~~~~ 137 그림 202. 1991년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 141 그림 203. 1991년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 그림 204. 1991년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 142 그림 205. 1991년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 143 그림 206. (좌) 1989년 12월 - 1992년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차·143 그림 207. 1991년 12월 해수면온도 편차 144 그림 210. 1989년 12월 - 1992년 7월 서태평양패턴(북태평양진동) 지수 145

그림 211. 1990년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 146 그림 212. 1990년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열146 그림 213. 1990년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 147 그림 214. 1990년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 148 그림 215. (좌) 1988년 2월 - 1990년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 148 그림 216. 1988년 2월 - 1990년 9월 북대서양진동 지수 149 그림 218. 1990년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 ……………………………………………… 150 그림 220. 북대서양진동(NAO) 지수에 회귀분석한 해수면온도 (interannual NAO index는 1년 이동평균한 지수와 7년 이동평균한 지수의 차이로 계산) (Fig.5d in Wang et al. 그림 221. 1987년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 152 그림 222. 1987년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 그림 223. 1987년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 153 그림 224. 1987년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 154 그림 225. 1984년 12월 - 1988년 7월 (좌) 북극진동 지수, (우) 서태평양패턴(북태평양진동) 지수154 그림 226. 1987년 12월 해수면온도 편차 155 그림 227. 1987년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 …………………………………………… 155 그림 229. 2011년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 157 그림 230. 2011년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 그림 231. 2011년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 158 그림 232. 2011년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 159 그림 233. (좌) 2009년 1월 - 2011년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 159 그림 235. 2011년 1월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차 160 그림 237. 2009년 1월 - 2011년 8월 서태평양패턴(북태평양진동) 지수 ………………………… 162 그림 238. 2000년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 163

그림	239.	2000년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량
		시계열 163
그림	240.	2000년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa
		지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차 164
그림	241.	2000년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만
		나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄) 165
그림	242.	(좌) 1998년 2월 - 2000년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차… 165
그림	243.	1998년 2월 - 2000년 9월 북대서양진동 지수 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
그림	244.	2000년 2월 해수면온도 편차
그림	245.	2000년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차
그림	246.	1998년 2월 – 2000년 9월 Nino3, Nino3.4 지수 ······ 167



1. 우리나라 기온·강수 극값 사례

1. 우리나라 기온·강수 극값 사례

- 우리나라 여름과 겨울철 월평균기온 및 강수량을 최대·최소로 기록한 사례에 대해 극한 기온 및 강수가 발생한 원인을 분석하고 극한 기후에 대한 이해 증진 및 향후 예측에 활용할 수 있는 유사 사례를 확보
- 극한 기온·강수 사례는 여름철 (5월~8월), 겨울철 (12월~2월) 전국 평균 월평균기온과 월강수량에서 최대·최소를 기록한 해를 선정
- 사례 선정 기간은 1981년부터 2017년까지로 1970년대는 분석에 사용할 자료 확보가 용이하지 않아 사례 선정기간에서 제외함
- 우리나라 기온과 강수량은 전국 45개 지점에서 관측된 지상기상관측(ASOS)자료의 평균값을 사용
- 우리나라 여름철과 겨울철 월별 평균기온의 시계열과 강수량을 그림1과 그림2에
 나타냈으며 최대값과 최소값을 기록한 해를 표1과 표2에 정리함
- 사례 개수:
 - 총 25개=(기온, 강수)×(여름철 4개월+겨울철 3개월)×(최대값 1개+최소값 1개)-(겹치는 사례 3개)
 - ※ 겹치는 사례 3개: 2017년 5월 (기온 최고, 강수 최소), 1994년 7월 (기온 최고, 강수 최소), 1989년 1월 (기온 최고, 강수 최다)



그림 1. 1981-2017년 (좌) 여름철 (5~8월), (우) 겨울철 (12~2월) 월평균기온의 전국 평균값 시계열

평균기온	기온 월 (기온 평년값) 최고기온 해 (기온/편		최저기온 해 (기온/편차)
	5월 (17.2)	2017년 (18.7/+1.5)	1992년 (15.9/-1.3)
어르처	6월 (21.2)	2013년 (22.6/+1.4)	1992년 (20.1/-1.1) *1974년 (19.7/-1.5) ¹⁾
어금결	7월 (24.5)	1994년 (28.0/+3.5)	1993년 (22.2/-2.3)
	8월 (25.1)	2013년 (27.3/+2.2)	1993년 (22.1/-3.0) *1980년 (22.0/-3.1)
	12월 (1.5)	2015년 (3.5/+2.0)	2005년 (-2.2/-3.7)
겨울철	1월 (-1.0)	1989년 (1.4/+2.4) *1979년 (1.6/+2.6)	1981년 (-4.9/-3.9) *1977년 (-4.9/-3.9)
	2월 (1.1)	2007년 (4.2/+3.1)	1984년 (-2.2/-3.3)

표 1. 여름철과 겨울철 평균기온의 최고·최저 해

1) 1981년 이전에 극값이 있었던 경우는 표 안에 함께 표기함



그림 2. 1981-2017년 (좌) 여름철 (5~8월), (우) 겨울철 (12~2월) 월강수량의 전국 평균값 시계열

강수량	월 (강수량 중앙값)	최다강수 해 (강수량)	최소강수 해 (강수량)
	5월 (105.8)	1997년 (189.0) *1974년 (200.6)	2017년 (29.5) *1978년 (14.4)
여름철	6월 (160.0)	1990년 (314.6) *1978년 (362.5)	1982년 (30.5)
	7월 (268.9)	2006년 (638.9)	1994년 (84.7)
	8월 (252.8)	2002년 (578.3)	2016년 (76.2)
	12월 (22.0)	1991년 (63.5)	1987년 (5.1)
겨울철	1월 (23.4)	1989년 (101.5)	2011년 (5.6) *1977년 (5.2)
	2월 (30.0)	1990년 (107.0)	2000년 (3.3) *1977년 (2.0)

Ŧ	2.	여름철과	겨울철	강수량의	최다·최소	해
---	----	------	-----	------	-------	---

우리나라 기온과 강수량의 과거 극값 사례 분석집



2. 여름철 극값 사례 - 기온

2. 여름철 극값 사례

2.1. 5월 기온 최고, 강수 최소 사례 : 2017년 5월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 18.7℃로 5월의 평년값인 17.2℃에 비해 1.5℃ 높았음
- 전국적으로 평년보다 기온이 높았으며 특히 동해안 지역의 기온 증가가 컸음
- 전국 평균 월 강수량은 29.5mm, 1.9퍼센타일로 전국적으로 강수량이 매우 적었으며 강수일수도 평년보다 적었음



그림 3. 2017년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 4. 2017년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장을 보면 적도~중위도 30°-60°N 부근과 서유럽~미국 서부까지 양의 지위고도 편차가 길게 나타남. 고위도에서는 반대로 북유럽~알래스카까지 음의 편차가 나타나고 북아메리카 북부와 북대서양에서는 양의 편차가 나타남 (그림 5a,b)
- 상층의 지위고도 분포는 하층까지 유사하게 이어짐 (그림 5a-d)
- 우리나라는 상층부터 하층까지 이어진 양의 지위고도 편차의 영향을 받았으며
 하층에서 우리나라는 중국내륙에 위치한 고기압성 순환의 영향으로 북서풍 편차의
 영향을 받았음 (그림 5c)



그림 5. 2017년 5월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 편차 분포는 순환장 분포와 유사한 형태로 양의 지위고도 편차가 나타난 중위도 유라시아 대륙과 서아프리카, 북아메리카 북서부, 그린란드에서는 양의 기온편차가 나타났고 음의 지위고도 편차가 나타난 북아메리카 북동부, 북유럽과 러시아에서는 음의 기온편차가 나타남. 베링해 부근과 알래스카에서는 순환장에서 음의 편차가 나타났으나 기온은 양의 편차가 나타남. 우리나라는 양의 기온편차를 보였음 (그림 5e)
- 상층제트는 우리나라 주변에서는 중심 세기가 약화되었고 북편해 있음 (그림 6)
- 지표태양복사²⁾와 500hPa 연직속도³⁾는 우리나라 주변에서 양의 편차가 나타나 강한 일사와 하강기류에 의한 기온 상승이 있었고 강수가 억제되었음 (그림 7)



그림 6. 2017년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s만 나타냄)



그림 7. 2017년 5월 하향지표태양복사 편차 [W/m²], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]

²⁾ 하향지표태양복사는 지표에 도달하는 일사량을 나타냄

³⁾ 연직속도는 단위시간당 기압의 변화율($\omega = dp/dt$)로 기압은 고도에 따라 감소하기 때문에 0보다 크면(작으면) 하강(상승)운동을 나타냄

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 일부지역을 제외하고 전지구 대부분의 해역에서 해수면온도가 평년보다 높게 나타남 (그림 8)
- 열대 태평양 해수면온도는 전역에서 평년보다 높았음. Nino3.4지수는 0.5로 양의 편차를 보였음 (그림 8, 그림 10좌)
- 인도양 해수면온도는 서인도양에서는 높았고 동인도양은 낮았음. 인도양 쌍극자모드
 지수는 0.7로 봄부터 가을까지 양의 값을 유지했음 (그림 10우 화살표)
- 열대 대류활동은 북부 아프리카부터 인도양과 서태평양 도서지역까지 활발하게
 나타났으며 필리핀 동쪽으로 아열대 중태평양에서는 대류활동이 억제되었음 (그림 9)
- 필리핀 동쪽부터 대각선 북서방향으로 대류활동 억제~강화~억제로 3개-셀 구조4)가
 약하지만 뚜렷하게 나타남 (그림 9). 이러한 구조는 우리나라에 하강기류와 고기압성
 순환을 강화시킬 수 있음
- 대류활동이 활발한 지역을 중심으로 강수가 많았으며 우리나라 남쪽으로 강수밴드가
 위치했고 우리나라와 일본에는 건조밴드가 위치해 강수량이 평년보다 적었음



그림 8. 2017년 5월 해수면온도 편차



⁴⁾ 강수(대류활동)편차의 양~음~양(음~양~음) 패턴으로 강수 편차와 대기 순환장과의 상호작용에 의해 형성된 원격상관 패턴. 엘니뇨/라니냐 시기 및 여름철 북서태평양에서 자주 나타남 (엘니뇨 백서, 2017)



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 봄에는 강수유발 기작이 다른 계절에 비해 적어 남북류가 봄철 총 강수량에 상당한 영향을 줄 수 있으며, 봄철 동북아시아 가뭄은 북서태평양 아열대고기압의 약화, 상층제트 남하와 관련 있음 (김성 외 2005; 최기선 외 2009)
- 북서태평양 아열대고기압이 약화되고 남하하면 고기압의 서쪽 가장자리를 따라
 한반도로 유입되는 수증기량이 감소해 강수를 감소시킬 수 있음
- 상층제트가 남하하면 한반도로 유입되는 수증기가 억제되어 강수를 감소시킬 수 있음. 하층 수증기와 상층제트가 남하하면 중국남부지역과 그 이남에서 강수가 유발될 수 있고 한반도는 건조한 북서, 북동기류로 인해 강수 억제될 수 있음 (Park et al. 2010) (그림 11)
- 봄철 제트의 남하는 열대 해수면온도와 이전 겨울의 QBO (Quasi-Biennial Oscillation)가 영향을 줄 수 있음 (Park et al. 2010; Seo et al. 2013)
- 열대 서태평양 필리핀 해 주변의 해수면온도가 높을 때 대류활동이 강화되면서 적도지역 연직운동을 변화시켜 해들리 순환에 영향을 주고 상층제트의 남하에 영향을 줄 수 있음 (Park et al. 2010)
- QBO는 대류권 중층 온도와 남북 온도경도 변화를 통해 제트의 이동과 관련되어 있음.
 이전 겨울 QBO가 서풍일 때 적도 서태평양과 중태평양에서 상층 발산이 약화되면서 상승운동이 약화되고 대류활동이 약화됨. 이에 따라 해들리 순환의 남북방향 순환이 감소하면서 적도 쪽으로 북서태평양 고기압 이동을 유발하고 중위도 중층 온도 감소함. 중층 온도가 감소하면서 온도풍 관계에 의해 상층제트가 남하할 수 있음 (Seo et al. 2013) (그림 12)



그림 11. 동아시아 제트지수와 강수편차의 상관성. 채색된 부분은 95% 신뢰구간 (Park et al. 2010 Fig.8(b). 동아시아 제트지수는 두 지역에서 영역 평균된 200hPa 동서바람 편차의 차이로 정의 되었음. U200[(40°-51°N, 120°-180°E] - U200[21°-32°N, 110°-170°E])



그림 12. 봄철(MAM) WQBO와 EQBO시기의 (좌) 강수 합성장 차이, (우) 200hPa 동서바람 합성장 차이. 채색은 90% 이상 신뢰구간 (Seo et al., 2013 Fig2(b), Fig3(c))

- 2017년 5월은 봄철 가뭄해의 일반적인 지위고도 분포와는 차이가 있었으나 제트의 남하 (그림 6), 해수면온도 분포 (그림 8), 서태평양 대류활동 강화와 (그림 9) 하층 바람분포는 (그림 5) 봄철 가뭄해와 일부 유사한 면이 있음 (Park et al. 2010)
- 하층에서 우리나라 남쪽으로 동풍 편차가 나타났고 우리나라는 북서풍 편차의
 영향을 받아 한반도로 수증기 공급이 원활하지 못했음 (그림 5). 또한 제트의 남하도
 수증기 유입을 원활하지 못하게 함 (그림 6)
- 따뜻한 열대 서태평양과 아열대 중태평양, 그리고 온도가 낮은 중위도 북태평양의 해수면온도 분포는 제트가 남하하는데 영향을 주었고 대류활동에도 영향을 줌 (그림 8, 그림 9). 열대 서태평양 도서지역과 필리핀해 주변에서의 대류활동 강화와 중태평양 대류억제는 한반도 주변에서 대류 억제를 유도해 강수를 억제하고 하강기류에 의한 단열상승과 일사량 증가로 기온 상승에 영향을 줄 수 있음
- 2016-2017년 겨울에 적도지역 성층권에서는 서풍 편차가 있었는데 이는 동아시아 제트의 남하에 영향을 줄 수 있음 (그림 13)



- 5월 기온은 기온과 관련되어 영향을 주는 기후학적 모드가 적고 온난화 경향의 영향이 강하게 나타남. 5월 기온의 선형 증가추세는 1.21℃/37년 (1979~2015), 1.26℃/22년 (1994~2015)으로 나타남 (장기예보 가이던스(Ⅱ), 2016)
- 2017년 5월은 기온이 전 세계적으로도 높았던 때로 육지 관측소 온도만 평균했을 때는 온도가 역대 가장 높았음 (그림 14)
- 우리나라 5월 기온 상위 5개 해는 2017년 (18.7℃), 2016년 (18.6℃), 2015년 (18.6℃), 2014년 (18.4℃), 2012년 (18.3℃) 순으로 나타나며 2위인 2016년과 1위는 0.1℃, 5위인 2012년과 1위는 0.4℃ 차이 남
- 북태평양 지역에 고기압성 순환이 발달한 경우 우리나라 5월 기온이 높은 경향이 있으며 2017년 5월에는 유라시아 대륙부터 중위도 북태평양까지 고기압성 편차가 발달해 우리나라는 고기압성 편차의 영향을 받았음 (그림 5)



그림 14. 1880-2018년 5월 평균기온 편차 (Base period 1951-1980). 전구 관측소 (station) 자료 평균 *출처 : Goddard Institute for Space Studies (GISS) Surface Temperature Analysis https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/customize.html

5) 요약

- 2017년 5월은 평균기온 18.7℃, 월 강수량 29.5mm로 매우 덥고 건조했음
- 5월은 기온의 선형추세가 크게 나타나는 때로 온난화 경향의 영향을 많이 받았음
- 높은 기온과 건조한 환경은 중위도 유라시아~북태평양에 걸쳐 위치한 고기압성 편차가 영향을 준 것으로 보임
- 하층에는 우리나라에 고기압성 순환의 중심이 위치하면서 북서풍 편차가 있었고 남쪽에는 동풍편차 불면서 수증기 유입이 어려웠음
- 고기압성 편차는 열대 인도양과 서태평양 도서지역의 강한 대류활동의 영향으로 유지된 것으로 보임
- 한반도 주변 상층제트의 남하는 우리나라에서 강수가 적게 내리고 우리나라 남쪽으로
 많은 강수가 내리는데 영향을 준 것으로 보임

2.2. 6월 기온 최고 사례 : 2013년 6월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 22.6℃로 6월의 평년값인 21.2℃에 비해 1.4℃ 높았음
- 최고기온 27.7℃, 최저기온 18.6℃로 각각 최고5위, 1위를 기록하였으며 최고기온 보다는 최저기온이 증가하면서 평균기온을 상승시켰음
- 6월 내내 평년보다 높은 기온을 유지했으며 특히 서울경기 지역의 기온이 평년보다
 매우 높았음
- 전국 평균 월 강수량은 101.1mm, 21.7퍼센타일로 비가 적게 내렸음



그림 15. 2013년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 16. 2013년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장은 북반구 중위도 대부분의 지역에서 양의 지위고도 편차가 나타 났고 우리나라가 위치한 30°N 위도대를 따라서 유라시아 대륙에 양의 편차가 길게 나타남. 12480gpm, 12520gpm 선은 평년보다 북쪽으로 확장했고 서쪽으로도 확장 했음 (그림 17a, 그림 19)
- 우랄산맥 부근과 그린란드 부근 북대서양에서는 음의 지위고도 편차가 나타났고 북극에서도 강한 음의 편차가 나타남 (그림 17a,b)
- 하층에서는 우리나라 부근에 양의 지위고도 편차가 나타나면서 고기압성 순환이
 나타남. 우리나라에는 동풍 편차가 지배적이고 남쪽에서 올라오는 기류가 매우 약해
 수증기를 공급받기 어려운 조건이 형성됨 (그림 17c,d)



그림 17. 2013년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 순환장과 연관된 기온분포를 보면 상층에 양의 지위고도 편차가 강하게 나타난 북유럽과 동유럽일대, 시베리아, 알래스카와 캐나다 북부에서 강한 양의 기온편차가 나타남. 양의 지위고도 편차가 나타난 중위도 중앙아시아부터 우리나라와 일본, 북태평양을 거쳐 미국 서부에서는 양의 기온편차가 이어져 나타남 (그림 17e)
- 북대서양에서는 그린란드 부근에 음의 지위고도 편차가, 중위도에 양의 지위고도 편차가 나타나는 형태로 양의 북대서양진동5)과 유사한 패턴이 나타남. 이러한 형태의 지위고도 배치는 상층부터 하층까지 이어지는 순압구조로 나타남 (그림 17a-d)
- 상층제트는 우리나라 서쪽에서는 세기가 강해지고 북상했으며 우리나라와 우리나라 동쪽에서는 약화됨 (그림 18)



그림 18. 2013년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 19. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2013년 6월 평균값과 (실선) 6월 기후값 (점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 높았고 일본 동쪽으로 북태평양에 해수면온도가 높은
 지역이 동서방향으로 길게 나타남 (그림 20)
- 동중국해와 남중국해, 필리핀 주변의 해수면온도는 높았으며 열대 서태평양 도서지역
 주변 해수면온도도 평년보다 높았음. 북대서양과 북극해 주변 해수면온도도 높게
 나타남 (그림 20)
- 열대 동태평양 해수면온도는 음의 편차가 나타나 약한 라니냐 상태를 나타냄.
 Nino3.4 지수는 -0.3, Nino3 지수는 -0.8로 동태평양은 음의 편차를 보였으며 중태 평양 쪽으로 갈수록 음의 온도편차는 약해졌음. 동태평양에서는 2012년 초까지 라니냐가 발생했고 이후 중립상태가 이어지다가 2013년에는 약한 음의 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 22좌)
- 열대지역 대류활동은 서태평양 도서지역과 호주, 남중국해와 필리핀해, 동인도양과 인도북부에서 강하게 나타남. 일본 동남쪽에서도 대류활동 증가 신호가 보였음. 반면에 중국과 우리나라, 동중국해와 동해 일대에서는 대류활동 억제가 나타남 (그림 21좌)
- · 강수의 공간분포는 대류활동 분포와 비슷하게 나타남. 대류활동이 강했던 서태평양 도서지역과 필리핀해, 남중국해에서는 강수가 증가했고, 중국과 일본, 우리나라에서는 음의 강수 편차를 보임. 동인도양과 인도북부, 일본 남동쪽에서도 양의 강수편차가 나타남 (그림 21우)



그림 20. 2013년 6월 해수면온도 편차



그림 21. 2013년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 여름철 우리나라는 아열대 해양으로부터 발달한 북태평양고기압과 유라시아 대륙 에서 발달하는 상층 고기압의 영향을 강하게 받음. 2013년 6월에 북태평양고기압은 평년과 비슷했으나 상층의 대륙고기압은 평년보다 북동쪽으로 확장해 발달했고 우리 나라에 영향을 줬음 (그림 17a, 그림 19)
- 아열대 서태평양의 대류활동은 우리나라 여름철 순환장에 영향을 미침. 2013년 6월에 서태평양은 적도 남쪽의 호주부터 적도 북쪽의 남중국해와 필리핀 주변까지 넓은 지역에서 대류활동이 증가하고 강수가 증가했음 (그림 21). 이 지역에서 대류 활동이 강하면 보상하강운동으로 우리나라와 일본에 대류활동이 약화되고 고기압성 편차가 발달할 수 있는 조건을 제공함 (Kosaka and Nakamura 2006)
- 인도지역에서는 강한 대류활동과 함께 강수가 증가해 인도몬순이 강화되었음 (그림 23). 증가한 강수로 인한 강제력이 중위도 상층 편서풍에 영향을 주면서 CGT (CircumGlobal Teleconnection) 패턴을 유도할 수 있음 (Ding and Wang 2005). 200hPa 지위고도 패턴에서 양의 CGT 패턴과 일부 유사한 부분을 볼 수 있었음 (그림 17a). 인도양 대류활동에 의해 유도된 원격 상관이 북반구 순환장에 기여해 우리나라 부근 상층의 고기압성 순환이 유도되는데 영향을 준 것으로 보임
- 봄철 유라시아 대륙의 눈덮임과 우리나라 6월 기온 간에 높은 양의 상관성이 있음.
 겨울철 북극진동이 음의 위상일 때 제트기류가 약해져 극지방의 찬 공기가 이류되고 유라시아 지역의 눈덮임은 봄철까지 지속될 수 있음. 늦은 봄과 초여름에 다량의 눈이 녹으면서 토양 수분이 증가하고 초여름 대기 강제력으로 작용해 대기 파동을 유도할 수 있음 (원유진 외 2017)
- 원유진 외 (2017)에서는 봄철 유라시아 눈덮임에 대한 EOF분석 결과에서 (그림 24)
 주성분 시계열과 우리나라 여름철 기온과의 상관관계를 보였음. 첫 번째 모드의
 주성분 시계열은 우리나라 6월 기온과 0.47의 상관성을, 두 번째 모드는 우리나라
 8월 기온과 0.39의 상관성이 있었음. 시계열 값이 클수록 EOF 모드의 공간구조와
 유사한 눈덮임 패턴을 갖는다는 것을 의미하고, 봄철에 이러한 눈덮임 패턴이
 있을 때 우리나라 여름철 기온이 높은 경향이 있다고 볼 수 있음
- 2013년에는 그 전해 겨울에 음의 북극진동이 강했고 (그림 25), 우리나라 여름철 기온과 양의 상관성을 보인 봄철 유라시아 지역 눈덮임의 EOF 주성분 시계열에서

큰 양의 값을 보여 (그림 24) 여름철 우리나라 높은 기온에 봄철 눈덮임이 일부 영향을 주었을 것으로 보임





그림 24. 봄철 (3-4월) 유라시아 눈덮임의 EOF 분석 (좌) 공간구조, (우) 주성분 시계열 (Fig.3 in 원유진 외, 2017)


- 2013년 6월은 평균기온 22.6℃로 매우 더웠음
- 유라시아 대륙 상층의 고기압이 평년보다 북동쪽으로 확장하여 발달해 우리나라는 고기압의 영향을 받았음
- 아열대 서태평양에서 증가한 대류활동과 인도몬순이 우리나라에 고기압성 순환이 유도되는데 영향을 주었음
 - * 북대서양진동 (North Atlantic Oscillation, NAO)
 - 북대서양 지역에서 남북방향으로 지위고도 편차가 쌍극형태(부호가 반대)로 나타 나는 대규모 대기변동 현상임. 지위고도 편차의 중심은 그린란드 주변과 중위도 북대서양에 위치함 (Barnston and Livezey 1987)
 - 북대서양진동 패턴은 500hPa 지위고도(또는 해면기압) 편차의 경험적 직교함수 (Empirical orthogonal function, or Rotated EOF)로 정의됨
 - 양(음)의 진동일 때 고위도 지역에 음(양)의 지위고도 편차, 중위도 북대서양에 양(음)의 지위고도 편차로 나타남
 - 북대서양진동은 북대서양 제트류와 스톰트랙, 대규모 수증기 수송과 관련이 있으며 북아메리카와 유럽의 온도와 강수, 아시아 몬순에 영향을 주는 것으로 알려져 있음 (Hurrell 1995; Wu and Huang 1999)



그림 26. (좌) 중의 국내지중신공할 때의 지휘고도 편자, (중) 국내지중신공 지구와 지표폰도 편 와의 상관성, (우) 북대서양진동 지수와 강수 편차와의 상관성 * 그림출처 http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao.shtml

2.3. 7월 기온 최고, 강수 최소 사례 : 1994년 7월

- 전국 평균기온은 28.0℃로 7월의 평년값인 24.5℃에 비해 3.5℃ 높았으며 기온이 두 번째로 높았던 1978년 (26.6℃)과 비교해도 매우 높은 값을 기록하였음
- 전국 평균 폭염일수 18.3일 (평년 3.9일), 열대야일수 8.9일 (평년 2.3일)로 7월 값 중
 역대 최고 1위를 기록함
- 전국 평균 월 강수량 84.7mm, 2.2퍼센타일로 7월 강수량 중 가장 적었음



그림 27.1994년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 28. 1994년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장은 북반구 중위도에서 미국 동부해안(+)~북동대서양(-)~유럽(+)~ 우랄산맥 부근(-)~우리나라(+)로 이어지는 파동전파 형태가 나타남 (그림 29a)
- 상층의 지위고도 분포는 하층까지 유사하게 나타나 순압대기 구조를 보임 (그림 29a-d)
- 우리나라는 상층에 위치한 강한 양의 지위고도 편차의 영향을 받았으며 우리나라 북쪽과 남쪽으로 음의 편차가 위치함. 해면기압에서는 우리나라를 중심으로 약한 음의 편차가 나타남 (그림 29a-d)
- 상층제트는 평년보다 북상해 우리나라 상층에서는 바람이 약했음 (그림 30)
- 우리나라는 7월 한 달 동안 양의 지위고도 편차의 중심부근에 위치해 뚜렷한 주풍
 없이 맑고 정체된 대기의 영향을 받았을 것으로 판단됨 (그림 29c)



그림 29. 1994년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

 - 연직운동과 하향지표태양복사 편차를 보면 우리나라 주변으로 서해 및 남해에 중심을 둔 강한 양의 편차가 나타남 (그림 31). 즉, 안정된 대기 상태에서 상승운동이 발생하기 어렵고 맑은 날이 지속되면서 강수는 적은 반면 일사가 강해져 우리나라 기온은 매우 높아진 것으로 보임



그림 30. 1994년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 31. 1994년 7월 하향지표태양복사 편차 [W/m²], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 동쪽으로 중위도 북태평양에 양의 해수면온도 편차가 동서방향으로 길게
 나타남 (그림 32)
- 열대 동태평양에 약한 음의 해수면온도 편차, 열대 중태평양에는 약한 양의 해수면
 온도 편차가 나타났으며 서태평양 도서지역과 벵갈만 부근에서는 음의 해수면온도
 편차가 나타남 (그림 32)
- 북대서양은 적도부터 극 쪽으로 올라가면서 (-)~(+)~(-)순으로 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 32)
- 열대 동태평양 해수면온도는 음의 편차를 보였으나 열대 중태평양부터 대각선 북동 방향으로 북아메리카 서부해안까지는 양의 편차를 보였음. Nino3 지수는 -0.2, Nino3.4 지수는 0.4로 동태평양에서 중태평양으로 갈수록 해수면온도가 증가했음. 1994-1995년 겨울에 엘니뇨가 발생해 1994년 7월은 엘니뇨 발달기에 해당했음 (그림 34좌)

- 열대 대류활동은 아열대 서태평양 남중국해와 필리핀해에서 강하게 나타났고 벵골만과 인도 북서부에서도 대류활동이 활발했음. 강한 대류활동이 나타난 지역의 북쪽에 위치한 우리나라와 일본에서는 대류활동이 억제되었음 (그림 33)
- · 강수의 공간분포는 대류활동과 비슷한 분포로 열대 동인도양에서 음의 편차, 열대와
 · 아열대 서태평양에서 양의 편차, 우리나라와 일본에서는 음의 편차가 나타남 (그림 33)



그림 32. 1994년 7월 해수면온도 편차





4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

· 엘니뇨 발달기 여름철에 우리나라는 기온이 감소하고 강수가 증가하는 경향이
 나타나지만, 상관성은 약한 특징이 있음 (엘니뇨 백서, 2017). 1994년 7월은 우리
 나라에 양의 온도 편차와 음의 강수 편차가 나타나 전형적인 엘니뇨 패턴과 일치

하지 않았음. 이는 열대 중태평양 해수면온도 편차가 크지 않아 열대 중태평양에서 강수가 강화되지 못하고 대기-해양 커플링이 아직 활발해지지 못했기 때문으로 판단됨 (그림 32)

- 인도양 해수면온도는 서쪽에서 양의 편차, 동쪽에서 음의 편차를 보이는 쌍극자
 모드가 나타남. 이러한 동서 해수면온도 차이는 여름철에서 가을철로 갈수록 더 강화되었음 (그림 32, 그림 34)
- 해수면온도가 음의 편차가 나타난 열대 동인도양에서는 평년보다 강수가 감소하고 건조했으며 인도 북서쪽에서는 강수가 증가해 인도여름몬순이 강화되었음. 이 강화된 몬순에 의해 인도지역에서는 상승운동이 강화되었고, 이로 인해 유도된 강제력이 중위도 상층 편서풍에 영향을 주면서 CGT 패턴을 강화시킬 수 있음 (Ding and Wang 2005)
- CGT 패턴은 북반구 여름철 원격상관패턴으로 동아시아지역 여름철 기온과 강수에 영향을 미치는 것으로 알려져 있음. CGT 패턴은 여름철 200hPa 지위고도장의 변동성과 관련되어 있으며 중위도 북미~유럽~중앙아시아~동아시아에 걸쳐 파동 형태로 나타나는 구조를 보임 (그림 35)
- 양의 CGT 패턴과 1994년 7월 북반구 200hPa 지위고도 편차와 비교하면 서로 매우 유사함 (그림 29a, 그림 35). 이는 인도양 지역 대류활동에 의해 유도된 원격상관 패턴이 북반구 순환장에 기여한 것으로 해석할 수 있고, 그 영향으로 우리나라는 고기압성 편차의 영향을 받은 것으로 판단됨



그림 35. 양의 CGT 해와 음의 CGT 해 간의 200hPa 지위고도 편차장의 합성장 차이 (Fig.5(b) in Ding and Wang, 2005)

- 인도양의 영향과 더불어 우리나라 여름철 순환장은 아열대 서태평양 대류활동의 영향을 직접적으로 받음 (Kwon et al. 2005; Ham et al. 2016)
- 1994년 7월에는 서태평양 아열대 지역, 특히 남중국해에서 필리핀 동쪽까지 지속 적으로 강한 대류활동이 나타났음 (그림 33). 이 지역에서 대류활동이 강하면 그 보상하강운동으로 우리나라와 일본에 걸쳐 대류활동이 약화되고 고기압성 편차가 발달할 수 있는 호조건을 제공함 (Pacific-Japan(PJ) 패턴, Kosaka and Nakamura 2006)

- 우리나라 주변 850hPa 지위고도 및 바람 편차장을 보면, 남중국해와 필리핀해 부근에서 저기압성 흐름, 우리나라와 일본 지역에서 고기압성 흐름, 그 북쪽으로 다시 고기압성 흐름이 나타나는데 이는 PJ 패턴과 연관된 대기 순환장과 매우 유사함 (그림 29c, 그림 36). 이는 우리나라 주변 순환장에 서태평양 대류활동과 연관된 PJ 패턴이 영향을 미쳤음을 의미함
- PJ 패턴과 관련된 대류활동은 인근 지역 해수면온도와 깊게 연관되어 있음 (Su et al. 2001). 따라서 열대 서태평양 자체적으로 PJ 패턴을 유발하고 중위도 기압계에 영향을 미쳤을 가능성이 있지만, 열대 서태평양과 인도양의 해수면온도 및 열대 대류활동은 완전히 독립적이지 않고 서로 연관되어 있다는 연구 (Wu et al. 2010; Kosaka et al. 2013; Xie et al. 2009)들이 많이 보고되어 있기 때문에, 인도양과 열대 서태평양의 중위도 기압계에 미친 영향을 선형적으로 분리하기는 어려움



그림 36. 양의 PJ 패턴 해의 해면기압 편차장 합성도 (Fig.4(c) in Kosaka and Nakamura 2006)

- 1994년 7월은 평균기온 28.0℃, 월 강수량 84.7mm로 매우 덥고 건조했음
- 우리나라의 높은 기온과 건조한 환경은 양의 지위고도 편차와 관련 있음. 상층 고기압에 의해 지속적인 하강기류가 만들어지고 대기 안정도가 증가하면서 단열 가열에 의한 기온상승이 일어났고, 고기압의 영향이 지속되면서 일사량도 증가해 기온상승에 기여했음
- 상층에는 북대서양부터 북태평양까지 강하고 지속적인 파동패턴이 자리 잡고 있어 우리나라에 위치한 고기압성 흐름이 빠져나가기 어려웠음
- 인도양에 쌍극자 모드가 발달하면서 인도 여름몬순이 강화되었고 강화된 몬순에 의한 강제력은 CGT패턴이 강화될 수 있는 환경을 만들어 동북아시아에 고기압성 순환이 강화됨
- 아열대 서태평양 대류활동과 연관된 PJ패턴의 영향으로 우리나라와 일본에 고기압성 순환이 강화될 수 있었음
- 7월 높은 기온과 적은 강수를 유발한 우리나라 주변 양의 지위고도 편차는 인도양
 및 서태평양 대류활동과 연관된 원격상관이 모두 중요한 역할을 한 것으로 판단됨

2.4. 8월 기온 최고 사례 : 2013년 8월

- 전국 평균기온은 27.3℃로 7월의 평년값인 25.1℃에 비해 2.2℃ 높았음. 최고기온 32.3℃, 최저기온 23.4℃로 각각 최고1위, 2위를 기록하였음
- 8월 중순까지는 기온편차가 평년보다 3℃ 가까이 높았고 하순에는 기온이 떨어졌 으나 8월 내내 평년보다 높은 기온을 유지했음
- 전국 평균 열대야 일수는 9.2일로 8월 중 가장 많았음
- 전국 평균 월 강수량은 164.0mm로 비가 적게 내렸음. 강수일수가 매우 적지는 않았고 하순에 두 차례 많은 비가 내렸으나 강수량은 평년보다 적었음. 특히, 온도 편차가 컸던 동해안지역의 강수량이 매우 적었음



그림 37. 2013년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 38. 2013년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면, 우리나라는 양의 지위고도 편차의 영향을 지배적으로 받았으며 중위도에서는 (+)~(-)~(+)~(-) 지위고도 편차가 이어져 나타나 파동형태를 이룸. 유라시아 대륙 고위도와 중위도에서는 전반적으로 양의 지위고도 편차가 지배적이었음. 이러한 지위고도 분포는 200hPa과 500hPa에서 유사하게 나타남 (그림 39a,b)
- 북태평양고기압의 영역을 나타내는 5880gpm 선이 평년에 비해 상당히 서쪽으로
 치우쳐 북태평양고기압의 세력이 평년에 비해 서쪽으로 발달했음을 보임 (그림 40)
- 상층의 티벳 고기압 세력을 나타내는 200hPa 지위고도장의 12480gpm 선은 평년보다 북쪽과 동쪽으로 확장해 고기압 세력이 강해졌음을 보임. 고기압 세력의 확장은 12520gpm 선에서 더 뚜렷하게 보이는데 평년에는 중국 내륙에 위치한 12520gpm 선이 우리나라 남해까지 진출했음 (그림 40)



그림 39. 2013년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 하층 지위고도 배치는 상층과 유사한 패턴으로 상·하층이 이어진 순압구조를 보였으나 양의 지위고도 편차의 위치가 상층보다 남쪽에 위치해 우리나라는 음의 편차의 남쪽 가장자리에 위치함. 우리나라 바로 남쪽에 양의 편차가 위치해 하층 바람은 서풍이 지배적으로 나타남 (그림 39c)
- 온도 분포는 순환장 분포와 일치해 양의 편차 지역에서 높은 온도편차가 나타났으며 북반구에서는 일부지역을 제외하고 대부분의 지역에서 양의 온도편차가 나타남 (그림 39e)
- 상층제트는 우리나라 북서쪽과 일본에서 세기가 강화되었고 제트의 동쪽 부분은 평년보다 남하했음 (그림 41)
- 우리나라 주변에서는 건조한 영역을 따라 하강운동이 나타났으며 지표에서 받는 일사량도 평년에 비해 많았음 (그림 42)



그림 40. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2013년 8월 평균값과 (실선) 8월 기후값(점선)



그림 41. 2013년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 42. 2013년 8월 하향지표태양복사 편차 [W/m²], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변을 비롯한 북태평양 해수면온도는 전반적으로 양의 편차를 보였음 (그림 43)
- 열대 동태평양에서는 음의 해수면온도 편차, 서태평양에서는 양의 편차가 나타나 약한 라니냐 비슷 상태를 보였음 (그림 43)
- Nino3.4 지수값은 -0.4, Nino3 지수값은 -0.6으로 음의 값을 보였고 중태평양으로 갈수록 음의 편차는 약해짐. 2010년부터 2012년 초까지 라니냐가 이어졌고 그 이후로 열대 동태평양 해수면온도는 중립 또는 약한 음의 편차를 유지하고 있었음 (그림 45)
- 대서양에서는 중위도에 양의 온도편차가 강했고 열대와 극쪽으로 약하게 음의 편차가 나타나 (-)~(+)~(-)의 분포를 보였음 (그림 43)
- 바렌츠-카라해에서는 매우 강한 양의 해수면온도 편차가 나타났는데 2m 온도장 에서도 온도가 높게 나타났음 (그림 43, 그림 39). 북극해의 높은 해수면온도는 온난화 경향의 영향도 포함되어있음
- 열대지역에서 대류활동은 남중국해와 서태평양 도서지역, 동인도양에서 활발한 대류활동이 보였음. 반면 열대 중서태평양에서는 대류활동이 억제되었음 (그림 44)
- 강수의 공간분포는 서태평양 도서지역과 필리핀해, 남중국해, 동인도양 지역에서는 양의 강수편차, 중서태평양과 우리나라, 일본에서는 음의 강수편차가 나타남 (그림 44)



그림 43. 2013년 8월 해수면온도 편차





4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 2013년 6월 사례에서도 언급한 바와 같이 2013년에는 인도 여름몬순이 강했으며 (그림 23) 이로 인한 강제력은 중위도 상층 편서풍에 영향을 주면서 CGT 패턴을 유도할 수 있음. 2013년 8월에 상층에서 나타난 파동전파 형태의 지위고도 패턴은 CGT 패턴과 유사함 (그림 39a). CGT 패턴은 북반구 여름철 원격상관패턴으로 동아 시아 지역 여름철 기온과 강수에 영향을 미치는 것으로 알려져 있음
- 유라시아 대륙 상층에 발달한 티벳 고기압이 한반도까지 확장하고 북태평양고기압 세력이 강해지면 중층~상층까지 이어지는 고기압의 영향으로 하강기류가 강화되고 단열상승과 일사량 증가에 의해 지표기온이 상승할 수 있음

- 2013년 8월에는 상층에 티벳 고기압이 평년보다 훨씬 동쪽까지 확장하였고 북태 평양고기압도 평년보다 강하게 발달해 서쪽까지 진출했으며 180°E 부근에 위치한 중심기압도 평년보다 더 높게 나타남 (그림 39, 그림 40)
- 우리나라 여름철 순환장은 아열대 서태평양 대류활동의 영향을 직접적으로 받음 (Kwon et al. 2005; Ham et al. 2016). 아열대 남중국해 지역에 대류활동이 강하면 그 보상하강 운동으로 우리나라와 일본에서 대류활동이 약화되고 고기압성 순환이 발달하기 좋은 조건이 됨
- 2013년 8월에는 지속적으로 강한 대류활동이 열대 서태평양 도서지역과 아열대 남중국해에서 나타났음 (그림 44). 열대와 아열대 서태평양 인도네시아와 필리핀해 부근의 해수면온도는 높은 반면 열대 중태평양과 동태평양 해수면온도는 낮아 아열대 남중국해 지역의 대류활동은 강해지고 중태평양에서는 대류활동이 억제될 수 있었음 (그림 43, 그림 44). 대류활동이 강하게 나타난 남중국해지역(100-130°E, 0-25°N) 평균한 상향장파복사와 500hPa 지위고도장을 회귀분석하면 한반도에 고기압성 순환을 볼 수 있음 (그림 46)
- 2013년 8월은 중국과 일본에서도 기온이 매우 높게 나타났으며 특히 중국 화동지
 역과 화중지역의 온도편차가 크게 나타남 (그림 39e). 하층에서는 고기압성 순환이
 우리나라 남쪽에 위치해 서풍의 영향으로 중국 내륙의 뜨거운 공기가 우리나라로
 유입될 수 있었음 (그림 47)



그림 46. 아열대 서태평양지역 평균한 OLR에 대한 8월 500hPa 지위고도 선형회귀장



그림 47. 2013년 8월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차

- 2013년 8월은 평균기온 27.3℃, 월 강수량 164.0mm로 매우 더웠음
- 우리나라뿐 아니라 동북아시아 지역에서 매우 높은 기온을 기록했으며 높은 기온은 6월부터 이어졌음
- 높은 기온은 북태평양고기압과 상층 티벳 고기압의 강화와 확장과 관련 있으며 우리나라는 고기압의 영향으로 하강기류가 강해지고 일사량이 증가했으며 기온상승이 있었음
- 고기압의 확장은 아열대 서태평양 대류활동 증가와 관련 있음
- 하층에서 우리나라는 고기압성 편차의 가장자리에 위치해 건조하고 뜨거운 대륙으 로부터 불어오는 서풍의 영향을 받았음

2.5. 5월 기온 최저 사례 : 1992년 5월

- 전국 평균기온은 15.9℃로 5월의 평년값인 17.2℃에 비해 1.3℃ 낮았음
- 전국적으로 기온이 낮게 나타났으며 기온이 평년보다 높은 날도 일부 있었으나
 대체로 낮게 유지되었고 5월 말에 큰 폭으로 하강한 시기가 있었음
- 전국 평균 월 강수량은 98.2mm, 41.8퍼센타일로 평년과 비슷했으나 지역적으로
 차이가 커 경기북부와 강원북부에서는 강수가 많았지만 중부와 남부지방에서는
 강수가 적었음



그림 48. 1992년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 49. 1992년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장은 우리나라가 위치한 30°N 위도대를 따라 음의 지위고도 편차,
 그 북쪽으로는 양의 지위고도 편차가 파동전파 형태로 나타났고 북극에는 강한 음의 편차가 나타남 (그림 50a)
- 바이칼호 부근에 양의 지위고도 편차가 위치하고 우리나라에는 기압골이 위치해 상층의 차가운 공기가 우리나라 쪽으로 남하할 수 있었음 (그림 50b)
- 상층의 지위고도 배치는 하층에서도 유사하게 나타났으며 특히 북극의 음의 편차와 이를 둘러싼 양의 편차가 하층에서도 잘 나타났음 (그림 50a-d). 이러한 지위고도 분포는 양의 북극진동이과 유사한 패턴임. 북극진동 지수는 양의 값을 보였으며 이전 겨울부터 양의 북극진동이 이어졌음 (그림 52)



그림 50. 1992년 5월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 북태평양에서는 베링해 부근에 양의 지위고도 편차가 나타나고 남쪽에 음의 편차가 나타나 음의 북태평양진동⁷⁾과 유사한 패턴을 보임 (그림 50c,d)
- 하층에서 우리나라는 음의 지위고도 편차와 양의 지위고도 편차 사이에 위치해 북동풍과 북풍편차의 영향을 받음 (그림 50c)
- 순환장과 관련된 기온분포는 양의 지위고도 편차가 나타난 스칸디나비아반도 부근과 시베리아, 미국 서부 등에서 기온이 높았고 음의 지위고도 편차가 나타난 우랄산맥 부근과 우리나라, 미국 동부에서는 기온이 낮았음. 특히 그린란드는 음의 온도 편차가 매우 크게 나타남 (그림 50e)
- 상층제트는 북편 또는 남하해 우리나라 주변에서 바람 세기가 감소했음 (그림 51)



그림 51. 1992년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 52. (좌) 1990년 5월 - 1992년 12월 북극진동 지수, (우) 1992년 5월 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 높았으며 날짜변경선 부근까지 양의 해수면
 온도 편차가 나타났음. 양의 해수면온도 편차는 미국 서부해안까지 이어졌음

- 일본 동쪽으로 중위도 북태평양에서는 해수면온도가 평년보다 낮았으며 열대 서태 평양부터 중위도 북태평양까지 대각선 방향인 남서-북동방향으로 온도가 낮게 나타남. 낮은 온도가 나타나는 해역의 북쪽으로는 양의 해수면온도가 나타났는데, 이 지역은 지위고도 편차도 높게 나타났음 (그림 53, 그림 50)
- 열대 서태평양 도서지역과 동인도양에서는 양의 해수면온도 편차가 나타났고 인도양
 북서쪽에서는 약한 음의 해수면온도 편차가 나타남 (그림 53)
- Nino3.4 지수 1.2, Nino3 지수는 1.3으로 엘니뇨 상태를 보였으며 이전 겨울에 엘니뇨가 발생한 뒤 쇠퇴하면서 양의 해수면온도가 서서히 감소하는 시기였음 (그림 55좌)
- 인도양 쌍극자 모드 지수는 연 초부터 음의 값을 유지했으며 동인도양 해수면온도가
 서인도양보다 높았음 (그림 55우)
- 열대 대류활동은 열대 태평양에서 적도를 따라 강하게 나타났고 적도 바로 북쪽과
 열대 서태평양에서는 대류활동 억제가 나타남. 호주와 열대동인도양에서는 대류 활동이 증가하고 열대 서인도양에서는 대류활동 감소가 나타남 (그림 54)
- 열대 대서양과 그린란드 남쪽 북대서양에서는 음의 해수면온도 편차가 나타나고
 그 사이에서는 양의 해수면온도 편차가 나타나 열대부터 (-)~(+)~(-) 순으로 온도
 편차가 이어짐 (그림 53)





그림 54. 1992년 5월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 5월은 기온과 관련되어 영향을 주는 기후학적 모드가 뚜렷하게 나타나지 않는 달임
- 1992년 5월 상반기에는 이동성 고·저기압의 영향을 받았으나 중후반 이후로는 기압골이 우리나라 상공에 정체해 영향을 주었음
- 바이칼호 부근에 기압능이 발달해 정체하면서 우리나라에는 기압골이 위치하고
 북풍이 불어 차가운 공기가 남하할 수 있었음 (그림 50)
- 북태평양 지역에 고기압성 순환이 발달한 경우 우리나라 5월 기온이 높은 경향이 있음. 1992년 5월에는 반대로 유라시아 대륙부터 중위도 북태평양까지 음의 지위 고도 편차가 발달해 우리나라는 저기압성 흐름의 영향을 받았으며 기온이 낮았음 (그림 50)
- 북태평양에 북쪽의 양의 지위고도 편차와 남쪽의 음의 지위고도 편차로 나타난 지위고도 배치와 그린란드 주변의 강한 음의 편차는 5월 기온이 높았던 2017년과 반대패턴으로 나타남 (그림 5, 그림 50)
- 전지구 육지 기온과 북반구 육지 기온 관측에서도 평균온도가 낮은 편에 속하는 해임. 북반구에서는 1992년 이후로 5월 기온은 1992년보다 낮은 해가 없었음 (그림 56)



그림 56. 1880-2018년 5월 평균기온 편차 (Base period 1951-1980). (좌) 전구 관측소 (station) 자료 평균, (우) 북반구 관측소 자료 평균

*출처 : Goddard Institute for Space Studies (GISS) Surface Temperature Analysis https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/customize.html

- 1992년 5월은 평균기온 15.9℃로 평년보다 기온이 매우 낮았음
- 기온과 관련해 지속적으로 영향을 준 기후학적 모드가 뚜렷하게 나타나지 않았던 가운데 우리나라는 이동성 고·저기압의 영향을 받았으며 우리나라에 위치한 기압 골과 북서쪽의 기압능의 영향으로 북풍이 불어 차가운 공기가 남하할 수 있었음
- * 북극진동 (Arctic Oscillation, AO)
- 북극 주변을 돌고 있는 강한 소용돌이가 수십일 또는 수십년 주기로 강약을 되풀이 하는 현상으로 북반구 겨울철에 강하게 나타남 (Thompson and Wallace 2000; 장기예보 가이던스(II), 2016)
- 북극진동의 패턴은 1000hPa 지위고도 (또는 해면기압) 편차의 경험적 직교함수 (Empirical orthogonal function)의 첫 번째 모드로 정의됨
- 양(음)의 북극진동 일 때 중위도 지역에서 양(음)의 지위고도 편차, 극 지역에서
 음(양)의 지위고도 편차로 나타남



그림 57. 양의 북극진동 패턴 (1000hPa 지위고도 편차의 EOF 첫 번째 모드) * 출처 : http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.loading.shtml

- * 서태평양 패턴(Western Pacific pattern)/북태평양 진동(North Pacific Oscillation, NPO)
- 서태평양 패턴은 북태평양 중위도~고위도에서 남북방향의 쌍극 형태로 나타나는 대기순환 패턴으로 알류샨 저기압과 아시아-태평양 제트의 남북방향 이동과 관련 되어 있음 (Wallace and Gutzler 1981; Di Lorenzo et al. 2010)
- 서태평양 패턴과 관련된 해면기압 변동은 북태평양 진동으로 나타남
- 서태평양 패턴(북태평양진동)과 관련된 기압 패턴은 베링해 부근과 북태평양
 중앙에 중심이 위치하고 부호가 반대로 나타나는 남북방향의 쌍극 구조로 나타남
- 서태평양 패턴(북태평양진동)은 모든 계절에 나타나지만 겨울철에 가장 강함



그림 58. (좌) 양의 서태평양패턴일 때의 지위고도 편차, (중) 서태평양패턴 지수와 지표온도 편차 와의 상관성, (우) 서태평양패턴 지수와 강수 편차와의 상관성 * 출처 : http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml

2.6. 6월 기온 최저 사례 : 1992년 6월

- 전국 평균기온은 20.1℃로 6월의 평년값인 21.2℃ 보다 1.1℃ 낮음
- 전국 평균 월 강수량 41.8mm, 5.5퍼센타일로 강수도 매우 적었음
- 전국적으로 기온이 평년보다 낮았으며 중부지방의 기온편차가 컸음. 6월 초반을
 제외하고 계속해서 기온이 평년보다 낮았으며 낮은 기온은 5월부터 이어졌음



그림 59. 1992년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 60. 1992년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장에서 유라시아 대륙에는 (+)~(-)~(+)~(-) 지위고도 편차가 나타나는 파동전파 형태로 기압능과 기압골이 번갈아가며 위치함 (그림 61a)
- 우리나라 북쪽으로 바이칼호 동쪽에 기압능이 위치하고 우리나라는 기압능 남쪽의
 약한 기압골에 위치함. 이러한 지위고도 배치는 5월과 일부 유사했으나 5월에
 북극에 강하게 나타났던 음의 편차는 6월에 약해졌음 (그림 50b, 그림 61b)
- 북태평양에 음의 지위고도 편차가 강하게 나타났으며 상층부터 하층까지 이어져 나타남 (그림 61a-d)
- 하층 순환장 분포는 고위도에서는 상층과 유사했으나 우리나라 주변에서는 북서태
 평양에 양의 편차가 나타나고 상층에서 우리나라에 나타난 음의 편차도 하층으로
 갈수록 약해짐 (그림 61c,d)
- 하층 바람은 저기압성 순환의 영향으로 북풍계열의 바람편차가 나타남 (그림 61c)



그림 61. 1992년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온은 순환장 분포와 유사하게 양의 편차 지역에서는 기온이 높게 나타났고
 음의 편차가 나타난 우랄산맥 부근과 북아메리카 동부 지역에서는 기온이 낮게
 나타남. 동북아시아에서는 음의 기온편차가 나타났음 (그림 61e)
- 상층제트는 일본 동쪽인 북태평양에서 세기가 강해지고, 제트의 중심도 동편함 (그림 62)



그림 62. 1992년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변과 일본 남동쪽으로 중위도 북태평양에서 해수면온도가 낮은 지역이
 나타남 (그림 63)
- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 높았고 날짜변경선 근처까지 양의 온도편차가 나타남. 양의 온도 편차는 북아메리카 서해안까지 이어졌으며 서태평양 도서지역 에서도 해수면온도가 높게 나타남. 이러한 해수면온도 분포는 5월부터 계속되었음 (그림 63, 그림 53)
- Nino3.4 지수는 0.7로 높았으며 이전 겨울에 엘니뇨가 발생하고 쇠퇴하는 기간이 었음 (그림 65)
- 열대 대류활동은 서태평양 도서지역과 열대 중태평양에서 동태평양까지는 일부 강화되었고 아열대 중태평양에서는 대류 억제가 나타남. 우리나라에 영향을 줄 수 있는 아열대 서태평양에서는 대류활동이 억제되었으나 강하지 않았음 (그림 64)
- 인도 북부에서는 대류활동 억제가 뚜렷하게 나타났고 강수도 음의 편차가 나타나
 인도 여름몬순이 약했음 (그림 64, 그림 23)





그림 64. 1992년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

 여름철 우리나라는 해양에서 발달한 북태평양고기압과 유라시아 대륙에서 발달한 상층 고기압의 영향을 강하게 받을 때 기온이 높은 경향이 있음. 1992년 6월에는 이와 반대로 우리나라와 중위도 유라시아 대륙은 상층에 저기압성 순환이 나타났고 북태평양에도 저기압성 흐름이 나타나며 북태평양고기압이 약해 우리나라 주변까지 세력을 확장하지 못했음 (그림 61)

- 상층에서 파동전파 형태로 나타나는 지위고도 편차는 여름철 우리나라 상층에서 고기압을 발달시키는 CGT와 반대 부호로 유사한 패턴임. CGT를 강화시키는 인도 여름몬순은 1992년에 약했고 (그림 23) 강수 분포에서도 인도 북부에서 음의 강수 편차가 강하게 나타났음 (그림 64)
- 열대 태평양에서는 지난 겨울에 발생한 엘니뇨가 소멸 단계에 있었으나 해수면온도 분포에서는 동태평양과 중태평양에서 양의 해수면온도가 지속되고 북태평양 중앙 에서는 음의 해수면온도가 지속되면서 북태평양고기압 세력의 발달을 저지하는데 영향을 주었음
- 6월 한 달 동안 저기압과 이동성 고기압이 지나가면서 날씨 변동이 주기적으로 나타났음
- 우리나라 북동쪽으로 오호츠크해 부근에 고기압성 편차가 위치하면서 우리나라는
 고기압성 순환의 영향을 받아 북풍 편차가 있었음

- 1992년 6월은 평균기온 20.1℃로 평년보다 기온이 매우 낮았음
- 우리나라에 크게 영향을 주는 뚜렷한 기후인자의 영향보다 저기압과 이동성 고기 압이 번갈아 지나가면서 기온변동이 있었고 중위도 유라시아 대륙의 상층 고기압과 북태평양고기압이 약화되면서 우리나라는 저기압성 편차의 영향을 주로 받았음
- 오호츠크해 부근에 고기압성 편차가 위치하면서 북풍 편차의 영향으로 우리나라
 쪽으로 찬 공기가 유입될 수 있었음

2.7. 7월 기온 최저 사례 : 1993년 7월

- 전국 평균기온은 22.2℃로 7월의 평년값인 24.5℃에 비해 2.3℃ 낮았음
- 전국적으로 평년보다 기온이 낮게 나타났으며 동쪽으로 갈수록 기온이 더 낮았음
- 7월 한 달 내내 평년보다 기온이 낮았으며 중순을 지나면서 기온이 더 크게 떨어 졌음
- 전국 평균 월 강수량은 290.2mm, 64.8퍼센타일로 평년과 비슷했음



그림 66. 1993년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 67. 1993년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 우리나라는 음의 지위고도 편차의 영향을 지배적으로 받 았음 (그림 68a)
- 북극에 중심을 둔 음의 지위고도 편차, 이를 둘러싼 양의 편차와 양의 편차 남쪽
 으로 음의 편차가 나타남. 중국 내륙에서부터 북태평양 중앙까지 음의 편차가
 이어지고 그 동쪽으로는 양~음 편차가 번갈아가며 나타나는 파동 전파 형태가
 나타남 (그림 68a,b)
- 상층의 지위고도 배치 패턴은 하층까지 이어져서 850hPa 지위고도장에서도 유사 하게 나타남 (그림 68a-d)
- 하층바람은 우리나라 남쪽에 위치한 저기압성 흐름의 영향으로 동풍 편차가 나타남 (그림 68c)



그림 68. 1993년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 해면기압은 우리나라에 음의 편차가 위치하고 북서쪽으로 오호츠크해 근처에 양의 편차가 나타남. 북태평양에는 음의 편차가 나타났고 북아메리카 서쪽으로는 양의 편차가 나타남 (그림 68d)
- 북태평양고기압을 나타내는 5880gpm 선은 평년과 비슷하게 서쪽까지 진출했음.
 그러나 평년보다 남하해 우리나라 부근에서는 음의 편차가 나타났으며 (그림 68b)
 5820qpm 선은 평년보다 남쪽에 위치해 우리나라 남해상을 지나감 (그림 70)
- 상층의 티벳 고기압을 나타내는 12480(또는 12520)gpm 선 또한 동쪽 경계는 평년과 비슷하게 일본 남쪽까지 확장해 왔으나 북쪽 경계는 남하해 동북아시아에서는 저기압성 편차가 나타남 (그림 70, 그림 68a)
- 순환장과 연관된 기온분포를 보면 음의 편차가 나타난 지역을 따라 음의 기온편차가
 나타남. 우리나라와 일본을 비롯한 위도 30°-50°N를 따라 음의 기온편차가 나타났
 으며 특히 미국 서부에서 온도가 크게 낮았음 (그림 68e)
- 상층제트는 우리나라 상층에서는 평년보다 남하했으며 세기가 약간 강해졌음 (그림 69)



그림 69. 1993년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 70. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1993년 7월 평균값과(실선) 7월 기후값(점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 낮았으며 서해부터 일본 동쪽을 지나 북태평양까지 위도 30°-50°N에서 해수면온도가 평년보다 매우 낮은 지역이 동서방향으로 길게 나타남 (그림 71)
- 열대 동태평양과 중태평양에서는 양의 해수면온도 편차가 나타나 Nino3.4 지수는 0.3으로 양의 값이지만 중립에 가까웠음 (그림 73)
- 열대 동태평양~중태평양에 양의 해수면온도 편차, 그 바깥쪽으로 음의 해수면온도 편차가 나타나는 분포는 엘니뇨 발달 여름철의 분포와 일부 유사함 (그림 71)
- 열대 서태평양 도서지역 일부와 필리핀 동쪽에서는 음의 해수면온도 편차가, 남중 국해에서는 양의 온도 편차가 나타남. 오호츠크해와 북태평양 알래스카 남쪽에서는 양의 해수면온도가 나타남 (그림 71)
- 인도양은 대륙에 가까운 북인도양에서는 양의 해수면온도가 나타났으나 대양의 중앙에서는 음의 해수면온도 편차가 나타남. 북대서양에서는 음의 해수면온도 편차가 강하게 나타났음 (그림 71)
- 열대지역 대류활동은 열대 중태평양에서 강한 대류활동이 나타났고 북서쪽으로 가면서 대류활동 약화~강화가 나타남 (그림 72). 이러한 패턴은 엘니뇨 발달기 여름에 나타나는 3개-셀 구조의 대류활동 패턴과 매우 유사함



(a) OLF Jul / 1993 (b) Prcr Jul / 1993 90N 60N 30N 305 60S -60S 180 150W 120W 90W 120E 150E 60W 30W -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 -30 -20 -10 0 10 20 30

그림 72. 1993년 7월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



그림 73. 1991년 7월 - 1994년 2월 Nino3, Nino3.4 지수

4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 여름철 우리나라는 아열대 해양으로부터 발달한 북태평양고기압과 유라시아 대륙 상층에서 발달하는 고기압의 영향을 강하게 받음. 1993년 7월에 북태평양고기압과 대륙의 상층 고기압은 동서방향으로는 평년과 비슷하게 진출했으나 전체적으로 남하함 (그림 68a,b). 고기압 세력의 남하는 상층제트의 남하와도 관련되어 있으며 1993년 7월에 상층제트는 평년보다 남하했음 (그림 69)
- 여름철 오호츠크해 고기압 강도와 우리나라 주요 지점에서 관측된 여름철 이상저온 출현 빈도 간에 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있음 (허인혜와 이승호 2006).
 즉, 오호츠크해 고기압이 강해질수록 우리나라에 이상저온이 많이 발생했음
- 오호츠크해 고기압은 우리나라 쪽으로 한기를 직접적으로 유입시켜 기온 감소에 기여할 뿐 아니라 우리나라 부근으로 남서기류가 유입되는 것을 막고 대류활동을 약화시킴. 즉 오호츠크해 고기압이 강할 때 남풍 및 남동풍 유입이 저지되고 반대로 약한 경우 북태평양고기압으로부터의 남풍 및 남동풍 유입이 증가함 (임장호와 변희룡 2000)
- 1993년 7월에는 오호츠크해 부근에 양의 편차가 위치했고 그 남동쪽으로는 음의 편차가 위치함. 850hPa 기온과 바람 분포를 보면 캄차카 반도 남쪽에 강한 음의 기온편차가 위치하고 있으며 이 지역으로부터 우리나라 쪽으로 동풍이 불면서 음의 온도편차 이류에 의한 기온 하강이 나타남 (그림 74). 우리나라 기온분포에서도 동쪽 기온이 더 낮아 동서 편차가 크게 나타났음 (그림 66)



그림 74. 1993년 7월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차

- 열대 대류활동은 열대 중서태평양부터 북서쪽으로 대류 증가~억제~증가로 나타났고 대류활동과 연관된 강수는 증가~감소~증가하는 분포가 나타났음 (그림 72). 열대 강수가 유도한 대기 순환에 의해 북서쪽에 반대 위상의 강수 편차가 형성되면서 열대의 시그널이 점차 북서쪽으로 전파되면서 우리나라 동남쪽에 고기압성 흐름을 유도할 수 있고, 고기압성 흐름에 의해 남서풍이 유도되면서 하층 제트를 강화시켜 우리나라 강수를 증가시킬 수 있음. 여름철에 강수가 증가하면 일사량 감소로 기온 하강을 일으킬 수 있음
- 우리나라 동쪽으로 중위도 북태평양에서 동서방향으로 길게 해수면온도가 낮게 나타나는 분포는 봄부터 계속해서 나타났음. 낮은 해수면온도 영역을 따라서 저기 압성 편차가 나타났는데 해수면온도가 계속해서 차갑게 유지되면서 그 위에 놓인 북태평양고기압 발달을 저지한 것으로 보임. 차가운 해수면온도는 가을까지 유지 되었음 (그림 75)



그림 75. 1993년 5월부터 9월까지 해수면온도 편차

- 1993년 7월은 평균기온 22.2℃로 평년보다 기온이 매우 낮았음
- 여름철 우리나라에 영향을 주는 고기압 세력이 크게 발달하지 못했으며 우리나라는 저기압성 편차의 영향을 받았음
- 우리나라에 위치한 저기압성 순환과 오호츠크해 부근 고기압성 순환의 영향으로 동풍이 불면서 차가운 공기가 유입될 수 있었음
- 봄철부터 북태평양 해수온도가 낮게 유지되면서 북태평양고기압 발달을 저지함

2.8. 8월 기온 최저 사례 : 1993년 8월

- 전국 평균기온은 22.1℃로 8월의 평년값인 25.1℃ 보다 3.0℃ 낮았음
- 전국 평균 월 강수량 373.1mm, 78퍼센타일로 강수량이 많았으며 강수일수도 많아 비가 오고 흐린 날이 많았음
- 전국적으로 고르게 기온이 평년보다 낮았으며 남해안과 경북지역에 많은 강수가
 내렸음



그림 76. 1993년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 77. 1993년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 우리나라는 음의 지위고도 편차의 영향을 지배적으로 받았으며 음의 편차는 하층까지 이어져 순압구조를 보였음 (그림 78a-d)
- 상층 등고선을 따라 유럽에서부터 시작된 음의 편차가 우리나라까지 이어져 나타남. 이러한 지위고도배치는 7월에도 나타난 패턴이 이어졌음 (그림 78a, 그림 68a)
- 북극 바렌츠-카라 부근에 중심을 둔 양의 편차와 중위도에서 이를 둘러싼 음의 편차가 나타나 음의 북극진동과 비슷한 패턴을 보임 (그림 78a-d)
- 하층바람은 우리나라에 위치한 저기압성 순환의 영향으로 북풍 편차가 나타남 (그림 78c). 편차가 아닌 평균장에서도 우리나라에는 북풍계열의 바람이 불어 극 쪽에서 상대적으로 차가운 공기의 이류가 있었음 (그림 79)



그림 78. 1993년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 해면기압은 우리나라와 일본 동쪽으로 음의 편차가 나타나고 북극 바렌츠-카라 해 부근에 고기압성 편차가 나타남. 북극의 고기압성 편차는 7월부터 나타났으며 8월에 더 강해졌음 (그림 78d, 그림 68d)
- 5880gpm 선은 평년보다 서쪽까지 확장되어 나타났으나 남쪽으로 내려갔고 5820
 gpm 선도 평년보다 남쪽에 위치해 우리나라 남해안에 걸쳐있음. 북서태평양 고기 압은 평년보다 남하한 것으로 나타남 (그림 81)
- 순환장과 연관된 기온분포는 순환장 분포와 유사하게 음의 편차가 나타난 지역에
 서는 음의 기온편차가 나타남. 우리나라가 위치한 중위도 30°N 부근에서는 음의
 기온편차가 나타났음. 기온 분포는 7월과 유사하게 나타남 (그림 78e, 그림 68e)
- 상층제트는 전체적으로 평년보다 남하했으며 우리나라 서쪽으로 중국 북서부에 위치한 중심은 세기가 평년보다 강해졌음 (그림 80)



그림 79. 1993년 8월 850hPa 지위고도(채색)와 바람(벡터) 평균값



그림 80. 1993년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 81. 5880gpm, 5820gpm (하늘색), 12520gpm, 12480gpm (연두색) 선의 1993년 8월 평균값과(실선) 8월 기후값(점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 낮았으며 서해부터 일본 동쪽으로 음의 지위고도 편차가 위치한 30°N 위도대를 따라 해수면온도가 낮게 나타남. 이러한 낮은 해수면온도는 봄부터 지속되었으며 7월에 비해 8월에는 더 강해졌음 (그림 82, 그림 75)
- 열대 동태평양과 중태평양에서는 양의 해수면온도 편차가, 서태평양에서는 음의 해수면온도 편차가 나타나 약한 엘니뇨와 일부 유사한 상태를 보였으나 Nino3.4 지수는 0.2으로 중립상태를 나타냈음 (그림 82, 그림 84)
- 북대서양에서는 그린란드 남쪽에서 약한 양의 해수면온도 편차가 나타났으며 그 외 지역은 음의 편차를 보였음 (그림 79)
- 열대지역 대류활동은 이전 달인 7월과 마찬가지로 열대 중태평양에서 대류활동이 강화되었고 북서쪽으로 가면서 남중국해에서 대류활동 억제, 우리나라 남쪽과 일본에서는 대류활동 강화가 나타남 (그림 83). 이러한 패턴은 엘니뇨 발달기 여름에 나타나는 3개-셀 구조의 대류활동 패턴과 유사함. 열대 중태평양의 대류활동 강화와 열대 서태평양 도시지역 및 인도양에서의 대류활동 억제는 늦봄에서 초여름 사이 (5-6월) 부터 지속적으로 나타났음
- 열대 동태평양 해수면온도는 1993년 봄부터 양의 편차를 보였으나 이후 점차 온도가 감소하면서 1993년 겨울에 엘니뇨로 발달하지는 않았음. 그러나 여름에 엘니뇨 발달시기와 비슷한 분포가 나타나면서 우리나라에 일부 영향을 준 것으로 보임






4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

 여름철 우리나라는 아열대 해양으로부터 발달한 북태평양고기압과 유라시아 대륙 상층에 발달하는 고기압의 영향을 강하게 받음. 1993년 8월 순환장 분포는 전달인 7월과 마찬가지로 북태평양고기압과 대륙의 상층 고기압이 발달하지 못하면서 우리나라 부근까지 확장하지 못하고 남하했음 (그림 78, 그림 81). 고기압 세력의 남하는 상층제트의 남하와도 관련되어 있으며 8월에는 7월과 마찬가지로 상층제트가 평년보다 남하했음 (그림 80)

- 여름철 오호츠크해에 고기압이 발달하면 우리나라 부근으로 남서기류가 유입되는 것을 막고 대류활동을 약화시킴. 즉 오호츠크해 고기압이 강할 때는 우리나라 부근으로 남풍 및 남동풍 유입이 저지됨 (임장호와 변희룡 2000). 1993년 8월에는 7월보다는 약해졌으나 하층에서 오호츠크해 부근에 양의 지위고도 편차가 나타났고 우리나라는 북풍의 영향을 받았음 (그림 78c,d, 그림 85)
- 1993년 8월은 해수면온도, 열대 대류활동 등도 전달인 7월과 유사하게 유지되었음.
 우리나라 동쪽으로 북태평양 해수면온도는 7월보다 더 음의 편차가 강해졌음.
 해수면온도가 계속 낮게 유지되면서 북태평양고기압이 크게 발달하지 못한 것으로 보임 (그림 82, 그림 75)
- 열대 대류활동은 7월과 유사하게 열대 중태평양부터 북서쪽으로 대류 증가~억제~
 증가의 구조가 나타남. 서태평양 도서지역의 대류억제는 7월보다 뚜렷하게 나타났음
 (그림 83)
- 7월 초반(9~10일) 제7호 태풍 로빈(ROBYN)이 남해상을 지나가면서 태풍의 영향으로 많은 비가 내렸고 강풍으로 인한 피해가 발생했음 (그림 86)



그림 85. 1993년 8월 850hPa 온도(채색)와 바람(벡터) 편차



그림 86. 1993년 제7호 태풍 로빈(ROBYN) 이동 경로

- 1993년 8월은 평균기온 22.1℃, 월 강수량 373.1mm로 평년보다 기온이 매우 낮았고 강수량이 많았음
- 여름철 우리나라에 영향을 주는 북태평양고기압과 상층의 대륙고기압 세력이 크게 발달하지 못했으며 우리나라는 저기압성 편차의 영향을 받았음. 저기압성 편차의 영향으로 북풍편차가 강하게 불었음
- 봄부터 북태평양 해수온도가 낮게 유지되면서 북태평양고기압 발달을 저지함
- 1993년 7월과 8월의 기압배치와 해수면온도, 대류활동 등이 유사하게 이어지며 계속 해서 낮은 기온을 기록함



2. 여름철 극값 사례 - 강수

2.9. 5월 강수 최다 사례 : 1997년 5월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 17.1℃로 5월의 평년값인 17.2℃에 비해 0.1℃ 낮았음
- 기온이 낮은 지역은 강원, 경기, 충청도와 전라도 내륙지역이 낮았고 호남 서해안과
 경상도 지역은 평년보다 기온이 높은 지역도 있었음
- 전국 평균 월 강수량은 189.0mm, 100퍼센타일로 강수량이 매우 많았음. 두 차례 정도의 강한 강수가 초중반에 있었으며 강수일수도 많았음
- · 강수량은 중부지방에서 매우 많았고 남부지방은 상대적으로 적었으며 전남 서해안과
 제주도는 강수량이 적었음



그림 87.1997년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 88. 1997년 5월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장을 보면 유럽에서부터 (-)~(+)~(-) 편차의 파동형태가 나타남 (그림 89a)
- 상층에서 캄차카 반도 부근 오호츠크해에 강한 음의 지위고도 편차가, 북동태평양과 북아메리카 동부에 강한 음의 지위고도 편차가 나타남. 캄차카반도 부근과 북동 태평양에서 나타난 음의 편차는 해면기압에서도 강하게 나타나 순압구조를 보임 (그림 89a-d)
- 우리나라에는 기압골이 위치해있고 상층부터 하층까지 이어진 음의 지위고도 편차의 영향을 받았음. 기압골은 동쪽으로 기울어져 캄차카 반도 부근에 음의 편차 중심이 위치함 (그림 89a-d)



그림 89. 1997년 5월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 하층 지위고도 배치는 북동태평양에 강한 음의 편차가 나타나면서 북태평양고기압의 중심이 서쪽으로 이동해 날짜변경선 부근에 위치함. 음의 편차는 우리나라와 일본 에도 위치하였고 캄차카 반도 동쪽 베링해 부근에도 강한 음의 편차가 나타나면서 북태평양고기압 세력이 서쪽으로 확장하지 못하고 남북방향으로도 약화된 것으로 보임 (그림 89c,d)
- 하층 바람분포를 보면 우리나라에는 저기압성 순환의 영향으로 서풍 편차가 지배 적으로 나타남 (그림 89c)
- 지표기온 분포는 양의 지위고도 편차가 나타난 중앙시베리아에서는 높게 나타났고 강한 음의 지위고도 편차가 나타난 캄차카반도 북쪽 동시베리아와 북태평양 중앙 에서는 낮게 나타남 (그림 89e)
- 상층제트는 우리나라 바로 남쪽에서 세기가 강해졌음. 최대 풍속이 나타나는 제트의
 중심은 일본 동쪽에 위치해 평년보다 북동쪽으로 이동했음 (그림 90)



그림 90. 1997년 5월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 높았으며 일본 동쪽 북태평양으로 길게 해수면온도가 높은 지역이 나타남 (그림 91)
- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 매우 높았음. Nino3.4 지수는 0.8로 양의 값을 보였으며 1997년 겨울에는 강한 엘니뇨가 있었음. Nino 지수 값은 1997년 초부터 계속 증가했으며 11월에 3.33으로 최대값을 나타냈음 (그림 91, 그림 93)
- 동태평양에서는 특히 Nino1+2 지역의 해수면온도가 매우 높게 나타났고 동태평양
 부터 날짜변경선 서쪽까지 적도를 따라서 높은 해수면온도가 길게 나타남. 또한
 열대 중태평양부터 미국 서부해안까지 대각선 방향으로 해수면온도가 높게 나타났음
 (그림 91)
- 중위도 북태평양에 음의 지위고도 편차가 나타났던 지역의 해수면온도는 낮았으며
 음의 해수면온도 편차는 대각선 방향으로 이어져 열대와 아열대 서태평양 해수면
 온도는 약한 음의 값을 보였음 (그림 91)

- 열대 대류활동은 열대 중태평양에서 매우 강하게 나타났고 열대 서태평양에서는 매우 억제되었음. 대류활동 억제 지역은 일본 남동쪽으로도 나타나며 우리나라 주변으로는 대류활동이 강화된 것으로 나타나 열대 중태평양부터 우리나라까지 대류활동 강화~억제~강화가 나타남. 이는 엘니뇨 발달기 여름에 보이는 3개-셀 구조와 유사함 (그림 92)
- 대서양에서는 열대 대서양부터 북쪽으로 올라가면서 (+)~(-)~(+) 해수면온도 편차가 나타남 (그림 91)



그림 91. 1997년 5월 해수면온도 편차



그림 92. 1997년 5월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 봄에는 강수유발 기작이 다른 계절에 비해 적어 남북류가 봄철 총 강수량에 상당한
 영향을 줄 수 있음
- 5월에는 하층에서 오호츠크해 지역에 저기압성 순환, 우리나라 동쪽에 고기압성 순환이 발달한 경우 우리나라 강수가 증가하는 경향이 있음. 1997년 5월에 850hPa 순환장을 보면 캄차카 반도 부근에 저기압성 순환이 나타나고 그 남쪽으로 약하지만 고기압성 순환이 나타남 (그림 89c). 이러한 기압배치는 고기압성 순환의 서쪽 가장자리를 따라 우리나라 쪽으로 남서풍이 불면서 하층 수증기 공급에 유리한 조건을 형성할 수 있음 (그림 94)
- 5월 서태평양 패턴 지수와 우리나라 강수는 0.32의 상관성을 갖고 있음. 서태평양 패턴 지수를 850hPa 지위고도장에 회귀분석하면 북태평양 북쪽에 저기압성 순환, 중위도에 고기압성 순환이 나타나고 남쪽의 고기압성 순환에 의해 남서풍이 유도 되면서 강수량 증가에 영향을 줄 수 있음 (그림 95)



그림 94. 우리나라 5월 강수에 회귀 분석한 850hPa 지위고도 편차. 점은 통계적으로 90% 유의한 지역



그림 95. (좌) 서태평양패턴(북태평양진동) 지수, (우) 서태평양패턴 지수에 회귀 분석한 850hPa 지위 고도 편차. 점은 통계적으로 99% 유의한 지역

- 1997년 5월은 초중반에 있었던 두 차례의 강한 강수에 의해 월 강수량이 크게 증가했음 (그림 88)
- 전국 평균 일강수량 30mm 이상 강수가 있었던 날이 3일 있었는데 이때 강수량은 각각 59.2mm(7일), 34.0mm(12일), 34.5mm(13일) 이었음. 세 날의 강수량 총합은 127.7mm로 월 강수량의 약 67%를 차지함
- 많은 강수가 있었던 7일과 12-13일, 그리고 강수량은 적지만 잦은 강수가 있었던
 후반기로 나누어 순환장을 살펴봄 (그림 96)
- 7일 강수는 우리나라를 지나는 기압골의 영향을 받았으며, 우리나라에는 저기압성 편차가 위치했고 북쪽에 저기압, 남쪽에 고기압성 편차가 위치해 상층에서 남하한 찬 공기와 남쪽의 따뜻한 공기가 만나 많은 비가 내렸음. 우리나라 남쪽에 위치한 하층 고기압성 순환의 영향으로 남서풍에 의해 아열대 서태평양으로부터 많은 수 증기가 공급될 수 있었음
- 12일과 13일은 중국내륙에서부터 이동해온 저기압과 우리나라 동쪽에 위치한 고기 압의 영향으로 많은 비가 내렸음. 하층에서는 강한 남서기류의 영향으로 아열대 서태평양의 따뜻하고 습한 공기가 유입될 수 있었음
- 후반기에는 저기압의 영향으로 약하지만 잦은 강수가 있었음



그림 96. 1997년 5월 중 강한 강수가 있었던 (위) 6일-8일 평균, (아래) 11일-14일 평균한 (좌) 해면기압 편차와 (우) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차

- 1997년 5월은 월 강수량 189.0mm로 강수가 매우 많았음
- 강수량은 많았으나 5월 내내 전반적으로 고른 강수가 있었다기보다 이벤트 성의 강수가 단기간에 많은 비를 내려 월강수량을 증가시켰음
- 오호츠크해 부근의 저기압성 편차와 우리나라 동쪽의 고기압성 순환은 강수가 많아질
 수 있는 환경을 만드는데 영향을 주었음

2.10. 6월 강수 최다 사례 : 1990년 6월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 21.2℃로 6월의 평년값인 21.2℃와 같음
- 전국 평균 월 강수량 314.6mm, 100퍼센타일로 강수가 많았음
- 전국 대부분 지역에서 평년보다 강수량이 많았고 남부지방보다 중부지방 강수량이
 많았으며 특히 경기 북부에서 비가 많이 내렸음
- · 강수가 많았던 중부지방은 평균기온이 평년보다 낮았으나 남부지방은 평년보다
 높았음



그림 97. 1990년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 98. 1990년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장을 보면 우리나라에 양의 지위고도 편차가 위치하고 우리나라 서쪽과 동쪽 북태평양에 음의 편차가 위치했으며 중위도를 따라서 음의 편차와 양의 편차가 번갈아 나타나는 파동전파 형태를 보임 (그림 99a)
- 하층에서는 우랄산맥 부근과 바이칼호 동남쪽에 음의 지위고도 편차, 한반도와 일본남부, 북태평양 중앙과 북대서양에 양의 지위고도 편차가 두드러지게 나타남.
 우리나라는 양의 편차의 서쪽 가장자리에 위치해 남서풍 편차의 영향을 받았으며 수증기 공급이 증가할 수 있는 환경이었음 (그림 99c)



그림 99. 1990년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 5820gpm 선은 우리나라에서는 평년보다 북쪽에 위치했으나 전체적으로 북상했다기 보다 지위고도의 굴곡이 강해지면서 우리나라 쪽으로 휘어졌음. 5880gpm 선은 우리나라 부근에 몰려있고 평년보다 북쪽으로 이동해 북태평양고기압이 북상한 듯 보이지만 북태평양 서쪽에서는 저기압성 흐름이 나타나면서 세력이 크게 발달하지 못했음 (그림 101, 그림 99b)
- 상층에 양의 지위고도 편차가 나타나 12480gpm 선의 동쪽 가장자리는 평년보다 북쪽으로 약간 확장되어 나타남 (그림 99a, 그림 101)
- 상층제트는 우리나라 부근에서 북상했으며 세기도 강해짐 (그림 100)



그림 100. 1990년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 101. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1990년 6월 평균값과 (실선) 6월 기후값(점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

 열대 태평양 해수면온도는 평년보다 약간 높았음. 열대와 아열대 서태평양은 적도 남쪽은 대체로 해수면온도가 평년보다 약간 높았고 적도 북쪽은 평년보다 낮았음 (그림 102)

- 적도 태평양부터 베링해까지 해수면온도는 (+)~(-)~(+)~(-)~(+)의 편차가 나타났음. 우리나라 북동쪽으로 중위도 북태평양 해수면온도는 평년보다 높았음 (그림 102)
- Nino3.4 지수는 0.1로 열대 동태평양은 중립상태였음 (그림 104)
- 열대 대류활동은 열대 서태평양 도서지역 일부와 필리핀해 주변에서 증가했음.
 우리나라와 일본 남쪽에서는 대류활동 억제 신호가 있었으며 열대 서태평양부터 북쪽으로 대류활동 강화~약화~강화로 나타났음 (그림 103)



그림 102. 1990년 6월 해수면온도 편차



그림 103. 1990년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 6월 한 달 내내 뚜렷하게 영향을 주는 기후인자를 찾기 어려웠고 이동성 고기압과
 기압골이 지나가면서 날씨에 영향을 주었음
- 월 상순에는 강수가 거의 없다가 중순 이후로 강수가 집중되었음. 1990년 장마
 시작일은 6월 19일로 (장마백서, 2011) 중순 이후의 강수 대부분은 장마전선에 의한
 강수로 볼 수 있음
- 장마전선은 북태평양고기압 세력과 상층제트류 변화에 영향을 받는데 북태평양 고기압 세력이 서쪽으로 확장한 경우, 상층제트류가 강한 경우에 잘 발달할 수 있음 (장마백서, 2011). 1990년 6월은 북태평양고기압 세력이 전체적으로 강하게 발달한 것으로 보기는 어렵겠으나 우리나라 남쪽에서는 양의 지위고도 편차가 나타났고, 상층제트류는 우리나라 부근에서 북상하고 중심 세기도 강해졌음 (그림 99b,d, 그림 100)
- 특히 많은 비가 내린 25일은 제5호 태풍 오펠리아(OFELIA)의 영향으로 강수가 많았음. 태풍 오펠리아는 대만을 지나 중국에 상륙한 뒤 온대성 저기압으로 세력이 약해졌고 이후 북상하면서 서해를 지나 우리나라를 통과했는데, 장마전선을 따라 가면서 남해안 일부지방을 제외한 전국에 많은 비를 내렸음 (그림 105)



그림 105. 1990년 제5호 태풍 오펠리아(OFELIA) 이동 경로

- 1990년 6월은 월 강수량 314.6mm로 강수량이 매우 많았음
- 뚜렷하게 영향을 준 기후인자를 찾기 어려웠고 이동성 고기압과 기압골의 영향을
 받았음
- 중순 이후로 장마전선이 북상하면서 비가 많이 내렸고 온대성 저기압으로 약화된
 제5호 태풍이 중부지방을 지나가면서 수증기가 유입되어 많은 비가 내렸음

2.11. 7월 강수 최다 사례 : 2006년 7월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 23.2℃로 7월의 평년값인 24.5℃에 비해 1.3℃ 낮았음
- 전국 평균 월 강수량은 638.9mm, 100퍼센타일로 매우 많았음. 2위와는 147.4mm 차이가 남
- 전국적으로 강수가 많았으며 강수일수도 많아 7월 한 달 내내 최소 한 지점 이상
 에서 강수가 있었음



그림 106. 2006년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 107. 2006년 7월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도 분포는 우리나라 서쪽으로 중위도 유라시아에 양의 편차가 길게 발달했음. 상층에서 나타난 이 양의 편차는 하층으로 갈수록 약해졌음. 양의 편차 북쪽으로는 유럽부터 (+)~(-)~(+) 편차로 파동이 전파되는 형태가 나타났음 (그림 108a)
- 상층의 티벳 고기압을 나타내는 12480gpm 선은 남북방향과 동서방향 모두 크게 확장했으며 우리나라와 일본 남부를 지나 북서태평양까지 진출했음 (그림 110)
- 북태평양고기압을 나타내는 5880gpm 선이 평년보다 남북방향으로 확장해 우리나라 쪽으로 북상함. 5880gpm 선은 태평양을 지나 중위도 대부분을 덮을 정도로 세력이 강하게 발달함. 5820gpm 선은 평년과 거의 동일하게 한반도 중부에 걸쳐있었음 (그림 110)



그림 108. 2006년 7월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 하층에서는 우리나라 남쪽 북서태평양에 양의 지위고도 편차가 위치하고 중국 남부지방에는 음의 지위고도 편차가 위치함 (그림 108c)
- 하층 바람은 양의 지위고도 편차와 음의 지위고도 편차의 가장자리를 따라 남서풍 편차가 강하게 불었음 (그림 108c)
- 지표기온 분포는 지위고도 분포와 유사하게 양의 지위고도 편차가 나타난 유럽과 시베리아 북부, 중국 내륙에서는 양의 기온편차를, 음의 지위고도 편차가 나타난 우랄산맥 부근에서는 음의 기온편차를 보였음. 우리나라는 약한 음의 기온편차가 나타남 (그림 108e)
- 상층제트는 유라시아 대륙에서 강화되었고 일본 북부에서도 강화되었음 (그림 109)



그림 109. 2006년 7월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 110. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 2006년 7월 평균값과 (실선) 7월 기후값(점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 대체로 평년보다 낮았고 양의 지위고도 편차가 위치한
 일본 남쪽 북서태평양에서는 양의 해수면온도 편차가 나타남 (그림 111)
- 열대 태평양은 중립상태를 보였고 Nino3.4 지수값은 0.1을 나타냈음. 12월에 Nino3.4 지수는 1.2로 약한 엘니뇨가 발생했으며 2006년 7월은 엘니뇨 발달기에 해당함 (그림 113)

- 북대서양 그린란드 남쪽에서는 강한 양의 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 111)
- 열대지역에서 대류활동은 필리핀 근처부터 동쪽으로 아열대 서태평양에서 강한 대류활동이 나타남. 열대 서태평양 도서지역과 인도양에서는 대류활동이 억제되었고, 우리나라와 일본 남쪽에서도 대류활동이 억제되었음. 우리나라와 일본 남부에서는 대류활동이 강화되고 강수가 많았음 (그림 112)
- 필리핀 동쪽 해상부터 북쪽으로 대류활동 강화~억제~강화 신호가 나타나고 이를 따라 강수 증가~감소~증가가 나타났음 (그림 112). 이는 로스비파 전파를 통한 원격상관으로 우리나라와 일본 남쪽에 강수 증가가 유도될 수 있었음 (그림 112)





그림 112. 2006년 7월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 우리나라 여름철 강수량은 장마기간에 내리는 강수가 많은 부분을 차지함. 장마는 열역학적 성질이 서로 다른 기단들이 만나 형성되는 정체전선으로 장기간 많은 비가 내림. 북태평양고기압 세력의 변화는 장마전선의 지속성과 활동성에 영향을 미치며 북태평양고기압 세력이 서쪽으로 확장할 경우 장마전선이 잘 유지되어 한반도에 걸치는 경우가 많음. 상층제트류 또한 장마전선의 유지에 큰 역할을 함. 제트류가 강할 때 한반도는 상층 기압골의 동쪽에 놓이는 경우가 많으며 이 경우 상승류가 발달할 수 있음 (장마백서, 2011)
- 2006년 장마기간은 6월 21일~7월 29일까지로 장마가 오랜 기간 지속되면서 7월 대부분이 장마기간에 포함되었음 (장마백서, 2011)
- 북태평양고기압의 서쪽 가장자리가 북서쪽으로 확장하면서 장마전선이 지속되는데 영향을 주었음. 우리나라는 하층 고기압성 순환에 의한 남서풍의 영향을 받았으며 따뜻하고 습한 공기가 지속적으로 공급되어 강수가 많이 내릴 수 있었음 (그림 108c)
- 상층에서는 제트가 강화되면서 북서풍이 불어 상층의 차고 건조한 공기가 우리나 라로 공급되었고 (그림 109) 하층에서는 하층 제트가 강화되면서 따뜻하고 습한 공기가 남동풍을 타고 우리나라로 공급되었음 (그림 108c). 상층은 한랭건조하고 하층은 온난습윤한 불안정한 대기가 형성되면서 장마전선이 활성화되고 많은 강수를 내릴 수 있었음
- 10일에는 제3호 태풍 에위니아(EWINIAR)가 한반도에 상륙하면서 태풍에 의한 직접적인 영향으로 많은 비가 내렸음 (그림 114)
- 중반에는 (12-15일경) 중국으로 상륙한 제4호 태풍 빌리스(BILIS)의 영향으로 많은 양의 수증기가 우리나라 쪽으로 공급되면서 강수가 많았음 (그림 114)
- 후반에는 제5호 태풍 개미(KAEMI)가 중국을 향해 가면서 몰고 온 많은 양의 수증기로 인해 비가 많이 내렸음 (그림 114)



그림 114. 2006년 7월에 발생한 제3호, 제4호, 제5호 태풍 이동 경로

- 2006년 7월은 월 강수량 638.9mm로 강수량이 매우 많았음
- 북태평양고기압이 북서쪽으로 확장하면서 남서풍이 불고 따뜻하고 습한 공기가 공급될 수 있었음
- 장마가 7월 말까지 이어지면서 장마기간이 길었고 장마전선에 의한 강수가 많았음
- 태풍의 직·간접적인 영향으로 많은 양의 수증기가 공급되면서 강수량이 증가했음

2.12. 8월 강수 최다 사례 : 2002년 8월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 23.8℃로 8월의 평년값인 25.1℃에 비해 1.3℃ 낮았음
- 8월 초반과 후반에는 기온이 평년보다 높은 날도 있었으나 비가 내린 이후로 중반
 에는 계속 평년보다 낮았음
- 전국 평균 월 강수량은 578.3mm, 100퍼센타일로 월등하게 많았음. 2위와는 126mm 차이가 남
- 월 초반에(6-7일) 강한 강수 이후로 비가 오는 날이 많았으며 월말인 30-31일에는 제15호 태풍 루사(RUSA)의 영향으로 전국적으로 많은 비가 내렸음. 특히, 31일 강릉에 내린 일강수량은 870.5mm로 전국관측기록을 갱신함



그림 115. 2002년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 116. 2002년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장을 보면 스칸디나비아반도부터 (+)~(-)~(+)~(-) 편차가 파동전파 형태로 나타나며 우리나라는 음의 지위고도 편차의 영향을 받음. 음의 편차는 북태평양까지 이어져 알류샨 열도 남쪽에 음의 편차의 중심이 나타나고 북아메리카 서쪽에 양의 편차가 나타남 (그림 117a,b)
- 상층의 티벳 고기압은 세력이 약했고 중국에 위치한 음의 지위고도 편차로 인해
 우리나라 부근까지 세력을 확장하지 못했음 (그림 117a)
- 하층 지위고도 배치는 상층과 유사했음. 우리나라는 음의 지위고도 편차의 영향을
 받았고 캄차카 반도 주변에 양의 편차, 그 남쪽에 음의 편차가 나타나면서 북태평양
 고기압은 세력이 약해지고 중심이 동쪽으로 밀려남 (그림 117c,d)
- 비가 많이 내렸던 6-15일에는 우리나라 바로 남쪽에 고기압성 순환이 발달해 남쪽의 해양으로부터 따뜻하고 습한 공기가 유입되기에 좋은 환경이었음 (그림 118)



그림 117. 2002년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 지위고도 배치와 유사하게 양의 지위고도 편차 지역에서는 기온이 높았고 음의 지위고도 편차가 나타난 지역에서는 낮았음. 우리나라와 일본 북쪽으 로는 기온이 평년보다 낮았음 (그림 117e)
- 상층제트는 우리나라와 일본 북쪽에서 강해졌으며 평년보다 동쪽으로 더 확장했음
 (그림 119)



그림 118. 2002년 8월 6-15일 850hPa 지위고도 편차와 바람편차



그림 119. 2002년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 태평양은 중태평양에서 온도가 높게 나타났으며 알래스카 남쪽 북아메리카 서해안부터 북서태평양까지 대각선 방향으로 양의 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 120). 이러한 해수면온도 분포는 중태평양(Central Pacific) 타입 엘니뇨 발생 시 나타나는 패턴과 유사함 (Kug et al. 2009; Yeh et al. 2009)
- Nino3.4 지수는 0.9, Nino3 지수는 0.5으로 엘니뇨 발생 상태였으며 그 해 11월 Nino3.4 지수가 1.4까지 상승했음 (그림 122)

- 열대 대류활동은 중태평양에서 활발하게 나타났고 서태평양과 남중국해에서 억제 되었음 (그림 121). 이러한 대류활동 분포는 엘니뇨 발달기 여름에 나타날 수 있는 패턴임
- · 강수는 대류활동이 증가한 중태평양에서 증가하고 대류활동이 억제된 서태평양과 남중국해에서 감소했는데 특히 남중국해의 강수 감소가 강하게 나타났으며 그 북쪽인 우리나라에서는 강수가 매우 증가했음 (그림 121)



그림 120. 2002년 8월 해수면온도 편차







4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 여름철 우리나라는 아열대 해양으로부터 발달한 북태평양고기압과 유라시아 대륙
 에서 발달하는 상층 티벳 고기압의 영향을 강하게 받음
- 2002년 8월에 대륙의 고기압과 해양의 고기압은 평년에 비해 약했으며 각각 서쪽과 동쪽으로 물러가 우리나라에 미치는 영향이 약해졌음 (그림 117)
- 2002년 8월에 나타난 중태평양에서 대류활동이 증가하고 서태평양 도서지역에서 대류활동이 억제되는 패턴은 엘니뇨 발달기 여름에 나타나는 패턴임 (그림 121)
- 엘니뇨 발달기 여름에 동아시아 지역 강수는 열대 강수패턴과 밀접한 관련성이 있음.
 북태평양 몬순이 강해지는 한여름에 아열대 북서태평양 지역의 양의 강수 편차는
 Gill-타입 대기반응®에 의해 강수가 증가한 지역의 북서쪽에 저기압성 흐름을 만들고,
 저기압성 흐름에 의해 유도되는 음의 강수 편차는 다시 북서쪽에 고기압성 흐름을
 유도해 우리나라 남동쪽에 고기압성 흐름이 만들어짐. 이 고기압성 순환은 우리나라에
 남서풍 편차를 유도해 온난하고 습윤한 공기 유입을 증가시켜 우리나라 강수를
 증가시키데 영향을 줌
- 강수가 잦았던 8월 중반까지는 남동풍의 영향으로 남쪽의 따뜻하고 습한 공기가 유입될 수 있었음 (그림 117c)
- 8월 말에는 제15호 태풍 루사(RUSA)의 영향으로 매우 많은 강수가 있었음. 태풍 루사가 31일 남해안에 상륙해 내륙을 통과하면서 전국적으로 강한 바람과 함께 매우 많은 비를 내렸음 (그림 123). 특히 31일 강릉에 내린 일강수량은 870.5mm를 기록함
- 30-31일 강수를 제외한 29일까지의 강수량은 430.324mm로 태풍의 영향으로 인한 강수를 제외하더라도 강수량이 많았음



그림 123. 2002년 8월에 발생한 제15호 태풍 루사(RUSA) 이동 경로

- 2002년 8월은 월 강수량 578.3mm로 강수량이 매우 많았음
- 북태평양고기압이 우리나라에 영향을 크게 미치지 못했고 아열대 남중국해에서 대류활동이 억제되면서 우리나라는 강수가 증가하기에 좋은 조건이었음
- 월 말에 제15호 태풍 루사가 한반도에 상륙해 내륙을 통과하면서 매우 많은 비를 내렸음



2.13. 6월 강수 최소 사례 : 1982년 6월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 21.2℃로 6월의 평년값인 21.2℃과 같음
- 월 초에 기온이 낮은 날이 있었으나 이후에는 평년값에서 크게 벗어나지 않는 범위에서 기온변동이 있었으며 분포도를 보면 서쪽은 평년보다 낮고 동쪽은 평년 보다 높아 전국 평균은 평년 비슷 범위에 들었음.
- 전국 평균 월 강수량 30.5mm, 2.2퍼센타일로 강수량이 매우 적었음
- · 강수일수가 적지는 않았으나 하루를 제외하고는 모두 5mm 미만으로 일 강수량이
 매우 적었음



그림 125. 1982년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 126. 1982년 6월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

2) 중위도 대기 순환장

- 상층 지위고도장에서 우리나라에 음의 지위고도 편차가 위치하고, 우리나라 동쪽 으로 북태평양에 양의 편차, 캄차카반도 부근에 음의 편차가 위치했음 (그림 127a)
- 상층에는 스칸디나비아반도에 음의 편차, 우랄산맥 동쪽에 양의 편차, 캄차카반도에 음의 편차, 북아메리카 북서부에 양의 편차, 북대서양에 음의 편차가 나타나는 파동 전파 형태가 보였으며 상층의 음의 편차는 중층에서도 비교적 강하게 나타나 우랄 산맥 부근과 베링해, 북대서양에서 음의 편차가 나타남 (그림 127a-d)
- 하층에서도 상층과 마찬가지로 우리나라 동쪽 북태평양에 양의 편차가 나타나고 캄차카반도 동쪽 베링해 부근에 음의 편차가 나타나는 쌍극자 형태의 지위고도 배치가 나타남 (그림 127c-d)
- 우리나라는 하층에서 음의 편차의 서쪽 가장자리에 위치해 북풍의 영향을 받았음 (그림 127c)



그림 127. 1982년 6월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 북태평양고기압은 평년보다 중태평양에서 남북으로 세력이 확장되었으나 우리나라 남쪽에서는 축소되었으며 5820gpm 선도 평년보다 남쪽에 위치했음. 12480 gpm 선과 12520gpm 선은 평년보다 더 동쪽까지 확장했으며 남쪽으로도 확장함 (그림 129)
- 지표기온은 지위고도 배치와 유사하게 음의 지위고도 편차가 나타난 스칸디나반도 부근에서는 기온이 낮고 양의 지위고도 편차가 나타난 중앙 시베리아에서는 기온이 높았음 (그림 127e)
- 상층제트는 우리나라에서는 남하했고 일본 동쪽 북태평양에서는 북상했음. 제트의 세기는 평년보다 강했고 중심은 동쪽으로 이동해 최대 풍속이 캄차카반도 남쪽 북태평양에서 나타남 (그림 128)



그림 128. 1982년 6월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 129. 5820gpm, 5880gpm (하늘색), 12480gpm, 12520gpm (연두색) 선의 1982년 6월 평균값과 (실선) 6월 기후값(점선)

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 남해와 서해의 해수면온도는 대체로 평년보다 낮았으며 동해는 평년과
 비슷하거나 약간 낮았음 (그림 130)
- 열대 태평양 해수면온도는 동태평양부터 중태평양까지 적도를 따라 평년보다 높게 나타났고 서태평양은 온도가 낮았음. 열대 태평양 온도가 높게 나타난 지역 북쪽 으로는 북쪽으로 올라가면서 (-)~(+)~(-) 해수면온도 편차를 보임 (그림 130)

- Nino3.4지수는 0.7로 약한 엘니뇨 상태였으며 이후 해수면온도가 점점 증가해 겨울철에 강한 엘니뇨로 발달했음. Nino 지수의 최고값은 다음해 1월 Nino3 지수 3.0, Nino3.4 지수 2.3으로 나타났음 (그림 132좌)
- 열대 인도양은 동인도양 온도는 낮고 서인도양 온도는 높은 쌍극 형태의 분포가
 나타났음. 인도양 쌍극모드 지수는 0.4로 양의 값을 보였고 연 초부터 양의 지수값이
 나타나 가을까지 유지되었음 (그림 130, 그림 132우)
- 열대 대류활동은 적도 중태평양에서 강화되었고 서태평양 도서지역과 필리핀해 부근에서는 약화되었음 (그림 131)
- 우리나라와 일본 남쪽에서 대류활동이 강화되었고 동서방향으로 강수밴드가 길게
 나타났으며 강수밴드의 북쪽인 우리나라와 일본에서는 강수량이 감소했음 (그림 131)





그림 131. 1982년 6월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 1982년에는 장마가 매우 늦게 시작했음. 중부지방 7월10일, 남부지방 7월7일, 제주도 7월5일에 장마가 시작되어 중부와 제주도는 1973년 이래로 장마시작일이 가장 늦었고 남부지방은 1992년에 (7월9일) 이어 두 번째로 시작일이 늦었음 (장마백서, 2011)
- 장마전선은 북태평양고기압 세력과 상층제트류 변화에 영향을 받는데, 북태평양 고기압 세력이 서쪽으로 확장한 경우, 상층제트류가 강한 경우에 잘 발달할 수 있음 (장마백서, 2011)
- 1982년 6월에는 우리나라에 음의 지위고도 편차가 위치하고 북태평양 베링해 남쪽으로 음의 지위고도 편차가 위치하면서 북태평양고기압이 잘 발달하지 못했고 우리나라가 위치한 서쪽까지 세력을 확장하지 못했음. 또한 상층제트류는 우리나라 남쪽으로 남하해 장마전선이 북상하기 어려웠음 (그림 127a-d, 그림 128)
- 우리나라는 저기압성 순환의 영향을 받아 북풍 편차가 우세했고 남풍계열 바람의
 영향을 받지 못해 해양으로부터 수증기가 공급되기 어려웠음 (그림 127)
- 우리나라와 일본 남쪽으로 강수 증가 영역이 동서방향으로 길게 나타났는데 (그림 131) 우리나라 주변에 기압골이 위치하고 (그림 127b), 상층제트가 우리나라 근처 에서 남하하고 파동이 커지면서 (그림 128) 강수밴드가 북상하지 못한 것으로 보임

- 1982년 6월은 월 강수량 30.5mm로 강수량이 매우 적었음
- 우리나라는 저기압성 편차의 영향을 받아 북풍 편차가 우세했으며 남쪽으로부터 수증기가 공급되기 어려웠음
- 북태평양고기압이 우리나라 쪽으로 북상하지 못하면서 장마전선이 발달하지 못했으며 강수밴드가 북상하지 못하고 일본 남쪽에 위치해 강수가 적었음

2.14. 8월 강수 최소 사례 : 2016년 8월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 26.7℃로 8월의 평년값인 25.1℃에 비해 1.6℃ 높았음
- 전국 평균 월 강수량 76.2mm, 0퍼센타일로 강수량이 매우 적었음
- 8월 25일까지 평년보다 높은 기온을 계속 유지하며 매우 덥다가 비가 내리면서 기온이 내려갔음
- 강수일수는 적지 않았으나 25일까지 일 강수량이 매우 적어 월 강수량도 적었음



그림 133. 2016년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 134. 2016년 8월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열
- 상층 지위고도장에서 우리나라 동쪽으로 우랄산맥 부근과 바이칼호 남쪽지역에 강한 양의 지위고도 편차가 위치하고 우리나라 동쪽에 위치한 캄차카 반도 부근에도 강한 양의 지위고도 편차가 자리 잡고 있음. 우리나라는 두 양의 편차 사이에 위치한 음의 편차의 영향을 받았음 (그림 135a)
- 하층으로 내려오면서 바이칼호 남쪽지역에 위치한 양의 지위고도 편차는 점차
 약해지나 우랄산맥과 캄차카 반도 부근에 위치한 양의 편차는 계속 강하게 나타남
 (그림 135b,c)
- 하층에서 우리나라는 저기압성 순환의 서쪽 가장자리에 위치해 북풍 또는 북동풍의 영향을 주로 받음 (그림 135c)



그림 135. 2016년 8월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 기온분포는 지위고도 분포와 거의 일치하는데 양의 지위고도 편차가 나타난 우랄 산맥 부근과 캄차카 반도와 베링해 주변에서는 강한 양의 온도편차가 나타남. 특히 우랄산맥 부근의 양의 온도편차가 매우 크게 나타났음. 중국 내륙과 우리나라에서도 양의 온도편차가 나타났으며 동남아시아에서도 양의 온도편차가 나타남 (그림 135e)
 상층제트는 우리나라 주변에서 약해지고 강한 구역이 북쪽에 위치하고 있음 (그림 136)
 500hPa 연직속도를 보면 우리나라에는 강한 하강기류가 자리 잡고 있어 강수가
- 내리기 어려웠고, 일사량이 증가해 기온 상승에 기여하였음 (그림 137)



그림 136. 2016년 8월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 137. 2016년 8월 하향지표태양복사 편차 [W/m²], (b) 500hPa 연직속도 편차 [Pa/s]

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 높았고 북태평양과 북극 주변 거의 모든 지역에서 매우 높은 해수면온도를 보임 (그림 138)
- 열대 태평양에서는 적도를 중심으로 음의 해수면온도 편차가 나타났고 그 북쪽으로
 양의 해수면온도편차가 나타남. 30°N 부근에서는 미국 서부해안부터 일본 동남쪽
 까지 음의 해수면온도 편차가 길게 나타남 (그림 138)

- 열대 서태평양과 도서지역에서도 양의 해수면온도 편차가 나타났으며 인도양과 대서양도 양의 해수면온도 편차가 나타남 (그림 138)
- 2015-2016년 겨울에 강한 엘니뇨가 나타났으며 2016년 여름은 강한 엘니뇨가 소멸하는 시기에 해당함. 8월의 Nino3.4 지수는 -0.6으로 중립에 가까운 라니냐 상태였음 (그림 140좌)
- 높은 해수면온도에는 선형 온도증가 추세도 일부 포함되어 있음. 선형 추세를 제거한 경우 특히, 북극 주변에서의 양의 편차가 작아졌고 인도양과 북동대서양, 지중해에서도 양의 편차가 작아졌음. 이들 지역은 온도 증가 추세의 영향을 크게 받은 지역으로 볼 수 있음 (그림 138)
- 해수면온도가 높은 아열대 서태평양과 중태평양에서 강한 대류활동이 나타남.
 강한 대류활동이 나타난 바로 남쪽에 적도를 따라 대류활동 억제가 나타나고 우리
 나라와 일본 동쪽으로 대류활동 억제가 나타났음. 적도부터 고위도 방향으로 대류 활동 억제~강화~억제가 나타남 (그림 139)











- 우리나라 여름철 순환장은 아열대 서태평양 대류활동의 영향을 직접적으로 받음 (Kwon et al. 2005; Ham et al. 2016). 아열대 남중국해 지역에 대류활동이 강하면 그 보상하강 운동으로 우리나라와 일본에서 대류활동이 약화되고 고기압성 편차가 발달하기 좋은 조건이 됨
- 2016년 8월에는 남중국해 지역에 대류활동이 활발했고 필리핀 동쪽으로 아열대 중태평양에서도 대류활동이 활발해 강수가 증가했음 (그림 139). 증가한 강수에 대한 반응으로 우리나라 부근에서는 대류활동이 약화되고 하강운동이 유도될 수 있었음
- 8월 평균기온도 매우 높았는데 기존에 알려진 폭염 발생 메커니즘 (Lee and Lee 2016; Yeh et al. 2018)과 달리 우리나라에는 음의 지위고도 편차가 위치해 하층에 북풍이 불었음 (그림 135a-c). 북풍에 의해 대륙의 더운 공기가 우리나라로 유입되었고 남풍이 억제되면서 해양으로부터 수증기가 원활하게 공급되지 못했음
- 캄차카 반도에 양의 지위고도 편차가 강하게 나타나면서 블로킹으로 작용해 바이칼호 남쪽 몽골지역에 위치한 양의 지위고도 편차가 정체하였음 (그림 135). 몽골지역에 위치한 양의 편차의 영향으로 우리나라는 북풍 편차가 강하게 나타났고 북풍에 의해 대륙의 뜨겁고 건조한 공기가 유입되면서 기온이 높고 강수가 억제 되었음
- 남중국해와 필리핀 동쪽에 강한 대류활동이 나타나면서 강수가 증가했고 (그림 139) 증가한 강수는 로스비파 전파의 강제력으로 작용하면서 원격상관을 통해 캄차카 반도의 고기압성 편차를 유도한 것으로 분석됨 (Yeh et al. 2018)

5) 요약

- 2016년 8월은 월 강수량 76.2mm로 강수량이 매우 적었음
- 평균기온 26.7℃로 평년보다 1.6℃ 높아 기온이 매우 높았음
- 우리나라 북서쪽 상층에 위치한 고기압성 편차와 우리나라 하층에 위치한 저기압성 편차로 인해 북풍이 지속되었고 대륙의 뜨겁고 건조한 공기가 유입되면서 비가 내리기 어려운 조건이었음
- 남중국해와 필리핀 동쪽 아열대 중태평양의 강한 대류활동에 의한 원격상관으로 캄차카 반도에 고기압성 순환이 유도되면서 블로킹으로 작용해 기압계의 동서흐 름이 정체되었고 우리나라는 뜨겁고 건조한 북풍의 영향을 지속적으로 받았음



3. 겨울철 극값 사례 - 기온

3. 겨울철 극값 사례

3.1. 12월 기온 최고 사례 : 2015년 12월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 3.5℃로 12월의 평년값인 1.5℃에 비해 2.0℃ 높았음
- 최고기온 8.2℃, 최저기온 -0.6℃으로 최저기온은 최고 1위를 기록함
- 기온변동이 있었으나 대부분 평년보다 기온이 높았음
- 전국 평균 월 강수량은 40.3mm, 83.7퍼센타일로 평년보다 강수량이 많았고 강수 일수도 평년보다 많았음



그림 141. 2015년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 142. 2015년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도 분포에서 우리나라에 양의 지위고도 편차가 나타났고 유럽과 북아 메리카 동부에 강한 양의 편차가 나타남. 우랄산맥과 북극 베링해, 북대서양 그린 란드 주변에는 음의 편차가 나타남 (그림 143a)
- 우랄산맥 부근에는 기압골이 위치하고 기압능은 시베리아와 동북아시아까지 넓게 분포함 (그림 143b)
- 상층 지위고도 패턴은 하층에서도 유사하게 나타났으나, 하층에서 우리나라 주변의 양의 편차는 약해졌고 베링해의 음의 편차는 상대적으로 강하게 나타남. 유라시아 대륙에서 고기압이 강하게 발달하지 못하고 평년보다 약했음 (그림 143c-d)
- 하층에서는 고기압성 순환의 영향으로 우리나라 쪽으로 남풍이 불어 상대적으로
 따뜻한 공기가 유입될 수 있었음 (그림 143c)



그림 143. 2015년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 시베리아를 비롯한 유라시아 대륙 중위고와 고위도 지역에서 강한
 양의 온도 편차가 나타났고 캄차카 반도 주변에서는 음의 온도 편차가 나타남 (그림 143e)
- 상층제트류는 평년과 비슷했으나 우리나라 서쪽으로 중국 내륙에서는 다소 약해졌음 (그림 144)
- 북극진동 지수는 1.4로 양의 진동을 보였음. 북극지방에서는 음의 지위고도 편차가
 나타났는데 특히 그린란드 주변에서 음의 편차가 강했음 (그림 145)
- 북대서양 그린란드 주변에서 음의 지위고도 편차, 북아메리카 동쪽과 서유럽에서는
 양의 편차가 나타났고 북대서양진동 지수는 2.0으로 강했음 (그림 143, 그림 146)



그림 144. 2015년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 145. (좌) 2013년 12월 - 2016년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차



3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 엘니뇨 절정기로 열대 동태평양 해수면온도가 매우 높았음. 음의 해수면온도 편차는 서태평양 일부 지역에서만 나타났음 (그림 147)
- Nino3 지수값은 2.87로 매우 강한 엘니뇨가 발생했음. Nino3 지수의 최대값은 11월에 나타났으며 다음해 봄까지 양의 값이 유지되었음 (그림 149좌)
- 열대 대류활동은 중태평양에서 매우 강하게 나타났고 적도를 따라 동태평양까지 넓은 범위레 나타나고, 서태평양 도서지역에서는 대류활동 억제가 나타나 엘니뇨 절정기에 나타나는 전형적인 분포가 나타남 (그림 148좌)
- · 강수는 대류활동이 활발한 열대 중태평양과 동태평양에서 증가했고 대류활동이 억제된 서태평양에서는 음의 강수 편차를 보였음. 열대 중태평양부터 북서방향으로 강수 증가~억제~증가의 패턴이 나타나 우리나라와 일본, 중국 남부에서는 강수가 증가하는 엘니뇨 절정기의 강수 분포를 보였음 (그림 148우)



그림 147. 2015년 12월 해수면온도 편차



그림 148. 2015년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



- · 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서태 평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함. 쿠로시오 고기압은 최근 들어 12월에 강했다가 1월이 되면 약해지는 경향이 있는 것으로 보고됨 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150)
- 2015년 12월에는 열대 중태평양에서 대류활동이 매우 강했고 열대 서태평양에서는 대류활동이 강하게 억제되었음 (그림 148). 이에 대한 원격상관 반응으로 북서태평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환이 유도되었는데 기존의 엘니뇨와 달리 고기 압이 북태평양 동쪽까지 확장하여 나타났음 (그림 143)
- 북반구 지표기온 분포는 북극진동과 관련이 깊음. 북극진동이 음의 위상일 때 우랄산맥 지역 기압능이 강해지고 동아시아는 기압골이 강해지며 시베리아 고기압이 강화되는 경향이 있음. 반대로 양의 위상일 때는 동아시아 지역의 기압골이 약화됨 (Gong et al. 2001; Jeong and Ho 2005) (그림 151)
- 북극진동 지수와 우리나라 기온과의 상관관계는 1월에 0.4로 양의 상관관계를 가짐 (장기예보 가이던스(II), 2016)
- 북대서양진동이 양의 위상일 때 유럽지역에 강한 양의 지위고도 편차가 위치하면서 양의 기온 편차가 나타나고, 파동 전파에 의해 풍하측인 시베리아와 우리나라 북쪽에 상층 기압능이 나타나면서 시베리아 고기압을 약화시킬 수 있음. 이는 동아시아 양의 기온 편차에 기여할 수 있음 (Wang et al. 2010). 북대서양진동 지수를 북반구 지표기온에 회귀분석하면 미국과 유럽, 동아시아에 양의 값이 나타 나는데 이는 양의 북대서양진동과 미국, 유럽, 동아시아의 평년보다 높은 온도가 서로 관련되어 있음을 나타냄 (그림 152)
- 2015년 12월은 양의 북극진동이 강했고 북대서양진동 또한 양의 위상으로 시베리아 고기압이 약화될 수 있었음 (그림 145, 그림 146)



그림 150. 겨울철(NDJ) Nino3 지수에 회귀분석한 (a)12월과 (b)1월의 850hPa 지위고도 편차(채색)와 바람 편차(벡터). 검정 벡터는 통계적으로 90% 유의한 값 (Fig.5 in Son et al. 2014)



그림 151. (좌) 양의 북극진동일 때, (우) 음의 북극진동일 때 지표기온편차 합성장 (Fig.1 in Jeong and Ho 2005)



그림 152. 북대서양진동 지수에 회귀분석한 북반구 지표기온 (Fig.1(b) in Wang et al. 2010)

5) 요약

- 2015년 12월은 평균기온 3.5℃로 평년에 비해 2.0℃ 높아 따뜻했음
- 평년보다 따뜻한 기온은 엘니뇨와 양의 북극진동이 영향을 준 것으로 분석됨
- 엘니뇨의 영향으로 유도된 고기압성 순환에 의해 우리나라에 남풍 편차가 유도 되었고 따뜻하고 습윤한 공기가 공급되어 기온 상승에 영향을 주었음
- 양의 북극진동과 연관된 북태평양부터 동북아시아까지 뻗어있는 상층 양의 지위 고도 편차는 동아시아 지역의 기압골을 약화시켰고 극에서 내려오는 차가운 북풍을 막아 기온 상승에 영향을 주었음. 상층 양의 지위고도 편차에는 양의 북대서양진 동도 일부 영향을 준 것으로 보임

3.2. 1월 기온 최고, 강수 최다 사례 : 1989년 1월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 1.4℃로 1월의 평년값인 -1.0℃에 비해 2.4℃ 높았음
- 전국적으로 평년보다 기온이 높았으며 두 차례 기온이 크게 상승하는 시기가 있었음
- 전국 평균 월 강수량은 101.5mm, 100퍼센타일로 전국적으로 평년보다 강수량이
 많았으며 특히, 동해안과 남부지방을 중심으로 강수가 많았음



그림 153. 1989년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 154. 1989년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 북극에 매우 강한 음의 편차가 나타나고 중위도 서유럽, 동북아시아, 북태평양, 미국 동부에 양의 편차가 나타남. 이러한 지위고도 배치는 양의 북극진동일 때 나타나는 분포와 유사하며 하층까지 연결되어 나타났음 (그림 155a)
- 중위도는 파동 형태의 지위고도 배치를 보이며 우랄산맥 부근에는 음의 지위고도 편차와 기압골이 나타남 (그림 155b)
- 하층에서는 북극에 음의 편차가 위치하고 중위도에는 북태평양과 유럽에 강한 양의 지위고도 편차가 나타남. 북태평양 전반에 걸쳐 위치한 양의 편차의 중심은 북태 평양 동쪽해상에 위치함 (그림 155c)
- 해면기압장에서 겨울철 북태평양에 나타나는 알류샨 저기압 세력이 축소되었고 대륙고기압도 평년보다 약했음 (그림 155d)



그림 155. 1989년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 하층에서 우리나라는 고기압성 순환의 서쪽 가장자리에 위치해 해양으로부터 불어 오는 남동풍 편차의 영향을 받음 (그림 155c)
- 지표기온분포는 우리나라와 일본, 시베리아 동부, 스칸디나비아 반도 주변과 미국 동부에서 기온이 높게 나타남. 반면 베링해와 알래스카, 바렌츠-카라해 부근에서는 기온이 낮았음 (그림 155e)
- 상층제트는 세기가 약해지고 세력 범위도 평년보다 좁아졌으며 제트의 출구쪽이 북편하였음 (그림 156)
- 북극진동 지수는 3.11로 매우 강한 양의 위상으로 나타냈으며 지위고도와 기온 분포는 양의 북극진동일 때 나타나는 분포와 유사했음 (그림 157, 그림 155)



그림 156. 1989년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 157. (좌) 1987년 1월 - 1989년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양~중태평양 해수면온도가 평년보다 낮은 라니냐 상태였음. 음의 해수면
 온도 편차 중심은 중태평양에 위치함 (그림 158)
- Nino3.4 지수 -2.0으로 강한 라니냐로 구분됨. 1987년 엘니뇨 소멸 이후 1989년 봄까지 라니냐 상태가 유지되었음 (그림 160)

- 강한 음의 해수면온도 편차 지역 남쪽과 북쪽으로 양의 해수면온도 편차가 나타남.
 북태평양의 양의 해수면온도 편차는 서태평양부터 중위도 북태평양까지 대각선 방향으로 이어졌으며 일반적인 라니냐 시기보다 강하게 나타났음 (그림 158)
- 북아메리카 동부 해안은 음의 해수면온도 편차가 나타나고 대서양과 인도양 해수면
 온도는 평년보다 낮았음 (그림 158)
- 열대 대류활동은 중태평양에서는 억제되었고 서태평양에서는 일부 강화된 지역도 있었으나 전형적인 라니냐 시기의 반응만큼 서태평양에서의 대류활동이 활발하지 않았음 (그림 159)
- 인도양에서 대류활동이 매우 활발했는데 이는 MJO와 연관된 대류활동으로 이때 MJO 위상은 2-3에 위치했음 (그림 159)





그림 159. 1989년 1월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



- 우리나라 겨울철 기후는 동아시아 겨울몬순 순환의 영향을 강하게 받으며 겨울 몬순은 시베리아 고기압과 알류샨 저기압, 상층제트 및 기압골의 강도 등으로 표현됨 (Ding 1990; Wang et al. 2010; Wang and Chen 2014; Jhun and Lee 2004)
- 1989년 1월은 동아시아 겨울몬순 지수⁹가 약했으며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 약했음 (그림 161, 그림 155d)
- 북극진동 지수와 우리나라 기온과의 상관관계는 1월에 0.41로 양의 상관관계를 가짐 (장기예보 가이던스(Ⅲ), 2016). 북극진동이 양의 위상일 때 중위도에서는 남북방향의 흐름이 약해지고 동아시아 지역의 기압골이 약해짐
- 1989년 1월에는 겨울철 우리나라에 영향을 주는 대륙과 해양의 고·저기압 세력이 약했고 양의 북극진동과 연관된 북태평양부터 동북아시아까지 뻗어있는 상층 고기 압성 편차의 영향으로 동아시아 상층 기압골이 약해지면서 북풍편차가 약해졌으며, 극에서 우리나라로 차가운 공기 유입이 저지되어 기온이 상승할 수 있었음 (그림 155)
- 북극진동과 북태평양 진동의 위상이 같을 때 동아시아 지역의 기온과 북극진동과의 상관관계는 더욱 강화될 수 있음 (Park and Ahn, 2016). 1989년 1월에는 북극에 강한 음의 지위고도 편차가 나타나는 양의 북극진동과, 베링해 부근에 음, 그 남쪽 으로 북태평양에 양의 편차가 나타나는 양의 북태평양진동(서태평양패턴)이 나타났 으며 북대서양진동도 양의 위상이었음 (그림 157, 그림 162)
- 1988-1989년 겨울에는 열대 중태평양에서 해수면온도가 평년보다 낮은 라니냐가 발생했으며 절정기 Nino 지수값이 -2에 달하는 강한 라니냐였음 (그림 160)
- 중태평양 음의 강수는 원격상관을 통해 북태평양의 대규모 고기압성 순환과 연관 되어 있음 (엘니뇨 백서, 2017). 1989년 1월에는 중태평양에서 대류활동 억제와 강수 감소가 강하게 나타났음 (그림 159). 따라서 중태평양 음의 강수와 연관된 원격상관과 북태평양의 높은 해수면온도가 북태평양에서 고기압성 순환을 강화시켜 우리나라에 남동풍 편차가 강해지는데 영향을 준 것으로 보임

⁹⁾ 동아시아 겨울몬순의 세기를 나타내는 지수로 선행연구에서 제시한 해면기압 (Shi, 1996), 500hPa 지위고도 (Sun and Sun, 1995), 300hPa 동서바람 (Jhun and Lee, 2004)을 사용해 계산했음





5) 요약

- 1989년 1월은 평균기온 1.4℃로 평년에 비해 2.4℃ 높아 따뜻했음
- 전국 평균 월 강수량은 101.5mm로 매우 많은 비가 내렸음
- 평년보다 따뜻한 기온은 양의 북극진동의 영향을 받았으며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 약했음. 북태평양진동과 북대서양진동 모두 양의 위상으로 북극 진동의 영향을 더욱 강화시킬 수 있었음
- 동아시아 지역의 기압골 약화로 북풍이 약했고, 라니냐와 연관된 원격상관의 영향
 으로 북태평양에서 고기압성 순환이 강화되면서 남풍편차가 강해져 우리나라로 수분
 공급이 원활할 수 있었음

3.3. 2월 기온 최고 사례 : 2007년 2월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 4.2℃로 2월의 평년값인 1.1℃에 비해 3.1℃ 높았음
- 전국적으로 기온이 평년보다 높았으며 월 초반 기온이 크게 상승한 뒤로 몇 차례
 기온변동이 있었으나 평년보다 높은 기온을 유지했음
- 전국 평균 월 강수량은 44.1mm, 71.4퍼센타일로 평년보다 강수량이 많았으나 강수가 주로 남부지방에 집중되었고 중부지방은 평년과 비슷했음. 강수일수는 적었으나 두 차례 정도 비가 많이 내려 월 강수량이 증가했음



그림 163. 2007년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 164. 2007년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장에서 우랄산맥 부근과 시베리아 북부에 음의 지위고도 편차가 위치하고 그 남동쪽인 동북아시아에 양의 편차가 위치함. 기후 평균장에서 일본 동쪽을 중심으로 나타나는 기압골은 약화되어 나타나지 않았음 (그림 165a,b)
- 북대서양과 북아메리카에는 열대 대서양부터 극쪽으로 (+)~(-)~(+) 지위고도 편차가 번갈아 나타남 (그림 165a,b)
- 하층 지위고도 배치는 상층과 유사하게 우랄산맥 부근과 시베리아에 음의 편차가 위치하고 우리나라 동쪽으로 북태평양에는 양의 편차가 위치해 시베리아 고기압과 알류샨 저기압은 약화되었음. 북대서양에는 그린란드 부근에 양의 편차가 위치하고 그 남쪽으로 음의 편차가 나타남 (그림 165c,d)
- 우리나라는 음의 지위고도 편차 가장자리에 위치해 남동풍 편차의 영향을 받았음 (그림 165c)



그림 165. 2007년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 지위고도 배치와 유사하게 유라시아 북부는 기온이 매우 낮았고 남쪽으로 동아시아와 유라시아 남부에서는 기온이 높았음. 이와 반대로 그린란드와 북아메리카 동북부는 기온이 높았고 남쪽으로 알래스카~미국 동부까지 기온이 낮았음 (그림 165e)
- 상층제트의 중심 세기는 평년과 비슷했으며 일본 남쪽에 위치한 중심은 동서방향
 으로는 위치가 거의 변하지 않았으나 약간 남하했음. 우리나라 북동쪽 바이칼호
 주변에서는 바람 세기가 증가했음 (그림 166)
- 북극에는 양의 지위고도 편차가 나타났으며 북극진동 지수는 -1.31로 음의 위상이 었음 (그림 167)



그림 166. 2007년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 167. (좌) 2005년 2월 - 2007년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 높게 나타났음 (그림 168)
- 열대 동태평양 해수면온도는 약한 양의 편차를 보였음. 2006년 가을부터 동태평양 해수면온도가 증가하면서 엘니뇨가 발생해 12월 절정을 이루다가 이후 온도가 감소하는 엘니뇨 소멸시기였음. Nino3.4 지수는 0.14로 중립상태였음 (그림 170)

- 열대 중태평양과 서태평양은 해수면온도가 높았음. 열대 인도양도 해수면온도가 높았으나 인도양 북동쪽 벵골만은 해수면온도가 낮았음 (그림 168)
- 열대 대류활동은 서태평양에서 활발했으며 서태평양 도서지역과 인도양에서는 대류활동이 억제되었음. 특히 호주 북서부 지역에서 대류활동 억제가 강하게 나타 났음 (그림 169)



그림 168. 2007년 2월 해수면온도 편차





- 우랄-시베리아 지역에서 발생하는 블로킹은 풍하측으로 찬 공기를 이류 시켜 동아
 시아 지역의 저온현상을 일으키며 블로킹의 빈도수는 동아시아 겨울몬순 강도에
 중요한 역할을 담당함 (Lee and Jhun 2006)
- 일평균 500hPa 지위고도를 사용해 구한 블로킹 빈도수에서 2006-2007년 겨울에는 시베리아 지역에 블로킹이 발생하지 않았음 (이현수 외 2007). 블로킹이 발생하지 않으면 동아시아 지역으로 북서풍에 의한 한기 이류가 차단되어 고온현상이 나타날 수 있음 (그림 171)
- 우랄-시베리아 블로킹의 활동성은 북극진동과 ENSO의 위상과 관련 있음. 북극진동 지수가 음일 때는 남북방향의 흐름이 강해지면서 블로킹 고기압이 발달하기에 더 좋은 조건을 제공함. 우랄 블로킹과 관련된 원격상관은 파동 전파형태로 동쪽으로 전파되는데 라니냐 때는 ENSO에 의한 강제력이 시베리아 근처의 서풍을 약화시켜 파동이 동쪽으로 전파되는 것을 방해함으로써 블로킹을 지속시키고 동아시아 기온이 낮아질 수 있음 (Cheung et al. 2012) (그림 172)
- 2007년 2월은 당월의 Nino 지수와 북극진동 지수만 보면 약한 양과 음의 값을 보였으나 2006-2007년 겨울 12월과 1월에 강한 양의 북극진동이 있었고 엘니뇨가 발생해 블로킹이 활발하게 나타나기 어려운 환경을 만들면서 2월까지도 일부 영향이 있었던 것으로 보임 (그림 167(좌), 그림 170)



그림 171. 정규화된 겨울철(DJF) 한반도 13개 지점 기온 편차와 시베리아(60°-140°E) 블로킹 빈도수 (Fig.7 in 이현수 외 2007)



그림 172. AO와 ENSO 위상에 따른 500hPa 지위고도(실선)와 지표온도(채색) 편차 합성장 (Fig.12(d) in Cheung et al. 2012)

5) 요약

- 2007년 2월은 평균기온 4.2℃로 평년에 비해 3.1℃ 높았음
- 겨울철 우리나라 기온에 영향을 주는 동아시아 겨울몬순이 약했고 시베리아 고기 압과 알류샨 저기압이 약했음
- 우리나라는 고기압성 순환의 영향으로 남동풍 편차가 우세했고 우랄-시베리아 블로킹이 발생하지 않아 북풍에 의해 찬 공기가 남하하기 어려웠음

3.4. 12월 기온 최저 사례 : 2005년 12월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 -2.2℃로 12월의 평년값인 1.5℃에 비해 3.7℃ 낮았음
- 전국적으로 기온이 낮았으며 중부지방 기온편차가 크게 낮았음. 중부지방에서는
 낮 최고기온이 영하권에 머무는 날도 있었음
- 전국 평균 월 강수량은 17.2mm, 35.2퍼센타일로 전국 평균은 평년 비슷 범위에 들었음. 그러나 동서 차이가 매우 커서 호남 서해안 지방은 강수량이 많았던 반면 동해안과 경남일부 지역은 강수량이 1mm 미만을 기록한 지역도 있었음



그림 173. 2005년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 174. 2005년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장에서 북태평양에 강한 음의 편차가 나타나고 동해와 일본 북쪽에 기압골이 위치함. 시베리아 북부에는 강한 양의 편차가 나타나고 알래스카와 캐나다 북부에도 양의 편차가 나타나 기압능과 기압골이 번갈아 나타나는 큰 파동 형태로 나타남 (그림 175a,b)
- 상층의 지위고도 패턴은 하층까지 이어져 해면기압 분포를 보면 북태평양에 저기 압이 발달하고 시베리아에 고기압이 발달해 서고-동저의 패턴을 보임 (그림 175d)
- 우리나라는 하층에서 저기압성 순환의 서쪽 가장자리에 위치해 북풍 편차가 강했음
 (그림 175c)
- 지표기온은 우리나라와 일본, 중국과 러시아 내륙인 중앙 시베리아에서 기온이 매우 낮았고 베링해 부근 온도도 평년보다 낮았음. 반면에 북극의 바렌츠-카라해 주변과 알래스카와 캐나다 북부에서는 기온 편차가 높게 나타남 (그림 175e)



그림 175. 2005년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 상층 동서바람은 우리나라 주변에서 양의 편차가 나타나 제트류가 강했음. 풍속이 60m/s를 넘는 지역이 동서방향으로 확장되었으며 중심 세력도 강해졌음 (그림 176)
- 북극진동 지수는 -2.1로 큰 음의 값을 나타냈음. 1000hPa 지위고도장에서 양의 지위고도 편차 중심이 바이칼호 북쪽 시베리아에 위치하고 북대서양의 음의 편차가 약하게 나타나 전형적인 북극진동 패턴과는 약간의 차이가 있었으나 극에 강한 양의 편차와 이를 둘러싼 중위도에 음의 편차가 나타났음 (그림 177)



그림 176. 2005년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 177. (좌) 2003년 12월 - 2006년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 낮았으며 일본 동쪽으로 북태평양 중앙까지 해수면온도가 낮은 영역이 나타남 (그림 178)
- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 낮았음. 열대 서태평양부터 미국 서해안까지 대각선 방향으로 해수면온도가 높게 나타나고, 중위도 북태평양 캄차카반도 부근 까지 온도가 높은 영역이 이어져 나타나 태평양은 Z자 모양으로 해수면온도가 높게 나타났음 (그림 178)

- Nino3 지수는 -1.20으로 최대값은 이전해 12월에 나타났으며 라니냐가 발생했음 (그림 180)
- 북대서양 해수면온도는 높았으며 그린란드 남쪽에서 특히 온도가 높게 나타났고 인도양 해수면온도는 평년보다 낮았음 (그림 178)
- 열대 대류활동은 열대 서태평양 필리핀해 부근과 인도네시아, 동인도양 벵골만에서
 매우 강하게 나타났고 열대 중태평양에서는 억제되었음 (그림 179)
- 해수면온도와 대류활동 패턴은 라니냐 절정기의 전형적인 패턴과 유사함





그림 179. 2005년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



- 동아시아 겨울철 기후는 동아시아 겨울몬순 순환의 영향을 강하게 받음. 동아시아 겨울몬순은 대륙과 해양의 비열차이로 인해 발생하며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압, 상층제트 및 기압골의 강도 등으로 표현됨. 동아시아 겨울몬순 지수가 강할수록 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하고 동아시아 지역의 기압골은 강해지며 상층제트도 강함을 의미함 (Ding 1990; Wang et al. 2010; Wang and Chen 2014; Jhun and Lee 2004)
- 동아시아 겨울몬순의 변동성은 엘니뇨, MJO, 북극진동, 북대서양진동, 성층권 변동성 등 다양한 인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있음 (Jeong et al. 2005; Gong et al. 2001; Cheung et al. 2012; 송강현 외 2015)
- 2005년 12월은 동아시아 겨울몬순이 매우 강한 해였음 (그림 181). 대륙의 시베리아 고기압이 강하게 발달하였으며 북태평양의 알류샨 저기압도 강하게 발달했음 (그림 175d)
- 우리나라는 북서쪽에는 위치한 고기압과 동쪽에 위치한 저기압으로 인해 북풍에 의한 차가운 공기가 유입되었음 (그림 175c)
- 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨. 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서태 평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함. 쿠로시오 고기압은 최근 들어 12월에 강했다가 1월이 되면 약해지는 경향이 나타나는 것으로 보고됨 (Wang et al., 2000; Son et al. 2014) (그림 150). 엘니뇨와 반대로 라니냐 때는 열대 중태평양 대류활동이 억제되고 서태평양 대류활동이 활발해지면서 북서태평양에 저기압성 순환이 유도되는데 영향을 줄 수 있음
- 2005년 12월은 라니냐 절정기로 열대 중태평양 대류활동이 억제되고 서태평양과 벵골만에서 대류활동이 활발하고 강수가 증가했음. 강수가 증가한 지역의 북서쪽 상층에 고기압성 순환이 유도되고 이에 대한 로스비파 전파 형태로 우리나라 동쪽에 저기압성 편차가 유도됨. 이 저기압은 연직으로 순압구조를 가지면서 하층에도 저기압성 순환을 유도함. 우리나라는 저기압성 순환에 의해 유도된 북풍의 영향을 받아 북쪽의 한기가 유입될 수 있었음 (그림 175)
- 바렌츠-카라 해 지역의 지표온도가 평년보다 높으면 이 지역의 상층 고기압성 순환은 로스비파 전파 형태로 동아시아 지역에 저기압성 순환을 유도할 수 있음 (Kug et al. 2015) (그림 182)
- 2005년 12월 2m 온도장을 보면 바렌츠-카라해 주변 온도가 평년보다 매우 높았고 상층에 고기압성 순환이 나타남 (그림 175). 고기압성 순환은 동아시아 지역에 저기압성 순환을 유도하고 기압골을 강화시켜 기압골을 따라 우리나라 쪽으로 북쪽의 한기가 유입될 수 있었음





그림 182. 겨울철(DJF) 바렌츠-카라해에서 평균한(30°-70°E, 70°-80°N) 지표기온 편차에 대한 (좌) 해면 기압과 (우) 300hPa 지위고도장의 선형회귀분석 (Fig.3 in Kug et al. 2015)

5) 요약

- 2005년 12월은 평균기온 -2.2℃로 평년에 비해 3.7℃ 낮아 매우 추웠음
- 우리나라 북서쪽에 고기압, 동쪽에 저기압이 강하게 발달하면서 북풍에 의한 찬 공기가 유입되었음
- 열대 서태평양과 벵골만에 나타난 활발한 대류활동과 바렌츠-카라해의 평년보다 높은 지표온도는 북서태평양에서 저기압성 순환이 강화되는데 영향을 준 것으로 보임

3.5. 1월 기온 최저 사례 : 1981년 1월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 -4.9℃로 1월의 평년값인 -1.0℃에 비해 3.9℃ 낮았음
- 전국적으로 평년보다 기온이 낮았으며 강원도에서는 평균기온이 -10℃에 이르기도 하였음
- 월 초에 매우 강한 한파가 있었고 이후 기온변동이 계속 있었으나 1월 내내 하루를
 제외하고 평년보다 기온이 낮았음
- 전국 평균 월 강수량은 23.4mm로 평년과 비슷했으나 지역별로 차이가 컸음. 세 차례 상대적으로 많은 강수가 있었는데 폭설에 의한 강수가 있었음



그림 183. 1981년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 184. 1981년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 북반구에서 유럽(-)~시베리아(+)~북태평양(-)~북아메리카 (+)~미국 동해안(-)~북대서양(+)으로 이어지는 크고 강한 지위고도 편차가 나타남.
 북극에는 강한 음의 편차가 나타났음 (그림 185a)
- 이러한 상층 지위고도 배치는 하층까지 이어져 해면기압 분포에서도 유사하게 나 타나며 상·하층 구조가 같은 순압대기 배치를 이룸 (그림 185a-d)
- 해면기압에서 북태평양에 음의 편차는 알류샨 저기압의 강화를 의미하고 시베리아
 지역에 양의 편차는 대륙의 시베리아 고기압의 강화를 의미함 (그림 185d)
- 우리나라는 동쪽으로 북태평양에 강한 음의 편차가 위치하고 서쪽에는 양의 편차가
 위치해 서고동저형의 전형적인 겨울철 기압배치를 나타냄 (그림 185d)
- 바이칼호 북쪽 부근에 기압능이 위치하고 우리나라는 캄차카반도에 중심을 두고 북서-남동으로 기울어진 기압골에 위치함 (그림 185b)



그림 185. 1981년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 하층 바람은 우리나라 서쪽의 양의 지위고도 편차와 동쪽의 음의 편차의 영향으로 북풍이 지배적으로 나타남. 북풍을 타고 차가운 대륙의 공기가 우리나라 쪽으로 남하할 수 있었음 (그림 185c)
- 지표기온분포를 보면 시베리아 북부와 북아메리카에서는 강한 양의 기온편차가 나타남. 두 지역은 양의 지위고도 편차가 나타난 지역임. 음의 지위고도 편차가 나타난 우리나라 주변과 미국 동부, 남부 유럽에서는 음의 기온편차가 나타남 (그림 185e)
- 상층제트류는 강화되었음. 제트의 중심 위치는 평년과 거의 동일하나 세기가 강해
 졌고 출구쪽은 동쪽으로 확장하면서 약간 남쪽으로 편향됨 (그림 186)



- 북극진동 지수는 -0.12로 약한 음의 값을 보였음 (그림 187)

그림 186. 1981년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 187. (좌) 1979년 1월 - 1981년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 낮았으며 특히 서해의 온도 편차가 크게 나타남 (그림 188)

- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 낮은 라니냐 상태를 보임. 열대 동태평양부터 중태평양 부근까지 음의 해수면온도 편차가 나타나고 서태평양 필리핀해 동쪽부터 미국 서해안까지 대각선 방향으로 양의 해수면온도 편차가 나타남. 양의 해수면온도 편차 북쪽에는 음의 해수면온도 편차지역이 나타나고 캄차카 반도 서쪽과 남쪽에 서는 양의 해수면온도 편차가 나타나 적도부터 (-)~(+)~(-)~(+)의 해수면온도 분포를 보임 (그림 188)
- 열대 인도양과 서태평양 도서지역의 해수면온도는 낮았음 (그림 188)
- Nino3.4 지수 -0.4, Nino3 지수 -0.7로 남아메리카에 가까운 열대 동태평양 지역에서 음의 온도편차가 강했고 중태평양쪽으로 가면서 음의 편차는 약해짐 (그림 190, 그림 188)
- 열대 대류활동은 서태평양에서 활발하게 나타나 호주 북부부터 필리핀 주변까지 활발한 대류활동을 보임. 이 지역 해수면온도가 높지 않았음에도 대류활동은 활발 했음. 열대 중태평양과 인도양에서는 대류활동 억제가 나타남 (그림 189)







- 동아시아 겨울철 기후는 동아시아 겨울몬순 순환의 영향을 강하게 받음. 동아시아 겨울몬순은 대륙과 해양의 비열차이로 인해 발생하며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압, 상층제트 및 기압골의 강도 등으로 표현됨 (Ding 1990; Wang et al., 2010). 동아시아 겨울몬순 지수가 강할수록 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하고 동아시아 지역의 기압골은 강해지며 상층제트도 강함을 의미함 (Jhun and Lee 2004; Wang and Chen 2014)
- 동아시아 겨울몬순의 변동성은 엘니뇨, MJO, 북극진동, 북대서양진동, 성층권 변동성
 등 다양한 인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있음 (Jeong et al. 2005, Gong et al. 2001; Cheung et al. 2012; 송강현 외 2015)
- 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하게 발달하였으며 시베리아 고기압의 강도와 변동은 한파 발생과 밀접하게 관련되어있음. (Zhang et al. 1997)
- 기존의 연구에서 제시한 방법으로 1월 동아시아 겨울몬순 지수를 계산해 보면 겨울몬순이 강한 해였음 (그림 161)
- 1981년 1월은 북극진동 지수가 매우 작았으며 북대서양진동 지수 또한 강하지 않았기 때문에 이들의 영향은 거의 없었던 것으로 보임 (그림 187)
- 라니냐로 분류되지는 않았으나 동태평양 해수면온도가 평년보다 차가웠고 서태평양
 에서 대류활동이 증가하는 등 일부 라니냐때의 반응이 있었기 때문에 이와 관련된
 영향은 고려할 필요가 있음 (그림 188, 그림 189)
- 우리나라는 대륙의 고기압과 해양의 저기압 사이에 위치해 북풍의 영향을 받아
 대륙의 찬 공기가 지속적으로 유입되면서 기온이 낮았음 (그림 185)
- 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해 지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서태 평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함. (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150). 엘니뇨와 반대로 라니냐 때는 열대 중태평양 대류활동이 억제되고 서태평양 대류활동이 활발해지면서 북서태평양에 저기압성 순환이 유도 되는데 영향을 줄 수 있음
- 1981년 1월에는 동태평양 해수면온도가 낮은 라니냐 비슷 상태로 열대 중태평양 에서 대류활동이 억제되고 서태평양에서 대류활동이 활발했으며 (그림 189) 필리핀 주변 아열대 북서태평양에서는 하층에 저기압성 순환이 보였음 (그림 185(c)). 이러한 대류활동 분포는 북서태평양 저기압성 순환이 강화되는데 영향을 줄 수 있었던 것으로 보임
- 겨울철(12-2월) 평균을 하면 1980년 12월과 1981년 2월은 1981년 1월과 지위고도 분포가 달라져 각각의 달에 나타났던 특징이 사라짐. 1980년 12월은 북태평양에 북극에 양의 편차, 북태평양 알류샨 남쪽에 음의 편차가 나타나는 북태평양진동이 강화되는 분포를 보였고 1981년 2월은 알류샨 저기압은 강화되었으나 세기가 1월 보다 감소했고 시베리아고기압 세력은 평년과 비슷한 수준이 되어 두 기압의 차이가 약해졌음

- 1981년 1월은 평균기온 -4.9℃로 평년에 비해 3.9℃ 낮아 매우 추웠음
- 기온이 낮았던 원인으로 시베리아에 기압능과 북태평양에 기압골이 지속되면서 우리나라에 북풍이 불게 되었고 북쪽의 찬 공기가 유입되어 기온이 낮았던 것으로 보임
- 열대 서태평양에서 활발했던 대류활동이 북태평양의 저기압성 순환이 강화되는데 일부 영향을 준 것으로 보임

3.6. 2월 기온 최저 사례 : 1984년 2월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 -2.2℃로 2월의 평년값인 1.1℃에 비해 3.3℃ 낮았음
- 전국적으로 기온이 매우 낮았으며 월 초반에 강한 한파가 있었고 중반 이후 기온이
 점차 증가했다가 월말에 크게 기온이 떨어졌음
- 전국 평균 월 강수량은 14.7mm, 18.7퍼센타일로 평년보다 적었음



그림 191. 1984년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 192. 1984년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임

- 상층 지위고도장을 보면 우랄산맥 부근에 매우 강한 양의 편차가 위치하고 그 동쪽으로 시베리아와 우리나라까지 음의 편차가 위치함. 북아메리카에는 양의 편차가 위치했는데 유럽까지 이어졌으며 알래스카와 그린란드에는 음의 편차가 위치함 (그림 193a,b)
- 상층의 지위고도 배치는 하층에서도 유사하게 나타났으나 시베리아와 우리나라 부근의 음의 편차는 하층으로 내려갈수록 약해짐 (그림 193c)
- 해면기압 분포에서는 우랄산맥 부근을 중심으로 유라시아 대륙과 베링해 부근,
 북아메리카 동북부와 대서양에 양의 편차가 나타남. 유럽에서부터 우리나라까지는
 양의 편차가 나타나 대륙의 시베리아 고기압은 세력이 강했음 (그림 193d)
- 하층 바람은 우리나라 동쪽에 위치한 음의 지위고도 편차의 영향으로 북풍 편차의 영향을 받았음 (그림 193c)



그림 193. 1984년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 우리나라와 유라시아 대륙에서는 기온이 낮았으며 베링해 부근과 그린란드 서쪽도 온도가 낮았음. 북극의 바렌츠-카라해 부근은 온도가 높았으며 북아메리카는 온도가 높았음 (그림 193e)
- 상층제트는 중심세력이 강해지고 북서쪽으로 확장했음. 출구는 동쪽으로 확장하면서
 약간 북쪽에 위치함 (그림 194)
- 북극진동 지수는 약한 음의 값이었으나 강하지 않았음 (그림 195)



그림 194. 1984년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 195. (좌) 1982년 2월 - 1984년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 낮았으며 남중국해부터 우리나라 동쪽까지 해수면온도가 낮았고 오호츠크해 해수면온도는 높았음 (그림 196)
- 열대 태평양 해수면온도는 적도를 따라서는 음의 편차가 나타났으며 적도 북쪽과 남쪽에서는 양의 온도 편차가 나타났음. 인도양과 서태평양 도서지역 해수면온도는 평년보다 낮았음 (그림 196)

- Nino3.4 지수는 -0.18로 중립상태였음. 1983년 가을-겨울에 라니냐가 발생하고 빠르게 소멸해 2월에는 중립상태였음 (그림 198)
- 열대 서태평양과 인도양에서 대류활동이 매우 활발하게 나타났음. 열대 중태평양
 에서는 대류활동이 억제되어 라니냐 때와 유사했음 (그림 197)
- 2월 중반까지 MJO 위상은 2-3으로 강도가 비교적 강했으며 인도양에서의 활발한 대류활동은 MJO와 관련된 것으로 보임 (그림 197)
- 북대서양에서는 약하지만 적도부터 그린란드 남쪽까지 (-)~(+)~(-)의 해수면온도 편차가 나타남 (그림 196)





그림 197. 1984년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 1984년 2월은 동아시아 겨울몬순 지수가 강한 양의 값을 갖는 해였음 (그림 199)
- 우랄-시베리아 지역에서 고기압 정체로 나타나는 블로킹은 풍하측으로 찬 공기를 이류 시켜 동아시아 지역의 기온을 감소시키며 우랄-시베리아 블로킹의 활동성은 북극진동과 ENSO의 위상과 관련 있음. 북극진동 지수가 음일 때 남북방향의 흐름이 강해지면서 블로킹 고기압이 발달하기에 더 좋은 조건을 제공함. 우랄 블로킹과 관련된 원격상관은 파동 전파형태로 동쪽으로 전파되는데 라니냐 때는 ENSO에 의한 강제력이 시베리아 근처의 서풍을 약화시켜 파동이 동쪽으로 전파되는 것을 방해함. 따라서 음의 북극진동과 라니냐 때 시베리아 고기압은 강해지고 우랄 블로킹이 발생하기 좋은 조건이 되면서 동아시아 온도는 낮아지는 경향이 있음 (Cheung et al. 2012) (그림 172)
- 1984년 2월은 엘니뇨/라니냐 감시구역이 중립이었지만 1월까지는 라니냐가 있었으며 해수면온도 분포는 라니냐와 일부 유사했고 북극진동 지수는 약한 음의 값을 보였음 (그림 198, 그림 195)
- 캄차카 반도 부근의 양의 지위고도 편차는 동아시아의 기압골이 쉽게 빠져나가지
 못하고 유지되는데 영향을 준 것으로 보임 (그림 193)
- MJO 위상이 2-3 (중심이 인도양~인도네시아 근처에 위치)일 때 중국과 우리나라 부근 상층에 저기압성 순환이 유도되면서 한파 강도를 강화시킬 수 있음 (Jeong et al. 2005; Jeong et al. 2008) (그림 200). 강한 한파가 있었던 1984년 2월 초에 MJO위상이 2-3으로 (그림 201) 강한 한파가 발생되는데 MJO의 영향이 있었던 것 으로 분석됨
- 2월에는 바렌츠-카라해 부근의 기온이 매우 높았는데 (그림 193(e)), 바렌츠-카라해 부근의 평년보다 높은 온도는 북극 중앙의 지상 양의 지위고도 편차와 서러시아의 양의 지위고도 편차와 관련 있음. 서러시아에 양의 편차가 만들어지면 이 지역은 지표가 차갑기 때문에 한랭이류에 의해 고기압이 동쪽으로 확장함. 확장된 양의 편차는 시베리아 고기압의 강화와 연결되어 동아시아에 한파를 일으킬 수 있음 (Kug et al. 2015) (그림 182)





그림 200. MJO 위상 2-3일 때 300hPa 유선함수장(실선)과 OLR(음영) 합성도 (Fig.5 in Jeong et al. 2008)



그림 201. 1984년 1-3월 MJO 위상 다이어그램 (RMM1, RMM2 phase space) (좌) 일본 기상청, (우) 호주 기상청 자료

- 1984년 2월은 평균기온 -2.2℃로 평년보다 3.3℃ 낮아 매우 추웠음
- 우랄블로킹이 유지된 데는 음의 북극진동과 라니냐의 영향이 있었던 것으로 보임
- 열대 인도양과 서태평양에서 활발했던 대류활동과 바렌츠-카라해의 평년보다 높은 기온도 시베리아 고기압을 강화시켜 강한 한파가 발생하는데 영향을 준 것으로 보임



3. 겨울철 극값 사례 - 강수

3.7. 12월 강수 최다 사례 : 1991년 12월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 3.1℃로 12월의 평년값인 1.5℃에 비해 1.6℃ 높았으며 기온변동이 잦았음
- 전국 평균 월 강수량은 63.5mm, 100퍼센타일로 일부 서해안 지역을 제외한 전국
 대부분 지역에서 강수량이 평년보다 많았음



그림 202. 1991년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 203. 1991년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 우리나라는 양의 지위고도 편차의 영향을 받았음. 동아시아 지역의 기압골은 약해지고 우랄산맥 남서쪽으로 기압골이 위치했음 (그림 204a,b)
- 중위도의 양의 지위고도 편차 중심은 북태평양 중앙, 북아메리카 동부, 유럽에 위치하고 북극에는 음의 편차가 강하게 나타남 (그림 204a,b)
- 상층의 지위고도 배치는 하층에서도 유사하게 나타남. 하층에서는 북태평양에 남고-북저의 기압배치가 뚜렷하게 나타남 (그림 204c,d)
- 우리나라는 하층의 고기압성 순환의 서쪽 가장자리에 위치해 남풍계열의 바람이 불어 따뜻한 해양으로부터 수증기가 유입되기 좋은 조건이었음 (그림 204c)
- 지표기온분포는 시베리아 북쪽 북극 주변은 기온이 평년보다 높았고 시베리아 중앙에서는 평년보다 낮았음. 우리나라와 중국에서는 기온이 높았음 (그림 204e)
- 상층제트의 중심 위치는 평년과 비슷했으나 세기가 약해짐 (그림 205)



그림 204. 1991년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 북극에서 음의 지위고도 편차가 강하게 나타나는 양의 북극진동이 나타남. 북극의
 음의 편차를 둘러싸고 중위도에서는 양의 편차가 나타났는데 영국과 북태평양에
 중심이 위치함. 북극진동 지수는 1.61 이었음 (그림 206)



그림 205. 1991년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 206. (좌) 1989년 12월 - 1992년 7월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양부터 중태평양까지 해수면온도가 평년보다 높은 엘니뇨가 상태였음 (그림 207)
- Nino3 지수는 1.28, Nino3.4 지수는 1.73으로 동태평양 해수면온도보다 중태평양 해수면온도가 더 높았음 (그림 209)
- 알래스카 남쪽부터 중태평양까지 높은 해수면온도가 이어지고 서태평양과 북태평양 해수면온도는 평년보다 낮았음. 일본 남쪽으로 쿠로시오 해류 영역에서는 해수면 온도가 높게 나타났음 (그림 207)
- 열대 대류활동은 열대 중태평양에서 강화되었고 열대 서태평양과 필리핀해 주변과
 호주 북동부에서는 억제되었음 (그림 208)



그림 207. 1991년 12월 해수면온도 편차



그림 208. 1991년 12월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 우리나라 겨울철 강수량과 엘니뇨는 양의 상관관계를 가짐. 특히 초겨울 강수는 상관관계가 0.6 이상으로 매우 높음 (엘니뇨 백서, 2017)
- · 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서 태평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150)

- 1991년 12월에는 열대 중태평양에서 대류활동이 매우 강했고 열대 서태평양에서는 대류활동이 강하게 억제되었음 (그림 208). 이에 대한 원격상관 반응으로 북서태평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환이 유도되었음 (그림 204). 고기압성 순환에 의해 유도된 남풍에 의해 해양으로부터 따뜻하고 습한 공기가 우리나라 쪽으로 유입될 수 있었음. 또한 쿠로시오 해류 지역의 평년보다 높은 해수면온도는 대기로 더 많은 수증기가 공급될 수 있게 기여했을 것으로 보임 (그림 207)
- 북극진동이 양의 위상일 때 우랄산맥 지역 기압능은 약해지고 동아시아 지역의 기압골이 약해지면서 시베리아 고기압이 약해지는 경향이 있으며 (Gong et al. 2001; Jeong and Ho 2005) 이는 우리나라에서 북풍을 약화시키고 남풍편차를 유도할 수 있음
- 북극진동과 북태평양진동(서태평양패턴)의 위상이 같을 때 동아시아 지역의 기온과 북극진동과의 상관관계는 더욱 강화됨. 즉 겨울철에 양의 북극진동과 양의 북태평양 진동이 동반되면 양의 기온편차가 동아시아 지역에서 강해질 수 있음. 두 진동현 상이 양의 위상일 때, 북극진동과 동반되어 나타나는 북태평양의 양의 지위고도 편차는 남서쪽으로 확장되고 이에 따라 대륙과 해양간의 동서 기압경도가 약화되 면서 북서풍이 약화되고 동아시아 지역의 기압골은 더욱 약화됨 (Park and Ahn 2016)
 1991년 12월에는 북극진동이 양의 위상으로 동아시아 지역의 기압골과 시베리아
- 고기압이 약했으며 북태평양진동(서태평양패턴)은 약하지만 양의 위상으로 나타남 (그림 206, 그림 210)



- 1991년 12월은 전국 평균 월 강수량은 63.5mm, 100퍼센타일로 강수가 매우 많았음
- 엘니뇨 절정기에 발생하는 쿠로시오 고기압의 발달로 인해 남풍이 유도되면서 강수가 많았던 것으로 분석됨
- 양의 북극진동의 영향으로 동아시아 지역의 기압골이 약해지고 북풍이 약해지면서 남풍편차가 유도되는데 영향을 주었으며 북태평양진동 또한 북극진동과 같은 위상을 갖으면서 상층 기압골의 약화를 가중시켰음

3.8. 2월 강수 최다 사례 : 1990년 2월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 3.5℃로 2월의 평년값인 1.1℃에 비해 2.4℃ 높았음
- 기온변동이 있었던 가운데 두 차례 정도 기온이 크게 떨어지는 시기가 있었으나
 평년기온 아래로 크게 떨어지지 않아 월 초반을 제외하고 기온이 영상을 유지했음
- 전국 평균 월 강수량은 107.0mm, 100퍼센타일로 특히 동해안과 남해안 지역에 강수가 많았음



그림 211. 1990년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 212. 1990년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 유럽, 중위도 북서태평양, 미국 동부에 강한 양의 편차가 나타나고 베링해부터 그린란드까지 넓은 지역에 걸쳐서 강한 음의 편차가 나타남 (그림 213a)
- 북극 그린란드 주변의 음의 편차와 북태평양의 강한 양의 편차는 하층까지 이어져 해면기압에서도 매우 강하게 나타남 (그림 213a-d)
- 우리나라는 상층의 강한 양의 지위고도 편차의 영향을 받았고 동아시아 지역의 기압골은 매우 약화되었음. 해면기압에서는 우리나라 동쪽으로 북태평양에 강한 양의 편차가 나타나고 서쪽에는 약한 음의 편차가 나타나 동서 기압차이가 약했음 (그림 213a-d)
- 하층바람은 고기압성 순환의 영향으로 남풍 또는 남동풍 편차가 우세했음 (그림 213c)



그림 213. 1990년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 유럽과 동북아시아, 미국 동부에서는 양의 기온편차가 나타났고 오호츠크해 부터 동쪽으로 그린란드 까지 강한 음의 기온 편차가 나타남 (그림 213e)
- 북극은 바렌츠와 카라해 주변은 강한 양의 기온 편차가 나타났고 척치해부터 동쪽
 으로 그린란드까지는 강한 음의 기온 편차가 나타남 (그림 213e)
- 상층제트는 약화되고 중심이 남하했음. 제트의 중심이 평년에는 일본 동남쪽에 위치하는데 중국 남부 대만 근처로 이동했음. 우리나라는 제트 중심의 북동쪽에 위치함 (그림 214)
- 북극진동 지수는 3.4로 매우 강한 양의 북극진동 지수를 보였음. 1000hPa 지위고 도장에서 전형적인 양의 북극진동 패턴과 유사했으나 양의 지위고도 편차는 북태 평양에서는 매우 강했고 북대서양에서는 강하지 않았음 (그림 215)
- 북대서양 그린란드 주변의 저기압과 미국 동부의 양의 지위고도 편차는 전형적인
 양의 북대서양진동 패턴과 유사함 (그림 213). 북대서양진동 지수는 1.16으로 양의
 위상이었음 (그림 216)



그림 214. 1990년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 215. (좌) 1988년 2월 - 1990년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차



3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 우리나라 주변 해수면온도는 평년보다 높았으며 동쪽으로 양의 지위고도 편차가 위치한 중위도 북태평양에서 양의 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 217)
- 열대 태평양 해수면온도는 적도 주변으로 약한 양의 온도 편차가 나타났으며 그 북쪽으로 적도와 중위도 사이에는 약한 음의 온도 편차가 나타남 (그림 217)
- Nino 지수는 거의 0에 가까운 중립상태였음 (그림 219)
- 인도양은 해수면온도가 전체적으로 평년보다 높았으며 대서양 해수면온도는 적도 에서 극쪽으로 (+)~(-)~(+)의 편차가 나타났음 (그림 217)
- 북태평양과 북대서양의 해수면온도 본포는 양의 북대서양진동일 때와 유사한 분포임 (그림 217, 그림 220)
- 열대 대류활동은 중태평양에서 강화되었고 서태평양 도서지역과 필리핀 주변에서는 억제되었음, MJO 위상이 7-8과 1-3에 위치하고 강도도 강한 편이었음 (그림 218)
- 열대 서태평양 대류 억제지역 북쪽으로 남중국해부터 우리나라와 일본 남쪽까지 대류 강화 신호가 나타났으며 강수량도 증가했음 (그림 218)



그림 217. 1990년 2월 해수면온도 편차



그림 218. 1990년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차





그림 220. 북대서양진동(NAO) 지수에 회귀분석한 해수면온도 (interannual NAO index는 1년 이동평 균한 지수와 7년 이동평균한 지수의 차이로 계산) (Fig.5d in Wang et al. 2010)

4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

 - 동아시아 겨울철 기후는 동아시아 겨울몬순 순환의 영향을 강하게 받음. 동아시아 겨울몬순은 대륙과 해양의 비열차이로 인해 발생하며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압, 상층제트 및 기압골의 강도 등으로 표현됨 (Ding 1990; Wang et al. 2010; Wang and Chen 2014). 겨울몬순 지수가 강할수록 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하고 동아시아 지역의 기압골은 강해지며 상층제트도 강함을 의미함 (Jhun and Lee 2004; Wang and Chen 2014)

- 1990년 2월은 동아시아 겨울몬순 지수가 2월 중 가장 값이 작았음 (그림 199)
- 우리나라 동쪽으로 북태평양에 하층부터 상층까지 깊게 발달한 고기압성 순환의 영향으로 남동풍 편차가 불면서 대륙으로부터 건조한 한기 유입이 억제되고 해양 으로부터 따뜻하고 습한 공기가 유입될 수 있었음 (그림 213)
- 북극진동이 양의 위상일 때 동아시아 지역의 기압골이 약해지고 하층 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 약화되는 경향이 있으며 그에 따라 북풍이 약해지고 한기 남하가 저지될 수 있음 (Gong et al. 2001; Jeong and Ho 2005)
- 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해 지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서 태평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150)
- 1990년 2월은 열대 태평양 해수면온도는 중립상태였으나 열대 중태평양에서 대류 활동이 활발했고 열대 서태평양에서는 대류활동 억제가 나타나 엘니뇨 시기에 나타나는 대류활동 분포와 매우 유사했음 (그림 217, 그림 218). 따라서 열대 태평양 에서의 대류활동 억제와 강화가 북태평양고기압성 순환이 강화되는데 영향을 주었을 것으로 보임

- 1990년 2월은 전국 평균 월 강수량은 107.0mm, 100퍼센타일로 강수가 많았음
- 평균기온은 3.5℃로 평년에 비해 2.4℃ 높았음
- 동아시아 겨울몬순이 약해지고 북태평양에 양의 고기압성 순환이 나타나면서 북풍이 약해지고 남풍편차가 유도되어 차갑고 건조한 공기유입을 방해하고 해양 으로부터 온난하고 습한 공기가 유입될 수 있었음
- 열대 서태평양에서 대류활동이 억제되고 중태평양에서 대류활동이 활발해지는 엘니뇨와 비슷했던 대류활동 구조가 북태평양의 고기압성 순환이 강화되는데 영향을 끼친 것으로 보임

3.9. 12월 강수 최소 사례 : 1987년 12월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 1.7℃로 12월의 평년값인 1.5℃에 비해 0.2℃ 높아 평년과 비슷했음
- 상순과 중순 초반에는 기온이 평년보다 낮았으나 중순 후반부터는 기온이 증가해
 영상권을 유지하며 따뜻했음
- 전국 평균 월 강수량은 5.1mm, 2.2퍼센타일로 매우 적었음
- 6일을 제외하면 강수가 있었던 날에도 전국 평균 강수량이 1mm 미만으로 매우 적었음. 6일 강수량은 2.6mm로 동해안 지역에 주로 비가 내렸음



그림 221. 1987년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 222. 1987년 12월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도 배치는 캄차카반도 근처에 음의 편차가 위치하고 남쪽으로 우리나라 동쪽에 양의 편차가 위치함. 우랄산맥 부근에는 음의 편차가 위치하고 그 남쪽으로 양의 편차가 위치했음 (그림 223a,b)
- 북대서양에는 북아메리카 북쪽에 양의 지위고도 편차가 위치하고 남쪽으로 북대 서양에 음의 편차가 위치함. 이러한 지위고도 배치는 음의 북대서양진동 패턴과 다소 유사함 (그림 223a,b)
- 상층의 지위고도 배치는 하층까지 유사하게 이어져 하층에서는 우랄산맥 부근부터 북태평양 베링해 부근까지 음의 편차가 이어지고 우리나라 동쪽으로 양의 편차가 나타남 (그림 223c,d)
- 북태평양에서 북저-남고 지위고도 배치는 양의 북태평양진동(서태평양패턴)과 유사함 (그림 223c,d)



그림 223. 1987년 12월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 해면기압을 보면 시베리아 고기압이 약했고 알류샨 저기압도 약해져 북쪽으로 수축해
 나타남 (그림 223d)
- 이러한 지위고도 분포는 중순 이후에 주로 나타난 분포로 월 내에서도 기압계 변동이 컸음. 월 초반에는 대륙고기압이 발달하다가 이후 이동성 고기압과 기압골이 주기적으로 통과했으며 중후반에는 남고-북저형 기압배치가 강해졌음
- 하층바람은 월평균을 하면 약하게 서풍 편차가 나타나지만 이동성 고기압과 기압 골이 지나가면서 바람 방향이 자주 바뀌어 뚜렷한 주풍은 없었음. 북태평양의 고기압성 순환은 동쪽으로 치우쳐 우리나라에 크게 영향을 주지 못했음
- 지표기온 분포는 유라시아대륙 남서쪽에서 평년보다 높게 나타났고 캄차카반도가 위치한 시베리아 북동쪽은 기온이 낮았음 (그림 223e)
- 상층 바람은 제트 중심이 강화되었고 중심이 동쪽으로 약간 확장했음 (그림 224)
- 북극진동 지수는 -0.5으로 약한 음의 북극진동이 있었음 (그림 225좌)



그림 224. 1987년 12월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양 해수면온도는 평년보다 높았고, 높은 해수면온도는 날짜변경선 서쪽까지 나타났음 (그림 226)
- Nino3 지수 1.0, Nino3.4 지수 1.0으로 엘니뇨 상태였음. 1986년 말부터 엘니뇨가 시작된 후 계속해서 해수면온도가 높은 엘니뇨 상태가 유지되다가 1988년 초를 지나면서 라니냐 상태로 전환됨. Nino 지수의 최대값은 1987년 9월에 Nino3.4 1.6 으로 나타났음 (그림 228)

- 이전해 겨울부터 시작된 엘니뇨 상태가 계속 유지되다가 그 다음해 봄에 끝난 경우는 1986-1988년 엘니뇨와 2014-16년 엘니뇨 밖에 없었음
- 동중국해와 필리핀해, 우리나라와 일본 남쪽 해수면온도는 높았음. 오호츠크해
 부터 베링해와 알래스카만 남쪽까지 해수면온도는 낮았음 (그림 226)
- 열대 태평양에 해수면온도가 높게 나타나는 지역 바깥쪽으로는 해수면온도가 낮게 나타났으며 서태평양 도서지역과 필리핀해 주변에서 해수면온도는 높게 나타남 (그림 226)
- 열대 대류활동은 중태평양에서 활발하게 나타났고 필리핀 주변에서는 억제되었으나
 다른 엘니뇨 시기보다 억제되는 세기가 약했음 (그림 227)
- 전형적인 엘니뇨 절정기 겨울의 대류활동과 달리 아열대 서태평양 남중국해에서는 대류활동이 약간 강화되었고 강수도 증가했으며 열대 서태평양 도서지역에서도 강수가 증가했음 (그림 227)
- 중국부터 우리나라와 일본에 걸쳐 약하지만 대류활동 약화가 나타났고 음의 강수 편차가 나타나며 건조했음 (그림 227)







4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- · 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해 지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서태 평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150)
- 1987년 12월에는 엘니뇨 해에 나타나는 쿠로시오 고기압이 보였으나 동쪽으로 치우쳐 나타나 우리나라에 별다른 영향을 주지 못했음 (그림 223)
- 1987년 12월은 엘니뇨 상태였으나 전형적인 엘니뇨가 11월~12월에 절정기를 맞는 것과 달리 이전해 겨울부터 엘니뇨 상태가 이어져오다가 차츰 소멸되는 시기로 (그림 228) 원격상관 패턴이 전형적인 엘니뇨 발생시기의 겨울과 다르게 나타난 것으로 보임
- 12월에 강수가 많았던 패턴과 유사하게 우리나라부터 북태평양에 고기압성 순환이
 나타났으나 동쪽으로 치우치면서 우리나라는 남풍계열 바람의 영향을 받지 못해
 강수가 많이 내릴 수 있는 온난하고 습한 공기가 유입되지 못했음 (그림 223c)

- 1987년 12월은 전국 평균 월 강수량은 5.1mm, 2.2퍼센타일로 매우 적어 건조했음
- 기압계 이동이 잦아 일변동이 비교적 컸던 편으로 뚜렷한 주풍은 없었고 강수량
 증가를 유발하는 남풍계열의 바람편차가 약했음
- 엘니뇨 발생 해였으나 다른 엘니뇨와 달리 1986-1987 엘니뇨가 소멸하지 않고 이어졌던 특이한 경우로 전형적인 엘니뇨가 발생한 12월의 원격상관과 다른 반응이 나타났음

3.10. 1월 강수 최소 사례 : 2011년 1월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 -4.8℃로 1월의 평년값인 -1.0℃에 비해 3.8℃ 낮았음
- 1월 평균기온의 최저 극값은 -4.9℃로 (1977년, 1981년) 2011년은 최저 극값과는 0.1℃ 밖에 차이가 나지 않았음
- 전국적으로 온도가 낮았으며 주기적인 기온변동이 있었으나 계속해서 평년보다
 기온이 낮았고 월 중반에 한차례의 매우 강한 한파가 있었음
- 전국 평균 월 강수량은 5.6mm, 0퍼센타일로 전국적으로 강수가 매우 적었으며 몇
 차례 강수가 있기는 했으나 전국 평균 일강수량이 2mm로 매우 적었음



그림 229. 2011년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 230. 2011년 1월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 중위도 유라시아 대륙부터 북서태평양까지 음의 편차가 위치하고 우랄산맥 부근부터 동쪽으로 시베리아 북부에 양의 편차가 위치함. 우리 나라는 기압골에 걸쳐 있으며 북서쪽과 북동태평양에 기압능이 강하게 발달했음 (그림 231a,b)
- 하층 지위고도장에서는 우리나라 북서쪽 시베리아에 고기압이 강하게 발달해있고
 우리나라 동쪽에는 알류샨 저기압이 발달했음 (그림 231c,d)
- 서고-동저형의 전형적인 겨울철 기압배치 형태로 북서풍이 주풍이었고 바람편차는 북풍이 강하게 나타남 (그림 231c)
- 우리나라 상층 지위고도장은 음의 편차가 위치했고 해면기압에서는 양의 편차가 위치해 상·하층이 반대인 경압대기 분포를 보였음 (그림 231a-d)



그림 231. 2011년 1월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온 분포는 시베리아 고기압 세력이 강하게 나타난 우리나라와 중국, 유라시아 대륙 중앙에서 매우 강한 음의 기온편차를 보였음. 반면 북부 시베리아와 베링해 부근은 양의 기온편차가 나타남 (그림 231e)
- 상층제트는 강해져 중심에서의 바람 세기가 평년보다 더 강해졌으며 제트의 출구는 북쪽으로 살짝 위치함 (그림 232)
- 북극진동 지수는 -1.68로 강한 음의 북극진동이 있었음. 1000hPa 지위고도장 분포를 보면 북극에 양의 지위고도 편차 중심은 시베리아와 그린란드 남부에 위치함.
 중위도는 북아메리카 북서해안과 중국을 제외하고 대부분의 지역에서 음의 지위고도 편차가 나타났고 북태평양에 강한 음의 편차가 나타났음 (그림 233)



그림 232. 2011년 1월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 233. (좌) 2009년 1월 - 2011년 8월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차

3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양부터 중태평양까지 해수면온도가 평년보다 낮은 라니냐 상태였음.
 음의 해수면온도 편차는 중태평양에서 가장 강하게 나타남 (그림 234)

- Nino3.4 지수는 -1.55로 강한 라니냐였으며 2011년 여름부터 라니냐 상태가 지속 되었음 (그림 236)
- 열대 태평양의 음의 해수면온도 편차 바깥쪽으로 양의 편차가 나타남. 일본 동쪽 으로 북태평양에서는 높은 양의 해수면온도 편차가 나타났음 (그림 234)
- 열대 서태평양 해수면온도는 평년보다 높았고 인도양 해수면온도는 평년보다 낮았음 (그림 234)
- 열대 대류활동은 중태평양에서 억제되었고 열대 서태평양 도서지역과 동인도양~호주 서부 해안에서는 강화되었음. 이러한 대류활동 억제와 강화 패턴은 라니냐 절정기 때 나타나는 전형적인 패턴과 일치함 (그림 235)





그림 235. 2011년 1월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차



4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 동아시아 겨울철 기후는 동아시아 겨울몬순 순환의 영향을 강하게 받음. 동아시아 겨울몬순은 대륙과 해양의 비열차이로 인해 발생하며 시베리아 고기압과 알류샨 저기압, 상층제트 및 기압골의 강도 등으로 표현됨 (Ding 1990; Wang et al. 2010; Wang and Chen 2014). 겨울몬순 지수가 강할수록 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하고 동아시아 지역의 기압골은 강해지며 상층제트도 강함을 의미함 (Jhun and Lee 2004; Wang and Chen 2014)
- 동아시아 겨울몬순의 변동성은 엘니뇨, 북극진동, 북대서양진동 등 다양한 인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있음 (Jeong et al. 2005; Gong et al. 2001; Cheung et al. 2012; 송강현 외 2015)
- 1월 동아시아 겨울몬순 지수를 보면 2011년은 가장 큰 값을 보였음 (그림 161)
- · 엘니뇨 때 열대 중태평양 대류활동이 활발해 지면 이에 대한 Gill-타입 대기반응으로 북서쪽인 아열대 북서태평양에서는 대류활동이 억제되고 고기압성 흐름이 유도됨.
 이때 상층에는 저기압성 순환이 유도되면서 로스비파 전파 형태로 중위도 북서 태평양 쿠로시오 해역 부근에 고기압성 순환을 유도함 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150)
- · 엘니뇨와 반대로 라니냐 때는 열대 중태평양 대류활동이 억제되고 서태평양 대류 활동이 활발해지면서 북서태평양에 저기압성 순환이 유도됨. 2010-2011년 겨울은 라니냐 상태로 벵골만부터 열대 서태평양과 필리핀 주변에서 대류활동이 강하게 발달했으며 우리나라는 음의 기온 편차와 음의 강수 편차가 나타났는데 이는 전형 적인 라니냐 절정기 패턴과 일치함 (그림 235)
- 북극진동이 음의 위상일 때 우랄산맥 지역 기압능이 강해지고 동아시아 지역의 기압골이 강해지면서 시베리아 고기압이 강해지는 경향이 있으며 (Gong et al. 2001; Jeong and Ho 2005) 이는 우리나라에서 북풍을 강화시킴
- 북극진동과 북태평양진동(서태평양패턴)의 위상이 같을 때 동아시아 지역의 기온과 북극진동과의 상관관계는 더욱 강화됨. 즉 겨울철에 음의 북극진동과 음의 북태평양 진동이 동반되면 음의 기온편차가 동아시아 지역에서 나타나고 대륙과 해양간의 동서 기압경도가 강해지면서 북서풍이 더욱 강화될 수 있음 (Park and Ahn 2016)
- 우랄-시베리아 지역에서 고기압 정체로 나타나는 블로킹은 풍하측으로 찬 공기를
 이류 시켜 동아시아 지역의 기온을 감소시킴
- 우랄-시베리아 블로킹의 활동성은 북극진동과 ENSO의 위상과 관련 있음. 북극진동 지수가 음일 때 남북방향의 흐름이 강해지면서 블로킹 고기압이 발달하기에 더 좋은 조건을 제공함. 우랄 블로킹과 관련된 원격상관은 파동 전파형태로 동쪽으로 전파 되는데 라니냐 때는 ENSO에 의한 강제력이 시베리아 근처의 서풍을 약화시켜 파동이 동쪽으로 전파되는 것을 방해함. 따라서 음의 북극진동과 라니냐 때 시베 리아 고기압은 강해지고 우랄블로킹이 발생하기 좋은 조건이 되면서 동아시아 온도는 낮아지는 경향이 있음 (Cheung et al. 2012) (그림 172)

- 2011년 1월은 음의 북극진동과 음의 북태평양진동이 발생해 우랄산맥 지역 기압
 능과 시베리아 고기압이 강하게 발달할 수 있었고 우리나라 부근의 기압골이 강해
 지면서 북풍이 강화되어 차고 건조한 공기가 유입되면서 강수가 억제되고 기온이
 하강될 수 있었음 (그림 233, 그림 237)



- 2011년 1월은 전국 평균 월 강수량 5.6mm, 0퍼센타일로 강수가 매우 적었음
- 평균기온은 -4.8℃로 1월 극값에 가까웠으며 매우 추웠음
- 라니냐 발생으로 열대 서태평양에서 강수가 증가하고 증가한 강수는 중위도 북서 태평양에 저기압성 순환을 유도함
- 음의 북극진동의 영향으로 동아시아 지역의 기압골이 강해지면서 북풍이 강화됨.
 음의 북태평양 진동은 북극진동으로 인해 유도되는 북풍이 더욱 강화될 수 있도록 함
- 라니냐와 북극진동, 북태평양진동의 영향이 결합되면서 동아시아 지역의 기압골이 강화되고 북풍이 강해져 극쪽의 차갑고 건조한 공기가 우리나라로 유입되면서 기온이 낮아지고 강수량이 매우 적었던 것으로 보임

3.11. 2월 강수 최소 사례 : 2000년 2월

1) 우리나라 기온 및 강수량 현황

- 전국 평균기온은 -0.4℃로 2월의 평년값인 1.1℃에 비해 1.5℃ 낮았음
- 주기적인 기온변동을 보였으나 평년보다 기온이 낮은 상태로 기온변동을 보였음
- 전국 평균 월 강수량은 3.3mm, 2.2퍼센타일로 강수량이 매우 적었음. 비가 내리긴
 했으나 강수량이 매우 적어 일 강수량이 1.0mm에도 못 미쳤음



그림 238. 2000년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 평균기온과 편차 분포도, (우) 일변화 시계열 ※ 분포도는 전국 45개 지점과 제주도 2개 지점임



그림 239. 2000년 2월 전국 45개 지점의 (좌) 강수량과 강수량 퍼센타일 분포도, (우) 강수량 시계열

- 상층 지위고도장을 보면 북대서양 그린란드 부근에 강한 음의 편차가 위치하고 그 남쪽으로 양의 편차가 위치하는 쌍극 패턴이 나타남 (그림 240a). 북대서양진동 지수는 1.48로 양의 위상이었음 (그림 243)
- 우리나라 북쪽 시베리아에 양의 지위고도 편차가 위치하고 우리나라는 북태평양부터 남서방향으로 발달한 음의 지위고도 편차의 영향을 받음 (그림 240a-d)
- 북태평양의 음의 지위고도 편차 남동쪽으로 양의 편차가 나타났으며 북유럽부터 북태평양까지 (-)~(+)~(-)~(+) 편차로 이어지는 파동 전파 형태가 나타남 (그림 240a,b).
 바이칼호 서쪽으로 기압능이 위치하고 우리나라 북동쪽으로 기압골이 위치했음 (그림 240b)
- 하층 지위고도장은 상층과 유사하며 북태평양의 음의 편차가 하층에서 매우 강했음.
 하층바람은 우리나라에서 저기압성 순환의 영향으로 북풍이 강했음 (그림 240c)



그림 240. 2000년 2월 (a) 200hPa 지위고도 편차, (b) 500hPa 지위고도 편차, (c) 850hPa 지위고도 편 차와 바람편차, (d) 해면기압 편차, (e) 2m 온도 편차

- 지표기온은 북극 주변과 유럽, 시베리아 서부, 북아메리카에서는 평년보다 높았고 우리나라를 포함한 동북아시아와 중앙아시아에서는 평년보다 낮았음 (그림 240e)
 상층제트는 세기가 강해졌으며 제트의 출구쪽이 동쪽으로 확장했음 (그림 241)
- 북극진동 지수는 1.08로 양의 위상이었음. 1000hPa 지위고도장을 보면 유럽과 북대서양 쪽으로는 양의 지위고도가 나타났으나 북태평양 베링해 부근에서는 음의 지위고도가 나타나 전형적인 양의 북극진동과는 다른 패턴을 보였음 (그림 242)



그림 241. 2000년 2월 200hPa 동서바람. 채색은 편차, 검정 실선은 평균바람 (20m/s이상만 나타냄, 10m/s간격), 녹색 실선은 기후값 (20m/s, 40m/s 만 나타냄)



그림 242. (좌) 1998년 2월 - 2000년 9월 북극진동 지수, (우) 1000hPa 지위고도 편차



3) 해수면온도와 열대 대류활동

- 열대 동태평양부터 중태평양까지 해수면온도가 낮은 라니냐 상태였음. 음의 해수면
 온도 편차는 날짜변경선 서쪽까지 뻗어있었으며 중심은 중태평양 쪽으로 치우쳤음
 (그림 244)
- 음의 해수면온도 편차 바깥쪽으로는 양의 해수면온도 편차가 나타났으며 중위도 북태평양에 강한 양의 편차가 있었음 (그림 244)
- Nino3.4 지수는 -1.54로 강한 라니냐였으며 1997-1998년 강한 엘니뇨 이후 계속 강한 라니냐 상태가 지속되다가 2000년 봄부터 약해져 2001년 초에 소멸됨 (그림 246)
- 북대서양은 적도에서 극쪽으로 (-)~(+)~(-) 해수면온도 편차가 차례로 나타나는 분포를 보임 (그림 244)
- 열대 대류활동은 중태평양에서는 매우 억제되었고 서태평양과 인도양에 걸친 넓은 지역에서 대류활동이 활발했음 (그림 245)
- · 강수는 대류활동이 억제된 중태평양에서는 매우 감소했고 서태평양과 인도양에서는
 증가했음. 우리나라와 일본에서는 강수가 억제되었음 (그림 245)



그림 244. 2000년 2월 해수면온도 편차



그림 245. 2000년 2월 (좌) 상향장파복사 편차, (우) 강수 편차


그림 246. 1998년 2월 — 2000년 9월 Nino3, Nino3.4 지수

4) 기존 연구 자료와 관련성 분석

- 우리나라 겨울철 기후에 영향을 주는 겨울몬순 지수는 2000년 2월에 강한 양의 값을 나타냈음 (그림 199). 동아시아 겨울몬순 지수가 강할수록 시베리아 고기압과 알류샨 저기압이 강하고 동아시아 지역의 기압골은 강해지며 상층제트도 강함을 의미함 (Jhun and Lee 2004; Wang and Chen 2014)
- 2000년 2월은 북태평양에 음의 지위고도 편차가 강하게 발달하면서 알류샨 저기 압이 평년보다 강했으며 우리나라는 저기압성 순환의 영향으로 북풍이 우세했음 (그림 240c,d)
- 라니냐 때는 열대 중태평양에서 대류활동이 억제되고 서태평양에서 대류활동이 활발해지면서 북서태평양에 저기압성 순환이 유도됨 (Wang et al. 2000; Son et al. 2014) (그림 150). 이러한 원격상관은 라니냐 절정기에 주로 나타나는데 2000년 2월은 라니냐 절정기는 아니었지만 해수면온도 분포는 절정기의 분포와 유사했으며 열대와 아열대 서태평양과 인도양에서 대류활동이 매우 활발했음 (그림 244, 그림 245). 이 지역에서 증가한 강수와 관련된 원격상관이 우리나라 동쪽 북서태평양에 저기압성 순환이 유도되는데 영향을 준 것으로 보임
- 동아시아 지역의 기압골의 강화와 알류샨 저기압의 강화, 북서태평양의 저기압성
 순환은 우리나라에 북풍을 강화시켜 기온 하강과 강수 억제를 이끈 것으로 보임

5) 요약

- 2000년 2월은 전국 평균 월 강수량 3.3mm, 2.2퍼센타일로 강수량이 매우 적었음
- 동아시아 겨울몬순이 강했고 북태평양에 음의 지위고도 편차가 강하게 발달하면서 북풍이 강해져 차갑고 건조한 공기가 우리나라로 유입되고 수증기 유입이 어려웠음
- 라니냐가 지속되면서 전형적인 라니냐시기의 해수면온도 분포와 대류활동 분포가 나타났고 열대와 아열대 서태평양에서 매우 활발한 대류활동은 북태평양의 저기 압성 순환이 유도되는데 영향을 준 것으로 보임

사례별 영향인자 요약

■ 여름철	사례
-------	----

극값 사례	기온 편차/ 강수량	티벳 고기압	북태평양 고기압	ENSO	CGT	서태평양 대류활동	중태평양 대류활동	인도 몬순	태풍	기타
2017.5	1.5	+	+			+				추세
2013.6	1.4	+		-	+	+	•	+		
1994.7	3.5	+		+	+	+	•	+		
2013.8	2.2	+	+	-	+	+	-	+		
1992.5	-1.3	-	-	+		-	+	•		
1992.6	-1.1	-	-	+	-	•	•	-		이동,오H
1993.7	-2.3	-	-			•	+			북,오H
1993.8	-3.0	-	-			•	+	•	+	북
1997.5	189.0		•	+		-	+	•		이동,오L
1990.6	314.6	+	•	•		+	•	•	+	이동
2006.7	638.9	+	+			+			+	
2002.8	578.3	-	-	+		-	+		+	
2017.5	29.5	+	+	•		+	•			
1982.6	30.5	+	-	+		-	+			
1994.7	84.7	+		+	+	+		+		
2016.8	76.2					+	+			캄H

■ 겨울철 사례

극값 사례	기온 편차/ 강수량	시베리아 고기압	알류샨 저기압	AO	ENSO	NAO	WP/ NPO	서태평양 대류활동	중태평양 대류활동	기타
2015.12	2.0	-	•	+	+	+	+	-	+	
1989.1	2.4	-	-	+	-	+	+		-	
2007.2	3.1	-	+	-						우-
2005.12	-3.7	+	+	-	-			+		바
1981.1	-3.9	+	+		•			+		
1984.2	-3.3	+	•	-	-			+	-	우+,바
1991.12	63.5		•	+	+		+	-	+	
1989.1	101.5	-	-	+	-	+	+		-	
1990.2	107.0	-	-	+		+		-	+	
1987.12	5.1	-	•	-	+	-	+		+	이동,우-
2011.1	5.6	+	+	-	-		-	+	-	
2000.2	3.3		+	+	-	+		+	-	

+ : 강화, 양의 위상 / - : 약화, 음의 위상 추세 : 기온 선형증가 추세 북 : 중위도 북태평양 낮은 해수면온도 오H(L) : 오호츠크해 고기압(저기압) 이동 : 이동성 고기압/저기압 영향 캄H : 캄차카반도 고기압 우 : 우랄-시베리아 블로킹 바 : 바렌츠-카라해 높은 해수면온도

참고문헌

국종성 외, 2017: 2016 엘니뇨 백서. 기상청, 279pp.

김현경 외, 2016: 기후감시 및 분석 기반의 장기예보 가이던스(II), 기상청, 185pp

서경환, 이준이 외, 2011: 장마백서. 기상청, 266pp

- 김성, 박정규, 김맹기, 2005: 한반도 봄철 가뭄과 연관된 북반구 대기순환패턴의 변화. *한국기 상학회지*, **41**(4), 571-585.
- 송강현, 손석우, 우성호, 2015: 성층권 돌연승온이 동아시아 지표기온에 미치는 영향. *대기*, **25**(3), 461-472.
- 원유진, 예상욱, 임보영, 김현경, 2017: 우리나라 여름철 월별 기온 변동성과 유라시아 봄철 눈덮임 간의 상관성 분석. *대기*, **27**(1), 55-65.
- 이현수, 전종갑, 강인식, 문병권, 2007: 2006/2007 겨울철 한반도 이상 기후와 관련된 동아시 아 지역 대기 순환의 특성. *한국지구과학회지*, **28**(3), 374-387.
- 임장호, 변희룡, 2000: 오호츠크해 고기압 발달 및 그와 연관된 동아시아 대기 순환의 특징. 한국기상학회지, **36**(4), 507-518.
- 최기선, 김도우, 이지선, 변희룡, 2009: 한국 5월 가뭄과 북태평양진동의 연관성. *대기*, **19**(1), 67-78.
- 허인혜, 이승호, 2006: 한국의 이상기온 출현 빈도의 변화와 그 요인에 관한 연구. *대한지리 학회지*, **41**(1), 94-105.
- Barnston, A. G., and R. E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083–1126.
- Cheung, H. N., W. Zhou, H. Y. Mok, and M. C. Wu, 2012: Relationship between Ural-Siberian Blocking and the East Asian Winter Monsoon in Relation to the Arctic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *J. Climate*, **25**, 4242-4257.
- Di Lorenzo, E., K. M. Cobb, J. C. Furtado, N. Schneider, B. T. Anderson, A. Bracco, M. A. Alexander, and D. J. Vimont, 2010: Central Pacific El Nino and decadal climate change in the North Pacific. *Nat. Geosci.*, **3**, 762–765.
- Ding, Y. H., 1990: Buildup, Air-Mass Transformation and Propagation of Siberian High and Its Relations to Cold Surge in East-Asia. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **44**, 281-292.
- Ding, Q. and B. Wang, 2005: Circumglobal Teleconnection in the Northern Hemisphere Summer. *J. Climate*, **18**, 3483-3505.
- Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **106**, 447–462.
- Gong, D. Y., S. W. Wang, and J. H. Zhu, 2001: East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2073-2076.
- Ham, Y.-G., J.-S. Kug, S.-W. Yeh, M. Kwon, 2016: Impact of two distinct teleconnection patterns induced by western Central Pacific SST anomalies on Korean temperature variability during the early boreal summer. *J. Climate*, **29**, 743–759.
- Hurrell, J. W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, **269**, 676–679.

- Jeong, J.-H. and C.-H. Ho, 2005: Change in occurrence of cold surge over east Asia in associatioin with Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14704, doi:10.1029/2005GL023024.
- Jeong, J. H., C. H. Ho, B. M. Kim, and W. T. Kwon, 2005: Influence of the Madden-Julian Oscillation on wintertime surface air temperature and cold surges in east Asia. *J. Geophys. Res.*, **110**, D11104, doi:10.1029/2004JD005408.
- Jeong, J.-H., B.-M. Kim, C.-H. Ho, and Y.-H. Noh, 2008: Systematic variation in witertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *J. Climate*, **21**, 788-801.
- Jhun, J., and E. Lee, 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate*, **17**, 711–726.
- Kosaka, Y. and H. Nakamura, 2006: Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan teleconnection pattern. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **132**, 2009-2030.
- Kosaka, Y., S.-P. Xie, N.-C. Lau, and G. A. Vecchi, 2013: Origin of seasonal predictability for summer climate over the northwestern Pacific. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **110**, 7574–7579, doi:10.1073/pnas.1215582110.
- Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An, 2009: Two types of El Nino events: Cold Tongue El Nino and Warm Pool El Nino. *J. Climate*, **22**, 1499-1515.
- Kug, J.-S., J.-H. Jeong, Y.-S. Jang, B.-M. Kim, C. K. Folland, S.-K. Min, and S.-W. Son, 2015: Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia. *Nat. Geosci.*, **8**, 759-762.
- Kwon, M., J. G. Jhun, B. Wang, S. I. An, and J. S. Kug, 2005: Decadal change in relationship between East Asian and WNP summer monsoons. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16709, doi:10.1029/2005GL023026.
- Lee, H.-S., and J.-G. Jhun, 2006: Two types of the Asian continental blocking and their relation to the east Asian monsoon during the boreal winter, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L22707, doi:10.1029/2006GL027948.
- Lee, W.-S., and M.-I. Lee, 2016: Interannual variability of heat waves in South Korea and their connection with large-scale atmospheric circulation patterns. *Int. J. Climatol.*, **36**, 4815–4830.
- Park, J.-S., J.-G. Jhun and MH Kwon, 2010: Prominent features of large-scale atmospheric circulation during spring droughts over northeast Asia. *Int. J. Climatol.*, **30**, 1206-1214.
- Park, H.-J. and J.-B. Ahn, 2016: Combined effect of the Arctic Oscillation and the Western Pacific pattern on East Asia winter temperature. *Clim. Dynam.*, **46**, 3205-3221.
- Seo, J., W. Choi, D. Youn, D.-S. R. Park, and J. Y. Kim, 2013: Relationship between the stratospheric quasi-biennial oscillation and the spring rainfall in the western North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 5949-5953.
- Shi, N., 1996: Features of the East Asian winter monsoon intensity on multiple time scale in recent 40 years and their relation to climate. *Quart. J. Appl. Meteor.*, **7**, 175–182.

Son, H.-Y., J.-Y. Park, J.-S. Kug, J. Yoo, and C.-H. Kim, 2014: Winter precipitation variability

over Korean Peninsula associated with ENSO. Clim. Dynam., 42, 3171-3186.

- Su, H., J. D. Neelin, and C. Chou, 2001: Tropical teleconnection and local response to SST anomalies during the 1997–1998 El Nino. *J. Geophys. Res.*, **106**, 20025–20043, doi:10.1029/2000JD000124.
- Sun, S. Q. and B. M. Sun, 1995: The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought/flooding in the Yangtze and Huaihe River valley. *Acta Meteorol. Sin.*, **57**(4), 513–522.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784–812.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific–East Asian teleconnection: How does ENSO affect east Asian climate. *J. Climate*, **13**, 1517–1536.
- Wang, B., Z. W. Wu, C. P. Chang, J. Liu, J. P. Li, and T. J. Zhou, 2010: Another Look at Interannual-to-Interdecadal Variations of the East Asian Winter Monsoon: The Northern and Southern Temperature Modes. J. Climate, 23, 1495-1512.
- Wang, C., H. Liu, and S.-K. Lee, 2010: The record-breaking cold temperatures during the winter of 2009/2010 in the Northern Hemisphere. *Atmos. Sci. Let.*, **11**, 161-168.
- Wang, L., and W. Chen, 2014: An intensity index for the East Asian winter monsoon. *J. Climate*, **27**, 2361–2374.
- Wu, B. Y., and R. H. Huang, 1999: Effects of the extremes in the North Atlantic Oscillation on East Asia winter monsoon. *Chin. J. Atmos. Sci.*, **23**, 641–651.
- Wu, B., T. Li, and T. Zhou, 2010: Relative contributions of the Indian Ocean and local SST anomalies to the maintenance of the western North Pacific anomalous anticyclone during the El Niño decaying summer. J. Climate, 23, 2974–2986, doi:10.1175/2010JCLI3300.1.
- Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, 2009: Indian Ocean capacitor effect on Indo–western Pacific climate during the summer following El Niño. J. Climate, 22, 730–747, doi:10.1175/2008JCLI2544.1.
- Yeh, S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. Kirtman, and F.-F. Jin, 2009: El Nino in a changing climate. *Nature*, **461**, 511–514.
- Yeh, S.-W., Y.-J. Won, J.-S. Hong, K.-H. Seo, MH Kwon, and Y.-G. Ham, 2018: The record-breaking heat wave in 2016 over South Korea and its physical mechanism. *Mon. Wea. Rev.*, **146**(5) 1463-1474.
- Zhang, Y., K. R. Sperber, and J. S. Boyle, 1997: Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979–95 NCEP/NCAR reanalysis. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2605–2619.

분석에 활용한 자료 및 출처

변수	자료제공 기관명 및 웹주소
우리나라 지상 기온 및 강수	기상자료개방포털 https://data.kma.go.kr/svc/main.do
전 지구 순환장	NCEP/NCAR Reanalysis 1 https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html
해수면 온도	NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V5 https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html
상향장파복사	NOAA Interpolated Outgoing Longwave Radiation (OLR) https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.interp_OLR.html
전지구 강수	GPCP Version 2.3 Combined Precipitation Dataset https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html
북극진동(AO), 북대서양진동(NAO), 서태평양패턴(WP) 지수	NOAA Climate Prediction Center ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh

집필·편집

APCC

박사 임슬희

기후예측과

과장 김동준 기상사무관 임주연 기상사무관 사태건 기상사무관 박병건 기상주사 최정희 기상주사 김삼영 기상주사 김산이 기상주사보 이성은 기상주사보 이지혜 기상주기보 이지혜 기상서기 권미정 연구원 김수정