

ORIGINAL ARTICLE

## 서태평양 원격패턴에 따른 한국 4월 강수량의 변동 특성

최재원\* · 박기준 · 이경미 · 김정윤 · 김백조

국립기상연구소 정책연구과

### Features of Korean Rainfall Variability by Western Pacific Teleconnection Pattern

Choi Jae-Won\*, Ki-Jun Park, Kyungmi Lee, Jeoung-Yun Kim, Baek-Jo Kim

Policy Research Department, National Institute of Meteorological Research, Jeju 697-845, Korea

#### Abstract

This study analyzes the correlation between Western Pacific (WP) teleconnection pattern index (WPI) in April during 1954-2008 and rainfall amounts in the same month. Based on the results, it is identified that there have been strong positive correlations between central China, Korea and the southwestern part of Japan in the East Asian region.

Through differences between 10 positive WP years and 10 negative WP years selected from the April WPI excluding ENSO years, it is found that rainfall amounts increase in April of positive WP years due to the following characteristics. Increases in rainfall amounts are evident in the East Asian middle latitudinal region where the positive correlation between the two variables is the highest and this is because anomalous southwesterlies are strengthened in the East Asian middle latitudinal region due to the spatial pattern of a south-low-north-high anomalous pressure system centered on this region that is made by anomalous anticyclones centered on the southeastern side of the region and other anomalous anticyclones centered on the northeastern side of the region. In addition, anomalous westerlies (jet) are strengthened in the upper troposphere of the East Asian middle latitudinal region and as a result, anomalous upward flows are strengthened in this region and thus anomalous warm air temperatures are formed in the entire level of the troposphere in the region. In addition to atmospheric environments, anomalous warm sea surface temperatures are formed in the seas in the East Asian middle latitudinal region to help the rainfall amount increases in the East Asian middle latitudinal region.

**Key words** : Western Pacific teleconnection pattern, Rainfall, Sea surface temperature

#### 1. 서론

한국을 포함한 동아시아 지역은 겨울 건조기간 이후 봄철까지 항상 강수량이 부족하여 이 기간을 ‘갈수기’라 불리기도 한다. 봄철은 한 해의 농사가 시작되는 계절이라 강수량의 작은 변동에도 경제사회의 반응은 민감할

수 밖에 없다. 따라서 봄 강수량의 변동 특성에 대한 이해는 매우 중요하나, 여름 강수량의 변동 특성에 비해 축적된 연구는 상대적으로 미흡한 편이다.

한국에서는 봄에 강수량이 일시적으로 증가하는 기간(4월 초~5월 중순)이 있는데, 이를 봄장마이라 한다(Byun and Lee, 2002). 한국의 제주도 산간 지방에서는

Received 26 January, 2015; Revised 11 March, 2015;

Accepted 20 March, 2015

\*Corresponding author : Choi Jae-Won, Policy Research Department, National Institute of Meteorological Research, Jeju 697-845, Korea  
Phone: +82-64-780-6537 Fax : +82-64-738-6512  
E-mail: choiks@kma.go.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

봄장마란 말 대신에 오래 전부터 ‘고사리 장마’란 말을 사용하여 왔다. ‘고사리를 자라게 하는 장마’란 뜻이다. Byun and Lee(2002)는 이 봄장마의 기간을 지역별로 나누어서 상세히 정의하였고, Han and Byun(2006)은 봄장마의 발생 메커니즘을 설명하였다. Kim et al.(2005)은 북반구 대규모 대기순환의 패턴변화 분석을 통해 한국에서의 봄 강수량 부족은 유라시아 대륙에서의 대륙성 고기압의 비정상적인 발달과 함께 북태평양에서의 북태평양 고기압의 약화와 관련이 있음을 보인바 있다. 또한 Lee and Kim(1997)은 북동아시아에서의 봄철 날씨 패턴을 분류한 뒤 한국에 봄 강수량이 부족한 해에는 300 hPa에서 극저트의 남하현상이 뚜렷함을 제시하였다.

한국을 포함한 동아시아에서의 기후는 지역규모에서의 기후인자들에 의해 제어되기도 하지만, 다른 지역에서의 기후인자들과의 원격패턴에 의해 조절되기도 한다. 동아시아에서 대표적인 원격패턴의 기후인자로서 태평양-일본(Pacific-Japan, PJ) 패턴이 있다. 이 패턴은 필리핀 부근 해상에서의 대류활동의 변동이 동아시아 중고위도 지역에 파열을 변화시켜 동아시아의 기후를 직간접적으로 제어한다(Nitta, 1987). 하지만 태평양-일본 패턴의 발생 및 동아시아 중고위도 지역 기후의 영향에 대해 여전히 명확하게 밝혀지지 않은 상황이다. Choi et al.(2011)은 동아시아 봄 강수량의 부족은 북태평양 진동(North Pacific Oscillation; Walker and Bliss, 1932; Wallace and Gutzler, 1981)과 음의 상관성이 있음을 보였다. 그들은 북태평양에서 남저·북고의 지위고도 아노말리 패턴이 형성되면 동아시아 지역에서는 북동풍 아노말리가 강화되어 강수량의 부족이 발생함을 보였다. 또한 Kang and Jeong(1996), Tao and Zhang(1998), Wang et al.(2000)은 엘니뇨-남방진동(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)의 성숙기에 동아시아 중위도 지역에서 좀 더 많은 봄 강수량이 관측되는 경향이 있음을 보였다. 특히 Wang et al.(2000)은 엘니뇨-남방진동이 화남으로부터 동중국해를 거쳐 쿠로시오까지 이어져 있는 봄 강수밴드를 제어하는데 중요한 역할을 함을 증명하였으며, 엘니뇨-남방진동과 동아시아 봄 강수량의 관계를 태평양-동아시아 원격패턴(Pacific-East Asian (PEA) teleconnection pattern)으로 정의한 바 있다. Gong and Ho(2003)는 북극진동(Arctic Oscillation, AO)과 동아시아 봄여름 강수량과의 관계를 분석한 뒤, 양의 북극진동 위상에 대

류권 상층 제트기류가 평균보다 북상함으로써 봄부터 여름까지 동아시아 중위도(20°-40°N) 지역에 하강류 아노말리가 강화됨을 증명하였다. 한편 Choi et al.(2010)는 겨울철 및 봄철 유라시아 대륙에서의 눈 상태가 동아시아 봄 강수량의 변동에 결정적인 역할을 함을 보였다. 이들은 유라시아 대륙에 눈이 많을 경우 지표 냉각으로 인해 대륙성 고기압이 봄까지 지속되는 반면 북태평양 고기압은 약화되어 동아시아에서 봄 강수량이 감소함을 보였다.

이 연구는 서태평양 원격패턴(Western Pacific (WP) teleconnection pattern)과 한국을 포함한 동아시아 봄 강수량 변동 사이의 관계에 대해 조사한다. 그러나 지금까지 두 변수 사이의 관계에 대해 조사한 연구는 찾아보기 힘들다.

한국에서의 4월은 봄의 절정기로서 이 시기의 대기순환은 여름우기의 강도로까지 연결될 수 있어 중요하다(Byun, 1996). 따라서 이 연구는 4월 서태평양 원격패턴 지수와 한국 4월 강수량 변동과의 가능한 관계 분석을 통해 한국 4월 강수량의 예측에 도움이 되고자 함을 궁극적인 목적으로 한다.

2장에서 자료와 분석방법이 소개되며, 3장에서는 서태평양 원격패턴과 한국을 포함한 동아시아 지역에서의 강수량 사이에 상관관계가 분석된다. 4장에서는 서태평양 원격패턴에 따른 동아시아 지역에서의 강수량 및 대기·해양의 변동성이 분석된다. 5장에서 이 연구가 요약된다.

## 2. 자료 및 분석방법

### 2.1. 자료

이 연구는 1954-2008년(55년) 동안 90°E 서쪽의 건조지역을 제외한 동아시아지역에서 총 210개[중국 146개, 한국 12개 (Table 1), 일본 51개] 기상관측소에서 관측된 일 평균 및 4월 평균 강수량을 이용하였다. 이 세 나라에서의 강수량 자료는 중국 기상청, 한국 기상청, 일본 기상청에서 이용 가능하다. 따라서 이 연구에서의 동아시아는 중국, 한국, 일본지역으로 정의된다.

한편 이 연구는 1954-2008년 동안의 미국 국립환경예측센터-국립대기연구센터(National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric

**Table 1.** Information of 12 weather observation stations in Korea

Station		Geographic features			Observation staning date
Name	ID	Lat (°N)	Lon (°E)	Elevation (m)	(year-month-day)
Gangneung	47105	37.73	128.88	25.91	1911-10-03
Seoul	47108	37.56	126.96	85.50	1907-10-01
Incheon	47112	37.46	126.62	68.85	1904-08-29
Chupungnyeong	47135	36.13	127.99	242.00	1935-09-01
Pohang	47138	36.02	129.36	1.88	1944-07-17
Daegu	47143	35.87	128.62	57.64	1907-01-31
Jeonju	47146	35.82	127.15	53.48	1918-06-23
Ulsan	47152	35.55	129.31	34.69	1932-01-06
Gwangju	47156	35.17	126.88	70.53	1939-05-01
Busan	47159	35.10	129.03	69.23	1904-04-09
Mokpo	47165	34.80	126.38	37.88	1904-04-08
Yeosu	47168	34.73	127.73	66.05	1942-03-01

Research, NCEP-NCAR)에서 제공하는 재분석 자료의 지위고도(gpm), 기온(°C), 동서 및 남북류(m s<sup>-1</sup>)의 변수를 사용하였다(Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001), 이 NCEP-NCAR 재분석 자료는 위경도 2.5°×2.5° 및 17개의 연직층(상대습도는 16 연직층)과 같은 공간해상도로 이루어져 있다. 또한 미국 국립대기해양청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 월평균 해수면 온도(Sea Surface Temperature, SST) (Reynolds et al. 2002)자료가 사용되었다. 이 자료는 위경도 2.0°×2.0° 수평 공간해상도로 구성되어 있고, 1854년부터 현재까지 이용 가능하다.

## 2.2. 분석방법

Wallace and Gutzler(1981)는 두 지점(60°N, 155°E and 30°N, 155°E) 사이에 노말라이즈 된 500 hPa 지위고도 아노말리에 대한 차를 이용하여 서태평양 원격패턴 지수를 정의하였다. 반면에 미국 국립대기해양청 기후예측센터(Climatic Prediction Center, CPC)는 서태평양 원격패턴 지수를 추출하기 위해 500 hPa 지위고도에 대한 회전 주성분 분석(Rotated Principal Component Analysis, RPCA)을 사용하였다. 회전 주성분 분석은 어떤 선택된 지점에서의 지위고도 아노말리값을 사용하지 않을 뿐만 아니라 대기흐름을 잘 반영하기 때문에 격자점을 기본으로 하는 분석결과보다 더 뛰어난 결과를 타

나내는 것으로 알려져 있다. 따라서 이 연구는 미국 국립대기해양청 기후예측센터에서 산출한 서태평양 원격패턴 지수를 사용하였다.

엘니뇨(해수면 온도 아노말리  $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ )와 라니냐(해수면 온도 아노말리  $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$ )는 니노-3.4 지역(5°S - 5°N, 120°W - 170°W)에서의 해수면 온도 아노말리를 사용하여 정의 되었다. 해수면 온도 아노말리의 산출을 위한 기후학적 평균 해수면 온도는 55년동안 평균된 해수면 온도이다.

두 평균 사이의 유의성 비교는 독립표본 t-검정(independent two-sample t-test)을 사용하였다. 두 독립변수의 시계열이 t-분포를 따르고, 표본의 평균이 각각  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$ 로 정의될 경우, t-검정의 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{x_1x_2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

여기서  $s_1$ ,  $s_2$ 는 표준편차이고  $n_1$ ,  $n_2$ 는 두 시계열에서 총 개수이다. 만약 위의 식으로부터 t의 절대값이 유의수준의 문턱값보다 크게 산출되면, 귀무가설(null hypothesis)은  $\alpha(\times 100)\%$ 의 신뢰수준에서 기각된다(Wilks, 1995).

### 3. 서태평양 원격패턴 지수와 4월 강수량 사이의 상관

Figure 1은 4월 서태평양 원격패턴 지수와 한국에서의 4월 강수량의 시계열을 보여준다. 두 변수 모두 뚜렷한 경년 및 십년간 변동을 나타내며, 최근까지 감소하는 추세에 있다. 두 변수 사이에는 99% 신뢰수준에서 0.56의 높은 양의 상관성이 존재한다. 이는 4월에 서태평양 원격패턴이 강화되면 한국에서는 4월 강수량이 증가함을 의미한다. 하지만 두 시계열에서 추세가 제거되면 두 변수 사이의 상관성이 달라질 수 있다. 따라서 두 변수 각각에서 추세를 제거하고 상관관계를 다시 분석하였다. 그 결과 추세제거 전의 상관계수와 크게 다르지 않았으며 ( $r=0.53$ ), 여전히 99%의 신뢰수준에서 유의하였다.

두 변수 사이에 이러한 높은 양의 상관관계가 동아시아의 다른 지역에서도 존재하는지를 알아보기 위해 중국, 일본의 기상관측소마다 두 변수 사이의 상관관계를 분석하였다(Fig. 2). 중국의 남부 지역과 일본의 북동 지역을 제외한 동아시아 대부분의 지역에서 두 변수 사이에는 양의 상관관계가 존재함을 볼 수 있다. 특히, 중국의 중부 지역으로부터 한국을 거쳐 일본의 남서지역, 즉 동아시아 중위도 지역을 따라 95% 신뢰수준에서 0.4 이상의 높은 상관관계가 형성되어 있다. 따라서 4월 서태평양 원격패턴이 강화되면 한국에서뿐만 아니라 동아시아 중위도 지역에서 4월 강수량이 증가함을 알 수 있다.

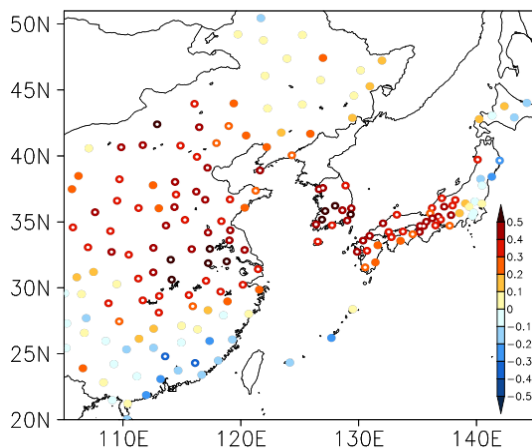


Fig. 2. Spatial distribution of correlation coefficient between WP index (WPI) and rainfall in April over East Asia. Small white dots within large circles denote the weather observation station greater than 95% confidence level.

### 4. 서태평양 원격패턴에의 변화에 따른 특징

4월 서태평양 원격패턴의 변동에 따른 한국을 포함한 동아시아 지역에서의 4월 강수량의 변동과 변동의 원인이 되는 중관환경 특징을 조사하기 위하여 분석기간 중 가장 큰 서태평양 원격패턴 지수를 가지는 10개 해(이후, 양의 지수 위상)와 가장 작은 WPI를 가지는 10개 해(이후, 음의 지수 위상)를 각각 정의하였다(Table 2). 여기서, 4월 강수량의 변동특성으로부터 엘니뇨-남방진동의 영향을 제거하기 위해 각 10개의 해는 4월의 엘니뇨 해(1958, 1966, 1983, 1987, 1992-93, 1998)와 라니냐 해(1955, 1956, 1964, 1967, 1971, 1974-76, 1985, 1989, 1999-2000, 2008)를 제외한 뒤 선택되었다. 이후 두 지수 위상 사이의 차가 분석되었다.

Table 2. Ten positive WP years and ten negative WP years with rainfall in April. Unit of rainfall is mm

Positive WP phase		Negative WP phase	
1963	146.1	1954	86.6
1969	170.2	1960	58.3
1970	88.6	1962	95.1
1973	126.4	1968	42.7
1977	205.6	1982	70.2
1979	99.8	1984	118.5
1980	160.3	1990	97.3
1995	75.2	1996	56.9
2001	30.8	1997	74.1
2003	184.6	2007	36.7
Average	128.8	Average	73.6

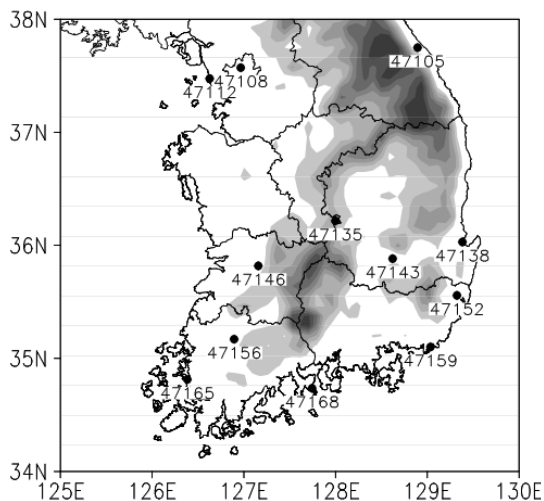
#### 4.1. 4월 강수량 공간분포

한국 4월 기후 평균 강수량은 98 mm로서 양의 지수 위상에는 3년(1970, 1995, 2001)을 제외하고 모든 해에서 4월 평균 강수량을 초과한 반면, 음의 지수 위상에는 단지 1984년만이 4월 평균 강수량을 초과하는 특성을 나타낸다. 특히 두 지수 위상 사이에는 약 60 mm에 가까운 차를 보인다. 따라서 두 지수 위상 사이에 4월 평균 강수량 차에 대한 공간 변동성의 특징을 알아보기 위해 한국에서의 12 기상관측소마다 각 지수 위상의 4월 평균 강수량과 두 지수 위상 사이에 4월 평균 강수량 차를 분

석하였다(Table 3). 양의 지수 위상에는 모든 기상관측소에서 4월 기후 평균 강수량을 초과한 반면, 음의 지수 위상에는 47159(부산)과 47168(여수)만이 4월 기후 평균 강수량을 초과하였다. 이 두 기상관측소는 한국의 남동해안에 위치해 있어 해안 기후의 특징이 다소 반영된 것으로 판단된다(Fig. 3). 두 지수 위상 사이의 차에서는

**Table 3.** April rainfall averaged for positive WP phase and negative WP phase and the difference between the two phases in each weather observation station

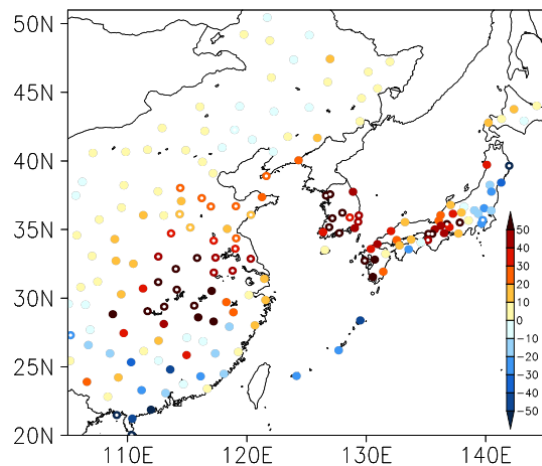
Station ID	Positive (P)	Negative (N)	P minus N
47105	108.4	65.1	43.4
47108	136.1	51.9	84.3
47112	116.9	55.1	61.8
47135	115.5	56.2	59.3
47138	103.3	62.9	40.4
47143	98.7	60.4	38.3
47146	130.8	65.7	65.0
47152	127.7	79.1	48.7
47156	157.0	74.3	82.7
47159	164.3	116.6	47.7
47165	116.4	77.4	39.1
47168	170.0	118.9	51.1
Average	128.8	73.6	55.1



**Fig. 3.** Difference in rainfall in April between 10 positive WP years (positive WP phase) and 10 negative WP years (negative WP phase) (bold number).

모든 기상관측소에서 양의 지수 위상에 더 많은 강수량을 나타낸다. 특히, 50 mm이상의 차를 나타내는 기상관측소는 한국의 서쪽지역에 위치해 반면, 50 mm이하의 차는 동쪽지역에 위치해 있음을 볼 수 있다(Fig. 3). 후자의 기상관측소들은 모두 산맥의 동쪽에 위치해 있다. 따라서 다량의 수증기를 포함한 남서풍이 산맥을 넘으면서 나타나는 비 그림자 효과에 의해 한국의 동쪽지역에서 좀 더 적은 강수량이 기록된 것으로 판단된다.

두 지수 위상 사이에 4월 평균 강수량의 차를 동아시아 지역으로 확장하여 분석하였다(Fig. 4). 전체적으로 공간분포가 앞선 상관계수의 공간분포와 비슷하다. 40 mm 이상의 차는 중국 중부지역으로부터 한국을 거쳐 일본 남서지역 즉, 동아시아 중위도 지역에 주로 분포해 있다. 이 분포는 4월 강수량과 서태평양 원격패턴 지수 사이에 0.4 이상의 높은 상관을 나타내는 지역과 대체로 일치한다.



**Fig. 4.** Same as in Fig. 2 but for the difference in rainfall in April between positive WP phase and negative WP phase.

4.2. 한국에서 강수량의 연내변동

한편, 4월 이외의 계절 동안에 두 지수 위상에 대한 강수량의 변동성을 비교해 보기 위해 두 지수 위상에 대한 강수량의 연내변동을 분석하였다(Fig. 5). 이 연구에서는 연내변동의 분석을 위해 7일 이동평균 강수량이 이용되었다. Ha et al.(2009)은 7일 이동평균 강수량 자료를 이

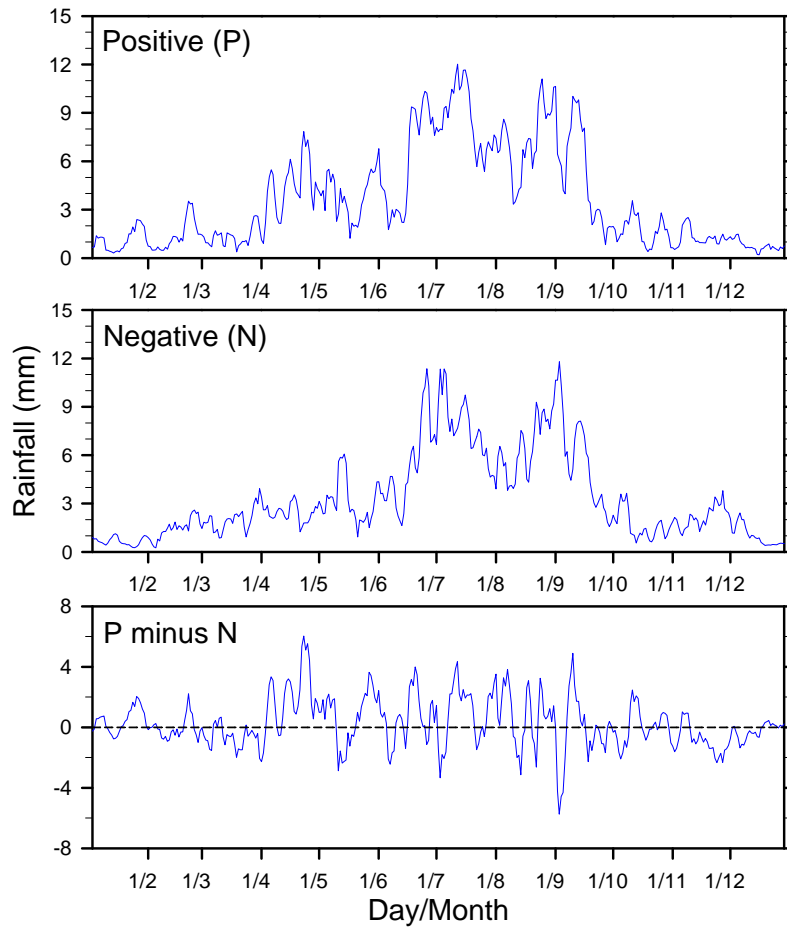
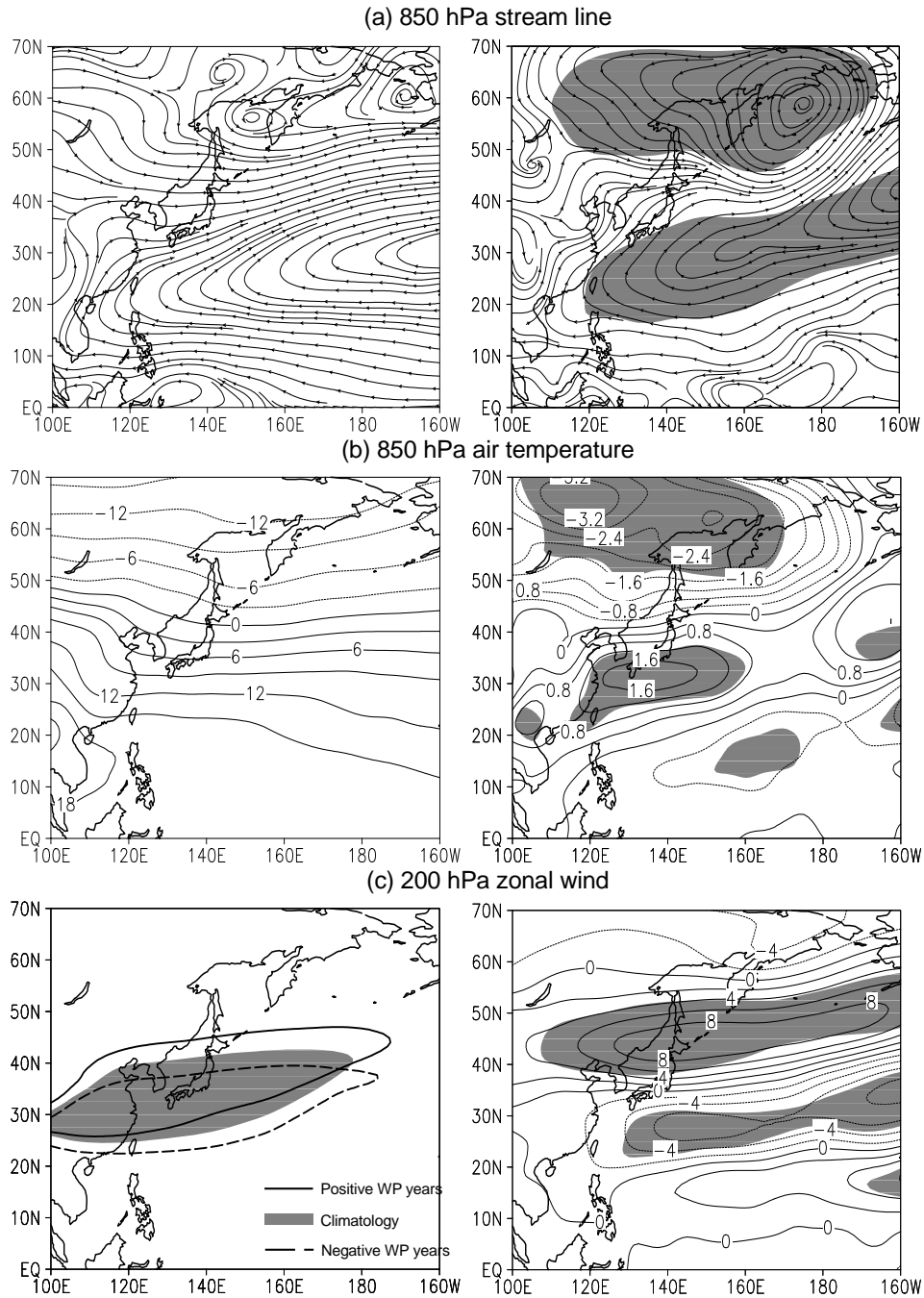


Fig. 5. Time evolution of 7-day average rainfall in (a) positive WP phase, (b) negative WP phase, and (c) difference between the two phases.

용하여 한국 8월 강수량의 변동에서 1960년대 후반을 기준으로 기후레짐이동이 있었음을 성공적으로 분석한 바 있다.

기후적으로, 한국에서의 우기는 크게 봄우기(4월 초순-5월 중순), 장마(6월 하순-7월 하순), 그리고 2차장마 또는 가을장마(이 연구에서는 2차장마라 함; 8월 중순-9월 초순)와 같이 세 기간으로 나뉘어진다(Byun and Lee, 2002). 양의 지수 위상에는 4월 말, 7월 중순, 8월 말에 나타나는 강수량에서의 세 개의 최대점 형태로 세 우기가 뚜렷하게 존재함을 볼 수 있다(Fig. 5a). 특히, 한국에서의 봄 가뭄 시기(5월 중순-6월 중순)에도 적지 않은 강수량이 관측된다. 음의 지수 위상에는 장마와 2차장마가

뚜렷하게 존재하는 반면, 봄 우기는 양의 지수 위상만큼 뚜렷하지 못하다(Fig. 5b). 특히, 5월 중순에 3-4일 동안 나타나는 강수량의 최대점을 제거하게 되면 음의 지수 위상에는 봄 우기가 존재하지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 이 지수 위상에 4월 강수량이 더 적은 것은 봄 우기의 약화와 관련이 있음을 알 수 있다. 한편, 2차장마동안에 강수량 최대점의 시기는 두 지수 위상 사이에 비슷한 반면, 장마동안에 강수량 최대점의 시기는 음의 지수 위상이 좀 더 빠르다(양의 지수 위상: 7월 중순, 음의 지수 위상에는 6월 말-7월 초). 이는 음의 지수 위상에 장마의 기간이 좀 더 짧았음을 의미한다. 이것은 6-7월 동안 7 mm 강수량의 시작과 종료가 음의 지수 위상에 각각 더 느리



**Fig. 6.** Climatology (left) and composite difference (right) in (a) 850 hPa wind, (b) 850 hPa air temperature, and (c) 200 hPa zonal wind between positive WP phase and negative WP phase. In the right panel, shaded areas are significant at the 95% confidence level. The left panel of (c) indicates the areas greater than 35 m s<sup>-1</sup> in positive WP phase (solid line), climatology (gray shading), and negative WP phase (dashed line).

고 빠른 것으로부터 알 수 있다(양의 지수 위상: 6.17-7.21, 음의 지수 위상: 6.23-7.18).

위와 같이 두 지수 위상에 나타나는 강수량의 연내변동의 특징으로 인해 두 지수 위상 사이의 강수량의 차에서는 4월에 가장 크다(Fig. 5c). 다시 말해, 봄 우기 동안 양의 지수 위상에 강수량이 더 많다. 또한 한랭시즌(10월-3월)보다 온난시즌(4월-9월)동안에 양의 지수 위상에 강수량이 더 많다. 이는 한국에서 한랭시즌은 건기에 해당하기 때문이다.

#### 4.3. 종관환경

한국을 포함한 동아시아 지역에서 양의 지수 위상의 4월에 강수량이 더 많은 원인을 알아보기 위해 두 지수 위상 사이에 종관환경의 차를 분석하였다(Fig. 6).

기후학적으로 4월에는 북태평양 고기압이 동아시아 중위도 지역까지 북상하지 못하여 동아시아 중위도 지역에서는 남서풍 보다는 서풍의 영향이 더 강하다(Fig. 6a의 왼쪽). 한편, 두 지수 위상 사이의 차에서는 북서태평양과 베링해 부근지역에 각각 중심을 두고 있는 고기압 아노말리와 저기압 아노말리가 뚜렷하다. 이러한 기압계 아노말리의 공간 패턴은 Wallace and Gutzler (1981)가 서태평양 원격패턴을 정의하기 위해 분석된 공간분포와 유사하다. 동아시아 중위도 지역은 북서태평양에 중심을 둔 고기압 아노말리로부터의 남서풍 아노말리 영향하에 있음을 볼 수 있다. 이는 양의 지수 위상에 북태평양 고기압이 좀 더 북쪽으로 발달 했음을 의미한다. 이로 인해 남서풍 아노말리는 온난 습윤한 공기를 이 지역에 좀 더 많이 공급함으로써 강수를 유발할 수 있도록 대기 불안정을 강화하는 역할을 한다. 이러한 특징은 남서풍 아노말리를 따라서 온난 공기의 아노말리가 위치해 있는 것으로부터 확인할 수 있다 (Fig. 6b의 오른쪽). 하지만 기후 평균에서는 중국 남부지역으로부터 오후츠크해 지역까지 남서에서 북동 방향으로 기온골이 형성되어 있다(Fig. 6b의 왼쪽).

일반적으로 대류권 상층 제트는 대류권 하층에서 수렴 및 상승류를 강화하여 강우형성을 용이하게 하며, 북태평양 고기압의 북쪽으로의 발달 정도를 판단하는 근거로서 사용되어진다(Liang and Wang, 1998; Lau et al., 2000). 또한 앞서 서태평양 원격패턴에 따른 동아시아 지역에서의 강수량과 온도의 변동은 겨울과 봄철에 동아

시아 제트류의 남북이동과 연관되어짐을 언급하였다. 본 연구에서도 두 지수 위상에 대한 상층 대류권(200 hPa) 제트의 상태를 분석하였다(Fig. 6c의 왼쪽). 여기서 jet는  $35 \text{ ms}^{-1}$  이상의 동서류의 풍속을 나타내는 영역으로 정의된다. 동아시아 영역에서 양의 지수 위상의 제트 영역(실선)이 음의 지수 위상의 그것(대시선)보다 좀 더 북쪽에 위치해 있다. 특히, 양의 지수 위상에 한국은 제트 영역의 중심에 위치해 있다. 따라서 이 지수 위상에 북태평양 고기압이 좀 더 북쪽에 위치하며, 강수형성을 용이하게 하는 상승류가 좀 더 발달할 가능성이 있음을 알 수 있다. 한편 4월 기후평균 제트영역(음영 지역)은 두 지수 위상의 그것들 사이에 위치해 있다.

양의 지수 위상의 제트영역이 좀 더 북쪽에 위치해 있음은 200 hPa 동서류에 대해 두 지수 위상 사이의 차의 분석으로부터 확인할 수 있다(Fig. 6c의 오른쪽). 즉, 양의 영역의 축은  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ N 사이에 위치해 있는 반면, 음의 영역의 축은  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ N 사이에 위치해 있다.

한편, 양의 지수 위상의 북태평양 고기압이 음의 지수 위상의 그것보다 좀 더 북쪽으로 발달했는지를 알아보기 위해 5860 gpm의 위치를 분석하였다(Fig. 7). 여기서 5860 gpm의 등치선은 북태평양 고기압의 경계로 정의될 수 있다. 상층 대류권 제트의 분석결과와 유사하게 양의 지수 위상의 북태평양 고기압(실선)이 좀 더 북쪽에 위치해 있으며, 4월 기후평균의 북태평양 고기압(음영

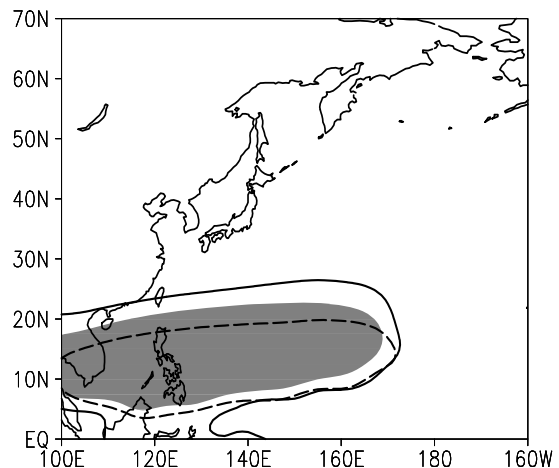
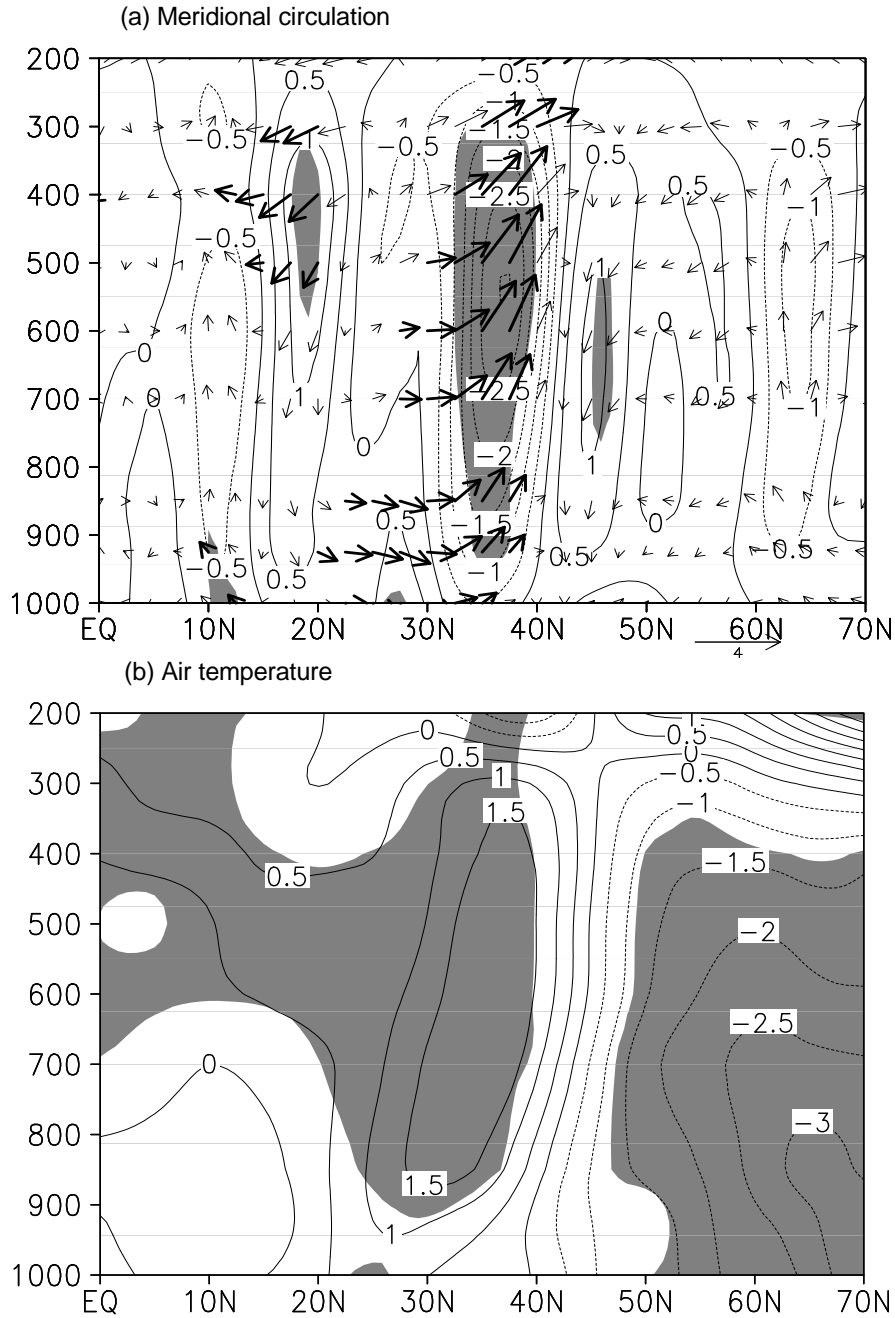


Fig. 7. 5860 gpm contours in positive WP phase (solid line), climatology (shaded area), and negative WP phase (dashed line).





**Fig. 8.** Composite differences of latitude-pressure cross-section of (a) vertical velocity (contours) with meridional circulations (vectors) and (b) air temperature averaged along 125°-130°E between positive WP phase and negative WP phase in April. The values of vertical velocity are multiplied by -100. Shaded areas and bold vectors are significant at the 95% confidence level. Contour intervals are 0.5 hPa s-1 for vertical velocity and 0.5°C for air temperature.

지역)은 두 지수 위상에 그것들 사이에 위치해 있다. 따라서 비록 두 지수 위상의 북태평양 고기압이 한국으로부터 멀리 위치해 있지만, 좀 더 북쪽에 위치해 있는 양의 지수 위상의 북태평양 고기압이 한국에 온난 습윤한 공기를 좀 더 많이 공급할 수 있는 가능성이 큼을 알 수 있다.

한편, 양의 지수 위상에 발달한 대류권 상층 제트가 한국 부근에서 상승류의 강화를 유발하는지를 알아보기 위

해 125°-130°E를 따라 평균된 남북대기순환을 분석하였다(Fig. 8a). 여기서 125°-130°E는 한국이 위치해 있는 경도대이다. 양의 지수 위상에 동아시아 저위도(5°-15°N)에서는 상승류 아노말리가, 동아시아의 아열대 지역(15°-25°N)에서는 하강류 아노말리가, 동아시아 중위도 지역(30°-40°N)에서는 상승류 아노말리가 강화되어 있다. 특히, 95% 신뢰수준에서 가장 강한 상승류 아노말리는 한국이 위치해 있는 30°-40°N 위도대에서 나타난다. 이는

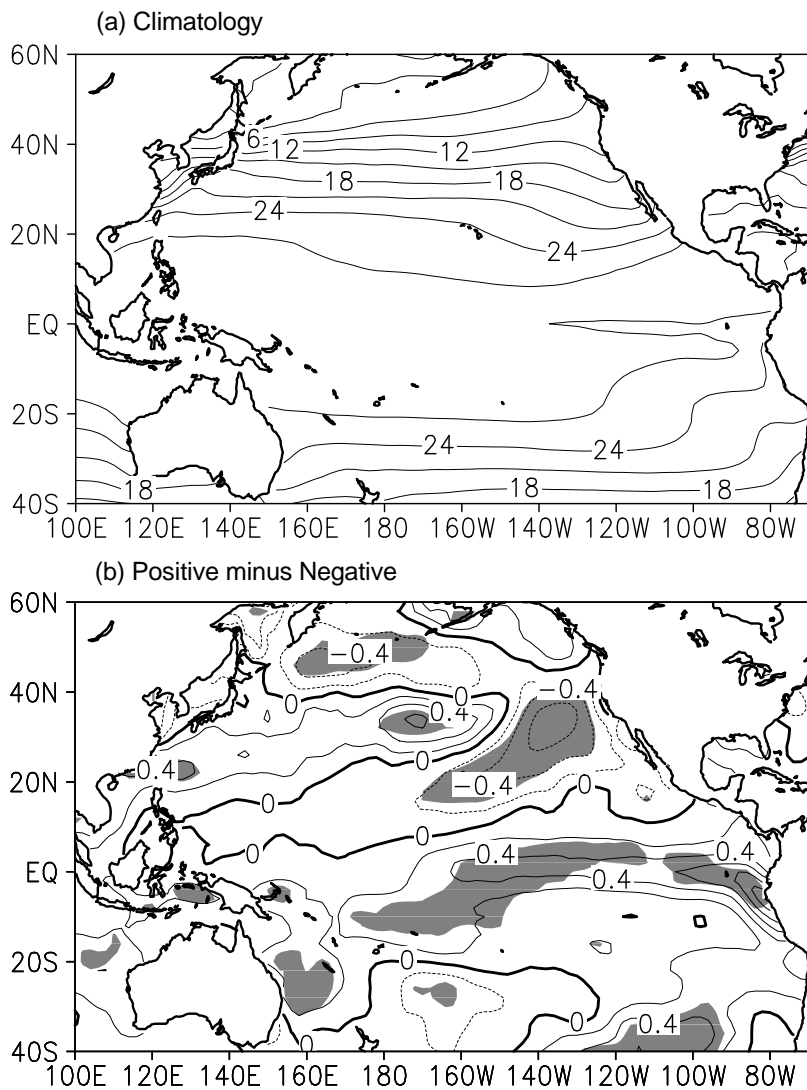


Fig. 9. Same as in Figure 6 but for sea surface temperature (SST). In (b), shaded areas are significant at the 95% confidence level. Contour intervals are 3°C in (a) and 0.2°C in (b).

앞서 한국이 양의 지수 위상에의 대류권 상층 제트영역 중심에 위치해 있는 결과와 연관된다. 남북 기온 분포에서는 강하게 발달한 상승류 아노말리로 인해 역시 한국이 위치해 있는 위도대에서 전 층을 통해 가장 높은 온난 기온 아노말리를 나타낸다(Fig. 8b). 이처럼 30°-40°N 위도대에서 발달한 상승류 아노말리와 이로 인한 온난 기온 아노말리는 양의 지수 위상의 4월에 한국에서 강수량이 증가하는 한 원인이 된다.

#### 4.4. 해수면 온도

해수면 온도 역시 양의 지수 위상의 4월에 동아시아 중위도지역의 강수량의 변동에 직간접적으로 영향을 줄 수 있다. 이를 알아보기 위해 해수면 온도에 대해 5월과 여름의 기후평균 및 두 시기 사이의 차를 분석하였다(Fig. 9). 적도 서태평양의 해수면 온도가 동태평양보다 높다. 또한 적도 서태평양에서부터 미국 동해안까지 남서에서 북동방향으로 온도능이 형성되어 있다. 5월과 여름에 두 시기 사이의 차에서도 이와 비슷한 공간분포를 보인다. 양의 지수 위상에 적도 동태평양이 서태평양보다 해수면 온도가 더 높으며, 적도 서태평양에서의 낮은 해수면 온도는 미국 동해안까지 남서에서 북동방향으로 이어져 있다. 이는 엘니뇨패턴과 유사해 보인다. 대신 동중국해로부터 알류산 열도의 남쪽까지 남서에서 북동방향으로 고온대가 위치해 있다. 이로 인해 동아시아 부근 해역(0o-40oN, 100o-180oE의 영역)에서는 양의 지수 위상에 저위도에서는 저온대가, 중위도에서는 고온대가 강화되어 있다. 이 해수면 온도 공간패턴은 Fig. 6에서 두 시기 사이의 850 hPa 기압계의 공간패턴과 반대이다. 이에 대해 Hung et al.(2004)과 Choi et al.(2011)은 이러한 해수면 온도의 공간패턴이 형성될 경우 적도 서태평양부근에는 고기압 순환이, 아열대 중태평양에는 저기압성 순환이 강화되어 동아시아 중위도 지역에는 기압골이 형성됨을 보인바 있다.

#### 5. 요약 및 결론

지난 55년(1954-2008) 동안 4월 서태평양 원격패턴에 대한 동아시아지역에서의 4월 강수량의 변동을 조사하였다. 동아시아 중위도 지역의 각 관측소에서 4월 강수량은 4월 서태평양 원격패턴과 높은 양의 상관관계를 나

타내었다. 즉, 서태평양 원격패턴이 강화될수록 동아시아 중위도지역에서의 4월 강수량은 증가함을 의미했다.

이러한 두 지수 사이의 양의 상관관계에 대한 원인은 4월 서태평양 원격패턴 지수에서 엘니뇨-남방진동 해를 제외한 가장 높은 값을 갖는 10년(양의 지수 위상)과 가장 낮은 값을 갖는 10년(음의 지수 위상)을 선택하여 이 두 지수 위상 사이의 차를 통해 분석되었다. 한국에서 강수량의 연내변동에서는 양의 지수 위상의 경우 전형적인 세 우기(봄 우기, 장마, 2차장마)가 존재한 반면, 음의 지수 위상에는 봄 위기가 존재하지 않는 특징이 나타났다. 양의 지수 위상의 4월에는 한국 대부분의 지역에서 양의 강수량이 관측되었으며, 특히 동쪽 지역보다 서쪽지역에서 더 많은 강수량이 분석되었다. 이 결과에 관해서는 역학도모델을 이용한 좀 더 자세한 분석이 필요한 것으로 판단된다. 동아시아 지역에서는 중국 중부지역으로부터 한국을 거쳐 일본 남서지역에서 양의 강수량이 나타났다. 이는 850 hPa에서 대략 40°N을 중심으로 남동쪽에는 고기압 아노말리의 중심이, 북동쪽에는 저기압 아노말리의 중심이 위치하여 동아시아 중위도 지역에 남서풍 아노말리가 강화되었기 때문이었다. 양의 지수 위상에 동아시아의 남동쪽에 강화된 이 고기압 아노말리는 북태평양 고기압이 음의 지수 위상보다 좀 더 북쪽으로 발달하였음을 의미했다. 이는 같은 지역에 대류권 상층 서풍(제트)이 강화된 결과로부터 확인되었으며, 이 강화된 대류권 상층 서풍은 이 지역에 상승류 아노말리를 발달시켜 양의 지수 위상의 4월에 강수량이 증가하는 원인이 되었다. 이러한 남서풍 아노말리와 상승류 아노말리는 동아시아 지역에 850 hPa 기온을 증가시키는 역할을 하였다.

양의 지수 위상의 4월에는 동아시아 중위도지역에 강수량의 증가에 우호적으로 작용한 대기환경 외에도 해수면 온도 역시 직간접적으로 영향이 있었음을 확인하였다. 엘니뇨-남방진동 해를 제외하고 분석하였음에도 불구하고, 양의 지수 위상의 4월에는 적도 동태평양에 양의 해수면 온도 아노말리가, 적도 서태평양에는 음의 해수면 온도 아노말리가 존재하는 엘니뇨 패턴을 나타냈다. 하지만 북서태평양의 중위도 해역에서는 일부를 제외하고 대부분의 지역에서 양의 해수면 온도 아노말리가 뚜렷하여 동아시아 중위도 지역에서의 강수량 증가에 도움을 준 것으로 판단되었다. 하지만 강수량에 대한 해수면 온도의 역할에 대해서는 차후연구에서 좀 더 자세한 분석

이 요구된다.

이 연구는 4월 서태평양 원격 패턴을 이용하여 같은 달의 한국을 포함한 동아시아 강수량의 변동과 이의 원인이 되는 다양한 종관환경을 조사하였다. 따라서 4월 서태평양 원격패턴은 동아시아 강수량의 변동을 미리 진단할 수 있는 지수로서 사용가능 할 것이다. 또한 4월 서태평양 원격패턴을 이용하여 봄철 동아시아지역에서의 강수량의 변동을 예측할 수 있는 방법이 차후연구에서 이루어질 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 국립기상연구소 주요사업 “예보기술지원활용연구”의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCE

- A. G., Barnston, R. E., Livezey, 1987, Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmosphere circulation patterns. *Monthly Weather Review*, Vol.115, 1083-1125.
- H. R., Byun, 1996, On the atmospheric circulation caused the drought in Korea. *Asia-Pacific Journal Atmospheric Sciences*, Vol.32, 455-469.
- H. R., Byun, D. K., Lee, 2002, Defining three rainy seasons and hydrological summer monsoon in Korea using available water resources index. *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol.80, 33-44.
- K. S., Choi, D. W., Kim, H. R., Byun, 2010, The regime shift in the early 1980s of spring precipitation in Korea. *International Journal of Climatology*, 30, 721-732.
- K. S., Choi, S. B. Oh, H. R., Byun, R. H., Kripalani, D. W., Kim, 2011, Possible linkage between East Asian summer drought and North Pacific Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.103, 81-93.
- K. S., Choi, H. R., Byun, 2009, Possible relationship between western North Pacific tropical cyclone activity and Arctic Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.100, DOI: 10.1007/s00704-009-0187-9, 261-274.
- D. Y., Gong, C. H., Ho, 2003, Arctic oscillation signals in the East Asian summer monsoon. *Journal of Geophysical Research*, Vol.108(D2) 4066: doi:10.1029/2002JD002193.
- K. J., Ha, K. S., Yun, J. G., Jhun, J. P., Li, 2009, Circulation changes associated with the interdecadal shift of Korean August rainfall around late 1960s. *Journal of Geophysical Research*, Vol.114, D04115, doi:10.1029/2008JD011287.
- S. U., Han, H. R., Byun, 2006, The Existence and the Climatological Characteristics of the Spring Rainy Period in Korea. *International Journal of Climatology*, Vol.26, 637-654.
- C. W., Hung, H. H., Hsu, M. M., Lu, 2004, Decadal oscillation of spring rain in northern Taiwan. *Geophysical Research Letters*, Vol.31, doi:10.1029/2004GL021344
- E., Kalnay, M., Kanamitsu, R., Kistler, co-authors, 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.77, 437 - 471.
- R., Kistler, E., Kalnay, W., Collins, co-authors, 2001, The NCEP - NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.82, 247-267.
- I. Kang, Y., Jeong, 1996, Association of interannual variations of temperature and precipitation in Seoul with principal modes of Pacific SST. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric sciences*, Vol.32, 339-345.
- S., Kim, C. K., Park, M. K., Kim, 2005, The regime shift of the northern Hemispheric circulation responsible for the spring drought in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric sciences*, Vol.41, 571-585.
- N. C., Lau, M. J., Nath, 2000, Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments. *Journal of Climate*, Vol.13, 4287-4309.
- D. K., Lee, Y. A., Kim, 1997, Springtime weather types over the Northeast Asia and relationship with yellow sand events during 1980-1989. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric sciences*, 33, 17-40.
- X. Z., Liang, W. C., Wang, 1998, Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol.124, 2597-2623
- T., Nitta, 1987, Convective activities in the tropical

- western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol.65, 373-390.
- S. Y., Tao, Q. Zhang, 1998, Response of the East Asian summer monsoon to ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica*, Vol.22, 399-407.
- G. T., Walker, E. W., Bliss, 1932, *World Weather V*, Membership of Royal Meteorological Society, Vol.4, 53-84.
- J. M., Wallace, D. S., Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, Vol.109, 784-812.
- B., Wang, R. G., Wu, X. H., Fu, 2000, Pacific - East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate?. *Journal of Climate*, Vol.13, 1517-1536.
- D. S., Wilks, 1995, *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, 467.