## 두 가지 형태의 엘니뇨 정의에 따른 한반도 기후 상관성 분석

김진수<sup>1)</sup> · 국종성<sup>2),\*</sup> · 예상욱<sup>3)</sup> · 김현경<sup>4)</sup> · 박이형<sup>4)</sup>

1)한국해양과학기술원, <sup>2)</sup>포항공과대학교, <sup>3)</sup>한양대학교, <sup>4)</sup>기상청

(접수일: 2013년 11월 27일, 수정일: 2013년 12월 20일, 게재확정일: 2013년 12월 23일)

# Relation between Climate Variability in Korea and Two Types of El Niño, and Their Sensitivity to Definition of Two Types of El Niño

Jin-Soo Kim<sup>1)</sup>, Jong-Seong Kug<sup>2),\*</sup>, Sang-Wook Yeh<sup>3)</sup>, Hyun-Kyung Kim<sup>4)</sup>, and E-Hyung Park<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan, Korea <sup>2)</sup>School of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea <sup>3)</sup>Department of Marine Science and Convergent Technology, Hanyang University, Ansan, Korea <sup>4)</sup>Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea

(Manuscript received 27 November 2013; accepted 23 December 2013)

**Abstract** Recently, several studies pointed out that there are distinct two types of El Niño events based on the spatial pattern of SST. Since the two types of El Niño have different impacts on global climate, it is quite important to identify the type to assess and predict the regional climate variability. So far, however, there are still many different definitions to identify the two types of El Niño from the different studies. In this study, we investigated a sensitivity of the impacts on climate variability over the Korean Peninsula corresponding to the definition of two-types of El Niño. After checking pre-existing definitions and other possible definition, it is suggested here that two different definitions exhibit relatively strong relationship between El Niño events and the Korean climate variables when two types of El Niño are separated. In addition to the Korean climate, the two types of El Niño show quite distinct global teleconnection patterns when the definitions are used.

Key words: El Niño, two-types of El Niño, teleconnection

### 1. 서 론

엘니뇨는 적도 태평양의 해수면 온도가 상승하는 현상으로서, 해수면 온도뿐만 아니라 전지구 기후시 스템의 변동을 유발하는 지구상 가장 주요한 기후현 상이다(Bjerknes, 1966).

엘니뇨 현상은 수 개월에 걸쳐 진행되는 해양-대 기간의 강한 양의 되먹임 작용으로서 북반구 겨울철

에 동태평양지역에서 최대 해수면온도의 아노말리를 보이며, 적도 동태평양을 중심으로 중태평양 및 아 열대지역까지 확장된 형태를 나타낸다. 그러나 최근 들어 엘니뇨의 아노말리 형태가 선행연구들에서 밝 힌 전형적인 형태와 달리 중태평양 해수면온도 아노 말리가 동태평양보다 더 강한 구조를 보이는 형태로 빈번히 발생하고 있다(Ashok et al., 2007; Yu and Kao, 2007; Kao and Yu, 2009; Kug et al., 2009; Yeh et al., 2009; Lee and McPaden, 2010; Kim et al., 2012). 이러한 새로운 형태의 엘니뇨에 대한 연 구가 활발히 진행되면서 새로운 형태의 엘니뇨는 "Dateline El Niño" (Larkin and Harrison, 2005a, b), "El Niño Modoki" (Ashok et al., 2007), "Central Pacific El Niño" (Kao and Yu, 2009), "Warm pool

Phone: +82-54-279-2287, Fax: +82-54-279-8299 E-mail: jskug1@gmail.com

<sup>\*</sup>Corresponding Author: Jong-Seong Kug, School of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, 77 Cheongam-ro, Nam-gu, Pohang, Gyeongbuk, 426-744, Korea.

El Niño" (Kug et al., 2009) 등의 다양한 이름을 가지게 되었지만 아직까지도 여러 이름이 혼재되어 사용되고 있으며, 정확한 메커니즘 및 최근 빈번히 발생한 이유에 대한 논의가 아직 진행 중에 있기 때문에 새로운 형태의 엘니뇨에 대한 통일된 정의가 마련되지 않았다.

엘니뇨 현상은 직접적으로 적도태평양의 기압, 바람, 강수장의 변동을 수반하며, 원격상관을 통해 거리가 먼 곳의 기후 또한 변동시킨다(Horel and Wallace, 1981). 특히 워커순환, 몬순의 강도, 태풍의 주요 발생시점의 변화, 열대지역의 가뭄 등 지리적으로 가까운 열대 및 아열대지역의 기후시스템을 변화시키는 것으로 잘 알려져 있다. 뿐만 아니라 동아시아 및 한반도도 엘니뇨 현상으로 인한 기후의 경년 변동이 나타난다는 연구내용이 보고되었으며, 특히 한반도의 경우 온도와 강수 아노말리가 엘니뇨의 영향을 받는다는 연구가 다수 선행되었다(Ha, 1995; Ahn et al., 1997; Kang, 1998; Cha et al., 1999).

엘니뇨와 한반도 기후 관련성에 대한 통계적 관련성이 여러 연구에서 제시되었으나, 그 구체적 역학관계에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. Wang et al. (2000)은 엘니뇨 절정기시기에서 쇠퇴기 여름까지 발생해서 유지되는 필리핀 해 고기압이 동아시아 기후와 밀접한 연관이 있음을 제시하였다. 최근에, Son et al. (2014)는 필리핀 고기압과 함께 북태평양에서 발생하는 쿠로시오 고기압의 존재여부가 한반도 겨울기후에 밀접한 연관이 있음을 제시하였다. 하지만, 여전히 다른 계절에 대한 역학과정은 정립되지 못하고있다.

한편, 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 원격상관이 전지구적으로 매우 다르다는 연구들이 보고되었다(Ashok et al., 2007; Weng et al., 2009; Kug et al., 2010; Song et al., 2011). 특히, Kug et al. (2010)은 한반도 기후변동성에 집중하여 두 가지 형태 엘니뇨의 영향을 조사하였다. 엘니뇨를 두 가지 형태로 나누지 않고 전체 엘니뇨 해에 대한 한반도 기후변동성을 살펴보면 관계가 약하나, 두 가지 형태로 분리하여 분석하면 통계적으로 유의미한 기후변동성을 확인할 수 있음을 제시하였다. 즉, 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 한반도 기후변동성이 다르며, 두 가지 형태에 대한 차이를 고려할 경우 기후변동성 예측률을 향상시킬 수 있는 가능성을 갖는다고 제언하였다.

그러나 앞서 언급한 것처럼 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 정의가 분분하며, 한반도 기후변동성을 뚜렷하게 구분하는 정의가 마련되지 않았다. 이에 본 연구에서는 두 가지 형태의 엘니뇨를 정의하는 기존의 방법과 함께 두 가지 형태의 엘니뇨를 구분할 수 있는 새로운 인자를 개발하여 비교함으로써 한반도 기

후변동성을 가장 통계적으로 유의미하게 표현하는 인 자를 제시하고자 한다.

### 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 1970년부터 2012년까지의 관측자료가 사용 가능한 기상청 18개 관측소의 월평균기온, 월 강수량자료를 평균하여 사용함으로써 한반도 기후변 동성을 살펴보았다(Table 1). 한반도 기후를 가장 잘 설명할 수 있는 최적의 두 가지 엘니뇨형태의 정의를 구하기 위해 선행연구들에서 언급한 기준을 포함한 총 16가지의 정의를 이용하여 두 가지 형태의 엘니뇨를 정의하였으며, 이에 따른 한반도 기후와의 관련성을 비교하였다. 한반도 기후와의 관련성은 기온과 강수에 대해 엘니뇨 발달시기 이전 년도 6월부터 쇠퇴기인 이듬해 7월까지의 합성도를 이용하여 조사하였다. 이러한 합성도는 t검정을 통해 90%, 95% 신뢰수준에서 유의미한지를 계산하였다.

엘니뇨가 한반도에 미치는 영향은 계절별로 다르므로 각 정의에 따른 한반도 기후와의 관련성도 계절별로 크게 다를 수 있다. 한반도 기후에 대한 영향성을 종합적이고 정량적으로 비교하기 위해 한반도 기후영향지수를 정의하였다. 영향지수는 두 가지 형태의 엘니뇨에 따른 기온과 강수의 합성도에서 그 값의 절대값이 각 월별 표준편차 대비 기준치(본 연구에서는 0.5표준편차) 이상일 경우 유의미하다고 판단하여 그

**Table 1.** KMA station names, numbers and locations of usable temperature and precipitation data since 1970.

Station name	Station number	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude above sea level (m)
Sokcho	90	38.25	128.57	17.79
Chuncheon	101	37.90	127.74	76.82
Gangneung	105	37.75	128.89	25.91
Seoul	108	37.57	126.97	46.02
Incheon	112	37.48	126.63	68.85
Suwon	119	37.27	126.99	33.58
Seosan	129	36.77	126.50	25.93
Cheongju	131	36.64	127.44	57.36
Daejeon	133	36.37	127.37	68.28
Chupungnyeong	135	36.22	128.00	242.54
Pohang	138	36.03	129.38	1.88
Gunsan	140	36.00	126.76	25.57
Daegu	143	35.88	128.62	57.64
Jeonju	146	35.82	127.16	53.48
Gwangju	156	35.17	126.89	70.53
Mokpo	165	34.81	126.38	31.70
Jeju	184	33.51	126.53	19.97
Seogwipo	189	33.25	126.57	50.47

총 합을 영향지수라고 정의하였다.

영향지수 = 
$$\sum_{t=0}^{19} (|P_t|)$$
 where  $|P_t| > 0.5$  Eq (1)

P는 각 월별 표준편차로 정규화된 강수, 혹은 기온의 합성도 값이고, t는 합성도의 월을 의미한다. t에 대해 "6"부터 "19"를 합산하는 것은 발달기 6월부터 쇠퇴기 7월까지를 고려한 것이다. 두 형태의 엘니뇨 정의에 따라 각각 강수와 기온에 대해 영향지수를 모두계산한 후에 두 값의 합으로 정의별 민감도를 비교하였다. 영향지수가 클수록 한반도 기후와의 연관성을 잘 설명한다고 할 수 있다. 영향지수의 상대적인 비교는 기준치 값(0.5) 및 기간(6월부터 이듬해 7월)에크게 민감하지 않아서 본 연구의 결론에 영향을 주지않았다.

두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 전지구 합성도 및 새로운 인자 개발을 위해 사용된 전구자료로는 NOAA 해수면온도자료(Smith and Reynolds, 2004), NCEP/NCAR 재분석자료(Kalnay et al., 1996)가 사용되었다. 본 연구에서는 두 가지 형태의 엘니뇨 집단을 구성하기 위해서 특정 기준으로 두 가지 형태를 모두 포함한 엘니뇨 해를 정의한 다음 선별된 엘니뇨 표본에 대하여 그 형태에 따라 두 가지 집단으로 나누는 방법을 사용하였다. 기존에 엘니뇨 연구에서 주로 사용되었던 Niño3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W), Niño3 (5°S-5°N, 150°W-90°W), Niño4 (5°S-5°N, 160°E-150°W) 인자 이외에 다양한 인자들을 도입하여 영향지수를 시험해보았다. 일반적으로 선행 연구들에서는 겨울철 Niño3.4 인자의 값으로 엘니뇨 해를 정의하였고, Niño3

인자와 Niño4 인자의 상대적 크기를 기준으로 동태평 양(Eastern Pacific; EP) 엘니뇨와 중태평양(Central Pacific; CP) 엘니뇨로 구분하였다.

Yeh et al. (2009)은 해수면온도의 절대값을 사용했 고, Kug et al. (2009)는 각각의 표준편차를 나눈 정규 화된 값을 사용하였다. 이러한 기존의 방법과 함께 엘 니뇨 인자의 영역을 동-서 방향으로 이동시키거나 영 역 크기를 변경함으로써 영향지수를 시험하였다. 변 경된 동태평양/중태평양의 인자에 따라 전체 엘니뇨 해의 정의 또한 영역을 변경하여 동태평양/중태평양 의 인자의 영역을 모두 포함하는 인자로 설정하였다. 일반적으로 Niño3.4를 엘니뇨 해에 대한 정의로 사용 하는데 본 연구에서 새롭게 시도된 인자들은 Niño3.4 를 포함하지 않는 경우들이 있기 때문이다. 따라서 기 존의 엘니뇨 해에 대한 정의 또한 인자를 변경하여 시도하였다. 예를 들면, (5°S-5°N, 170°W-90°W) 인자 와 (5°S-5°N, 160°E-150°W) 인자를 사용하는 경우 이 두 인자를 포함하는 영역(5°S-5°N, 160°E-90°W)을 기 준으로 엘니뇨 해를 정의했다.

### 3. 선행 연구의 정의에 따른 한반도 기후 변동성

두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 한반도 기후변동성을 살펴보기 위해 선행 연구들에서 언급한 방법들을 이용하여 두 가지 형태의 엘니뇨를 분류하고 각각에 대한 영향지수를 계산하였다. 앞서 기술한 Niño3 인자와 Niño4 인자의 상대적 크기를 기준으로 하는 방법 외에도 많은 연구들에서 두 가지 형태의 엘니뇨

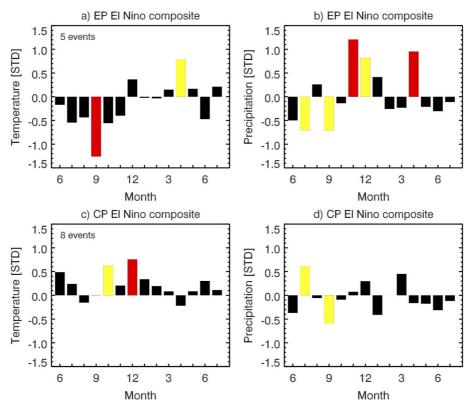
Table 2. Definitions for two types of El Niño based on previous studies.

EP index	CP index	Reference
Normalized Niño3	Normalized Niño4	Kug et al. (2009)
Niño3	Niño4	Yeh et al. (2009)
$EMI^a < 0.7\sigma$	$EMI^a \ge 0.7\sigma$	Ashok et al. (2007)
N <sub>CT</sub> ; Niño3-0.4 · Niño4	N <sub>WP</sub> ; Niño4-0.4 · Niño3	Ren and Jin (2011)
E-index; Niño12-1.7 · Niño3	C-index; 1.7 · Niño4-0.1 · Niño12	Takahashi et al. (2011)

 $^a$ EMI is El Niño Modoki Index (SST averaged over (165°E-140°W, 10°S-10°N) -0.5 ·SST averaged over (110°W-70°W, 15°S-5°N) -0.5 ·SST averaged over (125°E-145°E, 10°S-20°N).

Table 3. Impact score of Korean Peninsula climate variability for two types of El Niño based on previous studies.

Reference	EP El Niño year impact score	CP El Niño year impact score	Total impact score
Kug et al. (2009)	8.54	2.88	11.42
Yeh et al. (2009)	3.65	7.22	10.88
Ashok et al. (2007)	8.42	1.27	9.69
Ren and Jin (2011)	6.26	1.31	7.57
Takahashi et al. (2011)	3.99	0.69	4.68



**Fig. 1.** Composites of monthly mean temperature and precipitation based on KMA station observation for two types of El Niño separated using normalized Niño3 and Niño4. Red and yellow bars mean confidence level of 95% and 90% based on student t-test. The upper (below) panel shows anomalies in EP (CP) El Niño year. Temperature and precipitation anomalies are shown in left and right column, respectively.

집단을 구분하기 위한 인자개발을 시도하였다. 그 중 EMI (Ashok et al., 2007), N<sub>CT</sub>/N<sub>WP</sub> (Ren and Jin, 2011), E-index/C-index (Takahashi et al., 2011) 인자도 사용하여 한반도 기후변동성에 대한 영향지수를 계산하였다(Table 2). 각 정의 별 영향지수의 값은 Table 3에 나타내었다. 그 결과 Kug et al. (2009)의 방법에 대한 영향지수가 11.42로 가장 높게 나왔다. EMI 지수나 Yeh et al. (2009)의 방법도 비슷하게 나타났으나, 약간 작게 나타났다. 두 지수간의 직교성을 강조한 Ren and Jin (2011)이나 Takahashi et al. (2011)의 정의는 영향지수가 매우 낮게 나타났다. 이는 두 가지형태의 엘니뇨/라니냐가 선형적으로 대칭이 아니므로 (Kug and Ham, 2011) 직교성을 강조한 지수는 실제물리현상을 왜곡하여 표현할 수 있음을 제안한다.

영향지수가 가장 높은 Kug et al. (2009)의 정의에 따라 한반도 기후와의 관련성을 Fig. 1에 나타내었다. 한반도 기후변동성은 선행연구에서와 마찬가지로 전체 기간에서 동일한 관련성이 나타나는 것은 아니며, 발달 및 쇠퇴시기, 계절에 따라 관련성이 다르게 나타

났다. 동태평양 엘니뇨의 경우 발달기 9월에 온도가 감소하는 경향이 나타나며, 쇠퇴하는 시기의 4월에는 온도 증가가 통계적으로 유의하게 나타났다. 동태평양 엘니뇨는 한반도 기온에 비해 강수에서 좀 더 밀접한 관련성을 나타내었다. 발달기인 7월과 9월에는 강수가 감소하는 경향이 나타났으며, 절정기인 11월과 12월에는 매우 유의하게 강수가 증가하는 경향이 나타 났다. 또한, 쇠퇴기인 4월에는 강수가 95% 신뢰성을 가지며 증가하는 경향이 나타났다.

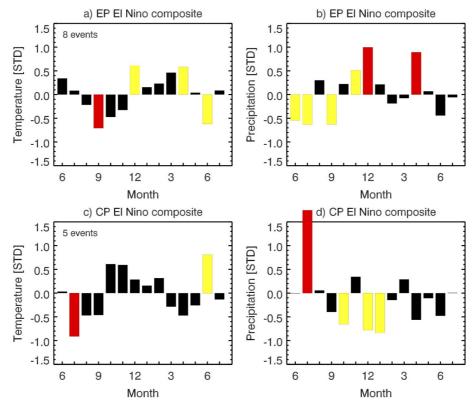
중태평양 엘니뇨도 한반도 기후와 어느 정도 관련성을 갖는 것으로 나타났다. 중태평양 엘니뇨의 발달기인 10월에는 한반도 온도가 증가하는 경향이 나타나는데, 이는 동태평양 엘니뇨와의 관련성과 정반대로나타났다. 엘니뇨의 절정기인 12월에는 95% 신뢰수준을 가지며, 한반도의 온도가 증가하는 경향을 가진다. Kug et al. (2010)에서 제시했듯이 중태평양 엘니뇨는한반도와 강수와는 비교적 약한 관련성을 나타내었다. 발달기인 7월에는 강수가 증가하는 경향을 그리고 9월에는 강수가 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 7월

의 강수 증가는 동태평양 엘니뇨의 경우와 반대 경향성을 나타내었다. 이와 같이 중태평양 엘니뇨와 동태평양 엘니뇨는 한반도에 서로 다른 영향을 미치며, 그계절성도 다르게 나타난다. 이러한 경우 두 가지 형태를 나누지 않고 엘니뇨 전체에 대한 관련성을 구한다

면 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 영향이 상쇄되어 그 관련성이 매우 약하게 나타날 수 있다. 하지만 Fig. 1 과 같이 서로 다른 엘니뇨 형태에 따른 영향이 각기 고려된다면 한반도 기후변동을 좀 더 명확히 설명할 수 있음을 제시하고 있다. 그러므로, 두 가지 형태의

Table 4. Impact score of Korean Peninsula climate variability for two types of El Niño based on changing index area.

EP index	CP index	EP El Niño year impact score	CP El Niño year impact score	Total impact score
Niño3	150°E-160°W	6.55	0.14	6.69
Niño3	$140^{\circ}\text{E-}170^{\circ}\text{W}$	6.55	1.33	7.88
Niño3	$130^{\circ}\text{E}-180^{\circ}\text{E}$	3.34	0.84	4.18
$140^{\circ}W-90^{\circ}W$	$160^{\circ}\text{E-}140^{\circ}\text{W}$	4.15	5.26	9.41
$130^{\circ}W-90^{\circ}W$	$160^{\circ}\text{E-}130^{\circ}\text{W}$	4.58	4.69	9.27
$120^{\circ}W-90^{\circ}W$	$160^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{W}$	6.15	3.29	9.44
$140^{\circ}W-90^{\circ}W$	$170^{\circ}\text{E-}140^{\circ}\text{W}$	4.58	4.69	9.27
$130^{\circ}W-90^{\circ}W$	$180^{\circ}\text{E-}130^{\circ}\text{W}$	6.74	2.43	9.18
$120^{\circ}W-90^{\circ}W$	$170^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{W}$	6.87	2.30	9.17
$160^{\circ} W-90^{\circ} W$	$150^{\circ}\text{E}-180^{\circ}\text{E}$	7.34	4.60	11.94
170°W-90°W	150°E-180°E	6.73	7.50	14.23



**Fig. 2.** Composites of monthly mean temperature and precipitation based on KMA station observation for two types of El Niño separated using (170°W-90°W) and (150°E-180°E). Red and yellow bars mean confidence level of 95% and 90% based on student t-test. The upper (below) panel shows anomalies in EP (CP) El Niño year. Temperature and precipitation anomalies are shown in left and right column, respectively.

엘니뇨의 구분은 한반도 기후의 진단 및 예측에 있어 서 필수적이라고 할 수 있겠다.

# 4. 엘니뇨정의 영역 변경에 따른 한반도 기후영향 민감도 조사

본 연구에서는 기존의 연구들에서 제시한 방법 외에도 엘니뇨 인자들의 정의 영역을 변경하여 엘니뇨를 두 가지 형태로 구분하고, 이 경우 한반도 기후와의 관련성이 얼마나 달라지는지 민감도조사를 실시하였다(Table 4). 계산된 인자들은 모두(5°S-5°N)의 적도 영역에서의 해수면온도 평균이며, 기존의 Niño3, Niño4인자를 동-서 방향으로 이동시키거나 확장 및 축소시켜서 인자를 구성하였다. 새로 정의된 인자들에 따라 Kug et al. (2009)의 방법을 적용하여 두 가지 형태의엘니뇨를 정의하고, 그 영향지수를 계산하였다. 그 결과 대부분의 시도에서는 기존 방법과 비슷하거나 영향지수가 오히려 낮은 결과를 보였다. 하지만, 중태평양 인자를 온난 역의 경계 면인 (150°E-180°E)로 제한한 경우 영향지수가 상대적으로 높게 계산되었다.

그 중, 중태평양지수를 (150°E-180°E)의 영역으로 그리고 동태평양지수를 (90°W-170°W)의 영역으로 영 역평균을 사용했을 때 영향지수가 14.23으로 가장 높 게 나타났다. Figure 2는 이 정의에 따라 한반도 기온 과 강수의 합성도를 나타낸 것이다. 동태평양 엘니뇨 의 기온과의 관련성은 Kug et al. (2009)의 정의에 따 른 결과(Fig. 1)와 거의 일치하나 절정기 12월 쇠퇴기 6월의 값이 유의한 값으로 표현되었다. 강수와의 관 런성도 비슷하나 발달기 6월의 값이 유의미하게 바뀌 었으며, 11월과 12월의 아노말리 강도가 바뀌어서 나 타났다. 가장 주요한 차이는 중태평양 엘니뇨와의 관 런성에서 나타난다. Kug et al. (2009)의 정의에 따른 결과는 기온에서 10월과 12월에 관련성이 가장 크게 나타났으나, 새로운 정의는 발달기인 7월과 쇠퇴기 6 월에 가장 크게 나타났다. 강수에서도 발달기인 7월 이 매우 큰 관련성을 나타냈고, 가을과 겨울철에 전 반적으로 강수가 감소하는 경향을 나타냈다.

이렇게 영향지수가 다르게 계산되는 것은 전체 엘니뇨 해를 어떻게 두 가지 형태의 엘니뇨 집단으로 분류할 것인가에 따라 달려있다. 모든 엘니뇨의 경우에서 적도대평양의 전반적인 해수면온도가 상승하지만 각각의 엘니뇨가 가지는 공간적 분포가 매우 상이하며, 이로 인해서 아열대지역 및 중위도지역에 미치는 원격상관의 형태도 매년 다르다. 이런 상황에서 두집단을 나누는 기준을 다르게 적용하여 두집단을 구성하는 경우가 달라지게 되면 그에 따른 한반도 기후영향이 다르게 계산되는 것이다(Table 5). Table 5에서 나타나듯이 Kug et al. (2009)의 정의에 의해 중태평

**Table 5.** EP and CP years for different definition of two types of El Niño.

EP years classified by normalized Niño3/Niño4

1972/73, 1976/77, 1982/83, 1986/87, 1997/98 (5 events)

CP years classified normalized Niño3/Niño4

1977/78, 1987/88, 1991/92, 1994/95, 2002/03, 2004/05, 2006/07, 2009/10 (8 events)

EP years classified by (170°W-90°W)/(150°E-180°E)

1972/73, 1976/77, 1982/83, 1986/87, 1991/92, 1994/95, 1997/98, 2002/03 (8 events)

CP years classified by (170°W-90°W)/(150°E-180°E)

1987/88, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2009/10 (5 events)

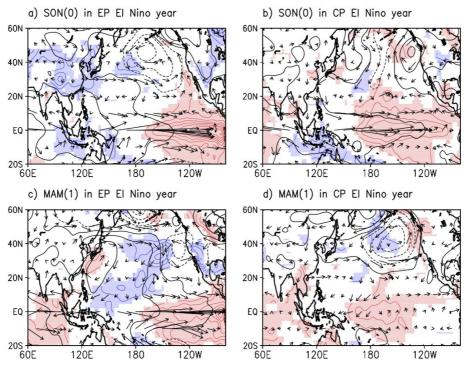
양 엘니뇨로 분류된 1991/92, 1994/95, 2002/03해는 새로운 정의에서는 동태평양 엘니뇨로 구분되었다. 동태평양 엘니뇨로 분류된 경우 기존의 엘니뇨의 크기와 영향이 강하여 한반도 영향 합성도에 큰 영향을 미치지 못했지만, 중태평양 엘니뇨로 분류된 경우에는 이 세 해의 엘니뇨가 상대적으로 강하기 때문에합성도에 큰 변화가 나타나는 것으로 판단된다. 또한새로운 정의를 사용한 경우 중태평양 엘니뇨 해는 1987/88을 제외하고 모두 2000년 이후 해들로 선택되었다. 이러한 특정 시기에 집중된 중태평양 엘니뇨의 발생이 그 아노말리에 영향을 줄 수 있다. 즉 열대 태평양의 수 십년 이상의 변동이 엘니뇨 선택에 영향을 준 것으로 판단된다.

## 5. 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 전 지구 기후변동성 합성도

이제까지 두 가지 형태 엘니뇨의 한반도 영향이 분석되었고, 두 가지 형태의 엘니뇨가 한반도에 다른 영향을 주고 있음을 제시하였다. 엘니뇨는 전 지구 기후에 영향을 주기 때문에 한반도 영향뿐만 아니라 두가지 형태의 엘니뇨가 전 지구 기후에도 서로 다른 영향을 줄 수 있다. 각각의 엘니뇨 정의에 따라서 한반도 기후뿐만 아니라 전 지구 기후의 영향을 살펴보고, 한반도 영향에 대한 역학과정을 이해하기 위해 온도와 전 지구 순환에 대한 합성도를 두 가지 형태의엘니뇨에 대해 각각 제시하였다.

Figure 3은 Kug et al. (2009)의 정의에 따른 두 형 태의 엘니뇨의 합성도이다. Figure 1에서 두 형태의 엘니뇨의 영향이 매우 다르게 나타난 발달기인 가을 철과 쇠퇴기인 봄철을 선택하였다. 동태평양 엘니뇨의 경우 가을철에 열대태평양의 온도 아노말리가 주로 동태평양에 위치하며, 인도네시아 지역과 남중국

Composite map for two types of El Nino

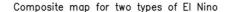


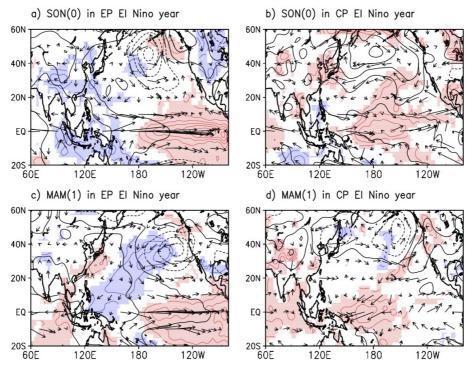
**Fig. 3.** Composite maps of monthly mean temperature (Color contour;  $0.2^{\circ}$ C interval) at  $1000 \, hPa$ , geopotential height (contour;  $5 \, hPa$  interval) and wind (vector) at  $850 \, hPa$  level based on NCEP/NCAR reanalysis 1 for two types of El Niño separated using normalized Niño3 and Niño4. Shading indicates confidence level of 90% of  $1000 \, hPa$  temperature based on student t-test. The upper (below) panel shows anomalies in September-October-November (March-April-May). Anomalies in left and right column indicate EP and CP events, respectively.

그리고 동아시아 지역에서 음의 온도 아노말리가 나타난다(Fig. 3a). 반면에 중태평양 엘니뇨의 경우에는 양의 온도 아노말리가 중태평양에 위치하며, 인도네시아 및 북호주 지역에 음의 온도 아노말리가 존재하나 북반구 동아시아 및 남중국에는 음의 온도 아노말리가 더 이상 존재하지 않는다(Fig. 3b). 동아시아 지역에서는 오히려 양의 온도 아노말리가 존재하여 동태평양 엘니뇨와 반대의 형태를 가지며, 이는 Fig. 1의 결과와도 일치하는 것이다.

이러한 차이는 대기순환의 차이로 설명될 수 있다. 동태평양 엘니뇨의 경우 북태평양에 저기압성 아노말리가 크게 자리잡고 있어 아시아대륙에 북풍기류를 유도한다. 이러한 북풍기류는 음의 온도 아노말리의 원인으로 분석될 수 있다. 반면에, 중태평양 엘니뇨의 경우 중위도 서태평양 지역에 고기압성 흐름이 존재 하여 동아시아 지역에서는 서풍이 약화되는 형태를 가지며, 이는 양의 온도 아노말리와 관련 지을 수 있 다. 이러한 순환의 차이는 서태평양의 대류활동과 연 관되는 것으로 추정되나, 자세한 역학과정은 좀 더 분 석되어야 할 것이다.

열대해수면온도가 쇠퇴되는 봄철에도 두 형태의 엘 니뇨는 상이한 전구 순환 아노말리를 갖는다. 동태평 양 엘니뇨의 경우 서태평양의 음의 아노말리와 북반 구 서안 경계류지역의 양의 아노말리가 뚜렷이 존재 한다(Fig. 3c). 또한, 북아메리카 대륙에서는 양의 온 도 아노말리가 주로 북동지역에 존재한다. 이러한 온 도편차는 순환에 의해 설명될 수 있다. 동태평양 엘 니뇨 쇠퇴기에는 북서태평양에 Wang et al. (2000)이 제시한 필리핀 해 고기압이 뚜렷이 존재하여 온도 아 노말리 형태에 영향을 준다. 중태평양 엘니뇨의 경우 쇠퇴기인 봄철에 동아시아지역에 평년보다 온도가 낮 아지는 경향이 나타나며, 북아메리카 대륙의 서쪽 해 안선을 따라 온도가 높아지는 경향이 나타난다(Fig. 3d). 대기순환의 경우 필리핀 해 고기압은 매우 약하 게 나타나며, 북태평양 지역에 저기압성 흐름이 강하 게 존재한다. 동아시아와 북아메리카의 온도 분포는 이러한 저기압성 흐름으로 어느 정도 설명 가능하다. 또한 전지구 순환 변화가 엘니뇨 정의에 민감한지





**Fig. 4.** Composite maps of monthly mean temperature (Color contour; 0.2°C interval) at 1000 hPa, geopotential height (contour; 5 hPa interval) and wind (vector) at 850 hPa level based on NCEP/NCAR reanalysis 1 for two types of El Niño separated using (170°W-90°W) and (150°E-180°E). Shading indicates confidence level of 90% of 1000 hPa temperature based on student t-test. The upper (below) panel shows anomalies in September-October-November (March-April-May). Anomalies in left and right column indicate EP and CP events, respectively.

파악하기 위하여 기후영향지수가 가장 높았던 정의에 따라(Table 4) 전 지구 합성도를 비교하였다. Figure 4에서 나타나듯이 온도분포와 순환분포는 Fig. 3과 매우 유사하게 나타났다. 한반도와의 관련성에 비해 전지구 순환은 엘니뇨 정의에 크게 민감하지 않음을 의미한다. Figures 3과 4의 가장 의미 있는 차이는 중태평양 엘니뇨의 발달기인 가을철에 나타났다. Kug et al. (2009)의 정의에 비해 새로운 정의는 북태평양의고기압성 흐름을 좀 더 강하고 넓게 나타내고 있다.이에 따라 동아시아 지역의 온난경향도 뚜렷하게 보여주고 있다. 이러한 차이는 중태평양 엘니뇨로 구분되었던 1991/92, 1994/95, 2002/03 세 엘니뇨가 제외된 결과로 해석된다.

### 6. 요약 및 제언

본 연구에서는 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 선행 연구들의 정의와 새롭게 시도된 정의들을 가지고 엘 니뇨를 두 집단으로 구분하고 이에 따른 한반도 기후 변동성 영향지수를 계산하여 평가하였다. 상대적으로 중태평양 엘니뇨의 경우가 동태평양 엘니뇨 보다 약한 아노말리를 보이나, 두 엘니뇨에 대한 반응양상이 매우 다르기 때문에 두 가지 형태를 모두 포함하여 그 결과를 도시하게 되는 경우 두 엘니뇨 특성 중 공통적인 정보만 확인할 수 있게 되고, 두 엘니뇨 형태에 따른 서로 다른 한반도 기후변동성은 고려할 수없게 된다. 따라서 한반도와 열대태평양의 엘니뇨 현상과의 관련성을 좀 더 상세히 알아보기 위해서는 엘니뇨의 다양성을 고려한 분석이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 선행 연구들에서 사용한 두 엘니뇨 형태의 정의와 함께 적도 지역 해수면 온도의 영역 평균을 하여 개발한 새로운 인자를 활용하여 두 엘니뇨 해를 정의하고 이에 대한 한반도 기후 영향을 평가하였다. 선행연구들 중에는 Kug et al. (2009)의 정규화된 Niño3, Niño4를 활용한 경우 가장 높은 한반도 기후 변동성 영향지수를 구할 수 있었으며, 본 연구에서 시도된 인자 중에는 중태평양지수를 (150°E-180°E)의 영역으로 그리고 동태평양지수를 (90°W-

한국기상학회 대기 제24권 1호 (2014)

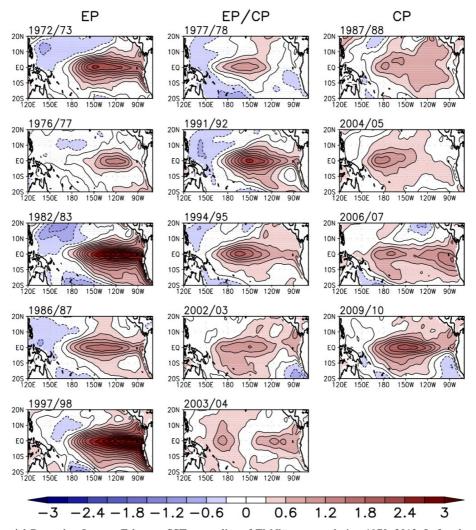


Fig. 5. Equatorial December-January-February SST anomalies of El Niño events during 1970~2012. Left column shows EP cases classified by different two definitions of two types of El Niño in Table 5. Right column shows CP cases as similar as left column. Middle column shows changeable case for two definitions.

170°W)의 영역으로 삼은 정의가 가장 높은 영향지수 를 나타내었다. 영향지수는 온도와 강수의 항목에 대 한 합으로 나타내었으며, 각각의 항목을 개별적으로 산출하여도 위에서 언급한 영향지수 최상위 순위는 변동이 없었다.

Figure 5는 Table 5에 언급된 해들의 엘니뇨 절정기 (12월, 1월, 2월)의 해수면온도 아노말리를 나타낸 그 림이다. Figure 5에서 나타나듯이, 선택된 중태평양 엘 니뇨의 해수면 온도 아노말리 중심위치는 150°E-180°E 영역에 있지 않고, 더 동쪽에 치우쳐서 나타난다. 즉 Niño4 지역이 해수면 온도의 중심위치는 잘 표현함을 의미한다. 그럼에도 불구하고, 그보다 서쪽 영역의 해

수면 온도를 중태평양지수로 삼은 경우에 한반도 기 후 변동성이 더 두드러지게 나타나는 것은 매우 흥미 로운 부분이다. 이는 해수면 온도 아노말리 자체보다 는, 동서방향의 상대적인 분포가 더 중요함을 의미할 수 있다. 즉, Niño4 지역의 해수면 온도의 강도보다 엘니뇨의 형태가 서쪽으로 얼마나 확장하는지가 한반 도 기후 변동성에 기존의 엘니뇨와 다른 영향을 주는 것으로 사료된다. 또한, Fig. 5의 가운데 패널에 포함 된 엘니뇨 해가 어떤 엘니뇨로 정의되냐에 따라, 한 반도 기후관련성이 달라질 수 있음을 의미한다. 추후, 이 부분에 대한 상세분석이 좀 더 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 한반도 기후 변동성을 통계적으로

유의미하게 표현하는 두 형태의 엘니뇨 정의를 개발 하였으나, 관측자료의 표본수가 적기 때문에 두 가지 형태의 엘니뇨 정의에 따라 영향지수가 민감하게 달 라지는 것을 확인하였다. Table 5에서 두 가지 정의에 서 모두 동태평양/중태평양으로 정의된 해들이 각각 왼쪽, 오른쪽 행에 도시되었고, 두 정의에 따라 유동 적인 해들은 가운데 행에 도시되었다. 즉, 두 정의 모 두에서 동태평양/중태평양 엘니뇨로 정의된 해들은 각 정의에 따른 영향지수의 차이에 영향을 주지 않지만 정의에 따라 동태평양 엘니뇨 또는 중태평양 엘니뇨 로 정의될 수 있는 가변적인 해들이 민감하게 영향지 수의 차이를 가져올 수 있다. 따라서, 한반도 기후와 상관성을 잘 표현하는 정의방법은 이 집단의 엘니뇨 해를 두 형태의 엘니뇨 중 어떤 집단에 포함시킬 것 인지를 결정함으로써 찾게 된다고 할 수 있다. 그러 므로 이 집단에 속한 엘니뇨들과 한반도 기후관련성 을 파악하는 것이 중요하며, 이 집단이 동태평양, 중 태평양 엘니뇨와 다른 관련성을 가진다면 또 다른 그 룹으로 분리하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

이렇게 두 가지 형태의 엘니뇨 정의에 따라 한반도 기후변동성의 영향이 달라지기 때문에 엘니뇨 형태에 따른 한반도 기후변동성 평가 및 예보에 있어서 선행연구의 정의와 본 연구에서 시도된 정의를 포함한 다양한 엘니뇨의 정의를 모두 고려해볼 필요가 있으며,연구자의 기호에 따라 앙상블평균이나 영향지수가 높은 방법을 취사 선택하는 등의 방법을 취하길 제언한다. 하지만, 본 연구에서 제시한 결과는 관측의 제한적인 통계표본수의 한계 때문에 많은 한계를 가지고있다. 이를 보완하기 위해서는 Figs. 3과 4에 나타나는 원격상관을 역학적으로 이해하여 통계적 관련성을 뒷받침하는 과정이 반드시 수반되어야 한다. 또한, 기후모형을 이용한 실험을 통해 제한된 관측자료의 결과를 뒷받침하는 과정도 반드시 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 기상청 기상기술개발사업(CATER 2012-3042)의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

- Ahn, J.-B., J.-H. Rye, E.-H. Cho, and J.-Y. Park, 1997: A study on correlations between air-temperature and precipitation in Korea and SST over the tropical pacific. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **33**, 487-495.
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007.

- Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, **18**, 820-829.
- Cha, E.-J., J.-G. Jhun, and H.-S. Chung, 1999: A study of characteristics of climate in south Korea for El Niño/ La Nina Years. Asia-Pac. J. Atmos. Sci., 35, 98-117.
- Ha K.-J., 1995: Interannual variabilities of wintertime Seoul temperature and the correlation with Pacific Sea surface temperature. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 31, 313-323.
- Horel, J. D., and J. M. Wallace, 1981: Planertary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 773-788.
- Kim, J.-S., K.-Y. Kim, and S.-W. Yeh, 2012: Statistical evidence for the natural variation of the central Pacific El Niño. *J. Geophys. Res.*, **117**, C06014.
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Kang, I.-S., 1998: Relationship between El-Niño and Korean climate variability. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 34, 390-395.
- Kao, H.-Y., and J.-Y. Yu, 2009: Contrasting eastern-Pacific and central- Pacific types of ENSO. *J. Climate*, 22, 615-632.
- Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An, 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Climate*, 22, 1499-1515.
- \_\_\_\_\_\_\_, M.-S. Ahn, M.-K. Sung, S.-W. Yeh, H.-S. Min, and Y.-H. Kim, 2010: Statistical relationship between two types of El Niño events and climate variation over the Korean Peninsula. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **46**, 467-474.
- \_\_\_\_\_, and Y.-G. Ham, 2011: Are there two types of La Niña?. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L16704.
- Larkin, N. K., and D. E. Harrison, 2005a: On the definition of El Niño and associated seasonal average U.S. weather anomalies. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13705.
- \_\_\_\_\_, and \_\_\_\_\_, 2005b: Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L16705.
- Lee, T., and M. J. McPhaden, 2010: Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L14603.
- Ren, H.-L., and F.-F. Jin, 2011: Niño indices for two types of ENSO. Geophys. Res. Lett., 38, L04704.
- Smith, T. M., and R. W. Reynolds, 2004: Improved extended reconstruction of SST (1854-1997). *J. Climate*, **17**, 2466-2477.

- Son, H.-Y., J.-Y. Park, J.-S. Kug, J. Yoo, and C.-H. Kim, 2014: Winter Precipitation variation over Korean Peninsula associated with ENSO. *Clim. Dynam.* (accepted).
- \_\_\_\_\_\_\_, E. Choi, G.-H. Lim, Y. H. Kim, J.-S. Kug, and S.-W. Yeh, 2011: The central Pacific as the export region of the El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature anomaly to Antarctic sea ice. *J. Geophys. Res.*, **116**, D21113.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, and B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L10704.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asia teleconnection: how does ENSO affect East Asia climate?. *J. Climate*, **13**, 1517-1536.
- Weng, H., S. K. Behera, and T. Yamagata, 2009: Anomalous winter climate conditions in the Pacific rim during recent El Niño Modoki and El Niño events. *Clim. Dynam.*, 32, 663-674.
- Yeh, S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. P. Kirtman, and F.-F. Jin, 2009: El Niño in a changing climate. *Nature*, **461**, 511-514.
- Yu, J.-Y., and H.-Y. Kao, 2007: Decadal changes of ENSO persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. *J. Geophys. Res.*, **112**, D13106.