엘니뇨/라니냐 정의에 대한 제언

손혜영¹⁾ · 국종성^{1)*} · 예상욱²⁾ · 김현경³⁾ · 박이형³⁾

¹⁾한국해양과학기술원

²⁾한양대학교

³⁾기상청

(접수: 2012년 11월 19일, 수정: 2012년 12월 11일, 게재확정일: 2012년 12월 17일)

A Suggestion for Definition of El Niño/La Niña

Hye-Young Son¹⁾, Jong-Seong Kug^{1)*}, Sang-Wook Yeh²⁾, Hyun-Kyung Kim³⁾, and E-Hyung Park³⁾

¹⁾Department of Marine Sciences and Convergent Technology, Hanyang University, ERICA, Ansan 426-744, Korea

²⁾Department of Environmental Marine Science, Hanyang University, Ansan 426-744, Korea

³⁾Korea Meteorological Administration, Seoul 156-720, Korea

(Received: 19 November 2012, Revised: 11 December 2012, Accepted: 17 December 2012)

Abstract KMA is operationally monitoring El Niño and La Niña events, which have tremendous impacts on global climate. Many scientific studies have used to define onset of El Niño and La Niña events based on the moving average and persistency of SST indices, and KMA has adopted such definition. Though the definition has been widely accepted, in the operational aspect there is a critical problem to use moving average and condition for the persistence. Because the future values for the SST indices cannot be used in the operational monitoring, the onset timing in El Niño and La Niña can be significantly delayed. We suggest here an appropriate definition of El Niño and La Niña events in the operational aspect. Instead of using the moving average and the condition for the persistence, the onset is defined based on NINO3.4 SST during last 3 months. In order to compare the new definition with the current KMA definition, we applied them to recent 60-years SST data. It is clear that the new definition can declare the onset timing of El Niño and La Niña several months earlier than that of the KMA definition. It suggest that the new definition is more appropriate to the operational monitoring on El Niño and La Niña.

Kew words: El Niño, La Niña, definition

1. 서 론

엘니뇨/라니냐는 대기-해양의 상호작용에 의해 열대 태평양의 해수면 온도가 2-7년 주기로 변동하는 현상이다. 엘니뇨/라니냐는 열대 태평양 기후뿐만 아니라 전지구 기후 시스템을 변동시키는 가장 강력한 기후 현상이다 (Horel and Wallace, 1981, many others). 엘

니뇨/라니냐 현상은 아시아 몬순 순환의 변동과도 밀접한 연관을 가지는 것으로 알려져 있으나 (Yasunari, 1990; Wang and Chan, 2001) 몬순의 영향을 받고 있는 아시아의 여러 지역들에 미치는 영향은 지역에 따라 다르게 나타나고 있다. 그리고 이러한 엘니뇨/라니냐에 따른 한반도를 포함한 동아시아의 기후변화에 대해 여러 전문가들이 연관성을 제시하고 있다 (안중배 등, 1997; 강인식 1998; 차은정 등, 1999; Kug *et al.*, 2010).

엘니뇨/라니냐 현상의 주요한 특징 중의 하나는 계절 잠금 (Seasonal Locking) 현상이다 (Rasmusson and

*Corresponding Author: Jong-Seong Kug, Korean Institute of Ocean Science and Technology, 787 Haeam-ro, Sangnok-gu, Ansan 426-744, Korea.

Phone : +82-31-400-7749, Fax : +82-31-408-5829

E-mail : jskug@kiost.ac

Carpenter, 1982; Jin *et al.*, 1994; Tziperman *et al.*, 1995, 1998; Galanti and Tziperman, 2000; An and Wang, 2001; Ham *et al.*, 2012). 대부분의 엘니뇨/라니냐의 절정기 시기는 겨울철에 나타나는 경향이 있다. 이러한 계절 잠김 현상은 엘니뇨의 예측을 상승에 매우 중요한 역할을 한다. 엘니뇨/라니냐의 절정기 시기에 비해, 그 시작 (onset) 시기는 봄철부터 여름철까지 다양하게 나타난다 (Sooraj *et al.*, 2009). 따라서, 엘니뇨/라니냐와 관련된 기후 변동 현상을 제대로 예측하고 진단하기 위해서는, 이들의 시작 시기의 정확한 진단과 예측이 필수적이다.

엘니뇨는 정성적으로는 ‘중·동부 적도 태평양의 해면수온이 평년보다 높아져서 그 상태가 계속되는 현상’이라고 정의할 수 있지만 어느 정도로 해수면온도가 상승하였을 때를 엘니뇨라고 정의할 수 있는가에 대해서는 전 세계적으로 통일된 객관적인 기준이 아직 마련되어 있지 않고 있다. 현재까지, 여러 연구자나 연구기관에 따라 엘니뇨 지수 지역 (El Niño index area)과 엘니뇨 발생해도 차이를 보이고 있다 (차은정 등, 1999). 엘니뇨 정의에 가장 많이 쓰이는 방법은 Trenberth (1997)가 제안한 방법이다. 그는 엘니뇨 감시구역 즉, 열대태평양 NINO3.4 지역 (5°S-5°N, 120°W-170°W)에서 해수면 온도 아노말리의 값의 5개월 평균이 0.4 이상인 경우가 6개월 이상 지속될 경우라고 정의하였다. 여러 연구마다 조금씩 다른 정의를 따르고 있지만, 대부분 짧은 주기 변동 영향을 최소화하기 위해 이동평균을 사용하고 있다.

하지만, 연구용으로 사용된 엘니뇨 정의를 현업에 사용하기에는 여러 문제가 발생한다. 연구용에서는 이미 존재하는 과거의 자료만 사용하는데 반하여, 현업에서는 바로 그 당시의 정보만을 사용할 수 있기 때문이다. 예를 들면, 이동평균을 사용할 때, 연구용에서는 매시기의 이동평균값을 구할 수 있지만, 현업에서는 미래의 자료가 없기 때문에, 현업 당시의 이동평균값을 계산할 수가 없다. 이러한 이유로, 현업에서 사용하는 이동 평균된 엘니뇨 지수값은 현재의 시점보다 몇 개월 뒤쳐지는 값을 사용할 수밖에 없다. 이는, 현업에서 엘니뇨 시작 시점의 선언이 지연되는 원인이 된다.

현재, 대한민국의 경우 기상청에서 정의하는 엘니뇨 시작은 ERSST 자료에 기반하여, Trenberth (1997)의 정의를 사용하고 있다. 미국 기상청 (CPC/NCEP)의 경우, NINO3.4 지역에서 3개월 이동 평균한 해수면온도의 편차가 0.5°C 이상 (-0.5°C 이하) 나타나는 달이 5개월 이상 지속될 때 그 첫 달을 엘니뇨 (라니냐) 발달의 시작으로 판단한다. 또한 일본 기상청 (JMA)은 NINO3 (5°S-5°N, 150°W-90°W) 지역에서 월평균 해수면 온도편차의 5개월 이동평균이 6개월

정도 이상 연속적으로 0.5°C 이상 (-0.5°C 이하) 되는 경우를 엘니뇨 (라니냐)로 정의하고 있다 (차은정 등, 1999). 정도의 차이가 있지만, 대부분의 현업기관에서 이동평균값을 사용하고 있음을 알 수 있다. 또한, 지속 기간에 대한 조건이 포함되기 때문에 지속 기간의 조건을 만족할 때까지 엘니뇨 시작 시점을 정의할 수 없다. 이러한 원인으로, 현업에서는 엘니뇨 발달이 한참 진행된 후에야 시작을 선언할 수밖에 없다.

앞서 제시한 바와 같이, 기상청은 현재 엘니뇨 감시 구역 해수면 온도의 5개월 평균값을 엘니뇨 진단의 잣대로 사용하고 있으나, 급격한 해수면 온도의 변화가 일어나는 봄철 및 초여름에 엘니뇨/라니냐 진단이 지연되는 문제점을 가지고 있다. 예를 들어, 2010년 라니냐의 경우 9월 정도부터 이미 동태평양의 해수면 온도가 급격하게 하강하고 있어 라니냐가 이미 발달하였다. 기상청의 엘니뇨 정의를 사용하게 되면 해수면 온도 편차가 -0.4°C 이하가 6개월 이상 지속되어야 하므로, 라니냐가 발생하고 있어도 공식적으로 라니냐가 시작되었다고 진단하지 못하였다. 라니냐가 절정기에 이르고 소멸하고 있는 2011년 2월에야 라니냐 시작을 선언할 수가 있었다.

본 연구에서는 현재 현업에서 사용하고 있는 엘니뇨 진단에서 나올 수 있는 위와 같은 문제를 해결하기 위하여, 현업에 적합한 새로운 엘니뇨 시작과 종료의 진단 방법을 제시하고자 한다.

2. 자 료

본 연구에서 사용한 엘니뇨 지수는 NOAA ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) 월별 자료를 사용하여 구하였으며, 해수면 온도 자료의 수평해상도는 $2 \times 2^\circ$ 이다. 총 데이터의 기간은 1854년 1월부터 2011년 12월까지 월별 데이터로 구성되어 있지만, 본 연구에서는 최근 발생한 엘니뇨에 대해 연구하기 위하여 1950년 1월부터 2011년 12월까지 총 62년에 대해 분석하였다. 엘니뇨 정의에서 사용하는 지수로는 NINO3.4 지수 (5°S-5°N, 170°W-120°W 지역)가 사용되었으며, NINO3.4 지수는 앞에서 정의한 지역의 해수면 온도 평균값으로 계산되었다. 현업에서는 아노말리의 정의를 최근 30년 기간의 평균에서의 편차로 정의된다. 본 연구에서도 현재의 현업에 바로 적용 가능할 수 있도록, 각 월의 아노말리는 기후값을 최근 30년, 즉 1981년-2010년의 월별 기후값을 사용하여 계산하였다. 예를 들면, 2011년 12월의 아노말리를 구하기 위해서는, 1981-2010년 동안 12월 자료의 30년 평균값을 기후값으로 사용하였다. 최근의 기후값을 사용하였기 때문에, 그 이전 기간의 엘니뇨/라니냐 정의는 평균장의 변화에 의해 다소 당시의 현

업의 정의와는 달라질 수 있다.

3. 엘니뇨 라니냐 시작 및 종료 정의

현재 기상청 현업에서 사용하는 엘니뇨 진단 방법은 NINO3.4 SST 아노말리의 5개월 이동 평균했을 때, 그 편차가 0.4°C 이상(-0.4°C 이하) 나타나는 달이 6개월 이상 지속될 때 그 첫 달을 엘니뇨(라니냐)발달의 시작이라고 정의한다. 앞에서 언급한 것과 같이 이 방법을 사용할 경우, 5개월 이동평균과 지속 기간의 정의 때문에, 현업에서는 엘니뇨가 이미 시작하고 몇 달 후에 엘니뇨가 시작되었다고 선언될 수밖에 없다. 그러므로 본 연구에서는 NINO3.4 지수를 사용하여 좀 더 정확하고 신속하게 엘니뇨 진단 방법을 제안하고자 한다.

연구용이 아닌 현업에 적합한 엘니뇨/라니냐 진단 기법을 개발하기 위해, 가급적 긴 기간의 이동평균과 지속 기간은 사용하지 않았다. 대신, 최근 해수면 온도 상태와 경향성을 고려하였다. 엘니뇨의 정의는 다음 세 가지 조건 중 하나 이상 만족하는 달을 엘니뇨가 시작되는 것으로 판단한다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 SST 아노말리가 1°C 이상인 경우
2. 진단 바로 전 두 달의 NINO3.4 지수의 평균이 0.5°C 이상인 동시에 진단 바로 전 달의 NINO3.4 SST가 $(1 - A)^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우
3. 진단 바로 전 세 달의 NINO3.4 지수의 평균이 0.5°C 이상이며, 또한 진단 바로 전 달의 NINO3.4 SST가 $(1 - B)^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우

라니냐의 정의는 엘니뇨의 정의와 유사하게 다음 세 가지 조건 중 하나 이상 만족하는 달을 라니냐가 시작되는 것으로 판단하였다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 SST 아노말리가 -1°C 이하인 경우
2. 진단 바로 전 두 달의 NINO3.4 지수의 평균이 -0.5°C 이하인 동시에 진단 바로 전 달의 NINO3.4 SST가 $-(1 - A)^{\circ}\text{C}$ 이하인 경우
3. 진단 바로 전 세 달의 NINO3.4 지수의 평균이 -0.5°C 이하이며, 또한 진단 바로 전 달의 NINO3.4 SST가 $-(1 - B)^{\circ}\text{C}$ 이하인 경우

엘니뇨/라니냐의 시작뿐만 아니라, 종료 시점도 다음과 같이 정의되었다. 엘니뇨 시작 이후, 종료 시점은 다음 세 가지 조건 중 하나를 만족할 때로 정의하였다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 지수가 0°C 이하인 경우
2. 진단하는 달의 바로 전 두 달의 평균 NINO3.4 지수가 $(0 + A)^{\circ}\text{C}$ 이하인 경우
3. 진단하는 달의 바로 전 세 달의 평균 NINO3.4 지수가 $(0 + B)^{\circ}\text{C}$ 이하인 경우

라니냐의 종료시점은, 라니냐 시작 이후 다음 세 가지 조건 중 하나를 만족할 때로 정의하였다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 지수가 0°C 이상인 경우
2. 진단하는 달의 바로 전 두 달의 평균 NINO3.4 지수가 $(0 - A)^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우
3. 진단하는 달의 바로 전 세 달의 평균 NINO3.4 지수가 $(0 - B)^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우

상수 A는 B보다 작으며, 여러 가지 민감도 실험을 통해 결정되었다. 연구용으로 Trenberth (1997)의 정의를 사용할 때 구해진 엘니뇨, 라니냐해와 가장 일치하고, 일찍 엘니뇨 시작선언을 할 수 있는 값으로 선택되었다. 민감도 실험 결과, $A = 0.2$, $B = 0.3$ 일 때 가장 합리적인 엘니뇨/라니냐의 시작/종료 정의가 되는 것으로 판단되었다. 본 정의는 자료 기간 및 기후 값 정의에 크게 민감하지 않은 것으로 나타났다. 하지만, 기후 평균장의 변화와 엘니뇨의 특성 변화에 따라, 두 상수값은 현업에 적합하게 조정될 수 있을 것이다.

위의 정의를 바탕으로 1950년부터 엘니뇨/라니냐의 시작 시점과 종료를 선언할 수 있는 시점이 정의되었다. 본 연구의 정의는 지속 기간을 사용하지 않기 때문에, 엘니뇨 시작 시점의 바로 다음 달¹⁾에 엘니뇨의 시작을 선언할 수 있다. Fig. 1은 위에서 제시한 조건을 만족하는 엘니뇨 해들의 NINO3.4 SST를 나타낸 그림이다. 빨간색 막대는 본 연구에서 정의한 엘니뇨 진단 조건을 만족하는 기간, 즉 엘니뇨가 발생한 기간을 나타내며, 빨간색 막대의 처음과 끝은 엘니뇨의 시작과 소멸을 나타내는 것이다. 또한 노란색 화살표는 현업에서 사용하고 있는 기상청의 엘니뇨 진단방법을 사용하여 나타낸 엘니뇨 시작을 선언할 수 있는 시기를 나타낸 것이다. 기상청은 6개월 지속 기간의 정의를 사용하기 때문에, 기상청의 엘니뇨 시작 선언 시기는 시작 시기에 5개월 이상 뒤쳐질 수밖에 없다. 검은 실선은 0.5°C 선을 나타낸다. 대체적으로 기상청 즉 현업에서 사용하고 있는 엘니뇨 진단 기법을 사용한 엘니뇨 시작은 본 연구에서 제시한 조건을 만족하는 엘니뇨 시작과 비교했을 때 평균 6개월 정도 늦게

¹⁾이전 달의 해수면 온도가 업데이트 되는 시점에 바로 시작 선언 할 수 있음.

Fig. 1. Evolution of NINO3.4 SST during El Niño. Red bar indicates El Niño period based on the definition suggested in this study. The black line indicates 0.5°C. The yellow arrow is the declaration timing for El Niño onset based on the current KMA definition.

시작을 선언하고, 시작 시점도 1-2개월 늦게 진단하는 것을 볼 수 있다. 특히, 강한 엘니뇨가 발생하여 전 세계적으로 이슈가 되었던 1982/83년이나 1997/98년의 경우, 이미 NINO3.4 SST 아노말리가 1°C가 넘어 엘니뇨가 발생하였다고 판단할 수 있음에도 불구하고, 엘니뇨 절정기에 엘니뇨가 시작되었다고 선언하는 문제점이 발생하였다. 하지만 본 연구에서 정의한 조건을 사용하게 되면 약간의 차이가 있을 수 있지만 대체적으로 엘니뇨가 발생했다고 볼 수 있는 시점에 엘니뇨 시작을 진단할 수 있는 것으로 보인다. 또한, 2006년에는 약한 엘니뇨가 발생했었는데 이에 대해서 현업에서 사용하는 조건을 사용하면 엘니뇨를 진단하지 못하지만, 새로 제시한 조건을 사용할 경우에는 약한 엘니뇨의 경우에도 시작을 진단할 수 있는 이점이 있다.

Table 1에 1950년부터 2011년 (총 62년) 기간 동안 현업에서 사용하고 있는 엘니뇨 시작과 본 연구에서 제시한 엘니뇨 시작을 정의했을 때, 선언 시기를 나타내었다. 앞서 제시한 바와 같이, 기상청의 엘니뇨 시작 선언 시기는 기상청의 시작 시기보다 평균 6개월이 늦추어진다. Table 1에서 맨 오른쪽 열은 이들의 선언 시점의 차이를 개월 수로 제시한 것이다. 음의 값은 현재 현업에서 사용하고 있는 엘니뇨 시작 선언이 새롭게 정의된 시작 시점보다 더 늦게 진단되고 있다는 것을 의미한다. Fig. 1에서 나타난 것과 마찬가지로 평균 6개월 정도 늦게 선언하고 있는 것을

Table 1. The declaration timing of El Niño onset based on the current KMA definition and the present definition. The difference in timing between two definitions is also indicated. In the KMA definition, the declaration timing is delayed about 6-month from the onset timing.

	KMA declaration	New definition	KMA-new (month)
1	1958-02	1957-08	-6
2	1964-05	1963-11	-6
3	1966-03	1965-09	-6
4	1969-08	1969-01	-7
5	1973-03	1972-08	-7
6	1983-03	1982-09	-6
7	1987-06	1986-11	-7
8	1992-02	1991-08	-6
9	1995-04	1994-11	-5
10	1998-02	1997-07	-6
11	2003-02	2002-07	-7
12	2005-04	2004-09	-7
13		2006-12	
14	2010-04	2009-10	-6

볼 수 있다.

라니냐도 엘니뇨와 마찬가지로의 결과를 나타내는 것

Fig. 2. The same as Fig. 1 except for La Niña. The black line indicates -0.5°C .

을 볼 수 있다. Fig. 2는 라니냐 기간의 NINO3.4 지수를 나타낸 것으로서, 파란색 막대는 본 연구에서 제시한 조건을 만족하는 라니냐 기간을 나타낸 것이며, 초록색 화살표는 현업에서 사용하는 라니냐 시작을 선언한 시점을 표시한 것이다. 검은 실선은 -0.5°C 선을 나타낸다. 1950년의 경우는 본 연구에서 1950년 1월 자료부터 사용하였기 때문에 정확한 라니냐 시작을 표시하지 못하였다. 라니냐의 경우는 엘니뇨보다 시작 선언 시점의 차이가 더 많이 나는 것을 볼 수 있다. 최대 8개월 정도 라니냐 시작 선언 시점의 차이가 나타나게 되는데, 본 연구에서 제시한 라니냐 시작이 실제 라니냐 기간을 좀더 정확하게 진단하는 것을 볼 수 있다. 강한 라니냐의 경우는 현업에서 사용하는 진단기법은 실제 기간보다 늦게 라니냐 시작을 진단하지만, 라니냐의 강도가 약하고 발생 기간이 짧은 경우 (2005/06년 (Fig. 2(m)), 2008/09년 (Fig. 2(o)), 2011/12년 (Fig. 2(q))에는 현업에서 라니냐 발생을 아예 진단하지 못한다.

Table 2의 경우 라니냐 시작 진단에 관한 두 가지 방법을 정리한 것으로, 현업과 본 연구의 시작 선언 시점은 평균 7개월 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 또한 라니냐의 경우, 1980년 이전에 현업과 새로운 정의를 사용하여 선언한 라니냐 시작 시기가 약간 차이가 나는 것을 볼 수 있는데, 라니냐 시기에 최소 NINO3.4 SST 아노말리값이 -1°C 이하가 넘지 않는 라니냐의 경우는 본 연구에서 새롭게 정의한 방법으

Table 2. The same as Table. 1 except for the La Niña.

	KMA declaration	New definition	KMA-New onset (month)
1	1950-12	1950-02	-10
2	1955-01	1954-05	-8
3	1960-04		
4	1962-05	1961-10	-7
5	1965-01	1964-06	-7
6	1967-08		
7	1968-06	1968-02	-4
8	1971-03	1970-09	-6
9	1974-02	1973-07	-7
10	1979-02		
11	1981-11		
12	1984-06	1983-11	-7
13		1984-12	
14	1989-01	1988-06	-7
15	1996-06	1995-11	-7
16	1999-04	1998-09	-7
17		2006-01	
18	2008-04	2007-10	-6
19		2009-01	
20	2011-04	2010-08	-8
21		2011-12	

로 라니냐 시작을 선언하지 못하는 것으로 나왔다. 이는 NINO3.4 SST 아노말리 값을 구할 때, 기후값을 1981-2010년 자료를 사용하였기 때문에 이전 자료에서 라니냐 시작 시기의 차이가 나타나는 것으로 보인다. 그러므로 본 연구에서 제시한 진단방법은 엘니뇨/라니냐의 시작 시점을 현업에 적합하고 신속하게 진단하는 것에 효과적이며, 특히 엘니뇨의 경우 엘니뇨 시작 선언과 발생 기간을 라니냐의 경우보다 좀더 효과적으로 진단할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 엘니뇨 라니냐의 특징

앞에서 정의한 엘니뇨와 라니냐의 특징을 살펴보기 위해, 해수면 온도 분포를 조사하였다. Fig. 3은 1950년부터 2011년 기간 동안, 본 연구에서 정의된 엘니뇨와 라니냐 시기의 12월의 해수면 온도의 합성도이다. 대부분의 엘니뇨와 라니냐는 12월 전후로 절정기에 도달하기 때문에, 12월의 해수면 온도 아노말리를 나타내었다. 엘니뇨가 가장 발달한 시기인 12월에는 동태평양에서 중태평양쪽으로 해수면 온도 아노말리가 상승하는 패턴이 잘 나타나고 있다. 적도 동태평양의 온도 상승과 함께, 북반구의 동쪽 해안(북아메리카 해안)을 따라 온도 상승 경향이 나타난다. 또한, 이 시기에 인도양과 남중국해에서는 약한 상승 경향이, 북태평양에서는 약한 온도 하강 경향이 나타난다. 이는, 기존의 연구와 매우 일치한다.

라니냐 시기에도 마찬가지로 동태평양과 중태평양에서 평년보다 해수면 온도 아노말리가 하강하는 패턴이 잘 나타난다 (Fig. 3(b)). 엘니뇨 시기와 반대로,

Fig. 3. Composites of SST anomalies during December of (a) El Niño and (b) La Niña.

인도양과 남중국해에 온도 하강 경향이 있으나, 그 강도는 상대적으로 약함을 알 수 있다. 이는 인도양 지역으로의 영향에서 비대칭성이 나타나고 있음을 의미한다. 반면에, 북태평양과 동쪽해안에는 엘니뇨 시기보다 약간 더 강하거나 비슷한 정도의 해수면 온도 아노말리가 나타남을 알 수 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 제안한 엘니뇨 시작 정의를 사용할 경우, 엘니뇨 시작 선언 전후의 해수면 온도의 진행과정을 나타낸 것이다. 엘니뇨 시작 2개월 전에는 양의 해수면 온도 아노말리가 동태평양의 해안가와 중태평양에서 약하게 나타나고 있다. 1개월 전에는 해수면 온도가 동태평양을 중심으로 상당 부분 발달하기 시작한다. 이 양의 해수면 온도는 더욱 발달하여 엘니뇨 시작을 선언하는 시점에서는 전형적인 엘니뇨의 패턴을 갖추기 시작한다. 엘니뇨 시작 선언 이후, 양의 해수면 온도는 더욱 발달하여 엘니뇨의 절정기로 진행하게 된다. Fig. 4에서 나타난 해수면 온도의 진행과정은, 본 연구에서 제안한 방법이 합리적으로 엘니뇨 시작을 정의하고 있음을 보여준다.

반면에, 현재의 기상청 정의를 사용할 경우, 엘니뇨 시작 선언 2개월 전에도 이미 충분한 해수면 온도 발달이 되어 있음을 알 수 있다. 또한, 엘니뇨 시작을 선언한 이후에는 양의 해수면 온도 아노말리가 조금씩 감소하여 엘니뇨가 쇠퇴하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 현재 기상청의 정의는 엘니뇨 시작을 너무 늦

Fig. 4. Composites of SST anomalies around the declaration timing for El Niño onset based on the present definition [Left panels] and KMA definition [Right panels].

Fig. 5. The same as Fig. 4 except for La Niña.

게 선언하는 경향이 있어서, 현업 사용에 적합하지 않음을 알 수 있다.

라니냐의 경우도 같은 결론을 내릴 수 있다. Fig. 5에서 나타나듯이, 라니냐 시작 선언 2개월 전에 약한 음의 해수면 온도 아노말리가 동태평양에 나타나기 시작한다. 이후 음의 해수면 온도 아노말리는 조금씩 서쪽으로 확장하면서 발달하기 시작한다. 시작 선언 1개월 전, 또는 시작 선언시기에 전형적인 라니냐의 형태를 가지게 된다. 그 후, 해수면 온도 아노말리는 점차 발달하게 된다. 반면에, 현재 기상청의 정의를 사용할 경우, 시작선언 2개월 전에 충분히 크게 발달한 음의 해수면 온도가 동태평양과 중태평양에 걸쳐 넓게 나타나고 있다. 라니냐 시작 선언 이후에는 해수면 온도가 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 전체적으로, 본 연구에서 제안한 엘니뇨/라니냐 시작 정의가 기존의 현업 방법에 비해 좀더 합리적으로 시작 시점을 정의하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 엘니뇨와 라니냐의 종료 선언 시점 전후의 해수면 온도의 진행과정을 나타낸다. 엘니뇨의 경우, 종료 선언 2개월 전에 강한 양의 해수면 온도가 동태평양과 중태평양에 나타나고 있다. 이러한 양의 해수면 온도는 빠른 속도로 소멸하게 되어, 종료시점에는 매우 약한 양의 해수면 온도 아노말리가 중태평양에 제한되어 나타나고 있다. 종료 선언 이후, 양의 해수면 온도 아노말리는 사라지고, 음의 해수면 온도가 적도에서 나타나게 된다. 이는, 엘니뇨 종료시점의 정의가 적절하게 이루어지고 있음을 의미한다.

Fig. 6. Composites of SST anomalies around termination timing of El Niño [Left panels] and La Niña [Right panels] based on the present definition.

라니냐의 경우에도, 종료 선언 2개월 전에 중태평양에 음의 아노말리가 나타난다. 이 음의 아노말리는 점차 소멸되어, 종료 선언 1개월 전에 거의 정상상태로 돌아오게 된다. 종료 선언시점에는 적도 동태평양에 양의 아노말리가 약하게 발생하여, 그 이후 양의 아노말리가 성장하는 모습을 보여준다. 이는, 본 연구에서 제안한 방법이 엘니뇨와 라니냐의 종료시점을 합리적으로 정의하고 있음을 제시한다.

5. 결 론

본 연구에서는 현업에서 사용하고 있는 엘니뇨/라니냐 시작과 종료 시점의 진단을 보완하기 위하여 NINO3.4 SST 아노말리 자료를 사용하여 1950-2011년 기간의 엘니뇨/라니냐 시작의 새로운 정의로 제안하고 있다. 본 연구에서는 3가지 조건을 사용하여 엘니뇨(라니냐) 시작은 다음과 같이 간단히 정리될 수 있다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 SST 아노말리가 1°C 이상 (-1°C 이하)인 경우
2. 진단 바로 전 두 달의 NINO3.4 지수의 평균이 0.5°C 이상 (-0.5°C 이하)인 동시에 진단 바로 전 달이 0.8° 이상 (-0.8° 이하)인 경우
3. 진단 바로 전 세 달의 NINO3.4 지수의 평균이 0.5°C 이상 (-0.5°C 이하)이며, 또한 진단 바로 전 달이 $(0.7^{\circ}$ 이상 (-0.7° 이하) 이상인 경우

또한 엘니뇨(라니냐)의 종료는 다음과 같이 선언할 수 있다.

1. 진단하는 달의 바로 전 달의 NINO3.4 지수가 0°C 이하 (0°C 이상)인 경우
2. 진단하는 달의 바로 전 두 달의 평균 NINO3.4 지수가 0.2°C 이하 (-0.2°C 이상)인 경우
3. 진단하는 달의 바로 전 세 달의 평균 NINO3.4 지수가 0.3°C 이하 (-0.3°C 이상)인 경우

현업에서는 엘니뇨/라니냐 선언이 지연되는 문제점이 발견되었으나, 그에 반하여 본 연구에서 제시하는 조건으로 엘니뇨/라니냐를 진단했을 시 현업에서 제시하는 진단보다 평균 5-6개월 정도 빨리 선언할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 2006/07년 엘니뇨 같은 발생 기간이 짧은 엘니뇨/라니냐의 경우에 현업에서 사용하는 진단법으로는 엘니뇨/라니냐를 진단하지 못하는 문제점이 있었으나, 본 연구에서는 이러한 현상의 경우도 엘니뇨/라니냐를 진단해낼 수 있는 것으로 나타났다.

또한 본 연구에서 제안한 정의로 엘니뇨/라니냐 해들은 WMO에서 제시한 해들과 매우 일치함을 알 수 있다. 또한 기상청-기후변화정보센터 (Climate Change Information Center; CCIC) 홈페이지 (<http://www.climate.go.kr/index.html>)에서 기술하고 있는 과거 엘니뇨/라니냐의 발생년도와도 거의 일치함을 볼 수 있다. WMO에서 정의한 엘니뇨는 1950년부터 2011년까지 총 19개의 엘니뇨 발생을 나타내고 있는데, 본 연구에서 제안한 정의를 사용하였을 때는 5번을 제외하고 WMO에서 정의한 것과 같은 엘니뇨 발생년도를 나타내고 있다. 또한 이러한 차이도 엘니뇨 정의 문제라기보다는 현재 현업에 맞추기 위해 최근 30년 자료를 사용했기 때문이라고 판단된다. 실제로, 총 자료 기간에 대한 기후값 (60년 평균)을 사용했을 경우에는, WMO의 정의와 더욱 일치하였다.

엘니뇨 시작 시기는 약간의 차이를 가지는 발생년도 (3개)가 나타나지만, 이 차이는 약 3개월 정도로서 엘니뇨 발생을 정의하는 데 있어 미비한 것으로 보인다. 라니냐 발생도 마찬가지로 WMO에서 정의한 시작 시기와 비슷한 것으로 나타났다. 또한 1980년대 이후에 강도가 약하거나 기간이 짧게 나타난 엘니뇨/라니냐의 경우도 본 연구에서 제안한 정의를 사용함으로써 매우 잘 진단할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서, 엘니뇨, 라니냐를 해수면 온도에 기반하여 정의하였다. 하지만, 엘니뇨, 라니냐의 진행 경향은 해수면 온도보다는 혼합층 아래의 해수온도 변화에 더 의존하는 경향이 있다. 따라서, 엘니뇨, 라니냐의 정의에 해수 온도로 정의하는 것은 매우 좋은 대안이라고 할 수 있다. 하지만 현재까지 안정적인 해

양의 안정적인 관측 지점이 매우 제한적이고, 실시간으로 자료를 획득하는 데도 어려움이 따른다. 따라서, 모든 상황에서 엘니뇨를 진단, 감시해야하는 현업에서는 아직까지는 해수 자료 사용하는 것은 어려울 수 있다. 하지만, 추후 연구에서는 보다 정확한 진단을 위해서는 해수 온도를 위한 진단 방법을 개발하고, 검증해보는 게 필요할 수 있다.

최근 들어, 열대 태평양에 두 가지 형태의 엘니뇨가 존재하고, 그 엘니뇨들의 전 지구 영향이 매우 다르다는 연구가 많이 보고되고 있다. (Ashok *et al.*, 2007; Kug *et al.*, 2009; Kao and Yu, 2009; Kug *et al.*, 2010). 따라서, 현업에서도 엘니뇨의 영향을 정확히 판단하기 위해서는 두 가지 형태의 엘니뇨 진단의 필요성이 증가하고 있다. 하지만, 현재까지 많은 연구에서 서로 다른 방법으로 두 가지 형태의 엘니뇨를 정의하고 있다. 기상청 현업에서는 현재 이런 두 가지 형태의 엘니뇨에 대한 객관적 정의가 마련되지 못하고 있다. 본 연구에서 제안된 엘니뇨/라니냐 정의도 이러한 두 가지 타입의 엘니뇨를 구별하지 않고 있다. 현재 정의는 NINO3.4 SST만 사용하기 때문에, 두 가지 타입의 엘니뇨의 시작과 종료를 정의하는 데 한계를 가지고 있다. 따라서, 추후 연구에서는 엘니뇨 패턴의 다양성을 고려하기 위하여 보다 다양한 지수를 사용한 엘니뇨/라니냐 정의와 두 가지 타입 엘니뇨의 시작, 종료 정의가 함께 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 기상청 R&D 사업 (CATER 2012-3042)에 의해 지원받았습니다.

참고문헌

- 강인식, 1998: 엘니뇨와 한반도 기후변동의 관련성. *한국기상학회지*, **34**(3), 390-395.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류강범, 1997: 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면온도와의 상관관계에 관한 연구. *한국기상학회지*, **33**, 487-495.
- 차은정, 전종갑, 정효상, 1999: 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후특성에 관한 연구. *한국기상학회지*, **35**(1), 98-117.
- An, S.-I. and B. Wang, 2001: Mechanisms of locking the El Nino and La Nina mature phases to boreal winter. *J. Climate*, **14**, 2164-2176.
- 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, doi:10.1029/2006JC003798.

- Galanti, E. and E. Tziperman, 2000: ENSO's Phase Locking to the Seasonal Cycle in the Fast-SST, Fast-Wave, and Mixed-Mode Regimes. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 2936-2950.
- Ham, Y.-G., J.-S. Kug, D. Kim, Y.-H. Kim, and D.-H. Kim, 2012: What controls phase locking of ENSO to boreal winter in coupled GCMs?. *Climate Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1420-2.
- Horel, J. D. and J. M. Wallace, 1981: Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 773-788.
- Jin, F.-F., D. Neelin, and M. Ghil, 1994: ENSO on the devil's staircase. *Science*, **264**, 70-72.
- 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 Nino events: Cold tongue El Nino and warm pool El Nino. *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 Nino events and climate variation over the Korean Peninsula. *Asia Pacific J. Atmos. Sci.*, **46**(4), 467-474.
- Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354-384.
- Sooraj, K.-P., J.-S. Kug, T. Li, and I.-S. Kang, 2009: Impact of El Nino onset timing on the Indian Ocean-Pacific coupling and subsequent El Nino evolution. *Theor. Appl. Climatol.*, **97**, 17-27.
- Trenberth, K. E., 1997: The Definition of El Nino. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2771-2777.
- Tziperman, E., M. A. Cane, and S. Zebiak, 1995: Irregularity and locking to the seasonal cycle in an ENSO prediction model as explained by the quasi-periodicity route to chaos. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 293-306.
- _____, _____, and B. Blumenthal, 1998: Locking of El Nino peak time to the end of the calendar year in the delayed oscillator picture of ENSO. *J. Climate*, **11**, 2191-2203.
- Yasunari, T., 1990: Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere/ocean system in the tropical Pacific. *Meteor. Atmos. Phys.*, **44**, 29-41.
- Wang, B. and J. Chan, 2001: How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western north Pacific. *J. Climate*, **15**, 1643-1658.