

중앙태평양 엘니뇨의 쇠퇴특성에 따른 낙동강 유역의 태풍영향 분석

김종석* · 손찬영** · 이주현*** · 문영일****

Kim, Jong-Suk*, Son, Chan-Young**, Lee, Joo-Heon***, Moon, Young-Il****

A Study on Typhoon Impacts in the Nakdong River Basin Associated with Decaying Phases of Central-Pacific El Niño

ABSTRACT

This study classified abnormal sea surface temperature changes of the central pacific region according to three evolution patterns. Focusing on typhoons that affect the Korean Peninsula, the research analyzed typhoon's occurrence spot and track, change in the central pressure characteristics, and the characteristics of change in typhoon precipitation and the number of occurrences of heavy rainfall in the Nakdong River Basin. As a result of analysis, in case of prolonged-decaying years and symmetric-decaying years, typhoon-related summer rainfall and heavy rainy days appeared to be higher than long-term average. But in case of abrupt-decaying years, the pattern of general decrease appeared. This is because typhoon's occurrence spot is located comparatively near the Korean peninsula, typhoon's central pressure is high, and typhoon's route generally moves to Japan. As the outcome, this study is expected to reduce flood damage through analyzing the characteristics of typhoon's activity according to CP El Niño evolution patterns and the characteristics of local typhoon rainfall. In addition, it is expected to provide useful information for establishing adaptation and mitigation to climate change.

Key words : CP El Niño, Typhoon, El Niño evolution pattern, Nakdong river basin

초 록

본 연구에서는 중앙태평양 지역의 비정상적인 해수면 온도변화를 3가지 진화패턴(Prolonged-decaying, Abrupt-decaying, Symmetric-decaying)에 따라 분류하였으며, 이에 따른 한반도 영향 태풍을 중심으로 태풍의 발생지점 및 경로, 중심기압의 특성변화와 낙동강유역의 태풍 강우량 및 중호우사상의 발생빈도에 대한 특성변화를 분석하였다. 분석결과, Prolonged-decaying 해와 Symmetric-decaying 해의 경우, 낙동강 유역의 태풍에 의한 여름철 강우량 및 중호우사상의 발생빈도가 평년보다 크게 나타났다. 그러나, Abrupt-decaying 해의 경우, 태풍강우는 대체로 감소하는 패턴을 보이는 것으로 분석되었으며, 이는 태풍의 발생지점이 비교적 한반도에 근접하게 위치하며 태풍의 중심기압이 높고 태풍의 경로가 대체로 일본으로 이동하기 때문인 것으로 나타났다. 본 연구의 성과는 중앙태평양 엘니뇨의 진화패턴별 태풍활동특성 및 지역적 태풍강우 특성 분석을 통하여 침수피해를 저감하고 기후변화에 대비한 적응방안 수립에 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : CP 엘니뇨, 태풍, 엘니뇨 진화패턴, 낙동강유역

* 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 연구교수 (jongsuk@uos.ac.kr)

** 서울시립대학교 토목공학과 석·박사통합과정수료 (cyson@uos.ac.kr)

*** 정회원 · 교신저자 · 중부대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Joongbu University · leejh@joongbu.ac.kr)

**** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 교수 (ymoon@uos.ac.kr)

Received August 14, 2013/ revised October 22, 2013/ accepted October 31, 2013

1. 서론

최근의 연구에 의하면, El Niño 패턴의 중심이 열대 동태평양에서 중앙태평양으로 이동하는 양상을 보이고 있다고 한다(Kug and Jin, 2009; Lee and McPhaden, 2010; Yu and Kim, 2010; Ren and Jin, 2011; Kim et al., 2012c). 이러한 El Niño 패턴의 변화는 전 지구적으로 기상 및 기후시스템에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Schonher and Nicholson, 1989; Gershunov et al., 1999; Larkin and Harrison, 2005; Yeh et al., 2009; Na et al., 2011; Yeh et al., 2011; An and Choi, 2012; Kug et al., 2012; Yoon et al., 2013).

Kim et al.(2012b)은 전통적인 El Niño 및 El Niño Modoki해에 따라 한반도의 여름철 강우특성에 대한 연구를 수행한 바 있으며, El Niño Modoki해에 평년보다 많은 강우가 발생하는 경향이 있음을 밝히고 있다. Kim et al.(2012c)은 CT/WP El Niño의 각 사상에 따른 한강유역의 연최대홍수량 및 저유량에 대한 분석을 수행하였으며, WP El Niño 시기일 때 치수측면에서 더 어려움이 있는 것으로 전망하였다. Yu and Kim (2010)은 중앙태평양 지역에서 평년보다 높은 비정상적 해수면온도의 특성을 보이는 CP El Niño가 3가지 진화패턴을 보인다고 보고한 바 있다. 한반도를 포함한 태평양 연안 국가들에서 최근의 El Niño 패턴의 변화가 기상 및 기후에 상당한 영향을 미치고 있다는 연구가 많이 진행되고 있다(Weng et al., 2007; Kao and Yu, 2009; Feng et al., 2011). 선행 연구에서는 중앙태평양 지역의 비정상적인 해수면온도의 상승을 Central Pacific (CP) El Niño, warm-pool (WP) El Niño, El Niño Modoki, Pseudo El Niño 등의 다양한 용어로 불리어지고 있으나, 본 연구에서는 용어의 통일성을 위하여 CP El Niño로 명명하고자 한다.

해수면온도의 변화와 태풍은 매우 밀접한 상관성을 보인다고 보고되고 있으며, 따뜻한 해수면 온도가 태풍을 발생시키는데 유리한 환경을 제공하고 태풍의 발생지점, 경로, 지속시간, 강도에 영향을 미치는 것으로 언급되고 있다(Camargo and Sobel, 2005; Ho et al. 2005; Chen et al., 2006; Camargo et al., 2007; Emanuel, 2007). Tu et al.(2011)는 대규모 대기 환경분석을 통하여 2000년대 이후에 강력한 태풍이 발생하기에 유리한 환경이 나타나고 태풍 발생빈도도 증가하는 경향을 보이고 있다고 보고하였다.

북서태평양 지역의 발생 태풍 중 매년 평균 3-5개의 태풍이 한반도에 작간접적인 영향을 미치고 있다. 2003년 태풍 매미의 경우 약 4조 7,810억원의 재산피해를 유발시켰으며, 130명의 인명 피해, 1만 975명의 이재민을 발생시켰다(Oh et al., 2011). 선행연구에서는 북서태평양 지역의 열대성 저기압의 강도가 증가하는

경향이 나타나고 있어 세력이 강한 태풍으로 인해 한반도의 피해가 예상된다고 전망하고 있으나(Elsner et al., 2008; Rozynski et al., 2009), 태풍의 활동특성(태풍 발생지점, 강도, 경로)과 그에 따른 지역적인 태풍영향 특성에 관한 정량적인 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Yu and Kim (2010)에서 제시한 3가지 CP El Niño 진화패턴을 적용하여 한반도 태풍에 어떠한 영향이 있는지 분석하고, 각 진화패턴별 태풍의 발생지점, 경로, 강도 등의 추적과 지역별 태풍강우의 특성을 비교분석하였다. 본 연구의 성과는 태풍을 고려한 기반시설 확충 및 유역대책 수립, 수자원 확보 등에 대한 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 분석자료 및 방법

본 연구에서는 CP El Niño의 분석을 위해 미국의 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2013)에서 월별로 제공되는 Niño3 (5°S-5°N, 150°-90°W)와 Niño4 (5°S-5°N, 160°E-150°W) 지역의 해수면 온도자료를 적용하였다(Ren and Jin, 2011; Kug et al., 2012). CP El Niño의 진화패턴과 대규모 대기순환패턴과의 상관 분석을 위해 1°×1° 격자인 Hadley Center의 해수면 온도 관측자료를 이용하였으며(Rayner et al., 2003), 태풍자료는 태풍연구센터(<http://www.typhoon.or.kr>)와 일본의 기상청(www.jma.go.jp)의 관측 자료를 적용하였다. 태풍자료를 통한 한반도의 태풍강우 특성 분석을 위해 국가수자원관리종합정보시스템(<http://wamis.go.kr/>)에서 제공하는 한반도의 관측소에 대해 Thiessen polygon방법을 적용한 유역 평균 일강수량 자료 (1966년-2007년)를 이용하였다.

낙동강 유역을 대상으로 El Niño 진화패턴과 태풍강우의 지역적 변동특성을 분석하기 위하여 3가지 CP El Niño 진화패턴(Prolonged-decay, Abrupt-decay, Symmetric-decay)을 적용하였다. 첫 번째 Prolonged-decay 패턴의 경우, 적도태평양 지역의 해수면온도가 12월에서 2월 사이에 최대에 도달한 후 쇠퇴하지만 동태평양지역의 비교적 따뜻한 해수와 만나 해수면온도의 쇠퇴가 느리게 발생하는 특징이 있다. Abrupt-decay 패턴은 중앙태평양 지역의 해수면 온도가 다른 두 패턴에 비하여 비교적 빠르게 발달하다가 동태평양의 세력이 강한 차가운 해수를 만나 급격히 쇠퇴하는 경향을 보인다. 마지막으로 Symmetric-decay 해의 해수면온도의 발달은 Prolonged-decay 해 보다는 빠르게 진행되고 Abrupt-decay 해 보다는 느리게 진행되지만 해수면 온도의 발달 및 쇠퇴가 대칭적인 특징을 보인다. 이러한 3가지 엘니뇨 진화패턴은 전지구의 기상 및 기후시스템에 다른 양상으로 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 Yu and Kim (2010)을 참조할 수 있다.

낙동강 유역의 태풍강우의 변화를 분석하기 위하여 CP엘니뇨

진화패턴별 태풍강우의 합성평균편차(composite mean anomaly) 자료와 전체 관측기간(1966-2007)에서 Bootstrap random resampling (Ripley, 1987; Becker et al., 1988)방법을 통해 무작위 추출된 dataset (각 CP엘니뇨 Case별 1000set)의 변화를 비교하여 신뢰구간 90%에서 통계적 유의성을 평가하였다. 또한, 태풍의 중심이 한반도 도메인(120°E-138°E, 32°N-40°N)을 지나는 태풍을 대상으로 태풍의 체류시간(residence time)과 유역의 강우 및 유출 반응을 고려한 탐색적 분석기법(exploratory analysis)을 적용하여 한반도에 영향을 미치는 태풍을 추출하였다(Kim and Jain, 2011; Kim et al., 2012a).

3. 분석결과

3.1 대상유역

본 연구에서는 여름철 태풍으로 인한 피해가 많은 낙동강 유역을 대상으로 태풍 및 강우 특성을 분석하였다. 낙동강 유역은 총 22개의

중권역 유역으로 분류되며, 남한면적의 약 23.8%인 23,702km²의 유역면적을 차지하고 있으며, 하천연장은 400.7km이다. Fig. 1은 낙동강 유역의 형상 및 22개 중권역의 명칭을 나타내고 있으며, Table 1에서는 각 중권역별 유역특성 정보를 보여주고 있다.

중권역별 유역 평균강우량을 분석한 결과는 Fig. 2에 나타나 있으며, 지역적 특성변화가 뚜렷한 특징을 보이고 있는 것으로 나타났다. 낙동강 유역의 연평균 강수량은 1,173.8mm, 표준편차는 127.7mm이며, 낙동강 유역의 남부지역에서 보다 많은 강수가 발생하는 특징을 보이고 있다. Fig. 2(b)는 여름철(6-9월) 강수량을 도시한 것으로 유역평균 786.9mm, 표준편차 83.8mm로 연평균 강수량 대비 여름철 강수량의 표준편차는 상대적으로 작게 나타났다. 전체 강수량의 약 67%가 여름철에 발생하는 것으로 분석되었으며, 한반도 전체의 여름철 평균 강수량(55.3%)에 비하여 약 12% 높아 낙동강 유역은 여름철 강우집중 현상이 큰 것으로 나타났다 (Fig. 2(c)).



Fig. 1. Study Area (Nakdong River Basin)

Table 1. Watershed Information in the Nakdong River Basin During the Period Between 1966 and 2007

ID	Sub-basin Name	Catchment Area (km ²)	Annual Rainfall (mm)	Summer Rainfall (mm)
2001	Andong Dam	1,629	1,104	744
2002	Imha Dam	1,976	996	667
2003	Naeseong Cheon	980	1,051	704
2004	Naeseong Cheon	1,816	1,171	798
2005	Yong River	914	1,240	837
2006	Byeongseong Cheon	433	1,173	786
2007	Nakdong Sangju	224	1,104	742
2008	Wi Cheon	1,406	1,020	680
2009	Nakdong Gumi	179	1,010	675
2010	Gam Cheon	1,005	1,087	733
2011	Nakdong Waegwan	1,106	1,040	704
2012	Geumho River	2,092	1,075	716
2013	Hoe Cheon	782	1,202	828
2014	Nakdong Goryeong	548	1,153	782
2015	Hap Choen Dam	929	1,275	869
2016	Hwang River	387	1,272	872
2017	Nakdong Changnyeong	473	1,212	814
2018	Nam River Dam	2,293	1,481	1,000
2019	Nam River	1,185	1,372	902
2020	Nakdong Miryang	1,005	1,200	789
2021	Miryang River	1,422	1,219	810
2022	Nakdong Estuary	916	1,366	860

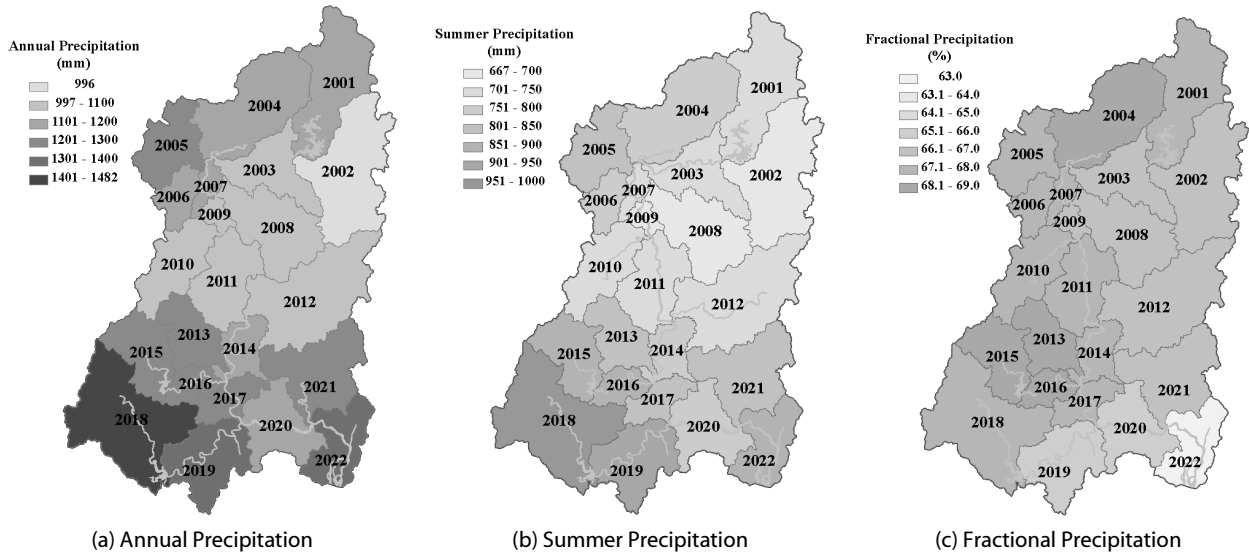


Fig. 2. Characteristics of Annual Precipitation, Summer Precipitation, and Fractional Precipitation Over the Nakdong River Basin (a) Annual Precipitation (mm) (b) Summer (June-September) Precipitation (mm) (c) Summer Precipitation as a Fraction of the Annual Precipitation (%)

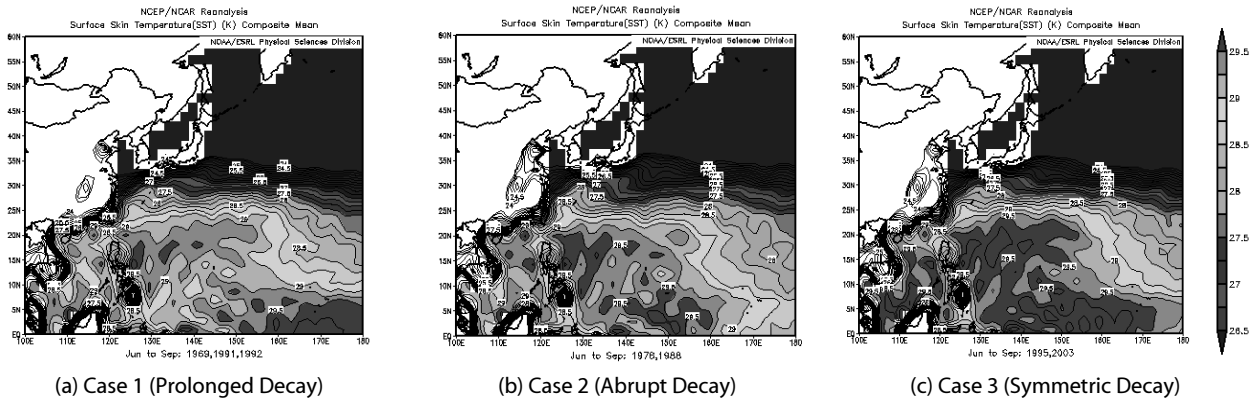


Fig. 3. Composite Mean of SST During the Summer Season (June-September) Associated with the Three Evolution Patterns of the CP El Niño

3.2 해수면 온도와 태풍활동 특성변화

태풍은 해수면 온도가 26.5°C 이상의 광범위한 열대 해상에서 발생하며(Nolan et al., 2007), 한반도에 영향을 미치는 태풍은 주로 필리핀 동쪽이나 북서태평양 지역에서 생성되어 북태평양고기압 기단의 가장자리를 따라 중국을 거쳐 이동하거나 한국과 일본으로 직접 접근하게 된다(Ahrens, 2009). 따뜻한 해수면 온도는 태풍의 생성과 발달에 유리한 환경을 제공하고 태풍의 활동 변화에 상당한 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 3가지 CP El Niño 진화패턴에 따라 여름철 태풍발생시기에 대한 북서태평양지역의 해수면 온도의 변화를 살펴보고 그에 따른 태풍활동특성을 분석하였다. 태풍의 특성 분석을 위하여 태풍의 발생지점(TC genesis), 태풍의 경로(TC track), 태풍의 강도(TC

intensity)의 변화를 중심으로 살펴보았다.

태풍의 발생지점 및 경로 분석결과(Fig. 4), Prolonged-decay해에 발생한 태풍의 평균 발생지점(16.3N-145.1E)은 전체 한반도 영향 태풍 208개의 평균 발생지점(15.8N-140.7E)보다 동쪽으로 치우쳐서 발생하였으며, 낙동강 유역을 포함한 한반도 동남쪽 지역으로의 이동이 증가하는 패턴을 보였다. 해수면 온도는 평년보다 낮지만 태풍이 발생하기에 충분한 26.5°C 이상이 필리핀 동쪽 해상과 북서태평양 중앙지역까지 위치하고 있는 것으로 나타났다. Abrupt-decay해에 발생한 태풍의 평균 발생지점(21.9N-134.8E)은 한반도 영향 태풍의 평균 발생지점보다 북서쪽으로 치우쳐 한반도에 가장 가깝게 위치하고 있으며, 상대적으로 따뜻한 해수면 온도는 북서태평양 남쪽 및 중앙, 필리핀 근처에 형성되고 있다.

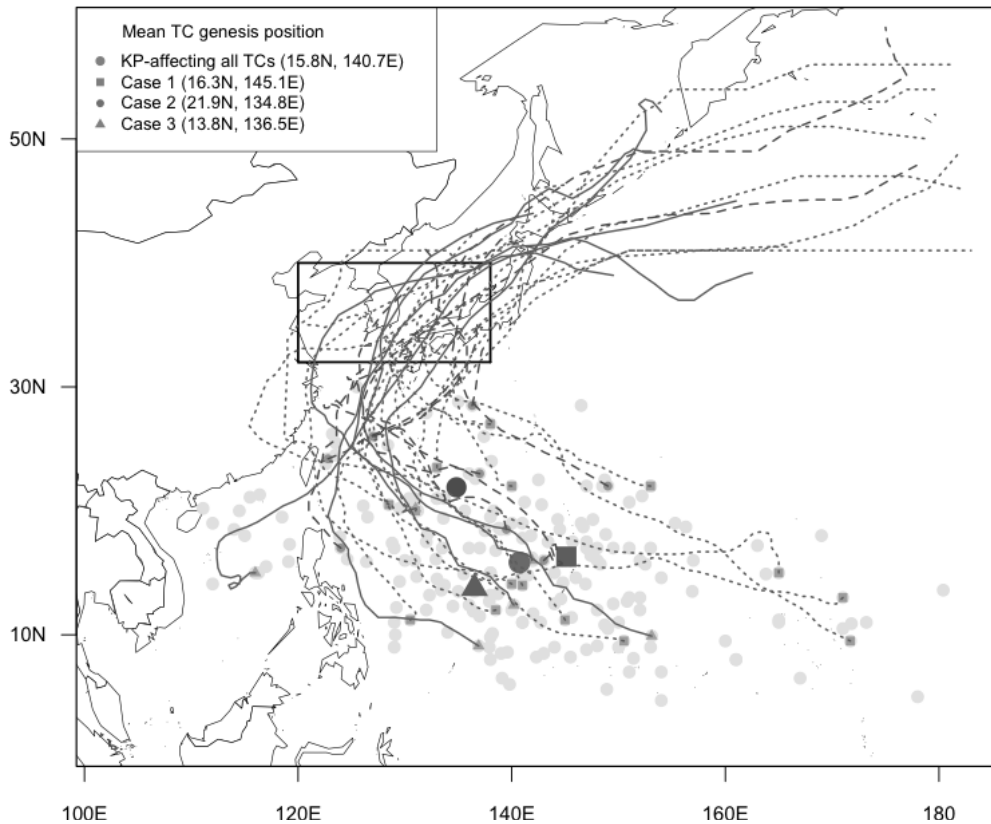


Fig. 4. Typhoon Genesis Position Affecting the Korean Peninsula (1966-2007). The Color Lines Indicate the TC Tracks for the Years of the Three Evolution Patterns of the CP El Niño. Case 1: Prolonged Decaying Pattern of CP El Niño, Case 2: Abrupt Decaying Pattern of CP El Niño, Case 3: Symmetric Decaying Pattern of CP El Niño

Table 2. Central Pressure of Typhoons Passed Through Korean Peninsula During 1966-2007

Evolution Types of CP El Niño	Mean (hPa)	Standard deviation (hPa)	Coefficient of variation (COV)	Remark
Case 1 (prolonged-decaying years)	954.7	28.7	0.030	
Case 2 (abrupt-decaying years)	983.9	17.9	0.018	
Case 3 Symmetric-decay	948.1	25.8	0.027	
Climatology	955.1	27.2	0.028	1966-2007

※ The coefficient of variation (COV) represents the ratio of the standard deviation to the mean.

전체 한반도 영향 태풍경로와 비교하면 한반도에 대한 영향보다 일본에 대한 영향이 큰 것으로 나타났다. Symmetric-decay해에 발생한 태풍의 평균발생지점(13.8N-136.5E)은 한반도 전체 영향 태풍의 평균 발생지점보다 서남쪽에 위치하는 걸 확인할 수 있었으며, 비정상적으로 높은 해수면 온도는 필리핀 근해에서 북서태평양 중앙까지 넓게 분포하고 있다. 한반도 영향 태풍의 전체 경로와 비교하면 필리핀 북부에서 남중국해를 지나 한반도 남해로 북상하여 남한 전체에 영향을 미치는 태풍의 발생빈도가 큰 것으로 나타났다.

Gray (1979)는 태풍의 에너지가 따뜻한 해수면으로부터 공급되는 수증기로 이루어지며 태풍이 해수면에 지체하고 있는 시간이

길거나 해수면온도가 높을수록 태풍의 세력은 더욱 강해질 수 있다고 보고하고 있다. 따라서 CP El Niño의 3가지 진화패턴 중 태풍 평균발생지점이 한반도에 비교적 가깝게 위치하고 있는 Abrupt-decay해에 발생한 태풍은 다른 진화패턴과 대비하여 세력이 강한 태풍으로 진화되기는 어려운 조건인 것으로 분석되었다 (태풍 평균중심기압: 983.9hPa).

각 CP El Niño 진화패턴별 태풍 중심기압 분석결과는 Table 2에서 확인할 수 있다. 특히, Symmetric-decay해에 발생한 태풍의 경우 전체 한반도 영향태풍 보다 태풍중심기압이 낮게 나타나 대체로 세력이 강한 태풍이 발생하였으며(948.1hPa), 다른 두 패턴

(Prolonged-decay, Abrupt-decay)과 비교하여 한반도에서 태풍의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 이처럼 CP El Niño 진화패턴별로 태풍의 발생지점, 경로, 중심기압 특성이 각각 다르게 나타나고 있는 것으로 분석되었으며 Symmetric-decay 해에 한반도에서 태풍의 영향이 다른 두 패턴(Prolonged-decay, Abrupt-decay) 보다 큰 것으로 나타났다.

낙동강 유역을 중심으로 여름철 태풍강우량 및 중호우사상의 공간적 특성변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

3.3 여름철 태풍강우량 분석

Prolonged-decaying 패턴인 Case 1 (Fig. 5(a))의 경우, 낙동강 전역에서 평년(1966-2007) 대비 최대 86.35%에서 최소 11.29%의 여름철 태풍강우량이 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 낙동왜관(2011), 금호강(2012), 낙동고령(2014), 황강(2016), 낙동창녕(2017), 낙동밀양(2020), 밀양강(2021), 낙동강하구(2022) 등 낙동강 유역의 동남지역의 총 8개의 중권역(낙동강 전체유역 면적의 39.6%)에서 유의수준 10%내에서 통계적으로 유의한 변화가 나타났다. 그러나 이와는 대비적으로, Abrupt-decaying 패턴인 Case 2(Fig. 5(b))의 경우 낙동강 전체 중권역에서 평년대비 최대 -59.77%에서 최소 -14.31%까지 적게 발생하였으며, 낙동왜관(2011), 남강(2019) 등 낙동강 전체유역 면적의 8.8%에서 통계적으로 유의한 감소를 보였다. Symmetric-decaying 패턴인 Case 3 (Fig. 5(c))의 경우, 낙동강 전체 중권역 유역에서 여름철 태풍강우량이 평년보다 크게 나타났고, 최소 5.45%-최대 55.84%의 증가가 발생하였으나, 통계적으로 유의한 변화는 아닌 것으로 분석되었다.

3.4 중호우 사상의 발생빈도 분석

다음은 3가지 CP El Niño 진화패턴에 따른 중호우 사상($\geq 50\text{mm/day}$)의 발생빈도의 변화를 분석한 결과이며, 지역에 따라 약간의 차이는 있지만 여름철 태풍강우량 패턴의 변화와 유사한 경향을 보이고 있다(Fig. 6).

Case 1 (Fig. 6(a))의 경우, 영강(2005)을 제외하고는 낙동강 전역에서 평년(1966-2007) 대비 최대 2.0일(150.0%), 최소 0.2일(24.0%) 증가 하는 것으로 나타났으며, 입하댐(2002), 안동댐하류(2003), 내성천(2004), 위천(2008), 낙동구미(2009), 낙동왜관(2011), 금호강(2012), 회천(2013), 낙동고령(2014), 합천댐(2015), 황강(2016), 낙동창녕(2017), 낙동밀양(2020), 밀양강(2021), 낙동강하구(2022) 등 총 15개의 중권역(낙동강 전체유역 면적의 65.8%)에서 통계적으로 유의한 변화가 나타났다. Case 2 (Fig. 6(b))의 경우, 총 22개의 중권역 중 낙동강 북부 및 중부지역의 6개 중권역 [안동댐(2001), 내성천(2004), 영강(2005), 낙동상주(2007), 낙동왜관(2011), 금호강(2012)]에서 평년 대비 극치 강우일수가 다소 증가하였으나 6개 중권역을 제외한 낙동강 남부 및 서부 지역의 총 16개 중권역에서는 평년 대비 최대 -0.71일(-59.0%), 최소 -0.02일(-2.50%) 감소하였다. 내성천(2004)유역과 낙동강하구(2022)에서 각각 통계적으로 유의한 증가와 감소패턴이 나타났다. Case 3 (Fig. 6(c))의 경우 안동댐하류(2003), 낙동상주(2007), 위천(2008), 회천(2013), 낙동고령(2014), 합천댐(2015), 황강(2016), 남강(2019) 등 총 8개 중권역에서 평년 대비 극치 강우일수가 감소하였으나 8개 중권역을 제외한 낙동강 유역의 북부 및 중부, 동부지역의 총 14개 중권역에서는 평년 대비 극치 강우일수가 최대 0.86일(52.5%), 최소 0.07일(7.5%) 증가하는 것으로 나타났

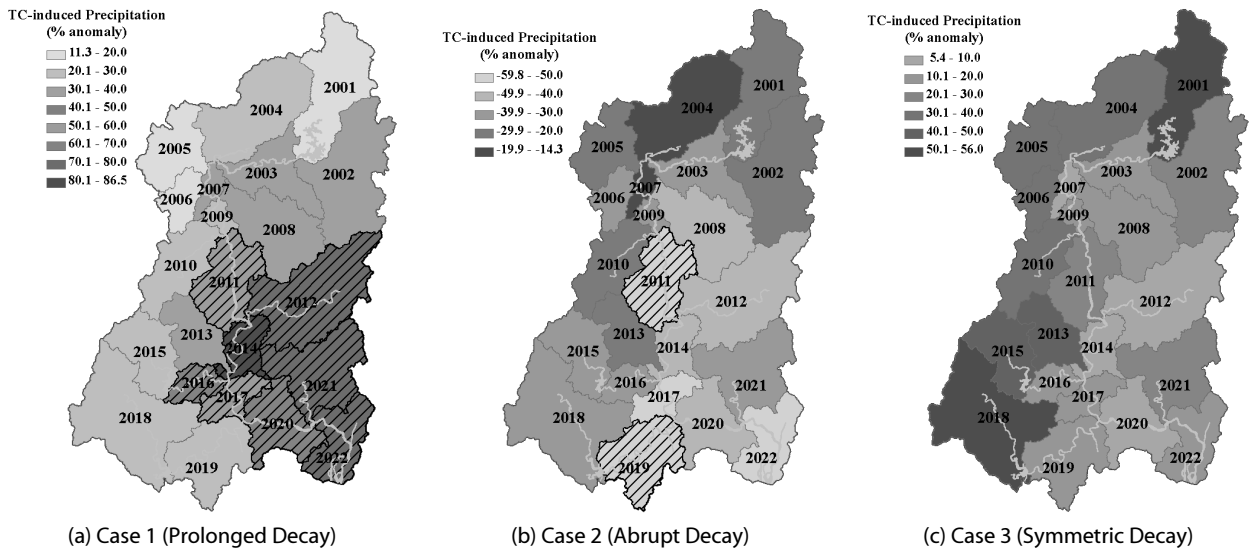


Fig. 5. Composite Anomalies of Typhoon Precipitation (June-September) for the Three Cases of CP El Niño. The Hatched Polygons Indicate Statistically Significant Changes in TC Rainfall

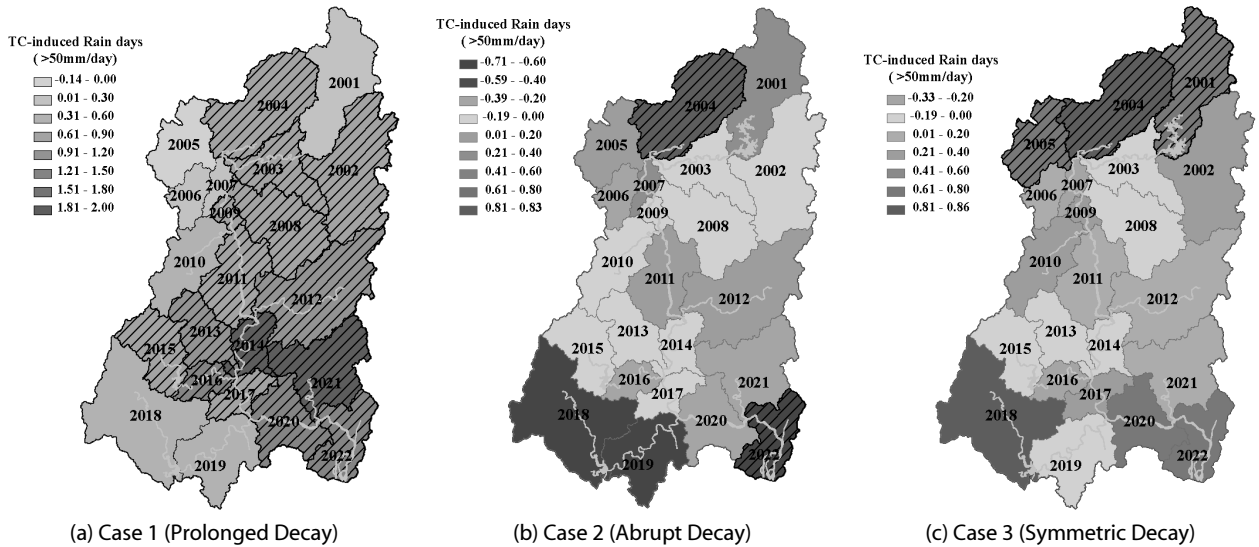


Fig. 6. Composite Anomalies of Heavy Rain Days ($\geq 50\text{mm/day}$) Associated with Summer Typhoons for the Three Cases of CP El Niño. The Hatched Polygons Indicate Statistically Significant Changes in the Frequency of TC Rainfall

Table 3. Regional Characteristics of Typhoon Precipitation and Heavy Rain Days ($\geq 50\text{mm/day}$) Associated with the Three Types of CP El Niño in the Nakdong River Basin, Korea

ID	TC-induced Seasonal Precipitation						TC-induced Rain days($\geq 50\text{mm/day}$)					
	Prolonged-decaying		Abrupt-decaying		Symmetric-decaying		Prolonged-decaying		Abrupt-decaying		Symmetric-decaying	
	Anomaly (%)	Sig.	Anomaly (%)	Sig.	Anomaly (%)	Sig.	Anomaly (%)	Sig.	Anomaly (%)	Sig.	Anomaly (%)	Sig.
2001	16.86	△	-21.49	▽	53.29	△	0.26	△	0.26	△	0.76	▲
2002	36.44	△	-29.75	▽	26.99	△	0.71	▲	-0.12	▽	0.38	△
2003	31.98	△	-31.25	▽	10.77	△	0.71	▲	-0.12	▽	-0.12	▽
2004	26.36	△	-14.31	▽	34.55	△	0.66	▲	0.83	▲	0.83	▲
2005	11.29	△	-21.95	▽	35.16	△	-0.14	▽	0.19	△	0.69	▲
2006	14.61	△	-36.25	▽	32.23	△	0.19	△	-0.31	▽	0.19	△
2007	36.21	△	-15.06	▽	8.05	△	0.26	△	0.26	△	-0.24	▽
2008	38.98	△	-48.58	▽	14.47	△	0.66	▲	-0.17	▽	-0.17	▽
2009	24.22	△	-34.64	▽	12.05	△	0.66	▲	-0.17	▽	0.33	△
2010	27.11	△	-29.98	▽	39.98	△	0.31	△	-0.19	▽	0.31	△
2011	51.29	▲	-52.31	▼	21.7	△	0.84	▲	0.17	△	0.17	△
2012	72.73	▲	-49.34	▽	7.73	△	1.07	▲	0.07	△	0.07	△
2013	33.11	△	-28.16	▽	41.77	△	1.19	▲	-0.14	▽	-0.14	▽
2014	86.35	▲	-46.11	▽	8.41	△	1.98	▲	-0.02	▽	-0.02	▽
2015	20.97	△	-32.7	▽	43.23	△	0.88	▲	-0.12	▽	-0.12	▽
2016	60.45	▲	-31.1	▽	11.5	△	1.34	▲	-0.33	▽	-0.33	▽
2017	59.94	▲	-54.23	▽	12.75	△	0.88	▲	-0.12	▽	0.38	△
2018	22.61	△	-34.95	▽	55.84	△	0.36	△	-0.64	▽	0.86	△
2019	25.97	△	-59.77	▼	12.84	△	0.55	△	-0.62	▽	-0.12	▽
2020	67.68	▲	-47.29	▽	5.45	△	1.29	▲	-0.38	▽	0.62	△
2021	74.11	▲	-39.45	▽	21.5	△	2.00	▲	-0.33	▽	0.17	△
2022	78.51	▲	-55.02	▽	19.78	△	1.46	▲	-0.71	▼	0.79	△

※ Filled triangles pointing up and downward show a statistically significant changes in typhoon precipitation according to three evolution patterns of CP El Niño.

으며 안동댐(2001), 내성천(2004), 영강(2005)의 3개 중권역(낙동강 전체유역 면적의 17.7%)에서 통계적으로 유의한 증가패턴을 보였다.

Table 3은 3가지 CP El Niño진화패턴에 따른 여름철(6월-9월) 태풍강우량 및 중호우 발생빈도에 대한 지역적 특성 분석결과를 정리하여 보여주고 있으며, 낙동강 유역 전체에서 태풍강우가 Case 3 (Symmetric-decaying)에 비하여 Case 1 (Prolonged-decaying)이 더 큰 것으로 나타났으며, Case 2 (Abrupt-decaying)의 경우 태풍강우가 평년에 비하여 적게 발생하는 것으로 분석되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 CP El Niño의 3가지 진화패턴에 따라 한반도 영향 태풍을 중심으로 태풍의 활동 특성과 태풍으로 인한 낙동강 유역의 여름철 강우량 및 중호우사상의 변화를 비교분석하였으며, 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) CP El Niño의 진화패턴에 따라 태풍의 발생지점, 경로, 중심기압의 특성이 다르게 나타나고 있다. Prolonged-decay해에 발생한 태풍의 경우 전체 한반도 영향 태풍의 평균발생지점보다 동쪽으로 치우쳐 발생하고 있으며 한반도의 동남지역에 태풍활동이 증가하는 것으로 나타났다. 태풍의 평균 중심기압은 평년 값과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. Abrupt-decay해에 발생한 태풍의 경우 비교적 한반도에 근접한 지점에서 발생하였으며 한반도의 남쪽으로 진입하여 일본으로 이동하는 패턴을 보였으며, 태풍중심기압은 평년치보다 크게 나타나 비교적 세력이 약한 태풍이 발생한 것으로 나타났다. Symmetric-decaying해에 발생한 태풍의 경우, 전체 한반도 영향 태풍 평균발생지점에 비해 서남쪽에 치우쳐서 발생하였고 상대적으로 높은 해수면 온도가 필리핀 근해에서부터 북서태평양 중앙부 분까지 넓게 분포되어 있어 한반도로 유입되는 태풍의 빈도가 증가하는 것으로 나타났다. 태풍의 중심기압의 경우 다른 진화패턴과 비교하여 낮은 중심기압을 가지는 것으로 나타났다.
- (2) 낙동강 유역의 여름철 태풍강우량의 특성 분석결과, Prolonged-decaying해와 Symmetric-decaying해에 발생한 태풍강우량은 평년 대비 증가한 반면 Abrupt-decaying해에 발생한 경우는 상대적으로 태풍발생위치가 한반도에 가까워 태풍이 발달할 수 있는 시간이 짧고 태풍의 이동경로가 일본으로 향함에 따라 낙동강유역에는 평년보다 적은 강우가 발생하는 것으로 분석되었다.
- (3) 낙동강 유역의 중호우사상의 발생일수($\geq 50\text{mm/day}$) 분석결과, Prolonged-decaying해의 경우 영강을 제외하고는 낙동강

전역에서 평년 대비 증가하였으나, Abrupt-decaying해의 경우 낙동강 북부 및 중부지역에서 극치 강우 발생일수가 일부를 제외하고는 전반적으로 호우 발생일수가 감소하였다. Symmetric-decaying해의 경우, 낙동강 일부유역을 제외한 전체 유역에서 평년대비 증가패턴이 나타났으며 특히 북부지역에서 통계적으로 유의한 변화가 발생하는 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 상대적으로 짧은 관측 사상과 샘플에 의존하고 있지만, CP El Niño의 진화패턴에 따라 한반도 영향 태풍의 활동 및 태풍강우량의 발생이 민감하게 변화하는 것을 확인하였으며, 태풍에 의한 침수피해를 저감하고 기후변화에 대비한 대응방안 수립에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2012년 정보(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2012R1A1A2005304). 또한, 기상청 기후변화 감사예측 및 국가정책 지원 강화 사업의 [한반도/동아시아 기뎀전망대응기술 개발(CATER 2012-3100)] 과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Ahrens, C. D. (2007). Essentials of meteorology 5th 2 edition., Cengage learning, ISBN: 978-0-495-11477-2.

An, S. I. and Choi, J. (2012). "On the development of 2012 El Niño." *Atmosphere. Korean Meteorological Society*, Vol. 22, No. 4, pp. 465-472 (in Korean).

Becker, R. A., Chambers, J. M. and Wilks, A. R. (1988). *The New S Language: A programming environment for data analysis and graphics*, Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software Monterey, CA, USA.

Camargo, S. J. and Sobel, A. H. (2005). "Western north pacific tropical cyclone intensity and ENSO." *J. Climate*, Vol. 18, pp. 2996-3006.

Camargo, S. J., Robertson, A. W., Gaffney, S. J., Smyth, P. and Ghil, M. (2007). "Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO." *J. Climate*, Vol. 20, pp. 3654-3676.

Chen, T. C., Wang, S. Y. and Yen, M. C. (2006). "Interannual variation of the tropical cyclone activity over the western north pacific." *J. Climate*, Vol. 19, pp. 5709-5720.

Elsner, J. B., Kossin, J. P. and Jagger, T. H. (2008). "The increasing intensity of the strongest tropical cyclones." *Nature*, Vol. 455, pp. 92-95.

Emanuel, K. A. (2007). "Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation." *J. Climate*, Vol. 20, pp. 5497-5509.

- Feng, J., Chen, W., Tam, C. Y. and Zhou, W. (2011). "Different impacts of El Niño and El Niño modoki on china rainfall in the decaying phases." *Int. J. Climatol.*, Vol. 31, pp. 2091-2101.
- Gershunov, A., Barnett, T. B. and Cayan, D. R. (1999). "North pacific interdecadal oscillation seen as factor in ENSO-related north american climate anomalies Eos. transactions." *American Geophysical Union*, Vol. 80, No. 3, p. 25.
- Gray, W. M. (1979). Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation, in *Meteorology Over the Tropical Oceans*, edited by D. B. Shaw, *R. Meteorol. Soc.*, London, pp. 155-218.
- Ho, C. H., Kim, J. H., Kim, H. S., Sui, C. H. and Gong, D. Y. (2005). "Possible influence of the antarctic oscillation on tropical cyclone activity in the western north pacific." *J. Geophys. Res.*, Vol. 110, D19104, Doi: 10.1029/2005JD005766.
- JMA (Japan Meteorological Agency) (2012). Available at: www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html (Accessed April 21, 2013).
- Kao, H. Y. and Yu, J. Y. (2009). "Contrasting eastern-pacific and central-pacific types of ENSO." *J. Climate*, Vol. 22, pp. 615-632.
- Kim, J. S. and Jain, S. (2011). "Precipitation trends over the Korean peninsula: Typhoon-induced changes and a typology for characterizing climate-related risk." *Environ. Res. Lett.*, Vol. 6, 034033.
- Kim, J. S., Li, R. C. Y. and Zhou, W. (2012a). "Effects of the pacific-japan teleconnection pattern on tropical cyclone activity and extreme events over the korean peninsula." *J. Geophys. Res.*, Vol. 117, D18109, Doi: 10.1029/2012JD017677.
- Kim, J. S., Yoon, S. K. and Lee, J. H. (2012c). "Impacts of two types of el niño on hydrologic variability in annual maximum flow and low flow in the han river basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 10, pp. 969-981 (in Korean).
- Kim, J. S., Zhou, W., Wang, X. and Jain, S. (2012b). "El Niño modoki and the summer precipitation variability over south korea: A diagnostic study." *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 90, No. 5, pp. 673-684.
- Kug, J. S., Ham, Y. G., Lee, J. Y. and Jin, F. F. (2012). "Improved simulation of two types of El Niño in CMIP5 models." *Environ. Res. Lett.*, Vol. 7, Doi: 10.1088/1748-9326/7/3/034002.
- Kug, J. S., Jin, F. F. and An, S. I. (2009). "Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño." *J. Climate*, Vol. 22, pp. 1499-1515.
- Larkin N. K. and Harrison, D. E. (2005). "On the definition of El Niño and associated seasonal average U.S. weather anomalies." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 32, L13705, Doi: 10.1029/2005GL022738.
- Lee, T. and McPhaden, M. J. (2010). "Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial pacific." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 37, L14603, doi: 10.1029/2010GL044007.
- Na, H. N., Jang, B. G., Choi, W. M. and Kim, K. Y. (2011). "Statistical simulations of the future 50-Year statistics of cold-tongue El Niño and warm-pool El Niño." *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, Vol. 47, No. 3, pp. 223-233.
- Nolan, D. S., Rappin, E. D. and Emanuel, K. A. (2007). "Tropical cyclogenesis sensitivity to environmental parameters in radiative-convective equilibrium." *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, Vol. 133, pp. 2085-2107.
- Oh, J. H., Suh, K. D. and Kim, Y. O. (2011). "Trend analyses of intensity and duration of typhoons that influenced the korean peninsula during past 60 Years." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2B, pp. 121-128 (in Korean).
- Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B., Folland C. K., Alexander L. V., Rowell D. P., Kent E. C. and Kaplan A. (2003). "Global analyses of SST, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century." *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, Doi: 10.1029/2002JD002670.
- Ren, H. L. and Jin, F. F. (2011). "Niño indices for two types of ENSO." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 38, L04704, Doi: 10.1029/2010GL046031.
- Ripley, B. D. (1987) *Stochastic simulation*, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- Rozyński, G., Hung, N. M. and Ostrowski, R. (2009). "Climate change related rise of extreme typhoon power and duration over South East Asia seas." *Coastal Engineering Journal*, Vol. 51, pp. 205-222.
- Schonher, T. and Nicholson S. E. (1989). "The relationship between california rainfall and ENSO events." *J. Climate*, Vol. 2, pp. 1258-1269.
- TRC (Typhoon Research Center) (2012). Available at: <http://www.typhoon.or.kr/> (Accessed April 18, 2013).
- Tu, J. Y., Chou, C., Huang, P. and Huang, R. (2011). "An abrupt increase of intense typhoons over the western north pacific in early summer." *Environ. Res. Lett.*, Vol. 6, Doi: 10.1088/1748-9326/6/3/034013.
- WAMIS (Water management information system) (2012). Available at: <http://wamis.go.kr/eng/> (Accessed February 12, 2013).
- Weng, H. W., Ashok, K., Behera, S. K., Rao, S. A. and Yamagata, T. (2007). "Impacts of recent El Niño modoki on dry/wet conditions in the pacific rim during boreal summer." *Clim. Dyn.*, Doi: 10.1007/s00382-007-0234-0.
- Yeh, S. W., Kirtman, B. P., Kug, J. S., Park, W. S. and Latif, M. (2011). "Natural variability of the central pacific El Niño event on multi-centennial timescales." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 38, L02704, Doi: 10.1029/2010GL045886.
- Yeh, S. W., Kug, J. S., Dewitte, B., Kwon, M. H., Kirtman, B. P. and Jin, F. F. (2009). "El Niño in a changing climate." *Nature*, Vol. 461, pp. 511-514.
- Yoon, S. K., Kim, J. S. and Lee, J. H. (2013). "Hydrometeorological variability in the korean han river basin and its sub-watersheds during different El Niño phases." *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, Doi: 10.1007/s00477-012-0683-9.
- Yu, J. Y. and Kim, S. T. (2010). "Three evolution patterns of central-pacific El Niño." *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 37, L08706.