

ENSO와 한국의 수문변량들간의 계절적 관계 분석

Seasonal Relationship between El Niño-Southern Oscillation and Hydrologic Variables in Korea

추 헌 재* / 김 태 웅** / 이 정 규*** / 이 재 흥****
Chu, Hyun-Jae / Kim, Tae-Woong / Lee, Jong-Kyu / Lee, Jae-Hong

Abstract

Climatic abnormal phenomena involving El Niño and La Niña have been frequently reported in recent decades. The interannual climate variability represented by El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is sometimes investigated to account for the climatic abnormal phenomena around the world. Although many hydroclimatologists have studied the impact of ENSO on regional precipitation and streamflow, however, there are still many difficulties in finding the dominant causal relationship between them. This relationship is very useful in making hydrological forecasting models for water resources management. In this study, the seasonal relationships between ENSO and hydrologic variables were investigated in Korea. As an ENSO indicator, Southern Oscillation Index (SOI) was used. Monthly precipitation, monthly mean temperature, and monthly dam inflow data were used after being transformed to the standardized normal index. Seasonal relationships between ENSO and hydrologic variables were investigated based on the exceedance probability and distribution of hydrologic variables conditioned on the ENSO episode. The results from the analysis of this study showed that the warm ENSO episode affects increases in precipitation and temperature, and the cold ENSO episode is related with decreases in precipitation and temperature in Korea. However, in some regions, the local relationships do not correspond with the general seasonal relationship.

keywords : El Niño-Southern Oscillation, Seasonal relationship, Hydrologic variables, Standardized normal index

요 지

최근 들어 세계의 연중 기후 변화에 주된 요인으로써 엘니뇨와 같은 현상이 매우 잦아졌다. 많은 기상수문학자들이 강수와 유량에 대한 엘니뇨-남방진동의 영향에 대해 연구하고 있지만, 수문변량들은 큰 지역적 변동을 갖고 있기

-
- * 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
Researcher, Water Resources Research Department, Korea Institute of Construction Technology, 411-712, Goyang, Korea
(e-mail: hjchu@kict.re.kr)
 - ** 교신저자, 한양대학교 건설환경시스템공학전공 전임강사
Corresponding Author, Assistant Professor, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791, Korea (e-mail: twkim72@hanyang.ac.kr)
 - *** 한양대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea
(e-mail: leejk@hanyang.ac.kr)
 - **** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea
(e-mail: leejh@yooshin.co.kr)

때문에 결정적인 인과관계를 찾아내는데 있어서 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 엘니뇨-남방진동과 한국에서의 수문변량들 간의 계절적 관계를 고찰하였다. 엘니뇨-남방진동을 정량적으로 표현해 주는 지수로써 남방진동지수를 사용하였고, 월강수량 자료, 월평균기온 자료 그리고 댐의 월유입량 자료를 표준정규분포를 가지는 표준정규지수로 변환하여 사용하였다. 계절적 관계를 파악하기 위해 남방진동지수와 수문변량의 월 자료는 봄 (3월~5월), 여름 (6월~8월), 가을 (9월~11월) 그리고 겨울 (12월~2월)로 분류되었다. ENSO episode에 대한 수문변량들의 조건부 초과확률과 분포형태를 바탕으로 분석을 수행한 결과 전반적으로 Warm ENSO episode의 경우 강수량 증가와 기온 상승과 관련이 있고, Cold ENSO episode의 경우 강수량 감소와 기온 하강과 관계가 있다. 그러나 일부 지역에서는 이러한 전반적인 결과와 상이한 결과가 나타나기도 하였다.

핵심용어 : 엘니뇨-남방진동, 계절적 관계, 수문변량, 표준화된 정규지수

1. 서론

스페인어로 '남자아이' 혹은 '아기예수'란 뜻의 엘니뇨 (El Niño)는 적도 부근 중·동부 태평양의 해수면 온도 (sea surface temperature, SST)가 높아져서 그 상태가 지속되는 현상을 말하며, 반대로 해수면 온도가 낮아져서 그 상태가 지속되는 현상을 '여자아이'란 뜻의 라니냐 (La Niña)라고 말한다. 하지만 어느 정도로 해수면 온도가 상승했을 때를 엘니뇨라고 정의할 것인지에 대해서는 객관적인 기준이 마련되어져 있지 않고, 엘니뇨 지수지역 (El Niño index area)과 엘니뇨 발생해 (El Niño year)도 연구자나 연구기관에 따라 차이가 있다. 일본 기상청 기후정보과 (CPD/JMA)에서는 태평양 동부 적도 해역 (4°N~4°S, 150°W~90°W)의 월평균 해수면 온도 편차의 5개월 이동 평균값이 최소 6개월 이상 연속적으로 +0.5°C 이상이 되는 경우를 엘니뇨로 정의하고 있으며, 반대로 연속적으로 -0.5°C 이하가 되는 경우를 라니냐로 정의하고 있다.

남방진동 (Southern Oscillation, SO)이란 적도 부근 남태평양 Tahiti 섬과 오스트레일리아 북부 Darwin 지역에서 발생하는 기압의 시소 (seasaw) 현상을 말하며, 이러한 두 지역의 기압 차이를 표준화시킨 값을 남방진동지수 (Southern Oscillation Index, SOI)라 한다. 남방진동 현상은 영국의 기상학자인 Walker (1923)에 의해 최초로 연구되었다. 그는 인도의 남서 몬순 (monsoon)에 의한 강수량 예보를 하기 위하여 기상 및 해양 자료들을 수집하여 분석하던 중에 남방진동을 발견하였다. Walker (1923)의 발견 이후 수십 년이 지나서 Bjerknes (1966)에 의해 남방진동이 엘니뇨 현상과 밀접한 관계가 있음이 처음으로 알려졌다. 남방진동지수가 큰 음의 값을 가질 때가 엘니뇨 기간이며, 큰 양의 값을 가질 때가 라니냐 기간이다. 이와 같은 사실은 시간에 따른 남방진동지수와 태평양 동부 적도 해역의 해수면 온도 편

차의 변동이 잘 일치되고 있음을 통해 확인할 수 있다. 또한 엘니뇨-남방진동 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)은 해양의 해수면 온도 상승 현상인 엘니뇨와 그 때 대기의 기압차에 의한 남방진동 현상을 말한다. 엘니뇨는 ENSO의 온난시기 (warm phase) 혹은 태평양 온난사상 (Pacific warm episode)을 라니냐는 ENSO의 한랭시기 (cold phase) 혹은 태평양 한랭사상 (Pacific cold episode)을 나타내기도 한다.

ENSO와 수문변량들과의 관계 분석에 대한 연구 결과를 살펴보면 Namias (1969)는 북 태평양의 해수면 온도와 북미 기후의 상호 관계를 연구하였고, Rasmusson and Carpenter (1983)는 엘니뇨의 영향과 인도 강수량의 관계를 연구하였으며, Ropelewski and Halpert (1987)는 남방진동지수와 전지구적 및 지역규모 강수량의 연관성을 연구하였다. Wang and Li (1990)는 북 중국에서의 강수량 변동과 남방진동지수의 관계를 분석하였고, Nicholls (1995)는 해수면 온도와 인도 여름 몬순 강수량의 관계를 연구하였으며, Peel et al. (2002)은 ENSO와 전지구적 연강수량의 관계를 연구하였다. Kim et al. (2006)은 여러 가지 기후지수들을 이용하여 미국 Colorado River 유역의 강수량과 기후변동에 대한 연관성을 정량화시킨 영향지수 (influence index)를 개발하였고, 이를 이용하여 유역내 수자원의 효율적인 관리를 위하여 영향지수의 시공간적인 분포를 제시하였다.

우리나라의 경우 강인식 등 (1992)은 태평양 해수면 온도 자료를 이용하여 한반도 여름철 강수량의 장기예측을 연구하였고, 하경자 (1995)는 겨울철 서울 기온의 경년 변동과 태평양 해면 온도와 상관성을 연구하였으며, 안중배 등 (1997)은 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와 연관성을 연구하였다. 이동률 (1998)은 조화분석을 이용하여 엘니뇨 및 라니냐와 우리나라 기온 및 강수량의 관계를 연구하였으며, 차은정

등 (1999)은 기후 평균 계절변동 (mean seasonal cycle) 을 제거한 편차 (anomaly) 값을 사용하여 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 대하여 연구하였다. 또한 신현석 등 (1999)은 교차상관분석을 통해 엘니뇨와 우리나라 강수량의 시·공간적 관계를 통계적으로 나타내었으며, 이동률 (1999)은 Palmer 가뭄심도지수 (PDSI)를 이용하여 엘니뇨와 우리나라의 가뭄과의 관계를 연구하였다. 진영훈 등 (2005)은 남방진동지수의 범주를 구분하여 ENSO와 강수량과의 관계에 대한 통계학적 분석을 하였으며, 문영일 등 (2005)은 Wavelet 분석과 독립성분 분석을 통해 해수면 온도와 우리나라 강우량의 상관성을 분석하였다.

본 연구에서는 Liu et al. (1998)이 기후조건을 고려한 하천유량 예측모형의 개발에 적용하였던 분석기법을 변형하여, ENSO와 우리나라 수문변량들간의 계절적 관계를 분석하였다. 이러한 두개의 현상들간의 상관관계를 분석할 때, 각 현상들의 변동성을 나타내 주는 지수의 선택이 매우 중요하다. 보통의 경우 대규모 기후 변동성 (large-scale climatic variability)은 표준화된 기후지수 (climate index)를 이용하고, 지역 수문변동성 (regional hydrologic variability)은 관측 자료의 표준화를 통해 분석을 실시한다. 수문변량의 경우 확률분포 형태에 따른 편향된 변동성을 가지게 되는데, 본 연구에서는 이를 고려하여 수문변량 확률분포형의 표준정규화를 통한 표준정규지수를 개발하여 사용하였다. ENSO 지수로써는 남방진동지수(SOI)를 이용하였고, 수문변량으로는 월강수량 자료, 월평균기온 자료 그리고 댐 월유입량 자료를 이용하였다. 계절적 관계 분석을 위해 남방진동지수와 수문변량의 월자료는 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월) 그리고 겨울 (12~2월)의 4계절로 구분하였다. 남방진동지수의 경우 그 영향에 따라 Cold ENSO episode, Normal condition, Warm

ENSO episode로 나누어, 각각의 표준화된 수문변량과의 상관관계를 분석하였다.

2. 분석 자료

현재 대규모 기후변동을 정량적으로 표현해주기 위하여 SOI (Southern Oscillation Index), PNA (Pacific North American Index), PDO (Pacific Decadal Oscillation), WPI (West Pacific Index), AO (Arctic Oscillation) 등 다양한 기후지수(climate index)들이 이용되고 있다. 그 중에서 본 연구에서는 기존의 연구 결과를 바탕으로 태평양 연안 동북아시아 지역의 엘니뇨 영향 분석을 위해 사용되고 있는 남방진동지수(SOI)를 ENSO 지수로 선정하여 우리나라 수문변량들과의 계절적 관계 분석을 실시하였다. 남방진동지수 산정을 위해서는 적도 부근 남태평양 Tahiti 섬과 오스트레일리아 북부 Darwin 지역에서 관측된 기압자료가 이용되는데, 남방진동지수의 관측 지점인 Darwin 섬 (149.6°W, 17.5°S)과 Tahiti 지역 (130.9°E, 12.4°S)의 위치는 Fig. 1과 같다. 수문변량으로는 23개 지점의 강수량 자료와 14개 지점의 기온 자료를 이용하였다 (Table 1과 Fig. 2). 그리고 추가적으로 8개 지점의 댐 유입량 자료 (Table 2와 Fig. 3)를 이용하여 댐 유입량과 남방진동지수의 관계를 분석하였다.

선정된 수문변량의 관측 지점은 전국적으로 다양하게 분포되어 있어 우리나라 수문변량과 남방진동과의 관계를 공간적으로도 살펴볼 수 있도록 하였다. 댐 유입량 자료의 경우 상류 지역에 위치한 댐을 선정하여, 댐 유입량에 다른 유역의 유입량은 배제되고 수문기상학적 요인들만이 영향을 미치는 지역으로 선정하였다. 본 연구에서 정의한 계절은 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월) 그리고 겨울 (12~2월)의 4계절로 겨울은 그 해 12월과 다음 해 1월, 2월을 말한다.

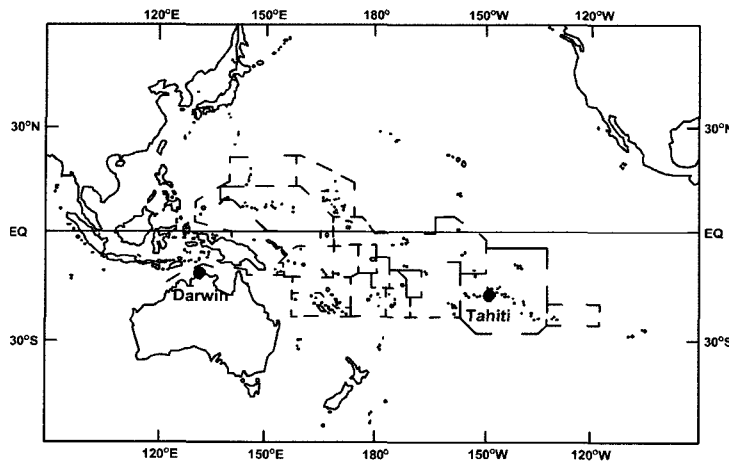


Fig. 1. Observation Locations of Southern Oscillation

Table 1. Gauge Station Information of Precipitation and Temperature

ID Number	City	Latitude	Longitude	Data Period (year)
90	Sokcho	38° 15 '	128° 34 '	1968-2005
101	Chuncheon	37° 54 '	127° 44 '	1966-2005
105	Gangneung	37° 45 '	128° 54 '	1933-2005
108	Seoul	37° 34 '	126° 58 '	1933-2005
112	Incheon	37° 28 '	126° 38 '	1933-2005
115	Ulleungdo	37° 29 '	130° 54 '	1939-2005
119	Suwon	37° 16 '	126° 59 '	1964-2005
129	Seosan	36° 46 '	126° 30 '	1968-2005
131	Cheongju	36° 38 '	127° 27 '	1967-2005
133	Daejeon	36° 22 '	127° 22 '	1969-2005
135	Chupungryung	36° 13 '	128° 00 '	1953-2005
138	Pohang	36° 02 '	129° 23 '	1951-2005
140	Gunsan	35° 59 '	126° 42 '	1968-2005
143	Daegu	35° 53 '	128° 37 '	1933-2005
146	Jeonju	35° 49 '	127° 09 '	1933-2005
152	Ulsan	35° 33 '	129° 19 '	1946-2005
156	Kwangju	35° 10 '	126° 54 '	1940-2005
159	Busan	35° 06 '	129° 02 '	1933-2005
165	Mokpo	34° 49 '	126° 23 '	1933-2005
168	Yeosu	34° 44 '	127° 45 '	1943-2005
184	Jeju	33° 31 '	126° 32 '	1933-2005
189	Seogwipo	33° 15 '	126° 34 '	1961-2005
192	Jinju	35° 12 '	128° 07 '	1970-2005

Table 2. Data Information of Dam Inflow

Name	Basin	River	Data Period (year)
Soyanggang	Han River	Soyang River	1974-2005
Juam	Seomjin River	Boseong River	1991-2005
Chungju	Han River	Namhan River	1986-2005
Daecheong	Geum River	Geum River	1981-2005
Andong	Nakdong River	Nakdong River	1977-2005
Imha	Nakdong River	BanByeon River	1992-2005
Seomjingang	Seomjin River	Isa River	1975-2005
Hapcheon	Nakdong River	Whang River	1989-2005

3. 분석 방법

3.1 남방진동지수

남방진동지수 계산을 위해 동태평양의 Tahiti 지점과 서태평양의 오스트레일리아 북부 Darwin 지점의 해수면 기압 (sea level pressure, SLP) 자료를 사용하였다. 남방진동지수를 산정하는 방법에는 여러가지 방법들이 있지만, 본 연구에서는 그 중에서도 미국 Climate Prediction Center에서 제안한 방법으로 남방진동지수

를 계산하였다. 월별 남방진동지수를 계산하는 절차는 다음과 같다. 먼저, 월별 해수면 기압 자료를 이용하여 Eqs. (1) and (2)와 같이 Tahiti 지점과 Darwin 지점의 해수면 기압 편차를 계산한다.

$$PA_{Tahiti} = SLP_{Tahiti} - \overline{SLP}_{Tahiti} \quad (1)$$

$$PA_{Darwin} = SLP_{Darwin} - \overline{SLP}_{Darwin} \quad (2)$$

여기서 PA는 월별 해수면 기압 편차 (pressure anomaly),



Fig. 2. Gauging Stations of Precipitation and Temperature

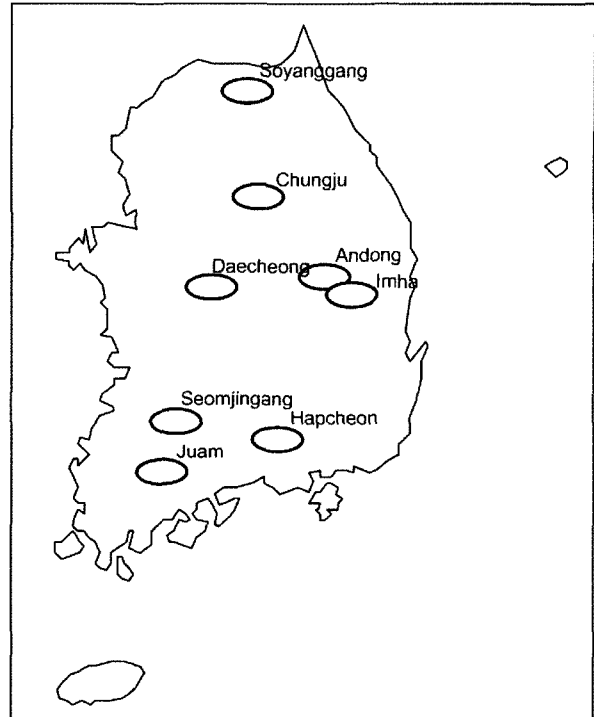


Fig. 3. Locations of Dams

SLP는 월별 해수면 기압 (sea level pressure), \overline{SLP} 는 월평균 해수면 기압, 그리고 첨자는 관측지점을 나타낸다. 그 다음 계산된 월별 해수면 기압 편차를 이용하여 Eqs. (3) and (4)와 같이 두 지점의 해수면 기압 자료를 표준화 (standardization)한다.

$$SPA_{Tahiti} = PA_{Tahiti} / SD_{Tahiti} \quad (3)$$

$$SPA_{Darwin} = PA_{Darwin} / SD_{Darwin} \quad (4)$$

여기서 SPA는 표준화 (standardization)된 월별 해수면 기압 편차, SD는 월별 해수면 기압의 표준편차 (standard deviation)를 나타낸다. 표준화된 값을 이용하여 Eq. (5)와 같이 월별 표준편차를 구하고 마지막으로 그 결과를 이용하여 Eq. (6)과 같이 월별 남방진동지수를 구하면 된다.

$$MSD = \sqrt{\sum_{i=1}^N (SPA_{Tahiti} - SPA_{Darwin})^2 / N} \quad (5)$$

$$SOI = (SPA_{Tahiti} - SPA_{Darwin}) / MSD \quad (6)$$

여기서 N은 자료 수, MSD는 월별 표준편차 (monthly standard deviation)를 나타낸다. Fig. 4는 이와 같은 방

법으로 계산된 월별 남방진동지수의 시계열 자료를 나타내고 있다. Fig. 4에서 지속적인 음의 SOI는 엘니뇨 현상을 의미하고 지속적인 양의 SOI는 라니냐 현상을 의미한다.

이와 같이 산정된 월별 남방진동지수는 단주기의 변동성을 가지고 있다. 이러한 대규모 기후변동의 단주기 변동성은 지역적 수문변동과의 관계해석에 어려움을 초래한다. 따라서 보통 대규모 기후변동이 지역적 수문현상에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 이러한 단주기 변동성을 제거하는데 (Ropelewski and Jones, 1987), 본 연구에서는 5개월 이동평균 (5-month running mean)을 이용하여 남방진동지수의 단주기 변동성을 제거하였다. 5개월 이동평균 남방진동지수는 수문변량과의 계절적 관계 분석을 위해 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월) 그리고 겨울 (12~2월)의 계절평균값 (Seasonal averaged SOI, S-SOI)으로 환산하여, 그 크기에 따라 Cold ENSO episode, Normal condition 그리고 Warm ENSO episode로 나누었다 (Ropelewski and Halpert, 1987). 이렇게 남방진동지수를 서로 다른 그룹으로 분류함으로써 수문변량과 ENSO의 관계를 보다 명확히 파악하고자 하였다. 남방진동지수의 구분에 대한 기준은 Table 3에 나타내었다. 따라서 Cold ENSO episode는 엘니뇨 현상을, Normal condition은 보통의 상태를 그리고 Warm ENSO episode는 라니냐 현상을 나타낸다고 할 수 있다 (Trenberth, 1997).

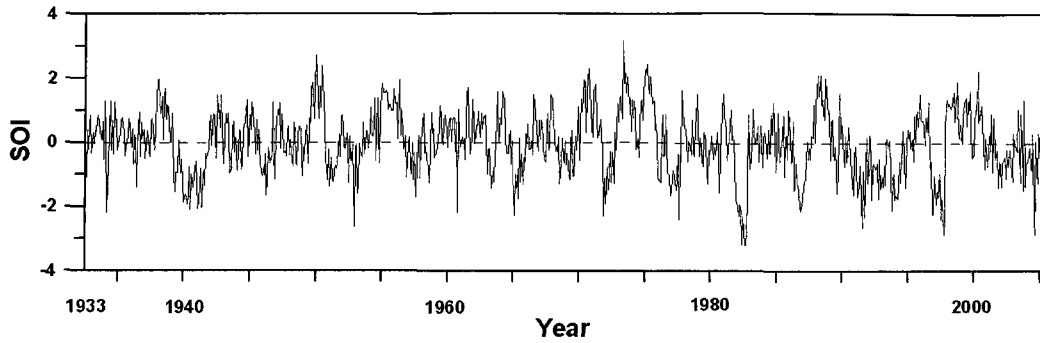


Fig. 4. Southern Oscillation Index, SOI

Table 3. Classification of ENSO Episodes

Episode	Seasonal SOI
Cold ENSO episode	$0.5 > S-SOI$
Normal condition	$-0.5 \leq S-SOI \leq 0.5$
Warm ENSO episode	$S-SOI < -0.5$

3.2 강수량, 기온 및 댐 유입량

수문변량의 원자료는 주기성, 계절성 그리고 왜곡도 등을 포함하고 있다. 따라서 다른 변수와의 상관관계를 파악하기 위해서는 이러한 수문변량의 확정론적 변동 (deterministic variation)을 제거하고 분석에 사용해야만 한다. 일반적으로 수문변량을 정규화시키기 위해 원자료의 평균과 표준편차를 이용하여, 평균이 "0", 분산이 "1"을 갖도록 자료를 표준화시킨 후 분석에 이용한다. 수문변량의 월 자료를 표준화시키는 방법을 살펴보면 다음과 같다. 관측 지점의 수문변량 값을 $H_{y,m}$ 라고 할 때, 평균과 표준편차는 Eqs. (7) and (8)을 이용하여 계산하며, 이 평균과 표준편차를 이용하여 수문변량 $H_{y,m}$ 을 Eq. (9)와 같이 표준화시킨다.

$$\bar{H}_m = \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n H_{y,m} \quad (7)$$

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{y=1}^n (H_{y,m} - \bar{H}_m)^2} \quad (8)$$

$$Z_{y,m} = \frac{H_{y,m} - \bar{H}_m}{S_m} \quad (9)$$

여기서 n 은 자료보유 년수, y 는 자료보유 년(년), m 은 자료보유 달(월)을 나타낸다. 이와 같은 방법으로 정규화된 수문변량은 평균이 "0", 분산이 "1"이 된다. Fig. 5는 1961년부터 2005년까지 서울지역 월강수량 자료에 대한 원자료를 나타내고 있으며, Fig. 6은 위와 같은 방법으로 정규화된 월강수량 자료를 나타내고 있다.

월평균 강수량의 시계열 자료는 강한 양의 왜곡도를 가지고 있다. Eqs. (7)~(9)를 이용한 정규화를 통해 자

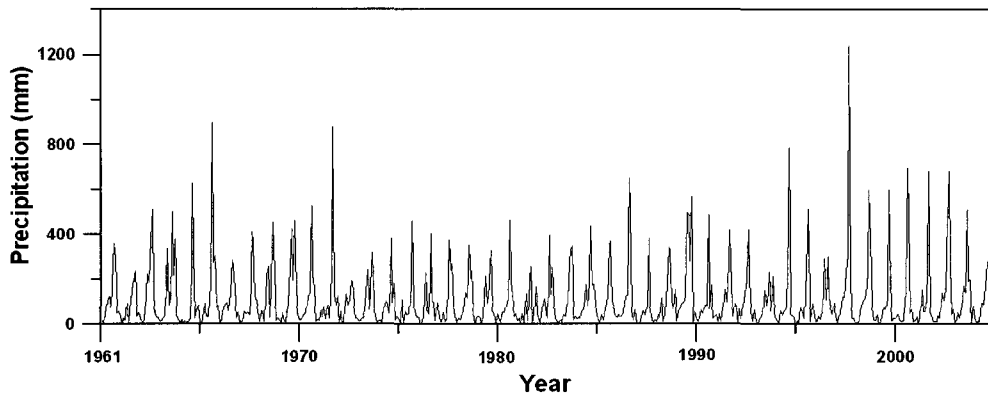


Fig. 5. Monthly Precipitation in Seoul

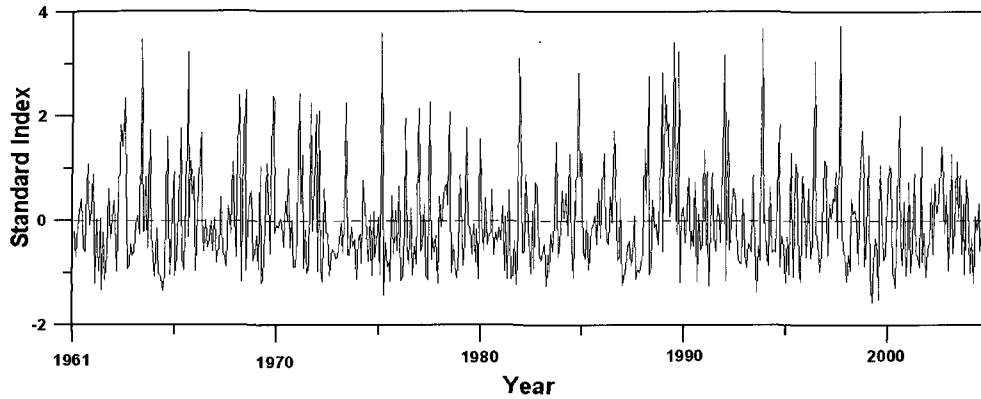


Fig. 6. Standardized Monthly Precipitation in Seoul using Eqs. (7)-(9)

료를 변환하였지만 원자료의 강한 왜곡도 때문에 변환된 자료도 여전히 편향된 변동성을 포함하고 있다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 변환된 자료의 양의 변동범위는 0~3.5, 음의 변동범위는 -1.5~0 이다. 이러한 자료는 상관관계 분석에서 과대평가 혹은 과소평가의 결과를 불러올 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Kim et al. (2006)에서 적용되었던 확률분포를 이용한 표준정규지수 변환방법을 이용하여 수문변량을 표준수문지수로 변환하였다.

자료를 표준화된 정규지수로 변환하는 순서는 먼저 수문변량 자료에 대해 적합도 검정을 통해 적정 확률분

포모형을 선정하고 필요한 매개변수를 구한다. 이를 이용하여 확률밀도함수 (probability density function, PDF)를 결정하고, 누가확률분포함수 (cumulative probability distribution function, CDF)를 산정한다. 누가확률분포함수 값에 대응하는 평균이 "0", 분산이 "1"인 표준정규분포함수의 누가확률 값을 읽으면, 그 값이 표준화된 정규지수로 계산된 수문변량 값이 된다. Fig. 7은 강수량 자료를 이용하여 이와 같은 과정으로 표준강수지수 (standardized precipitation index, SPI)를 산정하는 과정을 나타낸 것이다.

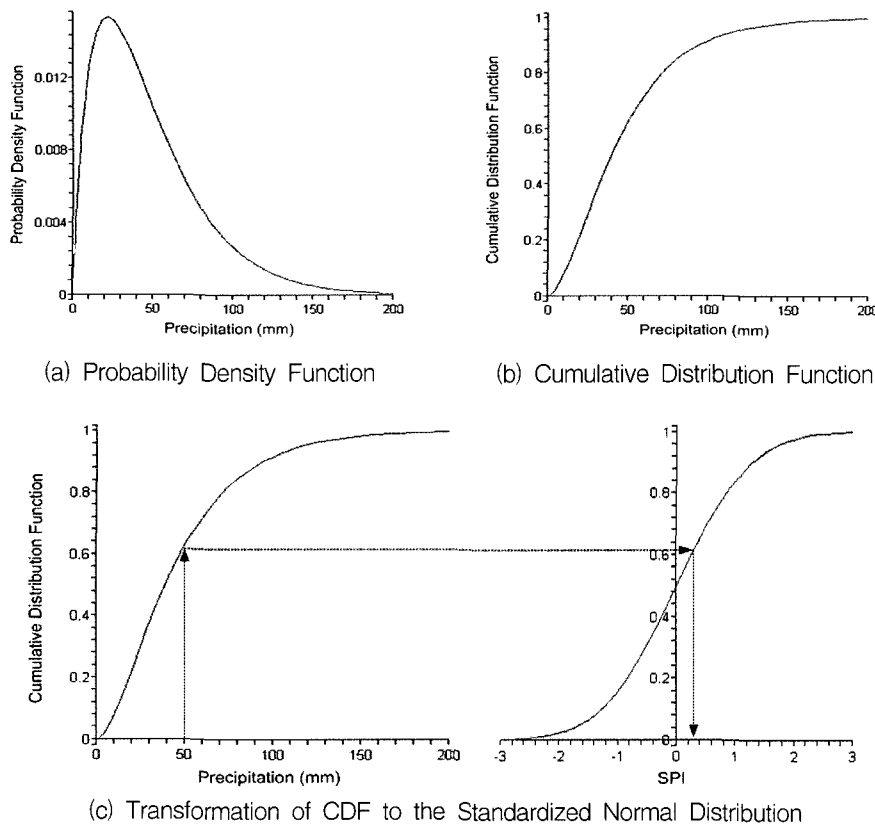


Fig. 7. Procedure Computing the Standardized Precipitation Index

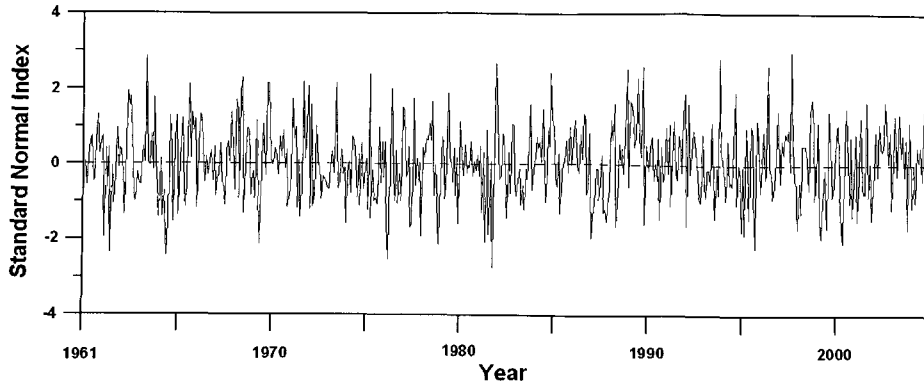


Fig. 8. Standardized Precipitation Index in Seoul

본 연구에서는 강수량 자료와 댐 유입량 자료에 대한 적정 확률분포모형으로 Gamma 분포형을 사용하였고, 기온 자료에 대한 적정 확률분포모형으로는 정규분포형을 사용하였다. 2변수 Gamma 분포 (two-parameter Gamma distribution)는 2개의 매개변수를 가지고 있으며, 이 분포는 수문 분야에서 광범위하게 쓰이는 분포이다. Gamma 분포의 확률밀도함수는 Eq. (10)과 같고 누가확률분포함수는 Eq. (11)과 같이 정의된다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) \quad (10)$$

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) dx \quad (11)$$

여기서 α 는 축척 매개변수, β 는 형상 매개변수, $\Gamma(\beta)$ 는 Gamma 함수이다. $\alpha > 0$ 이면 $0 \leq x < \infty$ 이며, $\alpha < 0$ 이면 $-\infty < x \leq 0$, $\beta > 0$ 이다. 각 매개변수는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법 등을 이용하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 적용이 간단한 모멘트법을 이용하여 매개변수를 산정하였다. Gamma 분포형을 이용해 표준화된 정규지수로 변환된 서울지역 월강수량 자료는 Fig. 8에 나타나있다. Fig. 8에 나타나듯이 수문변량 값처럼 변동이 심한 자료의 주기성 및 계절성 등을 제거할 수 있다. 또한 Fig. 8과 같이 표준화된 수문변량 값에서 강한 양 (+)의 값은 강수량의 증가와 강한 음 (-)의 값은 강수량의 감소와 관계가 있음을 의미한다. 마찬가지로 기온, 댐 유입량 자료의 경우에서도 강한 양 (+)의 값은 기온의 상승, 유입량의 증가와 그리고 강한 음 (-)의 값은 기온의 강하, 유입량의 감소와 관계가 있음을 나타낸다.

이와 같은 방법으로 표준화된 정규지수로 변환된 수

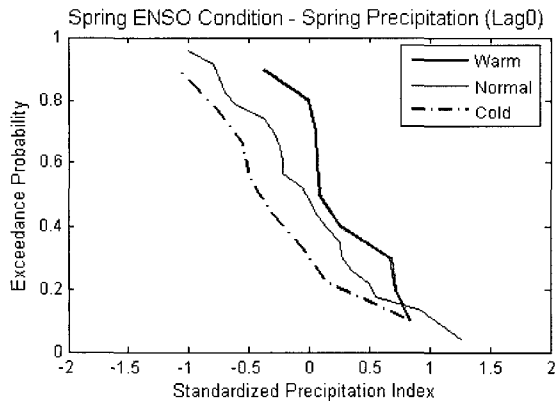
문변량들은 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월) 그리고 겨울 (12~2월)의 4계절로 정리되어 남방진동지수와 계절적 관계 분석에 이용되었다. 또한 엘니뇨 현상과 우리나라 수문변량들간의 시간적 관계를 알아보기 위해, 계절별로 구분된 남방진동지수와 같은 발생 시기의 수문변량 (Lag0) 그리고 한 계절씩 지체된 수문변량들 (Lag1, Lag2, Lag3)의 관계를 분석하였다.

4. 분석 결과

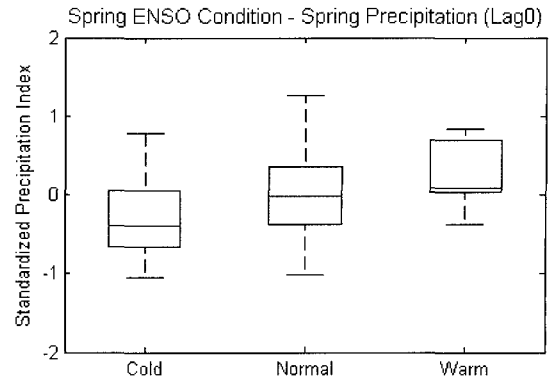
4.1 강수량

남방진동지수와 23개 기상관측소의 월강수량 자료를 이용하여 계절적 관계 분석을 실시한 결과 중 유의한 상관관계를 나타낸 춘천, 속초 그리고 목포 지역의 결과를 Figs. 9~11에 나타내었다. 남방진동지수의 구분은 그 크기에 따라 Cold ENSO episode, Normal condition 그리고 Warm ENSO episode의 세가지로 구분하였으며, 월강수량 자료는 표준강수지수 (standardized precipitation index)를 사용하였다. Figs. 9(a)~11(a)에서 횡축은 ENSO episode의 구분에 따른 표준강수지수 (standardized precipitation index)를 나타내고 있으며, 종축은 초과 확률 (exceedance probability)을 나타내고 있다. 각 그림의 제목은 ENSO와 강수량의 계절적 지체 관계를 나타내주고 있다. 예를 들면, Fig. 11(a)는 여름의 ENSO 상태와 가을 강수량과의 관계를 보여주는 것이다. 이는 ENSO 상태가 한 계절이 지체되어 강수량에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 또한 Figs. 9(b)~11(b)는 ENSO episode의 구분에 따른 표준강수지수의 최대값, 최소값, 평균값 및 평균±표준편차를 나타내고 있다.

Figs. 9(a)~11(a)를 통해 춘천, 속초 그리고 목포와 같은 일부 지역의 경우 표준강수지수가 Cold episode, Normal condition 그리고 Warm episode와 서로 얽히지

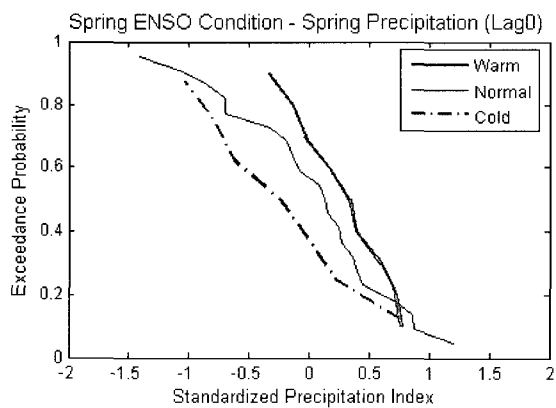


(a)

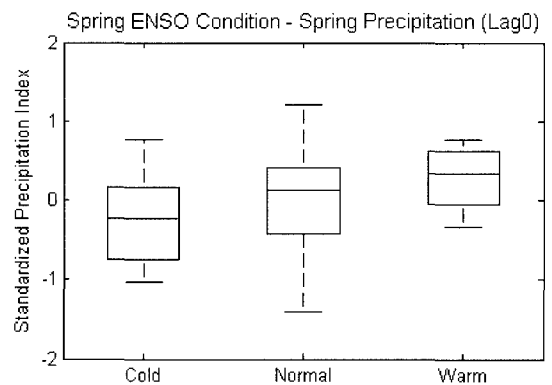


(b)

Fig. 9. ENSO Conditioned Seasonal Precipitation in Chuncheon

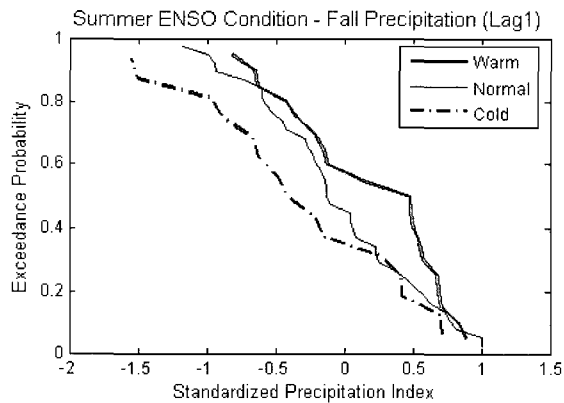


(a)

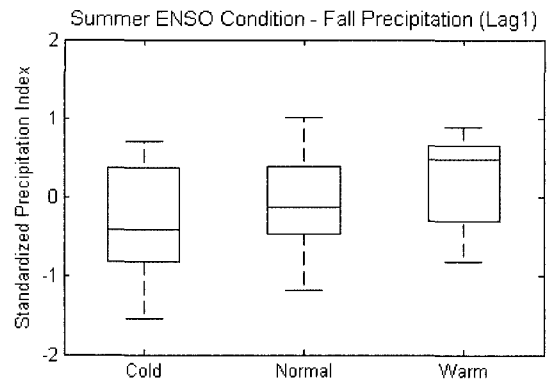


(b)

Fig. 10. ENSO Conditioned Seasonal Precipitation in Sokcho



(a)



(b)

Fig. 11. ENSO Conditioned Seasonal Precipitation in Mokpo

않고 뚜렷한 구분을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 사실을 통해 남방진동지수와 이들 지역의 표준강수지수 간에 서로 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 또한 Figs. 9(a)~11(a)에 나타나듯이 Warm ENSO episode는 Normal condition의 우측에 위치하여 동일한 초과확률에 대해 다른 ENSO episode 보다 강한 양(+)의 값을 나타내고 있으며, Cold ENSO episode

는 Normal condition의 좌측에 위치하여 동일한 초과확률에 대해 다른 ENSO episode 보다 강한 음(-)의 값을 나타내고 있다. 즉 Warm ENSO episode는 많은 강수량의 발생과 유의한 관계가 있으며 반면에 Cold ENSO episode는 작은 강수량의 발생과 유의한 관계가 있음을 알 수 있다.

시간적 관계의 경우 이전의 연구 결과는 대부분 1개

월 단위의 지체시간을 두고 분석을 실시하였지만, 본 연구의 경우 계절적 단위로 시간을 구분하였다. 그 결과 이 지역들의 경우 3개월 단위로 구분된 계절별 강수량 값은 남방진동지수와 같은 발생 계절 (Lag0) 혹은 한 계절 지체된 (Lag1) 계절 자료가 서로 유의한 상관관계에 있음을 알 수 있다. 이는 원격상관 (tele-connection) 분석에 의한 결과가 서로 유의한 상관관계에 있다는 것으로 물리적 해석과 같은 정량적 결과로는 설명하기 어려운 부분으로 앞으로 기후 모델 등을 이용한 더 많은 연구를 통해 고찰되어야 한다.

4.2 기온

남방진동지수와 14개 기상관측소의 월평균기온 자료를 이용하여 계절적 관계 분석을 실시한 결과 중 유의한 상관관계를 나타낸 울산, 포항 그리고 목포 지역의 결과를 Figs. 12~14에 나타내었다. 월강수량 결과와 마찬가지로 Figs. 12(a)~14(a)에서 횡축은 ENSO episode의 구분에 따른 표준기온지수 (standardized temperature index)를 나타내고 있으며, 종축은 초과 확률을

나타내고 있다. 각 그림의 제목은 ENSO와 기온의 계절적 지체관계를 나타내주고 있다. 또한 Figs. 12(b)~14(b)는 ENSO episode의 구분에 따른 표준기온지수의 최대값, 최소값, 평균값 및 평균±표준편차를 나타내고 있다.

Figs. 12(a)~14(a)를 통해 Cold episode, Normal condition 그리고 Warm episode의 남방진동지수와 울산, 포항 그리고 목포와 같은 일부 지역의 표준기온지수가 서로 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 세 지역 이외에도 추풍령, 전주, 여수 지역에서도 남방진동지수와 표준기온지수는 서로 유의한 상관관계를 나타내었다. 지체시간의 경우 세 지역 모두 두 계절 지체 (Lag2)된 월평균기온의 자료가 남방진동지수와 서로 유의한 상관관계에 있음을 알 수 있었다. Figs. 12(a)~14(a)에 나타나듯이 Warm ENSO episode는 Normal condition의 우측에 위치하여 동일한 초과확률에 대해 다른 ENSO episode 보다 강한 양(+)의 값을 나타내고 있으며 Cold ENSO episode는 Normal condition의 좌측에 위치하여 동일한 초과확률에 대해 다른 ENSO

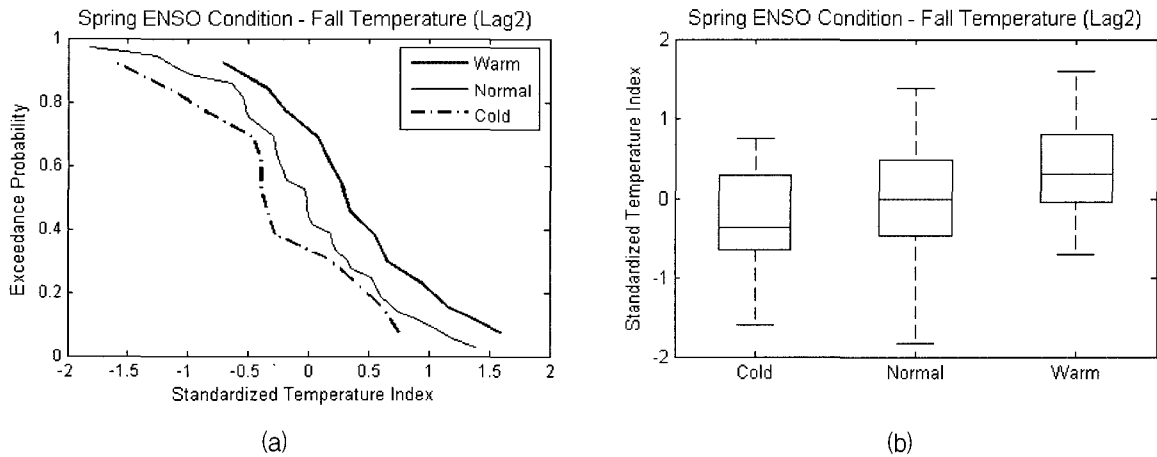


Fig. 12. ENSO Conditioned Seasonal Temperature in Ulsan

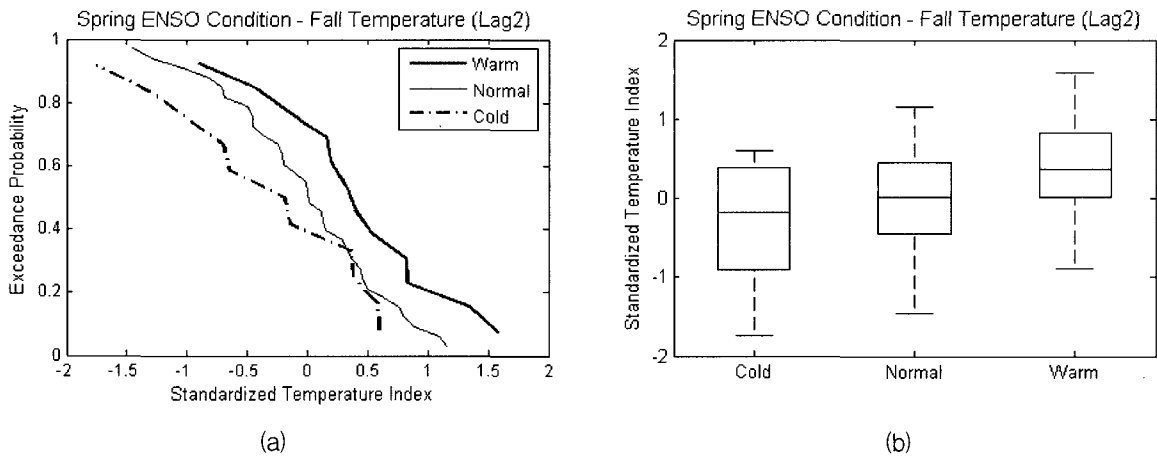
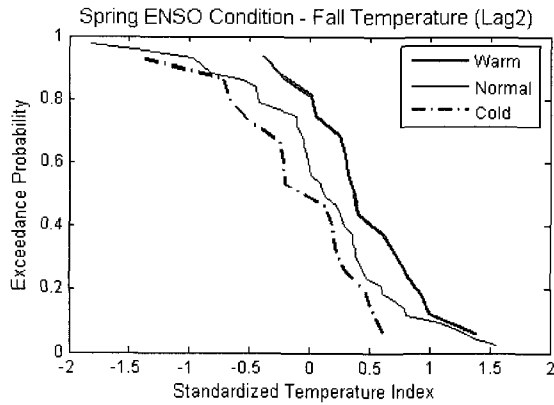
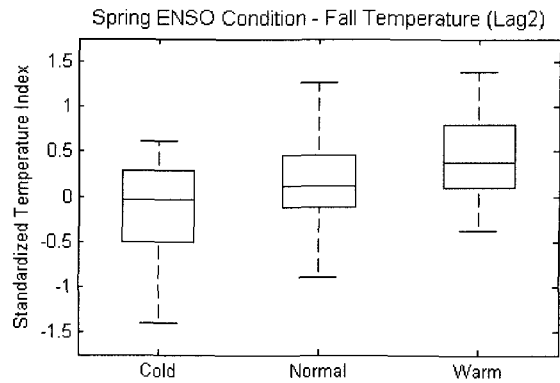


Fig. 13. ENSO Conditioned Seasonal Temperature in Pohang

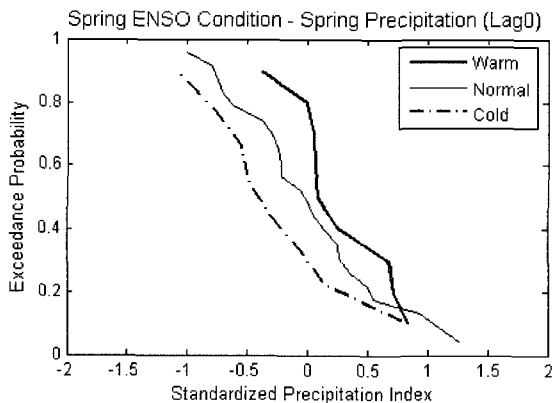


(a)

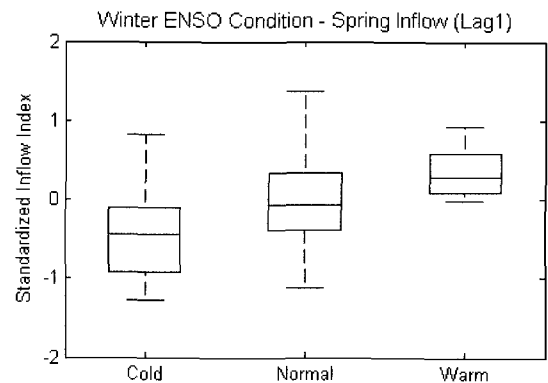


(b)

Fig. 14. ENSO Conditioned Seasonal Temperature in Mokpo



(a)



(b)

Fig. 15. ENSO Conditioned Seasonal Dam Inflow in Soyang

episode 보다 강한 음(-)의 값을 나타내고 있다. 즉 Warm ENSO episode는 높은 기온의 발생과 유의한 관계가 있으며 반면에 Cold ENSO episode는 낮은 기온의 발생과 유의한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한 울산, 포항 그리고 목포 지역은 해안에 인접한 지역들로서(Fig. 2) 엘니뇨 현상으로 인한 태평양 지역 해수의 영향이 이들 지역의 기온에 영향을 미쳤을 것으로 추정할 수 있다.

4.3 댐 유입량

남방진동지수와 강수량, 기온 등과 같은 수문변량들의 관계는 이전의 연구 등에서 많이 조사되었다. 하지만 남방진동지수와 댐 유입량의 관계에 대해서는 아직까지 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 남방진동지수와 8개 댐의 월유입량과의 계절적 관계를 분석해 보았다. 최상류 지역에 위치한 댐을 연구대상으로 선정함으로써, 댐 유입량에 다른 유역의 유입량은 배제되고 수문기상학적 요인들만이 영향을 미치는 지역을 선정하여 남방진동지수와와의 관계를 파악하고자 하였

다. Fig. 15(a)에서 횡축은 ENSO episode의 구분에 따른 표준유입량지수 (standardized inflow index)를 나타내고 있으며, 종축은 초과확률을 나타내고 있다. 각 그림의 제목은 ENSO와 댐유입량의 계절적 지체관계를 나타내주고 있다. 또한 Fig. 15(b)는 ENSO episode의 구분에 따른 표준화된 유입량 지수의 최대값, 최소값, 평균값 및 평균±표준편차를 나타내고 있다.

8개 지역의 댐 유입량과 남방진동지수의 계절적 관계 분석 결과 중 남방진동지수와 유의한 상관관계를 보여준 지역은 소양강댐 유역으로 그 결과는 Fig. 15에 나타내었다. 강수량과 기온의 결과분석과 같이 Fig. 15(a)를 통해 겨울철 남방진동지수와 두 계절이 지체(Lag2)된 유입량 자료의 관계에서 Warm ENSO episode는 많은 유입량의 발생과 유의한 관계가 있으며 반면에 Cold ENSO episode는 작은 유입량의 발생과 유의한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한 소양강댐 유역의 경우 댐 유입량 자료뿐만 아니라 댐 유입량에 영향을 미치는 중요한 요소인 춘천 지역의 강수량 자료가 남방진동지수와 서로 유의한 상관관계에 있음을 Fig. 9

에서 확인할 수 있었다.

소양강 유역의 경우 댐 유입량 자료기간이 32년이었지만, 대부분 유역의 경우 Table 2에 나타나듯이 강수량 자료처럼 30년 이상 자료를 보유하고 있는 지역이 많이 부족한 실정이다. 따라서 댐 유입량과 남방진동지수와의 보다 정확한 계절적 관계 분석을 위해서는 앞으로 보다 더 오랜 시간의 자료기간 축적이 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 전 세계적으로 기후 변동에 영향을 미치는 것으로 알려진 ENSO 현상과 한국의 수문변량들간의 계절적 관계에 대하여 분석하였다. 계절적 관계 분석을 위해 봄, 여름, 가을 그리고 겨울의 4계절로 구분하여 분석을 실시하였으며, 남방진동지수를 이용하여 ENSO 상태를 Cold ENSO episode, Normal condition 그리고 Warm ENSO episode로 구분하였다. 수문변량으로는 23개 기상관측지점의 강수량 자료, 14개 지점의 기온 자료 그리고 8개 댐 유역의 유입량 자료를 사용하였다. 수문변량들은 변동계수 제거를 위하여 확률분포를 이용해 표준화된 정규지수 (standardized normal index)로 변환하는 방법을 이용하였다.

본 연구 결과 일부 지역에서 남방진동지수와 수문변량들간에 유의한 상관관계를 나타내었다. 월강수량의 경우 춘천, 속초, 목포 지역에서 월평균기온의 경우 추풍령, 전주, 포항, 울산, 여수 지역에서 ENSO의 영향을 받는 것으로 나타났다. 대부분의 지역에서 Warm ENSO episode의 경우 강수량 증가와 기온 상승과 유의한 상관관계를 나타냈으며, Cold ENSO episode의 경우 강수량 감소와 기온 하강과 유의한 상관관계를 나타내었다. 댐 유입량 자료의 경우 지금까지 축적된 자료들이 30년 미만인 경우가 대부분이 이어서 남방진동지수와의 상관관계 분석에서 유의한 상관관계를 찾아내기 어려웠다. 하지만 소양강댐 유역의 경우 ENSO가 영향을 미치는 것으로 나타났다. Warm ENSO episode의 경우 유입량 증가와 Cold ENSO episode의 경우 유입량 감소와 유의한 상관관계를 나타내었다. 강수량의 표준화를 통해 엘니뇨와 우리나라 강수량의 시·공간적 상관관계 분석을 했던 신현석 (1999) 등의 연구와 남방진동지수의 범주구분에 의한 강수량에 미치는 ENSO 영향을 분석했던 진영훈 (2005) 등의 연구와 방법적인 차이를 나타내고 있지만, 강수량이 1년 지체되어 SOI와 높은 상관관계를 갖는다는 신현석 (1999) 등의 연구 결과와 남방진동현상의 영향이 우리나라의 남부와 중부에

대해 각기 다른 양상의 영향을 미치고 있다는 진영훈 (2005) 등의 연구 결과와 같이 ENSO 현상의 영향이 우리나라에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과를 정리해 보면 다음과 같다. 선정된 지역들 중에서 춘천, 속초, 목포 등과 같이 일부 지역의 경우 ENSO 지수의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 댐 유입량 자료의 경우 소양강 댐 유역에서 ENSO 지수의 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구에서 살펴본 바와 같이, ENSO 지수 등이 대변해주는 대규모의 기상학적 변동성과 상관관계가 있다고 판단되는 지역적 수문학적 요소들에 대한 좀 더 폭넓은 조사가 필요하며, 이러한 연구는 기상학적 변동성에 영향을 받는 지역적 수문과정의 예측모형에 유용한 정보를 제공함으로써 보다 효율적인 수자원 관리체계의 개발에 도움을 줄 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업 (05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- 강인식, 허창희, 민경덕 (1992). "한반도 여름철 강수량의 장기예측." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제28권, 제3호, pp. 283-292.
- 문영일, 권현환, 김동권 (2005). "해수면온도와 우리나라 강우량의 상관성 분석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제12호, pp. 995-1008.
- 신현석, 안재현, 윤용남 (1999). "엘니뇨와 우리나라 강수량의 시·공간적 상관관계분석." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제19권, 제II-1호, pp. 1-12.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범 (1997). "한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면온도와의 상관관계에 관한 연구." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제33권, 제3호, pp. 487-495.
- 이동률 (1998). "엘니뇨 및 라니냐와 한국의 기온 및 강수량 관계." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제31권, 제6호, pp. 807-819.
- 이동률 (1999). "엘니뇨/남방진동과 한국의 가뭄과 관계." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제2호, pp. 111-120.
- 진영훈, 박성천 (2005). "남방진동지수의 범주구분에 의한 강수량에 미치는 ENSO 영향의 통계학적 분석.",

- 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제6B호, pp. 443-450.
- 차은정, 전종갑, 정효상 (1999). "엘니뇨/리니냐 해의 우리 나라 기후 특성에 관한 연구." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제35권, 제1호, pp. 98-117.
- 하경자 (1995). "겨울철 서울 기온의 경년 변동과 태평양 해면 온도와의 상관성 연구." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제31권, 제4호, pp. 313-323.
- Bjerknes, J. (1966). "Survey of El Niño, 1957-58 in its relation to Tropical Pacific Meteorology." *Bull. Int. American Tropical Tuna Commission*, Vol. 12, pp. 3-62.
- Kim, T.-W., Valdes, J.B., Nijssen, B., and Roncayolo, D. (2006). "Quantification of linkages between large-scale climatic patterns and precipitation in the Colorado River Basin." *Journal of Hydrology*, Vol. 321, pp. 173-186.
- Liu, Z., Valdes, J.B., and Entekabi, D. (1998). "Merging and error analysis of regional hydrometeorologic anomaly forecasts conditioned on climate precursors." *Water Resources Research*, Vol. 34, pp. 1959-1969.
- Namias, J. (1969). "Seasonal interactions between the North Pacific Ocean and the atmosphere during the 1960's." *Monthly Weather Review*, Vol. 97, pp. 173-192.
- Nicholls, N. (1995). "All-Indian summer monsoon rainfall and sea surface temperature around northern Australia and Indonesia." *Journal of Climate*, Vol. 8, pp. 1141-1152.
- National Oceanic & Atmospheric Administration, Climate Prediction Center (2005). *Climate Diagnostics Bulletin*
- Peel, M.C., McMahon, T.A., and Finlayson, B.L. (2002). "Variability of Annual Precipitation and Its Relationship to the El Niño-Southern Oscillation." *Journal of Climate*, Vol. 15, pp.545-551.
- Rasmusson, E.M., and Carpenter, T.H. (1983). "The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperature and Rainfall over India and Sri Lanka." *Monthly Weather Review*, Vol. 111, pp. 517-528.
- Ropelewski, C.F., and Halpert, M.S. (1987). "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation" *Monthly Weather Review*, Vol. 115, pp. 606-1626.
- Ropelewski, C.F., and Jones, P.D. (1987). "An extension of the Tahiti-Darwin southern oscillation index." *Monthly Weather Review*, Vol. 115, pp. 2161-2165.
- Trenberth, K.E. (1997). "The Definition of El Niño." *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Walker, G.T. (1923). "Correlation in seasonal variations of weather, IX. A further study of world weather." *Memoirs of the India Meteorological Department*, Vol. 24, No. 9, pp. 275-333.
- Wang, W.C., and Li, K. (1990). "Precipitation Fluctuation over Semiarid Region in Northern China and the Relationship with El Niño/Southern Oscillation." *Journal of Climate*, Vol. 3, pp. 769-783.

(논문번호:06-95/접수:2006.09.15/심사완료:2007.03.27)