

엘니뇨 및 라니냐와 한국의 기온 및 강수량 관계

Relationships of El Niño and La Niña with both Temperature and Precipitation in South Korea

이 동 루*

Lee, Dong Ryul

Abstract

The relationships of El Niño and La Niña with both temperature and precipitation in South Korea is studied. Monthly temperature and precipitation are analyzed using harmonic analysis to identify region, magnitude and season that have responses associated with El Niño and La Niña. The first harmonic is extracted from a 24 month El Niño and La Niña composite at each station. The regions are identified by the similarity in the phase of the harmonic vectors. The responses of temperature to El Niño and La Niña are found in the all regions. However, the response of precipitation to El Niño and La Niña is identified only in the southern region. In addition, statistical significance for response periods is investigated through cross correlation analysis. Once an El Niño and a La Niña event set in, the results of this analysis can provide an efficient information for the management of water resources, agriculture and environment.

Keywords: El Nino, La Nina, teleconnection, harmonic analysis, cross correlation, monthly temperature and precipitation

요 지

엘니뇨 및 라니냐와 우리 나라의 기온 및 강수량의 관계를 연구하였다. 엘니뇨와 라니냐의 영향 지역, 크기 및 기간을 확인할 수 있는 조화분석을 이용하여 월평균기온과 강수량을 대상으로 분석하였다. 각 관측소에 대하여 엘니뇨 및 라니냐의 24개월 기온 및 강수량 합성도로부터 1차 조화수를 구하고, 유사한 조화벡터를 갖은 지역을 확인하였다. 기온에 대한 엘니뇨와 라니냐의 영향은 우리 나라 전 지역에서 유의적으로 나타났다. 그러나 강수량에 대한 엘니뇨 및 라니냐의 영향은 남부지역에서만 그 영향이 확인되었다. 그리고 교차상관분석을 통하여 영향기간의 통계적 유의성을 검토하였다. 본 연구의 결과는 엘니뇨와 라니냐가 발생했을 때 수자원, 농업 및 환경 관리에 효율적인 정보를 제공할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 엘니뇨, 라니냐, 원격상관, 조화분석, 교차상관, 월 기온 및 강수량

* 한국건설기술연구원 수자원연구소 선임연구원

Senior researcher, Water Resources Eng. Div., Korea Inst. of Construction Technology, Koyang, Kyonggi 411-410, Korea

1. 서 론

1972~1973년 기간에 지구상의 광범위한 지역에서 발생한 이상기후로 인해 호주, 인도네시아, 브라질 및 중앙 아메리카에서 심각한 가뭄이 발생하였고 케냐, 브라질 남부, 페루 및 에콰도르에서는 큰 홍수가 발생하였다. 그 당시 가뭄과 홍수를 초래한 이상기후의 일부 원인이 태평양 해면온도의 변화(El Niño)와 태평양 양편 해면기압의 변화(Southern Oscillation, SO) 때문일 수도 있다는 것이 제기되었다. 이들 두 가지 변화가 혼합되어 나타나는 현상을 대중매체에서는 엘니뇨 사상(El Niño event)이라 하고, 과학문헌에서는 ENSO 사상(El Niño-Southern Oscillation event)이라 한다(Glantz, 1996). 그러나 본 연구에서는 두 가지 현상을 엘니뇨라는 용어로 사용하고자 한다.

최근 엘니뇨의 영향에 관련된 연구는 르네상스를 못하고 있고, 그 연구 결과는 엘니뇨의 영향이 기후변화, 사회·경제 및 일상생활에까지 영향을 미치고 있는 것으로 보고되고 있다. 그 동안의 연구에서 제시되고 있는 결과에서 엘니뇨 기간에 호주의 북부, 아프리카의 남동부, 브라질의 북동부, 인도의 일부 지역과 중앙 아메리카 등에서는 가뭄이 발생되고, 페루, 에콰도르, 적도부근의 동태평양 및 중태평양 지역에서는 홍수가 발생하는 것으로 밝혀지고 있다. 또한 엘니뇨는 미국의 동부해안에서 발생하는 태풍의 발생 빈도와 호주의 동부해안에서 발생하는 태풍의 위치에 영향을 주고 있다(Glantz, 1996). 수자원 관리 입장에서 파악해야 할 엘니뇨의 직접적인 영향은 지구상의 여러 지역에서 발생하는 가뭄과 홍수이다. 이런 결과들에서 볼 때 수자원 관리에서 엘니뇨는 가뭄과 홍수의 예측에 하나의 실마리를 제공할 수 있는 요소로 등장하고 있다. 홍수와 가뭄의 예측과 관리는 수자원 관리 분야에서 가장 중요한 요소이다. 따라서 엘니뇨가 수자원에 미치는 영향은 이제 수자원 관리를 담당하고 있는 정책 결정자와 실무자들이 반드시 파악할 필요가 있다.

엘니뇨가 수문기상에 미치는 영향을 파악하는 대표적인 기법은 통계적 방법을 이용한 원격상관(teleconnection)을 찾는 것이다. 원격상관이란 지구상의 정상적인 기후패턴에서 엘니뇨로 인한 이상변화, 평균에서의 편차(anomaly), 간의 연관성을 말하는 것으로서 과학자들의 전문용어로 이용되고 있다(Glantz, 1996). 원격상관을 찾기 위한 통계적 방법에는 교차상관분석(cross correlation analysis), 평균치의 t-검정,

중앙치의 Mann-Whitney U-검정 및 조화분석이 있다(McBride와 Nicholls, 1983; Bhalme과 Jadhav, 1984; Ogallo, 1988; Waylen 등, 1994; Katz, 1988; Brown과 Katz, 1991; Andrade와 Sellers, 1988; Yarnel과 Diaz, 1986; Ropelewski와 Halpert, 1986, 1987, 1989). 이들 분석방법들에서 엘니뇨 영향의 공간적 범위, 크기 및 기간을 파악하기 위한 좀더 효율적인 방법으로 조화분석(harmonic analysis)을 들 수 있다. 현재 대중매체와 엘니뇨의 영향 관련 문헌에 제시되고 있고, 미해양대기청(NOAA)에서 제시한 엘니뇨의 영향 지역을 나타낸 기후도는 조화분석에 의한 Ropelewski와 Halpert(1986, 1987, 1989), Halpert와 Ropelewski(1992)의 연구 결과를 이용한 것이다. 현재, 조화분석은 엘니뇨의 영향분석에 가장 많이 이용되는 기법이 되고 있다.

국내에서도 적도부근 태평양의 해면온도(Sea Surface Temperature, SST), 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI)와 한반도의 기온 및 강수량에 대한 원격상관을 분석한 여러 연구가 있다(과학기술처, 1990; 하경자, 1995; 환경부와 과학기술처, 1996; 안중배 등, 1997; 신현석 등, 1998; 이용희, 1998). 이상의 연구는 대부분 특정 지점 및 계절을 대상으로 한 연구로 영향 지역의 구분, 영향 기간에 대한 보다 면밀한 정보를 얻기 위한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 Ropelewski와 Halpert(1986)에 의해 제시된 조화분석을 이용하여 엘니뇨와 라니냐가 우리나라에 미치는 영향지역, 크기 및 기간에 대한 상세한 연구를 수행하였다. 또한 조화분석에 의해 선정된 영향기간에 대한 신뢰성을 파악하기 위하여 SOI와 영향기간의 기온 및 강수량의 교차상관분석을 이용하여 통계적인 유의성을 평가하였다. 이와 같은 연구 결과는 수자원 관리, 농업 및 사회 경제적 측면에서 효율적인 정보를 제공할 수 있을 것이다.

2. 분석 자료 및 분석 방법

14개 기상청 관측소에 대한 1954~1996년 기간의 월강수량과 월평균기온에 대한 분석을 수행하였다. 대상 관측소는 그림 1과 같다. 또한 같은 자료 기간에 발생한 엘니뇨와 라니냐 발생 연도는 Kahya와 Dracup(1993) 및 Trenberth(1997)에 의해서 제시된 자료를 이용하였다. 표 1은 선정된 11개 엘니뇨 및 8개 라니냐 발생 연도이다. Trenberth(1997)의 정의에



그림 1. 분석 대상 관측소

표 1. 분석기간 중 엘니뇨와 라니냐의 발생 연도

엘니뇨	1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1979, 1982, 1986, 1991, 1994
라니냐	1956, 1964, 1970, 1973, 1974, 1984, 1988, 1995

의하면 표 1에 제시된 연도에 각 사상들이 발생하고 다음 해에 소멸되었다. 또한 우리나라의 기온 및 강수량과 엘니뇨와의 교차상관분석에 의한 통계적 유의성을 파악하기 위하여 엘니뇨 지수로서 1954~1996년 기간의 SOI를 이용하였다.

본 연구에서는 엘니뇨 및 라니냐에 따른 기온 및 강수량의 변동을 분석하기 위하여 영향의 공간적 범위, 크기 및 기간을 효율적으로 파악할 수 있는 Ropelewski와 Halpert(1986)에 의해 제시된 조화분석 기법을 이용하였다. 또한 조화분석에 의해 선정된 영향지역별 각 영향기간의 기온 및 강수량과 SOI와의 교차상관분석을 수행하였다. 본 연구의 전체적인 분석 과정은 그림 2와 같으며 각 항목에 대한 간략한 설명은 다음과 같고 조화분석에 대한 상세한 내용은 Ropelewski와 Halpert(1986) 및 Kahya와 Dracup(1993)의 논문을 참고하기 바란다.

본 연구의 첫 번째 단계는 각 관측소의 기온 및 강수량을 백분위수(percentile rank)로 나타낸다. 이를 얻기 위하여 n년 기온 또는 강수량이 있는 경우, 먼저

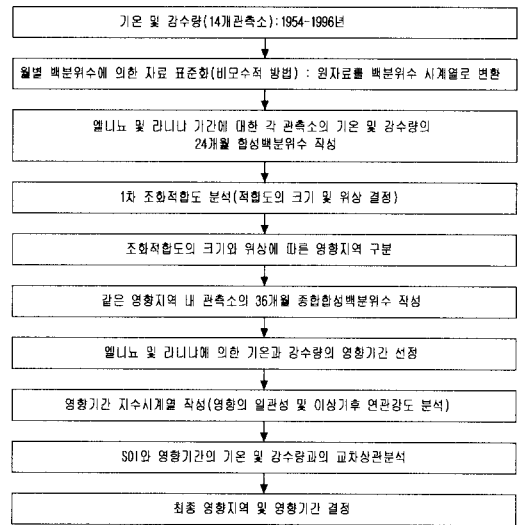


그림 2. 본 연구의 분석과정

각 월자료에 대하여 오름차순으로 정렬하고 해당 자료치에 순위를 부여한다. 즉, 오름차순으로 정렬된 첫 번째 자료에 1부터 마지막 자료에는 n을 부여한다. 그리고 부여된 순위를 표준화하기 위하여 각 순위를 기록년수 즉, n으로 나눈 다음 100을 곱함으로써 백분위수를 구한다. 또한, 이들 각 백분위수를 해당 월자료에 부여하여 백분위수 시계열을 최종적으로 작성한다.

두 번째는 각 관측소에 과거 발생한 각 엘니뇨 사상을 기초로 24개월 합성백분위수(composite percentile rank)를 작성한다. 24개월 합성백분위수는 엘니뇨 사상이 발생한 전 연도의 7월부터 시작한다. 따라서 합성백분위수는 엘니뇨가 발생한 전년도 6개월, 발생년도 12개월, 발생 다음해 6개월로 구성되고, 각 기간에 (-1), (0), (+1)의 기호를 부여한다. 즉, (-1)은 엘니뇨 발생 전년도, (0)은 발생년도, (+1)은 발생 다음해를 표시한다.

세 번째 단계는 엘니뇨 기간의 기온 및 강수량에 대한 24개월 합성백분위수 계열의 1차 조화수를 이용한 조화적합도의 작성이다. 24개월 합성백분위수에 대한 조화적합도로부터 엘니뇨 사이클의 크기(amplitude)와 위상(phase)을 얻는다. 엘니뇨기간의 기온 및 강수량의 24개월 합성백분위수에 대한 1차 조화수는 식 (1)로부터 계산된다(Kahya와 Dracup, 1993).

$$X = X_0 + \sum_{k=1}^{P/2} C_k \cos\left[\frac{2\pi k}{P}(t - t_k)\right] \quad (1)$$

여기서 X 는 시간 t 에서의 백분위수, X_0 는 백분위수의 산술평균, P 는 주기로서 24개월, $C_k = (A_k^2 + B_k^2)^{1/2}$ 는 k 번째 조화수의 크기로서 여기서는 합성백분위수의 평균으로부터의 최대편차로 정의된다. 또한 A_k 와 B_k 는 Fourier계수이다. t 는 관측시간($t=1, 2, \dots, P$ 개월)이고, t_k 는 k 번째 조화수가 최대가 되는 시간이다. 각 관측소의 기온 및 강수량의 합성백분위수는 각각의 위상 값을 갖는다. Ropelewski와 Halpert(1986)는 위상을 합성백분위수에서 기온 또는 강수량이 가장 큰 반응을 갖는 시기(월)로 지정하였다. 조화분석에 의한 결과는 엘니뇨 영향의 크기(평균으로부터의 최대편차), 최대영향 시기(위상)를 제공한다. 이들 결과에서 비슷한 값을 갖는 지역들을 구분함으로써 엘니뇨 영향의 공간적 범위를 설정한다.

네 번째 단계는 조화분석에 의해 구한 크기와 위상을 토대로 대상 지역에서 같은 영향을 갖는 공간적인 지역 구분을 수행한다. Ropelewski와 Halpert(1986)는 조화분석에 의해 구한 적합도의 크기와 위상을 이용하여 식 (2)와 같은 코히런스(coherence)를 추정하여 0.8이상을 갖는 지역을 같은 영향 지역으로 구분하였다.

$$\text{coherence} = \frac{|V|}{S} \quad (2)$$

여기서 $|V|$ 는 위상을 고려한 크기의 벡터(vector)평균, S 는 크기의 스칼라(scalar)평균이다. 코히런스의

이용 목적은 분석 지역에서 영향의 크기와 위상이 불일치 되는 지점을 제거하기 위한 것이다.

다섯 번째 단계는 영향기간 또는 계절을 파악하기 위하여 같은 영향 지역 분류된 각 기온 및 강수량 지점의 합성백분위수를 평균하여 종합합성백분위수를 작성한다. 본 연구에서는 엘니뇨 발생기간(0, +1)뿐만 아니라 소멸 후(+2)의 영향도 평가하기 위하여 36개월 종합합성백분위수를 작성하였다. 영향기간은 36개월 종합합성백분위수로부터 같은 부호의 편차가 5개월 또는 그 이상 갖는 기간으로 선정한다.(Kahya와 Dracup, 1993). 여섯 번째 단계는 위에서 선정된 영향기간을 엘니뇨와 라니냐가 발생하지 않은 연도와 비교하여 영향의 일관성을 검토하는 것이다.

이상의 조화분석에서 선정된 엘니뇨 및 라니냐에 의한 영향 지역별 영향기간의 기온과 강수량은 SOI와 교차상관분석을 통하여 영향에 대한 통계적 유의성을 평가한 후 최종 영향 지역과 기간을 결정하였다. 교차상관분석은 일반적으로 선형 상관관계 분석에 많이 이용되는 Pearson 상관함수를 이용하였다(Helsel과 Hirsch, 1992).

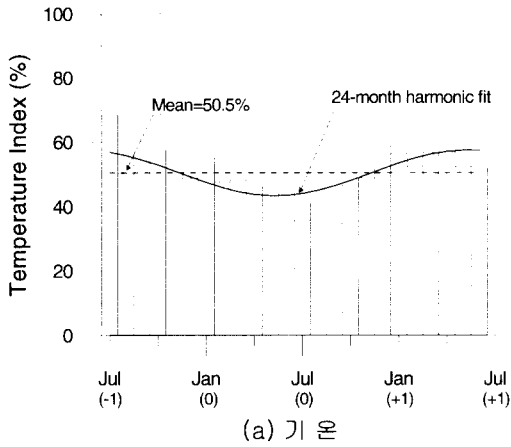
3. 분석 결과

3.1 조화분석

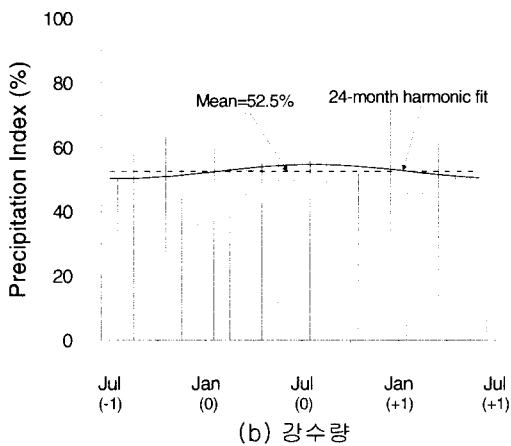
그림 3과 4는 11개 엘니뇨와 8개 라니냐에 대한 목포지점의 기온 및 강수량의 24개월 합성백분위수와 조화분석에 의한 조화적합도(harmonic fit)를 나타낸다.

표 2. 24개월 합성백분위수의 평균 및 조화적합도의 크기와 위상

지 점	기 온						강 수 량					
	엘 니 뇨			라 니 냐			엘 니 뇨			라 니 냐		
	평균(%)	크기	위상	평균(%)	크기	위상	평균(%)	크기	위상	평균(%)	크기	위상
강릉	50.8	-2.83	1(0)	46.0	-3.84	7(0)	48.7	-4.89	9(0)	47.3	2.84	9(0)
서울	51.7	-5.92	5(0)	48.1	-2.00	12(0)	50.5	-2.21	4(0)	46.8	0.82	1(+)
인천	51.4	-5.46	5(0)	48.1	-3.55	1(+)	50.6	-1.27	4(0)	47.1	1.20	10(0)
울릉도	49.4	-4.67	3(0)	46.5	-3.06	6(0)	47.1	-1.85	5(0)	46.1	3.97	4(0)
추풍령	50.8	-5.87	5(0)	46.0	-2.38	8(0)	50.7	-2.56	6(0)	49.3	-1.04	3(0)
포항	50.3	-3.94	5(0)	46.9	-3.16	6(0)	50.2	-1.76	3(0)	50.6	1.97	9(0)
대구	50.2	-5.74	5(0)	47.7	-0.10	8(0)	50.5	-3.03	2(0)	49.1	-1.10	12(0)
전주	50.8	-6.76	5(0)	48.0	3.02	3(0)	50.9	-0.99	9(0)	48.8	-1.19	6(0)
울산	50.1	-5.03	5(0)	46.3	-2.16	6(0)	51.4	2.96	8(0)	49.6	-2.21	9(0)
광주	50.7	-6.89	6(0)	46.5	3.39	3(0)	52.5	-2.27	5(0)	47.8	-3.03	7(0)
부산	50.4	-6.97	5(0)	46.7	-0.32	8(0)	51.8	2.12	10(0)	50.7	-3.98	9(0)
목포	50.5	-7.09	5(0)	46.1	2.82	2(0)	52.5	2.17	8(0)	49.2	-5.52	8(0)
여수	50.3	-8.20	5(0)	46.6	2.36	4(0)	52.7	3.43	11(0)	49.3	-3.47	7(0)
제주	51.1	-7.59	5(0)	47.9	-3.05	12(0)	53.7	3.39	7(0)	48.2	-3.55	8(0)



(a) 기온

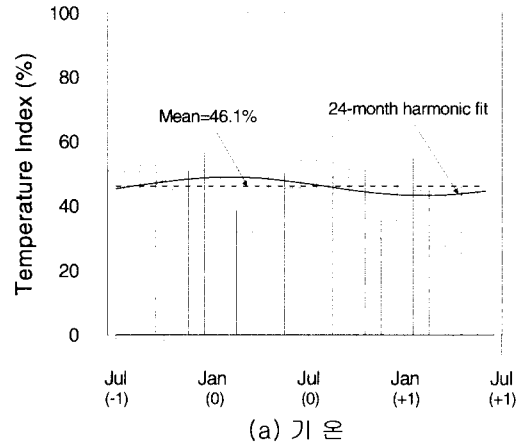


(b) 강수량

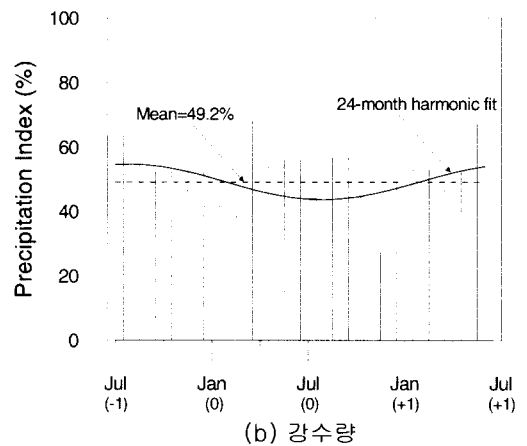
그림 3. 목포지점 24개월 합성백분위수 및 조화적합도(11개 엘니뇨 사상의 평균)

표 2에 그림 3, 4와 같이 작성된 14개 관측소의 엘니뇨와 라니냐에 대한 기온 및 강수량의 각 24개월 합성백분위수로부터 구한 평균, 조화분석에 의한 적합도의 크기와 위상을 제시하였다.

표 2에서 기온은 엘니뇨가 발생하는 연도-(0)로 표시-의 5월에 대부분 “-”반응을 보이고 있다. 반면에 강수량의 경우 엘니뇨와 라니냐에 의한 영향 지역에 따라 “+”반응과 “-”반응을 갖는 지역으로 구분되었으며, 라니냐에 의한 기온 역시 두 지역으로 구분되었다. 그림 5, 6은 엘니뇨 및 라니냐 기간의 기온과 강수량의 영향 지역을 나타낸다. 기온의 경우 엘니뇨 기간에 전 대상지점에 대해 코히런스 0.8 이상을 보였고(그림 5(a)), 라니냐 기간의 경우 호남과 중부 및 영남으로 영향지역이 구분되었다(그림 5(b)). 강수량의 경우 엘니뇨는 그림 6(a)와 같이 중부 및 남부내륙으로,



(a) 기온



(b) 강수량

그림 4. 목포지점 24개월 합성백분위수 및 조화적합도(8개 라니냐 사상의 평균)

라니냐의 경우 그림 6(b)와 같이 중부이북과 중부이남으로 영향지역이 구분되었다. 그림 5와 6에서 구분된 지역에서의 코히런스는 모두 0.8 이상을 기록하고 있다.

영향기간을 파악하기 위하여 엘니뇨 및 라니냐에 대해 같은 영향 지역 내에 속하는 각 관측소의 그림 3과 4와 같은 합성백분위수를 평균하여 그림 7과 8의 종합합성백분위수(aggregate composite percentiles)를 작성하였다. 예를 들어 전국이 엘니뇨에 의한 같은 영향권으로 구분되는 기온의 경우 14개 관측소의 36개월 합성백분위수를 평균하여 작성한다.

엘니뇨에 의한 기온의 영향은 그림 7(a)와 같이 엘니뇨가 발생하는 12월(0)부터 다음해 5월(+1)까지 50% 백분위수(이하 평균이라 함)보다 지속적으로 큰 기간을 보여주고 있어 엘니뇨의 영향이 뚜렷이 나타난다.

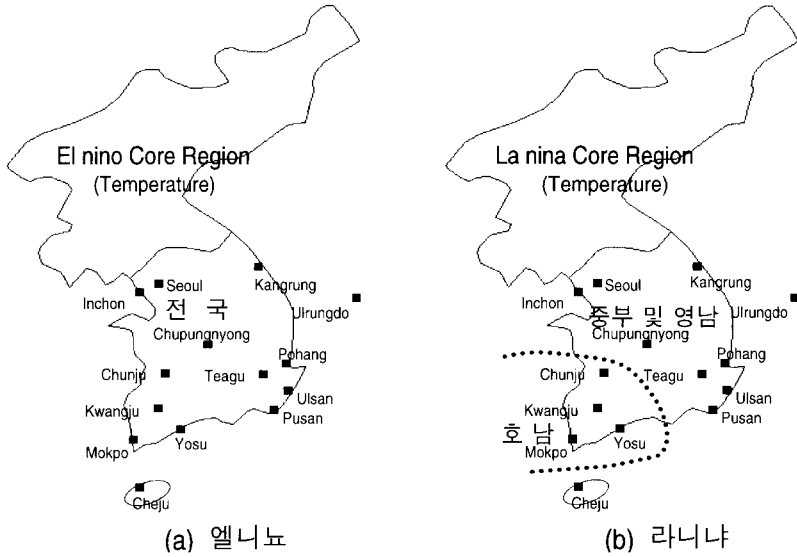


그림 5. 기온의 영향지역 구분

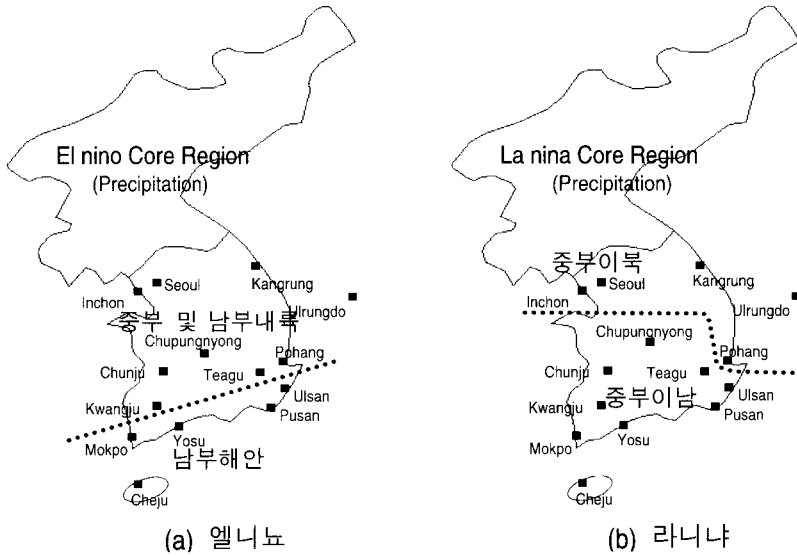


그림 6. 강수량의 영향지역 구분

중부 및 남부내륙의 강수량은 지속적인 엘니뇨의 영향을 찾을 수 없으며 남부해안의 강수량은 11월(+1)부터 다음해 5월(+2)까지 평균이하의 강수량을 보여주고 있다

라니냐에 대한 기온의 영향은 비록 그림 5(b)와 같이 두 지역으로 구분되었지만 그림 8(a), 8(b)와 같이 1월(0)과 5월(+1)이 평균이상으로 지속성은 떨어지지

만 전지역에서 11월(0)에서 6월(+1)까지 평균에서 큰 편차를 보이고 있다. 강수량의 경우는 중부이북에서 10월(+1)에서 3월(+2), 중부이남에서 10월(+1)에서 6월(+2) 기간에 평균보다 높은 편차를 보이고 있다.

지금까지 중합합성백분위수의 분석 결과에서 엘니뇨에 의한 전국기온의 경우 12(0)~5월(+1)에 고온, 라니냐에 의한 11(0)~6월(+1)기간에는 저온과 연관이 있

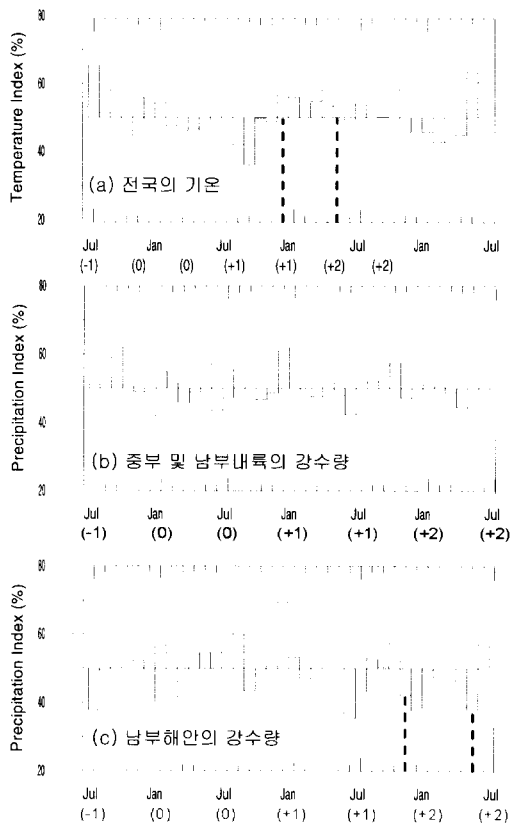


그림 7. 엘니뇨 기간의 36개월 종합합성백분위수

는 것으로 나타났다. 또한 강수량의 경우 엘니뇨에 의하여 남부해안의 경우는 11(+1)~5월(+2)기간에 다우, 라니냐에 의하여 중부이북의 10월(+1)~3월(+2)기간, 중부이남의 10월(+1)~6월(+2)에 과우와 연관되고 있는 것으로 나타났다. 이들 영향기간에 대한 일관성을 검토하기 위하여 1954~1996년 기간에 대하여 영향기간으로 선정된 매년 같은 기간을 평균하여 지수시계열(index time series)을 작성하고, 이 지수시계열로부터 엘니뇨 및 라니냐의 영향의 일관성을 검토하였다. 일관성의 분석은 지수시계열에서 엘니뇨 및 라니냐에 의한 영향기간의 과거 기온 및 강수량이 평균 이상 또는 이하로 나타나는 비율을 평가하는 것이다. 그림 9는 전국의 각 14개 관측소의 기온의 백분위수로부터 12월(0)~5월(+1)기간의 백분위를 평균하여 연도별로 도시한 것으로 검은 막대 그래프는 엘니뇨의 영향을 나타내고, 11개 엘니뇨 사상에서 7개 사상이 평균보다 큰 기온을 보여주고 있다. 따라서 평균 이상을 기록한 엘니뇨 영향의 일관성은 64 % 정도로 나타나고 있다. 그림 10

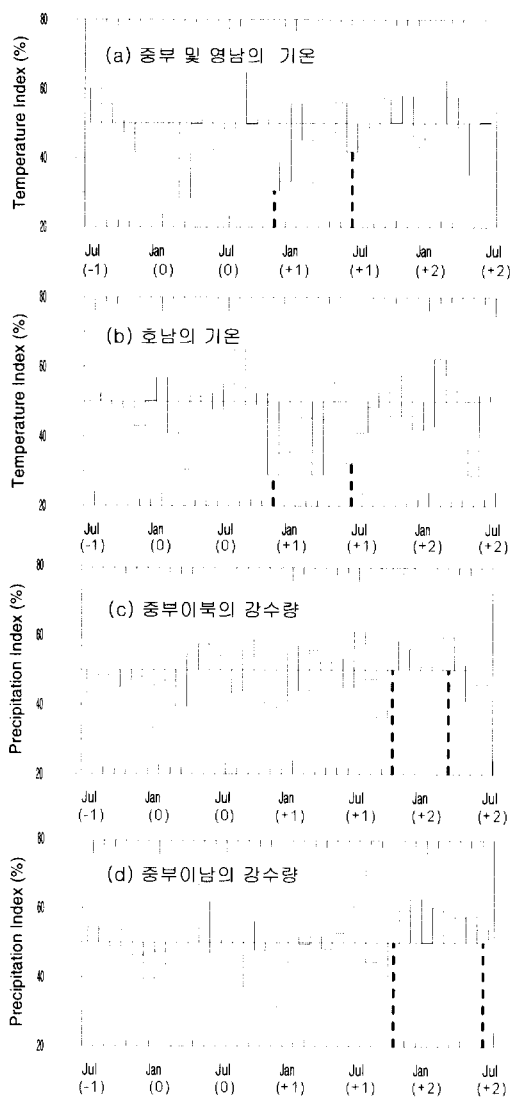


그림 8. 라니냐 기간의 36개월 종합합성백분위수

과 11에서 검은 막대 그래프는 라니냐의 영향을 나타낸다. 라니냐에 의한 기온의 영향기간의 지수시계열로서 8개 사상 중 6개가 평균 이하를 보여 75 %의 일관성을 보여주고 있다. 그림 12는 남부해안의 엘니뇨에 의한 강수량의 영향기간 지수시계열로서 일관성은 64 %이며, 그림 13, 14는 라니냐에 의한 중부이북과 중부이남 강수량의 지수시계열로서 일관성은 100 %로 나타났다.

일관성의 분석은 영향기간의 과거 기온 및 강수량을 평균 이상 또는 이하의 비율로 나타내는 것으로 이는

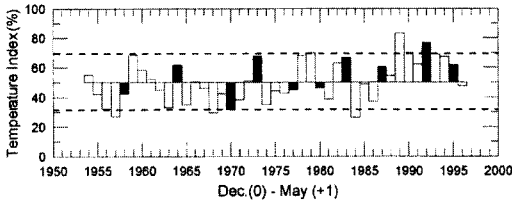


그림 9. 우리 나라 전지역의 엘니뇨 발생해(0)의 12월부터 다음해(+1) 5월까지의 기온 지수시계열

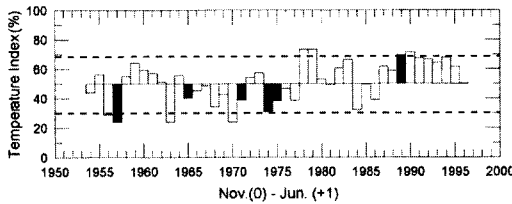


그림 10. 중부 및 영남의 라니냐 발생해(0) 11월부터 다음해(+1) 6월까지의 기온 지수시계열

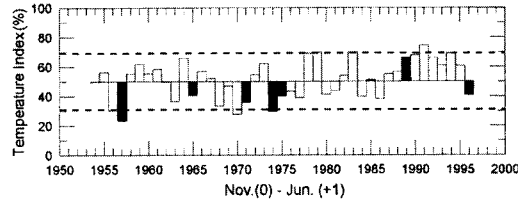


그림 11. 호남의 라니냐 발생해(0) 11월부터 다음해(+1) 6월까지의 기온 지수시계열

평균보다 약간 커도 비율에 반영되어 실제로 문제가 되는 이상기후 사상을 나타내는 데는 부족한 점이 있다. 사실, 수자원 관리자 입장에서 가뭄과 홍수와 같은 극치사상에 대한 영향을 파악하는 것이 더 중요한 사항이다. 따라서, 그림 9~그림 14의 지수시계열에서 이상기후, 즉 이상 고온 및 저온, 이상과우(가뭄) 및 이상다우(홍수)의 극치사상에 대한 상·하한치의 기준을 설정하여 이를 초과하는 비율(횟수)을 극치사상에 대한 엘니뇨 및 라니냐의 “연관강도”로 정의하고, 이를 산정하였다. 극치사상의 상·하한치는 Kahya와 Dracup(1993)이 이용한 것처럼 지수시계열의 값을 Weibull공식에 의해 빈도분석하여 10년 빈도로 설정하였다. 그림 9~그림 14에 제시된 실선은 10년 빈도의 이상기후를 나타내는 상·하한치이다. 가장 큰 연관강도는 그림 12의 엘니뇨에 의한 남부지방의 이상과우로

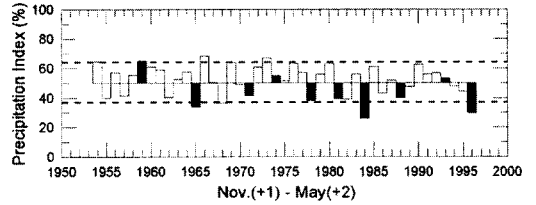


그림 12. 남부해안의 엘니뇨 발생 다음해(+1)의 11월부터 5월(+2)까지의 강수량 지수시계열

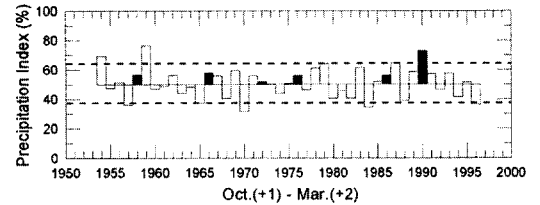


그림 13. 중부이북의 라니냐 발생 다음해(+1)의 10월부터 6월(+2)까지의 강수량 지수시계열

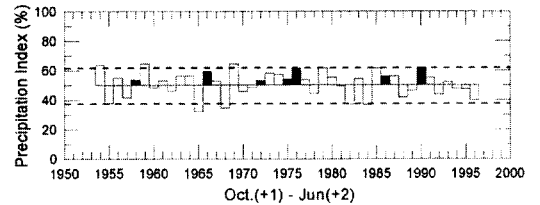


그림 14. 중부이남의 라니냐 발생 다음해(+1)의 10월부터 6월(+2)까지의 강수량 지수시계열

75 %의 높은 연관강도를 보여주고 있다. 그러나 대부분의 지역의 기온 및 강수량에 대한 연관강도는 25 %로 약하게 나타났다.

3.2 교차상관분석

교차상관분석은 먼저 1954~1996년 기간의 월 SOI와 우리나라의 전국 월평균기온, 엘니뇨와 라니냐의 영향지역별 월강수량의 교차상관분석을 통하여 통계적 유의성과 영향을 미치는 지체시간을 분석하였다. 교차상관분석에서 기온과 강수량은 각 월 평균과 표준편차를 이용하여 표준화하여 이용하였다. 그림 15는 SOI와 전국 평균기온의 상관계수로 99 % 유의수준에서 SOI에 7~10개월 지체되어 유의적인 부의 연관성을 보여주고 있다. 이 결과는 조화분석에 의한 그림 7(a), 8(a) 및 8(b)의 종합합성백분위수의 기온 영향기간과 일치되고 있음을 보여준다. 즉, SOI가 (-)로 감소하여

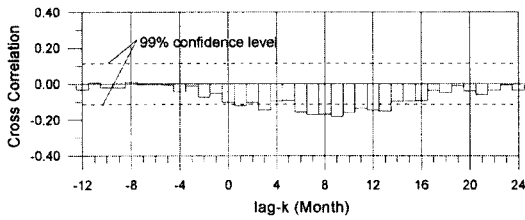


그림 15. SOI와 전국평균기온의 교차상관계수

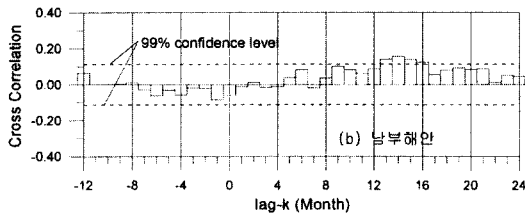
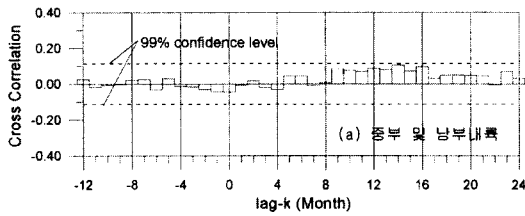


그림 16. SOI와 강수량의 교차상관계수 (엘니뇨 영향지역)

엘니뇨가 진행될 때 기온은 상승하고, SOI가 (+)로 증가하여 라니냐가 진행될 때 기온은 저하된다. 또한, Trenberth(1997)의 정의에 의하면 엘니뇨와 라니냐는 대부분 3월(0)~9월(0)에 발생하는 것으로 볼 때 그림 9의 7~10월 지체는 타당함을 보이고 있다. 따라서 이 결과에서 엘니뇨 및 라니냐에 대한 겨울과 봄철의 영향을 다시 확인할 수 있다.

그림 16과 17은 엘니뇨 및 라니냐의 영향지역으로

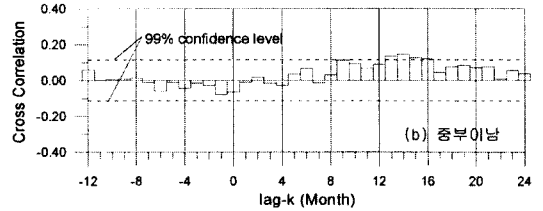
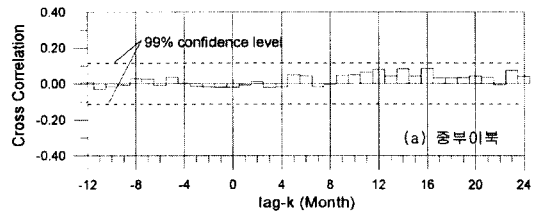


그림 17. SOI와 강수량의 교차상관계수 (라니냐 영향지역)

구분된 지역들의 월평균강수량과의 분석 결과로 엘니뇨에 의한 중부 및 남부내륙의 강수량과 라니냐에 의한 중부이북의 강수량은 99 % 유의수준에서 연관성이 없는 것으로 나타났다. 그림 7(b)와 같이 중부 및 남부내륙의 강수량은 평균이상 지속되는 기간이 없어 교차상관분석의 결과와 일치되고 있다. 그러나 그림 8(c)의 라니냐에 의한 중부이북의 강수량은 유의적인 영향기간이 나타나고 있으나 99 % 유의수준에서는 통계적 유

표 3. 계절별 SOI와 전국기온 영향기간의 상관계수

SOI 기간	엘 니 뇨	라 니 냐
	11(0)~6월(+1)	12(0)~5월(+1)
12(-1) ~ 2월(0)	-0.2024	-0.1275
3(0) ~ 5월(0)	-0.2644	-0.2336
6(0) ~ 8월(0)	-0.3727**	-0.3412*
9(0) ~11월(0)	-0.3796**	-0.3389*

** 99% 유의수준 : ± 0.393 , * 95% 유의수준 : ± 0.302

표 4. 계절별 SOI와 강수량 영향기간의 상관계수

SOI 기간	엘 니 뇨		라 니 냐	
	중부 및 남부 내륙	남부 해안	중부 이북	중부 이남
	11(+1)~5월(+2)	11(+1)~5월(+2)	10(+1)~3월(+1)	10(+1)~6월(+2)
6(0) ~ 8월(0)	0.2335	0.4020*	-0.0084	0.2746
9(0) ~ 11월(0)	0.3807*	0.5260**	0.1416	0.4565*
12(0) ~ 2월(+1)	0.2412	0.3323*	0.0771	0.3280*
3(+1) ~ 5월(+1)	0.3529*	0.3649*	0.1331	0.3710*

** 99% 유의수준 : ± 0.403 , * 95% 유의수준 : ± 0.306

의성이 없는 것으로 나타났다. 남부해안의 강수량에 대한 엘니뇨와 중부이남의 라니냐의 경우 99 % 유의수준에서 13~15개월 지체되어 유의적인 비례 연관성이 나타나고 있다. 이는 그림 7(c), 8(d)의 영향기간을 확인해 주고 있다. 이 결과는 기온의 영향 결과와 달리 강수량은 엘니뇨 및 라니냐의 소멸 후에 연관성이 있음을 제시하고 있다.

월별 교차상관분석과 함께 영향기간의 예측변수로서 계절별 SOI와 영향지역별 각 기간의 기온 및 강수량간의 분석도 수행하였다. 계절별 SOI는 해당 계절의 SOI의 평균과 영향기간의 기온과 강수량의 경우는 해당기간의 백분위수를 평균하여 이용하였다. 계절별 SOI와 그림 7과 8의 조화분석에 의하여 선정된 평균 이상 영향기간의 상관분석 결과는 표 3 및 4와 같다.

표 3은 계절별 SOI와 엘니뇨와 라니냐의 기온의 영향기간의 상관분석의 결과로서 그림 7(a), 8(a), 8(b)와 같이 반비례 관계를 잘 나타내고 있다. 그리고 6~8월(0)(여름), 9~11월(0)(가을)의 SOI가 95 % 유의수준에서 조화분석에서 선정된 영향기간에 유의적인 연관성을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 선정된 기온의 영향기간이 엘니뇨 및 라니냐와 95 % 유의수준에서 원격상관을 가지고 있음을 보여 준다.

표 4는 계절별 SOI와 강수량 영향기간의 교차상관분석의 결과이다. 그림 16과 17의 결과와 같이 99 % 유의수준에서 엘니뇨에 의한 중부 및 남부내륙과 라니냐에 의한 중부이북은 연관성이 없는 것으로 나타났으며, 남부해안과 중부이남은 모두 9(0)~11월(0)의 SOI에 가장 큰 연관성을 보이고 있다. 또한 상관계수가 비례관계를 보여주고 있어 그림 7(c), 8(d)의 엘니뇨에 의한 다우, 라니냐에 의한 과우를 잘 나타내 주고 있다.

4. 요약 및 토의

본 연구에서는 엘니뇨와 라니냐가 우리나라의 기온과 강수량에 미치는 영향 지역, 기간 및 강도를 분석하였다. 또한 분석결과의 신뢰성을 검토하기 위하여 SOI와 각 영향 지역별 영향기간의 기온과 강수량의 교차상관분석을 수행하였다.

기온의 경우 엘니뇨의 영향은 전국에 걸쳐서 동일하게 나타났으며, 라니냐의 영향은 중부 및 영남과 호남의 두 지역으로 구분되었지만 영향기간은 동일하게 나타났다. 한편, 강수량의 경우 엘니뇨의 영향지역은 중부 및 남부내륙과 남부해안 지역으로 구분되었고, 라니

냐의 경우는 중부 이북과 이남으로 구분되었다. 조화분석에 의해 분석된 영향지역의 구분은 강수량의 영향권이 중부이남에만 미치고 있는 것으로 볼 때 우리나라가 엘니뇨와 라니냐의 영향권의 가장자리에 위치하고 있음을 보여준다. 영향지역을 구분할 목적으로 수행된 연구결과는 아니지만 이용희(1998)와 신현석 등(1998)의 연구결과에서도 남부지방의 강수량이 중부지방보다 엘니뇨에 더 연관되고 있음을 보여주고 있다. 기온에 대한 연구영향 지역에 대한 연구는 없으나, 과학기술처(1990), 안중배 등(1997)은 한반도의 기온과 엘니뇨의 연관성이 있음을 보여주고 있다.

엘니뇨에 연관된 기온은 12월(0)부터 5월(+1) 기간에 평균보다 높은 기온이 나타나는 것으로 분석되었고, 일관성은 과거 발생했던 11개 엘니뇨 사상에서 7개 사상, 즉 64 %가 평균 이상의 영향을 보이고 있다. 그러나 12월(0)부터 5월(+1)의 기간의 이상고온과 엘니뇨와의 연관강도는 25 %로 약하게 나타났다. 라니냐의 영향기간은 11월(0)부터 6월(+1)까지로 평균보다 낮은 저온을 보여주고 있어 엘니뇨와 반대 현상으로 나타났다. 또한 두 영향 지역에서 8개 사상의 75 %인 6개 사상이 평균 이하의 영향을 보여주고 있으나, 이상저온에 대한 라니냐의 연관강도는 25 %로 약하게 나타났다. Halpert와 Ropelewski(1992)는 일본의 자료를 이용하여 일본을 포함한 우리나라 지역권의 기온에 대한 엘니뇨의 영향기간은 10월(0)부터 2월(+1)로서 이 기간의 기온은 고온현상을 보인다고 하였다. 본 연구와 비교할 때 이 결과는 영향기간이 본 연구 결과에 포함되거나 기간은 3개월 정도 짧은 기간을 보여주고 있다. 또한 이들은 라니냐의 영향기간으로 11월(0)부터 5월(+1)로서 이 기간에는 저온현상을 보인다고 했는데 본 연구와 거의 일치된 결과를 보이고 있다. SOI와 기온의 교차상관분석의 결과는 6(0)~11월(0)의 SOI와 엘니뇨 및 라니냐 영향기간의 기온은 각각 95 % 유의수준에서 -0.37, -0.34의 상관계수로 가장 큰 연관성을 보여주고 있다. 이들 결과는 과학기술처(1990), 하경자(1995) 및 안중배 등(1997)의 연구결과를 확인해 주고 있다.

강수량에 대한 엘니뇨와 라니냐의 영향은 기온과 다르게 상당히 장기간 지체되어 나타났다. 또한, 구분된 영향지역에서 중부지방의 강수량은 엘니뇨와 라니냐와의 연관성을 찾을 수 없었다. 엘니뇨의 의한 남부해안 강수량의 영향은 11월(+1)부터 5월(+2)까지 엘니뇨의 11개 사상 중 64 %인 7개 사상이 평균보다 적은 강

표 5. 엘니뇨와 라니냐가 우리나라의 기온과 강수량에 미치는 영향 요약

엘 니 뇨			
수문 기상	기 온	강 수 량	
영향 지역	전 국	중부 및 남부내륙	남부해안
영향 기간	12월(0)~5월(+1)	확인 안됨	11월(+1)~5월(+2)
영향 현상	고 온	확인 안됨	과 우
코히 런스	0.97	-	0.92
일 관 성	64 %	-	64 %
이상 기후 연관 강도	25 % (약함)	-	75 % (강함)
라 니 냐			
수문 기상	기 온	강 수 량	
영향 지역	전 국	중부이북	중부이남
영향 기간	11월(0)~6월(+1)	확인 안됨	10월(+1)~6월(+2)
영향 현상	저 온	확인 안됨	다 우
코히 런스	0.97	-	0.92
일 관 성	75 %	-	100 %
이상 기후 연관 강도	25 % (약함)	-	25 % (약함)

수량을 보여 주고 있다. 또한, 이상과우에 대한 엘니뇨 연관강도는 75 %로 강하게 나타났다. 라니냐에 의한 강수량의 영향은 중부이남에서 10월(+1)부터 6월(+2)로 7개 라니냐 사상 모두 평균보다 많은 강수량을 보였다. 그러나 이상다우에 대한 연관강도는 25 %로 약하게 나타났다. 엘니뇨와 라니냐의 각 영향기간의 강수량은 99 % 유의수준에서 9(0)~11(0)월 SOI와의 교차상관계수가 각각 0.52, 0.45로 유의적인 연관성을 보여주고 있다. 이와 같은 영향기간은 신현석 등(1998)의 연구결과에서도 확인할 수 있다. 그러나 다른 결과를 보이고 있는 연구도 있다. 함성백분위수를 이용하여 한반도의 강수량과 엘니뇨 및 라니냐의 관계를 연구한 환경부와 과학기술처(1996)는 엘니뇨와 강수량간의 뚜렷한 관계성이 없다고 하였다. 그러나 이 결과는 함성백분위수의 이용 기간이 엘니뇨 발생 전년도(-1), 발생해(0) 및 발생 다음해(+1)의 기간을 대상으로 하고 있기 때문인 것 같다. 또한, 안중배 등(1997)은 계절별 SST와 한반도의 여름(0) 및 겨울철(0~+1)의 강수량은 반비례(음) 상관이 있음을 제시하고 있다. 즉, 이는 SST가 커지는 엘니뇨 기간에는 강수량이 적어지고, 라니냐 기간에는 강수량이 많아진다는 결론이다. 그러나 그림 7(b), 7(c)과 8(c), 8(d)의 과거 엘니뇨 및 라니냐 기간의 강수량 종합함성백분위수에서는 이런 상관분석의 결과와 상충하는 연관성을 찾을 수 없었다. 따라서, 이 결과는 의사상관(spurious correlation)을 나타내는 것으로서 엘니뇨와 라니냐 이외의 영향에 의한 것으로 판단된다. 따라서 원격상관분석을 위하여 교차

상관분석을 수행할 경우 주의가 필요하며, 결과에 신뢰성을 부여하기 위한 추가분석이 요구된다.

표 5는 지금까지의 연구결과를 요약한 것이다.

5. 결 론

이상의 연구로 엘니뇨와 라니냐가 우리나라의 기온 및 강수량에 영향을 주고 있음을 확인하였고, 영향 지역 및 기간을 구분하였다. 또한 엘니뇨와 라니냐의 영향은 반대로 나타나고 있음을 확인하였다. 영향의 정도를 나타내는 일관성은 해당 영향지역에서 강하게 나타났다. 실제 이상기후와 연관강도는 상대적으로 약하게 나타났다. Piechota와 Dracup(1996)의 연구결과와 비교할 때 기온의 경우 우리나라와 비슷한 중위도에 위치하고 있는 북미지역과 비슷한 시기에 영향이 나타났다. 그러나 강수량의 영향은 이 지역보다 지체되어 나타났다. 원격상관을 파악하기 위한 교차상관분석만으로는 의사상관에 대해 주의를 할 필요가 있고, 본 연구에서는 이를 확인하였다. 끝으로 본 연구의 결과로 볼 때, 우리나라의 기온과 강수량에 대한 엘니뇨 및 라니냐 영향의 통계적 유의성은 존재하지만 영향의 예측에 상당한 어려움을 주고 있다. 그 이유는 교차상관분석의 결과가 예측에 충분한 정도로 연관성이 강하게 나타나지 않는다는 것이다. 앞으로 좀 더 실용적인 예측을 위해서는 통계적으로 나타난 유의성에 인과관계가 있는지에 대한 규명이 필요하다. 또한 다른 영향인자들과의 역학적인 관계에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단과 한국건설기술연구원의 지원으로 콜로라도 주립대학 토목공학과에서 박사후 과정 동안 수행한 연구로서 지원에 감사드립니다. 또한, 보다 충실한 논문이 되도록 원고수정을 해주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

참고 문헌

- 과학기술처 (1990). 한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구 (I). 중앙기상대 기상연구소.
- 신현석, 안재현, 윤용남 (1998). “엘니뇨와 우리나라 강수량의 시·공간적 상관관계 분석.” '98년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 32-37.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범 (1997). “한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와의 상관관계에 관한 연구.” 한국기상학회지, 한국기상학회, 제33권, 제3호, pp. 487-495.
- 이용희 (1998). “남방진동지수와 한반도 강수량과의 관련성.” *Climate Bulletin*, 기상연구소, Vol. 3, No. 1, 엘니뇨/라니냐 특집호, pp. 1-2.
- 하경자 (1995). “겨울철 서울 기온의 경년변동과 태평양 해면온도와의 상관성 연구.” 한국기상학회지, 한국기상학회, 제31권, 제4호, pp. 313-323.
- 환경부, 과학기술처 (1996). 지구규모 대기환경 기초 및 기반기술(기후변화 예측기술). 연세대학교 지구환경연구소.
- Andrade, E.R., and Sellers W.D. (1988). “El Niño and its effect on precipitation in Arizona and Western New Mexico.” *Journal of Climatology*, Vol. 8, pp. 403-410.
- Bhalme, H.N., and Jadhav S.K. (1984). “The southern oscillation and its relation to the monsoon rainfall.” *Journal of Climatology*, Vol. 4, pp. 509-520.
- Brown, B.G., and Katz R.W. (1991). “Use of statistical methods in the search for teleconnections: Past, present, and future.” *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*, edited by Glantz, M.H., Katz, R. W. and Nicolls, N., Cambridge University Press, Cambridge.
- Glantz, M.H. (1996). *Currents of Change: El Niño's impact on climate and society*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Halpert, M.S., and Ropelewski C.F. (1992). “Surface temperature patterns associated with the southern oscillation.” *Journal of Climate*, Vol. 5, No. 6, pp. 577-593.
- Helsel D.R., and Hirsch R.M. (1992). *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, pp. 209-220.
- Kahya, E., and Dracup J.A. (1993). “U.S. streamflow patterns in relation to the El Niño/Southern Oscillation.” *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 2491-2503.
- Katz, R.W. (1988). “Use of cross correlations in the search for teleconnections.” *Journal of Climatology*, Vol 8, pp. 241-253.
- McBride, J.L., and Nicholls N. (1983). “Seasonal relationships between Australian and the Southern Oscillation.” *Monthly Weather Review*, Vol. 111, No. 10, pp. 1998-2004.
- Ogullo, L.J. (1988). “Relationships between seasonal rainfall in East Africa and the Southern Oscillation.” *Journal of Climatology*, Vol. 8, pp. 31-43.
- Piechota, T.C. and Dracup, J.A. (1996). “Drought and regional hydrologic variation in the United States: Associations with the El Niño-Southern Oscillation.” *Water Resources Research*, Vol. 32, No. 5, pp. 1359-1373.
- Ropelewski, C.F., and Halpert M.S. (1986). “North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO).” *Monthly Weather Review*, Vol. 114, No. 12, pp. 2352-2362.
- 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, No. 8, pp. 1606-1626.
- Ropelewski, C.F., and Halpert M.S. (1989). “Precipitation patterns associated with the

- high index phase of the Southern Oscillation." *Journal of Climate*, Vol. 2, pp. 268-284.
- Trenberth, K.E. (1997). "The definition of El Niño." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, No. 12, pp. 2771-2777.
- Yarnel, B., and Diaz H.F. (1986). "Relationships between extremes of the southern oscillation and the winter climate of the Anglo-American Pacific coast." *Journal of Climatology*, Vol. 6, pp. 197-219.
- Waylen, P.R., Quesada, M.E. and Caviedes C.N. (1994). "The effects of El Niño-Southern Oscillation on precipitation in San Jose, Costa Rica." *Journal of Climatology*, Vol. 14, pp. 559-568.
- (논문번호:98-060/접수:1998.10.10/심사완료:1998.11.25)