

엘리뇨/라니냐의 우리나라 기상/수문에의 영향 평가

신 현 석^o / 김 양 수^{*} / 김 재 형^{**} / 김 양 수^{***}

1. 서론

엘리뇨란 지구 기상 이변 현상의 하나로 일반적으로 적도부근의 동태평양(페루주변 지역)의 해수 온도가 평년 기온 보다 높아지면서(약 +0.5°C 이상이 6개월 이상 지속) 발생하는 기상/해양 현상의 변화를 의미하며, 이는 적도부근 동태평양으로부터 서태평양 지역으로의 무역풍의 약화에 기인한다고 알려졌다. 또한, 라니냐 현상은 엘리뇨 현상과는 정반대의 현상으로 해수 온도가 평년 기온 보다 낮아지는 현상을 의미한다. 이러한 엘리뇨/라니냐 현상은 아직 그 발생원인의 과학적인 규명이 명확히 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

우리나라에서는 아직 기초적인 엘리뇨/라니냐의 기상/해양/수문에의 영향 평가에 관한 연구 실적도 빈약한 편이며 이러한 연구의 선행이 없이는 영향을 예측하고 국내 산업 및 환경에의 영향에 따른 대책을 수립한다는 것은 소원하여 왔다. 본 연구는 엘리뇨/라니냐 분석을 위한 기상/수문/해양 자료 DB를 구축하고, 그를 통하여 우리나라 기상/수문 요소에 미치는 영향을 통계적으로 분석하고 제시하는 데 목적이 있었다.

2. 엘리뇨/라니냐

스페인어로 '남자아이'라는 뜻을 지닌 엘니뇨는 1726년부터 관찰되고 기록되어진 현상(Cane, 1983)으로 원래는 매년 크리스마스 시즌에 남미 페루연안의 해수면 온도가 올라가는 계절적인 특성으로서 바닷물의 온도가 올라가면 연안의 바다에서 물고기떼가 다른 지역으로 이동하고 비가 많이 내리는 현상을 말한다. 그러나 최근 들어서는 그 개념이 바뀌어서 언제라도 동태평양 적도지방의 해수면 온도가 평년보다 0.5°C 이상 높아지는 현상을 엘니뇨라 부르며, 반대로 0.5°C 이상 낮은 경우에는 '여자아이'란 뜻의 라니냐(La Niña)로 부른다. 종종 엘리뇨는 온난사상(warm event), 그리고 라니냐는 한랭사상(cold event)로 표기되기도 한다. 영국의 기상학자인 Walker(1923)는 인도에서 아시아 몬순에 관한 연구를 위하여 기상 및 해양 자료들을 수집하여 분석하던 중에 남방진동(Southern Oscillation) 현상을 발견하였다. 남방진동이란 적도부근 남태평양 타히티(Tahiti)섬과 오스트레일리아 북부 다아윈(Darwin) 지역에서 발생하는 기압의 시소(Seasaw)현상으로 타히티의 기압이 올라가면 다아윈의 기압이 낮아지고, 반대로 타히티의 기압이 낮아지면 다아윈의 기압이 올라가는 현상을 말한다. Walker의 발견이후 수십년이 지나서 Bjerknes(1966)에 의해 남방진동이 엘니뇨현상과 밀접한 관계가 있음이 처음으로 알려졌다. 일반적으로 엘니뇨와 그때의 남방진동 현상을 ENSO(El Niño Southern Oscillation)라고 하며, ENSO의 정의를 위해서는 적도 부근 동서태평양 지역의 기압차이를 지수화한 SOI(Southern Oscillation Index), 적도 태평양 지역의 SST(Sea Surface Temperature) 및 해수면기압/대기압/해수온도/온도 등을 복합적으로 고려한 MEI (Multivariate ENSO Index, Wolter and Tim, 1993) 등이 널리 사용되어왔으나, 본 연구에서는 SOI를 대표 지수로 사용하였다. SOI는 타히티의 기압에서 다아윈의 기압을 빼준값을 월별로 표준화(Standardization) 함으로써 구할 수 있게 된다. 그림 1 은 1910년부터 1997년(현재)까지 월 SOI 시계열을 보여 주고 있다. 그림에서 큰 음수의 SOI값을 갖는 시점이 엘리뇨 현상이 발생하였던 시점이다. 그림에서 보듯이 1939년부터 40년대 초반까지의 SOI 값은 여러 해 지속적으로 음수의 값을 갖아 극심한 엘리뇨 기간이었음을 알 수 있으며, 또한 1982-1983의 기간은 그 값이 최소를 기록하여 가장 극심한 엘리뇨 기간이었다. 최근 들어 1991 - 1994년에 걸쳐 지속적으로 엘리뇨의 영향이 있었음을 알 수 있다.

○ 부산대학교 토목공학과 조교수, * 국립 방재 연구소 연구실장,

** 고려대학교 박사과정, *** 부산대학교 석사과정

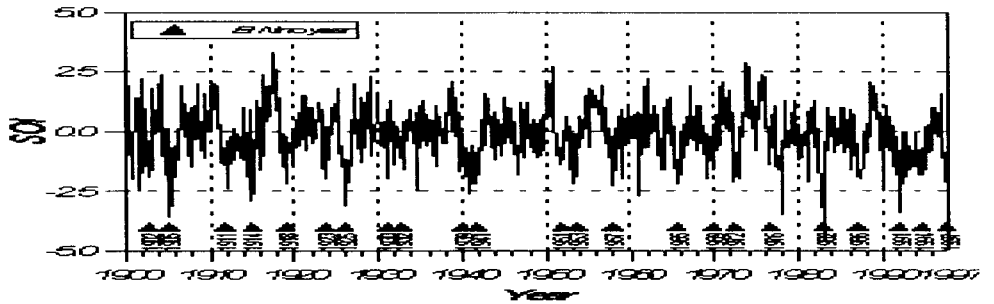


그림 1. 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI)

표 1. 엘리뇨/라니냐 계절 및 연도의 정의

년도	봄	여름	가을	겨울		년도	봄	여름	가을	겨울	
1950		X	X	X	라니냐해	75		X	X	X	라니냐해
51					엘리뇨해	76					
52						77					엘리뇨해
53					엘리뇨해	78					
54					라니냐해	79					
55		X	X	X	라니냐해	1980					
56	X	X	X	X		81					
57					엘리뇨해	82					엘리뇨해
58					엘리뇨해	83					
59						84					
1960						85					
61						86					
62						87					엘리뇨해
63						88		X	X	X	라니냐해
64		X	X	X	라니냐해	89	X	X	X	X	
65					엘리뇨해	1990					
66						91					엘리뇨해
67						92					엘리뇨해
68						93					
69					엘리뇨해	94					엘리뇨해
70					라니냐해	95					
71	X	X	X	X	라니냐해	96					
72					엘리뇨해	97					엘리뇨해
73					라니냐해	98		X	X	X	
74	X	X	X	X							

SOI가 높은 양수의 값을 갖을 때를 라니냐 (La Nina) 라고 한다. 라니냐는 엘리뇨와 반대되는 현상으로서 이 또한 극심한 남방진동의 하나이다. 이는 엘리뇨와 반대된다는 뜻에서 "소녀"라는 스페인어에서 그 어원을 찾을 수 있다. 라니냐 시기에는 적도 부근 태평양의 해수온이 정상 온도 보다 낮아지고 이 영향은 서태평양 쪽으로 확산되며 종종 엘리뇨에 뒤따라 일어난다. SOI의 원 자료는 NOAA/PMEL의 Web Site를 통하여 직접적으로 1900 - 1998년 현재까지의 자료를 획득하였으나, 최근 1950 - 1998년 간의 자료만을 분석에 사용하였다. 연구 목적을 위하여 월SOI자료는 계절 SOI로 변환되었으며, 이때 계절의 정의는 아래와 같다.

- ◎ 봄 : 3, 4, 5 월 (MAM), ◎ 여름 : 6, 7, 8 월 (JJA)
- ◎ 가을 : 9, 10, 11 월 (SON), ◎ 겨울 : 12, 1, 2 월 (DJF)

표 1 에는 계절별 엘리뇨/라니냐 기간을 정의하였으며, 이는 차후 분석을 위해 사용되어지는 엘리뇨/라니냐 기간을 의미한다. 여기서 ■■■는 극심엘리뇨계절을, ■■■■는 보통엘리뇨계절을, 그리고 ■■■■■는 라니냐 계절을 표시한다.

2. 분석 자료

본 연구를 수행하기 위한 첫 번째 절차는 시공간적인 기상/해양/수문 자료의 수집 및 DB의 구축이었다. 대상 자료별로 기상자료는 기상청과 부산대 대기학과에서 수문자료는 수자원공사 DB를 통하여 수집하였다. 연구 결과의 신뢰성을 제고하기 위해서는 결측이 많거나 짧은 구간의 자료는 사용할 수 없었으며, 개략적인 자료 선택의 기준은 아래와 같았다.

- ▶ 가능한 오랜 기간(30년 이상)의 관측 역사를 갖는 지점 (Time Consistency)
- ▶ 기간중 결측 자료가 많지 않은 지점 (Data Reliability)
- ▶ 남한전역에 균등하게 분포되어 있는 지점들 (Spatially Uniform Distribution)

수집된 모든 종류의 자료는 일자료(Daily)였으며, 이들 일자료들을 연구 목적에 부합하도록 월 및 계절 [봄 (MAM): 여름:(JJA): 가을(SON): 겨울(DJF)] 자료로 재구성하였으며, 표 2 는 수집된 기상 자료 및 재구성한 자료의 목록을 보여 주고 있으며, 이와 같이 재구성한 이유는 엘리뇨/라니냐-기상-자연재해의 메카니즘을 Column 3과 같이 맺기 위함이었다. 일례로, 홍수는 기상 자료 중에서도 월평균강수량 및 강우빈도, 강우강도에 의해 정의되어 질 수 있을 것이다. 그림 2는 기상 자료의 수집 관측망을 보여주고 있다. 관측점들은 비교적 전국에 걸쳐 등분포 되어 있으며 각 기상 자료는 1954년부터 1998년까지의 45년간의 자료가 사용되었다.

표 2. 기상 자료 수집 및 정리

항목	원자료	가공자료	관련 재해
기상 자료	일평균강수량	월평균강우량	홍수, 가뭄
		월별강우일수(0.1mm이상)	홍수
		월별강우일수(30mm이상)	홍수빈도
		월별강우일수(70mm이상)	홍수빈도
		월평균강우강도(30mm이상)	홍수강도
		월평균강우강도(70mm이상)	홍수강도
		월최대 일강우량	홍수강도
	일평균기온	월평균기온	냉해, 이상고온
		월기온일수(10°C이상)	작물기간
		월기온일수(5°C이상)	식물기간
	일최고기온	월최고기온일수(25°C이상)	자발휴면타파기간
		일최저기온	여름일온도
	일평균상대습도	월최저기온일수(0°C이하)	겨울일온도
		월평균상대습도	산불
	일평균일조시간	월평균상대습도일수(40%이하)	산불
월평균일조시간		농작물	
일평균풍속	월평균풍속	산불	
	태풍관련자료	태풍시 평균강우강도	태풍
태풍관련자료	태풍시 평균풍속	태풍	
	매해태풍발생횟수 (영향)	태풍	

지점번호	지점명	Lat. (N)	Long. (N)	Height (m)	관측시작연도(사용연도)
105	강릉	37° 45'	128° 54'	26.0	1912(1954)
108	서울	37° 35'	126° 58'	85.5	1908(1954)
112	인천	37° 29'	126° 38'	68.9	1905(1954)
115	울릉도	37° 29'	130° 54'	221.1	1939(1954)
135	추풍령	36° 13'	128° 00'	245.9	1949(1954)
138	포항	36° 02'	129° 23'	5.6	1950(1954)
143	대구	35° 53'	128° 37'	57.8	1909(1954)
146	전주	35° 49'	127° 09'	51.2	1920(1954)
152	울산	35° 33'	129° 19'	31.5	1947(1954)
156	광주	35° 08'	126° 55'	70.9	1940(1954)
159	부산	35° 06'	129° 02'	69.2	1905(1954)
165	목포	34° 47'	126° 23'	53.4	1906(1954)
168	여수	34° 44'	127° 44'	67.0	1943(1954)
184	제주	33° 31'	126° 32'	22.0	1924(1954)

표 2. 기상 자료 관측점 정보

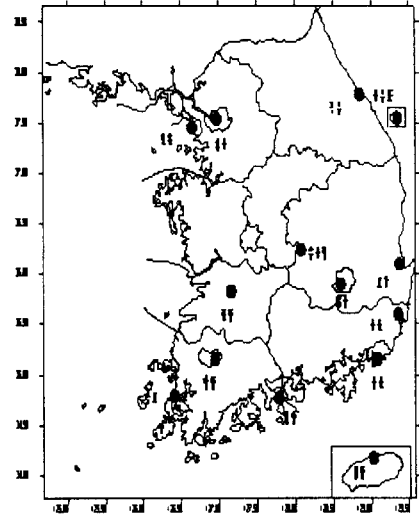


그림 2. 기상자료 관측점도

본 연구에서는 수문 현상 (하천 유출)을 대표하여 댐유입량과 하천유출량의 두가지의 자료를 사용하였다. 댐유입량은 표 4와 같이 한강유역의 소양, 충주댐, 금강 유역의 대청댐, 낙동강 유역의 안동, 임하, 합천 및 남강댐, 영산강 유역의 주암댐과 섬진강 유역의 섬진강댐을 대상으로 가능한 최장 기간의 자료를 사용하였다. 또한 전국 주요 6개 하천유량 측정 지점의 자료를 수집하여 사용하였다.

표 3. 수문 자료 (댐지점 및 하천 유량)

	지점명	수계	관측 자료 기간
댐 지점	소양강댐	한 강	1974 ~ 1995
	충주댐	한 강	1956 ~ 1995
	대청댐	금 강	1958 ~ 1995
	안동댐	낙동강	1954 ~ 1995
	임하댐	낙동강	1969 ~ 1995
	합천댐	낙동강	1963 ~ 1995
	남강댐	낙동강	1976 ~ 1995
	주암댐	영산강	1970 ~ 1995
	섬진강댐	섬진강	1966 ~ 1995
하천 지점	인도교 지점	한 강	1964 ~ 1995
	여주 지점	한 강	1981 ~ 1995
	공주 지점	금 강	1981 ~ 1995
	송정 지점	낙동강	1981 ~ 1995
	진동 지점	낙동강	1981 ~ 1995
	나주 지점	영산강	1981 ~ 1995

3. 분석 방법 및 절차

본 연구에서는 엘리뇨/라니냐의 기상/해양/수문예의 직접적인 영향을 평가하는 방법을 개발하였다. 분석을 위한 기본 자료는 수집/가공된 각 대상 자료 (강우, 강우 강도, 강우 빈도, 기온, 습도, 일조시간, 댐유량, 하천유량, 해수온도)에 대하여 각각 수행하였으며, 시간적으로는 계절 [봄 (MAM): 여름:(JJA): 가을(SON): 겨울(DJF)] 단위의 영향 평가를 수행하였다. 또한 공간적으로는 전국 각지의 관측점들을 사용하여 각 지역의 영향 정도를 차별 있게 분석하고자 노력하였다. 분석은 엘리뇨/라니냐가 발생한 당년 뿐만 아니라 다음해(익년)에의

계절별 영향도 분석하였다. 일반적으로 엘리뇨/라니냐가 기상/해양/수문에 끼치는 영향을 정량적으로 분석을 위해서는 아래와 같은 두가지 요소를 동시에 고려하여야 한다.

(1) 엘리뇨/라니냐가 대상 현상에 어떤 크기로 영향을 끼치는가 ?

(2) 엘리뇨/라니냐가 대상 현상에 얼마나 자주 영향을 끼치는가 ?

이들 두 요소는 각각 엘리뇨/라니냐 영향 강도 (Influence Intensity)와 영향빈도 (Influence Frequency)로 정의되어 질 수 있으며, 결과적으로 엘리뇨/라니냐 영향 정도를 대표하기 위한 영향 지수(Influence Index)는 이들 두 요소를 모두 독립적으로 동등하게 (Independence) 고려하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 기본적인 개념을 바탕으로 그림 3과 같은 절차로 영향 분석을 수행하였으며, 상세한 각 과정의 설명은 아래와 같다.

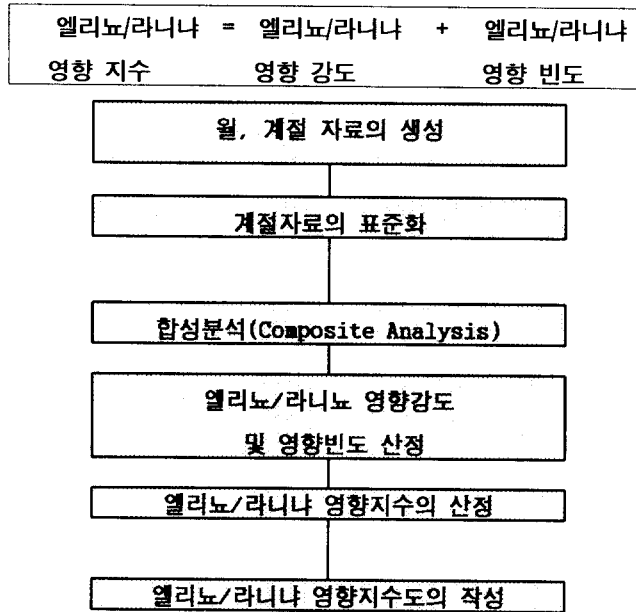


그림 3. 엘리뇨/라니냐의 (기상/수문/해양) 영향 평가 분석 흐름도

4. 분석 결과 및 결론

표 4와 5는 결론적인 엘리뇨/라니냐 당년 및 익년의 지역별 계절별 기상/해양/수문에의 영향 평가도이며 표안의 표식들의 의미는 아래와 같다.

↑	↗	↑	×	↓	↘	↓
강한증 가	보통증 가	약한증 가	영향 무시	약한감 소	보통감 소	강한감 소

아래의 결과는 우리나라에서의 엘리뇨/라니냐의 기상/수문 및 재해[의 영향을 일괄적으로 표시해주고 있으며, 이는 차후 엘리뇨/라니냐의 기초적인 대책의 수립에 도움을 줄 수 있을 것이다.

감사의 글: 본연구는 행정자치부 국립방재연구소의 연구로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

기상연구소(1990). "한반도 기후변화 감시 및 이상기상에 관한 연구(I)." 연구보고서, 과학기술처.
 기상연구소(1997). "기후모델을 활용한 지역장기예보모델 개발(III)." 연구보고서, 과학기술처.
 김미정(1992). "엘니뇨 현상과 한국의 강수량." 석사학위논문, 건국대학교.
 신현석(1997). "엘니뇨의 이해와 한국의 자연재해.", 한국수자원학회지, 제30권, 제6호, pp. 75~82, 1997
 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.

Chu, P.-S. and R.W. Katz(1985). "Modeling and forecasting the Southern Oscillation: A time-domain approach." Mon. Wea. Rev., 113, pp. 1876~1888.

Glantz, M., R. Katz, and N. Nicolls (1991), "Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies", Cambridge University Press, Cambridge

Nicholls, N. and K.K. Wong(1990). "Dependence of rainfall variability on mean rainfall, latitude and Southern Oscillation." J. of Climate, Vol. 3, pp. 163~170.

Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert (1987), "Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with El Nino-Southern Oscillation, Monthly Weather Review, 114, 2352-62.

Schonher, T. and S.E. Nicholson(1989). "The Relationship between California rainfall and ENSO event." J. of Climate, Vol. 2, pp. 1258~1269.

Walker, G.T.(1923). "Correlation in seasonal variations of weather(VIII) : A preliminary study of world weather." Mem. Indian Meteorol. Dep., 24, pp. 75~131.

표 4. 엘리뇨 영향 평가도

		당년			익년				
		봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울
중동부	강우량	↓	×	↓	×	×	×	×	
	강우빈도	↓	×	↓	-	×	×	↓	-
	강우강도	-	×	-	-	-	↓	-	-
	기온	↓	×	×	↑	↑	×	×	×
	습도	×	↓	↓	×	×	×	↑	×
	일조시간	×	↑	↑	×	↓	×	↓	×
	유출량	↓	×	↓	×	×	↓	↓	×
중서부	강우량	↓	×	↓	×	×	↓	↑	×
	강우빈도	×	↑	↓	-	×	↓	↑	-
	강우강도	-	×	-	-	-	×	-	-
	기온	↓	×	↓	↑	↑	↑	×	×
	습도	×	↓	↓	×	×	×	↑	×
	일조시간	↓	↑	↑	×	×	↑	↓	×
	유출량	↓	×	↓	×	×	↓	↓	↓
남동부	강우량	↓	↑	↓	×	↑	↓	×	×
	강우빈도	↓	↑	↓	-	↑	↑	-	-
	강우강도	-	↑	-	-	↓	-	-	-
	기온	↓	↓	↓	↑	↑	↑	×	×
	습도	×	×	↓	↑	↑	↓	×	×
	일조시간	×	×	↑	×	×	↑	↑	×
	유출량	↓	×	↓	↓	↓	↓	↓	↓
남서부	강우량	×	↑	↓	×	↓	×	↓	↓
	강우빈도	×	↑	↓	-	×	↓	↓	-
	강우강도	-	×	-	-	↓	-	-	-
	기온	↓	↓	↓	↑	↑	↑	×	×
	습도	↑	×	↓	×	↑	↓	↑	×
	일조시간	↓	↓	↑	×	↓	↑	↓	×
	유출량	×	×	↓	↓	×	↓	×	↓

표 5. 라니냐 영향 평가도

		당년				익년			
		봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울
중동부	강우량	×	×	×	↑	×	↑	↓	↑
	강우빈도	↑	×	×	-	×	↑	↓	-
	강우강도	-	×	-	-	-	×	-	-
	기온	↓	×	×	×	↓	↓	↓	×
	습도	↑	↑	↑	×	↑	×	↓	↑
	일조시간	↓	×	×	×	×	↑	↑	×
	유출량	↓	×	×	×	↑	×	↓	×
중서부	강우량	↓	↓	×	×	↓	↑	↓	↓
	강우빈도	↓	×	↑	-	↓	↑	↓	-
	강우강도	-	↓	-	-	-	↓	-	-
	기온	↓	↑	↑	×	↓	↓	↓	×
	습도	×	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	일조시간	↑	↓	↓	×	↓	×	↑	↓
	유출량	×	↓	×	↓	×	×	↓	×
남동부	강우량	×	↓	↓	↑	×	↑	↓	↑
	강우빈도	↓	↓	↓	-	↑	↑	↓	-
	강우강도	-	↓	-	-	-	×	-	-
	기온	↓	↑	×	×	↓	↓	↓	×
	습도	↑	×	×	↑	↑	↑	↓	↑
	일조시간	↓	×	↓	×	↓	↓	↑	↓
	유출량	×	↓	×	↑	×	↑	↓	↑
남서부	강우량	↓	↓	↓	↑	×	↑	↓	×
	강우빈도	↑	↓	↓	-	×	×	↓	-
	강우강도	-	↓	-	-	-	↓	-	-
	기온	↓	↑	×	×	↓	↓	↓	×
	습도	↑	↑	↑	×	↑	↑	×	×
	일조시간	×	↑	↑	×	×	↓	×	↓
	유출량	↓	↓	↓	↑	×	↑	↓	↑