

# 중복간섭모형을 이용한 서울시 강우량 변화분석

## Analysis of Rainfall Change at Seoul City by Applying Multiple Intervention Model

김 응 석\* / 이 정 호\*\* / 김 중 훈\*\*\* / 박 무 종\*\*\*\*

Kim, Eung Seok / Lee Jeong Ho / Kim, Joong Hoon / Park, Moo Jong

### Abstract

The purpose of this study is to analyze the relationship between El Niño phenomena and the monthly rainfall variations of Seoul city which is composed of 30 year data during 1967~1996. In this study, the monthly rainfall data at Seoul city is analyzed by applying an intervention model. As it is unavailable to get the data of El Niño phenomena, the point of intervention have been decided from the literature survey of the data observed to be the years of 1972, 1976, 1979, 1982, 1986 and 1991. As a results the El Niño was revealed more significant to the monthly rainfall at Seoul. In addition, monthly rainfall varied between the maximum 53.41mm and the minimum 2.50mm. To prevented future natural disaster, long term water planning and management is required in consideration El Niño.

**Key words** : El Niño phenomena, intervention model, natural disaster

### 요 지

본 연구의 목적은 1967년부터 1996년까지 30년간의 서울시 자료를 이용하여 엘니뇨 현상과 월 강우량의 변화를 분석하는 데 있다. 연구에서는 간섭모형을 적용하여 서울시의 월 강우량 자료를 분석하였다. 현재까지의 엘니뇨의 발생시기를 추정하기 어려운 이유로 간섭의 시점을 기존의 문헌조사를 바탕으로 1972년, 1976년, 1979년, 1982년, 1986년 그리고, 1991년을 선정하였다. 연구결과 엘니뇨의 효과는 서울시 월 강우량에 상당한 영향을 주고 있었다. 또한 엘니뇨의 영향은 월 강우량을 기준으로 최고 53.4mm에서 최저 2.5mm 영향을 주었다. 따라서 엘니뇨의 영향을 고려할 때 서울시의 발생가능한 자연적 재해를 방지하기 위해서는 장기 간의 수자원 관리가 필요한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 엘니뇨, 간섭모형, 자연재해

### 1. 서 론

1960년 이후 지구상의 광범위한 기상이변은 엘니뇨(El Niño) 및 라니냐(La Niña)의 영향으로 분석되고 있다. 이러한 기상 이변은 홍수 및 가뭄으로 나타나고 있으며, 또한 기상이변 영향의 원인이 되는 엘니뇨는

열대 태평양의 기후뿐만 아니라 전지구 기후시스템을 변동시키는 가장 강력한 기후로 알려져 있다. 특히 1997년에 일어난 엘니뇨의 경우 지난 1982~1983년 사이에 발생한 세계적으로 막대한 피해를 일으킨 엘니뇨보다 영향력이 더 큰 것으로 보고되어 전 세계적 이목을 집중시켰다. 이러한 엘니뇨/라니냐의 우리나라에의 영향은 몇몇 논문 및 발표를 통하여 보고된 바가 있

\* 정회원, 선문대학교 공과대학 토목공학과 전임강사 (E-mail: hydrokes@sunmoon.ac.kr)

\*\* 정회원, 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 한서대학교 공과대학 토목공학과 조교수

나 아직도 과학적이고 정량적인 기상 및 수문학적 영향 분석은 미흡하다고 볼 수 있다. 그러나 1997년 9~10월의 전국적인 가뭄, 북한 지역의 최악의 가뭄, 태풍 등의 이상 진로 내습 및 1998년에 연이은 라니냐로 인한 중, 남부 지역의 극심한 홍수 등 이상 기후 현상은 밀접한 관련이 있을 것이라고 추측되고 있다.

기존의 엘니뇨와 강우량의 관계 분석에 관한 기존의 연구를 살펴보면, 강인식(1995) 등은 서태평양 지역에서의 태풍 활동의 경년 변화와 엘니뇨와의 관계에서 엘니뇨와 같은 대규모 대기 및 해양 순환의 변화는 여름철의 태풍활동에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 이동률(1998)은 엘니뇨 및 라니냐와 우리나라의 기온 및 강수량 관계를 교차상관분석을 통하여 영향기간의 통계적 유의성을 검토하였다. 강인식(1998)은 스펙트럼 분석을 이용하여 엘니뇨 변동이 엘니뇨 지수와 1년에서 1.5년 정도의 시간 차이를 갖고 있는 연관되어 있는 것으로 추정하였으며, 강수량은 엘니뇨 여름철에 증감하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 또한 엘니뇨와 한반도의 강수량은 5-7년의 주기와 3년의 주기에 연관되어 있는 것으로 주장하였다. 신현석 등(1999)은 엘니뇨 정도를 나타내는 지수 중 하나로 사용되는 엘니뇨-남방진동(ENSO, El Niño Southern Oscillation)과 우리나라의 강수량의 시·공간적인 상관관계의 분석을 통해 엘니뇨의 현상이 우리나라의 수자원 운용에 끼칠 수 있는 영향에 대한 분석하였다. 윤용남 (1999a, 1999b) 등은 지구온난화의 결과로 유발되는 연 평균 또는 월 평균 강수량의 변화를 이용하여 월별 또는 연중 일 강수량의 초과확률의 변화에 대해 금강유역의 17개 강우관측지점에 대상을 분석한 결과 연 강수량과 무강수일수 및 임의 깊이 이상 강수일수와의 상관분석에서는 뚜렷한 상관관계가 있음을 보여주었다. 김형수 등(2000)은 엘니뇨 현상의 심도를 나타내는 여러 가지 지수 중에서 가장 일반적으로 사용되는 남방진동지수(SOI, Southern Oscillation Index)자료에 대한 분석을 실시하여, 남방진동지수 시계열자료의 카오스적 특성 여부를 검토하고, 적절한 비선형 추계학적 모형을 구축하였다.

본 연구에서는 엘니뇨의 영향에 따른 월 강우량에 대한 분석을 통하여 실제 엘니뇨의 발생에 따른 월 강수량의 변화량을 시계열 간섭모형을 이용하여 정량적으로 분석하였다. 또한, 본 연구에서는 이러한 엘니뇨 및 라니냐가 우리나라의 기상 및 수문 현상에 얼마나 영향을 미치는 지에 대한 정량적이고 통계적인 영향 분석을 수행하여 기상 변화에 따른 장기적인 수자원 대책 마련을 위한 근거 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 엘니뇨와 라니냐의 정의 및 현상

엘리뇨는 스페인어로 X 남자아이X 라는 뜻을 가지고 있으며 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 동태평양 적도지방의 해수면 온도가 평년보다 0.5℃ 이상 높아지는 현상을 엘니뇨라 정의하며 종종 온난 현상(warm event)이라고 한다. 반대로 0.5℃ 이상 낮아지는 경우에는 '여자아이'란 뜻의 라니냐라고 정의하며 한랭사상(cold event)으로 표기하기도 한다. 엘니뇨가 나타나는 지역의 범위는 최근에는 페루 연안에 국한된 것이 아니라 페루 연안에서 날짜변경선까지 약 1만km에 달하여 발생하는 매우 큰 규모의 기상 이변 현상이다.

엘리뇨 현상을 이해하기 위해서는 먼저 평년의 바다 표면의 바람의 이동과 결과적인 해수 온도의 변화 그리고 먹이 사슬에 필요한 양분의 생성에 미치는 영향에 대한 이해가 필요하다. 적도를 따라 동쪽으로 부는 바람과 페루와 에쿠아도르 해안을 따라 부는 바람 모두 해표수를 끌고 이동한다. 이때 지구 자전의 영향으로 인해 이 해표수는 북반구에서는 북쪽으로 그리고 남반구에서는 남쪽으로 분리되어 흐르게 된다. 해표수가 이동함으로 인해, 바다 밑으로부터 차고 양분이 많은 해수가 올라오는 데 이를 용승(upwelling)이라고 하며 적도 부근이나 연안 부근에서 160 km 이내에서 일어난다.

동태평양쪽에서 서태평양쪽으로 부는 바람(무역풍)은 이러한 용승 작용을 일으키는 근원으로, 서쪽으로 따뜻한 해표수를 이동시키며 따뜻한 해표수와 찬 심표수의 경계인 수온약층(thermocline)을 해표면까지 상승시킨다. 이러한 용승 작용에 의해 올라온 물은 해수의 온도를 낮추며 이러한 현상은 남미지역으로부터 적도를 따라 서쪽으로 퍼져나가게 된다. 이러한 용승 작용은 어류에 필요한 해수 내의 양분의 이동을 조절하고, 결과적으로 정상적인 해에는 서태평양의 인도네시아 연안의 해수면은 서태평양 에쿠아도르 연안 보다 약 0.5 m 정도, 온도는 8 °C 정도가 높게 된다.

위와 같이 평년과는 달리 엘니뇨 발생 해에는 역전 현상이 발생한다. 적도 부근의 무역풍 약화에 따라 적도를 따라 서태평양으로 이동하는 해류의 흐름이 약화되며 이로 인해 동태평양에서의 용승 작용이 약화된다. 결과적으로 적도 부근의 따뜻한 해수가 정체하게

되어 물의 온도가 상승하게 되며 해수면의 높이는 서태평양의 인도네시아 연안은 내려가고 동태평양 에쿠아도르 연안의 해수면은 높아지게 된다. 해수의 온난화는 바다 위의 대기중의 공기 또한 따뜻하게 만들며 이는 적도 지방을 따라 집중호우를 유발할 수 있는 두꺼운 구름을 형성하게 한다. 이러한 해수 온도 변화는 일반적으로 서태평양 상에 형성되는 강우 지역을 동쪽으로 이동시키며 이로 인해 동태평양 부근의 기압을 떨어뜨리고 반면에 서태평양 부근의 기압을 상승하게 된다. 이러한 엘니뇨가 발생하는 주기는 보통 2년 또는 7년으로 불규칙하며, 또한 그 강도나 지속기간도 불규칙한 비선형적인 자연현상으로 예측하기가 상당히 어렵다. 기록상으로 보면 엘니뇨는 14개월에서 22개월 정도 지속하나 이는 더 길어질 수도 혹은 짧아질 수도 있다. 엘니뇨는 일반적으로 어떤 해의 초기에 시작하여 다음 12월이나 1월중에 그 정도가 최고에 달하게 되나 같은 패턴을 가지고 발생한 적은 한번도 없다.

엘니뇨/라니냐 현상은 다양한 기상-해양-수문 현상과 결부되어 세계 곳곳에서 기상이변과 그에 따른 자연재해로 인해 막대한 인적/경제적인 손실을 야기하고 있다. 이러한 엘니뇨/라니냐 현상은 실제로 지구 전체의 기상-해양의 원격관련(tele-connection)에 의해 인도네시아나 페루 근해 태평양 연안의 국부적인 지역에만 그 영향이 미치는 것이 아니라 지구 전체 어느 곳이든 그의 영향이 미칠 수 있음이 밝혀지고 있다 (Glantz, 1994). 최근에는 1982~1983년과 1997~1998년의 엘니뇨에 의해 세계전역에 기상 이변과 재해가 잇달았다. 1982~1983년의 엘니뇨 기간 중 북동아시아, 인도네시아 주변, 오스트렐리아, 남미 대서양 연안, 중부 아프리카 지역은 가뭄에 의한 재해가 발생하였으며,

북미 대륙, 남미 연안, 및 유럽 지역은 홍수에 의한 재해를 입었음을 알 수 있다. 1982~1993년의 엘니뇨는 경제적으로도 전세계에 막대한 피해를 주었는데, 가뭄 및 홍수에 의해 세계적으로 약 150억 달러의 직접적인 피해를 기록하였으며 약 1000~2000명의 사망자 수를 기록하였다. 다음 표 1은 최근 엘니뇨 시기의 우리나라의 기상 이변 현황이다(중앙재해 대책본부, 1998). 대체적으로 엘니뇨 발생연도 및 다음연도에는 우리나라의 강수 부족 및 그에 따른 가뭄을 경험하였음을 파악할 수 있었다.

### 3. 간섭모형

어떤 시계열자료에 영향을 미치는 외부요인의 변화에 의해서 시계열자료의 형태가 급격하게 변화를 보이거나 또는 급격한 변화가 있는 것처럼 보이는 경우가 있다. 예를 들면, 천재지변, 전쟁 석유과동 등과 같은 정치적, 사회적 또는 경제적 여건의 급격한 변화는 대부분의 경제 시계열 데이터들의 흐름에 커다란 영향을 미칠 수가 있다. 어떤 시계열자료를 발생시키는 확률구조에 대한 외부의 개입(intrusion)을 간섭(intervention)이라 부른다.

간섭분석(intervention analysis)이란 인간에 의한 인위적인 간섭이나 자연현상에 의해 어떤 시계열의 평균수준에 끼친 영향을 분석하는 것을 말한다. 또한 이러한 간섭으로 인해 시계열의 평균수준이 달라진 시계열을 모형화한 것을 간섭모형이라 한다. 간섭모형은 Box와 Tiao(1975)에 의해 처음 제안되었으며 같은 해 Hipel 등(1975)이 나일강의 Aswan댐을 건설함으로써 해 유량에 끼치는 영향을 분석하는데 사용함으로써 수자원분야에 도입된 기법이다. 간섭모형은 환경에

표 1. 최근 우리나라에의 엘니뇨 영향

구분	엘니뇨 현황
1982~1983 엘니뇨	1982년 봄 전남, 경북등 일부지역에 봄가뭄이 있었고, 1983년 7월 평균기온이 0.4~1.0℃ 낮았음.
1986~1987 엘니뇨	1986년에는 기상이변이 없었고, 1987년 6월까지의 심한 봄가뭄, 7월 이후 잦은 집중호우
1992~1993 엘니뇨	1992년에는 특별한 기상이변이 없었으나, 1993년 여름에는 우리 나라와 일본에서 저온, 잦은 강우, 일조부적 장기화
1994~1995 엘니뇨	1994년에는 봄철과 7월중 가뭄, 1995년에는 8월중 잦은 강우와 일조부적 현상이 있었음.
1997~1998 엘니뇨	1997년은 평소보다 다소 높은 기온 1998년은 평년보다 높은 기온, 일조부족 및 극심한 홍수

끼치는 영향을 분석하는 데에는 특히 많이 사용되고 있다.

간섭 시계열데이터는 어느 시점에서 시계열 데이터의 수준이 변화하는 것을 나타낼 뿐만 아니라, 어느 시점 이후에서 시계열데이터가 상승 또는 하강하는 형태로 변화하는 것을 나타내기도 한다. 이러한 간섭이 일어났을 때 이에 대응하는 시계열자료의 변화가 일어났는지, 그리고 변화가 일어났다면 그 변화의 형태는 어떤 것이지를 분석할 필요가 있다. 이러한 분석을 간섭시계열분석 또는 개입시계열분석이라 한다.

간섭시계열분석은 간섭시점 이전의 안정상태에서 간섭시점 이후의 새로운 균형상태에 이르는 경우, 또는 간섭시점 이후에 균형상태에 이르지 못하는 경우의 시계열자료 구조의 변화를 나타내는 잠정적인 확률모형을 설정하고 Box-Jenkins의 ARIMA모형화와 마찬가지로 식별, 적합, 검진의 3단계 과정을 반복 실시해서 주어진 시계열데이터에 적합한 시계열 모형을 찾는 것이다. 간섭시계열분석을 하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 가정이 필요하다.

첫째, 외부의 간섭이 발생하는 시점  $T$ 를 알고 있다. 둘째, 간섭시점  $T$ 에서 발생한 동적모형(dynamic model)의 형태를 알고 있다. 즉, 간섭의 속성과 크기를 알고 있다. 셋째, 간섭시점  $T$ 이전과 이후의 잡음항 모형이 동일하다.

임의 시계열자료  $y_1, y_2, \dots, y_{T-1}, y_T, y_{T+1}, \dots, y_n$ 이 식 (1)과 같은 간섭시계열모형을 만족한다고 하면, 이 간섭시계열모형에서 잡음항을 제거한 동적모형  $f(\delta, \omega, I_t^{(T)})$ 은 간섭시점  $T$ , 간섭효과를 나타내는 모수벡터들  $\delta, \omega$ 와 간섭변수(intervention variable)  $\{I_t^{(T)}\}$ 의 함수이다. 여기서  $\{I_t^{(T)}\}$ 는 0이나 1의 값을 갖는 지시변수(indicator variable)이다.

$$y_t = f(\delta, \omega, I_t^{(T)}) + n_t \quad (t=1, 2, \dots) \quad (1)$$

따라서 간섭시계열 모형은 입력시계열자료가 간섭변수  $\{I_t^{(T)}\}$ 인 전이함수모형이라고 할 수 있다. 간섭시계열분석에서 일반적으로 잡음항  $\{n_t\}$ 가 계절적 ARIMA 모형을 따른다고 가정한다. 하나의 간섭변수를 갖는 간섭시계열자료의 동적모형을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_i = f(\delta, \omega, I_t^{(T)}) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} I_t^{(T)} \quad (t=1, 2, \dots) \quad (2)$$

여기서,  $\omega(z) = \omega_0 - \omega_1 z - \dots - \omega_s z^s$ 이며,

$$\delta(z) = 1 - \delta_1 z - \delta_2 z^2 - \dots - \delta_r z^r \text{이다.}$$

간섭변수  $\{I_t^{(T)}\}$ 는 간섭시점  $t = T$ 에서 간섭을 나타내는 지시변수로서 다음과 같은 세 가지 (식 (3), 식 (4), 식 (5))중 하나의 형태로 나타낼 수 있다.

$$I_t^{(T)} = S_t(T) = \begin{cases} 0, & t < T \\ 1, & t \geq T \end{cases} \quad (3)$$

$$I_t^{(T)} = P_t(T) = \begin{cases} 0, & t \neq T \\ 1, & t = T \end{cases} \quad (4)$$

$$I_t^{(T)} = n_t(T_1, T_2) = \begin{cases} 0, & t \neq T \\ 1, & t = T \end{cases} \quad (5)$$

식 (3)의  $S_t(T)$ 는 계단입력함수(step input function)라고 하며, 개입요인의 효과가 개입발생이후 모든 시점에서 영향을 미친다. 식 (4)의  $P_t(T)$ 는 순간파동입력함수(pulse input function)라고 하며 발생시점에만 영향을 미친다. 또한, 식 (5)의  $n_t(T_1, T_2)$ 는 확장된 순간파동함수(extended pulse input function)라고 하는데 이 확장된 순간파동함수는 임의 기간동안 발생하는 간섭효과를 나타낸다.

간섭시계열분석은 다중 전이함수모형의 특수한 경우이므로 단지 차이점은 모형설정과 차분연산자에 있다고 말할 수 있다. 다시 말해 개입요인 발생 이후에의  $y_t$ 값이 개입 요인에 의해 오염되어 있다고 판단되므로 전이함수 잡음모형과 달리  $y_t$ 을 이용하여 먼저 식 (6)과 같은 모형을 설정하고 모수를 추정후  $f(\delta, \omega, I_t^{(T)})$ 을 추정한다.

$$n_t = \frac{\Theta(B)\Theta(B')}{\Phi(B)\Phi(B^s)} v_t \quad (6)$$

또한 만약 개입요인 발생시기가 정규(normal)적이 아니라면, 모수  $\frac{\Theta(B)\Theta(B')}{\Phi(B)\Phi(B^s)}$ 를 추정하는 과정에 있어  $y_t$ 를 정상화 과정으로 만들기 위해 적용한 차분연산자를 간섭변수  $\{I_t^{(T)}\}$ 에 똑같이 적용하여야 한다.

## 4. 모형의 적용

### 4.1 대상자료의 특성

본 연구에 적용한 대상지역은 장기간의 월 강우량 자료 획득이 용이한 서울시(기상청)자료를 선정하였

다. 사용된 자료는 월 강수량 자료로 1967년부터 1996년까지의 30년이다. 그림 1의 월 강수량 자료의 시도표를 보면, 1년을 주기로 1개씩의 peak값을 보이는 형태를 볼 수 있다. 즉, 7월, 8월, 9월에 가장 큰 강수량 값을 전반적으로 보이고 있으며, 일 강수량 자료와 달리 확연한 계절 주기성을 잘 보여 주고 있다. 원 자료의 자기상관함수(ACF, Auto Correlation Function), 편자기상관함수(PACF, Partial Auto Correlation Function) 및 Spectrum을 분석하면, 6월과 12월에서 자료의 주기성을 잘 보여 주고 있다. 따라서 모델의 구축을 위해 자료의 변환 및 차분 후 ACF, PACF, Spectrum을 분석하였다. ACF와 PACF를 이용하여 정상성에 가까운 자료로 변환하면 12월에 자료의 절단을 살펴 볼 수 있었다. 또한 Spectrum 분석의 결과에서 6월과 12월에서 각각 주기성을 나타내었으며, 특히 12개월에서 큰 주기성을 잘 보여 주었다. 즉, 건기와 우기를 가지는 우리나라의 월 강우

량 특징을 잘 보여 주고 있다.

그림 1에서 별모양의 표시는 실제 엘니뇨 발생 년도가 아닌 엘니뇨 발생 후 1년6개월 후에 발생한 것으로 추정되는 년도를 표시하였다. 또한 모형의 구축을 위해 필요한 강우자료 기간내의 엘니뇨 발생 연도는 엘니뇨의 발생주기를 SOI를 이용하여 1900년 이후부터 1991년까지 분석하여 보면 지금까지 총 21회의 엘니뇨가 발생한 것으로 조사되었다(Ropelewski와 Halpert, 1987; Chu, 1995). 표 2는 선정된 엘니뇨 발생 연도를 나타내었다.

또한 표 3은 신현석 등(1999)의 연구 결과에서 기상 관측소별로 산정된 지체에 대한 교체상관계수를 보여 주고 있으며, 기존의 엘니뇨 발생 후 한반도의 영향은 시간적으로 9개월에서 15개월 정도의 지체시간을 두고 영향을 미치며, 공간적으로 북위 36도 이남지역이 보다 더 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

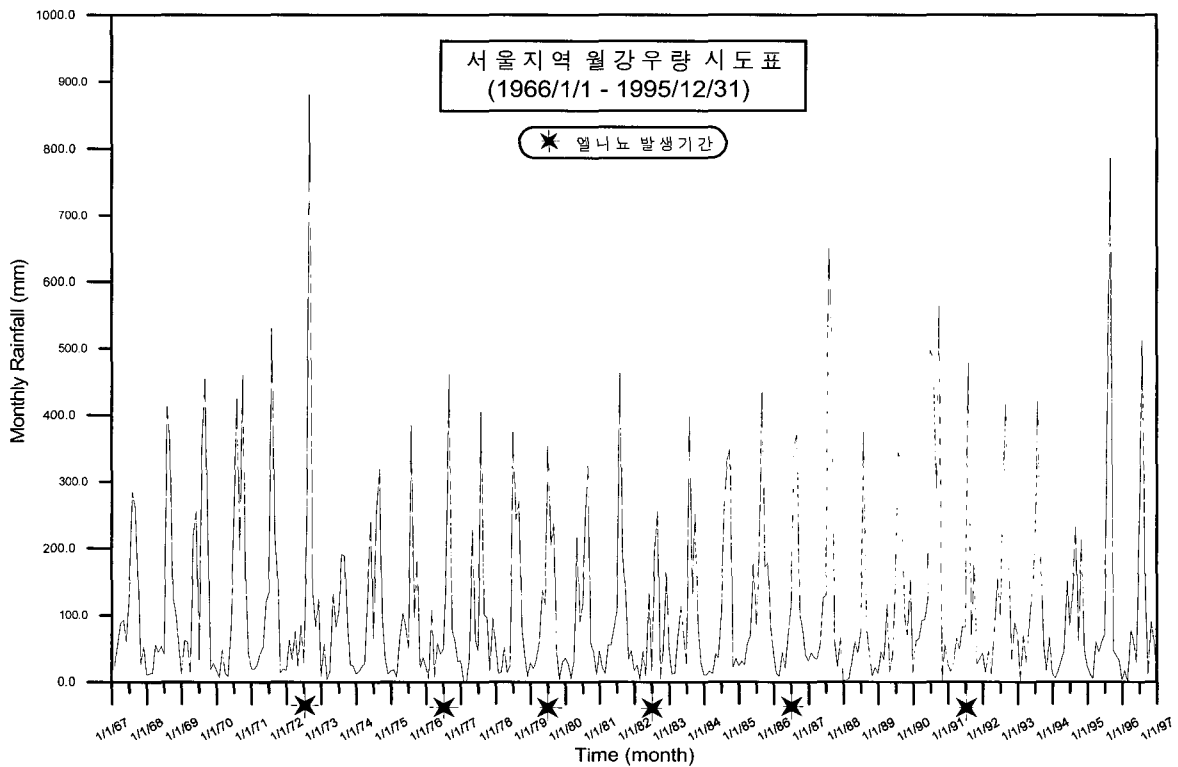


그림 1. 서울시 월 강수량 시도표 및 엘니뇨 영향이 발생하는 년도

표 2. 엘니뇨 발생년도 (1900~1997년)

1902	1905	1911	1914	1918	1923
1925	1930	1932	1939	1941	1951
1953	1957	1965	1969	1972	1976
1979	1982	1986	1991	1994	1997

표 3. 기상관측소별로 산정된 지체에 대한 교체상관계수 (지속시간 3개월)

Lag 지점	0	1	2	3	4	5	6	7	8	비고	
속 초	090	.0746	-.0189	.0522	.0529	.1493	.1123	-.0698	-.0140	.0795	북위 36도 이북
대관령	100	.0136	-.0397	.0503	-.0005	.0072	.0006	-.1136	.0796	.0979	
춘 천	101	-.0473	-.1160	-.0094	.0761	.0860	.0734	.0200	.0333	.0827	
강 릉	105	.0778	.0384	.1177	.0668	.1447	.0859	-.0493	.0517	.1067	
서 울	108	-.1037	-.1458	.0065	.1102	.1413	.1676	.1078	.0554	.0222	
인 천	112	-.1050	-.1305	.0462	.1244	.1304	.1595	.0428	.0268	.0370	
수 원	119	-.0223	-.0546	.0710	.1497	.1353	.1502	.0720	.0459	.0429	
서 산	129	-.0429	-.0546	.0553	.1083	.0763	.1041	-.0096	-.0107	-.0341	
청 주	131	-.0510	-.1339	-.0600	.1114	.0893	.1242	.0322	-.0083	.0257	
대 전	133	.0278	-.0812	-.0252	.1591	.1154	.1213	-.0067	-.0274	-.0259	
추풍령	135	.0479	-.0836	-.0521	.1638	.1538	.1622	-.0026	.0101	.0306	
포 함	138	.1520	.0527	.1487	.1986	.1888	.2010	-.0534	.0130	.0729	북위 36도 이남
군 산	140	.1052	.0069	.0565	.2271	.1799	.1785	-.0006	-.0425	-.0657	
대 구	143	.1303	.0575	.1040	.1982	.1923	.1901	-.0250	.0132	.0126	
전 주	146	.0511	.0100	.0381	.2167	.1696	.1215	-.0522	-.0823	-.0874	
울 산	152	.0715	.0495	.0988	.1579	.1862	.1805	-.0553	.0121	.0540	
광 주	156	.1155	.1234	.1684	.2787	.2577	.2411	.1007	.0238	-.0418	
부 산	159	.0780	.0679	.0845	.1178	.1596	.1918	-.0261	.0063	.0115	
충 무	162	.0549	.0579	.0864	.1220	.2010	.2535	.0559	.0730	.0355	
목 포	165	.0767	.0944	.1514	.2089	.1809	.1900	.0258	-.0166	-.0414	
여 수	168	.0510	.0736	.0731	.1593	.1711	.2628	.0573	.0143	-.0010	
진 주	192	.1669	.1209	.1273	.2124	.2135	.2636	.0413	.0460	-.0053	
평 균		0.0419	-.0048	0.0631	0.1463	0.1513	0.1607	0.0041	0.0137	0.0185	0.0660

표 4. 엘니뇨 발생 후 월 강우량에 영향을 주는 기간

번호	엘니뇨 발생 년도	실제 영향을 미치는 기간
1	1972년	1973년 4월부터 9월까지
2	1976년	1977년 4월부터 9월까지
3	1979년	1980년 4월부터 9월까지
4	1982년	1983년 4월부터 9월까지
5	1986년	1987년 4월부터 9월까지
6	1991년	1992년 4월부터 9월까지

4.2 모형구축 및 적용

간섭모형의 구축에 필요한 외부간섭이 발생하는 시점 즉, 엘니뇨의 발생시기는 위해 앞에서 설명한 Ropelewski와 Halpert(1987) 및 Chu(1995)가 제시한 엘니뇨 발생시기 중 6개를 선정하였다. 표 4는 엘니뇨 발생 후 서울시 월 강우량에 간섭을 주는 기간을 나타내었다.

또한, 엘니뇨 발생 후 지체시간은 1년 4개월에서 1년 9개월 후에 서울시 월 강우량 시계열 자료에 영향을 미치는 것으로 가정하여 간섭모형을 구성하였다. 따라서 먼저 간섭 요인에 따른 전이함수 모형을 아래의 식 (7)과 같이 구성하였다.

$$f_i = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} I_i^{(T)} = \frac{w_1}{1-\delta_1 B} \eta_{1t}(88,93) + \frac{w_2}{1-\delta_2 B} \eta_{2t}(136,141) + \frac{w_3}{1-\delta B} \eta_{3t}(172,177) + \frac{w_4}{1-\delta B} \eta_{4t}(208,213) + \frac{w_5}{1-\delta B} \eta_{5t}(225,261) + \frac{w_6}{1-\delta B} \eta_{6t}(316,321) \quad (7)$$

위 간섭모형은 실제 엘니뇨의 발생에 따른 영향의 효과가 초기의 발생 영향과 지속되는 시기가 크지 않음을 의미한다. 또한 서울시 월 강우량 자료는 확연한 계

절성이 있는 것으로 판단되므로,  $y_t$ 을 월 강우량이라고 정의 할 때 계절차분을 통하여  $\nabla_{12}y_t$ 을 만들어 그림 2에 나타내었다.

위의 그림 3에서 ARIMA 모델을 살펴보면 크게 4가지 모델을 선택할 수 있다. 즉, ARIMA(1,0,1)×(1,1,1)12, ARIMA(1,0,1)×(0,1,1)12, ARIMA(0,0,1)×(0,1,1)12, ARIMA(0,0,1)×(1,1,1)12를 선택할 수 있다. 따라서 본 연구에 2번째 ARIMA(1,0,1)×(0,1,1)12 모델을 선택하였다. 즉, AR과정을 따라 전기와 시차 12를 두고 영향을 받으며, MA과정에서 비계절성 효과 MA(1)과 계절성 효과 MA(1)12를 나타내고 있다. 또한,  $y_t$ 를 정상과정으로 만들기 위해 계절차분을 사용하여 최종 모형은 다음과 같은 식 (8)과 같이 나타내었다. 따라서 구축된 모형을 바탕으로 간섭모형의 필요한 각각의 매개변수를 추정

하면, 표 5와 같다.

$$\begin{aligned} \nabla_{12}y_t = & \frac{w_1}{1-\delta_1 B} \nabla_{12}\eta_{1t} (88,93) \\ & + \frac{w_2}{1-\delta_2 B} \nabla_{12}\eta_{2t} (136,141) \\ & + \frac{w_3}{1-\delta_3 B} \nabla_{12}\eta_{3t} (172,177) \\ & + \frac{w_4}{1-\delta_4 B} \nabla_{12}\eta_{4t} (208,213) \\ & + \frac{w_5}{1-\delta_5 B} \nabla_{12}\eta_{5t} (225,261) \\ & + \frac{w_6}{1-\delta_6 B} \nabla_{12}\eta_{6t} (316,321) \\ & + \frac{(1-\theta_1 B)(1-\theta_1 B^{12})}{(1-\phi_1 B^{12})} v_t \end{aligned} \quad (8)$$

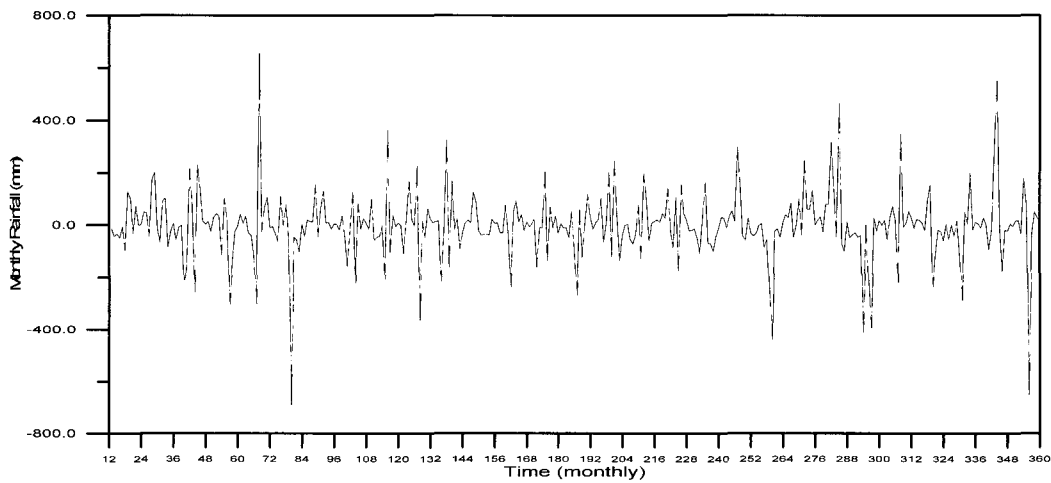


그림 2. 계절차분한 월 강우량 시계열  $\nabla_{12}y_t$

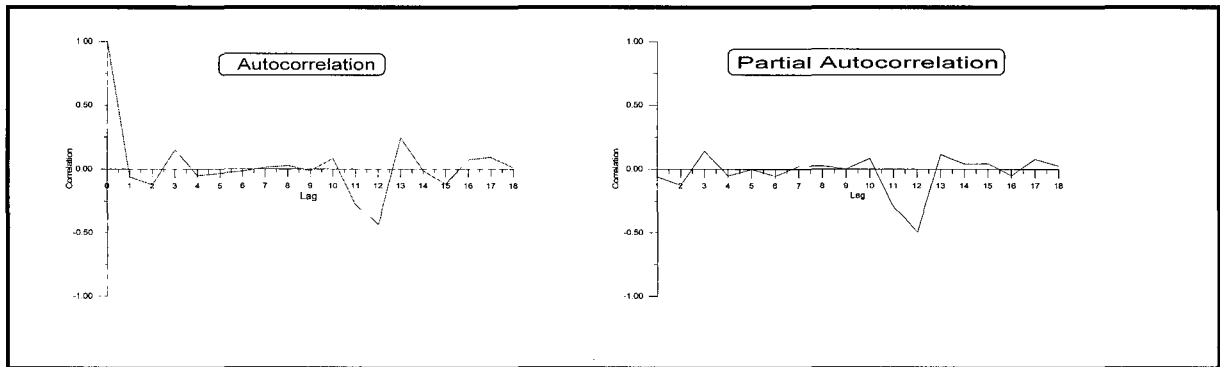


그림 3.  $\nabla_{12}y_t$ 의 ACF 및 PACF

표 5. 매개변수 추정 결과

번호	엘니뇨 발생 년도	실제 영향을 미치는 기간	매개변수	
			$w_n$	$\delta_n$
1	1972년	1973년 4월부터 9월까지	-34.32114	-29.01767
2	1976년	1977년 4월부터 9월까지	38.57971	35.37063
3	1979년	1980년 4월부터 9월까지	11.83651	7.56339
4	1982년	1983년 4월부터 9월까지	2.50719	15.79007
5	1986년	1987년 4월부터 9월까지	53.41784	-1.14281
6	1991년	1992년 4월부터 9월까지	-17.53304	-24.65757

표 5의 결과를 살펴보면, 1972년 엘니뇨의 발생 후 국내의 월 강수량에 영향을 준 시기는 1973년 4~9월 사이이며, 이때  $w_1$ 값의 의미는 엘니뇨의 발생에 따른 월 강수량의 증감이 순간적으로 -34.32mm 정도를 나타내는 것이며,  $\delta_1$ 값의 의미는 엘니뇨의 발생으로 인한 일정 기간동안의 영향에 따른 -29.02mm의 월 강수량에 영향을 미치는 것을 의미한다. 또한, 결과에서 1986년에 발생한 엘니뇨의 영향이 월 강수량의 순간적 변동이 제일 큰 53.41mm로 나타났으며, 1976년에 발생한 엘니뇨의 경우 일정 기간동안의 월 강수량의 영향 제일 큰 35.37mm로 나타났다. 즉, 간섭모형의 매개변수를 추정함으로써 6개의 엘니뇨의 발생에 따른 월 강수량의 영향 크기를 산정하였다. 또한 추정된 모형의 잔차 검정에서는 매개변수 추정의 신뢰성을 검증하였다. 따라서, 표 5의 결과를 바탕으로 최종적으로 구축된 모형은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \nabla_{12}y_t = & \frac{-33.321}{1+29.017B} \nabla_{12}\eta_{1t} (88,93) \\ & + \frac{38.579}{1-35.3706B} \nabla_{12}\eta_{2t} (136,141) \\ & + \frac{11.836}{1-7.563B} \nabla_{12}\eta_{3t} (172,177) \\ & + \frac{2.507}{1-15.790B} \nabla_{12}\eta_{4t} (208,213) \\ & + \frac{53.417}{1+1.142B} \nabla_{12}\eta_{5t} (225,261) \\ & + \frac{-17.533}{1+24.657B} \nabla_{12}\eta_{6t} (316,321) \\ & + \frac{(1+B)(1-0.951B^{12})}{(1+0.991B^{12})} v_t \end{aligned} \quad (9)$$

### 5. 결론

본 연구에서는 기상이변의 큰 원인 중 하나인 엘니뇨 현상에 따른 월 강수량의 영향을 파악하기 위해 시계열 분석 모형인 간섭모형을 구축하며 분석하였다. 적용된 자료는 한강유역을 중심을 빈번히 발생하는 국지

성 호우의 발생지점을 대상으로 장기간의 자료의 수집이 용이한 서울시 월 강수량 자료를 이용하였다. 간섭모형을 구축하기 위해서 필요한 엘니뇨의 발생시기 및 국내 월 강수량 미치는 기간은 기존의 문헌을 바탕으로 하여 모형을 구축하였다.

모형의 적용을 위해 분석한 서울시 시계열 자료인 그림 (1)의 시도표 분석결과에서는 실제 엘니뇨의 영향으로 인한 두드러진 변화의 양상을 정량적으로 분석하기는 힘들었다. 이는 기존의 연구결과에서 보듯이 엘니뇨와 한반도의 시공간적 상관관계에서도 큰 상관성을 보이지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 이는 단순히 상관성 분석 혹은 시계열 자료의 비선형적 분석만으로는 정량적인 영향의 크기를 보여 줄 수 없음을 나타내고 있었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 구축된 간섭모형은 실제 엘니뇨의 영향의 처음 시작과 일정기간 동안 지속성을 고려하여, 동적모형을 구축하였다. 또한 잡음모형은 자료의 특성상 계절성을 따르는 ARIMA모형을 구축하고 간섭모형의 매개변수를 산정하여 최종 모형을 구축하였다.

본 연구 결과에서 적용한 총 6개 엘니뇨 발생에 따른 서울시 월 강수량 자료의 영향의 크기는 1986년, 1976년, 1972년, 1991년, 1979년, 1982년 순서로 나타났다. 예를 들어, 1972년에 발생한 엘니뇨의 영향으로 인해 서울시 월 강수량에 영향을 미치는 1973년 4월부터 9월까지의 영향은 처음 4월의 월 강수량이 -34.32mm로 감소하며, 6개월 동안 지속되는 영향으로 인해 -29.02mm가 월 강수량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 이렇게 추정된 간섭모형의 매개변수 분석을 통해 엘니뇨에 따른 간섭의 크기를 정량적으로 확인할 수 있었다.

또한, 기존의 연구결과인 엘니뇨의 발생주기와, 한반도와 상관관계 및 지체시간에 관한 연구결과는 한반도 기후가 엘니뇨에 직·간접적으로 영향을 받고 있음을 보여주었다. 그러나 본 연구에서는 간섭모형을 구축함으로써 6개 엘니뇨의 발생에 따른 월 강수량의 증감



을 분석하여 보다 더 명확한 엘니뇨의 영향을 보여 줄 수 있었다. 그러나 이러한 연구결과는 엘니뇨의 발생 및 이에 따른 지체시간이라는 복잡한 통계처리 과정을 바탕으로 구축된 모형이므로 이에 대한 보다 더 명확한 연구 및 신뢰도에 관한 충분한 검증이 필요하다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

강인식 (1998) 엘니뇨와 한반도 기후변동의 관련성. 한국기상학회지, 제34권, 제3호, pp. 390~396.

강인식, 이양미, 안순일 (1995) 서태평양 지역에서 태풍 활동의 경년변화와 엘니뇨. 한국기상학회지, 제31권, 제1호, pp. 15~26.

김형수, 안재현, 강두선 (2000) 엘니뇨/남방진동(ENSO) 지수의 모형 및 예측. 한국수자원학회 논문집, 제33권, 제1호, pp. 1~25.

신현석, 안재현, 윤용남 (1999) 엘니뇨와 우리나라 강수량의 시·공간적 상관관계 분석. 대한토목학회 논문집, 제19권 제II-1호, pp. 1~12.

이동률 (1988). 엘니뇨 및 라니냐와 한국의 기온 및 강수량 관계. 한국수자원학회 논문집, 제31권, 제6호, pp. 807~819.

윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999a) 지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 : 1. 연/월 강수량의 변화에 따른 일강수량 분포의 변화

분석. 한국수자원학회 논문집, 제32권, 제6호, pp. 617~625.

윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999b) 지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여 : 2. 지구 온난화에 따른 일강수량 분석의 변화 추정. 한국수자원학회 논문집, 제32권, 제6호, pp. 627~636.

내무부 중앙 재해 대책 본부 (1998) 재해 극복 30년사

Box G.E.P., and Tiao, G.C. (1975) Intervention analysis with applications to economic and environmental problem." J. of the American Statistical Association, Vol. 70, No. 349, pp. 70~79.

Chu, P.S.(1995) Hawaii Rainfall Anomalies and El Niño. *J. of Climate*. Vol. 8, No. 6, pp. 1697~1703.

Hipel K.W., Lennox, W.C., Unny. T.E., and McLeod, A.I. (1975) Intervention analysis in water resource." *Water Resources Research*. Vol. 11, No. 6, pp. 855~861.

Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert (1987) Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation." *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1606~1626.

- ◎ 논문접수일 : 2004년 7월 23일
- ◎ 심사의뢰일 : 2004년 7월 26일
- ◎ 심사완료일 : 2004년 9월 15일