

한강과 낙동강 유역평균 월강수량의 기후 특성:

I. 유역평균 시계열의 변동

The Climatological Characteristics of Monthly Precipitation over Han- and Nakdong-river Basins: Part I. Variability of Area Averaged Time Series

백희정* / 권원태**

Baek, Hee-Jeong / Kwon, Won-Tae

Abstract

The climatological characteristics of the area averaged monthly precipitation over the Han- and Nakdong-river basins were investigated. The data used for this study is monthly precipitation data from 51 meteorological stations for the period of 1954 to 2002. The magnitude of area averaged precipitation in the Han-river basin was about 10% larger than that in the Nakdong-river basin. However, the variability of two monthly precipitation time series exhibited similar characteristics: April precipitation tends to decrease and August precipitation increase significantly, while there was no significant trend for the other months. There were some indications of abrupt change around the 1970's in the periodicity of precipitation and relationship with El Niño index. September precipitation showed negative correlation with NINO3 index but November precipitation, positive correlation with NINO3 index, indicating a possible connection with the global-scale phenomena.

Keywords : basin averaged precipitation, correlation, wavelet analysis, NINO3 index

요 지

이 연구에서는 49년간 (1954-2002년) 한반도 기상 관측소 자료로부터 한강과 낙동강 유역의 유역평균 월강수량 시계열의 변동에 대한 기후특성을 분석하였다. 비록 두 유역의 연강수량의 크기는 차이가 있으나 월별 변동 특성은 매우 유사하였다. 특히 4월 유역평균 강수량은 감소 경향이 뚜렷하였고, 8월 유역평균 강수량은 증가 경향이 매우 뚜렷하였다. 또한 1970년 중반에 유역평균 월강수량의 변동에 변화가 나타났다. NINO3 지수와 한강과 낙동강 유역평균 월강수량 편차와의 동시상관분석으로부터 유역평균 9월 강수량은 NINO3 지수와 지속적인 음의 상관을 보였고, 11월 유역평균 강수량과는 양의 상관이 크게 나타났다.

핵심용어 : 유역평균 강수량, 상관분석, 파열분석, NINO3 지수

1. 서 론

한강 유역과 낙동강 유역은 그 면적이 각각 23,772

km², 11,302 km²로 한반도에서 가장 넓은 유역에 해당한다. 따라서 이 유역의 수자원 관리는 주변 지역의 경제활동 및 재해 예방에 매우 중요하다. 특히 강수량의

* 기상연구소 기후연구실 기상연구사
Research Scientist, Climate Research Lab., Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea
(e-mail: hjbaek@metri.re.kr)

** 기상연구소 기후연구실 실장
Director, Climate Research Lab., Meteorological Research Institute, Seoul 156-720, Korea
(e-mail: wontk@metri.re.kr)

대부분이 여름철에 집중적으로 내리는 우리나라의 경우 경제기반에 필요한 용수 확보를 위한 댐 수위 조절 등 유역의 수자원 관리를 위해서는 강수량의 장기예측이 매우 중요하나 이에 앞서 유역 강수량의 기후 특성에 관한 분석은 예측을 위한 기반 자료로서 필수적이다.

한반도 강수 연구에 있어서 기상 관측소 지점 자료를 사용하여 강수 특성 분석 및 다양한 통계 방법을 이용한 지역 구분 연구(허창희, 1988; 박정규와 이승만, 1993; 이동규와 박정규, 1999) 및 여름철 집중호우와 여름철 강수량의 경년 변동과 관련된 원인 분석에 대한 연구가 많이 수행되었다. 집중호우의 발생 원인으로서는 티베트 상층 고기압과 북서태평양 하층 고기압의 강도와 위치(박순웅 등, 1988; 이동규, 1991), 북쪽에서 발달하여 남하하는 상층 고기압과 서쪽으로 확장하는 서태평양 고기압(윤원태 등, 2001) 등이 제시되었다. 강인식과 정영근(1996)은 서울 강수의 경년변동은 엘니뇨 시기에 나타나는 해수면 온도 편차와 관련되어 있다고 했으며, 고정웅(2004)은 한반도 지역별 강수 변동 특성을 살펴보고, 여름철 강수는 북반구 기온 및 해수면 온도 변동과 관련되어 있다고 밝혔다.

한편, 수자원적인 측면에서는 이수과 치수를 목적으로 주로 연구 대상의 유역 내 강우 빈도와 강도 및 강수 분포 특성에 대한 연구와 유출 모형의 입력 자료로서의 강우 특성 연구에 중점을 두었다(박준일, 1995; 이동률과 정상만, 1992; 이재준과 손광익, 1981; 이원환, 1972).

이 연구에서는 티센 (Thiessen) 가중법을 이용하여 한반도 기상관측소 자료로부터 한강과 낙동강 유역에 대한 유역평균 월강수량을 산출하여 시계열의 변동 특성을 살펴보았다.

2. 자료 및 방법

2.1 자료

이 연구에서 자료 분석 기간은 1954년부터 2002년까지이며, 사용된 월강수량 자료는 1973년부터 관측 자료를 보유하고 있는 섬 지역을 제외한 한반도내 51개 기상 관측 지점 자료로서(그림 1), 그림 1의 큰 점으로 표시된 12개 지점만이 1972년 이전 자료를 보유하고 있다. 분석될 유역평균 강수량은 다음 절에서 제시된 방법에 의해서 산출되며, 이 자료는 각 달에 대해서 분석 기간인 1954-2002년 49년의 평균값에 대한 편차값으로 변환되어 분석에 사용되었다.



그림 1. 한강과 낙동강 유역의 기상관측소 분포도

유역평균 월강수량의 변동과 엘니뇨와의 관련성을 살펴보기 위해서 HadISST1(Rayner et al., 2003) 해수면 온도 자료를 사용하였다. HadISST1은 영국 해들리 센터에서 생산된 해빙과 해수면 온도 자료로서 전지구 영역에 걸쳐 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 해상도로 구성되어 있다. 1954년부터 2002년까지 (90W-120W, 5S-5N) 지역에 대한 HadISST 월평균 해수면 온도를 평균한 시계열을 추출하였으며, 이 시계열로부터 49년 평균값을 뺀 편차값을 NINO3 지수로 정의하여 사용하였다.

2.2 유역평균 월강수량 산출

일반적으로 유역평균 강수량 자료는 강우-유출 모형의 입력자료 등과 같이 수문 분석에 주로 사용된다. 정확한 유역평균 강수량 산정은 강수량의 공간적 분포에 대한 대표성을 지니므로 중요하다. 지점 강수량을 유역에 걸친 공간적 형태로 전환하기 위하여 산술평균법, 티센법, 등우선법 등이 주로 이용되고 있으며, 최근 GIS를 이용한 방법이 도입되었다(박종영 등, 2001). Singh 등(2002)은 유역평균 강수량 산출을 위해서 산출평균법을 사용하였으며, 이 연구에서는 티센법을 이용하였다. 1954년부터 2002년까지 유역평균 월강수량을 산정하는 방법은 다음과 같다.

- 1단계: 한강과 낙동강 유역을 구분하고 각 유역에 대한 티센다각형을 구성한다. 그림 1은 한강과 낙동강 유역의 위치와 유역 내에 위치한 기상 관측지점을 보여주고 있다.
- 2단계: 각 유역내에 존재하는 관측 지점에 대한 티센 가중값을 계산한다 (표 1).
- 3단계: 각 유역 내의 전 지점에 대해서 자료가 존재하는 기간인 1973-2002년에 대해 관측지점 월강

수량에 티센가중값을 적용하여 유역평균 월강수량 시계열을 산출한다.

- 4단계: 1973-2002년 기간에 대해 산출된 각 유역의 유역평균 월강수량과 1972년 이전 자료를 보유하고 있는 관측 지점 월강수량과 상관분석을 수행한다.
- 5단계: 각 유역에 대해서 4단계에서 상관관계수가 높은 관측지점의 월강수량과 유역평균 월강수량과의 1973-2002년 기간에 대한 회귀분석을 수행한다.
- 6단계: 5단계에서 선택된 관측소 자료에 회귀식을 적용하여 1954-1972년 기간에 대한 각 유역별 유역평균 월강수량 시계열을 산출한다.

2.3 분석 방법

유역평균 월강수량의 변동 특성을 파악하기 위해서 유역별, 월별 시계열에 대하여 단순회귀분석 및 NINO3와의 상관분석을 수행하였으며, 주기 특성을 파악하기 위하여 파엽분석(Lau and Weng, 1995; Torrence and Compo, 1998)을 실시하였다. 다음 절에 파엽 분석에 대하여 간단히 소개하였다.

2.4 파엽(wavelet) 분석

대부분 주어진 시계열에 대한 진동수 분포를 조사하기 위해서 그 시계열의 전체 자료 기간에 대한 진동수 분포를 파악할 수 있는 스펙트럼 분석을 수행한다. 그러나 1990년대에 기상학에 도입된 파엽분석은 스펙트럼 분석에서는 파악할 수 없는 국지적인 시간에 따른 에너지의 변동성 분석을 가능케 한다. 여기서는 1차원에 대해서 파엽 분석을 설명하고자 한다.

파엽분석은 일반화된 국지기저함수, 즉 파엽(wavelet)을 사용하는데, 이 파엽은 시간과 진동수 모두에 대해서 가변 분해능으로 확장되거나 변환될 수 있다. 이 가변 분해능은 파엽 영역으로 알려진 시간-진동수 전체

영역에 적용되어지는데, 고주파수 신호에 초점을 맞추려면 파엽 영역을 좁게 하고 저주파 신호를 찾기 위해서는 파엽 영역을 확장한다.

수학적으로 파엽변환은 한 시그널 $s(t)$ 를 식 (1)의 "mother wavelet", "basic wavelet" 또는 "analysing wavelet"이라 불리는 $\psi(t)$ 을 팽창(예: $\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$)과 변환(예: $\psi(t) \rightarrow \psi(t+1)$)함으로써 얻어지는 일부 기본 함수 $\psi_{b,a}(t)$ 관점에서 분해한다.

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{(a)^{1/2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

여기서 b 는 파엽의 위치 (변환)를 나타내고 $a(>0)$ 는 파엽의 규모 (팽창)를 나타낸다. 또한 $\psi_{b,a}(t)$ 를 "daughter wavelet" 또는 간단히 "wavelet"이라고 부른다. (1)에서 에너지 표준 인자 $(a)^{-1/2}$ 는 daughter wavelet의 에너지가 mother wavelet의 에너지와 같도록 유지한다. mother wavelet $\psi(t)$ 에 대하여 실제 시그널 $s(t)$ 의 파엽변환은 식 (2)에서와 같은 적분으로 정의된다.

$$W(b,a) = \frac{1}{(a)^{1/2}} \int \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) s(t) dt \quad (2)$$

여기서 ψ^* 는 ψ 의 복소수 함수이며, $s(t)$ 는 식 (2)에 대한 역 공식에 의해서 파엽계수로로부터 $s(t)$ 를 식 (3)과 같이 재구성할 수 있다.

$$s(t) = \frac{1}{C_\psi} \int \frac{da}{a^2} \int db \frac{1}{(a)^{1/2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) W_{b,a} \quad (3)$$

$$\text{여기서 } C_\psi = \int_0^{+\infty} \frac{\hat{\psi}(\omega)^2}{\omega} d\omega < +\infty \quad (4)$$

이고 $\hat{\psi}$ 는 ψ 의 푸리에 변환이다.

표 1. 기상관측소 위치와 티센 가중값

한강유역		낙동강 유역	
관측지점	가중값	관측지점	가중값
대관령(100)	0.1128	대구(143)	0.1382
춘천(101)	0.1544	진주(192)	0.0676
서울(108)	0.0915	영주(272)	0.1289
원주(114)	0.0585	점촌(273)	0.0829
충주(127)	0.0924	의성(278)	0.1488
양평(202)	0.0684	선산(279)	0.0999
이천(203)	0.0607	영천(281)	0.1134
인제(211)	0.1825	거창(284)	0.0689
홍천(212)	0.0625	합천(285)	0.0884
제천(221)	0.1162	산청(289)	0.0631

파엽분석은 사용하는 파엽의 성격이나 적용 대상에 따라서 여러 가지로 분류할 수 있으나 크게 두 범주(연속 파엽과 직교 파엽)로 분류할 수 있다. 지구물리분야에서 가장 많이 사용되는 연속 파엽은 가우스 포락(envelope)에 의해 변형된 평면파로 구성된 복소수 Morlet 파엽이다. 그 다음 많이 사용되는 연속 파엽은 가우스 함수의 2차 미분인 Mexican hat이다. 가장 간단한 직교 파엽은 Haar 파엽으로서 이것은 박스 함수에 바탕을 두고 있다.

이 연구에서는 식 (5)와 같은 Morlet 파엽을 사용하였으며, 그 형태는 그림 2에서와 같다. 그림 2a는 규모 a값에 따른 Morlet 파엽의 예(Lau and Weng, 1995)이며, 그림 2b의 왼쪽 부분은 Morlet 파엽의 실수(실선) 부분과 허수(점선) 부분을 보여주고 있으며, 그림 2b의 오른쪽 부분은 주파수 영역에서의 Morlet 파엽 형태를 보여주고 있다(Torrence and Compo, 1998).

$$\psi(t) = e^{ik_t t} e^{-t^2/2} \quad (5)$$

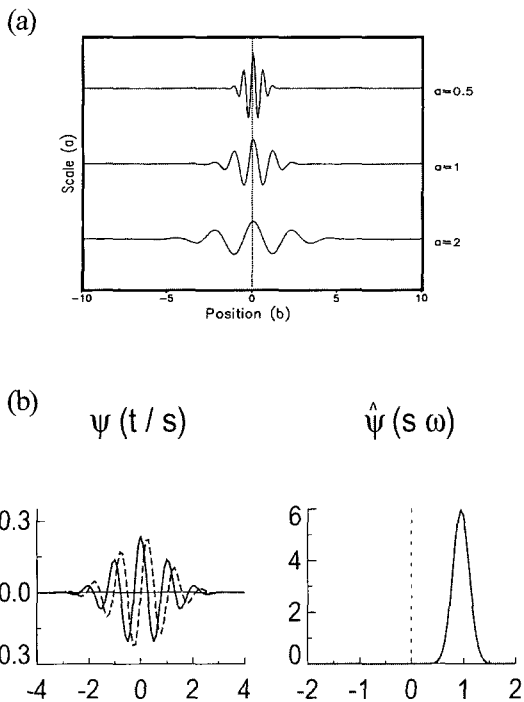


그림 2. Morlet 파엽 형태

3. 결 과

3.1 한반도 연평균 강수량 분포

한반도의 강수는 그 지역적인 차이가 뚜렷하며, 연강수량의 50% 가량이 여름철에 집중되는 등 그 계절적인 특성이 뚜렷하다(허창희, 1988). 6-10월까지의 강수는

주로 장마나 집중호우, 태풍 및 이동성 저기압 등에 의해서 발생하며, 태풍 이동경로에 놓인 지역은 태풍의 영향에 따라 강수량 변동성이 매우 크다(백희정과 권원태, 1999). 이동규와 박정균(1999)은 군집분석과 일강수 자료에 대한 주기 분석을 사용하여 한반도 여름철 강수 지역을 구분하였다.

유역평균 월강수량의 기후특성을 분석하기 이전에 한반도 전역에 대한 51개 기상 관측 지점에 대해서 30년(1973-2002) 동안에 걸쳐 평균된 연강수량의 공간적 특성을 살펴보았다(그림 3). 한반도 남부 지방에서 연강수량이 가장 많고 경상북도 내륙에서 연강수량이 가장 적다. 최고값은 거제에서 30년 평균값이 1812 mm였고 최저값은 의성에서 975 mm로 나타났다. 30년 평균 표준편차를 살펴보면, 200~550 mm의 범위를 갖고 있으며, 공간적 패턴은 평균값과 매우 유사하여, 전반적으로 연강수량이 적은 지역에서 표준편차가 작고 많은 지역에서 크게 나타났다.

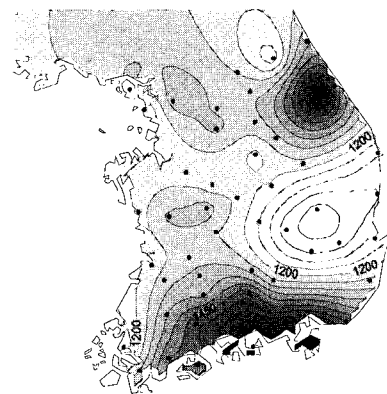


그림 3. 연강수량의 기후 분포도

3.2 한강 및 낙동강 유역평균 월강수량의 변화 추세

그림 4는 2장에서 설명한 방법에 의해서 얻어진 한강과 낙동강 유역에 대한 유역평균 월강수량(여기서부터 유역평균 강수량을 강수량으로 표기한다)의 월별 시계열과 변화추세를 나타내고 있다. 두 유역에 대한 시계열 자료로부터 비록 약간의 차이가 있지만 월강수량의 경년변동은 비교적 유사한 양상을 보이고 있다. 이와 같은 양상은 두 유역 사이의 상관관계 분석으로부터 확인할 수 있다(그림 5).

그림 5는 49년(1954-2002) 평균 한강과 낙동강 유역의 월별 강수량(막대그래프)과 같은 기간에 대한 두 유역 월강수량 사이의 월별 상관관계분석 결과(실선)를 보여주고 있다.

기상관측소 관측자료를 분석한 그림 3에서와 같이 두 유역의 강수량은 여름철에 집중되어 있으며, 이는 연강수

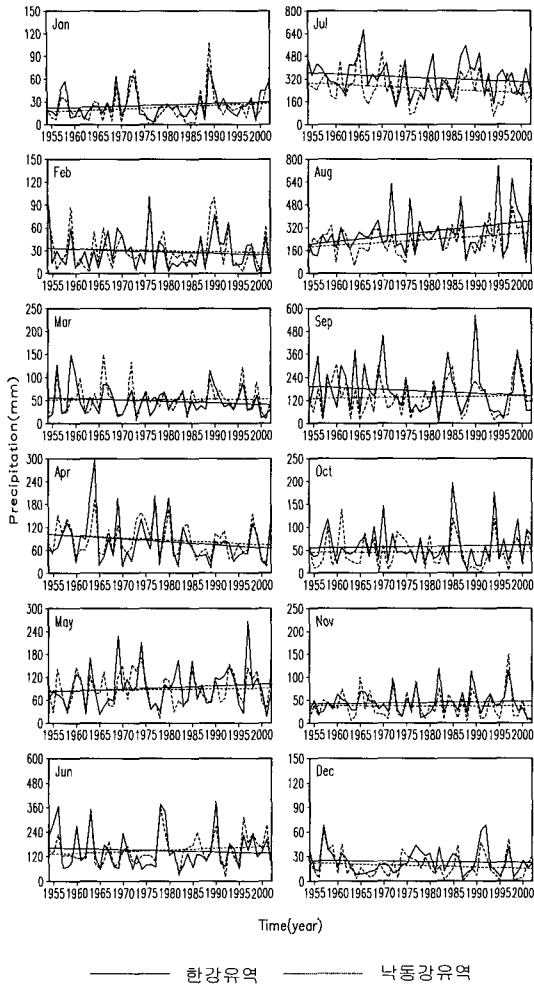


그림 4. 강수량 시계열과 변화 추세

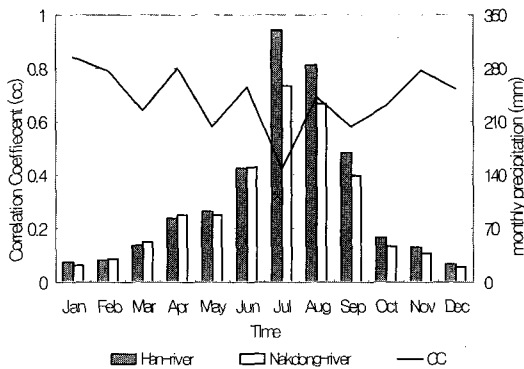


그림 5. 49년 평균 월별 강수량과 상관계수

량의 60%에 해당한다. 49년(1954-2002) 평균 한강과 낙동강 유역의 연강수량은 각각 1,338 mm, 1,160 mm로서 한강유역이 150 mm 이상 더 많은 강수량을 보이고 있다.

또한 그림 5에 한강과 낙동강 유역 강수량간의 49년 동안 월별 동시상관계수가 나타나 있다. 비록 강수량의 크기에는 차이가 있으나 두 유역 강수량 사이의 상관관

계가 7월을 제외하고는 0.5 이상을 보이고 있다. 즉 이와 같은 결과는 비록 한반도 강수가 지역적 차이가 뚜렷하지만 시간 규모가 커질수록 그 차이는 줄고 월강수량의 경년변동은 매우 유사하다는 것을 보여준다.

한강과 낙동강 유역의 월별 강수량에 대해서 단순회귀분석을 수행하여 장기적인 변화 추세를 살펴보았다(그림 4의 직선). 두 유역에서 강수량의 변화추세는 각 달에 대해서 매우 유사하며, 뚜렷한 증감이 나타나지 않았다. 다만 4월과 7월 강수량은 감소 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않다. 두 유역의 8월 강수량은 뚜렷한 증가 경향을 보였고 특히 한강 유역 8월 강수량의 증가량은 95% 유의수준에서 유의하며, 49년동안 165 mm가 증가하였다.

두 유역 강수량의 변동성을 살펴보면, 8월과 9월 강수량의 변동폭이 최근들어 더 커졌으며, 주기가 길어지고 있는 양상을 보이고 있다. 이러한 변화 경향은 1970년 중반에 나타나고 있으며, 이는 다음의 주기 분석에서 확인할 수 있었다.

3.3 유역평균 강수량의 주기 분석

한강과 낙동강 유역의 강수량의 변동 경향을 보다 자세히 살펴보기 위해서 파엽 분석을 이용한 주기 특성을 파악하였다. 그림 6은 한강과 낙동강 유역의 월별 강수량의 파엽 분석 결과 중 실수 부분을 보여주고 있다. 이 그림으로부터 시간 종속된 주기 특성을 볼 수 있으며, y축은 파수에 해당한다. 파수란 파장에 반비례하기 때문에 단위 길이당 파 주기(wave cycle)의 수를 나타낸다(파수가 클수록 단파에 해당한다). 그러므로 파수에 해당하는 주기를 알려면 분석 전 기간 즉, 49년을 파수로 나누어주면 되므로, 세로 축의 파수 5는 약 10년 주기를 의미하며, 그 이하이면 10년 이상의 주기 변동성, 파수가 5보다 크면 10년 이하 주기 변동성을 나타낸다고 볼 수 있다.

그림 6에서 두 유역 강수량의 월별 주기 특성은 차이가 존재하나 앞에서 살펴본 바와 같이 두 유역 간의 변동성은 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 한강 유역 강수량의 월별 주기 특성을 살펴보기로 한다.

1월 강수량은 1970년 중반 이전까지 10년 이상 주기 변동성이 두드러졌으나, 1970년대부터 10년 주기 변동성이 나타나기 시작하여 1980년 후반에는 가장 지배적이었다. 2월 강수량의 주기 특성 또한 1970년 중반에 두드러진 변화가 있었다. 이전에는 8년 주기가 두드러졌으며, 또한 1970년대에 2-3년 주기가 컸으나 이 주기는 1980년에는 상대적으로 매우 미약하였고 오히려 10년 이상 주기가 우세하였다. 그러나 1990년대에 들어서

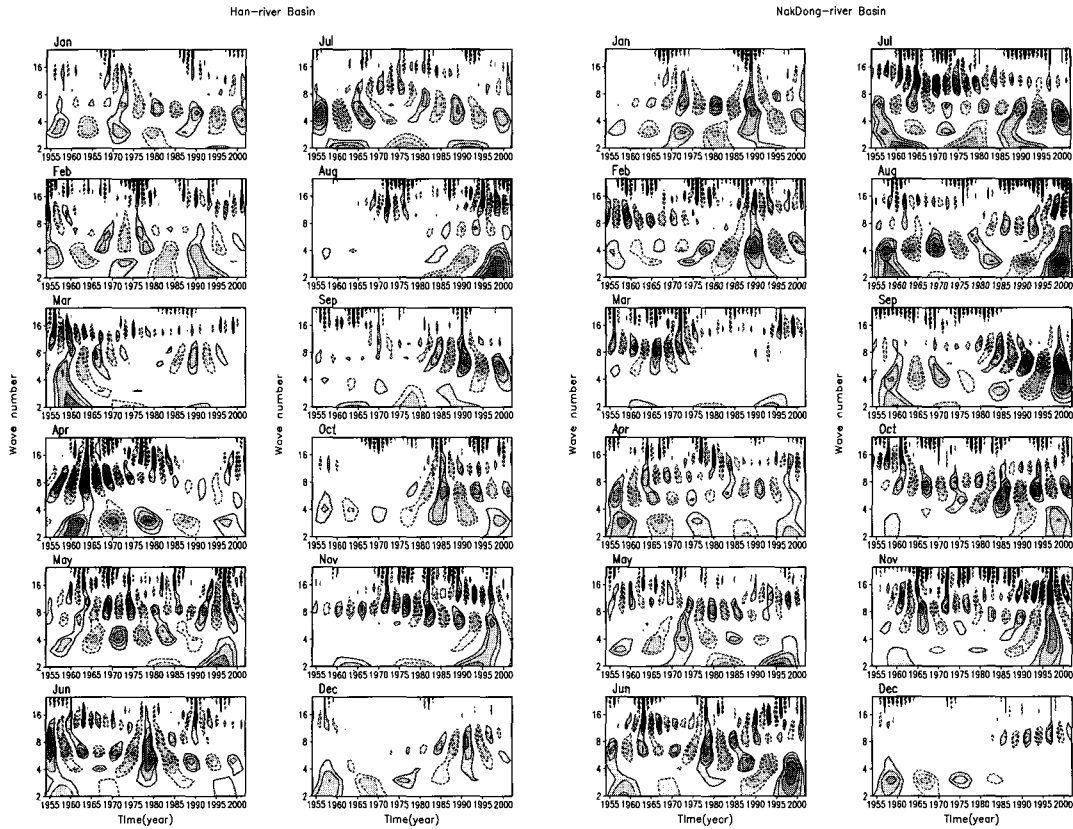


그림 6. 한강(왼쪽)과 낙동강(오른쪽) 유역의 월별 강수량에 대한 파열 분석 결과

는 3-6년 주기가 뚜렷하게 나타나고 있다. 3월 강수량 주기 분석에서 두드러진 점은 4월 강수량의 변동에 있어서 4년 주기가 전반전에 두드러졌으나 최근에 그 크기가 감소하고 오히려 7-8년 주기가 1990년대에 두드러졌다. 4월 강수량은 1970년대 중반 이전까지 6년 주기 변동에 의한 영향이 컸으나 이후에는 그 영향이 줄어들었으며, 10년 이상 주기 변동이 전 기간에 걸쳐 나타났다. 5월 강수량 자료에서는 이전의 다른 달에서와는 달리 6년 정도의 경년변동이 전 분석기간에 걸쳐 우세하였으며, 최근에 2-3년 주기의 변동이 나타나고 있다. 6월 강수량은 10년 주기 변동이 분석 기간 중반에 지배적이었다. 7월에는 증가경향과 10년 주기 변동이 우세하였으나, 1970년 중반에 주기 특성이 변화하는 양상을 보였다, 전반적으로 1-5월에는 분석기간 전반에 변동폭이 작았으나 8월부터는 최근에 분산이 커지고 있음을 확인할 수 있다(이러한 양상은 그림 4의 시계열 자료로부터도 확인할 수 있다). 8월에 강수량 변동폭이 커지고 강수량의 증가 경향 및 6년 이하의 경년 변동이 우세하였다. 그러나 9월과 10월에는 6-10년 정도의 주기 변동이 우세하였으며, 이는 1970년 중반 이후에 두드러졌다. 9-10월 강수량의 대부분은 태풍에 의한 경우가 많으므로, 태풍 발생 또는 강도에서의 주기 변화가 있었을 것

으로 사료된다. 11월 강수량도 8년 정도의 주기 변동에 지배되고 있다. 12월 강수량은 1970년 중반의 지배적 주기 변이가 두드러지며, 이러한 양상은 대규모 변수에서도 나타나고 있다(Latif and Barnett, 1994, Barlow et al., 2001) 이와 같은 주기 분석으로부터 탁월 주기와 같은 강수량의 변동 특성을 파악할 수 있기 때문에, 정성적 예측 자료로 활용할 수 있을 것이다.

낙동강 유역 강수량의 월별 주기 특성은 한강과 매우 유사하나 한강에 비해서 변동폭의 변화가 적다. 월별 강수량의 주기 특성에 있어서 유사성은 표 2에서도 나타나 있다. 표 2와 그림 7은 한강과 낙동강 유역의 월별강수량 사이의 49년(1954-2002)년 동안 동시상관계수로서, Total은 전체 시계열 사이의 상관값이고, ISV(Interannual Scale Variability)는 전체 시계열에서 파열 분석을 통하여 주기별로 분리된 값으로부터 8년 이하의 경년 변동만을 추출한 값들 사이의 상관값이며, DSV(Decadal Scale Variability)는 8년을 초과하는 장기 변동성을 갖는 값들을 추출하여 얻은 값들 사이의 상관값이다. 두 유역의 전체 강수량 사이의 시계열에 대한 상관관계수가 7월에 가장 낮으며, 이는 주로 8년 이하의 경년변동성(상관계수=0.30)에 기인한다. 한반도 7월의 강수량은 중규모 현상(~100 km)의 발달이나 장마전선

표 2. 한강과 낙동강 유역 강수량 사이의 상관계수

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
TOTAL	0.84	0.79	0.64	0.80	0.58	0.73	0.42	0.69	0.58	0.66	0.79	0.72
IAV	0.79	0.80	0.69	0.85	0.56	0.75	0.30	0.76	0.51	0.73	0.79	0.71
DSV	0.92	0.83	0.52	0.56	0.72	0.77	0.67	0.68	0.74	0.70	0.79	0.76

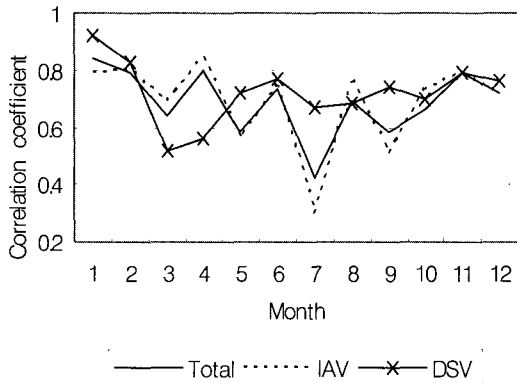


그림 7. 한강과 낙동강 유역 강수량 사이의 상관관계

의 전개 과정에 영향을 받으며, 이러한 현상은 경년변동성이 매우 크고 지역에 따른 강수량도 차이가 나타나기에 따라 두 유역간의 상관관계도 높지 않게 나타난 것으로 보인다. 그러나 전체 시계열에 대한 기여는 낮으나 장주기 변동 사이의 상관관계는 0.67로 높게 나타나고 있다. 그리고 봄철 강수량은 다른 계절의 강수량에 비해서 장주기 변동성 사이의 관계가 높지 않은 결과를 보여주고 있다.

3.4 유역평균 강수량과 엘니뇨와의 연관성

엘니뇨는 전지구적인 기후 변동을 야기하는 열대 태평양 해수면 온도의 저주파 변동으로서, 한반도의 기후 역시 엘니뇨와 같은 열대 태평양 상의 변동에 밀접히 관련되어 있다(강인식, 1998; 강인식과 정영근, 1996). 이에 따라 엘니뇨가 한강과 낙동강 유역 강수량 변동에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 영국 해들리센터 해수면 온도 자료로부터 NINO3 지수를 산출하여 한강 및 낙동강 유역의 강수량과의 월별 동시 상관분석을 수행하였다.

표 3은 49년(1954-2002년) 동안 NINO3 지수와 한강 및 낙동강 유역평균 월강수량 편차와의 동시상관도이다. 표에서 *는 95% 신뢰도, **는 99% 신뢰도에서 유의한 값을 나타낸다. 한강유역에서 5월, 9월, 11월 강수량은 엘니뇨와 관련되어 있음을 알 수 있으며, 특히 11월 강수량은 99% 신뢰도에서 유의한 값을 갖는다. 낙

동강 유역에서는 9월-12월 강수량이 엘니뇨와 연관되어 있으며, 한강 유역에서와 마찬가지로 11월 강수량은 NINO3 지수와 매우 높은 상관을 보였다. 특히 10월 강수량은 한강유역에서와는 달리 엘니뇨 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 이는 낙동강 유역은 10월에 태풍의 이동 경로에 놓여있는 경우가 많기 때문인 것으로 사료된다.

표 3으로부터 두 유역에서 9-10월 강수량이 NINO3 지수와 음의 상관을 갖고 11-12월이 양의 상관을 가짐에 따라, 엘니뇨가 발달하는 시기에 두 유역의 9-10월 강수량은 줄어들고, 11-12월 강수량은 증가하는 것을 의미한다. 9월 강수량과의 음의 상관은 오현택 등(2003)에 의해서도 밝혀진 바 있다.

한편 이전의 주기분석에서 살펴본 바와 같이 강수량은 1970년 중반에 변동 양상이 변화하였다. 따라서 두 유역의 강수량과 NINO3 지수 사이의 연관성 또한 어떠한 변화 양상을 보이는지 알아보기 위해 전체 분석 기간(49년) 중 20년 분석창에 대하여 1년씩 이동하여 상관분석을 수행하였다. 그림 8은 NINO3 지수와 한강(검은 실선) 및 낙동강(빨간 실선) 유역평균 월강수량 편차와의 이동 동시상관도이다. 그림에서 점선은 95% 신뢰도에서 유의한 상관계수를 나타내고 있으며, 하단의 년도는 상관분석 시작년도를 나타낸다.

상관분석도로부터 두 유역 강수량과 NINO3 지수와 연관성은 일부 달을 제외하고는 매우 변동성이 크다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 비록 통계적으로 유의하지는 않지만 1월 강수량의 경우에 NINO3 지수와 분석 기간 전반에 양의 상관을 보이다가 후반에는 음의 상관을 보이고 있다. 또한 4월 강수량의 경우에 두 유역 강수량은 49년 전체 기간에 대해서는 통계적으로 유의하지 않은 양의 상관을 보였으나, 1980년 이후에 뚜렷한 양의 상관을 보여주고 있다. 또한 8월 강수량의 경우 통계적으로 유의하지 않으나 엘니뇨와 비교적 높은 양의 상관을 보였다. 이 상관관계는 1970년대 중반 이전의 영향이며, 이후에는 관련성이 거의 없는 것으로 나타났다. NINO3 지수와 9월 강수량과의 이동상관분석은 매우 다른 양상을 보여주고 있다. 한강 유역 강수량은 NINO3 지수와 분석 기간 전반에 유의성 있는 음의 상

표 3. NINO3 지수와 한강 및 낙동강 유역의 강수량과의 동시상관계수

	한강	낙동강
1월	0.01	0.05
2월	0.00	0.09
3월	-0.17	-0.10
4월	0.09	0.13
5월	0.29*	0.10
6월	-0.19	-0.09
7월	0.02	0.06
8월	0.24	0.23
9월	-0.31*	-0.28*
10월	-0.09	-0.33*
11월	0.42**	0.43**
12월	0.27	0.33*

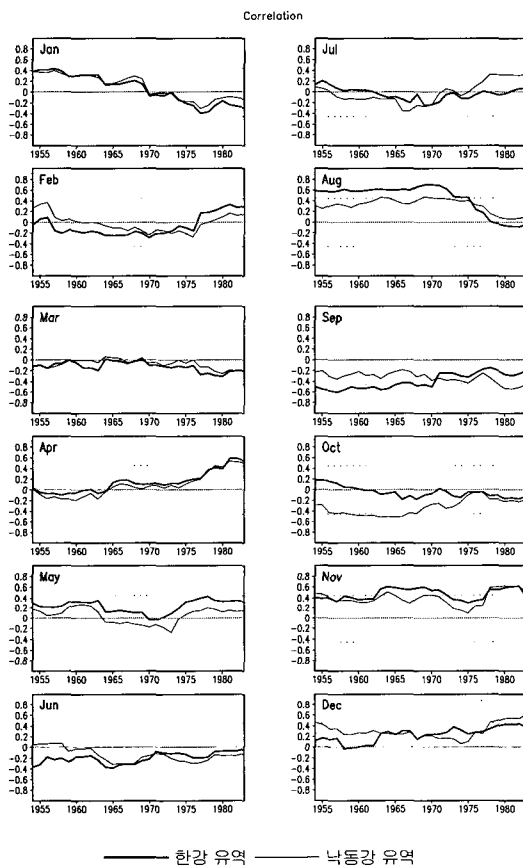


그림 8. 월강수량과 NINO3 지수와 이동 상관관계

관을 보이다가 최근에는 그 상관관계가 줄어드는 양상을 보이고, 낙동강 유역에서는 반대의 양상을 보이고 있다. 그러나 두 유역의 11월 강수량은 전 기간에 걸쳐 NINO3와 양의 상관관계를 보여, 엘니뇨 발달 시에 유역 강수량은 증가할 것이라는 것을 예측할 수 있다. 한반도 겨울철 기온은 엘니뇨 시기에 증가하는 것으로 알려져 있으며(강인식과 백희정, 1993; 차은정 등, 1999), 기온 증가는 대기 중 수증기 함량을 증가시켜 강수량 증가를 가져오는 것으로 사료된다.

4. 결 론

이 연구는 수자원의 효율적 관리를 위한 유역평균 강수량 예측의 선행 조건으로서 한반도내 가장 큰 유역에 해당하는 한강과 낙동강 유역에 대해서 49년(1954-2002년) 동안의 월강수량 시계열의 변동 특성을 분석하였다.

- 1) 유역평균 월강수량은 티센법을 사용하여 산출되었으며, 산출된 시계열 자료로부터 두 유역에서의 강수량의 경년 변동 특성은 매우 유사하였다. 특히 회귀분석으로부터 4월 유역평균 강수량은 감소 경향이, 8월 강수량은 증가 경향이 매우 뚜렷하였다.
- 2) 두 유역에서 월강수량에 대하여 파엽변환을 이용한 주기분석으로부터 탁월 주기의 변화가 1970년 중반에 대부분의 달에서 나타났다.
- 3) NINO3 지수와 한강과 낙동강 유역의 월강수량 편차와의 동시상관관계에서 9월 강수량은 NINO3 지수와 지속적인 음의 상관을 보였으며, 11월과 12월 강수량은 양의 상관관계가 매우 높아 이로부터 엘니뇨 발달 시기에 9월 강수량은 줄어들고 11-12월에는 증가하는 경향을 보일 것으로 예측할 수 있다.

한강 및 낙동강 유역의 월강수량은 크게 지속적인 증가 또는 감소 경향이 존재하였고, 주기적인 변동 양상을 보임과 동시에 특히 엘니뇨 발달과 9월 이후 강수량이 관련 있는 것으로 나타남에 따라 엘니뇨 감시 등을 통하여 엘니뇨가 발달하는 시기에 선행적으로 월강수량의 장기 예측에 정성적으로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 최근 들어 강수량의 분산이 커지는 경향이 두드러지며, 이는 집중호우나 가뭄의 발생 가능성이 높아짐을 암시한다. 따라서 이에 대한 연구가 수행되어야 수자원 확보에 도움이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

유역 강수량 산출을 위해 티센망을 구성하여 준 세종대학교 김진훈님께 감사드립니다. 이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기프론티어연구개발사업 (수자원의 지속적확보기술개발사업)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 강인식 (1998). "엘니뇨와 한반도 기후변동의 관련성." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제34권, 제3호, pp. 390-396.
- 강인식, 백희정 (1993). "한반도 겨울철 월평균 기온의 장기예측." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제29권, 제3호, pp. 253-262.
- 강인식, 정영근 (1996). "서울 기온과 강수량의 경년 변동과 태평양 해수면온도의 주 변동모드와의 관련성." **한국기상학회지**, 한국기상학회지, 제32권, 제3호, pp. 339-345.
- 고정웅 (2004). "우리나라의 여름철 강수량 변동과 그 원인 분석." 석사학위논문, 건국대학교.
- 박순웅, 안현주, 전영신 (1988). "1985년 장마기간에 동부 아세아 지역의 대기순환의 변화." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제24권, 제3호, pp. 168-191.
- 박정규, 이승만 (1993). "연강수량에 의한 남한의 강수 지역구분." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제29권, 제2호, pp. 117-126.
- 박종영, 이정식, 이재준, 전병국 (2001). "GIS를 이용한 중소하천 유역에서의 유역평균강수량 산정방법의 비교 - 위천유역을 중심으로 -." **2001년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(0)**, 한국수자원학회, pp. 194-199.
- 박준일 (1995). "남강댐유역에 있어서 강우분포의 변화." **한국수자원학회지**, 제28권, 제1호, pp. 91-106.
- 백희정, 권원태 (1999). "북서태평양에서 발생한 강력한 태풍의 기후학적 특성." **1999년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(0)**, 한국수자원학회, pp.177-182.
- 오현택, 권원태, 이우성 (2003). "엘니뇨 발달시 한반도 9월 강수량 변동." **대기지**, 한국기상학회, 제13권, 제1호, pp. 314-317.
- 윤원태, 박정규, 이재원, 이현수, 민승기 (2001). "1998년 여름철 한반도 집중호우 특성 분석." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제37권, 제2호, pp. 181-194.
- 이동규, 박정규 (1999). "군집 분석을 이용한 남한의 여름철 강수 지역 구분." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제35권, 제4호, pp. 511-518.
- 이동규 (1991). "한반도 강우와 관련된 동아시아 몬순

- 순환의 특징." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제27권, 제3호, pp. 205-219.
- 이동률, 정상만 (1992). "한강유역 강우의 시·공간적 특성." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제25권, 제4호, pp. 75-85.
- 이원환 (1972). "우리나라 주요지점에 있어서의 강우해석에 관한 수문통계학적 연구." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제5권, 제2호, pp. 30-43.
- 이재준, 손광익 (1981). "강수빈도 및 강우강도의 시공간적 분포분석에 관한 연구." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제14권, 제4호, pp. 53-72.
- 차은정, 전종갑, 정효상 (1999). "엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제35권, 제1호, pp. 98-117.
- 허창희 (1988). "한국지역 강수의 변동성에 관한 연구." 석사학위논문, 서울대학교.
- Barlow, M., Nigam, S., and Berbery, E. H. (2001). "ENSO, Pacific decadal variability, and U.S. summertime precipitation, drought, and streamflow." *Journal of Climate*, Vol. 14, No. 9, pp. 2105-2126.
- Latif, M. and Barnett, T. P. (1994). "Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America." *Science*, Vol. 266, pp. 634-637.
- Lau, K.-M. and Weng, H.-Y. (1995). "Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing." *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 76, No. 12, pp. 2391-2402.
- 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." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. D14, 4407, paper No. 10.1029/2002JD002670.
- Singh, N., Baek, S.-K. and Kwon, W.-T. (2002). "Seasonal/Subseasonal Rainfall Prediction Through Time Series Modelling and Extrapolation Using Harmonic Analysis." *Korean Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp. 131-145.
- Torrence, C. and Compo, G.P. (1998). "A Practical Guide to Wavelet Analysis." *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, No. 1, pp. 61-78.
- (논문번호:04-52/접수:2004.05.20/심사완료:2004.01.11)