

# 순환통계 분석을 통한 강수량 시계열의 시공간적 변동성 분석

## Spatio-Temporal Variability Analysis of Precipitation Data Through Circular Statistics

권현한\* · 이정주\*\*

Kwon, Hyun-Han · Lee, Jeong-Ju

### Abstract

Assessing seasonality of precipitation is necessarily required to establish future plans and policies for water resources management. In this regard, a main objective of the study is to introduce an effective approach for assessing the seasonality of the precipitation and evaluate the seasonality through the proposed one. We have used circular statistics to characterize the seasonality on the precipitation in Korea. The circular statistics allow us to effectively assess changes in timing of the seasonality in detail. It was found that peak time on monthly rainfall occurred between end of June and early July in southern coastal area while the timing was delayed in northern part of Korea because of monsoon moving in from south to north. In case of annual daily peak precipitation, spatio-temporal variation of the peak time was increased. It is mainly because of geophysical effects, frequency and paths of typhoons. Finally, temporal variations on the timing of the peak seasons were evaluated through circular statistics by 30-year moving average data. The peak season in the Northern part of Korea (e.g. Seoul and Gangrung) has been moved back from early July to end of July while the peak season has been moved up from middle of July to early July in the Southern part of Korea (e.g. Busan and Mokpo). It seems that changes in seasonality are mostly modulated by variability in the east-asia monsoon system.

**Keywords** : circular statistics, seasonality, precipitation, spatio-temporal variation

### 요 지

강수량의 계절성은 수자원관리에 매우 중요한 수문요소로서 계절성의 변동을 정량적으로 평가하는 것은 미래 수자원관리 및 정책 수립에 필수적이다. 이러한 점에서 본 연구의 목적은 강수량의 계절성을 평가하는데 유리한 방법론을 제시하고 이를 통한 계절 변동성의 정량적인 해석을 목적으로 한다. 본 연구에서 제시한 순환통계치 분석은 시간을 각도로 변환하여 이를 활용으로써 미세한 시간적인 변화양상의 정량적인 해석이 가능하였다. 월최대강수량의 발생 시기는 남해안지역이 6월말에서 7월초이고, 북쪽으로 올라감에 따라 조금씩 발생시기가 늦어지는 것으로 분석되었다. 일최대강수량의 시공간적 변동성은 월최대강수량보다 크게 분석되었으며, 이는 일최대강수량의 경우 지형학적인 영향에 크게 좌우되며, 우리나라의 여름철 극치강수량이 태풍 발생빈도 및 경로와 연관성을 갖는다는 사실을 반영한 결과라고 판단된다. 월최대강수량 및 일최대강수량 발생 시기의 이동평균을 통해 발생시기의 변동을 분석한 결과, 서울과 강릉지방은 최대강수량의 발생시점이 늦어지고 있으며 반대로 목포와 부산지방은 최대강수량의 발생시점이 앞당겨지고 있었다. 이는 몬순시스템의 거동에 영향을 받는 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 순환 통계치, 계절성, 강수, 시공간적 변동성

### 1. 서 론

우리나라 수자원의 효율적인 이용을 가로막는 가장 큰 원인은 강수의 계절적 집중현상일 것이다. 또한 지구의 온실효과로 인한 기후변화와 엘니뇨, 라니냐의 영향에 의한 이상기후가 빈발하고 있는 상황에서 우리나라도 예외일 수 없다. 최근의 빈번한 집중호우와 홍수 및 가뭄 위험도가 함께 높아지는 추세는(정성인 등, 2004) 강수량의 시공간적 분포가 과거에 비해 달라진 것을 보여준다. 1998년의 기록적인 집

중호우와 2008년의 심각한 가뭄(문장원 과 이동률, 2009) 등은 이런 현실을 반영하고 있으며, 수문자료의 변동 및 경향 분석을 통해 향후 수문상황의 변화에 대비하는 것에 대한 당위성을 뒷받침하고 있다. 이수와 치수 모두에 대해 문제가 될 수 있는 극치 값의 변동은 국가 수자원 및 방재 정책의 장기적 계획에 있어서도 매우 중요한 항목이다.

수문자료의 경향 및 변동을 평가하기 위한 방법으로 대부분의 연구에서는 자료의 기본 통계치 즉 평균 및 분산 등을 검토하여 주요특성을 평가하는 연구가 주로 이루어지고 있

\*정희원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 (Email : hkwon@jnu.ac.kr)

\*\*정희원 · 교신저자 · 전북대학교 토목공학과 박사수료 (E-mail : julee@jnu.ac.kr)

다. 이러한 자료의 통계치를 통한 분석은 수문자료의 양적인 특성에 초점을 맞추고 있으므로 자료의 주요 경향성을 판단하기에는 무리가 따른다. 강수량은 시공간적으로 변동한다. 즉, 동일시간 동안의 강수량 일지라도 지역적인 위치에 따라 그 크기가 달라질 뿐 아니라 1년 중의 시기 혹은 계절에 따라 한 지역 강수량의 크기는 다른 것이 보통이다.

우리나라의 강수량 특성과 변동성을 분석하기 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. 이상복 등(2004)은 기존의 통계분석 방법들(Mann-Whitney 분석, sign 분석, simple T 분석, simple F 분석, 수정 T 분석, 수정 F 분석 등)을 이용한 우리나라 주요지점 강수량의 경향성 및 변동성을 분석하였으며, 자료의 도시를 통해 변화의 경향은 보였으나 통계적으로 유의한 변동성을 찾지 못하였다. 박무중 등(2003)은 풍속에 의한 면적강우량의 감소율을 모형실험을 통하여 산정하고 이를 이론식과 비교하는 연구를 수행하였다. 정성인 등(2004)은 극치 강우사상의 빈도가 증가하는 것에 대하여 자료 기간에 대한 확률강우량의 신뢰구간을 분석하였으며, 자료기간이 증가함에 따라 확률강우량에 대한 불확실성이 줄어드는 것으로 분석하였다. 유철상 등(2002)은 강수의 계절성에 따른 면적강수량의 변동성을 평가하였으며, 호우의 방향성에 대한 강우량의 오차에 대하여 분석하였다. 이정식(1980), 최영은(1998)은 도시화에 따른 강수의 변화에 대해 연구하였으며, 장연규 등(2004)은 표준기름지수(SPI)의 경험적직교함수(EOF)분석을 통해 우리나라의 지역적 기름심도를 분석하였으며, 내륙으로부터 해안선 방향으로 기름심도가 작아지고, 남쪽에서 북쪽으로 위도에 따라 기름심도가 커지며, 서쪽에서 동쪽으로 태백산맥 등 고산지를 경계로 기름심도가 작아짐을 확인 하였다. 박상우 등(2003)은 전국에 걸친 60개 강우 관측소에 대한 32개의 강우특성자료를 이용하여 주성분분석과 군집분석을 통해 지점강우의 권역화를 수행하였으며, 전국을 5개의 권역과 2개의 기타지역으로 분류하였다. 그 결과 태백산맥을 경계로 한 서부지역과 영동지역, 소백산맥의 서부지역, 경상북도지역, 남해안지역으로 강우형태의 권역을 나누었다. 권현환과 문영일(2005)은 Palmer 기름지수(PDSI)와 엘니뇨/남방진동(ENSO)지수의 저빈도 상관분석을 통해 기상인자에 의한 기름예측의 가능성에 대하여 연구하였다.

강수량의 계절성(seasonality)은 댐운영, 수자원정책 수립 등 수자원 관리를 위한 기본 특성치로 이용되고 있다. 만약 강수량의 계절특성이 변화된다면 이에 수반되는 수자원 정책, 댐운영, 수자원 관리에 대한 재정립이 필요할 정도로 매우 중요한 수문요소이다. 최근에 강하게 나타나는 기후변동성 및 기후변화로 인해 몬순시스템이 영향을 받고 있으며 결과적으로 강수량의 계절성이 변화될 수 있다고 지적되고 있다(Kwon 등, 2005). 그러나 선행연구들에서는 주로 강수량의 양적인 변동성을 분석하는데 초점이 맞추어져 있고 연주기에 대한 정량적인 해석방법 및 분석에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이러한 점에서 본 연구의 주된 목적은 월 최대강수량 및 일 최대강수량의 발생시점에 대한 시공간적 분석을 실시하고 계절 변동성을 정량적으로 평가하는 것이다.

본 논문에서는 우리나라 강우자료의 계절성을 시공간적으로 분석하기 위하여 순환통계기법을 적용하고자 한다. 순환통계기법은 수문자료와 같이 시간으로 정의되는 특정 사

들을 각도의 형태로 변환함으로써 발생시점에 대한 정량적인 해석을 가능하게 한다. 특히, 시공간을 동시에 고려한 통계분석에 매우 유용한 방법이며, 통계량과 그 변화 양상을 시각적으로도 간결하고 용이하게 표현할 수 있다. 이러한 장점으로 시공간적 변동성에 대한 분석과 직관적인 결과 그래프의 제시가 필요한 자연과학 분야(Bowers 등, 2000)와 동물생태학 분야(Boles and Lohmann, 2003) 등 다양한 연구 분야에서 순환통계기법을 적용한 연구사례를 찾아볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 다루고자 하는 관측소별 최대 강수량의 발생시점과 장기간에 걸친 변화양상의 분석, 공간의 변화에 따른 통계치의 분포를 함께 수행하기 위해서 순환통계기법이 효과적으로 적용될 수 있을 것이다. 본 연구의 진행 과정은 다음과 같다. 첫째, 순환통계치에 대한 개념을 소개하고 둘째, 모의실험을 통하여 제시된 해석방법에 대한 적합성을 평가하였다. 셋째, 우리나라 58개 강수지점의 월 최대강수량 및 일 최대강수량을 대상으로 해석기법을 적용하여 계절성에 대한 변동성을 평가하였다.

## 2. 순환통계치

본 절에서는 순환통계치에 대한 특징을 살펴보았으며 모의 자료를 통하여 모형을 검증하는 절차를 거쳤다. 이를 위하여 월강수량의 발생빈도를 가상으로 재현시켜 다양한 순환통계치를 추정하여 적합성을 평가하였다.

### 2.1 순환통계치 개념

본 연구에서는 우리나라 강우량 집중시기의 변화를 분석하기 위해 순환통계기법(circular statistics)을 도입하였다. 순환통계는 월 최대강수량의 발생시점, 일 최대강수량의 발생시점 등 시간의 속성을 가지는 자료계열의 특성을 평가하는데 매우 유리하다. 즉 시간의 속성을 각도(angular)의 형태로 변환하여 자료가 가지는 발생 패턴을 효과적으로 분석할 수 있다. 단순히 자료간의 유클리드거리(euclidean distance)를 측정하는 것이 아니라 자료의 방향 통계치(directional statistics)를 고려함으로써 시간의 속성을 갖는 발생특성을 정량화하기에 유리하다. 단적인 예로 각도로 측정된 풍향의 경우 359도 방향과 0도의 풍향은 거의 같은 방향의 의미를 갖지만, 일반적인 거리개념으로 비교할 경우 올바르게 분석될 수 없다. 또한, 연중 일자와 같은 시간의 속성을 갖는 수문 시계열의 경우에도 발생특성을 분석하는데 있어서 순환통계치가 유리하게 적용될 수 있다(Magilligan and Graber, 1996; Berens, 2009). Fig. 1은 월강수량의 최대값이 발생한 시점을 대상으로 추정한 예를 나타낸다. Fig. 1(b)에서 히스토그램은 발생빈도를 나타내며 직선은 방향각의 평균을 의미한다. 즉, 월강수량의 최대값이 나타나는 시기는 평균적으로 7월 중순과 하순 사이임을 알 수 있다.

순환통계 계산을 위해서는 원 자료계열을 방향각으로 나타내야 한다. 자료계열을 Radian으로 환산한 방향값  $\alpha$ 는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\alpha = \frac{2\pi x}{k} \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 원 데이터 값이며,  $k$ 는 원 데이터의 계급값이다.

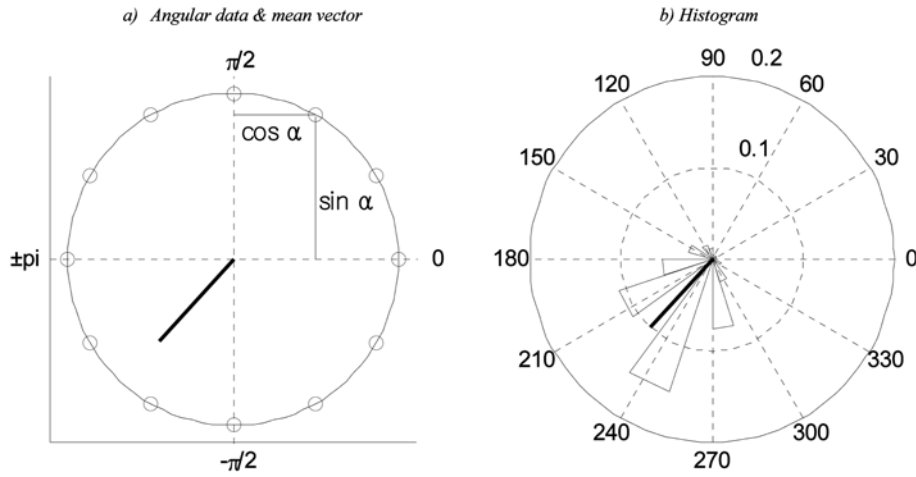


Fig. 1 An example showing angular histograms for the timing of the maximum monthly precipitation on the unit circle

원자료에서 추출한 방향값을 이용하여 이동평균 등을 구하고자 할 때, Angular Scale에서의 평균은 방향값을 단순히 산술평균하는 것이 아니라  $\alpha$ 에 대한  $x, y$ 방향의 단위벡터  $r_i$ 를 구한 후 벡터의 평균을 구해야 한다.

$$r_i = \begin{pmatrix} \cos \alpha_i \\ \sin \alpha_i \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_i r_i \quad (3)$$

이로부터 평균벡터의 길이  $R$ 을  $\|\bar{r}\|$ 로부터 구할 수 있다. Angular Scale에서의 편차는 0부터  $\sqrt{2}$  사이의 값을 가지며, 아래와 같이 정의된다.

$$s = \sqrt{2(1-R)} \quad (4)$$

또한 원형좌표의 표준편차는 아래와 같이 구한다.

$$s_0 = \sqrt{-2 \ln R} \quad (5)$$

자료의 대칭정도를 구하기 위한 왜곡도(skewness)는 원형좌표계에서 아래와 같이 구해진다(Pewsey, 2004). 왜곡도가 0에 가깝다는 것은 평균벡터 방향을 주위로 대칭적인 분포를 보인다는 의미이다. 여기서  $\bar{\alpha}$ 는  $\alpha$ 값들의 평균이다.

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sin 2(\alpha_i - \bar{\alpha}) \quad (6)$$

표준화된 왜곡도 계산은 아래 식과 같이 정의된다(Fisher, 1995).

$$b_0 = \frac{R_2 \sin(\bar{\alpha}_2 - 2\bar{\alpha})}{(1-R)^{2/3}} \quad (7)$$

여기서  $R_2$ 는 이차모멘트의 평균 벡터길이,  $\bar{\alpha}_2$ 는 이차모멘트의 평균 각을 의미한다.

마지막으로 두 개의 방향성을 갖는 자료간의 상관성을 평가하기 위해서 다음 식 (8)을 이용하여 상관계수를 추정하였다(Jammalamadaka and Sengupta, 2001). 여기서  $\bar{\beta}$ 는  $\beta$ 값들의 평균이다.

$$\rho = \frac{\sum_i \sin(\alpha_i - \bar{\alpha}) \sin(\beta_i - \bar{\beta})}{\sqrt{\sum_i \sin^2(\alpha_i - \bar{\alpha}) \sum_i \sin^2(\beta_i - \bar{\beta})}} \quad (8)$$

## 2.2 모의실험

Circular Scale에서 자료의 형태에 따른 통계량의 변화를 검정하기 위해 분석하고자 하는 자료와 동일한 구조의 모의 자료를 발생시켜 분석하였다. 1~12월중 월강우량 합계가 최고치를 기록한 달이 Angular Data이며, 자료는 월별 발생확률을 지정하여 총 발생건수가 확률분포에 근접하도록 원하는 수만큼 다수 발생시킬 수 있게 구성하였다. Angular Data의 계급은 12이며, 모의실험을 위한 데이터의 개수는 각 경우에 대해 100,000개씩 발생시켰다. Case 1은 데이터가 반대방향으로 균등하게 분포된 데이터로 Circular Scale에서 통계치가 상쇄되는 상황을 보기위해 3월과 9월에 대하여 최대강우량 발생확률을 50%씩 분배한 경우이며, Case 2와 Case 3는 데이터 분포의 사잇각이 각각 120°, 60°로 좁아지는 경우이고, Case 4는 우리나라의 일반적인 강우분포를 가정하고 모든 월에 대하여 임의확률을 배분한 경우이다. 각 모의실험에 해당하는 월별 분포는 Table 1과 같다.

모의데이터에 대한 분석결과는 Table 2와 같다. 굵은 글씨는 직관적인 비교가 가능하도록 유효지릿수를 줄여 표시한 것이

Table 1. Probability Input for Synthetic Data(%)

Case	No. of Events According to Each Month												Total Events
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Case 1	0	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	100
Case 2	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	100
Case 3	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	100
Case 4	1	1	2	3	5	8	16	25	20	14	4	1	100

Table 2. Synthetic Data Test Result

Synthetic Data	Mean Resultant Vector(radian)	Mean Resultant Vector(degree)		Resultant Vector Length		Angular Deviation		Circular Skewness	
Case 1	-1.571	-90.000	<b>-90.0</b>	0.002	<b>0.0</b>	1.413	<b>1.4</b>	0.000	<b>0.0</b>
Case 2	-0.001	-0.032	<b>0.0</b>	0.500	<b>0.5</b>	1.000	<b>1.0</b>	-0.001	<b>0.0</b>
Case 3	-0.002	-0.104	<b>-0.1</b>	0.866	<b>0.9</b>	0.518	<b>0.5</b>	-0.001	<b>0.0</b>
Case 4	-2.029	-116.273	<b>-116.3</b>	0.617	<b>0.6</b>	0.875	<b>0.9</b>	0.082	<b>0.1</b>

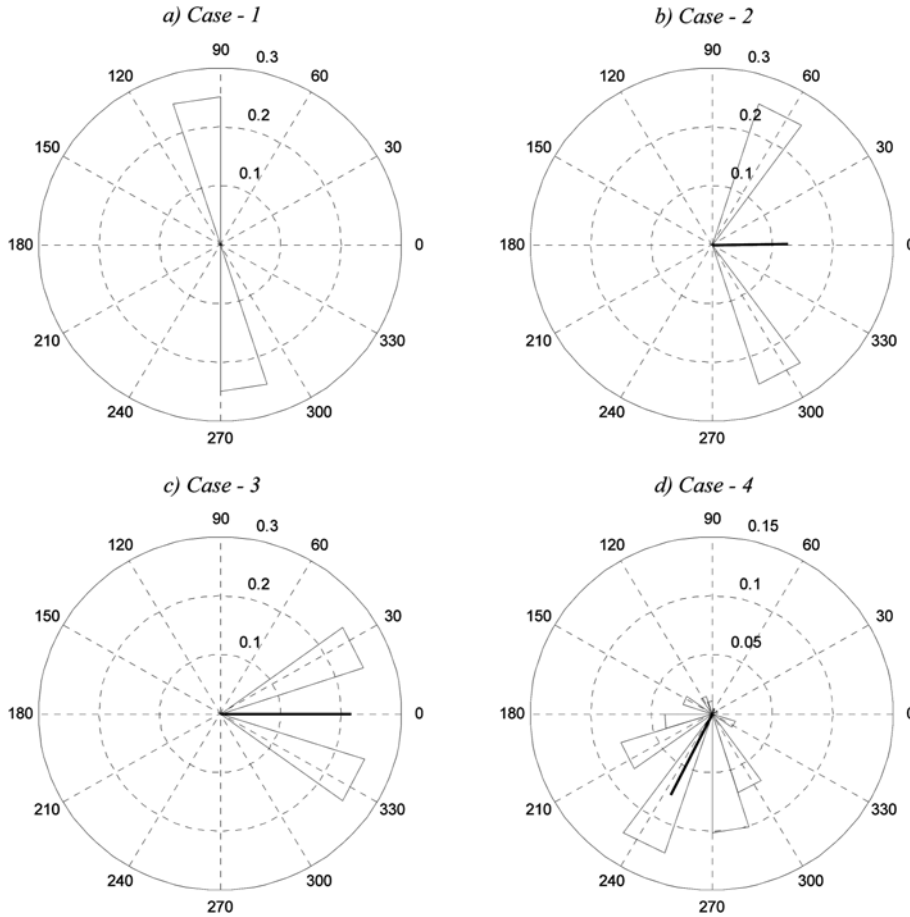


Fig. 2 A simple experiment with synthetic data set for verifying the proposed methods

다. 4가지 경우의 결과그래프 Fig. 2와 비교하여 평균벡터의 방향과 크기, 편차, 왜곡 등의 변화 양상을 볼 수 있다. Case 1의 경우 평균벡터의 방향이  $-90^\circ$ 를 향하고 있지만, 확률에 의한 모의데이터 발생과정에서 생성된 미량의 차이에 의해 나타난 결과이며, 벡터의 길이가 충분히 0에 가까우므로, 의도한 데이터의 상쇄되는 모의자료로서의 의미를 만족한다고 할 수 있다. 다른 모의실험의 경우에도 각각의 통계치들이 기지의 통계치(known statistics)와 동일한 특성을 가지고 추정되는 것을 Table 2와 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

### 3. 우리나라 강수자료의 특성분석

#### 3.1 강수자료

본 연구에서는 기상청에서 관리하는 관측소 중 장기간의 관측자료를 보유하는 58개 관측소를 대상으로 분석을 실시하였다. 자료의 연한은 관측소에 따라 상이하며 전체적으로 35년 이상의 자료를 보유하고 있다. Fig. 3은 본 연구에서 사용된 강수지점의 공간적 위치를 나타낸다.

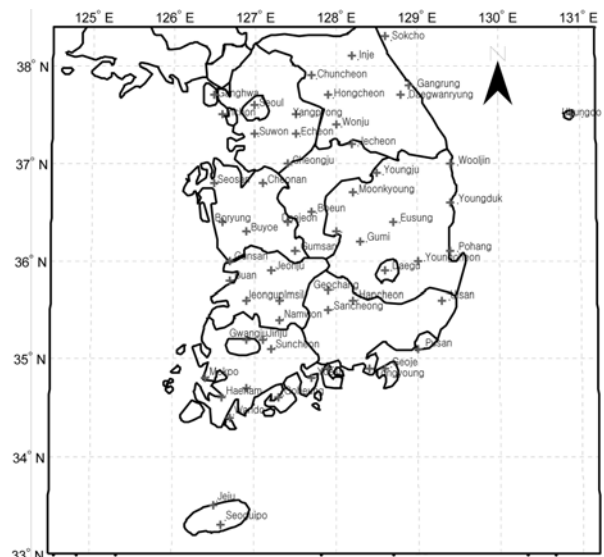


Fig. 3 A map showing the stations for this study

#### 3.2 강수자료 분석

본 연구의 목적은 강수량의 주기특성을 평가하고 과거로부터

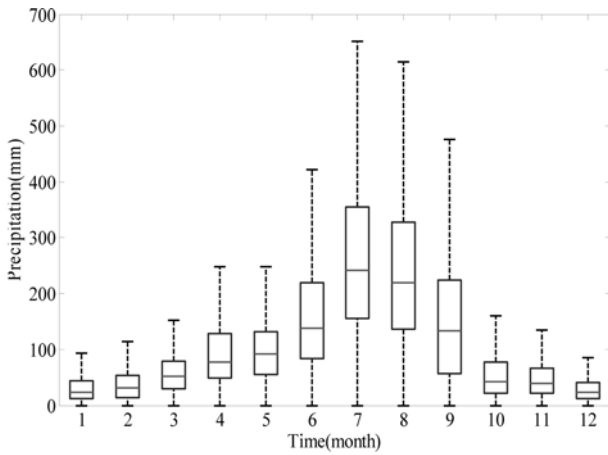


Fig. 4 Annual distribution of precipitation derived by 58 stations

터 현재까지의 변화 양상을 평가하기 위함이다. 이를 위해 크게 2가지 자료를 구축하여 평가하였다. 첫째, 자료계열의 연주기의 변동성을 평가하기 위해 58개 강수지점의 일강수량을 월강수량으로 변환하였다. 이로부터 각 관측지점의 월 최대강수량과 최대강수량이 발생한 월을 추출하였다. 둘째, 극치강수량 발생 경향을 평가하기 위하여 58개 관측소별 연 최대치계열(annual maxima series)을 추출하였고 동시에 발생한 시점을 추출하여 연구에 이용하였다. Fig. 4는 58개 관측소로부터 계산된 우리나라 강수량의 연중 강수량 분포를 나타낸다. 그림에서와 같이 최대강수량은 평균적으로 7월의 발생 빈도가 가장 높다.

순환통계 특성치를 추정하기 위해서 월강수량 중 최대값을 갖는 월과 일 최대강수량을 나타내는 날짜를 다음 식을 통해 각도로 변환하였다. 월강수량의 경우 1월부터 12월까지 30° 간격으로 구분되며 일 최대강수량의 경우 1월 1일부터 12월 31일까지 365일을 기준으로 Radian 값으로 식 (9)와 식 (10)을 이용하여 각각 변환하였다.

$$\theta_i = (\text{Peak Month})_i \left( \frac{2\pi}{12} \right) \quad (9)$$

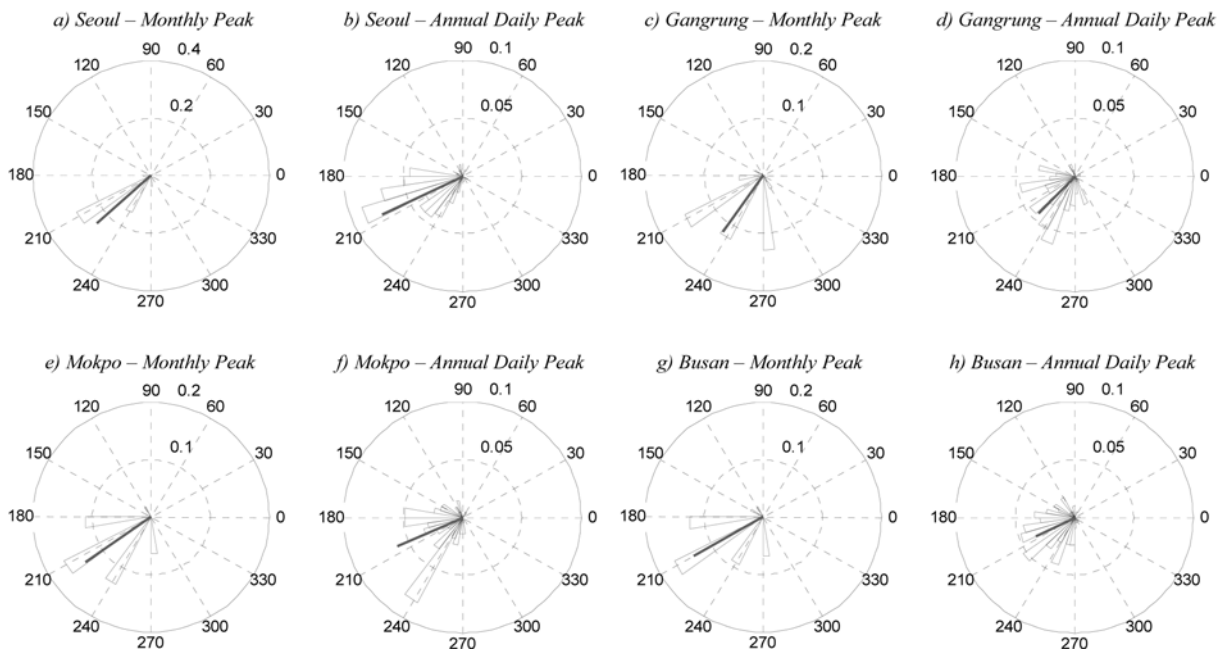


Fig. 5 Angular density histogram of the timing of monthly peak and annual daily peak through circular statistics

$$\theta_{\max} = (\text{Peak Date})_i \left( \frac{2\pi}{365} \right) \quad (10)$$

최대월강수량이 발생한 시점과 일 최대강수량이 발생한 시점을 식 (9)와 식 (10)을 통해 변환한 후 순환통계치를 추정하였다. 서울, 강릉, 목포, 부산 등 우리나라 주요 강수지점에 대해서 Angular Histogram을 통해 발생시점에 대한 확률밀도를 계산하여 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 굵은 직선은 발생시점의 평균 Vector를 의미하여 식 (3)을 통해 계산되었다. 월강수량의 경우 남쪽지방인 목포와 부산은 8월초에 최대값이 빈번하게 발생하며 중부지방인 서울과 강릉은 8월 중순부터 8월 말에 걸쳐 최대강수량의 빈도가 두드러진다. 이는 장마전선의 시간적인 천이현상으로 발생하는 시간 차로 해석될 수 있다. 그러나 일 최대강수량의 경우 강릉을 제외하고 3개지역에서 7월말에 주로 발생하며 강릉의 경우에는 8월 중순에 발생빈도가 크다. 일 최대강수량의 경우 월 최대강수량의 경우보다 발생시점에 변동성이 크고 아울러 지형학적 요인에 큰 영향을 받는다. 특히, 우리나라 여름철에 발생하는 극치강수량은 태풍의 발생빈도 및 경로와 연관성을 가지고 있다.

우리나라 전체의 최대강수량 발생특성을 평가하기 위해서 58개 강수관측지점에 대해서 앞서 평가한 방법과 동일한 절차로 분석을 실시하여 공간적인 특성을 평가하였다. Fig. 6은 발생시점의 평균을 분석한 결과이다. Fig. 6(a)는 월강수량에 대한 분석결과를, Fig. 6(b)는 일 최대강수량에 대한 결과를 나타낸다. 그림에서는 각 지점마다 산정된 평균 Vector를 3차원 Spline기법을 통하여 공간적으로 보간(interpolation)하여 도시하였다. 월강수량의 경우 남쪽의 경우 7월 초에서 최대 빈도를 갖으며 북쪽으로 갈수록 발생시간이 늦어지고 강릉 주변의 동해안지방은 7월말부터 8월초에 최대발생 빈도를 갖는다. 일강수량의 경우 월강수량과 동일하게 동해안 지방에서 7월말에 가장 큰 빈도를 나타내고 있는 특징을 보여주고 있다.

Fig. 7은 발생빈도의 표준편차를 공간적으로 산정하여 나타내었다. 공간적인 특성은 평균과는 다른 경향을 나타내고

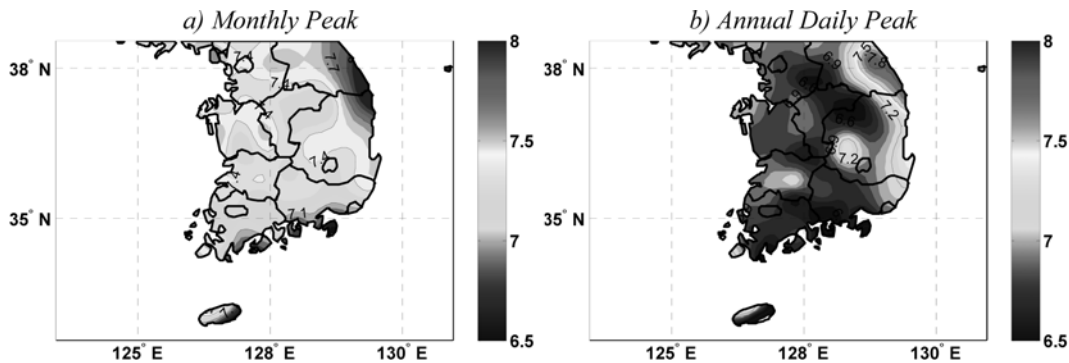


Fig. 6 Mean vector of the timing of monthly peak and annual daily peak

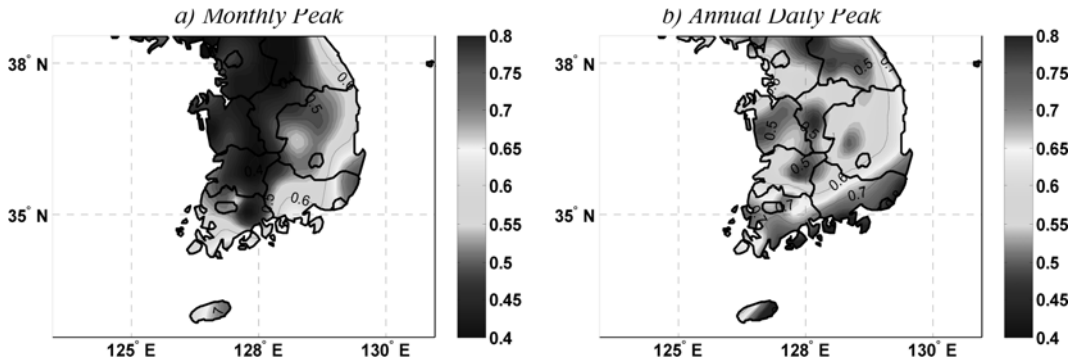


Fig. 7 Standard Deviation of the timing of monthly peak and annual daily peak

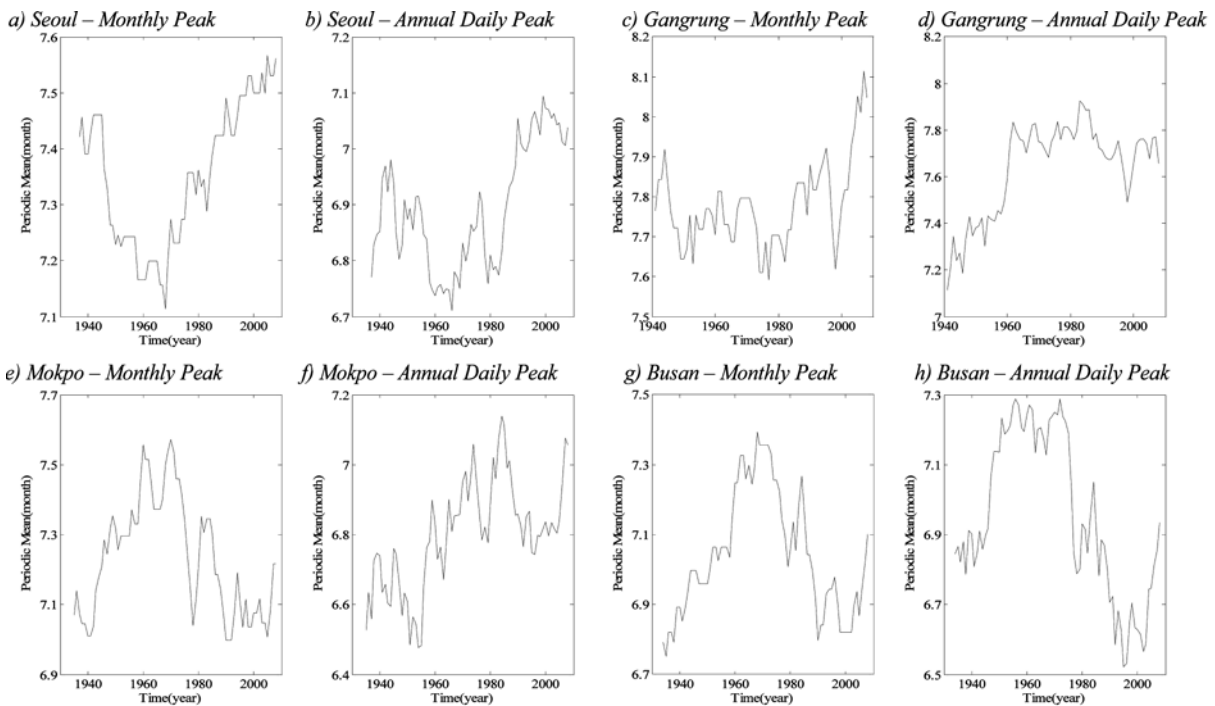


Fig. 8 Temporal variation on mean vectors of monthly peak and annual daily peak for each station

있다. 즉, 내륙지방의 변동성은 크지 않으나 남부해안 및 동해안지역이 상대적으로 큰 변동성을 보이고 있다. 이러한 특성은 일강수량 계열에서 더욱 두드러지게 나타나며, 해당 지역의 치수계획과 관리에 있어서 그 시기의 예측이 어렵고 위험 기간이 길어지는 문제를 발생시킨다. 댐 연계운영방안 등의 지역적인 수자원 관리대책이 필요할 것이다.

마지막으로 월강수량 및 일최대강수량의 발생시점의 시간적 변동성을 평가하기 위하여 상대적으로 긴 자료기간을 갖는 서울, 강릉, 목포, 부산에 대해서 30년씩 이동 평균하여 평균적인 발생시점을 산정한 결과를 Fig. 8에 도시하였다.

일최대강수량의 발생시점은 서울의 경우 7월초에서 7월말로 지속적으로 이동하고 있으며 강릉은 7월 중순에서 8월 초로 최근의 이동 특성이 나타나고 있다(박창용 등, 2008). 그러나 목포와 부산은 1960년 전후로 최대강수량 발생시점이 앞당겨지고 있다. 이러한 특성은 최근 장마전선의 이동특성과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다(서울대학교 대기환경연구소, 2009, Huang 등, 2007). 최근 장마전선은 북쪽으로 진행하지 못하고 정체되어 오랜 기간 중부지방에 강우를 발생시킨 후 남하하는 특성을 보이고 있는데 이러한 특성이 중부지방의 월강수량 분포 변화의 원인으로 작용하는 것으

로 사료된다. 일반적으로 장마는 기상학적으로 1차 장마와 2차 장마로 구분된다(박창용 등, 2008). 서울의 경우 1차 장마와 2차 장마에서 두 번의 침두를 보이고, 2개의 장마사이에 휴식기를 가지며 큰 강수가 발생하지 않는 것이 일반적이다. 그러나 최근에 1차와 2차 장마 사이에 강수가 크게 증가하고 있어 전체적으로 최대월강수량 및 최대일강수량의 발생시점이 늦어지고 있다(박창용 등, 2008). 일최대강수량의 경우 서울지방은 6월말에서 7월초로 이동하는 경향이 뚜렷하며 강릉의 경우 뚜렷한 변동특성은 보이지 않고 있다. 목포의 경우 1960년대 이후의 급격한 증가이후로 최근에는 큰 변동성이 나타나지 않고 있다. 부산의 경우에는 목포와는 반대로 1970년대 이후로 꾸준한 감소가 지배적이다. 이러한 감소 특성은 장마의 시작(onset) 시점의 이동과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되나 정확한 판단을 위해서는 기상학적 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

강수량의 계절성은 수자원관리에 매우 중요한 수문요소로서 계절성의 변동성을 정량적으로 평가하는 것은 미래 수자원관리 및 정책 수립에 필수적이다. 이러한 점에서 본 연구의 목적은 강수량의 계절성을 평가하는데 유리한 방법론을 제시하고 이를 통해 정량적으로 해석하는 것이다. 이를 위해서 본 논문에서는 우리나라 58개 기상관측소의 장기 관측 자료에 대하여 관측소별, 연도별 월최대강수량과 그 발생 월을 추출하여 연주기의 변동성을 평가하고, 일최대강수량과 그 발생일자를 추출하여 극치강수량 발생 경향을 평가하였다. 계절성 평가를 위한 주된 방법으로서 순환통계기법을 제시하였으며, 그 적용성과 신뢰성 평가를 위하여 모의실험을 통한 통계치 분석을 거친 후 연구에 이용하였다. 본 연구를 통해서 추정된 결론은 다음과 같다.

1. 우리나라 강수량의 집중 시기는 전국 강수지점을 대상으로 분석한 결과 평균적으로 7월에 발생한다. 그러나 시공간적으로 변동성이 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 더구나 기존의 해석방법으로는 월중에 발생하는 미세한 변동성을 추정할 수 없는 문제점이 있다. 이러한 점에서 본 연구에서 제시한 순환통계치 분석은 시간을 각도로 변환하여 이용함으로써 미세한 시간적인 변화양상의 정량적인 해석이 가능하였다.
2. 월최대강수량의 발생 시기는 남해안지역이 6월말에서 7월 초이고, 북쪽으로 올라감에 따라 조금씩 발생시기가 늦어지는 것으로 분석되었다. 이는 장마전선의 이동특성으로부터 기인하는 것으로 판단된다. 강릉 주변의 동해안 지역이 7월말에서 8월초로 다른 지역과 조금 다른 양상을 보이고 있으며 이는 지형학적 특징이 반영된 결과라 사료된다. 공간적으로는 발생시기의 표준편차가 내륙지방은 크지 않은 반면, 남해안과 동해안지역이 발생시기의 변동성이 큰 것으로 나타났다.
3. 일최대강수량의 경우 시공간적 변동성이 월최대강수량보다 크게 분석되었으며, 이는 일최대강수량의 경우 지형학적인 영향에 크게 좌우되며, 우리나라의 여름철 극치강수량이 태풍 발생빈도 및 경로와 연관성을 갖는다는 사실을

반영한 결과라고 판단된다.

4. 월최대강수량과 일최대강수량의 발생 시기에 대한 상관성은 높은 것으로 분석되었으며, 이는 강우의 집중현상이 뚜렷함을 의미한다.

마지막으로 주요지점의 월최대 및 일최대강수량 발생시기의 이동평균을 통해 발생시기의 변동을 분석한 결과, 서울과 강릉지방은 최대강수량의 발생시점이 늦어지고 있으며 반대로 목포와 부산지방은 최대강수량의 발생시점이 앞당겨지고 있었다. 이는 몬순시스템의 거동에 영향을 받는 것으로 판단된다. 즉, 최근 장마전선이 북한까지 북상하지 못하고 중부지역에 머무르는 이동특성과 장마 시작시점의 이동과 관련이 있는 것으로 판단된다. 그러나 보다 정확한 판단을 위해서 장마전선의 이동특성 및 지속시간을 종합적으로 평가할 수 있는 기상학적 진단(diagnostics)이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

권현한, 문영일(2005) Palmer 가뭄지수(PDSI)와 ENSO 지수와의 상관성 분석, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권 제5B호, pp. 355-364.

문장원, 이동률(2009) 2008-2009년 가뭄 현황 분석, **한국수자원학회 2009년도 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1514-1518.

박무중, 김응석, 김중훈(2003) 바람에 의한 우량자료의 변동성 연구, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권 2호, pp. 237-249.

박상우, 전병호, 장석환(2003) 다변량 분석기법에 의한 지점강우의 권역화 연구, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권 5호, pp. 879-892.

박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은(2008) 최근 한반도 여름철 강수특성의 변화, **대한지리학회지**, 대한지리학회, 제43권 제3호, pp. 324-336.

서울대학교 대기환경연구소(2009) **동아시아 몬순/장마 시스템의 중장기 변동성 연구 보고서**, 기상청.

유철상, 김상단, 윤용남(2002) 면적평균강우의 추정오차와 유출계산에 미치는 영향, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35호 3호, pp. 307-319.

이상복, 김경덕, 허준행(2004) 강수자료에 대한 변동성 및 경향성 해석, **한국수자원학회 2004년도 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 1-5.

이정식(1980) 도시화에 의한 강우량변화에 대한 통계학적 해석, **한국수자원학회 제22회 수공학 연구발표회 논문초록집**, 한국수자원학회, pp. 31-37.

장연규, 김상단, 최계운(2004) SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 공간적 특성 연구, **대한토목학회 2004년도 정기 학술대회논문집**, 대한토목학회, pp. 4897-4902.

정성인, 유철상, 윤용남(2004) 확률 강우량의 변동성 분석, **한국수자원학회 2004년도 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 43.

최영은(1998) 미국 남부지방의 도시강수 특성에 관한 연구, **대한지리학회 학술발표회논문집**, 대한지리학회, pp. 51-55.

Berens, P. (2009) CircStat: A MATLAB Toolbox for Circular Statistics, *Journal of Statistical Software*, Vol. 31, Issue 10.

Boles, L.C. and Lohmann, K.J. (2003) True Navigation and Magnetic Maps in Spiny Lobsters, *Nature*, 421(6918), pp. 60-63.

Bowers, J.A., Morton, I.D., and Mould, G.I. (2000) Directional Statistics of the Wind and Waves, *Applied Ocean Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 13-30.

Fisher, N.I. (1995) *Statistical analysis of circular data*. Revised edition. Cambridge University Press.

- Huang, R., Chen, J., and Huang, G. (2007) Characteristics and variations of the east asian monsoon system and its impacts on climate disasters in china, *Advances in Atmospheric Science*, Vol. 24, No. 6, pp. 993-1023.
- Jammalamadaka, S.R. and Sengupta, A. (2001) *Topics in Circular Statistics*. World Scientific.
- Kwon, M., Jhun, J.G., Wang, B., An, S.I., and Kug, J.S. (2005) Decadal change in relationship between east Asian and WNP summer monsoons, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, No. 16.
- Magilligan, F.J. and Graber, B.E. (1996) Hydroclimatological and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 178, pp. 159-180.
- Pewsey, A. (2004) The large-sample joint distribution of key circular statistics, *Metrika*, Vol. 60, No. 1, pp. 25-32.
- (접수일: 2009.11.12/심사일: 2010.1.5/심사완료일: 2010.1.27)