韓國水資源學會論文集
第36卷 第5號 · 2003年 10月
pp. 879~892

다변량 분석기법에 의한 지점강우의 권역화 연구

A Study on the Regionalization of Point Rainfall by Multivariate Analysis Technique

박 상 우* / 전 병 호** / 장 석 환***
Park, Sang Woo / Jun, Byong Ho / Jang, Suk Hwan

Abstract

This study has performed the regionalization of point rainfall which has the hydrological homogeneity for regional frequency analysis of the rainfall. For the study, the recorded rainfall data were collected from 60 rainfall gauge stations distributed all over country of the Korea Meteorological Administration, and 32 rainfall characteristic elements were analyzed from the collected data. Using the principal component analysis to be data reduction technique of the multivariate analysis and the cluster analysis to be grouping technique about many of rainfall characteristic elements of each station, the regionalization of point rainfall was accomplished rationally and efficiently. As the result, hydrological homogeneous regions of point rainfall were divided by 5 regions and 3 other regions, and rainfall characteristics of divided each region were analyzed and compared relatively using regional mean values of each rainfall element data.

Keywords : point rainfall, regionalization, principal component analysis, cluster analysis

요 지

본 연구에서는 강우의 지역빈도분석에 필요한 수문학적 동질성을 갖는 지점강우의 권역화를 수행하였다. 이를 위해 전국에 걸친 기상청 산하의 60개 강우관측소에 대한 32개의 강우특성자료를 추출하였으며, 추출된 각 지점의 많은 강우자료들은 다변량 분석의 자료축약기법인 주성분분석과 그룹화 기법인 군집분석을 통하여 합리적이고 효율적으로 권역화되었다. 본 연구의 결과인 지점강우의 권역은 강우지역을 수문학적 동질성의 5개 권역과 3개의 기타지역으로 분류되었으며, 각 강우성분의 권역별 평균값으로부터 각 권역의 강우특성을 상대적으로 비교 분석하였다.

핵심용어 : 지점강우, 권역화, 주성분분석, 군집분석

* 서남대학교 토목공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil Eng., Seonam University, Chonbuk 590-711, Korea
** 육군사관학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Eng., Korea Military Academy, Seoul 139-799, Korea
*** 대진대학교 토목공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil Eng., Daejin University, Kyunggi 487-711, Korea

1. 서 론

최근에 우리나라는 전 세계적인 기상이변으로 인해 집중호우가 빈번하게 발생하고 있으며, 그 양상이 과거와 다른 강우특성을 보이고 있어 홍수피해의 규모가 날로 증가하고 있다.이러한 홍수피해를 줄이고 방어하기 위한 수공구조물의 설계에는 정확한 설계수문량을 필요로 하고, 이의 결정을 위한 기본 자료는 자연현상을 충분히 관측하고 해석하여 산정된 홍수량이다. 그러나 우리나라의 경우 유량계측지점이 적고, 계측이 되었다 하더라도 지배 유역계의 변화, 자료기록기간의 부족 또는 계측의 부정확성 등과 같은 문제로 설계수문량 산정지점에서의 실제 홍수량 분석에 많은 어려움을 겪고 있어 이를 보완하기 위한 방법으로 수문학적 인자인 강우자료, 즉 확률강우량을 강우-유출모형에 적용하여 홍수량을 산정하는 간접적인 방법이 주로 이용되고 있다.

수공구조물의 설계수문량 산정에 이용되는 확률강우량의 분석에는 일반적으로 지점빈도해석 방법이 많이 이용되고 있다. 강우의 정확한 지점빈도해석을 위해서는 무엇보다도 충분한 년수의 강우자료 확보가 선행되어야 하며, 강우자료의 관측기간이 짧을 경우 적정 확률분포형의 선정이나 빈도상의 문제 등이 자주 발생된다(이와 허, 2001). 지역빈도해석은 지점빈도해석이 안고 있는 이러한 문제를 개선하고 미계측 지점의 확률강우량을 산정하기 위한 방법으로서 자료기간이 짧을 경우 지점빈도해석과 지역빈도해석을 함께 수행하여 그 결과를 비교·검토하는 것이 적절하다고 하겠으며(Institute of Hydrology, 1999), 이러한 지역빈도해석의 수행을 위해서는 먼저 수문학적 동질성을 갖는 지점강우들의 권역화가 선행되어야 한다(Nathan과 McMahon, 1990; Hosking과 Wallis, 1993).

지점강우의 권역화는 지역빈도해석시 통계학적으로 자료의 지점간 차이에서 오는 분산의 증가보다 자료 개수의 증가로 인한 분산의 감소가 훨씬 크므로 분석의 효율성과 분석결과의 정확도를 크게 개선시키며(Lettenmaier 등, 1987), 수문학적으로는 강우에 대한 권역별 대표확률분포형의 결정 및 미계측 지점의 확률강우량 산정 등을 보다 수월하게 하고 면적강우량의 산정이나 DAD분석 등을 합리적으로 수행할 수 있게 한다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 기상청 산하의 각 강우관측지점에서 관측된 강우자료를 수집하여 각 지점의 강우특성요소들을 다각적으로 분석 추출하고, 추출된 요소들의 지점간 관계성을 통계학적으로 축약할 수 있는 다변량 분석을 실시하여 수문학적 동질성을 갖는 지점강우의 권역화를 수행하고, 이로부터 권역별 강우특성을 비교 분석하고자 한다.

2. 연구동향 및 방법

강우의 공간적 해석과 강우특성에 따른 지역구분의 연구에는 강우자료에 대한 특성치의 상관성 및 동질성 여부 등을 분석하기 위해 상관계수 등을 이용하는 일반적 통계분석과 주성분분석(principal component analysis), 인자분석(factor analysis), 군집분석(cluster analysis) 등의 통계적 다변량 분석방법이 적용되어 왔다. Morin과 Jean-Pierre(1979)는 Eaton River 유역의 강우관측소들의 순별 강우자료로 주성분분석을 하여 지역구분을 하였고, Pandzic과 Trininc (1992)은 북유럽의 Altantic 지역의 강우량 편차(rainfall anomaly)자료로 주성분분석을 통한 지역구분을 하였다. 국내 연구로는 문영수(1990)가 순별 강수량과 월별 평균강수량에 대하여 군집분석을 수행하여 강수지역을 구분하였고, 박정규와 이승만(1992)은 연 강수량으로 주성분분석법을 사용하여 강수지역을 구분하였다. 그러나 문영수, 박정규 등의 강수지역구분에 대한 연구는 수공학 분야에서 치수를 위한 지역구분의 목적과 사용된 기본자료에서 차이가 있다.

국내 수공학 분야에서 지점강우의 권역화에 대한 연구들로는 이재준 등(1981)이 우리나라의 지형학적, 수문학적인 기준으로 5개 권역으로 나누어서 강수빈도 및 강우강도의 시공적 분포에 대한 연구를 하였고, 이원환 등(1993)은 강우강도비와 확률강우강도식의 지역계수인 n값을 이용하여 권역화를 실시하였다(1993). 신창동(1993), 이재준과 이정식(1999)은 비모수 검정방법인 Mann-Whitney검정과 Kruskal -Wallis검정을 이용하여 전 지역에 대한 강우의 동질성 검정을 하였고, 허준행(1996)은 강우비와 강우강도비를 통한 권역화를 하였다. 지금까지 선행된 연구들은 표 1과 같이 연구자에 따라 이용된 강우자료와 분석방법에 차이가 있어 연구별로 다소 상이한 결과들을 보이고 있다.

본 연구에서는 기상청 산하의 강우관측소중 전국의 분포정도와 기록년수 등을 고려하여 보다 많은 관측소를 선정하였으며, 각 지점에서 수집된 강우자료로부터 수문학적으로 강우특성을 대변할 수 있는 요소들을 다각적으로 추출하고자 한다. 이렇게 추출된 많은 요소들 즉, 변수들은 그 단위나 규모 등이 각기 다른 변량들을 가지므로 모든 변수들의 척도를 맞추어주기 위하여 먼

저 표준화 과정을 거친다. 한편, 변수가 많으면 많을수록 보다 정확하고 종합적으로 지점강우의 권역화 분석을 할 수 있으나 그 만큼 차원공간이 커지므로 분석에 많은 어려움이 초래된다. 따라서 자료축약기법(data reduction technique)인 주성분분석을 통하여 각 변수들이 갖는 정보들을 가능한 많이 함축할 수 있는 소수의 서로 독립적인 새로운 변수(주성분)들을 생성하고, 군집분석으로부터 이들의 유사성 정도를 해석하고 수문학적 및 지형학적 요인을 고려하여 동질성을 갖는 지점강우의 권역을 분류하고자 한다.

3. 분석 이론

3.1 주성분분석

주성분분석은 서로 상관관계가 높은 여러 개의 변수들을 조합하여 그 변수들의 정보를 가능한 많이 함축하고 있는 새로운 인위적 변수를 만들어내기 위한 통계적 기법이다. 원래의 변수들에 조합상수들을 곱해주어 변환하는 방법은 무수히 많을 수 있으나, 주성분분석에서는 변환된 변수의 분산이 최대가 되는 변수를 주성분으로 한다. 그 이유는 주성분분석에서의 분산은 정보를 의미하므로 주성분의 분산이 최대이어야 원래의 변수들이 가지고 있는 정보를 최대로 함축하게 되고, 따라서 원변수들을 대신해서 사용할 수 있는 의의를 갖게 된다.

그러나 다수의 변수들이 내포하는 모든 정보를 하나의 주성분에 모두 함축할 수 없으므로 주성분분석은 정보의 손실을 최소화하기 위하여 여러 개의 주성분들을 추출하여 원래의 자료를 축약한다. 즉, 원변수들의 정보를 최대로 함축하는 주성분을 가장 먼저 조합해내고, 이어서 원변수들의 나머지 정보들 중 최대의 정보를 함축하는 두 번째 주성분을 조합해낸다. 이러한 방식으로 원변수들의 정보가 모두 소모될 때까지 순차적으로 원변수의 수만큼 주성분을 추출할 수 있으며, 이렇게 추출된 주성분들은 서로 무관한 정보들을 가지게 되므로

표 1. 우리나라 지점강우의 권역화에 관한 기왕의 연구결과 비교

구 분		이재준 등 (1981)	이원환 등 (1993)	신창동 (1993)	허준행 (1996)	이재준 (1999)
권역화 방법		지형학적, 수문학적기준	강우비와 강우강도계수n	Mann-Whitney Kruskal-Wallis	강우비와 강우강도비	Mann-Whitney Kruskal-Wallis
기본자료(갯수)		산맥, 풍향, 하천유역계	지속기간별 연최대 강우자료(17)	지속기간별 연최대 강우자료(4)	지속기간별 연최대 강우자료(7)	지속기간별 연최대 강우자료(12)
지점수(개)		39	20	21	22	21
최소자료년수(년)		14	23	20	20	27
권역	I	인천, 서울, 춘천, 인제, 양평, 용인, 원주, 충주, 제천, 정선	서울, 수원, 청주, 대전, 추풍령, 전주, 광주, 대구	인천, 서울, 춘천, 속초, 강릉, 수원, 서산	속초, 강릉	서울, 수원, 인천
	II	서산, 평택, 온양, 공주, 부여, 옥천, 추풍령, 전주	인천, 서산, 군산, 목포	청주, 대전, 금산, 추풍령, 전주, 대구, 포항	서산, 추풍령, 충무, 원주, 포항	서산, 청주, 대전, 전주, 광주, 목포
	III	영광, 광주, 남원, 목포, 보성, 하동, 여수	여수, 충무, 부산, 울산, 포항	광주, 목포	완도, 울산, 여수	진주, 여수, 충무, 부산, 울산
	IV	영주, 의성, 대구, 거창, 고령, 창녕, 마산	속초, 강릉	진주, 울산, 여수, 충무, 부산	수원, 목포	추풍령, 대구, 포항
	V	양양, 강릉, 울진. 영덕. 포항, 울산, 부산	춘천	-	부산 ,대전, 광주	속초, 강릉, 춘천
	VI	-	-	-	대구, 군산, 청주	-
	VII	-	-	-	서울, 인천	-
	VIII	-	-	-	전주, 춘천	-

독립적이 된다. 그러나 추출된 주성분들 중 의미있는 정보를 함축하는 중요 주성분의 선별이 필요하며, 선별된 중요 주성분의 의미 부여는 연구자의 주관적인 판단에 의존하게 된다.

주성분분석은 식 (1)과 같은 선형모형으로 집약된다. X는 원변수들의 행렬인데, 행은 n개의 관찰단위, 열은 m개의 변수로 이루어진다. p는 변환상수 또는 주성분계수의 행렬로서 변수의 개수인 m개의 행과 주성분의 개수인 k개의 열로 구성되며, PC는 n개의 행과 k개의 열로 이루어진 주성분점수(principal component scores) 행렬이다.

$$PC = X \cdot p \tag{1.a}$$

$$\begin{bmatrix} PC_{11} & PC_{12} & \cdot & \cdot & PC_{1k} \\ PC_{21} & PC_{22} & \cdot & \cdot & PC_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ PC_{n1} & PC_{n2} & \cdot & \cdot & PC_{nk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdot & \cdot & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdot & \cdot & X_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdot & \cdot & X_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdot & \cdot & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \cdot & \cdot & p_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdot & \cdot & p_{mk} \end{bmatrix} \tag{1.b}$$

식 (1)에서 주성분점수들로 이루어진 행렬 PC는 각 관측단위와 주성분들의 관계 정도를 나타내며, 이 행렬의 각 열의 분산을 고유값(Eigenvalue)이라 한다. 또한 주성분계수들의 행렬 p는 원변수들과 주성분들의 관계 정도를 나타내며, 이 행렬의 각 열을 고유벡터(Eigenvector)라고 한다.

주성분분석에서 주성분 추출이란 고유값과 고유벡터의 산출을 의미하며, 이를 위해서는 식 (2)와 같은 행렬식에서 원변수의 상관계수 행렬(또는 표준화된 변수들의 분산-공분산 행렬) A를 고유값(Λ)과 고유벡터(p)로 해체해야 한다.

$$A = p \cdot \Lambda \cdot p' \tag{2.a}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdot & \cdot & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \cdot & \cdot & p_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdot & \cdot & p_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \lambda_{22} & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \lambda_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & \cdot & \cdot & p_{k1} \\ p_{12} & p_{22} & \cdot & \cdot & p_{k2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{1m} & p_{2m} & \cdot & \cdot & p_{km} \end{bmatrix} \tag{2.b}$$

식 (2)에서 하나의 행렬을 두 개의 행렬로 해체할 때 나올 수 있는 결과는 무수히 많다. 즉, 아무런 제약이나 조건이 주어지지 않는다면 고유해법(unique solution)이 존재하지 않는다. 따라서 주성분분석은 다음의 세 조건을 충족하도록 행렬 A를 해체하여 고유값(Λ)과 고유벡터(p)를 구한다.

ⓐ 각 주성분의 고유벡터는 그 요소들의 자승합이 1이다.

ⓑ 두 개의 고유벡터들의 외적(cross-product)은 0이다. 이 조건은 주성분들이 서로 독립이라 직교함을 의미한다.

ⓒ 자료에서 최대의 고유값을 산출하기 위하여 특성방정식(characteristic equation) $|A-\lambda I| = 0$이 성립하여 한다. 여기서 I는 단위행렬이다.

한편, 주성분분석에서는 고유벡터가 주성분과 원변수 사이의 관계를 나타내는 숫자임에도 불구하고 수학적으로 추출된 숫자이므로 그 해석적 의미가 다분히 추상적일 수 있다. 따라서 추출된 주성분의 의미를 부여하기 위하여 고유벡터를 주성분과 원변수 사이의 상관계수로 변환할 수 있는데, 이를 부하(loading)라 한다. 식 (3)에서 l_{ik}와 p_{ik}는 각각 i번째 원변수와 k번째 주성분간의 부하 및 고유벡터이며, λ_k는 k번째 주성분의 고유값, a_{ii}는 i번째 원변수의 분산이다.

$$l_{ik} = p_{ik}\sqrt{\lambda_k} \,/\, \sqrt{a_{ii}} \tag{3}$$

3.2 군집분석

군집(cluster)이란 관련 다변량적 특성이 그룹 내적으로 균일하고 타 그룹과는 이질적인 관측개체들의 모임을 말한다. 군집분석은 많은 관측개체를 일정한 속성에 따라 몇 개의 군집으로 나눔으로써 대상집단을 이해하고 군집을 효율적으로 활용하고자 하는 통계적 분석방법이다. 군집분석의 기본원리는 분석하고자 하는 개체들의 여러 특성들을 유사성(similarity) 거리로 환산하여 유사성 거리가 상대적으로 가까운 개체들을 동질적인 집단으로 군집화하는 것이며, 이를 위해서 설명변수의 선정, 유사성 거리의 측정 및 군집화 방법을 거치

게 된다.

군집분석은 회귀분석 등과 달리 의미없는 변수들을 제외시키는 기능이 없어 중요한 설명변수가 제외되거나 중복된 정보를 갖는 변수가 추가되는 경우 유사성 거리가 제대로 측정되지 못한다. 즉, 군집분석에서는 선정된 변수들이 모두 동일한 비중으로 유사성 거리의 측정에 반영되므로 잘못된 변수의 선정은 엉뚱한 결과를 도출하게 되는 직접적인 원인이 되며, 최종결과에 대한 통계적 유의성 검정방법 또한 없어 설명변수의 선정에 유의해야 한다.

개체의 군집화를 위한 유사성 거리의 측정방법에는 주로 유클리드 거리(Euclidean distances) 또는 유클리드 제곱거리가 이용된다. 식 (4)의 유클리드 제곱거리는 두 개체의 변수값 차이를 제곱하여 합산한 값으로써 다차원 공간에서 통계적 직선 최단거리를 나타내며, 여기서 O_i는 i번째 개체, X_{ij}는 i번째 개체의 j번째 변수의 값이다.

$$d(O_1, O_2) = \sum_{j=1}^{m} (X_{1j} - X_{2j})^2 \quad (4)$$

또한, 각 개체들간의 측정된 유사성 거리를 이용하여 개체들을 군집화하는 방법에는 여러 방법이 있는데, 모든 방법이 같은 군집내의 유사성 거리는 되도록 가깝게 하고 군집간의 유사성 거리는 되도록 멀게 한다는 기본원리에 입각한다. 그 중 일반적으로 많이 쓰이는 방법은 식 (5)와 같은 군집간 평균연결법(Between Average Linkage Method)으로써 군집간의 거리는 각 군집에 속해 있는 개체와의 평균거리로 산정하고, 새로운 개체가 기존의 군집에 포함될 때 기존의 군집내에 있는 모든 개체와의 평균거리가 가장 가까운 군집에 포함시키는 방법이다. 식 (5)에서 $d(C1, C2)$는 크기가 각각 N_1, N_2인 두 군집 $C1$, $C2$사이의 평균거리이며, d_{ij}는 두 군집의 i번째 및 j번째 개체간의 유사성 거리이다.

$$d(C1, C2) = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}}{N_1 N_2} \quad (5)$$

4. 분석자료

수문학적 강우해석에서는 일반적으로 정상년 30년 이상의 자료를 사용해야 하나, 본 연구에서는 국내 수문관측의 실정과 강우관측지점의 지역적 분포를 감안하여 1999년까지 강우기록 년수가 최소 14년 이상인 기상청 산하 60개 강우관측지점을 선정하였다. 본 연구에 사용된 60개의 강우관측지점은 표 2와 같으며, 섬 지역인 제주도와 울릉도는 자료 년수는 충분하나 강우특성이 내륙 및 내륙에 인접한 도서지역과 너무 상이하여 분석에서 제외시켰다.

본 연구를 위한 강우특성자료는 표 3과 같이 양적 개념의 연평균 강수량, 우기 평균강우량 및 강도, 11개 지속기간별(1, 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 72시간) 연 최대강우량의 평균, 빈도 개념의 일 강우량 80mm 이상의 연평균 강우사상 수(1972~1999년)와 지속기간별 평균강우량의 초과발생확률, 강우량의 시간적 집중특성을 나타내는 지속기간별(1, 4, 8, 12시간) 평균강우량과 24시간 평균강우량의 비, 그리고 강우관측소의 지리적 여건인 위도 및 경도 등 각 강우관측소로부터 추출된 총 32개 변수이다. 여기서 일 강우량 80mm이상의 강우는 기상청의 호우기준으로 이용되고 있으며, 초과발생확률은 전 지점에 대한 지속기간별 연 최대강우량의 평균을 초과하는 강우사상 수를 각 지점별로 구하여 Weibull 공식에 의해 산정하였다.

실제 분석에 앞서 각 강우관측지점의 자료기간이 서로 다르므로 11개 지속기간별 연 최대강우량에 대한 t-검정을 실시하였으며, 그 결과 대부분의 관측지점은 유의수준 5%에서 만족하였고, 대관령과 울진 지점은 일부 지속기간에서 그리고 안동, 강화, 거제, 남해 지점은 전 지속기간에서 유의수준 1%에서 만족하였다.

또한, 추출된 각 변수의 값들은 그 단위나 범위, 규모 등이 각기 다르기 때문에 주성분분석을 하기 전에 식 (6)과 같이 각 변수의 평균이 0, 분산이 1이 되도록 표준화시켜 변수들의 척도를 동일하게 하였으며, 여기서 $\overline{X_i}$와 s_i는 변수 X_i의 평균과 표준편차이고, Z_i는 표준화된 변수이다.

$$Z_i = \frac{X_i - \overline{X_i}}{s_i} \quad (6)$$

5. 분석결과 및 고찰

5.1 주성분분석 결과

본 연구에서는 표준화된 원변수의 상관계수행렬을 이용하여 원변수의 수만큼 주성분을 산출하고, 각 주성분의 고유값을 그림 1과 같이 도시하였다. 중요주성분의 선택은 고유값이 1이상인 성분만을 추출하는 최소고유값 기준과 분산비율법에 의한 누가분산비가 80%를

표 2. 기상청 자기우량관측소 현황(코드번호순)

일련번호	관측소명	위치		해발고(m)	기록기간(년 수)	일련번호	관측소명	위치		해발고(m)	기록기간(년 수)
		경도	위도					경도	위도		
1	속 초	128-34	38-15	17.8	68~99 (32)	31	이 천	127-29	37-16	77.8	73~99 (27)
2	대관령	128-46	37-41	842.5	81~99 (19)	32	인 제	128-10	38-03	198.6	73~99 (27)
3	춘 천	127-44	37-54	76.8	66~99 (34)	33	홍 천	127-53	37-41	140.6	73~99 (27)
4	강 릉	128-54	37-45	25.9	61~99 (39)	34	태 백	128-59	37-10	713.4	85~99 (15)
5	서 울	126-58	37-34	85.5	61~99 (39)	35	제 천	128-12	37-09	263.2	73~99 (27)
6	인 천	126-38	37-28	68.9	61~99 (39)	36	보 은	127-44	36-29	174.1	73~99 (27)
7	원 주	127-57	37-20	149.8	86~99 (14)	37	천 안	127-07	36-47	24.9	73~99 (27)
8	수 원	126-59	37-16	33.6	64~99 (36)	38	보 령	126-34	36-19	15.3	73~99 (27)
9	충 주	127-53	36-58	69.1	73~99 (27)	39	부 여	126-55	36-16	11.3	73~99 (27)
10	서 산	126-30	36-46	25.9	68~99 (32)	40	금 산	127-29	36-06	171.3	73~99 (27)
11	울 진	129-25	36-59	49.4	81~99 (17)	41	부 안	126-43	35-44	10.7	73~99 (27)
12	청 주	127-27	36-38	57.4	67~99 (33)	42	임 실	127-17	35-37	246.9	73~99 (27)
13	대 전	127-22	36-22	68.3	69~99 (31)	43	정 읍	126-52	35-34	44.1	73~99 (27)
14	추풍령	128-00	36-13	242.5	61~99 (39)	44	남 원	127-20	35-24	89.7	73~99 (27)
15	안 동	128-43	36-34	139.4	83~99 (17)	45	순 천	127-14	35-04	74.4	73~99 (27)
16	포 항	129-23	36-02	1.9	61~99 (39)	46	장 흥	126-55	34-41	45.2	73~99 (27)
17	군 산	126-42	35-59	25.6	68~99 (32)	47	해 남	126-34	34-33	13.7	73~99 (27)
18	대 구	128-37	35-53	57.6	61~99 (39)	48	고 흥	127-17	34-37	53.3	73~99 (27)
19	전 주	127-09	35-49	53.5	61~99 (39)	49	영 주	128-31	36-52	210.2	73~99 (27)
20	울 산	129-19	35-33	34.7	61~99 (39)	50	문 경	128-09	36-37	170.4	73~99 (27)
21	마 산	128-34	35-11	11.3	85~99 (15)	51	영 덕	129-25	36-32	41.2	73~99 (27)
22	광 주	126-54	35-10	70.5	61~99 (39)	52	의 성	128-41	36-21	81.1	73~99 (27)
23	부 산	129-02	35-06	69.2	61~99 (39)	53	구 미	128-19	36-08	47.9	73~99 (27)
24	통 영	128-26	34-51	31.7	68~99 (32)	54	영 천	128-57	35-58	94.1	73~99 (27)
25	목 포	126-23	34-49	37.9	61~99 (39)	55	거 창	127-55	35-40	220.9	73~99 (27)
26	여 수	127-45	34-44	66.1	61~99 (39)	56	합 천	128-10	35-34	32.7	73~99 (27)
27	완 도	126-42	34-24	34.9	83~99 (17)	57	밀 양	128-45	35-29	12.6	73~99 (27)
28	진 주	128-07	35-12	21.3	69~99 (31)	58	산 청	127-53	35-25	138.6	73~99 (27)
29	강 화	126-27	37-42	45.7	73~99 (27)	59	거 제	128-36	34-53	45.3	73~99 (27)
30	양 평	127-30	37-29	47.0	73~99 (27)	60	남 해	127-56	34-49	44.4	73~99 (27)

주) 울진 : 1997, 1998년 결측

표 3. 강우특성별 변수명 및 변수설명

강우특성	변 수 명	변 수 설 명
강우량	Yrain	연평균 강수량(Mean annual precipitation)
	RRP	우기(6월~9월)의 평균강우량 (Rainfall of Rain-Period)
	RPI	우기강우강도(Rain-Period Intensity)
	Mean1H~Mean72H	11개 지속기간별 연 최대강우량의 평균(1~72시간)
강우량의 시간적 집중특성	R/R24	지속기간별(1, 4, 8, 12시간) 평균강우량과 24시간 평균강우량의 비
빈 도	80Event	일 강우량 80mm이상의 연평균 강우사상 수
	Exc1H~Exc72H	각 지속기간별 평균강우량에 대한 초과발생확률
지리적 요인	Ycor	위도(radian)
	Xcor	경도(radian)

그림 1. 분석된 각 주성분의 고유값

표 4. 중요주성분의 고유값과 분산비

주성분	고 유 값	분산비(%)	누가분산비(%)
1	20.17	65.06	65.06
2	5.54	17.87	82.94
3	1.21	3.91	86.84

표 5. 원변수와 중요주성분간의 부하행렬 분석결과

변 수	주성분1	주성분2	주성분3	변 수	주성분1	주성분2	주성분3
Yrain	0.834	-0.178	-0.271	R4/R24	0.064	0.849	-0.058
RRP	0.866	-0.107	0.064	R8/R24	0.192	0.888	-0.140
Ycor	-0.101	-0.375	0.798	R12/R24	0.272	0.762	-0.201
Xcor	-0.307	-0.672	-0.318	RPI	0.427	0.613	0.317
Mean1H	0.743	0.603	0.124	80Event	0.919	-0.074	-0.153
Mean2H	0.828	0.493	0.101	Exc1H	0.704	0.545	0.113
Mean4H	0.922	0.287	-0.011	Exc2H	0.793	0.507	0.036
Mean6H	0.959	0.159	-0.042	Exc4H	0.887	0.329	-0.064
Mean8H	0.972	0.059	-0.076	Exc6H	0.933	0.119	-0.079
Mean12H	0.976	-0.059	-0.079	Exc8H	0.955	-0.036	-0.095
Mean18H	0.961	-0.183	-0.075	Exc12H	0.944	-0.127	-0.071
Mean24H	0.950	-0.250	-0.028	Exc18H	0.914	-0.217	-0.058
Mean36H	0.928	-0.329	0.043	Exc24H	0.891	-0.200	0.141
Mean48H	0.911	-0.355	0.122	Exc36H	0.885	-0.382	0.049
Mean72H	0.898	-0.344	0.184	Exc48H	0.873	-0.369	0.099
R1/R24	-0.271	0.896	0.167	Exc72H	0.857	-0.342	0.115

넘는 성분까지 취한다는 경험적 기준(Okuno et al., 1984)을 적용하여 표 4와 같이 3개의 중요주성분이 선택되었다. 고유값은 각 주성분의 정보량을 나타내는 주성분점수의 분산으로 제 1주성분은 고유값이 20.17, 분산비가 65.06%로 원변수에 대한 정보량을 가장 많이 함축하고 있으며, 제 2, 3성분으로 갈수록 고유값 및 분산비가 줄어들어 정보축약의 정도가 줄어드는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 선택된 3개의 중요주성분과 원변수간의 관련정도를 분석하여 각 주성분의 의미를 파악해 보고자 표 5와 같이 부하행렬을 분석하였다. 표 5로부터 제 1주성분은 연평균 강수량, 우기강우량, 지속기간별 평균강우량, 그리고 일강우량 80mm이상의 강우사상수 및 지속기간별 평균강우량의 초과발생확률과 높은 상관성을 보이고 있어, 제 1주성분은 강우의 양적, 빈도적 특성을 나타내는 성분이라 할 수 있다. 제 2주성분은 24시간 평균강우량에 대한 지속기간별 평균강우량의 강우비와 높은 상관성을 보이고 있고, 우기강우강도 및 경도와도 비교적 높은 상관성을 보이고 있어 이 성분은 강우량의 시간적 집중특성을 나타내는 성분이라 할 수 있으며, 우기의 평균적 강우특성(우기강우강도)과 지리적 특성인 경도와도 관련성이 높다고 하겠다. 그리고 나머지 제 3주성분은 각 강우관측지점의 지리적 위치특성인 위도 및 경도와 관련된 우기의 평균적 강우특성을 나타내는 성분이라 할 수 있다.

이상과 같이 주성분분석에 의한 3개의 중요주성분은 본 연구에서 사용한 강우변수들의 대부분 정보(86.84%)를 함축하고 있고, 각 중요주성분이 서로 다른 의미를 가지며 서로 독립이기 때문에 각 변수들간의 중복부분은 제거되었다고 할 수 있다. 따라서 3개의 중요주성분에 대한 계수행렬(고유벡터)을 원변수에 곱하여 산출한 주성분점수를 군집분석의 자료로 사용하는 것은 강우자료에 대한 정보를 극대화시킨 소수의 독립적인 변수를 이용할 수 있어 군집분석의 타당성과 효율성을 높일 수 있다고 하겠다. 그림 2는 표 2의 각 강우관측소에 대한 3개의 중요주성분 점수를 3차원적으로 도시한 것이다.

5.2 군집분석 결과

본 연구에서는 지점강우를 몇 개의 권역으로 나누기 위해 주성분분석에서 산출한 3개의 주성분점수를 이용하여 군집분석을 실시하였고, 그 결과인 덴드로그램(Dendrogram)을 도시하면 그림 3과 같다. 덴드로그램으로부터의 권역구분은 군집간 결합거리의 차가 큰 단계들 중 산맥 등의 지형학적인 영향을 고려하여 결정하였다. 그 결과 지점강우에 대한 권역구분은 표 6 및 그림 4와 같이 크게 5개로 나누어 졌다. 그리고 대관령, 강화, 거제, 남해는 지리적 강우특성이 인근 지역과 상당한 차이를 보여 기타 독립지점으로 구분하였는데, 이는 자료를 통한 단순 통계의 결과이며 물리적 특성을 고려할 수 없는 통계분석의 한계일 수 있다.

표 6 및 그림 4에서 보는 바와 같이 강수지역의 권

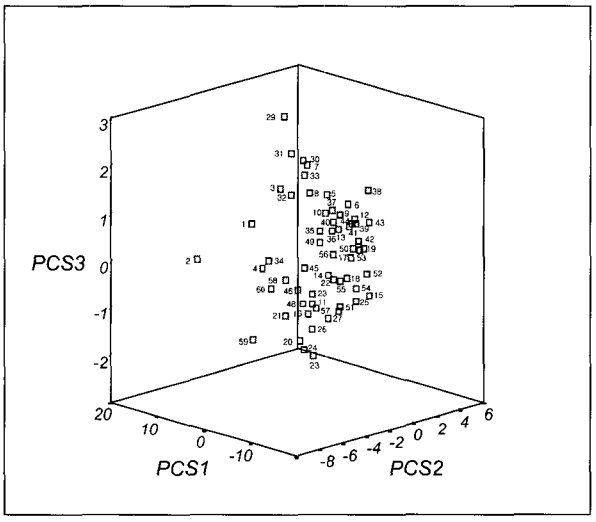

그림 2. 각 강우관측소별 중요주성분 점수도

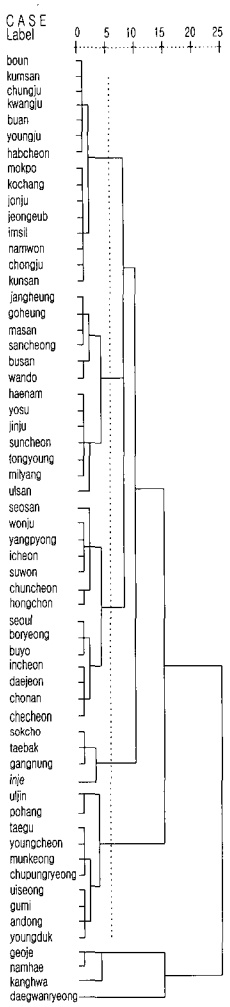

그림 3. 군집분석의 덴드로그램

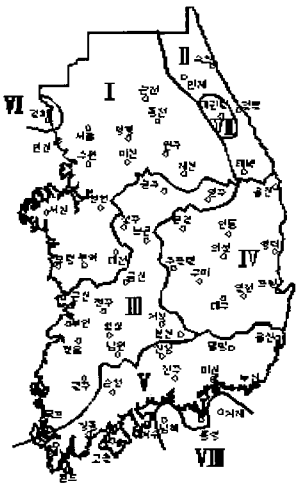

그림 4. 지점강우의 권역구분도

역구분은 태백산맥을 중심으로 서쪽인 영서지역 및 경기도, 충청남도의 I 권역과 영동지역인 II권역, 소백산맥을 경계로 한 충청북도, 전라북도 및 전라남도 일부인 III권역과 경상북도 일원의 IV권역, 그리고 남해안에 인접한 경상남도 및 전라남도 일부의 V권역으로 분리되었으며, 전반적으로 강우특성이 지리적, 지형적 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

5.3 권역별 강우특성 고찰

본 연구에서 분석된 각 권역의 강우특성은 각 강우성분에 대하여 표 7과 같이 평균적으로 분석하였으며,

표 6. 지점강우의 권역화

권 역		강우관측지점	비고
I		서울, 인천, 양평, 수원, 이천, 춘천, 홍천, 원주, 제천, 천안, 서산, 보령, 부여, 대전	14개 지점
II		속초, 강릉, 인제, 태백	4개 지점
III		충주, 영주, 청주, 보은, 금산, 군산, 전주, 부안, 정읍, 임실, 남원, 거창, 합천, 광주, 목포	15개 지점
IV		울진, 문경. 추풍령, 대구, 안동, 의성, 구미, 영덕, 포항, 영천	10개 지점
V		장흥, 해남, 완도, 고흥, 순천, 진주, 여수, 산청, 밀양, 통영, 마산, 울산, 부산	13개 지점
기타	VI	강화	4개 지점
	VII	대관령	
	VIII	거제, 남해	

이로부터 권역별 강우특성을 상대적으로 설명하면 다음과 같다.

권역Ⅰ: 태백산맥을 경계로 한 서부지역으로 연평균 강수량은 전체 평균에 비해 다소 작으나 우기강우량이 연평균 강수량에 차지하는 비율과 우기강우강도가 타 권역에 비해 가장 크고, 지속기간별 연 최대평균강우량 및 강우비, 초과발생확률 등에서 알 수 있듯이 단기간 강우가 장기간 지속강우보다 우세한 권역이다.

권역Ⅱ: 태백산맥을 경계로 한 영동지역으로 연평균 강수량은 전체 평균과 비슷하나 우기 때 강우량 및 강도가 작고, 지속기간별 연 최대평균강우량과 초과발생확률에서 볼 수 있듯이 단기간 보다 장기간으로 갈수록 값이 커지고 있으며 강우비 또한 가장 작은 값을 보이고 있어 이 권역은 강우가 장기간에 걸쳐 비교적 균일하고 지속적으로 내리는 권역이라 할 수 있다.

권역Ⅲ: 소백산맥의 서부지역으로 연평균 강수량이나 우기강우량의 양적인 면은 전체 평균에 비해 다소 작았지만, 일강우량 80mm이상의 사상수가 작은데 비해 강우비가 가장 크고 우기강우강도 또한 큰 값을 보이고 있어 우기시 강우가 집중하고 단기간 강우가 장기간 강우에 비해 비교적 우세한 권역이라 할 수 있다.

권역Ⅳ: 경상북도 지역으로 전체적인 강우의 특성값이 권역들 중 가장 작은 값을 보이는 권역으로 우리나라의 대표적인 소우지역이라 할 수 있으며, 전체 강우지속기간동안에 적은 강우가 비교적 균일하게 분포하는 권역이다.

권역Ⅴ: 남해안에 인접한 이 권역은 5개의 권역 중 가장 많은 강우량을 보이는 권역으로 남해안의 해양성 기후의 영향을 받아 큰 강우사상이 자주 발생하고 강우지속기간 동안에도 큰 강우가 빈번하게 내리는 권역이라 할 수 있다.

기타지역 : 강화는 연평균 강수량에 대해 우기강우가 차지하는 비중이 71.7%이고, 강도도 3.16mm/hr로 우기 때 강우의 집중도가 가장 높은 지역으로 강우지속기간 24시간이내에 강한 강도의 강우가 빈번하게 발생하는 지역으로 분석되었다. 그리고 대관령은 연평균 강수

표 7. 지점강우의 권역별 평균적 강우특성

변수 / 권역	Yrain (mm)	RRP (mm)	Mean1H (mm)	Mean4H (mm)	Mean12H (mm)	Mean24H (mm)	Mean48H (mm)	R1/R24
Ⅰ	1280.3	877.6	39.3	80.7	126.5	155.3	186.3	0.254
Ⅱ	1291.5	830.7	29.2	67.4	120.2	158.1	197.5	0.185
Ⅲ	1252.6	821.6	35.6	70.6	108.9	134.9	159.4	0.264
Ⅳ	1070.9	688.5	28.8	57.6	92.7	118.8	136.9	0.244
Ⅴ	1419.6	893.2	38.0	82.5	134.0	164.0	190.0	0.232
Ⅵ	1316.7	944.4	49.7	113.8	171.3	211.7	248.2	0.235
Ⅶ	1717.1	1092.7	27.8	74.0	149.6	201.1	254.7	0.138
Ⅷ	1793.3	1078.6	42.3	96.1	164.1	202.1	231.3	0.210
전체평균	1294.4	843.7	35.7	74.8	120.1	149.4	176.6	0.242

변수 / 권역	R12/R24	RPI (mm/hr)	80Event (회)	Exc1H	Exc4H	Exc12H	Exc24H	Exc48H
Ⅰ	0.815	2.779	2.3	0.526	0.469	0.452	0.399	0.423
Ⅱ	0.761	2.021	1.9	0.183	0.222	0.414	0.423	0.465
Ⅲ	0.808	2.774	1.8	0.398	0.333	0.274	0.237	0.295
Ⅳ	0.782	2.133	1.2	0.186	0.128	0.137	0.288	0.162
Ⅴ	0.817	2.587	2.7	0.427	0.481	0.501	0.480	0.432
Ⅵ	0.809	3.160	3.1	0.714	0.750	0.643	0.607	0.679
Ⅶ	0.744	1.910	3.1	0.200	0.350	0.600	0.650	0.700
Ⅷ	0.812	2.952	4.4	0.750	0.661	0.696	0.625	0.661
전체평균	0.803	2.576	2.1	0.398	0.373	0.377	0.375	0.364

량이 많은 높은 고도의 산악지역으로써 단기간에 대한 강우의 집중성은 크지 않으나, 강우지속기간동안 많은 강우가 균일하게 내리는 지역으로 분석되었다. 거제와 남해는 남해안의 해양성기후의 영향을 받아 강우량이 가장 많은 지역으로써 많은 양의 강우가 가장 빈번하게 발생하고, 강우가 지속되는 동안 비교적 높은 강도의 강우가 지속적으로 내리는 지역으로 분석되었다.

5.4 연구결과의 비교고찰

본 연구에서는 수공구조물 설계시 일반적으로 재현기간에 따른 확률강우량을 사용한다는 것을 감안하여 건설교통부(2000)의 한국 확률강우량도에서 제시한 재현기간별 지속기간별 확률강우량도와 본 연구에서 분석된 권역구분을 비교·검토하였다.

본 연구에서 지점강우의 권역도와 비교 분석을 위해 대표적으로 재현기간 100년에 대한 강우지속기간 1시간, 2시간, 12시간 및 24시간의 확률강우량도를 도시하여 보면 그림 5.(a)~(d)와 같다. 단기간에 해당되는 그림 5.(a)의 1시간 및 그림 5.(b)의 2시간 확률강우량도를 보면 각 확률강우량도의 75mm 및 100mm 등우선도와 같이 태백산맥과 소백산맥을 경계로 서쪽과 동쪽의 강우량 편차가 뚜렷한 차이를 보이고 있어 본 연구의 결과인 그림 4의 권역구분 Ⅰ,Ⅲ 및 Ⅱ, Ⅳ권역의 경계와 매우 유사함을 알 수 있으며, 이러한 경향은 장시간으로 갈수록 옅어진다고 할 수 있으나 그 형태는 계속 유지되고 있다. 반면에 비교적 장기간에 해당하는 그림 5.(c)의 12시간 확률강우량도와 그림 5.(d)의 24시간 확률강우량도를 보면 각각 250mm 및 320mm의 등우선도를 중심으로 그림 4의 권역 Ⅴ와 같이 한반도의 남부지역인 경상남도와 전라남도 일부지역이 타 권역에 비해 강우량이 많은 지역임을 알 수 있으며, 또한 충청남북도를 경계로, 그리고 강원도와 경상북도를 경계로 하여 등우선이 남북으로 분리되어 있어 본 연구의 권역도 Ⅰ과 Ⅲ의 경계 및 Ⅱ와 Ⅳ의 경계와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편, 경상북도지역은 모든 지속기간에서 가장 적은 확률강우량을 보이고 있으며, 강화, 대관령, 거제 및 남해 지역은 주변지역에 비해 강우량이 현저히 많은 최다우지역이라는 점도 본 연구의 결과와 일치하고 있다.

이상과 같은 비교 분석결과는 거의 모든 재현기간과 강우지속기간에서 강우의 양적 공간적 양상이 건설교통부의 확률강우량도와 매우 유사하여 본 연구에서 분석

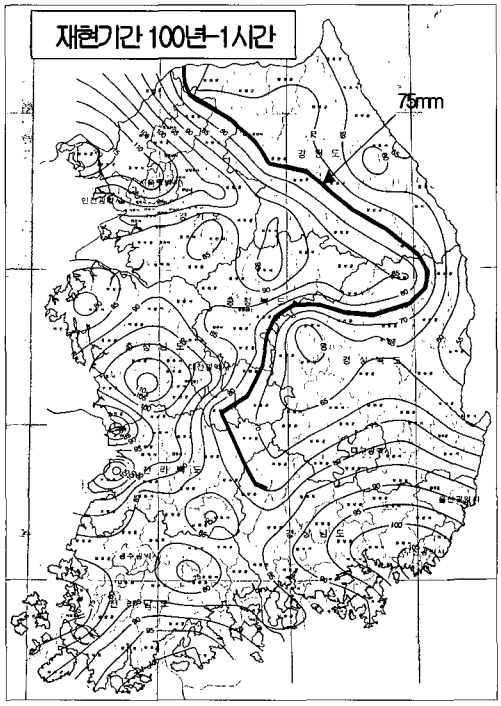

그림 5.(a) 1시간 확률강우량도

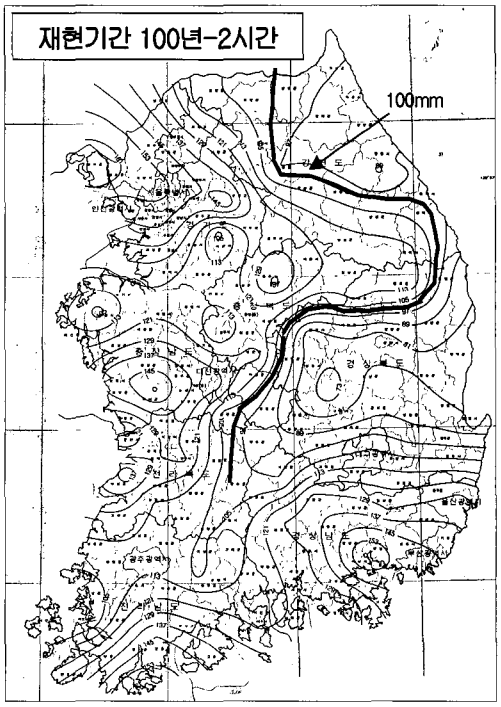

그림 5.(b) 2시간 확률강우량도

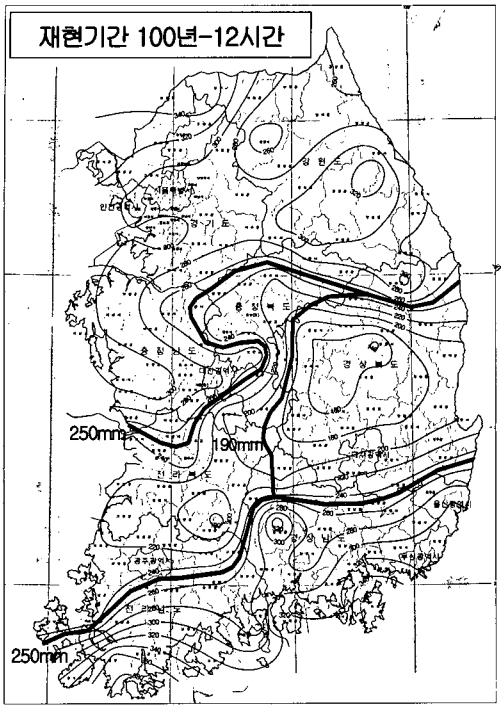

그림 5.(c) 12시간 확률강우량도

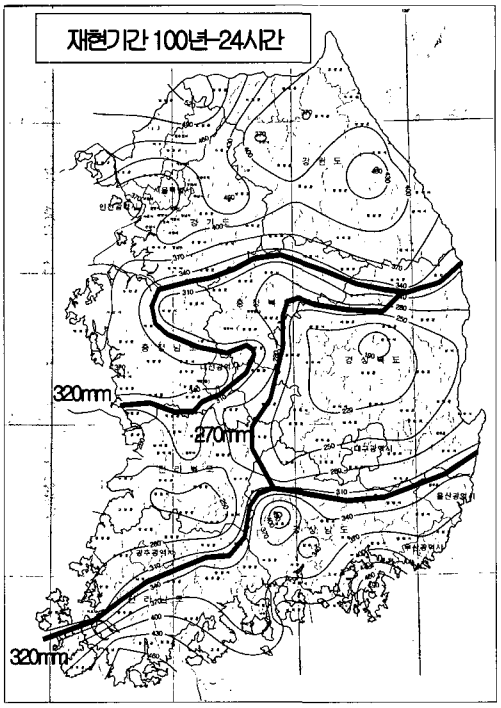

그림 5.(d) 24시간 확률강우량도

된 지점강우의 권역화가 강우특성에 대한 지역적 분포를 종합적으로 대변하고 있다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 강우의 지역화 빈도분석에서 반드시 선행되어야 하는 수문학적 동질성을 갖는 지점강우의 권역화를 위해 우리나라 전역에 걸쳐 강우기록 년수 14년 이상의 기상청 산하 60개 강우지점을 선정하고, 각 지점에서 추출한 32개의 강우자료를 이용하여 통계학적 다변량 분석방법인 주성분분석과 군집분석을 통해 권역을 구분한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 본 연구에서는 지금까지 선행된 타 연구에 비하여 보다 많은 강우지점에 대한 다양한 강우특성자료를 이용함으로써 지점강우의 권역화 분석에 대한 타당성과 정확성을 확보할 수 있었다.

2) 많은 수의 강우자료에 대한 주성분분석은 원자료의 정보와 특성을 극대화시킨 소수의 독립적인 주성분으로 함축할 수 있었으며, 부하행렬의 분석으로부터 각 주성분의 의미와 정보량의 함축정도를 파악할 수 있었다.

3) 주성분분석에서 산출된 지점별 주성분점수를 이용한 군집분석은 강우지점간의 수문학적 동질성 파악을 위한 지점간 강우정보의 유사성을 합리적이고 효율적으로 분석할 수 있게 하였으며, 군집분석의 결과로부터 지형학적 영향을 고려한 지점강우의 권역화는 우리나라의 강우지역을 5개의 권역과 3개의 기타지역으로 분류되었다.

4) 각 강우성분의 권역별 평균값으로부터 각 권역별 강우의 양적 시간적 특성을 분석하였으며, 여러 가지 강우성분을 종합적으로 이용하여 분석된 본 연구의 결과는 향후 수공구조물의 설계 등을 위한 강우의 여러 가지 수문학적 분석에 많은 도움을 주리라 사료된다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도 작성. 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서,제1권.

문영수 (1990). "클러스터분석에 의한 한국의 강수지역 구분." 한국기상학회지, 한국기상학 회, 제26권, 제4호,pp 203-215.

박광배 (2000). 다변량분석. 학지사.

박정규, 이승만 (1992). "연 강수량에 의한 남한의 강수 지역 구분." 한국기상학회지, 한국기상회,29권, 제2호, pp. 117-125.

신창동 (1993). 우리나라 강우의 적정분포형 결정에 관한 연구. 석사학위논문, 금오공과대학교.

이동진, 허준행 (2001). "L-모멘트법을 이용한 한강유역 일강우량자료의 지역빈도해석." 한국수자원학회 논문집, 제34권, 제2호, pp.119-130.

이원환 (1967). "국내 지역별 강우특성과 확률강우량 산정에 관한 연구." 대한토목학회지,제15권, 제3호, pp.28-38.

이원환 (1974). "우리나라 지점강우의 수문통계학적 특성에 관한 연구." 대한토목학회지, 제22권, 제1호, pp.15-29.

이원환, 박상덕, 최성열 (1993)."한국 대표확률강우강도식 유도." 대한토목학회 논문집, 제13권 제1호,pp.135-138.

이재준, 손광익, 이원환, 이길춘 (1981). "강우빈도 및 강우강도의 시공간적 분포에 관한 연구." 한국수문학회지, 제14권, 4호, pp.53-72.

이재준 (1999). "대표확률분포형에 의거한 권역별 확률강우강도식의 유도." 한국수자원학회학술발표회 논문집, pp.124-129.

허준행, 김경덕, 조원철 (1996). "연최대 강우자료의 빈도해석을 통한 지역적 고찰에 관한 연구." 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.232-237.

허창회, 강인식 (1988). "한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구." *Journal of Korean Met.Societ,* Vol.24, No.1, pp.38-48.

Bhaskar, N.R. and C.A.O., Connor. (1989). "Comparison of Method of Residuals andCluster Analysis for Flood Regionalization." *J. Water Resour, plann, Manage,*Vol.115, No.6, pp.793-808.

Bryson, C.B. (1998). "Climatic and Physicsl Factors that Influence the Homogeneity ofRegional floods in Southeastern Australia." *Water Resources Res*, Vol.34, No. 12, pp.3369-3381.

Buishand, T.A. (1982). "Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records." *Journal of Hydrology*, Vol.52, pp.11-27.

Coursey, D.G.De., and Deal, D.G. (1974). "General Aspects of Multivariate Analysis withApplication to some Problems in Hydrology." *Proc. Symp. on Statistical hydrology,* Misc., Publ., U.S. Dep. of Agric. Washington, D.C., No.1275, pp.47-68.

Diaz, G., Sewel, J.I., and Shelton, C.H. (1968). "An Application of Principal ComponentAnalysis and Factor Analysis in the Study of Water Yield." *Water ResourcesRes.,* Vol.4, No.2, pp.299-306.

Dyer, T.G.J. (1975). "Assignment of Rainfall Stations into Homogeneous Groups : AnApplication of Principal Component Analysis." *Meteorol. Soc.,* 101(430), pp.1005-1013.

Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. (1993) "Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis." *Water Resources Res.,* Vol.29, pp.271~281.

H., Hotelling. (1933). "Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components." *J. Educ. Psychol.*, 24, pp.417~441, 498~520.

Institute of Hydrology (1999). Flood Estimation Handbook, Institute of Hydrology,Wallingford,UK.

Lettenmaier, D.P., etc. (1987). "Effect of Regional Heterogeneity on Flood FrequencyEstimation." *Water Resources Res.,* Vol.23, pp.313~323.

M., Guy, and Jean-Pierre, F. (1979). "Use of Principal Component Analysis to IdentifyHomogeneous Precipitation Stations for Optimal Interpolation." *Water ResourcesRes.,* Vol.15, No.6, pp.1841~1850.

Pandzic, K., and Trininc, D. (1992). "Principal Component Analysis of a River BasinDischarge and Precipitation Anomaly Fields Associated with the GlobalCirculation." *Journal of Hydrology,* 132, pp.343~360.

Nathan, R.J., and McMahon, T.A. (1990). "Identification of Homogeneous Regions for thePurpose of Regionalization." *Journal of Hydrology,* Vol. 121, pp.217~238.

Schaefer, M.G. (1990). "Regional Analyses of Precipitation Annual Maxima in Washington State." *Water Resources Res.,* Vol. 26, No.1, pp.119~131.

Witshire, S.E. (1985). "Grouping Basin for Regional Flood Frequency Analysis." *Hydrol.Sci. J.*, 30(1), pp.151~159.

Wiltshire, S.E. (1986). "Identification of Homogeneous

Regions for Flood Frequency Analysis." *Journal of Hydrology,* Vol.84, pp.287~302.

(논문번호:03-57/접수:2003.07.05/심사완료:2003.09.30)