

## 다변량 통계분석기법을 이용한 전국 표준유역 대상 수문학적 군집화 연구\*

안소라<sup>1</sup> · 김상호<sup>1</sup> · 김성준<sup>1\*</sup>

### A Study on Hydrologic Clustering for Standard Watersheds of Korea Water Resources Unit Map Using Multivariate Statistical Analysis\*

So-Ra AHN<sup>1</sup> · Sang-Ho KIM<sup>1</sup> · Seong-Joon KIM<sup>1\*</sup>

#### 요 약

본 연구는 다변량 통계분석기법을 이용하여 한국 수자원단위지도의 전국 795개 표준유역에 대하여 수문학적 군집화를 수행하였다. 국내 유역의 종합적인 특성인자 산정을 위해 지형, 하천, 기상, 토양, 토지이용 및 수문학 관련 유역특성인자 30개를 선정하였다. 다변량 통계기법인 요인분석을 통해 유역특성인자들 간의 상관관계를 분석하여 16개의 대표 유역특성인자들을 추출하였으며, 유역의 특징을 결정짓는 인자는 토양특성, 유역위치, 유역크기, 기상 및 수문특성에 관련된 인자들로 나타났다. 군집분석을 위해 전국의 기상, 강우, 수위관측소의 자료를 수집하고 양질의 자료보유 현황을 검토하여 73개의 계측 유역을 구분하였다. 이 73개의 계측유역을 기준으로 하여, 나머지 미계측 유역 간에 16개의 대표 유역특성인자들과의 유클리드 거리를 계산함으로써 수문학적 군집화를 수행하였다. 그 결과 각 권역별로 동일권역 내 표준유역 사이의 유사성은 한강이 87%, 낙동강이 69%, 금강이 41%, 섬진강이 52%, 영산강이 27%로 분석되었다.

주요어 : 유역특성인자, 지리정보시스템, 다변량 통계분석, 요인분석, 군집분석

#### ABSTRACT

This study tries to cluster the 795 standard watersheds of Korea Water Resources Unit Map using multivariate statistical analysis technique. The 30 factors of watershed characteristics related to topography, stream, meteorology, soil, land cover and hydrology were selected for comprehensive analysis. From the factor analysis, 16

2013년 12월 8일 접수 Received on December 8, 2013 / 2014년 2월 17일 수정 Revised on February 17, 2014 / 2014년 2월 21일 심사완료 Accepted on February 21, 2014

\* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었음.

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Department of Civil & Environmental System Engineering Konkuk University

\* Corresponding Author E-Mail : kimsj@konkuk.ac.kr

representative factors were selected. The significant factors in order were the pedological feature, scale and geological location and meteorological and hydrological features of the watershed. As a next step, the 73 gauged watersheds were selected for cluster analysis. They are scattered properly to the whole country and the discharge data were within a confidential level. Based on the 73 watersheds, the other ungauged watersheds were clustered by applying the 16 factors and calculating Euclidian distances. The clustering results showed that the similarity between standard watersheds within the same river basin were 87%, 69%, 41%, 52%, and 27% for Han, Nakdong, Geum, Seomjin, and Yeongsan river basins respectively.

**KEYWORDS :** Watershed Characteristic Factors, GIS, Multivariate Statistical Analysis, Factor Analysis, Cluster Analysis

## 서론

하천의 유량 측정은 대부분 홍수 예보지역, 댐 상류지역, 대 하천 및 유역 내 주요 계측지점을 위주로 수행되고 있으며, 이에 따라서 중소하천과 소유역의 미 계측 유역에 대한 유량 산정에 어려움이 있다. 유역유출모형은 유역의 지형학적 매개변수를 기반으로 강우-유출 현상을 해석하며, 특정 지점에 대해서 계측된 수문자료와 최적화된 매개변수를 이용하여 유역 내 홍수량을 모의할 수 있다. 하지만 대부분의 유역들은 유역출구지점에서의 장기간의 연속적인 유량자료의 확보가 어려운 미 계측 유역이다. 이와 같은 미 계측 유역의 홍수량 산정은 통상 인근관측소 자료를 면적비로 전이시켜 사용하거나, 인근 계측유역에 대한 유출모형의 매개변수를 추정하여 미 계측 유역으로 매개변수를 전이시키는 매개변수 지역화(Regionalization) 방법이 주로 사용되고 있다.

이러한 매개변수 지역화 방법에 의한 미 계측 유역의 홍수량 산정은 유역들의 수문학적 유사성이 유역의 수문 모형(모형 구조 및 매개변수 등)에서도 동일하게 구현된다는 개념에 바탕을 두고, 계측지역의 검정 모형결과와 유역 특성인자 정보를 이용하여 수문모형과 유역 특성인자 간의 관계모형을 구축하고(Hwang *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2008), 이를 미계측

유역에 적용하여 유역특성인자만으로 홍수량을 산정하고자 하는 연구로 현재 국내외적으로 폭넓게 수행되고 있다. Zhang and Hall(2004)는 중국 Gan-Ming River 유역에 군집화 방법을 적용하여 홍수빈도해석을 수행하였고, Quarda *et al.*(2008)은 군집화 방법 및 상관분석을 적용하여 멕시코 미계측 하천유역에 지역홍수빈도를 추정하였다. 국내에서도 Lee and Kang(2007)은 충주댐과 설마천 유역에 대해 다중회귀분석으로 매개변수를 지역화 하여 유출량을 검증하였고, Lee and Moon(2007) 통계적인 방법을 이용하여 영국의 126개 유역에 대해 미계측 지역의 지역화를 수행하고 유출예측의 적용성을 검증하였다.

이처럼 매개변수 지역화를 통한 계측 유역 및 미 계측 유역의 홍수량 산정을 위해서는 유역의 수문자료를 분석하고, 정밀한 유역 특성인자의 현황조사 및 산정방안에 관한 연구가 필수적이다. 또한 매개변수 지역화의 정확도 및 신뢰도 향상을 위해서는 국내의 수문자료 및 유역 특성인자 현황을 조사하는 과정이 매우 중요하며, 참고 사례로 국외의 유역 특성인자를 비교 검토하여 국내의 특성을 반영한 대표적인 유역특성인자들을 선정하고 구축할 필요가 있다. 유역의 수문자료 및 특성인자를 분석한 연구로 Rao and Srinivas(2006)는 미국 인디애나의 245개 관측소의 수문자료를 분석하여 수문학적 군집화를 수행하였고, Lee *et al.*,

(2009)는 전국 109개 중권역의 7개의 유역특성인자를 분석하여 군집화하고 유출량 검증을 수행하였다. 관련 연구는 활발히 진행 중이지만 유역특성인자의 다양성 및 유역의 공간 스케일이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 전국 유역특성인자를 분석하고 수문학적 군집화를 수행하기 위해 기상, 수문 계측정보 및 지형공간정보를 수집하여 수자원단위지도의 표준유역별 지형, 기상, 수문학적 유역특성인자를 산정하고자 한다. 요인분석을 통해 산정된 유역특성인자 중 유역을 특징을 결정짓는 대표유역특성인자를 산정하고, 요인분석 결과로 산정된 요인의 주성분 점수를 이용하여 군집분석을 통해 계측유역에 대하여 수문학적으로 유사한 유역으로 미 계측 유역을 군집화 하여 전국 유역특성을 분석하고자 한다.

## 다변량 통계분석 기법

다변량 통계분석의 일반적인 의미는 두개 이상의 변수를 동시에 분석하는 통계방법이며, 분석대상에 대해 고려되고 있는 반응변수들의 개수에 따라 단일변량과 다변량 분석으로 구분된다. 다변량 분석은 대응표본 T-Test, 회귀분석, 다변량 분산분석 등과 같이 일변량 분석의 기본적인 틀을 바꾸지 않고 단순히 반응변수들의 개수를 늘려 차원을 확장시킨 분야와 다변량 자료의 속성상 일변량 분석의 범주에서는 고려될 수 없는 다변량 고유의 영역으로 나눌 수 있는데, 다변량 고유의 영역에 속하는 분석 기법으로는 요인분석, 판별분석, 군집분석, 정중상관분석, 다차원적도, 구조방정식 모형 등이 있다.

### 1. 요인분석 (Factor Analysis)

자료의 손실을 최소화하면서 여러 변수사이의 상관관계를 기초로 주어진 변수의 개수보다 적은 수의 요인으로 자료의 변동을 설명하는 기법이며, 여러 가지 분석 방법들 중에서 주성분 분석(Principal Component Analysis)방법

을 주로 사용한다. 본 연구에서는 주성분 분석에 의하여 요인을 추출하고 고유값이 1.0 이상인 성분을 기준으로 요인의 수를 결정하였다. 또한 베리맥스법을 이용하여 인자를 회전시키고 인자 부하량이 가지는 분산의 제공이 최대화 되도록 함으로써 변수와 요인사이의 관계를 쉽게 해석할 수 있도록 하였다.

### 2. 군집분석 (Cluster Analysis)

데이터를 구성하고 있는 관측대상을 어떤 기준에 의하여 분류하는 통계기법으로 데이터의 구조를 알 수 있는 유효한 수단이다. 본 연구에서는 구축된 유역특성인자들의 요인분석결과로 산정된 요인의 주성분 점수를 이용하여, 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 이용한 Ward 방법을 이용하여 계층적 군집분석을 실시하였다. Ward 방법은 각 개체를 병합하는 단계에서 잔차제곱합의 증분을 최소화 하도록 군집들을 병합시키는 방법이다. 이때 개체들 간의 거리는 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 사용하며, 아래와 같은 식 (1)로 표현된다.

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{Ai} - X_{Bi})^2} \quad (1)$$

여기서,  $d(A, B)$ 는 대상 A와 B사이의 거리,  $X_{ij}$ 는 대상  $j$ 의 변수  $i$ 의 좌표,  $n$ 은 측정 변수의 개수를 의미한다.

### 유역특성인자의 결정

전국의 유역특성을 분석하기 위해 수자원 정보를 관리하는 국내 사례와 수문 선진국가의 사례를 비교 검토하여 국내에 적용 가능한 유역특성인자를 결정하였다. 세계적인 기준으로 많은 수문관측시설을 오랜 기간 운영하고 있는 대표적인 수문 선진국가인 영국의 사례를 검토하였다. 영국의 홍수량 산정방법은 국가 기관에서 홍수량 산정 방법과 정확한 적용 지침을 제공하고 있어, 참여 기술자의 주관적인 판단을

배제하여 모든 유역에 대하여 일관된 설계홍수량 산정이 가능한 특징을 보여주고 있다(Kim *et al.*, 2013). 또한 일관된 홍수량 산정을 뒷받침하는 유역특성 자료를 데이터베이스 형태로 제공하고 있기 때문에 국토의 많은 부분이 미계측 유역으로 되어있는 우리나라에 적용성을 검토할 필요성이 높다고 판단된다.

먼저 국내의 경우 WAMIS(Water Management Information System)는 국내의 산재되어 있는 유역에 대한 수문자료, 인문자료 및 유역자료를 수집·관리하는 자료 포털로서 유역의 수문, 유역, 하천, 댐, 지하수, 이수, 수도, 환경생태, 자연재해, 지형공간의 자료를 바탕으로 유역특성, 인문사회, 유역자원 및 국토개발의 유역 수자원관리 자료를 제공하고 있다. 또한 각각의 유역에 대하여 유역특성인자로서 28여개의 특성인자의 분석기준을 제시하고 있

다. 이처럼 WAMIS에는 홍수량 산정을 위한 방대한 양의 DB 정보들을 제공하고 있지만, 원시자료(Raw data) 위주의 기초자료들을 나열하는 방식으로 제공하고 있어 유역의 수문학적 특성을 파악하기에는 어려운 부분이 있다.

영국의 경우 오랜 수문관측 및 관련 연구의 결과로서, 영국에서 일반화 되어있는 홍수량 산정 지침인 FEH(Flood Estimation Handbook, 1999)에서 유역특성인자에 관한 자세한 내용을 다루고 있다. FEH는 5개의 Sub-Program 으로 구성되어 특성치의 정의 및 산정방법에 대하여 소개하고 있으며, Volume 1은 확률홍수량 산정에 관한 개관 및 권고사항, Volume 2는 강우빈도 분석, Volume 3은 홍수빈도 분석을 위한 통계적 절차, Volume 4는 강우-유출관계 모형에 의한 방법(ReFH), Volume 5는 유역특성 매개변수의 산정을 위한 프로그램 등

TABLE 1. Comparison of watershed characteristic factors to UK FEH and Korea WAMIS

Watershed characteristics	Watershed characteristic factors of UK FEH	Applicable watershed characteristic factors to Korea	Raw data
Topographical characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainage area, mean altitude, mean drainage path slope, mean aspect, invariability in aspect</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainage area, basin perimeter, effective basin width, form factor, shape factor, unit shape factor, circularity ratio, elongation ratio, drainage density, finess ratio, relief ratio, relative relief, ruggendness number, basin mean elevation, basin mean slope</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DEM</li> <li>• Watershed boundary</li> </ul>
Stream characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longest drainage path, mean drainage path length</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longest basin length, basin length, total stream length</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stream</li> </ul>
Meteorological characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Average annual rainfall, average annual potential evapotranspiration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Average annual rainfall, average annual potential evapotranspiration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meteorological data</li> </ul>
Soil characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base flow index form the hydrology of soil types classification, proportion of time catchment soils are wet, mean daily soil moisture deficit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Field capacity, permanent wilting point, available water capacity, sand area ratio, clay area ratio, silt area ratio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil</li> </ul>
Land cover characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extend of urban and suburban land cover</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urban area ratio, forest area ratio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Land cover</li> </ul>
Hydrological characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard percentage runoff form the hydrology of soil types classification, index of flood attenuation due to reservoirs and lakes (FARL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curve number (CN), index of flood attenuation due to reservoirs and lakes (FARL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil</li> <li>• Land cover</li> <li>• Reservoir data</li> </ul>

으로 구성되어있다. 물리적인 유역 특성인자에 편중된 경향을 보이고 있는 국내 유역특성인자의 부족한 부분을 보완하기 위해서는 영국의 유역특성인자를 검토할 필요가 있다.

영국 FEH의 표준화된 유역특성인자와 국내 WAMIS의 유역특성인자를 비교검토 하여 국내 유역에 적용 가능한 유역특성인자를 표 1에 정리하였다. 국내의 경우 유역의 물리적인 특성 및 형태적인 특성은 많은 부분 제공되고 있으나, 유역의 수문적인 특성(유역의 호수 및 저수지의 홍수 저감 영향, 기후 및 토양 특성을 반영하는 특성인자 등)은 미흡하다. 이러한 부족한 부분을 보완하고, 국내 유역의 종합적인 특성인자 산정을 위하여 영국의 수문적인 특성인자의 국내 유역적용 가능성을 평가하고, 세부적인 산정 방법에 관한 연구가 필요하다. 또한 유역특성인자들의 수문적인 의미와 이론적인 산정 과정을 검토하고, 유역 홍수량과의 관계 분석을 통하여 국내 유역의 특성을 반영하고 있는지 검증이 필요하다.

## 수문계측정보 및 지형공간정보를 이용한 유역특성인자의 구축

### 1. 전국 수문계측정보 및 지형공간정보 구축

#### 1) 분석단위의 설정 및 기상, 수문, 지형자료 수집

수자원단위지도는 국가차원의 수자원개발, 계획 및 관리업무의 효율적 추진을 위하여 수자원 업무에 활용되는 자료의 수집, 분석과 물 관련 기관 간 자료의 공동 활용을 목적으로 지형공간상에 대권역, 중권역 및 표준유역의 가상의 구역을 설정한 지도이다. 최근 2012년에는 대권역 21개, 중권역 117개, 표준유역 850개로 수정된 수자원단위지도 Ver.3.0이 제작되었다. 본 연구에서는 홍수통제소로부터 가장 최근에 제작된 수자원단위지도 Ver.3.0을 제공받아 사용하였으며, 전국적으로 수자원단위지도의 가장 작은 단위인 표준유역(850개) 기반으로 유역특성인자 정리를 시도하였다.

본 연구에서는 유역특성인자 산정에 활용될 전국 기상, 수문 계측정보를 수집하였다. 전국의 기상관측소는 기상청에서 운영하는 74개 관측소로 과거 30년(1983~2012)의 강우, 온도, 풍속, 일사량, 상대습도 자료를 수집하였다. 또한 전국의 강우자료 수집을 위해서 앞서 구축된 기상청 74개 기상관측소를 포함한 국토해양부 429개 강우관측소 및 수자원공사 163개 강우관측소의 자료를 수집하고 검토하였으며, 전국의 수위관측소는 국토해양부 374개 관측소 및 수자원공사 136개 관측소의 자료를 수집하여 검토하였다.

지형공간정보로 표준유역도 및 하천도는 위에서와 같이 홍수통제소에서 제공받았으며, 그 외 DEM, 토양도 및 토지이용도를 구축하였다. 전국 1:5000 및 1:25,000 NGIS 수치지도를 이용하여 30m DEM을 구축하였고, 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25,000 정밀토양도를 이용하였으며, 토지이용도는 환경부 환경지리정보서비스(<http://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 2007년 중분류 토지이용도를 이용하였다(그림 1). 분석에 앞서 DEM, 토양도 및 토지이용도와 표준유역도를 검토해본 결과 섬지역이나 북한에 인접한 지역은 DEM, 토양도 및 토지이용도 자료가 없는 유역이 존재하였다. 총 850개의 표준유역 중 지형공간정보 Raw data가 없는 지역은 제외하고 최종적으로 전국 795개의 표준유역에 대하여 유역특성인자를 산정하였다.

#### 2) 계측, 미 계측 유역의 구분

이후 전국 홍수량 산정을 위한 매개변수 지역화를 위해 표준유역을 계측 및 미 계측 유역으로 구분하였다. 먼저 표준유역 단위 유역출구 지점에 수위관측소가 존재하는지 여부를 확인하여 1차적인 계측 및 미 계측 유역을 구분하였고, 최근 양질의 시간자료 보유현황과 수위-유량 관계곡선식의 확인, 유출율 등을 추가적으로 검토하여 최종적으로 전국을 계측 및 미 계측 유역으로 구분하였다(그림 2). 최종적으로 선정된 계측유역은 73개이다.

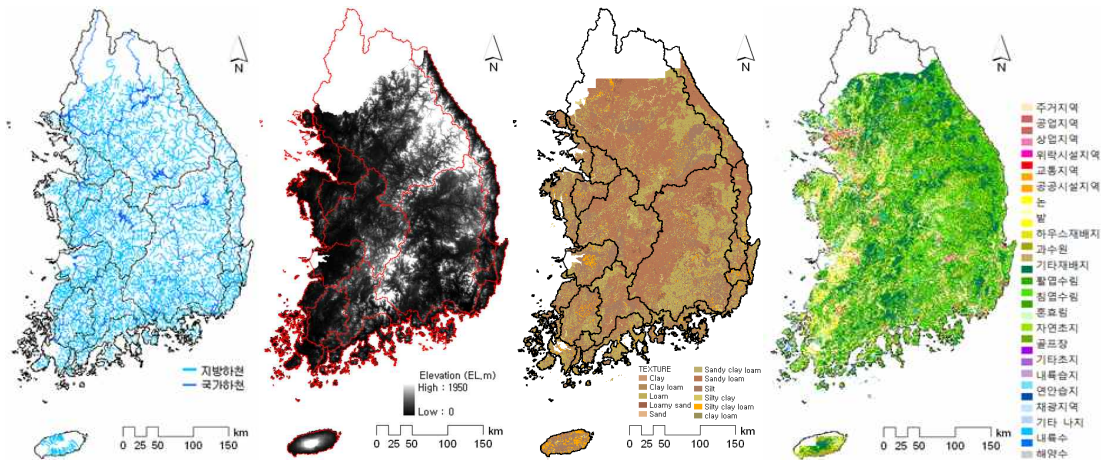


FIGURE 1. Topographical data(stream, DEM, soil, land cover)

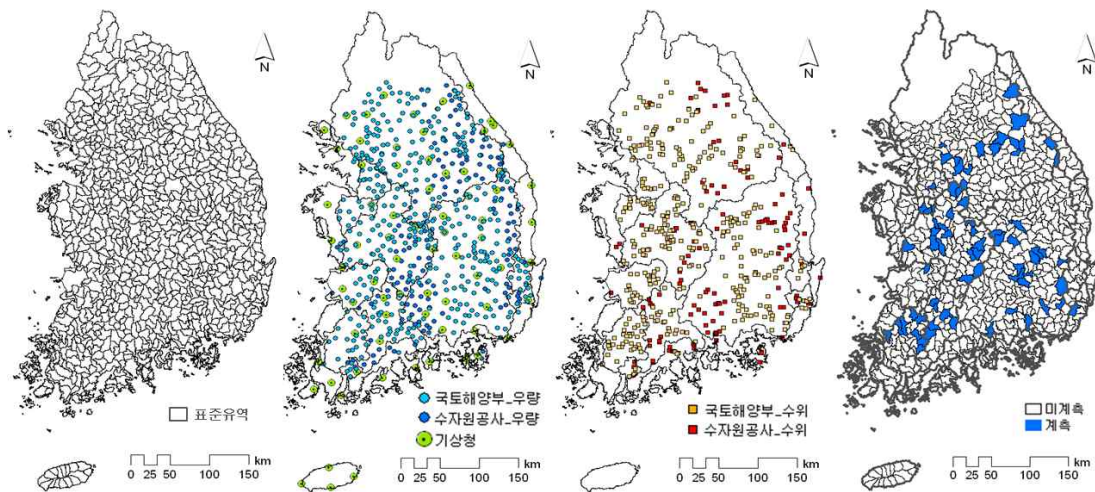


FIGURE 2. Division of gaged and ungaged watershed for standard watersheds of Korea water resources unit map

## 2. 전국 유역특성인자의 구축

앞서 구축된 DEM을 이용하여 먼저 유역의 지형 및 하천특성인자를 산정하였다. 공간자료 중 DEM은 수문분석의 첫 번째 단계에서 사용되는 유역의 물리적이고 형태적인 특성에 관한 유역특성인자를 산정함에 있어서 중요한 자료로서, 유역의 경계와 면적을 추출할 수 있고, 유역 내의 표고, 경사, 방향분포 등을 분석할 수 있다. 또한 하천망을 추출하여 표고값, 흐름

방향, 하천구간별 길이, 경사값 등을 산정할 수 있다(Jung and Kim, 2003).

유역의 지형특성인자로 표준유역별 유역면적, 유역둘레, 유역평균폭, 형상인자, 형상계수, 단일형상계수, 원형비, 세장률, 수계밀도, 섬세비, 기복비, 상대기복, 기복수, 유역평균표고, 유역평균경사를 산정하였으며, 산정공식은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)를 참고하였다.

유역의 하천특성인자로 표준유역별 최원유로



연장, 유로연장, 하천총길이를 산정하였으며, 최원유로연장은 본류 하천을 따라 유역출구점으로부터 유역분수계까지의 거리, 유로연장은 본류 하천을 따라 유역출구점으로부터 지도상에 표시된 하천시작점까지의 거리, 하천총길이는 배수유역에서의 모든 하천길이의 총합을 나타낸다. 그림 3에는 지형 및 하천특성인자를 나타내었다.

유역의 기상특성인자로 표준유역별 연평균과 홍수기로 나누어 강수량 및 잠재증발산을 산정하였다. 연평균 강수량은 과거 10년(2003~

2012)의 연평균 강수량 값을 사용하였고, 연평균 잠재증발산량 산정을 위해 증발산량 산정방법으로 FAO Penman-Monteith 공식 (Verhoef and Feddes, 1991)을 사용하였다. FAO Penman-Monteith 공식은 1990년에 기준작물에 대한 기준증발산량을 추정하는 표준방법으로 채택되었으며, 복합적 기상요인(일사량, 기온, 습도, 풍속)을 고려할 수 있어 비교적 정확성이 높고, 이용 목적에 따라 시간별, 일별, 순별, 월별 단위로 잠재증발산량을 산정할 수 있다.

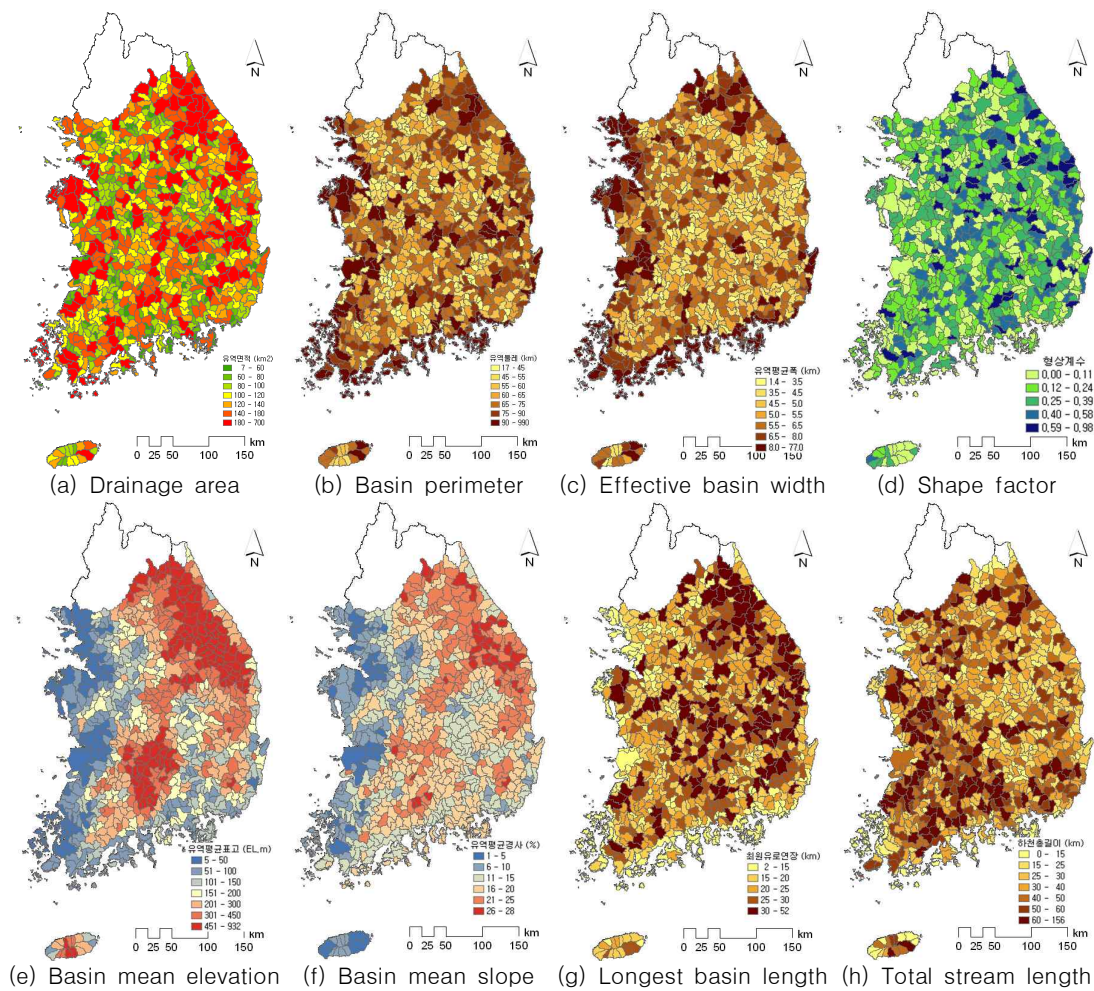


FIGURE 3. Topographical and stream characteristic factors

유역의 토양특성인자로 표준유역별 포장용수량, 영구위조점, 유효토양수분과 같은 토양종류별 수문학적 토양특성을 산정하고 Sand, Clay, Silt에 대한 비율을 산정하였다. Rawls 등 (1982)은 미국 1085개 토양수분 특성자료로부터, Brooks-Corey의 유효포화도-모관수두의 관계를 각각의 토양에 대한 공극분포지수, 기포압력 및 총 공극률 등에 대한 통계분석을 실시하여 제시한 바 있다. 또한 유역의 토지이용특성인자로 표준유역별 도시화비 및 산림면적비를 산정하였다.

유역의 수문특성인자로 유출곡선지수(CN값)

및 영국에서 사용하고 있는 저수지 홍수저감특성계수(FARL)를 산정하였다. 유출곡선지수를 산정하기 위해 토양도상의 토양형별 면적 구분과 토지이용도상의 토지이용별 면적 구분을 중첩시켜 수문학적 토양그룹-토지이용분류도 면적으로 구분하였다. 이후 동일 수문학적 토양그룹-토지이용분류도 면적에 대하여 CN값을 부여한 다음, 면적가중 평균하여 유역의 평균 CN값을 산정하였다. GIS 기법에 의한 CN 산정절차는 그림 4와 같으며, 표준유역별 전국 평균 CN은 65로 분석되었으며, 최저 41~최고 99까지 분석되었다. 그림 5에는 기상, 토양 및 토

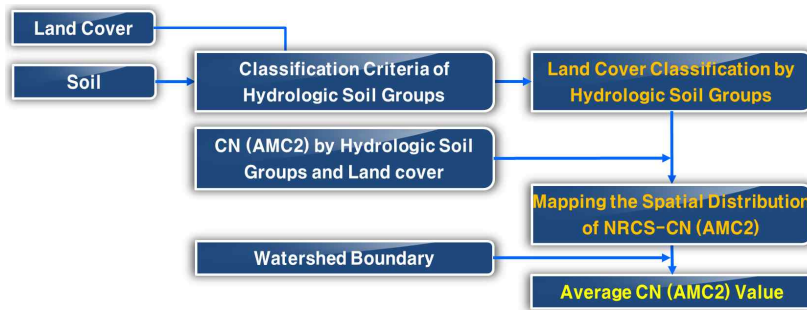


FIGURE 4. Computation process of NRCS-CN using GIS

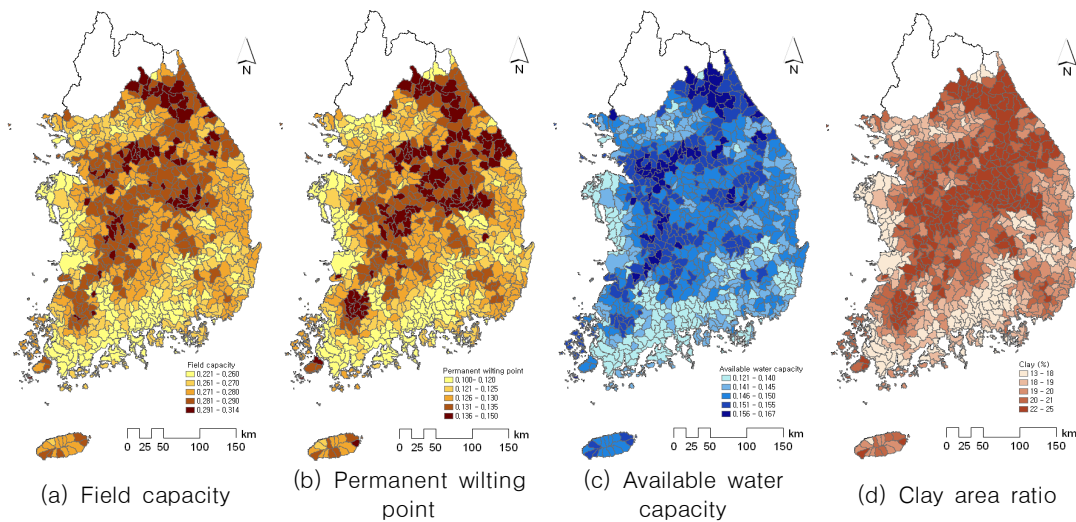


FIGURE 5. Meteorological, soil and lane cover characteristic factors



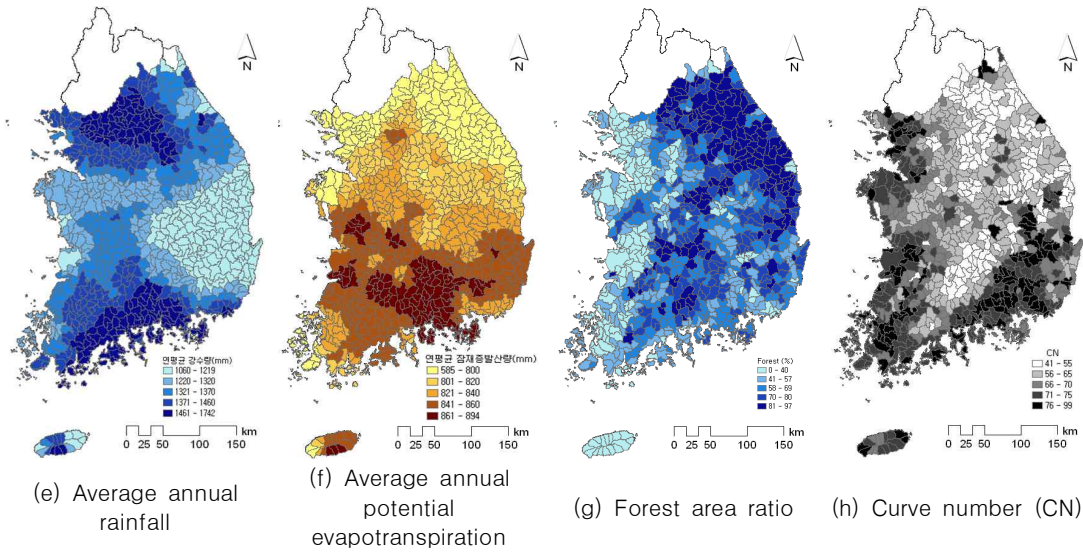


FIGURE 5. Continued

지이용특성인자를 나타내었다.

영국 FEH에서는 유역 내 호소나 저수지에 의한 홍수저감 특성을 나타내는 유역특성인자로서 홍수저감특성계수(Index of Flood Attenuation due to Reservoirs and Lakes; FARL)를 산정하여 제시하고 있다. FARL을 국내실정에 맞게 적용하기 위해 농업용저수지와

다목적댐 자료를 이용하여 홍수저감특성을 분석하고 적용성을 확인해 보았다. 국내의 농업용저수지 17,611개 중 홍수조절 기능을 가지는 일정규모 이상의 농업용저수지 3,372개를 고려하였으며, 5대강 수계의 다목적댐 15개를 고려하여 저수지 홍수저감특성계수를 산정하였다. 산정공식은 저수지 만수면적(surface area) 및

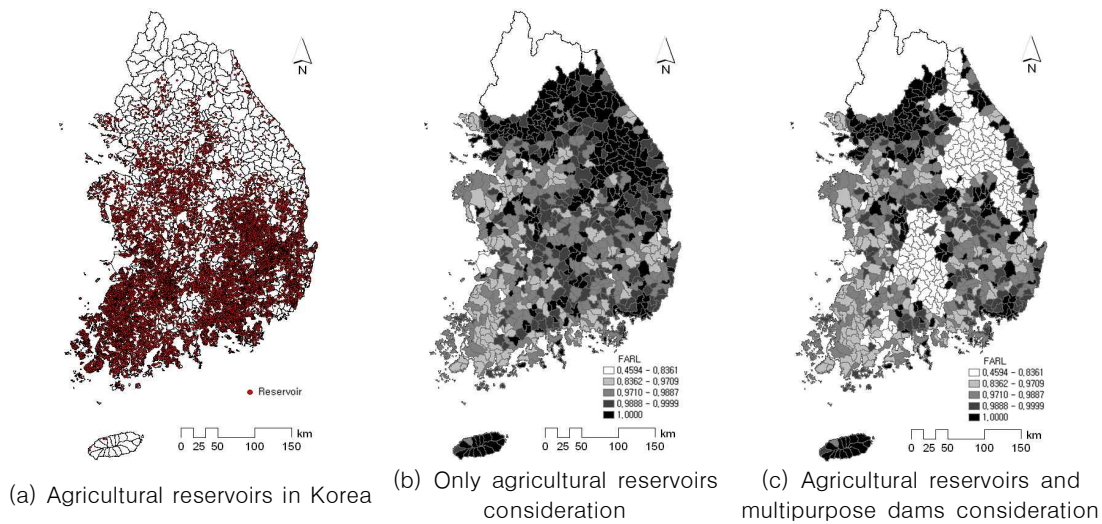


FIGURE 6. Index of flood attenuation due to reservoirs and lakes(FARL)

유역면적(subcatchment area) 자료를 이용하여 다음과 같은 간단한 수식에 의해 계산된다. 하나의 유역에 다중저수지가 존재하거나, 유역의 주요 하천에 위치한 저수지는 유역의 외곽에 고립된 저수지보다 홍수 수문곡선에 많은 영향을 미치게 되므로 이러한 저수지의 위치를 on-line인지 off-line으로 각각 정의하고 가중치가 적용되어 계산된다.

$$\alpha = (1 - \sqrt{r})^w \tag{4}$$

r=surface area/subcatchment area

w=subcatchment area/catchment area

이와 같은 방법으로 산정된 홍수저감특성계수는 0~1값의 범위를 가지며, 홍수저감특성계수가 1이면 홍수조절기능을 가진 저수지가 없는 유역으로 정의된다. 그림 6에는 전국 표준유역별 산정결과를 농업용저수지만을 고려한 경

TABLE 2. Statistic summary of watershed characteristic factors for five major rivers

Watershed characteristic factors	Whole country				Major river basin				
	Min.	Avg.	Max.	Standard deviation	Han river	Nakdong river	Geum river	Seomjin river	Yeongsan river
Drainage area(km <sup>2</sup> )	7.5	123.5	700.5	63.6	129.8	116.7	131.6	125.9	112.3
Basin perimeter(km)	17.7	70.1	989.9	49.7	64.8	67.2	70.4	94.2	77.4
Effective basin width(km)	1.4	6.1	76.2	5.0	6.1	5.4	6.5	7.6	7.0
Form factor	0.067	0.428	16.457	1.008	0.440	0.338	0.415	0.674	0.555
Shape factor	0.004	0.264	0.980	0.193	0.278	0.274	0.249	0.247	0.227
Unit shape factor	0.247	2.034	3.857	0.580	2.027	2.125	2.040	1.878	1.835
Circularity ratio	0.007	0.364	0.677	0.116	0.402	0.350	0.366	0.290	0.356
Elongation ratio	0.024	0.294	8.350	0.656	0.248	0.248	0.417	0.264	0.403
Drainage density	0.013	0.326	1.870	0.139	0.294	0.309	0.370	0.376	0.363
Finess ratio	0.007	0.347	0.749	0.115	0.362	0.355	0.349	0.292	0.317
Relief ratio	0.004	0.036	0.174	0.018	0.039	0.039	0.026	0.029	0.043
Relative relief	0.001	0.012	0.037	0.006	0.014	0.012	0.009	0.008	0.013
Ruggendness number	0.007	0.229	0.821	0.117	0.229	0.233	0.211	0.200	0.275
Basin mean elevation(EL.m)	10.7	239.7	931.9	189.1	320.0	243.0	164.1	87.6	239.3
Basin mean slope(%)	1.3	15.4	28.2	6.0	16.6	16.6	12.7	10.6	10.6
Longest basin length(km)	2.4	22.1	52.0	8.6	22.7	22.8	22.4	18.7	20.3
Basin length(km)	0.1	3.2	13.4	2.5	3.5	3.3	3.0	2.6	3.0
Total stream length(km)	1.4	38.1	156.4	21.0	35.9	34.7	45.7	39.1	43.2
Average annual rainfall(mm)	943.7	1338.8	1736.3	128.0	1257.2	1311.6	1454.3	1390.1	1338.8
Average annual potential evapotranspiration(mm)	585.8	824.9	894.4	39.0	840.2	840.5	854.3	833.8	824.9
Flood season rainfall(mm)	848.3	1121.0	1358.0	121.0	1053.2	1094.9	1188.4	1101.7	1121.0
Flood season evapotranspiration(mm)	462.0	551.3	589.9	34.0	556.0	561.2	560.4	546.1	551.3
Sand area(%)	20.7	35.3	52.7	5.0	32.7	36.6	33.9	40.5	35.6
Clay area(%)	14.0	19.8	25.3	1.9	20.7	19.3	20.1	18.3	19.9
Silt area(%)	33.3	44.8	55.3	3.5	46.5	43.8	46.0	40.9	44.6
Permanent wilting point	0.100	0.127	0.150	0.008	0.130	0.125	0.127	0.120	0.126
Field capacity	0.222	0.273	0.314	0.014	0.280	0.270	0.275	0.258	0.272
Available water capacity	0.122	0.146	0.167	0.007	0.150	0.145	0.148	0.139	0.146
Forest area(%)	3.4	61.3	97.2	20.8	65.8	65.0	52.8	63.8	42.9
Urban area(%)	0.0	6.6	76.1	10.0	8.4	6.0	6.5	3.6	6.0
FARL	0.000	0.929	1.000	0.109	0.937	0.949	0.878	0.909	0.948
CN	41	66	85	10	61	67	66	69	74

우와 다목적댐을 같이 고려한 경우를 비교하여 나타내었다. 전국 농업용저수지의 분포와 상당히 일치하는 것으로 나타났으며 다목적댐을 고려한 경우가 댐 유역의 홍수저감능력이 향상되었음을 확인하였다.

앞서 구축된 전국 795개 표준유역의 30개 유역특성인자에 대한 기술통계량을 권역별로 정리하여 표 2에 나타내었다.

## 다변량 통계분석을 이용한 전국 유역특성인자의 분석

본 연구에서는 전국 유역특성인자의 분석을 위해 다변량 통계분석을 이용하였다. 지형, 수문, 기상자료로부터 다양한 유역특성인자를 추출하고 분석한 결과는 앞서 제시하였다. 이후 다변량 통계분석 방법 중 요인분석을 이용하여 국내 표준유역 단위로 산정된 유역특성인자들의 상관관계를 검토하여 동일한 정보를 제공하고 있는 특성인자를 배제하고, 유역을 특성으로 특징적으로 표현하는 대표 유역특성인자들을 추출하였다. 이후 요인분석의 성분점수를 이용한 계층적 군집분석 통하여 전국의 표준유역을 수문학적으로 유사성 있는 유역으로 군집화 하였다.

### 1. 요인분석을 통한 대표 유역특성인자 도출

본 연구에서는 요인분석을 위하여 주성분분석을 적용하였으며, 분석을 위한 자료는 앞서 795개 표준유역에 대하여 구축된 30개의 유역 특성인자이다. 먼저 30개 변수를 모두 사용하여 요인분석을 수행한 결과 고유값(Eigenvalue)이 1.0 이상인 주성분은 7개로 나타났으며, 7개 주성분에 대한 설명력을 나타내는 누가분산비는 78.6%로 산정되었다. 분석 결과 유사한 특성을 나타내는 변수들이 많고, 변수들의 공통적인 특성이 뚜렷하게 나타나지 않으므로 통계적 기법으로 유형을 분류하고 결과를 설명하는데 충분치 않을 수 있다고 판단

되었다. 따라서 중복변수를 제거해 가면서 변수들의 공통적인 특성이 뚜렷하게 나타날 때까지 요인분석을 반복하였다. 2차 요인분석 결과 주성분은 변수는 16개, 주성분은 5개로 나타났고 설명력은 81.4%였으며, 3차 요인분석을 수행한 결과 최종적으로 12개의 변수가 선정되었고 30개 변수를 모두 적용했을 때 보다 더 향상된 88.3%의 설명력을 갖는 3개의 주성분이 추출되었다. 추출된 3개의 주성분은 변수들의 특성이 뚜렷하게 나타났다. 추출된 제 1성분은 Sand 비율, Clay 비율, Silt 비율, 영구위조점, 포장용수량, 유효토양수분과 높은 상관성을 보이므로 유역의 토양특성과 관련이 있고, 제 2성분은 유역의 평균표고, 평균경사, 산림면적비와 높은 상관성을 보이므로 유역의 위치와 관련이 있으며, 제 3성분은 유역면적, 둘레, 평균폭과 높은 상관성을 보이므로 유역의 크기에 밀접한 관련이 있음을 예상할 수 있었다.

이와 같이 12개의 변수로 요인분석을 실시한 결과 설명력은 88.3%로 우수하게 나왔지만, 추출된 변수를 보면 통계학적인 한계로 인해 수문학적으로 중요한 의미가 있는 변수들이 많이 누락되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수문학적으로 중요한 변수로 판단되는 4개 변수(강수량, 잠재증발산량, 유출곡선지수, 홍수저감특성계수)를 추가하여 16개의 변수로 주성분분석을 재실시하였다. 그 결과는 표 3과 같으며, 78.0%의 설명력을 갖는 4개의 주성분이 추출되었다. 이중 유출곡선지수는 토양도 및 토지이용과 관련된 변수로 유역의 위치와 관련이 있는 제2성분으로 묶여졌고, 나머지 강수량, 잠재증발산량, 유출곡선지수, 홍수저감 특성계수는 새롭게 추가된 제4성분으로 묶여졌는데 이 성분은 유역의 기상 또는 수문학적 특성과 밀접한 관련 있는 것으로 나타났다. 이후 연평균강수량과 연평균증발산량 변수에 대해 홍수기(6월~9월)에 해당하는 기간으로 강수량과 증발산량을 변수를 재산정하여 주성분분석을 실시하였다. 그 결과 표 4와 같이 홍수기의

TABLE 3. Factor analysis result for 16 variables of watershed characteristic factor using average annual rainfall and potential evapotranspiration

Watershed characteristic factors	R <sup>2</sup> <sup>1)</sup>	Factors				Characteristic
		1	2	3	4	
Sand area(%)	0.98	-0.986	-0.054	0.000	0.084	Topographical
Clay area(%)	0.88	0.912	0.203	0.003	-0.064	
Silt area (%)	0.89	0.940	-0.052	-0.001	-0.090	
Permanent wilting point	0.87	0.902	0.223	-0.021	-0.055	
Field capacity	0.99	0.981	0.135	-0.013	-0.074	
Available water capacity	0.93	0.960	0.019	0.000	-0.089	
Basin mean elevation(EL.m)	0.85	0.164	0.907	0.004	0.015	Watershed location
Basin mean slope(%)	0.89	0.005	0.940	-0.035	0.013	
Foreat area(%)	0.87	0.002	0.930	-0.065	-0.028	
CN <sup>2)</sup>	0.57	-0.368	-0.611	0.009	0.251	Watershed size
Drainage area(km <sup>2</sup> )	0.64	0.059	0.194	0.777	-0.014	
Basin perimeter(km)	0.85	-0.042	-0.104	0.914	0.007	
Effective basin width(km)	0.85	-0.056	-0.191	0.899	0.077	
Average annual rainfall(mm) <sup>2)</sup>	0.08	-0.066	-0.052	0.037	0.266	Meteorological and hydrological
Average annual potential evapotranspiration(mm) <sup>2)</sup>	0.60	-0.282	-0.268	-0.212	0.638	
FARL <sup>2)</sup>	0.74	-0.167	-0.396	-0.130	-0.734	
Eigenvalue	-	6.2	3.0	2.3	1.0	
Variance (%)	-	38.6	18.5	14.4	6.5	-
Cumulative variance(%)	-	38.6	57.1	71.5	78.0	-

1) R<sup>2</sup> : coefficient of determination value with equivalent variable and remaining variables

2) Added variables owing to hydrological meaningful variables

TABLE 4. Factor analysis result for 16 variables of watershed characteristic factor using flood season rainfall and potential evapotranspiration

Watershed characteristic factors	R <sup>2</sup> <sup>1)</sup>	Factors				Characteristic
		1	2	3	4	
Sand area(%)	0.98	-0.988	-0.054	0.002	-0.034	Topographical
Clay area(%)	0.88	0.916	0.204	0.007	0.013	
Silt area(%)	0.89	0.942	-0.052	-0.006	0.041	
Permanent wilting point	0.87	0.907	0.224	-0.014	-0.013	
Field capacity	0.99	0.985	0.135	-0.010	0.010	
Available water capacity	0.93	0.963	0.019	-0.003	0.037	
Basin mean elevation(EL.m)	0.85	0.159	0.905	0.001	0.048	Watershed location
Basin mean slope(%)	0.89	0.008	0.942	-0.034	0.011	
Foreat area(%)	0.87	0.009	0.930	-0.067	0.002	
CN <sup>2)</sup>	0.55	-0.388	-0.603	0.033	-0.173	Watershed size
Drainage area(km <sup>2</sup> )	0.65	0.063	0.192	0.777	-0.038	
Basin perimeter(km)	0.85	-0.041	-0.100	0.915	0.036	
Effective basin width(km)	0.85	-0.065	-0.184	0.898	0.035	
Average annual rainfall(mm) <sup>2)</sup>	0.37	-0.025	0.099	-0.047	0.597	Meteorological and hydrological
Average annual potential evapotranspiration (mm) <sup>2)</sup>	0.62	-0.180	-0.098	-0.205	-0.734	
FARL <sup>2)</sup>	0.48	-0.100	-0.424	-0.170	0.510	
Eigenvalue	-	6.1	3.0	2.3	1.2	
Variance(%)	-	37.8	18.5	14.4	7.4	-
Cumulative variance(%)	-	37.8	56.4	70.8	78.2	-

1) R<sup>2</sup> : coefficient of determination value with equivalent variable and remaining variables

2) Added variables owing to hydrological meaningful variables

경우 강수량에 대하여 결정계수( $R^2$ )가 0.08에서 0.60으로, 증발산량은 0.37에서 0.62로 이전보다 높게 분석되었다. 추출된 4개의 성분에 대한 설명력도 78.2%로 상승하였다. 따라서 이후 군집분석에는 홍수기 강수량과 증발산량을 이용한 주성분분석 결과를 이용하였다.

## 2. 군집분석을 통한 유역특성 군집화

본 연구에서는 구축된 유역특성인자들의 요인분석결과로 산정된 요인의 주성분 점수를 이용하여, 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 이용한 Ward 방법을 이용하여 계층적 군집분석을 실시하였다. 유클리디안 거리는 각 대상이 지니고 있는 특성에 대한 특정치를 거리로 환산하는 방법으로, 총 795개 표준유역 중 73개의 계측유역에 대한 미 계측 유역간의 유클리디안 거리를 각각 계산하였다. 그림 7(a)에는

73개의 각각의 계측 유역에 대하여 수문학적으로 유사한 미 계측유역이 군집화 된 결과를 나타낸 그림이다. 1번~17번 유역은 한강권역, 18~37번 유역은 낙동강권역, 38~59번 유역은 금강권역, 60~65번 유역은 섬진강권역, 66~73번 유역은 영산강권역의 계측유역으로, 같은 권역에 속한 유역들이 수문학적으로 유사한 특성을 갖는 것으로 분석되었다. 그림 7(b)에는 군집화 과정에서 동일권역 내에 포함되어 묶인 결과를 나타내었다. 한강의 경우 87%, 낙동강은 69%, 섬진강은 52%로 반 이상이 동일권역 내에서 군집화가 이루어 졌고, 금강의 경우 41%, 영산강의 경우 27%로 동일권역 내 유역의 유사성이 다소 떨어지는 것을 알 수 있었다. 표 5에는 권역별로 군집화 된 표준유역의 수를 나타내었다.

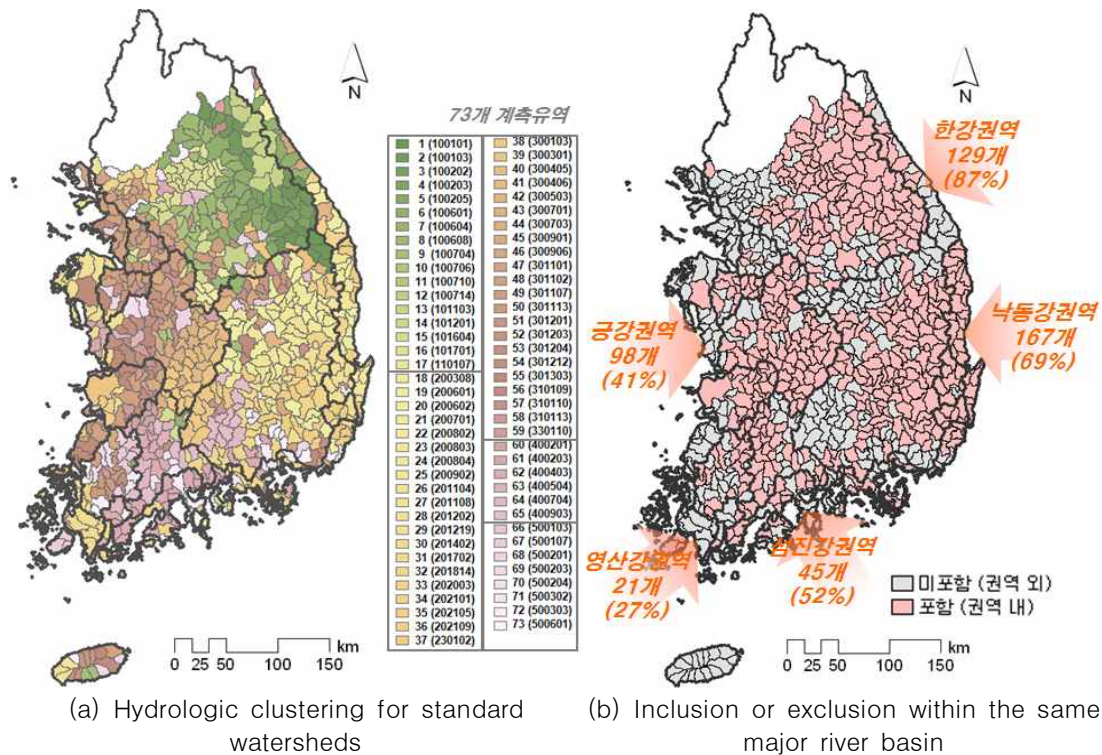


FIGURE 7. The results of hydrologic clustering



TABLE 5. Number of clustered standard watersheds within five major rivers

Major river basin	Gaged watershed	Standard watershed	Major river basin					
			Han river	Nakdong river	Geum river	Seomjin river	Yeongsan river	Jeju
Han river	17	148	129	9	3	3	2	2
Nakdong river	20	242	27	167	21	12	12	3
Geum river	22	240	62	45	98	5	22	8
Seomjin river	6	87	4	24	9	45	5	0
Yeongsan river	8	78	14	26	6	8	21	3
Total	73	795	236	271	137	73	62	16

## 요약 및 결론

본 연구에서는 전국의 유역특성인자 분석을 위해 기상, 수문 계측정보 및 지형공간정보를 수집하여 표준유역별 지형, 기상, 수문학적 유역특성인자를 산정하고, 다변량 통계분석을 통해 계측유역에 대하여 수문학적으로 유사한 유역으로 미 계측 유역을 군집화 하여 전국 유역 특성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 전국 유역특성인자 산정에 앞서 영국 FEH의 표준화된 유역특성인자와 국내 WAMIS를 비교 검토하여 국내 적용 가능한 지형, 하천, 기상, 토양, 토지이용 및 수문학적 유역특성인자 30개를 선정하였다. 이후 분석단위를 수자원 단위지도 기반의 전국 표준유역으로 설정하고, 전국 강우관측소 및 수위관측소의 자료를 수집하고 양질의 자료보유현황을 검토하여 전국을 계측 및 미 계측 유역으로 구분하였다.

둘째, 유역특성인자 산정을 위해 DEM, 하천도, 토지이용도 및 정밀도양도를 수집하였다. 이를 이용하여 총 850개의 표준유역 중 자료가 없는 유역을 제외한 795개 표준유역에 대해 지형학적 유역특성인자(유역면적, 유역둘레, 유역평균 폭, 형상계수, 형상인자, 원형비, 세장률, 수계밀도, 섬세비, 기복비, 상대기복, 기복수, 유역평균표고, 유역평균경사, 하천총길이, 최원 유로연장, 유로연장 등), 기상·수문학적 유역특성인자(연평균 강수량, 연평균 잠재증발산량, 포장용수량, 영구위조점, 유효토양수분량, 도시화 비, 산림면적 비, 유출곡선지수, 저수지 홍수저감특성계수 등)를 구축하였다.

셋째, 특히 영국에서 사용되는 홍수저감특성계수를 국내유역에 대하여 산정하고 적용성을 검토하였다. 국내유역의 농업용저수지와 다목적댐 자료를 이용하여 홍수조절능력에 따른 홍수저감특성을 분석한 결과, 전국 농업용저수지와 다목적댐에 의해 홍수저감능력이 향상되었음을 확인하였다.

넷째, 이후 다변량 통계기법인 요인분석을 통해 앞서 구축한 유역특성인자들 간의 상관관계를 분석하여 각 유역을 특징짓는 16개의 대표 유역특성인자들을 추출하였고, 군집분석을 통해 계측 유역에 대하여 수문학적으로 유사한 미 계측 유역을 군집화 하였다. 그 결과 각 권역별로 동일권역 내 포함되어 군집화 된 경우가 한강이 87 %로 가장 많았고 모든 권역이 동일권역에서 가장 많은 군집화가 이루어졌다.

본 연구에서는 국내 유역의 종합적인 특성인자 산정을 위하여 영국의 사례를 적용하여 유역의 물리적인 특성 및 형태적인 특성에 편중되어 있는 국내 유역특성인자를 보완하고, 상대적으로 부족한 수문적인 특성인자를 산정하여 국내 유역 적용가능성을 평가하였다. 또한 통계분석을 통한 본 연구의 계측, 미 계측 유역의 군집화 방법 및 결과는 미계측유역의 홍수량 산정을 위한 매개변수 지역화 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Centre for Ecology & Hydrology. 1999. Flood Estimation Handbook. Wallingford,

- U.K.
- Hwang, E.H., H.J. Kwon, G.S. Lee, B.H. Yu and D.K. Koh. 2008. System development for automatic extraction and analysis of hydrology-related watershed characteristic data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(3):1-12 (황의호, 권형중, 이근상, 유병혁, 고덕구. 2008. 수문학적 유역특성자료 자동화 추출 및 분석시스템 개발(1). *한국지리정보학회지* 11(3):1-12).
- Jung, I.K. and S.J. Kim. 2003. Comparison of DEM preprocessing method for efficient watershed and stream network extraction. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 23(3D):393-400 (정인균, 김성준. 2003. 효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM 전처리방법의 비교. *대한토목학회지* 23(3D):393-400).
- Kwon, H.J., E.H. Hwang, G.S. Lee, B.H. Yu and D.K. Koh. 2008. Application of the developed pre- and post-processing system to Yongdamdam watershed using PRMS hydrological model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(3):13-22 (권형중, 황의호, 이근상, 유병혁, 고덕구. 2008. 수문학적 유역 특성자료 자동화 추출 및 분석시스템 적용(2) -PRMS 모형을 이용한 용담댐 유역을 대상으로-. *한국지리정보학회지* 11(3):13-22).
- Lee, B.J., I.W. Jung and D.H. Bae. 2009. Parameter regionalization of semi-distributed runoff model using multivariate statistical analysis. *Journal of the Korea Water Resources Association* 42(2):149-160 (이병주, 정일원, 배덕효. 2009. 다변량 통계분석을 이용한 준분포형 유출모형 매개변수 지역화. *한국수자원학회지* 42(2):149-160).
- Lee, H.S. and Y.I. Moon. 2007. Application of rainfall runoff model for an ungauged catchment. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 27(5B):489-498 (이효상, 문영일. 2007. 미 측정 지역의 강우 유출 모델의 적용. *대한토목학회지* 27(5B):489-498).
- Lee, S.H. and S.U. Kang. 2007. A parameter regionalization study of a modified tank model using characteristic factors of watersheds. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 27(4B):379-385 (이상호, 강신욱. 2007. 유출특성인자를 이용한 수정탱크모형 매개변수의 지역화. *대한토목학회지* 27(4B):379-385).
- Quarda, T.B. M.J. Bâ, K.M. Diaz-Delgado, C. Cârsteanu, A. Chokmani, K. Gingras, H. Quentin, E. Trujillo and B. Bobée. 2008. Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *Journal of Hydrology* 348:40-58.
- Rao, A.R. and V.V. Srinivas. 2006. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology* 318:37-56.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek and K.E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25:1316-1320.
- Verhoef, A. and R.A. Feddes. 1991. Preliminary review of revised FAO radiation and temperature methods.

Food and Agricultural Organization,  
Land and Water Development Division,  
Rome, Italy. 116pp.

Zhang, J. and M.J. Hall. 2004. Regional

flood frequency analysis for the  
Gan-Ming river basin in China. *Journal  
of Hydrology* 296:98-117. [KAGIS](#)