

금강 유역을 대상으로 한 GIS 기반의 유역의 유사성 평가

Catchment Similarity Assessment Based on Catchment Characteristics of GIS in Geum River Catchments, Korea

이효상* · 박기순** · 정성혁*** · 최석근****

Lee, Hyo Sang · Park, Ki Soon · Jung, Sung Heuk · Choi, Seuk Keun

要 旨

유역의 수문학적 유사성 평가는 계측지역의 홍수량 정보를 미계측 유역에서 활용하는 지역화 연구의 기초로서 다양하게 연구되고 있다. GIS 기반의 유역 특성인자를 기반으로 대표적인 수문학적 거리산정법을 활용하여 금강유역의 25개 소유역을 대상으로 유역 그룹화를 수행하고, 이를 유황곡선의 관련 계수(저류계수, 갈수계수, 홍수계수, 풍수계수, 유황계수, 하상계수)를 바탕으로 한 결과와 비교하여 유역 유사성 평가의 효용성을 확인하였다. 수문학적 거리산정을 위하여 영국의 FEH(Flood Estimation Handbook)에서 제안하는 유클라디안 거리법을 적용하였으며, 유황관련계수의 군집화를 위하여 SPSS프로그램을 사용하여 계층적 군집분석의 Ward법을 적용하였다. 유역 그룹화를 수행한 결과 유역특성인자를 반영한 수문학적 거리(유사성 척도)에 의한 그룹은 총 3개(H1, H2, H3)이며, 유황관련계수에 의한 그룹은 총 4개(F1, F2, F3, F4)로 분류되었다. 두 그룹들을 대응하여 비교분석한 결과 H1그룹의 7개 유역 중 6개 유역과 H3의 모든 유역이 F1그룹과 대응하였고 H2그룹의 5개 유역 중 4개 유역이 F2그룹과 대응하였으므로 본 연구의 유사성 척도에 의한 유역 그룹화가 효용성이 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 유역특성인자, 동질성, 그룹화, 유황곡선

Abstract

Similarity measure of catchments is essential for regionalization studies, which provide in depth analysis in hydrological response and flood estimations at ungauged catchments. However, this similarity measure is often biased to the selected catchments and is not clearly explained in hydrological sense. This study applied a type of hydrological similarity distance measure-Flood Estimation Handbook to 25 Geum River catchments, Korea. Three Catchment Characteristics, Area(A)-Annual precipitation(SAAR)-SCS Curve Number(CN), are used in Euclidian distance measures. Furthermore, six index of Flow Duration Curve are applied to clustering analysis of SPSS. The catchments' grouping of hydrological similarity measures suggests three groups (H1, H2 and H3) and the four catchments are not grouped in this study. The clustering analysis of FDC provides four Groups; F1, F2, F3 and F4. The six catchments (out of seven) of H1 are grouped in F1, while Sangyeogyo is grouped in F2. The four catchments (out of six) of H2 are also grouped in F2, while Cheongju and Guryong are grouped in F1. The catchments of H3 are categorized in F1. The authors examine the results (H1, H2 and H3) of similarity measure based on catchment physical descriptors with results (F1 and F2) of clustering based on catchment hydrological response. The results of hydrological similarity measures are supported by clustering analysis of FDC. This study shows a potential of hydrological catchment similarity measures in Korea.

Keywords : Catchment Characteristics, Similarity, Classification, Flow Duration Curve.

2013년 8월 6일 접수, 2013년 9월 12일 수정, 2013년 9월 23일 채택

* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 조교수(Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, hyosanglee@cbnu.ac.kr)

** 충북대학교 토목공학과 석사과정(Master's course, Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, yoosjin@gmail.com)

*** 정희원 · 충북대학교 토목공학과 겸임교수(Member, Adjunct Professor, Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, idealharry@gmail.com)

**** 교신저자 · 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수(Corresponding author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, skchoi@cbnu.ac.kr)

1. 서론

GIS는 지형공간정보를 정확하게 취득하여 홍수 등과 같은 방재나 대규모 건설공사 등에 적용하여 그 특성을 분석함으로써 필요한 정보를 신속하고 정확하게 제공할 수 있는 기법이다.

최근 국내의 주요 하천들은 4대강 살리기 사업 및 고향의 강 살리기 사업 등을 통하여 홍수 및 갈수 관리의 능력이 향상되고 있다(Lee, 2011). 그러나 여전히 국토의 많은 부분을 차지하고 있는 중소 규모의 하천은 미계측 유역으로 분류되며, 이러한 유역의 홍수량 산정은 여전히 많은 불확실성을 포함하고 있다.

계측 유역의 수문량 산정 방법을 미계측 유역에 적용하기 위하여 매개변수 산정공식 및 지역화 모형 등 다양한 기법 등이 적용되고 있다. 그러나 이러한 방법을 정확히 적용하기 위해서, 계측 유역과 대상이 되는 미계측 유역이 수문학적으로 어느 정도 유사한지를 평가할 필요성이 있다. 본 연구에서는 GIS 기반의 유역의 유역 특성인자 및 수문환경 등을 바탕으로 금강 유역 25개소의 계측 유역을 대상으로 수문학적 유사성을 평가하고, 이를 바탕으로 한 수문학적 그룹화를 수행하였다.

GIS를 이용한 유역특성분석은 GIS에 기반하여 유역 배수밀도의 공간분포도를 작성하였고(Kim, et al., 2010), 댐유역의 홍수예측을 위하여 GIS를 이용한 분포형모형과 집중형모형의 유출해석을 비교하였으며(Park, et al., 2006), GIS를 이용하여 지형특성인자를 추출한 후 최적 유출계수를 결정하는 등(Choi, et al., 2008) 많은 분야에서 이용되었다.

유역의 수문학적 유사성에 관한 연구는 미국과 유럽에서 폭넓게 연구되고 있으며, Wagener 등은 다양한 연구동향을 폭넓게 소개하고 있다. 수문학적 유역 유사성평가는 유역의 유출특성 등 유사한 특성을 가진 유역을 그룹화하여 이를 분석하는 것이 일반적이며, 유역의 기후 특성이나, 유역의 토지 피복, 유역 저류량 및 유역의 수문응답에 따른 유역 그룹화연구가 활발히 진행 중에 있다(Wagener et al., 2007). 이를 통하여 유역의 변동성을 예측하기 위한 기초 자료로 활용된다(McDonnell and Woods 2004).

가장 폭넓게 적용되고 있는 유역 특성인자의 수문학적 거리 산정 방법은 영국의 홍수량 산정 방법에서 표준 방법으로 적용되고 있다(Flood Estimation Handbook, 1999). 이는 유역의 특성인자 간(예, 유역 면적, 표준기간의 연평균강우량 및 토양 특성을 반영한 지하수 유출비)의 유클리디안 거리를 산정하여, 이를 객관적인 수치(예, 0.5 이하는 동일한 그룹으로 활용 등)로 제시하

고, 이를 홍수량 산정을 위한 유역 그룹화에 적용하고 있다.

Bloschl et al.,(2004)은 미계측 유역의 지역화 연구에서 강우 유출모형변수의 미계측 유역 적용을 위한 유역의 유사성을 평가 하였다. 유역 모형 매개변수들의 지역화를 위해 11개의 매개변수를 포함하는 개념적인 모형을 사용하여 오스트리아에 위치한 308개의 유역의 물수지 분석을 시행하였다. 또한 미계측 유역의 모형 매개변수들을 산정하는 유역분류 기법들을 비교하였다. 미계측 유역의 적용 결과 가장 최상의 성능은 상-하류 관계의 유역, 또는 인접한 유역으로 분류된 유역의 평균적인 매개변수를 사용하는 방법인 것을 확인하였다. Sawicz (2011)은 강우에 대한 유역들의 반응으로 유역의 유사성을 확인하였고, 도출되어진 수문학적 유사성을 유역 분류에 대한 기초 자료로 활용하였다. 이 연구를 통해 공간적인 근접성은 수문학적 유사성을 평가하는 데 가장 신뢰도가 높은 지표임을 확인하였다. 이러한 지역적인 분포는 수문학적 유사성을 평가 할 때 가장 우선적으로 고려하여야 특성이다.

국내에 수문학적 유역의 동질성·유사성에 따른 유역 그룹화 연구는 다양하게 이루어져 왔다. 동일 수계 및 유사한 지형학적 특성을 보이는 유역들을 대상으로 과거 가지야마의 공식 이래로 홍수지표를 지역화 한 연구 부분이 2000년대 이전에 꾸준히 이루어졌고 2000년 이후, 유행곡선 및 강우 유출모형의 지역화 연구가 이루어지고 있다. 유행곡선은 유역을 장기간의 유출수문 자료로 분석한 것으로 유역의 특성을 나타내는 지표로서 이를 세부적으로 연구하여 다양한 특성인자와 계수를 제안한 연구는 Park(2003)과 Lim(2012)가 대표적이다.

본 연구에서는 GIS 기반의 유역 특성인자를 기반으로 유역 유사성을 평가하고, 이를 유행곡선의 관련 계수(하상계수, 유행계수, 홍수계수, 갈수계수, 저류계수, 풍수계수)를 바탕으로 한 유역 군집화 결과와 비교하여 유역 유사성 평가 방법을 제시하였다.

2. 연구대상지역 현황

금강 25개 소유역(대청댐 상류-12개, 미호천-5개, 갑천-3개, 금강하류-5개)을 대상으로 유역특성인자 및 최근 10년(2002.1.1-2011.12.31)의 유량자료를 바탕으로 유역유사성을 평가한다.

금강은 사계절이 뚜렷한 온대 대륙성 기후대의 한반도 중부권역에 위치하고 있다. 유역의 연 평균 기온은 11.5℃(대청댐 기준)이며, 연 평균 강우량은 약 1285

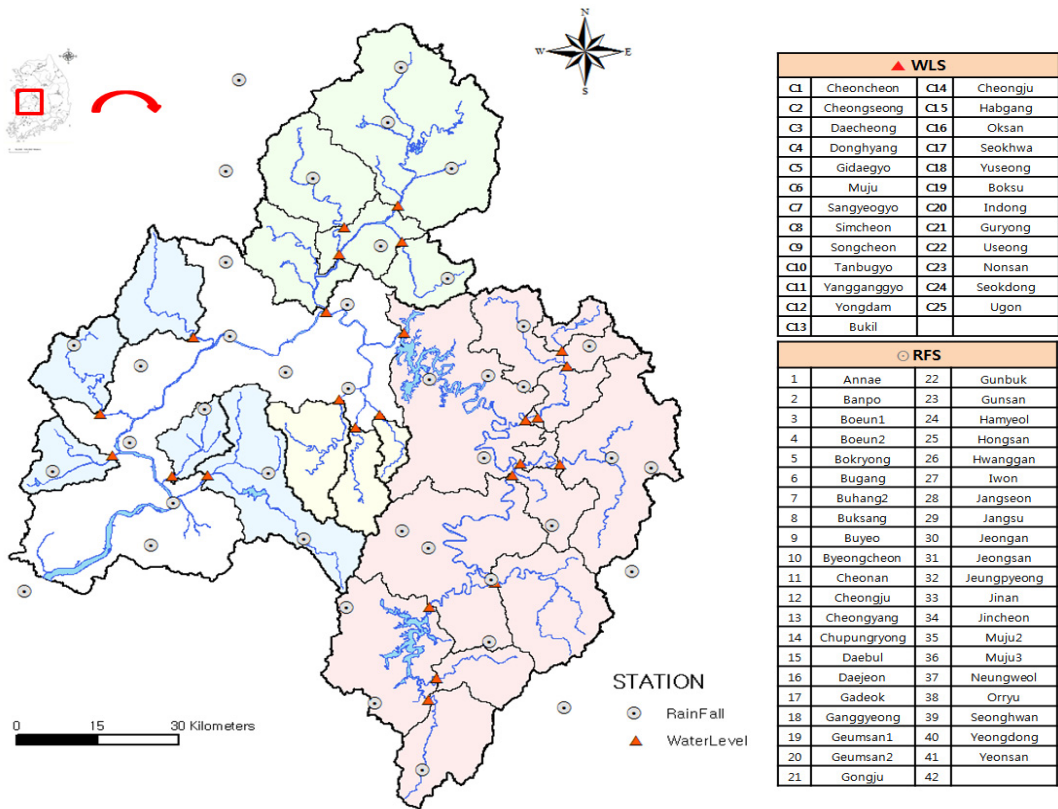


Figure 1. Study catchment and flow data period in Geum River region

mm이며 강우의 대부분이 6~9월에 집중되는 전형적인 한반도 중부권역의 기후 특성이다(Ministry of Land, 2002).

본 연구에서 활용한 계측 유역의 수위 관측소는 총 25개(대청댐 상류:12개, 미호천:5개, 갑천:3개, 대청댐 하류:5개)이며 각 수위 관측소를 유출구로 유역을 GIS 분석을 통하여 산정하였다. 금강 본류에 위치하는 수위 관측소를 유출구로 하는 유역들은 대청댐 상류에 4개(천천, 용담, 양강, 대청댐), 미호천에는 3개(북일, 석화, 함강)가 있으며 이들 유역은 상류 및 지류 유역들을 모두 포함한다. 금강 유역도와 25개의 소유역의 현황은 Fig. 1과 같다. 일자료는 최소 2009년부터 최대 1952년의 자료 분포를 보이고 시자료는 최소 2002년부터 최대 1981년의 자료 분포를 보인다.

(DEM) 등의 공간자료를 이용하여 GIS 공간분석을 실시하였다.

3. 유역 및 유형특성인자

3.1 GIS 공간분석

연구대상지역의 유역특성을 분석하기 위하여 정량적 분석이 필요하며 대상지역의 유역도, 수치고도모형

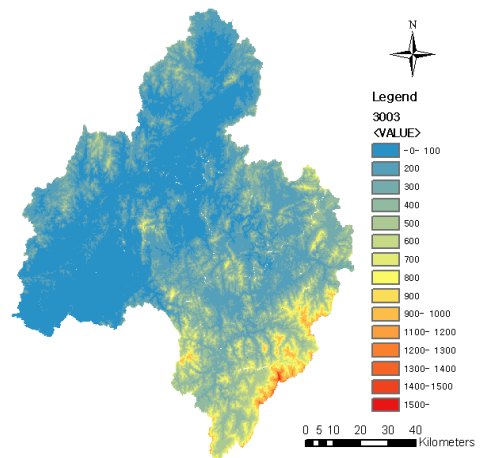


Figure 2. DEM data in Geum River region

3.2 대표 유역특성인자

유역의 특성인자는 유역의 수문학적 반응을 추정하는 기초자료로 수자원 분석의 기본이 된다. 유역 특성은 크게 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제시하는 21개의 지형학적 유역특성인자와 토양학적 특성인자(SCS-CN, 토지이용비), 영국의 FEH에서 제안하는 수문학적 특성인자(SAAR, FARL)로 구분된다 (Ko, 2011).

본 연구에서 검토한 7개의 대표 유역특성인자(유역면적, 평균경사, 형상계수, 수계밀도, 년평균 강우량-SAAR8110, 저수지 홍수 저감지수-FARL, 유출특성지수-CN2007)의 정의는 Table 1과 같으며, 이를 금강 25개 소유역을 대상으로 산정하였으며 그 결과는 다음 Table 2와 같다.

유역면적, 평균 경사, 형상계수, 수계밀도 및 FARL는

Table 1. Catchment characteristics

Catchment Characteristics		Definition
Topographical	A	Drainage Area [km ²]
	SLPBAR	Mean catchment slope [°]
	Rf	Form factor, $Rf = \frac{A}{(L_c)^2}$ Lc: Catchment Length [km]
	D	Drainage density, $D = \frac{L_c}{A}$
Geological	CN	An empirical parameter used in hydrology for predicting direct runoff or infiltration from rainfall excess
Hydrological	FARL	FEH catchment descriptor defining the Flood Attenuation by Reservoirs and lakes
	SAAR8110	1981-2010 standard-period average annual rainfall(mm)

Table 2. The representative catchment characteristics of 25 catchments in Geum River

Catchments	Area(km ²)	SLPBAR(°)	Form Factor	Drainage Density	SAAR (81_10)	FARL	CN	
Upper Daecheong Dam	C1	285.99	14.63	0.27	3.27	1093.29	0.96	65.40
	C2	499.67	12.87	0.14	3.09	1197.90	0.95	65.64
	C3	4179.51	15.08	0.06	2.51	1114.77	0.82	64.23
	C4	164.58	16.15	0.21	1.68	1231.33	0.96	60.03
	C5	373.21	12.86	0.27	3.09	1180.65	0.97	65.35
	C6	388.86	18.89	0.14	1.49	1153.81	0.99	58.99
	C7	492.40	12.90	0.16	3.10	1195.29	0.96	65.60
	C8	651.38	14.67	0.15	2.22	967.82	0.98	60.96
	C9	608.48	14.77	0.24	2.17	968.56	0.97	60.58
	C10	76.39	17.01	0.15	2.45	1090.01	0.93	54.19
	C11	2078.15	16.20	0.08	2.24	1163.94	0.89	61.33
	C12	945.59	16.30	0.21	2.27	1172.14	0.78	59.91
Niho	C13	909.10	9.72	0.25	2.08	1221.90	0.92	67.42
	C14	178.92	9.74	0.18	2.40	1191.71	0.98	71.66
	C15	1848.83	8.40	0.21	2.41	1225.07	0.95	69.07
	C16	342.38	9.73	0.25	3.05	1215.85	0.98	69.34
	C17	1599.95	9.73	0.27	2.29	1223.16	0.94	68.57
Gab	C18	250.12	12.08	0.11	0.50	1314.94	0.99	62.79
	C19	161.66	15.21	0.11	0.61	1273.85	1.00	70.83
	C20	60.20	14.67	0.14	0.92	1243.78	1.00	64.61
Lower Geum R	C21	208.58	12.31	0.10	0.55	1258.29	0.99	72.32
	C22	263.25	13.75	0.19	0.47	1309.16	0.99	72.19
	C23	476.55	11.35	0.17	0.37	1317.70	0.91	62.49
	C24	155.49	8.06	0.22	0.55	1271.08	0.96	66.17
	C25	133.86	4.99	0.25	0.65	1235.33	0.98	68.88

축적 1/5000의 수치지도를 통하여 GIS을 통하여 산정하였으며, 년평균 강우량은 국가수자원관리포털(WAMIS)의 1981-2010년 기간의 자료를 년평균하여 산정하였다. 유출 특성지수는 정밀 토양도(2007년)를 바탕으로 GIS를 활용하여 산정하였다.

유역 특성인자의 산정과정과 대표 특성인자의 선정 과정은 Ko(2012) 및 Ko 등(2011)을 참조한다.

대표 유역 특성인자 중 유역 면적은 홍수량의 크기 및 반응 시간 등 유출과정의 중요한 역할을 한다. 평균 경사는 빗물의 침투량/유출률 결정 및 지표면 유출속도에 기여하는 인자이다(Jeon, 2010). 대청댐 상류의 산지부에 위치한 소유역들이 상대적으로 급한 경사 분포를 나타낸다. Horton에 의해 제안된 개략적인 유역의 형상을 나타내는 지표인 형상인자는 유역면적은 최장유로연장의 제곱으로 나눈 값으로 대부분의 자연하천의 경우 0.5이하를 나타낸다. 대상유역에서 유역면적이 가장 큰 대청댐과 양강교는 형상인자가 각각 0.06과 0.08로 작은 값을 나타냈다. 하천수계의 조밀상태를 나타내는 지표인 수계밀도는 그 값이 클수록 유역의 단위면적당 평균하천길이가 길다는 것을 의미한다. 대상유역에서 수계밀도가 가장 큰 유역은 천천(3.27)이고, 산계교(3.10), 청성(3.09), 기대교(3.09), 옥산(3.05)이 3이상의 값을 나타냈다. 이들 유역은 호우가 내릴 경우 유출응답이 빠르며 배수가 양호할 것으로 판단된다. 지난 30년(1981-2010)동안의 연평균강우량을 나타내는 SAAR8110은 대상유역에서 1317.7(논산)-967.82(심천)mm 분포를 나타낸다. 1300mm가 넘는 유역은 논산(1317.7), 유성(1314.94), 우성(1309.16)이고 1200mm가 넘는 유역은 금강 상류에서는 동향(1231.33)유역이 유일하며, 미호천은 청주유역(119.17)을 제외한 4개의 유역이 모두 포함된다. 갑천과 금강하류 또한 모든 유역이 1200mm이

상의 연평균강우량을 나타낸다.

저수지에 의한 홍수저감효과를 나타내는 FARL은 유역면적, 저수지의 위치, 저수지의 크기가 고려된 지표로 그 값이 작을수록 홍수저감효과가 큰 것을 의미한다. 대상유역에서 FARL은 0.78(용담)-1.0(복수, 인동)의 분포를 나타낸다. FARL이 0.9이하를 나타내는 유역의 용담(0.78), 대청댐(0.82), 양강교(0.859)로 이들 유역은 다목적 댐이 있거나 큰 저수지가 위치한 유역이다. 미국의 토양보존국(US, Soil Conservation Service, SCS)이 제안한 CN(Curve Number)은 유역의 토양특성과 식생피복상태 및 선행강수조건에 따라 강우로부터 유효우량을 추정하는 인자이다. CN값은 100에 가까울수록 빠른 유출특성을 나타낸다. 대상유역의 CN값의 분포는 72.32(인동)-54.19(탄부)이다. 70이상의 CN값을 갖는 유역은 인동(72.32), 우성(72.19), 청주(71.66), 복수(70.83)로 이들 유역은 도시화가 많이 진행되어 직접유출량이 상대적으로 많은 유역들이다.

3.3 유황 곡선 및 특성인자

유황곡선(Flow Duration Curve, FDC)은 다양한 크기에 대한 상대적인 지속기간을 보이는 연속적인 유출량 시계열이며, 이는 유출량의 누가빈도곡선으로 정의된다(Lee, 2009). 본 연구에서는 유출고를 바탕으로 한 표준화한 유황곡선을 적용한다. 다음 Fig. 3은 금강유역의 대상 연구유역의 유출고를 바탕으로 산정한 유황곡선이다.

유황곡선의 객관적인 비교 분석을 위하여 Park (2003), Lee(1993) 및 Lim(2012)이 제시한 저수계수, 갈수계수, 홍수계수, 풍수계수, 유황계수, 그리고 하상계수를 산정한다. 각각의 유황곡선 관련 계수의 설명은 Table 2와 같다. 이들 계수들은 유역의 강우현상 -

Table 3. Coefficients of Flow Duration Curves

Coefficient	Symbol	Definition	Fomula
Low flow	C_L	proportion of low flow to ordinary flow	$C_L = \frac{Q_{75.3}}{Q_{50.7}}$
Drought flow	C_D	proportion of drought flow to ordinary flow	$C_D = \frac{Q_{97.3}}{Q_{50.7}}$
Flood	C_F	proportion of flood flow to ordinary flow	$C_F = \frac{Q_{max}}{Q_{50.7}}$
Abundant	C_A	proportion of abundant flow to ordinary flow	$C_A = \frac{Q_{26.0}}{Q_{50.7}}$
Flood Duration	C_{FD}	proportion of flood runoff exceed on 10 days to drought flow	$C_{FD} = \frac{Q_{2.74}}{Q_{97.3}}$
River Regime	C_{RR}	proportion of maximum flow to minimum flow	$C_{RR} = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$

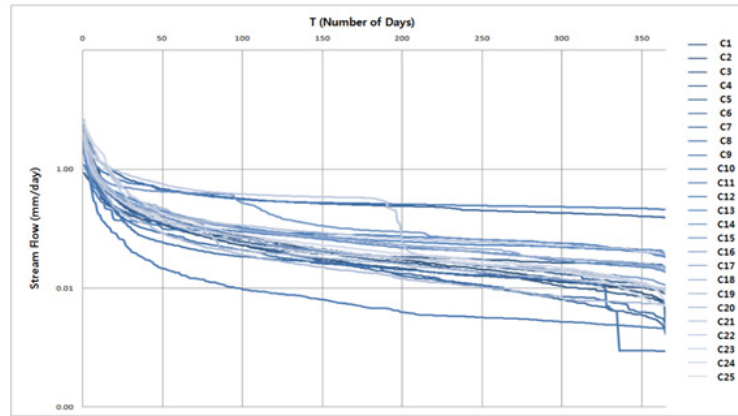


Figure 3. Flow duration curve(FDC) in Geum River

Table 4. The results of coefficients of FDC

Catchments	Area(km ²)	C _L	C _D	C _F	C _A	C _{FD}	C _{RR}
C1	285.99	0.52	0.23	134.98	2.38	122.42	1120.96
C2	499.67	0.64	0.41	136.74	2.39	71.93	401.15
C3	4179.51	0.82	0.74	25.35	2.01	16.29	40.16
C4	164.58	0.49	0.23	91.41	2.05	86.07	1402.95
C5	373.21	0.60	0.32	64.06	1.85	63.78	227.14
C6	388.86	0.78	0.65	22.23	1.35	9.21	35.12
C7	492.4	0.43	0.16	111.05	3.06	214.37	1317.62
C8	651.38	0.38	0.17	91.70	1.56	118.14	844.71
C9	608.48	0.67	0.04	108.61	2.05	569.74	2827.43
C10	76.39	0.66	0.47	588.26	2.21	80.62	1296.60
C11	2078.15	0.91	0.82	9.10	1.21	4.92	11.41
C12	945.59	0.81	0.57	15.51	1.18	7.43	35.55
C13	909.1	0.81	0.62	28.48	1.73	16.64	54.24
C14	178.92	0.67	0.42	46.95	1.75	19.47	134.02
C15	1848.83	0.67	0.48	26.86	3.62	17.72	65.08
C16	342.38	0.64	0.39	80.05	2.20	42.12	256.38
C17	1599.95	0.61	0.45	45.66	1.82	23.84	115.10
C18	250.12	0.62	0.41	56.05	1.82	29.87	164.26
C19	161.66	0.58	0.37	179.56	1.64	142.06	589.48
C20	60.2	0.50	0.32	204.78	2.23	111.17	674.32
C21	208.58	0.65	0.18	106.96	1.79	106.41	703.32
C22	263.25	0.08	0.04	12.76	1.26	122.47	408.89
C23	476.55	0.61	0.32	184.08	2.09	133.65	770.76
C24	155.49	0.62	0.26	160.12	2.03	204.16	1202.82
C25	133.86	0.77	0.55	95.09	1.60	20.28	188.36

유역 유출 수문현상 등을 모두 반영, 유역 출구에서 최종적으로 표현된 유량으로부터 산정된 특성인자로서, 각각 저수, 갈수, 홍수 및 풍수에 대한에 개별적인 특성으로 제시하여 유역의 그룹화 할 때 그 의미가 있다. 이러한 유황곡선 및 관련 계수는 유역의 수무학적 그룹화에 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 대상 유역의 유황관련 계수 산정결과는 Table 4와 같다.

각 지표의 분포는 저수계수 0.08(우성)-0.91(양강교), 갈수계수 0.04(우성)-0.82(양강교), 홍수계수 9.1(양강교)-588.26(탄부교), 풍수계수 1.18(용담댐)~3.62(합강), 유황계수 4.92(양강교)-569.74(송천), 하상계수

11.41(양강교)-2827.43(송천)의 범위를 보인다.

각각의 계수들을 비교하였을 때 저수계수와 갈수계수, 풍수계수는 하천의 규모에 무관한 결과를 보였다. 반면 홍수계수와 유황계수, 하상계수는 최소값과 최대값의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. 이러한 경향이 나타난 이유는 금강유역의 유황곡선을 나타내는 Fig. 2의 유황곡선은 Q10.0이하와 Q90.0이상에서 기울기가 매우 급하고 지점 간 변화 폭이 크게 나타났다. 하지만 Q10.0이상과 Q90.0이하에서는 완만한 기울기를 보이며, 각 지점간의 차이가 미미했기 때문이다. 또한 유황곡선은 유역의 유출량을 직접적인 영향을 받는데 경사

가 급한 유역에서는 유량변동이 심하고, 경사가 완만한 유역에서는 유량변동의 차가 비교적 작게 나타나는 특성이 반영된 것으로 판단된다.

4. 유사성 평가 방법

본 연구에서는 유역 특성인자 기반의 유역 특성인자 방법(수문학적 거리 산정방법)을 금강 유역에 적용하고, 이를 유역의 유일한 유출 관측 자료인 유량 자료를 바탕으로 유사성을 평가·분석한 결과와 비교 한다. 이는 기존의 유역 모형 유출모의 결과를 바탕으로 한 평가(예, Bloschl et al.,(2004)보다 관측 자료에 입각한 평가를 제시할 수 있다. 유역의 특성인자 (지형학적, 수문학적, 기후학적 특성)기반의 수문학적 특성거리 산정과 유향관련계수의 통계적인 군집분석 평가 방법은 다음과 같다.

4.1 수문학적 특성거리 산정

유역의 수문학적 거리는 두 유역의 유사성을 중요 유역특성인자들 간의 거리로서 판단한다. 본 연구의 수문학적 거리는 영국의 홍수량 산정 방법(Flood Estimation Handbook, IH, 1999)에서 제시한 유클리디안(Euclidean) 수문학적 거리산정을 적용한다.

영국의 수문학적 거리 산정에 활용되는 인자(CC)s는 유역면적(A), 연 평균 강우량(SAAR), 토양 특성을 반영한 기저유량 지표(BFIHOST)이며, 이 인자들은 각각 유역의 지형학적 유역 크기, 기후적인 강우특성 및 수문학적 유출 특성을 반영한다. 국내 자료 현실을 반영하여 유역의 유출특성반영 지표로서 미국의 SCS방법-CN을 토양특성과 식생피복상태 및 선행강수조건을 고려하는 인자로서 BFIHOST 대신 적용한다. FEH에서 수문학적 거리는 0~6 사이까지 범위로 나타나며 일반적으로 단일그룹의 기준이 되는 값은 0.5 이내 (BFIHOST을 사용한 경우)이다(FEH, 1999). 그러나 본 연구에서는 국내의 유역특성인자 값을 고려하여 동일 그룹의 기준 값은 1.5이하로 추정한다. 수문학적 거리 측정공식은 다음 식 (1)과 같다.

$$dist_{ij} = \sqrt{\left(\frac{\ln CC_i - \ln CC_j}{\sigma(\ln CC)}\right)^2} \quad (1)$$

각 변수들은 다양한 범위를 가지고 있으므로 표준편차를 사용함으로써 표준화 하였으며, 로그 변환을 통하여 변수의 분포를 보다 균형적으로 나타나게 하고 수문학적 거리가 변수들 간의 차이보다는 그 양의 비율에

중점을 두고자 하였다(FEH, 1999).

4.2 계층적 군집분석(SPSS)

군집분석(Cluster Analysis)이란 각 객체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체간의 상이성을 규명하는 통계분석방법이다. 이를 위해 통계프로그램(statistical package for social science, SPSS 19)을 활용하여 군집분석을 실시한다. 군집분석의 유사성 측정법과 군집방법들은 매우 다양한 기법들이 존재한다(Song and Chang, 2010). 본 연구에서는 계층적 군집분석을 실시하였고 대상거리 선정기준은 Ward 법, 유사성측도는 제곱유클리디안 거리를 이용하였다.

5. 결과 분석

5.1 수문학적 거리 산정결과

유역의 수문학적 거리를 산정은 영국의 표준 홍수량 산정방법인 FEH에서 제시하는 유클리디안 공식을 3개의 유역 특성인자(A, SAAR, SCS-CN)로 산정하였다.

유역 그룹화는 수문학적 거리가 가장 가까운 두 개의 유역을 기준으로 하여 단일그룹 기준(수문학적 거리 1.5이하)을 만족하는 유역들을 수문학적 거리가 가까운 순서대로 포함하여 수행하였다. 또한 한 그룹에 최소 3개의 유역이 포함되도록 하였다.

본 연구에서 수문학적 거리를 바탕으로 산정한 수문 그룹(Hydrological Group, H)은 총 3개(H1, H2, H3)로 그룹에 포함되는 유역들은 다음 Table 5와 같다.

수문학적 그룹 H1은 총 7개의 유역이 있으며 대청댐 상류에서 3개 유역, 미호천 유역의 4개 유역이 포함되었다. 가장 가까운 수문학적 거리를 나타내는 청성-산계교(0.03)는 보청천의 동일 수계이며 두 번째로 가까운 거리를 나타내는 석화-함강(0.14)도 미호천 동일 수계이다. 또한 이들 유역은 유출구의 거리도 가까워 유역특성이 유사하다. H1에 포함된 유역들은 SAAR이 1180-1230mm, CN값이 65-69사이의 값의 분포를 나타내 다른 두 그룹의 중간 값에 해당한다.

Table 5. The hydrological groups

Hydrological Groups	Included Catchments
H1	C2-C7(0.03), C5, C15-C17(0.14), C13, C16
H2	C21-C19(0.39), C14, C22, C24, C25
H3	C6, C11, C12

수문학적 그룹 H2는 총 6개의 유역이 있으며 미호천 유역 1개, 갑천 유역 1개, 금강하류 유역 4개가 포함된다. 이들 유역은 유역면적이 300km² 미만이고 SAAR은 청주(1190mm)를 제외하고 1235-1309mm로 비교적 많은 연평균 강수량을 나타낸다. 또한 CN값도 66-72의 분포로 다른 그룹에 비하여 큰 값을 나타낸다.

수문학적 그룹 H3는 총 3개의 유역이 포함되며 모두 금강상류의 유역이다. 이 유역들의 SAAR과 CN값의 분포가 각각 1150-1175mm, 58-62로 다른 그룹에 비하여 작은 값을 나타낸다.

5.2 유황관련 계수의 군집분석

금강수계 25개 소유역의 유출특성을 반영하는 유황관련 계수(저수계수, 갈수계수, 홍수계수, 풍수계수, 유황계수, 하상계수)를 바탕으로 SPSS 군집분석의 상호관계를 나타내는 덴드로그램(dendrogram)의 결과는

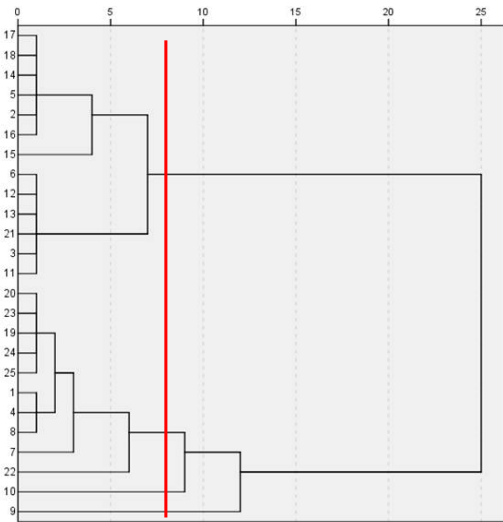


Figure 4. Ward dendrogram

Table 6. Grouping by flow characteristics

Groups	Included Catchments
F1	C2, C3, C5, C6, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C21
F2	C1, C4, C7, C8, C19, C20, C22, C23, C24, C25,
F3	C9
F4	C10

Fig. 4와 같다. 분석결과, Fig. 4의 붉은색으로 표시한 바와 같이 유황 관련 계수의 군집분석에서 의미있는 적정군집을 4개로 추정하였다.

유황관련 계수를 바탕으로 산정한 그룹(clustering by flow duration curve, F)은 4개(F1, F2, F3, F4)로 그룹에 포함되는 유역들을 다음 Table 6과 같다.

유황관련계수로 그룹화를 수행한 결과 두 개의 그룹(F3, F4)에는 각각 송천유역과 탄부교유역으로 1개의 유역만 그룹화가 되었다. 이는 송천 유역과 탄부유역의 유황관련계수들이 다른 유역에 비하여 아주 큰 차이를 보이기 때문인 것으로 판단된다. 송천 유역은 유황계수(569.74)와 하상계수(2827.43)의 값이 타 유역에 비하여 아주 크며, 탄부교 유역도 홍수계수(588.26)의 값이 타 유역과 큰 차이를 보인다.

5.3 유역 유사성 평가

유역특성을 반영한 수문학적 거리로 분류된 H그룹과 유역의 유출특성을 직접적으로 반영되는 유황관련계수로 분류된 F그룹의 비교를 통해 유역 유사성의 효용성을 평가하였다. 수문학적 거리를 바탕으로 그룹화된 유역들과 유황 관련 계수를 바탕으로 그룹화된 유역들이 대응은 Fig. 5와 같다.

H1그룹에서 산계를 제외한 나머지 6개 유역(청성, 기대, 북일, 옥산, 석화, 함강)과 H3그룹의 모든 유역(무주, 양강, 용담)이 F2그룹에 대응한다. 또한 H2그룹

Grouping by HSMD	H1		H2		H3		
		C2, C5, C13, C15, C16, C17	C7,	C14, C21 C19, C22, C24, C25	C6, C11, C12		
Clustering by FDC Coefficients	C2, C5, C13, C15, C16, C17		C6, C11, C12	C19, C22, C24, C25		C9	C10
	F1			F2		F3	F4

Figure 5. The results of catchment similarity assessment

에서 청주와 구룡을 제외한 나머지 4개 유역(우곤, 복수, 우성, 석동)이 F1그룹에 대응한다.

금강 유역의 유사성이 있는 유역으로 미호천 유역의 3개소(석화, 북일, 합강)과 보청천 유역의 2개소(청성, 기대)유역을 수문학적으로 유사한 유역으로 평가한다. 금강 하류 및 갑천 부분의 우곤, 복수, 우성, 석동은 F2 유역으로 수문학적 거리의 산정 결과와 유황관련 계수의 군집화에서 동일하게 그룹화되었다.

이들 유역은 동일 수계 및 인접수계의 상-하류에 위치 한 유역으로서 지역적인 근접성이 유역 유사성 평가에 중요한 역할을 하였다고 판단된다.

그러나 보청천과 미호천의 유역들이 지역적으로 떨어져 있지만 유역의 수문학적인 거리 산정 및 유황계수의 군집화에서 동일한 결과를 도출하여 본 연구에서 제시한 유역 유사성 평가 방법이 유역의 수문학적 특성을 반영한 것으로 판단되며, 이는 지역적인 한계를 넘어선 일반적인 유역 그룹화의 가능성을 확인하였다.

6. 결론

본 연구에서는 금강 유역의 수문학적 유사성 평가하기 위하여 금강권역의 25개 유역(대청댐 상류(12개), 미호천(5개), 갑천(3개), 금강하류(5개))을 대상으로 유역 그룹화를 수행하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

유역특성인자를 반영한 수문학적 거리에 의한 유역 그룹(H)과 유출특성을 반영한 유황관련계수들에 의한 유역그룹(F)과의 비교분석을 통하여 유역 유사성을 평가한 결과 H2그룹의 6개 유역 중 4개의 유역이 F1그룹에 속하며, H1그룹의 7개 유역 중 6개 유역과 H3 그룹의 모든 유역이 F2 그룹에 속한다.

금강 유역의 수문학적 유사성이 있는 유역은 미호천 유역의 3개소(석화, 북일, 합강)과 보청천 유역의 2개소(청성, 기대)유역이다

이들 유역은 동일 수계 및 인접수계의 상-하류에 위치 한 유역으로서 지역적인 근접성이 유역 유사성 평가에 중요한 역할을 하였다고 판단된다.

보청천과 미호천의 유역들이 지역적으로 떨어져 있으나, 유역의 수문학적인 거리 산정 및 유황계수의 군집화에서 동일한 결과를 도출하여 지역적인 한계를 넘어선 일반적인 유역 그룹화의 가능성을 확인 하였다.

본 연구는 향후 금강유역의 미계측 유역의 매개변수 추정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 보이나 연구 결과의 일반화된 적용을 위해서는 향후 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2013년 한국연구재단 일반연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Beven, K. J., 2000, Rainfall-runoff modelling the primer, Chichester, UK:John Wiley.
2. Beven, K. J., and Freer, J., 2001, Equifinality, data assimilation and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems using the GLUE methodology, Journal of Hydrology 249(1-4), pp. 11-29.
3. Burn, D. H., 1989, Cluster analysis as applied to regional flood frequency, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 115, pp. 567-582.
4. Burn, D. H., 1997, Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, Journal of Hydrology, Vol. 202, pp. 212-230.
5. Castellarina A, Burn, D. H., Bratha, A., 2001, Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis, Journal of Hydrology, Vol. 241, pp. 270-285.
6. Choi, S., Park, M., 2008, Determination of the optimum runoff coefficient using GIS in the route design, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 16, No. 3, pp. 51-57.
7. Hong, S., Jung, Kang H., Min W., Kim, Y., Hur, S., Ha, S., 2008, Runoff potential map of Korea, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Vol. 41, pp. 160-161.
8. Institute of Hydrology, 1999, Flood estimation handbook, 3 volumes and associated software, Institute of Hydrology.
9. Jeon, I., 2010, Training of administration of river, Donghwagisul.
10. Jung, Y., Jeong, C., Nam, W., Heo, J., 2010, Study of rainfall quantile estimation using cluster analysis and regional frequency analysis, Conference of Korea Water Resources Association, pp. 288-291.
11. Kang, B., 2005, Multivariate statistics using SPSS, Hankyungsa.
12. Kim, G., 2003, Wetland and environment, Akademiseojuk.
13. Kim, J., Lee, S., 2010, Mapping the spatial distribution of drainage density based on GIS, Journal of the

- Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No. 1, pp. 3-9.
14. Kim, J., Lee, S., Shin, H., Hwang, M., 2009, The evaluation of watershed management model using behavioral characteristics of flow-duration curve, *Journal of the Korean Society on Water Environment*, Vol. 25, No. 4, pp. 573-579.
 15. Ko, A., 2012, Derivation of the relationship equation between the representative catchment characteristics and the flood index on small-mid sized catchments in upper Geum River, Graduate School of Chungbuk National University.
 16. Larsen, J. E., Sivapalan, M., Coles, N. A., Linnet, P. E., 1994, Similarity analysis of runoff generation processes in real-world catchments, *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 6, pp. 1641.
 17. Lee, J., 2009, Hydrology, Gumiseokwan.
 18. Lee, J., Kom, H., Woo, H., 1993, An analysis of the effect of damming on flow duration characteristics of five major rivers in Korea, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 13, Issue, 3, pp. 79-91.
 19. Lee, S., 2011, The promotion status of four major rivers and management of water resources, *Journal of the Korean Water Resources Association*, Vol. 44, No. 1, pp. 8-12.
 20. Lim, S., 2012, Dimensionless flow duration curve of the Man River dam's major sites, Graduate School of Gyeongsang National University.
 21. McDonnell, J. J., and Woods, R., 2004, On the need for catchment classification, *Journal of Hydrology* 299, pp. 2-3.
 22. Merz, R., Blöschl, G., 2004, Regionalisation of catchment model parameters, *Journal of Hydrology*, Vol. 287, pp. 95-123.
 23. Ministry of Land, 2002, The report of basic plan for Geum River maintenance.
 24. Park, S., 2003, Dimensionless flow duration curve in natural river, *Journal of the Korean Water Resources Association*, Vol. 36, No. 1, pp. 3-44.
 25. Park, J., Kang, B., 2006, Comparison of runoff analysis between GIS-based distributed model and lumped model for flood forecast of dam watershed, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 9, No. 3, pp. 171-182.
 26. Sawicz, K., Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., Carrillo, G., 2011, Catchment classification: empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 8, pp. 4495-4534.
 27. Soil Conservation Service, 1971, *National Engineering handbook*, Section 4, Hydrology, Chap. 10.
 28. Song, M., Chang, H., 2010, Characterization of cities in Seoul metropolitan area by cluster analysis, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 18, No. 1, pp. 83-88.
 29. Sung, t., 2007, The knowable statistical analysis using SPSS/AMOS, Haklisa.
 30. Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., Woods, R., 2007, Catchment Classification and Hydrologic Similarity, *Geography Compass*, Vol. 1, pp. 901-931.
 31. Yoon, Y., Kim, J., Lee, D., 2000, Regionalization of daily flow characteristics using flow duration curve and spatial interpolation algorithm, *Journal of the Korean Water Resources Association*, Vol. 33, No. 6, pp. 671-679.
 32. Yoon, Y., 2007, Basics and application of Hydrology, Cheongmungag.
 33. Geum River flood control office, www.geumriver.go.kr
 34. The Korea meteorological administration, www.kma.go.kr.
 35. Water Management Information System, www.wamis.go.kr.