

금강 유역 기저유량지수의 산정*

Estimation of Base Flow Index at Geum River Catchments

Hyung Joon Chang**, Hyo Sang Lee***

Department of Civil Engineering, Chungbuk National University,

1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

Base Flow Index(BFI) is a key catchment characteristic for water resource management. This study estimates the BFI at 24 Geum-river catchments with observed stream flow data and suggests the formular of BFI based on Catchment Characteristics. The results of BFI shows that BFI has wide variation in the value of between 0.08(Tanbu-gyo) and 0.72(Yongdang-dam). these results indicate that Hapgang, the catchment with large reservoir, has very high BFI values and the highland mountain catchment, such as Tanbu-gyo, has smaller values of BFI. The result of suggested formular is compared with estimates one at Seokdong catchment. It indicated that the suggested BFI formular has a potential in catchment characteristics for Geum river region.

Key words: Base flow index, Draught Catchment Characteristics, Water Resource Management

국문초록

본 연구에서는 기저 유량지수를 위한 중요 유역 특성인자인 기저흐름지수(Base Flow Index, BFI)를 금강 24개 유역에 대하여 산정하고, 이를 바탕으로 유역 특성인자 기반의 산정식을 제시한다. BFI 산정 결과에서는 대규모 저수지가 소재한 유역이 최대 0.72(용담댐)의 수치와 상류 산간 유역이 최소 0.08(탄부교)의 수치를 나타내고 있다. 이러한 BFI 결과를 바탕으로 유역 특성인자를 기반으로 한 산정식 ($BFI = AREA * 0.0000814 - Rf * 0.358 - Dd * 0.018 * FARL * 1.151 + CN * 0.005 - 0.677$)을 제시하였다. 석동유역의 적용 결과 유량자료를 바탕으로 산정 한 결과 동일한 결과(0.30)를 얻었다. BFI 산정식은 유역의 유출 특성의 중요 특성을 유역특성

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

** Tel. +82-43-272-0312. E-mail. param79@chungbuk.ac.kr

*** Corresponding author. Tel. +82-43-261-2379. Fax. +82-43-275-2377, E-mail. hyosanglee@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Mar. 16, 2015 / Revised: Mar. 31, 2015 / Accepted: Apr. 20, 2015

인자로서 미계측유역에서 산정할 수 있도록 하였으며, 향후 금강 유역의 중요 유역 특성인자로 수자원관리부문에
서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 기저흐름지수, 가뭄 유역특성인자, 수자원관리

1. 서론

최근 급증하는 이상기후 등으로 인하여, 집중호우, 태풍, 홍수 및 가뭄과 같은 자연재해의 위험이
증대되고 있으며, 수자원관리의 어려움이 커지고 있다. 특히 홍수량 증가와 더불어 가뭄의 위험성도
증가되고 있으며, 서울 경기지방의 2014년 12월부터 3월까지의 누적강우량은 평년 강우량의 59%에 불
과하고 강원도 영동지방의 누적 강수량(48.2mm)은 평년(193.6mm)의 4분의 1에 불과할 정도로 중부 지방
은 극심한 봄가뭄에 시달리고 있다.

유역의 유출은 입력자료인 강우자료의 복잡한 수문과정의 결과이며, 일반적으로 직접유출(Direct
Runoff)과 기저유출(Base Flow)로 분류된다. 직접유출은 강수 후, 비교적 단시간 내에 하천으로 흘러
들어가는 지표면 유출과 단시간 내에 하천으로 방출되는 지표하 유출 및 하천 또는 호수 등 수표면에
직접 떨어지는 수로상 강수로 구성되며, 기저유출은 지하수 유출과 시간적으로 지연된 지표하 유출에
의해 구성된다. 이러한 기저 유출은 평상시 가뭄유역의 유출을 예측 할수 있는 중요 자료로서 가뭄관
리 등의 주요 자료로 활용된다.

직접유출과 기저유출의 분리는 홍수유출특성의 분석 뿐 아니라, 가뭄 및 지하수 사용 분석 등에서
중요한 역할을 하고 있다(윤용남, 2007). 이러한 수문곡선의 분리는 지역적인 특성(수문 및 지질학적
등)에 크게 영향을 받으며, 유역의 유출특성을 잘 반영하고 있다고 평가되고 있다. 주지하수 감수곡선
법, 수평직선분리법, N-days법, 수정 N-days법 등이 대표적이다. 기저 유출 관련 주요 연구 동향은
<표 1>과 같다.

수문기상학적인 유역의 환경이 기저흐름지수에 영향이 미치고 있음을 확인한 연구로는 Yunqiao 와
Keren(2010) 및 Liqun Chen 외(2013)등이 있다. Yunqiao 와 Keren(2010)은 탄자니아 Usangu유역에
대한 기저흐름을 분석하였으며 수문학적 기상 여건의 변화가 기저흐름 요소에 영향을 미치는 것으로
결과를 제시하고 있다. Liqunchen 등(2013)은 중국의 황하 유역의 기저 흐름을 계산하고, 이와 기후
특성과의 관계를 분석을 통하여 기후특성이 BFI와 유량 유출에 밀접한 영향을 갖고 있다고 판단하였
다. 강수량은 단기적으로 기저유출에 큰 영향을 주는 반면 온도에 영향은 미미하다고 결론을 내렸다.

유역의 유출 특성 및 인자에 관한 연구로는 노재경 외(2000)와 최홍윤 외(2008) 등이 대표적이다.
노재경 외(2000)는 한국 하천의 유출률을 계절별로 평가하였으며 수계별 유출률 산정공식을 제시하였
다. 일반적으로 유출률은 유역면적이 증가하면 감소하고 강우량이 증가하면 증가하게 되는 경향을 확
인하였으며, 수계별로 지형, 기상조건에 따라 유출률이 다르게 나타남을 제시하였다.

<표 1> 기저 유출 지수(Base flow index) 관련 주요 연구 동향

저자(년도)	논문제목	비고
Adane and Gerd (2006)	Catchment Characteristics as predictors of BFI in WABI SHEBELE river basin EAST AFRICA	BFI 지수 예측
Lauren(2005)	Base flow separation	BFI 계산
Mcvicar et al. (2013)	Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments	BFI를 통한 유역에 대한 패턴 파악
Liqu Chen et al (2013)	Calculating base flow and analyzing climate factors impact on it the source regions of the yellow river	기저유출 계산
Yunqiao and Keren(2010)	Analysis of flow and baseflow trends in the Usangu Catchment, Tanzania	기저유출 분석
Martin (2013)	User Guide BFI	BFI 분석 및 계산
CSIRO and SKM(2010)	Base flow assessment for the Murray-Darling Basin.	기저유출 분석
양정석, 지동근(2011)	금강 유역의 지하수위와 What System을 통하여 산정된 기저유출과의 상관관계 분석	금강유역의 지하수위와 기저유출 관계
이정호 외(2010)	기후변화 연동 4대강 유역 지하수 함양 및 이용 가능량 산정2	수문곡선 분리
류지철 외(2012)	Web GIS 기반 기저유출 분리프로그램	기저유출 분리, BFI계산

최홍윤 외(2008)는 2007년도의 섬진강 3개 유역의 연 유출률에 대한 유출률을 강우관측소의 공간분포 및 밀도에 따라서 평가하였다. 그 결과 강우량은 동일 유역에서도 공간적으로 많은 편차를 보이는 것을 알 수 있었으며, 강우관측소의 밀도 및 이용되는 관측소에 따라 유역 평균강우량 및 유출률 또한 큰 편차를 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 합리적이고 설득력 있는 유출률 산정을 위해서는 신뢰성 있는 강우자료 확보가 선행되어야 한다고 제시하였다.

기저흐름지수를 활용한 유역관리의 사례로는, CSIRO와 SKM(2010)은 호주의 머레이-달링유역의 강을 보호하고, 현저한 지하수 감소를 방지하기 위해 머레이 달링 유역에 대한 기저유출을 평가하고 이에 따른 방안을 제시하였다. 이 방안의 궁극적 목표인 강을 보호하기 위하여 기저 유출을 분석 및 평가하였고, 지하수 추출을 제한하였으며, 유역에 대한 유출의 이해를 강조하였다. Adane과 Gerd(2006)는 동아프리카의 WABI SHEBELE 강을 대상으로 기저흐름지수(BFI : Base Flow Index)를 산정하였다. BFI는 저수지의 기본흐름 특성의 척도로 사용되며, 유역의 총 유출량과 기저흐름의 비율을 평가하는 값으로 사용된다. 양정석과 지동근(2011)은 금강유역의 유량관측소 중 20개 지역을 대상으로 WHAT SYSTEM을 이용하여 하천의 유량을 수문분석하여, 기저유출을 분리시킨 후 이 기저유출량과 근처 지하수위 관측소의 지하수위 변화량을 회귀분석하여, 그 상관관계를 알아보려고 하였다. 그 결과 같은 지역이라도 연도마다 다른 상관관계를 보여주고 있으며, 이는 가뭄이나 홍수가 심했던 연도에서 낮은 상관관계를 보여주는 것으로 분석되었다. 따라서 상관계수가 높은 지역에서는 가뭄이나 홍수가 심하지 않은 연도라면, 지하수위 관측만으로도 기저유출을 추정할 수 있다는 결론을 도출하였다. 장형준과 이효상(2014)은 금강 22개 유역에 대하여 장·단기 유출지수를 산정 하였으며, 장·단기 유출지수가 유역별로 근사하게 계산되어, 유출 지수를 유역특성인자로서 가능성을 확인하였

다. 유역의 장기유출 분석을 위한 기저유출 분리방법으로는 부분최저(Local Minimum)방법, Eckhardt(2005)의 Eckhardt filter방법등이 적용되고 있다. 류지철 등(2012)은 WHAT(Web-based Hydrograph Analysis Tool)을 통하여 이러한 기저 유출 분리의 방법을 실무에 적용할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 그러나 적용방법의 신뢰성 및 활용성을 고려하여 부분최저방법이 일반적으로 실무에서 적용되고 있다.

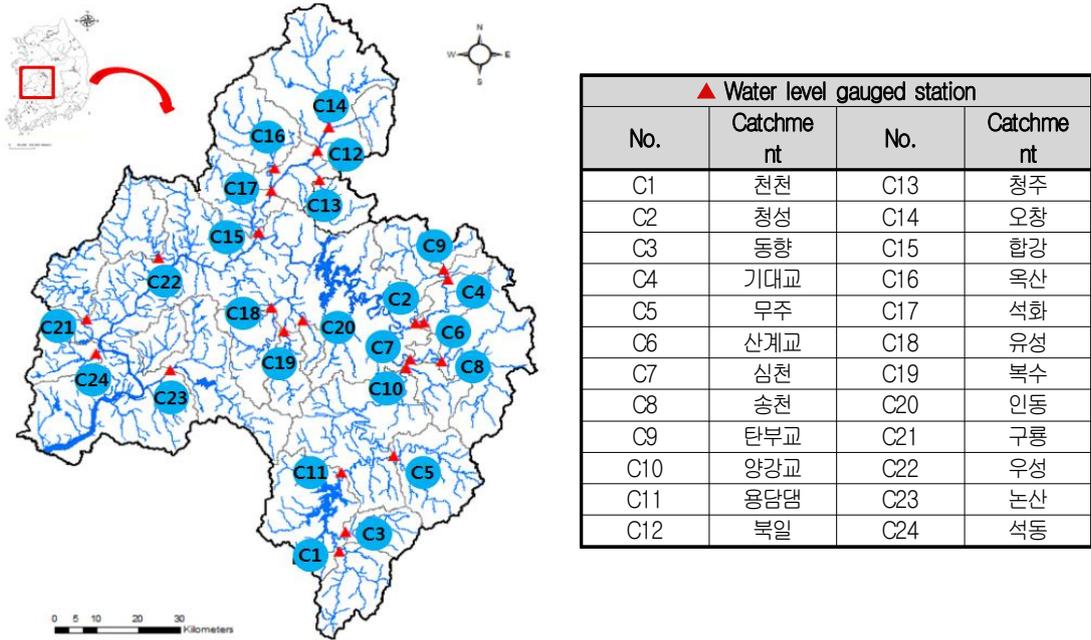
본 연구에서는 금강 24개 유역에 대하여 일단위의 장기 유량자료를 바탕으로 부분최저방법으로 기저 및 직접유출량으로 분리하여 BFI를 산정하고, 이를 바탕으로 유역 특성인자 기반의 유황계수의 산정식을 제시하였다. 또한 검증유역에 대하여 관측자료기반의 BFI와 산정된 BFI를 비교하여 BFI의 금강 유역 특성인자로서의 효용성을 평가하였다.

II. 연구 대상유역

1. 연구유역

본 연구에서는 한반도 중부지방의 대표 유역인 금강 유역을 대상연구 유역으로 선정하였다. 금강은 전라북도 장수군 장수읍 신무산에서 발원하여 충청남도과 전라북도의 경계를 이루며 황해로 유입되는 우리나라에서 낙동강·한강 다음으로 큰 강이다. 한반도의 중부권역에 위치하고 있어 사계절이 뚜렷하게 나타나는 온대 대륙성 기후대이며 연평균기온은 11°C~12.5°C이며, 년 평균 강우량은 1,100~1,300mm이다. 특히 연강우량의 60%이상이 여름철에 발생하는 한반도 중부권역의 기후특성을 전형적으로 보여주고 있다. 금강은 발원지에서 하구까지 직선거리가 약 85km에 불과하지만, 유로의 길이는 396km에 이르는 유역이다. 국가하천 10개와 지방하천 16개로 구성되어있다(www.geumriver.go.kr). 본류에는 용담댐과 대청댐이 위치하고 있으며, 하류에는 금강 하구둑이 위치하고 있어서 금강 본류는 적극적인 홍수조절이 이루어지고 있다고 평가된다. 본 연구에서는 인위적인 수위조절이 이루어지지 않는 자연하천 유역을 대상으로 하기위하여, 대청댐 상류유역과 미호천 유역, 금강본류로 유입되는 지류의 유역들을 연구 유역으로 선정하였다.

계측유역들은 금강에 위치한 수위관측소 24개(대청댐상류 11개, 미호천 6개, 갑천 3개, 대청댐하류 4개)를 유출구로 지정하고, GIS분석을 통해 유역을 산정하였다. 대청댐상류그룹은 금강 본류에서 수위조절역할을 하는 대청댐을 기준으로 선정하였으며, 미호천그룹은 금강의 큰 지류중 하나로 본류로 들어가는 지점인 합강을 기준으로 그룹을 선정하였다. 갑천그룹 역시 금강의 큰 지류로 대전지역을 흐르는 국가하천인 갑천을 기준으로 유역을 선정하였으며, 금강하류그룹은 대청댐의 영향으로 유량차이가 큰 본류 수위관측소를 제외한 본류로 들어가는 5개의 지류중 수문데이터가 양호한 4개 수위관측소를 기준으로 유역을 선정하였다. 연구유역인 금강 24개의 소유역은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 금강 24개 관측 소유역

1) 금강 상류

금강 상류의 수위관측소는 11개(천천, 청성, 동향, 기대교, 무주, 산계교, 심천, 송천, 탄부교, 양강교, 용담댐)를 선정하였다. 대청댐 상류 유역의 총 면적은 약 6564.7km²이며, 금강유역 면적 중 48%를 차지한다. 유역 상류부에는 용담댐이 위치하며 유역면적은 약 945.6km²이다.

2) 미호천

미호천 수위관측소는 6개(북일, 청주, 오창, 합강, 옥산, 석화)를 선정하였다. 금강유역의 북쪽 중앙부에 위치한 미호천유역은 북쪽 및 동쪽은 한강유역, 북서쪽은 안성·삼교천 유역 남쪽은 금강 잔유지역과 인접한다. 유역면적은 5453.6km²이며, 금강유역 면적 중 40%를 차지한다. 미호천의 유로연장은 286.55km이다.

3) 갑천

갑천의 수위관측소는 3개(유성, 복수, 인동)를 선정하였다. 금강유역의 최남단지점인 충남과 전북의 경계에 있는 대둔산(EL.877.7 m)에서 발원하며, 대전광역시를 관통하면서 흘러 대전광역시의 경계를

벗어나면서 금강으로 유입된다. 유역면적은 472km²이며, 본류의 유로연장 73.7km 중 국가하천 구간 95.6 km이다.

4) 금강 하류

금강 하류유역으로 금강본류가 흐르는데 금강하류유역 최상부에 위치한 대청댐 및 금강하구둑의 홍수조절효과에 영향을 받아 자연적인 유출특성으로 유역을 분류하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 본류를 제외한 지류 유역을 대상 연구유역으로 선정하였다. 활용한 금강하류의 수위관측소는 4개(구룡, 우성, 논산, 석동)를 선정하였다.

금강 하류유역은 대청댐으로부터 금강하구둑까지의 유로연장 150km에 유역면적은 약 1104km²이다. 금강유역 총면적의 8.1% 정도에 해당한다. 하천지형학적으로 하천 경사가 완만하고, 넓은 하폭과 비사행적인 특성을 지니고 있다.

고아라(2012)는 금강의 유역 특성인자를 비교 평가 하여, 7개의 대표 유역특성인자 Area(유역면적), ALTBAR(평균표고), Form Factor(형상계수), Drainage Density(수계밀도), SAAR 81-10(연평균강우량), FARL(저수지 홍수 저감지표), CN(유출곡선지수)을 제안 하였다. 유역 특성인자의 산정과정과 대표 특성인자의 선정 과정은 고아라(2012) 및 고아라 등(2011)을 참조하였다. 이들 유역의 특성인자는 유역의 수문학적 반응을 추정하는 기초자료로 수자원 분석의 기본이 된다. 금강 유역의 대상 24개 유역의 대표 유역 특성인자는 <표 2>와 같다.

<표 2> 금강 24개 유역의 대표 특성인자

Catchment		Area(km ²)	ALTBAR (m)	Form Factor	Drainage Density	SAAR (1981-2010)	FARL	CN	
극정권 수계	C1	천천	286.0	555.0	0.27	3.27	1093	0.96	65
	C2	청성	499.7	270.2	0.14	3.09	1198	0.95	66
	C3	동향	164.6	646.6	0.21	1.68	1231	0.96	60
	C4	기대교	373.2	284.2	0.27	3.09	1181	0.97	65
	C5	무주	388.9	614.5	0.14	1.49	1154	0.99	59
	C6	산계교	492.4	271.7	0.16	3.1	1195	0.96	66
	C7	심천	651.4	372.2	0.15	2.22	968	0.98	61
	C8	송천	608.5	385.1	0.24	2.17	969	0.97	61
	C9	탄부교	76.4	363.2	0.15	2.45	1090	0.93	54
	C10	양강교	2078.2	449.3	0.08	2.24	1164	0.89	61
	C11	웅담댐	945.6	504.6	0.21	2.27	1172	0.78	60
드래지	C12	북일	909.1	151.2	0.25	2.08	1222	0.92	67
	C13	청주	178.9	158.6	0.18	2.4	1192	0.98	72
	C14	오창	574.5	153.7	0.20	1.91	1221	0.91	66
	C15	함강	1848.8	135.6	0.21	2.41	1225	0.95	69
	C16	목산	342.4	152.8	0.25	3.05	1216	0.98	69
	C17	석화	1600.0	142.9	0.27	2.29	1223	0.94	69
구룡	C18	유정	250.1	189.2	0.11	3.47	1315	0.99	63
	C19	북수	161.7	229.4	0.11	3.97	1274	1.00	71
인동	C20	인동	60.2	217.0	0.14	3.35	1244	1.00	65
	C21	구룡	208.6	172.5	0.10	3.00	1258	0.99	72
	C22	우성	263.3	199.6	0.19	2.76	1309	0.99	72
	C23	논산	476.6	147.9	0.17	2.31	1318	0.91	62
	C24	석동	155.5	77.5	0.22	2.68	1271	0.96	66

대표 유역특성인자 중 유역 면적(AREA)은 유출량의 크기 및 반응 시간 등 유출 수문곡선의 형상 등을 결정하는 중요한 역할을 한다. 평균고도(ALTBAR)는 유역의 급한 정도와 산지 유역의 특성을 반영한 특성인자로서 상류 유역들이 상대적으로 큰값의 분포를 나타낸다. Horton에 의해 제안된 개략적인 유역의 형상을 나타내는 지표인 Form Factor는 유역면적은 최장유로연장의 제곱으로 나눈 값으로, 유역면적이 가장 큰 양강교가 0.08의 형상인자값을 나타낸다. 하천수계의 조밀상태를 나타내는 지표인 수계밀도(Drainage Density)는 그 값이 클수록 유역의 단위면적당 평균하천길이가 길다는 것을 의미하며, 호우가 내릴 경우 유출응답이 빠를 것으로 판단된다. 대상유역에서 수계밀도가 가장 큰 유역은 천천(3.27)이고, 다음으로는 산계교(3.10), 청성(3.09), 기대교(3.09), 옥산(3.05)이 3이상의 값을 나타냈다. 30년 (1981-2010)동안의 연평균강우량(81-10)을 나타내는 SAAR(81-10)은 대상유역에서 1318mm(논산)-968mm(십천) 분포를 나타낸다. 1300mm가 넘는 다우 유역은 금강 하유 유역인 논산(1318mm), 유성(1315mm), 우성(1309mm)등이 포함된다. 저수지에 의한 홍수저감효과를 나타내는 FARL은 유역면적, 저수지의 위치, 저수지의 크기가 고려된 지표로 그 값이 작을수록 홍수저감효과가 큰 것을 의미한다. 대상유역에서 FARL은 0.78(용담)-1.00(복수, 인동)의 분포를 나타낸다. FARL이 0.9 이하를 나타내는 유역은 양강교(0.89), 용담댐(0.78)으로 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 54(탄부교)-72(청주, 구룡, 우성)이다. 70이상의 CN값을 갖는 유역은 청주(72), 복수(71), 구룡(72), 우성(72)으로 이들 유역은 도시화가 많이 진행되어 직접유출량이 상대적으로 많은 유역들이다.

2. 대상유역 관측 유량 자료 현황

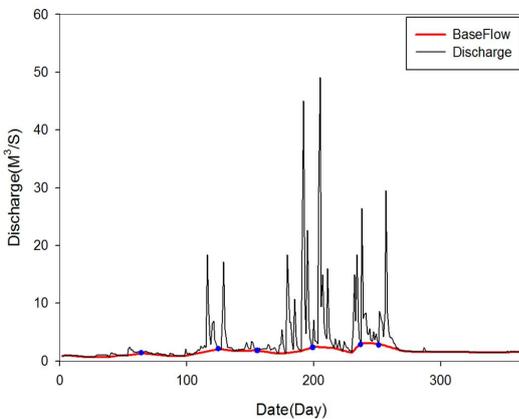
대상 유역의 유량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)의 관측수위를 바탕으로 수위-유량 관계곡선식에 의하여 환산하여 산정하였다. 유역에 대한 물의 순환과정에서 강우를 입력으로 본다면 유량은 여러 가지 과정을 거쳐서 최종적으로 유역 출구지점으로 나오는 출력이라 할 수 있다. 따라서 수문해석을 위해서는 입력자료인 강우뿐만 아니라 출력자료인 유량의 관측이 필수적이다(이재수, 2009). 본 연구의 대상 연구유역에서 유성과 복수를 제외하고 10년 이상의 시자료 및 일 자료를 보유하고 있으며, 청성과 산계교유역을 제외하고는 시자료 보유기간이 20년 미만이다. 따라서 본 연구에서는 모든 유역에 대하여 동일한 기간을 평가하기 위하여 2003년부터 2012년까지의 일 수위 자료를 각 수위관측소의 활용가능한 수위-유량 관계식을 적용하여 유량을 산정하였다. 각 유역에 사용된 수위-유량관계곡선은 금강홍수통제소 및 한국 수문조사연보를 참고하였다.

III. 결과

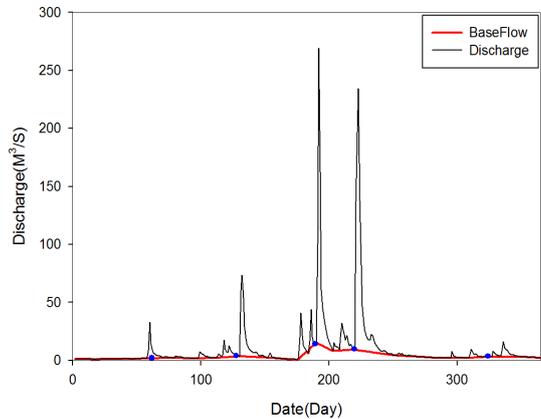
1.기저흐름 지수

수문곡선을 직접 및 기저 흐름으로 분리하는 방법(지하수 감수곡선법, 수평직선분리법, N-day법, 수정 N-day법 및 부분 최솟값 방법)들 중 영국의 홍수량 산정 표준 방법인 Flood Estimation Handbook(IH,1999)에서 적용되는 등 가장 일반적인 부분최솟값방법을 적용하였다. 부분최솟값방법은 수문곡선의 하강부 최저점을 연결하여 상부를 직접흐름으로, 하부를 기저흐름으로 보고 기저흐름지수를 산정하였다. 기저흐름지수(Base flow index)는 하천유량에서 기저흐름이 차지하고 있는 비율을 나타내며, 수문곡선으로부터 분리된 총 유량에 대한 기저흐름의 비율로 정의된다. 본 연구에서는 유럽가뭄센터(<http://www.geo.uio.no>)에서 제공한 Morawietz(2014)의 프로그램을 활용하여 기저흐름지수를 산정하였다.

<그림 2>의 수문곡선은 2003년의 청주 무심천 수문곡선으로 곡선의 직접유출구간은 검은색 실선, 기저흐름구간은 붉은선으로 구분하였다. BFI지수는 수문곡선이 상승하기 시작하는 각각의 변곡점들을 연결하여, 총 유량의 면적과 기저흐름의 면적을 비율로 계산을 통하여 산정되었다. <그림 3>은 천천구역의 2011년 BFI 산정 개략도이다.



<그림 2> 청주구역 BFI 산정 개략도



<그림 3> 천천구역 BFI 산정 개략도

금강 24개 유역에 대하여서도 2003-2012년 기간의 총 10년의 일 유량을 바탕으로 BFI를 산정하였으며, 각 년도별로 추가 산정하여 개별 년도의 유출 특성을 분석하였다. 금강 24개 유역의 장기 BFI 분석 결과는 아래의 <표 3>과 같다. BFI 값은 최대 0.72에서 최소 0.08까지 큰 편차를 보이고 있다. 이 중 가장 큰 편차를 보이는 유역은 우성유역이다. 우성유역의 경우 2007-2010년까지 BFI수치가 다른 년도의 BFI수치에 비해 현저히 작은 것을 알 수 있는데, 이는 다른 년도에 비해 6, 7, 8, 9월의 유량이 상대적으로 현저하게 낮기 때문인 것을 확인할 수 있다. 다른 년도의 6-9월 유량은 높은 값을

유지하였으나, 2007-2010년도의 6-9월의 유량은 그에 비해 상대적으로 낮은 값을 유지한다. 따라서 이것이 원인이 되어 BFI의 편차를 나타낸 것으로 보인다. 따라서 연도별 편차의 영향을 저감하기 위하여 연 최대 및 최소 수치를 제외한 8개년도의 연도별 BFI를 평균하여 유역의 장기 BFI*로 제시하였다. 용담댐지점은 용담댐의 방류에 의한 홍수조절효과를 받는 지점으로 기저흐름이 높게 산정되었다. 탄부교 유역은 보청천 상류유역으로 홍수시 많은 유량, 갈수시 적은 유량의 특성을 보여주고 있는 산지하천의 특성을 보여주고 있다. 따라서 기저흐름이 0.08로 작게 산정되었다. 미호천 유역의 경우는 0.47(북일) 0.45(청주) 0.17(오창), 0.50(합강), 0.37(옥산) 0.43(석화)의 분포를 나타내고 있다. 전체적으로 0.37-0.50 값이 산정되어 미호천 유역의 특성을 잘 반영하고 있다고 판단된다. 그러나 오창유역의 BFI값이 0.17로 낮게 산정된 것으로 보아 동일 수계내 타유역과 다른 경향성을 보여준다. 이는 수문자료의 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다. 갑천 유역은 0.37(유성), 0.29(복수), 0.20(인동)의 값이 나타난다. 이는 동일 수계내 유역특성이 잘 반영되었다고 판단된다. 금강하류는 0.28(구룡), 0.34(우성), 0.26(논산), 0.30(석동)의 값을 나타내며, 유역특성이 잘 반영되었다고 판단된다. 그러나 우성유역의 연도별 BFI의 편차가 0.03-0.89로 나타난 것은 자료의 품질검토가 필요하며, 수문자료의 검토가 필요하다. 우성유역을 제외한 연도별 BFI는 유사한 경향성을 보여주어 개별연도의 특성을 모두 잘 반영하고 있다고 판단된다.

<표 3> 금강 24개 유역의 기저흐름(BFI)지수

Catchment		BFI*	년도 별 BFI									
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
C1	천천	0.30	0.36	0.35	0.27	0.22	0.06	0.24	0.29	0.34	0.32	0.37
C2	청성	0.28	0.35	0.33	0.21	0.34	0.39	0.25	0.24	0.14	0.32	0.20
C3	동향	0.34	0.38	0.28	0.24	0.28	0.39	0.47	0.24	0.31	0.41	0.45
C4	기대교	0.43	0.48	0.53	0.55	0.54	0.28	0.40	0.29	0.44	0.36	0.40
C5	무주	0.44	0.64	0.68	0.57	0.42	0.64	0.80	0.16	0.09	0.16	0.22
C6	산계교	0.40	0.57	0.53	0.98	0.56	0.23	0.33	0.17	0.40	0.21	0.38
C7	심천	0.29	0.28	0.26	0.24	0.14	0.38	0.33	0.26	0.41	0.23	0.36
C8	송천	0.25	0.41	0.36	0.39	0.22	0.25	0.18	0.08	0.27	0.13	0.21
C9	탄부교	0.08	0.05	0.07	0.07	0.12	0.03	0.12	0.01	0.17	0.07	0.12
C10	양강교	0.53	0.59	0.45	0.48	0.53	0.58	0.75	0.60	0.49	0.28	0.53
C11	용담댐	0.72	0.42	0.79	0.42	0.79	0.72	0.94	0.86	0.38	0.85	0.96
C12	북일	0.47	0.48	0.45	0.48	0.47	0.47	0.63	0.52	0.48	0.36	0.42
C13	청주	0.45	0.58	0.48	0.45	0.60	0.40	0.43	0.39	0.49	0.36	0.34
C14	오창	0.17	0.09	0.07	0.01	0.17	0.26	0.12	0.02	0.31	0.28	0.39
C15	합강	0.50	0.60	0.40	0.36	0.52	0.67	0.69	0.58	0.41	0.43	0.38
C16	옥산	0.37	0.45	0.31	0.33	0.34	0.46	0.27	0.30	0.38	0.41	0.45
C17	석화	0.43	0.53	0.32	0.33	0.45	0.49	0.80	0.48	0.43	0.33	0.37
C18	유성	0.37	0.56	0.40	0.53	0.34	0.25	0.48	0.26	0.37	0.21	0.32
C19	복수	0.29	0.28	0.26	0.24	0.14	0.38	0.33	0.26	0.41	0.23	0.36
C20	인동	0.20	0.19	0.23	0.12	0.14	0.21	0.12	0.28	0.21	0.28	0.20
C21	구룡	0.28	0.54	0.14	0.39	0.31	0.21	0.20	0.22	0.32	0.26	0.29
C22	우성	0.34	0.53	0.39	0.30	0.40	0.09	0.06	0.03	0.09	0.87	0.89
C23	논산	0.26	0.29	0.22	0.18	0.28	0.17	0.41	0.31	0.40	0.20	0.23
C24	석동	0.30	0.32	0.35	0.42	0.44	0.29	0.60	0.21	0.19	0.09	0.20

2. 기저흐름지수 산정식

본 연구에서는 유량 자료가 없는 미계측 유역의 기저흐름지수를 산정하기 위하여 기저흐름지수와 유역 특성인자와의 선형 회귀 관계식을 산정식으로 제시하였다. 금강 24개 유역의 관측 유량을 바탕으로 한 기저흐름지수와 고아라 등(2012)이 제시한 금강 유역의 7개 대표 유역 특성인자를 대표적인 통계 상용프로그램인 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)에 적용하여 다음 <식 1>과 같이 산정식을 도출하였다.

$$BFI = AREA * 0.0000814 - Rf * 0.358 - 0.018 + Dd + 1.151 * FARL + 0.005 * CN - 0.677 \quad (R^2 = 0.60) \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

<식 1>의 선형회귀식 산정에 포함되지 않은 석동유역에 적용한 결과, 0.30의 값을 나타내며, 이는 실 관측 유량으로 산정한 BFI 수치(0.30)와 1%이내의 오차범위내 값을 제시하고 있다. 본 산정식은 조정된 결정계수 R^2 값이 0.6을 제시되어 상대적으로 낮은 60%의 설명률을 가지고 있지만, 자료의 제한 및 적용성을 감안하여 기본적인 유역 특성인자로서 적용 할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 다수의 유역 자료를 활용하여 정도 높은 회귀식의 도출이 필요하다.

IV. 결론

본 연구에서는 가뭄위기관리 등의 중요한 유역지표인 기저흐름지수(Base Flow Index)를 금강 24개 유역을 대상으로 산정하고, 이를 바탕으로 기저흐름지수 산정식을 제시하여 금강 유역의 유역특성인자로서의 가능성을 검토하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

금강 24개 유역의 장기 BFI는 최소 0.17에서 최대 0.72값의 분포를 나타내고 있으며, 특히 용담댐 지점은 댐유출의 영향으로 기저흐름이 높게 산정되어 유역 특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다.

대규모 유역의 경우 기저흐름지수가 크게 산정(0.53-양강교(2078km²), 0.5-합강(1848.8km²)되며, 소규모 유역의 경우 기저흐름지수가 작게 산정(0.08-탄부(76.4km²), 0.2-인동(60.2km²)되는 경향을 나타내고 있다. 이는 상류 소규모 유역의 수자원관리의 유량 편차를 객관적인 지수로 제시하고 있다.

BFI 산정 공식을 7개 유역 특성인자를 바탕으로 제시하였으며, 이를 석동유역에 적용하여 실관측 유량을 바탕으로 산정 한 BFI지수와 비교한 결과, 오차 1%이내의 근사한 수치를 나타내고 있다. 이를 통하여 본 연구의 산정식의 적용성을 확인할 수 있다.

본 연구성과인 BFI 및 기저흐름지수 산정식은 향후 금강 유역의 유역 특성인자로서 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 전국유역으로 확대하여 유역 수자원관리의 기초자료로서 제시하고자 한다.

참고문헌

- 고아라, 이효상. 2011. 금강 상류 유역의 저수지 홍수저감지수 산정. 한국방재학회논문집. 11(5): 273-280.
- 고아라. 2012. 금강 상류 중소 규모 유역을 대상으로 한 대표 유역 특성인자와 홍수지표의 관계식 도출. 석사학위논문. 충북대학교.
- 노재경, 임동진, 이우석. 2000. 한국하천의 계절 유출률 변화분석. 한국수자원학회. 33(3): 118-123.
- 류지철, 강현우, 임경재. 2012. Web GIS 기반 기저유출 분리 프로그램 소개. 한국수자원학회논문집. 45(2): 93-102.
- 양정석, 지동근. 2010. 금강 유역의 지하수위와 WHAT SYSTEM을 통하여 산정된 기저유출과의 상관관계 분석. 지질공학. 21(2): 107-116.
- 윤용남. 2007. 수문학. 서울: 청문각.
- 이재수. 2009. 수문학. 서울: 구미서관.
- 이정호, 전성우, 이명진, 홍현정. 2010. 기후변화 연동 4대강 유역 지하수 함양 및 이용가능량 산정 2. 한국환경정책 평가연구원.
- 장형준, 이효상. 2014. PDMM 개념적 강우-유출모형을 활용한 북일 유역의 단기 홍수사상의 분석. 한국위기관리논집. 10(6): 137-156.
- 전일권, 김경수, 남일기, 박성천, 이관영. 2010. 하천관리실무. 서울: 동화기술.
- 최홍윤, 이신재, 이진원, 정성원. 2008. 강우관측소의 공간분포 및 밀도에 따른 유출률 비교. 한국수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집. 1169-1173.
- Adane, Abebe and Gerd Foerch. 2006. *Catchment Characteristics as Predictors of BFI in WABI SHEBELE River Basin EAST AFRICA*. Research Institute for Water and Environment. Civil Engineering Department. University of Siegen. 57068 Siegen. Germany.
- CSIRO and SKM. 2010. *Baseflow Assessment for the Murray-Darling Basin*.
- Eckhardt. 2005. How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. *Hydrological Processes*. 19(2): 507 - 515.
- Faulkner, D., H. Houghton-Carr, A. Robson, D. Reed, and A. Bayliss. 1999. *Flood Estimation Handbook*. Institute of Hydrology. Wallingford: United Kingdom.
- Flood Estimation Handbook. 1999. *Centre for Ecology and Hydrology*. Wallingford, Oxfordshire (Formerly the Institute of Hydrology).
- Liqun Chen, Changming Liu, and Fanghua Hao. 2013. *Calculating Baseflow and Analyzing Climate Factors Impact on It the Source Regions of the Yellow River*. China Geological Survey(CGS). (<http://en.cgs.gov.cn/Achievement/The34thCongress/Ecology/18105.htm>)

Mcvicar, *et al.* 2013. Global Patterns in Base Flow Index and Recession Based on Streamflow Observations from 3394 Catchments. *Water Resources Research*. 49(12): 7843 - 7863.

Yunqiao, Shu and Keran G. Villholth. 2010. *Analysis of Flow and Baseflow Trends in the Usangu Catchment, Tanzania*. IWMI, International Water Management Institute, Pretoria, South Africa.

<http://www.geumriver.go.kr>(금강홍수통제소)

http://www.geo.uio.no/edc/software/BFI/User_Guide_BFI.pdf(유럽가뭄센터)

<http://www.wamis.go.kr>

<http://www.usbr.gov>

http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2015/03/31/2015033101657.html

장형준: 충북대학교 대학원에서 석사(논문 : 개념적 강우유출모형(Re로)의 단기 홍수사상 적용성 평가 - 증평 및 Jalovecky 유역)를 취득하였고, 동대학원에서 박사과정을 재학 중이며, 강우유출모형의 적용 및 설계홍수량 산정에 관하여 연구중에 있다(param79@chungbuk.ac.kr).

이효상: 충북대학교 토목공학부에 교수로 재직 중이며 영국의 Imperial College London UK에서 박사학위(논문: Regionalisation of Rainfall-Runoff Models in the UK, 2006)를 취득하였다. 주요 연구 분야는 강우-유출모형의 계측 및 미계측 유역의 적용이며 주요 논문으로는 "강우자료의 불확실성을 고려한 강우 유출 모형의 적용(2009)", "미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우-유출 모형의 적용성 평가(2012)" 등이 있다(hyosanglee@chungbuk.ac.kr).