유량 변동을 고려한 하천유지유량의 적용 방법 및 영향 평가

Application Method and Impact Evaluation of Instream Flow Considering Flow Variability

강성규* · 최시중** · 이동률***

Kang, Seongkyu*, Choi, Sijung**, and Lee, Dongryul***

Abstract

In this study, we propose a method to apply the flow regime and seasonality for instream flow, which is managed with the minimum flow concept, under present institution. In order to apply the variability of stream flow, monthly low flow series were estimated and set as monthly instream flow. The dams were operated for fulfilling variable instream flow and characteristics of the controlled stream flow were analyzed. Also, the impact on river ecosystems due to flow variation, was estimated qualitatively. The Geumgang river basin was chosen for target watershed and we used results of random climate change scenarios and rainfall runoff, as the future natural stream flow. The result of the water budget analysis was compared to the flow variable, from the concept of minimum flow as instream flow, that is managed in the current system. The concept of flow variability should be applied to the instream flow system, and the method is presented through this study.

Key words : Flow Regime, Instream Flow, Climate Change, Ecosystem

요 지

본 연구에서는 현재 최소유량 개념으로 관리되고 있는 하천유지유량에 유황 및 계절성을 반영하기 위한 방법을 제시하였다. 유량의 다양성을 반영하기 위해 월별 저유량 계열을 산정하고 이를 월별 하천유지유량으로 설정하여 댐을 운영하였을 때 발생하는 특성에 대해 분석하였다. 유량 변동을 고려할 때 하천 생태계에 미칠 수 있는 영향을 정성적으로 분석하여 함께 제시하였다. 대상유역은 금강유역으로 임의의 기후변화 시나리오와 강우유출 모형을 선택하여 물수지 분석을 수행하고 현행 제도에서 규정하고 있는 최소유량 개념의 하천유지유량을 설정한 경우와 비교하였다. 이 연구를 통해 현행 하천유지유량 제도를 유량 변동성을 고려하도록 개선하고 관리의 방법론을 제시하였다.

핵심용어 : 유황, 하천유지유량, 기후변화, 생태계

1. 서 론

우리나라의 하천유지유량은 최초, 하천법 시행령(대통령령 제5783호, 1971)에 그 개념이 등장하였으며, 현재는 하천법과 하천법 시행령에 의해 정의와 산정에 필요한 요소가 정해져 있다. 전통적으로 하천유지유량을 하천의 주요한

기능 유지를 위한 최소한의 유량으로 정의하고 있어 연중 그 변화를 담아내고 있지는 못한다. 시기에 따라 다르기는 하나, 저유량이 하천의 생태계에 밀접한 영향이 있음은 하천유지유량이나 환경유량을 다루는 많은 학자들에 의해 보편적으로 타당하다고 여겨지는 가정이다. King and Louw (1998)에 의하면 수 생태계의 생물상은 저유량 상태에 밀접

*정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원(E-mail: skkang@kict.re.kr)

Member, Senior researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

**교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 수석연구원(Tel: +82-31-910-0664, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: sjchoi@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior researcher, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

***정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원(E-mail: dryi@kict.re.kr)

Member, Senior Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

하며 유량의 극심한 변동이 없는 경우에는 대부분의 유량 상황에 적응할 수 있다. 다만 본래 발생하지 않던 극심한 고유량이나 저유량 혹은 이들 유량의 지속기간에 따라 하천의 생태계는 크게 변하기도 한다. 여러 국가들에서 하천유지유량을 산정할 때 생태계를 고려하기 위해 물고기를 대상으로 분석을 시도한다. 이는 물고기가 수생태계에서 상위 포식자의 위치에 있으므로 물고기의 서식에 적합한 유량과 제반 조건이 갖추어 진다면 기타 하위 생태계를 구성하는 생물들도 서식할 수 있다는 가정에서 출발한다. 그러나 해당 하천의 생태계를 대표하는 생물이 물고기가 아닌 경우, 혹은 여러 지역에 포괄적으로 하천유지유량을 설정하고자 하는 경우에는 한 개 구성요소를 해석할 수 있는 특정 방법론을 통한 필요유량 산정이 적합하지 않다. 또한 수변생태계나 하상의 변동, 하도의 형태 등 저유량만으로 연관성을 판단할 수 없는 다양한 요소가 있다.

유량의 다양한 변동성, 즉 유량의 하천환경에 대한 중요성은 2000년대를 전후하여 하천유지유량 분야에 크게 유행하였다. King and Louw (1998)는 Building Block Method를 제안하면서 자연 상태의 유량이 하천의 자연적인 기능과 생물상을 유지하는데 가장 중요하다고 평가하였다. Building Block Method는 월별 유량 특성을 고려할 수 있도록 고안된 방법이다. 여기서 첫 번째 Block인 월별 저유량은 다양한 분야의 전문가 협의를 통해 결정하도록 한다. 이후 필요한 유량들을 쌓아 하천유지유량을 최종적으로 결정하는 방법이다. Brown and King (2003)은 환경유량을 정의하면서 하천의 모든 구성요소들은 시간에 따라 역동적이며 자연 상태 유량의 다양성이 필요하다고 말하였다. 생태계의 특별하고 가치 있는 특성을 유지하기 위해서는 원래의 유량이 지속적으로 흘러야 한다(Tharme, 2003). 하천과 지하수, 홍수터의 생물물리학적 특성과 생태학적 과정을 유지하거나 복원하기 위해서는 자연 상태 유량의 중요한 특성(양, 빈도, 시기, 지속기간, 변화율)을 유지하거나 부분적으로 복원하여야 한다(Arthington and Pusey, 2003). Kang (2012)은 Building Block Method와 우리나라의 하천유지유량 적용방식을 조합하고 필요유량 항목을 조정하는 개선안을 제안한 바 있다.

한편 하천유지유량은 하천에 남아서 흘러야 하는 물이므로 소유와 이용에 있어 사람의 물이용과 상호 배타적인 위치에 있다. 특히 높은 인구밀도로 인해 물이용이 고도화된 우리나라와 같은 경우 하천유지유량을 설정하기 위해 반드시 고려하여야 할 부분이 사람에 의한 하천수의 사용이다. 우리나라는 하천법 상, 사람에 의한 물이용이 하천유지유량보다 순위에서 우선한다. 따라서 하천유지유량을 산정하고 고시하는 경우 하천의 유량상황에 대한 판단이 필요하다.

본 연구는 월별 특성을 고려하여 하천유지유량을 결정하고 물이용을 반영한 실제 적용을 위한 분석 부분과 현행 최소유량 개념의 하천유지유량 및 유량을 고려하는 하천유지유량을 적용하였을 때, 유량과 생태계에 미치는 영향에

대한 비교, 평가를 주된 내용으로 한다. 이 연구의 주된 목적은 유량 변동을 고려한 하천유지유량을 정하는 방법을 제안하고 관련 제도를 개선하기 위함이다.

2. 대상유역 자료 수집 및 가정

금강유역은 본류구간에 용담댐과 대청댐이 설치되어 운영되고 있는 전형적인 조절하천이다. 논산천에 탑정호라는 농업용저수지가 있으나 지류구간에는 대체적으로 하류의 유량을 제어할 수 있는 대형 저류시설이 설치되지는 않았다. 바람직한 상태, 즉 자연 상태의 유량을 살펴보기 위해 용담댐 하류의 이원(옥천)지점과 대청댐 하류의 공주지점 수위관측소를 선정하여 자료를 수집하였다.

2.1 저유량 추정

Fig. 1에서 대청댐의 경우 1980년에 완공되어 그 이전에도 농업용수 사용이 있었으나 대형 산업단지 및 광역상수도 등을 통한 물이용이 없었으므로 댐이 건설되기 이전의 자료를 자연 상태의 유량으로 판단하였다. 또한 용담댐은 대청댐보다 시기적으로 산업발전이 이루어진 이후에 건설되었으나 상류에 위치하여 댐 건설전에는 대규모 물이용이 없었던 점, 주변에 발달한 큰 도시가 없는 점 등으로 미루어 댐 건설 이전의 자료를 자연 상태 유량으로 판단하였다.

Fig. 1. Human Water Use and Major Related Facilities of Geumgang River Basin

월별 저유량을 산정하기 위해 일유량 자료를 이용하여 월 평균유량으로 연도별 월별 저유량 계열을 작성하였으며, 백분위에 해당하는 유량값들을 산정하였다. Figs. 2와 3의 저유량 중 이원지점의 자료는 1993년부터 2000년까지의 일유량 자료를, 공주지점의 자료는 1966년부터 1980년까지의 자료를 일별로 수집하여 분석하였다. 자연 상태의 유량을

모의하여 사용하면 자료기간이 길어지는 장점도 있으나 매개변수 검보정을 위한 신뢰할 수 있는 자연 상태의 관측유량을 충분히 확보할 수 없는 한계를 고려하였다.

Fig. 2에서 이원지점은 상대적으로 자료기간이 짧아 7월과 8월의 100분위에 해당하는 유량이 9월에 기록된 유량보다 적으나 이는 우리나라 강수의 일반적인 특성은 아니며 충분한 양의 관측유량 자료를 확보한다면 Fig. 3의 공주와 같은 패턴을 보일 것이다.

Fig. 2. Monthly Low Flow at Iwon Station

Fig. 3. Monthly Low Flow at Gongju Station

2.2 물수지 분석

물이용과 하천 유량의 관계를 분석하기 위하여 기후변화를 반영한 미래 예측 유량, 우리나라 수자원장기종합계획에서 예측한 수요량 자료에 금강유역의 물이용 시스템을 반영한 물수지 분석을 수행하였다.

국토교통부는 물관리사업의 일환으로 ‘기후변화 대비 수자원 적응기술 개발 연구단’을 통해 다양한 미래 예측 유량을 중권역별로 제공하고 있다. 이 유량들 중 본 연구에서는 임의의 시나리오(RCP 4.5)에 대한 임의의 기후모형(CESM1-BGC)과 강우유출모형(PRMS)을 선택하여 그 유량값(자료기간: 2021년 ~ 2050년, 30년)을 활용하였다. 이는 기후변화 시나리오가 그 자체로 변동성이 크고 선택의 기준이 명확하지 않으므로 방법론 검토와 제도개선이라는 본 연구의 목적에 부합하도록 한 것이다.

국토교통부 (MOLIT, 2016)에서 수자원장기종합계획을

수립하기 위해 사용한 수요량 자료 중 목표연도 2030년의 수요량자료를 시스템에 반영하였다. 하천유지유량은 크게 두 가지 경우로 구분하여 물수지에 적용하였다. 첫째는 현행과 같은 최소유량 개념의 하천유지유량을 지류와 본류에 적용하였으며, 이 값들은 2006년과 2015년에 고시된 공식적인 하천유지유량 값이다. 둘째로 유량조절시설이 있는 본류는 2.1절에서 산정한 월별 저유량값을 하천유지유량으로 반영하되, 백분위 0에 해당하는 유량값부터 증가시켜 충족가능성을 평가하였다. 첫 번째 분석조건인 하천유지유량은 충족 우선순위가 생·공·농·업·용수보다 후순위에 있으나, 유량을 고려한 하천유지유량에서는 우선순위를 사람의 물이용과 동일하게 설정하였다. 공주지점 이후부터 금강하구까지 하천유지유량이 고시된 지점은 공주, 규암 및 강경지점이나 실제로 규암지점까지 금강 하굿둑 수문 조작의 영향을 받는 점을 고려하여 두 번째 분석조건에서는 대청댐 하류의 하천유지유량은 공주지점의 하천유지유량이 전 구간에서 걸쳐 유효한 것으로 분석하였다. 용담댐 하류부터 대청댐에 이르는 본류구간은 이원지점의 유량을 고려한 하천유지유량이 유지되는 것으로 하였으며, 조절시설이 없는 지류의 경우는 현행의 하천유지유량을 그대로 분석에 반영하였다.

3. 분석결과

분석결과는 이원지점과 공주지점에 대한 하천 유량에 대한 정량적 평가와 이들 유량 변동에 의한 생태계 영향에 대한 정성적 평가로 구분하여 제시하였다.

3.1 유량변동의 정량적 평가

Richter et al. (1997)은 하천생태계관리를 위한 목표유량 설정을 위한 방법을 제안하였다. 이때 유량 자료의 통계적 특성을 평가하기 위한 분석 툴로 IHA (Indicators of Hydrologic Alteration)를 제시하였다. 본 연구에서는 통계 특성 분석에 이 IHA를 활용하였다.

분석에 포함된 유량의 특성에는 유량의 크기(월평균, 월별 저유량 및 고유량) 지속기간별 최솟값 및 최댓값, 다양한 펄스 및 발생 시기 등이 있다. 여기서는 월 평균유량과 저유량을 표로 비교하고 지속기간별 최솟값과 변동성에 대한 분석결과는 그림으로 나타내고자 한다.

Table 1에서 월유량의 평균값을 살펴보면 상관관계의 측면에서 최소유량으로 하천유지유량을 관리하는 경우와 유량 변동성을 고려하는 경우에 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나 표준편차로 확인하였을 때 이원지점의 경우 유량의 변동성을 고려하는 경우가 자연 상태의 유량을 더 잘 반영하는 것으로 나타난다. 공주지점은 유의미한 차이가 발생하지는 않았다. 생태계에 주된 영향을 주는 것으로 알려진 저유량 상황에서 이원지점의 경우 상관관계나 표준편차의 수치로 모두 유량을 고려하여 하천유지유량을 관리하는 것이 자연

Table 1. Statistics of Monthly Flow

Items	Iwon						Gongju					
	Mean			Low flow			Mean			Low flow		
	NF	MF	FR	NF	MF	FR	NF	MF	FR	NF	MF	FR
Jan.	12.02	19.22	16.75	12.13	16.12	13.81	46.75	43.96	38.40	44.72	43.22	44.58
Feb.	16.81	36.06	32.26	10.93	16.99	15.04	69.63	51.10	45.93	54.98	43.83	45.77
Mar.	31.15	22.79	25.16	22.87	15.44	17.50	88.50	58.59	67.24	56.08	45.87	45.44
Apr.	41.02	40.54	43.34	21.40	16.58	19.79	131.00	91.24	88.54	59.55	46.31	46.86
May	37.61	32.19	31.25	19.09	16.44	15.67	110.90	85.02	79.15	59.78	44.16	53.00
Jun.	76.73	75.66	74.54	17.78	17.58	16.02	116.20	188.20	188.50	51.31	47.99	57.84
Jul.	140.10	127.40	130.30	25.73	24.55	30.47	391.80	348.00	349.90	72.42	63.95	65.61
Aug.	136.00	166.40	174.10	26.15	24.74	34.25	361.10	412.60	441.40	74.65	62.95	-
Sep.	116.20	118.50	119.10	22.44	27.00	32.61	246.30	308.40	303.40	78.73	64.57	80.90
Oct.	40.61	34.53	30.73	20.87	19.72	18.21	81.10	84.34	74.61	63.37	47.67	46.84
Nov.	22.05	22.57	20.65	18.30	16.19	14.16	57.94	51.04	46.21	54.86	38.45	41.65
Dec.	18.04	25.08	23.83	15.25	16.85	16.06	51.52	55.52	54.77	50.72	41.51	35.01
CC	-	0.97	0.97	-	0.63	0.76	-	0.96	0.96	-	-	-
SD	-	50.18	40.52	-	5.96	4.05	-	124.02	127.40	-	-	-

※ Remark: NF (Natural flow), MF (Minimum flow), FR (Flow regime), CC (Correlation Coefficient), SD (Standard deviation)

상태를 잘 반영함을 알 수 있다. 공주지점은 8월의 유량이 백분위 0에 해당하는 값을 밑돌아 대청댐에서 이 값인 134.93 m³/s를 충족하기 위해 지속적인 유량을 공급하므로 강우가 발생하지 않은 대부분의 유량이 134.93 m³/s으로 기록된다. 이에 저유량의 산정기준을 충족하지 못하여 해당 값을 구할 수 없다. IHA를 이용한 유량특성 분석에서 사용되는 저유량은 22절의 저유량 계열과는 무관한 값으로 강수가 발생하지 않았을 때 일반적으로 하천을 흐르는 월유량을 감안하여 산정한 것이다. 본 연구에서 저유량은 월의 75% 미만의 유량을 설정하여 구하였으며, 이는 우리나라 강수 패턴 상 지속적으로 일주일 이상 비가 오지 않음을 감안한 수치이다.

이원지점의 1일 최소유량은 Fig. 4와 같이 유량의 변동을 고려한 하천유지유량보다 최소값의 개념을 적용한 하천유지유량이 자연 상태의 범위에 더 부합하는 결과를 보인다. 그러나 이 최소한의 하천유지유량만을 위한 용담댐의 물 공급은 균일한 저유량 상태를 보이게 된다. 반면, 유량의 변동성을 고려한다면 지점의 유량도 변동되고 있으며 그 평균값이 과거 자연 상태의 범위 안에 위치하여 다양성의 측면에서 긍정적 효과가 있음을 알 수 있다. Fig. 5의 공주지점은 저유량의 변동성과 그 평균에서 모두 유황을 고려한 하천유지유량이 바람직한 상태에 있음을 알 수 있다. Figs. 6과 7의 지속기간 7일의 최소유량도 1일 최소유량과 그 양상은 비슷하다.

한편 수문변화율(Hydrologic alteration)은 Eq. (1)과 같이 정의하며, 다양한 유황 요소 중 수문변화율이 큰 요소들을

선정하여 Fig. 5에 나타내었다.

$$\frac{\text{Observed frequency} - \text{Expected frequency}}{\text{Expected frequency}} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 기대빈도는 자연 상태의 관측 값이 이들의 평균 ± 표준편차의 범위에 있는 횟수에 모의유량 자료기간 대비 자연 상태 유량의 자료기간의 비율을 곱한 값이며, 관측빈도란 물수지 분석 후의 유량이 관측 값의 평균 ± 표준편차의 범위에 들어있는 횟수이다. The Nature Conservancy (2009)에 따르면 양의 수문변화율은 변화 이후의 유량값이 과거의 범위에 포함되는 횟수가 증가한다는 뜻이며, 음의 값은 변동 후의 특성치가 과거의 범위를 벗어남을 의미한다. 수문변화율의 최소값은 -1이다.

수문변화율로 판단할 때 이원지점은 Fig. 8에서 과거 자연 상태를 벗어났음을 의미하는 음의 수문변화율은 현행 최소 유량으로 하천유지유량을 관리하는 경우 총 33가지 유황 구성 요소 중 20가지 항목이다. 완전히 자연 상태를 벗어났음을 의미하는 -1의 수문변화율 항목은 11개 항목이다. 유량변동을 고려했을 때는 음의 수문변화율이 21개 항목에서, -1의 값이 10개 항목임을 확인할 수 있었다.

Fig. 9에 나타난 공주지점은 최소유량의 하천유지유량인 경우 18가지 항목이, -1의 수문변화율을 보이는 항목은 11가지 항목이었다. 변동성을 고려한 하천유지유량으로 하천수를 관리하는 경우 15가지 항목에서 과거 자연 상태에서부터 벗어나 있으며, 완전히 벗어난 항목은 7가지 항목으로 분석되었다.

Fig. 4. 1-day Minimum Flow at Iwon Station

Fig. 5. 1-day Minimum Flow at Gongju Station

Fig. 6. 7-day Minimum Flow at Iwon Station

Fig. 7. 1-day Minimum Flow at Gongju STATION

Fig. 8. Hydrologic Alteration of Iwon: Minimum flow(top) and flow regime(bottom) as Instream flow

Fig. 9. Hydrologic Alteration of Gongju: Minimum flow(top) and flow regime(bottom) as Instream flow

종합하면 이원지점은 수문변화율을 근거로 판단할 때 유황 구성요소 중 변동이 생긴 항목은 현행 최소유량 개념의 하천유지유량으로 관리하는 경우가 적으나 그 변동폭은 유량 변동을 고려한 하천유지유량을 고려하는 경우가 적었다. 다만, 항목의 개수에서 그 편차는 1개씩으로 큰 차이는 없었다. 공주지점은 과거 자연 상태를 벗어나는 유황 구성요소의 항목과 그 정도에 있어 유량 변동을 고려하는 하천유지유량이 월등히 바람직한 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

3.2 정성적 하천생태계 변화 예측

저유량은 기저유량과 동일한 개념으로 생태서식처가 유지될 수 있는 기간에 밀접한 관계가 있다. 이원지점은 저유량이 두 가지 경우 모두 과거에서 벗어나 있으나, 벗어난 유량 값이 자연 상태보다 크게 유지되고 있어 서식처 유지에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 이원지점의 저유량은 1월, 2월, 3월, 4월과 12월에서 유량변동을 고려하는 경우가 자연 상태에 더 가깝게 분석되었다. 이 시기를 제외하면 하천에 유량이 비교적 풍부한 기간이므로 저유량에 의한

악영향은 적을 것으로 판단할 수 있다. 공주시점은 1월, 2월, 4월, 5월, 7월, 9월, 11월에서 유량변동을 고려하는 경우가 바람직한 상태의 저유량을 유지하는 것으로 나타났다.

이 연구의 고유량의 조건은 월별 유량의 75%를 넘는 유량임을 가정하였다. 고유량이 발생하면 수온 강하와 용존 산소의 양을 많아지며, 마른 지역으로 물이 공급되고 생물이 이동할 수 있는 공간이 많아진다. 이는 하천의 중형 방향으로 생물의 교류가 활발해 짐을 의미한다. 고유량 항목은 지속기간 1일, 3일, 7일, 30일 및 90일에 해당하는 최댓값을 근거로 판단하였으며, 이 중 1일, 3일, 7일에 해당하는 최댓값의 항목에서 유량변동을 고려한 하천유지유량을 통한 하천수 관리가 바람직한 하천환경에 더 적합한 것으로 나타난다.

3.3 하천유지유량으로서의 적정 유량

유황을 반영하여 하천유지유량을 설정하고 관리하는 것이 자연 상태에 더 적합한 하천수 관리임은 두 가지 경우로 구분하여 정량적, 정성적 평가를 통해 증명하였다. 본 절에서는 어느 정도가 적절한 값인지에 대한 결정 과정을 서술하기로 한다.

월별 적정 유량의 선택은 다양한 분야 전문가의 협의를 통해 결정되는 King and Louw (1998)의 Building Block Method에서도 알 수 있듯이 어려운 과정이다. 이에 본 연구에서는 물수지 분석을 통해 공급가능 정도를 판단하는 방법으로 적정 유량을 선택하고 결정하는 과정을 제시하고자 한다.

Table 2는 백분위에 해당하는 유량 값들인 변동을 고려한 하천유지유량을 나타내며 이 값들을 증가시켜가며 공급가능성을 판단하였다.

본류의 용담댐과 대청댐의 저수량이 없어 하류의 하천유지유량을 포함한 수요량의 공급이 불가능한 상황이 되면 분석을 종료하였다. Fig. 10은 하천유지유량으로 백분위

0, 2.5, 5, 7.5에 해당하는 월별 저유량을 공급하는 것으로 설정하고 분석하였을 때, 대청댐과 용담댐의 저수량을 나타낸 것이다.

분석결과 백분위 5에 해당하는 유량을 하천유지유량으로 설정한다면 Fig. 10 (c)의 원으로 표기한 기간에 저수량은 사수량까지 떨어져 두 댐의 저수지는 가용한 수량이 없게 된다. 따라서 2.2절의 물수지 분석 조건하에서 유황을 고려한 하천유지유량의 공급가능량은 월평균유량의 백분위 2.5에 해당하는 백분위수(유량)이 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 하천의 바람직한 상태의 보전과 복원을 위한 하천유지유량을 설정하기 위해 필요한 사항을 검토하고 모의 시스템에 현행 제도와 함께 반영하여 분석을 시도하였다. 이로부터 얻은 결론은 아래와 같다.

- (1) 저유량이 하천생태계에 주된 영향을 끼치기는 하나 바람직한 하천환경 유지를 위해서는 최소유량개념이 아닌 유량의 변동성을 고려할 수 있는 하천유지유량의 설정이 필요하다.
- (2) 미래 상황을 고려하여 월별 유량특성을 반영할 수 있도록 분석을 수행하고 하천유지유량을 고시하여 관리하여야 한다.
- (3) 상류에 유량 조절시설이 있는 조절하천은 유황으로 하천유지유량을 설정한 후 하천수 사용허가 및 댐용수 사용량을 결정한다.
- (4) 유량조절시설이 없는 비조절 하천의 하천수 관리는 하천유지유량 부족 시 취수량 조정을 통해 이루어져야 한다.

Table 2. Monthly Low Flow by Percentile

Station	Percentile	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Iwon	15	7.59	6.13	20.77	19.58	12.88	10.80	27.32	37.92	11.54	8.62	10.38	6.60
	10	6.94	5.82	17.01	18.03	10.00	8.09	25.48	32.34	10.77	8.30	9.86	5.74
	7.5	6.67	5.68	14.89	17.21	8.67	7.64	25.46	30.92	10.45	8.17	9.62	5.36
	5	6.41	5.54	12.77	16.39	7.34	7.19	25.44	29.51	10.12	8.05	9.37	4.97
	2.5	6.14	5.40	10.65	15.57	6.01	6.74	25.42	28.09	9.80	7.92	9.13	4.58
	0	5.87	5.26	8.53	14.76	4.68	6.29	25.39	26.67	9.47	7.79	8.89	4.20
Gongju	15	26.09	34.33	44.93	42.01	16.77	34.25	187.72	158.64	90.07	42.37	35.12	36.90
	10	24.39	33.85	43.40	38.56	12.43	32.71	137.28	147.09	78.55	35.99	34.58	34.71
	7.5	24.02	33.69	43.15	36.86	11.97	32.32	109.85	142.46	74.06	32.77	34.36	33.53
	5	21.06	28.10	41.98	32.92	11.28	26.73	87.56	139.74	73.40	27.13	26.22	30.91
	2.5	17.67	21.62	40.66	28.60	10.55	20.28	66.12	137.33	73.37	21.09	16.76	28.04
	0	14.28	15.13	39.33	24.28	9.82	13.82	44.68	134.93	73.35	15.05	7.29	25.18

Fig. 10. Water Storage of Daechungdam and Yongdamdam by Each Instream Flow

향후 유량 특성을 고려하는 수문학적 방법으로 하천유지 유량을 결정하고자 할 때, 유량특성별 생태계 영향에 대한 직접적인 조사가 필요하다. 이는 하천유지유량 필요유량 항목 중 생태계를 고려한 필요유량의 산정 시 물고기의 물리적 서식처만을 모의하여 결정하는 현재의 방식을 개선하여 생태계의 다양한 특성을 고려할 수 있도록 해줄 것이며, 미산정 유역에 적용이 가능한 보완책이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Arthington, A., and Pusey, B. (2003). Flow restoration and protection in Australian rivers. *River Research and Applications*, Vol. 19, No. 5-6, pp. 377-395.
- Brown, C., and King, J. (2003). *Environmental flows: Concepts and methods*. Water Resources and Environment Technical Note C.1, The World Bank, Washington D.C., USA.
- Enforcement Decree of the River Act [Presidential decree No. 5783, 11 Sep. 1971], Article 11 (Basic Plan for River Maintenance).
- Kang, S.K. (2012). *Improvement of instream flow evaluation methodology in Korea*. Ph.D. dissertation, Korea University.
- King, J., and Louw, D. (1998). Instream flows assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 109-124.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport). (2016). *National water resources plan (2001-2020)*.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., Braun, D.P. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, Vol. 37, pp. 231-249.
- Tharme, R. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, Vol. 19, No. 5-6, pp. 397-441.
- The Nature Conservancy. (2009). *Indicators of hydrologic alteration*.

Received	October 18, 2018
Revised	October 19, 2018
Accepted	October 25, 2018