섬진강 수계 수질-수생태계를 고려한 하천유지유량 평가 및 재산정

Evaluation and Re-estimation of Instream Flow Considering the Water Quality and Aquatic Ecosystem of the Seomjingang River Watershed

강성규* · 최시중** · 이동률***

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

Abstract

In this study, the appropriateness of the current publicly announced and managed instream flow in the Seomjingang River watershed was evaluated based on the water quantity, water quality, and state of the aquatic ecosystem. The stream flow was evaluated based on the observed water flow rate at the Gurye-gun (Songjeong-ri) station that is the main point of the Seomjingang River flow management and located at the lowest downstream of the main stream of the Seomjingang River. Another important reason for choosing this station was that observational data from before the construction of the major dam to the present day were available. The water quality and aquatic ecosystem conditions were reviewed based on the data measured over the past 20 years, and the achievement ratio of instream flow was compared with that of stations in the other major river systems. Based on the evaluation result, the instream flow was re-estimated for the 11 important stations of the Seomjingang River and its two branches. Based on the currently permitted water use of the Seomjingang River, the amount of water required to supply for the instream flow deficit during dry seasons was predicted and presented as a reference for water management work.

Key words : Instream Flow, Water Quality, Quatic Ecosystem, Instream Flow Deficit

요 지

본 연구에서는 현재 고시, 운영되고 있는 섬진강 수계의 하천유지유량을 수량과 수질, 수생태계의 상태를 근거로 평가하여 그 적정성을 살펴보았다. 유량평가는 주요 댐 건설전 유량자료가 남아있으며, 섬진강 본류 최 하류에 위치하여 섬진강 유량관리의 핵심이 되는 구례군(송정리) 지점의 유량을 바탕으로 평가하였다. 수질과 수생태계 상황은 최근 20년간 측정된 자료를 바탕으로 확인하고 하천유지유량 달성정도는 다른 수계 주요 지점의 하천유지유량 달성도와 비교하였다. 평가자료를 기반으로 새롭게 산정이 필요한 세 개 하천과 11개 지점에 대해 하천유지유량을 재산정하였다. 현재 허가된 하천수 사용량을 기반으로 갈수기 하천유지유량 부족량 공급을 위한 필요수량을 예측해 물관리 업무에 참고가 가능하도록 제시하였다.

핵심용어 : 하천유지유량, 수질, 수생태계, 하천유지유량 부족량

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

Member, Senior Researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

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

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

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

Member, Senior Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서 론

우리나라에서 하천유지유량은 하천법에 법률적 기반을 두고 있다. 하천기본계획 수립에 하천유지유량 산정이 포함되어 간헐적으로 하천기본계획 고시에 하천유지유량이 함께 고시된 경우를 제외하면 전국단위의 하천유지유량 고시는 2006년과 2015년, 두 차례에 걸쳐 이루어졌다. 2006년에 고시된 60개 지점은 대부분 평균갈수량과 기준갈수량이 하천유지유량으로 하천 본류구간 위주로 고시되었으며 2015년에는 하천의 기능 보호와 보전을 위한 항목들인 수질, 생태계 및 경관보전을 위한 유량들로 주로 지류구간에 대해 고시되었다. 중북, 대체된 지점을 감안하면 현재 71개 하천의 114개 지점에 대해 하천유지유량이 고시되어 자연, 사회환경 보호와 보전을 위한 유량으로 관리되고 있다. 하천유지유량 산정방법에 대한 연구는 1995년 하천유지유량 설정방법의 개발 및 적용(K-water, 1995)을 통해서이다. 그와 관련하여 Kim et al. (1996)은 하천유지유량과 하천관리유량을 정의하고 갈수량과 하천수질, 생태계, 수상이용 및 경관 등을 하천유지유량산정을 위해 고려할 것을 제시하고 Kim et al. (1997)은 금강유역에 대해 이 방법을 시범 적용하였다. 하천유지유량 산정요령(MOCT, 2000)이 발표되었으며 2009년 개정을 통해 우리나라의 하천유지유량은 수질, 생태계, 경관, 염해방지, 하구막힘 방지, 하천시설물과 취수원의 보호 및 지하수위 유지 등 7개 항목을 고려하여 산정하고 결정하도록 하고 있다. 이후 Kang et al. (2016)은 유량의 다양성을 감안한 수문학적 방법의 도입과 필요유량 항목 조정의 필요성을 제시하였다. Kang et al. (2018)은 금강유역에 대해 유량변동을 고려한 월별 변동 하천유지유량을 감안하고 기후변화를 고려한 미래상황에 대한 댐운영과 유량변동 상황과 영향을 예측한바 있다.

하천유지유량은 하천주변에 사람들이 살게 되면서 배를 이용한 화물의 운송이나 물고기나 조개 등 식량의 채집과정에서 자연히 개념이 있어왔겠으나, 해외에서 그 구체적인 연구는 미국 서부에서 1940년대 하천수의 감소가 연어 등의 낚시 대상 어종의 감소를 초래하는 사례에서 시작되었다(Moore, 2004). 이후 1970년대 하천유지유량 산정에 대한 개념과 사례 조사, 구체적인 방법론이 등장하였다. 특히 Bovee (1978)에 의해 Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)이 소개되기 전에는 일평균 유량의 일정 비율을 물고기 보호를 위한 유량으로 정의하는 최소유량(Minimum flow)의 개념이 미국과 영국의 하천유지유량의 주된 설정 방식이었다(Tennant, 1976). IFIM방법은 하천생태계를 위한 유량산정을 위해 물고기의 서식처에 대해 거시적 해석과 미시적 해석으로 수행한다. 이 중 미시적 분석을 위해 사용한 모델링 방법이 지금도 이 분야에서 자주 사용되고 있는 물리적서식처모의기법(PHABSIM)이다.

하천환경의 보호를 위해 하천에 남아 흘러야하는 유량에

대한 명칭은 오늘날 환경유량, 하천유지유량, 최소유량 등 다양하게 불리우고 있다. Brown and King (2003)은 하천유지유량과 환경유량의 차이점으로 하천유지유량은 비환경적 목적(수질개선, 주운, 도수 등)을 포함하며, 유량의 자연적 변동성을 고려하지 않는 점에서 환경유량과 다르다고 하였다. 한편 Thame (2003)은 44개 국가에서 약 207가지 환경유량 산정방법이 사용되고 있다고 하였다.

우리나라의 하천수 관리에 있어 하천유지유량은 그 대상 항목에 수질과 수생태계가 포함되어 있고, 우선순위에서는 사람의 물이용의 후순위에 있으나 확보 측면에서는 유지해야 할 최소유량이다. 이러한 측면에서 하천유지유량은 통합물관리 실현을 위한 가장 기본적이며 최소한의 선결조건이라 할 수 있다.

본 연구에서는 섬진강 수계에서 하천유지유량을 수질, 수생태계적 측면과 더불어 평가하고 새롭게 산정이 필요한 하천과 구간에 대해 재산정하여 제시하였다.

2. 섬진강 수계 하천유지유량 평가

섬진강 수계의 하천유지유량은 1979년 송정지점에 대해 갈수량을 감안한 $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 고시(Government of Republic of Korea, 1979)된 이래 2006년 섬진강 본류구간 8개 지점, 2015년 지류구간 4개 하천 5개 지점에 대해 고시되었다. 하천유지유량 평가에는 과거부터 관측자료가 풍부하고 섬진강 수계 하천수 관리의 핵심지점인 구례군(송정리)지점에 대해 갈수량을 평가하고 2006년과 2015년 고시된 지점들에서의 수질현황과 수생태계 현황을 함께 평가하여 적정성을 나타내었으며 재 산정이 필요한 지점을 선별하였다.

2.1 고시유량 달성률 및 갈수량 평가

섬진강 수계의 하천유지유량 고시지점에 대해 1999년부터 2018년까지 수문조사연보의 일 유량자료를 조사하여 하천유지유량의 달성률을 산정하였다. Fig. 1은 대상유역의 하천 및 하천유지유량 산정지점을 포함하는 주요 관측지점을 나타내고 있다. 최근 20년 자료를 기반으로 판단할 때 본류구간에서는 섬진강댐 직하류부에 위치한 임실군(일중리)지점의 하천유지유량 달성률이 가장 저조하여 74%를 기록하고 있다. 이는 섬진강댐에서 하류로의 방류가 없는 상황에서 갈수기 유량부족으로 나타나는 결과이다. 이후 지류 및 하류 유입량 증가로 하천유지유량 달성률은 증가하다가 보성강이 합류하고 난 이후의 섬진강 본류는 97% 이상의 하천유지유량 달성률을 보이고 있다. 지류구간은 특히 보성강의 하천유지유량 달성률이 저조한데 이는 해당 하천의 목표수질이 상수원보호구역으로 인해 1등급으로 설정된 지점의 수질항목이 하천유지유량으로 결정되었기 때문이다. 섬진강 수계에서 하천유지유량은 64%에서 99%의 달성률을 보이고 있다.

Fig. 1. Study Area and Instream Flow Achievement Rate of Major Station

섬진강 본류의 하천유지유량은 평균갈수량으로 산정, 고 시되었는데 자연상태의 유출량을 기반으로 산정되어야 했 음에도 과거에는 적절한 유출량 모의 기준이 없었으므로 주암댐이 건설되기 이전의 관측유량(1965년~1992년)을 기 반으로 갈수량을 평가하고 면적대비 비유량으로 평균갈수 량이 결정되었다. 그러나 해당 기간은 섬진강댐이 이미 건설 되어 운영되던 시기였고 섬진강댐에서는 홍수기 댐 안정성 확보를 위한 방류 이외에는 하류로 물을 흘려보내지 않았으 므로 현재까지 적은 일유량 자료를 기반으로 평균갈수량이 산정되었다. 이에 본 연구에서는 2006년 같은 시기에 고시된 하천유지유량 중 다른 수계 주요지점의 갈수량과 면적과의 관계를 섬진강 수계와 비교하여 그 적절성을 평가하였다.

수자원장기종합계획(MOLIT, 2016)에 따르면 자료기간 1986년부터 2015년까지 섬진강유역의 연평균갈수량은 1,423 mm로 1,200 mm대를 기록하고 있는 다른 수계에 비해 많으 나 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 갈수량은 매우 적게 예측되었다. 다른 수계의 면적대비 평균갈수량 산정식에 구례군(송정리)지점의 면적을 대입하면 평균갈수량은 고시 된 4.62 m³/s에서 12.36 m³/s로, 기준갈수량은 2.27 m³/s에서 6.36 m³/s로 증가하게 된다. 실제 구례군(송정리)지점의 갈수량 을 관측치를 바탕으로 Fig. 3과 같이 평가해보면 섬진강댐

Fig. 2. Low Flow Comparison with Other Major River

Fig. 3. Comparison of Observed Low Flow by Period

건설 전 11.21 m³/s였던 갈수량은 섬진강댐 건설 후 5.47 m³/s로 줄었다가 주암댐이 건설 된 이후 다압취수장 취수량 및 하천유지용수 의무방류량이 더해져 12.56 m³/s까지 회복되는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 섬진강 수계의 갈수량은 과소 산정되었음을 알 수 있다.

2.2 섬진강 수계 수질 및 수생태계 평가

물환경보전법에 따라 환경부에서는 중권역별 수질 및 수생태계 목표기준(Ministry of Environment Notice 2018-6)을 고시하고 있으며 또한 물환경 목표기준 평가 규정(Ministry of Environment Notice 2018-6)에 따라 생물학적산소요구량(BOD) 및 총 인(T-P) 항목에 대해 각각 평가하며, 달성여부를 중권역 대표지점별 수질측정자료의 연간산술평균값으로 판단하도록 하고 있다. 본 연구에서는 수질항목 중 하천유지유량 대상항목인 BOD를 대상으로 환경부 수질측정망의 최근 20년 자료를 수집하여 기준에 따라 산술평균해보고 월별 자료를 활용하여 달성률을 함께 산출하였다. Table 1과 같이 목표수질이 BOD기준 2 mg/L인 지점에서는 측정자료의 평균은 모두 기준치 이하로 나타나고 있으며, BOD기준 1 mg/L의 목표치가 설정된 지점에서는 주암댐 하류부의 보성천 지점의 경우 0.84 mg/L로 목표수질을 달성하고 있으나 보성강댐 하류의 보성군(구, 검백) 지점은 수질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

수생태계 건강성 조사는 환경부 생물측정망 자료를 수집, 분석하였으며 자료기간은 2009년부터 2018년까지로 10년간의 반기별 조사 결과를 활용하였다. 생물측정망 조사 및 평가지침(NIER, 2016)에 따르면 총 8가지 항목에 따라 상태를 평가하고 합산하여 어류생물지수(Fish Assessment Index, FAI)를 결정하며 ‘매우 좋음’에서 ‘매우 나쁨’까지 다섯

단계로 구분하고 있다. 하천유지유량 산정요령(MLTM, 2009)에 따르면 하천 생태계를 고려한 필요유량은 원칙적으로 하천에 서식하는 생물을 대상으로 하나 고등생물인 어류를 대상으로 할 수 있다. 또한 모든 어종을 대상으로 생태계를 고려한 필요유량을 산정할 수 없으므로 대표어종을 선정하게 되는데 대표어종의 정의는 “주어진 해당 생태계에 서식하고 있는 종으로서 생태학적으로 우점종”을 의미한다(MOCT, 1999). 수생태계의 건강성을 수집자료를 근거로 평가할 때 어류, 저서형무척추동물, 부착돌말류를 모두 살펴보았으나 하천유지유량과 연계한 최종 판단은 하천유지유량의 취지에 맞게 어류와 우점종을 기준으로 하였다. Table 2는 A에서 E등급으로 구분된 등급을 연도별로 평균하여 나타난 결과로 어류 평가지수로 살펴보면 오수천을 제외하면 보통 이상의 등급을 보여주고 있으며, 본류구간의 B섬진강11, B섬진강13은 목표 등급을 충족하고 있으며, 지류의 추령천과 요천에서 “매우 좋음”에서 “좋음” 등급을 보인다. 다만, 오수천 평가결과 “보통”에서 “나쁨” 사이의 등급 구간에 있음을 알 수 있다. 저서형 대형 무척추동물의 경우 “매우 좋음”에서 “좋음”의 단계를, 부착돌말류는 “매우 좋음”에서 “좋음”의 등급으로 나타났다. 오수천은 나쁨과 보통의 등급을 보여주고 있으나 채집된 결과를 살펴보면 제곱미터 당 채집된 어류의 총합이 1,606마리이며 이중 우점종인 피라미는 1,133마리이다. 한편, 수생태계 특성에서 보통 등급의 지표생물군에 피라미가 있는 점, 채집결과 실제 우점종이 피라미였으며 연도별로 오히려 증가추세에 있는 사실로 미루어볼 때, 최소 유량의 개념에서 섬진강 수계의 하천유지유량은 생태계 측면에서도 적절히 기능을 하고 있음을 알 수 있다.

섬진강 수계의 하천유지유량을 평가한 결과로 내릴 수 있는 판단 중 중요한 세 가지는 다음과 같다.

Table 1. Water Quality Achievement Rate

River	Instream flow Station	WQ Station	WQ Target (BOD, mg/L)	WQ Ob. (BOD, mg/L)	No. of Data (Month)	Achieved (Month)	Achievement rate (%)
Seomjingang	Iljungri	Imsil	2	1.06	240	234	97.50
	Pyeongnamri	Donggye	2	1.06	144	135	93.75
	Yujeokgyo	Jeokseong	2	1.37	240	210	87.50
	Sindeokri	Daegang	2	1.60	131	101	77.10
	Godalggyo	Gokseong	2	1.32	240	207	86.25
	Yeseonggyo	Gokseong	2	1.32	240	207	86.25
	Guryeggyo	Gyesan	2	1.33	204	185	90.69
	Songjeongri	Gurye	2	1.18	240	216	90.00
Churyeongchen	Unamgyo	Churyeongchen	2	0.93	131	131	100.00
Osucheon	Hyunpori	Osucheon	2	1.50	240	202	84.17
Yocheon	Dongrimgyo	Yocheon	2	1.49	240	203	84.58
Boseonggang	Gajanggyo	Boseonggang	1	1.34	240	63	26.25
	Taanggyo	Boseongcheon	1	0.84	240	183	76.25

Table 2. Assessment Result of Aquatic Ecosystem Health

River	Instream flow Station	Bio measurement Station	Fish	Benthic macroinvertebrate	Epilithic diatom
Seomjingang	Iljungri	B Seomjingang 9	B~C	A~B	B~C
	Pyeongnamri	B Seomjingang 11	A~B	B~C	B~C
	Yujeokgyo	B Seomjingang 12	B~C	B~C	A~B
	Sindeokri	B Seomjingang 13	A~B	A~B	B~C
	Godalgyo	B Seomjingang 16	B~C	A~B	B~C
	Yeseonggyo	B Seomjingang 18	B~C	A~B	B~C
	Guryegyo	B Seomjingang 19	B~C	A~B	B~C
	Songjeongri	B Seomjingang 21	B~C	A~B	B~C
Churyeongchen	Unamgyo	B Churyeongchen 3	A~B	A~B	B~C
Osucheon	Hyunpori	B Osucheon 5	C~D	A~B	B~C
Yocheon	Dongrimgyo	B Yocheon 7	A~B	A~B	B~C
Boseonggang	Gajanggyo	B Boseongnag 7	B~C	A~B	B~C
	Taeangyo	B Boseongnag 13	B~C	A~B	B~C

첫 째, 섬진강 수계의 본류구간 하천유지유량인 평균갈수량은 산정 당시 하천유량을 추정할 수 있는 자료 및 방법론적 한계로 인해 과소 추정되었다.

둘 째, 수질 측면에서 BOD기준으로 “ 좋음 ” 수준을 유지하고 있으며 보성강의 달성률은 저조하나 이는 상수원보호구역으로 인해 목표가 높게 설정된 것에서 기인하며 하천의 수질개선을 위해서는 댐으로 유입되는 오염부하량 저감의 수단으로 접근하여야 한다.

셋 째, 생태계 측면에서 오수천이 “ 나쁨 ” 에서 “ 보통 ” 수준으로 평가되었으나 우점종인 피라미는 감소하는 추세가 아니며, “ 보통 ” 수준의 지표생물군에 포함되므로 특별한 문제는 없다.

이들 판단을 근거로 섬진강수계에서 하천유지유량을 재산정할 필요가 있는 구간은 섬진강 본류구간, 핵심지류이며 발전 및 용수이용을 위해 다른 유역으로의 물이동이 활발한 보성강의 주요 지점에 대해 하천유지유량을 재산정 할 필요가 있다.

3. 섬진강 수계 하천유지유량 재산정

3.1 필요유량 산정

하천유지유량 산정요령(MLTM, 2009)에 따르면 하천유지유량은 하천수질보전, 하천생태계보호, 기타 필요시 산정항목(하천경관보전, 염수침입방지, 하구막힘방지, 하천시설물 및 취수원보호, 지하수위 유지)을 고려하여 산정한다. 이들 중 기타 항목은 산정방식이 매우 주관적이거나 개선의 여지가 있는 것으로 본 연구에서는 수질항목과 생태계, 그리고 현재 본류구간의 고시항목인 평균갈수량을 대상으로 하천유지유량을 재산정 하였다.

먼저 갈수량은 사람에 의한 유량 변동요인이 없었던 시기, 즉 자연상태의 유량 상황을 파악하고 여러 필요유량 중 결정된 하천유지유량 크기의 정도가 적절한 수치인지 가능해 볼 수 있는 중요한 척도이다. 이에 하천수 사용허가와 일관된 기준으로 갈수량을 산정하기 위해 수자원장기종합계획(MOLIT, 2016)에서 사용된 TANK모형 및 매개변수를 이용하여 1967년부터 2017년까지의 일유량 자료를 모의하였다. 이 자연상태 유량의 연도별 갈수량을 시계열자료로 구축하고 빈도해석 하여 재현기간 2.33년에 해당하는 평균갈수량을 지점별로 산정하였다. 빈도해석에 사용된 확률밀도함수는 일반화된 극치분포(GEV)이며, 매개변수는 확률가중모멘트 방법을 사용하였다. 그 결과 구례군 송정리(구, 송정) 지점의 평균갈수량은 기존 4.62 m³/s에서 10.40 m³/s로 증가하고 있으며 이는 Fig. 3에서 섬진강댐이 건설되기 이전 측정된 갈수량에서 크게 벗어나지 않아 현재 고시유량보다 타당한 결과를 보임을 알 수 있다.

수질보전을 위한 필요유량은 과거 기준갈수량 등 임의의 유량에 따른 수질변화를 파악하고 유량-수질 곡선에서 변곡점을 찾아 유량을 결정하는 방식에서 유량조건에서 분석기간 중 평균년을 선정하고 1년 365일의 유량조건에 따른 하천의 수질을 분석하는 방식으로 바꾸어 산정하였다. 이는 과거 방식이 과도한 유량이 산정되어 결국 하천유지유량으로 선정된 수질 항목의 필요유량이 단 한번도 없었다는 점, 수질오염총량관리제의 목표 달성여부를 측정치의 평균으로 판단한다는 점에서 착안한 방식이다. 또한 규제는 배출가능 오염부하량의 총량으로 하고 목표 달성여부는 하천의 수질농도로 하는 현 수질 관련 제도의 부족한 점을 메울 수 있는 방법이기도 하다. 배출가능 오염부하량을 산정할 때, 수질오염총량관리제에서는 수질 모델링의 유량조건을

저수량 단 하나의 사상으로 판단하는 맹점을 보완할 수 있기 때문이다. 수질보전을 위한 필요유량 산정에서 평가대상 수질 항목은 BOD이며 오염부하량 자료는 수질오염총량 관리기본계획(3단계)에서 결정된 지자체별 할당부하량을 사용하였다. 이는 수질관련 국가 정책이 성공적으로 수행되었다는 가정하에 하천의 수질을 평가하고 유량을 통한 관리가능여부를 가늠하고자 하는 하천유지유량의 의미를 반영하기 위함이다. 수질모델링은 유량과 수질을 함께 평가하기 위하여 개발한 K-WEAP를 사용하였으며 이 물수지 모형에는 수질분석 모듈로 Qual2k가 내장되어 있다. K-WEAP에서 유입량과 하천수 사용을 고려한 유량을 일별로 계산하고

Fig. 4. Calibration and Verification of Parameter (Seomjingang)

Fig. 5. Calibration and Verification of Parameter (Downstream of Juamdang)

Fig. 6. Calibration and Verification of Parameter (Downstream of Boseongdam)

Fig. 7. Calibration and Verification of Parameter (Downstream of Dongbokdam)

이 유량을 입력조건으로 하여 Qual2k에서 수질을 모델링하는 방식이다. 수질모델링은 오염총량관리기술지침(NIER, 2019)을 준용하여 수행하였다.

수질모델링을 위한 매개변수 보정과 검정 결과는 Figs. 4에서 7까지 나타내었으며 각 그림에서 보정결과를 좌측, 검정결과를 우측에 나타내었다. 오차범위가 20% 이내에 드는 경우 결정된 매개변수를 모델링에 사용하였다. 분석결과를 바탕으로 핵심지점의 수량과 수질간의 관계를 도시하면 Figs. 8에서 10까지와 같다. 수질은 일반적으로 수량이 증가하면 개선되는 추세를 보이니 정확히 반비례하는 것은 아니며, 수질개선의 효과가 큰 유량을 선정하여 수질보전을 위한 필요유량으로 결정하였으며 Table 3의 수질 항목에 나타내었다.

하천생태계를 고려한 필요유량은 어류 우점종에 대해 서식환경 중 수심과 유속을 만족시키는 유량을 결정하는 방법으로 산정하였다. 우점종 선정에는 하천유지유량 산정 지점에 가장 가까운 생물측정망 자료를 활용하였다. 앞서 생태계 현황분석에서 사용한 최근 10년간의 자료를 동일하게 사용하였고 어류 채집결과는 Table 3에 나타내었다. 섬진

Fig. 8. Discharge-W.Q. (BOD) Relationship (Iljungr)

Fig. 9. Discharge-W.Q. (BOD) Relationship (Songjeongri)

Fig. 10. Discharge-W.Q. (BOD) Relationship (Taengyo)

Table 3. Dominant Species of Target Stations

Remark	Iljungri	Pyeongnamri	Yujeokgyo	Sindeokri	Godalgyo	Yeseonggyo	Guryegyo	Songjeongri	Gajanggyo	Taeangyo	Yongrigyo
<i>Odontobutis interrupta</i> Iwata and Jeon	4	3	4	-	-	-	-	-	7	-	-
<i>Iksookimia longicorpa</i> Kim, Choi and Nalbant	5	2	-	13	13	2	4	-	-	-	7
<i>Plecoglossus altivelis</i> Temminck and Schlegel	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-
<i>Acheilognathus somjinensis</i> Kim and Kim	22	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus	-	2	2	-	1	3	1	1	-	-	-
<i>Liobagrus mediadiposalis</i> Mori	-	-	-	2	-	-	1	4	-	-	-
<i>Cobitis nalbanti</i> Ekaterina, Kim, Vasil'EV, Ko and Won.	-	-	4	-	-	4	-	-	-	-	-
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> Mori	29	7	2	-	-	27	3	24	-	-	7
<i>Gnathopogon strigatus</i> Regan	-	-	6	9	-	-	-	2	-	-	-
<i>Cobitis tetralineata</i> Kim, Park and Nalbant	-	9	5	-	6	9	19	2	8	23	18
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> Jordan and Hubbs	-	-	4	3	-	-	18	27	5	2	6
<i>Zacco koreanus</i> Kim, Oh and Hosoya	669	677	210	167	230	283	281	265	9	233	151
<i>Hemibarbus longirostris</i> Regan	-	8	14	-	2	35	-	3	22	-	3
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> Jordan and Hubbs	70	32	148	72	73	69	83	89	174	39	1
<i>Pseudorasbora parva</i> Temminck and Schlegel	-	-	-	-	12	-	-	-	5	-	-
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i> Mori	130	87	52	105	113	94	52	96	58	33	-
<i>Hemiculter eigenmanni</i> Jordan and Metz	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	7
<i>Acheilognathus koreensis</i> Kim and Kim	55	185	8	-	-	123	149	-	52	88	99
<i>Acheilognathus macropterus</i> Bleeker	6	-	8	6	-	-	8	-	35	-	3
<i>Acheilognathus majusculus</i> Kim and Yang	69	129	30	17	6	56	262	21	181	31	24
<i>Zacco platypus</i> Temminck and Schlegel	841	489	1,296	994	793	824	722	834	724	323	513
<i>Tribolodon hakonensis</i> Gunther	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. of Dominant Species	841	677	1,296	994	793	824	722	834	724	323	513

Fig. 11. Depth-Velocity-Discharge Relationship (Iljungri)

Fig. 12. Depth-Velocity-Discharge Relationship (Songjeongri)

강 분류 평남리(제2섬진) 지점을 제외하면 모든 지점에서 우점종은 피라미로 나타났다. 평남리의 경우 참갈겨니가 우점종, 피라미가 아우점종으로 나타났으나 참갈겨니의 서식조건에 대한 문헌은 찾을 수 없어 아우점종인 피라미를 대상으로 생태계를 고려한 필요유량을 산정하였다. 어류의 종별 수리적 서식조건은 Kim et al. (1996)의 연구를 참조할 수 있다. 수리해석은 HEC-RAS를 사용하여 수행하였으며, 단면 측량 성과는 섬진강 수계 하천기본계획 중 가장 최근에 이루어진 사업의 결과를 활용하였다. 수리분석의 핵심 하천 단면, 즉 한계단면은 대상 구간 중 하폭이 좁고 수심이 얕아 유속과 유량의 변화가 심한 단면을 설정하였다. Figs. 11에서 13은 섬진강댐 직하류 일종리, 분류 최 하류부 송정리 및

Fig. 13. Depth-Velocity-Discharge Relationship (Taeangyo)

보성강유역 주암댐 하류 태안교의 수심-유속-유량 관계를 나타낸 것이다.

Table 4. Instream Flow Reestimation Results of Seomjingang River

River	Station	River Class	Notice ('06, '15)		Reestimate (discharge: m ³ /s, deficit: 10,000 m ³ /yr)				
			Amount (m ³ /s)	Target	Lowflow	W.Q.	Fish	Instream flow	Deficit
Seomjingang	Imsilgun (Iljungri)	National	0.76	Lowflow	1.98	1.03	0.44	1.98	429.13
	Sunchanggun (Pyeongnamri)	National	0.91	Lowflow	2.31	0.84	0.67	2.31	777.32
	Sunchanggun (Yujeokgyo)	National	1.31	Lowflow	3.23	3.51	1.41	3.51	1,499.01
	Namwonsi (Sindeokri)	National	1.75	Lowflow	4.45	4.67	1.63	4.67	1,423.08
	Gokseonggun (Godalgyo)	National	2.47	Lowflow	6.31	5.56	0.91	6.31	2,394.05
	Gokseonggun (Yeseonggyo)	National	2.51	Lowflow	6.68	5.99	0.62	6.68	2,181.43
	Guryegun (Guryegyo)	National	4.07	Lowflow	9.07	5.35	2.87	9.07	1.02
	Guryegun (Songjeongri)	National	4.62	Lowflow	10.40	6.27	5.39	10.40	25.19
BoSeonggang	Boseonggun (Gajanggyo)	Regional	0.47	Fish	0.80	0.13	0.42	0.42	677.14
	Gokseonggun (Taeangyo)	National	3.32	W.Q.	3.60	1.44	3.52	3.52	8.49
Dongbokchen	Hwasungun (Yongrigyo)	Regional	-	W.Q.	0.74	0.34	0.32	0.34	133.07

어류의 최적 서식조건을 예측에는 물리적서식처 모의기법이 정교한 것으로 알려져 있다. 다만 우리나라에서는 환경생태유량 산정을 위해 시범 적용되고 있는 상황이나 동일지점 산정결과와 연도별 편차가 있고 서식처적합도지수 개발 등의 어려움이 있다. 따라서 하천관리에 있어 일관성있는 척도로 활용하기에는 어려운 것도 사실이다. 물고기의 성장단계에 따라 서식조건이 일부 다른 것으로 알려져 있음을 감안하여, 상류부 및 지류하천은 유량이 상대적으로 적어 산란기를, 보성강이 합류하고 난 이후의 섬진강 본류는 성어기의 서식조건을 활용하여 필요유량을 결정하였다. 수심범위 및 유속범위를 만족하는 유량을 예측하고 최댓값과 최소값의 평균에 해당하는 유량을 최종적으로 생태계를 고려한 필요유량으로 나타내었으며, Table 4에 결과를 표기하였다.

3.2 하천유지유량 결정 및 부족량 산정

하천유지유량 산정요령에 따라 여러 항목의 필요유량 중 최댓값을 해당 하천구간의 하천유지유량으로 결정하게 된다. 현재의 하천유지유량 산정요령에는 갈수량 기준이 빠져 있으나 본 연구에서는 현재 본류구간에 고시된 값이 갈수량인 점을 고려하여 본류구간은 갈수량, 수질보전을 위한 필요유량 및 생태계를 고려한 필요유량 중 큰 값으로, 지류구간은 갈수량을 제외한 필요유량 중 큰 값을 하천유지유량으로 결정하였다. Table 4와 같이 본류구간은 8개 지점 중 6개 지점에서 평균갈수량이, 나머지 2개 지점은 수질보전을 위한 필요유량이 하천유지유량으로 결정되었다. 보성강의 경우 2개 지점에서 모두 생태계를 고려한 필요유량이, 동북천은 수질보전을 위한 필요유량이 하천유지유량으로 결정되었다. 지류구간은 갈수량과 비교해 볼 때 자연상태에서 흘렀던 유량보다 적은 유량이 하천유지유량으로 결정되

어 사람에 의한 물이용을 적절히 관리하면 하천유지유량 확보에 큰 무리가 있지는 않다.

기름 등으로 인해 하천수가 부족한 경우 하천유지유량은 하천법에 의해 생활·공업·농업용수보다 후순위에 위치하기는 하지만 확보가 필요한 하천유지유량을 산정 할 때 같은 순위를 적용하여 부족량을 산출하였다. 이는 현 제도를 반영한 것이라기보다는 향후 하천환경 관리의 방향성의 측면에서 하천유지유량의 중요성을 고려한 결과이다. 하천수 사용허가는 10년 빈도의 갈수량을 상한으로 이루어지므로 10년 빈도의 유량이 흐를 때 하천유지유량 부족량을 하도 물수지를 통해 예측하였다. 단, 부족량은 확보필요량을 나타내며 이는 연간 총량 개념으로 접근할 필요가 있다. 또한 10년 빈도의 유량이라 하더라도 1년 내내 갈수기 유량만 흐르는 것은 아니므로 하구 기준으로 평균유량이 10년 빈도에 해당하는 연도를 골라 그 해의 365일 일유량을 유입량 조건으로 물수지를 수행하였다. 그 후 하천유지유량의 부족이 발생하는 일과 부족량만을 합산하여 부족량 공급을 위해 확보가 필요한 총량을 계산하였다. 이 결과 역시 Table 4에 함께 표기하였다. 최대 부족을 보이는 고달교 지점 기준으로 연간 2,519만 m³의 물을 확보하면 하천유지유량 부족량을 공급할 수 있으며, 단순 비교를 위해 순간유량으로 환산하면 0.80 m³/s가 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 섬진강 수계에 현재 고시된 하천유지유량을 유량 크기, 수질 및 수생태계를 고려하여 평가해보고 필요한 구간과 지점에 대해 재산정 하였다. 본 연구의 과정에서 얻은 중요한 결론은 다음과 같다.

- 섬진강 수계의 현재 고시 하천유지유량은 강수량 특성, 유역외 물이동을 감안할 때 과거 기술적 한계로 과소평가되어 있으며 현실화가 필요하다.
- 섬진강 수계의 주요 댐 중 주암댐을 제외한 섬진강댐, 보성강댐 및 동북댐에 하천유지유량을 정식 배분하여 갈수기에도 확보를 위한 노력을 지속해야 한다.
- 보성강 유역의 하천유지유량 중 수질향목의 경우 유량을 통한 수질개선보다는 댐 호소로 유입되는 오염원의 차단으로 접근할 필요가 있다.
- 섬진강 수계의 하천유지유량은 부족량이 크지 않아 갈수기에도 시설운영과 하천수 사용량 조정을 통해 관리가 가능하다.
- 섬진강 수계의 하천유지유량을 평가결과를 감안하여 3개 하천의 11개 지점에 대해 재산정 하였다. 그 결과 섬진강 본류 최하류인 구례군(송정리) 지점은 기존 4.62 m³/s에서 10.40 m³/s로 하천유지유량이 증가하였다.

하천유지유량은 사람에 의한 물이용과 배치되는 개념으로 하천에 남아서 흘러야 하는 물을 의미한다. 본 연구를 통해 산정한 하천유지유량은 하천수 사용허가 시 감안하여 하천환경을 함께 고려하는 하천수 관리에 활용될 수 있다. 또한 하천유지유량 부족량을 산정하여 제시하였으며, 확보 목적의 댐 등 수자원 시설물의 운영에 하나의 기준으로 사용할 수 있다.

References

- Bovee, K.D. (1978). The incremental method of assessing habitat potential for coolwater species with management implications. *American Fisheries Society Special Publication*, Vol. 11, pp. 340-346.
- Brown, C., and King, J. (2003). *Environmental flows: Concepts and methods*. Water Resources and Environment Technical Note, The World Bank, Washington D.C., USA.
- Government of Republic of Korea. (1979). *Ministry of construction notice no. 70, official gazette no. 8191*.
- Kang, S.K., Choi, S.J., and Lee, D.R. (2018). Application method and impact evaluation of instream flow considering flow variability. *Journal of the Korean Society on Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 7, pp. 605-611.
- Kang, S.K., Yoo, C.S., Lee, D.R., and Choi, S.J. (2016). Improvement of instream flow evaluation methodology and application. *Journal of the Korean Society on Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 1, pp. 295-304.
- Kim, K.H., Kim, S.M., Lee, S.H., and Woo, H.S. (1997). Development of a method for determining the instream flow and its application: II. Application and result. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 29, No. 5, pp. 185-202.
- Kim, K.H., Lee, J.W., Hong, I.P., and Woo, H.S. (1996). Development of a method for determining the instream flow and its application: I. Estimation method. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 29, No. 4, pp. 161-176.
- K-water. (1995). *Development and application of instream flow determination methodology*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (1999). *Investigation of water use in youngsangang and seonjingang watershed and estimation of instream flow*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2000). *Instream flow guideline*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). *Water plan (2001-2020)*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime (MLTM). (2009). *Instream flow guideline*.
- Moore, M. (2004). *Perception and interpretations of environmental flows and implications for future water resource management - A survey study*. Master's thesis, Linkoping University, Sweden.
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2016). *Biomonitoring survey and assessment manual*.
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2019). *Technical guideline of total maximum daily load management*.
- Tennant, D.L. (1976). Instream flow requirements for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, Vol. 1, pp. 6-10.
- 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, pp. 397-441.

Received	November 26, 2021
Revised	November 26, 2021
Accepted	December 2, 2021