



## 농업용저수지를 이용한 환경생태유량 확보방안 경제성 비교 연구 - 동복천을 중심으로 -

A Economic Feasibility Study on Environmental Ecology Flow Supply Plan using Agricultural Reservoir  
- Focused on Dongbok River -

박진현<sup>a</sup> · 고재한<sup>b</sup> · 성무홍<sup>c</sup> · 정형모<sup>d</sup> · 박태선<sup>e</sup> · 곽영철<sup>f</sup> · 최우영<sup>g</sup> · 범진아<sup>h</sup> · 정민혁<sup>i</sup> · 유승환<sup>j</sup> · 윤광식<sup>k,†</sup>  
Park Jin-hyeon · Ko Jae han · Sung Mu-hong · Jung Hyoung-mo · Park Tae-sun · Kwak Yeong Cheol · Choi Woo-young ·  
Boem Jina · Jeung Minhyuk · Yoo Seung-hwan · Yoon Kwang-sik

### ABSTRACT

The environmental ecological flow (EEF) of stream or river will be designated according to the enforcement of the Water Environment Preservation Act. Previous researches by Ministry of Environment have proposed agricultural reservoirs as alternative resources to secure river flow where multi-purpose dam does not exist. However, agricultural reservoirs are constructed for the supply of agricultural water, and in fact, there is not a sufficient amount of water to be supplied to rivers as EEF. Therefore, this study examines the economic feasibility of securing EEF through the remodeling or construction of agricultural reservoirs. We investigated water balance of reservoir through simulation of three types of water supply demands such as agricultural water, agricultural water and river maintenance flow, and agricultural water and environmental ecology flow. The economics analysis was conducted on water supply demands and corresponding remodeling or construction of reservoirs. As a result, it was found that the method of securing through heightening existing reservoir enhancement is economically feasible. However, it was not possible to secure all the amount of the EEF due to the size limitation of existing reservoirs or constrain of the watershed for newly built reservoir. Therefore, in order to secure all of the EEF, the utilization of other alternatives as well as agricultural reservoirs should be considered. This study demonstrated the method of economical feasibility study of securing river maintenance flow and EEF using agricultural reservoirs and other considerations.

**Keywords:** Environmental ecology flow; river maintenance flow; agricultural reservoir

<sup>a</sup> Director, Gyeonggi Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>b</sup> Deputy Director, Jeonnam Regional Headquarter, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>c</sup> Manager, Youngsangang Project Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>d</sup> Manager, Project Planning Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>e</sup> Director General, Project Planning Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>f</sup> Deputy Director, Project Planning Office, Korea Rural Community Corporation (KRC)

<sup>g</sup> Manager, Korea Water Resources Corporation (Kwater)

<sup>h</sup> Doctor's degree, Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

<sup>i</sup> Master's degree, Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

<sup>j</sup> Associate Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

<sup>k</sup> Professor, Department of Rural and Bio-Systems Engineering, Chonnam National University

<sup>†</sup> **Corresponding author**

Tel.: +82-62-530-2158 Fax: +82-62-530-2159

E-mail: [ksoyon@chonnam.ac.kr](mailto:ksoyon@chonnam.ac.kr)

Received: August 3, 2019

Revised: August 16, 2019

Accepted: August 21, 2019

### 1. 서 론

2017년까지 환경부에서는 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”에 따라 전국 단위의 수질 측정망을 설치하고 수질 및 수생태계 전국 조사를 실시하는 등 하천 수질의 목표수준을 제시하고 이를 달성하기 위해 오염총량제 등의 시행을 통해 오염원을 집중 관리하여 왔다 (MOE, 2017). 2018년부터는 기존의 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”을 “물환경보전법”으로 개정·시행하면서 물환경의 개념을 수질과 수생태계를 총칭하는 개념으로서 정립하고, 수생태계 건강성 유지를 위하여 필요한 최소한의 유량으로서 환경생태유량을 정의하여 국가 및 지방하천을 비롯하여 소하천, 건천화된 지류 또는 지천의 대표지점에 대한 환경생태유량을 산정고시할 수 있도록 하였다 (MOE, 2018). 이에 따라 고시대상 지점에 대한 환경생태유량을 물리서식처 모의 결과를 활용하여 산정하고 있다 (K-Water, 2018).

이와 유사한 개념인 하천유지유량은 “하천법” 제51조에서 생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등의 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하

여 필요한 최소한의 유량으로 정의하고, 2018년 현재 전국 114개 지점에 현재 확보 가능량과 향후 확보 필요량으로 구분하여 고시하고 있다.

미국의 경우 하천유지유량을 하천 내 물의 가치와 이용을 허용수준 이상으로 유지하기 위하여 필요한 유량으로 정의한다. 갈수량 및 ‘물의 가치와 이용을 위한 유량’ 을 고려하는데 ‘물의 가치와 이용을 위한 유량’ 이란 어류 및 야생동물, 위락, 심미, 수질, 수력발전, 수운, 하구, 하천변 식생과 홍수터, 습지 생태계 유지 등에 필요한 유량을 의미한다. 역사적으로 미국은 하천유지유량 산정 방법 개발과 적용에 있어서 가장 활발한 역할을 해왔다. Tharme (2003)의 조사에 의하면 2002년 현재 전 세계 44개국에서 207가지의 하천유지유량 산정방법이 개발되어 왔으며 미국은 총 77가지의 방법을 개발하고 적용해 왔다 (K-Water, 2018).

일본의 경우, 1997년 “하천법”에서 정상유량 (유지유량과 수리유량을 모두 만족하는 최소유량)의 개념으로 다루고 있으며, 최근에는 환경용수의 개념이 도입되었다. 환경용수는 “수질, 친수공간 등의 생활환경이나 자연환경의 유지, 개선 등을 도모하는 것을 목적으로 하는 용수”로 정의하고 있으며, 이수 기준점이 없더라도 동식물의 생식·생육 등을 위해 하천의 모든 지점에서 충족되어야 하며, 환경용수의 취수량은 기준갈수량에서 정상유량을 제외한 용량을 대상으로 검토하여 수리 사용을 허가하고 있다 (MLIT, 2006).

국내 환경생태유량에 관한 연구로는 금강 본류 수질환경 기준을 위한 유량 산정 (Kim et al., 1995), 용담댐 어류 서식처를 고려한 최적유량 산정 (Hur and Kim, 2009), 지속가능한 하천관리를 위한 금강의 환경유량 산정 (Kim et al., 2009), 황룡강의 생태계를 고려한 환경유량 연구 (Kang et al., 2010), 확률밀도함수를 고려한 서식처 적합도 지수에 의한 피라미 생태유량 산정 (Jang et al., 2018) 등이 있다. 최근 환경부에서는 환경생태유량 개념의 도입에 맞추어 생태유량 산정 관련 사례 및 연구동향, 모니터링 및 산정방법 체계화, 환경생태유량 제도 및 운영방안, 환경생태유량 확보방안 및 정책방향 등에 관한 연구를 수행하고 있다 (MOE, 2015, 2016).

하천유지유량 또는 환경용수 확보에 관한 연구로는 Lee et al. (2008)은 하천유지유량 직접 확보방안 (유수허가 조정, 기존 댐 용수 재배분, 신규댐 건설, 하수처리장 방류수 활용, 타수계로부터 도수)과 간접 확보방안 (하천수질 개선, 지하수 관리, 유역관리, 물절약, 대체수자원 개발)에 대한 선호도를 조사하였으며, Ho et al. (2005)는 홍제천 유지유량 확보방안으로 소규모 댐 저류 및 도수, 상류 하수처리장 방류수 이용, 신영천 하천수의 홍제천 유입방안 등을 제시하였으며, 국토해양부 (2007)에서는 하천유지유량 확보방안으로 기존댐의

운영 조정, 신규댐 건설, 지하수, 지하댐, 하수처리수 재이용, 수리권 조정, 농업용저수지, 천변저류지 등 다양한 방법을 거론하고 있다.

농업용 저수지를 활용한 확보방안 연구로는 영산강 수질개선을 위한 하천유지유량 확보 및 관리방안 연구 (Choi et al., 2006), 대전 3대 하천 상류 저수지 운영에 의한 유지유량 증대 효과 연구 (Noh, 2009), 농업용 저수지를 이용한 하천유지용수 확보방안 (Choi, 2010), 저수지 증고에 의한 진천 도심하천 유량 증가효과 (Noh et al., 2010), 농업용 저수지에서의 환경용수 방류능력 평가 (Kim et al., 2011), 득높이기 농업용저수지의 환경용수 방류를 위한 운영기준 결정 (Yoo et al., 2013), 상류 저수지 운영을 고려한 하류 하천유량의 평가 (Noh, 2013), 등이 있다.

환경부에서는 2017년 대표지점 8개소 (영산강 수계는 동북천과 대초천을 대상으로 함)에 대하여 시범사업으로 환경생태유량을 산정하였으며, 부족한 수량에 대한 확보 방안으로 기존 댐 및 농업용 저수지의 여유물량을 활용하는 방법이 가장 효율적이고 현실적인 방법으로 간주하고 있다 (MOE, 2017). 그러나 농업용 저수지 여유수량 활용방안에 대해서 단순히 상류에 위치한 농업용 저수지의 저수용량만으로 확보 가능 여부를 판단하고 있어 농업용수의 이용 상황을 고려한 환경생태유량의 공급능력에 대한 평가가 필요하다. 대부분의 농업용 저수지는 농업용수 공급을 목적으로 건설되어 환경용수 방류 기능은 매우 미약하며 하류 하천에 유효한 환경용수 공급을 위해서는 저수지의 증고 등 물리적인 저수용량 확대 조치가 필요하다 (Kim et al., 2011). 하지만 환경생태유량 공급을 위한 농업용저수지 저수용량 확대 사업의 경제적 타당성에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 영산강 수계 시범사업으로 환경생태 유량 조사가 실시된 동북천을 대상으로 농업용수의 이용 상황을 고려한 시설 농업용 저수지의 환경생태유량 공급 가능 여부를 평가하고, 여유 수량이 부족한 경우 환경생태유량 공급 방안으로 기존 저수지 증고 방안과 저수지 신설 방안에 대한 경제성 검토를 통해 농업용 저수지 활용 환경생태유량 확보 방안 검토시 방법론 정립과 문제점을 파악하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

본 연구에서는 동북천 유역에 위치한 농업용 저수지중 유역면적과 저수용량이 일정규모 이상으로 환경생태유량 공급이 가능성이 있는 저수지를 선정하였다. 선정된 저수지를 대상으로 물수지 분석을 실시하여 시설 저수지가 여유 수량을 가지고 있는지를 검토하였다. 여유 수량이 없는 경우 환경생

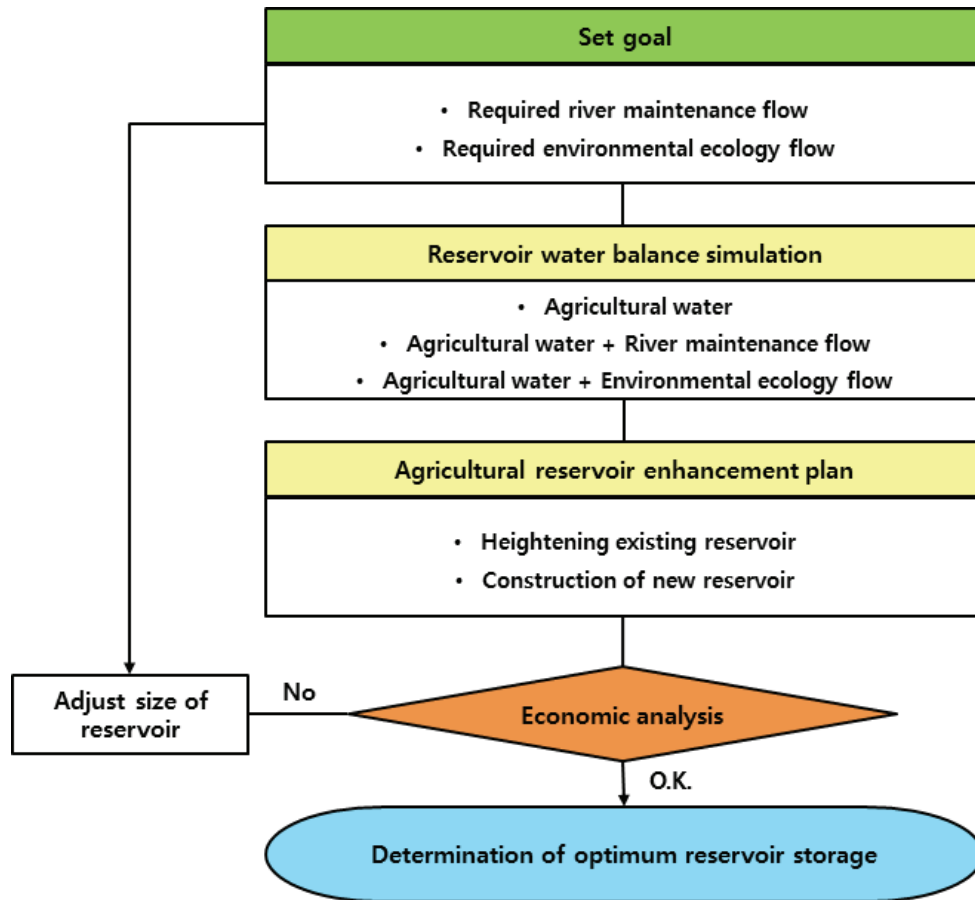


Fig. 1 Flow chart of study process

태유량 확보를 위해 기설 저수지의 증고 규모를 분석하였다. 용도별 용수 공급 시나리오 (농업용수만 공급할 경우, 하천유지유량을 추가 공급할 경우, 환경생태유량을 추가 공급할 경우)를 설정하여 저수지의 시설 규모 (유효 저수량, 독높이 등)를 계산하였다. 각 시나리오별로 산정된 시설 규모에 대하여 경제성 분석을 실시하여 최적 규모를 산정하였다 (Fig. 1).

### 1. 대상 하천 및 저수지 현황

2017년 환경부에서는 시범사업으로 전국 수계를 대상으로 대표지점 8개소 (한강수계 2, 낙동강수계 2, 금강수계 2, 영산강·섬진강수계 2)를 선정하고 각 지점의 환경생태유량을 산정한 바 있다. 환경생태유량 확보방안으로 다목적댐 운영 조정, 하수처리수 재이용, 수리권 조정, 농업용 저수지 등 다양한 방법이 있으나, 영산강·섬진강 수계의 환경생태유량 확보는 상류에 다목적 댐이 없어 농업용 저수지를 활용하는 방안이 최적 방안으로 제시되고 있어 본 연구의 목적에 부합하여 영산강·섬진강수계 동북천을 대상 하천을 선정하였다.

동북천은 섬진강의 지류인 보성강 상류에 위치한 지방하천

으로 시점은 전남 화순군 북면 송단리이며, 종점은 화순군 남면 북교리 (주암호 상류)로 하천길이는 55.42 km, 유역면적은 388 km<sup>2</sup>이다. 동북천 상류에는 광주지역에 생활용수를 공급하는 동북댐이 있으며, 동북댐의 유역은 189 km<sup>2</sup>로 동북천 유역의 48.7%를 차지하고 있다. 동북댐은 높이 44.7 m의 콘크리트 표면차수형 록필댐으로 홍수위는 El (+) 171 m, 만수면적은 6.61 km<sup>2</sup>, 총저수량은 9,900만 m<sup>3</sup>, 생활용수는 일 25만 m<sup>3</sup>을 공급하고 있다. 동북천에 합류되는 지류는 동북댐 상류의 남천, 유천천, 가수천, 외남천이 있다.

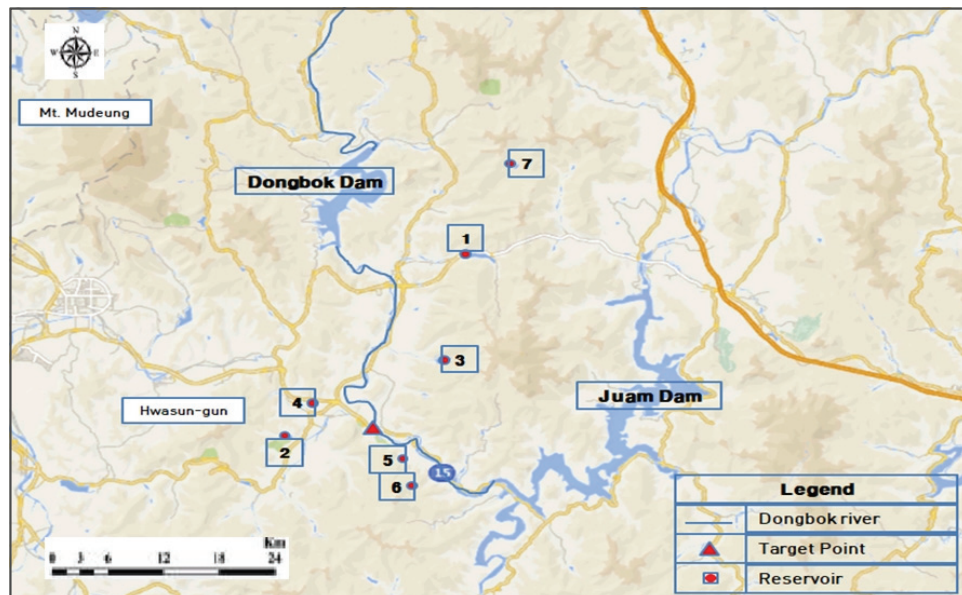
동북천 하천정비기본계획 (1988)에 따르면 하천유지유량은 0.220 m<sup>3</sup>/s이며, 환경부 연구결과 (2017) 동북천의 환경생태유량은 3.000 m<sup>3</sup>/s로 산정되었다. 환경생태유량은 물리적 서식처 모의 시스템 (PHABSIM)을 이용하여 흐름 특성 (유량, 유속, 수심 등)의 변화에 대한 하도 구간내 대상 어종의 물리적 서식처 변화를 예측하여 대상어종에 대한 유량-가용서식처면적 (WUA) 관계를 통해 서식에 필요한 최적 유량을 산정한다. 동북천 용리 수위관측소의 최근 6년간 유량자료를 이용하여 유황을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 유황 분석 결과,

**Table 1** River Maintenance flow and environmental ecology flow of Dongbok River

Affluent flow (the 95 <sup>th</sup> high flow)		Ordinary flow (the 185 <sup>th</sup> high flow)		Drought flow (the 355 <sup>th</sup> high flow)	
1.7 m <sup>3</sup> /s		1.1 m <sup>3</sup> /s		0.7 m <sup>3</sup> /s	
〈River Maintenance Flow〉					
mean shortage	daily maximum shortage	daily minimum shortage	mean required flow		
0.079 m <sup>3</sup> /s	0.220 m <sup>3</sup> /s	0.080 m <sup>3</sup> /s	0.141 m <sup>3</sup> /s		
〈Environmental Ecology Flow〉					
mean shortage	daily maximum shortage	daily minimum shortage	mean required flow		
0.980 m <sup>3</sup> /s	3.000 m <sup>3</sup> /s	0.080 m <sup>3</sup> /s	2.020 m <sup>3</sup> /s		

**Table 2** Agricultural Reservoir within Dongbok River Basin

Name	Location	Basin Area (ha)	Effective Storage Capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Management Agency
1. Yoochun	Jeollanam-do Hwasun-gun Dongbok-myeon Yoochun-ri	1,225	1,755	KRC
2. Wondong	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Wondong-ri	270	164	"
3. Naeri	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Nae-ri	285	920	"
4. Wonjin	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Wonjin-ri	37	9	Hwasun-gun
5. Sasu	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Sasu-ri	85	15	"
6. Jusan	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Jusan-ri	57	12	"
7. Gasu	Jeollanam-do Hwasun-gun Nam-myeon Gasu-ri	86	270	"



**Fig. 2** Dongbok river and agricultural reservoirs located at study area

하천유지유량 평균 필요유량은 0.141 m<sup>3</sup>/s이며, 환경생태유량 평균 필요유량은 2.020 m<sup>3</sup>/s로 나타났다 (MOE, 2017). 따라서 원활한 하천기능을 유지하기 위해서는 하천유지유량기준 평균 필요유량 0.141 m<sup>3</sup>/s와 환경생태유량기준 평균 필요유량 2.020 m<sup>3</sup>/s에 대한 확보가 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 2는 동북천 유역 현황을 나타내고 있으며, 하천 주변의 하수처리장, 댐·저수지 등을 조사한 결과 하수처리장은 없으며, 동북댐과 농업용저수지 7개소가 존재하는 것으로 조사되었다 (Table 2). 따라서 동북천은 동북댐과 농업용저수지를 활용하여 환경생태유량을 확보해야하며, 동북댐은 광주지역의 생활용수 공급을 담당하고 있어 여유수량이 부족하므로 농업용 저수지를 활용하는 방법이 최적방안이다.

농업용 저수지를 활용한 환경생태유량 확보 가능성을 검토하기 위한 대상 저수지는 7개 저수지중 유역 면적이 커서 유량 확보가 용이한 유천저수지를 선정하였다.

## 2. 용수 확보 시나리오별 분석

### 가. 분석 방법

농업용 저수지를 활용한 환경생태유량 확보 방안으로 기설 저수지 증고방안과 저수지 신설 방안에 대하여 용수공급 시나리오를 설정하여 시설 규모를 계산한 후 경제성 분석을 통해 최적 규모를 비교·분석하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

먼저, 기설 저수지 증고 방안으로 동북천 유역에 위치한 농업용 저수지중 유역면적과 저수용량이 일정규모 이상으로 환경생태유량 공급이 가능한 저수지를 선정하였다. 선정된 저수지를 대상으로 물수지 분석을 실시하여 기설 저수지가 여유 수량을 가지고 있는지를 검토하였다. 여유 수량이 없는 경우 환경생태유량 확보를 위해 기설 저수지의 증고 규모를 분석하였다. 용도별 용수 공급 시나리오 (농업용수만 공급할 경우, 하천유지유량을 추가 공급할 경우, 환경생태유량을 추가 공급할 경우)를 설정하여 저수지의 시설 규모 (유효 저수량, 뚝높이 등)를 계산하였다. 각 시나리오별로 산정된 시설 규모에 대하여 경제성 분석을 실시하여 최적 규모를 산정하였다.

다음으로 기설 저수지 증고시 도로, 가옥 등의 수몰이 과다하여 사업 추진이 곤란한 경우 인근 지역에 농업용 저수지

신설 방안을 검토하였다. 인근 지역에 저수지 신설이 가능한 지점을 조사하여 기설 저수지 증고방안과 같이 용도별 용수 공급 시나리오를 설정하여 저수지 시설 규모를 계산하였다. 시나리오별로 산정된 시설 규모에 대하여 경제성 분석을 실시하여 최적 규모를 산정하였다.

마지막으로 기설 저수지 증고방안과 저수지 신설 방안에 대하여 각 방안별 시설 규모와 사업비 등을 비교·분석하여 환경생태유량 확보를 위한 최적 시설 규모를 제시하였다.

### 나. 시나리오 설정

적정 시설 규모 산정을 위한 시나리오는 용도별 용수 공급량을 기준으로 3개 시나리오를 설정하였다. 시나리오 1은 현행 농업용 저수지 설계기준과 같이 10년 빈도 한발대비 농업용수를 공급하는 방안, 시나리오 2는 농업용수와 하천유지유량을 공급하는 방안, 시나리오 3은 농업용수와 환경생태유량을 공급하는 방안이다.

### 다. 적정 시설규모 결정

#### 1) 기설 저수지 증고 방안

농업용수, 하천유지용수, 환경생태유량 등 용도별 용수 공급량 시나리오에 따라 물수지 분석을 실시하여 적정 증고 규모를 산정하였으며, 물수지 분석은 농업용저수지의 물수지 분석이 가능한 수리시설물 모의조작시스템 (Hydrological Operation Model for Water Resources System, HOMWRS)을 이용하였다. HOMWRS는 관계계획을 수립하기 위한 유역 유입량 및 관계 필요수량의 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템내에서 구현되도록 한 Windows용 프로그램으로, 물수지 분석은 일별 및 순별 분석이 가능하며, 일별 분석의 경우 Penman식에 의한 필요수량 및 수정 Tank모형에 의한 유입량이 적용되며, 순별 물수지의 경우 가지야마공식에 의한 유입량 및 Blaney-Criddle식에 의한 필요수량을 적용할 수 있다. Table 4는 기설 저수지 입력 자료를, Table 5는 신설 저수지 입력 자료를 보여주고 있다. 물수지 분석시 하천유지유량과 환경생태유량은 Table 1의 평균 필요유량 (m<sup>3</sup>/s)를 일 필요수량 (m<sup>3</sup>/day)으로 환산하여 연중 공급하는 것으로 모의하였다.

Table 3 Supply scenarios for estimating reservoir proper size

Division	Water supply scenario		
	Agricultural water	River maintenance flow	Environmental ecology flow
Scenario 1	◎		
Scenario 2	◎	◎	
Scenario 3	◎		◎

**Table 4** HOMWRS input data for existing reservoir

Division	Yoochun reservoir	Remarks
Benefit area	287 ha	
Basin area	1,225 ha	
Weather station	Gwangju	
Rainfall data	1967~2016 (50years)	
Infiltration rate	5 mm/day	
Waterway loss	15%	
Landuse of watershed	Rice field 3%, Upland 5%, Forest 88%	
Ponding depth	Maximum : 80 mm, Minimum 20 mm	

**Table 5** HOMWRS input data for new reservoir construction

Division	(tentative name) Sinyool reservoir	Remarks
Benefit area	250 ha	
Basin area	1,200 ha	
Weather station	Gwangju	
Rainfall data	1967~2016 (50years)	
Infiltration rate	5 mm/day	
Waterway loss	15%	
Landuse of watershed	Rice field 3%, Upland 5%, Forest 88%	
Ponding depth	Maximum : 80 mm, Minimum 20 mm	

시나리오 1의 농업용수 공급은 현행 농업용 저수지 설계기준에 따라 10년 빈도 한발대비 논 필요수량을 공급하는 것으로 규모를 검토하여, 여유 수량의 여부를 판단하고자 하였다.

시나리오 2의 하천유지유량 공급량은 경제성을 고려한 적정 규모를 검토하기 위하여 유역 대표지점의 평균 필요유량 (0.141 m<sup>3</sup>/s) 대비 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 공급량을 변화시켜 가면서 증고 규모를 검토하였다.

시나리오 3의 환경생태유량 공급량은 대표지점의 평균 필요유량 (2.020 m<sup>3</sup>/s) 대비 2%, 4%, 6%, 8%, 10%로 공급량을 변화시켜서 증고 규모를 계산하였다.

2) 저수지 신설 방안

기설 저수지 인근인 동북면 신율리에 저수지를 신설하는 방안을 검토하였으며, 농업용수, 하천유지용수, 환경생태유량 등 용도별 용수공급 시나리오에 따라 물 수지 분석을 실시하여 신설 저수지 (가칭 신율저수지)의 적정 규모를 산정하였다. 분석방법과 시나리오는 기설 저수지 증고 방법과 동일하게 하였다.

라. 경제성 분석

1) 비용 산출

비용은 건설비용과 유지관리비를 고려하였으며, 건설비용

은 기설 저수지 증고의 경우 저수지 뚝높이기사업 실적 단가 (8천원/m<sup>3</sup>)를 적용하고, 저수지 신설의 경우 최근 5년간 농촌용수개발사업 저수지 설계 단가 (10천원/m<sup>3</sup>)를 적용하였다. 유지관리비는 한국농어촌공사의 저수지 유지관리비 실적 단가 (253천원/ha)를 적용하였다.

2) 편익 산출

편익으로는 시나리오별로 농업용수 공급편익, 하천유지용수 공급편익, 환경생태유량 공급 편익으로 구분하였다. 농업용수 공급 편익은 한국농어촌공사의 농업경제성 분석기준에 따라 최근 5개년 농업수익 증가액 (5,974천원/ha)을 적용하였으며, 하천유지용수 공급 편익은 원수대 (161원/m<sup>3</sup>)를 적용하였다. 환경생태유량 공급편익은 관련 자료가 많지 않아 2017년 한국수자원공사 연구 결과인 가구당 지불의사액 (13천원/가구)을 적용하였다.

3) 분석 조건

분석기간은 저수지 내구년한을 고려하여 70년으로, 할인율은 최초 30년까지는 4.5%, 이후 3.5%를 적용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 시나리오별 시설 규모

##### 가. 기설저수지 증고 방안

시나리오 1에 따라 광주관측소의 1967년~2016년 (50개년) 기상자료를 모의하였으며, 유천저수지 연간 전체 유입량 변화는 Fig. 3과 같으며, 증고전 연 최저 저수량 변화는 Fig. 4와 같다. 연평균 강우량은 1,397mm, 연간 평균 유입량은 10,968 (최소 4,898~최대 17,598)천 m<sup>3</sup>이며, 년 최저 저수량은 평균 860 (최소 0~최대 1,532)천 m<sup>3</sup>로. 모의기간중 3개년 (1967, 1968, 1995년)이 바닥을 드러낸 바 있다. 10년 빈도 한발대비 농업용수를 공급하는 경우 저수지 규모는 1,812천 m<sup>3</sup>로 현

시설 규모 1,755천 m<sup>3</sup>보다 57천 m<sup>3</sup> 크게 나타나, 유천저수지는 현재 추가 여유수량이 없는 것으로 분석된다. 농업용수 연간 공급량은 평균 2,353 (최소 1,023~최대 3,543)천 m<sup>3</sup>으로 유효 저수량 대비 134%를 공급하고 있는 것으로 분석되었다.

시나리오 2에 따라 하천유지유량 평균 필요유량 (0.141 m<sup>3</sup>/s)의 20~100%를 공급하기 위해 필요한 수량은 Table 6과 같이 2,436~12,182 m<sup>3</sup>/day이며, 이를 위해 필요한 추가 저수 용량은 4천 m<sup>3</sup>~2,754천 m<sup>3</sup>으로 산출되었으며, 0.0 m~8.9 m 증고가 필요한 것으로 분석되었다. 하천유지유량 공급량은 연간 414천 m<sup>3</sup>~3,813천 m<sup>3</sup>으로, 연간 유입량 대비 4~35%, 유효저수량 대비 24~85%를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다. 증고 전후 하천유지유량 연간 공급량 변화는 Fig. 5와 같으

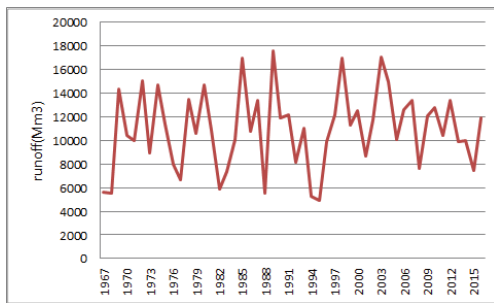


Fig. 3 Mean annual runoff

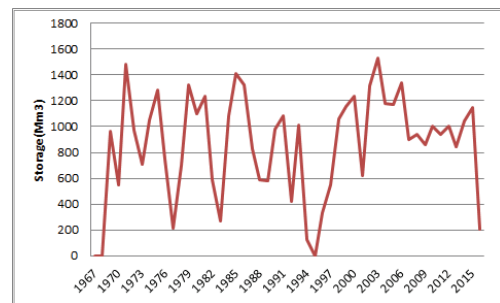


Fig. 4 Reservoir storage (annual min)

Table 6 Specification of heightening existing reservoir for river maintenance flow

Required Water quantity	Reservoir size				
	(m <sup>3</sup> /day)	DWL (m)	FWL (m)	Additional capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Additional height (m)
Ratio to river maintenance flow	20%	166.5	181.7	4	-
	40%		183.1	339	1.4
	60%		184.9	845	3.2
	80%		187.5	1,620	5.8
	100%		190.6	2,754	8.9

\* DWL: Dead Water Level, FWL: Full Water Level

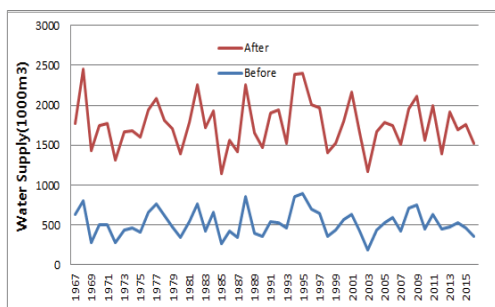


Fig. 5 Water Supply

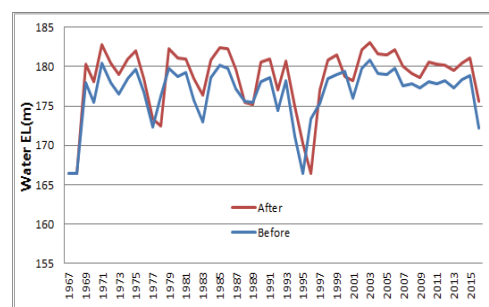


Fig. 6 Reservoir water surface elevation

**Table 7** Specification of heightening existing reservoir for environmental ecology flow

Required Water quantity		(m <sup>3</sup> /day)	Reservoir size			
			DWL (m)	FWL (m)	Additional capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Additional height (m)
Ratio to Environmental ecology flow	2%	3,491	166.5	182.3	134	0.6
	4%	6,981		184.7	776	3.0
	6%	10,472		188.4	1,943	6.7
	8%	13,962		193.4	3,883	11.7
	10%	17,453		199.3	6,628	17.6

\* DWL: Dead Water Level, FWL: Full Water Level

며, 연 최저 저수위 변화는 Fig. 6과 같다.

시나리오 3에 따라 환경생태유량 평균 필요유량 (2,020 m<sup>3</sup>/s)의 2~10%를 공급하기 위해 필요한 수량은 Table 7과 같이 3,491~17,453 m<sup>3</sup>/day이며, 이를 위해 필요한 추가 저수용량은 134천 m<sup>3</sup>~6,628천 m<sup>3</sup>으로 산출되었으며, 0.6 m~17.6 m 증고가 필요한 것으로 분석되었다. 환경생태유량 공급량은 연간 721천 m<sup>3</sup>~5,851천 m<sup>3</sup>으로 연간 유입량 대비 7~52%, 유효저수량 대비 38~86%를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

**나. 저수지 신설 방안**

시나리오 1에 따라 물수지 분석을 실시한 결과, 신설 저수지의 연간 평균 유입량은 10,722 (최소 4,782~최대 17,202)천 m<sup>3</sup>이며, 연 최저 저수량은 평균 690 (최소 0~최대 1,215)천 m<sup>3</sup>이다. 모의기간중 2개년 (1967, 1968)이 바닥이 드러나는 것으로 분석되었다. 10년 빈도 한발대비 농업용수를 공급하는 경우 저수지 규모는 유효저수량 1,381천 m<sup>3</sup>으로 계산되었다. 농업용수 연간 공급량은 평균 1,938 (최소 843~최대 2,918)천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 140%를 공급하는 것으로 분석되었다.

시나리오 2에 따라 하천유지유량 평균 필요유량 (0.141 m<sup>3</sup>/s)의 20~100%를 공급하기 위해 필요한 수량은 Table 8과 같이

2,436~12,182 m<sup>3</sup>/day이며, 이를 위해 필요한 유효저수량은 1,403천 m<sup>3</sup>~3,937천 m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 하천유지유량 공급량은 연간 433천 m<sup>3</sup>~3,825천 m<sup>3</sup>으로 연간 유입량 대비 4~35%, 유효저수량 대비 30~99%를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다. 평균 필요유량의 40% 수준까지는 기설 유천저수지 규모로 공급이 가능하나, 필요유량의 100%를 공급하기 위해서는 기설 유천저수지보다 2.2배 큰 규모의 저수지가 필요한 것으로 분석되었다.

시나리오 1과 시나리오 2에 따른 하천유지유량 연간 공급량 변화는 Fig. 7과 같으며, 연 최저 저수위 변화는 Fig. 8과 같다.

시나리오 3에 따라 환경생태유량 평균 필요유량 (2,020 m<sup>3</sup>/s)의 2~10%를 공급하기 위해 필요한 수량은 Table 9와 같이 3,491~17,453 m<sup>3</sup>/day이며, 이를 위해 필요한 유효저수량은 1,554천 m<sup>3</sup>~7,475천 m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 환경생태유량 공급량은 연간 731~5,902천 m<sup>3</sup>으로 연간 유입량 대비 7~54%, 유효저수량 대비 47~99%를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다. 필요 유량의 3% 수준까지는 기설 유천저수지 규모로 공급이 가능하나, 필요유량의 10%를 공급하기 위해서는 기설 유천저수지보다 4.3배 큰 규모의 저수지가 필요한 것으로 분석되었다.

**Table 8** Specification of new reservoir for river maintenance flow

Required Water quantity		(m <sup>3</sup> /day)	Reservoir size			
			DWL (m)	FWL (m)	Effective capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Height (m)
Ratio to river maintenance flow	20%	2,436	166.5	180.1	1,403	15.6
	40%	4,873		181.6	1,729	17.1
	60%	7,309		183.5	2,199	19.0
	80%	9,746		185.9	2,896	21.4
	100%	12,182		189.1	3,937	24.6

\* DWL: Dead Water Level, FWL: Full Water Level



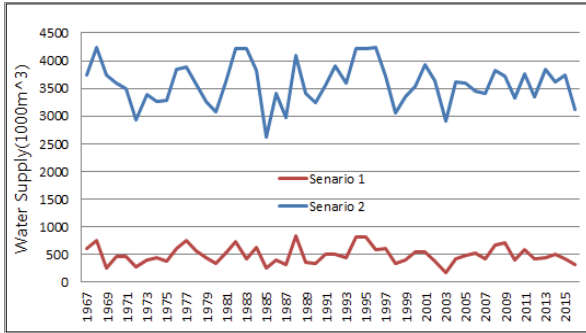


Fig. 7 Water Supply

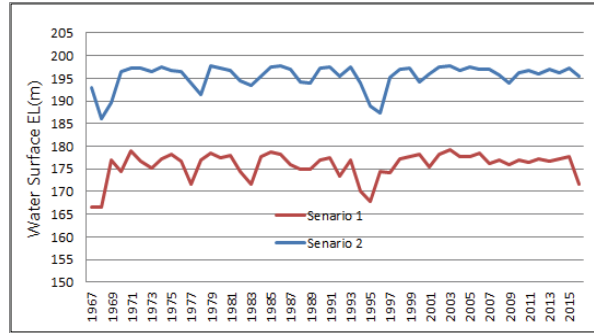


Fig. 8 Reservoir water surface elevation

Table 9 Specification of new reservoir for environmental ecology flow

Required Water quantity			Reservoir size			
		(m <sup>3</sup> /day)	DWL (m)	FWL (m)	Effective capacity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Height (m)
Ratio to Environmental ecology flow	2%	3,491	166.5	180.7	1,554	16.2
	4%	6,981		183.3	2,127	18.8
	6%	10,472		186.9	3,174	22.4
	8%	13,962		191.8	4,952	27.3
	10%	17,453		197.5	7,475	33.0

\* DWL: Dead Water Level, FWL: Full Water Level

## 2. 시나리오별 경제성 분석

용도별 용수공급 시나리오에 따른 시설 규모의 경제적 타당성을 검토하기 위하여 기설 저수지 증고방안과 저수지 신설방안에 대해 경제성 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

### 가. 기설 저수지 증고방안

기설 저수지 증고를 통한 하천유지유량 공급 방안의 시설 규모별 경제성 분석 결과는 Table 10과 Fig. 9와 같다. 경제성을 고려할 때 평균 필요유량의 55% 수준을 공급 (6,700 m<sup>3</sup>/day) 하는 것이 최적 규모로 분석되었다. 이 경우 2.8 m 증고로 추가 저수량 711천 m<sup>3</sup>을 확보하여 총 유효저수량은 2,466천

m<sup>3</sup>이며, 소요 비용은 62억원으로 계산되었다. 연간 하천유지 유량 공급량은 1,761천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 공급량은 증고 전 29%에서 증고 후 71%로 증가되었으며, 연간 유입량 (10,998천 m<sup>3</sup>) 대비 공급량은 증고 전 5%에서 증고 후 16%로 증가되는 것으로 추정되었다.

한편, 기설 저수지 증고를 통한 환경생태유량 공급 방안의 시설 규모별 경제성 분석 결과는 Table 11과 Fig. 10과 같다. 경제성을 고려할 때, 평균 필요유량의 7%를 공급 (12,217 m<sup>3</sup>/day)하는 것이 최적 규모이며, 이를 위해서는 10.3 m 증고로 추가 저수량 3,276천 m<sup>3</sup>을 확보하여 총 유효저수량은 5,031천 m<sup>3</sup>으로 기존 저수지보다 2.9배 큰 규모로 소요비용은 236억원으로 분석되었다. 환경생태유량 연간 공급량은 4,176천 m<sup>3</sup>으

Table 10 Economic analysis of heightening existing reservoir for river maintenance flow

Required Water quantity		Cost (10 <sup>6</sup> won)	Benefit (10 <sup>6</sup> won)	B/C ratio	River maintenance flow (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)
(m <sup>3</sup> /day)					
Ratio to river maintenance flow	20%	1,446	1,529	1.02	414
	40%	3,716	4,049	1.09	1,142
	60%	7,144	7,021	0.98	1,980
	80%	12,395	10,163	0.82	2,881
	100%	20,078	12,650	0.63	3,813

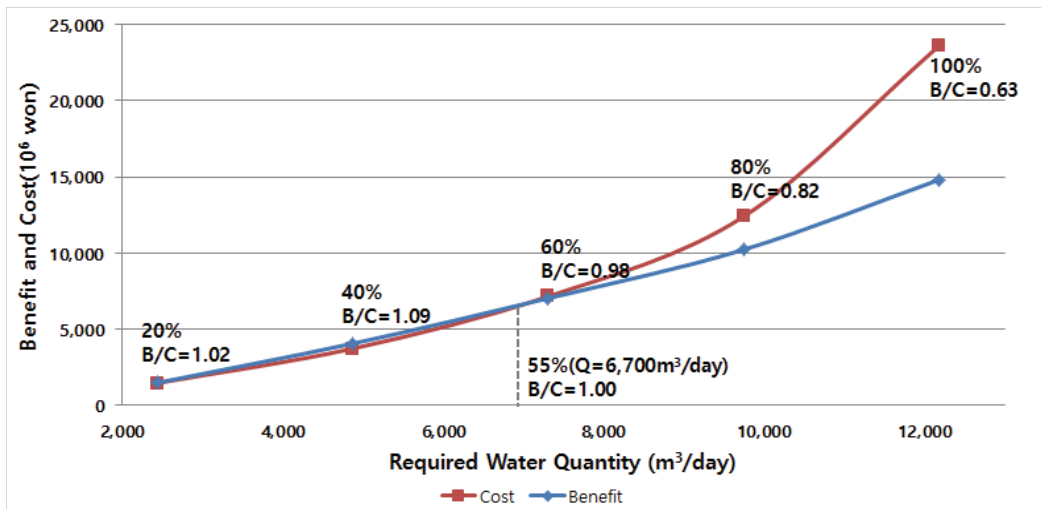


Fig. 9 B/C of heightening existing reservoir for river maintenance flow

Table 11 Economic analysis of heightening existing reservoir for environmental ecology flow

	Required Water quantity		Cost (10 <sup>6</sup> won)	Benefit (10 <sup>6</sup> won)	B/C ratio	Environmental ecology flow (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)
		(m <sup>3</sup> /day)				
Ratio to Environmental ecology flow	2%	3,491	2,325	11,859	5.10	721
	4%	6,981	6,675	15,436	2.31	1,863
	6%	10,472	14,582	20,049	1.37	3,164
	8%	13,962	27,726	24,839	0.90	4,515
	10%	17,453	46,324	30,807	0.67	5,851

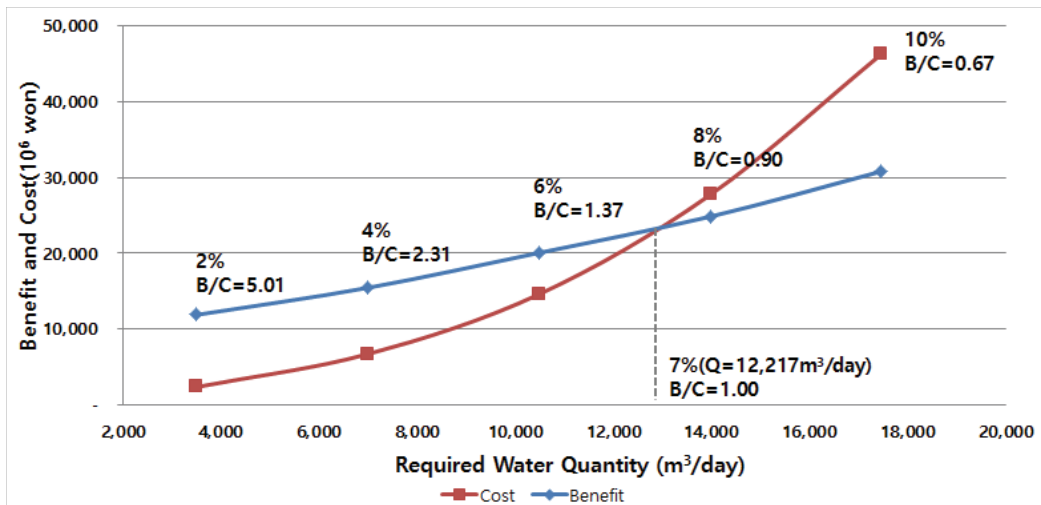


Fig. 10 B/C of heightening existing reservoir for environmental ecology flow

로 유효저수량 대비 공급량은 증고 전 29%에서 증고 후 83%로 증가되었으며, 연간 유입량 (11,024천 m<sup>3</sup>) 대비 공급량은 증고 전 5%에서 증고 후 38%로 증가되었다.

기설 저수지 증고를 통한 하천유지유량이나 환경생태유량 공급은 유효저수량 대비 71~83%, 연간 유입량 대비 16~38% 수준이 적정한 것으로 분석되었다.

나. 저수지 신설방안

인근 지역에 저수지를 신설하여 하천유지유량을 공급하는 방안의 시설 규모별 경제성 분석 결과는 Table 12와 Fig. 11과 같다. 경제성을 고려할 때, 평균 필요유량의 95% 수준을 공급 (11,573 m<sup>3</sup>/day)하는 것이 최적 규모로 유효저수량은 3,644천 m<sup>3</sup>으로 기설 유천저수지의 2배 규모로 비용은 406억원으로 분석되었다. 연간 하천유지유량 공급량은 3,586천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 공급량은 99%, 연간 유입량 (10,903천 m<sup>3</sup>) 대비

공급량은 33%로 나타났다.

저수지 신설을 통한 환경생태유량 공급 방안의 시설 규모별 경제성 분석 결과는 Table 13과 Fig. 12와 같다. 경제성을 고려할 때 평균 필요유량의 7.8%를 공급 (13,613 m<sup>3</sup>/day)하는 것이 최적 규모이며, 유효저수량은 4,741천 m<sup>3</sup>으로 소요비용은 506억원으로 분석되었다. 환경생태유량 연간 공급량은 4,392천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 공급량은 93%, 연간 유입량 대비 공급량은 40%로 나타났다.

Table 12 Economic analysis for construction of new reservoir for river maintenance flow

Required Water quantity	(m <sup>3</sup> /day)	Cost (10 <sup>6</sup> won)	Benefit (10 <sup>6</sup> won)	B/C ratio	River maintenance flow (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)	
Ratio to river maintenance flow	20%	2,436	20,195	30,494	1.51	433
	40%	4,873	23,065	32,736	1.42	1,147
	60%	7,309	27,348	35,337	1.29	1,975
	80%	9,746	33,722	38,154	1.13	2,872
	100%	12,182	43,228	41,147	0.95	3,825

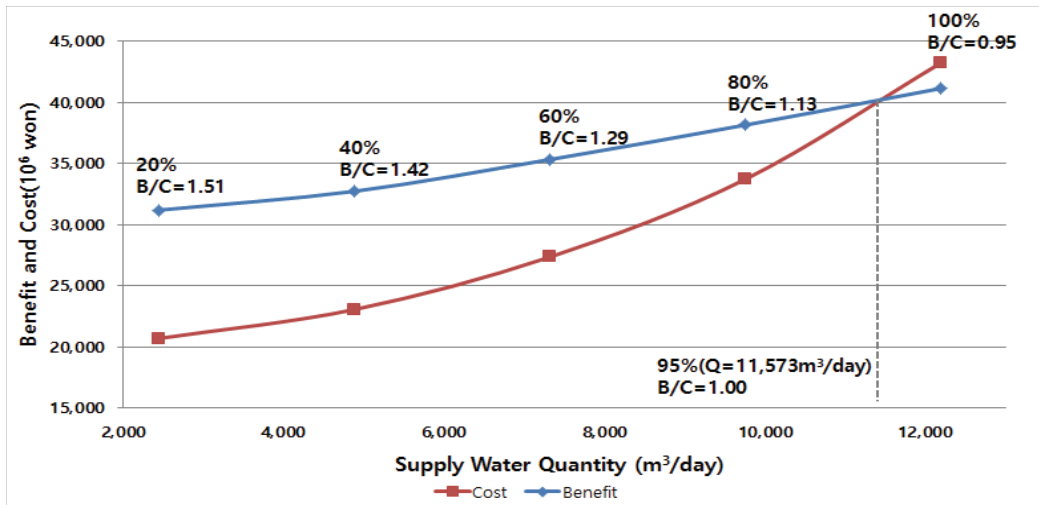


Fig. 11 B/C Ratio of construction of new reservoir for river maintenance flow

Table 13 Economic analysis of construction of new reservoir for environmental ecology flow

Required Water quantity	(m <sup>3</sup> /day)	Cost (10 <sup>6</sup> won)	Benefit (10 <sup>6</sup> won)	B/C ratio	Environmental ecology flow (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)	
Ratio to Environmental ecology flow	2%	3,491	21,467	39,250	1.83	731
	4%	6,981	26,700	42,793	1.60	1,859
	6%	10,472	36,260	46,844	1.47	3,149
	8%	13,962	52,496	51,191	0.98	4,533
	10%	17,453	75,534	55,491	0.73	5,902

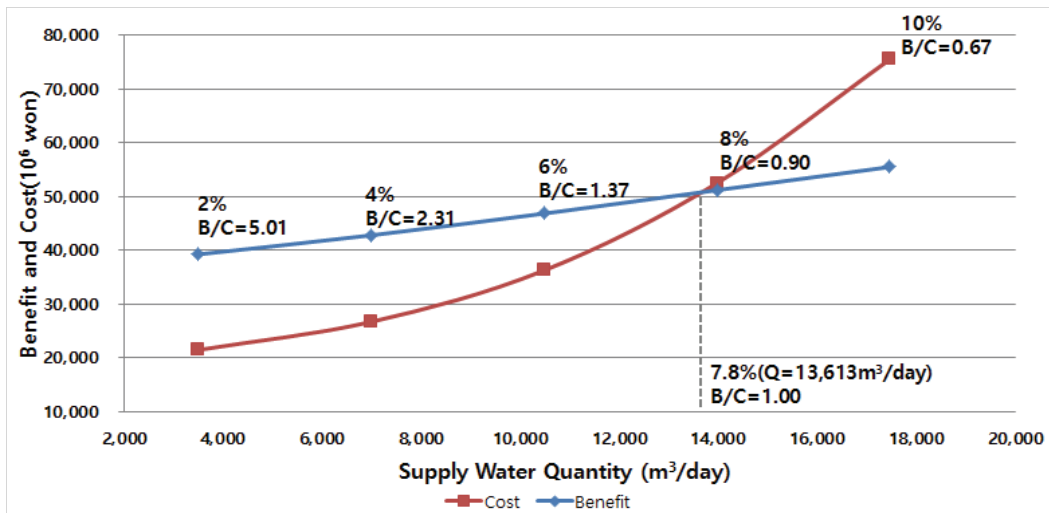


Fig. 12 B/C of construction of new reservoir for environmental ecology flow

저수지 신설을 통한 하천유지유량이나 환경생태유량 공급은 유효저수량 대비 93~99%, 연간 유입량 대비 33~40% 수준이 적정한 것으로 분석되었다.

### 3. 기설저수지 증고 방안과 저수지 신설 방안 비교

농업용 저수지를 활용하여 하천유지유량과 환경생태유량을 확보하는 방안으로 기설 저수지 증고 방안과 저수지 신설 방안에 대해 경제성 비교를 통해 최적 규모를 비교·검토해 보았다.

기설 저수지 증고를 통한 하천유지유량 공급은 평균 필요유량의 55%를 공급하는 것이 경제성을 고려할 때 최적 규모로 유효 저수량은 2,466천 m<sup>3</sup>인 것으로 분석되었다. 이 경우, 하천유지유량 연간 공급량은 1,761천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 72%, 연간 유입량 대비 16% 수준을 공급할 수 있다. 환경생태유량은 평균 필요유량의 7% 수준을 공급하는 것이 적정 규모로 유효 저수량은 5,031천 m<sup>3</sup>으로 기설 저수지의 2.9배 규모이다. 이 경우 환경생태유량 연간 공급량은 4,176천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 83%, 연간 유입량 대비 38% 수준을 공급

할 수 있다.

인근 지역에 저수지를 신설하는 경우, 하천유지유량 공급은 평균 필요유량의 95%를 공급하는 것이 최적 규모로 유효저수량은 3,644천 m<sup>3</sup>으로 기설 저수지의 2배 규모이다. 이 경우 연간 공급량은 3,586천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 99%, 연간 유입량 대비 33% 수준을 공급할 수 있다. 환경생태유량은 평균 필요유량의 7.8%를 공급하는 것이 적정 규모로 유효저수량은 4,741천 m<sup>3</sup>으로 기설 저수지의 2.7배 규모이다. 연간 공급량은 4,392천 m<sup>3</sup>으로 유효저수량 대비 93%, 연간 유입량 대비 40% 수준을 공급할 수 있다.

농업용 저수지를 활용한 하천유지유량 공급에 관한 기존 연구가 많아 심층 비교는 어렵지만, 유사한 논문을 비교해 보면 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다. Noh (2009)은 대전 3대 하천의 유지유량 공급을 위해 기설 및 신설 저수지 연계 운영 효과에 관한 연구에서 기설저수지 2개소(유효저수량 3,834천 m<sup>3</sup>)에서 하천유지유량을 연간 3,550천 m<sup>3</sup>을 공급하고 있으며, 저수지 4개소 신설(유효저수량 31백만 m<sup>3</sup>)로 하천유지유량을 연간 74백만 m<sup>3</sup>을 공급 가능한 것으로 분석하였다.

Table 14 Comparison of feasible river maintenance flow and environmental ecology flow supply amount by using existing agricultural reservoir or construction of new reservoir

Supply Water Type	Required Water quantity (m <sup>3</sup> /day)	Heightening existing reservoir			Construction of new reservoir		
		Feasible Supply quantity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)	Effective Storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Cost (10 <sup>6</sup> Won)	Feasible Supply quantity (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /yr)	Effective Storage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Cost (10 <sup>6</sup> Won)
River maintenance flow	12,182	1,761	2,466	6,236	3,586	3,644	40,552
Environmental ecology flow	174,528	4,176	5,031	23,614	4,392	4,741	50,569

유효저수량 대비 공급량은 기설저수지 93%, 신설 저수지 236% (최소 92%~최대 305%)로 분석하였다. Noh et al. (2010)은 백곡저수지 증고 효과에 관한 연구에서 증고후 백곡지의 유효저수량은 16.40백만  $m^3$ , 유입량은 53.84백만  $m^3$ , 용수공급량은 33.54백만  $m^3$ , 하천유지유량은 7.57백만  $m^3$ 으로, 유효저수량 대비 하천유지유량 공급은 46%, 유입량 대비 공급량은 14% 수준으로 평가한 바 있다. KDI (2010)는 영산강 유역 농업용저수지 독농임사업 예비타당성보고서에서 나주댐 등 5개댐의 연간 평균 유입량은 57,194천  $m^3$ , 평균 유효저수량은 63,868천  $m^3$ , 하천유지유량 연간 8,816천  $m^3$ 으로, 유입량 대비 하천유지유량 공급은 15%, 유효저수량 대비 공급량은 14% 수준으로 분석하였다. 본 연구에서는 유효저수량 대비 공급량은 기설 저수지 증고 72%, 저수지 신설 98%가 최적으로 분석되어 기설저수지 증고는 비슷하나 저수지 신설의 경우 상기 논문과 차이가 있다. 상기 논문에서는 신설 저수지의 경우 농업용수 공급을 고려하지 않고 전체 물량을 하천유지유량 공급으로 분석한 것으로 추정되며, 저수지 설치 위치에 따라 편차가 많이 발생하는 것으로 보인다. 연간 유입량 대비 공급량은 기설저수지 증고 16%로 백곡지 증고 14%, 영산강 5개댐 증고 15%와 비슷하다. 따라서 유효저수량 대비 공급량은 지구별로 차이가 있으나, 연간 유입량 대비 공급량은 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

본 연구결과를 바탕으로 환경부에서 제시한 하천유지유량을 모두 확보하기 위해서는 8.9 m 저수지 증고 (현 유효저수량의 2.6배) 또는 높이 24.6 m 신규 저수지 개발이 필요하여 비용은 각각 200억원, 432억원으로 신규 저수지 개발이 기설 저수지 증고에 비해 2.2배 더 비싼 것으로 나타났다. 한편 동북천을 대상으로 제시된 환경생태유량을 모두 확보하기 위해서는 17.6 m 저수지 증고 (현 유효저수량의 4.8배) 또는 높이 33 m 신규 저수지 개발이 10개소 필요하여 비용은 각각 4,632억원, 7,553억원으로 신규 저수지 개발이 기설 저수지 증고보다 약 1.6배 더 비싼 것으로 추정된다. 하지만, 환경생태유량 확보를 위해 농업용 저수지 10개소의 증고나 신규 건설은 현실적으로 실현 가능하지 않은 것으로 판단되며 수용 가능한 적정 환경생태 유량에 대한 사회적 합의가 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 최근 농업용 저수지를 이용하여 하천유지유량 및 환경생태유량을 확보하려는 움직임에 대해 수량 확보 (농업용수, 하천유지유량, 환경생태유량)를 위한 최적 규모와 경제적 비용을 동북천의 사례로 제시하였다. 농업용 저수지

를 활용하여 환경생태유량을 공급하는 방안으로 기설 저수지 증고와 저수지 신설 방안에 대해 경제성 분석을 통해 비교했으며 비용 측면에서 기설 저수지를 활용하는 것이 더 효율적인 것으로 분석되었다. 하지만, 하천 상류의 저수지 증고 및 신규저수지 개발이 제한적일 수 밖에 없다는 점에서 하천유지유량, 환경생태유량을 확보하기 위하여 농업용저수지를 활용하는 방안은 한계가 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 향후 전국적으로 고시될 환경생태유량 확보 방안 중에서 가장 현실적이고 효율적인 방안으로 간주되는 농업용 저수지를 활용하는 방안 (저수지 증고, 신규저수지)중 단일 저수지 분석에 한정하였으나, 유역내 기설 저수지와 신설 저수지를 연계한 종합적 검토가 필요하며, 기타 방안 (유수허가 조정, 기존 댐 용수 재배분, 하수처리장 방류수 활용, 타수계로부터 도수 등)도 함께 고려하여 시나리오로 추가하는 등 본 연구의 방법론을 이용하여 각 방법의 효율성을 검토할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 본 연구에서 물수지 분석시 과거자료에 의존하여 미래 기후변화를 고려하지 못하였고, 환경생태유량 공급편익 계산시 가구당 지불 의사액을 일괄 적용하는 한계가 있었다. 향후 연구에서는 기후변화를 고려한 하천유지유량, 환경생태유량 산출 및 공급 편익 산출방법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이며, 이를 통해 하천유지유량, 환경생태유량 공급 방안에 대한 경제성 분석의 구체화가 필요할 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

1. Tharme R. E., 2003. Global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Application*, 19, Issue 5-6, doi:10.1002/rra.736.
2. Adamowicz, W., J. Louviere, and M. Williams, 1994. Combining revealed and stated preference methods for valuing environmental amenities. *Journal of Environmental and Economics Management* 26: 271-292. doi:10.1006/jeem.1994.1017.
3. Colby, B. G., 1990. Enhancing instream flow benefits in an Era of water marketing. *Water Resources Research* 26(6): 1113-1120. doi:10.1029/WR026i006p01113.
4. European Commission, 2015. Ecological flows in the implementation of the water framework directive.
5. Richard, D., and R. Hirji, 2003. Environmental flows: Concepts and methods, *Water resources and environment*

- technical Note C.1, The World Bank, Washington, D.C.
6. Hirji, R., and D. Richard, 2009. Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: Case studies, Natural resources management series, Paper No. 117, The World Bank Environment Department.
  7. Ministry of Construction and Transportation, 1988. Basic plan for river improvement on donbok, yeunam, gasu, nam river (in Korean).
  8. Kim, S. M., I. P. Hong, K. H. Kim, and D. I. Seo, 1995. A estimation of river stream maintenance flow to improve water quality in Geum River (in Korean).
  9. Ho. J. K., B. G. Hwang, and K. S. Oh, 2005. Study on the management of minimum low flow and water quality of Hongjechun. *Environmental Impact Assessment* 14(1): 37-46 (in Korea).
  10. Choi, H. C., J. H. Kim, K. H. Yoon, and T. K. Kim, 2006. A management plan for river-stream maintenance flow to improve water quality in Yeongsan River (in Korean).
  11. Choi J. Y., 2007. Function of environmental flows for sustainable water resources management. *Journal of Environmental Policy* 6(13): 47-70 (in Korean).
  12. Kang S. K., 2007. Korea river maintenance flow, environmental improvement flow and environmental flow, *Convention Book of the Korean Water Resource Association 2007*: 870-874 (in Korean).
  13. Kwon H. J., 2007. A study on cost burden of environmental improvement flow. *Convention Book of the Korean Water Resource Association 2007*: 469-469 (in Korean).
  14. MAFRA, KRC, 2007. Assessment manual of public-good functions of rural water (in Korean).
  15. Ministry of Construction and Transportation, 2007. A study on estimation method of natural social environmental improvement flow (in Korean).
  16. Kim, W. C., K. D. Yeo, G. H. Kim, and M. P. Sim, 2008. Framework for quantifying stream landscape improvement benefit by supplying environmental water use. *Convention Book of Korea Water Resources Association 2008*: 2117-2121 (in Korean).
  17. Ko, I. H., G. H. Kim, S. Y. Woon, and W. G. Kim, 2008. The study for estimation instream flow to improve natural & social environment. *Convention Book of the Korean Water Resource Association 2008*: 414-418 (in Korean).
  18. Lee, W. S., M. H. Kwon, G. H. Kim, S. J. Na, and H. G. Choi, 2008. The study to secure instream flow to improve natural & social environment. *Convention Book of the Korean Water Resource Association 2008*: 419-423 (in Korean).
  19. Yeo, K. D., W. C. Kim, C. S. Yi, and M. P. Sim, 2008. Estimation of water quality improvement benefit by supplying environmental water use of dam. *Convention Book of the Korean Water Resource Association 2008*: 1489-1493 (in Korean).
  20. Hur, J. W., and J. G. Kim, 2009. Assessment of riverine health condition and estimation of optimal ecological flowrate considering fish habitat in downstream of Yongdam Dam. *Journal of Korea Water Resources Association* 42(6): 481-491 (in Korean).
  21. Kim, J. K., G. H. Kim, I. H. Ko, S. Y. Park, J. W. Seo, and C. L. Jang, 2009. Environmental flow assesment for sustainable river management in Guem river (in Korean).
  22. Kang, M. S., N. H. Park, J. U. Lee, and C. Kim, 2010. Study on the environmental flow for ecosystems at Hwangryong river (in Korean).
  23. Noh, J. K., 2009. Increasing effect of urban instream flow in Daejeon' three streams by operating upstream reservoirs (in Korean).
  24. Choi, N. W., 2010. The plan for instream flow security by agricultural reservoir. Master's thesis, Yeungnam University (in Korean).
  25. Kim, S. M., S. J. Kim, Y. W. Kim, T. Y. Park, S. M. Kim, K. W. Park, and M. W. Jang, 2011. Potential release of Environmental flow through irrigation resevoir. *Journal of the Korean society of Agricultural Engineers* 53(6): 10-109 (in Korean).
  26. Noh, J. K., Y. G. Kim, and J. N. Lee, 2010. Increasing instream flow of baegkokcheon in Jincheon county by heightening upstream reservoir (in Korean).
  27. KDI, 2010. Report of preparatory feasible survey on heightening of agricultural reservoir at Yeongsangan basin (in Korean).
  28. Noh, J. K., 2013. Assesment on downstream instream flow considering operation upstream reservoir (in Korean).
  29. Yoo. S. H., S. H. Lee, N. Y. Park, and J. Y. Choi, 2013. An analysis of environmental water release patterns considering operation rules in enlarged agricultural reservoirs. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(3): 51-62 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2013.55.3.051
  30. Ministry of Environment, 2015. A research on pilot project and calculation standard of environmental flow (in Korean).

31. Ministry of Environment, 2016. A research on development of monitoring system and integrated model of calculation of environmental flow (in Korean).
32. Ministry of Environment, 2017. A research on pilot project and system management plan of environmental flow (in Korean).
33. Jang, K. H., Y. K. Park, J. I. Kang, and M. H. Kim, 2018. Estimation of ecological flow rate for zacco platypus based on habitat suitability index considering probability density function. *Journal of Korea Water Resources Association* 51(3): 207-219 (in Korean).
34. K-water, 2018. A research on estimation and securing of environmental flow (in Korean).
35. MAFRA, KRC, 2018. Statistical yearbook of land and water development for agriculture (in Korean).
36. Ministry of Environment, 2018. Notification of instream flow status (in Korean).