



농업용수 정량화를 위한 경제적 수위계측망 설계

Economical Design of Water Level Monitoring Network for Agricultural Water Quantification

김선주* · 권형중** · 김일정*** · 김필식****†

Kim, Sun Joo · Kwon, Hyung Joong · Kim, Il Jung · Kim, Phil Shik

Abstract

This study was to design the optimal locations of the water level monitoring to quantify the agricultural water use in irrigation area supplied from an agricultural reservoir. In most of agricultural areas without TM/TC (Tele-Monitoring and Tele-Control) or monitoring network, irrigation water have been supplied on conventional experience and agricultural reservoir have been operated based on the operating simulation results by HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System). Therefore, this study quantified the amount of agricultural water use in an irrigation area (Musu Reservoir, Jincheon-gun) by establishing water level monitoring network and analyzed the agricultural water saving effect. According to the evaluation of the economic values for water saving effect, the saving agricultural water of 1.7 million ton was analyzed to have economic values of 0.85 million won as water for living, and 1.78 million won as water for industrial use. It is identified to secure economic feasibility of the new water monitoring network by establishing one monitoring point in the entrance, irrigation area and endpoint through the economic analysis.

Keywords: Monitoring Network; Economic Analysis; Agricultural Water

1. 서 론

농업용수는 현재 대부분이 소규모 저수지에 의존하고 있는데, 농업용수 이용량은 150억 m³/yr로 이는 하천유지수량을 제외한 전체 물이용량 237억 m³/yr의 약 63%에 해당된다 (Kim et al., 2013). 최근까지 농업용수의 이용은 노후화된 농업수리시설과 관리 기술부족 등의 원인으로 그 이용효율이 낮은 것으로 조사됨에 따라 농업용수의 이용효율을 개선하기 위해서는 농업용수의 용수수급 특성을 조사, 분석하고 이에 대한 개선방안의 제시가 필요하다.

이를 위해서는 농업용수의 공급원인 농촌유역에서 강우에 의한 유출로 나타나는 강우-유출특성, 농업저수지와 같은 주요 수원공에서의 유입, 저류특성, 평야부 관개지역에 대한 작물경종에 따른 시기별 지역별 관개특성으로 구분할 필요가 있다. 또한, 이

들의 상호 연계되어 있는 시스템에 대한 전반적인 분석과 평가를 지속적으로 수행해야 한다. 물 관리를 위한 계측자료의 부족함과 이론식의 비현실성 파악, 무효방류량의 계측 필요성을 파악하고 수리시설에 대해 합리적인 방법으로 용수 수요량을 추정하고 공급량을 산정하여, 그 결과를 수자원 개발과 수리시설물의 운영 등에 이용하여야 한다.

Lee (2005)는 논 관개용수량 산정을 위한 실험적 연구에서는 논 관개용수 공급 현황 조사와 공급량 추정을 통하여 얻은 실제공급량과 기존의 설계시 적용되고 있는 기준에 의한 필요수량 산정결과를 비교·분석하고 물관리 현황을 잘 반영할 수 있도록 제반 필요수량 산정요소를 재정립함으로써 논 관개용수량 산정 방법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 물관리 현장에서 실제 발생하고 있는 용수 공급량을 모의 발생할 수 있으므로 물가두기, 이양시기 등을 현장조건에 맞추어 조정하면 물관리 연간계획 수립, TM/TC 운용계획 등에 적용할 수 있다. 또한, 개보수사업 및 물 관리 자동화 등을 통한 시설관리손실 저감 효과, 절수방법의 적용 효과, 가뭄대책의 효과 등을 계상하는데 유용하게 이용될 것이다. 본 연구는 제한된 자료를 이용하여 특정 지역에 적용성을 검토한 것으로, 지역별 세분화된 조사의 필요성을 제안하였고 기후 여건에 따른 잠재증발산량 산정의 재정립 역시 시급한 문제로 언급하고 있다.

또한, 농업용수 특성은 시기별, 연도별로 상이하게 나타나는 경우가 빈번하므로, 그에 대한 조사와 분석은 장기간에 걸쳐서 일관성 있게 실시하며 농업용수의 관개효율 개선을 포함한 효율적인

* Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University

** Research Center, Yooil Engineering Co., Ltd

*** Large-scale Land Reclamation Office, Korea Rural Community Corporation

**** Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-450-3753 Fax: +82-2-444-0223

E-mail: kimps@konkuk.ac.kr

Received: August 15, 2016

Revised: September 5, 2016

Accepted: September 5, 2016

물 관리 연구를 위해서 시험지구의 강우량, 유출량, 저수량, 관개량, 배수량 등 기초적인 농업용수의 현장자료를 분석함으로써 연구의 질적인 향상과 더불어 현장 활용성을 향상시킬 수 있다 (Shim et al., 2012; Lee, 2005; Kim et al., 2013; Nam et al., 2012 (a); Nam et al., 2012 (b); Ahn et al., 2004; Cho et al., 2003; Jang et al., 2011; Jang et al., 2006; Maeng et al., 2009).

이에 본 연구에서는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 줄이고 수요/공급량의 정량화를 위하여 경제적 가치를 고려한 최적 수문계측망 구축기법을 개발하고자, ① 농업용 저수지를 수원으로 하는 관개지구의 물관리 및 수문계측 현황과 문제점을 파악하고, ② 유역부, 저수부, 평야부에 걸쳐 수위계측 지점을 구축·운영하고, ③ 신뢰성있는 계측자료를 수집하고, ④ 물이용 정량화 및 용수절감 효과를 분석하여, ⑤ 경제성 분석에 의한 최적 수위계측 지점의 규모결정 기법을 개발하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지구 선정

농업용 저수지를 수원으로 하며 수문 계측망이 설치되어 있고 추가적인 수문 계측망을 구축한 충청북도 진천군 내의 무수저수지 (舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구로 선정 하였다 (Fig. 1).

무수저수지는 충청북도 진천군 광혜원면 구암리에 있는 농업 관개용 저수지로 서부는 고도의 구릉성 산지이며 남부는 진천군이월면과 연속된 진천평야의 일부이다. 저수지 제방 형식은 중심점토형인데 제언의 높이는 16.5 m, 길이는 407 m이고, 홍수량은 78.8 m³/s, 일류 수심은 1.1 m이다. 물넘이 형식은 측구식으로 길이는 65 m, 연체 높이는 3.5 m이다. 취수 시설 형식은 박스형으로 단면 1.2 m, 연장 60 m이다. 취수 시설 형식은 취수탑으로 취수량 0.60 m³/s, 연장 32.9 m이다.

유역 면적은 857 ha, 만수 면적은 23.2 ha, 홍수 면적은 24.1 ha, 수해 면적은 219 ha이다. 신규 개발 면적은 239 ha, 순 관개 면적은 239 ha, 관개 면적은 336 ha, 구역 면적은 336 ha, 인가 면적은 290 ha, 준공 면적은 336 ha, 수리안전담 면적은 284 ha이다. 총저수량은 137만 톤, 유효 저수량은 132만 톤이다. 만수 위는 119 m이고 홍수위는 120 m이다. 무수 저수지 관리는 한국농어촌공사 진천지사에서 관리하고 있으며 무수 저수지의 제원은 Table 1과 같다.

무수저수지 관개부는 금곡간선과 회죽간선 평야부 두 간선으로 나누어져 있다. 회죽간선 관개지구는 약 236 ha, 금곡간선 관개지구는 약 100 ha (금곡간선 관개지구1 + 금곡간선 관개지구2)로 무수저수지 총 관개면적은 336 ha이다. 관개지역별 용수이

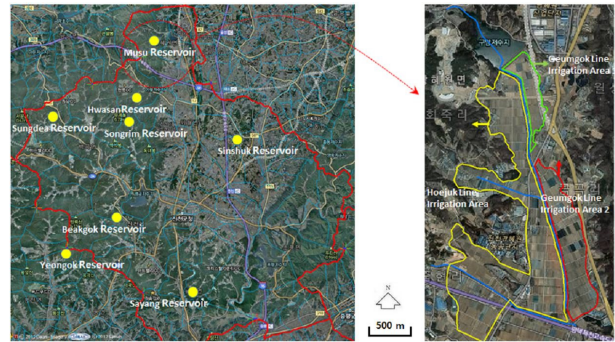


Fig. 1 Study site

Table 1 Present conditions of Musu reservoir

Musu reservoir		
Area (ha)	Basin Area	857
	Surface Area	336
Storage (1,000 ton)	Effective Storage	1,320
	Full Water Level	119
water level (m)	Flood Water Level	120
	Water Level	119
Levee (m)	Levee Length	407
	Spillway	Gutter
Note	Location	Chungbuk Jincheon
	Management Agency	Jincheon

용을 현황으로는 회죽간선 관개지역 평균이 약 70 %, 금곡간선 관개지역 평균 약 75 %로 나타났다. 간선별 수로길이는 회죽 용수간선 3.05 km, 금곡 용수간선 4.05 km이며, 하천길이는 3.5 km이다.

구암천 유역내 최근 3개년 최고 기온은 38.3 °C이고 최저 기온은 -26.5 °C이며, 연평균 기온은 11.3 °C로 전국 연평균 기온 12.5 °C에 비하면 낮은 것으로 나타난다. 연평균 상대습도는 59.7 % ~ 79.3 %로 나타났으며 최소상대습도를 비교했을 때 건조기인 1 ~ 4월 사이에는 상대습도가 13.9 % ~ 21.6 %를 나타낸 반면 다습기인 6 ~ 9월에는 25.3 % ~ 38.5 %로 조사되어 여름철에 고온다습하고 겨울철에 한랭건조한 우리나라의 기상특성을 나타내고 있다.

2. 수위계측망 구축 및 농업용수 정량화

무수저수지 유역의 기존 계측망은 저수지 취수탑 (R-1), 취수탑 방수문에 위치한 회죽간선 방수문 (H-1)과 금곡간선 방수문 (K-1), 금곡간선 금곡방수문 (K-3) 및 회죽간선 만디방수문 (H-2)에 설치되어 있다. 본 연구는 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용 불확실성을 해소하고 농업용수량의 정량화를 위한 것

으로 대상지구의 기존 수위 계측망으로는 정확한 농업용수량의 산정이 불가능 하다. 따라서, 대상지역의 물관리 현황의 단점을 보완하며 물이용 불확실성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수위계측 지점을 신설 및 운영하였다.

유역부는 무수저수지 내 유입부 계측 장비의 부재로 유입량 산정이 불가능 하며, 저수부는 회죽·금곡 간선 시점부 계측을 통해

용수 사용량을 파악 할 수 있으나 무효방류량은 정량화하기에 어려움이 있는 것으로 나타난다. 평야부의 경우 금곡간선과 금곡방수문에서 계측이 가능하지만 중간 분기점까지의 용수 사용량과 금곡간선 말단부의 방류량 파악은 불가능하며 회죽 간선 또한 중간 분기점까지 용수 사용량과 말단부의 방류량 파악이 불가능 하였다. 기존 계측기를 통해 정량적인 물수지 분석이 불가능한 것은

Table 2 Monitoring network construction

Area	Gauge	Monitoring	No.
Watershed Area	Reservoir Inlet	- Reservoir Inflow	W-1
	Intake Tower	- Reservoir Water Level	R-1
Reservoir Area	Reservoir Spillway	- Anaccount Outflow	R-2
	Hoejuk Line Discharge Gate	- Initial Supply	H-1
	Geumgok Line Discharge Gate	- Initial Supply	K-1
	Hoejuk Line Mandei Discharge Gate	- Channel Flow	H-2
Irrigation Area	Hoejuk Line Outlet	- Return Flow	H-3
	Geumgok Line Junction	- Channel Flow	K-2
	Geumgok Line Geumgok Discharge Gate	- Channel Flow	K-3
	Geumgok Line Outlet	- Return Flow	K-4
	Geumgok Line Hoejuk Bridge Outlet	- Return Flow	W-2
	Geumgok Line Sasan Bridge Outlet	- Return Flow	W-3

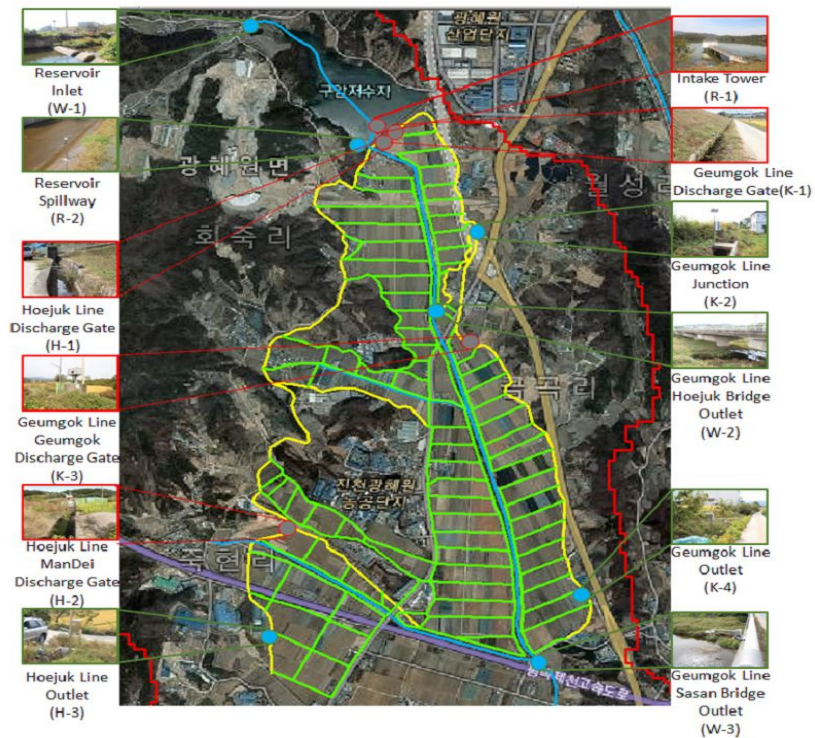


Fig. 2 Monitoring network construction

아니지만 정확성 및 신뢰도가 매우 떨어져 Fig. 2 및 Table 2와 같이 계측기를 추가하여 수위계측 지점 신설이 필요한 것으로 판단되었다. 저수지 여수로의 무효방류량 측정을 위해서 자동수위측정기 (SLM-FAR15)를 설치하였으며, 관개수로의 공급량 측정을 위하여 자동수위측정기 및 수로유량측정기 (SFM-500)을 설치하였다.

이렇게 대상지구를 유역부, 저수부, 평야부로 나누어 저수지 유입량 계측을 위한 하천수위계, 여수로 무효방류량 계측을 위한 초음파수위계, 평야부 관개지구의 물이용 및 손실을 산정하기 위한 수로수위계, 하천으로의 회귀수량 계측을 위한 하천수위계를 설치·운영하고, 이러한 계측 자료를 이용하여 물수지 분석을 통하여 대상지구의 농업용수를 정량화 하였다 (Kim et al., 2014).

3. 용수절감효과 분석 및 경제적 가치 평가

농업용수 정량화를 통하여 저수지로부터의 각 간선별 공급량, 관개지구 구간별 조용수량, 순용수량, 손실수량, 회귀수량 등의 산정이 가능하였고, 이러한 농업용수 중에서 용수절감이 가능한 용수량은 손실수량 및 회귀수량이다 (Kim, 2014).

손실율은 10%부터 90%까지 월별로 다양한 손실율을 나타내고 있는데 이는 수로의 노후화로 인한 침투손실이나 송수손실 등이 아니라 대부분 관리 손실임을 알 수 있다 (Kim, 2014). 즉, 대상지구의 간선수로 중간부에 공급량 조절을 위한 방수문이 설치되어 있으며 과잉 공급이 발생할 경우 초기 공급량을 조절하지 않고 방수문을 통하여 하천으로 방류하고 있는 실정이다.

또한, 회귀수량의 경우에는 농업생산기반설계기준 (농림부, 2002)에 의하면 농업용 저수지는 대상하천의 갈수량을 기준으로 하천유지용수를 공급하도록 명시하고 있는데, 구암천의 갈수량과 무수저수지의 공급량 및 무효방류량을 고려할 때 10%를 초과하는 회귀수량은 용수절감이 가능하다. 이와 같이 손실수량과 회귀수량의 절감을 통하여 용수절감량을 산정할 수 있으며 본 연구에서는 월별 손실수량의 50%를 절감하고 회귀수량은 농업생산기반설계기준 회귀율보다 이상일 경우 그 차이만큼 절감하였다. 다음과 같은 식을 통하여 용수절감량의 계산이 가능하다.

$$SW_y = \sum SW_m RR_m > 10\% (\text{회귀율})$$

$$SW_m = (LW_m \times 0.5) + (RW_m \times (RR_m - 10\%)) \quad (1)$$

$$RR_m < 10\% (\text{회귀율})$$

$$SW_m = LW_m \times 0.5$$

여기서, SW_y 는 해당 연도의 용수절감량, SW_m 는 해당 월의 용수절감량, LW_m 는 해당 월의 용수손실량, RW_m 는 해당 월의 회귀수량, RR_m 는 해당 월의 회귀율이다.

이렇게 산정된 용수절감량의 경제적 가치를 평가하기 위하여,

Table 3 Water service rates (Water service office, Jincheon, 2015)

Service types	Steps	Use amounts (ton)	Rates (won/ton)	
Family use	1 st	1 ~ 20	500	
	2 nd	21 ~ 30	780	
	3 rd	over 31	1,190	
General use	1 st	1 ~ 30	810	
	2 nd	31 ~ 50	1,230	
	3 rd	51 ~ 100	1,620	
	4 th	over 101	2,080	
Public use	1 st	1 ~ 200	650	
	2 nd	210 ~ 300	1,040	
	3 rd	301 ~ 500	1,360	
	4 th	over 501	1,730	
Industrial	Private	1 st	1 ~ 200	380
		2 nd	over 201	640
	Common	1 st	1 ~ 200	1,050
		2 nd	201 ~ 500	1,340
		3 rd	over 501	1,690

농업용수의 공익적 가치를 평가하는 대표적인 방법인 대체비용법을 이용하여 경제적 가치를 평가하였다 (Kim et al., 2014). 대체비용법은 평가대상 기능과 동등한 기능을 가진 다른 시장재에 의해 대체될 경우에 소요되는 비용에 따라서 평가하는 방법이다. 즉, 평가 대상이 시장에서 거래되는 대체 가능한 가격을 가지고 있는 모든 항목에 대하여 적용이 가능하며, 수위계측 지점 운영을 통하여 산정된 용수절감량을 생활용수 및 농업용수로 대체할 경우 발생하는 경제적 가치에 대하여 대체비용법으로 평가하고자 한다.

상하수도 요금은 당해연도 물가를 고려하여 지자체별로 요율을 다르게 적용하고 있는데, 대상지구는 충청북도 진천군에 위치하고 있어 진천군 상하수도 요율을 적용하였다. 용수절감효과에 대한 경제적 가치를 평가하기 위하여 생활요금은 가정용 1단계 즉, 500원/톤을 적용하였고 농업용수는 일반 1단계 즉, 1,050원/톤을 적용하였는데 이는 용수절감효과의 경제적 가치가 과대평가 되는 것을 방지하기 위하여 가장 낮은 요율을 적용한 것이다. Table 3은 대상지구에서 적용하고 있는 상수도 사용 요율표를 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 수위계측지점 규모별 용수절감효과 분석

수위계측 지점의 최적 설계 및 규모에 따라 농업용수량을 정량적으로 파악할 수 있는 범위가 달라지며 그에 따라 용수절감량의 산정 가능 범위가 달라진다. 즉, 간선 수로 유입부에만 수위계를

설치할 경우 취수탑에서 취수되어 간선수로로 공급되는 공급량의 파악은 가능하지만 공급된 수량이 관개지구 내에서 이용되는 양이나 손실되는 양, 하천으로의 배출되는 수량 등의 파악은 불가능하다. 즉 농업용수 인자 중에서 공급량만 파악이 가능하고 조용수량, 순용수량, 손실수량, 회귀수량의 파악은 불가능하다.

또한, 간선 수로의 유입부와 관개지역 내에만 수위계를 설치할 경우 간선 수로로 공급되는 공급량과 관개지역 내에 설치된 수위계 설치 위치까지의 농업용수량의 파악이 가능하지만 수위계 설치지

점 이후의 농업용수량과 회귀수량의 파악은 불가능하다. 이렇게 관개지역과 간선 수로의 수위계 설치 개수에 따라서 산정할 수 있는 농업용수량의 정보가 달라지며 용수절감효과 역시 달라진다.

본 대상지구의 수혜지역에는 유량계측을 위한 총 7개의 수위계가 설치되어 있는데 금곡간선에 4개, 회죽간선에 3개의 수위계가 설치되어 있다. 각 간선별로 유입부, 중간부, 말단부에 수위계를 설치함으로써 수위계 설치 구간별 조용수량, 순용수량, 손실수량의 산정이 가능하며 과잉 공급되는 관개용수량을 파악하여 용수절감효과의 분석이 가능하였다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 금곡간선에는 유입부 (K-1), 중간부 (K-2, K-3), 말단부 (K-4)에 수위계가 설치되어 있으며, 회죽간선에는 유입부 (H-1), 중간부 (H-2), 말단부 (H-3)에 수위계가 설치되는 등 관개지구 내에 총 7개소를 설치하여 수위계측 지점 구축하였다.

수위계측 지점을 운영함으로써 관개지구의 농업용수량을 산정하고 하천으로 배출되는 회귀수량 및 손실되는 수량에 대한 용수절감량을 산정할 수 있었다. 경제성 분석을 통한 수위계측 지점 최적 규모를 결정하기 위하여 수위계측 지점 규모에 따른 용수절감효과를 분석하였고, 이를 위하여 7개의 측정지점 개수를 임의로 줄여 설치지점 개수별 용수절감효과를 분석하고자 한다. Table 4는 설치지점 개수에 따른 용수절감효과 분석 시나리오를 나타낸 것이다.

S-1 (시나리오 1)은 각 간선 수로의 유입부에만 수위계측 지점

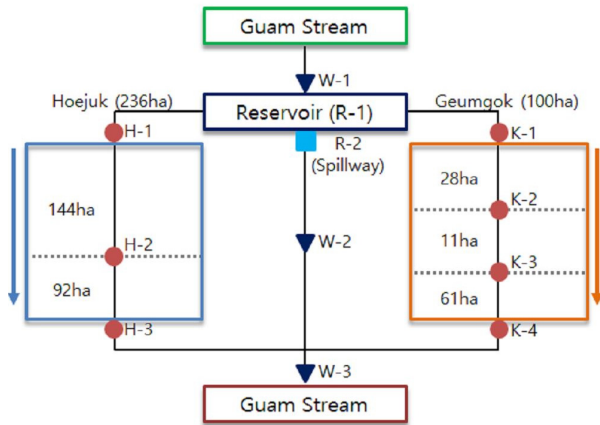


Fig. 3 Monitoring network diagram

Table 4 Scenarios of water saving effect analysis according to monitoring scales

Scenarios (Monitoring scales)	Design of monitoring network			Analysis coverages of Water saving effect	
	Location	Hoejuk Line	Geumgok Line		
S-1	Entrance	○	○	- No water saving effect	
	Irrigation area	×	×		
	Endpoint	×	×		
S-2	S-21	Entrance	○	○	- Water saving for loss - No water saving for return
		Irrigation area	○	×	
		Endpoint	×	×	
	S-22	Entrance	○	○	
		Irrigation area	○	○	
Endpoint	×	×			
S-3	Entrance	○	○	- Water saving for loss - Water saving for return	
	Irrigation area	○	○		
		○	○		
Endpoint	○	○			

○: Gauge, ×: No gauge

을 구축한 경우로서 각 간선 수로로 유입되는 유입량 즉, 공급량만 파악이 가능하고 관개지구 내에서의 물소비량과 회귀수량의 파악이 불가능하여 용수절감효과를 분석할 수 없다.

S-2 (시나리오 2)는 각 간선 수로의 유입부 및 중간부에 구축한 경우로서 각 간선 수로로 유입되는 공급량뿐만 아니라 중간부에 설치된 수위계 설치지점까지의 물소비량을 산정할 수 있다. 즉, 수위계 설치지점까지의 구간별 손실수량의 파악이 가능하여 용수절감효과를 분석할 수 있다. 하지만 회귀수량의 파악이 불가능하여 회귀수량에 대한 용수절감효과는 분석이 불가능하다.

S-3 (시나리오 3)은 각 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부 모두에 구축한 경우로서 각 간선 수로로 공급량, 구간별 손실수량, 말단부의 회귀수량 모두 파악이 가능하여 손실수량 및 회귀수량에 대한 용수절감효과를 분석할 수 있다.

이와 같이 설정된 수위계측 지점 규모별 시나리오에 대한 용수절감효과를 분석하고, 각 시나리오별 용수절감효과 분석 결과를 토대로 경제성 분석을 실시하여 수위계측 지점 규모를 결정하고자 한다. Table 5는 각 시나리오별로 4월부터 9월까지의 총 합을 표시하여 시나리오별 용수절감효과를 나타낸 것이다.

S-1은 각 간선 수로의 유입부에만 수위계를 설치하므로 간선으로의 공급량만의 산정이 가능하여 용수절감효과를 분석할 수 없다. S-21은 간선 수로의 유입부 및 회죽간선의 중간부, 금곡간선의 중간부에 설치한 것으로 각 간선의 수위계 설치지점까지의 손실량을 산정할 수 있고 손실량에 대한 용수절감효과를 분석한 결과 총 공급량 7백 44만 톤 중 용수절감량은 68만 톤으로 산정되어 9.2%의 용수절감효과를 나타내었다.

S-22는 S-21 시나리오에서 금곡간선 중간부에 1개소를 추

가한 것으로 회죽간선의 손실수량에 대한 용수절감량은 동일하고 금곡간선 중간부에 1개소 추가한 구간에서의 손실수량에 대한 용수절감량이 추가되었다. 그 결과 총 공급량 7백 44만 톤 중 용수절감량은 71만 톤으로 산정되어 9.6%의 용수절감효과를 나타내어 S-21 시나리오에 비해 0.4% 증가하였다.

S-3은 대상지구에 구축되어 있는 수위계측 지점과 동일한 시나리오로서 공급량 및 관개지구의 소비량, 손실수량, 회귀수량의 산정이 가능하여 손실수량 및 회귀수량에 대한 용수절감효과를 분석하였다. 그 결과 총 공급량 7백 44만 톤 중 용수절감량은 3백 12만 톤으로 산정되어 약 42%의 용수절감효과를 나타내어 본 대상지구는 관개지구에서 소비하고 남은 회귀수량이 많은 지역으로 공급량이 과잉 공급되고 있음을 확인할 수 있다.

2. 경제성 분석을 통한 수위계측지점 규모 결정

시나리오별 용수절감효과의 경제적 가치를 고려하여 수위계측지점의 규모를 결정하고자 한다. 즉, 각 시나리오별 용수절감량을 생활용수와 농업용수로 전환할 경우에 발생하는 경제적 가치를 편익으로 산정하였고, 수위계설치 비용과 용수 공급을 위한 관로 매설 비용을 비용으로 산정하여 비용편익비 (B/C, Benefit-Cost Ratio) 방법으로 경제성 분석을 수행하였다. 편익 산정을 위하여 용수절감량을 생활용수로 전환할 경우 톤당 500원을 적용하였고 농업용수로 전환할 경우 톤당 1,050원을 적용하였으며, 비용 산정을 위하여 수위계 설치 지점 1개소당 실제 설치비인 15,000천 원을 적용하였고 용수 공급을 위한 관로 설치 비용은 1 km당 180,000천 원 (충청북도, 2014, 농어촌 지방상수도 사업)을 적용하였다.

S-1 (시나리오 1)은 각 간선 수로의 유입부에만 수위계측 지점을 구축한 경우로서 관개지구 내에서의 물소비량과 회귀수량의 파악이 불가능하여 용수절감량이 없으므로 경제성분석에서 제외되었다. Table 6은 경제성 분석을 위한 비용 및 편익 관련 인자를 나타낸 것이며, Table 7은 시나리오별 초기투자비용 및 편익을 산정한 결과이다.

시나리오별로 산정된 초기 투자비용과 총 편익을 산정한 결과 초기 투자비용은 54억 6천만 원에서 55억 5백만 원으로 산정되었

Table 5 Water saving effects of each scenario (1,000 ton)

Scenarios	Supply	Loss	Return	Water saving amount	Rate (%)	
S-1	7,438.7	-	-	-	-	
S-2	S-21	7,438.7	1,365.8	-	682.9	9.2
	S-22	7,438.7	1,424.0	-	712.0	9.6
S-3	7,438.7	2,525.4	4,051.6	3,117.7	41.9	

Table 6 Benefit and cost parameters of economic analysis

Scenarios		Cost parameters	Benefits parameters
S-2	S-21	- Number of monitoring gauges: 4 - Length of buried pipeline: 30 km	- Water saving: 683,000 ton - Water use change (for industrial use and living)
	S-22	- Number of monitoring gauges: 5 - Length of buried pipeline: 30 km	- Water saving: 712,000 ton - Water use change (for industrial use and living)
S-3		- Number of monitoring gauges: 7 - Length of buried pipeline: 30 km	- Water saving: 3,118,000 ton - Water use change (for industrial use and living)

Table 7 Benefites and initial costs of each scenario (1,000 won)

Scenarios		Initial costs	Benefits	
			for living	for industrial
S-2	S-21	5,460,000	341,449	717,042
	S-22	5,475,000	356,006	747,612
S-3		5,505,000	1,558,862	3,273,610

Table 8 Results of economic analysis (1,000 won)

Scenarios	Operating periods	for living		for industrial	
		Costs	Benefits	Costs	Benefits
S-21	10년	2,636,575	6,997,820	5,536,808	6,997,820
	20년	4,255,203	7,774,310	8,935,927	7,774,310
	30년	5,248,901	8,251,007	11,022,692	8,251,007
	40년	5,858,945	8,543,658	12,303,784	8,543,658
	50년	6,233,459	8,723,321	13,090,264	8,723,321
	B/C	0.71		1.50	
	Investment paybak periods	-		15 years	
S-22	10년	2,748,981	7,017,045	5,772,860	7,017,045
	20년	4,436,617	7,795,668	9,316,896	7,795,668
	30년	5,472,679	8,273,675	11,492,626	8,273,675
	40년	6,108,731	8,567,130	12,828,336	8,567,130
	50년	6,499,212	8,747,286	13,648,345	8,747,286
	B/C	0.74		1.56	
	Investment paybak periods	-		14 years	
S-3	10년	2,748,981	7,017,045	5,772,860	7,017,045
	20년	4,436,617	7,795,668	9,316,896	7,795,668
	30년	5,472,679	8,273,675	11,492,626	8,273,675
	40년	6,108,731	8,567,130	12,828,336	8,567,130
	50년	6,499,212	8,747,286	13,648,345	8,747,286
	B/C	3.24		6.79	
	Investment paybak periods	5 years		3 years	

고 편익은 생활용수의 경우 약 3억 4천에서 15억 6천만 원, 공업용수는 7억 2천만 원에서 32억 7천만 원으로 산정되었다. 산정된 초기 투자비용 및 편익을 50년 운영기간으로 경제성 분석을 실시하였다.

시나리오별 경제성 분석결과 S-21 시나리오에서 용수절감량을 생활용수로 전환할 경우 B/C 값이 0.71로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 공업용수는 B/C 값이 1.50으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 15년으로 평가되었다. S-22 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 0.74로서 50년 운영기간 동안 경제성이 확보되지 못하였으며 공업용수는 B/C 값이 1.56으로 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 14년으로 평가되었다.

S-3 시나리오에서 생활용수는 B/C 값이 3.24로서 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 5년으로 평가되었고, 공업용수는 B/C 값이 6.79로 매우 우수한 경제성이 확보되었고 투자비용 회수기간은 3년으로 평가되었다. 이와 같이 시나리오별 정량적으로 산정할 수 있는 용수절감량이 달라지고 그에 따라 경제성 분석의 결과가 상이하게 나타났다. 즉, 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부에 모두 수위계측 지점이 구축되는 S-3 시나리오에서 경제성이 가장 우수하게 확보되었고, 유입부와 중간부에 구축되는 경우에는 생활용수에서는 경제성이 결여되고 상대적으로 단가가 비싼 공업용수에서는 경제성이 미소하게 확보되었다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 간선 수로의 유입부, 중간부, 말단부의 유량을 실측할 수 있는 수위계측 지점 규모가 우수한 경제성

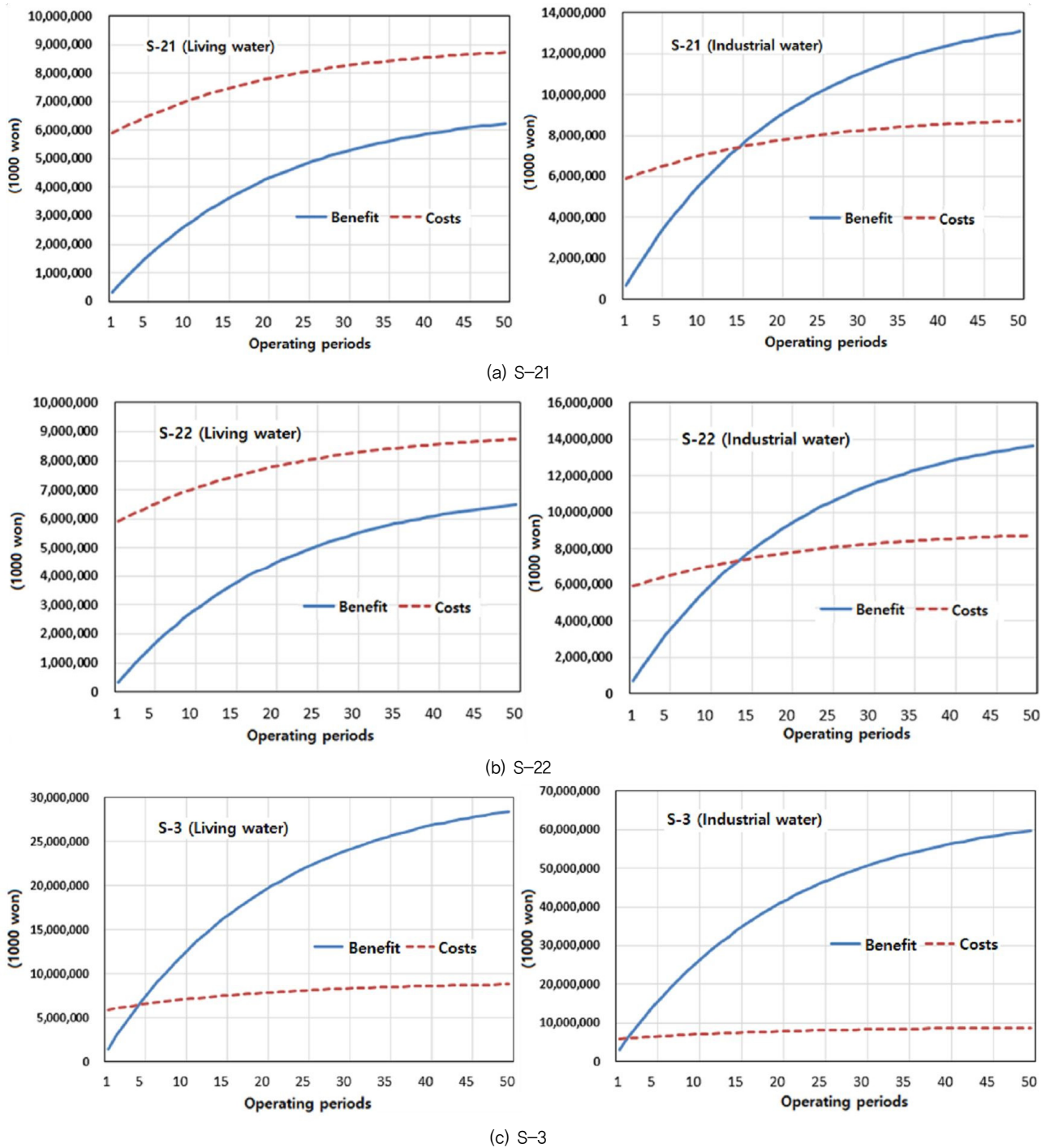


Fig. 4 Results of economic analysis

을 확보할 수 있으며, 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소씩, 간선수로별 3개소 규모의 유량 실측수위계측 지점을 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있다. 또한, S-22 시나리

오 결과를 토대로, 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요한 경우에는 간선에서 분기되는 지점에 수위계측 지점을 설치함으로써 경제성을 확보할 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 경제성 분석을 통하여 농업용 저수지의 관개지역의 최적 수위계측 지점의 규모를 결정하기 위하여, 무수저수지 관개 지구를 대상으로 수위계측 지점을 구축하고 농업용수량을 정량화 하여 관개지역에서의 필요수량보다 공급량이 과잉 공급되고 있음을 확인하였다. 손실수량 및 회귀수량의 정량화를 통하여 용수절감효과를 분석하였고, 절감된 용수량에 대한 경제적 가치를 평가하였다. 이상의 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 대상지구인 무수저수지 관개지구의 물관리 현황 및 수문 관측 현황을 분석하여 농업용수 산정의 부정확성을 확인하였고, 대상지구의 물관리 현황의 단점을 보완할 뿐만 아니라 용수량 산정 부정확성을 해소하고자 유역부, 저수부 및 평야부에 걸쳐 수위계측 지점을 구축 및 운영을 하였다. 유입량 및 여수로 무효방류량 측정을 위하여 자동수위측정기 (SLM-FAR15)를, 관개수로의 공급량 측정을 위하여 자동수위측정기 (SLM-FAR15) 및 수로유량측정기 (SFM500)를 설치·운영 하였다.
2. 수위계측 지점을 운영함으로써 기존의 모의에 의한 농업용수 추정값의 부정확성을 확인하였고, 실측을 통하여 저수지 유입량, 저수지 저수량, 무효방류량, 공급량, 조용수량, 순용수량, 손실수량, 회귀수량 등의 정량화가 가능하였다.
3. 손실수량(수로손실 및 관리손실 등) 및 회귀수량(말단부 잉여수량 및 하천 유지수량)의 절감을 통하여 용수절감효과를 분석한 결과, 연도별 총 공급량에 대하여 2011년도에는 23.4 %, 2012년도에는 21.5 %, 2013년도에는 23.3 %의 용수절감율이 산정되었고 평균 공급량 7백 44만 톤 중 약 23 %인 1백 69만 톤의 용수절감효과를 도출하였다.
4. 본 연구에서 도출된 용수절감효과는 저수지를 수원공으로 하는 소규모 관개지역을 대상으로 도출되었으며 신설된 수위계측지점의 운영 기간은 약 3년이다. 용수절감효과는 수원공별, 지역별, 연도별로 상이하게 나타날 수 있으므로, 향후 지속적인 모니터링을 통하여 우리나라에서 범용적으로 적용 가능한 용수절감효과를 제시할 필요가 있다.
5. 용수절감효과에 대한 경제적 가치 평가를 위하여 용수절감량을 생활용수 및 공업용수로 전환할 경우 발생하는 경제적 가치를 대체비용법으로 산정한 결과, 연평균 용수절감량인 1백 69만 톤을 생활용수로 전환할 경우 약 8억 4천 5백만 원/년의 경제적 가치를 가지고 있으며, 공업용수로 전환할 경우 약 17억 7천 5백만 원/년의 경제적 가치를 가지고 있는 것으로 평가되었다.
6. 용수절감효과에 대한 경제성 분석을 통하여 수위계측 지점의 규모를 결정한 결과, 간선 수로의 유입부 및 중간부에만

수위계를 설치할 경우 생활용수로의 전환에서는 설치비용에 대한 경제성이 확보되지 못하였으며, 공업용수로 전환할 경우 경제성이 확보되었다. 유입부, 중간부, 말단부에 모두 수위계를 설치할 경우 생활용수 및 공업용수 모두에서 경제성이 확보되어 관개지역 내의 구간별 농업용수량의 산정이 필요하지 않는 지구에서는 간선수로별로 유입부, 중간부, 말단부에 각 1개소씩, 간선수로별 3개소 규모의 수위계측 지점을 구축함으로써 경제성을 확보할 수 있다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 기존의 수문 관측 상황에서는 용수절감효과 분석이 불가능하였으나 수위계측 지점을 구축함으로써 용수절감량의 산정이 가능하였고, 절감된 용수량을 공업용수로 전환할 경우 경제성이 확보되었다. 이러한 결과를 전국적으로 확대 적용할 경우 농업용수의 우수한 경제성이 확보될 것이라 사료된다. 또한, 절감된 농업용수의 효율적인 사용을 위해서는 농촌 아메니티 개선을 위한 상시방류 혹은 농촌관광 및 수로생태계 복원 등 농업용수를 이용한 농촌 지역의 수익가치 평가에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2014학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCE

1. Ahn, T. J., D. H. Cho, S. H. Lee, G. W. Choi, and Y. N. Yoon, 2004, Evaluation of the effective storage of existing agricultural reservoir, *Journal of the Korea Water Resources Association*, 37(5): 353-361.
2. Cho, J. H., 2003, Analysis of hydrologic characteristics and water resources use pattern of agriculture reservoir, Master's thesis, Graduate School, Chonnam National University.
3. Jang, M. W, H. J. Lee, Y. H. Kim, and S. Y. Hong, 2011, Applicability of satellite SAR imagery for estimating reservoir storage, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 53(6): 7-16.
4. Jang, S. H., 2006, Establishment of operation and management system for a reservoir with flood control purpose, Doctorate thesis, Graduate School, Korea University.
5. Kim, I. J., 2014, Design of water level monitoring network for economic water conservation from agricultural reservoir. Doctorate thesis, Graduate School, Konkuk University.
6. Kim, P. S., S. J. Kim, H. J. Kwon, and G. H. Choi., 2013, A study

- on enhancement of water balance analysis with operating of agricultural water monitoring network, *Journal of the KCID*, 20(2): 32-41.
7. Lee, Y. J., 2005, An Investigation study for the estimation of irrigation water requirement in paddy land. Doctorate thesis, Graduate School, Konkuk University.
 8. Maeng, S. J., J. H. Hwang, and Q. Shi., 2009, Estimation of reservoir inflow using frequency analysis, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 51(3): 53-62.
 9. Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2002, Agricultural Design Standards.
 10. Nam, W. H., T. G. Kim, J. Y. Choi, and J. J. Lee., 2012, Vulnerability assessment of water supply in agricultural reservoir utilizing probability distribution and reliability analysis methods, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(2): 37-46.
 11. Nam, W. H., T. G. Kim, J. Y. Choi, and H. J. Kim, 2012, Evaluation of irrigation vulnerability characteristic curves in agricultural reservoir, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(6): 39-44.
 12. Shim, J. H., P. S. Kim, S. J. Kim, H. J. Kwon, and H. J. Park, 2012, Study on water management systems on agricultural water demand and supply by measuring, *Korea Water Resources Association Conference*, 628-632.