

농업용수관리자동화시스템의 용수절감효과에 대한 경제적 가치 평가

Valuation of Saved Water by Automated Agricultural Water Management System: Alternative Cost Approach

지용근* · 김선주**† · 김필식***

Jee, Yong Keun* · Kim, Sun Joo**† · Kim, Phil Shik***

ABSTRACT

This study analyzed and evaluated the effect of agricultural water reduction by introducing automated agricultural water management using alternative cost approach. The approach is possible to evaluate none market property as an asset. The saved agricultural water was evaluated as none market property. As the alternative goods, Seongju and Donghwa dam, typical irrigation dams in domestic, were employed. The economic benefit from water saving effect of an automated agricultural water management was calculated as depreciation expense and maintaining cost of construction agricultural dam per saved agriculture water. As a result, the saved agriculture water was 8.5 million ton per year, and the economic benefit of it was 1.3~2.1 million won.

Keywords: Automated agricultural water management; alternative cost approach; water saving effect; irrigation dam

1. 서 론

국가적으로 물은 이미 가치가 높은 경제재로 분류가 될 뿐만 아니라 환경적 문제 등으로 인해 신규개발이 어려워 용수의 효율적 관리가 추가 수요를 감당할 수 있는 대안이라 할 수 있다. 우리나라 총 용수사용량의 48%를 점하고 있는 농업용수의 절감은 단순히 경제적 측면뿐만 아니라 국가적으로 필요한 물의 충당이라는 새로운 관점에서 요구되며, 농업용수 관리 인력의 감소가 심화되고 있는 상황에서 용수의 손실을 저감하기 위해서는 보다 고도화된 용수의 관리가 필요하다.

이러한 시대적 요구로 인해 우리나라는 1994년 농업생산기반 시설 중 양수장을 대상으로 자동화시스템을 도입하여 용수절감,

인력절감, 재해경감 등의 효과를 높이고자 하였다(KRC, 2006). 쌀생산의 경쟁력 강화와 효율적인 농업용수 관리 및 운영체계 구축이라는 측면에서 농업용수관리자동화(Tele-Monitoring/Tele-Control)시스템은 중요한 의의를 가지고 있다.

일반적으로 경제성을 평가하기 위해서는 투자비와 이를 통해 발생하는 편익을 비교하여 평가하지만, 농업용수관리자동화의 경우는 발생한 편익의 계측이 어렵고, 농업용수 사용에 대한 물값을 받지 않는 비시장재화로서 발생한 효과를 편익으로 추정하기가 어렵다. 그렇기 때문에 농업용수관리자동화시스템의 경제성을 비롯한 직·간접적 효과에 대한 분석은 아직까지 명확히 이루어지지 않고 있는 실정이다.

논과 산림이 가지는 공익적 기능과 같은 비시장재화에 대한 가치평가에 관한 연구의 경우 KFRI(1991, 1992, 1993)에서 우리나라 최초로 농림업의 공익적 기능과 같은 외부경제효과를 대기정화, 수자원함양, 토양보전, 생태계보전 등으로 분류하여 구체적으로 시산하는 등 비교적 많은 연구가 수행되었다. 쌀 농업의 외부경제효과에 관한 평가연구는 Sung(1991), NACF(1993), Eom et al.(1993)에 의해서 수행되었다. 여기서, Sung(1991) 및 NACF(1993)의 연구는 일본에서 선행되었던 연구방법을 그대로 한국에 원용한 것이며, Eom et al.(1993)의 연구

* 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 대학원 Post Doc.

** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 교수

*** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 연구교수

† Corresponding author. Tel.: +82-2-444-0223

Fax: +82-2-444-0223

E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

2009년 1월 22일 투고

2009년 6월 4일 심사완료

2009년 7월 24일 게재확정

는 벼농사의 역사, 기능 등을 포괄적으로 연구한 것으로서 쌀 농업의 환경보전효과를 분석하였다. 그러나 가격형성이 이루어지지 못하고 있는 농업용수의 경제적 가치 평가에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 1994년에 농업용수관리자동화시스템이 도입된 충주의 양수장지구를 대상으로 시설의 도입이후 발생한 농업용수 절감효과에 대해 비시장재화의 가치평가 방법 중 대체비용법을 이용하여 경제적 가치를 평가하였다. 절감된 용수량만큼을 저류하기 위해 필요한 댐 건설에 소요되는 비용을 용수의 간접가치로 평가하고자 하였으며, 대체비용법에 적용되는 대체재로서의 댐은 우리나라 대표적 관개용 댐인 경북 성주댐과 전북 동화댐을 대체재로 적용하였다. 이를 통해 농업용수관리자동화시스템의 용수절감효과에 대한 경제적 가치 평가와 농업용수에 대한 간접적 경제적 가치를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 평가방법

가. 비시장재화의 가치평가

비시장재화에 기인하는 후생의 변화를 측정하기 위해서는 일반적으로 비시장재화 가치평가방법 중 대체가격을 이용한 평가와 설문조사에 의한 평가가 적용되고 있다(KREI, 1995; Robert, 1996).

농업용수관리자동화시스템의 가치는 직접가치(direct value), 간접가치(indirect value), 선택가치(option value) 및 존재가치(existence value)의 합계로 계산할 수 있다. 쌀 농업의 경우 직접생산물(쌀)과 부산물(벼짚)의 가치를 직접적으로 말할 수 있지만 농업용수관리자동화사업의 경우, 공익적 기능이 사업의 주목적이기 때문에 사업의 직접가치는 평가하기 어렵다. 간접가치는 자동화사업을 통해 얻는 가치를 말하는 것으로서 인력 절감, 재해경감, 용수절감 등이 이에 속한다. 선택가치는 해당 자원을 현재 사용하지 않기 때문에 지금은 사용가치가 없으나 나중에 위해 보전해 두기를 원하는 미래의 예상 가치를 말하며 이는 일종의 보험적 성격의 가치로서 자원보전을 위한 지불의 사액을 선택가치로서 표현할 수 있다. 존재가치는 현재 또는 미래에 사용가치가 없을지라도 어떤 자원의 존재가 계속되기를 희망하며, 이를 위해 지불의사가 있을 때 존재가치가 있다고 할 수 있다. 예를 들면, '농업용수관리자동화사업 실시에 따라 농업용수이용의 효율성과 관리의 효율성이 증가할 경우 그 대가로 최대 얼마의 비용을 지불할 의향이 있는가?'와 같이 존재·보전을 위해 지출할 수 있는 비용 등을 말하는 것이다.

본 연구에서는 농업용수관리자동화의 간접가치 평가항목 중

에서 용수절감을 평가할 경우, 농업용수 사용에 대한 비용을 지불하지 않기 때문에 사업의 편익 추정이 어려운 것을 해결하기 위해 대체비용법을 적용하였다. 대체비용법은 평가대상 재화의 시장이 없어 가격이 형성되어 있지 않으나 시장에서 거래되는 대체가능한 재화나 용역의 가격을 이용하여 비시장재화의 가치를 평가하는 방법이다. 예를 들어, 농업용수관리자동화시스템을 통해 얻어지는 용수절감효과는 같은 정도의 효과가 있는 관개용 댐의 건설비와 운영·관리로 평가하는 것이다. 대체비용법은 계산방법이 간단하며 결과가 상식적으로 이해된다는 장점이 있지만 평가하는 기능에 대하여 시장에서 적절한 대체재가 존재하지 않으면 이 방법의 적용이 불가능하다는 단점이 있기 때문에 대체재의 선택이 중요하다.

나. 용수절감효과의 평가

농업용수관리자동화시스템이 가지는 효과 중에서 용수절감을 직접적으로 평가하기는 어렵기 때문에 간접적으로 효과를 측정하기 위해서는 몇 가지의 가정이 필요하다. 본 연구에서 대체비용법을 적용하기 위해 채택한 가정과 전제조건을 보면 첫째, 용수절감효과의 편익은 관개용 댐 건설비의 감가상각분과 유지·관리비용으로 대체하며 둘째, 관개용 댐에 대한 감가상각비는 상각기간 55년, 이자율 5%(MCT, 2001)를 적용하여 산출하고, 연간 유지·관리비는 연 감가상각비의 1%로 계산한다. 셋째, 댐 건설비는 대체재로 선정한 성주댐과 동화댐을 기준으로 하였으며, 댐 건설이 시작(1987년)된 시기의 비용은 물가지수를 고려하여 2000년 비용으로 환산하여 적용하였다. 또한, 평가와 관련된 모든 비용환산의 기준연도는 2000년으로 하였으며, 그 결과를 이용하여 분석을 실시한다.

가치평가는 농업용수관리자동화에 의해 절약된 총 용수량만큼의 용수를 확보하기 위해 소요되는 댐건설 및 댐의 톤당 감가상각비 및 유지관리비를 곱하여 산출하였다(KREI, 1995). 이 때 기존 댐의 건설한 시점과 자동화사업을 통한 용수절감 효과 평가시점의 시차에서 발생하는 물가상승문제를 감안하기 위하여 물가지수를 이용하였다(식 1).

농업용수관리자동화에 의한 용수절감효과 평가액

$$= \text{용수절감량}(\text{m}^3) \times (\text{댐의 감가상각비} + \text{댐의 유지관리비}) / \text{m}^3 \times \text{물가지수} \quad (1)$$

용수절감효과의 대체재가 되는 댐의 연 감가상각비는 식(2)에 의해 산출하였다.

$$\begin{aligned} & \text{댐의 연간 감가상각비} \\ & = \text{톤당 사업비} \times r \times (1+r)^n / \{(1+r)^n - 1\} \quad (2) \end{aligned}$$

여기서, r : 이자율(5%), n : 감가상각기간(55년)

2. 용수증감량 추정과 대체재

농업경쟁력 향상과 인력 및 관행에 의존하는 용수관리 방식을 개선하기 위해 충주 양수장지구를 대상으로 1991년부터 농업용수관리자동화시스템을 단계적으로 도입하기 시작하였다. 이를 통해 현장에서만 조작할 수 있던 시설을 중앙제어실에서 원격운영, 관측, 계측이 가능하도록 하였다(Fig. 1).

본 연구에서 충주 양수장지구를 대상으로 양수량의 증감을 분석한 것은 농업용수관리자동화시스템이 가장 오랜 기간 동안 운영된 대표적인 지구이며, 최근에 진행이 된 자동화시스템 지구와는 달리 데이터 축적이 10년 이상 지속이 되어 분석이 용이하기 때문이다. 대상 양수장은 2000년을 기준으로 자동화시스템이 도입되어 운영되고 있는 용전1단, 용전2단, 금능, 풍동, 단월, 용관, 용교1단, 용교2단, 달천양수장으로 총 9개 양수장

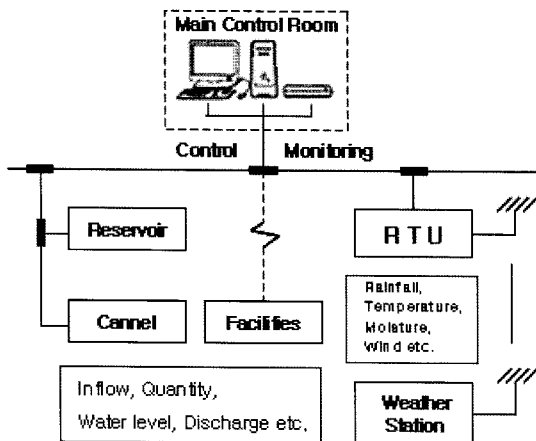


Fig. 1 Framework of an automated agricultural water management system.

Table 1 Status of study pumping stations

Pumping station	year	Benefit area (ha)	Division	Scale			Q (m ³ /s)
				Capacity (HP)	Pump (mm)	No.	
1 st Yongjeon	1995	243.0	Main	300	450	2	0.621
2 nd Yongjeon	1996	-	Sub	200	300	2	0.345
Keum-neung	1996	70.4	Main	75	300	1	0.188
Pungdong	1997	88.7	Main	75	300	2	0.304
Danweol	1997	129.2	Main	75	450	2	0.832
Yong-gwan	1997	176.5	Main	100	350	2	0.423
1 st Yong-gyo	1997	657.2	Main	175	500	3	1.59
2 nd Yong-gyo	1999	-	Sub	200	450	3	1.52
				50	300	2	
Dalcheon	2000	100	Main	100	400	2	0.674

Table 2 Status of study dams

Dams	Height	Length	Basin area	Total Storage	Effective Storage	Flood Control
Seongju	60m	430m	14,960ha	3,824ha · m	2,815ha · m	377.9m ³ /s
Donghwa	59m	459m	5,880ha	3,235ha · m	2,735ha · m	-

이다. 본 연구에서 자동화시스템이 도입이 된 시기 전·후 5개년의 전력사용량의 증감량을 비교분석하여, 양수량의 증감을 추정하였다. Table 1은 충주지구 내 대상 양수장지구의 자동화시스템 시설내역이다.

대체재로서 우리나라 대표적 관개용 댐인 경북 성주댐과 전북 동화댐을 선정하였다. 성주댐은 1읍 9개 면의 논 3,160 ha의 관개뿐만 아니라 용수원을 활용하여 소수력발전을 가동하며 성주읍과 인근지역의 생·공용수 공급이 가능하게 됨으로써 다목적 용수원으로 활용되고 있으며, 동화댐은 총저수량 3,235 ha · m의 댐으로 농업용수저류공급, 생활용수 공급 등을 위한 다목적댐이다. Table 2는 각 댐의 현황을 정리한 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 농업용수관리자동화시스템의 용수절감

양수량은 연간 가동시간에 양수장별 유량을 곱하여 계산하므로, 가동시간에 비례하는 양수장 전력량의 변화는 양수량의 변화와 동일하게 취급할 수 있다. Fig. 2는 관개기간인 4월부터 9월까지 강우대비 충주 양수장지구의 1991년~2004년 전력사용량을 나타낸 것으로 전반적으로 양수장지구의 전력 사용량은 감소하는 추세를 보였으며, 결정계수(R^2)는 0.59로 나타났다.

일반적으로 양수장의 가동현황은 강우패턴에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으나 충주 양수장지구의 경우, 강우와 전력사용량에 따른 양수량의 상관분석을 실시한 결과, 두 인자간에 상관성이 낮은 것($r^2=0.02$, $p>0.05$)으로 나타났다. 따라서 양수량은 농업용수관리자동화로 인해 전반적으로 감소하는 것으로 판단된다.

Table 3은 자동화시스템 설치 전·후의 양수장별 전력사용량의 3개년 평균값을 비교한 것이다. 연구대상 총 9개 양수장지구 중에서 용전1, 2단 양수장, 달천, 용교2단 양수장 데이터의 부재 등으로 인해서 5개 양수장지구에 대해서만 분석을 실시하였다. 5개 양수장지구의 전력사용량의 변화를 평균하면 전체적으로 농업용수관리자동화시스템의 도입으로 전·후로 13.6%의 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

충주 양수장지구에 본격적으로 자동화시스템이 도입되기 시작한 1994년 이전 즉, 1991~1994년의 평균 양수량과 2001~2004년의 평균 양수량을 비교하였을 때, 연간 약 8.5 백만

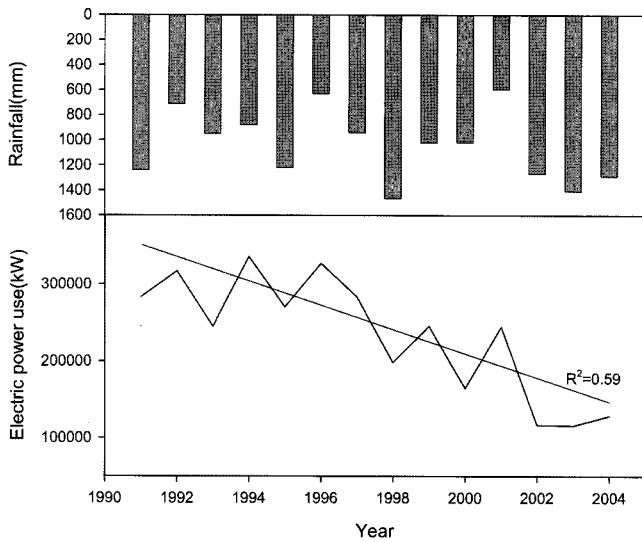


Fig. 2 Yearly change of pumping water in Chungju district.

Table 3 Average electric power use before and after TM/TC

Pumping station	year	Electric power use (kW)		(%)
		Before	After	
Keum-neung	1996	52,904	46,948	-11.3
Pungdong	1997	155,459	97,198	-37.5
Danweol	1997	145,680	126,777	-13.0
Yong-gwan	1997	143,109	156,962	9.7
1 st Yong-gyo	1997	640,473	554,880	-13.4
Total		1,137,625	982,765	-13.6

Table 4 Variation of Pumping water

Year	1991	1992	1993	1994	2001	2002	2003	2004
Pumping water (10 ⁶ m ³)	52.8	56.4	48.7	68.6	67.0	40.4	38.6	46.5
Avg. (10 ⁶ m ³)	56.6				48.1			
Variation (10 ⁶ m ³)	-				▽8.5			

m³의 양수량이 감소한 것으로 추정되었다(Table 4). 전국적으로 가뭄이 들었던 1994년과 2001년의 데이터를 제외하고 용수절감량을 분석할 경우, 약 10.8 백만 m³의 용수가 절감된 것으로 분석되었다.

2. 대체재 평가

관개용 댐은 기본적으로 농업용수의 공급을 위해 건설되지만 댐의 용량이 대형화된 성주댐과 동화댐은 생활용수 및 공업용수 또는 소수력발전 등의 이수기능과 홍수조절 등의 치수 기

Table 5 Project details of Seongju and Donghwa dams

Dams	Total Cost (10 ⁸ ₩)	Total Storage (10 ⁶ m ³)	Effect		Project cost per m ³ (₩)	
			Flood Control (10 ⁶ m ³)	Water supply (10 ⁶ m ³)	Scenario I	Scenario II
Seongju	1,684	38.2	3.36	50	4,408.4	3,368.0
Donghwa	1,533	32.3	1.26	60	4,746.1	2,555.0
Avg.	1,608.5	35.3	2.31	55	4,563.1	2,924.5

능을 동시에 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이수기능과 치수기능을 모두 수행할 경우와 이수기능만으로 운영되었을 경우로 나누어 두 가지의 시나리오를 작성하여 분석을 실시하였고, 관개용 댐의 용량을 홍수조절의 용도로 사용할 경우도 분석을 실시하였다. 시나리오는 다음과 같다.

Scenario I : 총저수량 중 용수공급량 및 홍수조절 비율만을 고려할 경우의 톤당 사업비

Scenario II : 총저수량 모두 용수공급량으로 환산할 경우의 톤당 사업비

댐의 감가상각비와 유지관리비를 산출하기 위한 성주댐과 동화댐의 사업내역과 시나리오에 따른 톤당 사업비는 Table 5 와 같다. 톤당 사업비는 농업용수관리자동화시스템으로 인해 절감되는 용수만큼의 양을 저류하기 위해 건설되는 댐의 사업비를 수치적으로 계산하기 위한 방법(KREI, 1995)으로 식(2)를 이용하여 계산하였으며, 평균적으로 Scenario I 에 대한 톤당 사업비는 4,563 원으로 분석되었으며, Scenario II의 경우는 2,934 원으로 산정되었다. 홍수조절기능만을 고려했을 경우는 톤당 사업비가 평균 69,632 원을 산정되어 홍수조절기능에 대한 평가는 관개용 댐에서 과대평가되는 것으로 나타났다.

3. 경제적 가치평가

대체재로 이용된 관개용 댐의 감가상각 및 유지관리비를 이용하여 시나리오에 따른 톤당 사업비를 산정하였다(Table 6). Scenario I 에 대한 톤당 사업비는 247 원으로 산정되었고, Scenario II 에 대한 톤당 사업비는 158 원으로 산정되었다

모든 비용자료는 한국농촌공사의 과거자료를 이용하였다. 설치비, 유지관리비, 수선유지비 등은 생산물가지수를 가중평균한 지수를 작성하여 사용하였고, 인건비는 평균 임금지수를 Deflator로 사용하였다(식1). 댐의 건설이 시작(1987년)된 시기의 비용은 물가지수를 고려하여 2000년 비용으로 환산하여 적용하였다.

Table 6 Depreciation and maintenance cost per m³ of effective storage (unit: ₩/ m³)

Depreciation cost		Maintenance cost		Total	
Scenario I	Scenario II	Scenario I	Scenario II	Scenario I	Scenario II
244.9	157.0	2.4	1.5	247.3	158.5

Table 7 Valued effect of saved agricultural water

Case	Value(Million ₩)
Scenario I	2,102
Scenario II	1,347

농업용수관리자동화시스템에 의한 용수절감효과를 이수기능만 고려하여 평가할 경우(Ⅱ) 1년에 약 13.5 억 원의 경제적 가치가 있는 것으로 분석되었다:

$$158.5\text{원}/\text{m}^3 \times 8.5 \times 10^6 \text{ m}^3 = 13.5 \text{ 억 원}$$

댐의 총 저수량 가운데 용수공급량 및 홍수조절 비율만을 고려하여 평가할 경우(Ⅰ) 약 21 억 원의 비용을 절감하는 효과가 있는 것으로 분석되었다(Table 7):

$$247.3\text{원}/\text{m}^3 \times 8.5 \times 10^6 \text{ m}^3 = 21.0 \text{ 억 원}$$

댐의 총 저수량 용량을 홍수조절 기능으로 사용할 경우 1년에 약 300 억 원의 효과가 있는 것으로 분석되었지만, 관개용댐의 경우 홍수조절기능 보다는 대부분 관개용수 공급에 활용되므로 무의미한 값으로 판단된다. 그러나 현재 분석에서 관개용댐의 생활용수 및 농업용수 공급, 소수력 발전 등은 고려하지 않았으므로 용수공급 및 발전을 통해 얻는 효과를 고려한다면 보다 큰 경제적 효과가 예측될 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 농업용수와 같이 시장에서 가격이 형성되지 않는 비시장재화에 대한 가치를 평가하기 위해 대체 비용법을 이용하여 농업용수관리자동화에 의한 용수절감의 경제적 효과를 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 농업용수관리자동화 시설이 최초로 도입된 충주 양수장지구를 대상으로 용수절감효과를 평가하였다. 본 연구에서 충주 지구를 연구대상으로 선정한 것은 자동화시설이 도입된 사업지구 중 데이터의 축적이 오랜 기간 동안 이루어졌으며 이용할 수 있는 데이터가 가장 양호하기 때문이다. 한 지역에서 발생한 결과만을 이용하였기 때문에 편향한 결과가 나올 수 있으므로 보다 정확한 결과 및 합리적인 결론을 위해서는 보다 다각적인 접근 및 농업용수관리자동화시스템 운용에서 발생하는 데이터의 장기축적이 필요하다고 판단된다.

2. 사업의 경제적 타당성 분석 및 가치 평가를 위해 일반적

으로 비용/편익 분석을 적용하고 있으나, 농업용수관리자동화시스템의 경우에는 사업으로 인한 발생하는 효과를 편익으로 산정하기 어렵다. 그러므로 시스템 운용에 따른 용수의 절감량을 관개용 댐 건설비의 감가상각 및 유지·관리비로 대체하여 간접가치를 산정하였다. 농업용수관리자동화시스템으로 인해 절약된 충주 양수장지구의 용수량은 연간 8.5 백만 m³으로 분석되었으며, 이를 관개용 댐의 운영방안에 따른 두 가지 시나리오를 작성하여 용수량의 가치를 분석하였다. 작성된 시나리오 중에서 현실과 가장 부합되는 시나리오는 Scenario I으로 판단되며, 이때의 절감된 용수에 대한 경제적 가치는 연간 21 억 원으로 분석되었다.

3. 본 연구에서는 댐이 가지는 기본적인 기능인 이수 및 치수기능만을 고려하여 용수절감효과에 대한 경제적 가치를 분석하였으나, 성주댐과 동화댐과 같은 대형화 관개용 댐이 가지는 생활용수 및 농업용수 등 타 용도의 용수공급과 소수력 발전과 같은 부수적인 기능을 추가하여 분석한다면 보다 큰 경제적 효과가 산정될 것으로 사료된다.

4. 대체비용법을 이용하여 농업용수관리자동화에 의한 절감된 농업용수를 편익으로 계량화하였고, 물 값의 가정을 통해 이루어졌던 기존의 비용/편익 분석보다 합리적인 결과가 도출된 것으로 판단된다. 앞서 언급하였듯이, 데이터의 부족으로 인해 대상지구가 한정되어 보편적인 결론 제시는 어려울 것으로 판단되나, 향후 농업용수관리자동화 및 농업용수의 가치평가에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Eom, K. C., S. H. Yun, W. W. Hwang, S. G. Yun, and D. S. Kim, 1993. Public Function of Paddy Field, *Journal of Korean society of soil science and fertilizer*, 26(4): 314-333 (in Korean).
2. Korea Forest Research Institute, 1991. Studies on the Quantification of Welfare Functions of Forests.
3. Korea Forest Research Institute, 1992. Studies on the Quantification of Welfare Functions of Forests(II).
4. Korea Forest Research Institute, 1993. Studies on the Quantification of Welfare Functions of Forests(III).
5. Korea Rural Corporation, 2006. A study on Economic Analysis and Estimation Guideline of Automated Agricultural Water Management (in Korean).
6. Korea Rural Economic Institute, 1995. A study on the Effect of Environmental Conservation on the

- Paddy agriculture (in Korean).
7. Ministry of Construction & Transportation, 2001. Study on the Improvement Method for Economic Analysis of Flood Control Project.
 8. National Agricultural Cooperative Federation, 1993. An Evaluated Analysis of Exterior Economic Effect on Paddy field (in Korean).
 9. Robert, J. B., 1996. Applied Cost-Benefit Analysis, Edward publishing.
 10. Sung, J. K., 1991. Environmental Conservation and Rice Cultivation, *Journal of Agriculture*, 5: 26-33 (in Korean).