



하수도시설 통합운영 성과분석을 통한 통합운영관리의 경제성 평가

Economic Evaluation of Integrated Operation & Management through Operation Performance Analysis of Sewage Facilities

신정섭^{1*}·정석현¹·조병욱¹·이관형¹·강선홍¹·김용대²·윤준재³

Jungsub Shin^{1*}·Seokhyun Chung¹·Byoungog Cho¹·Kwanhyung Lee¹·Seonhong Kang¹·Yongdae Kim²·Joonjae Yoon³

¹광운대학교, ²한국환경공단, ³이메트릭스(주)

¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

²Korea Environmental Corporation, ³e-Matrix corporation

ABSTRACT

For economic evaluation of integrated operation to sewage facilities, benefit-cost analysis was performed to watershed sewage works project in 7 watershed areas, 156 facilities. In this study, the cost before and after integrated operation was compared and benefits are calculated from the reduction of operators, increasement treated pollution loads, reduction cost through operation convenience, reduction water consumption through effluent reuse, and improvement of life benefit. The result showed that cost was 8,500million won and benefit was 16,747million won, so benefit was 49% higher than cost. B/C analysis result showed that B/C ratio was 1.97 and it is similar to other researches. The benefits of integrated operation included convenience of data management, increase of emergency response, decrease of complains with sewage which was not reflected numerically, so the benefits of integrated operation were expected much greater than this result.

Key words: B/C ratio, economic evaluation, integrated operation of sewage facility, integrated management system

주제어: B/C 비율, 경제성 평가, 하수도시설 통합운영, 통합관리 시스템

1. 서 론

환경부에서는 유역별 통합하수처리체계 구축을 위하여 2006년부터 2011년까지 소양강댐 등 7개 다목적댐 상류지역, 인제군 등 28개 시·군에 대하여 댐상류지역 하수도시설 확충사업 및 유역하수통합관리시스템 구축을 시행하였고, 2012년부터 현재까지 약 450개소의 하수처리시설을 통합운영관리 중에 있다. 댐상류지역에 대한 하수도시설 확충사업은 상수원의 수질개선

과 하수도 보급률 향상에 그 목적이 있으며, 이를 위하여 하수도시설 확충은 물론 ET(환경기술)와 IT(정보기술)를 접목하여 유역별 하수도시설의 통합관리시스템(이하 온새미로) 구축으로 사업의 효율성 증대 및 기술 선진화를 도모한 바 있다. 하수도시설 확충공사 완료 후에는 하수시설 통합관리 추진계획에 의거 환경부와 지자체, 한국환경공단이 통합운영 협약을 체결(2011년 12월)하고 2012년 1월부터 통합운영에 착수하였다. 통합운영시에는 기 구축된 온새미로를 활용하여 원거리에 산재한 여러 시·군의 하수처리시설들을 통합관리하고 있으며(Fig. 1), 이를 통해 시설운영 및 자료관리 편의성, 비상대응력 향상 등의 효과를 얻고 있다.

Received 8 January 2017, revised 6 February 2017, accepted 7 February 2017

*Corresponding author: Jungsub Shin (E-mail: sjs0705@keco.or.kr)

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114



Fig 1. Schematics of ONSEMIRO system

따라서 이와 같이 통합운영을 실시하고 있는 지역의 통합이전과 이후의 성과를 분석하고 그에 따른 경제성을 평가하여 통합운영의 성과를 검토하고 그 타당성을 확인할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 통합운영을 통해 얻게 되는 효과들로 인력절감, 오염부하 삭감부하량 증가, 운영관리 편의성, 처리수 재이용, 생활환경개선 등의 항목들을 구분하여 분석하고 경제성 검토를 위해 비용-편익 분석법을 활용하여 비용-편익 비율(B/C ratio)을 분석하여 통합운영의 경제성을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 분석대상시설 현황

본 연구에서는 댐상류 하수도시설 확충사업이 수행되었던 5개 댐상류권역 즉, 소양강댐, 충주댐, 안동·임하댐, 대청댐, 합천·남강댐상류 지역을 대상으로 하였으며, 이들 댐상류지역 28개 시·군 지역의 하수처리시설

중 통합운영을 실시하고 있는 445개 시설을 연구대상 시설로 선정하였다. 이 중 47개 시설은 시설용량 500m³/일 이상 시설이고 398개 시설은 시설용량 500m³/일 미만의 소규모처리시설로서 전체시설 중 안동·임하댐권역(40개 시설)을 제외하고 권역별로 90~110개 시설이 운영되고 있다. 본 연구에서는 통합운영 전·후 비교가 가능하도록 처리시설 중 개량을 실시한 기존 개량시설 156개소를 대상으로 하였다.

2.2 경제성 검토 방법

경제적 타당성 분석은 비용과 편익을 화폐가치로 환산하여 비교·분석함으로써 경제적인 타당성을 추정하는 것으로 비용-편익 분석에 의해 분석된다(Korea Development Institute, 2013). 댐상류지역에 대한 통합운영 이전과 이후에 대한 비용 및 편익분석을 통해 통합운영의 경제성 분석방법을 적용하였으며, 이를 위해 비용과 편익을 고려한 B/C 비율 등을 인자로 사용하였고 이에 대한 분석방법은 다음과 같다.

2.2.1 B/C 비율(Benefit-Cost ratio)

B/C 비율(Benefit-Cost ratio)을 사용하여 각 사업이나 정책을 평가할 경우에는 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나누어 그 비율이 1이상이면 사업을 시행하고 반대로 1이하이면 사업을 시행하지 않는다. 즉, B/C비율은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Table 1. Summary of sewage treatment plants in study area

Region	계	Capacity of treatment plants					
		500m ³ /day over			500m ³ /day under		
		Sum	New Facilities	Improved Facilities	Sum	New Facilities	Improved Facilities
Total	445	47	24	23	398	265	133
Soyanggang Dam	91	9	5	4	82	33	49
Chungju Dam	112	15	8	7	97	58	39
Andong·Imha Dam	40	3	3	-	37	26	11
Daechung Dam	103	8	2	6	95	75	20
Hapcheon·Namgang Dam	99	12	6	6	87	73	14



여기에서 B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용, r : 할인율, T : 시설사업의 내구연도(분석기간)를 의미한다. 이상과 같이 B/C비율을 사용하여 개별 사업이나 정책이 사회적 순편익을 증대시키는지의 여부를 파악할 수 있으며 사업이나 정책이 시행되기 위한 경제성이 확보되는지를 분석할 수 있다.

2.2.2 순현재가치법(Net Present Value: NPV)

현재가치기준(present value criterion)을 사용하여 비용과 편익을 비교할 경우에는 각 연도에 발생하는 편익에서 비용을 차감한 후 순편익(net present value)을 구하여 이러한 순편익의 현재가치 합이 극대화되는 사업이나 정책의 경우 경제성이 확보되었다고 볼 수 있다. 또한 사업시작 후 t 년에 발생하는 편익과 비용을 각각 B_t 와 C_t 라 하고, 사업의 효과가 완전히 종료되는 시점이 사업시작 후 T 년이라 하면, 이 사업의 순편익의 현재가치의 합은 다음과 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

따라서 현재가치기준을 따를 경우 개별 공공사업이나 정책의 NPV 가 0 이상이면 이를 수행할 가치가 있고, 반면 NPV 가 0보다 작은 사업이나 정책은 시행되지 말아야 한다. 또한 서로 다른 여러 가지 공공사업이나 환경정책이 있을 경우 가장 큰 NPV 를 가지는 사업이나 정책이 우선적으로 시행되어야 한다. 따라서 현재가치기준을 적용할 경우 개별 사업이나 정책이 시행되어야 할지를 결정할 수 있을 뿐만 아니라, 여러 가지 사업이나 정책이 시행되어야 할 순서를 효율성을 기준으로 하여 결정할 수 있다.

따라서 위와 같은 분석방법에 따라 본 과업에서는 통합운영 이전 대비 통합운영 이후의 증가되는 비용과 편익을 고려하여 경제성을 검토하였다.

2.3 경제성 평가 항목

2.3.1 비용

본 연구에서 사용된 비용은 땀상류지역 하수도시설 확충사업을 통해 신설 및 개량된 시설 중 개량된 시설을 대상으로 통합운영 이전 대비 통합운영 이후에 증가되는 운영비를 적용하였다. 즉, 신설시설은 통합운영

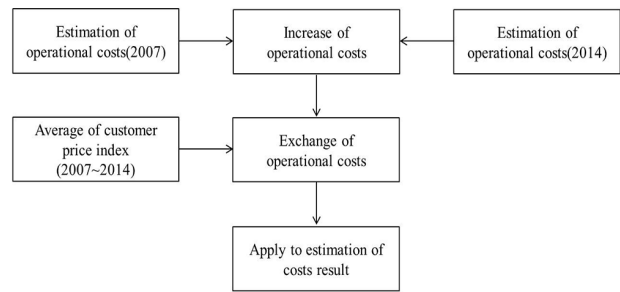


Fig. 2. Flowchart of cost calculation procedure

이전의 비교 대상이 없는 관계로 제외하고 기존 시설은 개량을 통해 통합운영으로 전환되었으므로, 통합운영 이전에 지출되던 운영비와 통합운영 이후에 지출되는 운영비를 비교하여 그 증가분을 비용으로 산정하여 적용하였다. 이를 위하여 통합운영 이전인 2007년의 운영결과조사표에 수록된 운영비와 통합운영을 수행 중인 2014년의 운영비를 비교하여 그 증가분을 산출 적용하였다. 그러나 2007년 금액과 2014년 금액을 단순 비교하여 증가금액을 산정할 경우 2007년의 물가가 낮기 때문에 증가비용이 과다 산정될 우려가 있다. 따라서 물가상승률을 감안하여 증가액을 환산할 필요가 있으며, 이를 위해 해당기간의 통계청 소비자 물가지수를 적용하여 금액을 환산 적용하였고 이러한 산정 절차를 도식화하면 Fig. 2와 같다.

2.3.2 편익

1) 인건비 절감

인건비 절감은 개별운영시 투입되는 인원을 산정하고 이를 통합운영 후 투입되고 있는 인원과의 차이를 분석하여 인건비 절감금액으로 산정하였다. 개별운영시 투입 인원을 산출하기 위하여 환경부 운영대가 산정기준을 적용하였으며 공공하수처리시설의 통합운영 효과에 대한 계수는 개별운영에 대한 계수(1.0)로 적용하였다(Ministry of Environment, 2014). 여기에 엔지니어링 노임단가 기준의 초급기술자 임금과 월간 근무일수를 22일로 적용하여 연간 인건비를 산출하였다(식 3).

$$\text{인건비 절감금액} = (\text{환경부 기준인력-실 투입인력}) \times \text{노임단가} \times \text{연간 근무일수} \quad (3)$$

2) 오염부하 삭감부하량 증가

통합운영 이전과 비교하여 시설 개량 및 통합운영

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

을 통해 하수처리시설의 처리효율이 향상되고, 처리 시설을 통해 삭감되는 오염부하량이 증가되었으므로 오염부하 삭감에 소요되는 비용이 절감되는 편익이 발생하게 된다. 따라서 현재 총인시설 가동으로 총인 처리가 이루어지고 있으므로 총인에 대한 삭감부하량 증가분과 부하 삭감량당 소요되는 단위 비용을 활용하여 증가되는 삭감부하량을 금액으로 환산하여 이를 편익에 반영하였다(식 4). 기존 및 통합운영 후 방류 부하량은 처리시설 운영자료를 통해 산출하였으며 삭감량당 처리단가는 통합운영 이전의 운영비를 활용하여 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{삭감부하량 증가분 금액} = \\ (\text{기존 방류부하량} - \text{통합 후 방류부하량}) \times \\ \text{삭감량당 처리단가} \end{aligned} \quad (4)$$

3) 통합운영 편익성에 따른 비용 절감

통합운영을 통해 원격모니터링 효과 및 장애 발생 시 신속한 장애 인지 등의 효과가 발생하게 된다. 따라서 이러한 운영 편익성을 통해 종래 대비 순회점검 빈도 감소 및 이로 인한 유류대 등의 경비 절감효과가 발생하게 되므로 이를 편익으로 반영하였다. 시설 점검기준은 Table 2와 같이 통합운영 이후 50% 감소하는 것으로 적용하였으며 점검인력 및 1일 점검 개소수는 통합운영 전·후가 동일한 것으로 가정하였다.

또한 1일 5개소 점검을 위한 이동거리는 100km, 유류단가는 물가정보 자료를 활용하였고 연비는 경유차량을 기준으로 복합연비 9.2km/l를 적용하였다(식 5).

$$\begin{aligned} \text{경비 절감 비용} = \\ \text{절감되는 점검일수} \times \text{일일 이동거리} \times \\ \text{유류단가} \times \text{연비} \end{aligned} \quad (5)$$

4) 처리수 재이용에 따른 상수사용량 절감

하수처리시설의 방류수는 농업용수, 공업용수, 하천 유지용수, 친수용수 등에 재이용을 하도록 권장하고 있으며, 재이용수로 사용할 경우 사용 용도별로 수질기준이 정해져 있으므로 이를 준수할 필요가 있다(Ministry of Environment, 2014). 따라서 사용용도에 맞는 수질농도 이하가 되도록 하수처리시설에서 처리를 하여야 하며, 이를 위해서는 부하량 삭감이 필수적이다. 또한 재이용수를 사용하는 만큼 상수사용량이 절감되는 효과를 기대할 수 있게 된다. 따라서 재이용수 사용 편익 산정시에는 수질농도 준수를 위해 부하량을 삭감하는데 소요되는 비용과 재이용 수량만큼 상수 사용량이 절감되는 비용을 산출하여 편익에 반영하였다.

추가로 삭감이 필요한 부하량 및 소요금액 산정을 위하여 처리시설은 시설용량 500m³/일 이상의 공공하수처리 시설을 대상으로 하였으며, 소규모처리시설은 시설용량이 작은 관계로 대상에서 제외하였다. 수질농도 기준은 Table 3과 같이 친수용수의 수질기준이 가장 낮으므로 친수용수로 사용하는 것으로 가정하였고, 사용수량은 하수처리시설 방류수의 10%를 사용하는 것으로 가정하였다.

이러한 기준을 적용하여 재이용 수질충족을 위한 부하삭감 소요금액은 다음 식 6과 같이 산정한다. 또한 처리수를 재이용수로 활용하게 되면서 상수사용량이 절감되므로 해당 수량만큼의 상수사용 금액이 절감되며

Table 2. Inspection interval of sewage treatment plants

Items	Number of treatment plants	Inspection interval	Inspection operator	Inspection quantity per day
Before integrated operation	133	2times/week, 8times/month	2operators/time	5
After integrated operation		1time/week, 4times/month		

Table 3. Standard of reuse water quality

구분		Urban	Landscape	Recreation	River maintain	Agriculture	Wetland	Industry
Concentration (mg/L)	BOD	≤ 5	≤ 5	≤ 3	≤ 5	≤ 8	≤ 5	≤ 6
	SS	-	-	-	≤ 6	-	≤ 6	-
	T-N	-	-	≤ 10	≤ 10	-	≤ 10	-
	T-P	-	-	≤ 0.5	≤ 0.5	-	≤ 0.5	-

주) Ministry of Environment(2014)



이는 식 7과 같이 산정할 수 있다.

$$\text{부하삭감 소요금액} = \text{삭감대상 부하량} \times \text{삭감량당 처리단가} \quad (6)$$

$$\text{상수사용량 대체 금액} = \text{재이용수량} \times \text{수도요금액단가} \quad (7)$$

5) 생활환경개선

하수도시설확충 및 통합운영을 통해 주변환경개선 및 소하천 수질개선으로 친수환경이 조성되고 이로써 지역 주민의 수변 여가활동 증가 등이 예상되는 생활환경 개선 편익이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 생활환경 개선편익을 적용하는 방안으로서, 기존 연구에서 적용한 지불의사액(WTP : willing-to-pay)을 기준으로 적용하였다(Korea Environment Corporation, 2010). 그러나 기존 연구에서 도출된 지불의사액은 2010년 기준으로 산정된 것이므로 현재 2014년의 기준으로 환산 적용할 필요가

있으며, 이를 위해 2010년 ~2014년의 평균 물가지수 2.2%를 적용하여 Table 4와 같이 지불의사액을 환산하였다.

이와 같이 환산된 지불의사액을 배수설비가구수와 연간여가횟수에 곱하여 생활환경 개선편익을 산출하여 적용하였다(식 8).

$$\text{생활환경개선편익} = \text{지불의사액} \times \text{배수설비 가구수} \times \text{연간여가횟수} \quad (7)$$

6) 기타

통합운영을 통한 환경개선 및 효율향상으로 지역주민 민원감소 효과, 운영자 관리 및 운영의 편의성, 하수처리 시설 데이터 관리의 효율성 향상 등의 정성적인 효과가 발생할 수 있으나, 이는 비용환산이 곤란하고 과다산정될 우려가 있으므로 편익비용 산정시에는 제외하였다. 경제성 평가에 적용되는 항목 및 기준들을 정리하면 Table 5와 같다.

Table 4. Conversion of willing-to-pay(WTP)

Region	Willing-to-pay (won, ₩)		Remarks
	Previous study	This study	
Soyanggang Dam	2,309	2,106	Average inflation (2.2%) applied
Chungju Dam	2,857	2,606	
Andong·Imha Dam	2,638	2,406	
Daechung Dam	2,326	2,121	
Hapcheon·Nangang Dam	1,842	1,680	

주) Previous study(Korea Environment Corporation, 2010)

Table 5. Items of benefit-cost analysis

Items	Contents	Application factor
Cost estimation	• Change of operational costs between integrated operation before and after - Comparison of operational costs between 2007 and 2014	Operational costs
Benefit estimation	• Reduction of labor costs compare to Ministry of Environment standard - Application of labor costs reduction due to integrated operation	Labor costs
	• Increase of reduction loads due to improvement removal efficiency after integrated operation - Application of increase treatment costs	Costs of reduction loads
	• Reduction of inspection interval and increase of operational convenience about treatment plants - Estimation of costs due to operational convenience	Cost-cutting
	• Benefit due to reuse of effluent - Reduction of water consumption due to reuse	water consumption
	• Benefit due to environmental improvement - Estimation of benefit to apply WTP (willing-to-pay) - Benefit = WTP × households × recreation frequency	Contingent Valuation Method(CVM)

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

2.3.3 할인을 및 물가지수

1) 할인율

하수도시설 확충사업과 같은 공공사업의 경우 할인을 적용시 3년 만기 국고채 유통수익률을 이용하는 것이 적절할 것으로 판단되어 2005년부터 2014년까지의 최근 10년간의 평균 국고채수익률(The Bank of Korea, 2015)을 분석에 이용하였다. 한국은행에서 발표한 최근 10년 간의 3년 만기 국고채수익률 평균이 3.949%이므로 본 연구에서는 4%를 적용하였다.

2) 물가지수

운영비 증가액 산정 및 지불의사액 산정시 과거년도 대비 물가상승률을 감안하여 현재가치로 환산할 필요가 있다. 따라서 Table 6의 통계청 연도별 소비자 물가지수(Statistics Korea, 2015) 평균값을 적용하여 운영비의 경우 2007년 대비 2014년의 물가상승률을 감안하여 현재가치로 환산적용하였고, 지불의사액의 경우에도 기존 연구가 수행되었던 2010년 대비하여 2014년까지의 물가상승률을 적용한 후 현재가치로 환산하여 경제성 분석에 활용하였다.

3) 분석기간

비용과 편익의 발생기간인 분석기간은 통합운영이 개시되어 3년 정도가 경과되었으나, 기존 연구의 검토 기준과 동일하게 20년으로 일괄 가정하였다.

Table 6. The customer price index

구 분	Average	Year						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Customer price index (%)	2.8	4.7	2.8	3.0	4.0	2.2	1.3	1.3

주) Statistics Korea(2015)

Table 7. Cost comparison of before and after integrated operation

Region	Yearly operational costs(thousand won/year)			
	Before integrated operation (2007)	After integrated operation (2014)	Increase of operational costs (inflation not applied)	Increase of operational costs (inflation applied)
Soyanggang Dam	2,028,783	4,740,236	2,711,453	2,180,008
Chungju Dam	2,585,880	4,535,940	1,950,060	1,567,848
Andong·Imha Dam	93,569	135,303	41,734	33,554
Daechung Dam	5,638,437	8,861,115	3,222,678	2,591,033
Hapcheon·Namgang Dam	2,286,319	4,932,577	2,646,258	2,127,591
Total	12,632,988	23,205,171	10,572,183	8,500,035

3. 연구결과

3.1 비용 산정

비용 산정을 위하여 통합운영 이전인 2007년과 통합운영 이후인 2014년의 운영비 차이를 산정하면 Table 7과 같다. 5개 권역을 합산한 결과 통합운영 이전 대비 통합운영 이후 10,572,183천원의 운영비가 증가된 것으로 나타났으며, 물가상승률(2.8%)을 반영하면 8,500,035천원으로 분석되었다. 통합운영 이후 운영비가 증가된 것은 기존 시설들의 고도처리시설 개량 및 통합운영모니터링 등으로 인해 전력비 및 통신비가 증가되었고 슬러지 이송처리 등 부대비용도 발생하였기 때문으로 판단되었다. 특히 5개 권역의 500m³/일 이상 기존 공공하수처리시설 23개 시설 및 500m³/일 미만 133개 시설이 고도처리공법으로 개량되어 통합운영됨에 따라 2007년 500m³/일 이상 공공하수처리시설의 전력비와 슬러지 이송처리비가 1,478,674천원 및 565,928천원에서 2014년 3,844,082천원 및 3,264,384천원으로 약 260% 및 577% 증가되었으며, 500톤/일 미만 시설운영비가 1,430,120천원에서 2,155,248천원으로 약 151% 상승된 것으로 조사되었다.

3.2 편익 산정

3.2.1 인건비 절감

인건비 절감 효과 산출을 위해 환경부 기준을 적용하여



개별운영 기준 인력과 현재 통합운영에 실제 투입되고 있는 인력의 차이를 확인하고 이를 인건비로 산정하였다. 다만, 실제 투입되고 있는 인력은 신설 및 기존개량 시설 모두에 해당하는 인력이므로 금번 연구에서 대상으로 하는 기존처리시설에 해당하는 인력으로 환산하여 절감인력을 적용하였다. 산정결과 Table 8과 같이 전체 시설에 대한 절감인원은 34명으로 나타났으며 기존개량시설에 대한 절감인원은 25명으로 산정되었고 연간 인건비 절감액은 926,191천원으로 산정되었다.

3.2.2 오염부하 삭감부하량 증가

통합운영 이전과 비교하여 통합운영 이후 하수처리 시설에서 삭감되는 부하량이 증가되므로 삭감되는 부하량만큼 처리하기 위해 소요되는 비용이 절감되고, 처리효율이 증진되는 편익을 얻을 수 있다. 따라서 삭감되는 부하량에 해당하는 처리비용이 절감된 것으로 편익을 산정하여 반영하였다. 우선 삭감부하량당 소요되는 단위 비용을 산출하여야 하며, 기존 시설을 개량하여 통합운영을 실시한 것이므로 기존 시설의 2007년 운영단가 중 현재 총인시설이 가동 중이므로 T-P 부하량 삭감단위비용을 적용하여 결과를 도출하였다(Table 9). 또한 댐상류지역 기존 개량시설에 대한

통합운영 이후 증가되는 T-P 삭감부하량을 산정한 결과 통합운영 이후 연간 74,241kg의 삭감부하량이 증가되는 것으로 나타났다. 여기에 앞서 산정한 단위 비용을 곱하여 삭감부하량에 따른 절감비용을 산출한 결과 연간 12,112,419천원으로 산정되었으며 이를 편익에 반영하였다.

3.2.3 통합운영 편익성에 따른 비용 절감

통합운영시 원격 모니터링 및 감시제어를 통한 운영 편익성이 확보되고 이와 함께 신속한 장애인지가 가능하게 되므로 소규모처리시설에 대한 정기 순회점검 횟수가 감소하고 인력 및 제경비가 감소하는 편익이 발생하게 된다. 이 중 인력은 앞서 인건비 절감부분에서 언급되었으므로 본 항에서는 점검일수 감소에 따른 제경비를 고려하였다.

개량된 기존 시설물 중 순회점검이 필요한 소규모처리 시설 133개소를 검토 대상으로 설정하였으며 1회 점검시 소요되는 일수는 26.6일로서 이를 토대로 연간 절감되는 점검일수를 산정하면 1,277일로 나타나 통합운영 이전 대비하여 절반 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 이를 절감되는 비용으로 환산하면 17,299천원이며 이를 편익에 반영하였다(Table 10).

Table 8. Comparison of the number of operators

Items	Standard	Actual	Reduction		Reduction of labor costs (thousand won/year)
			New&Improve	Improve	
Operators (person)	154	120	34	25	926,191

Table 9. Estimation of treatment cost in reducing T-P loads

Unit cost (won/kg/year)	Reduction loads(kg/year)			Reduction costs (thousand won/year)
	Before integrated operation	After integrated operation	Increase of reduction loads	
163,150	73,329	147,570	74,241	12,112,419

주) Reduction costs = unit cost(163,150won/kg/year) × increase of reduction loads(74,241kg/year)

Table 10. Estimation of inspection cost

구분	Inspection times & days			Reduction costs		
	Before integrated operation	After integrated operation	Increase	Distance (km/day)	Gas costs (won/L)	Reduction gas costs (thousand won/year)
Inspection days per time (days/time)	26.6	26.6	-	100	1,246.5	17,299
Yearly inspection times (times/year)	96	48	△48			
Total inspection days (days)	2,554	1,277	△1,277			

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

3.2.4 처리수 재이용에 따른 상수사용량 절감

처리수 재이용을 위해 필요한 추가 삭감부하량(T-P)과 소요되는 비용을 산정하면 Table 11과 같다. 산정 결과 재이용 대상이 되는 T-P 부하량은 9.85kg/일로 나타났으며, 수질기준을 적용시 재이용 대상이 되는 T-P 부하량은 5.51kg/일로 산정되었다. 따라서 추가 삭감이 필요한 T-P 부하량은 4.34kg/일로 나타났으며 여기에 T-P 부하량 삭감 단가를 적용하면 연간 258,562천원의 비용 편익이 발생하는 것으로 산정되었다. 또한 처리수를 재이용할 경우 상수사용량이 절감되는 효과를 기대할 수 있다. 따라서 사용되는 재이용수가 대체하는 상수사용량을 산정하고 이를 통해 절감되는 수도요금을 산정하였으며, 산정결과 연간 2,656,375천원이 절감되는 것으로 나타났다. 상기 검토한 추가 삭감부하량 편익과 상수사용량

대체 편익 중 추가 삭감부하량 편익은 앞서 검토한 오염 부하 삭감부하량 증가 편익에서 산정된 금액과 중복 적용될 우려가 있으므로 이를 제외하고 상수사용량 대체 편익만을 적용하여 경제성 분석에 반영하였다.

3.2.5 생활환경개선 편익

생활환경개선 편익 산출을 위해 지출의사액과 배수 설비 가구수 등을 활용하여 생활개선편익을 산정한 결과는 Table 12와 같으며 지출의사액 1,680원~2,606원을 배수설비 가구수 총 39,809가구에 적용한 결과 연간 1,034,543천원의 편익이 발생하는 것으로 나타났으며 이를 비용-편익 분석에 적용하였다.

앞서 검토한 인건비 절감, 삭감부하량 증가 등의 편익을 집계하면 Table 13과 같다. 편익 집계결과 삭감부하량

Table 11. Estimation of cost to water reuse (Sewage treatment plant effluent)

Items	Results				
	Items	Effluent quantity (m3/day)	Standard of T-P (mg/L)	Effluent loads (kg/day)	Reuse loads (kg/day)
Costs of reduction loads for reuse water quality satisfaction	Before integrated operation	110,202	0.894	98.5	9.85
	Application of reuse standard	110,202	0.5	55.1	5.51
	Estimation of reduction costs	1) loads : 9.85 - 5.51 = 4.34 2) costs : 4.34 × 365 × 163,150 = 258,562 thousand won			
Costs of water consumption	Reuse water quantity (m ³ /day)	Reuse water quantity (m ³ /year)	water costs (won/m ³)	Total costs (thousand won)	
	11,020	4,022,373	660.4	2,656,375	

Table 12. Estimation of life improvement benefit

Region	WTP(won)	the number of households	Benefit (thousand won)
Total	-	39,809	1,034,543
Soyanggang Dam	2,106	6,684	168,899
Chungju Dam	2,606	10,384	324,681
Andong·Imha Dam	2,406	1,435	41,428
Daechung Dam	2,121	13,221	336,547
Hapcheon·Namgang Dam	1,680	8,085	162,988

Table 13. Summary of estimated benefit (unit : million won)

Total	Labors	Reduction loads	Convenience	Reuse	Environmental Improvement
16,746.8	926.2	12,112.4	17.3	2,656.4	1,034.5
100.0%	5.5%	72.3%	0.1%	15.9%	6.2%



증가에 의한 편익이 72.3%로 가장 큰 것으로 나타났으며 재이용수 사용, 생활환경개선 등의 순이었고 총 편익은 16,747백만원으로 나타났다.

3.3 경제성 검토

비용 및 편익 산정결과를 활용하여 연간 비용 및 편익을 도시화하면 Fig. 3과 같다. 통합운영 이후 증가되는 운영비 증가 비용에 비하여 인건비 절감, 삭감부하량 증가 등의 편익이 큰 것으로 나타났으며 운영기간이 경과할수록 그 차이도 커지는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 적용한 사업의 경우 비용에 운영비 증감만이 포함되므로 기타 연구에서 검토한 바와 같이 공사비와 운영비 등의 사업비가 모두 포함된 경와 비교했을 때에는 그래프 패턴이 다소 상이한 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 분석결과를 활용하여 순현재가 및 B/C 비율을 산정한 결과는 Table 14와 같다. 편익을 현재가치로 환산한 결과 227,595백만원으로서 비용의 현재가치에 비해 약 50% 많은 것으로 나타났으며 B/C 비율은

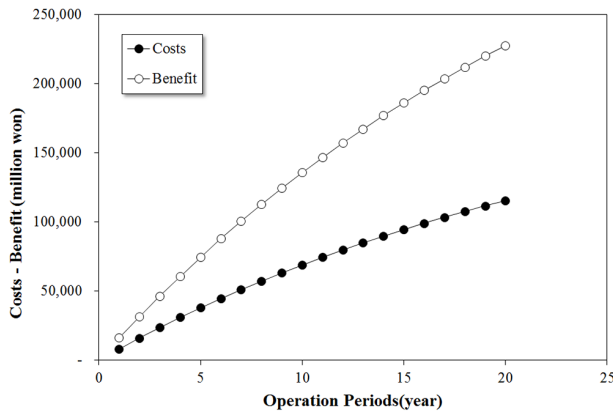


Fig 3. Yearly total cost and benefit

Table 14. Result of benefit-cost analysis

Present value of total benefit (million won)	Present value of total costs (million won)	NPV (million won)	B/C ratio
227,595	115,518	801,585	1.9702

Table 15. Comparison of B/C ratio

This study	B/C ratio		
	Yoon et al. (2012)	Ministry of Environment (2008)	Korea Environment Corporation (2010)
1.970	1.749 (1.475~2.023)	1.561 (1.066~2.093)	3.968 (3.369~4.461)

1.97로 분석되었다. 따라서 운영비용 증가보다 통합운영에 편익 효과가 더 큰 것으로 나타났으며 경제적인 면에서 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 도출된 결과를 통합운영 및 유역하수도 등과 관련된 기존 연구결과와 비교하면 Table 15와 같다. 기존 연구결과와 비교하면 일부 차이가 있는 부분도 있으나 평균 범위 내에는 포함되는 것으로 판단되었다. 다만 윤현식 외(2012)와 환경부(2008)의 경우에는 개별 하수도정비와 유역 하수도정비의 비교 검토를 통해 경제성을 검토하여 본 연구에서 검토한 편익산정방법 등과 유사한 기준을 적용하였기 때문으로 판단되었다. 또한 한국환경공단(2010)의 경우에는 유역통합관리를 위한 다양한 방안을 수립하여 경제성을 검토하는 과정에서 통합운영 이후 운영비 등이 감소하는 것으로 가정을 수립하였기 때문에 B/C 비율이 다소 높게 검토되었지만 실제 운영시에는 통신비 및 전력비 증가, 물가상승 등으로 운영 비용 증가가 발생하였기 때문에 본 연구에서는 B/C 비율이 당초 연구보다 낮게 산정된 것으로 판단되었다.

4. 결 론

- 1) 본 연구에서는 하수도시설 통합운영을 실시하고 있는 지역의 통합이전과 통합이후의 성과를 분석하고 그에 따른 경제성을 평가하고자, 국내 댐상류 하수도 시설 확충사업이 수행되었던 5개 댐상류권역, 156개소를 대상으로 비용-편익을 분석하였다.
- 2) 비용-편익 분석시 비용은 통합운영 전·후의 운영비 증가분을 산정하였고, 편익은 통합운영을 통한 인건비

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

절감, 오염부하 삭감부하량 증가, 편익성 증가에 따른 비용절감, 처리수 재이용에 따른 상수사용량 절감, 생활환경개선을 정량적으로 산정하여 반영하였으며, 산정결과 비용 8,500백만원, 편익 16,747백만원으로서 편익이 49% 더 큰 것으로 산정되었다.

3) 편익 산정결과 삭감부하량 증가에 따른 편익이 전체 편익의 72.3%를 차지하였고 재이용수 사용 15.9%, 생활환경개선 6.2%, 인건비 절감 5.5%의 순으로 나타나 통합운영에 따른 처리효율 증가 및 방류수질 개선의 편익이 큰 것으로 나타났다.

4) 경제성 검토결과 B/C 비율은 1.97로 나타나 경제적 측면에서 통합운영의 타당성이 있는 것으로 나타났다. 기존 연구결과와도 큰 차이를 보이지는 않았다. 이러한 통합운영의 편익 중에는 정량적으로 산정이 곤란한 자료관리 편익성, 비상대응력 향상, 하수도 관련 민원저감 등의 효과가 병행되므로 실제 통합운영을 통해 얻을 수 있는 경제성은 더 클 것으로 판단되었다.

Reference

- Korea Development Institute. (2013). A study on standard guidelines for pre-feasibility study on the business of public enterprise and semi-government organization, pp. 130-136.
- Korea Environment Corporation. (2010). Development on the most suitable model of operation and management for the integrated watershed management realization, pp. 243-267.
- Ministry of Environment. (2008). A study on watershed sewage works and management plan, pp. 357-391.
- Ministry of Environment. (2014). Guidelines of management works about public sewage facilities, pp. 112-113.
- Ministry of Environment. (2014). Guidelines of operation and management works about water reuse facilities, pp. 112-113.
- Statistics Korea. (2015). Customer price index, pp. 11-15.
- The Bank of Korea. (2015). <http://ecos.bok.or.kr> (October 28, 2015)
- Yoon, H. S., Kim, D. J., Lee, K. Y. (2012), Economical analysis for the integrated watershed sewage works program in the sample area, Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 26(4), pp. 565-578.