

LCA 기법을 활용한 합류식 하수도 월류수 사업의 잠재적 환경영향 저감효과 분석

An Analysis of Potential Environmental Impact Reduction for Combined Sewer Overflow Project using a LCA Methodology

조현정 · 송장환 · 황용우* · 박지형

Hyunjung Jo · Janghwan Song · Yongwoo Hwang* · Jihyoung Park

인하대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Inha University

(2011년 7월13일 접수; 2011년 10월 21일 수정; 2011년 12월9일 2차수정 : 2011년 12월12일 채택)

Abstract

In this study, LCA(Life Cycle Assessment) on 'Saemangum CSO Project' was carried out to evaluate environmental impact which occurred during the construction and operation periods and the potential environmental impact reduction was analyzed by comparing production and reduction level of pollution loads. LCA was conducted out according to the procedure of ISO14040 which suggested Goal and Scope Definition, Life Cycle Inventory Analysis, Life Cycle Impact Assessment and Interpretation. In the Goal and Scope Definition, the functional unit was 1 m³ of CSO, the system boundary was construction and operation phases, and the operation period was 20 years. For the data collection and inventory analysis, input energies and materials from civil, architecture, mechanical and electric fields are collected from design sheet but the landscape architecture field is excepted. LCIA(Life Cycle Impact Assessment) was performed following the procedure of Eco-Labeling Type III under 6 categories which were resource depletion, eutrophication, global warming, ozone-layer destruction, and photochemical oxide formation. In the result of LCA, 83.4% of environmental impact occurred in the construction phase and 16.6% in the operation phase. Especially 78% of environmental impact occurred in civil works. The Global warming category showed the highest contribution level in the environmental impact categories. For the analysis on potential environmental impact reduction, the reduction and increased of environmental impact which occurred on construction and operation phases were compared. In the case of considering only the operation phase, the result of the comparison showed that 78% of environmental impact is reduced. On the other hand, when considering both the construction and operation phases, 50% of environmental impact is increase. Therefore, this study showed that eco-friendly material and construction method should be used for reduction of environmental impact during life cycle, and it is strongly necessary to develop technology and skills to reduce environmental impact such as renewable energies.

Key words: CSO, LCA, Buffer detention facility, Impact assessment

주제어 : CSO, LCA, 저류시설, 영향평가

1. 서론

국내 하수도정책은 시설확충 및 방류수 수질기준 강화를 중심으로 시행되어 2008년 기준 하수도 보급률 88.6%, 하수관거 보급률 73.8%로서 시설확충 및 관리수준은 선진국 수준에 다다르고 있다. 그러나 점오염원 위주의 하수도 정책이외에 비점오염원에 대한 대책은 부족한 실정이다. 새만금의 경우 방조제 건

설로 인한 수질개선을 위하여 상류유역의 환경기초 시설 설치 등 점오염원 위주의 수질보전 대책이 수립 및 시행되고 있으나, 유입 하천인 만경강, 동진강의 수질개선은 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 도시지역 주요 비점오염원인 CSO(Combined Sewer Overflow)의 유입부하량 삭감을 위한 대책이 필요한 것을 의미한다. CSO는 합류식 하수도 월류수를 말하며 합류식 하수도에서 우천시 우수와 오수가 혼합되

*Corresponding author Tel:+82-32-860-7501, Fax:+82-872-8756, E-mail: hwangyw@inha.ac.kr

Table 1. The summary of the buffer detention facility

Division		Contents
Area		- 2,837,300m ²
Buffer storage tank	Capacity	- 15,000 m ³
	Size	- B13 m x L70 m x He5.5 m x 3
	Form	- Reinforced concrete
Intake		- 3 sites
Pipe		- D500~D1000 mm, L=529m
Construction	Floor area	- 562.78m ²
	Structure	- Reinforced concrete, ground floor
	Screen	- W2.0m x 1 (10mm)
Machine	Pump	- A relay pump : 0.9~1.5 m ³ /min x 11kW x 2
		- B relay pump : 22 m ³ /min x 75kW x 3
		- Undercurrent trillion shifting pump : 1.8 m ³ /min x 7(1)
- Upper water shifting pump : 1.8 m ³ /min x 4(1)		
Washing	- Tipping Bucket Type (W6.2m x L65m)	
Ventilation & deodorization	- Activated carbon(cartridge) : 50m ³ /min x 2	
Electricity & measurement	Type	- 22.9kV-Y
	Capacity	- 600kVA
	Measurement & control	- Management system, controller, measurement machine, CCTV
	Landscaping	- Park
Connected treatment plant		- Wastewater treatment plant : Q=100,000m ³ /day

어 우수토실, 빗물펌프장 등 하수도 시설에서 미처리된 상태로 하천이나 공공수역으로 월류 또는 방류되는 하수로 정의하고 있다.

정부의 '4대강 비점오염원 관리 종합대책'에 의하면 4대강 수계의 오염부하(BOD) 배출량의 22~27%가 비점오염원에서 기인하며, 비점오염원의 절반이상이 도시지역에서 발생하는 것으로 나타났으며, 특히 CSO는 강우초기에 고농도의 오염물질을 포함하여 청천시 수질항목별 발생하수 농도의 최고 30배 정도로 하천으로 유출되고 있다고 보고되고 있다.

본 연구에서는 비점오염원인 CSO에 대한 관리 및 유입부하량 저감을 위한 대안마련을 위하여, 새만금 유역 CSO 처리시설 설치사업 중 1단계 사업인 만경강 유역 4개 지자체(전주, 익산, 김제, 완주)에 설치되는 CSO 저류시설을 대상으로 건설 및 운영단계에서 발생하는 환경부하에 대한 LCA(Life Cycle Assessment)를 수행하고, 수계 부영양화의 주요 요인인 COD, T-N, T-P에 대한 오염부하 저감량을 정량화하여 새만금 CSO 사업의 잠재적 환경영향 저감효과를 분석하였다.

2. CSO 저류시설에 대한 LCA

2.1 목적 및 범위설정

(1) 평가대상

평가대상인 새만금 유역 CSO 저류시설은 시설설치에 대한 설계가 완료되지 않아 자료의 수집에 있어 유사시설인 낙동강 수계 완충저류시설 중 규모와 시기 등을 고려하여 환경관리공단에서 수행한 경산1산업단지 완충저류시설 설치사업의 설계자료를 이용하였다. 경산1산업단지 완충저류시설의 시설개요는 Table 1과 같다.

(2) 평가범위

① 기능단위 및 시스템 경계

CSO 저류시설의 기능은 CSO 저류 기능으로 정의하였다. 기능단위와 기준흐름을 별도로 분리하여 고려하지 않고 본 연구에는 일반적으로 하수처리시설에 대한 분석시 기준으로 활용되는 유입량 기준으로 산정하였다. 따라서 기능단위와 기준흐름은 CSO 1 m³을 저류하는 능력으로 산정하였다.

시스템 경계 설정의 가장 큰 목적은 데이터를 수집하는 범위를 결정하고 데이터 수집이 용이하도록 단위 공정화를 하는 것이다. 시스템 경계를 설정함에 있어 기존 박 등의 연구사례를 살펴보면 하수종말처리시설의 건설단계가 5~10 % 그리고 운영단계가 90 % 이상의 환경부하를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 Friedrich

의 연구사례에서는 해체 단계에 대한 환경부하는 전체 물질과 에너지 소모량에 있어 0.2% 보다 적게 기여한다고 하였다. 본 연구에서는 운영단계를 고려하여 평가를 수행하였고 운영기간은 20년으로 설정하였다. 건설단계의 전과정은 시설물의 건설, 운영, 폐기의 세 단계를 고려할 수 있으나 본 연구에서는 폐기단계는 제외하였다.

② 할당 및 데이터 품질요건

할당절차(Allocation Procedures)는 시스템 내에 여러 공정이 물리적으로나 경제적으로 서로 귀속되어 있어 하위공정의 환경부하를 산출하고자 할 때 발생한다. 일반적으로 할당은 에너지 중량 또는 경제적 가치를 기준으로 고려하나, 본 연구에서는 할당을 고려하지 않았다. 시간적 범위는 2009년에 작성된 설계서를 기준으로 하였고, 공간적 범위는 국내지역으로 설정하였으며, 기술적 범위는 현재 통용되는 기술로 하였다.

2.2 목록분석

목록분석에서 데이터 수집은 연구의 수행과정 중 시

간과 인력이 가장 많이 요구되는 단계로 수집된 데이터는 전체 연구의 품질을 좌우하는 중요한 요소이다. 목록분석 수행절차는 Fig. 1과 같이 ISO 14044에서 제시한 절차에 준하여 수행하였으며, CSO 저류시설의 건설단계와 운영단계에 대한 목록분석을 수행하였다.

(1) 건설단계

CSO 저류시설 건설에 투입되는 시공장비는 토목, 건축, 기계 및 전기분야로 구분하여 공사기간 동안의 투입수량, 장비명 및 규격을 파악하였다. 그리고 해당 시공장비의 사용시간을 산정하여 건설공사 표준품셈의 각 장비별 시간당 연료소비량을 이용하여 건설단계에서 투입된 시공장비가 사용한 총 연료사용량을 산정하여 목록분석을 수행하였다. 투입 자재도 시공장비와 마찬가지로 설계내역서를 기준으로 토목, 건축, 기계 및 전기공종으로 나누고, 토목공종은 가시설공, 추진공, 구조물공, 관로공, 부대공의 세부공종으로 구분하였다. 건설자재에 대한 목록분석은 해당 자재에 해당하는 LCI DB를 사용하

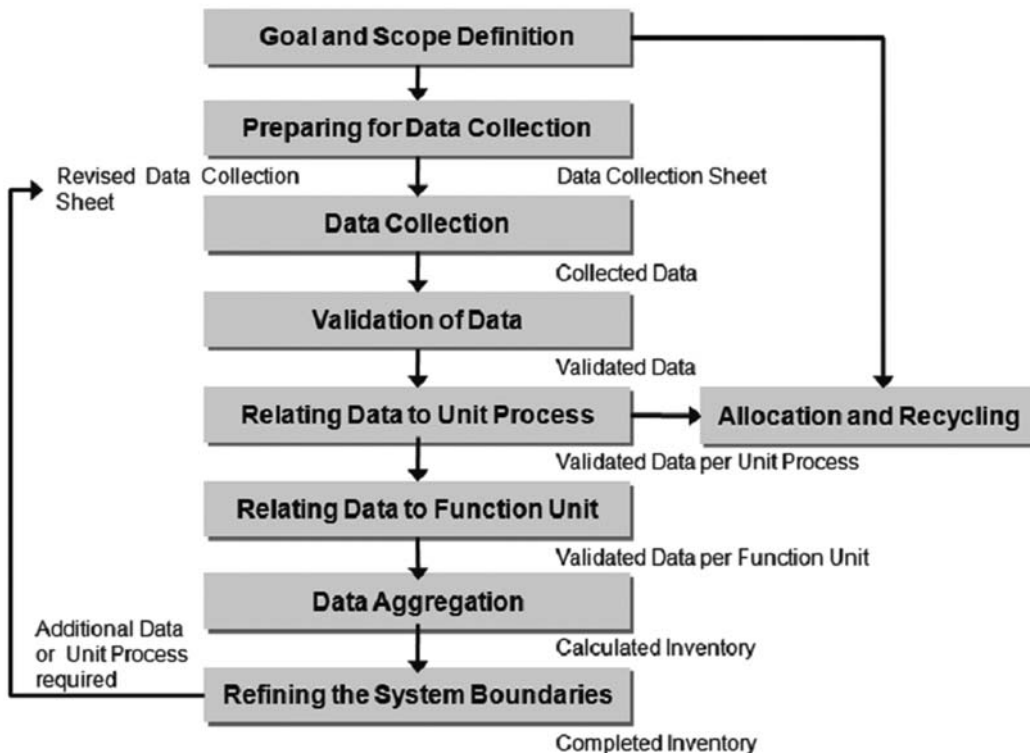


Fig. 1. The process of inventory analysis.

Table 2. Input utility in the operation stage

Division	Electricity (kwh)	Day of operation (day/yr)	Electricity used (kwh/yr)	Electricity used in the operation stage (kwh)	
				kwh	MJ
Rainfall	2,902.0	44	127,688.0	2,553,760	9,193,536.0
Unclouded sky	701.9	321	225,309.9	4,506,198	16,222,312.8
Total	-	-	352,99	7,97,059,958	25,415,848.8

여 목록분석을 수행하였고, 해당 LCI DB가 없는 경우 유사 DB를 적용하여 목록분석을 수행하였다.

(2) 운영단계

저류시설 운영시 투입되는 유틸리티의 경우 대상시설의 운영내역을 참고하여 20년 운영시 전력사용량을 Table 2와 같이 조사하였으며, 전력에 대한 국가 LCI DB를 이용하여 목록분석을 수행하였다. 운영시 사용되는 활성탄의 경우 LCI DB의 부재로 20년 저류시설 운영에 따른 사용 및 교체량은 고려하지 않았다.

2.3 영향평가

연구의 목적 및 범위설정에 따른 목록분석 결과에 대하여 환경에 대한 영향을 파악하기 위해 영향평가를 수행하였다. 영향평가는 환경성적표지제도에서 사용하는 6개 영향범주에 대해 ISO 14044 절차에 따라 수행하였으며, 지식경제부의 PASS 프로그램을 활용하여 산정하였다. 영향평가 방법은 환경성적표지 방법론을 기준으로 수행하였다.

CSO 저류시설에 대하여 영향평가 상의 가중치 단계까지 수행한 LCA 수행 결과를 Table 3에 나타내었으며,

건설단계가 83.3%로 대부분을 차지하고, 운영단계는 16.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 박 등의 기존 유사 연구에 따르면 하수처리시설의 경우 건설단계가 5~10%, 운영단계가 90% 이상의 환경영향을 나타낸다고 하였으나, CSO 저류조의 경우 인근 하수처리장으로 CSO를 연계 처리하므로 운영단계의 환경영향이 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 영향범주별 환경영향의 경우 건설단계에서 지구온난화(GW) 항목이 47.6%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 자원고갈(AD) 항목이 37.2%로 나타났다. 운영단계에서는 지구온난화(GW) 항목이 70.7%로 가장 높게 나타났다.

건설단계 공종별 환경영향평가 결과를 Table 4에 나타내었으며, 토목, 건축, 기계 및 전기분야에선 지구온난화가 가장 높게 나타났다. 다음으로 자원고갈(AD) 항목이 높게 나타났다. 산성화의 경우 기계 및 전기 분야에서 12.4%로 상대적으로 높게 나타났다. z 광화학산화물생성(POC)는 토목분야에서 2.2%로 상대적으로 높게 나타났다. 건설단계 공종별 기여도를 Fig 2에 나타내었다.

Table 3. The results of impact assessment for CSO detention facilities

(Unit: Eco-point/F.u)

Impact categories	Construction stage	Operation stage	Total
Abiotic resource depletion (AD)	2.05E-02	2.39E-03	2.29E-02
	37.2%	21.7%	34.7%
Acidification(AC)	1.46E-03	6.70E-04	2.13E-03
	2.6%	6.1%	3.2%
Eutrophication(EU)	3.73E-04	1.36E-04	5.09E-04
	0.7%	1.2%	0.8%
Global warming(GW)	2.62E-02	7.75E-03	3.40E-02
	47.5%	70.5%	51.4%
Ozone layer depletion(OD)	4.75E-04	2.95E-08	4.75E-04
	0.9%	0.0%	0.7%
Photochemical Oxidant creation(POC)	6.06E-03	6.69E-06	6.07E-03
	11.0%	0.1%	9.2%
Total	5.51E-02	1.10E-02	6.60E-02

Table 4. The results of impact assessment in the construction stage

(Unit: Eco-point/F.u)

Impact categories	Civil-engineering work	Construction work	Machine & electric work
Abiotic resource depletion (AD)	1.95E-02	4.59E-04	5.77E-04
Acidification(AC)	1.16E-03	3.88E-05	2.64E-04
Eutrophication(EU)	3.42E-04	1.44E-05	1.73E-05
Global warming(GW)	2.43E-02	7.76E-04	1.12E-03
Ozone layer depletion(OD)	4.40E-04	8.79E-06	2.57E-05
Photochemical Oxidant creation(POC)	5.79E-03	1.41E-04	1.34E-04
Total	5.15E-02	1.44E-03	2.14E-03

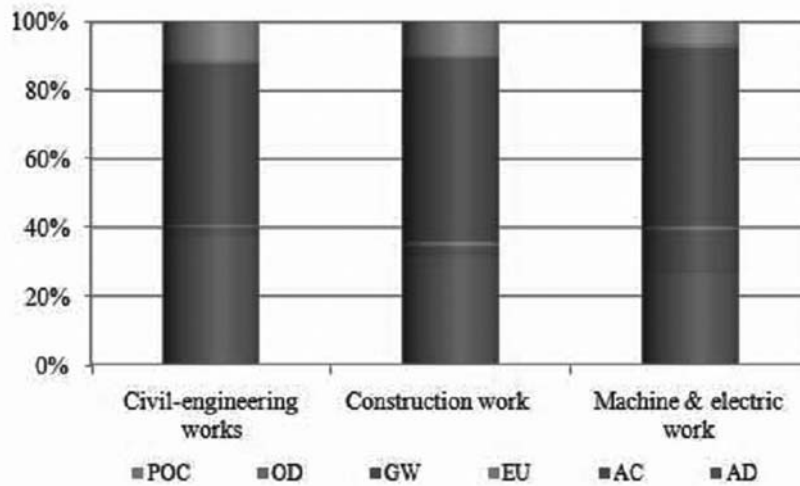


Fig. 2. The results of impact assessment by works in the construction stage.

3. 잠재적 환경영향 저감효과 분석

3.1 CSO 오염부하 원단위 및 발생량 산정

CSO에 의한 오염부하량은 기후, 지형 등 수문학적 조건에 따라 배출 양상이 다양하며 특히 합류식 우수 토실에서의 월류시점 및 월류량, 누가강우량, 강우강도, 선행 무강우 일수, 유효강우량에 따라 산정량의 차이가 매우 크게 나타난다. 한국환경공단 ‘새만금 유역 CSO 종합계획 보고서’에서 제시한 CSO 및 분류식 지역 초기우수 원단위는 Table 5와 같다.

Table 5의 산정된 원단위를 이용하여 1단계 사업지

역의 오염부하 발생량 BOD, COD, T-N, T-P를 대상으로 산정하였으며, 그 결과를 Table 6에 나타내었다.

3.2 CSO 저류시설 오염부하 저감량 산정

새만금 유역 CSO 처리시설 1단계 사업 시행 후 해당지역 오염부하 발생량 BOD 24.6%, T-P 17.6%를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 환경부하 산정을 위해 추가로 COD 및 T-N에 대한 저감량을 산정하였으며, COD는 BOD와 같은 비율로 T-N은 T-P와 같은 비율로 저감된다고 가정하여 COD 및 T-N

Table 5. The results of pollutant loading unit requirenet for CSO and rain water

(Unit: kg/ha/yr)

Divition		BOD	COD	SS	T-N	T-P
CSO	City	317.0	271.0	1,590.0	59.1	8.1
	Gun	158.5	135.5	795.0	29.6	4.1
Rain water	City	134.0	103.0	771.0	38.8	5.4
	Gun	67.0	51.5	385.5	19.4	2.7

Table 6. The results of pollutant loadings in the target area

(Unit: ton/yr)

Division	BOD	COD	T-N	T-P
Combined system	1,290.	11,102.9	240.0	32.9
Separate system	716.6	612.6	210.9	28.9
Total	2,006.6	1,715.5	450.9	61.8

Table 7. The reduction results of pollutant loadings in the target area

(Unit: ton/yr)

Division		발생량 (ton/yr)	Reduction (ton/yr)	Reduction rate (%)
BOD	Sub-total	2006.6	493.3	24.6
	Combined system	1290.1	370.7	28.7
	Separate system	716.6	122.6	17.1
COD	Sub-total	1715.4	421.7	24.6
	Combined system	1102.9	316.9	28.7
	Separate system	612.6	104.8	17.1
T-N	Sub-total	450.9	79.5	17.6
	Combined system	240.0	55.5	23.1
	Separate system	210.9	24.1	11.4
T-P	Sub-total	61.8	10.9	17.6
	Combined system	32.9	7.6	23.1
	Separate system	28.9	3.3	11.4

에 대한 저감량을 산정하였다. 오염물질별 오염부하 저감량 산정결과는 Table 7에 나타내었다.

목별 영향평가 인자8)를 사용하여 영향평가를 수행하였다. 그 결과를 Table 9에 나타내었다.

3.3 잠재적 환경영향 저감효과 분석

(1) 오염부하 삭감에 따른 환경부하 저감 분석

오염부하 저감에 따른 환경부하 저감효과를 분석하기 위해 수계 부영양화에 영향을 미치는 COD, T-N, T-P에 대하여 시스템경계 및 기능단위로 설정한 저류용량 1톤을 20년간 운영하는 경우의 오염부하 저감량 Table 7을 기준으로 산정하였다. COD, T-N, T-P 저감량에 해당되는 영향평가를 Table 8에 나타낸 수질항

(2) 잠재적 환경영향 저감효과 분석

CSO 저류시설 설치 및 운영으로 인한 잠재적 환경영향 저감효과 분석을 위하여 CSO 저류시설 건설 및 운영단계에 대한 LCA와 오염부하 저감으로 인한 LCA 수행결과를 비교하였다. CSO 저류시설에 대한 LCA 수행결과, 운영단계에서는 1.10E-02 E-p/F.u., 건설단계와 운영단계를 포함할 경우 6.61E-02 E-p/F.u.의 환경영향이 발생하는 것으로 나타났으며, 오염부하 저

Table 8. Impact assessment factors by water quality items

(Unit: ton/yr)

Division	Characterization Factor (kgPO4 ³⁻ -eq/kg)	Normalization Factor (PO4 ³⁻ -eq/ps.yr)	Weighting Factor
COD	2.20E-02	13.1	0.038
T-N	1.00E+00	13.1	0.038
T-P	3.06E+00	13.1	0.038

Table 9. The results of impact assessment for pollutant loading reductions

(Unit: Eco-point/F.u)

COD	T-N	T-P	Total
3.87E-03	3.32E-02	1.39E-02	5.10E-02

Table 10. The results of impact assessment by pollutant loadings and reductions in the construction and operation stage (Unit: Eco-point/F.u)

Construction stage	Operation stage	Reductions	Net environmental effect
5.51E-02	1.10E-02	- 5.10E-02	1.51E-02

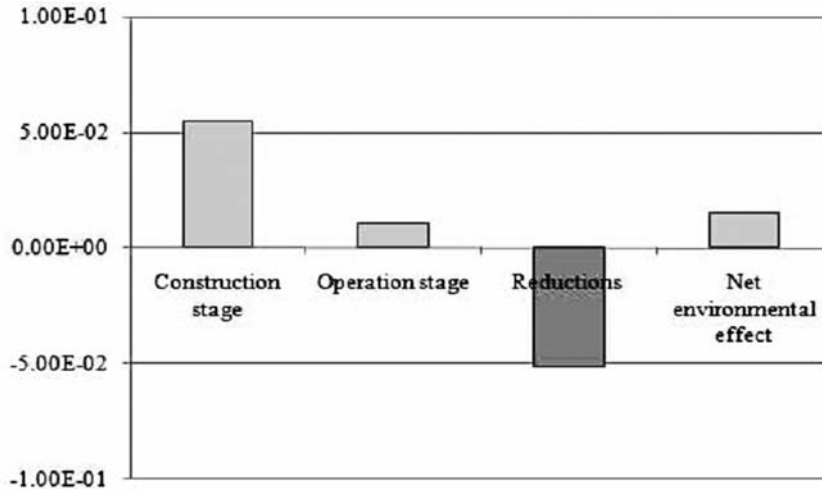


Fig. 3. The reduction effects of impact assessment for CSO detention facilities.

감으로 인한 환경영향저감은 -5.10E-02 E-p/F.u의 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 CSO 저류시설 운영으로 인해 저감되는 오염부하의 환경영향은 건설과 운영으로 인해 발생하는 환경영향대비 약 77%의 환경영향 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 새만금 CSO 사업에 대한 건설단계 및 운영단계에 대한 LCA를 수행하였으며, CSO 저류조 설치로 인한 오염부하 저감효과와 건설 및 운영단계의 오염부하 발생량을 비교하여 CSO 사업에 대한 잠재적 환경영향 저감효과를 분석하였다. CSO 저류조에 대한 LCA 수행 결과 건설단계의 환경부하가 83.4 %, 운영단계의 환경부하가 16.6 %로 나타났으며, 이는 저류된 CSO를 인근 하수처리장에서 연계처리하여 운영단계에서의 투입되는 에너지가 적기 때문으로 볼 수 있다. 잠재적 환경영향 저감효과 분석결과, 건설단계를 포함하는 경우 CSO 저류조 설치 및 운영을 통한 삭감부하량 보다 많은 환경부하가 발생하는 것으로 나타났다.

전과정에 걸친 환경부하를 감소시키기 위해서는 건

설단계에서부터 친환경자재 및 친환경 공법을 사용하고, 운영단계에는 전력사용에 따른 환경부하가 높게 평가되므로 신재생에너지 이용 등으로 환경부하 저감 기술의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 환경부의 폐기물에너지화·자원화 전문인력양성사업으로 지원되었습니다.

참고문헌

환경부, 하수도통계(2008).
 환경부, 합류식 하수도 월류수(CSO) 오염부하 저감시설설치 타당성 조사(2007).
 환경부, 4대강 비점오염원관리 종합대책 pp. 22~23, 79 (2004).
 환경관리공단, 경산1산업단지 완충저류시설 설치사업 기본 및 실시계획 보고서 (2009).
 박광호, 황용우, "LCA 기법을 이용한 하수처리장의 환경영향 평가

", 상하수도학회지, 19(6), pp 809~818 (2005).

E. Friedrich, "Life-Cycle Assessment as an Environmental Management Tool in the Production of Potable Water", Water Science and Technology, 46(9), pp. 29~36 (2002).

T. Ekvall and G. Finnveden, "Allocation in ISO 14041-a Critical Review", Journal of Cleaner Production, 9(3), pp. 197~208.

지식경제부, 환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화