

환경비용을 고려한 공공시설물의 환경경제성 평가 - 국내 다목적댐 비상여수로 시설 사례연구 -

The Economic Efficiency Assessment of Infrastructure considering Environmental Cost - A Case Study of Emergency Spillway for Korean Multipurpose Dam -

권석현* 김상범**
Kwun, Suk-Hyun Kim, Sang-Bum

요 약

본 연구는 LCA(Life Cycle Assessment, 전과정평가) 개념을 바탕으로 공공시설물의 환경성 및 경제성 평가를 위한 의사 결정시 유용한 정보를 제공하기 위하여 사례대상으로 선정된 다목적댐 비상여수로의 위치 및 형식별로 발생 가능한 환경오염물질에 대한 환경비용을 예측하고자 하였다.

이를 위해 LCA 기법 및 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)의 이론을 고찰하고, 환경비용 분석모델을 제안하였다. 제안된 공공시설물 환경비용 분석모델을 사례대상인 다목적댐 비상여수로에 적용하기 위해 전과정 동안 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고, 이를 비용으로 환산하여 환경비용을 예측하였고, 예측결과를 통하여 비상여수로의 환경경제성을 평가하고 친환경적이고 경제적인 최적대안을 도출하였다.

키워드 : 비상여수로, 전과정평가, 조건부가치측정법, 환경비용, 환경경제성

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계가 빠르게 성장해감에 따라 지구환경도 빠르게 변해갔다. 산업혁명이후 지구는 더워지기 시작하여 이제는 지구의 기후가 바뀌게 되었다. 세계는 이러한 기상이변을 막고자하는 노력을 시작하였고, 그 대안으로 1992년 국가간 기후변화협약을 체결하였다.

기후변화협약에서는 온실효과기체를 강력하게 규제하기 어려웠고, 대부분의 국가들이 온실효과기체를 방출하는 화석연료의 사용기간 감축일정을 구체화하고 국가별 의무규정을 정하는데 반대하였으며, 에너지 효율기준 설정에도 반대하였다. 이에 따라

기후변화협약에서는 국가간의 약속사항과 온실효과기체 배출의 자발적 제한에 중점을 두게 되었으며, 그 대신 협약 내용을 보완하고 구체적인 감축의무와 감축일정을 포함하고 있는 의정서를 채택할 수 있도록 규정하였다. 이러한 배경에서 기후협약이 채택된 때로부터 5년 후인 1997년에 교토의정서가 채택되었다.

교토의정서는 선진국가들에게 구속력 있는 온실가스 배출의 감축목표(Quantified Emission Limitation & Reduction Objects, QELROs)를 설정하게 하고, 5년 단위의 공약기간을 정해 2008년~2010년까지 36개국 선진국 전체의 배출량을 1990년 대비 5.2%까지 감축할 것을 규정하였다. 또한 OECD 회원국들에게는 이 기간동안 1990년 대비 5% 이상의 온실가스를 감축하도록 하였다.

우리나라의 경우 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준하였고, 아직 교토의정서에 따르는 법적 의무를 부담하고 있지 않으나 OECD 회원국으로서 온실가스 감축의 압력을 받고 있다. 일단 당사국 총회에서 감축의무국가로 지정이 되면 추후 법적 구속력을 부담할 수밖에 없으며, 머지않아 이 문제가 타결될 전망이다. 이에 대한 사전대비가 시급한 실정이다.

우리나라는 경제규모에 비해 온실가스 배출량이 많으며, 이는

* 일반회원, 중앙대학교 토목공학과 박사수료, (주)도명E&C 대표이사, ksh6407@chol.com

** 일반회원, (주)도명E&C 기술연구소 연구소장, bum0000@hanmail.net

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(과제번호:06건설핵심B04)에 의해 수행되었습니다.

에너지 다소비업종의 비중 증가에 따른 것이다. 에너지 다소비 업종 중 하나인 공공시설물에 대하여 효율적인 에너지 절약이 이루어지지 않는 문제점이 대두되고 있으며, 이러한 상황에서 좀 더 나은 에너지 절약효과를 갖기 위해 공공시설물의 전과정(Life Cycle)에 대한 에너지 소비량, 온실가스 배출량, 환경비용 등의 기본적인 데이터베이스 구축이 필요할 것이다.

현재 에너지소비에 대한 환경부하량의 데이터베이스는 작업이 많이 진행되었지만, 이를 활용하여 공공시설물의 환경성을 평가하는 연구가 미비한 실정이다. 그러나 공공시설물의 전과정 동안 발생할 수 있는 환경부하량의 절감효과에 대한 중요성을 본다면 더 많은 관심과 연구가 필요할 것이다.

따라서, 본 연구는 현재 대형화, 다양화되고 있는 공공시설물을 대상으로 환경부하량을 산출하고 이를 활용하여 공공시설물에 대한 환경성을 평가하며 경제적 손실 또는 절감효과를 분석하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 공공시설물의 전과정 동안 발생하는 환경오염 물질을 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통하여 정량적으로 산출하고, 산출된 환경오염물질 중 온실가스에 해당하는 환경부하량을 다속성 효용이론(Multi-Attribute Utility Theory, MAUT)에 근거한 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)을 통하여 환경비용으로 환산하고 경제성을 평가하고자 한다. 또한 사례연구를 통하여 실제 공공공사에서 적용할 수 있는 방안을 제시한다.

본 연구는 그림1과 같은 절차에 따라 수행한다.

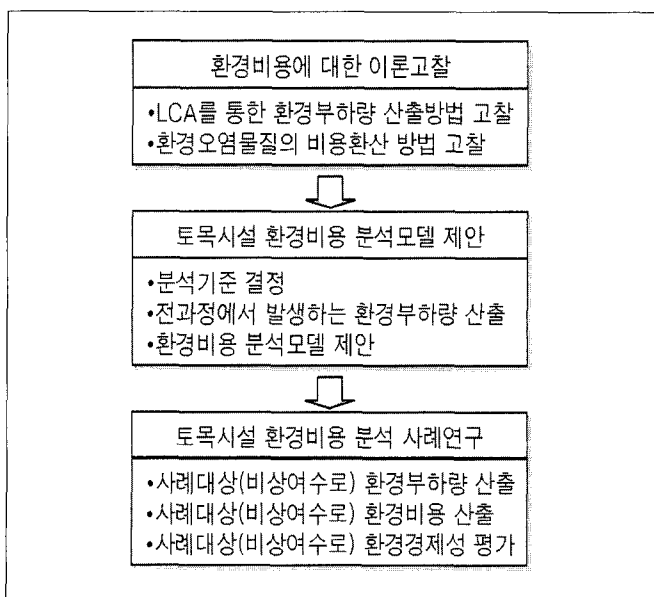


그림1. 연구 흐름도

(1) 환경비용에 대한 이론적 고찰을 통하여 전과정평가 및 다속성 효용이론에 근거한 조건부가치측정법을 검토한다.

(2) 분석기준을 결정하고 공공시설물에 적용 가능한 환경비용 분석모델을 제안한다.

(3) 사례대상을 선정하고 사례대상에 의한 환경부하량을 산출하여 환경경제성 분석을 실시한다.

2. 환경비용에 대한 이론 고찰

2.1 환경부하량 산출

공공시설물 건설공사시 전과정에서 발생할 수 있는 환경오염 물질에 대한 환경부하량을 산출하기 위하여 전과정평가(LCA) 기법을 활용한다.

2.1.1 LCA 정의

LCA란 어떤 제품, 공정, 활동과 관련된 환경적 부담을 사용된 물질, 에너지 그리고 환경에 배출된 폐기물을 규명하여 정량화하고, 이러한 에너지, 물질의 사용과 환경배출의 영향을 평가하여 환경개선을 위한 기회를 찾아 평가하는 일련의 과정을 의미한다.

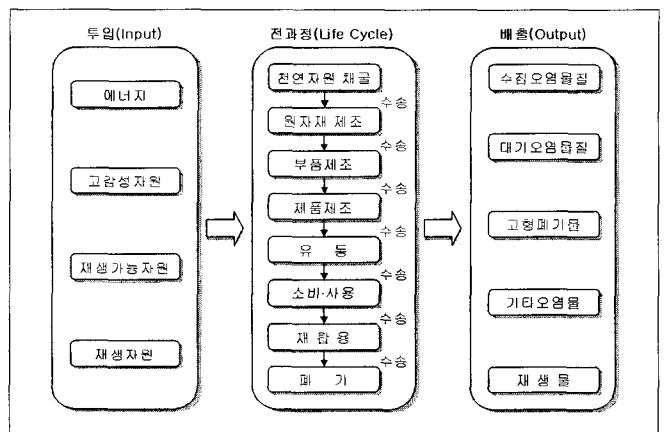


그림2. 전과정(Life Cycle) 및 환경부하 개념

국제표준화기구(ISO)에서는 LCA에 대한 환경부문의 국제적인 표준화(ISO 14040 시리즈)가 진행되고 있으며, 1992년 리우 환경회의의 당시 주요 표준화기관의 요청에 따라 1993년 기술위원회(TC 207)를 발족시켰다. 이 위원회는 현재 국가별로 이루어지고 있는 환경관련 규격을 통일하여 상품과 서비스의 거래시 국제적 표준 인증제도인 ISO 14000 시리즈를 규격화하였다. 이 중 ISO 14040 시리즈(LCA)에 대한 국제 표준화 검토가 먼저 이루어졌으며, 이 가운데에서도 LCA의 원칙 및 구성이 1997년 6월에 발표되었다.

LCA는 ISO 14001의 환경관리 시스템을 구현하기 위한 하나의 도구로서 사용될 수 있으며, LCA의 순서는 목적 및 범위설정 (Goal and Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4 단계로 구성된다.

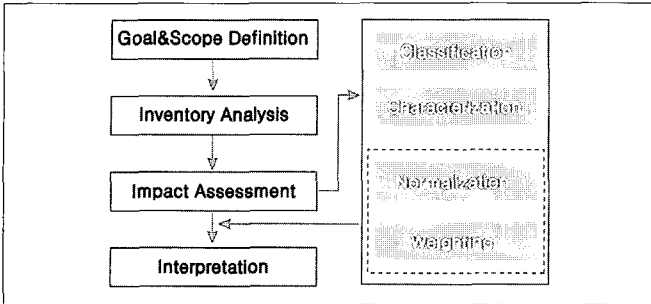


그림3. LCA 구성

2.1.2 LCA 구성요소

(1) 목적 및 범위설정

목적 및 범위설정은 LCA의 첫 번째 단계로 연구목적이 무엇이며, 결과를 어디에 적용할 것인가를 설정하는 과정이다. LCA는 사용목적에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과 등이 달라지기 때문에 먼저 LCA를 어떤 목적으로 사용할 것인지를 명확히 해야 한다.

연구의 범위에는 시스템 경계, 기능단위(function unit), 영향평가 방법, 데이터의 요구조건, 연구의 가정 및 제한요인 등이 포함된다. 여기서, 기능단위란 제품시스템에 의해 발생하는 중요한 기능을 나타내는 단위를 말하며, 이 기능단위는 목록분석을 수행할 때 기준이 된다.

연구범위의 폭과 깊이는 목표정의에서 설정한 바를 충분히 다룰 수 있도록 설정해야 하며, 모든 설정과 가정은 근거를 제시하여 투명성이 보장될 수 있도록 해야 한다.

(2) 목록분석

목록분석은 연구범위에서 설정한 시스템을 대상으로, 시스템으로 들어오고 나가는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물 및 환경오염물 등의 종류와 양을 기록하여 목록화하는 과정으로 환경부하를 계산하는 과정이다. 즉, 전과정 목록분석은 시스템으로 투입되는 input 항목과 배출되는 output 항목을 정량화하는 과정이다.

목록분석 과정은 반복적이라는 속성을 지니고 있다. 즉, 목표 및 범위 정의에 규정된 연구목적, 시스템 경계, 데이터 질 관련 제반 요건 등을 염두에 두고 목록분석이 이들 규정사항과 일치하는지의 여부를 지속적으로 검토하여야 한다. 목록분석 단계는 일반적으로 공정도(Process Tree) 작성, 데이터 수집, 각 공정별 환경부하 계산 및 합산 과정으로 이루어진다.

(3) 영향평가

영향평가는 목록분석 단계에서 얻어진 데이터를 근거로 각 환경부하 항목에 대한 결과를 각 환경영향 범주로 분류하여 각 공정별, 카테고리별 에너지 및 자원소비량 그리고 환경오염 부하량 등을 평가하는 기술적, 정량적, 정성적 과정이다.

이러한 영향평가는 그림3에서 나타난 것과 같이 분류화, 특성화, 정규화 및 가중화의 3단계로 구성된다.

분류화는 목록분석에서 도출된 목록항목들을 해당 영향범주로 모으는 과정이며 이는 그림4와 같다.

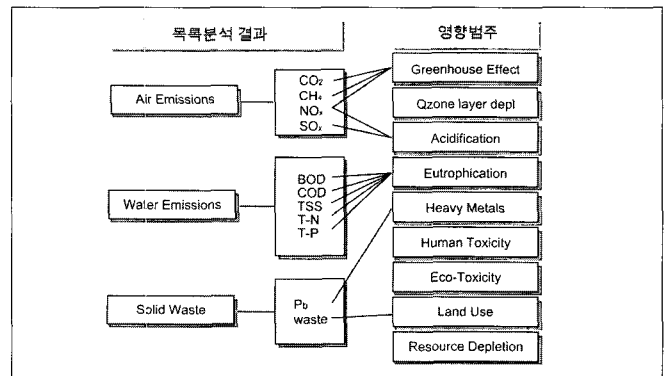


그림4. 분류화 작업

영향범주에 미치는 영향의 크기를 정량화하는 특성화, 각 영향범주별로 정규화된 환경영향을 구하고 영향범주별 중요도를 고려한 가중화 단계를 거쳐 환경오염의 상대적인 기여도를 평가한다.

특성화단계에서는 산업자원부와 환경부에서 제시한 LCI(Life Cycle Inventory) 데이터를 활용하며, 정규화 및 가중화는 표1에서 제시하는 계수를 활용한다.

표 1. 정규화 및 가중화계수

구분	정규화계수	가중치
자원고갈	2.49E+04	0.218
지구온난화	5.12E+06	0.274
오존층파괴	4.07E+01	0.171
광화학산화물	1.03E+04	0.060
산성화	3.98E+04	0.034
부영양화	1.31E+04	0.026
생태독성	2.58E+07	0.144
인간독성	1.48E+06	0.074

자료출처 : 산업자원부, "환경친화적 산업기반구축을 위한 환경경영표준화 사업", 2003

(4) 결과해석

결과해석은 전과정평가를 통해 도출된 목록분석과 영향평가의 결과를 단독 또는 종합하여 평가, 해석하는 단계이다.

2.2 환경오염물질의 비용환산

공공시설물 건설공사에서 발생하는 환경오염물질에 대한 경

제성을 분석하기 위하여 다속성 효용이론(MAUT)에 근거한 조건부가치측정법(CVM)을 운용하여 피해단위당 지불의사액(Willingness To Pay, WTP)을 금액으로 환산하여 적용하였다.

2.2.1 MAUT/CVM 방법

(1) CVM 개요

CVM이란 환경이 지니고 있는 가치를 금액으로 평가하는 방법으로, 환경을 위해서는 지불해도 좋은 WTP를 알아봄으로써 환경이 지니고 있는 가치를 금액으로 평가하는 방법을 말한다.

(2) MAUT에 근거한 CVM

복잡한 의사결정에 대한 식견을 얻는데 유용한 통계적 의사결정이론으로부터 개념적인 구조를 도입하고 있으며, 일련의 응용 기법과 실증경험에서 개발된 의사결정이론을 포함한다. 이 방법은 여러 가지 속성의 가치로부터 전체적인 의사결정을 할 수 있도록 해 주는 것으로 사람들이 가치에 숫자를 무리 없이 부여할 수 있는 조건들을 공리적으로 정리한 것이다.

통상적인 비용-편익분석의 외부에 놓여 있는 무형의 환경의 부서에 대한 인식이 증가함에 따라, MAUT는 종종 환경계획관련 의사결정에도 적용되어 왔다. 그러나 환경재의 가치를 후생경제학(Welfare Economics)에 근거한 복지개념이 아닌 사회적 가치(Societal Value), 혹은 근본적 가치(Fundamental Value)라 보고 있으며, WTP는 환경정책 측면에서 부적절한 개념으로 여기고 있다.

본 연구에서 사용되는 MAUT/CVM은 주로 전문가의 영역에서 활용되는 기존의 통상적인 MAUT에 비해 세가지 중요한 점에서 차이가 있고, 이는 다음과 같다.

첫째, 전문가가 아닌 비전문가 일반 응답자(Lay Respondents)의 관점과 견해에 관심을 가지고 있다.

둘째, 응답자 중 일부만이 대기질에 관해 많이 알고 있을 것이라고 기대한다.

셋째, 사회적 가치 또는 근본적 가치가 아닌 후생경제학에 근거한 WTP가 대기질의 가치를 대변한다고 파악한다.

2.2.2 속성과 효용함수

(1) 대기질 속성의 식별

대기오염의 다양한 속성들을 식별하여 다음과 같이 5개의 속성을 선택하였다.

- ① 시정거리피해
- ② 농업생산피해
- ③ 사망위험

- ④ 질병위험
- ⑤ 지구온난화

(2) 다속성 효용함수

다속성 효용함수의 형태는 기본적으로 여러 대안의 속성에 대한 독립성의 유무에 의존하는데 이러한 속성독립은 상호독립, 효용독립, 가법독립의 세가지가 있다. 세가지 독립조건이 모두 만족될 때 다음과 같은 가법적 다속성 효용함수가 적절하다.

$$U = k_1u_1(x_1) + k_2u_2(x_2) + \dots + k_nu_n(x_n) \quad (1)$$

여기서 U는 다속성 효용함수, $u_i(x_i)$ 는 속성 i의 특성수준 x_i 에서 평가되는 단일속성 효용함수, k_i 는 $u_i(x_i)$ 가 U에 기여하는 정도를 나타내는 비례상수(Scaling Constant)로 $k_1 + k_2 + \dots + k_n = 1$ 이 성립한다.

2.2.3 실증연구절차

(1) MAUT/CVM 적용절차

설문조사의 설계와 시행은 세가지 기본적인 다속성 가치유도 전략을 반영한다.

첫째, 응답자에게 제공되는 정보는 그것이 어떤 내용이든간에 그들의 결정에 영향을 미칠 것이라는 사실을 인정였다.

둘째, 우리는 일관성 체크의 방편으로 서로 다른 방식으로 질문을 하여 가치판단의 질을 높이려 하였다.

셋째, 응답자에게 중요도의 관점에서 먼저 순위를 매긴 후, 상대적 중요도를 평가하고 마지막으로 화폐가치로 평가하도록 하는 접근방법을 채택함으로써 이전의 다속성 가치유도절차와 가치측정이론의 지침들을 따랐다.

(2) 설문조사 방법

먼저 환경에 보전대책을 적용함으로써 개선되거나 혹은 반대로 개발로 인해 악화하는 시나리오를 응답자에게 제시한다. 그 후 환경을 개선하기 위해서라면 지불할 의향이 있는 금액을 조사하고 이를 바탕으로 수집된 비용의 가중평균을 산출하여 환경의 가치를 금액으로서 평가한다.

(3) 본 연구 적용

이론과 실제에 있어서 여러 MAUT/CVM 적용절차가 존재하지만, 본 연구에서는 다음의 5단계를 채택한다.

- ① 1단계 : 가장 선호하는 수준과 가장 싫어하는 수준의 판단
- ② 2단계 : 속성의 중요성 순위결정

- ③ 3단계 : 속성의 중요도 평가
- ④ 4단계 : 속성의 화폐가치 평가
- ⑤ 5단계 : 개인정보

3. 공공시설물 환경비용 분석모델

3.1 공공시설물의 LCA 구성항목

공공시설물의 LCA를 분석하기 위한 구성항목은 일반적인 전과정(Life Cycle)인 초기건설단계, 유지관리단계, 해체폐기단계로 구분하여 구성된다.

(1) 초기건설단계

공공시설물 건설공사의 자재생산 및 시공단계를 포함하며, 이때 소요되는 자재와 에너지 및 건설장비사용에 의한 에너지로부터 발생하는 환경오염물질을 정량적으로 산출한다.

(2) 유지관리단계

건설공사 후 내구수명간 유지관리단계에서 보수·보강 또는 교체작업에 의해 소요되는 자재 및 에너지에 의해 발생할 수 있는 환경부하를 검토한다.

(3) 해체폐기단계

공공시설물의 내구수명이 끝나 폐기처분하기 위하여 소요되는 에너지와 재활용할 수 있는 자재에 대한 환경평가를 실시한다.

3.2 공공시설물 환경비용 산출개요

3.2.1 분석기간 결정

공공시설물의 전과정을 검토하여 건설, 유지관리 및 해체폐기 단계에 걸쳐 발생하는 환경부하량을 산출하기 위한 분석기간을 결정한다.

표 2. 시설물 분석기간

구분	도로부문	철도부문	공항부문	항만부문	댐부문
분석기간	20	30	30	20	50

자료출처 : 한국개발연구원, "에비타당성 조사수행을 위한 일반지침 연구", 2000

3.2.2 대기오염별 경제적 가치추정

MAUT/CVM을 이용해 대기질 속성의 가치를 화폐단위로 평가하였다. 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)의 대기오염물질을 대상으로 환경오염원 단위당 가치추정한 결과는 다음과 같은 환경비용으로 산출된다.

표 3. 오염원별 환경비용

(단위 : 원/ton)

구분	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂
시정거리피해	11,924	10,682	-	-
농업생산피해	61,181	-	-	-
사망위험	171,285	83,897	366,023	-
질병위험	17,550	646,034	-	-
지구온난화	-	-	-	2,548
계	261,940	742,176	366,023	2,548

자료출처 : 유승훈, 광승준, 김태유, "서울시 대기질 속성의 가치추정-다속성 효용이론에 근거한 조건부 가치추정법", 환경경영연구, 1999

3.3 환경비용 분석모델 제안

공공시설물의 전과정에서 발생하는 환경오염물질에 대한 비용을 산출하기 위하여 단계별 LCA 결과를 활용하여 환경부하량을 예측하고 대상에 대한 환경비용을 환산하여 경제성을 평가한다.

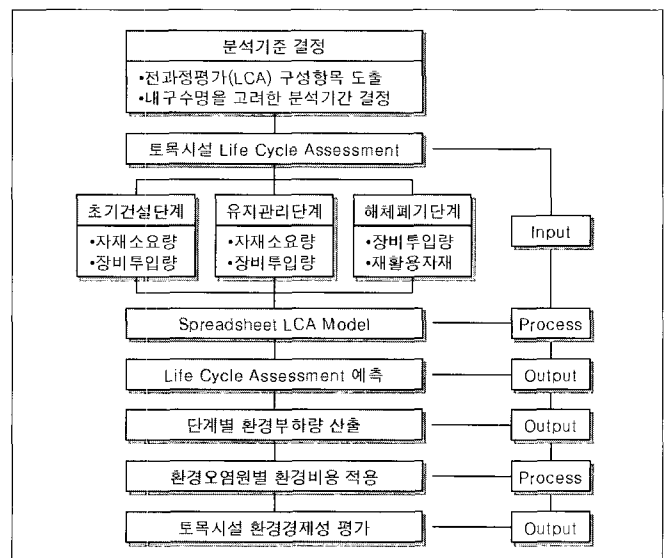


그림5. 공공시설물 환경비용 분석모델

4. 사례대상 환경비용 분석

4.1 사례대상 개요

비상여수로는 최근 기상이변으로 재산정된 가능최대홍수량에 따라 다목적댐의 치수능력을 증대시켜 이상홍수 발생시 댐의 안전성을 확보하기 위한 공공시설물이다.

본 연구에서는 국내 다목적댐의 비상여수로를 사례대상으로 선정하였고, 비상여수로 위치 및 형식별로 환경부하를 검토하고 경제성 평가를 실시하여 환경성을 고려한 최적대안을 선정하고자 한다.

다음은 본 연구의 사례대상 비교안별 개요이다.

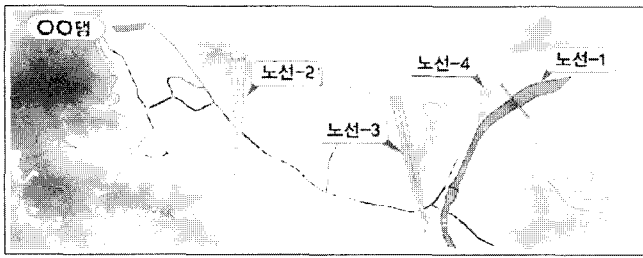


그림6. 사례대상 비상여수로 위치

표 4. 사례대상 비상여수로 비교안별 형식

구 분	노 선	비상여수로 형식
비교1안	노선-1	• 도수로(개수로식)+감세공(정수지형)
비교2안	노선-1	• 감세공(정수지형)+개수로식 방수로
비교3안	노선-1	• 감세공(버켓형)+개수로식 방수로
비교4안	노선-2	• 도수로(터널+개수로)+감세공(정수지형)
비교5안	노선-3	• 도수로(개수로+터널+개수로)+감세공
비교6안	노선-4	• 도수로(개수로식)+감세공(정수지형)

4.2 사례대상 환경부하량 산출

사례대상인 비상여수로 비교안별 환경적인 영향을 LCA를 통하여 체계적으로 분석하고, 초기건설단계, 유지관리단계 및 해체폐기단계에 이르는 전과정에서 발생하는 환경부하량을 산출·비교한다.

(1) 목적 및 범위설정

본 연구에서 수행하는 LCA의 목적은 비상여수로 비교안별로 전 과정에 대한 자재투입량 및 에너지소비량을 고려한 환경성 평가를

표 5. 비교안별 주요 투입자재 목록분석

구 분	자 재	단 위	비교 1안	비교 2안	비교 3안	비교 4안	비교 5안	비교 6안
초기건설 단계	시멘트	ton	21	19	21	48	52	19
	레미콘	m ³	5,505	5,212	5,505	6,803	7,054	6,421
	경유	ton	4,308	4,198	4,308	7,203	7,620	4,286
	전기	kWh	1,792	1,680	1,792	2,890	3,091	1,715
	강판	ton	28	28	28	54	62	29
	철근	ton	1,601	1,407	1,601	2,089	3,016	1,437
유지관리 단계	목재	ton	25	22	25	38	44	22
	시멘트	ton	12	10	12	20	20	10
	레미콘	m ³	156	145	156	230	230	187
	경유	ton	1,702	1,653	1,702	2,240	2,450	1,688
	전기	kWh	462	431	462	987	987	440
	강판	ton	8	7	8	12	12	7
해체폐기 단계	철근	ton	38	36	38	44	44	37
	목재	ton	4	3	4	6	6	3
	경유	ton	2,592	2,285	2,592	4,405	4,510	2,333
	전기	kWh	415	406	415	638	665	415

주) 경유량은 장비별 투입시간을 중량으로 환산한 것임

수행하여 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하는 것이다.

(2) 목록분석

비상여수로에 대한 초기건설단계, 유지관리단계 및 해체폐기 단계에 투입되는 자재 및 장비를 조사하고, 입출력 물질(대상내의 모든 에너지, 원료, 부원료, 부산물 및 환경오염물질 등)의 종류와 양을 목록화한다.

(3) 영향평가

비상여수로 비교안별 전과정에서 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량 산출결과는 다음과 같다.

표 6. 단계별 비상여수로 환경부하량

(단위: ton)

구 분	초기건설단계	유지관리단계	해체폐기단계
비교1안	4.15E+04	6.32E+03	8.36E+03
비교2안	3.94E+04	6.13E+03	7.37E+03
비교3안	4.44E+04	6.76E+03	8.94E+03
비교4안	5.79E+04	8.43E+03	1.42E+04
비교5안	6.34E+04	9.10E+03	1.45E+04
비교6안	4.47E+04	6.39E+03	7.52E+03

표 7. 오염물질별 비상여수로 환경부하량

(단위: ton)

구 분	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂
비교1안	2.38E+02	2.75E+02	6.54E+01	5.56E+04
비교2안	2.25E+02	2.59E+02	6.15E+01	5.23E+04
비교3안	2.55E+02	2.95E+02	6.99E+01	5.95E+04
비교4안	3.71E+02	4.24E+02	1.04E+02	7.96E+04
비교5안	3.94E+02	4.57E+02	1.11E+02	8.61E+04
비교6안	2.35E+02	2.71E+02	6.28E+01	5.80E+04

(4) 결과해석

LCA 분석결과 자재생산 및 시공에 의한 초기건설단계에서 발생하는 환경부하량이 가장 크며, 비교2안이 환경부하량 5.29E+04ton 발생으로 타안에 비해 환경오염물질 발생량이 가장 작은 것으로 분석되었다.

4.3 사례대상 환경비용 산출

LCA 분석을 통해 산출된 환경오염물질에 대한 환경부하량에 조건부가치측정법을 통해 산정한 오염원별 환경비용을 적용하여 비교안별 발생하는 환경비용을 산출한다.

그 결과는 표8, 9와 같으며, 여기서 제시된 환경비용은 WTP를 산정할 시점을 기준으로 할인율은 고려되지 않은 금액이다.

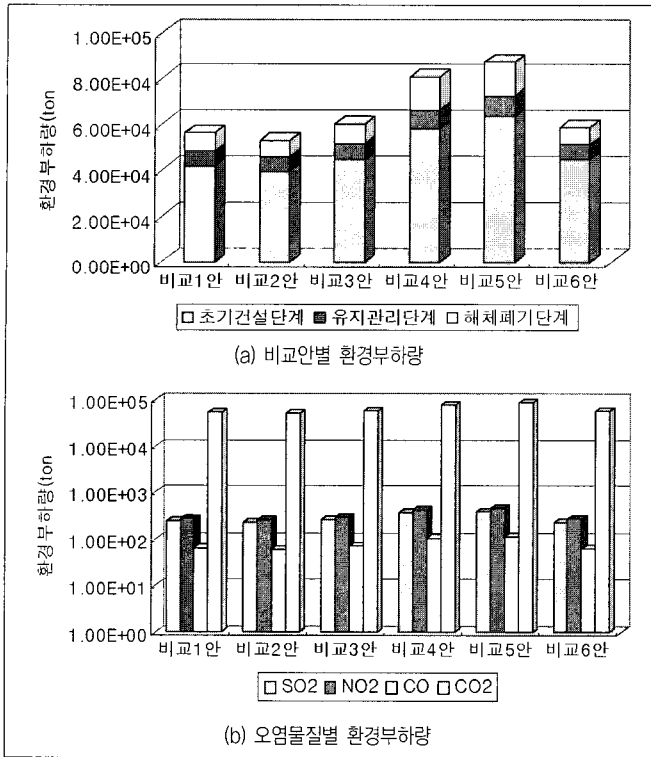


그림7. 비상여수로 환경부하량

표 8. 비상여수로 오염물질별 환경비용

(단위 : 백만원)

구 분	초기건설단계	유지관리단계	해체 폐기단계
비교1안	4.15E+04	6.32E+03	8.36E+03
비교2안	3.94E+04	6.13E+03	7.37E+03
비교3안	4.44E+04	6.76E+03	8.94E+03
비교4안	5.79E+04	8.43E+03	1.42E+04
비교5안	6.34E+04	9.10E+03	1.45E+04
비교6안	4.47E+04	6.39E+03	7.52E+03

표 9. 비상여수로 대기질 속성별 환경비용

(단위 : 백만원)

구 분	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂
비교1안	2.38E+02	2.75E+02	6.54E+01	5.56E+04
비교2안	2.25E+02	2.59E+02	6.15E+01	5.23E+04
비교3안	2.55E+02	2.95E+02	6.99E+01	5.95E+04
비교4안	3.71E+02	4.24E+02	1.04E+02	7.96E+04
비교5안	3.94E+02	4.57E+02	1.11E+02	8.61E+04
비교6안	2.35E+02	2.71E+02	6.28E+01	5.80E+04

4.4 사례대상 환경경제성 평가

본 연구에서는 비상여수로를 사례대상으로 평가하며, 위치 및 형식별로 비상여수로 건설공사에 투입되는 자재 및 에너지에 대하여 초기건설단계, 유지관리단계 및 해체폐기단계에 이르는 전

과정에서 발생하는 환경오염물질(SO₂, NO₂, CO, CO₂)에 대한 환경부하량을 정량화하고 이를 환경비용으로 환산한 결과를 토대로 환경경제성이 우수한 최적대안을 도출하고자 하였다.

그 결과, 비교안별 비상여수로의 환경비용 분석시 비교2안이 406.9백만원 발생하여 타안에 비해 최소인 것으로 분석되었다. 이는 환경경제성 평가결과 비교1안보다 25.5백만원 절감효과가 예측되어 친환경적이고 경제적인 최적대안인 것으로 검토된다.

표 10. 비상여수로 비교안별 환경비용

(단위 : 백만원)

구 분	환경비용
비교1안	432.4
비교2안	406.9
비교3안	462.6
비교4안	652.8
비교5안	702.2
비교6안	433.8

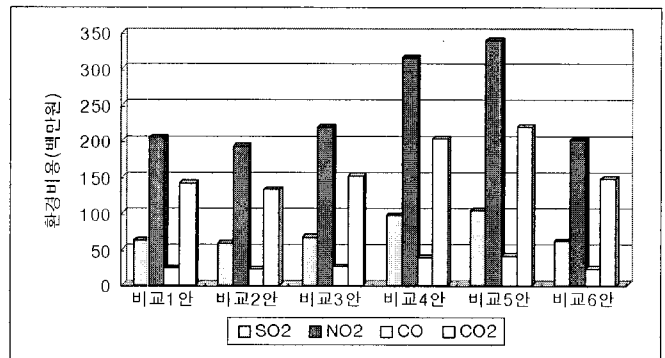


그림8. 비상여수로 환경비용

5. 결론

5.1 연구의 요약 및 결론

본 연구는 공공시설물의 환경경제성 평가를 위한 유용한 정보를 제공하기 위하여, 다목적댐 비상여수로를 대상으로 위치 및 형식별 분석기간 동안의 환경부하량 및 환경비용을 예측하고자 하였다.

이를 위해 LCA 기법 및 조건부가치추정법의 이론을 고찰하고, 환경비용 분석모델을 제안하였다. 제안된 공공시설물 환경비용 분석모델을 사례대상인 다목적댐 비상여수로에 적용하기 위해 전과정 동안 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고, 이를 비용으로 환산하여 환경비용을 예측하였고, 예측결과를 통하여 비상여수로의 환경경제성을 평가하고 친환경적이고 경제적인 최적대안을 도출하였다.

본 연구의 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 공공시설물의 전과정(Life Cycle)인 초기건설단계, 유지관리단계, 해체폐기단계에서 발생하는 환경오염물질과 환경부하량 분석을 통하여 환경비용 분석모델을 제안하였다.

(2) 공공시설물 사례대상인 비상여수로의 환경경제성 평가를 실시하여 친환경적이고 경제적인 대안을 도출하기 위해 분석기간을 댐관련 시설 내구수명인 50년으로 가정하여 환경비용을 예측하였다. 그 결과 비교1안의 환경오염에 대한 환경비용은 432.4백만원, 비교2안은 406.9백만원, 비교3안은 462.6백만원, 비교4안은 652.8백만원, 비교5안은 702.2백만원, 비교6안은 433.8백만원 발생되는 것으로 예측되었다.

(3) 사례대상인 비상여수로 위치 및 형식 선정시 LCA 분석을 통하여 환경부하량이 최소인 대안을 최적안으로 도출하였다. 그 결과 노선-1지점의 감세공+개수로식 방수로 형식인 비교2안이 타안에 비해 환경비용 25.5백만원 이상 절감되는 것으로 예측되어 최적대안으로 선정되었다.

(3) 사례대상인 비상여수로의 위치 및 형식에 따른 LCA 분석 결과를 근거로 환경비용을 예측할 경우 경제적인 절감효과를 파악하였다.

(4) 사례대상인 비상여수로의 환경비용 예측결과를 활용하여 친환경적이고 경제적인 최적대안 선정시 의사결정의 유용한 정보를 제공하였다.

5.2 연구의 제약사항 및 향후 연구방향

본 연구는 LCA 기법을 활용하여 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고 조건부가치측정법을 활용하여 환경부하량에 대한 환경비용을 환산하여 공공시설물에 대한 환경경제성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 관련 자료조사, 기존 문헌연구 및 설문조사 등을 실시하였고 이들 수집자료의 분석결과를 바탕으로 사례대상인 비상여수로의 환경경제성을 평가하였다. 이때 비상여수로의 LCA와 환경비용을 예측하기 위해 분석된 자료조사의 객관성을 확보하기 위해서는 보다 실제에 가까운 환경비용 예측이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 사례대상 비상여수로의 위치 및 형식별로 전과정에 걸쳐 발생하는 환경오염물질에 대한 환경비용을 예측하고자 하였다. 환경부와 산업자원부의 국내 자료를 활용하여 정량적인 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하였으나 환경오염물질에 대한 자료수집의 양과 범위에 있어 제약이 있었다. 향후 연구에서는 국내외 자료수집을 통하여 이러한 문제가 극복되어야 할 것이며 이를 토대로 더욱 신뢰성 있는 연구가 이루어져

야 할 것이다.

전술된 제약사항과 향후과제를 극복한다면 비상여수로에 대한 더욱 객관적인 환경비용 예측이 가능할 것이며 나아가 친환경적이고 경제적인 공공시설물 건설을 위한 의사결정시 보다 신뢰성 높고 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(과제번호:06건설핵심B04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, "건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구", 2003
2. 김광임, 여준호, 정홍락, 정희성, "대규모 개발사업의 환경경제성 분석 도입방안", 한국환경정책·평가연구원 연구보고서, 2002
3. 김광임, 여준호, 황석준, "환경가치평가 포럼", 한국환경정책·평가연구원 정책자료집, 2004
4. 박광호, "건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL 통합 모델의 개발", 중앙대학교 박사학위논문, 2004
5. 박광호, 황용우, 서성원, 박중현, "고속도로 수명주기에 따른 환경부하 평가", 대한토목학회 논문집, 2000
6. 산업자원부, "환경친화적 산업기반구축을 위한 환경경영표준화 사업", 2003
7. 산업자원부, "APEC내 국제환경표준화 교육훈련 사업", 2003
8. 유승훈, 광승준, 김태유, "서울시 대기질 속성의 가치측정-다속성 효용이론에 근거한 조건부 가치측정법-", 환경경영연구, 1999
9. 이민아, "CVM을 통한 생태자원의 WTP 도출 비교", 강원대학교 석사학위논문, 2000
10. 이홍석, "건물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구", 중앙대학교 석사학위논문, 2001
11. 정동진, 백진기, 고은미, "조건부 가치측정법을 이용한 도로경관가치평가-겸재교 건설계획안을 대상으로-", 대한토목학회 학회지, 2005
12. 한국개발연구원, "예비타당성 조사수행을 위한 일반지침 연구", 2000
13. 환경부, "환경정책의 경제성 분석제도 도입을 위한 중장기 전략수립연구", 2001
14. 환경부, "환경정책의 비용/편익분석 지침서", 2003

15. 井村 秀文, “建設の LCA”, オ-ム社, 2001
16. ISO 14040, “Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, International Organization for Standardization”, 1997
17. ISO 14041, “Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization”, 1998
18. ISO 14049, “Illustrative Examples on how to Apply ISO 14041 – Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization”, 2000
19. Kim T. Y., Kwak S. J., Yoo S. H., "Applying Multi-Attribute Utility Theory to Decision-Making in Environmental Planning : A Case Study of the Electric Utility in Korea", Journal of Environmental Planning and Management, 1998
20. Yoo S. H., Kwak S. J., Kim T. Y., "Dealing with Zero Response Data from Contingent Valuation Surveys : Application of Least Absolute Deviations Estimator", Applied Economics Letters, 1999

논문제출일: 2007.04.15

심사완료일: 2007.06.05

Abstract

This study aims to provide useful information when making a decision for the environmental and economic efficiency assessment of infrastructure, based on Life Cycle Assessment(LCA). It estimates environmental cost on environmental pollutants that are possible to happen by locations and by types of emergency spillway for korean multipurpose dam, which is selected as a study case.

For this purpose, this study examines the theories of LCA and Contingent Valuation Method(CVM) and suggests an analysis model of environmental cost. To apply the suggested analysis model of environmental cost for infrastructure to the case study of emergency spillway at the multipurpose dam, this study calculates environmental load on environmental pollutants that generate during life cycle, converts it to a cost to predict environmental cost, evaluates environmental economy of emergency spillway by the estimated result, and draws the optimum alternative that is environmental-friendly and economic.

Keywords : Emergency Spillway, LCA, CVM, Environmental Cost, Environmental Economy