

# 환경부하량을 고려한 토목시설물 전과정평가

## - 국내 다목적댐 비상여수로 시설 사례연구 -

The Life Cycle Assessment of Infrastructure considering Environmental Load

- A Case Study of Emergency Spillway for Korean Multipurpose Dam -

권석현\*      김상귀\*\*      정원지\*\*\*      김상범\*\*\*\*  
 Kwun, Suk-Hyun      Kim, Sang-Kywi      Jung, Won-Ji      Kim, Sang-Beom

### 요약

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

이를 위해 LCA 기법의 이론을 고찰하고, 제안된 토목시설물의 사례대상인 다목적댐 비상여수로에 적용하기 위해 전과정 동안 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고, 예측결과를 통하여 비상여수로의 환경성을 평가하고 친환경적인 최적대안을 도출하였다.

키워드: LCA, 비상여수로, 전과정평가, 환경부하량

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

산업혁명이후 지구는 더워지기 시작하여 이제는 세계의 기후가 바뀌게 되었다. 세계는 이러한 기상이변을 막고자하는 노력이 시작되었고, 그 대안으로 1992년 기후변화협약을 만들었다.

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 규정하고 있다. 이러한 배경에서 기후협약이 채택된 때로부터 5년 후인 1997년에 교토의정서가 채택되었다.

우리나라의 경우 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준하였고, 아직 교토의정서에 따르는 법적 의무는 부담하고 있지 않으나 OECD 회원국으로서 온실가스 감축의 압력을 받고 있다. 일단 당사국 총회에서도

감축의무국가로 지정이 되면 법적 구속력을 부담할 수밖에 없으며, 머지않아 이 문제가 타결이 될 전망이다. 이로 이에 대한 대비를 해야 할 것이다.

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

#### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 토목시설의 전과정 동안 발생하는 환경오염물질을 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통하여 정량적으로 산출하고, 산출된 환경오염물질 중 온실가스에 해당하는 환경부하량을 평가하고자 한다. 또한 사례연구를 통하여 실제 토목공사에서 적용할 수 있는 방안을 제시한다.

본 연구는 그림 1과 같은 절차에 따라 수행한다.

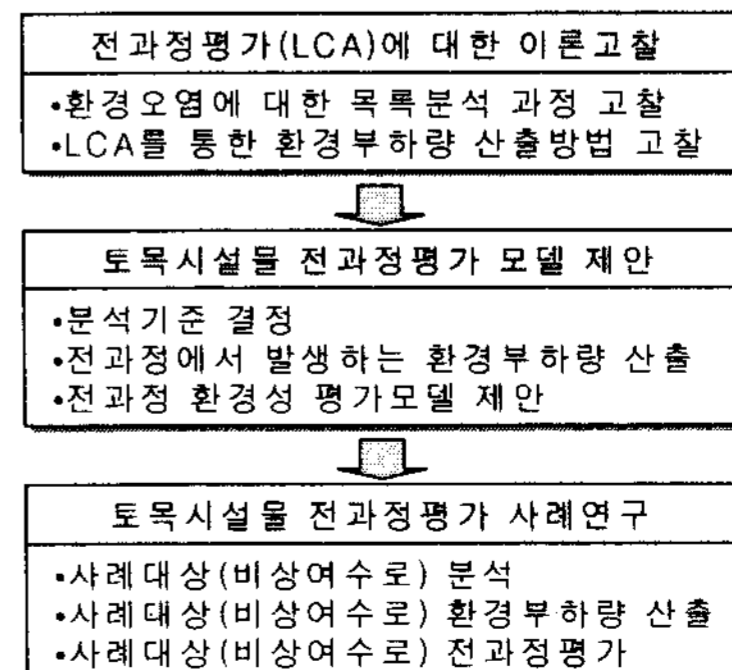


그림 1. 연구 흐름도

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

\*\*일반회원, 중앙대학교 토목공학과 박사과정, 삼부토건(주) 기술이사 kimsk@sambu.co.kr

\*\*\*학생회원, 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정 won5010@hotmail.com

\*\*\*\*(주)도명E&C 기술연구소CM사업부 팀장 bum0000@hanmail.net

## 2. 환경부하량 산출에 대한 이론고찰

### 2.1 환경부하량 산출

토목시설 건설공사 시 전과정에서 발생할 수 있는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하기 위하여 전과정평가(LCA) 기법을 활용한다.

### 2.2 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 의미하며, 그 개념은 다음 그림 2와 같다.

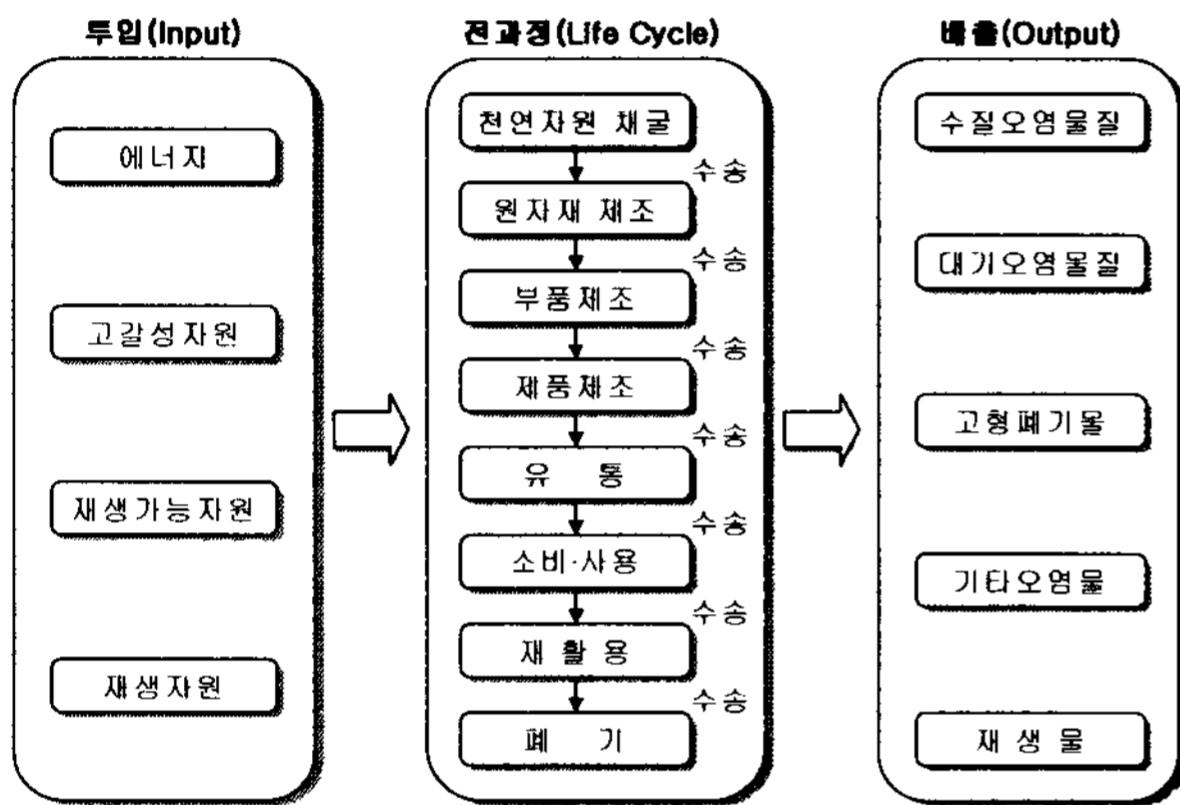


그림 2. 전과정(Life Cycle) 및 환경부하 개념

국제표준화기구(ISO)에서는 LCA에 대한 환경부문의 국제적인 표준화(ISO 14040 시리즈)가 진행되고 있으며, 1992년 리우환경회의 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. 이중 ISO 14040 시리즈(LCA)에 대한 국제표준화 검사가 먼저 이루어졌으며, 이 가운데에서도 LCA의 원칙 및 구성이 1997년 6월에 발효되었다.

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 4단계로 구성된다(ISO 14040, 1997).

### 2.3 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(차철 외, 2005).

#### (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 분류화, 특성화 및 가중화의 3단계로 구성되며(산업자원부, 2003), 다음 그림 3은 분류화에 대한 개념을 나타낸 것이다.

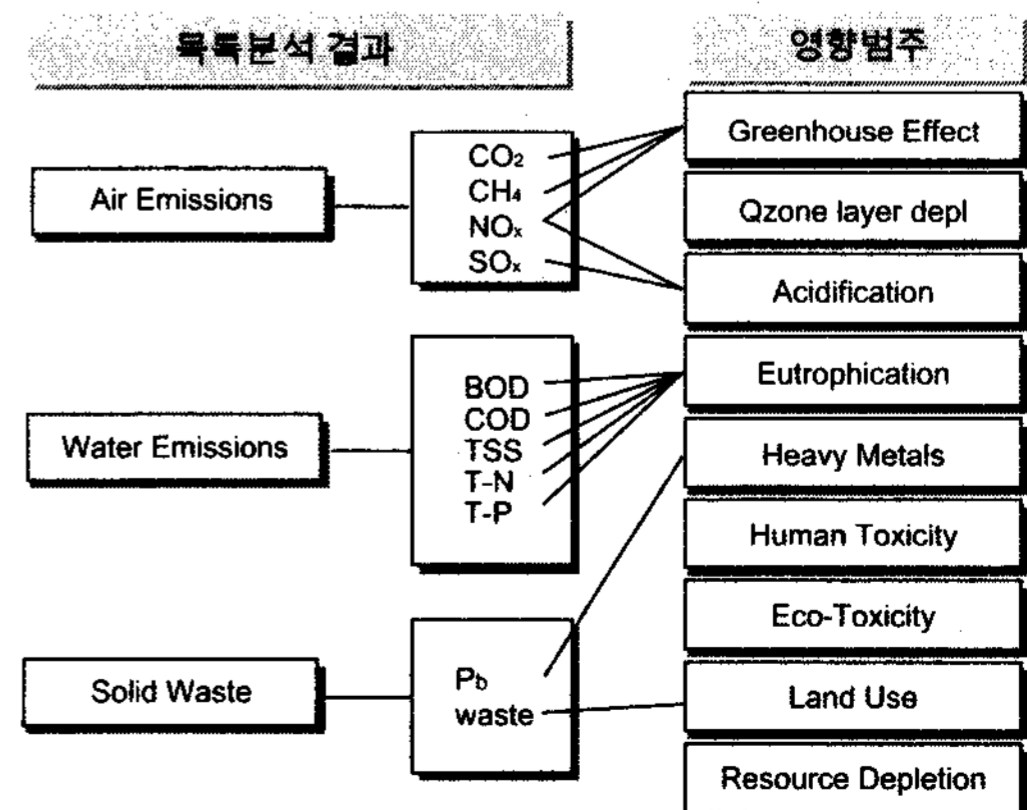


그림 3. 분류화 작업

(4) 결과해석

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

3. 사례분석을 통한 LCA 평가

3.1 사례대상 개요

비상여수로로는 최근 기상이변으로 재산정된 가능최대홍수량에 따라 다목적댐의 치수능력을 증대시켜 이상홍수 발생 시 댐의 안전성을 확보하기 위한 토목시설이다.

본 연구에서는 국내 다목적댐의 비상여수로를 사례대상으로 선정하였고, 비상여수로 위치 및 형식별로 환경부하를 검토하여 환경성을 고려한 최적대안을 선정하고자 한다.

다음 그림 4와 표 1은 본 연구의 사례대상 비교안별 개요이다.

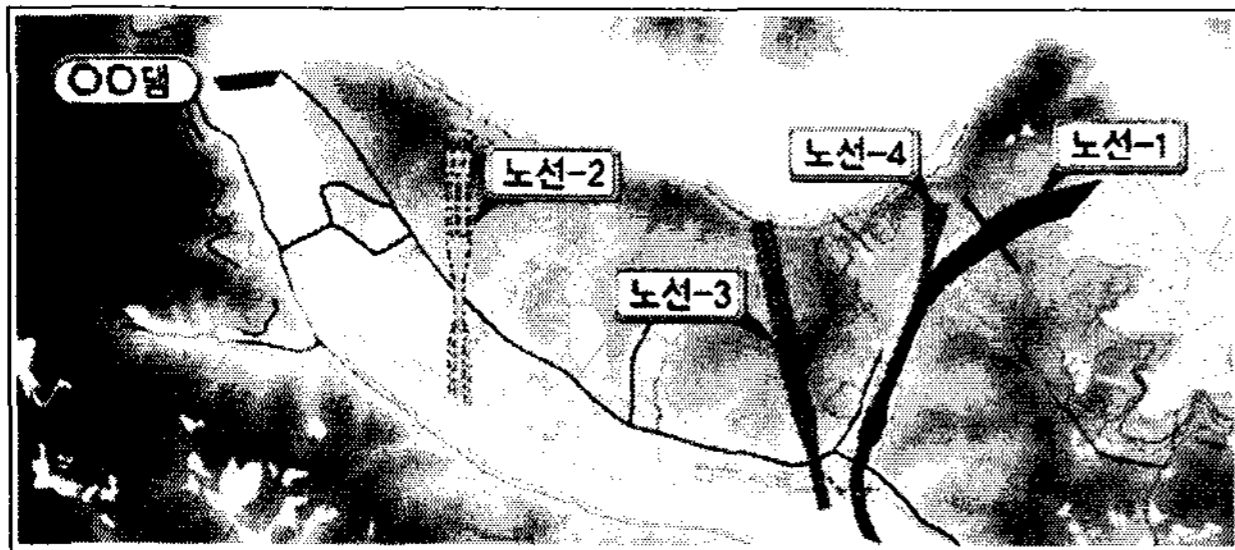


그림 4. 사례대상 비상여수로 위치

표 1. 사례대상 비상여수로 비교안별 형식

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

3.2 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 전과정에 대한 자재투입량 및 에너지소비량을 고려한 환경성 평가를 수행하여 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하는 것이다.

(2) 목록분석

비상여수로에 대한 초기건설단계, 유지관리단계 및 해체폐기단계에 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 다음 표 2 및 표 3과 같다.

표 2. 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 3. 오염물질별 비상여수로 환경부하량

(단위 : ton)

구 분	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
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 그림 5와 같이 자재생산 및 시공에 의한 초기건설단계에서 발생하는 환경부하량이 가장 크며, 비교2안이 환경부하량 5.29E+04ton 발생으로 타안에 비해 환경오염물질 발생량이 가장 작은 것으로 분석되었다.

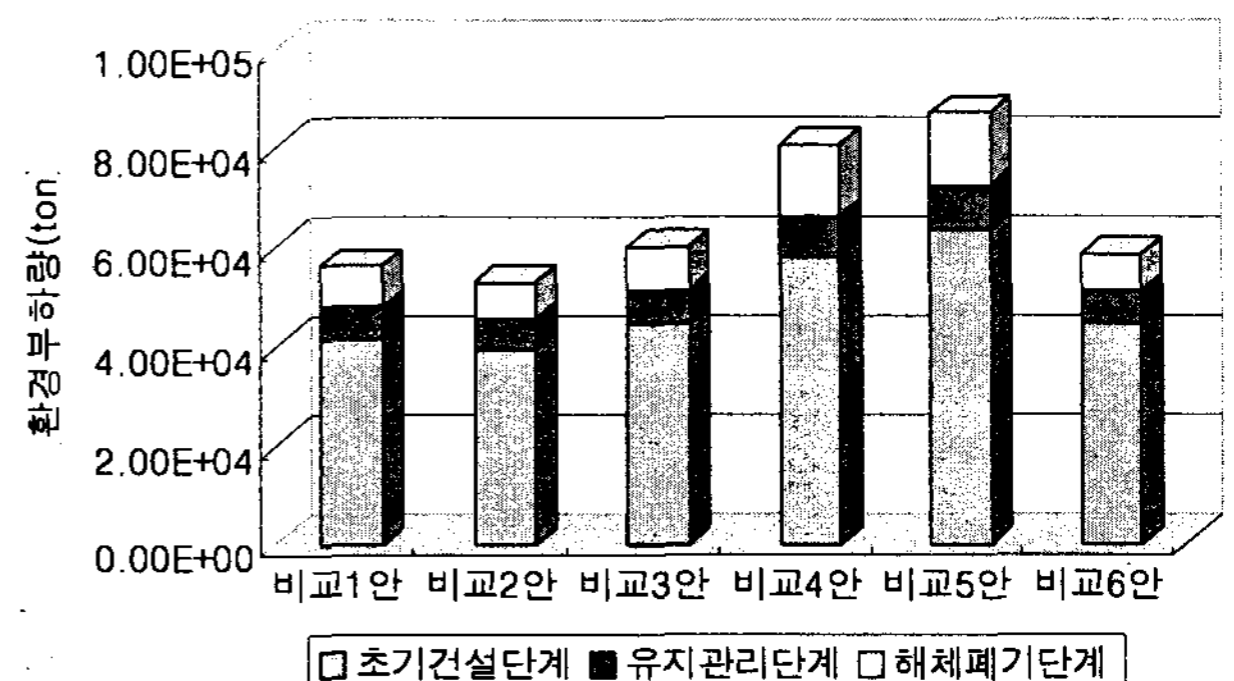


그림 5. 비상여수로 환경부하량

## 4. 결론

### 4.1 연구의 요약 및 결론

본 연구는 토목시설의 LCA 평가를 위한 유용한 정보를 제공하기 위하여, 다목적댐 비상여수로를 대상으로 위치 및 형식별 분석기간 동안의 환경부하량을 예측하고자 하였다.

이를 위해 LCA 기법의 이론을 고찰하였다. LCA 기법을 사례대상인 다목적댐 비상여수로에 적용하기 위해 전과정 동안 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하였고, 예측결과를 통하여 비상여수로의 환경성을 평가하고 친환경적인 최적대안을 도출하였다.

본 연구의 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 토목시설의 전과정(Life Cycle)인 초기건설단계, 유지관리단계, 해체폐기단계에서 발생하는 환경오염물질과 환경부하량 분석방법을 제시하였다.

(2) 토목시설 사례대상인 비상여수로의 환경부하량을 산출하여 친환경적인 대안을 도출하기 위해 분석기간을 댐 관련 시설 내구수명인 50년으로 가정하여 환경부하량을 산출하였고 사례대상인 비상여수로 위치 및 형식 선정 시 LCA 분석을 통하여 환경부하량이 최소인 대안을 최적안으로 도출하였다.

(3) 사례대상인 비상여수로의 환경부하량 산출결과를 활용하여 친환경적인 최적대안 선정 시 의사결정의 유용한 정보를 제공하였다.

### 4.2 연구의 제약사항 및 향후 연구방향

본 연구는 LCA 기법을 활용하여 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고자 하였다. 이를 위해 관련 자료조사, 기존 문헌연구 및 설문조사 등을 실시하였고 이들 수집자료의 분석결과를 바탕으로 사례대상인 비상여수로의 환경부하량을 산출하였다. 이때 비상여수로의 LCA를 평가하기 위해 분석된 자료조사의 객관성을 확보하기 위해서는 보다 실제에 가까운 Data Base 구축이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 사례대상 비상여수로의 위치 및 형

식별로 전과정에 걸쳐 발생하는 환경오염물질에 대한 환경부하량을 산출하고자 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 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, "건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구", 2003
2. 차철, 권석현, 임병세, 박한철, "LCA 기법에 의한 건설단계별 환경부하량 산출", 2005
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. 이홍석, "건물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구", 중앙대학교 석사학위논문, 2001
9. 井村 秀文, "建設の LCA", オーム社, 2001
10. ISO 14040, "Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, International Organization for Standardization", 1997
11. ISO 14041, "Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization", 1998
12. 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

## Abstract

This study aims to provide useful information when making a decision for the environmental assessment of infrastructure, based on Life Cycle Assessment(LCA). It estimates environmental load on environmental pollutants that are possible to occur 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 calculates environmental load on environmental pollutants that generate during life cycle, to apply the suggested infrastructure to the case study of emergency spillway at the multipurpose dam. It also evaluates environmental load of emergency spillway by the estimated result, and draws the optimum alternative that is environmental friendly.

Keywords : LCA, Emergency Spillway, Environmental load