

전과정평가(LCA)기법을 이용한 농업용 저수지와 양수장의 환경영향비교

김영득, *노리히로 이츠보, **이건모, 김해도
한국농어촌공사 농어촌연구원, *일본동경도시대학, **아주대학교

Comparison of Environmental Impact of Agricultural Reservoir & Pumping Station using LCA

Young Deuk Kim, *Norihito Itsubo, **Kun Mo Lee, Hae Do Kim
Rural Research Institute, *Tokyo City University, **Ajou University

Received: 05 September 2012 / Accepted: 17 September 2012

Abstract

The aim of this study is to evaluate the environmental impacts of irrigation facilities using a Life Cycle Assessment tool and to compare two different types of water resources, dam and pumping station supplying 78% of irrigation water in Korea. Study facilities, Idong reservoir and Eunsan pumping station, are located in Ansong-Si, Gyeonggi-Do. Life cycle impact methodology used in the study is Eco-indicator99(E) to assess the environmental impacts of 1 m³ of agricultural water supply. This case study is a preliminary work to evaluate environmental impacts associated with water use in the boundary of the existing life cycle impact assessment method. The functional unit for comparison can be defined as a 1.5 billion m³ to supply irrigation water to the paddy field of 2,156 ha for 70 years. As a result of LCA of reservoir, most of environmental impact is derived from the use of construction materials in the construction stage like concrete and cement. Electricity consumption is a key issues of pumping station in the operation stage due to the fossil fuel use. It can be said that dam seems to be a more sustainable facility than the pumping station in the 70-year life cycle of this study excluding ecological impacts, depending on geological condition in Korea, though there is no consideration of land use and ecological impacts by inundation.

1. 서론

우리나라의 수자원이용현황을 살펴보면, 농업용수가 차지하는 비율은 159억톤으로 전체 수자원이 용량 333억톤의 62%를 사용하는 것으로 보고되고 있다[1]. 농업용수를 공급하는 수리시설물은 저수지, 양수장, 취입보를 들 수 있으며, 전국 농업기반시설은 69,899개소 ('07년 12.31 현재) 중에서 저수지는 17,699개, 양배수장은 7,139개, 취입보는 18,005개이고, 관개면적기준으로는 총 867천 ha중 저수지가 475천ha (55%), 양배수장이 201천ha (23%), 취입보는 97천ha (11%)를 공급하고 있다.

댐은 갈수기에 필요한 용수를 적기에 적당한 양을 공급하고, 홍수기에 일시적인 홍수유입에 의한 침수피해를 방지할 수 있도록 저수, 도수, 조절 등의 기능을 가진 제방을 말하며, 이로 형성된 못을 저수지(Reservoir)라고 한다[2]. 댐은 여러 가지형태로 분류할 수 있는데, 구조물의 재료에 따라 흙댐(earthfill dam), 콘크리트 중력댐(concrete gravity dam), 록필댐 (rockfill dam)으로 구분할 수 있다. 이중 흙댐이 가장 일반적인 형태이고, 이는 최소의 공정을 거쳐 해당지역 주위에서 자연물 질로부터 건설재료를 취득하여 사용할 수 있기 때문이다[3]. 양수장은 관개 및 기타용도에 필요한 물을 퍼 올리기 위하여 양수시설로 양수장의 구성요소는 양수기(pump)와 전동기(motor), 이러한 시설을 유지·관리할 건물이 필요하다. 양수기와 전동기의 규모와 소요대수는 양수량과 양정(揚程)으로 결정하며, 건물은 양수기·원동기에 알맞은 넓이와 하중, 기계의 진동, 지반의 지내력 등을 고려하여 견고한 콘크리트구조로 한다.

전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)는 정의된 시스템의 전과정에 관련된 투입물과 산출물의 목록을 취합하여 처리하고, 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 잠재적 환경영향들을 평가하여 해석함으로써 제품이나 서비스와 관련된 환경적 측면과 잠재적 영향을 평가하는 기술이다[4]. 현재 국내에서 농업 및 토목분야에서 전과정평가의 적용은 다른 산업분야에 비해 미미한 수준이라고 할 수 있다[5, 6, 7]. 토목·건설분야의 전과정평가는 최종 소비산업으로서 환경오염 배출원에 대한 자료를 수집하기 어렵고, 다른 제품 및 공정들에 비해 많은 양의 자원과 방대한 항목들이 취급되어 정확한 전과정평가를 수행하기에는 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다[8]. 전과정평가방법에 의한 토목시설물의 환경영향평가는 흙댐의 LCA[9]와 여수로 건설에 따른 LCA[10]사례 등 관련 연구가 많지 않은 상태이다.

최근 들어, 기후변화와 기상변화에 따라 가장 취약한 부분이 수자원이고, 이 수자원이용에 따른 환경영향에 대한 정량적 평가에 대해 많은 관심이 늘어나고 있다. 하지만 수자원이용에 따른 영향을 정량화하는 전과정평가적용은 매우 제한적이고, 김용연 등[11]이 수행한 생활용수 중 수도물 전과정평가를 수행한 바 있다. 2012년 현재 우리나라의 국가 LCI DB에 등록된 수자원DB는 총 11개이고, 생활용수 5개, 산업용수 6개가 각각 전과정평가에 이용되고 있으며, 김영득 등[12]이 관개용 저수지의 농업용수 DB에 대한 연구를 수행하여 LCI DB 등록을 신청한 상태이다.

이 연구의 목적은 전과정평가기법을 이용해 농업용수공급원으로 주로 이용되는 저수지와 양수장의 환경영향을 비교·분석하는데 있다. 수행이유는 농업용수 공급 수리시설 중 전체 공급량의 55%이상을 차지하는 저수지에 의한 농업용수 공급과 23%를 차지하는 양수장 공급에 따른 환경성을 평가하고 이를 토대로 농업용수공급정책을 결정하는데 활용하기 위함이다.

2. 연구방법

농업수리시설의 LCA는 ISO[13] 기준에 따라 수행하였고, 원부자재와 에너지에 대해 각 공정별로 투입·산출물을 분석하고, Eco-indicator 99(E) 영향평가 방법론에 의해 11개 환경영향범주를 고려하여 평가를 실시하였다. 기준시설은 댐의 형식과 토지이용 형태 등을 고려해 볼 때 전형적인 농업용수 저수지라고 할 수 있는 이동저수지 (경기도 용인시 처인구 이동면 어비리)이고 비교시설인 은산양수장은 비교적 규모가 큰 양수시설로서 기준시설과 기후, 기상, 토지이용형태가 유사하고, 기준시설과 동일한 행정구역 및 유역내에 위치하고 있다.

2.1 기능 및 기능단위

Table 1은 전과정평가에 필요한 기능, 기능단위 및 기준흐름을 나타낸 것이다. 저수지의 기준흐름은 70년간 공급하는 농업용수량(1,509,200천 m^3), 즉 70년 수명의 저수지 1개소로 설정하였고, 양수장의 기준흐름은 70년간 공급하는 농업용수량(1,509,200천 m^3)/[(11,020 천 m^3 /년) \times 70년] 1.96개소로 정하였다.

Table 1. Function, functional unit and reference flow

구 분	저수지	양수장
기 능	농업용수의 공급 (Supplying water)	
기능단위	2,156 ha의 논에 2,156천 m^3 /년씩 70년간 공급하는 양 (1,509,200천 m^3)	
기준흐름	저수지 1개소	양수장 1.96개소

2.2 시스템경계 및 전과정 흐름

시스템경계는 최종제품인 저수지(댐)에 대한 중량정보를 기준으로 원료취득에서부터 제조단계까지의 공정들 및 이와 관련된 투입물/배출물을 대상으로 하였고, 적용 라이프사이클은 원료취득, 건설, 운영-유지관리단계까지 고려하였으며, 폐기단계는 두 시설 모두 해체하는 사례는 거의 없으므로 시스템경계에서 제외하였다.

건설 및 이용·유지단계에서 투입되는 모든 투입물/배출물을 고려하였으며, 투입물 질량 기준 최소 99% 이상 DB를 연결하였다. 단, 원자재로서 공정에 영향을 주는 주요재료의 경우 무게에 상관없이 포함하였으며, 양수장의 경우, 펌프와 모터의 제작에 관한 공정은 제작 시 투입되는 재료만 고려하였다. 토공과정에서 발생하는 흙은 자체로 환경영향을 발생하지 않고 다른 공정의 환경영향으로 대신 계산될 수 없으므로 cut-off 기준에서 제외하였다.

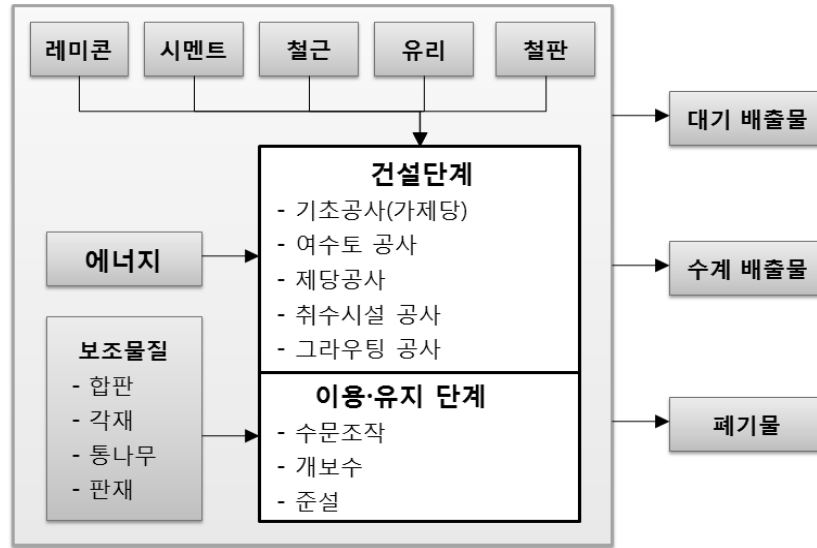


Fig. 1. System boundary for agricultural reservoir

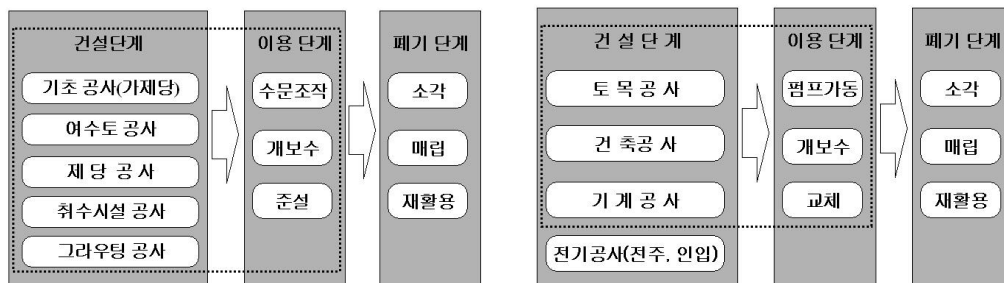


Fig. 2. Processes of agricultural reservoir and pumping station
(left : reservoir; right: pumping station)

2.3 주요가정 및 제한사항

각 단계별 주요가정으로서는 우선 설계의 경우 전문인력에 의한 현장조사, 사무기기 사용, 기술검토 등이 주요공정이므로 설계단계는 고려하지 않았다. 운송부분은 현장내 운송만 고려하였고, 외부수송은 포함시키지 않았다. 국내외 모두 자료가 없어 데이터베이스 연결을 못한 경우, 데이터값 처리하였다. 제품 생산과정에서 발생하는 고철은 100% 재활용됨으로 내부흐름으로 간주하여 투입물(철근)에서 해당되는 만큼을 제외하였다. 공정상에서 발생하는 폐유는 재활용되나, 이에 대한 효과를 정량화하기 힘들어 시스템 경계에서 제외하였다. 저수지 시공, 운영관리 단계의 Capital equipment(중장비, 기반시설), 비정상적인 환경영향(재해 등), 인력관련 사항 등은 제외하였고, 이설도로, 가설사무실, 기후 및 강우 등 지역특성 및 토지이용은 제외하였다. 양수장의 경우 토목, 기계, 건축물 시공을 포함하고 전기공사중 전기 인입선 및 전주 등은 기반시설로 제외하였다.

2.4 데이터 수집 및 계산

건설단계의 자료는 경기도 관할사무소에서 수집한 설계도서를 이용하였고, 유지관리 및 운영단계 자료는 지사수집자료, 전산시스템(RIMS)[14]에 입력한 이력자료를 이용하였다. Table 2는 데이터 범주 및 세부항목을 나타낸 표로 투입물질중 원부자재는 설계서 물량자료에 기초해 산출량을 무게단위로 환산하여 사용하였고, 상하위 흐름은 Simapro 7.1의 D/B를 사용하였다. 공정에서 발생하는 부산물이 상대적으로 크지 않아 할당은 고려하지 않았다.

Table 2. Data category and input and output of the study facilities

데이터 범주	세부 데이터 항목		
	구분	저수지	양수장
투입물	원자재	건설재료(철근, 형강, 주철관, 시멘트, 강판), 비철금속(동판, 합석)	건설재료, 고무, 페인트, 비철금속(구리, 스텐인레스), 유리, 모터, 펌프(제작에 필요한 재료 중량만을 고려)
	부자재	가설재료(합판, 목재, 못, 철선 해당 현장의 최대사용량 1회만 사용), 경유, 윤활유	가설재료(합판, 목재, 못, 철선), 경유, 윤활유(잡품 발생량의 10% 적용, 폐유로 계산하였고, 특정폐기물로 소각)
	에너지	전력	전력
산출물	제품(시설)	저수지(댐)	양수장
	부산물	대기배출물	대기배출물
	폐기물	폐유, 건설폐기물	폐유, 고철, 건설폐기물

전력사용은 LCA 소프트웨어인 Simapro 7.1 DB (네덜란드, 2009, Electricity MV use in UCPTE S) 사용하였고, 연료소비량은 작업장비의 작업량(m³/시간)에 시간당 연료소비량(L/시간)를 곱하여 산정하였다. 양수장 전력 자료 품질점검결과 실측자료와 이론적 자료를 비교한 결과, 이론적 전력량은 852,948kWh이고, 측정자료는 761,860kWh로 11%정도 차이가 나는 것을 조사되었다.

2.5 전과정 영향평가방법

Eco-indicator 99 방법론은 네덜란드의 건설부와 환경부가 개발하여 세계적으로 널리 사용되는 종말점 수준의 영향평가방법론이고, 영향범주는 발암성물질, 호흡기질환(유·무기 물질), 지구온난화, 방사선 피폭, 오존층, 생태독성, 산성화·부영양화, 토지이용, 광물질, 화석연료 영향 모두 11가지이다.[15]

3. 결과 및 고찰

3.1 전과정목록분석 및 영향평가 결과

전과정 목록분석결과에 기초해 투입물 및 산출물의 잠재적 환경영향을 정량화한 특성화 값은 저수지 1개소에서 용수공급에 따른 각 영향범주별로 미치는 환경영향을 나타낸다. 이 수치는 영향범주별로 단위가 다르기 때문에 상대적 비교의 의미를 갖지는 못하지만, 특정 영향범주 내에 관여하는 투입물과 산출물 간의 상대적인 영향은 비교 가능하다. Fig. 3은 기준시설과 비교시설의 11개 영향범주의 특성화 결과를 비교한 그래프로 모든 영향범주에서 양수장의 전과정 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 이는 저수지를 통해 농업용수를 공급하는 것이 양수장에 의해 용수를 공급하는 것보다 환경부하가 적다는 것을 의미한다.

Table 3. Input and output Inventory of reservoir and pumping station

Input/output	Materials name (Name in DB)	Quantity(kg)
저수지 Input	콘크리트(Concrete I)	28,745,034
	철근 (St 13 I)	147,718
	시멘트 (Cement portland)	413,330
	형강 (St13 I)	1,016
	철판 (ECCS Steel sheet)	2,927
	동판 (Cooper I)	1,137
	성토량 (Soil)	53,210,400
	목재 (Pitch pine I)	121,786
	합판 (plywood)	46,034
	철선 못 (Steel wiredrawing and steel nails and spikes)	11,660
	경유 (Diesel I)	620,683
	윤활유 (Lubricating oil, at plant RERS)	18,152
	전력(Electricity MV use in UCPT E S)	134,610kWh
	Output	폐유 (Waste oil to special waste and emissions to treatment)
고철 (Recycling ECCS steel B250)		4,861.39
폐목 (Wooden poles to MWI U)		167,820
양수장 Input	콘크리트 (Concrete I)	2,453,196
	주철 (GG15 I)	202,251
	철근 (St13 I)	40,130
	구리합금 (Casting, Bronze/CH S)	4,000
	SUS (X10Cr13(mart 410) I)	2,000
	볼트 (Screwnagube oridycsm bolts)	1,587
	페인트 (Paint ETH S)	433
	형강 (Fe360 I)	165
	판유리 (Flat glass, coated, at palnt RAR S)	156
	철판 (ECC steel sheet)	120
	고무-EPDM (EPDM rubber ETH S)	93
	고무-SBR (SBR I)	49
윤활유 (Lubricating oil, at plant RERS)	15	

	경유 (Diesel I)	967
	전력 (Electricity MV use in UCPTE S)	761,850kWh
	소나무 (Pitch pine I)	134,330
	철선 (Steel wiredrawing and steel nails and spikes)	1,945
	합판 (Plywood, outdoor use, at plant/RER S)	16,586
Output	폐유 (Waste oil to special waste and emissions to treatment)	15
	고철 (Recycling ECCS steel B250)	516
	폐목 (Wooden poles to MWI U)	150,916
	금속류-주철 (GG15 I, X10Cr13(mart 410) I, GGG40 I)	332,300

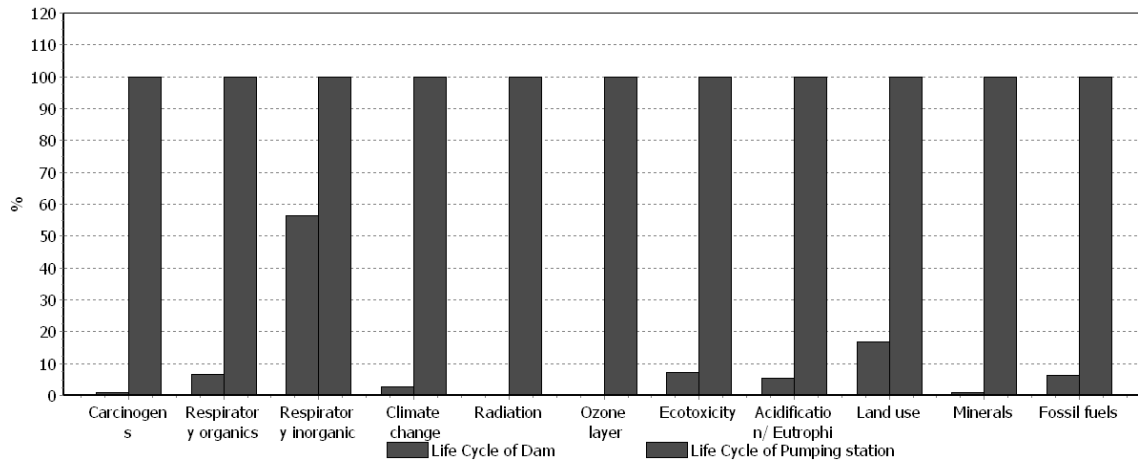


Fig. 3. Comparison of characterization result for refernce facilitie(reservoir) and pumping station

Fig. 4는 저수지의 단계별 특성화결과를 나타낸 것으로 방사성물질(radiation)을 제외한 10개 영향범주에서 건설단계의 영향이 주를 이루고 있음을 알 수 있다. 이는 여수토 축조를 위해 사용되는 콘크리트의 주성분인 시멘트와 철근에 기인하고, 방사성물질은 운영단계에서 전력사용에 기인하는 것임을 알 수 있다. 양수장의 단계별 특성화 결과를 보면, 11개 영향범주에서 사용단계의 영향이 주를 이루고 있음을 알 수 있다. 이는 용수공급을 위해 양수장 가동시 전력을 사용함으로써 전력생산에 의한 환경영향이다.

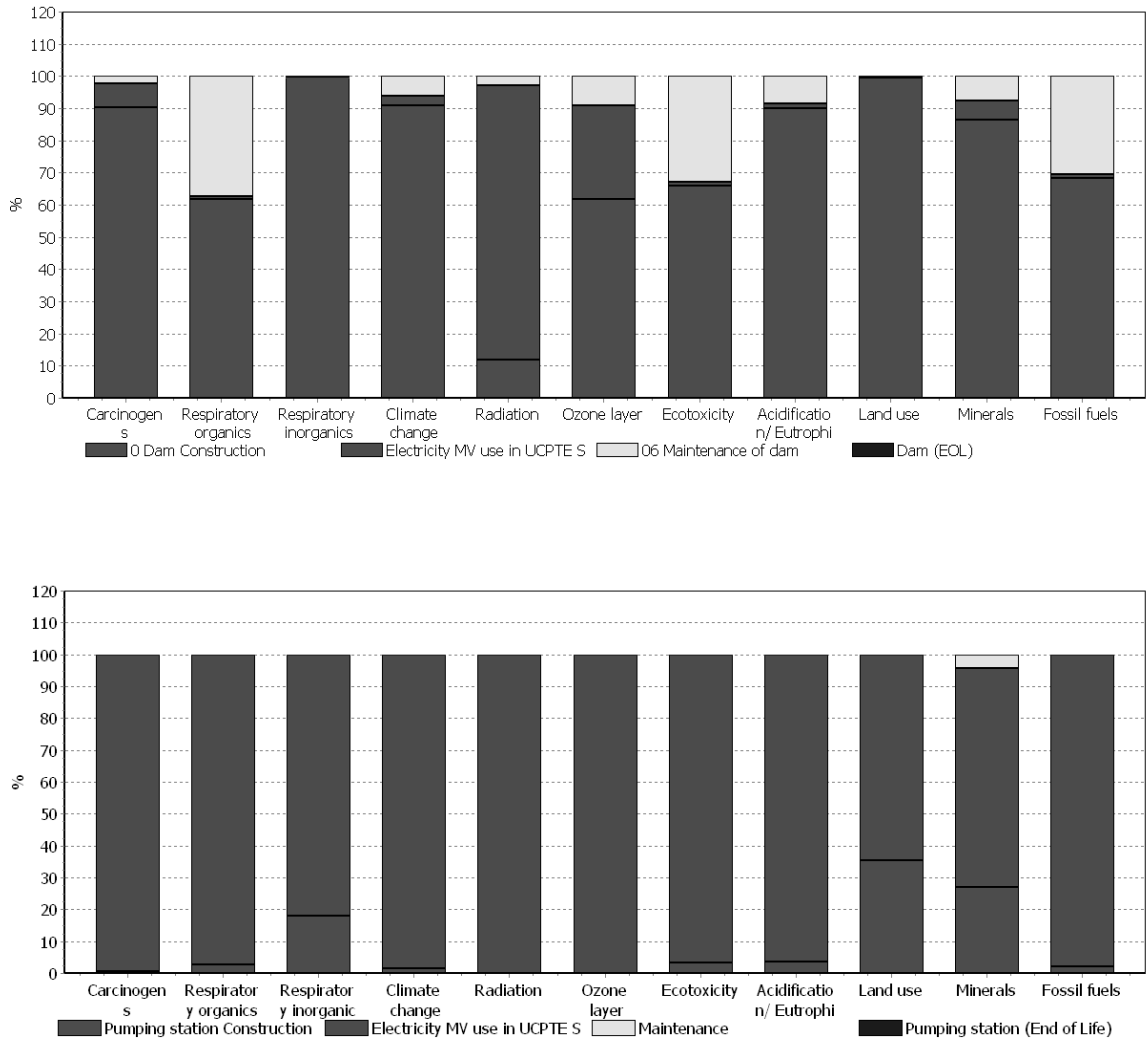


Fig. 4. Characterization results by phase (construction, maintenance, and end of life)

저수지와 양수장의 전과정 단계별로 단일지표로 계산된 환경 특성화 영향평가 결과, 저수지는 20,579,309 pt, 양수장은 95,762,522 pt로 양수장의 환경영향이 저수지에 비하여 약 5배 큰 것으로 분석되었다.

3.2 전과정 해석

본 연구에서는 데이터 품질요건, 데이터 수집방법, 데이터 계산방법 등 접근방법론의 일관성을 추구토록 하였다. Table 4는 입력데이터의 완전성 검사결과로, 기준시설과 비교시설간의 완전성 점검 결과는 각각 88.9%, 89.6%로 분석되었다. 중량기준의 완전성은 99.999%로 개별기준으로는 데이터의 완전성에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 이번 전과정평가가 두 시설간의 환경영향 비교이므로 데이터베이스 연결흐름이 약 1%정도 차이가 나기 때문에 평가결과의 정확성을 감소시키는 요인이 될 수 있다.

Table 4. Completeness test result for input data

Irrigation facility	Total input(No of flow)	Input connected to D/B(No of flow)	Completeness(%)
Dam	30,129,846kg (108)	30,129,478(96)	99.999 (88.9)
Pumping station	2,858,055kg (67)	2,858,028(60)	99.999 (89.6)

Table 5는 기여도분석 결과를 나타내는 표이고, 기준시설과 비교시설의 전과정 영향평가 (단일지수값) 결과 값을 토대로 물질별 기여도를 나타내었다. Table에서 보는 바와 같이 저수지에 기여도가 가장 큰 항목은 콘크리트(Concrete I)와 시멘트(Cement Portland)이고, 양수장에 기여도가 가장 큰 것은 전력사용인 것을 알 수 있다.

Table 5. Result of contribution analysis with single indicator

No	Dam		Pumping station	
	Process/material	Contribution	Process/material	Contribution
1	Concrete I	65.2	Electricity MV use in UCPT S	90.3
2	Cement (Portland) I	10.1	Concrete I	4.2
3	Diesel I	8.2	Pitch pine I	2.6
4	Energy gas I	3.8	Cement (Portland) I	0.6
5	Pitch pine I	3.1	Bulk carrier I	0.3
6	Barge I	1.7	Steel I	0.3
7	Truck I	1.4	Energy gas I	0.2
8	Energy oil I	1.3	Scrap (alum.) I	0.2
9	Electricity UCPT gas I	0.9	Plywood, outdoor useS	0.2
10	Electricity UCPT coal I	0.8	Crude oil I	0.2

기여도 분석결과 저수지의 경우 발암성물질, 방사성물질, 오존층 영향은 전력생산과 사용이 기여도가 가장 큰 것으로 나타났고, 유기성물질에 의한 호흡기질환, 화석연료 영향은 장비사용에 의한 경유사용이 가장 큰 영향인자로 기여하는 것을 알 수 있다. 양수장의 경우, 11개 영향범주 모두 전력사용이 기여도가 가장 큰 공정으로 분석되었다.

Table 6은 기여도 분석에 기초해 도출된 주요물질에 대해 민감도를 분석한 결과이다. 저수지 전과정에서 민감도 분석 대상 물질 및 공정은 콘크리트, 시멘트, 전력으로 선정하였고, 양수장의 경우 전력생산 및 사용, 콘크리트를 대상물질로 선정하여 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석은 탄성도(elasticity)로 표현되는데, 산출식은 아래와 같다.

$$E = \frac{Cr}{Cd}$$

여기서,

E : 탄성율

$$C_d (\%): \text{입력자료의 변화량} = \frac{\text{원데이터} - \text{새데이터}}{\text{원데이터}} \times 100$$

$$C_r (\%): \text{특성화값 변화량} = \frac{\text{원래특성화값} - \text{새특성화값}}{\text{원래특성화값}} \times 100$$

민감도 분석결과, 3개 투입물에 대해 기후변화를 비롯한 11개 환경영향범주 모두에서 소수점 5자리 이하의 탄성율 변화가 발생하였으며, 투입물질중 시멘트만이 투입량 대비 민감한 물질로 분석되었다.

Table 6. Sensitivity analysis for major inputs by impact categories

Elasticity of facilities	E (Dam)			E (Pumping station)	
Material	Electricity	Concrete	Cement	Electricity	Concrete
Impact category					
11 categories (Climate change, .., Fossil fuel)	1.00	1.00	1.37	1.00	1.00

4. 결론 및 제안

경기도 안성에 위치한 이동저수지와 은산양수장 두 종류의 농업수리시설에 대해 원료물질 취득 단계부터 건설, 운영, 유지관리 및 폐기단계까지의 전과정 환경영향을 분석·평가한 결과,

- 1) 두 종류의 시설 설치에 따른 토지이용, 상·하류의 생태적 영향, 중장비 등의 대기·소음 등이 고려되지는 않았지만, 저수지에 의한 농업용수 공급이 양수장에 의한 용수 공급보다 환경친화적이라고 볼 수 있다.
- 2) 저수지의 경우 건설단계의 환경영향이 크고, 양수장의 경우, 운영단계에 환경영향이 큰 것으로 분석되었다. 단계별로 환경영향은 저수지는 건설단계에 건설재료 예를 들어 레미콘, 시멘트 등이 환경부하를 크게 발생시키기 때문이고, 양수장은 이용 단계에서 용수공급을 위한 전기사용에서 기인하는 데, 이는 전력생산에 화석연료와 같은 자원소비가 많기 때문이다.
- 3) 이번 연구는 토목시설물중 농업용수 공급시설의 전과정에서 환경영향을 종합적으로 평가하는데 LCA가 활용되었다는 점에서 의의가 있으며, 향후 하드웨어적인 시설뿐만 아니라 농업용수 공급에 따른 전과정평가를 수행하고, 농업용수 LCI D/B 구축에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.
- 4) 향후과제로 저수지 건설에 따른 토지이용과 상·하류지역의 생태계 영향 등 다른 영향범주를 포함한 종합적인 전과정평가 수행이 필요하다. 특히, 토목공사의 전과정평가 수행에서 연료뿐만 아니라 중장비사용에 따른 연소시 대기영향이 중요한 환경부하이므로 배출계수를 이용한 지구온난화 영향 등을 포함하여 전과정환경영향을 평가할 필요가 있는 것으로 판단된다[16]. 또한 농업용 수리시설의 지속가능성을 검토하는데 있어서 환경적 측면 뿐만아니라, 경제적 측면에서 LCC(Life Cycle Cost)와 사회적 영향도 함께 고려할 필요가 있어 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 농촌개발시험연구과제인 “농업용수 공급시스템의 환경적 가치연구”의 지원을 받아 수행되었습니다.

Reference

- [1] 국토해양부, 제4차 수자원장기종합계획 제2차 수정계획(2011-2020)(2012).
- [2] 권순국, 김시원, 김태철, 남궁택, 최예환, 수리구조공학, 향문사, 수원, pp. 19(1995).
- [3] Udall, Stewart and Dominy, Floyd E., Design of small dams: a water resources technical publication Washington: USGPO(1965).
- [4] ISO, ISO14040: Life Cycle Assessment -Principles and Framework(2006).
- [5] 안종필, 박경호, 서재우, “LCA를 고려한 VE 및 LCC 사례분석”, 대한토목학회 정기학술대회, pp. 1086 - 1089(2005).
- [6] 서성원, 지재성, “건설산업에서의 LCA 적용 방법론”, 대한토목학회지, 48(1), 19-26(2000).
- [7] 황용우, “건설산업의 종합적인 환경부하 평가를 위한 LCA 필요성”, 대한토목학회지, 48(1), 13-18(2000).
- [8] 전호식, 신중수, 방기문, “친환경적 설계를 위한 전과정평가(LCA)”, 대우엔지니어링기술보 22 (1), 48-58(2006).
- [9] 김영득, “LCA of an earthfill dam”, University of Surrey MSc thesis, UK(2003).
- [10] 이시영, 변순주, 박상길, 조규혁, “전과정평가를 이용한 공공시설물의 환경부하량에 따른 환경영향평가에 관한 연구 : S-댐 비상여수로 건설사업 사례연구”, 대한토목학회, 56(5), 47-53(2008).
- [11] 김용연, 오금선, 박동학, “수돗물 생산 전과정의 환경성 평가”, 한국전과정평가학회지, 8(1), 41-51(2007).
- [12] 김영득, 박필주, “관개용 저수지 농업용수의 국가 전과정 목록분석 데이터베이스 구축”, 한국농공학회, 53(3), 59-64(2011).
- [13] ISO, ISO 14044: Environmental Management -Life Cycle Assessment -requirement and guidelines, ISO(2006).
- [14] 한국농어촌공사, Rural Infrastructure Management System, <<http://rims.ekr.or.kr/>> accessed at 2012.07.08.(2010).
- [15] PRe, The Eco-indicator 99: A damaged oriented method for Life Cycle Impact Assessment, the Netherlands, pp. 10, 11, 53(2001).
- [16] 김도균, “전과정 평가(LCA) 기법에 의한 강구조 교량과 콘크리트 교량의 환경성과 경제성의 기초적 비교”, 한국과학기술원 석사논문, 대전(1996).