하천 고무보 시스템의 규모별 전과정평가 특성 연구

Study on Characteristics of Life Cycle Assessment of River Rubber Dam System by Scale

박기학* · 김극태** · 황윤빈*** · 김서현**** · 김지호*****

Park, Kihak* · Kim, Keugtae** · Hwang, Yunbin*** · Kim, Seohyun**** · Kim, Jiho*****

Abstract

The aim of this study was to quantify the environmental impacts of dams, used for the control of riverine water resources, through life-cycle assessment techniques. The studied pneumatic and upright rubber dams had sizes of 500 mm (H) × 15,000 mm (L) and 2,000 mm (H) × 15,000 mm (L), respectively. The characterization values of the dams were compared in view of global warming. If the pneumatic and upright rubber dams both had sizes of 500 mm (H) × 15,000 mm (L), they would emit 5.365E + 05 kg CO₂-eq and 5.441E + 055 kg CO₂-eq, respectively. Meanwhile, if they both had sizes of 2,000 mm (H) × 15,000 mm (L), they would emit 2.193E + 06 kg CO₂-eq and 2.094E + 06 kg CO₂-eq, respectively. These results indicated that the environmental impact of dams can be strongly influenced by their size and construction method. In particular, their operating energy and the characteristics of their raw and subsidiary materials were the highest-ranked environmental impact factors in our sensitivity analysis. Therefore, in order to reduce greenhouse gas emissions, the environmental impact of river structures with a relatively long lifetime should be pre-evaluated when their construction is being planned.

Key words : Life Cycle Assessment, Rubber dam, Global Warming, Environmental Impacts

요 지

본 연구는 하천의 수자원 조절에 이용되는 보에 대한 환경영향을 전과정평가 기법을 이용하여 정량화 하였으며, 적용된 보의 규격은 각각 500 mm (H) × 15,000 mm (L), 2,000 mm (H) × 15,000 mm (L)로 공압식 고무보와 직립형 고무보이다. 지구온난화의 범주에서 특성화 값을 비교한 결과 500 mm (H) × 15,000 mm (L) 규격에서는 공압식고무보는 5.365E + 05 kg CO₂-eq, 직립형고무보는 5.441E + 055 kg CO₂-eq를 각각 배출하는 것으로 나타났으며, 2,000 mm (H) × 15,000 mm (L)의 경우에는 2.193E + 06 kg CO₂-eq, 직립형 2.094E + 06 kg CO₂-eq로 분석 서로 상반되는 결과를 보여 주었으며, 이는 고무보와 직립보의 규격과 건축방법이 환경영향에 가장 큰 영향을 주는 것을 의미하고 있다. 특히, 운전에너지와 원부자재가 환경영향 민감도 분석에서 가장 큰 영향인자로 나타났다. 따라서 하천구조물과 같이 내구년한 이 긴 시스템일수록 온실가스 저감을 위해서는 환경영향에 대한 사전평가가 고려되어야 한다.

핵심용어 : 전과정평가, 고무보, 지구온난화, 환경영향

*정회원, 수원대학교 환경에너지공학과 연구교수(E-mail: parkihak@naver.com)

Member, Research Professor, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

**교신저자, 정회원, 수원대학교 환경에너지공학과 조교수(Tel: +82-31-229-8355, Fax: +82-31-220-2533, E-mail: kktanaju@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

***수원대학교 환경에너지공학과 박사후연구원

Ph.D. Researcher, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

****수원대학교 환경에너지공학과 박사후연구원

Ph.D. Researcher, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

*****동부엔지니어링 수자원환경부 상무

Ph.D., Managing Director, Dongbu Engineering, Seoul, Korea

1. 서 론

우리나라는 2030년 Business as usual (BAU) 37%국가 온실가스 감축목표를 설정하여 국제사회의 신뢰와 리더십 회복을 회복하고 2020년 국가 온실가스 감축목표 수립 및 제15차 UN 기후변화협약당사국총회(COP15)를 통해 국제사회에 약속(09.11)하였다. 이에 국가는 기후변화 대응 국제협력 확대의 노력과 더불어 지자체는 도시기본계획, 환경보전종합계획 등 장기적 계획과정에서 기후변화 대응 노력을 기울여야 하는 역할을 부여하고 있다.

국토해양부는 2010년 7월 중앙하천관리위원회에서 기후변화에 대한 수자원분야의 ‘미래 수자원 전략’이라는 정책방향을 발표하였고, 국가기후변화 적응대책을 수립함으로써 건강, 재난·재해, 물관 등 적응대책과 기후변화 예측·감시 등 적응대책을 수립하고 있다. 특히 기후변화에 대비한 수자원 관리를 위해 극한홍수 대비, 이상기온 대비, 전기간 맑은 물이 흐르는 하천환경을 정책목표로 제시하였으며 비상시에도 광역상수도, 지방상수도, 농업시설을 상호 연결하여 비상급수 체계를 구축하여 운용할 계획을 수립하고 있다. 이에 따라 하천의 수량을 조절하는 보의 기능은 기후변화에 능동적으로 대처할 수 있으며, 계획수립시 저에너지 공법의 기술이 요구되어 지고 있다.

지구온난화의 가속화는 기후변화를 야기하며, 극심한 가뭄, 홍수 등 자연재해로 이어져 국민에게 많은 불편함을 만들고 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change 제5차 평가 보고서(IPCC, 2013)에서는 21세기 말(2081~2100년) 지구 평균기온은 1986~2005년에 비해 3.7℃ 오르고 해수면은 63 cm 상승할 것으로 전망함에 따라 증발량의 증가, 지역별 계절 강수량 차이, 강우횟수 변화, 지역별 연유출량의 변화 등의 현상을 불러오고 있다.

향후 2090년에는 강우강도가 증가하여 현재보다 1일 100 mm이상 강우횟수가 2.7배 증가하고 100년 빈도 홍수량은 20%, 가뭄발생 기간은 3.4배 증가할 것으로 예측되는 등 물관리 여건은 더욱 어려워질 것으로 전망된다(MLTM, 2010). 21세기 중반에는 우리나라를 비롯하여 중위도 지역의 하천유량이 10~30% 감소할 것으로 예측하고 있다. 우리나라의 경우 2~3년 마다 지역적 가뭄이 반복 발생해 왔으며, 기존의 가뭄은 주로 계곡수나 지하수를 수원으로 사용하는 산간, 도서지역에서의 농업용수나 생활용수가 부족해 불편을 겪는 수준이었으나, 최근에는 지난 2년 연속 마른장마가 이어진 충남서부지역을 비롯한 여러 지역에서 유례없는 극심한 물부족을 겪는 등 가뭄으로 인한 물부족이 심각한 상황이다. 수자원은 다른 자원과 달리 대체제가 없기 때문에 미래 수자원 확보는 국가 기후변화 대응뿐만 아니라 국가안보 차원에서 반드시 필요하며 수자원 활용에 관한 연구 및 기술개발이 절대적으로 필요한 상황이다.

2. 연구 개요 및 방법

2.1 전과정평가(LCA) 개요

전과정평가(LCA)는 ISO 14040시리즈의 기술적 근간을 이루고 있으며 대상 시스템의 전과정(life cycle; 원료획득, 운송, 생산, 사용, 폐기 및 재활용)에 대한 투입물과 산출물의 정량적 목록을 작성하고, 잠재적 환경영향을 평가하는 방법으로 방법론이 표준화, 규격화 되어있다. LCA는 상호 연관된 네 가지의 요소(목적 및 범위 설정, 목록분석영향평가, 결과 해석(Interpretation))로 구성되어 있다.

전과정평가는 제품중심으로 시작되어 제품의 환경성적을 공개하고 기존제품 대비 친환경 제품임을 인증받고자 하는데 많이 이용되고 있으나, 최근 들어 건설부문 및 교량건설, 하천 및 댐 등 수자원시설 등에 다양하게 적용되어 인프라 건설에 확대되고 있는 상황이다. 특히 제품 및 건설공사에서 전과정에 걸친 온실가스발생량을 사전에 비교 평가 함으로써 지구온난화의 예방 효과 및 배출권거래제의 예상 수익창출 방법으로도 활용되어 지고 있다.

2.2 LCA 절차 및 분석방법

2.2.1 목적 및 범위정의(Goal and scope definition)

목적 및 범위정의단계에서는 LCA 수행으로 얻어지는 결과의 사용목적과 어느 정도의 구체성, 전제조건, 범위로 수행하는 가 등을 결정하는 단계이다. 구체적으로 목적정의, 기능(Function)의 선택, 기능단위(Functional Unit), 기준흐름(Reference flow), 초기 시스템 경계설정, 데이터 품질요건, 영향의 종류 및 영향평가 방법론 정의 등이 있다.

본 연구에서는 공압식 고무보와 직립형 고무보를 비교 분석하였으며, 500 mm(H) × 15,000 mm(L) 규격과 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 규격의 보를 설치하여 20년간 운전하는 것을 가정하였다. 이때 원부자재의 생산에 따른 환경부하와 운영시 소요되는 전력에 대한 환경영향을 포함하였다. 국토해양부 수자원개발 사업의 목표연도는 최소 20년 이상으로 본 연구의 분석기간을 20년으로 가정하여 분석하였다(MLTM, 2011). 가정 및 제한사항으로는 원부자재의 수송 및 건설시 소요되는 건설장비 유류 사용량 및 가설전기 에너지는 제외하였다.

2.2.2 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)

선정된 시스템을 대상으로 해당 시스템에 투입되는 에너지 및 원료 그리고 배출되는 제품, 부산물, 오염물질 등의 종류와 양을 파악하여 정량화하는 과정이다. 공정도 작성(단위공정: 데이터 수집의 최소단위), 데이터 수집 및 처리, Gate to Gate 목록표 구축, 전과정목록표(LCI) 구축 등의 단계를 거친다.

본 연구에 적용된 직립형고무보는 고무 본체를 비롯하여

스틸패널, 볼트 등이 건설시 사용되며 20년간 운전전력은 500 mm(H) × 15,000 mm(L)일 때 1,051,200 kWh 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 3,504,000 kWh가 소요된다. 이를 근거로 전과정평가를 수행하였으며 원부자재의 소요량은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Inventory Analysis of Upright Rubber Dam

Materials	size	
	500 mm × 15,000 mm	2,000 mm × 15,000 mm
rubber body (kg)	2,081.2	25,077.6
Steel panel (kg)	4,330.7	82,913.2
Embedded plate (kg)	51.4	109.3
Clamping plate (kg)	45.6	171.5
Anchor Bolt (kg)	5.5	58.7
electric power (kWh)	1,051,200	3,504,000

공압식 고무보는 고무본체, 보호커버, 패널 및 볼트 등이 건설시 원부자재로 투입되며, 소요전력은 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)일 경우 4,204,800 kWh 사용된다. 이에 대한 목록분석은 Table 2에 제시하였다. 500 mm(H) × 15,000 mm(L)규격에서는 소요되는 전력량이 동일한 것으로 제시되었으며 원부자재의 변화에 따른 환경영향을 비교 평가하였다.

Table 2. Inventory Analysis of Pneumatic Rubber Dam

Materials	size	
	500 mm × 15,000 mm	2,000 mm × 15,000 mm
rubber body (kg)	2,426.9	2,0791.5
rubber cover (kg)	875.5	3,121.5
Steel panel (kg)	-	-
Embedded plate (kg)	168.3	305.9
Clamping plate (kg)	227.0	898.4
Anchor Bolt (kg)	15.8	65.8
electric power (kWh)	1,051,200	4,204,800

2.2.3 전과정 영향평가(Life Cycle Assessment)

목록분석에서 얻어진 에너지 및 자원소요량과 배출물이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 기술적, 정량적, 그리고 경우에 따라 정성적으로 파악하고 평가하는 단계이다. 분류화, 특성화, 정규화, 가중치부여 단계를 거쳐 환경으로의 영향을 평가한다. 본 연구에서는 분류화, 특성화, 가중치부여의 결과를 제시하였으며 지구온난화의 관점에서 환경영향범주를 해석하였다. 본 연구에서 적용된 특화화 및 가중치

부여의 평가 관계식은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

특성화란 영향범주내로 분류된 항목들이 각각의 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 과정으로 목록항목 j 가 영향범주 i 에 미치는 영향의 크기를 CI_{ij} 라 정의하면,

$$CI_{i,j} = Load_j \cdot eqv_{i,j} \quad (1)$$

여기서,

$Load_j$ = j th 목록항목 환경부하량, g/f.u.,

f.u. = functional unit, 기능단위,

eqv_{ij} = i 라는 영향범주에 속한 j th 목록항목의 특성화 계수 값 (Equivalency factor), g-eq/g.

특정 영향범주 i 로 분류된 모든 목록항목들이 소속된 영향범주에 미치는 영향의 크기(CI_i)는 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$CI_i = \sum_j CI_{i,j} = \sum_j (Load_j \cdot eqv_{i,j}) \quad (2)$$

가중치부여는 서로 다른 영향범주에 대한 주관적인 평가를 수반하고 있으며, 특성화된 환경영향에 ith 영향범주의 상대적인 중요도 V_i 를 곱하면 시스템 i 라는 영향범주에 미치는 환경영향을 Eq. (3)과 같이 구할 수 있다.

$$I_i = C_i \cdot V_i \quad (3)$$

여기서,

I_i = ith 영향범주의 상대적인 중요도가 고려된 ith 영향범주에 미치는 시스템의 환경영향,

V_i = ith 영향범주의 상대적인 중요도.

시스템 전체의 환경영향은 모든 영향범주의 환경영향을 합하여 전체 환경영향이 평가되어 진다.

$$TI = \sum_i I_i = \sum_i (C_i \cdot V_i) \quad (4)$$

여기서,

TI = 시스템 전체의 환경영향

2.2.4 전과정 해석(Interpretation)

전과정 목록분석과 전과정 영향평가 단계의 결과를 기초로 한 주요 이슈의 규명하는 단계로 완전성, 민감도, 일관성 검사들을 고려하는 평가와 연구의 목적 및 범위에 부합하도록 결과를 제시한다. 본 연구에서 적용된 지구온난화지수 (Global Warming, GW)는 g CO₂-eq/g로 표현되며 IPCC

1996 (100 years)가이드라인 기준으로 분석하였다.

2.3 선행 연구 사례

Kim and Ahn (2007)은 전과정평가를 이용하여 하천 호안 공법의 환경성을 정량화 하였고, 하천 호안공법의 종류와 공법에 사용되는 원부자재에 대한 전과정평가를 분석하였다. 돌망태 공법 및 옹벽, 방틀 공법에 환경영향을 분석하였고 단위중량당 환경영향을 제공함으로써 자연형 하천 설계에 친환경적 자재를 선택 할 수 있도록 연구하였다.

Pyo et al. (2014)은 고도 하수처리장의 전과정평가를 수행 하였으며, 기존 표준활성슬러지공법의 고도처리공법으로 의 증설 및 새로운 하수슬러지 처리공법에 대한 환경성을 비교 분석 하였다. 하수처리 및 슬러지 처리공법은 Anaerobic/Anoxic/Oxic (A2O) 공법과 퇴비화로 환경에 가장 큰 영향을 미치는 conventional activated sludge (CAS) 공법과 매립에비해 환경영향을 52% 줄일 수 있다는 결과를 전과정평가를 이용해 도출 한 바 있다.

Cho et al. (2016)은 LCA 기반 PSC교량의 환경부하 특성 연구를 하였고, “탄소배출권 거래제”로 인해 각 분야에서 환경문제에 대응하고자 하였다. 환경부하량 평가에 어려운 건설분야 중 PSC beam 교량의 시공중 발생하는 환경부하량을 전과정 평가기법을 이용하여 총 34개의 교량은 분석한 결과 건설 자재별 환경부하량은 레미콘(53.3%), 선재(9.6%), 철근(7.8%), 시멘트(6.8%) 합관(5.5%), 순으로 도출하였다. LCA를 활용하여 기획 및 설계단계에 도입함으로써 환경부하를 고려한 의사결정 제공 방안으로 제시하고 있다.

Jung and Kim (2015)은 전과정평가를 이용하여 정수장의 환적유하 저장방안에 대해 연구를 수행하였다. 전과정평가를 기반으로한 환경부의 환경성적표지제도의 6가지 영향범주에 대해 분석하였으며 CO₂가 전체 배출의 97.2%를 차지하였으며, 건설단계에서 99.9%, 운영, 해체 및 재활용단계에서 0.1%의 환경부하가 발생하는 것으로 단계별 환경영향을 정량화 하였다.

2.4 연구대상의 특징 및 구성

2.4.1 공압식 고무보

본 연구에 적용된 공압식 고무보는 접합부가 없는 무접합 고무본체로 내구성을 향상하고, 외부충격에 의한 고무본체 파손을 방지하는 보호커버를 직용하고 있다. 본 연구에 적용된 공압식 고무보는 500 mm(H) × 15,000 mm(L) 고무본체두께 9.0mm, 본체부 강도 100 kN/m 이상, 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 고무본체 두께 12 mm 본체부 강도 290 kN/m 이상 2개의 규격을 평가하였다. 공압식 고무보의 구성은 Fig. 1과 같이 고무본체, 보호커버, 임베디드 플레이트, 앵가볼트, 클램핑 플레이트, 공기배관, 응축수 배관 등으로 구성되어지며 공기이송설비 및 제어설비를 갖추고 있다.

Fig. 1. Structure of Pneumatic Type

2.4.2 직립형 고무보

장기신장을 저감으로 보강포와 고무본체의 박리현상 방지하고 가동보의 외측을 스틸패널로 보호하여 고무본체의 파손을 방지하는 기능을 갖고 있다. 가동보의 기립각을 기존 55~58°에서 90°로 향상시켜 소요 자재량을 20% 감소하는 특징이 있다. 직립형 고무보는 고무본체, 스틸패널, 임베디드 플레이트, 앵가볼트, 클램핑 플레이트, 공기배관, 응축수 배관 및 공기이송설비 와 제어설비로 구성되어 있다. 500 mm(H) × 15,000 mm(L) 두께 11.0mm, 본체부 강도 110 kN/m 이상 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 고무본체 두께 18 mm 본체부 강도 400 kN/m 이상 2개의 규격을 평가하였다. Fig. 2는 직립형 고무보의 구성을 나타낸 그림이다.

Fig. 2. Structure of Upright Type

3. 연구 결과

3.1 고무보 500 mm × 15,000 mm

고무보 5500 mm(H) × 15,000 mm(L)를 공압식과 직립형의 환경영향을 분석한 결과 지구온난화의 경우 공압식은 5.365E+05kg CO₂-eq, 직립형 고무보는 5.441E+055kg CO₂-eq를 각각 배출하는 것으로 나타났다. 8개 범주 중 환경부하 발생량 지수는 공압식고무보가 2.84E+01Pt, 직립형 고무보가 2.88E+01Pt (Table 3 참조)로 평가되어 Table 4와 같이 공압식고무보가 환경영향이 적은 것으로 나타났다.

Table 3. Characterization Results (500 mm × 15,000 mm)

Impact category	Unit	pneumatic type	upright type
ADP	1/yr	2.004E+03	1.993E+03
AP	kg SO ₂ -eq	9.634E+02	9.519E+02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	1.725E+02	1.730E+02
GWP	kg CO ₂ -eq	5.365E+05	5.441E+05
HTP	kg 1,4 DCB -eq	6.084E+03	2.602E+04
ODP	kg CFC11-eq	3.164E-03	7.191E-03
POCP	kg ethylene-eq	3.890E+02	3.808E+02
TETP	kg 1,4 DCB-eq.	8.476E-01	8.246E+00

ADP (Abiotic Resource Depletion potential)

AP (Acidification potential)

EP (Eutrophication potential)

GWP (Global Warming potential)

HTP (Human Toxicity potential)

ODP (Ozone Depletion potential)

POCP (Photochemical Oxidant Creation potential)

TETP (Terrestrial ecotoxicity potential)

Table 4. Comparison of Environmental Impact (500 mm × 15,000 mm)

Effect category	pneumatic type	upright type
GWP	2.79E+01	2.83E+01
Environmental impact (EI)	2.84E+01	2.88E+01

공압식 고무보의 지구온난화에 미치는 영향은 전력에 의한 환경영향이 97.02%로 나타났으며, 고무사용량에 의한 영향은 2.73%가 기여하는 것으로 분석되었다. 또한 직립형 고무보의 경우 전력사용에 의한 환경영향이 95.66%로 나타났으며, 스틸패널에 의한 영향이 2.57% 기여하는 것으로 분석되었다(Table 5 참조). 이는 하수처리장 및 건축물에서 나타나는 특성과 매우 비슷하며, 에너지를 사용하는 자동차 및 가전기기에다 유사한 경향을 나타내고 있다. 이는 설비 및 구조물을 생산 또는 건설할 때 소요되는 원부자재 생산에

의한 환경영향 보다 운영중일 때 에너지의 사용량에 의한 환경영향이 절대적이라고 해석할 수 있다. 따라서 유지관리 기간이 길고 에너지 사용 내구년한이 길수록 환경영향발생량을 사전에 파악함으로써 기후변화에 능동적인 가동보를 설계 할 수 있을 것이다.

Table 5. Comparison of Characterization Results

GWP kgCO ₂ -eq/kg	500mm pneumatic type	500mm upright type
rubber body	1.09E+04 (2.03%)	9.36E+03 (1.72%)
rubber cover	3.94E+03 (0.73%)	-
Steel panel	-	1.40E+04 (2.57%)
Embedded plate	4.98E+02 (0.13%)	1.52E+02 (0.03%)
Clamping plate	6.72E+02 (0.09%)	1.34E+02 (0.02%)
Anchor Bolt	5.11E+01 (0.01%)	1.62E+01 (0.00%)
electric power	5.21E+05 (97.02%)	5.20E+05 (95.66%)
Total	5.365E+05 (100%)	5.441E+05 (100%)

3.2 고무보 2,000 mm × 15,000 mm

2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)규격의 공압식과 직립형 고무보의 지구온난화지수를 포함한 8개 범주의 환경영향 지수는 공압식 고무보가 1.16E+02Pt, 직립형 고무보가 1.11E+02Pt로 분석되었다. 세부적으로 특성화 값을 비교하여 볼 때 공압식 고무보는 2.193E+06 kg CO₂-eq로 나타났으며, 직립형 고무보는 2.094E+06 kg CO₂-eq로 분석되어 직립형 고무보가 환경영향이 적은 것으로 나타났다(Tables 6, 7 참조).

Table 6. Characterization Results (2,000 mm × 15,000 mm)

Impact category	Unit	pneumatic type	upright type
ADP	1/yr	8.612E+03	8.645E+03
AP	kg SO ₂ -eq	4.116E+03	3.936E+03
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	7.168E+02	6.848E+02
GWP	kg CO ₂ -eq	2.193E+06	2.094E+06
HTP	kg 1,4 DCB -eq	3.462E+04	4.709E+05
ODP	kg CFC11-eq	2.075E-02	1.237E-01
POCP	kg ethylene-eq	1.648E+03	1.463E+03
ET	kg 1,4 DCB-eq.	2.98E+00	1.545E+02

Table 7. Comparison of Environmental Impact (2,000 mm × 15,000 mm)

Effect category	pneumatic type	upright type
GWP	1.14E+02	1.09E+02
Environmental impact (EI)	1.16E+02	1.11E+02

물질별로 살펴볼 때 공압식고무보는 전력에 의한 온실가스 배출량이 2.08E+06 kg CO₂-eq로 전체 배출량의 94.94%를 차지하고 있었으며, 직립형의 경우 전력사용에 의한 온실가스 배출량은 1.74E+06 kg CO₂-eq로 전체 배출량 기여도 중 82.86%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 8 참조).

Table 8. Comparison of Characterization Results

GWP kgCO ₂ -eq/kg	2,000mm pneumatic type	2,000mm upright type
rubber body	9.35E+04 (4.26%)	1.128E+05 (5.93%)
rubber cover	1.40E+04 (0.64%)	-
Steel panel	-	2.453E+05 (11.71%)
Embedded plate	2.66E+03 (0.12%)	5.544E+02 (0.03%)
Clamping plate	9.05E+02 (0.04%)	3.234E+02 (0.02%)
Anchor Bolt	2.13E+02 (0.01%)	1.737E+02 (0.01%)
electric power	2.08E+06 (94.94%)	1.74E+06 (82.86%)
Total	2.193E+06 (100%)	2.094E+06 (100%)

3.3 고무보의 환경영향 종합 결과

공압식 고무보와 직립형 고무보를 각각 규모별로 환경영향을 전과정평가 기법으로 분석한 결과 500 mm(H) × 15,000 mm(L), 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 일때 서로 환경영향 달라지는 것을 알 수 있다.

Table 9에 따르면 보의 규모가 500 mm(H) × 15,000 mm(L)의 경우 공압식 고무보가 환경영향 및 지구온난화에 미치는 영향이 적었으며, 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)의 경우에는 직립형 고무보가 환경영향이 적게 나타나는 것으로 분석되었다.

공압식 고무보와 직립형 고무보에 투입되는 물질차이는 고무덮개 및 스틸패널의 유무이며, 그밖에 사용되는 원부자재는 거의 흡사하다. 그러나 규모가 증가할수록 이 두물질의 양이 상대적으로 증가하게 되며 환경부하 발생량에 변수로 작용하였다.

전체 운영기간 20년 기준으로 분석한 결과 전력 사용에 의해 지구온난화에 미치는 영향이 규모에 관계없이 매우 높을 것을 알 수 있었으며, 물질별로 살펴볼 때 규모가 커짐에 따라 고무사용량의 증가량 보다 스틸사용량의 증가가 환경영향에 더 크게 미치는 것으로 분석되었다. 이는 재질별 환경영향을 고려하여 설계 시공시 원부자재의 선택이 중요하다고 판단할 수 있다(Fig. 3 참조).

Table 9. Comparison of Environmental Impact

Environmental impact (EI)	pneumatic type	upright type
500 mm × 15,000 mm	2.84E+01	2.88E+01
2,000 mm × 15,000 mm	1.16E+02	1.11E+02

Fig. 3. Comparison of Environmental Impact of Type

고무보 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)이 20년간 배출한 온실가스발생량을 KAU19 (Korea Allowance Unit) 25,500 원/톤을 적용하여 살펴보면 공압식 고무보는 약 49.34백만 원, 직립식 고무보는 47.12백만 원이 소요되는 것으로 분석되었다. 가뭄과 홍수의 조절에 적용되는 고무보의 형식 및 공법선택에 있어 보의 기능은 물론 환경적인 요소와 경제적인 요소까지 고려하여 최적설계를 할 필요가 있다. 또한 수자원 구조물의 경우 내구년한이 길어 초기의 원부자재 선택과 운전시 소요되는 전력, 유지보수 관계를 살펴 계획 수량과 하천의 상황을 고려하여야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구는 하천의 수위 조절에 이용되는 보에 대한 환경영향을 전과정평가 기법을 이용하여 정량화 하였다. 연구에 적용된 보의 규격은 각각 500 mm(H) × 15,000 mm(L), 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)로 공압식 고무보와 직립형 고무보를 비교하였다.

500 mm(H) × 15,000 mm(L) 공압식 고무보의 온실가스 배출량은 5.365E+05kg CO₂-eq, 직립형 고무보는 5.441E+05kg CO₂-eq를 각각 배출하는 것으로 나타났다.

2,000 mm(H) × 15,000 mm(L) 공압식 고무보는 2.193E+06 kg CO₂-eq로 나타났으며, 직립형 고무보는 2.094E+06 kg CO₂-eq로 분석되어 규모에 따라 환경영향이 달라지는 것을 확인 할 수 있었다.

즉, 500 mm(H) × 15,000 mm(L) 공압식 고무보가 2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)은 직립형 고무보가 환경부하 발생량이 적은 것으로 분석되었다.

또한 환경부하 발생량 중 가장 큰 영향을 미치는 인자는 전력의 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 가장 큰 것으로 나타나 수자원 시설의 경우 화석연료로 기인한 에너지원 보다 신재생 에너지의 활용이 적극 유도되어야 할 것이다. 보의 규모가 커질수록 공압식 고무보에서 사용되는 고무의 증가량과 직립식 고무보에 사용되는 스틸의 양을

살펴본 결과 스틸의 사용량이 온실가스 배출량에 민감하게 작용하여 원부자재의 선정시 재질의 특성을 고려한 설계가 이루어 져야 할 것이다.

2,000 mm(H) × 15,000 mm(L)에서 온실가스 배출량을 비용분석한 직립식 고무보로 설계할 경우 2.23백만원의 경제적 이익을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

하천 규모에 따른 보 건설시 운영기간을 고려하여 환경영향을 예측하고 적용함으로써 기후변화의 가속화에 능동적으로 대응함은 물론 경제적 이익도 동시에 추구 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950002).

References

- Cho, N.H., Yun, W.G., Lee, W.R., and Kim, K.J. (2016). An analysis of the characteristics of environmental impact for PSC beam bridges using life cycle assessment. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 2, pp. 297-305.
- Hwang, Y.B., Park, K.H., Kim, S.H., Kang, H., and Kim J.H. (2018). Use of a rubber dam system in consideration of climate change. *Journal of Climate Change Research*, Vol. 9, No. 4, pp. 319-324.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate change 2013 : The physical science basis*.
- Jung, D.H., and Kim, S.K. (2015). A study on an environmental-load reduction plan for a purification plant using life-cycle assessment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 1, pp. 377-389.
- Kim, I.J. et al. (2011). *The assessment of the vulnerabilities in water management systems and formulation of water security strategy III*. Report No. 2011-09, Korea Environment Institute.
- Kim, K.I., and Ahn, W.S. (2007). Study on the environmental quality assessment of river revetment technique by life-cycle-assessment. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 40, No. 6, pp. 485-494.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2010). *Future water resources strategy for climate change*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011). *Dam design standards*.
- Pyo, S.E., Kim, M.J., Lee, S.C., and Yoo, C.K. (2014). Evaluation of environmental and economic impacts of advanced wastewater treatment plants with life cycle assessment. *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 52, No. 4, pp. 503-515.
- Shim, S.B. (2013). National water strategy for response to climate change. *KNCOLD Magazine*, Korea National Committee on Large Dams, No. 37, pp. 28-35.
- Yeo, W.K. et al. (2011). *A planning study on the river operation and management for climate change adaptation*. R&D Report, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

Received	September 30, 2019
Revised	October 1, 2019
Accepted	October 22, 2019