

## LCA를 이용한 교량용 포트받침 환경영향 및 물발자국 분석

박지형\* · 위대형\*\* · 고광훈\*\*\* · 황용우\*\*\*\*

Park, Jihyung\*, Wie, Daehyung\*\*, Ko, Kwanghoon\*\*\*, Hwang, Yongwoo\*\*\*\*

### Environmental Impact and Water Foot Print Assessment of Pot Bearing Using Life Cycle Assessment (LCA)

#### ABSTRACT

In this research, LCA analysis of the manufacturing process of pot bearing for fixed, movable in all directions, movable in one direction was carried out to analyze the environmental load using the LCA methodology. Especially, the water footprint that has been and issue in recent years was analyzed. As a result of LCA, it was analyzed that the contribution of the plate was more than 64.2% in all of the six impact categories in the case of fixed pot bearing base, and more than 94% in the category of resource depletion and photochemical oxidant creation. In the case of all direction pot bearing and one direction pot bearing, the contribution of PTFE was the highest in the global warming and stratospheric ozone depletion, and the contribution by the plate was higher in the other impact categories. The water footprint of each type of pot bearing was analyzed as 22.4m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/kg for one direction pot bearing, 17.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/kg for fixed pot bearing, and 14.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/kg for all direction pot bearing. As a result of life cycle analysis, the contribution of water use in manufacturing was more than 65% in all three types. The results of this study can be used as basic data for decision making in construction method and material selection of bridges in the future.

**Key words** : Pot bearing, LCA (Life cycle assessment), Water footprint, Environmental impact

#### 초 록

본 연구에서는 전과정평가 방법론을 활용하여 고정단, 일방향, 양방향 교량용 포트받침의 제조 공정에 대한 LCA 분석을 수행하여 각각의 대한 환경부하를 분석하였으며, 특히 최근 국내외적으로 이슈가 되고 있는 물발자국에 대한 분석을 수행하였다. LCA 분석 결과 고정단 포트받침의 경우 6대 영향범주 모두에서 후판에 의한 기여도가 64.2% 이상으로 분석되었으며, 특히 자원고갈 및 광화학적산화물생성 영향범주에서는 94% 이상의 기여도를 갖는 것으로 분석되었다. 일방향 및 양방향 포트받침의 경우 지구온난화 및 오존층 영향범주에서는 PTFE의 기여도가 가장 높게 분석되었으며, 그 외의 영향범주에서는 후판에 의한 기여도가 높게 나타났다. 포트받침 1개 제조시 형식별 물 이용가능 발자국 분석결과 일방향 22.4m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/ea, 고정단 17.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/ea, 양방향 14.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/ea 으로 분석되었다. life cycle 단계별 기여도 분석결과 3가지 유형 모두 제조단계의 용수 사용으로 인한 기여도가 65% 이상으로 분석되었다. 본 연구결과는 향후 교량 설계 및 시공단계의 공법 및 자재 선택시 의사결정 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**검색어** : 교량용 포트받침, 전과정 평가, 물 발자국, 환경영향

\* 정회원 · 인하대학교 환경안전융합 박사과정 (Inha University · mil0403@naver.com)

\*\* 정회원 · 인하대학교 환경연구소 선임연구원 (Inha University · dnleogud@naver.com)

\*\*\* 인하대학교 환경안전융합 박사과정 (Inha University · kwanghoon.ko@lge.com)

\*\*\*\* 교신저자 · 인하대학교 환경공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Inha University · hwangyw@inha.ac.kr)

Received August 9, 2018/ revised September 10, 2018/ accepted October 15, 2018

## 1. 서론

국내 건설업은 대규모의 에너지와 자원이 투입되는 산업으로 일반 제조업보다 더 많은 환경영향을 나타내며 국제적인 환경영향 최소화 흐름에 맞추어 건축자재의 제조 및 사용 시 발생하는 환경부하를 저감하기 위해 환경영향 발생량을 정량화하는 것이 필요하다(Hwang, 2000). 특히 인구증가 등의 이유로 물 사용량이 증가함에 따른 물 부족현상 및 수질오염이 전 세계적인 이슈로 부각됨에 따라, 세계 각 국가의 산업분야에서는 물발자국 연구를 통해 제품생산과 사용에 따른 물 고갈 및 오염의 정량적 평가에 대한 요구가 증대되고 있다(Kim et al., 2015).

교량 구조물에서의 교량 받침은 교량의 상부구조 그리고 하부구조와 더불어 교량의 3대 요소에 속하는 중요한 요소로 교량의 상부 구조물과 하부 구조물인 교각 사이에 위치하여 상부 하중에 저항하고 상시 및 지진시 수평력과 이동량을 수용하는 역할을 한다. 포트받침은 강합성형교, PSC, Box Girder교 등의 교량에 적용 가능하며 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 교량받침 중에 하나로 그 기능에 따라 일방향 포트 받침, 고정 포트 받침, 양방향 포트 받침으로 구분된다. 최근 들어 국내 지진 발생 빈도 및 규모의 증가로 인한 내진 설계에 대한 중요성이 점차 증대되고 있으며, 면진 규제 강화에 의해 교량용 포트받침 수요는 증가할 것으로 예상되나, 현재 교량용 포트받침의 국내 환경영향 및 물발자국에 대한 분석결과는 부재한 실정이다.

이에 본 연구에서는 교량공사 시에 많이 사용되고 있는 포트받침 형태별 일방향 포트 받침, 고정 포트 받침, 양방향 포트 받침에 대한 LCA 분석을 통해 형태별, 물질별 기여도를 비교하고 영향평가 결과를 도출하였으며, 물 발자국 분석을 통해 형식별, Life cycle 단계별 물발자국 결과를 제시하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서 적용한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 방법은 국제표준인 ISO 14040 (Life cycle assessment, 원칙 및 기본구조)을 준용하여 적용하였다. LCA는 제품의 전과정(원료 채취, 원료수송, 제조, 제품수송, 유통, 사용, 폐기)에서 발생하는 물질 및 에너지, 스크랩, 폐기물의 양을 정량하여 이에 따른 환경적인 영향을 총체적으로 평가하는 것으로 LCA의 구성요소인 목적 및 범위 설정, 목록분석, 영향평가, 결과해석의 절차에 따라 분석을 수행하였다(Hwang et al., 2017). 목록분석 및 영향평가 수행시에는 환경부 LCA 공용 프로그램인 TOTAL의 최신 버전(5.1.0V)을 이용하였으며, 영향평가기 환경성적표지 방법론을 이용하여 6대 영향범주(자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층과괴,

광화학산화물생성)에 대한 특성화 및 가중화 값 분석결과를 제시하였다. LCA 수행을 위한 LCI DB (Life Cycle Inventory Database)는 국가 LCI Database 정보망(Korea LCI Database Information Network)에서 제공하는 국가 LCI DB를 이용하였으며, 국가 LCI DB 부재시 Ecoinvent 2.2V의 해외 LCI DB를 이용하여 신뢰성을 향상시켰다.

물발자국 분석을 위한 물소모계수 및 취수/방류수 특성화 인자는 한국환경산업기술원의 물 소모계수(Korean Environmental Industry & Technology Institute, 2017) 및 환경성적표지 작성지침(출처)상의 계수를 적용 하여 물 이용가능 발자국 분석 결과를 제시하였다.

## 3. 연구범위

본 연구에서는 교량공사 시에 스틸박스교 등에 주로 많이 사용되고 있는 포트받침 생산업체 현장조사를 통한 전과정 목록 분석 후 LCA 분석(특성화 분석) 및 물 이용가능에 대한 물발자국 분석을 수행하였다.

### 3.1 기능단위 설정

본 연구에서는 기능, 기능단위 및 기준흐름을 Table 1에 정의한 것과 같이, 일방향, 고정단, 양방향 포트받침에 대해 분석을 수행하였다. 포트받침은 수직반력(500~30,000kN)에 따라 다양한 중량으로 제작되며, 본 연구에서는 제조업체 현장조사를 통해 제품으로 출시되는 수직반력 규격 중 판매 및 유통량이 비교적 많은 3,000kN을 기준으로 기능단위를 설정하여 LCA 및 물발자국 분석을 수행하였다.

### 3.2 시스템 경계 및 제외기준

본 연구의 시스템 경계는 투입되는 철관 및 고무자재의 KS 규정 적합유무를 검사하는 공정인 재료투입 및 재료시험 공정부터 완성된 고무탄성체와 상·하판을 조립하여 최종제품으로 생산하는 조립공정까지를 포함하여 Cradle to Gate로 정의하였다. 포장공정의 경우 제조사별로 포장형태 및 재질이 상이하여 일반화가 어려워

Table 1. Scope Definition

Category	Definition
Function	Support the load of the bridge superstructure and decrease horizontal force magnitude of substructure
Functional Unit	Pot bearing (fixed, 3,000kN) 1ea Production : Weight 295kg Pot bearing (movable in all directions, 3,000kN) 1ea Production : Weight 172kg Pot bearing (movable in one direction, 3,000kN) 1ea Production : Weight 355kg

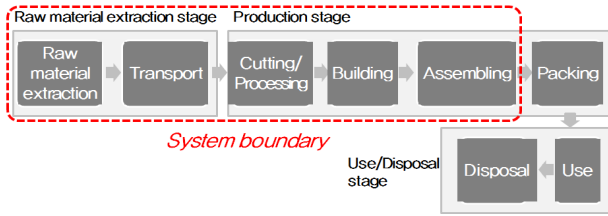


Fig. 1. System Boundary of Pot Bearing

제외하였으며, 제조공정과 직접적 연관성이 없는 사무시설 및 편의 시설은 분석에서 제외하였다. 포트받침 생산에 대한 시스템 경계를 Fig. 1에 나타내었다.

### 3.3 데이터 범주 및 품질

본 연구에서 고려하는 데이터 범주는 일반원칙에 따라 원료물질, 보조물질, 유틸리티, 제품, 대기 배출물, 폐기물로 구분하며, 각 데이터 범주별 투입물과 산출물은 Table 2와 같다. 양방향 및 일방향 포트받침의 경우 고정단 대비 플라스틱인의 한 종류인 PTFE와 스테인레스 스틸이 제조 시에 원료물질로 추가 투입되는 것으로 조사되었다.

데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분된다. 대상 제품을 생산하는 최종 생산 단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하였으며, 분석결과와 대표성 확보를 위해, 포트받침 국내 생산업체 중 자체 생산공정을 보유하고 있는 3개사를 선정하여 데이터를 수집하였다. 생산 데이터 품질요건은 Table 3과 같다.

Table 2. Data Category and Input and Output of the System

Group		Material		
		Fixed	All direction	One direction
Input	Raw material	Steel Plates, Natural rubber, Brass, Carbon steel plate	Steel Plates, Natural rubber, Brass, Carbon steel, PTFE, Stainless steel plate	Steel Plates, Natural rubber, Brass, Carbon steel, PTFE, Stainless steel plate
	Sub material	Epoxy resin adhesive	Epoxy resin adhesive	Epoxy resin adhesive
	Utility	Electricity, Industrial water	Electricity, Industrial water	Electricity, Industrial water
Output	Product	Pot bearing (fixed)	Pot bearing (All direction)	Pot bearing (One direction)
	Water emission	Waste water	Waste water	Waste water
	Air emission	Dust	Dust	Dust
	Waste	Steel scrap, Rubber scrap	Steel scrap, Rubber scrap	Steel scrap, Rubber scrap

Table 3. Data Quality Requirements

Group	Up/Down Stream	Production stage
Temporal Scope	Most recent data	2016 Annual data (2016. 1.1 ~ 2016. 12.31)
Technological Scope	-	Technologies of the Pot Bearing production company

### 3.4 가정 및 제한사항

포트받침 생산업체 현장조사 결과 포트받침 생산라인에서 포트 받침만을 생산하고 있지 않으며, 전력 및 용수 사용량 관리 역시, 제품별로 수행하고 있지 않아, 유틸리티(전력 및 용수) 사용량, 대기/수계 배출량은 공장동 총 사용/배출량에 전체 생산제품 생산량을 적용하여 할당을 수행하였으며, 제조 공정 중 발생하는 철 및 고무 스크랩의 경우 전량 재활용 업체로 위탁 처리하고 있는 것으로 조사되었으며, 이는 포트받침 제조공정 이외의 업체에서 수행되어 Cut-off 방법을 적용하여 제외하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 LCA 수행 결과

#### 4.1.1 목록분석 결과

포트받침 3,000kN 형식별(고정단, 일방향, 양방향) 1ea 생산 시 현장 데이터 등의 수집결과를 바탕으로 목록분석을 수행하였다. 주요 파라미터별 목록분석 결과는 Tables 4-6과 같으며 주요 파라미터는 natural gas, hard coal, crude oil, nitrogen oxides (NOx), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), HCFC-22, NMVOC로 나타났다. 원인 물질별 기여도 분석 결과 주요 파라미터 중 natural gas, hard coal, crude oil 등 대부분의 파라미터에서는 후관에 의한 기여도가 모든 형식의 포트받침에서 가장 높게 나타났으며, 특히 natural gas에서는 후관에 의한 기여도가 평균 60% 이상으로 가장 높게 나타났다. 반면, 지구온난화 및 부영양화에 영향을 주는 phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), HCFC-22에서는

Table 4. Result of Life Cycle Inventory Analysis for LCI Parameters (Pot Bearing (Fixed) 1ea Production)

Parameter			Result of Life Cycle inventory			Result of characterization			Material
			Value	Unit	Value	Unit	Level of contributio		
ADP	Input	Soil	Natural gas	9.87E+01	kg	1.85E+00	kg antimony-eq	64.9%	Steel Plates
			Hard coal	4.02E+01	kg	5.39E-01	kg antimony-eq	18.9%	Steel Plates
			Crude oil	2.27E+01	kg	4.57E-01	kg antimony-eq	16.1%	Steel Plates
AP	Output	Air	Nitrogen oxides (NOx)	9.21E-01	kg	6.45E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	70.5%	Steel Plates
			Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	2.55E-01	kg	2.55E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	27.9%	Steel Plates
EP	Output	Water	Nitrogenous matter	9.21E-01	kg	1.20E-01	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	96.1%	Steel Plates
GWP	Output	Air	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	3.48E+02	kg	3.48E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	95.9%	Steel Plates
ODP	Output	Air	Halon-1301	1.35E-06	kg	1.62E-05	kg CFC 11-eq	99.3%	Steel Plates
POCP	Output	Air	NMVOC	1.72E+00	kg	7.16E-01	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	86.2%	Steel Plates

Table 5. Result of Life Cycle Inventory Analysis for LCI Parameters Pot Bearing (Movable in All Directions) 1ea Production

Parameter			Result of Life Cycle inventory			Result of characterization			Material
			Value	Unit	Value	Unit	Level of contributio		
ADP	Input	Soil	Natural gas	6.31E+01	kg	1.18E+00	kg antimony-eq	61.9%	Steel Plates
			Hard coal	2.88E+01	kg	3.87E-01	kg antimony-eq	20.2%	Steel Plates
			Crude oil	1.54E+01	kg	3.09E-01	kg antimony-eq	16.2%	Steel Plates
AP	Output	Air	Nitrogen oxides (NOx)	6.12E-01	kg	4.28E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	52.3%	Steel Plates
			Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	3.43E-01	kg	3.43E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	42.0%	PTFE
EP	Output	Water	Nitrogen oxides (NOx)	6.12E-01	kg	7.95E-02	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	65.6%	Steel Plates
			Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	3.70E-02	kg	3.70E-02	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	30.5%	PTFE
			COD	8.13E-02	kg	1.79E-03	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	1.5%	Natural rubber
GWP	Output	Air	HCFC-22	1.90E-01	kg	3.23E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	42.9%	PTFE
			Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	2.17E+02	kg	2.17E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	28.8%	Steel Plates
			HFC-23	1.21E-02	kg	1.42E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	18.8%	PTFE
ODP	Output	Air	Tetrachloromethane	5.55E-03	kg	6.66E-03	kg CFC 11-eq	39.6%	PTFE
			HCFC-22	1.90E-01	kg	6.46E-03	kg CFC 11-eq	38.4%	PTFE
			CFC-12	4.41E-03	kg	3.62E-03	kg CFC 11-eq	21.5%	PTFE
POCP	Output	Air	NMVOC	1.05E+00	kg	4.39E-01	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	83.4%	Steel Plates
			Hydrocarbons	1.59E-01	kg	5.98E-02	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	11.4%	Steel Plates

Table 6. Result of Life Cycle Inventory Analysis for LCI Parameters Pot Bearing (Movable in One Directions) 1ea Production

Parameter			Result of Life Cycle inventory			Result of characterization			Material
			Value	Unit	Value	Unit	Level of contributio		
ADP	Input	Soil	Natural gas	1.28E+02	kg	2.40E+00	kg antimony-eq	63.8%	Steel Plates
			Hard coal	5.39E+01	kg	7.22E-01	kg antimony-eq	19.2%	Steel Plates
			Crude oil	3.01E+01	kg	6.05E-01	kg antimony-eq	16.1%	Steel Plates
AP	Output	Air	Nitrogen oxides (NOx)	1.17E+00	kg	8.22E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	58.6%	Steel Plates
			Sulfur dioxide (SO <sub>2</sub> )	5.27E-01	kg	5.27E-01	kg SO <sub>2</sub> -eq	37.6%	Steel Plates
EP	Output	Water	Nitrogen oxides (NOx)	1.17E+00	kg	1.53E-01	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	76.6%	Steel Plates
			Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	4.03E-02	kg	4.03E-02	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	20.2%	PTFE
			COD	9.89E-02	kg	2.18E-03	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	1.1%	Natural rubber

Table 6. Result of Life Cycle Inventory Analysis for LCI Parameters Pot Bearing (Movable in One Directions) 1ea Production (Continue)

Parameter			Result of Life Cycle inventory			Result of characterization			Material
			Value	Unit	Value	Unit	Level of contribution		
GWP	Output	Air	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	4.18E+02	kg	4.18E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	41.4%	Steel Plates
			HCFC-22	2.07E-01	kg	3.52E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	34.9%	PTFE
			HFC-23	1.32E-02	kg	1.55E+02	kg CO <sub>2</sub> -eq	15.3%	PTFE
ODP	Output	Air	Tetrachloromethane	6.06E-03	kg	7.27E-03	kg CFC 11-eq	39.6%	PTFE
			HCFC-22	2.07E-01	kg	7.04E-03	kg CFC 11-eq	38.4%	PTFE
			CFC-12	4.81E-03	kg	3.94E-03	kg CFC 11-eq	21.5%	PTFE
POCP	Output	Air	NM VOC	2.19E+00	kg	9.12E-01	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	85.2%	Steel Plates
			Hydrocarbons	3.02E-01	kg	1.14E-01	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	10.7%	Steel Plates

Table 7. Result of Characterization

Impact category	Result value			Unit	Level of contribution		
	Fixed	All direction	One direction		Fixed	Movable in all directions	Movable in one direction
ADP	2.84E+00	1.91E+00	3.76E+00	1/yr	① Steel Plates (94.8%) ② Electricity (3.8%) ③ Carbon Steel (0.8%)	① Steel Plates (87.2%) ② Electricity (5.5%) ③ PTFE (4.0%)	① Steel Plates (92.0%) ② Electricity (3.9%) ③ PTFE (2.2%)
AP	9.15E-01	8.18E-01	1.40E+00	kg SO <sub>2</sub> -eq.	① Steel Plates (83.8%) ② Carbon Steel (9.9%) ③ Electricity (3.1%)	① Steel Plates (57.9%) ② PTFE (30.3%) ③ StainlessSteel (3.4%)	① Steel Plates (70.2%) ② PTFE (19.3%) ③ Carbon Steel (4.2%)
EP	1.25E-01	1.21E-01	1.99E-01	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.	① Steel Platest (77.2%) ② Carbon Steel (13.6%) ③ Electricity (4.2%)	① Steel Plates (49.0%) ② PTFE (35.7%) ③ StainlessSteel (4.5%)	① Steel Plates (62.1%) ② PTFE (23.7%) ③ Carbon steel (5.5%)
GWP	3.63E+02	7.53E+02	1.01E+03	kg CO <sub>2</sub> -eq.	① Steel Plates (64.2%) ② Carbon Steel (30.5%) ③ Electricity (4.6%)	① PTFE (72.7%) ② Steel Plates (19.1%) ③ Carbon Steel (3.5%)	① PTFE (59.1%) ② Steel Plates (29.7%) ③ Carbon steel (7.1%)
ODP	1.63E-05	1.68E-02	1.84E-02	kg CFC-11-eq.	① Steel Plates (92.4%) ② Carbon Steel (6.4%) ③ Natural rubber (0.8%)	① PTFE (99.9%) ② Steel Plates (<0.1%) ③ StainlessSteel (<0.1%)	① PTFE (99.8%) ② Steel Plates (0.1%) ③ Stainless Steel (<0.1%)
POCP	8.31E-01	5.26E-01	1.07E+00	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.	① Steel Plates (94.5%) ② Carbon Steel (3.7%) ③ Electricity (1.6%)	① Steel Plates (92.4%) ② PTFE (3.0%) ③ Electricity (2.4%)	① Steel Plates (94.4%) ② Carbon Steel (1.9%) ③ Electricity (1.7%)

일방향, 양방향 형식의 경우 PTFE 물질의 기여도가 가장 높게 나타났다.

각각의 범주에서 가장 높은 기여도를 차지하는 것으로 분석되었다. 양방향과 일방향 포트받침의 경우 물질별 기여도 분석결과가 유사

4.1.2 영향평가 결과

영향평가는 환경성적표지 영향평가 방법론을 이용했으며, 자원 고갈(ADP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 지구온난화(GWP), 오존층파괴(ODP), 광화학산화물생성(POCP) 6개 영향범주에 대한 환경영향을 정량화 하였다.

포트받침 형식별 특성화 결과는 다음의 Table 7과 같다. 고정단 포트받침은 투입물질에 따른 영향범주별 기여도 분석결과 후판이 자원소모(94.8%), 산성화(83.8%), 부영양화(77.2%) 지구온난화(64.2%), 오존층영향(92.4%) 및 광화학적산화물생성(94.5%)의

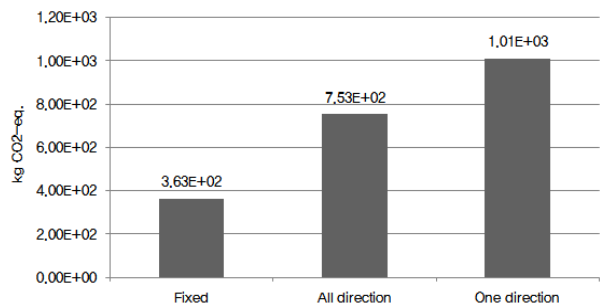


Fig. 2. Result of Characterization (GWP)

하게 나타났으며, 자원고갈, 산성화, 광화학적산화물 생성의 경우 후관, 지구온난화 및 오존층 영향의 경우 PTFE의 기여도가 가장 높게 분석되었다.

주요 영향범주인 지구온난화에 대한 환경영향은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 일방향 포트받침 1ea 제조시 약 1,010kgCO<sub>2</sub>-eq.가 배출되어 고정형 363kgCO<sub>2</sub>-eq. 및 양방향 753kgCO<sub>2</sub>-eq.에 비해 제조 시 온실가스 배출량이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 온실가스 배출량이 가장 높은 일방향 포트받침의 투입 물질별 기여도 분석 결과 PTFE로 인한 온실가스 배출이 약 734kgCO<sub>2</sub>-eq. (59.1%), 후관 약 300kgCO<sub>2</sub>-eq. (29.7%), 탄소강 약 72kgCO<sub>2</sub>-eq. (7.1%)순으로 분석되었다.

Table 8. Result of Water Footprint Assessment in Each Life Cycle Stage (Unit : m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg)

Product	Pre-Manufacturing	Manufacturing	Transportation
Fixed	6.0214	11.1131	0.0020
All direction	3.4656	10.6558	0.0029
One direction	7.2071	15.1970	0.0047

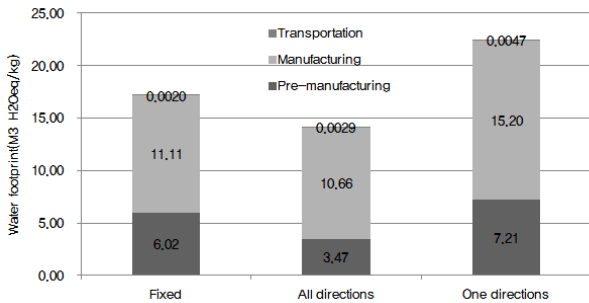
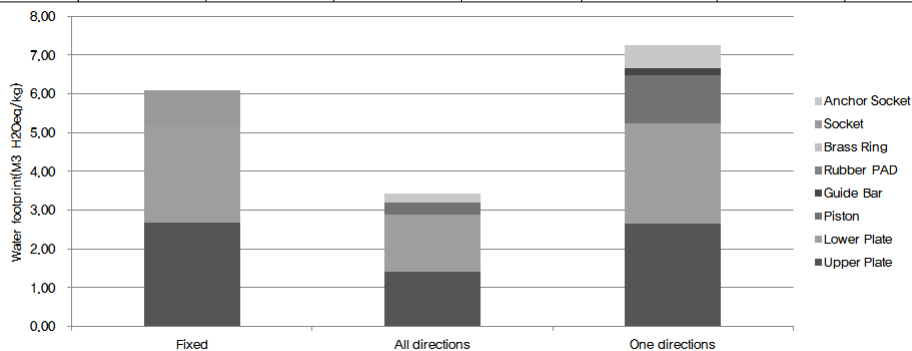


Fig. 3. Result of Water Footprint Assessment

Table 9. Result of Water Footprint Assessment in Each Parts (Unit : m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg)

Product	Upper Plate	Lower Plate	Piston	Guide Bar	Rubber PAD	Brass Ring	Socket	Anchor Socket
Fixed	2.6856	2.4938	0.0000	0.0000	0.0000	0.0078	0.8977	0.0000
All direction	1.4046	1.4921	0.3053	0.0000	0.0000	0.0045	0.0000	0.2110
One direction	2.6447	2.5940	1.2317	0.1866	0.0000	0.0049	0.0000	0.5847



#### 4.2 물발자국 분석 결과

포트받침 3가지 형태별 물 이용가능 발자국 분석결과 Table 8 및 Fig. 3과 같으며, 일방향 포트받침 1EA 제조시 물 이용가능 발자국이 약 22.4m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg으로 가장 높게 분석되었으며, 고정단이 17.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg, 양방향이 14.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg으로 분석되었다.

포트받침 3가지 형태 모두 제조공정에서 용수사용으로 인한 물 이용 발자국 기여도가 각각 고정단 65% (11.11m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg), 양방향 75% (10.66m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg), 일방향 68% (15.20m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg)로 가장 높게 나타났으며, 제조 이전 단계(원료 보조물질 및 에너지 생산), 수송 순으로 기여도가 높게 분석되었다.

유틸리티 및 수송단계를 제외한 부품 별 투입되는 원재료로 인한 사용이전 단계의 물 이용 발자국 분석결과를 살펴보면 Table 9와 같다. 3가지 형태의 포트받침 모두 상하부판으로 인한 비중이 높게 분석되었으며, 고정단이 85.1%, 양방향이 84.8%, 일방향이 72.3%로 부품별 기여도 분석결과 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 교량용 포트받침에 대해 LCA 및 물 이용 가능 발자국 분석을 수행하였다. LCA 및 물발자국은 고정단, 일방향, 양방향 포트받침 1EA (3,000kN)에 대해 분석을 수행하였으며, 시스템 경계는 원재료를 투입하여 제품을 생산하는 Cradle to Gate로 정의하여 분석을 수행하였다. LCA 분석은 환경성적표지 방법론에 의한 전과정평가를 실시하여 6가지 주요 영향범주에 대한 환경영향을 정량화 하였다. 물 이용 가능 발자국 분석의 경우

환경부 및 환경산업기술원의 물 소모계수 및 특성화 인자를 적용하여 분석하였다.

LCA 분석 결과 고정단 포트받침의 경우 6대 영향범주 모두에서 후관에 의한 기여도가 64.2% 이상으로 분석되었으며, 특히 자원고갈 및 광화학적산화물생성 영향범주에서는 94% 이상의 기여도를 갖는 것으로 분석되었다. 일방향 및 양방향 포트받침은 물질별 기여도 경향이 유사하게 나타났으며 자원고갈, 산성화, 광화학적산화물 생성의 경우 후관의 기여도가 가장 높게 나타났으며, 지구온난화 및 오존층 영향의 경우 PTFE의 기여도가 가장 높게 분석되었다. 영향범주별 분석결과 중 지구온난화에 대한 분석결과를 살펴보면 일방향 포트받침 1ea 제조시 약 1,010kgCO<sub>2</sub>-eq.가 배출되어 고정형 363kgCO<sub>2</sub>-eq. 및 양방향 753kgCO<sub>2</sub>-eq.에 비해 제조 시 온실가스 배출량이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.

포트받침 3가지 형태별 물 이용가능 발자국 분석결과는 일방향 포트받침 1EA 제조시 물 이용가능 발자국이 약 22.4m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/kg으로 가장 높게 분석되었으며, 고정단이 17.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg, 양방향이 14.1m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg으로 분석되었다.

포트받침 3가지 형태 모두 제조과정에서 용수사용으로 인한 물 이용 발자국 기여도가 각각 고정단 65% (11.11m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg), 양방향 75% (10.66m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Oeq/kg), 일방향 68% (15.20m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O eq/kg)로 가장 높게 나타났으며, 제조 이전 단계(원료 보조물질 및 에너지 생산), 수송 순으로 기여도가 높게 분석되었다.

상기 분석된 교량용 포트받침은 상시 및 지진시에 수평력과 이동량을 수용하는 역할을 하는 건설자재로 최근 들어 지진 발생 빈도 증가 등으로 수요가 계속 증가할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 포트받침 LCA 분석결과를 통해 관련한 교량건설 등의 환경성적표지, 탄소성적표지 인증을 위한 기반을

제공할 수 있을 것으로 기대되며, 물 이용 가능 발자국의 경우 분석의 신뢰도를 높이기 위해서는 국가 물 소모계수의 확대 구축이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(17SCIP-C085707-04)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ecoinvent (2017). *Ecoinvent Version 2.2*, Ecoinvent, Switzerland, Available at: www.ecoinvent.org (Accessed: June, 2018).
- Hwang, Y. W. (2000). "The need for LCA for comprehensive environmental load assessment of the construction industry." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers Magazine*, KSCE, Vol. 48, No. 1, pp. 13-18 (in Korean).
- Hwang, Y. W., Wie, D. H., Kim, Y. C. and Kwak, I. H. (2017). "A study on the calculation method of the elastomeric bearing life cycle inventory (LCI) database to improve reliability of evaluation of environmental load of bridges." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 37, No. 4, pp. 681-691 (in Korean).
- ISO (2006). *ISO 14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework*, ISO, Geneva, Switzerland.
- Kim, J. H., Tae, S. H., Kim, R. H. and Lee, J. G. (2015). "Fundamental research for the water footprint estimation of building materials." *Architectural Institute of Korea*, Vol. 35, No. 2, pp. 57-58.
- Korean Environmental Industry & Technology Institute (KITI) (2017). *Consumptive Water-Use coefficient*, No. 2017-127 (in Korean).
- Ministry of Environment (2006). *Manual for Tool of type III labelling and LCA, Total* (in Korean).