

# 합성수지 거푸집의 전과정 환경영향평가에 관한 연구

## A Study on Life-Cycle Environmental Impact of Synthetic Resin Formwork

남 경 용<sup>1</sup>

양 근 혁<sup>2</sup>

이 영 도<sup>3\*</sup>

Nam, Kyung-Yong<sup>1</sup>

Yang, Keun-Hyeok<sup>2</sup>

Lee, Young-Do<sup>3\*</sup>

Senior Researcher, UTOP E&A, Hwasun-gun, Jeollanam-do, Hwasun, 58120, Korea <sup>1</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea <sup>2</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Kyungdong University, Goseong-gun, Gangwon-do, 24764 Korea <sup>3</sup>

### Abstract

Synthetic resin formwork is made of lightweight high-density polyethylene(HDPE). This study used a process flow chart that satisfies the system boundary (such as Cradle-to- Product shipmen ) required by ISO FDIS 13352 to evaluate the entire process of synthetic resin foam using. The entire life cycle inventory (LCI) database calculated from input energy sources, materials used, transportation methods, and manufacturing processes at the system boundary was analyzed. Based on the environmental impact assessment index methodology of the Ministry of Environment from the LCI data analysis of synthetic resin formwork, the environmental impact assessment was carried out through classification, normalization, characterization, and weighting process. The experimental results are as follows the amount of CO<sub>2</sub> (carbon) emission considering the number of conversions was about 32% lower than that of the Euroform. This shows that the use of synthetic resin formwork reduces material production by half compared to Euroform and reduces CO<sub>2</sub> (carbon) emissions.

Keywords : synthetic resin form, euro-form, environmental impact, recycle

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

최근 들어 지구 온난화로 인해 지구환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 관심은 전 산업에 걸쳐 환경에 대한 영향평가로 중요하게 인식되어지고 있다[1]. 그로인해 건설 산업에서는 CO<sub>2</sub> 발생 비율을 낮추기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다[2-4]. 그중 시멘트 제조 시 발생하는 CO<sub>2</sub>를 줄이기 위한 연구가 주를 이루고 있으나 콘크리트 사용 시

필수적으로 사용되는 거푸집의 경우 수많은 자재와 공법 등으로 인해 환경영향에 대한 자료가 미흡한 상황이다.

거푸집 공사비는 골조 공사비 범위 내에서 약 30~40%이며, 전체 공사비로 본다면 약 10%의 비중을 차지하게 되는 주요 공정 중 하나이다[5-7]. 거푸집은 국가별 건설 산업과 경제적, 사회적 여건에 따라 공법과 재료 구성요소들이 다양하여 이를 하나로 정의한다는 것은 어려운 일이다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 일부 연구자들에 의해 공법별 시공법, 부위별 시공노하우, 하자예방방법 등 거푸집 전 과정에 대한 기술서가 편찬되어지고 있다[8,9].

거푸집 산업은 아직까지 체계적으로 환경영향을 정량적으로 분석한 연구 결과가 미비한 실정이며, 거푸집 생산, 제조에 대한 체계적인 분석 자료도 부족한 상황이다[2]. 합성수지 거푸집에 관한 연구는 2000년 초반 구조성능 검토를 기

Received : April 21, 2020

Revision received : June 5, 2020

Accepted : June 15, 2020

\* Corresponding author : Lee, Young-Do

[Tel: 82-31-639-0211, E-mail: lyd@k1.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

점으로 최근 거푸집 성능평가에 대한 다양한 실험이 진행되었다. Chung et al.[12]은 거푸집 구조검토에 따른 시공가능성과 경제성을 비교·분석하여 작업효율성을 높이고 공사비를 절감할 수 있는 합성수지 유로폼을 개발하고자 하였다. Chung et al.[7]은 “합성수지계 사출성형 재생 유로폼의 성능평가에 관한 연구”를 통해 합성수지 거푸집 기술의 타당성 검토와 물리적 성능 평가를 실시하여 현장 적용성에 대해 검토하였다. 마지막으로 Kim et al.[13]은 “합성수지 거푸집의 성능평가 및 현장 적용성에 관한 연구”를 통해 합성수지 거푸집의 재료물성 시험과 충격, 소음테스트를 실시하였으며, 실제 현장에 적용하여 타설 중 안정성과 표면 마감성을 확인하였다. 기존 연구를 통해 합성수지 거푸집의 재료, 구조, 시공성능 등의 기본적인 검증을 마친 상태이다. 하지만 아직 벽체 크기, 높이에 따른 축압특성과 그에 따른 수직, 수평 피장 간격조정 등 세부적인 실험이 남아있으며, 본 연구 검토 항목인 합성수지 거푸집 제작에 따른 환경영향 평가도 진행되어야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 중소규모 현장에서 많이 사용하는 유로폼과 합성수지 거푸집 제작 및 현장 적용 시 환경영향에 미치는 효과를 정량적으로 비교 평가하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

합성수지 거푸집의 환경영향 평가지표는 환경부[10]에서 제시한 “한국형 환경영향 평가지수 방법론”을 참고하였으며, 합성수지 거푸집 전과정 평가를 위해 ISO FDIS 1335-2[11]에서 요구하는 시스템 경계를 만족하도록 공정 흐름도를 고려하였다. 유로폼에 대한 데이터베이스는 “거푸집 공사 시공기술표준”을 기준으로 하였다. 유로폼은 10회 전용을 제시(LH공사 기준)하고 있으나 실제 전용횟수는 합판 노후화로 인한 파손 및 부식 등의 영향으로 10회를 만족하기 어려운 경우도 있다[12]. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 기반의 합성수지 거푸집의 경우 내부식성 및 고내구성 재료 특성으로 인해 30회 전용이 가능하다. 이를 바탕으로 유로폼과 합성수지 거푸집 생산에서부터 사용 전과정 환경영향의 크기를 비교함으로써 합성수지 거푸집의 환경영향 효과를 제시하고자 한다.

## 2. 합성수지 거푸집 대상정보

### 2.1 합성수지 거푸집 물리적 성질(HDPE)

본 연구에 사용된 합성수지 거푸집은 HDPE(High Density

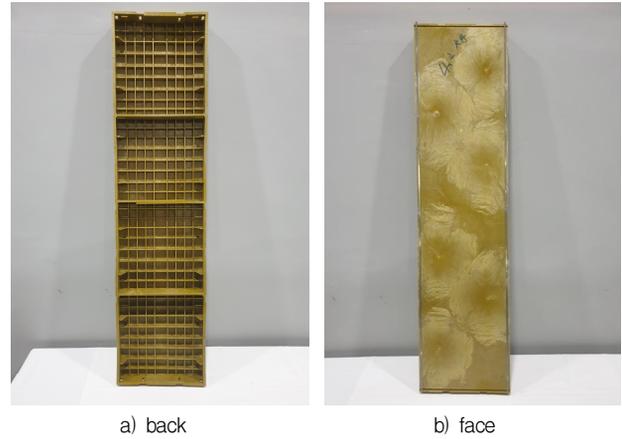


Figure 1. Synthetic resin formwork(size 300mm×1,200mm)

Table 1. Physical and mechanical properties of HDPE

Item	Test specification	Unit	Test value
Density	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0.961
MFR(190°C, 2.16kg)	ASTM D1238	g/10min	5.5
Softening point(vicat)	ASTM D1525	°C	125
Tensile strength at yield point	ASTM D638	kg/cm <sup>2</sup>	290
Elongation at break	ASTM D638	%	>500
Shore hardness(Shore D)	ASTM D2240	-	65
Flexural modulus 1% secant	ASTM D256	kg·cm/cm	8

Polyethylene)를 사출하여 전용 성형틀에 의해 생산된 제품으로 Figure 1과 같다. HDPE는 1930년대 영국의 ICI사 연구진들에 의해 LDPE(Low Density Polyethylene)가 최초 발견되고 1950년대 LLPE (Linear Low Density Polyethylene)개발에 이어 발견되었다[13]. LDPE의 중합이 높은 압력하에서 이루어지는데 비하여 HDPE의 중합은 촉매를 사용해서 보다 낮은 압력하에서 이루어지기 때문에 중저압법 폴리에틸렌이라고도 불리며 또한 LDPE에 비해서 강성이 높기 때문에 경질 폴리에틸렌이라고도 불린다. 본 실험에 사용된 HDPE의 물리·기계적 특성은 Table 1과 같다.

### 2.2 합성수지 거푸집 제작공정

합성수지 거푸집은 유로폼과 달리 HDPE 단일재료만으로 제작된다. 단 거푸집 색상을 내기위해 알갱이 형태의 색소를 첨가할 수도 있다.

Figure 2는 합성수지 거푸집 제작공정을 나타낸 것이다.



Figure 2. Synthetic resin forming process

먼저 직경 3~5mm 알갱이 형태의 고밀도 폴리에틸렌 원료를 사출기에 투입한 후 사출 공정에 대한 세부사항을 세팅한다. 이후 세팅조건에 따라 거푸집 사출이 진행되고 완제품이 생산된다. 제품 원료 투입 후 완제품 생산까지 약 2분가량 소요되는데 이러한 제작공정은 유로폼과 비교해도 제작 공정종류, 제작시간, 안정성 등 측면에서 많은 이점을 가지고 있다.

반면 유로폼의 경우 코팅합판 재단을 시작으로 강재 프레임 가공 및 용접, 도장 공정을 거쳐 재단된 코팅합판과 결합 이후 최종제품이 완성하게 된다. 제품공정만 보더라도 작업 횟수, 투입인력, 시간 등 두 제품 간 차이가 큰 것을 알 수가 있다.

### 3. 합성수지 거푸집 전과정 환경영향평가 절차

#### 3.1 평가목적 및 범위설정

본 연구의 전과정 평가 목적은 합성수지 거푸집의 전과정

목록(life cycle inventory, LCI) 데이터베이스를 구축하고, 합성수지 거푸집 환경영향 평가결과와 기존 유로폼과의 비교결과를 정량화 하는 것이다. 전과정 환경영향의 주요 범위로 는 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 부영양화 및 광화학 산화 생성물 등이 있다. 기능단위로는 합성수지 거푸집은 개(EA)의 개념이며, 제작 시 투입되는 재료의 사용량은 300mm×1,200mm 규격의 제품 1개를 기준으로 하였다. 또한 합성수지 거푸집 1개(EA)의 무게는 4.3kg이고 사용되는 원료(HEPE)의 양 또한 4.3kg으로 동일하다. 동일한 규격(300mm×1,200mm)의 유로폼 1개(EA)를 환경영향 평가의 비교 대상으로 하였다. 비교 대상인 유로폼의 무게는 12.8kg(합판 2.8kg, 프레임 형강 10kg)이다.

#### 3.2 경계조건

합성수지 거푸집 공정 흐름도는 Figure 3과 같으며 시스템 경계는 Figure 4와 같다. 원재료 생산에서부터 제품 출하 전단계로서 원료물질, 에너지, 보조물질 등으로부터의 대기 배출물, 수계 배출물, 폐기물 등을 고려하였다. 합성수지 거푸집 제작에 대한 데이터 품질로서 지역적 경계는 광주광역시이며, 기술적 경계는 실내제작 및 해당 사출 공장의 공정기술 기준인용이다. 시간적 경계는 2019년 생산 제품의 데이터를 기준으로 하였다.

운반단계에서의 환경영향을 산정하기 위해서 합성수지 거푸집 공장 위치는 광주광역시 광산구로 가정하였고 합성수지 원료는 여수시 화학공단에서 운송되는 것으로 가정하였다.

#### 3.3 전과정 목록(Life-cycle inventory, LCI) 데이터 분석

전과정 데이터 목록분석은 연구 범위에서 설정한 시스템 경계를 대상으로 투입(Input) 요소인 HDPE, 합판, 형강, 에폭시도료 등과 배출(Output) 요소인 합성수지 거푸집, 유로폼의 종류와 양을 기록하여 환경부하를 계산하는 과정이다. 따라서 전과정 평가에서 설정한 시스템에서의 합성수지 거푸집과 유로폼 생산에 필요한 재료들, 이러한 재료들의 질량 및 면적, 생산된 재료가 공장까지 운반 등에 대한 각각의 LCI 데이터들이 필요하다. Table 2는 Figure 3 공정에서 이용된 LCI 데이터 베이스를 나타내었다. LCI 데이터는 국가마다 기온 및 에너지, 천연자원 등이 다르므로 그 나라에서 제공되는 원단위를 이용하는 것이 바람직하다. 본 평가의

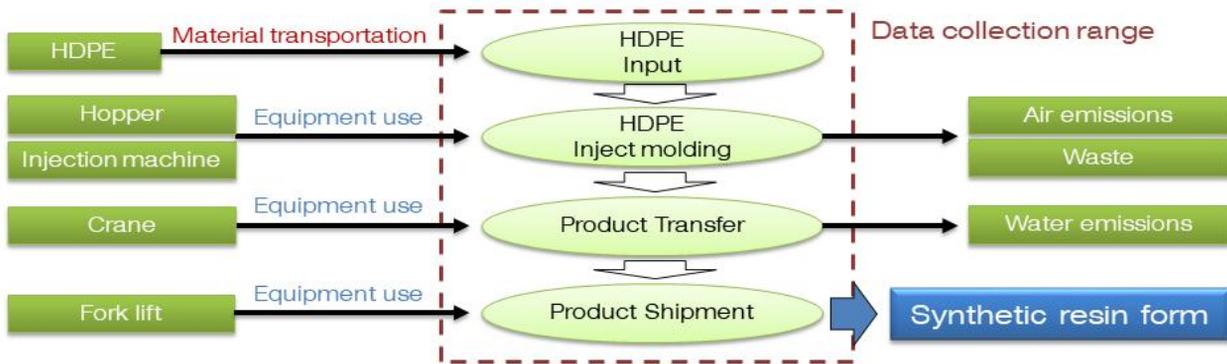


Figure 3. Process flow diagram of synthetic resin form in studied system

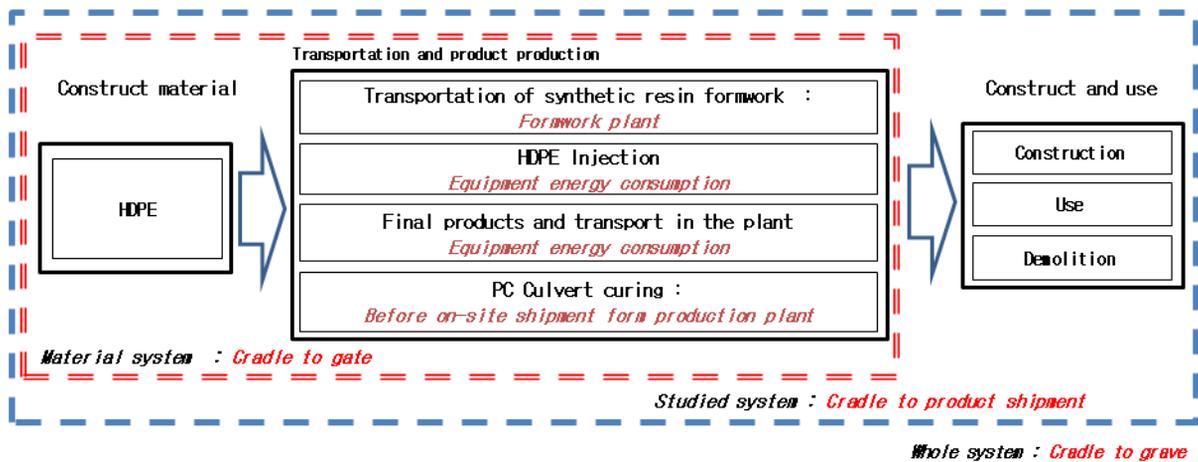


Figure 4. Synthetic resin form system boundary

LCI 데이터는 국내 환경부[10]와 국토부에서 제공하는 데이터를 이용하였으며 목록분석은 Total 프로그램을 이용하였다. 합성수지 거푸집은 HDPE를 유로폼은 합판, 프레임 형강, 에폭시 도료를 연결물질로 설정하였고 수송정보조건은 12ton 이상 트럭(25ton), 50 km로 두 가지 모두 동일하게 적용하였다.

### 3.4 CO<sub>2</sub> 평가절차

거푸집 기능단위에 대한 각 원재료의 생산에서부터 거푸집 생산단계까지의 시스템에서 배출된 CO<sub>2</sub> 양(C<sub>d</sub>)은 다음 식 (1)에 의해 산정될 수 있다.

$$C_d = CO_{2-M} + CO_{2-T} + CO_{2-P} \text{ ----- (1)}$$

여기서 CO<sub>2-M</sub>은 고밀도 합성수지 및 합판 등을 포함하는 재료단계에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이며, CO<sub>2-T</sub>는 각 재료의 출구

에서부터 거푸집 생산 공장까지의 운송단계에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 양이며, CO<sub>2-P</sub>는 공장 생산단계에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이다. 재료단계인 CO<sub>2-M</sub>은 다음 식에 의해 산정된다.

$$CO_{2-M} = \sum_{i=1}^n (W_i \times CO_{2(i)-LCI}) \text{ ----- (2)}$$

여기서 i는 거푸집 생산을 위해 이용된 각 재료들이며, n은 이들 재료들의 수이고, W<sub>i</sub>와 CO<sub>2(i)-LCI</sub>는 각각 재료 i의 사용량(kg)과 (CO<sub>2</sub>-kg/kg)이다.

### 3.5 환경영향평가(Impact assessment)

환경영향평가는 LCI DB 분석결과를 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하기 위해 주관적인 측면을 배제하고 환경영향의 크기를 정량적으로 나타내기 위한 분류화, 특성화, 가중치 부여의 과정 단계를 거쳐 평가한다. 본 연구의 환경

Table 2. Summary of LCI DB used for assessing environmental loads of synthetic resin formwork

	Functional unit	CO <sub>2</sub>	CO	SOX	NOX	NH <sub>3</sub>	anthracite	soft coal	natural gas	crude oil
plywood	m <sup>3</sup>	8.01E+02	Information closed	2.69E-01	1.22E+00	Information closed				
Press processing (3,500ton)	one time	1.88E-01	1.87E-05	6.28E-04	4.60E-04	4.32E-07	3.27E-07	1.73E-07	8.67E-03	8.46E-03
section steel	kg	4.19E-01	1.05E-04	1.19E-03	1.35E-03	9.57E-09	1.29E-01	3.44E-04	1.49E-02	3.85E-02
HDPE	kg	1.88E+00	9.15E-02	1.61E-03	2.91E-03	1.14E-06	1.06E-04	1.13E-04	9.90E-02	1.49E+00
PE Injection molding	kg	2.90E-01	2.89E-05	9.70E-04	7.11E-04	6.67E-07	1.17E-07	6.20E-08	1.34E-02	1.3E-02
Truck over 12ton	kg/kg-km	1.14E-06	1.41E-08	-	1.19E-08	1.86E-14	3.12E-09	-	1.63E-08	3.72E-07

영향 평가지표 식 (3)은 환경부[10], Yang et al[14]에 의해 제시된 식에 따라 합성수지 거푸집의 환경영향 크기(WI<sub>i</sub>)를 정량화 하였다.

$$WI_i = \sum_j \frac{CI_j}{N_i} \frac{N_j}{T_i} f_j = \sum_j \frac{CI_j}{N_i} W_j = \frac{\sum_j (Load_j \cdot eqv_{i,j})}{N_i} W_i \quad -- (3)$$

여기서 CI<sub>i</sub>는 영향범주 i에 포함된 모든 목록항목(j)들이 소속된 영향범주에 미치는 영향의 크기이고, N<sub>i</sub>는 영향범주 i의 정규화 기준값, W<sub>i</sub>는 영향범주 i의 기중치 값, Load<sub>j</sub>는 j번째 목록항목의 환경부하량이며, eqv<sub>i,j</sub>는 영향범주 i에 속한 j번째 목록항목의 특성화 계수값이다. 각 목록항목의 특성화 계수는 환경부[10]에서 제시한 값을 사용하였다.

#### 4. 환경영향평가

##### 4.1 합성수지 거푸집의 CO<sub>2</sub> 배출량

Figure 5는 유로폼과 합성수지 거푸집 제작 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 비교해 나타낸 것이다.

제품 생산 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량은 합성수지 거푸집이 유로폼보다 34% 높게 나타났다. 이는 거푸집의 CO<sub>2</sub> 배출량은 사용 원료에 의해 지배되는데 합성수지 거푸집의 경우 1.88CO<sub>2</sub>-kg/kg의 배출개수를 갖는 고내구성 재료인 HDPE에 의해 8.1kg/EA를 배출하기 때문에 유로폼 6.9kg/EA보다 다소 높게 나타났다.

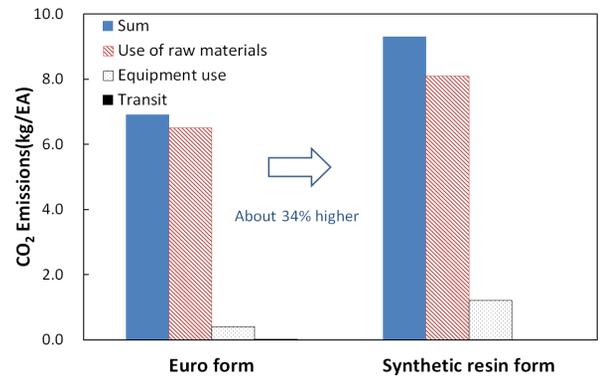


Figure 5. CO<sub>2</sub> emissions

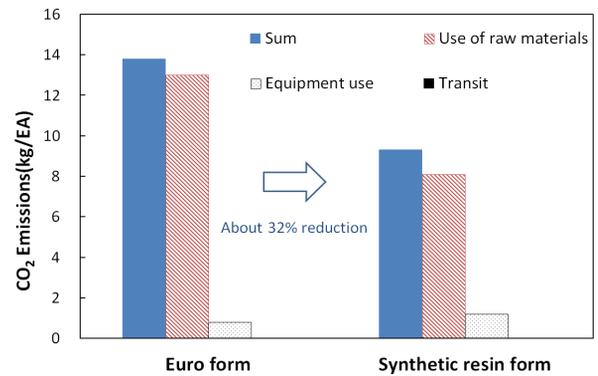
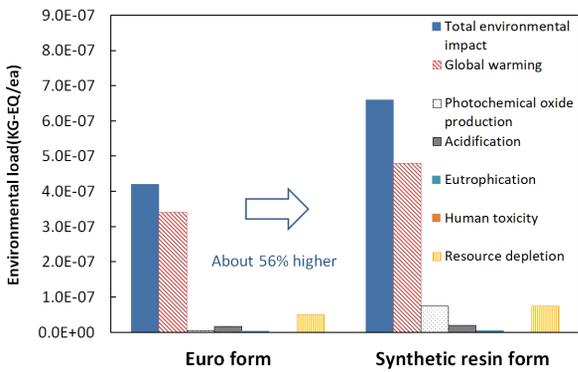


Figure 6. CO<sub>2</sub> emissions considering the number of use

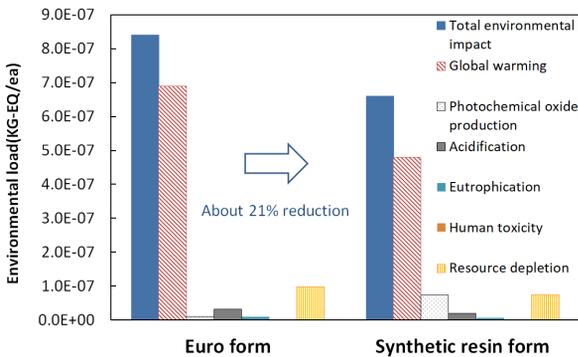
전용횟수를 고려한 CO<sub>2</sub> 배출량은 Figure 6에 나타내었다. 거푸집 제작 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량은 합성수지 거푸집 원료와 장비 사용 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량이 높아 유로폼보다 다소 높게 나타났다. 하지만 현장 사용에 따른 전용횟수를 고려했을 경우 합성수지 거푸집이 유로폼보다 CO<sub>2</sub>

Table 3. Comparison of power consumption

Division	Formwork	Inventory for environmental load(kg-eq/30uses)						
		Total environmental impact	Global warming	Photochemical Oxide production	Acidification	Eutrophication	Human toxicity	Resource depletion
CO <sub>2</sub> emissions during formwork	euro form	4.2E-07	3.4E-07	5.4E-09	1.6E-08	4.7E-09	1.1E-09	5.0E-08
	synthetic resin form	6.6E-07	4.8E-07	7.4E-08	2.0E-08	5.9E-09	1.4E-09	7.5E-08
CO <sub>2</sub> emissions during formwork(30 uses)	euro form	8.4E-07	6.9E-07	1.1E-08	3.2E-08	9.5E-09	2.3E-09	9.9E-08
	synthetic resin form	6.6E-07	4.8E-07	7.4E-08	2.0E-08	5.9E-09	1.4E-09	7.5E-08



a) Results by form type



b) Results according to the number of time

Figure 7. Environmental impact assessment

배출량이 32%가 저감되었다. 유로폼은 전용횟수가 15회 미만으로 합성수지 거푸집 보다 1/2이 된다. 이는 유로폼 원료와 장비사용이 합성수지 거푸집 2배가 되므로 실제 현

장 적용 시 유로폼이 합성수지 거푸집 보다 CO<sub>2</sub> 배출량이 높게 나타나게 된다.

#### 4.2 합성수지 거푸집의 환경영향평가

Figure 7과 Table 3은 유로폼과 합성수지 거푸집의 분류화, 정규화, 특성화, 가중치부여 과정 후의 환경 영향값을 나타낸 것이다. 이전 Figure 5, 6의 결과에 전용횟수를 고려하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 재평가하였다. 전용횟수는 합성수지 거푸집 전용 30회 대비 유로폼 전용 15회로 자재 소모량 2배로 가정하였다.

거푸집 종류에 따른 환경부하 발생량은 합성수지 거푸집이 유로폼보다 약 56% 높게 나타났으나 전용횟수를 고려한 환경부하 발생량은 유로폼 대비 2배 이상의 전용성을 갖는 합성수지 거푸집이 약 21% 낮게 나타났다. 30회 전용을 기준으로 합성수지 거푸집의 지구온난화, 산성화, 부영양화, 인간독성 및 자원고갈 영향은 유로폼 대비 각각 30%, 38%, 38%, 38% 및 25%씩 낮게 나타났다. 결과적으로 동일한 규격의 합성수지 거푸집 생산 시 유로폼 보다 높은 환경부하가 발생하나 합성수지 거푸집 현장 적용이 늘어남에 따라 환경부하 발생이 줄어드는 것을 알 수 가 있었다.

#### 5. 결 론

본 연구는 유로폼과 합성수지 거푸집의 LCI 데이터 분석으로부터 환경부의 환경영향평가지수 방법론에 기반하여 분류화, 정규화, 특성화 및 가중치 과정을 거쳐 환경영향평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 300mm×1,200mm 규격의 합성수지 거푸집 1개 제품 생산 시 CO<sub>2</sub> 배출량은 유로폼에 비해 약 34% 가량 높게 나타났다. 하지만 전용횃수를 고려한 CO<sub>2</sub> 배출량은 유로폼 대비 2배 이상의 전용성을 갖는 합성수지 거푸집이 약 32% 가량 낮았다. 이는 합성수지 거푸집 사용은 유로폼 대비 자재생산을 1/2로 줄일 수 있으며, CO<sub>2</sub> 배출량 저감으로 이어질 수 있다.
- 2) 전용횃수를 고려한 환경영향 부하 발생량에서도 8.4E-07kg-eq/30회 전용을 보인 유로폼에 비해 합성수지 거푸집(6.6e-07kg-eq/30회 전용)의 환경부하 발생량은 약 21% 낮았다.
- 3) 30회 전용을 기준으로 합성수지 거푸집의 지구온난화, 산성화, 부영양화, 인간독성 및 자원고갈 영향은 유로폼에 비해 각각 30%, 38%, 38% 및 25%씩 낮았다.

## 요 약

합성수지 거푸집은 내부식성이 우수한 경량의 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)를 재료로 사용한다. 합성수지 거푸집의 전과정 평가를 위하여 ISO FDIS 13352에서 요구하는 시스템 경계를 만족하도록 공정 흐름도를 고려하였다. 이에 따라 고려된 시스템 경계는 Cradle-to-Product shipment이다. 고려된 시스템 경계에서 투입 에너지원, 사용재료, 운송수단, 제작공정 등으로부터 산정한 전과정 목록(LCI) 데이터베이스를 분석하였다. 합성수지 거푸집의 LCI 데이터 분석으로부터 환경부의 환경영향평가지수 방법론에 기반하여 분류화, 정규화, 특성화 및 가중치 과정을 거쳐 환경영향평가를 수행하고, 그 결과는 유로폼의 환경영향 평가값과 비교하였다. 실험결과, 전용횃수를 고려한 CO<sub>2</sub> 배출량은 유로폼 대비 2배 이상의 전용성을 갖는 합성수지 거푸집이 약 32% 가량 낮았다. 이는 합성수지 거푸집 사용은 유로폼 대비 자재 생산을 1/2로 줄일 수 있으며, CO<sub>2</sub> 배출량 저감으로 이어질 수 있다.

**키워드** : 합성수지 거푸집, 유로폼, 환경영향, 재활용

## Funding

Not applicable

## ORCID

Kyung-Yong Nam, <http://orcid.org/0000-0002-7468-5116>  
 Keun-Hyeok Yang, <http://orcid.org/0000-0001-5415-6455>  
 Young-Do Lee, <http://orcid.org/0000-0003-1439-2693>

## References

1. Choi DS, Jeon HC, Cho KH. Study on environmental impact through analysis of materials used for apartment complex. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2014 Sep;29(1):195-203. [http://dx.doi.org/10.5659/JAIK\\_PD.2014.30.9.195](http://dx.doi.org/10.5659/JAIK_PD.2014.30.9.195)
2. Mun JH, Nam KY, Yang KH. Life cycle CO<sub>2</sub> assessment of synthetic resin form considering dedicated frequency. *Autumn Annual Conference of AIK: 2019 OCT 24-25; Daejeon, Korea*. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea. 2019. p. 632.
3. Jung YB, Yang KH, Choi DU. Influence of fly ash on life-cycle environmental impact of concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2014 Dec;14(6):515-22. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2014.14.6.515>
4. Jin HS, Lim HY, Lee SJ, Kim SI, Lim JH, Song SY. Annual intensities (2016-2017) analysis of energy use and CO<sub>2</sub> emission by end use based on measurements of sample apartment units. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2018 Jul;34(7):43-52. [https://doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2018.34.7.43](https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2018.34.7.43)
5. Won JY, Lee SH, Park TW, Nam KY. Basic applicability of an insulated gang form for concrete building construction in cold weather. *Construction and Building Materials*. 2016 Oct;125:458-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.036>
6. Nam KY, Won JY, Chun JY, Jung SJ. Temperature record and strength development from using gang-form adhered to polyisocyanurate board. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2012 Jul;28(7):117-24. [https://doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2012.28.7.117](https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2012.28.7.117)
7. Chung BY, Lee HC, Kim JH, Go SS. Performance evaluation of recycled synthetic resins euro-form by injection modeling method. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Apr;10(2):105-13. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.2.105>
8. Korea Land & Housing Corporation, Apartment Formwork Guide. Seoul(Korea) Korea Land & Housing Corporation. Yongsan (Korea): Gun Sul Do Seo Publishing Co. 2008. Jan 3. Korean.
9. Kang SH, Ahn HJ, Lee CS, Lee DM, Cho HH, Kang KI. Assessment of CO<sub>2</sub> emissions of eco-friendly lightweight form in the construction process. *Proceeding of the Institute of Building Construction*: 2019 Oct 31-Nov 1; Chungju, Korea. Seoul

- (Korea): The Korea Institute of Building Construction. 2019. p. 10-11.
10. Korea Ministry of Environment. Hankookhyeng Hwangyeong Yeonghyang Pyeonggajisu Bangbeopron [Korea environmental impact assessment index methodology]. sejong (Korea): ministry of Environment; 2003. p. 166. Korean.
  11. ISO 13315-2. Environmental Management for Concrete and Concrete Structures-Part 2: System Boundary and Inventory Data. International Organization for Standardization. Geneva (Switzerland): International Organization for Standardization; 2014. p. 23.
  12. Chung BY, Lee G, Lee HC, Go SS. A study of the development of recycled synthetic resins euroform. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2007 Jun;23(6):171-8.
  13. Kim TH, Ahn SJ, Lee YD, Nam KY. A study on the performance evaluation and field application of synthetic resin formwork. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Dec; 18(6):577-84. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.6.577>
  14. Yang KH, Seo EA, Jung YB. Effect of ground granulated blast-furnace slag on life-cycle environmental impact of concrete. *Journal of the Korea concrete Institute*. 2014 Feb;26(1):13-21. <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2014.26.1.013>