

LCA 기법을 이용한 사각형어초 개선에 관한 연구

정 용 현*

*국립 부경대학교(교수)

A Study on the Improvement of Cube-type Reef Using LCA Method

Yong-Hyun CHUNG*

*Pukyong National University(professor)

Abstract

This study performed a Life-cycle assessment by process and material to identify and improve the environmental impact on the producing process of cube type reef. The producing process consists of a rebar assembly process, a steel formwork manufacturing process, a concrete pour process, and an artificial reef manufacturing process. And the MiLCA ver 2.3 program was used as the life-cycle assessment program. The environmental impact categories were global warming, resource consumption, acidification, photochemical oxidant, ozone depleting, eutrophication, ecotoxicity-acute, and ecotoxicity-territorial impact categories, and a total of eight environmental impact categories were evaluated. As a result of inventory analysis, a total of 201 inventory items were derived, and as a result of impact evaluation, it was found that concrete pour process and rebar assembly process had a large environmental impact in 7 environmental impact categories excluding resource consumption. As a result of the life-cycle assessment by material, it was found that the potential environmental impact due to steel bar and concrete was the greatest in most environmental impact categories. The results of this study suggest that it is necessary to improve the concrete pour process and rebar assembly process in the artificial reef producing process, and to improve the materials used in the steel formwork manufacturing process.

Key words : Cube type artificial reef, LCA, MiLCA, LCI

I. 서론

인공어초는 강이나 바닷가에 돌을 던져 놓았을 때 물고기가 많이 모인다는 사실을 발견시켜 만들어지게 되었으며 해양생물의 보호 및 자원 증대를 목적으로 인공적으로 설치하는 구조물을 의미한다(FIRA, 2021). 또한, 해양생물의 휴식장과 먹이장 그리고 산란장 기능을 하며 생물의 성장 단계에 따라 다양한 기능을 제공하고 있다(Ryu and Joung, 2000). 이러한 다양한 기능을 제공하

기 위해서 인공어초 사업은 해양환경과 해양생물들의 생태와 행동 특성 등을 파악하여 설계되어야 하며 투입 이후에서도 지속적인 사후 관리가 필요하다(Park et al., 2001).

국내에서는 인공어초의 안정성에 관한 연구(Baek et al., 2014), 인공어초 침하특성에 관한 실험 연구(Kim, 2001; Yun and Kim, 2017) 등과 같은 인공어초 설계와 개발에 관한 연구와 어류와 동물 플랑크톤의 밀도 변화에 관한 조사 연구(Yoon et al., 2014), 인공어초 설치해역의 출현 해

Corresponding author : 051-629-6543, chungyh@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의해 연구되었음.

양생물 등에 관한 연구(Choi, 2008), 음향을 이용한 해양생물의 분포조사 연구(Hwang et al., 2004) 등과 같은 인공어초 설치 효과와 사후 관리를 위한 연구 등이 활발하게 이루어지고 있다.

또한, 재생골재를 이용한 인공어초 개발 연구(Hong et al., 2003), 유황콘크리트를 이용한 인공어초 개발 연구(Park et al., 2007), 복합형 인공어초의 개발에 관한 연구(Ko and Kim, 2018) 등과 같이 환경에 대한 영향을 줄이기 위하여 친환경 인공어초의 개발을 위하여 연구가 진행되고 있다. 그리고 고강도 콘크리트 개발(Lee, 2022)과 철근의 문제점을 해결하기 위한 GFRP 보강근 개발(You et al., 2012) 연구 등 인공어초 제작과정의 사용되는 주요 재료에 대한 개발 연구도 활발하게 진행되고 있다. 하지만 인공어초 제작의 전 과정에 걸쳐 환경영향 개선을 위해 진행되는 전과정평가 관련 연구는 부족한 실정이다.

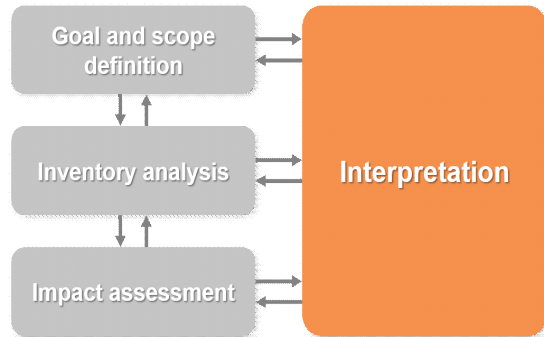
전과정평가는 국제표준화기구(ISO)에서 공표한 국제 표준 평가 기술로 전과정평가를 진행하기 위하여 목적과 범위를 정의하고 정의된 목적과 범위를 기준으로 시스템 경계 내에 투입, 산출되는 데이터를 수집, 분석, 평가한다. 그리고 데이터 분석 결과를 바탕으로 환경영향을 파악하며 평가 결과를 목적에 부합하도록 해석하는 단계로 진행된다. 절차에 따라 진행된 전과정평가 통해서 제품의 환경 측면 개선을 위한 기회를 발견할 수 있으며 산업계와 정부 및 비정부기관의 계획, 설계, 법률 제정과 같은 의사결정에 도움을 줄 수 있다(Lee et al., 1998).

따라서 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 이용되고 있으나 같은 용도의 다른 어초 대비 환경영향이 더 크다고 알려진 사각형어초의 제작 공정 및 재료에 따른 환경영향 파악과 주요 원인 개선을 위한 데이터를 얻고자 전과정평가를 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 전과정평가(Life Cycle assiment)

전과정평가의 4단계는 목적 및 범위 정의(goal and scope definition), 목록분석(inventory analysis), 영향평가(impact assessment), 해석(interpretation)으로 구성되며 [Fig. 1]은 전과정평가의 단계를 나타낸 모식도이다(ISO, 2006a).



[Fig. 1] ISO 14040 LCA framework.

2. 목적 및 범위 정의

가. 연구 목적 및 연구 대상

본 연구는 사각형어초 제작과정 내 공정 및 재료별 환경영향의 평가와 주요 원인에 의한 환경영향 개선을 목표로 전과정평가를 수행하였다.

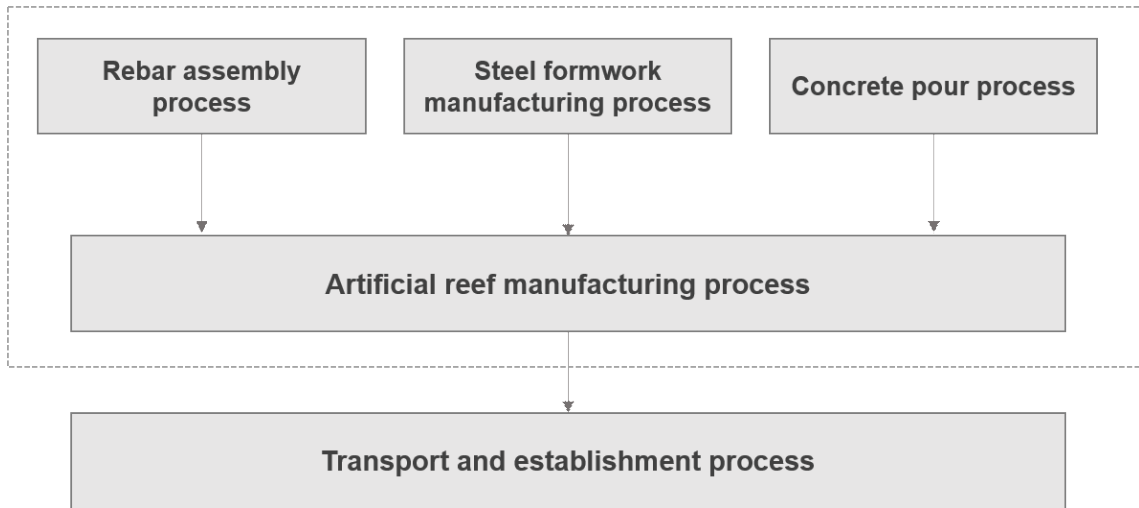
연구 대상은 선행연구 결과에 따라 국내에서 가장 많이 사용되고 있지만 동일 용도로 사용되는 다른 인공어초에 비해 더 큰 잠재적 환경영향을 가지고 있는 사각형어초를 선정하였다. 사각형어초 제작과정에 대한 전과정평가를 진행하기 위하여 <Table 1>과 같이 기능, 기능단위, 기준흐름을 정의하였다. 연구 대상의 기능은 사각형어초의 용도를 기준으로 설정하였으며 기능단위와 기준흐름은 해양수산부 인공어초시설사업집행 및 관리 규정 제20조(시설기준)를 기준으로 인공어초 1개 단지에 설치되는 설치 기준량으로 설정하였다(FIRA, 2021).

나. 범위 정의

사각형어초 제작을 위해 투입되는 원료의 취득

<Table 1> Function, function unit and reference flow definition

Function	Habitat of marine life
Functional unit	Artificial reef 1 complex
Reference flow	Producing 100 EA cube type artificial reefs



[Fig. 2] System boundary of cube type artificial reef producing process.

에서부터 사각형어초의 생산까지(Cradle to Gate, CtG)를 시스템 경계로 설정하였으며 공정에 대한 영향을 알아보기 위하여 재사용되는 기기들은 제외하였다. 사각형어초 제작과정에서 간접적으로 이용되는 컨테이너 사무실, 컨테이너 창고 또한 제외하였다. 사각형어초 제작과정은 철근 가공 공정, 강재 거푸집 제조 공정, 콘크리트 타설 공정, 인공어초 제조 공정으로 구성되며 본 연구의 시스템 경계 모식도는 [Fig. 2]와 같다.

다. 데이터 및 전과정평가 도구

인공어초 제작과 관련된 데이터는 선행 연구에서 수집된 국내 데이터를 이용하여 연구를 수행하였다. 전과정평가를 수행하기 위하여 MiLCA ver 2.3 프로그램을 사용하였으며(JEMAI, 2017), 전과정 목록 데이터베이스는 국내 데이터베이스에 구축되지 않은 물질들이 많아 IDEA ver 2를

사용하였다(AIST and JEMAI, 2017). 전과정 영향 평가 방법론은 LIME 2를 사용하여(JLCA, 2012) 세부 영향범주에 대한 환경영향을 평가하기 위하여 분류화와 특성화까지 진행하였다. 환경영향범주는 지구온난화(global warming), 자원 소모(resource consumption), 산성화(acidification), 광화학 산화물(photochemical oxidant), 오존 감소(ozone depleting), 부영양화(eutrophication), 생태독성-수계(ecotoxicity-aquatic), 생태독성-육상계(ecotoxicity-terrestrial) 영향범주로 총 8가지의 환경영향범주에 대하여 전과정평가를 진행하였다.

라. 가정 및 제한사항

사각형어초 100개를 제작하기 위하여 사용되는 거푸집은 인공어초 표준설계 및 제작 설치 등에 관한 지침을 기준으로 2개를 제작하는 것으로 설정하여 계산하였다(FIRA, 2020).

Ⅲ. 연구 결과

1. 목록분석 결과

전과정 목록분석 결과, 사각형어초 제작과정에서 유입물 132종과 유출물 69종이 목록 항목으로 도출되었다. <Table 2>는 목록분석 결과 중 전과정 영향평가 특성화 단계에서 환경영향범주별로 미치는 영향이 5% 이상인 항목을 정리한 표이다.

2. 영향평가 결과

가. 공정별 영향평가

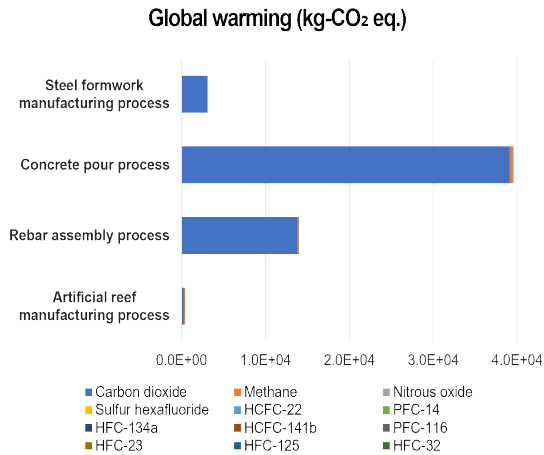
본 연구의 목적에 따라 사각형어초 제작과정의

각 공정의 잠재적 환경영향을 알아보기 위하여 앞서 선정된 8개의 환경영향범주에 대하여 공정별로 전과정 영향평가를 진행하였다.

지구온난화 영향범주에 대한 공정별 영향평가 결과는 [Fig. 3]과 같으며, 제작과정의 공정 중에서 콘크리트 타설 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지며 철근 가공 공정이 두 번째로 큰 잠재적 환경영향을 갖는 것으로 확인되었다. 사각형어초 제작과정의 네 공정 모두 각 공정에서 배출되는 이산화탄소(carbon dioxide)가 지구온난화 영향범주에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

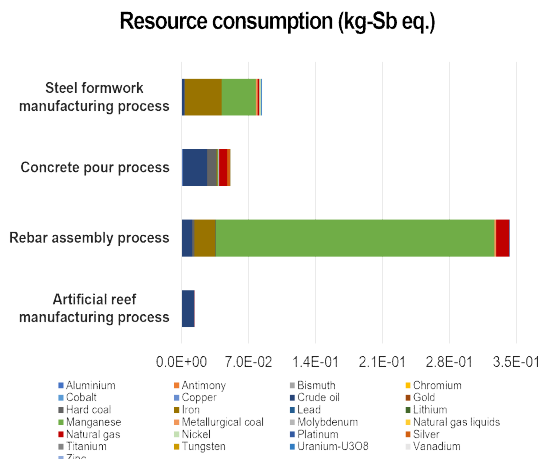
<Table 2> Result of life cycle inventory analysis

Group	Material	Total	Unit	
Input flow	Ground	Crude oil	3.835.E+03	kg
	Ground	Iron	2.061.E+03	kg
	Ground	Manganese	1.028.E+02	kg
Output flow	Air	Cadmium	6.758.E-06	kg
	Air	Carbon dioxide	5.634.E+04	kg
	Air	CxHy	1.318.E-01	kg
	Air	HCFC-22	1.234.E-03	kg
	Air	Lead	3.921.E-04	kg
	Air	Mercury	9.872.E-05	kg
	Air	Non-methane volatile organic compounds	2.942.E-01	kg
	Air	NOx	1.549.E+01	kg
	Air	SOx	1.527.E+00	kg
	Air	Sulfur dioxide	1.578.E+01	kg
	Water	Cadmium	1.902.E-09	kg
	Water	Lead	7.316.E-08	kg
	Water	Mercury	8.547.E-12	kg
	Water	Nitrogen, total (excluding N2)	2.512.E-04	kg
	Water	Phosphorus, total	2.712.E-04	kg



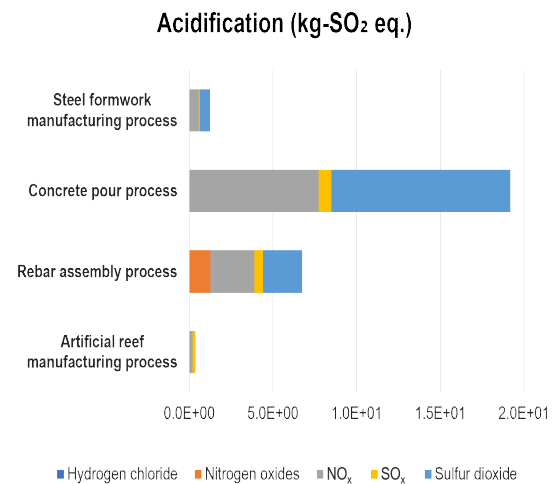
[Fig. 3] Characterization result by process of the global warming environmental impact category.

자원 소모 영향범주에 대한 결과는 [Fig. 4]와 같으며, 제작과정의 공정 중에서 철근 가공 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 갖는 것으로 나타났으며 이는 철근 가공 공정에서 소비되는 망간(manganese)에 의한 것으로 확인되었다. 철근 가공 공정 다음으로는 강재 거푸집 제조 공정이 철(iron)과 망간에 의한 영향으로 큰 환경영향을 가지는 것으로 나타났다.

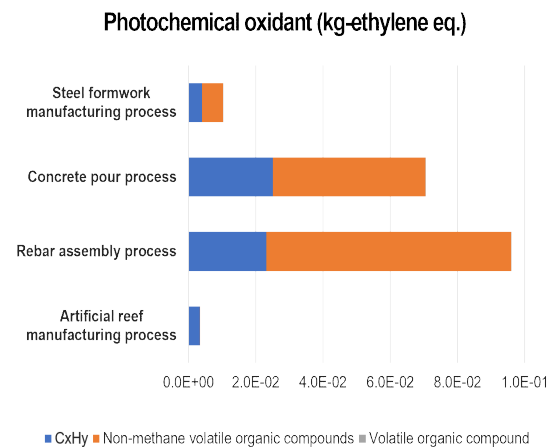


[Fig. 4] Characterization result by process of the resource consumption environmental impact category.

산성화 영향범주에 대한 영향평가 결과는 [Fig. 5]와 같으며, 콘크리트 타설 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 두 번째로는 철근 가공 공정의 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 콘크리트 타설 공정과 철근 가공 공정 두 공정의 이산화황(sulfur dioxide)과 질소산화물(NOx) 배출량이 많아 잠재적 환경영향이 큰 것으로 판단된다.



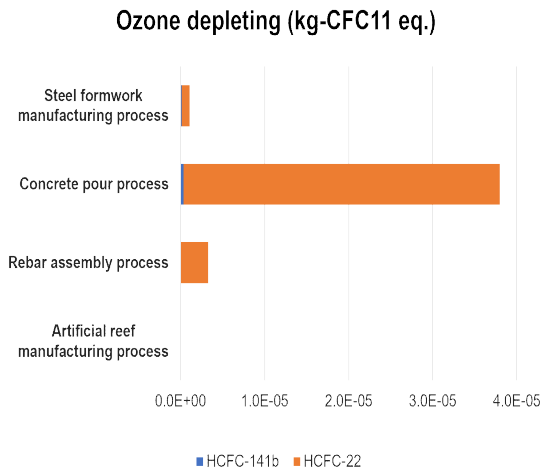
[Fig. 5] Characterization result by process of the acidification environmental impact category.



[Fig. 6] Characterization result by process of the acidification environmental impact category.

광화학 산화물 영향범주에 대한 결과를 [Fig. 6]과 같이 공정별로 나타내었으며 네 공정 중에서 철근 가공 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 다음으로는 콘크리트 타설 공정과 강재 거푸집 제조 공정의 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 세 공정 모두 비메탄 휘발성유기화합물(non-methane volatile organic compounds)과 탄화수소(CxHy)에 의한 영향이 큰 비중을 차지하는 것으로 확인되었다.

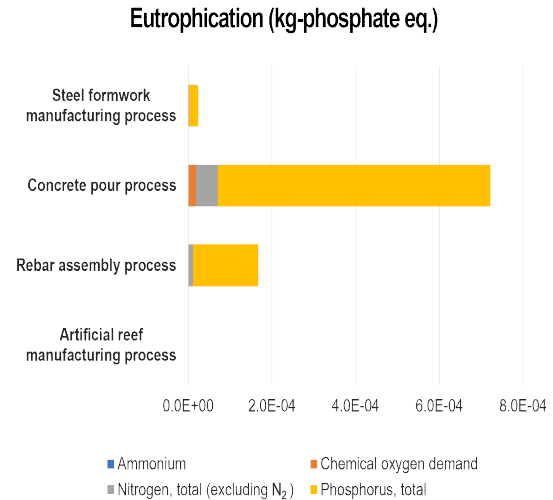
오존 감소 영향범주에 대한 공정별 영향평가 결과는 [Fig. 7]과 같으며, 제작과정 공정 중에서 콘크리트 타설 공정이 약 89.5%로 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 그에 비해 철근 가공 공정과 인공어초 제조 공정의 환경영향 합은 약 3% 미만으로 확인되었다. 이는 오존 감소 영향범주에서는 가장 영향이 큰 클로로디플루오로메탄(HCFC-22)의 배출이 적기 때문으로 확인할 수 있었다.



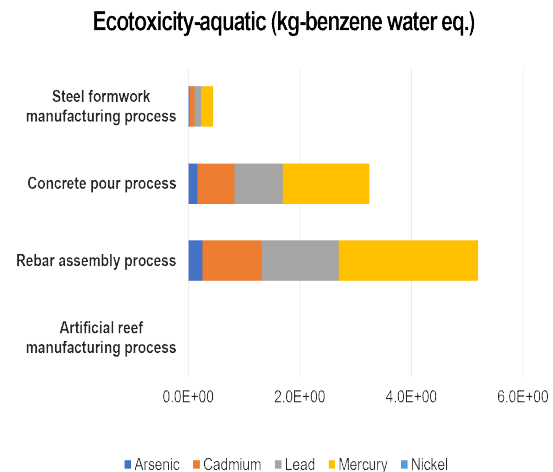
[Fig. 7] Characterization result by process of the ozone depleting environmental impact category

부영양화 영향범주에 대한 영향평가 결과는 [Fig. 8]과 같으며, 제작과정의 네 공정 중 콘크리트 타설 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 확인되었으며 다음으로는 철근 가공

공정에 의한 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 그에 비해 철근 거푸집 제조 공정과 인공어초 제조 공정의 잠재적 환경영향은 두 공정의 합이 약 3% 미만으로 이는 다른 공정에서 부영양화 영향 범주에 큰 영향을 주는 총 인(phosphorus, total)이 거의 배출되지 않기 때문으로 판단된다.



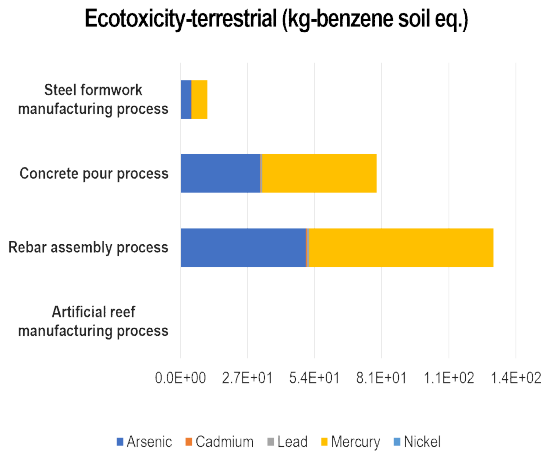
[Fig. 8] Characterization result by process of the eutrophication environmental impact category



[Fig. 9] Characterization result by process of the ecotoxicity-aquatic environmental impact category

생태계 독성-수계 영향범주에 대한 공정별 영향평가 결과는 [Fig. 9]와 같으며, 제작과정의 공정 중에서 철근 가공 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지며 그다음으로는 콘크리트 타설 공정이 큰 환경영향을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 철근 가공 공정과 콘크리트 타설 공정에서 배출되는 수은(mercury), 납(lead), 카드뮴(cadmium)에 의한 영향인 것으로 확인되었다.

생태계 독성-육상계 영향범주에 대한 결과를 [Fig. 10]과 같이 공정별로 나타내었으며 제작과정의 공정 중 철근 가공 공정이 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 그다음으로는 콘크리트 타설 공정 큰 환경영향을 가지는 것으로 나타났다. 이는 철근 가공 공정과 콘크리트 타설 공정에서 배출되는 수은과 비소(arsenic)에 의한 것임을 확인할 수 있었다.



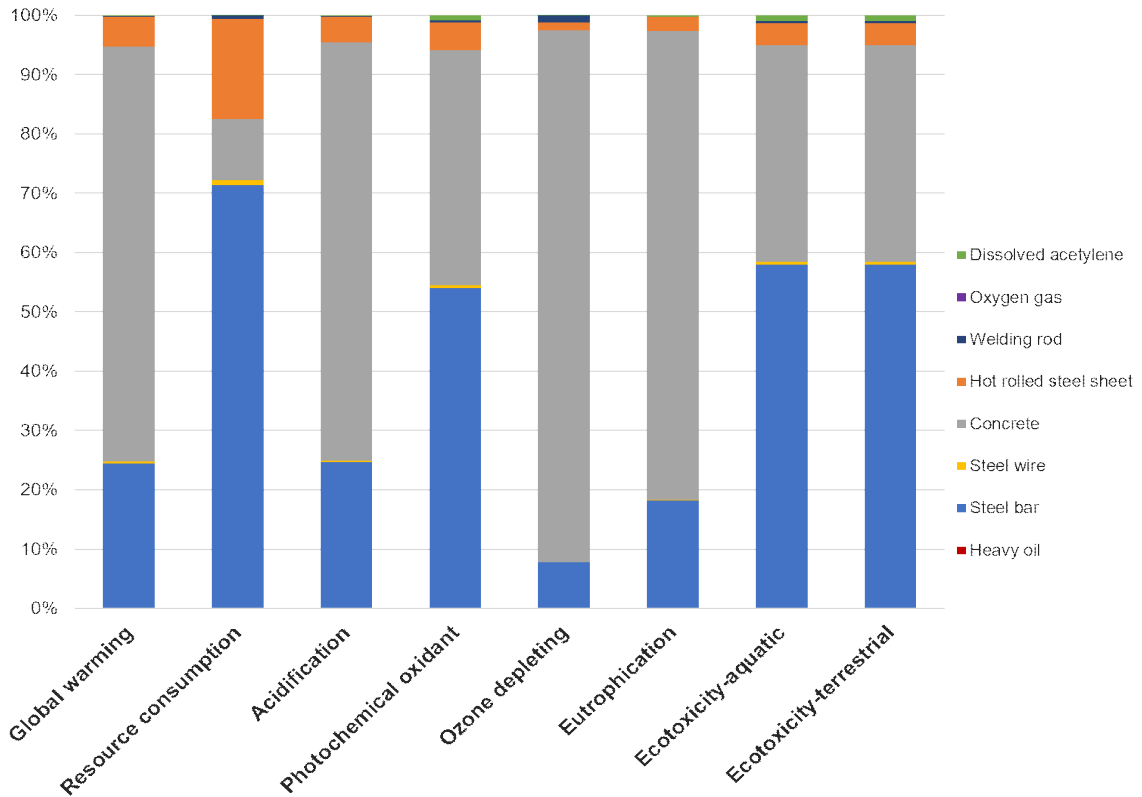
[Fig. 10] Characterization result by process of the ecotoxicity-terrestrial environmental impact category

나. 재료별 영향평가

공정별 환경영향에 대한 주요 원인을 파악하기 위하여 제작과정에 투입되는 재료를 중심으로 환경영향범주에 미치는 기여도를 분석하였다. 투입되는 재료는 박리제, 철근, 결속선, 콘크리트, 열연강판, 용접봉, 산소, 아세틸렌으로 총 8가지이

며 투입되는 재료별 영향평가 결과는 [Fig. 11]과 같다.

지구온난화 영향범주에서는 콘크리트(concrete)로 인한 환경영향이 약 69.9%로 가장 큰 잠재적 환경영향으로 가지는 것으로 나타났으며 다음으로 철근(steel bar)이 약 24.5%로 큰 환경영향을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 콘크리트와 철근 생산과정에서 발생하는 이산화탄소에 의한 영향으로 판단된다. 자원 소모 영향범주에서는 철근으로 인한 환경영향이 약 71.3%, 열연강판(hot rolled steel sheet)으로 인한 환경영향이 약 16.8%, 콘크리트로 인한 환경영향이 약 10.4%로 큰 잠재적 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 이는 철근 생산에서 소모되는 망간, 열연강판 생산에서 소모되는 철과 망간, 콘크리트 생산에서 소모되는 원유(crude oil)에 의한 환경영향으로 확인되었다. 산성화 영향범주에서는 콘크리트가 약 70.5%로 가장 큰 잠재적 환경영향을 가지며 이는 콘크리트 생산에서 발생하는 이산화황으로 인한 영향으로 판단된다. 콘크리트 다음으로는 철근 생산에서 발생하는 이산화황과 질소산화물로 인하여 철근이 약 24.6%의 환경영향을 가지는 것으로 나타났다. 광화학 산화물 영향범주에서는 철근이 약 53.9%, 콘크리트가 약 39.7%로 가장 큰 환경영향을 가지는 것으로 확인되었으며 이는 철근과 콘크리트 생산에서 발생하는 비메탄 휘발성 유기화합물에 의한 것으로 판단된다. 오존 감소 영향범주에서는 콘크리트가 약 89.6%로 가장 큰 환경영향을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 콘크리트 생산에서 발생하는 클로로디플루오로메탄에 의한 것으로 판단된다. 부영양화 영향범주에서는 콘크리트가 약 79.0%, 철근이 약 18.1%로 큰 환경영향을 가지는 것으로 나타났으며 이는 콘크리트와 철근을 생산할 때 발생하는 총 인에 의한 것으로 확인되었다. 생태독성-수계 영향범주에서는 철근이 약 58.0%, 콘크리트가 약 36.5%의 환경영향을 갖는 것으로 나타났으며 생태독성-육상계 영향범주에서도 철근이 약 57.9%, 콘크리트



[Fig. 11] Characterization result by materials.

가 약 36.6%의 환경영향으로 가지는 것으로 확인되었다. 이는 철근과 콘크리트의 생산에서 발생하는 수온에 의한 영향으로 판단된다.

3. 민감도 분석

사각형어초 제작과정에 대한 영향평가에서 모든 환경영향범주에서 큰 영향을 미치고 있는 콘크리트 공정의 콘크리트를 대체 물질로 치환함으로써 환경부하의 저감 정도를 예측하기 위하여 시나리오 분석을 진행하였다. 대체 물질은 FIRA(2021)의 인공어초 정보집에 게재된 복합 인공어초를 기준으로 선정하였다. 복합 인공어초 25개 중 Cho and Kim(2017)의 연구 결과에 따라 철근콘크리트 인공어초보다 잠재적 환경영향이 큰 강재 인공어초를 포함한 복합 인공어초 제외하였으며 그 중 환경에 주는 영향이 가장 적을

것이라 판단되는 굴폐각을 선정하였다.

가. 시나리오 1 - 굴폐각 이용

(1) 연구 대상

인공어초 정보집에 게재된 굴폐각을 이용한 인공어초 중 사각형어초와 형태가 동일한 부채꼴베란다 사각형어초의 실제 설계 데이터를 수집하여 굴폐각 분말과 콘크리트의 동일한 무게 비율을 적용시켰으며 기능, 기능단위, 기준흐름은 사각형어초와 동일하게 설정하였다.

(2) 범위 정의

시스템의 경계는 사각형어초 제작과정과 동일하게 설정하였으며 추가적으로 투입되는 굴폐각 분말의 생산공정은 굴폐각을 재활용하는 공정이므로 Cut-off 방법을 적용하여 인공어초 제작과정 시스템 경계 밖으로 설정하여 굴폐각 분말 생산

공정으로 인한 할당을 제외하였다.

(3) 목록분석

목록분석 결과, 유입물 132개와 유출물 69개가 도출되었으며 굴폐각 분말 약 3.7ton이 투입되었으며 콘크리트와 굴폐각 분말을 혼합하여 사용하는 것을 가정하였기 때문에 기존의 사각형어초의 콘크리트 사용이 1.91% 감소하였다.

(4) 영향평가

영향평가 결과는 <Table 3>과 같으며 지구온난화 영향범주는 환경영향이 1.04% 감소하였으며 자연 소모는 0.07%, 산성화는 0.06%, 광화학 산화물은 0.65%, 오존 감소는 1.69%, 부영양화는 1.50%, 생태독성-수계와 생태독성-육상계는 0.69% 환경영향이 감소하는 것으로 나타났으며 환경영향 범주별로 약 0.8%의 환경영향이 감소하는 것으로 확인되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 선행연구의 결과에 따라 국내에서 가장 많이 사용되고 있지만 동일 용도로 사용되고 있는 다른 인공어초보다 더 큰 잠재적 환경영향을 가지고 있는 사각형어초의 제작과정에 대

하여 전과정평가를 진행하였다.

목록분석 결과 132종의 유입물과 69종의 유출물이 결과로 도출되었으며 사각형어초 제작과정에 대한 공정별 영향평가 결과, 지구온난화, 산성화, 광화학 산화물, 오존 감소, 부영양화, 생태독성-수계, 생태독성-육상계 영향범주를 포함한 7가지 환경영향범주에서 콘크리트 타설 공정과 철근 가공 공정이 큰 환경영향을 가지는 것으로 나타났다. 자원 소모 영향범주에서는 강재 거푸집 제조 공정과 콘크리트 타설 공정이 큰 환경영향을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 영향평가의 주요 원인을 파악하기 위하여 실시한 재료별 전과정 영향평가 결과, 대부분의 환경영향범주에서 철근과 콘크리트로 인한 잠재적 환경영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 통하여 인공어초 제작과정의 콘크리트 타설 공정과 철근 가공 공정의 개선과 강재 거푸집 제조 공정에서 사용되는 재료의 개선이 필요함을 시사하고 있다.

그리고 8개의 영향범주에서 가장 큰 환경영향을 가지고 있는 콘크리트 타설 공정의 주요 원인인 콘크리트를 대체하여 진행한 시나리오 분석결과, 굴폐각으로 콘크리트 사용량이 약 1.91%로 감소하였으며 이로 인하여 잠재적 환경영향이 약

<Table 3> Assessment result of material replacement

Impact category	Unit	Cube type artificial reef	Scenario 1	Reduction rate (%)
Global warming	kg-CO ₂ eq.	5.697.E+04	5.637.E+04	1.04%
Resource consumption	kg-Sb eq.	4.913.E-01	4.910.E-01	0.07%
Acidification	kg-SO ₂ eq.	2.754.E+01	2.752.E+01	0.06%
Photochemical oxidant	kg-ethylene eq.	1.802.E-01	1.790.E-01	0.65%
Ozon depleting	kg-CFC11 eq.	4.244.E-05	4.172.E-05	1.69%
Eutrophication	kg-phosphate eq.	9.154.E-04	9.017.E-04	1.50%
Ecotoxicity-aquatic	kg-benzene water eq.	8.902.E+00	8.840.E+00	0.69%
Ecotoxicity-terrestrial	kg-benzene soil eq.	2.160.E+02	2.145.E+02	0.69%

0.8% 감소하는 것으로 나타났다. 실제 사용되고 있는 사각형어초의 설치량을 고려한다면 잠재적 환경영향을 다량 줄일 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구의 시나리오 분석을 통하여 사각형어초 제작과정에 대한 공정별 환경영향을 파악하고 굴폐각을 이용한 인공어초에 대한 환경영향을 평가함으로써 잠재적 환경영향의 감소를 확인하였다. 하지만 굴폐각의 사용으로 인한 안정성 검사는 이루어지지 않았기 때문에 굴폐각 인공어초와 관련한 안정성 검사를 추가로 진행하여 굴폐각 인공어초를 개발한다면 인공어초 제작으로 인한 환경영향을 줄이면서 수산자원을 증대시킬 수 있을 것이라 기대된다.

또한, 추후 굴폐각 분말 제작과정에서 발생하는 잠재적 환경영향을 고려하고 사각형어초 제작 과정에서 두 번째로 큰 환경영향을 미치는 철근 가공 공정의 주요 원인 물질인 철근의 사용을 줄이기 위하여 고강도 콘크리트를 사용하거나 GFRP 보강근과 같은 대체 보강재를 사용한 인공어초를 개발한다면 더욱 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

References

- AIST (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) and JEMAI (Japan Environmental Management Association for Industry) (2017). LCI Database IDEA ver.2.1.3
- Baek SH, Shin BS and Kim KH(2014). Hydraulic model test for corrugated artificial reef stability. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 15(8), 5327~5332. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.8.5327>
- Cho EI and Kim TS(2018). Life Cycle Assessment of Artificial Reefs Production Process. *Journal of the Korean Ecological Engineering Society*, 6(2), 15~24.
- Choi CG(2008). Marine Communities around Artificial Reefs Located in Ikata, Shikoku, Japan. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(3), 208~214. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.3.208>
- FIRA(2020). Revised Guidelines for Standard Design, Manufacture, and Installation ect. of Artificial Reef, 5.
- FIRA(2021). Artificial reefs information book, FIRA-IR-21-002, 8.
- FIRA(2021). Artificial reefs information book. FIRA-IR-21-002, 2~5.
- FIRA(2021). Statistics of Artificial reefs Facilities (1971~2020). FIRA-IR-21-004, 4~5.
- Hong CH, Kim MH and Woo KS(2003). An Experimental Study on Recycled Aggregate Concrete for Artificial Fishing Reefs. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 17(4), 16~22.
- Hwang DJ, Park JS and LEE YW(2004). Estimation of Fish School Abundance by Using an Echo Sounder in an Artificial Reef Area. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(3), 249~254. <https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.3.249>
- ISO(2006a). ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- JEMAI (Japan Environmental Management Association for Industry)(2017). LCA System MILCA ver.2.
- JLCA (Life-Cycle Assessment Society of Japan) (2012). LIME2 Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling.
- Kim HT(2001). A Study of Artificial Reef Subsidence In Unsteady Flow Field. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 15(2), 33~38.
- Ko HB and Kim HD(2018). Development of hybrid artificial reef and basic structural performance tests. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(9), 341~347. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.341>
- Lee HG(2022). A direction for the development of high performance concrete using recycled waste low-grade FRP and waste glass sludge. *Magazine of RCR*, 17(1), 15~21. <https://doi.org/10.14190/MRCR.2022.17.1.015>
- Lee KM, Hur T and Kim SD(1998), Chapter 1 Introduction, In: Theories and Guidelines for Environmental Life Cycle Assessment(LCA), KAB, Seoul, Korea, 11~12.
- Park JS, Seo MS and Kim JH(2001). A Study on the Research Condition and Efficiency of Artificial

- reefs of Rokdo Sea region of Chungnam Province. The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 13(1), 87~98.
- Park SB, Hong CH, Kim SC and Kim KH(2007). Experimental Study on Development of Artificial Fishing Reefs Using Environment-Friendly Sulfur Concrete. Journal of Ocean Engineering and Technology, 21(3), 58~64.
- Ryu JG and Joung MS(2000). A Study on the Economic Appraisals of Artificial Reefs. Ocean Policy Research, 15(2), 123~150.
- Yoon EA, Ayumi Takano, Son G, Hong SU and Hwang DJ(2014). Density variation of fish and zooplankton around artificial reef area. Journal of the Fishing Technology Institute, 7(1), 52~56.
- You YJ, Kim JH, Park YH and Park JS(2012). Enhancements in Performance and Manufacturing Efficiencies of GFRP Rebar. Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 16(1), 110~119.
<https://doi.org/10.11112/JKSMI.2012.16.1.110>
- Yun DH and Kim YT(2017). Characteristics of Settlement and Scour of Square-Shaped Hybrid Reef according to Placement Types. Journal of Korean Geosynthetics Society, 16(2), 1~10.
<https://doi.org/10.12814/jkgss.2017.16.2.001>
-
- Received : 15 November, 2023
 - Revised : 06 December, 2023
 - Accepted : 11 December, 2023