



## 피해산정형 전과정평가 기법을 적용한 콘크리트 압축강도별 환경영향 비교 분석 연구

김성희<sup>1)\*</sup> · 태성호<sup>2)</sup> · 채창우<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>스마트에코 주식회사 녹색사업본부 <sup>2)</sup>한양대학교 건축공학부 <sup>3)</sup>한국건설기술연구원

## A Comparative Study on the Environmental Impacts by Concrete Strength Using End-point LCA methodology

Sung-Hee Kim,<sup>1)\*</sup> Sung-Ho Tae,<sup>2)</sup> and Chang-U Chae<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Green Biz Department, SMaRT ECO Ltd., Seoul 135-943, Korea

<sup>2)</sup>School of Architectural Engineering, Hanyang University, Ansan 426-906, Korea

<sup>3)</sup>Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

**ABSTRACT** This is a comparative study that shows the overall environmental impacts from concrete structures when different compressive strength of concrete applied to structural systems having the same reference flow with different durability. A total of 24 MPa, 40 MPa and 60 MPa cases is analyzed to define the characteristic using end-point perspective LCA methodology including the stages of production, construction, maintenance and disposal. As results, global warming, non-renewable energy and respiratory inorganics problems are the major issues for assessing environmental impacts of concrete products.

**Keywords** : end-point model, life cycle risk assessment, LCA, environmental impacts, IMPACT2002+

### 1. 서 론

환경오염의 가속화와 자원고갈을 억제하기 위해 주요 선진국들은 인간의 활동으로 인한 직간접적인 환경영향을 측정하기 위한 지표로서 발자국(footprint)이라는 개념을 도입하였다. 그 대표적인 예로서 탄소발자국(carbon footprint)과 물발자국(water footprint), 생태발자국(ecological footprint)을 들 수 있으며 최근에는 음식물쓰레기 발자국(food wastage footprint)까지 측정하려는 연구가 진행되고 있다. 그에 더하여 유럽연합에서는 ‘녹색제품을 위한 단일시장화 계획(single market for green products initiative, SMGP)<sup>1)</sup>을 발표함으로써 그간 유럽지역에 혼재되어 사용되어왔던 각종 제품환경과 관련된 인증제도를 통합하는 동시에 각국의 환경부하 평가 결과를 비교할 수 있는 기반을 갖추게 되었다. 기존의 우수한 환경발자국들에서 탄소배출량, 물자원 소비량, 및 폐기물발생량과 같은 단일지표로서 환경적 우위를 비교할 수 있도록 했다면 이

번 유럽연합에서 발표한 제품환경발자국(product environmental footprint, PEF)에서는 환경영향을 비교할 수 있는 주요 환경지표들을 제품군별로 다르게 제시함으로써 다수의 환경영향을 동시에 비교할 수 있는 제도적인 근거를 제시했다는 점에서 의의가 있다. 이러한 주요국들의 동향을 살펴볼 때, 한국도 조만간 선진국들의 환경정책 수준에 부합하는 동시에 한국적 상황이 반영된 대응방안을 마련할 필요가 있다고 판단된다. 이는 동일한 종류의 환경오염이 발생했다 하더라도 국가별 지리적, 기후적 및 사회적 조건이 달라 인간이나 생태계에 미치는 환경영향에는 차이가 존재할 수 있으며, 환경오염을 처리하기 위한 사회경제적 지불비용에도 차이가 있기 때문이다.

그러나 국내 건설 및 건축업계에서 환경영향에 대한 관심은 1990년대 말 전과정평가 기법이 도입되기 시작한 이래로 지금까지 에너지와 탄소배출 위주로 집중되어왔다.<sup>2-4)</sup> 건축물의 전생애비용 연구에서도 비용 산정에 고려되는 환경부하는 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량으로 제시되고 있으며<sup>5)</sup> 친환경건축물인증을 위한 건축자재 수준의 정보를 BIM에 통합시키는 연구에서도 전생애주기 CO<sub>2</sub>평가 결과만을 다루고 있다.<sup>6)</sup> 또한 국내에서 시행되고 있는 환경정책은 주로 기후변화와 관련된 지구온난화 지표를 근거로 제품이나 활동에 대한 친환경성을

\*Corresponding author E-mail : shkim@smart-eco.co.kr

Received February 24, 2014, Revised May 19, 2014,

Accepted May 26, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

판단하고 있는데 대표적인 예로 2009년 이래 활성화되고 있는 탄소성적표지 인증제도를 들 수 있다. 이처럼 환경영향 판단 근거로서 에너지소비량과 탄소배출량만을 기준으로 삼게 되면, 제품의 생산과 사용 및 폐기 과정에서 지구환경에 미치는 영향 이외에 인체독성과 같이 사람에게 직접적인 영향을 미치는 정도를 판단하기가 불가능하므로 여러 가지 환경영향지표들을 종합적으로 비교평가할 수 있는 방법론이 개발될 필요가 있다.

따라서 이 연구를 통하여 전생애주기에 걸쳐 막대한 환경영향을 발생시키는 건축물에 대한 환경부하를 탄소배출량과 같은 단일지표가 아니라 여러 영향범주별 결과를 통합하여 비교평가 할 수 있는 방법론을 제안하고자 한다. 국내에서 건설되는 건축물에 투입되는 자재의 사용량을 단위면적당 비교했을 경우, 시멘트와 골재 등을 이용한 시멘트콘크리트 제품이 가장 많이 사용되고 있으므로 주요 연구 대상은 콘크리트 구조물로 선정하였다. 또한 동일한 구조물일지라도 콘크리트의 압축강도에 의한 투입물량에 차이를 보일 수 있으므로, 구조체를 형성하는데 투입된 콘크리트의 압축강도를 24 MPa, 40 MPa, 60 MPa로 변화시켜 그에 따른 환경영향을 비교평가 하였다. 그리고 전과정영향평가 기법의 하나인 피해산정형 모델을 적용하여 여러 가지 환경영향범주 중 콘크리트에서 주로 발생할 수 있는 주요 환경영향지표를 도출함으로써 향후 제품환경발자국 관점에서 콘크리트 구조물의 환경부하를 정량적으로 비교할 수 있는 기초자료로서 활용될 수 있도록 하였다.

## 2. 환경영향 비교평가 방안

### 2.1 콘크리트 압축강도별 전과정평가

전과정평가(LCA, life cycle assessment)는 인간의 경제활동, 제품 및 서비스의 전과정 즉, 원료채취, 원자재 생산, 제품생산, 운송, 사용, 폐기에서 사용되거나 배출되는 원자재 및 에너지의 사용량과 환경으로 배출되는 오염물질 또는 배출물 등의 환경부하를 고려하여 이들의 잠재적인 환경영향을 분석하고 정량화하여 환경개선 방안을 도출할 수 있는 객관적인 환경영향 평가기법이다. 전과정평가는 목적 및 범위정의(goal and scope definition), 전과정 목록분석(life cycle inventory analysis), 전과정 영향평가(life cycle impact assessment), 전과정 해석(life cycle interpretation)의 순서로 진행된다.<sup>7)</sup>

이러한 전과정평가 과정에 따라 콘크리트의 전생애주기 동안 발생하는 입력물 및 배출물에 대한 데이터를 수집할 범위를 결정하고, 기존에 구축된 환경성정보 데이터베이스(LCI DB; life cycle inventory database)를 활용하여 전과정 목록분석을 실시한다. LCI DB란 제품의 생산에 필요한 원자재의 채취, 가공, 수송, 사용 및 폐기에 이르는 전생애주기 동안 제품의 시스템으로 투입되는 자원

및 에너지의 양과 시스템에서 환경으로 배출되는 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터베이스를 말한다.<sup>8)</sup> 전과정 평가에 활용될 수 있는 국내 LCI DB 모듈은 2000년대 초부터 지금까지 물질 제조, 수송 및 폐기 부문을 포함하여 385개 가 개발되었고, 해외 모듈은 대표적인 데이터베이스인 에코인벤트스<sup>9)</sup>에서 4000여 개 이상의 모듈이 개발되어있는 상태이다. 전과정 목록분석 결과를 가지고 전과정 영향평가를 실시하게 되는데 이때 여러 환경영향범주별 결과를 단일지수로 통합하는 피해산정형 모델이 적용된다.

#### 2.1.1 비교평가 계획

콘크리트 압축강도별 환경영향 평가목적은 콘크리트 구조물을 시공하기 위한 원재료의 생산, 수송, 사용 및 폐기 과정에서 발생하는 오염물질의 종류 및 발생강도를 정량적으로 분석하여 콘크리트 성능과 환경영향간의 상관관계를 파악하기 위함이다. 콘크리트는 적용되는 건축물의 용도나 타설 부위의 요구 강도 등 콘크리트 활용 목적에 따라 다양한 배합이 존재하는데, 각 배합별로 투입되는 재료의 물량이 달라지며 그로 인한 환경부하가 상이하게 나타날 수 있다. 그러므로 이 평가에서는 콘크리트 제품의 사용 기간을 동일하게 유지하고 콘크리트의 압축강도를 건축물에서 일반적으로 요구되는 압축강도인 24 MPa에서부터 40 MPa 및 60 MPa의 고강도로 변화시켜 평가하였다. 그리고 적용되는 콘크리트 타설 부위는 철근콘크리트 벽식구조의 벽체 부위로 제한하였다. 이는 공동주택이나 아파트의 시공 시, 전체 콘크리트 물량 중 벽체가 차지하는 비율이 일반적으로 50% 이상을 차지하고 있으며, 구조물의 적용 부위에 따른 콘크리트 배합비나 요구되는 압축강도에 차이가 있을 수 있기 때문에 동일한 용도의 구조부위로 제한하여 평가하였다.

환경영향 평가 기간은 국내 법인세법과 해외 건축물 환경영향평가 표준을 참고하여 50년으로 가정하였다. 법인세법 시행규칙 별표5에 의하면, 철근콘크리트조의 경제적 가치가 없어지는 시점인 기준내용연수의 하한은 30년, 상한은 50년으로 규정되어 있다. 또한 전과정평가의 원칙과 절차를 건축물 분야에 구체화시킨 국제표준인 ISO 21931-1에서는 명확한 평가기간을 규정하고 있지는 않지만 유럽표준인 CSN EN 15978에서는 건축물의 전과정평가 시 기간을 50년으로 정하도록 규정하고 있다.<sup>10)</sup> 이는 현실 생활에서 콘크리트의 실제 내구연한이 다하기 이전에 재건축이나 용도변경을 위한 대수선 등과 같은 사회적인 조건에 따라 해체되는 경우가 많기 때문에 건축물의 전과정평가 시 50년이라는 평가기간을 설정하고 있으며 이 연구에서도 이를 따르도록 하였다.

#### 2.1.2 기능, 기능단위 및 기준흐름의 설정

전과정평가는 주요 기능을 가진 제품 또는 서비스를 대상으로 수행되기 때문에 환경영향 분석 및 비교를 위

한 기능단위와 기준흐름을 설정할 필요가 있다. 기능단위의 목적은 제품에 의해 제공된 서비스를 정량화하는 것으로 이러한 대상제품의 성능을 바탕으로 기능단위를 해석하여 물질과 에너지의 기준흐름, 즉 기능단위를 수행하는데 필요한 제품의 수 또는 양을 설정하게 된다.

일반적으로 전과정평가에서 비교평가를 실시할 때 1 kg 이나 1 m<sup>3</sup>과 같은 기준단위를 활용하는데 반해, 이 연구에서는 벽체라는 기능을 동일하게 수행하기 위하여 요구되는 콘크리트 물량이 압축강도별로 상이하기 때문에 벽체의 기능을 수행하는 콘크리트 총량을 기준으로 비교하였다. 콘크리트의 압축강도별 전과정평가에서 기능단위 및 기준흐름은 다음의 Table 1과 같이 설정되었다.

### 2.1.3 시스템경계의 설정

전과정평가에서 시스템이란 분명하게 정의된 어떤 기능을 수행하는 일련의 활동들의 집합체를 말하는 데 광범위한 의미에서의 시스템은 원료의 획득으로부터 출발하여 소비자의 사용을 거쳐 최종 폐기까지를 의미한다. 그리고 시스템경계는 전과정평가에 포함되어 있는 단위 공정들에 따라서 결정된다.

**Table 1** Function, functional unit and reference flow for LCA of reinforced concrete structure

	Definition
Function	To form structural wall of reinforced concrete apartment building
Functional unit	Reinforced concrete wall of 25-story apartment building occupied during 50 years
Reference flow	Materials and energy which put into reinforced concrete wall of 25-story apartment building occupied during 50 years

**Table 2** System boundary of reinforced concrete structure

Life cycle	Definition
Material production	all the processes of producing the building materials such as cement, aggregate, and admixture to be inputted into a concrete structure by consuming the resources and energy required for manufacturing finished goods or semi-finished goods
Construction	the process of transporting materials constituting a concrete structure from the material production site to the construction site and casting and curing process with machines
Use & maintenance	the process wherein a user maintains a gradually wearing and tearing a concrete structure through additional repair and maintenance until demolished
End of life	a concrete structure is demolished using equipment and the waste is transported to a processing plant for reclamation or incineration or recycling

국제표준 ISO 21931-1에서는 건축물의 전생애단계를 생산, 시공, 사용 폐기의 4가지 생애주기 단계로 세분화시키고 있다. 콘크리트 전과정평가를 위한 시스템경계의 구분과 범위 정의는 다음의 Table 2와 같다.

### 2.1.4 가정 및 제한 사항

전과정평가는 물질과 에너지의 흐름을 정량화하는 과정이므로 전생애주기 단계별로 무엇이 연결되고 흘러가는지를 파악하는 것이 중요하다. 그러나 모든 종류의 물질흐름과 공정을 검토하는 것은 많은 시간과 노력을 소비하게 되므로 ISO 14040에서 규정하는 ‘제외기준(cut-off criteria)’ 절차에 따라 일반적으로 누적질량기여도 95-99% 범위에 있는 투입물질을 기준으로 데이터 수집범위를 정할 수 있다. 또한 현재로서는 한국의 기후적, 사회적 상황이 반영된 피해산정형 평가모델이 개발되어있지 않은 상태이므로 해외에서 개발된 평가모델을 활용하기로 한다.

## 2.2 콘크리트 주요 환경영향 단일지수화 방안

### 2.2.1 환경영향 단일지수와 필요성

환경오염으로 인한 지구적 차원의 피해가 증가함에 따라 인간의 활동으로 인한 환경적 영향을 줄이기 위한 다양한 시도들이 국내에서 이루어지고 있다. 대표적인 예로 산업을 대상으로 하는 온실가스 에너지 목표관리제, 제품을 대상으로 하는 탄소(환경)성적표지, 환경마크, 우수재활용인증, 녹색제품인증 등을 들 수가 있다. 현재 대부분의 인증제도는 여러 가지 환경영향범주 중 자원고갈, 에너지소모나 온실가스배출 등과 같은 단편적인 영향범주에 근거하여 친환경성을 판단하고 있다. 그러나 재활용 제품의 예를 고려해보면, 자원고갈 저감 측면에서는 유리할 수 있으나, 폐기물을 재처리하는 과정에서 추가적인 에너지소비와 온실가스 배출이 발생하게 되므로 지구온난화 관점에서는 우수한 제품이라고 판단하기 어려울 수 있다. 이처럼 단일 환경영향범주만 가지고 인간의 활동이나 제품에 대한 친환경성을 판단하는 것은 합리적이라고 보기 어려우며 따라서 판단 결과를 정책적으로 활용하는 면에서도 많은 주의가 요구된다.

이러한 필요성에 따라 전과정 평가 학계에서는 다양한 영향범주별 결과를 통합화하여 단일지수화 하는 연구들이 이루어지고 있다. 전과정평가에서 전과정 영향평가(LCIA) 단계는 전과정 목록분석(LCI) 결과를 이용하여 제품이나 서비스로 인한 환경부하 정도를 정량적 또는 정성적으로 추산하여 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 과정이다. 초기 LCIA 방법은 LCI 결과에서 지구온난화, 오존층 영향 등의 영향범주별로 잠재적인 환경영향을 정량화하는 형태였으나 최근 각 영향범주에 대한 가중치를 부여하여 하나의 지수로 표현하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 환경영향범주별 결과를 단일지수화 하는 대표적인 방법은 크게

문제비교형 모델(mid-point model)과 피해산정형 모델(end-point model)로 구분된다.

### 2.2.2 환경영향 단일지수화 방법론 비교

Fig. 1에서 설명되는 바와 같이, LCIA에서 사용하는 단일지수화 방법론 중 문제비교형 모델은 물질목록에서 환경영향과 관련된 데이터를 연관시키고 각 영향범주별 가중치를 주관적으로 판단하여 단일점수(single score)로 표현한다. 환경영향범주는 지구온난화, 오존층 영향, 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물 생성 등 10개 항목 이상으로 구분되는데 주로 소비자 설문조사와 전문가 패널 토의를 통하여 연구자의 주관적인 가치판단 기준에 따라 각 영향범주별 중요도가 결정된다. 그러나 문제비교형 모델은 LCIA 과정에서 자연과학적 연구 성과를 반영하지 않기 때문에 평가 결과는 단순히 탄소배출량이나 에너지소비량으로 표시될 수밖에 없으며 따라서 환경부하가 실제 인간에게 직접적인 영향을 미칠 수 있는 환경문제로 연결되는 과정을 파악하기 어렵다. 결국 이러한 평가방법의 불투명성으로 인하여 문제비교형 모델을 이용한 단일지수화 결과는 환경적 문제점을 도출하고 개선방안을 제시하는데 한계가 있다.<sup>11)</sup>

반면 피해산정형 모델은 물질목록에 의한 환경영향을 규명한 뒤, 독성학, 인체역학 등 다양한 자연과학적 연구 결과를 활용하여 인체와 생태계에 대한 피해목록을 산정하고 가중치를 결정하여 단일지수화 하는 방법을 채택한다. 영향범주별 중요도를 부여하는 문제비교형 모델과 달리, 피해산정형 모델은 환경영향의 정도를 파악할 수 있는 범주별 종말점(category endpoint) 수준에서 환경영향을 집계한 뒤 보호대상(safeguard subject) 간의 가중치를 부여하여 단일지수화 한다. 이 모델은 보호대상별로 환경영향 결과를 집계하기 때문에 가중치항목이 4개 이하로 줄어들며, 보호대상별 결과 산출 시 자연과학의 학술적 연구 결과에 근거하므로 결과에 대한 높은 신뢰성과 투명성을 가질 수 있다. 환경문제로 인해 발생하는 피해의 종류와 범주를 객관적으로 파악하기 때문에 타 영역의 환경영향 평가 결과와도 이론적인 비교가 가능하다.

평가 결과가 인간 또는 생태계에 대한 피해정도로 표

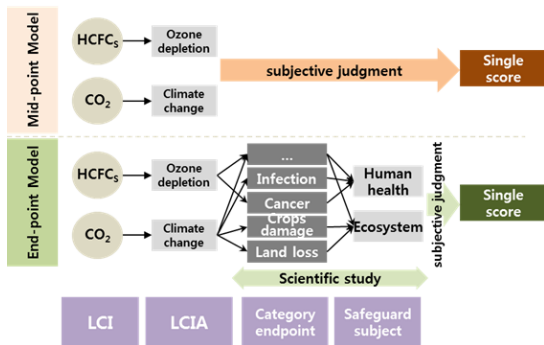


Fig. 1 Comparison of mid-point LCIA model and end-point LCIA model

현되어 보호대상 사이의 중요도를 부여할 수 있는 피해산정형 모델의 유용성이 인식됨에 따라 현재 다양한 방법들이 개발되어 사용되고 있다. 대표적인 방법들로는 Eco-indicator 99(네덜란드), EPS 2000(스웨덴), LIME(일본), IMPACT 2002+(스위스) 등을 들 수 있다. Table 3에

Table 3 Comparison of major end-point methods

Model	Impact category	Damage category	Unit
Eco-indicator	Carcinogens	Human health	DALY <sup>(1)</sup>
	Respiratory organics		
	Respiratory inorganics		
	Climate change		
	Radiation		
	Ozone layer	Ecosystem quality	PDF*m <sup>2</sup> yr <sup>(2)</sup>
	Ecotoxicity		
	Acidification/Eutrophication		
	Land use	Resources	MJ surplus
	Fossil fuels		
Minerals	Human health	ELU <sup>(3)</sup>	
Life expectancy			
Severe morbidity			
Morbidity			
Severe nuisance			
Nuisance	Ecosystem productivity	ELU	
Crop growth capacity			
Wood growth capacity			
Fish and meat production			
Soil acidification	Abiotic stock resource	ELU	
Prod. cap. irrigation Water			
Prod. cap. drinking Water			
Depletion of reserves	Biodiversity	ELU	
Species extinction			
IMPACT 2002+	Carcinogens	Human health	DALY
	Non-carcinogens		
	Respiratory inorganics		
	Ionizing radiation		
	Ozone layer depletion		
	Respiratory organics	Ecosystem quality	PDF*m <sup>2</sup> yr
	Aquatic ecotoxicity		
	Terrestrial ecotoxicity		
	Terrestrial acid/nutri		
	Land occupation	Climate change	kgCO <sub>2</sub> eq
	Aquatic acidification		
	Aquatic Eutrophication		
	Global warming	Resources	MJ primary
Non-renewable energy			
Mineral extraction			

<sup>(1)</sup> DALY = Disability Adjusted Life Years (인체보정생존년수)

<sup>(2)</sup> PDF\*m<sup>2</sup>yr = Potentially Disappeared Fraction (중감소가능률)

<sup>(3)</sup> ELU = Environmental Load Unit (환경부하단위)

서는 주요 방법론 별로 각 환경영향범주가 인체와 생태계에서 미칠 수 있는 피해목록을 어떻게 다르게 규정하고 있는지 보여준다.

### 2.2.3 IMPACT 2002+를 적용한 콘크리트에 의한 환경영향 단일 지수와 절차

이제까지 콘크리트 구조물의 전생애주기 환경영향 평가 연구는 전과정평가 기법을 적용하여 물질흐름을 분석하고 전과정 목록분석 단계에서 콘크리트 LCI DB를 구축한 뒤, LCIA 단계에서 각 물질이 잠재적으로 유발시킬 수 있는 환경부하량을 6대 환경영향범주인 자원소모, 지구온난화, 오존층영향, 산성화, 부영양화 및 광화학적 산화물생성 항목별로 구분하여 산출하는 형태였다. Fig. 2에서 설명되는 바와 같이 기존의 전과정평가 연구에서는 LCIA 단계에서 진행되는 분류화(classification), 특성화(characterization), 정규화(normalization), 가중화(weighting)의 4단계 중 강제적 요소인 분류화와 특성화까지만 진행하여 6대 환경영향범주 별 결과값을 산출하였다. 그리하여 지구온난화 영향은 kgCO<sub>2</sub>eq 단위로, 오존층파괴는 kgCFC11eq 단위로 표시되는 등, 각 영향범주별로 다른 평가단위를 갖기 때문에 특정 환경영향이 전체 환경영향에서 얼마나 큰 비중을 차지하는지 비교할 수 있는 기준이 전혀 없었다. 다시 말해서, 콘크리트 구조물에서 지구온난화 지표가 여러 영향범주 중 얼마나 큰 중요성을 가지는지 판단할 수 있는 근거가 없기 때문에 단순히 탄소배출점량을 달성했다고 해서 친환경적인 콘크리트라고 단정하기 어려웠다. 또한 정규화와 가중화 단계에서는 앞서 논의하였던 문제비교형 모델이나 피해산정형 모델을 선택하여 진행하게 되는데, 현재까지는 국내 상황에 적합한 영향평가 모델이 개발되어 있지 않아 객관적인 평가진행에 어려움이 있어 왔다.

그러나 이 연구는 콘크리트 구조물이 발생시키는 다양한 환경영향을 단일지표화하기 위한 기초적인 자료의 목적을 지니므로, 스위스에서 개발된 피해산정형 모델인 IMPACT 2002+ 방법론을 적용하여 각 영향범주별 상대적 중요도를 분석해보고자 한다. IMPACT 2002+의 기본체계는 스위스 로잔공대에서 개발되었으며 모델의 보호범주 중 인체독성과 생태계의 질에 대한 연구 위주로 진행

되었다. 이외의 범주에 대한 모델링 연구는 기존에 개발된 Eco-indicator 99와 CML 및 IPCC가 기반이 되었다.<sup>12)</sup>

IMPACT 2002+는 Table 3에서 설명된 바와 같이, LCI DB의 입출력 물질들을 15개의 환경영향범주에 연결시켜 합산한 뒤, 각 영향범주에 의한 피해규모를 인체건강(human health)와 생태계 질(ecosystem quality), 기후변화(climate change) 및 자원고갈(resource) 측면에서 평가하게 된다. 인체건강에 영향을 미치는 환경영향범주는 발암(carcinogens) 또는 비발암물질(non-carcinogens), 호흡계 비/유기물질(respiratory in/organics) 이온화 방사선(ionizing radiations), 오존층파괴(ozone layer depletion)지표가 해당된다. 생태계의 질에 영향을 미치는 환경영향범주는 호흡계 유기물질, 수계 생태독성(aquatic ecotoxicity), 토양계 생태독성(terrestrial ecotoxicity), 수계 산성화/부영양화(aquatic acidification/eutrophication), 토양 산성화/부영양화(terrestrial acidification/eutrophication), 토지이용(land occupation) 지표가 해당된다. 기후변화에 영향을 미치는 영향범주는 지구온난화(global warming)지표 뿐이며, 자원고갈 측면에 영향을 미치는 범주는 비재생에너지자원(non-renewable energy)과 광물자원 고갈(mineral extraction) 지표가 해당된다.

IMPACT 2002+를 포함하여 해외에 존재하는 다수의 피해산정형 평가모델들은 자연환경 중에서 어떤 구성요소를 보호할 것인지 결정하는 데 있어서 환경윤리라는 철학적 논의부터 시작하여 인간의 생존을 방해하는 환경적 피해요소들을 선정하고 최종적인 보호범주(safety guard)들을 결정하게 된다. IMPACT 2002+방법론은 위의 15가지 환경영향범주 결과를 인간의 생존을 위해 보호해야 할 4가지 종말점(end-point) 수준의 관점, 즉 인체건강, 생태계의 질, 기후변화 및 자원고갈 관점에서 정량화할 수 있는 모델을 제시한다. 각 환경영향을 정량화할 수 있는 단위로서 인체건강 범주에서는 ‘장애보정년수’(disability adjusted life years, DALY), 생태계 질 범주에서는 ‘중감소가능률’(potentially disappeared fraction, PDF), 기후변화 범주에서는 ‘이산화탄소환산가’(kgCO<sub>2</sub>eq) 그리고 자원소모 범주에서는 ‘일차에너지소모’(MJ primary)를 활용하고 있다.

인체의 건강을 측정하는 지표인 DALY는 특정 질병 또는 물리적 요인에 의한 인간의 건강상의 손상을 정량화한 값으로 인체의 건강상 손상을 시간의 개념으로 나타낸 값이다.<sup>11)</sup> DALY는 1980년대 말 하버드보건대학원에서 개발된 이래로 세계보건기구가 매년 발간하는 세계건강보고서에서 지속적으로 이용되어온 지표이다. DALY는 다음의 식 (1)에 의해 산정된다.

$$\begin{aligned}
 DALY &= YLL + YLD \\
 YLL &= \int_{x=a}^{x=a+L} Cx e^{-\beta x} e^{-r(x-a)} dx \\
 YLD &= \int_{x=a}^{x=a+L_0} DCx e^{-\beta x} e^{-r(x-a)} dx
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

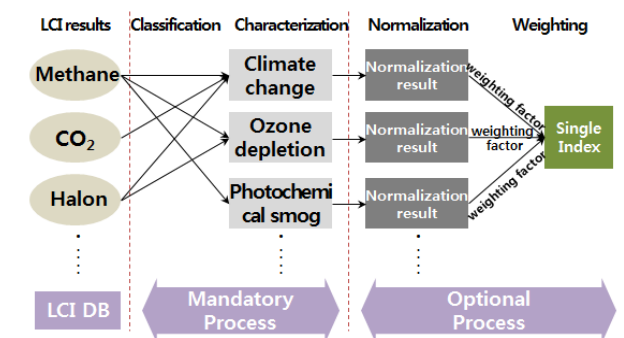


Fig. 2 Process of life cycle impact assessment (LCIA)



- YLL: 조기사망으로 인한 생존연수의 상실
- YLD: 장애로 인한 해당 손실연수
- a: 특정 장애가 발생한 연령 또는 사망 연령
- L: 대기수명과 사망연령의 차이
- $L_a$ : 장애 계속기간
- D: 장애 중요도
- $Cxe^{-\beta x}$ : 장애 또는 사망했을 당시 연령의 사회적 가치 (연령 중요도)
- $e^{-r(x-a)}$ : 시간 할인

생태계의 질을 측정하는 지표인 PDF는 특정 지역에서

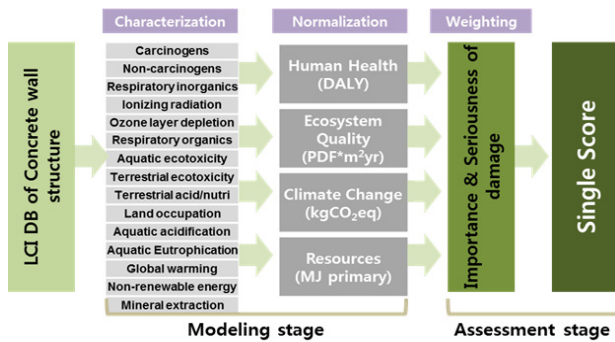


Fig. 3 Process of single index of environmental impacts from concrete wall structure applied IMPACT 2002+

Table 4 Calculation for concrete quantity

Item	Contents																
Case	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Structure type: reinforced concrete structural wall system</li> <li>○ Building size: 3 stories below and 25 above the ground (101.15 m<sup>2</sup>+102.08 m<sup>2</sup>)</li> </ul>																
Wind load	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wind speed: V<sub>0</sub> = 30 m/sec (Incheon)</li> <li>○ Side ratios: "B"</li> <li>○ Hypsometric factor(K<sub>zr</sub>): (Z ≤ Z<sub>b</sub> ⇒ 0.81), (Z &gt; Z<sub>b</sub> ⇒ 0.45z<sub>a</sub>)</li> <li>○ Topographic Factor (K<sub>zt</sub>): 1.0</li> <li>○ Importance factor of building (I<sub>w</sub>): 1.0</li> </ul>																
Earthquake load	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ A = 0.176 (0.22×0.8)</li> <li>○ I<sub>e</sub> = 1.2</li> <li>○ R = 4.0</li> <li>○ Ω<sub>0</sub> = 2.5</li> <li>○ C<sub>d</sub> = 4.0</li> <li>○ Ground type: SC</li> <li>○ Earthquake resistance system: reinforced concrete shear wall for direction X and Y</li> <li>○ T calculation formula: X = 0.049 (hn) (3/4), Y = 0.049 (hn) (3/4)</li> </ul>																
Wall thickness	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>24 MPa</th> <th>40 MPa</th> <th>60 MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Core (mm)</td> <td>300</td> <td>250</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>External wall (mm)</td> <td>250</td> <td>200</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>Internal wall (mm)</td> <td>200</td> <td>180</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		24 MPa	40 MPa	60 MPa	Core (mm)	300	250	200	External wall (mm)	250	200	180	Internal wall (mm)	200	180	150
		24 MPa	40 MPa	60 MPa													
	Core (mm)	300	250	200													
	External wall (mm)	250	200	180													
Internal wall (mm)	200	180	150														

사라지는 생물종의 비율을 가리키는데 1년 동안 1 m<sup>2</sup>의 지표면에서 사라지는 종의 백분율 값으로 표시된다. 예를 들어 0.2PDF는 1년 동안 1 m<sup>2</sup> 지표면에서 사라진 종이 20%라는 의미이다.

IMPACT 2002+ 방법론은 크게 모델링 과정과 평가과정으로 구분되는데, 모델링 과정에서 LCI DB 목록으로부터 영향범주별 환경영향 값을 도출하고 상기 언급된 보호범주들에게 얼마만큼의 피해를 미치는지에 대한 위해성 평가의 경로분석 및 노출분석을 수행한다. 그리고 평가과정에서 각 영향범주별로 위해성 평가 결과를 정규화 및 가중화 단계를 통하여 단일지수를 산출하게 된다. IMPACT 2002+ 방법론을 활용한 콘크리트 구조물의 환경영향 단일지수화 절차는 다음의 Fig. 3과 같다.

### 3. 콘크리트 압축강도별 피해산정형 LCA 결과

#### 3.1 압축강도별 콘크리트 물량 검토

##### 3.1.1 평가대상 개요

먼저 평가대상이 되는 콘크리트 압축강도 24 MPa, 40 MPa, 및 60 MPa가 동일 구조의 건축물에 적용되었을 때 강도 증가에 따른 콘크리트 투입물량 변화를 비교하기 위하여 다음과 같은 조건을 가정하였다.

##### 3.1.2 물량산출

이 연구에서 평가할 콘크리트 압축강도별 배합비에 따른 투입물질의 물량은 다음의 Table 6과 같다. 해당 강도

Table 5 Architectural and structural plan of case

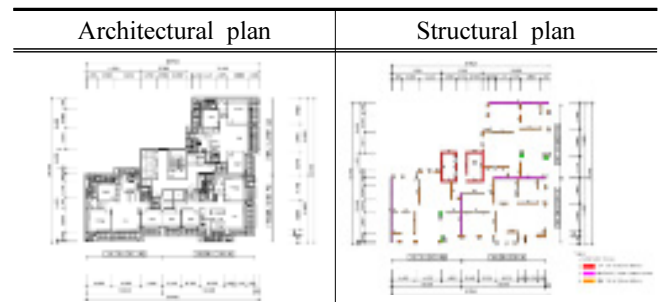


Table 6 Amount of materials per 1 m<sup>3</sup> by strength

Strength	Materials (kg/m <sup>3</sup> )					Total
	Aggregate	Sand	OPC	Water	Admixture	
24 MPa	931	863	334	170	2.34	2300.34
(25-24-150)	(40%)	(38%)	(15%)	(7%)	(0%)	(100%)
40 MPa	896	748	459	163	6.63	2272.63
(25-40-150)	(39%)	(33%)	(20%)	(7%)	(0%)	(100%)
60 MPa	905	705	426	165	6.09	2207.09
(20-60-600)	(41%)	(32%)	(19%)	(7%)	(0%)	(100%)

**Table 7** Total amount of materials of each items

Strength	Total (m <sup>3</sup> )	Aggregate (ton)	Sand (ton)	OPC (ton)	Water (ton)	Admixture (ton)
24 MPa (25-24-150)	3032.2	2,823 (40%)	2,617 (38%)	1,013 (15%)	515 (7%)	7 (0%)
40 MPa (25-40-150)	2,490.0	2,231 (39%)	1,862 (33%)	1,143 (20%)	405 (7%)	16 (1%)
60 MPa (20-60-600)	2,110.7	1,910 (41%)	1,488 (32%)	899 (19%)	348 (7%)	12 (1%)

**Table 8** Energy consumption of construction stage

Strength	Concrete quantity (m <sup>3</sup> )	Pump car working capacity	Pump car working hours	Diesel consumption
24 MPa (25-24-150)	3032.2	80 m <sup>3</sup> /hr	37.9 hr	625.39 L
40 MPa (25-40-150)	2490.0		31.13 hr	513.56 L
60 MPa (20-60-600)	2110.7		26.38 hr	435.33 L

를 발현하기 위한 배합비는 E 레미콘사에서 현장시공 시 납품하고 있는 실제 배합표를 활용하였다.

상기 조건에 따라 콘크리트 압축강도별 벽체 두께에 따른 횡하중에 대한 구조안전성을 검토하고 벽체부위 콘크리트 투입물량을 계산하였다. 각 콘크리트 압축강도별 투입되는 원재료의 물량은 다음의 Table 7과 같다. 기준 흐름을 50년 간 사용되는 25층 규모의 공동주택의 콘크리트 벽체에 투입되는 모든 물질과 에너지로 설정하였으므로 24 MPa의 경우 3032.2 m<sup>3</sup>, 40 MPa는 2490 m<sup>3</sup>, 60 MPa의 경우 2110 m<sup>3</sup>이 각 콘크리트 압축강도의 환경영향 평가를 위한 기준흐름이 된다.

**3.1.3 가정 및 제한사항**

콘크리트 압축강도별 환경부하를 산출하기 위한 데이터수집 범위는 cut-off 기준에 따라 투입물질의 누적질량 기여도 99%에 해당하는 굵은골재, 모래, 1종 포틀랜드 시멘트, 혼합수로 제한하였다. 또한 콘크리트 구조물의 생애주기를 생산, 시공, 사용 및 폐기로 구분하였는데 시공 이후의 단계부터는 시나리오를 설정하여 평가를 실시하였다. 시공단계에서는 콘크리트 타설 과정에서 펌프카에서 소비되는 경유에 의한 환경영향이 발생하는 것으로 가정하였다. 각 콘크리트 압축강도별 콘크리트 펌프카에 의한 경유 소비량은 Table 8과 같다.

50년 동안 콘크리트 구조체를 사용하면서 사용단계에서 수선 및 유지보수가 발생하지 않는다고 가정하였다. 폐기단계에서는 콘크리트 구조물의 철거 과정에서 백호

**Table 9** Energy consumption of deconstruction stage

Strength	Concrete quantity (m <sup>3</sup> )	Backhoe working capacity	Backhoe working hours	Diesel Consumption
24 MPa (25-24-150)	3032.2	50 m <sup>3</sup> /hr	60.6 hr	1,000 L
40 MPa (25-40-150)	2490.0		50 hr	821.7 L
60 MPa (20-60-600)	2110.7		42.21 hr	696.53 L

**Table 10** Recycling and reclamation of waste concrete

Strength	24 MPa (ton)	40 MPa (ton)	60 MPa (ton)
Recycling	6745	5472	4505
Reclamation	230	187	154

우에서 소비되는 경유에 의한 환경영향과 건설폐기물 처리 과정에서 발생하는 환경영향을 계산하였다. 각 콘크리트 압축강도별 건설폐기물량은 2005년도 건설폐기물 발생 및 처리현황의 평균적인 재활용율인 96.7%와 매립율 3.3%를 일괄적으로 적용하였다. 콘크리트 압축강도별 폐기단계에서 소비되는 에너지량과 폐콘크리트 매립 및 재활용량은 다음의 Table 9, 10과 같다.

**3.2 전생애주기 환경영향 분석 결과**

콘크리트 벽체 구조물의 압축강도별 전생애주기 환경부하를 평가하기 위하여 SimaPRO 소프트웨어를 활용하여 LCIA 단계에서 특성화 단계까지 실시하였다. SimaPRO 소프트웨어는 국내 환경부에서 개발한 TOTAL 프로그램과 같은 전과정평가 전용 소프트웨어이다. 그러나 앞서 논의한 바와 같이 국내에서는 피해산정형 평가모델이 개발되어있지 않은 상태이므로 해외 평가프로그램을 활용하였다. SimaPRO는 네덜란드 PRE에서 개발한 환경영향평가 도구로서 전세계 80개국에서 활용되고 있으며 현재 개발되어 있는 여러 문제비교형 모델과 피해산정형 모델들이 탑재되어 있는 유용한 평가툴이다.

LCIA 단계에서 특성화 평가를 실시한 결과, 각 강도별 15개의 영향범주에 해당하는 환경부하는 다음의 Table 11과 같이 산출되었다.

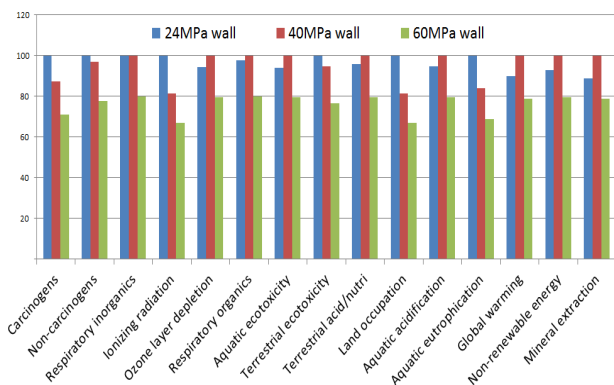
영향범주별 환경부하가 가장 크게 발생한 24 MPa를 기준으로 하여 40 MPa와 60 MPa의 상대적인 발생량을 살펴보았다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 콘크리트 투입총량이 가장 적은 60 MPa의 환경부하량이 모든 환경범주에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 24 MPa의 환경영향이 가장 높게 나타난 영향범주는 발암물질, 비발암물질, 이온화방사선, 토양계 독성, 토지이용, 수계 부영양화 부문이었다. 40 MPa의 환경영향이 가장 높게 나타난 영향범주는

**Table 11** Environmental impacts by impact categories

Impact category	Units	24 MPa	40 MPa	60 MPa
Carcinogens	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	1.68E+02	1.46E+02	1.19E+02
Non-carcinogens	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	7.32E+01	7.09E+01	5.69E+01
Respiratory inorganics	kg PM <sub>2.5</sub> eq	4.98E+02	4.97E+02	3.97E+02
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	3.40E+04	2.76E+04	2.27E+04
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.17E-02	2.31E-02	1.83E-02
Respiratory organics	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1.04E+02	1.07E+02	8.53E+01
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1.70E+06	1.82E+06	1.44E+06
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	9.41E+04	8.92E+04	7.19E+04
Terrestrial acid/nutri	kg SO <sub>2</sub> eq	8.53E+03	8.91E+03	7.09E+03
Land occupation	m <sup>2</sup> org.arable	4.75E-01	3.86E-01	3.17E-01
Aquatic acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	1.67E+03	1.77E+03	1.40E+03
Aquatic eutrophication	kg PO <sub>4</sub> P-lim	2.82E+00	2.37E+00	1.94E+00
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	1.14E+06	1.27E+06	9.98E+05
Non-renewable energy	MJ primary	5.44E+06	5.86E+06	4.65E+06
Mineral extraction	MJ surplus	1.62E+02	1.83E+02	1.44E+02

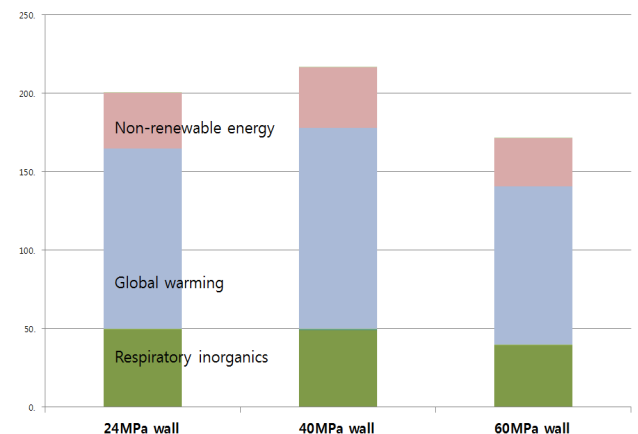
**Table 12** Single score by impact categories

Impact category	24 MPa	40 MPa	60 MPa	%
<b>Total</b>	<b>200.5</b>	<b>216.4</b>	<b>171.3</b>	<b>100.00%</b>
Carcinogens	0.07	0.06	0.05	0.03%
Non-carcinogens	0.03	0.03	0.02	0.01%
<b>Respiratory inorganics</b>	<b>49.2</b>	<b>49.1</b>	<b>39.2</b>	<b>23.37%</b>
Ionizing radiation	1.01E-03	8.16E-04	6.72E-04	0.00%
Ozone layer depletion	3.22E-03	3.42E-03	2.71E-03	0.00%
Respiratory organics	0.03	0.03	0.03	0.02%
Aquatic ecotoxicity	0.01	0.01	0.01	0.00%
Terrestrial ecotoxicity	0.05	0.05	0.04	0.03%
Terrestrial acid/nutri	0.6	0.7	0.5	0.32%
Land occupation	3.78E-05	3.07E-05	2.53E-05	0.00%
Aquatic acidification	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-
<b>Global warming</b>	<b>114.6</b>	<b>127.9</b>	<b>100.8</b>	<b>58.37%</b>
<b>Non-renewable energy</b>	<b>35.8</b>	<b>38.6</b>	<b>30.6</b>	<b>17.85%</b>
Mineral extraction	1.07E-03	1.20E-03	9.46E-04	0.00%



**Fig. 4** Environmental impacts by categories

오존층 파괴, 호흡계 유기물질, 수계 독성, 토양계 부영양화, 수계 산성화, 지구온난화, 비재생 에너지자원 고갈, 광물자원 고갈 부문이었다. 호흡계 무기물질 부문은 24 MPa와 40 MPa 모두 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 가장 큰 이유는 각 압축강도 사례별 원료 투입



**Fig. 5** Influence factors among environmental categories of each concrete structure

량에 차이가 있기 때문이다.

Table 11에서 볼 수 있는 바와 같이, 측정단위가 모두



다르므로 각각의 영향범주별 비교는 가능하지만 콘크리트 압축강도별 전체적인 환경부하 총량을 비교하는 것은 불가능하다. 따라서 인체건강, 생태계의 질, 지구온난화 및 자원고갈의 보호범주를 고려하는 피해산정형 평가모델을 적용하여 LCIA 단계의 나머지 절차인 정규화와 가중화를 실시하였다. 피해산정형 모델링 과정을 거쳐서 서로 다른 환경영향범주 지표값 간 상대적인 중요도를 결정하고 가중치를 부여하여 단일지표로 합산하면 다음의 Table 12와 같은 결과가 산출된다. 정규화 이후의 단계부터는 측정단위가 무차원으로 바뀌게 되므로 단일지표는 점수로 표시된다.

콘크리트 강도별 환경영향을 단일점수로 표시한 결과, 24 MPa는 200.5점, 40 MPa는 216.4점, 60 MPa는 171.3점으로 산출되었다. 이 점수들은 콘크리트 구조물이 발생시키는 환경부하의 절대적인 수치를 가르키는 것이 아니라 비교연구를 실시한 세 가지 콘크리트 압축강도 사례 간의 상대적인 환경영향을 수치화한 것이다. 따라서 25층 건물의 콘크리트 벽체 구조물을 50년간 사용했을 경우, 가장 많은 환경부하를 발생시키는 사례는 40 MPa로 시공했을 경우이며, 가장 적은 환경부하를 발생시키는 사례는 60 MPa로 시공했을 경우라는 점을 이해할 수 있다. 또한 각 구조물들이 발생시키는 환경영향범주 중 가장 큰 영향을 발생시키는 범주는 지구온난화영향(58.37%), 호흡계 무기물질(23.37%), 비재생에너지원 사용(17.85%)임을 알 수 있다. 그 외 영향범주들은 전체 영향의 0.3% 미만으로 거의 미미함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

이 연구는 콘크리트 구조물이 발생시킬 수 있는 다양한 환경영향들을 파악하고 산정단위가 다른 환경영향범주 간 비교를 위하여 종말점(end-point) 관점의 피해산정형 전과정평가 기법을 적용하여 콘크리트 구조물의 압축강도와 환경부하 간의 상관관계를 분석한 연구이다. 평가 대상은 25층 구조물의 벽체 기능을 수행하는 콘크리트 구조물로서 압축강도만 변화시켰다. 평가기간은 50년으로 설정하였고, 평가범위는 투입재료의 생산, 구조물의 시공과 사용 및 폐기 단계를 포함하였다. 콘크리트 벽체 구조물의 피해산정형 전과정평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 피해산정형 전과정평가로 각 환경영향범주 간 상대적인 중요도를 도출하고 이를 단일 점수로 표현하였을 때, 콘크리트 벽체 구조물이 발생시키는 환경영향은 여러 환경영향범주 중 지구온난화영향(58.37%), 호흡계 무기물질(23.37%), 비재생에너지원 사용(17.85%)으로 인한 영향이 가장 크다.
- 2) 그 외 영향범주들은 전체 영향의 0.3% 미만으로 인간 및 생태계의 생존과 기후변화 유발 및 자원 고갈에 미치는 영향이 미미함을 알 수 있다.

- 3) 콘크리트의 압축강도를 변화시키면 동일한 기능을 수행하기 위한 구조물에 투입되는 원재료의 배합비와 투입 총량이 달라지기 때문에 압축강도 변화에 따라 모든 환경영향범주의 값이 일괄적으로 증가 또는 감소하는 것으로 단정하기 어려우며, 따라서 전체적인 환경영향을 살펴보기 위해서는 종말점 수준의 피해산정형 평가모델을 적용하여 모든 환경영향범주의 값을 단일지수화 할 필요가 있다.
- 4) 향후 콘크리트 구조물이 환경에 미치는 영향을 저감하기 위한 연구를 수행하거나 환경정책을 추진할 때, 피해산정형 전과정평가 기법을 적용하여 인간과 생태계에 영향을 미칠 수 있는 여러 환경영향범주들을 종합적으로 고려하고 피해영향이 가장 큰 요인들을 제어하는 방향으로 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(11기술혁신F04)에 의한 결과의 일부이고, 이에 감사드립니다.

#### References

1. <http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp>.
2. Song, D. S. and Lee, S. B. "A Study for Estimating Environmental Load Throughout Building Life Cycle," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 13, No. 6, 1997, pp. 175-183.
3. Cho, K. H. and Bae, E. B, "A Study on LCA of Steel and Reinforcement Concrete Structure with Recycle of Construction Waste," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 16, No. 9, 2000, pp. 213-220.
4. Kim, J. Y., Kim, S. W., and Son, J. Y., "A Study on the Estimation of the Environmental Load Intensity of Construction Materials for the Building LCA-Focused on the Amount of Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission by I/O Table," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 20, No. 7, 2004, pp. 211-218.
5. Lee, K. H., Kim, N. K., and Lee, E. K., "A Study on the Evaluation Method of Green Remodeling Considering LCA and LCC," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 23, No. 1, 2003.3, pp. 57-67.
6. Hong, S. W. and Lee, B. H., "A Study on the Development and Application of BIM-Based Standard Library for LCCO<sub>2</sub> Assessment and the Green Building Certification," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 29, No. 6, 2013.6 pp. 271-278
7. KS I ISO 14040 Environmental Management-ife Cycle Assessment-Principles and Framework.
8. Korea LCI Database, [www.edp.or.kr/lcidb](http://www.edp.or.kr/lcidb).
9. EcoInvent, <http://www.ecoinvent.org>.
10. CSN EN 15978 Sustainability of Construction Works-

- assessment of Environmental Performance of Buildings-Calculation Method.
11. Koera Environmental Industry & Technology Institute, "Development of Integrated Evaluation Technology on Product Value for Dissemination of Environmentally Preferable Products," Ministry of Environment, 2009.
  12. <http://www.quantis-intl.com/impact2002.php>.
  13. Chae, C. U. and Kim, S. H. "Study on Concrete and Its Characteristics of CO<sub>2</sub> Emission," 8th International Symposium by Korea Concrete Institute, 2010.
  14. Kim, S. H., "An Assessment Technique of LCCO<sub>2</sub> for the Development of Low-Carbon Construction Materials," Green Technology Information portal, 2010.
  15. Heo Tak et al., The Basic Principle of LCA, The Korean Employers Federation, 1995.
  16. Korea Institute of Construction Technology, "Construction Materials Environmental Information National DB Establishment-Final Report," Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008.
  17. Ministry of Environment, Development and Application of Methodology for Life Cycle Risk Assessment and Management, 2004.

**요 약** 콘크리트 구조물이 전생애주기 동안 발생시키는 오염물질의 종류와 발생강도를 정량적으로 분석하고 이로 인한 인간과 생태계, 지구환경 및 자원 고갈 측면에 미치는 피해를 고려하기 위하여 피해산정형 전과정평가 기법을 적용한 콘크리트 구조물의 환경영향평가를 실시하였다. 평가대상은 25층 공동주택의 벽체 구조물이며, 동일한 기능을 수행하기 위한 콘크리트 구조물의 압축강도를 일반강도에서 고강도까지 24 MPa, 40 MPa, 60 MPa로 각각 변화시켜 평가하였다. 평가기간은 50년으로 제한하였고, 생애주기는 원료 채취부터 투입원료의 생산, 구조물의 시공, 사용 및 폐기 단계를 포함시켰다. 피해산정형 전과정평가는 전과정영향평가(LCIA) 단계 중 정규화와 가중화 단계에서 실시되는데, 특성화 단계에서 산출된 환경영향범주 결과를 인체건강, 생태계의 질, 기후변화 및 자원고갈 관점에서 단일지수화 시킬 수 있는 모델을 제시한다. 평가 결과, 콘크리트 구조물의 환경영향은 여러 영향범주 중 지구온난화, 호흡계 무기물질, 및 비재생 에너지원의 사용으로 인한 영향이 전체 환경부하의 99% 이상을 차지하는 것으로 나타났으며, 압축강도의 변화에 따라 모든 환경영향범주의 값이 일괄적으로 증가 또는 감소하는 것이 아니기 때문에 전체적인 환경영향을 살펴보기 위해서는 종말점 수준의 피해산정형 평가모델을 적용하여 모든 환경영향범주를 종합적으로 고려할 필요가 있다.

**핵심용어** : 전과정평가, 피해산정형 전과정평가, 전과정위해성분석, 환경영향, IMPACT2002+