



콘크리트 환경성능 평가기술 동향

Current Environmental Performance Evaluation on Concrete

박원준 Wonjun Park
한양대학교 친환경건축연구센터 Post-Doc.

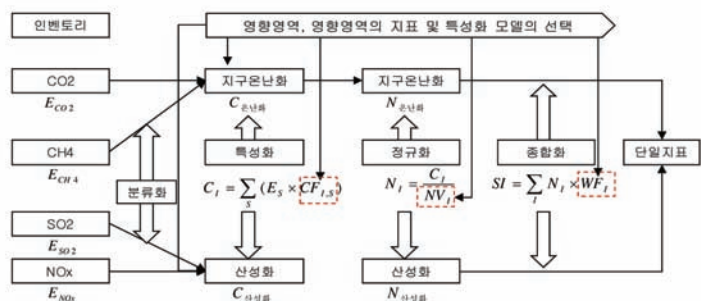
1. 머리말

현재 국내 환경영향평가법에서는 대상사업의 사업계획을 수립할 때 해당사업의 시행이 환경에 미치는 영향을 사전에 조사, 예측, 평가하여 환경피해를 피하거나 줄일 수 있는 방안을 강구하는 것을 환경영향 평가로 규정하고 있다. 한편, 우리화회를 비롯한 7개 단체가 발표한 ‘콘크리트 환경선언(2010)’과 아시아 6개국의 ‘아시아 콘크리트 환경선언(2011)’처럼 콘크리트는 단일 재료로서 지구기후변화를 비롯한 최근에 환경문제에 대해 미치는 영향이 매우 크기 때문에 콘크리트 재료 및 생산에 따른 환경영향평가는 상당히 중요하다고 볼 수 있다. 하지만 콘크리트는 건축물을 구성하는 재료단위이기 때문에 ISO14001에서 규정하는 광범위의 환경영향¹⁾보다는 콘크리트의 Life-cycle(이하, 생애주기)에서의 인벤토리²⁾와 그에 따른 환경에 미치는 영향을 선택적으로 평가하는 것이 우선적으로 수반되어야 한다. 여기서 환경에 미치는 영향은 온실가스를 비롯한 콘크리트 생애주기에서 발생하는 환경영향물질에 의한 피해정도를 정량적으로 평가하는 것을 말한다.

본 고에서는 주된 건설재료인 콘크리트의 생애주기에서 발생하는 인벤토리를 활용하여 환경에 미치는 영향정도를 콘크리트의 환경성능으로 가정하고, 이러한 환경성능을 평가할 수 있는 기술동향에 대해서 소개하여 향후 연구방향에 대해 기술하고자 한다.

2. 생애주기 영향평가의 범위

ISO에서 규정하는 LCIA(생애주기 영향평가)의 일반적인 수순은 <그림 1>과 같이 정리될 수 있다. 이에 따르면 생애주기 환경영향평가는 ① 환경영역과 지표 및 특성화모델을 선



여기서, S:물질, E:인벤토리, I:영향영역, C_i:특성화결과, N_i:정규화결과, S_i:중합화결과, CF_{i,S}:영향영역, NV_i:영향영역 I의 규격값, WF_i:중요도계수

그림 1. 생애주기 평가방법의 일반적 수순(예)
(ISO14042에 근거함, 참고문헌 10에서 발췌, 저자편집)

- 1) 유해성이나 유익성을 상관하지 않고 조직의 활동, 제품 및 서비스로부터 전체 또는 부분적으로 발생하는 환경에 대한 모든 변화, ISO14001
- 2) 어떤 물질의 배출원을 규명하고 각 배출원에 따른 배출량을 산정할 수 있도록 하는 전체목록 또는 통계시스템

택(예: 지구온난화 → 적외선방사 → IPCC모델), ② 환경영향 물질의 분류화(예: NO_x-광화학독성 및 산성화), ③ 잠재적 환경영향 양을 산정한 특성화(예: 지구온난화 → 지구온난화 지수(GWP, 일본)), ④ 특성화 결과에 대한 정규화(예: 전체 영향에 대한 평가대상의 기여도 혹은 비중의 정량화), ⑤ 그룹화, ⑥ 중요도(예: 그룹별 중요도를 분배하여 단일 지표로 최종산정)산정의 순서로 이루어진다.

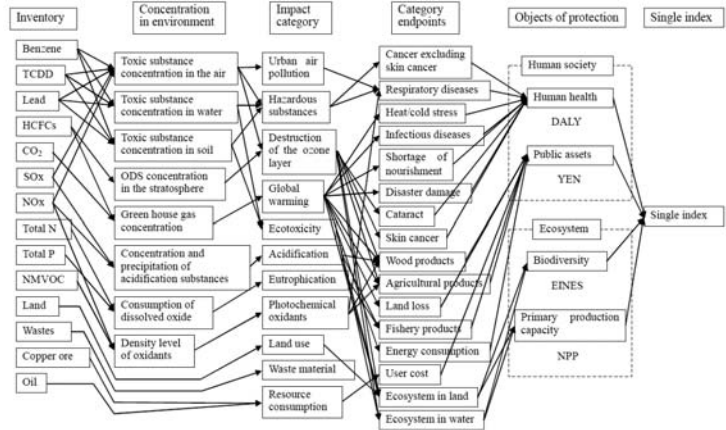


그림 2. End-point평가기술 예(일본 LIME)

3. 피해산정형 평가

〈그림 1〉과 같은 ISO14042에서 규정하는 평가수준을 문제비교형 평가기술이라고 말하고, 특성화 결과에 대해서 영향영역별로 중요도 계수를 적용하는 방법으로서 1990년대에 다수의 평가수법이 제안되었다.

한편 최근에 제안되는 수법으로 피해산정형 평가기술이 있다. 이 평가기술은 환경문제를 통하여 특정대상이 받게 될 예상 피해(환경영향)를 End-point 레벨로 집약하여 비교를 통해 종합화하는 기술이다. 근래에 개발된 주요 수법으로는 유럽의 Eco-indicator99(Goedkoop 1999), EPS(Steen 1999), ExternE(EC 1998)이 있으며, 최근에는 일본의 LIME1, LIME2 등이 있다. 〈그림 2〉는 이 가운데 일본의 LIME에서 제시하는 피해산정형 평가기술의 개요를 나타낸다. 주요 평가체계는 〈그림 2〉와 같

이 ① 건축자재 인벤토리 분석, ② 환경영향물질 분석, ③ 환경영향 영역 선정, ④ 영향평가(end-point) 선정, ⑤ 정량적 단위로 환산의 순으로 진행되고 콘크리트에 대한 개략적인 평가체계는 〈표 1〉과 같이 정리될 수 있다. 한편, 문제비교형 및 피해산정형 평가기술의 특징을 비교하면 〈표 2〉와 같다.

〈표 3〉 가운데 사회자산(자원)의 피해지표는 〈표 4〉와 같이 구성되고 각 구성요소별 영향영역과의 관계는 〈표 5〉와 같다. 실질적으로 앞서 언급한 평가기술들은 생산 소비되는 제품 및 물질 전반에 적용할 수 있는 광범위한 수법으로서, 특히 콘크리트와 같은 건설재료의 경우는 음영 부분에서 해당 환경성능평가로의 접근이 가능하다고 본다.

표 1. 콘크리트에 관한 End-point 평가기술 예(일본 LIME)

IN/OUT	TYPE	화학식	선택명(예)	영향영역	계수구분(예)(평가내용)
OUTPUT(예)	Air	CH ₂ =CHCONH ₂	아크릴아미드	인간(대기)	인간건강
INPUT	Water	-	-	인간(수질/토양)	사회자산
OUTPUT	Soil	-	-	생태(대기/수질/토양)	생물다양성
OUTPUT@아파트	MATERIAL (콘크리트)	시멘트 화학산화제	각 종 화합물	지구온난화	생물다양성 사회자산
INPUT	ENERGY	전기 화석연료	전기	오존층파괴 지구온난화	사회자산
OUTPUT	LAND	매립 폐기물 순환골재	강알칼리 화합물	산성화(알칼리화)	생물다양성
-	Indoor Air	-	-	부영양화	생물다양성
-	Outdoor Air	-	-	광화학 옥시던트	광화학 옥시던트
OUTPUT	-	시멘트생산	매진	실내공기질 오염 도시 대기오염	인간건강
OUTPUT	-	폐콘크리트	기타	폐기물	상대 처분용적
INPUT	-	화석연료	석탄, 석유	자원소비	발열량
-	-	-	-	소음	인간건강

4. 콘크리트의 환경성능(피해지표) 평가

앞서 <그림 1>과 <표 2>에 제시된 것처럼 피해산정형 평가방법은 임의의 제품 또는 물질이 생애주기 동안 최종적으로 인간사회와 생태계에 미치는 영향을 정량적으로 제시해준다. 한편, 대량으로 소비되는 건축재료 가운데 콘크리트의 환경성능 평가는 <표 4>에 제시된 것처럼 에너지, 화석연료, 광물자원의 소비로 인해 발생하는 인벤토리를 통하여 <그림 3>과 같이 평가기술이 요약될 수

표 2. 문제비교형 및 피해산정형 평가기술의 특징

구분	문제비교형	피해산정형
비교항목수	10개 항목 이상	5개 항목 이하
투명성	낮음(환경문제를 통하여 발생하는 피해가운데 어떠한 피해에 대해서 평가하는지 불분명)	높음(어떠한 피해에 대해서 평가하는지 명시됨)
가치판단의 범위	넓음(학술적인 지식을 평가에 반영하기 힘듦)	End-point와 단일지표화의 사이에서 이루어짐
비교대상에 관한 정량적 표시 방법	실제 환경영향과 상이함(예: CO ₂ 배출 등가량)	End-point 피해량
피해평가의 유무	포함하지 않음	피해평가결과 제시 가능

표 3. 피해산정형 평가기술의 비교

구분	EPS ver.2000	Eco-indicator 99	LIME
인간 생활	인간건강 YOLL ³⁾	인간건강 DALY ⁴⁾	인간건강 DALY
	비생물계자원 kg(자원중)	자원 MJ(Surplus energy)	사회자산금액 (자원, 농수산물)
생태계 건전성	생물다양성 NEX ⁵⁾	생태계 질 PDF ⁶⁾	생물다양성(EINES) ⁷⁾ 생물멸종수
	생태계 생산력	-	1차생산력 NPP ⁸⁾
	온난화, 산성화 부영양화, 생태독성 토지이용	토지이용 산성화 부영양화	토지이용, 생태독성 자원고갈 폐기물 매립

3) 생명손실년수(Years of Life Lost)
 4) 피해조정 생존수명(Disability Adjusted Life Year)
 5) 연간생물멸종 기여도(Normalized Extinction of species)
 6) 소실된 생물종 비율(Potentially Disappeared Fraction)
 7) 예상 생물멸종수 증가(Expected Increase in Number of Extinct Species)
 8) 순수생산력(Net Primary Production)
 9) 지불의사액(Willing to Pay)

표 4. 사회자산에 관한 주요 평가기술에서의 피해지표

구분	EPS ver.2000	Eco-indicator 99	LIME
피해지표 구성요소	금액	에너지	금액
화석연료	대체자원종합화	초과에너지	사용자 Cost
광물자원	대체자원종합화	초과에너지	사용자 Cost
산림자원	가격	가격, WTP	가격
수산자원	가격	가격, WTP ⁹⁾	가격
농작물	가격	가격	가격

표 5. 사회자산 구성요소와 영향영역과의 관계

LCA평가기술 영향영역	EPS	ExternE	LIME
지구온난화	농작물, 목재	농작물, 토지, 수자원	농작물, 산림, 토지, 에너지자원
오존층파괴	(온난화와 관련)	-	산림
산성화	어류	농수산자원, 재료	수산자원, 산림자원
부영양화	어류, 목재	-	수산자원
자원소비	화석연료, 광물자원	-	화석연료, 광물자원
광화학산화체	목재, 농작물	-	산림, 농작물

있다. <그림 3>은 앞서 제시된 평가기술 가운데 LIME에서 제시하는 평가 방법으로 단위 콘크리트 제조에 소요되는 재료와 재료가 가지는 인벤토리를 바탕으로 <그림 2>에서 제시한 것과 같은 End-point Method를 이용하여 최종적으로 콘크리트의 환경영향을 평가하고 있다. 대표적으로 실내공기질, 온난화, 대기오염 등과 같은 콘크리트 구성재료가 가지는 영향물질을 평가하고 영역별 피해지수(양)에 따른 사용자 Cost(환경영향으로 인한 손실금액의 개념)로 나타내고 있다. 한편 콘크리트의 경우, 앞서 제시된 <표 1> 가운데 재료의 수송과 해체 및 폐기(폐콘크리트/순환골재)를 고려하지 않고 제조상에서 발생하는 환경영향을 <표 6>과 같이 단순비교를 통하여 가늠해 볼 수 있다. 결과로써 <그림 4>와 같이 영역별 피해가 개략적·정량적으로 산출됨을 알 수 있다.

현재 시멘트계 건축부재 중에서 콘크리트가 차지하는 비중은 매우 크고, 그 종류도 다양하여 소모되는 자원 및 에너지타입도 다르기 때문에 향후 콘크리트의 생산에 따른 환경영향 및 해체공사로 인해 발생된 폐콘크리트의 최종 처분까지의 환경영향을 파악하는 것은 매우 중요하다고 사료된다.

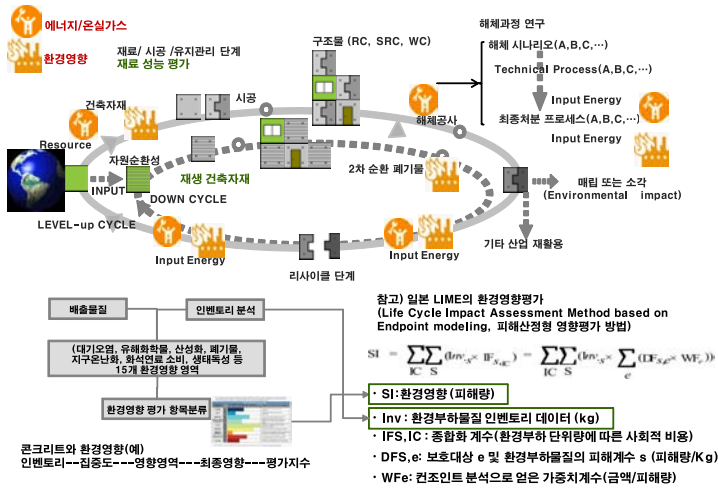


그림 3. 콘크리트 환경성능평가 예(LIME의 경우)

표 6. 콘크리트 제조 및 환경영향 평가(예: LIME)

IN/OUT	TYPE	NO.	화학적	선택명	영향영역	계수구분 (평가내용)	대표값 (LIME)
INPUT	Energy	석탄	탄소화합물	연소화합물	자원소비	사회자산	2.10E+03
INPUT	Energy	석유류	CnHm-X	연소화합물	자원소비	발열량	6.71E+02
OUTPUT	Air	이산화탄소	CO ₂	이산화탄소	지구온난화	생물다양성	7.66E+02
OUTPUT	Industrial	불안전 연소물	해당물질	해당물질	폐기물 대기오염	폐기물발생 인간건강	2.84E-05

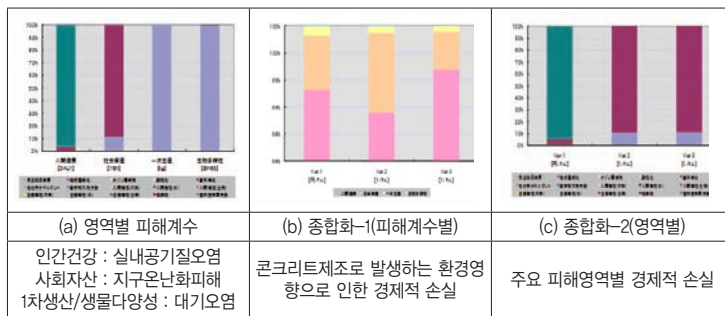


그림 4. LIME에 의한 콘크리트 환경성능평가 예(재료생산-제조단계만 고려)

5. 결론

현재 국내외에서는 콘크리트와 같은 대량 소비되는 재료나 공산품을 대상으로 저탄소녹색 성장을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 것은 주지의 사실이다. 이에 따라 온실가스 저감을 위한 노력으로서 콘크리트에 대한 다각적인 접근이 필요하고, 주된 건설재료인 콘크리트의 경우는 강도, 내구성, 경제성 등의 성능발현도 중요하지만 제조 및 사용 후 폐기를 고려했을 때 콘크리트의 사회·환경적 영향에 대한 연구적 접근은 중요하다고 사료된다. 국내에서도 국가 LCI DB 구축을 비롯한 다양한 친환경 연구와 성능인증에 관한 기술축적이 이루어지고 있으며, 콘크리트의 경우 고로슬래그미분말이나 순환골재와 같은 대체재료 사용을 통한 CO₂배출 경감과 성능발현을 동시에 만족시키는 재료개발이 수년전부터 진행되어 왔다. 하지만 주된 콘크리트 연구는 저탄소, 저비용, 고성능, 고내구성과 같은 생산 및 유지관리에 초점을 두고 있으며 본 고에서 논한 콘크리트의 환경성능에 관한 연구나 평가기술은 아직 부족한 상태로 판단된다. 따라서 향후 녹색성장을 위한 기존의 재료적 차원의 연구와 함께 환경영향을 고려한 콘크리트 연구 및 성능평가가 요구된다. 아울러 콘크리트를 생산과 소비의 차원이 아닌 폐기 및 재활용의 대상으로 간주한 보다 적극적인 노력이 동시에 필요하다고 사료된다. □

담당 편집위원 : 이승창(삼성물산(주)건설부문)
sc88.lee@samsung.com

참고문헌

- Norihiro Itsubo, Life Cycle Impact Assessment Method-LIME2, Japan Environmental Management Association for Industry, 2010.
- Steen B: A systematic approach to environmental priority strategies in product development(EPS) version 2000, Chalmers University of Technology, Gothenburg, 1999.
- Goedkoop M: Eco-indicator 99, A damage oriented method for life cycle impact assessment, Pre Consultants, Amersfoort.
- European Commission: ExternE Externalities of Energy, Vol. 7 Methodology 1998 update, 1998.



박원준 박사는 동경대학에서 환경부하저감형 재생골재를 사용한 콘크리트의 배합설계 최적화에 관한 연구로 박사학위를 취득하고 현재 한양대학교 ERICA 친환경건축연구센터에서 Post-Doc. 과정을 수행중이다. 관심 연구 분야는 자원순환 및 환경영향평가, 최적화연구, 건축재료 설계, 재생재료 및 생산기술이다.
jooney1010@hanyang.ac.kr