

## 건축물의 LCA 적용방안

최근 건축물의 라이프사이클 과정에서 발생하는 환경영향에 대한 평가방법이 제안, 적용되고 있다. 이 가운데 LCA(life cycle assessment)에 대해 지금까지의 연구방향을 새롭게 모색하는 방안을 제시하고자 한다.

이강희

안동대학교 공과대학 건축공학과(leekh@andong.ac.kr)

### 건축물의 LCA 적용을 위한 목록분석 방법

건축물의 LCA는 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가, 개선평가 등으로 구성된다. LCA의 과정가운데에서 목록분석은 영향평가, 개선평가를 하는데 중요한 데이터를 제공하는 역할을 한다. 목록분석을 위한 LCI(life cycle inventory) database를 구축하는 방법은 기본적으로 두 가지 정도로 분류할 수 있다. 첫 번째는 제품의 생산에서 폐기까지의 데이터를 구체적으로 조사하여 축적하는 방법인 직접조사법(process analysis)과 산업별 투입/산출 조사 결과를 이용하는 방법인 산업연관분석법(input-output analysis)을 들 수 있다. 직접조사법은 제품의 전과정을 분석해가면서 목록분석을 하는 방법으로 기존의 구축된 대부분의 LCA 데이터베이스를 들 수 있다. 직접조사법은 건축물에 투입되는 모든 재료, 부재 등의 재화의 전과정의 모든 공정과 입출력물을 상세하게 조사해야 한다. 따라서 구체적인 공정을 대상으로 데이터를 수집하기 때문에 데이터의 근거가 명확하다. 직접조사법 의한 데이터의 수집은 데이터의 상세도나 현실성에 있어서 탁월하나, 실제로 검토할 수 있는 공정에 한계가 있다.

첫째, 모든 공정 데이터를 수집할 수 없다는 점이 다. 개별 기업에서 수집할 수 있는 공정 데이터는 해

당 기업이 직접 영향을 끼칠 수 있는 공정에 국한될 수밖에 없다. 다른 기업의 공정 데이터를 수집하는 것은 현실적으로 불가능하므로 다른 기업에서 생산하는 제품 또는 부품의 상세한 목록분석 데이터를 입수하는 것은 불가능하게 된다.

둘째, 데이터 수집범위의 한계이다. 전과정 목록분석 데이터를 수집하려면, 상위 공정의 데이터를 모두 망라해야 한다. 하지만 원료 채취부터 부품의 생산까지를 모두 취급하는 기업은 드물다. 따라서 어느 정도 수준까지 데이터를 추적해야 신뢰성 있는 목록 분석 데이터를 수집할 수 있는 것인지의 한계가 불분명하다.

셋째, 목록분석 데이터를 수집하는 주체에 따라 데이터의 수집 방법 및 분석 방법이 상이하므로 데이터의 일관성과 신뢰성의 문제가 발생한다. 전 산업계가 공통으로 사용하기 위한 데이터를 수집한다면, 모든 데이터의 신뢰성과 상세 정도가 일관성 있게 유지되어야 한다.

산업연관분석법은 기존에 조사된 산업별 투입/산출 분석 결과를 이용하여 직·간접적으로 투입된 에너지와 환경부하를 포괄적으로 산출하는 방법이다. 이 방법은 한 국가의 전 산업을 모두 망라하는 데이터베이스를 사용하기 때문에 모든 공정을 통합적으로 분석할 수 있다<sup>3)</sup>. 산업연관표는 각 산업 부분에

주) 산업연관법에 의한 목록분석 데이터의 수집 방법으로 일본, 유럽 등에서 사용되고 있다.

서 생산되는 각 재화에 따라 에너지 소비와 환경부하를 금액에 비례하여 배분하고 있다. 한국은행이 하나의 데이터 수집주체에 의해 통합된 데이터가 공표되므로 일관성과 객관성을 확보할 수 있다는 장점도 가지고 있다. 그러나 산업연관분석법은 모든 데이터가 지나치게 포괄적이기 때문에 각 제품을 분석하는 데에는 적절하지 않다.

이것은 산업별 평균 재화에 대해 일부 한정된 데이터만을 포함하기 때문에 정확한 물질 흐름을 나타낼 수 없다. 또한, 단순히 생산하는 재화의 가치에 따라 모든 부하를 배분하는 단순한 할당방법을 사용하므로 과학적인 분석이 이루어졌다고 볼 수 없다. 이상적으로는 데이터의 수집 범위를 넓 수 있는 한 넓게 잡고 정확한 데이터를 수집하는 것이 목록분석 데이터를 구축하기 위한 최선의 방법이다. 하지만, 실제로는 상세한 데이터 수집에 과단할 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 데이터에 대한 접근이 아예 불가능한 경우도 많다.

직접조사법, 산업연관분석법 그리고 이 두 가지를 혼용하는 혼합법 등은 건축물의 라이프사이클 에너지와 이산화탄소를 추정하는 방법들이다. 이들 각각의 방법은 추정방법의 사용상, 비용, 분석범위 등에서 다양한 특징을 지니고 있다. 결과의 정확성, 방법의 운용시간적 측면, 분석대상 범위, 최신정보의 갱신정도, 비용적 측면 등에서 비교·분석하면 표 1과 같다.

직접조사법을 사용하여 데이터를 활용할 수 없을 경우에는 산업연관분석법을 이용하여 개략적인 분

<표 1> 목록분석방법의 비교

	직접조사법	산업연관분석법	혼합법
결과의 정확성	○	□	○
운용시간적 측면	△	○	△
분석대상 범위	△	○	○
최신정보의 갱신정도	△	○	□
비용적 측면	△	○	△

주) ○:양호, □:보통, △:낮음

석을 시행할 필요가 있다. 이를 위해서는 전 산업계를 망라한 입출력 분석 데이터가 필요하게 되며, 이는 국가적 차원에서 지원해야 하는 방대한 작업이다. 이렇게 되면, 각 제품뿐만 아니라 산업 전체를 파악할 수 있는 데이터베이스를 구축하게 되므로 미시적 데이터와 거시적 데이터 모두를 포괄할 수 있게 된다.

구체적인 제품의 라이프사이클을 산업연관표를 이용해서 분석할 수 있도록 하기 위해서는 산업연관표 부문을 상세하게 작성되어야 한다. 가공, 조립부분뿐만 아니라 채취, 소재제조, 수송 등 모든 산업공정에 대해서 상세하게 분류할 필요가 있다. 이는 직접조사법에 의해 방대한 데이터를 수집하는 것과 조금도 다르지 않으며 실제로는 불가능하다. 따라서 각 부문별 공동 데이터를 작성하는 것이 현실적인 대안이 될 수 있다. 특히 이러한 공동 데이터의 구축이 시급한 부분은 소재, 화학공정, 에너지, 가공, 수송 등의 부문이다. 이러한 부문별 공동 데이터베이스가 조속히 구축되어 LCA를 위한 기초 데이터베이스로 제공되어야 한다.

### 건축물 라이프사이클 단계별 분석범위

에너지 소비와 이산화탄소 배출 측면에서의 환경영향 분석범위는 표 2와 같다. 첫째, 건설단계에서는 건축공사, 토목공사, 기계/전기공사 등의 주요 공사를 분석대상으로 들 수 있다. 각각의 공사는 다시 여러 개의 공종으로 구성된다. 건축공사는 가설공사, 지정공사, 철근콘크리트 공사, 조적공사, 타일공사 등이 있으며 토목공사는 터파기 공사, 지정공사 등을 들 수 있다. 기계/전기설비공사는 조명, 냉난방 등의 공사를 들 수 있다. 다른 한편으로 각각의 공사에 요구되는 건축자재와 재료로 시멘트, 모래와 자갈, 레미콘 등을 들 수 있다. 이들 건축자재와 재료에 대한 에너지 소비와 이산화탄소 배출량 등의 환경영향을 산정한다.

둘째, 사용/유지관리단계는 크게 개·보수 등의 사용부분과 냉난방, 조리, 조명 등의 운용부분으로 구분된다. 유지관리단계는 건축물의 수명기간을 전제로 하여 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 산정하는 것이다. 사용부분은 개·보수 등의 수선에 사용



되는 공종으로 건축공사, 기계설비공사, 전기설비공사 등으로 구성된다. 운용부문에서는 건축물의 사용 에너지원, 관리면적, 세대수, 지역적 위치, 난방방식 등의 관리특성을 반영한 모델을 작성하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출 원단위를 산정할 수 있다.

셋째, 철거/해체 단계에서는 철거/해체시 사용되는 건축자재와 재료부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량 등의 환경영향을 산정한다. 다른 한편으로 크러셔(crusher) 등의 기계/장비 사용에 따른 에너지 소비와 이산화탄소 배출량은 철거 전문업체의 전문가 면담조사를 통해 수집된 자료를 활용할 수 있다.

### 건축물 라이프사이클 환경영향 현황

건축물은 기획/계획·설계, 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거/해체의 생애주기를 갖게 된다. 이러한 라이프사이클 과정에서 환경에 대해 영향을 미치기도 하며 환경은 건축물에 영향을 미치는 상호영향관계를 형성한다. 따라서 건축물의 라이프사이클 과정에서 환경영향을 저감하기 위해서는 라이프 단계별 환경에 영향을 미치는 영향요소를 저감을 추출하여 개선하는 것이 필요하다.

우리 나라의 건축물 라이프사이클 단계별 에너지

소비, 이산화탄소 배출량, 생애주기비용에 대한 현황은 한국건설기술연구원에서 분석한 것으로써 표 3과 같다. 이것은 84 m<sup>2</sup>의 공동주택을 대상으로 분석한 것으로 건축물의 라이프사이클 단계 가운데 사용 및 유지관리 단계가 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타난다.”

LCCO<sub>2</sub>는 라이프사이클 과정에서 전체 39.9 kg-CO<sub>2</sub>/년·m<sup>2</sup>가 발생하는 것으로 나타난다. 이 가운데 냉난방, 조명, 조리 등의 운용부문이 전체의 51%인 20.44 kg-CO<sub>2</sub>/년·m<sup>2</sup>가 발생하는 것으로 나타나고 있다. 건축물의 신축공사에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 전체의 약 9%수준인 3.66 kg-CO<sub>2</sub>/년·m<sup>2</sup>인 것으로 나타난다.

공동주택의 라이프사이클 에너지는 1,135.52 MJ/년·m<sup>2</sup>이 발생하고 있다. 이 가운데 사용 및 유지관리단계에서는 1,007.1 MJ/년·m<sup>2</sup>로써 전체의 88%수준을 보이고 있다. 신축공사 부분에서는 전체의 8%인 44.55 MJ/년·m<sup>2</sup>정도의 에너지를 소비하는 것으로 나타나고 있다.

상기와 같은 라이프사이클 이산화탄소(LCCO<sub>2</sub>)와 라이프사이클 에너지(LCE)를 보면 사용 및 유지관리단계에서 가장 높은 수준을 보이고 있다. 이것은 건축물의 건설단계보다는 사용 및 유지관리 단계에

<표 2> 건축물의 환경영향 적용범위 및 내용

	분석대상	영향분석내용
기획/계획/설계		
건설단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축자재(공종별, 건축자재, 재료별)</li> <li>• 건설장비운용</li> <li>• 현장운용 전력에너지 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소음</li> <li>• 건설폐기물 등</li> <li>• 고형폐기물</li> <li>• 수질 오염</li> <li>• 대기오염 등</li> </ul>
사용/유지관리단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유지/보수</li> <li>• 냉난방, 조명, 조리 에너지</li> <li>• 건축자재(공종별, 건축자재, 재료별)</li> <li>• 건설장비운용</li> <li>• 현장운용 전력에너지 등</li> </ul>	
철거/해체단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축자재(공종별, 건축자재, 재료별)</li> <li>• 건설장비운용</li> <li>• 현장운용 전력에너지 등</li> </ul>	

서 에너지 소비저감과 이산화탄소 배출 저감을 위한 기술개발이 요구됨을 반증하는 것이다.

그림 2는 우리나라 공동주택의 라이프사이클 에너지와 이산화탄소 배출현황의 비율을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전체 가운데 사용 및 유지관리단계에서 차지하는 비율이 가장 높은 것으로 나타난다.

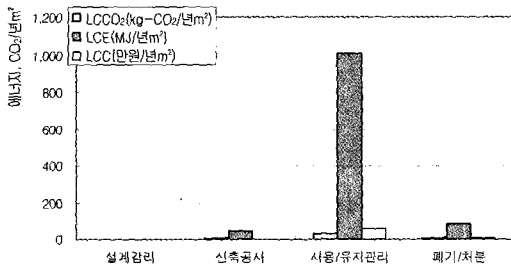
### 건축물의 LCA 적용을 위한 개선방안

건축물의 라이프사이클 기간 동안 환경에 미치는 영향은 수질, 대기, 토양 등 여러 가지 측면으로 구분할 수 있다. 이 가운데 지구온난화 영향지표로 기준요소로 사용되는 이산화탄소는 화석에너지 사용으로 인해 발생하고 있다. 따라서 이산화탄소 배출저감은 궁극적으로 화석에너지 사용 저감으로 연계된다. 이것을 통해 화석에너지, 이산화탄소 배출 저감

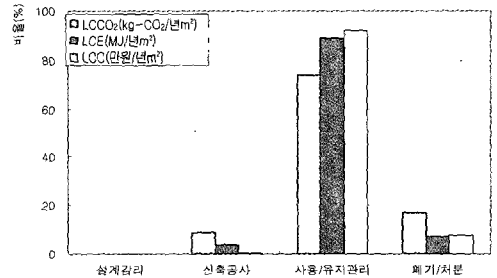
을 위한 친환경 건축물의 구현을 위해서는 다음과 같은 접근 및 적용방안이 실행되어야 한다.

첫째, 건축물의 라이프사이클을 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거/해체단계로 구분, 접근하여야 한다. 다른 재화와는 달리 수명이 길기 때문에 라이프사이클 기간 동안을 모두 포괄하는 Top-Down 방식의 라이프사이클 단계 구분이 필요하다. 이것은 앞서 나타낸 각 단계별 건설자재, 재료의 생산, 현장 시공 등의 세부 항목으로 구분하는 것이다.

둘째, 건축물에 적용하는 LCA 프로세스를 수립하는 것이다. 건축물은 다종다양한 건축자재, 재료, 건설장비, 현장 시공 등 다른 재화에서는 볼 수 없는 독특한 생산물이다. LCA는 현장에 근거를 하는 직접조사 방식을 토대로 한다. 그러나 이와 같은 직접조사법으로 수행하기에는 시간, 비용, 조사범위 및 내용 등에서 한계를 지니고 있다. 따라서 산업연관분석법 등과 같은 간접적인 방식을 활용하는 것이 바



[그림 1] 우리나라 공동주택의 라이프사이클 에너지와 이산화탄소 배출현황



[그림 2] 공동주택의 라이프사이클 에너지와 이산화탄소 배출비율

<표 3> 우리나라 공동주택의 라이프사이클 단계별 에너지와 환경영향

분류	LCCO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /년·m <sup>2</sup> )		LCE(MJ/년·m <sup>2</sup> )		LCC(만원/년·m <sup>2</sup> )		
	배출량	비율(%)	소비량	비율(%)	비용	비율(%)	
설계감리	0.02	0.1	0.21	0.02	0.06	0.1	
신축공사	3.66	9.2	44.55	3.9	0.15	0.2	
사용 및 유지 관리단계	수선	6.92	17.3	88.37	7.8	5.53	9.2
	개수	1.26	3.2	15.87	1.4	1.87	3.1
	유지관리	0.85	2.1	11.02	1.0	28.06	46.4
	에너지	20.44	51.2	891.75	78.5	20.17	33.4
폐기/처분	6.75	16.9	83.75	7.4	4.60	7.6	
합계	39.90	100.0	1,135.52	100.0	60.43	100.0	



람직하다. 산업연관분석법은 일본, 유럽의 일부국가에서 제한적으로 사용하고 있다.

여기에서는 크게 산업연관분석법을 이용하는데 있어 산업부문의 구분과 LCI DB대상 선정 등을 들 수 있다. 전자는 산업연관표상의 산업부문이 지니고 있는 제품 구성내용을 정확히 구별하는 것이다. 예를 들어 형강을 나타내는 산업부문에서 이형철근, 봉강 등의 제품구성으로 되어 있음으로 분석결과를 이에 따라 할당(allocation)하는 과정이 뒤따라야 한다<sup>3)</sup>. 후자는 건축물의 LCA과정을 적용하기 위해 모든 구성요소를 하기에는 한계가 있다. 따라서 환경에 영향이 많은 것으로 정성적인 판단이 되는 구성요소를 추출, 선적하여 출발하는 것을 제한할 수 있다.

뿐만 아니라 LCA를 건축물의 환경영향을 줄이는 데 안전정을 위한 의사결정도구로 사용하여야 하는 것이다. 이것은 LCA결과가 절대적인 수치를 의미하기 보다는 상대적인 의미로 해석되어야 함을 의미한다. 그 외에 LCA결과를 이용하는 분야를 인증제도 혹은 환경마크 등의 제도로 활용하는 것이 바람직하다.

셋째, 산업연관분석법은 LCA과정가운데 목록분석을 위한 LCI DB를 구축하는 부분이다. 최근에 산업자원부, 환경부에서 작성하고 있는 LCI DB 대상 자재, 재료는 제한적이다. 이것은 직접조사법에 근거하여 작성한 것으로 간접추계법인 산업연관분석법에 의한 결과보다 우선 순위를 점하고 있다. 그러나 산업연관분석법의 LCI DB결과와 비교하여 많은 차

이를 보이고 있다. 기존 국내의 여러 문헌을 통해 살펴볼 때 산업연관분석법에 의한 결과와 산업자원부, 환경부에서 제시하고 있는 LCI data와의 차이를 분석하여 산업연관분석법의 이론적, 분석적 신뢰성을 확보하고 있지는 않는 것으로 판단된다.

넷째, 산업연관분석을 위한 산업연관표는 금액단위로 작성되어 있다. 이것은 금액의 많고 적음에 좌우되어 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 뿐만 아니라 분석결과는 금액단위로 작성되어 있음으로 건축자재, 재료의 투입량, 인력소요, 건설장비 운용 등의 물리적 투입량에 따른 에너지 소비와 이산화탄소 배출 변동정도를 직접적으로 확인하기에는 한계가 있다. 따라서 산업연관분석법은 다음과 같은 형태로 분석이 될 필요가 있다.

$$X = \begin{bmatrix} \text{원} & \text{원} \\ \text{원} & \text{ton, kg} \\ \text{ton,kg} & \text{ton, kg} \\ \text{원} & \text{ton, kg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{원} \\ \text{ton,kg} \end{bmatrix}$$

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

뿐만 아니라 산업연관표상에서 나타나고 있는 산업부문은 건축물에 투입되는 요소를 설명하기 보다는 해당 요소를 포함하는 포괄적인 의미의 산업으로

<표 4> 건축물 라이프사이클 단계별 환경영향 분석방법

	1차 분석	2차 분석
건설단계	산업연관분석법 (Input-Output Analysis)	· 현장운전에너지, 건설장비운용 에너지는 표본조사 후 모델링
사용/유지 관리단계	· 유지/보수 산업연관분석법 (Input-Output Analysis)	· 수선 등의 공사에 요구되는 건설장비 운용에너지
	· 냉난방, 조명, 조리 에너지	· 건물특성, 라이프스타일 등에 따른 냉난방, 조명, 조리 등의 에너지 운용실태 조사/모델링
철거/해체 단계	산업연관분석법 (Input-Output Analysis)	· 현장운전에너지, 건설장비 에너지 은표본조사 후 모델링을 이용.

주) 이때 최종수요는 건축산업부문에 투입된 것을 따로 조사하여 작성하는 것이 요구된다.

분류하고 있다. 따라서 산업부문을 구성하고 있는 각 요소별 구성비율 혹은 구성금액을 토대로 하여 에너지 소비량, 이산화탄소 배출량 등을 요소 구성 특징에 따라 할당하는 과정이 수립되어야 한다.

다섯째, 건축물의 라이프사이클 단계별 에너지 소비와 환경영향을 저감하기 위한 기술개발이 요구된다. 여기에는 건축물의 장수명화, 에너지 소비 효율화 등을 들 수 있다. 특히, 공동주택은 벽식조 형식이 가지는 공간구성의 가변성, 주택부품, 부재화 등에서 한계를 가지고 있다. 따라서 구조형식의 다양화를 통한 공간구성의 다양화를 위한 기술개발이 필요하다.

여섯째, 건축은 경제성을 기본축으로 하고 있다. 따라서 에너지 소비, 환경영향 저감을 위한 접근은 경제성 측면에 대한 비중을 축소할 수 있다. 따라서 건축물이 지니고 있는 경제성 측면과 에너지, 환경영향 측면을 동시에 반영할 수 있는 기술개발이

요구된다. 뿐만 아니라 건축물의 성능, 기능이 계속적으로 유지하고 평가할 수 있는 다양한 기법의 개발이 요구된다.

마지막으로 라이프사이클 단계가운데 에너지 소비, 환경영향 저감에 대한 주요 역할은 기획/계획 및 설계단계이다. 따라서 실제적으로 기획, 계획 및 설계단계에서 에너지 소비, 이산화탄소 배출이 미약할지라도 건설이후의 건축물에 결정적인 역할을 하게 된다. 이것은 LCA의 마지막 과정인 개선평가를 통해 나타난 대안을 새로운 계획 및 설계단계로의 환류, 적용을 의미한다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, 한국건설기술연구원(2004), 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구, p. 271~278 ㉓