

환경부하 및 경제성을 고려한 친환경 최적설계

Sustainable Optimum Design by
Environmental and Economical Efficiency

필자 : 우지환, (주)엑스퍼트벤처 건축사사무소
by Woo, Jee-hwan, KIRA



건축공학을 전공하고 1992년 한양대학교 대학원에서 석사 학위를 받았다. 1994년 법인 설립 이후 건축사로서 현재 뉴타운 재개발 및 재건축 사업인 주거환경 개선사업을 중심으로 (주)엑스퍼트벤처 건축사사무소를 운영 중에 있으며, 2011년 같은 대학원에서 건축환경공학을 전공하여 박사 학위를 받았다.

현재 정부지정 법원감정인, 한국건설교통기술평가원 초고층복합화사업 심의위원, 대한민국법원행정처 법원전문심리위원, 대한건축사협회 저작권T/F 위원, 서울시 성동구청 도시분쟁조정위원, 부천시청 외부전문가감사위원, 한양대학교 친환경건축연구센터 겸임 연구교수 등으로 활동하고 있으며 친환경을 주제로 한 다수의 논문을 발표하였다.

목 차

1. 전과정 평가와 최적설계 시스템
Life Cycle Assesment & Optimum Design System
2. 공동주택 전생애 환경부하 평가 시스템
Environmental Efficiency Evaluation System of
Apartment House Life Cycle
3. 친환경 건축물 최적설계 평가 프로그램 개발
Development of the Program for
Sustainable Building Optimum Design
4. 환경부하 및 경제성의 친환경 최적설계
Sustainable Optimum Design of
Environmental & Economical Efficient

우리가 과거 인식해온 지구 온난화는 단순한 자연의 섭리와 우발적 기후 변화에 기인한 것으로 판단하여 등한시 해 왔으나, 오늘날의 온난화는 계속되는 과학자들과 학자들에 의한 기상과 기후변화의 지속적 연구 결과와 더욱 표면화 되며 심각해지고 있는 자연 현상 등을 통해 이제는 우리의 재산은 물론이요 생명의 위협을 넘어 하나뿐인 지구를 잃게 될지도 모른다는 결론에 도달하게 되었다.

이러한 지구 위협을 알리는 경종은 대단한 경각심을 불러

일으키고 동시에 우리에게 의한 일련의 건축행위가 미래에 지속 가능한 건축으로 유지될 수 있는가에 대한 심각한 고민에 빠져 들게 한다.

이와 같은 지구 보호를 위한 중대한 문제의 해결은 자신이 속한 분야에서 부터 그 실마리를 찾아야 한다. 이에 공동주택의 전생애 주기에 관한 환경부하의 저감과 이를 위해 수반되는 경제성을 고려한 친환경적 최적설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 공동주택 전생애 환경부하 평가 시스템

2. Environmental Efficiency Evaluation System of Apartment House Life Cycle

서론

건설 산업은 국내 GDP의 17%를 차지하는 국가 기간산업이나 전체 재료 소비의 약 48%, 에너지 소비의 40%를 점유하고 있는 대량 소비 산업임과 동시에 모든 CO₂ 배출량의 42%, 전 산업폐기물의 30%, 불법 폐기물의 60%를 발생하는 환경저해 산업이라 할 수 있다. 또한 전체 에너지의 22%가 건축물에서 사용되고 있으며, 건물 생애 비용의 경우 16%가 건설단계에서 사용되며 83%가 유지관리단계에서 사용되고 0.4%가 해체 및 폐기단계에서 사용되고 있다. 이러한 국내 건설 산업이 처한 환경오염에 대한 대응 방안으로 건축물 전생애를 통하여 사용되는 에너지로 인한 CO₂ 발생량 저감의 정량적 평가가 가능한 기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

국제적 동향

사실상 몇 년 전까지만 해도 건축분야 연구자와 실무자들은 환경부하 감축의 핵심요소인 온실가스로 인한 CO₂(Carbon Dioxide) 저감에 대한 인식이 부족했던 것이 사실이다. 하지만 최근 불고 있는 지구 환경문제에 대한 경종과 이를 극복하기 위한 전 세계적인 노력으로 CO₂ 저감을 위한 기술 개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히 건축물의 건설, 운영 및 유지관리, 해체 등 건축물의 생애 주기(Life Cycle) 전반에 걸친 CO₂ 저감 기술이 앞을 다투어 이루어지고 있다. 이미 환경 선진국인 호주의 뉴사우스웨일즈(New South Wales) 주에서는 건축물 전생애 CO₂ 평가 프로그램(Life Cycle Assessment Design Aid : LCADA)을 개발해 이를 건축물 탄소량 총량제도(Building Sustainability Index : BASIX)에 적용하고 있으며, 일본의 경우 건축물의 전생애 CO₂량을 산출해 환경부하를 평가하는 친환경 건축물 인증제도(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency : CASBEE)의 새로운 버전을 2008년 8월 개발한 상태다. 이 외에도 영국의 ENVEST, 프랑스의 EQUER, 핀란드의 BeCost, 독일의 LEGEP 등 다양한 형태의 건축물 CO₂ 평가 프로그램이 연구 개발되고 있다.

일본의 경우 민간 측에서 대형 건설 회사들이 회사 실정에 맞는 맞춤형

형 건축물 CO₂ 평가 프로그램을 개발하여 건축물의 생애 주기 CO₂를 평가 및 분석하는데 활용하고 있다. 그렇다면 우리나라는 어떨까? 국내에서는 건축물의 친환경 성능을 평가하기 위한 제도로 '친환경 건축물 인증제도'가 시행되고 있다. 이외에 주택성능등급표시제도, 에너지 효율등급인증제도, 에너지절약계획서, 그린홈인증제도 등이 시행되고 있다. 하지만 이는 지구 환경보호를 위한 가장 기본 단계로 환경부하를 구체적으로 줄일 수 있는 CO₂ 평가 내용이 배제되어 있거나 건축물 운영단계의 에너지 사용량만을 고려하고 있는 실정이다.

건축물 전생애 주기의 평가

건축물의 전생애(Life Cycle)는 건설단계, 운영단계, 해체 및 폐기단계로 나누어진다. 국내 여러 학술 관련 단체에서는 대부분이 CO₂의 정량적 평가가 용이한 운영단계의 에너지 소비량만을 평가하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이는 건축물의 전생애 단계 중 건설단계, 운영 및 유지관리단계, 해체 및 폐기단계에서의 CO₂를 정량적으로 평가하는 기술 수준의 검토가 미약한 것에 기인한 것으로 판단된다. 건축물의 전생애 단계 중 부분적으로 이루어지는 평가는 건축행위의 종합적 평가에 그 실효성을 가질 수 없으며 많은 문제점을 내포하고 있다고 볼 수 있으므로, 이러한 문제점의 해결과 함께 국제적인 연구 흐름에 편승하기 위하여 운영단계는 물론 설계단계, 건설단계와 해체 및 폐기단계를 포함한 전생애 단계에 대하여 정량적인 평가를 할 수 있는 시스템의 구축이 필요한 상황이다. 아울러 건축물의 전생애 중 대부분이 CO₂의 정량적인 평가가 용이한 운영단계의 에너지 소비량만을 평가하는 연구와는 달리 설계단계, 건설단계, 운영 및 유지관리단계, 해체 및 폐기단계에서의 CO₂를 정량적으로 평가할 수 있는 최적설계를 위한 기술 수준을 한층 더 높여야 한다.

전생애 주기 평가시스템 구축

생애주기의 세부적 단계에서 설계단계, 건설단계의 건설자재 생산단계 및 시공단계와 운영단계, 해체 및 폐기단계에서의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 정량적 산출을 통한 환경비용의 도출, 신축 건축

물의 초기 공사비 상승 및 비용편익에 대한 분기점의 확인 등 최적해를 통한 건축물의 환경부하 및 경제성을 고려한 친환경 최적설계 평가 시스템 구축과 프로그램의 개발이 필요하다.

따라서 건축물의 전생애 환경부하 평가 프로그램 개발을 위하여 대상 건축물을 공동주택으로 하여 모델을 선정하고 설계단계의 수량 산출을 통한 데이터베이스의 구축과 건설단계의 경우 건축자재 생산단계, 운송단계, 시공단계의 평가 시스템의 구축, 운용 및 유지관리단계 그리고 해체 및 폐기단계의 평가 시스템을 구축하였다. 아울러 친환경 건축물의 최적설계 평가 프로그램의 개발은, 각 단계별로 구축된 평가 시스템과 친환경 요소 기술에 대한 데이터베이스의 구축 내용을 기준으로 최적설계 시스템의 이해와 최적설계 프로그램의 구성 및 프로그램의 로직, 알고리즘을 적용하여 친환경 건축물 최적설계 평가 프로그램의 개발이 가능하다.

공동주택 전생애 환경부하 평가 프로그램

개요

건축물 전생애 환경부하 평가 프로그램은 정부 정책에 의한 그린홈 관련 평가기준주택 모델의 공동주택을 대상으로 건축계획을 통하여 설계될 수 있는 제반 대안을 설정하고 설정된 대안별로 세부 데이터베이스를 구축하고 이를 토대로 공동주택을 평가하기 위하여 전생애에 각 단계별 각종 환경부하 항목을 기준으로 환경성능을 분석하게 된다. 이어 건축물의 전생애(Life Cycle) 주기 동안의 각 단계별 행위를 통해 발생하는 에너지 소비량에 의한 환경부하(CO₂ 배출량) 및 경제성(초기 투자비용)에 대한 정량적 평가가 가능하다.

대상 건축물의 선정

공동주택으로 선정한 모델은 현재 국가 정책에 의해 추진되고 있는 그린홈 관련 평가기준주택으로 현재 주로 설계되고 있는 36㎡~125㎡까지의 공동주택에 대해 대표성을 가진 평면을 선정하고 평면형식, 평형별 면적, 주호의 조합, 주동의 조합, 층고, 층수, 구조형식, 콘크리트 강도 등 세부 기준의 건축개요를 설정하였다.

단계별 환경부하 평가시스템 구축

1) 대표 자재의 선정

건설단계의 공종별 이산화탄소 발생량의 경우 건축공사에서 약 85.3%가 배출되고, 설비공사의 경우 약 12.0% 배출되며, 토목공사에

서 약 2.7%가 배출되는 것으로 조사되어 건축공사에서 이산화탄소를 발생하는 주요 건설자재를 대상으로 분석하여 공동주택의 건설에 투입되는 자재 6개 항목(철근, 레미콘, 합판, 콘크리트제품, 산업용 플라스틱제품, 도로)을 대표자재로 선정하고 선정된 자재를 주요 환경부하 인자로 결정하였다.

표1. 공동주택의 대표자재별 이산화탄소 발생비율

대표 자재	CO ₂ 발생량
철근	42.40 %
레미콘	23.70 %
합판	4.00 %
콘크리트제품	3.50 %
플라스틱제품	3.40 %
도로	3.10 %
합계	80.08 %

2) 설계단계

(1) 물량산출 데이터베이스 구축

공동주택의 건축개요를 기준으로 36㎡(10.89형), 46㎡(13.91형), 59㎡(17.85형), 84㎡(25.40형), 125㎡(37.81형) 등 5개의 평면형식으로 2호조합 판상형, 4호조합 판상형, 4호조합 탑상형 등 3개 형식의 주호를 조합하여 주동형태를 구성하고 15층에서 20층까지 총 6개의 층수를 갖는 건축물의 각 동에 대하여 총 90가지의 변수로 도출된 내용에 의해

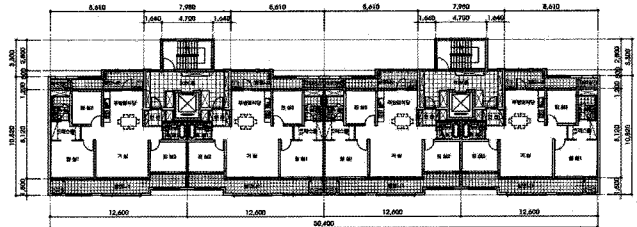


그림1. 84㎡ (25.40형) 판상형 4호조합 단위세대 평면

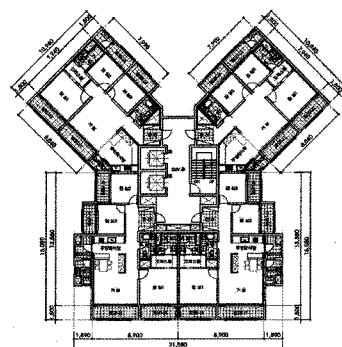


그림2. 84㎡ (25.40형) 탑상형 4호조합 단위세대 평면

작성된 제반 설계도서를 기준으로 부속자재(66개)를 포함한 대표자재(6개)의 수량을 산출하여 공동주택의 규모선정 및 평가 시 최소한의 입력 자료를 통해 자동으로 물량산출이 가능한 시스템이 되도록 데이터베이스를 구축하였다.

(2) 대표자재 원단위 데이터베이스 구축

원단위 분석방식은 개별적산법, 산업연관분석방식, 혼합분석방식으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 기존의 방식인 개별적산법과 산업연관분석방식을 복합적으로 사용하는 혼합분석방식을 적용하였다. 이산화탄소 배출량이 많은 자재인 콘크리트에 대한 원단위는 일반 콘크리트의 경우 개별적산방식에 의한 국가 LCI DB를 적용하였으며 고강도 콘크리트의 경우 개별적산방식에 의한 적용이 정확한 근거를 찾기 어려움이 있어 자체 연구의 결과로 도출한 원단위를 적용하였다. 또한 기타 주요 자재의 경우 한국은행에서 제시된 산업연관분석을 적용하였으나 산업연관분석의 연도별 차이로 인한 원단위 수치가 일정하지 않은 관계로 인하여 동일 연도의 적용이 불가능하여 최근 자료인 2003년도 산업연관분석 자료를 적용하였다.

표2. 원단위 분석방식의 장단점

원단위 분석방식	장점	단점
개별적산방식	결과의 정확성이 우수	분석대상 범위가 좁음
	각 공종별 분석 가능	구축비용이 큼
산업연관분석방식	분석대상 범위가 넓음	결과의 정확성이 낮음
	구축비용 및 시간이 적음	산업구조의 단순·평균화
혼합분석방식	결과의 정확성이 우수	구축비용 큼
	분석대상 범위가 넓음	구축 소요시간이 큼

따라서 이산화탄소의 배출량을 산출하는 척도인 주요 자재에 해당하는 각 분석방식별 원단위의 적용은 일률적이며 고정된 방식의 적용보다는 데이터베이스의 구축 시간을 필요로 하는 단점과 선별 적용의 어려움이 있으나, 현실적인 측면과 실질적인 평가가 가능한 방법인 혼합방식에 의해 선택 적용을 통한 원단위의 적용이 보다 정량적인 환경부하 도출을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 건설단계

자재의 생산, 자재의 운송, 현장시공 등으로 구분되는 건설단계는 자재 생산단계의 경우 건설단계의 공종별 이산화탄소 발생량 중 건축공사에서 약 85.3%가 발생하는 주요 자재를 대표자재로 선정하고 공동주택의 각 조건별 대안을 모두 만족하는 범위의 대표자재 물량을 자

동물량 산출시스템에 의해 산출하여 혼합방식에 의해 구축된 원단위 데이터베이스를 적용하여 환경부하량을 도출한다.

자재 운송단계에서의 CO₂ 발생량은 건축물 시공 시 사용되는 대표자재를 자재 저장장소에서 건설현장까지 운반하는데 소요되는 화물 자동차의 유류 소비량을 기준으로 각 대표자재별 저장장소에서 현장까지의 거리, 운송 화물차량의 종류 및 표준연비, 운송차량의 대수 등의 결정은 2009년 건설 표준품셈에 근거하여 실제 현장에서 주로 사용되는 주요 자재별 운송차량을 조사하고 공사현장의 운송에 사용되는 화물자동차의 운반 차량별 적재용량 및 차량의 표준연비 등에 따른 에너지 소비량을 분석하여 건축자재 운송단계의 CO₂ 발생량을 정량적으로 산출이 가능하다.

건축현장 시공단계에서는 배출되는 CO₂ 발생량의 산출은 건축물 시공을 하기 위하여 연구자료인 현장 각 지구별 예산내역서 데이터에 일위대가를 적용하여 각 에너지별 평균 사용량을 산출하고 지구별 예산내역서 및 일위대가를 적용한 유류 29개 공구, 전력 36개 공구 총 65개의 데이터를 기준으로 시공단계에서의 연면적에 따른 각 에너지별 평균 사용량 산출식의 도출에 의해 시공단계의 CO₂ 발생량에 대한 정량적 산출이 가능하다.

4) 운용 및 유지관리단계

운용단계는 건축물의 수명 동안 건축물 사용에 따른 유류, 전력, 도시가스 등 총 에너지 사용량을 통해 산출할 수 있다. 이를 평가하는 방법으로는 에너지 사용에 관한 실측 데이터를 수집하여 분석하는 단순입력 산출방법과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법 그리고 우리나라에서 제공하고 있는 에너지효율등급인증제도와 그린홈 인증제도 등 Checklist 형식을 이용하여 산출하는 방법 등이 있다. 운용단계에서는 건물 에너지성능지표점수(EPI) 상승에 따른 건물에너지 저감량과 CO₂ 방출저감에 대한 상관관계 분석을 위해서 항목별 건물에너지 시뮬레이션을 통한 에너지 사용량을 도출하고 CO₂ 저감량 분석을 위해 EPI 점수와 에너지저감에 따른 CO₂ 발생량을 산출한다. 유지관리단계는 건축물의 생애기간 동안의 건축자재의 열화, 파손, 훼손에 대한 수선 및 교체에 따른 물량 증가량으로 환경부하량을 평가할 수 있으며, 건축물 장기수선 계획 및 수선율을 근거로 보수공사에 사용되는 모르타르 및 페인트 제품에 대한 물량 내역에 각 부위별 사용비율의 분석에 의해 CO₂ 발생량을 산출한다.

5) 해체 및 폐기단계

건축물의 해체 및 폐기단계는 건축물 수명이 끝나 구조물이 해체되

고 건축폐기물이 발생되어 처리되는 단계를 뜻하며 크게 건축물 해체 단계, 폐기물 운송단계, 폐기물 처리 및 매립단계로 구분할 수 있다.

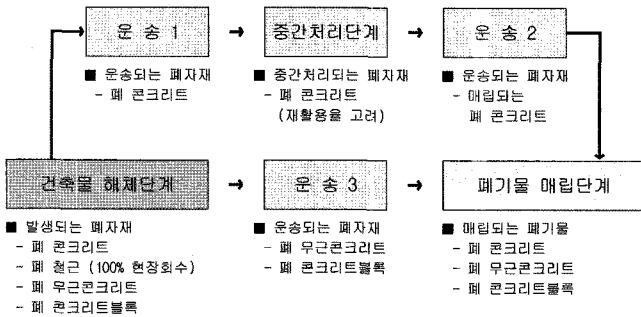


그림3. 건축물 해체 및 폐기 과정

(1) 해체단계

건축물의 해체공사는 날로 그 규모가 대형화되어 가고 있으며 대부분이 대형 기계식 해체 또는 발파해체로 이루어지고 있다. 해체 장비로 인해 소비되는 에너지는 철거 현장에서 발생하는 유류 사용량이 직접적인 에너지 소비량이라 할 수 있다. 해체장비 사용으로 인한 에너지 소비는 장비의 연료소비에 의한 것으로 한정하고 해체공사 시 이용되는 장비의 에너지 소모량은 각 현장마다 이용되는 장비의 규모, 노후 정도 그리고 운전자의 숙련도 등에 따라 다소 상이할 수 있다.

따라서 장비의 각 제원별 특성을 고려하여 장비별 작업효율과 시간당 연료 소비량에 의해 해체장비의 작업량에 대한 에너지 소비량을 건설 표준품셈 및 연구 자료의 활용으로 연료 소비량을 분석하였으며, 분석 자료를 토대로 각 장비별 시간당 작업량과 시간당 장비별 연료 소비량을 산출하고 해체 단위 물량당 소요되는 에너지 소요량을 해체장비의 조합별 연료 소비량으로 변환된 값을 도출하여 데이터베이스화 하였다. 따라서 건축물의 해체공사에 따른 적용 장비의 선택 시 효율적인 사용이 가능하며 장비 조합의 선택에 따른 에너지 소비량의 유효 적절한 조정이 가능하다.

(2) 폐기단계

폐기물 운송단계

폐기물 운송단계의 에너지 소비량 및 CO₂ 발생량은 앞서 건축물 해체단계에서 발생된 폐기물을 매립지 또는 중간 처리지로 운송하는 차량의 유류 소비량으로 한정하고 폐기물의 양과 화물 자동차의 종류, 매립지 및 중간처리 장소까지의 거리 등을 적용하여 건축자재 운송단계와 유사한 방식으로 에너지 소비량에 따른 CO₂ 발생량을 산출한다.

폐기물 처리 및 매립단계

폐기물 처리과정은 발생된 폐자재를 처리하는 최종단계로 중간처리 단계를 거쳐 크게 재활용, 매립, 소각부분으로 구분되며 상대적으로 비율이 2% 정도로 낮은 소각부분은 제외한다. 중간처리 단계에서는 현장에서 발생된 폐자재의 파쇄 및 선별작업을 의미하며 일반적으로 폐콘크리트가 가장 큰 비율을 차지한다. 또한 이 단계는 매립과정과 연계되어 수행되는 작업으로 폐콘크리트의 재활용률을 고려하여 CO₂ 발생량을 산출한다. 매립단계에서는 건축물 해체단계에서 발생된 폐기물 중 재활용을 할 수 없는 폐기물을 매립하는 단계로 매립 장비를 사용하여 현장에서 발생된 무근콘크리트와 콘크리트블록, 중간처리단계에서 분류된 폐콘크리트의 매립 작업이 이루어지는데 매립되는 폐기물의 양을 산정하고, 매립 시 사용되는 장비인 Dozer 및 Compacter의 유류 사용량을 기준으로 CO₂ 발생량을 산출한다. [1]