

전과정평가를 이용한 공동주택의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량 산정

Application of Life Cycle Assessment into the Apartment Housing and Calculation of the Energy Consumption and CO₂ Emission

정 보 라*, 이 하 식*, 최 영 오**, 이 강 희***

Jung, BoRa, Lee, HaShik, Choi, YoungOh, Lee, Kang-Hee

Abstract

The environment has played a key role to improve the living condition and develop the industry. In building industries, we should consider the environment and mitigate the environmental affect. For mitigating the its affect, various areas of building technology have been developed and applied into filed work. In addition, the process in applying into field requires to conduct the assessment of the environmental affect and improve its applied technology. A lot of assessment methods are proposed in evaluate the building condition such as post-occupancy evaluation, life cycle management and life cycle assessment. Among these assessment methods, life cycle assessment is effectively utilized the environmental affect in building life cycle.

Therefore, this paper aimed at analyzing the energy consumption and CO₂ emission in building life cycle, using the life cycle assessment and application of the example in apartment housing. This study shows that the maintenance and the production of building materials stage shares most of the amount of energy consumption and CO₂ emission and therefore plays an important role to planning the building in terms of the life cycle. Second, the other stages brings about a very small amount. It is important to decide the building shape and contents to mitigate the environmental affect in terms of material, volume, the pattern of the energy use and others.

키워드 : 공동주택, 전과정평가, 에너지, 이산화탄소, 철거, 사용, 유지관리

keyword : Apartment housing, Life Cycle Assessment, demolition, maintenance

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

건축물은 건설, 사용 및 유지관리, 철거·해체의 라이프사이클 과정을 거치게 된다. 라이프사이클 과정속에서 에너지를 소비하는 한편, 이산화탄소 등의 환경영향물질을 발생하게 된다. 따라서 건축자원 뿐만 아니라 에너지, 환경오염 등을 저감하기 위해 환경영향을 사전에 예측하여 환경보전을 위한 다양한 건축기술이 개발되어야 할 것이다. 이를 위해 라이프사이클 과정에서 투입되는 건축자재 및 재료, 혹은 공중에 따른 자원·에너지 소비, 이산화탄소 등의 지구온난화 물질 배출, 건설폐기물의 배출 등에 대한 종합적인 평가·분석이 이루어져야 한다.

건축물 라이프사이클 과정에서 자원·에너지 소비량, 환경영향물질 발생량 등을 파악할 수 있는 방법으로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 들 수 있다. 전과정평가는 공중, 공법 혹은 건축자재와 재료와 각 라이프사이클 단계에 대해 에너지 소비와 환경오염물질 배출을 정량적으로 제시할 수 있다. 이것을 이용하여 에너지 저소비형, 환경영향물질 배출 저감을 도모할 수 있는 공중, 공법 혹은 건축자재 및 재료 등에 대한 상대적인 우선순위를 부여할 수 있다.

본 논문에서는 공동주택을 대상으로 하여 라이프사이클 과정에서 전과정평가의 목록분석과 현장조사, 기존문헌 자료 등을 이용하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배

출량을 산출하는 것이다. 이때 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량은 원단위 척도로 산출한다. 본 연구결과를 이용하여 라이프사이클 단계별 건축자재 및 재료, 공중 등에 대한 상대적 환경영향정도를 比較, 評價하는 尺度로 활용이 가능하다.

1.2 연구방법 및 내용

건축물의 라이프사이클 과정을 크게 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거·해체단계로 구분된다. 이 가운데 본 논문에서는 라이프사이클 기간동안 발생하는 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량의 비중이 높은 건설단계의 건축자재 및 재료부문, 사용단계, 철거해체단계를 중심으로 분석하였다. 그 이외 상대적으로 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량이 낮은 자재 운송, 시공, 개·보수, 철거·해체 등은 기존의 연구결과를 활용하였다.

건축자재와 재료는 목록분석을 이용하여 산정하였다. 목록분석(Inventory analysis)은 크게 직접조사법과 간접추계법으로 구분된다. 간접추계법은 건축물 라이프사이클 과정에서 투입되는 에너지·자원 등의 각각의 요구량을 생산하기 위해 여러 산업부문의 요소투입을 갖는 유기적인 연계관계를 활용한다. 이것은 투입·산출(Input·Output)의 개념으로 표현된다. 따라서 본 논문에서는 투입·산출의 개념을 이용하여 간접추계법인 산업연관분석법을 이용하여 목록분석을 수행하였다. 건축자재 및 재료의 운송부문과 시공과정은 기존문헌자료를 활용하였다.

사용 및 유지관리단계의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량은 현장자료를 조사하여 분석하였다. 에너지원으로 쓰는 도시가스, 전력, 지역난방으로 구성된다. 개·보수 등의 유지관리부분은 기존의 연구결과를 활용하여 산정하였다.

철거 및 폐기단계에서 철거단계는 기존의 연구결과를

* 정희원, 안동대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 경북대학교 대학원 건축공학과 박사수료

***정희원, 안동대학교 건축공학과 부교수, 공학박사.

◇ 본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비 지원(06첨단도시02)에 의해 수행되었습니다.

활용하여 산정하였다. 반면, 폐기물 운송단계는 폐기물 운송업체를 대상으로 조사한 결과를 활용하였다.

에너지소비량과 이산화탄소 배출량은 원단위 척도를 이용하여 바닥면적당 에너지 소비량(cal/m², Joule/m²), 바닥면적당 이산화탄소 배출량(kg-c/m²)으로 표현한다. 이것은 공동주택 라이프사이클 기간 동안 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 종합하여 평가하거나 라이프사이클 단계별 각각의 상대적인 수치비교가 용이하다.

표1. 분석대상 건축물 개요

| 구분 | 내용 | | | |
|------|-----------------------------------|-----------------------|---------|------|
| 대지면적 | 99,744m ² (30,172.56평) | | | |
| 건축규모 | 지상35층, 지하 3층 | | | |
| 건축면적 | 59,061m ² | 건폐율 | 59% | |
| 연면적 | 지상층 연면적 | 355,075m ² | 용적율 | 355% |
| | 지하층 연면적 | 82,654m ² | | |
| | 합계 | 437,729m ² | | |
| 조경면적 | 29,109m ² | 세대수 | 1,829세대 | |

1.3 연구의 범위

건축활동에 따른 에너지소비량 및 이산화탄소배출량을 정량적으로 분석하기 위해서는 우선적으로 건축물의 라이프사이클(Life cycle) 기간을 구분하는 것이 필요하다.

건설단계는 건축자재 생산단계, 운송단계, 시공단계로 구분된다. 생산단계의 분석범위는 시공단계에서 사용할 건축 자재들을 생산하기 위해 필요한 원료를 채취하는 단계부터 건설자재를 생산하는 시점까지 설정하였다. 운송단계는 생산된 다양한 건축자재를 건축현장까지 운반하는 시점까지로 설정하였다. 시공단계는 현장까지 운반된 다양한 건축자재를 이용하여 최초 건축물의 착공에서부터 준공시점까지로 설정하였다.

사용 및 유지관리단계에서는 사용단계와 유지관리단계로 구분되며 조사대상 범위는 사용단계에서는 건축물을 운용하기 위해 필요한 전력, 난방, 도시가스 등의 사용량을 분석하는 것으로 설정하였다. 유지관리단계에서는 노후 및 열화에 의한 건축부재 및 부품의 수선, 보수공사에 사용된 전력, 유류 및 장비를 분석하는 것으로 설정하였다.

철거/폐기단계의 분석범위는 수명이 다한 건축물을 철거/해체하고 건설폐기물의 처리를 위한 운송까지를 포함하였다. 즉, 철거후 발생하는 건설폐기물을 재활용 혹은 매립하기 위한 장소까지 운송하는 것을 범위로 하고 있으며, 건설폐기물의 재활용은 없는 것으로 가정하였다. 대상범위는 건축물 철거시 사용된 자재 및 장비와 폐기물 운반에 필요한 차량, 유류, 전력 등을 분석하는 것으로 설정하였다.

2. 에너지 소비량 및 이산화탄소 산정방법

2.1 건설단계

건설단계 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량을 산정하기 위해서는 건설단계에서 발생하는 배출 인자에 대한 범위 설정이 우선시 되어야 한다. 건설단계는 건축자재 생산단계, 운송단계, 시공단계로 구분할 수 있다. 자재 생산단계의 에너지소비량 및 이산화탄소배출량은 산업연관분석법을 이용해 도출한 건축자재의 원단위를 건축물 신축시 투입되는 물량에 적용하여 산출할 수 있다.

건축자재 운송단계는 건축물의 건설에 필요한 자재를 생산지나 저장장소에서 건설현장까지 운반하는데 요구되는 트럭 등의 운송장비에 소비되는 운송 유류 및 전력을 조사·분석하여 산출할 수 있다. 시공단계는 현장의 건설기계장비, 운반장비, 현장사무소 및 기타 시설물 등을 이용함에 있어 소비되는 유류 및 전력량을 조사하면 산출이 가능하다.¹⁾ 운송단계와 시공단계의 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량은 한국건설기술연구원에서 제시해 놓은 데이터를 이용하였다²⁾.

표2. 라이프사이클 단계별 연구방법

| 라이프사이클 | 분석부문 | 분석방법 |
|-------------|-----------|---------------------|
| 건설단계 | 건축자재 생산부문 | 산업연관분석 |
| | 자재 운송부문 | 기존 문헌 및 연구 결과 활용 |
| | 현장 시공 부문 | |
| 사용 및 유지관리단계 | 사용부문 | 현장조사 자료 인용 분석 |
| | 유지관리부문 | 기존 문헌 및 연구 결과 활용 |
| 철거/폐기 운송단계 | 철거부문 | 기존 문헌 및 연구 결과 활용 |
| | 폐기 운송부문 | 관련업체 설문지조사 자료 활용 분석 |

2.2 사용 및 유지관리단계

사용단계는 건물의 난방, 냉방, 조리 등에 투입되는 에너지와 조명 및 엘리베이터 등의 사용에 따라 투입되는 전력 에너지 사용량의 실측 데이터를 수집하여 분석할 수 있다. 따라서 분석대상 공동주택의 2005년 1년 동안 사용한 총 에너지사용량을 기록해 놓은 실측데이터를 근거로 에너지량을 산출하였다.

표3. 사용단계의 에너지소비량 및 CO₂배출량 산정범위

1) 현장에 비치된 공사일지에 장비사용 기록이 남아있지 않는 경우가 많고, 현장 여건상 충분한 데이터의 확보가 곤란하여 기존의 연구결과를 활용하였다.

2) 한국건설기술연구원(2004), “건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구”, pp117~152.

| 사용 에너지원 | 조리 | 전열 | 난방 | 냉방 |
|-------------------|----|----|----|----|
| 전력사용(화력, 수력, 원자력) | ○ | ○ | - | ○ |
| 조리(도시가스) | ○ | - | - | - |
| 지역난방 | - | - | ○ | - |

개·보수 등의 유지관리단계는 건축물의 수명기간을 전제로 하여 건축자재의 열화 또는 파손, 훼손에 의한 수선 및 교체에 되는 물량 및 수선·교체 공사시 사용되는 유류 및 전력 등의 내역서를 이용하여 산정할 수 있다. 그러나 분석대상 건축물은 2005년에 완공되어 현시점까지 실질적인 노후 및 열화에 의한 건축보전활동이 발생하지 않았다. 따라서 기존의 연구결과를 활용하여 유지관리단계의 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량을 산출하였다³⁾.

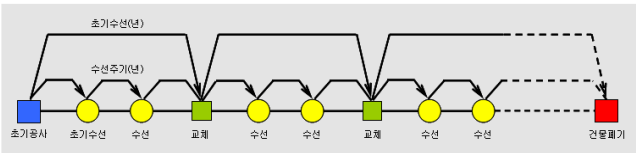


그림 1. 유지관리단계의 에너지소비량 및 CO₂배출량 산출범위

2.3 철거/폐기단계

철거/폐기단계에서는 건축물은 수명이 끝나면 철거되고 건축폐기물로 변하게 되며 이들의 일부분은 폐기되고 일부는 다른 제품의 원료로서 사용되거나 다시 건축자재로 재사용된다. 철거·해체단계에서 고려해야 할 가장 중요한 부분은 폐기되는 물질의 종류와 재활용되는 물질의 종류를 파악하고 이들의 양을 정확하게 할당하는 것이 필요하다. 그러나 건축물의 철거 후 발생하는 건설폐기물의 재활용 대상 종류와 정도에 대한 자료가 미비한 관계로 재활용은 없는 것으로 전제하고 있다. 다만, 철거에 따른 장비운용, 현장재료 등과 재활용 혹은 매립장소까지 운송부문을 포함하고 있다. 이를 위해 철거에 따른 장비운용, 현장재료 등에 따른 에너지 소비량은 기존의 연구결과를 활용하여 산정하였다. 건설폐기물의 재활용 혹은 매립장소까지 운송부문에 대해서는 업체에 대한 현장조사를 통해 도출된 자료를 활용하여 산출하였다.

3. 라이프사이클 단계별 에너지 소비 및 이산화탄소 배출원단위

3.1 건설단계

건설단계 가운데 건축자재와 재료, 자재 운송단계, 시공단계 등의 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출원단위는 표4와 같다. 건설단계의 총 에너지 소비원단위는 5,093.01MJ/m²로 이 가운데 건축자재와 재료의 생산부문은 4,790.05MJ/m²로 거의 대부분을 차지하고 있다. 자재 운송부문은 104.92MJ/m²이며, 시공단계에서는 198.04MJ/m²로

낮은 수준을 보이고 있다.

표4. 건설단계의 단위면적당 원단위

| | 에너지소비원단위 (단위: MJ/m ²) | CO ₂ 배출원단위 (단위: kg-CO ₂ /m ²) |
|------|--------------------------------------|--|
| 생산단계 | 4,790.05 | 413.19 |
| 운송단계 | 104.92 | 7.40 |
| 시공단계 | 198.04 | 12.15 |
| 합 계 | 5,093.01 | 432.74 |

이산화탄소 배출원단위는 에너지 소비원단위와 유사한 경향을 보이고 있다. 총이산화탄소 배출원단위는 432.74kg-CO₂/m²로 이 가운데 건축자재와 재료의 생산부문이 413.19kg-CO₂/m²로써 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타난다. 자재 운송부문은 7.40kg-CO₂/m², 시공부문은 12.15kg-CO₂/m²로 전체구성비에서 낮은 수준을 차지한다.

3.2 사용 및 유지관리단계

1) 사용부문

난방, 조리, 전등 등의 사용부문에 대한 에너지 소비량을 조사한 결과를 활용하여 각각의 에너지 소비원단위를 작성한 것으로 표5와 같다. 전력부문은 117.68MJ/m², 지역난방은 170.42MJ/m²로 나타나면 총 에너지 소비원단위는 302.68MJ/m²·년으로 제시할 수 있다.

표5. 사용단계 에너지소비 원단위(단위: MJ/m²·년)

| 전력 | 지역난방 | 도시가스 | 합계 |
|--------|--------|-------|--------|
| 117.68 | 170.42 | 14.58 | 302.68 |

사용단계의 이산화탄소 배출원단위는 각각의 에너지원별 이산화탄소 배출계수를 곱하여 산정할 수 있다. 사용단계의 이산화탄소 배출원단위는 표6과 같다. 이것에 따르면 전력은 15.81kg-CO₂/m²로 가장 높게 나타난다. 사용부문의 이산화탄소 배출원단위는 27.22kg-CO₂/m²로 제시할 수 있다.

표6. 사용단계 이산화탄소 배출원단위(단위: kg-CO₂/m²·년)

| 전력 | 지역난방 | 도시가스 | 합계 |
|-------|-------|------|-------|
| 15.81 | 10.60 | 0.81 | 27.22 |

2) 유지관리부문

유지관리단계의 에너지소비량 및 이산화탄소배출량을 산정하기 위해서는 건축물의 라이프사이클(Life cycle) 동안 발생하는 수선·보수공사에 투입되어지는 자재 및 재료와 수선공사시 사용되어지는 유류와 전력사용량 등의 내역

3) 상계서, pp152~193.

서를 이용하여 산출할 수 있다. 그러나 본 분석대상 건축물은 2004년 5월에 준공되어 현재까지 열화 등에 의한 부품 수선·보수공사는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 단계에서는 기존의 연구결과를 활용하여 에너지 소비 원단위 및 이산화탄소배출 원단위를 산정하였다⁴⁾.

개·보수 등으로 인한 유지관리 부문의 에너지 소비원단위는 6.27MJ/m²·년으로 산정할 수 있다. 반면, 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출원단위는 0.75kg-CO₂/m²·년으로 산정된다.

표7. 사용 및 유지관리단계의 원단위

| | | 에너지 소비원단위 (MJ/년·m ²) | 이산화탄소배출원단위 (kg-CO ₂ /년·m ²) |
|----------|------|-------------------------------------|---|
| 사용 단계 | 전력사용 | 117.68 | 15.81 |
| | 난방 | 170.42 | 10.60 |
| | 도시가스 | 14.58 | 0.81 |
| 유지관리단계 | | 6.27 | 0.75 |
| 합계 | | 308.95 | 27.97 |

사용 및 유지관리단계의 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출원단위를 분석한 결과를 요약하면 표7과 같다. 에너지 소비원단위 측면에서는 난방부문이 가장 높은 수준을 보이고 있으며 총 에너지소비 원단위는 308.95MJ/m²·년으로 나타난다. 뿐만 아니라 이산화탄소 배출원단위는 전력부문이 15.81kg-CO₂/m²·년으로 가장 높은 수준을 보이고 있으며 총 27.97kg-CO₂/m²·년의 이산화탄소 배출원단위를 나타내고 있다.

3.3 철거 및 폐기운송단계

1) 철거단계

철거단계에서는 각종 장비 및 철거자재 등이 소요된다. 그러나 아직까지 해당 공동주택의 철거부문에 대한 데이터 혹은 이를 대체할만한 데이터를 확보하기가 어렵다. 따라서 기존연구결과를 활용하여 철거단계의 에너지 소비와 이산화탄소 배출원단위를 산정하였다⁵⁾.

기존 연구결과를 활용하여 철거단계의 에너지 소비원단위는 1.07MJ/m²로 다른 부문에 비해 상대적으로 매우 낮은 수준이다. 사용된 에너지원별 이산화탄소 배출계수를 적용한 이산화탄소 배출원단위는 0.07kg-CO₂/m²로 나타난다.

2) 폐기물 운송단계

가. 폐기물 운송단계의 에너지소비량

건설폐기물 발생에 대한 원단위가 정립되지 않은 관계

로 사례조사를 통해 개략적인 원단위를 이용하여 분석하였다. 철거 후 발생하는 건설폐기물의 운송은 16톤 압물트럭을 이용하는 것으로 전제하였다. 우선 철거 후 발생하는 폐기물의 원단위를 조사한 결과는 표9과 같다

표8. 건설폐기물의 발생원단위

| 대상건축물 | 발생원단위(m ³ /m ²) | 대상건축물 | 발생원단위(m ³ /m ²) |
|-------|--|-------|--|
| 아파트 | 3.5 | 빌라 | 4.0 |
| 상가 | 3.3 | 호텔 | 5.0 |

이 가운데 분석대상이 공동주택임으로 조사자료를 활용하여 철거 후 건설폐기물의 발생원단위를 이용하여 적용한 결과는 다음과 같다.

i) 건설폐기물 발생량

$$3.5\text{m}^3/\text{m}^2 \times 437,729\text{m}^2 = 1,532,051.5\text{m}^3$$

ii) 운송대수 산정

운송은 16톤 압물트럭을 이용하는 것으로 전제하였으며, 총 적재량은 20m³이다. 따라서 건설폐기물의 운송대수는 총 76,602대에 해당한다.

$$1,532,051.5\text{m}^3 / 20\text{m}^3 = 76,602\text{대}$$

iii) 운송거리와 경유사용에 따른 에너지 소비량

운송거리는 편도 20km로써 폐기물 처리장까지는 100% 상차한 것으로 가정하며 회차시는 상차시의 절반수준의 에너지를 사용하는 것으로 전제하였다. 트럭의 연비는 2.74km/ℓ로 하였다⁶⁾. 따라서 상차시의 경유사용에 따른 에너지 소비량을 계산하면 다음과 같다.

a) 상차시

$$\text{총 운송거리} : 20\text{km}/\text{대} \times 76,602\text{대} = 1,532,051\text{km}$$

$$\text{연비에 따른 경유소비량} : 1,532,051\text{km} \div 2.74\text{km}/\ell = 559,142.8\ell$$

$$\text{총 에너지소비열량} : 559,142.8\ell \times 9.2\text{MJ}/\ell \times 4.196\text{J}/\text{cal} = 21,584,702.14\text{MJ}$$

b) 회차시

건설폐기물을 처리장까지 운송후 다시 건설폐기물 발생장으로 적치를 위한 회차시는 상차시 에너지 소비량의 절반수준으로 가정하였다. 따라서 상차시 에너지 소비량의 절반수준은 10,792,351.57MJ수준으로 설정한다.

c) 운송에 따른 에너지 소비량

운송에 따른 에너지 소비량은 상차시와 회차시를 모두 합한 32,377,054.71MJ로 산정할 수 있다. 이와 같은 산정결과를 연면적으로 나누면 73.97MJ/m²를 얻을 수 있다.

iv) 이산화탄소 배출량

4) 상계서, pp192~193.

5) 상계서, p202, 2004.

6) 환경부, 전과정평가의 기법개발과 국내산업에의 적용, pp164~167, 1996.

운송에 따른 이산화탄소 배출량은 기존연구⁷⁾에서 제시하고 있는 원단위를 이용하여 계산하였다. 이산화탄소 배출량은 앞서의 운송에 따른 에너지 소비에 기인하는 결과로 나타남으로 에너지 소비량을 산정한 기준을 전제하였다.

운송거리는 앞서 제시한 바와 같이 편도 20km로써 폐기물 처리장까지는 100%상차한 것으로 가정하며 회차시는 상차시의 절반수준의 이산화탄소를 배출하는 것으로 전제하였다. 트럭의 이산화탄소 배출원단위는 $6.30 \times 10^{-2} \text{kg-CO}_2/(\text{톤} \cdot \text{km})$ 로 하였다. 따라서 상차시의 경유사용에 따른 이산화탄소 배출량을 계산하면 다음과 같다.

- a) 상차시(폐기물 처리장까지의 거리 20km 적용)
 - 1대의 이산화탄소 배출량 : $16\text{톤} \times 6.30 \times 10^{-2} \text{kg-CO}_2/(\text{톤} \cdot \text{km}) \times 20\text{km} = 2.016 \text{ kg-CO}_2$
 - 총 이산화탄소 배출량 : $2.016 \text{ kg-CO}_2/\text{대} \times 76,602\text{대} = 154,430\text{kg-CO}_2$

b) 회차시
건설폐기물을 처리장까지 운송후 다시 건설폐기물 발생장으로 적치를 위한 회차시는 상차시 이산화탄소 배출량의 절반수준으로 가정하였다. 따라서 상차시 이산화탄소 배출량 절반수준인 $77,215.39\text{kg-CO}_2$ 로 설정한다.

c) 운송에 따른 이산화탄소 배출량
운송에 따른 에너지 소비량은 상차시와 회차시를 모두 합한 $231,645.39\text{kg-CO}_2$ 으로 산정할 수 있다. 이것은 연면적 나누면 $0.53\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ 의 이산화탄소 배출원단위를 산정할 수 있다.

철거 및 폐기물 운송단계의 에너지 소비와 이산화탄소 배출원단위를 요약한 결과는 표9와 같다. 폐기물 운송단계의 에너지 소비원단위가 $73.97\text{MJ}/\text{m}^2$ 로 철거부분에 비해 상대적으로 높은 수준을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이산화탄소 배출원단위는 에너지 소비원단위와 유사한 경향을 보이고 있다.

표9. 철거 및 폐기물운송단계의 원단위

| | 에너지소비원단위 (단위: MJ/m ²) | CO ₂ 배출원단위 (단위: kg-CO ₂ /m ²) |
|---------|--------------------------------------|--|
| 철거단계 | 1.07 | 0.07 |
| 폐기물운송단계 | 73.97 | 0.53 |
| 합 계 | 75.04 | 0.60 |

4. 결론 및 앞으로의 연구과제

건축물은 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거/해체단계의 라이프사이클 갖는다. 이러한 라이프사이클 과정에서 에너지를 소비하는 한편, 이산화탄소 등의 환경영향물질을 배출하게 된다. 본 논문은 공동주택을 대상으로 건설단계, 사용 및 유지관리단계, 철거 및 폐기물단계에 이르는 라이프

사이클(Life Cycle) 기간 에너지 소비원단위와 이산화탄소 배출 원단위를 산출하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 건설단계의 에너지 소비원단위는 $5,093.01\text{MJ}/\text{m}^2$ 로 나타난다. 이 가운데 건축자재 및 재료부문은 $4,790.05\text{MJ}/\text{m}^2$ 로 시공부문, 건축자재 운송부문에 비해 상대적으로 매우 높은 수준을 보이고 있다. 뿐만 아니라 이산화탄소 배출원단위를 살펴보면 에너지 소비원단위는 $432.74\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ 로 나타난다. 건축자재와 재료⁸⁾에 의한 이산화탄소 배출원단위는 $413.19\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ 로 다른 부문에 비해 상대적으로 높은 수준을 보이고 있다. 이와 같은 연구결과를 통해 건설단계에서의 에너지 소비와 이산화탄소 배출을 저감하기 위해서는 건축자재와 재료의 선택이 매우 중요하다는 것을 반증하고 있다.

표10. 라이프사이클단계별 에너지소비 및 이산화탄소 배출 원단위

| | | 에너지소비원단위 (단위: MJ/m ²) | CO ₂ 배출원단위 (단위: kg-CO ₂ /m ²) |
|------------|------|---|--|
| 건설 단계 | 생산단계 | $4,790.05\text{MJ}/\text{m}^2$ | $413.19\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| | 운송단계 | $104.92\text{MJ}/\text{m}^2$ | $7.40\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| | 시공단계 | $198.04\text{MJ}/\text{m}^2$ | $12.15\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| | 소 계 | $5,093.01\text{MJ}/\text{m}^2$ | $432.74\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| 사용/유지관리 단계 | 전력 | $117.68\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ | $15.81\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ |
| | 지역난방 | $170.42\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ | $10.60\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ |
| | 도시가스 | $14.58\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ | $0.81\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ |
| | 유지관리 | $6.27\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ | $0.75\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ |
| | 소 계 | $308.95\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ | $27.97\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ |
| 철거/폐기 단계 | 철거단계 | $1.07\text{MJ}/\text{m}^2$ | $0.07\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| | 폐기단계 | $73.97\text{MJ}/\text{m}^2$ | $0.53\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |
| | 소 계 | $75.04\text{MJ}/\text{m}^2$ | $0.60\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ |

둘째, 사용 및 유지관리단계에서는 개·보수 등의 유지관리부문은 상대적으로 낮은 수준을 차지하고 있다. 개·보수 등의 유지관리 부문의 에너지 소비원단위는 $6.27\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 로 전력, 지역난방, 도시가스 부문보다 상대적으로 낮은 수준이다. 전력의 에너지 소비원단위는 $117.68\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$, 지역난방은 $170.42\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$, 도시가스는 $14.58\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 의 수치를 보이고 있다. 이산화탄소 배출원단위는 에너지 소비원단위와 유사한 경향을 보이고 있다. 총 이산화탄소 배출원단위는 $\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 으로써 이 가운데 개·보수 등의 유지관리 부문은 $0.75\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 으로 낮은 점유율을 보이고 있다. 전력부문은 $15.81\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{년}$ 으로 가장 높은 이산화탄소 배출원단위를 갖

8) 건축자재와 재료는 생산과정에서 발생하는 부문으로 내제에너지(embodied energy)라고 일컫는다.

7) 상계서, p203.

고 있으며 그 다음으로는 지역난방으로써 10.60kg-CO₂/m²·년의 수치를 보이고 있다. 이와 같은 연구결과로 살펴볼때, 사용 및 유지관리단계에서는 개·보수 등의 유지관리 부문보다는 조리, 전열, 난방 등의 운용부문에 대한 중요성이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다.

셋째, 철거 및 해체단계의 총 에너지 소비원단위는 75.04MJ/m²를 보이고 있다. 이 가운데 폐기물 운송단계가 73.97MJ/m²로써 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 이산화탄소 배출원단위를 보면 0.60kg-CO₂/m²의 원단위를 지니고 있다. 이 가운데 폐기물 운송단계는 0.53kg-CO₂/m²으로 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

건축물은 긴 수명을 가지는 동안 환경과 상호영향관계를 형성한다. 환경에 의해 건축이 제한을 받기도 하고 건축에 의해 환경이 영향을 받기도 한다. 이와 같은 상호의존관계는 환경에 대한 영향을 저감함으로써 다소 완화할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구결과에서와 같이 자재 선택, 에너지원 선택 및 사용방식 등에 의해 이산화탄소 등의 환경영향물질 배출이 달라지게 된다. 따라서 건축계획 및 설계단계에서부터 환경영향을 줄이기 위한 다양한 노력과 방안이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강광하(2001), 산업연관분석론, 연암사.
2. 한국건설기술연구원(2002), 건축물의 LCA를 위한 원단위작성 및 프로그램개발연구, pp161~217.
3. 이강희, 채창우(2002), “산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량산정연구”, 대한건축학회 계획논문집18권5호, “pp99~107.
4. (社) 建築業協會(1991), 我が国における建築物の建設に係わる資源消費と関聯する影響要因の実態, -建設業に係わる地球環境問題の研究-.
5. (社)日本建築学会 地球環境委員会 ライフサイクルCO₂小委員会(1996), 라이프サイクルCO₂で建物を測る-建物の環境負荷評価の手引き-
6. 地球環境研究センター(平成9年2月), 産業聯関表による二酸化炭素排出原単位, 環境庁 国立環境研究所.
7. 日本建築学会(1999.11), 建物LCA指針(案)~地球温暖化防止のためのLCCO₂中心をとして~.
8. (社) 産業環境管理協會(1998年8月), LCA実務入門(LCA実務入門編輯委員会).
9. (社)未踏科学技術協會(1995), LCAのすべて, 環境への負荷を評価する, 工業調査会.
10. LCA実務入門編纂委員会(1998), LCA実務入門, (社)産業環境管理協會
11. Raymond J. Cole and Paul C. Kernan(1996), "Life-Cycle Energy Use in Office Building", Building and Environment vol.31, No.4, pp307~317.
12. Ronald E. Miller and Peter D. Blair(1985), Input-Output Analysis : Foundation & Extension, pp200~205.