

鐵骨造 건축물의 친환경성능 평가에 關한 研究

A Study on the Evaluating Environmental Performance of the Steel Frame Building

○ 신 현 진* 이 관 호** 이 언 구***
Shin, Hyeon-jin Lee, Gwan-ho Rhee, Eon-ku

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the environmental performance of the steel frame building and the sustainability of steel as a structural material. This study presents environmental load(energy consumption and CO₂ emission) and qualitative evaluation models for the steel frame building. The sample buildings are steel high rise apartment buildings and RC high rise apartment buildings as a comparison. This study focuses on the structural material such as remicon and steel, and performs the evaluation on the life cycle energy consumption, CO₂ emissions and qualitative respects.

The results of this study are as follows; in the environmental load evaluation, RC is better than steel frame, but if the height is much higher they have similar value, and in the qualitative evaluation, steel frame is better than RC .

키워드 : 철골조 건축물, 친환경성능평가, 환경부하평가, LCA

Keywords : Steel frame Building, Environmental Performance Evaluation, Environmental Load Evaluation, LCA

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

최근 세계의 관심을 끌고 있는 가장 중요한 이슈중 하나는 바로 지속가능한 개발 (Sustainable Development)과 세계기후변화협약 (UNFCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)이다. 건축분야는 총 에너지소비의 1/3이상을 차지하고 있으며, 온실가스 배출도 전체 배출량의 약 40%를 차지하고 있고, 폐기물 발생량도 50%이상을 차지하는 등 인류의 지속가능한 개발을 저해하는 주요 원인이 되고 있다. 따라서 오염을 최소화 하면서 에너지를 절약할 수 있는 환경친화적 건축물의 생산이야말로 지속가능한 개발을 위한 가장 필수적인 조건이 될 것이다. 또한 건축자재의 선택에 있어서도 지속가능성에 대한 고려가 필요하다. 건축자재의 지속가능성은 크게 ①자원효율, ②에너지효율, ③오염방지, ④경제성에 관하여 평가될 수 있다. 철의 경우 재활용 가능성은 매우 우수하나, 동시에 내재에너지가 크다는 단점도 가지고 있으므로, 이 중 가지 측면만을 고려하여 철의 지속가능성을 판단한다는 것은 의미가 없으며, 건축의 전과정을 종합적으로 고려한 전과정 평가(LCA)수행되어야 한다.

본 연구에서는 철골조 건축물을 대상으로 환경부하 및

정성적 친환경성 평가 모델을 통하여 철의 지속가능성과 친환경성능을 평가하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 철골조 건축물을 대상으로 지속가능성과 친환경성능에 대해 평가를 실시하기 위하여, 정량적 평가를 위한 전생애 환경부하 평가 모델과 정성적 평가를 위한 친환경성 평가 모델을 제시하였다. 평가 사례로는 고층·초고층 철골조 아파트를 선정하였으며, 평가를 위한 비교 대상으로 보편적으로 사용되고 있는 철근콘크리트 아파트를 선정하였다. 환경부하 비교는 구조재로 사용된 골조물량에 대하여 단위 면적당 전생애 에너지 소비량과 CO₂ 배출량을 계산하여 비교하였다. 또한 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 특성을 고려하여 친환경성 평가모델을 적용 정성적인 평가를 수행하였다.

2. 건축물의 전과정평가(LCA)

전과정 평가(LCA, Life Cycle Assessment)는 어떤 제품에 대해 사용원료와 에너지 및 배출되는 물질의 환경영향을 파악하고 환경적 개선 사항의 파악 및 평가를 목적으로 진행되며 에너지와 원료 그리고 배출되는 폐기물을 정의하고 정량화함으로써 한 제품, 공정 또는 활동과 관련된 환경부하를 평가하는 과정으로 정의할 수 있다.

* 정회원, 중앙대 대학원 건축학과, 석사과정

** 정회원, 중앙대 대학원 건축학과, 공학박사

*** 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

2.1 주요 LCA 평가기법

IEA(국제에너지기구, International Energy Agency)의 LCA-MCDM(Multi Criteria Decision Making)는 미국의 Balcomb에 의해서 개발된 종합 설계 평가 비교 도구이다. 주 평가항목은 ① 생애주기 비용요소, ② 생애주기 자원 부하 요소, ③ 생애주기 환경 부하 요소, ④ 건축미학요소, ⑤ 건축환경요소, ⑥ 건축 기능 요소의 6가지이며, 각 주 평가기준은 3개 에서 6개까지 부 평가기준요소를 포함하고 있다.

3. 철골조 건축물의 친환경성능 평가 모델

3.1 건축물의 환경부하 산정방법

본 연구에서 적용하는 CO₂ 배출량은 에너지 사용에 따른 배출로만 범위를 한정하였으며, CO₂ 배출량을 산출에는 IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)에서 규정한 탄소의 배출계수를 적용하였다.

표 1. 에너지원별 발열량 및 CO₂ 배출량

| 종류 | 발열량 | 단위 | CO ₂ 배출량 | 단위 |
|--------|-------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| 경유 | 9,200 | kcal/ℓ | 2.8240 | kg-CO ₂ /ℓ |
| 등유 | 8,700 | kcal/ℓ | 2.5920 | kg-CO ₂ /ℓ |
| B-C유 | 9,700 | kcal/ℓ | 3.1750 | kg-CO ₂ /ℓ |
| 도시가스-1 | 7,000 | kcal/m ³ | 1.6360 | kg-CO ₂ /m ³ |
| 유연탄 | 6,600 | kcal/kg | 2.5620 | kg-CO ₂ /kg |
| 코크스 | 6,500 | kcal/kg | 2.8850 | kg-CO ₂ /kg |
| 전기 | 2,500 | kcal/kwh | 0.4778 | kg-CO ₂ /kwh |

3.2 LCA 원단위 산정

LCA원단위 산정을 위해, (1)생산단계는 산업연관방법과 개별적산방법을 사용하였고, (2)시공단계는 건축공사비 분석자료(주공, 98)를 이용하였다. (3) 폐기단계는 현장조사 자료를 사용하였다.

표 2. 자재별 에너지소비 및 CO₂ 배출 원단위(산업연관법)

| 기본부분 | 명칭 | 단위 | 에너지소비(kcal/kg) | CO ₂ 배출(kg-CO ₂ /kg) | 단가 | 비고(적용) |
|------|-------|----|----------------|--|-----|--------|
| 187 | 시멘트 | kg | 1,041.6 | 0.3695 | 42 | 보통시멘트 |
| 188 | 레미콘 | kg | 195.9 | 0.0676 | 17 | 레미콘 |
| 199 | 철근및봉강 | kg | 7,357.8 | 2.7025 | 280 | 이형철근 |
| 200 | 형강 | kg | 8,146.3 | 2.9542 | 347 | 보통강형강 |

표 3. 생산단계 자재별 에너지소비 원단위(적산법)

| 항목 | 단위 | 레미콘(1ton) | 시멘트(1ton) | 철근(1ton) |
|-------|-----|-----------|-----------|----------|
| 경유 | ℓ | 5.062 | | |
| 등유 | ℓ | 0.004 | | |
| B-C 유 | ℓ | | 0.49 | |
| LNG | ℓ | | | 2.094 |
| 유연탄 | kg | | 104.93 | |
| 코크스 | kg | | 10959.94 | 5.060 |
| 전기 | kwh | 0.003 | 111.24 | 3293.187 |

표 4. 시공단계 자재별 에너지 소비 원단위

| 항목 | 단위 | 레미콘(1ton) | 철근(1ton) |
|----|-------------|-----------|----------|
| 경유 | 에너지소비량(ℓ) | 3731.525 | 2.612 |
| 전기 | 에너지소비량(kwh) | 2.014 | 0.287 |

표 5. 폐기단계 자재별 에너지 소비 원단위

| 자재명 | 레미콘(1ton) | 철근(1ton) | |
|-----|-------------|----------|-------|
| 경유 | 에너지소비량(ℓ) | 3731.525 | 2.612 |
| 전기 | 에너지소비량(kwh) | 2.014 | 0.287 |

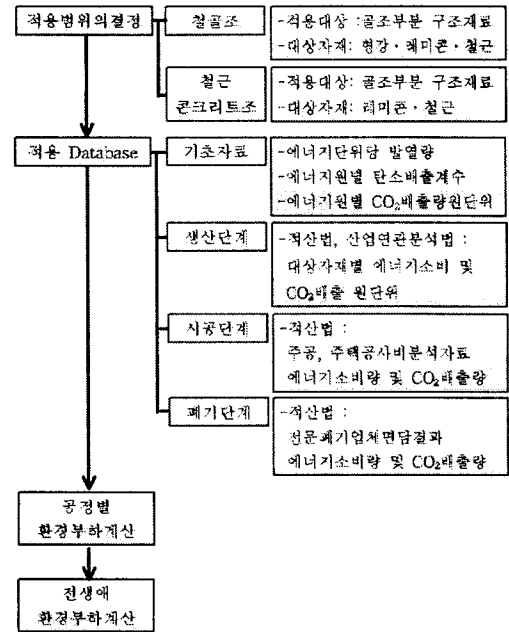


그림 1 전생애 환경부하 평가모델

3.4 친환경성 평가

철골조 건축물의 친환경성능을 평가하는데 있어 전생애 환경부하를 정량적으로 평가하는 것도 중요하지만, 건축자재로서 건축물로서 가지게 되는 정성적인 면에 대한 평가도 중요하게 고려되어야 한다. 본 연구에서는 정성적 평가를 위해 주요LCA평가기법과 선행연구분석을 통해 ①건축자재로서의 관점, ②디자인 관점, ③건축물의 기능적 관점 세 가지로 평가항목을 구성하였다.

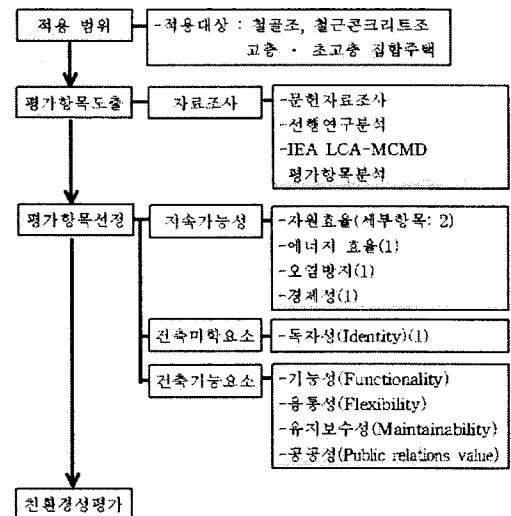


그림 2 친환경성 평가 모델

4. 사례연구를 통한 친환경성능 평가

4.1 사례연구 개요

환경부하는 구조재료 사용된 자재물량을 대상으로 생산단계, 시공단계, 폐기단계에 따라 에너지소비량과 CO₂ 배출량을 산정하였으며, 적산법과, 혼용법(적산법+산업연관법)에 의한 전생애 에너지 소비량과 CO₂ 배출량을 산정하여 비교 평가하였다.

철골조 아파트와, 철골조 아파트 각 3개의 사례를 조사하고, 규모에 따라 20층 이상의 고층형과 30층 이상의 초고층형으로 분류하였다. 사례 대상 건물의 구조에 사용된 자재량을 구하고 단위면적당 자재 사용량 산출 개요는 표 6, 표 7과 같다.

표 6. 고층형 아파트 개요

| 구분 | 사용 재료 | 구조자재량 | 자재사용량 (kg/m ³) | 비고 |
|----------|-------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 철골조 | 형강 | 2,662.80ton | 73.56 | S아파트+P아파트 연면적 36,197m ² |
| | 레미콘 | 19,416.00 m ³ | 1,233.72 | |
| | 철근 | 2,045.00ton | 56.50 | |
| 철근 콘크리트조 | 레미콘 | 6,261.00 m ³ | 1,363.66 | D 아파트 연면적 10,560m ² |
| | 철근 | 857.80ton | 81.23 | |

표 7. 초고층형 아파트 개요

| 구분 | 사용 재료 | 구조재료량 | 자재사용량 (kg/m ³) | 비고 |
|----------|-------|---------------------------|----------------------------|--|
| 철골조 | 형강 | 9,232.00ton | 69.54 | T아파트 연면적 132,762m ² |
| | 레미콘 | 40,492.00 m ³ | 701.49 | |
| | 철근 | 5,547.00ton | 41.78 | |
| 철근 콘크리트조 | 레미콘 | 277,816.00 m ³ | 1,578.05 | A아파트+I아파트 연면적 404,916m ² |
| | 철근 | 35,866.00ton | 88.58 | |

4.2 고층형 아파트의 전생애 환경부하

고층형 아파트의 단위면적에 사용된 총 골조물량은 철골조의 경우 1,364kg/m², 철근콘크리트조의 경우 1,445kg/m²으로 철근콘크리트조가 100kg/m² 정도 많은 골조 물량을 사용하는 것으로 나타났다.

1) 적산법

표 8. 전생애 에너지소비량 및 CO₂배출량(적산법)

| 구분 | 단위 | 생산 | 시공 | 폐기 | 합계 | |
|---------|---------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|
| 철골 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 1,255.944 | 50.839 | 51.783 | 1,358.566 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 271.835 | 14.846 | 15.165 | 301.846 |
| 철근 콘크리트 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 870.463 | 37.912 | 56.162 | 964.538 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 200.953 | 11.156 | 16.292 | 228.401 |

에너지소비량은 철골조가 1,359.566Mcal/m², 철근콘크리트 조가 964.538Mcal/m², CO₂ 배출량은 철골조가 301.846kg-CO₂/m², 철근콘크리트조가 228.401kg-CO₂/m²로 나타났다.

2) 혼용법(적산법+산업연관법)

표 9. 전생애 에너지소비량 및 CO₂배출량(혼용법)

| 구분 | 단위 | 생산 | 시공 | 폐기 | 합계 | |
|---------|---------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|
| 철골 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 1,256.649 | 50.839 | 51.783 | 1,359.272 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 453.404 | 14.846 | 15.165 | 483.415 |
| 철근 콘크리트 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 864.824 | 37.912 | 56.162 | 958.898 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 311.711 | 11.156 | 16.292 | 339.159 |

에너지소비량은 철골조가 1,359.272Mcal/m², 철근콘크리트 조가 958.898Mcal/m², CO₂ 배출량은 철골조가 483.415kg-CO₂/m², 철근콘크리트조가 339.159kg-CO₂/m²로 나타났다.

4.3 초고층형 아파트의 전생애 환경부하

초고층형 아파트의 단위면적에 사용된 총 골조물량은 철골조의 경우 812.81kg/m², 철근콘크리트조의 경우 1,666.62kg/m²으로 철근콘크리트조가 800kg/m² 정도 많은 골조 물량을 사용하는 것으로 나타났다.

1) 적산법

표 10. 전생애 에너지소비량 및 CO₂배출량(적산법)

| 구분 | 단위 | 생산 | 시공 | 폐기 | 합계 | |
|---------|---------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|
| 철골 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 1,023.549 | 39.832 | 30.369 | 1,093.750 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 214.036 | 11.581 | 8.904 | 234.520 |
| 철근 콘크리트 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 962.387 | 42.286 | 64.826 | 1,069.499 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 223.910 | 12.454 | 18.813 | 255.177 |

에너지소비량은 철골조가 1,093.750Mcal/m², 철근콘크리트 조가 1,069.499Mcal/m², CO₂ 배출량은 철골조가 234.520kg-CO₂/m², 철근콘크리트조가 255.177kg-CO₂/m²로 나타났다.

2) 혼용법(적산법+산업연관법)

표 11. 전생애 에너지소비량 및 CO₂배출량(혼용법)

| 구분 | 단위 | 생산 | 시공 | 폐기 | 합계 | |
|---------|---------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|
| 철골 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 1,011.320 | 39.832 | 30.369 | 1,081.521 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 365.765 | 11.581 | 8.904 | 386.249 |
| 철근 콘크리트 | 에너지 소비량 | Mcal/m ² | 960.867 | 42.286 | 64.826 | 1,067.979 |
| | CO ₂ 배출량 | kg-CO ₂ /m ² | 346.054 | 12.454 | 18.813 | 377.321 |

에너지소비량은 철골조가 1,081.521Mcal/m², 철근콘크리트 조가 1,067.979Mcal/m², CO₂ 배출량은 철골조가 386.249kg-CO₂/m², 철근콘크리트조가 377.321kg-CO₂/m²로 나타났다.

4.4 철골조 건축물의 친환경성 평가

정성적인 평가는 철골조 아파트가 가지는 특성을 평가 대상으로 하였으며, 건축자재로서의 지속가능성과, 건축미학요소, 건축기능요소에 대한 평가를 수행하였다.

재활용 가능성과 폐기물발생량 등의 평가에 대해서는 콘크리트가 전체폐기물의 50%를 차지하고 있음에도 실제 재활용 비율을 매우 적고¹⁾, 구조재료로의 재활용은 불가능한데 반하여, 철은 90~100% 재활용이 가능하며, 생산과정에 투입했을 경우 투입된 고철량의 90%정도가 다시 철로 생산되므로 철골조 건축물은 매우높은 친환경 성능을 가진다고 할 수 있다. 또한 철의 큰 단점이 높은 내재에너지 값이라고 생각되지만, AIA에서 발표한 건축자재의 내재에너지 값을 적용하여 사례대상의 자재사용량에 대해 단위면적당 발생하는 내재에너지 값을 비교해본 결과 철골조와 철근콘크리트조가 유사한 값을 가지며, 초고층형의 경우는 철골조가 더 유리하게 나타났다. 따라서 내재에너지는 철골조 건축물의 친환경성능에 있어 크게 불리하지 않다고 판단할 수 있다.

전체항목에 대한 친환경성능 평가 결과는 표12와 같다.

표 12. 친환경 성능 평가결과

| 구분 | 세부항목 | 평가 | | |
|--------------|-------|--------------------|--------|---|
| | | 철골 | 철근콘크리트 | |
| 지속가능성 | 자원효율 | 재활용 가능성 | ● | ○ |
| | | 수명 | ● | ○ |
| | 에너지효율 | 내재에너지 | ● | ○ |
| | 오염방지 | 폐기물 발생량 | ● | ○ |
| 건축미학요소 | 경제성 | 전생애 비용 | ○ | ● |
| | 독자성 | 외부형태의 다양한 변화 | ● | ○ |
| 건축기능요소 | 기능성 | 시공의 용이성 | ● | ○ |
| | | 지하층의 효율적 이용 | ● | ● |
| | 유연성 | 평면계획의 융통성 | ● | ○ |
| | | 용도변경의 용이성 | ● | ○ |
| | 유지보수성 | 대수선(Remodeling)가능성 | ● | ○ |
| | 공공성 | 건물 수명 증대 | ● | ○ |
| 외부공간의 효율적 이용 | | ● | ○ | |

● : 매우높다, ● : 보통이다 ○ : 매우낮다

5. 결론

철골조 건축물의 친환경성 평가를 위하여 환경부하 및 정성적 친환경성 평가 모델을 제시하였고, 철골조 아파트를 대상으로 사례연구를 통하여 건축물의 전생애 단계를 대상으로 에너지 소비량과 CO₂ 발생량을 산정하여 환경부하를 비교 평가하였다. 또한, 친환경성 평가모델을 이용하여 친환경성능에 대한 정성적인 평가도 수행하였다.

본연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 배은배, 건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정 평가에 관한 연구, 수원대학교, 2002, pp.41-45

1) 고층형 아파트의 경우 철골조보다 철근콘크리트조가 에너지 소비량 및 CO₂ 발생량에 있어 유리한 것으로 나타났으며, 생산단계에서 가장 큰 차이가 발생하였다.

2) 초고층형 아파트의 경우 철골조가 철근콘크리트조보다 에너지 소비량 및 CO₂ 발생량에 있어 유사하거나 약간 유리한 값을 가지는 것으로 나타났으며, 단계에 따른 값의 큰 차이는 나타나지 않았다. 적산법 결과의 경우는 CO₂ 발생량이 전단계에 걸쳐 철골조가 약간 더 유리한 것으로 나타났다.

3) 고층형과 초고층형 모두 적산법과 혼용법에서 철골조와 철근콘크리트조 사이에 에너지 소비량은 큰 차이를 나타내지 않았지만, CO₂ 발생량의 경우 비교적 큰 차이가 나타났다. 이는 적산법과 혼용법이 고려된 에너지원에 있어 차이를 가지기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

4) 철골조 아파트는 환경부하에 있어 고층형보다 초고층형의 경우에서 더 환경적으로 유리한 것으로 나타났으며, 초고층형인 경우 철근콘크리트조와 유사하거나 약간 유리할 수도 있다는 결과가 나타났다. 이 원인은 단위 면적당 사용된 물량의 차이가 고층형보다 초고층형에서 크게 나타나며, 그 차이가 레미콘 사용량에 집중되어 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

5) 건축자재로서 지속가능성과 건축미학요소, 건축기능요소 3항목에 대하여 13개의 세부항목을 적용하여 친환경성을 평가한 결과 전생애 비용을 제외한 전 항목에서 철골조가 철근콘크리트조와 비교하여 유사하거나, 우수한 환경성능을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 항목의 일부는 시공기술의 발달이나, 사회적 요구의 변화 등에 의한 영향으로 평가가 변경될 수 있다.

그러나, 현재는 철근과 형강의 생산단계 차이에 대한 자료와 철골조 건축물의 시공특성을 고려한 자료가 마련되어 있지 않으므로, 추후, 생산단계 개별적산과정에서 형강의 원단위 데이터에 대한 추가 조사와 철골조 건축물에 대한 시공단계 데이터가 마련된다면, 철골조 건축물에 대한 보다 정확한 평가가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 조균형 외, 건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구, 한국과학기술원 특정기초연구 최종보고서, 2001
2. 이승언 외, 건축물 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 건설교통부, 2001
3. 이관호, 건축물의 환경성능과 경제성을 고려한 평가 프로그램 개발에 관한 연구, 중앙대, 박사학위논문, 2002
4. 김동현, 철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구, 중앙대, 석사학위논문 1999
5. POSCO, 철골조아파트 설계사례, 포항종합제철주식회사, 1995
6. Thomas Björund, Åsa jönsson and Anne-Marie Tillman, LCA of Building Frame Structures, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1996