

第 98 回 碩士學位論文  
指導教授 李 彦 求

超高層 鐵骨造 아파트의 親環境性能  
平價에 관한 研究

A Study on the Environmental Performance Evaluation of  
Steel-Structure High-rise Apartment Building

中央大學校 大學院  
建築學科 建築計劃 및 環境專攻  
申 賢 眞  
2002年 12月

超高層 鐵骨造 아파트의 親環境性能  
平價에 관한 研究

A Study on the Environmental Performance Evaluation of  
Steel-Structure High-rise Apartment Building

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2002年 12月

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

申 賢 眞

申 賢 眞의 碩士學位 論文을 認定함.

審査 委員長 \_\_\_\_\_ (印)

審査 委員 \_\_\_\_\_ (印)

審査 委員 \_\_\_\_\_ (印)

中央大學校 大學院  
建築學科 建築計劃 및 環境專攻  
申 賢 眞  
2002年 12月

## <제 목 차 례>

<b>제 1 장 서론</b> .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 내용 및 방법 .....	3
<b>제 2 장 철골조 아파트 및 건축물의 친환경성능 평가에 관한 이론적 고찰</b> .....	6
2.1 철골조 아파트에 관한 이론적 고찰 .....	6
2.1.1 건축자재로서 철의 지속가능성 .....	6
2.1.2 철골조 아파트의 현황 및 건설동향 .....	14
2.1.3 철골조 아파트에 관한 연구동향 및 선행 연구 분석 .....	17
2.2 건축물의 친환경성능 평가방법 .....	21
2.2.1 건축물의 전과정평가(LCA) .....	21
2.2.2 전과정평가(LCA)에 의한 원단위 분석 방법 .....	22
2.2.3 건축물의 친환경성능 평가 방법 .....	24
<b>제 3 장 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델 설정</b> .....	28
3.1 평가의 범위 및 개요 .....	28
3.1.1 평가의 범위 .....	28
3.1.2 평가항목의 개요 및 구성 .....	29
3.2 친환경 성능 평가모델의 개요 및 요소별 평가모델 설정 .....	31
3.2.1 자원부하 요소 평가모델 .....	32
3.2.2 환경부하 요소 평가모델 .....	34
3.2.3 건축적 요소 평가모델 .....	37
<b>제 4 장 환경부하 원단위 산정 및 통합 평가 가중치 설정</b> .....	39
4.1 전생애 환경부하의 산정 .....	39
4.1.1 환경부하 산정 기준 .....	39
4.1.2 환경부하 원단위 산정 방법 .....	41
4.1.3 생산단계 원단위 산정 .....	43
4.1.4 시공단계 원단위 산정 .....	49
4.1.5 폐기단계 원단위 산정 .....	50
4.1.6 전생애 환경부하 원단위 산정 결과 .....	53

4.2 통합 평가 가중치 설정 .....	54
4.2.1 하위 항목 간 평가 가중치 .....	55
4.2.2 주 항목 간 평가 가중치 .....	56
4.2.3 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 가중치 .....	56
<b>제 5 장 사례연구를 통한 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가 .....</b>	<b>58</b>
5.1 사례연구 개요 및 방법 .....	58
5.1.1 사례 대상 개요 .....	59
5.1.2 사례 연구 방법 .....	62
5.2 자원부하 요소 평가 .....	62
5.2.1 초고층 아파트 사례 단위면적당 자재사용량 평가 .....	62
5.2.2 고층 아파트 사례 단위면적당 자재사용량 평가 .....	64
5.2.3 자원부하 요소 평가 결과 분석 .....	65
5.3 환경부하 요소 평가 .....	65
5.3.1 초고층 아파트 사례의 전생애 환경부하 평가 .....	66
5.3.2 고층 아파트 사례의 전생애 환경부하 평가 .....	70
5.3.3 환경부하 요소 평가 결과 분석 .....	75
5.4 건축적 요소 평가 .....	77
5.4.1 기능성 평가 .....	77
5.4.2 융통성 평가 .....	78
5.4.3 유지보수성 평가 .....	78
5.5 통합적 친환경성능 평가 결과 .....	79
<b>제 6 장 결 론 .....</b>	<b>81</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>85</b>
<b>부록 .....</b>	<b>90</b>
<b>국문초록 .....</b>	<b>97</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>100</b>

## 〈표 차례〉

〈표 2.1〉 지속가능한 건축의 요소 .....	6
〈표 2.2〉 환경친화적 건축자재의 선택기준 .....	7
〈표 2.3〉 주요 건축자재의 내재에너지 .....	9
〈표 2.4〉 단위면적당 내재에너지 비교 .....	12
〈표 2.5〉 건설폐재의 종류별 재활용 비율 .....	12
〈표 2.6〉 건축폐기물의 조성 비율 .....	13
〈표 2.7〉 철골조 아파트 국내 동향 .....	15
〈표 2.8〉 국내 초고층 철골조 아파트 건설 현황 .....	16
〈표 2.9〉 해외 초고층 철골조 아파트 동향 .....	17
〈표 2.10〉 전과정 평가(LCA)의 구성 .....	22
〈표 2.11〉 원단위 분석방법의 장단점 비교 .....	24
〈표 3.1〉 철골조 아파트의 친환경성능 평가항목 개요 .....	30
〈표 3.2〉 자원부하 요소 평가항목 개요 .....	33
〈표 3.3〉 환경부하 요소 평가 항목 개요 .....	35
〈표 3.4〉 건축적 요소 평가항목 개요 .....	37
〈표 4.1〉 에너지원별 발열량 및 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	40
〈표 4.2〉 한국의 전기생산 현황 .....	40
〈표 4.3〉 전기의 탄소배출량 .....	41
〈표 4.4〉 산업연관방식과 개별적산방식의 조합방식 개요 .....	41
〈표 4.5〉 산업연관방식에 의한 에너지소비 및 CO <sub>2</sub> 배출 원단위 .....	44
〈표 4.6〉 레미콘의 개별적산방식 생산단계 에너지 소비 원단위 .....	46
〈표 4.7〉 철근의 개별적산방식 생산단계 에너지소비 원단위 .....	47
〈표 4.8〉 생산단계 산업연관방식과 개별적산방식 원단위 비교 .....	48
〈표 4.9〉 시공단계 자재별 에너지소비 원단위 .....	49
〈표 4.10〉 압쇄식 해체공법의 특성 .....	51
〈표 4.11〉 폐기단계 자재별 에너지 소비 및 CO <sub>2</sub> 배출 원단위 .....	53
〈표 4.12〉 전생애 에너지소비 및 CO <sub>2</sub> 배출 원단위 .....	54
〈표 4.13〉 환경부하 요소 하위항목 간 평가 가중치 .....	55
〈표 4.14〉 건축적 요소 하위항목 간 평가 가중치 .....	56
〈표 4.15〉 주 평가 항목 간 평가 가중치 .....	56
〈표 4.16〉 철골조 건축물의 통합 친환경성능 평가 가중치 .....	57

<표 5.1> 초고층 철골조 아파트 사례 개요 .....	59
<표 5.2> 초고층 철근콘크리트조 아파트 사례 개요 .....	60
<표 5.3> 고층 철골조·철근콘크리트조 아파트 사례 개요 .....	61
<표 5.4> 초고층 철골조 아파트 자재사용량 .....	63
<표 5.5> 초고층 철근콘크리트조 아파트 자재사용량 .....	63
<표 5.6> 초고층 아파트 단위면적당 자재사용량 .....	63
<표 5.7> 고층 아파트 단위면적당 자재사용량 .....	64
<표 5.8> 자원부하 요소 평가 결과 .....	65
<표 5.9> 생산단계 에너지 소비량 (초고층) .....	66
<표 5.10> 생산단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (초고층) .....	66
<표 5.11> 시공단계 에너지 소비량 (초고층) .....	67
<표 5.12> 시공단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (초고층) .....	67
<표 5.13> 폐기단계 에너지 소비량 (초고층) .....	68
<표 5.14> 폐기단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (초고층) .....	68
<표 5.15> 전생애 에너지 소비량 (초고층) .....	69
<표 5.16> 전생애 CO <sub>2</sub> 배출량 (초고층) .....	69
<표 5.17> 생산단계 에너지 소비량 (고층) .....	70
<표 5.18> 생산단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (고층) .....	71
<표 5.19> 시공단계 에너지 소비량 (고층) .....	72
<표 5.20> 시공단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (고층) .....	72
<표 5.21> 폐기단계 에너지 소비량 (고층) .....	73
<표 5.22> 폐기단계 CO <sub>2</sub> 배출량 (고층) .....	73
<표 5.23> 전생애 에너지 소비량 (고층) .....	74
<표 5.24> 전생애 CO <sub>2</sub> 배출량 (고층) .....	75
<표 5.25> 환경부하 요소 평가 결과 .....	76
<표 5.26> 건축적 요소의 기능성 평가 결과 .....	77
<표 5.27> 건축적 요소의 융통성 평가 결과 .....	78
<표 5.28> 건축적 요소의 유지보수성 평가 결과 .....	78
<표 5.29> 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 결과 .....	80

## 〈그림 차례〉

(그림 1.1) 연구흐름도 .....	5
(그림 2.1) 건축물과 건축자재의 라이프 사이클 관계 .....	10
(그림 2.2) 주거전용 철골조 아파트 상록타워(1996) .....	14
(그림 2.3) 대림아크로빌(1999) .....	14
(그림 2.4) 현대슈퍼빌조감도(2003) .....	15
(그림 2.5) 한국컴퓨터빌딩 주상복합 내부중정 .....	15
(그림 2.6) 현대슈퍼빌 기준층평면 .....	19
(그림 3.1) 건축물의 라이프사이클 .....	29
(그림 3.2) 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델 .....	32
(그림 3.3) 자원부하 요소 점수 기준 척도 .....	34
(그림 3.4) 자원부하 요소 평가모델 .....	34
(그림 3.5) 환경부하 요소 점수 기준 척도 .....	36
(그림 3.6) 환경부하 요소 평가모델 .....	36
(그림 3.7) 건축적 요소 점수 기준 척도 .....	38
(그림 3.8) 건축적 요소 평가모델 .....	38
(그림 4.1) 산업연관방식에 의한 원단위 산정 과정 .....	42
(그림 4.2) 개별적산방식에 의한 원단위 산정 과정 .....	43
(그림 4.3) 레미콘 생산 공정도 .....	45
(그림 4.4) 시멘트 생산 공정도 .....	46
(그림 4.5) 철근 생산 공정도 .....	47
(그림 4.6) 소규모 철골조 구조물의 해체 과정 .....	50
(그림 4.7) 고층 철골조 건축물의 해체 과정 .....	52
(그림 5.1) T 아파트 전경 .....	59
(그림 5.2) T 아파트 전경 .....	59
(그림 5.3) T 아파트 50평형 평면도 .....	60
(그림 5.4) A 아파트 조감도 .....	61
(그림 5.5) I 아파트 조감도 .....	61
(그림 5.6) A 아파트 59평형 평면도 .....	61
(그림 5.7) 건축적 요소 정성적 평가 스케일 .....	77
(그림 5.8) 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가 결과 diagram .....	79

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

21세기에 들어 세계적으로 가장 중요한 이슈는 ‘환경’이며, 그 키워드로 ‘지속가능한 개발’(Sustainable Development)과 ‘세계기후변화협약’(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)을 거론할 수 있다. 현재와 같이 자원과 에너지를 무분별하게 사용하는 개발이 계속된다면 지구환경오염은 더욱 가속화 될 것이며, 인류문명은 그 존속가능성에 있어 심각한 위협을 받게 될 것이다. 지속가능한 개발이나 세계기후변화협약 등은 이러한 위기상황에 대처하기 위한 세계 공동의 노력의 일환이라고 할 수 있다.

지속가능한 개발(Sustainable Development)은 1992년 브라질 리우환경회의에서 채택한 의제21(Agenda 21)과 1996년 이스탄불에서 개최된 제 2차 유엔인간정주회의(UN Habitat II Conference)에서 채택된 Habitat Agenda에 의해 국제적인 지구환경보전의 목표수립과 행동강령에 의해 추진되고 있는 개념이다.

지속가능한 개발의 정의는 1982년 유엔환경계획(UNEP)에서 ‘자연생태시스템이 감당할 수 있는 범위 내에서 삶의 질을 향상시킬 수 있는 개발’이라고 처음으로 제시되었으며, 이후 1987년 유엔의 세계 환경 및 개발위원회(World Commission on Environment and Development)의 지속가능한 발전에 관한 보고서인 우리 모두의 미래(Our Common Future)에서 ‘우리의 후손들에게 필요한 지구환경의 자원을 손상시키지 않으면서 현세대의 필요를 충족시키는 개발’이라는 더 구체화된 개념으로 발전되었다.

세계기후변화협약은 지속가능한 개발을 위한 가장 구체적인 국제적 움직임으로 세계 각국의 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 규제한다는 내용을 담고 있으며, 지난 해 11월 초 모로코 마라케쉬에서 개최된 7차 당사국회의에서는 교토도 의정서에서 정한 바에 따라 각국의 배출량규제에 대한 시행 이행방안을 확정된 바 있다.

건축물은 세계 총 에너지 소비의 1/3이상을 차지하고 있으며 온실가스 배출에서도 총 배출량의 약 40%를 차지하고 있고, 자원 소비에 있어서는 전 세계 천연자원의 약 40%를 소비하고 있으며, 건축 폐기물이 총 폐기물 배출량의 50%이상을 차

지하는 등 인류의 지속가능한 개발을 저해하는 주 원인 이라고 볼 수 있다. 따라서 자원을 절약하고 환경오염을 최소화 하며 에너지를 절약할 수 있는 환경친화적 건축물의 생산이야말로 지속가능한 개발을 위한 가장 필수적인 조건이 될 것이다.

건축자재에 선택에 있어서도 이러한 지속가능성에 대한 고려는 필수적이라고 할 수 있다. 지속가능한 건축자재란 지속가능한 건축의 개념 및 기본요소에 부합되는 특성을 갖는 건축자재를 의미하며, 건축자재의 사용을 통하여 에너지를 절약하고 자원을 절약하며 오염을 최소화하고 자연환경과 조화를 이룰 수 있는 건축자재를 의미한다. 건축물의 건축자재는 대부분 구조체를 구성하는데 사용되며, 공동주택의 경우 전체 재료사용량 중 구조재료의 비율은 71%이다. 건축물은 구조형식에 따라 자재사용 특성이 변화하며 건축자재의 지속가능성에 대한 검토를 통해 구조형식을 선택한다면, 건축물의 지속가능성과 환경친화성을 개선 할 수 있는 변수가 될 수 있다.

국내에서는 철근콘크리트 구조가 보편적인 건축물의 구조로 인식되어 왔으며, 철골 구조의 사용 비율은 철근콘크리트 구조와 비교하여 작다. 철골조 건축물은 도입 초기 업무시설 위주로 건축되기 시작하였으나 도심지 건축물의 초고층화 경향에 따라 그 사용 비율이 증가하였고, 주거용도로의 개발 비율도 높아지고 있다. 또한, 이러한 사용 비율의 증가와 함께 최근 초고층 철골조 아파트에 대한 사회적 관심도 높아지고 있다. 공동주택이 국내 총 건축물의 60% 이상을 차지하고 있는 점을 고려할 때, 향후 초고층 철골조 아파트의 비율은 더욱 증가할 것으로 전망할 수 있다.

더욱이 보편적으로 사용되는 철근콘크리트 구조의 경우 해체·폐기 단계에서 건축 자재의 상당부분을 차지하는 콘크리트가 건축폐기물로 배출하게 되며, 재활용의 방안도 부족하고, 재활용된다고 해도 다시 구조재료로 사용하는 것은 불가능하다. 그러나 철의 경우 재료로서 100% 재활용이 가능하다는 장점을 갖는 동시에 재활용 과정을 통해 다시 구조재료로 사용이 가능하다는 특징을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 구조재료의 철강재료 사용 비율이 높고 최근 사용이 증가하고 있는 초고층 철골조 아파트를 대상으로 친환경성을 평가하기 위하여 정량적 평가와 정성적 평가를 통합하여 정량화된 평가의 수행이 가능한 통합 친환경성 평가모형을 제시하고, 제시된 평가모형을 적용하여 사례연구를 통해 초고층 철골조 아파트의 통합적 친환경성 평가를 수행하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구의 내용 및 방법

‘철골조 아파트’의 정의에 대해 최근 건설업계와 학계에서 다소 이견이 생기면서 철골조 대신에 ‘복합구조’라는 용어가 대신 사용되는 경우도 있다. 이는 철골조 아파트로 분류되는 아파트의 대부분이 실제로는 철골철근콘크리트조<sup>1)</sup>이기 때문에 기둥과 보에 철골만을 사용한 순수 철골조<sup>2)</sup>와 구분하기 위한 목적이다.<sup>3)</sup>

그러나 본 연구에서는 아파트라는 주거용도의 건축물로 평가 대상을 한정하였고 보편적으로 사용되는 철근콘크리트조(RC조)와 비교되는 용어로 ‘철골조 아파트’를 사용하였으며, 철골조 아파트는 최근 주로 SRC조(철골철근콘크리트조)를 구조형식으로 하는 아파트를 지칭하는 것으로 정의 하였다. 또한 초고층 아파트의 범위는 30층 이상의 규모로 한정하였으며, 정량적 평가 결과의 비교를 위한 20~30층 규모의 아파트 사례에 대해서는 고층 아파트로 분류하였다.

본 연구에서는 먼저 건축자재로서의 철의 지속가능성을 검토하고, 철골조 아파트의 현황 및 연구 동향을 조사하였다. 또한 기존의 건축물의 친환경성능 평가 방법을 분석하여 연구를 위한 이론적 고찰을 하였다. 이론적 고찰 내용을 바탕으로 기존 평가방법과 선행연구 분석을 통해 철골조 아파트의 친환경성능 평가 항목을 구성하였고, 이를 바탕으로 철골조 아파트의 친환경성능 평가모형을 설정하였다. 현장조사와 자료 분석을 통해 평가항목 중 정량적 평가에 대한 환경부하 원단위를 산정하였으며, 전문가 의견조사를 통하여 정량적 평가 결과와 정성적 평가 결과의 통합을 위한 가중치를 산정하였다. 이를 바탕으로 평가모형을 사례연구 대상인 초고층 아파트에 적용하여 현재 시공되고 있는 초고층 철골조 아파트의 친환경성능을 평가하여 보았다.

---

1) 철골철근콘크리트구조(Steel framed reinforced concrete structure) : 철골을 중심으로 그 주위를 철근으로 둘러싸고 여기에 콘크리트를 박아 넣어 단일체(單一體)로 만든 구조. 철근콘크리트구조와 철골구조의 중간적인 구조법이다.

2) 철골구조(Steel frame structure) : 주요구조체로서 철강재를 사용하는 구조. 철골구조는 형강(形鋼), 강판(鋼板), 평강(平鋼) 등의 강재(鋼材)를 사용하여 이들을 리벳이나 볼트 또는 용접 등에 의해 집합하여 조립하는 구조를 말한다.

3) 박항섭 외, 철골 고층 아파트 사례집, 한국건축가협회, 2001.12, p.10

본 연구의 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 철골조 아파트 및 건축물의 친환경성능 평가에 관한 이론적 고찰

건축자재로서 철의 지속가능성을 검토하고, 철골조 아파트의 현황 및 건설동향에 대해 조사하고, 연구동향 및 선행연구를 분석하였다. 또한 평가모델의 구성과 평가 항목 도출을 위해 기존 건축물의 친환경성능 평가 방법에 대하여 조사와 분석을 수행하였다.

2) 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델 설정

친환경성능의 평가 범위를 설정하고 평가 항목을 선정한 다음 이를 바탕으로 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델의 개요를 구성하였다. 또한 친환경성능 평가모델의 정량적 평가 항목인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가 항목인 건축적 요소에 대하여 각각 평가기준을 제시하고 요소별 평가모델을 설정하였다.

3) 환경부하 원단위 산정 및 통합 평가 가중치 설정

현장조사와 자료분석을 통하여 환경부하 요소 평가모델에 적용될 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 자재별 에너지 소비 원단위와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정하였다. 또한 정량적 평가 결과와 정성적 평가 결과의 통합을 위해 전문가 의견 조사를 통하여 평가 항목 간 평가 가중치를 설정하였다. 이를 바탕으로 철골조 아파트의 통합 친환경 성능 평가방법을 제안하였다.

4) 사례연구를 통한 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가

제시된 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가모델을 초고층 철골조 아파트 사례에 적용하여 통합적 친환경성능 평가를 수행하였다. 평가 기준으로는 보편적으로 사용되는 철근콘크리트조를 사용한 초고층 아파트를 선택하였으며, 정량적 평가에 있어서 층수 규모에 의한 평가 결과의 특성을 파악하기 위하여 20~30층 규모의 고층 아파트 사례를 평가에 포함시켰다.

이상의 연구 내용 및 방법에 대한 연구흐름도는 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구흐름도

## 제 2 장 철골조 아파트 및 건축물의 친환경성능 평가에 관한 이론적 고찰

### 2.1 철골조 아파트에 관한 이론적 고찰

#### 2.1.1 건축자재로서 철의 지속가능성

연구의 배경에서 밝힌 바와 같이 지속가능한 건축이란 주변 환경과 건물내부의 환경은 물론 지역 및 지구환경에 미치는 부정적인 영향을 최소화하는 건축을 말한다. 지속가능한 건축은 환경친화적 건축(environment-friendly architecture), 녹색건축(green architecture, green building), 생태건축(ecological architecture), 환경공생건축(environmentally symbiotic architecture) 등 다양한 용어로 표현되기도 하는데, 이와 같은 용어는 접근방법에 있어서 지역적, 문화적 특성에 따라 우선순위에 차이가 있으나 기본적인 개념에 있어서는 동일하며, 그 개념과 요소를 정리하면 <표 2.1>과 같다.

<표 2.1> 지속가능한 건축의 요소

구 분	기본 개념	기 본 요 소
자연환경에 미치는 영향을 최소화하는 건축	에너지 절약형 건축	에너지 소비절감
		자연에너지 이용
	자원 절약형 건축	수자원 절감
		건축자재의 절감
	환경오염의 최소화 건축	공기(대기)오염 방지
		수질오염 방지
	폐기물 처리	
자연환경과의 조화를 높이는 건축	자연 친화형 건축	옥외 수공간 조성
		옥외 녹지공간 조성
		실내에 자연요소를 도입
	지역 특성화 건축	지역의 자연자원 보존
		지역의 자연특성 보존

#### 1) 건축자재의 지속가능성 평가 기준

지속가능한 건축의 실현을 위해서는 건축자재의 선택에 있어서도 지속가능성에

대한 고려가 이루어져야한다. 지속가능한 건축자재(sustainable building materials)란 건축자재의 사용을 통하여 에너지를 절약하고 자원을 절약하며 오염을 최소화하고 자연환경과의 조화를 이룰 수 있는 건축자재를 지칭한다. 건축자재의 지속가능성은 크게 ① 자원효율, ② 에너지 효율, ③ 오염방지, ④ 경제성 등에 의하여 평가되며, 환경친화적 건축자재를 객관적으로 판단할 수 있는 선택기준을 정리하면 <표 2.2>와 같다.

<표 2.2> 환경친화적 건축자재의 선택기준

선택기준	개 념
자원효율 (resource efficiency)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재활용/재사용자재 혹은 재활용 비율이 큰 자재</li> <li>- 천연자재 혹은 재생 가능한 자재</li> <li>- 제품생산과정이 자원효율적인 자재</li> <li>- 지역적으로 공급이 용이한 자재</li> <li>- 장수명 자재</li> <li>- 건축적 변경에 쉽게 대응할 수 있는 자재</li> </ul>
에너지 효율 (energy efficiency)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 내재에너지가 작은 자재</li> <li>- 건물운영과정에서 에너지절약에 기여하는 자재</li> <li>- LCA측면에서 에너지부하가 작은 자재</li> </ul>
오염방지 (pollution prevention)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질의 방출이 없는 자재</li> <li>- 폐기물을 최소화하는 자재</li> <li>- 방습성능이 우수한 자재</li> <li>- 유지관리가 용이한 자재</li> <li>- LCA측면에서 환경부하가 작은 자재</li> </ul>
경제성 (economic affordability)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 라이프사이클 측면에서 경제성이 우수한 자재</li> </ul>

선택 기준 중 에너지효율의 평가에 있어 지금까지 건축물의 에너지소비는 건물의 사용과정에서 매년 배출하는 운용에너지(Operation energy)를 의미하였다. 그러나 건축물의 전과정을 고려해 볼 때 에너지 소비는 건축자재의 생산단계에서 소비되는 에너지와 시공과정에서 사용되는 에너지, 사용단계의 운용에너지와 폐기과정에서 배출되는 에너지 소비를 모두 고려하여 평가해야 한다. 특히, 건축자재의 생산과정에서 소비되는 에너지는 자재의 종류에 따라서는 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 이는 건축분야가 소비하는 에너지 혹은 환경부하에 포함되며, 사용단계에서 소비되는 운용에너지 다음으로 많은 에너지를 소비하는 단계가 건축자재의 생산단계이다.

이 생산과정에서 소비되는 에너지를 내재에너지라 하는데 내재에너지(embodied energy)<sup>1)</sup>란 제품 또는 건축물 속에 함유되어 있는 에너지란 뜻으로 건축물의 경우에는 건축자재의 원료채취, 가공, 생산은 물론 수송 및 조립과 설치에 이르기까지 전과정에서 소비되는 에너지를 말한다.

건축자재의 내재에너지는 에너지 소비 측면에서도 건축물 전체 에너지 소비의 큰 비중을 차지하지만 CO<sub>2</sub> 배출량을 고려할 때도 지구환경에 커다란 영향을 미친다. 일반적으로 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량 중 건물과 관련하여 배출되는 양은 약 50%로, 그 중에서도 35%는 건물의 냉난방, 조명 등 유지관리와 관련하여 배출되며, 15%는 건물의 자재생산이나 시공과정에서 배출된다고 보고 된 바 있다.

미국건축학회의 경우 건축 부·자재별로 이의 생산에 필요한 에너지(내재에너지, embodied energy)를 산출, 제공하여 건축생산에 활용케 하고 있으나 국내의 경우 에너지 통계의 어떤 부분에서도 이를 명시하지 않고 있으며, 건물로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량을 건물의 유지·관리에 필요한 에너지 소비로부터의 배출량인 국가 전체 배출량의 23% 내외로 발표하고 있으나 건축 부·자재 생산과 이의 수송 및 공사에 소비되는 에너지 까지를 감안하면 38% 내외가 될 것으로 추산되어 건물 분야의 에너지 및 환경부하에 관한 인식전환이 필요하다.

---

1) Australia CSRIO(Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation) 연구에 제시된 내재에너지의 개념을 살펴보면 내재에너지의 개념은 GER(Gross Energy Requirement)와 PER(과정 Energy Requirement)로 나뉘게 되는데, GER은 재료의 진정한 내재에너지를 평가하는 것으로, 생산에 관련된 모든 에너지 사용(운송 / 인력 / 생산 공장에서의 조명사용이나 생산기계의 유지관리 / 운송에 필요한 사회기반시설에 사용되는 에너지 등)을 포함하거나 그 이상을 고려한 것으로, 실제 이것은 측정 불가능하다. PER은 재료의 생산과 직접적으로 관련된 에너지만을 평가하는 것으로, 내재에너지를 더 쉽게 정량화 하는 방법이다. 대개의 내재에너지로 거론된 값들은 PER에 근거하고 있으며, 이것은 raw material을 공장으로 운반하는 에너지는 포함하지만, 생산된 제품을 건축현장으로 운송하는 에너지는 포함하지 않는다. 일반적으로 PER은 GER의 50~80% 정도로 고려된다. 그러나 좁은 의미로 고려한다고 해도, 많은 변수들이 영향을 끼칠 수 있으므로 제품에 대한 정확한 내재에너지 값을 알아내는 것은 불가능하다.

Lawson. W. R, "LCA and Embodied Energy; Some Contentious Issues", p.74

<표 2.3> 은 미국 AIA에서 적용하는 건축자재의 내재에너지 자료 중에서 구조 재료로 주로 사용되는, 시멘트, 레미콘, 철에 대한 내재에너지를 발췌한 것이다. 표의 결과와 같이 철은 32MJ/kg이라는 큰 내재에너지 값을 갖고 있다, 그러나 전기를 통하여 재생한 경우의 10.1MJ/kg인 1/3정도의 내재에너지가 필요하게 된다.<sup>2)</sup>

<표 2.3> 주요 건축자재의 내재에너지

재 료 명	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
시멘트	7.8	15,210
레미콘(17.5 MPa)	1.0	2,350
(40 MPa)	1.6	3,890
철(일반)	32.0	251,200
(재생, 전기로)	10.1	37,210
(수입)	35.0	274,570

## 2) 철의 지속가능성 검토

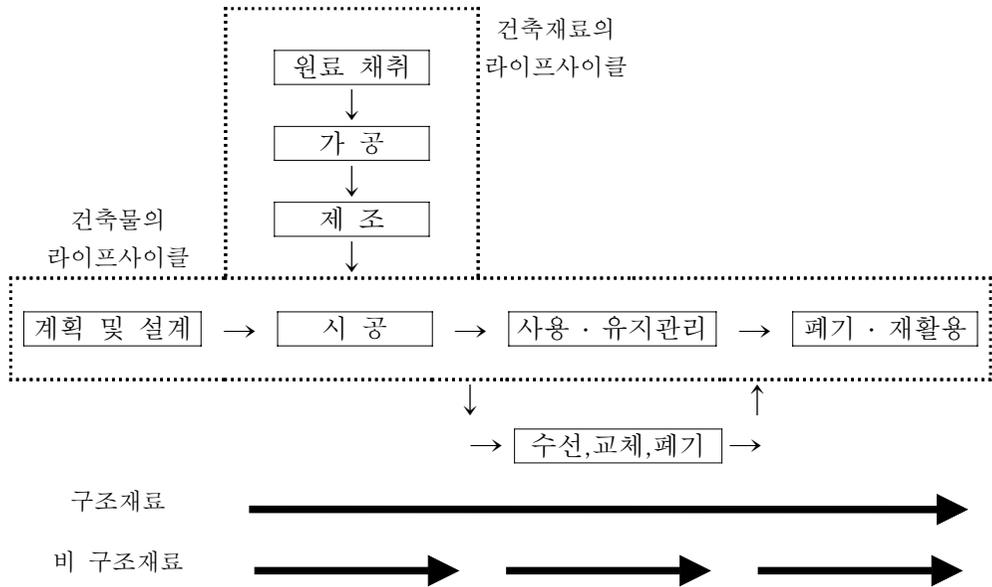
앞에서 거론된 바와 같이 환경친화적 건축물을 실현하기 위해서는 지속가능성을 고려한 건축자재의 선택이 중요하며, 자원효율이나 에너지효율 등의 선택기준에 의해서 환경친화적 건축자재를 선택할 수 있다.

건축물에 사용되는 건축자재는 대부분이 구조재료로 사용되며, 전체 건축재료 사용 중 구조재료의 비율은 71% 정도를 차지하고 있다.<sup>3)</sup> 뿐만 아니라 구조재료는 (그림 2.1)<sup>4)</sup>에서 보는 바와 같이 그 사용기간이 건축물의 해체까지 지속되므로 구조재료에 의한 환경영향은 비 구조재료와 비교하여 크게 작용하게 되며, 구조형식은 건축물의 구조재료의 사용 특성과 그 사용량이 변화하는데 있어 큰 변수로 작용하게 된다.

2) Joanna Glover, "A comparison of Assessments on Three Building Materials In the Housing Sector", Sydney University, 2001.5.

3) 전성원, "공동주택의 친환경성능 평가방법에 관한 연구", 중앙대학교 건축학과 박사학위논문, 2001, p.104

4) 채창우 외, "건축재료의 환경친화성 평가방법에 관한 연구", *대한건축학회 16권 12호* 2000.12, p.100



(그림 2.1) 건축물과 건축자재의 라이프 사이클 관계

재료로서의 철의 보편적으로 알려진 특성을 살펴보면, 철은 강성, 내구성에 있어 우수한 성능을 갖고 있으며, 재활용 가능성이 높은 특성을 가지고 있다. 그러나 생산과정에서의 에너지 소비가 높고, 많은 에너지 소비로 인해 생산 시 환경부하의 배출 가능성이 높다는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 건축자재를 선정하는 데 있어서는 생산에 필요한 에너지가 작은 재료를 선택하는 것이 건축물의 지속가능성을 확보하는 데 도움이 된다. 그러나 내재에너지는 건축물의 전과정을 고려할 때 한 부분에 지나지 않으며, 건축자재의 내재에너지를 평가함에 있어서는 단위량의 재료 생산이 아닌 건축에 소비되는 총자재량에 대한 평가가 필요하다.

따라서 건축자재로서 철의 지속가능성을 평가하는데 있어서도 단일 자재로서가 아닌 건축물의 구조체에 있어 단위 사용량을 기준으로 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 건축자재로서의 철의 지속가능성에 대하여 검토를 수행하였다.

#### (1) 재활용 가능성

건축자재의 지속가능성 평가 기준인 자원 효율의 재활용 가능성에 대한 부분에 대하여 철의 성능에 대해 검토를 수행하였다.

철골조 건축물은 순수 철골조의 경우는 사용 후 90% 이상이 고철로 판매되어

재활용되거나, 재사용을 위해 판매되는데, Pile이나 H beam 등이 주로 재사용 된다.<sup>5)</sup> 철근콘크리트구조의 경우도 포함된 철근이 90% 이상 회수되어 재활용되는 것을 고려해 볼 때, 형강과 철근의 대부분이 재활용이 이루어질 것으로 판단할 수 있다. 회수된 고철(Scrap)은 전기로 과정을 거쳐 다시 철 자재로 재생산되는데, 1ton의 고철을 생산에 투입할 경우 대략 0.9ton 정도의 순수한 철을 재생산 할 수 있으며, 국내에서 생산되는 형강과 철근은 100% 고철을 원료로 하여 생산된다.<sup>6)</sup>

1999년 미국 ISRI(Institute of Scrap Recycling Industries)의 자료를 보면, 철 광석(iron ore)을 사용하여 철을 생산하는 것 보다, 고철(Scrap)을 사용하는 경우 생산에 필요한 에너지의 74%, 천연자원 사용에 있어 90%, 자원 채취과정에서 배출되는 폐기물의 97%를 절약하는 효과를 가지고 있다.<sup>7)</sup>

좀더 자세한 수치를 위해 미국 SRI(Steel Recycling Institute)의 2000년 통계자료에 따르면, steel 1ton의 재활용 경우 2,500 pound의 철광석(iron ore)과, 1,400 pound의 석탄(Coal), 그리고 120 pound의 석회석(limestone)의 절약이 가능하다. 철은 북미 지역에서 가장 재활용이 잘 이루어지고 있는 재료이다. 산업전반에 걸쳐 이루어지는 철의 재활용 율은 전체 재활용 재료의 64.13%에 해당한다. 특히, 건축에 사용된 steel이나 beam의 95%가 재활용되며, 철근이나 다른 steel 제품의 경우 47.5%가 재활용 된다.<sup>8)</sup>

## (2) 내재에너지의 비교

건축자재의 지속가능성 평가 기준인 에너지 효율의 내재에너지에 대한 부분에 대하여 철의 성능에 대해 검토를 수행하였다. AIA의 자료를 통해 살펴본 바와 같이 단위량의 철은 내재에너지에 있어서 큰 값을 갖는 것으로 알려져 있으나 강성을 고려하여 단위면적당 건축물에 사용된 구조재료사용량을 기준으로 비교한다면, 철근콘크리트 구조와 비교하여 내재에너지에 있어 불리하지 않은 결과를 가질 수 있다.

구체적 비교를 위하여 유사 규모의 사례의 단위면적당 자재 사용량을 기준으로

---

5) M철거업체 면담자료

6) I 체철(주) 면담자료

7) ISRI(Institute of Scrap Recycling Industries) <http://www.isri.org/>

8) SRI(Steel Recycling Institute) <http://www.recycle-steel.org>

내재에너지를 계산하였다. 내재에너지는 AIA에서 제시한 값을 기준으로 적용하였으며, 철의 경우 국내에서 생산되는 철근과 형강이 100% 고철(Scrap)을 원료로 하므로, 10.1MJ/kg의 값을 적용하였고, 레미콘은 1.0~1.6MJ/kg의 값을 적용하였다. 사례의 단위면적당 재료 사용량과 단위면적당 내재에너지는 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 단위면적당 내재에너지 비교

구분	사용자재	단위면적당 사용량(kg/m <sup>2</sup> )	단위면적 내재에너지 (MJ/m <sup>2</sup> )	내재에너지 합계 (MJ/m <sup>2</sup> )
철골조 (아파트)	형강	117.31	1184.83	2,716.38 ~ 3,243.89
	레미콘	879.19	879.19 ~ 1406.70	
	철근	64.59	652.36	
철근콘크리트조 (아파트)	레미콘	1519.30	1519.3 ~ 2430.88	2,391.94 ~ 3,300.52
	철근	86.40	872.64	

<표 2.4>의 값은 단순한 계산식을 통해 예를 들어 비교한 것이지만, 콘크리트의 사용비율이 높은 철근콘크리트 조와 비교하여 큰 내재에너지의 차이가 나타나지 않는다고 판단할 수 있다.

### (3) 건축폐기물 절감

건축자재의 지속가능성 평가 기준인 오염방지의 폐기물절감에 대한 부분에 대하여 철의 성능에 대해 검토를 수행하였다. 철근콘크리트 조는 해체 경우 사용비율이 높은 콘크리트가 대부분 폐기물로 배출하게 된다. 이 폐기물은 <표 2.5><sup>9)</sup>의 ‘96 건설폐재 종류 및 용도별 재활용 현황’에서 알 수 있듯이 재활용이 거의 되지 못하고 있다.

<표 2.5> 건설폐재의 종류별 재활용 비율

구분	계	토사	콘크리트 덩이	아스팔트 콘크리트덩이	기타 (목재, 벽돌 등)
ton	17,746	16,359	714	152	518
(%)	(100%)	(92.0%)	(4.0%)	(0.1%)	(2.9%)

9) 배은배, “건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근 콘크리트 구조체의 전과정 평가에 관한 연구”, pp.41-45

반면 철은 건설 폐기물에 포함되지 않으며, 재활용을 거쳐 다시 본래 용도인 구조재로 사용이 가능하다. 건설폐기물은 건축공사, 토목공사 및 건설구조물 해체공사에서 배출되는 부유물들을 총칭하는 것으로, 건축폐기물의 대체적인 조성은 <표 2.6>과 같이 폐콘크리트가 50%로서 가장 많은 부분을 차지하고 있고, 그 다음이 흙, 폐목재, 초자류 등인 것으로 환경관리공단 '95 통계자료에 나타나 있다.

<표 2.6> 건축폐기물의 조성 비율

구분	수도권 매립지 반입 건설폐기물	
	반입량 (ton)	비율 (%)
계	5,029	100
폐콘크리트	3,019	50
폐목재	904	15
흙, 오폐수	1,507	25
초자류 등	603	10

※ 자료 : 환경관리공단 수도권 매립지 사업본부(1995)

폐기물 배출에 있어서도 콘크리트 자재가 대부분 건설폐기물로 배출하는데 반하여, 철은 폐기물로 고려되지 않는다. 따라서 건축자재로서의 철의 지속가능성을 검토하고자 할 경우 어느 한 가지 선택기준만을 고려하여 평가하는 것은 타당성을 가질 수 없으며, 건축자재로서의 특성과 건축의 전과정을 고려한 종합적 평가가 수행되어야 한다.

국내의 대다수 건축물은 현재 철근콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 전체 건축물 용도를 통해 철골조의 사용비율은 13.4(%)에 불과하다.<sup>10)</sup> 그러나 상업시설 위주로 사용되던 철골조가 1990년대 초 철골조 아파트에 대한 연구의 시작과 함께 1990년대 중반부터는 고층 주거용도의 개발이 이루어지기 시작하였고, 현재는 그 사용비율이 꾸준히 증가하고 있다.

10) 이동일, “철골조 주택의 공업화 활성화방안에 관한 연구”, 동국대학교 대학원 석사학위논문, 2000. p.6

## 2.1.2 철골조 아파트의 현황 및 건설동향

### 1) 국내 현황

공동주택은 국내 건축물의 60% 이상을 차지하고 있으며, 그 비율 또한 증가추세에 있다. 또한 최근 6-7년간 건설되는 주택 중 아파트의 비율을 75% 이상<sup>11)</sup>이며 지속적인 대규모의 개발이 이루어지고 있다. 도심지의 인구밀도 증가와 건축물의 고층화 고밀화와 주거문화의 변화는 이러한 현상에 배경이 되고 있다. 또한 철근콘크리트 구조의 경우 초고층화에 있어 많은 한계점을 가지고 있다. 더욱이 최근 삶의 질에 대한 거주자의 다양한 요구의 증가와 환경친화적 개발의 필요성의 부각은 환경 성능이 뛰어난 초고층 아파트를 요구하고 있다.

철골조 아파트는 초기에는 주상복합 용도의 Tower 형태로 건설되기 시작하였으며, 1990년대 중반 잠실시그마타워, 보라매 나산 스위트 등 주상복합 형태의 개발이 시작되었다. 이후 상록타워, 대림 아크로빌, 삼성 타워팰리스 등 주거전용의 형태로 개발이 이루어지고 있으며, 최근 건설이 더욱 활성화 되고 있다.

또한, 고층화에 대한 구조적 문제, 자유로운 평면 변경 및 노후 아파트의 리노베이션 가능성, 자원의 재활용 가능성 등을 이유로 건설경향은 더욱 증가할 것으로 전망할 수 있으며, 사회적 인식의 변화와 함께 새로운 고급 주거형태로 입지를 굳건히 하고 있다.



(그림 2.2) 주거전용 철골조 아파트 상록타워(1996)



(그림 2.3) 대림아크로빌(1999)

11) 전성원, op. cit., p.44

<표 2.7><sup>12)</sup>는 철골조 아파트의 국내 건설 동향을 나타낸다.

<표 2.7> 철골조 아파트 국내 동향

	1997	1998~2000	2001~
수요자	아파트 공급부족 - 주택마련희망 - 부동산 투자가치	고급아파트 선호 - 쾌적한 주거환경 - 자연재해 안전성	미래가치 선호 - 리모델링 용이성 - 환경친화성
건설사	RC조 판상형 아파트 - 기업이미지 홍보 - 공사비 절감 - 기존아파트 최적화 ▲	고층주상복합아파트 - 고급화 전략 - 브랜드 홍보 - 차별화 홍보 ▲	리모델링시장 선점 - 기계/설계 능력 - 라이프사이클 관리 - 전문 기술 ▲
정책	대량공급	분양가 자율화	질적개선



(그림 2.4) 현대슈퍼빌조감도(2003)



(그림 2.5) 한국컴퓨터빌딩 주상복합 내부중정

현재 추진중인 철골조 아파트는 대부분 서울이나 서울 근교에 집중되어 있으며, 타워형의 개발이 대부분을 차지하고 있다. 규모는 20층 정도의 규모에서 60층 이상의 초고층의 건물까지 다양하다. <표 2.8>은 완공된 국내 초고층 철골조 아파트 건설 현황이다.<sup>13)</sup>

12) 박향섭 외 5인, op. cit., p.11

한국철강협회, “철골조아파트 국제 기술세미나”, 1999.9, pp.9-10

13) 장인화 외 2인, “철골조아파트의 생애주기비용 분석”, 포항산업과학연구원, 2000.7, p.29

<표 2.8> 국내 초고층 철골조 아파트 건설 현황

	규모	평면형태	공사기간	용도
시그마타워	지하 7층 지상 30층	타워형	1993-1996	주상복합
나산스위트	지하 9층 지상 37층	타워형	1993-1996	주상복합
환타지아	지하 7층 지상 42층	타워형	1993-1997	주상복합
대림아크로빌	지하 6층 지상 46/32층	타워형	1997-1999	오피스텔+ 아파트
트리폴리스	지하 3층 지상 37층	타워형	1998-2001	주거용오피스텔
타워팰리스	지하 4층 지상 66층	타워형	1999-2002	오피스텔+ 아파트
장안동 셰르빌	지하 5층 지상 30층	타워형	-2002	주상복합

현재까지도 초고층 철골조 아파트의 활성화를 위해서는 아직 재료적 측면뿐만 아니라 구조, 시공 등의 분야에서도 기술개발의 필요성이 남아있지만<sup>14)</sup>, 연구가 진행되는 중에 있으며, 초고층 철골조 아파트의 발전 가능성이 그만큼 크다고 할 수 있다.

## 2) 해외현황

일본의 경우 건물높이 60m 이상, 지상 20층 이상의 고층 아파트 중에서 1989년에서 1998년의 10년 기간에 건설된 아파트의 34%가 철골조일 정도로 철골조 아파트가 보편화 되어 있다. 이 비율은 SRC조(철골철근콘크리트조) 26%와 CFT조(콘크리트충전강관구조)6%, 순수 철골조 2%를 합한 결과이다.

일본에서는 (재)일본건축센터의 구조평정이 시작된 1970년부터 약 10년간 고층 아파트는 주로 SRC조나 S조로 계획되었는데, 순수 철골조의 경우 바람에 의한 진동문제로 이후에는 SRC로 설계하는 것이 기본이 되었고, 최근에는 CFT조의 사용도 증가하고 있다.

<sup>14)</sup> 이현호 외 3인, “환경친화형 신도시 개발에 있어 철골시설물 도입가능성 연구”, 대한건축학회, 2002.10, pp.30-39

<표 2.9>은 해외 각국의 초고층 철골조 아파트 동향을 분석한 것이다.<sup>15)</sup>

<표 2.9> 해외 초고층 철골조 아파트 동향

	일본	미국	싱가폴	홍콩
층수	30층 전후	28~78층	25층 전후	35층 전후
구조	SRC조	S조, SRC조	S조, SRC조	S조, SRC조
활성화 시기	80년대 후반	60년대 후반	60년대 후반	70년대 후반
용도	주거전용, 주상복합	주상복합	주상복합	주상복합

### 2.1.3 철골조 아파트에 관한 연구동향 및 선행 연구 분석

국내의 철골조 아파트에 대한 본격적인 연구는 1990년 대한건축학회의 연구로부터 시작되었으며, 이 연구에서는 기존 철근 콘크리트 벽식구조 아파트와의 경제성 비교, 분석이 주로 이루어졌으며, 향후 철골조 아파트 개발의 기본방향을 제시하고 있다.

1994년부터 대한주택 공사를 비롯한 여러 건설업체가 참여하여 철골조 초고층 아파트 시스템에 대한 연구가 이루어 졌다. 이 연구에서는 40층 높이의 주상복합 및 주거전용 아파트의 건축계획, 구조계획, 설비계획, 환경계획, 시공계획 등에 대한 연구가 이루어 졌다.

연구 논문에 있어서도 최근 철골조 건축물에 관한 내용의 발표가 이루어지고 있다.

계획적 측면에 관한 연구인 ‘철골조 초고층 집합주택에 관한 연구’(김성직, 1996)의 경우 철골조 초고층 집합주택의 계획적 측면과 구조 형식의 채택과 국내외 현황에 대한 내용을 포함하고 있다. 건축물의 에너지 성능에 관한 연구인 ‘철골조 고층 공동주택의 에너지성능 평가에 관한 연구’(양기영, 1998)는 철골조 고층 공동주택에 대하여 시뮬레이션을 통하여 구조형식에 따른 에너지 부하를 평가하였다. 철골조 아파트의 LCC 분석 방법에 대한 연구로 ‘철골조 아파트의 Life Cycle Cost 분석 방법에 관한 연구’(조성준, 1999)는 철골조 아파트를 대상으로 LCC 분석방법에 대한 틀을 제공하고 있다. 철근콘크리트 구조와 철골조를 비교하여 평가

15) 박항섭 외 5인, op. cit., pp.11-12

는 ‘철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구’(김동현, 1999)에서 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 에너지 사용분석을 통해 환경비용을 고려한 LCC분석을 통해 정량적 평가를 수행하였고, ‘건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정평가에 관한 연구’(배은배, 2000) 역시 철골구조체와 철근콘크리트 구조체의 LCA 평가를 통해 각 자재별 환경부하를 제시하였다.

해외 논문의 경우 ‘An Environmental Conscious Design of Apartment Building -A Trial Design of a Steel-Frame Apartment Building and its LCA-’(Hitoshi Dohnomae et al., 1998)는 RC조와 S조에 각각의 아파트를 대상으로 시공단계의 에너지 절감에 초점을 두고, 각 건축물의 환경부하를 산정하는 연구를 진행하였다. ‘A comparison of Assessments on Three Building Materials In the Housing Sector’(Joanna Glover, 2001)의 경우 철과 콘크리트, 목재로 구성된 표준 주택을 설정하고, 각각의 재료사용에 의한 총 내재에너지 평가를 수행하였다.

그러나 현재까지 철골조 건축물을 대상으로 정량적 평가와 정성적 평가를 통합한 친환경성능 평가에 관한 연구는 시도된 바 없으며, 계획적 측면과 환경부하 측면, LCC 측면 각각에 대한 연구만이 진행되어왔다. 본 연구에서는 이에 대해 철골조 아파트에 대한 통합적 친환경성능 평가모델을 제시하고, 이를 통해 철골조 아파트의 친환경성능을 평가하는 연구를 수행하고자 한다.

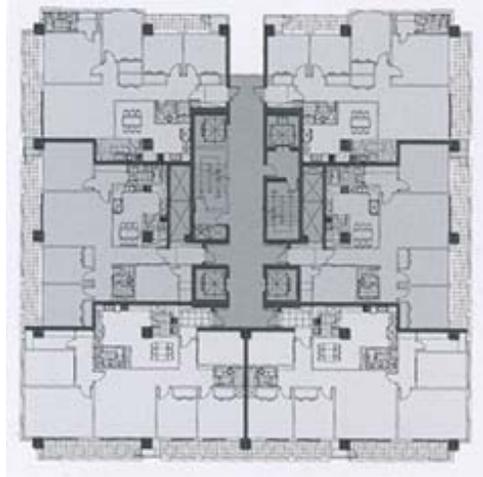
선행연구 분석을 통해 알아본 철골조 아파트의 일반적으로 알려진 특성과 다음과 같다.

#### 1) 평면계획의 융통성

철근콘크리트 벽식구조의 내력벽은 공간 구획의 기능과 동시에 구조체의 역할을 하므로, 입주자의 취향이나 생활패턴에 따른 평면변경이나 증축등이 불가능한데 비해 철골조에서는 철골이 대부분의 구조적 기능을 담당하고 내부 벽체는 공간 구획의 역할만을 담당하므로 다양한 평면의 계획과 변경이 가능하다. 또한 철골조의 경우 순수한 집합주택의 용도로 계획되었어도 준공 후 가족 구성의 변화에 대응하는 평면의 변경이 가능하며, 추후 주거시설에서 업무시설이나 문화시설 등으로의 용도변경이 가능하다는 이점을 가지고 있다.

## 2) 공간활용의 증대

철근콘크리트조와 달리 철골조 아파트의 경우 건물의 고층화시 저층 구조 부재의 두께 증대를 피할 수 있으며, 벽식구조인 철근콘크리트조 아파트와 비교할 경우 실내 공간구획 벽의 두께의 감소시킬 수 있으므로 유효면적의 증대가 가능하다.



(그림 2.6) 현대슈퍼빌 기준층평면

## 3) 외부형태의 다양화

철골조 아파트는 벽식 철근콘크리트조 아파트가 구조적 특성상 건물의 폭과 높이가 제한되는 단점에 반하여 노출되는 기둥이 철근콘크리트조와 비교하여 현저히 줄어들게 된다. 자유로운 입면계획이 가능하며 기존의 획일화된 아파트 외관은 다른 다양한 외부 형태를 기대할 수 있다. 설계 사례들을 살펴보면, 철골조 아파트의 경우 일반적으로 접하게 되는 철근콘크리트조 아파트와 달리 외관만으로는 용도의 구분이 힘들 정도로 다양한 외관을 가지고 있다.

## 4) 시공성의 향상

철골조 건물은 대부분의 작업이 공장에서 이루어지고, 철근콘크리트조와 비교하여 기계화 시공에 대한 비율이 높아 상대적으로 공기단축도 가능하며, 대부분 습식으로 시공되는 철근콘크리트조와 비교하여, 상대적으로 기후의 영향을 덜 받는 작업이 가능하다. 또한 철골의 대부분이 공장가공을 거쳐 현장에서는 조립만이 이루어지므로, 시공품질에 있어 현장에서의 시공능력의 영향에 크게 좌우되지 않으며, 정해진 수준의 품질을 획득하는 것이 상대적으로 용이하다.

## 5) 지하공간의 효율적 활용

기존의 벽식 철근콘크리트조 아파트의 경우는 지하층에 있어서 내력벽이 좁은 간격으로 불규칙하게 배열되어 있어 극히 제한된 용도로만 활용되어졌고 그로 인해 아파트 하부의 지하 공간은 1-2층 정도의 깊이 밖에 개발할 수 없었다.

이와 비교하여 철골조 아파트의 경우는 지하공간의 제약요소로 기둥만이 존재하기 때문에 그 활용면에 있어서 다양한 융통성을 가지고 있다. 따라서 독립된 건물

로 짓던 근린생활시설 등을 지하에 수용하므로 옥외공간 확보에 유리하며 적절한 Span 계획을 통하여 주차장으로 활용 및 기타 기계, 전기 등 서비스 시설계획 등에서 보다 효율적인 계획이 이루어질 수 있다.

#### 6) 리모델링 가능성

철골조 아파트의 경우 용도변경에 따른 대수선 또는 건물을 장기적으로 사용 후 시설이나 설비를 보수하거나 외관 등을 현대화하는 경우에 골조에 영향을 미치지 않고 변경이 가능하며 재개발 또는 재건축시에도 부분적인 철거 및 해체만을 하게 되므로 구조적인 문제점이 배출하지 않고 작업을 용이하게 할 수 있다.

대부분의 철거가 건축물의 구조적 수명이 다하기 전에, 사회적 요구의 변화에 의해 사회적 수명이 끝나게 되어 철거되는 것이 일반적인 현대 아파트의 현실임을 감안할 때 철근콘크리트조 아파트의 경우 재건축이 불가피한 경우에도 철골조 아파트의 경우 부분적인 해체나 철거가 가능하므로 건물의 수명을 증대시킬 수 있다.

#### 7) 경제성

경제성에 있어서 현재까지는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 불리한 것으로 나타나 있다.

‘철골조 초고층 아파트 건축설계에 관한연구’(한규봉 외, 1992)의 결과 철골조아파트가 철근콘크리트조 벽식구조 아파트와 비교하여 표준건축비가 16%정도 상승하는 것으로 나타났으나, ‘철골조 아파트 설계사례’(심성보 외, 1996)에 따르면 전생애 비용을 평가한 결과 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트에 비해 상대적으로 97% 수준으로 거의 동일한 수준의 경제성이 있는 것으로 나타났다. 이 경우에는 철골조 아파트의 특성으로 인한 공기단축이나 전용면적의 증가효과 가변 가능성 등에 의한 영향을 고려한 것이므로, 철골조 아파트가 철근콘크리트 아파트보다 경제성은 떨어진다고 할 수 있다. 또한, ‘철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 비교연구’(김동현, 2000)의 결과를 보면, 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 초기투자비 관점에서 약 20% 정도 더 투자되는 것으로 나타났다.

#### 8) 기타.

이 외에도 바닥재와 벽체에 경량 구조재와 건식벽체가 사용되는 철골조 아파트의 특성상 이웃간, 층간 소음 문제는 큰 단점으로 거론되고 있다.

## 2.2 건축물의 친환경성능 평가방법

환경에 대한 관심의 증가와 함께 건축물에 대한 다양한 환경성능 평가방법이 제시되고 있으며, 현재에도 많은 연구가 진행되고 있다. 건축물의 환경성능 평가는 건축시스템의 전과정을 대상으로 이루어지는 것을 기본으로 하며, 전과정평가(LCA)의 개념을 바탕으로 진행되고 있다.

### 2.2.1 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. 즉, LCA는 특정 제품이나 공정, 또는 활동에 관련된 전체 시스템의 유입, 변형, 이동, 환경에의 영향, 에너지 소비 등을 총괄적이고 종합적으로 분석 평가하는 도구라고 할 수 있는데, 그 범위는 자연에서의 원료 추출에서부터 부품 및 제품의 생산, 유통, 사용 및 최종 폐기까지를 포함하고 있다.

전과정평가(LCA)는 개념적으로 환경부하에 관한 질적, 양적 자료목록을 작성, 평가하여 환경 성능을 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 할 수 있으며 ISO 14000 Series의 환경 영향평가에 있어서 기술적 근간을 이루고 있는 기법이다. 또한 전과정 평가는 환경성능 인증제도(green certificate)와 같이 제품의 환경 기준을 설정하거나 인증과정에서도 중요한 정보를 제공한다.

건축분야에 있어서도 건설업체나 건축자재생산업체에서는 환경경영체제의 구축이 필수적이다. 이는 생산활동을 수행하는 업체에서 환경을 표준으로 생산활동을 전개하는 것이 지구환경부하를 저감하기 위한 공통된 국제적 노력이기 때문이다. 건축자재생산과 관련된 업체에서도 전과정평가(LCA)의 필요성의 증가와 함께, 전과정평가(LCA)를 이용하여 제품 전생애를 통한 환경성능을 검토함으로써 친환경적이고 지속가능한 제품을 공급하려는 노력을 진행하고 있다.<sup>16)</sup>

---

16) 이관호, “건축물의 환경성능과 경제성을 고려한 평가 프로그램 개발에 관한 연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2002, pp.8-11

전과정평가(LCA) 구성요소는 국제표준화위원회(ISO)에서 다음과 같은 4단계로 분류하고 있으며, 각각의 내용은 다음과 같다.

1단계 : 목적 및 범위설정 (Goal Definition & Scope)

2단계 : 목록분석 (Inventory Analysis)

3단계 : 영향평가 (Impact Assessment)

4단계 : 해석 (Interpretation)

표 <2.10>는 전과정평가 각 단계의 내용을 정리한 것이다.

<표 2.10> 전과정 평가(LCA)의 구성

단계	내용
목적 및 범위설정 (Goal Definition & Scope)	적용분야, 연구를 실시하는 이유 및 연구결과를 전달할 대상자를 명확하게 명시해야 하며, 기능단위, 제품시스템의 경계, 할당절차, 환경영향의 유형 및 영향평가방법, 데이터요건, 가정, 한계점등을 제시하여야 한다.
목록분석 (Inventory Analysis)	LCA의 핵심적인 단계로 제품시스템과 관련된 투입물과 산출물을 정량화하기 위해 데이터를 수집하고 계산하는 절차를 포함한다. 이러한 투입물과 산출물은 제품시스템과 연관된 자원사용과 대기, 수계, 토지로의 배출물을 포함할 수 있다. 이 데이터는 LCA평가를 위한 자료가 된다.
영향평가 (Impact Assessment)	목록분석결과를 이용하여 각 환경부하항목에 대한 목록결과를 각 환경영향 범주로 분류하여 환경에 주는 영향을 분석평가하는 단계이다. 다시 말해 잠재적인 환경영향의 중대성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 크게 분류, 특성화, 가중치 부여단계로 나뉘어 진다.
해석 (Interpretation)	목록분석 결과와 영향평가 결과를 결합시키고 전과정 목록분석만 수행된 경우에는 결론과 건의에 이르기 위해 LCA 연구목표와 맞게 목록분석 결과만을 조합시키는 단계이다.

### 2.2.2 전과정평가(LCA)에 의한 원단위 분석 방법

전과정 평가를 수행하는 방법론으로는 크게 목록분석단계에서의 시스템으로의 투입-산출 데이터의 수집 방법에 따라 산업연관방식 (Input-output Analysis)과 개별적산방식 (과정 Analysis) 그리고 이 두 가지를 조합한 조합방식의 3가지로 구분

할 수 있다.<sup>17)</sup>

### 1) 산업연관방식

산업연관표란 일정기간동안 국민경제 내에서 재화와 서비스의 산업상호간의 거래 즉, 생산 및 처분과정에서 배출하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 행렬형태로 기록한 종합적인 통계표로서, 우리나라의 경우 5년 단위로 한국은행에서 작성하고 있다. 여기서, 산업연관방식이란 402개 부문의 산업 가운데 대상이 되는 산업부문의 생산품에 따라 에너지 소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이며, 구체적으로는 갈 산업의 최종 수요액으로부터 역행렬표 등을 이용하여 궁극적으로 유발되는 생산액을 구하여 에너지소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이다.

### 2) 개별적산방식

이 방식은 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정·소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 운반, 조립되고 폐기되는지를 제품마다 구체적으로 조사하여 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 산출하는 방법이다. 이 방식은 주로 제품의 LCA에 이용되며, 이를 위해 외국에서는 원단위 정보 등의 축적이 진행되고 있다.

### 3) 조합방식

조합방식은 개별적산방식으로 구분한 대상에 산업연관표 등으로부터 별도로 구한 에너지 원단위, CO<sub>2</sub> 배출 원단위 등을 이용하는 방식이다. 특히, 건축물의 에너지소비나 CO<sub>2</sub> 배출과 같은 다양한 제품이 조합되거나 시스템성이 있는 대상에 효과적으로 이용할 수 있다.

본 연구에서는 조합방식을 이용하여 환경부하 원단위를 산정하였으며, <표 2.11>은 산업연관방식과 개별적산방식과 조합방식의 장단점을 정리한 결과이다.<sup>18)</sup>

---

17) 조균형 외 33인, “건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구”, 한국과학재단 특정기초연구 최종보고서, 2001, pp.9-10

18) Ibid. pp.21-23

이주현, “공동주택 개건축과 리모델링 사업의 환경성·경제성 통합 평가모델”, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2000, pp.27-29

<표 2.11> 원단위 분석방법의 장단점 비교

	장점	단점
산업연관방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 분석범위의 확대 가능</li> <li>· 분석과 계산시간이 개별적산방식에 비해 상당히 줄어듦.</li> <li>· 분석과정의 재현성이 높음</li> <li>· 분석노력이 절약</li> <li>· 개별적산법에 비해 종합적인 분석이 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 산업구조와 생산활동이 단순화, 평균화됨</li> <li>· 각 제품의 기술적 분석에는 불충분</li> <li>· 신기술/재활용 등의 산업연관표에 누락된 항목은 분석이 불가능</li> <li>· 에너지통계자료와 산업연관표 상의 산업 분류의 불일치</li> </ul>
개별적산방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 각 조사대상의 공경분석이 가능</li> <li>· 각 제품의 기술적 분석이 가능</li> <li>· 신기술/재활용 등 산업연관표에 누락된 항목에 대한 평가 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시간, 인력, 비용의 투입이 광범위</li> <li>· 가정의 설정이 많은 경우 데이터의 신뢰도에 영향을 줄 수 있음</li> <li>· 광범위한 데이터 분석의 불가능</li> </ul>
조합방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다양한 제품이 조합되어 있거나 시스템성이 있는 대상에 효과적</li> <li>· 상세한 부분구분이 가능하며, 포괄적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정조건하의 산출값이므로 객관성의 결여 가능성</li> <li>· 소재추출을 하는데 정확성이 요구되므로 작업량이 방대</li> </ul>

### 2.2.3 건축물의 친환경성능 평가 방법

건축물에 대한 환경성능 평가방법은 영국 BRE(Building Research Establishment)의 BREEAM을 시초로 하여 LEEDS, BEPAC 등이 1990년대에 개발되어 시행되고 있으며, 1998년 이후에는 건축물 환경성능평가를 위한 국제활동으로 24개국이 참여하고 있는 민간 컨소시엄인 GBC(Green Building challenge)가 활발히 운영되고 있다.<sup>19)</sup>

#### 1) 영국의 BREEAM

최초의 환경성능 평가 방법인 BREEAM은 건설업자와 컨설턴트가 협력하여 개발한 환경성능 인증제도로 건물의 종합적인 환경영향을 평가하는 방법이다. 적용 대상은 사무소와 점포, 주택과 공장을 대상으로 하며, 평가항목은 ① 지구환경 문제와 자원이용, ② 지구환경문제, ③ 실내환경문제이다. BREEAM은 환경적인 영

<sup>19)</sup> 이승언 외 20인, “건축물 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구”, 건설교통부, 2001, pp.81-107

향을 미치는 명확한 근거를 가지며, 디자인 단계에서 평가가 이루어질 수 있는 경우에만 성능의 평가기준 항목으로 채택하여, 건축물 초기 단계에서부터 효과적인 환경친화 건물의 생산이 가능하게 한다.

## 2) 미국의 BEES

미국 정부는 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하기 위한 도구로서 1994년 미국 NIST에 의뢰하여 BEES(Buildings for Environmental and Economic Sustainability)프로그램 개발에 착수하였다. BEES는 건축자재의 환경성능뿐만 아니라 경제성을 동시에 고려할 수 있도록 고안된 기법으로 건축주 및 정부의 투자 우선순위 의사결정을 위한 지원도구 개발을 목적으로 하고 있다.

## 3) 한국의 친환경 건축물 인증제도

국내에도 1990년대 중반이후부터 영국의 BREEAM 등을 모델로 한 건축물 평가 기법의 개발이 대학 및 연구소들을 중심으로 진행되어졌으며 한국건설기술연구원, 대한주택공사, 한국에너지기술연구소 등에서는 외국의 선행 개발된 틀을 국내실정에 맞게 가공하는 연구를 수행해 왔다. 한편, 한국능률협회인증원은 GBTool을 도입하여 이를 이용한 건축물 환경성능 인증제도를 환경부의 위임으로 2000년에 시범운영한 바 있다. 또한, 대한주택공사 주택연구소가 건설교통부의 위임으로 역시 2000년에 주거환경우수주택 시범인증 사업이 있다. 이 두 가지 인증사업은 그 후 건설교통부와 환경부의 합의에 따라 두 부처가 공동으로 친환경건축물(Green Building) 인증제도를 공공정책으로 도입하기로 하고 이를 위한 ‘친환경건축물 인증제도 시행지침’을 제정하여 2002년 2월에 공포하였다.

이 인증제도는 시행지침에 따라 현재 4개의 인증기관이 설립되어 제도를 운영하고 있으며, 기본적인 틀은 GBC의 GBTool을 따르면서 일부 항목 및 배점을 우리나라의 실정에 맞도록 보완하였다. ‘친환경건축물 인증제도’는 현재 공동주택을 대상으로 하는 평가모델이 개발되어 시행중에 있으며 앞으로 점차 대상을 사무용건물 등 다양한 용도의 건물유형으로 확대할 예정이다.

## 4) GBTool

GBTool은 최근 세계 각국에서 관심이 고조되고 있는 그린빌딩(Green Building)의 성능인증을 위한 객관적 평가도구로 개발된 소프트웨어 프로그램의 일종으로

프로그램의 개발주체는 캐나다의 NRC(National Resource Canada)이며 현재 24 개국이 참여하고 있는 국제 민간 콘소시움인 Green Building Challenge를 통해 프로그램의 검증 및 사례연구가 진행되고 있다.

이 프로그램의 중요특징 중 하나는 평가대상 건축물의 특성은 모두 기준값 즉 'Benchmark values'와 비교하도록 되어있으며, 이를 기준하여 점수 및 가중치를 부여한다는 점이다. 따라서 GBTool을 사용하고자 하는 국가에서 우선적으로 각 기준값(benchmark values)들에 대한 설정 및 점수 부여방법, 가중치 조정에 대한 통일된 기준안의 수립이 선행되어야 한다. 각 항목에 대한 입력값의 결정 및 해석 방법론은 LCA에 의한 결과를 사용하는 것을 원칙으로 하고 있다.

#### 5) IEA LCA-MCDM

IEA(국제에너지기구, International Energy Agency)의 LCA-MCDM(Multi Criteria Decision Making)은 IEA Task 23 연구를 통해 미국의 Balcomb의 주도로 12개국의 연구자가 참가하여 개발한 종합 설계 평가 비교 도구이다.

프로그램에서 주요 입력은 6가지의 주요 평가 항목은 ① 생애주기 비용요소(Life-Cycle cost criteria), ② 생애주기 자원 부하 요소(Resource use criteria), ③ 생애주기 환경 부하 요소(Environmental loading criteria), ④ 건축미학요소(Architectural quality criteria), ⑤ 건축환경요소(Indoor quality criteria), ⑥ 건축 기능 요소(Functionality criteria)의 6개의 주 항목으로 구성되어 있다.

IEA LCA-MCDM에 의한 건물의 통합 성능평가 및 개선 설계안 도출을 위하여 건물통합 성능평가 인자를 주(主)평가기준과 이에 따른 부(副)평가기준으로 세분화하고 있다. 각각의 주 평가기준은 3개 에서 6개까지 부 평가기준요소를 포함하고 있다. IEA LCA-MCDM을 통한 건물 LCA 평가는 다음과 같이 5단계로 구성된다.

- ① 주 평가기준 요소와 주평가기준의 가중치(weight factor) 결정
- ② 부 평가기준과 부 평가 가중치(sub-weight factor) 결정
- ③ 기준사례 건물의 각 부 평가기준 요소의 입력 값 결정
- ④ 대안사례 건물의 각 부 평가기준 요소의 입력 값 결정
- ⑤ 각 평가 기준별 점수비교 및 종합지수 비교(MCDM LCA star-diagram).

MCDM LCA는 주 및 부 평가기준을 수치적으로 또는 그림으로 통합적으로 비교

할 수 있는 도구로써 디자인팀이 적당한 비교 가중치를 결정한 후 원하는 각각의 부 평가기준에 대한 값을 입력하게 된다. LCA MCDM worksheet가 완성되면 이것의 값을 근거로 star diagram 형식으로 기준건물에 대한 대안 건물의 LCA 통합 성능의 결과를 확인할 수 있다.

IEA LCA-MCDM의 평가방법의 특성은 평가자가 평가가 가능한 주 평가항목과 하위 평가 항목을 구성하고, 구성된 평가 항목 간 가중치 값을 입력하여 설정한 기준건물에 대하여 대상 건물의 친환경성능을 정량적 측면과 정성적 측면에 대해 평가하는 것이 가능하다는 것이다. 본 연구의 평가모델은 GBTool이나 LCA-MCDM의 평가 방법과 마찬가지로 기준 건물의 설정하고, 이 기준 건물의 성능을 바탕으로 비교하는 평가 방법을 선택하였으며, 평가항목의 구성과 가중치 설정방법은 LCA-MCDM의 평가방법을 기초로 하여 제안하였다.

## 제 3 장 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델 설정

2장에서 이론적 고찰을 통해 알아본 바와 같이 건축물의 친환경성능을 평가하기 위해서는 건축물의 특성을 고려한 정량적 측면과 정성적 측면의 평가가 함께 이루어져야 한다. 따라서 3장에서는 기존 건축물의 환경성능 평가 방법들을 바탕으로 철골조 아파트의 친환경성능 평가항목을 도출하고, 선행연구 분석을 통해 각 평가항목에 관한 세부 평가기준을 설정하였다. 또한, 도출된 평가 항목을 바탕으로 철골조 건축물의 친환경성능 평가 모델과 각 주 평가 항목에 대한 요소별 친환경성능 평가 모델을 설정하였다.

### 3.1 평가의 범위 및 개요

#### 3.1.1 평가의 범위

본 연구에 있어 친환경성능의 평가 범위는 구조형식에 의한 구조재료의 사용량과 건축적 영향으로 범위를 한정하고 있으며, 평가 대상 재료는 구조재료로 사용된 건축자재인 형강<sup>1)</sup>, 레미콘, 철근<sup>2)</sup>으로 한정하였다. 이에 있어 철골조 아파트에 사용된 철골은 형강으로 가정하여 평가하였다.

구조에 의한 영향을 평가하기 위하여 보편적으로 사용되는 철근콘크리트조의 유사 규모 아파트로 평가 기준으로 선정하였으며, 평가항목의 선정에 있어서는 구조의 차이에 의한 영향이 미미한 부분에 대해서는 타 구조형식과 동일한 값을 갖는 것으로 가정하여 평가 항목에서 제외하였다.

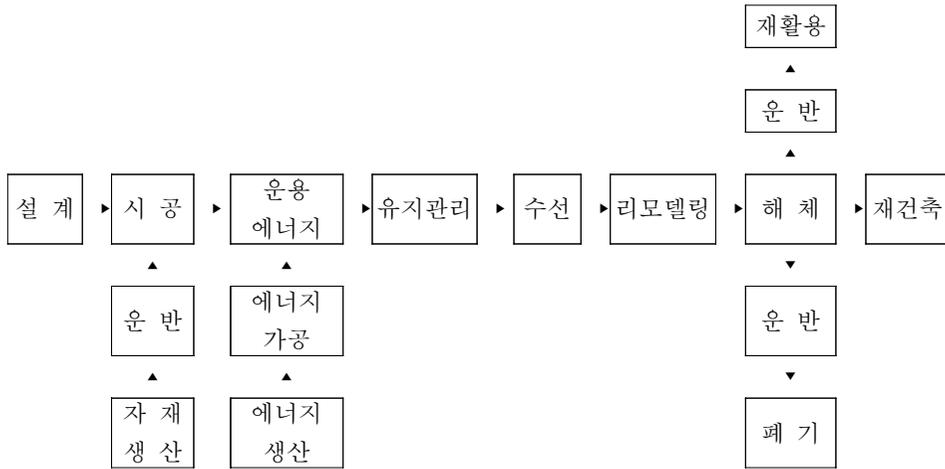
건축물의 라이프사이클은 (그림 3.1)과 같이 설계로부터 시작하여 시공, 운용, 개수, 폐기처분에 이르는 각 단계로 나누어진다. 단계별 환경부하 원단위의 산정은 크게 ① 생산단계, ② 시공단계, ③ 사용단계, ④ 폐기 및 재활용단계의 4가지 단계로 구분하여 산정할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 철골조 건축물의 구조재료를

1) 형강(形鋼, Section shape steel) : 각종 단면 형상을 가진 봉(棒)모양의 압연재의 총칭이며, 철골 구조용으로 사용된다. 단면 형상에 따라 ㄱ형강, H형강, I형강, ㄷ형강, Z형강, T형강, 등을 종류로 분류된다.

2) 철근(鐵筋, steel reinforcement) : 철근콘크리트에 쓰이는 보강근으로 원형철근, 이형철근이 있다.

대상으로 범위를 한정하였으므로, 사용단계의 철골조의 구조 재료에 의한 영향은 타 구조와 동일한 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 환경부하<sup>3)</sup> 산정에 있어 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 3단계를 대상으로 원단위를 산출하였으며, 건축물의 환경부하에 대하여 건축물의 구조체에 사용된 건축재료로 인한 생산단계, 시공단계, 폐기단계에서 배출하는 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출을 환경부하로 정의하여 평가를 수행하였다.



(그림 3.1) 건축물의 라이프사이클

### 3.1.2 평가항목의 개요 및 구성

평가항목은 2장에서 이론적 고찰을 통해 분석한 건축물의 전과정 평가 방법의 하나인 IEA LCA-MCDM을 바탕으로 구성되었다. 평가 방법으로서 IEA LCA-MCDM의 특징은 건축물의 친환경성능을 평가함에 있어 평가자가 목적에 맞도록 주 평가항목을 선택하고 하위 평가 기준을 입력하며, 항목 간 가중치를 설정함으로써 기준 건물과의 비교 평가를 수행할 수 있는 프로그램이다.<sup>4)</sup>

<sup>3)</sup> 원칙적으로 환경부하란 건축에 투입되는 자원과 에너지 소비로 인한 폐열, 배기가스, 폐수, 쓰레기, 분진, 건축폐기물의 배출 등과 토양의 포장, 녹지의 파괴 등으로 인한 기후변화와 생태계의 균형파괴, 소음의 배출, 자연경관의 파괴 그리고 건축물의 유지 관리에 따른 에너지 소비와 공기 오염 등의 다양한 측면을 포함한다.

<sup>4)</sup> "MCDM-23 User Manual", 2001.2.

본 연구의 평가 항목의 선정 기준은 구조의 차이에 의한 친환경성능평가가 가능한 항목의 도출이며, 연구의 범위에서 밝힌 바대로 경제성 평가는 포함하지 않는 것으로 하였다.

1) 주 평가 항목

주 평가 항목은 IEA LCA-MCDM의 ① 전생애 비용 요소, ② 자원부하 요소, ③ 환경부하 요소, ④ 실내환경 요소, ⑤ 건축미적 요소, ⑥ 건축기능 요소 의 6가지 주 평가 항목 중 경제성 평가 항목과 구조재료의 영향이 미미한 요소인 실내 환경 요소, 건축미적 요소를 제외한 정량적 평가 항목인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가 항목인 건축적(건축기능) 요소를 평가 항목으로 선정하였다.

2) 하위 항목

하위 항목의 선택은 정량적 평가 항목인 자원부하 요소에서는 단위면적당 자재 사용량을 평가하고, 환경부하 요소에서는 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하는 것으로 하였다. 정성적 평가 항목인 건축적 요소에 대해서는 기능성(Functionality), 융통성(Flexibility), 유지보수성(Maintainability)에 대하여 평가하는 것으로 평가항목을 구성하였다.

하위 평가항목의 선정 기준 역시 평가 범위에서 밝힌 바와 같이 구조에 의한 영향으로만 대상을 한정하였으며, 정량적 평가 항목의 경우 기존의 자료를 통해 평가가 가능한가를 기준으로 하위 항목을 선정하였다. <표 3.1>은 도출된 평가 항목의 개요이다.

<표 3.1> 철골조 아파트의 친환경성능 평가항목 개요

주 항목	하위항목
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량
환경부하 요소	전생애 에너지소비량
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량
건축적 요소	기능성(Functionality)
	융통성(Flexibility)
	유지보수성(Maintainability)

### 3.2 친환경 성능 평가모델의 개요 및 요소별 평가모델 설정

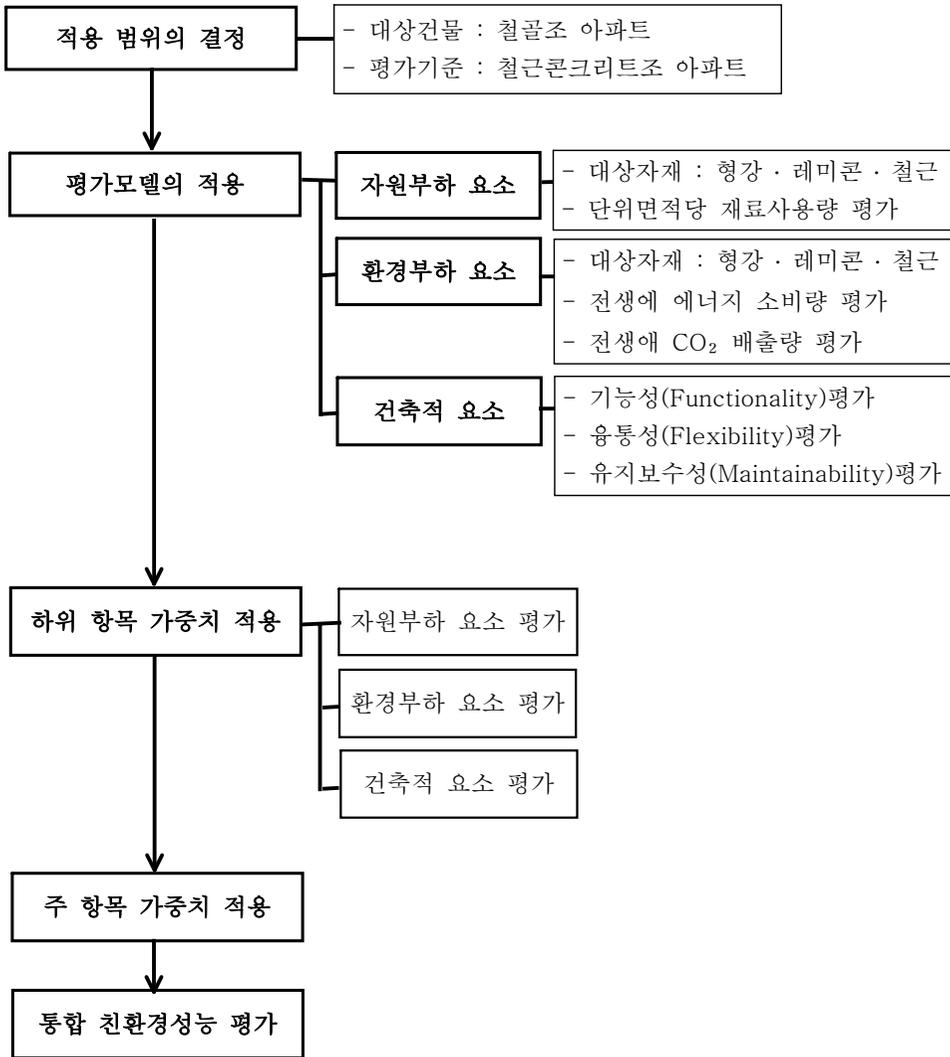
친환경성능 평가모델은 자원부하 요소와 환경부하 요소, 건축적 요소의 평가모델에 의해 구성된다. 평가모델은 대상을 철골조 아파트로 하며, 평가를 위한 기준으로 보편적으로 사용되는 철근콘크리트조 아파트를 선정하였다.

정량적 평가 항목인 자원부하 요소와 환경부하 요소의 평가 대상은 구조재료로 사용된 자재인 형강, 레미콘, 철근이다. 자원부하 요소에서는 단위면적당 자재 사용량을 환경부하 요소에서는 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하게 된다. 정성적 평가 항목인 건축적 요소에 대해서는 기능성, 융통성, 유지보수성이 평가되며, 평가는 유사 규모의 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준으로 하여 전문가 의견조사를 통해 수행하게 된다. 마지막으로 각 평가 항목의 평가 결과에 대하여 전문가 의견 조사를 통해 도출된 항목 간 가중치를 적용하여, 3개의 주 평가항목의 평가 결과를 정량적으로 종합하여 평가 값을 산출함으로써 철골조 아파트의 친환경성능 평가를 수행하였다.

평가모델의 개요는 다음과 같다.

- ① 적용 범위의 설정 - 평가 대상 : 철골조 아파트
  - 평가 기준 : 철근콘크리트조 아파트
- ② 자원부하 요소 - 대상 재료 : 형강, 레미콘, 철근
  - 단위면적당 자재 사용량 평가
- 환경부하 요소 - 대상 재료 : 형강, 레미콘, 철근
  - 전생애 에너지 소비량 평가
  - 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 평가
- 건축적 요소 - 기능성(Functionality) 평가
  - 융통성(Flexibility) 평가
  - 유지보수성(Maintainability) 평가
- ③ 하위항목 가중치 적용 - 자원부하 요소 평가
  - 환경부하 요소 평가
  - 건축적 요소 평가
- ④ 주 평가항목 가중치 적용
- ⑤ 통합 친환경 성능 평가

철골조 건축물의 친환경 성능 평가모델의 흐름은 (그림 3.3)과 같다.



(그림 3.2) 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델

### 3.2.1 자원부하 요소 평가모델

건축자재에 의한 환경영향의 절감방법은 기존 건물 구조를 재활용하거나 초기

투입되는 자재의 사용량을 감소시키거나, 재활용 자재를 사용하는 방법을 들 수 있다.<sup>5)</sup> 주 평가 항목 중 자원부하 요소에 대한 평가에 있어 평가 대상 자재는 구조재료로 사용된 형강, 레미콘, 철근이며, 건축물에 투입되는 단위 면적당 재료사용량을 기준으로 평가가 수행된다. 평가 항목의 개요는 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 자원부하 요소 평가항목 개요

주 항목	하위항목	비고
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량	단위면적당 구조재료로 사용된 레미콘, 철근, 형강의 자재사용량

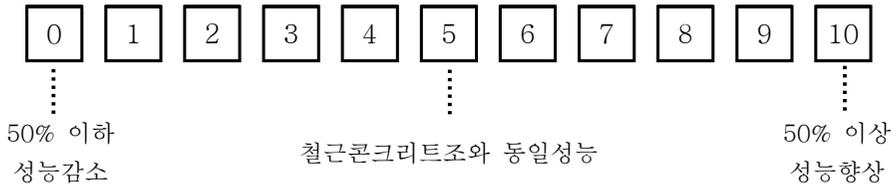
자원부하 요소평가의 순서는 다음과 같다.

- ① 평가대상은 구조에 사용된 자재사용량으로 한정한다.
  - 대상자재 : 레미콘, 철근, 형강
- ② 대상자재의 사용량을 연면적으로 나누어 자재별 단위면적당 사용량을 산정한다.
- ③ 단위면적당 총 자재사용량을 기준 건물인 유사 규모 철근콘크리트조의 단위면적당 자재사용량과 비교하여 평가를 수행한다.

평가는 유사 규모 철근콘크리트조 아파트의 물량을 기준으로 성능이 동일할 경우를 기준값인 5로 산정하였으며, 단위면적당 자재사용량의 절감율이 10% 씩 증가함에 따라 +1점, 초과율이 10% 증가함에 따라 -1 점의 스케일로 평가를 수행하였다. 평가 기준의 한계를 벗어나는 값에 대해서는 0점과 10점을 한계 값으로 설정하였다.

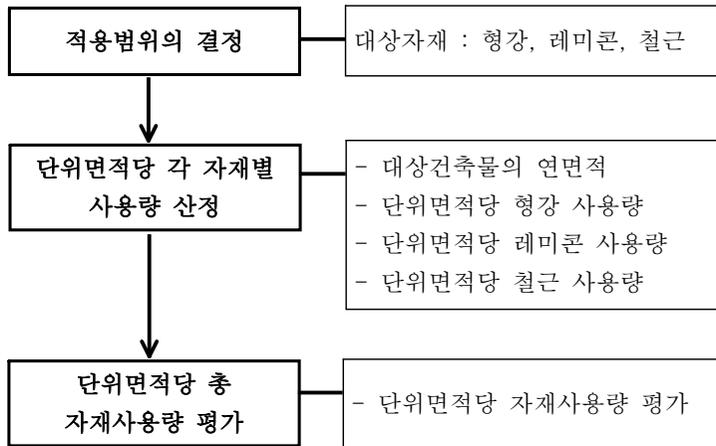
평가 계산식은 {(철골조 아파트의 자재사용량 - 철근콘크리트조 아파트의 자재사용량)} ÷ 철근콘크리트조 아파트의 자재사용량 × 100 이며, 평가 기준은 (그림 3.3)과 같다.

<sup>5)</sup> 전성원, op. cit. p.48



(그림 3.3) 자원부하 요소 점수 기준 척도

자원 부하 요소의 평가모델은 (그림 3.4)와 같다.



(그림 3.4) 자원부하 요소 평가모델

### 3.2.2 환경부하 요소 평가모델

환경부하 요소 평가는 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량에 대해서 평가하게 된다. 평가 항목의 개요는 <표 3.3>과 같다.

<표 3.3> 환경부하 요소 평가 항목 개요

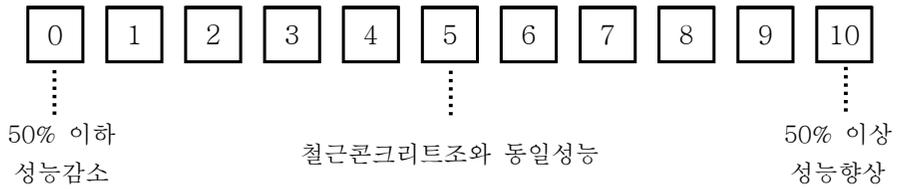
주 항목	하위항목	비고
환경부하 요소	전생애 에너지소비량	구조재료로 사용된 자재사용량을 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 에너지소비량
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	구조재료로 사용된 자재사용량을 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 CO <sub>2</sub> 배출량

환경부하 요소 평가 순서는 다음과 같다.

- ① 평가대상은 구조재료로 사용된 형강, 레미콘, 철근의 자재사용량으로 한정하였다.
- ② 평가 방법의 경계를 설정하고, 평가에 필요한 원단위를 산정하기 위한 기초자료를 구성한다.
- ③ 기초자료를 바탕으로 생산, 시공, 폐기 단계의 자재별 에너지 소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정한다.
- ④ 구축된 원단위 데이터를 바탕으로 대상 단위면적당 자재 사용량에 대하여 공정별 에너지 소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한다.
- ⑤ 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하고 평가를 수행한다.

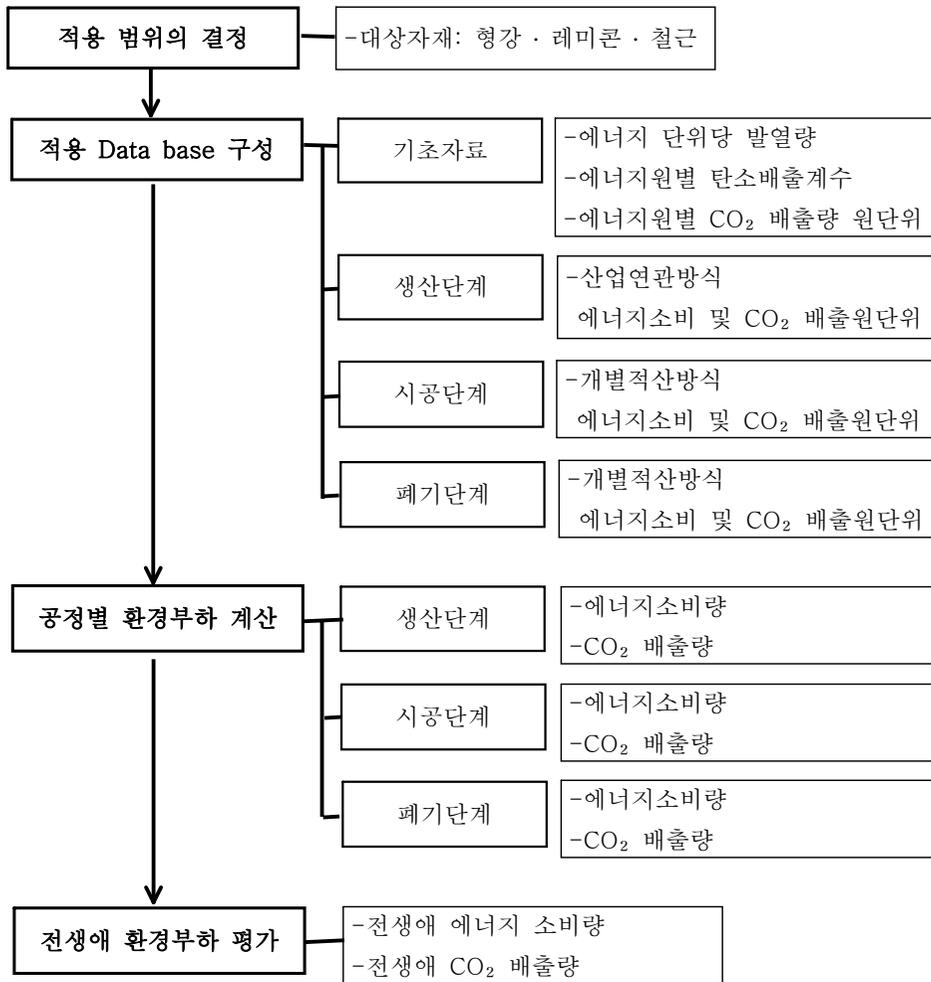
평가는 유사 규모 철근콘크리트조 아파트의 성능과 동일한 경우 기준값을 5로 산정하였고, 철골조 아파트의 에너지 소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량의 절감율이 10% 씩 증가함에 따라 +1점, 초과율이 10% 증가함에 따라 -1 점의 스케일로 평가를 수행하였다. 평가 기준의 한계를 벗어나는 값에 대해서는 0점과 10점을 한계 값으로 설정하였다.

평가 계산식은 {(철골조 아파트 - 철근콘크리트조 아파트) 에너지 소비량, CO<sub>2</sub> 배출량} ÷ 철근콘크리트조 아파트 에너지 소비량, CO<sub>2</sub> 배출량 × 100 이며, 평가 기준은 (그림 3.5)와 같다.



(그림 3.5) 환경부하 요소 점수 기준 척도

환경부하 요소 평가모델은 (그림 3.6)과 같다.



(그림 3.6) 환경부하 요소 평가모델

### 3.2.3 건축적 요소 평가모델

건축적 요소는 정성적 측면에 대한 평가로 기능성(Functionality), 융통성(Flexibility), 유지보수성(Maintainability)의 3가지를 하위 평가 항목으로 가지고 있다. 하위평가항목의 선정은 IEA LCA-MCDM의 건축기능요소의 평가 항목 중 건축물의 구조형식에 의해 영향을 받는 3개의 항목을 선택하였다. 세부 평가 기준의 설정은 선행연구를 분석하여 연관성을 가진 항목을 선정하여 적용하였다.

기능성은 ‘공간의 효율적 이용이 가능한가?’를 평가하였으며, 융통성은 ‘평면계획이나 용도변경 등이 용이한가?’에 대한 평가를 수행하였다. 유지보수성은 ‘구조의 유지보수가 가능한가?’와 ‘성능개선공사가 용이한가?’에 대하여 평가를 수행하였다. 건축물은 그 사용특성상 자재의 수명보다 사회적 요구의 변화가 해체, 폐기의 주요 원인이 된다. 그러나 기능성, 융통성, 유지보수성 등에 있어 높은 성능을 갖는다면 사회적 요구의 변화에 따라 해체나 폐기가 아닌 개보수나 리모델링의 대안이 제시될 가능성이 커지며 그만큼 건축 폐기물 등에 의한 환경부하 배출이나 수명이 짧아짐에 의한 해체, 폐기 과정이나 신축 과정에서의 에너지 사용을 절감할 수 있다. 따라서 환경 영향을 줄이고 친환경성능을 높일 수 있는 요소가 될 수 있다.

<표 3.4>은 건축적 요소 평가항목의 개요를 나타낸다.

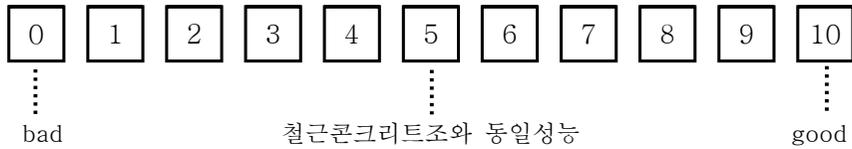
<표 3.4> 건축적 요소 평가항목 개요

주 항목	하위항목	비고
건축적 요소	기능성(Functionality)	공간의 효율적 이용이 가능한가?
	융통성(Flexibility)	평면계획이나, 용도변경 등이 용이한가?
	유지보수성(Maintainability)	구조의 유지보수가 용이한가? 성능개선공사가 용이한가?

평가는 3개의 하위 항목에 대하여 0~10점 스케일에 투표 방식으로 수행되며,

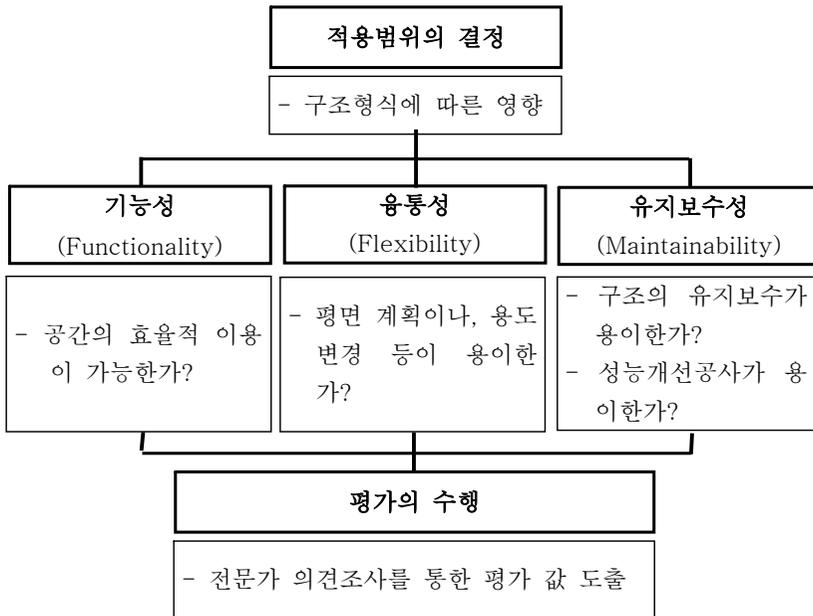
조사 시트를 통한 전문가의 판단에 의해 점수가 부여된다. 평가기준은 유사규모 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준으로 성능이 동일할 경우를 기준값 5로 산정하였고, 이를 기준으로 성능이 점수가 높은 측면은 성능이 양호한 것으로 점수가 낮게 나타나면 성능이 불리한 것으로 산정하여 평가하였다.

평가 기준은 (그림 3.7)과 같다.



(그림 3.7) 건축적 요소 점수 기준 척도

건축적 요소 평가모델은 (그림 3.8)과 같다.



(그림 3.8) 건축적 요소 평가모델

## 제 4 장 환경부하 원단위 산정 및 통합 평가 가중치 설정

4장에서는 3장에서 제시된 친환경성능 평가모델 중 환경부하 요소의 정량적 평가에 필요한 전생애 환경부하의 산정 기준을 제안하고, 현장조사와 자료 분석을 통하여 자재생산 단계, 시공단계, 폐기단계의 환경부하 원단위를 산정하였다. 또한 정량적 평가(자원부하 요소 및 환경부하 요소)와 정성적 평가(건축적 요소)의 평가 결과를 바탕으로 정량화된 통합 결과를 도출하기위하여 전문가 의견조사를 수행하고, 조사 결과를 분석하여 각 평가 항목 간 평가 가중치를 설정하였다.

### 4.1 전생애 환경부하의 산정

전생애 환경부하는 구조재료로 사용된 건축자재에 의한 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출로 평가의 대상을 한정하였으며, 산정 기준을 설정하고, 현장조사와 자료 분석을 통해 각 단계의 환경부하 원단위를 산정하였다.

#### 4.1.1 환경부하 산정 기준

건축물 LCA(Life Cycle Assessment)는 지구기후 변화협약 및 ISO등 국제기구에서 요구되는 지구환경부하의 저감 평가수단으로서의 의미를 지닌다. 모든 제품, 서비스를 대상으로 한 LCA가 1997년 6월 ISO 14040(LCA의 원칙과 개요)라는 국제규격으로 제시됨에 따라, 건축분야에서도 시급히 LCA의 적용에 대한 검토가 필요하게 되었다. 이 LCA의 주요 요소를 구성하고 있는 것이 지구 온난화에 대한 영향이며 이는 주로 CO<sub>2</sub> 를 중심으로 평가하게 된다.

본 연구에서 적용하는 CO<sub>2</sub> 배출량은 에너지 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출로만 자료의 범위를 한정하였으며, 건축 산업 각 구성단계별로 조사된 에너지 사용 원과 양에 따라서 IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)에서 규정한 탄소의 배출계수를 적용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다. 에너지원별 CO<sub>2</sub> 배출량 계산은 IPCC의 방법론을 이용하여 산출된다.

산출된 에너지원별 발열량 및 CO<sub>2</sub> 배출량은 <표 4.1>과 같다.<sup>1)</sup>

<표 4.1> 에너지원별 발열량 및 CO<sub>2</sub> 배출량

종류	단위발열량		IPCC 탄소배출계수	단위 CO <sub>2</sub> 배출량	
등 유	8,700	kcal/ℓ	19.6 kg-C/GJ	2.592	kg-CO <sub>2</sub> /ℓ
경 유	9,200	kcal/ℓ	20.2 kg-C/GJ	2.824	kg-CO <sub>2</sub> /ℓ
B-C 유	9,900	kcal/ℓ	21.1 kg-C/GJ	3.175	kg-CO <sub>2</sub> /ℓ
제트A-1	8,700	kcal/ℓ	18.9 kg-C/GJ	2.499	kg-CO <sub>2</sub> /ℓ
도시-1	7,000	kcal/m <sup>3</sup>	15.3 kg-C/GJ	1.636	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
무연탄	4,500	kcal/kg	26.8 kg-C/GJ	1.814	kg-CO <sub>2</sub> /kg
유연탄	6,600	kcal/kg	26.8 kg-C/GJ	1.814	kg-CO <sub>2</sub> /kg
코크스	6,500	kcal/kg	29.5 kg-C/GJ	2.885	kg-CO <sub>2</sub> /kg

※ 자료 출처 : IPCC(1993)

계산식 : 발열량(Kcal/ℓ,m<sup>3</sup>,kwh,kg) × 4.1868KJ/Kcal(단위환산)

× 탄소배출계수(Kg-C/GJ) × CO<sub>2</sub> 와 탄소간의 질량비(44/12)

× 연소율(석탄: 0.98, 석유류: 0.99) (1kcal = 4,186.8J)

단, 전기의 탄소배출계수는 각 국의 전력산출의 방식(풍력, 수력, 화력, 원자력)이 현저한 차이를 보이고 있어 아직 표준탄소배출계수가 정립되어 있지 않기 때문에 한국의 전력생산방식에 따른 탄소의 배출계수를 한국전력공사의 98년 전력생산자료와 IPCC의 자료를 근거로 산정하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 얻었다. 한국의 전기생산 현황은 <표 4.2>와 같으며, 이를 바탕으로 탄소 배출량을 산정한 결과는 <표 4.3>와 같다.<sup>2)</sup>

<표 4.2> 한국의 전기생산 현황

	발전량		연료사용량		단위 발열량		발열량	
수력	5403	10 <sup>6</sup> kwh						
무연탄	4112	10 <sup>6</sup> kwh	2,304,699	ton	4,625	kcal/kg	10,695,232,875,000	kcal
유연탄	63078	10 <sup>6</sup> kwh	22,707,042	ton	6,127	kcal/kg	139,126,046,334,000	kcal
중유	36620	10 <sup>6</sup> kwh	8,309,444	kℓ	9,834	kcal/kg	81,715,072,296,000	kcal
경유	6323	10 <sup>6</sup> kwh	1,517,032	kℓ	9,121	kcal/L	13,836,848,872,000	kcal
가스	31823	10 <sup>6</sup> kwh	5,376,576	kℓ	13,047	kcal/L	70,148,187,072,000	kcal
원자력	77086	10 <sup>6</sup> kwh						
소계	224445	10 <sup>6</sup> kwh					315,485,387,449,000	kcal

1) 이승언 외 20인, op. cit., p.156

2) 조균형 외 33인, op. cit., pp.57-58

<표 4.3> 전기의 탄소배출량

	탄소 배출량	단위	연소율	탄소 배출 계수	단위	발열량	단 위
무연탄	1,172,111.8	t-c	0.980	26.80	kg-c/G	44,628,076,201,050,000	J
유연탄	15,298,594.3	t-c	0.980	26.80	kg-c/G	582,496,930,791,191,000	J
중유	7,146,642.1	t-c	0.990	21.10	kg-c/G	342,124,664,688,893,000	J
경유	1,158,526.5	t-c	0.990	20.20	kg-c/G	57,932,118,857,289,600	J
가스	4,471,087.6	t-c	0.995	15.30	kg-c/G	293,696,429,633,050,000	J
탄소소계	29,246,962.4	t-c					
CO <sub>2</sub> 소계	107,238,862.0	t-CO <sub>2</sub>					

따라서, 산출된 한국의 전력 소비 시 CO<sub>2</sub> 배출 원단위는 다음과 같다. 에너지 소비의 경우 2500kcal/kwh이며, CO<sub>2</sub> 배출원단위는 1,072,388,619.8 t-CO<sub>2</sub> ÷ 224,445×10<sup>6</sup>kwh = 0.4778 kg-CO<sub>2</sub> /kwh 로 산정되었다.

#### 4.1.2 환경부하 원단위 산정 방법

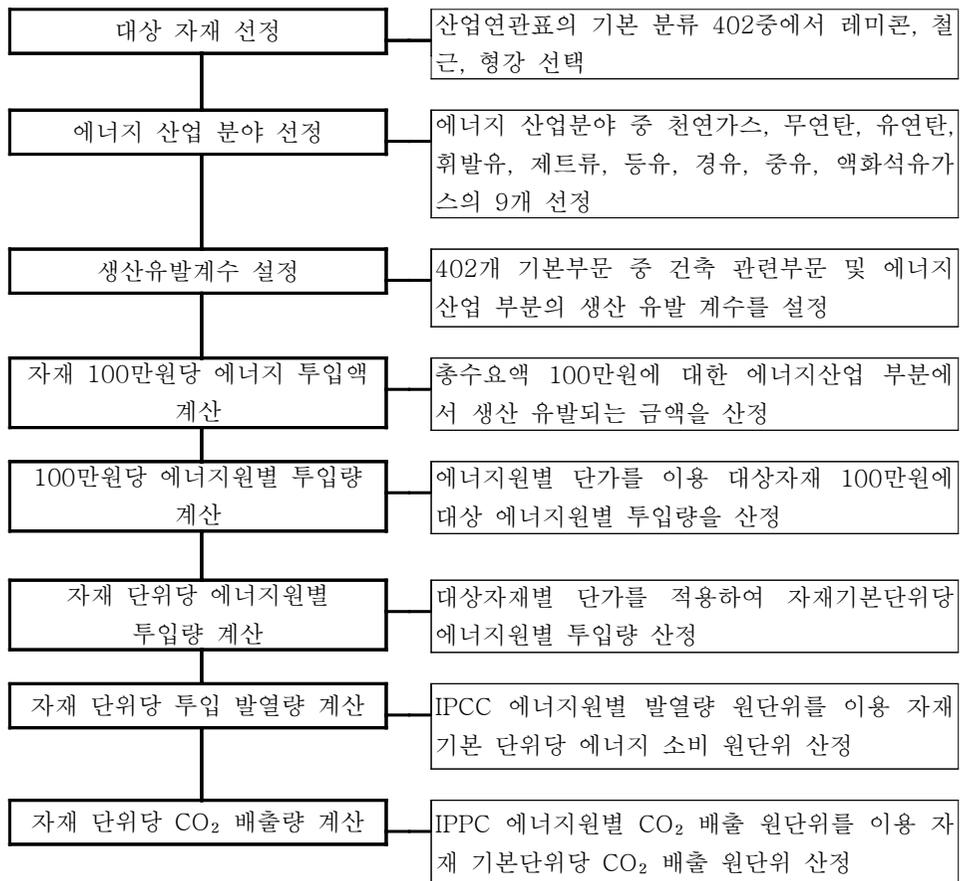
환경부하 원단위를 산정하는데 있어 본 연구에서는 원단위 산정 방법 중 산업연관방식과 개별적산방식을 혼합하여 사용하는 조합방식을 선택하였으며, 각 단계에 대한 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 구성하였다. 원단위 산정을 위한 각 단계의 자재별 에너지원별 사용 원단위는 현장조사와 선행연구 데이터 분석을 통하여 도출하였다. 본 연구에서는 생산단계에 대해서는 산업연관방식을 사용하고, 시공단계와 폐기단계에 대해서는 개별적산방식을 사용하는 조합방식을 사용하였으며, <표 4.4>는 본 연구에 사용된 산업연관방식과 개별적산방식의 조합방식에 대한 개념을 정리한 것이다.

<표 4.4> 산업연관방식과 개별적산방식의 조합방식 개요

구분	산업연관방식	개별적산방식	조합방식
생애단계	생산단계 - -	- 시공단계 폐기단계	생산단계(산업연관방식) 시공단계(개별적산방식) 폐기단계(개별적산방식)
자재종류	기본분류 (402)중 레미콘, 철근, 형강 3자재 선택	레미콘, 철근	레미콘, 철근, 형강

산업연관방식은 대상자재를 선택하고, 고려할 에너지산업 분야를 선정하여 자재 생산에 필요한 생산유발계수를 설정한다. 산업연관표는 단가를 기준으로 구성되어 있으므로 총 수요액 100만원에 대한 에너지 산업부분의 유발 금액을 산정한다. 단가 기준을 이용하여 대상 자재의 생산에 필요한 에너지원별 투입량을 산정한다. 이 에너지원별 투입량에 IPCC의 에너지원별 발열량과, 탄소배출계수를 적용하여 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정하였다.

본 연구에서 사용한 자료는 1995년 산업연관표를 바탕으로 산정된 환경부하 원단위이다.<sup>3)</sup> 다음 (그림 4.1)은 산업연관분석방식의 건축자재의 원단위 산정 프로세스를 나타내고 있다.

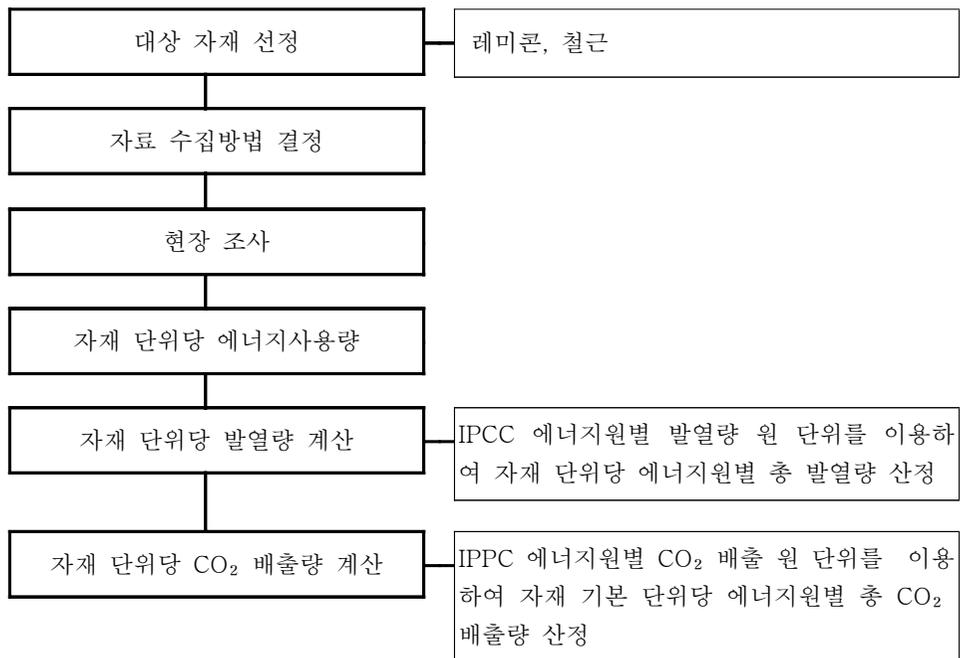


(그림 4.1) 산업연관방식에 의한 원단위 산정 과정

3) 이승언 외 20인, op. cit., pp.170-196

개별적산방식은 대상자재에 대하여 생산 단계에 대하여는 대표 업체를 선정하여 생산 공정도를 작성하거나 시공이나 폐기 단계에 대해서는 현장조사를 통하여 에너지 소비량 조사를 통하여 원단위를 산정하게 된다.

본 연구에서는 시공단계와 폐기단계에 대하여 현장측정을 통해 산정된 자료를 적용하였다. 다음 (그림 4.2) 개별적산방식에 의한 건축자재 LCA 산정 과정 이다.



(그림 4.2) 개별적산방식에 의한 원단위 산정 과정

#### 4.1.3 생산단계 원단위 산정

산업연관방식에 의한 원단위 산정은 이관호(2002)<sup>4)</sup>, 이현호 외(2002)<sup>5)</sup>에서도 사용되었다. 그러나 에너지산업 분야의 선정에 따라 값의 차이를 갖고 있다. 본 연

4) 이관호, op. cit.

5) 이현호 외 3인, op. cit.

구에서는 한국건설기술연구원에서 LCA 원단위 데이터베이스 구축을 위해 산정된 원단위를 사용하는 것으로 하였다.<sup>6)</sup> 산업연관방식에 의한 원단위 계산방법을 적용하여 산정된 대상 자재별 에너지 소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위는 <표 4.5>와 같다.

<표 4.5> 산업연관방식에 의한 에너지소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위

기본 부분	명 칭	단 위	에너지소비 원 단위 (kcal/단위)	CO <sub>2</sub> 배출 원 단위 (kg-CO <sub>2</sub> /단위)	단가 (원)	비고(적용)
188	레미콘	kg	152.2	0.0940	17	레미콘
199	철근 및 봉강	kg	6,310.4	2.4184	280	이형철근
200	형강	kg	6,719.7	2.5545	347	보통강형강

※ 레미콘 1m<sup>3</sup>=2,300kg

산업연관방식은 원칙적으로 제품의 전과정에 대한 모든 에너지 사용을 포함하는 것을 기본으로 하고 있으므로, 엄밀히 밝혀 생산단계만의 에너지 소비 및 CO<sub>2</sub> 배출량 이라고 할 수는 없다. 그러나 그 분류의 기준이 현재는 정립되어 있지 않다. 따라서 산업연관방식 원단위 데이터의 특성을 파악하기 위해 조균형(2001)의 연구<sup>7)</sup>를 통해 산정된 개별적산방식의 자재 생산단계 LCA 원단위와 비교하여 보았다.

#### 1) 개별적산방식 원단위

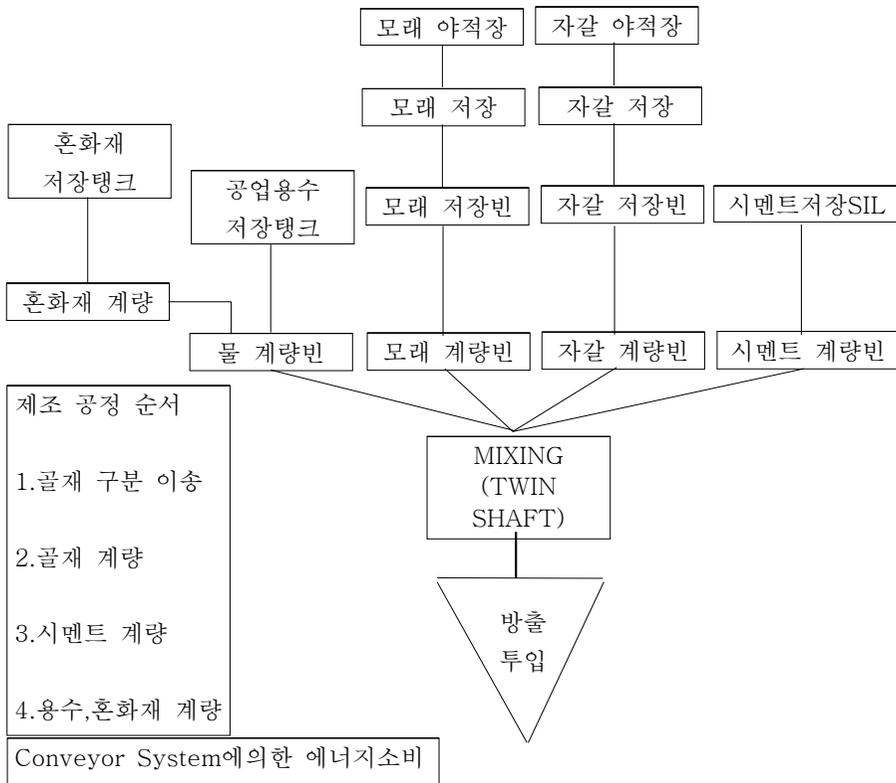
개별적산방식에 의해 생산단계 에너지 사용을 조사하기 위해서는 대상자재에 대하여 각 자재의 표준(대표) 제조업체를 선정하게 된다. 이를 대상으로 각 자재 생산별 생산 공정도 분석을 통한 에너지 소비량을 구하여 생산단계의 환경부하 원단위를 산정하게 된다.

6) 이승연 외 20인, op. cit.

7) 조균형 외 33인, op. cit., pp.59-62

(1) 레미콘

레미콘의 자재생산 원단위 산정을 위한 공정도는 자재의 반입 이후를 고려하는 것으로 시스템의 경계가 설정되어 있다. 그러나 가공 원자재인 시멘트의 생산단계에서의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출에 대한 고려도 원단위 산정에 포함되어야 하며, 개별적산방식은 이러한 작업이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 개별적산방식은 각 제품에 대해 공정을 분석하여 산정되므로, 이 두 데이터를 이용하여 레미콘의 생산단계 에너지 소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정할 수 있다. 1ton의 레미콘의 생산에는 139.347kg의 시멘트가 소모된다.<sup>8)</sup> (그림 4.3)은 레미콘의 생산 공정도이다.

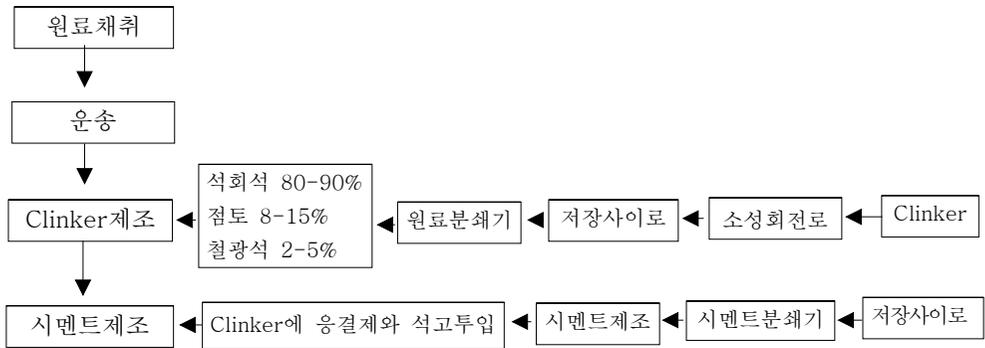


(그림 4.3) 레미콘 생산 공정도

※ 경기도 남양주에 위치한 D사 레미콘 생산방식

<sup>8)</sup> Ibid. p.60

(그림 4.4)는 레미콘의 원자재가 되는 시멘트의 생산공정도 이다.



(그림 4.4) 시멘트 생산 공정도

※ 강원도 영월에 위치한 S시멘트의 생산 방식

개별적산방식에 의해 산정된 원자재 생산과정을 고려한 레미콘의 생산단계 에너지 사용 원단위는 <표 4.6>와 같다.

<표 4.6> 레미콘의 개별적산방식 생산단계 에너지 소비 원단위

종류	단위	원자재 생산과정	레미콘 생산과정	에너지 원단위
전기	kWh	15.501	0.003	15.504
경유	ℓ	-	5.062	5.062
등유	ℓ	-	0.004	0.004
B-C 유	ℓ	0.068	-	0.068
유연탄	kg	4.129	-	4.129

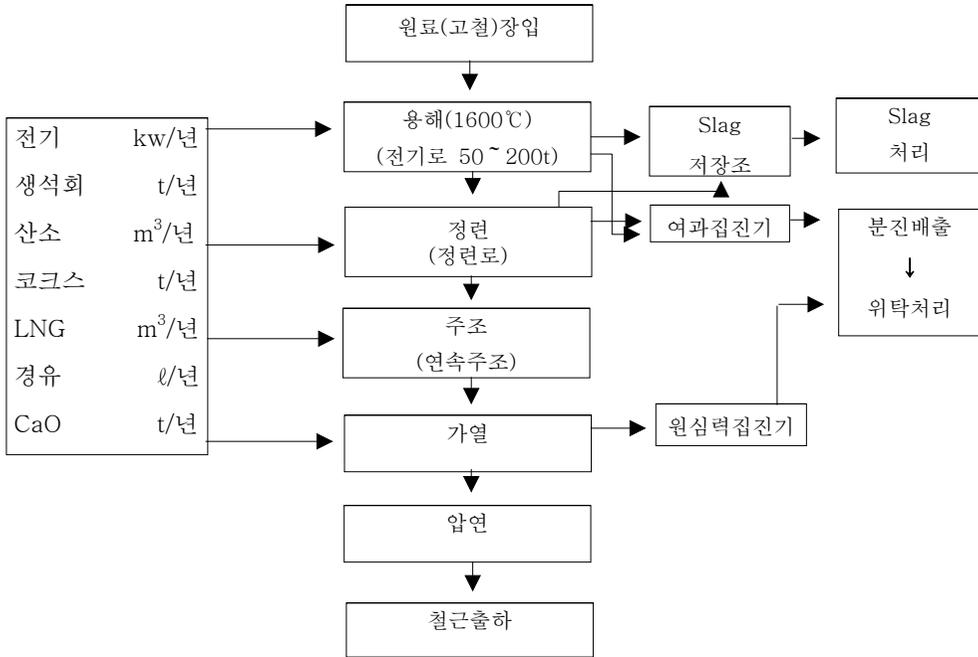
※ 98년 생산 자료 (레미콘 1ton)

## (2) 철근

철근의 생산 공정은 (그림 4.5)와 같으며, 국내에서 생산되는 철근과 형강은 100%가 고철을 이용 전기로를 통해 생산되고 있다.<sup>9)</sup> 이는 과거 국가 정책의 영향으로 현재는 철광석을 원자재로 고로를 통해 철근과 형강 자재를 생산하는 데에 정

<sup>9)</sup> I제철 먼담결과

책적 규제는 없다<sup>10)</sup>. 그러나 아직은 수입자재를 제외한 국내 생산 부분에 대해서는 후판을 제외한 철근과 형강은 모두 재활용을 통해 생산된다고 가정할 수 있다.



(그림 4.5) 철근 생산 공정도

<표 4.7>은 개별적산방식에 의한 철근의 생산단계 에너지 소비 원단위 이다.

<표 4.7> 철근의 개별적산방식 생산단계 에너지소비 원단위

종류	단위	에너지 원단위
전력량	kwh	3293.187
LNG	ℓ	2.094
경유	ℓ	0.000
코크스	kg	5.060

※ 자료 : I제철(주) 인천공장 1997년 8월 (18회) (철근 1ton)

10) P제철 면담결과

## 2) 원단위 비교

개별적산방식의 자재별 에너지원 사용 원단위를 이용하여 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정하였다. <표 4.8>은 산업연관방식과 개별적산방식 원단위를 비교한 결과이다.

<표 4.8> 생산단계 산업연관방식과 개별적산방식 원단위 비교

	단위	산업연관방식 원단위		개별적산방식 원단위	
		에너지소비 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)	에너지소비 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)
레미콘	kg	152.2	0.0940	182.5	0.059
철근	kg	6,310.4	2.4184	8,280.5	1.592
형강	kg	6,719.7	2.5545		

에너지 소비는 개별적산방식의 원단위가 20-30% 정도 큰 값을 갖는 것으로 나타났으나 CO<sub>2</sub> 배출은 20-30% 정도 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이 원인은 산업연관방식은 사용에너지원이 모두 고려된 것이 아니라 산업연관표 상에서 선정을 통해 산정되며, 큰 차이로 산업연관방식의 경우 전력의 영향이 고려되지 않으나 개별적산방식 원단위의 경우 국내 전력의 탄소배출계수가 적용된 결과이다. 그러나 비교 결과를 보면, 유사한 비율을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

산업연관방식에 의한 원단위의 장점은 현재 개별적산방식의 데이터가 부재한 형강에 대한 환경부하 산정이 가능하다는 것이다. 개별적산방식 원단위와 비교한 결과 산업연관방식 원단위와 개별적산방식 원단위는 일정 비율로 산정이 가능하며, 산업연관방식에 의한 에너지소비와 CO<sub>2</sub> 배출이 대부분 생산단계에서 발생한다는 가정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 산업연관방식으로 산출된 원 단위는 생산 단계의 환경부하를 나타내는 것으로 가정하여 생산단계 원단위로 선정하였다.

#### 4.1.4 시공단계 원단위 산정

시공단계 에너지 사용 원단위는 현재 개별적산방식의 데이터가 마련되어 있는 철근콘크리트조의 자료에 근거하여 산정하였다. 개별적산방식에 의한 에너지 사용 원단위는 다수의 현장실측을 통한 보편적으로 모든 현장에 적용 가능한 임의의 현장조건을 산출하여 이를 바탕으로 에너지소비를 산정하게 된다.

본 연구에서는 B사의 순천 생목 현장 APT를 대상으로 개별적산방식으로 조사된 에너지 사용량<sup>11)</sup>을 기준으로 자재량에 대한 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산출하였다.

개별 적산방법에 사용된 시스템 경계는 운송에 대한 에너지의 산정에 있어서는 운송거리에 있어 각 자재 생산업체의 연간 생산량을 기준으로 복수의 업체를 선정하여, 서울 임의의 한 지점으로 운송되는 것으로 가정하였다. 운송 수단은 11톤급 트럭을 기준으로 하였다. 고려된 소요기계는 철근의 경우 지게차, 타워크레인, 절곡기, 절단기 이며, 레미콘은 펌프카와 바이브레이터이다.

현재는 철골조 아파트뿐만 아니라 철골조 건축물 전반에 대해 에너지소비 관점의 연구가 부재하며, 따라서 데이터가 존재하지 않으므로, 본 연구에서는 형강의 사용에 대해 에너지소비를 철근에 준하여 평가하였다. <표 4.9>는 시공단계 에너지소비 원단위 결과이다.

<표 4.9> 시공단계 자재별 에너지소비 원단위

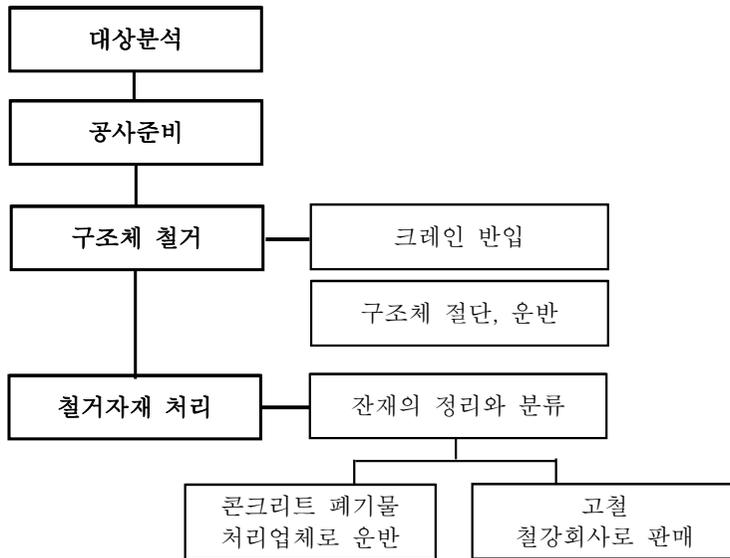
자재명	에너지소비량 (1000kg)	
	kw	경유(ℓ)
레미콘	0.431	1.117
철근	6.213	26.412
형강	6.213	26.412

11) 최두성, “환경비용을 고려한 국내 건설산업에서의 생애 총 에너지비용 산정에 관한 연구 - LCA 평가기법을 이용한 -”, 수원대학교 대학원 석사학위논문, 2001, pp.78-83

#### 4.1.5 폐기단계 원단위 산정

철골조 건축물의 신축은 증가하고 있으나 철근 콘크리트조의 건축물과 비교하여, 철골조 건축물은 일정 규모 이상의 경우 해체 사례가 없으며, 해체가 이루어지는 철골 구조물들은 주로 공장이나 주차장, 공사현장 가설시설 같은 소규모 구조물이 대부분을 차지하고 있다. 이들 공사를 수행하는 주체도 해체 전문건설업체 보다는 소규모의 철구조물 공사 업체가 해체까지를 담당하고 있다.<sup>12)</sup>

철골조의 해체를 담당하는 업체의 영세함과 작업이 소규모로 이루어지는 현실 여건으로 인해 철골조의 해체 단계에서의 적용 공법의 선정이나, 공사비용의 산정 혹은 환경적 영향에 대한 연구는 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 전문가 면담을 통해 초고층 철골조 아파트에 대한 해체 과정을 산정하였고, 이를 바탕으로 에너지 소비 원단위를 가정하였다. (그림 4.6)<sup>13)</sup>는 현재 이루어지고 있는 소규모 해체 과정이다.



(그림 4.6) 소규모 철골조 구조물의 해체 과정

그러나 조사된 사례에 나타난 소규모 철골조 건축물의 해체 방법은 건축물의 규모가 클 경우 그대로 적용하는 것은 어렵다고 할 수 있다. 따라서 해체공사 전문가

<sup>12)</sup> S건설 전문가 면담결과

<sup>13)</sup> M 철골 구조물 해체업체 면담 자료

와의 면담을 통해 고층 철골조 건축물에 대한 해체 과정을 구성하여 보았다. 고층 철골조 건축물의 경우 철근 콘크리트조의 경우와 유사하며, 크레인으로 해체장비를 양중하여 구조체의 상부에서부터 철거하는 방법을 사용한다.

일반적인 건축물의 경우 지상구조물을 파쇄장비로 해체하는 경우의 해체방법은 특수한 경우를 제외하고 다음과 같이 구분하여 적용한다.

- ① 지상높이 10m 이하인 건물 : 지상자립식 해체(대형 브레이커 또는 압쇄기)
- ② 지상높이 11~18m에 해당하는 건물 : 구조물 외부에 일정 높이로 성토 후 성토체 위에서 파쇄장비(대형 브레이커 또는 압쇄기)로 해체
- ③ 지상높이 19m 이상인 건물 : 건물옥상에 탑재가 가능한 적정 등급의 파쇄장비(대형 브레이커 또는 압쇄기)를 크레인으로 탑재시켜 옥상부터 파쇄하면서 한 층씩 해체

지하 구조물(기초제외) 해체시는 장비의 조합은(유압식백호 + 대형 브레이커 + 압쇄기)로 해체하는 것을 원칙으로 한다. 지하구간 해체 후 기초 구조물의 해체시의 해체장비는 (유압식 백호우 + 대형 브레이커 + 압쇄기)의 조합으로 시공하는 것으로 한다.<sup>14)</sup>

압쇄식 해체공법의 특성은 <표 4.10>에 제시되어 있다.

<표 4.10> 압쇄식 해체공법의 특성

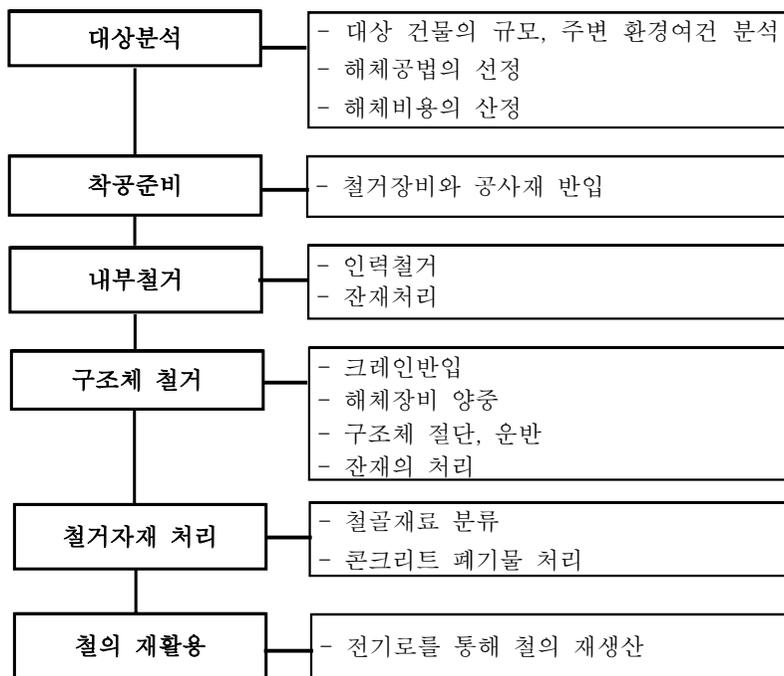
공법	압쇄식(Crash)
해체원리	유압에 의한 압쇄작용
사용기계	굴삭기, 압쇄기, 2차 파쇄기, 철근절단기
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 능률이 좋다</li> <li>· 기동성이 좋고, 콘크리트 해체에 적합</li> <li>· 철근 절단가능</li> <li>· 인건비 감소</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 분진이 약간 배출</li> <li>· 다량의 물이 필요함</li> </ul>

※ S건설 내부자료

14) 김효진 외 4인, “해체공사의 설계 및 견적기준 정립연구”, 대한주택공사 부설주택연구소, 2000, pp. 99~107

철근콘크리트조의 해체 공사 사례와 전문가 면담을 통해 (그림 4.7)과 같은 철골조의 해체 과정을 구성하였다. 고층일 경우 절단에 있어 현재 사용되고 있는 산소 절단 방법은 적합하지 않으며, 철근콘크리트조의 경우와 같이 압쇄기 등을 이용한 절단이 이루어지게 된다. 해체과정도 철근콘크리트조의 경우와 거의 유사하며, 사용되는 장비의 종류에 있어서만 세부적인 차이를 가진다.

이런 사항들을 고려하여 구성한 고층 철골조 건물의 재활용 단계까지를 고려한 해체 과정은 (그림 4.7)<sup>15)</sup>과 같다.



(그림 4.7) 고층 철골조 건축물의 해체 과정

이미 이주현(2000)<sup>16)</sup>의 연구와 이홍석(2001)<sup>17)</sup>의 연구에서 철근콘크리트조의 해체과정에서의 에너지 배출에 관한 연구가 수행된 바 있다. 그렇지만 두 연구 모

15) S건설 전문가 면담자료

16) 이주현, op. cit.

17) 이홍석, “건축물의 폐기단계에서 에너지소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량에 관한 기초 연구”, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.

두 현장에서 실측한 결과를 사례로 제시하고 있으며, 현장에서 조사된 값과 문헌조사를 통한 이론값 사이에 차이가 존재함을 언급하였다. 전문가 면담결과에서도 해체공사의 공사비용이나 장비의 에너지 사용은 주변여건과 공사기간에 가장 큰 영향을 받고, 공사의 현장 여건에 따라 각각 다르게 적용된다고 하였다.

따라서 유사 규모의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트를 비교하고자 할 때, 유사한 규모의 고층 건물의 해체공사과정에서 소요되는 비용과 에너지 소비는 유사할 것으로 가정할 수 있다. 폐기단계 에너지 사용의 기준은 폐기물의 중간처리가 70% 일어나는 경우<sup>18)</sup>를 기준으로 하여 원단위를 산정하였다.

산정한 환경부하 원단위는 <표 4.11>과 같다

<표 4.11> 폐기단계 자재별 에너지 소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위

	에너지 원	에너지원 사용량 (단위/kg)	에너지사용량 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출량 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)
레미콘(1kg)	경유(ℓ)	0.0037	34.04	0.0104
	전기(kwh)	0.0021	5.25	0.0010
철근(1kg)	경유(ℓ)	0.0026	23.92	0.0073
	전기(kwh)	0.0003	0.75	0.0001
형강(1kg)	경유(ℓ)	0.0026	23.92	0.0073
	전기(kwh)	0.0003	0.75	0.0001

#### 4.1.6 전생애 환경부하 원단위 산정 결과

환경부하 요소 평가모델을 위한 원단위 산정을 위해 현장 조사와 자료분석을 통해 각 단계의 평가 조건을 가정하고, 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 환경부하 원단위를 산정하였다. 산출된, 레미콘, 철근, 형강의 각 단계별 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위는 <표 4.12>과 같다.

<sup>18)</sup> 이관호, op. cit., pp.83-87

<표 4.12> 전생애 에너지소비 및 CO<sub>2</sub> 배출 원단위

대상 자재	생산단계 원단위		시공단계 원단위		폐기단계 원단위	
	에너지소비 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)	에너지소비 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)	에너지소비 (kcal/kg)	CO <sub>2</sub> 배출 (kg-CO <sub>2</sub> /kg)
레미콘	152.17	0.0940	11.35	0.0034	39.29	0.0114
철근	6,310.40	2.4184	258.52	0.0776	24.67	0.0074
형강	6,719.70	2.5545	258.52	0.0776	24.67	0.0074

사용단계를 제외한 원단위 산정 결과 레미콘, 철근, 형강의 3개 자재 모두 생산 단계에서 대부분의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출이 일어나는 것을 알 수 있다.

## 4.2 통합 평가 가중치 설정

각각의 자원부하 요소와 환경부하 요소, 건축적 요소의 평가의 결과를 가지고 통합적 친환경성능 평가를 위해 하위 항목간의 가중치의 설정과 주 평가항목 간의 가중치의 설정이 요구된다.

IEA LCA-MCDM의 경우 Main Criteria와 Sub Criteria의 결정 후, 각 Criteria 사이에 가중치를 부여하게 된다. 이때 프로그램의 Default 값은 각 항목사이에 동일한 가중치를 부여하고 있으며 이에 대해 대안으로 건축물의 평가자는 Default 값이 아닌 평가 집단 내의 전문가들의 의견을 모아 AHP(Analytical hierarchy process) 방법을 통하여 가중치를 설정한다. 그러나 이 방법은 복잡한 수학적행렬을 기본으로 하고 있으며, 프로그램 내부에서 계산이 이루어진다.

국내에서도 정성적인 항목내의 가중치는 물론 주 항목 사이의 상대적 가중치를 결정함에 있어 현재 절대적인 기준이나 방침은 마련되어 있지 않다. 뿐만 아니라 항목 간 중요도의 문제는 국가적 차이나 사회적 영향에 따라 큰 차이를 갖게 된다.

따라서 본 연구에서는 항목 간 평가 가중치의 설정에 있어 학계 전문가와 설계, 시공 분야의 전문가 60인을 대상으로 조사지(부록 참조)를 통하여 전문가 의견 조사를 수행하였다. 조사 결과를 분석하여 투표결과에 대하여 평균값을 산정, 항목간

가중치를 설정하였다.

주 항목 간의 평가 가중치 설정과 환경부하 요소의 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 항목사이의 가중치 설정에 있어서는 환경부하에 대한 지식을 지닌 학계 전문가 10인의 의견 조사를 통하여 가중치 기준을 설정하였으며, 건축적 요소의 평가 가중치 설정은 학계전문가, 건축 시공, 건축 계획 전문가 60인을 대상으로 조사를 수행하여 가중치를 설정하였다.

#### 4.2.1 하위 항목 간 평가 가중치

##### 1) 환경부하 요소의 가중치

환경부하 요소의 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량의 하위 항목에 대한 가중치 설정은 학계 전문가의 의견조사를 통해 산출되었다. 50:50의 중요도를 갖는다는 의견이 대부분을 차지하였고, 전생애 에너지 소비량에 대하여 중요도를 응답한 결과도 있었다.

조사 결과를 분석하여 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량의 항목 간 가중치의 산출 결과는 <표 4.13>과 같다.

<표 4.13> 환경부하 요소 하위항목 간 평가 가중치

주 항목	하위 항목	가중치
환경부하 요소	전생애 에너지소비량	0.54
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	0.46
합 계	-	1.0

##### 2) 건축적 요소의 가중치

건축적 요소의 기능성, 융통성, 유지보수성의 하위 항목에 대한 가중치의 설정은 학계 전문가와 건축 설계, 시공 전문가의 의견조사를 통해 산출되었다. 융통성의 중요도가 가장 높게 응답되었으며, 응답을 분석한 결과 기능성(Functionality), 융통성(Flexibility), 유지보수성(Maintainability) 항목간의 가중치의 설정 결과는 <표 4.14>와 같다.

<표 4.14> 건축적 요소 하위항목 간 평가 가중치

주 항목	하위 항목	가중치
건축적 요소	기능성(Functionality)	0.33
	융통성(Flexibility)	0.40
	유지보수성(Maintainability)	0.27
합 계	-	1.0

#### 4.2.2 주 항목 간 평가 가중치

자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소의 3개 주 항목에 대한 가중치의 설정은 환경부하에 대한 전문적인 지식을 필요로 하므로 학계 전문가의 의견조사를 통하여 산출되었다. 자원부하 요소의 중요성이 가장 낮게 응답되었으며, 자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소의 항목 간 가중치는 설정 결과는 <표 4.15>과 같다.

<표 4.15> 주 평가 항목 간 평가 가중치

주 항목	가중치
자원부하 요소	0.22
환경부하 요소	0.37
건축적 요소	0.41
합 계	1.0

#### 4.2.3 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 가중치

산출된 하위 항목 간 평가 가중치와 주 평가 항목 간 평가 가중치를 바탕으로 철골조 아파트의 정량적 평가 결과와 정성적 평가 결과를 통합을 위한 평가 가중치를 구성하였다. 평가 방법의 개요는 다음과 같다.

- ① 각 하위 항목에서 획득된 점수를 바탕으로 하위항목 간 가중치 적용 합계 산출한다.
- ② ①의 과정을 통해 산출된 합계에 주 평가 항목 간 가중치를 적용하여 총점 산출한다.

철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 가중치 산출 결과는 <표 4.16>과 같다.

<표 4.16> 철골조 건축물의 통합 친환경성능 평가 가중치

주 항목	하위항목	하위항목 점수	하위항목 가중치	주 항목 점수	주 항목 가중치
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량		1.0		0.22
	합 계				
환경부하 요소	전생애 에너지소비량		0.54		0.37
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량		0.46		
	합 계				
건축적 요소	기능성(Functionality)		0.33		0.41
	융통성(Flexibility)		0.40		
	유지보수성(Maintainability)		0.27		
	합 계				
총 계					

## 제 5 장 사례연구를 통한 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가

3장에서 제시된 철골조 아파트의 요소별 친환경성능 평가모델을 바탕으로 4장에서 환경부하 요소 평가를 위한 전생애 환경부하 원단위를 산정하고, 평가결과의 통합을 위한 평가 가중치를 설정하여, 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가방법을 제안하였다. 이 통합 친환경성능 평가모델을 사례대상인 초고층 철골조 아파트에 적용하여, 초고층 철골조 아파트의 친환경성능을 평가하였다.

평가의 순서는 다음과 같다.

- ① 자원부하 요소 평가
- ② 환경부하 요소 평가

4장에서 도출된 전생애 환경부하 원단위를 이용하여 평가가 수행된다.

- ③ 건축적 요소 평가

건축 전문가를 대상으로 조사지를 통하여 점수로 평가를 받고, 응답결과를 분석하여 평가한다.

- ④ 평가결과에 가중치 적용, 통합 친환경성능 평가

정량적 평가인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가인 건축적 요소의 평가 결과는 4장에서 학계, 건축시공, 건축계획 전문가 의견조사 분석을 통해 도출된 항목 간 가중치 값을 적용하여 통합, 정량화하여 표현한다.

### 5.1 사례연구 개요 및 방법

사례는 30층 이상의 철골조 아파트를 초고층 아파트라고 정의하였으며, 평가 기준으로는 일반적으로 사용되는 철근콘크리트조이며 유사규모를 갖는 아파트를 선정하였다. 또한, 정량적 평가인 자원부하 요소와 환경부하 요소의 규모에 따른 특성을 비교하기 위하여 20층 이상 30층 미만 규모의 철골조 아파트를 고층 아파트로 분류하여 평가에 포함시켰다.

### 5.1.1 사례 대상 개요

총 6개의 사례대상 아파트는, 철골조 아파트 3개 사례와 철근콘크리트조 아파트 3개 사례로 구성되어 있다. 각 사례는 20층 이상 30층 미만 규모의 고층 아파트 1개 사례와 초고층 아파트 2개 사례를 포함하고 있다.

#### 1) 초고층 아파트 사례 개요

초고층 (30층 이상) 철골조 아파트 사례는 도곡동의 T 아파트와 장안동의 S 아파트이며, 개요는 <표 5.1>과 같다.

<표 5.1> 초고층 철골조 아파트 사례 개요

명칭	도곡동 T 아파트(B동)	장안동 S 아파트
연면적	132,762 m <sup>2</sup>	75,865 m <sup>2</sup>
층수	지상 66층 지하 5층	지상 30층 지하 5층
구조	철골조(SRC)	철골조(SRC)
자재사용량	철골 : 9,232 ton 레미콘 : 40,492 m <sup>3</sup> 철근 : 5,547 ton	철골 : 8,900 ton 레미콘 : 29,000 m <sup>3</sup> 철근 : 4,900 ton

(그림 5.1)과 (그림 5.2)은 도곡동 T 아파트의 전경이며, (그림 5.3)은 T 아파트의 50평형 평면도이다.



(그림 5.1) T 아파트 전경



(그림 5.2) T 아파트 전경



(그림 5.3) T 아파트 50평형 평면도

초고층 철근콘크리트조 아파트 사례는 서초동 A 아파트와 삼성동 I 아파트로 개요는 <표 5.2>와 같다.

<표 5.2> 초고층 철근콘크리트조 아파트 사례 개요

명칭	서초동 A 아파트	삼성동 I 아파트
연면적	258,433 m <sup>2</sup>	146,483 m <sup>2</sup>
층수	지상 37층 지하 6층	지상 46층 지하 4층
구조	철근콘크리트조	철근콘크리트조
자재사용량	철근 : 23,203 ton 레미콘 : 181,053 m <sup>3</sup>	철근 : 12,663 ton 레미콘 : 96,763 m <sup>3</sup>

두 사례 모두 현재 건설 중이며, (그림 5.4)는 A 철근콘크리트조 초고층 아파트의 조감도이고, (그림 5.5)는 I 철근콘크리트조 초고층 아파트의 조감도이다.



(그림 5.4) A 아파트 조감도 (그림 5.5) I 아파트 조감도



(그림 5.6) A 아파트 59평형 평면도

## 2) 고층 아파트 사례 개요

정량적 항목의 규모에 따른 특성 비교를 위해 평가에 포함된 고층(20층 이상 30층 미만) 철골조, 철근콘크리트조 아파트의 개요는 <표 5.3>과 같다.

<표 5.3> 고층 철골조·철근콘크리트조 아파트 사례 개요

명칭	구정면 S 아파트	신도림동 D 아파트
연면적	8,712 m <sup>2</sup>	10,560 m <sup>2</sup>
층수	지상 20층 지하 2층	지상 26층 지하 2층
구조	철골조(SRC)	철근콘크리트조
자재사용량	철골 : 924.8 ton 레미콘 : 3,951 m <sup>3</sup> 철근 : 354.0 ton	철근 : 857.8 ton 레미콘 : 6,261 m <sup>3</sup>

### 5.1.2 사례 연구 방법

사례연구는 대상 아파트에 대하여 자원부하 요소의 평가, 환경부하 요소의 평가 및 건축적 요소의 평가로 이루어지며, 각 평가 값에 대하여 가중치를 부여 정량화된 통합 평가 결과를 도출하였다.

- ① 사례 대상의 단위면적당 자재별 사용량을 산출한다.
- ② 단위면적당 총 자재사용량을 산출하여, 자원부하 요소 하위 항목인 단위면적당 자재사용량을 평가한다.
- ③ 단위면적당 자재별 사용량을 기준으로 생산, 시공, 폐기 단계의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 적용하여 환경부하 요소의 하위 항목인 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가한다.
- ④ 전문가 의견 조사를 통해 건축적 요소의 하위 항목인 기능성, 융통성, 유지보수성에 대하여 평가를 수행한다.
- ⑤ 각 하위항목의 점수에 하위항목 간 가중치를 적용하여 자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소의 각 주 항목에 대한 점수를 산출한다.
- ⑥ 주 항목 간 가중치를 적용 통합적 친환경성능을 정량적으로 평가한다.

## 5.2 자원부하 요소 평가

### 5.2.1 초고층 아파트 사례 단위면적당 자재사용량 평가

초고층 아파트 사례의 자재사용량을 연면적에 대하여 나눠 단위면적당 자재별 사용량을 계산하였다. 단위면적당 자재별 사용량을 비교한 결과 초고층 철근콘크리트조 아파트의 경우 단위면적당 자재별 사용량이 유사한 형태로 나타났다. 그러나 초고층 철골조 아파트의 경우는 사례조사 과정에서도 서로 상이한 값을 가지는 것으로 나타났으며, 선정된 두 사례에서도 값의 차이를 볼 수 있다.

여러 가지 원인이 있을 수 있겠지만, 주요 원인중 하나는 초고층 철골조 아파트의 경우 역사가 오래되지 않았기 때문에 구조계산의 따른 설계에 적용되는 안전율이 시공 업체간 차이를 가지기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 또한 현재 적용되는 안전율은 상당히 크며 구조적 검증이 이루어지면 실제 자재사용량이 더욱 절감될

수 있다.1)

<표 5.4>는 초고층 철골조 아파트의 자재별 단위면적당 사용량이며, <표 5.5>는 초고층 철근콘크리트조 아파트의 자재별 단위면적당 사용량이다.

<표 5.4> 초고층 철골조 아파트 자재사용량

명칭	도곡동 T 아파트(B동)	장안동 S 아파트
연면적	132,762 m <sup>2</sup>	75,865 m <sup>2</sup>
단위면적당 자재사용량	철골 : 69.5kg/m <sup>2</sup> 레미콘 : 701.5kg/m <sup>2</sup> 철근 : 41.8kg/m <sup>2</sup>	철골 : 117.31kg/m <sup>2</sup> 레미콘 : 879.19kg/m <sup>2</sup> 철근 : 64.59kg/m <sup>2</sup>

<표 5.5> 초고층 철근콘크리트조 아파트 자재사용량

명칭	서초동 A 아파트	삼성동 I 아파트
연면적	258,433 m <sup>2</sup>	146,483 m <sup>2</sup>
단위면적당 자재사용량	철근 : 89.8kg/m <sup>2</sup> 레미콘 : 1611.3kg/m <sup>2</sup>	철근 : 86.4kg/m <sup>2</sup> 레미콘 : 1519.3kg/m <sup>2</sup>

이를 바탕으로 초고층 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 단위면적당 자재사용량을 비교하여 보았다. <표 5.6>은 자재사용량을 비교한 결과이다.

<표 5.6> 초고층 아파트 단위면적당 자재사용량

구분	사용자재	단위면적당 사용량	총 자재 사용량
철골조 아파트	형강	86.89 kg/m <sup>2</sup>	903.09 kg/m <sup>2</sup>
	레미콘	766.12 kg/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08 kg/m <sup>2</sup>	
철근콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05 kg/m <sup>2</sup>	1,666.63 kg/m <sup>2</sup>
	철근	88.58 kg/m <sup>2</sup>	

1) 전문가 면담결과

비교 결과 초고층의 경우는 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트 보다 763,54kg/m<sup>2</sup> 더 많은 자재를 사용하는 것으로 나타났으며, 철골조 아파트 자재량의 85% 정도를 더 사용하는 것이다. 각 자재별로 보면 레미콘 사용에서 811.93kg/m<sup>2</sup>을 더 사용하고, 철강 재료에 대해서는 48.39kg/m<sup>2</sup> 덜 사용하는 것으로 나타났다. 초고층 철근콘크리트조 아파트는 철골조와 비교하여 전체 자재 사용량에 있어 약 두 배의 자재를 사용하며, 동시에 레미콘의 사용 비율이 전체 자재 사용량 중 95%를 차지하고 있다.

평가모델의 평가기준을 적용하여, 단위면적당 자재사용량 평가 결과는 초고층 철골조 아파트의 경우 (1,666.63-903.09) ÷ 1,666.63 × 100 ≃ 46% 이므로 절감율을 점수로 산정할 때 초고층 철골조 아파트는 9.6점을 획득한 것으로 나타났다. 초고층 철근콘크리트조 아파트의 단위면적당 자재사용량과 동일한 성능을 가질 때를 기준점수 5로 평가한 결과로 최고점수인 10점에 가까운 성능을 보이는 것으로 나타났다.

### 5.2.2 고층 아파트 사례 단위면적당 자재사용량 평가

<표 5.7>은 고층 철골조 아파트와 고층 철근콘크리트조 아파트의 단위면적당 자재사용량을 비교한 결과이다. 철근콘크리트조 아파트의 경우 <표 5.5>의 초고층의 단위면적당 자재사용량과 비교할 때, 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다.

<표 5.7> 고층 아파트 단위면적당 자재사용량

구분	사용자재	단위면적당 사용량	총 자재 사용량
철골조 아파트	형강	106.15 kg/m <sup>2</sup>	1,189.85 kg/m <sup>2</sup>
	레미콘	1,043.07 kg/m <sup>2</sup>	
	철근	40.63 kg/m <sup>2</sup>	
철근콘크리트조 아파트	레미콘	1,363.66 kg/m <sup>2</sup>	1,444.89 kg/m <sup>2</sup>
	철근	81.23 kg/m <sup>2</sup>	

이를 바탕으로 고층 철골조 아파트와 고층 철근콘크리트조 아파트의 단위면적당 자재사용량을 비교하여 보았다. 비교 결과 고층의 경우는 철근콘크리트조 아파트

가 철골조 아파트 보다 255.04kg/m<sup>2</sup> 더 많은 자재를 사용하는 것으로 나타났으며, 레미콘 사용에서 320.59kg/m<sup>2</sup>을 더 사용하고, 철강 재료에 대해서는 65.55kg/m<sup>2</sup> 덜 사용하는 것으로 나타났다. 고층 철골조 아파트는 고층 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 전체 자재사용량에 있어 약 82% 정도의 자재를 사용하고 있다.

평가 결과  $(1,444.89 - 1,189.85) \div 1,444.89 \times 100 \approx 18\%$  이므로 절감율을 점수로 산정할 때 고층 철골조 아파트는 6.8점을 획득하였다. 이 것은 고층 철근콘크리트조 아파트의 단위면적당 자재사용량과 동일한 성능을 가질 때를 기준점수 5로 평가한 결과로 고층 철골조 아파트의 성능이 1.8점 정도 유리하다는 것을 알 수 있다.

### 5.2.3 자원부하 요소 평가 결과 분석

정량적 평가인 자원부하 요소의 평가는 그 규모에 따른 차이를 알기 위하여 초고층 아파트 사례와 고층형 아파트 사례로 나누어 평가 하였으며, 평가 결과를 비교한 것은 <표 5.8>과 같다.

<표 5.8> 자원부하 요소 평가 결과

평가항목	하위 항목	분류	점수
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량	초고층 아파트 사례	9.6
		고층 아파트 사례	6.8

결과에서 나타난 바와 같이 자원부하 요소의 단위면적당 자재사용량 평가에 있어 고층(20층 이상) 철골조 아파트의 사례보다 초고층(30층 이상) 철골조 아파트의 사례가 평가 결과에 있어 2.8점 높은 점수를 획득하였으며, 이는 초고층의 경우가 고층의 경우보다 자재 절감율에 있어 유리하다는 것을 알 수 있다.

### 5.3 환경부하 요소 평가

환경부하 요소의 평가는 4장의 각 단계별 원단위 산정 결과를 단위면적당 자재별 사용량에 적용하여 각 단계별 환경부하를 산정하고, 이를 바탕으로 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가하였다.

### 5.3.1 초고층 아파트 사례의 전생애 환경부하 평가

30층 이상 규모를 초고층 아파트로 분류하였으며, 이에 대해 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 환경부하 산정을 통해 전생애 환경부하 평가를 수행하였다.

#### 1) 생산단계 환경부하 산정

<표 5.9>은 생산단계 초고층 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 에너지 소비량 산정결과이다. 생산단계 에너지 소비량 비교결과 초고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 217,372.95kcal/m<sup>2</sup>, 약 27%의 에너지를 더 소비하는 것으로 나타났다.

<표 5.9> 생산단계 에너지 소비량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	생산단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	583,874.73	Kcal/m <sup>2</sup>	1,016,480.05
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	116,580.48	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	316,024.83	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	240,131.87	Kcal/m <sup>2</sup>	799,107.10
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	558,975.23	Kcal/m <sup>2</sup>	

<표 5.10>는 생산단계 초고층 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과이다. 생산단계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 초고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 52.53kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 약 14% 더 많이 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 5.10> 생산단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	생산단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	221.96	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	415.09
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	72.01	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	121.11	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	148.34	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	362.56
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	214.22	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

2) 시공단계 환경부하 산정

<표 5.11>는 시공단계 초고층 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 에너지 소비량 산정 결과이다. 시공단계 에너지 소비량 비교결과 초고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 3,294.38kcal/m<sup>2</sup>, 약 8% 정도 더 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

<표 5.11> 시공단계 에너지 소비량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	시공단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	22,462.80	Kcal/m <sup>2</sup>	44,104.95
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	8,695.46	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	12,946.68	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	17,910.87	Kcal/m <sup>2</sup>	40,810.57
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	22,899.70	Kcal/m <sup>2</sup>	

<표 5.12>은 시공단계 초고층 아파트 사례의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 결과이다. 시공단계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 초고층 사례의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 0.99kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 8% 정도 더 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 5.12> 시공단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	시공단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	6.74	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	13.23
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	2.60	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	3.89	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	5.37	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	12.24
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	6.87	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

3) 폐기단계 환경부하 산정

<표 5.13>은 폐기단계 초고층 아파트 사례의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 에너지 소비량 산정 결과이다. 폐기단계 에너지 소비량 비교결과 초고층의

경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 30,706.95 kcal/m<sup>2</sup>, 48% 정도 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

<표 5.13> 폐기단계 에너지 소비량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	폐기단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	2,143.58	Kcal/m <sup>2</sup>	33,479.90
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	30,100.85	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	1,235.47	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	62,001.58	Kcal/m <sup>2</sup>	64,186.85
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	2,185.27	Kcal/m <sup>2</sup>	

<표 5.14>는 폐기단계 초고층 아파트 사례의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과이다. 폐기단계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 초고층 사례의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 11.46 kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 47%정도 적은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 5.14> 폐기단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (초고층)

구분	자재명	자재량	단위	폐기단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	0.64	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	13.08
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	8.73	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	3.71	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	17.99	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	24.54
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	6.55	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

#### 4) 전생애 환경부하 평가

각 단계에서 산정된 에너지 소비량을 바탕으로 전생애 에너지 소비량 산정하고 평가하였다. <표 5.15>은 초고층 아파트 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 전생애 에너지 소비량 산정 결과이다.

<표 5.15> 전생애 에너지 소비량 (초고층)

구분	생산단계	시공단계	폐기단계	전생애 에너지 소비량	단위
철골조 아파트	1,016,480.05	44,104.95	33,479.90	1,094,064.90	Kcal/m <sup>2</sup>
철근콘크리트조 아파트	799,107.10	40,810.57	64,186.85	904,104.52	Kcal/m <sup>2</sup>
비교	+ 217,372.95	+ 3,294.38	-30,706.95	+ 189,960.38	Kcal/m <sup>2</sup>
	+ 27 %	+ 8 %	-48 %	+ 21 %	비율

각 단계의 에너지 소비량을 분석한 결과 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 모두 생산단계에서 가장 많은 에너지가 소비되었으며, 생산단계에서 217,372.95kcal/m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 차이를 보였다. 폐기단계에서는 철골조 아파트가 30,706.95kcal/m<sup>2</sup> 만큼 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 또한, 전생애 에너지 소비량에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트보다 189,960.38kcal/m<sup>2</sup>의 에너지를 더 소비하는 것으로 나타났다.

평가 결과에 평가기준을 적용 점수로 환산하면  $(904,104.52 - 1,094,064.90) \div 904,104.52 \times 100 \approx -21\%$  이므로 초과율을 점수로 산정할 때 초고층 철골조 아파트는 2.9점을 획득하였다. 철근콘크리트조의 에너지소비량을 성능기준 5점으로 보았을 경우, 철골조 아파트의 성능이 불리한 것으로 나타났다.

<표 5.16>는 초고층 아파트의 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 결과이다.

<표 5.16> 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 (초고층)

구분	생산단계	시공단계	폐기단계	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	단위
철골조 아파트	415.09	13.23	13.08	441.41	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
철근콘크리트조 아파트	362.56	12.24	24.54	399.34	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
비교	+ 52.53	+ 0.99	-11.46	+ 41.97	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
	+ 14 %	+ 8 %	- 47 %	+ 11 %	비율

각 단계의 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석한 결과 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 모두 생산단계에서 가장 많은 CO<sub>2</sub> 가 배출되었으며, 52.53kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 차이를 보였다. 폐기단계에서는 철골조 아파트가 11.46kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>만큼 적은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다. 또한, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트보다 41.97kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>의 CO<sub>2</sub> 를 더 배출하는 것으로 나타났다.

평가 결과  $(441.41-399.34) \div 399.34 \times 100 \approx -11\%$  이므로 초과율을 점수로 산정할 때 3.9점을 획득하였다. 철근콘크리트조의 CO<sub>2</sub> 배출량을 성능기준 5점으로 보았을 경우, 철골조 아파트의 성능이 불리한 것으로 나타났다.

### 5.3.2 고층 아파트 사례의 전생애 환경부하 평가

20층 이상 30층 미만의 규모를 고층 아파트로 분류하였으며, 이에 대해 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 환경부하 산정을 통해 전생애 환경부하 평가를 수행하였다.

#### 1) 생산단계 환경부하 산정

<표 5.17>은 생산단계 고층 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 생산단계 에너지소비량 산정결과이다. 생산단계 에너지 소비량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 706,596.53kcal/m<sup>2</sup>, 약 98% 더 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 이 차이는 초고층형과 비교하여 489,223.58kcal/m<sup>2</sup> 더 크다.

<표 5.17> 생산단계 에너지 소비량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	생산단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	713,296.16	Kcal/m <sup>2</sup>	1,426,698.46
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	158,723.96	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	256,391.55	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	207,508.14	Kcal/m <sup>2</sup>	720,101.93
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	512,593.79	Kcal/m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우 철골조가 217,372.95kcal/m<sup>2</sup>, 27% 정도의 에너지를 더 소비한다는 결과와 비교하여, 철골조는 고층의 경우가 초고층의 경우와 비교하여 불리함을 알 수 있다

<표 5.18>은 생산단계 고층 아파트 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 결과이다. 생산단계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 142.84kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 44% 정도 더 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 5.18> 생산단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	생산단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	271.16	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	467.47
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	98.05	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	98.26	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	128.18	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	324.63
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	196.45	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우 철골조가 90.31kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 14%정도 더 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타난 결과와 비교하여, 철골조는 고층의 경우가 초고층의 경우와 비교하여 불리함을 알 수 있다.

## 2) 시공단계 환경부하 산정

<표 5.19>는 시공단계 고층 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 에너지 소비량 산정결과이다. 시공단계 에너지 소비량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 13,307.29kcal/m<sup>2</sup>, 36% 정도 더 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

<표 5.19> 시공단계 에너지 소비량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	시공단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	27,441.90	Kcal/m <sup>2</sup>	49,784.41
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	11,838.84	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	10,503.67	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	15,477.54	Kcal/m <sup>2</sup>	36,477.12
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	20,999.58	Kcal/m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우보다 10,012.91kcal/m<sup>2</sup> 더 큰 값이며, 초고층의 경우 철골조 아파트가 3,294.38kcal/m<sup>2</sup>, 8% 정도 더 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타난 결과와 비교하여 철골조는 고층의 경우가 초고층의 경우와 비교하여 시공단계 에너지 소비에 있어 더 불리한 것으로 나타났다.

<표 5.19>는 시공단계 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과이다. 시공단계 CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 4kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 37% 더 많이 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다. 이 결과는 초고층형의 경우보다 3.01 kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> 더 큰 차이이다.

<표 5.20> 시공단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	시공단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	8.24	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	14.94
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	3.55	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	3.15	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	4.64	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	10.94
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	6.30	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우 철골조가 0.99kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 8%정도 더 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타난 결과와 비교하여, 철골조는 고층의 경우가 초고층의 경우와 비교하여 불리함을 알 수 있다.

3) 폐기단계 환경부하 산정

<표 5.21>은 폐기단계 고층 아파트 사례의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 에너지 소비량 산정 결과이다. 폐기단계 에너지 소비량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 10,978.87kcal/m<sup>2</sup>, 20% 정도 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다.

<표 5.21> 폐기단계 에너지 소비량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	폐기단계 에너지 소비량	단위	합 계 (Kcal/m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	2,610.72	Kcal/m <sup>2</sup>	44,603.28
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	40,982.22	Kcal/m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	1,002.34	Kcal/m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	53,578.20	Kcal/m <sup>2</sup>	55,582.15
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	2,003.94	Kcal/m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우 철골조 아파트가 307,706.95kcal/m<sup>2</sup>, 48% 적은 에너지를 소비하는 것보다 작은 값이며, 초고층의 경우의 결과와 비교하여 적은 값이긴 하지만, 고층 아파트 사례의 경우 폐기단계 에너지 소비에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 유리한 것으로 나타났다.

<표 5.22>는 폐기단계 고층 아파트 사례의 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과이다. CO<sub>2</sub> 배출량 비교결과 고층의 경우 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 5.9kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 27%정도 적게 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

<표 5.22> 폐기단계 CO<sub>2</sub> 배출량 (고층)

구분	자재명	자재량	단위	폐기단계 CO <sub>2</sub> 배출량	단위	합 계 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
철골조 아파트	형강	86.89	kg/m <sup>2</sup>	0.79	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	15.68
	레미콘	766.12	kg/m <sup>2</sup>	11.49	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
	철근	50.08	kg/m <sup>2</sup>	3.01	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	
철근 콘크리트조 아파트	레미콘	1,578.05	kg/m <sup>2</sup>	15.55	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	21.56
	철근	88.58	kg/m <sup>2</sup>	6.01	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

이 결과는 초고층 아파트 사례의 경우 철골조 아파트가 11.46kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>, 47% 적은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것보다 작은 값이며, 초고층의 경우의 결과와 비교하여 적은 값이긴 하지만, 고층 아파트 사례의 경우 폐기단계 에너지 소비에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트 보다 유리한 것으로 나타났다.

#### 4) 전생애 환경부하 평가

각 단계에서 산정된 에너지 소비량을 바탕으로 전생애 에너지 소비량을 산정하고 평가하였다.

<표 5.23>은 고층 아파트 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 전생애 에너지 소비량 산정결과이다.

<표 5.23> 전생애 에너지 소비량 (고층)

구분	생산단계	시공단계	폐기단계	전생애 에너지 소비량	단위
철골조 아파트	1,426,698.46	49,784.41	44,603.28	1,521,086.15	Kcal/m <sup>2</sup>
철근콘크리트조 아파트	720,101.93	36,477.12	55,582.15	812,161.20	Kcal/m <sup>2</sup>
비교	+ 706,596.53	+ 13,307.29	-10,978.87	+ 708,924.95	Kcal/m <sup>2</sup>
	+ 98 %	+ 36 %	-20 %	+ 87 %	비율

각 단계의 에너지 소비량을 분석한 결과 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 모두 생산단계에서 가장 많은 에너지가 소비되었으며, 생산단계에서 706,596.53kcal/m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 차이를 보였다. 폐기단계에서는 철골조 아파트가 10,978.87kcal/m<sup>2</sup> 만큼 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 또한, 전생애 에너지소비량에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트보다 708,924.95kcal/m<sup>2</sup>의 에너지를 더 소비하는 것으로 나타났다.

평가 결과에 평가기준을 적용 점수로 환산하면  $(812,161.20 - 1,521,086.15) \div 812,161.20 \times 100 \approx -87\%$  이므로 초과율을 점수로 산정할 때 초고층 철골조

아파트는 0점을 획득하였다. 철근콘크리트조의 에너지소비량을 성능기준 5점으로 보았을 경우, 성능이 초고층의 경우보다도 더 불리한 것으로 나타났다.

<표 5.24>은 고층 아파트 사례 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트의 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 결과이다.

<표 5.24> 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 (고층)

구분	생산단계	시공단계	폐기단계	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	단위
철골조 아파트	467.47	14.94	15.68	498.09	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
철근콘크리트조 아파트	324.63	10.94	21.56	357.13	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
비교	+ 142.84	+ 4	-5.9	+ 140.96	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
	+ 44 %	+ 37 %	-27 %	+ 39 %	비율

각 단계의 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석한 결과 철골조 아파트와 철근콘크리트조 아파트 모두 생산단계에서 가장 많은 CO<sub>2</sub> 가 배출되었으며, 142.84kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 차이를 보였다. 폐기단계에서는 철골조 아파트가 5.9kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>만큼 적은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다. 또한, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량에 있어서는 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트보다 140.96kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>의 CO<sub>2</sub> 를 더 배출하는 것으로 나타났다.

평가 결과  $(357.13-498.09) \div 357.13 \times 100 \approx -39\%$  이므로 초과율을 점수로 산정할 때 1.1점을 획득하였다. 철근콘크리트조의 CO<sub>2</sub> 배출량을 성능기준 5점으로 보았을 경우, 철골조 아파트의 성능이 매우 불리한 것으로 나타났다.

### 5.3.3 환경부하 요소 평가 결과 분석

정량적 평가인 환경부하 요소의 평가는 그 규모에 따른 차이를 알기 위하여 초고층 아파트 사례와 고층형 아파트 사례로 나누어 평가 하였다. <표 5.25>과 같다.

<표 5.25> 환경부하 요소 평가 결과

평가항목	하위 항목	분류	점수
환경부하 요소	전생애	초고층 아파트	2.9
	에너지소비량	고층 아파트	0
	전생애	초고층 아파트	3.9
	CO <sub>2</sub> 배출량	고층 아파트	1.1

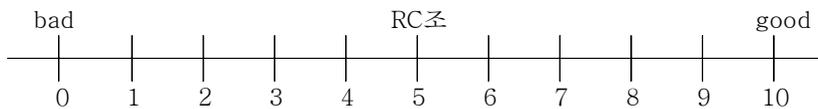
결과에서 나타난 바와 같이 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량은 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 보았을 경우, 두 평가 항목에 있어 모두 철골조 아파트가 철근콘크리트보 아파트 보다 불리한 것으로 나타났다. 그러나 고층 아파트 사례와 초고층 아파트 사례의 평가 결과를 비교할 경우, 고층 아파트 사례보다 초고층 아파트 사례가 더 성능 기준 점수인 5점에 가까워지는 것으로 나타났다. 따라서 층수의 규모의 증가에 따라 철골조의 환경성능이 철근콘크리트조와 비교하여 불리한 정도가 감소한다는 결과가 나타났다.

이 차이의 원인은 단위면적당 각 자재별 사용량에 있어 <표 5.6>과 <표 5.7>의 결과를 바탕으로 판단이 가능하다. 초고층 아파트 사례의 경우 단위면적당 자재별 사용량의 차이가 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트와 비교하여 레미콘 사용량에서 811.93kg/m<sup>2</sup>만큼 더 사용하며, 철강 재료에 대해서는 48.391kg/m<sup>2</sup>만큼 덜 사용하는 것으로 나타났다. 이 차이는 재료의 강성에 의해 유사 규모의 경우 구조형식에 따라 자재사용량에 있어 차이가 발생하는 것이다. 반면 고층 아파트 사례의 경우는 단위면적당 자재별 사용량의 차이가 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트와 비교하여 레미콘 사용량에서 320.59kg/m<sup>2</sup> 더 많이 사용되는 것으로 나타났으며, 철강 재료에 대해서는 65.66kg/m<sup>2</sup>만큼 적게 사용하는 것으로 나타나 초고층의 경우보다 그 차이가 적게 발생하였다. 따라서 단위면적당 자재별 사용량에 있어 철근콘크리트조 보다 우수성이 높아지는 초고층 아파트 사례의 경우 그 차이가 적은 고층 아파트 사례보다 기준 성능에 가깝게 나타나는 것으로 판단할 수 있다.

## 5.4 건축적 요소 평가

건축적 요소의 기능성(Functionality), 융통성(Flexibility), 유지보수성(Maintainability)의 평가는 건축 시공, 계획 전문가를 대상으로 설문을 실시하여 평가하였다. 평가 대상은 초고층 철골조 아파트로 평가 기준인 철근콘크리트조 아파트도 유사 규모를 기준으로 제시하였다. 평가 스케일은 3장의 평가모델에서 밝힌바와 같이 0~10점 스케일로 기준성능을 철근콘크리트조 아파트에 두고 5점을 기준점으로 평가는 투표방식을 선택하였다. 전체 응답 수는 60개이며 평가 점수와 판단 이유를 응답하는 방식을 통하여, 의견을 조사하였다.

사용된 스케일은 (그림 5.7)과 같다.



(그림 5.7) 건축적 요소 정성적 평가 스케일

### 5.4.1 기능성 평가

기능성은 ‘공간의 효율적 이용이 가능한가?’에 대한 평가를 수행하게 되며, 응답 데이터를 분석한 결과는 <표 5.26>와 같다. 응답 점수가 높은 경우 그 평가 이유는, 구조재 단면의 감소로 인한 공간효율 상승과 설비의 효율적 배치가 가능하며, 장스팬의 확보가 가능하다는 점 등이 제시되었다.

그러나 몇몇 응답 결과에 있어서는 라멘구조로 인한 기둥이 주거용도의 경우 실내공간에 방해요소라는 이유 등을 이유로 응답 점수가 4-5점인 조사결과도 포함되었다..

<표 5.26> 건축적 요소의 기능성 평가 결과

하위 항목	비고	점수
기능성(Functionality)	공간의 효율적 이용이 가능한가?	6

### 5.4.2 융통성 평가

융통성은 ‘평면계획이나 용도변경 등이 용이한가?’에 대한 평가를 수행하게 되며, 응답 데이터를 분석한 결과는 <표 5.27>와 같다. 응답점수가 높은 경우 그 평가 이유는 내력벽이 사라짐으로 다양한 평면구성의 시도가 가능하며, 평면의 변경이 용이하다는 점이 주로 응답되었다. 융통성에 대해서는 응답 결과 대부분이 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 우수한 성능을 갖는 것으로 평가하였으나, 초고층 철근콘크리트 구조를 라멘구조로 건축할 경우에 대해서는 동일 성능을 갖는 다고 응답한 결과도 나타났다.

<표 5.27> 건축적 요소의 융통성 평가 결과

하위 항목	비고	점수
융통성(Flexibility)	평면계획이나, 용도변경 등이 용이한가?	7

### 5.4.3 유지보수성 평가

유지보수성의 평가는 ‘구조의 유지보수가 용이한가?’ 혹은 ‘성능개선 공사가 용이한가?’에 대한 평가를 수행하게 되며, 응답 데이터를 분석한 결과는 <표5.28>과 같다. 유지보수성에 대해서는 철근콘크리트의 기준성능과 유사하다는 응답과 유리할 것이라는 응답이 대부분을 차지하였지만, 현재까지 유지보수 사례가 없음으로 인해 판단이 용이하지 않다는 응답도 나타났다.

<표 5.28> 건축적 요소의 유지보수성 평가 결과

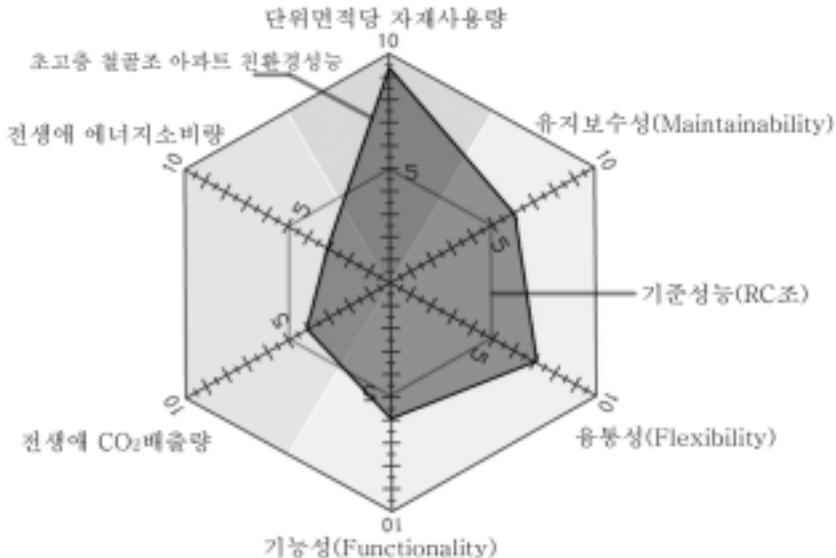
하위 항목	비고	점수
유지보수성(Maintainability)	구조의 유지보수가 용이한가? 성능개선공사가 용이한가?	6

## 5.5 통합적 친환경성능 평가 결과

사례 연구를 통해 초고층 철골조 아파트의 자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소 각 항목에 대한 평가 결과를 종합 비교분석 하였다.

정량적 평가항목인 자원부하 요소와 환경부하 요소에 대하여 초고층 아파트 사례와 고층 아파트 사례의 결과를 비교 분석하였고, 평가 결과에 있어 고층 아파트 사례보다 초고층 아파트 사례가 성능이 유리한 것으로 나타났다.

정성적 평가항목인 건축적 요소의 평가는 전문가 의견조사를 통한 응답 분석으로 결과를 도출하였다. 따라서 건축적 요소의 평가는 조사 case의 증가나 체계적인 의식조사를 다시 수행할 경우 다른 값이 도출될 가능성을 가지고 있다.



(그림 5.8) 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가 결과 diagram

(그림 5.8)은 위의 평가 결과를 주 평가항목 3개 아래의 하위항목 총 6개에 대한 diagram으로 나타낸 결과이다. 철근콘크리트조의 기준성능을 5점으로 하여 0-10 점 스케일로 평가된 결과이며, diagram에서 보는 바와 같이 자원부하 요소의 단위면적당 자재사용량 평가 결과는 철근콘크리트조와 비교하여 매우 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 환경부하 요소의 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량의 평가 있어서는 철근콘크리트조의 성능과 비교하여 전생애 에너지

소비량은 2점, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량은 1점정도 불리한 것으로 나타났다. 건축적 요소인 기능성과 융통성, 유지보수성의 평가 결과는 1-2점 정도 기준 성능보다 우수한 것으로 나타났다.

앞에서 산출된 자원부하 요소와 환경부하 요소, 건축적 요소의 평가 결과에 4장에서 전문가 의견 조사를 통해 도출된 항목 간 평가 가중치를 적용하여 정성적 평가 항목인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가항목인 건축적 요소를 통합하여 정량화, 평가 결과를 도출하였다.

초고층 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 결과는 <표 5.29>와 같다.

<표 5.29> 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가 결과

주 항목	하위항목	하위항목 점수	하위항목 가중치	주 항목 점수	주 항목 가중치
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량	9.6	1.0	9.6	0.22
	합 계	9.6			
환경부하 요소	전생애 에너지소비량	2.9	0.54	3.4	0.37
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	3.9	0.46		
	합 계	3.4			
건축적 요소	기능성(Functionality)	6	0.33	6.4	0.41
	융통성(Flexibility)	7	0.40		
	유지보수성(Maintainability)	6	0.27		
	합 계	6.4			
총 계				6.0	

평가 결과에 가중치를 적용하여 통합 친환경성능 평가를 한 결과 초고층 아파트의 통합 친환경 성능은 6.0점으로 나타났다. 초고층 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 평가하였을 때, 초고층 철골조 아파트는 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 1점 정도 유리한 것으로 나타났다.

## 제 6 장 결 론

본 연구에서는 구조재료 사용 중 철강 재료의 비율이 높고 최근 건설이 증가하고 있는 초고층 철골조 아파트를 대상으로 친환경성능을 평가하기 위하여 정량적 평가와 정성적 평가를 통합하여 정량화된 평가의 수행이 가능한 통합 친환경성능 평가모형을 제시하고, 제시된 평가모형을 적용하여 사례연구를 통해 초고층 철골조 아파트의 통합적 친환경성능 평가를 수행하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가모형 설정 결과는 다음과 같다.

- 1) 초고층 철골조 아파트의 친환경성능을 평가하기 위하여 평가 항목을 도출하고, 철골조 아파트의 친환경성능 평가모형을 구성하였다. 또한 주 평가항목인 자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소에 대하여 하위 평가 항목을 구성하고, 각 요소별 평가 모형을 설정하였다.
- 2) 현장조사와 자료 분석을 통하여 요소별 평가모형 중 환경부하 요소의 평가를 위해 대상 건축자재에 대하여 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출의 환경부하 원단위를 산정하였다. 또한 정량적 평가인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가인 건축적 요소의 평가결과를 종합하여 정량화된 통합 친환경성능을 평가하기 위하여 전문가 의견조사 과정을 통해 항목 간 평가 가중치를 설정하였다.

사례연구를 통한 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경 성능평가 결과는 다음과 같다.

- 1) 자원부하 요소의 정량적 평가에 있어 단위면적당 자재사용량 평가 결과 초고층 철골조 아파트는 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 단위면적당 46%정도

적은 량의 자재를 사용하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 9.6점으로 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다.

- 2) 환경부하 요소의 정량적 평가에 있어 하위 평가항목인 전생애 에너지 소비량 평가 결과 초고층 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 21% 이상의 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 2.9점으로 성능이 불리한 것으로 나타났다. 또한, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 평가 결과 초고층 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 11% 이상의 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 3.9점으로 성능이 불리한 것으로 나타났다.
- 3) 정량적 평가에 있어 층수의 규모에 따른 차이를 알기 위하여 층수 규모가 20층 이상 30층 미만 고층 아파트 사례를 같은 방법으로 평가하였다. 그 결과 고층 철골조 아파트 사례는 자원부하 요소의 단위면적당 자재사용량에 있어 6.8점을 획득하였고, 환경부하 요소의 전생애 에너지 소비량에 대해서는 0점, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량에 대해서는 1.1점을 획득하였다.
- 4) 초고층 철골조 아파트 사례와 고층 철골조 아파트 사례를 비교한 결과 자원부하 요소와 환경부하 요소에서 모두 고층 아파트보다 초고층 아파트가 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났으며, 환경부하 요소에 있어서는 고층 아파트와 비교하여 초고층 아파트에서 철근콘크리트의 기준성능점수인 5점과의 차이가 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 단위면적당 각 자재별 사용량에 있어 초고층 아파트 사례의 경우 단위면적당 자재별 사용량의 차이가 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트와 비교하여 레미콘 사용량에서 811.93kg/m<sup>2</sup> 더 사용하며, 철강 재료에 대해서는 48.39kg/m<sup>2</sup> 덜 사용하는 것으로 나타났다. 고층 아파트 사례의 경우는 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트 보다 레미콘을 320.59kg/m<sup>2</sup> 더 사용하고, 철강 재료는 65.55kg/m<sup>2</sup> 덜 사용하는 것으로 나타났다. 자재 사용량의 차이는 재료의 강성에 의해 구조형식에 따라 자재사용량의 차이가 발생하는 것

으로, 초고층 철골조 아파트와 고층 철골조 아파트의 환경부하 요소 평가 결과의 차이가 발생하는 주 원인으로 판단할 수 있다.

- 6) 정량적 측면 평가의 분석 결과 단위면적당 자재사용량의 차이는 대부분 레미콘 사용량에서 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 초고층으로 갈수록 철골조 아파트가 구조형식의 특성으로 인해 레미콘 사용량이 절감되어 이로 인해 환경성능이 증가할 수 있는 가능성을 갖고 있는 것으로 판단할 수 있다.
- 7) 건축적 요소인 기능성, 유통성, 유지보수성에 대한 평가는 전문가 의견조사를 통하여 응답을 분석하여 수행하였으며, 평가 결과 초고층 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 할 때, 초고층 철골조 아파트는 기능성에 있어 6점, 유통성에 있어 7점, 유지보수성에 있어 6점의 점수를 획득하였다.
- 8) 자원부하 요소와 환경부하 요소, 건축적 요소의 평가 결과에 항목 간 평가 가중치를 적용하여 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가한 결과 유사한 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 할 때, 평가 결과 6.0 점을 획득하여 초고층 철골조 아파트가 1점 정도 우수한 것으로 나타났다.

본 연구는 철골조 아파트를 대상으로 통합적 친환경성능을 평가할 수 있는 평가 모델을 제시하는데 있어 주 평가 항목과 하위 평가 항목의 설정 기준을 아파트의 구조형식에 따른 건축재료 사용의 영향으로 한정하였다. 또한 친환경성능을 평가 기준으로 제시될 수 있는 항목 중 건축물의 실내·외 환경 측면에 대한 평가와 사용단계 에너지 사용, 구조재료 이외의 자원사용 등에 대한 평가는 본 연구에서는 제외되었으며, 건축적 요소에 있어서도 구조형식에 의한 영향을 받는 항목에 대해서만 평가를 수행하였다. 따라서 구조재료에 의한 영향 이외의 측면들에 대한 친환경성능 평가에 관한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

환경부하 요소 평가를 위한 환경부하 원단위를 산정은 현실적으로 적용이 가능한 데이터를 중심으로 구성이 이루어져, 건축시스템에 대한 가정이 많이 포함되어 있다. 따라서 시공, 폐기단계에 있어 철골조 아파트의 구조형식을 고려한 에너지 사용 데이터의 축적이 필요하며, 또한 본 연구에서는 생산단계 원단위로 산업연관

방식을 사용하였으나, 국내의 생산 실정에 맞도록 개별적산방식의 건축자재로서  
형강의 생산단계 원단위 산정에 관한 연구도 필요하다.

본 연구에서는 통합 평가 가중치의 설정과 건축적 요소의 평가에 있어서도 전문  
가를 대상으로 의견조사를 통해 산출된 값을 이용하였다. 그러나 아직까지는 건축  
분야 전문가에게 있어서도 환경부하 측면에 대한 인식이 충분하지 않은 상황이며,  
본 연구의 응답수가 한정되어 있으므로, 조사 대상과 응답 수가 충분할 경우 가중  
치 산정과 건축적 요소의 평가 결과는 변경의 가능성을 갖고 있다. 또한 사례연구  
의 경우 현재까지 국내에 완공된 초고층 철골조 아파트와 초고층 철근콘크리트조  
아파트의 사례의 수가 적어 많은 사례를 대상으로 평가를 수행하지 못한 한계를 가  
지고 있으므로 더 많은 사례를 대상으로 한 평가가 필요하다고 할 수 있다.

## 참고문헌

### (1) 단행본 및 보고서

1. 건설교통부, “건설산업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술 개발에 관한 연구,”, 1997.
2. 김효진 외 4인, “해체공사의 설계 및 전적기준 정립연구”, 대한주택공사 부설주택연구소, 2000.
3. 대한주택공사 부설연구소, “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, 1998.
4. 대한주택공사, “건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구”, 1997.
5. 대한주택공사, “주택공사비 분석자료”, 1995, 1998.
6. 민병렬 외 4인, “건축물의 해체공법에 관한 비교연구”, 한국건설기술연구원, 1988.12.
7. 박항섭 외 5인, “철골 고층 아파트 사례집”, 한국건축가협회, 2001.12.
8. 서울시정개발연구원, “건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용방안”, 1995.
9. 심성보 외 10인, “강재이용기술집(Ⅲ) : 철골조 아파트 설계사례”, 포항종합제철주식회사, 1995.
10. 안태경 외 8인, “건물에너지 원단위 및 환경부하 설정 연구(공동주택, 1차년도)”, 한국에너지기술연구소, 1997.
11. 이승연 외 20인, “건축물 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구”, 건설교통부, 2001.
12. 이현호 외 3인, “환경친화형 신도시 개발에 있어 철골시설물 도입가능성 연구”, 대한건축학회, 2002.10.
13. 장인화 외 2인, “철골조아파트의 생애주기비용 분석”, 포항산업과학연구원, 2000.7.
14. 조균형 외 33인, “건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구”, 한국과학재단 특정기초연구 최종보고서, 2001.
15. 채창우 외 4인, “친환경 건축자재 평가 및 순환 재활용 기술”, 한국건설기술연구원, 2000.
16. 한규봉 외 3인, “철골조 초고층아파트 건축설계에 관한 연구”, 대한건축학

- 회, 1992.12.
17. 환경부, “전국폐기물 발생 및 처리현황”, 1998.
  18. POS-AC, “중저층 철골조 아파트 설계 및 시공사례“, 1996.
  19. Björund, Thomas, jönsson, Åsa and Tillman, Anne-Marie, "LCA of Building Frame Structures", Chalmers University of Technology, 1996.
  20. Jensen, Allan Astrup et al., "Life Cycle Assessment(LCA) A guide to approaches, experiences and information sources", Søborg Denmark : dK-TEKEN Energy & Environment, 1997.
  21. Petts, Judith & Eduljee, Gev, Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities", John Wiley & Sons, 1994.
  22. Van Brummelen, Margreet, et al., "Methodology for the Life-Cycle Assessment of Energy Technologies", NOVEN Utrecht University, 1994.

## (2) 학위 논문

1. 김도군, “전과정 평가(LCA) 기법에 의한 강구조 교량과 콘크리트 교량의 환경성과 경제성의 기초적 비교”, 한국과학기술원 토목공학과 석사학위 논문, 1995.
2. 김동현, “철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구”, 중앙대학교 건축설계학과 석사학위 논문, 1999.
3. 김선희, Life Cycle Assessment의 방법론 및 적용에 관한 연구, 서울시립대 대학원 박사학위 논문, 1995.
4. 김성직, “철골조 초고층 집합주택에 관한 연구”, 영남대학교 대학원 석사학위 논문, 1996.
5. 류정령, “건설폐기물 재활용의 경제성 분석”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
6. 배은배, “건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정평가에 관한 연구”, 수원대학교 건축공학과 석사학위 논문, 2000.

7. 서성원, “주거용 건축물의 전과정에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 평가 및 전산체계 구축”, 중앙대학교 토목공학과 박사학위 논문, 1998.
8. 송두삼, “건축물의 Life Cycle을 고려한 환경부하 산정에 관한 연구”, 성균관대학교 건축공학과 석사학위 논문, 1997.
9. 양기영, “철골조 고층 공동주택의 에너지성능 평가에 관한 연구“, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1998.
10. 이관호, “건축물의 환경성능과 경제성을 고려한 평가 프로그램 개발에 관한 연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2002.
11. 이동일, “철골조 주택의 공업화 활성화방안에 관한 연구”, 동국대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.
12. 이주현, “공동주택 재건축과 리모델링 사업의 환경성·경제성 통합 평가모델”, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.
13. 이홍석, “건축물의 폐기단계에서 에너지소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량에 관한 기초 연구”, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
14. 전성원, “공동주택의 친환경성능 평가방법에 관한 연구”, 중앙대학교 건축학과 박사학위 논문, 2001.
15. 조성준, “철골조 아파트의 Life Cycle Cost 분석 방법에 관한 연구”, 목원대학교 건축학과 석사학위 논문, 1999.
16. 조한권, “LCA를 적용한 건축물의 환경부하 관리방안에 관한 연구”, 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2001.
17. 최두성, “환경비용을 고려한 국내 건설산업에서의 생애 총 에너지비용 산정에 관한 연구 - LCA 평가기법을 이용한 -”, 수원대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.

### (3) 학회논문 및 학술대회

1. 권영철·이관호·이언구, “환경비용을 고려한 페콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구”, *대한건축학회논문집 16권 12호*, 2000. 12, pp. 227-234
2. 김용수·김동현, “철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 비교연구”, *대한건축학회논문집 15권 11호*, 1999.11, pp. 105-114

3. 박태근 외 6인, “철골조 아파트의 Life-Cycle Cost 분석 방법에 관한 연구”, *대한건축학회논문집* 17권 6호, 2001.6, pp. 95-102
4. 유호천·조균형·김우철, “건축시공단계에서 LCA방법론에 의한 에너지소비량과 환경부하량 연구”, *대한건축학회논문집* 21권 1호, 2001.4., pp.601-604
5. 이강희, “공동주택 건설단계의 건축공사에 따른 에너지 소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량 산정에 관한 연구”, *대한건축학회논문집* 16권 4호, 2000. 4, pp. 125-132
6. 이강희, “공동주택 유지관리단계의 건축자재와 재료의 에너지소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량 추정에 관한 연구”, *대한건축학회논문집* 16권 9호, 2000. 9, pp. 155-162
7. 이강희·이경희, “건축활동에 따른 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 추정”, *대한건축학회논문집* 12권 7호, 1996. 7, pp. 197-205
8. 조균형·배은배, “건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정 평가에 관한 연구”, *대한건축학회논문집* 16권 9호, 2000.9, pp. 213-220
9. 채창우 외, “건축재료의 환경친화성 평가방법에 관한 연구”, *대한건축학회* 16권 12호. 2000.12, pp. 97-104
10. Dohnomae, Hitoshi et al., “An Environmental Conscious Design of Apartment Building : A Trial Design of a Steel-Frame Apartment Building and its LCA”, *Proceedings of The Third International Conference on Ecobalance - Progress in LCA for a Sustainable Society*, Tsukuba, Japan, 1998. 11. 25 - 11. 27, pp. 375-360
11. Ikaga, Toshiharu & Ishifuku, Akira, “Evaluation of Building Design using Life Cycle CO<sub>2</sub> Analysis”, *International Conference on Ecobalance*, 1994.
12. Toi, Akito, “Evaluation of material Flow and CO<sub>2</sub> Emission of Steel Recycling System”, *Proceedings of The Third International Conference on Ecobalance - Progress in LCA for a Sustainable Society*, Tsukuba, Japan, 1998. 11. 25 - 11. 27, pp. 455-458
13. Tonooka, Yutaka et al., “Comparison Analysis of Fundamental Data for LCA - Energy and Emissions from Material Production 과정es”, *Proceedings of The Third International Conference on Ecobalance -*

*Progress in LCA for a Sustainable Society*, Tsukuba, Japan, 1998.  
11. 25 - 11. 27, pp. 371-374

14. Tsuchida, Noriyuki et al., "Eco\_Steel Design for Balancing 'Environmental Load' and Mechanical Properties", *Proceedings of The Third International Conference on Ecobalance - Progress in LCA for a Sustainable Society*, Tsukuba, Japan, 1998. 11. 25 - 11. 27, pp. 417-420

(4) 기타

1. 대한건축학회, "초고층 주거시설 시공기법 세미나", 2001.9.
2. 대한주택공사, "철골조 초고층 아파트 시스템개발 연구(3) 연구결과발표회", 1997.1.
3. 사단법인 한국 폐자원재활용 수집협의회 <http://www.ikhr.or.kr>
4. 한국철강협회, "철골조아파트 국제 기술세미나", 1999.9.
5. POSCO, "환경보고서", 2001.
6. "MCDM-23 User Manual", 2001.2.
7. Doug Balcomb, "Multi-Criteria Decision-Making MCDM-23 A Method for Specifying and prioritising criteria and goal in desing", IEA, 2002.2.
8. <http://poscoweekly/posco.co.kr>
9. ISRI(Institute of Scrap Recycling Industries) <http://www.isri.org/>
10. Joanna Glover, "A comparison of Assessments on Three Building Materials In the Housing Sector", Sydney University, 2001.5.
11. Lawson. W. R, "LCA and Embodied Energy; Some Contentious Issues"
12. SRI(Steel Recycling Institute) <http://www.recycle-steel.org>

## 부록

### 조사지 1.

#### 철골조 초고층 아파트의 친환경성능 평가항목에 대한 전문가 의견 조사

◎ 본 조사의 내용은 통계법 제 8조의 의거 비밀이 보장되며 연구 목적 이외에는 절대 사용되지 않습니다.

안녕하십니까?

각 현업에서 수고하시는 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

본 연구는 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가에 관한 연구의 수행 과정으로서 평가항목의 가중치 설정을 위한 전문가 의견을 조사하기 위한 조사 시트입니다. 의견 조사를 통해서 얻고자 하는 주된 목적은 철골조 아파트의 친환경성능 평가모형을 제안함에 있어 항목 간의 가중치 설정에 참고 자료로 활용하고자함 입니다.

현재 시행되는 친환경성능 평가에 있어 가중치의 설정에 대한 명확한 기준이나 방침이 마련되어 있지 않은 상황이며 또한 국가적 여건이나 사회적 상황에 따라 그 영향 정도가 변화하게 됩니다.

따라서 이러한 가중치의 설정에 있어 실제적 여건을 누구보다 잘 아시는 실무에 계신 전문가의 조언을 받고자 지면 조사를 하게 되었습니다.

본 자료는 무기명으로 처리되며 오직 연구의 목적으로만 사용될 것을 다시 한번 약속드립니다.

감사합니다.

중앙대학교 대학원 건축학과  
건축환경연구실  
담당자: 신현진

■ 다음은 초고층 철골조 아파트의 환경평가에 대한 설문입니다.

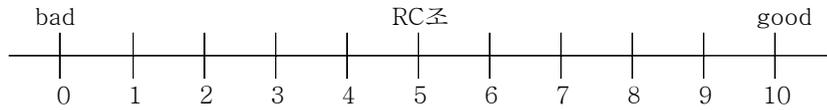
(본 설문의 철골조 아파트의 정의는 최근 건축이 증가하고 있는, 주로 SRC 구조인 30층 이상 초고층 아파트입니다.) 평가의 범위는 철골조와 철근콘크리트조라는 구조적 차이에 의한 영향을 대상으로 하고 있습니다.

1. 본인의 전문 분야를 선택하여 주십시오. ( 계획분야 / 시공분야 )
  
2. 철골조 아파트를 계획 혹은 시공해본 경험을 가지고 있습니까?  
( 예 / 아니오 )
  
3. 실무경험은 대략 몇 년 정도 갖고 계십니까? ( ) 년
  
4. 철골조 아파트의 건축적 측면의 성능을 평가하고자 합니다. 평가 항목은 표와 같으며, 100점을 기준으로 하였을 때, 다음의 항목들이 갖게 되는 중요도를 점수로 표기하여 주시기 바랍니다.

주 항목	하위 항목	비고	점수
건축적 요소	기능성(Functionality)	공간의 효율적 이용이 가능한가?	
	융통성(Flexibility)	평면계획이나, 용도변경 등이 용이한가?.	
	유지보수성(Maintainability)	구조의 유지보수가 용이한가? 성능개선공사가 용이한가?	
총계	-	-	100

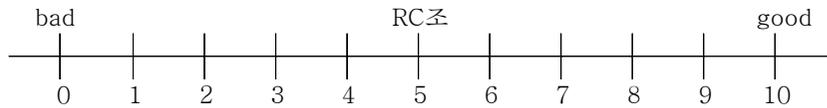
5. 유사 규모(30층 이상)의 초고층 아파트를 RC조로 시공하였을 경우 성능을 5 점으로 보았을 때, 철골조의 성능을 평가하여 주시고, 그 이유를 말씀해 주시기 바랍니다.

5-1. 기능성(Functionality)



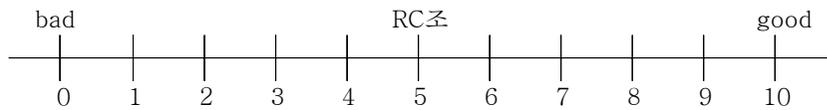
( 평가이유 : )

5-2 융통성(Flexibility)



( 평가이유 : )

5-3 유지보수성(Maintainability)



( 평가이유 : )

## 조사지 2.

### 철골조 초고층 아파트의 친환경성능 평가항목에 대한 전문가 의견 조사

◎ 본 조사의 내용은 통계법 제 8조의 의거 비밀이 보장되며 연구 목적 이외에는 절대 사용되지 않습니다.

안녕하십니까?

학계에서 연구에 노력하고 계신 전문가 분들께 감사드립니다.

본 연구는 초고층 철골조 아파트의 친환경성능 평가에 관한 연구의 수행과정으로서 평가항목의 가중치 설정을 위한 전문가 의견을 조사하기 위한 조사 시트입니다. 의견 조사를 통해서 얻고자 하는 주된 목적은 철골조 아파트의 친환경성능 평가모형을 제안함에 있어 항목 간의 가중치 설정에 참고 자료로 활용하고자함 입니다.

현재 시행되는 친환경성능 평가에 있어 가중치의 설정에 대한 명확한 기준이나 방침이 마련되어 있지 않은 상황이며 또한 국가적 여건이나 사회적 상황에 따라 그 영향 정도가 변화하게 됩니다.

따라서 이러한 가중치의 설정에 있어 실제적 여건을 누구보다 잘 아시는 학계 전문가의 조언을 받고자 지면 조사를 하게 되었습니다.

본 자료는 무기명으로 처리되며 오직 연구의 목적으로만 사용될 것을 다시 한번 약속드립니다.

감사합니다.

중앙대학교 대학원 건축학과  
건축환경연구실  
담당자: 신현진

본 연구에서 제안된 평가 항목은 다음의 표와 같습니다

주 항목	하위항목	비고
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량	단위면적당 구조재료로 사용된 레미콘, 철근, 형강의 자재사용량
환경부하 요소	전생애 에너지소비량	구조재료로 사용된 자재를 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 에너지소비량
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	구조재료로 사용된 자재를 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 CO <sub>2</sub> 배출량
건축적 요소	기능성(Functionality)	공간의 효율적 이용이 가능한가?
	융통성(Flexibility)	평면계획이나, 용도변경 등이 용이한가?.
	유지보수성(Maintainability)	구조의 유지보수가 용이한가? 성능개선공사가 용이한가?

■ 다음은 초고층 철골조 아파트의 환경평가에 대한 설문입니다.

(본 설문의 철골조 아파트의 정의는 최근 건축이 증가하고 있는, 주로 SRC 구조인 30층 이상 초고층 아파트입니다.) 평가의 범위는 철골조와 철근콘크리트조라는 구조적 차이에 의한 영향만을 대상으로 하고 있습니다.

1. 본인의 전문 분야를 선택하여 주십시오. ( 환경, 계획분야 / 구조, 시공분야 )
2. 철골조 아파트의 친환경 성능을 평가 주 항목입니다. 평가 항목은 표와 같으며, 100점을 기준으로 하였을 때, 다음의 항목들이 갖게 되는 중요도를 점수로 표기하여 주시기 바랍니다.

주 항목	하위 항목	점수
자원부하 요소	단위면적당 자재사용량	
환경부하 요소	전생애 에너지소비량, CO <sub>2</sub> 배출량.	
건축적 요소	기능성, 융통성, 유지보수성	
총계	-	100

3. 철골조 아파트의 환경부하 요소의 평가는 단위면적당 구조재료로 사용된 자재량을 대상으로 생산단계, 시공단계 폐기단계 에너지 사용 원단위를 산정하고, 에너지 사용에 대하여 탄소배출계수를 적용하여 CO<sub>2</sub> 배출 원단위를 산정하였습니다.

이를 통하여 전생애 에너지 소비량과 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 두 하위 항목에 대한 평가를 시행하였습니다.

평가 항목의 구성은 다음 표와 같으며, 100점을 기준으로 하였을 때, 다음의 항목들이 갖게 되는 중요도를 점수로 표기하여 주시기 바랍니다.

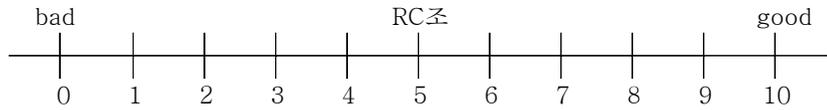
주 항목	하위 항목	비고	점수
환경부하 요소	전생애 에너지소비량	구조재료로 사용된 자재를 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 에너지소비량	
	전생애 CO <sub>2</sub> 배출량	구조재료로 사용된 자재를 대상으로 생산, 시공, 폐기 단계의 단위면적당 CO <sub>2</sub> 배출량	
총계	-	-	100

4. 철골조 아파트의 건축적 요소 평가는 3개의 하위 항목으로 평가항목이 구성됩니다. 평가 항목은 표와 같으며, 100점을 기준으로 하였을 때, 다음의 항목들이 갖게 되는 중요도를 점수로 표기하여 주시기 바랍니다.

주 항목	하위 항목	비고	점수
건축적 요소	기능성(Functionality)	공간의 효율적 이용이 가능한가?	
	융통성(Flexibility)	평면계획이나, 용도변경 등이 용이한가?.	
	유지보수성(Maintainability)	구조의 유지보수가 용이한가? 성능개선공사가 용이한가?	
총계	-	-	100

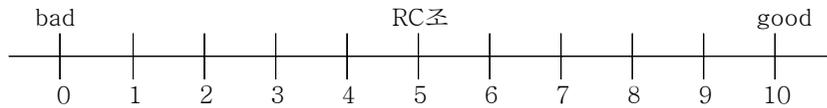
5. 유사 규모(30층 이상)의 초고층 아파트를 RC조로 시공하였을 경우 성능을 5 점으로 보았을 때, 철골조 아파트의 성능을 평가하여 주시고, 그 이유를 말씀해 주시기 바랍니다.

5-1. 기능성(Functionality)



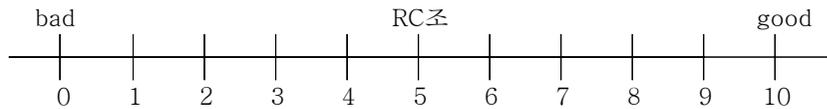
( 평가이유 : )

5-2 융통성(Flexibility)



( 평가이유 : )

5-3 유지보수성(Maintainability)



( 평가이유 : )

## 국문 초록

21세기에 들어서며, 사회적으로 ‘환경문제’가 중요한 이슈로 대두되고 있다. 이에 지속가능한 개발을 통해 건축물의 환경 영향을 줄이려는 국가적 노력이 계속되고 있으며, 건축재료의 선택에 있어서도 지속가능성에 대한 고려의 필요성이 증가하고 있다. 건축물의 재료사용에 있어 구조재료 사용 비율은 전체 사용량의 71% 정도이며, 따라서 건축물의 구조형식은 건축재료에 의한 환경영향을 결정하는 중요한 변수가 된다. 구조형식의 선택에 있어서 현재까지는 철근콘크리트 구조가 보편적인 구조로 인식되어 왔다. 그러나 최근 초고층 철골조 아파트의 건설이 증가하고, 철골조의 사용이 업무시설에서 주거영역으로 확장되며, 건축물의 구조형식에 대한 사회적 인식과 고정관념에도 변화가 나타나고 있다.

더욱이, 공동주택은 국내 건축물의 60% 이상을 차지하고 있으며, 최근 건설되는 공동주택 중 아파트의 비율은 75% 이상으로 아파트의 구조형식에 대한 변화에 의한 건축물의 환경영향에 대한 고려가 필요하다. 그러나 아파트의 구조형식에 의한 친환경성능의 평가에 관한 연구는 아직 미흡한 상황이며, 선행 연구된 철골조 건축물에 대한 연구는 계획적 관점이나 LCC 관점의 연구가 대부분을 차지하고 있다.

따라서 본 연구에서는 구조재료 사용 중 철강 재료의 비율이 높고 최근 건설이 증가하고 있는 초고층 철골조 아파트를 대상으로 친환경성능을 평가하기 위하여 정량적 평가와 정성적 평가를 통합하여 정량화된 평가의 수행이 가능한 통합 친환경성능 평가모델을 제시하고, 제시된 평가모델을 적용하여 사례연구를 통해 초고층 철골조 아파트의 통합적 친환경성능 평가를 수행하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가모델 설정 결과는 다음과 같다.

- 1) 초고층 철골조 아파트의 친환경성능을 평가하기 위하여 평가 항목을 도출하고, 철골조 아파트의 친환경성능 평가모델을 구성하였다. 또한 주 평가항목인 자원부하 요소, 환경부하 요소, 건축적 요소에 대하여 하위 평가 항목을 구성하고, 각 요소별 평가 모델을 설정하였다.

2) 현장조사와 자료 분석을 통하여 요소별 평가모델 중 환경부하 요소의 평가를 위해 대상 건축자재에 대하여 생산단계, 시공단계, 폐기단계의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 배출의 환경부하 원단위를 산정하였다. 또한 정량적 평가인 자원부하 요소와 환경부하 요소, 정성적 평가인 건축적 요소의 평가결과를 종합하여 정량화된 통합 친환경성능을 평가하기 위하여 전문가 의견조사 과정을 통해 항목간 평가 가중치를 설정하였다.

사례연구를 통한 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경 성능평가 결과는 다음과 같다.

- 1) 자원부하 요소의 정량적 평가에 있어 단위면적당 자재사용량 평가 결과 초고층 철골조 아파트는 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 단위면적당 46%정도는 적은 양의 자재를 사용하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 9.6점으로 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났다.
- 2) 환경부하 요소의 정량적 평가에 있어 하위 평가항목인 전생애 에너지 소비량 평가 결과 초고층 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 21% 이상의 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 2.9점으로 성능이 불리한 것으로 나타났다. 또한, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량 평가 결과 초고층 철골조 아파트가 철근콘크리트조 아파트와 비교하여 11% 이상의 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났으며, 철근콘크리트조의 성능을 기준점수 5점으로 할 때 철골조 아파트는 3.9점으로 성능이 불리한 것으로 나타났다.
- 3) 정량적 평가에 있어 층수의 규모에 따른 차이를 알기 위하여 층수 규모가 20층 이상 30층 미만 고층 아파트 사례를 같은 방법으로 평가하였다. 그 결과 고층 철골조 아파트 사례는 자원부하 요소의 단위면적당 자재사용량에 있어 6.8점을 획득하였고, 환경부하 요소의 전생애 에너지 소비량에 대해서는 0점, 전생애 CO<sub>2</sub> 배출량에 대해서는 1.1점을 획득하였다.

- 4) 초고층 철골조 아파트 사례와 고층 철골조 아파트 사례를 비교한 결과 자원부하 요소와 환경부하 요소에서 모두 고층 아파트보다 초고층 아파트가 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났으며, 환경부하 요소에 있어서는 고층 아파트와 비교하여 초고층 아파트에서 철근콘크리트의 기준성능점수인 5점과의 차이가 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 단위면적당 각 자재별 사용량에 있어 초고층 아파트 사례의 경우 단위면적당 자재별 사용량의 차이가 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트와 비교하여 레미콘 사용량에서  $811.93\text{kg}/\text{m}^2$  더 사용하며, 철강 재료에 대해서는  $48.39\text{kg}/\text{m}^2$  덜 사용하는 것으로 나타났다. 고층 아파트 사례의 경우는 철근콘크리트조 아파트가 철골조 아파트 보다 레미콘을  $320.59\text{kg}/\text{m}^2$  더 사용하고, 철강 재료는  $65.55\text{kg}/\text{m}^2$  덜 사용하는 것으로 나타났다. 자재 사용량의 차이는 재료의 강성에 의해 구조형식에 따라 자재사용량의 차이가 발생하는 것으로, 초고층 철골조 아파트와 고층 철골조 아파트의 환경부하 요소 평가 결과의 차이가 발생하는 주 원인으로 판단할 수 있다.
- 6) 정량적 측면 평가의 분석 결과 단위면적당 자재사용량의 차이는 대부분 레미콘 사용량에서 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 초고층으로 갈수록 철골조 아파트가 구조형식의 특성으로 인해 레미콘 사용량이 절감되어 이로 인해 환경성능이 증가할 수 있는 가능성을 갖고 있는 것으로 판단할 수 있다.
- 7) 건축적 요소인 기능성, 유통성, 유지보수성에 대한 평가는 전문가 의견조사를 통하여 응답을 분석하여 수행하였으며, 평가 결과 초고층 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 할 때, 초고층 철골조 아파트는 기능성에 있어 6점, 유통성에 있어 7점, 유지보수성에 있어 6점의 점수를 획득하였다.
- 8) 자원부하 요소와 환경부하 요소, 건축적 요소의 평가 결과에 항목 간 평가가 중치를 적용하여 초고층 철골조 아파트의 통합 친환경성능 평가한 결과 유사한 철근콘크리트조 아파트의 성능을 기준점수 5점으로 할 때, 평가 결과 6.0 점을 획득하여 초고층 철골조 아파트가 1점 정도 우수한 것으로 나타났다.

# ABSTRACT

## A Study on the Environmental Performance Evaluation of Steel-Structure High-rise Apartment Building

Shin, Hyeon-jin  
Dept. of Architecture  
The Graduate School of Chung-Ang University  
Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku, Ph.D.

One of the important emerging social issue of the 21st century is the environmental crisis. In accordance, international efforts were made to reduce architectural environmental effects by the means of sustainable development. Now, more than ever, the necessity of taking sustainability as an important factor in the selection of architectural material is a must. Normally, structural material take about 71% in the building material. Therefore, the type of structure used becomes an important factor on deciding environmental effects of its material.

Up until now, the selection of structure mainly was reinforced concrete structure. But as the number of steel super high-rise apartment increase and the usage of steel/SRC structure extends from office to the residential building, change in the perception of building structure is evident. More over, apartment house comprise more than 60% of domestic buildings. There is a necessity of arousal in change of the current way the apartments are built, with taking into concern the environmental effects. At the moment, the study on environmental performance concerning the structural type is rather scarce. And, the studies previously made about steel framed buildings is mostly focused on design or LCC(Life Cycle Cost) respects.

The purpose of this study is to evaluate the environmental performance

of steel super high-rise apartment building. This study takes into account of buildings that comprise high percentage of steel material and recently increasing constructions. The evaluation model takes quantity as well as qualitative respect in to account. Then the integrated environmental performance evaluation are applied to case studies of steel super high-rise apartments.

The results of this study are summarized as follows

First, results of developing integrated evaluation model for steel apartment are as follows:

- 1) To evaluate environmental performance of steel super high-rise apartment, main criteria and sub criteria are decided. Main criteria are 'Resource use', 'Environmental load' and 'Architectural factor'. And, evaluation model for each main criteria are developed.
- 2) With field research and data analysis, a unit of energy consumption and CO<sub>2</sub> emission to the stage of material production, construction and demolition are collected. These units are used in the evaluation model of 'environmental load'. Then, to integrate and quantify of results which come form each evaluation models, 'weighting factor' are set up by expert opinion research.

Second, results of case study for integrated evaluation of environmental performance of steel super high-rise apartment are as follows:

- 1) Under the criteria of 'Resource use' quantitative evaluation, steel apartment used about 46% less material per unit area measured than did the RC apartment. On the scale of 10(RC score set to 5), it received 9.6, showing an advantageous performance.

- 2) Under the criteria of 'Environmental load' quantitative evaluation, it's sub categorized LCEC(Life Cycle Energy Consumption) results show that steel apartment consumes around 21% more energy in relative to the RC apartment. On the scale of 10(RC score set to 5), it received 2.9 points, showing a disadvantageous performance. And, it's sub categorized LCCO<sub>2</sub> (Life Cycle CO<sub>2</sub> emission) results that steel apartment emits 11% more CO<sub>2</sub> than the RC apartment. On the scale of 10(RC score set to 5), it received 3.9 points, also a disadvantageous performance.
- 3) In order to discern the effect the number of stories have on the quantitative evaluation, sample(high-rise apartment) was taken from apartments that had more that 20 stories yet having less than 30 stories. It undergone a same evaluation. And, on the scale of 10(RC score set to 5), it received 6.8 point for the 'material used per unit area', 0 points for the LCEC and finally 1.1 points for the LCCO<sub>2</sub> .
- 4) After comparing the results for the super high-rise and high-rise apartments case, 'Resource use' as well as the 'Environmental load' showed that the super high-rise apartment outperformed the high-rise apartment.
- 5) For the super high-rise case, taking the 'material used per unit area' evaluation in to account, RC apartment used 811.93kg/m<sup>2</sup> more ready mixed concrete than the steel apartment. As for the steel material, RC apartment used 48.39kg/m<sup>2</sup> less than the steel apartment. And, for the high-rise case, RC apartment used 320.59kg/m<sup>2</sup> more ready mixed concrete than the steel apartment. As for the steel material, RC apartment used 65.55kg/m<sup>2</sup> less than the steel apartment.
- 6) The results of 5) explain that 'Environmental load' are the main cause for a different results with super high-rise case and high-rise case.

After the analysis of the quantitative evaluation, most of the difference in material usage per unit area was caused by ready mixed concrete. In addition, as the building stories increase so does the reduction of the ready mixed concrete usage, hence we can infer that the potential environmental performance enhancement can be expected.

- 7) 'Architectural factor' such as functionality, flexibility and maintainability of steel super high-rise apartment was analyzed with a survey filled out by subject matter experts. The results show that on the scale of 10 (RC score set to 5) steel apartment earned 6 points for the functionality, 7 points for the flexibility and 6 points for the maintainability.
  
- 8) Each of the 'Resource use', 'Environmental load' and 'Architecture factor' were given a weighting factor and integrated environmental performance evaluation was undertaken. The results show that on the scale of 10 (RC score set to 5) the evaluation produced 6 points, therefore the tests lead to a conclusion that steel super high-rise apartment was advantageous to that of RC apartment. (leading by a point).

## 감사의 글

대학원에 입학하며 새로운 계획을 세우고 각오를 다졌던 것이 얼마 되지 않은 것 같은데 벌써 2년의 시간이 지났습니다. 무엇보다 이 자리까지 인도하여 주시고 부족한 저로 하여금 또 하나의 결실을 맺도록 하신 하나님께 모든 감사와 영광을 돌립니다.

먼저 저에게 학문에 있어서뿐만 아니라 인생에 있어 모범과 목표를 보여주신 이언구 교수님께 마음으로부터 깊은 감사와 존경을 드립니다. 논문이 결실을 맺기까지 세심한 지적과 조언을 해주신 송국섭 교수님·이현우 교수님, 건축을 전공하는 동안 학문적 가르침과 애정을 베풀어주신 이명호 교수님·이현호 교수님·정현수 교수님·김덕재 교수님·최윤경 교수님·박찬식 교수님, 그리고 대학원 과정을 지내며 관심을 가지고 지켜봐주신 강재훈 교수님·이정형 교수님·이은택 교수님께 감사를 드리며, 제가 성장하는 과정에 좋은 스승이 되어주신 김형진 선생님·정춘환 선생님·이승철 선생님께도 감사의 마음을 전합니다.

부족한 모습으로 처음 연구실에 들어오던 때부터 자상한 마음으로 돌봐주신 박진철 교수님·권영철 교수님, 항상 모범을 보여주신 이동주 교수님·김남규 교수님·김세훈 교수님·나수연 교수님, 같이 프로젝트를 진행해주신 이관호 선배님, 논문의 진행에 도움을 아끼지 않으신 김기훈 선배님·전성원 선배님·유형규 선배님, 여러 환경연구실 선배님들께 감사드리며, 같이 논문을 쓰며 격려할 수 있었던 사랑하는 동기 선·경옥·승현오빠, 지금은 멀리 있는 진철오빠, 항상 용기를 주시고 웃는 모습으로 도와주신 주영언니·상형오빠·호준오빠·우진식 과장님·황하진 박사님 그리고 사랑하는 후배 진명오빠·소이·기혁오빠·현규오빠·진경이 그리고 건축과 대학원의 동기들·선배님·후배님께도 고마운 마음을 전합니다.

또한, 프로젝트와 논문을 진행하며 업무로 바쁜 와중에도 시간을 내어 도움을 주신 김구연 대리님·송희영 과장님·길선태 부장님·이한용 대리님, 조사에 참여해주신 그 외 실무 관계자 분들에게도 감사를 드립니다.

언제나 마음의 벗이 되어준 근영·지혜·혜린·아름, 어려울 때 힘과 용기가 되어준 우진·경록·종욱오빠, 귀여운 후배 진영·은진, 항상 걱정해주는 소중한 초등학교 그리고 수학반의 오랜 친구들, 건축과 96학번 동기들, 그리고 힘들 때 사랑과 인내를 가지고 옆에서 누구보다 든든한 지킴이가 되어준 승기에게 진심으로 감사와 사랑을 전합니다.

마지막으로 앞으로도 그렇겠지만 지난 26년 동안 항상 저의 뒤에서 사랑으로 지켜보며 기도해주시는 저희 신씨·오씨 가족들과 아버지·어머니·할아버지·동생 유근에게 깊은 감사와 사랑을 드리며, 이 논문을 사랑하는 부모님께 바칩니다.

2002년 12월 사랑하는 모두의 행복을 기도하며 현진 드림.