

第 110 回 碩士學位論文  
指導教授 李 彦 求

공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에  
관한 연구

**A Study on the Performance Assessment of the  
Sustainable Building Technologies for Multi-Family  
Residential Buildings**

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

李 鍾 植

2008年 12月

공동주택 건축기술요소의 친환경  
성능평가에 관한 연구

**A Study on the Performance Assessment of the  
Sustainable Building Technologies for Multi-Family  
Residential Buildings**

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.




2008年 12月

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 設備專攻

李 鍾 植

李鍾植의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長	朴 辰 哲	
審査委員	金 起 勳	
審査委員	李 彦 求	

中央大學校 大學院

2008 年 12月

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 범위 및 방법 .....	3
제 2 장 공동주택의 친환경 성능 평가제도 .....	5
2.1 국내외 친환경 공동주택 인증제도 .....	5
2.1.1 LEED for Homes .....	5
2.1.2 BREEAM-CSH(The Code for Sustainable Home) .....	10
2.1.3 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency) .....	15
2.1.4 국내 친환경건축물인증제도 .....	18
2.2 국내외 친환경 공동주택 인증제도 비교, 분석 .....	23
2.2.1 평가항목 비교 .....	23
2.2.2 배점 비교 .....	24
2.3 소결 .....	29
제 3 장 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소 도출	31
3.1 친환경 건축기술요소 사례 조사 분석 및 도출 .....	31
3.1.1 국외사례 .....	31
3.1.2 국내 사례 .....	37
3.2 적용 사례 분석 및 도출 .....	40
3.2.1 국내외 적용 사례 분석 .....	40
3.2.2 친환경 건축기술요소 도출 .....	41
3.3 소결 .....	42

**제 4 장 공동주택 건축기술요소 친환경 성능 평가 ..... 43**

**4.1 친환경 성능 평가를 위한 표준 모델 및 시뮬레이션 도구 ..... 43**

- 4.1.1 표준 모델 ..... 43
- 4.1.2 시뮬레이션 도구 ..... 50

**4.2 건축기술요소에 따른 친환경 성능 시뮬레이션 ..... 58**

- 4.2.1 기술요소별 용량산정 ..... 58
- 4.2.2 기술요소별 모델링 ..... 68

**4.3 건축기술요소별 친환경 성능 분석 결과 ..... 83**

- 4.3.1 표준 모델의 에너지 소비량 ..... 83
- 4.3.2 전열교환 환기 시스템 ..... 87
- 4.3.3 태양광 발전 시스템 ..... 88
- 4.3.4 태양열 급탕 시스템 ..... 90
- 4.3.5 지열 히트펌프 시스템 ..... 92

**4.4 소결 ..... 95**

**제 5 장 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표 및 최적대안제시 ..... 98**

**5.1 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 성능평가 ..... 99**

- 5.1.1 CO<sub>2</sub> 배출계수 ..... 99
- 5.1.2 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 절감량 ..... 100

**5.2 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가 ..... 107**

- 5.2.1 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표 ..... 107
- 5.2.2 부하 종류에 따른 친환경 성능평가등급 및 배점 ..... 109
- 5.2.3 친환경 성능평가지표 적용 및 최적 대안 제시 ..... 114

**5.3 소결 ..... 119**

**제 6 장 결론 ..... 121**

참 고 문 헌 .....	124
국 문 초 록 .....	129
ABSTRACT .....	131

### 〈표 차례〉

<표 2.1> LEED for Homes 평가부문 및 배점 .....	6
<표 2.2> HERS 등급설정기준 .....	9
<표 2.3> Total Credit available, Weighting Factors and Points .....	10
<표 2.4> Dwelling Emission Rate의 배점 및 필수평가항목 유무 .....	11
<표 2.5> Dwelling Emission Rate의 평가 기준 .....	11
<표 2.6> SAP 2005 건물 에너지성능 평가지표 .....	12
<표 2.7> LZC technologies의 배점 및 필수평가항목 유무 .....	12
<표 2.8> LZC technologies의 평가기준 .....	12
<표 2.9> SAP 2005 건물 에너지성능 평가지표 .....	13
<표 2.10> SAP 2005 등급설정기준 .....	14
<표 2.11> 항목별 가중치 .....	16
<표 2.12> 에너지 열 부하 평가 등급 .....	16
<표 2.13> 주거건물의 에너지 절약 기준과 주택 품질보증법의 비교 .....	17
<표 2.14> 재생에너지 변환이용(실시설계 및 준공 단계) 평가 등급 .....	17
<표 2.15> 국내 친환경건축물인증제도 평가부문 및 배점 .....	18
<표 2.16> EPI 점수에 따른 에너지 소비비율 .....	19
<표 2.17> 대체에너지 시설 설치 수준에 따른 가중치 .....	20
<표 2.18> 이산화탄소 배출 저감 산출기준 .....	20
<표 2.19> EPI의 기계설비부문 및 신재생에너지 부문 평가항목 .....	22
<표 2.20> 에너지 및 CO <sub>2</sub> 관련 항목비교 .....	23
<표 2.21> 에너지 및 CO <sub>2</sub> 관련 항목 배점 비교 .....	24
<표 2.22> 인증제도별 건물 전체 부하 평가항목 비교 .....	25
<표 2.23> 인증제도별 시스템 평가항목 비교 .....	26

<표 2.24> 인증제도별 재생에너지 평가항목 비교 .....	27
<표 2.25> 각 인증제도 평가 시 고려 항목 비교 .....	27
<표 2.26> 각 평가제도의 신재생에너지 평가방법 .....	28
<표 3.2> 버빙(Vauban) 주거단지 계획요소 .....	32
<표 3.3> 크론스베르그 계획요소 .....	33
<표 3.4> BedZED 계획요소 .....	34
<표 3.5> Dockside Green 계획요소 .....	35
<표 3.5> Viikki 생태주거단지 계획요소 .....	36
<표 3.6> 제로에너지 타운 시범 빌딩 계획요소 .....	38
<표 3.7> 제로 에너지 솔라 하우스 계획요소 .....	38
<표 3.8> 대림산업(주) 기술연구소 주거환경 연구센터 계획요소 .....	39
<표 3.9> 친환경 건축기술요소 적용사례 분석 .....	40
<표 3.10> 도출된 친환경 건축기술요소 .....	41
<표 4.1> 재료별 물성치 .....	46
<표 4.2> 창호의 구성 및 물성치 .....	46
<표 4.3> Sample 공동주택 개요 .....	51
<표 4.4> Sample 공동주택 검침자료(예시) .....	52
<표 4.5> 벽체 및 슬라브의 구성 및 물성치 .....	54
<표 4.6> 창호의 구성 및 물성치 .....	55
<표 4.7> 표준공동주택 모델의 개요 .....	58
<표 4.8> 표준모델의 피크 냉난방 부하 .....	59
<표 4.9> 집열기 설치위치에 따른 축열조 용량 및 집열기 내 유량 .....	65
<표 4.10> 보일러를 열원으로 하는 바닥복사난방 시스템 구성 및 설정 .....	68
<표 4.11> PTAC의 구성 및 설정 .....	70
<표 4.12> 급탕시스템의 구성 및 설정(각 세대별) .....	72
<표 4.13> 환기시스템의 구성 및 설정(각 세대별) .....	72
<표 4.14> 전열교환 환기시스템의 구성 및 설정 .....	73
<표 4.15> 태양광 발전 시스템의 구성 및 설정 .....	74
<표 4.16> 평판형 집열기의 개요 .....	74
<표 4.17> 진공관형 집열기의 개요 .....	75
<표 4.18> 보조열원 시스템의 개요 .....	75
<표 4.19> 지열 히트펌프 시스템의 개요 .....	79
<표 4.20> 연간 냉난방 에너지 요구량 .....	84
<표 4.21> 단속적 사용기기의 주요결과 .....	85
<표 4.22> 세대당 조명 에너지 소비량 .....	85
<표 4.23> 표준 모델의 연간 가스 소비량 .....	86

<표 4.24> 표준 모델의 연간 전력 소비량 .....	86
<표 4.25> 전열교환 환시시스템 적용 시 연간 가스 소비량 .....	87
<표 4.26> 전열교환 환시시스템 적용 시 연간 전력 소비량 .....	87
<표 4.27> 설치위치에 따른 발전량 및 부하분담률 .....	89
<표 4.28> 평판형 집열기 설치위치에 따른 생산열량 및 부하분담률 .....	90
<표 4.29> 진공관형 집열기 설치위치에 따른 생산열량 및 부하분담률 .....	91
<표 4.30> 지열 히트펌프 시스템 적용 시 연간 에너지 소비량 .....	92
<표 4.31> 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 에너지 소비량 .....	97
<표 5.1> CO <sub>2</sub> 배출계수 .....	99
<표 5.2> 건축기술요소별 담당부하 .....	107
<표 5.3> 표준모델의 부문별 CO <sub>2</sub> 배출비율 .....	108
<표 5.4> 부하 종류별 평가 배점 비율 .....	109
<표 5.5> 신·구조문 대비표 .....	110
<표 5.6> 부하 종류별 최소 배점 기준 .....	111
<표 5.7> 난방부하 분담 시 평가 등급 및 배점 .....	112
<표 5.8> 급탕부하 분담 시 평가 등급 및 배점 .....	112
<표 5.9> 냉방부하 분담 시 평가 등급 및 배점 .....	113
<표 5.10> 전력부하 분담 시 평가 등급 및 배점 .....	113
<표 5.11> 건축기술요소 적용 시 CO <sub>2</sub> 배출량 및 분담률 .....	114
<표 5.12> 건축기술요소 적용 시 평가등급 및 점수 .....	116
<표 5.13> 건축기술요소 통합 적용 Case 설정 .....	117
<표 5.14> 건축기술요소 통합적용 Case별 친환경 성능평가 결과 .....	117
<표 5.15> 건축기술요소 통합적용 Case별 친환경 성능평가 결과 .....	118

## <그림 차례>

(그림 1.1) 연구 흐름도 .....	4
(그림 2.1) Energy & Atmosphere(EA) 평가 경로 .....	7
(그림 2.3) SAP Work Sheet .....	14
(그림 2.4) Dockside Green 전체 배치도 .....	35
(그림 4.1) 평형별 세대수 평균(서울지역) .....	44
(그림 4.2) 표준모델의 외피 구성 .....	46
(그림 4.3) 내부 발열 스케줄 .....	50
(그림 4.4) 배치도 .....	51



(그림 4.5) 단위세대 평면도 .....	51
(그림 4.6) Sample 공동주택 가스사용량 .....	53
(그림 4.7) Sample 공동주택 전력사용량 .....	53
(그림 4.8) 연간 냉난방 부하 .....	55
(그림 4.9) 연간 난방부하 .....	56
(그림 4.10) 연간 냉방부하 .....	57
(그림 4.11) 표준모델 개략도 .....	59
(그림 4.12) 태양광 발전 시스템 적용가능 부위 개념도 .....	63
(그림 4.13) 지중열교환 Pipe 천공 개소 .....	67
(그림 4.14) Schematic of Hot Water Loop-Plant Side (Boiler) .....	69
(그림 4.15) Schematic of Hot Water Loop-Demand Side .....	69
(그림 4.16) Schematic of Packaged Terminal Air Conditioner .....	71
(그림 4.17) Schematic of Air-to-Air Energy Recovery Ventilator .....	73
(그림 4.18) Schematic of Collector Loop .....	76
(그림 4.19) Schematic of Storage Tank Source Loop .....	76
(그림 4.20) Schematic of Storage Tank Use Loop(Plant) .....	77
(그림 4.21) Schematic of Water Use Loop(Demand) .....	77
(그림 4.22) Schematic of Condenser Loop-GHE .....	80
(그림 4.23) Schematic of Condenser Loop-GSHP .....	80
(그림 4.24) Schematic of HW Loop-Plant Side .....	81
(그림 4.25) Schematic of HW Loop-Demand Side(Heating) .....	81
(그림 4.26) Schematic of HW Loop-Demand Side(Water Heating) .....	82
(그림 4.27) 환기 시스템에서의 전력 소비량 .....	88
(그림 4.28) PV 설치위치별 연간 전력소비량 .....	89
(그림 4.29) 집열기 종류 및 설치 위치별 가스 소비량(급탕) .....	91
(그림 4.30) 표준 모델 및 GSHP 적용 시 전체 가스 사용량 .....	93
(그림 4.31) 표준 모델 및 GSHP 적용 시 히트펌프/순환펌프의 전력 소비량 .....	94
(그림 4.32) 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 가스 소비량 .....	96
(그림 4.33) 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 전력 소비량 .....	97
(그림 5.1) 표준 모델의 부문별 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	100
(그림 5.2) 표준 모델 및 전열교환 환기의 부문별 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	101
(그림 5.3) 전열교환 환기시스템 적용 시 부문별 CO <sub>2</sub> 절감량 .....	101
(그림 5.4) 태양광 발전 시스템의 설치위치별 CO <sub>2</sub> 절감량 .....	102
(그림 5.5) 태양광 발전 시스템의 설치위치별 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	103
(그림 5.6) 태양열 급탕 시스템의 집열기 종류 및 설치위치별 CO <sub>2</sub> 절감량 .....	103
(그림 5.7) 집열기 종류, 설치위치에 따른 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	104

(그림 5.8) 지열 히트펌프 시스템의 CO <sub>2</sub> 절감량 .....	105
(그림 5.9) 표준 모델 및 지열원 시스템 적용시의 전체 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	105
(그림 5.10) 표준모델 및 친환경 건축기술요소 적용 시 CO <sub>2</sub> 배출량 .....	106
(그림 5.12) 건축기술요소별 CO <sub>2</sub> 배출량 분담률 .....	115

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 전세계적으로 지속가능한 발전(Sustainable Development)이라는 명제 하에 환경보전에 대한 국제적인 관심이 고조되고 있는 상황이다. 또한 CO<sub>2</sub> 배출거래 시장이 확대되고 있으며, 2006년 세계 탄소시장 규모는 301억 달러에 달했고, 2010년에는 1,500억 달러로 2006년 대비 5배 성장할 전망이다.<sup>1)</sup> 이에 세계 각국은 국가적 대응방안을 마련하는데 고심하고 있으며, CO<sub>2</sub> 배출을 감소시키기 위해 각국에서의 구체적인 대책 수립을 위한 노력이 가시화되고 있다.

이산화탄소 배출량은 세계 10위(2003년 기준)<sup>2)</sup>인 우리나라에서도 CO<sub>2</sub> 배출량의 감축은 중요한 정책사항으로 여겨지고 있다. 2005년 2월 공식 발효된 교토의정서(Kyoto Protocol)에서 우리나라는 개발도상국으로 분류되어 의무 대상국에서 제외되었으나, 자발적인 의무부담에 참여할 것을 요청받고 있으며, 최근 '발리 로드맵(Bali Roadmap/Program)'의 채택으로 CO<sub>2</sub> 감축에 동참하게 되었다. 이에 정부는 최근 신국가발전 패러다임으로 '저탄소 녹색성장'을 제시하고, 10대 추진 방향을 설정하고 있다.

CO<sub>2</sub> 배출 요인 중 한 가지는 주거부분에서의 CO<sub>2</sub> 배출이다. 주거 부분에서의 탄소 배출량 감축은 상대적인 효과가 크고, 탄소 배출량 저감시에도 국가 경제에 미치는 영향에 대한 안정성이 높기 때문에, 실제로 미국, 영국, 캐나다 등에서 저에너지 친환경 주거의 개발 및 보급을 위한 움직임이 활발하다.

우리나라에서 주거건물의 CO<sub>2</sub> 배출량은 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 10%가 될 것으로 추정되고 있다.<sup>3)</sup> 건물에서의 에너지 소비는 건물의 CO<sub>2</sub> 배출량과 밀접한 관계가 있다. 전체 에너지 사용 중 건물(주거, 상업 및 공공부분)이 차지하는 비중은 2007년 기준으로 약 23%에 달한다.<sup>4)</sup> 그렇기 때문에 건물부

1) UNFCCC(UN Framework Convention on Climate Change) <http://unfccc.int/>

2) 한국환경정책 평가연구원, 탄소세 도입가능성에 대비한 조세·재정정책의 방향에 관한 연구, 2007.12, pp. 25

3) 에너지 관리공단 에너지 통계, [http://www.kemco.or.kr/data/e\\_static/energy\\_chart/](http://www.kemco.or.kr/data/e_static/energy_chart/)

분에서의 에너지 절감에 대한 고려가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 또한 2005년 기준 주택 형태별 분류에서 공동주택(아파트)가 차지하는 비율이 전체의 53%인 6,626,957호로 가장 높은 비율을 차지하고 있다.<sup>5)</sup> 따라서 공동주택에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 저감은 건물부분에서의 그 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다.

공동주택을 포함한 건물에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 저감을 위해서는 우선 에너지 소비의 저감이 선행되어야 한다. 건물에서의 에너지 소비 절감을 위해서는 우선 에너지 절약적인 건축계획이 이루어져야 하며, 에너지 효율적인 시스템의 설치 등이 중요하다. 그러나 이러한 에너지 절약적 건축계획과 효율적인 시스템의 설치 등을 통한 수요를 제어하는 것만으로는 건물의 저탄소 또는 Zero Emission을 달성하기 어렵다. 따라서 저탄소/Zero Emission을 달성하기 위해서는 청정에너지원 즉 신재생에너지의 이용으로 에너지 생산을 통한 CO<sub>2</sub> 배출량 저감이 중요하다.

이에 국내에서도 공동주택의 CO<sub>2</sub> 배출량을 감축하기 위해 재생에너지 시스템의 개발과 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 공동주택의 재생에너지 시스템의 친환경 성능 평가는 매우 미흡한 상태이다. 현재 국내 친환경건축물 인증제도에서의 재생에너지 평가는 공동주택에서의 최소설치 기준조차 마련되어 있지 않다. 따라서 실질적으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 저감할 수 있는 평가방법이 필요하다.

본 연구에서는 공동주택의 표준모델을 선정하여 기본적인 건축기술요소와 사례분석을 통해 도출한 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소의 에너지 성능을 분석하고, CO<sub>2</sub> 배출량을 통한 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하였다. 이를 바탕으로 도출된 건축기술요소의 친환경 성능을 평가할 수 있는 평가 지표를 설정하고 표준모델에의 건축기술요소의 통합적용시 최적대안을 제시하고자 한다.

---

4) 2007년 기준 통계청 자료(국가 통계 포털, <http://www.kosis.kr/>)

5) 2005년 기준 통계청 자료(국가 통계 포털, <http://www.kosis.kr/>)

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공동주택에 적용되는 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하고, 이를 바탕으로 공동주택에 건축기술요소의 친환경 성능 평가지표 및 기준을 제시하고자 한다.

본 연구의 진행 방법을 요약하면 다음과 같다.

### 1) 국내외 친환경 성능평가 방법의 조사 및 분석

공동주택 건축기술요소의 평가지표 및 기준을 제안하기 위해, 미국의 LEED for Homes, 영국의 BREEAM-CSH, 일본의 CASBEE와 국내 친환경건축물 인증제도를 조사하고, 각 인증제도의 에너지/CO<sub>2</sub> 관련 항목의 세부사항을 조사, 분석하였다. 또한 LEED for Homes, BREEAM-CSH, 국내 친환경건축물 인증제도의 전체 에너지 성능평가의 기본이 되는 에너지 성능평가 제도인 HERS, SAP 2005, EPI를 추가적으로 조사하였다. 조사, 분석된 내용을 바탕으로 국내의 공동주택 건축기술요소 평가 방법이 가지고 있는 문제점을 파악하였다.

### 2) 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소의 조사 및 분석

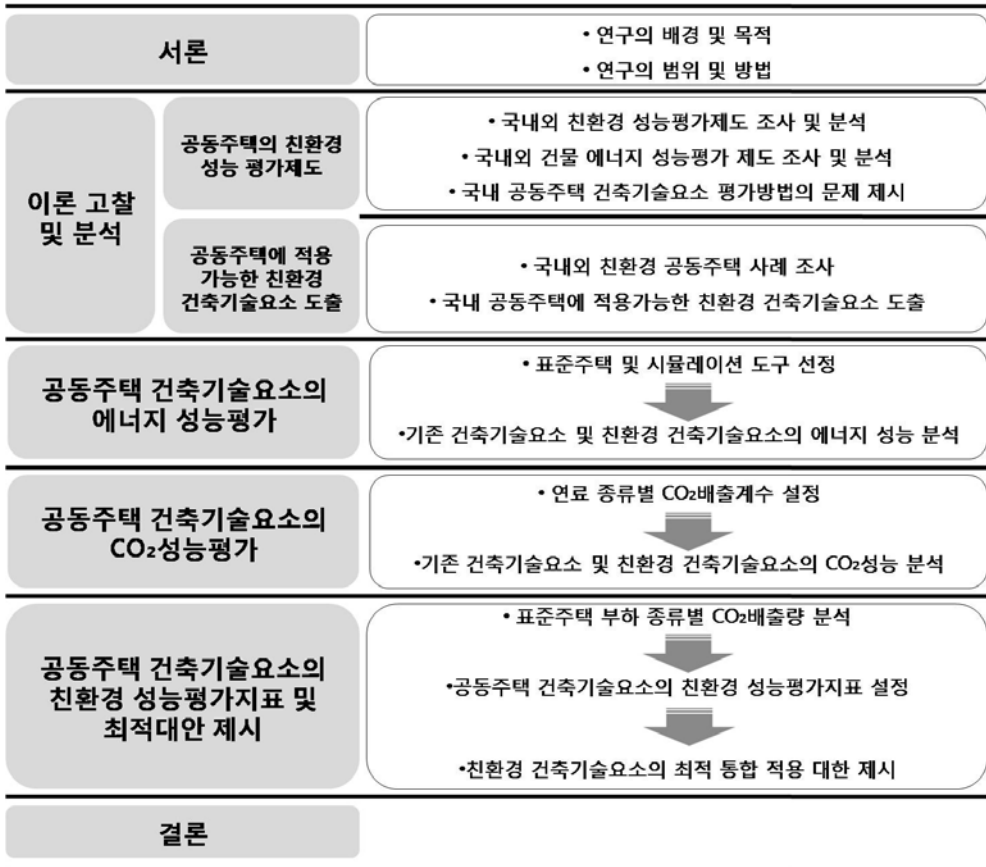
공동주택 건축기술요소의 친환경 성능을 분석하기 위해 최근 10년 사이에 준공된 국내외 친환경 주거단지, 시범단지 및 생태도시내 주거단지를 대상으로 사례를 조사하였다. 조사 내용을 바탕으로 국내 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소를 도출하고, 도출된 건축기술요소가 담당하는 부하를 파악하였다.

### 3) 건축기술요소의 에너지 성능 평가

도출된 친환경 건축기술요소의 친환경 성능을 분석하기 위해, 표준모델을 선정하고 친환경 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 도구를 선정하였다. 선정된 표준모델과 시뮬레이션 도구를 이용하여, 현재 공동주택에 적용되고 있는 건축기술요소와 적용 가능할 것으로 파악된 친환경 건축기술요소의 에너지 소비량을 분석하였다.

#### 4) 건축기술요소의 친환경 성능 평가 및 평가지표/기준 설정

표준모델을 통한 기존의 건축기술요소와 제안한 건축기술요소의 에너지 성능 평가를 바탕으로 각 기술요소의 친환경 성능을 분석하였다. 각 기술요소의 친환경 성능은 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여, 제안한 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 절감량을 분석하였다. 표준모델의 부하별 CO<sub>2</sub> 배출량을 바탕으로 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하기 위한 평가지표를 설정하고, 표준모델에의 친환경 건축기술요소 적용시 최적 대안을 제시하였다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

## 제 2 장 공동주택의 친환경 성능 평가제도

공동주택의 에너지/CO<sub>2</sub> 성능을 평가하는 제도로써 친환경 공동주택 인증제도가 있다. 친환경 공동주택 인증제도는 건물의 친환경성을 평가하면서 에너지/CO<sub>2</sub> 항목을 포함하고 있다. 본 연구에서는 국내외 친환경 공동주택 인증제도에 대해서 조사, 비교하여 각 인증제도내에서 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능평가 및 재생에너지 시스템에 대한 평가 항목을 파악하였다. 또한 각 인증제도에서 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능을 평가하기 위해 사용되고 있는 에너지 성능 평가제도에 대해 추가적으로 조사하였다.

### 2.1 국내외 친환경 공동주택 인증제도

#### 2.1.1 LEED for Homes

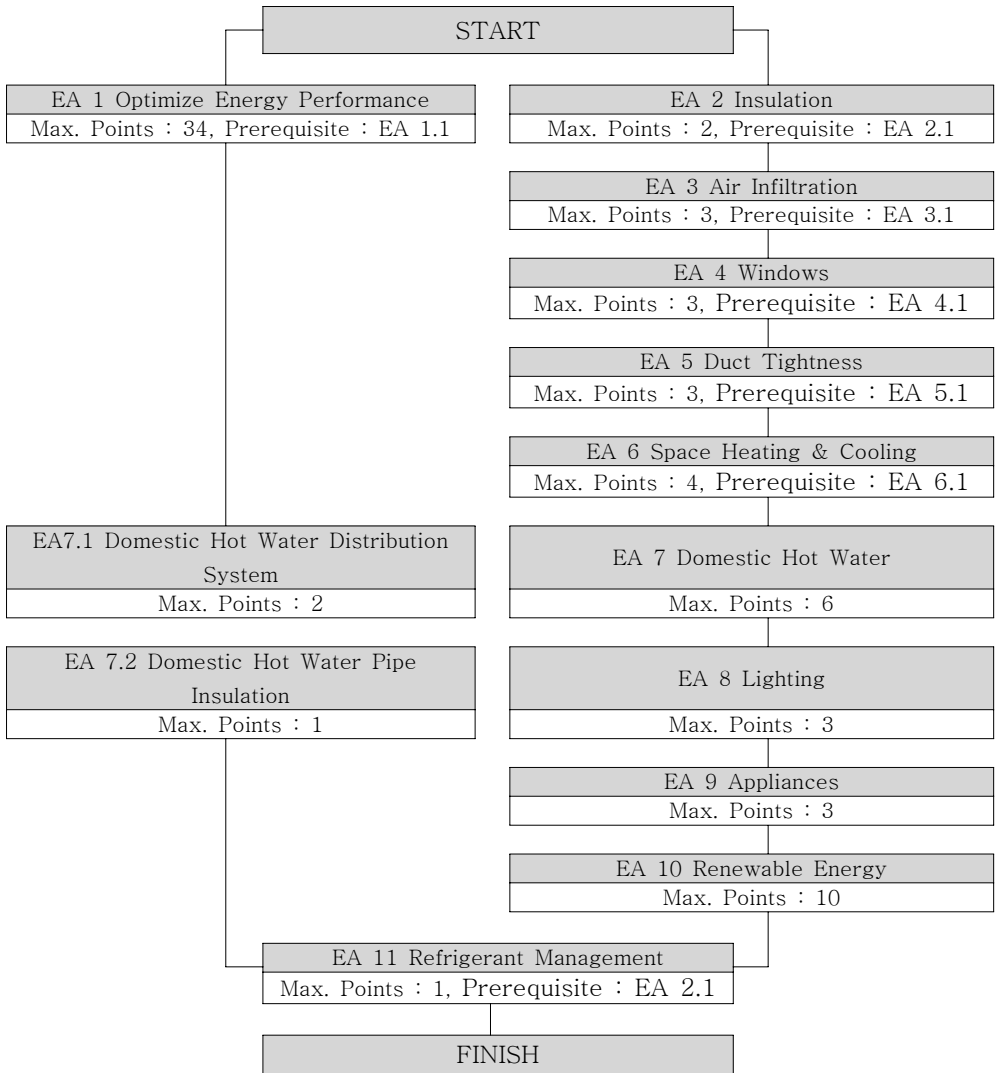
LEED for Homes은 친환경 저층주거의 기술 연구 및 개발과 보급을 촉진하기 위해 USGBC(U.S Green Building Council)에 의해 2008년 1월 미국에서 만들어진 평가시스템으로서 에너지 사용의 저감과 효율적인 자원 사용, 비용이 적게 들며, 지속가능하고 거주자의 건강을 위해 디자인된 주택을 인증하는 도구이다. 이 평가시스템은 단독주택이나 다세대주택에 적용될 수 있으며, market-rate와 주택에 적용가능하다. LEED for Homes의 평가시스템은 <표 2.1>과 같이 8개 항목을 통해 평가를 실시하며, LEED for Homes을 통해 받을 수 있는 최대 점수는 136점이다.

<표 2.1> LEED for Homes 평가부문 및 배점

Credit category	Prerequisites (mandatory) measures	Minimum point requirement	Maximum points available
Innovation & Design Process(ID)	3	0	11
Location & Linkages(LL)	0	0	10
Sustainable Sites(SS)	2	5	22
Water Efficiency(WE)	0	3	15
Energy & Atmosphere(EA)	2	0	38
Material & Resources(MR)	3	2	16
Indoor Environmental Quality(EQ)	7	6	21
Awareness & Education(AE)	1	0	3
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>136</b>

LEED for Homes는 8개의 카테고리 와 44개의 Checklist를 가지고 있다. 카테고리 내에서 평가경로의 선택에 따라 평가되는 Checklist의 수는 달라질 수 있으며, Checklist의 평가에 있어서도 하위 평가항목 또한 평가자의 선택에 따라 달라질 수 있다. 에너지 및 CO<sub>2</sub>에 관한 평가 카테고리인 Energy & Atmosphere (EA)는 (그림 2.1)과 같이 두 가지 경로로 평가가할 수 있다.





(그림 2.1) Energy & Atmosphere(EA) 평가 경로

### 1) 전체 에너지 성능(EA1. Optimize Energy Performance)

ENERGY STAR 라벨링 제도의 성능에 건물의 에너지 효율을 만족시키거나 더 높임으로서 건물의 총 에너지 효율을 개선하기 위한 평가항목이다. 필수 항목인 ‘Performance ENERGY STAR for Homes’는 제3자의 검증을 포함하여 ENERGY STAR의 주거부분 요구 성능에 맞추는 것이며, 그 이후 인증 항목은 ‘Exceptional Energy Performance’로 최대 점수 34 점이 부여된다.

평가 방법은 건물 에너지 표준 지침(HERS)과 관련된 (식 2.1)과 (식 2.2)를 활용하여 LEED 점수를 산출한다. EA 1 항목에서 점수를 획득한 프로젝트는 EA 2~6, EA 7.3과 EA 8~10의 평가를 생략할 수 있다.

South

$$\text{LEED Pts} = \{[\text{Log}(100 - \text{HERS Index})] / 0.024\} 48.3 \dots\dots\dots (\text{식 2.1})$$

North

$$\text{LEED Pts} = \{[\text{Log}(100 - \text{HERS Index})] / 0.021\} - 60.8 \dots\dots\dots (\text{식 2.2})$$

### 2) 재생에너지(EA10. Renewable Energy)

재생에너지를 이용한 전력 발전 시스템의 설치와 운영을 장려함으로써 재생되지 않는 에너지의 소비량을 감소하기 위한 목적의 평가항목으로서, 필수항목은 없으며 인증항목에서 최대 10점을 부여한다. 재생에너지 시스템으로부터 공급받을 수 있는 에너지와 연간 기준 전력부하를 계산하기 위해 에너지 모델링을 사용하며, 3%의 부하를 담당하면 1점을 부여한다. 연간 기준 전력 부하는 일반적인 주거모형에서의 연간 전력 사용량으로 정의하며, 연간 에너지 부하의 조사는 HERS Guidelines에 명시된 절차를 따른다. 다음은 배점부여 방식의 예를 나타낸 것이다.

<b>(Example)</b>	
Annual reference electric load	= 10,000KWh
Annual electricity consumption in LEED home	= 7,000KWh
Annual electricity supplied by renewable energy system	= 1,800KWh
percentage of annual reference electric load supplied by renewable energy system	= 1,800/10,000
	= 18.0%
LEED points, under EA 10	= 18.0 ÷ 3 = 6.0 points

### 3) HERS(Home Energy Rating System)

EA1의 배점 기준이되는 HERS는 주거건축물의 에너지성능을 평가하는 인증제도이다. 3층 이하의 주거건축물 또는 단독주택에 적용되며, RESNET(Residential Energy Service Network)에 의해서 운영되는 National Tool이다.

건물의 성능을 정확하게 진단하여 이에 해당하는 금융상품을 개발하고, 주택시장을 활성화시키려는 목적으로 만들어졌다. 건물 매매 시 건물의 객관적인 정보를 제공하는 수단이 되고 있으며, 현재 Energy Star 인증에 활용되고 있다.

HERS에서는 공인된 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 표준주택의 냉난방, 급탕 관련 표준 수정 부하량 및 에너지소요량, 신청주택의 냉난방, 급탕에너지 소요량을 계산하고, 이로써 신청주택의 냉난방, 급탕 부하량을 산출한다. 산출된 부하량으로 HERS Index값을 구하고, 이 값으로 건물의 에너지성능을 평가한다.

HERS는 건물의 에너지성능등급을 설정하기 위해 HERS Index라는 지표를 사용한다. HERS Index 0은 에너지 소비가 없는 상태를 뜻하며, HERS Index 수치 1 증가는 에너지 소비량 1% 증가를 의미한다. 또한 HERS Index 수치 100에 해당하는 주택을 표준주택이라 한다. HERS는 건물의 성능을 평가하는데 초점을 맞추고 있기 때문에 표준주택 이하 성능까지 등급을 설정하고 있다. 표준주택이 4등급에 해당하므로 실제로 에너지 효율적인 건물을 인증하는 등급은 4단계로 분류된다고 할 수 있다.

<표 2.2> HERS 등급설정기준

등급	HERS Index	에너지 절감율
1	0 - 70	100% - 30%
2	71 - 85	29% - 15%
3	86 - 90	14% - 10%
4	91 - 100	9% - 0%
5	101 - 150	-
6	151 - 200	-
7	201 - 250	-
8	251 - 300	-
9	301 - 400	-
10	401 - 500	-

HERS의 평가에는 냉난방 및 급탕 시스템의 평가에 있어서 신재생에너지 시스템의 적용과 관련된 내용 포함되어 있다. 이를 위해 HERS에서는 각 시스템의 기본적인 효율을 제시하고 있으며, Technical Guide를 통해 냉난방 및 급탕 시스템에 재생에너지를 적용할 경우 현지 점검사항을 제시하고 있다. 제시하고 있는 시스템은 지열 히트펌프 시스템, 바이오매스, 태양열 급탕 시스템, 열병합 발전 등이다.

재생에너지 시스템을 적용했을 경우 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을

평가하며, 전력 생산량 등을 고려하여 평가 건물의 최종 에너지 소비량을 산출하는 방식을 사용한다.

## 2.1.2 BREEAM-CSH(The Code for Sustainable Home)

The Code for Sustainable Homes(이하 BREEAM-CSH)는 2007년 4월 영국에서 소개되었으며, 주택산업에 있어서 높은 환경적 표준에 의해서 주택이 설계되고 건설 될 수 있도록 한 새로운 평가지표로서 총체적인 지속가능성을 향상시키기 위해 고안된 자발적 기준이다. BREEAM-CSH는 ‘전체적인 주택’을 평가하는 것으로 <표 2.3>과 같이 크게 9개의 디자인 항목으로 분류되며, 34개의 세부항목으로 구성되어 있으며, 전체 총점은 104점이다.

<표 2.3> Total Credit available, Weighting Factors and Points

Categories of Environmental Impact	Total Credits in each Category	Weighting factor (%points contribution)	Approximate weighted value of each credit
Energy and CO <sub>2</sub> Emissions	29	27.9%	1.26
Water	6	5.8%	1.50
Materials	24	23.1%	0.30
Surface Water Run-off	4	3.8%	0.55
Waste	7	6.7%	0.91
Pollution	4	3.8%	0.70
Health and Wellbeing	12	11.5%	1.17
Management	9	8.7%	1.11
Ecology	9	8.7%	1.33
Total	104	100.0%	-

BREEAM-CSH에서 에너지 및 CO<sub>2</sub> 와 관련된 카테고리는 Energy and CO<sub>2</sub> Emission으로 건물의 CO<sub>2</sub> 배출성능으로 평가한다. 이 항목은 총 9개의 세부항목, 총점 29점으로 전체의 36.4%의 비중을 가진다.

1) 주거지 배출율(Dwelling Emission Rate)

<표 2.4> Dwelling Emission Rate의 배점 및 필수평가항목 유무

Issue ID	Description	NO. of credits available	Mandatory Elements
Ene 1	Dwelling Emission Rate	15	Yes

주거의 운영과 서비스로부터 일어나는 CO<sub>2</sub>의 배출량을 제한하기 위해서 설정된 항목으로서 Dwelling Emission Rate(DER), Target Emission Rate(TER)의 퍼센티지 향상으로 인증을 준다.

DER은 실제 주거를 위한 난방, 급탕, 조명에 대한 에너지 사용으로부터 일어나는 일 년에 m<sup>2</sup>당 kg의 이산화탄소 배출량이며, TER은 빌딩규제에 의해 허용되는 최대 배출량을 의미한다.

<표 2.5> Dwelling Emission Rate의 평가 기준

Percentage improvement of DER over TER	Credits	Mandatory levels
≥ 10%	1	Level 1
≥ 18%	3	Level 2
≥ 25%	5	Level 3
≥ 44%	8	Level 4
≥ 100%	14	Level 5
'Zero Carbon Home'	15	Level 6

BREEAM-CSH의 Dwelling Emission Rate 평가 또한 LEED for Homes와 마찬가지로 에너지 성능 인증제도에 기반을 둔다. BREEAM-CSH의 기반이 되는 에너지 성능 인증제도는 SAP 2005이다.

2) 저탄소 배출 기술(Low or Zero Carbon (LZC) technologies)

<표 2.6> LZC technologies의 배점 및 필수평가항목 유무

Issue ID	Description	NO. of credits available	Mandatory Elements
Ene 7	Low or Zero Carbon (LZC) technologies	2	No

건물에 필요한 에너지 수요의 상당 부분을 재생에너지로부터 공급하여, 지역에너지를 이용한 발전을 장려함으로써 탄소 배출량과 대기오염을 줄이기 위한 항목으로서 Technical guide에 상세하게 기록된 계산방법을 사용하여 Zero of Low carbon(LZC) Energy Technologies 사용으로 나타나는 전체 탄소 배출량의 퍼센티지 감소 대하여 인증(credit)을 준다.

<표 2.7> LZC technologies의 평가기준

평가 기준	Credits
10%의 탄소 배출량 감소	1
15%의 탄소 배출량 감소	2

### 3) SAP 2005

영국의 건축법체계는 Building Act, Building Regulation, Approved Document A-P로 이루어져 있다. Building Regulation은 2007년에 개정이 이루어져 Energy Performance of Buildings Regulations 2007이 새로 제정되었으며, 2007년 3월 29일부터 효력이 발생하기 시작했다. 새로 제정된 법의 주요 골자는 신축 및 기존 건축물에 대해서 건물 에너지성능을 평가하고, 이에 대한 표시를 의무화하는 것인데, SAP 2005는 이 때 건물 에너지성능을 평가하는 기준을 제공한다. 적용범위는 450m<sup>2</sup>이하 주거건축물에 국한되며, 공동주택 적용 시에는 복도, 홀 등의 공용공간을 제외한 단위세대에만 적용된다.

SAP 2005는 <표 2.9>와 같이 총 4가지의 건물 에너지성능 평가지표를 제공한다. 이들은 각각 에너지소비량을 바탕으로 건물의 온실가스배출량 또는 에너지비용 등에 대한 상관관계를 나타내는 특징을 가지고 있다.

<표 2.8> SAP 2005 건물 에너지성능 평가지표

평가지표	평가내용
SAP rating	신청주택의 에너지비용 평가지표
EI rating(Environment Impact)	건물 환경 성능지표
DER(Dwelling CO <sub>2</sub> Emission Rate)	신청주택의 CO <sub>2</sub> 배출율
TER(Target CO <sub>2</sub> Emission Rate)	표준주택의 CO <sub>2</sub> 배출율

SAP 2005는 에너지소비량으로 건물의 에너지성능을 평가하는 것이 아니라, 에너지소비량을 바탕으로 건물이 소비하는 에너지비용 또는 배출하는 CO<sub>2</sub> 량을 산출하고 이로써 건물의 에너지성능을 평가한다. 건물의 에너지비용 지표에 해당하는 SAP Rating의 경우 건물의 난방 및 급탕에너지 소요량에 해당상수를 곱하여 에너지비용계수(ECF, Energy Cost Factor)를 구하고, 이를 이용하여 값을 산출한다.

DER은 CO<sub>2</sub> 를 발생시키는 각각의 시스템에 배출계수(Emission Factor)를 곱하여 산출하며, DER을 규제하기 위한 기준으로 표준주택의 CO<sub>2</sub> 배출율을 설정하는데 이를 TER이라 하며 산출방식은 DER과 동일하다.

SAP 2005에서 제시하는 건물 에너지성능 관련 지표 4가지(DER, TER, SAP Rating, EI Rating) 중 등급설정에 사용되는 지표는 SAP Rating과 EI Rating이다. 수치는 0부터 100까지의 값을 가지며, 100은 에너지 소비가 없는 상태를 의미한다. 단, 건물이 에너지를 생산하는 경우 수치는 100을 넘을 수 있다. SAP rating 와 EI rating는 모두 건물의 에너지소비량을 바탕으로 하고 있으나, 각각 별도의 보정계수를 통해 재 산출 된 지표이므로 직접적인 에너지 절감율을 알 수는 없다.

<표 2.9> SAP 2005 등급설정기준

등급	SAP rating 혹은 EI rating
1(A)	92 -
2(B)	81 - 91
3(C)	69 - 80
4(D)	55 - 68
5(E)	39 - 54
6(F)	21 - 38
7(G)	1 - 20

SAP 2005는 (그림 2.3)과 같은 Work Sheet를 통해 평가를 실시한다.

SAP WORKSHEET (Version - 9.80) - Final			
<b>9b. Energy requirements - Community heating scheme</b>			
<i>This page should be used when space and water heating is provided by community heating only, with or without CHP or heat recovered from power stations. If CHP is not involved enter "0" on box (83*), and "1.0" in box (84*)</i>			
Overall system efficiency of the heating plant <i>(100 % minus the amount shown in the 'efficiency adjustment' column of Table 4c(3) where appropriate)</i>			<input type="text"/> (82*)
Fraction of heat from CHP unit or fraction of heat recovered from power station <i>(from operational records or the plant design specification)</i>			<input type="text"/> (83*)
Fraction of heat from boilers	$1 - (83^*)$	=	<input type="text"/> (84*)
Distribution loss factor (Table 12c)			<input type="text"/> (85*)
			<b>kWh/year</b>
Space heating from CHP or recovered heat, kWh/year	$[(81) \times (83^*) \times 100] + (82^*) \times (85^*)$	=	<input type="text"/> (86*)
Space heating from boilers, kWh/year	$[(81) \times (84^*) \times 100] + (82^*) \times (85^*)$	=	<input type="text"/> (87*)
Electricity for pumps and fans: from Table 4f for dwellings with mechanical ventilation, otherwise enter "0"			<input type="text"/> (88*)

(그림 2.3) SAP Work Sheet

SAP Work Sheet의 입력사항은 건물의 기본적인 정보와 SAP에서 제공하는 값 등이며, 이를 통해 SAP Rating, EI Rating, DER, TER을 산출한다.

또한 SAP 2005는 신재생에너지 시스템의 도입을 고려하며, 신재생에너지에 대한 사항도 WorkSheet의 입력을 통해 평가한다. SAP 2005에서 고려하고 있는 신재생에너지 시스템은 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템이 있으며, 그 외의 새로운 에너지 절약 기술에 대응할 수 있도록 하고 있다.

BREEAM-CSH와 마찬가지로 SAP 2005에서 주목할 점은 에너지 소비량으로 최종 평가를 실시하는 것이 아니라 에너지 비용과 CO<sub>2</sub> 배출량을 통해 평가한다는 것이다. 이를 위해 SAP 2005에서는 연료의 종류에 따른 에너지 비용과 CO<sub>2</sub> 배출계수를 규정하고 있다.



### 2.1.3 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency)

일본에서는 2001년 4월 ‘건축물의 종합적 환경평가위원회가’ 국토교통성의 주택국 지원 아래 산학관 공동 프로젝트로서 발족하였다. 이 연구의 성과로서 ‘건축물 종합 환경성능 평가시스템’이 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency)를 개발하였다. CASBEE 개발의 주요 목적은 건축물의 Life Cycle에 걸친 지속가능한 사회를 실현하기 위하여 정책 및 시장 쌍방의 수요를 지원하는 것이다.<sup>6)</sup>

CASBEE는 에너지소비, 자원순환, 지역환경, 실내환경의 4가지 주요 분야를 평가대상으로 하며 BEE 개념의 도입을 통해 Q(건축물의 환경품질, 성능)과 L(건축물의 외부환경 부하)의 2가지 주요 카테고리 정리하여 재구성 하였다. <표 2.11>은 재구성을 통한 CASBEE의 평가항목 및 항목별 가중치이다. CASBEE에서의 에너지성능 평가 카테고리는 LR-1 Energy 항목으로 LR의 0.4의 가중치를 갖는다.

<표 2.10> 항목별 가중치

Assessment Fields	Score	Weighting Coefficients	
		Non-factory	Factory
Q-1 : Indoor Environment (실내 환경)	Level 1~5	0.40	0.30
Q-2 : Quality of Service (서비스 성능)	Level 1~5	0.30	0.30
Q-3 : Outdoor Environment on site (부지내 실외 환경)	Level 1~5	0.30	0.40
LR-1 : Energy (에너지)	Level 1~5	0.40	
LR-2 : Resources & Materials (재료 및 자원)	Level 1~5	0.30	
LR-3 : Off-site Environment (부지 외 환경)	Level 1~5	0.30	

6) 신인중, 일본의 친환경 건축물 평가시스템의 소개, 한국설비기술협회 특집원고, 2004.11

CASBEE-NC에서는 초기설계 단계(Preliminary Design Stage)와 실시설계 및 준공 단계(Execution Design and Construction Completion Stage)를 각각 평가한다. 건물의 에너지를 평가하는 항목은 대부분 2가지 단계 모두 동일하나, 재생에너지의 변환이용 항목에 있어서는 초기설계 단계에서는 계획 여부를 평가하는 반면, 실시설계 및 준공 단계에서는 정량적으로 재생에너지의 이용량을 평가한다.

### 1) 에너지 열 부하(Energy Thermal Load)

Energy Thermal Load(에너지 열 부하)의 평가에서는 초기설계 단계와 실시설계 및 준공 단계 모두 평가방법이 동일하다. 평가기준은 일본의 에너지 절약법에 기초하며, 주택의 단열과 기밀 정도에 의해서 평가된다.

<표 2.11> 에너지 열 부하 평가 등급

Building Type	Apt
Level 1	(부적당함)
Level 2	grade 1에 상응하는 단열과 주택의 기밀도 : level 3에 미달
Level 3	grade 2에 상응하는 단열과 주택의 기밀도 : 1980년 기준
Level 4	grade 3에 상응하는 단열과 주택의 기밀도 : 1992년 기준
Level 5	grade 4에 상응하는 단열과 주택의 기밀도 : 1999년 기준

<표 2.12> 주거건물의 에너지 절약 기준과 주택 품질보증법의 비교

주택 품질 보증법	연간 냉난방 부하(MJ/m <sup>2</sup> .yr)					
	I	II	III	IV	V	VI
Grade 1	grade 2에 미달하는 건물					
Grade 2	840 이하	980 이하	980 이하	980 이하	980 이하	980 이하
Grade 3	470 이하	610 이하	640 이하	660 이하	510 이하	420 이하
Grade 4	390 이하	390 이하	460 이하	460 이하	350 이하	290 이하

\* I ~VI은 지역적 카테고리를 나타냄

### 2) 자연에너지 이용(Natural Energy Utilization)

자연에너지 이용부문은 2개의 평가항목으로 분류된다. 첫 번째는 자연에너지의 직접이용이며, 두 번째는 재생에너지의 변환이용이다. 자연에너지 직접이용 항목은 초기설계 단계와 실시설계 및 준공 단계 모두 동일하게 자연채광과 자연환기의 이용여부로 판단하여 등급을 부여한다. 반면 자연에너지 직접이용 항목은 , 재생에너지의 변환이용 항목은 초기설계 단계와 실시설계

및 준공 단계에서 차이를 보인다.

초기설계 단계에서는 재생에너지 이용을 위한 계획이 되었는지의 여부를 기준으로 평가하며, 실시설계 및 준공 단계에서는 단위면적당 재생에너지 이용을 얼마만큼 하고 있는지 정량적으로 평가한다. 다음은 자연에너지 변환이용의 실시설계 및 준공 단계세의 평가방법이다.

<표 2.13> 재생에너지 변환이용(실시설계 및 준공 단계) 평가 등급

Building Type	Apt
Level 1	(부적당함)
Level 2	(부적당함)
Level 3	0 ≤ 재생에너지 사용 < 1MJ/m <sup>2</sup> * 에너지사용이 없는 것과 같은 기념적인 목적의 사용 계획도 포함
Level 4	1MJ/m <sup>2</sup> ≤ 재생에너지 사용 < 15MJ/m <sup>2</sup>
Level 5	15MJ/m <sup>2</sup> ≤ 재생에너지 사용

$$\text{자연에너지 사용(MJ/m}^2\text{.yr)} = \frac{\text{연간 변환 이용량(MJ/yr)}}{\text{전체 바닥면적(m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (\text{식 2.4})$$

## 2.1.4 국내 친환경건축물인증제도

1992년 리우환경정상회의 이후 지속가능한 개발, 환경 친화적 건물의 중요성이 증대됨에 따라 세계 여러 각국에서는 친환경 인증평가를 만들어 건축에 적용시켜 왔다. 국내에서도 1997년 그린빌딩기술연구회의 그린빌딩인증기준(안)이 발표된 이후 대한주택공사 주택도시연구원, 크레비즈인증원(구 능률협회인증원), 한국에너지기술연구원, 한국건설기술연구원에서 친환경건축물 인증제도가 연구되었으며, 그 후 건설교통부와 환경부의 친환경건축물 인증제도의 통합작업을 거쳐 2002년 1월 1일부터 공동주택(2006년 개정)에 대한 인증기준이 시행되었다. 이를 통해 지속가능한 건축의 기술 연구 및 개발과 보급을 촉진하기 시작하였으며 건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등의 전 과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소, 쾌적성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통해 환경에 대한 영향을 최소화하고자 하였다.

2004년 개정 이전의 공동주택 인증기준은 토지이용 및 교통, 에너지·자원 및 환경부하(관리), 생태환경, 실내환경의 4대 분류체계로 구성되어 있었으나, 2004년 개정 이후에는 BREEAM 98 및 GBTool의 분류체계를 참고하여 <표 2.15>와 같이 9개의 분류로 구분 되었다.

<표 2.14> 국내 친환경건축물인증제도 평가부문 및 배점

부문	평가항목	가산항목	Weighting factor (%points contribution)
토지이용	15	7	16.2%
교통	6	2	5.9%
에너지	12	3	11.0%
재료 및 자원	14	9	16.9%
수자원	9	4	9.6%
환경오염	3	-	2.2%
유지관리	6	1	5.1%
생태환경	17	1	13.2%
실내환경	18	9	19.9%
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100.0%</b>

친환경건축물인증제도는 총점 136점으로 이루어져 있으며, 전체 평가점수에서 에너지 부문은 11.0%를 차지하고 있다. 또한 환경오염 부문의 이산화탄소 배출 저감 항목이 난방방식 및 열원에 대해 평가하고 있어 에너지/CO<sub>2</sub> 와 관련된 평가항목은 전체의 13.2%를 차지한다고 할 수 있다. 친환경건축물인증제도의 에너지/CO<sub>2</sub> 와 관련된 평가항목을 살펴보면 다음과 같다.

1) 에너지 소비량 - 배점 : 12점(평가항목)

건축물의 에너지소비는 화석 연료 사용에 의한 온실가스 배출과 밀접한 관계가 있으므로 건축물에서 에너지절감이 바로 온실가스 배출을 억제한다는 취지하에 건축물의 라이프사이클에서 가장 많은 에너지를 소비하는 운영단계에서의 에너지소비량을 사전에 평가함으로써 건축물의 에너지를 절감하고 나아가 온실가스의 배출을 저감하는 것을 목적으로 하는 항목이다.

• 에너지소비량 평가점수  $Y = 12 \times (\text{에너지성능지표검토서의 평점 합계} - 60) \div 25$   
 ※ - EPI : 에너지성능지표(Energy Performance Index)  
 - 평가 점수가 12점을 초과할 경우, 최고 평가점수인 12점으로 함

평가에 필요한 참고자료는 취사, 가전제품에 의한 에너지 소비량을 제외한 EPI 점수에 따른 에너지 소비비율이다.

<표 2.15> EPI 점수에 따른 에너지 소비비율

EPI 점수	60점	70점	80점	90점	100점
에너지소비량 비율(%)	100	88.8	77.5	66.3	55

2) 대체에너지 이용 - 배점 : 3점(가산항목)

대체에너지의 사용은 화석연료의 사용을 줄이면서 이로 인해 발생할 수 있는 온실가스 배출량도 줄일 수 있기 때문에 대체에너지 활용을 권장하고 장려하는 차원에서 본 항목을 평가하는 것으로서, 대체에너지 시설의 설치 여부에 따라 점수를 부여한다. 산출기준은 <표 2.17>과 같다.

<표 2.16> 대체에너지 시설 설치 수준에 따른 가중치

• 평점 = (가중치) × (배점)

구분	대체에너지 시설의 설치 수준	가중치
1급	냉방, 난방 또는 전기 설계부하의 2% 이상을 담당하는 수준의 대체에너지시설을 설치한 경우	1.0
2급	냉방, 난방 또는 전기 설계부하의 1% 이상을 담당하는 수준의 대체에너지시설을 설치한 경우	0.7
3급	대체에너지시설을 설치하고 설치위치에 일반인이 알 수 있도록 대체에너지시설의 내용을 표시한 경우	0.4

※ 대체에너지란 “대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법”에서 정의하는 것으로 태양에너지, 바이오에너지, 풍력에너지, 지열, 연료전지 등을 말함

3) 이산화탄소 배출 저감 - 배점 : 3점(평가항목)

이산화탄소는 대표적인 온실가스로 건설부문에서 많은 양이 발생하므로, 이를 건축물의 계획단계에서부터 고려하여 환경부하를 줄이고자 한다. 이를 위해 설계 및 운영단계에서의 이산화탄소 배출량 절감을 위해 적용된 기술 및 사용 에너지원별 이산화탄소 배출량을 평가하고자 하는 것으로서 난방 부하의 20%이상을 열병합발전의 배열을 이용하거나 사용 에너지원 및 이에 따른 이산화탄소 배출량을 산정하여 평가한다.

<표 2.17> 이산화탄소 배출 저감 산출기준

이산화탄소 배출 저감	평점
1) 연간 난방부하의 20% 이상을 하기 시스템 <sup>(a)</sup> 으로 충족하는 경우	3.0
2) 지역난방방식 건물	2.0
3) 기타 건물 : $(23.23^{(b)} \div \text{이산화탄소배출량}^{(c)}) \times 2$	

(a) 이산화탄소 배출을 저감시킬 수 있는 시스템

- 열병합발전의 배열을 이용한 난방시스템

(b) LNG연료 사용 및 EPI 100점 취득시 이산화탄소 배출량 (kg/m<sup>2</sup>yr)

(c) EPI점수에 의한 에너지소비량 산정값  $(-1.8 \times \text{EPI점수} + 268) \times \text{이산화탄소배출계수}$

#### 4) 에너지 성능지표(EPI, Energy Performance Index)

에너지 성능지표(EPI, Energy Performance Index)의 개념은 가장 에너지 절약적으로 설계된 최상의 성능을 갖는 건물의 에너지 소비량을 100이라고 하는 단순한 지표로 설정하고, 이를 기준으로 각 건물의 에너지 성능을 규정함으로써 누구나 쉽게 건물의 에너지 성능을 파악할 수 있도록 한 것이다. 에너지 성능지표를 사용하게 됨으로써 얻을 수 있는 가장 큰 이점은 바로 설계과정이나 심의과정 혹은 허가과정에서 복잡한 계산이나 컴퓨터의 사용이 전혀 필요없게 된다는 사용의 간편성에 있다. 또한 에너지 성능지표를 사용하는 경우에 설계자나 검토자는 단지 관련서식에 따라 설계항목을 표시하고 이에 대한 도면 등의 근거자료를 제출하고 검토하는 과정만을 거치게 되므로 시간과 인력의 절약효과를 얻을 수 있게 된다. 그러나 에너지 성능지표의 배경에는 정밀해석 프로그램에 따른 정확한 입증자료가 있기 때문에 결과에 대한 신뢰성을 확보하고 있다.

EPI 개념의 에너지 절약 설계기준은 외국의 기준이나 연구내용을 적용한 것이 아니라 우리나라의 실정에 맞는 새로운 기준을 개발한 것으로, 개념적으로는 현재 시행중인 가전제품이나 자동차 등에 대한 에너지 효율등급과도 유사하여 소비자의 입장에서는 건물의 에너지 비용을 절감하기 위하여 쉽게 EPI 점수가 높은 건물을 선택할 수 있는 기준이다. 또한 이 기준은 새로운 에너지 절약 설계기법의 개발과 에너지 절약기술의 발전, 신재료의 출현 및 에너지 정세의 변화 등에 따라서 손쉽게 수정 및 보완이 가능하므로 앞으로 총량규제방식에 의한 건축물 에너지 절약정책의 일환으로 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 EPI의 간편성과 높은 신뢰도를 바탕으로 현대 우리나라에서 시행중인 친환경 건축물 인증제도에서 에너지 부문의 평가는 EPI를 이용해서 하고 있다. EPI의 구성은 건축부문, 기계설비부문, 전기설비부문, 신재생에너지 부문으로 이루어져 있다. 주택의 경우에는 주택 1과 주택 2로 분리되는데 주택 1은 난방(개별난방, 중앙집중식 난방, 지역난방)이 적용된 공동주택이며, 주택 2는 주택 1에 중앙집중식 냉방이 적용된 공동주택이다. 주택의 각 부문의 배점을 살펴보면 주택 1의 경우 건축부문 56점, 기계설비부문 32점, 전기설비부문 14, 신재생에너지부문 10점으로 구성되어있으며, 주택 2의 경우 건축부문 53점, 기계설비부문 35점, 전기설비부문 14점, 신재생에너지부문 10점으로 구성되어 있다. EPI 총점은 최초 100점이었으나, 개정에 따라 추가 혹은 변경에 의해 100점을 초과 했다.

또한 EPI는 2008년 신재생에너지부문을 신설하였으며, 신재생에너지 평가 항목 및 배점은 <표 2.19>와 같다. EPI에서 시행하고 있는 신재생에너지에 대한 평가는 부하의 종류에 따른 배점을 부여하고 있으며, 냉난방, 급탕 및 전력부하로 구분하고 있다. 각 항목의 평가기준은 부하 분담율로 평가하고 있다. 냉난방 및 전력부하는 각각의 부하에 대해 2%(의무화 대상건물의 경우 4%)를 신재생에너지가 담당할 경우 점수를 부여하며, 급탕의 경우 10%(의무화 대상건물의 경우 15%)를 담당할 때 점수를 부여하고 있다.

<표 2.18> EPI의 기계설비부문 및 신재생에너지 부문 평가항목

항목		주택1	주택2
신재생	1. 전체 난방설비용량에 대한 신재생에너지 용량 비율	3	3
	2. 전체 냉방설비용량에 대한 신재생에너지 용량 비율	3	3
	3. 전체 급탕부하에 대한 신재생에너지 용량 비율	2	2
	4. 전체 전기용량에 대한 신재생에너지 용량 비율	2	2



## 2.2 국내외 친환경 공동주택 인증제도 비교, 분석

### 2.2.1 평가항목 비교

4가지 Tool은 공통적으로 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능에 대한 평가항목을 포함하고 있으며, 에너지/CO<sub>2</sub> 항목에서 가장 큰 배점을 차지한다. 또한 LEED for Homes나 BREEAM-CSH에서는 필수 혹은 전제항목으로 분류되며, 친환경건축물인증제도에서도 평가항목으로 분류되어 반드시 평가해야 되는 항목이다. 그 외의 항목에 있어서는 차이를 보이고 있으며, 유사한 항목에 있어서도 세부적인 평가내용에는 약간의 차이를 보인다. 친환경건축물인증제도와 BREEAM-CSH의 경우 별도의 설비시스템에 대한 평가항목이 존재하지 않았다. 또한 친환경건축물인증제도의 경우에는 다른 Tool에 비해 에너지/CO<sub>2</sub>와 관련된 항목의 수가 적은 것을 확인 할 수 있다. <표 2.20>은 각 인증제도의 평가항목을 비교한 것이다.

<표 2.19> 에너지 및 CO<sub>2</sub> 관련 항목비교

LEED for Home	BREEAM-CSH	CASBEE	친환경건축물인증제도-공동주택
Optimize Energy Performance	Dwelling Emission Rate	Building Thermal Load	에너지 소비량
Heating & Cooling Distribution System		HVAC System & Equipment for Improving Energy Efficiency	
Space Heating & Cooling Equipment		Ventilation System	
Water Heating		Hot Water Supply system	
Renewable Energy	LZC Energy Technologies	Direct Use of Natural Energy	대체 에너지 이용
		Converted Use of Renewable Energy	
			이산화탄소 배출량 저감

## 2.2.2 배점 비교

### 1) 총 배점에 대한 에너지 및 CO<sub>2</sub> 부문 비율

각 Tool의 에너지 및 CO<sub>2</sub> 평가항목이 전체에서 차지하는 배점의 비율을 살펴보면, BREEAM-CSH와 LEED for Homes에 경우 약 27.9%로 비슷한 비율을 차지하고 있으며 CASBEE의 경우 평가방식이 다른 3가지 Tool과 차이가 있어 동일한 비교는 불가능 하지만, LR 전체에서 40%를 차지한다. 이에 비해 국내 친환경건축물 인증제도의 경우 에너지 및 CO<sub>2</sub> 평가항목이 차지하는 비율이 다른 3가지 Tool에 비하여 적게 차지하고 있다는 것을 알 수 있다.

<표 2.20> 에너지 및 CO<sub>2</sub> 관련 항목 배점 비교

구분	LEED for Home	BREEAM-CSH	CASBEE	친환경건축물인 증제도-공동주택
총점	136점	104점	5	136점
에너지/ CO <sub>2</sub> 항목	38점	29점	-	18점
비율	27.9%	27.9%	LR의 40%	13.2%

### 2) 세부항목의 배점 적용 방식

#### (1) 건물 전체 부하 관련 항목

LEED for Homes은 앞서 설명한 바와 같이 건물의 에너지성능을 평가하는 경로를 2가지로 나누고 있다. 경로 1의 경우에는 전체 에너지 성능(Optimize Energy Performance) 평가항목에서 건물의 전체 에너지 성능을 평가한다. 경로 2에서는 건물의 단열성능, 기밀성(환기율), 창호, 덕트의 기밀정도 등을 평가한다. 경로 1의 전체 에너지 성능(Optimize Energy Performance)을 통해 평가할 경우, 전체 에너지 성능(Optimize Energy Performance) 평가 부문에서 최고 34점까지 획득할 수 있으며, 이 점수는 에너지 성능 평가 항목 전체 배점의 89.5%를 차지한다. 평가기준은 HERS Index에서 얻은 점수를 기준으로 평가하고 있다. BREEAM-CSH에서는 주거지에서의 배출율(Dwelling Emission Rate) 평가항목을 통해 건물에서 발생하는 전체 CO<sub>2</sub> 배출량을 평가한다. LEED for Homes와 마찬가지로 SAP 2005를 통해 DER과 TER을 계산하여 평가되며 전체 에너지 평가항목의 51.7%를 차지한다.

국내 친환경 건축물 인증제도 또한 건물의 전체 에너지 성능을 EPI에서 획득한 점수를 통해 평가되며, 66.7%의 비율을 가진다.

<표 2.21> 인증제도별 건물 전체 부하 평가항목 비교

구분	LEED for Home	BREEAM -CSH	CASBEE	친환경건축물인 증제도-공동주택
배점 (최고점)	34점	15점	Level 1~5	12점
에너지/CO <sub>2</sub> 항목 중 배점 비율	89.5%	51.7%	-	66.7%
평가기준	HERS Index	SAP 2005	에너지절약법	EPI

(2) 설비 시스템 관련 항목

LEED for Homes의 설비 시스템 관련 항목은 앞서와 마찬가지로 경로 1의 경우와 경로 2의 경우가 다르다. 경로 1을 선택하여 평가할 경우 전체 에너지 성능(Optimize Energy Performance) 평가항목의 평가기준인 HERS Index에서 기본적인 설비시스템과 관련된 평가가 이루어지기 때문에 LEED for Homes을 통해서는 EA7.1, EA7.2와 EA11만이 평가된다. 경로 2를 선택하여 평가할 경우 3개의 평가항목에서 냉난방 및 급탕 시스템을 평가한다. EA 5에서는 냉난방의 분배 시스템에 대한 평가를 하며, 덕트의 유무에 따라 그 평가 방법이 다르다. 덕트를 사용하는 시스템의 경우 덕트를 통한 열손실 정도를 평가하며, 덕트를 사용하지 않는 경우 배관의 단열정도로 평가한다. EA 6에서는 냉난방 시스템을 평가하며, 기기의 설치와 효율을 평가하는 것으로 기기의 효율은 ENERGY STAR의 요구성능을 기준으로 한다. EA 7은 급탕 시스템에 대한 평가로, 기기의 효율적인 설치와 배관 단열, 급탕 시스템 자체의 효율을 평가한다. 급탕 시스템의 효율을 평가하는 데 있어 태양열 급탕 시스템이 사용될 경우를 평가할 수 있다. 경로 2를 통해 평가할 경우 EA5~EA7까지의 최대 배점 합계는 13점으로 전체 항목에 대해 34.21%의 비율을 가진다.

CASBEE는 LR-3에서 시스템과 관련된 사항을 평가하고 있으며, 공조설비, 환기설비 및 급탕설비와 에너지 효율 개선을 위한 기기에 대한 평가항목이 있다. 에너지 효율 개선을 위한 장비는 열병합 발전과 같은 장치를 말하는 것으로 연간에너지 소비량 대비 절약되는 에너지량을 계산하여 점수를 부여한다.

BREEAM-CSH와 친환경건축물인증제도의 경우, 냉난방 시스템과 관련된 평가는 하고 있지 않으며, 친환경건축물인증제도의 경우 환경오염 부문의 지구온난화 방지 범주에서 이산화탄소 배출 저감 항목을 통해 열병합 발전 및 지역난방의 사용 유무를 평가하고 있다.

<표 2.22> 인증제도별 시스템 평가항목 비교

	LEED for HOMES		BREEAM -CSH	CASBEE	친환경건축물인증제도-공동주택
	경로 1	경로 2			
최고점	4점	13점	0점	-	3점
비율	10.5%	34.21%	0%	-	2.21%
냉난방 효율	-	EA 6	-	LR-3. 3.1	-
분배 시스템	-	EA 5	-	-	-
급탕 시스템	EA 7.1 EA 7.2	EA 7	-	LR-3. 3.4	-
환기 시스템	-	-	-	LR-3. 3.2	-
열원 시스템	-	-	-	LR-3. 3.6	이산화탄소 배출 저감
기타	EA 11	EA 11	-	-	-

### (3) 재생에너지 시스템 관련 항목

각 인증제도의 재생에너지 시스템 평가방법을 살펴보면, LEED for Homes, BREEAM-CSH, 친환경건축물 인증제도는 부하분담율을 기준으로 재생에너지 시스템을 평가하며, CASBEE의 경우에는 실시설계 및 준공단계에서 단위면적(m<sup>2</sup>)당 재생에너지를 이용해 생산되는 연간에너지량을 기준으로 평가한다. LEED for Homes의 경우 재생에너지 시스템을 통한 부하분담율을 점수화 하는데 있어서 3%의 분담율 당 1점을 부여하며, 최대 10점을 얻을 수 있다. BREEAM-CSH의 경우 에너지의 분담율이 아닌 재생에너지를 통한 탄소배출량 절감율을 기준으로 평가하며 최대 2점을 부여한다. 국내 친환경건축물 인증제도는 3점의 배점이 부여되며, 부하분담 정도에 따라 가중치를 부여한다. 부하분담률을 계산하거나 재생에너지를 통한 연간 에너지 생산량을 평가하는 데 있어서, LEED for Homes을 제외한 3가지 Tool은 냉난방 및 전력 사용량을 모두 포함하고 있으나, LEED for Homes의 경우에는 전력에 대한 부하분담률만을 평가하고 있다.

<표 2.23> 인증제도별 재생에너지 평가항목 비교

	LEED for Home	BREEAM -CSH	CASBEE	친환경건축물인 증제도-공동주택
최고점	10점(경로 2의 경우)	2점	-	3점
비율	7.35%	1.92%	-	2.21%
기준	부하분담률	탄소 배출량 절감율	에너지 생산량	부하분담률
배점 적용	부하분담 3% 당 1점	1점:분담률 10% 2점:분담률 15%	$0 \leq \text{Level}3 \leq 1\text{MJ/m}^2$ $1 \leq \text{Level}4 \leq 15\text{MJ/m}^2$ $15\text{MJ/m}^2 \leq \text{Level} 5$	$3 \times 1.0$ :분담률 2% $3 \times 0.7$ :분담률 1% $3 \times 0.4$ :설치시
평가 대상	전력	연료의 종류 구분 없이 탄소배출량	에너지 종류 구분 없이 생산 에너지량	난방, 냉방 및 전력

(4) 에너지 성능 평가제도

BREEAM-CSH와 친환경건축물인증제도의 경우 설비 시스템과 관련된 평가항목이 존재하지 않는데, 이는 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능을 평가하는 항목에서 SAP 2005와 EPI의 점수 평가기준으로 하면서 이미 고려되어진 사항이기 때문이다. LEED for Homes 또한 실질적으로 경로 1을 선택하여 EA 1을 평가할 경우, EA 7.1, EA 7.2과 EA 11 세 항목만이 설비시스템과 관련된 평가항목이다. 평가방법에 있어 큰 차이를 보이는 CASBEE를 제외한 나머지 3가지 인증제도는 각각 HERS, SAP 2005, EPI를 통한 평가 점수를 기준으로 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능을 평가하고 있으며, HERS, SAP 2005, EPI의 평가에서 설비시스템에 대한 평가가 이루어진다. <표 2.25>는 HERS, SAP 2005, EPI의 평가시 각 인증제도에서 고려하고 있는 항목을 나타낸 것이다.

<표 2.24> 각 인증제도 평가시 고려 항목 비교

	HERS	SAP 2005	EPI
난방시스템	●	●	●
냉방시스템	●		●
분배시스템	●		●
급탕 시스템	●	●	●
환기시스템	●	●	●
열원 시스템	●	●	●
기타 제어시스템	●		●
신재생에너지 시스템	●	●	●

HERS, SAP 2005, EPI에서는 모두 신재생에너지 시스템 도입을 고려하여 평가를 실시하고 있다. HERS에서는 공인된 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하며, SAP 2005에서는 SAP Work Sheet를 통해 평가한다. HERS와 SAP 2005는 그 방식에 차이는 있으나, 컴퓨터 시뮬레이션의 이용 유무의 차이이며 두 평가제도 모두 정량적인 수치를 통한 평가를 실시하고 있다. EPI는 건물의 주요 부하 종류를 나누어 부하 분담율에 따른 점수를 부여하는 방식으로 평가하고 있다.

<표 2.25> 각 평가제도의 신재생에너지 평가방법

	HERS	SAP 2005	EPI
평가 방법	공인된 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 이용	SAP Work Sheet 이용	부하종류별 배점 부여 (부하 분담율에 따라)

## 2.3 소결

국내외 친환경 공동주택 인증제도의 에너지/CO<sub>2</sub> 성능평가 항목을 조사한 결과, 인증제도 전체 배점에서 에너지/CO<sub>2</sub> 성능평가가 차지하는 비중이 LEED for Homes와 BREEAM-CSH에서는 27.9%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었으나, 국내 친환경건축물인증제도는 이산화탄소 배출량 항목을 포함하더라도 13.2%로 에너지/CO<sub>2</sub>에 대한 비중이 국외 인증제도에 비해 적은 것을 알 수 있었다.

또한 공통적으로 에너지/CO<sub>2</sub>와 관련된 항목 중 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능을 평가하는 항목이 LEED for Homes는 89%, BREEAM-CSH 51.7%, 친환경건축물인증제도에서는 66.7%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었다. LEED for Homes, BREEAM-CSH와 친환경건축물인증제도의 건물의 전체 에너지/CO<sub>2</sub> 성능평가는 각각 건물의 에너지/CO<sub>2</sub> 성능평가 제도인 HERS, SAP 2005, EPI를 통해 평가된 점수를 이용하여 점수를 부여한다.

이들 에너지/CO<sub>2</sub> 평가제도는 건물계획요소 및 기본적인 설비를 평가할 수 있도록 구성되어있어, 친환경 공동주택 인증제도 내에서는 설비시스템에 대한 별도의 항목 수가 적거나 거의 존재하지 않는 것을 알 수 있었다.

재생에너지 시스템의 경우에는 건물 에너지 성능 인증제도에 일부 평가가 가능하도록 설정되어 있기는 하지만, 친환경 건축물 인증제도 내에서 별도의 항목을 두어 평가하고 있다.

국내외 인증제도 내에서의 에너지/CO<sub>2</sub> 평가항목을 살펴본 결과 국내 친환경건축물인증제도의 경우 국외의 인증제도에 비해 에너지에 대한 비중이 적어 에너지/CO<sub>2</sub>에 대한 고려가 부족한 것을 알 수 있었다.

또한 재생에너지 평가에 있어서도 LEED for Homes는 재생에너지의 부하 분담율을 파악하기 위해서 에너지 모델링을 사용하며, BREEAM-CSH는 별도의 Technical Guide에 상세하게 기록된 계산방법을 사용하여 재생에너지 시스템을 통한 탄소배출량 감소 정도를 평가한다. 그러나 국내 친환경 건축물 인증제도에서는 이런 Guide의 제시가 부족하며, 국내 친환경 건축물 인증제도에서 재생에너지를 평가하는 기준 중 가장 문제가 있는 점은 규모에 상관없이 설치시에 기본 점수를 받을 수 있게 되어 있다는 점이다. 이는 설계, 시공자가 단지 점수를 획득하기 위한 재생에너지 시스템의 설치만을 하도록 할 수 있다.

에너지 성능평가 제도에서 재생에너지의 평가는 HERS에서는 공인된 컴퓨

터 시뮬레이션을 통해 분석된 값을 바탕으로 평가되며, SAP 2005에서는 Work Sheet를 통해 평가함으로써 정량적인 수치로서 평가될 수 있도록 적용하고 있었다.

그러나 EPI에서는 신재생에너지 평가 기준을 냉난방 및 전력 설계 부하 부담률로 설정 되어 있었으며, 기준이 되는 부하부담율을 만족할 경우 배점을 부여하는 방법을 택하고 있어 재생에너지를 통해 절약되는 에너지 소비량의 정략적 수치를 모두 반영되고 있지 못하다. 또한 부하 종류에 따른 배점에 있어서도 실제 공동주택의 부하특성이 반영되고 있지 않으며, CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산시 가스와 전력 사용에 의한 영향이 반영되고 있지 않다.

국외의 경우 공동주택의 친환경 성능을 평가하는데 있어서 가장 중시되고 있는 부문은 에너지/CO<sub>2</sub> 이며, 건축기술요소를 평가함에 있어서 정량적인 수치가 반영될 수 있도록 평가하고 있다. 그러나 국내에서는 에너지/CO<sub>2</sub> 에 대한 반영도가 적으며, 정략적인 평가를 하기에 도 부족하다. 공동주택의 건축기술요소를 정량적으로 평가하기 위해서는 공동주택 부하종류에 따른 일반적인 에너지 소비량의 파악이 필요하며, 공동주택에 적용 가능한 건축기술요소를 파악하여 이를 평가할 수 있어야 한다. 따라서 3장에서는 국내외 친환경 주거단지 사례조사를 통해 국내 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소를 도출하였다.



## 제 3 장 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소 도출

국내외 시범단지, 주거단지 및 생태도시 내의 주거지를 중심으로 국내외 사례를 통해 적용된 친환경 건축기술요소를 조사하고, 국내 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소를 도출하였다. 국내외 사례는 최근 10년 내에 준공되었거나 준공완료가 계획된 단지를 중심으로 조사하여, 최근의 경향이 반영될 수 있도록 하였다.

### 3.1 친환경 건축기술요소 사례 조사 분석 및 도출

#### 3.1.1 국외사례

##### 1) 버빙(Vauban) 주거단지(프라이부르그, 독일)<sup>7)8)</sup>

###### (1) 개요

2002년 유엔(Dubai Award)에서 대표적인 지속가능한 도시발전 모델(World Best Practice)로 선정된 독일의 프라이부르그(Freiburg)시의 지속가능한 생태주거단지이다. 주거단지 개발은 1990년대 중반에 시작하여 2006년에 완공되었다. 도시계획가, 건축가, 정책가들 뿐만 아니라 일반인에게도 잘 알려진 지속가능한 발전을 실천한 대표적인 사례이로 하노버 크론스베르그(Hannover, Kronsberg), 프라이부르그 리젤펠트(Freiburg, Rieselfeld) 주거단지와 함께 지속가능한 생태주거단지의 대표적인 모델이다.

---

7) 네이버 블로그 <http://blog.naver.com/khbajj/110033414027>

8) Intelligent Energy Europe, European Sustainable Urban Development Projects Benchmark Study, 2004.11

(2) 적용 기술

<표 3.1> 버빙(Vauban) 주거단지 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	지역발전
	열병합 발전
	태양열 시스템
	태양광 시스템
	바이오매스
	풍력 발전
건축설비 시스템	자연환기 시스템
	폐열회수 환기시스템

2) 크론스베르그(하노버, 독일)<sup>9)</sup>

(1) 개요

크론스베르그(Kronsberg)는 2000년에 마무리 된 1단계 건설에서는 각각 중앙공원을 중심으로 Grouping된 두 개의 주거단지가 조성되었다. 커다란 격자모양으로 구획된 각각의 가구에는 가로를 면하여 격자형으로 주동이 배치되었다. 내부의 교통체계는 자전거와 보행자에게 유리하도록 구축되었다. 주택단지 남측으로 새로 개설된 도로는 엑스포주차장과 직접 연결된다. 전체 주택단지에는 가로수 길과 같은 도로가 설치되었으며 지하층에 설치한 차고와 지상의 개인용 주차공간을 적극적으로 활용하여 공간을 절약하도록 하였다.

크로스베르그의 주택단지 조성공사에서는 단지 전체에 걸쳐 치밀하고 조직적인 접근 방식의 환경친화적인 실험이 이루어 졌는데 그 중요한 계획요소로는 에너지관련 개념, 수자원관련 개념, 토양의 관리 등이다.

9) 장현덕, 생태주거단지 조성기법의 적용사례에 관한 연구, 세명대 대학원 석사학위논문, 2006

(2) 적용 기술

<표 3.2> 크론스베르그 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	열병합 발전
	지역난방
	태양전지
	풍력
	태양열 난방
	Passive Solar System
수자원 활용 시스템	우수 시스템

3) BedZED(런던, UK)<sup>10)</sup>

(1) 개요

런던 남부 베딩턴(Beddinton)에 위치한 영국의 대표적 친환경 주거단지인 BedZED 단지는 석탄, 석유 등 화석연료의 사용을 최소화하고 단지 내 CO<sub>2</sub> 배출량을 최대한 감축하도록 계획되었다. 1999년부터 2001년에 걸쳐 개발된 BedZED의 기본 목표는 재생 가능한 에너지의 사용과 건물 자체 및 단지 내에서 생산된 에너지를 이용하는 것이다.

BedZED 단지 내 모든 세대는 남향으로 배치되어 일사를 최대한 이용하도록 계획되었다. 또한 고밀도 주거를 가능하게 하면서도 녹지와 오픈 스페이스를 최대한 갖추도록 하였으며, 지상에 위치한 세대뿐만 아니라 2,3층 세대까지도 옥상정원 또는 옥외 발코니를 통해 외부와 접촉할 수 있도록 계획하였다.

10) 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2007

(2) 적용 기술

<표 3.3> BedZED 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	바이오매스 에너지(목재찌꺼기) : 열병합 발전
	태양광발전(BIPV)
	태양열 급탕
건축설비 시스템	자연형 태양열 시스템
	중량벽체(Thermally massive construction)
	3중창 및 고단열(Super Insulation)
	옥상녹화(Green roof technology)
	옥상 환기시설(Ventilator)을 이용한 자연환기 및 열 교환 시스템
	기밀화 시공(Airtight construction)
	재활용 건축자재 활용
	지역에서 생산된 건축자재 사용
	절수형 기기
수자원 활용 시스템	수초를 이용한 자연정화 우수처리(중수 시스템)
	우수 재활용 시스템

4) DockSide Green(브리티시컬럼비아주, 빅토리아시, 캐나다)<sup>11)</sup>

(1) 개요

Dockside Green은 British Columbia주 Victoria시에 위치한 전체 면적 130만 ft<sup>2</sup>의 복합 친환경 커뮤니티이다. 이 프로젝트는 거주지, 사무소, 상업지와 산업지구로 구성되어 있으며, 환경적, 사회적, 경제적 관점에서 세계적인 모델이다.

Dockside Green은 매년 세 가지 목표에 대한 지속가능 레포트를 제공한다. 지속가능 레포트는 전체에 대한 측정된 성능과 분담정도를 제공한다.

(그림 3.1)은 Dockside Green의 전체를 나타낸 것으로 본 연구의 대상인 공동주택은 R1 Synergy, R2 Balance, R3 Harmony & Tranquility이다. R1~R3는 모두 LEED Platinum을 받은 건물이다.

11) www.docksidegreen.com



(그림 3.1) Docksider Green 전체 배치도

(2) 적용 기술

<표 3.4> Docksider Green 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	바이오매스 Facility
	태양광 발전 시스템
	태양열 시스템
	풍력 발전
	열병합 발전
	고단열 외벽
건축설비 시스템	Low-E 유리
	폐열회수 환기 시스템
	LED 조명 및 Motion Sensor 제어 시스템
수자원 활용 시스템	절수형 기기
	우수이용 시스템
	오수처리 및 중수이용 시스템

5) Viikki 생태주거단지(헬싱키, 핀란드)<sup>12)13)</sup>

(1) 개요

Viikki지구는 헬싱키 주변의 그린벨트 지구에 인접한 지구로써 핀란드의 National Technology Agency 21 프로그램에 의해서 환경친화적인 주거복합도시를 실현하기 위해 생태과학과 농업, 생태기술 등을 활성화 시킬 수 있는 국제연구센터와 함께 자여보존을 모토로 주거복합도시를 구현한 사례이다.

Viikki 지역의 주거지는 1996년에 현상설계로 계획되었으며 에너지 절약, 친환경적 요소(소음, 건강, 미세기후 반영 등)를 적용한 다양한 시도를 했다. 1999년 봄 핀란드의 첫 번째 도시 생태지역 비키에 주택건설이 시작되어 약 1,700세대 규모의 건물이 생태적인 주거단지로 개발 되었다. 건물은 주로 중저층의 연립주택, 아파트와 단독주택으로 이루어져 있다. 부양주택 이외에도 상당수의 임대주택이 건설되었다. 대부분의 건물이 작은 스케일의 마당길과 공원으로부터 뻗어 나온 그린 핑거(Green Finger)에 면한다. 또한, 핀란드의 환경친화평가기준인 Pimwag(CO<sub>2</sub> 보유량, 수질관리, 쓰레기 처리장치, 자연 자원보존 등)를 기준으로 설계되어 친환경성을 담보하고 있다고 볼 수 있다.

(2) 적용 기술

<표 3.5> Viikki 생태주거단지 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	Passive Solar System(온실 등)
	태양열 난방
건축설비 시스템	에너지 절약형 HVAC
	저온 난방 시스템과
	각 층에 계량기와 온도 조절기를 분리
수자원 활용 시스템	우수이용 시스템
	오수 처리(자연정화) 시스템

12) 장현덕, 생태주거단지 조성기법의 적용사례에 관한 연구, 세명대 대학원 석사학위논문, 2006

13) 네이버 블로그 <http://blog.naver.com/sunyoung529/120006314554>

### 3.1.2 국내 사례

#### 1) 제로에너지 타운 시범 빌딩<sup>14)15)</sup>

##### (1) 개요

한국에너지기술연구소는 대전광역시 유성구에 위치한 연구소 내 태양공간 및 인근 부지에 태양광발전, 풍력발전, 태양열 난방 및 급탕 등의 기술 개발된 기술 및 시스템과 일부 개발 중인 지열 및 연료전지 기술 및 시스템들을 주축으로 하여 Zero Energy Town을 시범하고 이의 효율성과 타당성을 실증하기 위해 시범빌딩을 구축하였다.

시범빌딩 건축계획의 목적은 각종 태양에너지 시스템을 통합 적용하여 모니터링 및 전시, 실험이 용이한 다목적 공간을 설계하는 것과 ZET 시스템의 표준설계 및 대체에너지 요소설비 연계기법의 최적화 개발을 위한 다목적 공간계획 등에 있다.

ZET는 제로 에너지 솔라 하우스(단독주택) 1동, 아파트 4동과 사무실로 된 신재생에너지 적용 시범화 건물(부하 및 모니터링 건물) 1동, 이에 적용된 설비들의 성능평가를 위한 성능 관리동 1동으로 구성되어 있다.

동 시설은 미래 신재생에너지 시스템으로서 실규모 제로에너지 타운의 도입 타당성을 실증, 시범하게 되며 향후 ZET의 최적화 보급을 위한 관련 설비의 성능평가 및 요소설비의 성능 향상을 위한 실용화 연구개발의 터전이 될 것으로 보고 있다.

##### (2) 적용 기술

###### ① 시범 빌딩

아파트 4동과 사무실로 이루어진 시범 빌딩에 적용된 신재생에너지 시스템 및 설비는 다음과 같다.

---

14) 한국에너지기술연구원(공공기술연구회), 제로에너지타운 조성 운영 사업, 2004

15) 한국에너지기술연구원 박순철, 제로에너지 타운 시공과 기술 개요, 2006

<표 3.6> 제로에너지 타운 시범 빌딩 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	태양열 집열
	태양전지
	풍력
	수전해 저장 연료전지 발전 시스템
	도시가스 개질형 연료전지 발전 시스템

② 제로 에너지 솔라 하우스

<표 3.7> 제로 에너지 솔라 하우스 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	자연형 태양열 시스템 : 트롬울 축열벽, 바닥 축열 직접 획득, 온실 및 천창(자연채광)
	수퍼 단열(250mm)
	기밀화 시공
	태양열 집열기
	지열원식 히트 펌프
	태양전지
건축설비 시스템	강제환기 배열회수 시스템

2) 대림산업(주) 기술연구소 주거환경 연구센터<sup>16)</sup>

(1) 개요

주거환경 연구센터는 대전시 유성구 대덕연구단지 내 대림산업(주) 대덕연구단지 부지내에 위치하고 있으며, 지하 1층~지상 3층 규모로 구축되었다. 외피설계를 바탕으로 저에너지 친환경 공동주택 파일럿 프로젝트의 일환으로 2006년 10월에 준공되었다.

한국형 초에너지절약 공동주택에 적용된 기술로는 고단열, 고기밀, 열교최소화, 수퍼창호 시스템(3중 유리, 로이 코팅), 지중덕트 이용 전열교환 환기 시스템, 바닥복사 냉난방시스템이 적용되었으며, 신재생에너지는 태양광과 지열 시스템, 기타요소로 빗물이용시스템 등이 적용되었다.

16) 대림산업 기술연구소 주거환경 연구센터 준공, 대림기술정보, 2006



건립된 주거환경 연구센터는 구조형식에 따른 환경성능 평가를 위해 벽식구조 및 기둥식구조로 계획되었고, 요소기술개발을 위한 단위실험실과 요소기술의 적용성 평가를 위한 단위세대로 구성되어 있다. 또한, 친환경 기술의 적용성 평가 및 활용을 목적으로 지열, 태양광발전 등의 친환경 요소기술이 적용되었다.

지상 3층에는 3L House를 공동주택에 적용하기 위한 단위세대를 구성하여 3L 공동주택 실용화 및 기존주택과의 성능평가가 가능하도록 하였다.

(2) 적용 시스템

<표 3.8> 대림산업(주) 기술연구소 주거환경 연구센터 계획요소

구분	시스템
에너지 시스템	고성능창호시스템(3중 유리)
	고기밀
	고단열(외단열)
	지열 히트펌프 : 바닥 냉난방 시스템
	태양광 발전
건축설비 시스템	고효율 폐열회수 환기시스템
	지중덕트이용 공기공급 시스템
수자원 활용 시스템	우수 시스템

## 3.2 적용 사례 분석 및 도출

### 3.2.1 국내외 적용 사례 분석

<표 3.9> 친환경 건축기술요소 적용사례 분석

구분	시스템	기술	국외					국내	
			①	②	③	④	⑤	①	②
건축 설비 시스템	냉난방 시스템	바닥복사 냉난방							●
	물/위생 System	물 절약 설비			●	●			
에너지 시스템	환기	폐열 회수 시스템	●		●	●		●	●
		고효율 장비	지역 난방	●	●				
	열병합 발전		●	●	●	●			
	신재생에너지	태양전지	●	●	●	●		●	●
		태양열	●	●	●	●	●	●	
		지열 히트펌프						●	●
		풍력	●	●		●		●	
		바이오매스	●		●	●			
		연료전지						●	
	수자원 활용 시스템	중수	쓰레기 소각열						
오수정화					●	●	●		
중수 재활용				●	●				
우수	우수 집수 및 재활용		●	●	●	●		●	

- 국외사례 : ① 버빙(Vauban) 주거단지, ② 크론스베르그, ③ BedZED, ④ DockSide Green, ⑤ Viikki 생태주거단지
- 국내 사례 : ① 제로에너지 타운 시범 빌딩, ② 대림산업(주) 기술연구소 주거환경 연구센터

국내의 공동주택 사례에 적용된 친환경 건축기술요소를 조사한 결과, 국내외 모두에서 가장 많이 사용되고 있는 기술요소는 태양에너지를 이용하는 방법이었다. 그러나 국내와 국외의 경우 그 외에 적용되고 있는 건축기술요소가 차이를 보이고 있었다. 국외의 경우 바이오매스와 풍력의 활용이 많았으며 열병합발전의 활용 또한 많은 것으로 나타났다. 국내의 경우 지열 히트펌프 시스템을 적용을 시도하고 있었는데 이는 국내의 기후가 지열 히트펌프 시스템을 이용하기에 적절하기 때문으로 판단된다. 또한 적용성에 있어서도 지하로의 굴착이 많은 공사방식으로 지열의 적용이 대두되고 있었다. 그 외에도 국내외에서 환기로 인한 에너지 손실을 고려하여 폐열회수 환기시스템(전열교환 환기 시스템)을 적용하고 있었다. 수자원에 있어서도 물 절약 설비의 적용이 국내외 모두 나타나고 있었으며, 국외의 경우 우수와 중수를 활용하는 시스템이 적용되고 있었다.

### 3.2.2 친환경 건축기술요소 도출

국내외 사례를 통해 공동주택에 적용가능한 건축기술요소를 도출한 결과, 국내외에서 가장 많이 사용되는 태양에너지를 이용하는 방법(태양광, 태양열)이었다. 또한 국내외 모두 환기를 통한 에너지 손실을 최소화하기 위해 전열교환 환기 시스템을 도입하고 있었다. 국내의 경우 국내의 기후 특성 및 공사방식으로 적용성이 큰 것으로 판단되는 지열 히트펌프의 적용을 시도하는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 분석할 건축기술요소는 국내외 모두에서 가장 많이 사용되고 있는 전열교환 환기시스템, 태양광 발전 시스템과 태양열 시스템을 선정하였으며, 추가적으로 국내에서 적용이 많아질 것으로 예상되는 지열 히트펌프 시스템을 선정하였다.

도출된 각 건축기술요소가 담당할 수 있는 부하의 종류 및 그에 따른 에너지원은 각기 차이를 보인다. 전열교환 환기시스템은 냉난방부하 특히, 난방부하를 절감하며, 이는 가스사용량의 감소와 관계된다. 태양광 발전시스템은 전력을 생산하는 시스템으로서, 냉방, 조명, 기기 등의 전력부하를 담당할 수 있으며, 공동주택의 경우 공용부에서의 전력부하를 담당할 수 있다. 태양열 시스템은 최근 냉방에의 적용도 시험되고 있으나 일반적으로 난방과 급탕에 적용되며, 이는 가스 소비량과 관계된다. 지열원 히트펌프 시스템은 냉난방 및 급탕부하를 담당할 수 있으며, 부하를 담당하기 위해 사용되는 히트펌프에서는 전력을 소비해, 가스, 전력부하 모두에 밀접하게 관계된다.

<표 3.10> 도출된 친환경 건축기술요소

시스템	기술	에너지원			
		가스		전력	
		난방	급탕	냉방	조명, 기기
환기	전열교환 환기	●			
재생에너지 시스템	태양전지			●	●
	태양열	●	●		
	지열원	●	●	●	

### 3.3 소결

본 장에서는 국내외 주택 및 주거단지, 시범단지의 사례 조사를 통해 재생에너지 시스템을 기본으로 국내 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소를 도출하였다. 조사 결과, 국내외 사례 모두에서 가장 많이 적용되고 있는 기술요소는 전열교환 환기시스템과 태양에너지를 이용하는 방법으로 태양광 발전 시스템과 태양열 시스템의 적용이 거의 모든 사례에서 적용되고 있었다.

그러나 건축기술요소 중 재생에너지 시스템과 관련하여 국내외에 적용되고 있는 기술요소의 종류는 약간의 차이를 보이고 있었다. 국외의 경우 풍력, 바이오매스, 열병합 발전 등이 사용되고 있었으나, 국내의 경우에는 지열 히트펌프를 이용한 방법이 적용되고 있었다. 지열을 이용한 시스템의 경우, 지열 발전은 국내에 적용하기 힘들지만, 지열 히트펌프 시스템은 국내에 적용하기에 쉬우며 효과가 클 것으로 예상되고 있다. 지열 히트펌프 시스템의 적용은 국내에서 각광받고 있는 시스템으로 이미 학교 기숙사, 오피스 건물 등에 적용되어 활용되고 있다. 공동주택에의 적용 또한 시범단지에서의 적용뿐만 아니라, 실제 공동주택에의 적용이 검토되고 있다.

환기시스템의 경우, 국외 뿐만 아니라 국내에서도 공동주택의 최소 0.7ACH의 법정 환기 조건이 제시됨으로 인해 전열교환 환기시스템의 적용이 부각되고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 최종적으로 도출한 친환경 건축기술요소는 전열교환 환기시스템, 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 히트펌프 시스템으로 전열교환 환기시스템을 제외하고는 재생에너지 시스템이 주를 이루고 있다. 이것은 최근 국내외에서 재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있으며, 건물의 CO<sub>2</sub> 배출량 감소를 목적으로 재생에너지 시스템의 적용이 증가하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

도출된 친환경 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하기 위해서는 먼저 친환경 건축기술요소 적용 유무에 따른 각각의 부하에서의 에너지 소비량의 증감 유무에 대한 파악이 필요하다. 따라서 4장에서는 표준모델을 선정하고, 표준모델에 각각의 친환경 건축기술요소 적용에 따른 에너지 소비량의 증감을 분석하였다.

## 제 4 장 공동주택 건축기술요소 친환경 성능 평가

### 4.1 친환경 성능 평가를 위한 표준 모델 및 시뮬레이션 도구

#### 4.1.1 표준 모델

##### 1) 대지 및 기후조건

###### (1) 기상데이터

시뮬레이션에 사용된 기상데이터는 서울의 기상데이터를 사용하였다. 시뮬레이션을 위한 냉방기간은 6월 11일에서 9월 10일까지, 난방기간은 1월에서 3월까지와 11월에서 12월까지 5개월로 설정하였다.<sup>17)</sup>

##### 2) 건축요소

###### (1) 건축계획요소

###### ① 서울지역 사용건평별 호수<sup>18)</sup>

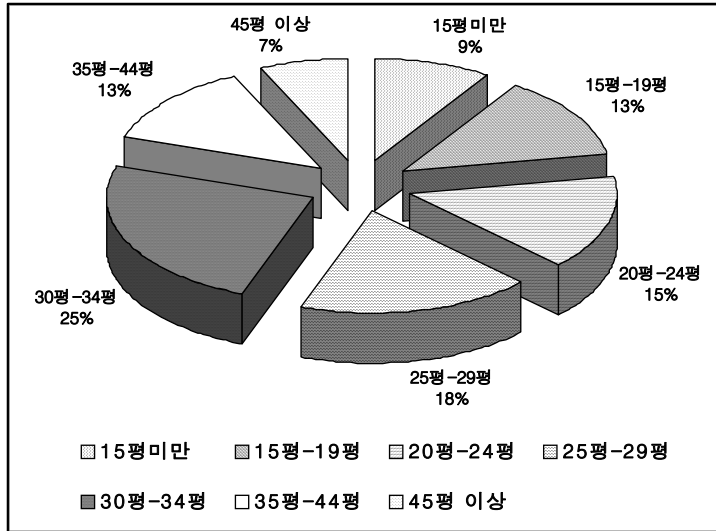
아파트 주거환경 통계<sup>19)</sup>에 따르면, 30-34평형대(99.0m<sup>2</sup>-112.2m<sup>2</sup>)가 24%로 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 알 수 있다. 이와 같은 통계자료로부터 규모 구분에서 중형으로 30-34(99.0m<sup>2</sup>-112.2m<sup>2</sup>)평형의 중간인 32±1평형(105.6±3.3m<sup>2</sup>)을 선정하였다.

---

17) 석호태, “사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구”, 서울대 박사학위 논문, 1995, 8, p.65

18) 서울특별시(2007), “서울통계연보”, X 주택 건설, pp.264-268

19) 국가통계포털(KOSIS), 아파트 주거환경통계, 준공연도별 지역별 규모현황



(그림 4.1) 평형별 세대수 평균(서울지역)

## ② 층수 및 향

표준 공동주택의 층수는 통계청의 통계자료를 참고하여 일자형 4호 조합의 15층으로 설정하였으며, 향은 남향으로 설정하였다.

## ③ 계단실형태

최근 고층이나 저층 모두 계단실형이나 편복도형을 채택하고 있는 상황이며, 이 중에서 특히 편복도형의 공동주택보다도 계단실형이 다수인 것으로 나타났다.<sup>20)</sup>

## ④ 층고 및 천장고

층고의 경우에는 법적 기준은 없으나 일반적인 상례로 적용되고 있으며, 15층 미만에서의 층고는 2600-2800mm이며, 15층 이상에서는 2800-3000mm인 것으로 나타났다. 따라서 층고는 2800mm으로 설정하였다.

## ⑤ 장단변비

국내 공동주택은 20-50평형에 걸쳐 깊이의 차이가 별로 없기 때문에<sup>21)</sup> 건평에 따라 종횡비가 상이하다. 김민철<sup>22)</sup>의 연구에 의하면, 32평형의 장단변

20) 김필현, 2000, 공동주택 에너지 소비의 적정성 분석 및 개선방안 연구, 한남대 정보산업대학원

21) 아파트 백과, 2002,

비는 발코니 확장 전 1:1이며, 발코니 확장부에는 1:0.91인 것으로 나타났다. 평면의 형상, 치수 및 중형비의 정리<sup>23)</sup>한 자료에 의하면 23평형은 1:1, 37평형은 12.1:7.95로 나타나있다. 따라서 장단변비는 약 1:0.96으로 설정하였다.

#### ⑥ 발코니

공동주택의 발코니의 경우, 2006년 1월부터 발코니 개조를 합법화하기로 하였다. 현재 건설업체들은 기존의 시공계획을 변경해가며 전 공동주택에 걸쳐 발코니 개조를 하고 있는 추세이다.<sup>24)</sup> 또한 발코니가 합법화되기 전에도 불법개조 건수가 매우 많아 건설산업연구원은 전국 공동주택 650만 가구 가운데, 203가구가 발코니를 확장했을 것으로 추산하고 있다.<sup>25)</sup> 따라서 발코니 확장세대를 표준공동주택으로 설정하였다.

#### ⑦ 창면적비

주거용 건물은 다른 용도의 건물과 달리 창면적비가 거의 일정하다. 또한 ‘에너지 절약 설계기준’에서는 주거용 건물의 창면적비가 60%를 넘지 않도록 권고하고 있다. 각 아파트의 도면을 통하여 조사한 자료에 의하면<sup>26)</sup> 발코니 끝단에 새시유리를 설치할 경우, 유리의 면적비는 전면 80%, 후면 36%으로 나타나, 표준공동주택에서는 전면 80%, 후면 40%로 설정하였다.

#### ⑧ 벽체

벽체의 구성은 세대간벽, 측외벽, 전·후외벽, 최상층 슬래브, 최하층 슬래브, 세대간 슬래브로 구분하여 설정하였다. 각 벽체의 구성요소별 두께는 그림과 같다. 모든 벽체구성은 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 [부록A]와 ’ 건축물 에너지 절약 설계기준 [부록B]를 준수하도록 설정하였다. (그림 4.2)는 벽체의 구성 및 두께를 나타낸 것이며, <표 4.1>는 벽체를 구성하는 요소들의 열전도율을 나타낸 것이다.

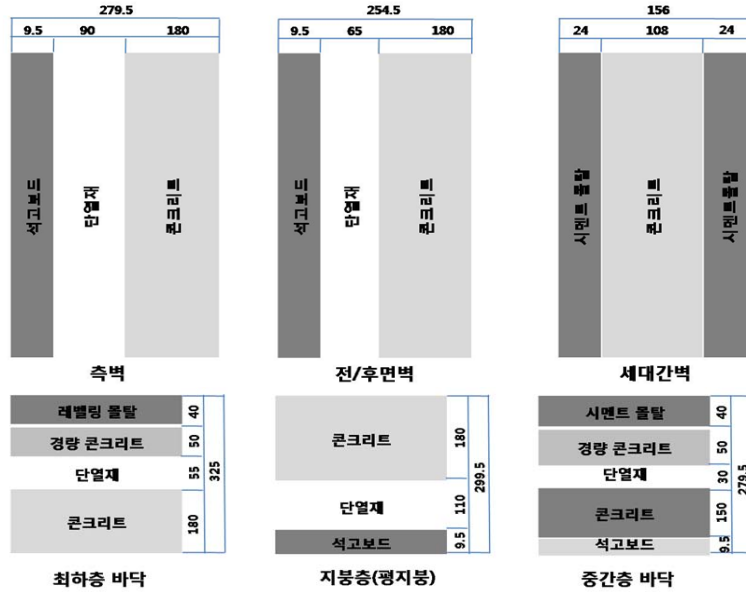
22) 김민철, 2007, 아파트 발코니 확장을 대비한 단위주호 평면 변화 특성에 관한 연구, 경북대학교 대학원 석사학위논문

23) 유호선, 2002, 한국형 아파트의 냉난방 에너지에 미치는 제 인자의 영향, 설비공학논문집, 제 14권 제 11호, pp972-980

24) 김지연, 공동주택의 발코니 확장에 따른 열환경 성능평가 및 개선방법에 관한 연구, 논문집

25) 중앙일보, 2005.10.13

26) 유호선, 2002, 한국형 아파트의 냉난방 에너지에 미치는 제 인자의 영향, 설비공학논문집, 제 14권 제 11호, pp972-980



(그림 4.2) 표준모델의 외피 구성

<표 4.1> 재료별 물성치

재료	열전도율(W/m℃)	비열(J/kg℃)	비중(kg/m³)
콘크리트	1.376	879	2198
기포콘크리트	0.1376	1092	600
시멘트몰탈	1.204	1130	2019
시멘트벽돌	0.516	836	1922
단열재	0.030	837	30
석고보드	0.155	1130	910
공기층	5.56	1004	1.3

<표 4.2> 창호의 구성 및 물성치

구성	재료	두께(mm)	열관류율(W/m²℃)	차폐계수(0-1)	태양열획득(0-1)
이중창	맑은유리	5	3.1	0.85	0.76
	공기층	6			
	맑은유리	5			



## (2) 건축기술요소

표준 모델에 적용되는 기본 건축기술요소는 공동주택에는 일반적으로 사용되는 냉난방 시스템, 급탕 시스템 및 환기 시스템을 설정하였다. 냉난방 시스템은 국내에서 일반적으로 사용하는 바닥복사난방 시스템과 패키지 에어컨으로 설정하였으며, 급탕 시스템 또한 일반적으로 사용하는 가스나 전기를 열원으로 하는 급탕 시스템으로 하였으며, 난방과 급탕에서의 에너지 사용량을 분리하여 확인하기 위해 중앙보일러와 분리하여 순간온수기를 사용하는 급탕 방식을 선정하였다.

### ① 바닥복사난방

일반적으로 공동주택에서의 바닥복사난방의 열원은 가스보일러가 적용된다. 보일러는 주택의 난방에 일반적으로 사용되는 방식으로 제어가 매우 단순하고 온도의 공급온수온도는 열원에 의해 제어된다. 일반적으로 공동주택에 적용되는 난방방식은 크게 LNG 개별난방, LNG 중앙난방, 지역난방 등 3가지로 분류할 수 있으나,<sup>27)</sup> 본 연구에서는 개별난방 방식과 지열 히트펌프 시스템을 적용했을 경우와 비교를 위해 중앙난방 방식을 채택하여 분석하였다.

### ② 패키지 에어컨 : PTAC(Packaged Terminal Air Conditioner)

에어컨은 주택의 냉방시스템으로 가장 많이 이용되고 있는 시스템이다. 설치가 간단하고 제어가 단순한 것이 특징이며, 에어컨의 성능은 냉방효율(COP)로 결정된다. EnergyPlus에서 제공되는 에어컨을 모사할 수 있는 시스템은 PTAC(Packaged Terminal Air Conditioner)으로 PTAC를 통한 냉방을 적용하였으며, 냉방은 개별적으로 각 세대마다 설치하였다.

### ③ 급탕 시스템

공동주택은 상대적으로 소규모의 급탕부하가 발생하여, 개별식 급탕방식을 일반적으로 택하고 있다. 개별식 급탕방식 중에서 본 연구에서는 순간급탕식을 선정하여 적용하였다. 순간 급탕식은 가스 및 전기를 열원으로 하는 순간온수기를 사용하여 급탕하는 방식이며, 적은 양의 온수를 필요로 하는 곳에 적합하다. 고온수를 얻지는 못하지만, 지속적인 온수 공급이 가능하며, 온수가 나올 때까지 대기 시간이 짧아 욕실이나 세면기 등에 편리하다. 본 연구에서는 가스를 열원으로 하는 순간급탕방식을 적용하였다.

---

27) 문춘근 외 4명, 아파트 난방방식별 에너지소비량 실태분석, 2001, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집

#### ④ 환기 시스템

각 실별로 0.7ACH를 만족할 수 있는 Unit 환기시스템을 적용하였다. 본 연구에서 적용한 Unit 환기시스템은 급기Fan만을 사용하는 방식을 적용하였다.

### 3) 사용자에게 따른 요소

#### (1) 내부 설정 온습도

실내온도의 경우 에너지절약 설계기준에서 20℃로 권장하고 있으나 타당성 검토와 실태조사에서 추정된 실제 사용조건은 21-26℃로 나타낸 바 있다.<sup>28)29)30)</sup> 본 연구에서는 기존 문헌자료<sup>31)</sup>를 참고하여 실제 사용조건을 해석에 반영하기 위하여 난방 설정온도 24℃, 냉방 설정온도26℃를 기준으로 설정하였다.

#### (2) 환기횟수(침기량)

기존 아파트의 실측 결과는 0.4-0.8ACH<sup>32)</sup> 혹은 0.28- 0.58ACH<sup>33)</sup>로 나타났다. 시뮬레이션의 입력데이터 값으로는 입주자의 출입, 창문의 간헐적 개방, 화장실 환기팬의 작동 등을 고려하여, 환기횟수를 1.0ACH로 설정한 사례가 있으며<sup>34)</sup>, 환기성능 검토를 위한 시뮬레이션의 경우, 침기량을 기존 연구논문<sup>35)36)</sup>을 참조하여 0.3-0.8ACH를 적용한 예가 있다. 또한 최소 환기

---

28) 이봉진 외 4명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석2: 난방방식에 따른 차이, 설비공학 논문집 제 16권 제 5호(2004)/pp. 459 - 466

29) 심윤희, 서울지역 공동주택의 난방에너지 표준사용량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 2006

30) 전정윤 외 2명, 공동주택 거실 온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 21권(2005) 8호

31) 유호선 외, 한국형 아파트의 난방에너지 분석1: 위치의 영향, 설비공학논문집 제 16권 제 1호(2004)/pp. 101 - 100

32) 강재식 외 2명, 공동주택의 난방에너지 소비특성에 관한 연구, 1995, 대한건축학회 논문집, Vol11, No.7

33) 박진우 외 2명, 공동주택의 자연환기 성능평가, 2001, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 pp. 637-643

34) 박유원 외 2명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건의 영향, 설비공학논문집, 제 17권, 제 8호(2005), pp.722-728

35) 안태경, 아파트의 환기 및 기밀수준 성능에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15권 1호

36) 권경우 외 2명, 공동주택의 환기설비 도입에 따른 냉난방에너지 소비에 관한 연구,

요구량 0.7ACH가 적용되면서 공동주택에의 기계환기를 통한 환기량이 발생한다. 본 연구에서는 건물에너지효율등급 인증제도의 표준주택을 기준으로 침기량을 설정하였으며, 난방공간의 침기량 0.5ACH, 비난방공간의 침기량은 2.0ACH로 설정하였다. 또한 난방공간에서의 환기시스템을 통한 환기량은 최대 0.7ACH로 적용하였다.

### (3) 내부발열량 및 스케줄

실태조사의 결과에 의하면 한국의 세대 당 평균 구성원 수는 3.4인<sup>37)</sup>이며 한국의 1일 1인 평균 재택시간은 14.8시간<sup>38)</sup>인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 세대 당 구성원 수를 4인으로 설정하였으며, 인체 발열은 ASHRAE Fundamentals 2001의 내용을 참조하여 1인에 대해서 현열 70W, 잠열 45W로 설정하였고, 시뮬레이션에서는 실의 유효면적으로 나누어 단위면적당 발열량으로 계산하였다.

조명 및 기기발열은 기존 연구문헌<sup>39)</sup>에 나타난 연간 평균 전력사용량 3332.4kWh을 이용하여 계산하였다. 계산된 전력사용량에서 조명부하 비율 17.8%<sup>40)</sup>를 이용하여 조명 및 기기 사용량을 분리하였다. 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 도구에서는 기기 및 조명 발열량의 입력 시 소비전력을 입력하는 것으로 구성되어 있어, 기기 사용량 314W, 조명 사용량 68W로 설정하였다. 재실스케줄 및 기기, 조명 스케줄은 (그림 4.3)과 같다.

---

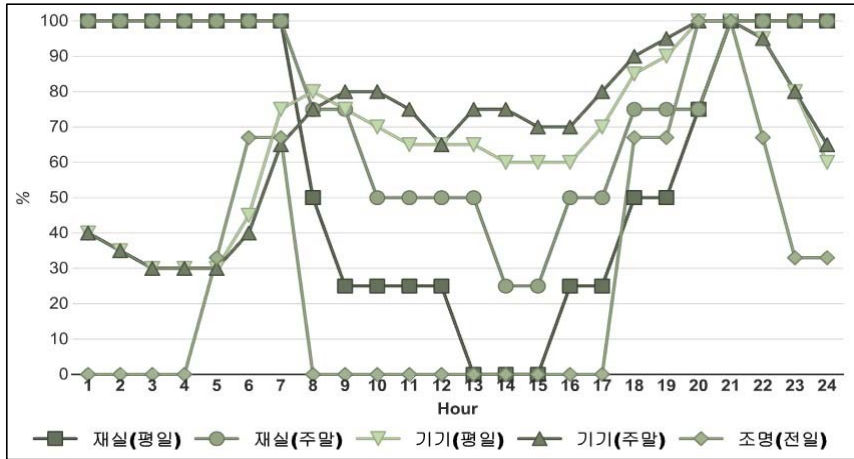
대한건축학회 학술발표대회 논문집, 25권 1호, 2005

37) 홍원화 외 3명, 1998, 집합주거 거주자의 생활형태에 따른 에너지 소비량에 관한 연구(대구광역시를 중심으로), 대한건축학회 논문집, Vol14. No.6

38) 홍원화 외 3명, 1998, 집합주거 거주자의 생활형태에 따른 에너지 소비량에 관한 연구(대구광역시를 중심으로), 대한건축학회 논문집, Vol14. No.6

39) 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12

40) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2006



(그림 4.3) 내부 발열 스케줄

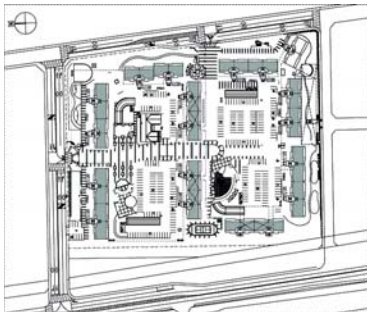
#### 4.1.2 시뮬레이션 도구

##### 1) 시뮬레이션 도구 선정

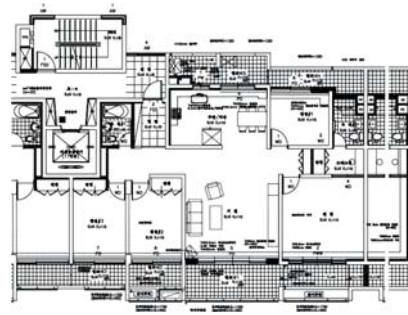
본 연구에서는 전도전달함수(Conduction Transfer Function : CTF)를 사용하는 EnergyPlus를 사용하였다. EnergyPlus는 DOE-2와 BLAST의 장점만을 합한 것으로, 부하부분의 경우 BLAST의 알고리즘을 기반으로 하고, 시스템 해석부분의 경우 DOE-2의 알고리즘의 영향을 받았다. EnergyPlus는 해석 시간 간격 설정이 자유로우며, 모듈형 구조를 가지므로 사용자 임의로 시스템을 구성할 수 있다. 또한 다중 Zone 간의 유동해석이나 태양광발전과 같은 대체에너지 시스템의 해석이 가능하다.

##### 2) 시뮬레이션 도구 검증

친환경 성능평가 지표 및 기준설정을 위한 시뮬레이션 도구 검증을 위해 Sample 공동주택으로서 충남 아산시 소재 18층 규모의 일반 아파트를 선정하였다. 모델 건물의 개요는 <표 4.3>에 나와 있는 것과 같고, 단지 배치 및 단위세대 평면은 (그림 4.4), (그림 4.5)와 같다. Sample 공동주택 단지 중 Sample 공동주택은 18층 72세대의 44평형 1개동을 선정하였다.



(그림 4.4) 배치도



(그림 4.5) 단위세대 평면도

<표 4.3> Sample 공동주택 개요

위치	충청남도 아산
평형	34/44평형(분석 대상 : 44평형)
층	18-22층
천장높이	2.3m
구성	2개의 발코니 공간 및 계단/승강기 공간
난방방식	개별난방 LNG

(1) 실측데이터

① 관리비자료 조사

Sample 공동주택은 LNG 개별난방을 사용하고 있으며, 온도제어는 재실자에 의해 직접 제어하는 방식으로 운영된다. 세대별로 설치된 가스보일러를 이용해 난방과 급탕부하가 동시에 해결되지만 세대의 도시가스 검침목록에서 취사와 난방 및 급탕 사용량이 구분되어 있지 않으며, 취사 사용량만을 별도로 검침할 수 없는 실정이므로, 연구 및 보고서의 결과를 이용하여 난방, 냉방, 급탕 등에 사용되는 에너지를 구분하였다. 에너지 사용량은 44평형 중간층 유효세대의 관리비를 분석하여 에너지 사용량을 산출하였으며, 월간 에너지사용량은 당월 10일부터 익월 10일까지의 합계이다. 조사 값의 신뢰성을 높이기 위해 저층부 3개층, 고층부 3개층 및 입주하지 않은 세대는 조사 대상에서 제외하였다.

<표 4.4> Sample 공동주택 검침자료(예시)

호	전기			수도			가스		
	검침 값(지침)		사용량	검침 값(지침)		사용량	검침 값(지침)		사용량
	시작값	최종값	kWh	시작값	최종값	ton	시작값	최종값	m <sup>3</sup>
402	103	122	19	3.2	3.3	0.1	137.2	137.2	0.0
502	255	412	157	5.3	30.2	24.9	161.8	282.9	121.1
602	140	415	275	11.5	28.4	16.9	32.9	110.6	77.7
702	526	948	422	27.5	48.5	21.0	86.9	139.9	53.0
802	126	152	26	3.2	3.3	0.1	110.1	110.1	0.0
902	126	167	41	2.3	2.5	0.2	153.0	153.0	0.0
1002	687	1134	447	32.2	52.1	19.9	178.8	227.0	48.2
1102	191	353	162	11.3	20.1	8.8	86.6	104.3	17.7
1202	155	234	79	4.1	4.1	0.0	141.6	141.6	0.0
1302	337	678	341	26.6	42.3	15.7	117.9	218.4	100.5
1402	337	647	310	56.1	75.6	19.5	178.8	230.6	51.8
1502	480	899	419	23.0	43.0	20.0	207.0	279.2	72.2

② Sample 공동주택의 실제 에너지 소비량 분석

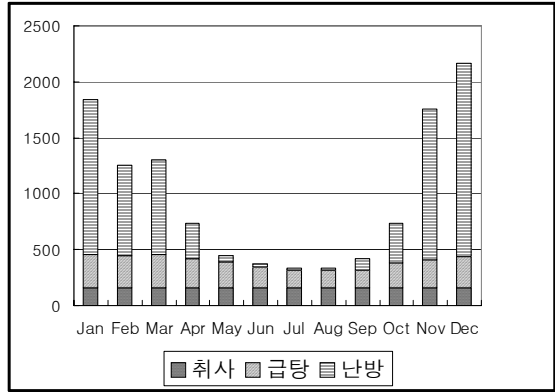
(가) 가스사용량

앞서 조사한 검침자료를 산업자원부의 조사를 근거로 하여 Sample 공동주택의 가스 사용량을 난방, 급탕 및 취사 사용량으로 분리하였다. Sample 공동주택에서 사용된 총 에너지 사용량은 11692.1Mcal/yr 이고, 그중 난방 에너지 사용량은 7006.2Mcal/yr, 급탕 에너지 사용량은 2790Mcal/yr이다.

난방사용량은 냉방기인 6월에서 8월까지의 미미한 사용량을 보였으며, 10월부터 증가하여 12월에서 가장 많은 사용량 패턴을 나타냈다. 급탕사용량은 난방사용량과 유사한 패턴을 보이나 난방사용량의 경우 가장 많은 값을 나타낸 12월에 비해 가장 적은 값을 나타낸 8월이 약 1%정도의 값을 보인 반면, 급탕사용량의 경우 1월에 비해 8월이 약 52%의 값을 보이고 있어 급탕 사용량의 경우 계절적 영향을 난방 사용량에 비해 적게 받고 있음을 알 수 있다.

(단위 : Mcal/month/세대)

월	총량	난방	급탕
Jan	1836.9	1379.0	300.0
Feb	1256.8	808.8	290.0
Mar	1302.4	849.4	295.0
Apr	735.1	317.1	260.0
May	448.8	60.8	230.0
Jun	371.5	23.5	190.0
Jul	336.9	18.9	160.0
Aug	331.2	18.2	155.0
Sep	416.1	98.1	160.0
Oct	732.0	354.0	220.0
Nov	1756.8	1348.8	250.0
Dec	2167.6	1729.6	280.0



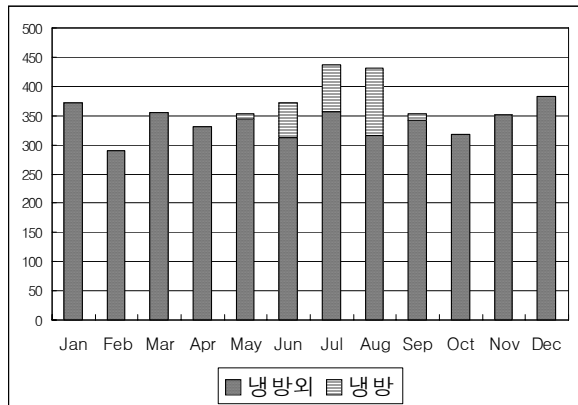
(그림 4.6) Sample 공동주택 가스사용량

(나) 전력사용량

조사한 전력 검침 자료를 Sample 공동주택의 전력사용량 중 냉방에 사용된 전력 사용량을 분리하였다. 냉방 사용량의 분리는 전력거래소의 계절적 기기의 소비전력 및 사용일수를 근거로 하여 분리하였다. Sample 공동주택의 연간 총 전력 사용량은 4345KWh/yr이고, 그중 연간 냉방 사용량은 276.7KWh/yr이다.

(단위 : KWh/month/세대)

월	총량	냉방	냉방외
Jan	371	0	371
Feb	290	0	290
Mar	355	0	355
Apr	330	0	330
May	354	10.2	343.8
Jun	371	59.3	311.7
Jul	437	79.6	357.4
Aug	432	115.4	316.6
Sep	354	12.2	341.8
Oct	317	0	317
Nov	352	0	352
Dec	382	0	382



(그림 4.7) Sample 공동주택 전력사용량

## (2) 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 소비량

### ① 입력데이터

시뮬레이션에 사용된 기상데이터는 모델건물이 위치한 아산지역과 비교적 인접한 서울의 기상데이터를 사용하였다. 시뮬레이션을 위한 냉방기간은 Base Model에서와 마찬가지로 6월 11일에서 9월 10일까지, 난방기간은 1월에서 3월까지와 11월에서 12월까지 5개월로 설정하였다.<sup>41)</sup>

내부설정 온도와 환기횟수, 실내 발열량은 앞서 BaseModel 선정시 도출했던 설정값을 사용하였다. 난방 설정온도(24℃), 냉방 설정온도(26℃)와 실내 발열량 및 스케줄은 동일하게 설정하였으나, 환기횟수는 환기 시스템을 적용하지 않았다는 점을 고려하여 난방공간의 침기량을 전체 1.0ACH로 설정하였다. 비난방 공간의 침기량은 Base Model과 동일한 2.0ACH로 설정하였다.

건물의 외피조건은 Sample 모델의 도면분석을 통해 산출하였으며, 벽체, 슬라브 및 창호의 구성과 물성치는 <표 4.5>, <표 4.6>과 같다.

<표 4.5> 벽체 및 슬라브의 구성 및 물성치

구성	재료	두께(mm)	열전도율(W/m℃)	비열(J/kg℃)	비중(kg/m <sup>3</sup> )
간벽	콘크리트	200	1.376	879	2198
외벽	석고보드	9.5	0.155	1130	910
	단열재	65	0.030	837	30
	콘크리트	200	1.376	879	2198
내벽	시멘트몰탈	18	1.204	1130	2019
	시멘트벽돌	90	0.516	836	1922
	단열재	65	0.030	837	30
	시멘트벽돌	90	0.516	836	1922
슬라브	시멘트 몰탈	50	1.204	1130	2019
	기포콘크리트	40	0.1376	1092	600
	단열재	20	0.030	837	30
	콘크리트	150	1.376	879	2198
	공기층	230.5	5.56	1004	1.3
	석고보드	9.5	0.155	1130	910

41) 석호태, “사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구”, 서울대 박사학위 논문, 1995, 8, p.65



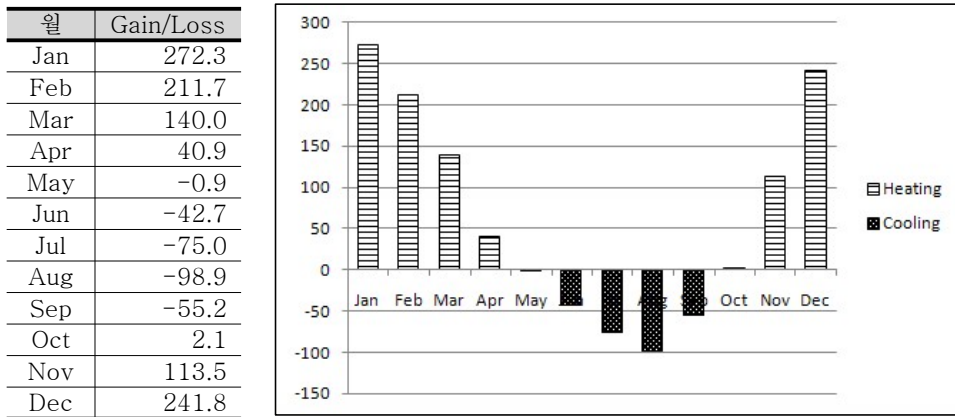
<표 4.6> 창호의 구성 및 물성치

구성	재료	두께	열관류율(W/m <sup>2</sup> ℃)	차폐계수(0-1)	태양열획득(0-1)
이중창	맑은 유리	5	3.1	0.85	0.76
	공기층	6			
	맑은 유리	5			

② 연간 냉난방부하

Sample 공동주택에서 난방부하 1022.2MWh/yr, 냉방부하 272.6MWh/yr으로 연간 냉난방 부하량은 1294.8MWh/yr으로 나타났다.

(단위 : MWh/month/세대)



(그림 4.8) 연간 냉난방 부하

(3) 실측값 및 시뮬레이션 예측값 비교

실제 조사한 공동주택의 도시가스 소비량은 월별 표본 가구당 에너지 소비량 데이터<sup>42)43)</sup>를 사용하여 난방, 급탕, 취사로 분류하였으며 전기사용량은 주요가전기기의 사용행태에 대한 설문조사표<sup>44)</sup>의 결과를 바탕으로 냉방사용량을 추정하였다. Simulation과 실제 에너지 소비량과의 결과는 다음의 그래프와 같으며, 난방 에너지 소비량의 오차범위는 +10.36% ~ -10.29%, 냉방 에너지 소비량의 오차범위는 +8.43% ~ -16.66%로 각 값의 월별 최대 오차

42) 에너지경제연구원, 2005년 에너지 총조사 보고서, p. 838~840, 2005

43) 산업자원부, 건물의 에너지 효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, p. 334~336, 2007

44) 한국전력공사, 2006년 가전기기 보급률 및 가정용 전기소비행태 조사, p. 57~59, 2006

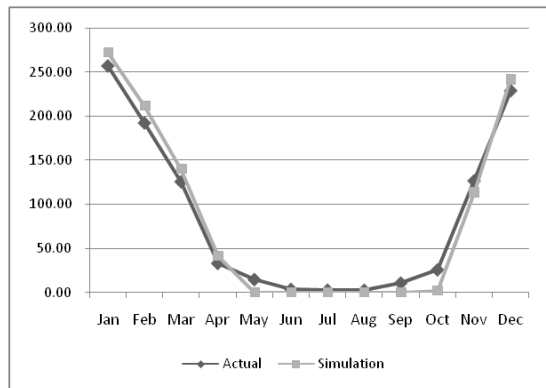
는 모두 16.7%로 나타나 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.<sup>45)</sup> 따라서 본 연구에서는 EnergyPlus를 이용한 냉난방 에너지 소비량 예측이 가능하다고 할 수 있다.

① 연간 난방부하

Sample 공동주택의 에너지 소비량 분석에서 산출된 도시가스사용량 중 문헌조사를 통해 난방부하량을 분리한 후, 도시가스 발열량 10,550Kcal/m<sup>3</sup><sup>46)</sup>, 보일러 효율 80%, 열손실을 5%<sup>47)</sup>를 적용하여 변환하였다.

(단위 : MWh/month/house)

월	Actual	Simulation
1월	256.9	272.3
2월	192.1	211.7
3월	125.5	140.0
4월	32.7	40.9
5월	14.4	0.0
6월	3.3	0.0
7월	2.3	0.0
8월	2.3	0.0
9월	10.5	0.0
10월	25.4	2.1
11월	126.5	113.5
12월	228.7	241.8



(그림 4.9) 연간 난방부하

② 연간 냉방부하

Sample 공동주택의 에너지 소비량 분석에서 산출된 냉방 전력사용량을 에너지관리공단에 1992년 11월부터 2008년 4월까지 에너지효율등급 제품으로 등록된 3219개 제품들 중 1등급에 해당되는 제품의 냉방효율(COP) 평균값 (4.11W/W) 을 사용하여 냉방부하량으로 계산하였다. 냉방부하의 차이는 문헌조사 값과의 차이에서 오는 것으로, 근거자료로 한 전력거래소의 데이터는 약 33평형을 기준으로 산출된 값이며, 전국 평균값을 사용하고 있기 때문에

45) ASHRAE, ASHRAE Guideline 14:Measurement of energy and demand savings, Atlanta, GA:American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2002

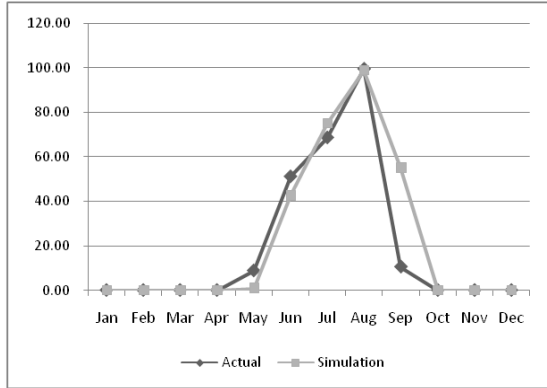
46) 에너지기본법 제5조 제1항 관련, 에너지열량환산기준

47) 유기형 외2, 공동주택의 에너지효율등급 평가기법 개발 및 등급 설정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), Vol.22 No.12, 2006

충남 서산의 값을 대표하기는 어렵다. 또한 냉방부하의 경우, 재실자의 운영 스케줄에 크게 영향을 받으므로 정확한 값의 비교를 위해서는 재실자의 운영 모드에 대한 데이터 모니터링이 필요하다.

(단위 : MWh/month/house)

월	Actual	Simulation
1월	0.00	0.00
2월	0.00	0.00
3월	0.00	0.00
4월	0.00	0.00
5월	8.8	0.88
6월	51.1	42.7
7월	68.7	75.0
8월	99.6	98.9
9월	10.5	55.2
10월	0.00	0.00
11월	0.00	0.00
12월	0.00	0.00



(그림 4.10) 연간 냉방부하

## 4.2 건축기술요소에 따른 친환경 성능 시뮬레이션

### 4.2.1 기술요소별 용량산정

#### 1) 표준 모델의 냉난방 피크 부하 분석

시스템의 용량산정을 위해 건물의 냉난방 피크 부하를 분석하였다. 건물의 냉난방 부하를 분석하기 위해 EnergyPlus에서 제공하는 가상공조 방식인 Purchased Air 방식을 냉난방 시스템으로 적용하였다. Purchased Air 방식은 설계자가 설정한 실내상태(온습도)의 유지를 위해 요구되는 총에너지소비를 산출하는 방식이다.<sup>48)</sup>

해석대상 건물은 앞서 문헌조사를 통해 설정한 표준 모델로 가상의 공동주택 건물이다. 대상 건물의 개요를 정리하면 <표 4.7>과 같다.

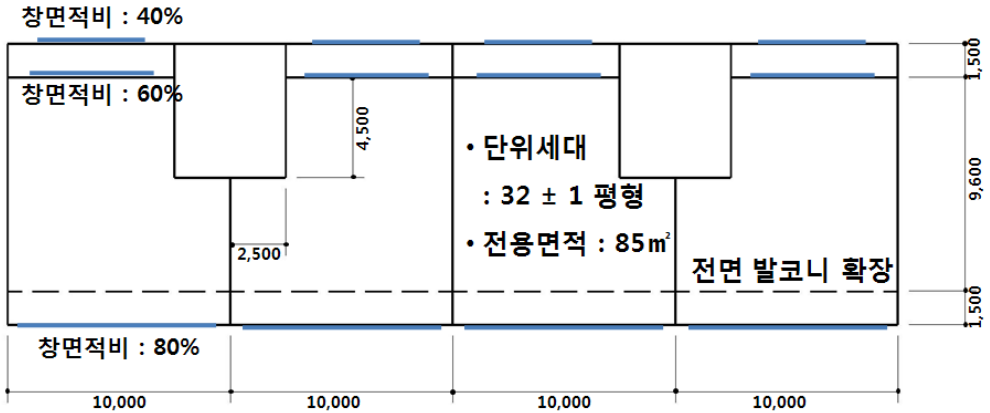
<표 4.7> 표준공동주택 모델의 개요

위치	서울
규모	32평형(±1), 전용면적(공조면적) 85m <sup>2</sup>
층	15층
층고	2.6m
천장높이	2.3m
발코니	전면발코니 확장, 후면발코니
기타 구성	계단/승강기 공간(Core 부)

시뮬레이션 해석은 해석을 수행할 많은 경우에 대하여 불필요한 정보의 입력을 피하고 효율적인 계산을 수행하기 위해서는 대상을 단순화 할 필요가 있다. 그러나 단순화의 타당성이 확보하기 위해서 실제 평면과 모델 사이 바닥면적이 아니라 둘레의 길이를 일치시킴으로써 벽과 창을 통한 열교환이 같도록 단순화 하였다. 그 결과가 (그림 4.11)과 같으며, 공동주택의 평면은 난방이 되는 내부공간과 비공조상태인 3개의 발코니 공간 및 계단/승강기 공간으로 구성된다. 이와 같이 유사한 방식으로 단순화된 모델과 실제 아파트 사이 난방에너지 차이는 3% 수준으로 보고된 바 있다.<sup>49)</sup>

48) Lawrence Berkeley National Laboratory, EnergyPlus Manual Documentation Version 2.1, 2007.10

49) 유호선, 2002, 한국형 아파트의 냉난방 에너지에 미치는 제 인자의 영향, 설비공학 논문집, 제 14권 제 11호



(그림 4.11) 표준모델 개략도

냉난방 부하 분석은 15층 60세대 전체를 대상으로 하였으며, 15층 60세대 전체의 피크 난방 부하는 1232.2MJ/h, 피크 냉방부하는 804.4MJ/h였다. 중앙에서 공조를 할 경우에는 시스템의 용량산정에 있어서 건물 전체의 피크 부하의 고려가 필요하며, 개별공조를 할 경우에는 각 세대의 피크 부하를 고려해야 한다. 60세대의 평균 피크 난방부하는 20.5MJ/h이였으며, 피크 냉방 부하는 13.4MJ/h로 나타났다. 그러나 공동주택의 경우 동일한 외부환경에 위치하고 있더라도, 접지 특성이 세대의 위치마다 다르기 때문에 피크 냉난방 부하는 각 세대별로 파악해야 한다.

<표 4.8> 표준모델의 피크 냉난방 부하

	피크부하 (MJ/h)	
	난방	냉방
최하층 측세대	20.4	12.7
최하층 중간세대	19.7	11.8
중간층 측세대	20.6	13.8
중간층 중간세대	19.9	12.9
최상층 측세대	24.8	17.9
최상층 중간세대	24.1	16.2
세대 평균	20.5	13.4
1개동(15층 60세대)	1232.2	804.4

## 2) 각 시스템의 용량 선정

### (1) 보일러 열원의 바닥 복사 난방 시스템

보일러 용량의 선정은 난방과 급탕을 같이 사용할 경우, 급탕부하를 기준으로 산정한다. 그러나 본 연구에서는 급탕 시스템을 순간급탕식을 채택하여 난방보일러와 분리하였기 때문에 보일러의 용량은 난방부하만을 고려하면 된다.

바닥복사난방 방식은 가스보일러를 열원으로 사용하는 것으로 하였으며, 앞서 산출된 난방부하를 이용하여 보일러의 용량을 산출하였다. 보일러의 용량 산출은 피크난방부하와 급탕부하, 예열부하, 배관부하를 합쳐서 산출한다. 본 연구에서는 보일러가 급탕부하를 담당하지 않기 때문에 난방, 예열 및 배관부하만을 고려하여 계산한 결과 약 472.34KW로 산출되었다. EnergyPlus 프로그램에서는 대부분의 Plant와 System에서 용량 및 유량의 흐름 등을 autosize로 적용할 경우 자동으로 계산을 수행한다. 계산된 용량을 적용했을 경우와 autosize를 적용했을 경우의 출력값을 확인했을 때, 차이가 없음을 확인했다. 따라서 본 연구의 시뮬레이션 분석 실행시 autosize의 적용이 가능한 용량 및 유량의 흐름은 autosize로 적용하도록 하겠다.

### (2) 패키지 에어컨 : PTAC(Packaged Terminal Air Conditioner)

본 연구에서는 냉방효율(COP)은 에너지효율등급 제품으로 등록된 3219개 제품들 중 1등급에 해당되는 제품의 냉방효율(COP) 평균값 (4.11W/W)을 사용하였으며, 에어컨의 용량은 autosize의 설정이 가능하므로 autozise로 설정하였다.

### (3) 급탕 시스템

급탕시스템에서 입력값인 Tank Volume과 급탕시스템의 용량은 autozise의 적용이 불가능한 변수로서 용량을 계산하여 입력하여야 한다. Tank Volume 및 급탕시스템의 용량을 설정하려면 급탕부하의 분석이 필요하며, 급탕부하를 분석하기 위해서는 우선, 공동주택에서의 급탕 사용량을 산출해야 한다. 표준 모델의 급탕 사용량은 기존의 연구<sup>50)</sup> 조사 내용을 참고하여 급탕량을 적용하였다. 세대당 급탕 사용량 조사 결과 1월의 급탕 사용량은 8.17ton으로 가장 큰 것으로 나타났으며, 8월은 4.21ton으로 가장 작은 것으로 조사되

---

50) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007, pp 334-336

었다. 겨울철(11월~3월) 평균 급탕 사용량은 8.04ton, 여름철(6월~9월) 평균 급탕 사용량은 4.75ton으로 조사되었다. 이를 근거로 연간 총 급탕 사용량을 79.8ton으로 설정하였다.

Tank Volume은 시간당 피크 급탕사용량을 결정한다. 본 연구에서 분석한 시간당 피크 급탕사용량은 56.52ℓ였으며, 일반적으로 아파트의 1인 1일 최대 급탕량은 75ℓ~150ℓ로 제시하며 1일사용에 대한 필요한 시간당 최대치 비율을 1/7로 명시하고 있다. 이를 통해 계산하면, 4인 가족을 기준으로 했을 경우 시간당 피크 급탕사용량은 42.86ℓ~85.71ℓ이다. 따라서 본 연구에서는 분석한 시간당 피크 사용량이 범위 안에 설정되므로 유효하다고 판단하고 시간당 피크 급탕사용량을 d약 57ℓ로 설정하여 25%의 안전율을 주어 Tank Volume은 72ℓ로 설정하였다.<sup>51)</sup> 급탕시스템의 용량은 시간당 피크 급탕부하로 산정한다. 본 연구에서 분석된 급탕량을 기준으로하면 약 1000W의 용량이 산출된다.

#### (4) 환기 시스템

환기시스템은 각 세대별로 개별적인 환기시스템을 설치하였으며, 환기량은 앞서 밝힌바와 같이 0.7ACH로 적용하였으며, 실의 Volume을 통해 입력단위인 m<sup>3</sup>/s로 환산하면 0.042m<sup>3</sup>/s가 된다.

#### (5) 전열교환 환기시스템

공동주택의 환기횟수 0.7ACH가 결정된 후, 공동주택에서의 기계 환기시스템 등의 적용이 많아졌으나, 환기시스템을 적용하면서 열의 이동이 많아져, 에너지 부하가 많이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 3장에서 도출된 에너지 성능을 향상시키는 것으로 알려진 전열교환환기 시스템을 표준 모델에 대안 시스템으로서 적용하였다.

전열교환 환기시스템은 급기팬과 배기팬, Heat Exchanger 등으로 구성된다. 환기시스템은 팬의 공기 공급 유량을 설정해야 하는데 이는 환기횟수로 설정할 수 있다. 본 연구에서 기계환기를 통한 환기횟수는 0.7ACH였다. 이를 공조 Zone의 Volume을 고려하여 산출하면, 약 0.042m<sup>3</sup>/s이며, 이는 급기팬, 배기팬 Heat Exchanger에 모두 동일하게 적용하였다.

---

51) 김정태 외, 건축설비시스템, 기문당, 2002, pp 207

## (6) 태양광 발전 시스템

무공해, 무소음, 무연 및 운전 유지 보수가 간편한 태양광 발전은 태양전지 제조기술의 향상과 시스템의 효율을 향상시켜 현재 응용분야가 광범위하다. 또한 기존 에너지에 대한 환경공해 문제가 심각하게 대두되고 있기 때문에 태양광 발전 분야에 대하여 지속적인 투자와 상용화가 이루어지고 있으며, 그 응용분야도 다변화되어 현재에는 일반건축물에도 응용이 되고 있다.<sup>52)</sup> 태양광 발전 시스템은 국내외에서 널리 보급, 적용되고 있는 재생에너지 시스템의 하나로 국가에서 재생에너지 시스템의 보급 확대를 위해 태양광 발전 시스템 설치 시 보조금 지원 등을 수행하고 있다. 태양광 발전 시스템은 음영의 영향을 받지 않는 설치면적이 확보되면 쉽게 적용할 수 있다. 본 장에서도 대안 시스템의 하나로 전력부하를 담당할 수 있는 태양광 발전 시스템을 선정하였다.

태양광 발전 시스템의 구성은 PV 모듈과 Inverter로 구성된다. 태양광 발전 시스템에서 결정해주어야 할 사항은 PV 모듈과 Inverter의 효율이다. Inverter의 효율을 90%로 적용하였다. 일반적으로 알려진 다결정 실리콘 태양전지의 효율은 11~13%<sup>53)</sup>로써, 본 연구에서는 12%의 효율을 적용하였으며, PV의 설치는 고정식으로 하였다.

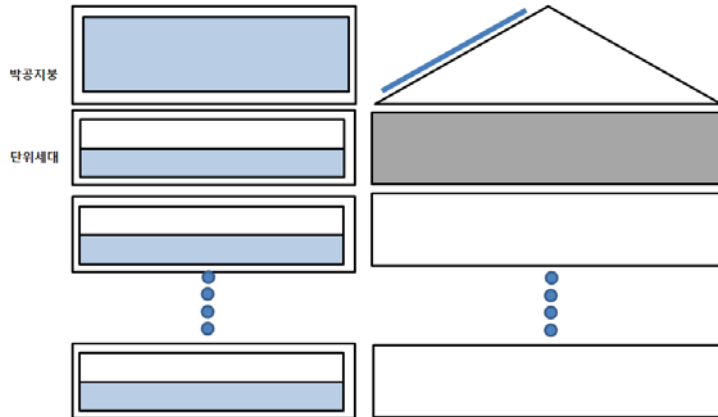
공동주택 건물에서 PV 시스템의 설치 가능부분은 지붕과 외벽면이며, 공동주택에서 태양에너지 장치를 설치할 경우 차이가 발생할 수 있는 요인은 건물의 방위와 건물의 배치형태이다. 본 연구에서는 앞서 표준모델 선정 시 설정한 바와 같이 건물의 배치형태를 일자형 4호 조합 15층 건물로 남향 건물이다.

---

52) 김희경, 주택유형에 따른 태양광과 태양열 시스템에 관한 연구, 조선대 산업대학원 석사학위논문, 2006.02

53) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02





(그림 4.12) 태양광 발전 시스템 적용가능 부위 개념도

(그림 4.12)는 1개층 단위세대 및 최상부의 지붕면을 대상으로 태양에너지 시스템을 적용할 수 있는 가능면적을 도식화한 것이다. PV 시스템을 지붕에 설치할 경우는 지붕의 형태를 박공지붕으로 가정하였고, 지붕의 각도는 30°로 설정하였다. 공동주택의 지붕형태의 물매는 대체적으로 전통가옥의 표준 물매라고 할 수 있는 1:4정도의 기울기를 적용하고 있는데, 이는 약 22°의 각도로 국내에서 태양열을 최적으로 사용 가능한 각도에 비해 비효율적인 경사각인 것으로 분석되었다.<sup>54)</sup> 기존 문헌<sup>55)</sup>의 연구 결과 고정각 중에서는 설치 각도가 30°일 때, 가장 많은 발전량을 보이고 있었으며, 최근의 문헌<sup>56)</sup>에서도 공동주택 지붕에 PV 시스템을 설치할 경우 지붕의 경사각을 30°로 설정하여 분석하고 있다. 외벽면의 경우에는 불투명 외벽부위와 발코니 창호의 하단부도 적용이 가능할 것이다.

표준 모델에서 PV 시스템 설치가 가능한 면적을 산출하면, 최상층 세대의 전면지붕 폭 10m, 깊이 6.3m로 나타나 63m<sup>2</sup>의 면적을 확보할 수 있다. 외벽면의 경우에는 전면 발코니의 난간 부분에 설치할 수 있는 것으로 가정하였다. 여기에 적용 가능면적의 산출시 실제 조건을 고려해 가용 유효면적의 개념을 적용해 실제 도출면적의 일정 수준의 면적에서만 시스템을 적용할 수 있는 것으로 가정하였다. 지붕의 경우 가용 유효면적 비율을 65%로 적용하

54) 최기환, 공동주택에서 적용 가능한 설비형 태양열시스템에 관한 연구, 수원대학교 대학원 박사학위논문, 2005.12

55) 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007. 02

56) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

였고 외벽면의 경우 80%로 적용하였다.<sup>57)</sup> 가용 유효면적 비율을 적용하면, 단위세대 당 지붕의 경우 약 40m<sup>2</sup>의 설치면적으로 확보할 수 있다. 외벽면의 경우, 가용 유효면적 80%를 고려하여, 발코니 하단부의 1/2에 해당되는 면적에 설치하는 것으로 하였다.<sup>58)</sup> 발코니의 1/2에 해당되는 면적에 설치할 경우, 세대당 약 14.8m<sup>2</sup>의 면적에 설치가 가능하다. 본 연구에서는 발코니의 1/2 면적에 설치했을 때 확보되는 설치면적 14.8m<sup>2</sup>을 세대당 설치 가능한 외벽면의 면적으로 설정하였다. PV의 경우 작은 셀들의 집합으로 이루어져 설치 가능한 면적에 맞춰서 모두 설치하는 것으로 하였다.

외벽면의 경우 1개동 전체의 외벽 모두에 PV 시스템을 설치하는 것은 공동주택의 배치와 인동간격을 고려할 때, 시스템이 비효율적으로 작동될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 적산일사량 감소율을 분석한 기존 연구문헌<sup>59)</sup>을 참고하여 연간 그림자의 영향이 20%이내인 공동주택 층수의 상부 60% 설치하는 것으로 설정하였다.

#### (7) 태양열 급탕 시스템

태양열은 신재생에너지원 중 경제성 및 기술의 안정성 측면에서 상용화가 가장 근접한 기술분야이다.<sup>60)</sup> 또한 국내 주거용 건물의 전체 에너지 소비량 중 난방과 급탕이 차지하는 비율이 81%의 비율을 차지하고 있다.<sup>61)</sup> 태양열 시스템의 경우 태양광 발전과 마찬가지로 음영이 발생하지 않는 설치면적을 확보하여야 하기 때문에 전 세대에 모두 설치하는 것은 불가능하며, 제한적인 설치면적으로 난방 및 급탕을 모두 분담하는 것은 어려울 것을 판단하고, 본 연구에서는 태양열 시스템을 통해 전체세대의 급탕부하를 담당하는 것으로 설정하였다.

태양열 급탕 시스템은 축열조를 통해 주간 열을 저장하여 야간에 사용할 수 있도록 한다. 축열조의 용량이 지나치게 클 경우 집열성능은 향상되나, 축열수 온도가 낮아 이용효과는 감소될 수 있으므로 적절한 축열조의 용량 선

57) 윤중호 외, 공동주택의 태양광시스템 적용성 평가를 위한 전기부하 매칭 해석연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2008. 04

58) 윤중호 외, 공동주택의 태양광시스템 적용성 평가를 위한 전기부하 매칭 해석연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2008. 04

59) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

60) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

61) 김중현, 아파트적용 태양열 난방 및 급탕 시스템의 열성능 분석, 대전대학교 대학원 석사학위논문, 2005.02

정이 중요하다. 설비공학편람(제2권 공기조화, 6.2-9)을 참고하면, 축열조 용량은 집열면적 1㎡당 50~100ℓ가 필요하고, 태양열 시스템의 성능은 태양열 집열기 면적 1㎡당 50ℓ 이상이 되면 집열성능은 크게 변하지 않는다고 한다. 마찬가지로 설비공학편람(제2권 공기조화, 6.2-9)을 따르면, 태양열 집열기 내의 유량은 집열면적 1㎡당 약 0.015ℓ/s로 설정한다. 따라서 본 연구에서는 태양열 급탕 시스템의 친환경 성능 평가 시 설치면적에 따라서 축열조 용량 및 집열기 내의 열매체 유량의 정확한 설정을 하도록 하겠다. 보조열원의 용량은 태양열 집열기를 전혀 이용할 수 없는 경우를 고려하여, 태양열 집열기를 설치하지 않은 경우와 동일하게 설정하였다.

태양열 급탕 시스템의 Tank Volume 및 급탕 용량을 산정하기 위해서는 앞서 말한 바와 같이 설치면적을 먼저 선정해야한다. 태양열 집열기의 설치 가능한 위치와 면적은 앞서 태양광 발전 시스템에서 도출한 면적과 동일하게 적용하였다. 15개층 60세대를 기준으로 지붕과 외벽면의 설치 가능한 면적은 지붕이 160㎡ 외벽면은 888㎡이다. 이를 통해 축열조의 용량 및 집열기 내의 유량을 산정하면, <표 4.9>와 같다.

<표 4.9> 집열기 설치위치에 따른 축열조 용량 및 집열기 내 유량

설치위치	설치가능 면적(㎡)	실제설치 면적(㎡)	축열조 용량(㎡)	집열기 내 유량(㎡/s)
지붕	160	144	7.2	0.000045(집열기 1개당)
외벽	532.8	432	21.6	0.000045(집열기 1개당)
지붕 + 외벽	693.8	568	28.4	0.000045(집열기 1개당)

그러나 집열기 내의 유량은 전체 설치 면적을 통해 산출하지 않고 집열기 1개의 면적으로 계산하였다. 본 연구에서 적용한 집열기의 면적은 평판형 집열기가 2.9646㎡, 진공관형 집열기가 2.849㎡로 약 3㎡이다. 3㎡의 집열기 면적으로 설치면적의 산출 또한, 약간의 변경이 있었으며 지붕의 전체 실제 설치 면적은 144㎡, 외벽의 전체 설치면적은 432㎡으로 줄어들었다. 이는 설치 가능면적이 커지더라도 기본적인 집열기의 크기를 무시하여 설치할 수 없기 때문이다. 외벽면의 경우 그 오차가 큰 것은 1개 세대 설치가능 면적인 14.8㎡이 실제 설치한 면적으로 환산 시 12㎡로 감소했기 때문이다.

#### (8) 지열 히트펌프 시스템

지열 또한 태양열 과 마찬가지로 신재생에너지원 중 경제성 및 기술의 안정성 측면에서 상용화에 가장 근접한 기술 분야<sup>62)</sup>로 평가되고 있다. 미국의 환

경청 EPA(Environmental Protection Conditioning)은 지열원 히트펌프가 현존하는 공간 냉난방 시스템 중에서 가장 효율이 높고, 친환경 적이며, 비용을 크게 절감시켜주는 시스템이라고 밝히고 있다.<sup>63)</sup>

기존 문헌 등의 참고자료를 이용하여 일반적인 지중열교환 시스템을 구성한 후, 보조열원으로 보일러를 같이 적용하였다.

지열원 히트펌프의 용량은 표준 공동주택 모델 1개동에 설치 가능한 면적을 확보하고, Borehole의 설치간격을 고려하여 1개동에 설치할 수 있는 Pipe의 개수를 산정하였다.

표준 모델에 설치가능한 면적은 건물면적과 건물 높이(15층 × 2.6m)에 따른 인동간격 0.8m를 고려하여 산정하였으며, Borehole의 간격은 5m로 설정하였다. Borehole 간격의 경우 기존 문헌에서 4m<sup>64)</sup>, 3m<sup>65)</sup> 등으로 제시하고 있다. 그러나 실제 시공업체에서 제시하고 있는 Borehole 간격은 4.5m<sup>66)</sup>로 본 연구에서는 실제 시공되고 있는 Borehole 간격 4.5m를 참고하여 여유를 두어 5m사용하였다. 이러한 Borehole간의 여유간격은 Pipe 상호간의 열간섭을 방지하기 위한 것이다. 설치가능면적 및 Borehole 간격 설정을 통한 Pipe 개수 산출에 있어서, 본 연구에서는 건물 경계와 1개동 건물의 인동간격을 포함한 경계부 등에 여유 공간을 두었다. (그림 4.13)은 지중열교환 Pipe의 설치 가능한 면적 및 설치 개소를 나타낸 것이며, 최대 42개의 Pipe를 설치할 수 있는 것으로 파악되었다.

---

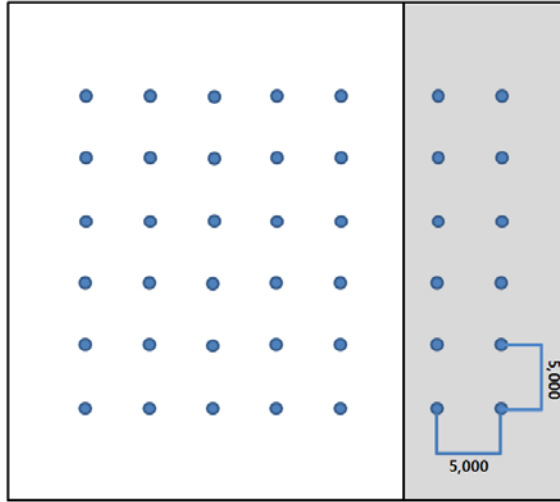
62) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

63) 김용환, 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 2006.12

64) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005, pp. 81

65) 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구, 2006.10, pp. 36

66) HP 시스템테크 <http://hpsystemtech.co.kr/>



● Borehole 천공부    ■ 건물부분

(그림 4.13) 지중열교환 Pipe 천공 개소

## 4.2.2 기술요소별 모델링

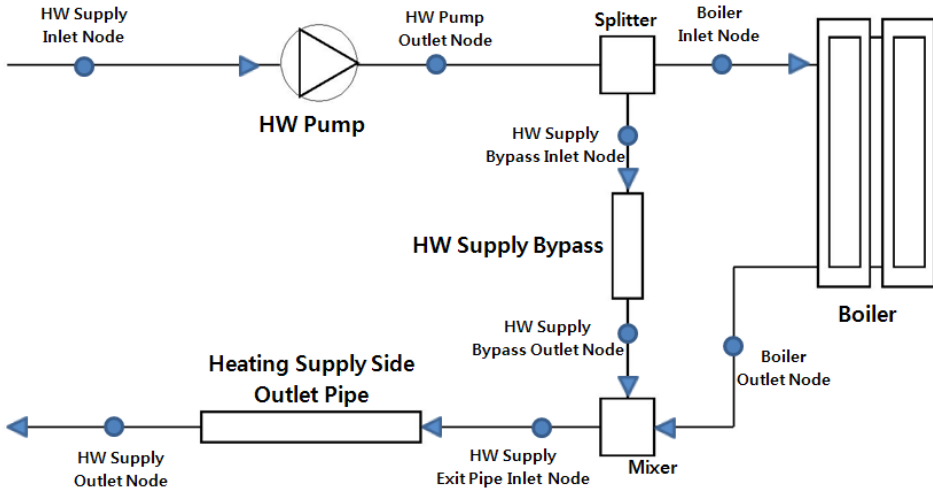
### 1) 보일러를 열원의 바닥 복사 난방 시스템

보일러를 열원으로 하는 바닥복사난방 시스템의 기계설비는 크게 보일러, 바닥복사난방 시스템, 순환펌프로 나눌 수 있다. 보일러의 열원은 가스이며, 효율은 80%로 설정하였다. 보일러의 용량은 앞서 설정한 바와 동일하게 설정하였다. 펌프의 Control 방식은 간헐적인 방식을 사용하여 필요에 따라서 운전하도록 설정하였다.

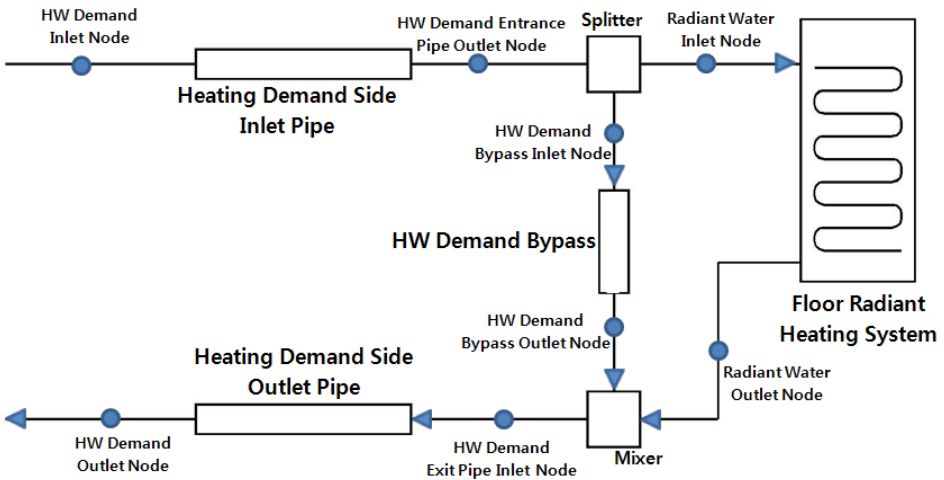
<표 4.10> 보일러를 열원으로 하는 바닥복사난방 시스템 구성 및 설정

Boiler	
Nominal Capacity	autosize
Theoretical Boiler Efficiency	0.8
Design Boiler Water Outlet Temperature (°C)	81
Max Design Boiler Water Flow Rate	autosize
Floor Radiant Heating(Hydronic)	
temperature control type	OPERATIVE
Maximum Hot Water Flow (m³/s)	autosize
Pump	
Rated Volumetric Flow Rate (m³/s)	autosize
Rated Power Consumption	autosize
Motor Efficiency	0.87
Pump Control Type	INTERMITTENT

(그림 4.14)와 (그림 4.15)는 보일러를 열원으로 하는 바닥복사난방 시스템의 프로그램 상에서의 Loop를 도식화 한 것이다. 열원장치에서 온수를 생성, 공급하기 위해서는 Plant부와 Demand 부의 주변 기구물(Pump, Bypass, Pipe, Inlet & Outlet Pipe, Splitter, Mixer 등)과 함께 그 계통을 정확하게 설정하고 각 기구물들의 Inlet과 Outlet Node에 고유의 이름을 작성해야 한다. 본 연구에서 적용한 난방방식은 중앙난방 방식이므로 Demand Side가 60개 세대의 시스템으로 구성되어 있다.



(그림 4.14) Schematic of Hot Water Loop-Plant Side (Boiler)



(그림 4.15) Schematic of Hot Water Loop-Demand Side (Floor Radiant Heating System)

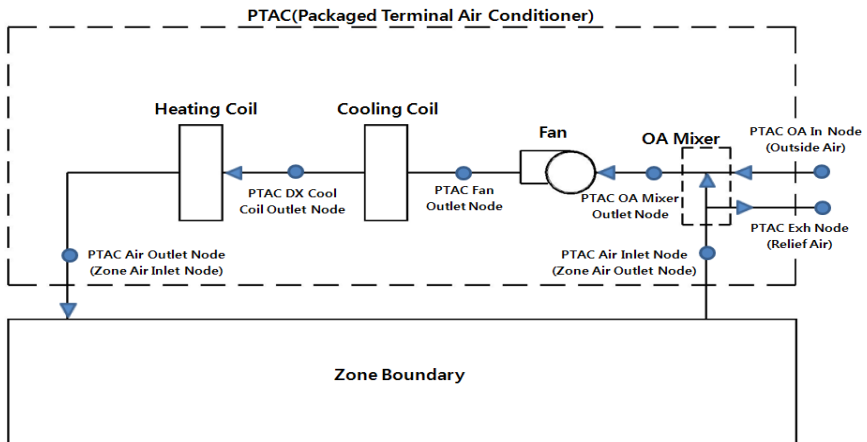
2) 패키지 에어컨(PTAC : Packaged Terminal Air Conditioner)

EnergyPlus 제공하는 PTAC는 난방과 냉방이 모두 가능한 방식으로 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 PTAC를 이용하되 냉방만을 사용하도록 출력값을 설정하였다. PTAC의 송풍량은 일반적으로 사용자가 조절할 수 있게 구성되기 때문에 자동 계산되도록 autosize로 설정하였다. Rated SHR(현열비)는 자동 조절되도록 설정하여 실내 상태를 쾌적하게 할 수 있도록 공급공기의 상태를 조절할 수 있게 하였다. PTAC의 유량제어를 자동 조절로 하였기 때문에 Fan의 유량조절 또한 자동으로 설정하였다.

<표 4.11> PTAC의 구성 및 설정

Packaged Terminal : Air Conditioner	
Supply air volumetric flow rate	autosize
Outside air volumetric flow rate	autosize
Cooling Coil	
Rated Total Cooling Capacity(gross)	autosize
Rated SHR(현열비)	autosize
Rated COP	4.11
Fan	
Fan Total Efficiency	0.5
Max Flow Rate	autosize
Motor Efficiency	0.9

PTAC의 구성은 (그림 4.16)과 같으며, 본 연구에서는 난방 시에는 사용하지 않도록 제어하였다.



(그림 4.16) Schematic of Packaged Terminal Air Conditioner



### 3) 급탕 시스템

표준 모델에 적용된 급탕 시스템은 직접가열식 온수기로 보일러와의 연계를 이루지 않은 개별 급탕방식으로 그 구성이 간단하다. Tank Volume 및 최대 용량은 위에서 선정된 값을 사용하였으며 시수온도는 15℃, 공급온도는 55℃<sup>67)</sup>로 설정하였다. 열원은 가스를 사용하는 것으로 하였으며, 열효율은 90%로 설정하였다. 직접가열식 급탕시스템의 가열된 온수의 범위인 80~85℃사이에서 최대 온수 온도의 한계를 설정하였다.

<표 4.12> 급탕시스템의 구성 및 설정(각 세대별)

Water Heater	
Tank Volume (m <sup>3</sup> )	0.072
Setpoint Temperature (℃)	55
Maximum Temperature Limit (℃)	82.2
Heater Maximum Capacity (W)	1000
Heater Fuel Type	Natural Gas
Heater Thermal Efficiency	0.9
Ambient Temperature (℃)	15

### 4) 환기시스템

환기시스템에서 결정해주어야 할 사항은 환기량으로 0.7ACH를 적용하였다. 환기시스템의 구성 및 설정조건은 <표 4.13>와 같다.

<표 4.13> 환기시스템의 구성 및 설정(각 세대별)

Unit Ventilator	
Maximum air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Outside air control type	Fixed Amount
Minimum outside air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	0.012
Maximum outside air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Fan : ConstVolume	
Fan Total Efficiency	0.5
Max Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Motor Efficiency	0.9

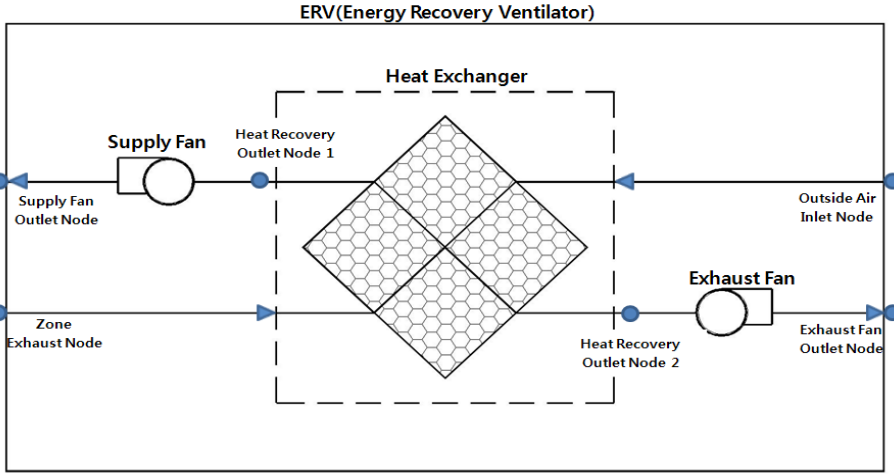
67) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007, pp 334-336

### 5) 전열교환 환기 시스템

본 연구에서 적용한 전열교환 환기 시스템의 환기량은 표준 모델과 동일하게 0.7ACH로 설정하였으며, 시스템의 구성 및 설정은 <표.4.14>, (그림 4.17)과 같다.

<표 4.14> 전열교환 환기시스템의 구성 및 설정

Ventilator	
Supply air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Exhaust air flow rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Supply Fan	
Fan Total Efficiency	0.5
Max Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Motor Efficiency	0.9
Exhaust FanFan	
Fan Total Efficiency	0.5
Max Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	0.042
Motor Efficiency	0.9
Heat Exchanger	
Nominal supply air flow rate	0.042 m <sup>3</sup> /s
Sensible effectiveness at 100% airflow heating condition	0.76
Latent effectiveness at 100% airflow heating condition	0.68
Sensible effectiveness at 75% airflow heating condition	0.81
Latent effectiveness at 75% airflow heating condition	0.73
Sensible effectiveness at 100% airflow cooling condition	0.76
Latent effectiveness at 100% airflow cooling condition	0.68
Sensible effectiveness at 75% airflow cooling condition	0.81
Latent effectiveness at 75% airflow cooling condition	0.73
Nominal electric power	50 W
Heat exchanger type	Rotary
Threshold temperature	1.7 °C



(그림 4.17) Schematic of Air-to-Air Energy Recovery Ventilator

#### 6) 태양광 발전 시스템

선정된 설치면적에 대해, 태양광 발전 시스템을 모델링 하였다. 기상조건은 서울로 설정하였으며, PV의 효율은 일반적으로 알려진 다결정 실리콘 태양전지의 효율은 11~13%<sup>68)</sup>이며, 일반적으로 12%의 효율을 가진 모델이 분석이 사용된다. 본 연구에서도 기존의 문헌들을 참고하여 12%로 설정하였다.

<표 4.15> 태양광 발전 시스템의 구성 및 설정

PV System	
DC to AC inverter conversion efficiency	0.9
Conversion efficiency input mode	FIXED
Value for cell efficiency in fixed	0.12

#### 7) 태양열 급탕 시스템

표준 모델에 적용한 집열기는 지붕 과 외벽 모두에서 설치 시에는 평판형 집열기와 진공관형 집열기를 모두 설치해서 분석하였다. 집열기 내의 열매는 물로 적용하였다. 평판형 및 진공관형 집열기의 개요는 <표 4.16>, <표 4.17>과 같다. 집열기 개수는 지붕면에서는 총 48매, 외벽면에서는 1세대 당 4매로 총 144매를 설치하였다. 집열기 1개당 면적은 실제값을 수정하여 동

68) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

일하게 3m<sup>2</sup>로 적용 시, 면적 오차는 평판형에서 약 1%내외, 진공관형에서 약 5% 내외로, 3m<sup>2</sup>로 적용하여도 무방하다고 판단하였다.

<표 4.16> 평판형 집열기의 개요

Solar Collector	
Test Fluid	WATER
Gross Area (m <sup>2</sup> )	2.9646 (적용 3m <sup>2</sup> )
Maximum Volumetric Floe Rate	0.000045
Coefficient 1 of Efficiency Equation(Y-Intercept)	0.691
Coefficient 2 of Efficiency Equation(1st Order)	-3.396
Coefficient 3 of Efficiency Equation(2nd Order)	-0.00193
Coefficient 2 of Incident Angle Modifier(1st Order)	-0.1939
Coefficient 3 of Incident Angle Modifier(2nd Order)	-0.0055

<표 4.17> 진공관형 집열기의 개요

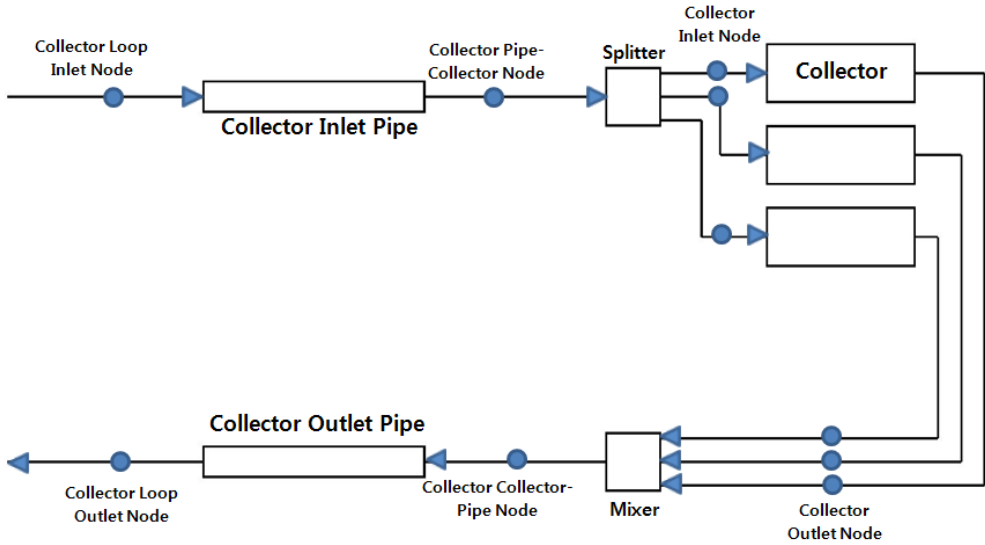
Solar Collector	
Test Fluid	WATER
Gross Area (m <sup>2</sup> )	2.849 (적용 3m <sup>2</sup> )
Maximum Volumetric Floe Rate	0.000045
Coefficient 1 of Efficiency Equation(Y-Intercept)	0.573
Coefficient 2 of Efficiency Equation(1st Order)	-2.8501
Coefficient 3 of Efficiency Equation(2nd Order)	-0.0028
Coefficient 2 of Incident Angle Modifier(1st Order)	+ 0.0469
Coefficient 3 of Incident Angle Modifier(2nd Order)	-0.1044

보조열원 시스템의 Tank Volume 및 용량은 태양열 시스템을 전혀 사용할 수 없는 경우를 고려하여 설정하였다. 시수온도 및 공급온도, 보조열원의 사용 열원의 종류는 앞서 적용한 개별식 순간급탕기와 동일하게 적용하였다.

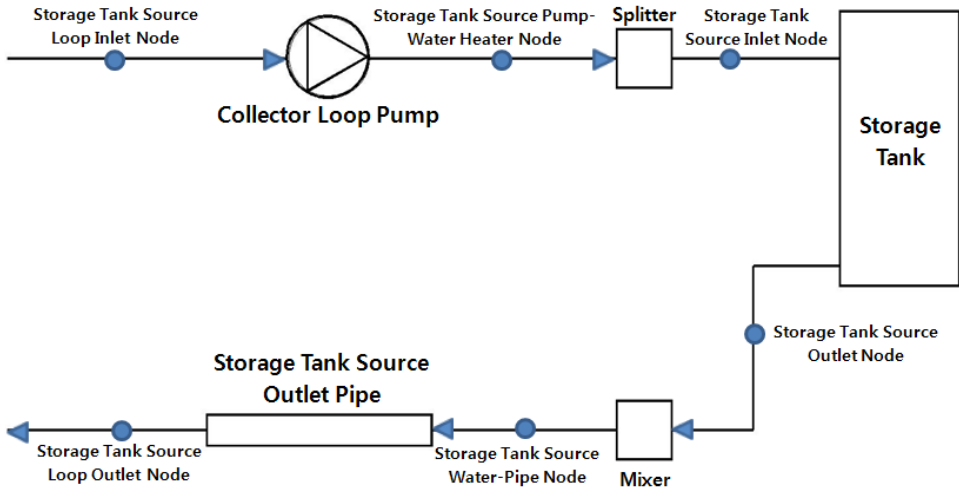
<표 4.18> 보조열원 시스템의 개요

Water Heater	
Tank Volume (m <sup>3</sup> )	4.32 m <sup>3</sup>
Setpoint Temperature (°C)	55
Maximum Temperature Limit (°C)	82.2
Heater Maximum Capacity (W)	60000
Heater Fuel Type	Natural Gas
Heater Thermal Efficiency	0.9
Ambient Temperature (°C)	15

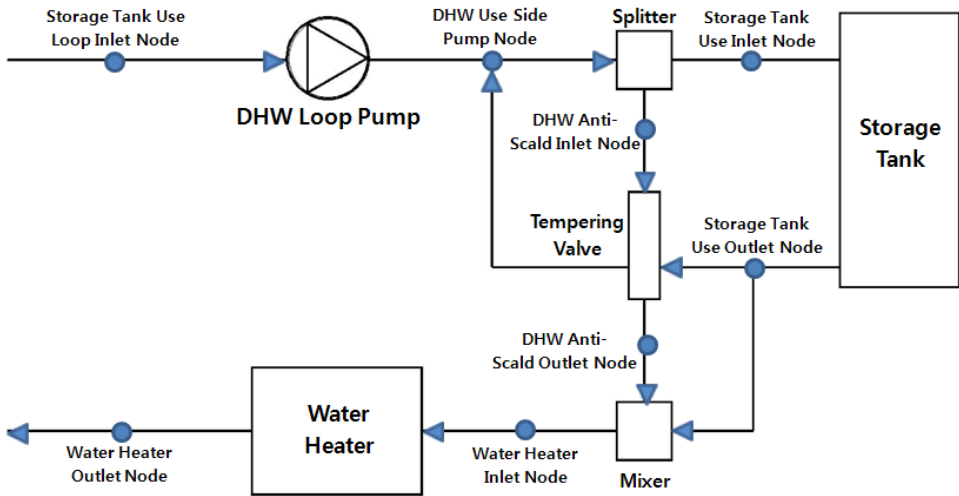
태양열 급탕 시스템의 경우 집열부, 저장부, 열원부, 사용부로 총 4개의 부분으로 나뉘어진다. 집열부를 통해 더워진 물은 저장부의 저장탱크에 모아지고 저장탱크에 저장된 물은 열원부를 거쳐 사용부로 이동되어 사용된다. 여기서 급수되는 물의 온도를 Check하여 일정온도에 미치지 못할 경우(공급온도) 열원부의 급탕 시스템에서 다시 물의 데우게 된다. (그림 4.18)부터 (그림 4.21)은 태양열 급탕 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.



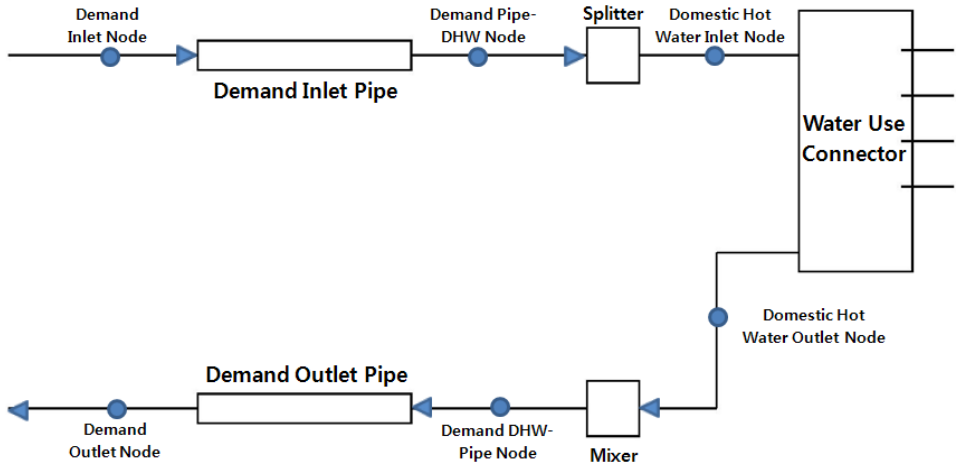
(그림 4.18) Schematic of Collector Loop



(그림 4.19) Schematic of Storage Tank Source Loop



(그림 4.20) Schematic of Storage Tank Use Loop(Plant)



(그림 4.21) Schematic of Water Use Loop(Demand)

#### 8) 지열 히트펌프 시스템

지열 히트펌프 시스템을 공동주택에 적용할 경우, 지중열교환 Pipe의 매설 방법은 수직밀폐형과 최근 적용성 향상을 위해 시도되고 있는 말뚝 코일형이 있다. 그러나 본 연구에서는 시뮬레이션 도구의 한계상 코일말뚝형을 구현할 수 없어, 수직밀폐형으로 적용하였다.

본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템을 난방부하 또는 급탕부하 만을 분담했을 경우와 난방과 급탕을 담당하는 경우 세 가지를 적용하였으며, 물 대물 방식의 밀폐형 지중열교환기 적용하였다. 지열 히트펌프 시스템의 세부적인 입력값은 기존 문헌을 참고하였다. 일반적으로 수직형 지중열교환기는 직경 150mm~200mm, 깊이 100~200m의 Borehole을 지면에서 천공한 후 외경 25A ~40A의 폴리에틸렌 또는 폴리부틸렌 파이프를 U자관으로 형성하여 삽입한다.<sup>69)</sup> 본 연구에서는 문헌 자료와 시뮬레이션 기본 값을 적용하였다. 파이프는 PE 파이프를 규격표를 참고하여 외경은 27mm, 두께 약 3.0mm로 설정하였으며, Borehole의 깊이는 100m, 직경은 150mm로 설정하였다. 외경 27mm일 때의 지중열교환의 순환유체 유량은 문헌 값마다 다소 차이를 보였으며, 문헌에서 제시된 값들의 Pipe 관경은 조금씩 달랐으나 25±2mm 내외의 관경에서 0.00045m<sup>3</sup>/s ~ 0.0004725m<sup>3</sup>/s<sup>70)71)</sup>로 나타났다. 본 연구

69) 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발(최종보고서), 2006.10, pp. 4

에서 적용한 순환유체의 0.00045 m<sup>3</sup>/s으로 적용하였다.

지열 히트펌프 시스템 구성 시 설정해 주어야 하는 중요한 인자 중 한 가지는 COP(성적계수)로 COP에 따라 전력소비량이 좌우되며, 이는 CO<sub>2</sub> 소비량과 직결되는 문제이다. 기존 문헌<sup>72)73)74)</sup> 조사 결과 지중열교환기 설치 시 난방 COP는 3.5~4.0의 범위를 가졌다. 본 연구에서 COP를 3.5로 적용하였다.

지중열교환 Pipe의 개수는 앞서 설정한 42개를 적용하였으며, 42개의 Pipe를 설치하였을 때, 담당 가능한 용량은 시행착오법을 통해 산출하였다. 지열 히트펌프가 담당하는 부하는 난방, 급탕, 난방 및 급탕의 세 가지 경우로 나누어 분석하였다.

---

70) 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구(최종보고서), 2006.10, pp. 58

71) McQuay International, Application Guide AG 31-008 Geothermal Heat Pump Design Manual, 2002, pp. 9

72) RETScreen International, Clean Energy Project Analysis RETScreen Engineering & Cases Textbook Third Edition, 2005.09, pp. GSHP.64

73) 이명택, 동특성 시뮬레이션을 통한 공기, 지열 열펌프 시스템의 성능분석 및 경제성 평가, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 2005.12, pp. 44

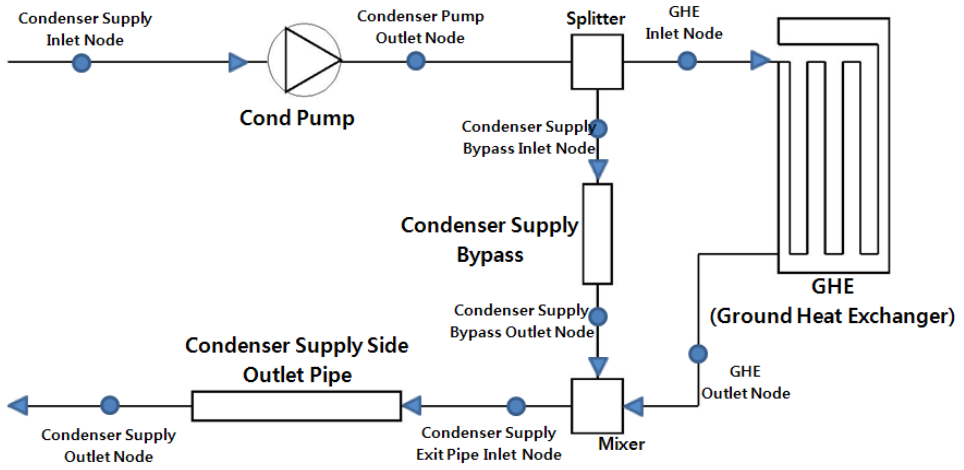
74) 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구(최종보고서), 2006.10, pp. 40



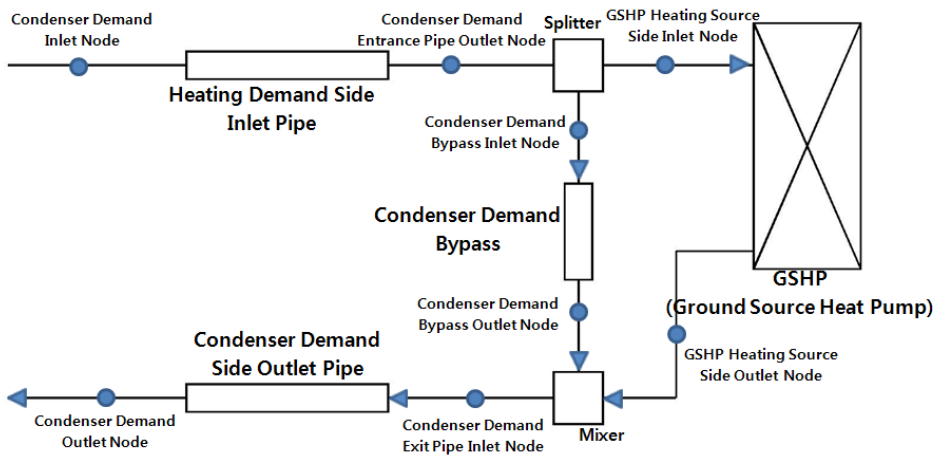
<표 4.19> 지열 히트펌프 시스템의 개요

HeatPump : Water to Water	
COP	3.5
Nominal Capacity (W)	579,202
Load Side Volumetric Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	0.00045
Source Side Volumetric Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	0.00045
GROUND HEAT EXCHANGER:VERTICAL	
Max GHE FlowRate (m <sup>3</sup> /s)	0.00045
Number of Borehole	42
Bore Hole Length (m)	100
Bore Hole Radius (m)	0.150
K of Ground (W/m · K)	0.692626
rhoCp of Ground (J/m <sup>3</sup> · K)	2347000
rhoCp of Fluid (J/m <sup>3</sup> · K)	4182.11
Design GHE Vol Flowrate (m <sup>3</sup> /s)	0.00045
K of Grot (W/m · K)	0.692626
K of Pipe (W/m · K)	0.391312
K of Fluid (W/m · K)	0.602636
Rho of Fluid (kg/m <sup>3</sup> )	998.2
Mu of Fluid (N · s/m <sup>2</sup> )	0.000987958
Pipe Out Diameter (m)	0.027
U-Tube Distance (m)	0.0253977
Pipe Thickness(m)	0.003

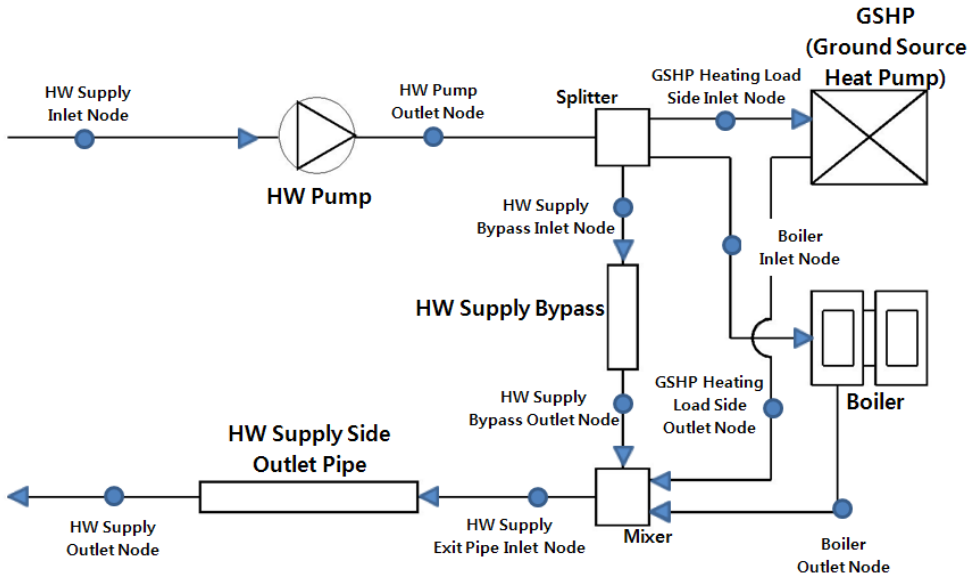
(그림 4.22)부터 (그림 4.25)까지는 지열을 이용한 난방 시의 시스템 구성도이며, 급탕 시스템 적용 시 (그림 4.26)과 같은 구성이 사용 또는 추가된다. 난방 시스템에서의 Demand 부의 구성은 일반 보일러를 이용한 바닥복사 난방 시스템과 동일하며, Plant 부의 구성에서 Boiler와 함께 GSHP(Ground Source Heat Pump : Water to Water : Heating)가 함께 사용된다. 그리고 GSHP는 지중열교환기와 연결된다.



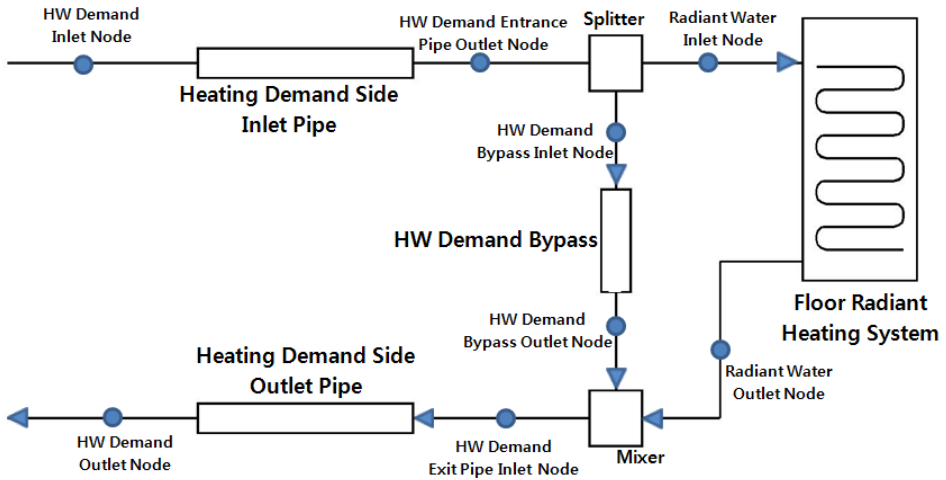
(그림 4.22) Schematic of Condenser Loop - GHE



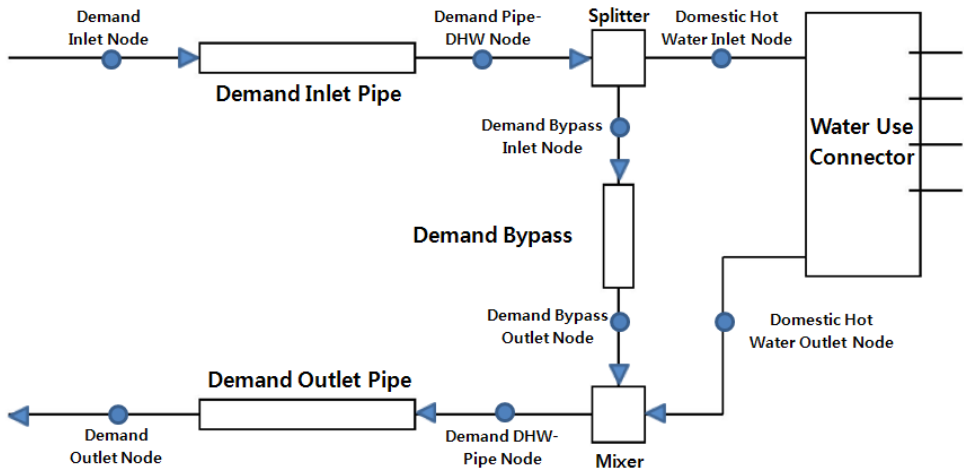
(그림 4.23) Schematic of Condenser Loop - GSHP



(그림 4.24) Schematic of HW Loop-Plant Side



(그림 4.25) Schematic of HW Loop-Demand Side(Heating)



(그림 4.26) Schematic of HW Loop-Demand Side(Water Heating)

### 4.3 건축기술요소별 친환경 성능 분석 결과

표준 모델의 기본적인 건축기술요소와 친환경 건축기술요소의 에너지 소비량을 파악하였다. 표준 모델의 분석은 대안으로 적용될 재생에너지 시스템을 고려하여, 15층 60세대를 모두 분석하는 것으로 하였으며, 난방방식은 지열 히트펌프 시스템을 고려하여, 중앙난방 방식을 적용하여 분석하였다. 시뮬레이션을 통한 표준 모델에서의 에너지 사용량은 냉난방 및 급탕시스템의 에너지 사용량과 환기시스템의 전력 사용량만을 고려하였으며, 기타 가전기기 및 조명의 전력 사용량은 포함되지 않았다. 기타 가전기기 및 조명의 전력사용량은 문헌조사를 통해 설정하였다.

표준 모델에 적용된 기본 건축기술요소의 에너지 성능 분석 후, 친환경 건축기술요소로서 전열교환환기 시스템, 태양광 발전시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 히트펌프 시스템을 적용하여 각 시스템 설치시의 에너지 소비량을 분석하였다.

#### 4.3.1 표준 모델의 친환경 성능

표준 모델의 기본 설정 값 및 시스템의 설정 값은 앞서 표준 모델 선정 시에 언급했던 바와 같다. 가스소비량은 난방기간으로 설정했던 11월~3월까지의 사용량만을 고려했으며, 냉방사용량 또한 설정한 냉방기간 동안만을 고려하였다. 환기시스템 및 급탕시스템의 에너지 소비량은 연간 소비량을 모두 분석하였다.

에너지 소비량 분석 결과 전체동의 연간 난방에너지 요구량은 2,241.26 GJ/yr, 냉방에너지 요구량은 657.14GJ/yr 이었으며, 세대 위치별 연간 냉난방 에너지 요구량과 세대 평균 냉난방 에너지 요구량은 <표 4.20>과 같다.

<표 4.20> 연간 냉난방 에너지 요구량

	연간 에너지 요구량 (GJ/yr)	
	난방	냉방
최하층 층세대	39.43	10.36
최하층 중간세대	36.88	9.94
중간층 층세대	37.84	11.07
중간층 중간세대	35.07	10.74
최상층 층세대	50.61	13.19
최상층 중간세대	47.68	12.69
세대 평균	37.35	10.95
1개동(15층 60세대)	2,241.26	657.14

전력을 에너지원으로 하는 시스템의 경우(냉방, 보일러의 순환펌프 및 환기 등), 전력 소비량을 바로 출력할 수 있으나, 가스를 에너지원으로 하는 시스템(난방 및 급탕)의 경우에는 요구 열량이 결과 값으로 출력된다. 본 연구에서는 연료의 사용량을 통한 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하기 위해 출력된 요구 열량을 도시가스 발열량 (10,550Kcal/m<sup>75</sup>)을 적용하여 도시가스 소비량으로 환산하였다. 도시가스 소비량은 개별난방 방식이 아닌 중앙난방 방식을 적용하였기 때문에 보일러에서 요구하는 열량은 전체동의 요구 열량만이 출력된다.

냉방의 경우에는 COP를 고려한 전력소비량과 시스템 내의 Fan 등의 기타 기기의 전력소비량의 합계가 출력되며, 난방의 경우에는 보일러의 요구열량과 순환펌프의 전력사용량이 출력된다. 여기에 급탕시스템의 에너지 요구량, 환기 시스템에서의 전력소비량을 합산하여 전체 가스소비량 및 전력 소비량을 분석하였다. 급탕시스템의 가스소비량의 경우, 세대별로 별도의 스케줄을 작성하지 않았기 때문에 모든 세대에서 동일한 가스소비량을 보였다.

시뮬레이션을 통해 분석된 전력소비량은 냉방 및 환기, 보일러의 순환펌프에서 사용된 전력만 포함된 값으로 조명 및 기기에서의 전력 사용량 또한 포함되어야 한다. 본 연구에서는 기존 문헌을 통해 조명 및 기기의 전력 소비량을 설정하였다.

기기의 연간 전력사용량은 기존 문헌<sup>76)</sup>에서 <표 4.21>과 같이 제시하고 있다. 본 연구에서 분석 시에 적용한 시스템은 냉난방 및 환기, 급탕 시스템으로 이와 관련된 계절적 기기(에어컨, 선풍기, 전기난로 등)의 전력 사용량은 제외하고 단속적 사용기기의 전력 사용량만을 고려하였다. 분석결과 연간 기

75) 에너지기본법 제5조 제1항 관련, 에너지열량환산기준

76) 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12

기를 통한 전력 사용량은 약 1,525.03KWh/yr로 나타났다.

<표 4.21> 단속적 사용기기의 주요결과

구분	소비전력 (W)	월사용 일수	1일사용 시간(분)	연간 사용 시간(시간)	연간사용량 (W)	
TV	135.1	28.0	414	2420	326,957	
세탁기	494.5	17.5	88	218	107,577	
전기다리미	1118.2	9.8	28	55	61,662	
컴퓨터	165.1	24.4	252	1324	222,530	
전기	취사	1063.1	26.6	54	292	314,760
밥솥	보온	96.0	27	473	2583	254,145
전자레인지		1010.2	14.9	22	77	78,232
진공청소기		899.1	21.6	38	163	146,857
비디오		55.5	8.5	114	222	12,311
합계	-	-	-	-	-	1,525,031

조명의 전력 사용량 또한 기존 문헌<sup>77)</sup> 값을 참고 하여 설정 하였다. 본 연구에서 사용한 값은 문헌에서 제시한 2003-2005년까지의 단위면적당 조명 에너지 소비량을 평균하여 표준 모델의 전용면적에 맞춰 계산하였다. 계산 결과, 세대당 조명에서의 전력 소비량은 706.35KWh/yr로 나타났다.

<표 4.22> 세대당 조명 에너지 소비량

연도	가구수	소비전력량 (MWh)	세대 당 조명에너지 소비량(kWh)	단위면적당 조명에너지 소비량 (kWh/m <sup>2</sup> )
2003	12,704,193	44,572,083	624.50	7.806
2004	12,853,035	48,615,320	673.27	8.416
2005	12,980,980	50,873,036	697.59	8.720
평균	-	48,020,146	665.12	8.310

태양광 발전 시스템의 경우, 생산된 전력을 각 세대에서 사용하기에는 무리가 있기 때문에 공용부에서 사용되는 전력을 분담할 수 있다. 따라서 전력사용량의 경우 세대 내에서의 전력사용량 뿐만 아니라, 공용부의 전력사용량을 파악하여야 한다. 공용부의 전력사용량은 기존문헌<sup>78)</sup>에서 산출한 값을 사용

77) 산업자원부, 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2006

78) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02

하였다. 기존문헌에서는 대전지역의 아파트 단지를 대상으로 2년간의 공공전기 사용량을 각 세대별로 평균하여 조사·분석하였으며, 그 내역은 가로등, 승강기, 일반공용분, 광통신장비, 휴대폰 중계기 등이다. 조사·분석된 1개 세대당 공용부의 전력 사용량은 연간 907KWh/yr이다. 따라서 표준모델 전체의 연간 공용전력 사용량은 54,420KWh/yr이다.

연간 전체동의 가스소비량 및 전력소비량은 각각 80,998m<sup>3</sup>/yr, 47,074KWh/yr이며, 단위세대의 평균 가스 소비량 및 전력 소비량은 1,350 m<sup>3</sup>/yr, 4,117KWh/yr 로 나타났다. 세대 위치별 난방 및 급탕의 가스 소비량은 <표 4.23>과 같으며, 시뮬레이션을 통해 분석된 냉방 전력 소비량, 환기 시스템에서의 소비량과 순환펌프의 전력소비량, 기존 문헌을 통해 산출한 조명 및 기기에서의 전력 소비량을 나타낸 결과는 <표 4.24>와 같다.

<표 4.23> 표준 모델의 연간 가스 소비량

	가스(m <sup>3</sup> )		
	난방	급탕	합계
최하층층세대	-	295	-
최하층중간세대	-	295	-
중간층층세대	-	295	-
중간층중간세대	-	295	-
최상층층세대	-	295	-
최상층중간세대	-	295	-
세대평균	1,055	295	1,350
1개동	63,324	17,674	80,998

<표 4.24> 표준 모델의 연간 전력 소비량

	전력(KWh)						
	냉방	환기	펌프	조명	기기	공용부	합계
최하(층)	899	22.6	-	706	1,525	907	-
최하(중간)	872	22.6	-	706	1,525	907	-
중간(층)	961	22.6	-	706	1,525	907	-
중간(중간)	941	22.6	-	706	1,525	907	-
최상(층)	1,087	22.6	-	706	1,525	907	-
최상(중간)	1,058	22.6	-	706	1,525	907	-
세대평균	953	22.6	4	706	1,525	907	4,117.6
1개동	57,155	1,356	260	42,382	91,500	54,420	247,074



### 4.3.2 전열교환 환기 시스템

전열교환 환기시스템 적용 시, 연간 전체동의 가스소비량 및 전력소비량은 각각 77,924 m<sup>3</sup>/yr, 261,595KWh/yr이며, 단위세대의 평균 가스 소비량 및 전력 소비량은 1,299 m<sup>3</sup>/yr, 4,360KWh/yr 로 나타났다. 시뮬레이션을 통해 분석된 세대 위치별 난방 에너지 소비량, 환기 및 급탕 시스템에서의 에너지 소비량과 순환 펌프에서의 전력소비량, 기존 문헌을 통해 산출한 조명 및 기기에서의 전력 소비량을 나타낸 결과는 <표 4.25>, <표 4.26>과 같다.

<표 4.25> 전열교환 환기시스템 적용 시 연간 가스 소비량

	가스(m <sup>3</sup> /yr)		
	난방	급탕	합계
최하층측세대	-	295	-
최하층중간세대	-	295	-
중간층측세대	-	295	-
중간층중간세대	-	295	-
최상층측세대	-	295	-
최상층중간세대	-	295	-
세대평균	1,004	295	1,299
1개동	60,250	17,674	77,925

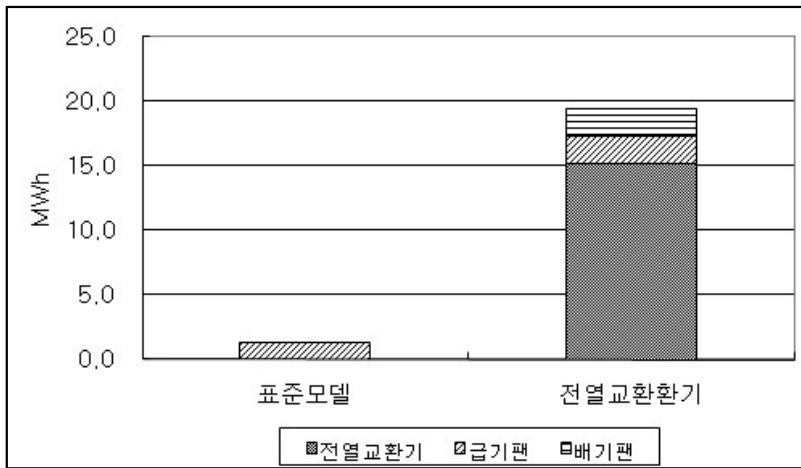
<표 4.26> 전열교환 환기시스템 적용 시 연간 전력 소비량

	전력(KWh)						
	난방	환기	펌프	조명	기기	공용부	합계
최하(측)	798	324.6	-	706	1,525	907	-
최하(중간)	789	324.6	-	706	1,525	907	-
중간(측)	900	324.6	-	706	1,525	907	-
중간(중간)	893	324.6	-	706	1,525	907	-
최상(측)	965	324.6	-	706	1,525	907	-
최상(중간)	958	324.6	-	706	1,525	907	-
세대평균	893	324.6	3.5	706	1,525	907	4,360
1개동	53,603	19,477	212	42,382	91,500	54,420	261,595

표준 모델과 비교해보면, 난방에서의 가스소비량이 표준모델에서 63,324m<sup>3</sup>/yr이던 것이 60,250m<sup>3</sup>/yr로 감소한 것을 알 수 있다. 이는 각 세대당 평균 51m<sup>3</sup>/yr의 가스소비량이 감소한 것이다. 난방에서의 전력 소비량 또한 표준 모델에서 57,155KWh/yr 이던 것이, 전열교환 환기설치 후 53,603KWh/yr 로 감소하여 3,552KWh/yr 의 전력사용량이 감소하였다.

표준 모델과 전열교환 환기 적용 시 난방의 가스소비량과 함께 큰 차이를 보인 부분은 환기 시스템의 전력 소비량이다. 표준모델의 경우 급기팬 만이 설치된 환기 시스템을 적용하여 환기 시스템에서의 전력 소비량이 전체 동에서 1,356KWh/yr 로 세대당 22.6KWh/yr 였다. 그러나 전열교환 환기시스템을 적용한 경우 전체 동 19,477KWh/yr, 세대당 324.6KWh/yr 의 전력 소비량을 보였다. 전열교환 환기시스템의 경우 급기팬과 배기팬이 설치되어 있으며, 전열교환기의 작동 시 사용되는 전력의 소비량이 큰 범위를 차지했다. (그림 4.27)은 표준모델의 환기시스템과 전열교환 환기시스템 적용시의 환기시스템에서의 전력사용량을 나타낸 것이다.

(단위 : MWh/yr)



(그림 4.27) 환기 시스템에서의 전력 소비량

### 4.3.3 태양광 발전 시스템

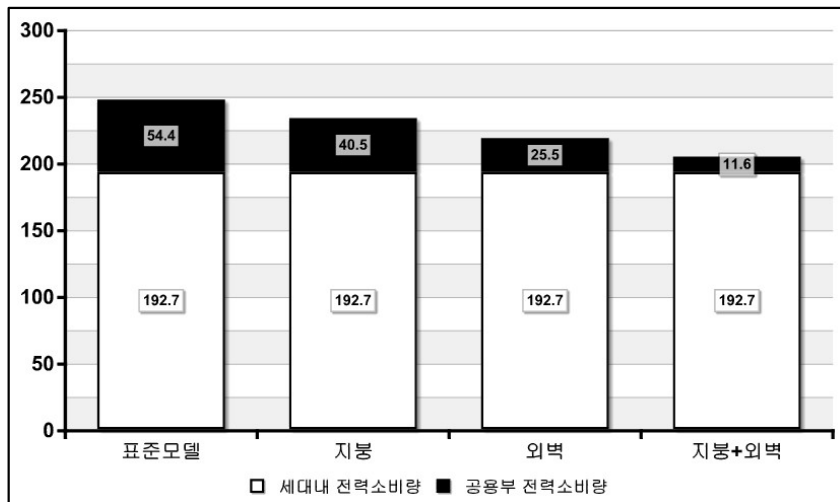
태양광 발전 시스템은 설치위치에 따라 지붕, 외벽, 지붕+외벽 3가지 경우로 나누어 분석하였다. 지붕 설치 시 표준 모델의 구성이 4호 조합으로 이루어져 있으므로 총 160㎡의 설치면적을 확보할 수 있다. 외벽면의 경우 15층으로 이루어진 대상의 상부 60%만을 설치할 수 있어 532.8㎡(≒ 532㎡의 설치면적이 확보된다.(설치가능 유효면적 고려) 지붕면 설치 시 총 발전량은 13,898KWh/yr로 나타났으며, 외벽면은 28,880KWh/yr로 나타났다. 지붕과 외벽면 동시 설치 시에는 42,778KWh/yr의 발전량을 보였다. PV 설치면적

당(m<sup>2</sup>) 발전량은 지붕이 86.9KWh/yr으로 외벽면에 비해 효율이 더 좋았으나, 건물의 단위면적(전용면적 기준, m<sup>2</sup>)당 발전량은 외벽면이 5.7KWh/yr로 더 높게 나타났다. 설치면적의 한계가 있을 경우에는 지붕면적에의 설치가 유리하나, 설치면적의 제약이 적다면 외벽면 및 지붕+외벽 설치 시 건물 전체 기준으로 더 많은 발전량을 가진다. 표준 모델에서의 공용부 전력 부하대비 부하분담률은 최고(지붕+외벽 설치시) 78.6%로 나타났다. <표 4.27>은 PV 설치위치별 발전량과 공용부 전력부하 분담률을 나타낸 것이며, 태양광 발전 시스템에서 생산된 전력은 공용부의 전력부하를 분담하는 것으로 하였다. (그림 4.28)은 표준 모델의 전력소비량과 태양광 발전 시스템 적용 시 설치위치별 발전량을 고려한 공용부에서의 전력 소비량 및 전체 전력소비량을 나타낸 것이다.

<표 4.27> 설치위치에 따른 발전량 및 부하분담률

설치위치	지붕	외벽	지붕+외벽
총 발전량(KWh/yr)	13,898	28,880	42,778
PV 설치 단위면적당(m <sup>2</sup> ) 발전량(KWh/yr)	86.9	54.2	61.8
단위바닥면적당(m <sup>2</sup> ) 발전량(KWh/yr)	2.7	5.7	8.4
연간 공용부 전력 부하분담률	25.5%	53.1%	78.6%

(단위 : MWh/yr)



(그림 4.28) PV 설치위치별 연간 전력소비량

#### 4.3.4 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템 또한 태양광 발전 시스템과 마찬가지로, 설치위치에 따라 3가지 경우로 나누어 분석하였으며, 집열기의 종류에 따른 분석을 실시하였다. 태양열 집열기 설치위치의 제한으로 각 세대별로 모두 설치할 수 없기 때문에 태양열 집열기를 설치했을 경우에는 급탕시스템을 중앙식으로 적용하였다. 태양열 급탕 시스템을 사용할 경우에는 별도로 펌프에서의 전력 사용량이 추가된다. <표 4.28>은 평판형 집열기의 결과이며, <표 4.29>는 진공관형 집열기의 결과이다. 설치위치에 따른 생산열량을 보면, 집열기를 외벽에 설치했을 때, 지붕에 설치한 경우보다 설치면적당 생산열량이 매우 적어 졌음을 알 수 있다. 또한 외벽면 설치 시 진공관형 집열기가 평판형 집열기보다 효율이 높다. 이것은 진공관형 집열기의 특징으로 평판형에 비해 설치각도의 영향을 덜 받았기 때문이다.

(그림 4.29)는 집열기 종류 및 설치 위치별 급탕에서의 가스 사용량을 나타낸 것이다. 평판형 집열기를 지붕에 설치했을 경우 44.6%의 급탕에너지 소비량을 분담할 수 있었으며, 외벽면 44.0%, 지붕과 외벽 모두 설치시 최대 88.7%의 급탕에너지 소비량을 분담할 수 있었다. 진공관형의 경우에는 지붕 44.9%, 외벽 46.8%, 지붕과 외벽 모두 설치 시 최대 91.7%의 급탕에너지 소비량을 분담할 수 있었다.

이와 같은 결과는 특정한 집열기를 선택하여 얻어진 결과이지만, 집열기의 효율이 크게 떨어지는 제품을 선정하지 않는다면, 이와 같은 결과와 큰 차이를 보이지 않을 것으로 판단된다.

<표 4.28> 평판형 집열기 설치위치에 따른 생산열량 및 부하분담률

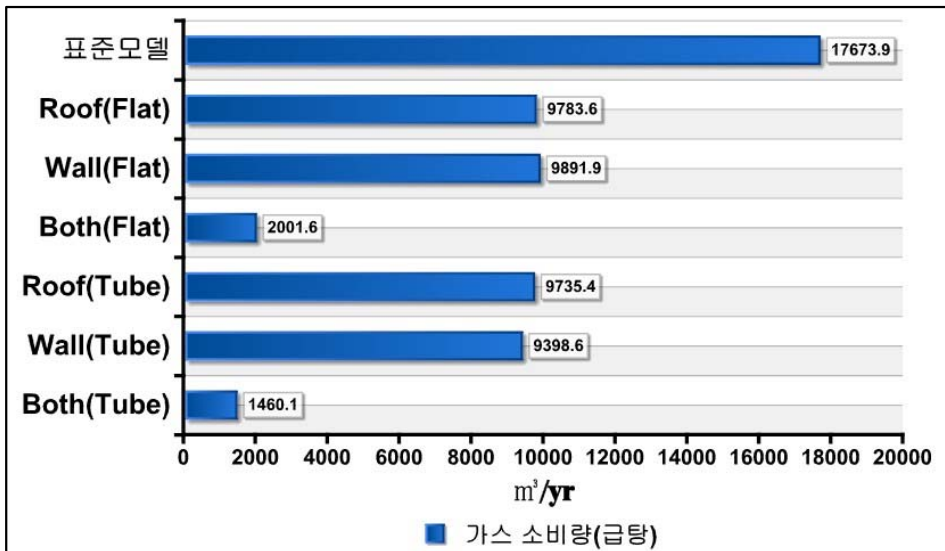
설치위치		태양열 미적용	태양열 급탕 시스템 이용		
			지붕	외벽	지붕+외벽
생산 열량	전체(Mcal/yr)	-	83,242	82,100	165,342
	설치면적당(Mcal/m <sup>2</sup> .yr)	-	578	190	287.1
	바닥면적당(Mcal/m <sup>2</sup> .yr)	-	16.3	16.1	32
가스	사용량(m <sup>3</sup> /yr)	17,674	9,784	9,891	2,002
	절감량(m <sup>3</sup> /yr)	-	7,890	7,782	15,672
펌프의 전력사용량(KWh/yr)		-	4.0	7.5	11.5
급탕에너지 분담률		-	44.6%	44.0%	88.7%

<표 4.29> 진공관형 집열기 설치위치에 따른 생산열량 및 부하분담률

설치위치		태양열 미적용	태양열 급탕 시스템 이용		
			지붕	외벽	지붕+ 외벽
생산 열량	전체(Mcal/yr)	-	83,751	87,305	171,055
	설치면적당(Mcal/m <sup>2</sup> .yr)	-	582	202	297
	바닥면적당(Mcal/m <sup>2</sup> .yr)	-	16.4	17.1	33.5
가스	사용량(m <sup>3</sup> /yr)	17,674	9,735	9,399	1,460
	절감량(m <sup>3</sup> /yr)	-	7,939	8,275	16,214
펌프의 전력사용량(KWh/yr)		-	4.2	4.2	8.5
급탕에너지분담률		-	44.9%	46.8%	91.7%

펌프에서의 연간 전력 사용량은 최소 4.0KWh/yr에서 최대 11.5KWh/yr로 집열기를 통해 절감할 수 있는 가스 소비량에 비해 사용되어지는 전력 소비량은 크지 않았다.

(단위 : m<sup>3</sup>/yr)



(그림 4.29) 집열기 종류 및 설치 위치별 가스 소비량(급탕)

### 4.3.5 지열 히트펌프 시스템

지열 히트펌프 시스템은 난방 또는 급탕만을 분담하는 경우와 난방+급탕을 분담하는 경우로 나누어 설정하였으며, 냉방부하를 담당하는 경우는 제외하였다. 이는 지열 히트펌프 시스템을 통한 냉방시스템 설치 시, 공기식의 경우에는 별도의 덕트를 구성해야 하며, 바닥냉방의 경우에도 마찬가지로 표면 결로를 제거하기 위한 별도의 시스템 구성이 필요하기 때문이다. 또한 가스 사용량의 감소가 CO<sub>2</sub> 절감량에 더 큰 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템을 이용하여 별도의 시스템을 추가하지 않고, 1개동의 난방 또는 급탕부하만을 분담하는 것과 난방+급탕을 분담도록 설정하여 분석을 실시하였다.

지열 히트펌프 시스템을 통해 난방부하, 급탕부하, 난방+급탕부하를 담당하도록 설정하였기 때문에 난방, 급탕, 난방+급탕에서의 가스소비량과 펌프에서의 전력소비량을 표준 모델과 비교하도록 하였다. 분석 결과는 <표 4.30>과 같다.

<표 4.30> 지열 히트펌프 시스템 적용 시 연간 에너지 소비량

		표준 모델	지열 시스템적용		
			난방	급탕	난방+급 탕
에너지 소비량	가스(m <sup>3</sup> /yr)	80,998	36,766	63,324	19,092
	전력 (KWh/yr)	Heat Pump	0.0	32,089	79,317
		순환 Pump	260	201	761

지열 히트펌프 시스템 적용 시 난방부하만 담당할 경우 난방부하의 100%를 담당하지 못하기 때문에 급탕에서의 가스사용량과 난방에 추가적으로 필요한 가스사용량을 합하여 36,766m<sup>3</sup>/yr의 가스를 사용하는 것으로 나타났으며, 급탕 적용 시 급탕부하의 100%를 담당하여 난방부하에 의한 가스사용량 63,324 m<sup>3</sup>/yr만 사용하는 것으로 나타났다. 난방과 급탕에 모두 적용했을 경우 가스사용량은 19,092 m<sup>3</sup>/yr로 나타났다.

난방부하만 담당할 경우 히트펌프에서 32,089 KWh/yr의 전력이 소비되는 것을 나타냈다. 순환펌프에서의 전력소비량은 표준모델에 비해 59KWh/yr의 전력을 덜 사용하는 것으로 나타났으나 전체적인 에너지 소비량의 증감에 비해 그 수치가 큰 영향을 줄 만큼은 아닌 것으로 판단된다.

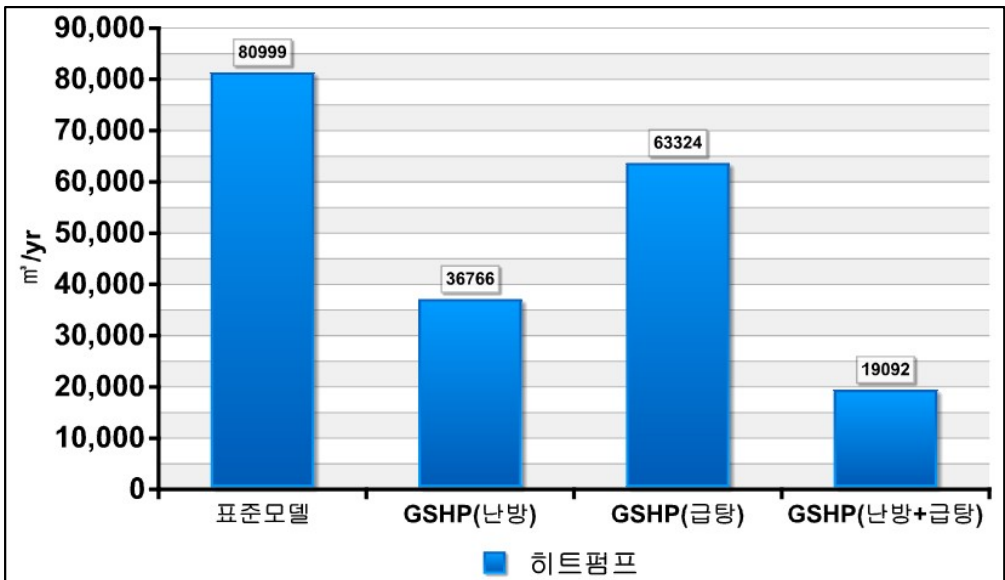
급탕부하를 담당할 경우 히트펌프에서 79,317 KWh/yr의 전력이 소비되는

것을 나타냈으며, 순환펌프에서의 사용량은 난방, 급탕 순환펌프가 개별적으로 설치되어 761KWh/yr의 전력을 사용하는 것으로 나타났다.

난방+급탕 부하를 지열 히트펌프 시스템을 통해 분담할 경우 급탕 담당 시와 동일하게 히트펌프에서 79,317KWh/yr의 전력이 소비되었으며, 순환 펌프에서의 전력소비량은 503KWh/yr 로 급탕만 담당할 경우보다는 낮고, 난방만 담당할 경우보다는 높게 나타났다. 지열 히트펌프 시스템이 급탕부하를 담당하도록 적용하는 경우, 급탕부하의 특성에 의해 Heat Pump에서의 전력 소비량이 난방부하만 담당할 경우보다 큰 폭으로 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 난방부하의 경우 11월~3월까지만 발생하지만, 급탕부하의 경우 연중으로 발생하는 부하이다. 또한 피크 부하에 있어서도 일반적으로 난방 피크 부하보다 급탕의 피크부하가 더 크다.

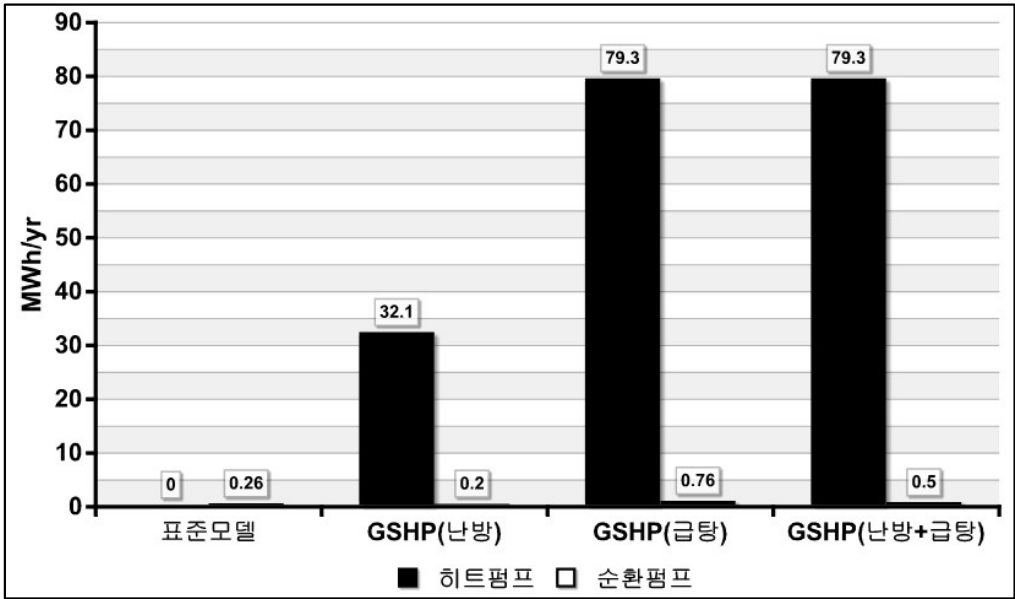
동일한 지열 히트펌프 시스템을 적용했을 경우, 급탕만 사용했을 때의 히트펌프의 전력사용량이 더 많이 발생하였다. 이는 동일한 용량의 시스템을 설치했을 때, 급탕부하만 담당하도록 적용하여 그만큼의 효율이 떨어졌기 때문으로 판단된다. (그림 4.30)은 표준모델과 지열 히트펌프 시스템 적용시의 가스사용량을 나타낸 것이며, (그림 4.31)은 히트펌프에서의 전력소비량을 나타낸 것이다.

(단위 : m<sup>3</sup>/yr)



(그림 4.30) 표준 모델 및 GSHP 적용 시 전체 가스 사용량

(단위 : MWh/yr)



(그림 4.31) 표준 모델 및 GSHP 적용 시 히트펌프/순환펌프의 전력 소비량



## 4.4 소결

1) 표준모델 전체동의 가스사용량은 난방 가스사용량 63,324m<sup>3</sup>/yr, 급탕 가스사용량 17,674m<sup>3</sup>/yr로 연간 총 가스 사용량은 80,998m<sup>3</sup>/yr였다. 전력사용량은 난방에서의 전력사용량 57,155KWh/yr, 환기시스템 1,356KWh/yr, 펌프 260KWh/yr, 조명과 기기에서 각각 42,382KWh/yr, 91,500KWh/yr 였으며, 공용부에서의 전력사용량 54,420KWh/yr으로 표준모델 전체동의 연간 총 전력사용량은 247,074KWh/yr로 나타났다.

2) 전열교환 환기 시스템은 가장 많은 부문에서의 에너지소비량 변동이 발생한 건축기술요소였다. 전열교환 환기 시스템 적용 시 3,075m<sup>3</sup>/yr의 가스 소비량이 감소했으며, 전력소비량은 14,521KWh/yr 증가해, 총 에너지 사용량은 가스 사용량 77,925m<sup>3</sup>/yr 전력 사용량 261,595KWh/yr였다.

3) 태양광 발전 시스템의 경우에는 전력 생산을 통한 감소량만이 나타났으며, 설치위치별 전력 생산량은 지붕 설치 시 13,898KWh/yr, 외벽 설치시 28,880KWh/yr 지붕+외벽 설치 시 42,778KWh/yr 로 나타났다. 전력 생산량을 고려한 연간 최소 전력소비량은 전체 204,296KWh/yr, 태양광 발전으로 생산된 전력으로 분담하는 최소 공용부 전력 소비량은 11,642KWh/yr 로 연간 공용부의 전력부하 분담률이 78.6%로 나타났다.

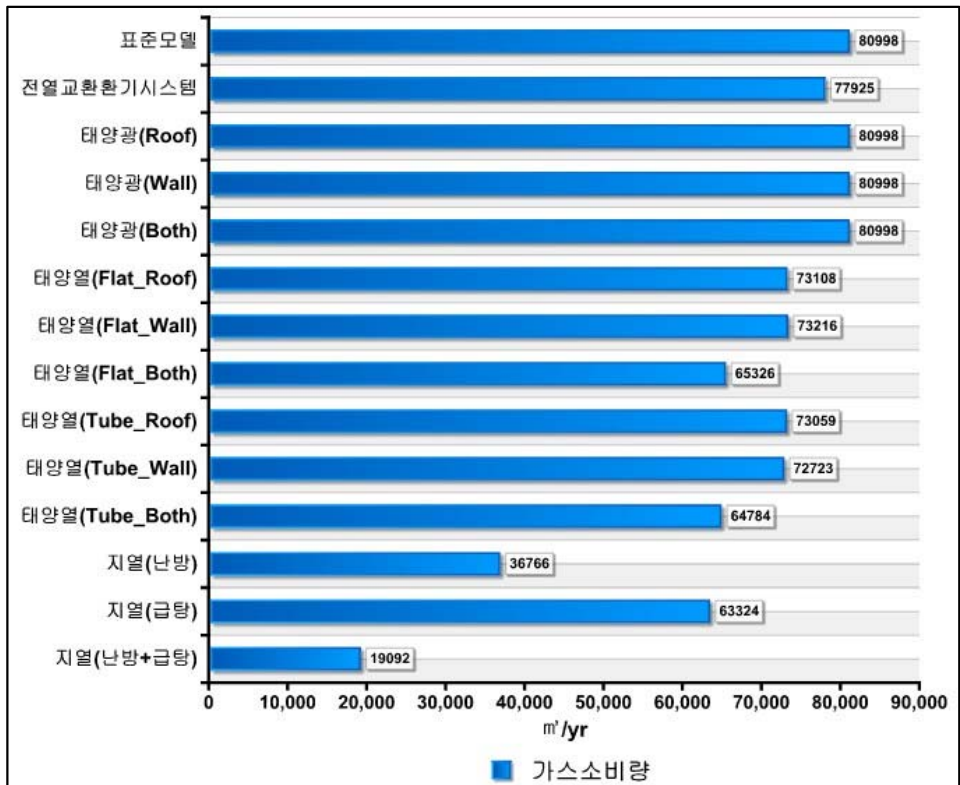
4) 태양열 급탕 시스템의 경우에는 급탕에서의 가스소비량 변동 폭은 컸으나, 전력에서의 증가량은 미미한 수준이었다. 가스 소비 감소량은 최소(평판형 외벽 설치) 7,782m<sup>3</sup>/yr에서 최대(진공관형 지붕+외벽 설치) 16,214m<sup>3</sup>/yr였다. 전력 소비량의 증가는 4~11.5KWh/yr 로 전체적인 에너지 사용량에 큰 영향을 주지는 못했다.

5) 지열 히트펌프 시스템은 가스와 전력 소비량 모두에서 변동이 컸다. 난방에 적용 시, 가스 소비량 감소는 44,232m<sup>3</sup>/yr 였으며, 전력 소비 증가량은 32,030KWh/yr 였다. 급탕에만 적용 시 급탕부하를 100% 담당하여 17,674m<sup>3</sup>/yr의 가스사용량이 감소했으며, 전력 소비량은 79,818KWh/yr 증가했다. 난방과 급탕에 모두 적용할 경우에는 가스 소비량은 19,092 m<sup>3</sup>/yr으로 나타났으며, 전력 소비 증가량은 79,560KWh/yr 로 나타났다.

각 건축기술요소의 에너지 성능 분석결과, 태양광 발전 시스템을 제외한 건축기술요소들은 기술요소 적용 시 한부분에서의 에너지 소비량이 감소할 경우, 다른 부분에서의 에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났다. 전열교환 환기시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열원 히트펌프 시스템은 공통적으로 가스사용량이 감소하고 전력 소비량이 증가했다. 태양열 급탕 시스템의 경우 가스사용량의 감소에 비해 전력 소비량의 증가폭이 매우 작았으나, 전열교환 환기시스템과 지열 히트펌프 시스템은 다음 장에서 분석하게 될 전체 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향을 줄 만큼 큰 폭의 변동이 있었다.

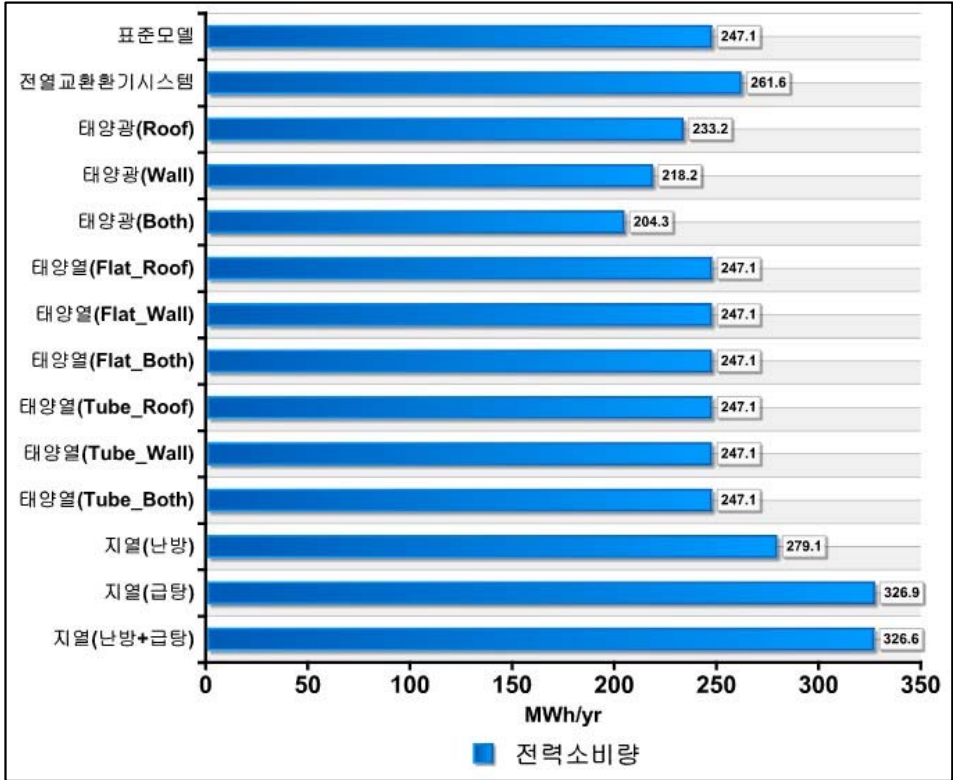
시뮬레이션을 통한 각 건축기술요소의 에너지 성능을 분석한 결과를 요약하면 (그림 4.32), (그림 4.33), <표 4.31>과 같다.

(단위 : m<sup>3</sup>/yr)



(그림 4.32) 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 가스 소비량

(단위 : MWh/yr)



(그림 4.33) 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 전력 소비량

<표 4.31> 표준 모델 및 각 건축기술요소 적용 시 에너지 소비량

		가스소비량(m <sup>3</sup> /yr)	전력소비량(KWh/yr)	
표준모델		80,998	247,074	
전열교환 환기 시스템		77,925	261,595	
태양광 발전 시스템	지붕	80,998	233,176	
	외벽	80,998	218,194	
	지붕+ 외벽	80,998	204,296	
태양열 급탕 시스템	평판형	지붕	73,108	247,070
		외벽	73,216	247,067
		지붕+ 외벽	65,326	247,063
	진공관형	지붕	72,723	247,070
		외벽	72,724	247,070
		지붕+ 외벽	64,784	247,066
지열 히트펌프 시스템	난방	36,766	279,104	
	급탕	63,324	326,892	
	난방+ 급탕	19,092	326,634	

## 제 5 장 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표 및 최적대안제시

앞서 국내외 친환경 공동주택 인증제도의 조사, 분석 결과 국내 친환경건축물인증제도를 통한 재생에너지 시스템의 친환경 성능 평가와 EPI에서의 신재생에너지 부분의 평가방법에는 문제가 있음을 알 수 있었다. 첫 번째 문제는 국내 친환경건축물인증제도를 통한 재생에너지 시스템 평가 시 최소 설치기준이 제시되어 있지 않다는 점이다. 두 번째로는 국내 친환경건축물인증제도에서는 부하의 종류나 부하종류에 따른 소비 에너지원의 종류가 반영되지 못한다는 점이다. 세 번째는 EPI에서 신재생에너지 부분을 평가할 때, 부하종류별로 평가를 진행하고는 있으나, 그 배점의 비율이 실제 공동주택에서 발생하는 부하종류에 따른 에너지 소비량의 차이가 제대로 반영되고 있지 못하다는 점이다.

이에 본 연구에서는 국내 공동주택에 적용 가능할 것으로 판단되는 건축기술요소를 선정하고, 각 건축기술요소의 에너지 성능을 분석하였다. 본 장에서는 각 건축기술요소의 에너지 성능 평가를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 성능을 분석하고 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가 지표를 설정하였다. 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가 지표는 적용하는 건축기술요소가 담당하는 부하가 어떤 것인지를 판단하고, 부하종류에 따른 평가가 되도록 하였으며, 부하종류별로 등급을 두어 배점에 차등을 두었다.

본 연구에서는 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능 평가지표를 설정하기 위해 표준모델의 CO<sub>2</sub> 배출량을 부하종류별로 분류하였다. 분류된 부하 종류별 CO<sub>2</sub> 배출량의 전체 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 비율을 통해 전체 배점 대비 각 부하 종류의 배점을 설정하였다. 설정된 배점은 건축기술요소 적용 시 담당 부하의 최대 배점이 되며, 각 부하 종류별로 10단계의 등급을 나누어 배점을 부여하는 방식으로 설정하였다.

이를 위해서는 앞서 분석된 에너지 성능을 CO<sub>2</sub> 량으로 환산해야 하며, 연료의 종류의 따른 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 표준 모델과 각 건축기술요소의 에너지 소비량을 CO<sub>2</sub> 배출량 및 절감량으로 환산하였다.

## 5.1 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 성능평가

### 5.1.1 CO<sub>2</sub> 배출계수

분석된 에너지 소비량을 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하기 위해 CO<sub>2</sub> 배출계수를 조사한 결과, 현재 국내는 고유한 CO<sub>2</sub>배출계수를 산정하지 않는 상태로, IPCC에서 만든 배출계수를 사용하고 있으며, TCO<sub>2</sub>로 변환하기 위해서 TC(탄소배출량)에 CO<sub>2</sub> 분자량/탄소원자량(44/12)을 곱한다. 전력부문의 CO<sub>2</sub> 배출계수 역시 정부의 공식적 발표는 없었으나 98년 6월 에너지관리공단 자발적협약 가이드북에서 96년 기준값으로 0.1319(tonCO<sub>2</sub> /Mwh) \* 44/12 = 0.4836(tonCO<sub>2</sub> /Mwh)를 발표하였고, 2005년 8월 에너지경제연구원 정책보고서에서 2003년 기준값으로 0.424(tonCO<sub>2</sub> /Mwh)를 배출계수로 발표하였다. 현재까지 공식적인 국가배출계수가 없으므로 당해연도를 기준으로하여 가장 최근자료를 사용하는 것이 바람직하며 따라서 0.424 (tonCO<sub>2</sub> /Mwh)로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출한다.

CO<sub>2</sub> 배출량(CO<sub>2</sub> ton)의 산출방법은 화석연료와 전력으로 구분하며 다음과 같이 배출량을 산출한다.

- \* 화석연료 CO<sub>2</sub> 배출량(CO<sub>2</sub> ton) =  
TOE(총발열량기준) × 탄소배출계수(IPCC계수) × CO<sub>2</sub> 환산계수(44/12)
- \* 전력 CO<sub>2</sub> 배출량(CO<sub>2</sub> ton) = 0.424(CO<sub>2</sub> ton/MWh)

<표 5.1> CO<sub>2</sub> 배출계수

종류	단위	단위 CO <sub>2</sub> 배출량(TCO <sub>2</sub> )			
		TOE	탄소 배출계수	CO <sub>2</sub> 배출계수	CO <sub>2</sub> 배출량
주거용전력	Kwh	-	-	0.424	0.000424
도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	0.001055	0.6370	44/12	0.002464

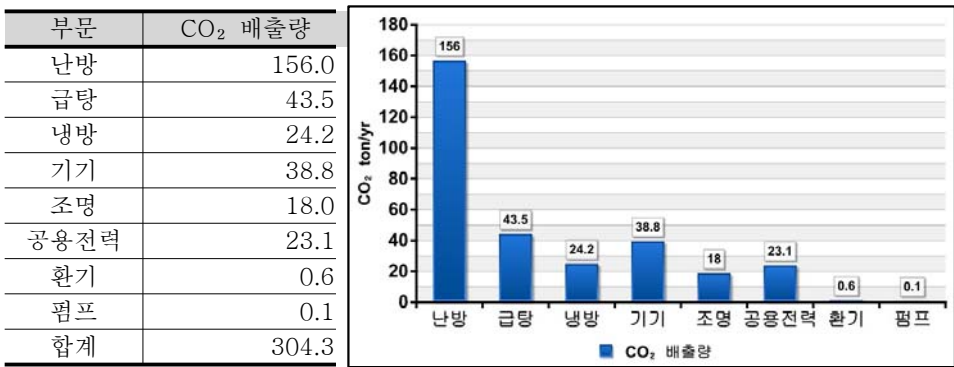
- TOE : 총발열량 / 107

## 5.1.2 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 절감량

### 1) 표준 모델의 CO<sub>2</sub> 배출량

CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 15층 60세대 전체동의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석하였으며, 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 총 304.4 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 나타났다. (그림 5.1)은 표준 모델의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량을 부문별로 나타낸 것이다. 분석결과 난방에서 156.0 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 가장 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출했으며, 급탕에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 43.6 CO<sub>2</sub> ton/yr, 기기 소비전력에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 38.8 CO<sub>2</sub> ton/yr의 순으로 나타났다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)



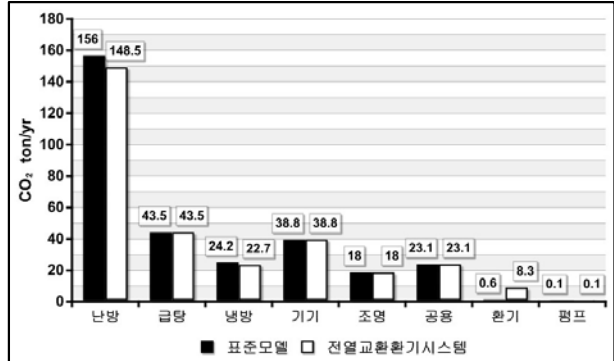
(그림 5.1) 표준 모델의 부문별 CO<sub>2</sub> 배출량

### 2) 전열교환 환기 시스템

(그림 5.2)는 표준 모델과 전열교환 환기를 적용했을 때의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량을 부문별로 나타낸 것이다. 에너지 소비량 분석결과와 마찬가지로 난방에서의 CO<sub>2</sub> 배출량은 감소했으며, 환기시스템에서의 전력사용으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량은 증가했다. 부문별 CO<sub>2</sub> 배출량은 표준 모델과 마찬가지로 148.5 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 난방에서 가장 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출했으며, 전체 CO<sub>2</sub> 배출량은 302.9 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 나타났다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)

부문	표준	ERV
난방	156.0	148.5
급탕	43.5	43.5
냉방	24.2	22.7
기기	38.8	38.8
조명	18.0	18.0
공용	23.1	23.1
환기	0.6	8.3
펌프	0.1	0.1
합계	304.3	302.9

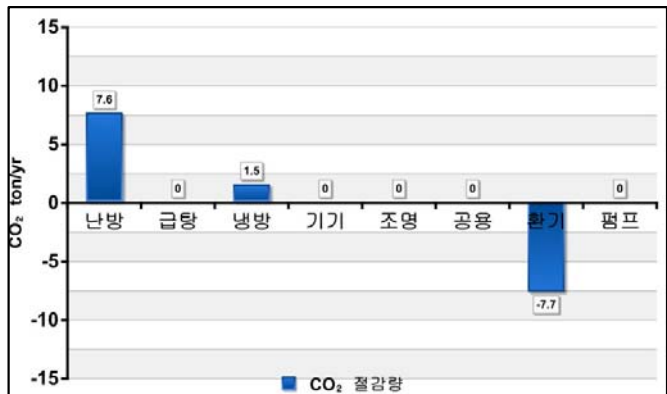


(그림 5.2) 표준 모델 및 전열교환 환기의 부문별 CO<sub>2</sub> 배출량

(그림 5.3)은 전열교환 환기를 적용했을 때의 연간 CO<sub>2</sub> 절감량을 부문별로 나타낸 것이다. 전체 CO<sub>2</sub> 배출량은 표준 모델보다 약 1.4 CO<sub>2</sub> ton/yr 적게 배출되는 것으로 나타났다. 전열교환 환기시스템 설치 시 난방에서의 가스 소비량은 감소로 약 7.6 CO<sub>2</sub> ton/yr 의 CO<sub>2</sub> 배출량을 절감과 냉방에서의 전력소비량 감소로 약 1.5 CO<sub>2</sub> ton/yr 의 CO<sub>2</sub> 배출량을 절감했으나, 환기시스템을 운영하기 위한 전력소비량의 증가로 약 7.7 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가하여 실제 CO<sub>2</sub> 절감량은 크지 않았다. 냉방에서의 CO<sub>2</sub> 배출량과 보일러 순환펌프의 동력에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량도 차이를 보였으나, 그 차이가 크지는 않았다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)

부문	CO <sub>2</sub> 절감량
난방	7.6
급탕	0.0
냉방	1.5
기기	0.0
조명	0.0
공용	0.0
환기	-7.7
펌프	0.0
합계	1.4

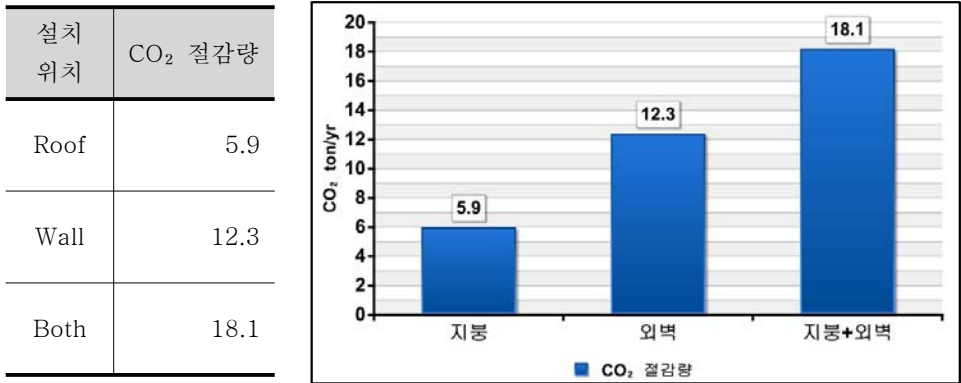


(그림 5.3) 전열교환 환기시스템 적용 시 부문별 CO<sub>2</sub> 절감량

### 3) 태양광 발전 시스템

(그림 5.4)는 태양광 발전 시스템의 설치위치에 따른 전력 생산을 통한 연간 CO<sub>2</sub> 절감량을 나타낸 것이다. 지붕 설치 시 5.9 CO<sub>2</sub> ton/yr의 절감량을 보였으며, 외벽면 설치 시 12.3 CO<sub>2</sub> ton/yr의 감소량을 보였다. 외벽과 지붕에 모두 설치 시에는 최대 18.1 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)

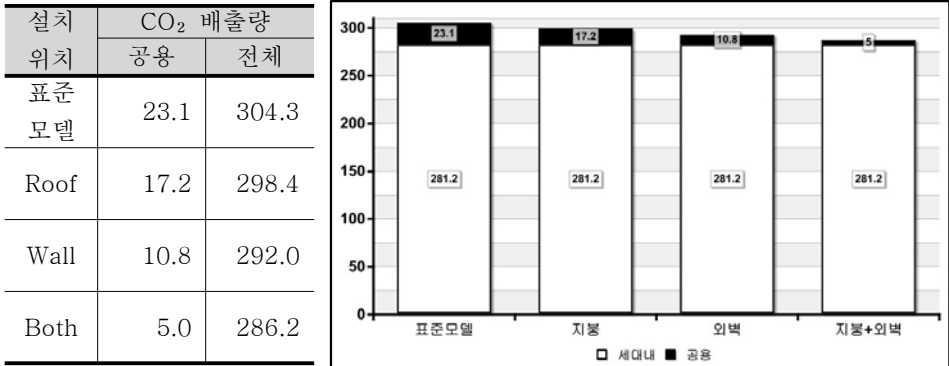


(그림 5.4) 태양광 발전 시스템의 설치위치별 CO<sub>2</sub> 절감량

(그림 5.5)는 태양광 발전 시스템 설치 시 CO<sub>2</sub> 절감량을 고려한 공용부에서의 CO<sub>2</sub> 배출량과 건물 전체의 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타낸 것이다. 지붕 설치 시 298.4 CO<sub>2</sub> ton/yr, 외벽면 설치 시 2292.0 CO<sub>2</sub> ton/yr, 지붕 및 외벽 모두 설치 시 최소 286.2 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.



(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)

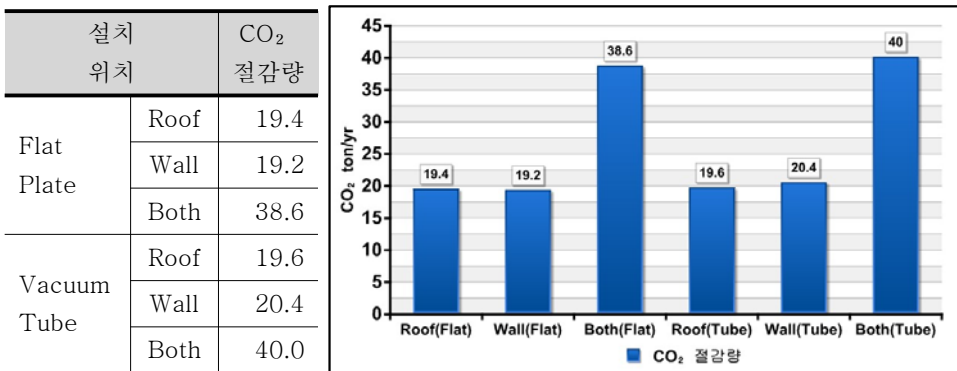


(그림 5.5) 태양광 발전 시스템의 설치위치별 CO<sub>2</sub> 배출량

#### 4) 태양열 급탕 시스템

(그림 5.6)은 태양열 급탕 시스템의 집열기 종류 및 설치위치에 따른 연간 CO<sub>2</sub> 절감량을 나타낸 것이다. 도출된 값은 펌프의 전력사용량에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량도 포함된 것이지만, 감소량에 비해 그 값이 매우 작아 거의 영향이 없었다. 집열기의 종류에 따른 CO<sub>2</sub> 절감량을 살펴보면 지붕에 설치했을 경우에는 평판형과 진공관형의 차이가 거의 없었으나, 외벽면에 설치 시 진공관형에서의 절감량이 평판형보다 더 많은 것을 알 수 있었다.

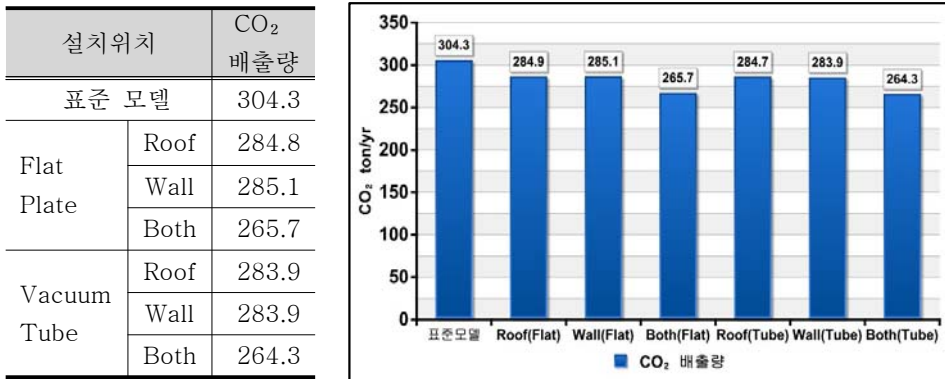
(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)



(그림 5.6) 태양열 급탕 시스템의 집열기 종류 및 설치위치별 CO<sub>2</sub> 절감량

(그림 5.7)은 태양열 집열기 종류 및 설치위치에 따른 CO<sub>2</sub> 절감량을 고려한 전체 건물의 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타낸 것이다. CO<sub>2</sub> 절감량이 가장 적은 경우는 평판형 집열기를 외벽에 설치했을 경우로, 19.2 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감하였다. CO<sub>2</sub> 절감량이 가장 많은 경우는 진공관형 집열기를 지붕과 외벽에 설치했을 경우로 40.0 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감하여, 252.6 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)



(그림 5.7) 집열기 종류, 설치위치에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량

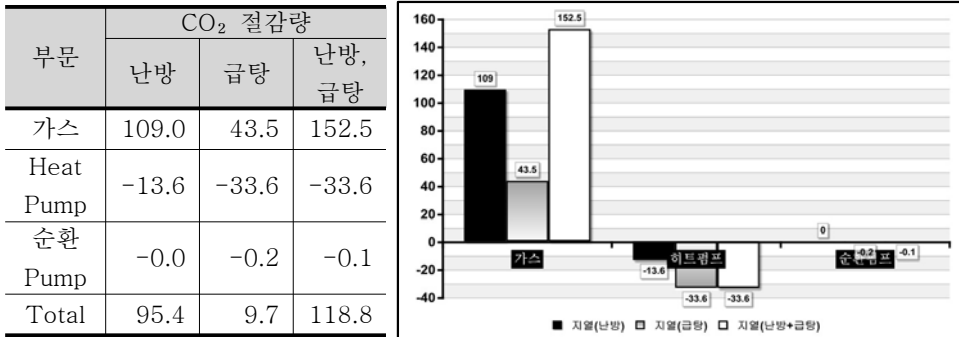
### 5) 지열 히트펌프 시스템

에너지 소비량 분석에서 산출된 바와 같이 지열 히트펌프 시스템을 이용하여 난방부하를 담당하게 했을 경우, 난방에서의 가스사용량과 급탕에서의 가스사용량이 발생되었으며, 히트펌프에 의한 전력사용량이 증가했다. 급탕에 적용했을 경우에는 급탕부하의 100%를 담당할 수 있었으며, 마찬가지로 히트펌프 및 순환펌프에 의한 전력사용량이 증가했다. 난방+급탕부하를 지열 히트펌프 시스템이 담당할 경우 가스사용량의 감소와 히트펌프와 순환펌프에서 전력 증가가 있었다.

지열 히트펌프 시스템을 적용함으로써 절감되는 CO<sub>2</sub> 배출량을 살펴보면 (그림 5.8)과 같다. 난방부하만을 담당할 경우 가스소비량 감소로 인한 CO<sub>2</sub> 절감량은 연간 109.0 CO<sub>2</sub> ton/yr이었으며, 히트펌프와 순환펌프에서 소비되는 전력으로 인한 배출량은 13.6 CO<sub>2</sub> ton/yr로 나타나, 총 95.4 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 급탕부하만을 담당할 경우, 9.7 CO<sub>2</sub> ton/yr의 절감량을 보였으며, 난방+급탕부하를 지열 히트펌프 시스템을

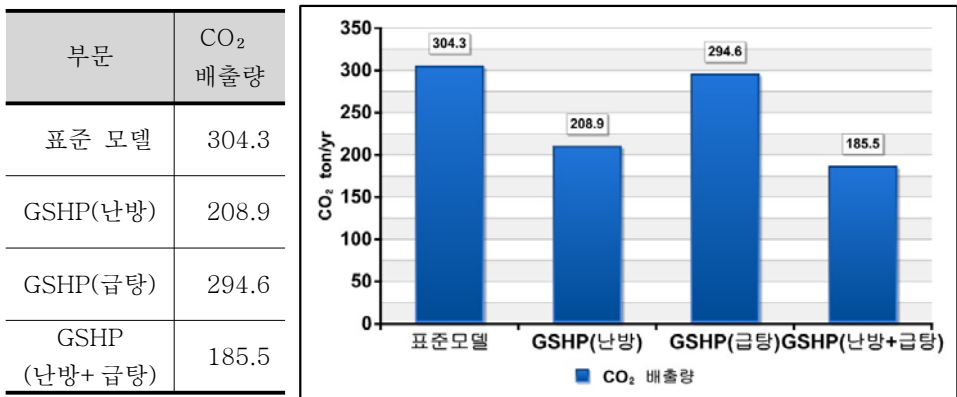
통해 담당할 경우, 가스소비량 감소로 인한 CO<sub>2</sub> 절감량은 152.5 CO<sub>2</sub> ton/yr이었으며, 히트펌프와 순환펌프에서의 전력 소비에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량이 총 33.7 CO<sub>2</sub> ton/yr로 전체 CO<sub>2</sub> 절감량은 118.8 CO<sub>2</sub> ton/yr로 나타났다.

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)



(그림 5.8) 지열 히트펌프 시스템의 CO<sub>2</sub> 절감량

(단위 : CO<sub>2</sub> ton/yr)



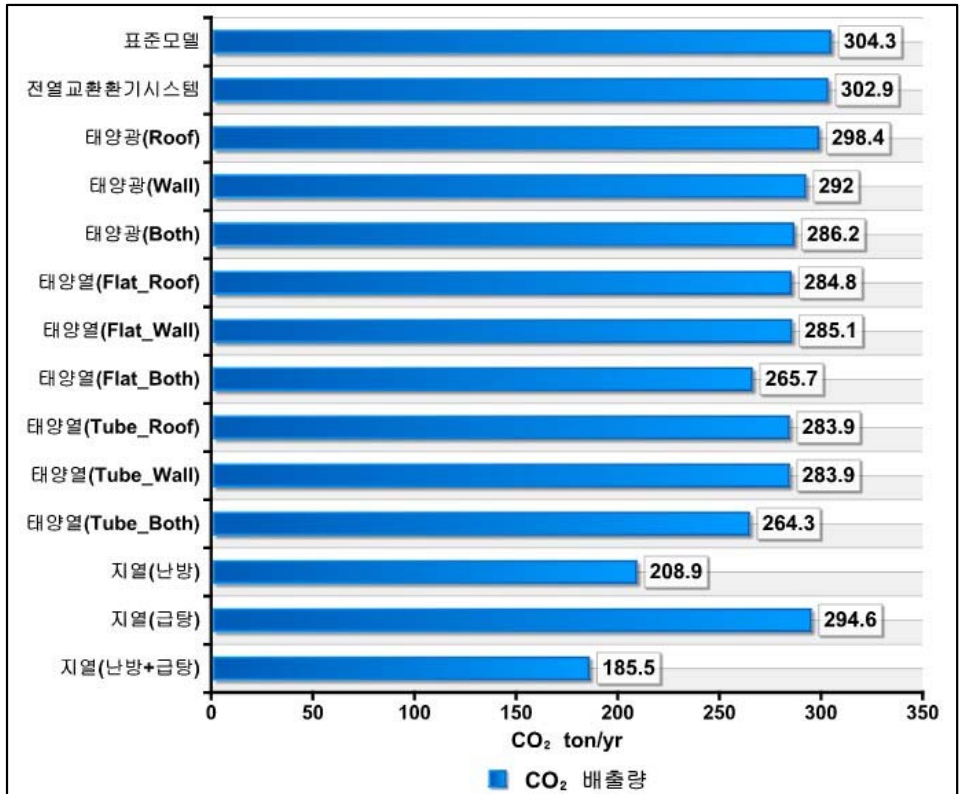
(그림 5.9) 표준 모델 및 지열원 시스템 적용 시의 전체 CO<sub>2</sub> 배출량

## 6) 종합

(그림 5.10)은 표준모델 및 친환경 건축기술요소 적용시의 전체 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타낸 것이다.

가스사용량을 절감하는 기술요소가 전력을 생산하는 기술요소에 비해 CO<sub>2</sub> 절감량이 많은 것을 알 수 있다. 이는 에너지원별 CO<sub>2</sub> 배출계수의 차이이해

나타난 결과이다. 가장 많은 CO<sub>2</sub> 를 절감한 기술요소는 지열 히트펌프 시스템을 난방과 급탕에 적용했을 경우로 118.8 CO<sub>2</sub> ton/yr을 절감하여, 185.5 CO<sub>2</sub> ton/yr의 배출량을 보였다.



(그림 5.10) 표준모델 및 친환경 건축기술요소 적용 시 CO<sub>2</sub> 배출량

## 5.2 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가

### 5.2.1 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표

#### 1) 평가지표의 구성

본 연구에서는 전열교환 환기시스템, 태양광 발전 시스템, 태양열 급탕 시스템, 지열 히트펌프 시스템으로 건축기술요소의 종류를 가정하였으며, 각 건축기술요소의 성능평가 시에도 담당부하를 한정하였다.

그러나 본 연구에서 가정한 사항 이외에 각각의 건축기술요소의 실제 담당부하는 달라질 수 있다. 태양광 발전 시스템의 경우 설치위치 특성과 발전량 등을 고려하여 공용부의 전력소비량을 담당하는 것으로 설정하였으나, PV 효율의 증가, 설치면적의 더 많은 확보 등으로 발전량이 증가하게 되면, 공용부 전력 이외에도 사용이 가능할 수 있다. 태양열 시스템은 급탕부하 뿐만 아니라, 난방부하를 담당할 수도 있으며, 최근 냉방에의 적용 또한 고려되고 있다. 지열 히트펌프 시스템 또한 난방, 급탕 외에도 냉방에의 활용이 가능하다. 본 연구에서 한정된 건축기술요소별 담당부하는 <표 5.2>와 같다.

<표 5.2> 건축기술요소별 담당부하

기술	에너지원				
	가스		전력		
	난방	급탕	냉방	조명, 기기	공용부
전열교환 환기	●		●		
태양전지					●
태양열	●				
지열원	●	●			

이를 바탕으로 본 연구에서는 평가지표를 구성하였다. 1차적으로 에너지원 별로 분류하고, 이를 다시 부하의 종류로 분류하여 가스부분에서는 난방과 급탕, 전력부분에서는 냉방과 그 외 전력부하로 구분하였다. 냉방을 제외한 전력부하에서 공용부와 기타 전력부하는 구분하지 않았다.

## 2) 전체 평가지표에 대한 부하종류별 배점 비율

본 연구에서 제안하고자하는 공동주택 건축기술요소의 평가는 건물의 전체 CO<sub>2</sub> 배출량에서 각각의 부하가 차지하는 비율을 분석하고, 그에 따른 부하 종류별 배점을 설정하였다. 전체 배점은 '100'으로 설정하였다.

표준모델의 부문별 CO<sub>2</sub> 배출량 및 비율을 에너지원별로 분류하면, <표 5.3>과 같다. 가스를 에너지원으로 하는 난방과 급탕이 각각 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 51.3%, 14.3%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며, 전력에서는 기기 소비전력에 의한 CO<sub>2</sub> 배출비율이 12.8%를 차지했다. 냉방 전력을 통한 CO<sub>2</sub> 배출 비율은 8.0%였으며, 조명 5.9%, 공용부 7.6%이며, 환기시스템과 펌프에서 사용되는 전력에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 0.1%로 그 비율이 낮은 것을 알 수 있다. 전체 CO<sub>2</sub> 배출량에서 가스와 전력 소비에 의한 CO<sub>2</sub> 배출은 가스에서 65.6%, 전력에서 34.4%로 가스 소비량에 의한 CO<sub>2</sub> 배출이 전력에 비해 약 1.9배 정도 높은 비율을 차지했다.

<표 5.3> 표준모델의 부문별 CO<sub>2</sub> 배출비율

에너지원 부분	가스		전력				
	난방	급탕	냉방	기기	조명	공용	기타
CO <sub>2</sub> 배출량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	156.0	43.5	24.2	38.8	18.0	23.1	0.7
비율	51.3%	14.3%	8.0%	12.8%	5.9%	7.6%	0.1%
합계	65.6%		34.4%				

전열교환 환기시스템의 경우 환기시스템이라는 특성상, 특정한 부하를 담당한다고 볼 수 없다. 실제 분석결과 전열교환 환기시스템 적용 시 난방과 냉방부하에 영향을 주었으며, 환기시스템에서의 전력소비량이 증가하는 등 여러 부분에서의 에너지소비량이 변동한 것을 알 수 있었다. 여러 부분에서의 변동을 보이는 한편, 전체 CO<sub>2</sub> 분담량 비율은 0.5%로 낮은 비율을 보이고 있어, 본 연구에서는 전열교환 환기시스템의 경우, 1점의 배점을 부여하고 적용유무로서 평가하도록 하였다. 나머지 99점의 배점을 앞서 언급한 바와 같이 부하 종류별 CO<sub>2</sub> 분담율을 통해 점수를 재분배 하였다.

<표 5.4> 부하 종류별 평가 배점 비율

	난방	급탕	냉방	기타전력	Total
CO <sub>2</sub> 배출율	51.3%	14.3%	8%	26.4%	100%
배점 비율	50.8%	14.2%	7.9%	26.1%	99%
최종 적용 배점	51점	14점	8점	26점	99점

## 5.2.2 부하 종류에 따른 친환경 성능평가등급 및 배점

설정된 평가지표와 부하종류별 최종 배점을 바탕으로 부하종류별 평가 시 10단계의 세분화 된 등급을 설정하여 평가하도록 하였다.

앞서 언급한 바와 같이 현재 국내의 친환경건축물인증제도의 재생에너지 평가는 “설치 시” 최소 배점을 받을 수 있도록 되어 있다. 그러나 이러한 평가 방식은 문제가 있으며, 최소 등급의 설정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 부하종류별 평가지표 설정 시 최소 등급 기준을 설정하였다. 부하종류별 평가는 최소 분담률에서 최대 분담률까지 10단계로 세분화하여 하였다.

### 1) 최소 등급 설정

정부에서는 CO<sub>2</sub> 배출량 절감을 위한 가시적 목표로 2011년까지 총 에너지 중 신재생에너지의 비중을 5%까지 확대할 계획을 하고 있다. 에너지관리공단에서 제공하는 신재생에너지 설치의무화 제도에 대한 내용을 살펴보면, 공공기관이 신축하는 연면적 3,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지 설비에 투자하도록 의무화 하고 있다. 그러나 대상 건축물은 공공용 시설(군사시설제외), 문교·사회용 시설과 상업용 시설로서 주거용 시설의 경우는 대상에서 제외되어 있으며, 현재 시행되고 있는 신재생에너지 설치의무화 제도에서는 설치의무 대상건물의 총 건축공사비의 5%를 신재생에너지 설비에 투자하도록 되어있다.

정부는 2008년 10월 24일 입법예고를 통해 신재생에너지 설치의무화 제도의 법령이 변경될 것을 공고했다. 입법예고의 주용 내용은 [신재생에너지의 확대보급을 위하여 기존 공공건물의 신재생에너지 설비투자 의무화를 부하량의 일정비율 의무화로 개정(안 제 2조, 제 12조 제2항) - 총 에너지 부하량의 일정비율을 신재생에너지로 의무화 할 경우, 효율적인 신재생에너지 에너지설비 설치 및 에너지 절약 유도가 가능], [신재생에너지 사용 인증제 도입 및 인센티브 부여(안 제12조의 2) - 민간 건물 건축시 총 에너지 이용량의

일정 비율을 신재생에너지로 이용할 경우, 이용량에 따라 등급을 부여하는 인증제 도입] 등이다. 본 연구의 진행에 도입한 입법예고 내용은 <표 5.5>와 같으며, 이와 같은 내용은 2010년 1월 1일부터 시행된다.

공고된 입법예고에서 주목할 사항은 종전의 총공사비 기준에서 총 에너지 소비량 기준으로 변경된 점이다. 그러나 아직 “일정 비율”은 설정되지 않은 상태이다. 또한 신재생에너지 이용량에 따른 인증제 도입에서도 “일정 비율”이 설정되어 있지는 않다.

본 연구에서는 주거부문에서의 신재생에너지 분담을 의무적으로 실시하거나 인증제 도입 시 최소 인증기준을 적용한다고 가정하고, 설치의무 대상에서 제외된 공동주택의 친환경 성능 평가를 위해서 총 에너지 소비량 기준을 도입하였으며, 각 부하종류의 최소 CO<sub>2</sub> 분담율을 설정하였다. 아직 결정되어 있지 않은 최소 분담 비율은 종전의 총공사비 5%를 이용하여 CO<sub>2</sub> 분담율 5%를 최소 등급으로 설정하였다.

<표 5.5> 신·구조문 대비표

현 행	입 법 예 고
제12조(신·재생에너지사업에의 투자권고 및 신·재생에너지 이용의 의무화)① (생략) ②지식경제부장관은 신·재생에너지의 이용·보급을 촉진하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 자가 신축·증축 또는 개축하는 건축물에 대하여 대통령령이 정하는 바에 따라 <u>총건축공사비의 일정비율을 신·재생에너지설비에 의무적으로 사용하게 할 수 있다.</u>	제12조(신·재생에너지사업에의 투자권고 및 신·재생에너지 이용의 의무화)① (현행과 같음) ②----- ----- ----- ----- ----- <u>총 에너지 부하량의 일정비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 의무적으로 충당하게 할 수 있다.</u>
<신 설>	제12조의2(신·재생에너지 건축물의 인증) ①지식경제부장관은 대통령령이 정하는 일정규모 이상의 건축물에 대하여 <u>신·재생에너지 건축물 인증제도를 실시한다.</u>



각각의 부하를 담당하는 건축기술요소가 담당부하의 5%를 분담할 때의 절감량을 전체 CO<sub>2</sub> 배출량을 절감하는 비율을 최소 등급으로 설정하였다. 예를 들어 태양열 시스템을 통해 급탕부하를 담당할 경우, 급탕부하 담당을 5%일 때의 절감량 2.2CO<sub>2</sub> ton/yr은 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 0.7%이며, 0.7%를 CO<sub>2</sub> 분담할 때 급탕부하의 최소 등급이 된다.

<표 5.6> 부하 종류별 최소 배점 기준

	난방	급탕	냉방	기타전력
담당부하의 CO <sub>2</sub> 배출량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	156.0	43.5	24.2	80.6
최소 절감량 (CO <sub>2</sub> ton/yr) = 담당부하 CO <sub>2</sub> 배출량의 5%	7.8	2.2	1.2	4.0
전체 CO <sub>2</sub> 배출량에의 비율(%)	2.6%	0.7%	0.4%	1.3%

## 2) 전체 등급 설정

최고 등급은 각각의 부하를 담당할 때, 담당부하의 총 CO<sub>2</sub> 배출량을 모두 절감할 경우로 설정하였다. 즉 난방부하를 담당하는 건축기술요소의 경우, 최종 CO<sub>2</sub> 절감량이 156.0 CO<sub>2</sub> ton/yr 일 때, CO<sub>2</sub> 분담률은 51.3%이며, 이때 최대 배점을 부여받을 수 있다.

설정된 최소·최고 등급을 기반으로 부하 종류별 평가기준을 각각 10단계로 세분화 하여 설정하였다.

### (1) 난방부하 분담시 평가등급

난방부하를 분담할 경우, 최소 CO<sub>2</sub> 절감량은 난방을 통한 CO<sub>2</sub> 배출량 156.0 CO<sub>2</sub> ton/yr의 5%인 7.8 CO<sub>2</sub> ton/yr이며 이때의 전체 CO<sub>2</sub> 에 대한 분담률은 0.7%이다. 최대 절감량은 156.0 CO<sub>2</sub> ton/yr로 전체 CO<sub>2</sub> 에 대한 분담률은 51.3%이며, 최소·최대 절감 기준을 통해 CO<sub>2</sub> 분담 평가기준을 10단계로 세분화 하면 <표 5.7>과 같다.

<표 5.7> 난방부하 분담 시 평가 등급 및 배점

	CO <sub>2</sub> 배출 분담량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	CO <sub>2</sub> 분담률	배점
10등급	7.8	2.6%	5.1
9등급	24.3	8.0%	10.2
8등급	40.7	13.4%	15.3
7등급	57.2	18.8%	20.4
6등급	73.7	24.2%	25.5
5등급	90.1	29.6%	30.6
4등급	106.6	35.0%	35.7
3등급	123.1	40.4%	40.8
2등급	139.5	45.9%	45.9
1등급	156.0	51.3%	51.0

(2) 급탕부하 분담 시 평가기준

급탕부하를 분담할 경우, 최소 CO<sub>2</sub> 절감량은 2.2 CO<sub>2</sub> ton/yr로 0.7%의 CO<sub>2</sub> 를 분담 할 때 최소 등급이 되며, 최고 등급은 14.3%의 CO<sub>2</sub> 분담률을 가질 때이다. 최소·최대 절감 기준을 통해 CO<sub>2</sub> 분담 평가기준을 10단계로 세분화 하면, <표 5.8>과 같다.

<표 5.8> 급탕부하 분담 시 평가 등급 및 배점

	CO <sub>2</sub> 배출 분담량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	CO <sub>2</sub> 분담률	최종 배점
10등급	2.2	0.7%	1.4
9등급	6.8	2.2%	2.8
8등급	11.4	3.7%	4.2
7등급	16.0	5.2%	5.6
6등급	20.5	6.8%	7.0
5등급	25.1	8.3%	8.4
4등급	29.7	9.8%	9.8
3등급	34.3	11.3%	11.2
2등급	38.9	12.8%	12.6
1등급	43.5	14.3%	14.0

(3) 냉방부하 분담 시 평가기준

냉방부하를 분담할 경우, 최소 CO<sub>2</sub> 절감량 1.2 CO<sub>2</sub> ton/yr는 전체 CO<sub>2</sub> 분담률 0.4%이며, 최고 등급은 8.0%의 분담률을 가질 때이다. 최소·최대 절감 기준을 통해 CO<sub>2</sub> 분담 평가기준을 10단계로 세분화 하면, <표 5.9>와 같다.

<표 5.9> 냉방부하 분담 시 평가 등급 및 배점

	CO <sub>2</sub> 배출 분담량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	CO <sub>2</sub> 분담률	최종 배점
10등급	1.2	0.4%	0.8
9등급	3.8	1.2%	1.6
8등급	6.3	2.1%	2.4
7등급	8.9	2.9%	3.2
6등급	11.4	3.8%	4.0
5등급	14.0	4.6%	4.8
4등급	16.5	5.4%	5.6
3등급	19.1	6.3%	6.4
2등급	21.6	7.1%	7.2
1등급	24.2	8.0%	8.0

(4) 전력부하 분담 시 평가기준

전력부하의 최소·최고 등급을 통해 CO<sub>2</sub> 분담 평가기준을 10단계로 세분화 하면, <표 5.10>과 같으며, 최소 CO<sub>2</sub> 등급은 1.3%의 분담률을 가질 때이며, 최대 등급은 26.5%일 때이다.

<표 5.10> 전력부하 분담 시 평가 등급 및 배점

	CO <sub>2</sub> 배출 분담량 (CO <sub>2</sub> ton/yr)	CO <sub>2</sub> 분담률	최종 배점
10등급	4.0	1.3%	2.6
9등급	12.5	4.1%	5.2
8등급	21.0	6.9%	7.8
7등급	29.5	9.7%	10.4
6등급	38.0	12.5%	13.0
5등급	46.6	15.3%	15.6
4등급	55.1	18.1%	18.2
3등급	63.6	20.9%	20.8
2등급	72.1	23.7%	23.4
1등급	80.6	26.5%	26.0

### 5.2.3 친환경 성능평가지표 적용 및 최적 대안 제시

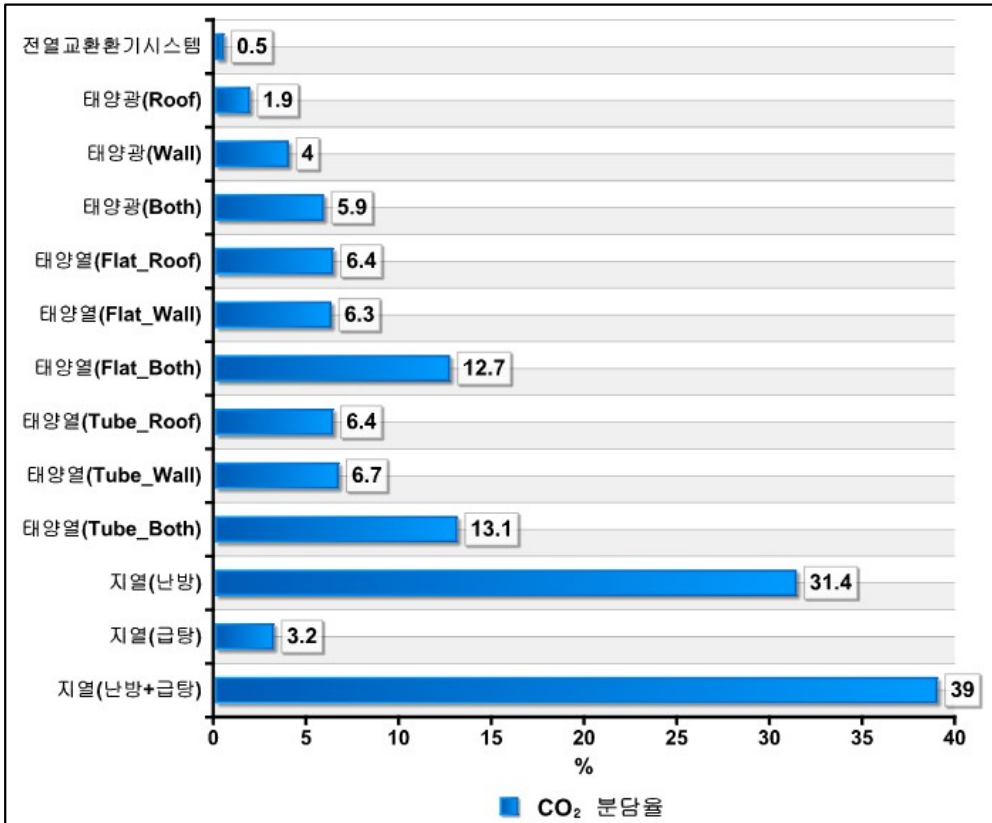
#### 1) 평가지표 적용 및 결과

앞서 분석된 각 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 성능을 설정한 평가지표에 적용해 보았다.<표 5.11>과 (그림 5.12)는 설정한 평가지표를 적용하기 위해 앞서 분석된 각 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 절감량 및 배출량을 정리한 것이다. 지열 히트펌프 시스템을 적용할 경우 난방+급탕에 적용했을 때 118.8 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감하여 전체 CO<sub>2</sub> 의 39.0%를 분담하였다. 태양열 급탕 시스템의 경우에는 진공관형 집열기를 지붕+외벽에 설치했을 경우 40.0CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감하여 13.1%의 분담율을 보였다. 태양광 발전 시스템 적용 시에는 지붕+외벽 설치 시 18.1 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감하는 것으로 나타났으며, 이때의 분담율은 5.9%였다. 전열교환 환기시스템은 1.4 CO<sub>2</sub> ton/yr을 절감하여 0.5%의 분담율을 보였다.

<표 5.11> 건축기술요소 적용시 CO<sub>2</sub> 배출량 및 분담률

		CO <sub>2</sub> 절감량 (ton/yr)	CO <sub>2</sub> 배출량 (ton/yr)	분담율	
표준 모델		-	304.3	-	
전열교환환기 시스템		1.4	302.9	0.5%	
태양광 발전 시스템	지붕	5.9	298.4	1.9%	
	외벽	12.3	292.0	4.0%	
	지붕+외벽	18.1	286.2	5.9%	
태양열 급탕 시스템	평관	지붕	19.4	284.9	6.4%
		외벽	19.2	285.1	6.3%
		지붕+외벽	38.6	265.7	12.7%
	진공	지붕	19.6	284.7	6.4%
		외벽	20.4	283.9	6.7%
		지붕+외벽	40.0	264.3	13.1%
지열 히트펌프 시스템	난방	95.4	208.9	31.4%	
	급탕	9.7	294.6	3.2%	
	난방+급탕	118.8	185.5	39.0%	

(단위 : %)



(그림 5.12) 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 배출량 분담률

위의 결과를 바탕으로 각 건축기술요소의 개별적인 친환경 성능평가를 수행하면 <표 5.12>와 같다. 가장 높은 배점을 받은 것은 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당할 경우이며 39.0%의 분담률을 가졌다. 이 경우 한 가지의 건축기술요소가 서로 다른 두 가지 부하를 담당하고 있으므로 난방과 급탕의 기준 분담률의 합을 통해 등급을 찾아야 한다. 난방과 급탕의 5등급 기준은 각각 29.6%~35.0%, 8.3%~9.8%로 합산하면, 37.9%~44.8%이며, 점수는 30.6+8.4로 39.0점이 된다.

그 다음으로는 높은 점수를 받은 경우 또한 지열 히트펌프 시스템을 적용했을 때로, 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방부하를 담당했을 경우이다. 이 때 획득한 점수는 30.6점이다. 전열교환 환기시스템을 제외하고 가장 적은 배점을 받은 것은 태양광 발전 시스템을 지붕에 설치했을 경우이며, 점수는 2.6점이었다.

<표 5.12> 건축기술요소 적용 시 평가등급 및 점수

		CO <sub>2</sub> 분담률	담당부하	등급	점수	
전열교환환기 시스템		0.5%	-	-	1.0	
태양광 발전 시스템	지붕	1.9%	전력	10	2.6	
	외벽	4.0%	전력	10	2.6	
	지붕+ 외벽	5.9%	전력	9	5.2	
태양열 급탕 시스템	평판	지붕	6.4%	급탕	7	5.6
		외벽	6.3%	급탕	7	5.6
		지붕+ 외벽	12.7%	급탕	3	11.2
	진공	지붕	6.4%	급탕	7	5.6
		외벽	6.7%	급탕	7	5.6
		지붕+ 외벽	13.1%	급탕	2	12.6
지열 히트펌프 시스템	난방	31.4%	난방	5	30.6	
	급탕	3.2%	급탕	9	2.8	
	난방+ 급탕	39.0%	난방, 급탕	-	39.0	

## 2) 건축기술요소 통합 적용 최적 대안 제시

본 연구에서 설정한 표준모델에 친환경 건축기술요소를 적용할 경우 최대의 CO<sub>2</sub> 절감을 위한 최적 대안을 파악하였다. 앞서 분석된 각 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 절감량을 바탕으로 건축기술요소의 통합 적용 시 제안된 친환경 성능평가지표 및 기준을 통한 평가를 수행하여, 건축기술요소의 조합방법에 따른 친환경 성능을 파악, 최적 대안을 제시하였다.

통합 적용 Case는 총 4가지로, 건축기술요소를 최대한 활용할 수 있는 방법을 중심으로 설정하였다. 태양광 및 태양열 시스템의 경우에는 설치위치가 중복이 되지 않도록 하였으며, 지열 히트펌프를 이용하여 급탕을 할 경우, 태양열을 이용한 급탕부하 분담을 동시에 적용하는 방법은 제외하였다.

설정된 4가지 Case는 지열난방+ 지열급탕+ 태양광 발전(지붕+ 외벽), 지열난방+ 태양열 급탕(지붕+ 외벽), 지열난방+ 태양열급탕(지붕)+ 태양광 발전(외벽), 지열난방+ 태양열 급탕(외벽)+ 태양광 발전(지붕)이며, 전열교환 환기시스템은 모두 적용하는 것으로 하였다. <표 5.13>은 각 Case 별 설정을 나타낸 것이다.

<표 5.13> 건축기술요소 통합 적용 Case 설정

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
전열교환 환기시스템		●	●	●	●
태양광 발전	지붕			●	
	외벽				●
	지붕+외벽	●			
태양열 급탕	지붕				●
	외벽			●	
	지붕+외벽		●		
지열 히트펌프 시스템	난방	●	●	●	●
	급탕	●			

위에서 분석된 각 기술요소의 CO<sub>2</sub> 절감량을 바탕으로 공동주택 건축기술요소를 통합 적용 했을 경우 Case별 친환경 성능평가를 수행하였다. <표 5.14>는 각각의 Case의 친환경 성능평가 결과를 나타낸 것이다. 가장 높은 점수를 받은 것은 Case 1로 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당하고 태양광 발전 시스템을 지붕+외벽에 설치했을 경우이다. 난방과 급탕부하만을 놓고 보면 Case 1 보다 Case 2에서의 점수가 더 높으나, Case 1의 경우 Case 2에서의 태양열 집열기를 설치하지 않고, 태양광 발전 시스템을 설치할 수 있어 더 높은 점수를 획득할 수 있었다.

<표 5.14> 건축기술요소 통합적용 Case별 친환경 성능평가 결과

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
전열교환 환기시스템 적용 유무	1.0	1.0	1.0	1.0
난방부분 CO <sub>2</sub> 절감 점수	39.0	30.6	30.6	30.6
급탕부분 CO <sub>2</sub> 절감 점수		12.6	5.6	5.6
냉방부분 CO <sub>2</sub> 절감 점수	-	-	-	-
전력부분 CO <sub>2</sub> 절감 점수	5.2	-	2.6	2.6
Total	45.2	44.2	39.8	39.8

평가지표 및 기준을 통해 획득한 점수와 실제 CO<sub>2</sub> 절감량을 비교해보면, 획득 점수가 가장 높았던 Case 1에서 CO<sub>2</sub> 절감량 또한 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 Case 3과 Case 4의 경우 CO<sub>2</sub> 절감량은 Case 4가 더 많았으나, 획득한 점수는 동일하게 나타났다. 이것은 등급을 설정하는 데 있어서 등급과 등급사이의 범위가 존재하기 때문이다. 특히 태양광 발전 시스템 적용 시 CO<sub>2</sub> 절감량에서 Case 3과 Case 4가 차이를 보이는데, 전력부하에서의 최대 CO<sub>2</sub> 배출량이 높아 등급 사이의 거리가 넓기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

<표 5.15> 건축기술요소 통합적용 Case별 친환경 성능평가 결과

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
전열교환 환기시스템(ton/yr)	1.4	1.4	1.4	1.4
난방부분 CO <sub>2</sub> 절감량(ton/yr)	118.8	95.4	95.4	95.4
급탕부분 CO <sub>2</sub> 절감량(ton/yr)		40.0	20.4	19.6
냉방부분 CO <sub>2</sub> 절감량(ton/yr)	-	-	-	-
전력부분 CO <sub>2</sub> 절감량(ton/yr)	18.1	-	5.9	12.3
Total(ton/yr)	137.3	136.8	123.1	128.7

건축기술요소의 통합 적용결과 급탕에서의 CO<sub>2</sub> 를 절감하기 위해서는 태양열 급탕 시스템을 적용하는 것이 지열 히트펌프 시스템을 적용하는 것보다 유리하나, 지열 히트펌프 시스템을 적용하여 난방과 급탕을 하는 경우, 추가적으로 태양광 발전 시스템을 적용할 수 있어 최종적으로는 지열 히트펌프 시스템이 난방과 급탕부하를 담당하며, 태양광 발전 시스템을 통해 전력부하를 담당하도록 하는 것이 전체 CO<sub>2</sub> 절감량과 친환경 성능평가 점수 모두에서 가장 유리한 것으로 나타났으며, 최대 절감량은 137.3 CO<sub>2</sub> ton/yr이었다.

그러나 이와 같은 결과는 본 연구에서 설정한 표준모델에 각 건축기술요소의 효율이 한정된 경우일 때의 결과로서, 적용되는 건축기술요소의 효율 및 성능이 변경되면, 최적대안의 결과가 달라질 수 있다.



## 5.3 소결

본 장에서는 앞서 분석된 표준모델 및 친환경 건축기술요소의 에너지 성능을 바탕으로 CO<sub>2</sub> 배출계수를 통해 CO<sub>2</sub> 배출량 및 절감량을 분석하였으며, 이를 통해 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표 및 등급을 설정하였다. 본 장의 내용은 다음과 같다.

1) 표준모델 전체동의 연간 총 CO<sub>2</sub> 배출량은 304.3 CO<sub>2</sub> ton/yr이었으며, 전열교환 환기시스템을 적용할 경우 1.4 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있었다. 태양광 발전 시스템을 적용할 경우 최소 5.9 CO<sub>2</sub> ton/yr에서 최대 18.1 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있었으며, 태양열 급탕 시스템은 19.2 CO<sub>2</sub> ton/yr ~ 40.0 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있었다.

지열 히트펌프 시스템의 경우 난방 적용 시 95.4 CO<sub>2</sub> ton/yr, 급탕 적용 시 9.7 CO<sub>2</sub> ton/yr, 난방 및 급탕 적용 시 118.8 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있는 것으로 나타나, 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당할 경우 가장 많은 양의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 표준모델의 CO<sub>2</sub> 배출량의 부하종류별 CO<sub>2</sub> 배출 비율을 통해 전체 건축기술요소의 친환경 성능평가지표 및 등급을 설정하였다. 부하의 종류는 난방, 급탕, 냉방, 전력부하로 구분하였다. 부하종류별 평가의 최소 등급은 신재생 에너지 설치의무화 제도를 이용하여 설정하였으며, 부하종류별 CO<sub>2</sub> 배출량의 5%를 분담할 경우를 최소 등급으로 하였다. 최고 등급은 각각의 부하를 통해 배출되는 CO<sub>2</sub> 배출량을 모두 절감할 경우로 설정하였다.

3) 전열교환 환기시스템의 경우 적용유무로서 평가되며 전체 중 1점의 배점을 가진다. 나머지 99점의 배점은 4가지 부하의 CO<sub>2</sub> 배출비율을 통해 부하별 최대 배점을 설정하였으며, 최소~최대 배점 사이는 10단계로 세분화하여 등급을 설정하였다. 부하 종류별 평가기준은 전체 CO<sub>2</sub> 분담률을 기준으로 난방 2.6%~51.3%이며, 급탕 0.7%~14.3%, 냉방 0.4%~8.0%, 전력 1.3%~26.5%이다.

4) 앞서 분석된 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 절감량을 이용하여 제안된 평가지표 및 등급을 적용하였다. CO<sub>2</sub> 절감량이 가장 많은 건축기술요소는 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당할 경우로 나타났다. 가스사용량

의 절감이 많을수록 CO<sub>2</sub> 절감이 큰 것을 알 수 있어, 가스사용이 CO<sub>2</sub> 배출에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

평가지표 및 분석된 건축기술요소별 CO<sub>2</sub> 성능을 통해 CO<sub>2</sub> 절감을 최대로 할 수 있는 건축기술요소의 조합을 알아보았다. 건축기술요소의 통합 적용시 가장 많은 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있는 조합은 난방과 급탕부하 지열 히트펌프 시스템이 담당하며, 추가적으로 태양광 발전 시스템을 지붕과 외벽에 설치하여 전력부하를 담당할 경우로 최대 절감량은 137.3 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 나타났다.

## 제 6 장 결론

본 연구의 목적은 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하고 친환경 건축기술요소의 통합 적용 시 최적 대안을 제시하는 것이다. 이를 위해, 국내외 친환경 성능평가제도와 에너지 성능평가제도의 사례를 조사하여 국내에서 시행되고 있는 공동주택 건축기술요소 평가방법의 문제점을 파악하였다. 또한 최근 10년 내에 준공된 국내외 친환경 공동주택 사례조사를 통해 국내 공동주택에 적용 가능한 건축기술요소를 도출하였다. 또한 문헌조사를 바탕으로 표준모델을 설정하고, 시뮬레이션 도구를 이용하여 표준모델 및 도출된 건축기술요소의 에너지 성능을 분석하였다. 분석된 표준모델 및 각 건축기술요소의 에너지 성능은 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하였으며, CO<sub>2</sub> 배출량을 통해 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 성능을 분석하였다. 표준모델의 부하종류별 CO<sub>2</sub> 배출량을 바탕으로 친환경 성능평가지표를 제안하고, 부하종류별 평가 등급 및 배점을 설정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내외 친환경 인증제도로 LEED for Homes, CSH, CASBEE, 국내 친환경건축물인증제도 및 에너지 성능평가 제도로 HERS, SAP2005, EPI의 조사·분석하였다. 조사결과, 국내 친환경건축물인증제도의 재생에너지 시스템 평가는 최소 설치에 대한 고려가 부족하였으며, EPI경우 부하별 평가를 하고 있었으나 부하종류별 배점의 적용이 공동주택의 실제 에너지 소비 특성과 부합되지 않아 공동주택에서의 재생에너지 평가에 있어서 부하특성에 맞는 배점의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

2. 공동주택에 적용 가능한 건축기술요소의 도출을 위해 최근 10년 이내에 준공된 국내외 주거단지, 시범단지 및 생태도시 내 주거단지를 대상으로 사례조사를 하였으며, 조사결과 국내 공동주택에 적용 가능할 것으로 판단되는 건축기술요소는 전열교환 환기시스템, 태양광 발전 시스템, 태양열 시스템, 지열 히트펌프 시스템이었다.

3. 공동주택의 친환경 성능평가를 위해서 실제 공동주택에서 많이 사용되고 있는 표준과 현행법을 기초로 표준공동주택 모델을 설정하였으며, 성능평가

를 위해 정밀 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus를 선정하였다. EnergyPlus의 사용을 위해서는 실제 공동주택의 에너지 소비량 데이터와 시뮬레이션의 결과를 비교하여 약 16% 이내의 오차범위를 얻었으며, 시뮬레이션 결과의 타당근거를 확보하였다.

4. 표준모델 시뮬레이션 결과 난방 가스사용량 63,324m<sup>3</sup>/yr, 급탕 가스사용량 17,674m<sup>3</sup>/yr로 연간 총 가스 사용량은 80,998m<sup>3</sup>/yr였으며, 전력사용량은 냉방에서의 전력사용량 57.2MWh/yr, 공용부에서의 전력사용량 54.4 MWh/yr, 기타부분 135.5MWh/yr로 표준모델 전체동의 연간 총 전력사용량은 247.1MWh/yr로 나타났다. 이를 에너지원별 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산한 결과 연간 총 304.3 CO<sub>2</sub> ton/yr의 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 것으로 나타났다. 총 CO<sub>2</sub> 배출량에서 난방부하가 차지하는 비율은 51.3%이며, 급탕부하가 14.3%, 냉방부하 8.0%, 전력부하 26.5%로 나타났다.

5. 각 건축기술요소의 에너지 소비량 및 절감량을 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하여 전체 CO<sub>2</sub> 배출량 대비 분담률을 분석한 결과, 전열교환 환기시스템 0.5%. 태양광 발전시스템 1.9%~5.9%, 태양열 급탕 시스템 6.3%~13.1%, 지열 히트펌프 시스템의 경우 난방과 급탕 모두 적용 시, 39.0%로 가장 높은 분담률을 보였다.

6. 분석된 표준모델의 부하 종류별 CO<sub>2</sub> 배출량을 바탕으로 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표를 설정하였다. 최소 등급은 신재생에너지 설치의무화 제도를 이용하여 부하종류별 CO<sub>2</sub> 분담률 5%로 설정하였다.

건축기술요소 최적 통합 적용 방법은 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당하고, 추가적으로 태양광 발전 시스템을 통해 전력부하를 담당할 경우이며, 이때 CO<sub>2</sub> 절감량은 137.3 CO<sub>2</sub> ton/yr으로 45.1%의 가장 높은 분담을 보였다.

본 연구에서는 공동주택에 적용되는 건축기술요소의 친환경 성능을 CO<sub>2</sub> 배출량을 통해 평가하였다. 그 결과, 표준모델 및 건축기술요소의 CO<sub>2</sub> 성능과 평가지표의 설정 및 적용을 통해 공동주택에서 가장 많은 CO<sub>2</sub> 를 배출하는 부문은 난방이었다. 또한 에너지원별 CO<sub>2</sub> 배출계수 및 배출량을 통해 가스 사용량이 전력사용량에 비해 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향이 더 큰 것을 알 수 있었다. 따라서 공동주택에서의 CO<sub>2</sub> 배출을 큰 폭으로 절감하기 위해서는 가스

사용량의 감소가 주요하며, 특히 난방에서의 가스사용량 감소를 통한 CO<sub>2</sub> 절감이 큰 영향을 미칠 것이다. 난방에서의 가스사용량을 감소하기 위해서는 건축계획요소의 고려와 시스템의 높은 효율만으로는 그 한계가 있으며, 본 연구에서 적용한 지열 히트펌프 시스템과 같은 열원에서의 재생에너지를 이용하는 방법이 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

또한 본 연구에서 도출한 친환경 건축기술요소의 통합 적용 시 최적 대안의 CO<sub>2</sub> 분담률은 45%로 친환경 건축기술요소의 적용을 통해 많은 양의 CO<sub>2</sub> 를 절감할 수 있었다. 특히 사례조사를 통해 본 연구에서 도출하여 적용한 친환경 건축기술요소는 주로 재생에너지 시스템으로, 재생에너지 시스템의 통합 적용이 공동주택의 CO<sub>2</sub> 배출량 절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 사례분석으로 통해 가장 많이 적용될 것으로 여겨지는 4가지 친환경 건축기술요소를 대상으로 성능평가를 실시하고, 최적대안을 제시하였다. 따라서 공동주택에 적용 가능한 더 다양한 친환경 건축기술요소의 적용에 대한 고려가 필요하며, 각각의 건축기술요소의 변수변화에 의한 성능평가 연구가 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

### [국내문헌]

1. 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2007
2. 강재식 외 2명, 공동주택의 난방에너지 소비특성에 관한 연구, 1995, 대한건축학회 논문집, Vol11, No.7
3. 건축물의에너지절약설계기준, 건설교통부 고시 제2008-5호, 2008.01
4. 구소영, 공동주택에서의 온도를 이용한 바닥복사냉방의 적용에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 2000.02
5. 국가통계포털(KOSIS), 아파트 주거환경통계, 준공연도별 지역별 규모현황
6. 권경우 외 2명, 공동주택의 환기설비 도입에 따른 냉난방에너지 소비에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 25권 1호, 2005
7. 권재홍, 태양광발전의 이해와 산업현황, 한국태양에너지학회 추계 학술발표대회 논문집, 2003.11, pp. 31
8. 김용환, 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 2006.12
9. 김정태 외, 건축설비시스템, 기문당, 2002, pp 207
10. 김종현, 아파트적용 태양열 난방 및 급탕 시스템의 열성능 분석, 대전대학교 대학원 석사학위논문, 2005.02
11. 김현철, 전열교환형 환기장치의 열회수 성능 및 현장 적용성 평가에 관한 연구, 경원대학교 대학원 석사학위논문, 2005.02
12. 김희경, 주택유형에 따른 태양광과 태양열 시스템에 관한 연구, 조선대 산업대학원 석사학위논문, 2006.02
13. 대림산업 기술연구소 주거환경 연구센터 준공, 대림기술정보, 2006
14. 대한주택공사 주택연구소, 환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구, 1996
15. 문춘근 외 4명, 아파트 난방방식별 에너지소비량 실태분석, 2001, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집
16. 민형기, 온수공급 조건에 따른 온수온돌 난방공간의 열특성에 관한 연구, 서울산업대학교 대학원 석사학위논문, 2001. pp. 26
17. 박유원 외 2명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건

- 영향, 설비공학논문집, 제 17권, 제 8호(2005), pp.722-728
18. 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02
  19. 박진우 외 2명, 공동주택의 자연환기 성능평가, 2001, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 pp. 637-643
  20. 백경형, 한국의 미래 생태적 친환경주거 계획방법에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문, 200634
  21. 산업자원부, 건물의 에너지 효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007.01, p. 334~336
  22. 산업자원부, 건물의 에너지 효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007.01
  23. 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구 (최종보고서), 2006.10, pp. 40
  24. 산업자원부, 에너지 총조사 보고서 2005, 2006, pp 80
  25. 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발(최종보고서), 2006.10, pp. 4
  26. 석호태, “사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계 지침 개발에 관한 연구”, 서울대 박사학위 논문, 1995, 8, p.65
  27. 신인중, 일본의 친환경 건축물 평가시스템의 소개, 한국설비기술협회 특집원고, 2004.11
  28. 신재생에너지 RD&D 전략 2030(태양열), 산업자원부, 2007.11, pp. 21-22
  29. 심윤희, 서울지역 공동주택의 난방에너지 표준사용량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 2006
  30. 안태경, 아파트의 환기 및 기밀수준 성능에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15권 1호
  31. 에너지경제연구원, 2005년 에너지 총조사 보고서, 2005, p. 838~840
  32. 에너지기본법 제5조 제1항 관련, 에너지열량환산기준
  33. 여명석 외, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 14권 12호, 1998.12, pp 203-210
  34. 오정민, 주거건물의 유형별 에너지 효율적인 환경계획기법에 관한 연구, 성균관대학교 대학원, 2004
  35. 온돌을 이용한 복사 냉난방 시스템 개발에 관한 연구, 산업자원부, 2003

36. 유기형 외2, 공동주택의 에너지효율등급 평가기법 개발 및 등급 설정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), Vol.22 No.12, 2006
37. 유호선 외, 한국형 아파트의 난방에너지 분석1: 위치의 영향, 설비공학논문집 제 16권 제 1호(2004)/pp. 101 - 100
38. 유호선 외, 한국형 아파트의 난방에너지 분석2: 난방방식에 따른 차이, 설비공학논문집 제 16권 제 5호(2004)/pp. 459 - 466
39. 윤중호 외, 공동주택의 태양광시스템 적용성 평가를 위한 전기부하 매칭 해석연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2008. 04
40. 이명택, 동특성 시뮬레이션을 통한 공기, 지열 열펌프 시스템의 성능분석 및 경제성 평가, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 2005.12, pp. 44
41. 이봉진 외 4명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석2: 난방방식에 따른 차이, 설비공학논문집 제 16권 제 5호(2004)/pp. 459 - 466
42. 이승복 외, 바닥복사냉·난방시스템의 유형별 에너지성능 평가, 대한건축학회논문집(계획계), 21권 3호, 2005.03 pp. 133-140
43. 장현덕, 생태주거단지 조성기법의 적용사례에 관한 연구, 세명대 대학원 석사학위논문, 2006
44. 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12
45. 전정운 외 2명, 공동주택 거실 온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2005, 21권 8호
46. 정충조, 환경친화형 주거단지의 계획에 관한 연구, 연세대 공학대학원 석사학위 논문, 2005
47. 최기환, 공동주택에서 적용 가능한 설비형 태양열시스템에 관한 연구, 수원대학교 대학원 박사학위논문, 2005.12
48. 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007. 02
49. 친환경건축물인증제도 세부시행지침(개정06.8.24)
50. 한국건설기술연구원, 에너지자원 유효이용을 위한 순환형 공급처리기술 개발, 2003.12
51. 한국에너지기술연구원 박순철, 제로에너지 타운 시공과 기술 개요, 2006
52. 한국에너지기술연구원(공공기술연구회), 제로에너지타운 조성 운영 사업, 2004
53. 한국전력공사, 2006년 가전기기 보급률 및 가정용 전기소비행태 조사, p. 57~59, 2006
54. 홍원화 외 3명, 1998, 집합주거 거주자의 생활형태에 따른 에너지 소비



- 량에 관한 연구(대구광역시를 중심으로), 대한건축학회 논문집, Vol14. No.6
55. LCC와 LCCO<sub>2</sub> 분석에 의한 전열교환 환기시스템과 바닥축열 환기시스템의 경제성 및 환경부하 평가, 설진호, 경원대학교 대학원, 석사학위논문, 2008.02

## [국외문헌]

1. ASHRAE, ASHRAE Guideline 14:Measurement of energy and demand savings, Atlanta, GA:American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2002
2. BRE, The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings 2005 Edition, 2005
3. Department for Communities and Local Government, The Code for Sustainable Homes, Setting the standard in sustainability for new homes, 2008.01
4. Department for Communities and Local Government, The Code for Sustainable Homes Technical Guide, 2008.01
5. IBEC, CASBEE for New Construction 2004 Edition, 2004
6. Jean-Paul Isoradi, Surface Cooling in Hospitals : Use of Computer-Aided Design Packages, ASHRAE Transactions, 1995, p.719
7. Lawrence Berkeley National Laboratory, EnergyPlus Manual Documentation Version 2.1, 2007.10
8. McQuay International, Application Guide AG 31-008 Geothermal Heat Pump Design Manual, 2002, pp. 9
9. RESNET, 2006 Mortgage Industry National Bome Energy Rating Systems Standards, 2006
10. RETScreen International, Clean Energy Project Analysis RETScreen Engineering & Cases Textbook Third Edition, 2005.09, pp. GSHP.64
11. USGBC, LEED for Homes Rating System, 2008.01

## [Web Site]

1. 2005년 기준 통계청 자료, <http://www.nso.go.kr/>
2. 2007년 기준 통계청 자료, <http://www.nso.go.kr/>
3. 에너지 관리공단 에너지 통계, [http://www.kemco.or.kr/data/e\\_static/energy\\_chart/](http://www.kemco.or.kr/data/e_static/energy_chart/)
4. 네이버 블로그 <http://blog.naver.com/khbajj/110033414027> 31
5. 네이버 블로그 <http://blog.naver.com/sunyoung529/12000631455436>
6. [www.docksidegreen.com34](http://www.docksidegreen.com34)
7. UNFCCC(UN Framework Convention on Climate Change)  
<http://unfccc.int/1>

## 국 문 초 록

# 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구

이 종 식  
중앙대학교 대학원  
건축학과 건축환경 및 설비전공  
지도교수 이 언 구

최근 전세계적으로 CO<sub>2</sub> 배출을 감소시키기 위한 구체적인 대책 수립과 그 움직임이 가시화되고 있다. 우리나라 또한 신국가발전 패러다임으로 '저탄소 녹색성장'을 제시하고, 10대 추진 방향을 설정하고 있다. CO<sub>2</sub> 배출 요인 중 한 가지는 주거부분에서의 CO<sub>2</sub> 배출로서, 우리나라에서 주거건물의 CO<sub>2</sub> 배출량은 전체 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 10%가 될 것으로 추정되고 있다. 우리나라 주거건물에서는 공동주택이 가장 높은 비율을 차지하고 있어, 공동주택에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 저감은 그 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다. 공동주택을 포함한 건물에서의 저탄소/Zero Emission을 달성하기 위해서는 신재생에너지 이용을 통한 CO<sub>2</sub> 배출량 저감이 중요하다. 그러나 현재 국내 공동주택 건축기술요소 친환경 성능평가는 매우 미흡한 상태이며, 실질적으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 저감할 수 있는 평가방법이 필요하다.

본 연구에서는 우선 공동주택의 표준모델을 선정하고, 사례분석을 통해 공동주택에 적용 가능한 친환경 건축기술요소를 도출하였다. 그리고 기본적인 건축기술요소와 친환경 건축기술요소의 친환경 성능을 평가하였다. 이를 바탕으로 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가 지표를 설정하고, 친환경 건축기술요소가 표준모델에 통합 적용 되었을 때의 최적 대안을 제안하였다.

본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공동주택에 적용 가능한 건축기술요소의 도출을 위해 최근 10년 이내에 준공된 국내외 주거단지 및 시범단지를 대상으로 사례조사를 하였다. 조사결과 국내 공동주택에 적용 가능할 것으로 판단되는 건축기술요소는 전열교환환기시스템, 태양광 발전 시스템, 태양열 시스템, 지열 히트펌프 시스템이었

다.

2. 공동주택의 친환경 성능평가를 위해 표준공동주택 모델을 설정하였으며, 성능평가를 위해 정밀 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus를 선정하여 에너지 성능을 분석하였다. 분석된 에너지 소비량은 연료 종류별 CO<sub>2</sub> 배출계수를 통해 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하였다. 결과는 다음과 같다.

1) EenergyPlus의 사용을 위해서 실제 공동주택의 에너지 소비량 데이터와 시뮬레이션의 결과를 비교하였다. 비교결과 오차범위는 약 16%로 시뮬레이션 결과의 타당근거를 확보하였다.

2) 표준모델 시뮬레이션 결과, 총 CO<sub>2</sub> 배출량에서 난방부하가 차지하는 비율은 51.3%이며, 급탕부하 14.3%, 냉방부하 8.0%, 전력부하 26.5%로 나타났다.

3) 각 건축기술요소의 에너지 소비량 및 절감량을 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하여 전체 CO<sub>2</sub> 배출량 대비 분담률을 분석한 결과, 전열교환 환기시스템 0.5%, 태양광 발전시스템 1.9%~5.9%, 태양열 급탕 시스템 6.3%~13.1%, 지열 히트펌프 시스템의 경우 난방과 급탕 모두 적용시, 39.0%로 나타났다.

3. 분석된 표준모델의 부하 종류별 CO<sub>2</sub> 배출량을 바탕으로 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가지표를 설정하였다. 최소 등급은 신재생에너지 설치의무화 제도를 이용하여 부하종류별 CO<sub>2</sub> 분담률 5%로 하였다.

4. 건축기술요소 최적 통합 적용 방법은 지열 히트펌프 시스템을 통해 난방과 급탕부하를 담당하고 태양광 발전 시스템을 통해 전력부하를 담당할 경우이며, 이때 CO<sub>2</sub> 분담률은 45.1%이다.

본 연구는 사례분석을 통해 가장 많이 적용될 것으로 여겨지는 4가지 친환경 건축기술요소를 대상으로 성능평가를 실시하고, 최적대안을 제시하였다. 따라서 공동주택에 적용 가능한 다양한 친환경 건축기술요소의 적용에 대한 고려가 필요하며, 각각의 건축기술요소의 변수에 의한 성능평가 연구가 필요할 것이다.

## ABSTRACT

# **A Study on the Performance Assessment of the Sustainable Building Technologies for Multi-Family Residential Buildings**

LEE, Jongsik

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D.

Recently, specific plans and movements to reduce the emissions of CO<sub>2</sub> have been visualized in the global range. Korea has suggested 'Low carbon, green development' as a new national development paradigm, and established 10 corresponding plans. One of the main source of CO<sub>2</sub> is from residential areas, and the total CO<sub>2</sub> emissions from residential buildings is estimated to be approximately 10% of the total CO<sub>2</sub> emissions in Korea. Since multi-family residential buildings occupy the largest percentage of residential buildings, therefore reducing the emissions of CO<sub>2</sub> from multi-family residential buildings is expected to have high effects. To realize low carbon/zero emission from buildings such as multi-family residential buildings, reducing the CO<sub>2</sub> emissions amounts by utilizing renewable energy is considered to a priority matter. However, the sustainable performance assessments are insufficient in the building technologies for domestic multi-family residential buildings, therefore, it is necessary to establish an assessment method that can reduce CO<sub>2</sub> emissions.

First, the standard models of multi-family residential buildings are selected, and then the sustainable building technologies that are applicable for multi-family residential buildings are induced by analyzing the examples. Then sustainable performance of the basic building technologies and sustainable building technologies are assessed. According to the results, the sustainable performance assessment index for the building technologies are established and

then an optimal plan for when the sustainable building technologies can be integrated and applied to the standard model was formulated.

The study results are summarized as follows.

1. To induce the building technologies that are applicable to multi-family residential buildings, residential complexes and model complexes that are built within 10 years were studied in the inside and outside of the country. In the study results, the building technologies that are applicable to domestic multi-family residential buildings are; heat recovery ventilators, photovoltaic system, solar hot water heating system and geothermal heat pump systems.

2. To assess the sustainable performance of multi-family residential buildings, the standard apartment building models were selected and the precision energy analysis program EnergyPlus was used to analyze the energy performance. The analyzed energy consumption was then converted into emitted CO<sub>2</sub> amounts by using the CO<sub>2</sub> emissions parameters of the fuel types. The results are as follows:

1) To use EnergyPlus, the energy consumption data of actual multi-family residential buildings and simulation results were compared. In the results, the range of error was approximately 16%, which proves the validity of the simulation results.

2) In the simulation results from the standard model; the heating load from the total CO<sub>2</sub> emissions was 51.3%, the sudden water heating load was 14.3%, the cooling load was 8.0%, and the electricity load was 26.5%.

3) In the results of converting the energy consumption and reduction amount from the building technologies into CO<sub>2</sub> emissions to analyze the distribution ratio compared to the entire CO<sub>2</sub> emissions; the heat recovery ventilator is 0.5%, the photovoltaic system is 1.9%~5.9%, the

solar hot water heating system is 6.3%~13.1% and the geothermal heat-pump system is 39.0% when both heating and hot water heating are applied.

3. The sustainable performance assessment index for the building technologies of the multi-family residential buildings was established based on the CO<sub>2</sub> emissions according to the type of load of the analyzed standard model. The minimum CO<sub>2</sub> allotment upon the types of load was established to 5% by using the obliged renewable energy installation system.

4. An optimally integrated application method for the building technologies is in charge of heating and hot water heating through the geothermal source heat pump system and in charge of the electricity load through the photovoltaic system and at this time the CO<sub>2</sub> allocation rate is 45.1%.

For this study, a performance assessment was conducted the 4 types of sustainable building technologies which are considered to be used the most, and optimal plans were suggested. Therefore, the consideration for applying various types of applicable sustainable building technologies for multi-family residential buildings is required, as well as the performance assessment studies according to the variables of the building technologies.