R&D/06건설핵심B02

저에너지 친환경 공동주택 기술개발 연구보고서

Land Transpot and Maritime

R&D Report

국토해양부

한국건설교통기술평가원

첨단도시개발사업 제5차년도 최종보고서

R&D/06건설핵심B02

저에너지 친환경 공동주택 기술개발 연구보고서

2011 . 8 . 10 .

주관연구기관 / 연세대학교 산학협력단

협동연구기관 / 한국건설기술연구원
포항산업과학연구원
한국에너지기술연구원
서울대학교
(주)한국도시녹화
(주)세기종합환경
(주)EAN테크놀로지
(주)벤토피아홀딩스
(주)공간종합건축사사무소
(주)한일엠이씨
(주)한설그린
중앙대학교
한국토지주택공사

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "저에너지 친환경 공동주택 기술개발에 관한 연구"과제 의 보고서로 제출합니다.

2011. 8 . 10 .

주관연구기관:	연세대학교 산학협력단	홍 대 식
협동연구기관:	대림산업(주)	김 종 인
	한국건설기술연구원	조 용 주
	포항산업과학연구원	권 오 준
	한국에너지기술연구원	한 문 희
	서울대학교	한 진 호
	(주)한국도시녹화	김 철 민
	(주)세기종합환경	양 기 해
	(주)EAN테크놀로지	신 지 웅
	(주)벤토피아홀딩스	이 성 환
	(주)공간종합건축사사무소	강 희 성
	(주)한일엠이씨	정 차 수
	(주)한설그린	한 승 호
	중앙대학교	윤 기 봉
	한국토지주택공사	이 지 송

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>06건설핵심
B02</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2010.4.30.~
2011.6.29</td><td>단계
구분</td><td>5년 / 5년</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="5">저에너지 친환경 공동주택 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책
임자</td><td rowspan="2">이승복</td><td>해당단계
참여
연구원수</td><td>총 : 198 명
내부:157 명
외부: 50 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 1,576,000 천원
기업: 620,375 천원
계 : 2,196,375 천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 332 명
내부: 188 명
외부: 144 명</td><td>총연구비</td><td>정부:13,074,000 천원
기업: 5,621,340 천원
계 :18,695,340 천원</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="2">연세대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td>대림산업(주) 외 31개
기관</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="5">연구기관명 : 한국토지주택공사 연구책임자 : 이 종 성</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">저에너지 친환경 공동주택 모델 개발 (공사비 110% 이내, 에너지 40%절감)
1) 기존 공동주택의 에너지 소비량을 40~55% 저감하는 요소기술의 개발 및 상용화: 외부 환경적 요소(SITE), 건축적 요소(BUILDING), 설비적 요소(SYSTEM)의 10가지 저에너지 친환경 요소기술을 개발하고 이를 통합적으로 적용하여 에너지 소비량을 감소시키고 친환경 성능을 향상시킨다. 개발된 요소기술들은 저에너지 친환경 산업의 구성재로서 상용화 된다.
2) 요소기술 통합 설계 기법 및 저에너지 친환경 공동주택 설계 Guideline 개발: 개발된 요소기술을 공동주택 모델에 적용하기 위한 건축, 설비, 조경설계 기법을 정립하고 저에너지 친환경 공동주택의 보급/확산을 위한 설계 Guideline을 작성한다.
3) Prototype 모델의 시공/경제성 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 상품개발: 12개 Prototype의 시공 및 경제성 평가를 통해 저에너지 친환경 공동주택 상품으로 개발하고 시공 매뉴얼 및 운영 매뉴얼을 작성한다.
4) 통합 모델의 성능 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 성능 평가 기법 개발: Prototype 모델의 성능 모니터링 결과를 분석하여 성능 요인을 도출하고 성능 평가 프로그램의 개발을 통해 공동주택의 에너지/친환경 성능 평가/예측 기법을 개발한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="4">저에너지, 친환경, 공동주택, 실증단지, 지원 정책</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">LOW ENERGY, SUSTAINABILITY,
MULTIHOUSING, PILOT PROJECT, POLICY</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목

저에너지 친환경 공동주택 기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 지구상에서 환경 문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력 과제의 하나로 등장하고 있다. 지구 온난화의 원인으로 지목되고 있는 CO2의 발생을 줄이기 위해 국가 차원에서 다각적인 노력을 하고 있다. CO_2 배출량의 50%를 차지하는 건물 분야에서도 에너지 사용량을 감소시키기 위한 적극적인 방안이 조속히 마련되어야 한다. 이러한 시점에서 국토 균형발전을 위해 건설되고 있는 혁신도시, 행정도시, 기업도시들은 에너지 소비 저감, 생태계 보존 등 무엇보다도 지속가능한 발전을 전제로 개발을 수행하는 것이 중요하다. 개발 예정 신도시에 건설될 것으로 예상되는 320,000여 세대 38.4조원 상당의 공동주택 또한 저에너지 친환경 공동주택 모델의 적용이 필수적이다.

본 연구개발에서는 국토 균형발전에 의한 신도시 개발에 적용될 저에너지 친환경 공동주택 모델을 개발하여 신도시의 지속가능한 발전을 선도하고, 저에너지 친환경 공동주택 시장을 국가 차원에서 정책적으로 지원할 수 있는 시스템을 구축하여 지속적인 연구개발과 현장 적용이 이루어지도록 하는 것을 총괄과제의 목적으로 한다.

이를 위하여 본 세부과제 연구개발에서는 기존 공동주택의 에너지 소비량을 40~55% 저감하는 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 개발 및 시제품을 제작하여 Pilot Project에 적용하고 성능평가를 거쳐 상용화하는 것을 최종목표로 관련 요소기술을 외부 환경적 요소(SITE), 건축적 요소(BUILDING), 설비적 요소(SYSTEM)의 3가지로 분류하고 이에 해당하는 10가지 핵심요소기술에 대해 시제품을 제작하고 Mock-up Test와 Pilot Project 적용을 통해 성능평가를 거친 후 저에너지 친환경 산업의 구성재로서 상용화 한다. 요소기술개발에서 도출된 상용화제품 및 제품별 기술지침서, 특허 및 신기술은 건설 구성재 산업으로 그 영향력을 가지게 될 것이며, 1차적이고 실질적인 기술성장을 이끌어 갈 것이다.

본 연구개발을 통해 개발된 요소기술 및 통합 모델 개발은 1차적으로 현재 계획 중인 혁신도시, 행정도시, 기업도시 등 지방 신도시를 적용 대상으로 하고 있으나 이후 대상 모델의 적용성 평가 및 보완 과정을 거쳐 국내 주택 시장뿐만 아니라 아시아 시장 진출을 기대할 수 있다. 현재 유럽이 인구의 120% 이상의 주택 보급률을 보이는 반면 아시아는 보급률이 48%로 주택 시장 잠재성이 매우 크다고 할 수 있다. 우리나라는 높은 인구밀도를 가진 아시아에 적합한 주거유형과 더불어 지리적 이점을 가지고 있기 때문에

저에너지 친환경 요소기술 및 공동주택 모델과 정책 프로그램까지 해외 시장을 개척하고 전략 산업으로서 발전할 수 있을 것으로 기대한다.

(1) 통합연구개발

● 저에너지 친환경 공동주택 통합성능평가

본 연구는 국내 공동주택의 비율이 80% 이상 차지하고 있으며 아파트를 중심으로 한 공동주택의 계속적인 증가 추세가 이어지고 있는 상황에서 국내 공동주거에 형태에 적합한 현실적인 저에너지 모델을 제안하는 것이다. 또한, 단계별 성능 목표를 가진 4개의 통합형 모델을 제시하고 통합모델의 성능을 검증하고 모세유관을 이용한 복사냉난방 시스템 개발 및 상변화물질을 적용한 건축자재 개발하여 건물에서 발생되는 에너지소비 절감 성능을 평가하는 것이다.

● 저에너지 친환경 공동주택 활성화 정책

우리나라의 저탄소 녹색성장 비전 선포에 발맞추어 건축부문에서의 지구환경개선과 지속가능한 주거 문화 개선을 위해 저에너지 친환경 주택 활성화 및 정착을 위한 연구와 정책적인 지원 방안의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 저에너지 공동주택에 관한 기술개발은 관련된 요소기술의 개발뿐만 아니라 이를 뒷받침 할 수 있는 정책과 관련 제도가 정비되어야 한다. 이러한 정책과 제도는 시장의 규모, 기술수준, 중장기 로드맵에 따라 적절히 변화하여 관련 시장을 이끄는 역할을 하여야 한다.

(2) 외부 환경적 요소

공동주택 단지 내 외부 환경은 자연과 인간에게 동시에 직접적인 영향을 미치므로 쾌적하고 생태적인 단지 환경에 대한 요구가 증가하면서 주차공간이 지하에 조성되고 주차장 상부에 형성되는 인공지반의 생태적 녹화 기술이 필수적이다. 물 관리 관련 홍수, 가뭄, 건천화, 지하수고갈, 에너지 과다 사용 등 문제 발생을 막고 효과적인 물의 이용을 위해서 건물내부에서 사용되는 물과 빗물을 통합적으로 관리하고 사용하는 종합적인 물순환 시스템이 구성되어야 한다. 공동주택 단지를 조성함에 따라 나타나는 미기후는 건물 내 거주자에게 직접적인 영향을 미치며 나아가 도시 열섬현상의 원인이 됨. 이를 개선하기 위해 공동주택 단지 내 열환경을 계획 단계에서 예측할 수 있는 기술이 필요하다.

- 신개념 생태적 인공지반 녹화 기술 개발
  인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 및 녹화옥상 시스템 개발
- 단지 내 종합적 물순환 기술 개발
  지속가능한 순환형 주거환경 조성과 중수 및 우수 이용을 통한 물 사용량 절감
- 친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획
  공동주택단지의 열환경 평가 프로그램을 개발 및 공동주택 간지 환경이 각 세대에 미치는 영향도 정량적 평가 기법 개발, 열섬현상 저감을 위한 단지 계획 매뉴얼 개발

(3) 건축적 요소

현대사회의 구조 변화가 가속화되고, 건물에 대한 사용자 및 사회적 요구가 커짐에 따라 공동주택에서 리모델링이 용이한 평면 및 구조방식의 적용이 다각적으로 연구되고 있다. 구조방식에서부터 가변형 벽체와 접합부 상세, 모듈화 설계에 이르기 까지 통합적 계획이 필요하다. 건물의 친환경 설계를 위해서는 에너지의 사용을 근본적으로 줄일 수 있는 자연형 냉난방 기술이 국내 실정에 맞게 정리되어야 한다. 국내 공동주택에는 대부분 내단열이 적용되고 있으며, 이로 인해 열손실을 초래하는 대표적 열교(Thermal Bridge) 부위가 되고 있음. 공법 특성상 외부 가설공사의 제약과 기존 내단열 설계안의 답습으로 인해 외단열 적용을 위한 시도 자체가 거의 없어왔음. 따라서 국내 공동주택 특성에 적합한 외단열 시스템의 소재, 설계, 시공법 개발이 절실히 요구된다. 기존 창호외피는 일반적으로 단열성, 기밀성, 수밀성, 차음성 및 경제성에 국한하여 개발되고 있어 창호의 기본 기능인 광학적 기능 및 시각 환경적 조절 기능이 구비된 건물의 향별, 용도별 요구에 적합한 통합 기능성 창호외피 시스템의 개발이 필요하다. 기존 창호외피 재료 중 가장 높은 구성 비율을 차지하는 유리의 경우, 단열 및 에너지 성능에 대한 관심은 높은 반면, 자외선의 유입 지수, 자연광의 최적 분포 및 실내면의 2차 발광지수 분포 등 시각적 건강성에 관련된 연구는 미비하여 거주자 측면에서 보다 직접적인 영향을 미치는 유리재질의 광학적 기능성에 대한 연구가 시급하다. 쾌적하고 안전한 건강주택의 기본환경 조성을 위하여 오염물질을 저방출 하는 건축자재 및 기능성 친환경 소재의 필요성이 증가하고 있다.

- 가변형 평면 개발
  공동주택에서의 Open Plan 개발 연구 및 가변형 벽체 시스템 개발
- 자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피 시스템
  공동주택의 부하 절감을 위한 외피의 성능향상 중 열적으로 가장 취약한 부분인 창호 시스템의 성능 개선
  외단열 시스템의 소재 및 시공 기술 개발, 설계 기술 개발, 에너지성능 평가를 수행하여 외단열 시스템의 보급 확산에 기여
- 친환경소재개발
  국내 공동주택의 비율이 80% 이상 차지하고 있으며 아파트를 중심으로 한 공동주택의 계속적인 증가 추세가 이어지고 있는 상황에서 국내 공동주거에 형태에 적합한 현실적인 저에너지 모델 제안 및 정책 적용에 앞서, 단계별 성능 목표를 가진 4개의 통합형 모델을 제시하고 통합 모델의 성능을 검증

(4) 설비적 요소

주거용 건물에서 급속히 증가하고 있는 개별냉방기기(패키지 에어컨)의 보급에 따른 전력수요에 적절히 대응할 수 있는 에너지 사용을 줄일 수 있는 새로운 냉방시스템

의 개발 및 보급을 제도화하는 것이 필요하다. 건강에 대한 요구로 환기시스템의 설치가 불가피하며 기후특성상 기계환기 및 자연환기를 혼합한 하이브리드 환기가 요구되며 자연환기겸용의 열교환 환기장치의 검토가 에너지절약과 확산보급 차원에서 필요로 한다. 공동주택에 적용 가능한 대표적 재생에너지 시스템인 태양열, 태양광, 지열 등을 단지규모 차원에서 어떻게 공급할 것인가에 대한 선행연구가 전무함, 최근 신도시 개발과, 친환경성능인증제도 등에 따른 재생에너지 적용 공동주택 단지에 대한 수요가 증가하고 있는 시점에서, 이에 대한 최적 공급모델 개발 및 적용방안에 대한 대책이 시급히 수립될 필요성이 있다.

(5) 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계

- 실험주택의 구축을 위한 사례조사 및 프로토타입의 개발
- 실험주택의 구축을 위한 설계 표준안 작성
- 실험주택의 구축을 위한 설계 감리
- 저에너지 친환경 공동주택의 보급을 위한 설계가이드라인의 작성
- 설비 시스템의 통합설계 기법을 도출
- 도시의 생태적 기능을 회복하고 에너지 저감 및 재이용할 수 있는 방법을 모색

(6) 저에너지 친환경 공동주택 통합설계 기술개발

- Pilot Project 구축을 위한 시공사례조사
- Pilot Project 구축을 위한 요소기술별 적용성 평가
- Pilot Project 모델구축 및 보완
- 저에너지 친환경 공동주택의 보급을 위한 시공매뉴얼 작성

(7) 저에너지 친환경 공동주택 모델 개발

- 지속가능한 건축의 성능평가도구들을 분석
- 성능평가의 체계를 정립
- 평가모델을 구축하고 평가프로그램을 개발
- 저에너지 친환경 공동주택 모니터링 시스템 구축
- 저에너지 친환경 공동주택 데이터베이스 구축

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

저에너지 친환경 공동주택 요소기술개발의 세부핵심 기술은 1) 외부 환경적 요소(SITE) 2) 건축적 요소(BUILDING) 3) 설비적 요소(SYSTEM) 등 3가지로 구성된다. 1세부과제에서는 기존 공동주택의 에너지 소비량을 40~55% 저감하는 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 개발 및 시제품을 제작하여 Pilot Project에 적용하고 성능평가를 거쳐 상용화하는 것을 목적으로 한다.

(1) 통합연구개발

● 저에너지 친환경 공동주택 통합성능평가

-Pilot project 성능 모니터링을 통한 통합 성능 평가

요소기술과 통합 적용된 pilot project 세대의 실제 냉난방 조건에서 시스템 운전을 통한 세대의 통합 성능 평가 및 에너지 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 사용량 예측 및 세대별 비교 평가하였다.

-모세유관 바닥복사 냉난방시스템의 성능평가

냉난방 소비 에너지절약을 위한 새로운 냉난방 시스템 개발 및 지중열을 이용한 모세유관 냉난방 시스템의 성능 평가를 실시 하였다.

-상변화물질을 적용한 건축자재의 축열 성능 평가

공동주택의 경우, 주간에 유입되는 태양복사열을 상변화물질이 함유된 건축자재를 통해 열을 저장하여 야간에 실내온도가 떨어지는 시점에서 저장 된 열을 방출하여 에너지 절약 성능을 향상시키며 실내온도 변동폭을 줄여 쾌적성을 향상 시킨다.

● 저에너지 친환경 공동주택 활성화 정책

지자체 특성에 따른 그린홈 가이드라인 실시를 위하여 합리적이고 현실적인 가이드라인 마련을 위하여 관·학 협약 이후 강동구와 연구단은 상호간의 의견 교환을 통하여 구체적인 가이드라인 목표를 수립하였다. 또한, 건축부문의 국가 온실가스 감축을 위해서 제로에너지 건물에 대한 목표를 설정하고 이를 수행 할 수 있도록 제로에너지 건물에 대한 명확한 정의 및 성능 기준을 확립하여 효과적인 정책 추진 방안을 수립하였다.

(2) 외부 환경적 요소 (SITE)

공동주택 계획에 있어 초기 단계에 수행되는 외부공간 계획(Site Design)은 공동주택 단지 및 단위세대의 친환경성 및 쾌적성에 큰 영향을 미치고 있고, 단일건물 계획에 비해 그 영향력은 더욱 큰 비중을 차지한다.

공동주택 단지내에 생태계 구성이 가능한 녹화시설을 조성하고, 우수 및 오배수 등의 수순환 체계를 구축하여 거주자 및 생태계 구성원들의 거주환경 향상에 기여하고, 기후조건, 대지조건을 고려한 단지 계획을 통해 환경부하를 저감하고 거주자 쾌적성을 높일 수 있는 미시기후 조절방법을 개발하는 것을 외부환경 요소기술 개발의 주요 범위로 한다.

● 신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발

인공지반녹화 생태적 조성지침을 작성하고, 인공지반녹화 관련 제도 및 정책에서 본 지침을 활용하기 위한 방안과 공동주택 조성 과정에서 활용하기 위한 방안 등을 제시 하였다.

● 단지 내 종합적 물순환 기술

통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안을 모색을 통해 송도 파일롯 플렌트내의 graywater 처리시스템에 적용하고 송도 파일롯 플렌트의 현장 운전 및 최적인자 도출하였다.

• 친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획

공동주택 단지 내에 생태계 구성이 가능한 녹화시설을 조성하고, 우수 및 오배수 등의 수순환 체계를 구축하여 거주자 및 생태계 구성원들의 거주환경 향상에 기여하고, 기후조건, 대지조건을 고려한 통합단지계획매뉴얼의 개발을 위해 단지 내 외부 열환경에 영향을 미치는 인자를 도출하고, 도출된 인자를 평가 프로그램에 적용하여 외부 풍환경 및 열환경 해석이 가능한 프로그램을 개발하는 것을 주요 범위로 한다.

(3) 건축적 요소 (BUILDING)

건축물은 외부의 다양한 기후조건으로부터 거주자가 생활하는 실내 공간을 쾌적하게 유지하기 위해 가장 중요한 역할을 수행하며, 건물 내부 공간 또한 거주자의 건강과 쾌적, 주거 만족도와 매우 밀접한 관계를 가진다. 또한 건축물은 구성요소들의 생산과 운송, 시공 및 폐기에 이르는 여러 단계에서 상당한 환경부하를 발생하므로 친환경 건축을 실현하기 위해 반드시 고려해야 할 부분이다.

건축적 요소기술 개발은 건물의 장수명화를 위한 가변형 계획과 냉난방 부하 및 자연에너지를 적극 활용하기 위한 외피 및 공간계획이 포함되며, 거주자 건강을 고려한 친환경 마감재에 관한 기술도 핵심적인 개발 범위에 해당한다.

• 가변형 평면개발

국내 공동주택 중 전용면적 85㎡중심의 공동주택의 평면을 분석하여 평면상에 나타나는 유형을 도출하여 데이터베이스를 구축하고, 저에너지 친환경 공동주택 연구단의 Pilot Project의 평면 계획시 반영하였다.

• 자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피 시스템

이중창호 개선안 설계 및 Test-bed 적용을 하였으며 하절기와 동절기 실측을 통해 자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피시스템 성능을 검증하였으며 외단열 시스템의 설계 기술 개발 및 에너지 성능 평가를 실시 하였다.

• 친환경 소재개발

기존 공동주택의 에너지 소비형태 분석 및 표준 공동주택의 에너지 소비 형태 분석 재실자의 생활 패턴 조사를 통한 스케줄 분석 및 pilot project를 통한 통합 성능 평가 및 pilot project 성능 모니터링을 통한 통합 성능 평가하고 에너지 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 사용량 예측 및 세대별 비교 평가하였다.

(4) 설비적 요소(SYSTEM)

건물 설비시스템은 건축적 계획에서 감당하지 못하고 거주자의 요구에 미치지 못하는 물리적인 환경을 기계설비적인 방법으로 제공하는 것으로서, 에너지 소비의 최종적인 주체가 된다.

에너지 절약적인 설비시스템을 구축하기 위해서는 기본적인 냉난방/환기시스템을 건축계획과 연계시킨 통합 설계와 그 적용이 필수적인 요소이며 이들을 통합적인 시스템으로 최적의 상태로 유지할 수 있도록 제어하는 기술이 필요하다. 또한 화석 에너지 소비를

획기적으로 저감하기 위해서는 재생가능한 열원 시스템의 적용 방법에 관한 기술도 포함된다.

● 복사 냉난방 시스템 개발

복사 냉난방 시스템과 관련된 기존 기술 및 부하를 분석하고 용량 산정 방안을 도출하였으며 복합 존 시스템 구성안 및 연동 운전 기술을 개발하고 설계 기술 개발 및 현장 적용 방안을 도출 하였다.

● 환기시스템의 개발

효율적인 환기장치 관련 요소기술의 개발의 경우 환기시스템의 에너지소비 중 대부분을 차지하고 있는 송풍 에너지의 절감을 위한 요소기술의 개발을 하였고 자연환기 시 외기의 직접적인 실내유입으로 인한 온열쾌적감의 저하를 방지할 수 있는 요소기술을 개발하였다. 또한 환기시스템 평가기법 제시하여 환기시스템의 성능과 적용성을 평가하기 위한 환기시스템 성능평가기법을 제시하였다.

● 공동주택 위한 재생에너지시스템 적용연구

- 공동주택용 지열원 활용 냉난방 기술 개발_지열

신재생에너지 활용을 위한 자연친화 공동 주택용 지열 및 우수열원 하이브리드 냉난방 시스템 기술 개발 및 공동주택용 지열 및 우수열원 냉난방 시스템의 설계, 시공, 운전 최적화 기술 개발하는 것이다. 지열(GSHP) 및 우수열원 시스템(RWHP)의 설계 가이드라인 제시하는 것이다.

- 공동주택을 위한 재생 에너지 시스템 적용 연구_태양열, 태양광

공동주택의 배치형태, 방위 등의 영향을 고려하여 태양광 및 태양열 시스템을 적용할 수 있는 총 가용면적의 평가, 각 세대 및 동별 위치에 따른 연간 음영율 평가 등의 태양접근성 평가를 수행하고, 이를 근거로 실제 태양열 및 태양광 시스템을 적용할 경우 생산 가능한 열 및 전기량 도출과, 총 부하 대비 신재생에너지 분담율에 대한 평가를 수행하였다.

(5) 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계

가. 통합설계 프로세스 개발

① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 국내외 사례 조사

- 국내외 친환경 공동주택 기술개발 현황 조사
- 국내외 사례집 발간

② 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발

- 요소기술 개발과 연계한 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발
- 통합설계기법을 적용한 저에너지 친환경 공동주택 모델의 경제성 및 상용화 가능성 제시

나. 통합설계를 위한 평면 개발 연구

저에너지 친환경 공동주택 기술개발의 세부핵심기술은 요소기술개발과 실증모델 개발 그리고 지원정책 개발등 3가지로 구성된다. 개발된 요소기술은 통합설계 과정과 실증적인 성능검증을 하기 위해 공동주택 모델에 적용된다.

① 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축
- 저에너지 친환경 공동주택 통합 모델 설계
- 저에너지 친환경 공동주택 인허가 및 감리
- 에너지 친환경 공동주택 모델 구축

② 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발
- 저에너지 친환경 공동주택 일반가이드라인
- 저에너지 친환경 공동주택 체크리스트형 설계 가이드라인
- 저에너지 친환경 공동주택 각 모델별 가이드라인.

다. 요소기술 통합설계 방안

통합설계기법의 실용화/사업화를 위해 대상모델이 달성해야할 목표에 따라 개발된 요소기술을 실제 건물계획에 통합적용하고 실증적 연구를 통해 피드백 과정을 거친 후 설계 가이드라인을 작성하여 산업계에서 수용할수 있는 실용화 기술을 구축한다.

- 저에너지 친환경 공동주택에 적용 가능한 요소 기술을 추출, 검토하고 국내외 문헌조사 및 사례조사를 통해 통합설계의 기초자료로 활용하며 전문가의 설문조사를 통해 기계설비 설계시 사전에 고려되어야 할 사항을 요소기술별로 규명하여 통합설계를 위한 기초자료 및 요구사항을 제시하도록 하였다.
- 국내 친환경건축물 인증 공동주택의 사례를 조사하여 친환경 요소기술 적용현황, 범위 및 특성 등을 비교분석하였고 요소기술 조합 적용 대안을 제시하도록 하였다.
- 저에너지 친환경 공동주택 구현을 위한 저에너지 설비시스템 통합설계 및 모델 개발을 수행하였다.
- 연구를 통하여 도출된 결과와 통합 모델 설계안의 수정·보완 단계를 통하여 차후 산업계에서 수용이 가능하도록 최적 통합모델 설계가이드라인을 제시하도록 하였다.

라. 외부공간 설계

국내외 저에너지 관련 건축물의 외부환경, 인공지반 녹화관련 기술조사 및 분석을 진행하였고 저에너지 친환경 공동주택구축을 위한 실험주택인 그린홈플러스의 외부공간 설계 및 감리를 진행하였다.
- 외부환경, 인공지반 녹화관련 기술조사 및 분석
- 설계단계의 일반 및 모델별 가이드라인을 작성

(6) 저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축

가. 저에너지 친환경 공동주택 적용성 평가 및 모델 구축

저에너지 친환경 공동주택 요소기술을 통합하여 적용하기위한 그린홈플러스의 시공을 진행하였으며, 이를 통해 저에너지 친환경 공동주택 건설을 위한 시공매뉴얼을 작성하였다.

(7) 저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발

가. 저에너지 친환경 건축물 성능평가도구 개발

① 저에너지 친환경 건축물(공동주택) 성능평가도구의 분석을 통한 문제점 도출 및 개선방향

- 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 조사
- 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 분석
- 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 문제점 및 개선방향

② 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 체계정립

- 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구 기본적 틀
- 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구 체계의 정립

③ 저에너지 친환경 건축의 성능평가를 위한 평가모델 및 데이터베이스의 도출

- 항목별(Energy/CO2, Water, IEQ, Cost) 평가범위 및 평가방법의 설정
- 항목별 표준모델의 표준성능에 대한 설정
- 건축자재의 내재 CO2 배출량에 대한 데이터베이스 구축
- 전생애 경제성 평가를 위한 분석가정 및 기본조건에 대한 데이터베이스 구축

④ 저에너지 친환경 공동주택의 성능평가 프로그램의 개발 및 적용성 평가

- 저에너지 친환경 공동주택의 성능평가 프로그램의 개발
- 샘플 공동주택의 평가

나. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 평가를 위한 모니터링 시스템 구축 연구

본 연구에서는 신축 공동주택에 적용하고자 하는 에너지 절약적이고 친환경적인 요소기술들의 성능평가를 위한 모니터링 기술 개발 및 데이터베이스 구축을 목표로 하며, 본 연구의 연구개발 내용은 다음과 같다

- 데이터 모니터링을 위한 시스템 구축방안 도출
- 모니터링 데이터 구축대상(저에너지 친환경 계획요소) 검토 및 속성 분석
- 모니터링 기법 개발
- 모니터링 시나리오 및 기술/장비 구축
- 성능 데이터 모니터링 시스템과 데이터베이스 시스템 구축

Ⅳ. 연구개발 결과

분류	저에너지 친환경 공동주택 기술개발	연구 성과
통합 연구 개발	저에너지 친환경 공동주택 통합성능평가	- 단계별 에너지 성능 목표를 갖는 저에너지 공동주택의 모델을 계획하고 그 연간 에너지 소비량을 예측하여 제시하였으며 이를 실험주택을 구현하여 실측을 통해 검증 - 실제 시스템 적용시 발생하는 문제점에 대해 실험을 통해서 보완하고 시뮬레이션을 통해 기존 온돌시스템과의 성능을 비- - - 지중열을 이용한 냉난방 시스템 활용 가능성 분석 분석을 통해 지중열에너지 활용 가능성에 대해서 검토 - 건물에서 발생되는 에너지를 절감하기 위해서 축열 미립자를 함유하는 건축자재의 이용기술을 개발하여 실측과 시뮬레이션을 이용하여 축열성능을 통한 에너지 절약성능 및 쾌적성능을 분석
	저에너지 친환경 공동주택 활성화 정책	- 서울시 강동구 저에너지 친환경 공동주택 가이드라인 - 건물의 중장기적인 에너지/온실가스 절감 목표 설정 및 실행을 위해 중장기 로드맵 수립 - 기존 건물의 에너지 효율 대책을 위한 제도 및 정책 마련 - 기술의 선진화를 위한 연구개발 확대 및 보급 정책
외부 환경적 요소 (Site)	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발	- 인공지반 생태적 조성지침 평가요소 도출 및 조성 단계별 매뉴얼 개발 - 핵심요소기술 TRM에서는 경량형 옥상녹화시스템을 주된 기술개발 대상으로 하여 단열, 내풍압, 인공토양, 적용식물, 방수기술, 방근기술이 주된 기술수요 항목으로 제시
	단지 내 종합적 물순환 기술	중수 처리 시스템의 설계 및 중수처리 시스템의 계절별 처리효율 분석을 통해 중수 재사용 처리시스템 개발하였으며 단지 내 종합적인 물순환 기술의 통합시스템 설계 및 유지관리기술 개발
	친환경성능을 고려한 통합 단지 계획	- 단지 외부 열환경에 영향을 미치는 요소를 도출하고 도출된 영향요소를 실제 프로그램 개발에 적용 - 단지 내 온열환경 실측을 통해 도시열섬 완화를 위한 조절인자들이 단지 내 온열환경 형성에 미치는 영향을 정량적으로 평가
건축적 요소 (Building)	가변형 평면 개발	- Open Plan의 계획 요소를 도출 및 계획방향 제시 - 평면분석 프로그램을 개발, 그것을 활용한 데이터베이스 구축으로 공동주택의 단위평면을 유형화 - Pilot Project에 활용할 수 있는 기초자료를 제공

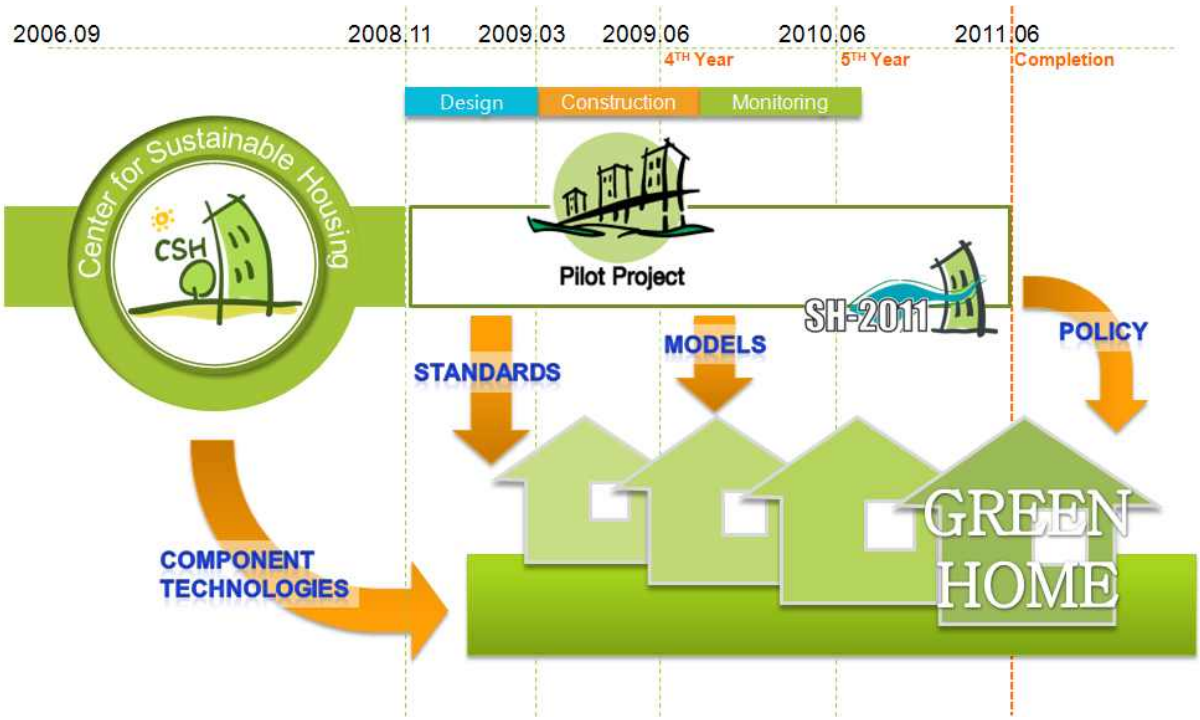
	자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피 시스템	- 개발된 이중외피 시스템의 경우 자연환기 성능 측면에서 개발된 이중창호에 적용된 Parallel-out 창호는 Single-sided ventilation 조건에 기존 push-out 대비 4배가 상승 - 에너지 성능 측면에서는 난방에너지의 경우 34%, 냉방에너지의 경우 44%로 절감 - 외단열 소재 및 시스템에 대한 촉진 노화 내후성 평가 시험 완료 및 보고서 작성 - 외단열 시스템 소재 및 시공 부자재 생산업체 확정 및 생산준비 완료 - 이중창호 특허 2개 특허 신청
	친환경 소재 개발	- 기존 공동주택의 에너지 소비형태 및 재실자 생활 패턴을 분석하여 기초 자료로 활용 - pilot project를 통한 통합 성능 평가 - 하계, 동계 실험을 통하여 냉난방부하를 예측하고 실제 에너지 사용량을 비교 분석함. / 실험데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 보정한 후 연간 냉난방 부하를 예측함.
설비적 요소 (System)	복사 냉난방 시스템 개발	- 퍼지 외기보상 제어기 시제품 제작 - 퍼지 외기보상 제어기의 성능평가(고효율인증 마크 준비 중) - 온돌난방시스템을 위한 퍼지설정간격온도제어에 관한 외기보상제어기 : 퍼지 설정온도 간격 제어에 대한 논문 게재 및 특허 출원
	환기시스템의 개발	- CFD 시뮬레이션을 이용한 하이브리드 환기 방식에 따른 실내 열쾌적성 및 환기 성능예측 - 배기성능 향상을 위한 벤투리 환기캡을 개발하였으며 콜드드래프트 방지를 위한 외기도입구를 개발하였으며 추적가스를 이용한 실간환기량 측정기법을 개발
	공동주택용 지열원 활용 냉난방 기술 개발_지열	- 수평형 타입 지중 열교환 유효도 측정 방법 제시(KD2PRO), - 수직형 타입 지중 열교환 유효도 전자식 측정방법 제시(eTRT) - 최적 제어 시스템 개발 및 특허 출원 - TRNSYS 및 EES를 활용한 기초 시뮬레이션 모델 개발
	공동주택을 위한 재생 에너지 시스템 적용연구 태양열 태양광	[공동주택 발코니형 태양광 발전시스템 디자인 개선] - 공동주택 각 세대를 위한 발코니 설치형 BIPV 실용화 디자인 - 축소모델 제작을 이용한 다양한 기능적 디자인 제시 - 이용자 설문조사를 통한 발코니형 BIPV의 효율적 설치와 이용방법 제시 - 새로운 축소모델 제작과 시뮬레이션을 이용한 디자인 변화를 통한 성능개선

분류	저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발	연 구 성 과
	통합설계	제어네지 친환경 통합설계를 하기 위한 기본적인 자료수집 및 검

저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합 설계	프로세스 개발	토 향후 실제로 적용될 표본 수집 실제 적용 가능성 검토 국내외의 친환경 건물 평가 시스템 기준을 비교분석하여 통합적인 설계방법 도출 국내 공동주택 시정에 맞는 가이드라인 마련 건축물이 완공되고 실질적으로 사용되어지면서 적용된 요소기술들의 기능과 성능 분석하여 공동주택에 가장 적합한 설계가이드라인 보완 저에너지 친환경 건축물을 효과적으로 완성하는 통합 설계팀을 구성하여 건축디자인 프로세스는 프로젝트 착수단계부터 통합 설계팀 간의 의사결정 과정을 통해 최적의 설계안 도출
	통합설계를 위한 평면 개발 연구	- 저에너지 친환경 공동주택 통합 설계를 위한 국내외 사례보고서 작성 저에너지 친환경 공동주택 실험주택 설계도서 저에너지 친환경 공동주택 설계 가이드라인
	요소기술 통합설계 방안	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 적용안 제시 그린홈플러스 에너지 저감 모델별 Pilot project 설계 그린홈플러스 에너지 저감 모델별 Pilot project 시스템 운용 저에너지 친환경 공동주택 시스템 가이드라인 수립
	외부공간 설계	저에너지 친환경공동주택의 외부 공간조성과 인공지반녹화에 대한 설계외 시공을 통해 앞으로 저에너지 친환경적 공동주택에 설계 및 시공시 활용할 수 있는 가이드라인과 기술 및 공법등을 정리 외부공간에서는 자연의 보존, 수목식재, 빗물을 활용한 분산식 빗물관리와 레인가든의 적용을 제시 인공지반녹화에서는 옥상녹화, 벽면녹화, 가로녹화 등을 입체녹화라는 개념 정의 각각의 녹화방법에 대해 구분하여 정리
저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델 구축	저에너지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성 평가	저에너지 친환경공동주택의 에너지저감 모델별 공사비를 산정 요소기술의 경제성을 평가 저에너지 친환경 공동주택을 시공하기 위한 주요 요소기술인 외단열 기술, 고기밀 기술, 열교방지 기술 등의 시공매뉴얼을 작성하였다.
저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술 개발	저에너지 친환경 건축물 성능평가 도구 개발	지속가능한 건축의 성능평가도구를 분석한 결과, 대부분 종합성능평가도구로 개발되는 경향을 보임, 오류를 방지할 수 있는 합리적 성능평가 체계의 정립 및 프로그램 개발 지속가능한 건축의 성능평가 체계를 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈의 세 모듈로 구성하여, 평가방법 및 범위를 설정하고, 결과를 종합하는 방법의 타당성 확보 성능평가 체계를 바탕으로 평가모델을 개발함, 평가 성능의 특성에 따라 각각 환경영향평가방법, 전생애비용평가방법, 개별기준평가모델등을 사용
	저에너지 친환경 공동주택의 요소기술평가를 위한 모니터링 시스템 구축 연구	저에너지 친환경 공동주택에서 사용되는 에너지량을 측정하고, 저에너지 친환경 요소기술의 성능평가에 필요한 물리적 평가요소들을 정량적으로 측정 Pilot project에 적용되어지는 요소기술 모니터링 기법 검토를 토대로 통합된 모니터링 시스템 구축안을 결정 데이터베이스 시스템은 모니터링 시스템에서 계측되어지는 모든 데이터를 체계적으로 장기간 수집되어지므로 안정성과 현재 계획중인 계측 시스템의 확장 및 병경이 쉽도록 확장성을 고려한

		구축방안 설정

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획



1) 활용방안

- 현장적용 방안

요소기술을 통합하여 제어하는 최적화 기술의 경우 통합 제어 프로그램의 개발을 통해 효율적인 시스템 운영이 가능하도록 하며, 경제성 평가와 운영 DB를 제공함으로써 연구 직후 산업체에서 적용할 수 있는 수준의 모델을 제공한다. 또한 요소기술 적용 실험 Data와 통합 적용에서 나타나는 운영 DB을 제공하고 현장에 적용될 요소기술 적용 기술을 확보함으로써 저에너지 친환경 공동주택의 성능을 최적으로 유지할 수 있는 매뉴얼을 개발한다. 본 연구개발 기술은 신축 공동주택뿐만 아니라 기존 주택의 개보수시에도 이용이 가능하다.

- 실용화/산업화 방안

요소기술 개발 부분은 각 기술별 1개 이상의 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반을 조성한다. 개발된 기술은 기술력, 시공성, 경제성 평가를 거쳐 실증 모델로 검증되므로 개발된 공동주택 모델의 상품화와 함께 제품화하여 이를 상용화한다.

- 미래 원천기술 확보

기존의 평가지표의 문제점을 해결할 수 있는 타당성 있는 지표를 개발하여, 산업체와 사용자가 쉽게 건물 성능을 인지할 수 있는 원천기술을 확보하며, 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전도 가능하도록 한다.

2) 기술적 기대효과

- 기술 경쟁력 향상

친환경 건축에 대한 시장수요가 13%의 환경산업 시장규모 성장률과 더불어 높은 비율로 증가하고 있다. 따라서 기술 개발 성과의 실용화 수요가 증가함에 따라 기술개발 요구가 커지고 있는 실정이다. 국내 관련 기술 수준은 주요 선진국에 비해 약 5년 뒤처져 있는 실정이며, 주요기업의 순수 국내기술 보유율은 40%에도 미치지 못하고 있다. 본 연구개발에서 각각의 관련 요소기술을 통합 적용하여 이루어지게 될 관련 기술 전반에 대한 종합적인 연구는 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안으로 기대된다.

- 기술 확산

과제 수행을 통해 축적된 저에너지 친환경 공동주택 관련 요소기술 전반에 대한 방대한 기초 데이터 및 실증 데이터는 관련 산업 전반은 물론, 이후 다양한 관련 기술 개발 연구에서 활용도가 높을 것으로 기대되며, 실증적인 연구를 토대로 각각의 관련 요소기술을 국내 실정에 맞게 개발하도록 함으로써 기업의 해외 기술 의존도 역시 크게 개선할 수 있을 것이다.

3) 사회·경제적 기대효과

- 비용 절감 효과

화석연료 소비량을 감소시킴으로써 기대할 수 있는, 교토의정서에 따른 탄소 배출권 거래 비용 회피 및 친환경적인 주거환경 조성으로 인한 건강비용 지출 회피가 대표적인 비용 절감 효과에 해당한다. 또한 전력 소비가 10%만 감소한다고 예상했을 시에도 5천5백억 원의 경제적 이득을 기대할 수 있으며, 20% 절감의 경우는 1조 1천억원, 30% 절감의 경우는 1조 6천억원으로써, 저에너지 소비형 건물이 경제적 측면에서 큰 영향력을 가질 것으로 보인다.

- 지구 환경적 측면의 국가 전략

국내 온실가스 배출량은 세계 9위, 에너지 소비량은 세계 10위 수준(IEA, 2002년 기준)이며, 1990년 이후 평균적으로 매년 5.1%씩 증가해왔다. 이러한 현재의 에너지 다소비형 개발방식을 그대로 유지하는 경우, 2013년에 기후변화협약에 따라 이산화탄소 감축 할당량을 만족시키기 위해서는 생산량 자체를 줄이거나 타국의 탄소배출권을 구매해야 하는 상황이다. 이는 각종 무역규제와 정책에 의해 발생되는 환경비용과 더불어 국가경쟁력 약화를 초래할 것이다. 이러한 추가 비용 발생을 피하고 수출의 기회를 확대하기 위해서 저에너지 친환경 공동주택 기술개발은 반드시 필요한 국가의 전략으로 그 중요성이 높다.

• 당해 기술의 시장성

향후 지속적인국가발전을 이루기 위해서는 산업 자체를 이산화탄소 저배출형으로 변화시킬 필요가 있으며, 국내 총 이산화탄소 발생량의 42%, 에너지 소비량의 24%, 폐기물 발생량의 30%를 차지하는 건축분야의 친환경적 전환은 필수적이다. 이러한 필요에 의해 저에너지 친환경 기술 시장 규모는 점차 확대되고 있으며 가까운 아시아 시장 잠재력을 고려하면 엄청난 규모라 할 수 있다. 본 연구개발을 통해 큰 비용상승 없이 에너지 사용량 40~55% 절감할 수 있는 주택 모델이 보급되면, 주 에너지원인 석유를 전량 수입하는 국내 실정을 감안할 때, 직접적으로는 원화 유출 방지와 간접적으로는 발전소 추가 건립비용 절감 등의 효과 역시 기대할 수 있다.

• 산업적 효과

저에너지 공동주택 기술개발 연구가 시행됨으로써 기대할 수 있는 기술개발 성과는 부속서 국가에 있는 국내기업의 탄소배출권 구배 비용을 줄이기 위한 대안으로 이용될 수 있을 것이다. 또한 국내 공동주택에 바로 실적용이 가능한 기술통합화 방안을 제시함으로써, 향후 국내주거유형의 47.7%를 차지하는 공동주택을 대상으로 하는 효율향상 사업, 청정연료 보급 및 신재생에너지 발전 등 다양한 사업들을 유치할 수 있는 기회를 제공하는 역할을 할 것이다. 또한 신기술의 실용화에 따른 고용창출 효과로 환경산업의 성장 동력으로서의 역할을 담당할 것으로 판단된다.

S U M M A R Y

Ⅰ. Title

Development of Technologies for Sustainable Housing

Ⅱ. Purpose of the Project

The purpose of this project is to develop the models for sustainable housing applicable to the new cities expected from the regional development plans and a supporting system for continuous research and application to sustainable housing. In order to accomplish the purpose, this project focuses on developing prototypes models verified through a pilot project, developing a supporting program (SH-2011) for sustainable housing, and establishing a Center for Sustainable Housing (CSH). The SH-2011 program is a national program (SH-2011 program) for the promotion of sustainable housing market, including: In response to the international environmental crusade under the United Nations Framework Convention on Climate Change, this study is to develop the Sustainable Housing 2011 Program aimed at reducing green gas emissions in the housings segment by deriving strategic plans.

Section 1 - Integrated Research and Development for Sustainable Housing

(1) Integrated Performance Evaluation for Sustainable Housing

(2) Activation Policy for Sustainable Housing

As a measure to solve environmental and energy problems, it is necessary to make an effort for the reduction of energy consumption in buildings.

Current, housing energy consumption accounts for about 53% of all building energy consumption in Korea, and rate of apartments is on the raise. So. providing suitable low-energy residential housing in Korea.

Before application policy, verification the effect of the integrated technology of each element on the four models.

Section 2 - Building Components for Sustainable Housing

: Development and Verification of Sustainable Building Components

(1) Site : The External Environmental Projects for Sustainable Housing

1) Development of ecological creation guidelines of artificial ground greening

structure and greening technology developed, when constructing existing collective residential development, there have been increased cases of green creation

from artificial ground rather than natural ground and while relevant technologies have been constantly developed and commercialized, technically standardized guidelines were unsatisfactory

2) Development of technology of integrated water cycle inside the complex

It aims to develop technology of integrated water cycle inside the complex especially among element technologies of the sustainable housing, to apply result to housing model, and to derive design and management plan of rain water facilities as water management method.

3) Plan for integrating residential complex in consideration of performance

The purpose of this study is to develop the simulator that can be possible to evaluate the outdoor thermal environment and pedestrian thermal comfort. In this study, a new method which is coupled with convective heat transfer simulation and radiative heat transfer simulation will be proposed

(2) Building : The Architectural Elements for Sustainable Housing

1) Flexibility in Floor Plan & Partition Wall System

The purpose of this study was to analyze the flexible system in a typological way that develops and promotes the carious methods of flexible system in apartment buildings.

2) Intelligent Double Window System and External Insulation System

we should pay attention to design building envelope which is the boundary between external and internal space because it is the 1st barrier against severe outdoor environment and it has great influence to save energy in the building and to maintain the comfortable indoor environment.

3) Ecological Friendly Materials for Sustainable Housing

Predicting and minimizing the Sick House Syndrome and Sick Building Syndrome in residential buildings.

Improve Indoor air quality make use of eco-friendly materials such as mineral paints and functional gypsub board

(3) System : Architectural Equipments System for Sustainable Housing

1) Development of the radiant heating and cooling system

As a measure to solve environmental and energy problems, it is necessary to make an effort for the reduction of heating and cooling energy consumption in buildings.

Through the development and application of the radiant cooling system based on

the local climate and characteristics of apartment houses, we can reduce the cooling energy consumption of apartment houses as well as improve the comfort of residents.

2) Hybrid Ventilation System

Ventilation system has to satisfy indoor air quality and reduce energy consumption in sustainable house. In this sense, hybrid ventilation system, combined natural ventilation and mechanic ventilation, can be good method. But this method is provided that solve problems, such as dew condensation, PMV and pressure drop, to apply in Korea climate.

It is necessary to estimate appropriately performance of system for effective ventilation system. Now, estimation method limit to estimate performance of ventilation unit.

3) Ground Source Heating and Cooling Technology Development for a Multi-residential Building

Ground Source Heating and Cooling Technology for a multi-residential building has been developed. System Integration and System Optimization(SISO) for a Site, Building has been proposed and explained to design the GSHP(Ground Source Heat Pump) system in a more integrated way and optimized way by considering the site geology, TRT(Thermal Response Test) data and building load pattern

4) Application of Photovoltaic Panel and Solar Thermal System in Apartment Buildings

This is the study, which is thermal energy and electronic energy saving methods by using the thermal and electronic solar energy in apartment building. The purpose of this study is diminishing the total energy consume in residential apartment building by using the solar energy systems.

Solar thermal system and photovoltaic system both are similar in using the sun for energy source, but photovoltaic system can be used in all over the year but the usage period of solar thermal water system is concentrated in winter. And also the management methods of each system are not same. In case of solar thermal system, the problem of overheating in summer can be happened. But in case of photovoltaic system, shading problem or installing azimuth can be happened. These are difference in each system. And each system may have collusion problem in size of installing area extent or position. As the using density of apartment building is very high, securing the available solar energy space is difficult. Hence, there need to study for method of applying the solar system and suggestion of suitable system to apartment building.

Ⅲ. Contents and Scope

Section 1 – Integrated Research and Development for Sustainable Housing

(1) Integrated Performance Evaluation for Sustainable Housing

- Analysis of energy consumptions of the existing residential housing.
  This project indicated that it is important to analyze energy consumptions of the standard residential housing and analysis of schedule through the life pattern of occupants.
- Integrated performance evaluation through a pilot project
  - Integrated performance evaluation through the performance monitoring of a pilot project.
  - Predict annual energy consumptions and comparative assessment for each model through Energy simulation.
- Performance verification of building materials with PCMs
  The use of phase change materials (PCMs) in building elements with the purpose of increasing the thermal mass was extensively investigated both theoretically and experimentally.

(2) Activation Policy for Sustainable Housing

- Dissemination of Guideline for sustainable housing.
- Proposal for extended political road map related to building sector.

Section 2 – Building Components for Sustainable Housing
: Development and Verification of Sustainable Building Components

(1) Site : The External Environmental Projects for Sustainable Housing

Site planning for multi-family house is more important than that for single-family house in terms of sustainability and micro-climate control, which will be considered in this project by developing component technologies such as innovative ecological ground greening system, water circulation system, and integrated site planing.

1) Development of ecological creation guidelines of artificial ground greening

Systematically arranged and manualized evaluation criteria that fall under creation guidelines founded on design and construction and also the entire process of artificial ground greening creation for the development of evaluation criteria for artificial ground greening ecological creation

2) Development of technology of integrated water cycle inside the complex

Pilotplant monitoring and finding optimum factor and finding mass balance through the

analysing water quantity and quality and installation pilot plant at Songdo and motoring and Songdo pilot plant monitoring and finding optimum factor

3) Plan for integrating residential complex in consideration of performance

Field measurement for estimating outdoor thermal environment and a questionnaire survey with simultaneous measurement around the subject were conducted.

(2) Building : The Architectural Elements for Sustainable Housing

Building has an important role as a shelter in maintaining indoor thermal comfort against various outside weather conditions, and has a close relationship to occupant's health, comfort, and satisfaction to their living environment. Building components should also be considered to reduce environment loads during the entire building life cycle including components production, transportation, construction, and deposal.The development of sustainable built environment, this project plans to develop sustainable building components, including: open plan and movable wall development, intelligent building envelope system integrated with passive heating, cooling, and lighting as well as eco-friendly building materials.

1) Flexibility in Floor Plan & Partition Wall System

The flexible system in this typological analysis was classified into two categories: 'Elements of Flexibility' and 'Variation'

2) Intelligent Double Window System and External Insulation System

Developed the double-window system to improve the indoor environment quality and to reduce heating and cooling load in multi-residential buildings through the project 'Development of Technologies for Sustainable Housing'

4) Ecological Friendly Materials for Sustainable Housing

Development of eco-friedly and functional building materials

Evaluating and analyzing mineral paints considering indoor air pollutants

Performance evaluation of green building materials

Development of eco-friendly finish materials enabling adsorption and natural dissolution

(3) System : Architectural Equipments System for Sustainable Housing

Indoor thermal environment that is out of control range by building itself needs to be controlled by mechanical systems. For developing energy efficient system, this projet focuses on design and application of building envelope system integrated with heating, cooling, and ventilation. Application of renewable energy will also studied to significantly reduce fossil fuels.

1) Development of the radiant heating and cooling system

Existing technologies analysis, load analysis and deduction of the capacity estimation method and development of a multi-zone system composition strategy and coupled operation technology.

Development of design technology and field application and Result analysis of field application and system supplementation.

System performance evaluation and system supplementation through a pilot project.

System performance evaluation and system supplementation through the performance monitoring of a pilot project

Deduction / supplementation of system construction and operation guidelines through the monitoring of a pilot project

2) Hybrid Ventilation System

Development of technology for fan energy reduction.

Development of technology for PMV decline prevention.

Suggestion of estimation method for performance of ventilation system.

Development of the ventilation filter with a high collection efficiency and a low pressure loss.

Mock-up test and simulation for the developed ventilation filter.

Publication of manual for ventilation and filter system.

3) Ground Source Heating and Cooling Technology Development for a Multi-residential Building

The concept of initial commissioning technology has been introduced and developed from 10 kWt KIER test cell for this BIGSHP (Building Integrated Ground Source Heat Pump) system. The new concept of hybrid with rain water storage system so called as RWHP(Rain Water Heat Pump) system has developed and patented for this project.

4) Application of Photovoltaic Panel and Solar Thermal System in Apartment Buildings

At first we evaluate the total available space scope for adaptable solar systems (= solar accessibility evaluation) by building arrangement, and azimuth. The second we evaluate the solar accessible ratio by building array shading. And last, we deduct the real thermal and electronic energy yield, and division energy ratio of renewable energy among the total energy using when the solar system was applied at the apartment buildings in various building arrangement cases.

Apartment district can be classified into 12 styles which are classified into 4 styles by building array, and also classified into 3 styles by azimuth.

Section 3. The key technologies of integrated design for Low-Energy and Sustainable Housing

A. Process development of integrated design

① Example research of domestic and international low-energy & eco-friendly co-housing design method

- Current technology development condition of domestic and international eco-friendly co-housing projects
- publishing domestic and international example book.

② Developing low-energy & eco-friendly co-housing design guide line.

- Developing low-energy & eco-friendly co-housing design guide line related with key technology.
- Presenting economic and commercial potential of low-energy & eco-friendly co-housing model applied with integrated design method.

B. Plan development for integrated design

Models for Sustainable Housing & Pilot Project : Establishment of Objective for Sustainable Housing

: Development of Prototype Models Verified through a pilot Project

Objectives for sustainable Housing are first established, and component technologies are then be integrated for developing prototype models, which will be evaluated through a pilot project in terms of sustainability, energy/co2, comfort/health, cost/value.

- Construction of Pilot Project
- Guideline for Sustainable Housing

C. Integrated design of the key technologies

Practical application and commercialization of integrated design techniques meant to achieve goals for the target model element based on technology developed for real buildings plans and empirical research through the integrated feedback process to create design guidelines, after delegates from the industry practical application Technology will be built.

- Applicable to the low-energy eco-friendly co-housing component extraction techniques, to review international literature survey and case study data as a basis for the integrated design and hardware through a survey of experts in the design should be considered in advance The integration of the elements identified by technology, basic materials and requirements for the

design were to be presented.

- The national green building certification by the House of Commons to investigate the case of the Application of eco-friendly element technology, the scope and characteristics were compared and combined factors technology was applied to propose alternatives.

- The implementation of the low-energy eco-friendly co-housing facility for low energy design and model development, system integration was performed.

- The deduced results 1-4 year engineering and modification of integration models. complemented by steps to allow for future capacity in the industry guidelines suggest that optimal integration model was designed.

D. Design of exterior space

Development of Sustainable Housing for Korean residential building. Suggest the guide line for Integrated Environment-friendly Architectural Design

- Analysis of domestic and overseas's green building for energy reduction
- Publication of manual for rainwater management system

2) Evaluation of Applicability and Model Construction for Low-Energy and Sustainable Housing

Model Construction and application of component technologies for sustainable housing

- Construction of Pilot Project
- Construction manuals for sustainable housing

3) The Performance Assessment and Monitoring of Low-Energy and Sustainable Housing

① Problems and Improvement Directions of the Assessment Tool Analysis

- Review of Assessment Tools
- Analysis of Assessment Tools
- Results

② Establishment of the Framework for the Assessment Tool

- Investigation of Basic Conditions for the Assessment Tool
- Establishment of the Framework for the Assessment Tool

③ Construction of the Assessment Model and Database for the Assessment Program

- Determining the Scope of Criteria and Assessment Method
- Constructing the Standard Model and Database

④ Development of the Assessment Program

- Development of the Algorithm and Software
- Evaluation of the Sample Buildings

Ⅳ. Result of the Project

Classification	Technologies for Sustainable Housing	Project Outcome
Integrated Research and Development	Integrated Performance Evaluation	Analysis of energy consumptions and life pattern of occupants and then, use a preliminary data Integrated performance evaluation through a pilot project Performance verification through measurement : Pre-test to identify constructed conditions through window performance, infiltration and performance of mechanical ventilation Cooling & Heating performance test : Predict cooling & heating load and analysis cooling & heating energy through experiments in summer & winter / predict annual load after simulation verification with the experimental data Annual total energy consumptions Predict annual energy consumptions and renewable energy requirements though energy simulation
	Activation Policy for Sustainable Housing	Completion of sustainable housing Guidline for Gangdong-gu, Seoul City. Establishing extended road map about green gas reduction objective. Establishing plan and policy for energy efficient existing building Expansion of research and development and regulation for high technology of architect
The External Environmental Projects for Sustainable Housing <SITE>	Development of ecological creation guidelines of artificial ground greening	Evaluation elements according to applicative types consist of xerophyte biotope I(extensive) evaluation element(drainage system, vegetation foundation, applicative vegetation), xerophyte biotope II(intensive) evaluation element(load, vegetation patter, vegetation foundation, drainage system), hygrophyte biotope evaluation element(wetland use, wetland construction, wetland management In the artificial ground greening ecological creation, evaluation guidelines per artificial ground greening type(xerophyte biotope I, II, hygrophyte biotope) were proposed according to construction step
	Development of	Development of water and mass balance model in building and

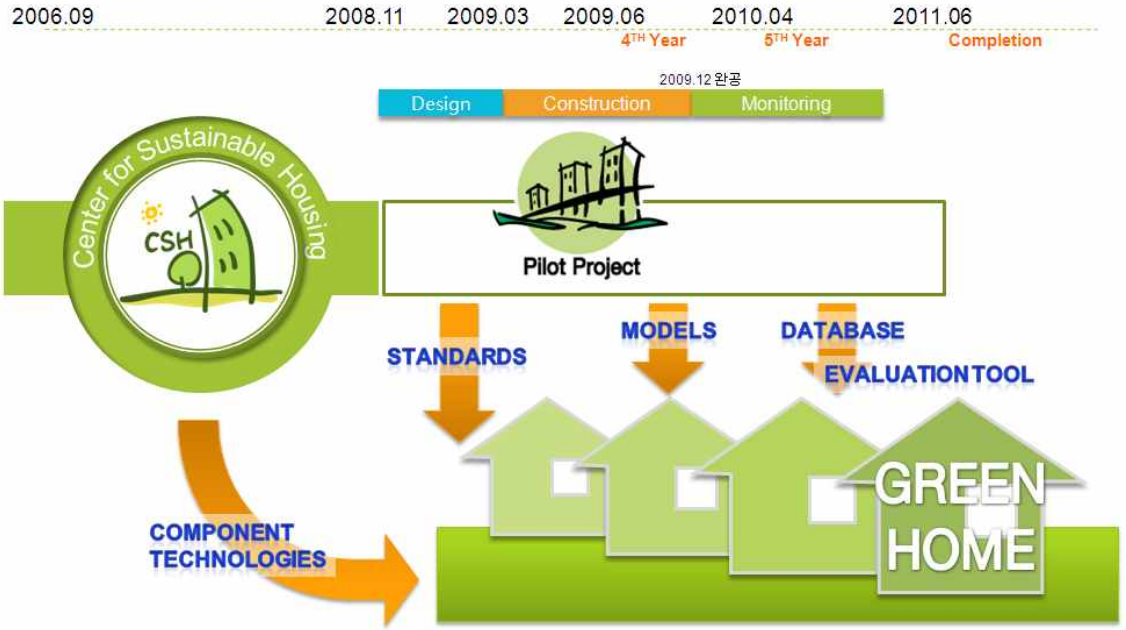
	technology of integrated water cycle inside the complex	quantification Development of graywater treatment system Application plan of web-based IT technology to graywater treatment system facilities for control and monitoring Integrated system design and maintenance technology
	3) Plan for integrating residential complex in consideration of performance	In this study, a new method which is coupled with convective heat transfer simulation and radiative heat transfer simulation will be proposed. And the coupled simulation method will be described through case study for outdoor thermal environment. From the results of simulation, the coupled simulation proposed in this study can assess the outdoor thermal environment with accuracy. and, the effect of the artificial ground on building thermal environment will be disscussed by simulation.
Architectural Elements for Sustainable Housing (Building)	Flexibility in Floor Plan & Partition Wall System	Plans to provide direction and planning factors derived of open Development of plane analysis program and database construction. Provinding basic data of pilot project for practical use.
	Intelligent Double Window System and External Insulation System	Relation between the interior/ exterior environmental finishing and exterior heat environment through measurement and simulation Analysis on the relation between the interior/ exterior environmental finishing and the exterior heat environment which is predicted through measurement and simulation. Design and construction of the integrated envelop system Modification of the double window system and application of it in pilot project. Suggestion of need for standards or test method possible to evaluate objectively performance of functional induction of method to manage indoor environment through control of construction materials
	Ecological Friendly Materials for Sustainable Housing	Inflection of basic data in residential buildings by analyzing energy consumptions patterns of apartment buildings and lifestyle. Integrating performance evaluation through pilot project Prediction of heating and cooling load through Field measurements in summer and winter A forecast of annual heating and cooling load after validation between field measurements and simulation.
Architectural Equipments System for Sustainable Housing (System)	Development of the radiant heating and cooling system	System performance evaluation and verification through a field experiment Analyzing residents' control behavior through a field experiment → reflected in the operation guidelines Measurement of multi-zone / deduction of a control point for radiant cooling system operation Deduction of construction guidelines for the radiant floor cooling system through construction and the monitoring of a pilot project System performance evaluation and system supplementation through the performance monitoring of a pilot project Deduction of system operation guidelines for the designer and operator of the radiant floor cooling system

	Hybrid Ventilation System	Development of venturi vent cap for improved exhaust. Development of vent cap for prevention of cold draft. Application of method to estimate ventilated rate between zone by multi tracer gas experiment. Development of an adapted mass balance equation and a fan power model for predicting the number concentration of particles indoors and energy consumption in a residential building. Development of a ventilation filter unit with low energy consumption: Filmmer filter - Collection efficiency: 40~60% at 0.5㎛, Pressure drop: lower than 30Pa at operating condition Evaluation of IAQ and ventilation energy consumption in Greenhome plus.
	Ground Source Heating and Cooling Technology Development for a Multi-residential Building	Improving the intial and the operational cost over the conventional system Optimal design and control technology have been developed and under the process of the patent to provide its original design content by verifying its performance at the initial stage and the continuous stage to improve the overall economics - the intial and the operational performances In Song-do, there is a energy pile geothermal heat pump system utilizing PHC(Pretensioned spun High strength Concrete) suitable for apartment. This technology system focused on reducing initial cost and energy efficiency. In summer and winter season, performance evaluation of system was done. The results indicated that energy pile system showed stable performance and efficiency. In addition, economic analysis was performed to compare with U-tube geothermal system. As a result, 17% initial cost was reduced.
	Application of Photovoltaic Panel and Solar Thermal System in Apartment Buildings	Improvement of design of photovoltaic system. Practical design of building integrated photovoltaic system for apartment buildings. Estimation of system scope and system type for solar collecting style The studied building integrated systems are developed to the patent. Estimation of hot water using load per year for basic system scope of vacuumed pipe solar thermal system
The key technologies of integrated design for Low-Energy and Sustainable Housing	Process development of integrated design	- basic data searching for low-energy & eco-friendly integrated design and secondly - obtaining future applicable examples - comparing evaluation of standards for domestic & international eco-friendly building - research for guideline of low-energy & eco-friendly co-housing corresponding current domestic condition has been presented and executed - it is to complemented with further analysis of key technology at the after use stage

		- integrated design has been executed for ultimate eco-friendly construction projects to overcome existing design process in domestic & international fields.
	Plan development for integrated design	- Sustainable Housing Integrated Design - Case study report of sustainable housing - Pilot Project documents
	Integrated design of the key technologies	- Application of element technologies for sustainable apartment housing - Pilot project documents of Green-Home - System operation of Green-Home - Establishment guideline of sustainable housing
	Design of exterior space	- Development of Sustainable housing; study Guide lines and Technologies through pilot project 'Green Home Plus in Song-Do' - Exterior space: deal on preservation of nature, planting, rainwater management and rain garden - Artificial land: deal on green roof, wall and street
Evaluation of Applicability and Model Construction for Low-Energy and Sustainable Housing	Evaluation of Applicability and Model Construction	- Sustainable Housing Construction - Case study report of sustainable housing - Pilot Project documents - Construction manuals
The Performance Assessment and Monitoring of Low-Energy and Sustainable Housing	The Performance Assessment of Low-Energy and Sustainable Housing	- the development of a logical system of performance assessment framework is needed in order to avoid continuing trial and error. - less-relevant criteria can be excluded, the method and the scope of assessment are more exactly to be determined, and various aspects of performances are aggregated.
	Monitoring of Low-Energy and Sustainable Housing	- the creation, migration and flow of actual data for each model was determined - The assessment methods of performance include, depending on the characteristics of sustainability, environmental impact assessment, life-cycle cos t analysis, procedure assessment, etc. - The algorithm of systematic model and assessment program for low energy and sustainable building were established by synthesizing the data generating

		methods within each module and the flow of data between modules.

Ⅴ. Application of the Outcomes from the Strategic Plans



To cope with the United Nations Framework Convention on Climate Change; and to secure international competitiveness about eco-friendliness;

To cope with the United Nations Framework Convention on Climate Change by creating the effects of reducing the CO2 emissions

To encourage the practical use of element technologies;

To foster experts and enhance the people's awareness about sustainability

1) The key technologies of integrated design for Low-Energy and Sustainable Housing

This research has been executed for the application of integrated design and design guideline for low-energy & eco-friendly co-housing.

- Expanding tendency of low-energy & eco-friendly co-housing.
- Flexible correspondence to expanding low-energy & eco-friendly co-housing market based on SH-standard.
- Effective feedback of trial and error and high-cost & low-effective housing market at an earlier stage.
- Rapid and wide range supply of low-energy & eco-friendly co-housing.

- Design documents and guideline for experimental housing presented by low energy sustainable multi-family housing model development can be an important reference for those who intended to design a low energy sustainable housing as of architectural design firm.

- It is highly anticipated to have energy saving and reduction of CO2 emission as well as construction cost reduction by supplying low energy sustainable multi-family housing.

- Design documents and guideline for experimental housing presented by low energy sustainable multi-family housing model development can be an important reference for those who intended to design a low energy sustainable housing as of architectural design firm.

- It is highly anticipated to have energy saving and reduction of CO2 emission as well as construction cost reduction by supplying low energy sustainable multi-family housing.

2) Evaluation of Applicability and Model Construction for Low-Energy and Sustainable Housing

- Greenhomeplus and construction manuals for experimental housing presented by low energy sustainable multi-family housing model development can be an important reference for those who intended to build a low energy sustainable housing.
- It is highly anticipated to have energy saving and reduction of CO2 emission as well as construction cost reduction by supplying low energy sustainable multi-family housing.

3) The Performance Assessment and Monitoring of Low-Energy and Sustainable Housing

- The Systematic Model is proposed through the study in the Framework of the Building Assessment Tool

- A computer program based on this systematic model will be able to provide credibility and applicability of the assessment.

- The Low Energy and Sustainable Building Assessment Tool will enhance the

decision making capability of the tool.

- The Low Energy and Sustainable Building Assessment Tool will contribute to increase the the dissemination of low energy and sustainable buildings.

목 차

제 출 문 ····· 1
보고서 요약서 ····· 2
요 약 문 ····· 3
목 차 ····· 33

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 40
제 1 절 연구개발의 목적 ····· 40
제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위 ····· 42

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 47
제 1 절 국외 관련분야에 대한 기술개발현황 ····· 47
제 2 절 국내 관련분야에 대한 기술개발현황 ····· 66

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 89
제 1 절 저에너지 친환경 공동주택 통합연구개발 ····· 89
1.저에너지 친환경 공동주택 통합성능평가 ····· 89
가. 통합성능평가 ····· 89
나. 모세유관 바닥복사 냉난방 시스템의 성능평가 ····· 100
다. 상변화물질을 적용한 건축자재의 축열 성능 평가 ····· 105
2. 저에너지 친환경 공동주택 활성화 정책연구 ····· 110
가. 그린홈 가이드라인 및 건물부문 중장기로드맵 ····· 110
나. 친환경 성능향상을 위한 제도개선 및 기존주택의 기존건물 그린홈 활성화 방안 연구 ····· 115
3. 그린홈플러스(실험주택) 교육 및 홍보 ····· 120

제 2 절 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경적 요소 ····· 127
1. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 ····· 127
가. 인공지반녹화의 생태적 조성지침 개발 ····· 127
나. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 ····· 131

2. 단지 내 종합적 물순환 기술 ····· 139
가. 단지 내 종합적 물순환 기술 개발 (중수) ····· 139
나. 단지 내 종합적 물순환 기술 개발 (우수) ····· 141
3. 친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 ····· 143
가. 공동주택단지의 열환경 평가 프로그램개발 ····· 143
나. 공동주택 단지환경이 각 세대에 미치는 영향도 정략적 평가 ···· 145
다. 열섬현상 저감을 위한 단지 계획 매뉴얼 개발 ····· 147

제 3 절 저에너지 친환경 공동주택의 건축적 요소 ····· 155
1. 가변형 평면개발 ····· 155
가. Open Plan 개발연구 ····· 155
나. 친환경 공동주택의 가변형 벽체 시스템 개발 ····· 157
2. 자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피 시스템 ····· 160
가. 지능형 이중창호 시스템 개발 ····· 160
나. 외단열 시스템 개발 ····· 167
3. 친환경 소재개발 ····· 190
가. 친환경 소재개발 ····· 190

제 4 절 저에너지 친환경 공동주택의 설비적 요소 ····· 192
1. 복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 ····· 192
가. 복사냉방 시스템 개발 ····· 192
나. 냉난방 요소 시스템 제어 및 기술 개발 ····· 198
2. 저에너지 친환경 공동주택의 환기 시스템의 개발 ····· 201
가. 환기 시스템의 개발 ····· 201
나. 환기필터 개발 ····· 207
다. 하이브리드환기 시스템 개발 ····· 212

3. 공동주택을 위한 재생에너지시스템 적용 연구 ····· 215
가. 공동주택용 지열원 활용 냉난방 기술개발 ····· 215
나. 공동주택의 태양광 태양열 시스템 적용 ····· 227

제 5 절 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발 ····· 232

1. 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계 ····· 232
가. 통합설계 프로세스개발 ····· 232
나. 통합설계를 위한 평면 개발 연구 ····· 237
다. 요소기술 통합설계 방안 ····· 244
라. 외부공간 설계 ····· 251
2. 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성평가 ····· 256
가. 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성 평가 ····· 256
3. 저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 ····· 284
가. 저에너지 친환경 건축물 성능평가도구 개발 ····· 284
나. 저에너지 친환경 공동주택 외부환경 평가기술 개발 ····· 288
다. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 평가를 위한 모니터링 시스템 구축 연구 ····· 292

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 295
제 1 절 연구개발목표 달성도 ····· 295
1. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발 ····· 295
2. 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발 ····· 306
제 2 절 관련분야의 기술발전에의 기여도 ····· 311
1. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발 ····· 311
2. 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발 ····· 318

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 320
제 1 절 활용계획 ····· 320
제 2 절 저에너지 친환경 공동주택 연구단 향후 운영 계획 ····· 334

제 6 장 국외공동연구를 통한 해외과학기술정보 ····· 340
제 1 절 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발 ····· 340
제 2 절 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발 ····· 395

제 7 장 참고문헌 ····· 418

CONTENTS

Report of Submission ····· 1
Summary of Report ····· 2
Summary ····· 3
Contents ····· 33

Chapter 1. Introduction ····· 40
1.1 Final Purpose of the Project ····· 40
1.2 Justification and Scope of the Research and Development ····· 42

Chapter 2. Status of Related Technologies ····· 47
2.1 Foreign Status of Related Technologies ····· 47
2.2 Domestic Status of Related Technologies ····· 66

Chapter 3. Result of the Project ····· 89
3.1 The Integrated Research and Development of Sustainable Housing ····· 89
3.1.1. Integrated Performance Assessment of Sustainable Housing ····· 89
a.. Integrated Performance Assessment ····· 89
b.. Performance Assessment of Radiant Cooling and Heating System Using a Capillary Tube ····· 100
c.. Storage Heat Performance Assessment of Materials with PCM ··· 105
3.1.2. Research Policy for Revitalization of Sustainable Housing ····· 110
a.. Guideline and Mid-and Long term Road Map for Green Home ·· 110
b.. System Improvement and Revitalization Policy of Green Home ··· 115
3.1.3. Public Relations of The Green Home Plus ····· 120

3.2 The External Environmental Projects for Sustainable Housing : Site ····· 127
3.2.1 Development of Ecological Creation Guidelines of Artificial Ground Greening ····· 127
a. Development of Ecological Improvements of Artificial Ground Greening

..... 127
b. Development of Ecological Creation Guidelines of Artificial Ground Greening 131
3.2.2 Development of Technology of Integrated Water Cycle Inside the Complex 139
a. Development of Graywater Treatment System 139
b. Development of Rainwater Treatment System 141

3.2.3. Plan for integrating residential complex in consideration of performance 143
a. Development of Evaluation Program of Thermal Environment 143
b. Evaluation of Effect of Apartment Housing Complex 145
c. Development of Manual for Heat-Island Effect 147

3.3 Architectural Elements for Sustainable Housing : Building 155
3.3.1. Development of Flexibility in Floor Plan & Partition Wall 155
a. Development of Open Plan 155
b. Development of Flexibility in Partition Wall for Housing 157
3.3.2. Intelligent Double Window System & External Insulation System 160
a. Development of Double Window System 160
b. Development of External Insulation System 167
3.3.3. Development of Eco-Friendly Materials 190
a. Development of Eco-Friendly Materials 190

3.4 Equipments System for Sustainable Housing : System 192
3.4.1. Development of the Radiant Heating & Cooling System and Control System 192
a. Development of Radiant Cooling System 192
b. Development of Technology and Control of Elements 198
3.4.2. Development of Ventilation System 201
a. Development of Ventilation System 201

b. Development of Ventilation Filter ····· 207
c. Development of Hybrid Ventilation System ····· 212
3.4.3. A Study of Application of Renewable Energy for Apartment Housing ·····
····· 215
a. Development of Ground Source Heating and Cooling Technology
····· 215
b. Development of Application of Photovoltaic Panel and Solar Thermal System ····· 227

3.5 Development of Model for Low-Energy and Sustainable Housing ····· 232
3.5.1. The Element Technologies of Integrated design for Sustainable Housing 232
a. Process Development of Integrated Design ····· 232
b. Plan Development for Integrated Design ····· 237
c. Integrated Design of the Key Technologies ····· 244
d. Design of exterior space ····· 251
3.5.2. The Evaluation of Applicability and Model Construction for Sustainable Housing ··
····· 256
a. The Evaluation of Applicability and Model Construction ····· 256
3.5.3. The Performance Assessment and Monitoring of Sustainable Housing ··
····· 284
a. Development of the Performance Assessment ····· 284
b. Development of the Exterior Space Assessment ····· 288
c. Research of Monitoring System for the Key Technologies Assessment · 292

Chapter 4. Attainment and Contribution of the Research and Development
····· 295
4.1 Attainment of the Research and Development for Sustainable Housing ···· 295
4.1.1. Development of Element Technologies for Low-Energy and Sustainable Housing
····· 295
4.1..2. Development of Model for Low-Energy and Sustainable Housing ····· 306
4.2 Contribution of the Research and Development for Sustainable Housing ·· 311
4.2.1. Development of Element Technologies for Low-Energy and Sustainable Housing

..... 311
4.2.2. Development of Model for Low-Energy and Sustainable Housing 318

Chapter 5. Application of the Research Outcome 320
5.1 Application of the Research Outcome 320
5.2 Henceforward Operation Plan of the Research Organization for Sustainable Housing
..... 334

Chapter 6. Foreign Science Technologh Information through Foreign Join Research ·
..... 340
5.1 Development of Element Technologies for Low-Energy and Sustainable Housing · 340
5.2 Development of Model for Low-Energy and Sustainable Housing 395

Chapter 7. References 418

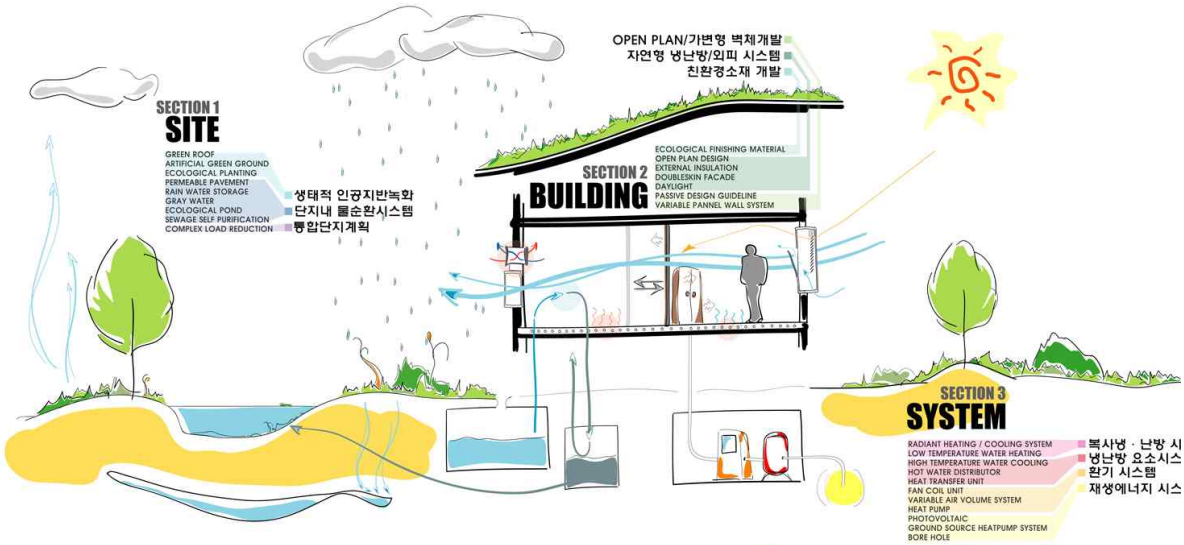
제 1장. 연구개발과제의 개요

제 1절. 연구개발의 목적

1. 저에너지 친환경 공동주택 모델 개발 (40, 60, 80, 100% 저감 모델 개발)

가. 기존 공동주택의 에너지 소비량을 40~55% 저감하는 요소기술의 개발 및 상용화

외부 환경적 요소(SITE), 건축적 요소(BUILDING), 설비적 요소(SYSTEM)의 저에너지 친환경 요소기술을 개발하고 이를 통합적으로 적용하여 에너지 소비량을 감소시키고 친환경 성능을 향상시킨다. 개발된 요소기술들은 저에너지 친환경 산업의 구성재로서 상용화 된다.



나. 요소기술 통합 설계 기법 및 저에너지 친환경 공동주택 설계 Guideline 개발

개발된 요소기술을 공동주택 모델에 적용하기 위한 건축, 설비, 조경 설계 기법을 정립하고 저에너지 친환경 공동주택의 보급 · 확산을 위한 설계 Guideline을 작성한다.

다. 저에너지 친환경 공동주택 Prototype 설계

연구 과제 목표를 달성하기 위한 요소기술 조합을 구성하고 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 거쳐 Prototype 모델의 설계안을 작성한다.

라. Prototype 모델의 시공/경제성 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 상품개발

Prototype의 시공 및 경제성 평가를 통해 저에너지 친환경 공동주택 상품으로 개발하고 시공 매뉴얼 및 운영 매뉴얼을 작성한다.

마. 통합 모델의 성능 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 성능 평가 기법 개발

통합 모델의 성능 모니터링 결과를 분석하여 성능 요인을 도출하고 성능 평가 프로그램의 개발을 통해 공동주택의 에너지/친환경 성능 평가 · 예측 기법을 개발한다.

바. 저에너지 친환경 공동주택 지원정책 중장기 마스터플랜 작성

저에너지 친환경 공동주택의 지속적인 요소기술 개발과 주택 상품의 보급, 건설산업 해외시장 진출을 지원하기 위한 정책을 수행하기 위한 중장기 마스터플랜과 액션 플랜을 작성한다.

사. 저에너지 친환경 공동주택에 대한 교육・홍보를 통한 국민의식 제고

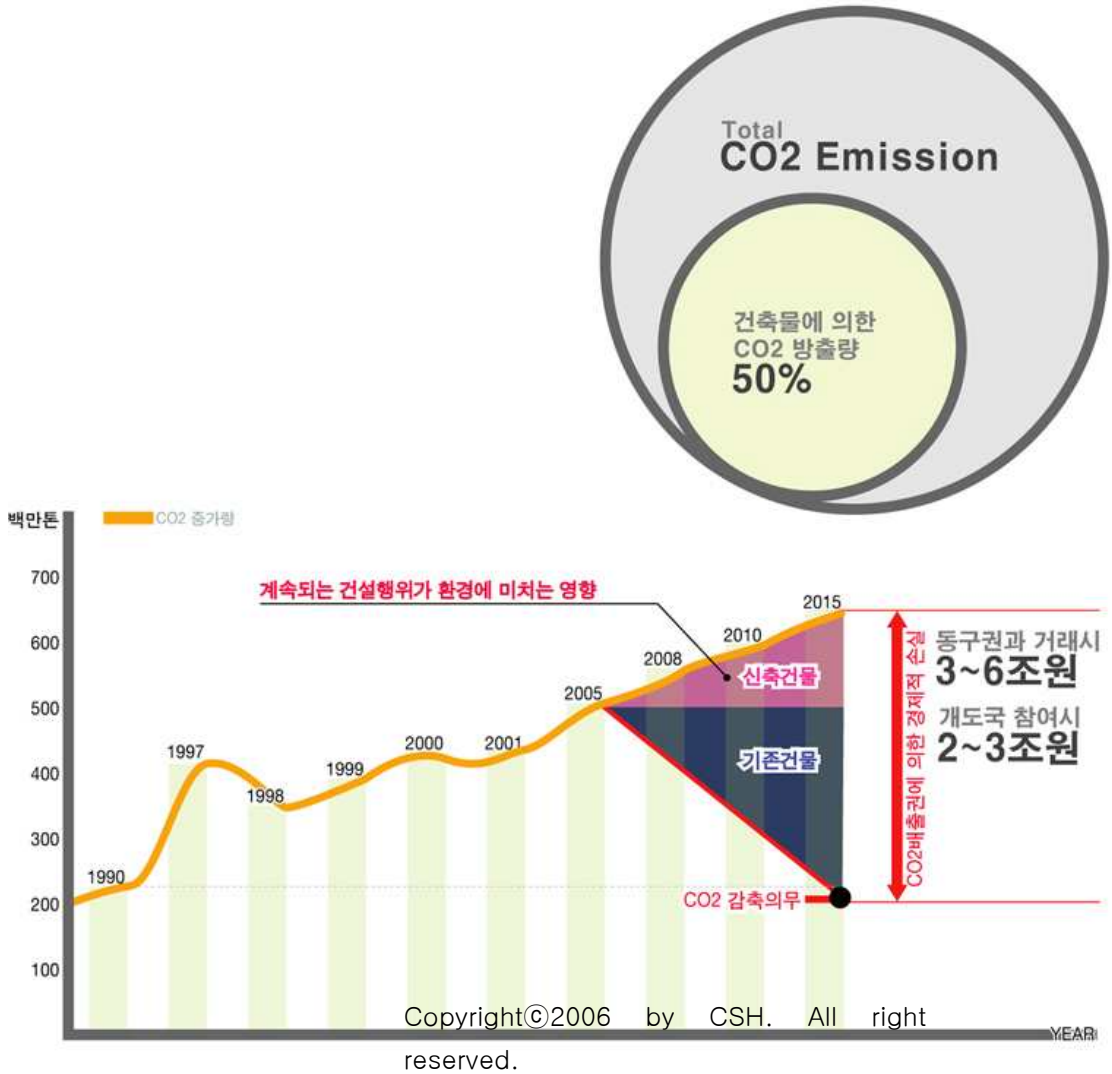
저에너지 친환경 공동주택의 보급하고 확대하기 위해 교육・홍보 활동으로 에너지 및 친환경에 대한 국민의식을 제고하고 지속적인 수요를 창출한다.

아. 온실가스 감축을 위한 범 국가차원의 정책 프로그램을 개발

종래의 기술 개발 위주의 정책에서 저에너지/친환경 시장의 육성 및 관련 제품, 주택의 보급 촉진을 위한 정책을 제시하고, 이를 통하여 선진국 수준의 합리적이고 효율적인 저에너지/친환경 건축시장의 육성에 기여한다.

제 2절. 연구개발의 필요성

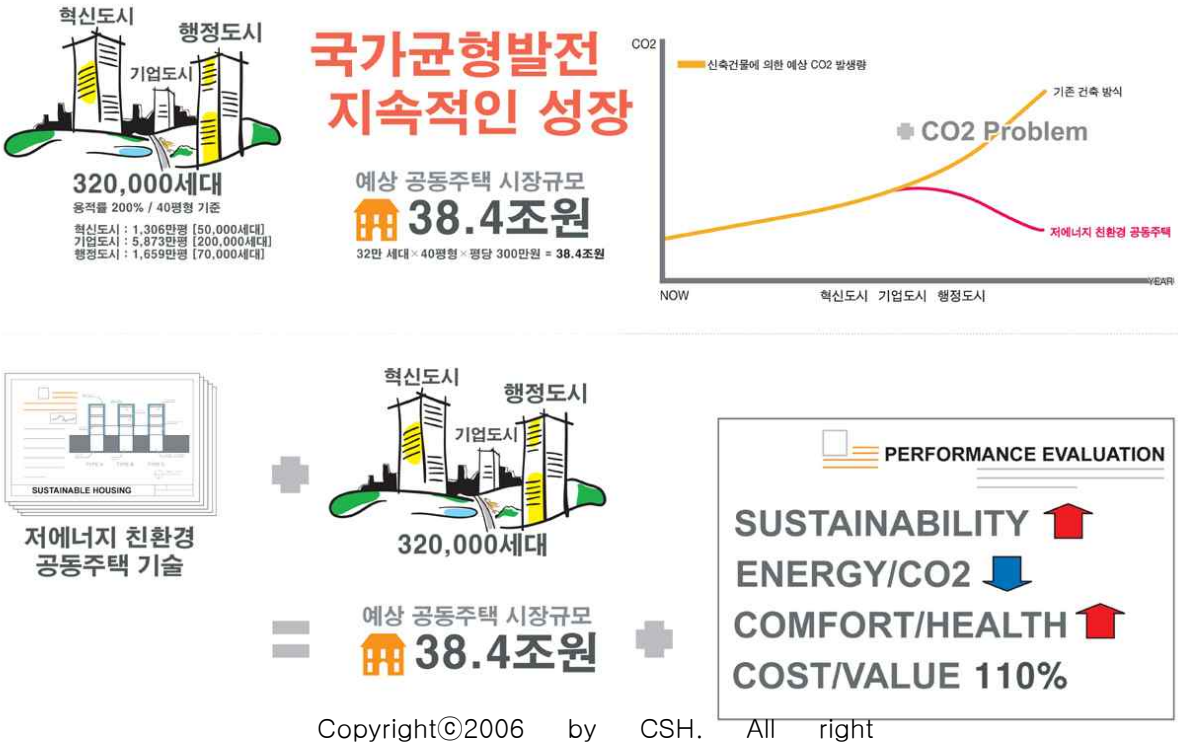
환경에 대한 관심이 전 지구적 차원에서 증대되면서 환경문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력 과제의 하나로 등장하고 있으며 그 중에 가장 대표적인 것이 기후변화 협약이다. 우리나라의 온실가스 배출량은 세계 9위, 에너지소비량은 세계 10위 수준 (IEA, 2002년 기준)으로 1990~2002년간 온실가스 증가율이 연평균 5.1% 수준으로 국가적 차원에서 시급한 대책이 마련되어야 한다. 이 중 건축물이 차지하는 비율이 50%에 달하고 있어 건물부분에 있어서도 CO2 배출량을 감소할 수 있는 방안이 조속히 마련되어야 한다.



Copyright©2006 by CSH. All right reserved.

건설교통부에서는 친환경적인 국토균형발전을 위해 혁신도시, 행정도시, 기업도시의 건설, 공공기관 지방이전, 녹지공간 확보 등의 전략을 수립하여 실천하고 있다. 지방 도시들이 개발되면서 공공기관의 분산과 산업 형성에 따른 주택 수요도 급변할 것으로 예상되며 전국적으로 새로 개발되는 기업도시, 혁신도시 등 신도시 공동주택의 개발 사업이 활발해질 전망이다. 새로운 도시에 요구되는 공동주택 모델의 개발은 현재 형성되어 있는 공동주거 문화를 변화시킬 수 있을 만큼 상당한 영향력을 가질 수 있을 것으로 보인다. 따라서 현시점이 이러한 시대에 부응하는 차세대 주거 문화를 조성하기 위한 가장 적절한 시기로 볼 수 있다.

320,000여 세대가 들어설 것으로 예상되는 신도시 개발이 기존의 개발과 같이 이루어진다면 심각한 환경 문제를 일으키며 CO2 방출량 증가에 따라 기후변화 협약 이행이 더욱 어려워질 전망이다. 저에너지 친환경 공동주택을 신도시에 적용할 경우 38.4조원에 이르는 공동주택 시장에서 에너지와 환경문제를 해결하고 지속가능한 발전을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.



Copyrightⓒ2006 by CSH. All right reserved.

친환경, 웰빙, 건강 등의 모토는 정부 차원에서의 정책보다 앞서 일반인들의 삶의 질에 대한 관심으로 시작된 것이다. 주택 보급률이 높아지고 생활수준이 향상되면서 기본적 욕구의 충족 뿐 아니라 쾌적한 환경에의 요구가 정서적으로 친환경적인 외부공간의 조성이나 실내 공기질에 대한 관심 등으로 표출되고 있다.

친환경 공동주거의 또 하나의 관점은 인간과 자연과의 공존에 있으며, 특히 생태계의 보존과 단지 외부로 배출되는 환경부하의 저감은 지구 환경적으로 요구되는 가치라 할 수 있다. 이를 실현하기 위해 인간 중심의 쾌적하고 건강한 주거와 자연 중심의 환경적 요구를 동시에 만족시킬 수 있는 통합적 공동주거 기술 개발이 시급하다.

주거문화는 문화 형성 지역의 기후와 역사적 특성에 따라 고유하게 형성되므로, 지역성이 크게 나타나는 문화이다. 예를 들어 온돌난방은 긴 역사를 가지고 한국적 주거문화 형성에 큰 기여를 하고 있으며, 최근 몇 십 년간 형성된 아파트형 공동주택은 그 형태와 규모, 보급에 있어 독특한 문화적 특성이 있다. 주로 유럽과 미국으로 대표되는 선진국에서 건설된 저에너지 친환경 주거 단지 사례를 그대로 적용하거나 개발된 저에너지 친환경 요소 기술을 국내의 공동주택에 적용하려 할 경우 기후 지역적 특성이 다르기 때문에 그 적용에 있어 어려움을 겪는 경우가 대부분이다. 따라서 국내 건설되는 공동주택에 저에너지 친환경 기술을 적용하고 실제 건설산업에 도입하기 위해서는 한국적 주거문화에 부합하는 기술의 개발이 이루어져야 하며 이를 상용화하기 위해서는 요소기술을 통합적으로 적용하고 실증 실험을 통한 검증과 평가 과정을 통한 하나의 완전한 모델이 개발되어야 한다.

또한 저에너지 공동주거에 관한 기술개발은 관련된 요소기술의 개발뿐만 아니라 이를 뒷받침 할 수 있는 정책과 관련 제도가 정비되어야 한다. 이러한 정책과 제도는 시장의 규모, 기술수준, 중·장기적인 로드맵에 따라 적절히 변화하여 관련 시장을 이끄는 역할을 하여야 한다. 선진국에서는 기술개발의 정책, 제도를 통합적으로 관리할 수 있는 독자적인 프로그램 “캐나다의 R-2000, 미국의 Building America” 등 을 가지고 있다. 우리나라도 이와 관련된 중·장기적인 저에너지 친환경 공동 주거에 관련된 정책프로그램이 절실히 필요하다.

제 3절. 연차별 연구목표 및 내용

1. 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 개발 전략 수립	▪ 기술 현황 파악 및 문제점 분석 ▪ 선진국 개발 현황 분석 및 벤치 마킹 ▪ 요소기술 활용 전략 수립 ▪ 시뮬레이션을 통한 성능 예측
	▪ 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축 기반 설정	▪ 국내외 사례조사 ▪ 디자인 전략 및 건축프로그램 개발 ▪ 요소기술 Mock-up 적용성, 경제성 평가 ▪ 기존 성능평가 문제점 분석 및 개선 ▪ 모니터링 요소 추출
	▪ 저에너지 친환경 공동주택 정책 현황 조사 및 산업 현황 분석	▪ 국내외 저에너지 친환경 제도조사 및 Policy Map 작성 ▪ 시장 요인 분석 및 미래 수요도 조사 ▪ 주거 유형별 환경특성 D/B 구축 ▪ 연구 홍보 체계 구축
2차년도	▪ 요소기술 Prototype 개발	▪ 요소기술 Prototype 개발 ▪ Mock-Up 실험을 통한 성능평가 ▪ 핵심 요소기술의 적용 가능성 검토 ▪ 통합 모델 설계 지원
	▪ 요소기술 통합 설계 및 모니터링/평가방법 정립	▪ 요소기술 통합 공동주택 프로토타입 개발 ▪ 설계 기법 개발 ▪ Pilot Project 표준 설계안 작성 ▪ 요소기술의 시공성/경제성 평가 ▪ 요소기술 통합 적용성 평가 및 시공방법 구축 ▪ 모니터링 시스템 구축 ▪ DB분석 시스템 구축
	▪ 사회 · 경제적 가치 분석 모형 제시 및 제도, 정책 방향 정립	▪ 에너지 및 온실가스 배출 모형 구축 ▪ Best Policy 정밀 분석 및 한국형 정책기반 구축 ▪ 우선순위 기술의 정밀 시장 요인 및 보급 확대 지원 정책 분석 ▪ 저에너지 친환경 교육/홍보 활성화 정책 수립

연 차	연구목표	주요 연구내용
3차년도	▪ 요소기술의 통합 적용 및 성능평가 모니터링	▪ 요소기술 시작품 제작 및 시공 ▪ 성능 평가 모니터링 ▪ 요소기술별 연관성 분석 ▪ 기술 특허 신청
	▪ Pilot Project 구축 및 모니터링 시스템 설치	▪ Pilot Project 모델 구축 ▪ 통합 설계 타당성 검증 ▪ 모니터링 시스템의 현장 적용 ▪ 공동주택 성능 평가 방향 설정
	▪ 중장기 정책 액션 플랜 구축 및 교육 프로그램 개발	▪ 중장기 정책 의사결정 모형 개발 ▪ 액션 플랜 구축 및 주체별 연계도 도출 ▪ 공동주택 에너지소비량 및 에너지 비용산출 프로그램 개발 ▪ 저에너지 친환경 기술의 환경성 평가 및 시장 잠재력 평가 ▪ 사이버 교육환경 구축 ▪ 체험용 모델주택 운용 프로그램 개발
4차년도	▪ 요소기술 상용화 연구 및 기술 인증	▪ 요소기술 성능 정량화 평가 기법 개발 ▪ 요소기술 상용화 연구 ▪ 연구성과물의 특허출원 및 신기술 인증 ▪ 프로그램 등록
	▪ 실증 연구시설의 시공 및 공동주택 모델 운영/평가	▪ Pilot Project 초기 성능 평가 ▪ 성능 비교 검토를 통한 설계/시공 보완 ▪ 운영 및 모니터링 DB 구축 ▪ 성능 요소추출 및 평가 기법 도출
5차년도	▪ 요소기술 제품화, 실용화	▪ 기술 활용 방안 제시 ▪ 기술 지침서 작성 ▪ 국내외 전문 기술 교육 프로그램 개발
	▪ 저에너지 친환경 공동주택 설계 및 시공 매뉴얼 작성 및 평가시스템 도출	▪ 설계 방법론 정립 ▪ 디자인 가이드라인 작성 ▪ 시공매뉴얼 작성 ▪ 공동주택 상품 실용화 방안 및 사업화 전략 수립 ▪ 성능 평가 시스템 활용방안 도출
	▪ 실험주택 실험 및 홍보	▪ 일반인 위주의 홍보 ▪ 전문가 홍보
	▪ 정책제안 연구성과 확신	▪ 요소기술 상용화/산업화 방안 도출 ▪ 종합홍보책자발간 ▪ 성과확산 프로그램 제시

제 2장. 국내외 기술개발 현황

제 1절. 국외 관련분야에 대한 기술개발 현황

1. 국외 기술 및 산업 동향

가. 주요국가의 시장규모

(1) 주요국가별 환경산업의 시장규모

미국, 서유럽, 일본 지역의 환경산업 시장은 세계 환경산업 시장의 약84%를 차지하고 있으나, 최근에는 아시아와 남미 지역의 환경 시장이 급격히 성장하고 있다. 지리적으로 가까운 아시아가 새로운 시장으로 이용될 수 있으며, 요소기술과 정책을 포함한 본 연구의 결과가 상품화되어 아시아 국가에 수출될 수 있는 기반조성과 준비가 필요하다.

< 세계 환경시장 규모와 점유율 (EBI, 2003) >

구분	미국	서유럽	일본	아시아	중남미	캐나다	호주/뉴질랜드	동유럽	중동/아프리카	계
금액(억불)	2,145	1,650	924	271	122	136	88	109	112	5,560
비중(%)	38.6	29.7	16.6	4.9	2.2	2.5	1.6	1.9	2.0	100

주 : 아시아는 일본 제외

※ EBI, 2003

(2) 세부산업별 해외시장 규모

우리나라와 동일하게 관련 산업별 해외 시장도 증가하고 있는 추세이다.

< 세계 환경시장 규모와 점유율 (EBI, 2003) >

단위 : 억원

구 분	연도별 시장 규모				
	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
옥상녹화(독일)	5,170	9,030	9,390	11,130	-
옥상녹화(일본)	1,034	1,806	1,878	2,226	-
일본(창호)	34,373	-	-	-	-
바닥재(세계)	12,517	12,889	14,340	15,000	14,796
접착제(독일)	-	-	-	14,148	14,796
페인트(일본)	-	86,440	91,568	97,000	102,432
주택환기시스템	5,754	1,109	2,170	2,630	12,794

나. 세계시장을 선도하는 주요 업체

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
타지마루핑(일본)	일본내 방수, 방근, 옥상녹화 부분 1위 기업 옥상녹화 시스템개발뿐만 아니라 건물의 내구성 유지를 위한 방수,방근성능의 자재개발에 있어 안정된 기술개발과 인정으로 인해 미국, 유럽등에 수출	방수, 방근, 옥상녹화시스템개발 조경설계 및 시공
ZinCo(독일)	독일내 방수, 방근, 옥상녹화 부분 1위 기업	설계, 제작, 시공 전 분야
Willo(독일)	빗물 필터/저장시설	
Elwa(독일)	빗물침투시설	
Pontos(hansgrohe)	저농도 오수 재이용(중수)	
OKASOLAR(독일)	빛, 태양에너지, 단열부분에서 선진 기술 보유	설계, 제작, 시공 전 분야
Alply, inc	창호, 외피, Insulated Panel, Tech Wall, Column Cover 등 Curtain Wall 제작 및 시공분야에서의 선도적 기술보유	설계, 제작, 시공 전 분야
Architectural Facades, Inc.	Metal Panel, Rain screen Systems, Terra-cotta Rain screen system 등 건물 외피 설계 및 시공분야의 선진 기술 보유	설계, 제작, 시공 전 분야
Copper Sales, Inc	Metal Panel, Rock panel, Screen 등 건자재 생산 및 건물 외피 제작 및 시공능력 탁월/방수, 단열기술 보유	설계, 제작, 시공 전 분야
Metal Sales & Service, Inc.	건물 외피 및 외장용 건축자재 생산, 제작, 시공능력 보유	설계, 제작, 시공 전 분야
Sto AG	외단열 건축자재 생산, 제작, 시공능력 보유	설계, 제작, 시공 전 분야
감물스테인(일본)	순수천연원료	개발, 제작, 시공분야
AURO (독일)	순수천연원료 수성 및 락커류 VOC 0%	
Livos (독일)	천연수지 이용 수성: VOC 0%	
Leinos (독일)	천연수지 이용 수성: VOC 0%	
Biofa (독일)	천연수지 이용	
Benjamin (미국)	저독성(납, 수은등이 없음)	
지맨스, 하니웰	자동제어시스템 및 기기의 기획, 설계, 사업관리, 시공, 유지관리	설계, 제작, 시공 전 분야

덴소에이스, 야마타케(일본)	공조계 환기시스템 생산 및 제작	설계, 제작, 시공 전 분야
Climatemaster(미국)	지열펌프 설계 및 제작	설계, 제작, 시공 전 분야
WaterFurnace(미국)	지열펌프 설계 및 제작	설계, 제작, 시공 전 분야
Carrier(미국)	지열펌프 설계 및 제작	설계, 제작, 시공 전 분야
ECONAOR(미국)	지열펌프 설계 및 제작	설계, 제작, 시공 전 분야
ARUP(영국)	신개념 외피기술 등 친환경 시스템 요소기술 뿐만 아니라 시스템 전체의 통합 기획, 설계기술을 보유	기획 및 설계
HL-PP(독일)	친환경 시스템 요소 기술과 에너지절약적 기계설비 시스템의 통합 기획, 설계기술 보유	
HOK(미국)	주로 자연형 시스템의 친환경 시스템 요소기술 보유	
Nikken Skkei(일본)	친환경 설계기술	기획 및 설계

< 세부산업별 해외업체 조사 >

다. 해외 시장예측 및 발전전망

환경산업은 정보통신, 바이오와 함께 21세기 3대 성장산업으로 급부상하고 있다. 일본은 정보통신, 바이오, 환경을 3대 유망산업으로 선정해 국가차원에서 집중 육성하고 있으며 미국도 환경산업을 수출전략산업으로 육성 중이다. 서유럽 국가들도 환경문제를 무역과 연계시키면서 자국의 환경산업을 적극적으로 수출하고 있다.

도시화 및 산업화가 급속히 진전되는 개발도상국을 중심으로 환경 시장이 크게 확대될 것으로 전망되며 반면 선진국에서는 기존 시설의 성능 향상에 대한 수요가 증가하고, 오염 물질의 배출에 대한 규제가 강화되고 있으나, 환경 시장은 완만한 성장세가 예상된다.

< 세계 환경산업 시장규모 전망 > 단위 : 억달러

구분	1999년	2005년	2010년	연평균 성장률(%)	
				1999~2005년	2005년~2010년
환경서비스업	2,500	3,340	4,180	4.9	4.6
환경자원이용업	1,270	1,940	2,600	7.3	6.0
환경설비업	1,180	1,660	2,070	5.9	4.5
합계	4,950	6,940	8,850	5.8	5.0

주: 2005년까지의 전망은 EBJ와 SRI자료를 이용하고 2010년까지의 전망은 삼성지구환경연구소에서 추정.

※ EBI, 1999/ Environment Business Journal & SRI Consulting,1996.

우리나라에서도 이와 같은 해외의 조류에 부응하여 국내 환경산업의 관련 전문가를 체계적으로 양성하고 기술기반을 다져 중국, 동남아를 비롯한 개발도상국을 대상으로 한 수출산업으로 육성해야 할 것이다.

라. 해외 업체· 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안

저에너지 친환경 건축산업의 발전을 위해서는 선진국의 신기술을 적극 받아들이고, 해외의 산업화 방향을 검토하여 국내의 실정에 맞는 종합적인 국가 프로그램의 개발 및 교육·홍보를 통한 기술의 저변확대와 더불어 체계적인 관리가 필요하다.

공동연구 및 벤치마킹이 가능한 해외 기관으로 캐나다 NRC와 OEE, 미국 DOE, 일본 건축연구소, 영국의 BRE와 긴밀한 협력관계를 체결하여 본 사업단 참여자의 방문연구 및 해외 연구자의 초청연구 등 다양한 인적교류 및 기술교류를 통해 요소기술의 선진화를 도모할 계획이다. 현재 미국, 캐나다, 일본을 비롯한 관련 연구기관과 연구협력에 관한 협약을 체결하였다. 따라서 본 연구가 성공적으로 추진될 경우 국내에서의 저에너지 친환경 공동주택의 위상뿐만 아니라 해외에서도 크게 개선될 수 있다.

본 연구 결과로 도출되는 저에너지 친환경 프로그램의 운용 및 교육·홍보는 CHS에서 담당하여 국내외 산업동향 및 현황을 빠르게 파악하고 해외업체 및 연구기관과 연계하여 새로운 신기술 개발이 이루어지도록 할 예정이다.

마. 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

(1) 환경산업을 위한 수출 지원확대 방안

중국 및 동남아를 비롯한 개발도상국의 환경시장이 빠른 속도로 성장하고 있으므로 저에너지 친환경 공동주택 모델을 새로운 수출 산업으로 육성하여 시장을 선점할 필요성이 있다. 중국의 환경보호 시장규모는 작년 2005년 241억 달러에 달하여 지난 2000년의 120억 달러에 비해 2배 이상 급증한 상황이다. 이는 중국정부가 환경오염물질 배출량을 2000년에 비해 10% 감소 목표로 2001년 이후 5년간 국내 총생산(GDP)의 1.2%에 달하는 800억 달러 투자 계획을 세우고 환경보호 규제를 강화하는 등의 과감한 조치를 취함에 따른 것이다. 따라서, 중국과 같은 대규모 환경시장에 진출할 수 있는 전략을 마련하는 것이 시급하다.

동남아 국가들의 경우 환경기초시설 등의 자체 시공 기술력 부족 외에 투자 재원의 조달이 큰 애로점으로 지적되고 있으므로 국제적인 프로젝트 파이낸싱을 강화하는 것이 수출 전략상 필요할 것이다.

(2) 해외진출을 위한 규정, 법령 등의 문제점

수입자유화에 따른 영향은 지금과 큰 차이가 없을 것으로 전망되는 반면, 환경제품의 경우 현재 기본관세인 8%를 자유화시킨다면 일부 기술력을 확보하고 있는 제품을 제외하고는 영향이 클 것으로 전망된다. 특히 독자적인 기술을 확보하지 못한 단일제품과 핵심부품을 생산하거나 개발하고자 하는 업체의 경우 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이에 대응하기 위해서는 산업자원부 및 환경부 차원에서 관세 인하율 및 환경산업시장 개방 일정을 재검토하는 등의 현실적인 방안이 필요하며, 환경산업의 전문인력 및 기술력 확보가 시급하다.

우라나라 업체의 주요 수출국이 될 동남아시아 국가의 경우 경쟁상대가 현지 업체가 아닌 선진국 업체라는 점을 고려할 때 환경제품 및 환경서비스 관세 인하 및 조기 자유화는 경쟁국 기업과 같은 조건으로 부여되기 때문에 우리나라의 수출에 대한 영향에는 이전과 큰 차이가 없을 것으로 보인다.

동남아를 비롯한 개발도상국에 대한 국제기구의 재정지원을 활용하여, 국내 산업체가 해외입찰에서 유리한 수주조건을 확보하는 한편, 우리나라가 재정지원을 하고 있는 국제기구의 환경사업에 국내 업체가 참여도록 협조를 요청해야 할 것이다.

정부차원의 개발도상국 지원에 있어 국내 환경산업체의 참여를 의무화할 수 있도록 계약상에 이를 명시해야 할 것이다.

바. 특허 동향

주거부문의 에너지 저감 기술과 친환경 요소 기술을 공동주택 적용하여 직면해 있는 이산화탄소 배출과 오존층 파괴 물질 등에 관한 국제환경협약 등 지구환경 변화에 적극 대처하기 위하여 화석에너지의 투입을 감소시키고 자연에너지를 활용 할 수 있도록 하는 국내·외 요소기술의 추이를 분석하고 향후 개발 방향 설정에 기여하기 위해 국내·외 출원 및 특허를 분석하여 기술동향을 분석하였다.

국내·외에 요소기술에 관련한 특허 출원 및 등록된 특허를 1991년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 15년의 기간을 크게 5년 단위의 세 그룹으로 나누고 각각 5년간의 특허자료를 조사 분석을 통해 본 과제에 관련된 요소기술의 특허 출원 동향을 분석하였다. 기술 로드맵을 통해 도출한 저에너지 친환경에 관련된 각각의 요소기술을 중심으로 키워드를 설정한 후, 총 3716개의 유효데이터를 도출하였다[1].

---

1) 특허 정보 검색: 한국 특허 정보원(www.kipi.or.kr), 특허정보조사서비스(www.forx.org), 미국 특허청(www.uspto.gov), 일본특허청(www.jpo.go.jp), 유럽공동체특허청(www.epo.co.at)를 통해 데이터를 수집하였다. 자료정리: 검색한 통계분석 자료를 데이터의 수량으로 파악하는 정량적 방

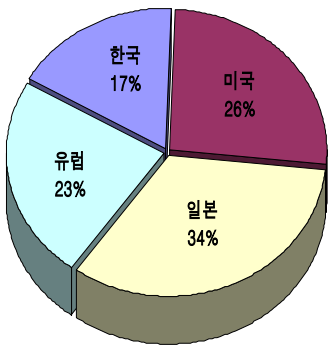
(1) 국가별 특허 출원 현황

전체 분석결과 일본이 34%로서 가장 많았으며, 미국은 26%, 유럽은 23%, 한국은 17%로서 선진국에 비해 상대적으로 적은 특허 출원률을 보이고 있다. 국가별 친환경 관련 기술 보유현황을 살펴보면 한국과 일본, 그리고 유럽은 저에너지 친환경 설비시스템 구축 및 최적화 기술에서 가장 많은 특허출원을 보이고 있으며, 친환경 생태단지 구축기술은 가장 낮은 출원률을 보이고 있음을 알 수 있다.

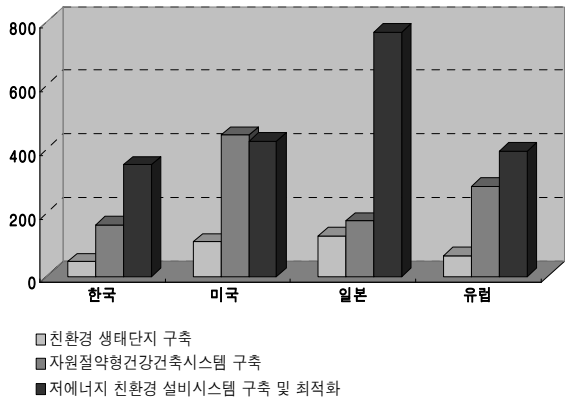
미국은 자원절약형 건강 건축 시스템 구축기술 관련 특허와 저에너지 친환경 설비시스템 구축 및 최적화 기술 관련 특허가 비슷한 출원률을 보여주고 있다. 특히 빌딩의 지능형 다기능 외피측면에서 다수의 특허 출원률을 보이고 있으며, 이를 통한 부하저감효과나 쾌적한 실내환경 조성을 위한 sun tracking 차양시스템, automatic ventilation flap 등의 기술이 많이 개발되고 있다. 본 연구개발에서는 약 10건 이상의 실제적용 가능한 특허를 출원할 것으로 예상하고 있다.

< 주요 국가별 저에너지 친환경 관련기술 특허출원 현황 >

대부분	중부분	유효 데이터	한국	미국	일본	유럽	총계
친환경 생태단지 구축	생태적 녹화	197	27	11	113	46	223
	단지내 수순환시스템 구축	36	19	7	5	5	
자원절약형 건강건축 시스템 구축	가변형 계획	66	9	31	1	25	1,009
	지능형 외피시스템	869	108	351	190	220	
	친환경 마감재	74	42	24	0	8	
저에너지 설비시스템 구축 및 최적화	냉난방 시스템	256	24	51	87	54	1,934
	공기정화 시스템	177	46	35	52	44	
	설비시스템 최적제어	571	136	102	241	92	
	재생가능한 열원시스템 적용	1,107	150	272	437	248	
합 계		3,340	557	976	1,066	741	3,340



< 국가별 특허출원 비율 >



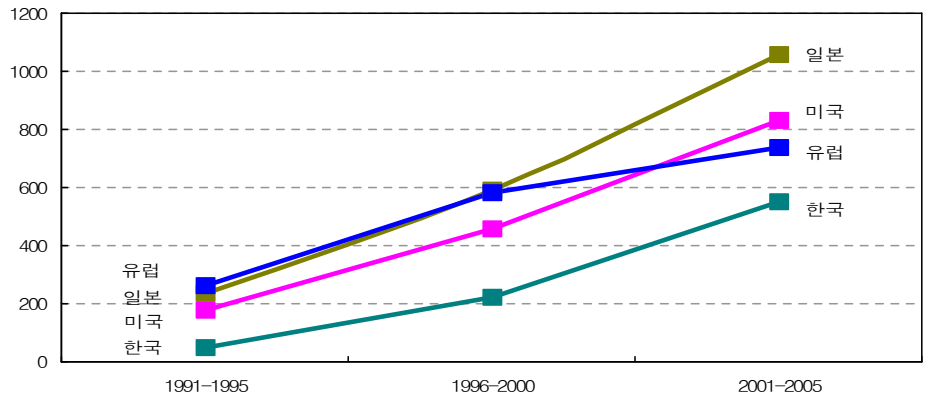
< 국가별 친환경 관련기술 특허 보유현황 >

법과 내용으로 파악하는 정성적 방법을 이용해 분석하였다. 전체 노이즈와 중복데이터가 제거된 요소기술 관련 3,716개의 데이터는 국가별, 출원시기별, 요소기술별 분류체계로 분석하였다.

(2) 연도별 특허 출원 건수 현황

국내의 특허출원 건수는 선진국에 비교하여 양적인 측면에서 다소 적지만 1991년 이후로 양적 측면에서 지속적으로 증가하는 양상을 보이고 있다.

특히 1990년대 초반 유럽의 18%, 미국의 27% 수준에 지나지 않던 국내 특허건수는 국내외적으로 관심이 고조되고 있는 환경문제에 대한 국민적 욕구에 부응하고 국제규제에 대응하기 위한 환경기술의 개발이 요구되면서 급속한 증가추세를 보이기 시작한다. 완만한 증가추세의 유럽이나 미국과 달리 급격한 증가양상을 보이는 것이 특징적이다. 따라서 최근 활발한 저에너지 친환경관련 기술특허의 출원은 양적인 측면에는 선진국에 근접한 상황이나, 실질적인 산업전반의 적용을 고려하여 질적인 측면도 고려할 필요가 있다.



< 연도별 국가 특허 건수 동향 (누적 그래프) >

2. 해외 정부지원 사업 종류와 현황

2000년대 이후 지속가능 생산·소비에 관한 국제적 관심이 크게 증가하고 있으며, 온실가스 배출에 대한 국제적 규제가 현실화됨에 따라 저에너지 친환경산업은 급속히 증가하고 있다.

가. 시장 변화를 주도하는 주요 국제 환경 이슈 및 운동

(1) 1992년 리우 정상회의 : Sustainable Development

(2) 2002년 리우 +10 회의 : Sustainable Production & Consumption

(3) 제품 중심 환경 정책 등장

-反환경상품 규제 : WEEE, RoHS, ELV, EURO, PPW, REACH

-친환경상품 육성 : 친환경상품 구매촉진법, 통합제품정책(IPP) 등

(4) 친환경 소비 문화 확대

-LOHAS : 미국 소비자의 30% LOHAS 소비 (연 3,000억 달러)

-에코라벨 : 독일, 북유럽, 캐나다, 일본, 중국, 대만, 한국 등

(5) OECD 친환경 정부조달정책

-공공 조달의 환경성과 증진을 위한 이사회 권고 채택 (2002)

나. 저에너지/친환경 주택 보급 촉진을 위한 국가 프로젝트

70년대 석유 위기는 선진국을 포함한 전세계에 에너지 효율적 사용의 중요성을 부각시켰으며, 1990년 초 지구온난화 문제에 대한 범세계적 대처를 위한 리우 선언 이후 에너지 문제는 환경문제로 확대되었다. 이에 에너지 효율화와 친환경 산업의 육성은 모든 나라의 국가적 아젠더로 부각되었으며 주요 선진국은 에너지효율화를 위한 강력한 정책 개발과 촉진을 위한 국가 프로그램을 시행하고 있다.

(1) 캐나다(R-2000 Program)

에너지효율적 주택 보급을 목적으로 제품, 설계, 시공, 보급 전과정에 대한 National Program을 운영 중이며 시범 주택의 건설, 국민에 대한 홍보, 에너지효율 전문 자격제도의 시행 등을 지속적으로 운영하고 있다.

(2) 일본(주택가치혁신 국가 프로젝트)

1975년 House 55를 시작으로 House Japan 및 자원순환형 주택기술 개발 프로젝트 등 약 5~6년 주기의 주택 기술시장을 선도하고 신기술의 시장 진입을 촉진하는 국가 프로젝트를 40년째 운영 중이다.

(3) 미국(Building America)

최신 기술을 이용한 에너지효율적 건축물의 실제적 구현 및 보급을 목적으로 에너지 효율화를 위한 제품 육성, 설계지원, 파이낸싱, 전문업체 육성 등 저에너지 건축 시장의 실제적 육성을 목적으로 하는 National Project를 에너지성(DOE) 중심으로 주택건설업체와 연계하여 대대적으로 시행중이다.

< 세계시장을 선도하는 주요 국가 및 프로그램 >

업체명(국적)	국가별 특성	중점 분야
○ 미국 에너지성 (Department of Energy)	에너지 효율화만을 다루는 독립된 부처로 미국 전체 에너지 기술 개발 및 에너지효율적 건축물 보급의 주체, 에너지 관련 산업의 총괄적 관리 및 프로그램 운영	Model Energy Code Building America Guide & Standard
○ 일본 통산성, 건설성	제품 기술은 통산성이 건축물은 건설성이 주도로 하되, 상호 연계하여 건축물 에너지효율화를 합리적으로 유도, R-2000, Energy Star 등 타국의 우수 에너지 효율화 프로그램의 적극적 도입 및 자국의 독자적 평가 툴(CASBEE), 제도(PAL, CEC)등을 개발	기준 및 제도 운영 친환경산업육성 CASBEE 등 친환경 평가 프로그램 운영
○ 유럽 유럽연합(EU)	각 국가 개별적으로 추진되던 에너지효율화를 유럽연합 공동으로 추진키로 2001년 유럽 각료회의 결정후, 건축물 에너지효율화를 위한 각 종 연구(SAVE) 및 프로그램을 개발 진행 중이며, 유럽 규격(EN)을 국제규격(ISO)으로 상정을 추진 중	EPBD등 에너지효율화 프로그램 유럽공동규격 제정
○ 캐나다 Office of Energy Efficiency	1990년대 중반까지는 선진국 중 에너지효율화의 진도가 늦은 편이었으나, 1990년 중반이후 정부의 적극적 지원에 의해 현재 가장 활발한 에너지효율화 프로그램 및 연구활동을 진행 중 주요 재정 지원 프로그램인 EE4, 기술 및 생산 지원 프로그램인 R-2000등을 운영	R-2000(주거) C-2000(비주거) 등 국가 프로그램 운영

다. 건축물의 에너지 인증 제도

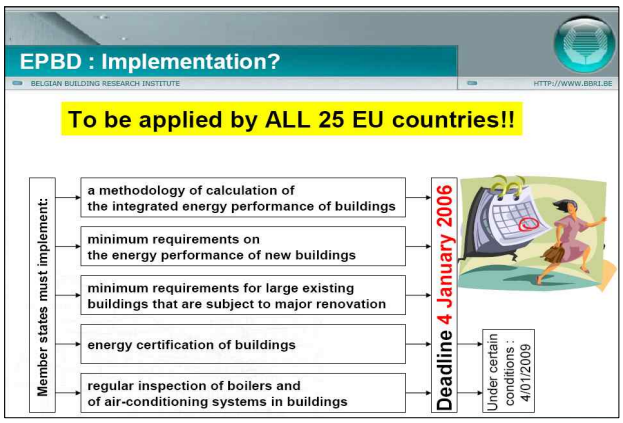
(1) 유럽연합국가

기후변화협약(1992) 및 교토의정서 발효(2005)로 에너지절약이 선택이 아닌 필수라는 인식하에 체계적인 에너지절약 시책을 수립·시행 중이다. 2002년 12월 유럽연합 의회에서 회원국 공통의 건물에너지절약 정책(EPBD)을 수립키로 결의 결의2002년 12월 유럽연합의회에서 유럽연합국가의25개국이 공통된 건물에너지절약 정책(EPBD)을 수립하였다. 따라서 유럽의 25개 국가는 2010년까지 건물에너지 소비의 22% 절감을 목표로 건물에서 소요되는 최소 에너지소요량을 설정 하였다.또한 EPBD에 의해 2006년부터 유럽연합국가회원국은 아래 사항들을 의무 시행하여야 하였다.

■ EPBD의 주요 내용

- 모든 신축건물에 대한 에너지효율화 등급표시 의무화
- 신축, 매매, 임대 계약시 에너지효율화 등급 서류 첨부 의무화
- 기존 건축물에 대한 에너지효율화 등급표시 의무화 확대 적용

	New buildings (and refurb)			Existing buildings	
Trigger	During design	After construction	3 years after occupation	For sale or rent	For public display
Calculation	Compliance checks 'Design' rating	EPBD Certificate 'Asset' rating		EPBD Certificate 'Asset' rating	Optional 'Asset' rating
Measurement	Feedback		Design and construction verification 'Operational' rating		EPBD Certificate 'Operational' rating



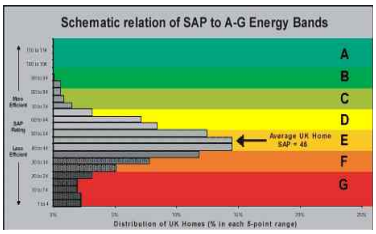


< EPBD의 주요 내용 과 에너지성능 평가서 >

(2) 영국

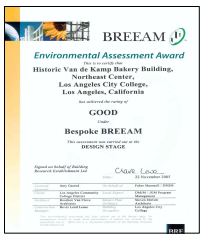
기존 건축법에서 부위별 기준과 성능적 기준을 공통적으로 사용하여 왔으나, 2006년부터는 부위별 기준을 없애고 에너지소요량 개념의 성능기준으로 일원화하여 에너지절약기준을 시행하였다. 또한 주거용 건물 SAP, 비주거용 건물 SBEM 과 같은 국가표준계산법(National Calculation Method)에 의거하여 에너지소요량과 탄소배출량을 산출하여 신축건물에 대한 허가, 등급설정, 에너지소요량 정보 제공 등의 자료로 활용하고 있다. 한편, 영국 정부는 2006년 6월 주택관련법을 개정하여 2007년 6월 이후로

신축 및 기존주택에 대하여 거래·판매되는 모든 주택을 대상으로 에너지 성능등급 표시를 의무화하기로 하였다. 현재 친환경건축물 관련제도로서 BRE 주관으로 BREEAM, EcoHome 프로그램을 운영하고 있으며, 2003년부터 일부 공공기관 및 건설업체에서는 BREEAM 인증을 필수사항으로 채택하고 있다. BREEAM 인증건물은 1,000여개에 이르고 있으며, 40개의 평가기관과 185명의 평가위원이 활동하고 있다. 그리고 EcoHome 인증주택은 10,000여세대 정도에 83개의 평가기관과 500명의 평가위원이 활동하고 있다.





SAP rating과 주택정보철 홍보자료



BREEAM 인증서

(3) 독일

독일에서는 EnEV, Energy Pass 등 건축물 에너지효율 기준 강화 등 신축 및 기존주택에 대한 에너지등급 표시의무화 추진일정에 따라 에너지절약 시책을 수립 시행중이다. 그 중 에너지성능을 평가하기 위한 Energie Pass는 에너지효율등급을 10단계로 세분화하여 등급을 부여하고 있다.

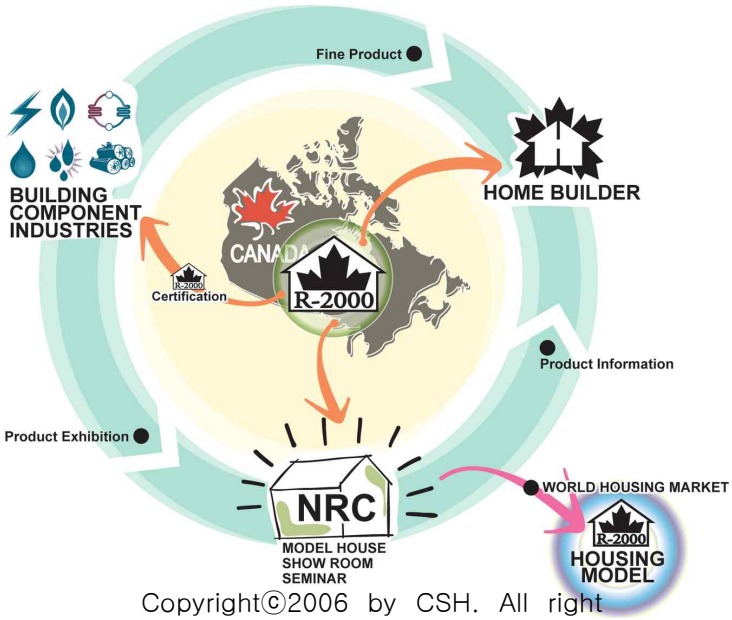


독일의 Energie Pass

(4) 캐나다

캐나다에서는 R-2000 프로그램을 1982년대부터 마련하여 효과적으로 에너지 절약을 유도하고 있다. 현재의 시점에서 실현 가능한 가장 에너지 효율적이고 친환경적인 주택의 구현 및 보급을 목적으로 하고 있다. 특히 R-2000에서는 현실적으로 건물주 등이 건물을 설계하는 단계부터 초에너지 절약 자재 및 에너지설비 등의 선택으로 시공비용을 낮추는 데 주력하고, 입주 이후 건물사용 과정상의 에너지소비량에 대하여는 체감하지 못하기 때문에 건물의 열성능이나 에너지 소비절약 효과를 정부 차원에서 인증을 함으로써 건물의 에너지 절약 효과를 극대화하고 있다. R-2000 주택 설계기준

은 현 시점에서 최신기술을 수용하여, 에너지 절약의 극대화, 환경친화적 기능의 확보뿐만 아니라 최상의 주거환경(쾌적, 여유, 질)을 구현하고 있다. 그래서 1989년부터 현재까지 R-2000 주택을 10,000 여세대를 공급하여 왔고 이를 바탕으로 캐나다 에너지 절약기준을 점진적으로 강화해 오고 있다.



Copyrightⓒ2006 by CSH. All right reserved.

캐나다 R-2000 시스템

(5) 일본

일본에서는 차세대 에너지절약기준을 마련하여 현행 기준 대비 20%의 에너지절감형 주택구현을 목표로 기준을 설정하였다. 또한, 건축물의 에너지절약 대책을 추진하기 위해 1999년부터 (財)住宅建築·省에너지機構에서 시행하고 있는 환경·에너지우량건축물 인증표시제도로서, 실내환경수준을 확보하고 일정수준 이상의 에너지절약성능이 있는 건물에 환경·에너지우량건축물 마크를 표시케 하고 있다. 한편, 주거부문의 친환경 관련제도로써 1999년 3월부터 환경공생주택 인정제도를 운영하고 있으며 현재까지 100여개 업체에서 인증마크를 획득하였다.



일본의 환경공생주택 인증마크와 환경에너지 우량건축물 인증마크

(6) 미 국

미국의 Energy star home & HERS(Home Energy Rating System) 인증 프로그램 에너지스타홈으로써 인증을 받기 위해서는 대상 건물이 에너지스타기준에 적합한지 여부를 외부기관으로부터 평가를 통해 일정 기준 이상의 에너지효율성을 인정받아야 하며, 그 결과에 따라 에너지스타홈으로써의 인증을 획득하게 된다. 에너지스타홈은 기본적으로 신축주택을 대상으로 하지만, 기존 주택도 평가를 거쳐 인증을 받을 수 있다. 또한 HERS ratings는 MEC(Model Energy Code)의 최소 기준을 만족하는 표준주택(reference home)과의 비교를 통해 평가를 실시하는데 100point 만점에 최소 86point 이상이면 에너지스타홈으로 인증을 받게 된다. HERS는 에너지스타홈과도 연계되어 일정등급(86point : Five Star)이상을 취득하였을 경우에는 에너지스타홈 라벨을 동시에 받을 수 있다. 한편, 미국의 LEED 친환경건축물 인증프로그램은 그린빌딩협의회에서 신축 및 기존의 사무소, 호텔 등의 상업용 건물, 교육용 건물, 그리고 고층공동주택을 평가하기 위해 마련한 인증시스템이다. LEED 그린빌딩 평가프로그램은 소비자들에게 보다 친숙하도록 인증등급을 신용카드의 등급기준과 같이 플래티넘(1등급), 골드(2등급), 실버(3등급), 브론즈(4등급)로 구분하고 있다.



< 미국의 에너지스타빌딩 마크와 LEED 친환경 인증 마크

(7) 호 주

호주정부는 1996년의 교토협약에 따라 자국의 온실가스(greenhouse gas)배출량의 약 12% 를 차지하는 주거부분(residential sector)에서의 온실가스배출량 최소화를 위해 NatHERS (Nationwide House Energy Rating Systems)을 개발하여 시행하고 있다. 이 제도는 신축 및 기존주택의 매매시에 해당건물에서 소요되는 냉난방에너지의 소비량 평가를 위한 것으로 6개 등급(0star ~ 5star)으로 건물의 에너지효율을 구분하고 있다. 그래서 1999년 3월부터 ACTHERS (ACT House Energy Rating Scheme)[2] 등급제도 및 프로그램을 통해 신축 및 기존 주거용 건물의 에너지 효율등급을 평가하고 있으며, 건물의 매매시 매도자 및 매수자가 이 등급을 확인하도록 의무규정화하고 있다. 신축건물의 경

2) NetHERS 와 동일한 기준체계를 갖고 있음

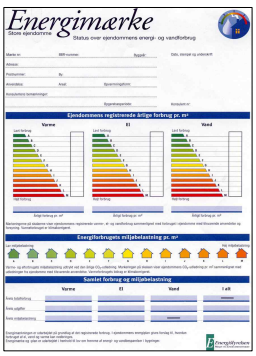
우에 있어서는 4star를 최소 의무규정 등급(Mandatory minimum energy efficiency rating)으로 설정하고 있다.



호주 에너지효율등급 및 친환경등급 로고(NetHERS)

(8) 덴마크

덴마크에서는 1997년 1월 1일자로 대형건물의 경우 소유주는 의무적으로 1년에 한번 에너지등급을 받고 에너지플랜을 작성해야만 하며, 소형건물의 경우 건물매매시에 한하여 에너지등급과 에너지 플랜을 포함하도록 의무화되어 있다. 대체로 덴마크의 부동산 매매는 변호사를 통하여 이루어지며, 이 때 에너지컨설턴트의 자료 (인증서, 에너지플랜 등)가 요구되는데, 건물주는 건물등급인증서가 없으면 매매를 할 수 없으며, 인증서가 있어야 자산가치가 형성된다. 최근의 등급제도의 적용현황을 살펴보면 매년 약 40,000~45,000채의 건물이 에너지등급을 받고 있다. 의무대상건물은 주거용 건물, 공공건물, 상업용 건물로 신축 및 기존 건물 모두를 포함한다.



< 덴마크의 에너지등급 산정표 >

라. 해외 제도 사례

일본의 통상산업성에서는 1976년부터 현재까지 지속적인 주택관련 국가 프로젝트를 개발 수행해 왔으며, 5년을 기본단위로 하여 그 시대에 적합한 목적을 가진 주제를 선택하여 종합적인 프로젝트를 추진해 왔다.

HOUSE JAPAN의 경우는 다른 프로젝트와 달리 7년간의 연구기간 중 5년째 단계에서 프로젝트에 대한 실증실험을 통하여 그동안 개발한 기술을 평가하고 방향을 재설정할 수 있는 기회를 가졌다.

< 일본의 주택관련 국가 프로젝트 >

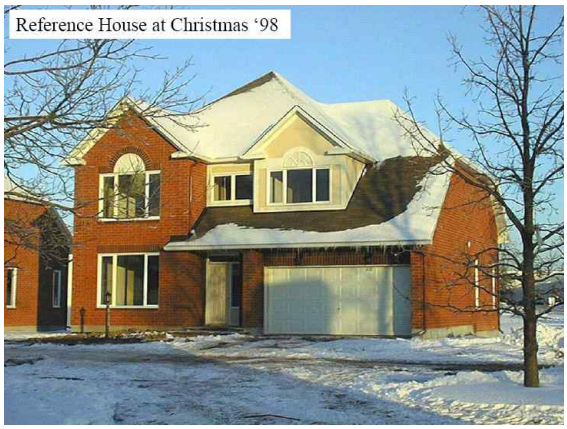
프로젝트 명칭	기간	목적	연구 개발 테마
하우스55 프로젝트	1976 -1979	저렴하고 양질의 단독주택 공급	• 연면적 100㎡의 주택을 500만엔대(1975년 가격)로 1980년도부터 공급(건설성과 공동관리)
신주택개발 프로젝트	1979 -1985	단독주택의 품질향상	• 고령자신체장애자 care system 기술개발 • 가변주공간시스템의 기술개발 • 자연에너지 이용주택 시스템기술개발 • 주택구조체 재료의 내구성 향상기술 개발
집합주택용 신재료·기기시스템 개발프로젝트	1984 -1990	양질의 도시형 집합 주택의 공급	• 내구성 향상기술의 연구개발 • 거주성 향상기술의 연구개발 • 폐기물·排水이용기기 시스템의 연구 • 에너지 자급도 향상 기술의 연구개발
신공업화주택산업 기술·시스템 개발 프로젝트	1989 -1995	공업화주택의 생산기술·시스템의 발본적 개선	• 거주자 참가형 주공간 설계·성능 시뮬레이션 시스템의 개발 • 고기능 건재·주택설비 및 혁신적인 공장생산기술의 개발 • 주택용 에너지 종합 이용시스템의 개발
생활가치창조주택 개발 프로젝트 (House Japan)	1994 -2000	쾌적하고 낮은 가격으로 오래 지속할 수 있는 주택의 표시	• 주택의 stock의 가치향상·창출을 위한 연구개발 • 새로운 Life Style대응기술에 관한 연구개발 • 지구환경과 조화기술에 관한 연구개발
자원순환형주택 기술개발 프로젝트	2000 -2004	자원순환형 주택의 구축	• 대응 주택시스템의 개발 • 주택의 평가·관리기술의 개발 • 주택용 고효율 에너지시스템의 통합화 개발

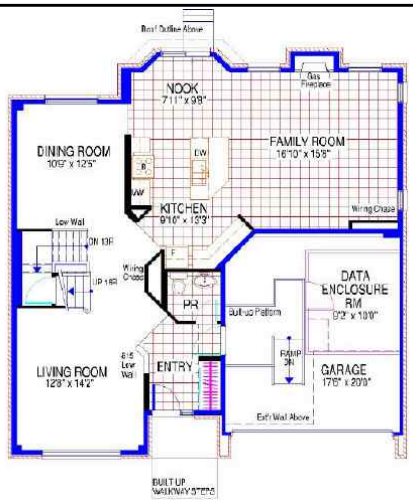
3. 국외 에너지 환경 관련 실험 주택 현황

가. 국외 사례

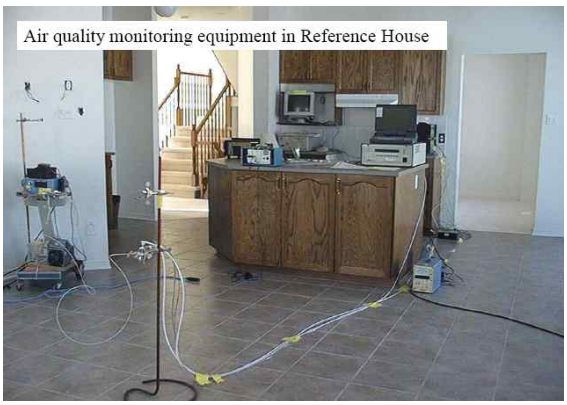
(1) Canadian Center for Housing Technology (CCHT) : 캐나다

목적	▪ 시장에 적합한 신규 기술 개발의 가속화 ▪ 국내외 고객들에 대한 캐나다 건축 시스템의 쇼케이스로 설정		
구축연도	1998		
연구 기관	NRC	지원 기관	NRC,NRCan,CMHC
특성	▪ 캐나다 R-2000 기준에 해당하는 건축 기술들의 검증을 위해 설치된 테스트 하우스 ▪ 비교군과 대조군을 설정하여 각 주거모델의 성능 검증 작업 수행 ▪ 캐나다 정부기관 및 다양한 국립/민간기관과의 협력을 통하여 구축됨 - National Research Council Canada (NRC) - Natural Resources Canada (NRCan) - Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) (37 개 기업 참여)		









(2) BRE(Building Research Establishment) Innovation Park[3]: 영국

목적	환경에 적은 영향을 미치는 디자인과 건설을 위해 다양하고 혁신적인 접근방법을 제시하기 위함.		
구축 연도	2005		
연구 기관	BRE	지원 기관	공원 내에 실험주택을 건설한 건설사 및 약 300개의 관련 회사
특성	▪ The Innovation Park 'village'에 지속가능한 주택법(CSH: Code for Sustainable Homes)에 따라 Sustainable Home을 구현해내기 위한 다양한 혁신적인 건설방법을 보여주는 여섯 채의 최첨단 주택 건설 · The Barratt Green House · Eco-TECH Organics House · The Hanson EcoHouse · Kingspan Lighthouse · Osborne's Affordabla House · The Stewart Milne Group's Sigma House ▪ 개발자들과 건축업자들은 기존의 건축 방식과 재료를 사용해 건축법(CSH)을 충족시킬 수 있는 방법을 연구 ▪ 랜드스케이핑(Landscaping) - Innovation Park의 각각의 요소들을 연결시키고, 커뮤니티 활성화, 지속성과 건강 그리고 웰빙 가능성을 보여줌 ▪ The Visitor Centre - Innovation Park의 성과에 대한 모든 정보 제공, 새로운 디자인과 기술 소개		





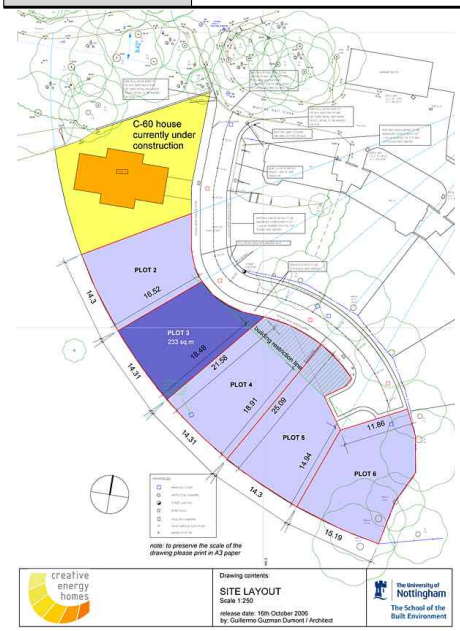





3) http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=634

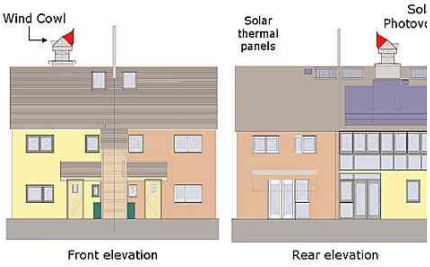
(3) Creative Energy Homes[4]: 영국

목적	▪ 지속가능한 디자인 아이디어와 지속가능하며 혁신적인 디자인의 주택을 적절한 비용으로 제공할 수 있는 새로운 방법들을 모색		
구축 연도	2006.08~		
연구 기관	The University of Nottingham	지원 기관	Stoneguard, Roger Bullivant Ltd, EON, BASF, Tarmac, Saint-Gobain
특성	▪ 에너지 효율적인 최첨단 미래 주택의 Showcase ▪ 노팅험 대학에서 제공한 University Park에 여섯 채의 주택 건설 · Steel C60 house · Bullivant K60 · E.ON · BASF House · Tarmac House · Solar Decathlon ▪ 여러 가지 Modern Methods of Construction(MMC)를 테스트 : 건물 배치와 형태, 피복 재료, 지붕 구조, 기초, 유리 재료, 열적 성능, 빌딩 서비스 시스템, 지속가능한/ 재생가능한 에너지 기술, 조명 시스템, 방음과 물 공급 포함 ▪ Stoneguard, Roger Bullivant Ltd, EON, BASF, Tarmac, Saint-Gobain 등의 회사들이 각 실험주택에 투자		









4) http://www.nottingham.ac.uk/sbe/creative_energy_homes/index.html

(4) 에코 스카이 하우스: 일본

목적	▪ 일반 가정에서 사용하는 에너지의 97%이상을, 자연 에너지로부터 조달할 수 있는 시스템의 실용화를 목표		
구축 연도	2009.02~		
연구 기관	료쥬코산7사	지원 기관	료쥬코산7사, OM계획 주식회사
특성	▪ 차세대에너지절약주택, 요코하마시내에 모델하우스로 준공 ▪ 미쯔비시중공업 그룹의 료쥬부동산주식회사 등 료쥬코산 그룹 7사는, OM계획 주식회사와 공동으로 계획 ▪ 2009년 2월부터 실증 시험을 시작한다. 「태양광 발전+passive solar hybrid」,「고축열 기술」,「solar 환기 기술」 등 세 개의 에너지 절약 기술을 중심으로, 그 외의 에너지 절약 관련 기술도 도입 ▪ 미쯔비시중공업 사택 부지내에 건설, 연면적은 129.17 m2로, 실제로 4 인가족이 생활한다. ▪ 2010년 3월까지의 1년간을 실증 기간 동안 실내외의 온습도, 전력 소비량 등, 1년 동안의 에너지 절약 데이터를 취득하여 설계에 반영시 ▪ 국토 교통성의「헤세이 20년도 주택·건축 관련 선도 기술개발 조성사업」에도 지정		





제 2절. 국내 관련분야에 대한 기술개발현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

우리나라에서 공급되고 있는 건축물 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것이 주거 부문이다. 따라서 이 부분에 대한 체계적이고 지속적인 에너지 효율화 및 친환경 정책수립이 필요하다. 생활수준 향상과 함께 저에너지와 친환경에 관한 사회적 관심이 증대되면서 국가 차원에서의 각종 법률, 지원책 등이 개발되어 운영되고 있다. 따라서 관련 산업의 규모도 매년 증가하고 있다. 그러나 국가 차원의 각종 정책은 관련 부처의 성격에 따라 독자적으로 개발 된 것이 많고, 부처간의 긴밀한 협력체계가 마련되어 있지 않는 것이 현실이다. 저에너지 친환경 관련 요소기술과 제품도 가격적인 측면에서 불리한 경우가 많고 실제 적용되지 않아 많은 어려움을 겪고 있다. 본 연구는 이러한 국내 기술 및 산업동향을 파악하여 요소기술 도출, 추진전략, 과제종료 후의 중·장기적인 발전계획을 수립하였다.

가. 국내 시장 규모

(1) 친환경산업

한국은행의 통계자료인 환경오염방지 지출 통계는 Green GDP 추정·계산을 위한 환경계정의 기초통계로서, OECD에서 회원국들에게 제출을 요구하고 있는 통계 중 하나이다. 이 조사는 경제활동에서 발생되는 환경오염을 예방, 완화 또는 제거하기 위해 정부, 기업, 가계 등 경제주체가 부담한 지출액을 실제 조사한 통계이다. 따라서 수요측면에서 본 국내 환경산업 시장규모라 할 수 있다. 저에너지 친환경 공동주택 관련 시장규모는 현재 빠른 속도로 증가하고 있다. 따라서 신규로 공급되는 공동주택에 저에너지 친환경 기술을 적용하였을 경우의 파급효과는 매우 클 것으로 전망한다.

< 환경산업 업종별 매출액 >

단위 : 조원, (%)

구분	매출액		
	서비스업	제조업	건설업
2004년	9.2 (42.9)	8.5 (39.7)	3.7 (17.4)

※ 환경부, 통계청, 2004년 기준 환경산업통계 조사 결과

< 환경영역별 환경보호지출 추이 >

단위 : 백만원

구분	지출			
	2001년	2002년	2003년	2004년
대기보호	37,134	60,046	74,677	110,877(198%)
폐수관리	565,011	665,157	682,893	726,057(26%)
폐기물관리	1,576,348	1,721,857	1,886,125	2,033,989(29%)
토양・수질 보호	7,742	9,151	11,263	12,854(66%)
소음・진동 방지	2,403	2,873	12,349	14,071(485%)
생태계・자연경관 보호	471	466	571	750(59%)

※ 한국은행, 2004년 환경보호지출 및 수입통계 편제결과
※ ()안의 수치는 2001년 대비 증가율

< 환경오염방지 시설업체 수 >

단위 : 업체수

구분	2000년	2001년	2002년
업체수	964	988	1,017
전년대비 증가율(%)	7.2	2.4	2.9

※ 환경부, 환경백서 2003

건설업 관련 환경산업체 수

단위 : 업체수

구분	환경산업체 수		
	서비스업	제조업	건설업
2002년(1)	14,847개 (85%)	1,613개 (9%)	1,060개 (6%)
2004년(2)	18,452개 (80%)	3,446개 (15%)	1,138개 (5%)

※ (1) 환경부, 환경백서 2005, (2) 환경부・통계청, 2004년 기준 환경산업 통계조사 결과

국내 친환경산업은 전체 환경산업영역에 걸쳐 꾸준히 성장하고 있으나 건설업의 경우 서비스업이나 제조업과 비교해 환경산업체수와 매출액에 있어 매우 적은 비율을 차고 있다. 위의 통계에서 알 수 있듯이 대부분 환경관련 산업은 오염방지 및 처리에 집중되어 있으며, 쾌적한 환경조성, 기후변화협약에 대한 대응 등 중・장기적인 측면에서의 주요산업은 매우 미비하다.

(2) 건물에너지

최근 고유가 추세 장기화 및 에너지 수요 증대로 국가 전체에너지 소비량이 증가하고 있으며, 2003년 하반기 이후의 국제유가 상승세는 수요증가세 지속 및 지정학적 불안요인 등으로 인해 상당기간 지속 될 전망이다. 2005년도 에너지 수입액은 667억불로 전년대비 33.5% 증가하였으며, 총 수입액 중 에너지 수입 비중 또한 25.5%로 상승 하였다. 전체 소비 시장 중 건축부문도 지속적 에너지소비 증가추세를 보이고 있다.

< 에너지소비 추이 >

단위: %

구분	연평균 증가율				
	1981~1985	1985~1990	1990~1995	1995~2000	2000~2005
산업	3.4	12.6	11.7	5.9	2.5
수송	3.5	3.9	6.0	1.9	1.8
건물부문	15.9	16.1	13.9	2.7	4.1
계	4.8	9.8	10.2	4.2	2.8

건물부문의 에너지소비를 기간별로 구분하여 보면 연평균 소비증가율은 외환위기가 포함된 기간(95~00)을 제외하고는 타 부문에 비해 높은 증가세 유지하고 있는 것을 볼 수 있다. 최종에너지소비에 대한 건축부문의 에너지 소비 비중은 24.2%로 산업55.2% 수송20.6%로 산업 다음으로 많은 소비를 나타내고 있다. 이는 독신 가구 증가, 가전기기의 대형화, 가구당 건평 증가, 쾌적한 실내분위기 선호(조명, 냉난방) 등의 요인에 따른 것으로 앞으로도 지속적으로 증가 할 것으로 판단된다.

(3) 건설 시장

건설시장 규모는 매년 20%씩 증가하고 있다. 이중 주거용 건물이 차지하고 있는 비중이 44%에 이르고 있다. 따라서 각종 환경문제와 에너지 문제를 해결하기 위해서는 주거용 건물을 개선하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다.

< 건설 시장 규모 >

단위 : 억원, %

공사종류	공 사 액			증감률
	2001년	2002년	2003년	(03/02)
건 축	**55,975**	**65,575**	**80,373**	**22.6**
고층아파트	22,508	24,056	29,054	20.8
사무실빌딩	3,023	3,357	4,197	25.0
오피스텔	870	2,377	4,815	102.6
공장·작업장용건물	4,606	5,256	7,348	39.8
기 타	22,780	27,066	29,459	8.8

< 국내 용도별 건축 시장 현황>

단위 : 천억원

용 도	전체	비율(%)
공공용	24.6	4.3
문교사회용	84.1	14.7
상업용	109.0	19.1
주거용	251.7	44.1
공업용	51.3	9.0
기타1	42.8	7.5
기타2	7.2	1.3
총 계	570.7	100.0

(4) 친환경 공동주택의 보급

신규 공동주택 건설과 더불어 친환경 건축물 인증 단지수도 늘어가고 있으나 전체 규모에 비해 매우 미약하다. 이는 저에너지 친환경 단지 구축에 따른 비용증가와 인식부족에 의한 것으로 국민적인 관심이 고조되고 있는 상황과는 매우 대조적이다. 따라서 지속적인 홍보 및 이를 지원할 수 있는 정책개발이 매우 시급하다.

친환경 건축물 단지 수

구 분	연도별 시장 규모				
	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
신규 공동주택 건설*	267,000호	280,000호	282,000호	323,000호	315,000호
친환경 건축물 인증 단지수	-	3	3	15	33

* 국민임대주택, 단독•연립주택, 주거용 오피스텔 제외

* 건설산업연구원, 주택경기전망, 부동산114(주)/닥터아파트

* 친환경건축물 인증제도의 시행성과 및 발전방향, 2006

(5) 저에너지 친환경 요소기술

저에너지 친환경 관련 기술시장 또한 급격히 성장하고 있다. 그러나 많은 요소기술은 외국에서 직접 도입된 것이 대부분을 차지하고 있어서 관련된 원천기술의 개발과 확보가 절실히 필요한 실정이다. 본 연구 과제를 통해 이러한 요소기술의 국산화 및 검증이 이루어짐으로써 증가하는 저에너지 친환경 공동주택 관련수요에 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

< 요소기술별 국내 시장규모 >

단위 : 100억원

구분	연도별 시장 규모				
	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
조경부문	9.8	13.8	18.3	25.1	29.5
옥상조경부분	0.2	0.6	0.9	1.5	3.1
가변형 벽체	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7
일반창호사업	105	110.3	115.5	120.8	126
발코니창호산업	55	57.8	60.5	63.3	66
커튼월산업	100	105	110	115	120
친환경벽체마감재	22	23	25	35	35
친환경바닥마감재	27	29	31	37	45
친환경도료	-	-	5	10	20
친환경접착제	-	-	1	3	5
온수분배기	5.3	6.7	5.9	5.0	5.0
제어시스템	-	-	1.7	5	10

나. 국내시장 예측 및 발전전망

(1) 국내 환경산업

세계 환경산업의 시장규모는 2000년 5,180억불에서 2005년 7,097억불, 2010년 8,635억불로 연 5~6%의 성장이 전망되고 있으며(EBI, 1999), 국내 환경시장의 규모는 2001년 9조원, 2005년 19조원, 2010년 32조원으로 연평균 12% 내외의 높은 성장률이 예상되고 있다. IMF 관리체제의 영향으로 1998년도에 환경산업체의 수가 줄어드는 경향이 있었으나 1999년에 들어와 급증하여 꾸준히 증가할 것으로 예상되며, 첨단기술을 보유하고 적응력이 뛰어난 벤처형 전문기업이 급부상할 것으로 예상된다.

< 국내환경산업의 시장규모 전망 >

단위 : 억원

구분	1999년	2005년	2010년	연평균 성장률(%)	
				1999~2005년	2005년~2010년
환경서비스업	38,980	78,850	136,390	12.5	11.6
환경자원이용업	28,380	62,770	118,540	14.1	13.6
환경설비업	22,610	46,350	62,620	12.7	6.2
합계	89,970	187,970	317,550	13.1	11.1

주: 국립환경연구원, 산업연구원 등의 자료를 근거로 삼성지구환경연구소에서 추정.

※ 삼성경제연구소, '무한한 가능성, 환경산업'

(2) 건물 에너지

지속적인 신규주택공급에 따른 주거부문 에너지소비량이 크게 증가할 것으로 예상된다. 향후, 2020년까지 약 500만호 이상의 신규주택 공급이 필요하며, 국민소득 및 삶의 질 향상으로 에너지소비량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 에너지 절약이 가능한 공동주택의 개발이 매우 시급하다.

< 건물부문 에너지 사용량 >

단위 : 백만 TOE

1980년	1990년	2000년	2010년(예상)	2020년(예상)
16.1	24.7	35.9	51.6	64.7

(3) 세부산업별 시장 규모

< 국내 세부 기술별 시장 >

요소기술	2001	2005	2010	2015
조경 부분	981억원	2948억원	-	-
옥상조경부분	23억원	305억원	-	-
빗물 저류조	-	-	20000억원	100000억원
빗물침투시설	-	-	20000억원	120000억원
저농도 오수처리 재이용공법	-	-	3000억원	10000억원
소변/대변 on site 처리기술	-	-	3000억원	10000억원
소변/대변 분리수거 및 처리시스템	-	-	30000억원	10000억원
친환경소재의 바닥재	-	4500억원	5600억원	6700억원
전자식 유량 제어시스템	0	5만호	40만호	-
기계식 유량 제어시스템	53만호	45만호	10만호	-
재생 에너지 시스템	-	750 억원	6000 억원	-
신규공동주택 건설규모	267,000호	315,000호	365,000호	423,000호
정풍량/변정압 환기팬	425억원	425억원	425억원	-
하이브리드 환기시스템	-	-	4825억원	-

* 국내 펄라이트 생산, 판매량 대비 추정 데이터
* 건교부 법규, 서울시조례
  2008년부터 재개발, 재건축시 저류시설 설치 의무화 특별법 제정추진
  서울시 빗물관리시설의 설치및 지원에 관한 지침
* GLOBAL INFORMATION INC. 의 “world carpet & flooring ″
* 건설교통부 주택 공급수에 따른 추정치
* 산업 자원부 “제2차 신.재생에너지 기술개발 및 이용. 보급 기본계획
* 국민임대주택, 단독•연립주택, 주거용 오피스텔 제외
  자료 : 건설 산업연구원, 주택경기전망, 부동산114(주)/닥터아파트
* KISTI 2002(공기청정기 포함)

저에너지 친환경 관련 산업은 매우 급격히 증가하고 있다. 또한 아직 연구단계에 있어 실용화되지 못한 기술까지 포함하면 그 규모는 매우 커질 것으로 기대된다. 이런 관련 기술 사항을 양질의 것으로 관리하고 발전시킬 필요가 있는데 본 연구에 의해 개발되는 인증프로그램은 이러한 역할을 담당할 수 있는 것으로 기대한다.

다. 국내 주요 관련 업체

< 국내 저에너지 친환경 관련 업체 >

업체명	업체별 능력
(주)한설그린	조경소재를 기반으로한 기존 건축물 상부 옥상녹화 기술 보유
(주)한수종합조경	독일 제품 벤치마킹을 통한 녹화기술 및 조경 신품종 개발기술 보유
(주)경동세라텍	국내 최대 인공토양(펄라이트) 생산회사
(주)한국CCR	유럽형 옥상녹화시스템 도입을 통한 자체 시스템 및 다수 시공실적 보유
현대산업개발	빗물의 수순환 계통 확보
(주)유창	건축마감재 생산, 모듈러시스템, 알미늄 압출재생산
기린산업	지붕용 패널, 외벽/내벽용 패널, 슬라이딩 도어, 스마트 도어
토문엔지니어링	공동주택설계
종합건축사사무소	공동주택설계
무영종합건축사사무소	공동주택설계
효성이노테크	외단열 소재 생산, 설계
STO Korea	외단열 소재 생산, 설계
LG화학	시스템 창호 설계, 제작 및 시공
한화	시스템 창호 설계, 제작 및 시공
대종건영	커튼월 설계, 제작 및 시공
삼우EMC	커튼월 설계, 제작 및 시공
J&S 한백	커튼월 설계
이건창호	시스템 창호, 커튼월 설계, 제작 및 시공
중앙창호	커튼월 설계, 제작 및 시공
KCC	내장재,천정재,지붕재,단열재,창호재,바닥재,판유리,도료,실리콘,기능성 내장건자재, 저오염 수계도료, 건축자재 생산, 시스템 창호 설계, 제작 및 시공
벽산	내장재,천정재,단열재,바닥재,건식공법 가능한 패널,단열,방음시스템
한화	바닥재,창호,석재,표면재,올레핀소재 DECOR SHEET 제조기술 보유
LG화학	바닥재,창호,벽재,표면재,원단
오공	친환경접착제(무용제,수계접착제 생산기술보유)
LG전자,삼성전자	하나의 실외기로 다수 실내기를 담당하는 멀티에어콘 생산 (국내 주택 에어콘 점유율 1,2위/ 해외수출)
연우엔지니어링	온수분배기 및 각종 밸브의 설계 및 제작
삼양밸브	온수분배기 및 각종 밸브의 설계 및 제작

화인텍 센추리	FCU의 설계, 제작, 시공
귀뚜라미 센티온	FCU의 설계, 제작, 시공
포스콘	홈 콘트롤 시스템 개발, 제조, 서비스
한국 하니웰	홈 콘트롤 시스템 개발, 제조, 서비스
벽산건설	지능형 시스템 개발, 제조
LG전자	인공지능 제어 기술 적용
지오테크	GSHP 시스템 설계 및 시공 전문
제인상사	GSHP 시스템 및 대체에너지 전문 기업
한미건설	TAB 및 커미셔닝, MV 전문 기업
(주)(주)한일엠이씨	친환경 시스템 요소기술의 건물 적용을 위한 설계기술 및 정량적 시뮬레이션을 통한 분석능력 보유 공동주택의 건축기계설비설계 다수 수행
(주)삼신설계	친환경 시스템 요소기술의 건물 적용을 위한 설계기술 및 정량적 시뮬레이션을 통한 분석능력 보유 공동주택의 건축기계설비설계 다수 수행
(주)우원 M&E	친환경 시스템 요소기술의 건물 적용을 위한 설계기술 보유 공동주택의 건축기계설비설계 다수 수행
대림산업(주)	초에너지절약 건축물 설계/시공경험 보유
한국에너지기술연구원	초에너지절약 건축물 설계/시공경험 보유

라. 국내 전문가 및 연구기관 현황

< 국내 전문가 및 연구기관 현황 >

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
생태녹화	오상근	방수연구소	방수 및 방근 성능 개선 기술 연구	60%
수순환시스템	한무영	서울대	빗물관리/통합 물 관리	50%
	이태구	세명대	빗물관리	40%
	김이호	건기연	빗물관리	40%
	박주석	서울산업대	빗물관리	50%
	정태학	서울대	저농도 오수 처리 및 재활용	40%
통합단지계획	김태연	연세대	단지내 열환경 해석	50%
	송두삼	성균관대	단지내 열환경 해석 및 평가	40%
	신지웅	EAN	단지배치에 따른 단지 성능 평가	50%
	윤성환	부산대	도시 열섬현상 평가	30%
가변형 평면 개발	김수암	한국건설기술연구원	장수명 주택계획 및 기준, 설계 KICT 오픈 하우징 실험주택 계획 및 건설 운용 가변형 공동주택 설계 계획 리모델링 용이한 계획 및 설계기준	80%
자연형	김광우	서울대	자연형 냉난방 기술 적용	80%

냉난방+지능형 외피	이현우	광운대	친환경 자연형 냉난방 기술	80%
	석호태	영남대	자연형 냉난방 기술별 에너지 성능 평가	80%
	이언구	서울대	외피 단열성능 평가	80%
	최정민	창원대	우각부 외피 단열 설계	80%
	권영철	한라대	친환경 단열재	80%
	김정태	경희대	첨단 채광시스템 설계 및 성능 평가	80%
	김회서	단국대	자연채광 시스템의 설계와 성능평가	80%
	이응직	세명대	건축용 집광 및 광발전 시스템 적용평가	80%
	박상동	한국에너지 기술연구원	초에너지 절약형 건물설계기술 개발 이중외피를 적용한 연구동 건립	30%
	김현수	한국건설기 술연구소	복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발 중	30%
	김종필	대우건설기 술연구원	이중외피를 적용한 대우건설기술연구소 연구관리동 건립	30%
	조동우	한국건설기 술연구소	데스크탑 환경제어시스템 개발	30%
	신기식	한국에너지 기술연구원	건물에너지 관리기술, 그린빌딩 기술 등의 개발	30%
친환경 소재개발	조길원	포항공대	친환경 접착 및 점착기술	80%
	장성욱	오공	친환경접착제(무용제, 수계접착제, 고기능접착제)	85%
	김성무	대산뉴켐	오염물질 방출이 적은 기능성 수계, 무기 접착제, 천연페인트, 수성알키드수지	75%
복사냉난방시스템	김광우	서울대	복사냉난방시스템 실제주거 적용 연구수행	75%
	이승복	연세대	복사냉난방 제어에 관한 연구수행	75%
냉난방 요소시스템 및 제어	오세창	삼성SDS	자동제어시스템 및 표준화개발	50%
	진중화	한국하니웰	자동제어시스템 및 표준화개발	65%
환기시스템 개발	한화택	국민대	환기시스템 기술 개발	60%
	이정재	동아대	환기시스템 기술 개발	70%
	황정호	연세대	집진기술 설계 및 시공	90%
	이성환	벤토피아	환기 설비 기술 개발	70%
재생가능한 열원설비	박성구	지오태크	지열 냉방 기술 설계 및 시공	70%
	손병후	건기원	지열 냉방 기술 설계 및 시공	70%
	김두성	한미건설	지열 냉방 기술 MV	70%
통합설계엔지니어링	이상준	연세대	친환경 설계	70%
요소기술 통합모델개발	김광우	서울대	온돌시스템의 제어 향상 기술	100%
	이승복	연세대	발코니를 이용한 자연환기 시스템	80%
	송두삼	성균관대	자연환기 병용 제습형 복사패널 시스템	80%
	이의준	에너지기술 연구원	대체에너지 시스템	80%
	한화택	국민대	공동주택 환기시스템의 효율 향상	80%
모델하우스 건설/시공	백기성	대림산업(주)	초에너지절약주택 시공기술 보유	70%

마. 국내연구 인프라 수준

현재 국내의 저에너지 친환경 건축의 기술수준은 다음과 같이 많은 부분이 도입단계로서 선진국과 비교해 큰 차이를 보인다. 공공연구기관의 경우 연구비의 70% 이상을 외부 재원에 의존하고 있어 연구기관 고유기능인 공공 기초기술을 연구하는데 한계가 있는 것으로 나타났다. 지속적인 연구 개발과 기술의 질적 향상을 위해서는 전문 연구 인력의 확보 또한 중요하다. 이를 위해서는 건설 연구의 핵심 주체인 박사급 인력을 지속적으로 육성하고 양성된 인력에 대한 고용안전을 제공하는 국토해양부 자체의 연구인력 프로그램의 개발과 지원이 시급한 것으로 사료된다.

바. 국내 기술개발 수준

기술분야		인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
			부족	다소 부족	동등	우월	보다 우월
생태녹화	옥상녹화시스템	전문인력보유정도 인프라 구축정도	○				
수순환 시스템	통합 물순환 기술	전문인력보유정도 인프라 구축정도		○			
	통합 물질순환기술	전문인력보유정도 인프라 구축정도	○				
통합단지 계획	단지 열환경 분석기술	프로그램	○				
가변형 평면개발	가변형 벽체 설계 및 시공기술	전문인력보유정도 인프라 구축정도			○		
자연형 냉난방+ 지능형 외피	자연형 냉난방 수준별 공동주택 통합설계	설계, 연구 인력 및 기술		○			
		산업인력 및 기술		○			
		성능평가시설		○			
	공동주택 외단열	설계, 연구 인력 및 기술	○				
		산업인력 및 기술	○				
		성능평가시설		○			
	자연채광 시스템	설계, 연구 인력 및 기술	○				
		산업인력 및 기술	○				
		성능평가시설	○				
	지능형 외피	설계, 연구 인력 및 기술	○				
		산업인력 및 기술		○			
		성능평가시설		○			
친환경소 재개발	천연,재활용소재 기능성소재 성능평가	연구시설 및 설비		○			
		기초인력	○				
		산업기술인력		○			
		산학연공동연구기반			○		
		정보화		○			

		신뢰성평가			○		
		표준화기반	○				
		기술이전 및 거래			○		
		국제기술협력기반		○			
복사냉난방시스템 개발	주거용 복사냉난방시스템	전문인력 보유정도		○			
		연구시설 및 설비	○				
		산학연 공동 연구기반		○			
		정보화			○		
		표준화 기반		○			
		기술이전 및 거래		○			
		국제기술협력기반			○		
냉난방 요소시스템 및 제어	온수분배기	전문인력보유정도			○		
		산학연 공동연구 기반		○			
		인프라 구축정도		○			
		기술의 표준화		○			
	현열열교환기	전문인력보유정도				○	
		인프라 구축정도		○			
		산학연 공동연구 기반		○			
		기술의 표준화			○		
냉난방 요소시스템 및 제어	홈 제어 시스템	연구 시설 및 설비				○	
		기초인력				○	
		기술의 표준화		○			
		산학연 공동 연구 기반			○		
환기시스템 개발	에너지 절약형 시스템 개발	인프라 구축정도		○			
재생가능한 열원설비	지열냉난방시스템 설계 및 시공	전문인력 보유정도		○			
		인프라 구축정도		○			
	지열냉난방 시스템 커미셔닝	전문인력 보유정도	○				
		인프라 구축정도	○				
요소기술 통합모델 개발	친환경시스템 요소기술	전문인력 보유정도		○			
		연구시설 및 설비 보유정도		○			
		산학연 공동연구기반 정도		○			
		표준화 기반정도	○				
		국제 기술협력 기반 정도		○			
저에너지 건축물 건설,시공	저에너지 친환경건축물 구현기술	저에너지 친환경 통합설계	○				
		저에너지 친환경 시공기술		○			
		저에너지 친환경 성능평가		○			

(1) 과제 완료 전후 기술 수준

구분	세부산업 또는 기술내용	현재 기술수준			과제 완료시국내 기술수준		
		기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고	기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고
옥상녹화	세부기술	30	10	도입단계	90	1-2	경쟁단계
수순환시스템	통합물순환기술	50	5	도입단계	90	0	성숙단계
	통합물질순질환기술	20	10	도입단계	50	3	경쟁단계
통합단지계획	단지 열환경 분석 기술	30	10	도입단계	80	3	경쟁단계
가변형평면개발	가변형 벽체개발	70	5	도입단계	90	1	경쟁단계
지능형 외피	자연형냉난방,채광 및 지능형 외피시스템	80	4	도입단계	95	1	성숙단계
친환경소재개발	소재 가공기술	70	10	성숙단계	90	3	경쟁단계
	저오염 시공기술	80	5	성숙단계	95	1-2	경쟁단계
	성능평가 기술	90	2	경쟁단계	100		경쟁단계
복사냉난방시스템개발	복사난방	80	5	성숙단계	100	0	성숙단계
	복사냉방	50	15	도입단계	80	5	경쟁단계
	복사냉난방 통합화	50	15	도입단계	90	5	경쟁단계
냉난방 요소시스템 및 제어	온수분배기	80	5	성숙단계	90	2	성숙단계
	현열 열교환기	90	2	성숙단계	100	0	성숙단계
	홈 코트롤 시스템	65	6	성숙단계	90	1	성숙단계
환기시스템개발	에너지 절약형 시스템	30	4	경쟁단계	90	1	성숙단계
재생가능한 열원설비	지열 냉난방 시스템 설계 및 시공 기술	50	15	도입단계	60	10	경쟁단계
	지중 열교환기 설계 및 시공 기술	50	15	도입단계	70	5	경쟁단계
	지열 냉난방 시스템 커미셔닝 기술	30	15	도입단계	50	5	경쟁단계
저에너지 건축물 건설/시공	저에너지 친환경 통합설계	30	7	도입단계	75	3	성숙단계
	저에너지 친환경 시공기술	60	5	도입단계	85	2	경쟁단계
	저에너지 친환경 성능평가	70	3	성숙단계	90	1	경쟁단계

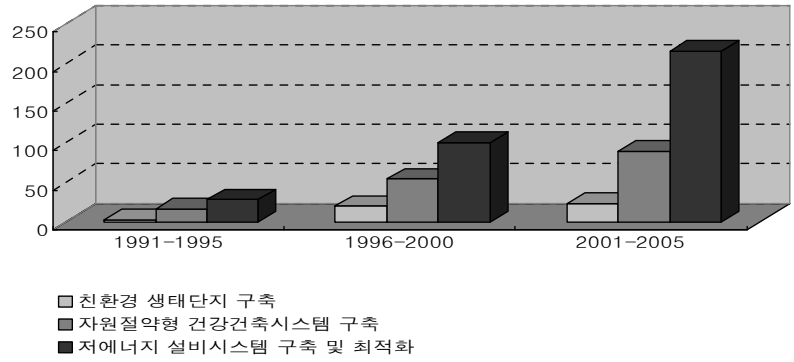
(2) 요소기술 국내·외 개발 현황 비교

구분	세부기술 내용	국외 현황 (주요선진국명)	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
생태녹화	옥상녹화	독일, 일본, 영국 -배수토양: 타지마 루핑 형태는 자연토와 유사하나 옥상전용 토양으로 유기물 함량비율 검증된 데이터 보유 -경량골재: 재활용제품 활용 -배수판: 방수층 보호와 저수 및 통기, 배수기능 강화 -저배수판: 소재의 다양성 고무판 등, 기능의 강화 -방근층: 방수층 및 건물보호를 위해 실험데이타 축척된 상태고, 현장적용 검증된 제품 생산 -저관리형식생박스: 다양한 형태의 시스템들을 적용. 또한 부재의 개발도 다양	서울대, 대한주택공사 -펄라이트 대량 생산: 자연토와 전혀 다른 느낌 유기물 함량에 대한 검증된 자료 없음. -화산석 : 양산단계 -배수판: 가격은 저렴하나 방수층 손상의 우려와 국내 우수량 검토 및 내구성에 조사내용 없음 -저배수판: 방수층 보호 기능은 하지만 규격이 한정 -방근층: 수입의존 -저관리형 식생박스: 다양한 형태, 내풍압, 요소개발에 대해 부재	30% (배수토양) 80% (경량골재) 50% (배수판) 50% (저배수판) 10% (방근층) 30% (저관리형 식생박스)
수순환 시스템	통합물순환기술	독일, 일본에서 실적용 사례 다수	서울대 빗물연구센터	50%
	통합물질순환기술	독일에서 실적용 사례 다수	-	-
통한단지 계획	단지 열환경 분석 기술	일본 -NEDO를 통한 체계적인 지원 및 기술개발	개별 연구자에 의한 산발적 기술 개발 통합연구가 이루어지지 않았음	30%
지능형 외피	자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피시스템	독일, 미국, 캐나다, 일본에서 실적용 사례 다수	서울대, 연세대, 이화여대, 강원대, 경희대, 건설기술연구원, 에너지기술연구원에서 연구 수행	80%
친환경 소재개발	소재 데이터베이스	독일 -500종류에 해당하는 건축자재에 의한 유해물질의 방출 잠재성 예측연구 수행 중	-오염물질 방출 건축자재 선정 관련 연구 -페인트에 대한 방출물질 연구	70%
	소재 가공기술	유럽 -Soybean-base 용매 -천연안료 -천연물로 제조된 무독성, 무중금속 자재	-옥, 은, 규조토, 황토, 맥반석 등 천연자재가공 건축자재 천연안료, 천연물로 제조된 무독성, 무중금속 자재	80%

복사냉난방 시스템개발	복사난방	독일 등 선진 유럽, 캐다나에서 실적용 사례 다수	건기연, 에기연, 서울대, 연세대에서 연구수행	90%
	복사냉방	독일 등 선진 유럽, 캐다나에서 실적용 사례 다수	건기연, 서울대, 연세대에서 연구수행	70%
	복사냉난방 통합화	독일 등 선진 유럽, 캐다나에서 실적용 사례 다수	서울대, 연세대에서 연구수행	70%
냉난방 요소시스템 및 제어	온수분배기	중국, 일본		80%
	현열 열교환기	미국, 중국	-에어컨용 휜-관 열교환기 개발	80%
환기시스템	홈 콘트롤 시스템	독일, 미국, 일본, 홍콩	-업체별 고유 시스템 개발, 장치간 인터페이스 표준화 필요	70%
	공조계환기 시스템	일본	신성엔지니어링, 벽산	30%
재생가능한 열원설비	지열 냉난방 시스템 설계 및 시공 기술	미국 (오클라호마 대학)	지오태크 -최적 설계 기술 미흡	60%
	지중 열교환기 설계 및 시공 기술	미국 (오클라호마 대학)	건기원 -설계 시공 관리 통합 미흡	60%
	지열 냉난방 시스템 커미셔닝 기술	미국 (Texas AM 대학)	한미건설 -HVAC 적용, GSHP 적용 사례 없음	60%
저에너지 건축물 건설/시공	저에너지 친환경 통합설계 저에너지 친환경 시공기술 저에너지 친환경 성능평가	유럽 -초에너지절약 주택보급 ▪ 패시하우스 프로젝트 : 스웨덴, 독일, 프랑스 등 14개동 250호 시범사업 ▪ 3L House : 11,000호 구축	대림산업, 에기연 - 시범주택 구축 : 개별건물 ▪ 3L House 시범주택 ▪ 제로에너지하우스	30% (통합설계) 60% (시공기술) 70% (평가기술)

사. 국내 요소기술 / 특허동향

국내는 저에너지 친환경 설비시스템 구축 및 최적화 기술에 약 50% 이상의 특허출원이 집중되어 있다. 반면 전체의 약 35%는 자원절약형건강건축시스템 구축에 배치되어 있으며, 15%의 나머지를 친환경 생태단지 구축기술이 차지하고 있다. 실질적으로 우리나라의 특허출원은 설비시스템에 집중되어 있음을 알 수 있다.



< 국내 친환경 관련 기술동향 >

(1) 외부환경적 요소(SITE)

자원절약형 건강건축시스템 구축과 저에너지 설비시스템 구축 및 최적화 기술개발에서 많은 특허가 배출되는 것에 비하여 친환경 생태단지 구축기술에 대한 특허출원은 상대적으로 미흡한 실정이다. 세부 기술에 대한 특허건수는 다음과 같다.

< 친환경 생태단지 구축 세부기술 특허출원 현황>

대분류	중분류	소분류	세부 요소기술	유효데이터
친환경 생태단지 구축기술	생태적 녹화	인공적 생태디자인	옥상녹화	15
			벽면녹화	9
			수생 육생 비오톱	3
	단지내 수순환 시스템 구축	우수유출 방지	투수성 포장	19
합 계				46

친환경적인 건축물의 설계를 하기 위해서는 대지의 오염요소를 최대한 제거하고, 생태학적 가치를 유지하기 위하여 생태계 피해를 최소화하는 배치계획과 단지내의 수순한 시스템을 이용하여 생태계의 순환체계를 유지할 수 있도록 계획되어야 한다. 현재 지하수나 우수를 이용하는 수순환 측면에서의 특허출원이 되고 있지만 다른 요소기술에 비해서는 다소 적다. 특허의 개발이 우선시되는 것보다는 실제 적용가능성을 면밀히 검토하고 기술이전을 통해 DB를 구축해야 하며, 이에 따른 기술인력을 확보하는 것이 중요하다.

(2) 건축적 요소(BUILDING)

건물에 관한 친환경 기술의 분포를 보면, 친환경 자재마감 관련 특허건수가 상대적으

로 많은 것을 볼 수 있다. 이것은 친환경 아파트가 주택시장의 화두로 떠오른 가운데 환경호르몬 제거 및 실내공기 청정화를 위한 업체들의 경쟁이 치열해지면서 연구개발이 활성화 된 것으로 해석된다. 이에 따른 벽지, 바닥재, 몰딩 등 환경호르몬 배출이 많은 마감재를 천연자재로 교체하는 방안이 본격적으로 모색되고 있다. 또한 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 sun tracking 차양시스템의 연구와 부하저감을 위한 고단열소재나 고기밀소음차단형 흡음소재에 대한 특허출원 역시 활발히 진행되고 있다.

현재 Building 분야 관련 특허건수가 상대적으로 System 분야에 비해 빈약하지만 저에너지 친환경 공동주택을 실현하기 위해 가장 기술개발이 필요한 분야라고 할 수 있다.

< 자원 절약형 건강건축 시스템 구축 세부기술 특허출원 현황 >

대분류	중분류	소분류	세부요소 기술	유효데이타
자원절약형 건강건축 시스템 구축	가변형 계획	가변형공간계획	구조시스템 모듈화	9
	지능형 외피시스템	부하저감	고단열 소재	16
		쾌적한 실내환경 조성 열/빛/음 고려	sun tracking 차양시스템	19
			자연형 조명 기술이용	7
		regeneration	BIPV	4
			태양열	31
			풍력	10
	자연형 냉난방 및 채광	냉난방 계획	통풍 계획	9
			축열 냉각	12
	친환경 마감재	소재 개발	천연소재 개발	42
합계				159

(3) 설비적 요소(SYSTEM)

에너지에 절약에 대한 관심이 높아지면서, 정부차원에서 에너지절약 사업이 실시되고 정책적으로 지원됨에 따라 다른 분야에 비해 많은 특허가 출원되어 있는 상황이다. 그러나 실제로 많은 특허출원이 진행되고 있음에도 불구하고 이에 대한 실용화가 부족한 것은 기술이전의 방법과 기술의 파급성에 대한 검토가 부족하고 개발된 기술의 평가와 시장 경쟁력을 확보하기 위한 시장규모, 특허증가율, 개발된 기술의 수출가능성 검토가 이루어지지 않았기 때문으로 보인다. 본 연구개발은 요소개발 자체 보다는 실용화에 중점을 두고 있어 질적인 면에서도 충실한 특허 출원이 가능할 것으로 판단된다.

< 저에너지 설비시스템 구축 및 최적화 세부기술 특허출원 현황 >

대분류	중분류	소분류	세부요소기술	유효데이타
저에너지 설비시스템 구축 및 최적화	냉난방 시스템	냉난방	복사 냉/난방	24
	공기정화 환기시스템	환기	전열 교환기	31
			공기조화 시스템	15
	설비시스템 최적제어	제어	온도 제어	57
			습도 제어	0
			공기질 제어	38
			조도 제어	12
			풍속 제어	17
	재생 가능한 열원시스템 적용	태양열	태양광 시스템	29
			태양열 급탕/난방	20
		지열	히트펌프	54
		연료전지	연료전지 열병합 발전시스템	36
			가스엔진 열병합 발전시스템	11
합계				344

2. 국내 정부 정책 현황

가. 저에너지 친환경 관련 제도

(1) 관련 정부 부처별 제도

< 저에너지 친환경 관련 정부 부처별 제도 >

구분	주 관 부 처		
	건설교통부	산업자원부	환 경 부
건축자재	▪ 건설기술관리법 -시공평가시 건설폐자재 사용이 20% 초과시 가산점 부여 ▪ 건축법 -건설 폐자재의 골조공사 사용비율에 따라 용적율 완화	▪ 환경친화적산업구조로의 전환촉진에 관한 법률 -생산공정의 친환경화 -환경친화적 제품개발 -생산공정에서의 온실가스 저감 ▪ 에너지이용합리화법 -설비 기자재의 에너지효율 관리	▪ 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 -건설공사시 자원절약과 재활용에 대한 사업자의 책무 규정

건축설계	▪ 건축법 -열손실 방지 규정 -일정규모 이상 건축물의 에너지절약설계기준 적용 및 절약계획서 제출 -에너지절약적 건축물에 대한 용적율 완화 -친환경건축물인증제도(환경부와 공동 시행) -공동주택의 환기설비 기준 (상시 0.7회 환기유지 의무화)	▪ 에너지이용합리화법 -일정규모이상 단지개발시 에너지사용계획서의 제출 -공공건축물 고효율에너지기자재 사용 의무화 ▪ 환경친화적 산업 구조로의 전환촉진에 관한 법률 -에너지사용계획서 제출시 온실가스 저감방안 권고 ▪ 건물에너지효율등급인증(고시) (예비인증) ▪ 공공발주 건축물 신재생에너지 이용의무화	▪ 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 -공동주택의 붙박이장 등 수납공간 설치권고 ▪ 수도법 -중수도설치, 절수설비등에 관한 규정 ▪ 다중이용시설 공기질관리법 ▪ 친환경건축물인증제도 (건교부와 공동 시행)
건축시공	▪ 건축법 -제반 건축허가 사항의 이행여부에 대한 감리 및 확인 - 주택성능등급표시제도	▪ 건물에너지효율등급인증 (준공후 본인증 시행)	▪ 대기환경보전법 -연면적 1,000㎡ 이상 건설공사시 비산먼지 방지규정
건물운용	▪ 건축법 -건축물의 적합한 관리에 대해 명시	▪ 에너지이용합리화법 -건물에너지관리기준 -에너지사용실적의 보고 -에너지관리진단의 실시 -목표 원단위 이행 권고 ▪ ESCO, 단열개수 지원 등	▪ 환경개선비용부담법 -연면적 160㎡ 이상인 시설물에 대하여 환경개선부담금의 징수
건물해체	-	-	▪ 대기환경보전법 -연면적3,000㎡이상 해체공사시 비산먼지방지규정
비고	▪ 건축물의 설계 및 시공시의 에너지와 환경문제에 대한 사항	▪ 건축물 관련 자재 및 설비의 효율관리 및 운용시의 에너지 사용 관리	▪ 오염 관련 환경 문제에 대한 사항, 재활용관련 사항, 실내 환경기준 등

나. 정부지원 정책사업 종류와 현황

(1) 정부 정책 관련 제도 종류

(가) 친환경 건축물 인증제도

개요	**건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 전과정을 거쳐 자원절약, 오염물질 감소 등 환경에 영향을 미치는 요소를 평가하여 건축물의 환경성능을 개선하고, 에너지 소비 및 온실가스 배출을 감축을 유도하는 인증제도(Green Building 제도)**
감축대상온실가스	CO2
조치의 형식	정책(권장)
시행상황	시행중
주관처	환경부, 건설교통부

친환경 건축물 인증제도는 건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 리사이클 전과정을 거쳐 자원절약, 오염물질 감소 등 환경에 영향을 미치는 요소를 평가하여 건축물의 환경성능을 개선하고, 에너지 소비 및 온실가스 배출 감축을 유도하는 것을 목적으로 시행하고 있다.

1999년 10월부터 2000년 12월까지 환경부와 건설교통부에서 시범인증사업이 실시된 바 있으며, 2001년에 친환경 건축물 인증제도의 통합시행지침이 마련되어, 2002년 1월부터 공동주택을 대상으로 추진되고 있다. 현재 준공된 건축물을 대상으로 인증 심사하되, 건축주가 희망하는 경우에는 설계단계에서 심사하여 예비인증을 수여하고 있으며, 인증 유효기간은 5년으로 하고, 별도 5년 연장이 가능하나 10년 이후에는 재신청하도록 규정하고 있다.

(나) 건물 에너지 성능 인증제도

개요	**설계단계부터 원천적으로 에너지절약 시설·장치가 설계된 건축물(1-3등급)이 많이 지어질 수 있도록 일정한 기준 이상의 건물에 대하여 건물에너지이용효율 인증을 발급하고 건축비의 일정분을 지원함**
감축대상온실가스	CO2
조치의 형식	권장제도(금융적 인센티브 부여)
시행상황	공동주택을 대상으로 시행 중
주관처	산업자원부(건교부와 공동 관리 협의중)

건물부문의 에너지이용효율을 높이기 위하여, 2001년 8월부터 18세대 이상으로 신축 및 개보수작업이 이루어지는 공동주택을 대상으로 설계단계부터 원천적으로 에너지절약 시설 및 장치가 설계된 건축물(1-3등급)이 많이 지어질 수 있도록 일정한 기준 이상의 건물에 대하여 건물에너지이용효율 인증을 발급하고, 건축비의 일정분에 해당하는 자금을 저리융자해 주고 있다.

(다) 에너지소비효율등급 표시제도

개요	에너지소비효율에 따른 소비효율등급(1~5등급)을 제품에 표시하게 하여 소비자가 고효율제품을 구입토록 유도하기 위한 제도
감축대상온실가스	CO2
수단의 형식	의무
시행상황	시행 중
주관처	산업자원부

에너지소비효율에 따른 소비효율등급(1-5등급)을 제품에 표시하게 하여 소비자가 고효율제품을 구입토록 유도하는 제도이다. 대상품목은 전기냉장고, 전기냉방기, 전기세탁기, 식기세척기, 전기냉온수기, 백열전구, 형광램프, 형광램프용 안정기, 안정기내장형램프, 가정용가스보일러 등이며 자동차는 별도 고시 관리되고 있다. 한편 식기세척기와 전기냉온수기 등이 2002년에 추가되었으며 김치냉장고, 전기밥솥을 대상으로 확대 추진 중에 있다. 2001말 기준 5,294모델이 등급신고 되었으며, 1, 2등급의 고효율제품이 3,849모델로 전체의 73% 점유('93년 제도 시행 초 1, 2등급 점유율 60% 대비 13% 증가)하고 있음. 전기냉장고, 냉방기 경우 유통량의 95%이상이 고효율제품이나 중소기업이 대부분인 조명기기는 고효율제품 유통이 20-30%로 낮아 효율개선 독려 및 기술개발 지원 필요한 것으로 평가되고 있다.

(라) 건축물 에너지절약 설계기준

개요	건축물의 단열기준과 건축물에 설치되는 기계 및 전기설비의 성능을 관장하는 법으로서 건축물 에너지효율화의 기본이 되는 제도
감축대상 온실가스	CO2
수단의 형식	단열기준 : 모든 건축물 의무화 에너지절약설계기준 : 일정 규모 이상 건축물 의무화
시행상황	시행 중
주관처	건설교통부

「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」을 개정하여, 2001년 6월부터 허가받는 건축물에 대해 외벽, 지붕, 바닥 등에 대한 단열기준을 20%이상 강화하고, 신규 고효율에너지 기자재의 건축물 의무 적용을 확대하는 등 건축물 에너지 소비 최소화를 온실가스 감축대책에 적극 대응하고 있다. 또한, 건축물 에너지절약 설계기준의 효율적 이행을 위한 설명회 개최 및 기술·행정 가이드도 발간하여 보급하고 있다.

(마) 고효율에너지기자재 인증제도

개요	에너지를 사용하는 제품 중에서 에너지 효율이 뛰어난 제품에 대하여 고효율에너지기자재 인증을 부여하는 제도
감축대상 온실가스	CO2
수단의 형식	권장
시행상황	시행 중
주관처	산업자원부 에너지관리공단

고효율 제품의 보급 촉진을 위한 제도로서 고효율제품을 평가하고 규정된 성능 이상을 가진 우수 에너지 기자재에 대해 품질 마크를 부여하는 제도로 인증대상 에너지기자재는 고효율 유도전동기, 26mm32W형광램프, 형광램프용 안정기, 전구식형광등기구, 고조도 반사갓, 조도자동조절조명기구, 폐열회수형 환기장치, 고기밀성 단열창호, 모니터 절전기, 산업건물가스용 보일러, 가정용가스보일러, 고효율펌프, 무정전전원장치, 전력용변압기 등이 있다.

향후 인증 대상 기자재는 지속적으로 확장하여 2009년까지 33품목으로 확장할 예정에 있으며 고효율기자재 인증제품 전 품목에 대한 리베이트 지원 확대, 고효율기자재에 대한 자금 및 세제지원 강화, 공공기관 우선 구매 독려 및 의무사용 강화, 건축물 에너지절약 설계기준에 고효율기자재 의무사용 확대 추진 등을 계획하고 있다.

(2) 저에너지 친환경 관련 제도 운영 현황

구분	초고속정보통신 건물인증제도	지능형건물 인증제도	친환경건축물 인증제도	주택성능등급 표시제도	건물에너지효율등급 인증제도
관련 근거	초고속정보통신 건물인증업무처리지침(정통부)	지능형건물 인증제도 평가지침(건교부)	친환경건축물 인증제도 평가지침 (2002) 건축법 제58조 (친환경건축물의 인증, 2005. 건교부·환경부)	주택법 제21조의2 (주택성능등급의 표시 등) (건교부)	건물에너지효율등급 인증에 관한규정 (산자부고시제2005-10), 에너지이용합리화를위한자금지원지침(산자부)
시행시기	1999. 4	2006. 9 (시행예정)	2002. 1	2006. 1	2001. 8
운영기관	-	건교부	건교부·환경부	-	에너지관리공단

인증(인정)기관	정보통신부 (자문기관: TTA)	(사) IBS Korea (예정)	대한주택공사, 한국에너지기술연구원, (주)크레비즈큐엠	한국건설기술연구원, 대한주택공사(주택도시연구원), 한국시설안전기술공단, 한국감정원, 대한주택보증주식회사	산업자원부 장관
평가기관	-	-	-	-	한국건설기술연구원, 한국에너지기술연구원, 에너지관리공단
인증구분	예비인증(설계도서) 정식인증(완공후)	-	예비인증(설계도서) 본인증(완공후)	설계성능평가 (설계도서)	예비인증(설계도서) 본인증(완공후)
심사기간	접수 후 20일 이내	처리기간 : 30일 이내	처리기간 : 90일	접수 후 20일 이내	접수 후 30일이내 본인증시: 40일이내
인증대상	공동주택(50세대 이상) 업무시설 (연면적 3,300㎡ 이상)	업무용 건축물 (공동주택, 주상복합, 상업용 등으로 확대 예정)	공동주택, 업무용, 주거복합건축물, 학교시설 (2006년 판매,숙박시설)	2,000세대 이상(2006) 신축공동주택 (2008년 1,000세대 확대예정)	신축 공동주택 (18세대 이상) (2008년 업무용건물 확대 예정)
평가항목	-공동주택:특(25), 1~3급(22) -업무시설:1~3등급 (20) -오피스텔:1~3등급 (23)	6개부문 지표수 124항목	-공동주택: 지표수(44) -업무시설: 지표수(40) -주거복합: 지표수(41) -학교시설: 지표수(43)	소음, 구조, 환경, 생활환경, 화재·소방 등(성능부문 : 5)	계산식에 의거한 에너지절감율 -에너지관련지표(17)
등급구분	특등급, 1등급, 2등급, 3등급(4단계)	1등급, 2등급, 3등급(3단계)	최우수, 우수 (2단계)	1등급, 2등급, 3등급(3단계)	1등급, 2등급, 3등급(3단계)
인증실적	3,552개 인증 (2005. 5 기준)	업무용 건물 3건 주상복합거물 1건 (사)IBS Korea 인증실적	100여건 인증 (2006. 5 기준)	-	52개 인증 (2006. 3 기준)
혜택	인증필증·인증명판 교부, 신문, 방송, 견본주택에 인증마크 활용	인증필증·인증명판 교부, 신문,방송, 견본주택에 인증마크 활용	인증서 및 인증명판 제공, 홍보자료로 활용	성능등급이 우수한 주택을 건설한 사업주체에 「정부표창규정」에 의한 포상	2등급 이상 예비인증시 에너지 이용합리화자금 저리융자(인증서)
추진효과	-구내통신 관련 기술 발전 촉진 -건설업체간 주택 품질 경쟁촉진, 민간의 적극적인 호응	-건축물에 대한 가치판단 및 지능형건물에 대한 정보제공 -지능형 건축물의 건설 유도 및 촉진	-건물의 환경 친화성에 대한 정보제공 -친환경 건축물의 건설 유도 및 촉진	-소비자의 주택구입을 위한 선택의 용이성 및 객관적인 지표에 따른 소비자 보호, 주택성능향상 및 기술개발유도	-입주자:건물정보취득 -건설사 : 마케팅전략 -국가 : 에너지절약, 기후변화협약 대응

3. 국내 에너지 환경 실험주택 특성

조사 결과 국외의 실험주택은 모두 단독주택을 대상으로 하고 있으며 국내 또한 공동주택을 대상으로 한 실험주택 연구는 대림산업의 3L하우스 1세대와 PLUS50의 6세대를 들 수 있다. 그러나 3L 하우스는 난방에너지를 중심으로 하고 있으며 PLUS 50은 통합 성능보다는 각 기술별 성능 검증을 목적으로 구축된 세대라고 할 수 있다.

따라서 저에너지 친환경 실험주택 Pilot Project는 공동주택을 대상으로 단계별 통합 에너지 절감 목표를 실현하도록 한 점에서 가장 큰 차별성을 찾을 수 있다.

실험주택	대상	목표	특성
저에너지 친환경 실험주택 (Pilot Project)	공동주택	에너지 40,60,80,100% 절감	단계별 성능 목표를 가진 4개의 기술 통합형 모델 구축 외부공간, 건물 부하저감, 고효율 설비, 신재생 에너지 등 다양한 기술 조합을 통해 목표 성능 구현
ZeSH(Zero Energy Solar House)-I	단독주택	열부하 70% 자립	난방, 급탕 등 열부하 중심 자연형 시스템과 태양에너지 활용
3L 하우스	단독주택 공동주택	난방에너지 3L (80% 절감)	난방에너지를 중심으로 구성 외국 선진 기술 채용 공동주택의 경우 실험센터 건물 내에 1세대 구성
PLUS 50	공동주택	냉난방부하 50% 절감, 건물 수명 50년 연장, 재생소재 50% 사용	각 기술별 성능 검증을 위한 세대 구성 녹화, 외피, 에너지시스템, 구조시스템 등
Green Tomorrow	단독주택	zero energy	기술 홍보를 위한 전시를 위주로 많은 기술을 채용함, IT 기술을 접목
ZeSH(Zero Energy Solar House)-II	단독주택	에너지 자립	신재생에너지 적용 중심 (자연형 태양열, 설비형 태양에너지시스템, 지열에너지)
제로카본 그린홈	고층 공동주택	Low/Zero Carbon 그린홈(고층아파트)	현재 계획 단계 지역단위 에너지 공급체계까지 범위 확대

제 3장. 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절. 저에너지 친환경 공동주택 통합연구개발

1. 저에너지 친환경 공동주택 통합연구개발

가. 통합성능평가

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 환경 및 에너지 문제 해결을 위한 대책으로 건물에서의 에너지 소비 저감을 위한 노력이 필요한 상황임.

② 국내 공동주택의 비율이 80% 이상 차지하고 있으며 아파트를 중심으로 한 공동주택의 계속적인 증가 추세가 이어지고 있는 상황에서 국내 공동주거에 형태에 적합한 현실적인 저에너지 모델 제안.

③ 정책 적용에 앞서, 단계별 성능 목표를 가진 4개의 통합형 모델을 제시하고 통합 모델의 성능을 검증하고자 함.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 기존 공동주택의 에너지 소비형태 분석

㉮ 표준 공동주택의 에너지 소비 형태 분석

㉯ 재실자의 생활 패턴 조사를 통한 스케줄 분석

② pilot project를 통한 통합 성능 평가

㉮ pilot project 성능 모니터링을 통한 통합 성능 평가

㉯ 에너지 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 사용량 예측 및 세대별 비교 평가

③ 저에너지 기술의 적용성 분석

㉮ 문헌조사를 통한 저에너지 기술의 기술수준 설정

㉯ 저에너지 기술들의 리스크 분석

㉰ 저에너지 기술의 경제성 분석

㉱ 저에너지 기술의 적용성 평가

(3). 연구개발결과

① 기존 공동주택의 에너지 소비형태 및 재실자 생활 패턴을 분석하여 기초 자료로 활용.

② pilot project를 통한 통합 성능 평가

㉮ 건물성능분석 : 기밀, 환기 및 유리 성능을 분석하기 위하여 실험을 진행하여 문제점 파악 및 보완점 제시.

㉯ 모델별 냉난방 실험 : 하계, 동계 실험을 통하여 냉난방부하를 예측하고 실제 에너지 사용량을 비교 분석함. / 실험데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 보정한 후 연간 냉난방 부하를 예측함

.

③ 실험개요

	하계실험		동계실험	
실험기간	자연상태 2010.9.13.~2010.9.15	냉방실험 2010.8.31.~2010.9.5	자연상태 2011.2.2.~2011.2.4	난방실험 2011.1.6.~1.14
실험대상	Base, $Gh^{+}40$, $Gh^{+}60$, $Gh^{+}80$, $Gh^{+}100$		Base, $Gh^{+}40$, $Gh^{+}60$, $Gh^{+}80$, $Gh^{+}100$	
측정요소	온도, 습도		온도, 습도	
운영모드	이중창호 외측창 개방		이중창호 밀폐	

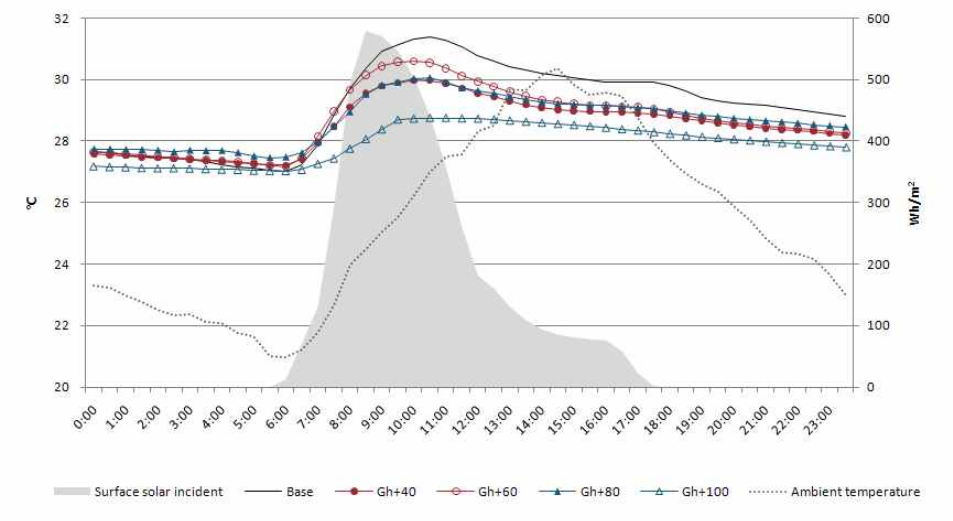
④ 하계 자연 상태 실험 결과

㉮ 9월15일 24시간의 데이터를 기준으로 분석

㉯ 설정온도차이로 예측되어지는 냉방부하는

base > Gh+60 ≒ Gh+80 > Gh+40 > Gh+100 순서로 감소

㉰ Gh+100 모델에서 주야간 실내 온도 편차가 가장 낮아 상당히 안정된 온도변화를 보임. 이는 고단열 창호를 적용하여 유리의 개수 및 표면의 Low-e 코팅 등으로 실제 일사유입량이 감소하여, 낮 기간 동안의 피크 실내 온도를 충분히 낮추었기 때문으로 판단됨.

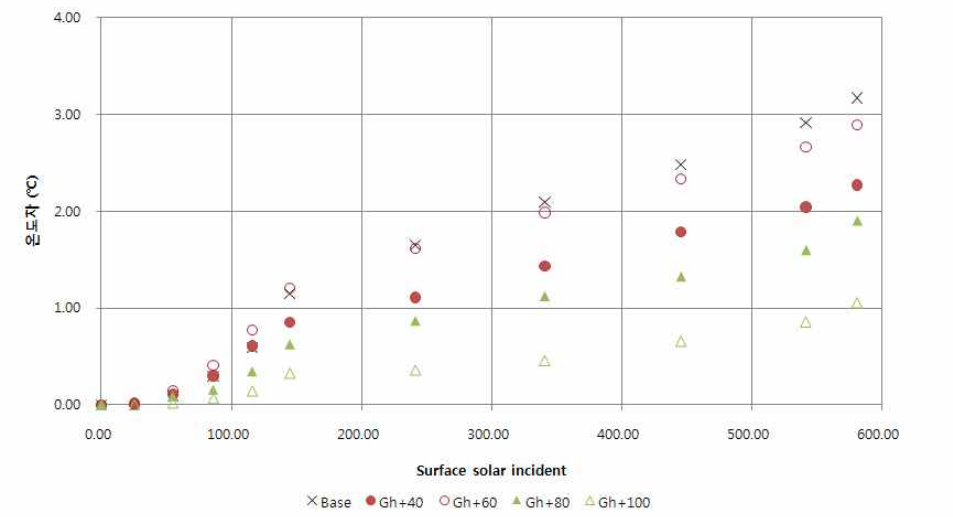


< 세대별 실내온도변화 >

㉮ 오전시간대에 일사량의 증가에 따른 실내온도 변화 폭 분석

㉯ 해가 뜨는 06:00부터 base > Gh+60 > Gh+40 > Gh+80> Gh+100 순서로 실내온도변화폭이 커짐. 이는 세대의 창호를 통한 실내로의 일사유입량의 의한 것으로 판단되며 투과율이 가장 높은 Base가 실내온도변화 폭이 가장 크며 Low-E 코팅 및 삼중유리로 이루어져 투과율이 가장 낮은 Gh+100의 실내온도변화 폭이 가장 작음.

㉰ Gh+40과 Gh+60의 경우 계획 성능과 달리 실내온도변화 폭이 역전되어 있는 것을 알 수 있는데 이는 시공 상의 문제로 추후 조치가 필요함.



< 일사량증가에 따른 온도변화폭 >

⑤ 하계 냉방 실험 결과

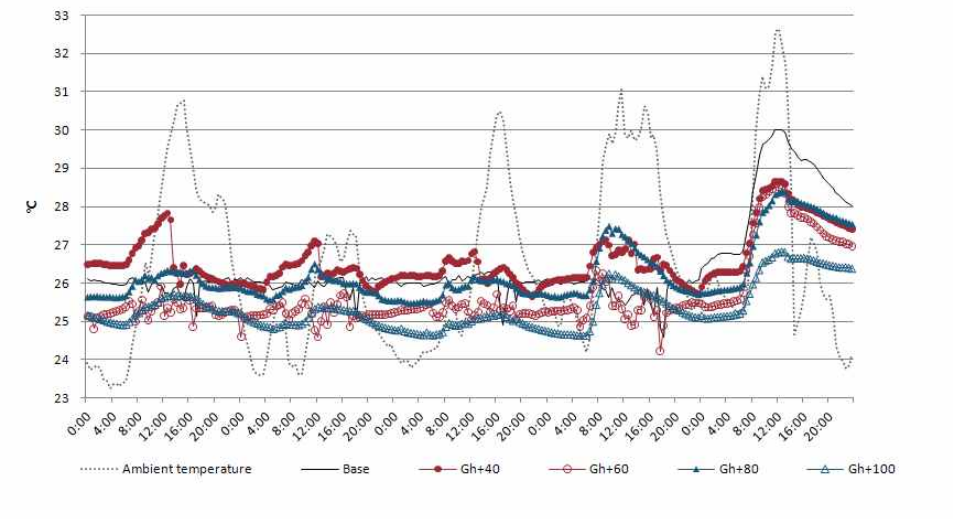
㉮ 9월 1일~5일까지의 데이터를 기준으로 분석

㉯ 모든 세대가 냉방 설정 온도인 26℃근처에 머물고 있음

㉰ 공기식 냉방시스템을 사용하는 Base와 Gh+40이 비슷한 패턴을 보임. 하지만 Gh+40의 경우 냉방이 필요한 온도임에도 불구하고 냉방이 되지 않고 실내온도가 올라가는 것으로 보아 냉방시스템의 문제가 예상됨.

㉱ 바닥 복사 냉방시스템을 사용하는 Gh+60의 경우도 Base와 비슷한 패턴을 보이는데 이는 제습을 병행하여 제습기의 바람이 실내온도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단됨.

㉲ 반면, 같은 바닥 복사 냉방시스템을 사용하는 Gh+80과 Gh+100은 다른 세대에 비해 실내온도가 안정적임.



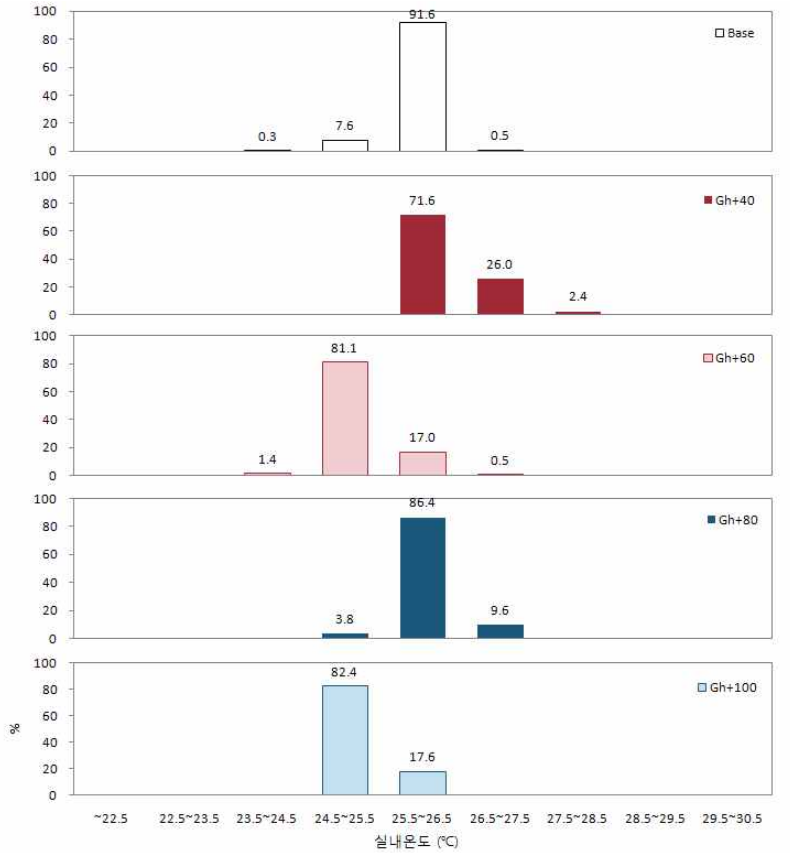
< 세대별 실내온도변화 >

㉳ 냉방 기간 동안 세대별 실내온도분포 분석

㉴ Base와 Gh+80의 경우 설정온도 25.5~26.5℃의 분포가 높은 것으로 보아 설정온도에서의 냉방이 잘 이루어진 것으로 보임.

㉵ 반면 Gh+60과 Gh+100의 경우 24.5~25.5℃의 분포가 높은 것으로 보아 냉방시스템 제어 시 실내온도를 인식하는데 문제가 있는 것으로 판단됨.

㉶ Gh+40의 경우 25.5~26.5℃의 분포가 높음에도 불구하고 26.5~27.5℃의 분포도 26%정도 차지하고 있는데 이는 세대별 실내온도 변화에서 보이듯 해가 뜨면서 실내온도가 같이 상승하는 부문의 영향으로 판단됨.

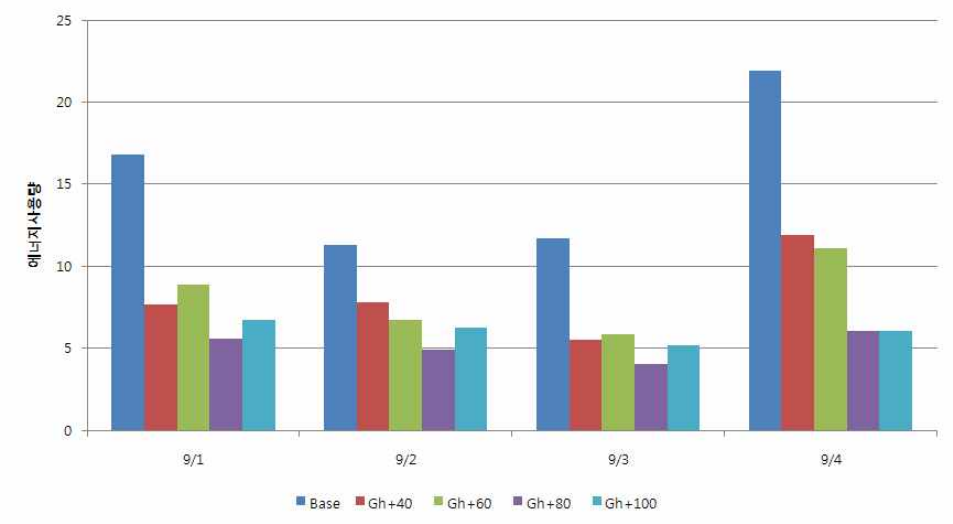


< 냉방 기간 동안 실내온도 분포 >

㉦ 실험기간 동안의 세대별 에너지 사용량은 다음과 같음.

㉧ 냉방 기간 동안의 냉방에너지는 base > Gh+40 ≒ Gh+60 > Gh+100 > Gh+80 순서로 감소함.

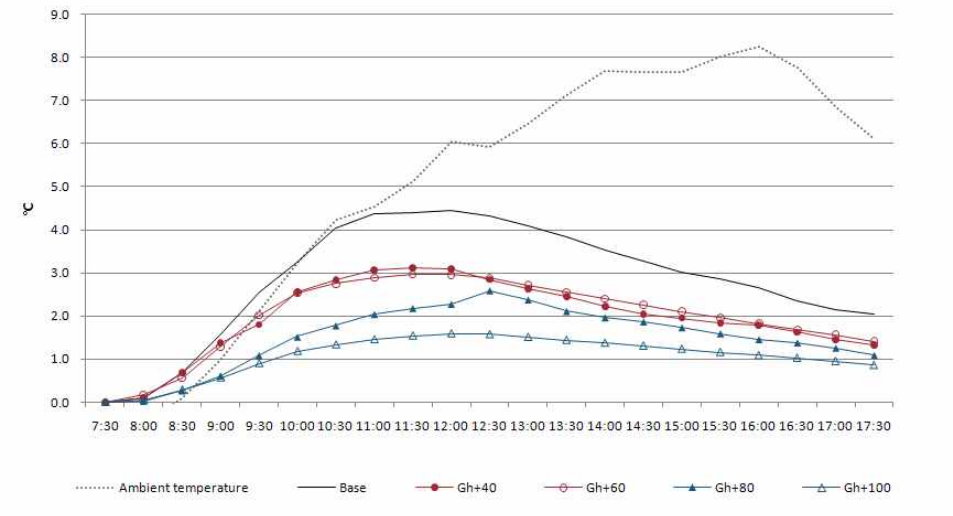
㉨ Gh+60의 경우 다른 세대에 비하여 많이 에너지가 사용되었는데 이는 실험기간 동안 전체 냉방에너지의 약 20% 정도가 제습을 위한 에너지로 제습과 냉방을 병행할 경우 제습과 냉방 최적화 제어가 필요함.



< 세대별 에너지 사용량 >

⑥ 동계 자연 상태 실험 결과

㉮ 세대별 초기온도와 매 시점의 온도 차이를 가지고 비교분석함.

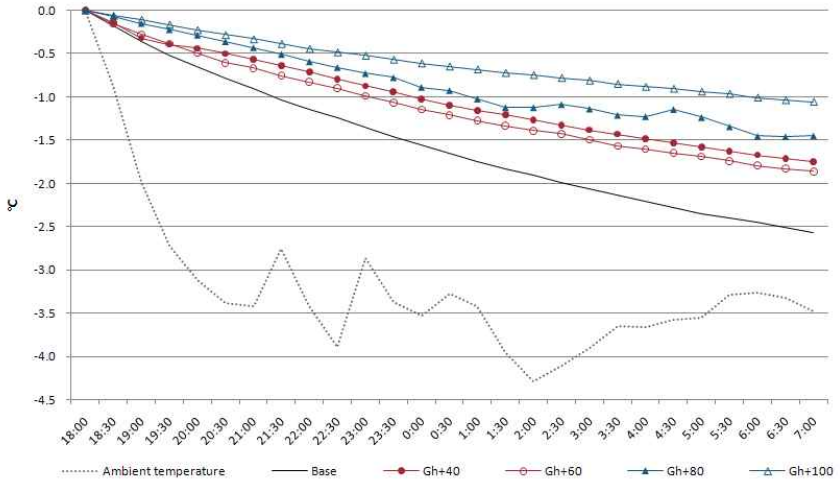


< 세대별 오전시간 실내온도변화 >

㉯ 동계의 경우 일사의 영향이 없는 오후의 경우 난방의 중요도는 더 커지게 되므로 해가 지고 난 이후 실내온도변화를 분석함

㉰ 실내온도가 감소하는 기울기는 Base > Gh+60 ≒ Gh+40 > Gh+80 > Gh+100 순으로 감소함

㉱ 내외단열 및 진공단열재 등으로 단열성능이 향상된 Gh+100가 가장 작은 기울기를 보임.

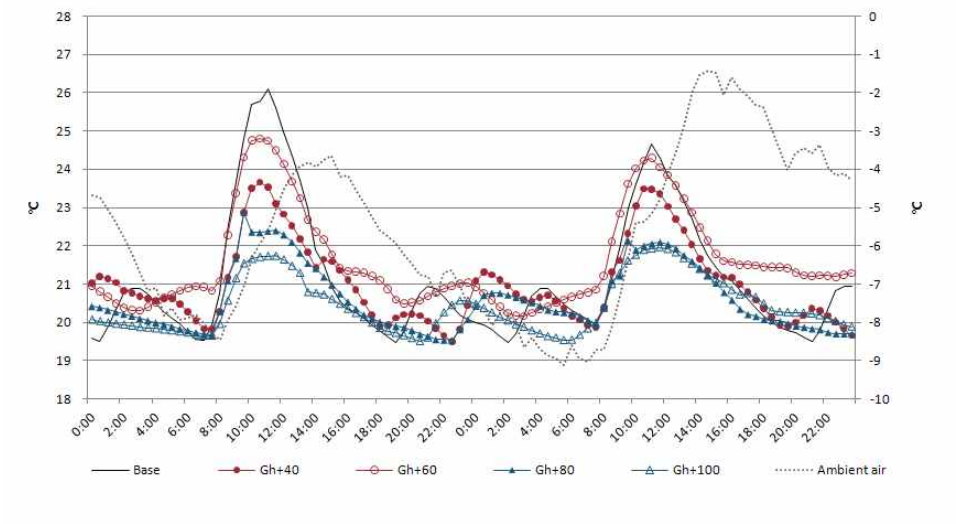


< 세대별 오후시간 실내온도변화 >

⑦ 동계 난방 실험 결과

㉮ 1월 12일 ~ 13일 48시간의 데이터를 기준으로 분석함

㉯ Base, Gh+40, Gh+60 세대는 설정온도보다 조금 높은 온도 경향을 보이고 있는데 이는 유리창의 투과율이 높아 낮 시간 동안 실내온도가 높게 올라가 이후 실내 온도변화에 영향을 미치는 것으로 판단됨



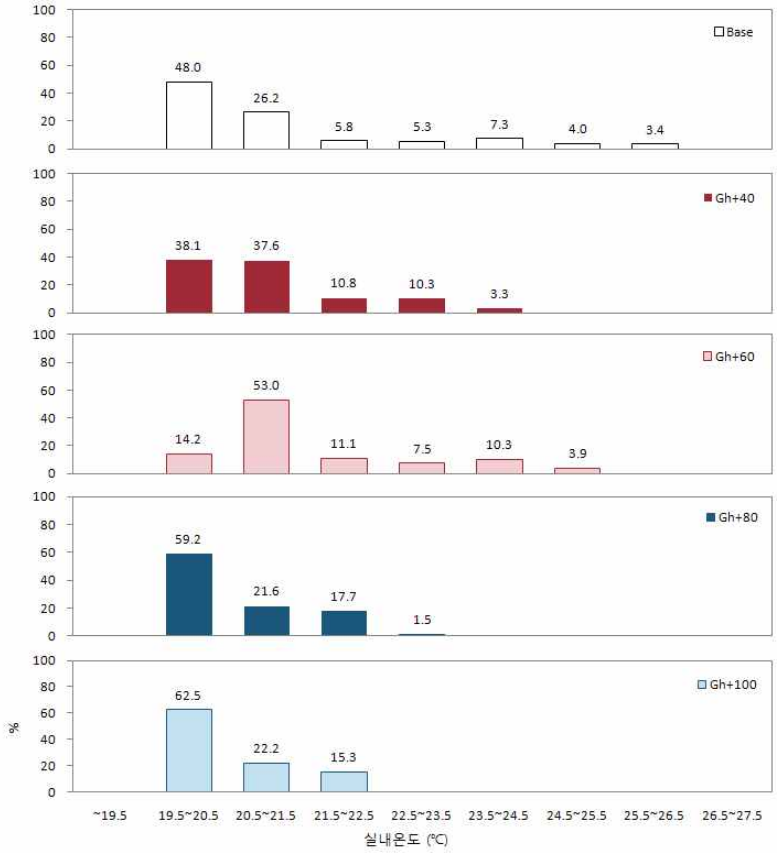
< 세대별 실내온도 변화 >

㉰ 난방 기간 동안 세대별 실내온도분포 분석

㉱ Base, Gh+80, Gh+100의 경우 설정온도 19.5~20.5℃의 분포가 가장 높은 것으로 보아 설정온도에서의 난방이 잘 이루어진 것으로 보임

㉲ Base~Gh+60은 난방설정온도 보다 높은 온도에서의 분포가 보이는데 이는 일사의 영향으로 판단됨. 따라서 난방시스템 계획 시 일사에 따른 실내온도 상승을

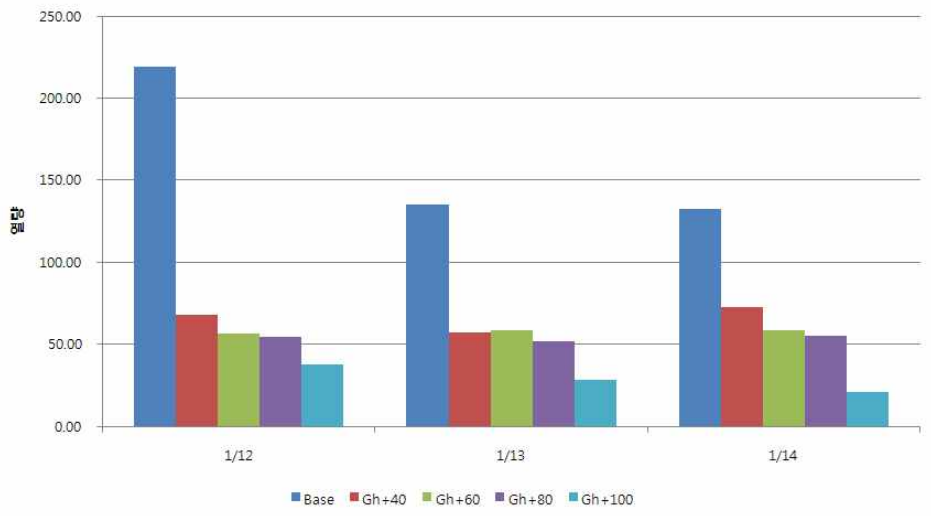
고려한 난방시스템 설계가 필요함.



< 난방 기간 동안 실내온도 분포 >

㉮ 난방에너지는 base > Gh+40 > Gh+60 > Gh+80 > Gh+100 순서로 감소

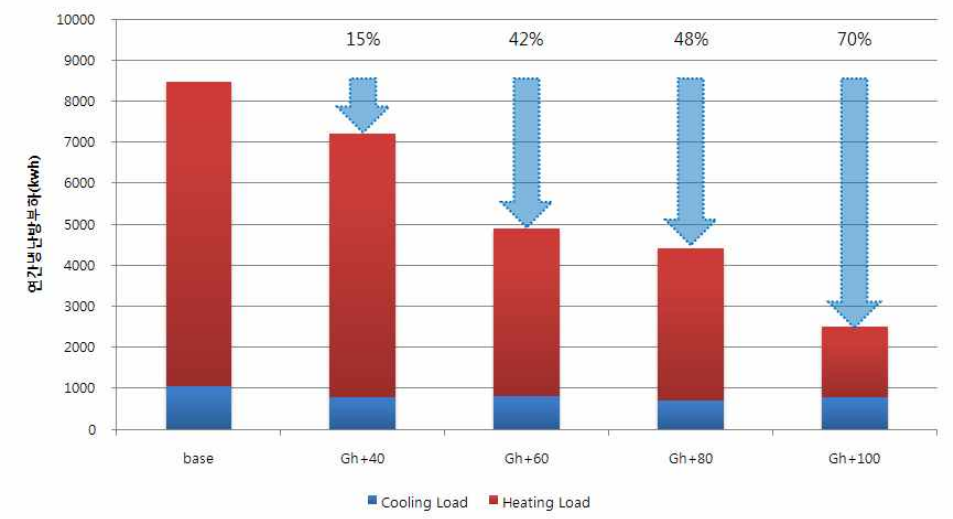
㉯ Gh+100의 열량이 낮은 것을 볼 수 있는데, 이는 열원인 지열 쪽의 히트펌프의 문제로 계획한 공급 온수의 온도를 충분히 맞추기 어려웠기 때문으로 판단됨.



< 실측기간 세대별 열량 >

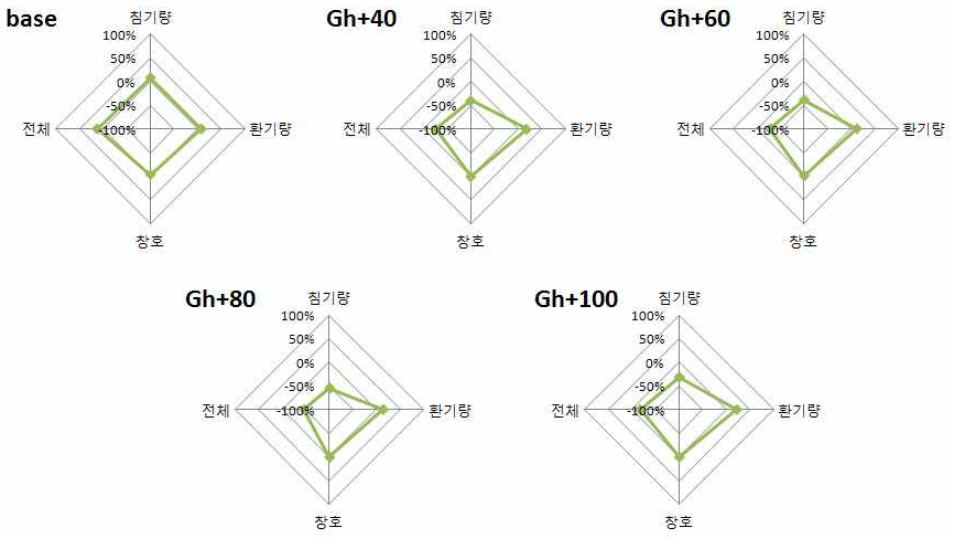
⑧ 시뮬레이션을 통한 연간냉난방부하 예측

㉮ 앞선 하계와 동계 실측을 통해 특정일의 세대별 에너지 소비량은 비교할 수 있었으나 실제 그린홈플러스의 연간 냉난방부하를 예측하기 위하여 시뮬레이션을 진행함.



< 연간 냉난방 부하 >

㉯ 계획 시 적용된 건물성능에 따른 연간냉난방부하와 현재 적용된 건물성능에 따른 연간냉난방부하가 차이를 보이는 데, 이는 계획 시 각 모델별 건물성능을 만족하기 위하여 적용된 요소기술들에 의한 것으로 판단됨. 따라서 시뮬레이션을 통해 요소기술들의 변화에 따른 연간냉난방부하의 증감률을 살펴보았으며 결과는 다음과 같음.



< 현재 대비 냉난방부하 증감률 >

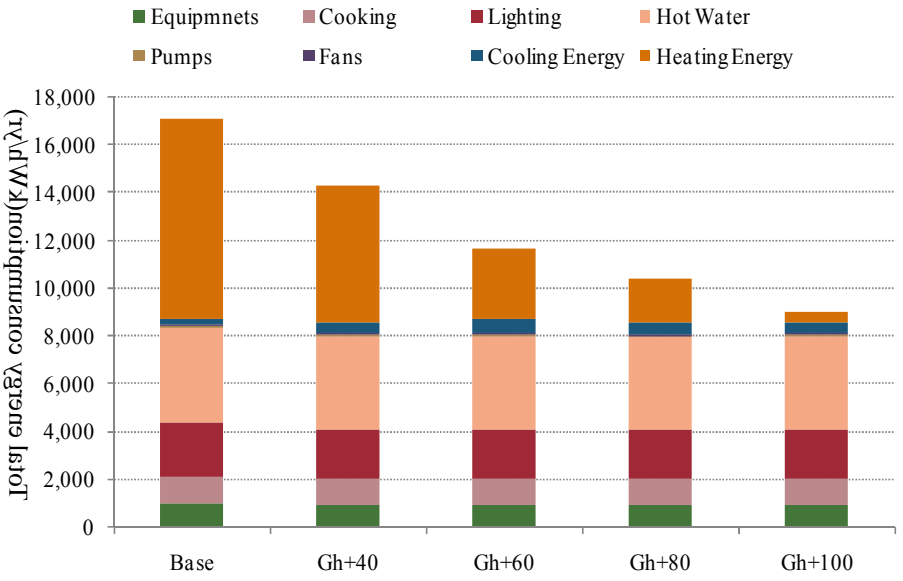
⑨ 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 소비 예측

㉮ 실험의 한계가 있어, 시뮬레이션을 통하여 냉난방에너지 뿐 아니라 조명, 환기,신재생 에너지 등을 포함한 연간 에너지 소비를 예측함.

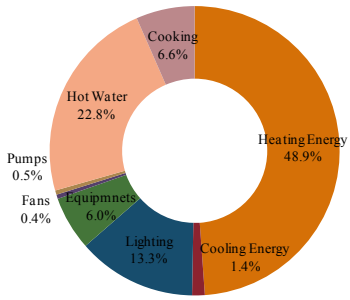
㉯ 냉난방, 환기, 조명에 사용되는 에너지와 급탕, 취사에 사용되는 에너지까지 포함한 총에너지 소비량은 다음과 같음. 냉난방에 소요되는 에너지가 전체의 약 50%를 차지하므로 총 에너지 절감률은 Gh+40, 60,80,100에서 각각 16.3%, 31.6%, 39.0%, 47.1%로 나타남.

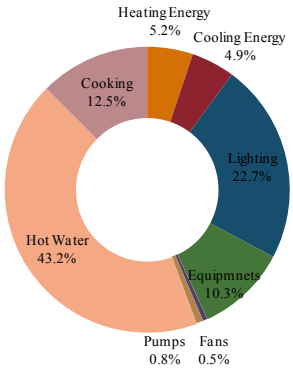
kWh/yr	Base	Gh+40	Gh+60	Gh+80	Gh+100
Heating Energy	8,362	5,695	2,944	1,816	466
Cooling Energy	238	451	593	518	446
Lighting	2,281	2,053	2,053	2,053	2,053
Equipments	1,032	929	929	929	929
Fans	77	67	60	48	48
Pumps	86	90	89	38	71
Hot Water	3,904	3,904	3,904	3,904	3,904
Cooking	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126
Total Energy Consumption	17,105	14,315	11,698	10,431	9,042

㉰ 다음은 각 모델별 용도에 따른 에너지 소비를 표시한 것이며 Base model과 Gh+100 모델의 용도별 에너지 소비의 비중을 나타냄. Base에서는 냉난방에너지가 50%로 가장 높은 비중을 차지하고 있었으나 건물의 단열성능이 고도화된 Gh+100 모델에서는 냉난방에너지의 비중이 10% 정도로 떨어지는 것을 볼 수 있음.



< 연간 총 에너지 소비량 >





Base Gh+100

< 용도별 에너지 소비의 비율>

㉲ 단계별로 총 에너지 절감률 목표를 달성하기 위해서는 신재생 에너지시스템의 적용이 필수적임. 위에서 예측되어진 에너지 사용량뿐 아니라 그린홈플러스에 적용 되어진 지열 냉난방시스템, 태양열 급탕시스템, 건물일체형 태양광시스템까지 포함한 절감율 산출은 다음과 같음.

kWh/yr	Base	Gh+40	Gh+60	Gh+80	Gh+100
Total Energy Consumption	17,105	14,646	12,029	10,763	9,050
Reduction Goal	17,105	10,263	6,842	3,421	0
Renewable energy generation	0	4,383	5,187	7,342	9,050
Geothermal				2,334	912
Solar thermal		2,603	2,603	2,603	2,603
PV		892	1,696	1,517	8,874
Total energy consumption	17,105	10,820	7,399	3,978	557
Total energy reduction rate		36.7%	56.7%	76.7%	96.7%

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 요소 기술 및 통합 기술 교육을 위한 현장 교육 시설로 활용

② 관련 학술대회와 세미나 개최 연계

③ 추가 연구용역에 의한 연구수행

④ 그린 홈 관련 정책 제안

나. 모세유관 바닥복사 냉난방 시스템 성능평가

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 환경 및 에너지 문제 해결을 위한 대책으로 건물에서의 냉난방 에너지 소비 저감을 위한 노력이 필요한 상황

② 대류 방식에 비하여 먼지 비산과 드래프트의 문제가 적고 에너지 측면에서도 대류 방식에 비하여 공간내의 설정온도를 조절하여 에너지를 절감할 수 있는 가능성이 높은 복사 냉난방 시스템의 적용이 증가하고 있음.

③ 최근 거주자들의 쾌적한 실내 환경에 대한 관심의 증가와 건물에서 발생하는 에너지를 절감하기 위해 새로운 저에너지형 난방시스템의 개발 및 보급이 필요함.

④ 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉난방에 활용, 에너지 효율성을 높이는 지열시스템과 같이 신재생 에너지를 활용한 냉난방 시스템 개발에 대한 투자가 활발히 이루어지고 있는 상황

⑤ 국내 주거에 일반적으로 적용되는 온돌난방시스템의 효율적인 에너지 활용을 위한 최적제어 및 쾌적감을 극대화 할 수 있는 설계 방안 제안

⑥ 쾌적의 질적 향상이 이루어짐과 동시에 에너지 절약을 통한 환경적 부담을 줄일 수 있는 냉난방 시스템 개발 및 적용

⑦ 기존 온돌(PB)배관과 달리 모세유관(Capillary tube)을 이용한 냉난방시스템 요소기술을 공동주택에 적용할 경우 기존 냉난방 시스템과 비교하여 에너지 절약 및 쾌적성 향상뿐만 아니라, 신재생에너지인 지열시스템을 활용성이 높아질 것으로 기대됨.

⑧ 모세유관을 이용하여 냉난방시스템을 적용한 공동주택의 냉난방 성능 및 쾌적성 등의 열 환경 등을 실제 실험을 통하여 성능 검증

⑨ 모세유관 시스템의 특성을 평가하여 향후 지중열을 이용한 모세유관 냉난방시스템 적용을 통해 거주자의 쾌적성 향상뿐만 아니라, 난방에너지를 절감

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 냉난방 소비 에너지 절약을 위한 새로운 냉난방 시스템 개발

㉮ 냉난방 시스템의 기초자료 수집

㉯ 국내·외 연구동향 분석을 통해 새로운 냉난방 시스템 방안 도출

② 지중열을 이용한 모세유관 냉난방 시스템의 성능 평가

㉮ 모세유관을 이용한 냉난방 시스템의 성능 분석

㉯ 지중열을 이용한 냉난방 시스템 활용 가능성 분석

③ 현장 적용을 통한 모세유관 복사냉난방 시스템의 성능 및 쾌적성 평가

구 분		Base Model	Gh+40	Gh+60	Gh+80	Gh+100
에너지 성능		기존 공동주택	40% 저감	60% 저감	80% 저감	Zero Energy
예상 부하 (W/㎡)	냉 방	100	40	35	30	25
	난 방	60	30	20	15	10
난방 시스템	방 식	바닥 복사난방				복사난방
	배 관	PB	PB	PB	PB	Capillary tube
	열 매	온수(60℃)	온수(60℃)	온수(55℃)	온수(45℃)	온수(40℃)
	제 어	on/off 제어	fuzzy 제어	on/off 제어	on/off 제어	on/off 제어
	열원공급	전기 가열식 온수보일러 (지역난방 모사)			지열+우수열 히트펌프	
냉방 시스템	방 식	EHP	천장형 FCU	바닥 복사냉방+ 제습형 FCU	바닥 복사냉방	바닥 복사냉방
	배 관	-	-	PB	PB	Capillary tube
	열 매	냉매	냉수(10℃)	냉수(16℃)	냉수(18℃)	냉수(20℃)
	제 어	개별/마스터제어		제습연동 on/off 제어	on/off 제어	제습연동 on/off 제어
	열원공급	-	공랭식 왕복동 냉동기 (지역냉방 모사)		지열+우수열 히트펌프	지중열교환
배관피치(mm)		250	200	200	200	20

< Greenhomeplus에 적용된 냉난방 시스템 >

㉮ 하계 : 냉방 성능 및 쾌적성 여부와 결로 방지성능 검증

냉방 성능 및 쾌적	설정온도 유지 성능	안정적으로 설정실온의 유지 여부 (실내온도와 설정온도의 편차 ±2℃)
	바닥표면온도	쾌적조건을 고려한 바닥표면온도 유지 및 균일성
	수직온도분포	바닥면으로부터 0.1~1.1m 사이의 수직온도 차이
	쾌적	예상평균온열감(PMV) 등 열쾌적 지표 만족
결로 방지성능		실의 노점온도를 바닥표면온도보다 높게 유지

㉯ 동계 : capillary tube mat의 난방 성능 및 쾌적성 평가

난방 성능 및 쾌적	설정온도 유지 성능	안정적으로 설정실온의 유지 여부 (실내온도와 설정온도의 편차 ±1℃)
	바닥표면온도	쾌적조건을 고려한 바닥표면온도 유지 및 균일성
	수직온도분포	바닥면으로부터 0.1~1.1m 사이의 수직온도 차이
	쾌적	예상평균온열감(PMV) 등 열쾌적 지표 만족

④ 시뮬레이션을 이용한 기존 온돌시스템과의 성능 비교분석

㉮ 배관의 종류와 바닥모르타르 두께, 공급온도에 따른 시스템의 성능 평가

배관	모트타르 두께(mm)	공급온수온도(℃)	Case 분류
PB	60	40 ~ 65℃	1 ~ 6
Capillary	35	35 ~ 60℃	7 ~ 24
	50		
	60		

⑤ pilot project를 통한 통합 시스템 성능 평가

㉮ pilot project를 통한 냉난방 성능 및 실내 온열환경 평가

⑥ 향후 공동주택에서의 적용을 위한 문제점 및 개선방안 제시

(3) 연구개발결과

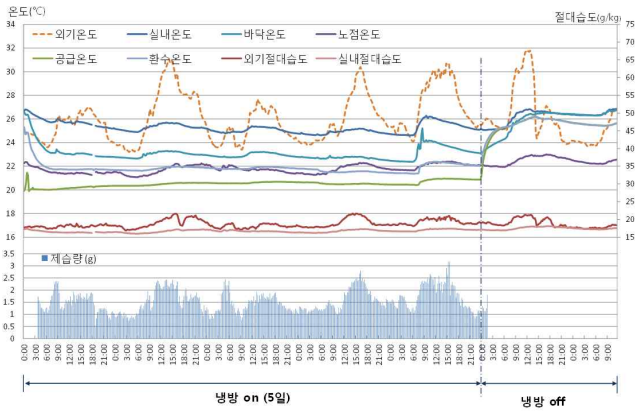
① 실제 시스템 적용시 발생하는 문제점에 대해 실험을 통해서 보완하고 시뮬레이션을 통해 기존 온돌시스템과의 성능을 비교 분석을 통해 지중열에너지 활용 가능성에 대해서 검토

② 기존 시스템과 비교분석하여 향후 기술 도입 시 기초 자료로 활용

③ 현장실험을 통해서 지중열을 활용한 모세유관 냉난방 시스템의 성능 확인

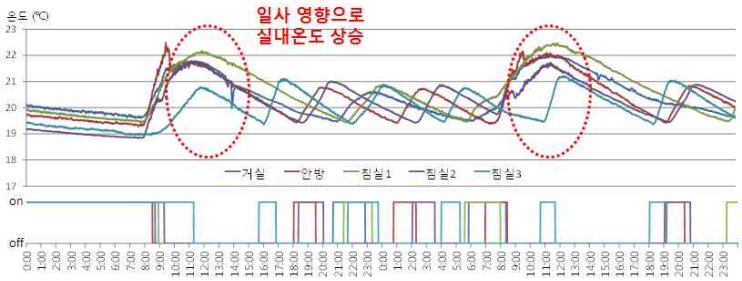
㉮ 실험 결과 비교적 고온의 냉수와 저온의 온수로 냉난방 성능 및 쾌적한 실내 온열환경 조성

㉯ 하계 : 결로 발생 방지를 위해 제습장치 작동



< 냉방성능 평가 결과 >

㉰ 동계



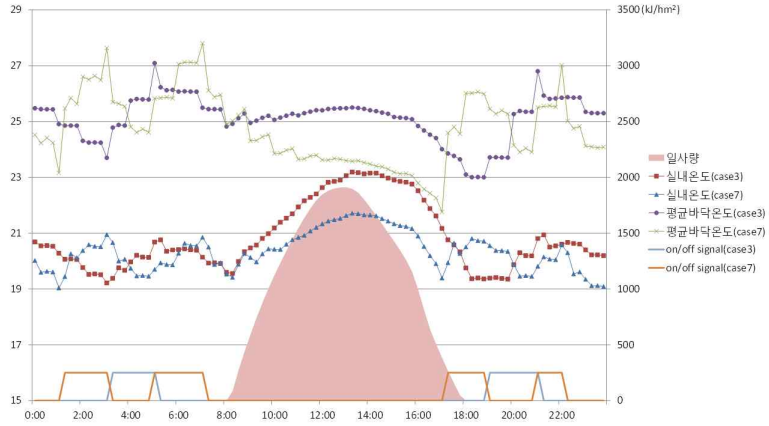
< 난방 성능 평가 결과 >

④ 지중열을 이용한 냉난방 시스템 활용 가능성 분석

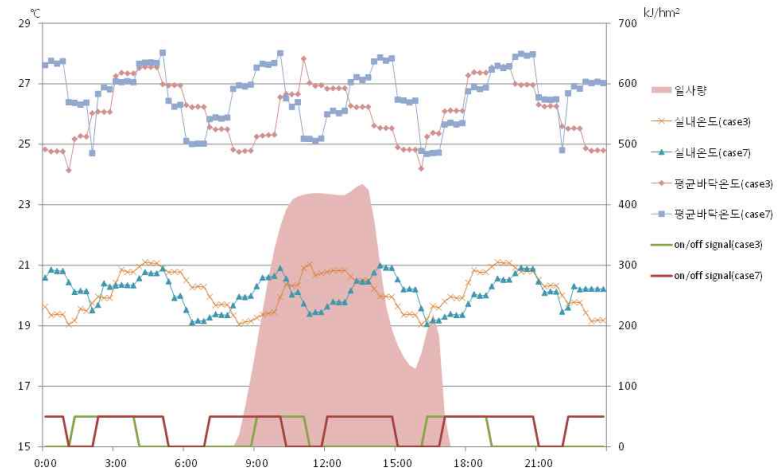
㉮ 기존 온돌시스템과 비교하여 지중열의 활용성이 큼.

⑤시뮬레이션을 통한 모세유관 시스템의 성능평가

㉮ 바닥모르타르 두께와 세대 내 공급온도로 에너지 절약 및 시스템 성능 향상 가능



< 일사에 의한 실온상승 >



< 난방 안정화 >

⑥ 시스템의 성능뿐 아니라 지중열 활용 가능성에 대한 신뢰성을 확보, 향후 해당 요소 기술의 공동주택 적용 활성화를 위한 기술적 기반 확립

⑦ 향후 시스템 적용 시 기초적인 자료로 활용

㉮ 향후 공동주택에서의 적용을 위한 문제점 및 개선방안 제시

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 모세유관 복사냉난방 시스템의 성능 기준을 가이드라인화하여, 건축가가 이에 적합한 제품을 선택 할 수 있도록 하거나, 관련 업체에서 공동주택 부하저감 목표에 부합하는 향상된 성능의 제품을 개발 할 수 있도록 함.

② 본 연구에서 합리적인 냉난방 시스템을 제시함으로써 공동주택에서의 모세유관 바닥 복사 냉난방 시스템의 적용을 활성화할 수 있을 것으로 기대됨.

③ 본 연구를 통해 검증된 제품을 산업체와의 연계를 통해 보다 효율적이고 최적화된 형태로 실용화한다. 이 과정에서 산업체와의 적극적인 기술교류 및 기술지도, 정보제공 등이 이루어지고, 연구된 기술이전은 산업체의 적극적인 참여를 유도할 수 있는 기반 구축

④ 냉난방 시스템의 부하저감 성능 향상을 위한 요소들의 성능 기준을 도출하여, 목표 부하저감 수준별 설계 기준을 작성 할 수 있는 기초를 다진다. 또한, 모세유관 바닥복사 냉난방 시스템의 설계 기법을 개발함으로써 국외 선진 국가와의 기술 격차를 줄일 수 있도록 한다. 이러한 기술들은 가이드라인화되고, 각 부문의 전문가들에게 교육되어 그 파급효과를 극대화함.

⑤ 본 연구를 통해 검증된 모세유관 바닥복사 냉난방 시스템과 관련된 시장을 확장하고 이와 관련된 산업 창출

다. 상변화물질 적용한 건축자재의 축열 성능 평가

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 연구의 목적

기후변화를 막기 위해 온실가스 배출을 줄이려는 전 세계적인 추세에 우리나라도 예외는 아니다. 세계적으로 에너지를 주로 소비하는 분야는 크게 산업과 운송 및 건물 부분으로 분류 할 수 있다. 전체에너지 중에서 건물부문에서 36% 해당하는 에너지를 소비하고 있다. 그러므로 공공건물 및 사무소, 주택 등의 건물에서 사용되는 에너지를 줄여야 할 필요성이 있다. 그 중에서도, 본 연구는 최근 증가하고 있는 공동주택에서의 에너지를 절감하기 위해 중점적인 연구를 하였다. 2007년 기준으로, 주택 형태 비중을 보면, 아파트가 차지하는 비율은 47%이며, 단독주택은 41%로써, 아파트를 선호하는 경향이 증가한 것을 알 수 있고 그로 인한 공동주택 부분에서 사용되는 냉·난방 에너지를 줄일수록 그 효과는 크다고 할 수 있다. 건물에너지를 줄이기 위한 여러 가지의 요소기술 중 건축마감재에 상변화물질을 적용하여 냉·난방부하를 줄이려는 분석을 하였다. 건물은 변화하는 실외환경에 따라 적응을 하여 실내에 있는 재실자들에게 안전하고 편안한 삶의 장소를 제공해야 한다. 실외온도가 너무 낮거나, 높을 때에는 열적 지연을 통한 쾌적한 실내공간을 확보할 수 있는 역할을 해야 한다. 건축 외피 및 자재 등을 통한 축열은 예로부터 Passive적인 건축기술이었다. 점점 증가하는 건물에너지의 사용을 줄이고 인간의 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위하여 많은 기술들이 개발되어 왔다. 그 중에서도 축열재를 이용한 에너지 절약 기술은 냉·난방용으로

다양하게 이용되어 왔으며 상당한 부분에 있어서 에너지 절약에 기여하여 왔다. 유럽의 경우 상변화물질을 이용한 축열재 이용 기술은 이미 상당히 개발되어 실제 건축물에 적용되어있는 상황이며, 중국과 일본의 경우도 상변화물질을 건축자재에 적용하여 건물에너지를 줄이기 위한 많은 논문 및 연구 등이 활발하게 이루어지고 있다. 국내의 경우 실내 냉·난방을 위하여 사용되는 에너지를 장시간 동안에 재실자가 원하는 온도를 유지할 수 있도록 하여 에너지 사용 효율을 높일 수 있는 장점을 지닌 상변화물질을 건축물에 적용한 사례 및 연구 활동이 국외에 비해 미비한 상태이다. 최근 건설되는 건축물의 설계의 핵심은 구조체로 콘크리트나 철근을 사용하고 벽체등은 경략벽돌이나 금속성 외벽을 사용하는 것으로 건물의 축열기능이 중량물의 건축보다 현저하게 저하될 것으로 예상된다. 상변화물질은 일정한 온도범위에서 잠열에 의한 축열을 하게 되므로 현열축열량보다 현저하게 높은 열을 축열할 수 있으며, 상변화하는 동안에는 온도가 변하지 않고 등온상태를 유지하는 특성이 있다. PCM에 의한 자연형 적용 방식은 자연적인 외기 온도변화에 따라 실내의 열부하를 줄이고 건축설비의 설계용량을 감소시키고, 쾌적한 실내환경조성 및 에너지절감효과를 얻을 수 있다. 국내의 공동주택의 경우, 여름철과 겨울철 열적 완충공간을 제공하는 발코니를 실내 전용면적을 늘이기 위해 확장을 하는 추세이다.

이로 인한 외부에서 발생하는 잉여열을 저장하지 못하고 실내 측으로 반영할 수 있는 원인을 제공한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 상태 변화를 통해 잠열을 이용하여 열을 저장하고 방출할 수 있는 상변화물질을 이용하여 보완할 수 있다. 상변화물질을 적용한 건축자재는 얇은 두께임에도 비롯하고 축열량이 크므로 실내 재실공간을 넓게 확보 할 수 있다.

국내의 난방시스템의 경우 보일러에서 온수순환에 의해 이루어지고 있는 바닥복사 형태로 이루고 있다. 주택형식의 변화로 열용량이 큰 온돌에서 열저장능력이 온돌보다 작은 콘크리트로 대체되면서 바닥온도는 기온과 온도차이가 심하게 되어 쾌적감이 떨어지고 난방에너지의 상승을 초래한다. 냉방의 경우에도, 하루를 기준으로 주간과 야간에 따라 외기의 온도는 극심한 변화를 보이지만 알맞은 온도 때의 상변화물질을 이용하면 실내온도의 과열현상을 막을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 상변화물질을 이용한 건축자재를 적용한 공간의 에너지 사용량 분석 및 쾌적성 등의 열 환경을 분석하고 결과적으로 국내 공동주택에 좀 더 효율

적인 적용을 위한 방법을 제시하는 것에 그 목적이 있다.

② 필요성

에너지소비가 큰 건설 분야에서는 쾌적성 향상과 더불어 에너지 소모가 적은 건축물을 짖기 위해 많은 노력을 하고 있고, 이를 위해 실내에서의 공기 온도변화를 줄여주고 장시간에 걸쳐서 재실자가 원하는 온도를 유지할 수 있는 상변화물질을 적용한 건축자재의 축열성능 및 쾌적성에 대해 분석을 하였다. 공동주택에서는 여름철 실내온도를 낮추기 위한 냉방에너지에 대한 소요 보다는 겨울철 실내온도를 쾌적 온도에 근접시키기 위한 난방에너지의 비중이 더 크다고 할 수 있다. 하지만, 최근 기후변화로 인한 온도 상승은 여름철 냉방시스템의 용량을 늘리고 부하 또한 증가하는 추세이다.

이처럼 공동주택에서는 냉·난방 에너지를 줄이고, 석탄 및 석유 등의 1차 에너지 사용으로 인한 이산화탄소, 프레온 가스 등 지구온난화로 인한 기후변화를 유발하는 온실 가스의 배출량을 줄이기 위해 부가적인 설비시스템의 설치가 필요 없는 상변화물질을 건축 마감재에 적용하여 그 성능을 분석 및 평가 하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 축열건자재와 관련된 기초 자료를 수집하고 상변화물질을 적용한 사례 및 연구들을 분석하여 적용방법 및 분석을 실시하였다. 상변화물질의 순수 축열성능을 분석하기 위하여 모형체를 제작하여 실험을 실시 하였다. 그린홈플러스 80모델에 용융온도 24℃인 상변화물질이 함유된 섬유보드를 내부 마감재로 설치한 후 실측을 통하여 축열 성능을 분석하였다. 자세한 연구개발의 내용 및 범위는 아래와 같다.

㉮ 상변화물질 기초자료 수집을 통한 이론적 고찰

㉯ 상변화물질을 이용한 Passive and Active 건축기술 관련 자료 조사

㉰ 국내·외 연구동향 분석을 통한 상변화온도 및 잠열량 적용 방법

㉱ Test-cell를 이용한 상변화물질의 축열 성능 실험

㉲ 실측을 통한 PCM wallboards의 축열성능 분석

㉳ 시뮬레이션을 이용한 에너지 절약성능 및 쾌적성 평가

㉴ 아파트 공동주택에서의 적용가능성 검증

(3). 연구개발결과

① 건물에서 발생되는 에너지를 절감하기 위해서 축열 미립자를 함유하는 건축자재의 이용기술을 개발하여 실측과 시뮬레이션을 이용하여 축열성능을 통한 에너지 절약성능

및 쾌적성능을 분석하였다.

㉮ Test-Cell을 이용한 상변화물질의 축열성능실험

테스트 셀을 이용한 상변화물질의 축열성능 실험을 통해서 상변화물질 그 자체의 축열성능을 검증하였다. 같은 양의 물질이라도 상변화물질의 경우, 특정 온도 때에서 발생하는 잠열량으로 인해 열용량의 증가로 인하여 축열 성능도 크게 나타났다. 그래프를 통해서 상변화물질을 함유한 대안이 그렇지 않은 경우에 비해 실내온도 변동 폭이 크지 않았다. 특히 상변화물질만을 넣은 대안 3의 경우 발열기를 켠 후에도 실내 온도가 20~25℃ 부근에서 장시간 유지하는 패턴을 보였으며, 발열기를 끈 후에도 온도 곡선의 하강 폭이 가장 느리게 내려가는 경향을 보였다. 하지만, PCM과 시멘트의 혼합물인 케이스 2의 경우에도 실내온도 곡선이 케이스 3과 경향이 비슷하였다. 이러한 결과를 통해, 상변화물질을 다른 건축자재와 혼합하여 사용하면 순수 PCM만 사용할 때 보다 비용도 절약할 수 있으며, 축열 성능을 향상시킬 수 있는 긍정적인 결과를 나타낼 것이다.

㉯ 실측을 통한 PCM wallboards의 축열성능 분석

그린홈플러스 80모델에 상변화물질을 이용한 축열 건자재의 적용된 기술은 축열보드 및 바닥모르타르에 섞인 상변화물질이다. 하절기 실측결과의 경우, 높은 실내온도에 비해 축열보드의 상변화온도가 너무 낮기 때문에 열을 저장하고 방출하는 상변화 작용이 활발히 일어나지 않는 것으로 판단된다. 중간기의 경우, 야간통풍냉각 방식을 이용하여 실내의 최대온도를 낮추고 재실자의 쾌적성을 향상시키려는 실험을 하였다. 실험을 통해서, 상변화온도 24℃인 축열보드의 경우 실내온도 및 벽체표면온도가 비교 대상인 100모델 보다 온도 변동 폭이 크지 않았으며, 축열 및 방열로 인한 완만한 곡선의 온도분포를 보였다.

바닥복사난방시스템의 효율을 높이고 에너지절약 및 쾌적성 향상을 위해 바닥모르타르에 적용된 PCM의 실험은 매우 고무적인 결과를 나타냈다. 실내 바닥표면의 경우 100모델 보다 온도 변동 폭이 크지 않았으며, 공급온수온도 및 환수온도의 변동폭도 크지 않았다. 하지만, 이 공급온수온도와 환수온도와의 차가 크게 나와 에너지 손실이 100모델의 경우보다 크게 나온 것으로 볼 수 있다. 하지만 100모델과 80모델에 설치된 배관 시스템이 다르기 때문에 추후 시뮬레이션을 통한 바닥복사시스템의 적용 가능성을 분석할 필요가 있다.

㈐ 시뮬레이션을 이용한 에너지 절약성능 및 쾌적성 평가

용융온도 24℃인 상변화물질을 적용한 축열보드의 에너지절감 성능을 확인하기 위하여 부하계산을 하였다. 그린홈플러스 80모델에 직접 적용하여 PCM 유무에 따른 냉·난방 부하를 비교 분석하였다. 동절기, 축열보드를 적용했을 경우, 그렇지 않을 경우에 비해 부하 절감율은 약 5% 정도로 나타났으며, 적용한 상변화온도가 바람직한 것으로 나타났다. 이 같은 수치는 시뮬레이션 프로그램을 통해 나온 것으로, 건물을 모델링하고 Construction을 구성 후, 상변화물질을 적용하기까지 시공 상의 문제없이 올바르게 설치한 경우로써, 동절기 축열보드를 통해 에너지 절감율이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 하절기 냉방부하 절감율은 29%로 저감량은 약 220 kwh/yr 정도로 난방부하와 비슷한 저감량을 나타냈다. 저감율만 보면 냉방의 효과가 더 큰 것으로 보이지만, 주택의 경우 냉방에너지에 대한 소모가 적기 때문에 상변화온도 24℃인 축열보드를 적용했을 경우 냉방에 대한 효과가 더 크다고 판단하기는 어려운 것으로 판단된다. 상변화온도가 24℃이기 때문에 실내온도가 24℃의 분포에 머무는 하절기의 초반과 후반부에서의 냉방부하의 절감이 큰 것으로 판단된다.

상변화물질을 응용한 PCM 축열보드를 적용하여 연간 실내온도 및 평균복사온도(MRT;Mean Radiant Temperature)를 분석하였다. 상변화온도 24℃인 축열보드를 적용할 경우 잠열로 인한 축열 성능으로 실내의 잉여열을 저장하여 상승하는 실내온도를 낮추는 효과를 확인 할 수 있다. 온도가 떨어지는 시점, 즉 상변화온도 이하로 내려가는 시점에서 저장된 열을 방출하여 실내온도 및 MRT의 온도곡선의 하강폭이 축열보드를 적용하지 않은 경우 보다 급하게 떨어지지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그러므로 PCM 축열보드를 실내 마감재로 적용할 경우 실내온도 변동폭을 줄여 쾌적성 측면에서 상당히 긍정적인 면을 보여주는 것으로 확인 되었다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 상변화물질이 함유된 섬유보드를 개발하여 에너지 절감 및 쾌적성 향상에 미치는 영향을 실측과 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 저에너지 실험주택인 그린홈플러스에 축열보드를 설치하였으며 그로인한 축열성능을 검증하였다. 실측을 통해 쾌적성이 향상되었으며, 시뮬레이션을 통해 에너지절약 가능성이 있음을 확인하였다.

㈎ 상변화물질이 함유된 섬유보드 개발

두께 12mm인 섬유보드에 단위면적당 3kg에 해당하는 상변화물질을 함유하여 축열건자재를 제작하였다. 개발된 축열건자재는 저에너지 실험주택인 그린홈플러스 80모델에 적용되었으며 실측을 통해 상변화물질의 잠열효과로 인해 열용량이 증대되어 실내

온도 변동폭이 크지 않아 쾌적성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

㉯ 저에너지 실험주택(공동주택) 적용 실험을 통한 실증화

개발된 PCM섬유보드는 공동주택에 적용하여 낮 시간 동안에 실내로 들어오는 태양복사열을 저장하여 온도가 떨어지는 야간에 방출하여 냉,난방 가동시간을 지연시킴으로 인해 에너지절약을 할 수 있을 것으로 판단된다. 공동주택뿐만 아니라 외부 마감방식이 커튼월이나 금속 및 벽돌 등 열용량이 크지 않은 모든 건물에 적용하여 건물의 열환경을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

㉰ 참여기업과 연계하여 PCM섬유보드의 실용화 기반 조성하여 제품화 실현

개발된 요소기술을 현장에 올바르게 적용하기 위한 설계자 / 시공자가 설계와 시공단계에서 활용할 수 있도록 설계 및 시공지침을 제시

㉱ 재실자가 상변화물질이 적용된 섬유보드를 효율적으로 사용하기 위하여 사용지침을 제시하여 상변화물질의 용융 및 냉각 성능을 활용할 수 있도록 제시

㉲ 기대효과

에너지 절약형 고효율성 축열건자재 제조를 위한 핵심적인 요소기술 미립자를 건자재와의 혼입, 제조 기술을 개발함으로써, 제품화, 상용화를 위한 기반기술 확립

상변화물질의 축열성능 향상으로 인해 건물에서 발생하는 에너지 사용량 및 실내 쾌적성 확보 가능

2. 저에너지 친환경 공동주택 활성화 정책연구

가. 그린홈 가이드라인 및 건물부문 중장기 로드맵

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 저탄소 녹색성장 비전 선포에 발맞추어 건축부문에서의 지구환경개선과 지속가능한 주거 문화 개선을 위해 저에너지 친환경 주택 활성화 및 정착을 위한 연구와 정책적인 지원 방안의 필요성이 대두되고 있다.

이에 따라 저에너지 공동주택에 관한 기술개발은 관련된 요소기술의 개발뿐만 아니라 이를 뒷받침 할 수 있는 정책과 관련 제도가 정비되어야 한다. 이러한 정책과 제도는 시장의 규모, 기술수준, 중장기 로드맵에 따라 적절히 변화하여 관련 시장을 이끄는 역할을 하여야 한다.

① 기후변화협약 이행을 위한 국제사회의 압력이 가속화되고 있으나, 주거부문에서의 에너지소비는 계속 증가추세에 있음.

② 에너지수입 증가 및 에너지가격의 급등에 따른 에너지안보 차원에서의 위기의식 증대.

③ 저에너지 친환경주택을 지속적으로 건설하고 주거 문화 수준을 향상시키기 위해 저에너지친환경에 대한 사회적 인식을 확대할 수 있는 방안이 필요

④ 건축물의 에너지 효율화 및 친환경성 강화를 위해서는 관련 제도 및 기준의 합리적 제정, 기술개발 및 보급 촉진, 교육 및 홍보 기능의 강화 등이 필요하며 이러한 대책들이 실천력을 갖고 유기적으로 시행할 수 있는 방안이 구축되어져야 함. 또한 에너지 효율화를 위한 기술 개발 뿐만 아니라 개발된 기술이 시장에 효과적으로 진입하여 운용될 수 있도록 제반 직간접적 제도의 활성화 및 개발이 필요.

⑤ 지금까지의 우리나라 저에너지/친환경정책이 개별 부처별로 진행되어 왔으나 연계성의 부족 및 종합화된 프로그램의 부재로 효율적 시장 조성에 한계를 갖고 있음.

⑥ 본 연구는 종래의 기술 개발 위주의 정책에서 저에너지/친환경 시장의 육성 및 관련 제품, 주택의 보급 촉진을 위한 정책을 제시하고자하며 이를 통하여 선진국 수준의 합리적이고 효율적인 저에너지/친환경 건축시장의 육성에 기여하고자 함.

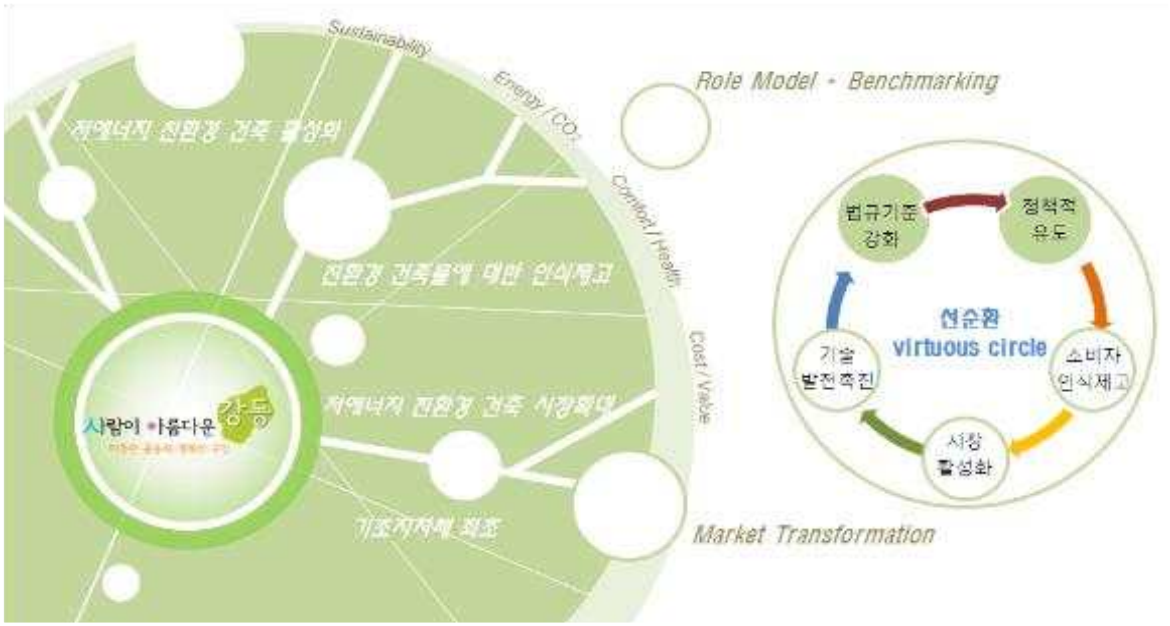
⑦ 공동주택의 저에너지화, 친환경화는 시간의 흐름에 따른 시장 자율적 보급도 기대 할 수 있으나, 그 속도가 느리며 경제성이 분명히 뒷받침 되지 않은 한 보급의 한계가 존재함. 본 과제는 저에너지, 친환경 공동주택의 보급률을 시장의 경제적 측면, 제품의 기술적 측면을 반영한 보급 촉진 정책을 제시함으로서 향후, 관련 제품 및 주택의 보급을 촉진할 수 있음.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 그린홈 가이드라인 보급

4차년도 연구를 수행하는 동안 기초지자체와 관·학 협약 (MOU, Memorandum of understanding:양해각서) 체결을 통해 우리 과제에서 개발된 요소기술과 통합설계안을 현실화 할 수 있는 기회를 마련하였다. 이는 건물 부문의 에너지저감 액션플랜 중 단기에 해당하며, 현재 실현 가능한 에너지 저감 기술을 현실에 적용함으로써 기술의 상용화 및 보급 할 수 있는 시발점이 될 것이다. 기조지자체에서는 정부의 “저탄소 녹색성장”의 목표에 대응하여 적극적으로 건물부문의 온실가스 감축 및 에너지 저감에 앞장서고 시민들에게 쾌적한 삶의 질을 보장 할 수 있도록 가이드라인을 마련하였다.

기초 지자체에서 활용 가능한 에너지 성능이 강조된 가이드라인을 마련함으로서 주거부분의 에너지 사용에 대한 소비자들의 인식이 제고 될 것이다. 또한 이에 따른 관련 기술 및 연구 들이 활성화 되어 시장 확대 및 기술의 발전을 촉진하는 중요한 계기가 되었다. 이러한 지자체의 노력을 통해 법규기준이 더욱 강화됨으로서 이러한 선순환의 촉매제가 되는 역할을 하게 될 것이다.



< 기초지자체 가이드라인 마련을 통한 선순환 유도 >

② 건물부문 중장기 정책 로드맵 제안

2000년대 이후, 지속가능한 생산과 소비에 관한 국제적인 관심이 크게 증가하고 있으며, 온실가스 배출에 대한 국제적 규제가 현실화됨에 따라 저에너지/친환경산업은 급속히 증가하고 있는 추세이다. 이에 에너지 효율화와 친환경 산업의 육성은 모든 나라의 국가적 아젠더로 부각되고 있으며, 캐나다의 R-2000 프로그램, 일본의 주택 가치혁신 국가 프로젝트, 미국의 Building America, 유럽연합의 건물에너지절약 정책(EPBD) 등, 주요 선진국에서는 에너지 효율화를 위한 강력한 정책 개발과 촉진을 위해 국가 프로그램을 시행하고 있다.

우리나라에서도 에너지와 환경 문제를 동시에 해결하기 위한 방안으로 저에너지 친환경 공동주택 건설 기술이 1990년대부터 부분적으로 다양하게 개발되고 있으나 대부분의 공동주택들은 단편적, 미적인 측면에만 치우치고 있다. 그러므로 저에너지 친환경 공동주택 요소기술의 개발과 통합 모델의 완성뿐만 아니라 이를 체계적으로 보급하고 지원 할 수 있는 조직과 정책 및 제도가 반드시 뒷받침 되어야 한다. 기후 변화 협약에 대응하여 공동주택

부문의 전략적 온실가스 감축을 위한 정책 로드맵을 개발필요하다.



< 그린빌딩 활성화의 3요소 >

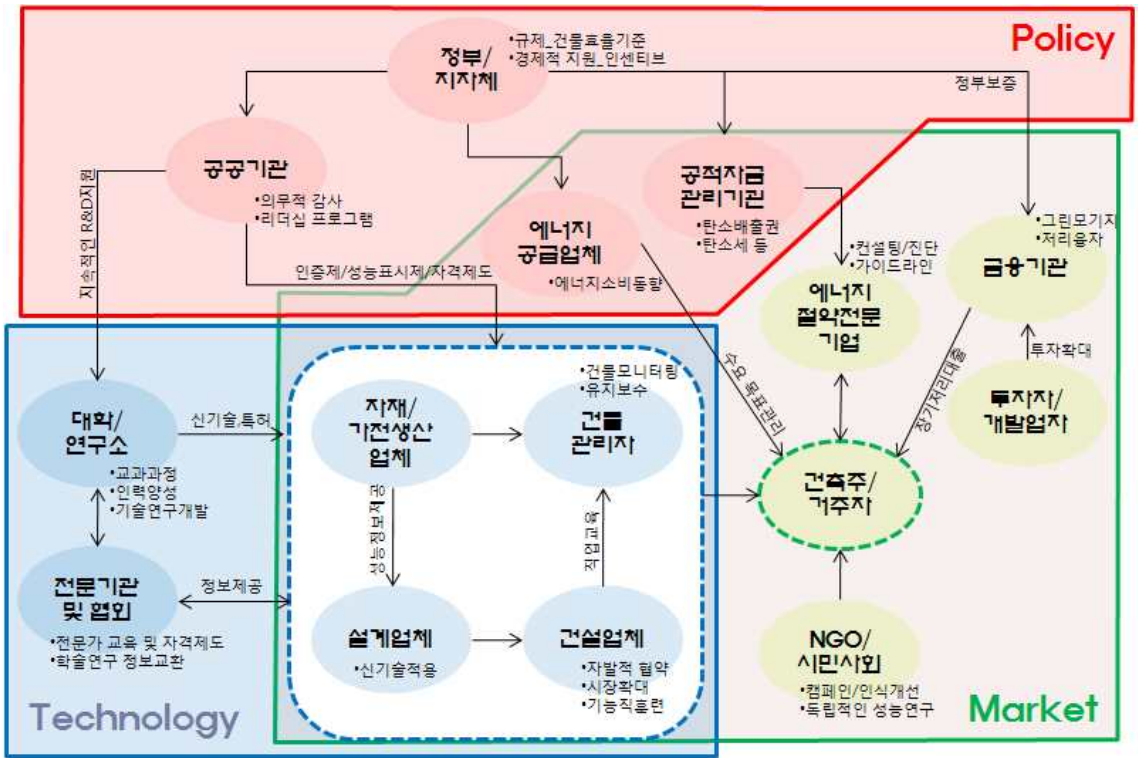
이를 위해서 정부는 온실가스 감축 목표를 고려하여 정책을 선정해야 할 것이며, 개별 정책수단의 특징에 따라 효과적인 적용이 가능하도록 하여야 한다. 또한 그린빌딩의 보급을 확산하기 위해서는 정책 결정자의 노력이 필요하다. 건물은 긴 생애주기를 갖고 있기 때문에 중장기적 온실가스 저감 잠재량이 큰 분야이다. 따라서 건물 소유자가 건물을 탄소배출 저감이 가능한 형태로 개선할 수 있도록 유도하는 전략이 필요하다. 이를 위해서는 정략적으로 비교가 가능한 에너지성능기준, 정확하고 포괄적인 데이터 및 정보 수집, 에너지 성능을 평가하고 에너지효율적인 정책을 집행하기 위한 정책결정자의 역량 강화, 이해당사자들의 의견을 조율할 수 있는 시스템 구축 등이 필요하다.

국내에서는 이미 그린홈을 구현할 수 있는 기술적인 수준에 와있다. 그러나 그린홈, 그린빌딩을 활성화시키고 수출산업으로까지 발전시키기 위해서는 기술뿐 아니라 정책과 시장의 역할이 중요하다. 정책과 시장 관점에서 보면, 국내 친환경 건축의 수준은 아직도 시작에 불과하다. 수요가 형성되지 못한 지금 정책적인 뒷받침과 선도적 역할이 없다면 개발된 기술은 빛을 발하지 못하고 시장에서 사라질 가능성도 있으며, 연구를 통해 기술적으로는 그 성능이 검증되었지만 '건설기술'이라는 것이 설계자에 따라, 엔지니어에 따라, 시공자에 따라 성능을 구현하지 못하는 경우도 발생 할 수 있다. 궁극적으로는 환경에

대한 인식이 확대되고 성능에 대한 검증이 되면서 자연스럽게 그린빌딩에 대한 투자가 확대되어 시장이 활성화되는 것이 가장 바람직한 방향이라고 할 수 있다.

(3) 연구개발결과

건물부문의 에너지 저감과 온실가스 감축을 위한 정책수단은 규제수단, 세제 및 인센티브, 정보제공 및 자발적 협약, 시장기반 경제적 수단으로 분류된다. 이러한 정책 수단을 기반으로 실제 온실가스 감축과 그린빌딩 시장 활성화를 조성할 수 있도록 단기 및 중장기 전략을 세워 이루어나가야 할 것이다.



< 건물에너지 개선에 관련된 이해관계자의 역할분담 >

정부의 정책 추진의 전략과 선택 방향을 설정하기 위해서는 규제와 지원, 정보(계획)의 세 가지로 나눌 수 있으며 이중 규제는 건물에너지 효율 증대를 통한 절약과, 지원은 인센티브 제공과 밀접한 관계가 있다. 정보(계획)는 규제와 지원을 종합적으로 활용할 수 있다. 단기에는 지원 전략을 중심으로 추진하고 중장기적으로는 유인전략과 규제전략을 추진할 수 있도록 정책적 제도적 기반을 구축 한다. 규제를 통해 정부 주도의 제도 및 법규 강화를 통해 촉매제의 역할을 통해 당근과 찍을 적절히 사용하여 민간주도의 시장 형성에 적극 협력해야 할 것이다. 또한 지원 및 유인 전략을 통해서 민간 주도의 친환경

시장 활성화를 할 수 있도록 각 이해당사자들의 역할 분담 및 수행이 필요하다. 이는 시장기반 경제적 수단을 통해 투자자들의 투자여건을 조성하고 민간 투자 펀드 등으로 사업성을 확보함으로서 가능 할 것이다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 기술의 공동주택 건설시장 보급 확산에 활용

② 저에너지 친환경 공동주택 건설기술의 연구개발을 기반으로 하여 정책 목표의 설정 및 연구개발의 로드맵 작성에 있어 기초 자료 제공

③ 정책적 지원으로 건설된 건물의 생산, 운영에 따른 에너지 절감으로 얻어지는 CO2 발생량 저감 효과로 기후변화 협약에 대응

④ 저에너지 친환경 공동주택 건설 활성화를 위한 효율적인 정책시스템을 구축하여 요소기술의 실무 적용을 적극 지원

⑤ 새로운 도시에 요구되는 공동주택 모델 개발에 따른 차세대 공동주거 문화의 형성에 기여

⑥ 환경컨설팅 및 엔지니어링 분야 등 중소기업 육성 및 제반 기술의 해외 수출을 통한 저에너지 친환경 시장 개척

⑦ 교토의정서에 대한 대응으로 CO2 절감을 통한 국가 경쟁력 향상 및 신재생에너지 활용과 지속가능한 발전 보급 향상

나. 친환경 성능향상을 위한 제도개선 및 기존주택의 기존건물 그린홈 활성화 방안연구

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

최근 정부에서는 기후변화 현상에 대한 국제 공동대처 노력의 일환으로 온실가스저감과 국가성장을 동시에 도모하는 “저탄소 녹색성장”의 국가발전 비전을 발표하였다. 이를 위한 도시주택부문에서의 저탄소 녹색성장 핵심실천 방안은 신축 및 기존 주택을 그린홈화 하는 것으로, 향후 10년간 신축 보금자리주택 150만호 중 최소 100만호를 그린홈으로 건설보급하고 기존주택 100만호를 그린홈화 할 계획이다.

이에 국토해양부는 신축 보금자리주택 100만호 그린홈 건설 보급을 위해 신축 공동주택의 에너지절감 정책추진의 일환으로 ’09년 10월에「친환경주택 건설기준 및 성능」기준을 마련, 고시하였다. 「친환경주택 건설기준 및 성능」고시 시행 이후 지금까지는 사회적·경제적 문제점은 크게 없는 것으로 나타나고 있으나, 공동주택의 에너지소비량 및 CO_2 배출량에 대한 보다 객관적이고 구체적인 평가와 설계기준의 향상·보완 및 타 제도와의 형평성 등을 고려한 현 제도의 개정 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 또한 건축물 분야의 CO_2 저감목표

달성을 위해 정부는 주택분야의 에너지 절감추진 목표를 단계적으로 강화하고 있는 바[5], 기술적 및 사회·경제적 여건을 반영한 제도의 개선이 필요하다 하겠다.

제도개선의 기술적 측면으로는, 공동주택의 에너지절약 및 CO_2배출량 저감을 위해 적용될 수 있는 기술은 다양하지만, 그 중 일부는 정량적 평가가 어려워 에너지절감 및 CO_2 저감효과에 기여하는 영향을 평가하지 못하고 있다. 따라서 관련 기술수준의 향상과 타 제도들의 에너지절감에 대한 요구수준의 향상을 반영하고, 장기적인 국가의 에너지정책 목표달성에 이바지하기 위해서는 친환경주택의 요소기술의 개발 및 요소기술을 정량적으로 평가할 수 있는 평가방법과 평가 Tool의 개선이 중요하다 하겠다. 사회·경제적 측면에서 볼 때, 국가의 주요정책인 신규주택 100만호 그린홈화를 달성하기 위해서는 정부정책에 부응하면서 객관적인 제도가 뒷받침 되어져야 하는바, 기존제도의 시행으로 인해 나타난 관련업계의 요구의견을 반영하고 국민의 요구수준 및 정부의 정책목표를 충분히 반영한 제도로의 개선이 중요하다. 또한 친환경주택 건설 기준 및 성능 시행으로 인해 발생되고 있는 관련업계의 초기투자비 증가에 대한 부담을 줄이기 위해 친환경 요소기술 및 평가방안을 추가로 개발할 필요가 있다.

기존주택 100만호 그린홈화 보급을 위해서는 정부의 지원정책 마련 및 기존주택에 적용가능한 기술항목을 도출하고 기술적용으로 인한 에너지절감 및 CO_2 저감효과분석이 필요하다. 이를 위해서는 기술항목별 효과를 정량적으로 산출할 수 있는 기술개발이 중요하며, 이 결과와 경제성 분석 데이터를 바탕으로 기존주택 그린홈 활성화 정책을 추진할 수 있는 지원방안이 마련되어야 할 것이다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

상기에서 분석한 연구필요성을 근간으로 본 연구에서는 신규주택의 그린홈 활성화 방안을 마련하기 위해 현재 시행중인「친환경주택 건설기준 및 성능」고시를 정부의 정책 목표에 맞게 개정하고, 기존주택의 그린홈화를 위해 기존주택에 적용될 기술항목의 도출과 정량적 평가방법 개발 및 초기투자비 등을 분석하여 기존주택 그린홈화를 위한 지원방안을 마련코자 한다.

아래의 표는 본 연구에서 수행해야할 내용 및 세부내용에 대해 나타낸다.「친환경주택 건설기준 및 성능」기준의 개선과 기존 주택의 에너지절감효과를 분석코자 기존주택의 에너지소비량 조사, 고효율기자재(변압기, 펌프 등), 실별온도조절기 및 조명기구 등의

5) 정부는 2025년에 제로에너지 주택 시범 보급을 위해 2009년 10~15%인 주택에서의 총에너지 절감률을 2010년에는 15~20%, 2012년 30%, 2017년 60%, 2025년 제로에너지주택의 보급을 계획 중임

정량적 평가방법 제안, 친환경주택 성능평가 프로그램 개선 및 기존주택 그린홈화를 위한 적용기술의 평가방법 개발 및 지원정책 제안 등을 연구내용으로 설정하였다.

연구내용	연구방법
▪ 친환경주택 고시의 개정사항 도출	▪ 민원 및 정부의 개정요구사항 등의 검토를 통한 개정항목 도출 및 개정방안제시
▪ 공동주택의 에너지소비량 조사	▪ 지역별, 평형별 열 및 전력사용량 조사 ▪ 지역별, 평형별 에너지소비량 기준분석
▪ 친환경주택 고시 개정	▪ 연구결과를 토대로 개정가능 항목 도출 ▪ 정부, 관련업계와 TFT구성·협의 및 개정
▪ 의무항목의 에너지절감량 평가방법 개발	▪ 8개의 의무사항중 에너지절감효과 정량화가 가능한 항목에 대한 에너지절감량 계산
▪ 친환경주택 성능평가 프로그램 개선	▪ 고시개정항목을 토대로 기존의 친환경주택 성능평가 프로그램 개선
▪ 친환경주택 고시 추가개정	▪ 연구결과를 토대로 재개정 ▪ 정부, 관련업계와 TFT구성 · 협의
▪ 기존공동주택 그린홈화 적용기술 및 평가방법 개발	▪ 기존공동주택 그린홈 적용가능기술 도출 ▪ 적용기술별 에너지절감율 산출
▪ 기존공동주택 그린홈화를 위한 지원 정책 제안	▪ 기존주택의 에너지절약을 위한 외국의 주요 정책 및 지원제도 조사 ▪ 국내실정에 맞는 기존주택 그린홈 활성화를 위한 지원정책 제안

(3) 연구개발결과

정부의 저탄소 녹색성장의 일환으로 추진되고 있는 그린홈 200만호 건설 보급목표를 실천하기 위해, 건설교통기술평가원의 국토해양기술연구개발 사업으로 진행한 본 연구의 수행을 통해 얻은 성과는 다음과 같다.

(가) 친환경 주택의 건설기준 및 성능 고시 개선

① 친환경 주택의 에너지 의무절감률 강화 (안 제7조)

② 친환경 주택의 의무 설계조건 명확화 (안 제7조제4항)

③ 주요 용어 정의를 신설 (안 제2조제9호 · 제10호 · 제27호 · 제28호)

④ 기타

㉮ 평가기준주택 정의신설 (별표16, 별표17 신설)

㉯ 태양열시스템 열생산량 수정 (별표5 수정)

㉰ 열원시스템 에너지소비율 수정 (별표8 수정)

(나) 공동주택의 열 및 전력 사용량 조사

주택관리공단 및 민간위탁관리하는 LH 아파트 총 356개단지에 대한 열 및 전력사용량을 조사한 결과, 전력사용량 원단위는 약 40kWh/yr·㎡이며, 열사용량은 개별난방과 지역난방의 경우 년간 단위 면적당 약 100Mcal~120Mcal 정도 사용하고 있으며, 중앙난방의 경우의 열사용량 원단위는 이보다 약 20% 이상인 것으로 조사되었다.

(다) 창호열관류율 계산 소프트웨어 개발 보급

현재까지 사용되어온 에너지절약계획서에서 제시하고 있는 창호 열관류율이 모든 창호의 형태별로 열관류율을 제시하지 않고 있기 때문에, 실무에서 적용에 어려움이 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 KS L 2525, EN 673 및 에너지절약설계기준에서 지세하고 있는 유리 및 창호의 열관류계산방법에 의해 창호의 열관류율을 계산할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 국토해양부 홈페이지를 통해 보급함으로써 현업에서 활용할 수 있도록 하였다.

(라) 기존주택 그린홈 활성화 제도(안) 제안

기존주택의 그린홈 활성화 방안을 마련하기 위해, 그린홈 기술요소별 에너지절감효과와 초기투자비를 분석하고, 관련제도에 대한 검토를 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 그린홈 활성화 방안 제도(안)을 국토해양부에 제안하였다.

① 주택법시행규칙의 장기수선계획 수정 제안

② 기존주택 그린홈 개보수를 위한 제도 마련 방안 제안

③ 그린 리모델링 활성화 방안 제안

(마) 기존주택 그린홈화 사후평가 실시

‘10년 정부와 LH의 주관으로 142억을 투자하여 기존주택 그린홈화 시범사업으로 추진된 9개 지구 중 6개 지구에 대해 사후평가를 실시하였다. 그린홈 개보수사업이전과 이후의 열사용량을 조사한 결과 1개 지구에서만 사업이전보다 열사용량이 높게 나왔을 뿐, 5개 지구에서는 열 사용량 절감률이 2~14% 정도 되는 것으로 분석되었다. ’10년 겨울철 기온이 평년기온보다 매우 낮은 점을 감안하면 기존주택의 그린홈 개보수시의 에너지절감효과는 기존주택 그린홈 시범사업전에 예측대로 약 10%정도는 될 것으로 판단된다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통해 개정된 “친환경 주택건설기준 및 성능”에 의해, 향후 20세대 이상의 공동주택을 건설하려는 사업자는 기준주택대비 주택규모에 따라 15%~20%의 에너지절감 및 CO_2 저감을 의무적으로 해야 한다. 따라서 의무사항 이행에 대한 부담을 최소화하기 위해 이해관계자들의 의견을 반영하여 최대한 적정수준에 맞추려고 노력하였다.

향후 정부에서는 본 고시에 대해 수정, 보완 그리고 추가요소개발 등을 통해 업그레이드를 계속할 것으로 예정하고 있으며, 또한 고시에서 정한 에너지절감율 및 이산화탄소저감율을 2012년에는 30%로 높이는 방향으로 정책을 펼 것으로 보인다. 따라서 건설업계 및 관련업계에서는 이에 대한 대비를 지금부터 해야 할 것이다. 본 연구수행을 통해 제안된 결과가 국가에서 추진하는 건축물분야의 에너지절감에 조금이라도 기여할 수 있기를 바란다.

3. 그린홈플러스(실험주택) 교육 및 홍보

그린홈 플러스는 2010년 5월 26일(수) 개관 이후 500명에 달하는 정부 중요 직책 및 기관 그리고 건설관련 관계자들이 방문하였다.

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
1	2010년 5월 26일 (수)	**GREENHOME^{puls} (실험주택) 개관식** 국토부 정종환 장관, 김형국 녹색성장위원회 위원장, 지경부 차관, BH 미래비전비서관, 조정식 국회의원, 연세대 김한중 총장, 대림산업 대표이사	   
2	2010 5월 29일 (토)	성균관대학교 건축공학과 GREENHOME^{puls} 관람	-
3	2010 6월 1일 (화)	동아일보 취재팀 GREENHOME^{puls} 관람	-
4	2010년 6월 2일 (수)	세종대학교 건축학과 GREENHOME^{puls} 관람	-
5	2010년 6월 4일 (금)	한국건축친환경설비학회, 한국실내환경학회 GREENHOME^{puls} 관람	-

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
6	2010년 6월 4일 (금)	KTV 취재팀 GREENHOME^{puls} 관람	-
7	2010년 6월 7일 (월)	주택저널 취재팀 GREENHOME^{puls} 관람	-
8	2010년 6월 9일 (수)	OCI 주식회사 GREENHOME^{puls} 관람	-
9	2010년 6월 10일 (목)	포스코 건설 회장 외 GREENHOME^{puls} 관람	-
10	2010년 6월 10일 (목)	전남 순천시청 건축과 외 GREENHOME^{puls} 관람	-
11	2010년 6월 10 (목)	LG전자 GREENHOME^{puls} 관람	-
12	2010년 6월 17일 (목)	동부건설 사장 외 GREENHOME^{puls} 관람	-
13	2010년 6월 17일 (목)	LH공사 GREENHOME^{puls} 관람	-
14	2010년 6월 18일 (금)	연세대학교 공대 연구단장회 GREENHOME^{puls} 관람	-
15	2010년 6월 21일 (월)	LH공사 GREENHOME^{puls} 관람	-
16	2010년 6월 22일 (화)	단국대학교 건축공학과 GREENHOME^{puls} 관람	-
17	2010년 6월 25일 (금)	전남 장성군청 GREENHOME^{puls} 관람	-
18	2010년 6월 26일 (토)	벨기에 부총리 Jean-Claude MARCOURT, 벨기에 대사관 Baudouin de HEMPTINNE 책임자, 전현옥 상무관 GREENHOME^{puls} 관람	
19	2010년 7월 26일 (월)	경기도청 (주책정책, 신도시, 뉴타운사업, 택지개발과) GREENHOME^{puls} 관람	

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
20	2010년 7월 26일 (월)	서울시 SH공사 Consentini 한화건설 GREENHOME^{puls} 관람	
21	2010년 8월 2일(월)	송파구청 한신공영(주) (주)삼천리 도시가스 GREENHOME^{puls} 관람	
22	2010년 8월 2일 (월)	OCI(주) 한미파슨스 GREENHOME^{puls} 관람	
23	2010년 8월 9일 (월)	삼성물산 건설부문 기술연구센터 GREENHOME^{puls} 관람	
24	2010년 8월 9일 (월)	삼성건설 한양대 친화경 연구센터 LS산전 GREENHOME^{puls} 관람	
25	2010년 8월 23일 (월)	이랜드 건설 LG Hausys 드래곤 플라이 민경식 건축사무소 GREENHOME^{puls} 관람	

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
26	2010년 11월 15 (월)	두원공과대학 건축디자인과 GREENHOME^{puls} 관람	
27	2010년 11월 15 (월)	디엔에이 도시건축 인전도시개발공사 공사처 삼성물산 그린투모로우 GREENHOME^{puls} 관람	
28	2010년 11월 16일 (화)	서초구청 건축과 GREENHOME^{puls} 관람	
29	2010년 11월 22일 (월)	녹색성장 위원회 GREENHOME^{puls} 관람	
30	2010년 11월 22일 (월)	LH 부장 강릉교육지원청 소담 건축사무소 삼주 ENC 강릉시 녹색도시 GREENHOME^{puls} 관람	
31	2010년 12월 1일 (수)	KGBC(한국그린빌딩 협의회) 조균형 회장 GREENHOME^{puls} 관람	

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
32	2010년 12월 1일 (수)	**BRE(영국 대사관) 초빙** **BRE Innovation Park** **책임자 jaya Skandamoorthy** **연설** **-It's Role in Delivering Standards for Substantiality** BRE(영국 대사관) 이지영 상무관, 대사관 초빙 건축가 사절단 George Gardner Andrew W T Yau, jaya Skandamoorthy, david hoggard GREENHOME^{puls} 관람	  
33	2010년 12월 3일 (금)	**프랑스 대사관** 프랑스 국회의원 Jacques MYARD, Jerome LAMBERT GREENHOME^{puls} 관람	

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
34	2011년 3월 7일 (월)	연세대 생활과학 연구소 대우조선해양건설 GREENHOME^{puls} 관람	
35	2011년 3월 17일 (목)	극동건설 송인회 회장 장해룡 상무 진현호 연구원 GREENHOME^{puls} 관람	
36	2011년 4월 14일 (목)	울산대학교 건축과 GREENHOME^{puls} 관람	
37	2011년 4월 18일 (월)	SH공사 GREENHOME^{puls} 관람	

순서	날짜	행사 및 참가자	사진
38	2011년 4월 18일 (월	현대종합설계 주성종합건설 동부건설 삼천리 친환경에너지연구소 초고층 복합빌딩 사업단 실용화 팀 GREENHOME^{puls} 관람	
39	2011년 5월 23일 (월)	해승종합건축사 사무소 (주)벽산 동부건설 GREENHOME^{puls} 관람	
40	2011년 5월 26일 (목)	광명시청 GREENHOME^{puls} 관람	
41	2011년 5월 30일 (월)	경복대학 삼성물산 그린투모로우 GREENHOME^{puls} 관람	

제 2절. 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경적 요소

1. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발

가. 인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발

(1) 연구개발의 배경 및 목적

① 친환경 공동주택 단지 계획 및 건설에 있어 녹지는 거주환경의 개선은 물론 에너지 저감과 대기오염 저감 등의 환경부하 저감에 있어서도 중요한 역할을 차지하고 있음

② 구조물 및 녹화기술이 발전하면서 기존 공동주택 단지조성시 녹지는 자연지반보다는 인공지반에 조성되는 사례가 증가하여 왔으며, 이와 함께 관련 기술들이 지속적으로 개발 및 상용화되어 왔으나 기술적으로 표준화된 지침은 미진 하였음

③ 본 인공지반녹화의 생태적 조성지침 개발의 목적은 인공지반녹지가 에너지 저감, 물순환체계 및 생태계 연계성 증진 등의 생태적 효과를 증대시킬 수 있도록 계획 및 설계, 시공 및 유지관리 등 조성 전단계에서 고려해야 할 가이드라인을 제시하는 것임

(2) 연차별 연구개발의 목표 및 연구방법

연차	연구개발 목표	연구방법
1차년도	기존 인공지반녹화 기술수준 및 개선점 파악	• 국내외 기술 및 연구 동향에 관한 자료 수집 분석 • 인공지반녹화 요소기술, 시스템 현황 분석
2차년도	인공지반녹화 기술로드맵 작성	• 인공지반녹화 기술관련 특허분석, 적용된 도면분석 • 인공지반녹화 관련 지침 및 제도 분석 • 기술수요 항목의 도출 및 전문가 의견수렴 • 기술수요 트리맵 구조 구축 및 TRM 작성에 반영
3차년도	인공지반녹화 생태적 조성방안 수립	• 인공지반녹화 관련 국내외 지침분석 • TRM을 고려한 에너지 저감, 물순환 개선, 생물다양성 증진에 필요한 계획적, 시공적 기술요소 도출 • 인공지반녹화 적용유형의 도출 • 인공지반 녹화 생태적 조성 매뉴얼 제시
4차년도	인공지반녹화 조성단계별 평가기준안 설정	• 인공지반 녹화의 조성단계 분류 • 조성단계별 주요 평가요소 설정 • 인공지반녹화 적용유형에 따른 조성단계별 평가기준 개발
5차년도	인공지반녹화의 생태적 조성지침 작성 및 활용방안 제시	• 평가기준별 세부 지침 작성 • 인공지반녹화 조성지침 활용방안

(3) 연구개발의 내용 및 범위

① 인공지반녹화 생태적 조성지침이라 함은 저에너지 친환경 공동주택 조성을 위해서 인공지반녹화가 갖는 에너지 저감, 물순환체계 및 생태계 연계성 증진 등의 생태적 효과를 높이기 위하여 조성단계별 및 적용 녹화유형별로 제시되는 가이드라인을 지칭함

② 1차년도에서는 한국의 인공지반 녹화기술의 현황을 파악하기 위하여 일본, 독일 등의 국외와 국내 인공지반 녹화 기술 및 적용사례들을 분석하였음

③ 2차년도에서 수립한 인공지반 녹화 기술로드맵(TRM)은 향후 인공지반녹화 기술개발에서 보다 중요하게 요구되는 요소기술 혹은 환경기술을 체계화하는 것으로서 시계열적인 관점보다는 현재 및 미래의 기술수요에 대한 트리맵 구조로 구성하였으며, 이를 구축하기 위하여 인공지반 녹화기술 관련 특허분석, 공동주택에 적용된 인공지반 녹화 관련 도면 분석, 관련 제도 및 지침의 국내외 사례분석, 미래변화요소들에 대한 전문가 의견수렴을 진행하였음

④ 3차년도에서 수립한 인공지반녹화 생태적 조성지침안은 인공지반 녹화 대상공간을 범위로 하여 이에 대한 계획과 시공을 위해 고려해야할 기술사항들로 구성되며, 이를 위하여 일본, 독일, 미국, 중국 및 국내 인공지반 녹화 관련 지침들을 분석하였고, 에너지 친환경 공동주택 조성시 인공지반녹화가 녹지네트워크 및 물순환체계와의 연결, 에너지 저감과 연계될 수 있는 방안으로 구성됨

⑤ 4차년도에서는 전년도에 수립된 인공지반녹화 생태적 조성지침안이 녹화대상공간을 중점적으로 다루었고, 시공에 관련된 기술사항들을 중심으로 작성되어 조성 전단계에 대한 고려가 부족하였으며, 세부 기술적 고려항목들에 대한 보완이 일부 요구되었음. 무엇보다 조성과정 및 조성 결과물에 대해서 조성목적을 달성하였는지의 여부를 평가할 수 있는 기준이 또한 필요하였음. 이에 인공지반 녹화 조성단계를 현황분석, 계획 및 설계, 시공, 유지관리 등으로 확대하고, 각 단계에서 생태적 효과를 증진시킬 수 있는 항목을 평가요소로 하였고, 각 단계의 평가요소를 인공지반녹화 적용유형별로 고려하였을 때 필요한 항목을 평가기준으로 하였음

⑥ 5차년도에서는 3차년도 및 4차년도 연구결과를 종합하고, 이를 가이드라인으로 제시한 결과로 인공지반녹화 생태적 조성지침을 작성하고, 인공지반녹화 관련 제도 및 정책에서 본 지침을 활용하기 위한 방안과 공동주택 조성과정에서 활용하기 위한 방안 등을 제시함

(4) 연구개발결과

① 1차년도에서는 한국의 인공지반녹화 기술이 독일, 일본 등의 완성단계보다 낮은 성숙단계이며, 관련 요소기술의 표준화 및 체계화된 조성을 위한 가이드라인이 필요하고, 인공지반녹화가 갖는 생태적 효과에 근거한 부재하여 인공지반녹화 조성지침은 저에너지 친환경 목적에 부합하는 표준적인 개발다는 결과를 얻었음.

② 2차년도 연구결과인 인공지반 녹화 기술로드맵은 인공지반녹화 TRM과 핵심요소기술 TRM으로 분류되었으며, 인공지반녹화 TRM은 에너지-환경부하 저감, 지속적 생태기능 수행, 한국형 표준화 등의 세 가지 기술수요 유형과 이를 보완하기 위한 제도화 및 사회화의 제도적 유형으로 나뉨. 에너지-환경부하 저감을 위해 요구되는 기술로는 냉난방 효과확보 기술(평지형 옥상녹화 축열성능 확보, 건축물 벽면 열성능 확보), 우수유출 저감기술(단지 내 할당 수량 확보), 빗물활용기술(중수처리 기술, 빗물순환계와의 연결기술) 등이며, 지속적 생태기능 수행을 위해 요구되는 기술로는 생태적 조성기술(지역적 생태네트워크 설계기술, 생태적 입면녹화 설계기술, 시스템 시공기술), 식물재배기술(포트형 교목 재배기술), 유지관리기술 등이고, 한국형 표준화를 위한 기술은 모듈화 및 방수-방근의 융합기술의 한국화와 인공지반녹지 포장재, 유지관리, 인공지반 조성에 관한 표준화 기술 등이었음

③ 핵심요소기술 TRM에서는 경량형 옥상녹화시스템을 주된 기술개발 대상으로 하여 단열, 내풍압, 인공토양, 적용식물, 방수기술, 방근기술이 주된 기술수요 항목으로 제시되었음

④ 3차년도에서는 선진사례 분석을 통해서 인공지반녹화의 계획, 설계 및 시공에 필요한 생태적 고려사항을 외부환경과의 생태적 연계(단지배치, 그린네트워크), 물순환시스템 고려(우수활용, 다양한 침투시설), 에너지 절약(향, 바람길, 식재패턴), 적용유형 고려(경량형, 중량형)로 설정하였으며, 인공지반 녹화 기술의 적용유형을 건생 비오톱형 I(경량형), 건생 비오톱형 II(중량형), 습생 비오톱형으로 구분하여, 이를 인공지

반녹화 조성에 있어 계획 및 시공시 가이드라인인 인공지반녹화 생태적 조성지침안을 제시함

⑤ 인공지반녹화 생태적 조성지침안 중 계획적 지침에서는 녹지네트워크를 고려한 인공지반녹지 대상지 선정(생태계 조사분석 방안, 주요 목표종 선정 및 유치방안, 인공지반 녹지 대상구간 선정 방안, 비오톱 네트워크 계획수립방안, 목표종 서식처 계획방안), 물순환 시스템과의 연계(지하공간 상부 인공지반녹지의 수처리, 우수저류지 상부 인공지반녹지 연결방안, 건축물 옥상부 인공지반 녹지의 수처리), 에너지 절약형 식재(향의 고려, 바람길 고려, 다층구조식재방안) 등이 제시됨

⑥ 인공지반 녹화 생태적 조성지침안 중 시공적 지침에서는 건생 비오톱형 I(경량형 인공지반녹지)(단층식재형, 벽면녹화형), 건생 비오톱형 II(중량형 인공지반녹지), 습생 비오톱형 등의 유형별 배수시설 조성, 식생기반층 조성, 식재방안, 관수시스템 고려 등이 제시됨

⑦ 4차년도에서는 인공지반녹화 조성단계에 따른 평가요소를 도출하고, 각 단계별 평가요소에 따라 인공지반녹화의 적용유형별로 고려해야할 항목을 평가기준으로 제시하였음

⑧ 조성단계에 따른 평가요소는 현황분석단계의 평가요소(광역적 스케일, 지역적 스케일, 프로젝트 스케일), 계획 및 설계단계의 평가요소(기본구상, 기본계획 및 설계, 실시설계), 시공단계의 평가요소(시공계획, 재료선정 및 반입, 기반시설 설치, 식생기반 설치), 유지관리단계의 평가요소(식생관리, 토양관리, 배수관리, 관수관리, 시설물관리, 생태계 모니터링)로 구성됨

⑨ 적용유형은 건생 비오톱형 (경량형), 건생 비오톱형 II(중량형), 습생 비오톱형(혼합형)으로 구분됨

⑩ 5차년도에서는 인공지반녹화 생태적 조성지침을 완료하였으며, 1차년도부터 5차년도까지의 연구결과를 취합하여 최종보고서를 작성하였음

⑪ 또한 본 연구결과의 의의로서 학술적 기여도와 인공지반녹화 관련분야에의 기여도를 제시하였고, 본 연구결과를 통하여 제시된 인공지반녹화 생태적 조성지침을 활용할

수 있도록 공동주택 조성단계별, 조경분야에의 연관성, 인공지반녹화 관련 지침과의 연계방안을 제시하였음

(5) 연구개발결과의 보급화 방안

① 저에너지 친환경 공동주거단지 조성을 위해서는 계획단계에서 인공지반녹화 대상지를 하나의 비오톱으로 지정하여 대상지 주변 녹지네트워크와의 연계성을 고려할 수 있으며, 설계단계에서는 물순환시스템과의 연계할 수 있도록 배수라인, 저류지 등 물순환경로와의 연결시 고려해야 할 참고기준으로 활용할 수 있으며, 유지관리단계에서는 전체 단지의 통합적 유지관리 매뉴얼에 흡수시켜 활용할 수 있음

② 친환경 건축물 인증기준 중 외부공간 및 건물외피의 생태적 기능확보 및 생물서식공간 조성을 만족할 수 있도록 본 지침을 활용할 수 있으며, 그 외 수순환체계 구축 및 대지 내 녹지공간 조성 등의 기준에도 활용할 수 있음

③ 인공지반녹화 관련 지원제도에 대한 경향들을 제시하고 있으므로 향후 관련 정책을 연구하거나 개발할 시 참고자료로 활용할 수 있음

④ 친환경 공동주택 조성매뉴얼, 조경분야 매뉴얼 등과 연계적인 활용을 통하여 생태적인 기능을 높이고, 관련 공종과의 통합적 고려에 도움을 줄 수 있음

⑤ 유지관리 기간별 체크리스트 및 점검을 위한 기준을 제시하였으므로 단지 전체 유지관리매뉴얼과 통합적으로 운영할 수 있을 것임

나. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 본 연구의 목적은 공동주택의 현재 건물 외피면 중 활용도와 차지하는 비율은 낮으나 다양한 공간구성과 생태적 녹화기술의 적용 가능성이 높은 공동주택 옥상부에 대한 기술개발을 목적으로 한다.

② 본 연구의 주요 연구성과는 신개념 생태적 인공지반녹화 기술 개발의 하나로써 Green Roof System 녹화유니트의 개발과 이를 이용한 녹화기술 실용화 단계 수준까지 달성 할 수 있도록 요소기술의 완성도를 높인 것이다.

③ 녹화옥상시스템(Green Roof System)기술의 국산화를 위한 핵심요소기술 및 관련 소재 개발을 기본으로하여, 옥상부에서의 증발산량 증가를 위한 저류기능을 부가한 Extensive GRS Prototype 개발과 동시에 지금까지 기술적 한계로 인해 적용되지 못하고 있던 저경사형(30°이하) 및 고경사형(30°이상) 지붕에 설치 가능한 탈부착형 GRS Prototype 개발과 이를 활용한 녹화시스템의 개발로 녹화기술적용 공간의 한계를 확대하고자 한다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 본 연구의 범위는 도시 미기후의 변화에 대응하여 늘어나는 불투수 포장면을 피복할 수 있는 공간확보 차원의 기술 개발을 전제로 기존 기술로는 한계를 가졌던 경사지붕에 대한 완성도 있는 녹화시스템의 개발과 이의 실용화까지 진행되는 과정에 있어 주요한 성능평가와 다양한 현장적용을 실시하는 것으로 연구의 내용을 진행하였다. 이는 생장실험과 방근성능의 장기적 모니터링을 바탕으로 한 연구의 결과를 포함하고 있으며, 원활한 식물생장 조건을 형성할 수 있는 요소기술의 사전 점검을 통해 현장 적용의 시행착오를 최소화하기 위함이다.

② 본 연구를 통해 완성도를 가지는 녹화시스템의 구축과 이를 통한 기술보급의 프로세스를 제시하며, 향후 이를 기반으로한 다양한 녹화시스템의 개발과 보급이 이루어질 것으로 전망한다.

(3) 연구개발결과

① 유니트형 옥상녹화 공법 핵심 요소기술 - 녹화 유니트

우선 본 연구진행의 결과물은 기본적으로 금형설계 및 금형제작을 통한 대량생산체계 구축까지 고려한 시작품의 완성을 목표로 연구를 진행하였다.

② 해결해야 할 문제

우리는 다양한 경험과 의견수렴을 통해 지금까지 공동주택의 옥상부에 녹화기술의 적용이 이루어지지 못한 문제점을 파악하였으며, 이를 해결할 수 있는 녹화시스템의 조건을 다음과 같이 도출하였다.

㉮ 우선 경관적으로 미려해야 함

㉯ 시공과 동시에 녹지면의 형성과 높은 피복률 확보가 가능해야 함

㉰ 기존 녹화공법의 가장 큰 문제점이었던 토양유실을 방지할 수 있어야 함

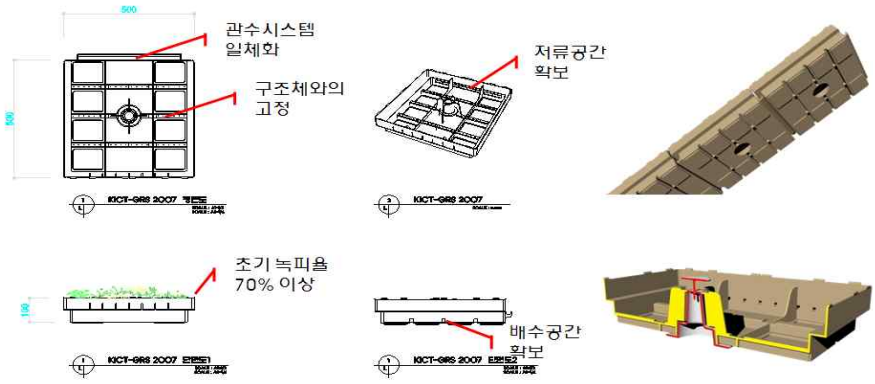
㉮ 일반적인 공동주택 형태의 평지붕 및 경사지붕에 동시에 대응 가능해야 함

㉯ 고층으로 조성되는 공동주택 옥상부에서 발생 가능한 풍압에 대한 대비책이 있어야 함

㉰ 도시기후 개선을 위한 증발산량의 증대와 원활한 식물의 생장을 위한 적정한 저류기능의 확보 기능을 보유하고 있어야 함

이와 같은 조건을 만족하기 위해 다양한 녹화공법을 검토한 결과 유니트 방식의 녹화공법을 개발하였으며, 이 공법의 핵심요소기술로서 녹화유니트의 형상을 디자인하였다.

③ 유니트 디자인 제안



기본적으로 유니트의 하부 형상인 격자형태를 이용하여 녹화면 조성시, 특히 경사지붕면 설치시 부족하기 쉬운 토양수분의 확보를 위한 저류기능을 확보할 수 있도록 디자인 하였으며, 이는 식물의 원활한 생장을 위한 충분한 보습과 도시 미기후 개선을 위한 증발산량의 증대에 일조하고자 하였다. 또한 유지관리의 부담을 최소화하기 위하여 관수빈도를 낮추는 방안으로 작용할 것을 예측한다.

저류부를 구성하기 위한 형상은 자연스럽게 하부형태를 통해 시스템 하부 배수공간을 확보할 수 있으며, 구조체와의 고정을 위한 유니트 중심부에 통기경로의 확보로 토양 내 통기성을 증대하여 식물의 생장에 도움을 주고자 하였다. 구조체와 접착 가능한 Cone을 녹화유니트와 결합함으로서 고층의 공동주택 옥상부에서 발생 가능한 풍압에 대비할 수 있는 대책을 마련하였다. 구조체와 결합되는 Cone의 중앙부는 녹화면 조성 후 유지관리를 위한 관리 통로로 활용가능하다.



콘(cone) - 바닥 부착력과 디딤판 활용
하부 고정 및 지지 역할



녹화 유니트 하부면
배수 및 통기구 역할

유니트 생산 및 제작의 난이도를 고려하여 소재는 PE를 사용하였으며, 소재자체 방수성 및 방근성으로 기존 녹화시스템에 적용되는 방수층에 비하여 옥상부에 적용되는 방수층의 사양을 낮게 설계할 수 있다. 이는 녹화시스템의 설치를 위한 부가설치비용의 절감요소로 작용할 것이다. 또한 유니트 자체의 형상 및 시공방식으로 인해 시스템적 방근기능을 확보하여 별도의 방근층을 설치하지 않아도 되는 장점을 지닌다.

관수시스템은 식물의 원활한 생장을 위해 선택 가능한 대안이며, 현장 적용시 녹화시템과 일체화 되어야 지속적인 내구성을 확보할 수 있다. 이러한 상황에서 유니트 측면형상에서 관수시스템 설치공간을 확보하여 시스템과의 일체화 및 시공의 용이성 확보, 관수배관의 노출 등으로 인한 경관성의 저하 등을 예방하고자 하였다.

또한 경사지붕 적용시 지붕경사방향을 따라 상부 유니트에서 하부 유니트로의 과포화수의 이동 경로를 확보함으로써 간헐적인 관수시스템 적용이 가능하다



유니트간의 연결부와
경사면 시공시 저류공간 확보

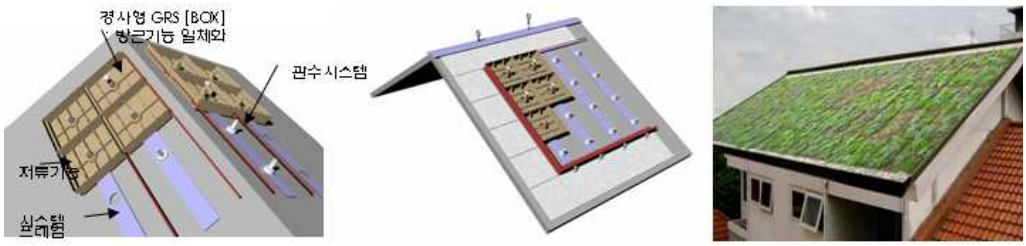


유니트의 급수구 및 배수구간의 연결 모습
중앙부는 디딤판의 역할

유니트의 활용으로 인하여 녹화면 조성시 온실 또는 농장에서 재배된 유니트의 운반 및 설치만으로 녹화면 조성이 가능하게 하여, 초기 녹피율을 70% 이상 확보할 수 있으며, 시공완료 후 곧바로 미려한 경관성을 확보 할 수 있다.

④ 녹화시스템 구성 및 Prototype의 제안

개발된 유니트를 활용한 녹화시스템은 이러한 기존 시스템의 문제점을 극복하며, 일반 공동주택의 경사형 지붕 또는 이와 유사한 조건을 가지고 있는 고층건물의 평지붕에 적용 가능한 녹화옥상시스템 Prototype을 개발하고, 현실 적용성을 확대하였다.



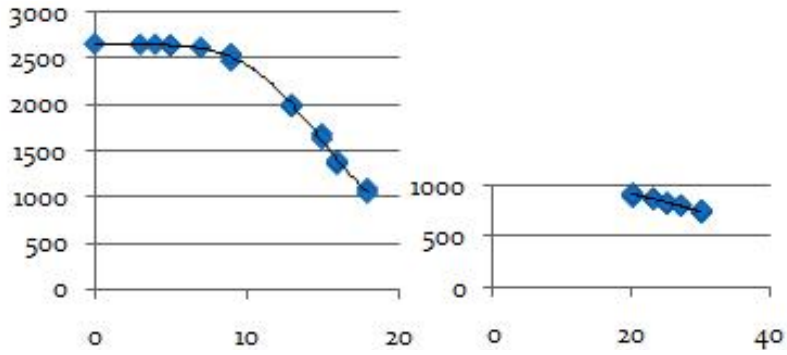
녹화시스템의 구성은 디자인된 녹화유니트, 녹화유니트와 구조체를 고정하는 Cone, 유니트와 일체화 조성 가능한 관수시스템으로 구성하였으며, 부가적으로 시공 및 유지관리를 위한 통로와 작업자의 안전을 위해 용마루 부분의 안전고리, 유니트의 처마선 마감을 위한 부분 등으로 구성할 수 있다.

⑤ 유니트형 옥상녹화 공법 성능평가

㉮ 저수성능 시뮬레이션

제안된 녹화유니트가 설치되는 지붕의 경사도에 따른 저수량의 변화를 예측하기 위하여 관수시스템이 연계될 부분을 통한 급수로 실제 시공시 관수공급 조건과 동일한 조건에서 수분의 공급을 재연하였다. 유니트 중심의 통기성 보완을 위한 통기구 형상으로 인한 지붕경사도 20도 전후에서 저류량의 급격한 변화가 발생하는 것을 측정할 수 있었으며, 반복실험을 통한 지붕 경사도에 따른 개별 유니트당 저류량을 예측할 수 있는 상관식을 도출하였다.





: 지붕각도 0도 이상~20도 미만 저수량 (㎖)

$$y = 0.004x5 - 0.160x4 + 1.198x3 - 3.128x2 + 0.153x + 2645$$

: 지붕각도 20도 이상 (㎖)

$$y = 0.038x3 - 3.152x2 + 68.27x + 503.9$$

유니트를 활용한 저류용량 시뮬레이션을 통해 지붕경사에 따라 20도 이상의 경사지붕에서도 최소 2L 이상의 저류성능을 유지할 수 있음을 확인하였다.

㈏ 풍압성능 시뮬레이션

본 개발기술의 적용 대상은 우선 공동주택의 옥상부로 최근 조성되고 있는 공동주택의 규모는 대부분 10층 이상의 고층으로 조성되고 있으며, 그간 옥상녹화기술의 적용이 부진했던 이유 중의 하나로 옥상부에서 발생하는 풍압이 하나의 요인으로 작용하고 있었다. 건축구조설계기준에따른일반적공동주택규모에서발생하는설계풍압의계산결과는 다음과같다.

: 모델크기 - 30M × 60M × 50M / 지붕경사 - 20% (11.3도)

: 설계용 풍압 • 경사지붕 가장자리부분 [-290kgf/㎡ : 부압]

• 경사지붕 중앙부분 [-190kgf/㎡ : 부압]

일반적으로 풍압설계시 영향을 미치는 요인으로는, 건물의 형상(장단면비), 높이, 용도, 지붕경사, 대상지 위치 등에 따라 결정된다.

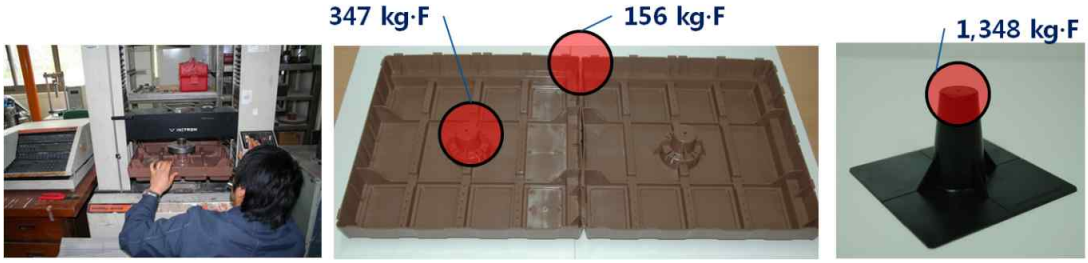
제안된 녹화유니트를 적용시 개별 유니트의 크기는 0.25㎡/ea 이며, 이의 고정을 위한 Cone과 구조체는 Butyl Tape으로 연결되도록 구성된다. Cone의 접착면(0.15M × 0.15M)에 대한 콘크리트 시험체에 대한 부착강도 실험결과 개별 Cone 당 125kgf 이상의 강도를 확보할 수 있어, 녹화면 ㎡당 유니트 4개 설치시 유니트당 72.5kgf 이상 강도의 발현 필요한 상황에서 최소 약 1.7배 이상의 강도를 확보할 수 있는 것으로 측정되었다.



< 풍압산정모델의 풍압과 Cone의 부착강도 실험장면 >

⑥ 시스템 압축강도

녹지면 조성 후 지속적인 유지관리를 위한 녹지면 내부의 통로는 필수불가결한 요소이며, 유니트의 형상을 이용하여 Cone 및 Cone과의 고정부, 유니트 연결부의 압축강도 실험결과 지속적인 하중에도 내구성을 유지할 수 있는 수준까지 확보하도록 디자인 되었다.



⑦ 시스템 방근성능 실험

2008년 6월 12일 국내 시판되고 있는 방근소재 14개 제품에 대해 24개월간의 장기 실험연구에 착수하였으며 실험방법론은 EN규격과 일본 규격의 장점을 혼합하여 설치하였다. 본 개발유니트는 24개월 검사까지에서 타 공법이 오류가 발생하고 있는 상황에서도 이상이 발생하지 않고 있는 것으로 확인되었으며, 식물생육 및 방근성능에 문제가 없는 것으로 판단되어, 본 개발기술을 통한 방근성능이 확보되고 있음을 알 수 있다.



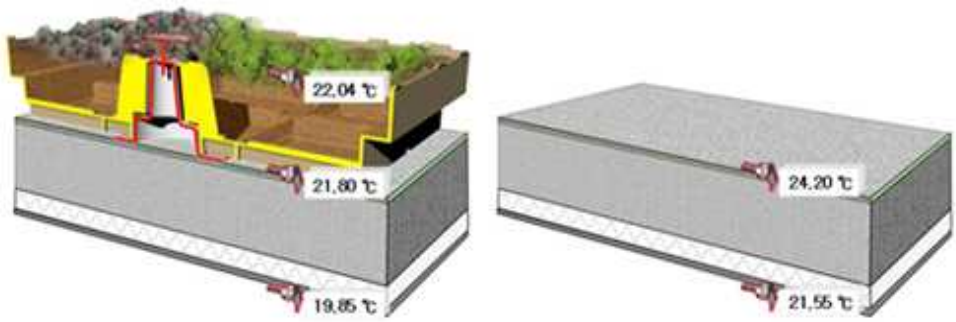

⑧ 현장적용을 통한 시공성 및 기술특성 분석

개발 기술의 현장적용을 통한 시공의 용이성 및 공기의 단축을 기존 포설형 공법과의 비교를 통해 살펴보았으며, 지속적인 모니터링을 통해 이입종 증가 현황 등을 살펴보았다. 그 결과 시공 후 이입종의 유입은 현저하게 줄어들었고 이입하여 뿌리의 활착이 보여 지더라도 기존공법보다 쉽게 제거 가능하였고, 식물의 생육도 경량형 옥상녹화공법의 취지에 부합되게 과도한 생장 및 고사개체 없이 생장하고 있다.




⑨ Pilot Project 현장 모니터링

옥상부에 설치된 녹화면에서 구조체까지의 열전달량을 가늠하기 위한 온도를 측정하였다. 녹화시스템의 설치를 통한 연간에너지 절감량의 정도를 측정하기 위하여 녹화시스템이 적용된 곳과 그렇지 않은 곳의 레이어별 온도를 비교하여 아래층 세대의 천정 표면온도 저감 정도를 파악하였다. 표면온도 변화의 측정은 열적외선 촬영을 통해 이루어졌다. 이에 기초하여 아래층 세대의 실내온도 완화 및 냉방에너지 절감 가능성을 분석하였다



(4) 연구개발결과의 활용계획

① 본 유니트형 옥상녹화 공법의 적용을 통해 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다.

㉮ 버려졌던 옥상공간의 녹화를 통한 단지내 녹지공간 확충 및 녹시율 증대를 통한 친환경성의 증대 유도

㉯ 최상층세대의 옥상부 단열성능 증대를 통한 냉난방 부하 감소

㉰ 광 조절을 통한 실내 시환경의 개선을 통한 건강성 증대

㉱ 기존 공동주택 최상층 기피로 인한 가치 손실을 최소화할 수 있는 수단으로서 저에너지 친환경 공동주택의 경관적 랜드마크 역할을 감당할 수 있는 요소기술로 자리 잡을 것으로 예상한다.

이와 같이 개발된 GRS 녹화유니트는 기존 옥상녹화 공법의 단점으로 지적되었던 초기 녹피율의 문제점을 先생장 後시공 공법을 통해 개선하고 동시에 적용 대상의 제한적 요소인 경사면에 대한 실질적 대안으로서의 녹화공법 제시를 통해 보다 안정적이고 실용적인 녹화공법의 보급에 기여할 것으로 예측한다.

2. 단지내 종합적 물순환 기술

가. 단지 내 종합적 물순환 기술 개발 (중수)

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

현재 지구상에서 환경문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력 과제의 하나로 등장하고 있다. 지구 온난화의 원인으로 지목되고 있는 CO2의 발량생을 줄이기 위해 국가 차원에서 다각적인 노력을 하고 있다. CO2·배출량의 50%를 차지하는 건물분야에서도 에너지 사용량을 감소시키기 위한 적극적인 방안이 조속히 마련되어야 한다. 이러한 시점에서 국토균형발전을 위해 건설되고 있는 혁신도시, 행정도시, 기업도시들은 에너지 소비저감, 생태계 보존 등 무엇보다도 지속가능한 발전을 전제로 개발을 수행하는 것이 중요하다. 개발 예정 신도시에 건설될 것으로 예상되는 320,000여 세대 38.4조원 상당의 공동주택 모

델의 적용이 필수적이다.

본 연구는 저에너지 친환경 공동주택 모델을 구축하기 위한 연구의 세부연구로써 <저에너지 친환경 공동주택> 요소기술 중에서도 단지 내 통합 물순환 기술을 개발하여, 개발된 기술을 바탕으로 실험주택에 적용을 하며, 물관리의 한 방안으로 중수도 재 사용 방법, 설계 방법 등을 제시한다. 따라서 본 연구에서는 단지와 건물 내 물 순환 및 물질순환의 통합적 연구로 지속가능한 순환형 주거환경 조성과 중수이용을 통한 물 사용량 절감을 목적으로 하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 요소기술의 개발	▪ Graywater의 성상분석 ▪ 퇴비화를 위한 시료 수집 ▪ Lab scale test
2차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 요소기술의 개발	▪ Pilot plant 장소 선정 및 설치 ▪ 모니터링 및 효율 분석
3차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원	▪ Pilot plant 의 지속적인 모니터링을 ▪ 통한 최적 운영조건 도출 ▪ 수량 및 수질 분석을 통한 mass balance 성립
4차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원	▪ 송도 파일롯 플렌트내의 graywater 처리시스템에 적용
5차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원	▪ 송도 파일롯 플렌트의 현장 운전 및 최적인자 도출

(3) 연구개발결과

① 건물 내의 물수지 및 물질수지 모델 개발 및 정량화

② 중수 재사용 처리시스템 개발

㉮ 중수 처리 시스템의 설계

㉯ 중수 처리시스템 이용시 유의사항

③ 중수처리시설의 제어 및 모니터를 통한 Web 기반 IT 기술 적용

④ 중수처리 시스템의 계절별 처리효율 분석

⑤ 통합시스템 설계 및 유지관리기술

㉮ 물순환기술 통합 시스템

㉯ 물순환기술 통합 시스템의 설계

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 건물에서의 중수처리시설 설계 및 시공에 활용

② 공동 주택에서의 통합적 물순환 시설에 활용

③ 호수 및 저수지의 유기물질 및 녹조제거, 하천의 점오염원, 비점오염원에의한 오염물질 제거에 사용

④ 오폐수 처리장치의 후처리 공정에서의 잔류오염물질 분해제거에 사용

⑤ 상수원 수원지의 오염된 수원지내의 오염물질 분해제거에사용

⑥ 단지 내 통합적 물관리에서 Web기반의 IT기술 적용방안 활용

나. 단지 내 물순환 기술 개발 (우수) (서울대학교)

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

현재 지구상에서 환경문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력 과제의 하나로 등장하고 있다. 지구 온난화의 원인으로 지목되고 있는 CO_2의 발량생을 줄이기 위해 국가 차원에서 다각적인 노력을 하고 있다. CO_2·배출량의 50%를 차지하는 건물분야에서도 에너지 사용량을 감소시키기 위한 적극적인 방안이 조속히 마련되어야 한다. 이러한 시점에서 국토 균형발전을 위해 건설되고 있는 혁신도시, 행정도시, 기업도시들은 에너지 소비저감, 생태계 보존 등 무엇보다도 지속가능한 발전을 전제로 개발을 수행하는 것이 중요하다. 개발 예정 신도시에 건설될 것으로 예상되는 320,000여 세대 38.4조원 상당의 공동주택 모델의 적용이 필수적이다.

본 연구는 저에너지 친환경 공동주택 모델을 구축하기 위한 연구의 세부연구로써 <저에너지 친환경 공동주택> 요소기술 중에서도 단지 내 통합 물순환 기술을 개발하여, 개발된 기술을 바탕으로 실험주택에 적용을 하며, 물관리의 한 방안으로 빗물관리 방법 설계 방법 등을 제시한다. 따라서 본 연구에서는 단지와 건물 내 물 순환 및 물질순환의 통합적 연구로 지속가능한 순환형 주거환경 조성, 국내의 기후 및 특성에 맞는 빗물 저류/침투 기술을 적용하여 강우 50mm까지 무방류 사이트 구현, 빗물이용과 중수이용을 통한 물 사용량 절감을 목적으로 하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 요소기술의 개발	▪ 단지 내 빗물저류 침투시설 설치를 위한 설계 기법 도출
2차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 요소기술의 개발	▪ 빗물이용시설 운전 및 모니터링을 통한 수량 확보 및 적정 수질 유지방안 검토
3차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원 및 국제교류	▪ 건물내의 물수지 및 물질수지 모델 개발 및 정량화 ▪ 전체 시스템의 통합 설계 및 중소규모 시범사업 실시
4차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원 및 국제교류	▪ 빗물저류시설의 제어 및 모니터링을 위한 web 기반 IT 기술 적용
5차년도	▪ 통합적 단지 내 물순환 시스템 실용화 방안, 특허 출원 및 국제교류	▪ 빗물의 저류 침투 시설의 비용효과 분석 ▪ 시스템 효율 측면에서 성능을 최적화할 수 있는 통합 운영지침 개발·작성 ▪ 통합적 단지 내 물순환 및 물질순환 시스템의 실용화 방안 및 산업화 전략 수립 ▪ 국제 교류를 통한 연구 성과물의 해외 진출 전략 구상

(3) 연구개발결과

① 건물 내의 물수지 및 물질수지 모델 개발 및 정량화

② 빗물 저류/이용 시스템 개발

㉮ 빗물 저류/이용 시스템의 설계

㉯ 빗물 저류 및 이용 시스템의 구조 설계 및 설계 시 유의사항

③ 빗물 침투시스템 개발

㉮ 빗물 침투시스템의 설계

㉯ 빗물 침투시스템의 시공 및 유지관리

④ 빗물저류시설의 제어 및 모니터를 통한 Web 기반 IT 기술 적용방안 개발

㉮ 분산형 개별 빗물저장조 감시를 위한 통합운영 시스템

⑤ 빗물시설의 경제성분석

⑥ 통합시스템 설계 및 유지관리기술

㉮ 물순환기술 통합 시스템

㉯ 물순환기술 통합 시스템의 설계

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 건물에서의 빗물이용시설 설계 및 시공에 활용

② 공동 주택에서의 통합적 물순환 시설에 활용

③ 빗물 저류 및 이용과 빗물 침투의 통합적 빗물관리에 활용

④ 빗물을 이용한 단지 내 열환경 개선에 활용

⑤ 우수유출 저감 및 상수사용 절감을 통한 단지 내 물순환 개선에 활용

⑥ 단지 내 통합적 물관리에서 Web기반의 IT기술 적용방안 활용

⑦ 빗물시설의 경제성 분석 방법의 활용

3. 친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획

가. 공동주택단지의 열환경 평가 프로그램 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

(가) 연구개발의 목적

공동주택단지의 열환경 평가 프로그램 개발

(나) 필요성

① 기후변화 협약 등 전 세계적인 친환경정책의 일환으로 건물관련 에너지절감, CO2 발생 저감에 대한 요구가 높아지고 있음

② 국내 주택수요의 증가 및 국토 균형 발전 정책의 일환으로 계획되고 있는 신도시에 지속가능한 발전을 도모할 수 있는 친환경 공동주택 모델이 필요성 대두

③ 국내의 경우, 친환경 공동주택 단지계획에 관한 관심의 증가로 건물녹화, 우수이용, 태양광이용 등 실제 적용사례가 증가하고 있으나 이에 대한 효과를 규명하고 정량화하려는 노력은 부족한 실정임

④ 국내의 경우, 공동주택 단지 내 열환경을 평가하기 시뮬레이션 툴이 개발되어 있으나, 태양복사의 영향, 수목의 영향을 상세하게 평가하기 위한 추가적인 연구가 필요한 상황임

⑤ 아울러, 친환경공동주택 단지계획 시 종합적인 성능(열환경, 빛환경, 음환경, 조

망)을 평가할 수 있는 툴은 아직 정립되지 못한 상황임

⑥ 공동주택의 통합 단지계획을 위해서는 단지내의 열환경, 일조, 소음 평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 방법을 사용하고 있다. 하지만, 기존의 시뮬레이션 프로그램의 경우 외부 열환경 해석에 대한 복사해석의 한계가 있음

(2) 연구개발의 내용 및 범위

공동주택의 계획에 있어 초기 단계에 수행하는 외부공간 계획은 공동주택 단지 및 단위세대의 친환경성 및 쾌적성에 큰 영향을 미치며, 단일건물 계획에 비해 그 영향력은 더욱 큰 비중을 차지하고 있다.

공동주택 단지 내에 생태계 구성이 가능한 녹화시설을 조성하고, 우수 및 오배수 등의 우수순환 체계를 구축하여 거주자 및 생태계 구성원들의 거주환경 향상에 기여하고, 기후조건, 대지조건을 고려한 통합단지계획매뉴얼의 개발을 위해 단지 내 외부 열환경에 영향을 미치는 인자를 도출하고, 도출된 인자를 평가 프로그램에 적용하여 외부 풍환경 및 열환경 해석이 가능한 프로그램을 개발하는 것을 주요 범위로 한다.

(3) 연구 개발결과

① 공동주택단지 열환경 평가 프로그램 개발

공동주택 단지의 열환경 해석방법에 대한 자료 조사를 통해 단지 외부 열환경에 영향을 미치는 요소를 도출하고 도출된 영향 요소를 실제 프로그램 개발에 적용하여 도심지 열섬현상 완화에 대한 성능을 분석하였다.

② 공동주택단지의 열환경 실측 및 평가 프로그램에 적용

단지 내 도시열섬 완화를 위한 조절인자를 도출하고 단지의 열환경을 실측하였다. 실측 결과를 바탕으로 외부 열환경 영향인자 검토 및 평가 프로그램에 적용하였다.

③ 평가프로그램 개선 및 검증

장파(복사 및 단파(일사) 연성 해석방법과 수목, 녹지 등의 모델링 기법을 적용하여 평가 프로그램을 개선하였으며, 실제 대상 단지의 외부 열환경 실측 데이터를 이용하여 평가 프로그램을 검증하였다.

④ 공동주택 단지 내 열환경 형성인자의 영향도 분석

평가 프로그램을 통해 생태 면적률 변화에 따른 외부 열환경 특성을 분석하고 열섬현

상 완화를 위한 아파트 단지의 외부 열환경 개선을 위해 분석 대상단지의 건폐율, 용적율의 변화에 따른 외부 열환경 영향도를 정량적으로 분석하였다.

⑤ 단지 내 열섬현상 계획요소에 대한 평가 및 영향도 분석

공동주택 외부 환경 조절요소에 따른 외부공기 온도의 변화를 분석하고 Case Study를 통해 단지 내 열섬현상 계획요소에 대한 평가 및 영향도를 분석한 결과, 수공간의 경우 녹지공간에 비해 외기온도를 조절하는 효과가 탁월함을 알 수 있었다.

⑥ Pilot Project 공사 전·후 외부환경 비교

Pilot Project 공사 전·후 실측데이터 분석을 통해 건물의 시공에 따른 외부공간의 물리적 변화가 실외 온열환경 및 사람의 쾌적에 미치는 영향을 분석하였다.

⑦ 수도권의 지역특성에 따른 미기후의 변화 예측을 위한 통계모델 구축

서울시내의 각 지역별로 다르게 분포하는 기후에 대한 예측을 통해 추후 설계 시기초기단계에 기후 조건이 반영될 수 있게 하기 위한 일환으로 500m 이내 범위에 대한 미기후의 변화 예측이 가장 설명력 있는 통계 결과를 보였다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 열섬현상의 원인, 대책안의 적용효과 등 도시의 물리적 환경(열/공기환경 등)을 정량적으로 평가할 수 있는 평가 툴의 개발을 통해 보다 체계적인 도시디자인이 가능함에 따라 도시 열섬현상의 저감 및 환경개선에 기여

② 비교적 선진국에 비해 기술적으로 경쟁력이 없는 물리적 환경을 고려한 도시 디자인 분야의 국제경쟁력 강화

③ 도시 거주자의 열적 쾌적성 향상 및 열적 스트레스의 감소로 건강한 삶을 실현

④ 도시의 냉방에너지 감소 및 그에 따른 CO2 배출 저감에 기여

⑤ 열섬 현상으로 인한 도시 생태계변화 방지에도 일조

나. 공동주택 단지환경이 각 세대에 미치는 영향도 정략적 평가

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 연구개발의 목적

㉮ 공동주택단지의 열환경 평가 프로그램 개발

㉯ 열섬현상 저감을 위한 단지 계획 매뉴얼 개발

㉰ 공동주택 간지 환경이 각 세대에 미치는 영향도 정량적 평가 기법

② 필요성

㉮ 한국의 평균기온이 세계 평균기온보다 많이 상승되어 세계적인 기후변화에 대응에 일조하기 위함

㉯ 우리나라 온실가스 배출량은 세계9위, 에너지 소비량은 세계 10위 수준으로 국가적 차원에서 시급한 대책이 마련을 위한 기반연구

㉰ 서울시의 열섬현상이 최고전력의 집중 소요, 도시문제의 대형화, 자연녹지의 감소 등으로 인한 환경, 사회 문제가 이슈가 되고 있음

㉱ 생활수준이 향상되면서 기본적인 욕구이외에 친환경적인 외부공간의 조성이나 실내 공기질에 대한 관심이 증가

㉲ 인간 중심의 쾌적하고 건강한 주거와 자연중심의 환경적 요구를 동시에 만족시킬 수 있는 통합적 공동주거 기술 개발을 목적으로 함

(2) 연구개발의 내용 및 범위

공동주택 계획에 있어 초기 단계에 수행되는 외부공간 계획(Site Design)은 공동주택 단지 및 단위세대의 친환경성 및 쾌적성에 큰 영향을 미치고 있고, 단일건물 계획에 비해 그 영향력은 더욱 큰 비중을 차지한다.

공동주택 단지내에 생태계 구성이 가능한 녹화시설을 조성하고, 우수 및 오배수 등의 수순환 체계를 구축하여 거주자 및 생태계 구성원들의 거주환경 향상에 기여하고, 기후조건, 대지조건을 고려한 단지 계획을 통해 환경부하를 저감하고 거주자 쾌적성을 높일 수 있는 미시기후 조절방법을 개방하는 것을 외부환경 요소기술 개발의 주요 범위로 한다

(3) 연구개발결과

① 수치해석을 통한 공동주택단지의 옥외 온열 환경 분석

단지 내 온열환경 실측을 통해 도시열섬 완화를 위한 조절인자들이 단지 내 온열환경 형성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다.

② 단지 내 외부환경에서의 하절기 온열쾌적감 평가

실내환경 평가를 목적으로 개발된 온열감 평가지표는 외부 온열환경의 평가지표로 사용하기에 적합하지 않아 실측과 로지스틱 회귀분석을 통해 하절기 외부공간의 온열쾌적감 지표 개발을 위한 기초연구를 진행하였다.

③ 인공지반의 구성방법에 따른 열성능 분석

인공지반이 가지는 열적 성능을 알아보기 위해 단지 내 인공지반의 실측을 통해 인공지반이 가지는 열적 특성을 분석 및 검증하고, 다양한 인공지반의 구성방법에 따른 열적 성능의 변화를 시뮬레이션을 이용하여 해석을 진행하였다.

④ 공동주택 단지 내 외부환경 마감과 외부 열환경 형성과의 관련성 분석

㉮ 국내 공동주택 단지 내 외부 공간을 대상으로 실측과 시뮬레이션을 통해 대류

㉯ 복사 연성 시뮬레이션에 기초한 외부 온열환경 평가 수법의 신뢰성을 검증하였다.

⑤ 지표면 특성에 따른 수직온도분포특성

외부공간에서의 환경 변화가 수직적 영역에 미치는 영향을 실측과 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그 결과 열환경 개선방안에 대한 정량적 평가와 향후 건물의 에너지에 미치는 영향을 파악할 수 있었다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 열섬현상의 원인, 대책안의 적용효과 등 도시의 물리적 환경(열/공기환경 등)을 정량적으로 평가할 수 있는 평가 툴의 개발을 통해 보다 체계적인 도시디자인이 가능함에 따라 도시 열섬현상의 저감 및 환경개선에 기여

② 비교적 선진국에 비해 기술적으로 경쟁력이 없는 물리적 환경을 고려한 도시 디자인 분야의 국제경쟁력 강화

③ 도시 거주자의 열적 쾌적성 향상 및 열적 스트레스의 감소로 건강한 삶을 실현

④ 도시의 냉방에너지 감소 및 그에 따른 CO2 배출 저감에 기여

⑤ 열섬 현상으로 인한 도시 생태계변화 방지에도 일조

다. 열섬현상 저감을 위한 단지 계획 매뉴얼 개발

(1). 연구개발의 목적 및 필요성

① 연구의 목적

일조, 조망, 기류, 소음환경 영향의 정량적 고찰을 통한 친환경 단지배치계획기법 개발

② 연구의 필요성

단지 배치계획에 따른 일조, 조망, 기류, 소음 등 실내외 환경조건은 거주 쾌적감은 물론 공동주택 단지 전체의 에너지 소비량과 직결된다. 이러한 환경요소별로 통합적

인 환경 및 에너지 영향 분석을 수행하고 각 환경성능에 대한 최적화 방안 고찰을 통하여 궁극적으로 단지의 부하저감 및 거주환경성능을 향상시킬 수 있는 단지배치계획 기법의 개발이 필요하다.

(2). 연구개발의 내용 및 범위

(가) 일조 및 소음성능 평가기법의 개발

1) 간이평가기법의 개요

① 일조 및 소음은 공동주택 단지 설계시 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 일조성능은 일조권등과 생활권과 관련하여 단지 배치시 매우 민감한 성능요소로서 공동주택 의 소비에너지 측면에서도 난방 및 냉방 에너지에 직접적으로 영향을 미치며, 도로 교통 소음은 대도시에 건축되는 공동주택의 경우 특히 민감한 성능요소로서 작용한다.

본 연구에서는 설계자가 단지 배치 계획을 수행함에 있어서 즉각적으로 주동 및 단지 각 세대의 일조 및 소음 성능을 판단하고 이에 대한 대안을 도출할 수 있는 간단한 성능 평가 도구를 개발하고자 한다.

2) 간이평가도구의 개발

가) 일조성능

① 기본적인 태양 거동 산출방법에 따라 주변의 일사차폐 영향에 따른 일조시간을 즉각적으로 파악 가능.

② 분석점별 일조 사입시간에 따른 일사 사입량을 즉각적으로 판단 가능.

나) 소음성능

① 분석점에 영향을 미치는 소음의 정도를 개략적으로 파악할 수 있는 간단한 조건표를 제시함으로써 도로변 인접 주동의 소음영향을 최소화할 수 있는 단지 배치유도 가능.

(나) 단지 배치에 따른 연간 자연환기 성능 평가

1) 자연환기 성능 평가 기법의 개요

① 공동주택의 자연환기 성능은 지역 풍환경과 깊은 관계가 있으며, 이에 따른 연간 자연환기 성능의 평가 기법 정립이 단지 배치에 따른 자연환기 성능 향상 계획 수립에 있어 매우 중요한 요소로 작용한다.

본 연구에서는 설계자가 단지 배치 계획시 설계단계에서부터 자연환기 성능에 대한 적극적 고려가 용이하도록 자연환기 성능 향상을 위한 단지 배치 계획 기법을 도출하였다.

2) 자연환기 성능 향상을 위한 단지 배치 계획 기법 도출

① 자연환기의 성능 평가를 위해서는 연간 환기성능의 관점에서 평가하여야 한다.

② 지역의 풍환경과 단지 배치 및 세대의 환기구 배치가 공동주택의 환기성능에 직접적인 영향을 미친다.

③ 지역의 연중 풍향 및 풍속 분포를 고려하여 이중 발생 빈도가 많고 평균풍속이 높은 풍향을 우선 순위로 하여 단지 배치시 우선적으로 고려하여야한다.

④ 단지 주동 배치 계획시

㉮ 지역 주풍향 및 여타 부풍향의 풍향 방향에 대하여 단지 전체의 풍전측 및 풍후측이 개방되도록 계획하여야 한다.

㉯ 판상형일 경우 주동의 장변이 풍향 방향에 가깝게 배치한다.

(단, 지나치게 주풍향에 수평으로 배치할 경우 세대 전후의 풍압차가 발생되지 않으므로 다소 어긋나게 배치하는 것이 세대 환기력 확보에 유리)

㉰ 탑상형일 경우 풍향 방향에 인접 동이 나란히 병립하지 않도록 배치한다.

⑤ 세대 환기구 계획

㉮ 주풍향 및 이후 우선 순위에 따른 풍향에 개방되는 면에 우선적으로 환기구를 배치한다.

㉯ 세대의 전후면 즉 풍향에 면하는 풍전측과 풍후측이 지역 주풍향 및 여타 부풍향의 풍향축 선상에 가능한 위치하도록 계획(맞통풍 유도)한다.

㉰ 이를 위해서는 다음의 그림에서와 같이 간단한 지역 주풍향 분포를 도식하여 맞통풍 가능성을 판단한다.

(다) 일조환경에 따른 냉난방 부하 평가기법 개발 및 소음 영향 평가

1) 연간 일조환경이 단지 에너지 성능에 미치는 영향

공동주택 단지 계획 시 발생될 수 있는 각 세대의 향 및 일조차폐 시간에 따른 에너지소비 차이를 파악하고 연간 일조환경에 따른 냉난방 부하와 탄소배출량 산출도구 작성을 위한 기초데이터를 확보하기 위하여 예비 시뮬레이션을 실시하였다.

2) 연간 일조환경 및 냉난방부하와 탄소배출량 산출 도구의 개발

① 간략한 평가대상의 규모 및 향과 차폐물과의 위치관계를 입력하여 계산을 수행 할 수 있도록 구성되어있으며, 단일 세대의 일조환경 및 냉난방 부하와 CO_2 배출량을 산출할 수 있다. (단지 단위의 평가 시에는 유사 조건의세대를 파악하여 대상 유사 세대에 대한 평가를 수행한 후 해당 세대의 세대수만큼 곱하여 단지 단위의 영향을 파악하는 방법을 적용하여야 할 것으로 판단)

② 다중 일조차폐물에 의한 복합 음영의 영향을 파악할 수 있도록 하기 위하여 일조차폐물을 최대 3개까지 적용할 수 있도록 구성하였다.

③ 일조시간은 자체 차폐를 고려한 일반적인 일조 분석시 도출되는 일조시간과 평가대상 세대의 냉난방 부하에 영향을 미치는 전체 일조시간을 동시에 평가 할 수 있으며, 냉난방 부하 및 CO_2 발생량에 대한 평가결과는 후자의 일조시간을 기준으로 산출되도록 하였다.

3) 법규 개정에 따른 실내·외 도로교통소음 영향 분석을 위한 사례 분석

① 법규 개정에 따른 실내·외 도로교통소음 평가 방법 재구성 및 검증을 위하 판상형 및 ㄱ자형 단위주거를 '주택건설기준 등에 관한 규정 제10조(공동주택의 배치)'의 도로에서 2m이상 이격시켜야 되는 규정을 근거로 기본배치를 선정하고 분석대상의 정온한 음환경을 위해, '주택건설기준 등에 관한 규정 제9조(소음등으로부터의 보호)'의 소음기준인 5층이하 실외소음도 65dB(A)미만, 6층이상 실내소음도 45dB(A)이하 만족여부 및 적정 차음대책을 검토하였다.

(라) 간이 평가 도구의 개정

1) 일조환경이 냉난방부하와 탄소배출량에 미치는 영향 분석

가) 세대 향에 따른 냉난방 부하 비교

① 분석대상 세대의 향별 냉난방 부하 분포 분석 결과 난방 부하의 경우 남서, 남동향이 가장 적은 부하량을 나타내어 남향 대비 약 12%적은 부하량을 나타내었으며, 이후 동·서향이 남향대비 약 7.6% 적고, 북동 및 북서향이 냠향대비 약 7.5% 큰 부하량을 나타내었다.

② 분석대상 세대의 향별 냉방부하의 경우 남향이 가장 적은 부하량을 나타내었으며, 남서·남동향이 약 60%증가, 북동·북서향이 약 80~90%증가, 동·서향120~130% 증가하는 것으로 나타났다.

③ 분석대상 세대의 향별 연간부하의 경우 남향이 남향 및 남서, 남동향이 거의 유사한 부하량을 나타내었으며, 동향 및 서향이 약 15%내외의 증가를 나타내고, 북서 및 북동향이 약 20%내외의 증가량을 나타내었다.

나) 세대 향별 차폐물의 수평 차폐각도에 따른 냉난방 변화 분석

① 일사차폐에 의한 향별 연간 냉난방부하 영향을 차폐각도별 결과에 대한 평균값으로 비교하면 난방부하는 전반적으로 다소 증가, 냉방부하는 감소하는 것으로 나타났다. 이를 연간부하의 측면에서 살펴보면 북동, 동향의 경우 일조차폐에 의하여 부하 감소가 나타났으며, 이외의 향은 남향에 가까울수록 증가폭이 증가하는 경향을 나타내었다.

② 냉난방부하 변화량 분포에서 공통적으로 서향에 대한 일조차폐의 영향이 상대적으로 동향에 대한 차폐의 영향보다 큰 것으로 나타났다.

③ 연간부하의 측면에서 볼 때, 서향 및 동향에 대한 일조차폐는 연간부하를 다소간 감소시키는 긍정적인 영향을 주며, 차폐각도가 남향에 가까울수록 연간부하의 증가가 나타났다.

④ 북동향 및 동향(60~100°)에 대한 일조차폐 시 연간부하의 최대 약 0.5% 평균 약 0.25%의 감소를 나타내고 있으며, 서향 및 북서향 (250~300°)의 경우 최대 약 3%의 부하 감소를 나타났다. 이에 비하여 남향에 가까울수록 연간부하의 최대약 1.5~1%의 증가를 나타내는 것을 알 수 있다. 특히 최하층 및 중간층 결과를 비교하면, 남동(100~160°) 및 남서향(200~250°)의 경우 공통적으로 연간 부하의 증가가 나타났다. 이는 정남향에 가까울수록 태양의 고도가 높아져 중간층 이상에서는 남동 및 남서향에 의한 일조차폐가 상대적으로 많은 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 또한 동향 및 북동향과 서향 및 북서향에 대한 일조차폐는 난방부하에 증가에도 다소 영향을 미치나 냉방부하의 증가가 상대적으로 크기 때문에 연간부하가 전반적으로 감소되는 영향을 나타내고 있다. 이는 동계에 가까울수록 태양의 방위각이 좁아져 동서향에서 북서 및 북동향의 일조차폐물에 의한 영향은 적어지나 하계에 가까울수록 낮은 고도의 태양에 대한 일조차폐영향이 남향에 가까워지질수록 높아지는 태양고도의 일사 차폐 영

향보다 상대적으로 크게 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

2) 단지 배치에 따른 냉난방부하 및 탄소배출량 영향 분석

가) 분석 Case 설정

① 세대 향별 차폐물의 수평각도별 일조차폐의 영향에 대한 단위동 1개 라인의 영향을 분석하기 위하여 간단한 설계 Case를 설정하였다

② 분석 Case는 정남향의 2호 조합의 판상형 주동을 중심으로 일조차폐물(인접동)이 위치한 사례로서 상기의 분석결과에서 일조차폐의 영향이 큰 방위별로 2~3개 동이 인접하여 있는 사례를 설정하였다.

③ 설정 Case는 분석 인접 차폐물이 1h 거리에 위치하는 것으로 가정하였으며, 차폐 향을 평가대상 동의 중앙점을 기준으로 각 인접동이 차폐하는 각도를 설정하였다.

나) 분석결과

① 분석 예시동의 일조시간 감소를 살펴보면 Case 4 > Case 1 > Case 3 > Case 2의 순으로 나타났다.

② 이에 따른 분석 Case별 일조시간 감소량을 차폐물이 없는 경우에 비하여 살펴보면 Case 4는 11%, Case 1은 8%, Case 3은 7.1%, Case 2는 5.2%의 일조시간 감소를 보이고 있다.

③ 연간 냉난방부하 및 CO2발생량 변화(전기+지역난방)는 Case 1 > Case 2 > Case 4의 순으로 일조차폐가 없는 경우에 비하여 증가되는 것으로 나타났으며, Case 3의 경우 감소하는 것으로 나타났다.

④ 이에 따른 분석 Case별 냉난방부하 및 CO2발생량 변화(전기+지역난방) 변화를 차폐물이 없는 경우에 비하여 살펴보면 Case 1은 1.2%(1.2%, CO2발생량) 증가, Case 2는 0.8%(0.8%, CO2발생량) 증가, Case 4은 0.4%(0.1%, CO2발생량) 증가하는 것으로 나타났으며, Case 3는 0.4%(0.4%, CO2발생량) 감소하는 것으로 나타났다.

⑤ 상기의 결과 중 CO2발생량(지역난방+전기)을 살펴보면 Case 1의 경우 단위동 1개 라인에서 최대 약 1.9 TONCO2/year가 증가하는 것을 알 수 있으며, 이에 반하여 부하가 감소하는 Case 3의 경우 단위동 1개 라인에서 약 1 TONCO2/year이 감소되는 것을 알 수 있다.

⑥ 앞서 분석 결과에서 언급된 차폐각도별 냉난방 부하 및 CO2발생량 영향을 원형 각도 범위로 작성하여 본 사례 분석 Case에 중첩하여 살펴보면 다음과 같이 배치에 따른 영향을 보다 명확하기 파악할 수 있다.

3) 법규 개정에 따른 도로교통소음을 고려한 단지 배치계획 평가

가) 도로교통소음 관련 법규개정 및 성능 평가 개요

① 법규개정(주택건설기준등에 관한 규정, 공동주택소음측정기준)에 의거하여, 주택법이 적용되는 공동주택의 법규상 규정된 실내/외 소음기준을 만족시키는 계획안을 유도

㉮ 건축법상의 도로변 최소가능이격거리(2m)를 기초로, 실외차음대책(방음벽, 거리이격) 및 실내차음대책(창호차음성능)을 검토

㉯ 2차년도 작성된 간이평가도구의 Renewal을 위한 기초데이타 정립

4) 간이평가 도구의 개정

① 상기의 연구 결과를 반영하여 2차년도 개발된 간이 평가도구에 다음과 같은 기능을 추가하였다.

㉮ 일조차폐각도에 따른 에너지 소비 및 CO2 발생량 영향도 평가

㉯ 도로교통 소음원과 주동의 배치 및 소음원 강도에 따른 개전 법규에 의거한 기준 만족 대안 판단 기능

(마) 일조 및 소음 환경간이평가 프로그램의 개발

① 프로그램의 개요

연구결과를 활용한 설계 지원 도구로서 친환경 성능을 설계단계에서 설계자가 쉽게 향상시킬 수 있도록 하는 것으로 목적으로 하며, 이를 위하여 대부분의 설계자들이 활용하는 Autocad와 연동이 가능한 형태로 개발하였다.

② 프로그램의 구성

㉮ 일조환경 평가

일조환경 평가를 위한 연간 태양거동의 산출은 일반적인 이론식을 활용하였으며, 공동주택을 대상으로 평가 대상 세대가 포함된 전체 라인에 대하여 연중 특정일에 대한 일조환경을 간략히 분석할 수 있도록 구성하였다. 또한 일조환경 판단 결과와 3차년도 연구결과를 기준으로 계획 변경에 따른 세대내 냉난방부하 및 CO2 발생량 영향도 개략적으로 판단이 기능하도록 하였다.

㉯ 소음환경 평가

소음환경의 평가는 도로교통소음에 대하여 주동의 형태 도로의 차량 통행량 이격거리 및 도로와의 배치 유형 등에 따른 소음 해석을 통한 DB를 내장하여 사용자가 설계

시 가장 유사한 형태의 도로와 주동간의 배치유형과 도로 특성을 선택함으로써 간략히 도로교통 소음의 영향을 가늠할 수 있도록 구성하였다.

3) 연구개발결과

① 일조, 조망, 기류, 소음환경 영향의 정량적 고찰을 통한 친환경 단지배치계획기법 및 간이해석 프로그램 개발

4) 연구개발결과의 활용계획

① 통합적 친환경 배치계획 가이드라인 제공으로 계획설계 및 유지관리방안 수립에 활용

② 기존 주거단지의 환경 및 외부환경변화에 대한 예측 평가에 활용

③ 공동주택 외부공간 및 외피의 리모델링 방향 설정시 활용

④ 설계안의 신속한 평가를 통한 친환경적 대안 수립에 활용

제 3 절 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경적 요소

1. 가변형 평면개발

가. Open Plan 개발 연구 (연세대학교)

① 연구개발의 목적 및 필요성

본 세세부과제의 연구목적은 Open Plan의 계획요소를 도출하고 계획방향을 정립하며, 거주자의 생애를 고려한 가변형 공동주택 평면계획을 제시하는 것이 연구의 목적이다. 최근 활발히 논의되고 있는 가변형 주택 계획이론의 특성을 분석하고, 가변형 주택의 동향을 파악하여 현재 국내 가변형 주택의 문제점과 향후 과제를 도출한다. 또한 Open Plan의 특성 및 유형을 분류하여 가변형 주택을 위한 계획요소와 구조유형을 분석하고자 한다. 다음으로 거주자 중심의 가변형 주택 계획을 위하여 Life Cycle과 Life Style의 개념을 바탕으로 바탕으로 Pilot Project의 평면을 분석하여 향후 가변형 주택의 계획 시 하나의 자료로 활용하고자 한다.

이러한 결과를 통해 저에너지 친황경 공동주거의 단위평면에 적용하기 위한 Open Plan을 개발하는 것이 본 연구의 최종 목적이다.

② 연구개발의 내용 및 범위

㉮ Open Plan계획 및 개발을 위한 기본연구

가변형 평면과 관련된 국내외 동향 및 특성을 분석하였다. 국내에 도입된 가변형 주택과 국외 가변형 주택의 현황을 조사하고, 현장답사를 통해 해당사례의 특성을 출하고, 자료와 사진을 정리하여 연구 자료로 활용하였다. 이를 토대로 Open Plan의 계획특성을 도출하고 계획의 방향을 제시하였다.

㉯ Open Plan의 가변특성연구

가변형 Open Plan의 기본원칙 및 계획요소를 도출하고, Open Plan의 유형을 분류하여 각각의 유형의 특성을 정의 내렸다. Open Plan계획의 구조 유형연구를 통해 구조체의 특징을 유형별로 분류하였고, 각각의 구조별 특성을 비교 정리하였다.

㉰ 공동주택 평면의 데이터베이스구축

국내 공동주택 중 전용면적 85㎡중심의 공동주택의 평면을 분석하여 평면상에 나타나는 유형을 도출하여 데이터베이스를 구축하고, 저에너지 친환경 공동주택 연구단 의 Pilot Project의 평면 계획시 반영하였다.

㉲ Life Cycle 및 Life Style에 따른 Pilot Project의 평면분석

그동안 연구된 Life Cycle 및 Life Style의 이론과 계획방법을 분석하였고, Life Cycle과 Life Style개념을 적용시킨 가변형 평면의 계획사례를 정리하였다. 이러한 연구를 통해 도출된 Life Cycle과 Life Style의 개념을 저에너지 공동주택 연구단의 Pilot Project에 적용시켜 평면을 분석하고 적용 가능성을 검토하였다.

(3) 연구개발 결과

① 연구의 성과

본 연구의 성과는 크게 세 가지로 볼 수 있다. Open Plan의 계획 요소를 도출하고 계획방향을 제시하였다. 또한 평면분석 프로그램을 개발, 그것을 활용한 데이터베이스 구축으로 공동주택의 단위평면을 유형화 하였으며, Pilot Project에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하였다. 마지막으로 Life Cycle/ style의 개념정의 및 분류를 토대로 Pilot Project의 가변성을 검토하였다.

② 연구의 결과

가변형 Open Plan계획은 크게 두 가지 측면에서 고려되어야 한다. 하나는 하드웨워적 측면으로 가변형 평면을 가능케 하는 구조형식 및 시스템적 접근이다. 벽식구조를 벗어난 Flat Plate Slab방식을 적용함과 동시에 다양한 벽체, 천정시스템이 고려되어야 한다. 또 하나는 소프트웨워적 측면으로 거주자의 라이프 사이클 및 라이프 스타일을 고려하여 생애주기와 함께 변화가능한 평면을 제시하는 것이다. 이 두 가지 측면이 이루어져야 거주자 측면의 주거성능향상 효과와 건설주체측면의 공사비 절감 및 공기단축 효과를 얻을 수 있다.

4) 연구의 활용계획

① 가변형 평면의 기초자료로 활용

본 연구에서는 해외의 사례들의 직접 답사 및 자료수집을 통해 SI주택, Open Plan에 대한 면밀한 분석을 하였으며 유형화를 시도하였다. 이는 앞으로의 저에너지 및 가변형 주택의 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 뿐 아니라 계속적으로 다변화되는 국내 거주자의 요구와 생활방식에 맞는 한국형 가변 평면 개발의 자료로 활용될 수 있다.

② 공동주택 데이터 분석 프로그램

본 연구에서는 공동주택의 정량화 작업을 시도하였다. 저에너지 공동주택에 적합한 단위평면을 도출하기 위하여 공동주택을 정량적으로 유형화함과 동시에 구조유형별 Open Plan의 유형을 도출하였다. 이러한 결과는 공동주택에 관한 방대한 정보를 공간분석 프로그램을 통하여 정량화시킬 수 있는 가능성을 보여주며 이를 통해 주택산업 전반에 다양한 활용이 가능하다. 객관적인 데이터를 토대로 보다 정확하고 신뢰 있는 관련연구가 진행될 수 있을 것으로 기대된다.

③ 거주자의 생애에 부합하는 단위평면 개발

거주자의 요구에 부합하는 가변형 평면 개발을 위하여 Life Cycle과 Life Style에 대한 연구를 진행하였고 Pilot Project에 적용시켜 보았다. Life Cycle에 따라서 Pilot Project의 가변이 어느 범위까지 가능한지 그것이 어떠한 성격을 가질 수 있는지를 분석해보았다. 이는 앞으로 실험적인 단계에 있는 Pilot Project가 가지고 있는 특성을 고찰하면서 다양한 가구유형을 고려할 수 있는 평면 개발시 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

나. 친환경 공동주택의 가변형 벽체 시스템 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

주거공간의 효율적 활용을 위한 Open plan은 거주자의 각기 상이한 라이프 스타일에 따른 다양한 요구 수용 및 건물의 장기적 사용과 노후화에 따른 합리적 개, 보수에 대한 요구 등 기술적 측면에의 필요성에 의하여 최근 적용이 더욱 활발해지고 있다. 가변형 벽체 시스템은 이러한 Open Plan을 구현하는 필수적 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 공동주택의 Open plan 연구와의 공동 개발을 통해 가변형 벽체 적용을 위한 요구조건을 검토하고 이에 대응한 가변형 벽체 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

연 차	연구 목표	주요 연구내용
1차 연도 (2006)	• 가변형 벽체 시스템 설계 및 시공 개선안 도출	• 가변형 평면 구현을 위한 설계 프로세스 개선, 공동주택 가변형 벽체 계획 및 설계안 도출 • 가변형 벽체시스템 Prototype 개발 • 벽체 모듈 치수 및 시공오차를 고려한 시공 개선안 도출
2차 연도 (2007)	• 가변형 벽체 시스템 시공성 평가, 시공 공법 확립	• 가변형 벽체 성능 평가 • 샘플시공을 통한 가변형 벽체의 모니터링 및 시공성 평가 • 공법 개선 방안 도출 및 가변형 벽체를 위한 시공 공법 확립
3차 연도 (2008)	• 가변형 벽체 pilot project 적용 지원 및 내화성능 평가	• Pilot project 적용 기술 지원 - 평면 적용 상세 및 PCM 소재 보드류 적용방안 검토 • 내화성능 평가
4차 연도 (2009)	• Pilot project 시공 모니터링 및 기술지원	• Pilot project 시공 모니터링 • 가변형 벽체 시스템 적용 기술지원
5차 연도 (2010)	• 가변형 벽체 시스템 실용화 기술지원	• 가변형 벽체 시스템의 실용화를 위한 기술지원 • 가변형 벽체 연구개발 최종 보고서 작성

(3) 연구개발결과

① 가변형 벽체 시스템 특허 출원

㉮ 특허출원 2건 : 가변형 건식벽체의 런너구조 (2007-0135757, 2007.12.21)

건식벽체용 강재패널 및 이를 사용한 건식벽체 (2008-0108563)

② 시스템 시제품 제작

㉮ 참여기업인 (주)유창을 통하여 가변형 건식벽체를 이루는 주요 구성부재인 프레임 패널을 포함하는 가변형 건식벽체 시스템의 시제품을 제작하고 샘플 시공하였다.

③ 가변형 벽체 시스템 표준상세도면 제작

㉮ 가변형 건식벽체의 건설 현장 실용화 적용을 위하여 벽체를 구성하는 기본 사양에 대한 평, 입, 단면 디테일, 단부 디테일, 부재 제작을 위한 디테일 등 기본적인 상세를 제작하였다.

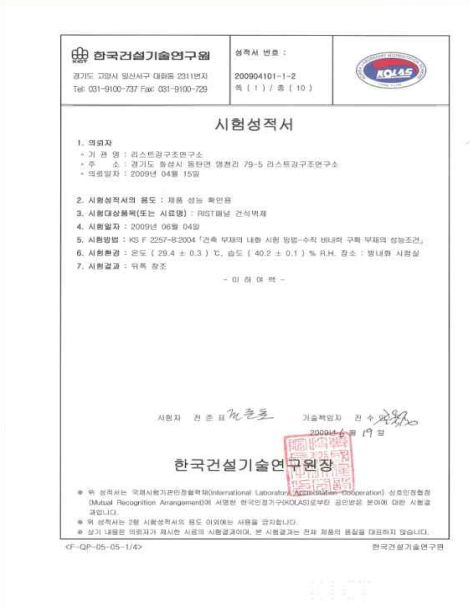
④ 가변형 벽체 시스템 성능평가, 검증

㉮ 가변형 벽체 시스템 10종에 대하여 차음성능을 평가, 검증하였다.

- 간막이벽 4종, 세대간경계벽 6종
- 세대간 경계벽의 차음성능 Rw+C= 63, 64 확보

㈏ 가변형 벽체 시스템 중 세대간 경계벽 2종에 대하여 내화성능을 평가, 검증하였다.

- 세대간 경계벽의 내화성능 2시간 확보



한국건설기술연구원

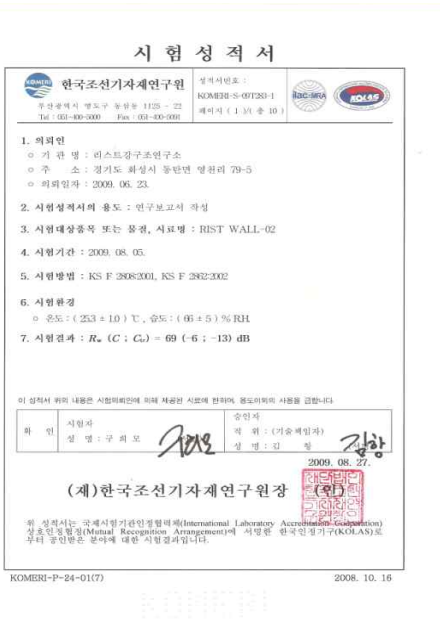
시험성적서

1. 의뢰자
2. 시험성적서의 용도 : 제품 성능 확인용
3. 시험대상품목(또는 시료명) : RIST패널 건식벽체
4. 시험일자 : 2009년 06월 04일
5. 시험방법 : KS F 2257-8:2004 "건축 부재의 내화 시험 방법-수직 비내력 구획 부재의 성능조건"
6. 시험환경 : 온도 (29.4 ± 0.3) ℃, 습도 (40.2 ± 0.1) % R.H. 장소 : 봉내동 시험실
7. 시험결과 : 뒤쪽 참조

- 이 하 여 백 -

한국건설기술연구원장

<F-QP-05-05-1/4>



시 험 성 적 서

한국조선기자재연구원

1. 의뢰인
2. 시험성적서의 용도 : 연구보고서 작성
3. 시험대상품목 또는 품명, 시료명 : RIST WALL-02
4. 시험기간 : 2009. 08. 05.
5. 시험방법 : KS F 2808:2001, KS F 2862:2002
6. 시험환경
7. 시험결과 : R_w (C ; C_{tr}) = 69 (-6 ; -13) dB

2009. 08. 27.

(재)한국조선기자재연구원장

KOMERI-P-24-01(7)

2008. 10. 16

<내화성능시험성적서> <차음성능시험성적서>

⑤ 현장적용

㈎ 연세대 송도캠퍼스 내 저에너지 친환경 공동주택 Pilot Project SH-2020 세대 내 침실간 가변 부위에 본 시스템을 적용 하였다.



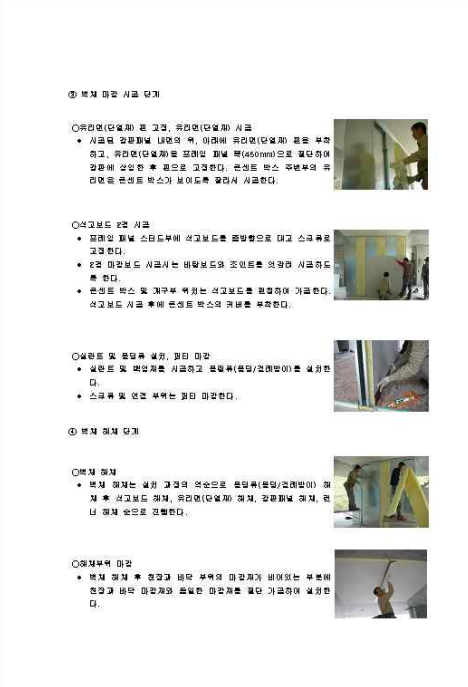
<가변형 건식벽체 시스템 Pilot Project 적용>

⑥ 기타

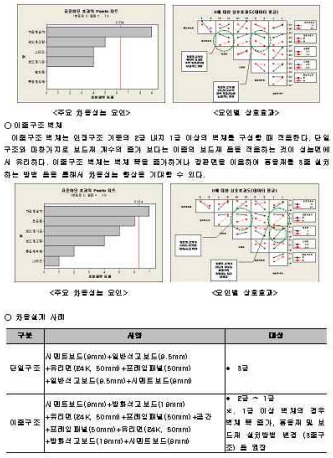
㈎ 설계/시공 매뉴얼 작성

- 시스템의 개요 및 설계, 시공, 성능평가사항의 가이드라인을 포함하는 매뉴얼을 작

성하였다.



<설계・시공 가이드라인>



<성능설계 가이드라인>

⑦ 학술활동

㉮ 가변형 건식벽체 시스템 (설비학회지 : “설비/공조・냉동・위생” 2009.1)

(4) 연구의 활용계획

① 본 가변형 벽체 시스템은 박판강판을 소재로 한 주자재인 프레임패널 및 런너구조를 기반으로 하고 있는 기술로서, 해당 부재를 주요 생산 대상 제품으로 한다. 프레임패널 및 런너는 흡음재, 보드 등 마감재와 함께 시공됨으로써 전체 시스템으로서의 벽체를 구성한다. 프레임패널 및 런너구조의 제품화는 참여기업인 ‘(주)유창’을 통하여 제작 및 생산이 가능하다. 가변형 벽체 시스템은 일반 간막이벽 및 세대간 경계벽 용도로 적용할 수 있으며, 차음 및 내화 인정구조로서의 성능이 요구되는 경우는 내화 마감재를 생산하는 석고보드사와 공동으로 시스템에 대한 성능인정구조 취득을 추진할 수 있다.

2. 자연형 냉난방, 채광 및 지능형 외피 시스템

가. 지능형 이중창호 시스템 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

건축물에서 외피는 실내공간으로의 열, 빛, 공기, 소음의 이동을 결정하는 경계면으로

실내 환경의 특징을 결정짓는 주요 건축요소이다. 따라서 다양한 환경 친화적 건축물 설계전략과 함께, 실내 환경조절부하를 최소화 할 수 있는 외피설계는 건물설계에 있어 매우 중요하다. 이를 통해 유지비용의 절감. 쾌적하고 건강한 환경의 제공 및 에너지 소비감소를 달성하여 환경 친화적인 건축물을 구현할 수 있다.

최근 건축되고 있는 국내 주거유형은 대부분이 고층 공동주택의 형태이다. 또한, 국내 공동주택은 채광과 조망을 위해 거실에 대부분 전면창을 설치하고 있어 열적으로 매우 취약한 유리창을 통해 많은 양의 에너지 손실이 발생한다. 더욱이 2006년 1월부터 동주택의 발코니확장을 합법화함에 따라 외부기후의 완충 공간 역할을 수행하던 발코니 공간이 거주공간으로 바뀌게 되어, 공동주택의 냉난방부하가 증가를 초래하고 있다. 이러한 상황에서 공동주택의 부하 절감을 위해서는 외피의 성능향상은 기본적으로 이루어져야 하며, 그 가장 중요한 요소가 열적으로 가장 취양한 부분인 창호 시TM템의 성능 개선이다. 이중외피 시스템은 기존에 시공되던 창호 시스템의 외부에 보조적인 창호를 덧댄 형태로 구성된다. 외부창호는 외부 기후에 대한 1차적인 완화 효과를 유도하는 역할을 한다. 외부창호로부터 유발되는 효과는 풍압의 감소, 외부 기상 변화에 대한 방어막 역할, 추가적인 단열효과 등이 있다. 그 중에서도 이중외피시스템을 통해 얻을 수 있는 가장 큰 장점을 고층건물에서 자연환기를 비교적 자유롭게 실시할 수 있다는 것이다. 고층건물에서는 고층부의 외부 풍속이 지상에서 보다 빠르기 때문에 창문을 통한 연환기를 실시할 경우 실내 풍속이 과대해지기 때문에 많은 경우 사용자의 불편함을 유발하게 된다. 그러나 이중창호를 적용할 경우 실내로 유입되는 기류속도를 효과적으로 감소시켜 고층에서도 자연환기를 용이하게 실시할 수 있도록 해준다.이 외에도 중공층에 차양을 설치함으로 외부로부터의 일사유입량을 효과적으로 저감 시킬 수 있기 때문에 일반적으로 건물의 냉방부하를 효과적으로 낮출 수 있다.난방부하에 관련하여서는 기존 건물 외피에 외부의 창호를 추가적으로 적용함에 따른 외피 단열성능의 향상과 난방부하의 저감효과를 기대 할 수 있다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

(가) 1단계 연구 : 이중창호 시스템의 개발

1) 기존 창호 시스템에 대한 시장 조사

① 기존 시장에 보급된 창호 시스템의 성능 조사를 통하여 연구 개발을 위한 창호 시스템의 개략적인 성능 수준 결정

2) 외피 시스템성능 향상을 통한 건물 에너지 저감 가능성 검토

① 시뮬레이션을 통하여 창호 시스템의 성능 수준을 결정

② 주어진 성능 조건에서 시뮬레이션을 통한 건물 에너지 소비량 절감효과 결정

3) 이중창호 시스템 1차안 수립 및 성능 평가

① 이중창호 1차안 수립

② Mock-up test를 통한 이중창호 시스템의 성능 평가

4) 이중창호 시스템 1차안의 문제점 분석 및 대안 수립

① 실험을 통하여 분석된 결과를 통하여 개선방안 도출

(나) 2단계 연구 : 이중창호 시스템의 보완 및 Test-bed적용

1) 개선안 설계를 위한 설계 조건 검토

① 시뮬레이션을 통한 창호 개방 방식의 결정

② 환기 성능을 확보 하기 위한 창호시스템의 개방 면적 결정

③ 시뮬레이션을 통한 내부창호의 단열 성능 결정

2) 이중창호 개선안 설계 및 Test-bed 적용

① 이중창호 개선안의 설계

② Test-bed 적용

(다). 3단계 연구 : 성능 검증

1) Test-bed 적용을 통한 성능 검증

① 실측을 통한 성능 평가 (하계/동계)

2) 시뮬레이션을 통한 연간에너지 성능 해석

① 자연환기 성능 해석

② 연간 부하 해석

(3) 연구개발결과

(가) 개발 이중외피 시스템 개요

① 본 연구에서는 주거건물의 냉난방 부하를 효과적으로 저감 시켜 줄 수 있는 이중 외피 시스템을 제안하였다. 이중외피 시스템은 크게 외창, 내창, 그리고 중공층안의 차양 시스템으로 구성된다. 새로 개발된 이중창호 시스템은 자연환기 성능을 최대화 해 줄 수 있는 외부창호 시스템과 향상된 단열 성능을 갖춘 내부창호로 구성되어 있다.

② 외부창호는 자연환기 면적이 넓으면서도 외부로의 추락 등을 방지할 수 있는 안전성 면에서 효과적인 패러렐(수평 구동) 창호를 적용하였다. 내부창호의 경우 LOW-E 유리와 아르곤을 적용한 고성능 창호를 적용하였다.

(나) 개발 이중외피 시스템 특징

① 단열 성능 기준을 내창 기준으로 설계

㉮ 내부창의 성능을 국내 기준의 50% 정도 향상. 외창 밀폐시 추가적인 성능 향상

㉯ 알루미늄 창호, 이중유리 조건에서 단열 성능 최대화

㉰ 비슷한 성능 조건에서는 삼중유리가 일반적이며 본 시스템에서는 내창 기준 이중유리를 이용하여 창호 시스템의 무게 최소화, 시공성 증대

② 외부창호의 자연환기 가능 면적 최대화 (Comfort Ventilation 개념 반영)

㉮ 외부창호를 Push-out 형태로 설계하여, comfort ventilation 가능하게 설계

③ 기능성 차양 시스템과의 통합

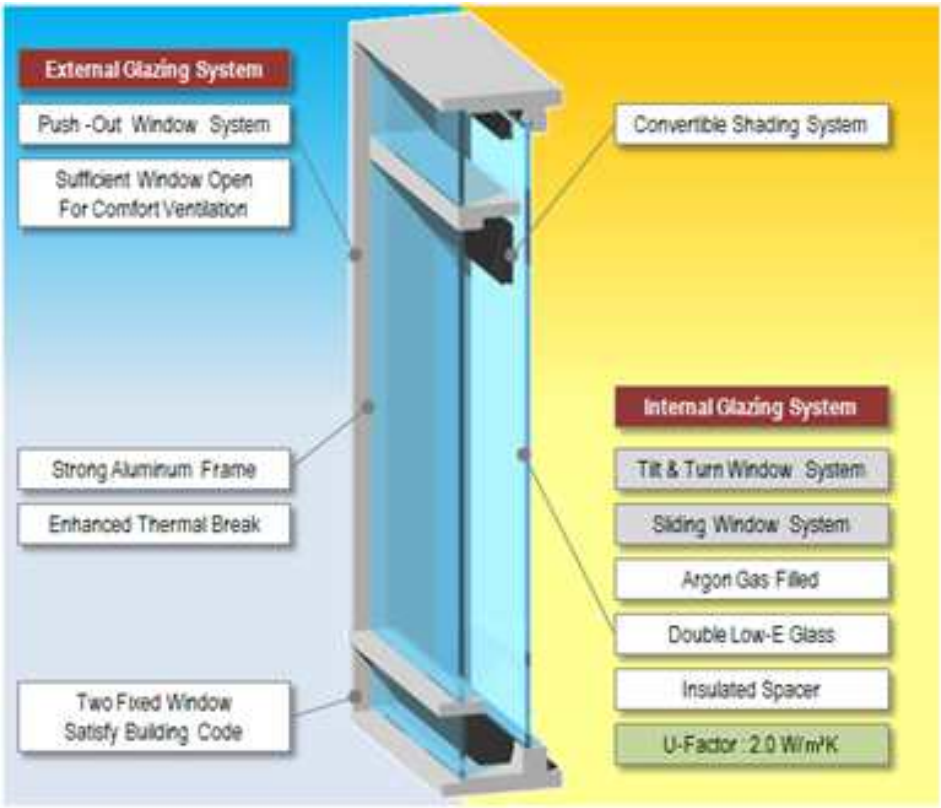
㉮ 건물 냉방 부하 저감 효과를 최대화한 차양 시스템과 통합

④ 창호 시스템 운전모드의 작성

㉮ 외기 온도 조건에 따른 최적 창호 시스템 운전 모드 작성

㉯ Hybrid Ventilation 적용하여 기계환기와 자연환기의 병용

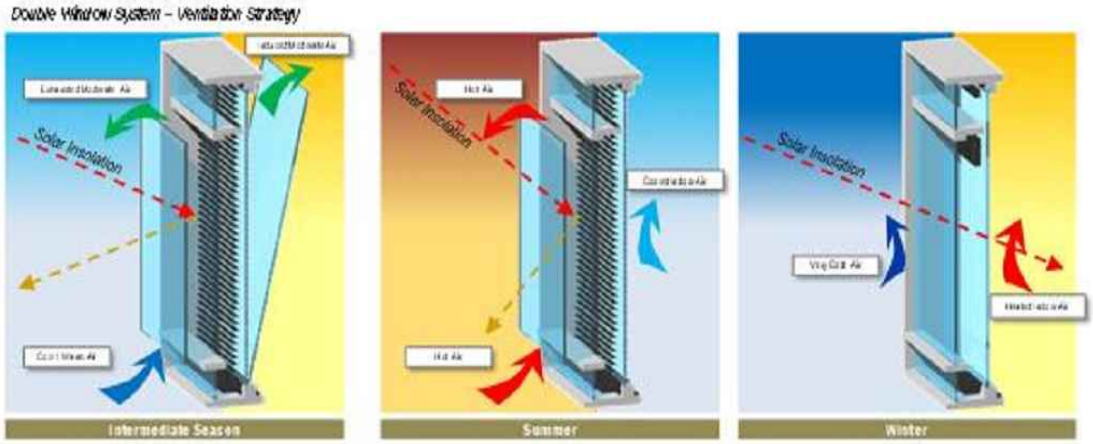
(다) 개발 이중외피 시스템 형상



< 이중창호 개념도 >



< 이중창호 전경 >



< 이중창호 연간 운전 모드 >



< 이중창호 자연환기 운전 모드 >

(라) 개발 이중외피 시스템의 성능

① 자연환기 성능

㉮ 개발된 이중창호에 적용된 Parallel-out 창호는 Single-sided ventilation 조건에서 기존 push-out 대비 4배 상승 (외부로 20cm 열리는 조건, 풍속 2m/s, Parallel 창호는 sliding 창호와 유사한 개방면적 확보가능)

② 에너지 저감 성능

㉮ 표준주택 대비 난방에너지 34%, 냉방에너지 44% 절감 (2차년도 시뮬레이션 평가자료 기반)

③ 실내 쾌적도 향상

㉮ 실내 유리 표면온도가 단일 창호에 비해 안정적인 패턴을 유지하여 MRT의 지나친 변화 억제.

㉯ 특히 하계 차양적용 시 이중창호 실내측 표면온도는 외부차양과 Low-E 창호를 적용한 조건과 비슷하게 유지됨.

④ 결로 가능성 감소

㉮ 동계 실내측 창호 표면온도의 상승으로 결로 가능성 저감

⑤ 안전성 확보

㉮ 동일한 환기량 조건의 Sliding 및 Push-out 창호 비해 추락/낙하에 대한 안전성확보

(4) 연구개발결과의 활용 계획

① 연구성과의 활용방안

㉮ 이중 창호시스템의 실용화・제품화

㉯ 개발 외피 시스템의 현장 적용화 방안 및 지속적 운영 방안도출

㉰ 외피시스템 설계 지침을 활용하여, 공동주택의 냉난방 부하저감

㉱ 차양과 통합된 부하저감형 창호 설계 지침을 보급하여 국내기업의 역량 강화

② 현장적용 방안

이중 창호시스템 및 차양 시스템, 외단열 시스템을 개발하고 이를 통합하여 이상적인 외피시스템을 제시함. 또한 이러한 외피 시스템의 성능 기준을 가이드라인화 하여, 건축가가 이에 적합한 제품을 선택 할 수 있도록 하거나, 관련 업체에서 공동주택 부하저감 목표에 부합하는 향상된 성능의 제품을 개발 할 수 있도록 한다. 특히, 외단열 시스템의 경우, 현재까지 공동주택에 적용된 사례가 적어, 본 연구에서 합리적인 외단열 시스템을 개발, 제시함으로써 공동주택에서의 외단열 시스템의 적용을 활성화할 수 있을 것으로 기대된다.

③ 실용화제품화 방안

본 연구를 통해 개발된 제품을 산업체와의 연계를 통해 보다 효율적이고 최적화된 형태로 실용화한다. 이 과정에서 산업체와의 적극적인 기술교류 및 기술지도, 정보제 등이 이루어지고, 연구된 기술이전은 산업체의 적극적인 참여를 유도할 수 있는 기반을 구축한다.

④ 미래원천기술 확보

외피 시스템의 부하저감 성능 향상을 위한 요소들의 성능 기준을 도출하여, 목표 부하저감 수준별 설계 기준을 작성 할 수 있는 기초를 다진다. 또한, 창호 디테일 및 외단열 시스템의 설계 기법을 개발함으로써 국외 선진 국가와의 기술 격차를 줄일 수 있도록 한다. 이러한 기술들은 가이드라인화 되고, 각 부문의 전문가들에게 교육되어 그 파급효과를 극대화한다.

⑤ 신산업 창출

본 연구를 통해 도출된 창호 시스템, 부하저감형 차양장치, 외단열 시스템과 관련된 시장을 확장 하고 이와 관련된 산업을 창출한다.

나. 외달열 시스템 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

국내 공동주택에는 내단열 시스템이 적용되고 있어, 벽-슬라브, 벽-벽 접합부 등과 같이 구조적 이유로 인해 단열재가 끊겨 열전달 경로가 되는 열교부위가 반복적으로 다수 발생하고 있다. 특히 국내 공동주택에는 난방용 온수배관이 바닥에 설치되므로 열손실 방지를 위해서는 벽-슬라브 접합부 열교부위에서의 단열보강이 매우 시급하고 할 수 있다. 반면 외단열 공법의 경우 구조체 외부에 단열재를 설치하게 되므로 벽-슬라브, 벽-벽 접합부에서도 단열재가 연속되어 열교부위 발생을 근원적으로 차단 할 수 있을 뿐만 아니라 벽체 콘크리트 등과 같은 축열재가 단열재 실내측에 위치하므로 난방 효율 향상이 기대되며, 독일 등을 중심으로 한 여러 선진외국에서 널리 적용 되고 있는 단열공법임에도 불구하고 국내 공동주택의 경우 적용사례가 거의 없는 실정이다. 외벽부위 외단열의 경우 열교의 근원적 제거 및 내부 축열 등에 의한 에너지절약 효과가 매우 커, 여러 국내외 에너지 절약 기준상에서도 권장되고 있는 사항이다.

그러나 국내 공동주택의 경우, 공법 특성상 외부 가설공사의 제약과 기존 내단열 설계안의 답습으로 인해 외단열 적용을 위한 시도 자체가 거의 없어왔으며, 그에 따라 외단열 시스템을 공동주택에 적용했을 때 설계 디테일 개발도 미진한 상태이다. 또한 고층화된 국내 공동주택의 실정에 맞추어 고층의 외피 외측에 단열재를 부착했을 때, 내구성, 안정성 등을 확보할 수 있는 소재의 개발이 이루어지지 않아 현장에서 외단열 시스템 적용에 따른 하자 사례도 많이 발생하고 있다.

국내 공동주택에서 에너지절약을 위해 필수적으로 적용이 되어야하는 외단열 시스템의 원활한 적용 및 성능 확보를 위하여 단열재 및 접착·중간 몰탈 등 적용 소재의 개발, 외단열 시스템 적용시 설계 디테일 개발 및 시공법 개발이 절실히 요구되고 있다. 또한 기존 내단열 시스템 대비 외단열 시스템 적용에 따른 에너지절약 효과도 함께 제시해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 외단열 시스템의 소재 및 시공 기술 개발, 설계 기술 개발, 에너지성능 평가를 수행하여 외단열 시스템의 보급 확산에 기여하고자하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

(가) 개발 외단열 시스템 개요

① 본 연구에서는 공동주택에서 발코니 확장 및 미확장에 대하여 적용가능한 외단열 습식공법(단열재를 구조체에 접착제로 부착 후 마감 미장), 반건식 공법(단열재를 구조체에 트랙시스템으로 부착 후 마감 미장), 건식공법(단열재를 구조체에 수직 바를 이용하여 부착 후 건식 마감 시공)의 세 가지 시스템을 개발하였다.

② 단열재로는 일정 높이 이상(독일의 경우 22m) 건축물에서는 불연성인 무기질 단열재의 적용을 의무화 하고 있는 유럽의 추세를 반영, 내·외단열 시스템에 대하여 무기질 단열재인 글라스울 및 미네랄울을 적용하는 것으로 하였다.

(나) 외단열 시스템의 소재 개발

1) 외단열 시스템 적용 단열재 소재 개발

① 독일 R사의 미네랄울 단열재와 KCC에서 생산하는 미네랄울 단열재를 대상으로 단열재의 무기물 및 유기물의 성분 조성 및 함량을 분석하였다.

② 이를 토대로 외단열 시스템에 주요한 요구 물성인 흡수율, 표면강도, 인장강도 등에 대한 물성개선을 진행하였다.

2) 외단열 시스템 마감소재 개발 및 물성평가

① 국내에서는 외단열 시스템에 적용되는 접착제, 중간몰탈에 대한 국내 관리기준 및 시험규격이 마련되어 있지 않으므로, 본 연구에서는 유럽의 외단열 시스템 관리규격인 EOTA(European Organization for Technical Approvals)지침에 따라 개발 마감소재에 대한 물성평가를 진행하였다.

3) 개발 제품에 대한 단기 내구성 시험

① 개발된 단열재 및 마감소재 등에 대한 시스템 조합을 하여 단기 옥외 폭로시험 (1차 및 2차)을 통해 내구성을 시험하였다.

4) 개발 외단열 시스템의 촉진 노화 내후성 평가시험

① 개발된 외단열 시스템에 대한 장기적인 내구성 및 구조적 안정성 평가를 위해 촉진 노화 내후성 시험을 실시하였다.

② 본 시험은 ETAG004 기준을 따라 실시되었고, Water absorption(capillary test) (ETAG004 5.1.3.1), Watertightness (ETAG004 5.1.3.2), Impact resistance (ETAG004 5.1.3.3), Bond strength (ETAG004 5.1.4.1) 시험을 실시하였다.

(다) 외단열 시스템의 시공 기술 개발

① 3종의 외단열 공법(습식, 반건식, 건식공법)을 실제 건축물에 적용할 수 있도록 표준 시방서(습식 및 반건식공법) 및 시공 매뉴얼(건식공법), 그리고 건축물 시공 디테일 도면을 작성하였다.

② 또한 외단열 시스템 시공시 필요한 가설 및 시공장비를 검토하였다.

(라) 외단열 시스템의 설계 기술 개발

① 건축물의 에너지절약설계기준 상 중부지방의 단열수준에 해당하는 단열설계를 실시하였다.

② 대상은 국내 전형적인 판상형 공동주택으로 단위세대 전용면적 74㎡의 단위동으로 하였으며, 단위세대평면도, 주단면도, 부분단면도, 공동주택 정면·배면·측면도, 지하층 및 지붕 평면도, 실내재료마감 등을 포함하는 설계도서를 작성하였다.

(마) 외단열 시스템의 에너지성능 평가

1) 열화상 촬영을 통한 내, 외단열 공동주택의 동계 열손실 비교

① 내, 외단열 공동주택간 열손실 정도를 비교하기 위해 동계 새벽 난방시 외단열 공동주택과 인근 내단열 공동주택의 외표면 온도 분포를 동시에 촬영하였다.

2) 내, 외단열 공동주택 부위별 년간 손실, 획득열량 비교

① 내단열 E 공동주택 기준층에서 대표적 3개 열교부위 선정(전면 외벽-슬라브 접합부, 측벽-슬라브 접합부, 후면 외벽-슬라브 접합부)하여, 난방용 온수공급 모델링 하지 않은 경우와 한 경우 각각에 대한 년간 3차원 비정상 전열해석 실시하여 내, 외단열 공

동주택 부위별 년간 손실, 획득열량 평가하였다.

3) 내, 외단열 공동주택 부위별 선형 열관류율(Linear thermal transmittance: ψ) 비교

① 내, 외단열 공동주택 부위별 선형 열관류율 비교를 위해 공동주택 기준층의 전면 외벽-슬라브 접합부, 측벽-슬라브 접합부, 외벽-세대간벽 접합부, 세대간벽-지붕슬라브 접합부를 선정하여, 각 부위의 내단열 및 외단열 시스템 적용시 선형 열관류율 값을 산출하였다.

4) PHPP를 활용한 내, 외단열 공동주택 동단위 에너지성능 분석

① PHPP(Passive House Planning Package)를 이용하여, 국내 전형적인, 단위세대 전용면적 85㎡의 내단열 공동주택을 선정하여 내단열 및 외단열 시스템 적용시 동단위 연간 난방 에너지요구량을 산출하였다.

(바) 외단열 시스템의 Pilot project(Greenhome+) 적용을 통한 실제 성능 검증

① Pilot project(Greenhome+)의 Base Model(내단열 시스템 적용)을 제외한 모든 세대의 전면과 후면 벽체에 미네랄울을 단열재로 하는 반건식 공법이, 그리고 측벽에는 글라스울을 단열재로 하는 건식 공법이 적용되었다.

② Base Model은 기존의 법규를 만족시키는 수준의 단열재를 내단열로 적용한 경우에 해당한다. 이외의 40, 60, 80, 100 Model은 Base Model 대비 각각 40%, 60%, 80%, 100% 에너지절감형 세대로 수준별로 단열재 두께를 증가시켰으며, 외단열 공법을 기본으로 하되, 구조적인 문제 등으로 외단열로 부착 가능한 최대 허용 단열재 두께를 초과하는 경우에 대해서는 초과하는 두께를 내단열로 적용하였다.

③ Pilot project(Greenhome+)의 에너지성능은 단열시스템의 적용 방식과 벽체의 두께 증가에 따른 단열성능 분석 및 평가를 하기 위해서 실내·외 공기온도 및 실내측 벽체 표면온도, 열화상 촬영 및 벽체의 열류량 측정을 통하여 이루어졌다. 특히 실내측 벽체 표면온도는 온도계수를 산출하여 각 세대의 단열성능을 평가하는 것으로 하였다.

(3) 연구개발결과

(가) 외단열 시스템의 소재 개발

1) 외단열 시스템 적용 단열재 소재 개발

① 1차, 2차 제품 개선을 진행한 결과 <표1>과 같이 독일 외단열 시스템에 적용되고 있는 단열재 물성 기준에 적합한 결과를 나타내었다. 또한 향후 표면상태 및 물성개선을 하였다.

구 분	독일 R사	KS 규격	KCC	1차개선품	2차개선품
밀도(K)	150~160	>102	119	109	146
열전도율열전도율(W/㎡K)	<0.041	<0.043	0.042	0.044	0.042
흡수율(kg/㎡)	<1	-	0.1	0.08	0.4
10%변형 압축율(N/㎠)	>2	-	1.6	2.2	2.3

< 외단열 적용 단열재 개선 물성 측정결과 >

2) 외단열 시스템 마감소재 개발 및 물성평가

① 접착제 및 중간몰탈에 대한 제품을 유럽제품과 비교하여 국내기준(KS F 4715)과 유럽기준인 EOTA(European Organisation For Technical Approvals) 규격을 통해 물성을 평가하였고, 그 결과 유럽의 기존 외단열 시스템에 적용되는 제품과 동등 이상의 물성을 확보함을 확인할 수 있었다.(<표2>~<표5> 참조)

구 분	부착강도	물흡수계수	열전도율	수증기투과성
관리기준	>1.0	<0.2	<0.9	1.5~3.5
유럽 외단열 제품	1.0	0.02	0.8	2.8
KCC 개발 제품	1.5	0.04	0.2	1.5
시험규격	KS F 4715	KS F 4715	KS L 9016	KS F 4715

< 착제 개발 제품 물성(국내기준) >

구분	인장강도		작업성
	대기양생(14일)	대기14일+2일 수분 양생	
관리기준	>0.25	>0.08	양호
유럽 외단열 제품	0.76	0.18	우수
KCC 개발 제품	0.5	0.58	우수
시험규격	DIN 18 555	DIN 18 555	-

< 접착제 개발 제품 물성(유럽기준) >

구분	부착강도	물흡수계수	열전도율	수증기투과성
관리기준	>0.8	<0.2	<0.7	1.5~3.5
유럽 외단열 제품	1.1	0.08	0.1	1.5
KCC 개발 제품	0.9	0.01	0.2	2.4
시험규격	KS F 4715	KS F 4715	KS L 9016	KS F 4715

< 중간몰탈 개발 제품 물성(국내기준) >

구분	인장강도		충격강도	수분흡수성	작업성
	대기양생(14일)	대기14일+2일 수분 양생			
관리기준	>0.08	>0.08	>3	0.3~0.6	양호
유럽 외단열 제품	0.09	0.11	4.5	0.5	우수
KCC 개발 제품	0.11	0.08	4	0.4	우수
시험규격	DIN 18 555	DIN 18 555	-	DIN 52 617	-1

< 중간몰탈 개발 제품 물성(유럽기준) >

3) 개발 제품에 대한 단기 내구성 시험

① 개발된 단열재 및 마감소재 등을 조합한 시스템을 대상으로 단기 내구성 평가를 진행한 결과, 1차 및 2차 내구성 평가에서 크랙, 탈락, 박리 등의 큰 하자 없이 대체적으로 양호한 결과를 보였다. 또한 내오염성에 대한 쿨성도 양호한 것으로 나타났다.([그림1] 및 <표6> 참조)




< 단기 옥외 폭로시험체(1차) >

구분	습식공법	반건식공법	건식공법
시스템별 현장 모습			
세부내용	표면 마감상태 양호 변색 없음	좌동	좌동

< Mock-up 시공 내구성 파악 결과(단기 옥외 폭로시험 2차) >

4) 개발 외단열 시스템의 촉진 노화 내후성 평가시험

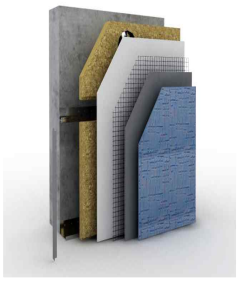
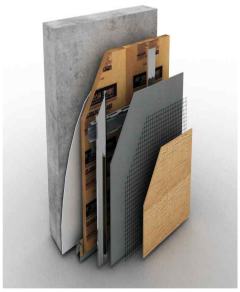
① ETAG004를 기준으로 하여 촉진 노화 내후성 평가시험을 한 대상 시험체는 <표7>과 같다.

② 시험 결과

㉮ 본 시험에서 적용한 접착몰탈은 부착강도, 수분흡수성, 작업성 등에서 외단열 공법에 매우 적합한 것으로 평가되었다.

㉯ II#과 IV# 시험체는 고층건물에, I#과 II# 시험체는 저층건물에 적합한 시스템으로 평가되었다.

㉰ I#과 III# 시험체를 고층건물에 적용하기 위해서는 단열재인 Mineral wool의 강도가 좀 더 보완 되어야 할 것으로 평가되었다.(이상 <표8>, <표9> 참조)

구 분	Ⅰ#	Ⅱ#	Ⅲ#	Ⅳ#
단열재 종류	M/W	EPS	M/W	G/W
공법	습식	습식	반건식	반건식
구성				
	접착몰탈 (Adhesive mortar) ↓ 단열재 (M/W, EPS) ↓ Fastner (고정핀) ↓ 기초몰탈 (Base mortar) (보강메쉬 함침) ↓ 마감몰탈 (Finish coat)		접착몰탈 (Adhesive mortar) ↓ PVC 트랙 T-Spline ↓ 단열재 (M/W) ↓ 기초몰탈 (Base mortar) (보강메쉬 함침) ↓ 마감몰탈 (Finish coat)	단열재 (G/W) ↓ Fastner ↓ 클립채널 ↓ 스터드 ↓ CRC 보드 ↓ 기초몰탈 (Base mortar) (보강메쉬 함침) ↓ 마감몰탈 (Finish coat)

< 시험체 개요 >

시험항목	시험조건(Lab)	물성기준	시험결과
부착강도 (콘크리트하지면)	28d S.C.	> 0.25 N/mm2	0.52 N/mm2
	28d S.C.+2d water+2h S.C.	> 0.08 N/mm2	0.53 N/mm2
	28d S.C.+2d water+7d S.C.	> 0.25 N/mm2	1.75 N/mm2
부착강도 (EPS하지면)	28d S.C.	> 0.08 N/mm2	0.17 N/mm2
	28d S.C.+2d water+2h S.C.	> 0.03 N/mm2	0.14 N/mm2
	28d S.C.+2d water+7d S.C.	> 0.08 N/mm2	0.19 N/mm2
수분흡수성	7dS.C.+3cycles (24h water immersion+24h50℃)	< 1 kg/m2	0.25 kg/m2
작업성	-	양호	양호

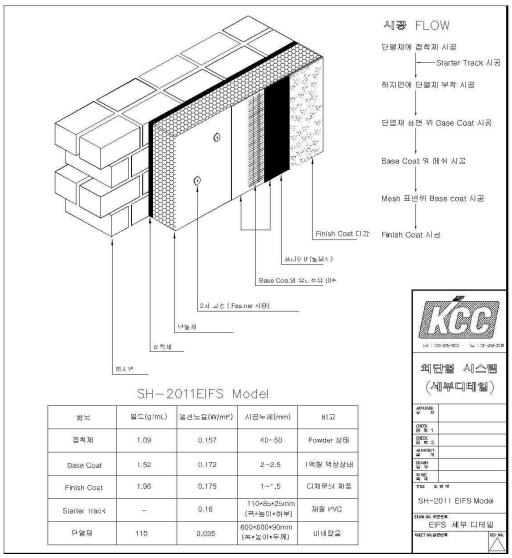
< 접착몰탈 시험결과 >

시험항목	시험조건 (EOTA chamber)	물성기준 [N/mm2]	시험결과			
			I# 시험체	II# 시험체	III# 시험체	IV# 시험체
부착강도 (기초몰탈면)	80 heat-rain cycles and 5 heat-cold cycles	> 0.08	0.19	0.16	0.18	0.48
부착강도 (마감몰탈면)		> 0.08	0.12	0.19	0.13	0.7
충격강도		No cracks	No cracks	No cracks	No cracks	No cracks

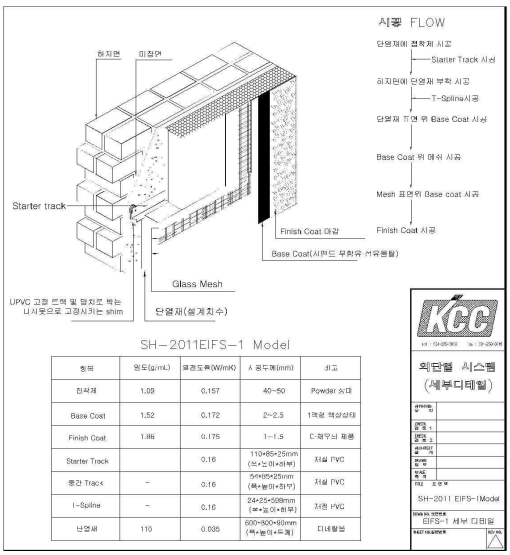
< EOTA wall 시험결과 >

(다) 외단열 시스템의 시공 기술 개발

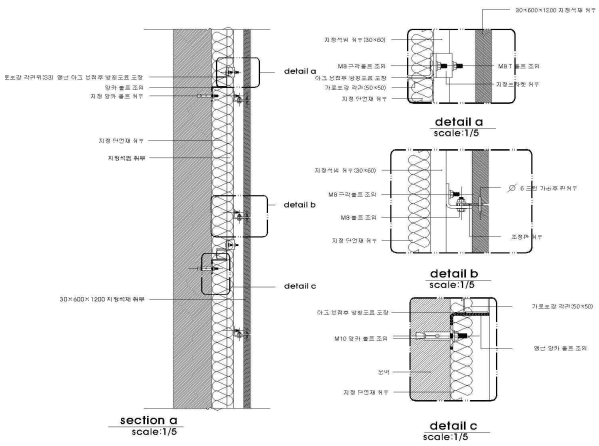
① 3종의 외단열 공법(습식, 반건식, 건식)을 실제 건축물에 적용할 수 있도록 표준 시방서(습식 및 반건식공법) 및 건식공법의 시공매뉴얼, 그리고 세가지 공법에 대한 건축물 시공디테일을 작성하였다.([그림2]~[그림4] 및 <표10> 참조)



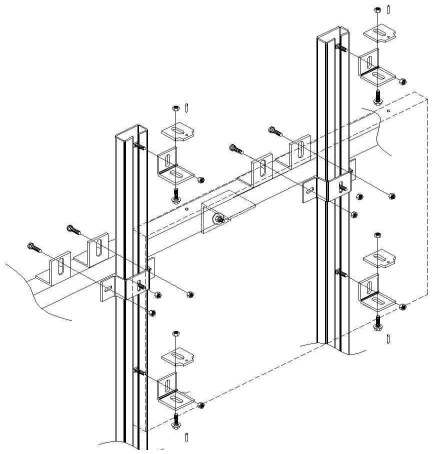
< M/W 습식공법 시공디테일 >



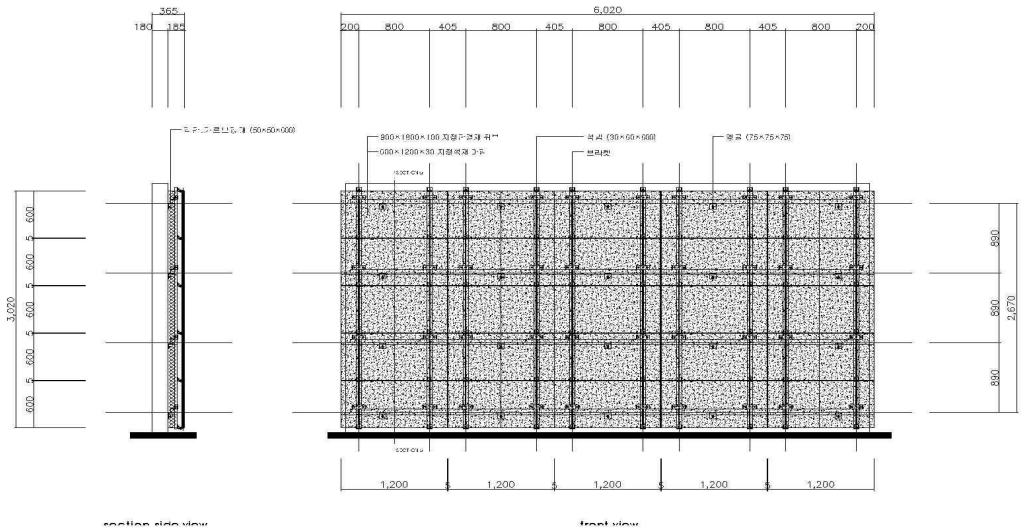
< M/W 반건식공법 시공디테일 >



(a) 건식공법 단면도



(b) 건식공법 부자재 체결도



(c) 건식공법 입면도

< G/W 건식공법 시공디테일 >

공법 구분		디테일 도면수	특징
1	습식공법	51종	습식공법 및 부자재 규격에 대한 세부 도면
2	반건식공법	50종	반건식공법 및 부자재 규격에 대한 세부 도면
3	건식공법	13종	건식공법 및 부자재 규격에 대한 세부 도면
4	공통부위	33종	파라펫, 지하층, 창호부위, 발코니 부위에 대한 세부 도면
총 도면수		147종	-

< 외단열 시스템 세부 디테일 도면 >

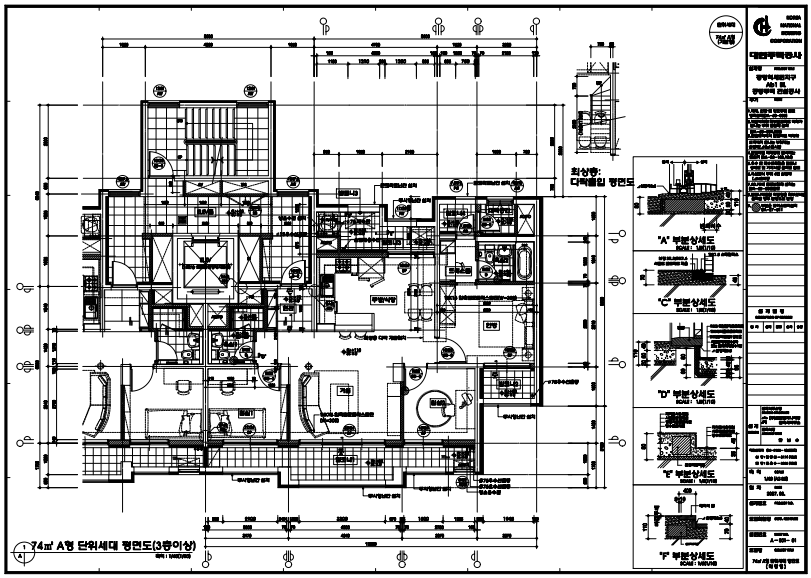
② 외단열 시스템 가설 및 시공장비를 검토하여 비교한 결과는 <표11>과 같다.

구분	비계	곤돌라	스카이장비	Walk Platform
업체명	승대건설	대한중공업	제일스카이	AlimakHek
장비개요				
장비대수	-	4,800mm 4대 15,000mm 2대	56m 1대	Twin 3대 Single 6대
견적 (60일)	120,000,000원 (총 9,114㎡,12,000원/㎡) (발판, 분진망 포함)	94,500,000원	42,000,000원	104,220,000원
설치소요공기	7일	5~6일	별도 공기 없음	6~7일
작업 용이성	우수	보통	나쁨	양호
작업 안전성	우수	불안	매우 불안	보통
특징	1.해체까지 외부의 다른 공정에 영향을 미침 2.외벽에 지지대가 설치되어 해체 시 별도의 마감 필요	1.하부에 설치 장비가 없어 외부의 다른 공정에 영향을 미치지 않음 2.장비가 지붕에 설치가 되어 지붕의 다른 공정에 영향 미침	1.현장에 장비 이동이 가능하며 다른 공정에 큰 영향을 주지 않음. 2.최대 15층 까지만 시공이 가능 3.다른 장비에 비해 외단열 작업이 어려워 외단열 공기가 늘어남	1.해체까지 외부의 다른 공정에 영향 미침 2.외벽에 지지대가 설치되어 해체시 별도의 마감이 필요함

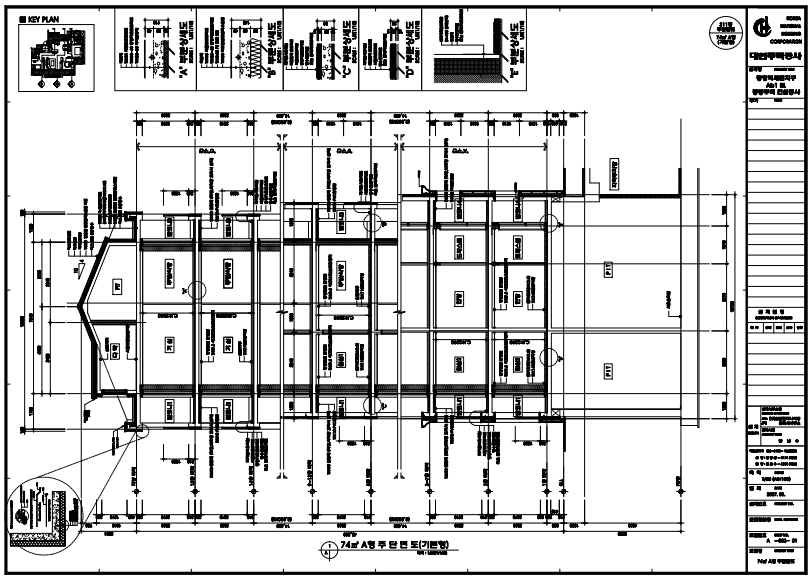
< 가설장비 세부 비교 자료 >

(라) 외단열 시스템의 설계 기술 개발

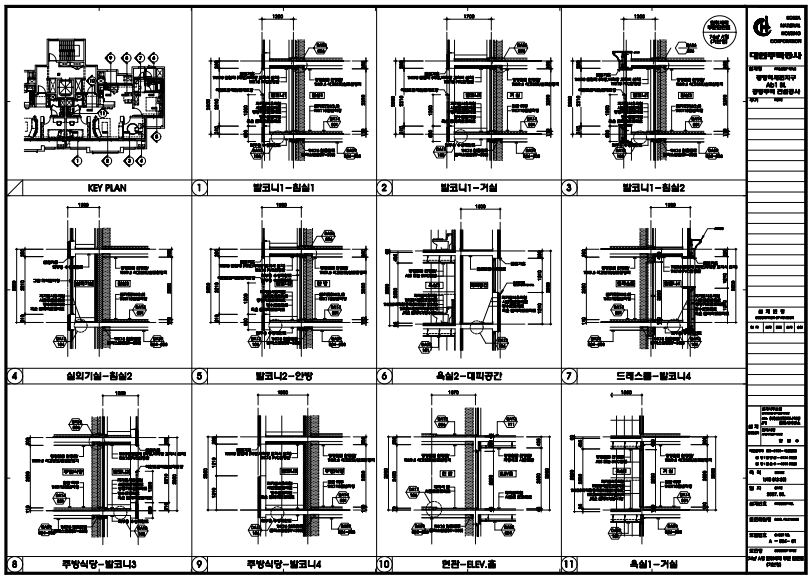
① 국내의 전형적인 판상형 공동주택으로 대한주택공사 공동주택의 74㎡ A, B형 세대를 기준으로 하여, 발코니 비확장(기본형), 발코니확장(확장형)시 단위세대 평면도, 주단면도, 입면도, 지하층, 1, 2, 3층, 및 기준층과 지붕 전체 평면도, 옥탑 전체 평면도를 작성하였다.([그림5] 및 본문의 <부록-외단열 공동주택 도면> 참조



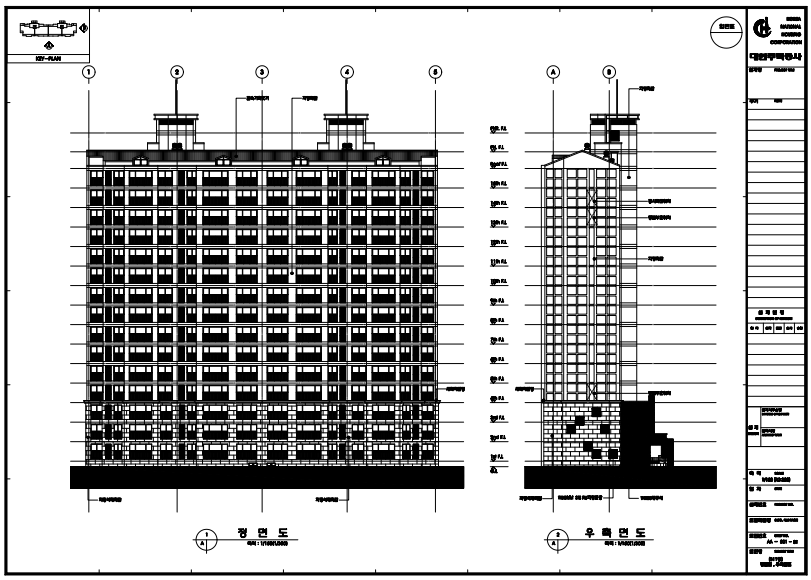
(a) 74㎡ A형 단위세대 평면도(기준층)



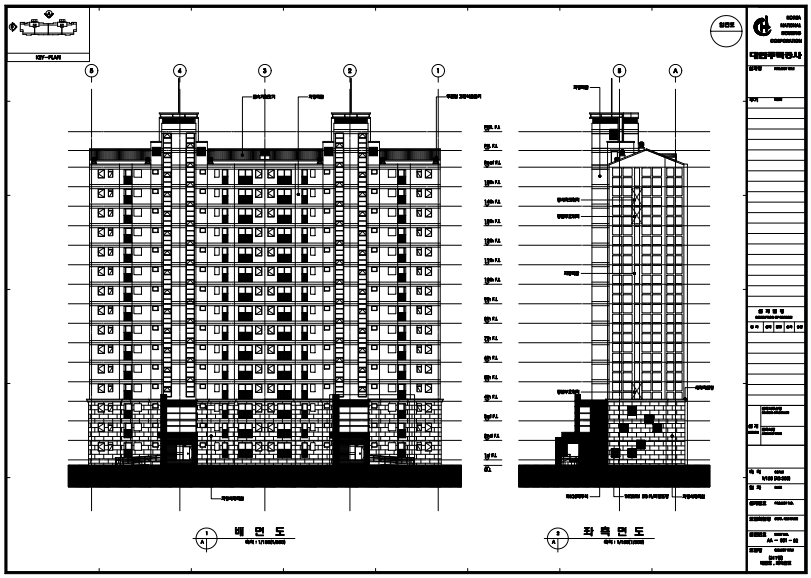
(b) 74㎡ A형 주단면도(기본형)



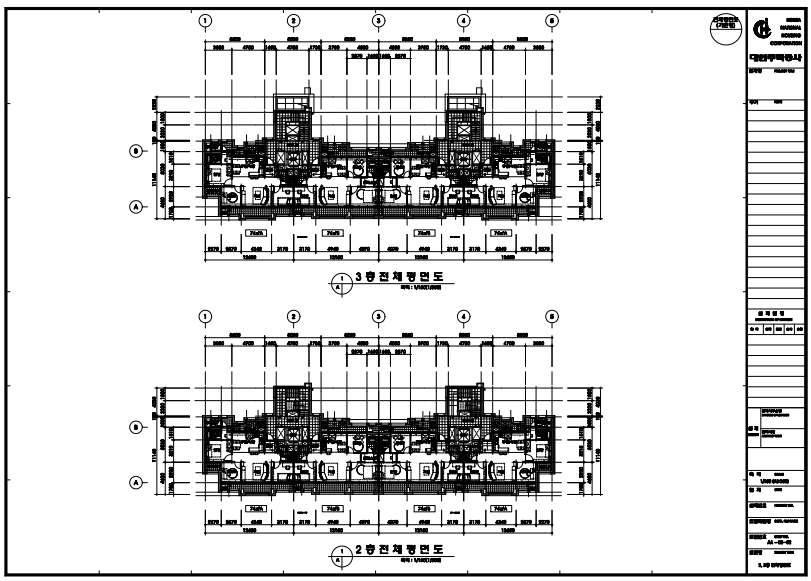
(c) 74㎡ A형 단위세대 부분 단면도



(d) 정면도 및 우측면도



(e) 배면도 및 좌측면도



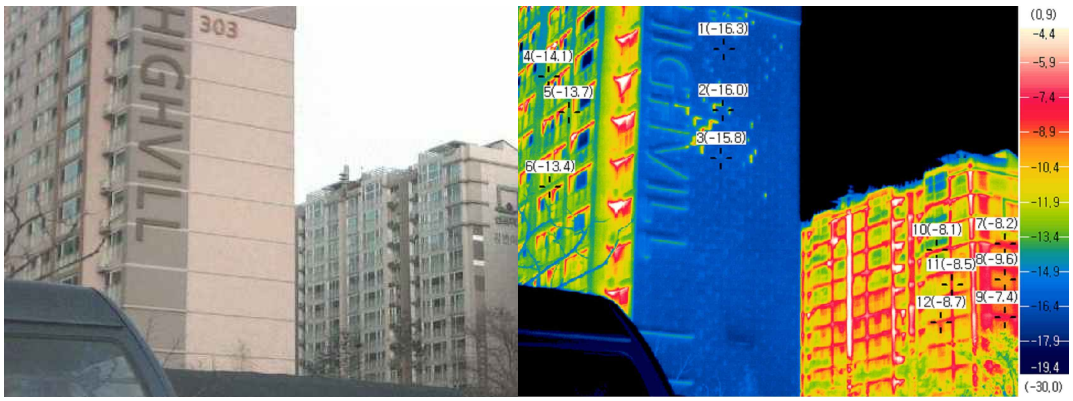
(f) 동평면도

< 외단열 공동주택 도면 >

(마) 외단열 시스템의 에너지성능 평가

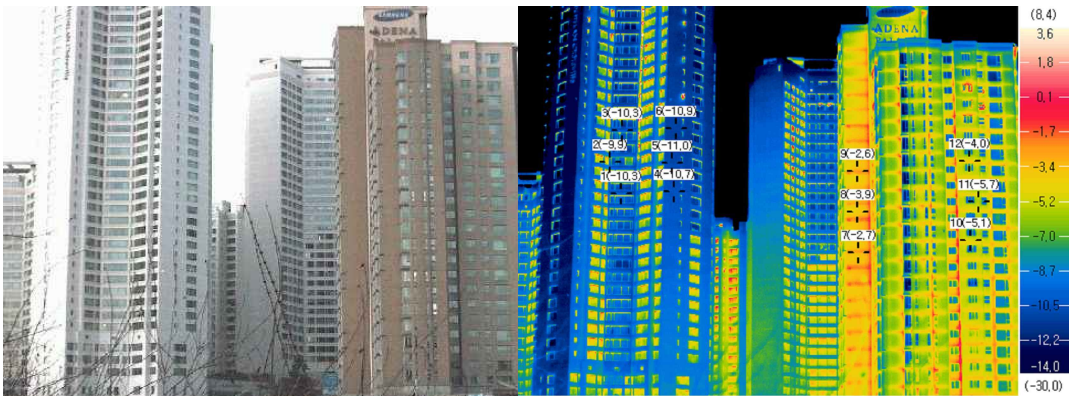
1) 열화상 촬영을 통한 내, 외단열 공동주택의 동계 열손실 비교

① 외단열 H 공동주택은 내단열 C 공동주택에 비해 벽-슬라브 접합부 외표면 온도가 외벽에서는 평균 5.3℃ 낮고, 측벽에서는 평균 7.6℃ 낮게 나타났으며([그림6] 참조), 외단열 M 공동주택은 내단열 A 공동주택에 비해 벽-슬라브 접합부 외표면 온도가 외벽에서는 평균 5.2℃ 낮고, 측벽에서는 평균 7.8℃ 낮게 나타나([그림 7] 참조), 외단열 공동주택은 내단열 공동주택에 비해 난방 에너지 손실이 매우 적음을 확인할 수 있다.



(a) 외관 사진 (b) 열화상 촬영 사진

< H(좌측 1개동, 외단열) 및 C(우측 1개동, 내단열) 공동주택 열화상 촬영 결과 >



(a) 외관 사진 (b) 열화상 촬영 사진

< M(좌측 건물, 외단열) 및 A(우측 1개동, 내단열) 공동주택 열화상 촬영 결과 >

2) 내, 외단열 공동주택 부위별 년간 손실, 획득열량 비교

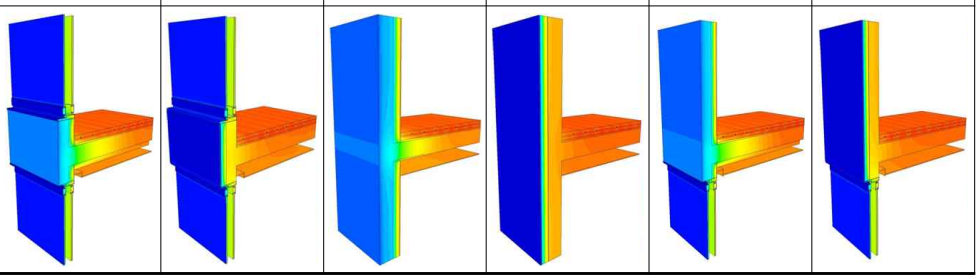
① 내, 외단열 공동주택 부위별 년간 손실, 획득열량 비교 결과,

㉮ 전면 외벽-슬라브 접합부의 경우, 외단열 적용시 설치 단열재 체적은 47.4% 감소(내단열의 경우 슬라브 하부에 보조단열재 추가 설치함), 난방부하 및 냉방부하는 각각 6.7% 및 4.6% 감소, 실제 난방시 손실열량은 4.2% 감소, 획득열량은 5.1% 증가하는 것으로 나타났다.

㉯ 측벽-슬라브 접합부의 경우, 외단열 적용시 설치 단열재 체적은 4.9% 증가하나, 난방부하 및 냉방부하는 각각 37% 및 45.9% 감소, 실제 난방시 손실열량은 29.3% 감소, 획득열량은 11.3% 증가하는 것으로 나타났다.

㉰ 후면 외벽-슬라브 접합부의 경우, 외단열 적용시 설치 단열재 체적은 35.6% 감소(내단열의 경우 슬라브 하부에 보조단열재 추가 설치함), 난방부하 및 냉방부하는 각각 12.2% 및 11.3% 감소, 실제 난방시 손실열량은 7.1% 감소, 획득열량은 7.3% 증가하는 것으로 나타났다.

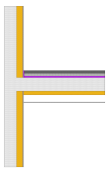
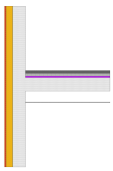
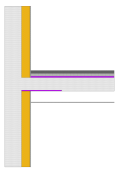
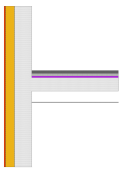
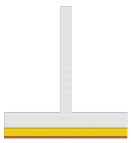
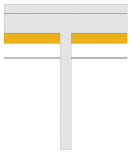
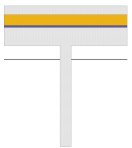
㉱ 평가 대상 부위를 기준으로 할 경우, 국내 공동주택에서 외단열 적용만으로 난방부하는 평균 18.6%, 냉방부하는 평균 20.6% 감소 가능하며, 실제 난방시 손실열량은 평균 13.5% 감소 및 획득열량은 평균 7.9% 증가 가능한 것으로 나타났다.(이상 <표12> 참조)

구 분		전면 외벽-슬라브 접합부		측벽-슬라브 접합부		후면 외벽-슬라브 접합부	
		내단열	외단열	내단열	외단열	내단열	외단열
설치단열재 체적(㎥)		0.159 (0.0%)	0.084 (-47.4%)	0.286 (0.0%)	0.300 (+4.9%)	0.255 (0.0%)	0.164 (-35.6%)
난방용 온수 공급×	손실열량 (MJ)	1,800,555.4 (0.0%)	1,679,323.5 (-6.7%)	659,281.1 (0.0%)	415,102.2 (-37.0%)	1,304,719.1 (0.0%)	1,145,857.0 (-12.2%)
	획득열량 (MJ)	30,100.8 (0.0%)	28,729.5 (-4.6%)	5,674.7 (0.0%)	3,069.2 (-45.9%)	19,587.9 (0.0%)	17,375.9 (-11.3%)
난방용 온수 공급○	손실열량 (MJ)	1,459,789.6 (0.0%)	1,398,709.5 (-4.2%)	423,529.3 (0.0%)	299,337.0 (-29.3%)	994,442.6 (0.0%)	924,164.2 (-7.1%)
	획득열량 (MJ)	868,472.2 (0.0%)	912,641.0 (+5.1%)	768,899.2 (0.0%)	855,801.1 (+11.3%)	1,006,103.1 (0.0%)	·1,079,781.8 (+7.3%)
년중 최저 외기온 발생 시각의 구조체 온도분포							

< 년간 손실, 획득열량 >

3) 내, 외단열 공동주택 부위별 선형 열관류율(Linear thermal transmittance: ψ) 비교

① 내, 외단열 공동주택 부위별 선형 열관류율 비교를 위해 기준층의 전면 외벽-슬라브 접합부, 측벽-슬라브 접합부, 외벽-세대간벽 접합부, 세대간벽-지붕슬라브 접합부의 선형 열관류율 값을 산출하였으며, 외단열 적용시 내단열의 경우에 비해 선형 열관류율을 63.7%~92.7%까지 낮출 수 있어 단열 성능 향상에 매우 효과적임을 확인할 수 있다.(이상 <표13> 참조)

	전면 외벽-슬라브 접합부		측벽-슬라브 접합부		외벽-세대간벽 접합부		세대간벽-지붕슬라브 접합부	
	내단열	외단열	내단열	외단열	내단열	외단열	내단열	외단열
모델링								
선형 열관류율	0.546W/mK (0.0%)	0.198W/mK (-63.7%)	0.610W/mK (0.0%)	0.154W/mK (-74.8%)	0.959W/mK (0.0%)	0.083W/mK (-91.4%)	0.684W/mK (0.0%)	0.050W/mK (-92.7%)

< 선형 열관류율 비교 결과 >

4) PHPP를 활용한 내, 외단열 공동주택 동단위 에너지성능 분석

① 국내 전형적인 단위세대 전용면적 85㎡의 내단열 공동주택을 대상으로 내·외단열 시스템 적용시 동단위 난방에너지 요구량을 산출한 결과, 단위면적당 연간 난방에너지 요구량이 내단열 시스템은 64kWh/(㎡a), 외단열 시스템은 58kWh/(㎡a)로 외단열 시스템 적용시 내단열 시스템 대비 약 10% 난방에너지 요구량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

(바) 외단열 시스템의 Pilot project(Greenhome+) 적용을 통한 실제 성능 검증

1) 실별 측정 온도 및 온도계수를 통한 외단열 시스템 성능 평가

① 각 세대별 실내온도 및 실내측 표면온도의 평균, 최대값, 최소값, 온도의 표준편차를 산출하였고, 계측된 실외온도를 함께 이용하여 온도계수를 산출하였다.

② 실별 측정 온도 및 온도계수를 통한 외단열 시스템 성능 평가 결과, 침실2에서의 실내온도와 벽체 표면온도의 경우, 각 세대별로 큰 차이를 보이지 않으나, 안방의 경우, 실내온도에서 Base Model이 표준편차가 1.63으로 다른 세대에 비하여 비교적 큰 편으로 나타났으며, 벽체 표면온도의 측정 지점별 표준편차 또한 1.01~1.25로 나타나 이외의 세대에 비하여 온도 편차가 큰 것으로 나타났다. (<표14> 참조)

③ 온도계수 산출 결과, 침실2에서 측정한 전면 벽체의 경우 Base Model은 0.65로 온도계수가 가장 낮았으며, 외단열 시스템이 적용된 40 Model에 비하여 약 19%가 낮은 것으로 나타났다. 100 Model이 가장 높은 0.95를 나타내고 있어 벽체의 단열 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 또한 안방에서 측정한 측벽의 경우, Base Model이 0.78로 온도계수가 가장 낮아, 다른 Model에 비하여 약 5% 적은 온도계수를 보이는 것으로 나타났고, 100 Model의 온도계수가 0.86으로 가장 높게 나타났다.(<표15> 참조)

구 분			Base Model	40 Model	60 Model	80 Model	100 Model
침실2	실내온도	평균	20.2	20.4	20.5	19.9	17.5
		최대	22.6	22.3	23.4	21.9	18.9
		최소	17.9	19.0	19.3	18.3	16.6
		표준편차	0.80	0.77	0.80	0.86	0.72
	벽체표면온도	평균	16.5	18.2	18.2	17.3	17.5
		최대	19.9	19.5	20.2	19.1	18.9
		최소	13.0	17.1	16.4	15.8	16.1
		지점별 표준편차	0.43~0.57	0.36~0.43	0.53~0.70	0.49~0.66	0.52~0.60
안방	실내온도	평균	18.2	20.1	20.2	19.4	17.7
		최대	22.8	23.0	22.7	21.2	18.9
		최소	16.2	17.5	18.4	17.5	16.8
		표준편차	**1.63**	**0.98**	**0.74**	**0.91**	**0.68**
	벽체표면온도	평균	16.2	18.2	18.0	16.9	16.8
		최대	20.3	19.9	20	19.1	18.2
		최소	13.9	15.9	15.4	14.9	15.3
		지점별 표준편차	1.01~1.25	0.62~0.68	0.69~0.78	0.71~0.80	0.42~0.63

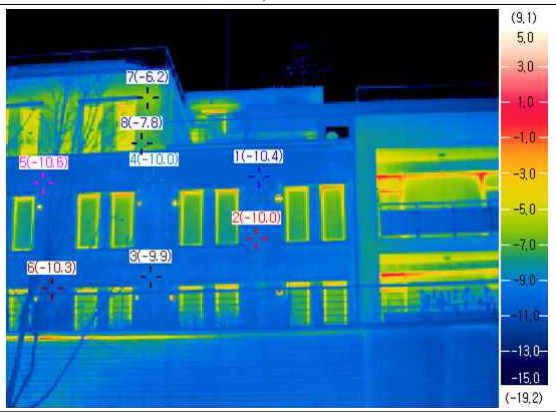
< 침실2와 안방의 온도 측정 결과 >

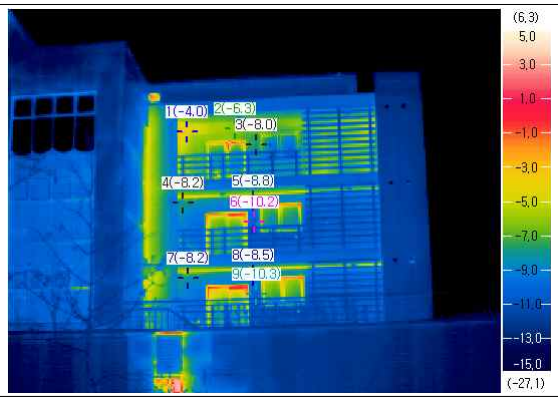
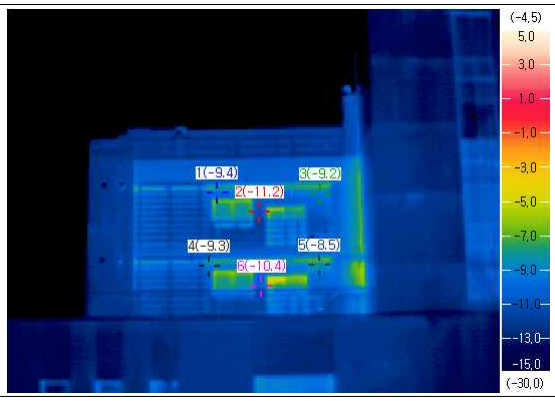
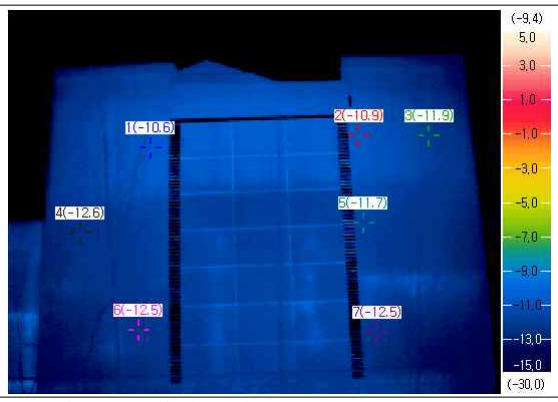
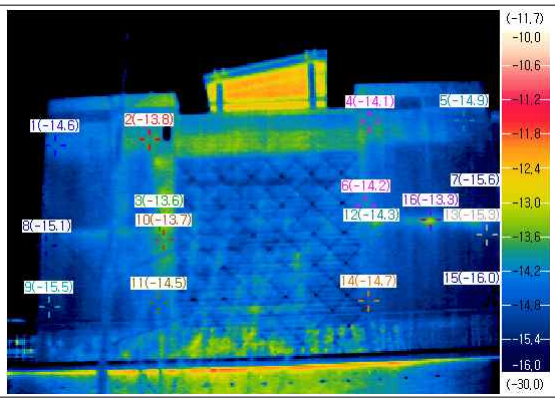
구 분	전면벽(침실2)	측벽(안방)
Base Model	**0.65**	**0.78**
40 Model	0.80	0.82
60 Model	0.81	0.82
80 Model	0.76	0.82
100 Model	0.95	0.86

< 온도계수 산출 결과 >

2) 열화상 촬영을 통한 외단열 시스템 성능 평가

① 전반적으로 외단열 시스템을 적용한 40~100 Model이 내단열의 Base Model 보다 외벽 표면온도가 약 1~3℃정도 낮아, 단열 성능이 더욱 좋은 것으로 나타났다.([그림8] 참조)

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(a) 전면벽(위에서부터 Base Model, 40Model, 60Model)</td><td>(b) 전면벽(위:80 Model, 아래:100 Model)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td></td></tr>
<tr><td>(c) 전면벽 (오른쪽 위:80 Model, 아래:100 Model, 왼쪽 위에서부터 Base Model, 40Model, 60Model)</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(d) 후면벽(위에서부터 Base Model, 40Model, 60Model)</td><td>(e) 후면벽(위:80 Model, 아래:100 Model)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>(f) 측벽(위에서부터 Base Model, 40Model, 60Model)</td><td>(g) 측벽(위:80 Model, 아래:100 Model)</td></tr>
</table>

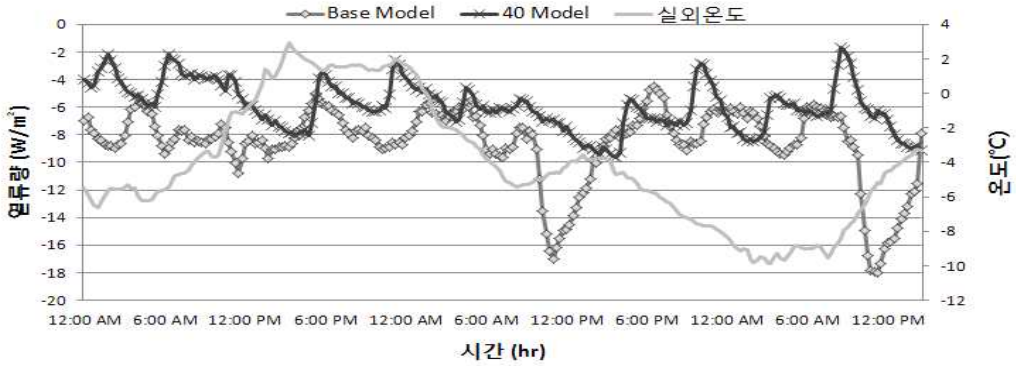
< 열화상 측정 결과 >

3) 열류량 측정을 통한 외단열 시스템 성능 평가

① 내단열 및 외단열 시스템을 적용한 Base Model과 40 Model의 열류량을 비교 평가하였고, 최종적으로 단열재 두께 증가에 따른 열류량 분석 및 열관류율을 산정하여 각 세대의 단열 성능을 평가, 판정하였다.

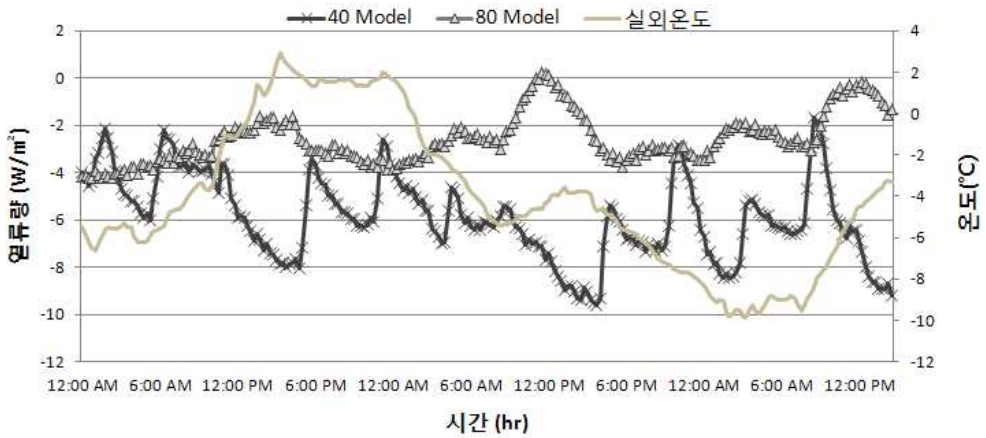
② 각 세대별 열류량 측정 결과,

㉮ Base Model과 40 Model의 열류량을 비교 평가한 결과, 벽체를 통해 실외로 빠져나가는 열류량은 단열재를 외측에 위치를 시킨 40 Model의 외단열 시스템이 내단열을 적용한 Base Model 보다 적어, 벽-슬라브 접합부에서의 단열성능이 증가했음을 알 수 있다.([그림9] 참조)



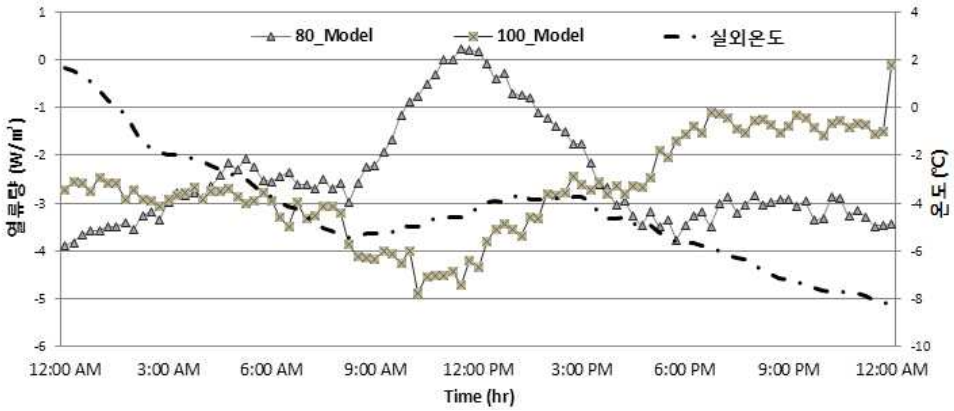
< 벽-슬라브 부위의 실측 열류량 변화(Base Model과 40 Model) >

㉯ 외단열 시스템과 이중 단열 시스템(벽체의 내측과 외측면에 단열재 부착) 열류량을 비교 평가한 결과, 단열재를 외측에만 적용한 40 Model이 단열재를 내측과 외측 모두 적용한 80 Model의 열류량보다 적음을 알 수 있다.([그림10] 참조)



< 벽-슬라브 부위의 실측 열류량 변화(40 Model과 80 Model) >

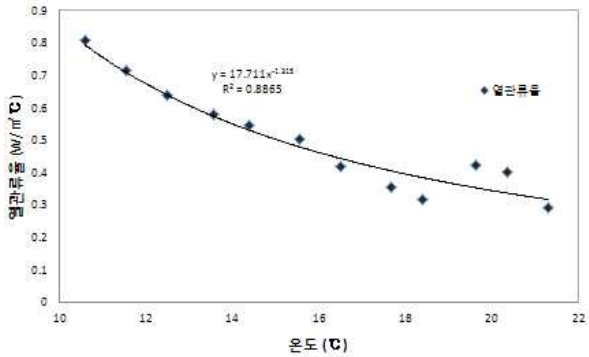
㉰ 80 Model과 100 Model의 열류량을 비교한 결과, 80 Model의 경우 평균 열류량은 2.8W/㎡, 100 Model의 경우 3.2W/㎡로 나타났으며, 이러한 결과는 80 Model의 경우 시공상 실내 체적을 100 Model에 맞추기 위하여, 실내측 석고보드 안쪽에 형성된 중공층이 열의 이동을 차단하는 저항형 단열재 역할을 하는 것으로 사료된다.([그림11] 참조)



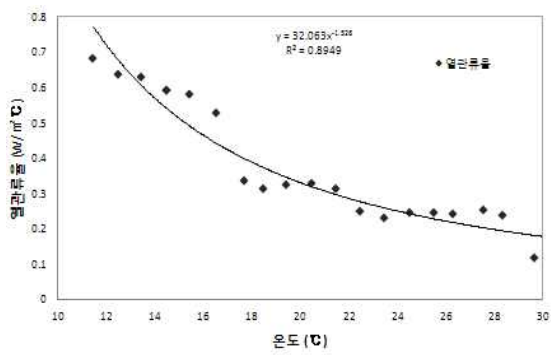
< 벽-슬라브 부위의 실측 열류량 변화(80 Model과 100 Model) >

③ 열관류율 산정 결과

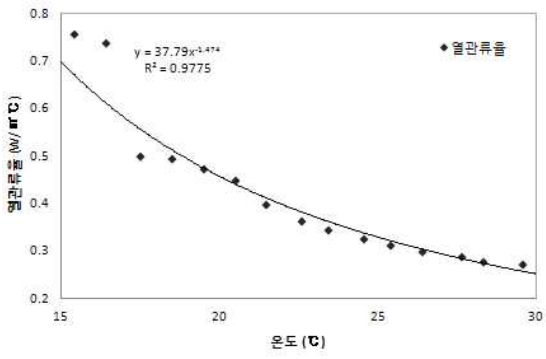
㉮ 실내·외 온도차가 크게 날수록 열관류율 값은 낮아지는 것을 확인 할 수 있으며 본 연구에서 실측을 통해 도출된 열관류율 값은 최초의 설계 단계에서 계산한 값의 범위 안에 포함되는 것으로 보아 위의 표에 정리된 Greenhome+ 외피 구조체의 열관류율은 신뢰도가 높다고 판단된다.([그림12] 및 <표16> 참조)



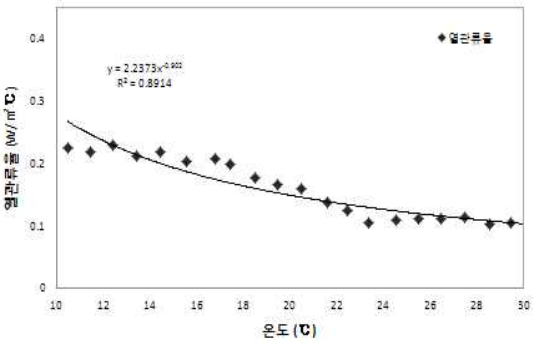
< (a) Base Model 벽체 열관류율 산정 결과 >



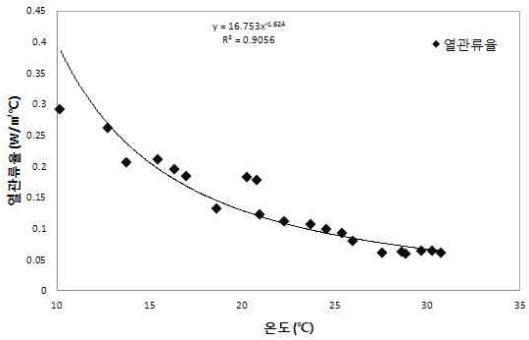
(b) 40 Model 벽체 열관류율 산정 결과



(c) 60 Model 벽체 열관류율 산정 결과



(d) 80 Model 벽체 열관류율 산정 결과



(e) 100 Model 벽체 열관류율 산정 결과

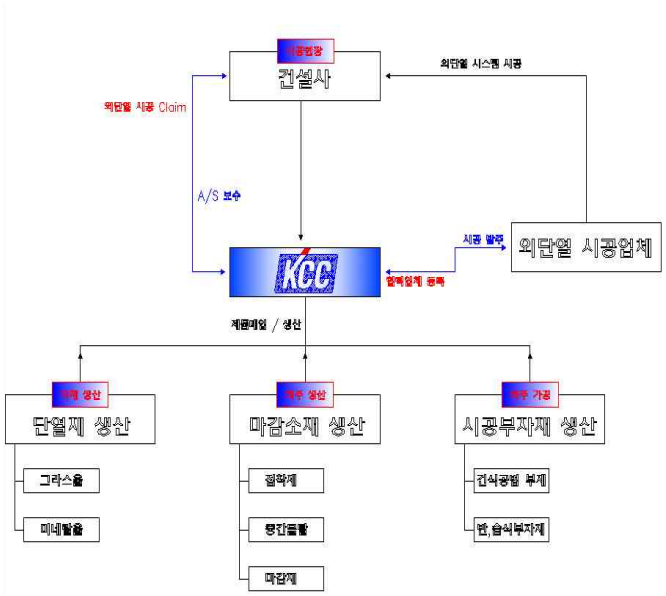
< 각 Model 별 벽체 열관류율 산정 결과 >

Model	설계 값	실측 값
Base	0.47	0.5
40	0.3	0.39
60	0.2	0.30
80	0.15	0.16
100	0.08	0.089

< Greenhome+ 구조체 열관류율(W/㎡K) >

(4) 연구개발결과의 활용계획

(가) 외단열시스템 사업화 방안은 아래와 같다.



3. 친환경 소재개발

가. 친환경 소재개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① 환경 및 에너지 문제 해결을 위한 대책으로 건물에서의 에너지 소비 저감을 위한 노력이 필요한 상황임.

② 국내 공동주택의 비율이 80% 이상 차지하고 있으며 아파트를 중심으로 한 공동주택의 계속적인 증가 추세가 이어지고 있는 상황에서 국내 공동주거에 형태에 적합한 현실적인 저에너지 모델 제안.

③ 정책 적용에 앞서, 단계별 성능 목표를 가진 4개의 통합형 모델을 제시하고 통합모델의 성능을 검증하고자 함.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 기존 공동주택의 에너지 소비형태 분석

㉮ 표준 공동주택의 에너지 소비 형태 분석

㉯ 재실자의 생활 패턴 조사를 통한 스케줄 분석

② pilot project를 통한 통합 성능 평가

㉮ pilot project 성능 모니터링을 통한 통합 성능 평가

㉯ 에너지 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 사용량 예측 및 세대별 비교 평가

(3) 연구개발결과

① 기존 공동주택의 에너지 소비형태 및 재실자 생활 패턴을 분석하여 기초 자료로 활용

② pilot project를 통한 통합 성능 평가

㉮ 건물성능분석 : 기밀, 환기 및 유리 성능을 분석하기 위하여 실험을 진행하여 문제점 파악 및 보완점 제시.

㉯ 모델별 냉난방 실험 : 하계, 동계 실험을 통하여 냉난방부하를 예측하고 실제 에너지 사용량을 비교 분석함. / 실험데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 통해 보정한 후 연간 냉난방 부하를 예측함.

③ 시뮬레이션을 통한 연간 에너지 소비 예측

㉮ 실험의 한계가 있어, 시뮬레이션을 통하여 냉난방에너지 뿐 아니라 조명, 환기, 신재생 에너지 등을 포함한 연간 에너지 소비를 예측함.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 요소 기술 및 통합 기술 교육을 위한 현장 교육 시설로 활용

② 관련 학술대회와 세미나 개최 연계

③ 추가 연구용역에 의한 연구수행

제 4 절 저에너지 친환경 공동주택의 설비적 요소

1. 복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발

가. 복사냉방 시스템 개발

1) 연구개발의 목적 및 필요성

환경 및 에너지 문제에 대한 국제적 관심 고조되고, 문제 해결을 위한 국제적 공동 대응이 적극적으로 추진되고 있는 가운데, 우리나라도 '저탄소 녹색성장' 정책 등 국가적 차원의 대응과 관련 연구개발 및 산업화 전략 추진 등의 민간 차원의 대응이 활발하게 논의・진행되고 있다. 특히 우리나라 부문별 최종 에너지 소비량 중 많은 비중을 차지하는 건물 부문(2008년 기준 전체 에너지 소비량의 22.4%)은, 산업화가 완료단계에 있는 선진국일수록 에너지 소비 비중이 증가하는 경향을 고려할 때, 에너지 소비 저감을 위한 적극적인 대책 마련이 필요한 영역이다. 특별히 건물에서의 에너지 소비량의 59.1%(2006년 기준)를 차지하는 냉난방에너지 소비 저감이 건물 부문의 에너지 소비 저감을 위해 가장 효과적이고 중요한 방안이라 할 수 있다.

삶의 질 향상으로 인한 냉방 수요 증가로 인해 현재 국내 공동주택에 개별 냉방 기기의 보급이 급속히 증가하고 있으며, 대부분 패키지에어컨이 적용되고 있다. 그러나 삶의 질 향상에 따른 쾌적 요구 증대와 에너지 문제에 대응하기 위해, 국내 주거에 일반적으로 적용되는 패키지에어컨의 전력 수요 및 냉방 불쾌적 문제에 대응할 수 있는 새로운 저에너지형 냉방시스템의 개발 및 보급이 필요하다.

구조체 축열을 이용한 복사냉방 시스템은 쾌적, 에너지 절감 가능성 등의 장점이 있는 시스템으로, 대부분의 공동주택에 온수 온돌 난방시스템이 적용된 국내의 경우 이를 활용하면 공간 활용, 자원 절약, 설비 투자 중복 회피 등의 추가적인 장점이 있으므로 기존 냉방시스템의 대안으로 바닥 복사냉방 시스템이 제안되었다.

현재의 연구 상황을 고려할 때, 바닥 복사냉방 시스템은 실제 적용을 앞두고 있는 상황이며, 따라서 본 연구에서는 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술로써, 바닥 복사냉방 시스템의 공동주택 적용 활성화를 위해 시스템의 실용화를 위한 설계・시공・운전 기술을 개발하고, 개발된 기술의 쾌적・제어・에너지 절약 성능을 검증하였다. 본 연구의 결과로, 국내 기후 및 공동주택 특성에 기반한 복사냉방 시스템 개발 및 적용을 통해 거주자의 쾌적성을 향상시킬 뿐 아니라, 공동주택 냉방에너지를 절감하는 효과가 기대된다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

연구개발의 내용을 정리하면 다음과 같으며, 아래 그림은 전체 연구 수행 체계를 보여준다.

① 기존 기술 분석, 부하 분석 및 용량 산정방안 도출

㉮ 복사냉난방 시스템의 요소기술 검토

㉯ 국내 공동주택의 부하 특성 분석 및 부하 배분 방안 도출

㉰ 통합형 복사냉난방 시스템 구성안 도출

② 복합존 시스템 구성안 및 연동 운전 기술 개발

㉮ 복합존의 복사냉방 시스템 구성안 도출

㉯ 쾌적, 결로 방지, 에너지 절약 성능 개선을 위한 복사냉방 시스템의 연동 운전 알고리즘 개발

㉰ 에너지 절감을 위한 고온 냉수냉방 전략 수립

㉱ mock-up 실험을 통한 실내 환경 평가 및 에너지 성능 분석

③ 설계 기술 개발 및 현장 적용

㉮ 복사냉방 시스템의 설계 절차 및 기준 도출

㉯ 제어 성능 향상 방안 도출

㉰ 통합 설계 / 엔지니어링 팀 지원을 통한 pilot project 구현

④ 현장 적용 결과 분석 및 시스템 보완

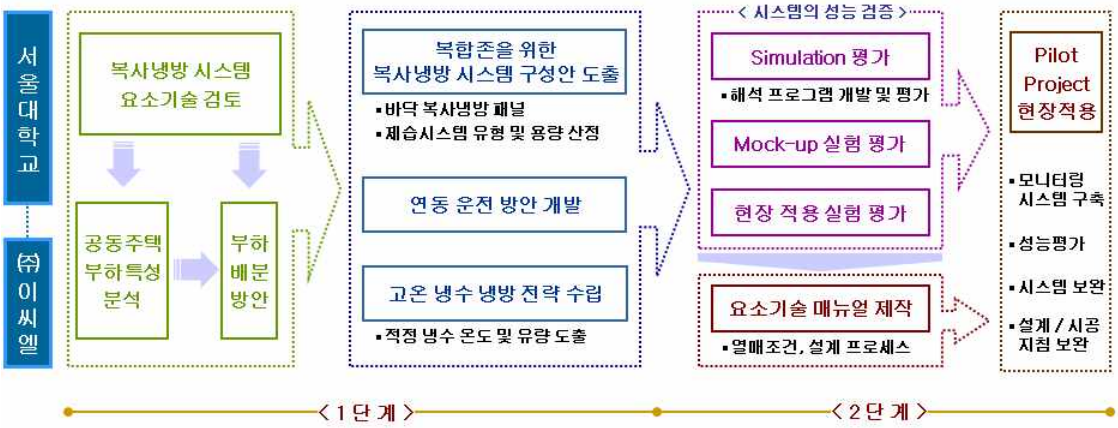
㉮ 현장 적용 결과 분석을 통한 시스템 성능 검증

㉯ 시공 지침 도출 및 요소기술 매뉴얼 제작

⑤ pilot project를 통한 시스템의 성능 평가 및 시스템 보완

㉮ pilot project 성능 모니터링을 통한 시스템의 성능 평가 및 시스템 보완

㉯ pilot project 모니터링을 통한 시스템 시공 및 운영지침 도출 / 보완



< 전체 연구 수행 체계 >

(3) 연구개발결과

① 기존 연구 성과 검토를 통한 복사냉방 시스템 적용상의 문제점 및 한계 분석, 해결 방향 설정(제습시스템 구성 방향, 제어 개선 방향)

㉮ 국내 기후 특성 상 전체 냉방 기간 중 30%는 결로 발생 가능

㉯ 쾌적과 표면 결로 방지를 고려한 바닥 복사냉방 시스템의 방냉량 한계

㉰ 바닥 표면온도의 쾌적을 유지하는 동시에 결로 방지 가능한 제어 필요

㉱ 국내 공동주택의 냉방부하 특성 분석 → 부하 유형 분류

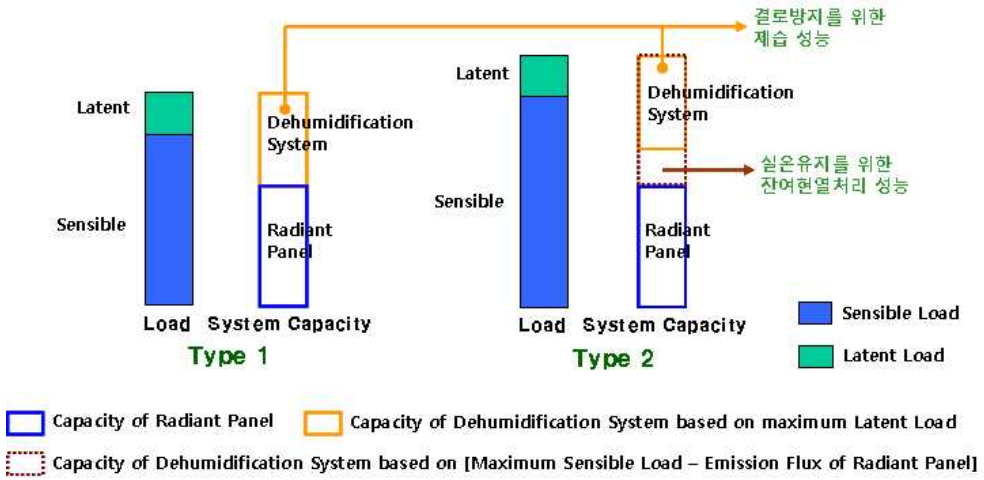
㉲ 각 부하 유형별 바닥 복사냉방 시스템의 쾌적, 결로 방지, 에너지 절약을 위한 시스템 구성 방향 도출

② 부하 유형별 제습용 보조시스템 구성방향, 용량 결정 방법 제시

㉮ 제습용 보조시스템을 위한 열매 조건 검토

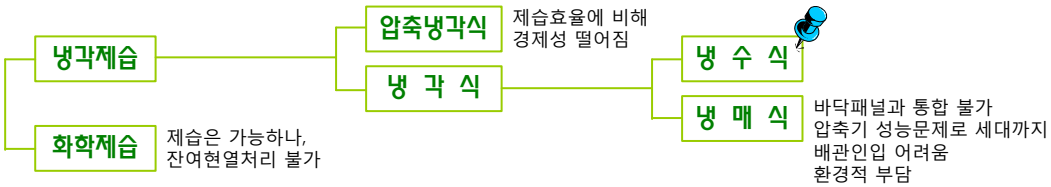
㉯ 부하 특성별 제습용 보조시스템의 운전 전략 수립 (부하 배분 방안)

㉰ 바닥 복사냉방 시스템 구성을 위한 요구 성능 분석



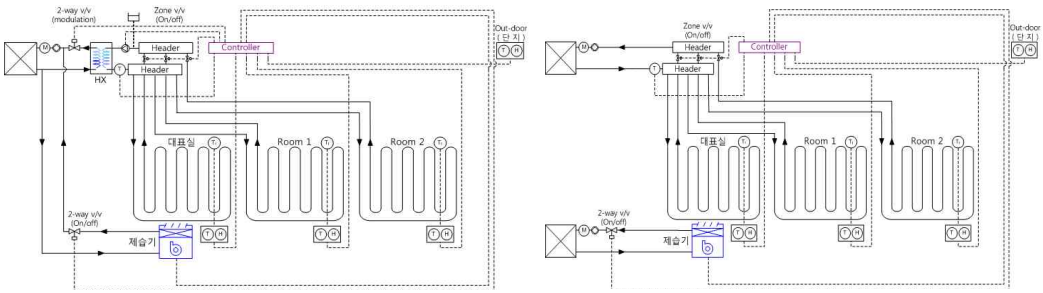
<부하특성 분석을 바탕으로 한 시스템의 요구 성능 분석>

㉮ 국내 공동주택의 부하 특성을 고려한 제습용 보조시스템의 유형 결정 : 제습 기능 + 잔여 현열 처리 기능 → 제습형 보조냉방기 (prototype 제작)



< 제습시스템의 유형 결정 과정 >

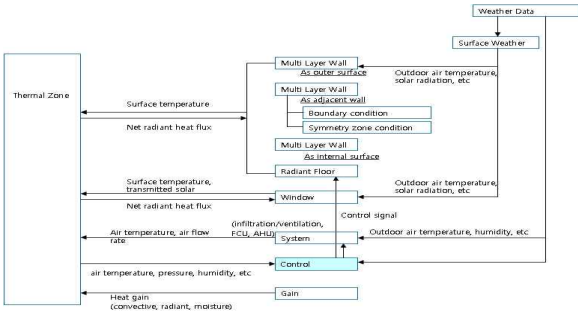
③ 단일존(single zone) 및 복합존(multi-zone)의 복사냉난방 시스템 구성안 도출



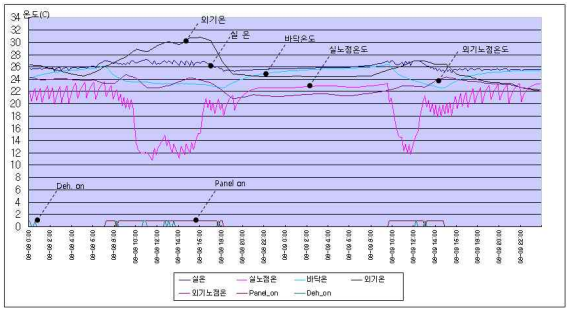
< 1 line system의 세대 내 구성 > <2 line system의 세대 내 구성>

④ 단일존(single zone) 및 복합존(multi-zone)을 위한 복사냉방 시스템의 제어 방안 도출

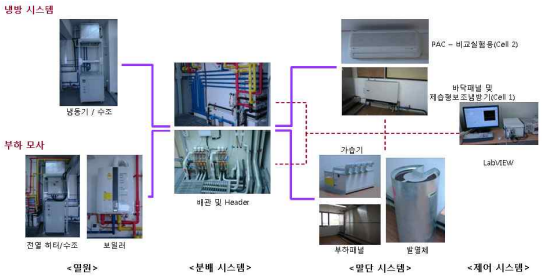
⑤ 시뮬레이션, 목업 실험(mock-up test)을 통한 시스템의 쾌적·결로 제어·에너지 절약 성능 평가



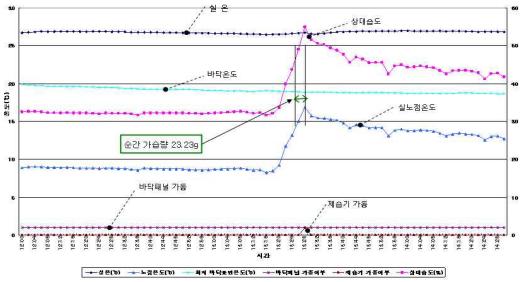
< 시뮬레이션 평가를 위한
해석 프로그램 개발 >



< 시뮬레이션에 의한 성능 평가 결과 >



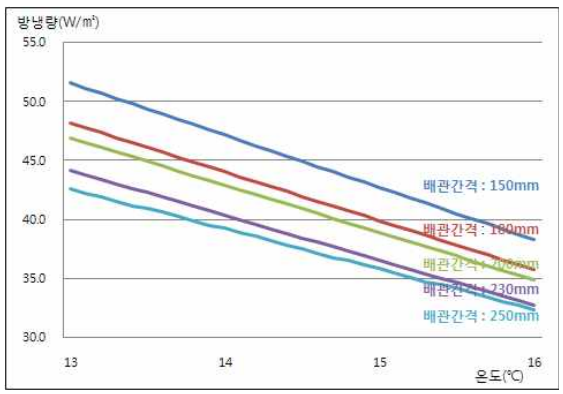
< mock-up 평가를 위한 시스템의 구성 >



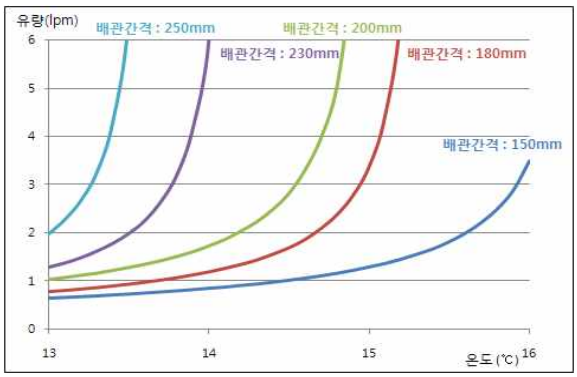
< mock-up 평가 결과-보통 크기의 부하 >

⑥ 복사냉방 시스템의 설계 절차 및 기준 도출

㉮ 바닥 복사냉방 적용을 위한 적정 열매 조건 도출 및 설계 자료화



< 공급냉수온도에 따른 방냉량
(배관 간격별) >



< 방냉량(40W/m^2) 만족시키기 위한
공급냉수온도와 유량 조합(배관 간격별) >

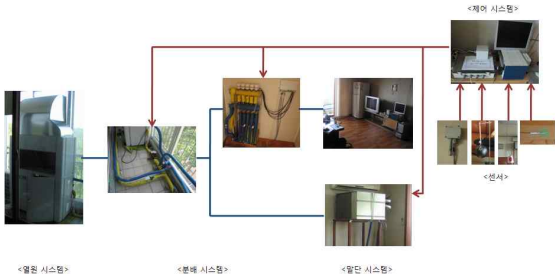
㉯ 바닥 복사냉방 시스템의 설계 절차 도출 및 요소기술 매뉴얼 작성

⑦ 현장 적용을 고려한 연동 운전 방안의 성능 검증 및 개선 사항 도출

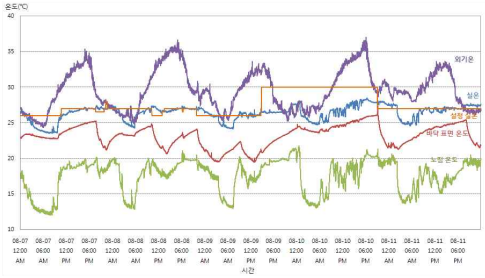
⑧ 현장 적용 거주실험을 통한 시스템의 성능 평가 및 검증

㉮ 거주 실험을 통한 운전자 조절 성향 분석 → 운전 지침 반영

㉯ 복사냉방 시스템 운전을 위한 복합존의 측정 / 제어점 도출



< 현장 적용 평가를 위한 시스템 구성 >



< 현장 적용 평가 결과-거실 >

⑨ pilot project 적용을 위한 시스템 구성안 및 시공 지침 도출

⑩ pilot project 시공 및 모니터링을 통한 바닥 복사냉방 시스템의 시공 지침 도출

⑪ pilot project 성능 모니터링을 통한 시스템의 성능 평가 및 시스템 보완

⑫ 바닥 복사냉방 시스템의 설계 및 운전자를 위한 시스템 운용 지침 도출

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 연구 개발된 바닥 복사냉방 시스템은 기술력·시공성·경제성 평가를 거쳐 실증 모델 검증된 기술이며, 해당 기술을 공동주택 모델의 상품화와 함께 제품화 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 연구개발 결과를 설계사·시공사(건설사)·일반인을 대상으로 적극 홍보하여 국내 신축 및 개보수 아파트 건설현장에 적극 적용되도록 할 수 있을 것으로 판단된다.

② 연구개발 결과의 구체적 활용 방안을 정리하면 다음과 같다.

㉮ 참여기업과 연계하여 관련기술의 실용화 기반을 조성 → 제품화

㉯ 실제로 세대 단위의 공동주택(복합존)에 적용된 시스템의 성능 평가를 통해 시스템의 성능 뿐 아니라 기술력과 시공성에 대한 신뢰성을 확보하여, 향후 해당 요소기술의 공동주택 적용 활성화를 위한 기술적 기반 제공

㉰ 개발된 요소기술을 현장에 적용하기 위해 설계자 / 시공자가 설계와 시공단계에서 활용할 수 있는 설계 process 및 기준을 제시하여 요소기술의 실용화를 위한 기술적

기반 제공

㉱ 에너지 절약적이며 친환경적 냉·난방 시스템으로써 보급이 활성화 될 경우, 관련 부품 생산업계와 자동제어 업계에 새로운 수익 모델을 제공.

나. 냉난방 요소 시스템 및 제어 기술 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

① HVAC 시스템은 주거 및 산업에서 보편적으로 50% 이상 사용되는 온습도 제어 시스템이다. 안락하고 쾌적한 주거문화를 원하는 사회적인 분위기가 확산되면서 HVAC 시스템과 같이 건축에 적용할 수 있는 제어기법이 주목을 받고 있다. 아직은 고전적인 제어기법이 많이 사용되는 상황이며, HVAC 시스템의 에너지 효율을 높이기 위해서 많은 제어 기법이 개발되었다. HVAC 시스템은 복잡한 비선형적 특성을 가지고 있어, 고전적 PID 제어나 직접적 디지털 제어 방법이 한계가 있음에도 불구하고 현장에 많이 이용되고 있는 실정이다. 고전적 PID 제어나 직접적 디지털 제어 방법은 오랜 기간 사용 시 에너지 효율이 많이 떨어지는 단점을 가지고 있다. HVAC 시스템의 비선형성을 고려하여 PID 같은 선형제어 보다는 상태 관측기를 사용한 적응퍼지 제어와 같은 비선형 제어가 필요하다. 환경 변화에 적응할 수 없는 PID 같은 고전적인 제어기법은 오버슈트나 언더슈트에 의한 에너지 사용의 비효율성을 개선시키는데 한계가 있을 수밖에 없다. 따라서 적응퍼지와 같은 지능형 제어기법을 여러 비선형적인 요소를 가지는 시스템에 적용하여 에너지 효율을 높이고 반응속도를 개선시키는 노력이 필요하다.

② 현재 국내 대부분의 주거환경에서는 보편적으로 바닥 복사 난방 시스템을 사용하고 있다. 이 방법은 바닥의 열선에 일정온도의 물을 공급하여 난방을 하는 방식으로 열전도에 의한 복사난방과 대류난방을 겸하고 있다. 바닥 난방 시스템은 그동안 많은 구조적 발전을 이루어왔음에도 불구하고, 개폐식 뱅뱅 제어(On/off Bang-Bang Control)를 그대로 사용함으로써 설정온도 이상의 불필요한 열량이 공급되는 문제점을 가지고 있다. 환경변화에 적응하지 못하는 뱅뱅제어 보다는 실외온도와 실내온도와 같은 환경요소 변화에 따라 on/off 시점을 예측하여 난방 시스템을 제어하는 퍼지 외기보상제어기가 더욱 유용하다.

기존 바닥복사 난방에 의한 온도 상승 대비, 태양복사에너지에 의한 온도 상승이 크기 때문에 태양복사에너지 등의 외란을 고려한 지능형제어 알고리즘 설계도 에너지 효율면에서 큰 의미를 가진다.

또, 바닥복사 난방시스템이 온도 변화가 급격하지 않은 시스템이라는 것을 감안하였을 때, 센서오차를 ±0.5°로 하는 것은 에너지 효율면에서 큰 문제점을 가지고 있다. 센서의 오차를 줄이기 위해서 센서오차가 적은 센서를 사용하면 비용의 상승이 있기 때문에 이를 소프트웨어적으로 해결하려는 노력은 중요한 의미를 가진다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 관측기를 이용한 비선형 HVAC 시스템의 적응 퍼지 제어

㉮ 모델링된 HVAC 시스템의 선형화

㉯ 선형화된 HVAC 시스템의 확장형 모델 설계

㉰ 상태 관측기를 사용한 적응퍼지 제어기 설계

② 바닥복사 난방시스템의 퍼지외기보상제어기 개발

㉮ Case#1 : Bandgap 기반의 퍼지외기보상제어

- 지능형 제어에 있어 무게을 중심 외기에 의한 실내온도의 변화에 크게 둠.
- 입력으로 실내와 외부 온도를 사용하고 두 가지 입력의 관계 따른 Fuzzy Rule 제작
- Rule을 통해 나온 결과를 사용하여 보일러 제어의 기준이 되는 Bandgap의 크기를 조절

㉯ Case#2 : Multivariate temperature difference 기반의 퍼지외기보상제어(Ⅰ)

- 건물의 외벽에 의하여 외기온도가 실내온도 변화에 미치는 영향이 다소 크지 않다는 정을 기반으로 하여 알고리즘 구성
- 현재 실내온도 - 설정온도와 최근 20분 동안의 온도 변화량 두 가지를 입력으로 사용
- 두 가지 입력 변수의 관계를 통해 Fuzzy Rule 제작함으로써 가동시간을 결정
- 외기온도에 의한 효과를 데이터 분석을 통해 Fuzzy system에 가중치를 변화시키도록 적용

㉰ Case#3 : Multivariate temperature difference 기반의 퍼지외기보상제어(Ⅱ)

- Case#2에서 설계한 제어기를 실제 건물에 적용하여 데이터 수집
- 데이터를 바탕으로 Fuzzy membership function tuning

(3) 연구개발결과

① 관측기를 이용한 비선형 HVAC 시스템의 적응 퍼지 제어

㉮ 본 연구에서는 모델링된 HVAC 시스템의 선형화를 먼저 하고, 선형화된 HVAC 시스템의 확장형 모델을 설계하였다. 이를 바탕으로 관측기를 이용한 비선형 HVAC 시스템의 적응 퍼지 제어기를 개발하였다. 비선형 HVAC 시스템에서의 높은 에너지 효율을 가질 수 있는 관측기를 이용한 적응퍼지제어를 제안하여 기존의 피드백 제어와 비교하여 성능 평가하였다. 그 결과 적응퍼지제어의 경우 응답속도가 빠르게 설정 온습도에 도달하고, 오버슈트에 대해서 강인함을 보이고, 에너지 절감 효율을 높일 수 있었다.

② 바닥복사 난방시스템의 외기보상제어

㉮ 본 연구에서는 기존의 제어시스템에 Fuzzy Algorithm을 기반으로한 외기보상 제어기법을 제안하고 에너지 성능 평가 실험을 수행하였다. Bandgap 기반의 퍼지외기보상 제어기는 시뮬레이션에서 에너지 절감효과를 보였지만, 현재 센서기술이 Bandgap 기반의 퍼지외기보상 제어기가 요구하는 정밀도를 충족시키지 못하고 건축학적인 특성상 적용에 한계를 보였다. 이런 문제점을 해결하기 위해 Multivariate temperature difference 기반의 퍼지외기보상 제어기를 새롭게 설계하였다. Bandgap 기반의 퍼지외기보상 제어기가 현재온도와 외부온도 두 가지 입력을 사용하는 것과 달리 Multivariate temperature difference 기반의 퍼지외기보상제어는 기준온도와 현재온도의 온도차, 현재온도와 이전온도의 온도차, 이 두 가지를 입력으로 사용하였다.

건물의 외장 벽재의 소재가 발전하고 열손실이 줄어듦에 따라 외기의 영향력이 감소여 외기에 의한 효과를 줄이고 실내온도와 설정온도의 차이 그리고 실내온도의 변화율을 제어하는 알고리즘이 유효하다는 것을 알게 되었다. 지능형 Fuzzy 알고리즘을 사용하여 온도 변화 추이와 현재 온도를 Rule에 따라 제어함으로써 온도 상승 및 하강시 설정온도에 도달하기 이전에 예측 제어하고, 온도 하강시 보다 상승시 열관성이 크게 작용하므로 이에 가중치를 크게 하고. 낮 시간대에 존재하는 외기에 의한 오버슈트를 제거하기 위하여 이 부분에 외기 보상 가중치 변화를 통한 제어를 하는 Multivariate temperature difference 기반의 퍼지외기보상제어기를 on-off제어와 비교하였을 때 기준온도를 보다 잘 유지하고 오버슈트와 언더슈트를 줄여 에너지 절감효과를 보였다. on-off 제어와 비교하여 안방은 보일러 가동시간이 1/2, 에너지 효율로 환산하였을 때 51%의 에너지 저감효과가 있었고, 침실1의 경우 보일러 가동시간이 1/4, 에너지 효율로 환산하였을 때 70%의 에너지 저감효과가 있었고, 침실2의 경우 보일러 가동시간 1/2, 47%의 에너지 저감효과, 침실3의 경우 1/2, 56%의 에너지 저감효과를 거두었다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 비선형 HVAC 시스템에서 온습도를 제어하기 위한 적응 퍼지 제어방법을 디지털 제어 방식으로 변환하여 마이크로프로세서의 미들웨어개발과 각 요소의 특성에 따라 달라지는 제어 알고리즘을 보완하여 소비자에게 공급할 수 있다.

온습도 제어 뿐만아니라 환경변화에 민감한 다양한 상황에서 관측기를 이용한 적응 퍼지제어 기법을 적용할 수 있을 것이다.

② Multivariate temperature difference 기반의 퍼지제어알고리즘을 적용하여 내기 및 외기에 따라 높은 에너지 효율을 가질 수 있고, 기존의 제어기법 보다 향상된 제어기법을 제공하여 실질적인 사용자가 쾌적한 실내환경을 유지할 수 있도록 활용할 수 있다. 또한, 퍼지제어알고리즘에는 센서의 오차를 줄일 수 있는 알고리즘이 들어있어, 실제 현장에서 값싼 센서를 사용하였을 때의 문제점을 보완하였다. 향후 일반 주택이나 아파트 등에서 상용화 할 수 있을 것으로 기대된다.

공동주택에서의 지능제어기술이 적용되어 에너지 절감 및 쾌적한 온도에 기여하고, 설정온도 유지 및 가동시간을 감소로 인한 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다. 다변수 온도차 제어를 함으로써 상황변화에 따른 예측제어가 가능해지고, 난방 뿐만 아니라 냉방 및 습도제어에도 본 알고리즘을 적용할 수 있을 것이라고 기대할 수 있다.

2. 저에너지 친환경 공동주택의 환기 시스템의 개발

가. 환기 시스템의 개발

(1). 연구개발의 목적 및 필요성

환기시스템은 실내공기환경의 개선과 에너지 소비량의 증가라는 상반된 두 가지 입장을 가지고 있으며 이를 동시에 만족시킬 수 있는 에너지 절약형 환기시스템의 개발이 요구되고 있다. 현재 가장 주목받고 있는 환기시스템의 에너지 절약방안으로는 별도의 에너지를 필요로 하지 않는 자연환기를 최대한 활용하는 것이다. 그러나 자연환기는 일정한 환기성능을 발휘하기 힘들기 때문에 기계환기와 병행하는 하이브리드 환기시스템이 대안으로 제시되고 있다. 이를 위해서는 기존의 덕트시스템 방식은 덕트의 압손 등으로 자연환기 성능을 기대하기 어려움으로 초기비용을 절약하고 층고를 확보할 수 있는 비덕트방식의 급배기시스템의 개발이 필요하다. 또한 우리나라의 기후특성 상 외기의 냉/열기 유입으로 인한 온열쾌적감 저하, 결로방지 등의 문제에 대한 해결방안이 요구된다.

또한 효율적인 환기시스템을 개발하고 적용하기 위해서는 환기시스템의 성능을 평가할 적절한 평가방법이 필요하다. 그러나 현재 환기성능을 평가하는 방법은 환기유닛의 성능을 평가하는데 그

치고 있다. 따라서 환기장치의 성능 뿐만 아니라 환기의 불균형 등 환기시스템 전체에 대한 적절한 평가를 할 수 있는 평가기법의 개발이 필요하다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 효율적인 환기장치 관련 요소기술의 개발

㉮ 환기시스템의 에너지소비 중 대부분을 차지하고 있는 송풍 에너지의 절감을 위한 요소기술의 개발

㉯ 자연환기 시 외기의 직접적인 실내유입으로 인한 온열쾌적감의 저하를 방지할 수 있는 요소기술의 개발

② 환기시스템 평가기법 제시

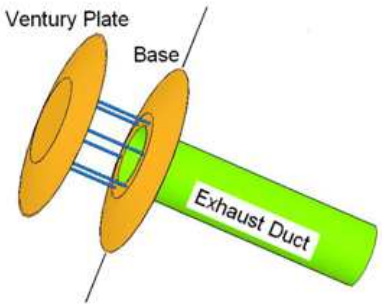
㉮ 환기시스템의 성능과 적용성을 평가하기 위한 환기시스템 성능평가기법을 제시

(3). 연구개발결과

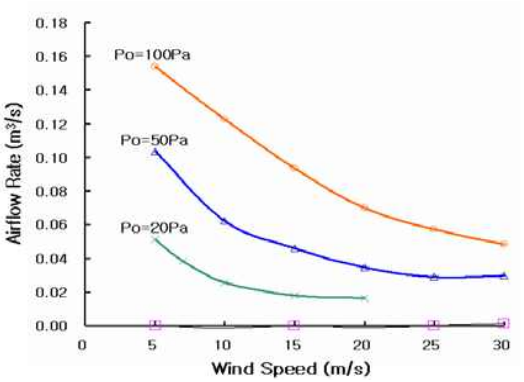
① 효율적인 환기장치 관련 요소기술의 개발

㉮ 배기성능 향상을 위한 벤투리 환기캡 개발

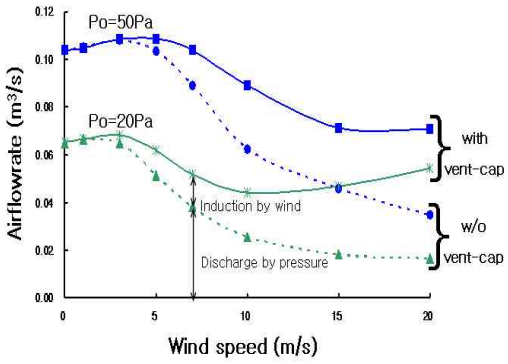
기계적인 동력을 이용하지 않고 자연환기력을 이용하는 방법에는 실내외 온도차에 의한 수직방향의 연돌효과를 이용하는 방법과 바람에 의한 풍압을 이용하는 방법이 있다. 중간기에는 연돌에 의한 효과가 그리 크지 않고 바람의 방향과 세기는 시시각각 변화하는 등 일정한 자연환기력을 유지하기 어렵다. 심지어 방향이 바뀌면 양압과 음압이 번갈아 작용할 수 있다. 배기구 말단에 벤투리 형상의 환기캡을 설치하면 건물 외벽의 바람을 이용하여 배기 시 추가적인 배기력을 확보할 수 있다. 벤투리캡은 아래 그림과 같이 벤투리 형상으로 설계한 환기구 말단에 설치하는 요소기술로서 건물 외벽측에 설치된다. 건물 외부에서 부는 바람의 풍압을 이용하여 환기구 내의 압력을 낮추어 송풍기 부하를 줄여줌으로써 배기성능을 향상시킨다.



< 벤투리 효과를 이용한 말단 환기캡 >



< 환기캡이 설치되지 않을 때 >



< 환기캡이 설치되었을 때 >

위 그래프는 토출압력변화에 대한 토출풍량 변화를 환기캡이 설치되었을 경우와 없을 때를 나타낸 그래프이다. 환기캡이 설치되지 않는 경우와 환기캡이 설치된 경우의 토출풍량 차이는 벤투리 효과와 환기캡이 수직으로 부는 바람의 속도성분을 차단하는 효과가 중첩되어 나타난 결과이다. 환기캡이 없는 경우 풍향이 50° 이상에서는 음의 토출풍량 즉 역류현상을 보이는 반면 환기캡이 설치된 경우에는 80° 이상에서 역류현상을 보인다.

㉯ 콜드드래프트 방지를 위한 외기도입구 개발

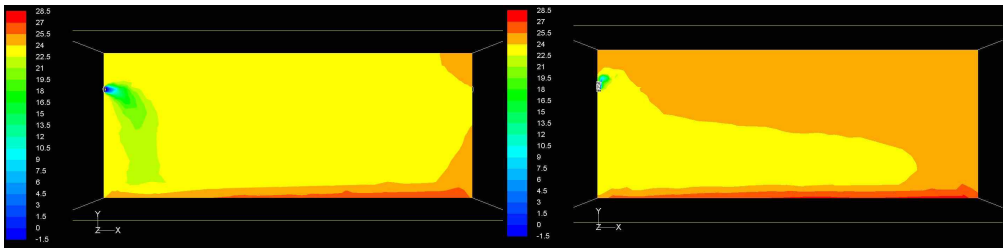
자연환기는 외기의 온도와 풍속 그리고 실내외의 압력차에 직접적인 영향을 받게 된다. 또한 실내외의 압력차가 아주 큰 초고층빌딩과 같은 경우에는 지나친 외기도입으로 인한 심각한 드래프트현상이나 소음 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히 좌식생활을 하는 우리나라나 일본과 같은 경우에는 겨울철 환기 시에 외기도입으로 인한 콜드드래프트현상은 온열쾌적감을 크게 손상시킬 수 있다. 콜드 드래프트현상은 차가운 외기가 실내로 유입될 때 실내외 공기의 밀도차에 의해 차가운 외기가 바닥으로 가라앉는 현상으로 창가 주위의 낮은 공기온도에 의해 실내기류 패턴이 변해 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 발코니에서 일차적으로 공기를 가열하여 유입하는 방법이 있지만 발코니가 없는 구조인 경우 불가능한 대안이다. 입식생활을 하는 지역에 경우 라디에이터 등과 같은 난방기구를 외기도입구 측에 설치하여 콜드 드래프트현상을 방지하고 있지만 온돌을 사용하는 우리나라에서는 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 외기도입구의 실내측에 디퓨져용 캡의 형상변화를 통하여 겨울철 차가운 공기가 실거주공간에 직접적으로 닿지 않게 하고 기류를 넓게 퍼지게 하여 따뜻한 실내공기와 열교환이 보다 잘 이루어지게 하였다.



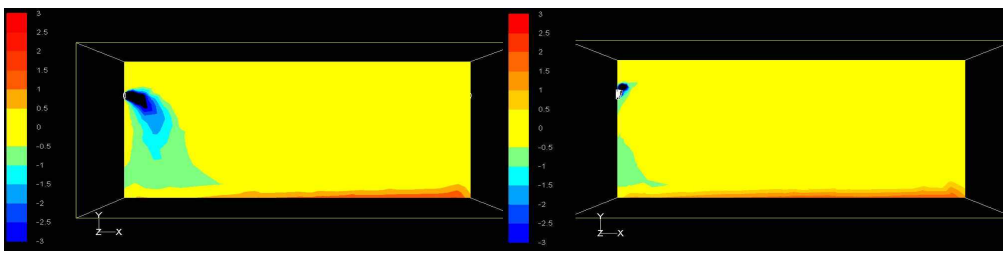
< 콜드 드래프트 방지를 위한 외기도입구 >

콜드드래프트 방지를 위한 외기도입구를 설치하지 않은 경우(Case 1)와 설치한 경우(Case 2)에서 온도분포, 예상온열감(PMV), 유효드래프트온도(EDT)를 비교한 그림이다.



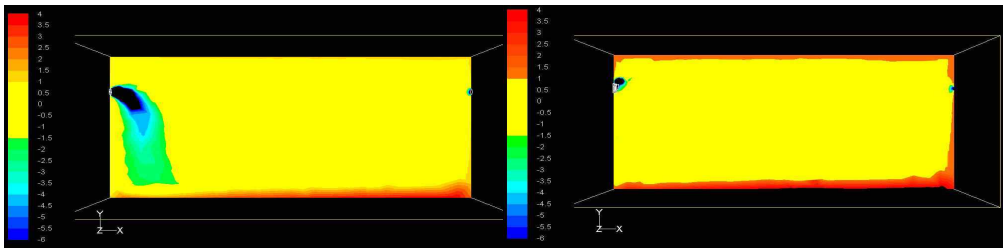
(a) Case 1 (b) Case 2

< 온도분포 >



(a) Case 1 (b) Case 2

< PMV분포 >



(a) Case 1 (b) Case 2

< EDT분포 >

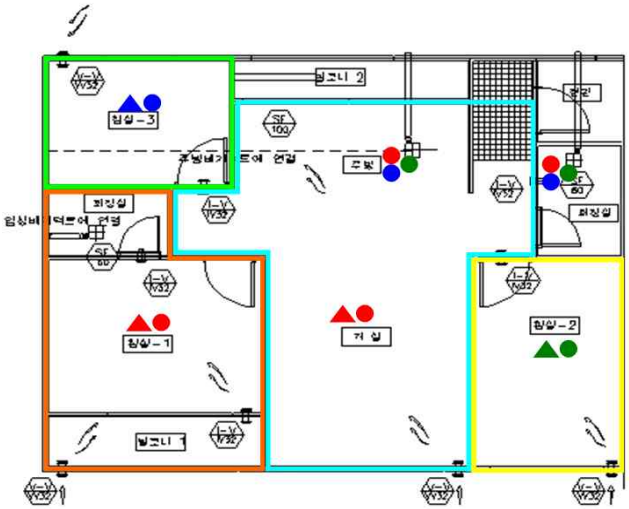
온도 분포 및 PMV, EDT들의 인자들은 각 Case에서의 실내온열환경에 대한 평가를 보여주고 있다. 특히 Case 2의 실내 온열환경이 더욱 쾌적한 실내 온열환경을 보여주고 있으며 Case 2에서는 콜드 드래프트를 방지할 수가 있다. 전체 체적에 대한 PMV와 유효 드래프트온도(ADPI)를 계산하여 얻은 결과는 본 연구에서 개발한 외기도입구의 PMV는 10%, ADPI는 13%의 쾌적공간이 더 큰 것으로 나타났다.

② 환기시스템 평가기법 제시

㉮ 추적가스를 이용한 실간환기량 측정기법

기존의 주택환기에 대한 평가는 실내외의 공기교환을 주로 하였으며 세대의 실을 구분하지 않고 하나의 Zone으로 취급하였다. 이러한 방법은 세대 내에 실이 많을 경우 적절한 환기량 평가가 어렵고 실별 환기량의 불균형을 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 단일 Zone이 아닌 세대의 각 실을 개별적인 Zone으로 취급하여 실험모델로 설정하고, 각 Zone에 서로 다른 추적가스를 주입하는 멀티추적가스법을 사용하여 실내외, 실간환기량을 산정하고 분석방법을 제시한다.

Case 1의 실험은 외기도입구와 인터벤트는 모두 폐쇄하고 팬은 가동시키지 않은 경우이고, Case 2의 실험은 외기도입구와 인터벤트는 개방하고 팬의 가동시키지 않은 경우이다. 그리고 Case 3는 외기도입구와 인터벤트를 개방하고 팬을 가동한 경우이다. 사용된 추적가스는 SF6, R134a, CO2를 사용하였다.



<추적가스 주입지점과 측정지점>

농도측정 결과를 바탕으로 각 Zone의 환기횟수를 산정한 결과를 나타내었다. 기밀도 측정인 Case 1은 평균 환기횟수 0.04회/hr로 기밀하다고 판단된다. 따라서 Case 2, 3의 실험에서 누설면적에 의한 영향이 크지 않았음을 알 수 있다. Case 2의 자연환기 평가는 외부 기후의 영향이 크므로 정확한 평가는 어렵지만 평균 환기횟수 0.07회/hr이고 거실과 각 실간의 환기량은 침실3이 가장 작게 나타났다.

Case 3의 기계환기 평가는 평균 환기횟수 1.3회/hr이고 Case 2와 마찬가지로 침실3이 가장 작게 나타났다. 이는 침실3이 다른 실과 외기도입구의 방향이 반대로 설치되어 있어 외기의 영향을 반대로 받기 때문으로 판단된다.

Zone	환기횟수(회/hr)		
	Case 1	Case 2	Case 3
거실-침실1	0.04	0.08	1.2
거실-침실2	0.02	0.09	1.8
거실-침실3	0.04	0.05	0.9
평균	0.04	0.07	1.3

< 각 실간의 환기횟수 >

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 별도의 에너지가 필요하지 않은 환기캡과 외기도입구를 통해 환기유닛의 종류에 관계없이 활용가능하고 생산비용과 시공비가 저렴함으로 보급형 주택에 쉽게 적용할 수 있다.

② 추적가스를 이용한 실간환기량 측정기법을 개발하여 환기시스템의 성능을 보다 현실적으로 평가하여 보다 효율적인 환기시스템을 개발하는데 기여할 수 있다.

나. 환기필터 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

저탄소 녹색성장에 기반한 공동주택의 개발에 있어서 실내공기환경의 개선과 에너지 소비량의 감소라는 상반된 두 가지 입장을 동시에 만족시킬 수 있는 에너지 절약형 환기시스템 및 필터에 대한 개발이 요구되고 있다. 따라서 기존의 공동주택에 적용되고 있는 기계환기 및 자연환기를 혼합한 하이브리드 환기에 대한 에너지 절약적 운용 방안의 개발이 필요하고 외기조건에 따라 냉방 및 환기의 통합적 제어에 의한 연중 에너지 사용량 절감이 요구되고 있다. 이와 더불어 한국형 하이브리드 환기설비를 홈 오토메이션과 연동되는 자동화 요소와 국내의 기후특성에 따른 자연환기겸용의 열교환 환기장치의 검토가 에너지 절약과 확산보급 차원에서 필요하게 되었다. 이를 위하여 한국형 환기설비 규격에 필요한 환기설비 설치 위치, 외기의 냉/열기 방지, 결로방지, 저소음, 열회수에 대한 최적화 요소가 필요하고 초기 설치공사비 절감을 위해 비덕트방식의 급배기시스템 개발도 필요한 실정이다.
위에서 언급한 공동주택에서의 환기에너지 절약요소에 대한 개발뿐만 아니라 실내를 거주자의 쾌적도에 맞출 수 있는 실내공기질 기술도 중요한 개발요소이다. 이와 더불어 실내 적정환기량에 대한 연구를 수행하여 저에너지 찬환경 공동주택에서 지향해야 하는 적정 환기량 및 필터효율에 대한 연구도 필요하다 볼 수 있다. 본 연구에서는 미래공동주택에서의 적정 환기량 및 필터효율에 대한 제시뿐만 아니라 한국형 환기설비에 포함되는 고성능 필터를 개발하고자 하였다. 필터의 성능은 실내공기질을 제어하는 입자제거 성능과 에너지소비를 줄이는 압력손실 성능으로 나눌 수 있다. 우수한 필터는 입자제거는 잘하고 압력손실이 적은 것이다. 이와 같은 성능을 구현할 수 있는 필터를 개발하기 위해서는 먼저 실내 적정환기량에 대한 연구를 수행되어 필터의 입자제거성능과 압력손실을 줄일 수 있는 연구가 필요하다. 그리고 필터의 성능을 최적화할 수 있는 기법을 개발하여 환기필터의 성능을 극대화할 수 있는 토대를 마련하는 것도 중요하다. 이러한 선행연구를 바탕으로 덕트 단말에 설치가 가능하고 필요에 따라서는 자연환기구에 설치가능한 저에너지 친환경 환기필터를 개발하여 미래의 공동주택에 적용할 수 있는 제품을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

(2) 연구개발의 목표 및 범위

1) 최종연구 목표

국내의 주거문화와 기후특성에 적합한 최적 청정환기필터 개발.

① 저압손 급기구의 요소기술 개발

② 저에너지 찬환경 공동주택의 적정 환기량 및 필터효율 제시

③ 환기 설비 적용 medium 필터 기술 개발

④ 현장적용 실험 (Mock-up test) 및 시뮬레이션

⑤ 환기 및 필터시스템 요소기술 매뉴얼 개발

⑥ 그린홈플러스 적용 실내공기질 및 환기에너지 평가 및 분석

2) 연구범위

가) 1차년도: 특성분석 및 요소기술의 개발

① 세부 목표의 확립과 요소기술의 특성분석

㉮ 개발 시스템의 요소별 특성파악 및 적용을 위한 규격 분석

㉯ 공기정화장치의 오염제거특성 및 평가방법 분석

② 기기관련 요소기술의 개발

㉮ 저압손 급기구의 요소기술 개발

㉯ 고효율 저압손 장수명 입자 및 가스제거 필터의 요소기술 개발

나) 2차년도: 청정 환기장치의 개발 및 성능평가

① 저에너지 청정 환기필터의 개발

㉮ 고효율 저압손 장수명 공기정화장치의 개발 (분진제거필터)

㉯ 청정환기장치의 제어기 개발

② 현장설치 적용성 연구 (평가 방법 및 기준 제시)

㉮ 실내환경 및 에너지 소비에 대한 평가

㉯ 유형별 환기설비 설치기준의 제시

㉰ 실내 Mockup 실험 및 측정기법 확립

㉱ 설치관련 시뮬레이션

다) 3차년도: 청정 환기시스템의 개발 및 현장적용

① 현장적용 실험의 수행 및 시뮬레이션

㉮ 현장적용 실험 (Mock-up test)

㉯ 현장 시뮬레이션

② 운용매뉴얼 작성

㉮ 환기 및 필터시스템 요소기술 매뉴얼

③파일럿 프로젝트 모델 제시

㉮ 적정환기량 및 에너지절감모델 제시

㉯ 적정필터 효율 제시

라) 4차년도: 청정 환기시스템 개발 통합 및 평가

①청정 환기설비 통합의 타당성 검토 및 개선

㉮ 현장실험결과의 분석

㉯ 시뮬레이션 검증을 통한 최적화 및 보완

㉰ 그린홈플러스 실험 계획

② 통합 기술 평가에 의한 기술보완 및 완성된 기술의 산업체 교육 및 기술이전

㉮ 개발 시스템의 최적화된 설치규격에 관한 교육

㉯ 환경변화에 따른 시스템 적응 교육

③ 사업화 추진

㉮ 제안서(표준도면, 시방서)작성

㉯ 관련 기술 특허 확보 및 제품화

마) 5차년도: 그린홈플러스 적용 평가

① 실내환경 및 소요에너지의 분석

㉮ 그린홈플러스 적용 실내공기질 및 환기에너지 평가 및 분석

(3). 연구개발결과

① 실내 입자농도 모델링 및 환기에너지 소비량 예측

㉮ 입자발생, 외부 입자유입, 침기, 벽면 입자침착, 입경별 집진효율, 환기효율, 교차오염 등을 고려하여 공동주택 내부 입자농도를 모사할 수 있는 Mass Balance Model 개발

㉯ 덕트 길이 및 필터효율, 열교환기의 압력손실을 고려한 환기에너지 소비량 예측 모델 개발

㉰ 공기청정기 및 CO2 농도를 바탕으로 한 실내 입자 및 가스 balance model 개발

② 필요환기량 및 필터 적정효율 산정

㉮ 입자농도를 바탕으로 한 적정 환기량: 0.4회/h

㉯ 가스농도를 바탕으로 한 적정 환기량: 0.5회/h

㉰ 150~300m^3 크기 공동주택의 필요 환기량 산정: 0.5회/h

㉱ 공동주택의 크기가 감소할수록 필요 환기량 증가

㉲ 환기시 외부유입 및 내부발생 입자를 효과적으로 제거하기 위한 필터효율 산정: MERV11

㉳ 환기량이 증가함에 따라 필터의 성능은 팬동력 소비량에 점차적으로 영향을 미침.

㉴ 공동주택의 적정 환기량에 대해서는 필터의 성능이 팬동력 소비량에 큰 영향을 미치지 못하였고 이는 고성능 필터의 사용에 따른 압력손실이 덕트 및 열교환기에서의 압력손실에 비해 매우 작기 때문임.

③ 저에너지 소비형 필터 설계기법 및 최적화 알고리즘

㉮ 필터에서의 입자 집진 및 압력손실 이론을 이용하여 임의의 집진효율에서 에너지 소비를 최소화할 수 있는 최적화 알고리즘 개발

㉯ 실험결과, 최적화 알고리즘에 의해 예측된 모델과 잘 일치하는 결과를 얻었음.

㉰ 개발된 알고리즘을 이용하고 저에너지 친환경 환기필터용 적정 파이버 직경 및 충진율 산정이 가능

④ 저에너지소비형 환기필터 유닛 개발

㉮ (주)벤토피아와 공동으로 플리머필터(MERV12-13)를 개발

㉯ 0.5㎛ 입경의 집진효율: 40~60%

㉰ 압력강하량: 운전조건(1.0m/s-2.0m/s)에서 30Pa 이내

㉱ 기존 미디움급 필터(동일한 집진효율)에 비해 압력강하가 적어서 저에너지 성능이 우수

㉲ 동일한 압력강하를 갖는 프리필터급에 비해 집진성능이 매우 우수

㉮ Mock-up test 결과 입자 및 미생물 제거성능 우수

㉯ CFD를 이용하여 에너지 소비를 절감할 수 있는 설치기법 개발: 수직형보다 수평형 설치가 압력손실 절감에 유리

⑤ 그린홈플러스 적용평가

㉮ 친환경성 성능: 상위 모델로 갈수록 base 모델에 비해 입자제거 성능이 우수.

㉯ 저에너지 성능: 팬의 개수를 고려한 경우 상위모델로 갈수록 에너지 절감효율 우수.

㉰ 60, 80, 100%절감모델에서 저에너지 친환경성 우수 : 에너지절감이 우수한 모델일수록 입자제거효율(친환경성능)은 우수하고 환기에너지 소비량 일정(저에너지 성능 우수)

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 추가 연구에 활용

㉮ 덕트 단말 필터(플리머필터)의 효율 향상

현재 공동주택의 환기필터는 주택성능 1등급 필터의 기준인 0.5㎛의 입경에서 90%의 집진효율을 만족해야 한다. 이를 위해서는 최근에 연구가 활발하게 진행되고 있는 블러쉬 타입 이오나이저를 이용하여 플리머 필터의 전단에서 입자를 하전하거나 필터를 하전하는 방법이 있다.

㉯ 에너지 절약형 하이브리드 환기시스템 개발

공동주택에서 실내 환경 쾌적성을 만족시키기 위해서는 열적 조건인 온도(20~26℃)와 환경조건인 CO2농도(1,000 또는 1,500ppm)가 기준치를 만족시켜야 한다. 환기에너지 비용을 최소화하고 온도 및 CO2농도의 실내 환경 쾌적성 기준을 만족시키기 위한 최적환기 운전모드를 개발하는 것은 필요하다.

② 사업화 방안

㉮ 사업화를 목적으로 건설회사와의 적극 협력 추진

㉯ 저에너지 친환경 환기필터 설계기술 참여기업에 기술 전수

㉰ 공기유동해석 분야의 전문 연구인력양성에 적극 활용

㉱ 요소 부품개발(열교환막, 모터, 덕트)은 관련 전문업체와의 협력체계 구축

㉲ 다양한 시장수요(공공건물 및 지하철 등)에 대응 가능한 환기필터 설계기술 및 시제품 개발

㉳ 여러 핵심부품에 대한 특허, NEP, NET 등의 신기술 인증 획득을 통해 대외적인 신인도 확보 및 제품 홍보

다. 하이브리드환기 시스템 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

최근까지 고층 공동 주택에 적용된 환기설비는 전열교환기 장치에 집중되어 왔다. 그러나 전열교환 환기장치는 선진 제국에서 도출된 많은 문제점들을 그대로 내포하고 있을 뿐만 아니라 공동주택에 적용한 결과가 충분하게 반영되어 있지 않아서 범용으로 적용하기 전에 경제성 및 실용성 등 타당성 평가가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 즉, 생애주기에 있어 필터교환, 여재교환, 덕트 청소, 실제 열회수율 분석, 운전비는 물론 년 평균 온도에 따른 적용 대상 지역 선정 등에 기초한 에너지 소비에 따른 경제성 분석이 본 연구를 통해서라도 자세히 평가 되어야 한다는 것이다. 왜냐하면, 이에 대한 분석은 대부분 선진국의 사례 및 자료에 의존하고 있어 과연 온돌을 이용하는 난방 방식에 전열교환기를 적용한 환기 시스템이 한국형 고층 공동 주택에 보편적으로 적용할 수 있는 최적의 환기설비인지를 다시 검토하여야 할 필요성을 시사하고 있기 때문이다. 게다가, 주상 복합의 경우에는 층고의 여유가 있어서 설치상의 문제는 없으나 일반 공동 주택의 경우에는 층고의 여유가 없어서 전열교환기 설치공간에 대한 건축 설계상의 배려가 필요하고 이에 따른 공사비 증가 등 이차적인 문제를 내포하고 있기 때문이다.

실용성의 경우, 유럽의 예를 보면, 덕트 내 진드기 및 먼지 청소 문제, 종이 재질의 열교환 여재 사용 시 습기로 인하여 자연 발생하는 박테리아 및 곰팡이 문제로 종이 재질을 이용한 전열교환기보다 알루미늄으로 제작된 현열교환기의 절대적 선호 성향, 환기설비의 장시간 사용에 따른 운전비의 과다 지출 문제, 최근 발표된 H건설 기술연구소 자료에 의하면 에너지 관점에서 볼 때 열교환 환기 유니트를 사용할 때 소비되는 전기 에너지가 회수 하는 열에너지 보다 많이 소요 되므로 공동 주택에서의 전열교환기 사용은 바람직하지 않다고 결론지은 바 있다. 지구 온난화 방지를 위하여 대부분의 국가에서는 자연환기와 강제 환기가 혼합된 하이브리드 방식을 채택하고 있으며 제로에너지 소비를 위하여 신재생에너지를 이용하고 있는 실정임을 감안 할 때 전열교환기를 이용한 환기설비를 공동 주택에 일반적으로 반영하기 위해서는 에너지 소비 관점에서도 지역별, 시간대별, 계절별 검증과 분석이 여전히 필요하다고 본다.

또한, 발코니 확장 합법화, 스프링클러 설치 의무화 등으로 공동주택 형태와 구조가 변화하고 있고, 우리나라의 온돌 문화와 주거 환경이 외국과는 기본적으로 다르기 때문에 우리나라에 적합한 환기시스템의 표준화로 전열교환기 위주의 환기 방식을 대체할 수 있으면서 동시에 초기 투자비가 적게 요구되는 등 가장 경제적이면서도 에너지 소비가 가장 적은, 그러면서도 설치 및 유지 보수가 간단하고 실용적인 한국형 하이브리드 환기설비의 개발과 정착이 절실하다.

(2) 연구개발의 목표 및 범위

① 연구개발의 목표

국내의 사계절 기후특성과 황사 등 외부 환경조건에 대응할 수 있고 온돌사용에 따른 실내 온열 특성과 온돌 문화에 적합한 환기시스템의 개발로 저에너지 소비형 최적 청정 환기시스템 실현

㉮ 온돌에 적합한 사계절 자연 급기구 개발

㉯ 저정압손 고효율 플리머 필터 및 플리머 급기구 개발

㉰ 정풍량 기술에 의한 효율적인 환기 시스템 관련 요소 기술 개발

㉱ 하이브리드 청정 환기 시스템의 통합 제어기술 개발

② 연구개발의 범위

국토 해양부에서 제정한 주택성능 등급제(2006.01.09)중 환기성능 확보 개정기준(09.12.22)에 따라 구분 되어 진 4등급(단위세대에서 시간당 0.7회에 상응하는 환기회수의 확보가 가능한 기계 환기 설비가 설치된 경우)과 3등급(4등급+고성능 외기청정 필터가 설치된 기계환기 설비의 경우) 과 2 등급의 기계환기 설비와 1등급의 하이브리드 환기 설비의 설치 및 적용에 한하여 개발한다.

③ 적용 규격

본 환기 설비는 최상의 성능을 발휘하고 효율을 보증하며 사용자의 운전조건에 적합하도록 제작 및 설치하며 모든 자재는 K.S표시 허가 또는 ISO인증 회사의 제품을 사용함을 원칙으로 하고 해당인증 규격이 없는 경우에는 국가의 공인규격 또는 동등이상의 제품 또는 사용자 지정 제품을 사용하며 설비공사 및 전기공사는 일반규정에 의거 실시한다.

㉮ 자연 급기구 : 해당 인증 규격 없음

㉯ 플리머 필터 : KSB 6141

㉰ 플리머 급기구 : 해당 인증 규격 없음

㉱ 정풍량 팬 : 한국설비 기술협회 규정 KARSE B 0044

㉲ 하이브리드 환기 설비 : 해당 인증 규격 없음

㉳ 전기 : 한국전기공사협회 배선규정, 전기안전공사 기술규정

(3) 연구개발 결과

① 자연급기구 적용 시 실내 입자농도 모델링 및 환기에너지 소비량 예측

㉮ 입자발생, 외부 입자유입, 침기, 벽면 입자침착, 입경별 집진효율, 환기효율, 교차오염 등을 고려하여 공동주택 내부 입자농도를 모사할 수 있는 Mass Balance Model 개발

㉯ 덕트 길이 및 필터효율, 열교환기의 압력손실을 고려한 환기에너지 소비량 예측 모델 개발

② 필요환기량 및 필터 적정효율 산정

㉮ 공동주택 필요환기량 산정: 0.5회/h

㉯ 환기시 외부유입 및 내부발생 입자를 효과적으로 제거하기 위한 필터효율 산정: MERV11

③ 저에너지 소비형 필터 설계기법 및 최적화 알고리즘

㉮ 필터에서의 입자 집진 및 압력손실 이론을 이용하여 임의의 집진효율에서 에너지 소비를 최소화할 수 있는 최적화 알고리즘 개발

④ 저에너지소비형 환기필터 유닛 개발

㉮ 플리머필터(MERV12-13) 개발

㉯ 0.5㎛ 입경의 집진효율은 40~60%, 압력강하량은 운전조건(1.0m/s-2.0m/s)에서 30Pa 이내

㉰ Mock-up test 결과 입자 및 미생물 제거성능 우수

⑤ 그린홈플러스 적용평가

㉮ 60, 80, 100%절감모델에서 저에너지 친환경성 우수 : 에너지절감이 우수한 모델일수록 입자제거효율(친환경성능)은 우수하고 환기에너지 소비량 일정(저에너지 성능 우수)

(4) 연구개발 결과의 활용계획

① 추가 연구에 활용

㉮ 플리머 필터 및 플리머 급기구의 효율 향상

현재 공동주택의 환기필터는 주택성능 1등급 필터의 기준인 0.5㎛의 입경에서 90%의 집진효율을 만족해야 한다. 이를 위해서는 최근에 연구가 활발하게 진행되고 있는 블러쉬 타입 이오나이저를 이용하여 플리머 필터의 전단에서 입자를 하전하거나 필터 하부에서 하전하는 방법을 활용하는 추가 연구로 최적 성능을 구현하여야 한다.

㉯ 에너지 절약형 하이브리드 환기시스템 개발

건축물의 층고에 영향을 끼치지 않고 특히 기존 주택의 리모델링 시 공정에도 영향을 끼치지 않으면서 사계절 능동적으로 공동주택의 실내 환경 쾌적성을 만족시킬 수 있는 환기 성능 1등급용 창문형 하이브리드 환기 설비의 개발이 필요하고, 환기에너지 비용을 최소화하고 온도 및 CO2농도의 실내 환경 쾌적성 기준을 만족시키기 위한 자연환기 또는 기계환기의 혼용에 의한 최적 환기 운전모드 등 사계절 능동 통합 지능제어의 개발이 필요하다.

② 사업화 방안

㉮ 1등급 하이브리드 환기 설비의 실현 및 최적화 모듈 개발

㉯ 저에너지 친환경 환기필터 설계기술의 확보로 독점적인 지위 확보

㉰ 3D공기유동해석 프로그램의 도입으로 계절별, 시간대별 에너지 소비 최적 모드 모듈화

㉱ 요소 부품개발(정풍량팬, 플리머 필터, 이오나이저, 나노탄소소재 열교환 부재, 복합센서, 코트롤러)은 관련 전문 업체 와의 협력체계 구축

㉲ 다양한 시장수요(공공건물 및 지하철 등)에 대응 가능한 창문형 하이브리드 설계기술 및 시제품 개발

㉳ 여러 핵심부품에 대한 특허, NEP, NET 등의 신기술 인증 획득을 통해 대외적인 신인도 확보 및 제품 홍보

㉴ 인도, 중국, 브라질, 러시아, 중동 지역 등 신흥 시장 개척

3. 공동주택을 위한 재생에너지시스템 적용 연구

가. 공동주택용 지열원 활용 냉난방 기술 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

현재 국내 지열 냉·난방 시스템인 경우 외국의 장비와 설비 공법을 그대로 적용함으로써 한국의 지질구조와 기후조건, 시공여건 등이 충분히 고려되지 않아 한국의 여러 여건이 충분히 고려되지 않은 상태로 외국의 기술에 의존하여 시행되어지고 있으 , 열펌프는 외국업체의 물품을 그대로 수입하는 경우가 대부분이며, 지중 루프 열교환기 및 최적 열교환 시스템의 설계 등과 관련된 기술 수준은 선진 외국에 비해 전반적으로 낮은 편이다. 또한 미국을 비롯한 유럽 등의 선진국에서는 지열 에너지를 이용한 냉·난방 시스템 기술이 주거건물을 중심으로 비주거건물까지 보편화되어 있는 반면, 우리는 소규모 상업용으로 건물에 제한적으로 사용되고 있으나 보편화를 위해 대

표적인 주거물인 공동주택 적용이 필요하다. 특히 국내 대표적인 거주건물인 공 동주택에 지열 냉·난방 시스템을 공급한다면 많은 에너지 절약효과를 얻을 수 있을 것이며 이에 따른 적용 기술 개발이 필요하다.

또한 도입 초기단계인 국내의 현실도 있지만, 지열 냉·난방 시스템에 대한 기술적인 검증이나 보급 활성화를 위한 제도적 장치 마련 및 이미 설치된 시스템을 대상으로 성능 및 경제성 분석 등과 같은 일련의 활동이 저조한 것도 보편화에 미진한 원인이라 할수 있다. 따라서 보급 초기단계인 지열 냉·난방 시스템의 기술적 문제점을 해결하고 시스템의 우수성을 알리며 국내 여건에 어울리는 한국형 지열 시스템의 개발 및 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증기술 개발 및 적용이 필요하다.

지열 냉·난방 시스템은 공기 열원 시스템에 비해 44%까지 그리고 냉·난방을 전열기기로 사용하는 경우와 비교하면 72%까지 에너지 소비를 절감 할 수 있다고 보고되고 있다. 건물인 경우 기획 시공, 사용, 개보수, 해체까지의 건물 전체의 라이프 사이클을 통해 건물에너지 소비되는 비용이 생애동안의 총 전체 비용의 50%이상을 차지하고 공조 시스템에 의한 에너지 소비가 전체 건물에너지 소비의 70-80%인 점을 감안한다면 시공비용의 1-3% 내외의 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증 투자로 건물의 생애에 걸쳐 막대한 에너지 절약과 최대 효율, 운전관리 보장 등의 효과를 볼 수 있다. 실제 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증을 통해 20-40%까지 절약할 수 있으며, 건물의 결함을 대부분 해결하고 있다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 신재생에너지 활용을 위한 자연친화 공동 주택용 지열 및 우수열원 하이브리드 냉난방 시스템 기술 개발.

② 공동주택용 지열 및 우수열원 냉난방 시스템의 설계, 시공, 운전 최적화 기술 개발.

③ 지열(GSHP) 및 우수열원 시스템(RWHP)의 설계 가이드라인 제시.

④ 공동주택용 신재생에너지(지열) 활용 LCC 분석용 RETScreen 기술을 개발.

⑤ 건물통합 지열원 시스템 최적 설계 평가 기술을 개발.

⑥ 지열원 열펌프 성능 최적화를 위한 성능예측 기술.

⑦ 공동주택용 지열원 히트펌프 시스템의 초기성능확인 기술 개발.

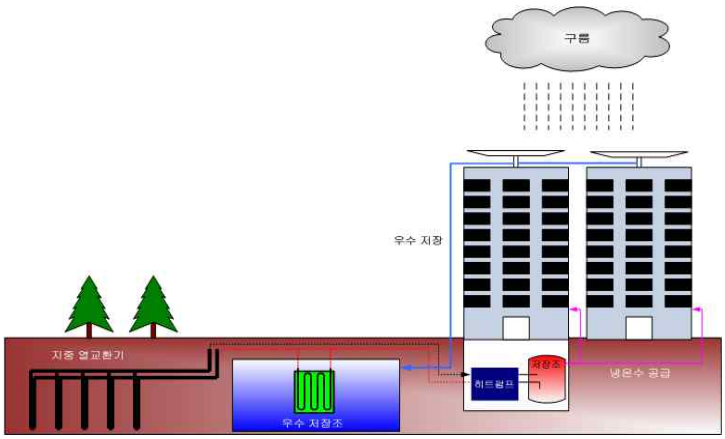
⑧ 현장 지중 열교환 유효도 측정(TRT) 기술.

⑨ 에너지 파일형 지열 시스템의 기술.

(3) 연구개발결과

(가) 신재생에너지 활용을 위한 자연친화 공동 주택용 지열 및 우수열원 하이브리드 냉난방 시스템 기술 개발.

지열 및 우수열원을 이용한 히트펌프 시스템은 보다 상세하게는 지열은 물론 우수 저장조의 우수를 보조열원으로 사용하는 지열 및 우수열원을 이용한 히트펌프 냉난방 시스템이다. 물 부족국가인 우리나라에서는 우수를 저장하고 저농도 오수의 재이용을 통해 물 사용량 절감 및 실제 현장 적용을 통해 그 효과가 입증되고 있으며 이와 같은 우수를 물리적 수자원으로서의 의미뿐만 아니라 열적 자원으로 이용하는 우수를 열원을 활용하는 지열 및 우수열원 히트펌프 시스템이다. 우수를 열원을 활용함으로써 지중열교환기 천공비를 줄일 수 있으며 지열원 시스템의 가장 약점인 초기 투자비의 저감 효과 및 시스템 성능 개선이 가능 할 것으로 예상되어진다.

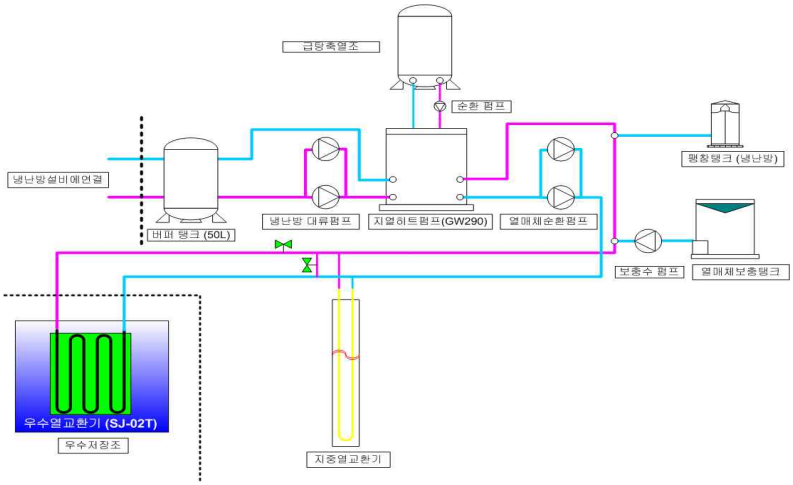


< 지열 및 우수 열원 하이브리드 시스템 개념도 >

(나) 공동주택용 지열 및 우수열원 냉난방 시스템의 설계, 시공, 운전 최적화 기술 개발.

지열 및 우수열원 냉난방 시스템의 설계 기준안 및 운전 최적화를 위해서는 가장 우선시 되는 것은 우수용 열교환기 설치 용량의 결정이다. 최적 설계를 위해서는 냉방 운전시 지중열교환기 용량과 난방 운전시 지중열교환기 용량을 고려해야하며 난방기준에 지중열교환기 용량을 기준으로 냉방 운전시 추가 지중열교환기 요구량을 우수열교환기로 보완하는 것을 기본 설계 기준으로 가정하며 최대 전체 지중열교환기 용량에 약 30%를 감당 할 수 있다. 그러나 설치 장소의 우수저장조 조건(온도, 용량, 설치)에 맞게 유동적인 설계가 이루어지는 것이 최우선일 것이다 한다. 이러한 컨셉은 우리나라의 기후를 고려하여 갈수기인 겨울에는 우수를 확보하기 어려움으로 순수 지열원만을 이용하고 여름철인 경우 풍부한 우수 및 지열원을 이용하여 운전을 하도록 설계함이며 이를 통해 초기 투자비 저감 및 시스템의 신뢰성, 성능 향상을 증가 시킬 수 있다. 우수용 열교환기인

경우 우수저장조의 크기 및 내부 수위 고저 및 유동에 따른 좀 더 다양한 연구가 이루어져야 하며 현재 미국 A사의 지표수용 열교환기 등이 적용 가능하다.



< 지열 및 우수열원 하이브리드 냉난방 시스템 계통도 예시 >

(다) 지열(GSHP) 및 우수열원 시스템(RWHP)의 설계 가이드라인 제시.

① 송도 Pilot project 실시 설계(안)

㉮ 지열히트펌프 냉난방 열원장비 선정

- 지열히트펌프 - 필요 사양 :
- 냉수 입출구 온도 22/18℃, 냉수 유량 28 LPM (1.68 m3/h)
- 온수 입출구 온도 35/40℃, 온수 유량 28 LPM (1.68 m3h)
- 급탕 입출구 온도 5/45℃, 급탕 유량 2.8 LPM (0.168 m3/h)

㉯ 지열히트펌프(GW290) 시방서

미국 냉동공조협회(ARI : Air-Conditioning & Refrigeration Institute) 와 국제 품질인증기구(ISO : International Organization for Standardization)의 지열히트펌프 성능평가기준인ARI/ISO Standard 13256-2 및 국내 성능평가기준인 KS/ISO Standard 13256-2를 만족하는 인증제품을 제조하는 제조자가 제작한 제품을 설치한다.

- 유닛은 압축기, 리버싱 밸브, 응축열교환기, 팽창변, 증발열교환기등과 기타 부속품으로 구성된다.
- 압축기는 스크롤 타입으로 저압 및 고압 차단기에 의해 안정적인 압력범위에서 작동되도록 안전장치가 구비되어야 한다.

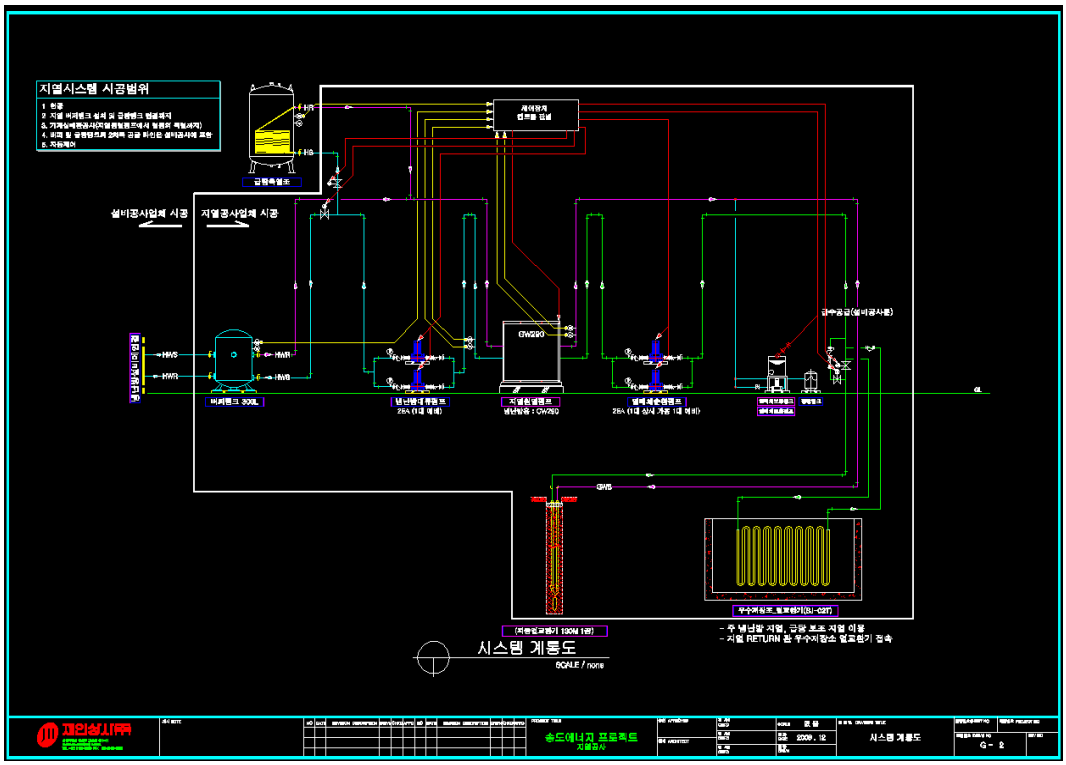
• 열교환기는 코일 또는 판형으로 냉매의 압축, 증발이 원활히 이루어질 수 있는 구조로 과냉, 과열에 변형이 없도록 제작한다.
• 팽창변은 냉매가 적절하게 교축되도록 제조사에 의해 설계되어야 한다.
• 지하수를 직접 사용하는 개방형 열교환기등의 설치시에는 열교환기의 동파를 방지할 수 있는 장치가 설치되어야 한다.
• 적용될 지열히트펌프는 다음 사양의 모델을 사용한다.

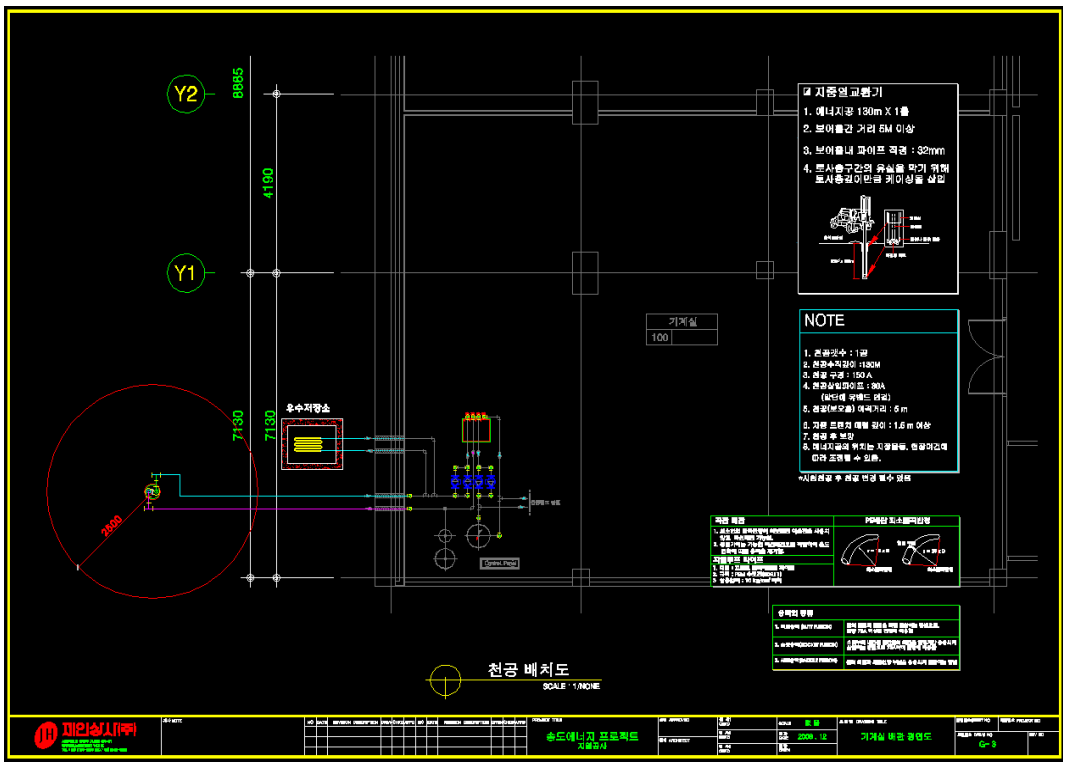
㉰ 그 외 부속기기

팽창탱크 및 순환펌프 선정 및 실시 설계도면 작성 하였다.

항 목 \ 모 델	HP-1
대 수	1
지열매체순환량(LPM)	27
냉온수순환량(LPM)	16
난방능력(kcal/h) (지중열공급:10℃, 난방공급:46℃)	7,989
냉방능력(kcal/h) (지중열공급:21℃ 냉방공급:7℃)	6,25
효율(COP/EER)	3.3 / 15.7
전원	AC 삼상 220V, 60Hz
소비전력(난방/냉방, kW)	2.3 / 1.6
관경(Inlet / Outlet, A)	20 / 20
사이즈(L x W x H, mm)	540 / 660 / 700
무게(kg)	101

< 지열히트펌프 사양 >


지열시스템 시공범위
설비공사업체 시공
지열공사업체 시공
시스템 계통도
SCALE / none
송도에너지 프로젝트
시스템 계통도


Y2
Y1
8885
4190
7130
2340
지중열교환기
1. 에너지공 130m X 1홀
2. 보어홀간 거리 5M 이상
3. 보어홀내 파이프 직경 : 32mm
4. 토사층구간의 유실을 막기 위해 토사층깊이만큼 케이싱을 삽입
NOTE
1. 콘공갯수 : 1공
2. 콘공수직깊이 :130M
3. 콘공 구경 : 150 A
4. 콘공삽입파이프 : 80A
(보어홀 무배드 타입)
5. 경공(보호) 에워리 : 5 m
6. 기존 콘크리 매월 깊이 : 1.5 m 이상
7. 경공 후 보장
8. 에너지공의 위치는 지장물등, 현장여건에 따라 조정될 수 있음.
*시험천공 후 천공 변경 될수 있음
우수저장소
천공 배치도
SCALE : 1/NONE
송도에너지 프로젝트
지중열교환기 배관 평면도

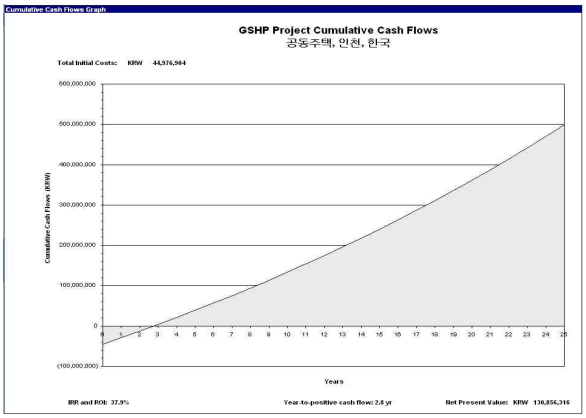
< 실시 설계 도면 >

(라) 공동주택용 신재생에너지(지열) 활용 LCC 분석용 RETScreen 기술을 개발.

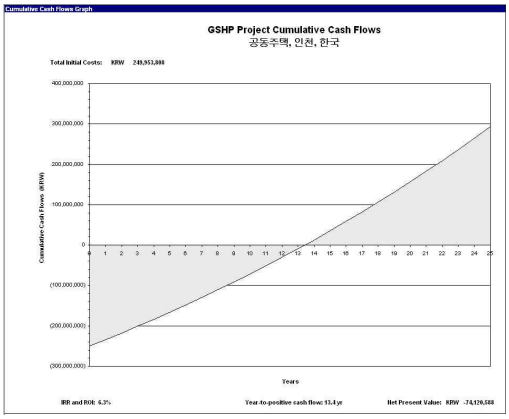
RETScreen은 캐나다에서 개발된 프로그램으로 간단하게 정의한다면, 지속가능한 에너지기술(RET : Renewable Energy Technology)프로젝트나, 신재생에너지를 에너지원으로 하는 특정 요소기술 설비의 시행 타당성 분석을 위한 시장조사, 정책분석을 통한 사업예비 가능성 평가를 주목적으로 사업 타당성이 확보된 요소설비 시스템의 정보공유에서부터 판촉, 및 서비스와 관련된 프로젝트 연구개발 목적으로 배포되어 용되는 시스템 평가 도구이다. RETScreen은 캐나다의 정부기관과 해당 관련 산업체의 전문가들로 구성된 CEDRL(CANMET Energy Diversification Research Laboratory)에 의해 개발되었으며, 다양한 대체에너지 이용 요소기술 설비개발 및 보급 프로젝트를 통하여 검증된 프로그램으로써, 대체에너지관련 프로젝트의 표준통합 분석용 도구라 할 수 있다.

RETScreen을 이용하여 인천에 가상으로 설치되어질 공조면적 15,793.52m^2, 설계부하량 100RT인 GSHP(Geothermal Source Heat Pump) 시스템을 개별냉난방식의 공동주택과 비교하였을 때의 경제성을 분석하면 다음 같은 결과가 나온다. 여기서 산출되어지는 지열원 히트펌프 시스템의 총 냉난방능력은 입력되어지는 지역의 기상데이터, 지열원 히트펌프 시스템 속성, 건물 냉난방 부하에 의해 결정된다.

공동주택용 지열원 히트펌프 시스템의 경제성을 분석한 결과를 살펴보면, GSHP 설치비용 410만원/RT, 냉방을 위한 전기료 약 521.7원/kWh, 난방을 위한 LNG 비용 약 3,180/m^3를 입력해주면 약 5,700만원의 연간 절감액이 산출되고, LCC (Life Cycle Cost)의 투자금 회수기간(Payback period)이 2.8년임을 알 수 있다. 이 같은 경우는 정부보조금이 50%인 경우이며 보조금 진행된 프로잭트인 경우 투자금 회수기간 (Payback period)를 고려하면 13.4년으로 지열원 히트펌프 시스템의 초기 설치비가 매우 고가임을 알 수 있다.



< LCC(Life Cycle Cost) 분석(정부보조금 50%) >



< LCC(Life Cycle Cost) 분석 >

(마) 건물통합 지열원 시스템 최적 설계 평가 기술을 개발.

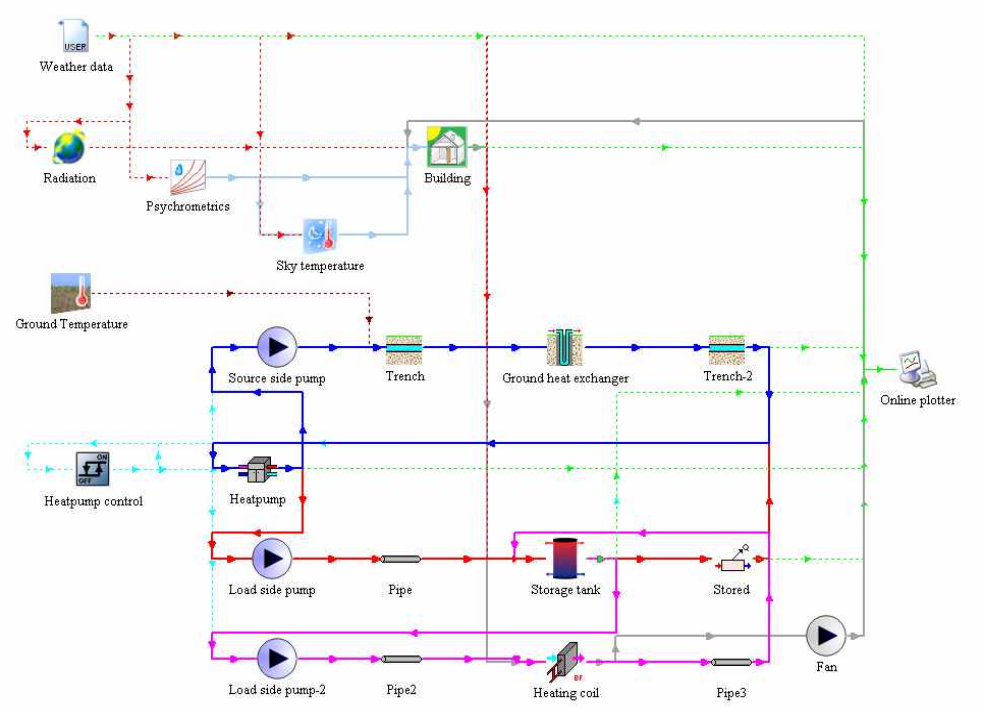
① eQUEST 3.6을 이용한 100RT급 공동주택 시뮬레이션 분석

eQUEST 3.6은 건물통합 최적 설계 프로그램으로써 기존에 건물 부하 설계, 지중 열교환기 설계, 지열 시스템설계가 독립적으로 이루어지는 것을 하나의 프로그램으로 통합 설계 솔루션을 제공하는 프로그램이다. 본 연구에서는 eQUEST 3.6을 사용하여 건물의 공조면적이 15,794㎡(4778평), 15층 규모의 가상공동주택에 대하여 다양한 HVAC Systems(공조시스템)를 적용하여 연간에너지비용을 비교·분석한다. 가상건물을 선정하기 위하여 100RT를 기준으로 하여 단위면적당 냉방부하를 90kcal/hr/㎡(eQUEST 시뮬레이션결과)로 하여 건물의 연면적을 계산하였으며 층당 35평형, 2세대로 하여 총 30세대의 공동주택으로 산정하였다. 건물의 기상데이터, 공조면적 및 층수 등을 제외한 대부분의 입력값은 eQUEST에서 제공하는 기본값(default)을 이용하여 시뮬레이션이 수행을 수행하였다. 시뮬레이션 수행결과 단위에너지사용은 GSHP가 PTAC 대비 36.5%, 단위에너지비용은 54.8% 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

(바) 지열원 열펌프 성능 최적화를 위한 성능예측 기술.

① TRNSYS는 열에너지시스템(Thermal energy system)의 비정상 거동(Transient behavior)을 수치적으로 해석할 수 있는 프로그램으로 연구에서는 TRNSYS 16프로그램을 이용하여 같이 구성하여 시뮬레이션을 통해 성능 예측이 가능하며 이를 반복적으로 수행함으로써 성능 최적화의 조건을 예측이 가능하다. TRNSYS 16을 이용한 지열히트펌프 시스템의 구성을 나타낸 그림이며, 기상데이터에서 읽은 건구온도 값을 지중열교환기와 파이프, 냉난방 에너지 산출기가 받아들이고, 히트펌프에서 증발된 열을 지중열교환기에서 순환하는 구조이며, 축열조의 경우 히트펌프 응축기에서 방출한

열을 저장하여 필요에 따라 냉난방 에너지 산출기에 보내는 구조로 설계하였다. 이때 축열조는 45±3℃로 설정하여 히트펌프가 ON/OFF 되도록 하였고, 냉난방 에너지 산출기는 22℃±3℃로 설정하여 온도를 유지하도록 설계하였다.



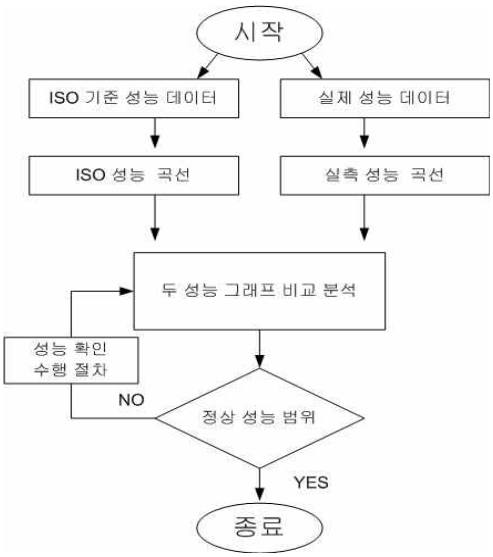
<TRNSYS 16을 이용한 지열히트펌프 시스템 구성도>

TRNSYS 16을 이용하여 시뮬레이션 한 결과에서 히트펌프가 가동된 0시부터 5시까지는 부하측 온도가 꾸준히 상승하였고, 축열조의 일정온도에 도달한 5시경부터 16시경까지는 히트펌프가 가동하지 않았으며, 축열조 온도가 설정치 이하로 내려간 16시경부터 18시경까지 히트펌프가 가동되었다. TRNSYS를 이용한 시뮬레이션의 경우 5시간이 경과하였을 때 부하측 입구온도가 43.0℃이고, 부하측 출구온도가 51.2℃이었으며, 열원측 입구온도는 8.7℃이고, 부하측 출구온도가 4.7℃이다. 반면 실제 실험의 경우는 약 3시간이 경과하였을 때 히트펌프가 가동이 중지되었으며, 이때 부하측 입구온도는 45.9℃이고, 부하측 출구 온도는 53.9℃이었으며, 열원측 입구온도는 12.8℃이고, 부하측 출구온도가 8.5℃이다. 결과에서처럼 시뮬레이션의 경우 히트펌프의 가동 주기가 실제 실험보다 길었으며, 온도는 약 3~4℃정도 작게 도출되었다. 이는 실제 실험의 경우 손실이 고려되어 가동 주기가 짧게 도출되었다고 사료된다. 히트펌프는 가동 후 5시경까지는 부하량이 약 7,343.9[kcal/h]에서 9,417.5 [kcal/h]로 꾸준히 상승하였지만 이후 설정온도인 22℃ 이상이 되자 히트펌프가 정지되었고, 부하를 충당하기 위해 재가동된 16시경에는 9,349[kcal/h]의 부하를 충당하는 것으로 나타났다.

(사) 공동주택용 지열원 히트펌프 시스템의 초기성능확인 기술 개발.

기존 지열히트펌프 성능평가 방법 히트펌프의 성능인증의 가장 큰 단점은 오직 제조사에서 출시될 시점의 유닛의 기계적인 성능에만 관심이 있으며 설치되어진 후에 시스템 성능에는 아무런 관심을 두지 않는 것이다. 현장에 설치되어질 히트펌프는 주위 환경에 의해 시스템 성능이 많은 영향을 받을 수 있는 시스템으로 이러한 영향에 의한 성능 저해 요소를 해결해야 한다. 또한 성능 저해 요소 해결 방안이 ISO 규격에 준하는 성능 데이터의 오차 범위에 벗어나지 않아야 한다. 이러한 조건들을 감안하여 많은 해결 방안을 제시되어졌지만 그 중에서 가장 명확한 방법은 다음과 같다.

기존의 성능 측정 및 인증 방식은 주로 유닛 성능 인증만이 이루어졌으며 많은 부대시설이나 많은 고가의 계측기를 사용하여 규격에서 정해진 특정 조건에만 이루어지고 있다. 그러나 현장에 설치되어진 후 운전시, 운전 조건이나 주위 환경은 규격 조건에서만 이루어지는 것이 아니며 이러한 경우 유닛에 성능이 제대로 발휘되고 있는지에 대한 지표가 없으며 또한 계속적인 사후 성능 확인 및 사후 관리가 이루어지지 않아 대부분의 이러한 상황은 시공 후 시스템의 성능을 유지 안 되는 경우가 대다수이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 시스템의 사후 성능 측정 및 확인에 관한 성능차트를 이용한 성능평가 방법을 제시한다. 우선적으로 기존의 성능평가 방법을 앞서 말한 바와 같이 ISO 13256-2에 나와 있듯이 열교환기에 들어가는 액체의 기준은 냉각 용량일 경우 25℃ 가열 용량일 경우 0℃로 각 용량에 대한 평가가 특정 온도에 따른 성능에 대해서만 이루어진다. 이와 같은 기존의 성능평가와 달리 현장 설치 후에도 시스템 성능 확인 및 검증에도 적용할 수 있는 성능평가 방법 대한 공정도는 아래 그림과 같다.



< 성능평가 방법 기술 공정도 >

(아) 현장 지중 열교환 유효도 측정(TRT) 기술

① 현장 지중 열교환 유효도 측정 기술에 대한 연구는 크게 3가지 구성되어 있다.

② 열유체식 지중열교환 유효도 측정 기술

③ 전자식 무선 지중열교환 유효도 측정 기술

④ KD2 Pro 토양 열속성 측정 장치

지중 열전도 값은 지중 열교환기 설계시 가장 중요한 항목이다. 수직형 지중 열교환기를 설계할 경우 깊이에 따른 지중의 열적 물성치가 다르므로, 깊이에 따른 열적물성치의 평균값으로 설계하는 것이 가장 효과적이다. 열유체식 방식은 지중의 열적 물성치 값을 구하기 위해 현장에 시추공을 천공하고, 지중 열교환기를 설치한 후 지열 열교환기의 입·출구 유체온도, 히터의 소비전력을 측정한다. 현장 시추 테스트를 통하지 않고, 지하의 암반특성을 가정하여 열전도 값을 계산하는 것은 신뢰성이 떨어지며, 실제 시추공의 열전도 데이터로 지중 열전도 값을 얻는 방법이 시스템 설계시 가장 정확한 결과를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 실제 열유체식 장비를 통하여 연구원 내 실험용 지중열교환기를 통해 현장 테스트를 수행하였으며 열전도도 측정값은 2.83 [W/m · K]을 나타냈다.



< 열유체식 현장 측정 사진 >

동일한 사이트에서 무선 방식의 P/T 프로부를 사용하여 열전도고 값을 얻을 수 있었다. 기존의 지중 열응답 테스트는 지중의 지중열전도도와 보어홀 열저항으로 정의하여 사용하였다. 공통적인 이론적 접근으로 사용되는 열응답 테스트는 일차적으로 토양의 열전도계수와 유체와 토양 열저항에 의한 Line Source Model에 기초한다.

그러나 열응답 테스트에는 한계가 있다. 무엇보다도 열원/히트싱크와 지중에 주입되는 열원의 변화에 대한 결과이다. 그러므로 비교적 긴 테스트 시간을 갖고 최소 48시간의 테스트 시간을 갖는다. 이에 본 연구에서는 원위치(in-situ) 지중열 측정기인 Wireless

Pressure-Temperature Probe를 이용하여 한국기술에너지연구원내 시추 되어진 U자 모양의 BHE(Borehole Heat Exchanger)의 튜브 안으로 지중열전도 측정기를 넣음으로서 온도 및 압력을 약 1시간 내에 얻어낼 수 있었다.



< eTRT P/T 프로브 전자식 작동 및 측정 방법 >

(자) 에너지 파일형 지열시스템의 기술

에너지 파일형 지열시스템은 건물의 기초를 지중 열교환기로 사용하는 신개념 친환경 지열시스템이다. 신재생 지열시스템의 원가 절감 및 효율 극대화를 통해 공동주택 세대에 지열 냉난방을 목적으로 한다. 일반적인 보급지열 시공 부지를 불필요하기 때문에 천공 비용이 절감된다. 따라서 송도 저에너지 친환경 공동주택을 대상으로 PHC파일을 이용한 지중열 교환기 시스템에 관해서 성능 검증을 실시 하였다. 본 실험과는 별도로 10월 29일부터 11월 2일까지 에너지 파일의 지중 열전도도 실험을 실시하였다. 실측과정은 열을 공급하지 않은 상태에서 1시간 동안 물을 순환시키면서 초기 지중 온도를 측정한 뒤에 3일동안 히터를 통해 4kw열량을 주입하였다. 유량은 13lpm으로 일정하게 유지하였다. 실험 결과는 선형 열원 모델을 사용하였고 그 결과 지중 유효 열전도도 값은 3.46W/m・℃을 나타내었다.

하절기를 대상으로 8월 31일부터 9월 4일까지 5일간 밀폐된 상태에서 냉방 실험을 실시하였다. 그 결과 냉방을 시작한 후에 일정한 시간 동안 18℃의 냉수가 공급이 이루어지며 실내 26℃의 안정화가 이루어졌다. 실내 안정화가 이루어 진 후에는 실내 부하에 따라서 지열히트펌프가 ON/OFF를 반복하였다. 주로 실외온도가 상승하는 낮 시간에 히트펌프의 작동이 많아졌고 냉방 실험기간 동안 전체적으로 외기온도와 히트펌프가 비슷한 패턴으로 이루어졌다. 지열히트펌프 COP는 실험기간 동안 4.8~5.6의 범위를 나타내었고 9월4일에는 COP가 가장 낮았다. 그 이유는 외

기온도가 크게 상승함에 따라서 부하가 상승하고 히트펌프의 압축기 구동이 많아지고 COP가 떨어진 것으로 판단된다. 그리고 냉방 실험기간 동안 에너지 파일안에 급수파이프의 미설치로 인해 입출구 온도가 예상보다 높아진 것도 COP에 적지 않은 영향을 끼친 것으로 판단된다. 순환펌프를 포함한 전체 시스템 COP는 3.5~4.1의 범위를 나타내었다. 난방실험은 1월7일부터 1월 15일까지 1차 실험, 1월 18일부터 1월 29일까지 2차 실험으로 2회에 걸쳐 실험을 진행하였다. 대상은 저에너지 친환경 공동주택의 80%, 100%모델이다. 난방 설정온도는 두 세대 모두 20℃로 하였고 실내온도에 따라서 온수 분배기의 개폐에 따라 자동적으로 온수가 공급되도록 되어있다. 1월 7일 1차 난방실험을 시작한 뒤에 온도가 떨어지기 시작해서 지중에서 나오는 출구온도가 3~7℃, 입구온도는 1~6℃ 범위를 유지하였다. 또한 실험 대상이 되는 에너지 절감 80%모델과 100%모델은 모두 난방이 시작된 후에 얼마 지나지 않아서 난방 설정 온도인 20℃에 안정적으로 도달하는 것을 확인하였다. 1차, 2차 난방 실험기간 동안 지열히트펌프의 COP는 3.5~4.5 범위를 나타내었고 순환펌프까지 포함한 전체 시스템 COP는 2.5~3.7 범위를 나타내었다. 분포 패턴을 보면 외기온도와 관련성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 외기온도가 하강함에 따라서 열량 공급이 상대적으로 많아지고 압축기의 구동이 많아짐에 따라 지열히트펌프의 COP가 하강하는 것으로 판단된다. 실험을 통해 지중에서 나오는 열교환기 출구 온도가 예상보다 낮았다. 그 이유는 본 난방 실험을 하기 전에 12월부터 예비실험을 실시하였기 때문에 적지 않은 영향을 끼친 것으로 판단된다. 본 난방 실험 기간이 23일동안 실시되었지만 추후에는 좀 더 장기적인 실험이 필요할 것이다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 고유가에 대한 효과적인 대응 방안 정책 방향을 제시한다.

② 쿄토의정서 적용시 배출권 수출 효과를 제시한다.

③ 가정의 에너지 사용률 저감 방안 방법을 제시한다.

④ 지열 냉·난방 시스템을 통한 에너지 절약 정책의 새로운 방법을 제시한다.

⑤ 지열 냉·난방 시스템의 제도적 기반 마련을 통한 에너지 절감 효과를 제시한다.

⑥ 국제기후협약에서 제한하는 화석연료 사용에 대한 탄소배출량 제한 등에 대한 건물분야에서의 적극적인 대안 마련책으로 활용 가능하다.

나. 공동주택의 태양광 태양열 시스템 적용

본 연구는 태양에너지를 이용한 신재생에너지 요소인 태양광 시스템과 태양열 시스템을 적용하여 본 연구모델인 그린홈 플러스에 적용하여 공동주택에 급탕 및 전기에 에너지를 공급하는 최적 방법에 대한 연구이다. 아울러 본 연구는 공동주택에 태양광과 태양열 설비 시스템을 적용하는 기술 및 디자인을 개선하여 기존 공동주택의 전체 에너지 부하량

을 저감하는데 그 목적을 두고 있다.

태양열 및 태양광설비 시스템은 모두 태양에너지원을 활용해 열과 전기를 생산한다는 측면에서 매우 유사하지만, 태양광의 경우 연간발전을 해야 하고, 태양열은 동절기에 주로 활용해야한다는 점에서 운용방식의 차이점을 가지고 있다. 태양열의 경우 하절기 과열부하에 대한 대책이나 태양광의 경우 빛을 받는 조건들이 이러한 차이점에 해당한다. 또한 정해진 공간에 같은 에너지원을 사용하는 태양광과 태양열은 서로 한정된 설치 공간 할당에 있어서 상충적일 수도 있다.

이러한 이론들을 바탕으로한 본 연구의 궁극적인 최종 목표는 '저에너지 공동주택을 위한 재생열원의 최적 공급모델 수립 및 발코니 활용 태양열/태양광 단위시스템 모듈 개발'이며, 본 연구를 크게 2단계로 구분하여, 1단계로 '부하분담을 위한 재생에너지 최적 공급모델 수립 및 단위 요소기술 기본설계와 시작품 제작'에 그 목적이 있으며 2단계는 '공동주택용 재생에너지 시스템의 적용 및 성능검증을 통한 실용화'에 목적이 있다.

우선적으로 공동주택에서 발생되는 건물 부하에 대한 태양광/태양열 시스템의 분담범위를 산정하기 위한 연구가 이루어 졌다. 일반 건물과 달리 공동주택은 인동간의 간격이 좁고 전후면 외벽 면적이 작기 때문에 태양열 및 태양광을 적용할 수 있는 면적이 크게 제약을 받는다. 또한 저층부 세대의 경우 인접동에 의해 음영영향을 받기 때문에 이 또한 태양에너지를 적용하는데 필수적으로 고려되어야 하는 요소이다. 또한 공동주택은 밀도가 높기 때문에 태양열 및 태양광을 설치할 수 있는 가용면적의 확보가 매우 어려운 대상 중에 하나이다. 따라서 공동주택 건물 부하에 따라 대안 가능한 신재생에너지 설비 시스템의 산정과 가용 면적 및 적용방안에 대한 연구가 필요하다.

우선적으로 9개동 360세대의 기존 공동주택에서 사용되는 에너지사용량을 분석한 결과 전기에너지가 20%, 급탕이 19%이며, 난방이 61%를 구성하고 있다. 전기 및 급탕의 원단위 값은 기존의 선행 주택소비량 원단위 조사값의 결과와 큰 차이를 보이지 않는 반면 난방원단위의 다소간 작게 나타났다. 이는 순수 부하값만을 대상으로 소비량을 평가했기 때문이며, 설비시스템의 효율, 배관 및 기타 손실을 고려할 경우 난방원단위 또한 조사값과 거의 동일한 값을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 수립한 공동주택 단지의 부하구성비 및 총에너지소비량은 매우 합리적으로 설정되었음을 확인할 수 있으며, 수립된 시나리오별 신재생에너지 분담율 평가결과도 현실성이 있는 자료로 인정될 수 있을 것으로

사료된다. 이러한 배경에서 공동주택의 배치형태, 방위 등의 영향을 고려하여 태양광 및 태양열 시스템을 적용할 수 있는 총 가용면적의 평가, 각 세대 및 동별 위치에 따른 연간 음영율 평가 등의 태양접근성 평가를 수행하고, 이를 근거로 실제 태양열 및 태양광 시스템을 적용할 경우 생산 가능한 열 및 전기량 도출과, 총부하 대비 신재생에너지 분담율에 대한 평가를 수행하였다. 크게 공동주택 단지의 건물 배치 유형을 4가지로 나누었으며 방위에 따른 3가지 모델을 적용하여 총 12가지 유형에 대한 적용 면적범위, 일사수열, 음영등급별 적용범위 등의 조합을 통한 예상 부하분담율 시나리오를 작성하였으며 그에 따른 단지규모의 총부하 대비 신재생에너지 기여율을 평가하였다. 개략적인 연구분석 결과로는 사업단에서 수립된 신재생에너지 예상 요구 기여율 범위 3~5%를 태양광 태양열 시스템만으로도 충분히 담당할 수 있는 것으로 나타났으며 태양열 시스템의 적용부위를 확대하여 적용할 경우에도 7% ~ 10.7%까지도 기여할 수 있는 것으로 평가되었다. 난방 및 급탕의 총열부하를 대응하는 시스템의 시나리오도 급탕만 대응하는 경우의 결과와 큰 차이를 나타내지 않았으며 시스템의 단순화 및 사용 목적상의 측면에서 태양열 시스템은 급탕전용으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

공동주택 배치유형별, 인동간격, 방위 등을 고려한 태양에너지의 적용가능면적 및 상호음영영향 평가를 하는 태양접근성 평가 연구와, 도출된 적용가능 면적 안에 따라 태양광 및 태양열 시스템을 적용할 경우 생산가능량 및 총부하 분담율을 평가하는 재생에너지 시스템 부하매칭 모델링 연구가 이루어졌다. 이러한 연구결과를 바탕으로 종합분석이 이루어 졌으며 그에 따른 공동주택 단지를 위한 재생에너지 최적 공급모델을 수립하는 연구성과를 나타내었다. 본 연구에서 수립한 공동주택 단지의 부하구성비 및 총에너지소비량은 매우 합리적으로 설정되었다고 판단되며, 한편 본 연구를 통해 도출된 태양접근성 평가결과는 공동주택의 배치형태에 따른 각 단위세대의 일사확보율을 매우 정밀한 수준으로 다양한 조건에 대해 제시하고 있기 때문에 최적 배치형태, 세대 위치에 따른 상대적 일조성능, 태양열 및 태양광의 상황별 적용 한계선 등 매우 다양한 용도로 활용될 수 있을 것이다.

저에너지 공동주택 건물에 신재생에너지 시스템 적용에 앞서 시뮬레이션 분석 및 목업실험시설 적용 등을 통한 사전 연구가 지속적으로 이루어 졌다. 태양열에너지 시스템의 경우 저에너지 공동주택에 적용될 발코니용 진공관식 태양열 시스템의 기본규모를 산정하기 위하여 연간 공동 주택단지의 급탕 부하량 예측과 집열방식 결정을 위한 집열시스템의 유형 및 시스템 규모 산정을 실시하였다. 또한, 공동주택 발코니에 적용되는 집열기의

외관 디자인을 고려하여 형태와 미적 디자인을 사전 시뮬레이션을 통하여 예측, 진공관 집열기 시작품 제작에 적용하여 디자인 안을 개발 하였다. 이러한 시제품의 공동주택 실증 적용을 위한 사전 성능평가를 위하여 목업 실험시설에 설치 적용하여 집열기 성능을 테스트 하여 문제점과 개선점을 분석하였으며 수행된 연구결과를 바탕으로 본 시작품의 공동주택 적용에 대한 지속적인 성능평가를 위한 모니터링 시스템을 구축 적용하였다.
태양광에너지 시스템의 경우 태양열 시스템과 동일한 과정으로 진행되었다. 연중 지속 발전이 가능한 태양광시스템이지만 건물에 설치하는 부위, 주변건물 및 적용 모듈에 따른 발전 공급량의 차이가 있으므로 이를 분석하였다. 또한 태양광시스템을 이용한 건물의 외관 및 발코니 차양기능까지 고려하여 최적 공급방안 디자인에 대한 연구가 이루어졌다. 공동주택에 통합화 된 시스템(Building Integrated System)으로서 설치하기 위한 태양열 및 태양광 시스템을 각각 개발하여 특허출원을 하였다.

태양열시스템의 경우 사전 목업시설을 통하여 공동주택의 실증 적용을 위한 집열기 성능을 테스트 하여 문제점과 개선점을 분석하였다. 이에 따라 실증 공동주택에 적합한 집열기 사양을 설계하였으며 튜브의 개수를 증가시켜 가로 1.556m, 높이 0.95m, Heat Pipe방식의 진공관형집열기 2세트를 설치하였다. 집열기 1모듈당 진공관 튜브의 개수는 15개 씩 총 30개가 설치되었으며 튜브간 간격은 20mm로 시공되었다. 태양열 목업실험을 통하여 분석된 결과를 바탕으로 TRANSYS를 이용한 시뮬레이션으로 실증공동주택에 적용된 태양열 시스템의 성능을 분석하였으며 추가적으로 각도별 집열기의 성능을 분석하여 실증공동주택에 적용하기 위한 대안적 자료를 수립하였다.

공동주택을 대상으로 저에너지 공동주택의 구현을 실현하기 위해 신재생에너지 태양광 시스템의 적용을 상용화하기에 앞서 공동주택용 신재생에너지 공급모델을 수립하고, 태양광 시스템을 공급모델에 적용하여 8월부터 12월까지 총 5개월의 기간 동안 태양광 모듈이 설치된 위치별 일사강도와 발전량에 대한 모니터링을 실시하고, 도식된 결과에 대한 통계 및 상호 연관된 데이터 분석을 통해 태양광 모듈의 발전성능을 정량적으로 수립하였다.

이러한 초기 연구단계를 바탕으로 저에너지 공동주택에 태양광 에너지 시스템이 총 면적 121.49㎡로 옥상면과 벽면 수직면에 각각 설치되었다. 적용된 태양광 시스템의 지속적인 모니터링을 위한 시스템을 구축하여 각 면에 설치된 각 태양광 설치 모듈의 각 가구별, 건물별 분담량 및 절감량에 대한 통계 및 상호 연관된 데이터를 연구하여 발전성능 테이

터를 정량적으로 수립하였다.

본 연구에서 도출된 결과를 보면, 저에너지 공동주택 시범모델에 태양광 모듈이 설치된 총 면적은 121.49㎡로 지붕에 설치된 PV모듈의 면적은 35㎡, 옥상정원의 파고라면에 설치된 면적은 46.14㎡, 남동향의 정면 수직벽면에 설치된 면적은 10.35㎡, 남서향의 측면 수직벽면에 설치된 면적은 30㎡로 각각 설치되어있다. 단위출력당 발전량은 지붕면에 설치된 PV모듈이 2168.8kWh/kWp/month, 파고라면에 설치된 PV모듈은 1588.1kWh/kWp/month, 측벽면에 설치된 PV모듈은 1386.5kWh/kWp/month, 정면에 설치된 PV모듈 1009.6kWh/kWp/month로 단위면적당 발전량이 가장 높은 위치는 지붕면에 설치된 PV모듈로 나타났으며, 가장 낮은 곳은 정면으로 분석되었다.

동절기(12월)와 하절기(8월)로 구분하여 대표적인 기간을 선별하여 월별 시간변화에 따른 일사강도 그리고 발전량 분석결과를 보면 8월의 시간에 따른 일사강도에서는 지붕면과 파고라면은 유사한 패턴으로 일사수열량을 나타냈고, 방위각 남동을 향한 정면은 12시 전후로 일사강도가 급격히 줄어드는 것을 알 수 있었으며, 좌측면의 일사수열 강도는 남중고도 이후부터 증가 하는 것 으로 분석되었다. 각 위치별 나타낸 발전량을 보면 일사강도와 동일한 패턴으로 형성되었다. 본 연구는 태양광 시스템(Photovoltaic System)이 적용된 저에너지 공동주택 시범모델의 실험을 통하여 BIPV의 생산성능의 데이터를 확보하였고, 도출된 결과를 바탕으로 신뢰성 및 활용성을 입증하였으며, 이러한 결과를 바탕으로 저에너지 공동주택의 개발과 보급화에 더욱 활성화 시킬 것으로 평가하고 있다.

본 연구를 통해 나타난 기술적 연구성과로는 공동주택 발코니 설치가능 기술 개발 및 PV기술 적용부분에 대한 즉각 부응 기술 수립을 들 수 있으며, 태양열의 경우 기존에 나타난 태양열 시스템의 문제점을 개선한 내구성이 향상된 발코니형 BIPV의 생산을 들 수 있다. 또한 이러한 기술 개발들은 화석에너지의 5%의 에너지 절감을 가져오며, 공동주택의 새로운 트랜드로 자리매김하게 될 것이라 판단된다. 또한 산업분야가 아닌 건축과 사회기반시설에서 적용이 가능한 분야로 재생에너지 활용시스템의 보급 및 확산을 통한 국가에너지 및 온실가스 문제 대처로서 국제적 탄소소비 판매제도에 대응할 수 있다는 국가사회에 부응할 수 있는 장점을 가지고 있다.

제 5 절 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발

1. 저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계

가. 통합설계 프로세스 개발

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

에너지는 국가 산업이 발전함에 따라 필연적으로 소비가 증가하는 특징이 있으며 자원의 97%를 수입에 의존하는 우리나라도 예외는 아니어서 70년대 이후 지속적인 경제성장으로 에너지소비량도 계속 증가해왔다. 미국의 월드워치연구소 (Worldwatch Institute)에서 출판된 보고서에 따르면 세계적으로 목재의 55%를 건설에 사용하고 있으며 각종 원자재와 에너지의 40%가 건물에 의해 소비되고 있다.그리고 새로 건설되었거나 보수된 건물의 30%는 병든 건물증후군(sick building syndrome)증세를 보이는 것으로 파악되었다. 이처럼 건축은 지구환경과 인간의 건강에 미치는 영향과 파급효과가 매우 크다. 따라서 환경 친화적이고 지속 가능한 개발이라는 개념은 어떤 분야보다도 건축분야에서 시급한 실정이다. 따라서 선진국 뿐 아니라 우리나라도 건물에서 사용하는 에너지를 줄이기 위한 연구가 다방면으로 진행되어 왔다. 그러나 주로 단편적인 아이템 개발에 치중해왔고 설계단계에서 통합적용을 통한 검증 시도는 거의 이루어 지지 못했으며 시스템 적용 기술력 미비와 시공성, 경제성 부족으로 국내 공동 주택에 대한 적용은 극히 제한적인 상황이다. 또한 국내에서 적용되는 저에너지 친환경 건축 기술은 단편적이고 초보적인 수준이다. 이번 친환경 공동주택 프로토 타입 개발을 통해 기술 통합형 설계기법을 개발하고 저에너지 친환경 공동주택의 모델을 제시하고, 실증적 연구를 통한 경제성 및 상용화 가능성을 검증하는 데에 목적이 있다.

(2) 연구개발의 목표 및 범위

본 연구는 에너지 절약 및 환경부하를 저감할 수 있는 요소기술을 설계 에 반영하기 위한 종합적인 통합설계 기법을 도출하는 데 궁극적인 목적이 있다. 2-1세세부에서는 <저에너지 친환경 공동주택> 설계 가이드라인을 개발하여 개별적 기술이 사장되지 않고 통합되어 하나의 상품으로서 가치를 부여할 수 있도록 하는 데에 있다. 합리적이고 실용적인 활용방안을 제시함으로서 개발된 기술요소를 저에너지 공동 주택의 설계 시에 참조할 수 있도록 할 계획이다. 이는 연구단에서 요소기술을 개발하고 실제에 적용시키는데 있어 통합적인 관점의 스탠다드를 제시하기 위함이며, 현재 국내외를 통틀어 적용가능성이 있는 저에너지 친환경 요소기술까지 포함하여 그 항목을 제안하고자 한다.

본 연구의 연구개발 내용은 다음과 같다.

① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 국내외 사례 조사
 ㉮ 국내외 친환경 공동주택 기술개발 현황 조사
 ㉯ 국내외 사례집 발간

② 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발
 ㉮ 요소기술 개발과 연계한 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발
 ㉯ 통합설계기법을 적용한 저에너지 친환경 공동주택 모델의 경제성 및 상용화 가능성 제시

③ 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 프로세스
 ㉮ 통합설계프로세스 개발 사례 조사 및 공동주택 적용 가능한 통합설계프로세스 연구

(3) 연구개발결과

① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계 기술 개발

저에너지 친환경 공동주택 국내외사례에 적용된 친환경적인 요소에 대한 조사 내용과 대지, 건물 내외부의 디자인 및 시스템으로 구성되어 있다. 저에너지 친환경 통합설계를 하기 위한 기본적인 자료를 수집 검토 후 향후 실제로 적용될 표본을 얻고자 하는데 목표를 두고 있다. 이후 구축되어질 PILOT PROJECT에 대비하여 이전의 기본적인 연구를 진행되고 실제로 적용 가능성 여부 검토하고 더 나아가 국내외의 친환경 건물 평가 시스템 기준을 비교분석하여 통합적인 설계방법을 도출하였고 설계가이드라인은 저에너지 친환경 공동주택 건설에 있어서 이에 참여하는 디자이너와 기술자들이 계획 시 설계가이드라인의 기준에 맞추어서 기존에 주어진 기술과 개발기술 등이 투입되어 설계 과정에 있어서 건축, 설비, 조경, 구조 등 설계의 각 부문의 효과적인 공조를 통한 설계를 하는 데 도움과 이해를 주고자 마련되었다. 이를 통해 건축물에 각 기술이 효과적으로 적용되고 충분한 성능을 발휘하도록 하여 에너지 절감을 증진시키는 데 목적을 두고 국내에서도 해외의 선·사례들을 통해 국내에 설정에 맞는 설계가이드라인의 지속적인 연구가 필요하여 조사비교 하였다.

이를 기반으로 하여 저에너지 친환경 공동주택의 통합설계를 위한 설계가이드라인이 작업 초기에 제시되어 국내 공동주택 실정에 맞는 가이드라인을 마련하기 위한 연구가 지속되어 왔다. 건축물에 필요한 요소기술들의 적용 사항을 가이드 라인으로 구성

하였으나 건축물이 완공되고 실질적으로 사용되어지면서 적용된 요소기술들의 기능과 성능을 더 분석하여 친환경 공동주택에 가장 적합한 설계가이드라인으로 보완하여 기존의 문제점을 보완하여 저에너지 친환경 건축물을 효과적으로 완성하는 통합 설계팀은 건축가를 비롯한 조경건축가, 설비기술자, 구조기술자, 에너지 및 비용 컨설턴트 등 건축물 구성에 관여하는 다양한 분야의 전문가로 구성되며, 건축디자인 프로세스는 프로젝트 착수단계에서부터 통합설계팀 간의 의사결정 과정을 통해 최적의 설계안을 도출하였다.

이를 통해, 통합적인 설계가 이루어지면 에너지 소비가 최소화될 뿐 아니라 이용자의 환경적 요구도 만족시킬 수 있다. 해외 및 국내에서는 과거의 설계프로세스에서 벗어나 고도의 친환경적 성능을 가진 건물이나 커뮤니티를 건설하는 데에 통합설계 사용의 필요성에 따라 연구되었다.

연 차	연구목표	주요연구내용
1차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 사례조사 및 디자인 스탠다드 개발	▪ 국내외 저에너지 친환경 공동주택 설계기법 사례조사 ▪ 저에너지 친환경 공동주택 디자인 전략 및 건축 프로그램 개발 ▪ 주요구(住要求) 수집 및 분석을 통한 시나리오 개발
2차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 프로토타입 개발	▪ 저에너지 친환경 공동주택 디자인 스탠다드 및 통합설계시나리오 제안
3차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 표준 설계안 개발	▪ 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 국내외 사례보고서 작성 (2차)
4차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 실험주택 설계 및 감리	▪ 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 사례 조사
5차년도	▪ 저에너지 친환경 실험주택관련 설계 및 시공중 자료 정리 및 설계반영사항을 중심으로 한 설계 지침, 가이드라인 연구	▪ 저에너지 친환경 공동주택 통합설계기술 및 설계가이드라인 보완

② 연구개발 내용 및 결과

㉮ 통합설계의 이론적 정의

통합설계란 다양한 디자인 요소와 생활 방식, 건축재료, 자연 환경 요소들의 상호 작용을 통한 통합적인 계획이다. 저렴한 비용으로 고도의 친환경적 성능 구현을 목표로 더 많은 전문 분야가 참여하고 서로 협력해서 해결해나가면서 계속 개발되고 진화되어 가고 있다. 친환경건축물의 설계과정에서 초기단계부터 건축가와 그 관련분야 전문가가 공동으로 참여하여, 총체적으로 설계하는 방식을 통합설계(integrated design)라 한다. 즉 통합설계란 친환경 건축물을 구현하기 위하여 건축설계의 진행과 그 실행과정에서 총체적으로 설계진행을 강조하는 협동적 설계방법이라할 수 있다. 친환경 건축을 위한 통합설계를 실현시키기 위하여 기본적으로 고려해야할 사항은 기획설계, 계획 및 기본설계, 실시설계 등, 디자인 단계별로 달성하고자 하는 정량적인 통합환경 성능평가 전문가, 생태전문가등, 관련 전문가간의 효율적인 의사결정 방식이 마련되어야 하며, 설계단계별로 최적의 대안을 선택할 수 있도록 적절한환경 성능 예측평가 도구가 필요하다. 따라서 통합설계는 초기계획과정이 중요하며, 디자인인팀의 구성시기와 설계단계별 팀원의 참여율 등이 일반설계와 확연히 구분된다. 즉 통합설계는 기획설계단계에서부터 다양한 전문가들로 디자인팀이 구성되어, 많은 디자인 이슈들의 설계 초기단계에서부터 고려하여 설계가 진행된다.

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 국내외 사례조사

1차년도에 시작으로 <저에너지 친환경 공동주택> 모델을 개발하는 데 있어서 예시가 될 사례를 조사, 분석하는데 있다. 특히 2-1세세부의 목표는 1세부에서 요소기술을 통합한 것을 토대로 요소기술의 통합 설계기법 및 <저에너지 친환경 공동주택> 설계의 디자인 스탠다드를 개발하는 것으로서 1차년도 연구진행중 필요한 저에너지 친환경 공동주택 사례를 중심으로 일본, 캐나다, 국내사례를 중심으로 약 3개월에 걸쳐 답사하고 조사하여 사례집을 펴내게 되었다.

㉰ 저에너지 친환경 공동주택 디자인 스탠다드 제안

연구단의 최종목표는 <저에너지 친환경 공동주택>의 모델을 개발하고 <저에너지 친환경 공동주택>을 지원할 수 있는 시스템을 구축하는 것이다. <저에너지 친환경 공동주택> 모델을 개발하는데 있어서 세부 목표는 1) 기존 공동주택 대비 공사비 10% 상승, 에너지 절감 40~55% 수준의 요소기술의 개발 2) <저에너지 친환경 공동주택>의 평가·예측기법 및 프로그램 개발 3) 건설기술의 사회·경제적 가치 평가 및 실용화/

산업화 전략 구축 등이 있다. 1세부과제에서 개발된 요소기술은 2세부과제에서 통합설계 과정을 거쳐 SH-2011 프로그램의 요구 성능에 부합하는 공동주택 모델에 적용된다. 3세부과제에서는 개발된 요소기술과 공동주택 모델을 보급하고 저에너지 친환경 건설 산업의 지속적인 발전을 위한 국가 정책(SH-2011)의 수립을 목적으로 한다. 이 중 2-1세세부의 목표는 1세부에서 도출될 요소기술을 통합하여 설계기법을 개발하여 <저에너지 친환경 공동주택> 설계의 가이드라인을 제시하는 것이다.

특히 2-1세세부의 최종 목표는 <저에너지 친환경 공동주택> 설계 가이드라인을 개발하는 첫 단계로서 디자인 스탠다드를 제안한다. 디자인 스탠다드는 개별적 기술이 사장되지 않고 통합되어 하나의 상품으로서 가치를 부여할 수 있도록 합리적이고 실용적인 활용방안을 제시함으로서 개발된 기술요소를 저에너지 공동 주택의 설계 시에 참조할 수 있도록 하는 데에 있다. 이는 연구단에서 요소기술을 개발하고 실제에 적용시키는데 있어 통합적인 관점의 스탠다드를 제시하기 위함이다. 1 차년도에는 총 41여개의 디자인 스탠다드 개발 부분을 정리하였는데, 현재 국내외를 통틀어 적용가능성이 있는 저에너지 친환경 요소기술까지 포함하여 그 항목을 제안하고, 1세부에서 연구된 요소 기술이 실제로 적용되는 부분들을 포함하여 보다 구체적인 디자인 스탠다드를 개발할 계획이다.

㉱ 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 프로세스

현대에 친환경에 대한 요구와 온실가스 감소에 대한 관심이 높아지면서 건축분야 뿐 아니라 다양한 분야에서 친환경이 이슈로 떠올랐다. 이에 따라서 친환경 건축을 구현하기 위한 친환경 통합설계 프로세스의 보완이 요구되었다. 통합설계 프로세스는 건축가뿐 아니라 다양한 전문가들이 함께 설계 초기단계부터 디자인과정까지 참가하여 효율적으로 대안을 검토하고 의사결정을 통해 디자인 목표에 가장 적합한 최적의 대안을 모색해 가는 과정을 의미한다.

지금까지 국내에서 진행되는 프로젝트의 대부분은 건축주와 건축가의 계약관계로 시작되며, 계약과 동시에 건축가의 의도에 따라 기획설계가 이루어지고 상당한 건축 디자인의 진행이 이루어진 상태에서 건축가가 프로젝트의 성격에 맞는 적절한 엔지니어들을 고용하여 기본 및 실시설계 단계를 밟는 과정으로 이루어져 왔다. 결국 건축물을 구성하는데 관여하는 다양한 분야의 전문가들로 구성되는 설계팀은 통합되지 않은 채 건축가에 의존하여 설계가 진행되어왔다.

이러한 설계 진행은 앞서 언급한 바와 같이 저에너지 친환경 건축물을 효과적으로 완성하지 못하는 문제를 야기할 수 있으므로 초기 기획 단계에서부터 다양한 분야의 전

문가가 참여하는 통합설계가 필요하다.

통합 설계팀은 건축가를 비롯한 조경건축가, 설비기술자, 구조기술자, 에너지 및 비용 컨설턴트 등 건축물 구성에 관여하는 다양한 분야의 전문가로 구성되며, 건축디자인 프로세스는 프로젝트 착수단계에서부터 통합설계팀 간의 의사결정 과정을 통해 최적의 설계안을 도출해 간다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계 및 설계가이드라인의 활용을 목적으로 계획하였다.

㉮ 저에너지 친환경 주택시장이 확대되어가는 추세

㉯ SH-standard를 바탕으로 확대되어가는 저에너지 친환경 주택시장에 탄력적인 대응.

㉰ 초기 발생할 수 있는 시행착오 및 고비용 저효율의 주택시장을 효율적으로 유도.

㉱ 빠르고 광범위하게 저에너지 친환경 주택의 보급효과.

나. 통합설계를 위한 평면 개발 연구

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

현재 환경문제는 가장 민감하고 긴급한 국제협력 과제의 하나로 등장하고 있으며, 지구온난화의 원인으로 지목되고 있는 CO2의 발생량을 줄이기 위해 국가 차원에서 다각적인 노력을 하고 있다. 이에 따라 CO2 배출량의 50%를 차지하는 건물분야에서도 에너지 사용량을 감소시키기 위한 적극적인 방안이 조속히 마련되어야 한다.

무엇보다 국내 주거의 상당 부문을 차지하는 공동주택의 에너지 저감에 대한 실질적인 기술개발, 공동주택 모델 개발 및 지원이 시급하다.

본 연구는 저에너지 친환경 공동주택 모델을 구축하기 위한 연구로써 <저에너지 친환경 공동주택> 요소기술을 개발하고 개발된 기술을 통합, 검증하여 신도시에 공급 할 수 있는 공동주택 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다.

① 실험주택의 구축을 위한 사례조사 및 프로토타입의 개발

② 실험주택의 구축을 위한 설계 표준안 작성

③ 실험주택의 구축을 위한 설계 감리

④ 저에너지 친환경 공동주택의 보급을 위한 설계가이드라인의 작성

(2) 연구개발의 내용 및 범위

저에너지 친환경 공동주택 기술개발의 세부핵심기술은 요소기술개발과 실증모델 개발 그리고 지원정책 개발등 3가지로 구성된다. 개발된 요소기술은 통합설계과정과 실증적인 성능검증을 하기 위해 공동주택 모델에 적용된다.

연 차	연구개발 목표	연구개발 범위
1차년도	· 기존 친환경 공동주거 시스템 현황 파악 및 DB 구축	· 문헌조사 및 해외사례 조사
2차년도	· 각 요소기술의 통합 설계방법론 수립	· 각 요소기술의 최적성능 구현을 위한 통합 설계방법론 수립 및 설계 엔지니어링 초안 작성
3차년도	· 각 요소기술의 상호연계기법 구축을 통한 통합 모델 설계	· 각 요소기술의 상호연계기법 구축을 통한 통합 모델 설계(Pilot Project 설계지원)
4차년도	· 통합 모델 설계 최적화	· 통합 모델의 Pilot Project 성능 평가 결과를 바탕으로한 통합모델 설계 최적화
5차년도	· 통합 모델 설계 가이드라인 완성	· 통합 모델의 수정·보완으로 실용화 기술 구축 · 통합 모델 설계 가이드라인 작성

① 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축

㉮ 저에너지 친환경 공동주택 통합 모델 설계

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 인허가 및 감리

㉰ 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축

② 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발

㉮ 저에너지 친환경 공동주택 일반가이드라인

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 체크리스트형 설계 가이드라인

㉰ 저에너지 친환경 공동주택 각 모델별 가이드라인.

(3) 연구개발결과

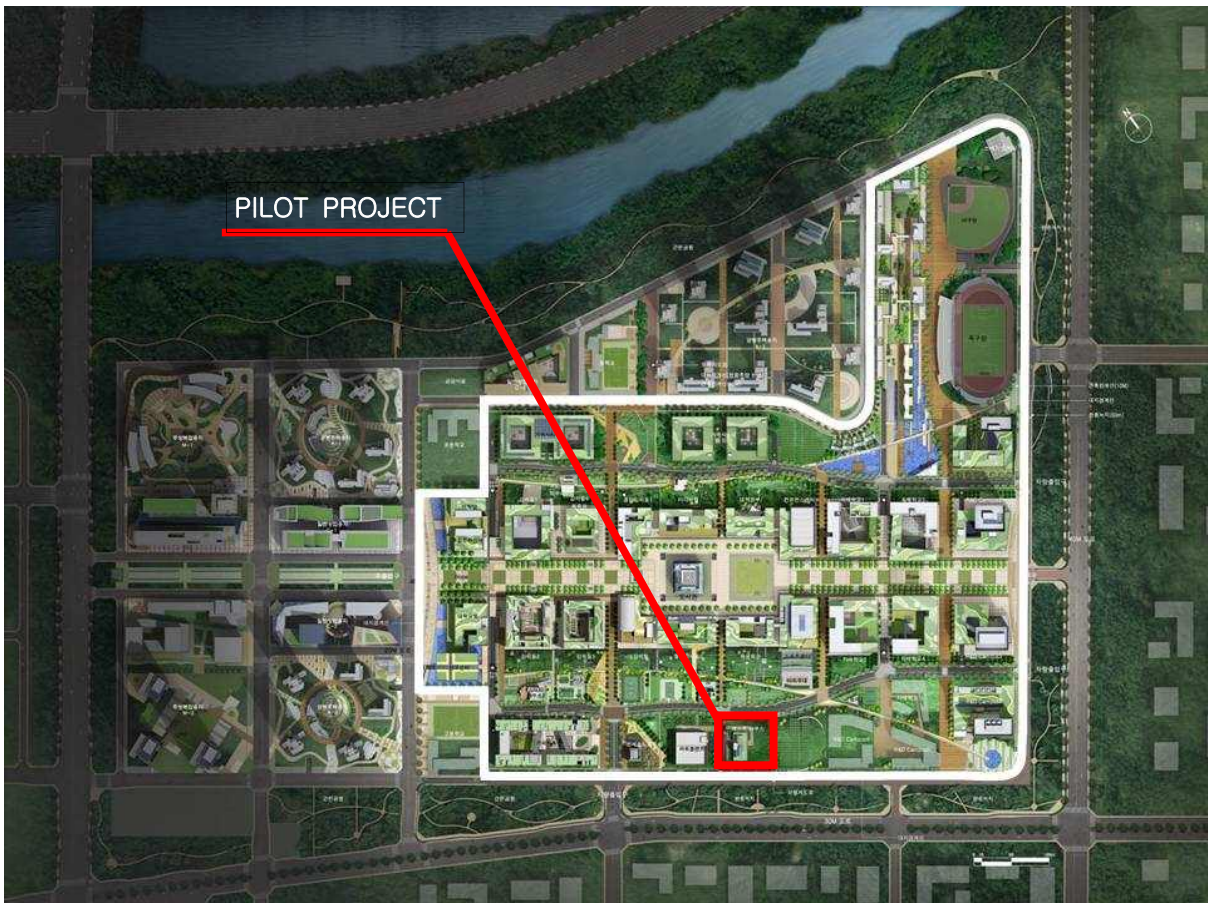
① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 국내외 사례보고서 작성

㉮ 저에너지 친환경 공동주택 해외 사례보고서 작성 - 1차년도

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 국내 사례보고서 작성 - 2차년도

② 저에너지 친환경 공동주택 실험주택 설계도서

본 연구는 연세대 송도캠퍼스 내 환경연구센터 부지를 대지로 하여 계획을 진행하였으며, 주요 내용은 1세부 요소기술 적용 및 평가를 위한 12개 타입의 단위세대 평면으로 구성된 4호 2코어 구조의 1개동으로 계획하였다.



파일럿 프로젝트 계획은 요소기술의 성능 평가에 따른 모델선정 후, 각 요소기술별 경제성 및 시공성 검토, 통합요소기술별 적용성 평가가 끝나는 시점에서 현장적용이 가능할 것이며, 이상의 연구는 각종 친환경 건축기술을 개발하고 있는 관련업체 및 친환경 건축물을 설계하고 있는 설계사무소 등에서 기술 및 설계안을 검증하는 중요한 수단으로 활용될 것이다.

㉮ Pilot Project 개요

- 대지위치: 인천광역시 연수구 송도동 162-1 연세대학교 송도 캠퍼스
- 연 면 적: 1,860.70㎡
- 건축면적: 968.76㎡
- 구　　조: 철근 콘크리트 라멘조
- 용　　도: 1층 - 홍보전시실, 모니터링실, 기계실, 전기실, 시청각실
  2~4층 - 실험용 공동주택(5세대)

㉯ 건축계획

이번 Pilot Project의 목적은 공동주택의 미래를 보여주고 기술 적용에 따른 에너지 절감 가능성을 검증하고 이를 보급하기 위한 모델을 제시하는데 있으며 Test Bed에서 실현하기 전 위험부담을 최소화하기 위하여 실험 단계에서 적용하여 검증을 하는데 있다. 2011년 40% 절감형 보급 모델부터 2030년 Zero Energy House까지 최신 기술을 조합하여 적용한 모델을 계획하였고 성능을 검정할 수 있는 실험주택으로서 뿐만 아니라 저에너지 친환경 주택을 직접 체험하고 최신의 기술을 전시할 수 있도록 연세대학교 송도 캠퍼스 내에 건설하여 국민 교육의 장으로 활용하는데 있다.

저에너지 친환경 공동주택 Pilot Project는 1세부에서 2년 동안 개발한 연구 성과를 가장 최적의 상태에서 실험이 가능하도록 건축적인 다양한 요소들을 적용하여 설계를 구성하였다. 건물 형태는 1층부에 기계 및 전기실과 모니터링실, 교육 홍보 관련 시설이 위치하고, 2~4층에 각 SH-Standard Model과 Base Model이 위치한 형태이다. 구조는 기둥식, 가변형 구조이며, 지상 4층으로 구성된다.

지붕형태는 평지붕과 경사지붕을 조합하여, 옥상정원과 경사지붕에서의 옥상 녹화를 병행할 수 있도록 하였다. Pilot Project의 평면 및 입면, 단면 구성은 다음과 같다.



㉰ 기술적용 계획

저에너지 친환경 공동주택의 구현을 위해 Pilot Project에 적용된 요소기술은 단위세대에서 친환경자재, 경량벽체시스템, 냉난방시스템등을 적용하였고 건물전체에서는 태양광 발전, 태양열 급탕, 지열 히트펌프등의 신재생에너지원을 사용하였으며, 저에너지 건축물이 가능하도록 외단열시스템, 지능형 이중창호, 하이브리드환기시스템, 옥상인공지반녹화등의 기술을 적용하였다.


경사형 인공지반녹화
태양광발전
외단열 시스템
태양열 급탕
벽면녹화
지능형 이중창호
하이브리드 환기시스템
물순환 시스템
열섬완화 포장재
지열 히트 펌프

모델		Base Model	SH-2011	SH-2015	SH-2020	SH-2030
에너지 성능 목표		기준 모델	40% 저감	60% 저감	80% 저감	Zero Energy
내측 창호	규격	PVC 단창 16mm 일반 복층유리	PVC 단창 16mm 일반 복층유리	PVC 단창 24mm 로이복층유리	PVC 단창 52mm 3중 일면로이유리	PVC 단창 52mm 3중 양면로이유리
	열관류율	3.0W/㎡·K	2.0W/㎡·K	1.5W/㎡·K	1.0W/㎡·K	0.8W/㎡·K
외측 환경조절 창호		無	○	○	○	○
			AL Push-out 창호			
벽체	외단열	無	110mm 미네랄울	110mm 미네랄울	110mm 미네랄울	110mm 미네랄울
	내단열	65mm EPS	無	50mm 글라스울	100mm 글라스울	15mm 진공단열재 230mm 그라스울
	열관류율	0.47W/㎡·K	0.3W/㎡·K	0.2W/㎡·K	0.15W/㎡·K	0.08W/㎡·K
내벽	규격	콘크리트/블럭조	건식 경량콘크리트 패널			
마감재	벽	일반석고보드 실크벽지 일반접착제	일반석고보드 건강벽지 친환경접착제 친환경페인트	기능성석고보드 건강벽지 친환경접착제 친환경페인트	기능성석고보/PCM 보드 건강벽지 친환경접착제 친환경페인트	기능성석고보드 건강벽지 친환경접착제 친환경페인트
	천정	일반석고보드 실크벽지 일반접착제	일반석고보드 건강벽지 친환경접착제	기능성석고보드 건강벽지 친환경접착제	조습 천장제	조습 천장제
	바닥	일반 바닥재 일반접착제	친환경바닥재 친환경 접착제 흡착 보양제	친환경바닥재 친환경 접착제 흡착 보양제	친환경바닥재 친환경 접착제 흡착 보양제	친환경바닥재 친환경 접착제 흡착 보양제

< 건축기술 요소 적용 계획 >

(다) 저에너지 친환경 공동주택 설계 가이드라인

① 저에너지 친환경 공동주택 일반가이드라인

② 저에너지 친환경 공동주택 체크리스트형 설계 가이드라인

③ 저에너지 친환경 공동주택 각 모델별 가이드라인.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 공동주택 모델 개발을 통해 제시된 실험주택의 설계도서와 가이드라인은 저에너지 친환경 공동주택을 설계하고자하는 건축설계사무소 등에서 기술 및 설계안을 검증하는 중요한 참고자료로 활용될 수 있다.

② 저에너지친환경 공동주택이 보급될 경우 공동주택의 건설비용을 크게 저감할 수 있을 뿐만 아니라 유지관리시의 건물 에너지절약과 CO_2 절감효과를 크게 기대할 수 있다.

다. 요소기술 통합설계 방안

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

자원의 97%를 수입에 의존하는 우리나라는 70년대 이후 지속적인 경제성장으로 에너지소비량이 계속 증가하였다. 우리나라는 2005년 한 해 동안 주거용 건물에서 전체 총 에너지 소비량의 21.7%인 37,330,000 TOE의 에너지를 소비하였으며, 이는 전체 총 에너지 소비량인 171,690,000 TOE의 21.7%를 차지하는 막대한 양이다.

주거용 건물에서 발생하는 에너지 비용의 많은 부분이 실내 온열환경을 쾌적한 상태로 유지하기 위한 냉·난방 부분에서 사용되는 점을 감안 할 때, 냉·난방 에너지 소비량을 줄이는 것이 주거용 건물의 에너지 소비량을 저감시킬 수 있는 주요 방안이라 사료된다. 이 때문에 선진국뿐 아니라 우리나라도 주거용 건물에서 사용하는 냉·난방 에너지를 줄이기 위한 연구가 다방면으로 진행되어 다수의 연구 자료가 보고되고 있으나 주로 아이템 개발에 치중되었으며 설계단계에서 통합적인 적용 방법에 대한 연구는 드문 실정이다.

본 연구는 에너지 절약 및 환경부하를 저감할 수 있는 요소기술을 설계에 반영하기 위한 설비 시스템의 통합설계 기법을 도출하는 데 궁극적인 목적이 있다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

통합설계기법의 실용화/사업화를 위해 대상모델이 달성해야할 목표에 따라 개발된 요소기술을 실제 건물계획에 통합적용하고 실증적 연구를 통해 피드백 과정을 거친 후 설계가이드라인을 작성하여 산업계에서 수용할수 있는 실용화 기술을 구축한다.

① 1차년도

1차년도에는 저에너지 친환경 공동주택에 적용 가능한 요소 기술을 추출, 검토하고 국내외 문헌조사 및 사례조사를 통해 통합설계의 기초자료로 활용하며 전문가의 설문

조사를 통해 기계설비 설계시 사전에 고려되어야 할 사항을 요소기술별로 규명하여 통합설계를 위한 기초자료 및 요구사항을 제시하도록 하였다. 일본의 친환경 건축물 사례조사와 국내 건축설비 관련 직종에 종사하는 전문가 설문을 실시하여 공동주택에 적용 가능한 친환경설비시스템 요소기술 활용검토와 실무자관점에서의 의식조사를 수행함으로써 저에너지 친환경 공동주택의 시스템 통합설계를 도출하는 기초자료를 제공하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

㉮ 일본의 친환경 건축물 사례에서는 설비시스템이 디자인요소로서 역할을 하는 동시에 환경을 조절하는 기능을 겸하고 있다.

㉯ 국내 공동주택은 대부분 화석연료를 기반으로 하는 전력계통, 열원 공급계통 등이 각각 독립적으로 공급되어 설비비나 수송손실 등이 중복되고 있다. 따라서 단지나 건물에서 독자적으로 열원 및 전기를 생산하여 공급하는 방식인 분산형 열원 시스템에 대한 적극적인 검토가 필요하다.

㉰ 요소기술별 활용방안에 대한 설문조사 결과, 공동주택의 설비요소 중 에너지 절약 및 환경부하저감이 가장 필요한 분야는 냉·난방 설비가 지배적이었으며 단지내 물 재활용은 세대 내에 사용하는 것보다 공용용수로 사용하는 것에 대한 의견이 많은 것으로 분석되었다. 기존의 바닥난방 패널을 이용한 복사냉방 적용 시 고려사항은 바닥면 불쾌적도, 공동주택 적합한 환기방식은 자연+기계환기에 대한 의견이 있었다. 마지막으로 공동주택에 적합한 재생에너지는 지열과 태양열급탕이 큰 비중을 차지하고 있다.

㉱ 요소기술을 설계적용 시 사전에 검토되어야 할 사항에 대한 설문으로 법적검토사항, 공사비 증가사항, 에너지성능, 시공성 및 시스템 독립성 등 5가지 항목이 모두 중요하게 작용하지만 그 중에서 특히 사전에 확인되어야 할 사항은 에너지 절약 성능과 공사비사항 및 법규로 분석되었다.

이상의 연구결과를 종합하여 저에너지 친환경공동주택의 시스템 통합설계를 위해 사전에 확인되어야 할 사항을 개략적으로 도출하였다. 일차적으로 건축설비 시스템과 관계된 요소기술을 중심으로 진행되었으나 향후 설비분야 자체뿐 아니라 건축설계, 조경, 토목 등과 시공분야의 의견 수렴하여 통합적인 연구가 필요하다. 그리고 친환경 저에너지 설비시스템 계획시 에너지/환경부하 절감효과, 공사비에 대한 사항 그리고 법적인 사항은

반드시 사전에 검토되어야 한다. 향후 연구에서는 본 연구에서 도출된 사항을 바탕으로 각 요소기술에 대한 통합설계 체크리스트 제시 및 구체적인 연구진행이 요구된다.

② 2차년도

2차년도에는 국내 친환경건축물 인증 공동주택의 사례를 조사하여 친환경 요소기술 적용 현황, 범위 및 특성 등을 비교분석하였고 요소기술 조합 적용 대안을 제시하도록 하였다.

㉮ 국내 친환경 건축물 인증 공동주택 사례분석

2004년 10월부터 2007년 12월 까지 본인증 및 예비인증을 받은 공동주택건물을 대상으로 조사 하였으며, 조사대상 단지는 총 130개였다. 다음의 분류기준으로 설비시스템의 적용현황을 조사하였다. 친환경 건축물 인증 공동주택의 설비시스템 적용유형을 조사한 결과 절수형 위생기구, 실내자동온도조절 장치 등 하나의 제품단위로 적용된 비율이 높다. 또한 건물외부공간과 조경 등에 대한 관심이 높아져서 비오톱 설치 비율이 상당이 높다. 그러나 수자원 재활용, 신·재생 에너지 등 합리적인 시스템계획에 의한 적극적인 에너지 절약 계획은 부족한 것으로 판단된다. 따라서 기존의 친환경 건축물 인증제도 기준에 준하는 시스템과 차별화되는 성능위주의 적극적인 아이템 활용개념으로 설비시스템 적용성을 검토하여 그 개념과 성능을 명확히 할 필요성이 요구된다. 국내 공동주택의 경우 전반적으로 설비시스템이 건물 외부에 노출되는 것에 대한 부담으로 적용 아이템이 한정되었고 건물과 일체화되는 디자인으로도 발전되지 못하고 있었다.

㉯ 저에너지 친환경 요소기술 조합에 의한 적용대안 제시

설비시스템 구성에 따른 유형분류는 크게 에너지의 공급방식에 따라 구별되어야 한다. 여기서 공동주택 에너지의 종류는 크게 난방열원, 냉방열원, 급탕열원 및 전력공급으로 구분을 할 수 있다. 그 중 열원의 공급방식은 세대 내에서 독립적으로 수행하는 개별공급방식과 중앙에서 각 세대로 공급하는 중앙공급방식으로 구분된다. 현재, 공동주택의 난방과 급탕을 위한 열원공급은 개별 보일러를 설치하여 난방과 급탕을 하는 방식과 지역열원을 공급받아 열교환하여 중앙에서 세대별로 온수를 공급하는 중앙공급방식이 대부분을 차지한다. 이러한 에너지 공급방식에 따라 요소기술이 적용되는 2차 측 시스템 구성에 차이가 발생한다. 따라서 우선적으로 2개의 에너지 공급방식으로 구분하고 별도의 요소기술 조합이 형성되어야 한다. 요소기술의 조합은 열원공급방식에 따라 세대에 적용되는 아이템이 중복되지 않도록 구성하는 것을 원칙으로

해야 한다. 요소기술 통합설계 방안은 해당분야(Site, Building, System)안에서 위계 및 순서를 정하며 상호 연동되는 요소기술간의 영향성을 고려하여 적용대안을 구성하였다. 마지막으로 열원공급방식의해 2차측 시스템 적용유무가 결정되는 요소기술은 열원공급방식에 대안을 구분하였다. 저에너지 친환경 공동주택 모델개발을 위한 요소기술 통합설계 적용대안(prototype)은 8단계로 조합이 되며 크게 에너지공급 방법에 따라 2개의 대분류로 구성된다. 12개의 통합설계 적용대안을 파일럿프로젝트 구성세대의 위치 및 구조 등의 건축적 사항을 고려하여 배치하였다.

③ 3차년도

3차년도 연구에서는 1,2차년도에서 연구한 통합설계 방안을 토대로 하여 파일럿프로젝트에 적용하기 위한 설계 및 모델을 개발하였다. 파일럿 프로젝트는 40%의 에너지 저감을 넘어서서, 60% 저감모델, 80% 저감모델, 제로에너지를 목표로 하는 모델까지 모두 네 가지의 에너지 평가모델과, 비교측정을 위한 기본모델로 구성된다. 이것은 보다 장기적으로 우리나라의 저에너지 주택 건설의 모델로 제시될 수 있다. 요소기술과 통합설계기술을 접목하여 구성되는 파일럿 프로젝트는 지속적인 모니터링을 가능케 한다. 파일럿 프로젝트의 사이트와 건축적 요소기술은 단지내 수순환, 단열강화, 지능형 외피시스템, 옥상 / 측면녹화, 가변형벽체, 친환경 마감재료 등이 적용되어 실질적으로 건물부하 및 환경부하를 감소시키도록 하였다. 건축적인 요소에서 1차적으로 부하를 저감시키면 이후 시스템에서 담당하는 부하도 비례적으로 감소되고 추가적으로 시스템 방식이나 효율향상을 통해 2차적인 에너지 저감이 가능하게 된다. 건물의 에너지 성능은 설비시스템의 방식이나 효율보다는 건물부하의 감소에 큰 영향을 받는다. 따라서 본 건물은 건축적으로 부하를 최대로 감소시켰기 때문에 보다 효과적으로 설비시스템을 적용할 수 있었다.

㉮ 파일럿 프로젝트 열원 시스템 계획

각 대안별 기본적인 에너지공급 시스템은 지역열원이 공급된다는 전제로 중앙공급방식으로 구성하였다. 냉·난방 시스템은 전기식 히트펌프에서 팬코일 유닛, 바닥복사 냉·난방과 capillary tube를 이용한 최첨단 복사 냉·난방까지 다양한 방식들이 실험적으로 적용되었다. 기본모델의 냉방을 제외한 2차측 시스템의 열매체공급을 위한 열원설비는 크게 2가지 범주로 구성하였다. 지역열원(온수, 냉수)공급 방식을 모사하기 위한 냉동기 및 전기보일러와 80%저감과 제로에너지 모델의 신·재생에너지인 지열히트펌프 시스템이 적용되었다. 본 시스템은 기존의 지열히트펌프에 우수열을 활용하는 시

스템으로 발전시킨 것이 큰 특징이다. 각각의 세대가 요구되는 냉수와 온수의 조건이 모두 상이하기 때문에 제어측면에서 공급계통을 구성하기 매우 힘들었으며 향후 시공단계 및 완공 후 테스트와 조정과정이 반드시 필요할 것으로 판단된다. 특히, 제로에너지 모델의 냉·난방 시스템은 효율이 매우 우수한 capillary tube 시스템이기 때문에 별도의 열원 시스템에서 에너지를 공급받는 않고 지중에 capillary tube를 연장매설하고 열매를 순환시켜 에너지를 획득하는 low-tech 시스템 개념이다. 각 세대의 에너지 소비평가를 위해서 열원공급은 각각의 모델조건에 부합하도록 정유량 / 정온의 냉수와 온수를 공급할 수 있도록 하였다. 이를 위해서, 열원장비 운전시 기동 / 정지에 의한 냉수 또는 온수의 공급온도편차를 최소화하기 위해 각각 1차측에 버퍼탱크를 반영하였다. 또한 세대별로 열원을 분리할 수 없기 때문에 각각의 정밀한 온도, 유량조건을 만족시키기 위해 1,2차 존펌프 시스템을 구성하였다. 세대로 공급되는 배관은 냉수와 온수의 유량편차가 커서 각각 분리하고 3-way 컨트롤밸브에 의한 블리드인 방식을 채택하여 신뢰성 확보에 중점을 두었다. 2차측 시스템 제어는 개별 / 마스터제어에서 fuzzy제어까지 각 시스템에서 최적의 운전성능을 확보할 수 있도록 하였고 1차측에는 외기보상제어도 적용하였다.

㉯ 파일럿 프로젝트 냉,난방 시스템 계획

파일럿 프로젝트 특성상 냉, 난방의 2차측 시스템과 열원 시스템과 관련된 1차측 시스템이 요소기술로 분리되어 하나의 시스템으로 구성하여 연구를 진행하기에 무리가 있다. 따라서 1차와 2차측 시스템을 독립적으로 운전될 수 있도록 각 세대별 시스템 요구사항에 부합하도록 열원의 공급온도와 유량을 고정하였으며 2차측 시스템에서는 공급되는 열원으로부터 건물부하를 제거할 만큼만 소모하고 다시 1차측으로 환수되도록 하였다. 기본모델은 전기식 히트펌프를 적용하여 전통적인 난방방식인 바닥난방과 공기가열식 난방방식의 에너지 효율을 동시에 비교할 수 있도록 구성하였다. 40% 저감모델은 향후 지역냉수 공급이 활성화될 것을 예상하고 팬코일 유닛으로 적용하였다. 실제로 지역냉방과 팬코일 유닛의 열교환기 효율을 고려하여 10℃의 냉수를 공급하도록 하였다. 60%와 80% 저감모델은 바닥복사 냉, 난방이 적용되었다. 복사냉방에서 높은 습도가 발생하는 기간의 제습을 통한 표면결로 발생방지가 고려되어야 한다. 우선적으로 세대의 피크부하 차이지만 60%저감모델은 16℃의 냉수를 공급하고 별도의 제습기 시스템을 구성하였다. 그러나 상대적으로 건물부하가 작은 80%저감모델은 18℃의 고온냉수를 공급하고 제습시스템은 환기유닛과 연계하여 외기잠열부하만 처리하도록 하였다. 마지막으로 제로에너지 모델은 냉방식 별도의 압축기를 사용하지 않

고 지중열 교환만을 가지고 20℃의 고온냉수를 공급할 수 있는 capillary tube를 이용한 복사시스템을 제안하였다. 그러나 난방 시에는 40℃의 저온온수를 공급하기 위해 지열히트펌프를 가동하도록 구성되었다.

㉰ 파일럿 프로젝트 수자원 시스템 계획

수자원설비는 크게 공급계통과 배수계통으로 구분된다. 기본모델을 제외한 40%저감에서 제로에너지 모델까지는 모두 태양열급탕시스템이 세대 내부에 설치된다. 원칙적으로는 에너지 저감이 높은 단계에서는 보다 집열효율이 높은 시스템이 적용되는 것이 당연하다. 그러나 현재의 기술수준을 고려하여 볼 때 향후 기술개발을 통해 효율이 높은 시스템을 적용하는 것으로 가정하였다. 또한 기후조건에 따라 태양열급탕의 효율저하시 대체가능한 백업시스템이 필요한데 이는 열원 시스템과 동일한 구성을 갖는다. 즉 40%-60%저감 모델은 지역열원을 모사한 전기보일러에서 공급받으며, 80% 저감과 제로에너지 모델은 백업시스템도 신·재생 에너지인 지열히트펌프에서 공급받는다. 그리고 안정적인 급탕공급을 위해 온수 저장조는 모두 반영하였다. 수자원 재활용 또한 기본모델을 제외한 모든 세대에 중수시스템이 동일하게 적용되었다. 중수의 원수가 되는 계통과 배수되어 외부로 배출되는 위생계통을 분리하였고 중수처리시스템을 거친 중수는 수조로 이동하여 다시 세대의 소요처로 재활용된다. 또한 건물에서 발생하는 우수를 채집하여 조경용수 또는 중수로 재활용할 수 있도록 우수조와 중수조를 통합하였다.

㉱ 전기 시스템 계획

건물에서 사용하는 에너지 중 조명 및 콘센트 전력 사용량이 냉, 난방과 더불어 많은 부분을 차지하고 있다. 국내 공동주택의 현실상 제로에너지 구현이 어렵다. 따라서 에너지 절감수준이아니라 에너지를 생산할 수 있는 아이템으로 태양광발전 시스템을 적용하였다. 크게 적용처에 따라 그 수준을 설정하였다. 40%와 60% 저감모델은 공용부에 발전된 전력을 사용하며 80% 저감 및 제로에너지 모델은 단위세대 및 공용부에 모두 적용하였다. 그리고 조명시스템은 80% 저감 및 제로에너지 모델에 한하여 LED 조명시스템을 적용하였다. 전력시스템 설계에 있어서 파일럿 프로젝트의 효율적인 전력사용량 모니터링을 위하여 전등과 콘센트 인입을 구분하고 계측도 별도로 가능하도록 반영하였다.

④ 4차년도

4차년도 연구에서는 3차년도 연구에 이어 저에너지 친환경 공동주택 구현을 위한 저에너지 설비시스템 통합설계 및 모델 개발을 수행하였다. 에너지 저감 모델별로 열원시스템, 냉난방 시스템, 환기 시스템, 급탕 및 수자원 시스템, 태양광 설비, 조명 설비를 파일럿 프로젝트에 적용하였다.

⑤ 5차년도

5차년도에서는 1-4차년도 연구를 통하여 도출된 결과와 통합 모델 설계안의 수정·보완 단계를 통하여 차후 산업계에서 수용이 가능하도록 최적 통합모델 설계가이드라인을 제시하도록 하였다. 에너지 저감 단계별로 적용되는 설비시스템의 가이드와 친환경 저에너지 공동주택을 위한 설비시스템 분야의 일반적인 가이드라인을 제시하였고 설계가이드라인을 위한 체크리스트를 작성하였다.

(3) 연구개발결과

(가) 저에너지 친환경 공동주택 모델개발

①저에너지 친환경 공동주택 요소기술 적용안 제시

②그린홈플러스 에너지 저감 모델별 Pilot project 설계

③그린홈플러스 에너지 저감 모델별 Pilot project 시스템 운용

④저에너지 친환경 공동주택 SYSTEM 가이드라인 수립

㉮ 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드 체크리스트

㉰ 그린홈플러스 설계가이드

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 공동주택 모델 개발을 통해 제시된 실험주택의 설계도서와 가이드라인은 저에너지 친환경 공동주택을 설계하고자하는 건축설계사무소 등에서 기술 및 설계안을 검증하는 중요한 참고자료로 활용될 수 있다.

② 저에너지친환경 공동주택이 보급될 경우 공동주택의 건설비용을 크게 저감 할 수 있을 뿐만 아니라 유지관리시의 건물 에너지절약과 CO_2 절감효과를 크게 기대할 수 있다.

라. 외부공간 설계

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

최근 전지구적인 환경문제에 대한 대안으로 저탄소 녹색성장이 활발히 추진되고 있다. 공동주택에서의 에너지 저감은 주로 저에너지 건축 설계를 통해 해결할 수 있지만 넓은 의미에서 본다면 도시 열섬현상, 열대야, 도시홍수, 환경오염 등과 같은 외부 환경요소에 의해 많은 영향을 받는다. 에너지 저감에 필요한 보다 근본적인 요소인 외부인자들에 대한 고려를 통해 에너지저감 및 재이용할 수 있는 방법을 모색 할 필요가 있으며 이를 위해서는 친환경적인 공간계획이 필요하다.

이에 친환경적인 외부공간 계획을 통해 개발로 인해 상실된 도시의 생태적 기능을 회복하고 에너지 저감 및 재이용할 수 있는 방법을 모색하여 쾌적한 정주환경의 모 델을 제시하는 것이 본 계획의 목적이다.

(2) 연구개발의 목표 및 범위

본 연구는 에너지 저감에 필요한 보다 근본적인 요소인 외부인자들에 대한 고려를 통해 에너지저감 및 재이용할 수 있는 방법을 모색하여 친환경적인 공간계획 조성 가이드 라인을 제시하는 것을 최종 목적에 둔다.

관련하여 국내외 저에너지 관련 건축물의 외부환경, 인공지반 녹화관련 기술조사 및 분석을 진행하였고 저에너지 친환경 공동주택구축을 위한 실험주택인 그린홈플러스의 외부공간 설계 및 감리를 진행하였다.

이를 통해 추후 저에너지 친환경 공동주택 건설을 위한 설계단계의 일반 및 모델별 가이드라인을 작성하였다. 본 연구의 연구개발 내용은 다음과 같다.

① 저에너지 친환경 공동주택 통합설계를 위한 국내외 사례 조사

㉮ 국내외 친환경 공동주택 현황 조사

㉯ 건물별 적용 친환경 기술 비교 및 적용가능성 검토

② 파일럿 프로젝트 마스터플랜 설계

㉮ 연세대 송도캠퍼스 내 환경연구센터 계획

㉯ 식재, 옥상녹화, 입면녹화계획, 빗물순환시스템 체계 정립

③ 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발

㉮ 저에너지 친환경 공동주택 설계가이드라인 개발

㉯ 통합설계기법을 적용한 저에너지 친환경 공동주택 모델의 경제성 및 상용화 가능성 제시

(3) 연구개발결과

저에너지 친환경 공동주택 모델 구축에 앞서 연세대학교 송도 캠퍼스를 대상지로 파일럿 프로젝트 마스터플랜 설계를 진행하였다. 식재계획, 옥상 및 입면 녹화계획, 빗물순환 시스템 연구 등을 통해 외부공간에 적용 가능한 친환경적이며 저에너지적인 기술요소를 검토하였으며 결과물은 아래와 같다.



< Pilot Project 외부공간 계획(평면) >



< Pliot project 옥상 및 지붕녹화 설계도 >



< 송도 Pilot project 2층 옥상 인공지반녹화시공사진 >

고효율 저에너지 친환경공동주택의 조성을 위해서 모델별 가이드라인을 분류하여 제 시하였다. 모델별 가이드라인의 경우 크게 외부공간조성과 인공지반녹화, 분산형 빗물관리로 분류하고 외부공간조성의 경우 자연자원활용, 생태면적율, 단지내 녹지 연계 및 생태벨트조성, 생물서식공간조성, 외부공간식재로, 인공지반 녹화의 경우 옥상녹화, 경사지붕녹화, 벽면녹화, 기타인공지반녹화로 재분류하여 진행하였다. 가이드라인의 세부 내용은 아래와 같다.

① 외부공간조성

㉮ 자연자원활용

자연자원활용	- 생태적토지이용계획에는 산림 등 원형녹지 보전을 통한 생태환경 보전계획과 보전적지 결과분석에 의한 보전용도지역 설정으로 분류가능함 - 표토는 생물서식처 및 수목생육에 매우 중요한 요소로서 보전 또는 재활용해야 하며 친환경건축물인증제도등에서는 활용률에 따라 가산점을 제공하고 있음

㉯ 생태면적률

생태면적률	- 「생태면적률」은 개발로 인해 훼손되기 쉬운 도시공간의 생태적 기능(자연의 순환기능)을 유지 또는 개선할 수 있도록 유도하기 위한 환경계획지표임 - 환경부 생태면적률에 관한 기준에 따르면 공동주택지(아파트단지)에서는 생태적가치가 보통인 경우 40%이상, 높은 경우에는 50%이상으로 정하고 있음

㉰ 단지내외 녹지연계 및 생태벨트 조성

단지내외 녹지연계 및 생태벨트 조성	- 그린네트워크는 인접 녹지 및 블루네트워크와의 연결이 되도록하며 단지 내 중심(핵심공간)으로부터 대상지 전체까지의 연결을 위해 보행녹도, 다층구조식재, 오픈스페이스의 중앙집적 등으로 연계가 가능하며, 단지내 비오톱과의 연계도 고려해야함.

㉱ 생물서식공간 조성

생물서식공간 조성	- 비오톱은 동식물이 서식할 수 있는 공간을 말하며 전체 자연환경은 비오톱의 연결로 이루어져 있다. - 단지내 비오톱 구성요소로서는 숲, 초화원, 생태연못, 저류지, 실개천, 습지, 토양, 인공지반을 활용한 비오톱 등이 있으며, 각 요소들의 설계시 동식물의 서식환경을 고려하여 공간조성을 하여야 한다.

㈐ 외부공간식재

외부공간식재	- 외부공간식재는 수목의 생태적 특성을 최대한 고려해야하며, 수목의 차양, 증발산 및 방풍의 기능을 활용한 주택의 냉난방에너지 소비와 비용을 절약하도록 계획함 - 수직적 다양성의 창출은 대기오염 완화, 생물다양성 유지 등 녹지의 기타 환경생태적 기능을 증가시킬 수 있으므로 다층구조의 식생경관을 조성함 - GHG(Green House Gas) 온실가스를 빨아들이는 수종선택을 권장

② 인공지반녹화

㉮ 옥상녹화

중량형	- 토심 20㎝이상, 주로 90㎝~150㎝이하의 토심 확보 및 구조적 문제없는 곳 적용가능하며, 지피식물, 관목, 교목을 활용한 다층 구조 식재가능 - 관수, 시비, 전정 등 이용요구에 부합되는 관리가 필요함
경량형	- 토심 20㎝ 이하, 주로 인공경량 토양사용 및 구조적 제약이 있으며 유지관리가 어려운 기존 건축물의 옥상 등에 활용하며, 지피식물 위주로 식재됨 - 관수, 예초, 시비 등 관리요구를 최소화 가능함
혼합형	- 혼합형 녹화는 일반적으로 화본류와 다년초 및 수목을 이용한 녹화유형임 - 이용요구는 높으나, 관리·중량형 시스템 도입이 어려운 공간에 적합 - 토심은 10~30㎝내외, 지피식물과 키가 작은 관목위주로 식재하고, 저관리를 지향하는 것이 바람직함

㉯ 경사지붕녹화

경사지붕녹화	- 경사지붕의 경우 풍압 및 강우, 일사 등의 기상조건이 일반적인 평지붕보다 열악한 상황에서 조성가능하나, 급속한 배수가 이루어져 상부 식생기반 생장에 필요한 수분 확보가 곤란함 - 고층건물 옥상부에서 발생 가능한 풍압에 의한 녹화토양 및 식물의 비산의 방지할 수 있는 시설의 설치가 필요하며, 저수기능 강화와 방근성능 일체화를 고려한 유닛형태 패널방식이 사용권장됨

㉰ 벽면녹화

벽면녹화	– 옹벽, 방음벽, 건축물 벽면 등 공간별 벽면에 따른 소재를 파악하여 녹화방법을 달리함 – 벽면녹화의 유형으로는 등반형, 식물생육보조재(메쉬 또는 와이어), 벽면내림, 플랜터설치, 식재기반형(패널형) 등이 있으며, 유지 및 관리를 위해 전정, 시비, 관수 등을 함께 계획 · 실시하여야 함

㉱ 기타 인공지반녹화 (슬라브 상부녹화)

기타 인공지반녹화	– 생태적인 외부공간 조성을 고려할 때 토심은 최소 120㎝, 최대 150㎝를 기준으로 하는 것이 바람직함 – 건축, 토목, 조경공사간의 긴밀한 연계를 통해 하중문제 및 시공상의 누수 등 하자발생을 최소화하여야 한다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

앞으로 국내외에 설계 및 시공될 저에너지 친환경 공동주택의 에너지 저감형 외부공간의 조성을 위해 활용가능하다. 특히 인공지반 녹화 기술관련에 대해서는 추후 제품화와 연계되어 특허 및 신기술획득을 통한 실용화 등이 가능하다.

2. 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성평가

가. 저네어지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성 평가

(1) 연구개발 목표

① 최종목표

㉮ 요소기술의 적용성 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 모델구축

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 시공 매뉴얼 작성(건물부하 저감기술)

㉰ 파일럿프로젝트의 시공/경제성 평가

② 연구수행 내용 및 성과

연 차	연구목표	주요연구성과
1차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 모델의 선정	▪ 저에너지 친환경 공동주택 시공사례집 ▪ 저에너지 친환경 공동주택 시공도면확보 ▪ 요소기술 Mock-up 설험장비 구축
2차년도	▪ 적용성(시공성)검토	▪ 저에너지 친환경 공동주택 적용성(시공성)검토 보고서
3차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 Ⅰ	▪ 파일럿 프로젝트 구축(공정율 50%)
4차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 모델구축Ⅱ	▪ 파일럿 프로젝트 구축(공정율 100%)
5차년도	▪ 저에너지 친환경 공동주택 설계 및 시공 매뉴얼 작성	▪ 표준 시공 매뉴얼 ▪ 저에너지 친환경 공동주택 사업화 전략을 위한 시공비용 분석

(2) 국내외 기술개발 현황

① 국외 기술개발현황

유럽에서는 패시브하우스(초에너지절약주택) 시범보급 사업인 CEPHEUS(Cost efficient passive house as european standdards)프로젝트가 2001년에 마무리 되면서 현재는 독일, 오스트리아, 스위스를 중심으로 초에너지절약주택이 본격적으로 보급되고 있다.

② 국내 기술개발 현황

㉮ 외피설계를 위한 시뮬레이션

건물에너지소비량 목표 달성을 위해 VE apache (ESP-r엔진) 시뮬레이션을 이용하여 외피변화에 따른 에너지소비량에 대해 민감도 분석을 실시하였으며, 그 결과를 토대로 외피의 단열재 두께(지붕 및 외벽 300 mm, 바닥 250 mm, 창호; 3중유리[u value=0.8 W/㎡K]) 및 기밀도(0.6회/h n=50)를 결정하였다.

㉯ 적용기술

한국형 초에너지절약 공동주택에 적용된 기술로는 고단열, 고기밀, 열교최소화, 수퍼창호시스템(3중 유리, 로이코팅), 지중덕트이용 전열교환 환기시스템, 바닥복사냉난방 시스템이 적용되었으며, 신재생에너지는 태양광과 지열시스템이 기타요소로 빗물이용 시스템 등이 적용되었다.

(3) 연구개발수행 내용 및 결과

(가) 저에너지 친환경 공동주택 요소기술의 적용성 평가

1) Site 분야 적용성 평가

가) 빗물저장조 개량을 통한 수질향상 방안

① 개요 및 문제점

㉮ 개요

주거환경연구센터의 빗물이용시설은 2006년 10월 연구센터 개소시 설치되었으며, 주된 사용처는 연구센터내의 단위세대(101호, 201호) 화장실 용수로의 공급 및 정원용수로의 이용이다.

㉯ 문제점

주거환경연구센터에 설치된 빗물이용시설의 수질측정결과(2007년 3월 분기보고서)에 따르면, 탁도와 COD의 값이 중수도 수질기준보다 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는, 빗물이용시설에서 오염물질(협잡물)의 제거가 원활히 이루어지지 않고 있음을 뜻한다.

② 저장조 개량

㉮ 개량전의 저장조

개량전 저장조의 유입부와 유출부는 같은 방향에 존재하였고, 특히 유입구의 위치가 바닥으로부터 너무 높은 지점에 설치되어있어 빗물의 유입시 빗물이 낙하하면서 저장조에 있던 물을 교란시키는 문제가 발생했다.

㉯ 개선사항

수질항목 중 가장 문제가 되는 탁도의 경우, 원심력 필터를 거친 후 유입되는 280㎛ 미만의 입자에 의해 유발된다고 여겨진다. 따라서 이렇게 유입되는 작은 크기의 입자를 효율적으로 침전시켜 상등액만 이용할 경우 탁도의 저감이 예상된다.

③ 결론 및 제언

저장빗물의 수질을 향상시키기위해 저장조 유입부의 형상을 변경한 결과, 수질이 상당히 향상되는 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구의 결과를 통해 저장조의 설계시 캄인렛의 중요성이 크며, 사용빗물의 수질향상을 위해 캄인렛을 반드시 설치하여야

함을 알 수 있다. 또한 기존의 소규모 빗물이용시설에서의 수질악화 원인을 Calm Inlet의 미설치에 기인하는 것이라 생각할 수 있으며 향후 당사의 빗물이용시설의 설치시에는 Calm Inlet설치를 의무화해야 한다고 판단된다.

나) 활성탄에 의한 빗물의 TOC 흡착특성에 관한 연구

① 개 요

㉮ 흡착의 원리

흡착은 고체의 표면장력으로 설명될 수 있다. 고체의 내부분자는 모든 방향에 대해서 균일한 임을 유기하고 있다. 내부의 힘이 균형을 이룰 때는 단지 액체나 기체상태의 다른 물질과 접촉할 때 뿐이며, 그 인력은 액체의 표면장력 및 응집력과 같게 된다. 이것은 van der Waal's force라 불리는 상대적으로 약한 힘이다. 분자간의 인력에 의한 흡착을 물리적인 흡착이라 하며 흡착된 물질은 열에 의하여 쉽게 탈착된다. 이에 반하여 화학적 흡착은 표면 분자간의 화학적 반응에 의하여 일어난다. 화학 흡착은 강하게 결합되고 역반응은 쉽게 일어나지 않는다.

㉯ 등온흡착식

㉰ 분말/입상 활성탄을 이용한 수처리

② 실험 방법

입상활성탄을 이용한 TOC 연속흡착 실험에서는 내경 35㎜, 높이 200㎜의 컬럼에 입상활성탄 24~10mesh(4.7~0.15mm)를 140g(140mm) 충진하였다. 주거환경연구센터 옥상에서 취수된 빗물을 250ml/hr(HRT 0.46hr)로 유입시켜 유출수의 pH, 탁도, 전기전도도, TOC를 분석하였다.

③ 결론

사용자의 욕구는 증대됨에 따라 단순 처리 공법으로는 부족한게 현실이다. 따라서 활성탄을 이용한 빗물의 탁도 및 TOC 처리효율을 평가하였다. 일반적으로 활성탄은 일반세균 및 중금속 흡착능력이 매우 우수하지만, 본 실험 결과 TOC의 처리효율은 30% 미만으로 낮은 처리효율을 보이는 것으로 나타났다. 탁도의 경우에는 TOC와 반대로 2NTU 미만으로 유출되어 화장실 용수로의 재사용에는 문제점이 없을 것으로 판단되며, 향후 TOC 제거를 위한 적정 처리 공법을 평가할 예정이다.

다) UV시스템에서 빗물의 대장균 및 유기물질저감 특성

① 개 요

주거환경연구센터의 빗물이용시설은 빗물 재사용에 있어서 병원성 미생물의 제어를 위해 제어시스템 적용 Item을 검토하고 있으며, 그 중 가장 유지관리가 용이한 UV 살균 시스템을 적용하여보았다. 그 밖에 살균 외 유기물질 저감특성도 살펴보고자 하였다.

② 실험 방법

UV 살균 장치는 UV 램프를 단 수조를 빗물이 통과 할 수 있도록 고안하였다. UV 램프 수조의 내경은 10cm, 높이는 42cm였으며 사용된 램프의 직경 및 높이는 각각 1.5cm, 29cm 이였고 석영 슬리브로 보호되어 있었다. 유입펌프의 주입유량은 0.825 L/hr~6.6 L/hr로 HRT(수조내 체류시간)는 30분~4시간을 유지할 수 있도록 하였다. 병원성 미생물 실험은 대장균 군수(MPN : Most Probable Number)에 의한 실험으로 대체하였으며, 한국표준화학시험연구소의 실험을 의뢰하여 결과를 구하였다.

③ 결론

㉮ 빗물저장조에 저장되어 있는 빗물을 분석한 결과 유기물질 및 대장균 군수의 농도가 예상외로 높은 결과치를 나타내었다. 따라서 저류집수 시스템에 문제점을 개선하여야 할 것으로 파악되었다. 그리고 집수지의 철저한 관리, 집수 관거 및 저장조의 점검이 별도로 필요하고 향 후 보수계획에 있다.

㉯ UV 시스템에 의한 대장균군수를 분석한 결과 살균성능이 있는 것으로 판단되나 자외선 노출시간을 재검토하여 경제성 있는 UV 시스템 구축이 필요한 것으로 판단되었다.

㉰ UV 시스템에 의한 유기물질(TOC 및 DOC)을 분석한 결과 결론에서 나타난 바와 같이 높은 농도의 유기물질이 검출되었으며, UV 시스템의 유기물질 처리성능은 거의 없는 것으로 파악되었다. 유기물질 처리성능을 향상시키기 위해서는 오존 및 활성탄, 모래여과 등 다른 처리방식을 적용하고 자외선 처리시스템은 살균처리시스템에만 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

2) Building 분야 적용성 평가

가) 경량칸막이 벽체의 차음성능평가

① 개 요

이 시험은 경량칸막이의 차음성능과 관련한 성능을 알아본 것이다. 차음성능 시험은 KS F 2808 : 2001에 의해 측정하고, KS F 2862 : 2002에 근거하여 평가를 수행하였다.

② 소음원의 제원 및 측정방법

㉮ 일반 사항

음원실 내의 음압 측정점을 음원으로부터 직접음의 영향을 받지 않는 범위 외로 설정되도록 하고, 또한 음의 투과에 크게 기여하는 벽·바닥·천장 등의 면에 음원으로부터 직접음이 직접도달되지 않도록 하기 위해서는 음원 스피커의 지향 특성 및 그 설치 위치에 대해서 충분히 고려할 필요가 있다.

㉯ 음압 측정점을 고려한 음원 스피커의 설치 위치

음원으로부터 멀어짐으로써 음압 레벨이 크게 감쇠하는 영역(직접음 영역) 밖으로 마이크로폰을 설치해야만 한다.

㉰ 음원 위치의 선정을 위한 지침

음원 위치를 복수로 하는 경우에 개개의 위치 간격은 0.7 m 이상으로 한다. 그 가운데 적어도 2곳의 간격은 1.4 m 이상으로 한다. 음원의 설치 위치는 음원의 중심과 실의 경계면과의 거리가 0,5 m 이상이 되도록 한다. 이 경우, 실 경계면의 미세한 요철은 무시해도 좋다.

㉱ 수음점의 수 및 측정방법

측정은 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드별로 측정한다. 이 가운데 어떤 것으로 할 것인가는 측정 목적에 따라 사전에 결정한다.

음원실 내에서 발생하는 음은 일정하고, 측정 대상 주파수 범위 전체에 걸쳐 연속적인 스펙트럼을 지닌 것으로 한다. 음원측에 필터를 이용하는 경우에는 옥타브 밴드 측정 또는 1/3 옥타브 밴드 측정별로 해당 밴드 필터를 사용한다. 백색 소음(white noise) 등의 광대역 소음을 이용하는 경우에는 수음실 내의 고음역에서 충분한 S/N비(신호 대 잡음비)가 확보되도록 스펙트럼을 조정하는 방법을 취해도 좋다. 어떤 경우에도 음원실에서의 음압 스펙트럼 특성으로서 인접 주파수 대역과의 레벨차가 6 dB

이상 되어서는 안 된다.

음원의 음향 파워는 모든 주파수 대역에서 수음실 내의 음압레벨이 배경소음레벨보다 10 dB이상이 되도록 설정한다. 이 조건을 실현시킬 수 없는 경우에는 보정하도록 한다. 또한 수음실의 잔향시간을 측정하여 최종적으로 수음실의 흡음력을 보정하도록 한다.

③ 차음성능 평가방법

㉮ 1/3옥타브 밴드 측정의 경우에는 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 대응하는 기준 곡선을 1dB 단위로 상하 이동시켜, 16개의 1/3옥타브 밴드에 대해 기준 곡선의 값을 하회하는 값의 총합이 32.0 dB을 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준 곡선을 위로 이동시킨다.

㉯ 1/1옥타브 밴드 측정의 경우에는 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 대응하는 기준 곡선을 1dB 단위로 상하 이동시켜, 5개의 1/1옥타브 밴드에 대해 기준 곡선의 값을 하회하는 값의 총합이 10.0 dB을 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준 곡선을 위로 이동시킨다.

㉰ 이상의 순서로 수직 이동시킨 결과에서 기준 곡선 중 500 Hz에서의 dB값을 단일 수치평가량의 값으로 한다.

④ 시험결과

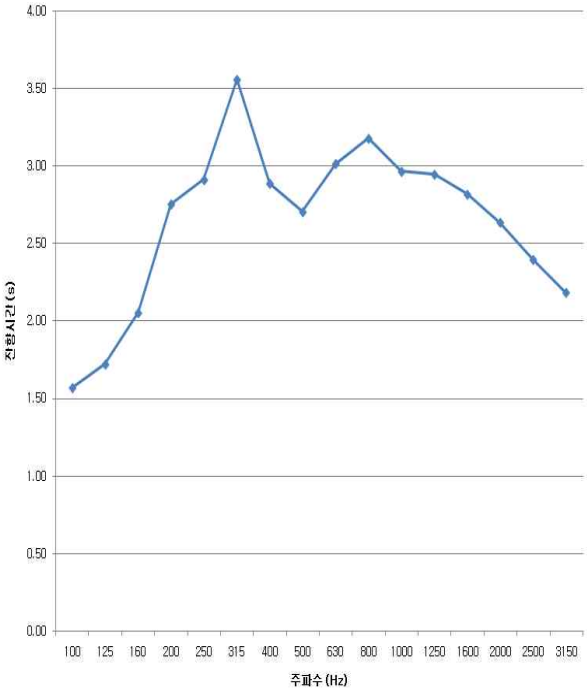
㉮ 측정일자 : 2008. 2. 11~12.

㉯ 시료명 및 시료 구성

No.	구 성
1	75T 패널(비중 0.8) 단일벽체
2	75T 패널+G/W 25T+공기층 25T+75T 패널
3	75T 패널 + G/W 25T + 100T 패널
4	석고보드 12.5T + 차음시트 2T+ 석고보드 12.5T + G/W 25T +공기층10T+ 75T 패널 +공기층10T + G/W 25T +석고보드 12.5T + 차음시트 2T+ 석고보드 12.5T
5	얼갈림 스터드 전용 런너(세대내 벽체)

㉰ 수음실의 잔향시간

잔향시간	수음실(단위:초)
100 Hz	1.57
125 Hz	1.72
160 Hz	2.05
200 Hz	2.75
250 Hz	2.91
315 Hz	3.56
400 Hz	2.89
500 Hz	2.70
630 Hz	3.02
800 Hz	3.18
1000 Hz	2.96
1250 Hz	2.95
1600 Hz	2.82
2000 Hz	2.64
2500 Hz	2.40
3150 Hz	2.18



㉱ 차음성능

시험소/대상	1	2	3	4	5
A	37(-1)	51(-1)	52(-1)	63	-
B	38(-1)	59(-2)	-	55(-2)	49(-8)
C	37(-1)	57(-1)	57(-1)	63(-2)	-

나) 외부창호에 대한 차음성능 및 차음성능영향인자 평가

① 개 요

이 시험은 외부교통소음과 관련하여 내부 소음도를 예측하고자 창호의 차음성능을 알아본 것이다. 차음성능 시험은 KS F 2808 : 2001에 의해 측정하고, KS F 2862 : 2002에 근거하여 평가를 수행하였다.

② 소음원의 제원 및 측정방법

㉮ 일반 사항

음원실 내의 음압 측정점을 음원으로부터 직접음의 영향을 받지 않는 범위 외로 설정되도록 하고, 또한 음의 투과에 크게 기여하는 벽·바닥·천장 등의 면에 음원으로부터 직접음이 직접 도달되지 않도록 하기 위해서는 음원 스피커의 지향 특성 및 그 설치 위치에 대해서 충분히 고려할 필요가 있다.

㈏ 수음점의 수 및 측정방법

측정은 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드별로 측정한다. 이 가운데 어떤 것으로 할 것인가는 측정 목적에 따라 사전에 결정한다.

음원실 내에서 발생하는 음은 일정하고, 측정 대상 주파수 범위 전체에 걸쳐 연속적인 스펙트럼을 지닌 것으로 한다. 음원측에 필터를 이용하는 경우에는 옥타브 밴드 측정 또는 1/3 옥타브 밴드 측정별로 해당 밴드 필터를 사용한다. 백색 소음(white noise) 등의 광대역 소음을 이용하는 경우에는 수음실 내의 고음역에서 충분한 S/N비(신호 대 잡음비)가 확보되도록 스펙트럼을 조정하는 방법을 취해도 좋다. 어떤 경우에도 음원실에서의 음압 스펙트럼 특성으로서 인접 주파수 대역과의 레벨차가 6 dB이상 되어서는 안 된다.

음원의 음향 파워는 모든 주파수 대역에서 수음실 내의 음압레벨이 배경소음레벨보다 10 dB이상이 되도록 설정한다. 이 조건을 실현시킬 수 없는 경우에는 보정하도록 한다. 또한 수음실의 잔향시간을 측정하여 최종적으로 수음실의 흡음력을 보정하도록 한다.

㈐ 차음성능 평가방법

KS F 2808 : 2001 에 의해 측정된 결과값에 대하여 단일수치 평가량(single-number quantity for airborne sound)으로 평가하기 위하여 KS F 2862 :2002에 따라 차음성능을 나타내었다.

④ 시험결과

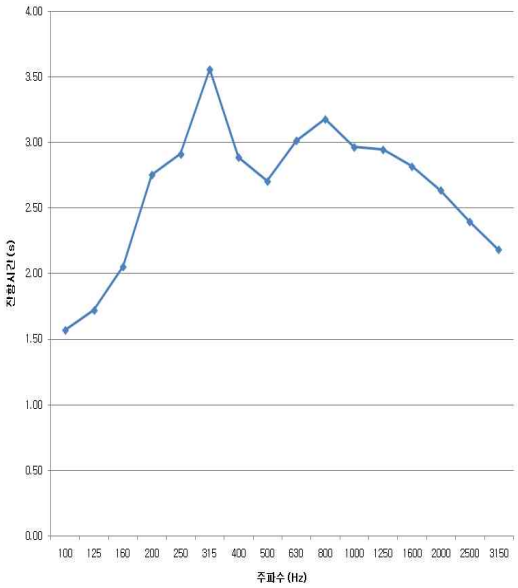
㉮ 측정일자 : 2008. 1. 15~18.

㈏ 시료명 및 시료 구성

- 290 이중창 : 외창: 22mm (5+12A+5), 내창 : 16mm (5+6A+5)
- 235 L/S : Fix : 52mm 3중유리, Vent : 22mm (5+12A+5)
- 255 이중창 : 외창: 22mm (5+12A+5), 내창 : 16mm (5+6A+5)
- 183 L/S : Fix, Vent : 52mm 3중유리
- 85 : Fix, Vent : 52mm 3중유리

㉰ 수음실의 잔향시간

잔향시간	수음실(단위:초)
100 Hz	1.57
125 Hz	1.72
160 Hz	2.05
200 Hz	2.75
250 Hz	2.91
315 Hz	3.56
400 Hz	2.89
500 Hz	2.70
630 Hz	3.02
800 Hz	3.18
1000 Hz	2.96
1250 Hz	2.95
1600 Hz	2.82
2000 Hz	2.64
2500 Hz	2.40
3150 Hz	2.18



㉱ 차음성능

	290이중창	235 L/S	255이중창	183 L/S	85
시험결과	Rw47,C: -1,Ctr:-3	Rw39,C: -1,Ctr:-2	Rw46,C: -1,Ctr:-3	Rw30,C: 0,Ctr:-1	Rw38,C: -2,Ctr:-4

⑤ 기타 실험

㉮ 틈새에 의한 차음성능 저하

	290이중창	235 L/S	255이중창	183 L/S	85
잠금상태	Rw47,C: -1,Ctr:-3	Rw39,C: -1,Ctr:-2	Rw46,C: -1,Ctr:-3	Rw30,C: 0,Ctr:-1	Rw38,C: -2,Ctr:-4
비잠금	Rw40,C: -1,Ctr:-3	Rw37,C: -1,Ctr:-2	Rw37,C: -1,Ctr:-3	Rw25,C: 0,Ctr:-1	Rw25,C: -2,Ctr:-4

창호를 잠그는 여부에 따라 즉, 틈새발생에 따라 차음성능이 현저히 차이가 나고 있으며 PVC창보다는 알류미늄 프레임창이 틈새의 영향이 컷으며, L/S타입에 비해 일반 창호의 틈새의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 평균적으로 Rw7의 차이를 보이고 있다. 즉, 창호의 차음성능을 좌우하는 요인중 하나가 틈새관리이다.

㈏ 3중유리 창호의 시험소 차음성능 시험과 실제 크기 차음성능 시험의 성능차이

시험소에서 시험하는 시편의 크기는 1 x 1.5m 크기이기 때문에 실제 사용하는 크기에 비해 1/5~1/6 크기이다. 따라서 금번 실제크기 실험과 그 성능을 비교한 결과 실제 크기에서 차음성능이 크게 떨어지는 것을 볼 수 있으며 코인시던스 영역도 많이 달라짐을 볼 수 있다.

㈐ 유리 종류별 소음방사 효과

각 창호별로(PVC 2중창 제외) 수음실 쪽 유리부분에 진동센서를 가로 5등분, 세로 7등분하여 설치 후 12면체 무지향성 스피커로 음원실에 동일한 음압으로 음원을 발생시켜 유리의 진동량을 측정하였다.

3) System 분야 적용성 평가

가)바닥복사냉방시스템 적용성 평가

① 개 요

㉮ 연구의 목적

난방의 경우, 석유, 가스, 전기 등 다양한 에너지원을 사용하고 있는 반면, 냉방에 사용되는 에너지의 대부분은 전기에너지에 의존하고 있어 이로 인한 전력수요는 여름철 피크부하(peak load)를 발생시켜 추가적인 발전소 건설을 필요로 하게 되었으며, 여름철 냉방기를 지나서는 상대적인 전력사용량의 저하로 인해 경제적 낭비요인으로 작용되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 대안으로서 기존의 온돌구조체를 이용한 복사냉방시스템을 제안하고, 모니터링을 통하여 바닥복사냉방시스템의 적용 가능성을 평가함으로써 주거용 건물의 새로운 냉・난방 방식으로 제시하고자 한다.

② 바닥복사 냉방시스템

㉮ 복사냉방

복사냉방은 인체와 차가운 복사냉방시스템의 표면과의 복사열전달을 통하여 냉방을 하는 방식이다. 인체는 복사를 통해서 42~43%, 대류를 통해서 32~35%, 증발을 통해서 21~26%의 열발산을 한다

.

㈏ 바닥복사냉방시스템

바닥복사냉방시스템은 복사열교환에 의한 냉방방식으로, 실내가 열평형상태가 되도록

외부에서 유입되고 내부에서 발생하는 열량만큼을 제거하여 설정온도를 유지한다. 실험을 통한 기존의 연구를 살펴보면 바닥표면온도와 실온과의 차이에 의한 열전달계수는 6~8W/㎡K이고, 바닥면을 기준으로 하여 높이 0.1m 지점과 1.7m 지점사이의 온도차는 2.5K로 나타났다.

③ 바닥복사 냉방실험

㉮실험목적 및 방법

초에너지 절약주택에서의 기존의 온돌구조체를 이용한 바닥복사 냉방시스템의 적용가능성과 지열의 이용가능성 및 냉방성능을 검토하기 위한 목적으로 다음과 같은 실험을 실시하였다. 실험을 실시하기 전에 자연상태에서 24시간(2007.6.30)동안 모든 세대의 문을 개방하고 직접적인 일사에 노출하여, 온도와 일사에 대해 동일한 조건을 설정한 후, 자연상태로 2007년 7월 1일~10일 동안 모든 세대의 문을 닫은 후, 실험세대(초에너지절약주택)와 비교세대의 실온변화를 살펴봤다. 또한, 바닥복사냉방 실험 전에 실험세대의 바닥표면결로를 방지하기 위해 7월 11일 하루동안 제습운전을 하여 실내조건을 DB 24℃, RH(상대습도) 60%로 설정하였다. 이 후, 7월12일 ~19일(7일간)까지 제습운전 없이 바닥복사 냉방운전을 실시하였다.

④ 결 론

바닥복사 냉방을 실시 한 301호의 경우, 실험세대(초에너지 절약주택)는 건구온도(DB) 25.6 ~ 26.0℃, 상대습도(RH) 60% 이하의 쾌적범위 내에서 거의 온도변화가 없이 일정한 온도를 유지하였으나, 비교세대(일반공동주택)의 경우 모니터링하는 24시간 동안 28.8~29.9℃을 기록하였다.

또한, 지열시스템에서의 냉수공급온도(고온냉수)는 바닥표면 결로발생을 방지하기 위해 20℃를 유지하였으며 세대(301호) 냉수공급온도는 21~22℃, 리턴온도는 25~28℃로 모니터링 되었다. 추후, 환기병용 제습시스템에 의한 실험보완이 필요할 것으로 판단된다.

나) 온수분배기 난방코일 길이에 따른 유량특성평가

① 개 요

세대의 쾌적한 온도제어 및 에너지 절약을 위하여 난방배관을 실별로 구성하고 이에 따라 작동을 제어하고 있다. 실별 제어를 적용함에 따라 1개의 실만을 난방할 때 유량이 1개의 실에 집중하여 소음 및 유량 과다 현상을 예방하기 위하여 유량을 1, 2, 3단으로 나누어 제어를 하고 있다. 발코니확장이 합법화 되어 확장시 기존의 존별 50m

코일 길이의 불균형이 발생하게 되었고 기존의 존별 50m 코일길이 기준이 아닌 실별 1개 라인의 난방코일을 시공하였을 때 유량차이를 통한 난방능력을 평가하였다.

② 목 적

본 실험에서는 실별 확장에 따른 코일 길이 편차에 따른 난방불균형 및 온수분배기 난방코일의 존별 시공시 온수분배기의 크기를 줄일 수 있는 코일 길이 기준을 검토하고자 한다.

㉮ 확장등으로 인하여 길이가 늘어난 한개의 실만을 난방하고자 할때 세대의 개별보일러의 순환펌프는 1단 저속으로 작동하게 되며 이에 따른 난방유량 감소 검토.

㉯ 전체방을 난방하고자 할때 보일러의 순환펌프는 3단으로 작동하게 되며 이 때 한 개실의 난방 코일 길이가 변할 때 다른 실과의 유량 검토

㉰ 전체 실의 난방코일 길이가 50m에서 100m로 10m 간격으로 늘어날 때 코일길이가 늘어남에 따른 유량 검토

㉱ 34평, 46평 기준 평면을 대상으로 실별로 1존의 난방배관으로 시공할 때의 유량 검토

㉲ 난방면적에 따른 유량 기준 검토

③ 측정결과

㉮ 순환펌프 1단에서 코일길이별 유량

• 1개의 존을 열었을 때 코일길이에 따른 유량

순환펌프 저속회전시 1개의 난방코일 길이만을 변화 시켜가며 흐르는 유량은 [표 1]과 같이 측정되었다.

• 2개의 존을 열었을 때 코일길이에 따른 유량비

순환펌프 저속회전시 2개의 존을 열고 한 개의 존은 50m로 고정시키고 나머지 존은 200m 까지 길이를 변화시켜 가며 흐르는 유량은 [표 1]과 같이 측정되었다.

코일길이	1단 (1 zone open)			1단 (2 zone open)			1단 (2 zone open)			
	유량 (LPM)	유속 (m/s)	비고	유량 (LPM)	유속 (m/s)	비고	코일길이	유량 (LPM)	유속 (m/s)	비고
50M	2.98	0.4		2.45	0.33		50M	2.46	0.33	
75M	2.4	0.32		2.0	0.27		50M	2.49	0.33	
100M	2.06	0.28		1.7	0.23		50M	2.57	0.34	
125M	1.93	0.26		1.52	0.2		50M	2.64	0.35	
150M	1.6	0.21		1.3	0.17		50M	2.57	0.34	
175M	1.48	0.2		1.19	0.16		50M	2.61	0.35	
200M	1.3	0.17		1.04	0.14		50M	2.58	0.35	

< 순환펌프 1단(저속)에서의 코일 길이별 유량흐름 >

㉰ 순환펌프 3단에서 난방코일 1개의 길이변화에 따른 유량 검토

• 난방코일 1개의 길이변화에 따른 유량

• 난방코일 1개의 길이 변화에 따른 잔여 존의 유량 변화

㉱ 각 존별로 난방코일 길이가 50m에서 100m까지 늘어날 때 존별 유량 검토

• 난방 순환펌프가 3단으로 작동하게 될 때 전체 코일 길이별 유량 측정은 [표 2]와 같다.

코일길이	1 ZONE		2 ZONE		3 ZONE		4 ZONE		5 ZONE		6 ZONE	
	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)	유 량 (LPM)	유 속 (m/s)
50 m	2,22	0,30	2,23	0,30	2,21	0,30	2,20	0,29	2,20	0,29	2,23	0,30
60 m	2,15	0,29	2,16	0,29	2,18	0,29	2,18	0,29	2,15	0,29	2,18	0,29
70 m	2,08	0,28	2,10	0,28	2,13	0,28	2,13	0,28	2,08	0,28	2,11	0,28
80 m	2,05	0,27	2,07	0,28	2,11	0,28	2,11	0,28	2,04	0,27	2,08	0,28
90 m	2,02	0,27	2,03	0,27	2,06	0,28	2,06	0,28	1,98	0,26	2,04	0,27
100 m	1,91	0,26	1,99	0,27	2,02	0,27	2,02	0,27	1,92	0,26	1,99	0,27

< 순환펌프 3단(고속)에서의 각존의 길이별 유량흐름 >

㉲ 34평, 46평 적용시 실별 1존의 난방코일 배관시 유량 측정

- 34평 실별 1존 난방코일 배관시 유량

코일길이가 최장 91m 길이에서 밸브의 조정전에는 1.94LPM, 밸브의 조정에 따라 2.3LPM의 유량이 흐르게 측정되었다.

각 실별 난방코일 길이 및 편차에 따른 유량흐름은 [표 3]과 같이 측정되었으며 코일길이 최장 117.2m 길이에서 밸브의 조정전에는 1.58LPM, 밸브의 조정에 따라 1.92LPM의 유량이 흐르게 측정되었다.

	안 방	침실 1	침실 2	서 재	드레스룸 욕실	거 실
코일길이	104.4 m	66.5 m	72.6 m	45 m	49.5 m	117.2 m
존별유량	**1.9 LPM**	**2.29 LPM**	**2.2 LPM**	**2.56 LPM**	**2.54 LPM**	**1.58 LPM**
밸브 조정후 유량	2.0 LPM	2.0 LPM	2.01 LPM	2.04 LPM	1.99 LPM	1.92 LPM

< 47평 순환펌프 3단(고속)에서의 각존의 길이별 유량흐름 >

㉳ 난방면적에 따른 유량 기준 검토

세대 공급유량을 검토를 위하여 지역난방공사 열사용 시설기준 및 중앙난방 설계시 기준을 참고로 세대당 온수 공급유량을 검토하였다.

④ 결론

㉮ 난방 순환펌프가 1단 저속시 코일길이가 200m일때 유량은 흐르지만 코일 길이에 따른 난방 면적증가로 인하여 단위 면적당 난방 공급 열량은 줄어든다.

㉯ 난방순환 펌프 3단 고속작동시 코일길이가 긴존의 경우 코일 길이가 2배 길어지면 50m 코일에 비하여 단위 면적당 열공급은 3배이상 더 지연된다.

㉰ 전체 난방코일 존별 길이가 일정하게 길어지면 실별 온도 불균형은 없어지며 90m 까지 존별 2 LPM의 유량이 흐른다.

㉱ 34평형의 경우 최대 배관길이가 91m이며 이때 1.94 LPM의 유량이 흘렀으며 온수의 공급·회수 온도차 10℃ 적용시에는 0.85 LPM 부족하나 15℃ 적용시는 열량공급에 문제가 없으리라 판단된다. 47평형의 경우 최대 배관길이가 117.2m이며 이때 1.58LPM 으로 온수의 공급·회수 온도차 15℃ 적용시에 120m에서 2.52LPM이 요구되어 약 0.94LPM의 유량이 부족하다. 최장길이 1존만을 난방을 실시한 측정결과 125m 일때 1.93LPM의 유량이 흘러 혹한기에 열량이 부족하리라 판단된다.

㉲ 실별 단일 난방 코일 적용은 난방 온수의 공급·회수 온도차 설정에 따른 유량기준 설정이 필요하다고 판단된다.

다) 환기방식별 온도교환 효율평가

① 개 요

이 보고서는 겨울철 영하 이하의 외기 온도상태에서 바닥 온돌매립 환기시스템과 폐열회수형 환기유닛의 온도교환효율을 측정하여 사용자의 불쾌감과 에너지 절감에 관하여 검토하였다.

② 측정 장치 및 결과

㉮ 바닥 온돌 환기 방식

바닥온돌 환기 방식의 측정은 외기에 따른 디퓨져별로 풍량, 온도, 습도를 측정하였다. 오산원동 e-편한세상의 바닥온돌환기는 급기장치만 적용되어 있으며 세대 풍량은 110CMH 정도 측정되었다. 52평형의 경우 급기 디퓨져가 5개, 39평형, 33평형은 급기 디퓨져가 4개가 설치되었다. 거실은 2개 그리고 전면에 배치된 실별로 디퓨져가 1개 설치되었다.

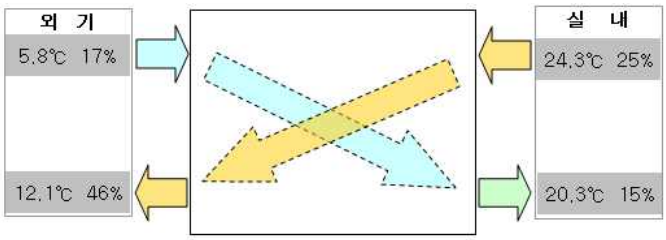
㉯ 폐열회수 환기유닛 방식

(주)LG전자 폐열회수 환기장치가 설치되었으며 모델번호 LZH-352PBD로 정격전압 220V, 소비전력 200W, 정격주파수 60Hz 이다.

다음은 창원상남 아크로타워 현장의 51.6평형과 42.4평형의 전열교환 효율을 측정한 것이다. 표 4는 51.6평형 전열교환기의 급·배기 풍량을 실별로 측정한 것이며, 그림 1은 폐열회수 환기 유닛의 전후 온도와 습도를 측정한 것이다. 외기 상태는 -2.3℃ 상대습도 23%에서 측정되었으나 폐열회수 환기 유닛의 외기 인입측의 온도는 5.8℃ 상대습도 17%로 온도가 높게 측정된 것은 남측에 위치한 실외기실의 측벽이 낮에 일사에 의한 축열효과에 의하여 외기 인입시 온도가 상승되어 인입되는 것으로 판단된다. 본 측정의 검토시 온도교환 효율 및 전열교환 효율은 외기 상태의 -2.3℃를 기준으로 하지 않고 폐열회수 장치 인입측의 온습도를 기준으로 검토 하고자 한다.

51.6평형	총풍량	안방	거실	침실2	침실3	주방	드레스실
급기 풍량	265	60	100	56	49		
최대 (CMH)	271	60	102	58	51		
배기풍량	225.5		144			44	37.5
최대 (CMH)	236		151			45	40

< 51.6평형 전열교환기 풍량측정 >

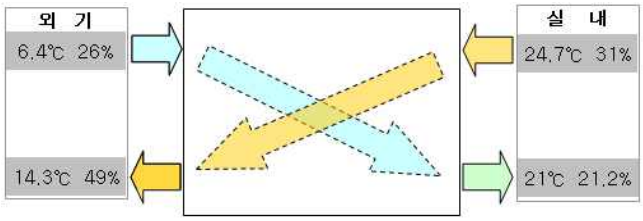


< 51.6평형 세대 전열교환기 효율측정 >

표 5는 42.4평형 전열교환기의 급배기 풍량을 실별로 측정한 것이며 그림 2는 폐열회수 환기 유닛의 전후 온습도를 측정한 것이다. 이때의 외기 상태는 -2.3℃ 상대습도 23%에서 측정되었으며 외기 상태와 폐열회수 인입측의 온도가 다른 것은 그림 1의 51.6평형과 마찬가지로 측벽의 일사축열에 영향을 받은 것으로 판단된다.

42.4평형	총풍량	안방	거실	침실2	침실3	주방	드레스실
급기 풍량	245.8	42	87.8	62	54		
최대 (CMH)	258.9	48	86.9	65	59		
배기풍량	179		108			40	31
최대 (CMH)	186.8		113.8			41	32

< 42.4평형 전열교환기 풍량측정 >



< 42.4평형 세대 전열교환기 효율측정 >

③ 검토 결과

온돌환기 시스템과 폐열회수 방식의 온도교환 효율은 온돌환기 방식이 높게 측정이 되었으나 에너지절약을 기대할 수는 없다. 폐열회수 환기유닛의 경우 난방시 외기 5.8℃, 실내온도 24.3℃에서 전열교환 효율은 64% 이며 250CMH 환기를 할때 1128Kcal/h 열량이 절약된다.

라) 태양광 발전시스템 성능평가

① 배경 및 목적

태양광 발전은 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 기술로 최근들어 각광을 받고 있는 신재생에너지 기술중의 하나이다. 거의 전량의 에너지를 외국에서 수입하는 우리나라로써는 태양광발전을 포함한 신재생에너지 기술개발은 자주적 에너지 안보를 위해 필수적이다.

본 평가보고서는 이와같은 배경에서, 주거환경 연구센터 옥상부위에 설치, 운영되고 있는 PV 시스템의 성능평가를 목적으로 작성되었으며 성능평가는 태양고도가 연중 중간정도에 해당하는 춘분기 조건으로 한정하였다.

② 태양광 발전시스템 기본원리 및 시스템 구성요소

㉮ 태양광 발전시스템 기본원리

태양광발전은 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로, 특정 물질이 빛을 흡수하여 자유로이 움직일 수 있는 전자, 즉 광전자를 방출하는 현상이다. 태양전지는 반도체에 많이 사용되는 얇은 규소판(Silicon Wafer)을 주로 많이 사용하는데, 주로 전자의 수가 다른 인(Phoshorus 5개 전자)과 붕소(Boron 3개 전자)를 첨가하여 만든 각기 전기적 성질이 다른 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체가 접합된 구조를 가지고 있전기적 러한 태양전지에 태양광이 비추면 광에너지에 의해 전자(negative)와 정공(positive)의 쌍이 생겨 전위가 발생하게 되어 앞면과 뒷면에 붙여 만든 전극에 부하가 연결되면 전류가 흐르게 되는데 이것이 태양전지의 PN접합에 의한 태양광 발전의 원리이다.

㈏ 태양광발전 시스템 유형 및 특징

태양광을 전기로 변환하는 시스템의 구성은 기본적으로 발전부분에서 태양전시셀이 최소단위가 되어 이들을 직렬로 연결된 것을 모듈(Module), 모듈이 모인 패널(Panel), 실용적인 출력을 얻기 위해 확장한 어레이(Array)로 구성된다. 여기에 태양전지에서 발생한 직류(DC)를 교류(AC)로 바꾸기 위한 직교류 변환기(Inverter), 채광상태에 따라 변하는 발전 전력을 제하는 전력제어 장치(Charge Controller)들로 구성된다. 태양광발전 시스템은 이용방법에 따라 자가발전 시스템의 독립형 시스템(Off-grid)와 외부 전력망에 연결하여 남는 전기를 전력회사에 판매하는 계통연계형시스템(On-grid), 태양광발전기에 보조발전기를 복합적으로 연결하여 발전하는 복합발전형 시스템(Hybrid System) 등으로 구분할 수 있다. 태양광발전 시스템 보급 초기에 주로 적용된 독립형의 경우, 산간, 벽지의 오지에 전력시설을 새로 투자하기에 용이하지 않은 지역에 많이 보급되었는데 전력 저장을 위해 축전지가 필수적이다. 최근들어 선진국에서는 도시형 태양광 시스템 개발 및 보급의 일환으로 전력회사와 협력하여 기존 전력망을 이용한 계통연계형 시스템이 많이 적용되고 있다.

③ 성능평가 대상 및 방법

㈎ 성능평가 대상 및 모니터링시스템 구축도

평가대상 태양광 집광시스템은 당사 주거환경연구센터에 설치된 독립형 태양광 집광시스템으로 한정하였다.

㈏ 성능평가 방법

태양광발전시스템의 성능평가를 진행함에 있어서, 본 평가보고서는 일사량이 중간기에 해당하는 춘분기(3월)을 대상으로 하였고, 추후 하절기 및 연단위 성능평가를 수행할 계획이다. 본 평가보고서에서는 춘분기 발전량 및 발전성능 평가를 위해 주거환경연구센터 태양광발전시스템의 실시간 모니터링 데이터를 활용하여 성능평가를 수행하였다.

④ 성능평가결과 및 결론

3월 1일부터 3월 26일까지 26일간 데이터에 대한 분석결과, 이 기간중 시간당 최대발전량은 27.1 kW로서 설계발전량인 28.5 kW의 95.09 %에 해당하여 효율이 매우 우수한 것으로 분석되었다. 또한 26일간의 누적발전향은 2340.4 kWh로서 일평균 93.62 kW, 매시각 6.06 kW의 발전량을 나타냈다.

춘분기 기상조건이 연중 평균치에 근접하는 것을 가정하면, 주거환경 연구센터에 적

용된 태양광 발전시스템을 통해 연중 약 34,170 kWh/yr 내외의 발전량을 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 이는 설계시 예측한 32,379 kWh/yr에 다소 상회하는 수준이다. 발전량을 기준으로 현행 전력비용을 단순 감안 할 때 본 시스템의 투자비 회수기간은 약 7.9년 내외로 예측되었다.

마) 태양광 집광,채광시스템 성능평가

① 배경 및 목적

태양광 채광시스템은 자연광의 유입이 어려운 공간의 주광을 공급하기 위하여 개발된 장치로서 지구온난화를 방지하고 에너지절약 및 지하공간 등의 쾌적성 확보에 일정부분 역할이 기대되고 있다.

이 중에서 광덕트형 태양광 집광시스템은 설치가 비교적 간단하고 지하공간에 다양하게 적용될 수 있어, 당사 주거환경연구센터내 빛환경 실험실에 시범설치한 바 있다. 그러나, 현재까지 광덕트 시스템에 대한 실성능평가 및 광덕트 길이별 효율에 대한 실증연구는 미흡한 실정이다. 이에따라 본 평가보고서는 설치된 태양광 집광, 채광시스템에 대해 동절기 및 춘분일 기준 광덕트 길이별 채광효율 평가를 통해 향후 건축물 등에 적용시 설계기준 및 에너지절감량 산출을 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

② 성능평가 대상 및 방법

㉮ 성능평가 대상

평가대상 태양광 집광시스템은 당사 주거환경연구센터에 설치된 독립형 태양 광 집광시스템으로 한정하였다

㉯ 성능평가 방법

평가대상 태양광 집광시스템에 대한 성능평가는 외부 조도레벨 및 광덕트 길이별 조도레벨 평가로 수행하였고, 조도레벨의 측정은 Lutron사의 LX-1102모델 조도계 3Set를 활용하여 외부조도 및 2개 공간에 대한 조도레벨을 동시에 측정하였다. 외부조도레벨을 측정함에 있어서, 집광기 수광면의 태양광조도 파악을 위해 아래 사진과 같이 집광부와 수평으로 조도계를 설치하였다. 측정시 조도레벨은 향후 일반적인 건축물에의 적용성을 고려하여 산광기로부터 약 2.0m 직하위치에서 측정하였다(일반적인 건축물 천정고는 2.3~2.4m 내외이나 산광기의 돌출부 길이를 감안하여 2.0m 지점에서 측정하였음. 즉, 일반적인 건축물 천정고를 감안할 때 바닥면 조도레벨 수준으로 예상).

③ 성능평가결과 및 결론

평가대상 채광시스템에 대한 성능평가결과, 측정일 당시의 기상상황에 의해 시간대별로 조도레벨이 불규칙하게 측정된 시각도 있으나, 주거환경연구센터 인근 연구관리동의 영향으로 오후 4시 이후에는 외부조도가 급격하게 저하되는 것으로 알 수 있으며 측정일의 외부조도는 최대 77,000 Lx내외로 측정되었다. 광덕트 길이별 조도레벨에 대한 분석결과, 광덕트 길이가 4m인 실험실(1)과 광덕트 길이가 9.5 m 내외인 실험실(2) 사이의 조도율평균은 약 50~55% 내외의 성능차가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한, 평가대상시스템은 일몰전 약 30 ~ 60분 전에 지하주차장 설계기준 조도레벨 정도로 낮아지는 것으로 나타났는데, 측정일이 밤과 낮의 길이가 거의 동일한 춘분일에 가까운 날인점을 감안할 때 연평균 채광시스템으로서의 일평균 활용가능시간은 약 10시간 내외로 사료된다.

(나) 저에너지친환경 공동주택 구축을 위한 설계기준 성능검토

1) 저에너지 공동주택 기준 설정을 위한 사전 시뮬레이션

①단열두께에 따른 냉난방 에너지 민감도 분석

㉮ 세대별 평균 열관류율 (W/㎡K)

세대별 평균 열관류율은 필로티층 측벽세대, 최상층 측벽세대 등이 가장 낮게 나타났으나 전체 외피면적이 가장 커 관류열손실은 가장 크다.

㉯ 단열두께 증가에 따른 관류열손실 감소율

단열두께 증가에 따른 관류열손실은 단열두께 100%증가 시 약 12~21% 감소하는 것으로 나타났으며 외피면적이 큰 필로티층 측벽세대, 최상층 측벽세대 등이 감소효과가 가장 크게 나타났다.

㉰ 단열두께에 따른 냉난방 부하 및 에너지 소비량

관류열취득 부하가 적은 냉방에너지 소비량은 단열두께 증가에 따라 거의 변화가 없거나 오히려 약간 증가하는 경향을 나타냈으며 난방의 경우 단열재 100% 증가시 남향 13.5% 동서향 11.3% 절감되는 것으로 나타났다.

② 창호면적에 따른 냉난방 에너지 민감도 분석

㉮ 창호면적 설정 조건

창호면적 변경은 침실과 거실의 창호만을 대상으로 하였으며 창호면적비는 간접외기를 포함한 전체 외피면적에서 창호의 면적비를 계산한 수치이다.

㈏ 창면적비에 따른 냉난방 부하 및 에너지 소비량

창호면적 축소에 따라 일사 부하가 크게 작용하는 냉방에너지의 경우 큰 폭으로 감소하나 난방의 경우 관류열손실과 열사열 취득의 비율에 따라 남향은 증가, 동향/서향은 감소하는 것으로 나타남.

③ 향에 따른 냉난방 에너지 민감도 분석

㉮ 향 설정 조건: 남향(0°)를 기준으로 동서향으로 15° 회전

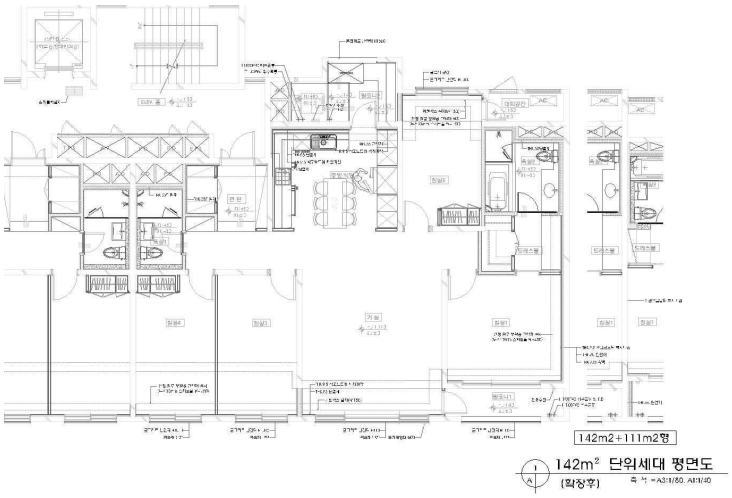
㈏ 향에 따른 냉난방 부하 및 에너지 소비량

동향과 서향으로의 회전은 거의 유사한 수준으로 나타났으며 냉난방 모두 15°회전 까지는 차이가 거의 없었으나 30°부터 뚜렷한 증가를 나타낸다.

2) SH 모델별 시뮬레이션

가) SH 모델 설정 기준

① 모델주택평면



< SH 모델 주택평면 >

② 시뮬레이션조건

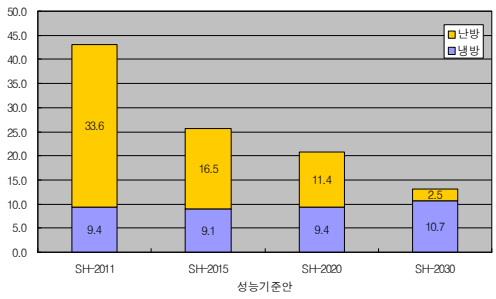
구분		SH-2011 (40% 절감모델)	SH-2015 (60% 절감모델)	SH-2020 (80% 절감모델)	SH-2030 (100% 절감모델)
단열성능 (W/㎡K)	벽	0.30	0.20	0.15	0.08
	지붕	0.20	0.17	0.15	0.08
	바닥	0.20	0.17	0.15	0.08
	창	1.80	1.20	1.20	0.80
단열방식		외단열			
기밀성	실내	0.15ACH (3ACH@n50)	0.1ACH (2ACH@n50)	0.05ACH (1ACH@n50)	0.025ACH (0.5ACH@n50)
	비공조	2.0ACH			
환기시스템	환기량	0.35ACH			
	현열교환	60%	75%	75%	85%
발열	전기	477W			
	인체				
	잠열	0.35kg/h			
장비효율	난방	보일러효율 87%, 기간부하손실율 5%			
	냉방	COP 3.0			
기상데이터		서울지역 TMY2 기상데이터(Meteonorm社)			
모델주택		142㎡형 발코니 확장세대(발코니 샤시 설치)			
설정온도		난방 : 20℃ 냉방 : 26℃			

< 모델별 시뮬레이션 조건 >

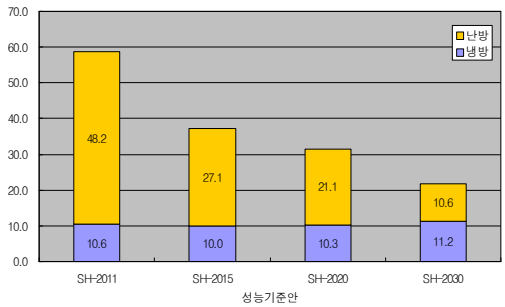
나) SH 모델별 분석 결과

① 분석결과: 성능기준안별 분석

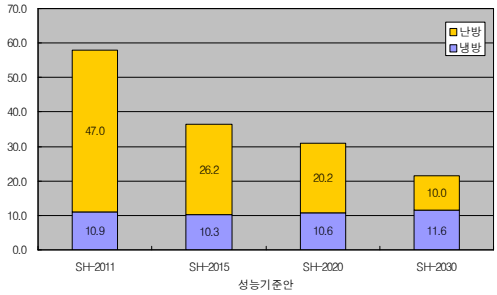
< 남향세대 평균 에너지소비량 >



< 동향세대 평균 에너지소비량 >

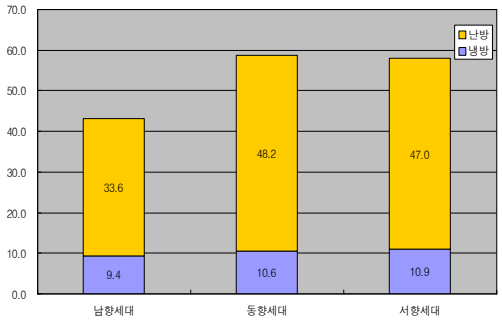


< 서향세대 평균 에너지소비량 >

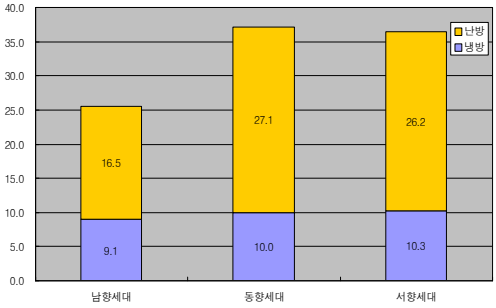


② 분석결과: 향별 분석

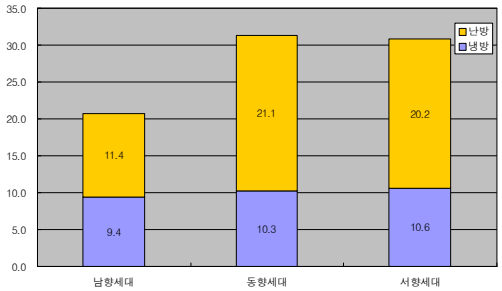
< SH-2011 평균 에너지 소비량 >



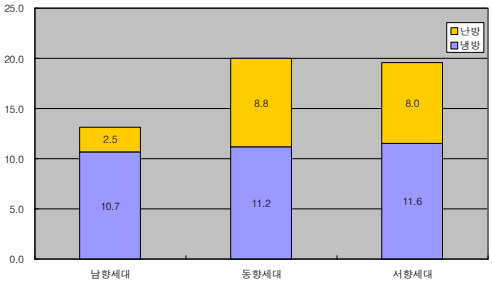
< SH-2015 평균 에너지 소비량 >



< SH-2020 평균 에너지 소비량 >



< SH-2030 평균 에너지 소비량 >



다) Pilot Project 구축

① Pilot Project 추진 체계 및 일정

저에너지 친환경 공동주택의 효과적인 개발보급을 위해서는 저에너지 친환경 건축의 각종 요소기술에 대한 명확한 개념 정립과 구성 뿐만 아니라, 실제 건축물의 구현을 통한 성능검증 및 시공 과정중에서의 부위별 디테일 개발, 보완이 반드시 필요하다. 또한 우리나라 공동주택의 경우, 외국과는 다르게 대량생산에 따른 문제점 및 공기(시공속도)에 대한 평가나 개선작업이 경우에 따라 필요할 수 있다. 더불어 본 연구단에서 개발, 적용하는 요소기술에 대한 적용성 평가과정으로서 현장적용시 발생될 수 있는 문제점을 파악하고, 이를 개선하는 작업도 필요하며, 이를 통해 1세부과제에서 각각의 요소기술별로 작성된 요소기술 매뉴얼을 필요에 따라 보완하는 작업이 수행될 예정이다.

㉮ Pilot Project 구축 프로세스

1세부과제에서 개발된 요소기술을 통합하여 저에너지 친환경 공동주택 Pilot Project의 통합 모델을 도출하기 위해서 연구단과 설계팀, 요소기술 연구팀, 시공 · 평가 연구팀이 통합설계팀을 구성하여 Pilot Project 구축업무를 진행하고 있다.

② Pilot Project 구축비용

㉮ Pilot Project 전체 예산 구성

Pilot Project의 구축비용은 건설교통기술연구개발사업의 일환인 "저에너지 친환경 공동주택 기술개발"의 연구개발비와 주관연구기관인 연세대학교와 대림산업(주)에서 지원한 비용, 그리고 각 참여기업 및 기타 공사 관련 업체에서 제공한 협찬물로 구성된다.

㉯ 용도별 비용 구성

Pilot Project는 기존 요소기술의 Mock-up Test 와는 달리 완전한 공동주택 세대를 구성하여 세대의 친환경, 에너지 성능에 따라 요소기술을 통합 설계하고 시공, 평가하는 연구를 수행하기 위한 실험주택이다. 따라서 구축비용은 본 연구개발 과제를 통해 개발된 요소기술을 적용하기 위한 요소기술 적용비와 이를 통합하고 전체 세대를 구성하여 통합 성능을 평가할 수 있도록 하는 통합성능 구축비, 최종적으로 요소별 성능을 모니터링하고 통합 성능을 평가할 수 있는 자료를 제공하도록 하는 모니터링 시스템 구축비로 구성된다. 요소기술 적용비용은 1세부 각 요소기술의 적용과 비교실험을 위한 해당 기존 기술 적용비용을 포함하고 있으며 자재비와 시공비를 포함한다.

(라) 저에너지 친환경 공동주택 파일럿프로젝트 경제성평가

1) 에너지 절감모델별 공사비 산정

가) 그린홈 평가기준에 따른 에너지절약 등급별 공사비 산출

① 산출근거 및 기준

㉮ 건축규모 : 84m2 (33평형) 공동주택 100세대 기준

㉯ 표준건축비 420만원 기준 기술요소별 공사비 상승액 산출

② 산출결과 요약 및 분석

㉮ GH40의 경우, 분양면적 평당 376,000원 상승(8.9% 상승)

㉯ GH60의 경우, 분양면적 평당 953,000원 상승(22.7% 상승)

㉰ GH80의 경우, 분양면적 평당 1,756,000원 상승(41.8% 상승)

㉱ GH100의 경우, 분양면적 평당 2,629,00원 상승(62.6% 상승)

나) 실제 에너지소비량 기준 에너지절약 등급별 공사비 산출

① 산출근거 및 기준

㉮ 30평형대 공동주택의 에너지부하 및 가전부분을 포함한 에너지소비량 기준

② 산출결과 요약 및 분석

㉮ GH40의 경우, 분양면적 평당 526,540원 상승(12.5% 상승)

㉯ GH60의 경우, 분양면적 평당 1058,000원 상승(25.2% 상승)

㉰ GH80의 경우, 분양면적 평당 1,409,000원 상승(33.5% 상승)

㉱ GH100의 경우, 분양면적 평당 2,339,00원 상승(55.6% 상승)

2) 경제성 평가를 위한 태양광 그리드패러티 예측

① 산출기준 및 가정

㉮ 한전단가 책정기준

당사 30평형 공동주택 실제 연간 전기비용 부과 kw당 평균액(누진비용 감안)

연평균 인상율은 메를린치보고서와 국내(2009~2010년 전기료 인상평균)

국내 전기료 인상평균치는 메를린치보고서의 50% 수준이다.

㉯ 태양광 발전패널 단가

에너지관리공단 2010년 표준시공비, 메를린치 보고서 과거 연평균 단가하락율

공동주택 전기료 구성	단가(원/kWh)	비고	구성비율	평균단가(원/kwh)	메를린치 예측
세대내(종합계약)	137	누진감안 실제부과 평균	75%	**129.5**	매년 4.2% 증가
공용전기(산업용)	107		25%		

태양광발전 원가	설치단가(kw)	정부지원금(50%)	설치원가	연간발전량 (kwh, 15yr)	발전원가 (원/kwh)	메를린치 예측
kw당 설치비용 (보조금 반영시)	5,650,000	2,825,000	2,825,000	**19,163**	**147.4**	매년 7.5% 감소
kw당 설치비용 (보조금 미반영시)	5,650,000	-	5,650,000	**19,163**	**294.8**	

㈐ 태양광 그리드패러티 예측

구 분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
한전단가 (년 4.2%인상)	129.5	134.9	140.6	146.5	152.7	159.1	165.8	172.7	180.0	187.5	195.4
한전단가 (년 2.1%인상)	129.5	132.2	135.0	137.8	140.7	143.7	146.7	149.8	152.9	156.1	159.4
태양광 (보조금미반영)	294.8	272.7	252.2	233.3	215.8	199.6	184.7	170.8	158.0	146.2	135.2
태양광 (보조금 반영)	147.4	136.3	126.1	116.7	107.9	99.8	92.3	85.4	79.0	73.1	67.6

(마) 저에너지 친환경 공동주택 시공매뉴얼

지구온난화와 고유가로 인해 요즘 산업계의 세계적인 화두는 탄소중립 및 저에너지친환경 건축분야로 관심이 집중되고 있다. 건축물의 에너지소비는 타산업과 달리 인간의 쾌적한 환경 창출을 위해 사용되어지고 사라져 버리며, 일반제조품과 달리 내구연한(life span)이 50년 이상 되므로 에너지 절약설계가 반영되지 않은 건물의 경우 그 파급효과는 매우 크다.

이미 영국에서는 2016년부터 모든 신축주택은 제로에너지 또는 탄소제로주택으로 건립하도록 결정하였으며, 2019년 초부터는 유럽연합으로 확대 시행하여 이때부터는 EU 국가 내 모든 신축건물은 제로에너지 탄소제로건물로 건립되어야 한다. 미국의 경우도 2020년에 제로에너지주택, 2025년에 제로에너지상업건물의 상용화를 선언하였다. 앞으로 불과 10년 내에 이러한 제도가 시행 정착될 예정이며, 우리나라의 경우 2017년부터 패시브하우스가 건축기준으로 자리 잡을 것으로 보이며, 2025년부터는 제로에너지 하우스가 구현될 예정이다. 이러한 시대상황을 비추어 볼 때, 현재까지 저에너지 건축물을 구현할 수 있는 시공기준 및 시공매뉴얼이 없는 실정이며, 그 필요성은 날로 증가할 전망이다.

본 시공매뉴얼은 저에너지 건축 구현에 필수 요소기술 중 비용대비 에너지저감에 민감도가 큰 건물부하저감 기술 중심으로 외단열시스템, 고성능창호시스템, 열교방지시스템, 기밀화, 신재생에너지(지열시스템)의 5개 부문으로 구성하였다.

① 고성능 외단열시공기술

② 고기밀 시공기술

③ 열교방지 시공기술

④ 건물일체형 지열 열교환기 시공기술

⑤ 고성능 창호기술

* 시공매뉴얼에 대한 자세한 사항은 최종보고서 참조.

(4) 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

① 연차별 연구목표 달성도

본 세부과제의 연구는 저에너지 친환경 공동주택 파일럿프로젝트의 시공/경제성 평가를 통한 저에너지 친환경 공동주택 상품개발과 시공매뉴얼 작성을 목적으로 수행되었으며, 연차별 연구개발 목표에 따른 달성도는 다음과 같다.

㉮ 1차년도 연구개발 목표달성도

유럽의 저에너지 친환경 공동주택 적용기술 및 시공 사례를 조사하고, 국내 친환경 공동주택의 시공도면을 수집, 분석하여 국내 친환경 공동주택의 한계와 특수성을 파악하였다. 또한 요소기술 Mock-up실험을 위한 모니터링시스템을 구축하여 친환경 요소기술의 기술수준 및 적용가능성을 모색하였다.

㉯ 2차년도 연구개발 목표달성도

1차년에 도출, 분석한 국내외 시공사례들을 바탕으로 Site, Building, System관점에서 각각의 친환경 공동주택 요소기술을 최적화하여 실제 적용 가능성을 평가하고, 각 요소기술의 최적성능구현을 위한 통합 적용성을 검토하였다.

㉰ 3 / 4차년도 연구개발 목표달성도

개발된 친환경 요소기술의 통합 모델 설계안을 시범적용 및 실용화하기 위한 Pilot Project 모델을 구축하였다.

㉱ 5차년도 연구개발 목표달성도

구축된 Pilot Project 모델의 설계/시공을 보완하고 에너지절감 모델별 경제성을 평가하였다. 또한 적용된 요소기술의 검증 과정을 거쳐 최종 기술개발을 완료하고 현장적용을 위한 시공매뉴얼을 작성하였다.

② 기술발전의 기여도

㉮ 기술적 경쟁력 향상 효과

친환경 건축에 대한 시장수요가 13%의 환경산업 시장규모 성장률에 힘입어 높은 비율로 증가하고 있다. 따라서 관련 연구의 수행은 연구기술 성과의 실용화 수요에 따라 상당히 큰 기술 확산 효과를 가지게 될 것이다. 국내 관련 기술 수준은 주요 선진국에 비해 약 5년 뒤처져 있는 실정이다. 본 과제에서 각각의 관련 요소기술에 대한

면밀한 분석을 토대로 이루어지게 될 관련 기술 전반에 대한 연구는 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안이다.

㉯ 기술의 확산 효과

과제 수행을 통해 축적된 관련 요소기술 전반에 대한 기초 데이터 및 실증 데이터는 관련 산업 전반은 물론, 이후 다양한 관련 기술 개발 연구에서 활용도가 높을 것으로 추정되며, 실증적인 연구를 토대로 각각의 관련 요소기술을 국내 실정에 맞게 개발하도록 함으로써 기업의 해외 기술 의존도를 크게 개선할 수 있을 것이다.

㉰ CO2 저감을 통한 국가 경쟁력 향상

저에너지 친환경 공동주택의 개발을 통해서 연간 공동주택의 화석 연료소비량의 감소와 에너지 소비를 줄임으로써 기존 대비 CO2 방출량을 40% 저감하는 것을 목표로 한다. 이는 국내에 전체에너지 소비 중 주거용 건물에서 차지하는 비중이 21.7%를 차지하는 것을 감안하면 저에너지 친환경 공동주택 개발 결과는 건물의 생산과 유지관리에 필요한 자원과 에너지소비의 최소화를 기여하고, 주거용 건물에서 발생하는 CO2 량을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

㉱ 신·재생에너지 기술 개발 및 보급

공동주택 부문에서 신·재생에너지에 대한 경제적 타당성, 적용방법의 개발을 통해 추후 건설시장에서의 기술 개발 및 보급 확대를 가속화 시킬 것으로 기대된다.

(5) 연구개발결과의 활용계획

① 현장 적용 방안

본 기술은 참여 기업 및 국내 주택건설업체의 기존 주거를 개보수시와 신축 주거 건설시에도 이용이 가능하다.

② 실용화・제품화 방안

산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반을 조성하며, 개발된 모델의 산업화 수단으로 기술 실용화를 달성하여 제품화하고 이를 상용화 한다.

③ 미래원천기술 확보

친환경 건축에 대한 시장수요가 13%의 환경산업 시장규모 성장률에 힘입어 높은 비율로 증가하고 있다. 따라서 관련 연구의 수행은 연구기술 성과의 실용화 수요에 따라 상당히 큰 기술 확산 효과를 가지게 될 것이다. 국내 관련 기술 수준은 주요 선진

국에 비해 약 5년 뒤처져 있는 실정이다. 본 과제에서 각각의 관련 요소기술에 대한 면밀한 분석을 토대로 이루어지게 될 관련 기술 전반에 대한 연구는 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안이다 따라서 기존의 평가지표의 문제점을 해결할 수 있는 타당성 있는 지표를 개발하여, 산업체와 사용자가 쉽게 건물 성능을 인지할 수 있는 원천기술을 확보하며, 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전도 가능하도록 한다.

3. 저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발

가. 저에너지 친환경 건축물 성능평가도구 개발

(1). 연구의 배경 및 목적

최근 지속가능한 건축의 개발을 촉진하고 보급을 활성화하기 위한 수단으로 통합성능평가도구가 활발하게 개발되고 있음에도 불구하고, 많은 성능평가도구들은 평가방법이나 평가체계에 있어서 여러가지 문제점을 내포하고 있다. 이와 같은 문제점은 성능평가의 신뢰성 및 활용성을 저하시키는 것으로서, 이러한 문제점이 반복될 경우 지속가능한 건축의 평가도구는 의사결정 지원을 위한 Tool로서의 역할을 수행하지 못하게 된다.

따라서, 본 연구는 지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 합리적인 체계를 정립하고, 이와 같은 체계를 이용하여 지속가능한 건축의 성능평가도구에 대한 모델을 구축함으로써 성능평가 프로그램의 개발을 위한 기초자료를 제공하고 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 현재 통용되고 있는 지속가능한 건축의 성능평가도구들을 분석하였다. 이와 같은 분석을 통하여 성능평가의 체계를 정립하였으며, 평가모델을 구축하고 평가프로그램을 개발하였다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

① 저에너지 친환경 건축물(공동주택) 성능평가도구의 분석을 통한 문제점 도출 및 개선방향

㉮ 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 조사

㉯ 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 분석

㉰ 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 문제점 및 개선방향

② 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구의 체계정립

㉮ 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구 기본적 틀

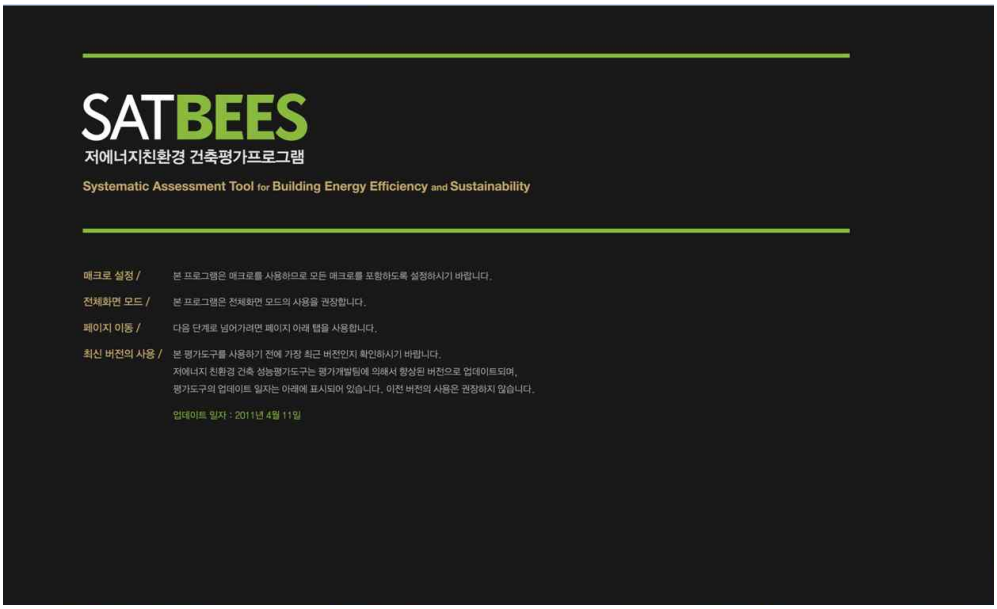
㈏ 저에너지 친환경 건축의 성능평가도구 체계의 정립

③ 저에너지 친환경 건축의 성능평가를 위한 평가모델 및 데이터베이스의 도출
㈎ 항목별(Energy/CO2, Water, IEQ, Cost) 평가범위 및 평가방법의 설정
㈏ 항목별 표준모델의 표준성능에 대한 설정
㈐ 건축자재의 내재 CO2 배출량에 대한 데이터베이스 구축
㈑ 전생애 경제성 평가를 위한 분석가정 및 기본조건에 대한 데이터베이스 구축
④ 저에너지 친환경 공동주택의 성능평가 프로그램의 개발 및 적용성 평가
㈎ 저에너지 친환경 공동주택의 성능평가 프로그램의 개발
㈏ 샘플 공동주택의 평가

(3) 연구결과
① 지속가능한 건축의 성능평가도구를 분석한 결과, 대부분 종합성능평가도구로 개발되는 경향을 보이나 평가의 신뢰성 및 활용성이 크게 저하되는 문제점이 나타나고 있음. 이와 같은 오류를 방지할 수 있는 합리적인 성능평가 체계의 정립 및 프로그램 개발이 필요함.
② 지속가능한 건축의 성능평가 체계를 입력모듈, 평가모듈, 출력모듈의 세 모듈로 구성함. 세모듈을 통하여 지속가능한 건축의 목표를 분명히 규정하고, 각 성능에 따른 평가방법 및 범위를 설정하게 되고, 결과를 종합하는 방법의 타당성을 확보함으로써 결과의 신뢰성을 향상시키고, 평가결과의 활용성을 증진시킬 수 있음.
③ 성능평가 체계를 바탕으로 평가모델을 개발함. 평가모델은 입력, 평가 및 출력모듈로 분리하고, 각 모듈에서 실제적인 데이터의 생성과 이동방식 및 흐름을 설정됨. 평가모델은 평가 성능의 특성에 따라 각각 환경영향평가방법, 전생애비용평가방법, 개별기준평가모델 등을 사용함. 영향평가에 필요한 데이터의 경우, 건물환경영향정보 및 시뮬레이션에 의해서 생성된 데이터를 사용하고, 전생애비용평가는 구성항목산정방식에 따라 산출된 비용으로 계산함.
④ 성능평가모델의 각 모듈 내에서의 데이터 생성 방법과 모듈 간 데이터의 흐름에 종합하여 지속가능한 건축의 성능평가 모델의 알고리즘 및 프로그램을 개발함.

㈎ SATBEES(저에너지 친환경 건축성능 평가 프로그램)
공동주택의 설계단계 및 설계 후에 저에너지친환경 건축계획의 적합성을 판단하기 위하여 개발하였다. SATBEES는 친환경성능의 정량적인 측정이 가능한 평가프로그램으

로서, 저에너지 친환경 건축디자인의 수행 및 평가가 가능하도록 건축설계자, 컨설턴트, 시공자, 건축자 및 연구자 등에게 제공된다.



㉯ SATBEES(저에너지 친환경 건축성능 평가 프로그램)의 전체구성

프로그램은 크게 STEP 3으로 나눠진다. STEP 1은 건물의 정보입력이며, 이때 표준모델에서의 표준성능을 만들어낸다. STEP2에서는 사용자의 입력값에 따라 계획모델의 성능을 평가한다. STEP 3에서는 표준모델과 계획모델의 성능을 비교한 값을 최종 출력한다. 본 프로그램에서 평가하는 성능은 다음과 같다.

- SITE (대지) : 대지 평가부분은 건물의 주변대지로 인해 발생하는 생태계의 환경적 영향을 줄이고, 지역적으로 적합한 생태환경 및 조경을 권장할 수 있도록 평가한다.

- WATER (실내수자원의 효율적 사용) : WATER는 건물내외에서 수자원의 효율적 사용을 유도하기 하기 위한 평가이다. 절수기기를 적용했을 때의 상수절감량과 우수 및 중수 사용을 통한 재활용량을 계산한다.

- Embodied Energy / CO_2 (내재에너지) : 건물의 자재를 생산하는 과정에서 발생하는 CO_2 배출량을 평가한다.

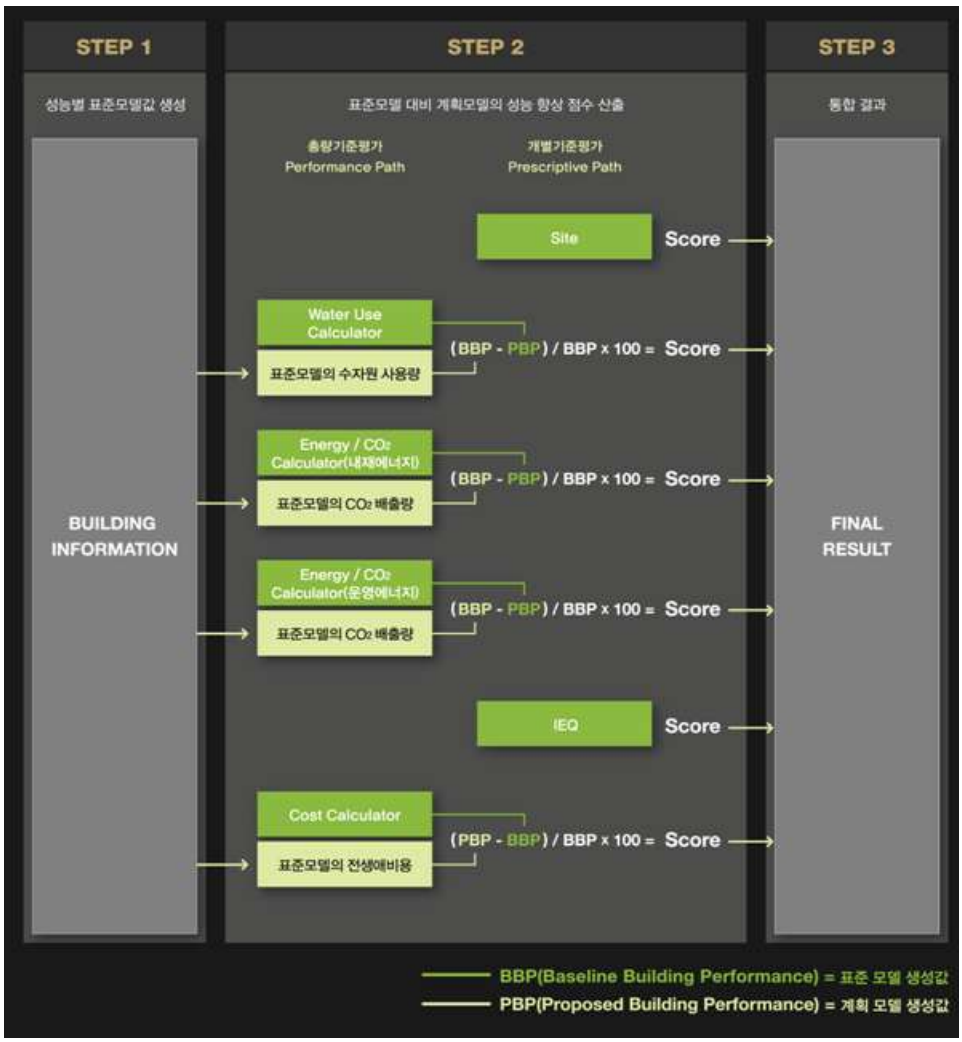
- Operational Energy / CO_2 (운영에너지) : 건물에서 사용되는 에너지의 약 70%

는 운영단계에서 사용된다. 이는 난방, 냉방, 조명, 급탕 등에 사용되는데, 에너지절감 모델의 에너지소비량 감소정도와 CO_2 배출감소량을 계산한다.

- IEQ (실내환경의 질) : 본 프로그램의 IEQ에서는 열환경, 빛환경, 공기환경, 음환경의 성능을 증진시킬 수 있는 전략을 평가한다.

- COST/VALUE (전생애경제성평가) : 건물의 운영비용은 일반제품과 달리 운영기간이 매우 길고, 그 비용 또한 막대하므로 이러한 비용감소의 효과는 전체건물의 경제성에도 영향을 미친다. 따라서 본 프로그램에서는 초기투자비용, 운영단계 에너지비용 및 CO_2 배출비용을 중심으로 전생애평가를 한다.

아래는 평가단계별 프로그램의 구성을 나타낸 다이어그램이다.



(4) 기대효과

① 지속가능한 건축의 통합성능평가를 위한 합리적인 체계를 정립하여 성능평가 프로그램의 개발을 위한 기초자료를 제공

② 저에너지 친환경 건축의 성능평가 내용(입력모듈), 평가의 범위 및 방법(평가모듈), 결과의 출력(출력모듈)의 체계적 설정을 통하여 평가결과의 객관성 및 실용성 향상

③ 저에너지 친환경 건축의 성능평가프로그램은 설계단계에서 지속가능한 건축의 확실한 성능정보를 제공함으로써 의사결정 지원기능을 강화

④ 궁극적으로 저에너지 친환경 건축의 보급 및 활성화에 기여

나. 저에너지 친환경 공동주택 외부환경 평가기술 개발

(1) 연구 개발의 목적 및 필요성

공동주택의 양적 성장과 더불어 질적 향상의 관심이 증가되면서 쾌적한 주거환경 조성을 위해 실내공간의 환경뿐만 아니라 주민의 휴식 및 여가, 커뮤니티 등을 유도할 수 있는 외부 공간의 활용이 중요해지고 있다. 또한 도시지역 내 공동주택단지의 개발형태가 탑상형의 초고층 주동 위주의 배치가 주를 이루어 건폐율이 낮아짐에 따라 상대적으로 외부공간의 면적에 대한 관심도가 증가하고 있다. 하지만 이런 현실에 반해 국내에서 시행중인 친환경인증제도의 평가지표를 살펴보면 외부 공간과 관련된 일부 항목에 대한 평가가 이루어지고 있으나 초기 단계의 평가지표인 만큼 포괄적이고 단순한 항목에 의해 평가되고 있는 실정이다.

① 저에너지 친환경 공동주택 외부 공간에 대한 생태기능 평가

공동주택단지의 전체 개발면적에서 비중이 점차 커지고 있는 외부 공간은 기존의 단순 식재 위주의 조경면적 및 조차시설, 주민편의시설 등으로 채워지는 계획방식에서 한발 더 나아가 지역생태계를 보존하고 단지의 냉난방 에너지 부하를 줄이고 탄소배출량을 저감시키는 기능이 가미된 공간으로 계획되어야 한다. 이를 위해 외부 공간에 대한 세부적이고 구체적인 기준을 제시하여 이를 효과적으로 유도 가능한 평가지표를 개발하는 것을 목적으로 한다.

② 거주자의 삶의 질을 고려한 저에너지 친환경 공동주택 외부 공간 평가탄소배출 및 에너지 부하를 저감시키는 것뿐만 아니라 거주하는 주민들의 편안함, 쾌적함, 건강함을 고려한 평가지표 개발을 목적으로 한다.

(2) 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 “자연의 생태계 운영원리인 순환성, 안정성, 자립성, 다양성"[6]의 4대원리를 중심으로 생태계의 원리를 직접적으로 적용가능한 공동주택 외부공간의 평가지표를 개발하고자 하였으며 다음과 같이 진행되었다.

① 생태계 4대원리인 순환성, 안정성, 자립성, 다양성을 중심으로 저에너지 친환경 공동주택 외부공간과 관련하여 각 특성에 맞는 주요이슈를 설정하고 그에 따른 평가항목, 평가지표로 평가 체계를 구성하고자 하였다.

② 국내·외 저에너지 친환경 공동주택 외부공간 조성사례에 대해 분석하였다. 그리고 친환경인증제도에서 공동주택 외부공간에 해당하는 평가지표들을 분석하였다. 그리고 친환경(생태적) 공동주택 외부공간에 대한 계획 및 평가와 관련된 여러 연구결과를 참고하여 예비평가지표와 예비평가기준을 개발하고자 하였다.

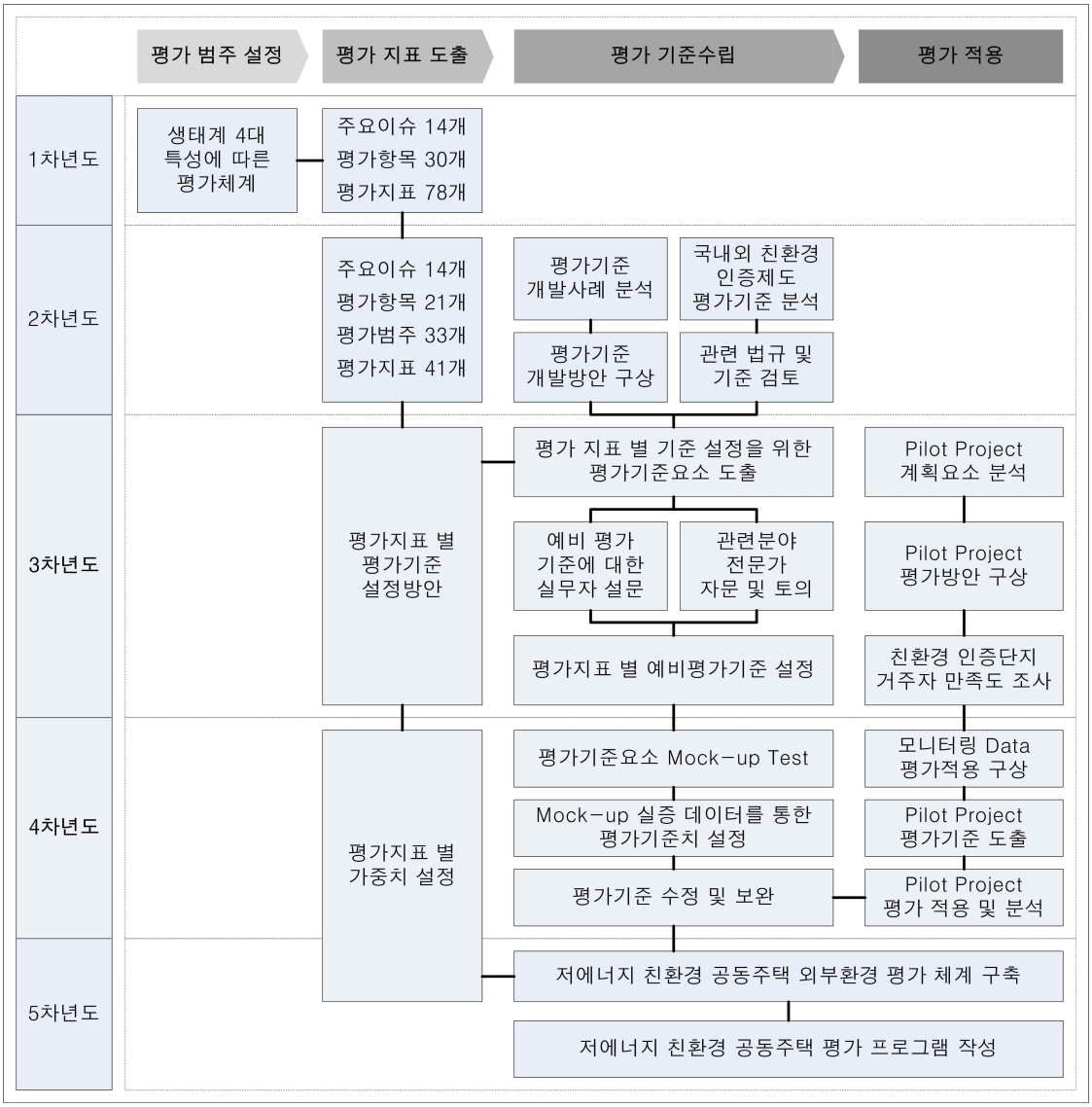
③ 도출된 예비평가지표와 예비평가기준을 대상으로 공동주택 외부공간의 계획에 관여하고 있는 건축 및 조경분야의 실무자 및 전문가들을 대상으로 평가지표와 평기기준에 대한 설문조사를 실시하였다.

④ 전문가 설문을 통해 조사된 내용을 토대로 전문가 자문을 통해 평가지표 체계와 평가항목, 평가지표에 대한 중요도를 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 평가지표 적용에 대한 우선순위를 도출하였다.

⑤ 도출된 평가체계를 토대로 실제 조성된 친환경 공동주택 단지에 대한 예비평가를 통해 평가적용 과정에서의 문제점 및 평가체계에 대한 보완사항을 도출하여 반영하고자 하였다.

---

2) 김귀곤, 『생태도시계획론』, 대한교과서주식회사, 1993



(3) 연구개발결과

① 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경 성능평가의 목표

㉮ 본 연구의 저에너지 친환경 공동주택은 인간의 삶이 중심이 되는 하나의 유기적인 체계인 도시의 중요한 부분으로서, 주거단지가 자체적으로 생태적 기능 공간의 역할을 할 수 있도록 하는 계획 및 설계를 유도하기위한 평가체계를 개발하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이에 공동주택 외부공간에 생태계가 가지고 있는 근본적인 원리인 순환성, 안정성, 다양성, 자립성을 적용하여 이를 충족시키는 하나의 유기체로서 조성될 수 있도록 유도하기 위한 평가체계를 설정하였다.

㉯ 저에너지 친환경 공동주택 평가의 4대 목표는 'Energy/CO_2 (에너지 및 이산화탄소 저감을 통한 저에너지 성능 확보)', 'Comport/Health(거주환경의 쾌적성 향상)', 'Sustainability(지속가능성 제고)', 'Cost/Value(계획요소에 대한 적용성 증가)'이다. 이러한 목표 하에 저에너지 친환경 공동주택 외부공간에 대한 평가는 외부공간에 적용된 계획요소들을 '건축/구조물 녹화', '단지 기반시설', '녹지 공간', '수 공간'으로 분류하여 평가 개요를 설정하여 그에 해당하는 평가지표로 구성된다.

② 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경 성능평가체계 개발

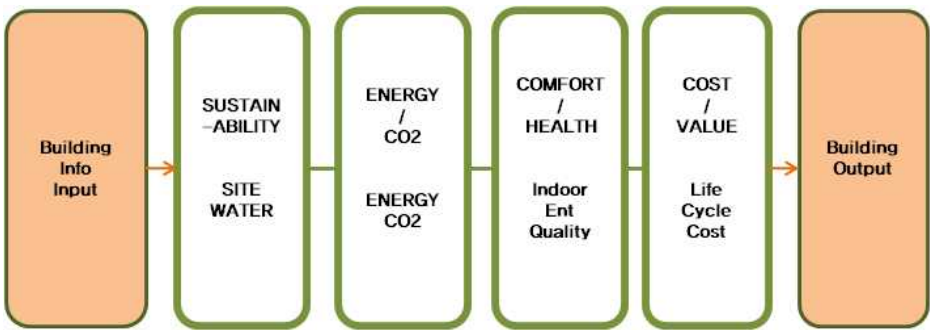
㉮ 평가범주 및 평가체계 설정

㉯ 평가지표 도출

㉰ 각 항목별 평가기준 도출

③ 저에너지 친환경 공동주택 외부환경 평가 프로그램 : OEQ

㉮ 저에너지 친환경 공동주택을 평가하는데 있어 건물의 종합적인 성능은 환경, 경제, 쾌적/건강성을 의미하며, 이는 녹지, 수자원, 에너지, CO2, 실내환경의 쾌적성, 경제성으로 구체화될 수 있다. Sustainable Building Assessment Tool은 저에너지 친환경 건물의 종합성능을 효과적으로 평가할 수 있는 평가도구로서 각 성능에 맞는 지표와 평가방법으로 구성되었다. 따라서 계획(건설전)단계에서 미래에 달성될 성능을 예측하고, 대안을 제시할 수 있는 의사결정지원의 역할을 할 수 있도록 개발되었다.



< Sustainable Buiding Assessment Tool의 구성 >

㉯ Sustainable Building - Sustainable Home V1 (Outdoor Environment Quality)

설정된 지표 및 기준을 바탕으로 사용자가 사용하기 쉽고 편리하도록 설정되어 있는 SATBEES의 SITE 카테고리에 맞추어 15가지 항목을 설정하였다. 각 항목은 평가 목적 및 평가 방법, 배점기준이 제시되며 계획안이 각 항목별 제시된 기준을 만족시키면 점수를 획득할 수 있도록 설정하였다.

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경 평가를 위한 평가를 위한 합리적인 체계를 정립하여 성능 평가하는데 참고가 될 수 있다.

② 저에너지 친환경 공동주택의 외부환경 계획 및 설계 단계에서 질적 향상을 위한 필요항목의 확실한 정보를 제공함으로서 사용자의 의사 결정 및 지원기능을 강화시킬 수 있다.

다. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 평가를 위한 모니터링 시스템 구축연구

(1) 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 국민생활과 건축산업에 큰 영향을 미치는 공동주택 에너지 및 자원 절약, 오염방지, 건강한 환경 제공, 자연환경과의 친화 등을 도모하는 것이다. 이와 같은 저에너지 친환경 공동주택의 효과적인 개발보급을 위해서는 저에너지 친환경건축의 각종 요소기술에 대한 객관적인 성능평가지표와 평가기법이 개발되고 이를 근거로 정량적 평가가 이루어져야 한다. 또한 정성적인 요소기술들도 객관적인 기준에 의해 평가할 수 있어야 한다. 각종 요소기술이 설계에 의해 통합되어 완성되는 복합기술에 대한 성능평가는 전과정평가에 의한 환경부하의 객관적이며 정량적인 평가가 이루어져야 한다. 본 세부 과제는 저에너지 친환경 공동주택 요소기술의 성능평가기법을 바탕으로 공동주택 저에너지 친환경 성능을 평가할 수 있는 종합성능모니터링 시스템 구축하고 이를 통하여 얻어진 데이터를 축척할 수 있는 데이터베이스를 구축하고자 한다. 이러한 목표는 두 가지의 목표 달성을 통해 이루어지게 되는데, 이는 다음과 같다.

① 저에너지 친환경 공동주택 모니터링 시스템 구축

② 저에너지 친환경 공동주택 데이터베이스 구축

(2) 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 신축 공동주택에 적용하고자 하는 에너지 절약적이고 친환경적인 요소기술들의 성능평가를 위한 모니터링 기술 개발 및 데이터베이스 구축을 목표로 하며, 본 연구의 연구개발 내용은 다음과 같다.

① 데이터 모니터링을 위한 시스템 구축방안 도출

② 모니터링 데이터 구축대상(저에너지 친환경 계획요소) 검토 및 속성 분석

③ 모니터링 기법 개발

④ 모니터링 시나리오 및 기술/장비 구축

⑤ 성능 데이터 모니터링 시스템과 데이터베이스 시스템 구축

연 차	연구내용
1차년도	▪ 공동주택 에너지소비량 모니터링을 위한 설계기준 분석 및 측정인자 도출 ▪ 공동주택 에너지소비량 모니터링 시스템 구축방안 검토 ▪ 모니터링 시스템 구축안 검토(구성, 운영체계, 데이터 전송방식 검토) ▪ 데이터베이스 서버 구성방안 검토
2차년도	▪ 모니터링 Data 구축대상 선정 및 속성 분석 ▪ 요소기술별 영향인자 분석 ▪ 데이터베이스 설계안
3차년도	▪ 모니터링 기법 개발 및 적용 ▪ 모니터링 시나리오 및 설계도서 작성
4차년도	▪ 모니터링 시스템 및 데이터베이스 구축 및 운영
5차년도	▪ 실증 공동주택의 종합적 저에너지 성능검증

< 연구주요내용 >

(3) 연구개발결과

① 요소기술 측정 방법 설정

현재 저에너지 친환경 공동주택 연구단에서 실시하고자 하는 Pilot Project를 대상으로 사용되는 에너지량을 측정하고, 저에너지 친환경 요소기술의 성능평가에 필요한 물리적 평가요소들을 정량적으로 측정하고자 한다.

㉮ Pilot Project 및 통합설계안에 대하여 분석을 실시

㉯ 각 요소기술 실무연구자 협의와 자료조사를 통한 속성분석을 실시

㉰ 각 요소기술 측정방법에 따라 계측장비 및 센서 등의 위치와 종류 등의 사안들을 결정

㉱ 요소기술과 Type에 따른 계측센서 및 장비 수요파악 후 조닝실시

㉲ 전 시스템 구축 공정 및 공사기간 공정표 작성

② 모니터링 시스템 구축 방안

Pilot Project에 적용되어지는 요소기술 모니터링 기법 검토를 토대로 통합된 모니터링 시스템 구축안을 결정하였다.

㉮ 모니터링 및 데이터베이스 시스템과 계측 시스템으로 구분하여 시스템 계획

㉯ 데이터의 전송방식은 교내 전산망을 이용하여 인터넷을 활용

㉰ 각 센서 및 장비는 TCP/IP 방식으로 연결

㉲ 모니터링 시스템 활용도를 높이기 위한 다양한 기능들을 계획

③ 데이터베이스 구축 방안

데이터베이스 시스템은 모니터링 시스템에서 계측되어지는 모든 데이터를 체계적으로 장기간 수집되어지므로 안정성과 현재 계획중인 계측 시스템의 확장 및 변경이 쉽도록 확장성을 고려하여 구축방안을 설정하였다.

㉮ DB 구축 시 프로그램 및 시스템 체계를 결정하고 데이터베이스 활용도를 높이기 위한 기능 설정

㉯ 시스템의 이용자를 프로그램 운영자, 서버관리자, 일반이용자로 구분하여 데이터 베이스 이용 및 관리 체계 정립

㉰ 안정도와 활용도가 높은 서버시스템 계획

㉱ 데이터베이스 시스템의 내용 및 기능

㉳ 요소기술에 따른 데이터 테이블의 구성(안) 계획

(4) 연구개발결과의 활용계획

① 저에너지 친환경 공동주택 요소기술은 건축 설계・시공・운영관리・건축설비의 전 분야에 연관되어 현장적용성이 뛰어나며 건축기술 발전을 도모한다.

② 저에너지 친환경 요소기술 관련 연구시 기초자료로서 이용되며 정책 수립을 위한 자료로 활용되어진다.

③ 저에너지 친환경 요소기술의 평가기준을 정립하고 평가방법 제시 할 수 있는 기초데이터가 된다.

④ 성능평가와 모니터링은 기존의 전통적인 건축산업에서 한걸음 발전한 친환경 컨설팅 산업을 크게 발전시킬 수 있음으로 신산업의 창출에 기여한다.

제 4 장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절. 연구개발목표 달성도

1. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발

(1) 1차년도

1세부		달성도(%)	연구 목표
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	100%	• 인공지반 녹화 시스템 활용전략 • 요소기술 현황 파악 및 문제점 분석
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	100%	• 인공지반 녹화기술 현황파악 • 선진시스템 사례분석
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	100%	• 건물 내 발생오수의 성상에 따른 적정처리 공법 및 재활용 방안 검토 • 소변과 대변 분리 시스템의 설계 및 고려 사항 도출
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	100%	• 단지 내 빗물저류 침투시설 설치를 위한 설계 기법 도출
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	100%	• 건물내 발생 오수의 성상에 따른 적정 처리 공법 및 활용 방안 검토
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	100%	• 공동주택 단지 열환경 해석방법에 대한 자료 조사 • 공동주택 단지외부 환경에 영향을 미치는 요소 도출
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	100%	• 단지 환경에 각 세대에 미치는 부하분석 및 정량적 평가기법 개발 • 단지 부하평가 기법 및 최적 단지배치계획 기법 개발
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	100%	• 공동주택단지 열환경 평가 프로그램 구축 • 일조, 조망, 소음, 조경 등의 개선을 위한 친환경 단지 배치계획
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	100%	• 국내외 가변형 주택의 동향분석을 통한 국내 가변형 공동주택의 문제점과 향후과제 도출 • 공동주택 단위평면의 유형화를 위한 DB 구축 및 공간분석 프로그램 개발

	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	100%	• 가변형 벽체 시스템 설계 및 시공 개선안 도출
	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	100%	• 국내 공동주택 유형 분류 및 유형별 냉난방 목표, Proto-type 모델 설정 • 지능형 외피시스템 대안 도출 및 적용성 검토
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	100%	• 국내 공도주택에 적합한 외단열 시스템의 소재 및 기술 개발
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	100%	• 친환경 건축자재의 개념정립 및 성능 규정 • 기능성 및 친환경 건축자재의 개발
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	100%	• 복사냉난방시스템의 요소기술 검토 • 국내 공동주택 부하특성 분석 및 부하배분 방안 도출 • 통합형 복사냉난방시스템 구성안 도출 • mock-up 설계 및 1차 공사
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	100%	• 국내외 기술동향 조사 • 효율적인 실내 환경 통합 제어기술 조사 • 제어알고리즘 적용 사례조사 • IT기술 선정 및 기초연구
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	100%	• 사전 조사 및 요소기술개발 및 성능평가 • 환기 시스템관련 요소기술의 개발
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	100%	• 세부 목표의 확립과 요소기술 특성분석
1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	100%	• 최적부하매칭을 위한 재생에너지 시스템 모델링 (MERIT) • RETScreen 신재생 공동주택 적용 타당성 평가기술, 건물부하분석기술, 토양열성분석기술, GSHP 성능분석기술
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	100%	• 부하분담을 위한 재생에너지 최적 공급모델

(2) 2차년도

1세부		달성도(%)	연구 목표
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	100%	• 녹화옥상시스템 핵심소재의 국산화를 통한 요소기술 개발 • 신개념 녹화옥상시스템 Prototype 개발 • Mock-up 실험을 통한 성능평가
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	100%	• 기존 요소기술 성능파악 • 국산화 소재 검토 및 성능평가 • 국산화 방향 제시
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	100%	• 저농도 오수 처리를 위한 pilot test
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	100%	• 상수대체율, 건물의 물 자립도 향상방안 마련 • 물수지, 물질수지의 지표 개발 • 건물에서의 빗물 이용 및 침투시설의 통합설계 및 운영방안 모색
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	100%	• Graywater 처리를 위한 pilot plant 설치 및 성상 분석 • Graywater 처리 시스템 pilot plant 규모로 제작
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	100%	• 열환경 프로그램 개발 및 성능평가 • 도심지 열섬현상에 대한 검토
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	100%	• 공동주택 단지의 열환경 실측 • 평가 프로그램 개선 및 검증
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	100%	• 공동주택 단지의 열화경 실측 및 평가 프로그램 신뢰성 검증 • 단지 환경에 각 세대에 미치는 부하분석 및 정량적 평가기법 개발
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	100%	• 국외 가변형 주택의 사례분석을 통한 OPEN Plan 기술요소 도출 • 공동주택 단위평면의 유형화를 위한 DB 구축과 대표 평면타입 도출
	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	100%	• 가변형 벽체 시스템 시공성 평가, 시공 공법 확립

	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	100%	• 이중창호 시스템 1차안 설계 • Mock-up 실험을 통한 실내환경 평가 및 에너지 성능 분석
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	100%	• Mock-up 실험을 통한 외단열 시스템의 내구성 평가 및 개발 소재 물성 분석 • 시뮬레이션을 통한 외단열 시스템의 에너지 성능 분석
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	100%	• 공동주택의 주요 건축자재의 환경성 강화 • 친환경 건축자재 다각적 성능 검증 • 건축자재 적용에 따른 실내공기질 기여율 도출
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	100%	• 복합존에서의 시스템 구성안 개발 • 부하 상태에 따른 복사패널과 제습시스템 연동 운전 방안 개발 • 해석 프로그램 개발
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	100%	• 실내 환경 통합 관리 제어기의 알고리즘 설계
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	100%	• 환기장치 개발 및 성능평가 • 현장설치 적용성 연구(평가 방법 및 기준 제시) • 저에너지 공기정화 환기시스템 적용 요소기술의 적용
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	100%	• 청정 환기장치의 개발 및 성능평가
1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	100%	• 단지 및 단위세대 수준의 태양열, 태양광, 지열 최적 공급 응용기술 개발 • 공동주택용 태양광 BIPV 시스템 기본설계 및 및 Mock-up Test
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	100%	• 태양광 및 태양열 단위모듈 디테일 개발 • 지붕 설치형 태양광 모듈 설계 • 발코니 설치형 진공관식 태양열 모듈 설계 • 목업모델 제작시공 및 모듈 설치

(3) 3차년도

1세부		달성도(%)	연구 목표
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	100%	• 녹화옥상시스템 Prototype 시작품 제작 및 시공 • 성능평가 및 모니터링 • 인공지반녹지의 생태적 조경 방향 활용
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	100%	• 신개념 GRS 상용화 기반구축 • 초경량형 GRS 상용화 기반구축
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	100%	• 저농도 오수 처리를 위한 pilot test • TB-tower를 이용한 Graywater의 처리효율 분석 및 모니터링
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	100%	• 건물 내의 물수지 및 물질수지 모델 개발 및 정량화 • 전체 시스템의 통합 설계 및 중소규모 시범사업 실시
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	100%	• Graywater 공법의 pilot test 및 유지관리 시 고려사항 검토
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	100%	• 공동주택 단지의 열환경 실측 • 평가 프로그램 개선 및 검증 • 공동주택 단지 내 열환경 형성인자의 영향도 분석
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	100%	• Pilot project 환경 평가 • 공동주택 단지내 열환경 형성인자의 영향도 분석
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	100%	• Pilot Project 환경 평가
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	100%	• 각각의 단위평면 선정 후 각 유형 비교 분석 및 거주자 설문
	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	100%	• 가변형 벽체 pilot project 적용 지원 및 내화성능 평가
	지능형 이중창호	100%	• 이중창호 시스템 1차안 설계

	시스템 (연세대학교)		• 자연형 냉난방 성능 향상을 위한 공동주택 통합 설계지침 개발 • Pilot Project에 적용 가능성 평가
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	100%	• 국내 공동주택에 적합한 외단열 시스템의 소재 및 시공기술 개발 • 외단열 시스템의 설계 기술 개발
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	100%	• 평가요소 정립과 개발한 건축자재의 실물실험(mock up test) 및 Test house의 성능분석 • 통합성능평가 • 성능평가에 의한 환기회수 도출 • 건축자재의 기여율에 근거한 건강한 실내 환경 제어방안 도출
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	100%	• 복사냉방 시스템의 설계 절차 및 기준 도출 • 제어성능 향상 방안 도출 • pilot project 현장 적용
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	100%	• 제어 알고리즘 설계
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	100%	• 통합형 환기 공기조화 시스템 개발 • 시범 시업 현장 모니터링 • 친환경 건축자재의 pilot 제품제작 및 현장적용
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	100%	• 청정 환기시스템의 개발 및 현장 적용
1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	100%	• 현장적용 커미셔닝(CX) 기술 및 실시간 인터넷 기반 표준 원격 성능모니터링 기술 개발
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	100%	• 공동주택용 태양광 BIPV 시작품 설계 • 발코니용 태양열 집열시스템 시작품 설계 • BIPV & BIST 시작품 제작 • 목업모델 모니터링

(4) 4차년도

1세부		달성도(%)	연구 목표
1-0	통합연구개발 통합성능평가 (연세대학교)	100%	• 표준 공동주택의 에너지 소비형태 분석 • 재실자의 생활 패턴 조사를 통한 스케줄 분석
	통합연구개발 모세관 복사냉난방 (연세대학교)	100%	• 지중열을 활용한 모세유관 복사 시스템 적용
	통합연구개발 PCM (연세대학교)	100%	• 국내외 PCM 적용사례 조사 및 분석 • Mock-up test를 통한 성능분석
	통합연구개발 정책 (연세대학교)	100%	• 국내 건물부문 온실가스 배출현황 파악 • 기존 제도 보완 방향, 필요 제도 및 정책의 검토
	기존건물 그린홈화 (LH 공사)	100%	• 기존 건물의 에너지 소비 현황 파악 • 가능 적용한 요소 기술 분석
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	100%	• 신개념 녹화옥상 성능펴아 및 정량화 기법 개발 • 신개념 녹화옥상 상용화 연구
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	100%	• GRS 핵심 요소기술 국산화 • 신개념 녹화 옥상시스템 시범시공
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	100%	• 중수처리시스템 제어 및 모니터링을 위한 web 기반 IT 기술 적용
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	100%	• 빗물저류시설의 제어 및 모니터링을 위한 web 기반 IT 기술 적용
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	100%	• Graywater 처리 시스템 구축
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	100%	• 단지 내 열섬현상 계획 요소에 대한 평가 및 영향도 분석

	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	100%	• 단지부하평가 기법 및 최적 단지배치계획 기법 개발
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	100%	• 단지내 열섬현상 계획 요소에 대한 평가 및 영향도 분석 • 단지와 세대 열섬 해석을 통한 환경부하 분석
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	100%	• 각 실의 면적과 주거 면적, 각 실의 위치와 전제 배치에 대한 만족도를 인터뷰를 토대로 통계분석 및 연구 • 공동주택 평면분석 및 알고리즘 개발
	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	100%	• Pilot project 시공 모니터링 및 기술지원
	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	100%	• 이중창호 개선안 설계 • 모니터링을 통한 데이터 베이스 구축
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	100%	• 외단열 소재 및 시스템에 대한 검증 및 사업화 • 외단열 시스템 실용화 성공을 위한 제도적 기반 구축
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	100%	• 건축자재의 환경 성능평가(LCA평가)
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	100%	• 현장 적용 결과분석을 통한 시스템 성능 검증 • pilot project 현장 적용 지원 • 시공 지침 도출 및 매뉴얼 제작 지원
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	100%	• 퍼지 목표설정온도 간격을 기반으로 한 외기보상 온도조절기 개발 및 Pilot project 적용 • 퍼지 내외기 온습도 제어기 특허 출원
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	100%	• 통합적 제어방안, 환기설비 설치기준의 타당성 검토 및 개선 • 공기정화환기 시스템 특허출원 • 현장적용 및 거주자 평가
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	100%	• 청정 환기시스템 개발 통합 및 평가

1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	100%	• 발코니용 태양열집열시스템의 성능평가 • 현장 적용후 성능 실증 개선 기술(Initial CX, ICX 기술 적용)
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	100%	• 공동주택 발코니용 태양광 BIPV 시스템 성능평가 및 개선 • 공동주택 발코니용 BIST 시스템 성능평가 및 개선 • 파일럿 프로젝트 모니터링을 통한 성능 개선

(5) 5차년도

1세부		달성도(%)	연구 목표
1-0	통합연구개발 통합성능평가 (연세대학교)	100%	• pilot project 성능 모니터링을 통한 통합 성능 평가 • 연구 최종 보고서 작성
	통합연구개발 모세관 복사냉난방 (연세대학교)	100%	• 지중열을 이용한 모세유관 냉난방 시스템 성능 평가 • 연구 최종 보고서 작성
	통합연구개발 PCM (연세대학교)	100%	• EnergyPlus 시뮬레이션 해석 결과 분석 • 시뮬레이션 해석 결과와 실제 모델에서의 실험 결과 사이의 차이점 분석 • 실제 적용 가능성 타진
	통합연구개발 정책 (연세대학교)	100%	• 온실가스 감축 정책 중장기 로드맵 도출 • 보급 장애요인 분석 및 주체별 역할 강화방안 도출
	기존건물 그린홈화 (LH 공사)	100%	• 기존 건물에의 요소 기술 적용에 따른 실질적 비용 분석 • 실제 기술 적용에 따른 효율성 분석 및 결과 도출
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	100%	• 인공지반녹지 및 생태조경 분야 활용 방안 • 인공지반녹지의 생태적 성능 제고 방안 및 지침
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	100%	• 인공지반 녹화시스템 TRM 작성 • 생태적 인공지반 적용방향 설정

1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	100%	• 송도 pilot 플렌트 현장 적용성 평가 • 단지 내 물 순환 기술의 최종 보고서 • 국제 교류를 통한 연구 성과물의 해외 진출 전략 구상
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	100%	• 단지 내 물 순환 기술 경제성 평가 • 단지 내 물 순환 기술의 성능 최적화 운영지침 개발+작성 • 단지 내 물 순환 기술의 최종보고서 작성 • 국제 교류를 통한 연구 성과물의 해외 진출 전략 구상
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	100%	• pilot plant 가동 및 운전을 통해 시스템의 관리 지침서 개발 및 작성 • pilot plant 가동 및 운전을 통해 최적 데이터를 유출
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	100%	• Pilot project 공사 전후의 외부환경 비교 • 미기후 변화 예측을 위한 통계모델 구축 • 평가 프로그램 등록
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	100%	• 공동주택 단지내 지표면 마감 특성 분석
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	100%	• 평가 프로그램 등록을 통한 실용화 및 사업화 • 통합 친환경 계획 매뉴얼 완성
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	100%	• Life Cycle & Style을 반영한 가변형 주택평면 연구 • 저에너지 친환경 실험주택 평면분석
	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	100%	• 가변형 벽체 시스템 실용화 기술지원
	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	100%	• 실측을 통한 성능 검증 • 에너지 해석을 통한 연간 부하 저감효과 해석
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	100%	• 외단열 기술의 성능평가 • 외단열 기술의 최종보고서 작성

	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	100%	• 요소기술별 지식재산권(특허) 확보
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	100%	• pilot project 성능 모니터링을 통한 시스템의 성능 평가 및 시스템 보완 • pilot project 모니터링을 통한 시스템 시공 및 운영 지침 도출 및 보완 • 연구 최종 보고서 작성
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	100%	• 개발된 프로그램의 현장 적용 테스트 및 성능 분석 • 제어 시스템 실용화 및 특허 출원
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	100%	• 공기정화환기 시스템의 최적화, 실용화 및 사업화 전략수립 • 요소기술별 특허출원 및 산업화
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	100%	• 그린홈플러스 적용 결과 평가
1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	100%	• 공동주택용 태양광 BIPV 시스템의 성능개선 및 제품화 • 직속 사후 성능 검증기술 CCX(Continuous Commissioning 기술 적용) 및 제도 CMVP(Certified Measurement Verification Professional) 제안
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	100%	• 공동주택 발코니용 태양광 BIPV 시스템 성능개선 및 제품화 • 공동주택 발코니용 BIST 시스템 성능개선 및 제품화 • 태양에너지 최종보고서

2. 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발

(1) 1차년도

2세부		달성도(%)	연구 목표
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 사례조사 및 디자인 스탠다드 개발
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	100%	• 문헌 및 사례조사를 통한 현황 분석과 분야별 필요 요소기술 도출
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계 (한일엠이씨)	100%	• 문헌 및 사례조사를 통한 현황 분석과 분야별 필요 요소기술 도출
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	100%	• 문헌 및 사례조사를 통한 현황 분석과 분야별 필요 요소기술 도출
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 모델의 선정
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	100%	• 평가도구의 조사 및 분석 • 평가항목의 유형분류 및 지표 도출 • LCA 적용범위 및 프로세스 분석
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	100%	• 물리적 선정 평가 시스템 구축 • 기존 친환경 성능평가 문제점 분석 및 개선방안 • 모니터링 요소추출
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_ 모니터링)	100%	• 공동주택 에너지소비량 모니터링을 위한 설계기준 분석 및 측정인자 도출 • 공동주택 에너지소비량 모니터링 시스템 구축방안 검토 • 모니터링 시스템 구축안 검토 (구성, 운영체계, 데이터 전송방식 검토) • 데이터베이스 서버 구성방안 검토

(2) 2차년도

2세부		달성도(%)	연구 목표
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 프로토타입 개발
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	100%	• 요소기술의 통합설계 방법론 수립
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계 (한일엠이씨)	100%	• 요소기술의 통합설계 방법론 수립
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	100%	• 요소기술의 통합설계 방법론 수립
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술의 적용성 평가
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	100%	• 요소기술 에너지 성능 평가기법 개발 • 요소기술 경제성 평가기법 개발 • LCA 분석 프로세스 정립 • 성능 모니터링 체계 구축
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	100%	• 친환경 평가시스템 구축
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	100%	• 모니터링 데이터 구축대상 선정 및 속성 분석 • 요소기술별 영향인자 분석 • 데이터베이스 설계안

(3) 3차년도

2세부		달성도(%)	연구 목표
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 표준 설계안 개발
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	100%	• 통합 설계안의 타당성 검증
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한일엠이씨)	100%	• 통합 설계안의 타당성 검증
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	100%	• 통합 설계안의 타당성 검증
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	100%	• 파일럿 프로젝트 구축
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	100%	• 저에너지 친환경 통합평가 체계구축 • 성능시뮬레이션 기법정립 • 모니터링 시스템 구축 • 저에너지 친환경 성능 민감도 분석
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	100%	• Pilot Project의 물리적, 친환경 성능평가 • 모니터링 시스템의 현장 적용
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	100%	• 모니터링 기법 개발 및 적용 • 모니터링 시나리오 및 설계도서 작성

(4) 4차년도

2세부		달성도(%)	연구 목표
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 실험주택 설계 및 감리
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	100%	• Pilot project 성능평가 비교검토를 통한 설계 보완
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한일엠이씨)	100%	• Pilot project 성능평가 비교검토를 통한 설계 보완
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	100%	• Pilot project 성능평가 비교검토를 통한 설계 보완
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	100%	• 파일럿 프로젝트 구축 공정율 100%
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	100%	• 저에너지 친환경 성능 가중치 설정 • 저에너지 친환경 통합평가 모델 구축 • 모니터링 시스템 시공 • 저에너지 친환경 통합평가 모델 보완
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	100%	• 물리적, 친환경성능평가 시스템 개선 • 데이터베이스 구축
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	100%	• 모니터링 시스템 및 데이터베이스 구축 및 운영

(5) 5차년도

2세부		달성도(%)	연구 목표
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	100%	• 저에너지 친환경 실험주택관련 설계 및 시공중 자료정리 및 설계반영사항을 중심으로 한 설계 지침, 가이드라인 연구
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	100%	• 통합모델의 설계가이드라인 작성
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한일엠이씨)	100%	• 통합모델의 설계가이드라인 작성
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	100%	• 통합모델의 설계가이드라인 작성
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	100%	• 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 시공보완 • 저에너지 기술요소 시공매뉴얼 작성
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	100%	• 성능평가 프로그램 개발 • 실증건물 친환경성능 검증
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	100%	• 성능평가 시스템 활용방안 구축 • 데이터베이스 활용방안
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	100%	• 실증 공동주택의 종합적 저에너지 성능 검증

제 2절. 관련분야의 기술발전에의 기여도

1. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발

1세부		기여도
1-0	통합연구개발 통합성능평가 (연세대학교)	• 건축물 그린성능 구축, 평가 및 관리기술 개발 유도 • 친환경 주택 구축을 위한 요소 기술의 개발 및 보급 • 중장기적인 관점에서 제로에너지 주택에 이르는 친환경 주택 모델을 구축 • 신기술의 개발 및 보급을 통한 시장 활성화
	통합연구개발 모세관 복사냉난방 (연세대학교)	• 모세유관 복사냉난방시스템이 공동주택에 적용됨으로써 실내의 쾌적성 향상 • 냉난방 성능의 향상과 에너지 절감 효과를 높여 줄 것으로 기대 • 냉방시 대형 건물에 필수적인 대형 덕트가 필요하지 않고 모세유관을 천장이나 벽 등에 설치되기 때문에 약 20%의 사용 면적이 증가
	통합연구개발 PCM (연세대학교)	• 상변화물질을 적용한 건축자재는 얇은 두께임에도 비롯하고 축열량이 크므로 실내 재실공간을 넓게 확보 • 좀 더 장시간에 걸쳐서 원하는 온도에 근접하는 온도를 유지할 수 있도록 해줌으로서 거주자의 쾌적성 및 에너지 절감 효과
	통합연구개발 정책 (연세대학교)	• 저에너지 친환경 건설기술의 활성화를 위하여 체계화된 정책 수립 • 저에너지/친환경 주택 시장의 활성화 및 촉진을 위한 국가 종합 프로그램의 제시로 관련 산업의 기술 개발 촉진 및 제품의 신뢰도 향상 유도 • 저에너지/친환경 공동주택 관련 종합 기술 데이터베이스의 도출 • 세계 환경산업시장 개방에 따른 경쟁력 확보 • 사회적인 저에너지 친환경 저변 확대 • 저에너지 친환경 건설기술의 활성화를 위하여 체계화된 정책 수립 • 저에너지 친환경 건축의 산업화와 실용화 방안 도출 • 현재 공동주택 건설공사에 적용되고 있거나 개발되고 있는 저에너지 친환경 건설기술의 상호 비교 및 평가를 통하여 건설업체의 친환경 공동주택의 설계 · 시공에 있어 실무적인 참고 자료를 제공 • 저에너지/친환경 제품의 실용화/산업화 촉진으로 인한 관련 제품의 보급 확대 및 보급 확대에 따른 제품의 경제성 향상 • 국가/기업/소비자가 경제적으로 윈윈하는 제도 및 시장 환경의 조성 • 기후변화 협약에 의한 CO2 발생 저감 적극적 대응 및 건물 생산 및 운영 에너지 절감을 통한 경제적 효과 기대 • 국토 균형 발전 및 국민 의 삶의 질 향상 • 에너지 소비량 절감에 의한 비용 절감 • 에너지 및 친환경 공동주택 건설기술의 시장 잠재력 및 경제성 평가를 통하여 객관적 신뢰성을 제고하고, 정부의 친환경 기술/자재/설비의 우선 구매 정책 등에 활용할 수 있음. • 저에너지 친환경 공동주택 건설기술에 관한 연구는 최근 사회적 관심사가 되고 있는 웰빙(Well-being) 거주 욕구에 부합하는 과제로서, 본 연구에서는 저에너지 친환경 건설기술 시장 및 경제성 평가를 통하여 다음과 같은 사회 · 문화적 측면의 효과를 기대

	기존건물 그린홈화 (LH 공사)	• 친환경 주택의 건설기준 및 성능 고시 개선 • 공동주택의 열 및 전력 사용량 조사 • 창호열관류율 계산 소프트웨어 개발 보급 • 기존주택 그린홈 활성화 제도(안) 제안 • 기존주택 그린홈화 사후평가 실시
1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	① 학술적 기여 • 한국 인공지반녹화의 현황적 문제점 진단 • 공지반녹화 기술개발의 방향 제시 • 관련정책과 제도정비가 필요함을 제시 • 미래 수요 신기술의 확인 • 옥상녹화 기술수준과 경향 제시 • 국내외 인공지반녹화의 효과 입증수준 제시 • 친환경 단지계획 및 신기술과의 융합적 경향 제시 ② 인공지반녹화 관련 분야에의 기여 • 세부 요소기술 개발의 경향 및 방향성 제시 • 요소기술의 국산화를 위한 방향성 제시 • 기술수요 항목의 활용성 • 통합적 공정관리를 위한 방안으로 활용가능 • 조성 전과정에 대한 고려항목의 제시 • 친환경 단지개발 설계지표 및 고려요소 제시 • 대규모 인공지반녹화 조성방안 수립에 방안적 자료 제시 • 기존 조성단계의 범위를 확대 • 기술표준화 지침 개발을 위한 기초자료 제공 • 환경부하저감을 위한 계획과 설계지침을 위한 방안적 자료제시
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	• 버려졌던 옥상공간의 녹화를 통한 단지내 녹지공간 확충 및 거주 주민의 녹시율 증대를 통한 친환경성을 증대시키며, 최상층세대 옥상부 단열성능 증대를 통한 냉난방 부하 감소를 예측하고 Mock-up 실험을 통해 이를 증명 • 광 조절을 통한 실내외 시환경의 개선을 통해 건강성을 증대시킬 수 있을 것으로 본다. 경제성 측면에서 기존 옥상부 조성 공법과는 비교할 수 없으나, 기존 옥상조경 공법 대비 경제적으로 우수한 녹화기술의 하나로 자리매김 할 수 있을 것으로 보며, 공동주택 최상층 기피로 인한 가치 손실의 최소화를 통한 주택 가치 상승효과 또한 동시에 확보
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	①기술적 측면 • 충격부하에 영향이 없음 • 원활한 산소공급으로 폐수 처리능 향상 • 미처리 물질의 처리능 향상 • 슬러지 발생량 감소 • 티타늄과 공기의 산화력을 이용하여 수처리 효율을 높임 ② 사회·경제적 측면 • 시공의 편리성 • 유지관리의 평이성 • 전력사용량 및 기계시설의 유지관리비 절감 • 과부하, 빈부하시의 대처능력 우수

	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	①기술적 측면 • 기존에 무분별하게 방류되었던 비점오염원을 관리함으로서 초기 우수 정화를 통한 이용과 같은 비점오염원관련 기술이 활성화- IT 기술과 연계하여 빗물 관리 시스템을 운영함으로써 관련 IT기술 향상이 기대 ② 사회·경제적 측면 • 현재 우수관을 통해 배제되어 하수처리장으로 유입되는 빗물을 집수해 이용해 하수처리에 드는 비용을 줄일 수 있음 • 빗물 관리 시스템 운영·유지·관리 인력 수요일자리 창출 효과가 있을 것이다. 또 관련 산업의 활성화 또한 기대 • 단지 내에서 빗물과 중수를 이용한 자체적 물순환을 통해 상수 사용 및 하수 배출을 절감
	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	① 기술적 측면 • 충격부하에 영향이 없음 • 원활한 산소공급으로 폐수 처리능 향상 • 미처리 물질의 처리능 향상 • 슬러지 발생량 감소 • 티타늄과 공기의 산화력을 이용하여 수처리 효율을 높임 ② 사회·경제적 측면 • 시공의 편리성 • 유지관리의 평이성 • 전력사용량 및 기계시설의 유지관리비 절감 • 과부하, 빈부하시의 대처능력 우수
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	① 기술적 측면 • 열섬 현상을 저감하기 위한 공동주택 단지 내 최적화된 계획요소의 도출 적용기술 향상 • 열환경 평가프로그램 개발과 실용화를 통한 기술 확산 효과 • 실증적인 연구를 토대로 국내에서 프로그램을 개발함으로서 해외 기술 의존도 개선 • 열환경 평가 프로그램 개발과 실용화를 통해 공동주택의 열환경 개선 및 통합 단지 설계 능력 향상 • 저에너지 친환경 공동주택 적용에 필요한 친환경계획요소의 최적화 및 기술 향상 • 실증적인 연구를 토대로 국내에서 프로그램을 개발함으로서 해외 기술 의존도 개선 • 열환경 평가프로그램 개발과 실용화를 통해 공동주택의 열환경 개선 및 통합 단지 설계 능력 향상 • 저에너지 친환경 공동주택 적용에 필요한 친환경계획요소의 최적화 및 기술 향상 ② 사회·경제적 측면 • 국내 공동주택 친환경 이미지 개선을 통한 건설 시장의 국제 경쟁력 강화 • 프로그램 개발을 통한 대외경쟁력 향상 및 수입대체효과 • 친환경 공동주택의 현장 적용을 통해 공동주택의 친환경성능 제고 및 친환경에 대한 사회적 인식 확대 • 프로그램 개발을 통한 대외경쟁력 향상 및 수입대체효과

		• 환경부하 저감 • 설계 완료 후 성능 개선을 위한 설계 변경 등의 가능성 저감 • 설계 단계의 시간 단축 및 분석용역 등으로 발생되는 비용 저감 • 설계 단계에서의 성능 검토로 인한 차후 건물 완공후의 에너지 및 환경 성능 향상 • 차후 건물 완공후의 민원 저감과 같은 사회적 비용 저감
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	① 기술적 측면 • 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안으로 기대 • 기업의 해외 기술 의존도 역시 크게 개선 ② 사회·경제적 측면 • 비용 절감 효과 • 지구 환경적 측면의 국가 전략 • 당해 기술의 시장성 • 산업적 효과
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	• 단지 배치 계획을 수행하면서 즉각적으로 주동 및 단지 각 세대의 일조 및 소음성능을 판단
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	① 기술적 측면 • 공동주택의 유형화 및 구조유형별 Open Plan 유형 등의 공동주택에 관한 방대하고 정량적인 공간분석 데이터와 분석 프로그램은 주택 산업 전반에 걸쳐 다양한 활용이 예상 • 객관적인 데이터를 토대로 보다 정확하고 신뢰 있는 관련 연구가 진행될 수 있을 것으로 기대
	가변형 평면 시스템 (포항산업과학연구원)	• 실증적인 분석 데이터의 확보를 통해 이후 이루어지는 연구 및 사업의 기초연구 비용의 절감 효과 • 짧은 수명과 시대적 트랜드와 디자인 변화에 따른 교체요구 발생시 쉽게 부품 및 내장재를 교체 가능하도록 하는 오픈 건축 시스템을 기반으로 한 주거의 복지 및 거주성 향상에 기여 • 가변형 벽체의 주요 구조재인 스틸스터드와 내, 외장재와 같은 물품들을 생산하는 관련 건설자재 업체들의 자재 표준화에 기여 • 운송 및 양중과 관련된 업체의 고도화된 운송 및 양중 기술의 개발 및 부속품의 개발이 필요하므로, 이러한 업체에의 파급효과도 기대
	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	① 기술적 측면 • 지능형 외피대안 개발을 위한 요소기술에 의한 설계지침은 다양한 관련기술개발 연구수행을 활성화시킬 것으로 추정되며, 국내 다양한 유형의 공동주택 실정에 맞게 효과적으로 적용되어 관련 국내 창호관련 산업 및 채광시스템, 단열재의 자재산업으로의 기술 확산 • 이중창호 및 외단열 시스템, 차양 시스템의 전반적인 성능 및 기술력 향상 촉진 • 통합 외피시스템 관련 기술개발 촉진 • 공동주택 주요 설계변수별 대안 및 외피 설계 관련 가이드라인 제시를 통한 국내 기술력 증진

		• 자연형 외피시스템의 파사드 디테일 개발, 제작기술 등 건설업체의 엔지니어링 능력 향상 ② 사회・경제적 측면 • 개발 창호의 성능 안정화 검증으로 공동주택형 이중외피 창호시장의 확대 • 첨단 자동창호 시스템의 공동주택형 적용 모델개발로 에너지 절감 가능 • 친환경 건축실행을 위한 채광분야의 기여도 증진으로 건축문화 선도 • 개발 기술 적용을 통하여 건물에너지 절감 및 환경부하의 저감 • 비용효율적인 에너지절약형 공동주택 설계안에 대한 지침을 제시함으로써 전문가 및 일반인의 에너지 효율적인 주거건축물에 대한 이해를 돕고, 나아가 이에 대한 보급을 용이하게 함
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	① 경제적 측면 • 본문 내용 중 공동주택 부위별 년간 손실, 획득열량 평가를 기준으로 할 경우, 국내 공동주택에서 열교 제거만으로도 난방부하는 평균 18.6%, 냉방부하는 평균 20.6% 감소 가능하며, 실제 난방시 손실열량은 평균 13.5% 감소 및 획득열량은 평균 7.9% 증가가 가능 ② 기술적 측면 • 외단열 시스템의 자재, 세부 디테일, 시공 등에 대한 전분야에 대한 시스템 개발을 통한 건축시스템 시장 개척 • 시공법의 개발을 통한 시공업체와의 연계를 통한 품질관리 개척 • 기존 건축자재 및 소재 분야에서 시장을 선도하고 있는 업체의 개발품으로 인하여 기존 외단열 시스템의 문제점에 대한 개선 ③ 학술적 측면 • 열교부위에 대한 단열성능 평가 지표를 개발하고, 이를 건물단위의 에너지해석 프로그램에 적용할 수 있다면, 더욱 정확한 손실열량 평가(난방부하, 냉방부하)가 가능할 것으로 판단
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	① 기술적 측면 • 국내 건축 소재분야에서의 다양성을 확보하며, 선진기술수준을 극복하여 국내 기술수준을 향상 • 환경 및 기능성 건축자재의 표준 및 기술체계를 확보할 수 있으며, 항균, 항곰팡이, 원적외선, 음이온 등 다양한 기능성 건축자재의 개발 및 실용화에 기여할 것으로 예측 • 건축자재의 국내기술 향상은 국내 업체의 경쟁력 및 수입대체효과를 전망 할 수 있으며, 이와 같이 친환경・기능성 건축자재를 보급함으로써 건물의 실내공기질을 향상시킬 수 있다고 판단 ② 사회・경제적 측면 • 친환경・기능성 건축자재를 사용함으로써 실내공기질이 향상되어 쾌적하고 건강한 주거환경을 확보 • 친환경・기능성 건축자재의 사용은 실내의 오염물질을 저방출하거나, 저감하여 실내의 환기회수를 줄일 수 있으며, 궁극적으로 에너지 절약을 실현하는 것으로 판단

1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	①기술적 측면 • 바닥 복사냉난방 시스템 구성안에 따른 주거용 냉방열원 시스템 기술 및 제품 개발 유도 • 복사냉난방 시스템용 분배시스템 유닛 기술 및 제품 개발 유도 • 복사냉난방 패널 제품 개발 유도 • 복사냉방 시스템 적용을 위한 제습 및 보조냉방 시스템 산업의 시스템 개발 활성화 및 제품화 유도 • 통합형 복사냉난방 제어 기술 확보에 따른 통합제어기 또는 홈오토메이션 제어기 개발 활성화 기대됨 • 설계 관련 담당자들이 설계 단계에서 활용할 수 있는 설계 절차와 설계 자료를 제시함으로 인해, 설계 단계부터 바닥 복사냉방 시스템의 적용이 활발하게 검토될 것이 기대됨 • 시스템 보급 활성화를 통해 냉난방 대체 열원 시스템 개발 유도 기대 ② 사회·경제적 측면 • 정부의 저탄소 녹색성장 정책에 부응 • 정부의 에너지 절감대책에 부응 • 지역냉난방 공사의 지역냉방 보급 노력에 부응
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	• 공동주택에서의 지능제어기술이 적용되어 에너지 절감 및 쾌적한 온도에 기여 • 온도변화 범위가 작아서 정밀한 제어가 요구되는 분야에 대한 기여
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	① 기술적 측면 • 요소기술 확보에 따른 비덕트방식 환기시스템의 기술력 향상 • 실내환경 시험 평가 및 시뮬레이션 기법 정립 • 저에너지 환기시스템의 설계능력 및 평가기술의 확보 • 실내 공기환경의 효율적 관리·제어기술의 발전 도모 ② 사회·경제적 측면 • 쾌적한 실내 환경 조성으로 국민건강 증대 및 삶의 질 향상 • 비덕트 환기시스템에 비용절감 • 한국형 환기시스템의 운용에 의한 건물에너지 절감
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	① 기술적 측면 • 덕트터미널 환기필터의 요소기술 확보에 따른 국산화 및 기술력 향상 • 오염입자 제거기술과 적정환기량 산정 및 제안 • 실내 공기환경의 효율적 관리·제어기술의 발전 도모 • 하이브리드 환기시스템에 관한 통합이론 정립 • 실내환경 시험 평가 및 시뮬레이션 기법 정립 • 저에너지 환기시스템의 통합설계능력 및 제어기술의 확보 ② 사회·경제적 측면 • 대부분 수입에 의존하고 있는 환기시스템용 필터의 수입대체와 수출 시장 확보 • 공동주택 환기 에너지소비량의 절감 • 쾌적한 실내 환경 조성으로 국민건강 증대 및 삶의 질 향상 • 환기시스템의 표준화에 따른 설계비의 절감 및 시공성 확보 • 저에너지 청정 환기시스템의 요소부품을 생산하는 산업에 대한 파급효과

1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	①기술적 측면 • 실제 운영을 통한 지속적 성능 획인 기반의 지열 냉·난방 최적 설계, 시공 및 운영 기술을 확립 • 공동주택 적용 GSHP 기술 개발이 가능 • 공동 주택용 지열 냉·난방 시스템에 실질적인 성능예측 및 성능확인 기술 적용을 통한 범용적인 지열 냉·난방 시스템의 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증 기술 개발 및 보급 • 각각의 구성 장비들 또는 설치물들의 개별 성능테스트를 포함하여 각 부속기기의 통합한 시스템에 대해서도 성능시험 및 최적의 조화를 이루는 운전 환경을 도출함으로써 시스템의 운전의 최적화가 가능 • 지열원 냉·난방시스템을 구성하는 복잡한 부분들이 소유주 및 설계자의 설계의도대로 작동, 운영되는지 확인하며, 시스템의 본래 목적을 달성할 수 있도록 지열 냉·난방시스템을 구성하는 각 부분들의 성능을 제대로 발휘하게 함으로써 궁극적으로는 전체 시스템의 성능이 향상 • 지열 냉·난방 시스템의 설치 및 인증에 관한 기술적 토대 제공 • 소비자 및 용자에 지열 냉·방 시스템의 우수성을 알리기 위한 보급 활성화 자료로 활용 가능 • 건물 일체형 지열시스템을 통해 초기투자비를 줄이고 시공성을 향상 ② 사회·경제적 측면 • 재생에너지 활용시스템의 보급 확산을 통한 국가에너지 및 온실가스 문제에 대처 • 지열 냉·난방 시스템의 보급 활성화를 통한 건물에너지 소비량 절감이 가능 • 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증 기술을 통한 시스템의 성능 향상 및 성능을 계속적으로 유지함으로써 에너지 절약이 가능 • 초기 성능 예측 및 지속적인 성능 검증 기술은 효율적인 건물 운영, 거주자의 쾌적성, 에너지절약, 안전성 및 유지관리비 절약 등을 위하여 계획, 설계, 시공, 시공후 설비의 시운전 및 유지관리를 포함한 전 공정을 효율적으로 검증하고 문서화하여 에너지의 낭비 및 운영상의 문제점을 최소화 • 지열 냉·난방 시스템의 신축이나 개보수를 함에 있어서 체계적이고 표준화된 설계 및 검증 절차인 초기 성능 예측 및 성능 확인 기술을 적용하면 해당 시스템의 수명이 늘어나고, 재활용이 용이
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	①기술적 측면 • 기존의 지붕형 PV패널과 달리 국내 기존 설치사례가 없는 태양광 전지를 공동주택 발코니에 설치가 가능하게 됨으로, 향후 PV패널 발전성능향상 시 즉시 실용화할 수 있으므로 미래 건축기술에 즉시 부응 • 태양열 급탕장치의 발코니 설치 시 문제점과 성능향상에 관한 연구로 내구성이 향상된 발코니형 BIST가 생산 ② 사회·경제적 측면 • 태양열, 태양전지판을 이용한 화석 에너지절약 “5%” 절약 (태양광 발전의 경우 향후 PV패널모듈의 성능 향상에 따라 에너지 절약 효율은 증가하게 된다.) • 향후 공동주택에서도 전기를 생산하여 저 비용으로 운용될 수 있으므로, 공동주택 설계의 새로운 트렌드로 자리매김하며, 새로운 주거문화가 창달

		• “저탄소 녹색성장”이라는 국가정책에 충분히 부응할 수 있는 재생에너지 분야로 타 재생에너지에 비하여 비교적 적은 비용으로 적용 • 산업분야가 아닌 건축과 사회기반시설에서 적용이 가능한 분야로 재생에너지 활용시스템의 보급 및 확산을 통한 국가에너지 및 온실가스 문제 대처로서 국제적 탄소소비 판매제도 대응가능 • 친환경건축물을 위한 관련시장의 활성화

2. 저에너지 친환경 공동주택 모델 구축기술 개발

2세부		기여도
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	① 기술적 측면 • 디테일 개발 및 제작기술 등 전문 건설업체의 엔지니어링 능력 향상 • 외환경(site), 건물(building), 설비(system) 등의 에너지 절약을 위한 통합설계능력 향상 ②사회·경제적 측면 • 건축물의 건설, 사용 및 폐기 과정에서 에너지와 자원의 소비, 오염물질과 폐기 • 물의 발생 등 환경부하 및 오염요인 저감을 통해 장기적인 경제적 가치 창출 • 강화되는 국제 기준에 대응하는 기술 개발을 통해 해외에서 새로운 시장을 개척 ③ 학술적 측면 • 친환경 에너지 절약형 요소기술을 적용할 수 있는 프로토타입 모델의 개발 및 보급 • 저에너지 친환경 주거단지 설계를 위한 설계기법을 체계화한 스탠다드의 보급
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	• 기술의 확산 효과 CO2 저감을 통한 국가 경쟁력 향상 • 신·재생에너지 기술 개발 및 보급
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한일엠이씨)	
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	• 기술적 경쟁력 향상 효과 • 기술의 확산 효과 • CO2 저감을 통한 국가 경쟁력 향상

2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	①기술적 측면 • 평가지표 및 평가기법개발로 건축요소기술의 저에너지친환경에 대한 객관적이고 효과적인 성능검증 • 통합설계의 평가Tool 개발로 건축물의 초기계획단계에서부터 설계/시공/운영에 이르기 까지 저에너지친환경 건축구현을 위한 방향제시 및 기술수준 향상 ② 사회·경제적 측면 • 본 연구의 결과가 공동주택의 설계 및 시공에 적용될 경우 건축부문에서의 에너지절감과 자원절약을 통하여 비용절감효과가 막대함 • 에너지소비절감의 효과는 궁극적으로 온실가스의 감축으로 이어져 교토의정서에 따른 이산화탄소 의무감축에 기여함과 동시에 지구 환경적 측면에서 국가정책수립에 긍정적인 효과를 가져옴 • 본 연구의 결과로 제시되는 평가기법과 평가Tool은 국제적 연구수준의 측면에서 볼 때 선진기술에 해당되므로 선도연구로서 파급효과가 매우 큼
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	• 생태계의 원리를 적용하여 생태계를 보존하고 자연과 공생하며 에너지부하 및 탄소배출을 저감시키는 저에너지 친환경 공동주택의 외부공간 계획에 대한 세부적이고 구체적인 기준을 제시하여 이를 효과적으로 유도할 수 있는 평가지표를 개발 • 저에너지 친환경 공동주택 외부공간에 대한 평가는 탄소배출 및 에너지 부하를 저감시키는 것뿐만 아니라 그 안에서 거주하는 주민들의 편안함과 쾌적함 그리고 건강함을 고려한 평가지표 개발
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	• 저에너지 친환경 공동주택 요소기술은 건축 설계·시공·운영관리·건축설비 등의 전 분야에 연관되어 현장적용성이 뛰어나며 건축기술 발전을 도모 • 저에너지 친환경 요소기술 관련 연구시 기초자료로서 이용되며 정책수립을 위한 자료로 활용 • 저에너지 친환경 요소기술의 평가기준을 정립하고 평가방법 제시 할 수 있는 기초데이터가 됨 • 성능평가와 모니터링은 기존의 전통적인 건축산업에서 한걸음 발전한 친환경 컨설팅 산업을 크게 발전시킬 수 있음으로 신산업의 창출에 기여

제 5 장. 연구개발결과의 활용계획

제 1절. 활용계획

1. 활용방안

① 현장적용 방안

요소기술을 통합하여 제어하는 최적화 기술의 경우 통합 제어 프로그램의 개발을 통해 효율적인 시스템 운영이 가능하도록 하며, 경제성 평가와 운영 DB를 제공함으로써 연구 직후 산업체에서 적용할 수 있는 수준의 모델을 제공한다. 또한 요소기술 적용 실험 Data와 통합 적용에서 나타나는 운영 DB을 제공하고 현장에 적용될 요소기술 적용 기술을 확보함으로써 저에너지 친환경 공동주택의 성능을 최적으로 유지할 수 있는 매뉴얼을 개발한다. 본 연구개발 기술은 신축 공동주택뿐만 아니라 기존 주택의 개보수시에도 이용이 가능하다.

② 실용화/산업화 방안

요소기술 개발 부분은 각 기술별 1개 이상의 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반을 조성한다. 개발된 기술은 기술력, 시공성, 경제성 평가를 거쳐 실증 모델로 검증되므로 개발된 공동주택 모델의 상품화와 함께 제품화하여 이를 상용화한다.

산업체별 특허 출원/등록 및 기술 이전은 연세대 산학협력단과 연구단의 협력을 통하여 관리하고 있다. 과제 종료 이후 출원 또는 등록 가능한 특허에 대해서는 연대산학협력단과의 협의를 통하여 행정적인 지원을 수행할 예정이다

* 그린홈플러스 활용 방안
 - 연구 성과를 대외적으로 공개하고 교육 및 홍보에 활용
 - 국가과제의 연계를 통하여 추후 보다 발전적인 연구및 개발기술의 실용화에 활용

* 특허 출원 및 등록 관련
 - 연세대와 참여 기업이 공동으로 기 출원한 특허 또는 신규 출원될 특허에 대해서는 대해서는 연세대 산학협력단의 평가 결과에 따라 출원 비용 및 등록 비용의 지원 가능하다.

- 기존 특허 출원분의 등록 과정은 연세대 산학협력단에서 지속적인 관리를 담당하여 수행예정이다.
- 기존 참여 연구기관에 대하여 지적 재산권의 출원 독려

* 실용화/산업화 방안
- 기존의 연구결과를 실용화/산업화 하는 과정은 업체 중심으로 수행되어진다. 연구단은 필요시 직/간접적인 지원을 수행한다.
- 실용화/산업화를 위한 보완 연구 및 실험이 필요할 때 연세대와의 협의하에 그린홈플러스를 활용 할 수 있도록 할 예정이다.
- 참여 업체의 기술 상용화/산업화를 독려하며 연구단 및 연세대 산학협력단의 긴밀한 협조를 통하여 이를 지원 할 수 있도록 노력한다.
- 또한, 연구결과 등의 추가적인 출판 등을 통하여 연구과제를 통하여 개발된 기술을 대중에 보급할 계획이다.

③ 미래 원천기술 확보

기존의 평가지표의 문제점을 해결할 수 있는 타당성 있는 지표를 개발하여, 산업체와 사용자가 쉽게 건물 성능을 인지할 수 있는 원천기술을 확보하며, 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전도 가능하도록 한다.

2. 기술적 기대효과

① 기술 경쟁력 향상

친환경 건축에 대한 시장수요가 13%의 환경산업 시장규모 성장률과 더불어 높은 비율로 증가하고 있다. 따라서 기술 개발 성과의 실용화 수요가 증가함에 따라 기술개발 요구가 커지고 있는 실정이다. 국내 관련 기술 수준은 주요 선진국에 비해 약 5년 뒤처져 있는 실정이며, 주요기업의 순수 국내기술 보유율은 40%에도 미치지 못하고 있다. 본 연구개발에서 각각의 관련 요소기술을 통합 적용하여 이루어지게 될 관련 기술 전반에 대한 종합적인 연구는 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안으로 기대된다.

② 기술 확산

과제 수행을 통해 축적된 저에너지 친환경 공동주택 관련 요소기술 전반에 대한 방대한 기초 데이터 및 실증 데이터는 관련 산업 전반은 물론, 이후 다양한 관련 기술 개

발 연구에서 활용도가 높을 것으로 기대되며, 실증적인 연구를 토대로 각각의 관련 요소기술을 국내 실정에 맞게 개발하도록 함으로써 기업의 해외 기술 의존도 역시 크게 개선할 수 있을 것이다.

3. 사회·경제적 기대효과

① 비용 절감 효과

화석연료 소비량을 감소시킴으로써 기대할 수 있는, 교토의정서에 따른 탄소 배출권 거래 비용 회피 및 친환경적인 주거환경 조성으로 인한 건강비용 지출 회피가 대표적인 비용 절감 효과에 해당한다. 또한 전력 소비가 10%만 감소한다고 예상했을 시에도 5천5백억 원의 경제적 이득을 기대할 수 있으며, 20% 절감의 경우는 1조 1천억원, 30% 절감의 경우는 1조 6천억원으로써, 저에너지 소비형 건물이 경제적 측면에서 큰 영향력을 가질 것으로 보인다.

② 지구 환경적 측면의 국가 전략

국내 온실가스 배출량은 세계 9위, 에너지 소비량은 세계 10위 수준(IEA, 2002년 기준)이며, 1990년 이후 평균적으로 매년 5.1%씩 증가해왔다. 이러한 현재의 에너지 다소비형 개발방식을 그대로 유지하는 경우, 2013년에 기후변화협약에 따라 이산화탄소 감축 할당량을 만족시키기 위해서는 생산량 자체를 줄이거나 타국의 탄소배출권을 구매해야 하는 상황이다. 이는 각종 무역규제와 정책에 의해 발생되는 환경비용과 더불어 국가경쟁력 약화를 초래할 것이다. 이러한 추가 비용 발생을 피하고 수출의 기회를 확대하기 위해서 저에너지 친환경 공동주택 기술개발은 반드시 필요한 국가의 전략으로 그 중요성이 높다.

③ 당해 기술의 시장성

향후 지속적인국가발전을 이루기 위해서는 산업 자체를 이산화탄소 저배출형으로 변화시킬 필요가 있으며, 국내 총 이산화탄소 발생량의 42%, 에너지 소비량의 24%, 폐기물 발생량의 30%를 차지하는 건축분야의 친환경적 전환은 필수적이다. 이러한 필요에 의해 저에너지 친환경 기술 시장 규모는 점차 확대되고 있으며 가까운 아시아 시장 잠재력을 고려하면 엄청난 규모라 할 수 있다. 본 연구개발을 통해 큰 비용상승 없이 에너지 사용량 40~55% 절감할 수 있는 주택 모델이 보급되면, 주 에너지원인 석유를 전량 수입하는 국내 실정을 감안할 때, 직접적으로는 원화 유출 방지와 간접적으로는 발전소 추가 건립비용 절감 등의 효과 역시 기대할 수 있다.

④ 산업적 효과

저에너지 공동주택 기술개발 연구가 시행됨으로써 기대할 수 있는 기술개발 성과는 부속서 국가에 있는 국내기업의 탄소배출권 구배 비용을 줄이기 위한 대안으로 이용될 수 있을 것이다. 또한 국내 공동주택에 바로 실적용이 가능한 기술통합화 방안을 제시함으로써, 향후 국내주거유형의 47.7%를 차지하는 공동주택을 대상으로 하는 효율향상 사업, 청정연료 보급 및 신재생에너지 발전 등 다양한 사업들을 유치할 수 있는 기회를 제공하는 역할을 할 것이다. 또한 신기술의 실용화에 따른 고용창출 효과로 환경산업의 성장 동력으로서의 역할을 담당할 것으로 판단된다.

1세부		활용 계획
1-0	통합연구개발 통합성능평가 (연세대학교)	① Pilot Project(저에너지 친환경 실험주택)는 "저에너지 친환경 공동주택 기술개발"의 연구 성과의 일부로 주관연구기관인 연세대학교의 재산으로 귀속되나 국가연구개발사업의 일환으로 진행된 바 연구과제의 종료 이후에는 일정기간 공공적 목적으로 사용할 수 있도록 실험시설을 외부에 공개하여 연구 및 교육에 활용할 수 있도록 할 계획 ② 특히 본 실험주택은 Base Model에서부터 40%~100%까지 에너지 성능을 갖는 5개의 실험유닛으로 구성되어 있어 각 기술의 적용뿐만 아니라 건물 성능에 따른 거주자 행태에 대한 연구 등 미래 주거 생활에 대한 발 앞선 연구가 가능할 것으로 판단 ③실험주택을 이러한 목적으로 운영하기 위해 현재 연구 과제를 수행하고 있는 연세대학교 부설 연구소 <친환경건축연구센터>는 연세대학교와 운영에 대한 사항을 협의하여 진행하고 있다. <친환경건축연구센터>에서 본 실험주택을 운영할 경우 각종 기술의 성능 결과의 정량화 및 객관화와 실험 기록의 보관 및 분석이 가능하기 때문에 주택 건설 기술 및 주거환경 분야의 연구의 발전에 기여할 것으로 판단
	통합연구개발 모세관 복사냉난방 (연세대학교)	① 향후 연구 개발된 모세유관 시스템의 적용·보급 활성화를 위해 실제 상황을 반영한 성능 검증과 모니터링을 통한 추가적인 보완 및 개선이 요구되며, 실제 적용될 공간과 동일한 공간에서의 운전 상황을 구현하여 홍보함으로써 기술에 대한 신뢰성을 높일 필요가 있음 ② 본 연구를 통하여 모세유관 시스템을 현장에 적용하고 실험을 통해서 냉난방 성능을 검증하였으며, 시뮬레이션을 통해 기존 시스템과의 비교검토를 진행하였다. 이를 통해 시스템의 성능뿐 아니라 지중열 활용 가능성에 대한 신뢰성을 확보하여 향후 해당 요소기술의 공동주택 적용 활성화를 위한 기술적 기반을 확립했다고 판단
	통합연구개발 PCM (연세대학교)	① 지금까지, 공동주택에서 발생하는 에너지 소빌량을 줄이면서 실내의 쾌적성을 향상시키기 위해 상변화물질을 적용한 건축자재

		를 실내마감재로 적용한 후 건물의 성능을 분석하였다. 상변화물질을 공동주택에 적용하기 위해서는 많은 변수를 파악하고 분석한 후 적용을 해야만 건축가, 엔지니어, 시공자 등 건축 관련 전문가들이 원하는 성능을 발휘 가능 ② 앞으로 그린홈플러스에 적용된 상변화온도 24℃, 34℃의 PCM마감재의 축열 성능을 좀 더 정확하고 타당성 있게 분석하기 위해 다음과 같은 사항을 고려하여 추후에 실험 및 시뮬레이션을 통해 분석을 해야 함 • PCM마감재의 계절별 적정 상변화온도 및 잠열량 분석 • 바닥복사 냉난방 시스템의 효율을 높이기 위한 PCM 바닥 마감재 축열 성능 실험 • 우리나라 지역 별(중부지방, 남부지방, 영동지방) 적합한 상변화물질 분석) • 재실자 스케쥴 및 환기 방식에 따른 상변화물질의 축열 성능 분석 • 건물의 향, 배치 및 창문의 면적에 따른 PCM 축열 성능 분석
	통합연구개발 정책 (연세대학교)	① 타 산업에 미치는 영향 • 새로운 도시에 요구되는 공동주택 모델 개발에 따른 차세대 공동주거 문화의 형성에 기여 • 저에너지 친환경 건자재, 설비에 대한 비용/ 경제성 분석을 통하여 제조업 측면에서 보다 우수한 환경 성능을 갖춘 건자재의 개발을 촉진하고, 해당 기술 및 장비/ 설비/ 기계의 국산화를 촉진하는데 기여할 수 있음 ② 정부 정책과의 연계 방안 • 교토의정서에 대한 대응으로 CO2 절감을 통한 국가 경쟁력 향상 및 신재생에너지 활용과 지속가능한 발전 보급 향상 • 저에너지 및 친환경과 관련하여 국제적인 흐름을 파악하고 추진 방향을 설정하여 글로벌 개념의 선진화된 공동주택의 에너지 및 친환경 활성화 프로그램 운영 ③ 관련 후속연구개발 전망 • 본 연구가 성공적으로 수행될 경우, 연구 실적을 바탕으로 공동주택 이외의 일반 건축, 공공건축 및 토목 건설 측면에서 친환경 수요를 확대하기 위한 연구가 가능할 것으로 전망된다. 또한 건자재 시장에 중점을 두어 친환경 소재의 개발 동향 분석과 미래 전망에 대하여 지속적인 연구를 수행할 필요성이 있음
	기존건물 그린홈화 (LH 공사)	① 신규주택의 그린홈 활성화 방안을 마련하기 위해 현재 시행중인 「친환경주택 건설기준 및 성능」고시를 정부의 정책 목표에 맞게 개정 ② 기존주택의 그린홈화를 위해 기존주택에 적용될 기술항목의 도출과 정량적 평가방법 개발 및 초기투자비 등을 분석하여 기존주택 그린홈화를 위한 지원방안을 마련

1-A	인공지반녹화의 생태적 조성 지침 개발 (서울대학교)	① 계획단계 친환경 공동주거단지를 계획할 때 개발대상지 주변 자연환경을 분석하게 되며, 기존에는 주로 지형, 식생현황, 수계 등을 파악하여 개발계획에서 훼손을 최소화하기 위한 방안을 제시하여 왔음 ② 설계단계 • 인공지반녹화는 주로 단지 외부공간의 설계에 포함되는데, 저에너지 친환경 공동주거단지에서 외부공간이 담당하는 주요기능은 물순환 시스템, 바람길의 확보, 생물다양성의 확보, 에너지 저감기법 등임 • 인공지반녹화를 설계할 때 중점적으로 확인해야 할 사항들을 물순환체계와의 연결, 생물다양성 증진, 에너지 저감 등의 관점에 맞게 정리하였으므로 기존의 설계 매뉴얼과 함께 참고하게 된다면 유용할 것이라 판단 ③ 시공단계 본 매뉴얼의 시공단계에서는 배수시스템의 시공에 보다 초점을 맞추어 향후 물순환시스템과의 연결에서 문제가 없도록 시공하기 위한 방안적 지침들을 제시하였으므로 관련 공종과의 협의시 참고할 수 있을 것으로 판단됨 ④ 유지관리단계 저에너지 친환경 공동주거단지가 본래의 목표를 이루는 단계는 준공이후가 되므로 단지 전체 유지관리 매뉴얼의 작성과 효과적인 운용이 필요함. 이러한 통합적 관리를 위해서 본 지침은 인공지반녹화의 전반적인 유지관리 지침을 제공하되 준공완료 전후, 식물활착 및 생육기간, 장기간 동안의 일상적인 점검 및 시간경과에 따른 유지관리 체크리스트로 활용할 수 있음
	신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발 (한국건설기술연구원)	① 국내 인공지반 조성 지침 마련을 통한 공동주택 외부공간의 생태적 기능 향상 도모하고, 국제 특허출원 및 기술 공유를 통한 옥상녹화분야 국제시장 개척을 선도하며, 국내 녹화기술 선진화를 위한 기반구축이 가능할 것으로 판단 ② 인공지반 녹화 TRM은 조경분야의 요소기술 체계화 방법으로서 관련 업계에서 기술 개발시 참고자료로 활용가능하며, 델파이 분석결과를 통하여 미래에 소요되는 인공지반 녹화의 기술과 변화를 보여줌으로써 기술개발을 위한 아이디어와 착안점을 제시가능하다. TRM에서 발견된 새로운 경향을 반영하여 생태적 인공지반녹화 기술지침의 방향을 설정할 수 있을 것이다. 인공지반녹화 기술개발을 유도하는 측면들(제도적, 사회적)이 선행될 필요성이 높은 것으로 나타난바 향후 국가 및 시도 관련 정책의 구체적 수립방안이 요구될 것이다. ③ 인공지반 녹화는 도시의 생태적 문제 및 도시인의 삶의 질에 대한 문제는 물론 에너지 절약 문제를 동시에 만족시킬 수 있는 대안으로 주목받고 있다. 다시 말해서 인공지반 녹화는 건축으로 인해 파괴된 토양생태계를 인공지반 위에 복원하는 의미를 가지며, 이를 통해 열섬

		현상의 완화는 물론 도시홍수 및 지하수고갈 문제까지 근원적으로 해결할 수 있다. 또한 도시 생태계의 생태통로 기능을 하고 대시 및 수질 정화능력을 가지는 등 도시환경 문제를 종합적으로 해결해 나갈 수 있는 대책방안이라 할 수 있다.
1-B	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (연세대학교)	① 기업화 추진방안 본 적용 기술의 성과물은 친환경적인 수질정화기술에 관한 분야, 공동주택의 오폐수 뿐 아니라 하천, 호수정화에도 자연친화적인 수질정화기술로 적용가능 ② 기대성과 및 파급효과 공동주택의 오수 정화시스템 뿐 아니라 호수, 저수지의 유기물질 및 녹조제거, 하천의 점오염원, 비점오염원에 의한 오염물질 분해제거, 오폐수처리장치의 후처리공정에서의 잔류오염물질 분해제거, 상수원 수원지의 오염된 수원지내의 오염물질 분해제거 등에 활용 ③ 경제, 산업적 측면 • 시공 편리성 • 유지관리의 평이성 • 전력사용량 및 기계시설의 유지관리비 절감 • 과부하, 빈부하시의 대처능력 우수
	단지 내 종합적 물순환 기술_중수 (서울대학교)	① 건물에서의 빗물이용시설 설계 및 시공에 활용 기존의 건물이나 신축되는 건물에 빗물이용시설을 설치하는 경우 본 연구 결과의 빗물이용시설 설계 및 시공 방법을 토대로 할 수 있다 • 단일 건축물뿐만 아니라 아파트, 공동 주택에서도 본 연구에서의 설계 및 시공 가이드라인으로 활용 될 수 있다. ② 공동 주택에서의 통합적 물순환 시설에 활용 통합적 빗물 관리 뿐 아니라 우수와 중수의 통합적 관리에 활용될 수 있다. ③ 빗물 저류 및 이용과 빗물 침투의 통합적 빗물관리에 활용 기존의 저류 및 이용과 침투가 분리된 시설을 개선한 단지 내 물순환을 개선할 수 있는 저류, 이용, 침투를 통합적으로 고려한 빗물관리에 활용 될 수 있다. ④ 빗물을 이용한 단지 내 열환경 개선에 활용 열 환경 개선을 통해 단지 내 소비되는 에너지를 저감할 수 있다. ⑤ 우수유출 저감 및 상수사용 절감을 통한 단지 내 물순환 개선에 활용 빗물 저류 및 이용시설과 빗물 침투시설은 첨두 유출 저감을 통해 도시 내 홍수 피해 방지를 할 수 있다. ⑥ 단지 내 통합적 물관리에서 Web기반의 IT 기술 적용방안 활용 본 기술의 적용은 효과적인 단지 내 물관리를 도모 할 수 있을 것이다. ⑦ 빗물시설의 경제성 분석 방법의 활용 본 연구개발에서 제시된 빗물시설의 경제성 분석 방법은 앞으로 다른 빗물 시설의 경제성 분석에 활용 될 수 있다.

	단지 내 종합적 물순환 기술 (세기종합환경)	본 연구과제의 성과물은 공동주택의 오수 정화시스템 뿐 아니라 호수, 저수지의 유기물질 및 녹조제거, 하천의 점오염원, 비점오염원에 의한 오염물질 분해제거, 오폐수처리장치의 후처리공정에서의 잔류오염물질 분해제거, 상수원 수원지의 오염된 수원지내의 오염물질 분해제거 등에 활용할 수 있다.
1-C	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (연세대학교)	평가 프로그램 등록을 통한 실용화 및 사업화 ① 타 산업에 미치는 효과 • 단지 및 건물에 적용되는 기술로써 인간이 살아가는 공간 전체에 해당되므로 기술 개발을 통해 관련 산업의 성장 기대 • 단지부하 저감을 위한 단지배치 계획 지침을 개발함으로써 인해 도시의 생태환경에 개선 영향 ② 부 정책과의 연계 방안 • 통합 단지 설계기술 적용을 통하여 주호에 미치는 환경부하 저감으로 인해 에너지 저감을 통한 국가 경쟁력 향상 • 정부에서는 관련부서 담당관을 대상으로 각종 심포지엄이나 세미나를 통한업무연계시스템 구축 ③ 관련 후속연구개발의 전망 • 단지 환경 차원에서의 연구가 도시차원의 연구의 근간이 되어 기초자료로 활용 가능 • 대도시 주변의 신도시 개발, 녹지 환경 조성 등 중요한 자료로 활용 가능 • 통합 단지 설계기술 적용을 통하여 주호에 미치는 환경부하 저감의 효과를 공동주택뿐만 아니라 타 유형 건축물에 적용
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (성균관대학교)	① 현장적용 방안 요소기술을 통합하여 제어하는 최적화 기술의 경우 통합 제어 프로그램의 개발을 통해 효율적인 시스템 운영이 가능하도록 하며, 경제성 평가와 운영 DB를 제공함으로써 연구 직후 산업체에서 적용할 수 있는 수준의 모델을 제공한다. 또한 요소기술 적용 실험 Data와 통합 적용에서 나타나는 운영 DB을 제공하고 현장에 적용될 요소기술 적용 기술을 확보함으로써 저에너지 친환경 공동주택의 성능을 최적으로 유지할 수 있는 매뉴얼을 개발한다. 본 연구개발 기술은 신축 공동주택뿐만 아니라 기존 주택의 개보수시에도 이용이 가능하다. ② 실용화/산업화 방안 요소기술 개발 부분은 각 기술별 1개 이상의 산업체와 연계하여 관련기술 특허를출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반을 조성한다. 개발된 기술은 기술력, 시공성, 경제성 평가를 거쳐 실증 모델로 검증되므로 개발된 공동주택 모델의상품화와 함께 제품화하여 이를 상용화한다.

		③ 미래 원천기술 확보 기존의 평가지표의 문제점을 해결할 수 있는 타당성 있는 지표를 개발하여, 산업체와 사용자가 쉽게 건물 성능을 인지할 수 있는 원천기술을 확보하며, 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전도 가능하도록 한다. ④ 신산업 창출 시범사업을 운영함으로써 개발된 모델의 보급을 확대하고 산업체 파급효과와 사회 적 인식 확대를 기대하며, 개발된 교과과정과 대중 교육 프로그램을 실현하는 장소로써 시범학교/교육센터를 제공하는 역할을 담당한다. 또한 전문적인 대학과정이나 기술자격시험 등을 통해 전문 인력을 양성하여 신산업 창출을 적극적으로 지원한다.
	친환경 성능을 고려한 통합 단지 계획 (EANtech)	일조 및 소음성능 간이 평가기법은 설계자가 단지 배치계획을 수행하면서 즉각적으로 주동 및 단지 각 세대의 일조 및 소음성능을 판단하고 이에 대한 대안을 도출
1-D	가변형 평면 시스템 (연세대학교)	• 본 연구에서는 해외의 사례들의 직접 답사 및 자료수집을 통해 SI주택, Open Plan에 대한 면밀한 분석을 하였다. 이는 앞으로의 저에너지 및 가변형 주택의 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 뿐 아니라 계속적으로 다변화되는 국내 거주자의 요구와 생활방식에 맞는 한국형 가변 평면 개발의 자료로 활용될 수 있다. • 본 연구에서는 공동주택의 정량화 작업을 시도하였다. 저에너지 공동주택에 적합한 단위평면을 도출하기 위하여 공동주택을 정량적으로 유형화함과 동시에 구조유형별 Open Plan의 유형을 도출하였다. 이러한 결과는 공동주택에 관한 방대한 정보를 공간분석 프로그램을 통하여 정량화시킬 수 있는 가능성을 보여주며 이를 통해 • 주택 산업 전반에 다양한 활용이 가능하다. 객관적인 데이터를 토대로 보다 정확하고 신뢰 있는 관련연구가 진행될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 친환경적인 평면을 가능하게 하는 가변형 평면의 연구와 그 유형화는 앞으로 Open Plan의 실제적 적용의 토대를 마련하였다는데 중요한 의미를 가진다. SI분리에 의한 구조체 사용수명의 연장은 경제적, 환경적으로 우수한 공동주택의 건설을 가능하게 하며 이러한 연구를 통해 support와 infill의 구체적인 기술이 보급되고 실용화될 시 자료로 활용될 수 있다. • 거주자의 요구에 부합하는 가변형 평면 개발을 위하여 Life Cycle과 life style에 대한 연구를 진행하였고 Pilot Project에 적용시켜 보았다. Life Cycle에 따라서 Pilot Project의 가변이 어느 범위까지 가능한지 그것이 어떠한 성격을 가질 수 있는지를 분석해보았다. 이는 앞으로 실험적인 단계에 있는 Pilot Project가 가지고 있는 특성을 고찰하면서 다양한 가구유형을 고려할 수 있는 평면 개발시 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.
	가변형 평면 시스템	• 본 연구에서 개발한 가변형 벽체 시스템은 주자재인 프레임패널

	(포항산업과학연구원)	및 런너구조를 기반으로 하고 있는 기술로서, 향후 국내 주상복합 아파트, 호텔 등의 세대간 경계벽, 오피스의 간막이벽 등으로 현장 적용을 추진함으로써 참여기업인 (주)유창을 통하여 구성부품을 제품화, 양산화할 수 있도록 할 계획이다. 또한, 보다 폭넓은 용도로의 활발한 사용을 위하여 석고보드사 등과 공동으로 시스템에 대한 성능인정구조 취득을 추진할 수 있다. • 건설 산업적인 측면에서 볼 때, 본 연구는 공업화 건축 기술의 고도화와 밀접히 연계되므로 공장 생산을 위한 주요 건설자재의 부품화와 밀접한 관련이 있다. 따라서 가변형 벽체의 주요 구조재인 스틸스터드와 내, 외장재와 같은 물품들을 생산하는 관련 건설자재 업체들의 자재 표준화에 기여할 수 있으며, 나아가 생산 자동화와 관련한 공구 및 설비 생산 업체들의 제조기술 향상에도 기여할 것으로 예상된다. 또한 운송 및 양중과 관련된 업체의 고도화된 운송 및 양중 기술의 개발 및 부속품의 개발이 필요하므로, 이러한 업체에의 파급효과도 기대할 수 있다. 또한, 최근 건물의 리모델링 및 자재의 재활용, 재사용은 지구자원의 보존 및 녹색성장의 측면에서 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 본 연구에서 개발한 가변형 벽체시스템도 동일한 맥락을 기반으로 벽체의 시공을 용이하게 할 뿐만 아니라 벽체로서의 요구 성능과 품질 또한 기준의 만족, 주요 자재의 재사용을 가능하도록 함으로써 이에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 본 연구에서 개발된 가변형 평면 기술은 공업화 건축과 부품화 건축의 일면에 지나지 않으며, 궁극적으로 건축물의 모든 부품들은 표준화와 규격화를 통해 공장 생산됨으로써 획기적인 공기 단축과 요구 성능 충족 및 품질 확보를 이루어 건축의 생산성을 높이도록 연구 개발이 추진되어야 하며, 이것이 미래건축의 나아갈 방향이라고 생각된다. 따라서 가변형 벽체시스템 뿐만 아니라 바닥, 천장시스템과 건축물의 모든 부품의 공장 생산을 통해서 완전 리싸이클, 리유즈가 가능한 범지구차원의 친환경 건축을 할 수 있도록 지속적으로 연구하고, 생산 자동화와 운송 및 양중 기술을 개발시켜 나가야 할 것이다.
	지능형 이중창호 시스템 (연세대학교)	①연구성과의 활용방안 • 이중 창호시스템의 실용화・제품화 • 개발 외피 시스템의 현장 적용화 방안 및 지속적 운영 방안도출 • 외피시스템 설계 지침을 활용하여, 공동주택의 냉난방 부하저감 • 차양과 통합된 부하저감형 창호 설계 지침을 보급하여 국내기업의 역량 강화 ② 실용화제품화 방안 본 연구를 통해 개발된 제품을 산업체와의 연계를 통해 보다 효율적이고 최적화된 형태로 실용화한다. 이 과정에서 산업체와의 적극적인 기술교류 및 기술지도, 정보제공 등이 이루어지고, 연구된 기술이전은 산업체의 적극적인 참여를 유도할 수 있는 기반을 구축한다. ③ 미래원천기술 확보 외피 시스템의 부하저감 성능 향상을 위한 요소들의 성능 기준을 도출하여, 목표 부하저감 수준별 설계 기준을 작성 할 수 있는 기초를 다진다. 또한, 창호 디테일 및 외단열 시스템의 설계

		기법을 개발함으로써 국외 선진 국가와의 기술 격차를 줄일 수 있도록 한다. 이러한 기술들은 가이드라인화 되고, 각 부문의 전문가들에게 교육되어 그 파급효과를 극대화한다 ④신산업 창출 시스템과 관련된 시장을 확장 하고 이와 관련된 산업을 창출한다
	외단열 시스템 (이화여자대학교)	KCC와의 연계를 통해 단열의 자체 생산, 마감소재 및 시공부자재의 외주 생산을 통해 외단열 시공업체에 시공 발주를 주는 형식의 사업화 방안을 구상 중이다.
	친환경 소재 개발 (한국 건설 기술 연구원)	① 연구성과의 활용방안 최근 주거용 건물에서의 실내공기질은 환경문제 및 거주자의 심신건강에 많은 관심이 증가되고 있으며, 쾌적하고 안전한 건강주택의 기본환경 조성을 위하여 오염물질을 저 방출하는 건축자재 및 기능성 친환경 소재의 필요성이 부각되고 있다. 따라서 오염물질을 저 방출하는 친환경소재 및 오염물질을 흡착 저감하는 기능성 소재를 개발하여, 친환경 및 기능성 성능을 객관적으로 평가함으로서 건강건축시스템의 구현이 가능할 것으로 판단된다. ② 기능성 건재 및 무기질 도료에 대한 제품화 및 산업화 계획 진행 중이다
1-E	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (서울대학교)	① 연구 개발된 바닥 복사냉방 시스템은 기술력·시공성·경제성 평가를 거쳐 실증 모델로 검증되었다. 따라서 이 기술을 공동주택 모델의 상품화와 함께 제품화 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 연구개발 결과를 설계사·시공사(건설사)·일반인을 대상으로 적극 홍보하여 국내 신축 및 개보수 아파트 건설현장에 적극 적용되도록 할 수 있을 것이다. 연구개발 결과의 활용 방안을 정리하면 다음과 같다. • 참여기업과 연계하여 관련기술의 실용화 기반을 조성 → 제품화 • 실제로 세대 단위의 공동주택(복합존)에 적용된 시스템의 성능 평가를 통해 시스템의 성능 뿐 아니라 기술력과 시공성에 대한 신뢰성을 확보하여, 향후 해당 요소기술의 공동주택 적용 활성화를 위한 기술적 기반 제공 • 개발된 요소기술을 현장에 적용하기 위해 설계자 / 시공자가 설계와 시공단계에서 활용할 수 있는 설계 process 및 기준을 제시하여 요소기술의 실용화를 위한 기술적 기반 제공 • 에너지 절약적이며 친환경적 냉·난방 시스템으로써 보급이 활성화 될 경우, 관련 부품 생산업계와 자동제어 업계에 새로운 수익모델을 제공
	복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발 (연세대학교)	① 기술적 활용 • 지능형 아파트의 제어 기술 기반 확보로 향후 실용화 제품개발 활용 • 주거 및 사무용 건물의 에너지 소비절약으로 유지 관리 경제성 확보 • 건물의 효율적 관리가 가능하며, 다양한 건물 형태에서 활용 가능 • 새로운 개념의 실내 환경 통합 제어 이론의 개발과 정립 ② 사회, 경제적 활용 • 주거용 건물의 에너지 절감형 시스템으로 활용 • 사무소용 건물의 에너지 절감을 위한 대형 감시제어 시스템으로 활용

		• 실내 쾌적성 확보에 의한 근무자들의 생산성 향상에 기여 • 실별 제어를 통한 쾌적한 환경 제공으로 건물가치 향상 • 건설 및 유지 관리, 개보수 등 건물의 총 생애비용 (total life cycle cost)의 절감 ③ 추가연구의 필요성 • 건물특성에 따른 on-line 퍼지외기보상제어기 개발 • 외란이 심한 장소에서의 환경에 강인한 제어기 개발 • 센서의 오차 및 노이즈 제거 기술 개발 ④ 타연구에의 응용 • 냉방, 공기조화 및 환경에 영향을 받는 분야에 퍼지적용 가능 • 태양광, 풍력 등 태양의 위치변화, 풍향변화에 적응가능한 제어기 설계 ⑤경제성 검토 및 실용화 방안 • 에너지 효율을 높이려는 보일러 회사들과의 제휴를 통한 실용화 • Smart home, Smart building을 추구하는 건축회사들과의 기술 협약
1-F	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기시스템)	① 최근 건축물의 기밀화, 고층화됨에 따라 적절한 실내공기질을 확보하기 위해서는 환기시스템이 필수적이라고 할 수 있다. 정부에서도 이러한 점을 반영하여 건축법 시행령을 통해 다중이용시설 및 공동주택의 환기장치 설치를 의무화하고 있다. 그러나 적절한 환기시스템은 쾌적한 실내공기질을 확보하여 재실자의 건강을 유지하는데 도움을 주지만 그렇지 않은 경우 오염물질을 제대로 제거하지 못할 뿐만 아니라 냉난방부하를 커지게 하여 에너지의 낭비를 초래하게 된다. 지금까지 에너지 절약적이고 효율적인 환기를 위해 자연환기와 기계환기를 병행하는 하이브리드 환기시스템 등 여러 가지 연구가 이루어지고 있다. 그러나 효율적인 환기시스템을 개발하기 위해서는 환기시스템의 성능을 평가할 수 있는 적절한 평가기법이 수반되어야 한다. 현재 평가기법에 대한 연구도 이루어지고 있으나 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 추적가스를 이용한 환기성능 평가기법을 제시하였으나 추적가스 종류의 제한, 실험시간의 단축 등 현장에 널리 적용하기에는 다소 미흡한 부분이 남아있다. 차후 지속적인 연구를 통하여 현장에서 쉽고 정확한 환기성능을 평가할 수 있는 평가기법의 개발을 통해 보다 효율적인 환기시스템 개발에 기여할 수 있을 것이다.
	환기시스템 개발 (국민대학교 _환기필터)	①추가연구의 필요성 일반적인 필터의 구조는 필터의 fiber가 유동방향에 수직하게 무작위로 구성되어 입자를 제거하는데 유리하지만 에너지비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 이에 반해 본 연구에서 개발하고자 하는 것은 사람의 코 속에 있는 털을 모델화하여 유동방향에 parallel 한 구조로 나열되어 있어서 입자를 장시간 제거하는데 유리하고 압력손실도 매우 장점을 갖는다. 종래에는 이러한 기술이 자연환기 덕트에만 적용되어 저속에서만 사용가능했지만 이를 기계환기장치 덕트 터미널에 적용하여 고속(1.0m/s 이상)에서 사용할 수 있도록 설계한다면 에너지절약형 환기필터로서 매우 중요한 요소기술이 될 것으로 판단 ② 추가 연구개발에 활용

		• 덕트 단말 필터의 효율 향상 • 에너지 절약형 하이브리드 환기시스템 ③ 사업화 추진방안 • 사업화를 목적으로 건설회사와의 적극 협력 추진 • 저에너지 친환경 환기필터 설계기술 참여기업에 기술 전수 • 요소 부품개발(열교환막, 모터, 덕트)은 관련 전문업체와의 협력 체계 구축
1-G	공동주택의 위한 재생에너지 시스템 적용 연구 (한국에너지기술연구원)	• 고유가에 대한 효과적인 대응 방안 정책 방향을 제시 • 가정의 에너지 사용률 저감 방안 방법을 제시 • 지열 냉·난방 시스템을 통한 에너지 절약 정책의 새로운 방법을 제시 • 국제기후협약에서 제한하는 화석연료 사용에 대한 탄소배출량 제한 등에 대한 건물분야에서의 적극적인 대안 마련책으로 활용가능
	공동주택을 위한 재생에너지 시스템 적용연구 (한밭대학교)	① 관련 후속연구개발의 전망 • 태양광 발전 (BIPV)의 경우 현재 성능이 5%내외로 미미한 편이나 우리나라를 비롯한 선진국에서 10년 내 박막전지의 효율이 30%가 되도록 성능을 올릴 수 있도록 연구를 진행하고 있으므로 공동주택에 설치하는 BIPV는 면적이 작아도 그 성능을 제대로 발휘할 수 있는 계기가 올 것으로 기대 • 태양열 (BIST)의 경우 공동주택에 다양하게 적용할 수 있는 간편한 장치가 필요하며 현재와 같이 규격화된 상용제품이 없는 점은 본 연구를 통하여 개선될 수 있으며, 규격화 제품의 가능성이나 설치의 용이성 등이 향후 후속적인 연구로 성능과 더불어 실용성이 향상될 수 있을 것으로 본다. ②활용 방안 발코니형 BIPV 시스템 및 발코니형 BIST 시스템 제품 개발 및 특허개발

2세부		활용 계획
2-1	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(연세대)	• 저에너지 친환경 주택시장이 확대되어가는 추세 • SH-standard를 바탕으로 확대되어가는 저에너지 친환경 주택시장에 탄력적인 대응 • 초기 발생할 수 있는 시행착오 및 고비용 저효율의 주택시장을 효율적으로 유도. • 빠르고 광범위하게 저에너지 친환경 주택의 보급효과
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(공간건축)	• 공동주택/주택 신축 및 개보수시 적용 • 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반 조성, 개발된 모델의 산업화 수단으로 기술 실용화/상용화 • 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전 및 교육을 통하여 전문 인력 양성
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한일엠이씨)	• 공동주택/주택 신축 및 개보수시 적용 • 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반 조성, 개발된 모델의 산업화 수단으로 기술 실용화/상용화

		• 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전 및 교육을 통하여 전문 인력 양성
	저에너지 친환경 공동주택 요소기술 통합설계(한설그린)	• 저에너지 친환경 공동주택/주택의 설계 및 시공시 에너지 저감형 외부공간의 조성을 위해 활용가능 • 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반 조성, 개발된 모델의 산업화 수단으로 기술 실용화
2-2	저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축 (대림산업)	• 본 기술은 참여 기업 및 국내 주택건설업체의 기존 주거를 개보수시와 신축 주거 건설시에도 이용이 가능 • 산업체와 연계하여 관련기술 특허를 출원하고 기술의 우선권을 확보하며 실용화 기반을 조성하며, 개발된 모델의 산업화 수단으로 기술 실용화를 달성하여 제품화하고 이를 상용화 • 친환경 건축에 대한 시장수요가 13%의 환경산업 시장규모 성장률에 힘입어 높은 비율로 증가하고 있다. 따라서 관련 연구의 수행은 연구기술 성과의 실용화 수요에 따라 상당히 큰 기술 확산 효과를 가지게 될 것이다. 국내 관련 기술 수준은 주요 선진국에 비해 약 5년 뒤처져 있는 실정이다. 본 과제에서 각각의 관련 요소기술에 대한 면밀한 분석을 토대로 이루어지게 될 관련 기술 전반에 대한 연구는 기존의 산발적인 연구 형태보다 선진국과의 기술 격차를 효과적으로 줄여나갈 수 있는 방안이다 따라서 기존의 평가지표의 문제점을 해결할 수 있는 타당성 있는 지표를 개발하여, 산업체와 사용자가 쉽게 건물 성능을 인지할 수 있는 원천기술을 확보하며, 설계/제어/운영을 위한 부분별 기술의 컨설팅, 제조회사 창업시 기술이전도 가능하도록 함
2-3	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (중앙대학교)	• 건축설계분야 뿐만 아니라 시공 및 운영관리, 건축설비, 컨설팅 등 건축기술의 각 분야에서 폭넓게 활용되므로 현장적용 • 성능평가 기법 및 프로그램은 관련기술 특허를 통하여 상품화 될 수 있고, 국제적으로도 활용이 가능한 상품으로 개발 • 성능평가와 모니터링은 기존의 전통적인 건축산업에서 한걸음 발전한 친환경컨설팅산업을 크게 발전시킬 수 있음으로 신산업의 창출에 기여
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (아주대학교)	• 단순 식재 위주의 조경면적 및 주차시설, 주민편의시설 등으로 채워지는 기존의 외부공간 계획방식에서 나아가 지역생태계 보존을 위한 생물서식공간으로 활용되도록 유도 • 단지의 냉난방 에너지에 대한 부하를 줄이고 탄소배출량을 저감시키는 기능적인 공간으로 계획
	저에너지 친환경 공동주택 성능 모니터링 및 평가 기술개발 (한국토지주택공사_모니터링)	• 친환경 공동주택 요소기술은 건축 설계·시공·운영관리·건축설비 등의 전 분야에 연관되어 현장적용성이 뛰어나며 건축기술 발전을 도모 • 저에너지 친환경 요소기술 관련 연구시 기초자료로서 이용되며 정책 수립을 위한 자료로 활용 • 저에너지 친환경 요소기술의 평가기준을 정립하고 평가방법 제시 할 수 있는 기초데이터가 됨 • 성능평가와 모니터링은 기존의 전통적인 건축산업에서 한걸음 발전한 친환경 컨설팅 산업을 크게 발전시킬 수 있음으로 신산업의 창출에 기여

제 2절. 저에너지 친환경 공동주택 연구단 향후 운영 계획

지속가능한 개발을 위한 신기술이나 신재생에너지의 경제성이 확보될 가능성이 높아지지만 시장에 보급되어 활용되기 까지는 많은 장애 요인이 존재한다. 이러한 장애요인으로 인해 신기술이나 신재생에너지의 보급은 중장기적으로 서서히 보급될 가능성이 높기 때문에 따라서 우리가 온실 가스 감축을 이행하는 시점에서 신기술이나 신재생에너지를 얼마만큼 효율적으로 활용할 수 있느냐가 녹색성장의 관건이 될 것이다.

저에너지 친환경 공동주택 연구단이 이루어온 성과들은 여러 전문가들의 노력에 의한 소중한 결과들이며 이는 향후 지속적인 개발을 위한 중요한 초석이 될 것이라 확신한다. 또한 소중한 결과물인 그린홈플러스를 바탕으로 <저탄소 녹색성장>이라는 새로운 국가 비전에 알맞은 성장 동력을 만들기 위해 필요한 사항을 제시하고자 한다.

저에너지 친환경 공동주택 연구단은 2011년 6월29일 공식적으로는 연구를 종료하게 되지만 앞으로 연구 성과의 지속적인 활용을 위해 지속적인 연구개발과 홍보, 교육을 통한 기술 확산 및 세계시장 진출 기반의 확보가 필요하다. 또한 건물에너지 효율향상을 위한 추가적인 연구개발을 통하여 우리나라 녹색성장과 관련한 정책수행을 효과적으로 지원함은 물론, 한국형 저에너지 친환경 주택시장과 지속가능한 사회로의 전환을 위해 그 역활을 다할 것이다. 이에 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 실제 조건에서의 에너지 소비량 분석 (가전 기기 및 실제 재실 조건 고려)

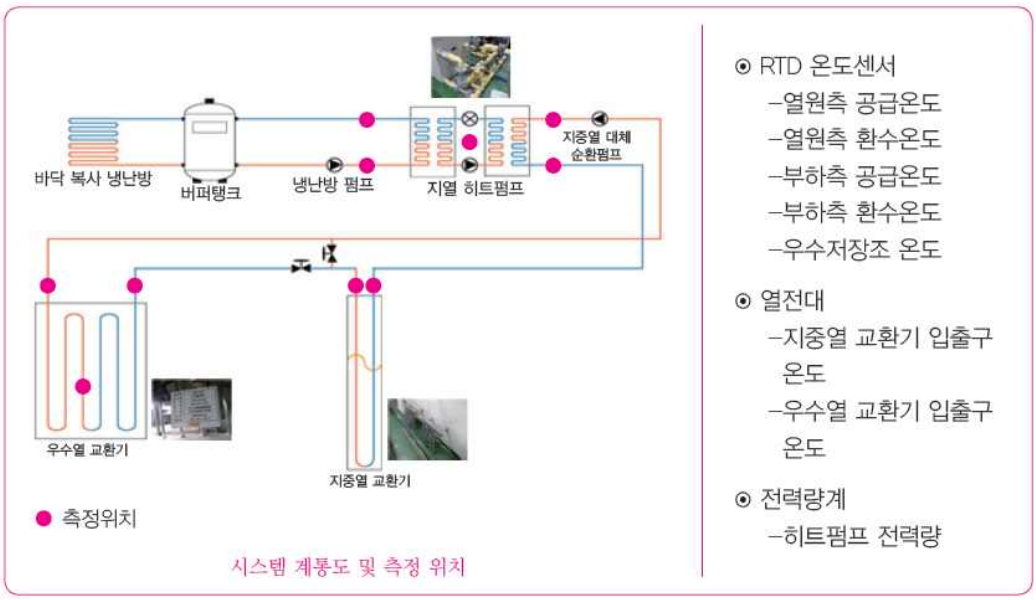
지난 5차년 동안 통합 모델의 에너지 성능에 대한 평가를 진행하였으나. 연구과제의 특성상 실제주거조건에서 통합성능 모델의 에너지 성능평가 검증하는 데는 한계가 있었다. 향후 실제거주 조건에서의 건물성능을 평가하여 보다 현실적인 검증을 수행할 필요성이 있다. 이는 기존 실험결과를 보완하여 향후 그린홈플러스의 보급 및 활성화를 위한 훌륭한 검증자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 요소기술 부분의 향후 연구 계획

향후 요소기술의 연구에 대한 계획은 기존의 연구를 바탕으로 이루어 질 것이다. 이는 기존 연구 결과의 보완과 활성화를 목적으로 하며 다음과 같다.

자연환기 연구의 경우 외피 시스템, 실간 벤트 슬릿 및 환기 장치와의 연계 방법에 관한 연구 및 자연환기 방식에 따른 성능 평가를 실시할 것이다. PCM 부분에 있어서는 PCM 물질의 최적 적용 방법 개발을 위한 연구가 진행될 것이며, 화석연료의 대체를 위한 신재생에너지 시스템은 설계 조건 및 환경 조건에 따른 태양열 시스템의 성능확보 방법과

신재생에너지 시스템의 하자 방지 기술, 풍력 발전 기술 적용 기법 개발, 주거건물에 있어서 신재생에너지의 통합 기법 개발에 대한 연구를 실시 할 것이다. 냉난방 시스템의 경우 실내 냉난방 시스템의 효율적 제어 기술에 대한연구 및 바닥 복사 냉난방 시스템, 및 제습장치 이는 추후 실별 제어, 바닥 냉방 시스템과 제습장치와의 연계에 대한 연구로 이루어 질 것이다.



시스템 계통도 및 측정 위치



바닥복사냉방시스템 모세관 복사냉방시스템

3. 일반인 및 전문가를 대상으로 한 지속적인 홍보 활동

저에너지 친환경 공동주택의 보급은 지속가능개발에 중요한 요인임은 확실한 사실이다. 그린홈플러스에는 2010년 5월 이후 일반인의 관람을 실시하고 있다. 개장초기에는 건설업체와 기술인들의 방문이 두드러졌고, 각 지자체에서도 친환경 건축기술에 대한 관심

을 갖고 방문하여 늘고 있는 추세이다. 이는 일반인들에게 저에너지 주거 모델에 대한 인식 제고를 하게 함으로써 연구의 결과를 일부 기술자인 들만이 공유하는 제한적인 것이 아닌 국민들과 함께 만들어 갈 수 있는 바람직한 방법이다.
또한 그린홈의 보급촉진도 앞장설 것이다. 이를 위하여 그린 홈플러스 자체 센터 운영을 위한 추가의 전문 홍보인원을 보충이 필요할 것이다.
또한 국외 관련 전문가 및 기관에 대한 홍보도 실시하여 요소기술 및 통합 모델의 실증실험결과를 추가하여 전문가들에게도 도움이 될 수 있는 저에너지 주거 모델을 제공하여 친환경기술발전에 기여할 것이다.
]

4. 교육 프로그램 개발

무엇보다 지속가능한 개발이 활성화되기 위해서는 전문가 및 일반인을 대상으로 한 교육활동을 통하여 저에너지 기술에 대한 전문적인 지식을 가진 전문가의 양성과 일반인들의 의식고취를 이루어 나가는 것이 중요하다.
이에 전문가를 대상으로 한 교육 프로그램 개발에는 저에너지 공동주택 연구 개발 결과에 기초한 기술별 교육 프로그램이 개발할 것이다. 이는 연구단 세부기술 항목을 바탕으로 한 SITE/BUILDING/SYSTEM 부문의 교육 프로그램을 개발함과 동시에 세부 기술의 교육 자료를 구축하게 될 것이다.
일반인을 대상으로 한 교육프로그램에는 무엇보다 저에너지 주거에 대한 일반적인 사항에 대한 교육 프로그램을 개발하여 이를 바탕으로 주거부문의 에너지 절감 방안에서 대한 교육활동이 지속적으로 이루어 질 것이다.



5. 인증 프로그램의 개발 및 통합체계 구축

저에너지 주거에 대한 계획은 제도 및 시장상황과 연계되어 있어 면밀한 검토가 필요하다. 또는 이는 기존에 수행되고 있는 다양한 에너지 친환경 주택관련 제도의 상관관계도 고려할 필요가 있는 풀기 어려운 숙제임에 틀림없다. 따라서 저에너지 친환경 주거관련 시스템을 구축할 수 있는 통합체계의 구축될 필요성이 있다. 다양한 분야별 전문가 인증 프로그램의 개발을 통해 국내 기술 인력의 질적 향상 및 고용창출의 효과도 얻을 수 있을 것이다.

또한 주거건물 성능에 대한 인증프로그램, 저에너지 친환경 설계 능력 평가 지표 정립, 저에너지 친환경 시공 능력 평가 지표 정립 또한 공동주택개발의 검증수단으로 활용될 것이다. 동시에 이와 같은 기법들은 각종 친환경 건축기술을 개발하고 있는 관련업체 및 친환경 건축물을 설계하고 있는 설계사무소 등에서 기술 및 설계안을 검증하는 중요한 평가 도구로써 활용될 수 있을 것이다. 인증 프로그램의 개발 및 통합체계 구축은 국가의 미래성장에 역할을 할 것이다.

6. 결언



우리연구단은 지난 5년간의 연구 결과를 통하여 저에너지 주거 모델의 표준화를 수행하였고, 제로에너지 주거의 보급을 위한 기틀을 마련하였다. 그러나 이러한 연구 성과가 지속적으로 홍보되고 국민 및 건설관련 이해 관계자에게 충분히 인식되어 질 때 한국 저에너지 친환경 건축분야의 지속가능한 발전과 성장에 기여할 수 있을 것이다.

그린홈플러스 운영계획	①그린홈플러스의지속적인운영을통한성능평가 • 실제 조건에서의 에너지 소비량 분석 (가전 기기 및 실제 재실 조건 고려) ② 일부 요소 기술에 대한 추가 연구 진행 ③ 방문객 유치를 통한 저에너지 주거홍보 • 일반인들에게 저에너지 주거 모델에 대한 인식 제고 • 국내 전문가 및 기술자들에 대한 저에너지 주거 모델 제공 • 국외 관련 전문가 및 기관에 대한 홍보
교육프로그램개발	① 전문가교육프로그램개발 • 저에너지 공동주택 연구 개발 결과에 기초한 기술별 교육프로그램 개발 • SITE/BUILDING/SYSTEM 및 세부 기술 교육자료 구축 ② 일반인교육프로그램개발 • 일반인 대상으로 한 저에너지 주거 일반 사항에 대한 교육 프로그램 개발 • 주거 부문의 에너지 절감 방안에 대한 교육
인증프로그램의개발	① 전문가인증프로그램개발 분야별 전문가 인증 프로그램 개발 ② 주거건물성능인증프로그램개발 주거건물의 친환경성/에너지/쾌적 및 건강/경제성 평가 및 인증 프로그램 개발 ③설계 및 시공업체 평가체계구축 • 저에너지 친환경 설계 능력 평가 지표 정립 • 저에너지 친환경 시공 능력 평가 지표 정립
향후 연구 내용중 요소기술부분 (연구내용은 기존 연구결과의 보완과 활성화를 목적으로 함)	① 통합 성능의 검증 실제 거주 조건에서의 건물 성능 평가 ② 자연환기연구 • 외피 시스템, 실간 벤트 슬릿 및 환기 장치와의 연계 방법 • 자연환기 방식에 따른 성능 평가 ③ PCM PCM 물질의 최적 적용 방법 개발 ④ 신재생에너지시스템 • 설계 조건 및 환경 조건에 따른 태양열 시스템의 성능 확보 방법 • 신재생에너지 시스템의 하자 방지 기술 • 풍력 발전 기술 적용 기법 개발 • 주거건물에 있어서 신재생에너지의 통합 기법 개발 ⑤ 냉난방시스템 • 실내 냉난방 시스템의 효율적 제어 기술 (바닥복사 냉난방 시스템/제습장치) • 실별 제어/바닥냉방 시스템과 제습장치와의 연계

제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

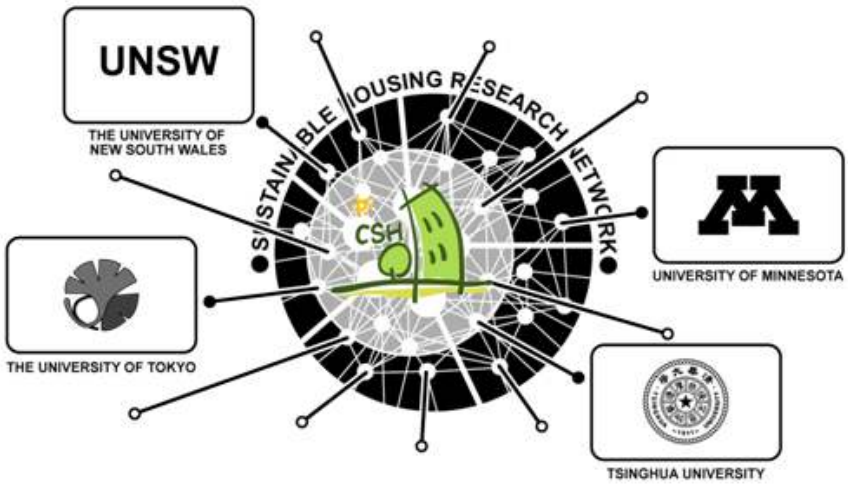
제 1절. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 개발

1.저에너지 친환경 공동주택 연구단 국제공동연구 MOU (Memorandum of Understanding) 체결 및 공동연구 협약

저에너지 친환경 공동주택연구단은 국제연구교류를 위한 미국, 일본, 중국, 그리고 호주의 친환경관련 연구기관과 아래와 같이 MOU (Memorandum of Understanding) 체결하고, 각 국의 연구 제안서를 바탕으로 3차년도 국제공동연구 수행(2008년 7월 1일 ~ 2009년 6월 30일)을 위한 연구협약을 미국, 중국, 호주와 체결하였다. 지금까지 연구단에서 추진한 국제공동연구를 위한 해외 연구협약 추진 현황은 아래와 같다.

• 국제공동연구 연구협약 체결기관

MOU 및 연구협약 체결기관	기관장	체결 일시	
		MOU 체결	연구협약체결
중국 칭화대학 건물에너지연구센터 (Building Energy Research Center)	Yi Jiang 교수	10/22/2007	4/4/2008
호주 뉴사우스웨일즈 대학 친환경건축연구센터 (Center for Sustainable Built Environment)	Deo K. Prasad 교수	10/24/2007	4/14/2008
일본 동경대학 계측기술개발센터 (Center for Development of Instrumentation Technology)	Shinsuke Kato 교수	12/08/2007	미체결
미국 미네소타대학 친환경건축연구센터 (Center for Sustainable Building Research)	John Carmody 교수	01/29/2008	5/27/2008



가. 중국 친환경 공동주택 및 상업용 건물에너지 소비특성

중국 칭화대학 건물에너지연구센터 (Building Energy Research Center), Yi Jiang 교수

(1) 중국에서의 건물 부분의 일반적인 에너지 소비실태나 최근의 주거 및 상업건물에서의 소비 현상과 에너지의 특성에 관해서 설명하며, 이는 다음을 포함한다:

① 중국의 기후 조건과 전반적인 에너지 특성

② 도시화와 도심지 건축물을 포함한 중국 내의 건물 영역에 대한 전반적인 에너지 소비 실태

③ 중국내 거주용 건물의 난방을 제외한 에너지 소비 실태

④ 대규모 상업 용 건축물(LSCB)을 포함한 중국내 상업용 건물의 에너지 소비실태

⑤ 중국의 북부 주거지에 대한 지역난방 에너지 특성

⑥ 양쯔 강 주변 지역의 주거 건물의 기후조절

⑦ 중국 아파트 주거의 냉방

⑧ 한국, 다른 나라들의 라이프스타일 비교를 통한 주거에너지 소비현황

⑨ 주거건물의 에너지 절약 가능성과 연구 접근 방법

⑩ 중국 내 주거용, 상업용 건축물과 에너지 소비의 발전

(2) 본 보고서에 사용된 데이터는 다음의 세 가지 출처를 가진다.

① 중국의 통계연보(1997~2007)와 같은 정부기관의 데이터, (b) 중국 내에서 주거 건물에 관하여 에너지 소비 실태를 대규모 투자를 통하여 조사한 자료, (c) 칭화대학에서 개발한 시뮬레이션 소프트웨어인 DeST를 통한 주거 건물의 에너지와 열 성능 데이터. 한국의 건물 에너지 소비에 관한 자료는 한국 내 산업자원부와 에너지 경제 연구원에

서 발간한 에너지 통계연보2007과 2005 에너지 소비 설문에서 비롯하였다. 그 밖에 세계 다른 나라들의 자료는 미국 에너지국의 에너지정보 어드미니스트레이션의 국제 에너지전망 2007에서 비롯하였다. 상업건물에 관한 보다 구체적인 데이터와 에너지 소비 실태에 대한 사항은 추후의 최종 보고서에 작성될 예정이다.

㉮ 2006년 까지 중국의 도심지내에 존재하는 건물의 전체 바닥 면적 (GFA) 는 175억 m^2에 이르며, 374Mtce의 에너지를 소비했다.

㉯ 중국 도심지 내에는 113억 m^2의 주거용 건물과 62억 m^2 의 상업용 건물이 있다. 이 중 중국 북부에 위치한 75억 m^2의 건물들은 겨울철 난방을 하고 있다.

㉰ 중국 도심지 내의 건물에서의 에너지 소비는 5개 영역으로 분류될 수 있다.

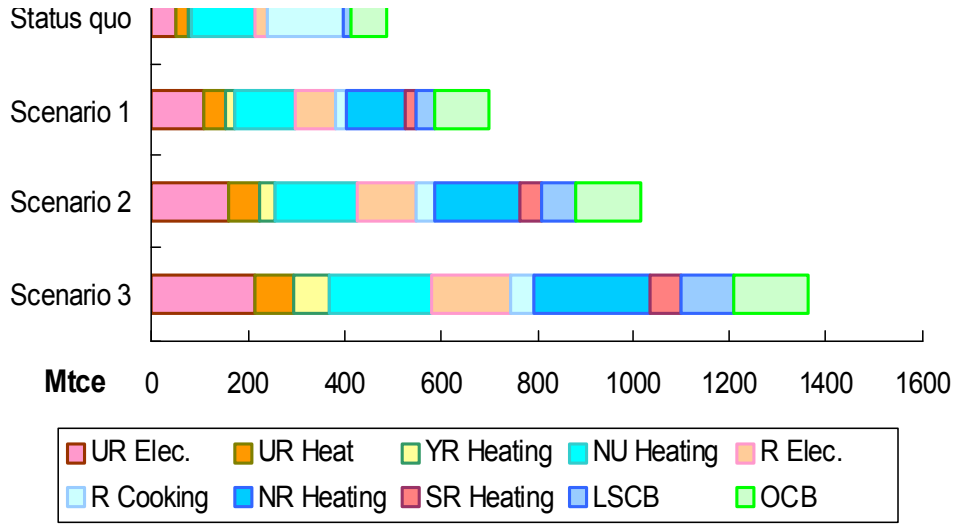
㉱ 중국 북부 지역의 난방; 양쯔강 유역의 난방; 주거용 건물의 난방을 제외한 에너지 소비; 일반 상업 건물에서의 에너지 소비; 대규모 상업 건물에서의 에너지 소비

㉲ 지난 10년간 건축물 건설 산업을 8%~10%의 성장률(AMGR)을 보였고, 이와 같은 빠른 성장은 향후 10년간 지속될 것으로 예상된다.

(3) 중국 내 주거건물의 에너지 절약 가능성과 연구 접근 방법

① 시나리오 분석

2004년 중국의 빌딩에서의 에너지 소비량은 중국 전체 상업부분에너지 사용량의 25.5%를 차지한다. 전기 소비량은 502 billion kWh이며 중국의 전체전기 사용량의 23%이다. 다른 나라와의 비교시 건물에서의 소비량은 개인적, 단위면적당 매우 작다. 2020년까지 10billion m2 (도시 주거건물 6 billion m2, 상업건물 4 billion, 시골지역 증가 없음)면적이 증가 한다고 가정할 때 빌딩의 에너지 소비 전망은 다른 시나리오에 따라 달라진다.



< 2020 scenarios on BEC of China >

		Status quo	scenarios 1	scenarios 2	scenarios 3
건물 에너지 소비량	상업건물 대비 대형건물비 (%)	5	10	15	25
	North China urban heating (kgce/m2.a)	20	12	16	20
	양쯔강 지역 난방 소비량(kWh/m2.a)	4.8	8	15	12 (kgce/m2.a)
	주거 전기소비량(kWh/m2.a)	15.6	20	30	40
	주거 난방량(kgce/m2.a)	2.6	3	4	5
	지방의 전기사용량 (kWh/m2.a)	3.5	10	15	20
	지방의 조리시 사용량 (kgce/m2.a)	6.8	1	1.5	2
	북쪽 지방 지역의 난방 에너지(kgce/m2.a)		15	20	25
	남쪽 지방 지역의 난방에너지 (kgce/m2.a)		3	6	9
	LSCB 전기소비량 (kWh/m2.a)	125	125	150	180
	OCB 전기소비량(kWh/m2.a)	41	41	50	60
년간 에너지 소비량		502 TWh electricity, 0.34 billion tce	1055 TWh electricity, 0.4 billion tce	1522 TWh electricity, 0.55 billion tce	1872 TWh electricity, 0.78 billion tce

< 2020 scenarios on BEC of China >

2020년까지 도시 문명에 따른 건물의 증가는 건물에서의 에너지 소비량은 필연적으로 증가하게 된다. 만일, 시나리오 1에 따라 에너지 효율적인 방안을 이용하여 도시의 난방 에너지를 절감하고 다른 부분의 에너지 소비 향상에 따르면 현행의 1.5배의 정도로 나타나며, 이는 국가 전략인 "quadrupled GPD with only one fold increase of energy consumptions"에 따라서이다.

또한 빌딩의 에너지 소비를 포괄적으로 이행하지 못할 경우 빌딩의 에너지소비는 현행보다 3배정도 증가하며 시나리오 3에 해당한다. 이는 중국의 사회적 경제적 발전에 따른 결과이다. 시나리오 3과 실제인구와 단위면적 증가에 따른 비교시 50%만 증가 한 것이다. 시나리오 1 역시 단위 면적의 에너지 소비량은 현재의 1/3정도 증가한 수준이다. 2020년까지 중국의 사회적 경제적 활동 변화에도 건물에서의 저에너지 소비는 세계적으로 전례가 없을 것 이다. 이는 후진국의 인류문명의 발전과 국가의 공업화에 따른 에너지 저감 방안 마련에 좋은 본 보기이다.

② 미래 대응 방안

시나리오1에 따라 지속적인 발전을 위해해야 할 일 :

도시의 건축 발전에 따른 조정이 필요하여 2020년까지 10 billion m2 이하로 제한 하여야 한다. 이를 위해 연간 건설되는 건물의 면적은 0.8 billion m2를 초과하면 안된다. 현재, 도시에서의 건물의 면적은 년간 1 billion m2로 증가 하고 있으며, 정밀한 분석을 통하여 빌딩의 에너지 소비량의 조정과 신규 건물의 증가량을 조절하여야한다.

대형건물의 에너지 소비의 엄격한 제한, 도시의 비주거 건물의 10%정도로 한정하며, 기존 건축물과 신축건축물의 리모델링과 건물 효율 향상 시킨다.

일부 도시에서는 대형 상업건물에 30%이상에 대하여 현재의 조건하에서 어떻게 이 비율을 줄일수 있어야 한다. 또한 중국의 북방 지역 도시의 주거에 대한 난방에너지 모니터링과 비용부과 시스템을 구축하여야 한다. 이는 시스템의 기구교체와 기술적인 성능 향상과 동반되어야 한다. 중국의 북방지역은 난방시스템에 대하여 높은 에너지 효율이 요구된다.

시나리오 1에 따른 난방에너지 소비계획은 현재 보다 40%저감되며 12kgce/m2이다. 이러한 목표 달성을 위하여 말단 난방 유닉에 대하여 조정과 제어를 통한 과다한 난방에너지 사용을 줄이며 기본적인 난방 시스템의 교체를 실시해야한다. 이는 장기간의 계획과 실행이 필요하다. 지방의 에너지원 사용의 확대, 바이오매스와 기타 신재생 에너지원의 사용과 북방지역의 난방시 건물의 단열성능 향상이 요구된다. 중국의 사회주의 체제는 건물의 에너지 효율향상을 위하여 지속적인 발전을 위한 전략이 요구

된다. 이는, 기술적인 발전과 정부의 정책지원, 자원의 확보 종합적인 계획이 필요하다. 시골 지역에서 상업부분의 에너지 소비는(주로 석탄) 빠르게 증가한다. 소비의 레벨은 빠르게 시나리오1에 접근하고 있다. 무엇보다도 심각한 사항은 시골지역의 상업건물의 에너지 소비는 조절하기가 매우 힘드며, 중국의 에너지 소비를 저감하기 위한 순위 조사시 가장 우선적으로 지속적인 발전이 요구되는 부분이다.

양쯔강 지역의 주거, 비주거 건물의 실내 환경에 대한 개선 : 시나리오 1에서 겨울철 난방을 만족하는 평균은 단위면적당 8kWh/m2이며 이지역의 기후조건과 유사한 선진국의 에너지 성능 개선 사례는 없다. 지역의 경제력 향상과 삶의 질 향상에 따라 보다 좋은 실내환경이 요구되며, 무엇보다도 시나리오 1보다 더 많은 에너지 소비가 이루어지고 있다. 이는 기술적인 발전과 정부의 정책적인 가이드라인 설정을 통하여 쾌적한 삶을 요구하는 사람들을 만족시켜야 한다. 이를 위하여 과학적인 방법의 접근이 요구되며 이는 시나리오 1의 목적을 달성하기 위한 체계적인 방법이어야 한다.
대형 건물의 높은 에너지 효율을 위한 건물의 보수 : 건물의 에너지 소비 측정 데이터에 따라 사용 요금을 부과하며, 건물의 에너지 사용량을 줄이기 위하여 기술적인 요소와 효과적인 측정 기술이 발전되어야 한다. 현실적인 에너지 절감방안을 위하여 강력한 방안을 실행해야한다.

(4) 도시 주거건물의 에너지 절약 잠재력과 접근 가능한 연구

(가) 중국 북부지방 도시의 주거난방

중국 북부도시의 주거난방은 모든 도시 주거 에너지소비의 48.7%로 가장 큰 비율을 나타내기 때문에 주거 에너지 보존을 위한 중요한 포인트로 강조될 수 있다. 그것의 절약 잠재성은 아마도 다른 최종 용도와 비교할 때 관계되는 수치와 절대수치에서 최대가 될 것이다. 중국 북부의 도시 주거 분야의 지역난방시스템에 의한 에너지 소비는 다음 4개의 측면과 깊은 관련이 있다:

① 건물의 난방요구
② 에너지 손실과 불균형 문제에 의해 과도하게 공급되는 열
③ 지역난방시스템의 네트워크 효율성
④ 열원의 에너지 효율성

결과적으로 각 부분에 대한 해결책이 있다:

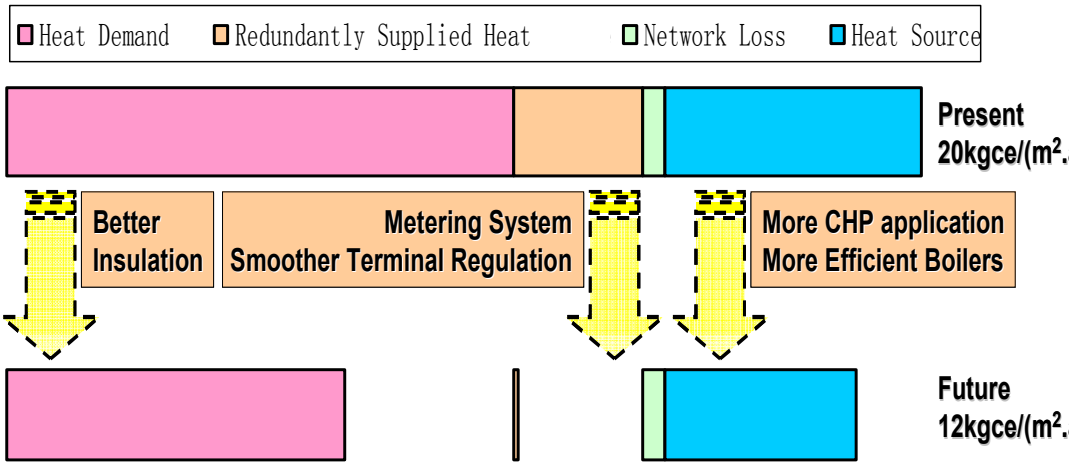
1) 난방 수요 부분에서 외피와 단열재의 개선은 아주 유익할 것이다.
선진국과 비교할 때 중국 북부도시 주거건물의 외피 내열성은 현재의 기초에 의하면 50%까지 증가될 수 있다. 심각한 침투 문제를 갖고 있는 오래된 강철 창 또한 대체되어야 한다. 기존건물과 새 건물의 기밀성은 잘 강화되어야 하고 통제되어야 한다. 결과적으로 전반적인 외피의 혁신은 난방 수요를 현재 90kWh/((㎡•a)에서 60kWh/((㎡•a)로 감소시킬 수 있다.

2) 불균형 문제와 과도하게 공급되는 열:
① 환기와 배출 창의 적용은 통제 가능한 환기률을 가능하게 하고 열린 창에 의한 열손실을 감소시킨다. 이러한 방식으로 환기률이 0.5ACH로 통제될 수 있다.
② 불균형과 과도한 열 문제를 더 감소시킬 수 있는 난방 터미널의 조정 성과를 개선하라. 방 온도는 재실자가 없는 동안 10~14℃로 낮아질 것이다. 결과적으로 현재 지역난방시스템에서 과도하게 공급되는 열 20%를 제거할 수 있다.

3) 네트워크 부분에서 특히 기존 시스템 특히 오래된 시스템의 혁신은 확실히 가치있는 일이다. 전반적인 네트워크 손실을 고려하는 것은 지역난방 소비의 아주 제한된 부분을 차지하며, 의심할 여지없이 유익하지만 절약 잠재성은 분명치 않다.

4) 열원부분:
① 새로운 난방 형태의 적용을 확대하는 것은 낮은 온도의 열원을 사용하는 것을 가능하게 한다. 예를 들어 가능한 케이스에 바닥 난방을 채택하면 시스템 온도는 감소될 수 있고 에너지 효율성은 상당히 강화될 수 있다.
② 효율적인 열병합 전 열원을 개발하고, 기존의 지역난방시스템에 그것의 적용을 확대하는 것은 경제와 에너지 모두에서 명백한 이득을 가진 투자자에게 보답할 것이다. 만약 열병합발전의 비율이 현재의 1/3에서 1/2로 증가한다면 그것은 난방 소비의 7%의 감소를 가능하게 할 것이다.
③ 작은 용량의 기존의 석탄 보일러는 더 에너지 효율적인 커다란 크기의 보일러로 교체되어야 하며 또는 그것은 지역난방시스템 네트워크에 통합되어야 한다.

만약 위의 해결책들이 모두 완벽하게 수행된다면 그림 11-1에서 보는 것과 같이 중국 북부지방 도시 주거난방 소비를 20kgce/(㎡•a)에서 12kgce/(㎡•a)로 40% 감소시킬 수 있을 것이다.



<중국 북부의 지역 난방시스템의 에너지 저감 잠재성>

그러나 그것은 다음과 같은 보조정책들과 기계장치와 함께 부합되어야 한다.
새 건물의 에너지 성능을 엄격하게 검사하고, 더 나은 단열재와 같이 기존 건물에 혁신과 개조를 촉진하라. 건물 외피 혁신뿐만 아니라 에너지 절약을 위한 개인적 행동을 격려하기 위해 가구별 열 소비량에 따라 측정된 요금 시스템을 실행하라. 이것은 겨울철에 과도하게 공급되는 열을 줄이기 위해 더욱 더 에너지 효율적인 방법으로 행동하도록 사람을 이끈다. 난방 시스템과 네트워크의 에너지 효율적인 혁신을 효과적으로 실행시키기 위해 기존 난방 공급 기업의 비즈니스 조직과 관리전략은 혁신되어야 한다. 양식의 고유한 필요조건인 일시적, 부분적으로 냉난방를 적용하는 방법이다.

(나) 도시 주거 냉방

중국의 남과 북의 기후차이와 냉방 소비의 중요한 효과 때문에 주거 냉방을 위한 전략적 해결책은 다른 기후지역의 다른 특징에 따라 논의되어야 한다.
혹한지역이나 추운 기후지역에서 여름철 외부기온은 28℃위로 거의 올라가지 않고, 제습에 대한 필요성은 거의 없다. 일시적과 일부분 모드에서 편리하게 열과 습도 문제를 해결할 수 있는 ACs의 분열된 타입은 여름철 냉방과 제습을 위해 가장 효과적일 것이다. 지금 이 지역에서 지하수/지상 근원 열펌프는 점점 유리해지고 있다. 그러나 이 지역의 겨울철 난방부하는 매년 지하 온도와 열펌프 효율성을 저감시키는 여름철의 냉방부하 보다 훨씬 높다. 동시에 이 열펌프는 여름철 냉방을 위해 사용되고 그것은 집중된 AC 시스템이 된다. 위에서 언급한 것과 같이 거주 건물에 집중된 AC 시스템의 에너지 소비는 ACs의 분열된 타입이 적용된 것에 비해 3-8배이다. 이것은 일시적, 일부분 그리고 전체 시간, 전체 공간 사이의 차이점에 의해 야기된다. 그러므로 지하수/지상 근원 열펌프 시

스템의 적용은 여름철 냉방소비를 크게 증가시킨다. 포괄적인 결과로 이것은 더 많은 에너지를 절약하지는 못하지만 소비할 수 있을지도 모른다.

뜨거운 여름과 추운 겨울 기후를 가진 양쯔강 지역은 여름철 외부온도가 26℃보다 높은 시간이 20%를 초과하지 않는다. 왜 사람들이 여름철에 염열과 습도를 느끼는가에 대한 중요한 이유는 보통 외부습도가 쾌적 범위를 훨씬 넘기 때문이며 실내온도가 태양복사와 실애 열획득으로 훨씬 증가했기 때문이다. 이 지역에서 다양한 외부차양이 가능한 한 태양 복사를 줄이기 위해 사용된다면 냉방부하는 크게 줄일 수 있고 ACs의 작동시간은 훨씬 줄일 수 있다. 냉방 기간 동안 실내외 온도 차이는 중대하기 않기 때문에 실내 설정 온도는 ACs 전기 소비에 크게 영향을 줄 것이다. 게다가 많은 경우에 사람들은 더 낮은 온도의 특혜를 위한 것이 아니라 견딜 수 없는 높은 습도를 방지하기위해 AC온도를 22℃로 낮게 설정해야만 한다. 왜냐하면 그러한 ACs은 습기를 충분히 제거할 수 없기 때문이다. 습한 계절에 열적 쾌적을 위한 방법은 공기를 아주 낮은 온도로 냉각하고 더 낮은 습도로 낮추는 것이며, 방으로 공급하기 전에 그것을 재가열하는 것이다.

그러나 그것은 거대한 양의 에너지를 소비한다. 사실 재가열은 일반적으로 선진국의 여름 냉방소비가 중국보다 높은 중요한 이유 중에 하나이다.

어떻게 실내 습도를 낮출 수 있을까? 냉각없는 새로운 제습 기술은 이 질문에 대한 대답으로 추천될 것이다. 그리고 그것은 또한 이 지역의 에너지 절약과 실내 환경 조절에 매우 중요할 것이다. 현재 어떠한 고체/액체로 된 습기 흡수 물질들과 다양한 열 회수 시설들은 공기 제습의 높은 효율성을 달성하기 위해 국내외에서 개발되고 있다. 만약 이러한 기술들이 제습문제를 전반적으로 해결한다면 온도와 습기의 단독 제어가 가능할 것이며, AC 설정 온도는 26~28℃로 상승할 수 있다. 그리고 지하수와 같은 26℃보다 낮은 온도를 가진 자연적인 냉각 원천은 또한 에너지가 필요 없는 냉방을 할 수 있게 한다. 또한 작은 온도 차이에 의해 자극을 받는 어떠한 효, 태양복사는 여름철 실내 환경을 개선할 수 있도록 직접 또는 간접적으로 실내 환경 밖으로 반사될 수 있다.

실내와 실외온도의 작은 차이를 고려할 때 두꺼운 외피 단열재는 냉방부하를 크게 줄이지 않고, 만약 외부 벽과 지붕의 태양복사가 방 밖에서 효과적으로 유지되지 않는다면 사용되지 않을 것이다. 양쯔강 지역과 같이 실내 습도 환경을 개선하기 위해 AC설정 온도는 보통 20~22℃로 더 낮게 된다. 왜냐하면 외부 공기 습도는 견딜 수 없을 만큼 높고, 어떠한 AC시스템들은 효과적으로 그리고 독립적으로 제습(온도의 절감 없이)을 실행할 수 없기 때문이다. 결과적으로 주거자의 건강은 실내외 큰 온도차에 의한 열적 쇼크로 인해 쉽게 위험해 질 수 있다. 게다가 20~22℃에서 외피를 통한 열 이동과 외부의 신선한 공기의 냉각으로 인한 냉방부하는 26~28℃모드에서 보다 거의 50%까지 증가될 것이다.

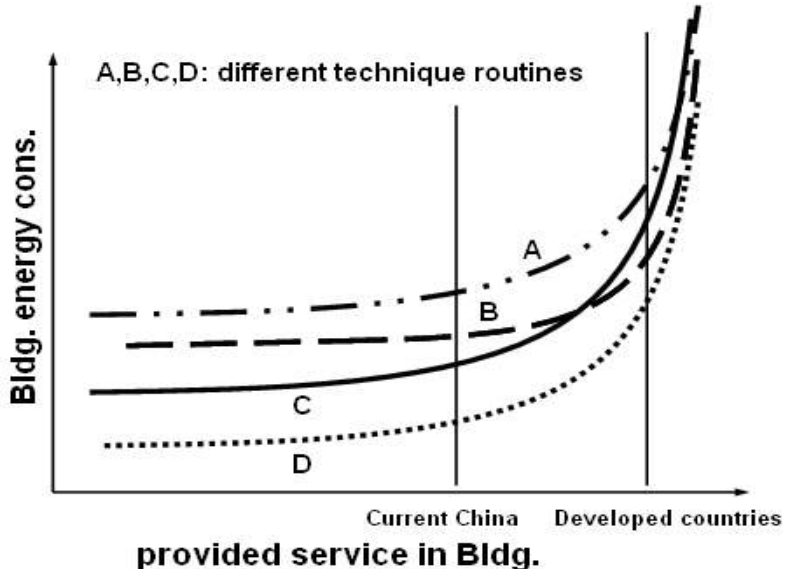
만약 독립된 제습이 효과적으로 달성될 수 없다면 냉방 기간 동안의 설정 온도는 26~28℃로 올라갈 것이며, 이것은 실내 쾌적과 인간의 건강을 증진시키고 상당한 양의 냉방 소비를 감소시킬 것이다. 그리고 여름철에 단지 냉방 부하만이 있기 때문에 지하의 토양과 지하수에 열을 저장하는 토양과 물이 원천인 열펌프는 균형 문제 때문에 적합하지 않을 것이다. 냉각원천은 주로 외부공기 또는 지표면수가 되어야만 한다.율적인 냉장고는 현재 레벨보다 훨씬 더 높은 효율성을 달성하기 위해 사용될 수 있다. 물이 원천인 열펌프는 이 지역에서 본래부터 요구하는 일정시간과 일부 공간을 작동할 수 있는 적절한 해결책일 것이다.

그리고 온도와 뜨거운 여름 그리고 따뜻한 겨울 지역에서 중요한 문제는 냉방과 제습이다. 여름은 매우 김에도 불구하고 통계치는 30℃보다 높은 외부 온도의 시간은 1년에 10%보다 적고, 35℃보다 높은 온도의 사간은 0.5%보다 적다. 결과적으로 이 지역의 여름철 냉방부하는 태양 복사, 실내 열 획득, 공기 제습 요구에 의한 것이다. 따라서 그것은 다양한 방법으로 외부 차양을 설치하기 위한 중요한 역할을 하고

(5) 친환경적인 생활방식에 의해 영향을 받는 도시 가구의 에너지 소비

6장에서 충분히 논의 된 것과 같이 주거자의 생활방식은 가구의 에너지 소비에 크게 영향을 준다. 게다가 기존의 기술적인 해결책들은 다른 생활방식의 요구사항에 맞게 조정되어야 한다.

그림 11-2은 기술적 발전 수준이 다른 나라에서 건물 서비스와 에너지 소비 사이의 가능한 관계를 나타내고 있다. 다른 기술적 전략들은 개발도상국에서 완벽하게 수행할 수 있고, 심지어 같은 서비스가 제공되었을 때에도 에너지 요구는 다를 수 있다. 기술적인 혁신과 돌파구는 건물에 더 나은 서비스와 더 적은 에너지 소비를 위해 지속적으로 노력하는 것이다. 그림 7-2에서 보는 것과 같이 다른 기술적 차이를 가진 발달 곡선은 서로 평행하지 않다. 어떠한 것은 상당히 좋은 서비스와 약간의 기본 서비스를 위해 꽤 낮은 에너지 소비를 가지고 있다. 따라서 우리는 다음 세 가지 선택의 기로에 있다.



< 다른 기술적 차이에 의한 건물 서비스와 에너지 소비와의 관계 >

① 선진국에서 기존의 생활방식이나 서비스 기준에 따라 기술을 선택하고 개발
② 현재 서비스 수준을 유지하는 반면 에너지 소비를 더 절감하기 위해 기술 선택
③ 에너지 소비의 증가 없이 서비스와 쾌적 수준을 더 증가시키기 위한 기술 선택

첫 번째 선택은 중국 건물에 제공된 서비스를 개선시키는 것이다. 그러나 그것은 건물 에너지 소비를 크게 증가시킬 것이다. 그것은 에너지 효율과 방출감소를 위한 중국의 긴급한 요구사항들을 만족시키는 것과 같이 에너지 확보와 환경 보호에 대한 큰 압력을 경감시킬 수 없다. 그러므로 우리는 단지 마지막 두 가지 선택을 택할 수 있다. 두 가지 선택의 기술적인 해결책은 첫 번째 선택의 것과는 분명히 달라야 한다. 위의 원리들은 분명해야만 한다. 이것은 중국의 주거 분야에서 상당한 절약 잠재력을 가진 궁극적인 해결책일지도 모른다.

나. 친환경 설계가이드라인 및 성능평가/ 미국 미네소타대학 친환경건축연구센터 (Center for Sustainable Building Research), John Carmody 교수

(1) 소개

오늘날의 지속 가능한 설계는 1970년대의 환경과 에너지에 대한 관심은 여러 가지 부분에서 발생하였다. 이제는 지속 가능성이 환경과 자원에 대한 것만이 아니라는 인식과 환경, 경제와 형평성 사이에서 균형을 잡는 것이라는 인식으로 확대 되고 있다. 1990년대에는 도시화가 인류와 자연환경에 가한 충격이 더 선명해지고 세계 곳곳의 설계 분야에서 더 광범위하게 논의되기 시작하였다. 생태적인 관점의 설계는 기존의 개발 방식이 변한다는 가정에 전제한다.

Millennium Ecosystem Assessment에 의하면, "지난 50년간 인류는 증가하는 식량, 청정수, 목재, 섬유, 연료의 수요를 충족시키기 위해 인류의 생태 파괴와 자원 소비로 인류 역사상 가장 급격하게 변화되었다. 이것은 지구의 전체 자원의 감소와 함께 회복이 힘들 정도의 생물 다양성 감소를 가져왔다."(MEA, 2005) IPCC의 종합 보고에 따르면, "최근 지구의 평균 대기와 해수 온도의 상승과 광범위한 빙하의 녹는 현상, 해수면 상승으로부터 기후의 온난화는 명백한 것이다."(IPCC, 2007)

미국의 Architecture 2030 체계에 의하면, 미국에서 건설된 환경은 탄소(CO2) 배출량의 48%에 대한 책임이 있다. 교통 부분은 27%의 탄소 방출에 대한 책임이 있다. 최근, AIA는 2030년까지 건물들로부터 탄소 배출을 Zero로 하고 2010년까지는 60%로 배출량을 줄이려는 Architecture 2030의 목표들을 뒷받침했다.(Architecture 2030, 2007) 미국의 건축 영역은 전 세계의 목재, 광물, 물, 에너지의 많은 양을 사용하고 매립되는 많은 양의 폐기물을 생산한다는 (Worldwatch, 2005) 사실을 공식화 하였다. 지구온난화와 해수면 상승에 따른 환경적인 변화에 따라 건설 환경의 설계 분야에서 긴급하고 대규모의 변화가 필요한 사실은 명백하다. 프로그램이 많고, 새로운 기술들이 개발되고, 설계 영역에 동기부여가 된 개인들이 많음에도 불구하고, 설계와 계획 시 체계적인 변화가 일어나지 않는 것은 큰 위험 부담이다. 본 연구의 목적은 한국에서의 주거 환경에 있어서 이슈들에 대해 조언을 하기 위한 것이다. 연구의 진행 순서는 다음과 같다.

① 전 세계의 지속 가능한 건물 지침서, 인증 도구와 평가 체계를 조사
② 인증도구의 체계들은 여러 핵심 특성들을 통해 비교
③ 한국의 주거 지침서에 맞는 성능 기반 지침서

(2) 지침서, 인증 도구와 평가 체계의 개략

지속가능한 건설을 위하여 많은 방법론이 요구되며 다각적인 시각에서의 접근이 필요하다. 건축법의 개정을 통한 건축기준의 강화와 추가적인 기준들이 요구되며, 세금과 다른 인센티브를 건물주와 설계자들에게 제시할 수 있어야 한다. 이러한 제도와 인세티브 외에 건물주와 설계팀은 실제 라이프사이클 비용 절감, 지역에서의 명성, 그리고 환경보호를 위한 자발적인 참여가 요구된다.

환경 인증 체계, 평가 체계, 지침서들은 대중들의 인식을 확대 시켰으며 친환경 건축 시장의 발전에 공헌 하였다. 또한, 지속 가능한 건물을 위한 기준을 정의하며 요구 조건이나 인센티브를 정하기 위한 기준으로 사용되며 정책이나, 시장기반조성의 기초 자료로 활용된다. 현재까지 개발된 대부분의 지침서들은 건물의 규모에 영향을 받고, 신규 상업건물, 기존의 상업건물, 그리고 새로운 주거 건물로 분류될 수 있다. 새로운 인증과 평가 체계의 도입과 기존의 체계들의 계속적인 갱신은 여러 요소들에 의해 지속적인 발전을 이루어 왔다. 인증과 지침서들의 발전은 최상의 방법과 실행에 대한 새로운 지식을 받아들이는 것 외에도 또한 지역별 다양성에 따른 요구로부터도 기인한다. 그러나, 과연 인증과 지침서들의 발전이 실제 프로젝트에서 환경적으로 의도됐던 결과들을 이끌어내는지의 여부이다.

이것은 범위에 대한 다양한 정의와 지속 가능한 설계의 결과에 따라 평가가 쉽지 않다. 대부분의 지침서들은 추천하는 과정, 실천 방안, 건물의 성능 향상에 대한 결과를 요구한다. 과정들과 실행들에 따른 판단은 지표적인 환경수치로 변환 될수 없다. 이와 같은 이유로 정보를 하나의 평가로 통합시키는 가장 흔한 방법 중 하나는 점수 기반의 평가 체계를 사용하는 것이다. 상대적인 평가를 실시하고 객관적인 평가지표를 이용한 점수화는 실제 성능에 대한 대리 지표로 사용된다. 단점은 점수 기반을 둔 체계들은 고성능 설계를 향한 근본적인 접근 방식을 바꾸지 못하고 단순히 특정한 요구조건들의 집합이 될 수 있다는 것이다. 추가적으로, 점수기반 체계들은 다양한 환경적 실행과 부담에 대해 주관적인 해석을 반영한다. 또한 프로젝트가 건설된 이후 실제 성능에 대한 측정이 이루어지지 않는 경우도 많다. 지속 가능한 더 나은 성능의 건물을 향한 설계의 발전을 위해, 이 피드백 경로는 더 강하게 형성되어야 한다.

(3) 선택된 지침서와 평가 체계에 대한 설명

다음은 전 세계의 지속 가능한 건물의 지침서, 평가 도구와 인증 체계의 대략적인 설명을 포함한다. 각 체계에 대한 더 상세한 정보는 부록에 있다. 선택된 체계들은 아래와 같다.



< Map of Selected Systems >

국가	평가도구	국가	평가도구
일본	CASBEE-Homes	북미	Living Building Challenge
홍콩	HK-Beam	북미	Minnesota Sustainable Building Guidelines (B3)
중국	GOBAS	북미	Green Communities
한국	GBCS-MURB	북미	Green Globes (ANSI Standard 01-2008P)
북미	LEED for Neighborhood Development	북미	Architecture 2030
북미	LEED for Homes	캐나다	SB Tool
북미	Austin Energy Green Builder Program	독일	PassivHaus
영국	Code for Sustainable Homes	스웨덴	EcoEffect
호주	NABERS-Homes	호주	NABERS-Office
남아공	SBAT Lite		

(4) 최근 경향의 요약

최근 몇 년, 지속가능한 가이드라인과 등급시스템은 시장의 힘과 특정 니즈에 반응하면서 지속적으로 진화해왔다. 모든 가이드라인과 등급시스템은 이점과 불리한 점을 갖는다. 북미에서 가이드라인 개발과 적용의 최근 경향의 몇몇은 다음과 같다.

① 가이드라인은 주와 법규, 표준 그리고 동기를 위한 기초로서 도시에 의해 채택된다.
② 기반 목록에서 벗어나 더 많은 요구사항과 탄소방출과 에너지 절감 같은 성능결과에 집중을 향한 움직임이 있다.
③ 가이드라인은 주변과 건물 크기 프로젝트로 개발 되어 왔다.
④ 운영 중 실질적인 성능과 피드백 과정에서 필요한 요구사항에 꾸준히 집중 하고 지속적인 개선이 있다. 전 세계를 통해 선정된 가이드라인의 조사는 아래 가이드라인 개발과정에서 나열된 여러 주목할 만한 혁신들을 밝혔다.
⑤ 목표는 적은 충격 또는 재생시키는 디자인(Living Building Challenge)이다.
⑥ 시간이 지남에 따라 증가하는 에너지 목표 설정(Architecture 2030, UK Code for Sustainable Homes)
⑦ 집 크기와 상관없는 에너지와 물을 사용한다.(NABERS for Homes)
⑧ 가이드라인의 한 세트를 적절하지 않은 항목의 사용을 통해 다른 건물유형으로 적용시킨다.(HK Beam, Green Globes)
⑨ 환경적인 충격에 주어진 서비스 비율에 근거한 등급을 결정한다.(CASBEE, GOBAS, EcoEffect)
⑩ 재료의 생애주기 평가를 포함한다. (Green Globes, UK Housing Code)
⑪ 교육적인 도구로 계획 소프트웨어, 다자인 안내서 그리고 인증 도구를 사용한다.(PassivHaus)

(5) 지속가능성을 위한 추천 방안

이런 추천은 전 지구적 환경 기후 변화 문제를 효과적인 방법으로 해결하는 목표를 기반으로 한다. 이런 추천은 참된 지속가능성의 방향을 제시하려고 한다.

(가) 가능하다면 생태 중심적 접근방법을 써라

실질적은 환경 문제를 얘기하기위해, 생태 중심적 접근 추천한다. Living Building Challenge와 같은 생태 중심적 도구와 PassivHaus는 성능 목표를 지구의 실질적인 수용용량과 참된 지속가능성을 위한 필수적인 절감효과와 연결한다.

(나) 표준을 높게 설정하라

오늘날 건물의 환경적 충격이 지구 수용용량보다 훨씬 많기 때문에, 생태 중심적 접근은 자연적으로 높은 표준을 설정하도록 유도할 것이다. UK Code for Sustainable Homes와 Architecture 2030같은 프로그램은 이러한 이유로 상대적으로 높은 표준치를 설정한다.

(다) 측정 가능한 성능척도에 집중하고 설계과정에서 결과를 뚜렷하게 하라

어떤 가이드라인이나 등급체계의 중요한 측면은 그 측면이 우리가 원하는 결과에서 나온다는 것을 확실히 하는 것이다. 점-기반 시스템은 이것을 달성하는데 항상 효과적이지는 않다. 측정 가능한 성능 척도는 어떤 시스템의 기반이 되어야 한다. 가능한, 디자인 결정을 하는 동안, 디자인결정이 성능에 미치는 영향은 디자이너에게 명백해야한다. (추천된 지속가능성 성능 메트릭스와 척도를 다룬 다음 섹션을 보라)

(라) 필수적인 요구사항과 자발적인 접근을 인센티브와 결합하라

시장 맥락은 나라마다 다르기 때문에 항상 높은 필수요구사항을 설정하는 것은 불가능하다. 이것이 가능하다면 매우 효율적이고 시장에 명확한 전달을 할 것이다. 이것이 가능하지 않다면, 자발적인 시스템을 인센티브와 연결되어야 한다. 종종, 이 접근의 결합은 필수적이다.

(마)운영 중 건물 성능을 추적하고 기준과 비교하라

실질적인 성능 모니터링 없이 어떤 수준까지 건물을 디자인 하는 것은 충분치 않다. 잘 설계된 건물은 잘 운영되지 않거나 바람직한 결과를 달성하지 못할 수도 있다. 건물 운영자들이 실질적인 성능을 기준에 비교하는 것과 지속적인 개선을 관리하는 것은 또한 중요하다. 이 성능 정보는 그리고 나서 미래의 디자인을 향상시키기 위해 피드백 되어야 한다.

(바) 제 3단체 인증을 사용하지만 집행은 가능한 투명하고 쉽게 하라

제 3단체 인증은 집행을 확실히 하기위해 추천된다. 이것은 디자인팀이 올바른 전략이 건물에서 실질적으로 효력을 갖는 것을 확실하게 하는 것에 집중 하는 경향이 있다. 제3단체 인증의 부정적인 측면은 이것이 부담, 시간 낭비, 비싼 문서화 과정으로 끝날지도 모르는 것이다. 인증(또는 추적)과정은 친-사용자 온라인 도구와 계산기를 사용하면서 문제점을 최소화 하도록 설계되었다.

(사) 지속 가능한 지식을 보급하고 설계자를 지지하라

설계자는 가이드라인, 표준, 새로운 상품과 기술, 그리고 사례조사의 형태로 된 정보에 부담을 받는다. 디자인 정보 시스템이 설계자들이 빨리 다른 프로젝트에서 배우는 연구와 강습을 이해하고 적용하도록 하는 것은 필수적이다. 설명적인 사례조사는 post-occupancy evalutaion을 기반으로 하는 성능정보가 없으면 충분치 않다. 지식기반은 효과적인 필터링과 종합적인 정보를 통해 주요 질문이 쉽게 풀리도록 설계되어야 한다. 지식 기반 개발의 중심은 이미 유용하고 적절한 프로젝트 비교를 허용하는 형식과 메트릭스의 복합체이다. 지식기반은 지속 가능성 성능 척도(가이드라인과 표준의 개관)같은 중요한 정보와, 도구 와 정보, 그리고 가장 중요한 사례조사 지속적인 개선을 위한 피드백으로 쓰이는 데이터베이스를 담고 있어야 한다.

(6) 지속 가능성 메트릭스와 성능 척도

본 연구에서 나온 가장 중요한 개념 중 하나는 측정 가능한 성능 척도와 연결된 가이드라인의 사용이다. 어떤 등급시스템을 사용하더라도 건물, 부지 그리고 주변 스케일에서 특정한 메트릭스에 집중하는 것이 가능하다. 가능하다면, 목표는 절대적인 메트릭스를 정의하고 실질적인 성능이 측정될 수 있는 기준을 제공하는 것이다. 미네소타 대학에 있는 지속 가능한 건물 연구센터는 그림 2와 아래에 나와 있는 지속가능성 성능 메트릭스 세트를 개발하고 있다. 가능할 때마다 설계 중간에 수치가 계산되어야 하고 운영하는 동안에 측정되어야 한다. 이것은 모든 환경, 경제, 사회 이슈를 다루는 통합적인 수치 체계가 되려는 의도가 아니다. 주요 초점은 사람 건강과 환경에 가해지는 것이다. 이러한 척도들의 효과는 아래 표기된 중간 척도들을 만들기 위한 것이다. 최종적으로, 지속가능한 설계의 목표는 아래와 같은 목적 척도들을 방해하는 것이다.

건물 메트릭스

에너지 사용	재료의 자원 부담(LCA)
마실 수 있는 물 사용	재실자 건강과 만족
폐수 생산(가공)	고체 폐기물 생산(가공)

사이트 메트릭스

운송	걷기 또는 자전거 타기	식생
강수	흙	열섬 효과
Night sky영향	음식 생산	

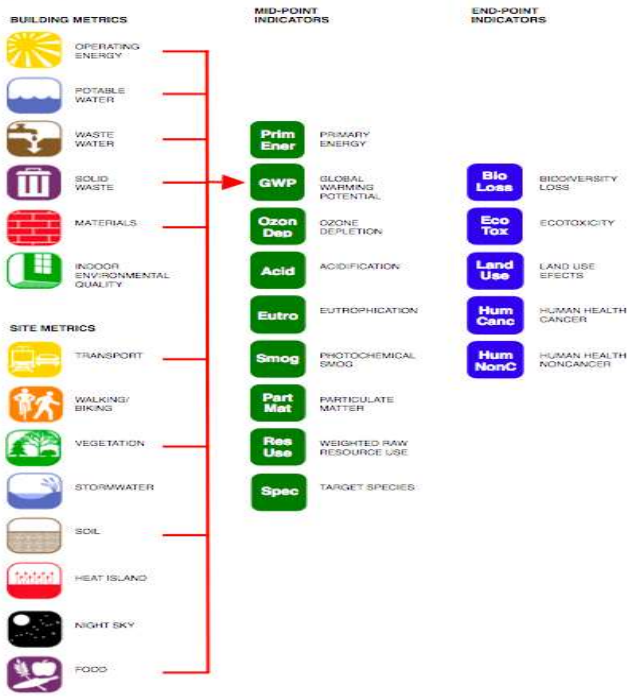
중간 척도

1차 에너지 사용	지구온난화 잠재성	오존 고갈
산화	부영양화	광화확 스모그
미립자	측정 생 광물 사용	목표 종

목적 척도

생물종 다양성 감소	생태오염	토지사용 효과
건강 - 암 관련 효과	건강 - 암과 관련없는 효과	

종종 연구는 목적 척도의 직접적인 양적 변환을 하기에 적절하지 않게 되어 있으면서도 추구해야 할 분명한 목표로 간주된다. 향후 작업이 이러한 측정 단위, 각 척도별 수치등의 목적을 지정할 것이다.



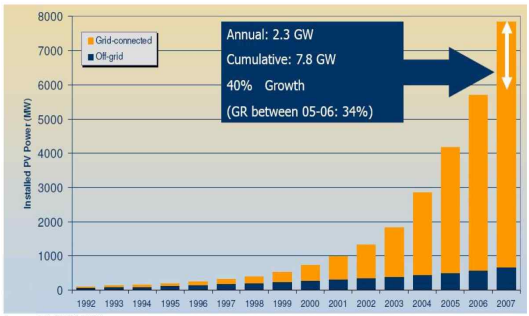
< Sustainability Performance Metrics and Indicators >

다. 국제 태양광발전 시장/ 주 뉴사우스웨일즈 대학 친환경건축연구센터 (Center for Sustainable Built Environment), Deo K. Prasad 교수

(1) 세계 PV시장 동향

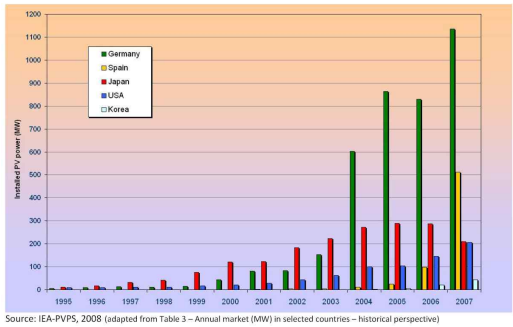
세계 태양광발전(PV) 기술의 판매량은 2007년에 US$ 12.9 billion을 달성했고, 이것은 1992년에 비교하여 50-60배가 성장한 것이다. PV시장은 2012년에 US$ 32.3 billion의 가치를 넘어설 것으로 예상된다 (BCC research, 2007).유례없는 산업의 성장은 약 30%의 연간 평균 성장률(1992-현재)의 증가를 가져왔다. 일본의 Sharp, 중국의 Suntech, 좀 더 최근에는 독일의 Q-cell과 같은 제조업자들은 생산량을 국제적으로 35%가 넘게 계속적으로 증가시키고 있으며, 이것은 2013년에는 년간 생산량이 13,724 MW가 될 것으로 예상된다. 아래 Figure 1은 1992년부터 2007년까지 주요국가가 International Energy Agency(IEA) Photovoltaic Power Systems (PVPS) 프로그램에 보고한 설치된 PV (grid and off-grid)의 누적량을 나타낸 것이고, 2007년 한해동안 설치량은 40%가 증가된 것으로 나타난다.

Figure 1 - Cumulative installed PV (grid and off-grid PV) 1992-2007 for IEA reporting countries



Source: IEA-PVPS, 2008

Figure 2 - Cumulative installed PV (grid and off-grid PV) 1992-2007 for IEA reporting countries

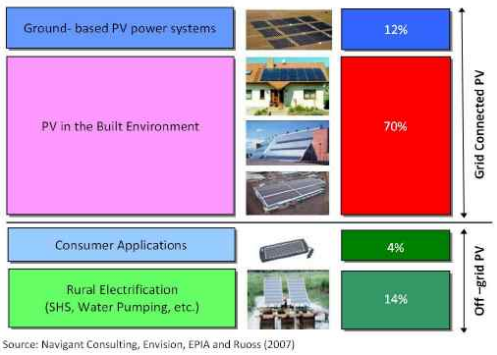


Source: IEA-PVPS, 2008 (adapted from Table 3 – Annual market (MW) in selected countries – historical perspective)

한국은 현재 43MWp이 설치되어 독일(1,135MWp), 스페인(512MWp), 일본(210MWp), 미국(206MWp)과 이탈리아(70MWp)에 이어 6위로 나타난다.

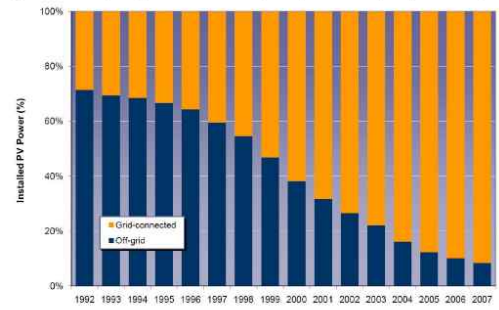
International Energy Agency(IEA)이 보고에 따르면 도심환경이 잘 발달된 국가들은 off-grid로부터 grid-connected applications로의 두드러진 이동을 경험하고 있다. 2007년에 grid-conneted PV는 설치량(installed capacity)은 1992년 25%에서 15년의 기간동안 90%로 증가하였다.

Figure 4 - Global PV breakdown by application (2007)



Source: Navigant Consulting, Envision, EPIA and Ruoss (2007)

Figure 5 - Percentages of grid-connected and off-grid PV power in the reporting countries – (1992-2007)



Source: IEA-PVPS, 2008

1992년부터 세계 PV시장의 모듈(module) 가격은 30% 감소했다. 1992년에 모듈의 평균 가격은 US$5/Wp로 2007년 US$3.4/Wp에 비해 비쌌으며 이 시기동안 PV cell 결정 한 개의 효율은 1992년 12%에서 2007년 18%로 150% 증가하였다. 이러한 가격 하락의 경향은 모듈가격을 US $1/Wp 이하로 낮추려는 세계 PV산업을 돕고있다. 모듈가격이 US$1/Wp보다 싸지면 PV가 세계 에너지 부문에서 주요역할을 할 수 있고, 일본, 미국과 일부 유럽과 같은 시장에서 grid parity의 성취를 도울 수 있다. 공급차원의 염려에도 불구하고, 실리콘 기반의 전지는 2013년까지 지속적으로 시장을 주도할 것으로 예상된다. 그러나 지금 현재 국제시장의 약 8-10%를 차지하고 있는 박막기술(thin film technologies)은 2013년에는 PV 시장의 19%정도를 차지할 정도로 급격한 성장을 할 것으로 예상된다. 나노구조의 박막과 실리콘, 연료 감응형 태양전지와 같은 새로운 기술들 또한 산업의 새로운 성장 분야로 강세를 띄고있다. Corus steel은 최근들어 dye-sensitised gratzel solar cell company와 함께 지붕의 PV를 철로 코팅하는 생산과 실험을 시작하였다. 제조공정에서 온도, 접합과 전지의 질의 과제는 아직 풀어야 할 과제이지만, 현재 기존의 재료를 새로운 태양 빌딩 생산품으로 변환하는 것은 유망한 잠재가능성을 가지고 있다. 지금 이 분야들의 시장점유율은 1%이하이지만, 2013년까지 발달된 기술로 점유율 50%이상으로 성장할 것이다.

(2) BiPV를 위한 중심부 디자인 문제

디자인에서 그 다음으로 중요한 과정은 모듈의 수, 모듈의 치수 그리고 지붕 또는 파사드와 결합될 시스템의 총 치수를 결정하는 것이다. 모듈의 shadowing은 중요한 고려사항이며 특히나 줄로 함께 연결되어 있을 때 더 중요하다. 부분적으로 그늘진 모듈은 기대되었던 효율보다 더 적게 나올 것이다. 왜냐하면 모듈에 있는 셀의 한 줄이 그늘지게 된다면 모듈의 전체 줄의 결과 값이 영향을 받을 수 있기 때문이다. 그늘을 유발할 수

있는 작은 물체는 덜 중요하다. 그늘은 하루 동안 움직이며 전형적으로 상당한 양의 간접적인 빛이 발생한다. 어떤 모듈은 셀의 한 줄이 가려지거나 그늘이 졌을 때 지름길을 만들기 위하여 다이오드와 결합한다. AC 모듈 또한 각 모듈의 DC 전력이 AC로 전환되고 개별적으로 끌어당기면서 그늘의 효과를 제외시키는데 도움이 된다. Amorphous 실리콘과 티타늄 이산화물 셀과 같은 또 다른 광전지 기술은 다른 전기적 연결 특성과 낮은 빛에서의 더 나은 성능 때문에 비정형적인 그늘 효과에 덜 영향을 받는다. 전기변환 장치는 대부분이 전기가 끊기는 부분이기 때문에 특징이 매우 중요하다. 일반적으로 그늘은 가능한 한 피하는 것이 좋다.

전기변환 장치가 안전하고 효율적으로 설치되기 위해서는 공간이 필요하다. 모듈은 뒤쪽에 전기변환 장치와 연결될 접합 상자를 갖고 있다. 전기변환 장치를 모듈 근처에 둠으로써 효율이 향상된다. 전기변환 장치로부터 AC 케이블은 미터를 통하여 grid로 들어가야 한다. 결정체로 된 실리콘 셀의 효율은 온도가 올라가면 사라지기 때문에 모듈의 뒤쪽은 반드시 환기가 되어야 한다. 모듈의 뒷부분에 접합 상자를 위한 공간이 필요하기 때문에 20-50mm(접합 상자의 크기에 따라서) 정도의 간격이 기능을 위해서 필요하다. PV 시스템에서 안전하게 일하기 위하여 전기변환 장치 근처에는 안전 스위치가 필요하다.

① 유지 관리

특히나 평평하게 있는 모듈의 경우 도시의 환경 또는 먼지가 많은 시골에서 먼지를 모을 수 있다. 이로 인해 대략적으로 4%에서 그 이상 효율이 감소한다. 20°이상의 경사를 갖는 모듈은 비가 내릴 경우 자가 청소가 가능하다. PV Guard를 통한 특별한 조치는 모듈을 깨끗하게 유지시킨다. 적용 방법에 따라서 PV 모듈은 적절한 건물 기준(Standards Australia,2002,2005)을 따라야한다. 우박, 화재, 바람, 구조적인 힘과 다른 건물 규제들, PV 설치 개발자 등은 적용 가능한 국내 및 지역의 의회 코드를 고려해야만 한다. 일반적으로 평평하거나 경사진 지붕 적용은 머리 윗부분이나 파사드 설치 때보다 건물 코드에 영향을 덜 받는다.

② 도시적 관점

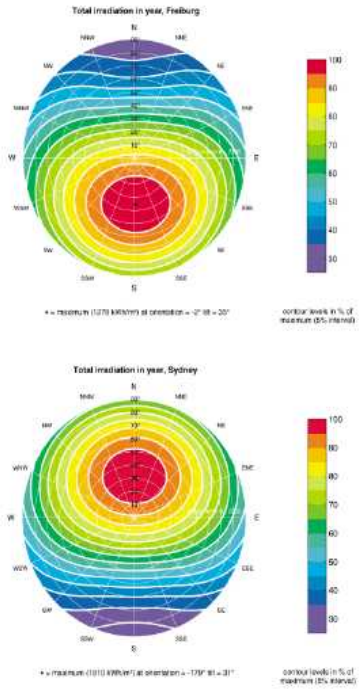
건물에서의 PV 통합 시스템은 전력 생산을 넘어서 부수적인 기능을 제공한다. PV 구조는 효율적으로 기존의 건물 자재를 교체할 수 있으며 전체적인 시스템 비용을 줄이는데 도움을 준다. 건물 통합 시스템으로부터 최대 전력을 생산하기 위해서는 몇몇의 도시적이며 건축적인 면들이 중요하다. 시작해야하는 부분은 시스템으로부터 생산 가

능한 최대 전력이다. 다른 건물이나 물체에 의해 혹시 아주 가끔씩 반사된 빛에 의해 시스템에 그늘이 생기면서 장애가 발생할 수도 있다.

③위치 결정 및 각도

고정된 광전지 판에서의 전력 생산은 사이트의 수평방향에서의 위도 각도에서 적도방향으로 기울여 줌으로 인해서 1년 동안 최댓값을 얻을 수 있다. 그러나 그것을 종종 다른 방법으로 위치를 설정해야 하는 경우가 발생한다. 그늘을 피하기 위해, 냉방 때문에 최대 전력을 갖는 특정한 기간 또는 하루 중 특정 시간에 생산량을 최적화하기 위해, 위치가 제한되어 있는 건물 표면을 형성하기 위해서이다. 열대지방과 같이 낮은 지역에서의 파사드의 위치 결정에서 위도는 특별히 두드러진다. 15° 정도 적도방향으로 기울어진 조정불량품은 보통 사용가능하다.

Figure 62 - Total irradiation depending on tilt and orientation for Freiburg, Germany and Sydney, Australia



Source: ECN

발광량은 건물의 위도와 지역 기후에 영향을 받는다. 최대 발광량은 수집된 표면의 위치와 각도에 영향을 받는다. 위도 52° 북쪽의 좋은 결과들(90%가 넘는)은 시스템이 30°-50°사이의 각도로 기울어져 있고 남동쪽과 남서쪽 사이에 있을 때 얻을 수 있다. 동쪽과 남동쪽 사이나 남서쪽과 서쪽 사이에 위치할 때 기울어진 각도는 10°-30°까지 가능하다. 왜냐하면 발광량은 대략적으로 최적에 비해 15%밖에 줄어들지 않기 때문이다. Figure 62는 매년 발광량, 위치, 그리고 기울어진 각도의 관계를 북반구에 위치한 Freiburg, Germany와 남반구에 위치한 Sydney, Australia를 기준으로 나타낸다. 낮은 각도(5°-10°)를 갖는 평평한 지붕 시스템은 위치 결정이 어렵다고 결정됐을 때 좋은 해결책이 될 수 있다. Freiburg 예에서의 발광량의 손실은 남쪽에 위치할 때 5%, 북쪽에 위치할 때 20%로 나왔다.

④ 건물 사이의 거리

건물 사이에 그늘이 지는 것은 피해야만 한다. 저층에 정착하기 위해서는 건물 사이의 거리가 쉽게 계산되어야 하며 그늘지는 것은 상대적으로 해결하기 쉬운 문제가 된다. 혼합 정착은 더 어려운 문제이다. 예를 들면, 저층 건물 주변의 고층 아파트 건물은 원치 않는 상당한 양의 그늘을 발생시킬 수 있다. 어느 지역에 밀집되어 있는 건물은 매우 치명적이다. 도시나 도시 주심부와 같이 높은 밀도를 갖는 지역에서 건물 사이의 거리는 제한이 되면 그늘이 1년 중 상당한 기간 동안 발생할 수 있다. 전형적으로 파사드 시스템은 그늘에 가장 민감하며 지붕 시스템보다 건물들 사이의 거리가 더 멀어야 한다.

⑤ 나무

건물 주변의 녹화작업은 개선된 모습과 거주하는 사람들이 편안함을 느낄 수 있는 소기후를 포함하여 다수의 고품질을 제공한다. 그러나 특히 여름에는 꼭대기 부분이 최대가 되기 때문에 나무들의 그늘 효과는 매우 중요하다.

게다가 나무들의 잎이 없는 겨울기간에는 가지들 또한 현저한 그늘을 발생시킬 수 있다. 나무의 성장률과 성장 범위는 보통 과소평가 된다. 모든 나무가 매해 조금씩은 자라기 때문에 건물이 지어지거나 PV 시스템이 설치된 이 후 몇 년 뒤에 발생할 수 있는 문제를 피하기 위해서는 계획단계가 매우 중요하다. 해결책은 아래와 같다.

① 북반구에서는 건물의 북쪽으로, 남반구에서는 남쪽으로 나무를 심는다.
② 지붕 높이까지만 성장하는 작은 나무를 심는다.
③ PV collection 표면에 그늘이 생기는 것을 막기 위해 매해 나무의 가지를 친다.

호주의 유칼립투스 나무는 만약 PV 패널에 묻었을 경우 제거하기가 힘든 진액을 분비한다. PV 접근을 확실시하기 위해 나무를 제거하는 것은 환경적으로 올바른 것이 아니며 올바른 표면 선택을 통해 예상하고 피해야만 한다.

⑥ 조닝

도시 지역에서의 PV 시스템은 특별한 태양 zoning이 필요하다. 3차원 지도와 컴퓨터 모델은 일광이 올바른지 확인하고 미래의 그늘로 인한 문제를 예방하기 위해 건물의 경계를 정하는데 사용된다.

⑦ 빛

전형적인 주요 문제가 아님에도 불구하고 원치 않는 빛은 어느 특정 상황에서 발생할 수 있다. 저층 지대에서 작은 문제가 발생하기도 하지만 증가된 파사드 표면을 갖는 저층과 고층 건물이 함께 섞여있는 지역에서는 PV에서 반사된 태양빛이 주변의 건물들에게 방해가 될 수 있다. PV의 재질성분, 설치된 시스템, 태양의 위치, 그리고 1년 중 특정 기간 동안의 직접적이며 집중된 발광 등에 의해 빛을 받는 정도가 결정된다. 그늘지는 것을 막기 위해 건물 사이의 필요한 거리를 두는 것은 대부분의 발생 가능한 빛 문제를 제거한다.

⑧ 형태와 색깔

태양전지는 보통 파란색, 어두운 파란색 또는 거의 검은색이다. 다른 색상들 -회색, 녹색, 빨간색, 오렌지색, 노란색- 은 가능은 하지만 보통 사용하는 기본 제조가 아니며 기본 모듈보다 훨씬 비쌀 수 있다. 파란색의 전지는 가장 높은 효율을 갖는다. 모듈의 종류 또한 색깔에 영향을 준다. 프레임이 없는 모듈은 지붕이 다른 색깔 ,다른 자재의 frame 양식에 방해받지 않는 한 조화로운 효과를 나타낸다. 전지의 색깔은 전체 면의 색이 되며 지붕은 하나의 큰 평면으로 보일 수 있다. 프레임이 있는 모듈은 또 다른 시각적인 강조를 나타낸다. 프레임은 무거워 보이며 PV 배열과 건물과의 통합에 대해 전체적인 시각적 효과에 영향을 준다. 전지로서 같은 색의 작은 프레임은 표면에서는 거의 보이지 않는다. 가끔 프레임은 특정한 효과를 주기 위해 사용되기도 한다. 프레임 모듈은 각각 모듈의 수치를 강조하며 지붕에 설치된 profile에 영향을 준다. 프레임과 모듈의 뒷면으로 사용되는 encapsulant의 색깔은 다를 수가 있어서 디자인 기호에 더 많은 기회를 제공할 수 있다.

(3) Zero-energy BiPV 가능성

(가) Zero Energy 건물 개념

zero energy 건물이라 불린다. 전달 도중 손실된 전기를 저장하는 Net zero-source energy 건물은 사용되는 에너지를 줄이기 위해 현장에서 다시 사용가능한 발전 능력에 의존하고 있다. 주어진 건물들은 전체 에너지사용의 30-40%를 절약할 수 있다. zero energy 건물은 에너지를 보존하고 온실효과 가스 배출을 줄이기 위한 노력 속에서 추진력을 얻고 있다. ZEB 건물은 에너지가 site 밖에서 생산되더라도 재생 가능한 에너지와 결합시킬 수 있다.

zero-energy 사용에 다가가는 건물들은 near-zero energy 건물 또는 ultra-low energy

house라고 불린다. Energy-plus 건물은 과잉된 에너지를 밖으로 내보낸다. Energy autarkic house는 자체적인 에너지 소비와 생산의 균형이 매 시간 또는 더 작은 단위로 만들어지는 개념을 의미한다. Energy autarkic house는 grid없이도 가능하다. ZEBs는 태양전지 또는 바람 turbin, 생물연료, 지열에너지, 공간 난방을 위한 정기적인 열 저장고에 연결된 태양열 수집판을 통해서 건물을 위해 열과 전기를 제공하기 위해 다양한 소량 발전 기술을 포함한다.

상업적이며 산업적인 회사들은 제품 에너지가 재생 가능한 에너지 전력 획득 또는 현장에서의 발생에 의해 줄어드는 zero energy 제품 시장에 대해 벌금을 가하고 있다. 사무건물 또한 매우 작은 전기를 사용하는 profile을 갖는 에너지를 효율적인 건물로 바뀌려고 하며 zero-energy 또는 energy-plus 건물이 되려고 한다.

건물들이 현장에서 재생 가능한 에너지를 사용하는 저에너지 디자인으로 연결된 것은 한 가구당 GHG 배출을 줄이는데 도움을 준다. 현장에서 제공되는 시스템이 제대로 측정된다면 이론적으로 zero net 배출이 가능하다(1년 넘게 사용 시). 많은 건물에서 적용되면 기후 변화를 완화시키는데 상당히 도움이 될 것이다. 이것은 다음 Kyoto Protocol에서 논점이 될 것이 분명하며 국가적인 차원뿐만 아니라 국제적인 단계에서 논의 될 것이다.(eg UNEP)

최근 두 다른 기후 zone에서 두 개의 시작이 주목되고 있다. 첫 번째는 Canada에서 시작된 눈에 띄는 국가적인 net zero energy network이다. 이 프로젝트는 5년이 걸리며 몬트리올에 있는 Concordia University의 주도하에 8개 대학의 협회는 주거지역과 상업지역의 건물에서 net zero energy 결과를 얻기 위해 추운 기후의 가능성에 대해 조사를 하는 프로그램을 연구한다. 이 곳에서 대부분의 연구는 기술 발전과 통합에 초점을 맞추고 있다. 미국의 National Renewable Energy Laboratory(NREL,2006)에서 발표된 리포트는 zero energy house의 결과로 적은 배출에 대한 가능성에 대해 서술하고 있다.

따뜻한 기후에 초점을 맞추는 다른 주목할 만한 프로젝트는 싱가폴의 National University of Singapore과 Building and Construction Authority of Singapore이 함께 수행하고 있다. 이 프로젝트는 우선적으로 지역적인 부분에서의 zero net energy 결과를 설명하는데 목적을 갖는다. 말레이시아 Kuala Lampur에서 실행된 비슷한 프로젝트는 마지막으로 사용된 것과 현장 공급의 상당한 효율을 설명했다. 중국에서는 Tsinghua University에 있는 두 건물이 다양한 성공 수준으로 앞에서 언급한 목표를 얻는 것을 목적으로 하고 있다.

최근 영국에서의 BedZED 발전, 캘리포니아와 중국에서 급속도로 번지고 있는 Zero-energy neighborhood는 분산된 발전 계획을 사용하고 있다. 어떤 경우에는 지역난방과 공동 냉각수, 나눠진 바람 터빈과 대규모 태양의 적용을 포함한다. 최근에는 ZEB 기술의 사용이 PV powered Huangbaiyu Sustainable Village과 상하이 근처의 계획된 Dongtan Eco-City에서 증명되고 있다. 이들의 목적은 완전히 grid로부터 독립하고 전기 전달을 제거하여 5-8%에 이르는 확산 손실을 없애는 것이다.

①ZEB의 잠재적인 장점들:

㉮ 건물 소유주의 미래 에너지 비용이 증가하는 것을 막는 것

㉯ 더 균일화된 내부 온도 때문에 편안함이 증가됨
(이는 등온선 지도와 비교하면 설명이 가능하다)

㉰ 에너지 긴축을 위한 요구의 감소

㉱ 향상된 에너지 효율성 때문에 총 소유에 드는 비용의 감소

㉲ 총 한달 전체 생활비의 감소

㉳ 향상된 신뢰 - 광전지 시스템은 25년을 보증한다.

㉴ 장치를 개선한 후를 고려했을 경우 새로운 건설을 위한 추가 비용의 최소화

㉵ 잠재적인 소유주의 ZEBs에 대한 요구가 다른 가능한 공급보다 높기 때문에 높은 재판매 가치

㉶ 비슷한 기존 건물과 관계있는 ZEB 건물의 가치는 에너지 비용이 증가함에 따라 증가한다.

㉷ 전기 grid의 얼룩을 감소하여 수명을 증가시킨다.

㉸ 다양한 기후와 증가하는 빈번한 극한 날씨에 적응하는 능력. ZEB는 온실효과 가스 배출을 줄이고 기후 변화 효과를 개선하는데 도움이 된다.

㉹ 탄소 배출 세금과 벌금과 같은 미래의 입법상의 제한에 덜 노출된다.

② ZEB의 잠재적인 단점들:

㉮ 초기 비용이 비싸다.

㉯ ZEB를 설치하는 방법을 이해하는 디자이너와 건축업자의 수가 제한되어있다.

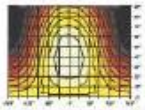
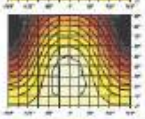
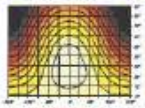
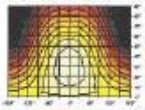
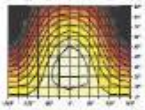
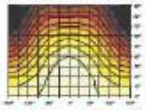
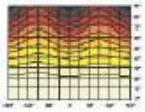
㉰ 미래 설비 회사의 재생 가능한 에너지 비용에서의 쇠퇴함은 에너지 효율에 투자된 자본 가치가 줄어들 수 있다.

㉱ 감정사가 충분한 지식이 없거나 그들의 가치 평가가 에너지 가치에 대한 실질적인 신용을 주지 못할 때 건물을 되팔 시 높은 초기 비용을 되찾는 것이 힘들다.

(나) BiPV의 기회들

BIPV는 기술과 건축적인 디자인의 합류점이다. 통합 PV가 여러 디자인 가능성을 갖는데 반해 건물의 대사활동을 강화하는 방법은 점점 더 중요해지고 있다. 이것은 PV가 어떻게 날시 요소로부터 보호를 하는지 또는 태양 에너지를 얻을 건지만이 아닌 어떻게 내부 환경에 영향을 미치는지 알아야 된다. 부분적으로 상업적인 건물에서 고용인은 핵심적인 가치가 된다. 좋은 대사활동을 하는 건물은 빛과 온도 조절을 통해 편안히 일할 수 있는 환경을 만든다. 이런 환경은 새로운 디자인과 기존의 것을 갱신하는데서 생성되며 동시에 zero-energy 결과물을 얻기 위해 노력한다. 파사드의 PV shading system은 실내의 열적인 편안함만을 향상시키고 전기를 생성하는 것만이 아니라 작업공간의 효율을 향상시키며 실재하는 이득을 가질 수 있다. 게다가 연구 평가는 BiPV가 다양한 BiPV 디자인 가능성에서 실내의 환경 품질(IEQ)를 향상시켰는지에 대한 이해가 필요하다. 서로 다른 나라에서 다양한 위도에서 가능한 지붕과 파사드 표면적은 다음과 같다(Gutschner, 2002). 위도가 북위 37°인 한국은 파사드와 지붕 BiPV 잠재성에 대해 좋은 가능성을 갖는 일본과 비슷한 윤곽을 갖는다.

Table 4 - Annual solar yield possibilities around the world

	Place	*Flat roof*	*Sloped roof*	*Façade*
	**Stockholm** Latitude: 59.1° N Longitude: 17.6° E Altitude: 5 m Best solar yield: 1 145 kWh/m²	Solar yield: 64%	Best tilt: 40° Good yield area on south axis: 0° to 85° Good yield area for 30° tilt: -90° to +90°	Best azimuth: 0° Best yield: 75% Good yield area: -80° to +80°
	**Zurich** Latitude: 47.4° N Longitude: 8.6° W Altitude: 556 m Best solar yield: 1 167 kWh/m²	Solar yield: 91%	Best tilt: 30° Good yield area on south axis: 0° to 75° Good yield area for 30° tilt: -110° to +110°	Best azimuth: 0° Best yield: 65% Good yield area: -100° to +100°
	**Tokyo** Latitude: 35.3° N Longitude: 139.5° E Altitude: 5 m Best solar yield: 1 350 kWh/m²	Solar yield: 91%	Best tilt: 26° Good yield area on south axis: 0° to 75° Good yield area for 30° tilt: -105° to +105°	Best azimuth: 0° Best yield: 65% Good yield area: -90° to +90°
	**Los Angeles** Latitude: 33.5° N Longitude: 118.1° W Altitude: 10 m Best solar yield: 2 103 kWh/m²	Solar yield: 89%	Best tilt: 28° Good yield area on south axis: 0° to 70° Good yield area for 30° tilt: -100° to +100°	Best azimuth: ±30° Best yield: 61% Good yield area: -95° to +95°
	**Sydney** Latitude: 33.5° S Longitude: 151.2° E Altitude: 5 m Best solar yield: 1 744 kWh/m²	Solar yield: 91%	Best tilt: 30° Good yield area on north axis: 0° to 70° Good yield area for 30° tilt: -105° to +105°	Best azimuth: ±30° Best yield: 63% Good yield area: -95° to +95°
	**Mexico City** Latitude: 19.2° N Longitude: 99.1° W Altitude: 2277 m Best solar yield: 1 803 kWh/m²	Solar yield: 95%	Best tilt: 18° Good yield area on south axis: 0° to 60° Good yield area for 30° tilt: -120° to +120°	Best azimuth: ±80° Best yield: 55% Good yield area: -115° to +115°
	**Singapore** Latitude: 1.1° N Longitude: 104.1° E Altitude: 5 m Best solar yield: 1 626 kWh/m²	Solar yield: 100%	Best tilt: 0° Good yield area on south axis: 0° to 45° Good yield area for 30° tilt: -180° to +180° (all around)	Best azimuth: ±80° Best yield: 54% Good yield area: -20° to -160° and +20° to +160°

한국에서 건물 분야는 주요 에너지 소비 부분 중 하나이다. 이것은 나른 나라와 비교했을 때 특이한 것이 아니다. 나라에서 건물의 에너지 소비량은 보통 나라 전체의 전체 에

너지 소비량의 24%를 차지하며, 한국의 경제가 계속 성장함에 따라서 이 또한 수면 위로 올라오고 있다. 건물의 에너지 사용은 건물 시스템의 성과를 나타내는 상호작용 특성들의 다양성에 의존한다. Figure 63은 PV 전력과 에너지 효율을 포함하거나 포함하지 않은 대표적인 사무실 하중의 윤곽을 나타냈다. 눈에 띄는 상호작용이 존재하며 명확하게 BiPV는 현존하는 건물을 zero 또는 near zero-energy 건물로 변형시키는 주된 역할을 하고 있다.

급속도로 성장하는 한국의 PV 제품 성장에 필수적인 요소는 수입 의존을 줄이기 위한 노력이 필요하며 새로운 고용 기회를 창조하는 것이다. 한국은 자랑스러운 전기기기 제조 및 반도체 혁신의 역사가 있으며 국내적으로 또한 국제적으로 강한 입지를 갖고 있기 때문에 국제적인 주요 산업을 하기에 매우 알맞다.

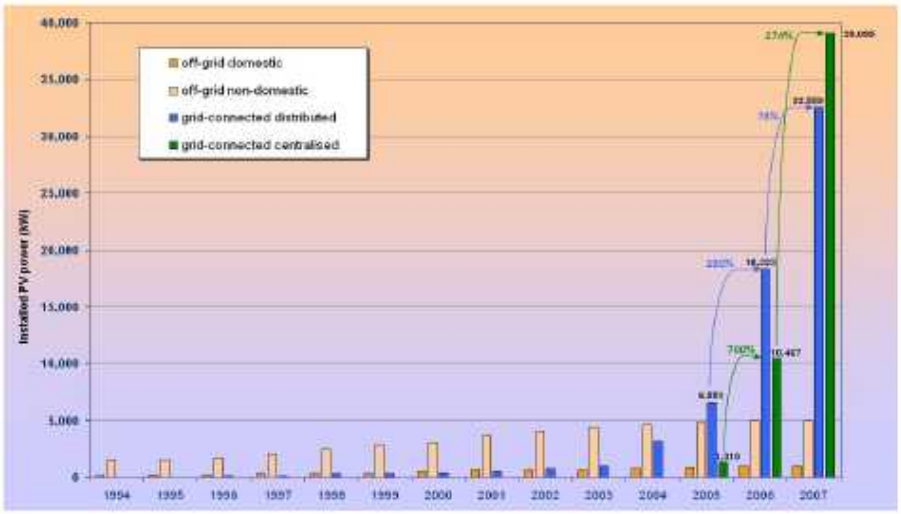
(다) 한국에서의 실험들

한국은 97%정도를 개발도상국에서 수입해서 사용하며 수입 에너지 대한 의존도가 매우 높은 나라 중 하나이다. 또한 US$56 billion의 석유(에너지 요구의 44%)를 수입하는데 이중 80%는 중동지방에서부터 온다(BP, 2008; IEA, 2005). PV 산업은 매립지의 메탄가스 와 같이 버려지는 에너지의 3/4 중에 다시 새롭게 사용되거나 재생 가능한 에너지가 되는 데에 1%보다 더 작은 값을 갖는다(MOCIE, 2006). 게다가 한국에서는 PV 세부사항은 IEA PVPS 국가 상태 리포트와 MOCIE에서 발행되는 정보와 Korean Photovoltaics Development Organisation(KPVDO)에 의해 정보를 제공받는다.

(4) PV산업

최근에 재생 가능한 에너지는 1.3 GW로 한 2011년 전체 에너지 소비량의 5%를 기준으로 한국의 전체 에너지 혼합에서 2.3%로 나왔다. 한국에서 축적되어 설치된 PV 전력은 2007년 말에 77.6MW에 도달했다. 매년 수용력은 2007년의 42.9MW에서 두 배가 되었다. 한국에서 주요 PV 성장 부분은 세계적인 추세와 일치한다. 확산된 grid-connected PV (42%)와 1997년에 5% 이상을 만들어 내지 못한 centralized grid-connected(50%)은 현재 92%의 설치된 수용력을 이룬다. Figure 64는 성장률과 최근 grid-connected centralized 전력 수용력의 가속도를 보여주고 있다.

Figure 64 - Korean cumulative PV power installations, 1994-2007



[2] Grid-connect centralised power is typically large ground mounted PV and functioning independently of any nearby development supplying bulk power and is not associated with a particular electricity customer.

모듈의 가격은 작년보다 10% 떨어져서 4,000KRW/Wp이며 설치된 grid-connected PV는 7,500에서 9,100KRW/Wp이다. 3kWp 옥상 시스템의 가격은 2006년의 8,550보다 약간 낮아져서 2007년에는 8,400KRW/Wp이다. KPE는 2007년에 태양전지 제조업자로 25MPW PV 셀을 생산했다. 최근에 현대 중공업과 Millinet Solar는 개별적으로 30MW의 crystalline Si cell의 제조 라인을 만들었고 2008년 안에 PV 셀의 생산을 시작할 것이다. 한국 철강 또한 2008년 2분기에 20MW의 연 생산 능력을 갖고 Si 얇은 필름 셀을 생산하려고 계획하였다. 9개의 회사들은 PV 셀 공급 문제 때문에 총 191MW의 연 생산 능력을 갖고 52,9MW PV 모듈만을 만들었다. 한국의 모듈 제조업자들이 내년에 100MW보다 더 큰 것을 생산할 것이라고 전망하고 있다. 모듈 생산에 있어서 대부분의 single, multi-crystalline silicon PV 셀은 일본과 독일에서 수입된 것이다.

2007년에는 100,000개의 roof-top 프로그램에서 총 9,245kW의 능력을 갖는 7,313 시스템들이 개인 주택과 공공 임대 주택에 설치되었다. 무료 관세 계획 시 총 3kW-3MW의 범위에서 28,632kW의 119개의 새로운 상업적인 PV 전력 공장들이 가동되었다. 1MW를 넘는 대규모의 PV 시스템은 13개였다. 가장 규모가 큰 공장은 동양 에너지가 소유한 동양 에너지 PV 전력에 의해 설립되고 가동되며 최대 출력이 3MW이다.

반면에 grid-connected distributed 시스템의 역할이 총 축적된 설치 전력에 있어서 2006년의 52.5%에서 2007년엔 42%로 약간 줄어들었다. grid-connected centralized 시스템의 역할은 2006년의 30.1%에 비해서 2007년에는 50%로 증가하였다. 이 부분의 총 설치 전력은 2007년의 총 연 PV 시장의 33%와 67%와 상응하여 각각 14,236kW, 28,632kW이다.

(5) 정책적 지원

한국은 세계적 수준에서 이끌고 있는 기본 기반과 반도체 자산, 그리고 display 산업을 이용하여 세계 PV 시장 역할의 7%를 확보하겠다는 과감한 계획을 갖고 있으며 또한 2012년까지 1300MW PV를 설치하겠다는 계획을 갖고 있다.

① rooftop 프로그램: 이 프로그램의 목표는 100,000 rooftop PV 시스템을 2012년까지 설치하는데 있다. 정부는 개인 가족 주택을 위한 전체 시스템 비용의 60%와 공공 임대 아파트 비용의 100%의 자금 조달을 제공한다.2007년에는 49조 원을 들여서 총 9,245kWp의 능력을 갖는 7,313개의 시스템이 개인 가족 주택과 공공 임대 아파트에 설치되었다.

② Feed-in Tariff 프로그램: Feed-in Tariff(FIT)효율/kWh는 677,38원이었고 30kWp보다 크거나 작은 시스템의 경우는 711,25원이었다. 이 계획은 2006년 10월부터 축적된 100MWp 천장을 갖으며 15년동안 PV 시스템이 3kWp가 넘는 것을 보장한다. 2007년에 총 28,632kW가 이 계획 아래 설치되었으며 연간 자금은 14조원 772만원이 나왔다.

③ 일반적인 배치 프로그램: 정부는 설치비용의 60%를 지원한다. 2007년에 총 3,996 kWp의 159개의 PV 시스템이 설치되었다. 5-200kWp의 전력 능력을 갖는 다양한 grid-connected PV 시스템은 학교, 공공시설, 복지시설과 대학교에 설치되었다.

④ 공공건물 권리 프로그램: 3,000m^2보다 넓은 새로운 공공건물은 전체 건설비용의 5% 를 재생 가능한 설비를 설치하는데 사용해야만 한다. 이 프로그램은 2004년에 시작되었다. 2006년 11월까지 총 349×1kWp PV 시스템들이 설치되었다. 2007년 말에 5,901kWp까지 증가되었다. 정부가 “새로운 관리를 기반으로 한 도시 계획”를 추구함에 따라 새로운 공공건물이 한국 전체적으로 계획되었고 이로 인해 이 프로그램은 한국의 PV 시장의 팽창에 상당한 기여를 하였다.

⑤ 지역적인 배치 프로그램: 지역 에너지 발전 프로젝트 하에 PV 시스템의 다양성은 지역 인사들의 공공건물의 PV를 포함한 채 건설되었다. 2007년 말까지 대략적으로 10MWp의 PV 시스템들이 설치되었다. 이 프로그램은 PV에 대한 공공 인식을 증가시키고 지역을 위한 고유한 재생 가능한 에너지 자원으로서의 PV를 발달시키는데 목적이 있다. 정부는 전체 시스템 비용의 60%까지 지원을 해주며 나머지 40%는 지역 인사들과 수혜자들이 지불하였다. 몇몇의 지역 인사들이 2006년 말까지 PV, 태양열, 지열, 풍력 등으로 구성된 “Green Village" 프로젝트를 완성하였다. 2007년에는 서울, 대구, 광주, 울산과 같은 대도시들이 재생 가능한 기술을 사용하여 ”친환경 혁신 도시 “를 건설할 계획을 발표하였다.

밑의 표는 한국에서 2004년부터 시행된 핵심 연구와 발전한 기본적 시설 프로젝트의 리스트이다.

Table 5 - R & D infrastructure projects in Korea (2004-present)

R & D / infrastructure projects	Period	Budget (Million KRW)	Contractor
Low cost, high efficiency bulk Si Solar cell Manufacturing	Sep 2004-Aug 2007 (3years)	7,275	Samsung SDI
Low cost, high quality Solar grade Single crystalline Si wafer	Sep 2004-Aug 2007 (3years)	4,800	LG Siltron
Poly Si manufacturing	Aug 2006-July 2009 (3years)	32,660	DCC
130-micron thick Si solar cell technology	Aug 2006-July 2009 (3years)	14,750	LG Chem
Dye-sensitized sub-module development	Dec 2006-Nov 2009 (3years)	4,320	KIST
BIPV Module Manufacturing	Sep 2004-Aug 2007 (3years)	5,387	KIER
Low cost, Stable ZnO electrode	Dec 2004-Dec 2007 (3years)	2,009	Korea Univ.
100KW Bi-modal PCS	Aug 2006-July 2008 (3years)	2,151	Ewha Electric
Roof-integrated PV module	Dec 2004-Dec 2007 (3years)	2,766	S-Energy
PV Power Standardization	Sep 2004-Aug 2007 (3years)	272	KIER
Residential PV system optimization	Dec 2006-Nov 2008 (2years)	1,068	KIER
1MW PV System Demonstration	Nov 2004-Oct 2007 (3years)	9,978	Seoul Marine
p-Si Ingot manufacturing	Dec 2005-Dec 2007 (2years)	2,596	Glosil
CIGS thin film mini module	Dec 2005-Dec 2007 (2years)	1,200	KIER
Transparent, Insulating BIPV Module for a-Si Cell	June 2007-June 2010 (3years)	1,687	Kolon Construction
Durability of Field aged Module	June 2007-June 2010 (3years)	1,450	KIER
Thin Film Si Module	Aug 2007-July 2010 (3years)	8,947	LG Electronics
Spherical Si Cell	Nov 2007-Oct 2009 (2years)	1,600	TPS

한국에서의 실리콘 공급 원료를 위한 1년간의 제품과 제품 성능 및 ingot, wafer 생산자들에 관한 정보는 표6에서 제시하고 있다.

Conergy는 최근에 성공적으로 아시아의 가장 큰 광전지 플랜트 건설을 완공하였다. 19.6MWp의 최대 출력을 갖는 9억의 유럽 프로젝트는 남한의 수도 서울의 남서쪽에 위치한 신한이라는 도시에서 진행된다. 동양 중공업에 위임되었고, Conergy는 완성 인도 방식의(turnkey) 해결책으로 플랜트를 세우고, 스케줄보다 6개월 앞서서 grid에 가져왔다.

⑥ 신재생 공급 협약(Renewable Portfolio Agreement, RPA)

설비 회사들은 재생 가능한 에너지를 그들의 총 전력 공급에 적용할 수 있도록 요구받는다. 이 프로그램은 신재생에너지 의무할당제(renewable portfolio standard, RPS)처럼 강제적이지는 않다. 2007년 한국서부발전은 밀양에서 2MWp 시스템을 완성시켰고, 한국수력원자력은 영광에서 1.25MWp 시스템을 완성시켰다.

⑦ 간접적인 정책 문제

에너지 부분을 고려하는 이유는 한국에서 배출되는 온실가스에 책임이 있기 때문이다. 그렇기 때문에 한국이 clean energy의 사용을 증가시키는 것은 피할 수 없는 일이다. 그러므로 이러한 문제는 의심할여지도 없이 PV 시장의 성장에 큰 영향을 미칠 것이다.

⑧ 기준과 코드

태양전지와 모듈, 배터리, 전력 조절기와 같은 PV 구성성분의 조건과 관련된 17개의 한국 기준(KS)이 있다. 기준 중 어떤 것은 독립적인 시스템의 수행 평가와 관련이 있다. 변환장치와 crystalline silicon PV 모듈을 위한 감정 프로그램은 2005년 이후로 유효하다. 보증된 제품이 정부의 지원을 받는 PV 시스템에 대해 의무를 갖도록 추진해왔다. 최근에 새로운 기준과 코드는 기술표준원의 책임 하에 IEC TC 82와 같은 국제적인 기준과 비교해보기 위해 조사 중에 있다.

(6) 한국의 BiPV 변수들과 현재 적용 현황

한국은 전기 분야의 산업이나 PV 제품과 혼합되고 전개된 건물 제품을 포함하여 제품 공급 네트워크에서 BiPV 국제 시장과 연결되는 제조 능력에 대해 매우 좋은 장점을 갖고 있다. PV/건물 외피와 건물 내부 수행 사이의 연결하여 개발 가능성을 추구하는 BiPV 연구와 시장 발전에 대해서는 부족함이 있다. 정부와 기업 모두의 필요성이 증가함에 따라 주어진 환경에서의 에너지 발전을 향상시키고 에너지 수입 의존도를 줄이려고 한다. 건물에서의 태양 에너지 발전과 미래의 zero-energy 건물에서의 역할은 혁신적인 연구, 발전, 논증과 전개 그리고 국내적으로 또한 국제적으로 기회를 만드는 거대한 시장의 핵심이 된다. 한국은 부상하는 BiPV 적용 분야에 있어서 리더가 될 수 있을 것이다.



< Korea-Solar Tech 12kW p >



< Korea-Colon Construction 1.8kWp >



Donghae PV plant 1.1MW p



Konkuk University 50kWp
(Source: Symphony Energy)



donggwang-solar-city-korea
(Source: Symphony Energy)



Konkuk University 50kW p
(Source: Symphony Energy)



Kenhyong Industrial 99kW p
(source: Symphony Energy)



Honam University 20 kW p
Gwangju city



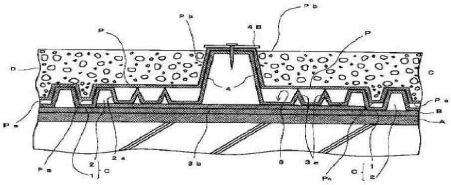
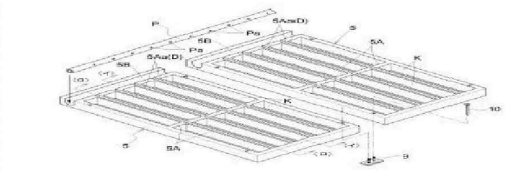
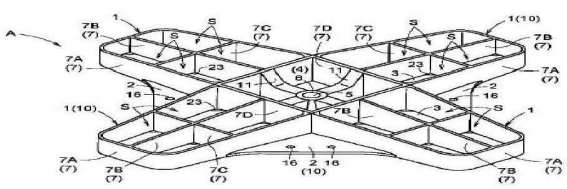
Korea-Solar Tech 13kW p

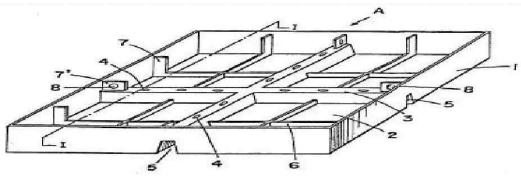


Korea-Solar Tech 50kW p

2. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술, 건설기술연구원

가. 유니트형 녹화시스템 유사기술과의 분석

	국가	기술명칭	기술내용
1	일본	DEVICE FOR CULTURING PLANT	• 건물구조체의 옥상, 경사지붕에 적용되어지는 녹화공법의 문제점들을 보완, 개선한 기술. • 구체적으로 담수와 배수기능을 동시에 보유한 드레인판 상부에 토양을 담을 수 있는 용기를 설치하고 그 상부에 식물을 식재한 육묘판을 설치하는 공법으로써 기존의 토양포설형 공법에서 포설과 식재, 멀칭공정을 현장에서 생략가능토록 고안된 기술.
			
2	일본	PLANTING PAVING TOOL AND PLANTING WATER SUPPLY SYSmEM	• 아스팔트주차장, 건물옥상등 인공지반에 활용되어지는 기술로서 자체개발 잔디매트를 적용 아스팔트주차장상부에 적용할 경우 기존공법에서는 아스팔트를 제거하고 식물을 식재하여야 하나, 본 기술은 구조체의 바닥면재료에 관계없이 철거하지 않고 식물도입이 가능하여 산업폐기물 발생감소효과 기대. • 토양과 식물체사이에 점적관수라인을 삽입 관수실시하고 식물상부에 금속망을 설치, 주차장에 주로 적용.
			
3	일본	SLOPE CONSTRUCTURE AND PRESSURE RECEIVING PLATE FOR SLOPE PROTECTION	• 법면보호용으로 개발된 기술. 토낭과 토양을 고정시킬 수 있는 유니트를 법면의 상부에 고정앙카로 고정시키고 그 내부에 토양을 충진한 토낭을 수납. • 토낭의 상부에는 식물의 종자가 유수에 의해 유실되지 않도록 고정되어 있으며, 그 상부에 토양을 포설하는 공법. 토양유실을 최소화하기 위하여 토양유실방지망을 최상부에 설치. 초기발아율우수.
			

4	미국	BOX FOR CULTIVATING PLANT	• 인공지반 특히, 경량형 옥상녹화에 활용. 공법의 개요는 상기 1번의 일본기술과 유사함.
			

나. 해외 벽면녹화 기술

	국가	기술명칭	기술내용
1	일본	MAGICAL GREEN	• 파렛트, 육묘상자, 홀더, 커버 등 여러 가지 부자재의 조립으로 옥상, 벽면 등 다양한 공간에 도입가능 하도록 고안된 인공지반 녹화공간 조성기술 • 10㎝ 포트 및 롤잔디를 현장에서 직접 식재하는 공법
			
2	일본	GREEN FACADE PIXEL	• 저층부시설에 도입가능. 고밀도 식물식재가 가능하여 심미성 강조 • 초기 녹화면적확보. 식물교환 및 탈부착이 용이
			
3	일본	GREEN FACADE UNIT	• 대규모시설에 적용가능한 공법 • 태양광과 통기성이 좋아 경관성 확보 • 건축물과 녹화구조체가 이격되어있어 식물의 유지관리가 용이
			

4	일본	GREEN FACADE MODULE	• 저층부시설에 도입가능한 공법. 작은 모듈을 조합하여 녹화공간을 조성하는 방식으로 디자인성 풍부 • 모듈 및 식물교환이 용이함. 배색, 배열의 유연성 높음
			

3. 친환경 성능을 고려한 통합단지 계획, 성균관대학교

가. 단지 외부 온열환경 실측에 관련된 연구동향 사례조사

- 일시 : 2007.2.12(월) ~ 2007.2.15(목)
- 장소 : 아일랜드 시티, 키타큐슈 시립대학, 마테르 아노우, 아크로스 후쿠오카

단지 외부 온열환경 사례조사를 위하여 2007년 2월 12일부터 15일까지 3일간 일본 후쿠오카견학을 다녀왔다. 견학 장소는 아일랜드 시티, 기타큐슈 시립대학, 마테르 아노우, 아크로스 후쿠오카였다. 초기단계인 국내의 친환경단지 조성에 있어서 계획단계부터 구체적인 목표를 설정하고 이를 실현해 나가는 일본의 사례는 본 연구의 진행과정에서 많은 참고가 되었다. 과제 관련하여 단지내 열환경부하를 저감하기 위한 여러 시스템들은 충분히 국내에 도입될 수 있으며 효용성이 높다고 판단된다.



< 바다와 면한 저층 주거 단지 >



< 저층 주거 단지 전경 >



< 저층주거단지와 중층맨션단지의 경계부 >



< 중층맨션 단지 전경 >



< 그린 그린 녹화 >



< 전면부 연못과 녹지 >



< 지형을 이용한 굴입식 주차장 >



< 투수성 포장재를 이용한 부지내 바닥 >

① 아일랜드 시티

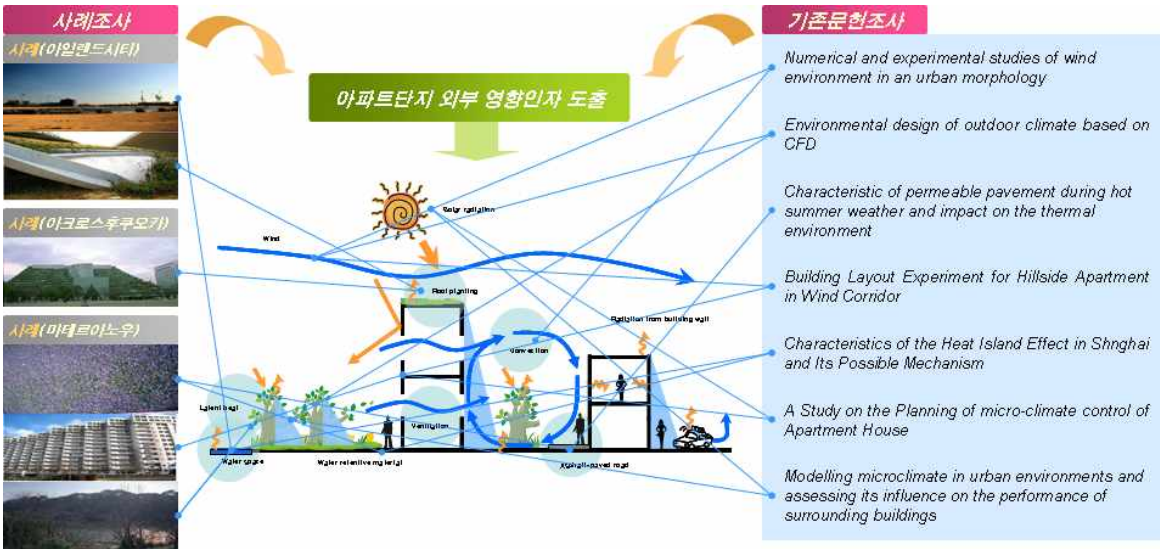
매립지를 활용하여 넓은 토지에 균형있는 계획을 세우고 그것을 실현하고 있다는 점이 돋보인다. 기업유치가 중심이 되는 항만지구와 주택이 중심이 되는 타운지구의 분할을 계획초기단계부터 시작하여 실현해나가고 있었으며 항만, 도로의 정비를 통해 산업의 거점이 되는 동시에 친수공간, 녹지공간의 확보를 통해 환경과의 공생이라는 목표 아래에서 쾌적한 도시공간을 창출해나가고 있다는 점이 이후 프로젝트에서 참고할만하다고 생각된다.

② 키타큐슈 시립대학

에코캠퍼스라는 기치를 내걸고 이를 실현하기 위해 여러 가지 시스템의 도입이 이루어져 있었다. 환경부하의 저감을 위해 자연상태의 환경요소들을 최대한으로 이용하고 있었으며 에너지의 낭비를 최소화하기 위한 재활용 시스템 또한 참고 할 만 하다고 생각된다.

③ 마테르 아노우

환경공생주택의 초기형 모델으로 볼 수 있는 마테르 아노우는 계획 단계에서부터 환경부하의 최소화를 목표로 하고 있었으며 단지레벨에서 뿐만이 아니라 세대레벨에서도 부하절감을 위한 많은 시스템들이 도입되어 있었다. 단지 내 투습성있는 포장재료를 사용하여 환경부하를 최소화하며 수공간과 녹지공간을 적극 활용하여 단지내 열환경 부하를 감소시키는 환경공생주택을 실현했다는 점에서 본 과제와의 연관성이 높았다.



< 기존문헌조사 및 사례조사 >

4. 친환경 소재 개발, 한국건설기술연구원

가. 기능성 건축자재 현황

(1) 국외의 기능성 건축자재 관련 시공 사례 및 산업의 현황

일본의 경우, 다습한 기후적 특성과 입주자의 요구 등으로 인해 최근 기능성 건축자재의 개발 및 적용이 활발히 이루어지고 있다. 2008년 5월 일본의 건축자재업체 등을 직접 방문 조사한 결과에 따르면, 일본 공업협회 규격(JIS)의 측정방법에 의하여 흡방습성능이 객관적으로 인정된 제품들이 다수 생산 및 판매되고 있음을 알 수 있었다.

업체명	구분	제품	주원료	기능
DAIKEN	벽재/ 천장재	사라리아	암면 (rockwool)	- 흡방습기능 - 탈취기능 - VOCs / 폼알데하이드 흡착기능
	내외장재	Premiart	광물성, 화산성 퇴적물	- 방수성 - 방오코팅
INAX	내외장재	Ecocarat	점토광물	- 흡방습기능 - 탈취기능
미쓰비시 건재	판재	MOISS	질석, 규조토	- 흡방습기능
아사히카세이 건재(주)	내외장재	사라라	트바모라이트	- F☆☆☆☆급 - 흡방습기능 - 폼알데하이드 흡착분해 - 악취 제거기능
신동북화학공업(주)	내외장재	Breath-board	천연 제오라이트	- 흡방습기능 - 냄새 및 가스 흡착기능 (VOCs제거) - 곰팡이, 진드기 방지 - 결로방지
PanaHome(사)	내외장재		규조토	- 흡방습기능 - 폼알데하이드 흡착분해

< 일본에서 생산/판매중인 기능성 건축자재의 현황 >

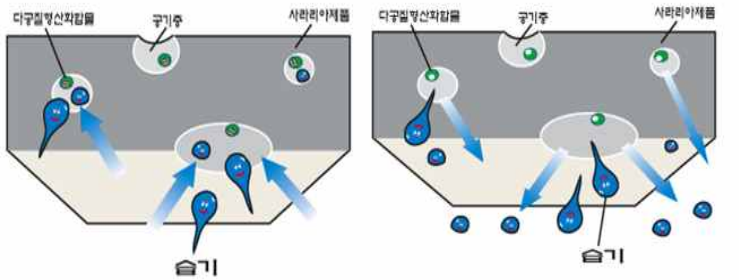
(가) 일본 DAIKEN사

① 사라리아 : 일본에서 생산 및 판매되고 있는 가장 대표적인 기능성 건축자재의 하나로 암면(rockwool)이 주원료이며 흡방습성능, 탈취기능과 더불어 휘발성유기화합물 및 폼알데하이드의 저방출 및 흡착성능을 보유하고 있는 것으로 판단됨

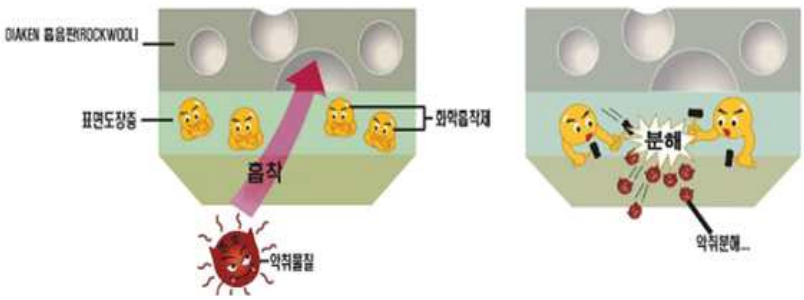
② Premiart : 광물섬유와 화산성 퇴적물을 주원료로 하는 다이라이트를 기초재료로 하여 양면에 목판을 접착시키고, 한쪽 면에만 장식처리한 제품임. 표면에 특수수지 처리를 하여 방수성이 있으며, 방오코팅을 하여 세척성도 확보하였음. 경량성과 가공성이 우수한 것으로 판단됨

㉮ 천정재인 사라리아는 Rock Wool을 주원료로 하여 휘발성유기화합물 과 폼알데하이드의 저방출 및 흡착성능, 흡방습기능, 탈취기능, 음이온방출기능을 부여한 제품임

㉯ 가구 및 벽체 마감용 판재인 Premiart는 광물섬유와 화산성그라스 퇴적물을 주원료로 하는 다이라이트를 기초재료로 하여 양면에 목판을 접착시키고, 한쪽면에만 무늬를 부여하였음. 표면에 특수수지 처리를 하여 방수성이 우수하고, 방오코팅을 하여 세척성이 뛰어나며, 경량성 및 가공성이 뛰어남



a) 습도조절기능



b) 탈취기능

< 사라리아 제품의 주요 기능[7] >

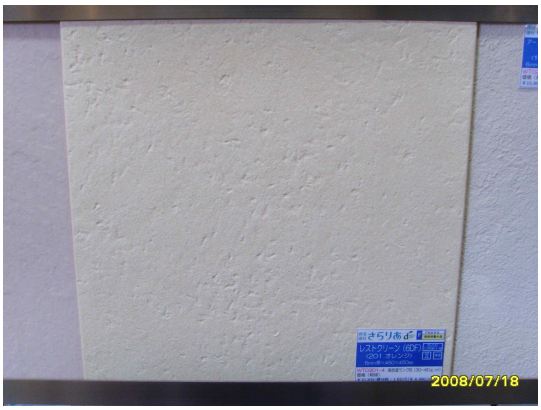
7) http://www.daiken.co.kr/



a) 전시장



b) 조습천장재 사라리아와 PREMIART의 적용공간



c) 사라리아의 세부 모습



d) 사라리아 시공의 예



e) 다양한 형태의 사라리아 제품



f) 사라리아 시공의 예

< 사라리아 제품과 시공의 예 >

(나) 일본 INAX사

① Ecocarat

㉮ 토양 중에 널리 분포되어 있는 점토광물로 알루미늄의 함수(含水)규산염 광물인 알로펜 등을 조합하여 만든 제품으로 자재내의 미세한 기공에 의하여 흡방습 및 탈취기능 등을 갖고 있으며, 일반 벽 및 천정재 뿐만 아니라 화장실과 주방의 마감재 등으로도 적용되고 있음

㉯ 타일은 인테리어 공간을 이미지업 하는 기능을 함. 타일공사를 하는 것만으로도 실내 공기를 쾌적하게 바꿀 수 있으며, 이에 부가하여 공간을 아름답게 꾸며서 주거생활에 신선함과 편안함을 줌

㉰ 실내 습도조절을 위한 기능성 건축자재인 Ecocarat는 거실이나 방을 쾌적한 실내 환경으로 조성하며, 탈의실 및 화장실 공간에도 사용가능함.

㉱ 일본 최초의 폼알데하이드 저감건재인 Ecocarat는 규조토를 이용한 타사제품에 비해 약 4~5배 이상의 흡방습량을 가지며, 습도를 항상 40~70% 내외로 유지할 수 있는 것으로 보고됨

㉲ Ecocarat의 탈취기능을 평가하는 실험의 경우, Ecocarat를 흡연실에 3개월 방치한 후의 변색 테스트결과 타사제품은 노란색으로 변하였으나 Ecocarat는 색변화가 없는 것을 확인할 수 있었음



a) Ecocarat 제품의 전시 모습



b) 조습성능 시험 모습



c) 에코카라트



d) 누리카라트

< 일본 INAX >

(다) 일본 미쓰비시 건재

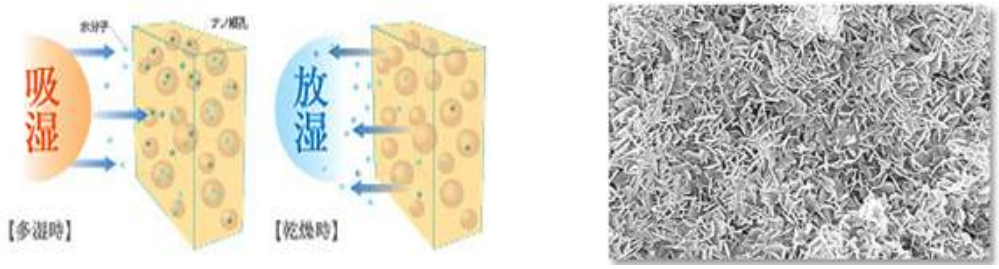
MOISS : 규산염광물의 하나인 질석과 규조토를 중심으로 개발된 흡방습기능성 판재인 MOISS는 곡면시공이 가능하고 습식시공이 아닌 스템플러를 이용한 건식시공이 가능한 특징이 있음



< MOISS 적용의 예 >

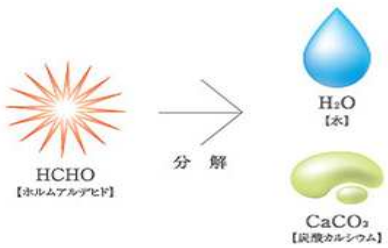
(라) 아사히카세이건재(주)

① 사라라 : F☆☆☆☆급의 원자재를 사용하여 폼알데하이드를 포함하지 않으며, 흡방습 기능, 폼알데하이드 흡수분해, 생활악취 제거기능이 있는 것으로 보고됨

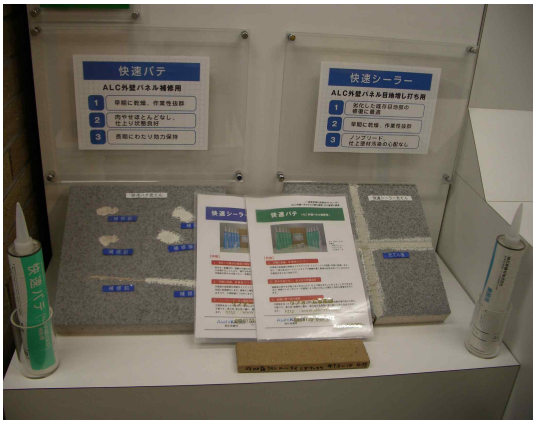


a) 흡방습원리 b) 트바모라이트 사진

< 사라라 제품의 흡방습기능 >



< 사라라 제품의 흡착기능 >

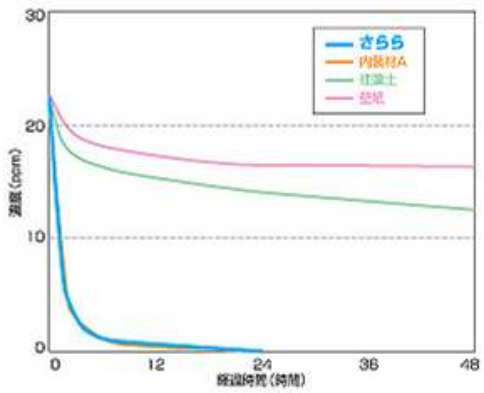


a) 바르는 흡방습 자재

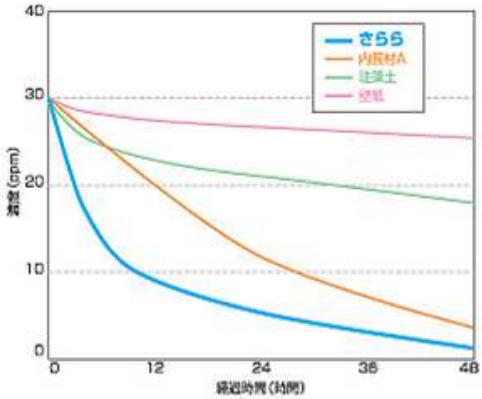


b) 냄새흡착성능 내장재

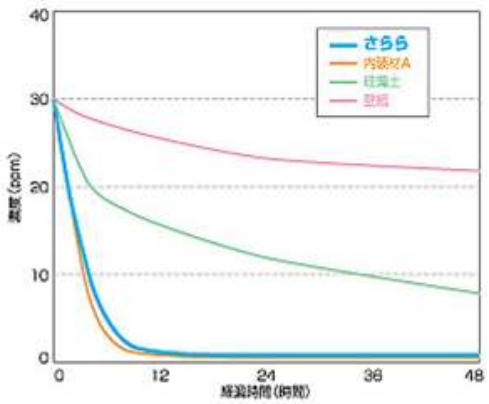
< 일본 기능성 건축자재의 예 >



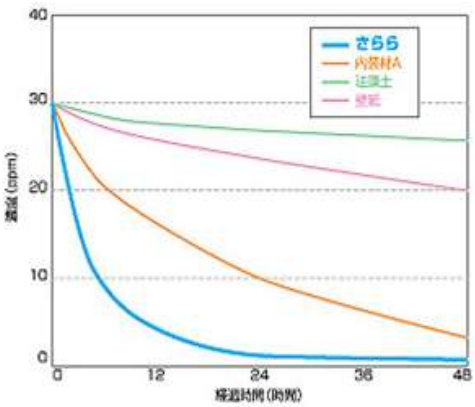
a) 암모니아(화장실냄새)



b) 트리메틸아민(쓰레기냄새)



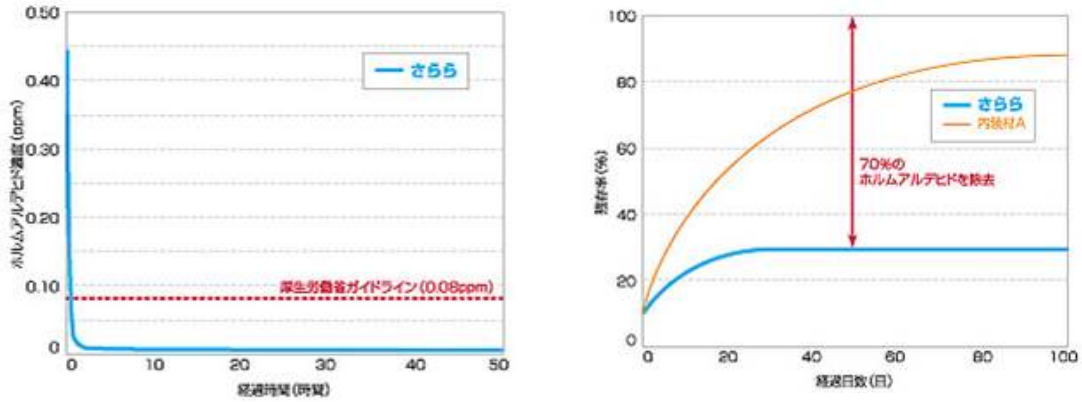
c) 메틸 메르캅탄(애완동물냄새)



d) 황화수소(달걀부패냄새)

< 사라라 제품의 검지관법에 따른 탈취기능 시험결과 >

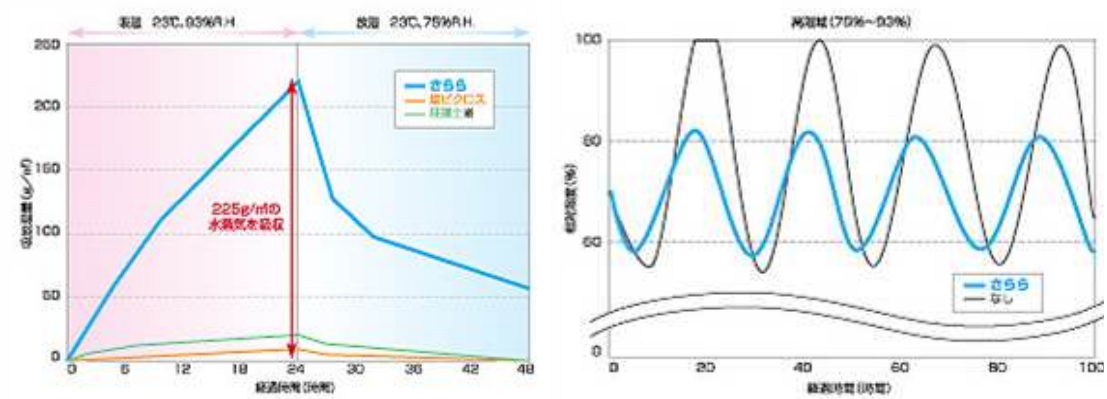
② 건축자재의 흡착성능 시험의 예



a) (단기) 테들러백법 b) (장기) 챔버법

< 사라라 제품의 흡착기능 시험결과 >

③ 건축자재의 흡방습기능 시험의 예

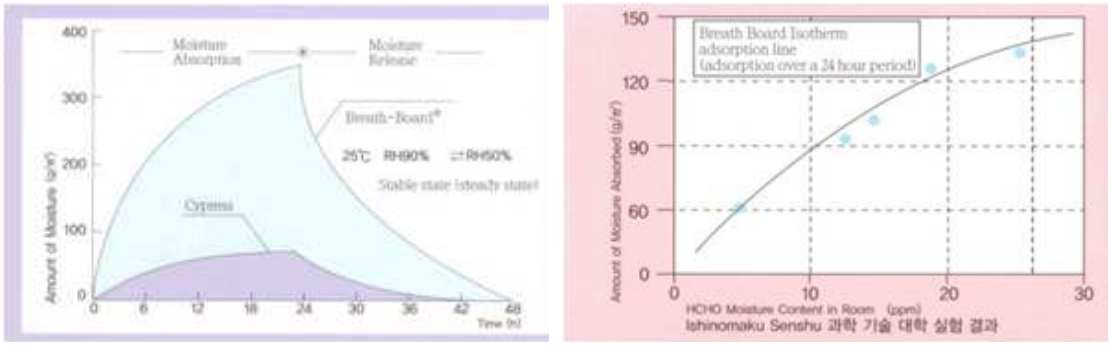


(a) 시험방법 : JIS A 1470-1 (b) 시험방법 : JIS A 1470-2

< 사라라 제품의 흡방습기능 시험결과 >

(마) 신동북화학공업(주)

① Breath-board : 천연 제오라이트로 만든 친환경 자재로서 흡방습기능, 냄새 및 가스 흡착기능(VOCs제거), 곰팡이, 진드기 및 악취제거, 결로방지 등의 기능이 있음. 제오라이트는 규조토에 비해 미세공의 지름이 약 6만배 이상 작아서 흡착성능이 상대적으로 우수함



a) 습도조절기능(목재대비) b) 폼알데하이드 흡수율

< Breath-board의 흡방습 및 흡착기능 >

(바) PanaHome(사)

① 흡방습기능 건축자재 제품현황

㉮ PanaHome 사에서는 규조토를 원료로 다양한 종류의 흡방습기능 벽재를 시공, 판매하고 있음

② 흡방습기능 건축자재의 예

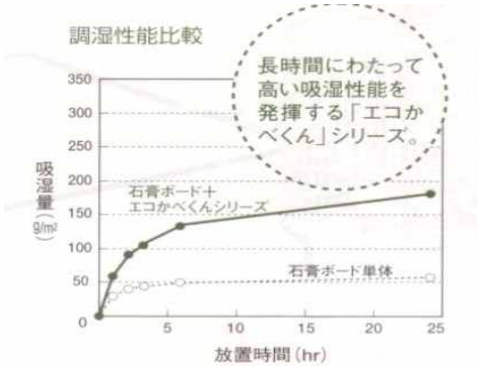


< 시공된 흡방습기능 벽재 >

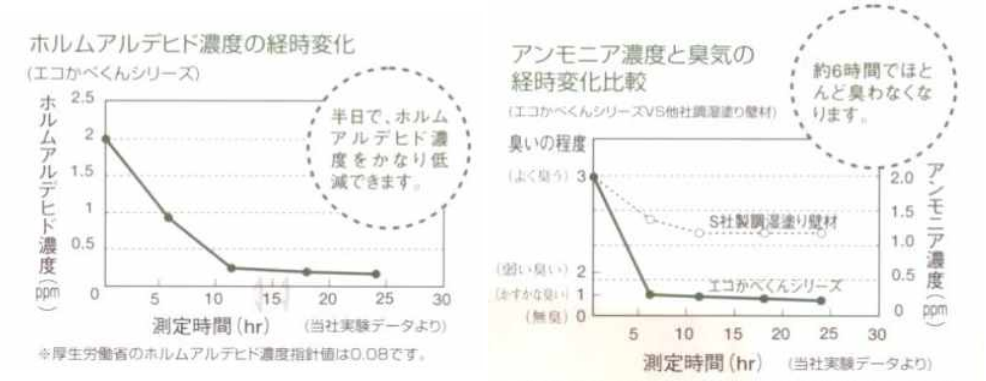


< 흡방습기능 벽재의 원료인 규조토 >

③ 흡방습 및 흡착시험의 예



< 흡방습 성능시험의 예 >



< 폼알데하이드 저감성능 시험의 예 >

(사) 기타

이외에도 마쯔시다(社) 등 다양한 회사의 제품이 시판되고 있으며, 일본의 경우에는 기능성 건축자재가 전체 건축 실내마감재 시장에서 차지하는 비율은 2006년 판매금액 기준으로 약 1~3%내외이지만, 최근 급속히 판매량이 증가하는 추세임

5. 환기시스템의 개발, 연세대학교

가. 환기필터가 에너지소비에 미치는 영향

(1) 주택에서 에너지 소비가 적은 환기필터의 선정

일반적으로 고효율 HVAC 필터는 높은 압력손실을 나타내고 작은 공조 시스템에서 에너지 소비를 증가시키는 것으로 여겨진다. 실제 건물에서 필터가 미치는 영향을 조사하기 위하여 소규모의 공조기가 설치된 17개의 주택에서 연구를 수행한 결과를 소개한다. 실험은 3개의 다른 MERV 범위를 갖는 필터가 설치된 주택에서 1년 동안 매월 한 번씩 측정하였다. 측정변수는 풍량 팬파워, 외부공조기 전력, 냉방능력, 필터에서의 압력손실,

덕트 누설 등이다.

측정결과에 의하면 주택에 설치된 MERV 11-12 필터들은 에너지소비량과 연관된 변수들에 매우 작은 영향만 미치는 것으로 나타났다.

(원문)

Higher-efficiency HVAC filters generally have a higher pressure drop and are widely assumed to increase energy consumption in smaller air conditioning systems. To explore the effects of filters in real buildings, we monitored 17 residential and light-commercial forced air cooling systems in Austin, TX. Measurements were made once per month for one year at each site with filters from three different MERV range categories. Measured parameters included system airflow, fan power draw, outdoor unit power draw, cooling capacity, pressure drops across filters and coils, and duct leakage. Higher-efficiency (MERV 11-12) filters generally had a small impact on parameters related to cooling energy consumption in the residential and light-commercial test systems when compared to lower-efficiency (MERV 2) filters. The median energy consequence of higher-efficiency filtration in the test systems was estimated as a decrease of approximately 16 kWh per ton of nominal capacity (4.6 kWh per kW) per month of cooling season operation, albeit with large variation, with most of these small savings coming from fan energy reductions. These results suggest a weak link between higher-efficiency filters and energy use in residential and lightcommercial systems and that other factors should govern filter selection.

나. 제로하우스 구현을 위한 환기 방안

(1) 정풍량 제어 하이브리드 환기시스템

환기시스템의 성능에 있어서 환기량을 안정적으로 유지한다는 것은 쾌적한 실내 공기환경을 위하 가장 단순하면서 기본적인 요구사항으로 인식되어 왔다. 하이브리드 환기시스템에서 있어서 환기량을 안정적으로 유지하기 위한 개발사례로서 일본의 세키수이 하우스에서 개발한 단독주택용 하이브리드 환기시스템이 있다.

이 시스템은 시간당 0.5회의 환기횟수를 항상 만족시킬 수 있는 기계환기설비의 설치규정으로 인한 설비적 부담을 줄이는데 초점을 맞춘 것으로서, 일반환기장치를 상시 가동하는 경우에 대하여 연간 약 90%의 에너지 절약효과를 거둘 수 있다고 밝히고 있다. 시스템의 구성요소로는 자연환기의 구동력을 확대하기 위한 수직덕트, 보조팬과 댐퍼, 고성능 차압센서가 있고 이들을 이용해 환기시스템을 통과하는 배기풍량의 변화를 감지하고 건물의 규모에 맞추어 미리 설정한 배기풍량(0.5회/h)을 유지하도록 보조팬과 댐퍼를 조절하는 자동제어시스템이 내장되어 있다. 즉, 자연환기의 구동력만으로 설정풍량이 만족되지 못하는 조건하에서 부족한 만큼의 풍량을 보상하여 주기 위하여 팬을 작동시킴으로서 상시 가동하는 일반환기시스템에 대하여 상대적으로 팬의 가동시간을 줄일 수 있

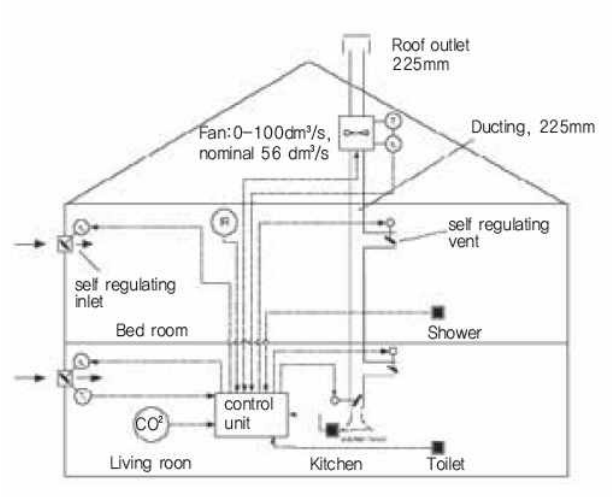
다. 또한 난방에너지의 절약을 위하여 겨울철에는 자동적으로 설정풍량을 20% 하향조정하도록 되어 있으며 외부풍의 영향 등으로 자연환기의 구동력이 극단적으로 확대되어 팬을 정지시킨 상태에서도 과대한 풍량이 감지될 경우에는 댐퍼의 각도를 조절하여 일정풍량을 유지하게 된다.

그러나, 이러한 제어방식은 단순히 필요환기량을 일정하게 유지한다는 개념에서 출발한 것으로 쾌적한 실내공기질의 제공을 위한 소극적인 접근방법이라고 볼 수 있다. 예를 들어, 실내 공기 중의 이산화탄소의 농도에 대해 고려해 보면, 같은 건물에 같은 양이 외기가 공급된다고 하더라도 재실자의 수나 활동량, 취사기구의 상용 여부 등 다영한 조건에 의해 이산화탄소의 농도가 전혀 달라질 수 있으며, 건물 전체에 일정한 양의 환기량을 공급해 주는 것만으로 실내공기질의 오염문제를 실제적으로 해소해 주는 데 한계가 있음을 예상할 수 있다.

(2) 변풍량 제어방식 하이브리드 환기시스템

정풍량 제어방식 하이브리드 환기시스템이 한계가 극복된 예로 노르웨이, 스웨덴, 네덜란드, 벨기에, 프랑스가 참여하여 2002년에 시작한 ReshyVent 사업을 들 수 있다. 이 사업은 자연환기 구동력이 확대를 위한 기술적 노력과 압력손실을 최소화한 덕트 및 집풍장치, 고효율 직류전원 팬 등을 개발, 적용하였다. 특히, 환기량의 자동제어 전략으로서 온도, 습도, 실내공기질의 조건에 따라 팬과 댐펄ㄹ 조절하는 개념을 도입한 것이 특징이며 다양한 기후조건에 적합한 프로토타입의 시스템을 결과물로서 제시하고 있다. 각 모델에 적용된 시스템 요소를 종합해 보면, 동작감지센서, 이산화탄소 농도센서, 온도 및 상대습도 센서 등을 갖추고 있어, 거주자의 재실상황 및 실내외 조건 등에 따라 적절한 필요환기량을 판단하고 조절할 수 있게 되어 있다.

이중에서도 이산화탄소 농도를 이용한 제어기술은 실내공기질을 고려한 것으로 동작감지센서의 경우 재실자가 정지상태에 있을 때(휴식, 취침 등)에는 재실여부를 판단하기 어려운 경우에 대하여 상대적으로 효과적이고 정확한 제어가 가능하다. 또한 상대습도센서를 이용한 제어방식의 경우, 주방이나 욕실에서 수증기가 다량 발생할 때 집중적으로 환기를 실시하는 것으로서 쾌적도 향상뿐만 아니라 결로방지를 위해서도 유용하게 사용할 수 있다. 즉, 신선한 공기를 항상 공급해 주는 개념에서 벗어나 실제로 실내공기환경을 평가하여 필요한 장소에 필요한 만큼의 신선외기를 제공해 주는 환기량 최적제어의 개념을 도입함으로써 보다 효과적으로 환기시스템을 활용할 수 있으며 쾌적한 실내공기환경과 냉난방에너지 절약효과를 동시에 기대할 수 있다.



< 변풍량 제어방식 하이브리드 환기시스템(네덜란드) >

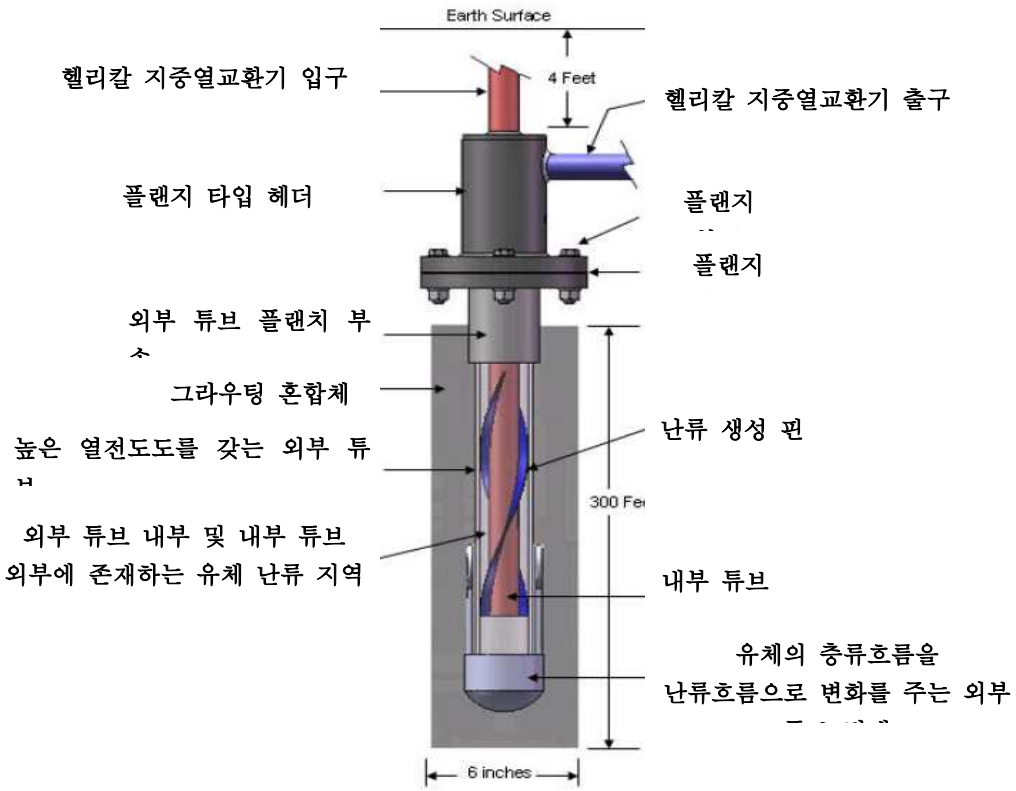
6. 공동주택을 위한 재생 에너지시스템 적용 연구, 한국에너지기술연구원

가. Helical 타입 지중열교환기

지열히트펌프 시스템은 크게 지중열교환기, 히트펌프, 부하기기 등으로 구분되어지며 실제 적용 시 설치 환경적 및 운전 조건에 대해서 많은 영향을 받는 시스템으로써 그중에서도 지중열교환기는 지열원과 히트펌프의 작동유체를 열교환시켜 지열원을 사용할 수 있도록 하는 부분으로써 지열히트펌프 시스템에서 경제적인 면 부분이나 시스템의 성능면에서 중요한 요소이다. 경제적인 면을 살펴보면 실제 지열히트펌프 시스템 설치 시 설치비용의 약 40~60%는 지중열교환기(수직 밀폐형) 설치비용에 사용되어지며 과도한 지중열교환기 설계는 지열히트펌프의 설치비의 증가를 가져올 수 있다. 현재 우리나라에 보급되어진 지중 열교환기 타입은 수직 밀폐형, 수평형, SCW(standing column well) 등이 있으며 현재 가장 많은 보급이 이루어진 타입은 수직 밀폐형이다. 수직 밀폐형 지중열교환기 방식은 깊이 100~200m의 보어홀은 지면에 천공한 후 HDPE U관을 삽입하고 이 U자관과 보어홀 사이 공간에 그라우팅 재료를 채워 완성한다. 수직 밀폐형은 타 방식에 비해 시공부지 제약이 적고 냉난방부하와 부지에 다양한 깊이로 시공이 가능하고 지중열교환기 설치 기술 중 신뢰성이 높은 방식이나 경우 다른 방식에 비해 설치비가 가장 많이 투입되는 방식중의 하나이다.

헬리칼 수직형 지중열교환기 기술은 기존의 U자 형태의 PE관 지중열교환기 파이프보다 높은 열전달 효과 일으켜 주워 지중열교환기 매설 면적 및 깊이를 줄일 수 있는 기술이다. 기존의 수직 밀폐형 지중열교환기는 시스템의 1RT 용량 기준으로 대략 50m의 지중루프가 필요하였으나 헬리컬형 수직형 지중열교환기는 시스템의 5RT 용량 기준으로 약 100m의 지중열교환기가 필요하며 기존의 지중열교환기에 비해 시공시 큰 잇점을 가지고 있다.

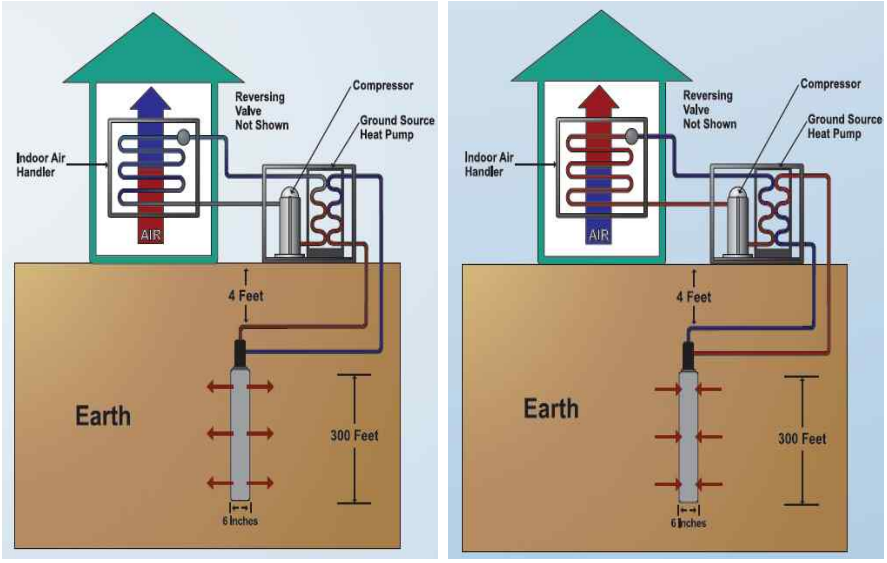
[그림 132]는 헬리컬 수직형 지중열교환기의 세부 개략도를 나타낸 것으로 내부튜브에는 헬리컬 형태의 난류 생성 핀이 달여 있고 열전달 외부튜브는 열전달 촉진 그라우트 혼합물로 싸여 보어홀에 삽입으로 되어있다. 작동유체는 헬리컬 형태의 봉 내부로 들어가서 봉 끝단부의 마감형 캡에 도달하여 헬리컬 수직형 지중열교환기 외부 튜브와 헬리컬 형태의 봉 사이를 통과하여 나오게 된다. [그림 133]은 헬리칼 수직형 지중열교환기 실제 모습이며 [그림 133]은 헬리칼 수직형 지중열교환기를 이용한 지열히트펌프 시스템의 냉·난방 개략도를 나타였다.



< 헬리컬 수직형 지중열교환기 모식도 >



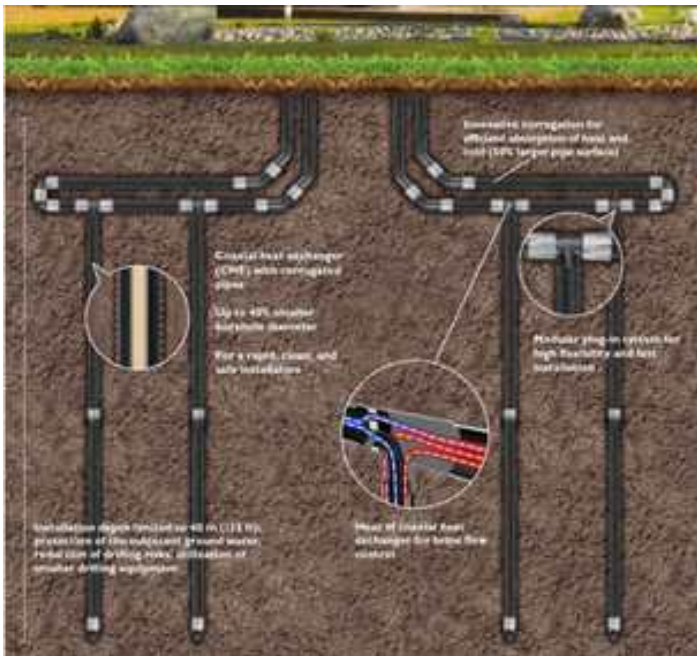
< 헬리칼 수직형 지중열교환기 실제모습 >



< 헬리컬 수직형 지열히트펌프 시스템 냉·난방 개략도 >

나. Coaxial 타입 지중열교환기

[그림 135]는 coaxial 형태의 지중열교환기를 보여주는 그림이다. 특징으로는 모듈 형태로 디자인되어 가장 효율적 조건에서 설치가 용의하도록 되어 있다. Plug-in 커넥션으로 설치가 간단하여 설치비용이 절감된다. 구성은 2중의 내부와 외부 파이프로 구성되며 내부 파이프는 브라인은 최고 40m 까지 지중으로 보내며 외부관을 통해 다시 지상으로 유동하면서 지중과 열교환하며 외부 관의 튜브는 coaxial 형태로 면적을 최대화하고 또한 난유를 발생시켜 열전달 효과를 10%이상 증가시키는 기술이다.



< Coaxial 타입 지중열교환기 >



< Coaxial 타입 지중열교환기 커넥션 >



< Coaxial 타입 외부 튜브 >

다. Geo Lake 열교환기

[그림 138]은 지표수나 우물, 호수등 다양한 열원을 이용 용의하게 지열시스템의 지중열교환기로 사용 가능한 열교환기이다. 매우 간단한 구조 및 설치가 용의하며 친환경적인 열교환기 기술이다.



< Lake Heat exchanger >

제 2절. 저에너지 친환경 공동주택의 모델 구축기술 개발

1. 저에너지 친환경 공동주택 통합설계, 공간건축사무소

(1) 미국

① 미국의 여러 주(州)에서 그린빌딩 프로그램과 관련 인센티브 제도를 시행하고 있으며 특히 에너지 소비량 절감에 관련된 인센티브 제도는 대부분의 주(州)에서 시행하고 있다. 몇몇 주(州)의 인센티브 제도의 내용을 간단하게 살펴보면 다음과 같음.

② Oregon 州의 'Oregon Programs' : 일반건물에 비해 최소 20%의 에너지 효율이 향상된 건물에 대해 Silver LEED 기준을 충족하는 건물은 ft2당 $14.29 지급함.

③ New York 州의 'Green Building Tax Credit Program' : 20,000 ft2이상의 상업건물과 주거건물에 대해 에너지 효율과 환경친화적인 재료이용의 증가, 실내 공기질의 향상을 포함한 그린빌딩의 디자인과 시공에 관련된 세금을 공제해 줌

④ Seattle 의 'LEEDTM Seattle Incentive Program' : USGBC에 등록되어 최소한 LEEDTM "Certified" 등급을 획득한 건물로서 LEEDTM "Certified" 등급을 획득한 프로젝트에 대해서는 최소 $15,000, LEEDTM "Silver" 등급을 획득한 프로젝트는 $20,000 지급함.

⑤ Maryland 州의 'Green Building Tax Credit' : 건물의 공용부분에 대해 ft2당 $120, tenant space를 구성하는 부분에 대해 ft2당 $60의 세금감면을 해주며 전체건물, 연료전지, 태양광발전 모듈, 풍력발전의 요소를 고려함

⑥ Massachusetts 州의 'Green Building Initiative : 모든 유형의 그린빌딩에서 재생에너지의 기술의 계획과 시공에 자금을 지원하기 위한 경쟁수상제도를 시행하고, 프로젝트 당 $500,000까지 지급되는 Design And Construction Grants는 재생가능한 에너지기술의 비용과, 그린빌딩의 신축이나 주요 리노베이션 혹은 개보수 프로젝트에서 재생가능한 에너지와 에너지 효율과 관련하여 지원함

(2) 영국

① 1990년대 초반부터 요소기술의 개발과 아울러 각종 기준을 개발·보급하고 있음.

② 영국 건축연구소(BRE) 주도로 BREEAM이라는 등급 평가기준을 만듬.

③ BRE내에 The Environmental Building, INTEGREEN 시범주택이라는 대표적 그린빌딩 외에 수많은 사례가 있으며 BRE가 이 기술의 개발·보급에 중추적 역할을 하고 있음.

④ 세계 각국이 BREEAM을 기본으로 하여 각자의 나라사정에 맞는 기준을 개발 하고 있음.

⑤ 설계자 리스트, 자재 리스트, 기술 핸드·북, 가이드·북이 보급되고 있고 국가차원에서 이의 건축을 권장하고 있음.

(3) 캐나다

① 1993년에 만들어진 C-2000 Program을 필두로 BEPAC이라는 등급평가기준을 갖고 있음.

② CANMET가 기술개발, 보급을 선도하고 있으며 Green Building Challenge는 국가별 평가기준을 국제적으로 상호 검토·비교·통합하는 국제행사로서 매 2년마다 개최되고 있음.

③ 1998년 카나다 밴쿠버에서 1회 대회, 2000년 10월 네덜란드에서 2회 대회가 개최되었으며 3회 대회는 2002년 노르웨이 오슬로에서 개최됨.

④ GBC(Green Building Challenge)는 건물의 환경성능을 평가하는 새로운 방법을 개발시험하고 있는 국제 컨소시엄으로 현재 미국, 캐나다, 영국, 일본, 프랑스 등을 포함한 20개국 이상이 참여하고 있고, 환경 친화적 건물(그린빌딩)을 장려, 보급하기 위해 건물환경성능 평가 시스템인 GBTool(Green Building Assessment Tool)을 개발하였음.

⑤ BREEAM/NA를 개발 중에 있으며 기타는 영국과 유사한 상황임

(4) 일본

① 일본은 주거용 기준인 환경공생 주택기준을 시행하고 있고 비주거용 그린빌딩 등급기준을 개발하였으며, 국토교통성의 지원하에 산.관.학의 공동프로젝트로서 CASBEE (Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency)의 1차 개발이 완료되었음.

2. 저에너지 친환경 공동주택 적용성평가 및 모델구축, 대림산업

가. 영국-탄소제로주택 시나리오

Scenarios for achieving the Energy Saving Trust 100% and zero carbon emission solutions

(1) Detached house(104㎡) scenarios

Detached house (104m²) scenarios

			Typical building regulations scenario	Energy Saving Trust 100% and zero carbon solutions							
				Gas boiler with solar water heating		Biomass boiler		Heat pump		Communal gas CHP	
				100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon
Fabric U-values W/m²K	Roof		0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	Walls		0.30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Ground floor		0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Windows		1.90	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70
	Doors		2.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	y-value		0.08 (accredited)	0.04		0.04		0.04		0.04	
Ventilation	Airtightness m³/(hr.m²)		7.0	3.0		3.0		3.0		3.0	
	Mechanical Ventilation		Extractor fans	MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power	
Heating	Boiler		Gas condensing 90%, boiler interlock	Gas condensing 90%, boiler interlock		Wood pellet, independent boiler 86%		Electric ground to water heat pump		Gas CHP, 75%	
	Controls		Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves	Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves, weather or load compensator		Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves		Programmer and at least 2 room thermostats		Flat rate charging, programmer, room thermostat and thermostatic radiator valves	
	Water heating		160 litre cylinder, 50mm insulation	160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation	
	Secondary heating		Electric heaters	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a
Renewables	Solar water heating		n/a	Solar water heating 4m²		n/a		n/a		Solar water heating 4m²	
	Photovoltaic (kWp)		n/a	2.90	5.30	1.75	3.95	3.60	5.95	2.90	5.35
Lighting			30%	100%		100%		100%		100%	
CO_2	100% (Level 5)	TER	23.76	23.76		23.76		33.73*		23.76	
		DER	23.46	-0.12		-0.20		-0.10		-0.19	
		Improvement	**1.3%**	**100.00%**		**101.00%**		**100.00%**		**101.00%**	
	Level 6 only	**Actual emissions**		-1.65		-2.22		-1.82		-1.42	
		Level 6 offset		12.24		12.24		12.24		12.24	
		Final DER		-10.59		-10.02		-10.42		-10.82	
Energy efficiency rating			80 (C)	97 (A)	112 (A)	85 (B)	95 (A)	102 (A)	114 (A)	101 (A)	112 (A)
Environmental impact rating			79 (C)	99 (A)	112 (A)	102 (B)	112 (A)	102 (A)	112 (A)	101 (A)	112 (A)
Running costs (£/yr)			263	69	-107	210	98	4	-124	27	-108

*Here the TER has changed because the heating fuel for this option has different fuel factor in the building regulations

(2) Detached house(89㎡) scenarios

Semi-detached house (89m²) scenarios

		Typical building regulations scenario	Energy Saving Trust 100% and zero carbon solutions							
			Gas boiler with solar water heating		Biomass boiler		Heat pump		Communal gas CHP	
			100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon
Fabric U-values W/m².K	Roof	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	Walls	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Ground floor	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Windows	1.90	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70
	Doors	2.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	y-value	0.08 (accredited)	0.04		0.04		0.04		0.04	
Ventilation	Airtightness m³/(hr.m²)	7.0	3.0		3.0		3.0		3.0	
	Mechanical Ventilation	Extractor fans	MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power	
Heating	Boiler	Gas condensing 90%, boiler interlock	Gas condensing 90%, boiler interlock		Wood pellet, independent boiler 86%		Electric ground to water heat pump		Gas CHP, 75%	
	Controls	Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves	Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves, weather or load compensator		Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves		Programmer and at least 2 room thermostats		Flat rate charging, programmer, room thermostat and thermostatic radiator valves	
	Water heating	160 litre cylinder, 50mm insulation	160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation	
	Secondary heating	Electric heaters	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a
Renewables	Solar water heating	n/a	Solar water heating 4m²		n/a		n/a		Solar water heating 4m²	
	Photovoltaic (kWp)	n/a	2.75	5.25	1.60	4.20	2.40	5.00	2.50	5.10
Lighting		30%	100%		100%		100%		100%	
CO_2	100% (Level 5) TER	23.00	23.00		23.00		32.60*		23.00	
	100% (Level 5) DER	22.69	-0.19		-0.01		-0.03		-0.17	
	100% (Level 5) Improvement	**1.3%**	**101.00%**		**100.00%**		**101.00%**		**101.00%**	
	Level 6 only **Actual emissions**		-1.68		-1.31		-1.28		-1.38	
	Level 6 only **Level 6 offset**		13.46		13.46		13.46		13.46	
	Level 6 only **Final DER**		-11.78		-12.15		-12.18		-12.08	
Energy efficiency rating			101 (A)	113	94 (A)	106	97 (A)	109	100 (A)	112
Environmental impact rating			102 (A)	112	101 (A)	112	101 (A)	112	101 (A)	112
Running costs (£/yr)			21	-98	99	-23	60	-64	32	-89

*Here the TER has changed because the heating fuel for this option has different fuel factor in the building regulations

(3). Detached house(79㎡) scenarios

Mid-terrace house (79m²) scenarios

		Typical building regulations scenario	Energy Saving Trust 100% and zero carbon solutions							
			Gas boiler with solar water heating		Biomass boiler		Heat pump		Communal gas CHP	
			100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon
Fabric U-values W/m².K	Roof	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	Walls	0.30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Ground floor	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Windows	1.90	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70
	Doors	2.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	y-value	0.08 (accredited)	0.04		0.04		0.04		0.04	
Ventilation	Airtightness m³/(hr.m²)	7.0	3.0		3.0		3.0		3.0	
	Mechanical Ventilation	Extractor fans	MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power	
Heating	Boiler	Gas condensing 90%, boiler interlock	Gas condensing 90%, boiler interlock		Wood pellet, independent boiler 86%		Electric ground to water heat pump		Gas CHP, 75%	
	Controls	Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves	Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves, weather or load compensator		Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves		Programmer and at least 2 room thermostats		Flat rate charging, programmer, room thermostat and thermostatic radiator valves	
	Water heating	140 litre cylinder, 50mm insulation	160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation		160 litre cylinder, 80mm insulation	
	Secondary heating	Electric heaters	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a
Renewables	Solar water heating	n/a	4m²		n/a		n/a		4m²	
	Photovoltaic (kWp)	n/a	2.35	4.75	1.45	3.75	2.25	4.65	2.25	4.65
Lighting		30%	100%		100%		100%		100%	
CO_2	100% (Level 5) TER	21.32	21.32		21.32		30.13*		21.32	
	100% (Level 5) DER	21.04	-0.18		-0.18		-0.16		-0.19	
	100% (Level 5) Improvement	**1.3%**	**101.00%**		**101.00%**		**101.00%**		**101.00%**	
	Level 6 only **Actual emissions**		-1.66		-1.97		-1.47		-1.47	
	Level 6 only **Level 6 offset**		14.28		14.28		14.28		14.28	
	Level 6 only **Final DER**		-12.62		-12.31		-12.81		-12.81	
Energy efficiency rating			101 (A)	113 (A)	88 (B)	99 (A)	97 (A)	109 (A)	101 (A)	113 (A)
Environmental impact rating			101 (A)	113 (A)	102	112 (A)	101 (A)	112 (A)	101 (A)	113 (A)
Running costs (£/yr)			24	-87	163	53	58	-57	28	-87

*Here the TER has changed because the heating fuel for this option has different fuel factor in the building regulations

(4) Detached house(61㎡) scenarios

Four-storey flats (61m²) scenarios

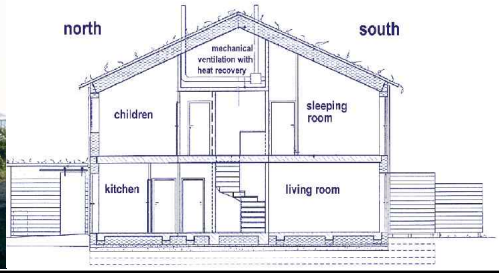
		Typical building regulations scenario	Energy Saving Trust 100% and zero carbon solutions							
			Electric		Communal biomass boiler		Communal heat pump		Communal gas CHP	
			100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon	100%	Zero carbon
Fabric U-values W/m²K	Roof	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	Walls	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Ground floor	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Windows	1.20	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.70
	Doors	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	y-value	0.08 (accredited)	0.04		0.04		0.04		0.04	
Ventilation	Airtightness m³/(hr.m²)	7.0	3.0		3.0		3.0		3.0	
	Mechanical Ventilation	Extractor fans	MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power		MVHR 85% efficiency, 1W /(l.s) specific fan power	
Heating	Boiler	Electric storage heaters, integrated storage/direct acting	Electric storage heaters		Communal wood pellet boiler 86%		Electric ground to water heat pump		Gas CHP, 75%	
	Controls	Automatic charge control	Programmer, room thermostat		Programmer, room thermostat, thermostatic radiator valves		Programmer and at least 2 room thermostats		Flat rate charging, programmer, room thermostat and thermostatic radiator valves	
	Water heating	Electric immersion	140 litre cylinder, 80mm insulation		140 litre cylinder, 80mm insulation		140 litre cylinder, 80mm insulation		140 litre cylinder, 80mm insulation	
	Secondary heating	Electric heaters	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a	Electric	n/a
Renewables	Solar water heating	n/a	Solar water heating 4m²		n/a		n/a		Solar water heating 4m²	
	Photovoltaic (kWp)	n/a	3.35	5.25	1.10	3.10	1.90	3.90	1.30	3.35
Lighting		30%	100%		100%		100%		100%	
CO_2	100% (Level 5) Aggregate TER	31.75	31.75		22.42		31.74*		22.42	
	100% (Level 5) Aggregate DER	31.21	-0.25		-0.12		-0.11		-0.06	
	100% (Level 5) Aggregate % improvement	**1.70**	**100.80%**		**100.55%**		**100.35%**		**100.30%**	
	Level 6 only **Actual emissions**		-1.55		-1.59		-1.64		-1.52	
	Level 6 only **Level 6 offset**		15.50		15.50		15.50		15.50	
	Level 6 only **Final DER**		-13.95		-13.91		-13.86		-13.98	
Energy efficiency rating			85	108	87	104	87	109	88	106
Environmental impact rating			90	112	94	112	91	112	96	112
Running costs (£/yr)			160	-31	142	58	142	-45	136	-13

*Here the TER has changed because the heating fuel for this option has different fuel factor in the building regulations

나. 유럽-패시브하우스 기술 사례자료

CEPHEUS 01 독일, Hannover-Kronsberg





프로젝트 개요	
위치	D-30539 하노버, 독일
개발자/건축주	Rasch & Partner GmbH, Dipl.-ing. F. Rasch, Darmstadt
건축가	Dipl.-ing. Arch. P.Grenz, Dipl.-ing. F. Rasch
엔지니어	inPlan GmbH
시공기간	1998. 1 ~ 1998. 12
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주
세대수	32세대
건축면적	3805㎡
Construction	
건물구조	내력구조, 박공벽: Prefab.콘크리트 외벽 및 지붕 : Prefab. 경량목재
창호사양	3중 로이 유리, TSET: 60%, 우드-알루미늄(단열)적용
열관류율(W/㎡K)	경량목재벽체: 0.13, 박공벽: 0.10, 측면 테라스 지하천장: 0.10 중간 테라스 지하천장: 0.13, 지붕: 0.10, 유리: 0.75, 창호프레임: 0.57, 전체창호: 0.83
Building Service	
난방	보조 대류난방 및 욕실 라디에이터, 지역난방공급
환기	전열교환환기시스템
급탕	태양열급탕(집열기면적 4㎡, 300리터 저장탱크, 태양열 50% 담당)
Energy Parameters	
난방면적	Jangster de Lux house type: 119.5㎡ Jangster house type: 97㎡ 123 house type: 75㎡
난방에너지(실측)	15.3 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	11.8 kWh/㎡a

CEPHEUS 02 독일, Kassel





프로젝트 개요	
위치	D-34131 카셀, 독일
건축주	GWG
건축가	Lot1: Hegger/Hegger/Schleif(HHS) Lot2: Schneider 교수 댤
엔지니어	Klute & Klute InnovaTec Energiesysteme GmbH, Kassel
시공기간	1999.4~2000.6
건물형태	공동주택
사용형태	임대주택
세대수	40세대(Lot1: 23, Lot2: 17)
건축면적	3164㎡
Construction	
시공형태	리모델링(외벽 외단열시스템 보강)
창호사양	3중 로이 유리, TSET: 42%, 단열보강 PVC프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.13, 지하천장: 0.11, 지붕: 0.11, 유리: 0.6, 창호프레임: 0.8, 전체창호: 0.82
Building Service	
난방	보조 대류난방 및 욕실 라디에이터, 지역난방공급
환기	전열교환기 중앙식, 환기분배장치 개별식
급탕	중앙급탕(800리터 저장탱크, 지역열원을 통한 열공급)
Energy Parameters	
난방면적	Lot1: 1802㎡/ Lot2: 1253㎡ 댤
난방에너지(실측)	Lot1: 15.1 kWh/㎡a(연간 측정 후 보간) Lot2: 모니터링 X
난방에너지(계산)	Lot1: 13.4 kWh/㎡a Lot2: 15.0 kWh/㎡a

CEPHEUS 03 스웨덴, Gothenburg



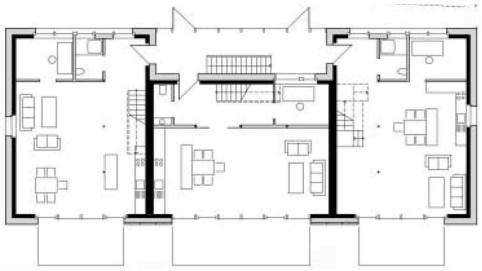
프로젝트 개요	
위치	S-427 42 Bildal
개발자/건축주	Egnahemsbolaget, Gothenburg
건축가	EFEM arkitektkontor, Arch. Hans Eek, Gothenburg
엔지니어	Bengt Dahlgren AB, Gothenburg
시공기간	1999.12 ~ 2001.5
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주
세대수	20세대
건축면적	2704㎡
Construction	
시공형태	목구조
창호사양	복층 로우코팅, TEST 40%, 우드프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.08, 바닥: 0.09, 지붕: 0.07, 유리: 0.7 창호전체: 0.88
Building Service	
난방	전기히터
환기	전열교환환기시스템
급탕	태양열급탕(집열기면적 5㎡, 500리터 저장탱크/가구당)
Energy Parameters	
난방면적	2635㎡
난방에너지(실측)	모니터링 중
난방에너지(계산)	12.4 kWh/㎡a

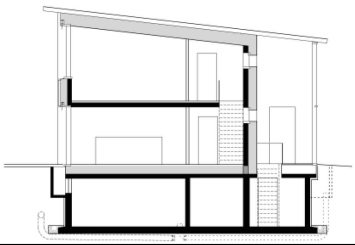
CEPHEUS 04 오스트리아, Egg




프로젝트 개요	
위치	A-6863 Egg, Vorarlberg, Austria
개발자/건축주	Kohler Wohnbau GmbH, Andelsbuch
건축가	Fink & Thurnher, Bregenz
엔지니어	Michael Gutbrunner, Dornbirn
시공기간	1999.12 ~ 2000.9
건물형태	다세대 주택
사용형태	주인 직접거주
세대수	4
건축면적	400㎡
Construction	
시공형태	조적조(외단열시스템)
창호사양	3중 로이 유리, TEST 53%, 우드프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.12, 바닥: 0.14, 지붕: 0.10, 유리: 0.7, 창호프레임: 1.25 창호전체: 0.85
Building Service	
난방	지중덕트 이용 외기예열, 히트펌프 이용 바닥난방
환기	전열교환환기시스템
급탕	태양열급탕(집열기면적 35㎡, 1000리터 저장탱크 2EA)
Energy Parameters	
난방면적	310㎡
난방에너지(실측)	24.5 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	15.7 kWh/㎡a

CEPHEUS 05 오스트리아, Horbranz



프로젝트 개요	
위치	A-6912 Horbranz, Vorarlberg, Austria
개발자/건축주	Hofer/Ostele/Amann
건축가	Ing. Richard Caldonazzi, Frastanz
엔지니어	Ing. Christof Drexel, Bregenz
시공기간	1998.10 ~ 1999.6
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주
세대수	3
건축면적	394㎡
Construction	
시공형태	조적조(외단열시스템)
창호사양	3중 로이 유리, TEST 47%, 우드프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.10, 바닥: 0.11, 지붕: 0.09, 유리: 0.6, 창호프레임: 1.12 창호전체: 0.83
Building Service	
난방	지중덕트 이용 외기예열, 수/공기 방식 열교환에 의한 보조히터백업장치로 히트펌프 또는 가스보일러
환기	전열교환환기시스템
급탕	facade 통합 태양열급탕(집열기면적 18㎡/세대당, 3000리터 저장탱크 1EA)
Energy Parameters	
난방면적	381 ㎡
난방에너지(실측)	7.5 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	13.8 kWh/㎡a

CEPHEUS 06 오스트리아, Wolfurt




프로젝트 개요	
위치	A-6922 Wolfurt, Vorarlberg, Austria
개발자/건축주	Errichtergemeinschaft Passivhaus Wolfurt-Oberfeld
건축가	Dipl.-Ing. Gerhard Zweier, Wolfurt
엔지니어	GMI, Dornbirn & Ing. Christof Drexel, Bregenz
시공기간	1998.10 ~ 1999.6
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주
세대수	3
건축면적	394㎡
Construction	
시공형태	조적조(외단열시스템)
창호사양	3중 로이 유리, TEST 47%, 우드프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.10, 바닥: 0.11, 지붕: 0.09, 유리: 0.6, 창호프레임: 1.12 창호전체: 0.83
Building Service	
난방	지중덕트 이용 외기예열, 수/공기 방식 열교환에 의한 보조히터 백업장치로 히트펌프 또는 가스보일러
환기	전열교환환기시스템
급탕	facade 통합 태양열급탕(집열기면적 18㎡/세대당, 3000리터 저장탱크 1EA)
Energy Parameters	
난방면적	381 ㎡
난방에너지(실측)	7.5 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	13.8 kWh/㎡a

CEPHEUS 06 오스트리아, Dornbirn




프로젝트 개요	
위치	A-6850 Dornbirn, Vorarlberg, Austria
개발자/건축주	Fussenegger & Rummele Gmbh, Dornbirn
건축가	Gotzis
엔지니어	Drexel GmbH, Bregenz
시공기간	1999.4 ~ 1999.10
건물형태	단독주택
사용형태	전시용 주택
세대수	1
건축면적	124.6㎡
Construction	
시공형태	RC조 천장의 철골구조, Prefab. 경량 목조벽
창호사양	3중 로이 유리, TEST 53%, 우드프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽1: 0.12, 외벽2: 0.09, 바닥: 0.14, 지붕: 0.10, 유리: 0.70, 창호프레임: 1.5 창호전체: 0.89
Building Service	
난방	지중덕트 이용 외기예열, 환기통합 공기/수 방식 히트펌프 백업장치로 히트펌프 또는 가스보일러
환기	전열교환환기시스템
급탕	태양열급탕(집열기면적 6㎡190리터 저장탱크는 통합환기시스템에 내장)
Energy Parameters	
난방면적	125 ㎡
난방에너지(실측)	33.2 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	19.7 kWh/㎡a

CEPHEUS 08 오스트리아, Gnigl





프로젝트 개요	
위치	A-5020 Salzburg-Gnigl, Salzburg, Austria
개발자/건축주	Heimat Osterreich, Salzburg
건축가	Atelier 14, Mag. Erich Wagner, Mag. Walter Scheicher, Salzburg
엔지니어	Eco Energie-systeme, Dornbirn/ Energie und Bau Institut
시공기간	1999.11 ~ 2000.9
건물형태	다세대 주택
사용형태	정부지원 주택
세대수	6
건축면적	332㎡
Construction	
시공형태	RC조, 경량벽체
창호사양	3중 로이 유리 크립톤 충진, TEST 47%, 우드-알루미늄프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.11, 바닥: 0.13, 지붕: 0.10, 유리: 0.60, 창호프레임: 0.8 창호전체: 0.77
Building Service	
난방	중앙난방 3200리터 저장탱크(펠릿 보일러와 태양열)
환기	전열교환환기시스템
급탕	펠릿 보일러와 태양열급탕(중앙식)
Energy Parameters	
난방면적	328㎡
난방에너지(실측)	25.7 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	24.0 kWh/㎡a

CEPHEUS 09 오스트리아, Kuchl




프로젝트 개요	
위치	A-5431 Kuchl, Salzburg, Austria
개발자/건축주	Spiluttini Bau GmbH, Schwarzach
건축가	Bau Sparer Heim Siedlungsgemeinschaft, Salzburg
엔지니어	Team Pongau 3/ Dipl.-Ing. Erich Six
시공기간	1999.6 ~ 2000.6
건물형태	다세대 주택
사용형태	정부지원 주택
세대수	25
건축면적	1818㎡
Construction	
시공형태	RC조 천장 철기둥, 경량벽체
창호사양	3중 로이 유리, TEST 50%, 우드-알루미늄프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.13, 바닥: 0.15, 지붕: 0.10, 유리: 0.70, 창호프레임: 0.73 창호전체: 0.80
Building Service	
난방	우드펠릿 보일러와 태양열 집열판(75㎡), 3000리터 저장탱크
환기	전열교환환기시스템
급탕	중앙버퍼탱크 및 세대별 150리터 저장탱크
전기	PV(300Wp)
Energy Parameters	
난방면적	1798㎡
난방에너지(실측)	14.3 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	15.1 kWh/㎡a

CEPHEUS 10 오스트리아, Hallein





프로젝트 개요	
위치	A-5400 Hallein, Salzburg, Austria
개발자/건축주	Experta Wohnbau-GmbH
건축가	Otmar Essl, Hallein
엔지니어	Erich Pusterhofer, Furstenbrunn Dipl.-Ing. Lukas & Dipl.-Ing. Fischer, Salzburg-Wals
시공기간	1999.10 ~ 2000.12
건물형태	다세대 주택
사용형태	주인 직접거주
세대수	31
건축면적	2335㎡
Construction	
시공형태	철골기둥에 목재프레임, 단열두께 380mm(EPS & 암면)
창호사양	3중 로이 유리, TEST 53%, 폴리우레탄폼 충진 PVC 창호
열관류율(W/㎡K)	외벽1: 0.11, 외벽2: 0.16, 바닥: 0.11, 지붕: 0.11, 유리: 0.70, 창호프레임: 0.75 창호전체: 0.79
Building Service	
난방	우드펠릿 보일러와 태양열 집열판(120㎡), 5000리터 저장탱크를 이용한 중앙식 저온난방방식
환기	전열교환환기시스템
급탕	우드펠릿 보일러와 태양열 집열판
Energy Parameters	
난방면적	2318㎡
난방에너지(실측)	모니터링 중
난방에너지(계산)	13.9 kWh/㎡a

CEPHEUS 11 오스트리아, Horn






프로젝트 개요	
위치	A-3580 Horn, Lower Austria
건축주	Buhl Bauunternehmens GmbH
건축가	Dr. Dipl.-Ing. Martin Treberspurg, Vienna
엔지니어	Dipl.-Ing. Wilhelm Hofbauer, Vienna
시공기간	1999.4 ~ 2000.3
건물형태	단독주택
사용형태	주인 직접거주
세대수	1
건축면적	179㎡
Construction	
시공형태	남: 셀룰로즈 단열재와 목재, 동,서,북: 조적
창호사양	3중 로이 유리, TEST 53%, 우드프레임 창호
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.10, 바닥: 0.13, 지붕: 0.09, 창호전체: 0.80
Building Service	
난방	지중 열교환기에 의한 예열, 우드펠릿 오븐과 태양열 집열판(10㎡), 800리터 저장탱크를 이용한 난방방식
환기	전열교환환기시스템
급탕	우드펠릿 오븐과 태양열 집열판(200리터)
Energy Parameters	
난방면적	173㎡
난방에너지(실측)	29.0 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	16.2 kWh/㎡a

CEPHEUS 12 오스트리아, Steyr




프로젝트 개요	
위치	A-4407 Steyr-dietach, Upper Austria
건축주	Procon Gesellschaft fur Dort- and Regionalentwicklung, Dietach
건축가	Procon, Ing. Ganglberger, Dietach
엔지니어	Energie-Institu, G Baumgartner, P. Hausdorfer, Linz
시공기간	1999.9 ~ 2000.2
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주 및 임대
세대수	3
건축면적	512㎡
Construction	
시공형태	Sand-lime 벽돌에 외단열시스템
창호사양	3중 로이 유리, TEST 53%, 폴리우레탄 충진 PVC 창호
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.13, 바닥: 0.12, 지붕: 0.09, 유리: 0.70, 창호프레임: 0.75창호 전체: 0.77
Building Service	
난방	지중 열교환기에 의한 예열, 가스보일러과 태양열 집열판(5.4㎡), 390리터 저장탱크를 이용한 대류난방
환기	전열교환환기시스템
급탕	가스보일러와 태양열 집열판(390 리터)
Energy Parameters	
난방면적	467㎡
난방에너지(실측)	18.1 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	12.3 kWh/㎡a

CEPHEUS 13 스위스, Nebikon





프로젝트 개요	
위치	CH-6244 Nebikon, 루체른, 스위스
시공기간	1999.5 ~ 1999.11
건물형태	테라스 하우스
사용형태	주인 직접거주
세대수	5
건축면적	641㎡
Construction	
시공형태	목조주택
창호사양	3중 로이 유리, TEST 42%, 우드알루미늄 프레임
열관류율(W/㎡K)	외벽: 0.11, 바닥: 0.11, 지붕: 0.11, 유리: 0.60, 창호프레임: 1.20창호전체: 0.88
Building Service	
난방	지중 열교환기에 의한 예열, 팩키지형 통합 냉난방 환기시스템
환기	전열교환환기시스템
급탕	팩키지형 통합 냉난방 환기시스템
Energy Parameters	
난방면적	613㎡
난방에너지(실측)	21.0 kWh/㎡a
난방에너지(계산)	15.0 kWh/㎡a

다. 최근 패시브 하우스 사례 (1)




• 리모델링 주택(1961, 2006, Nurnberg)

• 개수전 에너지소비량 : 167 kWh/㎡・a

• 개수후 에너지소비량 : 29 kWh/㎡・a

• 난방면적 : 186 ㎡

• 공사비용 : 1236 Euro/㎡(전면개보수)




• 신축단독주택(2006, Nurnberg)

• 에너지소비량 : 14.9 kWh/㎡・a

• 난방면적 : 115 ㎡

• 공사비용 : 1374 Euro/㎡

라. 최근 패시브 하우스 사례 (2)




• 리모델링 주택(1982, 2007, Nurnberg)

• 개수전 에너지소비량 : 105 kWh/㎡・a

• 개수후 에너지소비량 : 27 kWh/㎡・a

• 난방면적 : 268 ㎡

• 공사비용 : 300 Euro/㎡(부분개보수)




• 신축단독주택(2007, Kerbach/Forchheim)

• 에너지소비량 : 14.9 kWh/㎡・a

• 난방면적 : 215 ㎡

• 공사비용 : 1307 Euro/㎡

마. 최근 미네기 하우스, Minergie House 사례

	
	
• 신축공동주택(2002, Zurich) • 에너지소비량 : 14.0 kWh/㎡・a • 난방면적 : 1384 ㎡(6세대) • 공사비용 : 630 CHF(스위스프랑)/㎥ • 스위스 최초의 제로에너지 공동주택 • 2002년 유러피안 Solar Prize 수상 • Minergie ZH-305인증	• 신축오피스건물(2007, Kemptthal) • 에너지소비량 : 7.8 kWh/㎡・a • 바닥면적 : 1452 ㎡ • 공사비용 : 565 CHF(스위스프랑)/㎥ • 스위스 최초의 제로에너지 오피스 빌딩 • 2007년 스위스 Solar Prize 수상 • Minergie-P-ECO인증



< 설치 사진 >

제 7장. 참고문헌

1. 통합성능평가, 연세대학교

- http://www.iea.org/Textbase/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=29, International Energy Agency
- Architects and Climate Change, AIA, 2008
- http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=634
- 에너지통계연보, 에너지경제연구원, 2008
- 국내외 에너지 정세와 정책과제, 에너지경제연구원, 2007
- 공동주택 에너지 소비량 및 거주자라이프스타일 현황조사, 삼성건설, 2010
- 저에너지 공동주택에 대한 에너지 절감율 및 에너지 효율등급 산정에 관한 연구, 2007
- 권오현, Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀도 실측 사례 분석, 대한건축학회, 2010
- 건설교통부, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙
- 이정재, 공동주택 전열교환 환기시스템의 에너지 절약적 외기도입 운전제어 방안에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2009
- 정창호, 공동주택에서 바닥 복사냉방 적용을 위한 제습시스템 유형 선정 절차에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2007
- 박미지, 외기조건변화에 따른 전열교환 환기유니트용 열교환소자의 열교환 성능예측에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2008
- 김선숙, 외기조건에 따른 열회수형 환기시스템의 성능평가, 대한건축학회 논문집, 2008
- 구보경 외 3인, 내외단열 공동주택의 축열체 위치 차이에 따른 동단위 연간 냉난방부하 비교평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2010
- 정창헌 외 3인, 이중창호의 하절기 냉방부하 저감 가능성에 대한 기초적 연구, 대한건축학회논문집계획, 2010.
- 김윤지 외 4인, 초고층 공동주택 발코니 확장에 따른 창호시스템별 냉방부하 분석 및 비교, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2008
- 윤성환 외 3인, 동적열부하계산을 통한 공동주택 창호 단열사양에 따른 냉난방부하 절감효과 분석, 한국건축친환경설비학회 논문집, 2008
- 최욱 외 4인, 창호 종류별 공동주택의 냉난방부하 검토, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, 2003

2. 모세유관 바닥복사 냉난방 시스템의 성능평가, 연세대학교

- 김용이, 온돌을 이용한 바닥복사냉방의 제어성능에 관한 실험적 연구, 2001
- 조영흠, 공동주택 현장실험을 통한 바닥복사냉방의 성능평가, 2004

- 이영주, 폴리프로필렌 모세유관 시스템의 냉방성능에 관한 실험적 연구, 2004
- 이영주, 폴리프로필렌 모세유관 냉방시스템의 적용에 관한 실험적 연구, 2005
- 이주연, 천장복사냉방의 온열쾌적성 평가에 관한 연구, 2008
- B. W. Oelsen, International standards for the indoor environment, 2004
- S.B. Leigh, A Study for Evaluating Performance of Radiant Floor Cooling Integrated with Controlled Ventilation, 2005
- DOE, 2009 Buildings Energy Data Book, 2009.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE, 2005.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2000.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2004.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2008.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, 2005.
- ASHRAE, ASHRAE Standard 55-1992 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 1992.
- Olesen(1997)'Possibilities and limitations of radiant floor cooling.',ASHRAE Transaction V.103,
- Olesen(2000)'Heat Exchange coefficient between floor surface and space by floor cooling theory or a question of definition.',ASHRAE Transaction pp. 1-11.
- CEN, EN 1264 Floor heating - Systems and components-Part 3: Dimensioning, CEN, 1997
- CEN, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 1: Floor heating - Systems and components-Part 1:Definitions and symbols, p.4, CEN, 1997
- CEN, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 2: Floor heating - Systems and components-Part 2:Definitions of the thermal output p.11, CEN, 1997
- CEN, EN 1264-1: Floor heating: Systems and components - Part 1 : Definitions and symbols, 1999.
- CEN, EN 1264-2: Floor heating: Systems and components - Part 2 : Determination of the thermal output, 1999.
- CEN, EN 1264-3: Floor heating: Systems and components - Part 3 : Dimensioning, 1999.
- CEN, EN 1264-4: Floor heating: Systems and components - Part 4: Installation, 2001.
- CEN, EN 12828: Heating systems in buildings - Design for water based heating systems, 2002.
- CEN, EN 12831: Heating systems in buildings - Method for calculation of the

design heat load, 2002.
- CEN, EN 13202: Ergonomics of the thermal environment - Temperatures of touchable hot surfaces, 1999.
- CEN, EN 563: Safety of machinery - Temperatures of touchable surfaces - Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces, 1999.
- CEN, Guidance for establishing surface temperature limit values in production standards with the aid of EN 563
- CEN, ISO EN 7726: Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities, 1998.
- CEN, ISO EN 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Standards Organization, Geneva, 1994.
- CEN, ISO, International Standard 7730, 1984.
- CEN, ISOTR 13732: Thermal environment - Method for the assessment of humans responses to contact with surfaces. Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperatures, 2002.
- CEN, prEN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 2: 21. Floor heating : Prove methods for the determination of the thermal output of floor heating systems using calculation and test methods, CEN, 2007
- CEN, prEN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 5: Heating and cooling surfaces embeddd in floors, ceilings and walls - Determination of the thermal output, CEN, 2007
- CEN, prEN wi 16, Thermal performance of buildings - Sensible room cooling load calculation - General criteria and validation procedures
- CEN, prEN wi 17, Energy performance of buildings - calculation of energy use for space heating and cooling - General criteria and validation procedures
- CEN, prEN wi 31, Specification of criteria for the internal environment (thermal, lighting, indoor air quality)
- Nordtest, NT vvs 119(Floor heating systems: Acceptance test) - 바닥 난방 시스템의 성능 시험

3. 상변화물질을 적용한 건축자재의 축열성능 평가, 연세대학교

- 건설교통부, 건축물의 에너지절약 설계기준, 2004
- 지식경제부, 고효율성 축열건자재 제조 및 이용기술 개발, 2008
- 전명석, 상변화물질을 이용한 잠열축열 기술, 한국태양에너지학회논문집, 2006
- A. Pasupathy et. al, Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments, Renewable and sustainable energy reviews, 2008

- Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi, PCM thermal storage in buildings: A state of art, Renewable and sustainable energy reviews, 2007
- Kazunobu Sagara, Present Situation of PCM Thermal Energy Storage in Japan, IEA Annex 10, Phase Change Materials and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage First Workshop, 1998
- T. Kuroki, Application of Phase Change Material to Passive Cooling of Apartment House, IEA, ECES IA Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage through Phase Change Materials and Chemical Reactions - Feasibility Studies and Demonstrations, 3rd Workshop, 2002
- Chao Chen et. al, A new kind of phase change material (PCM) for energy-storing wallboard, Energy and Buildings, 2008
- 문현준, EnergyPlus를 이용한 건물에너지 해석 및 BIM 활용, 한국설비기술협회 특집원고, 2009
- ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fun- damentals, ASHRAE, 1993.

4. 그린홈 가이드라인 및 건물부문 중장기로드맵, 연세대학교

- 제 9 호 지역에너지 통계연보 2008, 에너지경제연구원
- 제 27 호 에너지통계연보 2008, 에너지경제연구원
- 2008년 에너지총조사보고서, 에너지경제연구원
- 에너지절약통계 2008, 에너지관리공단
- ""Architecture2030."" May 12 2007.<http://www.architecture2030.org>
- ""Climate Change 2007."" Intergovernmental Panelon Climate Change (IPCC). 2007. November 30, 2007.<http://www.ipcc.ch/>
- Cole, Raymond J. ""Editorial: Building Environmental Assessment: Changing the Culture of Practice.""Building Research and Information, July-August 2006. Volume 34, Number 4, 303-307.
- Cole, Raymond J. ""Shared Markets: Coexisting Building Environmental Assessment Methods.""Building Research and Information, July-August 2006. Volume 34, Number 4, 357-371.
- ""Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis.""Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC: Island Press, 2005.<http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>
- ""Report of the World Commission on Environment and Development."" United Nations General Assembly Resolution 42/187, 1987.
- Roodman, D.M., and N. Lenssen ""A building revolution:how ecology and health concerns are
- transforming construction."" Worldwatch Paper 124. Washington, D.C.: Worldwatch Institute.1995.

5. 친환경 성능향상을 위한 제도개선 및 기존주택의 기존건물 그린홈 활성화 방안 연구, 한국토지주택공사

- 한국토지주택공사, High-Green Home 추진방안 마련 연구, 2009
- 한국토지주택공사, 그린홈활성화를 위한 설계지침 및 지원기준 마련, 2009
- 대한주택공사, 아파트의 소형열병합발전 경제성평가프로그램개발 보고서, 2005
- 대한주택공사, 주택공사비 분석, 2008
- 대한주택공사, 발코니공간의 결로저감 시험시공평가, 2006
- 대한주택공사, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발연구, 2004
- 대한주택공사, 공동주택단지 리모델링 방안 연구, 2001
- 대한주택공사, 현지개량사업의 활성화를 위한 정비수법 및 모델개발, 2006
- 대한주택공사, 미래를 여는 저탄소 녹색성장 이야기, 2009
- 국토해양부, 건축물 에너지절약설계기준, 2008
- 국토해양부, 노후 공동주택의 구조 및 설비성능개선 기술개발(1)
- 환경부, 친환경건축물 인증제도 정보체계 구축 등에 관한 연구, 2007
- 삼각형프레스, 엑셀비밀노트 970, 2002
- 도서출판연학사, 2000 한글엑셀 매크로 실무사례, 2000
- Physibel, CAPSOL Manual , 1998,
- A.F Mills, Heat and Mass Transfer, 1995
- 渡辺要, 建築計劃原論, 1964

6. 인공지반녹화의 생태적 조성지침 개발, 서울대학교

- 권전오(2007),<생태도시 조성을 위한 옥상녹화 활성화 방안>, 인천발전연구원
- 노형진(2006), <SPSS에 의한 조사방법 및 통계분석>, 서울:형설출판사
- 양병이(2003), <인공지반녹화 아카데미 교재>, 서울:도서출판 무지개사
- 이기철·김동필(1992), <최첨단의 녹화기술>, 서울:명보문화사
- 이종성(2006), <델파이 방법>, 서울:교육과학사
- 조현길·조용현(2008), <생태조경계획 및 설계>, 서울:기문당
- 채서일(2005), <사회과학조사방법론>, 서울:비앤엠북스
- 한설그린(2006), <입체녹화에 의한 환경공생>, 서울:보문당
- 건축도시연구정보센터(2001), 『해외사례에서 나타난 생태주거건축계획 방법에 관한연구』
- 건축도시연구정보센터(2007), 『입체녹화를 통한 친환경 건축물 조성』
- 대한주택공사 주택연구소(1995), 『아파트단지내 인공지반 조경녹화방안 연구』
- 서울시정개발연구원(역)(1999). 『환경보전형 도시조성 가이드』(日本 東京都 環境保全局. 環境保全型 都市づくりガイド). 서울시정개발연구원 : 시정연 번역자료 7

- 인천발전연구원(2007), 『생태도시조성을 위한 옥상녹화 활성화 방안』
- 한국건설기술연구원(1998), 『Green Town 개발사업Ⅲ』
- 한국건설기술연구원(2005), 『복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발』
- 한국건설기술연구원(2005), 『환경친화형 인공지반 녹화향상 소재개발』
- 한국건설기술연구원(2008), 『Green Town 개발사업』
- 한국생태환경건축학회(2005), 『친환경주거단지 디자인 매뉴얼』
- Nigel Dunnett(2007), The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: influence of substrate depth, Urban Ecosyst DOI 10.1007/s11252-007-0042-7
- R.T.O'Donoghue(2007), C2-C6 Background Hydrocarbon Concentration Monitored at a Roof Top and Green Park Site, in Dublin City Centre, Environ Monit Assess(2007) 132:491-501
- Timoth Carter(2007), Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems, Journal of Environmental Management 87(2008) 350-363
- 곽규성, 권시원. 2007. 옥상 및 기반녹화 설계 시 고려해야 할 재료 및 공법 선정에 대하여. 건축. 51(2): 83-88.
- 곽란희·박준모·김옥규(2008) "유럽 친환경주거단지 계획요소와 국내 도입시 개선사항 연구" 한국건설관리학회
- 권시원・배기선・오상근(2007), "국내외 옥상녹화 기술현황분석을 통한 국내 방수・방근기술의 개선방향연구" 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제7권 1호, pp. 13 ~ 17
- 권시원・오미현・강효진・오상근(2003), "옥상녹화를 위한 방수재료 및 공법개발의 필요성에 관한 분석", 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제3권 2호, pp. 107 ~ 111
- 권헌교・신원섭・김재준(2003), 델파이 기법을 이용한 도시림 편익 규명과 평가, 한국임학회지 92(4):355-361
- 김영찬, 조일규, 최성민. 2008. 알루미늄 판막과 유리섬유를 합지한 구리방근시트와 폐타이어 용융액상 도막방수재를 이용한 옥상녹화 복합방수공법. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 8(2): 173-178
- 김원태, 한승호, 윤용한, 박봉주. 2007. 한일 옥상녹화 지원제도 조성실태 비교 분석. 한국녹지환경디자인학회. 2007 : 31-38.
- 김원태, 박봉주, 윤용한. 2008. 건축물의 옥상녹화 시공 및 지원제도에 관한 한일간 비교연구. 한국인간・식물・환경학회지. 11(2): 1-7.
- 김현, 이관규. 2008. 옥상녹화지의 생태적 효과와 이용효과의 상관성. 한국환경복원녹화기술학회지. 11(2): 114-122.
- 김현수, 장대희, 최수경. 2008. 옥상녹화용 방근층 구성재료의 방근성능에 관한 실험적 연구. 한국건축시공학회지. 8(6): 123-129.
- 김홍식(2002), "친환경 주거단지의 계획방향 및 해외사례" 대한건축학회 건축 제46권 제2호 통권273호
- 나혜영・변병설(2006), "옥상녹화에 관한 연구동향", 지리학회지 제 40권 1호, pp. 95~106

- 남선영·윤재옥(2008), “국내외 옥상녹화 공법 및 제도의 비교 분석 연구” 대한건축학회 제4회 우수졸업논문전 수상논문 개요집 제4권 제1호.
- 문유석, 장상묵, 홍채호, 차윤정, 오상근(2007), “블록형 패널을 이용한 옥상녹화 하부시스템의 건식화·일체화 시공기술에 대한 실험적 연구,” 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, 제7권2호(통권 제13호), pp.119~123
- 박벙형·오덕성(2005) “독일의 지속가능한 생태주거단지 계획특성 고찰” 한국도시설계학회 춘계학술발표대회
- 박종화·차수영(1999) “조류서식지 평가모형을 이용한 서울시 녹지네트워크 구상” 한국조경학회지 Vol 27,No.4
- 박종훈(2007) “녹지네트워크를 고려한 옥상녹화대상건축물 선정연구”. 서울대학교 조경학석사학위논문
- 박종훈, 양병이. 2009. 공동주거단지 내 인공지반녹화의 미래예측에 관한 연구. 한국생태환경건축학회 논문집. 9(4): 29-36.
- 박종훈, 김상범, 양병이. 2010. 옥상녹화의 공법 및 효과에 관한 국내외 연구동향 분석. 한국인간식물환경학회지. 13(6): 87-99
- 박창화, 조일규, 권시원, 오상근. 2007. 옥상녹화 방수 및 방근 기술로서 동판재의 적합성 및 시공성에 관한 연구. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 7(1): 151-154.
- 신상희(2006), “벽면녹화의 국내·외 기술현황 및 법·제도에 관한 연구,” 서울여대 대학원 석사학위논문
- 신윤호, 장대희, 김현수, 최수경. 2008. 옥상녹화용 방근층의 방근성 시험조건 설정 및 주요 방근소재에 대한 3개월간의 중간관찰 결과. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 8(2): 245-249.
- 오상근, 권시원, 박진상, 박상찬. 2006. PVC 및 알루미늄을 진공 접착한 방근시트와 E.P시트 및 도막방수층을 부분 절연한 방수/방근 복합공법의 옥상녹화 적용성 평가에 관한 실험적 연구. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집. 6(2): 71-74.
- 오상근, 곽규성, 선윤숙, 권시원. 2007. 옥상 및 인공지반녹화용 방근재의 성능기준 설정을 위한 방근성 시험방법에 관한 연구. 한국건축시공학회지. 7(1): 79-84.
- 오충현, 정은영. 2006. 서울 옥상녹화지역 입지별 귀화율의 3년간(2003～2005) 변화 분석. 산업기술논문집. 16(1): 53-61.
- 양병이·길승호·송병화(2005) “서울시 공동주택단지의 생태적 외부공간 조성을 위한 디자인 요소개발에 관한 연구” 건축도시연구정보센터
- 양병이(2004), “한국옥상녹화기술의 현황과 과제,” 한국환경복원녹화기술학회지 제7권 4호, pp.1~7
- 興水 肇(2004), “특집 : 옥상녹화기술의 현황과 과제 ; 초청논문 : 인공지반의 녹화에 의한 도시의 재생”, 한국환경복원녹화기술학회지, Vol.7, No.4
- 윤용한・박봉주・김원태(2006), 일본의 옥상녹화 조성에 관한 동향 분석, 한국식물・인간・환경학회지 9(3);27-32
- 이관규. 2006. 옥상녹화지의 시각적 선호도. 한국조경학회지. 34(5): 32-38.
- 이광국(2006), “생태주거단지의 계획요소 설정과 한·일 비교연구” 한국지역개발학회
- 이규인·이재준·황경희·김기수(1996) “환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구 ”

대한주택공사 주택연구소
- 이동근, 박찬, 김재욱, 윤소원, 장성완, 신상희. 2008. 인공지반녹화의 웹 지원 의사결정지원시스템 구축. 한국환경복원녹화기술학회지. 11(1): 62-71.
- 이은희(2004), “국내의 옥상녹화 연구동향 분석,” 한국환경복원녹화기술학회지 제7권4호, pp.44~51
- 정여주, 강준기, 이승정. 2009. 옥상정원을 활용한 미술치료가 저소득층 유아의 정서문제에 미치는 영향. 교육의 이론과 실천(구 한독교육학연구). 14(2): 135-157.
- 조동우(2005) “친환경건축물 인증제도의 현황 및 향후 추진방향 ” 건축도시연구정보센터
- 조일규.권시원.곽규성.오상근(2007), “옥상녹화 및 인공지반녹화용 구리시트 방근재의 성능평가에 관한 연구” 한국건축시공학회 2007년도 춘계 학술논문 발표대회 논문집 제7권 1호, pp. 5 ~ 8
- 주성재(1999), 델파이조사를 통해 본 국토미래상 전망, 국토연구 제28권: 29~44
- 최정은, 서동구, 오덕성(2008), 지속가능한 개발 관점에서 본 독일 및 네덜란드 생태주거단지의 계획요소 및 국내 적용가능성 분석 - 단지계획적 측면을 중심으로 - ,대한건축학회 논문집(계획계), 14(12): 27-38
- 한승호, 강진형. 2006. 생태면적율 제도기준에 해당하는 포장재의 성능분석. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집. 통권(10): 169-174.
- 허근영・심경구(2001), “인공지반 녹화용 신소재 인공토양 개발”, 한국원예학회지 제42권 1호, 2001. 6, pp. 355 ~ 364
- 황준구・이종인・이정명・조근태・조용곤(2004), 원예분야의 델파이 기술예측조사, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(2):242-250
- www.biotope.co.kr
- www.bjyl.gov.cn
- www.city.waterloo.on.ca
- www.eedu.org.cn
- www.eltgreenroofs.com
- www.greengridroofs.com
- www.greenroof.co.kr
- www.greentechitm.com
- www.kenetic.or.kr
- www.land-archi.com
- www.lvhua.com
- www.yuanlin168.com

7. 신개념 생태적 인공지반녹화 기술개발, 한국건설기술연구원

- 한설그린(2006), <입체녹화에 의한 환경공생>, 서울:보문당
- 노형진(2006), <SPSS에 의한 조사방법 및 통계분석>, 서울:형설출판사

- 이종성(2006), <델파이 방법>, 서울:교육과학사
- 채서일(2005), <사회과학조사방법론>, 서울:비앤엠북스
- 조현길·조용현(2008), <생태조경계획 및 설계>, 서울:기문당
- 양병이(2003), <인공지반녹화 아카데미 교재>, 서울:도서출판 무지개사
- 이기철·김동필(1992), <최첨단의 녹화기술>, 서울:명보문화사
- 권전오(2007),<생태도시 조성을 위한 옥상녹화 활성화 방안>, 인천발전연구원
- 인천발전연구원(2007), 『생태도시조성을 위한 옥상녹화 활성화 방안』
- 한국건설기술연구원(2005), 『환경친화형 인공지반 녹화향상 소재개발』
- 한국건설기술연구원(2003~7),『복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발』
- 한국생태환경건축학회(2005), 『친환경주거단지 디자인 메뉴얼』
- 한국건설기술연구원(1998), 『Green Town 개발사업Ⅲ』
- 한국건설기술연구원(20008), 『Green Town 개발사업』
- 대한주택공사 주택연구소(1995), 『아파트단지내 인공지반 조경녹화방안 연구』
- 건축도시연구정보센터(2007), 『입체녹화를 통한 친환경 건축물 조성』
- 건축도시연구정보센터(2001), 『해외사례에서 나타난 생태주거건축계획 방법에 관한연구』
- 권시원・배기선・오상근(2007), “국내외 옥상녹화 기술현황분석을 통한 국내 방수・방근기술의 개선방향연구” 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제7권 1호, pp. 13~17.
- 권시원・오미현・강효진・오상근(2003), “옥상녹화를 위한 방수재료 및 공법개발의 필요성에 관한 분석”, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제3권 2호, pp. 107~111.
- 나혜영・변병설(2006), “옥상녹화에 관한 연구동향”, 지리학회지 제 40권 1호, pp. 95~106.
- 輿水 肇(2004), “특집 : 옥상녹화기술의 현황과 과제 ; 초청논문 : 인공지반의 녹화에 의한 도시의 재생”, 한국환경복원녹화기술학회지, Vol.7, No.4.
- 조일규.권시원.곽규성.오상근(2007), “옥상녹화 및 인공지반녹화용 구리시트 방근재의 성능평가에 관한 연구” 한국건축시공학회 2007년도 춘계 학술논문 발표대회 논문집 제7권 1호, pp. 5 ~ 8.
- 허근영・심경구(2001), “인공지반 녹화용 신소재 인공토양 개발”, 한국원예학회지 제 42권 1호, 2001. 6, pp. 355 ~ 364.
- 김현수(2005), 복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발, 한국건설기술연구원.
- 주성재(1999), 델파이조사를 통해 본 국토미래상 전망, 국토연구 제28권: 29~44
- 권헌교・신원섭・김재준(2003), 델파이 기법을 이용한 도시림 편익 규명과 평가, 한국임학회지 92(4):355-361.
- 황준구・이종인・이정명・조근태・조용곤(2004), 원예분야의 델파이 기술예측조사, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(2):242-250.
- 윤용한・박봉주・김원태(2006), 일본의 옥상녹화 조성에 관한 동향 분석, 한국식물・인간・환경학회지 9(3);27-32.
- 이은희(2004), “국내의 옥상녹화 연구동향 분석,” 한국환경복원녹화기술학회지 제7권4호, pp.44~51.

- 양병이(2004), “한국옥상녹화기술의 현황과 과제,” 한국환경복원녹화기술학회지 제7권 4호, pp.1~7.
- 나혜영, 변병설(2006), “옥상녹화에 관한 연구동향,” 지리학연구 제40권1호, pp.95~106.
- 문유석, 장상묵, 홍채호, 차윤정, 오상근(2007), “블록형 패널을 이용한 옥상녹화 하부 시스템의 건식화·일체화 시공기술에 대한 실험적 연구,” 한국건축시공학회 학술.기술 논문발표회 논문집, 제7권2호(통권 제13호), pp.119~123
- R.T.O'Donoghue(2007), C2-C6 Background Hydrocarbon Concentration Monitored at a Roof Top and Green Park Site, in Dublin City Centre, Environ Monit Assess(2007) 132:491-501
- Nigel Dunnett(2007), The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: influence of substrate depth, Urban Ecosyst DOI 10.1007/s11252-007-0042-7
- Timoth Carter(2007), Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems, Journal of Environmental Management 87(2008) 350-363
- 신상희(2006), “벽면녹화의 국내·외 기술현황 및 법·제도에 관한 연구,” 서울여대 대학원 석사학위논문
- 남선영·윤재옥(2008), “국내외 옥상녹화 공법 및 제도의 비교 분석 연구” 대한건축학회 제4회 우수졸업논문전 수상논문 개요집 제4권 제1호.
- 곽란희·박준모·김옥규(2008) “유럽 친환경주거단지 계획요소와 국내 도입시 개선사항 연구” 한국건설관리학회
- 김홍식(2002), “친환경 주거단지의 계획방향 및 해외사례” 대한건축학회 건축 제46권 제2호 통권273호
- 박벙형·오덕성(2005) “독일의 지속가능한 생태주거단지 계획특성 고찰” 한국도시설계학회 춘계학술발표대회
- 박종화·차수영(1999) “조류서식지 평가모형을 이용한 서울시 녹지네트워크 구상” 한국조경학회지 Vol 27,No.4
- 이광국(2006), “생태주거단지의 계획요소 설정과 한·일 비교연구” 한국지역개발학회
- 최정은·오덕성(2007), “독일 생태주거단지의 계획적 특성 분석” 건축도시연구정보센터
- 양병이·박종훈·송병화(2008) “공동주거단지 내 인공지반녹화의 미래예측에 관한 연구” 건축도시연구정보센터
- 양병이·길승호·송병화(2005) “서울시 공동주택단지의 생태적 외부공간 조성을 위한 디자인 요소개발에 관한 연구” 건축도시연구정보센터
- 박종훈(2007) “녹지네트워크를 고려한 옥상녹화대상건축물 선정연구”. 서울대학교 조경학석사학위논문
- 조동우(2005) “친환경건축물 인증제도의 현황 및 향후 추진방향 ” 건축도시연구정보센터
- 이규인·이재준·황경희·김기수(1996) “환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구 ” 대한주택공사 주택연구소
- www.eltgreenroofs.com
- www.kenetic.or.kr

- www.land-archi.com
- www.greengridroofs.com
- www.greentechitm.com
- www.yuanlin168.com
- www.eedu.org.cn
- www.lvhua.com
- www.bjyl.gov.cn
- www.greenroof.co.kr
- http://www.city.waterloo.on.ca
- www.biotope.co.kr

8. 단지 내 종합적 물순환 기술 개발(중수), 연세대학교

- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002, Urban Water 4, 85-104
- A. Dixon, D. ButlerandA.Fewkes,WaterSci.Technol.39(5)(1999)25-32.
- A.D.Wheatley and S. Surendran, in C. Maksimovich, D. ButlerandF.A.Memon,eds.,AdvancesinWaterSupplyManagement,Balkema,TheNetherlands,2003,pp.545-550.
- B. Lodge, S. J. Judd, A. J. Smith, Journal of Membrane Science, 231 (1-2) (2004) 91-98
- Borsani R, Ferrando B, Desalination, 108(1992)281-6
- A. Dixon, D. ButlerandA.Fewkes,J.IWEM,13(1999)322-326.
- B. Jefferson, A.L. Laine, T. Stephenson and S.J.Judd, Water Sci. Technol., 43(10) (2001) 211-218.
- C.Diaper,A.Dixon,D.Butler,A.Fewkes,S.A.Parsons,T.Stephenson,M.StrathernandJ.Strutt,WaterSci.Technol.,43(10)(2001)83-90.
- Chen G, Chai X, Yue P, Mi Y, Journal of Membrane Science, 127(1997)93-9
- D. Butler,E.FriedlerandK.Gatt,WaterSci.Technol.,31(7)(1995)13-24.
- E. Friedler and N.I. Galil, On-site graywater reuse in multi-story buildings: Sustainable solution for water saving. Efficient 2003, 2nd Int.Conf.onEfficientUseandManagementofUrbanWaterSupply,Tenerife,CanaryIslands,Spain.IWA,AWWAandAEAS,2003.
- E. Friedler, Environ. Technol., 25(9) (2004) 997-1008.
- E. Friedler, N.I. Galil and R. Kovalio, Water Sci. Technol., 51(10) (2005) 187-194.
- E. Friedler, M. Hadari, Desalination, 190(2006) 221-234
- K. Ahn, J. Song and H.Cha, Water Sci. Technol., 38(4-5)(1998) 373-382
- M.C. Almeida, D. ButlerandE.Friedler,UrbanWater,1,(1999)49-55.
- Ramon Guy, Green Michal, Semiat Raphael, Dosoretz Carlos, Desalination, 170(2004)241-250

- T. Stephenson and S.J. Judd, In-buliding Wastewater Treatment for Water Recycling. School of Water Sciences, School of Industrial and Manufacturing Science, Cranfield University, UK, 2000. (http://www.cranfield.ac.uk/sims/water/finalreportin-inbuliding.doc)
- Cartier S, Theoleyre MA, Decloux M, Desalination, 113(1997)7-17
- L.D. Nghiem, N. Oschmann, A.I. Schafer, Desalination, 187(2006) 283-290
- S. Hills, A. Smith, P. Hardy and R. Birks, Water Sci. Technol., 43(10) (2001) 287-294.
- Tan L, Sudak RG, 1(1992) 79-87
- Odeh Al-Jayyousi, Desalination, 156(2003) 181-192
- J.B. Rose, G.S. Sun, C.P. Gerba and N.A. Sinclair, Water Res., 25 (1991) 37-42.
- J.L. Garland, L.H. Levine, N.C. Yorio, M.E. Hummerick, Water research, 38: 1952-1962
- A. Gross, O. Shmueli, Z. E. Raveh, chemosphere, 66(5) (2007) 916-923
- Ensar Oguz, Bulent Keskinler, Journal of Hazardous Materials, 151(2008) 753-760
- H.S. Shin, S.M. Lee, I.S.Seo, G.O. Kim, K.H. Lim and J.S. Song, Water Sci. Technol., 38(6) (1998) 79-88.
- J.G. March, M. Gual, F. Orozco, Desalination, 164(2004) 241-247
- J. Staehelin, J. Hoigne, Environ. Sci. Technol. 16(10)(1982) 676-681
- M. Ogoshi, Y. Suzuki and T. Asano, Water Sci. Technol., 43(10) (2001) 17-23.
- Meadows DM, Wadley S, Buckley CA, Water Sci. Technol., 25(10)(1992) 339-50
- M. Goddard, Desalination, 188(2006) 135-140
- N. Oschmann, L.D. Nghiem, A.I. Schafer, Desalination, 179(2005) 215-223
- Odeh Al-Jayyousi, Desalination, 167(2004) 27-37
- Randles N, 108(1996) 205-11
- R. Birks, S. Hills, C. Diaper and P. Jeffrey, Assessment of water savings from single house domestic graywater recycling systems. Efficient 2003, 2nd Int.Conf.onEfficientUseandManagementofUrbanWaterSupply,Tenerife,CanaryIslands,Spain.IWA,AWWAandAEAS,2003.
- S.A. Prathapar, A. Jamrah, M. Ahmed, S. Al Adawi, S. Al Sidairi, Desalination, 186(2005) 177-186
- Watson BM, Hornburg CD. Desalination, 72 (1989) 11-22
- Zaidi A, Buisson H, Sourirajan S, Wood H, Water Sci. Technol., 25(10)(1992) 263-76

9. 단지 내 종합적 물순환 기술 개발(우수), 서울대학교

- 국토해양부(2009), 행정중심 복합도시 빗물관리 기본계획
- 과학기술부(2007), 우수 저류 및 활용 시스템 적용.
- 기상청, http://www.kma.go.kr

- 김갑수 (2003), 빗물이용을 통한 도시침수 저감 및 수돗물 절약방안, pp.68-89
- 김건흥 최계운 (2003), 인천도심내 빗물이용시설 설치 방안[1차년도], 인천지역환경기술센터, 보고서
- 김두하, 박원규, 안동만 (1997), "단지개발에 있어 강수량 지하침투 증대를 위한 침투시설의 도입가능성 연구-분당신도시 사례를 중심으로-" 한국조경학회지, 한국조경학회, v.25, no.1, pp.62-72
- 김두하, 박원규, 안동만 (1997), 단지 개발에 있어 강수량 지하 침투증대를 위한 침투 가능성 연구, 한국조경학회지, 25(1), pp. 62-72
- 김영민, 김이호 (2006), 도시 물순환 건전화를 위한 우수저류 침투시설의 적용, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.375-379.
- 김영민, 김이호 (2007), 공동주택 빗물관리시설 적용방안 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.2003-2007
- 김영완 (2005), 빗물저장조에서 입자특성과 거동을 고려한 설계 방안, 서울대학교 석사학위논문, pp.38-45
- 김영진, 한무영 (2006), 빗물관리시스템에 의한 도시 하수도 배수능의 보완개선, 제 6회 빗물모으기 국제워크샵, pp.63-70
- 김영진, 한무영, 김용하, 문정수 (2009), On-site 방식 빗물관리를 위한 건축물 지붕면의 유출특성 경험식 수립, 한국수자원학회논문집, v.42, no.2
- 김충일, 한무영, 박주석, 김영진 (2007), 북한의 물문제 해결을 위한 빗물이용기술, 제7회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- 김충일 (2010), Analysis of Bubble Potential Energy and its Application to Disinfection and Oil Washing, Civil and environmental engineering, 서울대학교, 박사논문
- 김형준, 문정수, 한무영 (2007), 강수량과 분산에 따른 용수공급용 빗물저장조의 운전 효율 평가, 2007년 상하수도학회 물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집
- 김화수 (2008), 가정용수의 용도별 사용원단위 분석을 통한 수돗물 공급시스템 개선방안, 상하수도학회지, v.22, no.5, pp.489-493
- 대한상하수도학회 (2005), 빗물이용시범시설 운영·관리 모니터링 연구, 대한상하수도학회
- 문정수, 유형근 김형수 (2007), 빗물저장조에서 입자의 침전과 크기분포 변화, 빗물학회, v.1, no.1, pp.103-109.
- 문정수, 유형근, 한무영 (2007), 빗물저장조에서 입자의 제거특성 및 운전과 설계시 고려사항, 상하수도학회지, v.21, no.1, pp. 131-138
- 문정수, 한무영 (2009), S 주상복합단지 빗물이용시설의 경제성 평가, 대한건축학회지, v25, no.12, pp 173-181
- 문형준, 문정수 이주영 한무영 (2008), 빗물관리시설 설치에 의한 산지 발생 유출수의 저감 및 방안, 2008년 물환경학회 상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집
- 박성원 (2007), 빗물이용시설에서 빗물저장조용량 산정방법에 관한 연구, 제6회 빗물 모으기 국제 워크샵, pp.277-279
- 박성준 (2004), 산지형 집합주거단지 개발에 따른 빗물침투시설 적용 지침에 관한 연구 -전주평화 3지구 호반리젠시빌 중심으로-, 경희대학교 석사학위논문, pp. 23-34
- 박주석·한무영·송호면 역 (2006), 일본의 빗물침투기술, 조사·계획편, 빗물모으기운동본부·빗물학회
- 배상근 (2001), 우수침투에 의한 지하수 함양과 적용사례, 한국수자원학회 00 기초과제 연구보고서, 한국수자원학회, pp.309-326

- 서울대학교 빗물이용 센터 역 (2003), 하수와 우수의 관리를 위한 환경친화적 기술(ESTs), 대한상하수도학회
- 서울시정개발연구원(2004) 서울시 물순환기본계획 연구, 서울특별시, pp.298-314
- 성종상, 이태구, 한영해, 김연금, 김남회 (2004), 분산식 우수관리를 위한 침투통 개발 및 적용효과 분석, 한국조경학회지, 한국조경학회, v.32, no.2, pp.78-85
- 세계기상기구, http://www.worldweather.org.
- 심재현, 안재찬 (2004), 침투통에 의한 우수유출 효과의 정량적 분석, 도시문제, 대한지방행정공제회, v.39, no.428, pp.23-37
- 오재호 (2007), 지구온난화 - 이제 행동이 필요할 때이다, 기후변화에 대비한 수자원정책 방향, 한국건설기술연구원, pp.141-176
- 유형근, 문정수 한무영 (2007), 서울공대 39동의 물 사용량 분석에 의한 건물내 물자급률 향상방안, 2007년 물환경학회 상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집
- 윤여진, 이재철, 김주철, 김재한 (2001), 공동주택단지내 우수침투시설과 우수저류시설의 시공성 분석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), 한국수자원학회, pp.1195-1199.
- 윤용남 (2005), 수문학;기초와 응용, 청문사
- 이금삼, 조화룡 (2000), DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석, 한국지리정 학회지, v.3, no.1, pp.35-43
- 이동률(2006), 물 수급계획의 딜레마 가뭄, 물과 미래, 한국수자원학회, v.39, no.3, pp.19-23
- 이승호, 이경은, 한무영 (2006), 박스형 빗물 침투시설의 침투 효과, 2006년 상하수도학회 물환경학회 공동추계 학술발표회 논문집
- 이승호, 한무영, 박은선, 이현배 (2007), 공동 주택 단지의 빗물관리시설 시공사례 및 운전현황 분석, 제7회 빗물 모으기 국제 워크샵, pp.334
- 이재철 (1996), 도시수문 및 우수관리기술의 현황과 과제-도시수문 및 우수관리기술 세미나 결과보고, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, v.29, no.6, pp.101-105
- 이종태, 윤세의, 김갑수, 김영란, 류택희 (2003), 도로 빗물받이의 차집능력 분석, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, v.36, no3, pp.465-480
- 이현배 (2006) POSCO the # StarCity 빗물관련시설 시공사례, 제1회 빗물관리 실무자 교육 프로그램
- 일본우수저류침투기술협회 지음, 박주석, 한무영, 송호면 옮김 (2006), 일본의 빗물침투시설 기술, 빗물학회, 한국빗물모으기 운동본부, 분산형빗물관리사업단
- 전인배, 송시훈, 지홍기, 이순탁 (2000), 우수이용 시스템의 적용에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.861-866
- 전인배, 송시훈, 지홍기, 이순탁 (2001), 우수이용 시스템의 설계기법, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, v.34, no.6, pp.587-596
- 최계운, 최종명, 김석봉 (2004), 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, v.37, no.2, pp.163-172
- 최윤영(2001), 우수침투에 의한 지하수 함양, 한국수자원학회 00 기초과제 연구보고서, 한국수자원학회, pp.343-360
- 하헌직, 김동훈,양용운 (1999), 염색폐수의 수질특성 및 색도제거방법에 관한 연구, 琵瑟論集, v.10, pp. 219-229.
- 한국건설기술연구원 (1994), 중수도 원단위 산정 및 지침서
- 한국건설기술연구원 (2004), 우리나라의 주요 빗물이용사례, 우수 저류 및 활용 기술 개발, pp.24-53.

- 한국건설기술연구원 (2006), 우수 저류 및 활용 시스템 적용, 수자원의 지속적 확보기술개발사업단
- 한명실 (2005), 하수관거 침수 방지를 위한 빗물 저류조 용량 설계, 서울대학교 석사학위 논문, pp.1-3
- 한명실, 한무영 (2003), 빗물저장시설이 도시 홍수를 방지할 수 있는 이유, 2003년도 공동추계학술발표회 논문집, 대한상하수도학회, pp.81-84
- 한무영 (2000), 대체수자원으로서의 빗물 활용방안, 대한상하수도학회지, v.14, no.3, pp.207-210
- 한무영 역 (2001), 빗물이용 지구사랑, 대한상하수도학회
- 한무영, 김상래, 김영완 (2003), 서울대학교 기숙사 빗물이용시스템, 제3회 빗물모으기 국제워크샵, pp.105-112
- 한무영, 김상래, 최지용 (2005), 빗물이용을 통한 도시의 물자급률 향상방안, 제5회 빗물모으기 국제워크샵 프로시딩 자료집, pp.237-246
- 한무영, 김영완 (2004), 서울대학교 대학원 기숙사 빗물이용 시설의 개요와 경제성 평가, 상하수도학회지, v.18, no.5, pp.547-557
- 한무영, 김충일, 송지은 (2006), 마이크로 크레디트를 이용한 빗물저금통 확산방안, 제6회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- 한무영, 문정수, 김충일 (2009), 다목적이고 적극적인 빗물관리에 의한 기후변화 적응방안과 국내 사례, 상하수도학회지, 23(2), pp.223-230
- 한무영, 문정수, 이지훈, 한태희, 심영일, 동영탁(2007), 서울대학교 버들골의 빗물침투시설 설치사례, 제7회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- 한무영, 박성원, 김하룡 (2006), 서울대 대학원 기숙사 빗물이용시설에서의 빗물수질분석, 제6회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- 한무영, 박성원, 김하룡, 김상래 (2006), 빗물이용시설에서 빗물 저장조용량 산정방법에 관한 연구 -서울대 대학원 기숙사를 대상으로, 제6회 빗물모으기 국제워크샵, pp. 277-285.
- 한무영, 이순재 (2005), 갈뫼중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물수질평가, 상하수도학회지, v.19, no.1, pp.31-37
- 한무영, 이일용, 박상철 (2003), 건물의 지붕집수면이 유출빗물의 수질에 미치는 영향, 상하수도학회지, v.17, no.3, pp.460-466
- 한무영, Klaus W. König (2005), 빗물이용기술 핸드북, 대한상하수도학회
- 한무영·이일룡 (2001), 우리나라의 강수량을 고려한 적정 빗물저장조 용량 산정에 관한 연구(서울을 대상으로), 2001년 공동추계학술발표회 논문집, pp.91-94
- 환경부 (2004), 2004 환경백서
- 환경부(2003), 빗물이용시설 보급 확대를 위한 정책방안 연구
- 환경정책평가연구원, 중수도 시설기준 및 관리방안 등 마련에 관한 연구 최종보고서, 2001년 2월
- A.Dixon, D.Butler, A.Fewkes (1999), water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination, water science and technology, v.39, no.5, pp.25-32
- Brad Stewart Lancaster (2007), Water-Harvesting Earthwork Successes in southwest United States, 제7회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- Bruce K. Fergusonn (1994), STORMWATER INFILTRATION. LEWIS PUBLISHERS, USA.

- Cedo Maksimovic and Jose Alberto Tejada-Guibert (2001), Frontiers in Urban Water Management, IWA Publishing, U.K., pp.2-10
- DIN(Deutsche Industrie Normen) 1989
- Donald W. Taylor (1948), Fundamental of soil mechanics. John wiley & sons, USA
- Edgar L. Villarreal·Andrew Dixon (2005), Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrkoping, Sweden, building and environment, v.40, no.9, pp.1174-1184
- Enedir Ghisi·Diego Lapolli Bressan·Mauricio Martini (2007), Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil, building and environment, v.42, no.4, pp.1654-1666
- Erin A. Dreelin., Laurie Fowler and C. Ronald Carroll (2006), A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. Water research, IWA, U.K, v.40, no.6, pp.799-805
- Huff, F. A. (1967), Time distribution of rainfall in heavy storms, Water Resources Research, v.44, no.3
- IPCC (2007a), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2007b), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, UK.
- Jurgen Forster (1996), Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration, Wat. Sci. & Tech., v.33, no.6, pp.39-48
- Jungsoo, M., K. Dohyung, et al. (2008), Temperature reduction of concrete rooftop on a building by rainwater spraying, 4th International Conference on Cooling and Heating Technologies, Jinhae, Korea
- Jungsoo, M., M. Hyoungjun, et al. (2008), Heat exchange potential of a rainwater storage tank as a cooling source in an operating rainwater harvesting system, 4th International Conference on Cooling and Heating Technologies, Jinhae, Korea
- Michael duchene, Edward A. McBean.,. and Neil R. Thomson (1994), Modeling of infilration from trenches for storm-water control, Journal of water Resources Planning and Management, ASCE, v.120, no.30, pp.276-293
- Miller, K. and Yates, D. (2006), Climate Change and Water Resources: A Primer for Municipal Water Providers. AWWA.
- Miyazawa (2007), 토양침투에 의한 환경치수의 실천, 제7회 빗물모으기 국제워크샵 논문집
- Oberndorfer, E., J. Lundholm, et al. (2007), Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, BioScience v.57, no.10
- Oki, T. and Kanae, S. (2006), "Global Hydrological Cycles and World Water Resources." Science, 313, pp.1068-1072
- Park, S.H. and Park, J.I. (2003), A study on the economic evaluation of grey water system in Hotels, Proceedings of the 2003 summer Conference of SAREK, pp.1343-1349
- Polkowska. Z, Georecki Z. and Namiesnik J. (2002), Quality of roof runoff waters from urban region, Chemoshere 49, pp.1275-1283

- Ponce, Victor Miguel (1989), Engineering Hydrology-principles and practices, Prentice-Hall.
- Shapiro, J. (1957). Chemical and Biological Studies on the Yellow Organic Acids of Lake Water, Limnology and oceanography, v.2, no.3, pp.161-179.
- Shiklomanov, I. A. and Rodda, J. C. (2003), World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Cambridge University Press.
- Unesco (2006), The 2nd United Nations World Water Development Report: Water, a shared responsibility. UNESCO Publishing.
- Wee, J. H., Kim, J. I., Song, I. S., Song, B.Y. and Choi, K.S. (2008), Reduction of Carbon-Dioxide Emission Applying Carbon Capture and Storage(CCS) Technology to Power Generation and Industry Sectors in Korea. Journal of Korea Environmental Engineering, v.30, no.9, pp.961-972
- Youngjin Kim, Mooyoung Han(2008), Rainwater storage tank as a remedy for a local urban flood control, Water Science & Technology: Water Supply-WSTWS, v.8, no.1

10. 공동주택단지의 열환경 평가 프로그램개발, 연세대학교

- 김대현, 아파트 단지 옥외공간 변천에 관한 연구. 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 2004
- 김준식, 김익환, 공동주택단지 거주자의 자연지향과 녹환경 인식구조에 관한 연구. 한국주거학회, 2004
- Hong Chen, Ryozo Ooka, Kazuya Harayama, Shinsuke Kato, Xiaofeng Li, Study on outdoor thermal environment of apartment block in Shenzhen, China with coupled simulation of convection, radiation and conduction. Energy and Buildings, 2004
- Tzu-Ping Lin, Andreas Matzarakis, Ruey-Lung Hwang, Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Building and Environment, 2010
- Agnes Gulyas, Janos Unger, Andreas Matzarakis, Assessment of the micro climatic and human comfort conditions in a complex urban environment. Building and Environment, 2006
- Fazia Ali-Toudert, Helmut Mayer, Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and Vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy, 2007
- Racine Tadeu Araújo Prado, Fabiana Lourenço Ferreira, Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. Energy and Buildings, 2005
- L. Doulos, M. Santamouris, I. Livada, Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Solar Energy, 2004
- Nyuk Hien Wonga, Yu Chena, Chui Leng Ongb, Angelia Siab, Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. Building and Environment, 2003

- Eleftheria Alexandri, Phil Jones, Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment, 2008
- T Asaeda, V T Ca, A Wake, Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. Atmospheric Environment, 1996
- A. Synnefa, M. Santamouris, I. Livada. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. Solar Energy, 2006
- Takashi Asaed, Vu Thanh Ca, Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. Building and Environment, 2000
- Vu Thanh Ca, Takashi Asaeda. Development of a numerical model for the evaluation of the urban thermal environment. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999
- Souch, C. A, & Souch, C., The effect of trees on summertime below canopy urban climates : A case study, Bloomington, Indiana. Journal of Arboriculture, 1993
- H. Taha., H. Akbari, A. Rosenfeld. Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies : Micro-Meteorological Field-Measurements. Theoretical and Applied Climatology, 1991
- Sang-Hwa Lee, Kyoo-Seock Lee, Wen-Cheng Jin, Ho-Kyung Song, Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area. Landscape Ecol Eng, 2009
- Commission of the European Communities, A GREEN VIRUVIUS -Principles and Practice of sustainable Architectural Design. James & James, 1999
- Jingcheng Xu, Qiaoling Wei, Xiangfeng Huang, Xiaoyan Zhu, Guangming Li, Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer. Building and Environment, 2010
- N.H. Wong, Steve Kardinal Jusuf, Aung Aung La Win, Htun Kyaw Thu, To Syatia Negara, Wu Xuchao, Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. Building and Environment, 2007
- Chen Yu, Wong Nyuk Hien, Thermal benefits of city parks. Energy and Buildings, 2006
- Tzu-Ping Lin, Yu-Feng Hob, Yu-Sung Huang, Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan. Building and Environment, 2007
- Takashi Asaeda, Vu Thanh Ca, Numerical and experimental study on convective heat transfer of the human body in the outdoor environment Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. Building and Environment, 2000
- ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, 2005
- Gagge AP, Stolwijk JAJ, Nishi Y. A. Standard Predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Transactions, 1986

- 박희욱 외, 실외 온열환경의 온열쾌적감과 쾌적지표에 관한 연구1. SET*의 실외 환경 적용 가능성 검토, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회,1999
- Hong Chen, Ryozo Ooka, Shinsuke Kato, Study on optimum design method for pleasant outdoor thermal environment using genetic algorithms (GA) and coupled simulation of convection, radiation and conduction. Building and Environment, 2008
- Kiyoshi Sasaki, Helmut Mayer, Akashi Mochida, Maria Uchida, Takahiro Tonouchi, Field measurement on thermal comfort in outdoor locations : Comparison of SET* and PET based on questionnaire survey, The seventh International Conference on Urban Climate, 2009
- 김학열 (2003). '도시환경인자에 따른 대기온도 변화 연구-서울시를 대상으로-', 대한국토·도시계획학회지 『국토계획』, 38(5), pp.259-269.
- 김학열, 허태영 (2010). '바람에 의한 서울시 기온이동현상 분석', 서울도시연구, 11(2), pp.247-257.
- 류재수, 이상문 (2008). '신개발지 열섬저감을 위한 바람통로 계획기법 연구', 대한국토도시계획학회 정기학술대회 논문집(2008-11), pp.709-713.
- 박석봉 (2004). '기상데이터를 이용한 광주광역시 도시온도 상승에 관한 연구', 한국태양에너지학회 논문집, 24(3), pp.65-71.
- 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조 (2000). '대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화효과-대구광역시의 사례연구-', 한국조경학회지, 28(1), pp.11-18.
- 부경온, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태 (1999). '자동기상관측장치자료를 이용한 서울의 기온수평분포 분석', 한국기상학회지, 35(3), pp.335-343
- 윤민호, 안동만 (2009). '위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석', 한국조경학회지, 37(3), pp.46-53.
- 윤용한 (2001). '녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구-풍속과의 관련성에 관하여-', 대한국토·도시계획학회지 『국토계획』, 36(2), pp.187-196.
- 윤용한 (2002). '공원의 규모가 기온변화에 미치는 영향', 한국산림휴양학회지, 6(1), pp.1-7.
- 윤용한 (2004). '도시녹지가 미기상조절에 미치는 실증적 연구', 환경생물학회지, 22(2), 279-286.
- 윤용한, 박봉주, 김원태, 조현수 (2008). '토지이용형태에 따른 계절별 열섬현상의 강도', 대한국토·도시계획학회지 『국토계획』, 43(4), pp.21-30.
- 윤진일 (2002). '우리나라의 기온상승-도시효과인가 지구온난화인가', 한국농림기상학회지, 4(1), pp.58-63.
- 이강국, 홍원화 (2008). '도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구', 대한건축학회논문집 계획계, 24(9), pp.253-260.
- 이정원, 김학열 (2008). '도시인구규모와 대기온도의 변화 분석', 대한국토·도시계획학회 정기학술대회 논문집(2008-11), pp.723-732.
- 조현길, 안태원 (1999). '도시녹지에 의한 미기후개선의 기능', 한국조경학회지, 27(4), pp.23-28.
- 조현길, 안태원 (2006). '도시 수목식재와 미기후 개선의 상관성 구명',

한국조경학회지, 34(5), pp.70-75.
- 홍재주, 오규식 (2004). '도시열섬 저감을 위한 공원·녹지 확충과 배치방안 연구', 한국도시설계학회 추계학술발표대회 논문집(2004-11), pp.113-122.
- Henry, J. A., Dicks S. E. (1987). 'Association of Urban Temperatures with Landuse and Surface Materials', Landscape and Urban Planning, 14, pp.21-29.
- Kato, S., Murakami, S., Takahashi, T., Gyobu, T. (1997). 'Chained analysis of wind tunnel test and CFD on cross ventilation of large-scale market building', Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 67-68, pp.573-587.
- Asaeda, T., Vu Thanh Ca, Wake, A. (1996) 'Heat Storage of Pavement and its effect on the Lower Atmosphere', Atmospheric Environment, 30(3), pp.413-427.
- Solecki, W. D., Rosenzseig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M. (2005). 'Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey', Environmental Hazard, 6, pp.39-49.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M. E. (2000). 'Vegetation as a climate component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees', Energy and Buildings, 31, pp.221-235.
- Xu, J., Wei, Q., Huang, X., Zhu, X., Li, G. (2010). 'Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer', Building and Environment, 45, pp.1072-1080.
- 김수봉 (2002). 대구지역 바람길 조성을 위한 도시생태환경 네트워크 시스템 구축에 관한 연구.
- 김운수, 김학열 (2001). 기상특성을 고려한 도시계획기법연구Ⅱ. 서울시정개발연구원.
- 서울시정개발연구원 (2002). 지도로 본 서울 2000.
- 서울시정개발연구원 (2007). 서울시 에너지 소비특성 조사.
- 서울특별시 (2009) 서울통계연보.
- 한국토지공사 (2003) 성남 판교지구 바람통로 예측 모델링.
- Landsberg, H.E. (1981). The Urban Climate. Academic Press.
- Oke, T.R. (1987). Boundary Layer Climate. Routledge, London.
- Santamouris, M. (2001). Energy and Climate in the Urban Built Environment. James & James.
- 구글 지도 <map.google.co.kr>
- 국토해양부 <www.mltm.go.kr>
- 기상청 <www.kma.go.kr>
- 녹색성장위원회 <www.greengrowth.go.kr>
- 부산시 <www.busan.go.kr>
- 서울시 GIS <gis.seoul.go.kr>
- 서울특별시청 <www.seoul.go.kr>
- Earth Policy Institute, Data Center <www.earth-policy.org>

11. 공동주택 단지환경이 각 세대에 미치는 영향도 정량적 평가, 성균관대학교

- J. Spagnolo, R. de Dear, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, Building and Environment, 38, pp.721-738, 2003
- P. Hoppe, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, Energy and Buildings, 34, pp.661-665, 2002
- I. Takuzo, T. Shinnichi, N.Jyunnta et al., Development of a design mehtod for outdoor thermal environment around buildings Part 1 The outline of the evaluation method and application for planning of a campus, Technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, pp.595-596, 2006
- E. Mayer, A new correlation between prediected mean votes(PMV) and predicted percentages of dissatisfied (PPD), Healthy Building/IAQ'97, Washington DC, pp.189-193, 1997
- S. P. Corgnati, M. Filippi M, S. Viazzo, Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: subjective preferences and thermal comfort, Building and Environment, 42, pp.951-959, 2007
- R. L. Hwang, M. J. Cheng, T. P. Lin, M. C. Ho, Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions, Building and Environment, 44, pp.1128-1134, 2009
- 류을렬 외 1명, 충북 주요도시 열섬현상 저감대책, 충북개발연구원, 2006
- 이강국 외 1명, 도시고온화 현상에 따른 열섬·냉섬 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 23권, 8호, pp.219-229, 2007
- 구해정 외 1명, 서울시 도시 열섬 구조의 변화에 관한 연구, 기후연구, 제2권, 제2호, 2007
- 송두삼 외 1명, 옥외 온열환경 평가를 위한 복사 연성 CFD 해석기법의 개요, 태양에너지학회 논문집, 29권, 6호, pp.45-55, 2009
- 박희욱, 장문간, 금종수, 최광환, 정용현, 김동규, 실외온열환경의 온열쾌적감과 쾌적지표에 관한 연구 1. SET*의 실외환경 적용 간읏어 검토, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.508-516, 1999
- 정창원, 윤인, 옥외열환경에 있어서 일사를 고려한 체감기후평가에 관한 연구 : 기상관측데이터를 중심으로, 대한건축학회 논문집 계획계, 제 17권, 제5호, pp.153-162, 2001
- 임종연, 황효근, 류민경, 송두삼, 로지스틱 회귀분석을 활용한 옥외공간에서의 온열쾌적감에 대한 피험자 설문 분석, 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, 29권, 1호, pp.97-101, 2009
- R Osczevski, M Bluestein, The new wind chill equivalent temperature chart,

Bulletin of the Ameracan Meteorological Society, pp.1453-1458, 2005
- R. G. Steadman, A Unversal scale of apparent temperature, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol.23, pp.1674-1687, 1984
- E. C. Thom, Discomfort index, Weatherwise 12, 57, 1959
- E. Sohar, J. Tennenbaum, N. Robinson, A comparison of the cumulative discomfort index and the cumulative effective temperature as obtatined by meteorological data, Biometeorology, Pergamon Press, Oxford, UK, pp.395-420, 1962
- E. Sohar, C. H. Birenfield, Y. Shoenfeld, Y. Shapiro, Description and forecast of summer climate in physiologically significant terms, International Journal of Biometeorology, Vol.22, No.2, pp.75-81, 1978
- J. Tanimoto, et al., An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology, Energy and Buildings, 36, pp.781-793, 2004
- K. Niachou, M. Santamouris, et al., Experimental study of temperature adn airflow distribution inside an urban street canyon during hot summer weather conditions - Part 1. Air and surface temperatures, Building and Environment, 43, pp.1383-1392, 2008
- 강기남, 송두삼, 함희정, 실측을 통한 인체에 쾌적한 자연풍 특성의 검토, 대한건축학회 논문집, v.24, n.6. p363~370, 2008
- Sofia Thorsson, Fredrik Lindberg, Ingegärd Eliasson, Björn Holmer, Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting, International Journal of Climatology, 2007
- ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook, chapter. 8, 2005.
- ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook, chapter. 8, 2005.
- Reduction of solar heat gain by roof greening－Field experiment and numerical simulation－ TASATO Kaori, NISHIOKA Masatoshi and NABESHIMA Minako,日本建築學會大會學術講演梗概集 2004
- 조경공사표준시방서, 한국조경학회
- The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, N.H.Wong et al., Energy and Buildings 2003
- S사 인공토양(퍼라이트) 시험성적서

12. Open Plan 개발연구, 연세대학교

- DUNG NGO · ADI SHAMIR ZION, Open House - unbound space and the modern dwelling, Thames & Hudson, 2002
- 김갑득 외 6인, 스틸스터드 벽체를 적용한 RC조 아파트의 가변형 평면 설계지침 개발, 한국건설기술연구원, 2001.
- 김명환 외 10인, 2000 주택계획집, 대한주택공사, 1999.
- 김수암 외 12인, 철골조 및 라멘조 공동주택의 설계표준화 지침개발 연구(최종), 건설

교통부, 1999.
- 김수암 외 5인, 장수명 건축물 설계시스템 개발: PLUS 50 환경공생빌딩 건축기술 개발, 1차년도, 한국건설기술연구원, 2003
- 김수암, 가변형 주택의 이론과 실무, 한국건설기술연구원, 1998.
- 도건효 외 9인, 공동주택 가변형 주호계획에 관한 연구(최종), 한국건설기술연구원, 1989
- 모정현 외 1인, 가변형 주택에서 실내공간요소의 가변방식 유형분석, 한국실내디자인학회 논문집 제14권 제1호, PP64-72, 2005.
- 모정현 외 1인, 오픈하우징의 구조적 유형화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 제4권 제3호, 2004.
- 모정현 외 1인, 지속가능한 주거 개발을 위한 가변성 개념의 유형학적 분석, 한국생태환경건축학회 논문집 제3권 제3호, 2003.
- 문수암 외 2인, 가변형 공동주택의 사용실태 조사 연구 , 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계) 제23권 제2호, PP51-53, 2003.
- 문정인 외 2인, 이동가능 건물의 공간적 특성과 적용가능성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 제22권 제3호, PP45-52, 2006.
- 박남희 외 1인, 브랜드 아파트의 평형별 평면계획 내용분석, 대한건축학회 논문집(계획계) 제22호 제3권, 2006.
- 박은미 외 1인, 영구임대주택 친환경 계획요소에 관한 연구, 한국실내디자인학회 학술발표대회 논문집 제8권 제1호, 2006.
- 박준영 외 2인, 임대주택 수요자의 라이프스타일을 고려한 가변적 공간구성 계획기법 개발연구, 대한주택공사 주택도시연구원, 2003
- 서태일, 고령화 사회와 건축건설기술의 개발 과제, SK건축기술정보 컬럼 제4권 2006, 2006.
- 송영무 외 2인, 고층주상복합건물의 공간체계분석을 통한 가변성 계획에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계) 제21권 제1호, PP75-78, 2001.
- 송진규 외 12인, 리노베이션을 고려한 가변형 아파트 구조시스템 개발(2차년도 최종 2001), 건설교통부, 2003.
- 심우갑 외 2인, 평면선택형 집합주택의 계획방향 설정방향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제18권 제4호, 2002.
- 우성호, 웹기반 참가형 가상모델하우스에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집 제14권 제3호, 2005.
- 이보라 외 1인, 가족생활주기에 따른 공동주택 평면계획에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제21권 제2호, 2001.
- 이보라, 가족생활주기에 따른 공동주택의 가변형 평면계획에 관한 연구, 전북대학교 대학원, 2002.
- 이상훈 외 1인, 주거환경의 복합화에 관한 연구 -친환경과 유비쿼터스 홈을 중심으로, 한국실내디자인학회 학술발표대회 논문집 제8권 제1호, 2006.
- 이성옥 외 5인, 공동주택의 구조방식 전환에 따른 가동칸막이벽체 적용방안, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 통권10호, PP41-46, 2006.

- 이성욱 외 5인, 공동주택의 구조방식 전환에 따른 가동칸막이벽체 적용방안, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제6권 제1호, 2006.
- 이연숙 외 2인, 가족생활주기별 아파트 단위주호 계획요소 선호분석, 한국실내디자인학회 논문집 제14권 제2호, 2005.
- 이찬희 외 1인, 리모델링을 고려한 가변형 아파트 주호공간 계획기법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 제20권 제9호, 2004.
- 이찬희 외 1인, 리모델링을 고려한 가변형 아파트 주호공간 계획기법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 제20권 제9호, PP75-82, 2004.
- 이훈, 아파트의 내용성 향상을 위한 가변성 수용, 대한건축학회 논문집(계획계), 제19권 제8호, PP13-24, 2003.
- 임석호 외 1인, 장수명 공동주택을 위한 성능지표 설정 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 제21권 제12호, PP37-46, 2005
- 임정은 외 4인, 소형 공동주택 단위주거의 친환경성에 관한 사례분석연구, 한국실내디자인학회 학술발표대회 논문집 제7권 제1호, 2005.
- 전남대학교 외 4인, 리노베이션을 고려한 가변형 아파트 구조 시스템 개발(1차년도 연차), 한국건설기술연구원, 2002.
- 정재욱 외 1인, 아파트 단위 평면의 가변형 공간 구성 시스템에 관한 연구 -힌지드 스페이스 개념을 중심으로-, 대한건축학회 논문집(계획계) 제18권 제9호, 2002.
- 최윤정, 웰빙아파트 계획요소의 도입현황과 선호도, 한국실내디자인학회 학술발표대회 논문집 제8권 제1호, 2006.
- 하미경 외 1인, 웰빙 트렌드에 따른 아파트의 건강 관련 실내 디자인 요소에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집 제14권 제3호, 2005.
- 황은경 외 5인, 공동주택의 공간 가변성 향상을 위한 서포트 계획방법 연구, 대한건축학회 논문집 (계획계), 제21권 제4호, 2005.

13. 지능형 이중창호 시스템 개발, 연세대학교

- Kimura K. Effect of ventilative cooling on indoor environment. Proc. Int. Symp. Room Air Convention and Ventilatio Effectiveness, Univ. of Tokyo, pp. 578~583(1992)
- Givoni, Climate and Architecture. Applied Science, London(1969)
- 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 17조 (2008)
- ASHRAE STANDARD
- 커튼월 환기창의 창호개폐 방식에 따른 환기성능평가 박선효, 배상환, 홍천화 - 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집 2002. 11
- Single-sided 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구 노상태, 김강수 - 대한건축학회 논문집(계획계) : v.21 n.8 2005. 08
- 자연환기 계획을 위한 국내 초고층 공동주택 커튼월의 창호유형 사례분석 및 환기창 성능분석에 관한 연구, 조진균, 홍민호, 유창우 - 대한건축학회 논문집(계획계) : v.25

n.04 2009. 04
- 케이스먼트 창호 개폐방식에 따른 자연환기 효과에 관한 시뮬레이션 연구 최태환, 김태연, 이승복 - 한국생태환경건축학회 논문집 : v.7 n.4(통권 26호) 2007. 08
- 수치해석을 이용한 자연환기설비의 환기량 해석에 관한 연구 최태환, 김태연, 이승복 - 대한건축학회 논문집(계획계) : v.23 n.9 2007. 09
- Mock-up 및 현장 실험에 의한 자연환기설비의 환기성능 평가 김선숙 , 김지혜 , 이윤규 - 대한건축학회 학술발표대회 논문집 2007. 10
- 자연환기설비의 성능항목 분석 및 환기성능 평가에 관한 연구 김선숙 , 이윤규 - 대한건축학회 논문집(계획계) : v.24 n.12 2008. 12
- The ESP-r COOKBOOK
- 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)
- KS F 2292, 창호의 기밀성 시험방법
- 실내공기질을 고려한 공동주택의 하이브리드 환기 시스템의 운영에 관한 연구, 이용준, 이승복, 이경회, 한국생태환경건축학회논문집, 2004.9
- 주거용 건물의 기밀성능 기준설정을 위한 침기량 실측에 관한 연구, 박원석, 호서대 대학원 석사 논문, 2003
- 고기밀 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 신우철, 윤종호, 백남춘, 한국태양에너지학회 논문집, Vol 25, No 4, pp 61-67, 2005
- A comparison between CFD and Network models for perdicting wind-driven ventilation in buildings, Omar S. Asfour et al. Building and Environment, Vol 42, Dec 2007
- CFD와 네트워크 모델 시뮬레이션을 이용한 공동주택 자연환기량 평가, 신지웅, 이용준, 쌍용 건설기술정보, 2007
- Analysis of single side ventilated and cross ventilated rooms by varying the width of the window opening using CFD, K. Visagavel, P.S.S. Srinivasan, Solar Energy 2009
- Single-sided natural ventilation driven by wind pressure and temperature difference, Tine S. Larsen, Per Heiselberg,Energy and Buildings, 2008
- 건설교통부, 건축물의 에너지절약 설계기준, 2004
- 산업자원부, 건물에너지 효율등급 인증에 관한 규정, 2005
- 산업자원부, 건물에너지 효율등급 인증제도 운영규정, 2007
- 에너지경제연구원, http://www.keei.re.kr
- http://www.passiv.de
- http://www.bre.co.uk
- ASHRAE, ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, ASHRAE, 2001.
- Promotion of European Passive Houses(PEP), Passive House Solutions, 2006.
- Feist, W. et al., CEPHEUS-Project information No.36 Final Technical Report, PASSIVHAUS INSTITUT, 2001.
- Feist, W. et al, Passive House Planning Package 2007, PASSIVHAUS INSTITUT, 2007.

- ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook Fundamentals, 2005.
- BRE, the Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, 2005.

14. 외단열 시스템 개발, 이화여자대학교

- 건설교통부, 건축물의 에너지절약 설계기준, 2004
- 대한주택공사 주택연구소, 공동주택의 외단열시스템 개발 타당성 연구, 대한주택공사, 1999.
- 산업자원부, 건물에너지 효율등급 인증에 관한 규정, 2005
- 산업자원부, 건물에너지 효율등급 인증제도 운영규정, 2007
- 송승영, 공동주택 외피 접합부 열교부위의 최적 단열상세 결정 방법에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1998.
- 송승영, 구보경, 최보혜, 외단열시스템 적용에 따른 공동주택 확장형 발코니확장-슬라브 접합부위의 단열성능 평가, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회, 2007.
- 에너지경제연구원, http://www.keei.re.kr
- http://www.passiv.de
- http://www.bre.co.uk
- EOTA Guideline
- ASHRAE, ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, ASHRAE, 2001.
- Physibel. RADCON manual. Physibel, 2002.
- Promotion of European Passive Houses(PEP), Passive House Solutions, 2006.
- Feist, W. et al., CEPHEUS-Project information No.36 Final Technical Report, PASSIVHAUS INSTITUT, 2001.
- Feist, W. et al, Passive House Planning Package 2007, PASSIVHAUS INSTITUT, 2007.
- ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook Fundamentals, 2005.
- BRE, the Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, 2005.
- BS EN ISO 6946 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, 1997
- ISO 10211 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperature - Detailed calculation, 2007
- ISO 14683 Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values, 1999

15. 친환경 소재개발, 한국건설기술연구원

- 실내환경과학, 김윤신, 민음사, 1994

- 건축재료학, 김재훈 외, 기문당, 1997
- 건축재료학, 조준현, 기문당, 1997
- 건축환경공학, 금정여정, 성안당, 2001
- 대림기술정보, (주)대림산업, 가을호, 2001
- 주요 건축물의 실내공기오염 저감을 위한 설계지원 프로그램 개발 연구, 한국건설기술연구원, 2004
- 건축환경학, 이승복 외, 문운당, 2003
- 실내공기질공정시험방법, 환경부, 2004
- 후각과 냄새물질, 일본취기대책연구협회, 2004, 수도 PEC
- 실내공기오염의 메카니즘, 지전경일, 동화기술, 2004
- 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준 설정 연구(Ⅱ), 국립환경과학원, 2005
- 공기청정기술, 한국공기청정협회, Vol.20, No.2, 2007
- http://www.koeco.or.kr
- http://www.kaca.or.kr
- http://iaenv.kict.re.kr
- ASTM D (2006) Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions From Indoor Materials/Products
- ASTM D 6670-01 (2007) Standard Practice for Full-Scale Chamber Determination of Volatile Organic Emissions from Indoor Materials/Products
- ASTM D 5197-03 (2003) Standard Test Method for Determination of Formaldehyde and Other Carbonyl Compounds in Air (Active Sampler Methodology)
- ASTM G21 (2002) Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi
- ASTM E434-71 (2002) Standard Test Method for Calorimetric Determination of Hemispherical Emittance and the Ratio of Solar Absorptance to Hemispherical Emittance Using Solar Simulation
- ASTM D 6329 (2003) Standard Guide for Developing Methodology for Evaluating the Ability of Indoor Materials to support Microbial Growth Using Static Environmental Chambers
- ASTM E307:72 (2008) Standard Test Method for Normal Spectral Emittance at Elevated Temperatures
- ASTM E408:71 (2008) Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques
- ASTM E423:71 (2008) Standard Test Method for Normal Spectral Emittance at Elevated Temperature of Nonconducting Specimens
- Greenguard (2007) Method for measuring microbial resistance from various sources using static environmental chamber
- ISO/FDIS 24353 (2008) Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of moisture adsorption/desorption properties in response

to humidity variation

16. 복사 냉난방 시스템 및 제어기술 개발, 서울대학교

- 금종수 외 6인, 여름철 실내외 온도차에 따른 인체의 온열쾌적성 평가, 설비공학논문집 제 14권 11호, 2002.
- 김영일, 김효경, 회전형 흡수식 제습기에 관한 연구, 대한설비공학회 총술, 1985.
- 김용이, 공동주택에서 바닥 복사 냉방 및 제습의 통합 제어에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2002.
- 김용이, 양인호, 김광우, 온돌을 이용한 복사냉방의 결로 방지를 위한 유량제어에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 20(1), 2000.
- 김용이, 임재한, 여명석, 김광우, 온돌을 이용한 바닥 복사 냉방의 적용성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 v.20, 2001.
- 대한 설비 공학회, 표준기상데이터, 1994.
- 대한설비공학회, 설비공학편람 제2권 공기조화, 대한설비공학회, 2001.
- 류재식, 김황기, 손장열, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 공동주택의 실내공기환경 평가에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 2001.
- 문인호, 제습의 기초 및 제습기의 국내 판매현황, 대한설비공학회 설비저널, 1998.
- 박승태, 데시컨트 제습시스템의 이해와 적용, 대한설비공학회 설비저널, 2006.
- 박승태, 조승구, 제습공조 기술의 개발동향, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2004.
- 백승효, 정창호, 신미수, 이진영, 여명석, 김광우, 공동주택 바닥복사냉방시스템의 공급냉수 온도 및 유량 설계에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 28권, 제 52집, pp.587~590
- 산업자원부, 온돌을 이용한 복사냉난방 시스템 개발에 관한 연구, 2003.
- 서기열, 세계는 지금 '탄소 제로 그린홈'에 올인, 한국경제신문, 2008년 8월 23일
- 송국섭, 전봉구, 이현우, 콘크리트 바닥과 나무 바닥의 좌식생활 자세별 온열감 비교연구, 대한건축학회 논문집 계획계 제16권 제2호, 2000.
- 송두삼 외 1인, 복사냉방과 자연환기를 병용한 하이브리드시스템의 고온다습 기후에의 적용 가능성 분석, 대한건축학회 논문집, 계획계 21권 11호(통권 205), 2005.
- 송두삼, 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템의 제안, 대한설비공학회 논문집 제15권 제6호, 2003.
- 송승영, 정종민, 자연형 건축설계를 위한 국내 주요 도시의 기후특성, 분석, 건축학회 논문집, 2001.
- 신미수, 방열량과 바닥표면온도를 고려한 바닥난방 패널 설계에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 2008
- 에너지경제연구원, 에너지 통계연보, 2009.
- 에너지관리공단, 온돌을 이용한 복사냉방시스템 기술 개발, 2000~2003
- 유승호, 조수, 천장복사냉방 공간내에서의 인체의 열적 쾌적감 특성, 대한건축학회 논

문집 계획계 제18권 제4호, 2002.
- 이미경, 바닥복사냉방시스템의 공동주택 현장 적용에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 2003.
- 이상엽, 황석호, 김가현, 이승복, 제습기능이 통합된 바닥복사냉방시스템의 적용가능성에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, 2001.
- 이수동, 박문수, 정진은, 최영석, 냉각식 시스템과 비교한 복합식 제습냉방시스템의 냉각 열량증가에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 설비공학논문집, 2004.
- 이승복 외 1인, 바닥복사냉•난방시스템의 유형별 에너지성능 평가, 대한건축학회 논문집, 계획계 21권 3호(통권 197), 2005.
- 이승복, 안서진, 초고층 주상복합건물의 최적 환경조절시스템 모형 개발에 관한 연구, 건축학회 논문집, 2003.
- 이용준, 이승복, 이경회, 실내공기질을 고려한 공동주택의 하이브리드 환기 시스템의 운영에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2004.
- 임재한, 공동주택에서 제습시스템이 통합된 바닥복사냉방의 제어 및 운영방안, 서울대학교 박사학위 논문, 2005.
- 전정윤 외 1인, 공동주택의 여름철 수용 쾌적온도 범위와 거주자의 냉방기 사용행위에 관한 연구, 설비공학논문집, 제 17권 제 5호, 2005.
- 정종수, LiCl 수용액을 이용한 개방형 흡수식 제습기의 성능평가, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2005.
- 정창호, 공동주택에서 바닥 복사냉방 적용을 위한 제습부하 산정에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 2009.
- 정창호, 이진영, 여명석, 김광우, 공동주택에서 바닥 복사냉방 적용을 위한 제습시스템 유형 선정 절차에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 2007년도 추계학술발표대회 논문집, 2007.
- 최광환, Desiccant 제습에 의한 냉방시스템 응용, 공기조화 냉동공학 논문집, 1998.
- 최광환, 흡습제를 이용하는 제습 냉방 시스템의 이해, 대한설비공학회 설비저널, 2006.
- 최병권, 남임우, 한정옥, 윤정인, 가정용 가스 흡수식 냉난방기 개발방향, 설비공학회 학술발표대회 논문집, 2001.
- 최세영, 김남현, 냉각 제습방식과 흡착 제습방식의 설계 및 운전비용 분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2005.
- 통상산업부, 에너지 절약형 온돌난방시스템 개발에 관한 중간보고서(1차년도), 통상산업부, 2006. pp.220~223
- 한국건설기술연구원, 공동주택의 에너지 절약형 냉방시스템 개발에 관한 최종보고서, 1998.
- 한국전력공사 전력거래처, 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사, 2000.
- 한정옥, 가정용 흡수식 가스냉난방기 기술개발 현황 및 보급 전망, 공기조화 냉동공학회 학술발표대회 논문집, 2000.
- 홍기수, 장세동, 빌딩용 멀티형 에어컨의 요구 조건과 제반 기술, 설비저널 제31권 제3호, 2002
- Abdelaziz Laouadi, Development of a radiant heating and cooling model for

building energy simulation software, Building and Environment vol. 39, 2004.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE, 2005.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2000.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2004.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook - HVAC systems and equipment, ASHRAE, Atlanta, 2008.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, 2005.
- ASHRAE, ASHRAE Standard 55-1992 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 1992.
- Atila Novoselac, Jelena Srebric, "A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems", Energy and Buildings, 2002.
- B. W. Olesen, Flächen-Heizung/Kühlung Einsatzbereiche Fuβboden, Wandund Decken-Systeme, 1997
- B. W. Olesen, Guidelines for comfort, ASHRAE Journal, 2002.
- B. W. Olesen, K. C. Parsons, Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730, Energy and Buildings vol. 34, 2002.
- B. W. Olesen, Possibilities and limitations of radiant floor cooling, ASHRAE Trans- actions 103 vol.1, 1997.
- Baruch Givoni, Effectiveness of mass and night ventilation in lowing the indoor daytime temperature, Energy and Buildings, 1998.
- Brandemuhl, M.J. and Shauna Gable, A Toolkit for Secondary HVAC System Energy Calculations, ASHRAE, 1993.
- C. R. MacCluer, The response radiant heating systems controlled by outdoor reset with feedback, ASHRAE Transactions 97 vol.2, 1991.
- Carlos A. Smith, Principles and practice of automatic process control, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- CEN, EN 1264 Floor heating - Systems and components-Part 3: Dimensioning, CEN, 1997
- CEN, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 1: Floor heating - Systems and components-Part 1:Definitions and symbols, p.4, CEN, 1997
- CEN, EN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 2: Floor heating - Systems and components-Part 2:Definitions of the thermal output p.11, CEN, 1997
- CEN, EN 1264-1: Floor heating: Systems and components - Part 1 : Definitions and symbols, 1999.
- CEN, EN 1264-2: Floor heating: Systems and components - Part 2 :

Determination of the thermal output, 1999.
- CEN, EN 1264-3: Floor heating: Systems and components - Part 3 : Dimensioning, 1999.
- CEN, EN 1264-4: Floor heating: Systems and components - Part 4: Installation, 2001.
- CEN, EN 12828: Heating systems in buildings - Design for water based heating systems, 2002.
- CEN, EN 12831: Heating systems in buildings - Method for calculation of the design heat load, 2002.
- CEN, EN 13202: Ergonomics of the thermal environment - Temperatures of touchable hot surfaces, 1999.
- CEN, EN 563: Safety of machinery - Temperatures of touchable surfaces - Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces, 1999.
- CEN, Guidance for establishing surface temperature limit values in production standards with the aid of EN 563
- CEN, ISO EN 7726: Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities, 1998.
- CEN, ISO EN 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Standards Organization, Geneva, 1994.
- CEN, ISO, International Standard 7730, 1984.
- CEN, ISOTR 13732: Thermal environment - Method for the assessment of humans responses to contact with surfaces. Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperatures, 2002.
- CEN, prEN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 2: 21. Floor heating : Prove methods for the determination of the thermal output of floor heating systems using calculation and test methods, CEN, 2007
- CEN, prEN 1264 Water based surface embedded heating and cooling systems - Part 5: Heating and cooling surfaces embeddd in floors, ceilings and walls - Determination of the thermal output, CEN, 2007
- CEN, prEN wi 16, Thermal performance of buildings - Sensible room cooling load calculation - General criteria and validation procedures
- CEN, prEN wi 17, Energy performance of buildings - calculation of energy use for space heating and cooling - General criteria and validation procedures
- CEN, prEN wi 31, Specification of criteria for the internal environment (thermal, lighting, indoor air quality)
- Chang-Ho Jeong, Jin-Young Lee, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim, Cooling Load Analysis of Residential Buildings for Dehumidification/sub-cooling System in Radiant Cooling, Sustainable Buildings(SB), 2007.
- Christopher L. Conroy, Stanley A. Mumma, Ceiling radiant cooling panels as a

viable distributed parallel sensible cooling technology integrated with dedicated outdoor air systems, ASHRAE Transactions 107 (1), 2001.
- Claud Daniels, Low Tech, Light Tech, High Tech, 2001.
- Corina Stetiu, Energy and peak power saving potential of radiant cooling systems in US commercial buildings, Energy and Buildings vol. 30, 1999.
- Corina stetiu, Radiant cooling in U.S. office buildings: Towards Eliminating the perception of Climate-Imposed Barriers, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1998.
- David Scheatzle, Combining radiant and convective systems with thermal mass for a more comfortable home, ASHRAE Transactions: symposia, 2006.
- Doosam Song 외 1인, Radiational panel cooling system with continuos natural cross ventilation for hot and humid regions, Energy and Buildings, 2004,
- E. Michel, F. Bonnefoi, A. Deves, Heating/cooling floors: European survey, tests and sizing method, Clima 2000/Napoli 2001 World Congress, 2001.
- Franc Sodec, Economic viability of cooling ceiling systems, Energy and Buildings, 1999.
- Fumio Yamada et. al., Development of Air-conditioning Control Algorithm for Building Energy-saving, Proceeding of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications, 1999.
- G. Mihalakakou 외 2인, The cooling potential of a metallic nocturnal radiator, Energy and Buildings, 1998.
- GSW building 건설지
- Helmut E. Feustel 외 1인, Hydronic radiant cooling - preliminary assessment, Energy and Buildings, 1995.
- http://www.cmpi.co.kr/
- I.B. Kilkis et, al., A simplified model for radiant heating and cooling panels, Simulation Practice and Theory 2, 1994
- J. L. Niu, L. Z. Zhang, H. G. Zuo, Energy savings potential of chilled ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates, Energy and Buildings, vol. 34, 2002.
- J. Miriel, L. Serres, A. Trombe, Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions, Applied Thermal Engineering vol. 22, 2002.
- Jae-Weon Jeong, Stan Mumma, Designing a Dedicated Outdoor Air System with Ceiling Radiant Cooling Panels, ASHRAE Journal, October 2006.
- Jae-Weon Jeong, Stanley A. Mumma, Ceiling radiant cooling panel capacity enhanced by mixed convection in mechanically ventilated spaces, Applied Thermal Engineering 23, 2003.
- Jan Babiak, Bjaren W. Olesen, Dusan Petras, Low Temperature Heating and High Temperature Cooling, Rehva, 2007.

- Jurgen Bohle, Herbert Klan, Design of Panel Heating and Cooling Systems, ASHRAE Transactions, 106(2000) (1), pp.677~683
- K. A. Antonopoulos, C. Tzivanidis, Numerical solution of unsteady three-dimensional heat transfer during space cooling using ceiling-embedded piping, Energy vol. 22, 1996.
- K. A. Antonopoulos, M. Vrachopoulos, C. Tzivanidis, Experimental and theoretical studies of space cooling using ceiling-embedded piping, Applied Thermal Engineering vol.17, 1997.
- K. A. Antonopoulos, M. Vrachopoulos, C. Tzivanidis, Experimental evaluation of energy savings in air-conditioning using metal ceiling panels, Applied Thermal Engineering vol.18, 1998.
- K. J. Chua, J. C. Ho, S. K. Chou, A comparative study of different control strategies for indoor air humidity, Energy and Buildings, 2007.
- K. Nagano, T. Mochida, Experiments on thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects, Building and Environment vol. 39, 2004.
- K. Yokoo, S. Tanabe, Y. Aizawa, K. Inagaki, D. Kawamata, H. Amai, K. Watanabe and T. Nishimasu, Amount of Moisture Produced Inside Bathroom and Appurtenant Changing Room, IAQVEC 2007 conference, 2007.
- Koichi Kitagawa, Noriko Komoda, Hiroko Hayano, Shin-ichi Tanabe, Effect of humidity and small air movement on thermal comfort under a radiant cooling ceiling by subjective experiments, Energy and Buildings vol.30, 1999.
- Kuehn, T.H., J.L. Threlkeld, and J.W. Ramsey, Thermal Environmental Engineering, 3rd ed., Prentice-Hill, Inc, 1998,
- L. Z. Zhang, J. L. Niu, Indoor humidity behaviors associated with decoupled cooling in hot and humid climates, Building and Environment vol.38, 2003.
- Lewis G. Harriman Ⅲ, G. W. Brundrett, R. Kittler, Humidity control design guide for commercial and institutional buildings, ASHRAE, 2001.
- Liesen, R. J., and C. O. Pedersen. 1997. An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Models for Cooling Load Calculations. ASHARE Transactions 1997, vol. 103, Part 2. pp.485~502
- Liesen, R. J., and C. O. Pedersen. An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Models for Cooling Load Calculations. ASHARE Transactions 1997, vol. 103, 1997.
- M. H. Saidi and S. Vazirifard, Hybrid desiccant cooling systems, ASHRAE Journal, 2007.
- M. Udagawa, Calculation methods of air-conditioning systems with personal computers, Ohm-sha, Tokyo, 1986. (in Japanese)
- Markus Koschenz, Interaction of an air system with concrete core conditioning, Energy and Buildings, 1999.
- Michele De Carli, B. W. Olesen, Field measurements of thermalcomfort conditions in buildings with radiant surface cooling systems, Clima 2000/Napoli 2001 World

Congress, 2001.
- Nobuo Nakahara, 공조시스템의 최적 설계, 1997
- Nordtest, NT vvs 078(Ceiling cooling system: Cooling capacity) - 천장 냉방 시스템의 용량 산정, 1999
- Nordtest, NT vvs 119(Floor heating systems: Acceptance test) - 바닥 난방 시스템의 성능 시험
- Nordtest, NT vvs 127(Floor heating systems: Design and type testing of waterborne heat system for lightweight structure) - 경량 구조체용 복사 난방 시스템 설계 및 시험, 2001.
- Olesen, Bjarne, Radiant Floor Cooling Systems, ASHRAE Journal, 2008
- P. O. Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
- Peter Simmonds, Isaac Chambers, Bungane Mehlomakulu, Chris Simmonds, Applied performance of radiant ceiling panels for cooling, ASHRAE Transactions: symposia, 2006.
- Peter Simmonds, Stefan Holst, Using radiant cooled floors to condition large spaces and maintain comfort conditions, ASHRAE Transactions : Symposia, 2000.
- Prapapong Vangtook, Application of radiant cooling as a passive cooling option in hot humid climate, Building and Environment 42, 2007
- Prapapong Vangtook, Surapong Chirarattananon, An experimental investigation of application of radiant cooling in hot humid climate, Energy and Buildings 38, 2006.
- R. C. Bourne, Hydronic Radiant Heating Handbook, Hydronic Radiant Heating Workshop Notes, Davis Energy Group, 1989.
- R. C. Diamond, H. E. Feustel, D. J. Dickerhoff, Ventilation and Infiltration in High-Rise Apartment Buildings, Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), California, 1996
- Radu Zmeureanu, Paul Fazio, Thermal performance of a hollow core concrete floor system for passive cooling, Building and Environment vol. 23, 1998.
- Risto Kosonen, Freddie Tan, A feasibility study of a ventilated beam system in the hot and humid climate : a case-study approach, Building and Environment, 2005.
- S. B. Leigh, D. S. Song, S. H. Hwang, S. Y. Lee, A study for evaluating performance of radiant floor cooling integrated with controlled ventilation, ASHRAE Transactions: Research, 2005.
- S. B. Leigh, MacCluer C. R, Comparative experimental study of proportional flux-modulation and various types of temperature-modulation approaches for radiant floor heating system control, ASHRAE Transactions 100 vol.1, 1994.
- Seung-Hyo Baek, Mi-Su Shin, Chang-Ho Jeong, Jin-Young Lee, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim, Determination of the Chilled Water Temperature and Flow Rate of the Radiant Floor Cooling System in Residential Buildings, Proceedings of the 29th AIVC Conference, pp.267~272

- Stanley A. Mumma, Chilled ceiling in parallel with dedicated outdoor air systems: addressing the concerns of condensation, capacity, and cost, ASHRAE Transactions 108 vol. 2, 2002.
- Stanley A. Mumma, Condensation issues with radiant cooling panels, IAQ Applications Fall, 2001.
- Sung-Hyun Kim, Tae-Heon Kim, Young-Duk Kim, Korean energy demand in the new millennium: overlook and policy implications 2000-2005, Energy Policy vol. 29, 2001.
- Takao Nishimura, Heat pumps-status and trends in Asia and the Pacific, International Journal of Refrigeration vol.25, 2002.
- Takehito Imanari, Toshiaki Omori, Kazuaki Bogaki, Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system, Energy and Buildings vol.30, 1999.
- The Home Energy Company
- Threlkeld, J.L., Thermal Environmental Engineering, 2nd ed., Englewood Cliffs : Prentice-Hill, Inc, 1970.
- Walton, G.N., A new algorithm for radiant interchange in room loads calculations. ASHRAE Transactions 86(2), 1980.
- Xiaoli Hao, A combined system of chilled ceiling, displacement ventilation and desiccant dehumidification, Building and Environment 42, 2007.
- Zhen Tian, Radiant slab cooling : A case study of building energy performance, SimBuild, 2006.
- Zheng Li, Wu Chen, Shiming Deng, Zhongping Lin, The characteristics of space cooling load and indoor humidity control for residences in the subtropics, Building and Environment, 2006.

17. 냉난방 요소 시스템 제어 및 기술 개발

- 최원기, 장월상, 서승직, TRNSYS를 이용한 건물 에너지 해석, 도서출판 건기원, 2004.
- Li-Xin Wang, A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall International, Inc, 1997.
- 강용혁 외, “TRNSYS를 이용한 태양열 온수급탕 시스템의 년성능 평가연구”, 태양에너지 Vol.14, No.3, 1994.
- G. Hudson & C. P. Underwood, A SIMPLE BUILDING MODELLING PROCEDURE FOR MATLAB/SIMULINK, IBPSA, 1999.
- 조성환, “온수분배기의 유량조절 및 밸런싱”, 대한설비공학회지, Vol.34 No.8, August, 2008.
- Betzaida Argello-Serrano and Miguel Vlez-Reyes, Nonlinear Control of a Heating,

Ventilating and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation, IEEE Trans. Control Systems Technology 1999;7:56-63.
- Rahmat Shoureshi, Intelligent control systems : Are they for real?, Trans. ASME 1993;115:392-401.
- MohammadYaqub and SyedM.Zubair, "Capacity Control for Refrigeration and Air-Conditioning Systems: A Comparative Study", Journal of Energy Resources Technology 2001;123:92-9.
- Behzad Moshiri and Farzan Rashidi, Self-tuning Based Fuzzy PID Controllers : Application to Control of Nonlinear HVAC Systems, IDEAL 2004;3177:437-442.
- Michael J. Coffin, Direct Digital Control for Building HVAC Systems. 2nd ed. [S.l.] : Kluwer Academic Publishers;1998.
- Elham Semsar, Mohammad Javad Yazdanpanah and Caro Lucas, Nonlinear Control and Disturbance Decoupling of an HVAC system via Feedback Linearization and Back-Stepping, Proceedings of IEEE Conference 2003;1:646-650.
- Farzan Rashidi and Behzad Moshiri, Design of a Robust Sliding Mode Fuzzy Controller for Nonlinear HVAC Systems, ICAISC 2004;3070:984-989.
- N. Sheikholeslami, D. Shahmirzadi, E. Semsar, C. Lucas and M.J. Yazdanpanah, Applying brain emotional learning algorithm for multivarizble control of HVAC systems, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 2006; 17: 35-46.
- Ming-Li Chiang and Li-Chen Fu, Adaptive and Robust Control for Nonlinear HVAC System, the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006;6:4982-7.
- C.P. Underwood, HVAC Control Systems : Modeling, analysis and design, E&FN SPON, 1999.
- Y.C. Chang, Robust tracking control of nonlinear MIMO systems via fuzzy approaches, Automatica 2000;36:1535-1545.
- Tong Shaocheng, Chen Bin and Wang Yongfu, Fuzzy adaptive output feedback control for MIMO nonlinear systems, Fuzzy Sets and Systems 2005;156:285-299.
- Han-Xiong Li and Shaocheng Tong, A Hybird Adaptive Fuzzy Control for A Class of Nonlinear MIMO Systems, IEEE TRANS. ON FUZZY SYST. 2003;11:24-34.
- Jianbo Bai and Xiaosong Zhang, A new adaptive PI controller and its application in HVAC systems, Energy Conversion and Management 2007; 48:1043-1054.
- M. Zaheer-uddin and N. Tudoroiu , "Neuro-PID tracking control of a discharge air temperature system", Energy Conversion and Management 2007;48:1043-1054.
- Alberto Isidori, Nonlinear control systems. 3rd ed. New York : Springer Verlag; 1995.
- Jaeho Baek, Euntai Kim and Mignon Park,"Adaptive Fuzzy Output Feedback Control for the Nonlinear Heating, Ventilating, and Air Conditioning System", ITC-CSCC, 2008

- Jaeho Baek, Jong-yo Choi, Sa-Yoon Jang and Mignon Park,“Simulation Analysis of Adaptive Outdoor Reset Control based on a Fuzzy Target Temperature Gap for a Hydronic Radiant Floor Heating Systems", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2010, Vol.9, No.1, pp251-257
- Jaeho Baek, Eun-ju Hwang, Euntai Kim and Mignon Park, "Adaptive Fuzzy Output Feedback Control based on Observer for Nonlinear Heating, Ventilating and Air Conditioning System", 2009, Vol.9, No.2, pp76-82
- 최종요, 백재호, 이희진, 김은태, 박민용, “퍼지 알고리즘을 기반으로한 바닥복사 난방시스템의 외기보상제어”, 대한전자공학회 하계종합학술대회 , 2008, Vol.31, No.1, pp1073-1074
- 최종요, 이원주, 강창순, 박민용, “실내외 온도를 고려한 퍼지 Look-up table기반의 온돌난방 제어시스템”, 한국지능시스템학회, 2010, Vol.20, No.2, pp246-249
- 백재호, 황은주, 김은태, 박민용,“관측기를 이용한 비선형 HVAC 시스템의 적응 퍼지 제어", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 2008, Vol.31, No.1, pp1081-1082

18. 환기 시스템의 개발

- The Chartered Institution of Building Services Engineers. 2000. Mixed Mode Ventilation. Applications Manual AM13:2000. London: CIBSE.
- Kosik, W.J. 2001. "Design Strategies For Hybrid Ventilation," ASHRAE Journal 43(10), pp. 18-24.
- The Chartered Institution of Building Services Engineers. 1997. Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings. Applications Manual AM10:1097. London: CIBSE.
- Brager, G.S., E. Ring and K. Powell. 2000. “Mixed-mode ventilation: HVAC meets Mother Nature.” Engineered Systems May.
- Heiselberg, P. 2000. "Design principles for natural and hybrid ventilation." Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2.
- Heinonen, J. and R. Kosonen. 2000. “Hybrid ventilation concepts for commercial buildings.” Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2.
- Smith, V. A. and Donald, J. D., 1997, Minimum energy kitchen ventilation for quick service restaurants, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 950-960.
- J. K. et al, 2004, A study on the ventilation system applicable to existing apartment house, Proceedings of the SAREK '2004 Summer Annual Conference, pp. 201-206.
- J. C. et al, 2005,A study on the improvement of ventilation performance in apartment house according to the location of exterior air-vents, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No.2,pp. 71-79.
- Sinden, F. W., 1978, Multi-chamber tjeory of air infiltration, Building and Environment, Vo. 13, pp. 21-28.
- Sherman, M. H., 1988, Uncertainty in air flow calculations using tracer gas

measurements, Building and Environment, Vo. 24, No. 4, pp. 347-354.
- Irwin, C. and Edwards, R. E., 1990, A comparison of different methods of calculating interzonal airflows by multiple tracer gas decay tests, 10th AIVC Conference, Vo. 1, pp. 57-70.
- O'neill, P. J. and Crawford, R. P., 1991, Identification of flow and volume parameters in multizone systems using a single-gas tracer technique, ASHRAE Transaction 97, pp. 49-54.
- Afonso, C. F. A. and Maldonado, E. A. B., 1986, A single tracer-gas method to characterize multi-room air exchanges, Energy and Building, Vo. 9, pp. 273-280.
- Borchiellini, R., 1997, Function estimation of ventilation rates from tracer gas measurement, Building and Environment, Vo. 32, No. 2, pp. 167-185.
- Miller, S. R., Leiserson, K. and Nazaroff, W. W., 1997, Nonlinear least-Squares minimization applied to tracer gas decay for determining airflow rates in a two-zone building, Indoor air, Vo. 7, No 1, pp. 64-75

19. 환기 필터 개발

- Sundell J:On the association between building ventilation characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports: Indoor air 1994 Suppl. 2: 94.
- Fanger, PO: What is IAQ? Indoor Air 2006; 16: 328-334.
- Noh KC, Jang JS, Oh MD:Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system: Building and Environment 2007; 42: 689-698.
- Noh KC, Han CW, Oh MD: Effect of the airflow rate of a ceiling type air-conditioner on ventilation effectiveness in a lecture room: International Journal of Refrigeration 2008; 31: 180-188.
- Yu CWF and Kim JT: BuildingPathology, Investigation of Sick Buildings _ VOC Emissions: Indoor Built Environ 2010; 19; 1: 30 - 39.
- Singh J, Yu CWF and Kim JT: Building Pathology, Investigation of Sick Buildings _Toxic Moulds: Indoor Built Environ 2010; 19; 1:40-47
- Seppänen O, Fisk WJ:Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers:Indoor Air 2002; 12: 98-112.
- Apte MG, Fisk WJ, DaiseyJM: Associations between indoor CO_2 concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: an analysis of the 1994 - 1996 BASE study data: Indoor Air2000; 10: 246 - 257.
- Bornehag CG, Sundell J, Weschler C, Sigsgaard T, Lundgren B, Hasselgren M, Hägerhed L: The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalate in house dust: a nested case control study: Environ. Health

Perspect. 2004; 112: 1393-1397.
- Bornehag CG, Sundell J, Hägerhed-Engman L, Sigsgaard T: Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children: Indoor air 2005; 15: 275-280.
- Pang SK, Lee JS, Cho H, Sohn JY, Cho S: Development of Analytical Tool for Indoor VOC Concentration Using Enthalpy Changes in New Apartments in Korea: Indoor and Built Environment 2008; 17: 551-561.
- Fisk WJ, Faulkner D, Palonen J, Seppanen O:Performance and costs of particle air filtration technology: Indoor Air 2002; 12: 223-234.
- Riley WJ, McKone TE, Lai ACK, Nazaroff WW: Indoor Particulate Matter of Outdoor Origin: Importance of Size-Dependent Removal Mechanisms: Environmental Science and Technology 2002; 36: 200-207.
- Hui PS, Wong LT, Mui KW: Using Carbon Dioxide Concentration to Assess Indoor Air Quality in Offices: Indoor and Built Environment 2008 17; 3: 213-219.
- Hoek G, Kos G, Harrison R, Hartog J, Meliefste K, Brink H, Katsouyanni K, Lianou M, Kotronarou A, Kavouras I, Pekkanen J, Vallius M, Kulmala M, Puustiene A, Thomas S, Meddings C, Ayres J, Wijnen J, Hameri K: Indoor-outdoor relationship of particle number and mass in four European cities:Atmospheric Environment 2007; 42: 156-169.
- Rudnick SN: Optimizing the design of room air filters for the removal of submicronmeter particles:Aerosol Science and Technology 2004; 38: 861-869.
- Sherman MH, Hodgson, AT:Formaldehyde as a basis for residential ventilation rates: Indoor Air 2004; 14: 2-8.
- Fisk WJ, Faulkner D, Sullivan D, Bauman F: Air change effectiveness and pollutant removal efficiency during adverse mixing conditions: Indoor Air 1997 7: 55-63..
- Moon YJ, Noh KC, Oh MD: A study on cross-contamination according to the size and separationdistance of exterior air-vents: Proceedings of theSociety of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea Summer Annual Conference 2006: 393-398 (in Korean).
- Abt E, SuhHH, Catalano P, Koutrakis P: Relative Concentration of Outdoor and Indoor Particle Sources to Indoor Concentrations: Environmental Science and Technology 2000; 34: 3579-3587.
- Hinds WC: Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. New York, John Willey and Sons, 1999.
- Choi SY, Yee JJ:A pressure loss experiment and examination of T-method's application proprietyfor duct design of housing ventilation system:Korean Journal of Architectural Institute of Korea 2006; 22: 353-362 (in Korean).
- Long CM, Suh HH, Catalano PJ, Koutrakis P:Using Time- and Size-Resolved Particulate Data to Quantify Indoor Penetration and Deposition

Behavior:Environmental Science and Technology 2001; 35: 2089-2099.
- Tsal RJ, Behls HF:Using the T-method for duct system design: ASHRAE Journal 1990; 33: 3: 30-45.
- Aguiar ML, Coury JR: Cake formation in fabric filtration of gases: Ind. Eng. Chem. Res. 1996; 35: 3673-3679.
- Liu M, Claridge DE, Deng S: An air filter pressure loss for fan energy calculation in air handling units: International Journal of Energy Research 2003; 27: 589-699.
- Sherman MH: ASHRAE's residential ventilation standard: Exegesis of proposed standard 62.2: LBNL-42975. Lawrence Berkeley National Lab, Berkeley CA, 2000.
- Engvall K, Wickmann P, Norbäck D: Sick buildingsyndrome and perceived indoor environment in relation to energy saving by reduced ventilation flow during a heating season: a 1 year intervention study in dwellings: Indoor air 2005;15: 120-126.
- Bakö, G., Clausen, G. and Weshler, C.J. (2008). Is the Use of Particle Filtration Justified? Costs and Benefits of Filtration with Respect to Health Effects, Building Cleaning and Occupant Productivity. *Build. Environ.* 43: 1647 - 1657.
- Emi, H., Kanaoka, C., Otani, Y. and Ishiguro, T. (1987). Collection Mechanisms of Electret Filter. *Part. Sci. Technol.* 5: 161 - 171.
- Fjeld, R.A. and Owens, T.M. (1988). The Effect of Particle Charge on Penetration in an Electret Filter. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 24: 725 - 731.
- Hanley, J.T., Ensor, D.S., Foarde, K.K. and Sparks, L.E. (1999). The Effect of Loading Dust Type on the Filtration Efficiency of Electrostatically-charged Filters. *Proceedings of Indoor Air '99*, Edinburgh, Scotland, August 8—13, 1999.
- Hinds, W.C. (1999). *Aerosol Technology: Properties, Behaviour, and Measurement of Airborne Particles*, John Willey and Sons, New York.
- Huang, S.H., Chen, C.W., Chang, C.P., Lai, C.Y. and Chen, C.C. (2007). Penetration of 4.5 nm and 10 μm Aerosol Particles through Fibrous Filters. *J. Aerosol Sci.* 38: 719 - 727.
- Hussein, T., Glytsosc, T., Ondracek, J., Dohanyosova, P., Zdimald, V., Hameri, K., Lazaridis, M., Smolik, J. and Kulmala, M. (2006). Particle Size Characterization and Emission Rates during Indoor Activities in a House. *Atmos. Environ.* 40: 4285 - 4307.
- Ji, J.H., Bae, B.N., Kang, S.H. and Hwang, J.H. (2003). Effect of Particle Loading on the Collection Performance of an Electret Cabin Air Filter for sSubmicron Aerosols. *J. Aerosol Sci.* 34: 1493 - 1504.
- KACA (Korean Air Cleaning Association). (2007). *Air Cleaning Handbook - Volume 1*, Korean Air Cleaning Association, Seoul.
- Kim, C. Noh, K.C. and Hwang, J. (2010). Numerical Investigation of Corona Plasma Region in Negative Wire-to-duct Corona Discharge. *Aerosol Air Qual. Res.* 10: 446 - 455.

- Kim, K.H., Sekiguchi, K., Kudo, S., Sakamoto, K., Hata, M., Furuuchi, M., Otani, Y. and Tajima, N. (2010). Performance Test of an Inertial Fibrous Filter for Ultrafine Particle Collection and the Possible Sulfate Loss when Using an Aluminum Substrate with Ultrasonic Extraction of Ionic Compounds. *Aerosol Air Qual. Res.* 10: 616 - 624.
- Kim, S.C., Harrington, M.S. and Pui, D.Y.H. (2007). Experimental Study of Nanoparticles Penetration through Commercial Filter Media. *J. Nanopart. Res.* 9: 117 - 125.
- Kimura, N. and Iinoya, K. (1959). Experimental Studies on the Pressure Drop Characteristics of Fiber Mats. *Kagaku Kogaku*. 23: 792. (in Japanese)
- Li, K. and Jo, Y.M. (2010). Dust Collection by a Fiber Bundle Electret Filter in an MVAC System. *Aerosol Sci. Technol.* 44: 578 - 587.
- Liu, M., Claridge, D.E. and Deng, S. (2003). An Air Filter Pressure Loss Model for Fan Energy Calculation in Air Handling Units. *Int. J. Energy Res.* 27: 589 - 600.
- Long, C.M., Suh, H.H., Catalano, P.J. Koutrakis, P. (2001). Using Time- and Size-Resolved Particulate Data to Quantify Indoor Penetration and Deposition Behavior. *Environ. Sci. Technol.* 35: 2089 - 2099.
- Madl, A.K. and Pinkerton, K.E. (2009). Health Effects of Inhaled Engineered and Incidental Nanoparticles. *Crit. Rev. Toxicol.* 39: 629 - 658.
- Nifuku, M., Zhou, Y., Kisiel, A., Kobayashi, T. and Katoh, H. (2001). Charging Characteristics for Electret Filter Materials. *J. Electrostat.* 51 - 52: 200 - 205.
- Noh, K.C. and Hwang, J. (2010). The Effect of Ventilation Rate and Filter Performance on Indoor Particle Concentration and Fan Power. *Indoor Built Environ.* 19: 444 - 452.
- Owen, M.K. and Ensor, D.S. (1990). Particle Size Distribution for an Office Aerosol. *Aerosol Sci. Technol.* 13: 486 - 492.
- Podgórski, A. and Bałazy, A. (2008). Novel Formulae for Deposition Efficiency of Electrically Neutral, Submicron Aerosol Particles in Bipolarly Charged Fibrous Filters Derived Using Brownian Dynamics Approach. *Aerosol Sci. Technol.* 42: 123 - 133.
- Romay, F.J., Liu, B.Y.H. and Chae, S.J. (1998). Experimental Study of Electrostatic Capture Mechanisms in Commercial Electret Filters. *Aerosol Sci. Technol.* 28: 224 - 234.
- Shin, W.G., Mulholland, G.W., Kim, S.C.and Pui, D.Y.H. (2008). Experimental Study of Filtration Efficiency of Nanoparticles below 20 nm at Elevated Temperatures. *J. Aerosol Sci.* 39: 488 - 499.
- Tabti, B., Dascalescu, L., Plopeanu, M., Antoniu, A. and Mekideche, M. (2009). Factors that Influence the Corona Charging of Fibrous Dielectric Materials. *J. Electrostat.* 67: 193 - 197.

- Tekasakul, S., Suwanwong, P., Otani, Y. and Tekasakul, P. (2008). Pressure Drop Evolution of a Medium-Performance Fibrous Filter during Loading of Mist Aerosol Particles. *Aerosol Air Qual. Res.* 8: 348 - 365.
- Zuraimi, M.S. and Tham, K.W. (2009). Reducing Particle Exposures in a Tropical Office Building Using Electrostatic Precipitators. *Build. Environ.* 44: 2475 - 2485.
- The Chartered Institution of Building Services Engineers. 2000. Mixed Mode Ventilation. Applications Manual AM13:2000. London: CIBSE.
- Kosik, W.J. 2001. "Design Strategies For Hybrid Ventilation," ASHRAE Journal 43(10), pp. 18-24.
- The Chartered Institution of Building Services Engineers. 1997. Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings. Applications Manual AM10:1097. London: CIBSE.
- Brager, G.S., E. Ring and K. Powell. 2000. "Mixed-mode ventilation: HVAC meets Mother Nature." Engineered Systems May.
- Heiselberg, P. 2000. "Design principles for natural and hybrid ventilation." Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2.
- Heinonen, J. and R. Kosonen. 2000. "Hybrid ventilation concepts for commercial buildings." Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2.
- Smith, V. A. and Donald, J. D., 1997, Minimum energy kitchen ventilation for quick service restaurants, ASHRAE Trans. Part 2, pp. 950-960.
- Kim, K. H. et al, 2000, Prediction of the ventilation performance in a kitchen with various locations of gas range and window, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 75-82.
- Kim M. J., 2000, A performance of airing kitchen ventilation by shift a supply diffuser position,-Conditioning and Refrigeration Eng.Summer Annual Conference, pp. 626-631.
- Choi, S. H., 2002, An approach for natural ventilation performance in a unit plan of apartment house, MS thesis, Sungkyunkwan University, Korea.
- Kim, K. H. and Lee, E. K., 2003, A study on the ventilation effectiveness of mechanical ventilation system in apartment buildings, SAREK '2003 Winter Annual pp. 537-542.
- J. K. et al, 2004, A study on the ventilation system applicable to existing apartment house, Proceedings of the SAREK '2004 Summer Annual Conference, pp. 201-206.
- J. C. et al, 2005,A study on the improvement of ventilation performance in apartment house according to the location of exterior air-vents, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No.2,pp. 71-79.
- 건설교통부, 신축 공동주택 환기설비기준
- Building regulations BBR, BFS 1993:57, with amendments up to BFS 2002:19
- Aguiar, M. L. and Coury, J. R. (1996) "Cake formation in fabric filtration of gases", Ind. Eng. Chem. Res., 35, 3673-3679.

- ASHRAE (2007) Ventilation for Acceptable Indoor air Quality, Atlanta GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE Standard 62.1 - 2007)
- Fanger, P. O. (2006) "What is IAQ?", Indoor Air, 16, 328-334.
- Hänninen, O. O., Lebret, E., Ilacqua, V., Katsouyanni, K., Künzli, N., Sram R. J. and Jantunen, M. (2004) "Infiltration of ambient PM2.5 and levels of indoor generated non-ETS PM2.5 in residences of four European cities", Atmospheric Environment, 38,6411-6423.
- Hinds, W. C. (1999) Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles, New York, John Willey and Sons.
- Jamriska, M., Morawska, L. and Clark, B. A. (2000) "Effect of ventilation and filtration on submicrometer particles in an indoor environment", Indoor Air, 10, 19-26.
- Liddament, M. W. (2000) "A review of ventilation and the quality of ventilation air", Indoor Air, 10, 193-199.
- Noh, K. C. and Oh, M. D. (2006) "Variation of ventilation performance with the intensity and the location of indoor momentum source", In: Proceedings of the Healthy Buildings, Lisboa, pp. 163-167.
- Noh, K. C., Jang, J. S. and Oh, M. D. (2007) "Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system", Building and Environment, 42, 689-698.
- Seppänen, O. and Fisk, W. J. (2002) "Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers", Indoor Air, 12, 98-112.

20. 공동주택용 지열원 활용 냉난방 기술개발, 한국에너지기술연구원

- G. H. Ko, J. Y. Kim, E. C. Kang, E. J. Lee, M. T. Hyun, 2008, "A Experimental Study on the Ground Source and Rain Water Heat Source Heat Pump System in Apartment" Proceedings of The Korea Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 2007 Summer Annual Conference, pp. 833-838.
- G. H. Ko, J. Y. Kim, E. C. Kang, E. J. Lee, M. T. Hyun, 2007. "A study on Ground Source Heat Pump(GSHP) performance Measurement and Initial commissioning", Proceedings of The Korea Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 2007 Summer Annual Conference, pp. 239-244.
- J. C. Jang, J. Y. Kim, E. J. Lee, S. Y. Yoo, 2010. "A Study on the In-situ Performance Verification and Prediction Method of water to water GHSP System", Proceedings of The Korea Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers 2010 Summer Annual Conference, pp. 631-637.
- G. H. Ko, J. Y. Kim, E. C. Kang, K. C. Chang, E. J. Lee, 2008. "ISO performance

data based commissioning technique for GSHP system", Journal of Geothermal Energy Engineers, Vol. 4, No. 2, pp. 1-7.
- J. Y. Kim, J. C. Jang, E. C. Kang, K. C. Chang, E. J. Lee Y. C. Kim, 2010, "A Study on Water to Water GHP System Performance Verification Technique Based on Performance Data", Proceedings of the ISLCT 2010, p. 209.
- 김지영, 장재철, 강은철, 장기창, 이의준, 2010, "지열히트펌프 시스템의 건물통합 설계 및 커미셔닝에 관한 연구", 한국신·재생에너지학회 2010춘계학술대회 초록집, p. 169.
- 김지영, 장재철, 강은철, 장기창, 이의준, 2010, "지열히트펌프 시스템의 초기 커미셔닝에 관한 연구", 한국지열에너지학회 2010년도 춘계학술대회, pp. 35-39.
- NRC, RETScreen International, Renewable Energy Project Analysis, MNRC, 2002
- ASHRAE Commissioning, Preventive, Maintenance, and Troubleshooting Guide for Commercial Ground-Source Heat Pump System
- 산업자원부 지열 이용 열펌프시스템의 성능 평가 기법 및 기수 기준안(안) 구축 최종 보고서, 2005.09.30.
- International Performance Measurement & Verification Protocol, Concept and Practices for Determining Energy Saving in Renewable Energy Technology Applications Volume Ⅲ, Prepared by IPMVP Renewable subcommittee.
- Xiaobing Liu, Integrated Simulation-Based Design for Geothermal Heat Pump Systems, IGSHPA 2007
- KS B 13256-2 물을 열원으로 이용하는 열펌프의 성능시험 평가-제2부 : 물 대 물, 염수 대 물.
- 산업자원부고시 제2008-2322호 신·재생에너지설비의 지원·설치·관리에 관한 기준.
- http://www.amasond.com/en/
- http://www.enercret.com
- http://www.awebgeo.com
- RETScreen web site : www.retscreen.net.
1. IPMVP web site : http://www.ipmvp.org.

21. 공동주택의 태양광 태양열 시스템 적용, 한밭대학교

- 윤종호 외 3, 아파트의 급탕량 조사 및 태양열 온수급탕 시스템 적용에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 2002.
- 김지현 외 3, 공동주택의 급수설비 시스템 계획을 위한 사용수량 조사연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 1997
- 신재생에너지 백서, 지식경제부, 2008
- 윤종호, "유럽사례를 통해 본 태양열 시스템의 보급현황 및 향후 추진 방향", 에너지관리공단 제7회 태양열이용 기술 세미나, 2005.3
- 윤종호, "그린빌리지 조성방법 및 보급활성화 방안". 제6회 에너지관리공단 태양열이용기술세미나, 2004. 3.26
- 윤종호, "유럽사례를 통해 본 태양열 시스템의 보급현황 및 향후 추진 방향", 에너지관리공단 제7회 태양열이용 기술 세미나, 2005.3

- 윤종호, 백남춘, 유창균, 김종일, "에너지자립형 태양열 주택의 설계 및 시공방법 체크리스트 수립연구", 2005 한국신재생에너지학회 춘계학술대회 논문집, 제주 라마다호텔 2005. 6.17
- 에너지관리공단, 에너지절약 설계기준해설서, 2009
- 신우철 외, 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕시스템의 열적 거동에 관한 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 26, No. 4, 2006.
- 서승직 외, 외주부 환경 개선을 위한 태양열 집열기의 기능을 갖는 BIPV시스템 제안, 대한건축학회 창립 60주년 기념 학술발표대회 논문집, 2005.
- 신지웅, 아파트 옥외공간의 공기질 향상을 위한 주동 배치 계획 연구, 대한 건축학회 추계학술발표대회 논문집, Vol. 24, No. 2, 2004.
- 주현로, 중·대형 태양열 급탕 시스템의 장기 열성능에 관한 연구, 대전대학교 대학원 건축공학과 석사논문, 2007.
- 윤종호 외, 사무소 건물 유입일사 최적제어를 위한 첨단 창의 성능평가 연구, 대한건축학회 창립50주년 기념 논문집 11권 10호 (229-244p), 1995.
- 김종현, 아파트 적용 태양열 난방 및 급탕 시스템의 열성능 분석, 대전대학교 대학원 건축공학과 석사논문, 2005.
- 김병수 외, 아파트의 급탕량 조사 및 태양열 온수급탕 시스템 적용에 관한 연구 '대전시를 중심으로', 대한건축학회 논문집, Vol. 18, No. 12, 2002.
- 박재성 외, 동절기 SAR를 이용한 공동주택 배치유형별, 세대별, 방위별 일조환경 평가 연구, 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집, 2006.
- 박재성 외, 공동주택 배치형태에 따른 지붕 및 수직벽면의 태양에너지 가용량 평가 연구, 한국친환경건축설비학회 학술발표대회 논문집, 2007.
- 한규복, 주택용 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구, 한밭대학교 산업대학원 건축공학과 석사논문, 2006.
- 김재웅, 건물 외피용 태양광발전(BIPV) 모듈의 열적 영향에 관한 성능평가 연구, 한밭대학교 산업대학원 건축공학과 석사논문, 2005.
- 이승복, 건설교통부 후원 저에너지친환경공동주택연구단, 대한건축학회 친환경건축특별위원회 및 기술교육위원회 세미나 건축관련 국가 R&D사업의 수행현황 및 향후 추진방향, 2007.
- 신재생에너지센터, 2006년 신재생에너지통계, 에너지관리공단, 2007.
- 한국전력, 2006년 가전기기 보급률 조사, 산업자원부, 2007.
- 신재생에너지센터, 2006년 신재생에너지 원별 공급비중, 에너지관리공단, 2007.
- Wolfgang Streicher, "Solar Thermal Heating Systems", Lecture Script, 2009.07
- James & James Ltd, "Planning and Installing Solar Thermal Systems", 2005
- Building America Best Practices Series, "High-Performance Home Technologies: Solar Thermal & Photovoltaic Systems", Pacific Northwest National Laboratory & Oak Ridge National Laboratory, June 4, 2007
- Voss, K, "Solar energy in building renovation - results and experience of international demonstration buildings", 2000
- Robert Hastings and Maria Wall, Sustainable Solar Housing. Earthscan, 2007.

- Peter F. Smith. Architecture in a Climate of Change. Architectural Press, 2005.
- Stein Reynolds, Grondzik Kwok, Mechanical and Electrical Equipment of Buildings Tenth Edition, Wiley, 2006.
- J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes - 2nd ed., Wiley, New York, 1991.
- TRNSYS 15 Reference manual, University of Wisconsin - Madison, 1994.
- Michel, L. 1998: IEA SHC Task 21 Scale Model-Daylighting system efaluation, IEA SHC Working Document, EPFL.
- Muresan, C. ; Menezo, C. ; Bennacer, R. ; Vaillon, R, Numerical Simulation of a Vertical "Solar Collector Integrated in a Building Frame: Radiation and Turbulent National Convection Coupling", 2006
- COMMISSION SERVICES PAPER, "ENERGY FOR THE FUTURE : RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, Community Strategy and Action Plan", CAMPAIGN FOR TAKE-OFF, DG XVII
- Irish Building Industry Directory, Ireland''s goal of achieving Zero Carbon Emissions in Building, 2008.
- www.tcpa.org.uk, Delivering zero carbon buildings in Wales, 2009
- KIER, 2004, "Development of Zero energy Solar House (I)-(III), Technical Reports of KIER, KIER-A12205
- http://www.trnsys.com/
- Gregory H. Kats, Green building costs and financial benefits, 2003

22. 통합설계 프로세스개발, 연세대학교

- LEED New Construction Version 2.2 REFERENCE GUIDE 2006
- Minnesota Sustainable Design Guide 2000
- 친환경건축물인증제도 세부시행지침 건설교통부/환경부 2006. 8. 24
- 대한주택공사 주택도시연구원. 공동주택단지의 디자인 매뉴얼. 2000
- 대한주택공사 주택도시연구원, (주)현대건설. 환경친화형 주거단지 주요계획요소의
- 계획지침작성 및 적용방안 연구. 2001
- 대한주택공사 주택도시연구원. 친환경건물 인증센타 시행지침. 2002
- 현대산업개발. 외부공간 친환경요소 적용에 대한 연구. 2002
- SH공사 친환경 주거단지 디자인 매뉴얼. 2006
- 이규인. 유럽의 환경친화주택. 도서출판 발언. 2002
- 주거학연구회. 친환경주거. 도서출판 발언. 2003
- 신지웅. 공동주택의 실내외 공기질 향상을 위한 주동배치계획 연구. 연세대학교 박사학위논문. 2004

- 프로토타입을 활용한 설계프로세스 개념에 관한 고찰. 임진택, 김남용. 2006년 4월. 대한건축학회논문집 22권 4호
- BIM기반 통합설계프로세스의 국내 적용 가능성에 관한 연구. 이진희, 전한종. 2007년 12월. 한국실내디자인학회논문집 제16권 6호
- 국내외 친환경건축물 인증제도 비교분석 연구 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제6권 제1호 (통권 10호) 유정연 / 조동우 / 채창우
- 친환경 인증아파트의 실외공간에 적용된 친환경 계획요소 사례 연구 이송현/황연숙 한국실내디자인학회 학술발표대회논문집 제8권 1호 통권10호 2006년 5월
- 공동주택단지내 주동배치유형에 따른 외부공간 환경특성에 관한 연구. 대한건축학회. 2004 -최병선, 정무용
- 공동주택단지의 환경친화형 계획원리 설정에 관한연구. 한국정원학회. 2003 -류지원 외 3명
- 일본의 환경친화주택
- 이규인, 『유럽의 환경친화주택』, 발언, 2002
- Greenwich Millennium Vilage, http://www.greenwich-village.co.uk
- http://blog.naver.com/cityjang?Redirect=Log&logNo=120007684043
- http://blog.naver.com/ruin1135?Redirect=Log&logNo=120011750797
- 친환경 주거도시 모델 개발연구, 대한주택공사, 한국도시설계학회
- California Green Building Standards code, 2010
- 강동구 저에너지 친환경 공동주택 가이드라인
- 저탄소 녹색성장을 위한 친환경 건축물 설계 가이드라인
- 지속가능한 건축디자인을 위한 가이드라인에 관한 연구, 연세대학교 대학원\ 건축공학과 전미숙/ 2008
- 친환경건축통합설계프로세스에관한연구, 大韓建築學`會論文集 計劃系 제5권제호통권46호 2009년4월4, 이병연/김광현
- Green Buiding Through Integrated Design, 2009
- 한·캐나다 통합디자인에 관한 국제세미나
- 지속가능한 통합디자인 프로세스(Integrated Design Process for Sustainability) ,2011
- 지속가능한 건축의 패시브디자인, 이봉, 2011

23. 통합설계를 위한 평면 개발 연구, 공간건축사사무소

- 연세대학교, 친환경 공간디자인, 연세대, 2002

- 윤정숙 외, 친환경 주거, 신광, 2003
- 주거학 연구회, 친환경 주거, 발언, 2003
- 김자경, 자연과 함께하는 건축, spacetime, 2004
- 건설교통부-환경부, 친환경 건축물 인증제도 세부시행지침, 건축시대, 2005
- 리즈워커, 이타카 에코 빌리지, 황소걸음, 2006
- 조동범, 배현미 옮김, 헤코 해비터트, 기문당, 2006
- 이규인, 생태도시 생태주거, 발언, 2006
- 정유선 외3인(2004), 친환경주거의 계획 및 기술요소 적용특성에 대한 한・일 사례비교, 대한건축학회 논문집(계획계), v.20 n.9(2004-09), pp.3~12
- 이경아,이현수(2005), 친환경 인증제도를 이용한 브랜드 아파트의 차별화 계획요소 분석, 2005 춘계학술발표대회 논문집 제5권 제1호 (통권8호), pp.47~54
- 이송현, 황연숙(2006), 친환경 인증아파트의 실외공간에 적용된 친환경 계획요소 사례연구, 한국실내디자인학회 학술발표대회논문집 제8권 1호 (통권10호), pp.93~96
- 양동양, 도시 주거단지계획, 기문당, 2006, 공동주택연구회, 주거단지계획, 동녘, 2007
- 신중진 외, 최근 초고층 아파트의 단위세대 평면계획특성에 관한 연구 , 대학건축학회논문집 계획계 18권8호(통권166호),2002년
- 김진균 외, 융통성을 고려한 소규모 라멘조 아파트의 평면모델계획

, 대학건축학회논문집 계획계 18권12호(통권170호),2002년

- 신중진 외, 수요자의 요구와 아파트 단위세대 평면계획의 상관관계에 관한 연구

,대학건축학회논문집 계획계 20권2호(통권184호),2004년

- 이동원 외, 아파트 단위주거 평면의 규모별 공간구성에 관한 기초연구

,한국실내디자인학회논문집 제13권1호(통권42호),2004년

- 조일아 외, 공동주택 단위세대의 가변형 평면 유형 분류에 관한 연구

,대학건축학회논문집 계획계 22권12호(통권218호),2006년

- 한국건설기술연구원 외, 자원절약형 장수명 FREE PLAN 공동주택 기술개발

,건설교통부,한국건설교통기술평가원,2006년

- 저에너지친환경공동주택연구단, 저에너지친환경공동주택 핵심기술, 기문당, 2010
- 이윤하외, 친환경건축설계가이드북, 발언, 2009
- 신성우, 이승복외, 친환경건축물 성능평가와 설계기술, 기문당, 2007

• 공간그룹, 이에이엔테크놀로지, 친환경건축디자인가이드라인, 2006

24. 요소기술 통합설계방안, 한일엠이씨

• 이홍철 외 2인(2003), Plus 50 공동주택 에너지시스템 모델구축에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집(2003-11), pp.752～757

• 조경민, 이태구(2004), 저에너지 주택설계를 위한 단열구조 및 디자인요소에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계), v.24 n.2(2004-10), pp.607～610

• 정유선 외3인(2004), 친환경주거의 계획 및 기술요소 적용특성에 대한 한・일 사례비교, 대한건축학회 논문집(계획계), v.20 n.9(2004-09), pp.3～12

• 박선효 외3인(2005), 초에너지절약형 건물 3L House의 주요 적용 기술, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권9호(2005-11), pp.183～188

• 배병훈, 김삼열(2002), 그린빌딩 기술을 적용한 환경친화형 공동주택 계획에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집(2002-11), pp.520～525

• 신영숙, 조명은(2006), 친환경 아파트 단지 거주자들의 친환경 계획요소에 대한 인식에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), v.22 n.8(2006-08), pp.135～145

• 에너지관리공단(2005.10). 에너지주요지표 및 부문별 에너지소비현황

• 조진균 외2인(2007), 친환경시스템 계획에 따른 건물 내 에너지 및 물 순환체계의 이동에 관한 연구 / 친환경 설비시스템 적용건물 사례를 중심으로, 대한건축학회 논문집(계획계), v.23 n.4(2007-04) pp 185～192

• 조진균, 성재호, 홍민호(2008), 친환경 공동주택 모델개발을 위한 설비시스템 요소기술 적용성 및 통합설계 방안에 대한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) v.24 n.8 (2008-08)

• 조진균, 주선경, 홍민호, 정차수(2007), 저에너지 친환경 공동주택 설비시스템 통합설계를 위한 기초 연구, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 (2007-06)

• Center for Sustainable Housing, 저에너지 친환경 공동주택 기술개발 Newsletter Vol.8, (2009-02)

• Dirk U. Hindrichs, Klaus Daniels(2007), Plus Minus 20°/40° Latitude / Sustainable Building Design in Tropical and Subtropical Regions, Schuco, 2007

• Architects' Council of Europe(2001), A Green Vitruvius / Principles and Practice of Sustainable Architectural Design, James &

25. 외부공간 설계 , 한설그린

• 한설그린부설조경생태디자인 연구소(2006), 입체녹화에 의한 환경공생.

• 한설그린부설조경생태디자인 연구소(2006) 도시생태계 복원을 위한 기술개발 보고서.

- 건설교통부-환경부, 친환경 건축물 인증제도 세부시행지침, 건축시대, 2005
- 이송현, 황연숙(2006), 친환경 인증아파트의 실외공간에 적용된 친환경 계획요소 사례연구,
- 한국실내디자인학회 학술발표대회논문집 제8권 1호 (통권10호), pp.93~96
- 저에너지친환경공동주택연구단, 저에너지친환경공동주택 핵심기술, 기문당, 2010
- 신성우, 이승복외 (2007), 친환경건축물 성능평가와 설계기술, 기문당,
- 서울특별시/한국건설기술연구원(2008), 옥상녹화시스템 설계지침 및 관련도서 작성지침, 서울특별시/한국건설기술연구원/(사)한국인공지반녹화협회
- NIGEL DUNNETT 한설그린부설조경생태디자인 연구소 편역 (2010). 레인가든 Rain Garden
- 梅干野 晁(1998), 住まいの環境學.
- 日本建築學會編(2002), 地球環境建築のすすめ.
- 梅干野 晁(1998), 屋上綠化とヒートアイランド.
- 梅干野 晁(1998), ツタの西日遮蔽効果に關する實驗研究.

26. 저에너지 친환경 공동주택 모델구축 및 적용성평가, 대림산업

- 원종서, 초에너지절약주택(3리터 하우스)의 설계 및 시공, 설비저널, 2005. 12.
- 원종서, 박선효, 박용승, 3리터 하우스 설계를 위한 건축요소의 에너지성능평가, 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집 : v.25 n.1(2005-10)
- 박선효, 박용승, 원종서, 최영락, 초에너지절약형 건물 3L House의 주요 적용 기술, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권 9호, 2005, pp.183-188
- 원종서 외 1인, 쿤-터커 조건을 이용한 건물의 에너지성능과 비용 최적화 방법, 한국생태환경건축학회 논문집 : v.3 n.2(통권 8호)(2003-06)
- 원종서, 이경회, 건물의 에너지 성능과 비용 최적화를 위한 수리모델에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) : v.19 n.12(2003-12)
- 윤종호 외3인, 에너지자립주거 건물의 설계, 시공 및 성능평가 방법 연구, 대한설비공학회 하계 학술발표대회논문집(2005-06)
- 이승복, 원종서, 바닥복사 냉.난방시스템의 유형별 에너지성능 평가, 대한건축학회 논문집(계획계) : v.21 n.3(2005-03)
- 이승복, 원종서, 이중외피와 할로우 코어를 적용한 초고층 주거건물의 에너지 절감 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) : v.21 n.3(2005-03)
- 이승복, 원종서, 주거용 건물의 유형에 따른 환경조절요구에 대한 분석,

설비공학논문집 16권 10호, 2004, pp.960-968

- Wolfgang Feist, Final Technical Report CEPHEUS -Project information No. 36, 2001. 7.
- Wolfgang Feist, Passive House Planning Package, PHI, 2004.
- Jurgen Shnieders, CEPHEUS-measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses, ECEEE, 2003.

27. 저에너지 친환경 건축물 성능평가도구 개발, 중앙대학교

- 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2007
- 강재식 외 2명, 공동주택의 난방에너지 소비특성에 관한 연구, 1995, 대한건축학회 논문집, Vol11, No.7
- 건축물의에너지절약설계기준, 건설교통부 고시 제2008-5호, 2008.01
- 구소영, 공동주택에서의 온돌을 이용한 바닥복사냉방의 적용에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 2000.02
- 국가통계포털(KOSIS), 아파트 주거환경통계, 준공연도별 지역별 규모현황
- 권경우 외 2명, 공동주택의 환기설비 도입에 따른 냉난방에너지 소비에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 25권 1호, 2005
- 권재홍, 태양광발전의 이해와 산업현황, 한국태양에너지학회 추계 학술발표대회 논문집, 2003.11, pp. 31
- 김광호, THERM/WINDOW와 에너지 시뮬레이션을 이용한 고층 아파트의 커튼월 결로 예측, 설비/공조・냉동・위생 11월호, 2006
- 김용환, 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 2006.12
- 김장한, 초고층 주거건물의 에너지 성능 분석에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문, 2004
- 김정태 외, 건축설비시스템, 기문당, 2002, pp 207
- 김종현, 아파트적용 태양열 난방 및 급탕 시스템의 열성능 분석, 대전대하교 대학원 석사학위논문, 2005.02
- 김필헌, 공동주택 에너지 소비의 적정성 분석 및 개선방안 연구, 한남대학교 정보산업대학원 석사학위 논문, 2000
- 김현철, 전열교환형 환기장치의 열회수 성능 및 현장 적용성 평가에 관한 연구, 경원대학교 대학원 석사학위논문, 2005.02

- 김희경, 주택유형에 따른 태양광과 태양열 시스템에 관한 연구, 조선대 산업대학원 석사학위논문, 2006.02
- 대림산업 기술연구소 주거환경 연구센터 준공, 대림기술정보, 2006
- 대한주택공사 주택연구소, 환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구, 1996
- 문춘근 외 4명, 아파트 난방방식별 에너지소비량 실태분석, 2001, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집
- 민형기, 온수공급 조건에 따른 온수온돌 난방공간의 열특성에 관한 연구, 서울산업대학교 대학원 석사학위논문, 2001. pp. 26
- 박경석, 건물 에너지 성능 평가를 위한 건물 총량 에너지 기준 제시에 관한 연구, 광운대학교 대학원 석사학위논문, 2006
- 박대선, 로이창호의 일사획득계수에 따른 건물에너지 성능평가 연구, 한밭대 산업대학원 석사학위논문, 2008
- 박성득, 공동주택의 주동형식 및 창면적비에 따른 건물에너지효율등급에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2010
- 박성현, 다구찌(田口)방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 1994
- 박유원 외 2명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건의 영향, 설비공학논문집, 제 17권, 제 8호(2005), pp.722-728
- 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008. 02
- 박진우 외 2명, 공동주택의 자연환기 성능평가, 2001, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 pp. 637-643
- 백경형, 한국의 미래 생태적 친환경주거 계획방법에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문, 200634
- 산업자원부, 건물의 에너지 효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 2007.01, p. 334~336
- 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구(최종보고서), 2006.10, pp. 40
- 산업자원부, 에너지 총조사 보고서 2005, 2006, pp 80
- 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발(최종보고서), 2006.10, pp. 4
- 서정민 외 4인, 공동주택의 발코니 확장이 실내온열환경 및 냉난방 부하에 미치는 영향, 대한설비공학회 논문집, Vol.19, No.5, 2007

- 석호태, “사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구”, 서울대 박사학위 논문, 1995, 8, p.65
- 송승영 외 1인, 건물에너지효율등급인증제도 개선방향에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2007
- 신인중, 일본의 친환경 건축물 평가시스템의 소개, 한국설비기술협회 특집원고, 2004.11
- 신재생에너지 RD&D 전략 2030(태양열), 산업자원부, 2007.11, pp. 21-22
- 심윤희, 서울지역 공동주택의 난방에너지 표준사용량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 2006
- 안태경, 아파트의 환기 및 기밀수준 성능에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15권 1호
- 에너지경제연구원, 2005년 에너지 총조사 보고서, 2005, p. 838~840
- 에너지관리공단, 2006년 국가에너지종합 분석보고서(가정/상업부문), 2006
- 에너지기본법 제5조 제1항 관련, 에너지열량환산기준
- 여명석 외, 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 14권 12호, 1998.12, pp 203-210
- 오성진, 공동주택 지붕디자인 유형과 거주자 선호에 관한 연구, 아주대학교 석사학위 논문, 2004
- 오정민, 주거건물의 유형별 에너지 효율적인 환경계획기법에 관한 연구, 성균관대학교 대학원, 2004
- 온돌을 이용한 복사 냉난방 시스템 개발에 관한 연구, 산업자원부, 2003
- 유기형 외2, 공동주택의 에너지효율등급 평가기법 개발 및 등급 설정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), Vol.22 No.12, 2006
- 유호선 외, 한국형 아파트의 난방에너지 분석1: 위치의 영향, 설비공학논문집 제 16권 제 1호(2004)/pp. 101 - 100
- 유호선 외, 한국형 아파트의 난방에너지 분석2: 난방방식에 따른 차이, 설비공학논문집 제 16권 제 5호(2004)/pp. 459 - 466
- 윤종호 외, 공동주택의 태양광시스템 적용성 평가를 위한 전기부하 매칭 해석연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2008. 04
- 이명택, 동특성 시뮬레이션을 통한 공기, 지열 열펌프 시스템의 성능분석 및 경제성 평가, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 2005.12, pp. 44
- 이봉진 외 4명, 한국형 아파트의 난방에너지 분석2: 난방방식에 따른 차이,

설비공학논문집 제 16권 제 5호(2004)/pp. 459 - 466

- 이승복 외, 바닥복사냉·난방시스템의 유형별 에너지성능 평가, 대한건축학회논문집(계획계), 21권 3호, 2005.03 pp. 133-140
- 장현덕, 생태주거단지 조성기법의 적용사례에 관한 연구, 세명대 대학원 석사학위논문, 2006
- 전력거래소, 가전기기보급률 및 가정용전력 소비행태 조사, 2006.12
- 전정윤 외 2명, 공동주택 거실 온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2005, 21권 8호
- 정충조, 환경친화형 주거단지의 계획에 관한 연구, 연세대 공학대학원 석사학위 논문, 2005
- 최기환, 공동주택에서 적용 가능한 설비형 태양열시스템에 관한 연구, 수원대학교 대학원 박사학위논문, 2005.12
- 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 대학원 박사학위논문, 2007. 02
- 최보혜, 외단열 시스템 적용에 따른 공동주택 외피의 에너지성능 평가, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 2009
- 태원진, 냉방부하 최소화를 위한 지붕의 최적기울기에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.25, No.4, 2005
- 친환경건축물인증제도 세부시행지침(개정06.8.24)
- 한국건설기술연구원, 에너지자원 유효이용을 위한 순환형 공급처리기술 개발, 2003.12
- 한국에너지기술연구원 박순철, 제로에너지 타운 시공과 기술 개요, 2006
- 한국에너지기술연구원(공공기술연구회), 제로에너지타운 조성 운영 사업, 2004
- 한국전력공사, 2006년 가전기기 보급률 및 가정용 전기소비행태 조사, p. 57~59, 2006
- 홍원화 외 3명, 1998, 집합주거 거주자의 생활형태에 따른 에너지 소비량에 관한 연구(대구광역시를 중심으로), 대한건축학회 논문집, Vol14. No.6
- LCC와 $LCCO_2$분석에 의한 전열교환 환기시스템과 바닥축열 환기시스템의 경제성 및 환경부하 평가, 설진호, 경원대학교 대학원, 석사학위논문, 2008.02
- Angelil, M. and Siress, C. (2006). Five easy pieces, In First cycle of the Holcim Awards, Retrieved from http://www.holcimfoundation.org/
- ASTM. (2005). Committee E06 on Performance of Building and Subcommittee

E06.71 on Sustainability Standard Guide for General Principles of Sustainability Relative to Buildings

- Baccini, P. A. (1997). City's metabolism: towards the sustainable development of urban systems. Journal of Urban Technology, 4(2), 27-39.
- Ball, J. (2000). Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green? Building and Environment, 37, 421-428.
- Barret, P. S., Sexton, M. G. & Green, L. (1999). Integrated delivery systems for sustainable construction. Building Research and Information, 27(6), 397-324
- Bentivegna, V., Curwell, S., Deakin, M., Lombardi, P., Mitchell, G. & Nijkamp, P.(2002). A vision and methodology for integrated sustainable urban development: BEQUEST. Building Research and Information, 30(2), 83-94.
- Berge, B. (1995). Building materials for a sustainable development, NKB working paper 07. Helsinki : Nordic Committee for Building Standards.
- Blake, P. (1964). God's Own Junkyard: The Planned Deterioration of America's Landscape, NewYork : Rinehart & Winston
- Boughey, J. (2000). Proceedings from Cutting Edge 2000 : Environmental valuation, real property and sustainability. London : RICS Research Foundation.
- Clough, R. (1994). Proceedings from of First International Conference: Building and Environment : Environmental impacts of building construction. BRE.
- Cole, R. J. (1999a). Proceedings from CIB Congress : Emerging trends in building environmental assessment methods. Warford.
- Curwell, S. & Cooper, I. (1998). The implications of urban sustainability. Building Research and Information, 26(1), 17-28.
- Datta, M. & Mirman, L. J. (1999). Externalities, market power, and resource extraction. Journal of Environmental Economics and Management, 37, 233-255.
- Deru, M. & Torcellini, P. (2005). Performance Metrics Research Project - Final Report. CO : National Renewable Energy Laboratory
- Elkington, J. (1984). Cannibals with Forks : the Triple Bottom Line of 21st Centuries Business, Gabriola Island, B.C.: New Society Publishers
- Ender, C. (2008). Wind Energy Use in Germany - Status 31.12.2007, DEWI Magazine, Vol. 32
- Forsberg, A. & Malmborg, V. F. (2004). Tools for environmental assessment of the built environment. Building and Environment 39, 223-228.

- Glasson, J., Therivel, R., & Chadwi, A. (1994). Introduction to Environmental Impact Assessment, London : Routledge
- Greg, K. & Capital, E. (2003). The Cost and Financial Benefits of Green Buildings, California : Sustainable Building Task Force.
- Guattari, F. (2000). The Three Ecologies, NewYork : Athlone Press
- Hâkkinen,T. (1994). VTT research notes: Environmental impact of building materials. Espoo, Tampere, and Oulu : VTT Building Technical Research Center.
- Harding, R. (1998), Environmental decision-making: the roles of scientists, engineers and the public, Sydney : The Federation Press
- Harvey, D. (1998). What's Green and Makes the Environment Go Round? In F. Jameson and M. Miyoshi(Eds.) The Cultures of Globalization. Durham: Duke University Press.
- Hedriks, C. (2000). Durable and sustainable construction materials. The Netherlands: Aeneas Technical Publishers.
- Hill, R. C. & Bowen, P. A. (1997). Sustainable construction: principles and a framework for attainment. Construction Management and Economics, 15, 223-239
- Holmes, J. & Hudson, G. (2000). Proceedings from Cutting Edge 2000 : An evaluation of the objectives of the BREEAM scheme for offices: a local case study, RICS Research Foundation.
- International Energy Agency. (1999). IEA-BCS Annex 31. Energy related environmental impact of buildings. Paris: International Energy Agency.
- International Energy Agency. (2009). World Energy Outlook 2009. Washington, D.C. : International Energy Agency
- Jősson, Á. (2000). Tools and methods for environmental assessment of building products-methodological analysis of six selected approaches. Building and Environment, 35, 223-38
- Kortman, J., Ejwik, H., Mak, J., Anink, D. & Knapen, M. (1998). Proceedings from Green Building Challenge 1998 : Presentation of test by architects of the LCA-based computer tool Eco-Quantum domestic. Canada : Vancouver
- Kossoy, A. & Ambrosi, P. (2010) State and Trends of the Carbon Market 2010. Washington D.C. : World Bank.
- Krogh, H., Tillman, A. M., Hakkinen, T. & Fossdal, S. (1995). Environmental data for building materials in the Nordic countries. Copenhagen : Norwegin

Building Research Institute

- Langston, C. A. & Ding, G. K. C.(Eds.). (2001), Sustainable practices in the built environment, Oxford : Butterworth-Heinemann.
- Lloyd, S., Landfield, A. & Glazebrook, B. (2005). Integrating LCA into Green Building Design, building design & construction.
- Lowe, F., Kortman, J. & Howad, N. (2000) Proceedings from Sustainable Building 2000 : Implementing environmental performance assessment methods: three international case studies. Maastricht.
- Mathis, W. (2001). Advancing Sustainable Resource Management(Using Ecological Footprint Analysis for Problem Formulation). Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/enveco/waste/pdf/wackernagel.pdf
- Meadows, D. H. (1972). The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, Washington, D.C. : Potomac Associates
- Meakin, S. (1992). The Rio Earth Summit : Summary of the United Nations Conference on Environment and Development. Retrieved from http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/BP/bp317-e.htm
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R. & Meyer, L.(Eds.) (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Cambridge : Cambridge University Press.
- Olson, D. L., Fliedner, G. & Gurrie, K. (1995), Comparison of the REMBRANDT System with Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 82, 522-539.
- Organization for Economic Co-operation and Development. (1995). The economic appraisal of environmental projects and policies: a practical guide. OECD Publishing.
- Peterson, F. & Fischer, M. (2009). Case Study : Scope-Cost-Time Integrated Model with Work Breakdown Structure, Retrieved from http://www-leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP115.pdf
- Reijinders, L. & van Roekel, A. (1999) Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. Journal of Cleaner Production, 7(221), 5.
- Scheuer, C., Keoleian, G. A. & Reppe, P. (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. Energy and Buildings, 35, 1049-1064.

- SETAC-Europe Working Group on Conceptually Related Programmes. (1997). Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes. Brussels : SETAC Press
- Shpresa, K., Schuurmans, A. & Suzy, E.(Eds.) (2003) Life-Cyle assessment in building and construction : a state of the Art Report, North Carolina : SETAC Press
- Sjostrom, C. & Bakens, W. (1999). CIB Agenda 21 for sustainable construction: why how and what. Building Research and Information, 27(6), 347-353.
- Teo, M. M. M. & Loosemore, M. (2001). A theory of waste behaviour in the construction industry. Construction Management and Economics, 19, 741-751.
- The World Commission on Environment and Development. (1987). Our Common Future, Oxford: Oxford University Press
- World Bank. (2000). Fuel for thought: an environmental strategy for the energy sector. Washington, D.C. : The World Bank.
- World Watch Institute. (2003). Sustainable facilities: building material selection. West Michigan sustainable Business Forum.

28. 저에너지 친환경 공동주택 외부환경 평가기술 개발 , 아주대학교

- 김병선, 환경성능을 평가하는 국내외 친환경인증제도, 쌍용 건설기술, 겨울호, 2005
- 김철수, 생태도시 조성방안 모색에 관한 연구, 한국행정학보, 제35권, 제3호, 2001
- 박상동 외, “국내외 친환경건축물 인증제도의 비교・분석을 통한 국내 친환경건축물 인증제도의 발전방안 제시”, 한국그린빌딩협의회지, 7(2), pp.88, 2006.
- 박상동, 최동호, 이상홍, 신기식, 조수, 이승민, 국내외 친환경건축물 인증제도의 비교・분석을 통한 국내 친환경건축물 인증제도의 발전방안 제시, 한국그린빌딩협의회지, 제7권, 제2호, 2006
- 서지은, 김종하, 이정호, 주거단지 외부공간의 활용증대를 위한 계획기법에 관한 기초연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제22권, 제5호, 2006
- 송승영, 구보경, 국내 친환경 건축물 인증제도 개요 및 현황, 대한설비공학회지, 제36권, 제4호, 2007
- 신규환, 배경동, 자연친화적 주거단지 계획기준에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제7권, 제1호, 2007
- 신동규, 한경훈, 국내외 친환경공동주택 인증시스템의 평가지표 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제23권, 제1호, 2007
- 양병이, 이관규, 단지규모 개발사업의 지속가능성 평가지표, 대한국토·도시계획학회지

국토계획, 제37권, 제5호, 2002

- 오수호, 장선영, 김석경, 이규인, 주거단지 외부공간의 친환경성 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 제20권, 제6호, 2004
- 유정연, 조동우, 채창우, 국내외 친환경건축물 인증제도 비교분석 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제6권, 제1호, 2006
- 이송현, 황연숙, 친환경 인증아파트의 실외공간에 적용된 친환경 계획요소 사례 연구, 한국실내디자인학회 학술발표대회논문집, 제8권, 제1호, 2006
- 이재준, 한국형 생태도시 계획지표 개발에 관한 연구, 대한국토・도시계획학회지 국토계획, 제40권, 제4호, 2005
- 이정형, 환경친화 주거단지 외부공간 계획기술, 한국그린빌딩협의회 춘계학술강연회 논문집, 2004
- 이태구, 이재진, 권혁진, 생태주거단지 및 생태주택 계획요소 도출 및 적용연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제6권, 제2호, 2006
- 정유선, 윤정숙, 환경친화형 주거단지 계획에 관한 전문가 의식조사, 대한건축학회 논문집 계획계, 제18권, 제11호, 2002
- 정종대, 환경친화 주거단지 외부공간 평가기법, 한국그린빌딩협의회 춘계학술강연회 논문집, 2004
- 조수, 이승민, 국내외 친환경건축물 인센티브 제도 현황, 한국그린빌딩협의회 추계학술강연회 논문집, 2007
- 주옥자, 주거단지 외부공간의 환경친화도 평가방법에 대한 연구』, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권, 제1호, 1999
- 한봉호, 홍석환, 최진우, 이경재, 서울시 은평뉴타운 친환경 개발을 위한 환경생태계획연구, 대한국토・도시계획학회 정기학술대회, 2005
- Toshiharu Ikaga, 송두삼 역, 건물의 친환경성을 평가하기 위한 일본의 동향, 대한설비공학회지, 제34권, 제12호, 2005
- 이규인, 김민석, 생태적인 공동주택 외부공간의 평가기준 설정에 대한 전문가의식 조사연구, 대한건축학회 논문집 계획계 26권 1호, 2010
- 정창원, 윤인, 집합주거단지내의 옥외가로공간구성이 인체 쾌적성에 미치는 영향에 관한 연구, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물, 대한설비공학회, p75-82, 2005
- A. FERRANTE, G. MIHALAKAKOU, THE INFLUENCE OF WATER, GREEN AND SELECTED PASSIVE TECHNIQUES ON THE REHABILITATION OF HISTORICAL INDUSTRIAL BUILDINGS IN URBAN AREAS, SOLAR ENERGY -PHOENIX ARIZONA THEN NEW YORK- , PERGAMON PRESS , Vol70, No3, p245-253, 2001

- Akashi Mochida, Isaac Y.F. Lun, Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn, No96, p1498-1527, 2008
- Belinda Yuen, Wong Nyuk Hien, Resident perceptions and expectations of rooftop gardens in Singapore, Landscape and Urban Planning, No73, p263-276, 2005
- B. Bouchet, M. Fontoynont, Day-lighting of underground spaces: design rules, Energy and buildings, Elsevier Sequoia S.A, No23, p 293-298, 1996
- Bissonette, J., Adair, W., Restoring Habitat Permeability to Roaded Landscapes with Isometrically-scaled Wildlife Crossings, UC Davis, 2008
- Julia N. Georgi, Dimos Dimitriou, The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece, Building and Environment, No45, p1401-1414, 2010
- LEE P. HERRINGTON, J. S. VITTUM, Human Thermal Comfort in Urban Outdoor Spaces, Proceedings of the conference on metropolitan physical environment, p130-138, 1977
- Limor Shashua-Bar, Milo E. Hoffman, Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees, Energy and Buildings, No35, p61 - 68, 2003
- Sofie Sjo¨gersten, Rene´ van der Wal, Sarah J. Woodin, Small-scale hydrological variation determines landscape CO2 fluxes in the high Arctic, Biogeochemistry, No80, p205-216, 2006
- Tzu-Ping Lin, Andreas Matzarakis, Ruey-Lung Hwang, Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, Building and Environment, No45, p213-221, 2010
- N. Gaitani, G. Mihalakakou, M. Santamouris, On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces, Building and Environment, No42, p317-324, 2007
- Rosenquist, Greg et al., Energy efficiency standards for equipment, Energy Policy, 34, 2006
- Lackner, Regina, Site Environmental Report for 2008, Vol.1, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009
- Lund, Jay R et al., Integrated Planning and Management for Urban Water Supplies Considering Multiple Uncertainties, UC Water Resources Center, 1995
- 김병선, 국내외 친환경 인증제도의 발전과정 및 사례 비교 분석, 대한건축학회 워크샵, 2005

- 김상호, 그린타운 개발사업, 한국건설기술연구원, 2000
- 이규인, 환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구, 대한주택공사, 1996
- 이규인, 지속가능한 정주지개발을 위한 정책 및 제도 연구III, 건설교통부, 2000
- 이승민, 국내외 친환경건축물 인증기준의 평가홍목 및 평가도구 소개, 한국그린빌딩협회 강습회 자료집, 2007
- Tom Saunders, Anna Surgenor, BREEAM 2008 and Beyond, BRE Global, 2008
- 건설교통부, 지속가능한 신도시 개발을 위한 계획기준, 2004
- 대한주택공사 주택연구소, 산지·구릉지 택지개발 사례 및 계획기준 조사연구, 2001
- The City of Edmonton, Carbon Dioxide Reduction Edmonton CO2RE, The City of Edmonton, 2008
- The City of Edmonton, Overview of greenhouse gas emissions reduction plan for city operations, The City of Edmonton, 1999
- 강병서, 조철호, SPSS와 AMOS 활용 연구조사방법론, 무역경영사, 2005
- 김귀곤, 생태도시계획론, 대한교과서주식회사, 1993
- 친환경건축물 인증제도(공동주택 개정지표), 대한주택공사, 2006
- LEED-NC Version 2.2 for Public Use and Display, USGBC, 2005
- BREEAM Ecohomes 2006 The Guidance Issue1.2, BRE, 2006
- 이강인, 친환경 공동주거단지의 외부공간평가에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 석사학위논문, 2006
- 이아영, 생태학적 관점에서 고찰한 주거단지 계획방향, 서울대학교 대학원 건축학과 공학박사학위논문, 2004
- 임승남, 주거단지 친환경계획요소에 대한 만족도 및 중요도 평가에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문, 2006
- Gaffney, Kathryn, Mei, Angie, Site design for a neighborhood-scale stormwater detention park in the proposed Los Angeles River National Urban Wildlife Refuge, UC Berkeley, 2004
- http://huri.jugong.co.kr/ecohouse
- http://www.usgbc.org
- http://ibec.or.jp/CASBEE
- http://www.breeam.org

29. 저에너지 친환경 공동주택의 요소기술 평가를 위한 모니터링 시스

- 국토해양부(2009), 행정중심 복합도시 빗물관리 기본계획
- 산업자원부(2001.09), 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구 보고서.
- 한국에너지기술연구원(2001.12), 에너지기반 확충사업 연구 보고서.
- 건설교통부(2006.10), 유비쿼터스 환경의 지능형 시설물모니터링 기술개발 연구 보고서.
- 건설교통부(2006.11), 지능형 홈네트워크 국외 구축 동향 연구 보고서.
- 건설교통부(2006.10), 교량의 건전성 평가를 위한 IT기반 스마트 계측 및 모니터링 시스템의 연구 보고서.
- 김종엽 외(2006.12), 웹기반의 건물에너지 정보시스템 개발.
- 산업자원부(2002.12), 열원 및 공조 진단 시스템 개발.
- 이성진(2005.11), 친환경요소기술이 적용된 에너지 저소비형 연구소.
- 배상완(2006.12), 대림산업 기술연구소 주거환경 연구센터 준공.
- 이재호(2007.02), 데이터 베이스 시스템 총론, 정일.
- 문현준(2006.12), 미국에서의 건물에너지 절감 연구동향 및 제로에너지 주택 성능 분석.
- 곽두영(2006.02), 컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW. Ohm.
- 한국에너지기술연구원(2005.11), 제로에너지 타운 시공과 기술 개요.
- 한국에너지기술연구원(2001.12), 에너지기반확충사업 연구보고서.
- 김명호(2002.09), 건축설비 자동제어, 건기원.
- 전윤수, 서재석(1999.12), 건축설비의 자동제어 입문, 기전연구사.
- 양팽관(2001.09). 빌딩 자동제어를 위한 개방형/표준기술.
- 백남춘(2006.02), 제로에너지타운과 태양열 및 지열히트펌프 시스템, 한국그린빌딩협의회.
- 이종술(1998). 가정과 상업분야 모두에 사용되는 론워크.
- Barney L. Capehart, Lynne C. Capehart(2007.6), Web Based Enterprise Energy and Building Automation Systems. Fairmont Press.
- Donald R. Wulfinghoff(2000.3), Energy Efficiency Manual: for everyone who uses energy, pays for utilities, designs and builds, is interested in energy conservation and the environment (Energy Efficiency Manual). Energy Institute Press.

- Albert Thumann and William J. Younger(2002.1). Handbook of Energy Engineering (5th Edition). TF-FRMNT.
- ASHRAE(1995), 1995 Fundamentals.
- D.Caccavelli(1997.1), Energy Performance, Indoor Enevironmental Quality and Retrofit (Typical Energy-related Values for French Residential Buildings).
- Albert Thumann and William J(2002.01). Younger, Handbook of Energy Engineering (5th Edition).

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 첨단도시개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 첨단도시개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.