제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 “한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가 연구” 과제(“패시브건축물 설계”)의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 04. 24

주관연구기관명 : 명지대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 이명주
연 구 원 : 김정운
연 구 원 : 임인혁

공동연구기관명 : (주)제드엠제이건축사사무소
부설 제로에너지기술 연구소
공동연구책임자 : 임희정
연 구 원 : 추소연
연 구 원 : 황경민
연 구 원 : 김원석
연 구 원 : 이승훈
연 구 원 : 이우주
연 구 원 : 차지원

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12CHUD-C060287
-02-000000</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2012.6.12~
2013.12.29</td><td>단계구분</td><td>2 / 2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가 연구</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">패시브하우스 설계 및 실현</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이명주</td><td>해당단계
참여
연구원수</td><td>총 : 11 명
내부: 10 명
외부: 1 명</td><td>해당단계
연구비
(천원)</td><td>정부 : 132,700
기업 : 46,479
계 : 179,179</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 13 명
내부 : 10 명
외부 : 3 명</td><td>총연구비
(천원)</td><td>정부 : 276,700
기업 : 94,479
계 : 371,179</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="2">명지대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)제드엠제이건축사사무소
부설 제로에너지기술연구소</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">1. 독일 및 유럽에서 시행되고 있는 패시브하우스관련 국가정책 및 지원책들을 알아보았음
2. 국내 기후와 건축환경에 따라 설계가 진행되었음.
3. 독일 패시브하우스연구소에서 제시하는 자재 및 설비에 관한 성능 기준을 분석하였음.
4. 실제 독일로부터 패시브하우스 인증을 받기 위한 주택설계를 진행시키고, 그 과정들을 정리하였음.
5. 시공방법에 대한 연구와 적용이 이루어졌으며, 독일 패시브 인증을 위한 과정들을 정리하였음
6. 모니터링계획을 실시하였음.</td><td>보고서면수</td><td>372 Page</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="4">한국형 패시브하우스 설계, 에너지시뮬레이션, 열교시뮬레이션, 패시브자재, 패시브설비</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">Korean PassiveHouse Planning, EnergySimulation, Thermal-BridgeSimulation, PassiveMaterial, PassiveEquipment</td></tr>
</table>

요 약 문

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

- 본 연구의 목적은 주택의 쾌적성을 확보할 수 있는 독일 패시브하우스 인증을 활용하여 한국형 패시브하우스의 논리적인 검증 및 실현하고, 국내 주택 품질 향상이 되도록 건축계에 보급하는 것이다.

- 에너지절약형 건축물의 대명사인 기술인 패시브하우스 건축기술은 독일을 중점적으로 개발 및 확산이 이루어지고 있지만 기술적, 산업적 기반의 차이 및 문화, 생활의 차이로 국내시장에 즉각적인 적용이 어렵다. 따라서 PHI의 패시브하우스의 성능기준을 준함과 동시에 국내 문화 및 생활환경을 고려한 한국형 패시브하우스 개발이 필요하다.

제2절 연구개발 범위 및 특징

- 본 연구의 범위는 한국형 패시브하우스을 개발하기 위하여, 국가차원에서 패시브하우스를 지원하기위한 해외정책 및 패시브하우스 사례를 분석한다. 또한 국내 건축설계 및 건설환경에 적합한 한국형 패시브하우스 구현을 위해 적용가능한 에너지절약 요소기술을 정리한다. 이를 바탕으로 4인가족이 실제 주거하는 한국형패시브주택의 모델(익산패시브하우스)시공하고 PHI의 인증을 취득함으로서 개발된 기술의 성능을 검증한다. 또한 에너지 및 쾌적성 및 모니터링을 통해 기술력을 추가로 검증하며, 경제성 분석을 통해 보급가능 여부를 확인하도록 한다.

제3절 연구개발 분야 국내외 기술 및 정책현황

- 건축물 에너지절약을 위해 패시브하우스 관련분야가 이루어지고 있으나 이는 해외사례 및 기술동향이 소개되는 수준으로, 국내현황에 적합한 자재 및 공법, 환기 및 설비장치 등 한국형 패시브하우스에 관한 총체적 연구는 아직 이루어지지 않은 상황이다.

- 국내에 소개 된 국외 패시브하우스 기술에 대한 추가적인 연구는 민간 건설 및 연구기관에서 간헐적으로 연구되며 그 결과는 자사의 독자적인 기술정보로 기술공유가 어렵다. 또한 연구결과는 모델하우스 수준에 그쳐 실제 주거공간으로서의 적합성을 검토할 수 없어 패시브하우스에 대한 쾌적지수, 삶의 질 평가 등 추가적 연구가 이루어지지 않고 있다.

- 반면 국외의 경우 독일 패시브하우스 연구소에서 제시하는 입면고정시스템, 창호프레임, 창 유리, 커튼월 시스템, 컴팩트 히트펌프 시스템, 폐열회수 환기장치, 벽체 및 공법 시스템, 창호 설치 등에 대한 기준을 바탕으로 유럽 각 지역의 140개의 업체가 건축자재 및 공법, 설비 등을 인증받고 약 240개 이상의 가용품목에 인증서가 발급되는 등 보급화가 활발히 이루어지고 있다.

- 국내에서는 온실가스 감축의 핵심분야로 건축물 분야의 중요성을 인식하고 녹색성장 비전에 따라 녹색건축물 기본계획, 에너지소비량 총량제, 녹색건축 인증제도, 건축물 에너지 소비 증명 등 관련정책을 시행하고 있으나 한정적인 적용범위, 유사정책의 중복운영, 기존 법 체계와의 충돌, 산재된 관련규정 등에 의해 체계적인 정책운영이 어려운 상황이다.

- 반면 국외에서는 에너지절약법, 임대주택의 유지관리비 효율화정책, 탄소건물 리노베이션 프로그램, 사회기반시설의 에너지효율화, 재생가능 에너지 열법, 공공청사 에너지효율 리노베이션 등 다양한 용도의 건축물의 신축, 리모델링, 금융지원방법 등에 대한 균형잡힌 정책을 운영하고 있다.

제4절 연구개발결과 우수성 및 차별성

- 본 연구는 일반적으로 통용되는 획일적인 패시브하우스 디자인에서 벗어나 국내 단독주택의 경향을 파악하여 수요자의 디자인적 요구사항을 충족시킬 수 있는 주택을 계획하는 기술에 대하여 연구하였다. 이러한 한국형패시브하우스 계획방법은 모델주택인 익산패시브하우스에 적용되었으며, PHI의 인증을 획득하여 개발된 설계기술 및 시공기술의 우수성을 입증하였다.

- 본 연구는 기존의 모델하우스를 시공하고 신기술 적용에 집중한 기존의 연구범위에서 벗어나 실제 거주가 가능한 주택을 설계하고 입주함으로서 모니터링을 통해 얻은 에너지사용량 및 쾌적성 지표들에 대한 신뢰도를 높였다.

제2장 연구개발과제 수행내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법

- 건축이라는 특정 분야를 벗어나 의학, 물리 등 각 분야의 전문가들과의 공동 연구를 통해 패시브하우스의 전체적인 결과를 도출하였다.

- 1차년도에는 국내단독주택 및 해외패시브하우스 사례분석과 국내주거환경을 분석하여 한국형 패시브하우스에서 고려해야 할 설계요소 및 에너지절약기술요소들을 도출하였다. 이를 바탕으로 한국형 패시브하우스 계획을 위한 설계방법 및 시공방법들을 정립하고, 모델(익산패시브하우스)을 설계하였다.

- 2차년도에는 실제 시공 및 감리, 그리고 기술검증(블러도어 테스트, 열화상카메라, TAB 테스트) 등을 통해 익산패시브하우스를 완공하였다. 또한 PHI인증을 획득하여 개발된 한국형패시브하우스의 기술을 입증하였다.

- 또한 2차년도에는 4인가족이 입주하여 주택에서 실 거주하였으며, 이 과정에서 얻어진 신뢰성 있는 쾌적성지표 및 에너지사용량 등을 바탕으로 주택의 기술을 입증하였다. 또한 실질적인 공사비를 바탕으로 경제성분석을 실시하여 보급가능성을 검토하였다.

제2절 연구수행과정 및 내용

[표0.1] 연구수행과정 및 내용

연차	연구내용
1차 년도	PHI 패시브하우스 인증제도 분석 및 취득과정 분석
	국외 패시브하우스 기 인증 단독주택 문헌조사
	패시브하우스 실현을 위한 해외 국가정책 및 지원제도 분석
	한국형 패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토
	국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토
	패시브하우스에 사용되는 국내·외 자재 및 성능 비교 검토
	패시브하우스 관련 국내·외 고효율 설비 성능 비교 검토
	한국형 패시브하우스 시범주택 선정과 에너지·열교시뮬레이션을 바탕으로 기본•실시설계 실시
2차 년도	패시브하우스 진단 시스템 연구 (Blower door test, 열화상카메라)
	한국형 패시브하우스 시공 및 완공 후 PHI인증 취득
	패시브하우스 모니터링 시스템 연구
	국내 에너지절약 관련 정책 개선안 도출
	익산패시브주택 모니터링 시스템을 기반으로 에너지사용량 및 쾌적성지표 도출 후 분석
	일반건축물 대비 패시브하우스 건축비 상승률 연구

제3절 연구수행결과 및 검증방법

[표0.2] 성과 질적 목표 점검

과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점:1~5)
						목표수준		측정방법	검증 방법		
						목표치	달성치				
1	한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가	1-1	한국형 패시브하우스 관련 연구	①	국내 연구 논문(1) 건수	1건	1건	국내 학술지 논문 게재	논문	40%	5
		1-2	한국형 패시브하우스 실현	①	에너지시뮬레이션 분석 건수	1건	1건	프로그램 분석 결과 보고서 확인	보고서	30%	5
				②	열교시뮬레이션 부위별 건수	5건	32건	프로그램 분석 결과 보고서 확인	보고서	30%	5
2	한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가	2-1	한국형 패시브하우스 실현	①	패시브하우스 자재인증 기준을 획득한 제품 적용 건수	3건	3건	실시설계 반영 확인	도면	20%	5
				②	디테일 및 시공방법 적용 건수	5건	5건	실시설계 반영 또는 시공사진 확인	도면 또는 보고서	20%	5
				③	건축물 기밀성 최대 0.6회 이하	0.6 이하	0.39	진단 결과 연구보고서 포함	보고서	30%	5
				④	모니터링 방법 적용 건수	3건	6건	사진 및 현장확인	보고서	20%	5
				⑤	정책제안 건수	3건	4건	연구보고서 포함	보고서	10%	5

[표0.3] 사업 연계 지표

	목표	목표건수	달성건수	증빙	인정 건수	달성율 (%)	가중치	달성평점
양적 지표 점검	국내 연구논문(2) 건수	1건	2건	국내게재	1건	100%	25%	5
	국제 연구논문 건수	1건	1건[1)]	SCI 게재	1건	100%	25%	5
	패시브하우스 디자인 출원 신청	1건	1건	출원	1건	100%	20%	5
	패시브하우스 인증 취득	1건	1건	인증서	1건	100%	30%	5

1) 독일 PHI 인증취득에 따라 국제 패시브하우스 데이터베이스에 등록 (http://www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=en#d_3949)

제3장 최종연구성과 및 적용실적

제1절 한국형패시브하우스 개발

1. 한국형 패시브하우스의 개념

- 한국형 패시브하우스는 초 에너지절약주택으로서 독일 패시브하우스 연구소(PHI: Passive House Institute)가 제시한 에너지성능 및 쾌적성기준이외에도 한랭건조 및 온난다습의 한국 기후를 고려하여 여름철 실내 제습부하까지 포함하여야한다.
  또한 초기 설계단계에서 건축주의 선호도, 생활환경, 주거문화 및 건축대상지 조건을 고려한 맞춤형 설계가 동시에 이루어져야 한다.
  이는 한국형 패시브하우스가 국내 주택 양식 및 국민 정서, 그리고 외부 기상상태와 무관하게 에너지소비량을 최소화하면서 실내 쾌적성(항온, 항습, 실내공기질 확보, 결로 및 곰팡이 방지)을 확보하는 것을 목표로 하기 때문이다.

[표0.4] 한국형 패시브하우스 설계기준

항목	기준	항목	기준
1차에너지 소요량	120 kWh/㎡a 이하	난방부하	10 W/㎡a 이하
난방에너지 요구량	15 kWh/㎡a 이하	냉방부하	10 W/㎡a 이하
		기밀도(n50)	0.6-1 이하
냉방에너지 요구량	15 kWh/㎡a 이하	열교	0.01 W/mk 이하
제습부하	실내습도 50% 유지하되 1차에너지 소요량 120 kWh/㎡a 이하 충족		
맞춤형 설계	건축주선호도, 건축대상지 조건, 생활환경 및 주거문화 등을 수용		

- 한국의 기후는 여름철은 고온다습하고 겨울철은 저온건조 하기때문에 여름철에는 특히 제습에 대한 고려가 필요하다. 제습을 위해서는 별도의 에어컨이나 제습장치가 설치되어야 한다.

- 한국의 생활방식은 바닥 난방문화이다. 일반적인 패시브하우스는 낮은 난방에너지요구량에의해 공기난방방식으로 실내온도를 유지하나, 한국에서는 건조한 겨울철 기후로 바닥난방에 대한 선호도가 높다. 따라서 이러한 생활문화의 차이를 고려하여 과도한 열공급을 피하는 바닥난방방식이 개발되어야 한다.

- 국내 연구결과에 의하면[2] 거실을 독립된 실로 활용하려는 경향에 의해 신도시 등에 채 나눔형 공간계획에 대한 선호도가 높아, 평면 및 매스가 분절되는 형태의 주택이 선호되고 있음을 밝힌 바 있다. 이 이외에도 ㄴ자의 선호도는 마당을 확보할 수 있어 단독주택의 장점을 살릴 수 있는 형태이다. 그러나 요철이 있는 주택의 형태는 A/V비율이 에너지성능측면에서 불리할 수

2) 양천규, 국내 단독주택의 평면구성 유형분류에 관한연구-1980년대 이후의 작가주택을 중심으로, 인하대학교 건축공학석사학위논문, 2005년 2월

있기 때문에, 계획단계에서 형태로 인한 에너지손실을 보상할 수 있도록 에너지시뮬레이션을 통한 검토가 필요하다.

- PHI에서 정의하는 패시브하우스는 연간 난방부하 10W/㎡a, 온대기후에서 연간 단위면적(m2)당 난방에너지요구량이 15kWh/㎡a이하이고, 1차 에너지소요량이 120kWh/㎡a 이하를 소비하는 건축물을 의미한다. 이 정의는 기계 냉난방 설비를 사용하지 않고도 건물 단열외피를 강화하고 기밀성을 높여 환기시스템 최적화를 통해 사계절 쾌적한 실내 환경을 유지하는 건축물을 의미한다. 따라서 한국형 패시브하우스를 설계할 때는 주택의 에너지절약 성능측면에서 기준을 언급하기 보다는 실내 거주자가 느끼는 쾌적성이 더 우선시 되어야한다.

2. 한국형 패시브하우스의 핵심 요소기술

- 국외 패시브하우스 인증주택 현황분석 및 국내 단독주택 디자인 요소분석을 통한 에너지 성능 및 디자인 계획에 대한 기초자료를 분석하여 한국형 패시브주택에 적용방안을 모색하였다.

- 한국형 패시브주택의 초기계획요소 적용을 통해 기본설계가 이루어지면 에너지 및 열교시뮬레이션을 통한 한국형 패시브주택 계획요소 적용의 검증이 필요하다.

- 일반 주택 시공기술과는 달리 한국형 패시브주택 시공을 위해 필요한 기술로는 외단열 공법, 창호 및 문 계획, 방수계획, 기밀외피계획, 열교방지계획, 일사조절장치계획, 환기계획, 설비계획, 조명계획 그리고 생활에너지 효율화 계획 등이 있다.

- 건축물의 올바른 구현을 위해 건축법 제 25조에 의해 건축물의 공사를 감리하도록 되어 있으며, 패시브주택의 경우 인증을 받기 위해서는 감리과정에서 패시브 기술요소가 충분히 구현되었음을 기록으로 남겨야 한다.

- 패시브주택 기술 기능발현 검증을 위해서 시공과정과 준공 후에 하는 테스트로는 블러도어테스트, 열화상카메라 촬영, TAB테스트 등이 있다.

3. 한국형 패시브하우스 개발에 따른 주요 연구성과

[표0.6] 한국형 패시브하우스 개발에 따른 주요 연구성과

연구목표	연구내용
독일 패시브하우스 인증 분석연구	패시브하우스 관련 독일 인증제도 및 취득과정 분석
	국외 패시브하우스 기 인증주택 문헌조사
독일 패시브하우스 관련 국가 제도 분석 연구	독일/EU 패시브하우스 실현을 위한 국가정책 및 지원제도 분석
한국형 패시브하우스 실현방법 연구 및 기본·실시설계	패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토
	국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토
	패시브하우스에 사용되는 국내외 자재 및 성능 비교검토
	패시브하우스 관련 국내외 고효율 설비 성능 비교검토
	국내 패시브하우스 시범주택 선정 및 설계
	에너지시뮬레이션 분석
	열교시뮬레이션 디테일검토
한국형패시브하우스 설계, 실현	진단시스템연구 및 시스템 구축
	시공방법연구 및 실증
	품질보증 및 감리표준개발
	인증취득 및 세부과정분석
	사용자 매뉴얼 개발
한국형 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 연구	모니터링 설계 및 설치
	모니터링 매뉴얼 개발
	모니터링 데이터처리 및 분석
	모니터링 결과 검증 및 분석
국내 제도 개선 제안	에너지절약 관련 정책 개선안 도출
패시브하우스 쾌적성 분석	쾌적성분석을 위한 문헌조사
	환경모니터링 수집계획 수립
	지속적 환경모니터링 자료 구축 및 분석
국내 패시브하우스 경제성평가	패시브하우스 경제성평가 계획수립
	패시브하우스 경제성 평가

제2절 한국형 패시브하우스 구현

1. 설계개요 및 계획개념

[표0.7] 건축개요

구분		내용
공사개요		익산시 석왕동 패시브 단독주택 신축공사
대지위치		전라북도 익산시 석왕동 445-31번지
지역/지구		자연녹지지역
용도		단독주택
대지면적		858 ㎡
도로현황		남측 6m 도로, 동측 6m 도로에 접함
건축면적		152.58 ㎡
연면적	지상	219.92 ㎡
	합계	219.92 ㎡
건폐율		17.78%
용적율		25.63%
건축구조		철근콘크리트조
건물규모		지상 2층
건물높이		7.23m



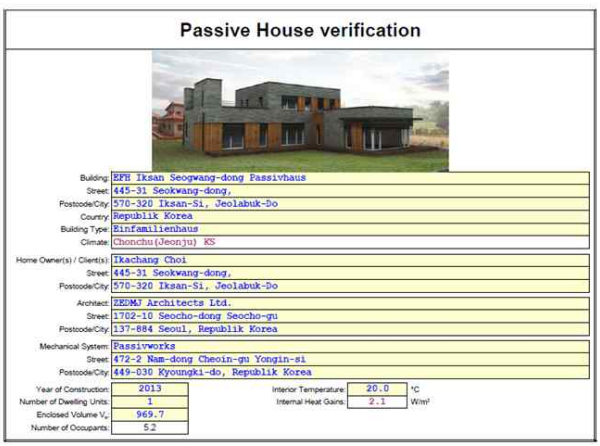
[표0.8] 건물에너지성능 개요

건물에너지성능 개요		(TFA 181.06 ㎡)
평균열관류율	외벽	0.117 W/㎡K
	지붕	0.097 W/㎡K
	바닥	0.116 W/㎡K
	북측창호	0.892 W/㎡K
	동측창호	0.834 W/㎡K
	남측창호	0.798 W/㎡K
	서측창호	0.833 W/㎡K
	출입문	0.580 W/㎡K
단위면적당 열교로 인한 평균열손실량 (창호설치부분의 열교로 인한 열손실량 제외)		0.017 W/㎡K
폐열회수환기장치효율		ComfoAir 200 (현열교환장치 효율 92%) 설치 ERV 현열교환효율 86%, 잠열교환효율 64%
에너지효율화기자재 사용		에너지효율등급 1등급 세탁기 및 빌트인 냉장고 설치, LED 및 고효율형광등 설치 HEMS 모니터링 시스템 설치
신재생에너지사용		지열 히트펌프
50Pa 압력에서의 시간당 환기횟수(n50)		0.39 h-1

2. 에너지 및 열교시뮬레이션

- 독일 패시브하우스 연구소의 주택부문 패시브하우스 인증을 목표로 설계 초기단계부터 PHPP를 통한 건축물 에너지 성능평가가 진행되었다.

[표0.9] 에너지 시뮬레이션 (PHPP)


Passive House verification

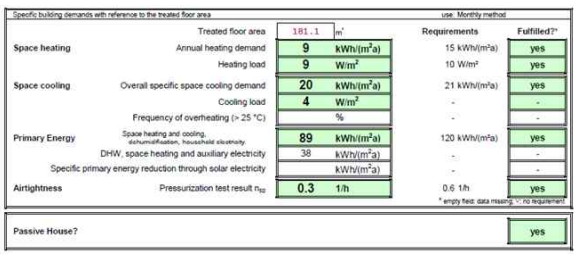
Building: EFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus
Street: 445-31 Seokwang-dong,
Postcode/City: 570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do
Country: Republik Korea
Building Type: Einfamilienhaus
Climate: Chonchu (Jeonju) KS

Home Owner(s) / Client(s): Ikachang Choi
Street: 445-31 Seokwang-dong,
Postcode/City: 570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do

Architect: ZEDMJ Architects Ltd.
Street: 1702-10 Seocho-dong Seocho-gu
Postcode/City: 137-884 Seoul, Republik Korea

Mechanical System: Passivworks
Street: 472-2 Nam-dong Cheoin-gu Yongin-si
Postcode/City: 449-030 Kyoungki-do, Republik Korea

Year of Construction: 2013
Number of Dwelling Units: 1
Enclosed Volume V_e: 969.7
Number of Occupants: 5.2
Interior Temperature: 20.0 °C
Internal Heat Gains: 2.1 W/m²


Specific building demands with reference to the treated floor area — use: Monthly method

				Requirements	Fulfilled?*
	Treated floor area	181.1	m²		
Space heating	Annual heating demand	9	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	yes
	Heating load	9	W/m²	10 W/m²	yes
Space cooling	Overall specific space cooling demand	20	kWh/(m²a)	21 kWh/(m²a)	yes
	Cooling load	4	W/m²	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)		%	-	-
Primary Energy	Space heating and cooling, dehumidification, household electricity	89	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	38	kWh/(m²a)	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity		kWh/(m²a)	-	-
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	0.3	1/h	0.6 1/h	yes

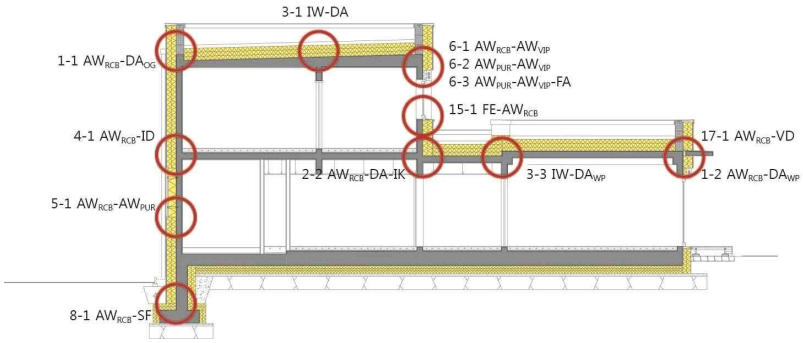
* empty field: data missing; - : no requirement

Passive House? yes

- 국제 표준기구 ISO에서 규정하는 열교부위를 통한 열손실 계산방법인 ISO 10211:2007은 직접

수식을 이용한 계산방법으로 본 연구에서 적용하였다.

[표0.10] 열교 검토부위



3. 한국형 패시브하우스 인증모형 실현

- 한국형 패시브하우스 인증모형 실현을 위해 도입된 기술요소로는 외단열 시공, 창호 및 문, 방수 시공, 기밀 시공, 외부차양 시공, 설비 시공 (지열, 폐열회수환기장치 등) 그리고 생활에너지 효율화 계획이 있다.

[표0.11] 익산패시브하우스 시공사진

	
단열재+벽체 완성	창호 외부 기밀시공사진

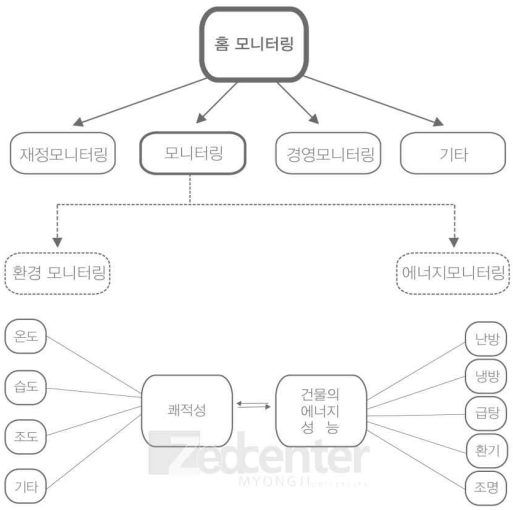
4. 한국형 패시브하우스 인증모형 검증

- 패시브하우스 감리, 각종 테스트(기밀테스트, 열화상카메라, TAB) 모니터링(쾌적성, 에너지사용량) 그리고 경제성 분석을 통하여 한국형 패시브하우스 인증모형을 검증하였다.

[표0.12] 한국형 패시브하우스 인증모형 검증

	
기밀테스트	열화상카메라 촬영

[표0.13] 모니터링 다이어그램



- 환경모니터링 결과, 공간별로 온도차가 있었지만 전반적으로 실내온도가 높아 쾌적함을 느끼는 확률이 높게 나타났으며, 이러한 쾌적성분석을 통해 공간별 시간별 난방설정이 가능하다는 점에서 쾌적성분석이 에너지사용효율화에 기여하고 있음을 알 수 있다.

- 에너지소비량 측정에 따른 각 5대 에너지 별로 소비된 전기에너지의 사용량과 비율은 다음과 같다.

  [표0.14] 건물에너지별 월별사용량

소비 에너지별 구분	사용량 [kWh]		5대 에너지 비율 [%]
난방에너지와 급탕에너지	11월	351.7	86.2
	12월	562.2	90.6
	1월	779.6	92.1
냉방에너지	11월	0	0
	12월	0	0
	1월	0	0
조명에너지	11월	26.5	6.5
	12월	28.6	4.6
	1월	30.4	3.6
환기에너지	11월	29.7	7.3
	12월	29.6	4.8
	1월	36.8	4.3

- 경제성 분석에 따르면, 패시브 성능을 만족하는 자재의 국산화 작업이 이루어지고, 양산화가 되어 자재 가격이 하락한다면 회수기간은 상승비용 60% 절감 시 10년까지 줄어들 수 있을 것이라 예상하였다.

.

제4장 국외 패시브하우스 사례를 통한 설계요소 분석

제1절 한국형 패시브주택 개발 최종목표 달성도

- 한국형 패시브주택의 개발연구를 위해 아래와 같은 연구목표를 설정하였으며, 2년 3개월간의 연구기간동안 설정된 목표 전반에 걸쳐 연구가 수행되었다.

[표0.15] 연구개발 최종목표 달성도

연구목표	달성도
독일 패시브하우스 인증 분석연구	100%
독일 패시브하우스 관련 국가 제도 분석 연구	100%
한국형 패시브하우스 실현방법 연구 및 기본·실시설계	100%
한국형패시브하우스 설계, 실현	100%
한국형 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 연구	90%
국내 제도 개선 제안	100%
패시브하우스 쾌적성 분석	100%
국내 패시브하우스 경제성평가	100%

제2절 한국형 패시브주택 개발의 기술적 효과

- 한국형 패시브주택 설계기술 공유는 건축주 및 건축가와의 의사소통 및 조율을 통한 효과적인 계획을 가능하도록 한다.

- 한국형 패시브주택은 에너지 다소비형 건축물에 요구되었던 대형 기계설비를 축소시킴과 동시에 기계설비의 고효율화를 요구하므로, 건축설비분야의 새로운 성장산업을 선도할 수 있다.

제3절 한국형 패시브주택 개발의 경제적 효과

- 한국형 패시브주택 개발은 정책적으로 2017년 주거용 신축건축물의 패시브하우스성능 의무화 계획에 따라 필요한 전문인력 확보 및 필요한 자재시장 확대 등 요구되는 기반시설을 미리 예상할 수 있는 연구이며, 정책수행과정에서 시행착오로 인한 경제적 손실을 최소화할 수 있다.

제4절 한국형 패시브주택 개발의 정책적 효과

- 한국형 패시브주택의 보급 및 추가연구를 위해 각 부처 및 관련연구기관의 전문가집단의 네트워크를 통한 협력관계 형성이 가능하다.

- 설계 및 시공, 감리, 모니터링 등 건축전반적인 연구로 개발된 한국형패시브주택은 국내에너지 절약설계기준의 목표를 제시하고, 한국형 패시브주택 분 아니라 한국형 제로에너지 주택에 대한 제도적 기준 수립의 기초자료로 활용될 수 있다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과의 활용방안

- 본 연구는 통합설계 과정을 중심으로 구성되기 때문에 각각의 실무자마다 자기만의 과정을 개발하도록 도와줄 하나의 로드맵으로 활용될 수 있다.

- 본 연구를 비롯하여 에너지 절약형 건축물에 대한 연구가 지속적으로 진행이 된다면 아시아에서 선도적인 위치에 설 수 있으며 해외 시장에서 경쟁력 확보가 가능하다.

- 패시브하우스 인증 시제품 제작 및 에너지, 쾌적성 모니터링을 통하여 국내 정책과 기술 현황을 파악하고 에너지 절약형 건축물 통합설계를 위한 정책방향 및 새로운 공법의 건축기술과 건축자재의 발전 방향을 모색할 수 있다.

제2절 추가연구의 필요성

- 국가차원에서 정확한 건축자재가 제공해야 하는 물리적 성능 항목을 도출하고, 그에따른 자재 및 설비의 정보수집 및 공유가 원활히 이루어질 수 있도록 추가연구가 수행되어야 한다.

- 최적화된 신재생에너지 적용에 대한 연구를 통해 제로에너지 주택구현을 위한 기술개발이 이루어진다면 2025년 신축주거건축물의 제로에너지의무화 뿐 아니라 단지, 도시의 에너지효율화 기술개발에 연계될 수 있다.

- 에너지절약형 건축물은 국가정책과 더불어 확대될 예정이며 이에 따라 관련된 건설 및 금융시장이 상호발전 할 수 있도록 금융상품 및 정책에 대한 연구가 현 시점에서 이루어야 한다.

Summary

Chapter 1 Introduction and Background

Section 1 Goals and Objectives

- The main objective of the research is to develop a certified passive house model that is accustomed to the Korean living style and the environment, and to supply such methods to the building industry in an attempt to increase the quality standard of housings in South Korea.

- In Germany, the development of energy saving building (Passive House) related techniques and industry have been going through expansion for couple of decades. In Korea, such development is still in its infancy due to recent learning of the techniques and cultural, social, and economical reasons for slowly implementing the design regulations to improve the industry and market of such buildings. Therefore, it is important to provide a house that not only meets the requirements of the PHI standards, but the consideration of Korean living standards and styles also need to be taken into account.

Section 2 Scope and Attributes

- The scope of the research is set in the following manner. First, Passive House built overseas through their policy are taken into account and analyzed. Secondly, energy saving building components and techniques are organized in order to implement with the consideration of the regulations and requirements in architectural design and construction setting in Korea. Third, considering the information stated above, design and construction of Passive House in Korea (Iksan Passive House) is to be realized and evaluated through the certification standard requirements, set by PHI. Lastly, further building evaluation are made through energy consumption and spatial quality monitoring, nevertheless, performing an economic feasibility analysis to evaluate the economic value and benefit of the building.

Section 3 Current State of Domestic/Non-Domestic Technology and Policy in the Field of Research and Development

- Energy saving buildings and Passive House related field is currently expanding overseas. However, in Korea, the design, production of materials, construction methods, and engineering technologies have yet gone through any complete and thorough research with a consideration toward its housing culture and environment.

- The domestic researches on Passive House technologies practiced overseas, have been intermittently studied by private laboratories or corporations, which results in exclusive studies that cannot be shared by other institutions. Furthermore, the researches are often limited to mock-up house scale and have not proceeded to develop more practical standards to evaluate living quality, user interface, or comfort index in the house.

- Whereas in the Europe, 140 companies had certified their construction materials, techniques, and equipments by Passive House Institution of Germany, which circumscribes the basic standard for EIFS (Exterior Insulation Facade system), window frame, window glazing, curtain-wall system, compact heat pump, heat recovery ventilation, wall construction, window installation, etc.

- South Korean government had acknowledged the importance of sustainable building practice and legislated environmental friendly policies such as Green Building Standards, Energy Consumption Caps, Green Building Certification Criteria, Energy Efficiency Certification, etc. However this attempt has been staggered by the limited scope of these legislations, inefficient operation system, unorganized regulations, or incongruity with other existing laws.

- Some of the successful energy management systems in foreign governments include laws relating energy-saving, policies on efficient rental house management, renovation program for low carbon trace, facilitation of energy efficiency in social infrastructure, introduction of renewable energy, renovation on public buildings, etc. These policies target all types of building construction—new, retrofit, or renovation projects—and cover financial aid procedures as well.

Section 4 Valued Outcome of the Research and the Differential Factor

- The objective of this research is to develop Passive House design requirements suitable for

Korean single-family houses. The Korean Passive House is to present new standards for residential demands in Korean housing culture and the parameters for such objective had been tried out in Iksan Passive House project whose design process and superior construction techniques had been certified by PHI.

- The following research has extended its scope beyond the application of new technology and the construction of mock-up house, to the livable residence where residents provided statement on the actual living experience and credible data from energy monitoring of the house.

Chapter 2 Research Process and Results

Section 1 Research Method

- The conclusion was drawn by experts of academic fields other than architecture, such as medical or physics, in order to provide more integral evaluation.

- In the first year, the patterns for international Passive House projects and housing culture in South Korea had been studied to abstract technical elements for energy conservation technologies. Based on this study, the design methods and construction techniques for Korean Passive House were established and applied to Iksan Passive House.

- In the second year, Iksan Passive House project was completed by applying various Passive House requirements (Blower door test, Thermovision camera test, and TAB—Test, Adjustment, and Balance—method). These techniques were certified by PHI and thus proved suitable for designing Korean Passive House.

- Additionally in the second year, the four-person household had moved into Iksan Passive House and provided credible and practical data on comfort level, monitored energy consumption, and financial feasibility to analyze the potential of expanding Passive House industry in South Korea.

Section 2 Research Process and Contents

Year	Research Process
1st	Analysis on PHI Passive House certification process
	Research on overseas Passive House single-family home
	Research on overseas policies for fostering Passive House buildings
	Study on Korean climate condition for Korean Passive House
	Groundwork on re-adjusting Passive House for Korean life style
	Investigation of foreign and domestic construction materials for Passive House
	Investigation of foreign and domestic high efficiency equipments for Passive House
	Initiation and schematic design of prototype Korean Passive House project based on energy and thermal bridge simulations
2nd	Research on monitoring Passive House system (Blower door test and thermovision camera)
	Completion of Korean Passive House and PHI Certification
	Research on monitoring system for Passive House
	Research on improving energy-saving policies for Korean government
	Analysis on comfort level and energy consumption based on monitoring system of Iksan Passive House
	Study on financial feasibility of construction cost for Passive House

Section 3 Research Results and Evaluation Method

Project		Objective		Performance Index		Evaluation Standard				Weighted value	Score (1~5)
						Objective		Evaluation Method	Confirmation		
						Goal	Result				
1	Development of Korean Passive House and Evaluation on Comfort Level and Economic Feasibility	1-1	Research on Korean Passive House	①	Research Thesis(1) (number of cases)	1		Publication in Korean academic journals	Thesis	40%	
		1-2	Implementation of Korean Passive House	①	Energy Simulation (number of cases)	1		Inspection of program analysis report	Report	30%	
				②	Thermal Bridge (number of cases)	5		Inspection of program analysis report	Report	30%	
2	Development of Korean Passive House and Evaluation on Comfort Level and Economic Feasibility	2-1	Implementation of Korean Passive House	①	Construction materials certified by PHI (number of cases)	3		Design application review	Architectural drawings	20%	
				②	Application of details or construction techniques (number of cases)	5		Design application review or Inspection of site photograph	Architectural drawings or Report	20%	
				③	Less than 0.6 for Airtightness	100 %		Incorporation of test report into research paper	Report	30%	
				④	Application of monitoring system (number of cases)	3		Site Inspection and photograph review	Report	20%	
				⑤	Proposition of related policies (number of cases)	3		Incorporation of suggested policies into research paper	Report	10%	

[Table] Evaluation on Project Objectives

	Objective	Criteria	Achievement	Confirmation	Certified	Achievement Ratio (%)	Weighted value	Score
Quantitative Index	Application of design copyright of Passive House (number of cases)	1		Copyrighted			100%	
	Domestic Research Thesis(2) (number of cases)	1		Publication			25%	
	International Research Thesis (number of cases)	1		SCI publication			25%	
	Application of design copyright of Passive House (number of cases)	1		Copyrighted			20%	
	Certification of Passive House (number of cases)	1		Certificate			30%	

[Table] Business Relation Index

Chapter 3 Overall Research Outcome and Application

Section 1 Passive House Accustomed to Korean Housing Typology and Environment

1. Concept

- Korean Passive House shall observe the standards delineated by PHI in Germany and additionally meet the demands from Korean climate and housing typology.

- Korean summer is hot and humid, whereas winter is cold and dry. One of the major construction principles with such climate is to keep the building dehumidified, often by air conditioning or dehumidifier.

- One distinct element for Korean housing typology is floor-heating system. Passive House generally keeps warm interior temperature by air-heating system due to low heating energy demand. However, most Koreans prefer floor-heating system because of the dry winter. To accommodate such life style differential, it is crucial to develop new floor-heating system without overheating.

- According to the past research,[3] it is housing trend in Korea to separate living room for the independent space. This has been often reflected in new town development, producing L-shape houses with front yard, the element often projected as advantages of detached single houses. However, the L-shape mass generates bigger area-to-volume ratio which hinders the maximum energy efficiency planning. Such trend must be thoroughly studied during schematic design process in order to provide proper compensation for the energy loss.

- The definition of Passive House by PHI is a building whose annual heating load is less than 10W/㎡a, heating energy demand is lower than 15kWh/㎡a under temperate climate, and primary energy demand is less than 120kWh/㎡a. This definition implies a building must sustain comfort level for all four seasons, inside the building envelope by thicker insulation and optimization of ventilation system through airtightness without implementing extra heating or cooling equipments. In designing Korean Passive House, the comfort level of residents must be prioritized to energy performance.

3) 양천규, 국내 단독주택의 평면구성 유형분류에 관한연구-1980년대 이후의 작가주택을 중심으로, 인하대학교 건축공학석사학위논문, 2005년 2월

2. Core Techniques

- For the ideal application Passive House design elements into Korean housing typology, the basic standards for energy performance and design principles were researched through domestic and foreign Passive House case studies.

- It is required to inspect Korean Passive House planning principles by energy and thremal bridge simulations, when the schematic design of the project is completed using beginning stage Passive House elements.

- Construction techniques required for Korean Passive House are Exterior Insulation Facade System, Window and Door Systems, Watertightness, Airtightness, Anti Thermal Bridging Design, Shade System, Ventilation System, Equipment Design, Lighting Design, and Energy-efficient life style design. These techniques shall be differentiated from those of other generic building construction.

- The construction process must be carefully supervised (according to the 25th ordinance of Korean building act) and in case of Passive House, the process must be recorded in order to be certified by PHI.

- The tests required for Passive House performance include Blower door test, Thermovision camera test, and TAB test, to be executed during and after the construction.

3. Major Research Outcomes

Research Objectives	Contents
Research analysis on German PHI certification system	Analysis on German PHI certification system
	Case studies on foreign Passive House projects certified by PHI
Research analysis on German Passive House related policies	Analysis of government policies and support system for Passive House implementation in Germany/EU
Research, Schematic Design, and Design Development on Korean Passive House implementation	Analysis of domestic climate conditions for Passive House
	Investigation of suitable implementation methods based on Korean life style and culture
	Investigation of foreign and domestic construction materials for Passive House
	Investigation of foreign and domestic high efficiency equipments for Passive House
	Energy simulation analysis
	Investigation of thermal bridge simulation details
Design Development and implementation of Korean Passive House	Research and implementation on monitoring system
	Research and demonstration of construction methods
	Development of product assurance and construction supervision standards
	Analysis on certification process and details
	Development of user guidelines
Research on post evaluation and performance result of Korean Passive House	Design and installation of monitoring system
	Development of monitoring guidelines
	Analysis of data from monitoring system
	Analysis and verification of monitoring system
Proposal for domestic legislative improvement on Passive House	Introduction of recommendable government policies relating energy saving
Analysis of comfort level in Passive House	Research investigation on comfort level
	Planning of environmental monitoring system installation
	Installation and analysis of consistent environmental monitoring system
Evaluation on economic feasibility of domestic Passive House	Development of economic feasibility plan for Passive House
	Evaluation of economic feasibility for Passive House

Section 2 Realization of Passive House in South Korea

1. General Information and Plan

[Table] Building Information

Category		Content
Construction Information		익산시 석왕동 패시브 단독주택 신축공사
Site Address		전라북도 익산시 석왕동 445-31번지
Zoning		자연녹지지역
Program		단독주택
Site Area		858 ㎡
Vehicle circulation		남측 6m 도로, 동측 6m 도로에 접함
Building Area		152.58 ㎡
Total Gross Area	Ground	219.92 ㎡
	Total	219.92 ㎡
건폐율		17.78%
용적율		25.63%
Building Structure		철근콘크리트조
Number of Floors		지상 2층
Building Height		7.23m

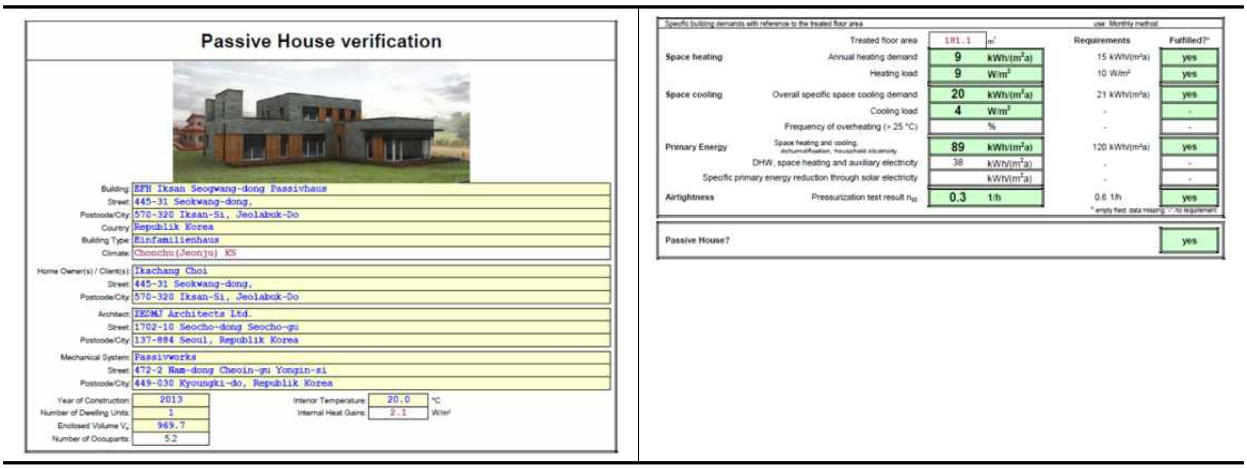


[Table] Building Energy Performance

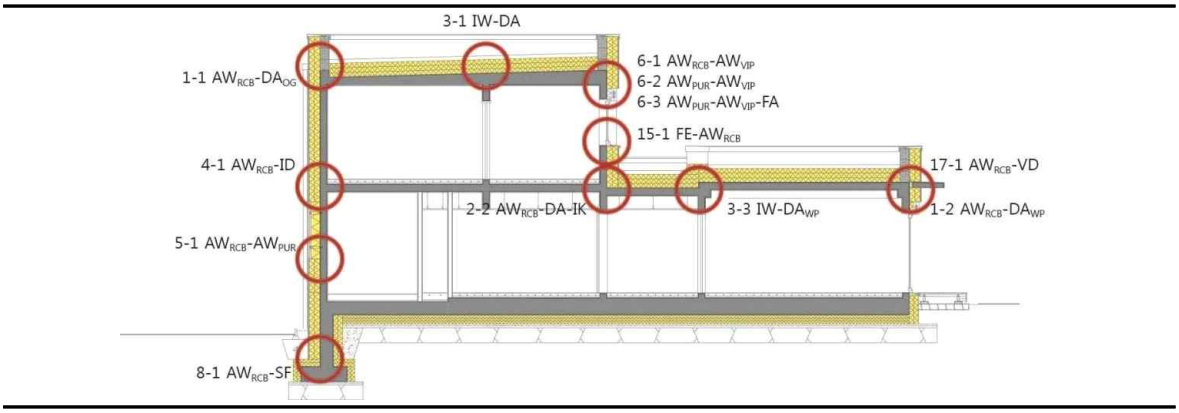
Building Energy Performance		(TFA 181.06 ㎡)
Average Heat Transmission Coefficient	Exterior wall	0.117 W/㎡K
	Roof	0.097 W/㎡K
	Floor	0.116 W/㎡K
	North Window	0.892 W/㎡K
	East Window	0.834 W/㎡K
	South Window	0.798 W/㎡K
	West Window	0.833 W/㎡K
	Entrance door	0.580 W/㎡K
Average heat loss due to thermal bridge (excluding thermal bridge at window frame)		0.017 W/㎡K
Efficiency of Heat Recovery Ventilator		ComfoAir 200 (현열교환장치 효율 92%) 설치 ERV 현열교환효율 86%, 잠열교환효율 64%
Applied house appliances of high energy efficiency		Washing machine (energy performance level 1), Built-in refrigerator, Installation of LED or high efficiency florescent lamp, Installation of HEMS monitoring system
Applied Renewable Energy		Geothermal Heat Pump
Hourly ventilation occurrences under the pressure of 50Pa (n50)		0.39 h-1

2. Energy and Thermal Bridge Simulation

- From the beginning stage of design, the energy performance simulation was applied using PHPP, in order to certify the project under PHI Passive House.



• This research had applied the heat loss calculation method ISO 10211:2007, which calculate the heat loss by using thermal bridging parts defined by ISO.



3. Development of Passive House Model for Certification

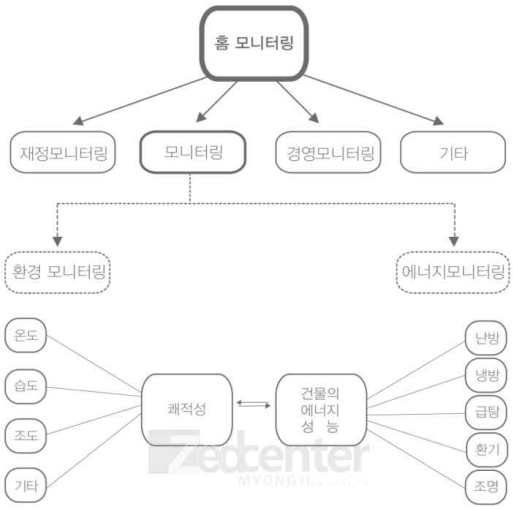
• The techniques implied for the implementation of Korean Passive house are Exterior Insulation Facade System, Window and Door Systems, Watertightness, Airtightness, Anti Thermal Bridging Design, Shade System, Ventilation System, Equipment Design (Geothermal heat pump and Heat recovery ventilator), Lighting Design, and Energy-efficient life style design.

	
Completion of exterior wall and insulation	External window airtightness construction

4. Passive House Model Evaluation

• Passive House certified model was evaluated through passive house construction management, several different tests (through airtightness, infrared imaging camera and TAB), monitoring(comfort, spatial quality and energy consumption). Furthermore, economic feasibility analysis was performed.

Airtightness Evaluation	
Airtightness	Thermovision Camera



- Though there were evidences of temperature difference from one space to another in the result for interior environment monitoring, in most areas interior temperature was at a level for a person fell comfortable. Through the spatial quality analysis, the question in possibility of configuring heating for different spaces and during different times of the day was answered. Hence, the comfort level analysis does contribute on some levels in providing efficient use of energy in homes.

- The following chart describes the percentage of electrical energy consumption in 5 different usages areas.

Categories of Energy Consumption	Consumption [kWh]		Percentage [%]
Heating and DHW	November	351.7	86.2
	December	562.2	90.6
	January	779.6	92.1
Cooling	November	0	0
	December	0	0
	January	0	0
Lighting	November	26.5	6.5
	December	28.6	4.6
	January	30.4	3.6
Ventilation	November	29.7	7.3
	December	29.6	4.8
	January	36.8	4.3

- The economic feasibility analysis shows how development of domestic materials that satisfy the passive performance of a building can bring the increase in price of construction (general housing compared to passive house) to drop by 60% and the return of investment to be decreased by 10 years.

Chapter 4 Design Component Analysis of Non=Domestic Passive House

Section 1 Goal and Achievement

- The following chart briefly summarizes the research goals for the development of passive house in Korea, and the research was performed according to the set objectives.

Research Objectives	Achievement
PHI Certification research analysis	100%
PHI related national regulation analysis	100%
Researching the method to realize passive house in Korea, design development/production of construction document	100%
Passive house in Korea design and realization	100%
Post construction evaluation and usage monitoring	90%
Proposal to improve domestic regulations	100%
Passive house comfort level analysis	100%
Domestic economic feasibility analysis	100%

Section 2 Effect of Passive House Design Techniques

- Sharing of Passive House (energy saving building related) design method allows improved communication and enanles effective planning between the architect and the client.

- Korean Passive House differentiates itself from the general buildings by minimizing the mechanical systems and employing high performance systems, which will help in rearing a new building system industry.

Section 3 Economical effect

- The development of Korean Passive House reflects the need and requirement set by the government. This research involves predicting the market expansion of passive house related building material and the infrastructure demand.

Section 4 Effect on Policy

- The formation of network among experts within the related research institutes is needed to supply and perform additional research concerning the passive house in Korea.

- Passive House in Korea, which was developed through thorough research in design, construction, construction management, monitoring, setting an energy saving design standards in Korea. Furthermore, forming a standard for zeor-energy house accustomed to Korean setting can also be utilized.

Section 5 Application of Research Outcome and the Need for Additional Research

Section 1 Research Outcome Application Method

- This research is focused on process, and it can be utilized as a road map for working level staff in different fields to develop their own process.

- It research concerning energy saving buildings is sustained and progressed, it is very much possible to gain competitional advantage and play a leading role in Asia.

- Through passive house certification model production, energy and comfort level monitoring development of energy saving building technology, material can be realized with the full understanding of national policy and status.

Section 2 Need for Additional Research

- Additional research by natural institution must be provided in order to collect and share the data relating construction materials and equipments.

- Technical advances for zero energy house design using optimum renewable energy, would enable the implementation of zero energy requirement for new building construction after 2025 and technical development for urban energy efficiency.

- At present state, the research on financial package and policies for related construction and financial institutions must go along with expanding energy-saving buildings and its political scope.

목 차

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성 ····· 1
1. 연구개발의 필요성 ····· 1
2. 연구개발의 목적 ····· 3
제2절 연구개발 범위 및 특징 ····· 5
제3절 연구개발분야 국내외 기술 및 정책현황 ····· 7
1. 국내·외 패시브주택 기술개발 현황 ····· 7
가. 국내 패시브주택 기술개발 현황 ····· 7
나. 국외 패시브주택 기술개발 현황 ····· 8
2. 국내·외 에너지절약형 건축물 관련정책 현황 ····· 10
가. 국내 에너지절약형 건축물 관련정책 추진배경 ····· 10
나. 국내 에너지절약형 건축물 관련정책 현황 ····· 12
다. 해외 에너지절약형 건축물 관련정책 추진배경 ····· 14
라. 유럽 에너지절약규정의 패시브하우스 표준적용 ····· 14
마. 독일 기후변화방지 종합정책과 건축물 관련정책 ····· 15
바. 국가별 지원제도 ····· 21
제4절 연구개발결과 우수성 및 차별성 ····· 26
1. 연구개발결과 우수성 ····· 26
2. 연구개발결과 차별성 ····· 26

제2장 연구개발과제 수행내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법 ····· 28
1. 연구수행전략 ····· 28
가. 연구수행체계 ····· 28
2. 연구수행방법 ····· 29
제2절 연구수행과정 및 내용 ····· 30
1. 연구수행내용 ····· 30
가. 1차년도 연구수행내용 ····· 30
나. 2차년도 연구목표 및 내용 ····· 36
2. 연구수행과정 ····· 47

가. 1차년도 연구수행일정 ····· 47
나. 2차년도 연구수행일정 ····· 48
제3절 연구수행결과 및 검증방법 ····· 48
1. 1차년도 연구수행결과 및 검증방법 ····· 49
2. 2차년도 연구수행결가 및 검증방법 ····· 50

제3장 최종연구성과 및 적용실적

제1절 한국형패시브하우스 개발 ····· 51
1. 한국형 패시브하우스의 개념 ····· 51
2. 한국형 패시브하우스의 핵심요소기술 ····· 52
가. 에너지성능 및 디자인계획 ····· 52
나. 시뮬레이션을 통한 주택에너지 성능계획 ····· 86
다. 한국형 패시브하우스 시공기술 ····· 92
라. 기술관리 ····· 136
마. 기술검증 : 블러도어테스트, 열화상카메라, TAB ····· 138
3. 한국형 패시브하우스 개발에 따른 주요 연구성과 ····· 141
가. 공통지표 ····· 142
나. 과제지표 ····· 149
제2절 한국형 패시브하우스 구현 (기술실시 및 적용사례) ····· 159
1. 설계개요 및 계획 개념 ····· 160
가. 설계 개요 ····· 160
나. 설계 계획개념 ····· 162
2. 도면 ····· 185
가. 평면도 ····· 185
나. 단면도 ····· 186
다. 입면도 ····· 187
3. 익산패시브하우스 적용 기술요소 ····· 188
4. 에너지 및 열교 시뮬레이션 ····· 194
가. 에너지시뮬레이션 - PHPP 에너지계산(메테오놈기후데이터정리) ····· 194
나. 열교 시뮬레이션 ····· 207
5. 한국형패시브하우스 인증모형 실현 ····· 226
가. 외단열 시공 ····· 226
나. 방수 시공 ····· 257
다. 기밀 시공 ····· 259

라. 외부차양 시공 ····· 262
마. 설비 시공 ····· 266
바. 생활에너지효율화 계획 ····· 276
제3절 한국형패시브하우스 인증모형 검증 ····· 284
1. 패시브하우스 감리 ····· 284
2. 패시브하우스 기술검증 ····· 289
3. 패시브하우스 모니터링 검증 ····· 299
제4절 한국형패시브하우스 경제성분석 ····· 345
1. 일반 건축물 시공비 대비 패시브하우스의 추가상승비 비교 ····· 345
2. 분석모형 ····· 348
3. 현금흐름분석 ····· 356
4. 한국형패시브하우스 경제성분석 결과 ····· 367

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 한국형 패시브하우스개발 최종목표 달성도 ····· 368
1. 한국형 패시브하우스 개발 연구의 목표 및 달성내용 ····· 368
제2절 한국형 패시브하우스개발의 기술적 효과 ····· 369
제3절 한국형패시브하우스개발의 경제적 효과 ····· 369
제4절 한국형 패시브하우스 개발의 정책적 효과 ····· 370

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 활용방안 ····· 371
1. 에너지 절약형 건축물의 참고자료로 활용 ····· 371
2. 에너지 절약형 건축물 통합설계 로드맵 ····· 371
3. 중국시장으로의 경쟁력 확보 ····· 371
4. 에너지 절약형 건축물 발전방향 모색 ····· 372
제2절 추가연구의 필요성 ····· 372
1. 국산자재 에너지성능 데이터베이스 구축 ····· 372
2. 제로에너지 주택기술 개발 ····· 373
3. 에너지절약형 주택 계획을 위한 국내기후분석연구 ····· 373
4. 한국형 패시브하우스 보급을 위한 금융지원정책 연구 ····· 373

참고문헌

부 록

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성

- 전 세계적으로 에너지 위기와 기후변화 시대를 맞아 자원, 에너지 확보 경쟁과 자원의 이용, 환경오염 최소화를 국가경쟁력의 원천으로 인식하는 동향을 보이며, 선진국들은 이른바 녹색산업, 녹색기술을 새로운 성장엔진으로 인식, 국력을 집중하는 양상을 보이고 있다.[4)]
  유엔 기후변화 협약에 따라, 선진국을 중심으로 30여개 국가가 온실가스 감축의무를 수행하고 있다. 우리나라는 온실가스 감축 의무 국가는 아니나, 주요온실가스인 이산화탄소의 배출량이 2008년도 기준 세계 10위이며, OECD 국가 중 이산화탄소 배출량 증가율 1위국[5)]으로서 온실가스 감축 의무로부터 자유로울 수 없다.

- 세계 13위 경제대국이자 세계 7위 수출국인 한국은 에너지 집약도가 높은 나라로, 저탄소 기술과 청정에너지가 경제발전에 기여할 수 있도록 2008년 '저탄소 녹색성장'을 국가 장기 전략으로 채택하고 에너지와 환경 분야에서 새로운 정책을 개발하고 시행해왔다. 그 중 가장 주목할 만한 것은 2020년까지 온실가스 배출을 BAU대비 30%감축하겠다는 의지를 보이고 이를 녹색성장 국가전략에 반영했다는 것이다. 동 전략은 저탄소 녹색성장 기본법을 제정하면서 국내법이 되었고, 구체적인 시행은 녹색성장 위원회가 담당한다. [6)]

- 온실가스 30% 감축목표를 보완하기 위하여 다양한 에너지 효율정책이 개발되었으며, 정부는 수송, 건물 분야에서 여러 전략을 취하고 있는데, 그 예로는 연비기준, 건물 설계기준, 기타분야의 기존정책 강화 등을 들 수 있다.[7)]

- 특히 건축물 분야는 현재 국가 에너지소비량의 약 22.3%, 국가 온실가스 배출량의 약 25%이상을 차지하고 있으며, 건축물 전체 에너지 사용량 중 가정에서 소비가 53%를 차지[8)]므로, 에너지사용량 저감 및 온실가스 감축에 대한 잠재량이 크다.[9)]

- 이에 따라 국내에서는 건축물 유형별 연간 에너지소비량 기준을 단계적으로 강화하여, 2025년까지 단계별로 제로에너지 주택 의무화를 건축물분야 로드맵으로 수립하였다.[10)]

---

4) 녹색성장 포럼 출범 워크숍 자료집-2008.9.9
5) 한국 환경공단 기후변화 홍보포털, http://www.gihoo.or.kr
6) 2012년 11월 23일 IEA한국 에너지정책 국가보고서 요약본
7) 2012년 11월 23일 IEA한국 에너지정책 국가보고서 요약본
8) 제 6차 녹색성장위원회 보고자료
9) Global Green Building Trends, McGraw Hill Construction, 2008, p7
10) 제 6차 녹색성장위원회 보고자료

[표1.1] 부문별 온실가스 배출량

구 분	산업	건물	교통	기타
온실가스 배출량(%)	52.0%	25.6%	16.7%	5.7%

[표1.2] 건축물 용도별 에너지사용량

구 분	가정	상업	공공·기타
에너지 사용량(%)	53%	37%	10%

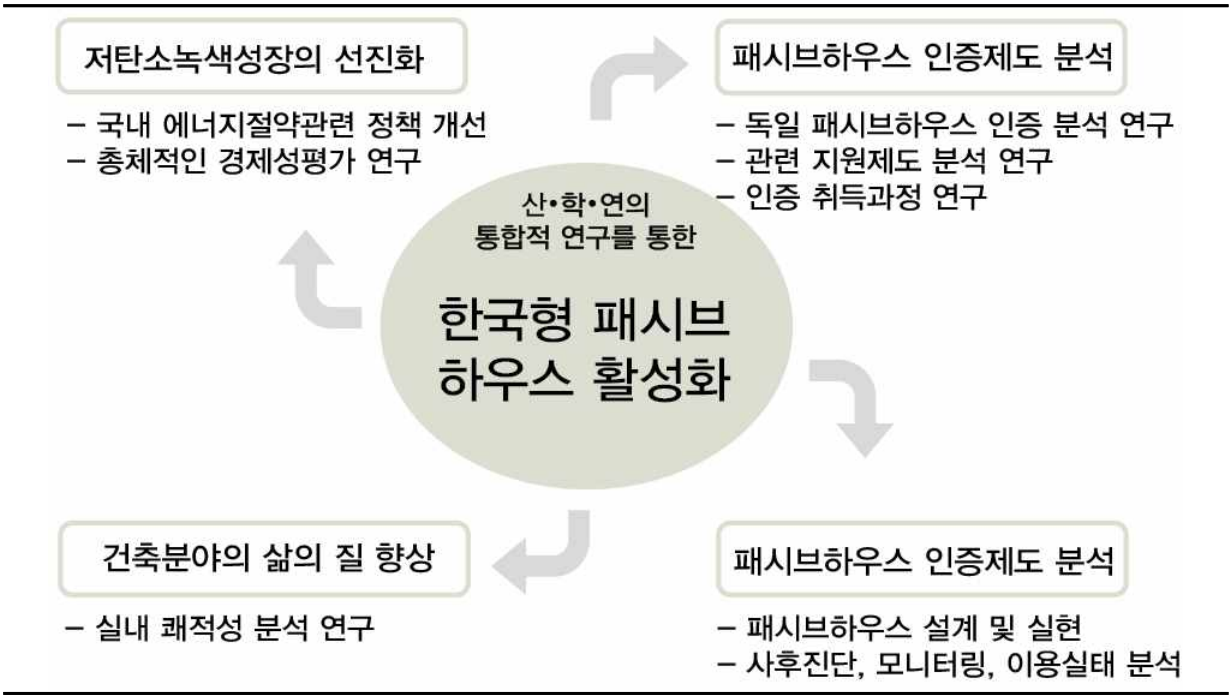
[표1.3] 2025년까지 단계별 건축물 에너지분야 로드맵

구 분	2012년	2017년	2025년
주거용 건축물	현 수준 대비 30%감축	60%감축 (패시브하우스수준)	제로에너지 의무화
비주거용 건축물	현 수준 대비 15%감축	30%감축	제로에너지 의무화

- 이러한 상황에서 국가적으로 각각 지자체에서 에너지절감 및 이산화탄소 저감을 위해 목표를 설정하는 등 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 그 실현 방법에 대한 구체적인 연구 및 기반시설 부족 등 여러 한계점을 지니고 있으므로 법적인 의무가 더욱 강화되기 전까지는 에너지절약형건축물의 보급이 어려운 상황이며, 그렇게 된다하더라도 이러한 법적 장치가 건설산업의 활성화를 저해할 가능성이 있다.

- 국가적으로 2017년에 목적으로 삼은 독일의 패시브하우스 기술은 건축물에서 에너지효율화 기술을 선도하고 있으며 현재 기후변화 대응 및 쾌적한 실내 환경 조성으로 전 세계적으로 큰 관심을 받고 있다. 그러나 이 건축기술은 독일을 중점으로 개발 및 확산이 이루어지고 있으므로, 여러 가지 한국의 실정과 맞지 않는 것들과 한계점들이 존재한다. 현재 기술적, 산업적으로 기반이 없는 상태에서는 성공적인 목표달성이 어려우며, 이를 위해 패시브하우스 실현과 관련된 총체적인 사항에 관한 연구가 필요하다.

2. 연구개발의 목적



[그림1.1] 연구의 최종목표

- 국내 패시브하우스는 자재와 디테일 개발이 미비한 상태에서 계획, 시공되어 누수와 기밀성 미확보 등의 시공 상의 결함과 궁극적으로 인간의 쾌적성을 보장해주지 못하는 위험성을 가진 국내 패시브하우스 건설 방식을 지양한다. 그러므로 국제적인 독일의 패시브하우스 인증시스템을 활용함으로써, 체계적인 한국형 패시브하우스 기준을 정립한다.

- 독일패시브하우스 인증을 받는 것은 현재 국내에 동일한 기준이 부재한 상태에서 불가피한 절차이지만, 이러한 절차를 통해 패시브 건축물을 만들어가는 과정과 결과물에 대한 논리적인 검증이 필요하다. 이를 통해 국내 건축계의 건축물 품질이 국제 수준과 비교가능하며 이러한 기준이 국가연구프로젝트의 결과로 잉태될 경우, 한 사람의 지적재산이 아닌, 국가 지적재산으로 국내 건축계에 보급할 수 있게 된다.

- 국내 기후와 거주자의 특성을 고려함과 동시에 국내 에너지절약 자재 발굴 및 성능기준 제안이 필요하다. 또한 국내 패시브 건축물 시공방법 을 체계적으로 방음, 단열, 방습, 방수, 방화까지 연구하여 패시브하우스 실현 및 품질을 높인다.

- 패시브하우스 거주자를 대상으로 한 쾌적 지수와 삶의 질을 평가하여 패시브하우스가 지니는 장점을 최대한 부각하여 인간의 쾌적성과 지구환경의 건강까지를 감안한 총체적인 경제성을 조사하여 발표하고자 한다.

- 이와 같은 연구는 개인의 노력으로 이루어질 수 없으며, 산•학•연의 통합적인 연구를 통해 가능하다. 이 분야 전문 설계사무소인 (주)제드엠제이건축사사무소와 건축이라고 하는 특정 분야를 벗어나 의학, 물리, 건축학계의 각 분야의 전문가들과의 공동 연구를 통해 패시브건축물의 전체적인 결과를 도출할 것이다. 이 연구는 연구를 위한 연구가 아닌, 실제적으로 이용할 수 있는 결과물을 만들어 국내 저탄소녹색성장의 일환인 에너지절약형 건축물 보급에 큰 역할을 하고자 한다.

- 본 연구를 통해 독일의 패시브하우스에 관한 기본적인 개념에서부터 국가정책 현황, 그리고 이를 실제로 적용하여 설계, 시공, 완공 후 쾌적성과 경제성에 이르기까지 대부분의 패시브하우스의 과정을 포함하여, 에너지절약형 건축물 설계자 및 건축주들에게 필요한 정보를 제공함으로써, 국내 상황에 적합한 패시브하우스를 확산시킨다.

제2절 연구개발 범위 및 특징

- 본 연구의 범위는 한국형 패시브주택을 개발하기 위하여, 국가차원에서 패시브하우스를 지원하기 위한 해외정책 및 패시브하우스 사례를 분석하고 패시브주택 구현을 위한 에너지절약 요소기술의 전반적인 내용과 국내 건축설계 및 건설환경에 적합한 도입방안연구와 개발된 한국형패시브주택 기술의 적용을 통한 주택시공을 통해 국내 적용가능성을 검증한다.
  또한 에너지모니터링, 쾌적성모니터링, 독일패시브 인증을 통해 개발된 한국형패시브주택기술의 성능을 자체 검증하도록 한다.

- 범위 1 : 국외 패시브하우스, 에너지관련 국가정책 및 지원제도 분석
  독일 및 유럽연합에서 시행중인 건축물의 에너지절약과 관련된 정책들을 분석한다. 선진 유럽의 정책은 에너지절약형 건축물을 보급하기위해 앞장선 정책들을 펼치고 있으며, 이를 국내에 적용시킬 수 있는 기초자료로 활용하도록 한다.

- 범위2 : 독일 패시브하우스 인증제도 분석 연구 및 사례분석
  현재 독일 패시브하우스 연구소에서 활발하게 진행되고 있는 인증제도에 대해 정리한다. 이는 패시브하우스 인증을 받을 수 있는 주요 조건들과 유의사항들에 대해 실제 인증을 받은 주택 사례를 중심으로 분석하고, 인증을 취득할 수 있는 여러 가지 과정들 까지도 포함한다.

- 과제3 : 한국형 패시브하우스 설계 및 방법 연구
  독일의 패시브하우스를 도입 시에 전통적으로 한국이 가지고 있던 설계요소를 분석하여, 우리나라 실정에 맞게 적용할 수 있는 자료로 정립한다. 또한 패시브하우스를 구성하는 데에 적합한 자재들 및 설비에 관해 분석한다. 그리고 설계 시 에너지시뮬레이션 및 열교시뮬레이션을 통해 디테일을 검토한다.

- 범위4 : 한국형 패시브하우스 실현
  실제 설계 및 완공 후의 건축물 성능을 진단하고, 독일로부터 인증을 취득하는 패시브하우스 인증모형을 개발하여, 성공적인 패시브하우스가 되었음을 증명한다.

- 범위5 : 국내 패시브하우스 사후 이용실태 연구
  개발에서 그치는 것이 아니라 사후에 모니터링 시스템을 연구하여, 실제 계산된 결과대로 에너지가 쓰여지고 있는지 비교하고, 계산된 결과와 다르게 관찰되는 현상과 그 원인에 대해 분석한다.

- 범위6 : 국내 에너지절약관련 인증제도 구축방향 제시
  선행된 과제들을 통해 국내에 패시브하우스에 준하는 제도들을 구축하는데 있어서 필요한 방향들을 제시하고 2017년에 법적으로 의무화되는 에너지절약형 건축물관련 정책들을 세우는데 일조하도록 한다.
- 범위7 : 패시브하우스 쾌적성 효과 분석 연구

패시브하우스가 가지고 있는 쾌적성 및 그 효과에 대한 연구를 실시하여, 에너지절약형건축물로서의 역할 뿐만 아니라 미래 주거공간의 쾌적성을 보장하는 건축물로서의 인식을 제고시킨다.

- 범위8 : 패시브하우스 경제성 평가 연구
  실제 완공한 건축물의 건축비 상승률 및 저감방안에 대해 도출하며, 유지비 및 감가상각에 따른 경제성평가를 실시한다. 이와 더불어 위의 쾌적성분석을 통해 얻은 쾌적도에 따라서 경제성을 총체적으로 분석한다.

- 본 연구는 기존의 문헌분석 및 기술분석과 모델하우스 시범구축에 그치던 연구범위에서 벗어나 4인가족이 실제 주거하는 일반 단독주택 계획에 패시브기술요소를 도입하여 시공하고, 입주 후 에너지모니터링, 쾌적성 모니터링 및 기술력 검증하였으며, 경제성 분석을 통하여 보급 가능여부를 확인하는 것이 기존연구와 본 연구의 차이점이라 할 수 있다.

제3절 연구개발분야 국내외 기술 및 정책현황

1. 국내·외 패시브주택 기술개발 현황

가. 국내 패시브주택 기술개발 현황

- 국내에서 시공되고 있는 패시브하우스는 대부분 독일을 비롯한 외국으로부터 들여온 기술을 바탕으로 시공되고 있다. 또한 패시브하우스에 관한 제도의 체계적인 정비와 자재 및 공법의 국산화가 이루어지지 않아 패시브하우스 대중화의 걸림돌이 되고 있다.

- 건축물에서 에너지 절감의 중요성을 의식하고, 녹색성장 국가 비전 선포 후 패시브하우스 관련 분야의 연구가 꾸준히 이루어지고 있으나, 이는 해외의 사례나 해외의 기술 동향 등이 소개되는 수준이며, 실제 국내에 패시브하우스를 실현하기 위한 자재 및 공법, 폐열회수장치 및 기타 설비장치 등과 국내 패시브하우스 인증, 한국형 패시브하우스에 관한 총체적인 연구는 아직 이루어지지 않았다고 보는 것이 타당하다.

- 패시브주택에 대한 기술개발은 민간건설 산업에서는 쉽게 적용되지 못하고 있는데, 이는 국가 연구개발 사업을 통한 연구결과는 보급화 이전단계에 있고, 민간건설회사의 연구결과는 독자적인 기술정보로 기술공유에 보수적인 태도를 취함에 따라 국내 녹색건설 산업의 품질을 향상시키는데 어려움이 있다.

- 현재 이루어졌던 국내 패시브하우스는 모델하우스 수준에 그치고 있어 실제 주거의 공간으로 적당한 지에 대한 검토할 수 있는 기준이 부재하다.또한 패시브하우스가 인간에게 쾌적한 공간을 제공한다는 내용이 정의되어 있을 뿐, 실제로 거주자를 대상으로 한 쾌적지수, 삶의 질 평가는 아직 이루어지지 않고 있다.

- 국내의 대부분의 주거형태는 고층 아파트로서 패시브하우스 기술과 접목이 필요하나 아직 국가기관 및 시공사, 건축주의 의지 및 인식 부족으로 인해 아직 국내 적용사례가 없는 상황이며, 건설기술의 경험과 디테일에 대한 확신이 부족하다.

- 현재 친환경건축연구센터에서는 저에너지 친환경공동주택 가이드라인을 발표(20010.3)함으로써 에너지절약형 아파트에 대한 기준을 제시하고 있으나 패시브하우스 기준까지의 제안 내용은 포함하고 있지 않다.

  - 패시브하우스와 관련한 국내 주요 관련 연구기관을 정리하면 다음과 같다.

[표1.4] 국내 패시브하우스 관련기관

연구기관	주요 내용
(주)제드엠제이건축사사무소 부설 제로에너지기술연구소	- 에너지절약기술(Passive건축요소기술), 최신IT+Energy기술, 신재생 에너지기술을 결합하여 제로에너지 도시와 건축물 만들기를 실현하고 있으며, 건축물 초기설계 단계에서부터 에너지시뮬레이션을 기반으로 에너지성능을 검토하면서 설계하는 부설 제로에너지 기술연구소를 운영.
한국건설기술연구원	- 주택. 건축물 및 도시를 친환경 적인 공간으로 구현하기 위한 제도 및 정책지원, 기술개발 및 평가 등과 관련된 연구수행 - 녹색성장과 삶의 질 향상을 위한 그린홈 연구 수행.
한국건축친환경설비학회 한국패시브하우스연구소	- 독일 패시브하우스 연구소와 협약 체결 - 교육기관으로서 독일 패시브하우스 설계자 인증시험 기관으로 운영

나. 국외 패시브주택 기술개발 현황

- 패시브하우스가 시작된 유럽의 선진국에서는 1990년 중반부터 에너지 대란으로 인해 난방이 불필요한 건축물 연구를 시작하였다. 독일의 경우 현재 약 6,000여 가구의 패시브하우스가 있으며, 약 1600개 건물이 패시브하우스연구소(Passiv Haus Institut)에서 인증을 취득했다. 이 연구소에서는 패시브건축물에 대한 여러 가지 연구를 통해 이를 실현시키기 위한 다양한 정보들을 제공하고 있어 실제 패시브하우스 건설에 접근성을 높였으며, 건축물 인증시스템 뿐만 아니라 건축자재에 대한 인증시스템을 구축하여 총체적이고 정확한 기준을 제시하고 있다.

- 패시브하우스연구소에서 제시하고 있는 기준에 의거하여 하나의 자국기업을 포함하여, 독일, 오스트리아, 네덜란드, 영국, 덴마크, 스위스 등 유럽 각 지역의 약 140개의 업체가 건축자재 및 공법, 설비 등을 인증을 받았으며, 약 240개 이상의 가용한 품목에 인증서가 발급되었다. 인증서의 종류 및 개수는 고효율, 고성능, 신공법 개발로 인해 계속 증가하고 있는 추세이다.

- 현재 독일 패시브하우스연구소는 민간기관으로서 인증 기준을 제시하고, 인증을 실시하는 항목을 살펴보면, 입면고정시스템, 창호프레임, 창유리, 커튼월시스템, 컴팩트 히트펌프시스템, 폐열회수환기장치, 벽체와 공법시스템으로서 조립식시스템, 목재구조, 목재조립식시스템, 단열벽돌시스템, 단열블럭시스템(ICFs), 외단열마감시스템(EIFS), 창호설치, 바닥주변단열시스템 등의 에너지절감과 관련된 모든 항목들을 규제하고 있다. 패시브하우스연구소는 독일의 국가기관에서 제시하는 법적기준보다 상당히 높은 기준을 요구하고 있으며, 에너지절약형 건축물로 가는 최대한의 기준을 제시하고 있다.



Certificate

valid until 31.12.2009

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt
www.passiv.de

Component suitable for Passive Houses: **Window frame**
Manufacturer:

Name of product:

The following criteria were checked to award the certificate:
The criteria are valid for the cool temperate climate.

Passive House comfort criterion:

Under standard conditions (use of glazing with U_g = 0.7 W/(m²K)), width of window 1.23 m, height of window 1.48 m) the U-value of the window fulfils the following condition:

$U_w = 0.79 \leq 0.80$ W/(m²K) with Swisspacer
$U_w = 0.80 \leq 0.80$ W/(m²K) with spacer made of stainless steel

Installing the window suitable for Passive Houses:

Including all thermal bridge effects, the window fulfils the condition:

$U_{w,installed} \leq 0.85$ W/(m²K)

If the window is installed into wall constructions suitable for Passive Houses (brick wall with thermal insulation, light weight wooden construction and form work for concrete made of polystyrene) according to the drawings of details given in the appendix:

Thermal data of the window frame:

Frame	bottom	side / top
U_f [W/(m²K)]	0.73	0.78
Width [mm]	143	148

Spacer at glazing rebate	Swisspacer	stainless steel
Ψ_g [W/(mK)]	0.028	0.030

Conditions specific for Passive Houses:

The suitability for Passive Houses was checked only with the spacer denoted above; thermally worse spacers, especially those made of aluminium, lead to significantly higher thermal losses.

Window Frame:
U_f = 0.73/0.78 W/(m²K)
Ψ_g = 0.028/0.030 W/(mK)
***Width* = 143/148 mm**

Component suitable for Passive Houses
Dr. Wolfgang Feist

SAMPLE

[그림1.2] 패시브하우스 자재 인증서 (창문 틀)

- 독일의 Heudorf[11]는 독일의 학교들을 대상으로 패시브하우스 기준에 맞추어 건축된 학교와 기존 건축 기준에 의해 설계된 학교들을 비교하여 패시브하우스 내의 공기질에 대한 문제점을 제시하였다. 즉, 에너지 절감과 함께 인체에 영향을 미치는 공기의 질을 함께 고려해야 한다는 연구가 진행되었다.

- Audenaert 등[12]은 에너지 비용의 상승률을 1-25%로 적용하여 기존 주택(standard house), 저에너지 주택(low-energy house), 패시브하우스 등에 대한 경제성 평가를 시행하였으며, cash-flow analysis에 의한 재무분석 결과 패시브하우스는 에너지 비용 상승률이 5%이내에서는 경제성이 약하며, 상승률이 10%이상인 경우에는 경제성이 있는 것으로 나타났다. 또한 에너지 비용 상승률이 비용 편익의 결과에 미치는 영향이 다른 두 주택 모형에 비해 가장 큰 것으로 보고되었다.

11) Heudorf, U., Passive-house schools--a tool for improving indoor air quality in schools?, Gesundheitswesen, Vol.69,No.7:408-14, 2007

12) A. Audenaert, S.H. De Cleyn, Cost benefit analysis of Passive Houses and Low-Energy Houses compared to Standard Houses, International journal of enerty, Vol.4 No.3: 46-53, 2010

2. 국내・외 에너지절약형 건축물 관련정책 현황

가. 국내 에너지절약형 건축물 관련정책 추진배경

- 국제적인 기후변화 및 에너지관련 문제는 국내에도 많은 변화를 일으켰다. 새로운 정책들이 생겨나고 이를 대처하기 위한 각 부처의 노력들이 계속적으로 이루어지고 있다. 그러나 정책만으로 이끌어가기엔 많은 한계점들이 있으며 이를 개선하기 위한 끊임없는 연구와 노력들이 필요한 과도기를 지나고 있다.

- 우리나라는 이명박 대통령이 2008년 8.15 경축사에서 녹색기술과 청정에너지를 통한 저탄소 녹색성장을 향후 60년간의 새로운 국가비전을 제시한 것으로 시작하여, 저탄소 녹색성장 기본법(법률 제 9931호)이 2010년 1월 13일에 제정되고 2010년 4월 14일부터 시행된 이래 본격적인 에너지절약 관련 정책이 국가적으로 시행되었다고 볼 수 있다. 이는 국가비전의 새로운 패러다임으로 자원 환경위기 시대에 피할 수 없는 사항으로 민•관이 함께 지향해야할 과제로 등장한 것이다. 이 녹색성장 기본법의 목적은 다음과 같다.
  “경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하여 저탄소 사회 구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는데 이바지함을 목적으로 한다.”

- 이렇게 저탄소녹색성장은 기후변화를 체감하고 이에 대한 대응책을 마련하면서 경제적인 활성화를 이룩하는 것이며, 새로운 지식과 산업을 바탕으로 일자리창출의 효과를 나타내도록 유도하고 있다. 즉, 기존의 산업을 활성화 시키는 것이 아니라, 기존의 구축된 건축 분야의 시스템에서 탈피해야 성공적인 성장이 가능할 것이다. 이는 많은 연구와 기반시설이 구축되어야 가능하며, 전문적인 선진기술의 습득은 모든 관련자들의 많은 노력과 시간투자가 필요하다.

- 위와 같은 녹색성장 기본법에 따라 녹색건축물 조성 지원법(법률 제 11690호) 이 2013년 3월 23일 시행되었으며 건축정책관 녹색건축과에 따른 입법 추진 배경은 다음과 같다.

(1) 건축물분야는 국가 온실가스 감축의 핵심

- 현재 대한민국은 산업부문 61.2%, 건물부문 24.5%, 수송부문 14.3%의 온실가스를 배출하고 있으며, 건물부분의 온실가스 감축의 잠재량이 많다고 판단되고 있으며, 선진화가 이루어질수록 건물부분의 온실가스 배출량은 40%까지 증가할 것으로 예상하고 있으므로(미국 45%, 영국 41%, OECD평균 31%), 건축물 분야를 집중적으로 관리하여 효과적인 온실가스 배출량 감소를 이끌어내고자 함.

⑵ 선진국들의 온실가스 감축 목표 대응

- 영국의 경우, 2016년 신축주택은 제로에너지로 지어야 하며, 무이자 융자로 지원함
- 독일의 경우, 2015년 신축건물 패시브하우스수준이어야 하며, 저리융자 및 보조금을 지원하고 있으며 규모는 연간 14억 유로로 약 2.5조원에 해당함
- 프랑스의 경우, 2020년 주택에너지소비 38%절감 목표 설정하였으며, 무이자 융자로 세새당 3만유로(약 5천만원)를 지원함
- 덴마크의 경우, 2015년 건물에너지소비 2006년 대비 50% 절감을 해야 하며, 보조금을 지급함

⑶ 녹색성장 비전에 따라 다양한 녹색건축 추진

- 2009년 제 6차 녹색위 보고 이후, 녹색건축물 활성화를 시책으로 내세웠으며, 2009년 11월에 녹색도시 ·건축물 활성화 방안 보고, 2011년 6월 녹색건축물 추진전략 발표와 7월 부분/업종별 온실가스 감축목표 발표 등 앞으로도 녹색건축의 활성화를 위해 보다 다양하고 적극적인 정책의 필요성 강조되고 있음

⑷ 녹색건축 활성화 목표설정 및 인식 미흡

- 국가 온실가스 감축목표는 30%이며, 건축물은 26.9%를 감축시킬 예정이며, 건축물 에너지효율등급과 녹색건축물 인증제도는 신축건축물 및 한정된 건축물만을 대상으로 하고 있어 녹색건축물 확산을 위한 실효성이 낮기 때문에 기존 건축물 및 신규건축물의 녹색화 확산에 인식이 필요함. 또한 신규 녹색건축물, 실증단지 조성 등의 정책이 실효를 거두지 못하고 있으며, 건축관련자들과 건축주들의 녹색건축물 확대를 위한 인식을 제고할 필요가 있음.

⑸ 기존 건축물의 녹색화의 어려움

- 기존건축물은 현재 약 670만동이 있으며 이에 대한 지원방안을 내 놓을 수 없는 실정임. 개·보수에 따른 초기투자비용이 많이 소요되나 저리융자, 재정지원 등 사람들을 이끌만한 유인책이 부족함. 또한 기존건축물은 녹색건축물 인증대상에서 제외되어있기 때문에, 기존 건축물에 대한 그린리모델링 지원과 인증제 시행을 통해 녹색건축물 조성의 적용범위 확장이 필요함.

⑹ 녹색건축활성화 제도기반 미흡

- 유사 인증제의 중복운영으로 인한 민간의 부담 비용 증가가 따르며, 대표브랜드 육성 및 경쟁력 확

보가 어려움. 에너지절약계획서, 에너지소비 총량제 등의 법적기반이 미비하며, 관련 규정도 여러 법령에 산재하여 녹색건축관련 정책의 안정적 추진이 어려움. 또한 기존의 허가절차, 구조, 피난 등 규제기준으로 건축법이 정해져 있으나 녹색건축 조성 및 지원과는 법체계가 맞지 않아 별도의 법제정이 필요한 상황이기 때문에, 관련 제도와 법령의 통합적이고 체계적인 정비가 있어야 함.

나. 국내 에너지절약형 건축물 관련정책 현황

- 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 녹색건축물 조성 지원법이 시작되었으며, 전체적인 문제점과 방안에 대한 연구가 진행 중에 있다. 녹색건축물 조성 지원법의 목표는 다음과 같다.

- 저탄소 녹색성장 기본법에 따른 녹색건축물의 조성에 필요한 사항을 정하고, 건축물 온실가스 배출량 감축과 녹색건축물의 확대를 통하여 저탄소 녹색성장 실현 및 국민의 복리 향상에 기여함을 목적으로 한다.

- 녹색건축물 조성 지원법은 위와 같이 온실가스 배출량을 감축시키는 녹색건축물을 확장하기 위함이며 다음은 이미 조성되었던 정책들과 함께 재정리된 주요 정책안들이다.

(1) 녹색건축 계획 수립

- 국토해양부장관은 5년마다 녹색건축물 기본계획을 수립하고, 전국 각 시 도지사는 기본계획을 바탕으로 지역적인 녹색건축조성계획을 수립함

(2) 정보체계

- 온실가스 배출 및 에너지사용량 관련 정보체계 구축한 후 통계수치들을 개발하고 국민들에게 제공하여 현 상황을 알려줌 이는 국내 전력, 가스, 도시가스, 지역난방 등 에너지공급 및 관리기관이 제출하게 되어있으며, 2014년까지 전국적으로 DB구축을 하도록 되어있음.

(3) 에너지성능 개선

- 지역별 건축물의 에너지 소비총량의 설정 및 관리로 기존 및 신축건물의 에너지소비량을 조절함. 또한 개별건축물에 대해 소비 총량을 제한하는데, 연차별로 건축물 용도에 따라 에너지소비 허용기준을 제시하고 신축 및 기존건물의 에너지소비총량을 제한하여 건축허가 시 의무적으로 해당 절차를 밟도록 하여, 설계단계에서 에너지절약형 건축물을 짓도록 유도함. 그리고 기존건축물을

녹색건축물로 전환하는 경우에는 일정기준을 설정하여 따르도록 하며, 에너지절약계획서의 기준을 상향조정 하며 의무대상 범위를 확대하여 앞으로 지어지는 건축물의 에너지성능을 높임.

(4) 녹색건축 인증

- 녹색건축 인증은 주로 친환경건축물 인증제도에서 개정된 녹색건축인증제도와 녹색건축 에너지효율등급제로 구성되어 있으며, 건축물 환경적인 측면과 에너지효율적인 측면을 강화한 건축물을 전문가에 의해 인증을 받는 제도임. 이러한 제도를 실시하여 녹색 건축물 및 단지를 개선시키고 세금감면 및 건축기준을 완화하는 인센티브를 부여.

(5) 건축물 에너지 소비 증명

- 건축물 매매 임대 시 건물소유자, 관리자, 중개업자가 거래계약서에 건축물의 연간 에너지소요량, 온실가스 배출량이 표시된 에너지평가서 첨부 의무화. 영국, 유럽 등 2009년부터 모든 건축물에 대해 에너지성능등급서를 발급하여 에너지 성능을 사용자가 알아볼 수 있도록 하고 있음.

- 위와 같은 주요 내용 이외에도 녹색건축물을 활성화시키기 위해 녹색건축물 전문인력 양성 및 지원, 녹색건축물 조성 기술 연구개발, 녹색건축센터 지정, 녹색건축물 조성 시범사업 실시 및 지원 등 많은 연구를 통해 필요한 항목들을 수립하였다.

- 최근 들어 녹색건축인증과 관련하여 에너지절약 계획서, 건축물에너지효율등급 인증과 같은 건축물의 에너지효율화는 매우 빠르게 의무대상의 범위가 넓어지고 기준이 강화되는 추세이며, 선택이 아닌 필수사항으로 변화되고 있기 때문에 관해 국내 많은 건축 관련자들의 에너지절약건축물과 관련한 관심이 급증하고 있다.

- 그러나 이렇게 동시다발적으로 급변하는 정책들은 국내 에너지절약형건축물을 보급하는데 큰 기여를 하게 되지만, 많은 문제점들을 가지고 있어서 이에 대한 추가적인 개선점들을 강구할 필요가 있다. 특히, 국내의 에너지절약형 건축물과 관련한 정책은 오랜기간의 연구를 통해 자체적으로 개발된 기술과 접목된 것이 아닌, 해외에서 실시되고 있는 정책들을 기반으로 정부가 그대로 들여온 경우가 대부분이며, 아직 시장자체가 경제적인 동기에 의한 것이 아닌 타의에 의한 의무적인 정책의 강행은 건축주들에게 큰 경제적인 부담으로 작용할 수 있으며, 설계 및 시공자들에게는 업무의 량을 더 늘리는 것이 될 수 있다. 이는 새로운 일자리 창출을 만들 수 있는 계기가 되지만, 과도기에 있는 현재 상태에서는 정부의 적극적인 노력들이 필요한 실정이다.

다. 해외 에너지절약형 건축물 관련정책 추진배경

- 독일과 유럽에서의 건물난방에너지절약정책의 목표는 향후 해외로부터의 에너지 의존도를 낮추고 화석에너지소비로 인한 온실가스의 배출을 효과적으로 감소시키는 것이다.

- 유럽연합의 건물 부문에서 소비되는 에너지는 총 에너지 소비의 약 40%를 차지하므로 온실가스 감축과 에너지절약에 대한 잠재량이 매우 높은 것으로 볼 수 있다. 유럽연합에서 건물부분의 에너지소비는 대부분 난방과 온수에 의한 에너지소비가 차지하며 전체 건물에서 소비하는 에너지의 약 82% 정도가 된다. 국제적인 평균도 이와 비슷한 수준인 78%를 난방과 온수공급에 쓰고 있다. 이는 산업시설에서 난방과 온수공급에 따르는 최종 에너지 소비가 평균 65% 밖에 되지 않는 것에 비교하면 매우 높은 편으로 난방열이나 온수공급, 건물 냉방에 필요한 에너지를 줄이는 것만으로 유럽연합에서는 최종 에너지 수요의 총 1/3까지 낮출 수 있게 된다.

- 건축부문의 에너지 효율화는 국가 에너지 및 기후변화 정책을 성공시키기 위한 근간이다. 또한 에너지 소비를 줄이고 신재생에너지이용을 늘리는 것은 에너지의 안정적인 수급 뿐 아니라 기술발전의 유도, 일자리 창출 및 지역사회의 발전에도 기여할 수 있다.

- 패시브하우스 기준을 신축건물 및 리모델링 건물에 적용함으로써 상대적 저렴한 건축에 대한 추가비용으로 에너지절약의 효과는 극대화할 수 있다. 특히 기존 건물의 경우에는 패시브하우스 기술을 이용하여 기존 난방에너지요구량의 90%이상을 절감할 수 있다. 또한 현재의 에너지절약법 EnEV 2009에 명시된 신축건물에 대한 에너지효율을 위한 법적 최소 건축기준은 이미 패시브하우스 기술수준의 70%에 해당한다.

- 2010년에 공표된 유럽연합의 “건물 에너지 효율화 지침”에 따르면 2021년부터 (공공건물은 2019년부터) EU의 모든 신축건물은 “초저에너지절약형건물-(패시브와 제로에너지건물)”로만 짓도록 하고 기존건물의 리모델링 시에도 에너지효율의 증가를 위한 적절한 조처를 취하도록 규정하고 있다. 더 나아가 모든 EU 회원국이 건물과 건물 부분에 대한 에너지 증서를 시행하고 난방과 냉방장치를 주기적으로 점검하며, 에너지 증서와 점검에 대한 별도의 독립적인 관리시스템을 두도록 하고 있다.

라. 유럽 에너지절약규정의 패시브하우스 표준적용

- 독일의 담슈타트에 있는 패시브하우스 연구소가 정의한 패시브하우스 표준은 현재 독일의 건축법규에서 요구하는 건물의 에너지효율을 위한 표준이 아니며, 무엇보다도 이것은 앞으로 10년 이내에 건물의 총에너지효율에 관한 유럽연합의 지침에 도달하기 위하여 법적 기간에 변해야 하는 것을 나타낸다.

- 독일에서 건물은 현재 에너지절약규정(EnEV 2009)을 지켜야하며, 신축건물은 여기에 덧붙여 신재생에너지 열규정(EEWaermeG 2011)을 충족시켜야 한다. 허용된 연간 난방에너지요구량은 EnEV 2007과 비교할 때 약 30 %나 더 감소시켜야 하며 주택별 수치는 다음과 같다.
  - 단독주택: 95 kWh
  - 연립주택: 85 kWh
  - 다세대주택: 55 kWh

- 특정 건축물에 대해서는 건축가, 건물주와 투자자는 무엇보다도 대형프로젝트의 경우 현재 나와 있는 미래의 EnEV 2012가 2013년부터 시행되기에 이 기준을 따라야만 하는데 준공검사가 끝나는 시점부터 유효하다.

- 독일은 EnEV 2009(2009년 10월부터 유효)를 2010년의 "에너지효율적인 건물에 대한 유럽연합 지침"으로 전환하기 위해 수정한 것이며, EnEV 2012는 패시브하우스 표준의 도입을 위한 조처로 건축법적인 요구 조건, 건물의 에너지 효율, 최대 주요에너지 수요에 대한 것이다. 법적으로 요구하는 패시브와 제로에너지 하우스 표준의 방향에 대한 다른 규정은 EnEV의 수정항에 들어있는데 기존의 건물의 에너지효율 보다 훨씬 높은 조건을 요구하고 있다.

- 2011년 6월 6일 연방정부는 건물 에너지절약법의 계속적인 발전을 위해 에너지절약의 전환점임을 의결하여 신축건물에 대한 요구조건은 새로운 에너지절약규정 EnEV 2012를 단계적으로 시행하여 2020년까지 유럽 건축물 분야에 적합하도록 고려한다. 이것은 소유자와 임차인의 부담을 고려하여 경제적이고 균형 있게 운영할 수 있도록 한다. 또한 건물의 현대화에 대한 요구 조건은 경제적인 부담을 질 수 있는 범위 내에서 개선되었다.

- 전문가, 건축주, 관리인들은 적시에 새로운 에너지절약규정에 대해 바로알고 적용할 필요가 있다. 오늘날 건물의 에너지효율에 대한 미래의 법적인 최소요구조건과 건축물에 설치된 신재생에너지와 그 이용에 대해 숙지할 경우 그와 관련된 설계와 취급에 여러 가지 이점이 있다. 즉, 패시브와 제로에너지 하우스를 설계하는 사람이 결정적인 노하우를 가지고 있다면 그렇지 않은 설계자에 비해 향후 건축 업계에서 유리한 경쟁력을 얻을 수 있다.

마. 독일 기후변화방지 종합정책과 건축물 관련정책

- 독일은 기후변화방지를 위해 건물 뿐만 아니라 모든 분야에서의 온실가스감축목표를 설정하고 분야별로 정책을 제안하였다. 정책명은 '지속가능한 발전, 아젠다21' 이며, 2020년까지 1990년대비 온실가스를 40%로 감축하는 것으로 목표를 설정하였다.

• 연방정부의 통합 에너지 기후 프로그램[13]이 2007년 12월에 제안되어 2008년 5월달에 독일 정부에 통과되었고, 14개의 법안과 7개의 추가조례로 구성된 통합프로그램을 도입시킨다. 독일 환경부에 따르면 현재 온실가스 40% 감축목표에 거의 도달, 35%정도 감축한 것으로 독립적 조사 기관에 의해 보고된 바 있다.

• 아래 항목들은 독일 정부가 기후변화방지를 위해 내세운 정책들이며 이 중 10~15번의 정책이 건축물과 직접적으로 관련이 있다.

[표1.5] 독일 기후변화 방지 중점 정책 부문(1) (2007년 기준)

① 열병합 발전 (Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz)
② 전력생산부문에서의 재생가능에너지 확대 (Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich)
③ 저탄소 발전기술(CO2 arme Kraftwerks technologien)
④ 에너지소비 측정 방법(intelligente Messverfahren für Stromverbrauch)
⑤ 청정 발전기술(Saubere Kraftwerkstechnologien)
⑥ 현대 에너지관리 시스템도입(Einführung moderner Energiemanagementssysteme)
⑦ 건물외부에서의 기후보호와 에너지효율 향상 프로그램 (Förderprogramme für Klima schutz und Eergieeffizienz (ausserhalb von Gebäuden)
⑧ 에너지고효율 기기(Energieeffiziente Produkte)
⑨ 천연가스 망을 활용한 바이오가스 이용(Einspeiseregelung für Biogas in Erdgasnetze)
⑩ **에너지절약법** (Energieeinsparverordnung(EnEV))
⑪ **임대용주택의 유지 관리비 효율화** (Betriebkosten bei Mietwohnungen)
⑫ **탄소 건물 리노베이션 프로그램** (CO2-Gebäudesanierungsprogramm)
⑬ **사회 기반시설의 에너지 효율화** (Energetische Modernisierung der sozialen Infrastruktur)
⑭ **재생가능 에너지 열법** (Erneuerbare-Energien Wärmegesetz (EEWärmeG)
⑮ **공공청사 에너지효율 리노베이션** (Programm zur energetischen Sanierung von Bundesgebäuden)
⑯ 자동차 CO2 절감전략(CO2-Strategie Pkw)
⑰ 바이오연료 확장Ausbau von Biokraftstoffen
⑱ 탄소배출기반 차량 개선(Umstellung der Kfz Steuer auf CO2-Basis)
⑲ 차량 탄소 라벨링 (Verbrauchskennzeichnung für Pkw)
⑳ 항공 교통 (Flugverkehr)

13) IEKB (Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung)

[표1.6] 독일 기후변화 방지 중점 정책 부문(2) (2007년 기준)

㉑ 항만 교통 (Schiffsverkehr)
㉒ 온실가스 방출 저감(Reduktion der Emissionen fluorierter Treibhausgas)
㉓ 에너지효율제품 및 서비스 조달 (Beschaffung energieeffizeinter Produkte und Dienstleistungen)
㉔ 에너지연구 및 신기술 (Energieforschung und Innovation)
㉕ 전기자동차 (Elektromobilität)
㉖ 기후보호・에너지효율 국가프로젝트(Internationale Projekte für Klimaschutz und Enrgieeffizienz)
㉗ 독일 대사관 및 영사관의 에너지 기후정책 (Energie- und klimapolitische Berichterstattung der deutschen Botschaften und Konsulate)
㉘ 대서양연안국들의 기후 및 기술계획 (Transatlantische Klima- und Technologieinitiative)

• 건축물과 관련된 국가정책은 ⑩~⑮에 해당되며 내용은 다음과 같다.

(1) 에너지 절약법 Energieeinsparverordnung (EnEV)

• 독일의 에너지절약법(EnEV)은 신축 및 기존 건축물의 에너지효율화를 위한 기준법으로 1994년 건축물 난방열 보호법(WSchuztVO)과 1998년 난방 및 급탕시설에 대한 에너지절약법 (Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen)을 기초로 하여, 2002년에 처음 도입되었으며 최근 2009년 10월 1일에 개정안이 발효되었다.

• 독일의 에너지절약법 (EnEV)에서 주로 규정하고 있는 부분은 다음과 같다.
  - 신축 및 기존 건물에 대한 에너지증서(Energieausweis or Energiepass)
  - 신축건물에 대한 최소 에너지효율기준
  - 기존 건물 증개축, 대수선, 개보수 시 최소 에너지효율기준
  - 건물 냉난방 및 공조, 급탕 설비에 대한 최소 에너지효율기준
  - 에어컨디셔너의 에너지효율조사
  - 법규 위반에 대한 규정

• EnEV 2007에 비해 EnEV 2009의 주요 개정내용은 다음과 같다.
- EnEV 2007에서 도입된 기존건물에 대한 에너지증서의 핵심 내용의 확대 강화 (또한 2012년에 이 내용은 더욱 보충 강화될 예정)
  - 신축 및 증개축, 대수선, 개보수 건물에 대한 1차 에너지요구량 약30 % 강화

- 기존 건물 외피에 대한 에너지효율화 기준 약 15% 강화

- 주택건물에 대해 건물표준제도(Referenzgebäudeverfahren) 도입, 표준건물은 건물의 기학학적 형태, 건물배치계획, 건물 사용면적 등에 대해 표준화된 건축시공법 및 설비를 가정하여 분류되며 각 표준 건물형태당 최대 허용 에너지요구량이 제시됨. 현재까지의 증명방법이었던 AV (건물 외피 및 체적비)는 폐지됨
- 주택건물에 대해 새로운 에너지 계산기준 (DIN V 18599) 도입 기존의 DIN V 4108-6과 DIN V 4701-10을 보완, 대체하였고 표준건물 역시 이 방법에 따라 계산되어야 함
- 건물외피를 통한 최대 열손실에 기준은 주택에서 더 이상 AV비와 상관없이 계산되며 건물 자체 특징 및 건물 크기에 연동됨. 이에 따라 단독주택의 경우 기존보다 더 낮은 건물외피를 통한 최대 열손실계수가 부여됨
  - 전력에 대한 1차에너지 평가는 기존 EnEV 2007의 팩터 2.7에서 2.6으로 상향 조정됨
  - 심야전력을 이용한 난방에 대한 단계별 폐지 규정

• 주요 EnEV에 따른 국제규격은 다음과 같다.

[표1.7] EnEV에 따른 국제규격들

국제규격	내용
DIN 4701-12	기존건물의 난방 및 공조 설비에 대한 에너지효율 평가 , 열기구 및 급탕 설비에 대한 평가 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung.
DIN V 4701-10	난방 및 공조설비에 대한 에너지 효율 평가, 난방, 급탕, 공조 설비에 대한 평가 Energetische Bewertung heiz-und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.
DIN V 4701-10	난방 및 공조 설비에 대한 에너지 효율 평가 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen
DIN V 4108-6	건물에 대한 단열, 방수, 방습 기준 Grundlagen zum Wärme-, Feuchte und Schlagregenschutz
DIN V 18599	주거 외 건물에 대한 난방, 냉방, 공조, 급탕 및 조명 에너지 요구량에 대한 계산 및 평가(새로운 EnEV2009의 주택에 대한 건물에너지 계산 표준 제시) Energetische Bewertung und Berechnung des Energiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung von Nichtwohngebäuden

• EnEV에 따른 일반적인 규정들은 다음과 같다.
- 재생가능에너지 열이용 법(EEWärmeG) : 건물 난방 및 급탕 부문에 대한 재생가능에너지 이용에 관한 법률 , 독일 국회에서 2008년 6월 통과 2009년 1월 부터 건물 소유주가 건물에 필요한 열에너지 중 특정 비중을 재생가능에너지원에서 충당해야 함을 규정한다.
- 건물 난방비에 관한 법률 HeizkostenV : 건물 중앙 난방 및 급탕에 대해 건물 입주자들이 각각 사용한 에너지사용비를 나누는 방법에 대해 규정하고 있음. 건물 입주자의 에너지절약에 대한 동기부여를 강화할 목적으로 2009년 1월 1일 에 개정안 발표하였다.

• 관련부처 >BMVBS / BMWi, Bete iligung BMU, BMF

(2) 임대주택에 대한 관리 및 유지비용 저감정책 (Betriebskosten bei Mietwohnungen)

• 현재의 주택 임대에 관한 법률에도 에너지 절약을 위한 다양한 인센티브 정책이 포함되어 있으나 에너지효율을 위한 건물 리노베이션을 급속히 증가시키고 임대를 위한 공동주택에 재생가능에너지 사용을 강화하기 위해서 건물 난방비에 대한 법률 Heizkostenverordnung을 2009년부터 시행하였다. 또한 에너지정약 계약을 통한 탄소절감 프로그램도 운영한다.

• 관련 부처 >BMVBS, BMWi, Beteiligung BMU

(3) 탄소 건물 리노베이션 프로그램(CO2-Gebäudesanierungsprogramm)

• 2008년과 2009년 에 거쳐 이 프로그램을 통해 연간 700Mio. 유로가 주택의 에너지 효율화 리노베이션에 약 200Mio. 유로가 지역사회기반 시설의 에너지효율화 리노베이션에 투자되었다. 이 프로그램은 계속 유지될 것이며 도시와 사회 기초 기반시설로 강화 확대되어 나갈 예정이다.

• 이 프로그램은 2009년 에서 2011년까지 지금까지의 수준으로 유지되며 도시의 에너지 이용에 대한 사업으로 확장 연결되어 나갈 예정이다. (지역냉난방, 도시지역별 재생가능에너지 생산 및 이용 건물 내외부의 합리적인 에너지저장방식 도입, 도심지의 에너지효율 주택에 대한 대규모 공모전, 등)

• 관련부처 > BMVBS, Beteiligung BMF, BMBF, BMWi und BMU

(4) 사회 기반시설의 에너지 효율화(Energetische Modernisierung der sozialen Infrastruktur)

- 현재 전체 사회기반시설의 절반 이상 (40,000개 학교시설, 48,000개 유치원시설, 50,000 개 청소년 시설) 등이 에너지 효율화 리노베이션이 시급한 것으로 추정된다. 2008년 이에 대해 중앙정부에 의해 약 200 Mio. 유로가 투자되었으며 각 지방부정부에서 투자된 예산을 포함하면 총 600 Mio. 유로가 투자되었다. 여기에 탄소 건물에너지효율화 프로그램의 대출이자 우대 정책 에 따라 추가적으로 약 200 Mio. 유로가 투자되었으며, 리노베이션이 시급한 학교와 유치원에 (약 600개 학교와 1200개 유치원)대해서는 특별프로그램이 운영될 수 있다.

- 독일정부는 이 프로그램을 통해 각 리노베이션 건물당 약 50%의 1차 에너지소비를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

  - 관련부처 >BMVBS

(5) 재생가능에너지 열 이용법 (EEWärmeG)

- 독일정부는 열에너지 이용 중 재생가능에너지 비중을 2020년까지 14%까지 높이는 것을 기준으로 재생가능에너지 열이용법(EEWärmeG)을 시행하고 있다. 각 건물에서는 지열, 바이오매스, 태양열 등 재생가능에너지 이용의 비중을 의무적으로 규정한다.

- 예를 들어, 태양에너지이용의 경우 신축건물에서 15%, 기존건물의 리노베이션의 경우 10%를 의무적으로 사용하도록 하고 있다. 또한 재생가능에너지를 통한 열 이용을 위한 주거단지별 이용을 활성화시키기 위해 건축법과 연동하여 실시하는 것을 추진 하고있다.

- 관련부처 >BMU für EEWärmeG, BMVBS/BMWi

(6) 연방정부 건물에 대한 에너지효율화 프로그램

- 독일연방정부 건물에 대한 에너지 효율화 프로그램. 2009년에서 2011년까지 진행되는 프로그램의 주요 내용은 직접적인 연방정부 건물의 에너지효율화 보수 리노베이션 공사 및 연료전지, PV, 진공단열재 설치 등 혁신적인 기술 이용을 15%까지 늘리는 것을 포함한다.

- 연방 건물을 다양한 기술의 시험장 및 재생가능에너지 이용원으로 적극 활용활 계획이며 연방정부의 자발적 의무에 따른 탄소배출 모니터링에 대한 의무도 환경부와의 공조하에 시행된다.

  - 관련부처> BMVBS / BMU (Monitoring Selbstverpflichtung)

바. 국가별 지원제도

(1) 오스트리아

- 모든 주에 패시브하우스에 특별한 보조금이 있다. 보통, 건물이 가지는 에너지효율기준이 더 높을 때마다 더 높은 보조금을 받는다. 몇몇 지역은 추가 보조금이 존재한다.
- 보조금의 형태와 비율은 지역에 따라 다르다. 대부분 낮은 신용 대출을 제공하며, 직접 지불은 몇몇 지역에서 제공된다. 세금감면은 흔하지 않다.
- 보조금은 모든 조건들이 맞으면 법적으로 청구할 수 있다. 건축주는 지역 정부나, 기관이나 은행에 보조금을 신청해야한다. 보조금에는 경쟁이 없으며, 추가 보조금은 건물 수에 따라 제한될 수 있다.
- 일반적으로 보조금의 수준은 에너지성능에 따라 다르게 적용된다. 지역별로 다소 다르며, 다른 여러 가지 요소에도 영향을 받게되는데, 가족의 규모, 수입, 신재생에너지, 안전, 친환경자재, 무장애 공간구성 등에 따라 차이가 있다.
- 오스트리아 보조금의 정책의 목적은 모든 사람이 집을 가질 수 있도록하는것이며, 경제와 고용활성화, 이산화탄방출과 화석 에너지의존도의 감소를 위해 이루어지고 있다.
- 보조금을 지급하는 기관은 적당한 생활이 보장되며, 높은 고용과 안정적인 경제상황을 가지고 있다. 또한 기업환경이 좋다.
- 보조금의 원천은 국민의 세금으로 이루어진 국가 예산에서 나오며 연간 1780Mio 유로가 지역별로 분산된다. 또한 이는 해당 지역의 기반시설을 위한 투자에도 사용된다.

(2) 벨기에

- 정부의 차원의 보조금은 패시브인증을 받은 건물은 연간 790유로의 수입세가 줄게 된다. 이는 인증 받은 해부터 10년간 세금감면이 이루어지게 된다. 인증은 패시브하우스에서 만들어진 기준에 따라 실제 지어진 건물에 맞는 PHPP 계산을 기반으로 이루어진다.
- 2008년 기준으로 에너지 절약에 투자한 것으로 연간 +2550유로의 세금 절감이 발생 하였으며, 태양열 급탕기와 태양광의 신재생에너지 때문에 연간 3440유로의 세금이 절감되었다.
- 플레미시(Flemish)지역에서는 2009년부터 10년동안 40%의 부동산세가 감면되었으며, 브뤼셀(brussel)지역에서는 패시브인증 받은 주택이 100유로/㎡에 150㎡까지, 그리고 그 이상은 50유로/㎡의 보조금이 나가고 있다. 또한 발룬(Walloon) 지역은 신축 단독주택일 경우 6500유로를 지원한다.
- 동네 수준 턴하우트(Turnhout)에서는 패시브 인증 시 3000유로의 보조금이 나오며, 빌젠(Bilzen)에서는 패시브 인증을 받은 단독주택은 5000유로를 지원하며. 그리고 발렌(Balen)에서는 패시브인증 시 1000유로를 지원하고 있다.
- 유틸리티 기업(전기 배선 기업)은 패시브하우스 리노베이션 인증 시에는 2000유로, 신축 패시브하우스 1500유로를 지원한다.
- 모든 보조금은 법적으로 청구할수 있으며, 경쟁을 통해 얻는 시스템이 아니므로 누구든지 받을

수 있다.

- 대부분 건축물의 에너지성능에 따라 보조금이 부여되며, 패시브하우스에만 주는 보조금도 별도로 존재한다.
- 정부가 보조금을 지원하는 이유는 부처간의 기후변화 관련 회의의 영향을 받았으며, 패시브하우스 기준을 정치적인 프로그램으로 갖게 하여 정당 안에 사람들에게 이러한 프로그램에 참여하도록 동기부여를 한다. 또한 대부분의 정당은 패시브하우스 기준을 참고하고 있으나, 이를 반대하는 정당들도 존재한다.
- 에너지절약형 건축물은 대부분 에너지 비용을 줄이고, 빌딩 소유주에게 총 비용을 낮추는 역할을 하고 있으나, 환경과 사회적인 관련성은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.
  - 수입세와 부동산세, 또한 지역 정부 예산이 보조금에 이용되고 있다.
- 보조금 정책은 아직 완전한것이라고 할 수 없으며, 보조금을 받기 위한 패시브 인증이 어떤사람이 맡느냐에 대한 논쟁이 계속 일어나고 있다. 이는 패시브하우스 연구소에서 중점적으로 하고 있으나 다른 인증원에게도 이 내역을 공개해야한다고 말하고 있는 실정이다.
- 절차가 다른 다양하고 적은액수의 보조금 대신에 하나의 크고 명확한 보조금 형식을 갖추는 것이 효과적인 것으로 판단되며, 그렇기 때문에 현재 EPBD와 패시브하우스 두 개의 절차를 거치게 되어있는데, 하나의 절차와 계산방법을 갖는게 필요하다. 그러나 정치적이고 행정적인 장벽들로 인해 쉽지 않은 실정이다.
- 기밀성 $n50=0.6h^{-1}$이하를 의무사항으로 포함시킬 필요에 대해 강한 논쟁이 있다. 그러나 논점은 $n50=1h^{-1}\sim1.5h^{-1}$에서 저에너지와 쾌적함을 확보할 수 있다는 연구가 있다.

(3) 체코공화국

- 2009년부터 체코에서는 오래된 단독이나 공동주택의 에너지성능향상 리모델링과, 신축 단독과 공동 패시브하우스, 신재생에너지 이용에 대해 보조금 프로그램이 있다.
- 보조금 형태 및 비율: 직접 지불형태 (1코루나=57원)
  - 신축 단독주택 : 건물당 22000 CZK (약 125만원)
  - 신축 공동주택 : 세대당 14000 CZK (약 80만원)
  - 리모델링 단독주택 70 kWh/㎡ 1300 CZK/㎡ (7만4천원)
  - 리모델링 단독주택 40 kWh/㎡ 1950 CZK/㎡ (11만원)
  - 리모델링 공동주택 55 kWh/㎡ 900 CZK/㎡ (5만1천원)
  - 리모델링 공동주택 30 kWh/㎡ 1350 CZK/㎡ (7만7천원)

- 보조금의 법적 청구권: 지원책은 반 강제적으로 여겨진다. 이는 2009년에서 2012년 동안 전체 프로그램기간동안 자금이용이 가능하도록 만들어졌으며, 어떠한 조건의 변화도 없었다. 그리고 그 조건을 만족시키는 모든 신청자들은 지원을 받을 수 있다.

• 에너지성능에 따른 의존도
  - 신축건물: 패시브하우스 단독 및 아파트건물 보조
  - 리퍼비쉬: 저에너지건물 기준에 맞춘 주택 및 아파트의 외피에 단열과 난방에너지 절약을 이끌어내는 개인적인 조치들

• 보조금의 원천 : 체코공화국은 150mio 톤의 이산화탄소를 방출하는 것으로 추산되었다. 교토의정서에 있는 2008-2012년 동안, 여기에서 대략 100Mio AAUs 가 국제 방출 트레이드에서 거래가 될 수 있다. 수익금은 약 CZK 10 ~ 25billon (5천6백억 ~ 1조4천억) 정도에 해당된다. 대부분의 수익금은 이미 2009년 동안에 얻었을 것이다.

• 패시브하우스의 정의 : TNI73 0329(단독주택), TNI73 0330(공동주택)

(4) 독일

• 독일은 KfW은행으로부터 1차 에너지소비량이 낮은 집을 지을 경우 매우 낮은 금리로 대출을 받을 수 있다. KfW은행은 독일 전체에 보조금을 제공하는 가장 큰 은행이다.
• 패시브하우스의 1차 에너지소비량은 난방과 급탕에서 거의 40kWh/㎡ 이하이다. 세대당 보조금이 지원되는 50000EUR(7천3백만원)의 융자를 받을 수 있다.
• 현재 독일에서는 입법자가 인증된 패시브, 제로에너지 건물의 시공을 지원하고 있음. 연방 차원과 주 차원에서 에너지효율이 높은 건물을 시공하는데 동기부여를 위해 여러 종류의 지원 프로그램이 있는데 이는 설계와 시공에 들어가는 추가 비용에 대한 재정 지원정책이다. 독일에서 패시브하우스가 주거건물일 때 EnEV2009 대비 건축비용의 약 5~10% 추가비용이 소요된다.
• 보조금의 형식: 저비용의 융자가 있다. 일반과 저비용 융자 사이의 이자의 차이는 때에 따라 다르다. 그러나 보통 이자는 2-3%정도 싸다.
• 에너지성능에 따른 의존도: 1차 난방요구량에 따라 달려있음
• 보조금의 이유: 낮은 난방요구량을 맞추기위해 들어가는 추가비용은 저비용 융자로 충당할 수 있다. 에너지 저소비로 인해 절약하는 비용은 대출금을 갚는데 쓰일 수 있다.
• 이득: 에너지 소비형주택을 건축할 경우 에너지결합상품에 돈을 준다. 패시브하우스를 지을 경우 지역경제와 지역 은행에 돈을 주는 것이다.
• 패시브하우스 개발의 영향: 에너지효율적인 주택을 생각하는 사람들을 설득하는데 도움을 준다. 은행가들은 더욱 사람들에게 패시브하우스를 짓도록 요구한다. 그러나 사람들은 패시브하우스에 대해 굉장히 많은 지식이 필요하다.
• 국립재건신용기관(KFW)[14]으로부터 지원
  - KFW는 1948년부터 재건지속가능성과 혁신적인 장려제도를 목표로 하는 독일의 국가 은행이다. 2010년에는 환경과 기후보호를 위해 250억 유로를 투자하는 큰 규모의 기관이라고 볼 수 있다.

14) KFW는 Kreditanstalt für Wiederaufbau의 약자이며, 재건 신용 기관을 의미한다. 1948년에 2차세계대전 이후에 Marshal Plan의 일환으로 설립되었다.(출처:위키피디아)

- 재정 지원은 직접 재정 지원이나 금리가 유리한 대출로 이루어지며, 국립재건 신용기관(KFW)은 연방 차원에서 (전 독일 내) 금리가 유리한 대출을 보증하는데, 고정금리나 상환시작연도가 자유로운 대출이다.
- 지원 대상은 건물주, 사립 건설사, 지주, 주택사업가들이며, 에너지효율적인 주택을 신축하거나, 개축을 하는 경우 보조금이나 대출을 각 은행을 통해 신청할 수 있다.
- Kfw에서 정의하는 "에너지효율성"은 EnEV, 즉, 에너지보호법령에 있는 에너지 기준을 따르는 것이며, 이 기준에 따라 짓는 건설의 재정을 지원한다. 이렇게 에너지효율적인 주택은 태양열, 지열, 바이오, 나무, 풍력, 수소연료 등을 통한 재생에너지를 기반으로 하는 혁신적인 난방기술을 요구하며, 단열성능을 극대화한 것이다. 그러므로 "일반적인" 신축주택보다는 훨씬 더 많은 비용을 수반한다.
- "에너지 효율적인 건축"을 위한 지원의 한도는 각 세대 당 50,000 유로(약 7500만원)까지 가능하며 "에너지 효율적인 개축"일 때는 세대 당 75,000유로(약1억1천만원)까지 가능하다. 이는 에너지설계 기준이 높아질수록 대출을 많이 받을 수 있다.

• 정부지원
- 연방의 개별 주들은(바덴-뷔르텐베르크, 바이에른, 브란덴부르크, 헤센, 니더작센, 노르트라인-베스트팔렌, 라인란드 팔츠, 함부르크 시, 작센 등) 지역 별로 여러가지 지원 프로그램들이 시행되고 있으며, 함부르크는 기존 건축물의 증축이나 개축을 패시브하우스로 건축하는 경우 240유로/㎡의 보조금을 최대 130㎡까지 지급하는 지원 프로그램을 운영하고 있다.
- 지원 금액은 10년 간 같은 비율로 나누어 놓았으며, 완성이 된 후 함부르크 주거건축 신용기관에 의해 품질 증명서를 제출할 경우 분기별로 선급한다.

(5) 슬로베니아

• 첫째는 Eco Fund-Slovenian Environmental Public Fund.
- 이는 태양열 난방시스템(SHS), 주택 재생(CRB), 저에너지, 패시브하우스 건설(LEH/PH)에 자금 지원을 함. 그리고 Tender Eco Fund-Slovenian Environmental Public Fund는 재생에너지와 거주의 에너지 효율성을 중요시하는 커뮤니티그룹에 있는 개인들을 지원하는 정책이다.

• 둘째는 European Affairs and Investments Directorate-Slovenia, efficient use and renewable energy sources division과 다음의 세 개 분야이다.
- A. SHS 시스템(태양열 난방시스템) 지원
  SHS 시스템 구축비용의 25%를 지원한다. 그러나 150-200€/㎡ 이상은 넘지 못한다.
- B. CRB 시스템(리모델링주택) 지원
  최대 9000유로를 지원하며, 창호와 외벽, 바닥, 지붕의 리모델링 비용지원, 그리고 콘덴싱 보일러, 히트펌프, 열교환기 등 설비기기의 재정지원이 이루어지고 있음. 부위별로 최대 지원 금액을 지정함.

- C. 저에너지, 패시브하우스 건축 : 에너지효율적인 건물 분류에 들어가기 위해 35 kWh/㎡a기준을 맞춰야한다. 25 kWh/㎡ 이하로 나오는 건물은 PHPP2007에 의해 계산되어 에너지 밸런스를 맞춰야 하며 외피는 다음과 같은 요구에 맞춰야 함.
- 저에너지주택(25 kWh/㎡)은 열관류율 1.0 kWh/㎡ 이하의 삼중유리로 지어져야 하며, 열교를 고려한 외피의 평균 열관류율은 0.3 kWh/㎡ 이하이어야 한다.
- 다른 등급의 건물은 유리 1.0 kWh/㎡ 이하이거나 창호 1.3 kWh/㎡ 이하로 지어져야 한다. 열교를 고려한 외피 평균 열관류율은 0.4 kWh/㎡ 이하여야 한다.
- 또한 80 %이상의 폐열회수환기장치로 중앙 환기가 이루어져야하며, 전기소모가 공기 이동시 0.5 Wh/㎥ 이하가 되어야하며, 이 수치는 증명되어야 한다.

- 법적청구권 : 슬로베니아는 경쟁 입찰을 통해 보조금을 받는다, 적용 시간과 가능한 자금은 한정되어있다.
  - 보조금의 이유 : 보조금은 저에너지하우스와 패시브하우스 국가전략의 일부분으로 존재한다.
- 패시브하우스의 정의 : PHPP2007에 따라 보조금을 위한 패시브하우스가 정의된다.

(6) 스웨덴

- 아직까지 스웨덴에는 패시브하우스에 대한 지원정책이 없으나, 스웨덴 에너지관련 단체의 활동에 의해 2008년까지 관련 지원정책이 생길 예정이다. 이는 스웨덴에 적합한 패시브하우스의 기술을 개발하고 기준을 설정하는 목적으로 지원될 예정이다.
- 지원형태 및 비율: 스웨덴에는 패시브하우스와 관련된 지원정책이 없으나, 개인주택의 경우 그 소유주나 임대자가 난방을 위해 신재생 에너지 및 바이오 에너지를 이용하려는 경우 정부를 통해 지원을 받을 수 있다.
- 보조금을 위한 법적 청구 : 지원자가 국립 패시브하우스 프로그램 사무국으로 지원을 하면, 사무국의 기준에 따라 지원여부가 결정된다.
- 에너지성능의 의존: 패시브하우스 또는 저에너지 하우스에 대한 지원의 차이는 없음.
- 지원이유: 국가 에너지 컨셉에 도달하기 위함.
- 패시브하우스 개발의 효과 : 보조금 및 지원은 연구개발에 영향력이 있음.
- 지원금 재정출처: 건축물 에너지 성능지원을 위한 재정은 지방정부가, 국립 패시브하우스 프로그램에 대한 지원은 Swedish Energy Agency가 담당한다.
- 패시브하우스의 정의: 패시브하우스에 대한 스웨덴의 기준에 의해 정의됨.

제4절 연구개발결과 우수성 및 차별성

1. 연구개발결과 우수성

- 독일 패시브하우스의 정의는 연간 단위면적당 난방에너지요구량이 15 kWh/㎡a이하 혹은 연간 단위면적당 1차에너지요구량이 120 kWh/㎡a이하인 단독주택으로 알려져 있으나, 기본적으로 주택 내 사용자의 쾌적성을 전제하고 있음은 주목받고 있지 않다.

- 따라서 패시브하우스 주택의 실현의 의미는 단순히 에너지사용량을 절감했음에 두기보다는, 실내 쾌적성 보장을 기본으로 우수한 주택에너지성능을 달성했음에 의의를 두는 것이 적절하다.

- 이러한 측면에서 본 연구는 국내에서 적용 가능한 디자인 및 자재, 공법, 설비 등을 이용하여 독일 패시브주택 인증을 획득함으로서 쾌적성 및 에너지 성증기준을 달성했다는 데에 의의가 있다.

- 그 과정에서 독일패시브주택을 구현에 필수적인 기술요소와, 국내환경에서 적용을 위해 현재시점에서 문제점을 발굴하고 대안 및 차선책을 적용하였으므로 국내 녹색건설시장의 나아갈 방향 및 정책방향에 대해 전망하는 계기가 되었다.

- 또한, 에너지사용량 및 쾌적성에 대하여 독일패시브주택 인증뿐만 아니라 모니터링을 통해 객관적인 데이터를 확보하여 한국형 패시브주택의 우수성을 입증하였으며, 기존의 투자대비 회수기간만을 단순 비교하는 경제성 검토의 범위에서 벗어나 비용효용측면의 경제성검토를 통해 패시브주택의 가치평가를 재정립하였다는 점 역시 본 연구결과의 우수성이라 할 수 있다.

2. 연구개발결과 차별성

- 국내에서 패시브주택과 관련하여 이루어진 연구는 패시브 건축물을 실현하기 위한 표준모델 개발 연구가 대부분이었고, 그 연구조차 검증이 안 된 상황이다. 또한 에너지 절약형 건축물을 위한 자재에 대한 연구도 단일 자재성능에만 초점이 맞춰 이루어져있으므로 모든 패시브하우스의 요소들이 종합된 건축물의 통합설계 방안에 대한 내용이 부재한 상황이다. 이러한 국내연구의 한계를 보완하기 위하여, 실험을 위한 표준모델이 아닌 실제 거주가 가능한 주택을 설계하고 입주하여 패시브주택의 주거환경을 영위할 수 있도록 하였다.

- 기존 연구에서 패시브주택은 인간에게 쾌적한 생활환경을 제공한다는 사실은 이론적인 전제로 그치고 있으나, 본 연구에서는 한국형패시브주택 기술을 적용한 단독주택의 실 거주자를 대상으로 쾌적지수와 삶의 질에 대한 삶의 질에 대한 실제적인 검증을 실시하여 실내의 쾌적함을 객관화 및 수치화한다.

- 본 연구에서는 1차 년도에 한국 형 패시브하우스 실현을 위한 자재의 성능을 발굴하고, 공법에 관한 연구를 실시하여 실제 설계 디테일에 대한 정보를 제공함으로써, 기존의 연구에서 제시하지 못했던 패시브하우스 디테일 및 열교를 포함한 가이드라인을 제시했다.

- 소규모의 건축물은 공동주택에 비해 다양한 디자인을 실현시킬 수 있다. 하지만 기존의 한국형패시브 실증주택은 에너지절약 측면만을 강조한 나머지 디자인에 대한 고려를 하지 못했다. 본 연구를 통해, 제드엠제이건축사사무소는 디자인어휘를 적용한 패시브하우스를 실현시켰으며, 디자인 측면에서 우수한 패시브디자인은 국내 에너지절약형 건축물의 수요증가에 기여할 수 있을 것이다.

- 제드엠제이건축사사무소에서 1차 연구결과를 반영하여 설계한 패시브주택을 시공하고 인에 맞춰 설계하고 시공한 주택이 독일 패시브연구소에서 인증을 받는 과정 또한 기록하여 추후 국내실정에 맞는 인증제도 도입에 지침서가 되도록 한다. 단순히 연구에서 벗어나 실제 주택프로젝트와 연계하여 설계단계에서 인증취득까지의 과정을 담고 그에 맞는 패시브하우스 기준을 제시한다. 이는 기존의 연구들과 차별화됨과 동시에 패시브하우스 보급과 확산에 실질적으로 기여할 것이다.

- 본 연구를 통한 패시브하우스의 실현은 총체적인 경제성 평가와 함께 이루어 질것이다. 이는 기존의 건축물과 비교를 통해, 패시브하우스가 경제적일 수 있는지에 대해서 연구가 이루어 질것이며, 비용증가의 측면뿐만 아니라, 비용감소의 요인이 어떤 것이 있는지 모색해 본다.

- 연구 2년차에는 거주자를 대상으로 한 패시브하우스의 쾌적지수에 따른 비용효용분석을 통한 경제성평가 연구가 이루어졌다. 기존의 연구들이 패시브하우스의 기술적 요소들을 중심으로 이루어진 것과 다르게 패시브하우스 거주자를 중심으로 연구를 함으로서 차별성을 가지게 되며, 이를 통해 인간의 삶의 질을 중점으로 쾌적성과 건강을 함께 연계한 패시브하우스 실현의 중요성을 증명했다.

- 건축물 완공 후 모니터링 및 사용자 설문조사를 통해, 실제적인 건물의 성능을 평가함으로써, 패시브하우스의 적합성을 증명하였다.

제2장 연구개발과제 수행내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법

1. 연구수행전략

가. 연구수행체계

- 본 연구의 수행체계는 명지대학교 산학협력단이 주관하여 명지대학교 건축대학이 주된 연구를 수행하며, ㈜제드엠제이 건축사사무소를 통하여 국내 적용 가능한 패시브주택의 설계 및 시공 관리에 대한 사항들을 연구한다.

[표2.1] 연구의 수행체계

구 분	주관연구기관	위탁연구기관
1차년도 (2011.10~2012.06)	명지대학교 산학협력단	(주)제드엠제이건축사사무소 부설 제로에너지기술연구소
2차년도 (2012.06~2013.09)	명지대학교 산학협력단	(주)제드엠제이건축사사무소 부설 제로에너지기술연구소

- 뿐만 아니라 건축이라는 특정 분야를 벗어나 의학, 물리 등 각 분야의 전문가들과의 공동 연구를 통해 패시브건축물의 전체적인 결과를 도출할 것이다. 이 연구는 연구를 위한 연구가 아닌, 실제적으로 이용할 수 있는 결과물을 만들어 국내 저탄소녹색성장의 일환인 에너지절약형 건축물 보급에 큰 역할을 하고자 하며, 각계 전문가들을 다음과 같이 구성하였다.

[표2.2] 연구진 및 전문가의 구성

연구분야	전문가
프로젝트 책임연구 및 설계	Prof. 이명주
국외 패시브관련 법규 및 자재성능 연구	Prof. Thorsten Schutze
국내외 패시브관련 자재성능 비교연구	Dr. 이응신 (물리학박사)
패시브건축물 쾌적지수도출 및 경제성평가연구	Prof. 이명주 Prof. Dr.김남권 박사 (원광대 한의학과 교수, 서울대 보건통계학 석사)
한국형패시브 인증모형 주택 설계	(주)제드엠제이건축사사무소
패시브건축물 설계표준가이드라인	(주)제드엠제이건축사사무소 부설 제로에너지기술연구소

2. 연구수행방법

[표2.3] 연구 수행방법

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
1차 년도	독일 패시브하우스 인증제도 분석	독일 인증기관 문헌/방문조사
	독일 패시브하우스 인증제도 취득과정 분석	문헌/방문조사 및 독일 패시브플래너 접촉
	국외 패시브하우스 기 인증 단독주택 문헌조사	문헌/방문조사
	독일/EU 패시브하우스 실현을 위한 국가정책 및 지원제도 분석	담당 국가기관 및 연구소 접촉/ 지원제도 및 연계방안 연구
	한국형 패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토	국내 월별 온도, 방위별 온도, 노점, 천공온도, 지중온도 분석/ 국내 기후 특성에 따라 건축물 설계 시 유의해야 할 사항 분석
	국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토	독일-한국의 주거문화 차이점 분석/ 건축주의 요구사항반영
	패시브하우스에 사용되는 국내·외 자재 및 성능 비교 검토	연구자에 의한 연구/국산자재화 가능여부 분석
	패시브하우스 관련 국내·외 고효율 설비 성능 비교 검토	연구자에 의한 연구/국산자재화 가능여부 분석
	국내 패시브하우스 시범주택 선정 및 기본•실시설계 실시	독일 패시브플래너의 지속적컨설팅 기본설계/허가/실시설계
	시범주택을 독일 에너지 시뮬레이션을 통해 분석	독일 에너지시뮬레이션프로그램계산과정 정리
	건축물리적 기반의 열교시뮬레이션을 통한 건축물 각 부위별 디테일 검토	스웨덴열교시뮬레이션프로그램계산과정 정리 건물 결절점 및 시공 상 디테일 개선안 도출
2차 년도	패시브하우스 진단 시스템 연구 (Blower door test, 열화상카메라)	완공단계에서 진단 기계장비 구입 또는 임대
	한국형 패시브하우스 완공 인증 취득	건축물 설계 및 감리
	패시브하우스 모니터링 시스템 연구	모니터링 장비체크 및 부착부위 체크리스트작성 및 최소 난방에너지모니터링 완료
	국내 에너지절약 관련 정책 개선안 도출	국내 에너지절약 또는 에너지관련 정책 및 기준조사 및 독일정책과의 비교/ 실제프로젝트진행 시 필요한 세부항목 추가 정리
	국내 에너지절약 관련 인증제도 구축 방향제시	국내 인증제도에 추가 또는 변경할 수 있는 정리를 통한 구축방향제시
	쾌적지수 관련 문헌조사	관련 문헌 조사
	패시브하우스 쾌적도 도출을 위한 방법 연구	쾌적도 도출을 위한 설문작성, 설문조사 국내 일반건축물 및 패시브건축물 설문
	쾌적지수 및 비용효용분석 결과 도출	쾌적지수를 통한 비용효용분석도출/ 패시브하우스를 위한 상승비용 별도 산정
	일반건축물 대비 패시브하우스 건축비 상승률 연구	건축비 상승률 연구를 위한 세부견적
	패시브하우스 유지비, 감가상각 및 쾌적지수에 따른 경제성평가	패시브하우스의 경제성평가결과 도출

제2절 연구수행과정 및 내용

1. 연구수행내용

- 본 연구는 1·2차년도로 나누어 1년차에는 독일패시브하우스 인증제도에 대한 전반적인 조사와, 해외 패시브하우스 관련 정책 및 지원제도 분석, 국내외 건축자재 성능비교검토, 패시브 관련 고효율설비 성능비교, 국내 패시브하우스 한국형패시브 실증주택 선정 및 기본·실시설계, 한국형패시브 실증주택 에너지시뮬레이션을 통한 성능예측, 열교시뮬레이션을 통한 건축물 각 부위별 디테일검토를 실시하였다.

- 2년차에는 한국형패시브하우스 한국형패시브 실증주택을 완공하고 독일패시브인증을 취득하며, 국내 패시브하우스 사후이용실태 연구를 통해 모니터링 시스템구축방안을 연구하였다. 국내 에너지절약 관련제도의 개선을 제안하고, 패시브하우스 쾌적성 분석 및 평가를 실시하였다.

가. 1차년도 연구수행내용

(1) 독일 패시브하우스 인증 분석 연구 및 인증취득과정 연구

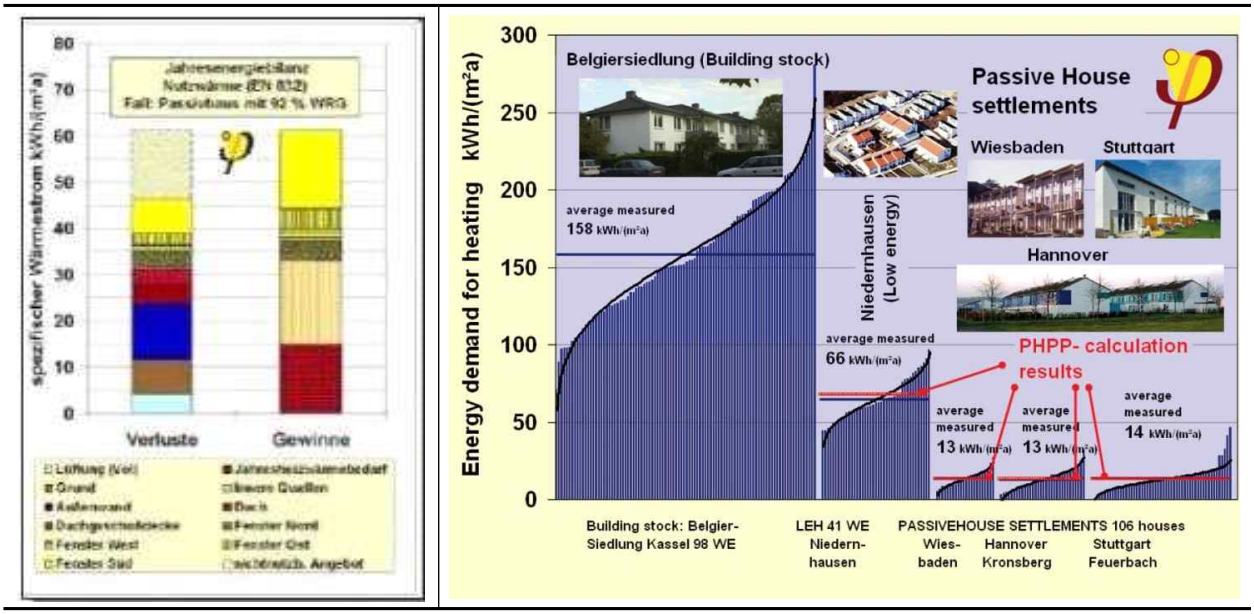
(가) 독일 패시브하우스 인증제도 분석

- 독일 패시브하우스 인증은 PHPP라는 에너지 분석 프로그램, 계획단계에서 체크리스트 점검, 패시브하우스에 적합한 에너지효율적인 제품, 그리고 인증 받은 건축가와 엔지니어를 통해 이루어진다.

- 이 독일의 에너지계산 프로그램은 현재 국내에서도 에너지관리공단을 통해 비슷한 프로그램이 개발 되어 사용되고 있으나, 더욱 구체적이고 실제적인 요소들을 입력함으로써, 실제 사용량과 근사한 시뮬레이션이 가능하다.

- [그림15]는 건축물의 에너지절약 단계에 따라 에너지시뮬레이션을 통한 사용량과 실제 사용량의 평균을 구한 표이며. 실제 사용한 평균값이 계산 값과 거의 일치하거나 약간 낮게 사용된 것으로 나타났다.

- 이는 국내 에너지계산프로그램에 의해 설계된 건축물이 사후 실제 사용량이 계산된 사용량보다 많이 나오는 것을 염두 해볼 때, 독일에너지계산 프로그램의 정확성이 더 높은 것을 알 수 있다.



[그림2.1] 에너지수지 검증 및 PHPP 프로그램에 의한 에너지사용량 예측값과 실측값의 비교

(나) 국외 패시브하우스 기 인증 단독주택 문헌조사

- 패시브하우스 실현을 위해 본 연구에서는 독일의 인증기준과 기 인증된 패시브하우스의 장점 및 주의사항 등을 고려하여 밀도 있게 분석한다. 이를 통해 분석된 자료를 바탕으로 국내에 한국형패시브 실증주택을 선정하여, 실제 독일 패시브 인증 취득을 함으로서 인증 과정 단계별로 진행해야할 구체적인 내용들을 연구하고, 추후 한국형 패시브하우스 인증제 도입 시 필요한 내용들을 발굴하고자 한다. 이는 국내 패시브하우스 보급 활성화를 위해 반드시 필요한 절차이다.

(2) 독일/EU 패시브하우스 관련 정책 및 지원제도 분석연구

- 패시브하우스의 실현을 위해 증가된 초기투자비용은 기반시설 부족 및 기술의 보급화 이전에는 일반 소비자들이 모두 감당하기엔 어려운 수준이다. 본 연구를 통해 재정적으로 국가적인 지원정책 및 제도를 마련할 수 있는 여러 가지 방법에 대해 연구하고 제시함을 목표로 한다.

- 본 연구에서는 패시브하우스의 보급이 활성화된 독일 등 선진국은 어떤 지원책을 강구하고 있으며 어떤 방식으로 제공하고 있는지 분석하고 국내에 적합한 지원제도를 모색하고 제안하는 것을 목표로 한다.

(3) 한국형 패시브하우스 설계, 실현 (패시브자재, 기술포함)

(가) 한국형 패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토

- 패시브주택은 외부환경에 대하여 쾌적한 내부 실내 환경변화를 최소화하는데 그 목적이 있으며 외부환경에 따라 건축물리의 측면에서 주택의 형태, 벽체, 지붕, 창호, 기초 및 설비 등의 구성을 최적화하기 때문에 주택이 계획되는 지역의 기후환경을 검토하고 그에 적합한 건축물을 계획할 때 효율적인 패시브주택 구현이 가능하다.

- 따라서, 독일 및 유럽지역을 기준으로 연구된 패시브주택을 국내기후환경에 적합하도록 구현하기 위해서는 국내기후환경검토가 선행되어야 한다.

(나) 국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토

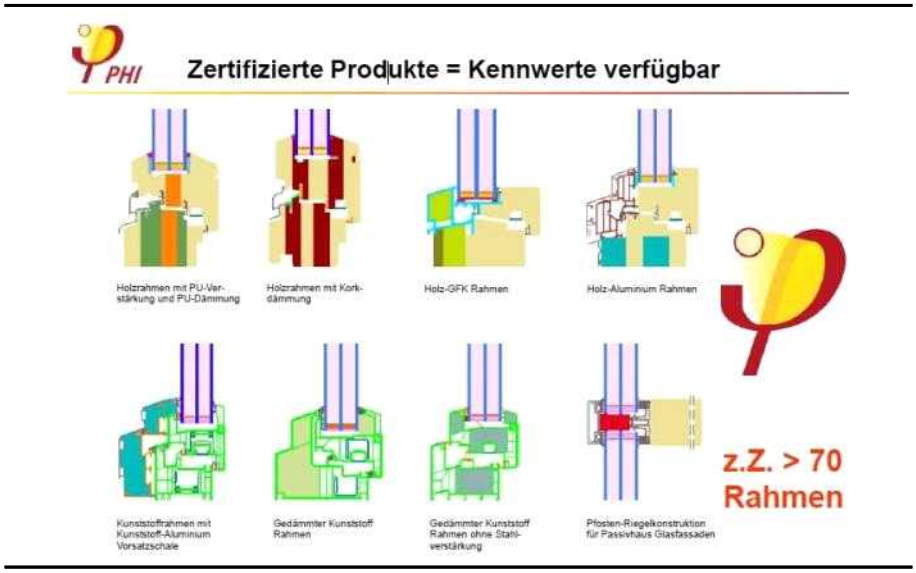
- 국내에 패시브하우스의 수요를 증가시키기 위해, 전통적으로 가지고 있었던 좌식생활 및 실내 기본온도 설정 등을 고려함으로써, 국민의 요구에 부응한 한국형 패시브하우스를 설계하는 것을 목표로 한다.

- 패시브하우스에서는 공기를 통한 냉난방은 쾌적한 환경을 위해 지양되고 있으며, 오히려 바닥이나 벽, 또는 천장에 설치되는 냉난방기구가 이용되고 개발되고 있다.

(다) 패시브하우스에 사용되는 국내·외 자재 및 성능 비교 검토

- 우리나라는 아직 건축전반에 사용되는 자재의 물리적 기준이 제품에 정성적으로 명시되어 판매되고 있다. 그러므로 독일 패시브하우스 연구소에서 요구하는 모든 자재성능의 기준 및 평가 방법을 분석함으로써, 국내에 자재성능기준 표기 및 성능평가 방법과 비교하여 문제점 파악 및 해결방안에 대해 연구한다.

- 예를 들어, [그림17]은 독일 패시브하우스연구소에서 인증 받은 창호 프레임으로서, 개발이 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다. 또한 창 프레임뿐만 아니라 유리를 끼우는 방법까지 별도로 인증을 부여하고 있다.



[그림2.2] 독일 패시브하우스연구소 인증제품 (3중유리, 시스템창호)

(라) 패시브하우스 관련 국내·외 고효율 설비 성능 비교검토

- 패시브하우스의 설비 이용방식은 기존의 건축물의 설비방식과 전혀 다른 시스템이다. 이는 필수적인 폐열회수환기장치의 이용과 컴팩트한 난방장치의 고효율화를 들 수 있다. 폐열회수장치는 열 회수율뿐만 아니라 전력효율, 가능면적, 차음성 등의 다양한 기준으로 평가하고 있다. 또한 히트펌프의 경우에도 구체적으로 다양한 수치의 기준을 제시하고 있다. 본 연구를 통해 국내 에너지절약형건축물에 쓰일 각각의 설비의 성능기준 및 평가방법을 제시한다.



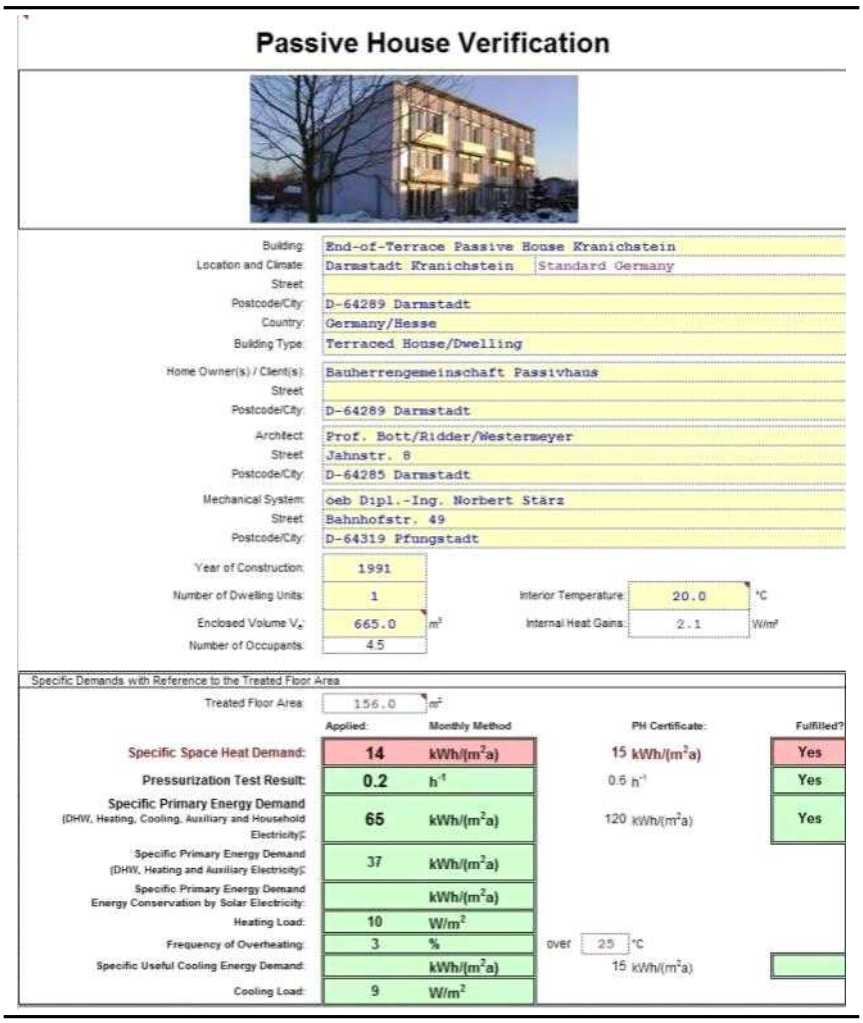
[그림2.3] 인증제품: 폐열회수환기장치

(마) 국내 패시브하우스 한국형패시브 실증주택 선정, 기본·실시설계

- 패시브하우스의 총체적인 연구를 위해 설계단계 전부터 완공 후 패시브인증을 받고 사후 모니터링까지의 전 과정을 수행한다. 이는 에너지절약형건축물의 전문 설계사무소인 (주)제드엠제이건축사사무소가 맡아서 수행하였다. 본 프로젝트와 연계한 설계 프로젝트는 다년간의 경험을 통해 패시브인증을 받을 수 있는 설계용역을 추진하였다.

(바) 독일 에너지시뮬레이션(PHPP)을 통한 한국형패시브 실증주택 분석

- 에너지절약형건축물은 에너지시뮬레이션을 거쳐서 완성될 수 있다. 국내에도 많은 에너지시뮬레이션 프로그램이 존재하나, 독일의 에너지시뮬레이션이 더욱 구체적이고 많은 요소를 고려함으로써, 실제 사용량과 크게 차이가 나지 않은 것으로 알려져 있다. 건축물 설계 시 PHPP프로그램을 통해 분석하고 이 과정을 에너지시뮬레이션 보고서를 통해 제출한다.



Passive House Verification

Building:	End-of-Terrace Passive House Kranichstein			
Location and Climate:	Darmstadt Kranichstein	Standard Germany		
Street:				
Postcode/City:	D-64289 Darmstadt			
Country:	Germany/Hesse			
Building Type:	Terraced House/Dwelling			
Home Owner(s) / Client(s):	Bauherrengemeinschaft Passivhaus			
Street:				
Postcode/City:	D-64289 Darmstadt			
Architect:	Prof. Bott/Ridder/Westermeyer			
Street:	Jahnstr. 8			
Postcode/City:	D-64285 Darmstadt			
Mechanical System:	oeb Dipl.-Ing. Norbert Stärz			
Street:	Bahnhofstr. 49			
Postcode/City:	D-64319 Pfungstadt			
Year of Construction:	1991			
Number of Dwelling Units:	1		Interior Temperature:	20.0 °C
Enclosed Volume V_e:	665.0 m³		Internal Heat Gains:	2.1 W/m²
Number of Occupants:	4.5			

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area

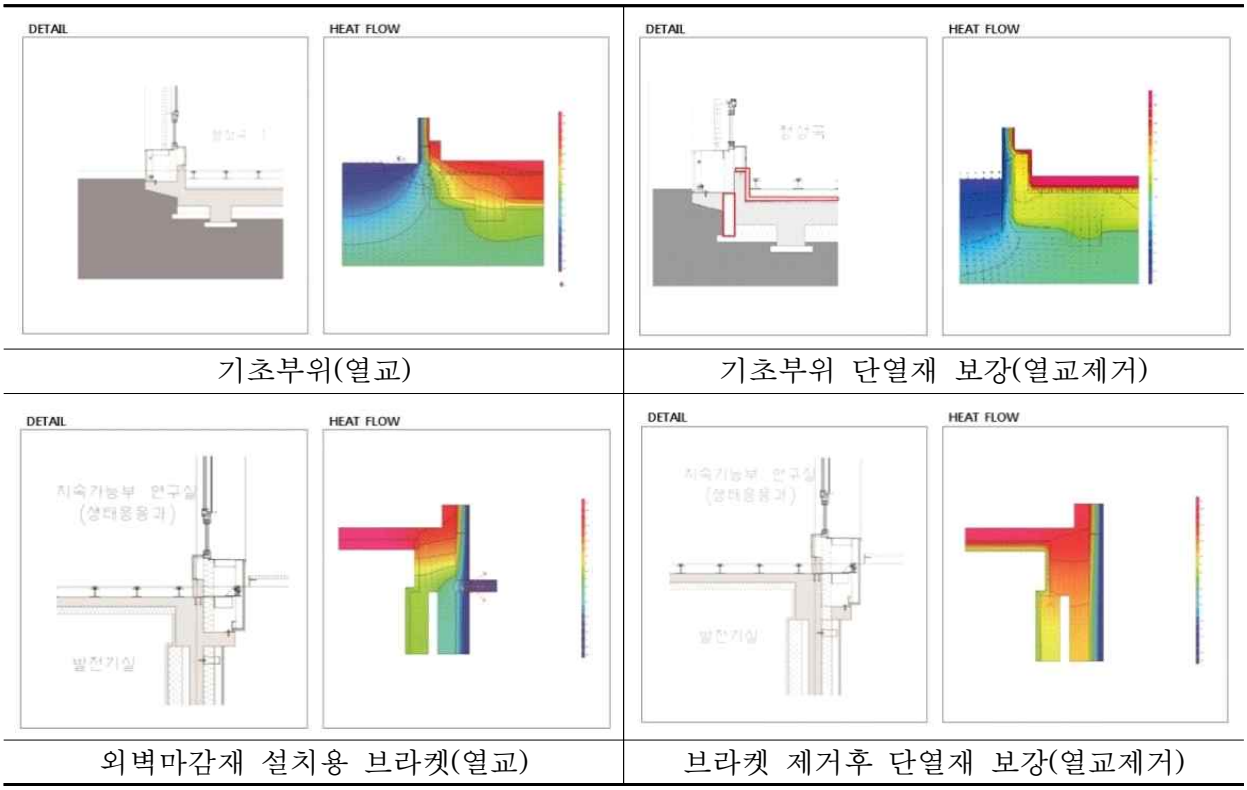
Treated Floor Area: 156.0 m²

	Applied:	Monthly Method	PH Certificate:	Fulfilled?
Specific Space Heat Demand:	14	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	Yes
Pressurization Test Result:	0.2	h⁻¹	0.6 h⁻¹	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	65	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	37	kWh/(m²a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:		kWh/(m²a)		
Heating Load:	10	W/m²		
Frequency of Overheating:	3	%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:		kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	
Cooling Load:	9	W/m²		

[그림2.4] PHPP를 통한 에너지시뮬레이션 검토

(사) 건축물리적 기반의 열교시뮬레이션을 통한 건축물 각 부위별 디테일 검토

- 건축물 설계시에 주요 부위별 열교 시뮬레이션을 아래와 같이 실시해야 한다. 열교부위 체크는 에너지손실 최소화 측면뿐만 아니라, 건축물 하자 방지 측면에서도 매우 중요하다. 아래 [그림 24~27]은 열교검토를 하지 않은 설계와 검토 후 설계개선안을 비교한 사례이다[15].



기초부위(열교) | 기초부위 단열재 보강(열교제거)

외벽마감재 설치용 브라켓(열교) | 브라켓 제거후 단열재 보강(열교제거)

[그림2.5] 열교 검토 전후 열교 시뮬레이션 비교

15) Prof. 이명주+ 제드엠제이건축사사무소, 2011, 국립생태원 건립공사 디테일 개발 보고서

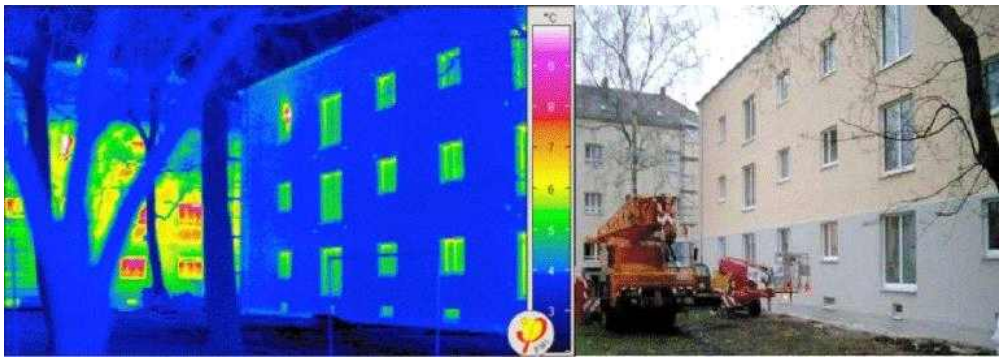
나. 2차년도 연구목표 및 내용

(1) 한국형 패시브하우스 설계, 실현 (패시브자재, 기술포함)

(가) 패시브하우스 진단 시스템 연구

- 패시브하우스는 인증의 필수조건으로 주택의 기밀성은 압력이 50Pa때 시간당 환기되는 회수를 0.6회 이하로 규정하고 있다. 기밀성능은 블로어도어 테스트를 통해 진단이 이루어지며, 어느 정도 완공이 이루어지고 기밀시공이 완료된 상태에서 시험하게 된다. 독일 패시브 인증기준에 기밀성을 제한하는 이유는 공기의 흐름을 완벽하게 제어하기 위함이다. 패시브하우스는 폐열회수 환기장치가 필수인데, 에너지를 가장 많이 쓰는 기간에 효율을 높이기 위해 가장 춥거나 더운 날에는(특히 겨울철) 자연환기가 아닌 기계환기장치를 활용하여 실내에 있는 에너지를 그대로 방출하지 않고 쾌적한 공기만을 교환하여 공급하게 된다. 그러나 일정량 기밀성이 보장되지 않는다면, 폐열회수환기장치로 제어되는 환기량이 불규칙하게 되어 패시브하우스의 에너지의 효율성은 보장할 수 없게 된다.

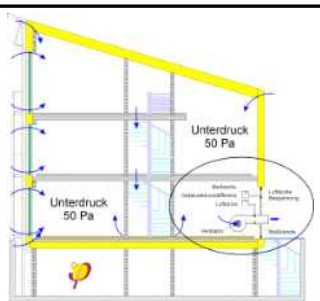
- 인증모형이 완공되고 나면 적정 시기에 블로어도어 테스트를 실시하여 인증을 위한 기밀성을 검토하고 결과표를 작성한다. 목표치에 도달하지 못하였을 경우 개선안을 찾고 적용하여 목표한 기밀성능을 확보한다. 기밀성능을 확보하기 위한 방법과 자재 등을 또한 분석하여 정리한다.



[그림2.6] 열화상카메라를 통한 건축물 진단 - 오른쪽 건물 리모델링 시행 후



블로어도어시스템을 통한 건축물 기밀성 진단



블로어도어 시스템 다이어그램

[그림2.7] 블로어도어 테스트 사진 및 다이어그램

(나) 한국형 패시브하우스 완공 및 인증 취득

- 연구과제 수행기간동안 한국형 패시브하우스를 완공하고 인증을 취득함으로써, 국내에서 패시브하우스설계의 주의사항 및 인증 방법에 대해 알림으로서 패시브하우스 설계 및 에너지절약형 건축물에 대한 통합적인 설계방식을 제시하였다.

- 패시브하우스로서의 품질을 인증받은 건축물은 패시브 연구소로부터 [그림31]과 같은 인증서를 받게 된다. 이 인증서에는 연간 면적당 난방에너지요구량과 난방부하량, 기밀성 그리고 1차에너지 소요량이 표기된다.



Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstr. 44/46
D-64283 Darmstadt

Zertifikat

Das Passivhaus Institut verleiht dem Gebäude
Passivhaus, Passivstr. 100, D-12345 Passivstadt

Bauherr: ...
Passivstr. 100, D-12345 Passivstadt

Architekt: ...
Passivstr. 101, D-12345 Passivstadt

Haustechnik: ...
Passivstr. 102, D-12345 Passivstadt

das Zertifikat

qualitätsgeprüftes Passivhaus

Die Planung des Gebäudes erfüllt die vom Passivhaus Institut vorgegebenen Kriterien für Passivhäuser. Bei sachgemäßer Bauausführung genügt es den folgenden Anforderungen:

- Das Gebäude hat einen rundum ausgezeichneten Wärmeschutz und bauphysikalisch hochwertige Anschlußdetails. Der sommerliche Sonnenschutz wurde bedacht. Der Heizwärmebedarf ist begrenzt auf

15 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr oder eine Gebäudeheizlast von 10 W/m²

- Die Gebäudehülle besitzt eine gemäß ISO 9972 geprüfte, sehr gute Luftdichtheit, die eine Zugluftfreiheit und einen niedrigen Energieverbrauch ermöglicht. Der Luftwechsel über die Gebäudehülle wird bei 50 Pascal Druckdifferenz begrenzt auf

0,6 je Stunde, bezogen auf das Gebäudeluftvolumen

- Das Haus verfügt über eine kontrollierte Wohnungslüftung mit hochwertigen Filtern, hocheffizienter Wärmerückgewinnung und niedrigem Stromverbrauch. Dadurch werden eine hohe Innenluftqualität und zugleich ein niedriger Energieverbrauch erreicht.
- Der gesamte jährliche Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom zusammen beträgt bei Standard-Nutzung nicht mehr als

120 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr.

Das Zertifikat ist nur in Verbindung mit dem Zertifizierungsheft zu verwenden. Hieraus gehen die genauen Werte für dieses Gebäude hervor.

Passivhäuser bieten eine sehr gute Behaglichkeit im Sommer und im Winter. Sie können mit geringem Aufwand beheizt werden, z. B. durch eine Nachheizung der Zuluft. Die Gebäudehülle von Passivhäusern ist auf der Innenseite gleichmäßig warm; die Temperaturen der inneren Oberflächen unterscheiden sich kaum von der Raumlufttemperatur. Durch die hohe Dichtheit sind Zugerscheinungen bei normaler Nutzung ausgeschlossen. Die Wohnungslüftungsanlage stellt eine gleichbleibend gute Innenluftqualität sicher. Die Heizkosten in einem Passivhaus sind sehr gering. Wegen des niedrigen Energieverbrauchs bieten Passivhäuser eine hohe Sicherheit bei künftigen Energiepreissteigerungen oder Energieverknappungen. Darüber hinaus wird die Umwelt optimal geschützt, da Energieressourcen sehr sparsam eingesetzt und nur geringe Mengen von Kohlendioxid (CO_2) und von Luftschadstoffen emittiert werden.

ausgestellt:
Darmstadt, den xx.xx.xxxx

Wolfgang Feist

Dr. Wolfgang Feist

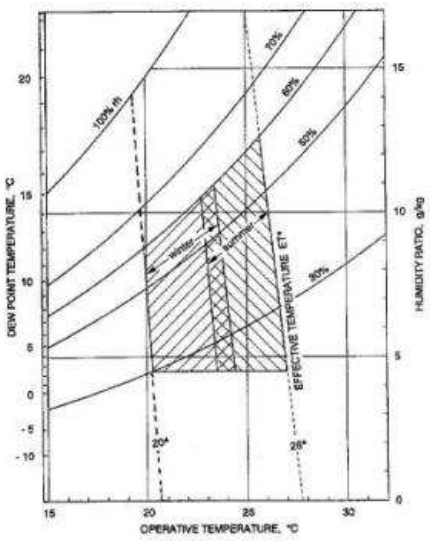
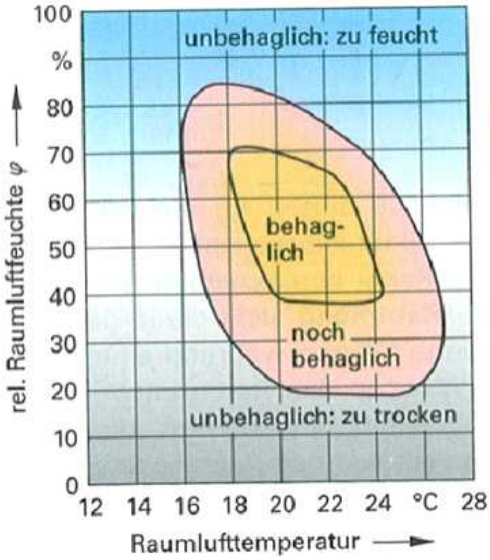
Zertifikats-ID: ab 01.08.2011!

[그림2.8] 패시브하우스 인증서

(2) 국내 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 분석 연구

(가) 실내쾌적성 모니터링

- 온도와 습도의 상관관계에 따라 실내 쾌적성을 분석하였다.
- 실내기온과 복사온도 편차에 따라 실내 거주 쾌적성을 검토하였다.
- 수직 온도 프로파일에 따른 실내거주 쾌적성을 검토하며, 각 세대 거실 및 안방에 수직으로된 프로파일 온도계를 설치하였다.
- 실내 외풍과 온도의 상관관계에 따른 실내 거주 쾌적성 검토하였다.
- 방바닥 온도에 따른 실내 쾌적성을 검토하며 이는 수직프로파일 온도계를 활용하여 데이터를 수집한다.
- 각각 측정된 온도 및 습도는 월별 변화를 그래프로 나타내어 활용된다.

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>표준상태의 유효온도와 ASHRAE 쾌적범위 (ASHRAE, 1993)</td><td>온도와 습도와의 상관관계</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>데이터 로거</td><td>온습도 디스플레이</td></tr>
</table>

[그림2.9] 실내쾌적성 모니터링

(나) 에너지사용량 모니터링

- 주택에 적용된 에너지원별로 계통분리를 실시하고 각 데이터를 수집하여 정확한 에너지사용량을 산출한다.

- 온열환경 모니터링은 냉방, 난방, 급탕을 위해 사용되는 에너지를 측정하는 것이며, 해당 장치마다 각각 에너지 사용량을 분리하여 측정한다.

- 빛 환경 모니터링을 위해 조명장치에 쓰이는 에너지사용량을 분리하여 측정한다.

- 생활환경 모니터링은 세대 내 여러 가지 가전제품과 취사에 쓰이는 전기를 측정하는 것이며, 가전제품과 취사전기에 쓰이는 에너지를 각각 분리하여 측정한다.



[그림2.10] 에너지원별 계통분리

(다) 모니터링 결과값 산출

- 거주 후 성능평가(POE)를 통해 시뮬레이션의 입력상황과 실제 상황을 비교하여 관측하게 된다. 연간 냉방, 난방 등의 데이터 수집을 통해 독일 PHPP시뮬레이션이 한국에서 효용성이 있는지 검증을 하기위해 실제모니터링과 시뮬레이션결과의 오차 및 원인을 분석한다.

- 실내의 온습도 데이터를 3차원 공간으로 처리하여 쾌적도와 연관된 실내환경을 정밀분석하고 개선을 위한 방안을 모색한다.

- 거주자에게 정기적으로 쾌적도와 생활패턴에 대한 정성적 평가(Subjective Assessment) 설문조사를 실시하여 정기적으로 쾌적도와 생활패턴에 대한 ISO기준의 쾌적도와 실제 거주자의 쾌적도의 편차를 검토하고, 그 결과로부터 한국형 패시브하우스의 쾌적도 판단 기준을 정립한다.

(3) 국내 에너지절약 관련 제도 개선 및 지원제도 제안

- 본 연구를 통해 현재 제시하고 있는 국내 건축물에너지절약기준 인증과 독일의 패시브하우스 기준 제도를 비교분석 함으로써, 국내 단독주택의 기준을 제시한다.
  - 국내 에너지절약관련 자재 중, 단열재, 창호, 폐열회수환기장치에 관한 물리적 특성을 건축물 에너지시뮬레이션에 적용 가능한 물리적 특성으로 도출한 후, 국내 자재인증기관에서 발급하고 있는 인증서에 별도로 추가되거나 변경되어야 할 항목으로 제시하고자 한다.
  - 독일 패시브인증제도를 분석하고 실증모델을 인증받는 과정에서 고려하고 검토해야 할 사항을 연구하여, 국내 초에너지절약형 건축물 인증 프로세스를 제시한다.

(4) 패시브하우스 쾌적성 분석 연구

(가) 패시브하우스 쾌적성 도출에 대한 문헌조사 실시

- 일반적인 주택의 쾌적성은 열적 쾌적성, 공기질, 실내소음과 조도 등으로 평가를 하나 익산 패시브하우스는 주로 열적 쾌적성과 공기질 중에서 이산화탄소 농도를 기준으로 쾌적성을 평가하였다.
  - 열적 쾌적성에 대한 문헌조사는 Fanger의 논문을 바탕으로 정한 ISO 7730과 미국의 공조학회(ASHRAE)의 열적쾌적성 기준인 ASHRAE standard 55:2010을 조사하였다.
  - 실내 공기질은 이산화탄소의 농도를 규정한 독일의 DIN 1946과 Pettenkofer의 문헌을 조사하여 기준으로 삼았다.
  - 기타 실내의 조도는 ISO 8995-1:2002 (CIE2001/ISO2002)에 어느 정도의 밝기로 하는가에 대한 기준값이 주어져 있으나 재실 시 어떤 작업을 하느냐와 어떤 환경인가에 따라 다르게 지정을 하고 있다. 실내의 소음도는 국내법인 “공동주택 소음 측정 기준”, 『국토교통부 고시』 제2013-34호를 참고하였다.

[표2.4] 패시브하우스 쾌적성 도출에 대한 문헌조사

	조사 문헌	내용
1	ISO 7730:2005	온열환경의 인간공학적인 측면, PMV와 PPD를 이용한 온열쾌적성 분석과 국소적인 열적 쾌적성
2	ASHRAE 55:2010	재실 시 열적 환경 조건
3	ASHRAE 62-1, 62-2:2004	환기와 실내 공기질
4	DIN 1946, Pettenkofer	실내의 이산화탄소 농도
5	CR 1752	실내 환경에 대한 건물 내의 환기에 대한 기준
6	EN 13779	비거주건물의 환기-환기와 공조장치의 성능 요구사항
7	ISO 8995-1:2002	실내 환경에 대한 조도
8	국토교통부 고시 2013-34	공동주택 소음 측정 기준

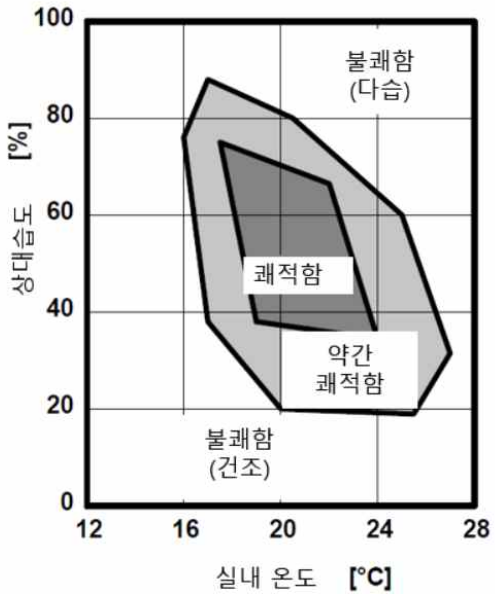
(나) 열적쾌적성에 대한 분석과 기준

• 열적쾌적성의 판단 기준: 온열 쾌적성의 범주(category; 또는 등급(class))는 각 단체의 정의에 따라 약간의 차이를 보이고 있다.

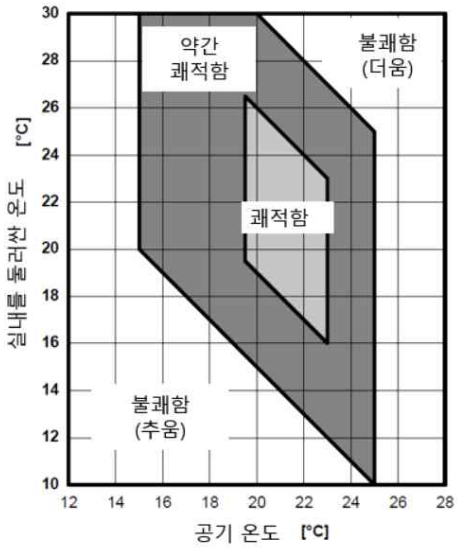
[표2.5] 열적쾌적성에 대한 분석 기준

ISO 7730	EN 15251	VDI 4706	건물에서 해당되는 경우
A	I	(I)	제일 기대치가 높은 실내, 병원이나 노약자가 있거나 꼭 조건이 필요한 재실자가 있는 건물의 실내
B	**II**	**II**	**일반적인 기대치의 실내, 새 건물이나 개보수를 하는 건물의 실내**
C	III	(III)	받아들일 수 있는 기대치의 실내, 기존 건물의 실내 조건
	IV	(IV)	일반적인 범주 바깥에 있는 실내, 일 년 중 특정 기간에만 사용하는 실내 조건

• 온도와 습도: 실내 온도와 상대습도와 관계는 ASHRAE 기준을 참고하여 습공기선도에서 일정 범위 내에 들어오면 쾌적한 상태라고 판정했다.



실내의 온도와 상대습도에 따른 쾌적성의 범위



실내온도와 벽체에서 오는 복사열에 의한 온도의 차이와 쾌적성 범위)

[그림2.11] 상대습도 및 복사열의 쾌적성의 범위

• 실내온도와 벽체에서 오는 복사열로 인한 온도차이: 실내의 공기온도와 벽체 표면에서 나오는 복사열에 의한 온도차이가 3 ℃이하가 되면 쾌적함을 느낀다. 벽체에서 오는 복사열에 의한

온도는 벽체 표면에 온도센서를 부착하여 실내 중간에 미치는 영향을 계산하거나 복사열에 의한 온도를 측정하는 흑구온도계를 사용했다.

- ISO 7730에서 각 벽체 표면이 가지는 복사열에 의한 온도차가 발생할 때 다음 표와 같은 기준을 정하여 쾌적한 범위를 규정하고 있다.

[표2.6] 쾌적성이 떨어지는 표면온도의 한계치

범주	복사열에 따른 온도의 불균형 정도 [K]			
	따뜻한 슬래브	차가운 벽	차가운 슬래브	따뜻한 벽
A	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 7	< 13	< 18	< 35

- 수직높이에 따른 쾌적성: ISO 7730의 PD에 따라 사람의 발등 부근에서 서 있을 때 머리 부근까지 온도차가 4 ℃ 이상이 나면 불쾌감을 느낀다.

[표2.7] 수직온도차에 따른 쾌적성 범위

범주	수직으로 온도차 [℃]
A	< 2
B	< 3
C	< 4

- 외풍에 따른 쾌적성: ISO 7730에서는 외풍에 따른 불만족 정도를 DR(Draft Rate)로 지정하여 다음 공식으로 계산한다.

$$DR = (34 - t_{a,l})(\bar{v}_{a,l} - 0.05)^{0.62}(0.37\bar{v}_{a,l}T_u + 3.14),$$

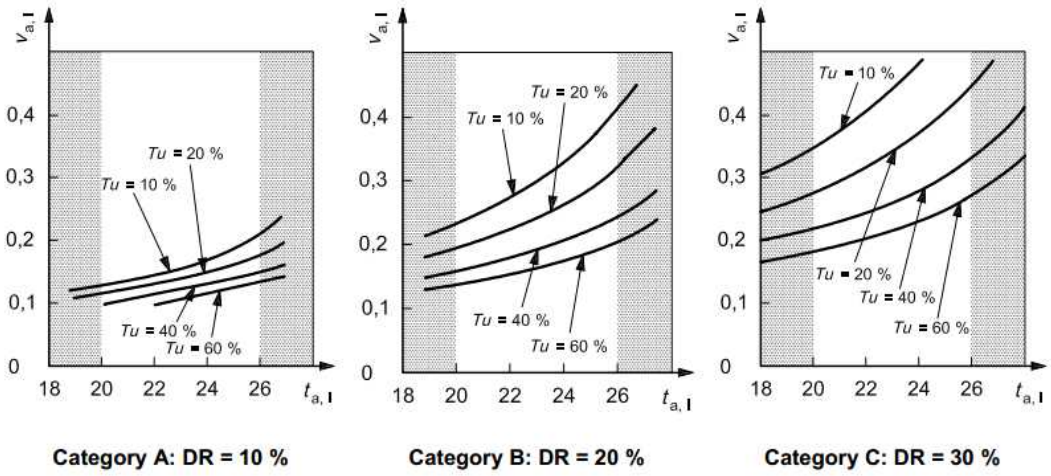
$$\text{for } \bar{v}_{a,l} < 0.05\,m/s : use\ \bar{v}_{a,l} = 0.05\,m/s,$$
$$\text{for } DR > 100\% : \quad use\ DR = 100\%$$

$t_{a,l}$: 국소 공기 온도 [℃] (20 ~ 26 ℃)

$\bar{v}_{a,l}$: 국소 평균 유속 [m/s] (< 0.5 m/s)

T_u: 국소 난류도 [%] (10 ~ 60 %; 불확실할 경우 40 %).

- 실내온도와 국소 난류도에 의한 허용된 외풍의 범위는 그림과 같다.



[그림2.12] 실내 온도와 난류도를 요소로 했을 때 기류 유속의 허용 범위

- 실내 기류에 따른 쾌적성의 범위는 ASHRAE 55에 의해서도 정할 수 있으나 일반적인 패시브 하우스에서는 겨울철에 실내 기류의 속도가 0.08 m/s 이하로 정하고 있다.

- 예상온열쾌적도(PMV)에 따른 쾌적성: 재실자가 있을 때 주위의 환경과 열에너지를 주고받는 정도에 따라 쾌적함을 판단할 수 있으면 ISO 7730에서는 예상온열쾌적도(PMV: predicted mean vote)로 정하고 있다. ASHRAE에서는 사람의 온열감을 7 단계로 나눈다.

[표2.8] ASHRAE 온열 척도

상태	추움	서늘함	약간 서늘함	적당함	약간 따뜻함	따뜻함	더움
척도	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

- Fanger의 실험결과를 바탕으로 PMV는 다음 공식으로 정량화한다.

$$
\begin{aligned}
PMV = {} & [0.303 \cdot \exp(-0.036M) + 0.028](M - W) \\
& - 3.05 \cdot 10^{-3}[5.733 - 6.99(M - W) - p_a] \\
& - 0.42[(M - W) - 58.15] \\
& - 1.7 \cdot 10^{-5} M(5.867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) \\
& - 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl}[(t_d + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \\
& - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)
\end{aligned}
$$

여기서,

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a),$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38|t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{for } 2.38|t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2.38|t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases},$$

$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \le 0.078\, m^2 K/W \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078\, m^2 K/W \end{cases}$ 이다.

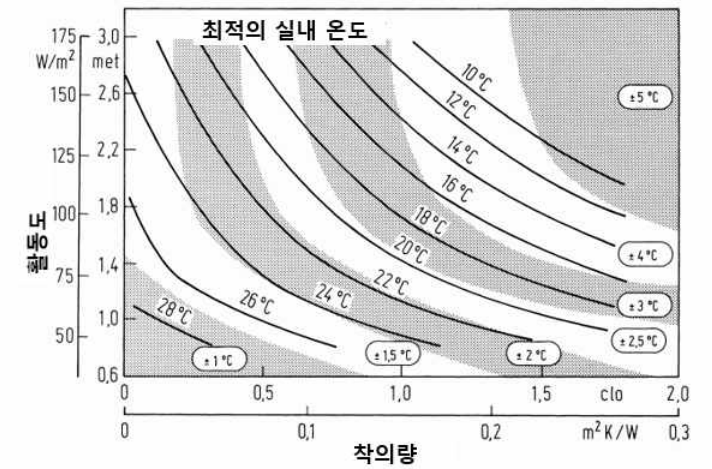
여기서,
M: 대사율(matabolic rate) [W/m2], 1 met = 58 W/m2,
W: 외부일(external work) [W/m2], 대부분의 경우 0,
Icl: 옷의 열관류저항 [m2K/W], 1 clo = 0.155 m2K/W,
fcl: 착의 비율(피부면적과 착의한 피부의 면적비),
ta: 공기의 온도 [℃],
$\bar{t}_r$: 평균 복사열 온도 [℃],
var: 공기의 상대속도 [m/s],
pa: 수증기압 [Pa],
hc: 대류 열전달율 [W/(m2K)],
tcl: 옷의 표면온도 [℃] 이다.

• 앞의 공식에 따라 계산한 PMV가 다음 범위 내에 있을 때 쾌적한 상태라고 판단한다.

[표2.9] PMV의 쾌적성 범위

범주	PMV	작용온도 [℃]	
		난방(겨울철), ~ 1.0 clo	냉방(여름철), ~0.5 clo
A	-0.2 < PMV < +0.2	21.0 ~ 23.0	23.5 ~ 25.5
B	-0.5 < PMV < +0.5	20.0 ~ 24.0	23.0 ~ 26.0
C	-0.7 < PMV < +0.7	19.0 ~ 25.0	22.0 ~ 27.0

• 착의량과 재실자의 활동도를 고려한 쾌적한 상태는 다음 그림과 같이 나타낸다.



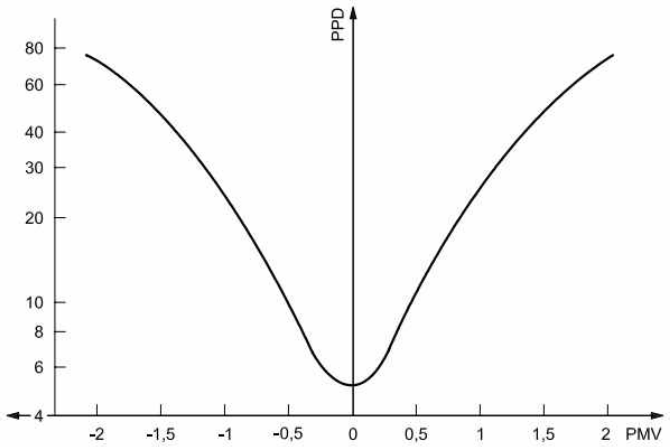
[그림2.13] 활동도와 착의량의 고려한 최적의 실내 온도(PMV=0), 실내 환경 조건 B 범주(-0.5<PMV<+0.5)의 온도차에 따른 쾌적성 범위)

• 예상불만족도(PPD: predicted percentage of dissatisfied): PMV는 동일한 온열 환경에 노출된 수많은 사람들의 온열감을 평균치로 예측한 척도로 평균값의 수치를 중심으로 흩어져 있다. 따라서 실제로 사용하기에는 적당한 다른 척도가 필요하다. PPD는 예상불만족도를 나타내는 지표로 몇 명의 사람들이 쾌적함을 느끼는지를 숫자로 예상할 수 있는 편리한 방법이다.

• PPD는 PMV로부터 유도할 수 있다.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2)$$

[표2.10] PMV와 PPD와의 관계



상태	추움	서늘함	약간 서늘함	적당함	약간 따뜻함	따뜻함	더움
척도(PMV)	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
비율(PPD)	75 %	25 %	10 %	0 %	10 %	25 %	75 %

• 실내 쾌적성 판단 기준: 앞의 요소들을 종합하면 다음과 같은 범위 내에 있을 때 쾌적한 상태라고 말할 수 있다.

[표2.11] 종합적 쾌적성 범위

범주	전체 종합		국소 열적 불쾌감			
	PPD	PMV	DR [%]	수직온도차 [%]	바닥온도 [%]	복사불균형 [%]
I	< 6	-0.2<PMV<+0.2	<10	<3	<10	<5
II	< 10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
III	< 15	-0.7<PMV<+0.7	<30	<10	<15	<10
IV	>15	PMV<-0.7 or > +0.7	>30			

(5) 국내 패시브하우스 경제성 평가 연구

- 일반건축물에 비해 초기투자비용이 높다는 점은 패시브하우스 보급화에 장애요인으로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 패시브하우스에 대한 경제성을 분석하여, 향후 확대 실시나 본격적인 제도 도입 시 이에 대한 근거를 제시하고자 한다.

- 본 연구에서는 패시브 하우스 건축에 의한 추가 비용과 각 연도별 발생하는 에너지 비용을 현재가치화 한 비용을 합산하여, 일반주택으로 건축했을 때의 비용과 에너지 비용의 현재가치화 비용을 합산한 결과와 비교 분석하였다.

- 에너지물가 상승의 추정은 2010년을 기준으로 한 통계청[16]의 지출목적별 소비자물가지수 중 에너지 소비자물가지수에 근거 하여, 전국과 전북지역의 물가 상승률을 고려하여 산출하는 것으로 하였다. 물가상승률의 추정 공식과 물가 상승 추정 값은 다음과 같다.

[표2.12] 물가상승률 계산식

$$\text{물가상승률} = \frac{\text{비교년도물가} - \text{기준년도물가}}{\text{기준년도물가}} \times 100$$

- 또한 경제성 분석에서 건물의 유지 관리 비용과 주택시장에서 발생하는 부동산 가치 상승요인은 본 경제성 분석에서 제외하였다. 건물의 유지비용의 경우, 동일 조건에서 일반건축물과 패시브하우스의 내구연한 및 유지비용을 비교할 수 있는 구체적인 근거 자료가 없으며, 주택시장에서 발생하는 가치의 상승은 에너지의 효율에 의한 요인 보다는 다른 부동산 시장 요소들에 의해 결정되기 때문이다.

- 제외된 두 가정들은 패시브하우스의 경제성 추정에 다소 유리하게 작용될 요소들로 사료되며 이들을 제외하는 것이 본 연구 결과에서 패시브하우스에 불리한 영향을 미치는 보수적 방향으로 작용할 것으로 사료되나, 본 연구의 경제성 평가에서는 에너지 물가 상승률과 할인율을 고려하여 손익분기점을 도출하도록 하였다.

16) http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=C

2. 연구수행과정

가. 1차년도 연구수행일정

[표2.13] 1차년도 연구수행일정

연구목표	연구내용	2011년			2012년				
		10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
독일 패시브하우스 인증 분석연구	패시브하우스 관련 독일 인증제도 및 취득과정 분석	■							
	국외 패시브하우스 기인증주택 문헌조사	■							
독일 패시브하우스 관련 국가 제도 분석 연구	독일/EU 패시브하우스 실현을 위한 국가정책 및 지원제도 분석		■						
한국형 패시브하우스 실현방법 연구 및 기본·실시설계	패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토			■	■				
	국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토			■	■				
	패시브하우스에 사용되는 국내외 자재 및 성능 비교검토				■	■	■	■	
	패시브하우스 관련 국내외 고효율 설비 성능 비교검토				■	■	■	■	
	국내 패시브하우스 시범주택 선정 및 설계	■	■	■	■	■	■	■	■
	에너지시뮬레이션 분석			■			■		
	열교시뮬레이션 디테일검토						■	■	■

나. 2차년도 연구수행일정

[표2.14] 2차년도 연구수행일정

연구목표	연구내용	추 진 일 정(월별)															
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
한국형패시브하우스 설계, 실현	진단시스템연구 및 시스템 구축							■									
	시공방법연구 및 실증	■	■	■	■	■											
	품질보증 및 감리표준개발			■	■	■	■	■									
	인증취득 및 세부과정분석					■	■	■	■	■							
	사용자 매뉴얼 개발									■							
한국형 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 연구	모니터링 설계 및 설치							■									
	모니터링 매뉴얼 개발					■											
	모니터링관련 거주자 매뉴얼 개발						■										
	모니터링 데이터처리 및 분석							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	모니터링 결과 검증 및 분석																■
국내 제도 개선 제안	에너지절약 관련 정책 개선안 도출	■	■														
패시브하우스 쾌적성 분석	문헌조사 실시			■													
	환경모니터링 수집계획				■												
	지속적 환경모니터링자료 구축 및 분석						■	■	■	■	■		■		■	■	■
국내 패시브하우스 경제성평가	패시브하우스 경제성평가 계획수립														■	■	■
	패시브하우스 경제성 평가														■	■	■

제3절 연구수행결과 및 검증방법

1. 1차년도 연구수행결과 및 검증방법

[표2.15] 1차년도 성과목표

성과질적목표점검	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점:1~5)
							목표수준		측정방법	검증방법		
							목표치	달성치				
	1	한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가	1-1	한국형 패시브하우스 관련 연구	①	국내 연구 논문(1) 건수	1건	1건	국내 학술지 논문 게재	논문	40%	5
			1-2	한국형 패시브하우스 실현	①	에너지시뮬레이션 분석 건수	1건	1건	프로그램 분석 결과 보고서 확인	보고서	30%	5
					②	열교시뮬레이션 부위별 건수	5건	32건	프로그램 분석 결과 보고서 확인	보고서	30%	5
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 ×가중치)										100%	5
양적지표점검	성과분류		목표				목표건수	달성건수	증빙	인정건수	달성율(%)	가중치	달성평점
	사업연계지표		패시브하우스 디자인 출원 신청				1건	-	출원	-	-	100%	-
	종합점수 = Σ (성과별달성율×가중치)											100%	-

2. 2차년도 연구수행결가 및 검증방법

[표2.16] 2차년도 성과목표

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점:1~5)
							목표수준		측정방법	검증방법		
							목표치	달성치				
성과질적목표점검	2	한국형 패시브하우스 인증모형 개발 및 쾌적지수에 따른 경제성평가	2-1	한국형 패시브하우스 실현	①	패시브하우스 자재인증 기준을 획득한 제품 적용 건수	3건	3건	실시설계 반영 확인	도면	20%	5
					②	디테일 및 시공방법 적용 건수	5건	5건	실시설계 반영 또는 시공사진 확인	도면 또는 보고서	20%	5
					③	건축물 기밀성 최대 0.6회 이하	100%	0.39	진단 결과 연구보고서 포함	보고서	30%	5
					④	모니터링 방법 적용 건수	3건	6건	사진 및 현장확인	보고서	20%	5
					⑤	정책제안 건수	3건	4건	연구보고서 포함	보고서	10%	5
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)										100%	5

	성과분류	목표	목표건수	달성건수	증빙	인정건수	달성율(%)	가중치	달성평점
양적지표점검	사업연계지표	국내 연구논문(2) 건수	1건	2건	국내게재	1건	100	25%	5
		국제 연구논문 건수	1건	1건 17)	SCI 게재	1건	100	25%	5
		패시브하우스 디자인 출원 신청	1건	1건	출원	1건	100	20%	5
		패시브하우스 인증 취득	1건	1건	인증서	1건	100	30%	5
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)							100%	5

17) 독일 PHI 인증취득에 따라 PHI 공식 홈페이지(www.passiv.de)에 익산 패시브하우스 프로젝트 게재

제3장 최종연구성과 및 적용실적

제1절 한국형패시브하우스 개발

1. 한국형 패시브하우스의 개념

- 한국형 패시브하우스는 독일에서 패시브하우스 연구소에서 정의하는 기준을 차용하되 한국의 기후, 생활방식 그리고 거주자의 요구에 따른 차이를 인정하여야 한다.

- 한국의 기후는 여름철은 고온다습하고 겨울철은 저온건조하여 겨울에는 독일 패시브하우스 기준을 통해 실내의 열적 쾌적감을 만족시킬 수 있으나, 여름철에는 독일보다 한국이 습기가 많아 제습에 대한 고려가 필요하다. 제습을 위해서는 별도의 에어컨이나 제습장치가 설치되어야 한다.

- 한국의 생활방식은 바닥난방문화이다. 독일 패시브하우스에서는 겨울철 외부로부터의 열획득과 실내발열량 그럼에도 불구하고 필요한 난방열은 폐열회수환기장치로부터 열공급을 하고 있다. 그러나 한국에서는 공기난방방식을 선호하지 않는 이유로 바닥난방에 대한 고려가 필요하다. 고단열과 고기밀이 확보된 패시브하우스에서 필요이상의 열공급을 하지 않기위해서는 바닥난방을 설치할 때 온수온도와 온수파이프의 밀도를 조정하여 설계하여야 한다.

- 한국인이 선호하는 주택공간이 아파트에서 주로 보여지는 거실 중심형 공간이라고 생각되어질 수 있으나, 현 국내 단독주택유형을 살펴보면 ㄴ자 유형을 더 선호하는 것으로 나타나고 있다. 물론 평면의 형태는 면적대비 둘레길이가 짧을수록 주택에너지 효율을 향상시킬 수 있으나, 국내 연구결과에 의하면[18] 거실을 독립된 실로 활용하려는 경향에 의해 신도시 등에 채 나눔형 공간계획에 대한 선호도가 높아, 평면 및 매스가 분절되는 형태의 주택이 선호되고 있음을 밝힌 바 있다. 이 이외에도 ㄴ자의 선호도는 안마당을 끌어안는 모양이며 외부와 사적인 개별공간을 구분하는데 가장 적합하다고 인식하기 때문이다. 한국인이 희망하는 사항을 고려한 주거유형이 패시브하우스로 완성도를 가질 수 있도록 계획단계에서부터 에너지시뮬레이션을 통해 패시브하우스화 시킬 수 있도록 계획 및 설계되어야 한다.

- 독일에서 정의하는 패시브하우스는 연간 난방부하 10W/㎡a, 온대기후에서 연간 단위면적(m2)당 난방에너지요구량이 15kWh/㎡a이하이고, 1차 에너지소요량이 120kWh/㎡a 이하를 소비하는 건축물로 보고 있다. 이 정의는 전통적인 기계 냉난방 설비를 사용하지 않고도 건물 단열외피를 강화하고 기밀성을 높여 환기시스템 최적화를 통해 사계절 쾌적한 실내환경을 유지하는 건축물을 의미한다. 이러한 독일의 패시브하우스의 기준을 한국의 기후, 생활방식, 거주자의 요구와는 별도로 가능하면 그대로 차용하여 기준을 설정하여야 하는 이유는 거주자가 느끼는 실내의 열적 쾌적성

18) 양천규, 국내 단독주택의 평면구성 유형분류에 관한연구-1980년대 이후의 작가주택을 중심으로, 인하대학교 건축공학석사학위논문, 2005년 2월

을 만족시키기 위해서이다. 관류율값 하향, 기밀도 조정, 냉난방부하량 조정 등을 통해 한국형 패시브의 기준을 재 설정하고자하는 노력이 빈번히 나타나고 있으나, 이는 단순히 패시브하우스를 에너지를 줄이는 주택으로 간주하기 때문이라고 할 수 있다. 따라서 패시브하우스를 설계할 때는 주택의 에너지절약 성능측면에서 기준을 언급하기 보다는 실내 거주자가 느끼는 쾌적성이 더 우선되어야한다. 익산패시브하우스의 쾌적성 분석 내용은 3장에 추가하여 정의하였다.

2. 한국형 패시브하우스의 핵심요소기술

가. 에너지성능 및 디자인계획

(1) 국외 패시브하우스 인증주택 현황분석

- 패시브하우스는 연간 난방부하 10W/㎡a인 건물을 패시브하우스로 정의하며 이는 통상 온대기후에서 연간 단위면적(m2)당 난방에너지요구량이 15kWh/㎡a이하이고, 1차 에너지소요량이 120kWh/㎡a 이하를 소비하는 건축물로 보고 있다. 이 정의는 전통적인 기계 냉난방 설비를 사용하지 않고도 건물 단열외피를 강화하고 기밀성을 높여 환기시스템 최적화를 통해 사계절 쾌적한 실내환경을 유지하는 건축물을 의미한다. 이 기준에 따라 패시브하우스는 자연에너지와 내부발생열을 적극적으로 활용하여 외부로 빠져나가는 열손실을 최소화함으로써 건축물 부문 에너지절약의 표준이 되고 있으며, 주택의 성능에 관한 인증은 독일패시브하우스연구소(Passivhaus Institut, 이하 PHI)에서 관할하고 있다.

- 건물의 계획 과정에 있어 초기 디자인단계에서 설계개념을 도입할수록 생애주기비용은 낮아지고 적용기술 및 개념에 대한 효과가 크다는 사실은 이미 많은 연구를 통해 지적되었다.[19] 따라서 한국형 패시브하우스의 초기계획단계에서 에너지절약기술요소 도입에 대한 최대효과를 구현하기 위해, PHI의 인증을 획득한 국외 패시브하우스를 중심으로 초기설계단계에서 고려한 에너지절약기술요소 적용현황을 분석하였다.

(가) 현황분석요소

- 패시브하우스 인증주택 현황분석을 위해 한국 건축사법(국토해양부 고시 제 2009-129호)의 업무범위 내에서 법규검토나 프로젝트 공정, 자료조사 등을 제외하고 설계개념계획 및 건축계획에 필요

19) Stadlöder, Paul: Implementierung des Facility Management in der Planungsphase, in: Kippes, Stephan/Sailer, Erwin: Immobilienmanagement, Stuttgart, Boorberg, 2005, S. 352-365, Gantenbein, Kurt: Immobilienrentabilisierung und Wertsteigerung, in: Schalcher, Hans Rudolf(Hrsg.): Immobilienmanagement - Finanzierung und Bewirtschaftung von Geschäftsliegenschaften, Zürich 2003, S. 89-103, Herzog, Kati: Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen-Entwcilung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden, “Diss”, Darmstadt 2005, Friedemann, Tajo: Energieeffizienz - Wettbewerbsfähigkeit durch energieeffiziente Immobilien steigern? - Anspruch & Wirklichkeit. Präsentation auf dem Enreso-Workshop am 01./02. April 2008., Giesa, Ingo: Prozessmodell für die frühen Bauprojektphasen, “Diss.”, Darmstadt, 2010

한 요소 중 건축물 에너지성능과 관련된 계획요소를 중심으로 분석하였다.

- 개별 계획요소들은 주향, 매스 형태, 건물 깊이, 공간위치, 서비스공간 자연환기 가능성, 방위별 창호비율, 지붕형태, 차양계획 등 요소적 해석(Vocabulrary)과 공간연계, 공간구성, 맞통풍을 통한 여름철 자연환기계획, 기계환기 최적화 평면 유형 등 구문적 해석(Syntax)으로 구분될 수 있다. 또한 직접적으로 건물의 에너지성능에 영향을 줄 수 있는 요소와, 에너지성능에 직접적인 영향은 없지만 다른 에너지 절약 설계요소들이 성공적으로 기능하기 위해 고려될 수 있는 요소들도 포함시켜 다음과 같은 분석요소를 도출하였다.

[표3.1] 패시브하우스 인증주택 현황분석요소

구 분	현황분석 요소
건축물 배치	주향 배치
건물형태분석	건물의 형태
평면구성	실별 위치
	공간관계
	환기방식
입면구성	창호비율
	외부차양
구조 및 공법	건물의 외벽구조
	벽면단열재
	벽면 외장재
설비분석	폐열회수 환기장치
	난방방식

(나) 현황분석 대상주택 선정 및 개요

- PHI에서 패시브하우스 인증을 취득한 독일 내의 주택을 분석대상으로, 분석자료는 PHI에서 독일 패시브하우스협회 (IG-Passivhaus)를 통해 제공하는 인증건물보고서(Passivhaus Objektdokumentation)를 참고하여, 현재 독일 내의 약 240개의 PHI 패시브하우스 인증주택 중, 본 연구는 인증건물보고서가 공개되어 있는 주택 중 설계상세도면(배치도, 평・입・단면도, 건물외피 및 구조, 창호의 상세 등)의 유무, 폐열회수환기장치 및 냉난방설비 정보 및 배관배선에 대한 정보 유무에 따라 35개 주택을 선정하였으며, 현황분석 연구대상의 기본개요는 [표3.3]과 같다.

- 충분한 사례를 확보하기 위하여 단독주택 외에 소수의 공동주택 사례를 포함시켰으며, 비교연구에서 단위주택의 세대수로 인한 영향을 최소화하기 위하여 배치, 건물의 형태, 건물의 깊이, 창호계획, 외장마감재, 지붕의 형태, 차양의 설치 등은 건물 전체를 기준으로 비교하였고, 공간위치계획, 공간관계구성, 공간구성계획, 환기계획 등은 공동주택의 단위세대(기준층 평면)를 대상으로 비교하

였다.

- 분석자료로 선정된 총 35개의 독일 인증 패시브하우스의 주요 패시브하우스 인증관련 지표는 다음과 같다.

[표3.2] 해당 값들의 전체 평균

독일 TFA 당 평균공사비 (만원/㎡)	연간난방에너지요구량 (kWh/㎡a)	난방부하량 (W/㎡)	1차에너지 소요량 (kWh/㎡a)	기밀성 (n50=0.xx/h)	폐열회수환기장치효율 %
260.84	14.00	11.07	91.96	0.37	82.36

[표3.3] 사례연구 대상 기본개요

건물명	위치 (기후지역)	연도	층수	세대수	TFA 면적 [㎡]	주향	매스유형	구조	외장재	기밀성 [n50]	폐열회수환 기장치효율 [%]	난방 부하 [W/㎡]	난방에너지 요구량 [kWh/㎡yr]	1차에너지 소요량 [kWh/㎡yr]	TFA당 평균 공사비 [만원/㎡]
Einfamilienpassivhaus Halle/Saale[1]	Halle (Leipzig)	2002	2	1	136	남	凸	경량	EIFS	0.49	78	10.9	15	104	229
Wohngebäude in Berlin - Mitte[1]	Berlin (Potsdam)	2009	6	20	2208	남동	口	혼합	EIFS	0.51	84	10	15	93	328
Doppelhausneubau Hamburg[1]	Hamburg (Hamburg)	2008	2	2	294	-	口	경량	목재	0.26	91	9	13	74	257
Passivhaus „Parkhaus “[1]	Hamburg (Hamburg)	2003	8	19	1486	남	凸	중량	EIFS	0.2	81	-	12.9	118.5	341
Wohnhausanbau Familie Ziebart[1]	Norderstedt (Hamburg)	2005	2	1	106	남	凸	혼합	목재	0.54	80	9.7	14	83	321
Einfamilienwohnhaus in Eystrup[1]	Eystrup(Hannover)	2005	2	1	207	남	凸	중량	EIFS	0.32	83	9.6	15	96	168
Haus Carmen in Künzell / Fulda[1]	Künzell (Stuttgart)	2000	2	5	448	남서	口	중량	EIFS	0.31	83	-	14	77	-
Passivhaus in Everswinkel[1]	Everswinkel (Münster)	2001	2	1	206	남	口	경량	목재	0.43	80	-	14.8	103	-
Passivhaus Lindlar-Hohkeppel[1]	Lindlar (Köln)	1998	2	2	155	남	口	경량	EIFS	0.45	90	-	10.9	55.7	-
Passivhaus Hanssen-Höppener[1]	Selfkant (Köln)	2007	2	1	207	남	凸	혼합	기타	0.1	76	-	15	111	-
Reihenpassivhäuser Darmstadt Kranichstein[1]	Darmstadt (Frankfurt)	2006	3	9	151	남	口	중량	EIFS	0.49	84	12	12.1	88	227
Passivhaus Darmstadt Kranichstein[2]	Darmstadt (Frankfurt)	1991	3	4	156	남	口	중량	EIFS	0.22	80	9.1	10.5	52.9	276
Einfamilienhaus in Schifferstadt[1]	Schifferstadt (Mannheim)	2008	2	1	189	-	凸	경량	EIFS	0.6	92	12	15	116	249
Einfamilienhaus in Alsheim[1]	Alsheim (Mannheim)	2007	2	1	261	남	口	경량	목재	0.32	88	11.4	15	59	249
Einfamilienhaus in Dossenheim[1]	Dossenheim (Mannheim)	2009	2	1	159	남	口	경량	EIFS	0.58	78	11	15	107	250
Einfamilienhaus in Rauenberg[1]	Rauenberg (Mannheim)	2008	2	1	179	동	口	경량	기타	0.41	78	12	15	88	266
EFH in Weinheim - Lützelsachsen[1]	Weinheim (Mannheim)	2008	3	2	252	서	凸	경량	EIFS	0.39	85	11	15	118	249
MFH „Maurener Weg “ in Böblingen[1]	Böblingen (Stuttgart)	2007	4	4	307	동	口	혼합	EIFS	0.35	79	11	15	116	280
EFH „Schöllkopf “ Rottenburg- Wurmlingen[1]	Rottenburg (Stuttgart)	2004	2	1	179	남	凸	경량	목재	0.57	92	12.1	14	85	245
Einfamilienhaus in Pfullingen[1]	Pfullingen (Stuttgart)	2009	2	1	125	남	口	경량	EIFS	0.32	77.7	12	15	103	-
EFH Oehler in Bretten[1]	Bretten (Stuttgart)	1997	2	1	161	남동	口	경량	목재	0.56	82	-	12.1	93.4	264
EFH „Walter “ in Gaggenau[1]	Gaggenau (Stuttgart)	2010	3	2	271	남	口	중량	EIFS	0.45	78	10	13	83	-
EFH „Karcher “ in Rheinau-Helmlingen[1]	Reihnau (Stuttgart)	2004	2	1	157	남동	口	중량	EIFS	0.57	89	11.2	15	87	-
Passivhaus Sonnenfeld Ulm/Donau[2]	Ulm (Stuttgart)	2005	2	2	245	남서	口	중량	EIFS	0.2	78	11.6	14	113	-
Stadtreihenhäuser „STADTGESTALTEN “[1]	München (München)	2006	3	8	1266	남동	口	경량	목재	0.34	81	9.9	14	83	254
PH Vallentin mit Büro u. Carpot[1]	Dorfen (München)	2005	1	2	169	남	凸	경량	목재	0.38	81	15.4	15	75	211
Plushaus in Passivhausbauweise[1]	Augsburg(München)	2007	2	1	273	남동	凸	중량	EIFS	0.21	88	8.6	12	48	316
Einfamilienhaus Auf der Egg Steingaden[1]	Steingaden (München)	2006	2	1	185	남	口	경량	목재	0.42	75	9.3	15	116	240
Passivhaus Magnestraße Weitnau[1]	Weitnau (Oberstdorf)	2006	2	1	216	남	口	경량	목재	0.4	75	11.5	14	113	216
Reihenhauszeile in Ruderatshofen[1]	Immenhofen (Oberstdorf)	2007	2	4	402	서	口	경량	목재	0.32	78	12.8	14.8	114	246
Passivhaus Ulm-Sonnenfeld[2]	Ulm (Stuttgart)	2007	2	2	272	남	凸	중량	EIFS	0.36	88	13.3	15	101	276
Passivhaus Motschenbacher[1]	Blaustein (Stuttgart)	2005	2	1	165	남서	凸	중량	EIFS	0.25	77	11.8	15	105	308
Einfamilienhaus in Adlitz bei Erlangen[1]	Uttenreuth (Nürnberg)	2010	1	1	180	남	口	경량	목재	0.3	88	9	13	88	-
Einfamilienhaus Woelki[1]	Langensendelbach (Nürnberg)	2008	2	1	155	남	口	경량	목재	0.2	90	11	14	61	255
Passivhaus Hieber in Weikersheim[1]	Weikersheim (Würzburg)	2006	3	1	280	남	口	중량	EIFS	0.16	75	12.7	13	90	-
평균										0.37	82.4	11.1	14.0	92.0	260.8

[1] 출처: http://www.ig-passivhaus.de/ > INFO MATERIAL > Objektdokumentation
[2] 출처: http://www.passivhausplaner.eu/download/Objektdokumentation
[3] EIFS: 외단열미장마감공법 (Exterior Insulation Finishing System)

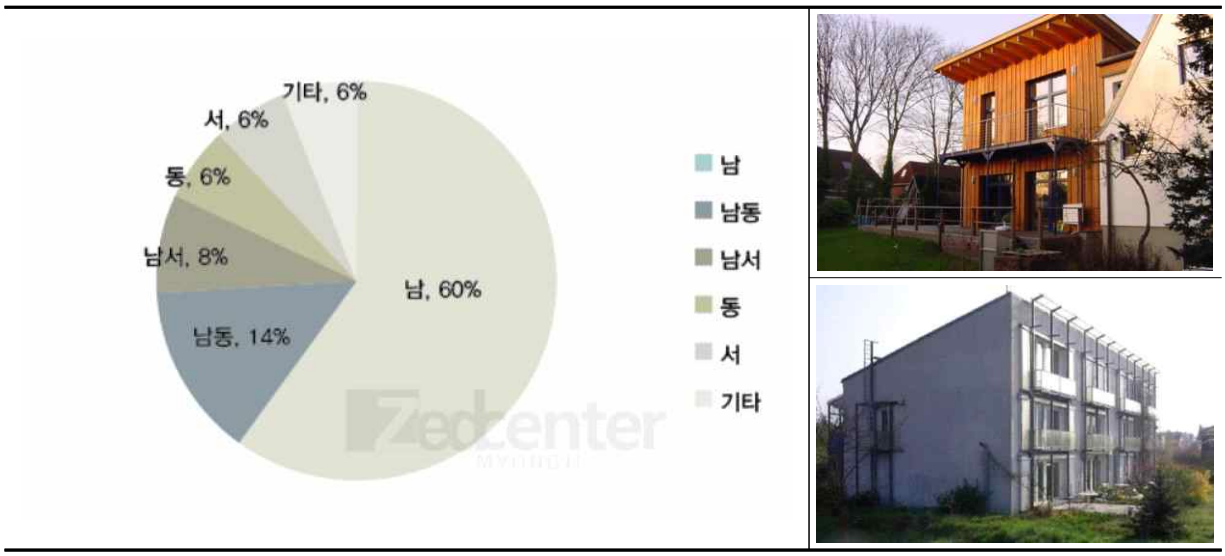
(다) 현황분석결과

1) 주향의 배치

- 대부분의 패시브하우스는 태양열을 최대로 이용할 수 있도록 남향배치가 60% (22건)를 차지하나 대지에 종속되는 건축물의 특성상 지형 및 대지 현황에 따라 남·동향 14%(5건), 남·서향 9%(3건), 동향 6%(2건), 또는 서향 6%(2건)으로 배치한 인증사례도 볼 수 있었다.

- 분석대상사례들이 모두 패시브하우스 인증대상이므로 주향과 상관없이 모두 패시브하우스인증 조건인 연간난방에너지요구량 15kWh/㎡a는 만족하는 것으로 보인다. 그러나 전반적으로는 남향배치만 상대적으로 높은 벽체 열관류율 값(0.14W/㎡K)에서도 낮은 난방에너지요구량(10.5kWh/㎡a)을 보이며 동향이나 서향은 상대적으로 좋은 열관류율 (0.10W/㎡K와 0.12W/㎡K)에도 불구하고 연간 난방에너지요구량은 겨우 15kWh/㎡a를 만족하는 수준이다.

- 따라서 남향배치는 패시브하우스인증조건을 만족하기한 필요조건은 아니지만 남향으로 배치할 수록 단열외피의 단열성능을 높이기 위해 필요한 추가적인 비용들을 줄일 수 있고 벽체의 두께도 줄일 수 있는 것으로 보인다.

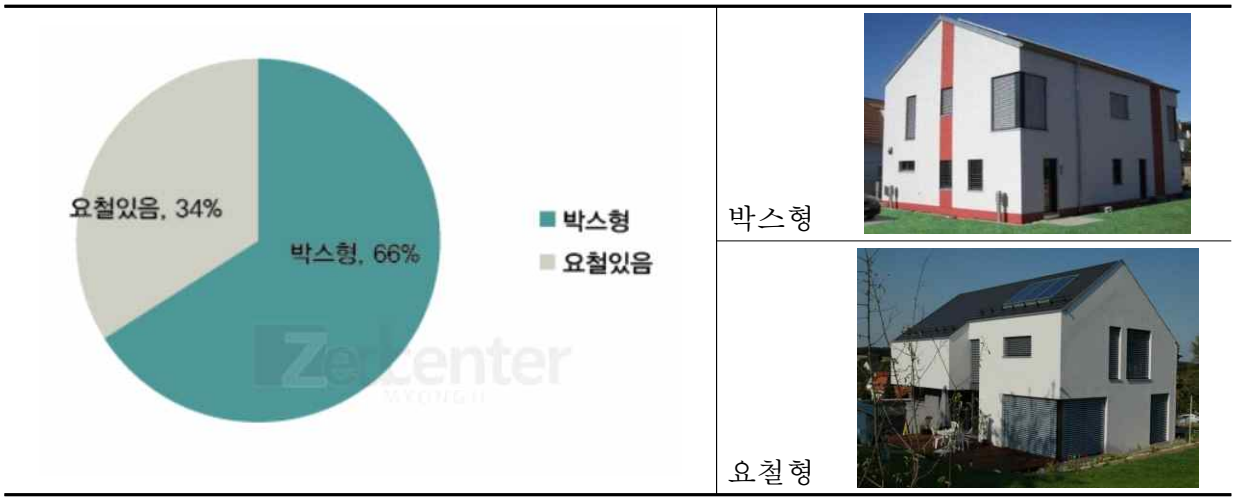


[그림3.1] 건물의 주향 분포

2) 건물의 형태

- 패시브하우스의 평면의 요철이 건물에너지성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 먼저 분석대상 인증주택들을 평면에 요철이 있는 타입과 요철이 없는 타입으로 분류한 결과 약 2/3의 주택들이 요철이 없는 컴팩트한 평면을 가지고 있고, 나머지 1/3은 여러형태의 요철을 가지고 있는 것으로 보인다.

• 다만 전반적으로 박스형의 경우 높은 벽체 열관류율값(0.125W/㎡K 이상)이 나타나는 빈도가 높고 외벽 열관류율값이 0.138W/㎡K인 경우에도 낮은 난방에너지요구량(10.5kWh/㎡a)을 보인다. 반면 요철이 있는 경우는 전반적으로 박스형에 비해 외벽 열관류율 값이 낮은 편이며 외벽 열관류율 0.08W/㎡K의 낮은 값에서도 연간 난방에너지요구량은 14kWh/㎡a 수준에 머무르는 경우도 있다. 따라서 건물의 형태가 결정적인 패시브하우스 설계요소는 아니나 벽체의 단열성능을 효율적으로 확보하는 데 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.



[그림3.2] 건물 형태에 따른 인증주택 사례 분류

3) 실별 위치

• 거실의 경우 전체 분석대상사례의 94%에서 거실의 위치가 주향방향으로 배치되었고 나머지는 특별히 건물 배치 상 주향과 북측거실이 오픈형으로 통하거나 정원 등의 위치에 따라 주향이 아닌 위치에 배치된 것으로 보인다.

• 부엌의 경우 뚜렷한 선호도 없이 평면 내에 분포되어 있기는 하나 기존에 기능상의 요구에 따라 주향이 아닌 곳에 화장실 등의 수공간과 그룹을 이뤄 배치되는 방식에서 벗어나 거실과 오픈형으로 주향방향에 나란히 배치되는 비중(약 51%)이 늘어나는 것으로 보인다.

• 출입구의 경우 대부분 주향이 아닌 주향 반대편(약 66%)에 위치되어 있다. 부분 위치 별로는 주향의 반대편 가운데 부분이 (약 42%)로 가장 많은 비중을 차지하고 그 외에 평면의 오른쪽 가운데 부분이 약 15% 그리고 주향 반대편의 가장자리 부분이 각각 14%를 차지하고 있다. 이는 태양에너지를 많이 받을 수 있고 자연채광이 잘되는 주향부분을 대부분 거실로 내어주고 출입구 통로 등의 매개공간은 이를 피하여 배치하는 것으로 볼 수 있다.

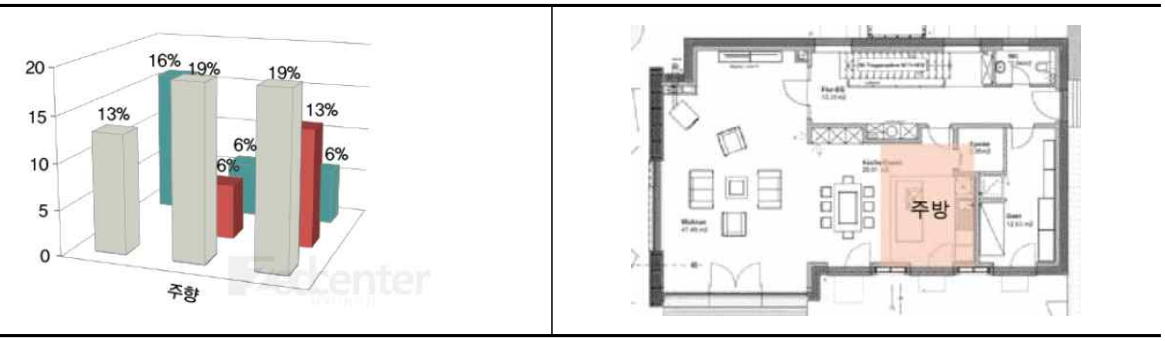
• 기계실의 위치는 단열외피 내외부로 구분하였으며 약 82%가 단열외피 내부에 있었고, 18%만이 단

열외피 외부에 위치하였다. 기계실이 단열외피 내부에 배치되면 패시브하우스 인증을 위한 에너지 성능평가 툴인 PHPP(Passive House Planning Package)에 따라 패시브하우스 인증기준을 만족시키는데 유리할 것으로 보인다. 왜냐하면 기계실이 단열외피 내부에 있는 주택의 경우, 바닥면적의 60%를 에너지 계산 기준 면적에 반영하도록 하여 기계실의 위치와 면적이 난방에너지요구량에 영향을 주기 때문이다[Feist].

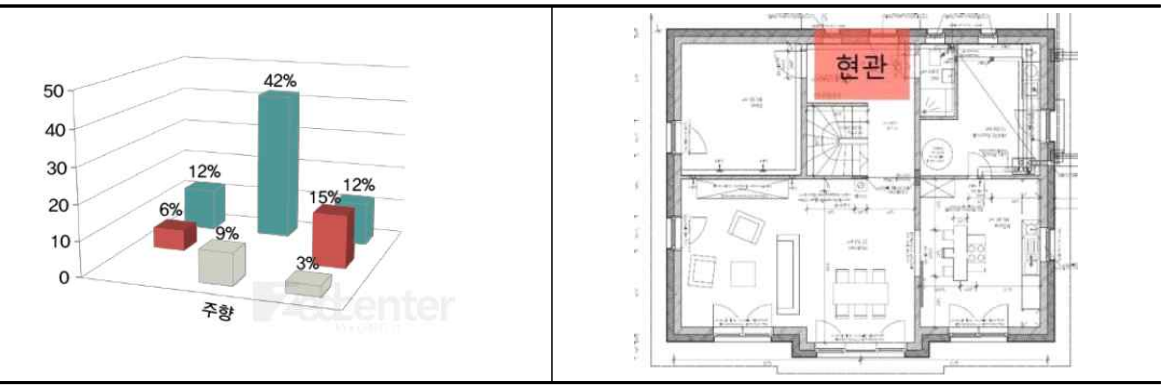
- 기계실은 층별로 지하1층, 1층 또는 2층에 다양하게 배치되어 있었는데, 단열외피 외부에 기계실이 위치한 경우에 주로 지하층에 배치되었다. 또한 2층에 배치된 사례에서는 지붕층에 태양열온수기가 설치되어 있어 배관을 통한 열손실을 최소화하고자 계획된 것으로 보인다.



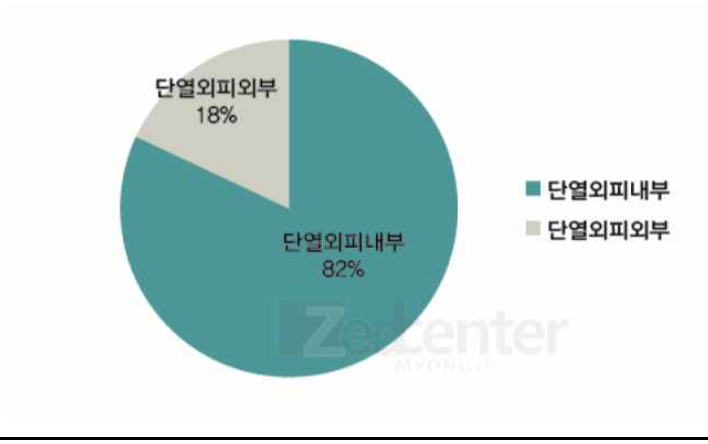
[그림3.3] 거실의 위치분포

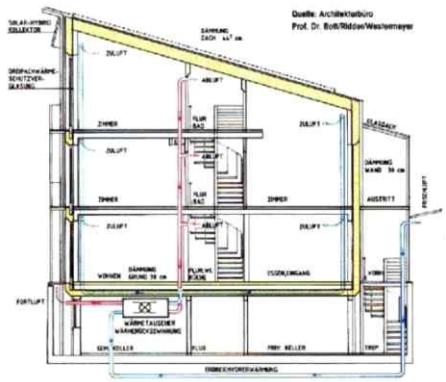


[그림3.4] 주방의 위치분포



[그림3.5] 출입구의 위치분포



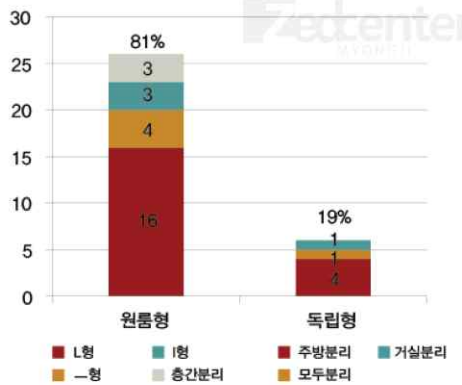


단열외피 외부 기계실

[그림3.6] 기계실의 위치

4) 공간관계 분석

- 거실과 식당 및 주방은 크게 세 가지 기능공간이 한 공간 내에 위치한 원룸형과 이들 중 특정 공간이 개별실로 분리된 독립형으로 나뉘며 약 81%의 패시브인증 주택이 원룸형에 해당하였고, 이 중 61%인 16채 정도가 거실과 식당이 주향에 나란히 위치하고 식당 뒤편으로 주방이 배치되어 있는 L자형 배치로 나타났다. 이러한 배치는 제한된 주향의 공간 너비에 대해 주생활공간을 최대한 효율적으로 배치함으로써 주향으로부터의 채광효과를 극대화하고자 하는 계획으로 평가된다.





원룸형 L형 배치

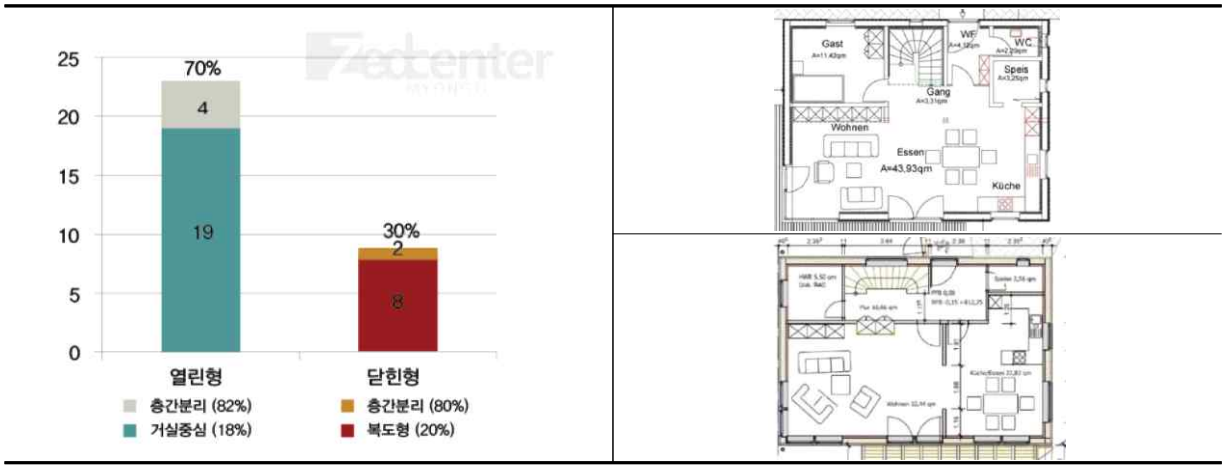


독립형 - 주방분리

[그림3.7] 거실-식당-주방

- 거실과 침실의 경우 별도의 실(예: 복도)없이 직접 연결되는 열린형과 매개공간을 통하는 닫힌형으로 구분하였다. 이 때 거실과 침실이 별도의 층으로 분리되어 계단실이 있는 경우 문의 유무에 따라 닫힌형과 열린형으로 분류하였다. 그 결과 오픈된 공간을 유지하는 열린형이 전체의 70%이었고 이 중 공용공간인 거실과 사적공간인 침실을 다른 층으로 분리하는 경우가 82%를 차지하였

다. 이는 주택 내부의 에너지 및 공기 순환에 유리한 열린 공간배치를 지향하되 그 안에서 프라이버시를 보장할 수 있는 평면타입을 선호하기 때문으로 보인다.



[그림3.8] 거실-침실

- 주택 내의 서비스공간은 수직덕트 1개를 중심으로 집중적으로 배치되는 중심코어형과, 수직덕트를 2개로 나누어 배치하는 이중코어형 그리고 수평설비층을 통해 배관을 분배하는 수평분배형으로 나뉜다. 이들 중 서비스공간의 위치를 자유롭게 결정할 수 있되 상대적으로 배관 길이가 길어질 수 밖에 없는 수평분배형은 17%로 비중이 낮았으며, 가장 배관의 길이가 짧은 중심코어형이 48%, 배관의 길이를 줄이되 서비스공간의 위치를 기능적으로 나눌 수 있는 이중코어형이 35%에 해당하여 배관을 통한 열손실을 최소화하고 있었다.



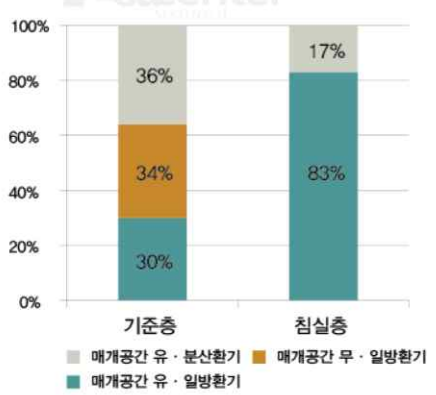
[그림3.9] 거실-침실

5) 환기방식에 따른 평면구성

- 건물 전체의 자연환기 성능을 평가하기 위해서는 주택의 전체 바닥면적 중 맞통풍이 가능한 면적의 비율이 고려되었다. 통상적으로 맞통풍을 통한 환기는 한쪽 창문만으로 환기하는 것보다 환기속도를 2~3배 빠르게 증가시키며 여름철 냉방부하 저감에 중요한 것으로 간주된다[Pisthol(2009), Maas(2003)]. 본 연구에서 매개공간이 하나 이상이거나 벽에 의해 이중으로 막혀 있는 경우는 맞통풍이 가능한 면적에서 제외하였으며, 이에 따라 사례연구 대상주택의 평균 맞통풍 가능면적은 전체 바닥 면적의 66%이며, 단독주택의 평균은 약 70%, 공동주택의 평균은 약 60%로 나타났다. 특히 공동주택의 경우 완전히 기계환기에 의존하는 주택의 예도 2건 있었다. 반면 전체 사례연구 대상주택의 절반이상에서 바닥면적의 70~100%가 맞통풍을 통한 자연환기가 가능한 것으로 나타났다.

- 기계환기의 유형은 평면의 구성과 밀접한 연관을 보였는데, 대부분의 패시브하우스가 주생활공간을 급기 공간으로 서비스공간을 흡기공간으로 구성하고 있기 때문이다. 환기의 형태는 거실층과 침실층 모두 급배기 방향이 한 방향으로 진행되는 형태가 각 63%와 83%로 다수를 차지하였다. 그러나 침실층의 경우는 사적공간이므로 각 실의 구분이 강하여 흡기구가 위치한 서비스공간과 급기구가 위치한 침실 사이에 모든 사례에서 매개공간을 두었고, 거실층의 경우는 매개공간이 없는 경우도 30%정도로 나타났다.





[그림3.10] 실별 기계환기 유형

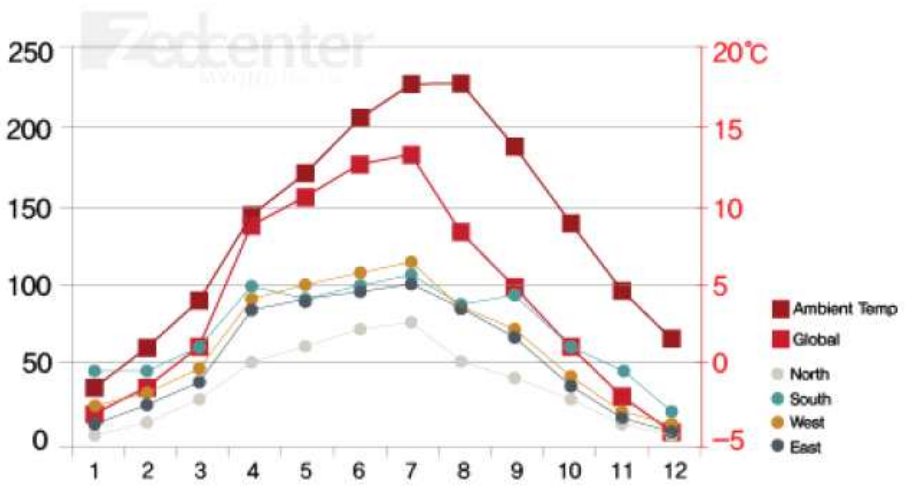
6) 창호비율

- 방위별 창호면적의 비율은 뚜렷한 차이를 보이는데, 전체 사례연구 대상주택의 60%를 차지하고 있는 남향주택만을 기준으로 비교해 볼 때 벽체에 대한 창호의 평균 면적 비가 남측의 경우 56%, 동측 22%, 서측 20%, 북측 11%로 태양열 획득이 많은 남측의 창호면적은 최대화하고 창문을 통한 열획득이 열손실보다 작은 나머지 방위의 창호면적은 최소화하여 단열효과를 높이고자 함을 알 수 있었다.

- 정남향이 아닌 건물에서는 창호를 통한 태양열획득을 최대화하기 위해 거실의 모서리 창호를 적극적으로 활용하는 경우도 남동향 건물의 17%, 남서향 건물의 40%, 동향 건물의 33%정도 찾아볼 수 있었다.

- 남측면 창이 동서 또는 북쪽보다 많은 이유는 독일에서 태양빛을 많이 받아야 하는 겨울철에 남측면이 가장 일사량이 큰 반면 태양빛을 차단해야 하는 여름철에는 남향이 동서향보다 일사량이 적기 때문으로 남향으로 창호를 크게 내는 것만으로 겨울철에는 부족한 태양열원을 보충하고 여름철에는 자연차양시스템을 활용할 수 있게 된다.

[표3.4] 독일의 평균 일사량 및 기온 (출처: PHPP 2007)



7) 외부차양

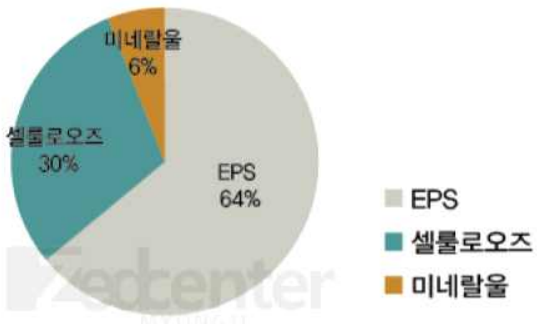
- 독일 패시브하우스 인증에 냉방 기준이 생긴 것이 2002년 이므로 기준이 된 패시브하우스 연구소의 인증사례보고서에는 냉방 기준이 누락되어 있다. 그러나 대부분의 사례주택에 외부차양이 설치되어 있고 형태로는 전동블라인드가 68%로 가장 큰 비중을 차지하며 처마나 발코니를 활용한 사례가 14%, 덧문의 형태가 9%, 그리고 롤 블라인드(어닝)도 3%에 해당한다.



[그림3.11] 분석대상 인증사례주택의 외부차양의 종류

8) 벽면단열재

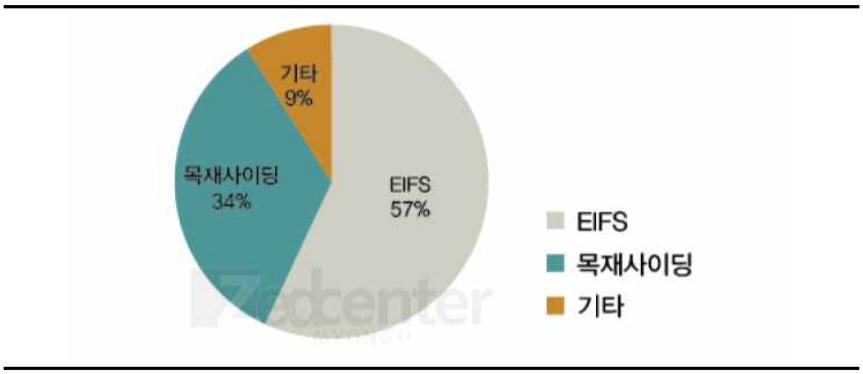
- 패시브하우스에서 외벽 단열재로 가장 선호되는 것은 탄소보강 스티로폼인 네오폴을 포함한 EPS 이며 (약 64%), 그 뒤에 셀룰로오즈가 30%, 그리고 미네랄울 (6%) 등이 사용되고 있다.



[그림3.12] 분석대상 인증주택의 단열재별 분류

9) 벽면외장재

- 독일 인증 패시브하우스의 경우 외장재의 선택은 매우 제한적인 것으로 나타난다. 분석대상 사례 중 57%가 모두 EPS에 드라이비트를 결합하는 EIFS 시스템으로 마감하고 있고 34%정도가 목재 사이딩으로 차후 다양한 입면을 위한 외장재 개발이 필요한 것으로 보인다.

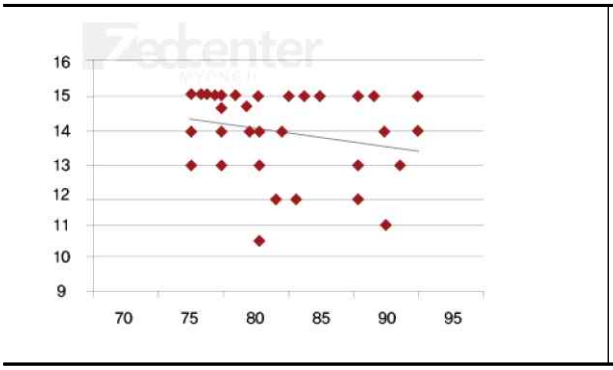


[그림3.13] 외장재 종류

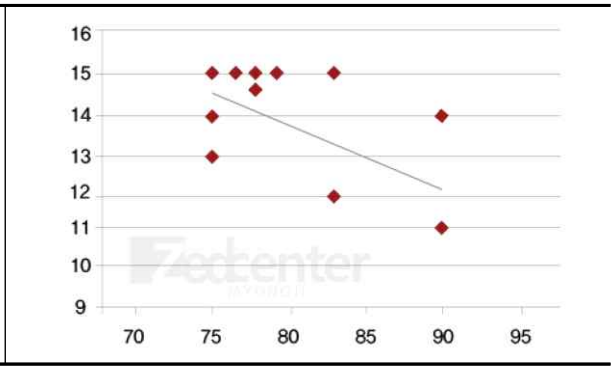
10) 폐열회수 환기장치

- 다음의 두 그래프는 폐열회수환기장치 효율과 난방에너지요구량 사이의 상관관계를 보이고자 함이며 전체 분석대상사례의 폐열회수 환기장치 효율과 난방에너지요구량 사이의 추세선을 보면 완경사로 반비례함을 알 수 있다.

- 여기서 단열로 인한 난방에너지요구량 감소부분을 제거하기 위해 벽체 열관류율이 약 0.11로 동일한 값들만 추려내어 다시 폐열회수 환기장치 효율과 난방에너지요구량의 간의 추세선을 표시했을 때 두 값의 반비례관계가 명확해 지고 추세선의 기울기도 커짐을 볼 수 있다.



[그림3.14] 폐열회수환기장치 효율과 난방에너지 요구량 사이의 상관관계



[그림3.15] 벽체 열관류율이 약 0.11인경우의 폐열회수 환기 장치 효율과 난방에너지 요구량 사이의 상관관계

• 따라서 폐열회수 환기장치의 효율을 높이는 것이 패시브하우스인증조건으로 난방에너지요구량을 낮추기 위한 중요한 요소라고 볼 수 있다. 또한 폐열회수 환기장치의 효율을 높이면 같은 난방에너지요구량에서 벽체 단열성능을 낮출 수 있으므로 단열재의 두께를 얇게 하여 벽체두께를 줄일 수 있다.

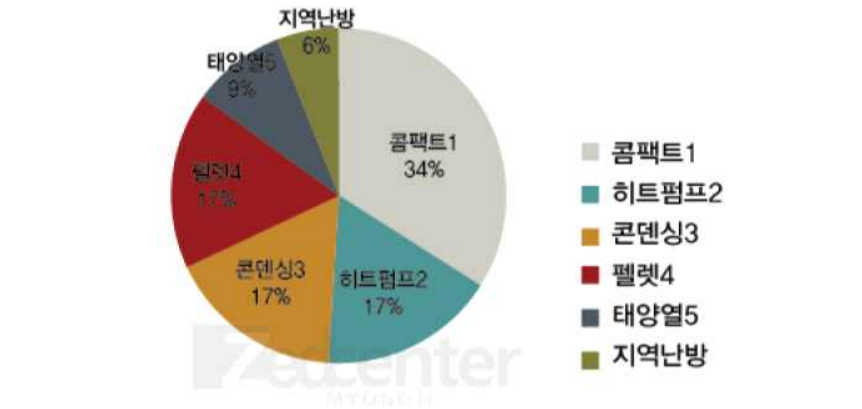
11) 난방방식

• 분석대상 독일인증 패시브하우스의 난방방식은 난방과 공조, 급탕을 통합시킨 콤팩트 시스템이 약 34% 가장 큰 비중을 차지하였다. 콤팩트 시스템은 급기난방이 가능한 패시브하우스의 특징을 살려 설비시스템을 통합함으로써 비용적인 장점이 있다.

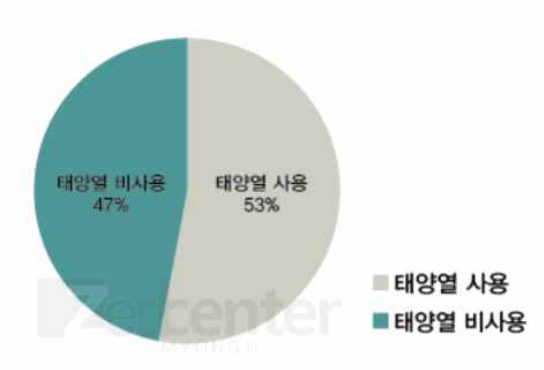
• 패시브하우스는 이론상으로는 별도의 난방장치가 필요없이 환기장치만으로 난방이 가능하나 독일인증 패시브하우스에도 콤팩트 시스템 외에 히트펌프, 콘덴싱보일러, 펠렛보일러를 각각 약 17% 씩 사용하고 있는 것으로 나타난다. 이외에도 태양열이나 지역난방 등 에너지효율을 높일 수 있는 난방기기들도 고려되었다.

• 반면에 기존의 가스 또는 기름보일러가 단 한 대도 검토되지 않은 것은 독일패시브인증이 1차에너지소요량에 대한 기준을 둠으로써 최소한의 열원 뿐 아니라 급탕, 조명, 기타 전기 에너지 등에도 에너지효율이 높은 에너지원을 사용하도록 유도하고 있기 때문으로 보인다.

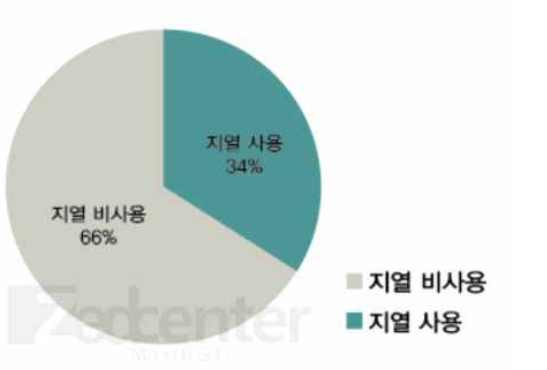
• 난방이 아닌 급탕에너지원까지 살펴보면 전체의 약 54%의 주택이 태양열원을 이용하고 있으며 역시 전체의 약 34%의 주택이 지열에너지원을 활용하고 있는 것으로 보인다.



[그림3.16] 분석대상 사례의 난방방식별 분류



[그림3.17] 분석대상 패시브하우스인증 주택의 태양열이용 비중



[그림3.18] 분석대상 패시브하우스인증 주택의 지열이용 비중

(2) 국내 단독주택 입면디자인 현황분석

- 현재 국내의 단독주택 설계분야는 디자인요소와 패시브기술요소의 연관관계에 대한 사전연구가 미흡하여, 디자인과 주택성능을 모두 만족하는 단독주택 개발에 대한 통합적 연구가 부진한 상황이다.

- 한국 단독주택은 거주자의 디자인적 요구사항 수용을 위해 입면디자인에 많은 비중을 두는 경향이 있으나, 이러한 입면디자인요소와 에너지측면의 상관관계를 바탕으로 한 가이드라인 부족으로 인해, 입면디자인요소의 적용과 주택의 에너지성능확보 과정에서 상충되는 경향이 있다.

- 한국형 패시브하우스는 국내 건축 및 시공환경과 패시브하우스성능을 동시에 만족하는 단독주택이므로, 이에 적합한 입면디자인 요소에 대한 분석 및 연구가 병행되어야 한다.

- 따라서 패시브요소를 적용한 한국형 단독주택의 계획은 초기디자인단계에서부터 입면디자인 측면과 연계한 패시브요소기술 적용가능성에 대한 검토가 필요하다.

- 이에 따라 본 절에서는 입면디자인요소와 패시브기술요소와의 연관관계를 고찰하고, 사례조사를 통한 입면디자인요소의 적용현황을 분석 후, 한국형패시브하우스 적용가능성을 검토한다.

(가) 단독주택 입면디자인요소와 패시브기술요소

• 입면디자인요소는 단독주택의 외관을 결정짓는 주요 요인 중 하나로 건축주와 건축가의 취향 및 특성이 반영되는 요소이다. 입면디자인은 요소조합을 통한 분위기전환이 다른 건축적 요소들에 비해 용이하므로, 설계과정에서 다양한 입면디자인이 제시될 수 있다.

• 문헌조사결과, 단독주택의 입면을 결정하는 요소들은 매스와 평면형태, 창 형태 및 면적, 재료, 지붕형태 등[20]이 있으며 위 요소들은 패시브하우스기술요소측면의 검토과정을 거친 후 입면디자인에 적용되어야 한다.

1) 매스형태

• 매스는 건축물의 볼륨(Volume)혹은 덩어리를 의미하며, 평면의 형태와 함께 건축물의 기본적인 외형을 결정하는 중요한 입면디자인요소이며, 단독주택은 다른 용도의 건축물에 비해 규모가 작으므로 매스는 비교적 간결한 형태로 구성된다.

• 건축물 매스 구성이 간결한 경우, 건물의 표면을 통한 열손실을 방지하는데 용이하다. 1차년도 독일 패시브인증주택에 대한 연구결과에 따르면 패시브인증주택 분석대상의 경우 약 66%의 주택이 간결한 박스형태의 매스형태를 취하는 것으로 나타났다.

• 그러나 간결한 매스는 디자인측면과 거주자의 생활환경 조성측면에서 건축주의 요구를 수용하는데 어려움이 있다. 따라서 주택계획 시 입면디자인측면과 패시브기술요소 측면 모두를 고려한 매스계획이 필요하다.

2) 평면형태

• 단독주택의 평면형태는 매스형태와 직접적인 연관이 있으며, 주택의 디자인개념과 거주자의 생활환경 및 법적규제 등에 의해 결정된다.

• 평면의 형태는 면적대비 둘레길이가 짧을수록 주택에너지 효율을 향상시킬 수 있으나, 국내 연구결과에 의하면[21] 거실을 독립된 실로 활용하려는 경향에 의해 신도시 등에 채 나눔형 공간계획에 대한 선호도가 높아, 평면 및 매스가 분절되는 형태의 주택이 선호되고 있음을 밝힌 바 있다.

• 1차년도 독일 패시브하우스인증주택의 평면구성 분석결과 간결한 매스형태로 인해 평면구성 또한 장방형의 평면형태가 주를 이루었으며, 남측에 주 생활공간을, 북측에 계단실, 화장실, 복도 등 서비스공간을 배치하여 효율적인 에너지활용을 위한 평면구성이 이루어졌음을 알 수 있었다.

---

20) 이영수, 김정신, 1990년 이후 한국 단독주택 입면디자인 표현유형에 관한 연구, 한국 실내디자인학회 논문집 23호, 2000년 4월
21) 양천규, 국내 단독주택의 평면구성 유형분류에 관한연구-1980년대 이후의 작가주택을 중심으로, 인하대학교 건축공학석사학위논문, 2005년 2월

• 따라서 평면형태는 매스와 더불어 단독주택의 에너지효율에 영향을 주는 요소로 입면디자인 및 패시브기술요소 측면에서 통합적인 계획이 이루어져야 한다.

3) 창 형태 및 면적

• 건축에서 창은 채광, 조망, 환기 등의 기능을 수행하며, 입면디자인의 요소로 재료, 색상, 분할 및 부가 디자인을 통해 건축물의 이미지를 결정한다.

• 에너지측면에서 창은 일조확보를 통해 실내조도를 개선하고 태양에너지를 효과적으로 받아들여 조명부하 및 냉난방부하를 줄일 수 있는 요소임과 동시에, 잘못된 창호계획 시 이를 통한 열손실로 인해 난방부하 및 냉방부하가 증가할 수 있다.

• 따라서 입면디자인 계획단계에서부터 에너지 획득과 손실을 고려하여 효율적인 창의 규모범위가 고려되어야 한다.

• 창 중 남측창의 경우 태양에너지 획득이 가장 유리한 면으로 독일 패시브하우스 연구소에서는 남측벽면대비 창 비율이 40%일 경우 획득과 손실을 고려했을 때 가장 효율적인 창의 규모로 권장하고 있다.

4) 입면재료

• 건축재료는 건축물의 개념을 부각시키는 용도로 사용된다. 입면디자인요소로서 건축의 외장재는 재료가 가진 특성을 이용해 입면에 적용되거나, 재료 각각의 속성을 고려하여 다른 자재들과 조합되는 방식, 혹은 건축적 조형성에 맞추어 기본속성이 변화되는 관점에서 디자인에 활용된다.

• 재료의 구성과 색채, 질감의 변화와 적절한 조합을 통해 시각적 중량감, 비례, 치수 등 다양한 입면의 변화가 가능하다.

• 최근 단독주택에서는 보편적 재료인 벽돌, 석재 분포가 감소하고 스틸, 목재, 노출콘크리트, 특수도장 등의 다양한 재료를 도입하는 사례가 늘고 있다. 실제 1990년대 이후 한국단독주택 입면디자인 표현유형에 관한 연구[22]에서는 1990년부터 2000년까지 건축전문잡지에 발표된 단독주택들의 입면을 분석한 결과 벽돌이나 석재 뿐 아니라 흙, 콘크리트, 유리, 스틸, 목재, 도장 등 다양한 입면재료를 선택하여 건축개념을 표현하는 것으로 나타났다.

5) 지붕형태

22) 1990년 이후 한국 단독주택 입면디자인 표현유형에 관한 연구, 김정신, 이영수, 홍익대학교, 한국실내디자인학회 논문집, 2000년.

• 지붕은 인간이 거주하는 세계 각지에서 다양한 지역성을 반영하여 기능적, 구조적으로 적합한 형태로 변화해왔다. 현대에 이르러서 단독주택 지붕의 형태는 지역기후 뿐만 아니라 해당건축물을 규정하는 법적조건, 건축물 규모, 재료, 및 건축개념에 따라 결정된다.

• 지붕을 형상따라 크게 분류하면 물매가 있는 경사지붕과 물매가 없는 평지붕이 있다. 여기에 여러 가지 기능을 갖고 구조적 요구와 디자인적 요구를 가미하는 과정에서 여러 형태의 지붕이 만들어지게 된다. 경사지붕은 박공지붕과 외쪽지붕의 기본이 되며, 모임지붕, 방형지붕, 합각지붕, 맨사드 지붕 등은 기본형의 지붕에 의장상의 요구를 가미한 것 이고, 솟을지붕, 톱날지붕 등은 채광과 통풍을 고려한 것이다. 이밖에 구조상 아치, 돔, M자형, W자형, 반원형 등의 지붕이 있으며, 평지붕에는 난간 벽이 있는 것과 없는 것이 있다. [23]

• 평지붕의 경우 지붕면이 수평 또는 그에 가까운 지붕으로 간결한 디자인과 옥상공간의 활용으로 인해 선호되는 지붕유형이다. 그러나 지붕의 물매가 작아 많은 양의 눈, 비의 배수에 취약하고, 정밀한 방수시공이 필요하다. 또한 수평에 가까운 지붕이 일사획득에 유리하므로, 지붕단열에 대한 고려가 필요하다.

(나) 국내 단독주택 입면디자인 요소 분석

1) 단독주택 입면디자인 분석개요

• 문헌조사를 바탕으로 단독주택 입면계획에 영향을 미치는 요소는 매스형태, 창 형태 및 면적, 재료 그리고 지붕형태 등이 있었다.[24]
또한 기존 선행연구에서 언급되지는 않았으나, 창호 부가디자인 및 벽면대비 창호비율과 외장재 색상 등은 단독주택 에너지효율측면에서 고려되어야 하는 입면디자인요소이므로 관련항목을 추가하였다.

• 더불어 단독주택의 외부공간활용 방식(베란다, 데크, 발코니 등)은 입면디자인과 밀접하게 연계되어 주택의 외관을 결정하는 중요한 요소가 될 수 있으므로 해당 항목을 추가하여 [표 2.1]과 같이 단독주택 입면디자인 요소를 전반적으로 조사할 수 있는 분석의 틀을 작성하였다.

23) 두산백과 '지붕' http://www.doopedia.co.kr
24) 1990년 이후 한국 단독주택 입면디자인 표현유형에 관한 연구, 김정신, 이영수, 홍익대학교, 한국실내디자인학회 논문집, 2000년.

[표3.5] 도시형 단독주택 입면디자인 선호도 분석 툴

기본정보								
대지위치				분류번호				
조사항목								
매스			단순형	분절형	적층형		대립형	혼합형	폴딩
					가로	세로			
지붕형태			평지붕	박공지붕	모임지붕		경사지붕	혼합지붕	
개구부형태	동측면	창형태	수평형	수직형	격자형		일반형	혼합형	
		부가디자인	오버행	매입형	비매입형		블라인드	루버	
		창호비율	20%미만	20~40%	40~60%		60~80%	80%이상	
	서측면	창형태	수평형	수직형	격자형		일반형	혼합형	
		부가디자인	오버행	매입형	비매입형		블라인드	루버	
		창호비율	20%미만	20~40%	40~60%		60~80%	80%이상	
	남측면	창형태	수평형	수직형	격자형		일반형	혼합형	
		부가디자인	오버행	매입형	비매입형		블라인드	루버	
		창호비율	20%미만	20~40%	40~60%		60~80%	80%이상	
	북측면	창형태	수평형	수직형	격자형		일반형	혼합형	
		부가디자인	오버행	매입형	비매입형		블라인드	루버	
		창호비율	20%미만	20~40%	40~60%		60~80%	80%이상	
	현관문	방향	동측	서측	남측		북측		
		형태	매입형	캐노피형					
		진입	정원진입	기타방향					
외부공간활용	1층공간활용		지붕○ 투명난간	지붕○ 불투명난간	지붕○ 난간없음		지붕X 난간없음	지붕X 투명난간	지붕X 불투명난간	지붕X 난간없음
	2층공간활용		지붕○ 투명난간	지붕○ 불투명난간	지붕○ 난간없음		지붕X 난간없음	지붕X 투명난간	지붕X 불투명난간	지붕X 난간없음
	옥상활용		투명난간	불투명난간	난간없음					
재료	종류		석재	벽돌	콘크리트		유리	철재	목재	도장
	색상조합		1가지	2가지	3가지		4가지	5가지	6가지	7가지
	색상		어두움	중간	밝음					

- 단독주택 입면디자인 분포조사는 현장 사례조사를 통해 실시되었으며, 조사대상지로는 2기 신도시 중 판교신도시를 선정하였으며, 그중에서도 남향으로 필지분할이 계획된 E11-1 블록의 단독주택 40채를 분석하였다.

  - 또한 주택 한 채에도 다양한 입면디자인요소가 적용될 수 있으므로, 중복 체크하여 조사하였다.

- 매스형태의 분석기준은 굴곡이나 변화가 없이 단순한 방형이나 ㄱ형태의 매스구성을 단순형, 깊이의 변화를 통해 다양한 형태를 구성하는 매스구성을 분절형, 가로 혹은 세로 형태로 적층시킨 형태를 강조하는 매스를 적층형, 대등한 매스의 상하좌우면의 대립 및 대칭을 강조한 형태를 대립형, 정형적, 비정형적 매스가 혼합되어 구성된 형태를 혼합형, 선적인 요소를 강조하여 외장재를 접은듯한 느낌을 강조한 유형을 폴딩형으로 구분하였다.

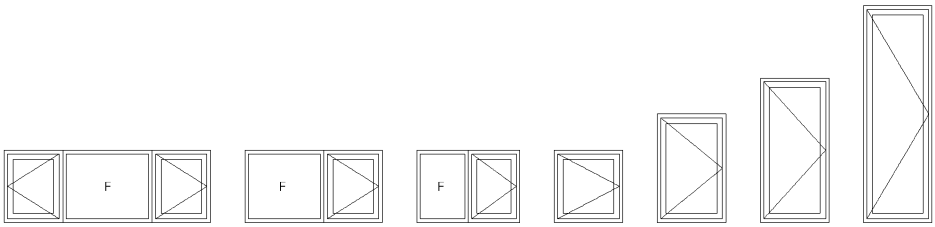
[표3.6] 단독주택 매스의 종류

단순형	분절형	적층형
		
대립형	혼합형	폴딩형
		

- 개구부형태의 분석은 기본적으로 동서남북측면의 창호의 형태와 부가디자인, 벽면대비 창호비율을 분석하였으며, 더불어 현관문의 방향과 형태, 또한 도로에서 현관으로 진입하는 경로에 대하여 분석하였다.

- 창호의 형태는 크게 수평형, 일반형, 정방형, 수직형으로 나누었으며 수평형 및 수직형의 경우 가로가 세로에 비해 2배 이상일 때로 규정하였으며, 가로와 세로의 비가 각각 1:1.1~1.9배 일때를 일반형으로, 가로와 세로의 비가 1:1인 경우 정방형으로 규정하였다.

[표3.7] 창호 가로 세로 비율에 따른 분류



- 부가디자인의 경우 오버행의 설치유무, 창호설치면의 위치에 따른 매입형,비매입형 구분, 외부블라인드 설치유무, 루버 설치유무 등을 분석하였다.
  오버행, 창호의 매입여부는 입면디자인상에서도 중요한 요소로서, 비매입형 창호는 입면재료 마감면과 창호의 유리면을 동일면에 위치하도록 설치한 경우를, 매입형은 창호의 유리면이 입면재료 마감면보다 후퇴한 형태를 말한다. 외부블라인드의 경우 여름철 일사의 실내유입을 능동적으로 조절하여 냉방부하를 줄일 수 있는 창호의 부가디자인이며, 이를 설치할 경우 투명한 재질인 입면의 유리면을 솔리드한 상태로 전환함으로서 입면디자인에 큰 영향을 미칠 수 있다. 루버는 길고 가는 평판을 수평이나 수직 혹은 격자모양으로 개구부의 앞면에 설치하여 직사광이나 비를 막고, 통풍 및 환기를 목적[25]으로 하는 입면디자인요소를 분석하였다.

[표3.8] 단독주택 창호 부가디자인 종류

오버행	비매입형	매입형	외부블라인드	루버
				

- 창호의 비율은 벽면대비 20%미만, 20~40% 미만, 40~60%미만, 60~80%미만, 80% 이상인경우로 나누었다.

- 현관문의 방향은 출입방향을 기준으로 동, 서, 남, 북측으로 나누었다. 현관문의 형태는 매입형과 캐노피형으로 나누었으며, 매입형 현관문은 매스구성으로 인한 매몰부위에 현관문이 위치하는 경우로, 현관문 주변으로 주택의 벽체나 발코니 등이 면하는 경우를, 캐노피형은 수직면에 상부 캐노피 부착으로 출입구를 구성한 경우로 규정하였다. 도로에서 현관문으로 진입하는 방식은 정원을 가로질러 들어가는 정원진입의 경우와, 정원을 피해서 들어가는 기타방향의 유형으로 구분하였다.

25) 공조설비용어사전 편찬회, 공조냉동건축설비 용어사전, 일진사, 2011,

[표3.9] 단독주택 현관진입 종류

매입형	캐노피형	정원진입	기타진입
			

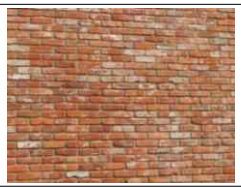
- 외부공간의 활용의 경우 층별로 지붕의 유무와 난간의 형태를 기준으로 구분하였으며, 2층 공간의 경우 베란다형과 발코니형을 따로 구별하여 조사하였다. 베란다는 1,2층의 면적차로 생긴 공간을 활용하는 것으로 2층에서 사용하는 공간은 1층공간의 지붕이 되는 경우이며, 발코니형은 2층에서 외부공간을 사용하기 위하여 캔틸레버형식의 구조물을 설치한 경우를 말한다.

[표3.10] 단독주택 돌출외부공간 종류

베란다형	발코니형
	

- 외장재의 경우 문헌조사를 통하여 단독주택에서 많이 사용하는 외장재 7가지를 선정하여 분석하였고, 주택을 구성하는 주 재료의 색상 수와 그 명도구성을 분석하였다.

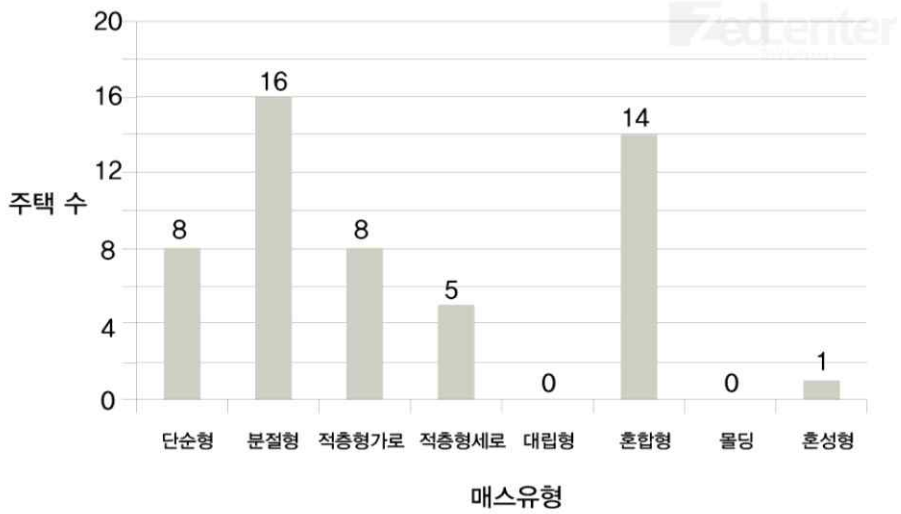
[표3.11] 단독주택 외장재 종류

석재	벽돌	콘크리트	유리
			
철재	목재	도장	
			

2) 단독주택 입면디자인 분석결과

- 매스구성은 깊이감이 있고 변화가 있는 분절형이 큰 비중을 차지하며, 다양한 매스의 조합이 이루어진 혼합형, 간결한 매스형태인 단순형과, 가로 적층형 디자인, 그리고 세로적층형과 혼성형 순으로 분포를 나타내었다.

- 분절형과 혼합형 매스가 주로 분포되어, 다채로운 주택의 외관을 형성하고자 하는 의도를 파악할 수 있으며, 적층형 가로와 단순형 매스가 그 다음을 차지하는 것을 보아 시각적으로 안정적인 매스가 분포함을 알 수 있었다.

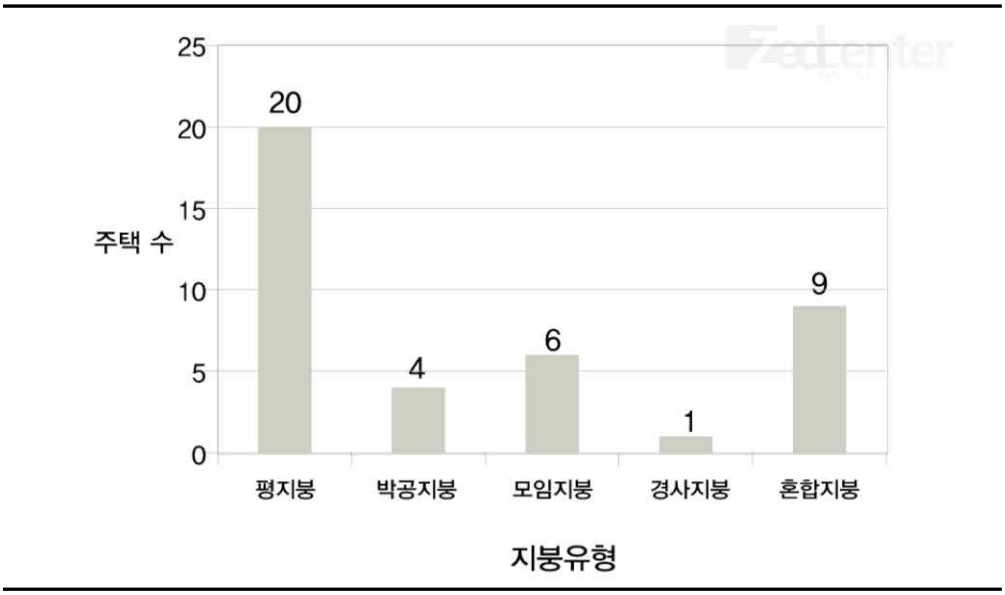


[그림3.19] 판교 단독주택 매스유형 분석결과



[그림3.20] 분절형 매스 및 혼합형 매스 적용사례

• 지붕형태는 평지붕형태가 가장 많은 분포를 이루었으며 그 뒤를 이어 혼합지붕, 모임지붕, 박공지붕, 경사지붕 순으로 그 분포가 나타났다.
평지붕은 간결한 주택디자인이 가능하고, 지붕상부공간의 활용이 용이해 많은 주택에서 나타나는 것으로 추측할 수 있으며, 혼합지붕은 대체로 평지붕과 기타형상의 지붕이 혼합되어 지붕상부공간을 활용함과 동시에 디자인측면에서 다채로운 구성이 가능하도록 계획된 경우가 많았다.

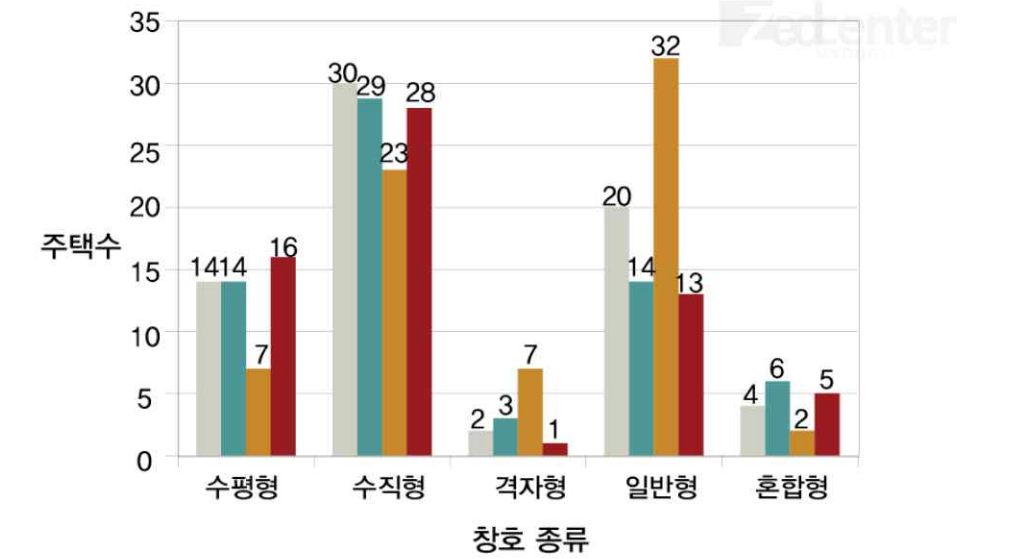


[그림3.21] 판교단독주택 지붕유형 분석결과



[그림3.22] 평지붕 및 혼합지붕 적용사례

• 분석결과 창호의 종류는 전반적으로 수직형 창호가 많이 분포되는 반면, 남측면에 한해서는 일반형 창호가 압도적으로 많은 분포를 나타냈다. 이는 남측으로 필지분할이 된 부지에 계획된 주택들이 일사 및 조망을 확보하기 위하여 남측벽면의 많은 면적을 창호로 계획함으로서 벽체의 가로세로 비율에 영향을 받기 때문으로 추측할 수 있다.

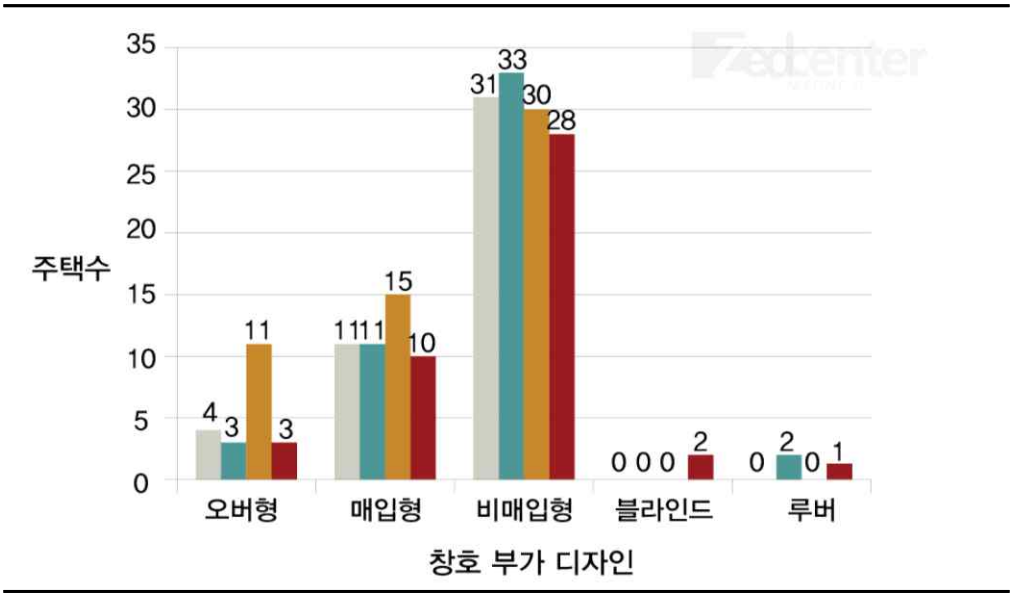


[그림3.23] 판교 단독주택 창호형태 분석결과



[그림3.24] 일반형 창호 및 수직창호 적용사례

• 창호의 부가디자인의 경우, 비매입형 창호설치방식을 통해 매끄러운 입면디자인이 압도적으로 분포하였으며, 그 다음으로 매입형, 오버행 등의 디자인이 나타났다. 비매입형과 매입형 창호설치방식의 경우 외장재의 설치방식의 영향을 받아 징크, 조적 등의 외장재는 매입형 창호설치방식을 취하는 경우가 많았다.



[그림3.25] 판교 단독주택 창호 부가디자인 분석결과

비 매입형 창호 사례

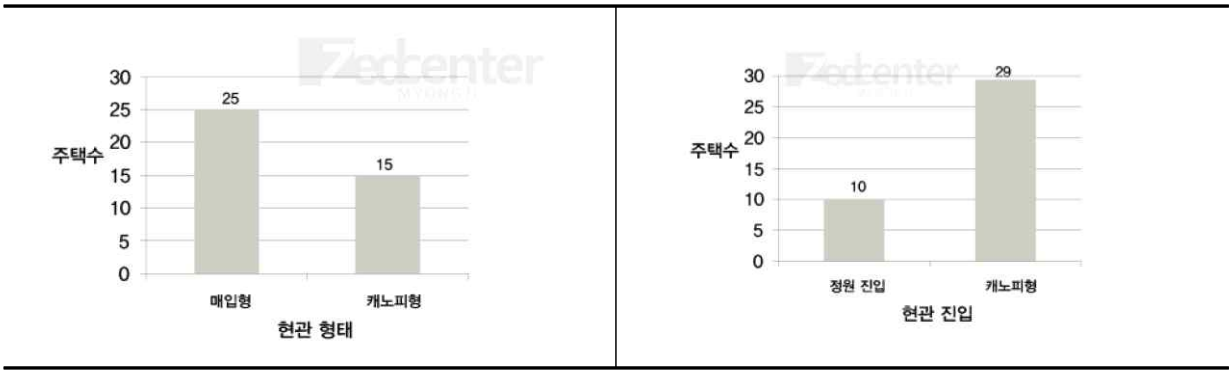


매입형 창호 사례



[그림3.26] 비매입형 및 매입형 창호 적용사례

• 현관의 형태는 진출입 시 프라이버시 확보를 위하여 주택을 구성하는 매스에 현관이 매입된 형태가 주로 분포되어있으며, 충분히 매입하지 못하는 경우 부가디자인을 통하여 현관의 직접적인 노출을 피하는 것으로 나타났다.



[그림3.27] 판교단독주택 현관형태 및 진입 분석결과

매입형 현관사례



[그림3.28] 매입형 현관 적용사례

• 외부공간의 경우 모든 층에서 공간을 효율적으로 사용하려는 의도가 드러난다. 1층의 경우 소규모의 마당이나 중정을 계획하여 지붕 및 난간없이 활용하는 사례가 주를 이루었다.

• 2층의 경우 지붕이 없는 투시형난간으로 구성된 외부공간을 형성하는 사례와, 외부공간 없이 주택을 계획하는 사례가 동일한 분포를 나타냈는데, 이는 2층에서도 외부공간을 사용할 수 있도록 테라스 및 발코니를 계획하는 경우와, 외부공간 계획 없이 가용공간을 모두 내부공간으로 계획하는 경우가 있다.

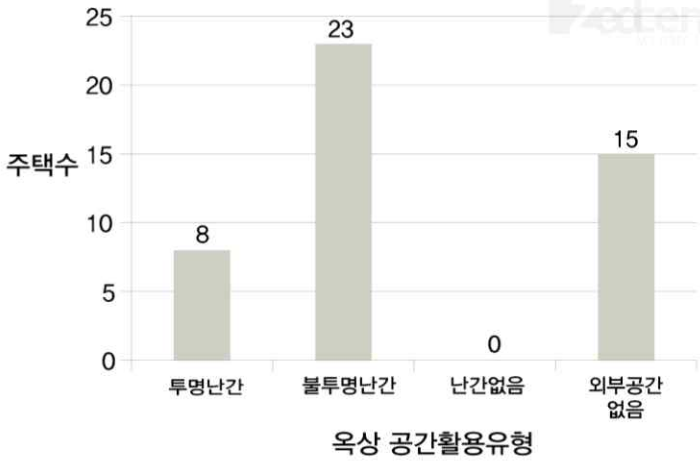
• 옥상의 경우 외장재가 연속된 불투명 난간과 지붕이 없는 형태의 외부공간을 계획하여 상부공간을 활용하는 유형이 가장 많았으며, 지붕형태(박공, 모임, 경사지붕 등) 에 따라 지붕의 상부공간을 활용할 수 없는 경우는 별도의 옥상공간 활용이 없음을 알 수 있다.



[그림3.29] 판교 단독주택 1층 공간활용유형 분석결과

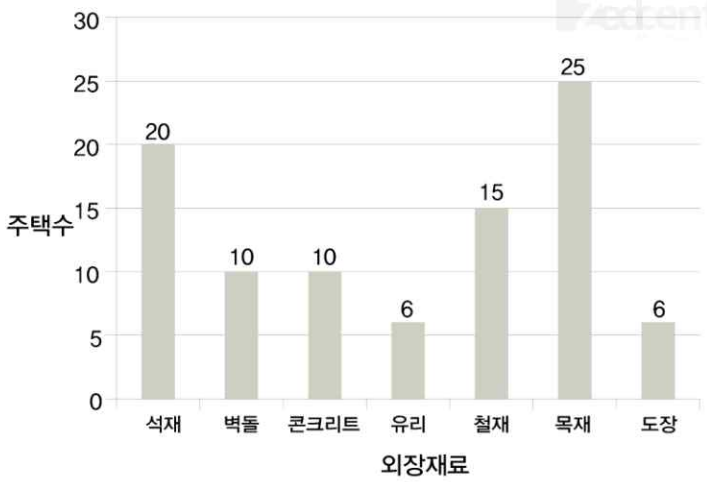


[그림3.30] 판교 단독주택 2층 공간활용유형 분석결과



[그림3.31] 판교 단독주택 옥상 공간활용유형 분석결과

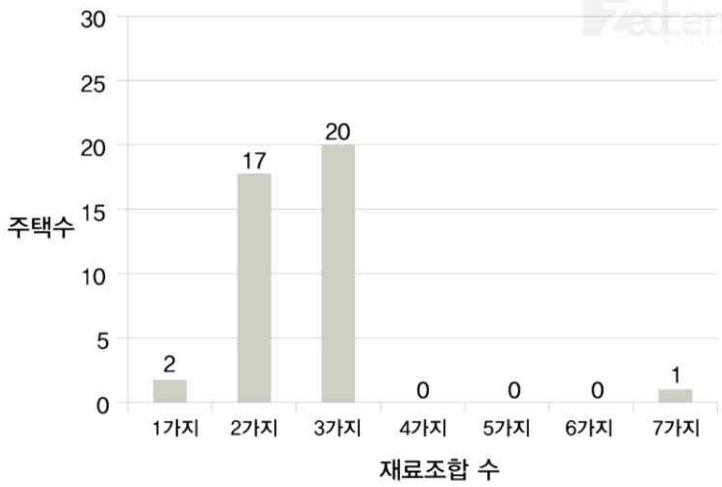
• 마감재의 경우 목재의 사용이 많으며, 석재, 철재의 분포가 그 뒤를 이었다. 그러나 마감재의 경우 단일재료로 주택의 입면을 구성하는 경우보다 재료조합수를 분석한 결과 2~3가지의 재료를 조합하는 경우가 대다수이며, 외장재의 분포도 분석 시 중복체크가 이루어졌음을 감안할 때, 외장재 분포 1,2,3 순위인 목재, 석재, 철재 등의 재료가 조합되어 입면디자인을 구성하는 경우가 대부분임을 알 수 있다.



[그림3.32] 판교단독주택 외장재 분석결과



[그림3.33] 목재, 석재, 금속 외장재 적용사례



[그림3.34] 판교 단독주택 외장재 조합 분석결과

마감재 조합 사례		
목재+징크	석재+목재	징크+콘크리트+목재
		

[그림3.35] 마감재 조합 분석사례

- 분석의 틀에 따라 매스, 지붕형태, 개구부형태(창형태, 부가디자인, 창호비율), 층별 외부 공간 활용, 재료(종류, 색상조합)등의 항목을 분석한 결과를 표로 정리한 결과는 다음과 같다.

[표3.12] 판교 E11-1블럭의 입면디자인요소 분석결과

조사 항목		판교단독주택 조사결과	
매 스		분절형(요철형)	
지붕 형태		평지붕	
개구부형태	창 형태	남	일반형
		동/북/서	수직형
	부가 디자인	남	비매입형
		동/북/서	
	창호비율	남	40 - 60 %
		동/북/서	20 % 미만
	현관형태	매입형	
	현관진입	정원을 확보하는 진입계획	
	진입방향 (현관)	남측	
외부공간활용	1층 공간활용	마당 활용	
	2층 공간활용	베란다활용	
	옥상활용	옥상활용	
재 료	종류	1.목재 2. 석재 3. 징크	
	색상조합	3가지	
	색상(명도)	재료에 따라 조합	

- 위와 같은 입면디자인 요소의 적용현황은 국내 단독주택에서 높은 빈도로 나타나고 있으며, 이는 곧 지구단위계획과 같은 제도의 범주 안에서 건축주 및 건축가에 의해 선호되는 디자인이라 할 수 있다.

- 따라서 한국형 패시브하우스의 구현 시 이와같은 입면디자인 요소의 적용을 통해 국내 단독주택 수요자의 디자인적 요구사항을 충족시킬 필요가 있다.

(3) 한국형 패시브하우스 계획요소

- 한국형 패시브하우스는 독일 패시브하우스에 준하는 에너지성능 및 쾌적성의 조건을 충족시켜야 할 뿐만 아니라, 단독주택에 대한 국내의 관념에 따라 심미적 요구사항을 만족시켜 잠재적 사용자로 하여금 만족도를 높일 때 보급이 용이할 것이다.

- 따라서, 한국형 패시브하우스는 건축계획단계에서 독일 패시브하우스의 계획원리를 반영하여, 에너지성능을 고려한 형태 및 내부공간계획, 설비계획을 수행함과 동시에 외관상 국내 단독주택의 디자인요소를 반영함으로서 만족도 높은 주택계획이 가능하다.

- 따라서, 위에서 독일 패시브하우스 인증주택의 계획요소 및 판교 단독주택의 입면디자인 경향을 분석하여, 한국형 패시브하우스의 성능 및 단독주택 디자인경향을 반영하기 위한 초기 계획요소를 도출하고, 이의 적용방안을 정리하였다.

(가) 한국형 패시브하우스의 초기계획요소 및 방법

- 한국형 패시브하우스 역시 다양한 설계요소들의 상호작용에 의하여 패시브하우스 인증 기준을 만족시켜야 하는 것이나, 국외 패시브하우스 분석결과 인증기준을 만족시키기 위한 절대적인 설계기준은 없으며 다양한 설계 요소를 초기디자인 단계에서부터 고려하여야 함을 다시 확인 하였다.

- 건물의 배치가 남향에 가까울수록 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량을 낮추는 데 유리하지만 대지의 특성과 지형에 따라 남향배치가 아니더라도 패시브하우스인증기준을 달성할 수는 있다. 단 남향배치에서 벗어날 경우 단열재와 벽체의 두께가 두꺼워짐에 따라 추가 비용들이 발생할 수 있다.

- 건물의 형태가 단순할수록 또한 난방에너지요구량을 낮추는 데 유리하다. 그러나 건물 대지의 형태에 따라 혹은 설계 컨셉에 따라 건물의 요철도 유효하며 다만 요철이 많아지면 단열재와 벽체의 두께가 두꺼워짐에 따라 추가 비용들이 발생 할 수 있다.

- 오픈형 평면은 많은 방들로 구획된 평면에 비해 실내공기 및 에너지순환을 원활하게 할 수 있으므로 패시브하우스인증주택 사례에서는 전반적으로 오픈형 평면이 늘어나는 것을 볼 수 있다. 또한 오픈형 평면의 결과로 크고 오픈된 거실 겸 식당, 부엌 공간이 남쪽 또는 주향에 위치하며 태양열 에너지를 담아 공기 및 열 순환을 통하여 주택전체로 전달할 수 있도록 계획하는 설계가 많아지고 있다.

- 계단실은 단열외피 안에 위치할 경우 불필요하게 난방을 해야 하는 공간이 늘어나는 것이므로 난방에너지요구량을 줄이는 데에 불리하게 작용하나 작은 주택에서는 내부의 순환 공간으로써 층간

순환을 가능하게 해주면서 주거공간의 일부로 활용할 수도 있다.

- 남측면은 태양빛을 많이 받아야 하는 겨울철에는 동서 또는 북측보다 일사량이 큰 반면 태양빛을 차단해야 하는 여름철에는 동서향보다 일사량이 적기 때문으로 남향으로 창문을 두게 되면 겨울철에는 태양열원의 이용을 극대화고 여름철에는 높은 태양고도를 통해 자연채광의 효과를 볼 수 있다.

- 여름철 과열현상 방지를 위해 외부 차양을 설치하는 것이 중요하며 외부 차양은 차폐율이 높은 블라인드나 덧문의 형태가 될 수도 있지만 외부 차양에 대한 추가 투자 없이 발코니나 처마 등의 건축구조를 잘 활용하여 겨울철에는 실내 깊숙이 태양빛을 유도하고 여름철에는 높은 태양입사각에 따라 자연스럽게 그늘이 질 수 있도록 할 수도 있다.

- 현재까지의 독일 인증 패시브하우스 대부분의 벽면외단열재 및 외장재가 탄소보강 EPS와 드라이비트 마감으로 이루어진 EIFS 시스템에 편향되어 있어 다양한 입면 및 디테일 계획의 개발이 시급하다.

- 한국형 패시브하우스의 경우 국내에서 시행되는 지구단위계획 등의 범위안에서 계획되며, 디자인에 대한 국내 선호경향 등을 반영해야 하므로, 판교 단독주택의 입면디자인을 분석하여, 한국형 패시브하우스에 반영 가능한 요소들을 도출하였다.

- 매스형태의 경우 단순한 형태의 매스보다 분절형 디자인의 빈도가 높은 것을 확인하였으며, 이를 한국형 패시브하우스에 적용할 경우 건축물 부위별 에너지성능 보강이 필요할 것으로 보인다.

- 지붕형태의 경우 박공지붕보다 평지붕을 선호하는데, 이는 외부공간 확보가 용이하지 않은 필지에서 공간효율을 높이기 위한 디자인으로 판단된다. 평지붕의 경우 박공지붕 형태의 지붕보다 주택의 A/V 비율측면에서 불리한 경향이 있으므로 한국형 패시브하우스에 적용 시 지붕부위 단열보강이 필요하다.

- 개구부 형태에서 창호 계획 시 일사량 및 조망확보를 위해 남측 창호의 크기가 확보되어야 한다. 선호도 분석결과에 따라 수직형 창호계획이 가능하며, 해당 실 기능 및 평면위치에 따라 창호 크기는 조절되어야 한다.

- 창호 부가디자인의 경우 외단열공법 적용 시 창호 설치부위가 입면재료 마감선에서 후퇴될 수 있으며, 외부블라인드 부착을 통해 여름철 일사유입량을 능동적으로 조절할 수 있다.

- 창호비율의 경우 남측 40~60%, 동,북,서측 20% 미만의 창호비율을 보이는 것으로 나타나 한국형 패시브하우스에 적용에 용이할것으로 보인다.

- 현관 형태는 매입형 현관의 적용빈도가 높게 나타났으며, 이러한 디자인을 한국형패시브에 적용 시 주택의 A/V 비율을 증가시키는 원인이 되므로 그에 따른 단열 보강 등의 조치가 필요하다.

- 현관진입의 경우 에너지성능과 큰 상관관계가 없으므로 정원공간을 확보하는 진입경향을 한국형 패시브하우스에 반영할 수 있을 것으로 보인다.

- 외부공간의 경우 2층에서 외부공간을 활용하기 위해 테라스와 같은 디자인요소가 적용되고 있는데, 이 경우 주택의 A/V 비율 및 열교를 발생시키는 원인이 된다. 따라서 한국형 패시브하우스에 적용 시 이에대한 보완이 필요하다.

- 판교 단독주택에서 적용빈도가 높은 목재, 석재, 금속재를 한국형 패시브하우스에 적용 할 경우 외단열공법 적용에 따른 부착방식에 대한 보완이 필요하다. 목재, 석재, 금속재와 같은 자재들은 철물을 이용한 건식부착방법으로 시공되기 때문에 열교방지를 위한 디테일 개발이나 단열재 특성을 고려한 부착방안을 고안할 필요가 있다.

(나) 한국형 단독주택 초기계획요소 체크리스트

- 위의 내용을 바탕으로 한국형 패시브하우스하우스주택의 초기계획단계에서 패시브하우스하우스에 준하는 에너지 및 쾌적성능과 국내 단독주택 입면디자인 경향을 반영함에 있어 유의해야 하는 사항들을 [표00-00]과 같이 정리하였다.

[표3.13] 한국형 단독주택 초기계획요소 체크리스트

구분		독일패시브하우스 인증주택	국내 단독주택	한국형패시브하우스적용방법
주향의 배치		남향	-	- 건물의 배치가 남향에 가까울수록 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량을 낮추는 데 유리함
형태	매스	박스형	분절형	- 건물의 형태가 단순할수록 또한 난방에너지요구량을 낮추는 데 유리함. - 분절형 디자인을 적용 할 경우 추가 단열 등을 통한 조치가 필요함.
	지붕	-	평지붕	- 평지붕의 경우 박공지붕 형태의 지붕보다 주택의 A/V 비율측면에서 불리한 경향이 있음. - 한국형 패시브하우스에 적용 시 지붕부위 단열보강이 필요함.
평면구성	실별위치	남향에 거실배치	-	- 남향 거실배치로 태양열 에너지가 공기 및 열 순환을 통하여 주택전체로 전달할 수 있도록 계획.
	공간관계	주방,거실,식당 연계형(환기) 중심코어형(배관손실방지)	-	- 연계형 평면은 실내공기 및 에너지순환을 원활하게 할 수 있음. - 중심코어형 적용 시 최단길이 배관계획으로 에너지손실을 최소화할 수 있음.
	자연환기	바닥면적의 70% 자연환기 가능	-	- 맞통풍이 가능한 개구부 계획을 통해 환기에너지 손실을 저감하고 쾌적한 실내환경을 계획할 수 있음.
창호	비율	남측 56%	남측 20%	- 남측창호비율의 경우 약 40%정도를 충족하여 일사에너지를 효율적으로 이용할 수 있도록 계획.
	형태	-	수직형 및 일반형(남측 중심)	- 남측은 일반형 창의 형태를 적용하여 일사에너지의 효율적 이용이 가능함. - 동,서,북측의 창호는 여름철 과도한 일사유입을 방지 할 수 있는 수직형 창호 적용 가능.
	설치위치	-	비매입형	- 비매입형 창호디자인 적용 시 열교로 인한 열손실 발생. - 한국형 패시브하우스는 매입형 창호를 적용하여 단열영역을 확보를 통한 열교최소화 계획이 필요함.
	일사차양장치	전동블라인드	-	- 여름철 과열현상 방지를 위해 외부 차양을 설치하는 것이 중요 - 차폐율이 높은 블라인드 및 덧문이 용이하며 발코니 및 처마 등을 이용한 간접적 차양계획이 가능.
현관형태		-	매입형 현관	- 프라이버시 확보를 위한 매입형 현관은 A/V 비율 측면에서 불리함. - 한국형 패시브하우스에 적용 시 단열 보강 등의 조치가 필요함.
외부공간	1층	-	난간 및 지붕 없음	- 에너지성능과 크게 관련이 없으므로, 난간 및 지붕이 없는 1층 외부공간 적용 가능
	2층	-	투명난간 및 지붕없음, 외부공간 없음	- 발코니를 적용하여 외부공간 계획 시 열교방지 디테일 계획이 필요함. - 테라스를 적용한 외부공간 계획 시 A/V비율 증가의 원인이 되므로 단열보강 등의 조치가 필요함. - 투명난간 적용 시 ALC 블록 등을 통해 열교를 최소화 한 난간계획이 필요함.
	3층	-	불투명 난간	- 불투명 난간 적용 시 ALC 블록 등을 통해 열교를 최소화 한 난간계획이 필요함.
외장재	종류	EIFS	목재, 석재, 금속재	- EIFS의 경우 냉난방에너지 요구량 절감에 효과적이나, 다양한 자재적용이 어려운 단점이 있음. - 목재, 석재, 금속재를 적용 할 경우 설치방식에 따라 발생되는 열교 방지 디테일 적용이 필요함.
	조합 수	-	2~3가지	- 외장재 종류에 따라 사용되는 단열재의 종류가 다를 경우, 발생되는 열교를 방지할 수 있는 계획이 필요함.
벽면 단열재		EPS	-	- EPS 단열재 설치 시 적용 가능한 외장재의 범위가 축소될 수 있음. - 한국형 패시브하우스적용 시 다양한 외장재의 적용이 용이한 단열재 계획이 필요함.
폐열회수환기장치		설치	-	- 폐열회수 환기장치 미설치 시 주택의 에너지성능 확보에 한계가 있음. - 패시브수준에 준하는 주택에너지 성능을 목표로 할 경우 폐열회수 환기장치의 적용이 불가피함.
난방방식		콤팩트 시스템	-	- 콤팩트 시스템의 경우 에너지절약형 건축자재 시장형성기인 국내에서는 도입이 어려움. - 바닥난방과 같은 국내 주택의 특징을 반영한 난방방식 적용이 필요함.
급탕방식		태양열 및 지열	-	- 급탕은 냉난방에너지 요구량과 달리 4계절의 에너지 요구량의 편차가 크지 않음. - 기후 및 지역특성을 고려하여 에너지 조달이 안정적인 방식을 선택해야 함.

나. 시뮬레이션을 통한 주택에너지 성능계획

- 단독주택의 에너지 성능을 정량화 하기위한 주택에너지 사용량의 정확한 평가는 건축물 완공 후 일정기간의 에너지사용량 모니터링 계획을 통해 이루어질 수 있다. 그러나 이러한 방법은 주택 완공 후에 적용 가능한 평가방법이다. 패시브하우스와 같이 일정수준 이상의 에너지성능을 요구하는 주택의 경우 계획단계에서부터 주택의 에너지성능을 예측하여 그에 대한 대안을 마련하는 과정을 거쳐야만 에너지성능측면에서 효율적이며 쾌적한 주택을 계획할 수 있다.

(1) 정적 에너지시뮬레이션을 활용한 주택에너지성능 예측

- 건물에너지 해석을 위한 방법은 유럽의 경우, 건물 에너지 성능지침 EPBD (Energy Performance of Building Directives)에 따라 건물의 에너지 요구량을 계산할 수 있는 프로그램 (주로 국제 표준인 ISO 13790에 기반함)을 개발하고 있으며, 세계 각국의 친환경 인증제도는 건물 에너지 성능 동적 시뮬레이션 (Energy Plus, Esp-r, IES-VE 등) 수행을 요구한다(Fowler et al, 2006 ; 박철수, 2011). 그러나 정확한 시뮬레이션을 기대할 수 있는 동적 에너지 시뮬레이션의 경우 사용자의 주관적인 판단이 개입되고 개인적인 편견에 따라 결과값의 차이와 시뮬레이션의 불확실성이 존재한다고 평가했다.

- ISO 13790은 간단한 대수식 기반으로 건물 성능을 측정하며, 폐쇄형 등식(closed for equations)을 통하여 애매모호함 없이 규범적인 계산 절차를 통해 성능분석을 수행한다. 이러한 규범적인 계산 절차를 통해 나온 결과값이 실제를 완벽히 모사할 수 없어도 신속하고 쉽게 성능비교가 가능하며 수치해석의 불확실성, 모델링의 불확실성, 시나리오의 불확실성 등 시뮬레이션에 내재된 불확실성을 최대한 줄여줄 수 있는 특징이 있다 (박철수, 2011).

- 동적 에너지 시뮬레이션은 규범적 성능평가에 비해 복잡한 이중외피의 물리적 거동의 모사, 최적제어 알고리즘을 활용한 건물 시스템 첨단제어 등 시스템의 상세한 부분의 동적거동까지 표현하여 실제와 유사하고 정확하게 계산은 가능하지만 많은 시간과 노력, 그리고 전문적인 지식이 수반되기 때문에 신속한 성능비교가 어려운 점이 있다. 또한, 모델링과 계산절차에서 많은 가정(assumptions)과 단순화(simplifications)가 존재하기 때문에 시뮬레이션니스트의 주관적인 판단과 개인적인 편견이 개입되게 되며 동일한 건물에 대한 시뮬레이션이 사용자에 따라 다른 결과값이 나올 수 있으며 시뮬레이션의 불확실성이 존재하게 된다. 실제로 김덕우 외(2011)와 Augenbroe et al(2008)에서 동일한 건물에 대해서 동일한 시뮬레이션 프로그램으로 시뮬레이션을 수행했을 경우, 프로그램 내부의 수치해석 관련 변수 및 주관적 판단에 따라 결정되는 변수들에 의해 결과값에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. (박철수, 2011)

- 선행연구를 종합적으로 판단하면 ISO 13790을 기반으로 하는 에너지 시뮬레이션은 설계과정에 맞추어 신속하고 쉽게 성능비교가 가능하여 내재된 불확실성을 최대한 줄여줄 수 있다.

• ISO 13790에 따른 건축물의 에너지요구량은 냉난방 및 환기에너지 손실량과 태양에너지 및 내부발열에너지 획득량, 급탕에너지 및 조명에너지 요구량을 합산한 값이며, 에너지 소요량의 계산은 다음과 같이 에너지 요구량에서 장비효율을 곱한 값이다.

• 건축물 에너지소요량 계산방법

[표3.14] 에너지 소요량 계산식

$$Q_h = Q_{h1} + Q_{h2} + Q_{h3}$$

- Q_h : 에너지 요구량(Energy demand)
- Q_{h1} : 냉난방 및 환기에너지 손실량
- Q_{h2} : 태양에너지 및 내부발열에너지 획득량
- Q_{h3} : 급탕에너지 및 조명에너지 요구량

$$Q_P = e_p(Q_{h1} + Q_{h2} + Q_{h3})$$

- Q_P : 에너지 소요량
- e_p : 장비의 효율

• 건축물 난방 및 냉방에너지 환기에너지 요구량의 계산방법

[표315] 냉난방 및 환기에너지 손실량 계산식

$$Q_{h1} = F_{HDD}\ (H_T + H_V)$$

- Q_{h1} : 냉난방 및 환기에너지 손실량
- F_{HDD} : 난방도일
- H_T : 난방에너지, 냉방에너지
- H_V : 환기에너지

• 건축물 태양에너지와 내부발열에너지 획득량의 계산방법

[표3.16] 태양에너지 및 내부발열에너지 획득량 계산식

$$Q_{h2} = -\eta (Q_S + Q_I)$$

- Q_{h2} : 태양에너지 및 내부발열에너지 획득량
- η : 난방에너지로 전환 비율
- Q_S : 태양에너지 획득
- Q_I : 내부발열에너지 획득

• 건축물 급탕에너지와 조명에너지 요구량의 계산방법

[표3.17] 급탕에너지 및 조명에너지 요구량 계산식

$$Q_{h3} = Q_W + Q_L$$

- Q_{h3} : 급탕에너지 및 조명에너지 요구량
- Q_W : 급탕에너지
- Q_L : 조명에너지

(2) 열교시뮬레이션 프로그램을 활용한 열교부위 성능예측

• 건축물 쾌적성 및 에너지성능 측면의 통합적 가치향상을 위해서는, 에너지사용량 절감뿐만 아니라 열교방지를 위한 디테일 적용을 통해 결로, 곰팡이발생 등을 방지하고 열교부위를 통한 에너지손실을 최소화하기 위한 조치가 필요하다.

• 현재 국제 표준기구인 ISO에서 규정하는 열교부위를 통한 열손실 계산방법은 직접 수식을 이용한 계산방법을 규정하는 ISO 10211:2007와 건축물에서 열교가 발생되는 주요부위를 표준화하여 근사값을 통한 열손실을 추정하는 ISO 14683:2007의 두 가지로 나눌 수 있다.

• 각 열교부위의 에너지성능을 판단하는데 필요한 열결합계수 및 선형열관류율, 실내표면온도의 산출은 ISO 10211:2007, EN ISO 10077-2:2012, EN ISO 13788:2001의 기준을 따라 다음과 같이 정의된다.

- L_{2D} 열결합계수 (Thermal coupling coefficient from two-dimensional calculation. W/mK)는 건축물 구조를 통해 연결된 서로 다른 두 열적 환경 사이에서 단위 온도차당 통과되는 열류율을 의미한다. 열결합계수는 단위 길이당 해당 건축물 구조를 통과하는 열류율을 두 열적환경의 온도

차로 나누어 계산할 수 있으며 별도의 열해석 프로그램을 통하여 산출된다.

$$L_{2D} = \frac{\Phi_l}{\theta_i - \theta_e}$$

Φ_l : 단위 길이 당 열류율 (W/m)
θ_i : 내부 온도 (K)
θ_e : 외부 온도 (K)

- Ψ 선형열관류율 (P_{si}. Linear thermal transmittance. W/mK)은 정상상태에서 해당 선형열교부위를 통한 단위 길이당, 단위 온도차당 전열량(W/mK)을 뜻하고 2개 이상의 경계조건 (j)에 대하여 다음 식을 통해 산출된다.

$$\Psi = L_{2D} - (\sum U_j l_j)$$

L_{2D}: 열결합계수 (W/mK)
U_j : 두 열적 경계조건을 분리하는 1차원 요소 j 의 열관류율 (W/㎡K)
l_j : 2차원 모델링에서 U_j값이 적용되는 범위의 길이(m)

- f_{Rsi} 실내 표면온도계수(Temperature factor at the internal surface)는 두 가지의 서로 다른 열적 환경(외부 및 내부)에서 실내 표면온도와 외부온도와의 차이를 실내온도와 외부온도와의 차이로 나누어 무차원 계수로 표현한 것으로 다음과 같이 계산된다.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Θsi : 실내 표면온도 (K)
Θi : 내부 기온 (K)
Θe : 외부 기온 (K)

• 전열해석@을 위하여 사용 가능한 시뮬레이션 프로그램은 AnTherm, Mold Simulator, Delphin, Psi-therm 2D/3D, Heat2, Heat3, 등이 있으며, 이러한 프로그램은 벽, 지붕, 기둥, 글라브, 창, 개구부 등의 건축물 부위의 자재 및 형태를 모델링하여 부위별 에너지 손실량을 계산할 수 있도록 구성되어있다.

• 전열해석을 위하여 2차원 전열해석 프로그램을 이용할 경우, 열 결합계수(L_{2D}), 선형열관류율 (Ψ, P_{si}), 실내표면온도계수(f_{Rsi}), 실내 최저표면온도 등을 도출하여 건축물 열교부위에 대한 에너지성능을 효율적으로 예측할 수 있다.

• ISO 10211:2007은 선형열관류율의 정의 시 건축물 내부의 치수와 외부의 치수를 적용한 경우 모두를 허용하고 있으나 패시브하우스인증주택의 열교부위 계산 시 독일 PHI의 에너지 요구량 산출 프로그램 PHPP의 기준에 따라 건축물 외부의 치수로 계산한다. 또한 선형열관류율은 모델링 된 열교부위 전체의 전열량에서 부분 벽체의 열관류율과 그 해당길이의 곱의 합을 뺀 것이므로 그림

1과 같이 내부와 외부치수로 기준을 달리함에 따라 음(-)의 값을 결과로 가질 수 있으며 전도로 인한 열손실량 평가에서 기준치수에 의해 계산된 전도열손실량이 열교부위로 인해 오히려 감소함을 의미한다.

- 선형열교의 2차원 전열해석을 위한 단면 모델은 ISO 10211:2007의 기준에 따라 전열시뮬레이션 프로그램을 통해 다음 그림 2와 같이 구성되었다. 이 때 d_{min}은 최소 1m이상 해당 외피구성의 3배 두께로 정한다. 본 연구에서 패시브하우스는 외벽두께가 50cm이상이 되므로 패시브하우스 외피구성의 3배 두께를 기준으로 모델링한다.

- ISO 13370:2007은 건물의 열적성능평가에서 지중을 통한 열전도를 계산하기 위한 기준을 제공하고 있으며, ISO 10211:2007은 지중접지 부분의 선형열관류율을 계산하기 위하여 산술적인 방법과 추가전열해석을 이용한 방법의 두 가지 방법론을 제안하고 있다. 본 연구는 외부치수를 기준으로 하므로, ISO 13370:2007와 SO 10211:2007로부터 식(1)~(5)를 사용하여, 전열해석 프로그램을 통해 구해진 L2D값을 기초로 산술적으로 선형열관류율을 계산하는 방법을 사용하였다.

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_W + h_f)\, U_W - 0.5 \times (B' + w)\, U_g \quad \cdots\cdots (1)$$

$$B' = \frac{A}{0.5 \cdot P} \quad \cdots\cdots (2)$$

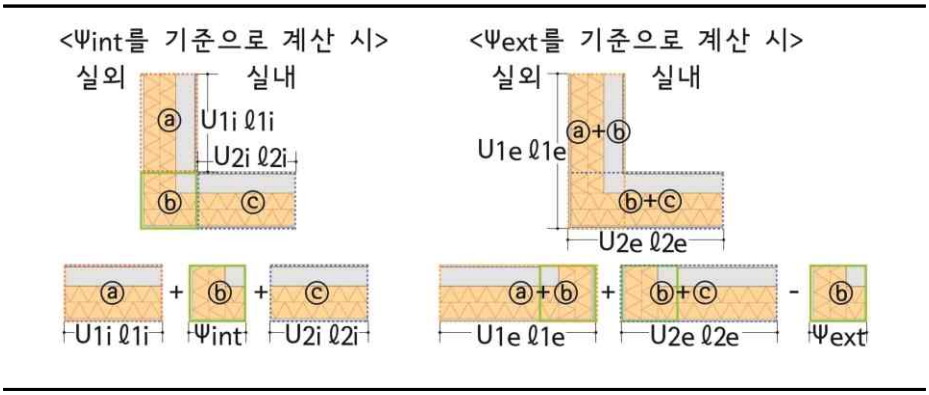
$$d_t = w + \lambda\,(R_{si} + R_{floor} + R_{se}) \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\text{if } d_t \geq B', \quad U_g = \frac{\lambda}{0.457 \cdot B' + d_t} \quad \cdots\cdots (4)$$

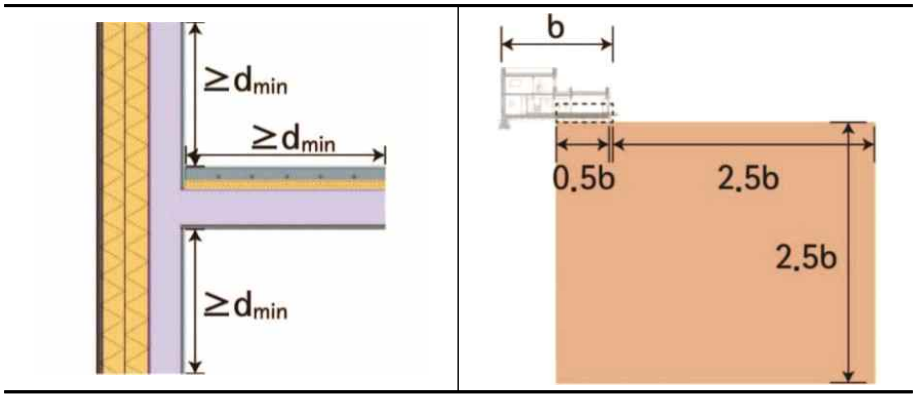
$$\text{if } d_t < B', \quad U_g = \frac{2\lambda}{\pi\, B' + d_t}\, \ln\left(\frac{\pi\, B'}{d_t} + 1\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

Ψ_g : 지중접지부분의 선형열관류율 (W/mK)
L_{2D}: 지중접지부분을 통한 열결합계수 (W/mK)
h_W : 슬래브와 외벽 접합부에서 모델 경계까지의 벽체 높이 (m)
h_f : 지표에서 슬래브표면까지의 높이 (m)
U_W: 지상벽체열관류율 (W/㎡K)
B' : 특성치수 (m)
A : 바닥슬래브의 면적 (m^2)
P : 바닥슬래브 둘레의 길이 (m)
w : 지상벽체 두께 (m)
d_t : 등가두께 (m)
λ : 토양의 열전도율 (W/mK)
R_{si}: 실내표면열전달저항 (m^2K/W)
R_{floor}: 바닥슬래브의 열전달저항 (m^2K/W)
R_{se}: 실외표면열전달저항 (m^2K/W)
U_g : 바닥 슬래브와 토양의 열관류율 (W/㎡K)

• 마지막으로 표준형 상세와 패시브하우스 상세의 결로 및 곰팡이 발생가능성은 PHI의 위생기준 중 온도계수기준(실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25≥0.7)에 근거하여 평가한다.



[그림3.36] 내부(左)및 외부(右)치수 기준 시 선형열관류율 계산



[그림3.37] 2차원 전열해석을 위한 열교부위 모델링조건

다. 한국형 패시브하우스 시공기술

(1) 외단열공법

(가) 외단열의 필요성

- 외벽의 단열방식은 벽체를 기준으로 설치 위치에 따라 나뉘어 지며, 벽체 외부에 단열재를 설치하는 외단열공법과, 실내에 단열재를 설치하는 내단열 공법이 있다. 두 벽체 가운데에 넣는 중단열 방식도 있으나 점차 줄어들고 있는 추세이다. 앞으로는 모든 건축물이 외단열로 되어야 할 만큼 외단열의 필요성은 더 강조되고 있으며 이는 다음과 같다.

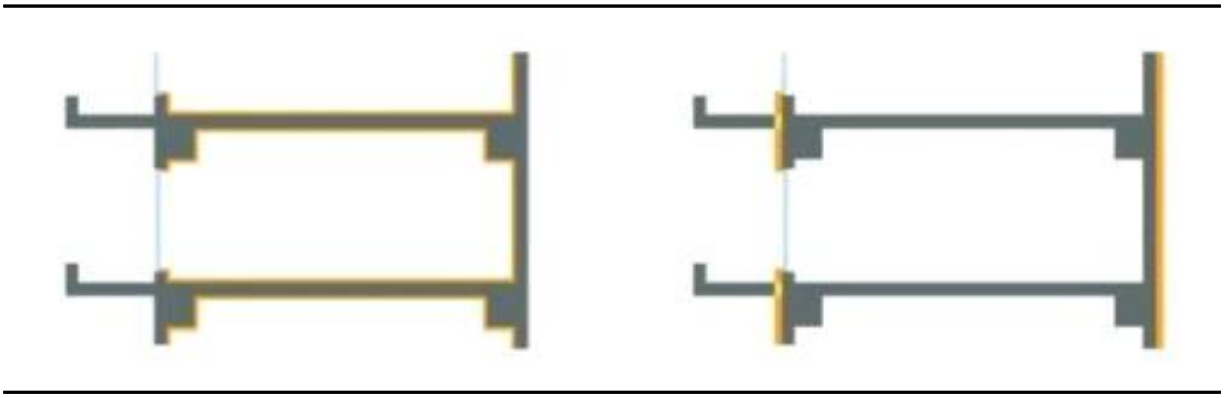
- 첫째, 건물의 수명이다. 내단열 공법에 있어서 철근콘크리트의 철근은 공기중에 노출되어 있으면 부식되어 녹이 발생하나 알칼리성인 콘크리트 속에 있기 때문에 보호를 받고 건물을 지탱해준다. 계산적으로는 온도에 의한 팽창율도 두 자재가 거의 같기 때문에 신축팽창으로 인한 하자가 없다. 그러나 콘크리트가 외부와의 화학반응에 의해 중성화가 진행되면 철근의 팽창압력으로 콘크리트가 폭열을 일으켜 콘크리트가 벗겨지거나, 마감재가 떨어지는 문제가 발생하게 된다. 그러나 외단열의 경우 철근콘크리트 외측에 단열을 하므로 외부로부터의 일사, Co2, 빗물 등을 방지하여 콘크리트 열화방지와 외장재 박리문제를 해결할 수 있다. 즉, 내단열의 건물의 경우 지속적인 유지관리를 필요로 하며 관리를 못할 경우 건물은 흉물이 되어버리고 외피로서의 기능을 제대로 하지 못하게 된다. 그러므로 외단열은 건물의 수명을 늘리는데 꼭 필요한 공법이다.



[그림3.38] 내단열 공법으로 인한 콘크리트의 하자

- 둘째, 실내 위생이다. 내단열은 구조적으로 벽체와 바닥사이에 발생하는 부위는 단열재를 설치할 수가 없다. 이렇게 단열재가 끊어지는 부위를 통한 열 이동(열교)은 많은 열 손실뿐만 아니라 결로로 인한 여러 가지 문제를 발생 시킬 수 있다. 공기는 따듯할수록 많은 공기를 포함하게 되는

데, 차가운 외기에 직접 닿아있는 구조체와 따듯한 실내 벽체사이에 생기는 결로수는 곰팡이와 진드기가 서식하기에 가장 좋은 환경을 만들어낸다. 특히, 전통적으로 기밀하지 않던 건물에 기밀성이 높아지면 이 문제는 더 커지게 되어 아토피와 같은 알러지 질환 등 많은 위생적인 측면에 치명적이다. 벽체 외부에 단열재를 붙이는 외단열에 있어서는 구조적으로 단열재가 전체 외벽면에 붙여지기 때문에 이와 같은 열교로 인한 문제를 방지하게된다. 그러나 발코니와 같이 연결되는 부위는 구조적으로 연결을 하면서 단열성능까지 확보된 특수 장치를 사용하거나, 벽체와는 별도로 구성된 발코니구조를 만드는 등 다른 대안을 모색해야 한다.

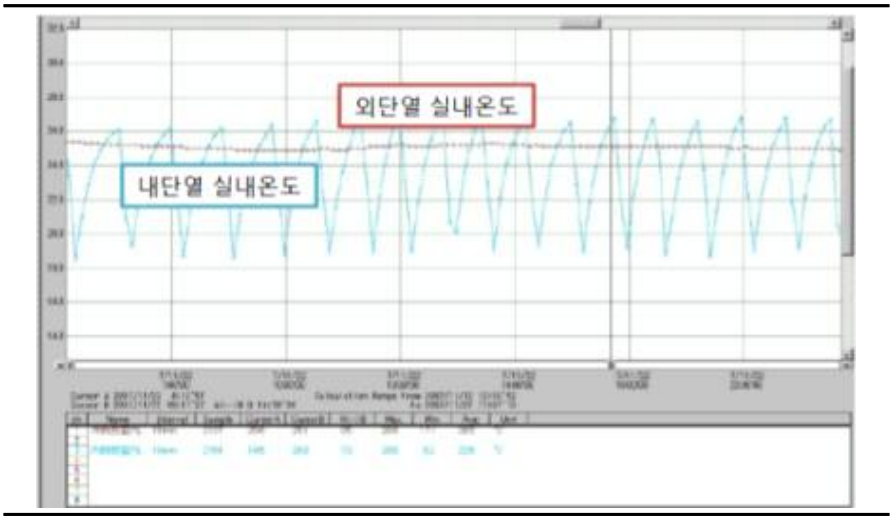


[그림3.39] 내단열 공법으로 인한 콘크리트의 하자

- 셋째, 에너지 성능이다. 또한 외단열 공법에 있어서는 시공성 저하, 공사비 상승 등 여러 가지 어려운 점으로 인해 전통적으로 내단열 공법이 채택되고 있으나, 열교로 인한 열 손실량을 줄임으로써 단열 효과 및 에너지 효율성을 극대화 하려는 에너지 절약형 건축물에는 필수적인 공법이라고 할 수 있다. 특히, 패시브하우스 인증 취득과정에는 모든 구조가 연결되는 부위의 열교값을 계산하여 열교에 문제가 없는지를 증명하는 것이 필요하며, 열교가 많은 내단열 방식의 건축물로는 패시브하우스로서 요구되는 높은 에너지 성능을 이끌어내는 것은 불가능하다.

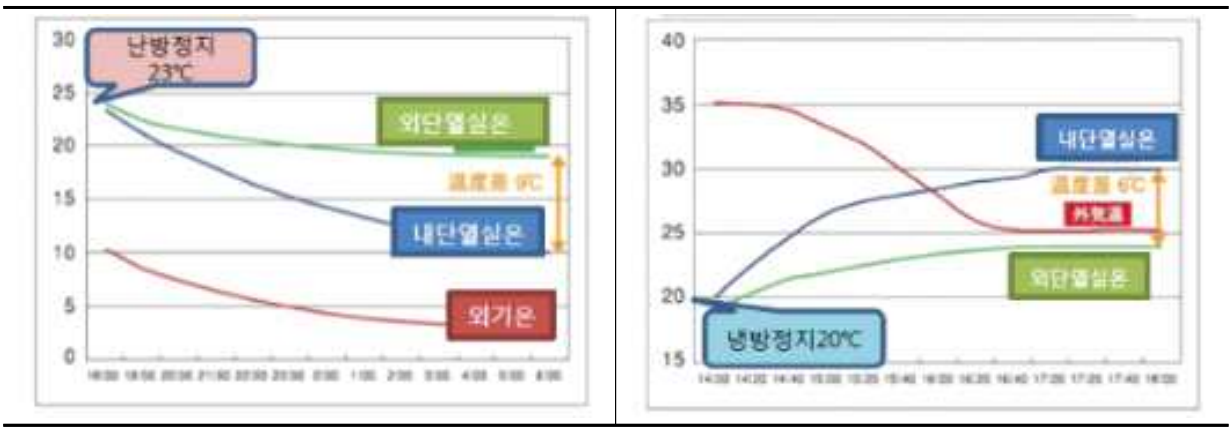
- 넷째, 쾌적성이다. 외단열의 경우 단열재 내부에 위치한 벽체의 축열성에 의해 벽 온도가 안정되어 실내 온도의 변동이 적기 때문에 쾌적한 공간을 보장한다. 쾌적성은 실내온도와 벽, 바닥, 천정의 온도가 5도 미만일 때 느껴지는데, 이는 온도차이가 큰 부분에서 발생하는 결로가 사라지게 되며, 이로 인해 실내습도의 조절이 쉽게 이루어진다. 이는 실온이 외기에 의해 받는 영향이 적기 때문에, 적은 에너지양으로 적정 실내 온도를 맞출수 있기 때문에 쾌적성과 에너지 효율성을 높일 수 있다.

- 외단열의 경우 냉방 및 난방을 하다가 적정온도가 되었을 때 냉난방을 정지했을 때에도 실내 축열로 인해 외기온도에 의한 온도변화의 폭이 내단열보다 작기 때문에 실내 환경으로 인한 스트레스가 적어진다.



[그림3.40] 내외단열 실내온도차이 비교 (환경건축의 시작-외단열)

- 다섯째, 축열성능이다. 외단열과 내단열의 두께나 열전도율의 차이가 없으면 열손실은 계산상으로는 같으나 실제로는 같지 않다. 이는 열용량이 큰 철근콘크리트가 단열재 밖에 배치되어있는 경우 외부에 의해 큰 영향을 받기 때문이다. 콘크리트 180mm 벽이 일사에 의해 축열되어 40도에 달한경우 1m2당 축열되는 열량은 3240kcal이며 이는 32.4리터의 0도 물을 100도로 끓이는데 드는 열량과 같으며 이만큼 실내 냉방부하는 증가하게 된다.



[그림3.41] 축열성능 그래프

- 콘크리트 자체는 온도를 축적하는 축열성능을 가지고 있다. 외단열의 경우 실내의 열이 내부 벽체로 축열된 후 천천히 방출되는 복사열을 얻을 수 있다. 특히 외부의 태양에너지 획득을 최대화하는 것뿐만 아니라 인체발열과 기기발열까지 고려하는 패시브하우스에서는 손실되는 열을 최소화하고 복사열까지도 활용하는 외단열은 필수적이라고 할 수 있다.

(나) 단열방식에 따른 특징

• 구체를 중심으로 단열재 위치에 따라 외단열 및 내단열 공법을 적용 시 다음과 같은 특징을 갖는다.

[표3.18] 단열 공법에 따른 특징 비교

구분	외단열	내단열
구체보호	-구조체에 거의 영향을 미치지 않음	-구조체가 태양일사의 영향을 받으므로 열화 영향 우려
열교	-열교부분 단열처리 용이	-국부 결로 발생 -시공, 미관상 단열처리 곤란
결로	-난방정지시 벽체의 표면온도가 높아 결로 발생이 어려움 -단열재와 외장재 사이에 결로발생 가능성	-난방정지시 벽체의 표면온도가 낮아 결로 발생이 쉬움 -단열재 내측에 방습층을 설치하지 않으면 결로 발생
난방부하	-축열 시 에너지 소비 큼 -간헐난방이나 사람이 계속 거주하는 건물에 적합 -내단열 대비 5.3% 감소	-국부 난방공간에 유리 -집회장 등 실외 사용시간이 짧은 건물에서 유리
냉방부하	-야간 외기 축열에 유리 -내단열 대비 14.3% 감소	-단기간 냉방에 유리
실온변동	-실온변동 적음(콘크리트 축열) -냉,난방정지시 온도강하폭 완만 -여름의 “후끈거림” 방지	-실온변동이 외단열보다 큼 -냉,난방정지시 온도강하 큼
열교 및 열용량 증가	-내단열 대비 -난방에너지 요구량 10.2% 감소 -냉방에너지 요구량 1.3% 감소	-

- 이상우 외 건축환경계획론, 태림문화사 1993 p70,
- 김인숙 단열시공, 대한건축학회 1992,
- 구보경 외 열교부위 전열량 및 열용량 차이가 내, 외단열 공동주택의 에너지성능에 미치는 영향, 대한건축학회 2010

(다) 한국형 패시브하우스 부위별 외단열계획

1) 외벽부위

- 독일 패시브하우스인증주택의 사례조사 결과 외단열 공법 적용 시 마감에 대하여 외단열 미장마감 공법(EIFS, Exterior Insulation Finishing System)을 적용하는 경우가 57%를 차지하고 있다.

- 국내에서 EIFS는 여러 가지 방법 중 중량구체 위에 EPS 단열재를 부착하고, 유리섬유 메쉬 등을 얹은 뒤 미장마감을 하는 방식이 “드라이비트 공법” 이라는 이름으로 알려졌으며, 시공방법이 간편하며 건식철물 부착이 불필요하므로 인한 단열재 손실 및 열교를 최소화 할 수 있다.

- 그러나 국내 단독주택 입면디자인의 분석 결과 단순 드라이비트와 같은 외장재보다는 목재, 석재, 징크 등 다양한 자재를 사용한 입면을 선호하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 자재를 사용하기 위해서는 열교가 없는 외단열 미장마감 방식과 달리 철물고정이 불가피 하며 이로인한 열교발생의 우려가 크다. 국내에서는 아직 열교에 대한 기준이 미비하여 에너지요구량 산정과정에서 주택의 열교부위를 통한 전열량 손실을 고려하지 않지만, 독일 패시브하우스의 경우 열교부위를 통한 열 손실을 난방에너지요구량 산출 시 합산하게 되어있으므로, 열교에 대한 고려가 매우 중요하다.

- 따라서 국내 디자인 경향에 대한 한국형 패시브하우스의 반영을 위해서는 외벽부위 단열방식에 따른 외장재 시공법에 대한 연구가 필요하다.

- 따라서 본 연구에서는 탄산칼슘계 단열재 적용을 통한 습식부착방법, 건식부착을 위한 열교방지 방법을 연구하였다.

가) 탄산칼슘계 단열재 적용을 통한 습식부착방법

- 탄산칼슘계 복합단열재를 사용할 경우 불연성과 낮은 열관류율을 확보하면서 부착성을 높여 석재 및 타일형태의 외장재를 습식으로 부착할 수 있다.

- 단열재로 사용된 무기질의 탄산칼슘계단열재는 독립기포구조를 가진 저밀도 발포체로서 단열성능 뿐만 아니라 불연, 방수, 방습, 내구성이 좋다. 또한 접착형 단열재로 시공성이 좋으며, 외장재마감도 부착이 가능하여 열교방지가 용이하다. 또한 거푸집 겸용 시공방법 또는 접착공법을 통해 공기 단축에 따른 비용을 최소화할 수 있다. 이러한 탄산칼슘계 단열재의 특징은 다음과 같다.

[표3.19] 탄산칼슘계 단열재의 특징

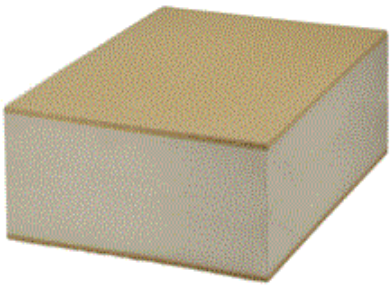
구 분	내 용
내구성	탄산칼슘의 막으로 독립기포구조로서 열이나 광, 물, 산소, 이산화탄소등에 기인하는 열화가 적어 일반적인 플라스틱계 단열재의 단점인 경시현상이 적으므로 단열성능이 장기간 지속됨
불연성	무기질의 탄산칼슘이 주 원료로 불에 강하며 연소되지 않고 유해가스가 발생하지 않음
단열성	완전 독립기포 구조의 저밀도 발포체로 기포내 공기를 함유하고있어 전도율값이 낮고 단열성능이 있음
접착성	탄산칼슘계는 콘크리트와 이산화탄소가 반응하여 생성되는 화합물로서, 몰탈, 콘크리트, 플라스터 등과의 접착성이 있으며, 화학적으로 안정되어 열화가 없음. 또한 단열재의 점탄성으로 떨어짐 현상이 적음.
방수/방습	독립기포 구조로 흡수 또는 흡습이 없으며, 구조체와 직접 전면 접착되므로 내부에 생길 수 있는 결로 및 곰팡이의 발생도 없음
내동해성	-20도, +10도가 반복되는 가혹한 조건의 500회 사이클 테스트에서도 부착력이 그대로 유지되었음
가공성	무게가 가벼우며, 칼이나 톱에의한 전단이 용이함. 또한 70도 정도열을 가하면 구부림, 곡면, 요철가공도 쉽게 할수 있음
의장성	타일마감, 석재마감, 도장마감 등 다양한 마감이 가능하며, 신축으로 인해 외장재가 떨어질 염려가 없음

• 탄산칼슘계 단열재의 물리화학적 특성

[표3.20] 탄산칼슘계 단열재의 물리화학적 특성

열전도율 W/mk	0.036
투습계수(25) ng/m2sPa	31
흡수량 g/100cm2	2.0 이하
강도 kgf/cm2	압축강도 1.8 인장강도 5.8 굽힘강도 5.1
균등분포하중에 견디는 정도 ton/m2	18
밀도(kg/m3)	70
내화성능 및 내열온도	준불연재, 100℃ 이상
산화	산화현상 없음
내구성	독립기포 구조로 매우 높음
환경친화성	환경무해함

• 이러한 탄산칼슘계 단열재와 압출법단열재를 이용하여 복합판넬을 구성할 경우 두 단열재의 장점을 취하고 단점을 보완 할 수 있다. 플라스틱 재료인 압출법 폴리스티렌폼판의 방화성이 열악하고, 열, 빛 등에 기인하는 재료 열화를 탄산칼슘단열재로 보완할 수 있다. 이는 판간 실링이 필요없고 보수성, 의장성이 향상되며, 콘크리트 벽체와 접착력이 좋아 앙카볼트로 인한 보수도 불필요하다. 이러한 단열재 위에 접착성 시멘트 모르타르를 이용하여 각종 석재 및 타일형식의 외장재를 부착할 수 있다.

	
화산석 타일	탄산칼슘계 단열재(상하)와 xps(중앙)로 구성된 복합단열재

[그림3.42] 화상석 및 탄산칼슘계 복합단열재

나) 건식부착을 위한 열교방지방법

• 다양한 마감재 부착을 위해 건식 벽체의 구성은 불가피하다. 이 경우 단열재의 두께가 되도록 얇아야 건식철물의 크기도 줄어들기 때문에 열전도율이 특히 낮은 경질폴리우레탄 단열재 등을 사용할 수 있다.

• 적용된 건식 파사드는 환기가 되는 통기 파사드로 구성하여 습기로 인한 외장재의 뒤틀림을 방지하고 단열재의 통풍도 가능하도록 하였다. 또한 최적화된 구조계산을 통해 외단열 뒤 구조체에 부착되는 L형 철물의 개수를 최소화 하였으며 아연도철물 대신 스테인리스를 이용하고 에어로젤을 절연체로 사용함으로써 열교를 방지하였다.

• 사용된 경질 우레탄 폼의 특성은 자체 단열성, 경량성, 완충성 등의 성질을 활용하여 다른 재료를 보완하여 단열재, 경량구조재, 완충재 등으로 광범위하게 사용되고 있으며 단열재로서의 응용이 전체 80~90%를 점유하고 있다. 또한 150도의 고온 영역으로부터 인공위성 발사로켓의 연료탱크(-235도) 와 같은 극 저온 영역까지 광범위한 온도영역에서 사용할 수 있는 유일한 단열재이다.

• 보통 국내에서는 공장의 판넬건물로 조립식 판넬에 많이 사용되고 있으며, 스프레이 형태로 건축물 모든 부분의 시공적인 문제로 단열이 끊긴 부분이나 구멍이 나있는 부분을 충진 하는데 사용된다.

• 그러나 경질 폴리우레탄 보드는 가연성이기 때문에 다른 첨가제 및 물리적인 설계를 통해 화재 성능을 이끌어내야 한다. 그래서 단열재가 그대로 노출되지 않도록 시공하여 열 또는 불꽃이 표면에 튀지 않도록 해야한다.

• 240mm 경질 폴리우레탄보드, 20mm 통기층, 30mm 각목, 17mm 적삼목등으로 벽체를 구성할 수 있다. 외장마감재를 고정하기 위해 스테인리스 브라켓이 구조 벽체에 부착되고 열교 차단을 위해 에어로젤단열 패드를 부착한다.

• 단열재와 마감재 사이 20mm의 통기층을 두어 공기가 통할 수 있도록 하였다. 이는 단열재의 습기문제를 해결한다.

• 경질 폴리우레탄 단열재의 분류

[표3.21] 경질 폴리우레탄 단열재의 분류

분류	사용
성형폼	슬래브 발포폼 : 절단보드, 파이프카바, 접합보드
	연속라미네이트 발포폼 : 라미네이트보드, 판넬, 금속샌드위치 판넬
	주입발포폼 : 전기냉장고, 냉동기, 쇼케이스, 자동판매기, 단열관, 아이스박스, 조립식목욕조, 단열샤시, 샌드위치판넬, 단열덧문, 파이프카바, 보드, 합성목재, 가구, 도아판넬 등
	스프레이 발포폼 : 단열관, 목욕조, 파이프카바 등
제조방법	몰드폼(Mold Foam) 내부에 일정한 공간을 차지하는 금형을 사용하여 제품을 생산하거나, 실제품을 조립하여 내부공간에 우레탄 원액을 주입, 생산하는 것이다. 예) 냉장고, 냉동콘테이너, 판넬 등
	블록폼(일명 박스폼) 사각형의 금형(약 1*1*1m)dp 우레탄 원액을 주입하여 폼을 생산, 용도에 적합하게 2차 가공을 실시하여 사용한다.
	슬라브폼(Slab Foam) 연속적인 컨베이어(Conveyer) 라인을 이용하여 하판에 면재를 부착하고 그 위에 우레탄 원액을 분사하여 폼을 생산한다. 위쪽은 열려있는 상태이며 2차가공하여 제품으로 사용한다.
	스프레이 폼(Spray Foam) 이소시아네이트와 레진프리믹스를 혼합하여 고압의 공기를 이용하여 노즐 밖으로 강하게 분사, 수초내에 표면이 불규칙한 폼으로 만들어지는 것을 말한다.

• 경질 폴리우레탄 물리화학적 특성

[표3.22] 경질 폴리우레탄 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.018~0.022
투습계수 (g/㎡hmmHg)	40이하
강도 (kg/㎠)	압축강도 1.5~4.5/ 인장강도 2.5~5.0
밀도(g/㎤)	0.025~0.070
선팽창률	5 x 10^5
내열온도	-170~100도
환경저항성	물침투 적음
환경친화성	인체 무해 가스발생
규격	20~125T, 900-1000-1200W, 1000~2000L

	
적삼목	경질폴리우레탄

[그림3.43] 적삼목 및 경질폴리우레탄

2) 기초바닥부위

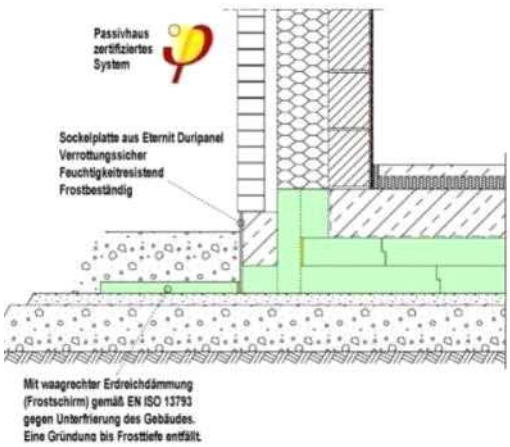
• 기초 바닥부위에 적용하는 외단열재는 토양으로부터의 수압에 견딜 수 있어야 하며, 습기에 강한 성질을 지녀야 한다. 또한 건물의 하중과 같은 등분포하중을 견딜 수 있는 강도를 지녀야 한다.

• 이에 적합한 자재로는 압출법 단열재가 있다. 압출법 발포폴리스티렌은 플라스틱계 단열재중 하나이며 XPS(Extruded Polystyrene)라는 명칭으로 통용된다. 이는 재료의 표면이 고르고, 공기와 냉매가스의 혼합물이 들어있는 막혀있는 구조의 단열재이며, 높은 열 저항값을 가지고 있으며, 투습저항이 높다. 그리고 다른 단열재에 비교해서 강한 구조적 성능을 가지고 있다. XPS는 다른 폴리스티렌 폼인 EPS와 같이 공장, 상업, 주거건축물에 널리 사용되고 있는 단열재이며, 환경적으로 유해한 프레온가스(CFCs)가 이 제품을 만드는데 사용된다.

[표3.23] XPS 물리화학적 특성

열전도율(W/m・K)	0.027~0.031
투습저항(water vapour diffusion resistance)	80-250
투습계수 (g/㎡hmmHg)	0.07이하
강도(kgf/㎠)	압축 2.5~1.0 /굽힘 4.5~2.5
밀도(kg/㎥)	25-45
열용량J/(kg・K)	1,500
내열온도(안전사용 온도)	75도
외부환경 영향	상대적으로 습기에 강함
환경친화성	프레온가스 함유, 재활용 가능
규격	최대 900mm * 2400mm

- 국내에서는 패시브하우스의 바닥단열을 위한 두꺼운 단열재가 생산되지 않아 기성제품을 두 번 쌓아야 하는 번거로움이 발생하는데, 이는 시공인력 및 공기로 인한 공사비 상승요인일 뿐만 아니라, 두장의 단열재 접착이 부실할 경우 틈새에 수막이 형성되어 단열성능이 저하되는 원인이 되기도 한다. 독일의 경우 단열재의 틈새없는 시공을 위해 암수의 요철이 있는 단열재가 유통되고 있지만, 국내에서는 이러한 자재의 수급이 어려우므로, 기초단열을 위한 단열재 생산이 시급하다.

	
해외 기초 외단열시공	국내 기초 외단열시공

[그림3.44] XPS 디테일 및 시공사진

3) 지붕 및 파라펫부위

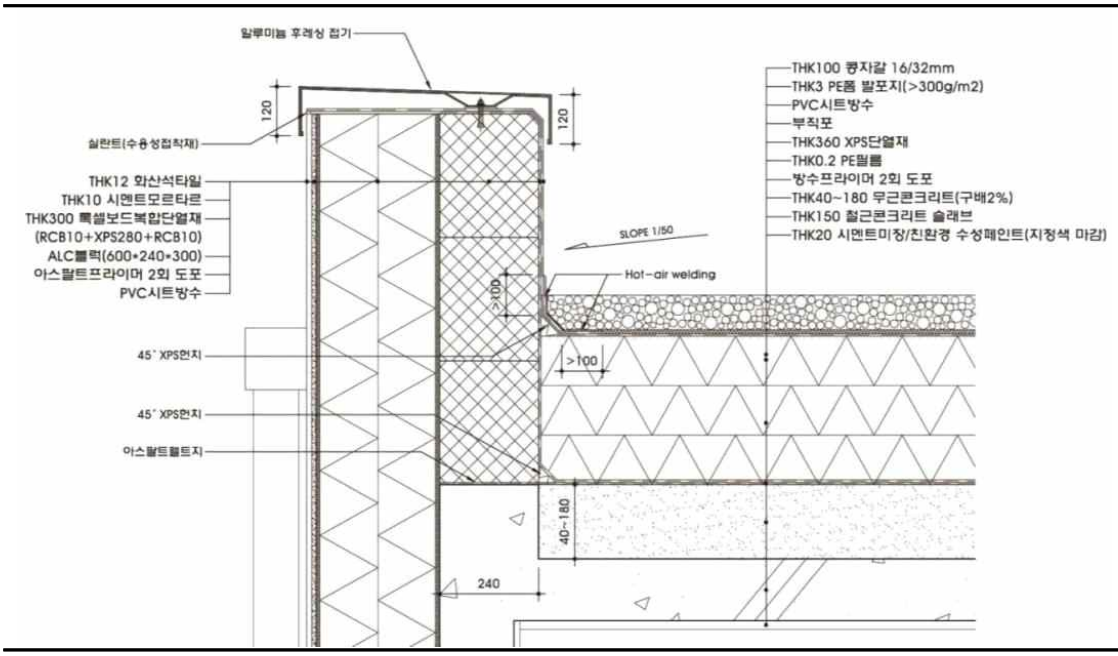
- 외피에서 가장 열손실이 많은 지붕은 태양열을 차단하기 위해 높은 단열성능이 요구되며 자외선과 우수로부터 구체를 보호하고 지붕 상부 공간 사용 시 사용자의 하중을 지지해야 하는 조건들이 발생한다.

- 특히 국내 단독주택의 경우 부족한 외부공간 확보를 위해 주택의 지붕을 평지붕으로 계획하여 상부공간을 활용하고자 하는 경향이 있으므로, 한국형 패시브하우스의 경우 평지붕에 대한 충분한 고찰이 필요하다.

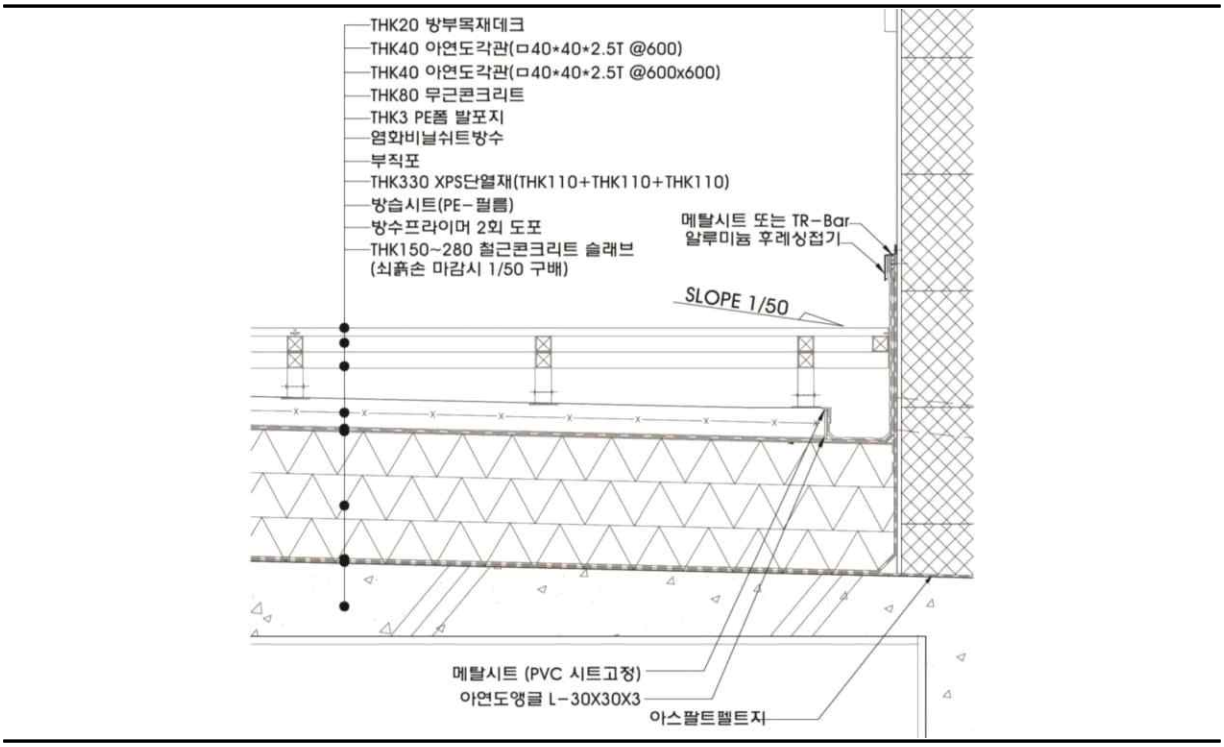
- 평지붕 옥상부분은 물빠짐을 위한 구배, 방수와 단열재의 하중지지에 대한 조건을 만족해야 한다. 먼저, 상부공간을 이용하지 않는 평지붕의 경우, 구배가 되어있는 지붕 콘크리트 위에 방수를 위한 아스팔트 프라이머를 도포하고, 콘크리트에서 올라오는 습기를 막기 위한 방습층으로 PE필름을 둔다. 이후 단열재를 설치하는데, 이때 단열재는 기초단열과 마찬가지로 높은 열 저항값을 가지고 있으며, 투습저항이 높고 다른 단열재에 비해 등분포하중 지지에 유리한 XPS 단열재를 사용할 수 있다. 상부에는 단열재 보호를 위한 부직포를 깔고 PVC방수를 덮어 방수 및 단열재보호 작업을 완료할 수 있다. 이 후 콩자갈 등을 깔아 방수층을 보호할 수 있다.

- 지붕의 상부공간을 활용하는 경우, 구배가 있는 콘크리트 위에 방수프라이머를 시공하고, 방습을 위해 PE필름을 깐다. 이후 XPS단열재를 시공하고, 부직포 위에 염화비닐시트 방수를 할 수 있다. 방수보호를 위해 상부에는 PE폼 발포지를 놓으며, 공간 사용을 위해 데크를 깔 수 있다.

- 파라펫의 경우, 철근콘크리트 구조로 파라펫을 만들면, 기하학적 열교로 인한 열 손실의 우려가 크고, 외단열재로 파라펫 부위를 감싸는 등의 비효율적 디테일이 발생할 수 있기 때문에 열전도율이 낮은 ALC블럭을 이용하여 파라펫을 구성함으로서 열교로 인한 열손실, 곰팡이, 결로 및 디테일의 문제를 해결할 수 있다.



[그림3.45] 지붕공간을 사용하지 않는 평지붕 및 파라펫 구성



[그림3.46] 지붕공간을 사용하는 평지붕 및 파라펫 구성

(2) 창호 및 문 계획

(가) 패시브 창호 및 문의 필요성

- 창호는 쾌적한 실내환경을 보장하기 위한 필수적인 요소이다. 남향으로 놓인 창호를 통해 직간접적인 태양열 취득으로 난방사용량을 줄일 수 있으며, 또한 자연환기 등을 가능하게 한다. 그러나 창호는 벽체에 비해 열관류율이 높기 때문에 여름철이나 겨울철에 열의 주요 이동통로가 된다. 추운지역에서, 제대로 단열이 되지 않은 창호는 입면에 상대적으로 추운 면적을 생성시키며, 우풍과 같은 찬기를 없애기 위해 창호 주변에 난방장치를 필요로 한다.

- 반면에, 단열이 잘된 창호 즉, 열관류율 0.80W/(㎡·K) 이하의 고단열 창호는 추운 겨울밤에도 표면온도가 17도 이하로 떨어지지 않으므로 실내 쾌적성을 높여주는데 결정적인 역할을 한다. 또한 가장 추운 중부유럽의 겨울 영하 10도일때를 기준으로 패시브하우스에 적정한 창호는 그 창호의 모든 디테일 부위의 표면온도가 실내 온도보다 평균 3도 이상 차이가 나지 않는 것이다.

- 이러한 상황에서, 패시브하우스창호를 통해 기존 창호대비 50%이상의 열손실을 막을 수 있기 때문에 패시브하우스 인증 및 실제 에너지 사용량의 절감을 위해서는 여러 가지 요소들을 고려하여 세밀하게 설계된 창호가 필요하다.
  - 기존 벽체에 비해 얇아질 수밖에 없는 출입문의 부위에도 그의 상응한 단열성과 기밀성을 확보

하지 못하면, 많은 에너지 손실이 발생하기 때문에 고기밀성 단열문은 패시브하우스 인증을 위해서는 필수적이다.

- 기밀성을 제외하더라도, 출입문의 열관류율이 3W/(㎡·K) 일 경우, 문을 통해 일어나는 열 손실량은 0.15W/(㎡·K)인 패시브하우스의 벽체 약 40㎡의 면적에서 빠져나가는 양과 같으며, 이는 이 주택의 한쪽 벽면 전체의 면적과 비슷한 수준이기 때문에, 패시브하우스에서는 단열문 설치가 필수적이다.

(나) 패시브 창호 및 문의 특성

1) 패시브창호의 장단점

[표3.24] 패시브 창호의 장단점

장점	단점
• 실내 쾌적성 • 겨울동안 가장 추운기후에도 적정 에너지 수지를 맞춤 • 패시브하우스에서의 적정성	• 기존 창호에 비해 가격이 비싸다. • 국내 패시브하우스인증조건을 만족하는 창호가 없어, 수입으로 인한 추가비용 발생. • 삼중유리, 프레임의 고단열성으로 인해 무게가 무겁기 때문에 시공자에겐 설치가 어렵고, 사용자의 이용이 쉽지 않다.

2) 패시브창호 고단열 투명유리 특성

• 유리 종류에 따른 열관류율 및 성능은 다음과 같다.

[표3.25] 고단열 투명유리 성능

구 분	단일유리	복층유리	복층로이유리	삼중로이유리
로이코팅	-	-	로이	로이
가스충진	-	-	아르곤	아르곤
열관류율(W/㎡·K)	5.60	2.80	1.20	0.65
표면온도(외 -10도, 내 20도)	-1.8	9.1	15.3	17.5
태양투과율(g)	0.92	0.80	0.62	0.48

• 단일 유리의 열관류율은 약 5.5W/(㎡·K)이며, 손실되는 양은 1㎡당 60리터의 난방에너지 사용량과 동등하다. 독일의 평균 에너지가격을 가정해보면, 난방에너지로 연간 42유로/㎡가 소비되는 것이다. 에너지손실양이 늘어나는 것 뿐만 아니라, 단열성능의 부족으로 인해 실내 면에 곧바로 찬기가 들어오게 된다. 이러한 열적 성능의 부족은 쾌적성을 저하시키고 결로 등 하자를 발생시킨다.

- 복층유리는 두장의 유리에 하나의 공기층으로 단열이 되어있으며 단창보다는 나은 성능을 보이며 열관류율은 2.8W/(㎡·K)이다. 이는 단창일 때보다 열손실량이 반으로 줄은것을 의미한다. 이중창의 안쪽 표면온도는 추운날에 7.5도 이며, 성에는 끼지 않는다. 하지만 창호표면은 여전히 쾌한 찬기운이 있으며, 추운 날씨에는 노점온도 아래로 떨어지기 때문에 결로가 생긴다. 열 손실량 비용은 연간 21유로/㎡ 이며 15년 후에는 처음 창호 자체 가격을 넘어서게 된다. 아직도 많은 건물들의 창호에는 이러한 복층유리 창이 설치되어있다.

- 로이복층유리(Low-emissivity)는 내판 유리의 바깥쪽을 향한 유리에 열의 이동을 최소화하는 얇은 금속산화물(SnO2)로 이루어진 코팅을 한 유리를 뜻하며, 저방사유리라고도 한다. 로이유리는 창을 통해 들어오는 가시광선은 대부분 투과시켜 실내를 밝게 해주며, 적외선 부분인 복사선은 효과적으로 차단한다. 따라서 겨울에는 내부열이 밖으로 빠져나가지 못하게 차단하며, 여름에는 바깥열기를 차단하게된다. 이는 독일의 1995년의 열 보호규정의 표준제품으로 복층유리사이에 열전도율이 낮은 아르곤가스를 주입하여 신축건물과 리모델링건물에 적용되었다. 기술의 발전으로 인해 상대적으로 가격이 비싸지 않은 복층 로이코팅유리는 목재나 플라스틱, 알루미늄 창프레임에 끼워져 열관류율 1.3~1.7W/(㎡·K) 를 가지고 있다. 이는 기존의 복층 유리보다 열손실량이 절반인 것을 알 수 있다. 로이복층유리의 실내표면온도는 영하의 외부온도에도 평균 13도가 되기 때문에 창문 주변에서 발생하는 냉기로 인해 아직 방안의 쾌적성을 보장하지 못한다. 또한 온도 차이로 인해 유리 내부 모서리부분에 결로가 발생하기도 한다.

- 삼중로이유리는 에너지효율건축물의 주요 대안이 될 수 있으며, 로이코팅이 된 유리사이에 두 개의 공간이 있으며 가스로 채워져 있어, 열관류율이 0.5~0.8W/(㎡·K)이다. 전체적으로 창호의 품질의 수준을 높이기 위해 매우 단열이 잘된 프레임과 열적으로 분리된 모서리부분의 마감이 필수적이다. 이러한 패시브하우스 창호를 통해 겨울에 열손실되는 량은 들어오는 태양에너지로 인해 상쇄가 일어나며, 창호의 가격 또한 삼중로이유리만으로 절감되는 에너지량으로 채워진다. 삼중유리를 통한 잠재적인 태양열 취득은 단열외피의 열적 보호성능(열관류율 U=0.15W/(㎡·K))과 조화를 이루며, 열손실이 없는 공간은 실내에 존재한 열을 재활용한 급기만으로 쾌적한 실내환경을 조성한다.

- 패시브하우스 창호는 열손실의 최소화 뿐만 아니라 개선된 쾌적성을 제공한다. 매우 추운 외부기온에도, 창호의 내부 표면온도는 17도 이하로 떨어지지 않으므로, 외풍이 느껴지지 않으며, 창호 밑에 난방장치를 설치할 필요가 없으므로, 불쾌한 온도층이 형성되지 않는다. 그러나 패시브하우스 창호는 기밀성과 최소화된 열교의 기준을 동시에 만족시켜야만 가능하다.

- 패시브창호의 기준은 위와 같이 열적인 성능뿐만 아니라 총 태양에너지의 투과율도 고려해야한다. 이는 태양열취득을 최대화 하고 손실되는 열을 최소화 하여, 실내 부가적인 장치로 인한 비용을 줄이고 난방을 하기 위함이다. 태양열 취득을 최대화하기 위해 패시브하우스는 아래 그림과 같이 넓은 창면적을 가지고 있는 경우가 많다.



[그림3.47] 독일의 패시브하우스 남측 입면

• 태양열 투과와 관련하여 사용되는 기준은 g값, SHGC, SC라는 단위가 사용되고 있다. g값은 주로 유럽에서 사용되는 단위로, 유리의 빛투과율을 의미하며. g-value는 51%또는 0.51 등 투과되는 양을 표기한다.[26)]

• SHGC는 태양열취득계수(Solar Heat Gain Coefficient)로서 미국에서 주로 사용되며, 일반적으로 창호 또는 문 전체의 태양열 투과량을 의미한다. 또한 이는 유리 가운데의 태양열 취득계수를 의미하기도 한다. 이때의 SHGC는 G-value와 동일한 의미로 볼 수 있다.

• SC(Shading Coefficient)는 차폐계수로 SHGC에서 파생되어 나온 단어이다. 하지만 오래된 창호와 문은 차폐계수가 언급된다. SC와 SHGC의 관계는 다음과 같다.

SHGC= SC x 0.87

• g-value 와 SHGC는 0~1범위내에 있으며, 낮은값일수록 적은 태양취득량을 나타낸다. 차폐계수는 주요 태양투과량과 2차적인 투과량의 합산으로 계산된다. 주요 투과량은 전체 태양 입사량에 비교하여 창을 통해 직접적으로 들어오는 태양 복사량이며, 2차 투과량은 전체 태양입사량과 비교하여 창을 통해 내부적으로 들어온 태양복사량이 다시 창호에 흡수된 량을 말한다.

26) http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_gain



[그림3.48] g-value값이 높은 저철분유리(상)와 g-value값이 낮은(하)유리

- 유리의 주원료는 규소로서, 일반적으로 산화철을 발생시킨다. 산화철이 유리의 녹색빛을 띄게 만드는 것이며, 고품질의 규소는 산화철이 거의 없어 깨끗한 유리를 만들 수 있다. 산화철의 감소는 녹색의 색조를 감소시키며, 태양빛 투과율과 밝기와 선명함을 올려준다.

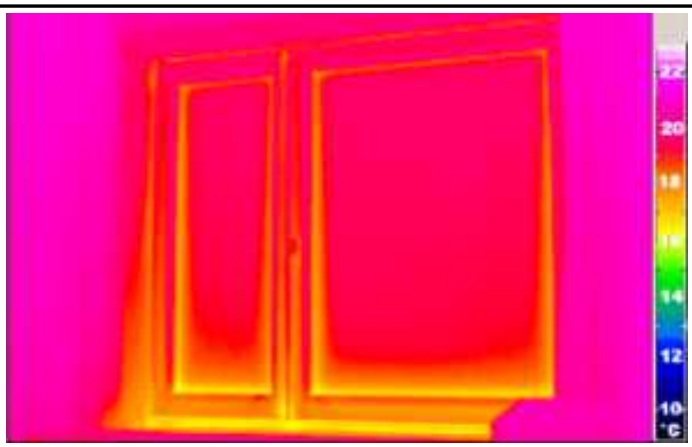
- 패시브하우스창호는 겨울에 적정한 에너지수지를 맞추기 위해 다음과 같은 유리의 기준을 따라야 한다.

$U_g - 1.6\ W/(m^2 K) \times g \leq 0$

- 위의 기준을 만족시키는 창호는 이를 통해 손실되는 열보다 얻는 열이 더 많게 된다. 일반적인 창호의 경우 열손실이 많아 입면에 나 있는 개구부라고 할 수 있으나, 그늘이 없고 남동쪽이나 남서쪽에 위치한 패시브하우스창호는 실내 에너지 획득량을 확보해준다. 이때 삼중유리의 총 g값은 최종적으로 0.5 이상의 조건을 만족시켜야 한다.

3) 유리 모서리 부분의 단열성능

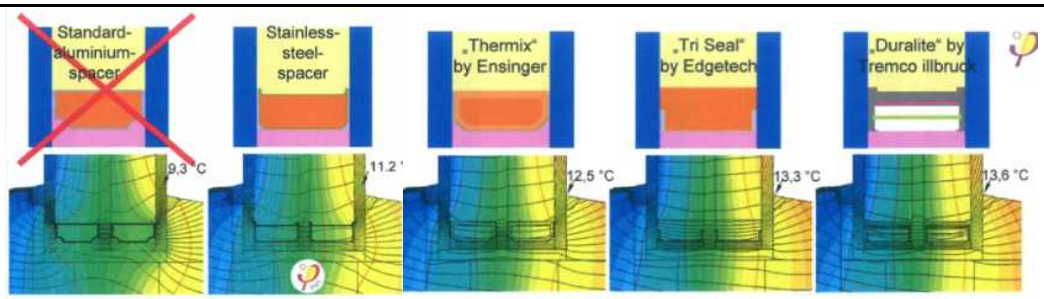
- 유리 모서리 부분에는 많은 열손실이 일어나게 된다. 그러나 이 부분의 선형열교를 고려하지 않는다면, 창호 열관류율 계산 시 실제 상황과 맞지 않는 비현실적으로 높은 열 성능값을 얻게 되기 때문에 빠뜨려서는 안된다. 아래 그림은 유리 모서리 부분에 온도가 유리창 부분보다 상대적으로 2-4도 가량 낮은 것을 알 수 있다.



[그림3.49] 일반 창호의 열화상 이미지

- 유리창면과 프레임은 일정하게 높은 온도를 유지하고 있으나 유리 모서리 주변을 따라 온도가 낮은 것을 알 수 있다. 온도차이가 3도 수준이면 결로가 발생하지 않지만, 그 부분은 열손실이 발생하는 지점이며, 이를 최소화시킬 방안이 필요하다. 여기에 들어가는 간봉은 기존의 쓰이던 알루미늄 제품이 아니라 다른 제품을 사용해야 적정 단열 성능을 얻을 수 있다. 우리나라의 단열창호는 아직 간봉의 열성능을 고려한 창호가 활성화되어있지 않으며, 수입제품이 주를 이루고 있다.

- 기존의 복층 창호와 비교하여 삼중 창호는 간봉이 두 겹으로 들어가게 되므로 유리 모서리 부분의 단열성은 더욱 중요하게 되었다. 창호열관류율을 계산할 때 모서리의 열교값을 계산하기 때문에 간봉의 선택은 매우 중요하다.



[그림3.50] 간봉의 소재에 따른 열교발생 및 실내온도변화

- 국내에 수입되는 간봉은 Swisspacer, TGI Spacer, 여러 제품이 있으며, 스테인리스, 플라스틱, 복합혼합재등의 재료로 구성되며, 선형열교값이 Psi-value 0.030 W/(mK) 전 후의 제품들이 패시브하우스 창호에 주를 이루고 있다. 패시브하우스의 창호 인증서에는 사용된 간봉을 표기하게 되어있다.

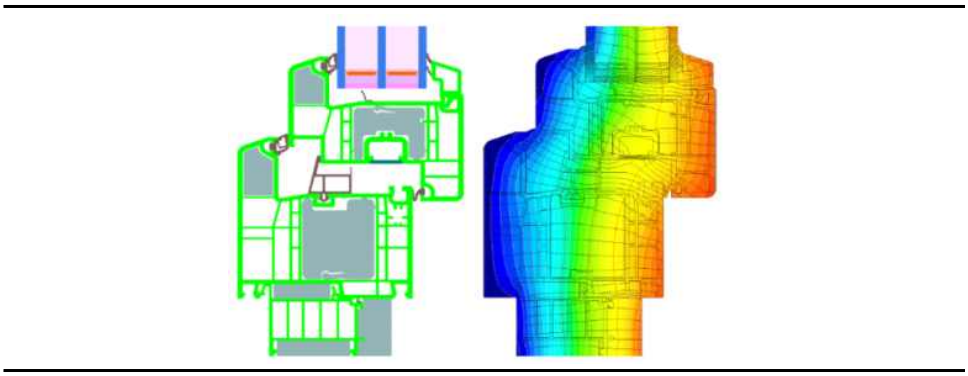
[표3.26] 간봉의 소재에 따른 열교값 및 창호 열 관류율

간봉의 종류	열교값 Ψ (W/mK)	창호 열관류율 (W/㎡K)
일반 알루미늄	0.076	0.89
스테인리스 스틸	0.054	0.84
Thermix(스테인리스복합)	0.039	0.80
Tri Seal(실리콘복합)	0.030	0.78
Duralite(실란트복합)	0.027	0.77

4) 고단열 창 프레임

- 창호의 열관류율은 일반적으로 창틀의 열관류율에 영향을 많이 받는다. 일반적으로 유리가 삼중일 경우 창틀의 열관류율이 더 높기 때문이다. 즉, 전체 평균을 잡을 때 창틀의 비율이 많아지면, 창호의 열관류율이 높아져 열성능이 떨어진다는것이며, 또한 유리를 통해 태양열을 취득하는 면적이 작아져서 난방에너지 요구량 감소에 불리하다는 것이다. 그렇기 때문에 일반적인 독일의 패시브하우스 창호는 창틀이 최소화되고 넓은 유리면적으로 설치되는 경향이 있는 것을 알 수 있다.

- 아래 그림은 독일 창틀의 단면도로서 정교하게 나뉘어진 밀폐된 방들과 틈틈이 단열재가 채워져 있다. 또한 개구부의 기밀성을 위해 삼중으로 가스켓이 달려있다.



[그림3.51] 고단열 및 고기밀 계획을 위한 창 프레임

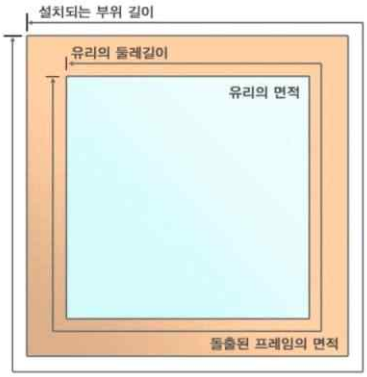
5) 열교방지 또는 열교에 최적화된 창호설치

- 패시브 창호는 일반적으로 벽체 위가 아닌 벽체 끝부분에 설치가 이루어지므로 단열 및 기밀에 더 세심한 시공이 필요하다. 특히, 창호와 벽체가 만나는 부분은 기밀성이나 단열을 고려하지 않는다면 이곳은 열손실 뿐만 아니라 결로에 의한 하자발생의 원인이 되기도 한다.

- 패시브하우스 창호 열관류율 계산법(EN 10077)을 보면 다음과 같은 요소를 바탕으로 이루어지게

되는데, 유리 모서리와 간봉의 열교값을 고려하게 되어있다.

- 유리 Ug(유리의 열관류율), Ag(유리의 면적)
- 프레임 Uf(프레임의 열관류율), Af(돌출된 프레임의 면적)
- 모서리 Ψg(모서리의 선형열교), Lg(유리의 둘레길이)
- 설치부위 Ψinst(벽체와 창호간 열교), linst(설치되는부위 길이)



[그림3.52] 패시브하우스 창호열관류율 계산을 위한 창호길이

• 창호의 품질을 과대평가하지 않기위해 모든 열손실과 관련된 요소들이 고려되어야하며, 창호의 열관류율은 다음과 같은 식에 근간해야 한다.

$$Uw = [\ Ag * Ug + Af * Uf + lg * \Psi g\ (+\ linst * \Psi inst\ )\ ]\ /\ (Ag + Af)$$

• 창호 자체뿐만 아니라 설치된 부위까지 고려해야 하는데, 열관류율은 0.85W/(㎡K)이하이어야 한다.

6) 단열문의 특성

• 독일 패시브하우스 자재 인증에 요구되는 출입문의 특성은 다음과 같다.

- 설치 열관류율이 0.8W/㎡K이하
- 기밀성 Q100일 때, 2.25㎥/h·㎡

• 열관류율 계산시 조건은 문 크기 1.1m *2.2m를 기준으로 하고 있으며, EN10077-2에 근거하여 설치한 세가지 상태에서 이루어진다.

- 패시브하우스에 적합한 외단열 마감공법의 중량구조의 벽체에 설치
- 패시브하우스에 적합한 목조벽체에 설치
- 패시브하우스에 적합한 단열 콘크리트 블럭벽에 설치

- 기밀성 산출은 100파스칼 때의 수치를 측정하며, EN12207 에 따르는 기밀등급 3등급까지 적합한 것으로 본다.
  - 기밀등급을 고려하는 가장 큰 이유는 기존의 고기밀 창호에 비해 기밀성이 충분하지 못하기 때문이다. 특히 패시브하우스에서 측정된 기밀도의 절반가까이가 기밀성이 없는 출입문에서 일어나는 것으로 나타나고 있기 때문에 출입문의 자재 인증 시 기밀성을 중요하게 다루고 있다.

- 국내 에너지 효율 기자재 인증에 요구되는 출입문의 특성은 다음과 같다.
  - 단열문의 열관류율이 1.8W/㎡K 이하
  - 기밀성 2등급 이하

- 열관류율 계산 시 조건은 크기 1.0m * 2.1m를 기준으로 하고 있으며, KS F 2277:2007에 따른 보호 열상자법 또는 교정 열상자법에 의해 측정 되며, 실제 설치되는 환경에 따라 다르게 측정되지는 않는다.

- 기밀성은 10, 30, 50, 100파스칼 때를 측정하며, 2등급선 이하를 기밀한 것으로 보고 있으며, 인증서에는 10파스칼을 기준으로 표기하고 있다. 그렇기 때문에 기밀성 수치가 0으로 표기되는 제품이 많이 있으며, 100파스칼을 기준으로 보면 2등급선의 수치는 독일 기준에 비해 약 열배가량 차이가 난다.

(3) 방수계획

- 에너지절약형 건축물 시공을 위해서는 외단열공법을 필수적으로 선택해야 하는데, 이로 인해 외기에 그대로 노출될 수 있는 단열재를 보호하기 위해서 세심한 계획이 필요하며, 단열재 및 방수 등 여러 가지 자재의 물리적 성질을 고려해야할 필요가 있다.

(가) 국내 방수자재 시스템 공법 비교

1) 재료에 따른 방수공법

- 시트(개량아스팔트, 합성고분자계, 자착식)

[표3.27] 시트방수공법 종류 및 특징

구분	개량아스팔트시트	합성고분자계시트	자착식 시트
공법 개요	-합성수지나 합성고무 등의 폴리머로 개량한 아스팔트를 주원료로 한 합성섬유 부직포 보강 방수시트를 개발하여 토치 등으로 시트 뒷면을 가열하여 바탕에 접착 시공하는 방수공법	-합성고무 또는 합성수지를 시트상태로 성형한 1.0~2.0㎜ 두께 정도의 방수시트를 프라이머 혹은 접착제, 고정철물, 열풍기 등을 사용하여 방수층을 형성	-토치 버너 등을 이용한 불꽃 가열이나 접착용 용제를 이용하지 않고 방수재가 보유하고 있는 접착성을 이용하여 바탕면에 시트를 부착하여 시공하는 공법
적용 부위	-지붕/옥상바닥	-지붕/옥상바닥	-지붕/옥상바닥/지하구조물 외벽 방수
장점	-인장성, 내후성 우수 -상온접착공법, 토치공법, 도막과의 복합공법 및 열용융 아스팔트 복합공법 등 다양한 시공법 가능 -시트 상호간의 접합 및 접착성이 양호하게 일체화시킬 수 있음	-재료의 물성이 균질 -다른 방수재보다 신장력과 내후성 우수 -상온에서 공사가 가능 -비교적 공정수가 간단 -급경사 지붕에도 적용할 수 있음 -바탕재의 균열에 대해서 추종성 있음	-시트의 부착을 위한 별도의 접착제가 필요 없음 -공정수가 간단하고 시공이 용이 -작업자의 시공능력이 요구되지 않음 -신장률 및 균열 대응성이 우수함
단점	-자외선에 장기간 노출 시 변색 및 성능저하	-접착공법에서는 시공과정에서 정밀한 건조 바탕 조건이 요구됨 -시트재 상호 접합부의 수밀성 확보가 어려움 -내풍압에 대한 고려가 필요	-저온 상태에서 시공이 어려움 -주로 비노출로 적용됨에 따라 누름층 요구됨

• 도막(에폭시, 우레탄, FRP, 고무아스팔트, 우레아)

[표3.28] 도막방수공법의 종류 및 특징

구분	에폭시	우레탄	FRP	고무아스팔트	폴리우레아
공법 개요	-에폭시 수지를 바탕 모르타르나 콘크리트면에 2~3회 발라 두께 0.1~0.2㎜의 도막방수층을 형성	-우레탄고무를 주원료로 사용 하는 가장 일반적인 도막방수 재료 -2액형과, 1액형이 있음	-유리섬유 등의 보강포에 불포화 폴리에스테르수지계 도막방수제를 적층 도포하여 방수층을 형성하는 공법	-아스팔트와 합성고무를 수중에 유화분산한 에멀션을 이용한 도막 방수 공법	-무촉매 조건하에서 폴리이소시아네이트 프레폴리머와 폴리아민 성분을 시공현장에서 가압하여 혼합 분사 -초속경화성 합성고분자 수지를 이용한 도막 방수공법
적용 부위	-화학공장 바닥, 벽 -수처리시설(정수장 등)의 바닥, 벽 -주차장 바닥	-지붕/옥상바닥/외벽/주차장 바닥	-옥상바닥	-옥상바닥/외벽,내벽 -지하구조물 바탕방수	-지붕/옥상바닥 -수처리시설(정수장 등)의 바닥, 벽 -수영장
장점	-내약품성, 내마모성 우수	-작업성 용이 -이음매 발생무 -부분보수 등의 유지관리 용이	-비강도가 커 가볍고 강함 -성형성이 양호하여 의장설계상의 자유도 큼 -내약품성, 내열성이 우수 - 전기 전열성이 있고 전파 투과	-뿜칠기에 의한 압송성이 우수 -각종 바탕에 대한 접착성이 좋음 -모서리와 같은 복잡한 형태의 바탕에도 순응하여 연속적인 도막 형성가능	-기존 도막방수재와 비교하여 인장강도 및 신장률, 인열강도 등 물리적 성능이 우수
단점	-신장률이 낮아 내균열성 없음	-주제와 경화제의 배합비율 주의 요구됨 -경사부위 시공이 어려움 -용제성분이 있어 작업시 주의 -균일한 도막두께 확보 요구됨	-탄성계수 작음 -내열성, 난연성 낮음 -성형속도 늦음 -표면에 손상이 생기기 쉬움	-탈유 하자 발생 가능 -도막 방수층 상부 누름층 요구됨	-콘크리트 바탕에서 핀홀 및 들뜸 발생이 우려되는 경우 별도의 바탕처리 및 조정이 필요

• 시멘트계방수(폴리머시멘트, 액체방수, 침투성방수)

[표3.29] 시멘트방수 종류 및 특징

구분	폴리머시멘트	액체방수	침투성방수
공법 개요	-수지에멀젼이나 고무라텍스와 같은 폴리머디스퍼젼을 혼입한 모르터 및 콘크리트를 일반적으로 폴리머 시멘트 모르터 및 폴리머 시멘트 콘크리트라고 하며, 이를 이용한 방수공법	-시멘트를 주원료로 하여, 여기에 방수성능을 가지기 위해 지방산염, 지방산, 파라핀 에멀션, 수지 에멀션, 수용성 수지 등의 유기질계 재료를 물과 함께 혼합하여 반죽상태로 만들어 구조체 바탕에 발라 방수층을 형성	-시멘트, 입도조정 규사, 규산질미분말 등이 혼합된 분말형의 무기질계(규산질계) 방수재료를 이용한 방수공법
적용 부위	-지하실 -실내방수 (발코니 및 화장실)	-지하실 -실내방수 (발코니 및 화장실)	-외벽
장점	-인장강도, 휨강도, 변형능력, 탄성, 접착성	-바탕면에 습기가 있어도 시공 가능 -비용이 저렴	-방수층이 비교적 얇음 -시공 및 관리가 간단 비용이 저렴
단점	-고혼입율로 사용하면 가격이 고가 -시멘트의 수화반응에 악영향을 주지 않아야 함 -모르타르나 콘크리트를 이겨섞을 때에 현저하게 발포하지 않아야 한다.	-공정수가 많아 관리가 불확실 -접착성 저하에 따른 박리 하자 주의 요구됨 -내충격성이 낮음	-방수성능 낮음 -구조체 균열에 대한 대응력이 없음 -하자부위의 결함발견이 어려움

2) 건축부위별 방수공법

• 지하구조물

[표3.30] 지하구조물에 적용가능한 방수공법의 종류 및 특징

구 분	신기술 제376호 (지하 외방수, 누수보수공법) 03.04.19~11.04.18	신기술 제422호 (지하 도막방수공법) 04.09.24~10.09.23	신기술 제467호 (지하 외방수 시트공법) 05.08.17~11.08.30
개발회사	-(주)리뉴시스템	-(주)대화정밀화학/선구산업(주)	-대흥산업
공법개요	-고무화 아스팔트와 벤토나이트분말의 복합방수재를 이용한 지하구조물 외방수 및 누수구조물의 방수층 재형성 공법	-주제/경화제 일체형 3-WAY 노즐이 장착된 스프레이건을 사용한 초속경화 수용성 고무화아스팔트 도막 방수공법	-투명 EVA 복합시트를 이용한 BOX 구조물 외부 방수공법
공법특성 (장점)	-거동대응성과 자가 치유 가능 -용제를 사용하지 않으므로 도막형성 후 시트 시공 가능	-속경성으로 공사기간이 짧다 -스프레이 장비사용 -수용성으로 시공 안전성 확보	-가열 열풍융착으로 조인트 접합부 시공 -투명 EVA 시트에 의한 시공 후 육안 관찰을 통해 시공 불량 확인 가능
바탕면 상태	-습윤상태 시공가능 (전면 점착, 유연형 씰재를 이용)	-건조상태, 습윤상태 모두 가능 (시공 후 경화과정에서 경화제의 물이 배출됨)	-건조상태(함수율 8% 이하) (바탕 콘트리트에 아스팔트 프라이머를 사용)
시 공 성	-바탕면 상태에 영향이 없고, 시트 방수공법으로 시공성이 양호	-장비사용은 번거로우나, 넓은 시공면적에서 속경성 뿜칠형으로 시공이 매우 빠르다	-열풍융착으로 시트의 부착 및 접합부를 시공하는데 번거롭고 품질의 안전성이 미흡하다.
내구성 확보 유의사항	-방수씰의 균질한 도포 두께 확보 유의	-균질한 뿜칠두께 및 보강재의 설치시 주의	-시트의 부착과 접합부 열풍융착시 과도한 열로 시트의 손상 주의

• 옥상구조물

[표3.31] 옥상구조물이 적용가능한 방수공법의 종류 및 특징

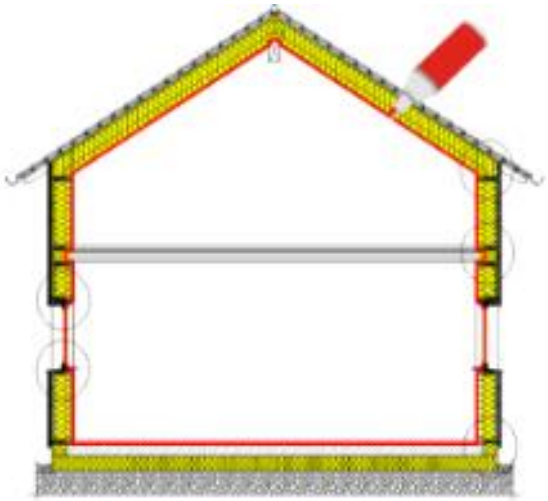
구 분	신기술 제154호 (옥상노출 복합방수공법)	신기술 제234호 (옥상노출 복합방수공법)	신기술 제326호 (옥상노출 복합방수공법)	신기술 제394호 (옥상 비노출 복합방수공법)
	99.04.02~04.04.01	00.05.30~06.05.29	02.03.15~08.03.14	03.09.25~11.09.24
개발회사	-삼성물산(주)/한국통신산업개발(주)/김충엽	-현대건설(주)/한양방수(주)	-중앙방수기업(주)/(주)희림종합건축사사무소	-중앙방수기업(주)
공법개요	-개량 아스팔트 시트를 콘크리트 바탕에 폴리우레탄으로 부분 접착시킨 후 그 상부에 폴리우레탄을 도포하는 옥상 노출 복합 방수공법	-LLDPE 시트상부 무기질 탄성도막방수재 적용으로 이음매 없는 2차 방수층을 형성하는 PE 개량 EVA시트와 무기질 탄성도막 방수재의 복합방수 공법	-옥상노출형 절연 통기완충시트와 에어벤트를 사용한 옥상방수공법	-엠보싱 폴리비닐시트와 다공성 세라믹 열가소성 수지계 아스팔트 도막방수재를 이용한 부분절연 블록형 옥상 비노출 복합방수공법
공법특성 (장점)	-시트 도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡 -복합방수공법으로 누수 안정성에 유리	-도막 시트 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡 -복합방수공법으로 누수 안정성에 유리	-시트 도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡 -방수층 파손이나 부풀음 현상이 발생되지 않는다.	-시트 도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡 -바탕면 균열발생시 방수층 파손 방지 기술
바탕면 상태	-건조상태(함수율 8% 이하) (바탕 콘트리트에 우레탄 프라이머를 사용)	-건조상태(함수율 8% 이하) (1액형 본드 및 고정철물 설치 공법)	-건조상태(함수율 8% 이하) (1액형 본드 및 고정철물 설치 공법)	-건조상태(함수율 8% 이하) (용융아스팔트 씰재의 부분 블록형 접착 공법)
시 공 성	-시트도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡하고 시트 부착과 도막의 경화과정 필요	-시트도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡하고 시트 부착과 도막의 경화과정 필요	-시트도막 복합방수공법으로 공정은 다소 복잡하고 시트 부착과 도막의 경화과정 필요	-별도의 경화과정이 없어 공기단축에 효과적이나 공정이 다소 복잡하고, 아스팔트 용융과정 필요
내구성 확보 유의사항	-아스팔트시트의 설치, 조인트 보강 및 균질한 도막 방수층의 시공에 유의	-HDPE시트의 고정철물 설치, 조인트 보강 및 균질한 도막 방수층의 시공에 유의	-시트의 본드 접착 및 고정철물 설치 및 조인트 테입 시공에 유의	-용융아스팔트 씰재의 균질한 도막 두께 확보가 요구됨

(4) 기밀외피계획

(가) 건축물 기밀화 필요성

• 건물의 기밀성 계획의 주요 원리는 "연속적으로 기밀한 건물 외피"이다. 이는 전체 건물의 외피를 각각의 단면도에서 끊기는 것 없이 아래와 같이 빨간선이 그려져야 한다는 것이다. 기밀 계획은 건축물 내측을 기준으로 공기가 통하지 않도록 하는것이며, 특히 외피가 뚫릴 수밖에 없는 부분이나 외벽과 내벽이 만나는 부분 등을 주의해서 계획해야 한다. 즉, 상세도에서 기밀층의 연결이 어떻게 실현되는지 확실히 해야 하며, 이는 기밀성이 주요 계획업무 중 하나가 된다는 것이다.

그러나 아직 우리나라에는 법적으로도 기밀성에 대한 인식도 부족하고 규정 또한 명확하지 않다. 애초에 기밀 계획이 이루어지지 않은 상태로 시공이 이루어졌다면, 기밀성을 개선시키는 것은 한계가 있으며, 패시브하우스 인증을 위한 높은 수준을 얻는 것은 거의 불가능하게 된다.



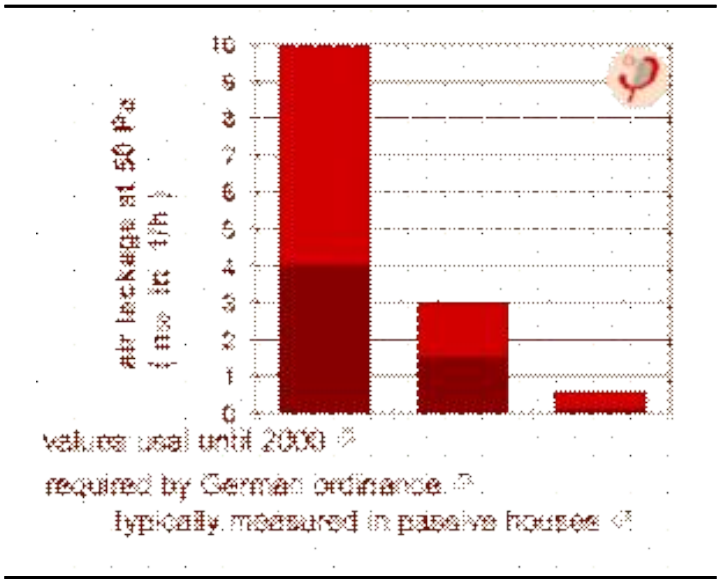
[그림3.53] 건물의 단열외피 다이어그램 (출처 : www. passiv.de)

- 다음은 건축물 기밀화의 필요성이다.

1) 여름, 겨울철의 냉난방에너지 소비 절감

- 계절에 따라 온도가 매우 높거나 낮을 경우 실내외의 온도차가 발생하게 되는데, 여름철에는 온도가 높고 습한 공기가 실내로 유입되어, 냉방부하와 제습부하를 높여서 에너지를 써야 한다. 또한 겨울철에는 지붕이나 건물 윗부분으로 따듯한 공기가 빠져나가게 되며, 창호 등의 틈새에서는 차가운 공기가 계속 유입되므로 난방장치를 돌려야 거주자가 원하는 온도를 유지할 수 있다. 이렇듯 기존의 난방방식은 계속적으로 유입되는 찬공기를 데우기 위해서 높은 온도로 설정해야 쾌적함을 느낄 수 있으므로 기밀하지 않은 건물은 기밀한 건물보다 더 많은 에너지소비를 발생시킨다.

- 시뮬레이션 상에서 기밀도가 난방에너지 요구량에 미치는 영향을 분석하였다. 익산패시브하우스 인증모형을 PHPP 프로그램을 이용하여 기밀도를 각각 0.28(익산주택 기밀성 실험 결과값)-0.6(패시브하우스기준)-3(독일 ENEV 기준)-10(기존 주택)으로 조정해보았을 때, 연간 난방에너지요구량은 9kWh/㎡a-10kWh/㎡a-18kWh/㎡a-44kWh/㎡a 로 증가된 것을 알 수 있었다. 이는 기밀성이 난방에너지요구량에 직접적으로 영향을 미치고 있으며, 일정 이상의 고효율 건축물로 만들어지기 위해서는 필수적이라고 할 수 있다. 아래 그림은 기존의 건축물과 독일 기준의 건축물, 패시브하우스의 건축물의 기밀성을 나타내고 있다.



[그림3.54] 여름, 겨울철의 냉난방에너지 소비 절감

2) 쾌적한 실내환경 유지

- 우리가 느끼는 쾌적성은 주로 실내의 온도 차이의 정도에 따라 결정될 수 있다. 특히 기밀하지 않은 창호 주변에는 웃풍이 발생하여 그 주변은 온도가 떨어지게 되며, 실내 중간 지점과 온도 차이를 발생시키는 원인이 된다. 이러한 온도차는 거주자에게 찬 기운의 불쾌감을 주게된다. 공기가 통하는 부분은 온도가 가장 쉽게 이동하는 부분이기 때문에 개구부 주변의 기밀성은 쾌적한 실내환경에 필수적이다.

3) 방음

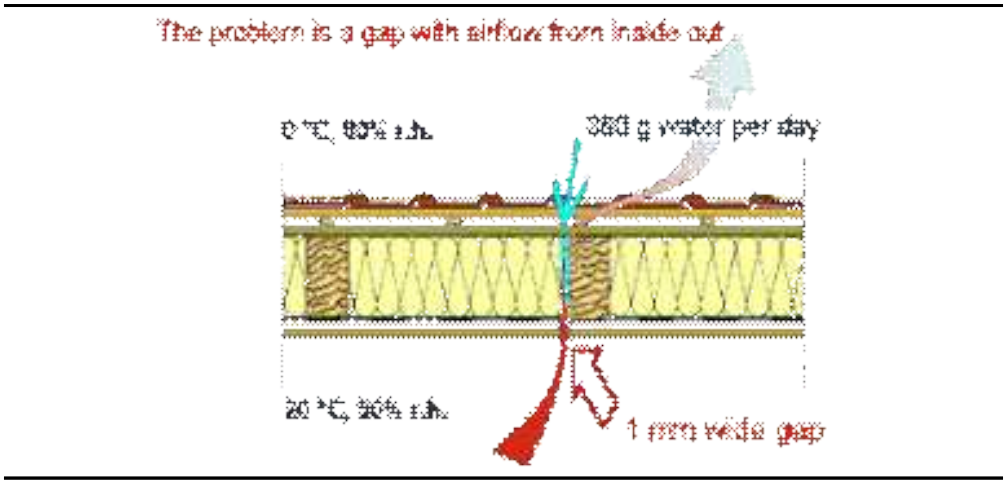
- 소리는 기본적으로 공기가 진동하면서 전달된다. 건물내에 통하는 공기가 적어지면 적어질수록 소리에 대한 전달도 적어지게된다. 그렇기 때문에 건물의 기밀성은 요즘 화두가 되고 있는 층간 소음과 도시의 소음을 차단하는데 주요한 역할을 할 수 있다.

4) 외부 오염된 공기유입 방지

- 기밀성은 외부로부터 안좋은 공기를 막아 준다. 외부의 악취나 먼지, 곰팡이균 등 사람의 건강을 해칠 수 있는 요소들로 안전하다는 것이다. 달리 말하면 실내의 오염된 공기도 빠져나가지 않을 수 있으나, 거주자에 의도에 따라 제어가 가능하기 때문에 사람을 보호하는 건축물로서의 역할을 담당할 수 있다. 또한 패시브하우스는 필터가 장착된 환기장치를 통해 공기가 이동하지만, 기밀성이 보장되지 않으면 효과는 떨어지고 비용 상승만 초래하게 된다.

5) 습기로 인한 하자 방지

- 건축물의 틈새는 공기의 이동통로가 되며, 대류에 의해 공기가 이동할 때 습도를 많이 함유하고 있는 더운공기가 차가운 물체나 공기와 만날 경우 노점온도 이하로 내려가 결로가 발생하게 된다. 이 결로가 있는 부위가 단열재부위라면 단열 성능을 떨어뜨릴것이며, 실내 벽체라면 미생물과 곰팡이가 발생하는 주요 원인이 될 것이다. 독일의 한 물리 연구소에 의하면 1m길이의 1mm/㎡ 갭은 틈이 없는 경우 대비 대류에 의해 하루 1600배의 습기를 발생시키는 것으로 나타났다. 또한 아래 그림은 1mm의 틈을 통해 360g의 습기가 발생하여 벽체 내부에 남게 되는 것을 보여주고 있는데 이 증발되지 않는 습기는 보이지 않는 건물 하자를 유발하여 나중에 큰 문제를 일으키게 된다. 이렇게 기밀성 부재로 인한 하자는 나중에 더 큰 비용을 들이더라도 쉽게 방지하기 어려운 상태가 될 수 있을 것이다.



[그림3.55] 습기로 인한 하자 다이어그램 (출처 : www. passiv.de)

6) 폐열회수 환기 효율성

- 폐열회수환기장치는 인증 패시브하우스에 필수적으로 적용되는 설비장치이며, 열 손실량을 최소화하면서 기밀한 건축물에 신선한 공기를 제공하는 기능을 한다. 급기난방만을 채택하여 기존의 보일러 설비를 없애고 경제적인 패시브하우스를 만들려는 주택에는 환기장치의 의존도가 높으며, 기밀성의 중요성은 더 커진다. 폐열회수환기장치의 효율은 기계가 가지고 있는 효율 이외에 덕트를 통하지 않고 들어오는 외기의 영향을 고려해야 한다. 특히, 열을 회수해야하는 더운 여름철이나 추운 겨울철에는 실내에 보존되어야할 에너지를 가진 공기가 설비 관을 통하지 않고 다른 곳에 새나간다면, 철저하게 계산된 열 회수량을 기대할 수 없으며, 쾌적한 실내온도를 맞추기 어렵게 되어 추가적인 난방비용을 가중시킬 것이다. 기밀성과 관련한 독일의 법적 기준(ENEV2001)에 의하면 환기시스템이 있는 경우 기밀도가 시간당 1.5회를 초과하지 않게 되어있다.

(나) 기밀계획 단계

1) 각각의 기밀 자재 명시

- 각각의 외부 건물 구성재에 따라, 기밀층을 형성할 자재들이 명시되어야 한다.(ex. 지붕시공의 OSB보드 또는 쉬트작업, 벽돌 벽의 내부 미장, 지하와 1층바닥사이의 콘크리트 천장 등) 기밀층의 위치는 빨간선으로 단면도나 평면도에 표기되어야 하며, 난방공간은 완전히 기밀층에 의해 닫혀져야한다.

2) 기밀 연결부위 확인

- 다음 단계로, 기밀 자재 층의 끝부분이 어떻게 영구적으로 기밀하게 붙어있는지 명시해야 한다. 예를 들어, 벽돌벽체에 창 프레임을 "연결" 했다는 것은 충분하지 못하며, 이는 벽체 부분이 기밀하지 않기 때문이다. 대신에, 창 프레임은 외부 벽체의 기밀층에 영구적으로 연결되어야만 한다. 이 외부 벽은 일반적으로 콘크리트 구조에서 내부 미장을 한 것이다. 이 사례에서는 미장으로 덮거나 미장된 스트립으로 테이핑을 하는 것이 적절하다.

- 단열자재는 일반적으로 기밀하지 않다. (폼글라스패널 제외) 그러므로 기밀한외피의 설계와 시공은 분리가 되어야 한다. 목구조물에서는 대부분 목재로 구성된 보드가 사용되며(연결부위는 테이핑) 콘크리트구조는 내부 미장이 연속적으로 되어있다. 기밀한 외피가 끊김이 없이 연속적으로 적용되는 것은 중요하며, 특히 연결부위에 세심한 계획과 그에 따른 시행이 있어야 한다.

3) 계획적인 관통

- 세 번째로, 필요한 관통부위는 모두 계획에 따라 이루어져야 한다. 전기선, 지하천장을 관통하는 배관들, 외부 벽체와 연결된 전기 콘센트 등이다. 적합한 시도와 시험 등을 거친 대안들과 자재들은 사용가능하다. 그러나 기밀파괴를 피하는 원리가 적용되어야 하는데, 이는 그 관통부위가 정말 필요한지를 검토하는 것이다. 예를들어, 환기를위한 수직홈통의 피드스루(feedthrough)는 지붕밑 환풍기를 사용함으로써 피할 수 있다. 또한 모든 필요한 관통부위를 집중시켜서 최소한으로 줄이는 것이 중요하다.

- 기밀화작업 부위
  - 국제에너지기구인 IEA 프로젝트로 장기적인 기밀성보장을 위해 연구한 주요 침기부위는 다음과 같으며, 이 부위에 침기가 일어나지 않도록 적절한 자재를 사용하여 기밀화 작업에 들어가야 한다.
    - 창호 및 고정창의 바닥 또는 밑부분 연결부위
    - 벽체재료 위 창호 고정재료와 연결부위
    - 지붕재료의 고정창 연결부위

- 도어 씰부위
- 창호 유리의 스트립부위
- 부엌의 석고로 덮인 판넬의 손상부위
- 전기스위치, 소켓, 전기선
- 벽과 천장바닥, 벽과 지붕, 지붕과 지붕의 면이 만나는 연결부위
- 빗물에 의한 관통과 수도본관에서의 미세한 침기

• 기밀자재 종류 리스트
- 기밀 테이프
- 고무 캡

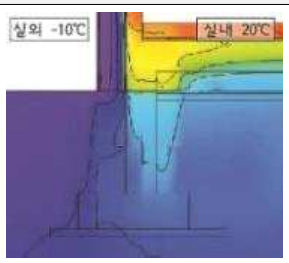
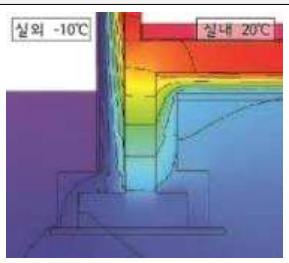
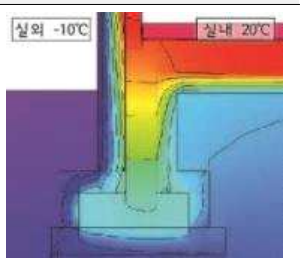
(5) 열교방지계획

• 에너지절약형 건축물을 계획하는데 있어서, 일반적인 단열성능 향상과, 기밀성능 향상이 주된 방법이다. 그러나 열교를 고려하지 않는다면 열교로 인한 열손실의 비중이 전체 연간 난방에너지 요구량을 초과하는 수준으로 높아질 수 있기 때문에 부위별로 세심한 열교방지 계획이 필요하다.

(가) 줄기초부위

• 주택의 기초에 줄기초가 사용되는 경우, 열교의 특성상 기하학적 열교의 일종으로, 콘크리트구조물 부위의 표면적 증가로 인한 전열 손실이 발생하게 된다. 따라서, 기초부위의 단열을 보강해야 한다. 최대한 줄기초 구조물을 단열재로 감싸주는 것이 중요하나, 시공환경 및 건축물의 특성 등에 의해 이와같은 방안이 어려울 경우 줄기초 안팎으로 단열을 함으로서 열교를 최소화 할 수 있다. 그러나 지상 접지부분만 단열을 하게 될 경우 단열영역의 연속성이 확보되지 않아 열교로 인한 손실량이 크게 증가할 수 있다.

[표3.32] 단열재 설치범위 변화에 따른 줄기초부분의 전열해석결과

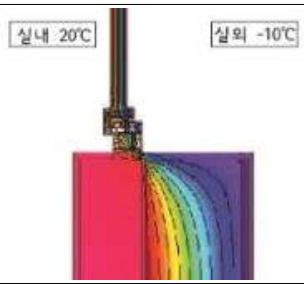
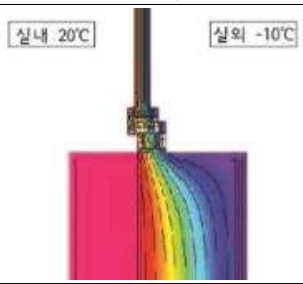
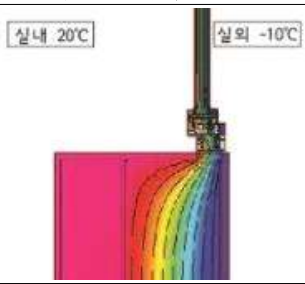
구분	지상접지부분 단열재	줄기초 안팎 단열재	줄기초하부 단열재
해석 결과			
Ψ	0.350(W/mK)	0.121(W/mK)	0.074(W/mK)

(나) 창호설치부위

- 패시브하우스 창호 설치시 열교를 고려하는 것은 창호 전체 열관류율에 긍정적인 효과를 줄것이며, 상대적으로 부족한 창호 프레임의 열성능을 보완할 수 있게 한다.
  - 창의 설치 위치에 따라 열관류율이 달라질 수 있으며, 벽체의 가운데가 이상적이다. 콘크리트건물에서는 건설단계 전에 창호를 직접 설치하는 것이 이상적이며, 일반적으로 단열재가 설치 되기 전에 벽체 외부에 설치한다.

- 아래 그림에 따라, 창호를 단열재와 벽체가 만나는 부위에 설치하는 것이 열교를 최소화 할 수 있으며, 실내쪽에 설치할 경우 같은 창호라도 열관류율이 매우 나빠지는 것을 볼 수 있다. 이때 창호의 기밀성을 위한 작업이 필수적이다.

[표3.33] 창호설치위치에 따른 선형열관류율

구분	구조체 상부 창호설치	단열재상부(내측) 창호설치	단열재상부(외측) 창호설치
해석 결과			
ψ	0.077(W/mK)	0.019(W/mK)	0.024(W/mK)

(다) 브라켓 부위

- 패시브 창호 설치 시 단열재 상부에 무거운 3중유리 창호를 설치하기 위해서는 금속재의 브라켓을 사용해야하며, 이는 열교를 발생시키는 원인 중 하나이다. 따라서, 한국형 패시브하우스에서는 브라켓 부위에서 발생되는 열교를 방지하기 위한 디테일이 요구된다.

- 가장 효과적인 방법은 열전도율이 높은 브라켓과 콘크리트 구체의 접합부위에 열전도율이 높은 열교차단제를 삽입하는 방법이 있다. 이때, 이 열교차단제는 브라켓의 하중지지에 영향이 없도록 얇은 소재여야 하기 때문에 일반적인 단열재보다 열전도율이 월등이 높은 자재여야 한다.
  - 이에 적합한 자재로는 에어로젤이라는 고성능 단열재를 들 수 있다. 에어로젤은 열・전기・소리・충격 등에 강해 미래세계를 바꿀 물질로 평가받는 신소재로서 1930년대에 처음 발견된 이후 열・전기・소리・충격 등에 강할 뿐만 아니라 무게도 같은 부피의 공기보다 3배밖에 무겁지 않아 미래의 단열재・충격완충재・방음재 등으로 주목을 받아왔다. 재료는 규소 산화물(SiO2)이며 머리카락의 1만 분의 1 굵기인 SiO2 실[絲]이 극히 성글게 얽혀 이루어지며, 실과 실 사이에는 나노 단위의 공기 분자들이 들어 있는데, 전체 부피의 98%를 공기가 차지한다.

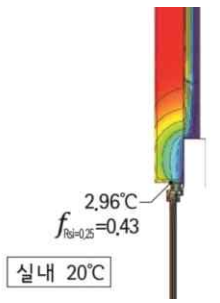
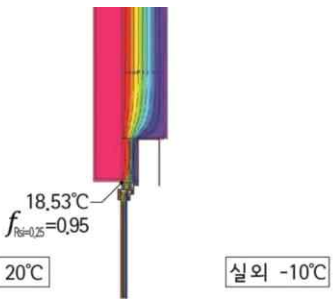
• 특징
  - 타 단열재 대비 열성능이 2~5배
  - 열저항이 균일한 단면, 두께 감소
  - 시공성, 유연함과 탄성을 동시에 가짐
  - 극고온 또는 극저온에서 안정적인 단열성능을 발휘함
  - 발수성

[표3.34] 브라켓 부위에 사용된 에어로젤의 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.020
함수율	3.8%
강도	인장 88.5N/㎠ 압축 2N/㎠ 굴곡 28N/㎠
밀도(kg/m3)	179.5
두께	5.0 mm
내화성능	평균온도 538℃
내열온도?(안전사용 온도)	최고온도 649℃
내약품성 (10% NaOH)	이상 없음
환경친화성	석면 없음

• 이러한 에어로젤을 사용한 패시브하우스 상세의 창호상부 블라인드 박스의 사례는 에어로젤을 사용하지 않은 국내법규를 준용한 상세에 비해 약 10배 낮은 PSI값을 가지는 것을 알 수 있다.
  - 그러나 이러한 에어로젤의 경우 아직 수요가 많지 않아 고가의 자재에 해당되므로, 철물의 부착개수를 최소화 하여 이로 인한 비용 상승을 최소화할 필요가 있다.

[표3.35] 창호상부 블라인드 박스 비교

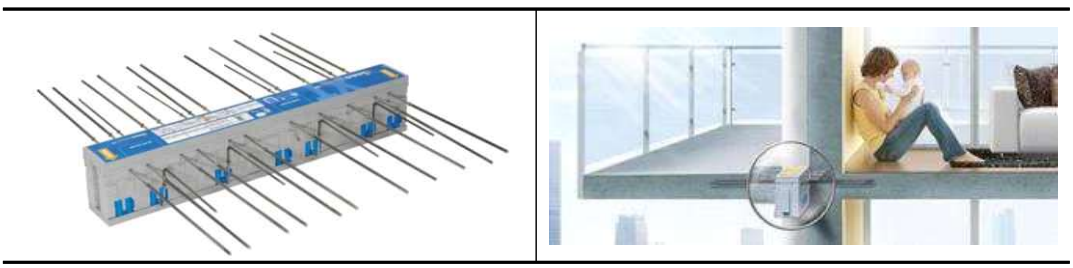
번호	국내법규 준용 상세			패시브하우스 상세		
	l (m)	Ψ (W/mK)	Qt,WB (kWh/yr)	l (m)	Ψ (W/mK)	Qt,WB (kWh/yr)
창호상부 블라인드박스						
1)브라켓 제외	20.51	1.81	2222.7	20.51	0.010	12.3
2)브라켓 부위	8.10	1.93	939.0	8.10	0.157	76.3

(라) 돌출구조물 부위

- 단독주택에서 발생가능한 돌출구조물은 처마 및 발코니 등이 대표적이다. 이러한 돌출구조물은 외단열영역의 연속성을 단절시키는 주된 원인이 되는데, 내부구조물이 외단열영역 외부로 돌출됨에 따라 해당 부위에서는 열교로 인한 열 손실이 발생되며 표면온도가 낮아질 경우 결로 및 곰팡이가 발생되어 구체의 내구성을 저하시키고 실내환경을 저해할 수 있다.

- 따라서, 패시브하우스에서는 이러한 문제점을 열교차단 구조물을 활용하여 개선하고 있다. 열교차단 구조물은 발코니 슬래브를 실내 슬래브와 연장하여 계획하지 않고, 건축물의 외벽에 발코니 슬래브를 분리하여 부착하는 형식으로 계획하며, 접합부위에는 외단열의 연속성을 확보하며, 열전도율이 일반 철근에 비해 약 4배 낮은 스테인리스 스틸 철근을 이용하여 슬래브 철근과 연결함으로서 열교 및 구조적 문제를 해결하고 있다.

- 열교차단 구조물의 대표적 자재 로는 독일의 Schöck Isokorb®가 있으며 아래와 같은 제품의 열전도율은 0.11W/mK의 성능을 갖는다.



[그림3.56] 독일Schöck Isokorb®사의 제품사례 및 적용방법

- 기존연구에서 발코니 외벽의 접합부위에 대하여 1m의 열교부위에 열교방지 구조물을 사용한 경우 연간 전열손실량은 4.95kWh/yr, 슬래브가 돌출된 경우에 66.63kWh/yr의 값을 나타내, 그 차이가 상이한 것으로 나타났다. 따라서, 한국형 패시브하우스 계획시 돌출구조물에 대한 열교방지계획이 필수적임을 알 수 있다.

(마) 파라펫 부위

- 파라펫 시공을 위해 철근콘크리트 벽체를 최상층 슬래브 위로 연장할 경우, 기하학적 열교에 해당하는 이유로 해당부위를 통한 전열손실이 발생되게 된다. 파라펫은 최상층 둘레를 따라 연속적으로 발생되기 때문에, 선형열관류율값이 큰 디테일을 가질 경우 해당부위를 통한 연간 전열량은 패시브하우스에서 큰 비중을 차지할 수 있다. 따라서, 패시브하우스 계획에서는 해당부위에 대한 열교방지계획이 필수적이다.

• 파라펫 부위의 열교를 최소화 할 수 있는 1차적 방안은 파라펫을 단열재로 완전히 감싸는 방법이다. 그러나, 두꺼운 단열재를 사용하는 패시브하우스의 특성 상, 파라펫의 긴 부위를 단열재로 감싸는 경우 단열재의 물량이 증가하고, 단열재+파라펫구체+단열재 의 파라펫 구성을 가질 경우 파라펫 부위의 두께가 과도하게 두꺼워져 미관을 해치는 요인이 될 수 있다.
더불어, 파라펫을 연장하여 옥상의 난간을 구성하는 경우, 위의 단점은 더욱 부각될 수 있다.

• 이를 개선한 방안으로는 파라펫의 구조체를 철근콘크리트 벽체를 슬래브 상부로 연장하여 구성하는 것이 아니라, 경량기포 콘크리트와 같은 열 전도율이 낮은 자재로 구성하는 방법이있다. ALC 블록으로 파라펫의 구체를 구성할 경우, 단열재로 구체를 감싸지 않아도, ALC블럭의 낮은 열 전도율로인해 외벽단열재와 최상층 슬라브 외단열재의 단열영역을 연속적으로 확보할 수 있다는 장점이 있다.

• 경량기포콘크리트 (ALC) 블록의 특징은 다음과 같다.
- ALC란 Autoclaved Light Weight Concrete의 약자로 제조과정에서 사용되는 고온, 고압증기양생기를 말한다. 이는 밀도가 350~1100Kg/㎥ 인 고온 고압증기로 양생된 기포콘크리트로서 학술적으로는 AAC라고도 불리며 일반화된 독일에서는 Porenbeton이라고 불린다. ALC는 혼화제와 같은 화학물질로 콘크리트 내 기포를 생성하여 자연양생한 기포콘크리트(Foam Concrete)와는 구별된다. 이는 완전 무기질인 토버모라이트 결정으로 이루어져 수축팽창이 거의 없어 치수변화를 일으키지 않는다. 또한 무수한 독립기포로 이루어져 물에 뜨는 경량성으로 인해 지진이나 태풍이 미치는 압력으로부터 건물의 부담을 줄여준다.
- 현재 ALC는 블록형태와 패널형태로 각 적용부위에 맞게 제조되고 있다.



[그림3.57] 경량기포콘크리트(ALC)

• ALC 블록은 단열성능이 있는 콘크리트 블록이며, 내화성과 내구성이 좋고, 경량이어서 시공성이 좋다. 또한 차음성능이 있어 실내 경계벽으로도 사용된다.

• 적용부위
- 파라펫
- 실간, 실 복도 간 경계벽, 외벽
- 코어주변 내화구조벽, 지하방습벽
- 비내력 가변벽, 세대간 차음구조벽

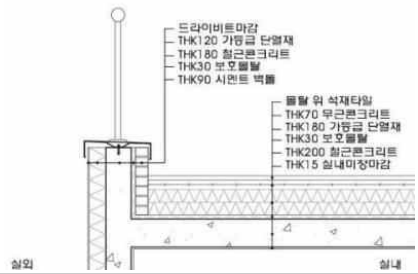
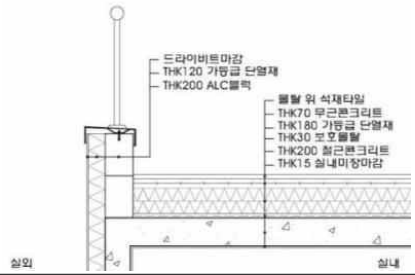
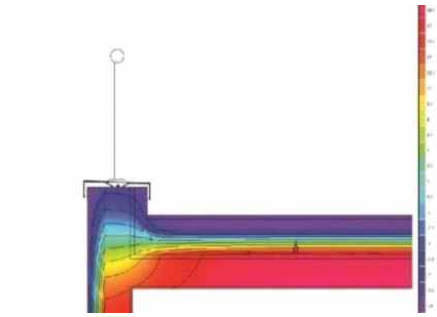
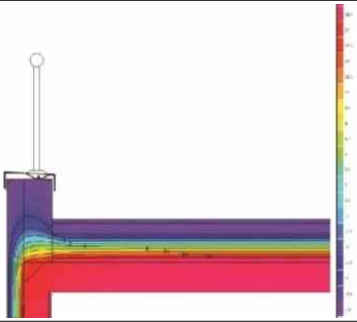
• 단열재의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

[표3.36] ALC 블록의 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.11 W/mK 이하
건조수축율	0.015%이하
흡수량	20%~36%
강도	압축 290~400N/㎠ ,인장 50N/㎠
건조수축율	0.015% 이하
비중(기건)	0.50이상 ~ 0.60미만
비열	0.28 kcal/kg℃
열 팽창율	7.0 x 10-6/℃ 이하
흡수율	36%(전면흡수)
내화성능	내화구조
차음성능	차음등급 3등급
내동결 융해성	흡수일수 15일 동결 융해

• 실제로 외벽 콘크리트 구조체가 최상층 슬라브 상부로 연장되는 일반적인 파라펫과, ALC 블록을 이용한 파라펫의 전열해석 결과 표 [00-00]과 같은 차이를 보였다. ALC블록의 경우 선형열관류율이 일반적인 파라펫보다 약 8배 낮으며, 그 값이 음의 값을 보일정도로 열교로 인한 열 손실에 대한 방지에 효과적임을 알 수 있다.

[표3.37] 파라펫·난간 분리설치 열교시뮬레이션 결과

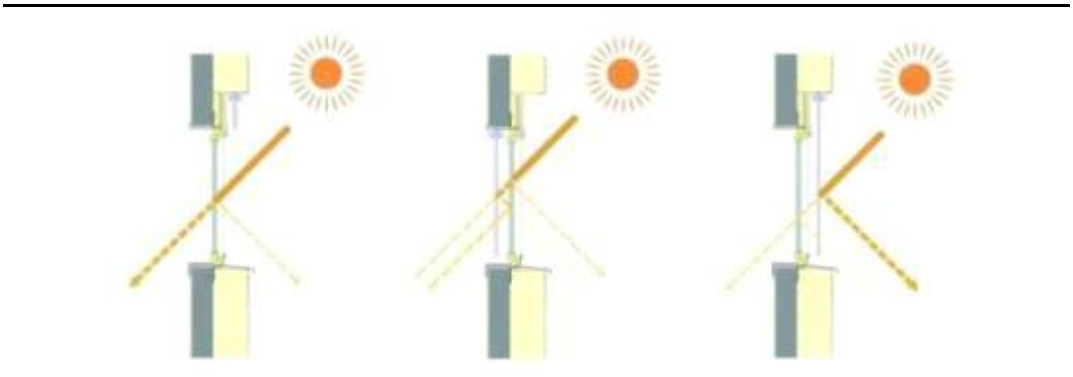
구 분	**파라펫, 난간 분리설치**	
	일반파라펫	**ALC블록 파라펫**
도면		
시뮬레이션		
l	1m	1m
Ψ	0.51 W/(m·K)	-0.07 W/(m·K)
QT,TB	36.09 kWh/yr	-4.8 kWh/yr

(6) 일사조절장치계획

(가) 외부차양의 필요성

- 외부차양은 에너지 절감 및 실내 쾌적성을 위해 건물 외부에 설치하는 장치이다. 국내는 대부분 실내에 설치하는 내부차양을 설치하나, 하절기에 냉방부하를 효과적으로 차단할 수 없다. 외부차양은 복사열이 실내에 들어오기 전에 차단하여 냉방부하 절감 효과를 높일 수 있다. 패시브하우스의 건축물의 경우 겨울철 난방부하 저감을 위해 기밀성을 높여 틈새를 통한 열손실을 줄이고, 유리투과율을 극대화하여 태양열 획득이 유리하게 설계되었기 때문에 기존 건축물에 비해 여름철 과열현상이 일어나기 쉽다. 이러한 점에서 에너지절약형 건축물은 하절기에는 창문을 통한 자연환기 활용과 외부차양 장치 설치가 필수적이라고 할 수 있다. 우리나라는 아직 내부차양에 비해 높은 가격의 외부 차양을 다는 경우가 흔치 않으나, 건물에너지 절감 차원에서 수요가 증가하고 있다.

- 아래 그림은 외부차양의 유무와 위치에 따라 태양열을 받는 영향을 나타낸 그림이다. 첫 번째 그림은 차양이 없는 상태에서 유리를 통해 들어오는 태양에너지 양이며, 다음그림은 내부 차양을 설치한 것으로 유리를 통해 들어온 빛이 내부차양에 의해 막히지만 실내에 이미 들어온 복사열이 외부로 빠져나가지 못하는 것을 알 수 있다. 이는 실내 냉방부하를 높이는 주 원인이 된다. 외부차양의 경우 실외에 빛이 유리를 통해 들어오지 못하게 막음으로써 효과적으로 열이 차단되는 것을 알 수 있다. 높은 커튼월 건물에도 유리의 색을 조절하거나 단열 필름을 붙임으로써 냉방부하를 줄이려 애를 쓰지만 이 방법은 한계가 있으며, 겨울철에는 그만큼 태양열을 받지 못하므로 난방부하가 증가하기 때문에 외부 차양시스템은 일반 주택뿐만 아니라 큰 규모의 다소비 건물에 필수적이라고 할 수 있다.



[그림3.58] 외부차양 위치에 따른 태양에너지반사량 비교

(나) 일사조절장치 종류

1) 외부 베네션 블라인드(External Venetian Blinds)



[그림3.59] 외부 베네션 블라인드(External Venetian Blinds)

- 외부 베니션 블라인드는 독일에서 가장 많이 사용되고 있는 외부 차양장치로, 얇고 긴 널을 기울이거나 올리고 내릴 수 있어서 자연 주광을 받을 수 있게 기울기를 태양의 위치에 따라 조절할 수 있다. 외부 베니션 블라인드는 외부 기후 조건에 따라 다능하게 조절할 수 있어 매우 효율적이다. 햇빛이 너무 강할 경우 실내의 과열을 방지하기 위해 베니션 블라인드로 90%의 태양열을 막아내며 여름철 냉방 에너지 소모를 줄일 수 있다. 겨울철엔 난방비를 줄이기 위해 블라인드를 위로 올려 태양열을 획득할 수 있다. 외부 베니션 블라인드의 자동적인 시스템과 조종이 가능한 창호는 건축물의 주간 냉방 에너지 소모를 줄여주며 야간 냉각을 효율적으로 돕는다. 이는 실내에서 조망을 해치지 않고도 일사량 조절을 가장 효율적으로 할수 있는 장치이다.

- 베니션 블라인드의 장점은 다음과 같다.
  - 자외선 차단 / 패시브하우스냉방 : 온실효과 및 과열 방지를 해주며 외부 열을 차단하여 냉방 설비 장치의 에너지 소모를 줄인다.
  - 일사열 취득 / 패시브하우스난방 : 겨울철 블라인드를 창 위로 모두 올려 태양열을 받아 난방 설비 장치의 에너지 소모를 줄인다.
  - 좋은 주광 활용으로 태양의 위치에 따라 널을 조정하여 주광을 최적도로 활용한다. 널의 색과 치수를 잘 활용하여 조명의 대한 에너지 및 조명의 과열로 인한 냉방 설비 장치 에너지 소모를 줄인다.
    - 섬광 차단 : 공간의 쾌적성을 유지하기 위하여 빛의 밝기를 줄여준다
  - 쾌적성 : 블라인드 조정에 따라 유리의 표면 온도와 온도에 따른 실내 온도 증가를 줄일 수 있으며 겨울철 유리 표면 및 실내 온도를 증가 시킬 수 있다.
  - 창호로 인한 열손실 : 겨울철 블라인드를 완전히 닫으면 창호로 인한 열손실을 각 재질의 U 치수에 따라 줄일 수 있다.

- 외부시야 확보 : 자유롭게 조정이 가능하여 언제나 실내에서 조망권을 확보할 수 있다.

• 중요 변수 및 성능은 다음과 같은 치수를 이용한다.
- 에너지 투과율 치수 (g value)은 창호를 통과하여 실내를 가열 하는 전환된 소수의 태양열이다.
- 전체 에너지 투과율 치수 (gtotal 또는 gt) 는 유리와 차광 시스템의 에너지 투과율을 가리킨다.
- 차광 시스템의 질은 차폐 계수로 (Fc value) 규정을 한다. Fc = gt/g 이며 이 치수가 낮을수록 자외선 차단이 더 효율적으로 이루어진다는 것이다. Fc = 1.0 (차광 없음), Fc = 0.1 (효율성 좋은 차광 시스템)

2) 처마(Horizontal Solar Fins, Louvers and Balconies)

• 수평으로 고정된 또는 회전이 가능한 차광 장치는 건축적인 요구를 충족 시켜주며 동시에 태양열을 막아준다. 이 시스템은 남향 태양열을 막는데 적절하다. 주로 핀은 알루미늄으로 만들지만, 유리, 스텐리스 스틸 또는 직물로 만드는 경우도 있다. 수평으로 고정된 루버는 태양열을 잘 막아주지만 다른 외부 조건들을 어느 정도까지만 적합하다. 조종이 부족한 관계로 최상 조건의 자외선 차단 및 주광을 잘 활용 하려면 정확한 계획이 필요하다. 핀의 회전이 가능한 자동적인 시스템 및 조종이 가능한 창호는 건축물의 주간 냉방 에너지 소모를 줄여주며 야간 냉각을 효율적으로 돕는다.

• 처마의 장점은 다음과 같다.
- 자외선 차단 / 패시브하우스냉방 : 외부로부터의 열전달을 적당히 줄여 냉방으로 인한 에너지 소모를 어느 정도 줄일 수 있다.
- 일사열 취득 / 패시브하우스난방 : 겨울철은 해가 낮게 떠있으므로, 일사열 취득으로 난방에너지 요구량을 감소시킨다.
- 주광 활용 방법 : 고정된 수평 차광 시스템은 주광을 잘 활용하지 못하지만 회전 가능한 루버는 주광을 잘 활용할 수 있다.
- 쾌적성 : 루버는 해가 높이 떠있을 때 창호로 들어오는 빛을 막아주지만 가장 열을 많은 받을 때는 태양이 낮게 떠 있을 경우이다. 따라서 회전 가능한 루버를 사용하여 유리 및 실내의 온도를 내릴 수 있다.
  - 창호로 인한 열손실 : 겨울철 창호로 인한 열손실은 막을 수 없다.
  - 외부시야 확보: 언제나 밖을 볼 수 있게 해준다.

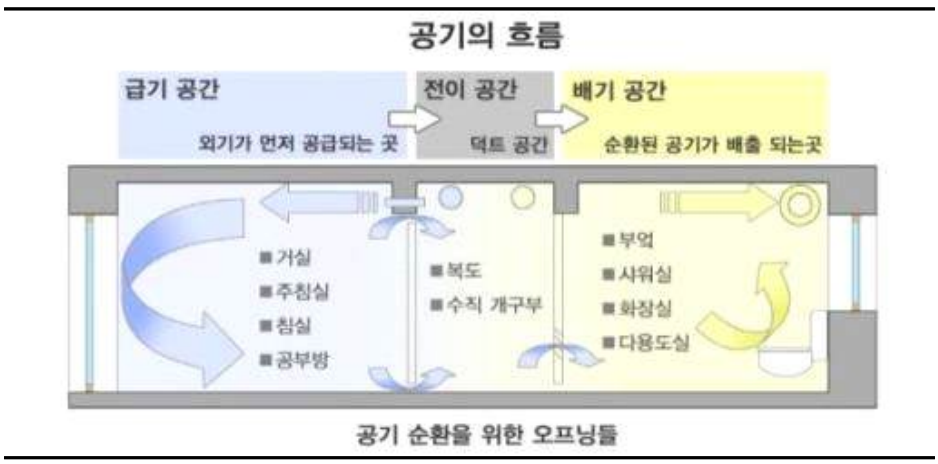
(7) 환기계획

(가) 기계환기의 필요성

- 패시브하우스에서 사용되는 기계환기장치는 폐열회수환기장치이며, 인증을 받기 위해 필수적인 요소 중 하나이다. 이는 실내에서 발생한 열원을 재 사용하여 얻는 에너지절약뿐만 아니라 쾌적성향상을 줄 수 있는 기계장치이다. 특히 난방효율을 높인 기밀한 실내조건으로 인해 자연환기를 할 수 없을 시기에는 기계환기를 이용하는것이 거주자에게 신선한 공기를 공급할 유일한 대안이 된다. 또한 기계환기장치는 에너지절약과 쾌적성향상의 조건을 만족시키기 위해 열회수 효율 뿐만 아니라 전기사용량도 일정 이하이어야 하며, 소음을 고려해야 하며, 깨끗한 공기를 유입시키기 위한 필터 등 여러 가지 요소들이 요구된다.

(나) 패시브하우스의 기계환기계획

- 급기량과 흡기량을 산정하는데 있어서 통기량을 고려하는 이유는 건물의 공기 흐름이 전체적으로 흐르도록 설계되기 때문이다. 모든 패시브하우스는 기계환기 장치를 달게 되는데, 배관이 단순하고 비용을 최소화하여 효과를 높일 수 있는 방법을 주로 사용하고 있다. 그래서 급기 부분에는 제트디퓨져와 같은 장치가 필요하게 되는데, 이는 코완다효과를 통해 공기의 흐름이 실 전체적으로 퍼질 수 있도록 하며, 열려진 실간 틈새를 통해 자연스럽게 공기는 흡기가 되어 빠져나간다.



[그림3.60] 패시브하우스의 기계환기계획(Cross Ventilation)

- 패시브하우스는 기밀한 건물이기 때문에 정확한 환기량 산정이 중요하다. 환기량의 산정은 기본적으로 사람에게 필요한 환기량을 기준으로 하며, DIN 1946-6에 따르면 한사람당 20~30㎥/h 의 양이 시간당 필요하며, 일반적으로 패시브하우스의 환기량을 제시하고 있는데, 주방은 60㎥/h, 욕실은 40㎥/h, 화장실, 창고 등은 20㎥/h를 권장하고 있다. 최소 환기량은 시간당 0.3회이다.

• 우리나라는 여름의 높은 습도로 인해 제습이 필요한데, 냉방요구량은 난방요구량과 같이 연간 15kWh/㎡yr를 만족시켜야 하는 것뿐만 아니라, 제습으로 인한 에너지요구량 0.3W/㎡aK DDH 이하가 되어야한다. 이는 실제적으로 한국과 같은 기후조건을 고려함으로써, 실제 들어가는 에너지 사용량을 정확하게 예측할 수 있다.

• 환기장치는 현열 교환기(HRV:Heat recovery ventilator)와 잠열교환기(ERV:Energy recovery ventilator)가 있는데 어떤 기능을 채택할지 사전 검토를 실시 하였다. ERV는 잠열회수가 가능하므로 한국기후의 겨울철 건조함과, 여름철의 다습한 환경에서 거주자의 쾌적성을 높여주는 동시에 잠열에너지 소모를 줄일 수 있으나, ERV는 유럽에서 통상적으로 사용되는 HRV보다 가격이 30%이상 비싸다. 다음은 엔탈피회수의 효율을 비교하고 에너지 절감적인 측면을 분석하여 경제성평가 결과이다.

[표3.38] 엔탈피회수의 효율을 비교 및 에너지 절감적인 측면 경제성평가 결과

항목	HRV	ERV	HRV-PH	ERV-PH
현열회수효율	95	86	92	83.3
잠열회수효율	0	63	0	57.0
합	95	127	92	123.0

* 서울 기후 기준

• 열회수효율에 의한 난방에너지 비용계산은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

[표3.39] 열회수효율에 의한 난방에너지 비용계산

Qcost = Vv * Nv * c * Gt * (1-Veff) * 전력단가

Qcost	환기에 소요되는 에너지비용	(\/년)
Vv	유효체적(TFA180㎡)	(180*2.5=450㎥)
Nv	실내환기비율	(패시브하우스0.3)
c	공기비열	(0.33W/㎥*℃)
Gt	년간난방시간*난방부하	(Hr℃/년, 서울기준 70,000)
Veff	열회수환기장치의 효율	(%)
전력단가		(\150/KWH)

• 위의 정리된 정보에 따라 450 * 0.3 * 0.33 * 70000 * 0.31 * 150 = 145,000 으로 연간 약 14.5만원정도 에너지비용을 줄일 수 있으며, 최종적으로 난방에너지 비용 차이에 의한 투자비 차액 회수기간을 알아보면 다음과 같다.

- HRV비용 : 480만원

- ERV비용 : 625만원
- 차액 : 145만원　　회수기간 : 145만원 / 14.5만원 = 10년

- 일반적으로 회수기간이 10년이 넘어가면 선택하기 어려운 점이 있으나 경제적인 측면이외에 얻을 수 있는 사항은 적정한 습도의 유지를 위한 가습과 제습이 상대적으로 쉬워 쾌적하며, 열교환장치의 소자가 동결에 상대적으로 유리하며, 사용온도가 낮다. 또한 응측수 발생이 적어 관리가 편리하다. 그러나 열교환소자 청소시 물세척은 불가한 단점을 가지고 있다.

- 최종적으로 우리나라는 여름철 습기 관리가 어렵고 그에 따라 예상될 수 없는 에너지 비용이 추가될 것으로보고 습기가 가지고 있는 열을 교환할 수 있도록하는 ERV를 선택하여 여름철의 에너지효율을 더욱 높였다.

  - 독일 패시브하우스에서 인증하는 환기장치에 있어서 요구되는 요소는 다음과 같다.
    - 공급온도 조건 16.5도 이상, (외부온도 -10도기준)
    - 열회수 효율 75% 이상
    - 전기사용량 0.45Wh/m3 이하
    - 기기 기밀성 실내 및 실외의 침기율이 3% 미만
    - 소음 35dB 이하
    - 외기 필터 F7
    - 급기 필터 G4
    - 결빙보호를 위해 외기온도 -15도 일 때 까지도 급기가 가능해야 함

(8) 냉・난방, 급탕 설비계획

- 패시브하우스의 쾌적한 실내 열환경 계획을 위해, 냉・난방에 필요한 열에너지 및 급탕에 소요되는 에너지를 고려한 설비계획이 필요하다.

- 독일패시브하우스의 경우 34%의 인증주택이 난방과 공조, 급탕을 통합시킨 콤펙트유닛 시스템을 이용하고 있는데, 이는 급기난방이 가능한 패시브하우스의 특징을 살린 통합설비시스템이다. 이외에 부가적으로 히트펌프, 콘덴싱 보일러, 펠렛보일러 등을 사용하며, 태양열이나 지역난방 등 에너지효율을 높일 수 있는 설비계획이 도입되고 있다.

- 한국형 패시브하우스의 경우 국내에서 수급이 어려운 콤팩트유닛, 고효율 히트펌프, 펠렛보일러 등의 설비 적용에 한계가 있으므로 냉・난방, 급탕에 필요한 에너지는 신재생에너지 시스템을 적용하여 1차에너지 소요량 증가를 최소화 하는 방안을 적용하였다.

- 현재 국내에서는 2020년가지 신재생에너지주택 100만호 보급을 목표로 태양광, 태양열, 지열, 소

형풍력, 연료전지 등의 신재생에너지 설비를 주택에 설치할 경우 설치비의 일부를 정부가 보조지원[27]하므로, 한국형 패시브하우스에 태양광, 태양열, 지열, 소형풍력, 연료전지 등을 적용한 냉·난방, 급탕 설비계획이 가능하다.

- 독일 패시브하우스인증주택의 사례분석 결과 난방에너지요구량 및 냉방에너지요구량이 미미하기 때문에, 급탕에너지 조달을 위한 설비에 주목하고있으며, 이때 신재생에너지원으로 태양열 및 지열을 사용하고 있다.

- 그러나 국내의 경우 독일과 달리 여름철 높은 습도로 인한 제습부하로 인해 냉방부하가 늘어나는 경향이 있으므로, 한국형 패시브하우스의 경우 급탕부하뿐만 아니라 냉방부하를 저감하기 위한 설비계획이 필요하다.

- 국내에서는 냉방부하가 상승하는 여름철의 경우 장마로 인해 태양에너지를 안정적으로 활용할 수 없기 때문에 태양광 및 태양열의 활용이 용이하지 않다. 이 경우 지열을 통해 사계절동안 안정적인 냉난방 및 급탕설비계획이 가능하다.

- 천부지열은 15℃ 내외의 온도를 이용하여 냉난방에 활용되며, 에너지효율이 높고 환경친화적이나 초기 투자비가 높은 단점이 있다. 그러나, 가동시간이 긴 주택의 경우 투자대비 회수기간이 줄어 경제성이 향상될 수 있다.

- 미국 EPA, DOE에서는 지열이 인류가 사용하고 있는 모든 냉난방 시스템 중 가장 에너지효율적이고 환경친화적이라고 공인하였으며 현재 연구되고 있는 Zero Energy House는 기본적으로 지열냉난방을 포함하고 있음.

- 또한 한국형 패시브의 경우 아직 국내 에너지절약형 건축물 자재시장이 활성화되지 않아 수입자재의 사용이 예측되는가운데, 냉난방설비를 위한 지열시스템은 국산화로 제안할 수 있기 때문에 유리한 신재생에너지원이라 할 수 있다.

[표3.40] 지열에너지 국산화가능성여부 검토 (출처: ㈜ 신성엔지니어링)

항목	적용자재 및 공종	관련기술분야	국산화 가능성 유무
장비류	냉난방용 및 급탕용지열히트펌프	고온수 및 급탕용 지열히트펌프 개발	O
			O
	지중열교환기	PE배관제조	O
	온천수열교환기	열교환기제조	O
공사성	TBM천공기	지중천공기술 (건축물 하부천공)	O
	자동제어	검측 및 제어기술	O

27) http://greenhome.kemco.or.kr/ext/itr/intr/greenHomeIntro.do

(9) 조명계획

- 패시브하우스는 주 생활공간을 남향에 배치하여 일사에너지 및 채광에 용이한 평면계획을 기본으로 하기 때문에, 조명기기 사용시간 최소화가 가능하다. 이 외에 조명기기는 조도시뮬레이션 등을 활용하여 적정위치에 고효율 조명기기를 설치하여 조명에너지 요구량을 최소화 할 수 있다.

(10) 생활에너지 효율화 계획

- HEMS는 소비자가 전기나 가스 소비를 시각화하여 모니터하고 관리 할 수 있도록 매개하는 기기이다. (Van Dam et al. 2010). 전력망에 정보통신기술을 결합함으로써 전기사용 정보 뿐 아니라 전기요금 등 공급자 측의 전기정보를 실시간으로 제공하여 에너지를 능동적으로 관리하고 절약하도록 소비자의 행위변화를 유도한다.

- 또한 자동제어 기능으로 인간의 행위변화를 대신하여 인간의 행위변화를 대신하여 에너지를 효율적으로 사용할 수 있도록 보완하는 새로운 개념의 혁신기기이다.

- 에너지소비량은 눈으로 확인할 수 없어 소비행태를 진단하기 어렵다. 때문에 기존의 에너지 절약은 주로 기기의 에너지 효율 개선에 초점을 두고있다.

- HEMS의 초기 상업적 모델은 석유위기를 겪으며 에너지 절약에 관심이 높았던 1970년대에 등장했으며, 최근 들어 가정용 전기수요의 급증과 기술개선의 한계로 에너지 소비패턴 변화를 통한 에너지 전략에 대해 관심이 고조되면서 HEMS가 새롭게 주목받고 있다.

- HEMS는 Zigbee와 같은 망 통신을 이용하여 가정 내 무선통신을 한다. HEMS는 기본적으로 전기정보를 표시하는 표시부와 자동 단락을 담당하는 제어부가 결합되어 있으며, 에너지모니터링 기기는 표시부만을 포함하고 있다.

- 기본적으로 에너지 모니터링과 관리 기능을 포함하고 있으며 여러 가지 형태가 있다. 콘센트에 유무선으로 연결하여 간단한 정보를 살펴 볼 수 있는 작은 표시부를 가진 저렴한 형태부터 다양한 정보 표시가 가능한 LCD 표시부를 가진 무선 모니터링기기가 있다.

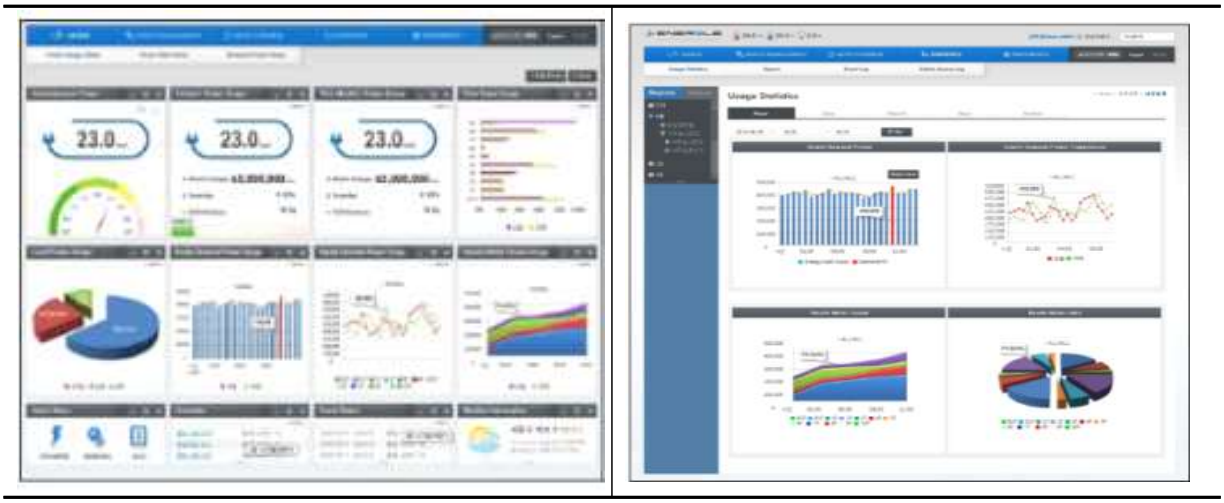
- 홈네트워크 형태의 확장된 HEMS는 센서를 통해 사람이 있는지를 감지해 자동으로 조명이나 에어컨, TV 등을 제어하거나 원격 제어기를 이용하여 제어할 수 있는 형태, 방범기능, 헬스케어 기능 등이 추가된 형태가 있다.

- HEMS는 사용자가 에너지소비 정보를 접합으로써 에너지사용에 더 주의를 기울여 궁극적으로 에너지소비량을 줄이는 효과가 있으며, 에너지 사용 시간을 이동시켜 에너지 사용이 집중되는 문제

를 완화시키는 유용한 방법으로 평가받고 있다.



[그림3.61] 홈 네트워크(출처:http://www.hyundaitel.co.kr/business/hn_composition.asp)



[그림3.62] 홈 네트워크 UI

라. 기술관리

- 건축 설계 및 시공과정에서 계획 상 의도한 바를 올바로 구현하고 건축물의 질적 향상을 도모하기 위해 건축법 제 25조에 의해 감리자는 건축물의 공사를 감리하도록 규정하고 있다. 이때, 공사감리라 함은 법에서 정하는 바에 따라 건축물 및 건축설비 도는 공작물이 설계도서의 내용대로 시공되는지 여부를 확인하고, 품질관리, 공사관리 및 안전관리 등에 대하여 지도, 감독하는 행위를 의미한다.

- 그러나 패시브하우스 시공에 대한 기본지식이 보편화되지 않은 상황에서 패시브하우스 계획의 전반이 구현되기 위해서는 건축물의 기본적인 감리업무 이외에 패시브기술요소 구현에 대한 추가관리가 필요하다.

- 패시브하우스 공사 순서는 일반적인 주택공사의 순서와 일부 다를 수 있으므로 [그림00-0]과 같이 공정별 패시브 및 액티브 기술요소를 참고하여, 각 시공단계에서 유의해야 하는 패시브기술요소를 관리해야 하며, 이는 주택의 에너지성능과 직결된다.

- [그림00-00]은 국내에서 주를 이루는 철근콘크리트 공사를 기본으로 작성되었으며, 목조주택의 경우 아래의 공사순서 및 유의사항이 변경될 수 있다.

- 패시브하우스의 경우 인증을 받기 위해서는 감리과정에서 패시브기술요소가 충분히 구현되었음을 기록으로 남겨 인증자료로 활용해야 하며, 국내에서도 주택의 에너지성능을 증명하는 자료로 활용될 수 있으므로 수기 및 사진자료를 통해 기술관리에 대한 데이터를 확보해야 한다.

[표3.41] 기술관리 공정표

액티브 요소

지열 천공 작업
–천공 깊이, 구멍간의 간격 확인



사진1 – 지열 천공 작업

패시브 요소

기초공사
–기초 외단열 공사를 위한 지반공사 완료 여부
–외단열 시공 가능한 단열자재 여부 확인
– XPS단열재 바닥 시공시 틈새없는 시공 확인
– XPS단열재 바닥 시공(2겹이상)시 줄눈이 어긋나도록 시공 확인
– XPS단열재 벽체 시공시 막힌줄눈으로 시공확인
–기초 외단열의 위한 방수층 시공 확인
–단열재 주변으로 물이 고이지 않도록 시공 확인 (드레인보드, 잡석 등)



사진 3 – 환기장치 구조물 관통부위

거푸집
–환기장치 슬라브 관통부위 확인

골 조
–철근 배근 시 배관 관통부위 방수보강
–지열배관 위치 점검
–지열배관 수압테스트
–외단열 교차부위에서 열교차단 공사 확인(ALC 시공 확인)



사진 5 – 지붕 아스팔트 프라이머 공정



사진 6 – 지붕 파라펫 ALC 시공 공정

지붕방수 지붕단열
–지붕 파라펫 ALC 시공여부 확인
–PV 설치로 인한 지붕 외방수 및 외단열 층 파괴대책 확인

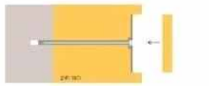


그림 1 – 단열재 고정 철물시공 후 열교차단

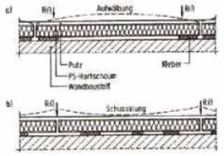


그림 2 – 단열재 접착상태에 따른 휨 현상

단열공사
–단열재 현장시험(밀도, 품질, 무게)
–외부단열재 접합부 충진여부 확인
–단열재 접착시 휨 현상 방지
–외단열 단열재 접착부위 청결 확인
–단열재 시공시 막힌줄눈으로 시공, 마구리 교차
–단열이 필요한 파이프 단열시공 확인



그림 3 – 창호 기밀 시공

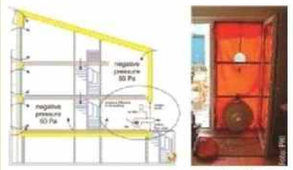


그림 4 – 공기압시험 테스트

창호 설치 및 기밀테스트
–창호 시공위치 확인(단열층 연속 확보)
–철물 설치시 열교 차단제 확보
–창호 기밀 시공 확인(창틀 주변, 철물 주변 모서리 등에 아스팔트 프라이머 도포 및 기밀테이프 부착 여부)

기밀테스트
–테스트 후 창호 교정
–창호 주위 단열여부 검토

공기압시험 테스트

태양광 P V 판넬설치
–콘크리트 타공작업시 도면 및 실측 간격 확인
–현장레벨 및 실측치수 확인 후 작업
–지지대 간 실측간격

지열설치
–히트펌프 설치 시 충분한 기초콘크리트 깊이 확인
–히트펌프 운전 중의 소음과 진동을 방지하기 위한 방진재 설치 확인
–냉수 탱크의 용량에 따라 맨홀 설치 검토

돌,테라조 공사
–외벽석재마감시 고정철물에 의한 열교차단시공

타일공사
–바탕면 평활도 확보
–각 단열재 별 허용높이,찢어짐강도,허용두께확인

미장공사
–미장공사 이후 덕트, 파이프, 전기설비 기밀 시공
–미장공사 이후 바닥 모서리 부위 충격소음 방지를 위한 완충재 설치 확인

철근콘크리트 공사 | **단열(외부)공사** | **외부마감공사** | **세대마감공사** | **입주**

지정 및 기초공사 | **조적/미장/방수공사** | **창호(3중창)공사**

일반건축물 시공공정요소

거푸집공사
–먹매김(배치, 수직, 수평 – 매층/갱폼인양 후)
–레벨 보기(철근 조립 중/ 콘크리트 타설 전)
–벽체, 슬라브 매립, 각종 함 BOX OUT작업 확인
–지수판/방수턱 설치 확인
–거푸집 전용 횟수 및 품갈이



사진 2 – 거푸집 공사현장

골조공사
1) 콘크리트 공사
–외단열 시공 가능한 단열자재 여부 확인
2) 철근공사
–철근가공도 및 시공상세도 작성
–이음 및 정착길이 확인
–보강근의 위치 및 수량은 정확한지 확인



사진 4– 콘크리트 공사현장

조적공사
–기계 및 전기배관 설치 적정 여부
–창호 인방 규격 및 창호 설치에 따른 마감 관계 확인
–보강철물 위치 및 개수 검토
–각종 자재 준비 및 시험 계획
–공정 계획 작성 (양중 계획, 인원 동원 계획 등)

미장공사
–문창틀 주위의 사춤상태 및 전–후 문창틀 수직도 확인
–발코니 액체방수 시공상태 확인
–전기 BOX, 설비 수전 및 배관주의 사춤 상태 확인
–벽체의 수평, 수직 상태 확인

방수공사
–설계도서 검토하여 누락부분 없이 시공
–결함없는 방수 작업 여건에 대한 검토
–선행 공종 고려

단열공사
1) 단열부위선정
–난방공간과 비난방공간 구분
–난방과 비난방 경계부 단열
–비난방공간과 외기에 접하는 부위의 최소단열
–평면, 입면, 단면 등에 단열계획표시
–단열층의 단절여부 검토

2) 단열부하 결정
–부위별(바닥, 벽, 지붕 등)로 단열부하 산정
–관련법규 제21조 (건축물 열손실방지)기준

3) 단열재 및 공법선정
–단열재의 선택(부위별)
–시공시 유의사항(공법별)

창호공사
–개구부 치수 실측
–창호위치, LEVEL 확인
–시공 상세도 승인



사진 7 – 창호 공사 공정



사진 7 – 창호 단면



사진 8 –창호

외부마감공사
–자재 현장 입고 확인
–운반, 취급 주의
–기준 먹줄 놓기 및 피아노선 확인
–마감부 취부 및 줄눈
–보양 및 청소



사진 9 – 외부마감 공사

마. 기술검증 : 블러도어테스트, 열화상카메라, TAB

- 주택의 시공과정에서는, 적용된 패시브하우스기술 기능발현 검증을 위한 테스트들이 수행됨으로서 시공 및 설계계획 이행여부를 확인하고 이에 따른 보수작업이 이루어져야 한다.
  - 난방 및 냉방, 환기설비 성능증대를 위해 확보되어야 하는 기밀성은 블러도어 테스트를통해 확인되며 열교부위의 열손실여부는 열화상카메라를, 환기설비의 작동여부는 TAB 테스트를 통해 확인한다.

(1) 블러도어 테스트

- 건축물은 자연환경에 노출되어있고, 바람이 불 때에는 건축물의 주변에 풍압이 발생하여 건축물 외피의 균열, 창호틈새, 환기구 등의 틈새를 통하여 실내공기 유출입이 발생하는데, 이를 틈새바람(Leakage Air)라 한다. 이때, 바람이 들어오는 것을 침기(Infiltration), 나가는 것을 (Exfiltration)이라고도 하는데, 이러한 틈새바람은 실내환기를 시키는 긍정적인 면도 있지만 이로 인하여 온도차가 발생하며 결로발생, 에너지손실, 먼지유입, 소음전달 등 부정적 측면도 있다.

- 패시브하우스의 측면에서 건물 외피의 틈새바람이 발생되지 않게 단열과 기밀이 연속되도록 계획하고 시공하는 것은 폐열회수환기장치로 인한 환기시스템 도입 시 에너지효율에 큰 영향을 미치게 된다. 이때, 건물에서 교환되는 틈새바람(침기량)을 파악하면, 건축물의 기밀도를 알 수 있는데, 독일 패시브하우스의 기밀도 측정기준은 EN13829의 기준을 따른다.

- 기밀도 측정은, 50Pa의 압력차이에서 건축물 외피를 통한 공기교환량을 측정한다. 50Pa의 압력차는(5m 물기둥과 동등함) 블로어도어 테스트 장비를 통해 실내와 실외의 차이에서 만들어질수 있다. 블러도어 테스트 장비는 개방이 된 곳에 압력기를 설치해서 침기를 감지하기 위해 내부에 압력을 가하는 장치이다. 실제 시험은 감압과 가압을 측정의 과정을 거쳐 전체 체적 대비 50Pa의 침기율을 산출한다. 블로어도어 시험은 많은 나라들에서 엔지니어들에게 제공되고 있으며, 이는 패시브하우스에서는 필수적이다.



[그림3.63] Blower Door Test 기기 및 개요

(2) 열화상카메라

- 태양이 방출하는 빛을 프리즘으로 분산시켜 보았을 때 적색선의 끝보다 더 바깥쪽에 있는 긴 파장을 적외선이라 한다. 적외선은 가시광선이나 자외선에 비해 강한 열작용을 가지고 있는 것이 특징이며 태양이나 발열체로부터 공간으로 전달되는 복사열은 주로 적외선에 의한 것이다.

- 모든 온도를 가지는 물체가 복사선을 방출하며, 저온에 해당하는 것이 적외선이다. 즉, 건물의 외피에 단열결함이나 공극, 균열, 박리 등이 존재할 경우, 외피 표면에 열을 가하게 되면 결함부위에 포함된 공기층은 정상부위보다 높을 열저항을 가지게 되어 정상부위와 결함부위는 온도차가 발생하게 된다. 그 온도차를 열화상카메라로 측정한다.

- 열화상 카메라의 가장 큰 특징은 비접촉식으로 넓은 면적의 진단이 가능하다는 것이다. 진단 결과를 화상으로 기록보존이 가능하므로 데이터의 설득성이 높으며 다음과 같이 건물 단열 진단에 이용 될 수 있다.[28)]
  - 표면온도 측정을 통한 관류 열량의 분석으로 벽체 내부의 단열 상황 추정.
  - 실내 온도 분포 및 침기 / 누수 부위의 발견.
  - 실내 각 부위의 표면온도를 통해 냉/온 복사를 측정하여 실내쾌적성 평가.
  - 표면온도가 노점온도 이하의 낮은 실내부위를 검출하여 결로의 위험성 진단.



[그림3.64] 열화상 카메라 촬영화면 사례

28) 한준희, 윤재옥. 「열화상 카메라를 이용한 기존 학교건물의 단열성능 비교 분석 연구」, 『춘계학술발표대회 논문집』, 10권, (2010), p.44

(3) TAB (Testing Adjusting & Balancing)

• TAB는 건축설비에 있어 설비의 시험(Testing), 조정(Adjusting), 균형(Balancing)을 하는 작업으로서 설계치와 부합되도록 건축물의 모든 환경시스템을 검토 측정, 조정하는 과정을 말한다.

[표3.42] TAB 테스트 기준

구분		PH	국내	비고
규정근거		PHI	-	
인증취득의 중요요건	Unbalance	±5%	-	
	소음	거주공간 25dB	-	
		기계실 35dB	-	
	필터장착	급기F7, 배기G4	-	
측정항목	문틈풍속	1m/s	-	측정풍량/문틈면적
	소음	25,35dB	-	
측정+ 조정항목	각 실 풍량	각 실 총합을 계산, 밸브종류 및 조정방법 기술	-	
	Unbalancing	컨트롤방법	-	
		컨트롤 볼륨기재	-	

3. 한국형 패시브하우스 개발에 따른 주요 연구성과

• 본 연구의 목표 및 내용의 수행여부와, 연구 성과물의 내용은 다음과 같다.

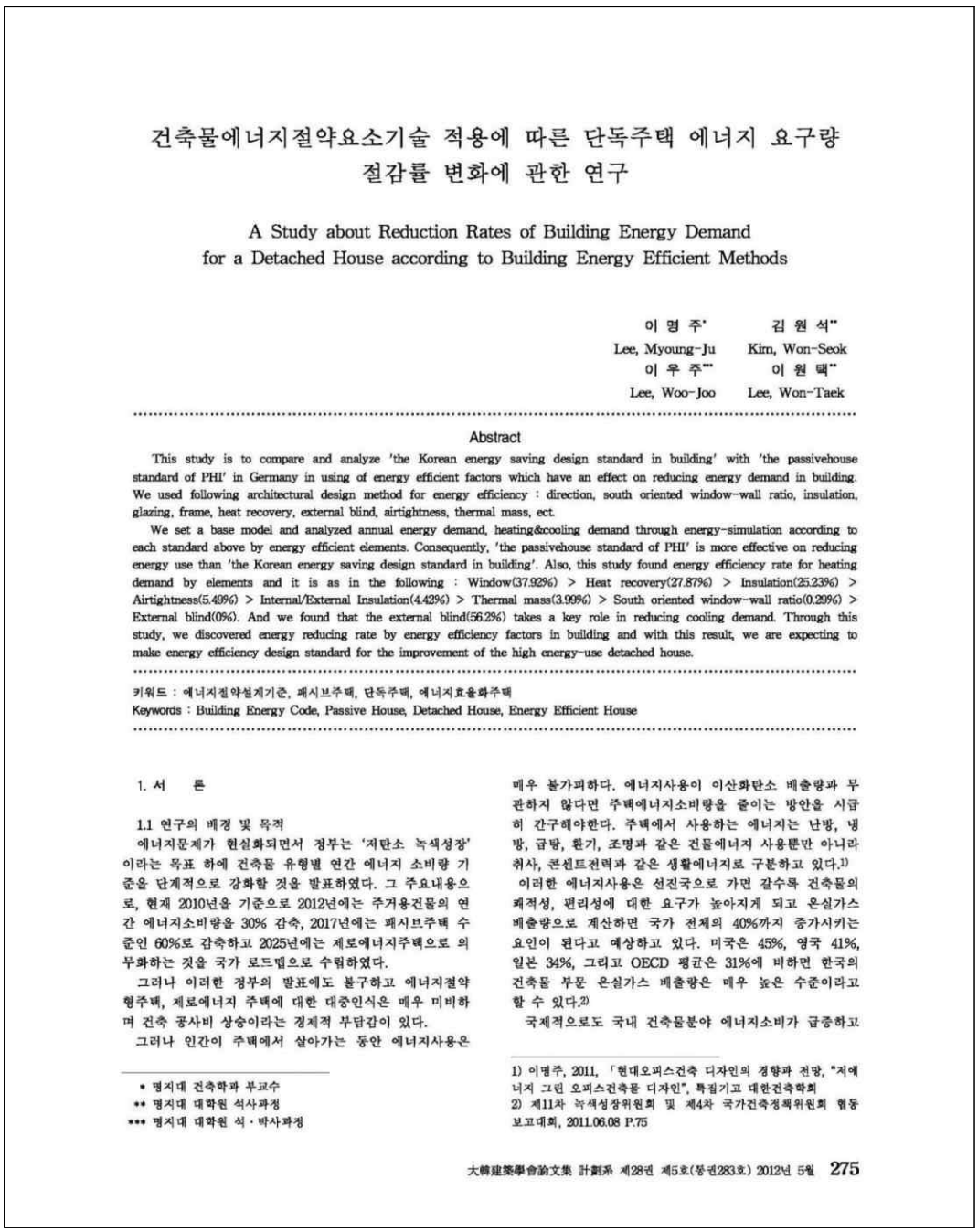
[표3.43] 연구의 목표 및 내용의 수행여부와, 연구 성과물

연구목표	연구내용	수행 여부	연구성과	
			공통지표	과제지표
독일 패시브하우스 인증 분석연구	패시브하우스 관련 독일 인증제도 및 취득과정 분석	○		
	국외 패시브하우스 기 인증주택 문헌조사	○		
독일 패시브하우스 관련 국가 제도 분석 연구	독일/EU 패시브하우스 실현을 위한 국가정책 및 지원제도 분석	○		
한국형 패시브하우스 실현방법 연구 및 기본·실시설계	패시브하우스를 위한 국내 기후환경 검토	○		
	국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토	○	연구논문 2건	
	패시브하우스에 사용되는 국내외 자재 및 성능 비교검토	○		
	패시브하우스 관련 국내외 고효율 설비 성능 비교검토	○		
	국내 패시브하우스 시범주택 선정 및 설계	○	디자인출원 1건	
	에너지시뮬레이션 분석	○		
	열교시뮬레이션 디테일검토	○	연구논문 1건 (심사중)	
한국형패시브하우스 설계, 실현	진단시스템연구 및 시스템 구축	○		
	시공방법연구 및 실증	○	시제품제작 1건	패시브디테일 및 시공방법 적용 5건 패시브인증기준에 준하는 제품적용 3건 건축물 기밀성(n50 0.3~1/h) 확보 1건
	품질보증 및 감리표준개발	○		
	인증취득 및 세부과정분석	○		독일 패시브인증취득 1건
	사용자 매뉴얼 개발	-		
한국형 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 연구	모니터링 설계 및 설치	○		모니터링 설계 및 설치 3건
	모니터링 매뉴얼 개발	-		
	모니터링관련 거주자 매뉴얼 개발	-		
	모니터링 데이터처리 및 분석	○		
	모니터링 결과 검증 및 분석	○		
국내 제도 개선 제안	에너지절약 관련 정책 개선안 도출	○	정책제안 4건	
패시브하우스 쾌적성 분석	쾌적도 도출에 대한 문헌조사 실시	○		
	쾌적지수 연구를 위한 예비설문조사	○		
	쾌적지수 연구를 위한 본설문조사	○		
국내 패시브하우스 경제성평가	LCC분석을 통한 비용편익분석	○		
	QALY추정을 통한 비용효용분석	○		

가. 공통지표

(1) 연구논문

(가) 건축물 에너지절약요소기술 적용에 따른 단독주택 에너지요구량 절감률 변화에 관한 연구



건축물에너지절약요소기술 적용에 따른 단독주택 에너지 요구량
절감률 변화에 관한 연구

A Study about Reduction Rates of Building Energy Demand
for a Detached House according to Building Energy Efficient Methods

이 명 주* 김 원 석**
Lee, Myoung-Ju Kim, Won-Seok
이 우 주*** 이 원 택**
Lee, Woo-Joo Lee, Won-Taek

Abstract

This study is to compare and analyze 'the Korean energy saving design standard in building' with 'the passivehouse standard of PHI' in Germany in using of energy efficient factors which have an effect on reducing energy demand in building. We used following architectural design method for energy efficiency : direction, south oriented window-wall ratio, insulation, glazing, frame, heat recovery, external blind, airtightness, thermal mass, ect.

We set a base model and analyzed annual energy demand, heating&cooling demand through energy-simulation according to each standard above by energy efficient elements. Consequently, 'the passivehouse standard of PHI' is more effective on reducing energy use than 'the Korean energy saving design standard in building'. Also, this study found energy efficiency rate for heating demand by elements and it is as in the following : Window(37.92%) > Heat recovery(27.87%) > Insulation(25.23%) > Airtightness(5.49%) > Internal/External Insulation(4.42%) > Thermal mass(3.99%) > South oriented window-wall ratio(0.29%) > External blind(0%). And we found that the external blind(56.2%) takes a key role in reducing cooling demand. Through this study, we discovered energy reducing rate by energy efficiency factors in building and with this result, we are expecting to make energy efficiency design standard for the improvement of the high energy-use detached house.

키워드 : 에너지절약설계기준, 패시브주택, 단독주택, 에너지효율화주택
Keywords : Building Energy Code, Passive House, Detached House, Energy Efficient House

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

에너지문제가 현실화되면서 정부는 '저탄소 녹색성장'이라는 목표 하에 건축물 유형별 연간 에너지 소비량 기준을 단계적으로 강화할 것을 발표하였다. 그 주요내용으로, 현재 2010년을 기준으로 2012년에는 주거용건물의 연간 에너지소비량을 30% 감축, 2017년에는 패시브주택 수준인 60%로 감축하고 2025년에는 제로에너지주택으로 의무화하는 것을 국가 로드맵으로 수립하였다.

그러나 이러한 정부의 발표에도 불구하고 에너지절약형주택, 제로에너지 주택에 대한 대중인식은 매우 미비하며 건축 공사비 상승이라는 경제적 부담감이 있다.

그러나 인간이 주택에서 살아가는 동안 에너지사용은 매우 불가피하다. 에너지사용이 이산화탄소 배출량과 무관하지 않다면 주택에너지소비량을 줄이는 방안을 시급히 간구해야한다. 주택에서 사용하는 에너지는 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명과 같은 건물에너지 사용뿐만 아니라 취사, 콘센트전력과 같은 생활에너지로 구분하고 있다.[1]

이러한 에너지사용은 선진국으로 가면 갈수록 건축물의 쾌적성, 편리성에 대한 요구가 높아지게 되고 온실가스 배출량으로 계산하면 국가 전체의 40%까지 증가시키는 요인이 된다고 예상하고 있다. 미국은 45%, 영국 41%, 일본 34%, 그리고 OECD 평균은 31%에 비하면 한국의 건축물 부문 온실가스 배출량은 매우 높은 수준이라고 할 수 있다.[2]

국제적으로도 국내 건축물분야 에너지소비가 급증하고

* 명지대 건축학과 부교수
** 명지대 대학원 석사과정
*** 명지대 대학원 석·박사과정

1) 이명주, 2011, 「현대오피스건축 디자인의 경향과 전망, "저에너지 그린 오피스건축물 디자인", 특집기고 대한건축학회
2) 제11차 녹색성장위원회 및 제4차 국가건축정책위원회 합동보고대회, 2011.06.08 P.75

[그림3.65] 연구논문 - 건축물 에너지절약요소기술 적용에 따른 단독주택 에너지요구량 절감률 변화에 관한 연구

(나) 패시브하우스초기설계단계에서의 건축설계요소 분석연구



패시브주택 초기설계단계에서의 건축설계요소 분석연구

Comparative Analysis on the Architectural Design Vocabulary in the Early Design Stage of Passive Houses

추 소 연* 차 지 원** 이 명 주**
Chu, So-Yeon Cha, Ji-Won Lee, Myoung-Ju

Abstract

Though the importance of energy efficient building is being progressively recognized, the absence of the design strategy in early stages of design increases the cost and hinders their proliferation. In order to help novice designers to comprehend a certain level of cost-efficient and energy efficient design integration in an intuitive manner, this research examines architectural design components of the passive house, which could be considered in early phase of design.

In this study, plans of 35 PHI certified passive houses in Germany were analyzed, mainly focusing on the "architectural" design vocabulary, rather than building energy performance. The early design stage and its design components are defined in accordance with German and Korean ordinance on architects' performance and fees. As a result, there was no indispensable requirement for passive house design, even including building orientation and compactness, although every project tends to maximize solar energy use and minimize heat loss through the building envelope. Futhermore, in addition to south facing windows, the open floor plan was also important in circulating warm air for overall indoor thermal comfort. The paper affirms the importance of integrated planning in passive house design, showing that its architectural design vocabulary has already included technical consideration from early phase, such as ventilation, plumbing, technical layout etc.

키워드 : 패시브주택, 초기설계단계, 건축계획요소, 통합설계
Keywords : Passive House, Pre-Design Stage, Architectural Design Vocabulary, Integrated Planning

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

기후변화와 에너지위기가 전 세계적인 현안으로 떠오르면서 건축물에너지효율화의 중요성이 높아지고 있다. 이미 기후변화에 관한 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)은 4차 보고서에서 건물부문의 이산화탄소 배출량 중 30%를 2020년까지 감축 가능한 것으로 보았으며, 가장 감축잠재량이 큰 신축건물의 경우 통합설계를 통한 적은 비용으로 현재 에너지소비량의 80%를 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한 유럽 의회는 이미 2010년에 온실가스 감축을 위해 건물에서의 에너지 효율화 잠재량을 최대한 활용하여야 한다고 공식적으로 언급하였으며, 2050년까지 건물부문에서 1990년 대비 약 88-91%의 이산화탄소 배출량을 감축할 계획이다. 한편 우리나라도 2009년 녹색성장 위원회 제 6차 보고대회에서 국가 온실가스 감축목표를 이행하기 위해 건물 분야의 역할이 매우 중요함을 공인하고 2017년부터 2012년 대비 신규 주거용 건축물의 에너지 소비량을 60% 감축하는 것(패시브하우스 수준)을 시작으로 2025년 이후 신규 건축물의 제로에너지 의무화를 추진할 것을 공표하였다.[1)]

그러나 국내에서 에너지절약형 건축물은 아직 자재, 기술 및 경험의 부족, 그리고 높은 비용 등의 한계로 보급이 늦어지고 있다. <그림1[2)]>에서 볼 수 있듯이, 비용효율적인 에너지절약형 건축물 설계를 위해 많은 국외 연구에서 초기설계단계의 중요성을 강조하고 있지만 [Giesa(2010), Gantenbein(2003), Herzog(2005), Stadlöder(2005)], 국내

* (주)제드엠제이건축사사무소 소장
** (주)제드엠제이건축사사무소 팀장
*** 명지대학교 건축대학 부교수

1) 국토해양부, 교육과학기술부, 행정안전부, 지식경제부, 환경부, 산림청, 녹색도시·건축물 활성화방안 - 녹색성장 위원회 제 6차 보고대회자료, 녹색성장위원회, 2009. 11.05.

2)"Deutsches Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Ausgezeichnet : nachhaltig Bauen mit System. Z ed., Brochure, Stuttgart, Germany, 2010"의 자료를 한국 건축사 업무범위와 대가산정에 따른 설계과정을 반영하여 한글로 재구성

[그림3.66] 연구논문 - 패시브하우스초기설계단계에서의 건축설계요소 분석연구

(다) 전열해석 시뮬레이션을 통한 패시브하우스의 단열외피 열교최소화 상세개발 연구(심사중)



전열해석 시뮬레이션을 통한 패시브주택의 단열외피 열교 최소화 상세 개발 연구

A study on the thermal-bridge-free construction details of the thermal envelope for a passive house using heat transfer simulation

Abstract

Current Korean building energy policy and standards provide only the specific insulating performance standards of the building component and it overlooks the prevention of heat loss caused by thermal bridge when evaluating building performance. In this research, details to minimize the heat loss due to thermal bridge was developed to achieve the linear thermal transmittance criterion(Psi-<0.01W/mK) of the German Passivhaus Institut(PHI), performed through two-dimensional heat transfer simulation in a steady-state-condition (ISO 10211:2007). Then, the heat loss from the developed passive house details was compared with the exampled details as per the current Korean building code, and their effect on the annual heating energy demand was weighed according to the calculation method in PHPP(the building energy performance evaluation program of the PHI). Lastly, the possibility of condensation and mould was evaluated by using the temperature factor (ISO 10211:2007).

As the result, while the overall heat loss through thermal bridges in enhanced passive house details was minimized to 1.1kWh/m²a, the gross heat loss due to thermal bridge in exampled details was 35.3kWh/m²a, which exceeds alone the annual heating energy demand criterion (15kWh/m²a) for passive house set by PHI. This shows that enhancing the building energy performance to the high-energy-efficient standard will be hindered, if minimizing thermal bridge is left neglected. Therefore, it is necessary to set up specific criteria to minimize the heat loss due to thermal bridge, in order to achieve the Korean building energy-efficiency road map set by the government. In addition, the study for diverse measure to manage the thermal bridge details in design and construction process is needed.

키워드 : 열교, 전열해석, 패시브주택, 열교없는 시공상세

Keywords : Thermal bridge, heat transfer simulation, passive house, thermal-bridge-free construction details

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화와 같은 에너지문제의 중요성이 부각되면서 2009년 녹색성장 위원회 제 6차 보고대회에서는 '저탄소 녹색성장'의 목표 하에 건축물 유형별 연간 에너지소비량 기준이 단계적으로 강화될 것이라는 발표가 있었다. 이에 따라 2010년 현재를 기준으로 2012년에는 주거용건물의 연간 에너지소비량을 30% 감축, 2017년에는 패시브주택 수준인 60%로 감축하고 2025년에는 제로에너지주택으로 의무화하는 국가 로드맵이 수립되었다[1]. 또한 이러한 목표를 실현하기 위하여 현재 정부에서는 건축물 에너지효율등급 인증제도, 녹색건축 인증제 등을 마련하여 에너지절약형 건축물 설계를 활성화시키고자 함과 동시에 건축물의 에너지절약설계기준을 발표하여 모든 건축물이 일정수준 이상의 에너지성능을 달성하도록 규정하고 있다.

그러나 건축물의 에너지절약설계기준은 건축물 개별구성요소의 단열성능에 대한 기준 및 계산방법만을 제시할 뿐, 건축물의 열교발생으로 인한 결로 및 에너지 손실에 대한 성능규제나 평가방법에 대한 명확한 기준이 없이 '외피의 모서리 부분에서 열교가 발생하지 않도록 단열재를 연속적으로 설치하고 충분히 단열할 것[2]'을 명시하는 수준에 머무르고 있다. 따라서 건물이 실제 지어짐에 따라 접합부에서 발생되는 열교를 통한 열손실은 총체적으

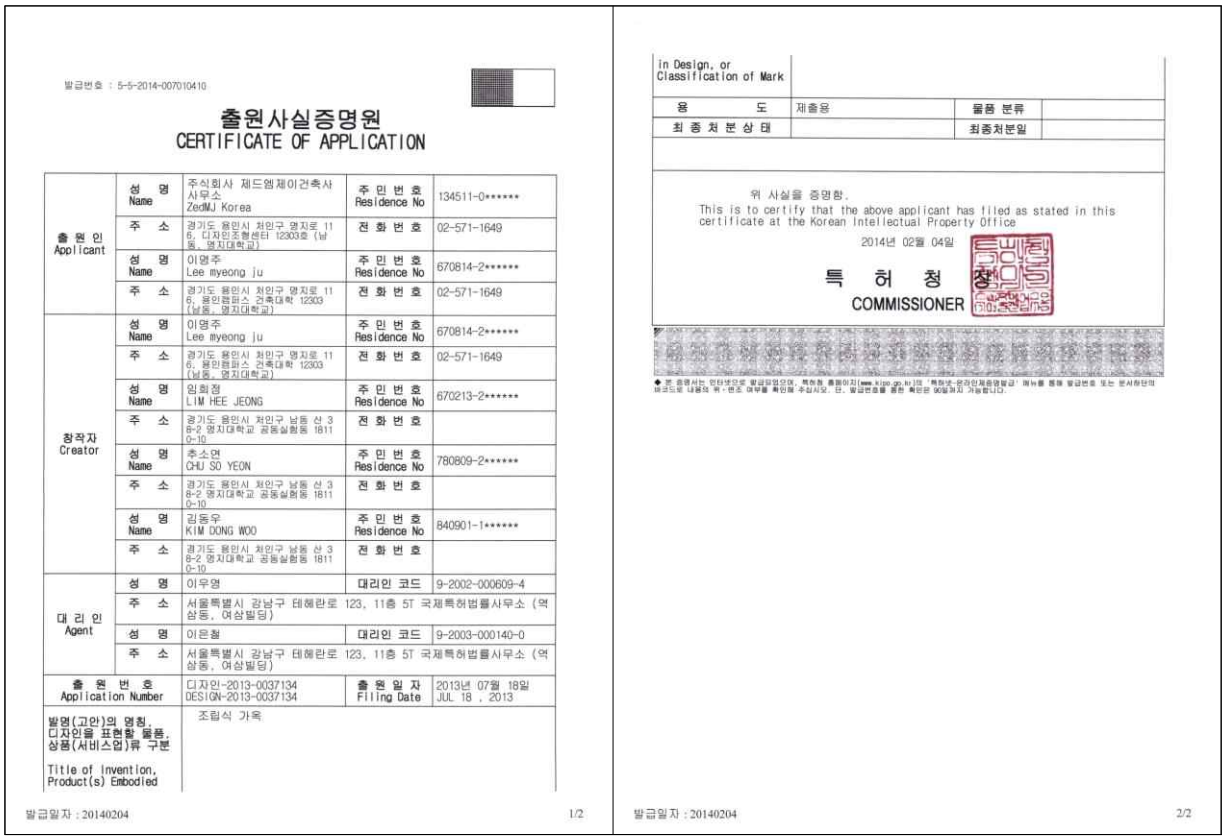
*
**
***

1) 국토해양부, 교육과학기술부, 행정안전부, 지식경제부, 환경부, 산림청, 녹색도시 건축물 활성화방안 - 녹색성장 위원회 제 6차 보고대회자료, 녹색성장위원회, 2009. 11.05.

2) 국토해양부 고시 제 2013-149호, 건축물의 에너지절약 설계기준, 제2장 제1절 제7조 3항 다목

[그림3.67] 연구논문 - 전열해석 시뮬레이션을 통한 패시브하우스의 단열외피 열교 최소화 상세개발 연구

(2) 디자인 출원-조립식 가옥



발급번호 : 5-5-2014-007010410

출원사실증명원
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성 명 Name	주식회사 제드엠제이건축사사무소 ZedMJ Korea	주민번호 Residence No	134511-0******
	주 소	경기도 용인시 처인구 명지로 116, 디자인조형센터 12303호 (남동, 명지대학교)	전화번호	02-571-1649
	성 명 Name	이명주 Lee myeong ju	주민번호 Residence No	670814-2******
	주 소	경기도 용인시 처인구 명지로 116, 용인캠퍼스 건축대학 12303 (남동, 명지대학교)	전화번호	02-571-1649
창작자 Creator	성 명 Name	이명주 Lee myeong ju	주민번호 Residence No	670814-2******
	주 소	경기도 용인시 처인구 명지로 116, 용인캠퍼스 건축대학 12303 (남동, 명지대학교)	전화번호	02-571-1649
	성 명 Name	임희정 LIM HEE JEONG	주민번호 Residence No	670213-2******
	주 소	경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 공동실험동 1811 0-10	전화번호	
	성 명 Name	추소연 CHU SO YEON	주민번호 Residence No	780809-2******
	주 소	경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 공동실험동 1811 0-10	전화번호	
	성 명 Name	김동우 KIM DONG WOO	주민번호 Residence No	840901-1******
	주 소	경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 공동실험동 1811 0-10	전화번호	
대리인 Agent	성 명	이우영	대리인 코드	9-2002-000609-4
	주 소	서울특별시 강남구 테헤란로 123, 11층 5T 국제특허법률사무소 (역삼동, 여삼빌딩)		
	성 명	이은철	대리인 코드	9-2003-000140-0
	주 소	서울특별시 강남구 테헤란로 123, 11층 5T 국제특허법률사무소 (역삼동, 여삼빌딩)		
출원번호 Application Number		디자인-2013-0037134 DESIGN-2013-0037134	출원일자 Filing Date	2013년 07월 18일 JUL 18 , 2013
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분 Title of Invention, Product(s) Embodied		조립식 가옥		

발급일자 : 20140204 1/2

in Design, or Classification of Mark			
용 도	제출용	물품 분류	
최종처분상태		최종처분일	

위 사실을 증명함.
This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office

2014년 02월 04일

특 허 청 장
COMMISSIONER

◆본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-문서진위확인발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서바탕의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인할 수 있습니다. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급일자 : 20140204 2/2

[그림3.68] 디자인 출원 - 조립식 가옥

(3) 정책제안

(가) 정확한 단어 개념 및 관련 기준 정립 필요

- 친환경건축물, 생태건축물, 에너지절약형주택, 초에너지절약주택, 제로에너지주택, 플러스에너지주택 등에 대한 정확한 개념 정리 및 관련 기준 필요

- 주택에너지성능을 계산하는데 있어 필요한 에너지요구량, 에너지소요량, 1차에너지소요량, 그리고 이산화탄소 배출량과 같은 개념 정리 및 관련 기준 필요

(나) 국내 초에너지절약 주택 활성화 방안 (국가로드맵 분야)

- 2017년 초에너지절약주택 보급화를 목표로 단계별 기준강화

- 신축과 개축을 구별한 건축물 에너지성능 기준마련 (에너지절약설계기준 개선 필요)

(다) 국내 초에너지절약주택 활성화 방안2 (자재 및 시스템 관련)

- 자재별 그리고 건축물부위별 건축물리적특성 DB구축 필요

- 부위별 관류율값만을 위한 전도율등과 같은 기본항목 이외에도 방화, 방수, 방습, 투습, 방음 등등에 필요한 물리적 항목 등을 구분하되 더 나아가 건축물 부위별로 물리적 특성까지도 제시하는 DB구축

- 통합형 에너지시뮬레이션 프로그램 개발 및 보급 필요: 설계자버전, 설비엔지니어버젼, 신재생에너지버젼 등의 통합형 에너지시뮬레이션프로그램 개발 및 3자간의 동일한 프로그램 공유필요)

- 기준강화에 따른 자재별 산업체 생산라인 구축 및 보급화 지원 필요

- 국산화자재 합리적 가격 형성을 위한 자율경쟁시장 확대 및 조달청 자재로의 등록을 위한 행정절차 완화필요

(라) 국내 초에너지절약주택 활성화 방안3 (시공 및 계획)

- 열교와 기밀에 대한 정확한 기준 및 검증 필요.
  - 열교를 해결하지 못하면 곰팡이와 결로를 대한민국 건축물에서 완전히 퇴출시킬 수 없음을 인식하고 열교해결방안에 대한 기준 및 검증 필요

- 전체 건축물 외단열방식으로 건설하도록 기준개선 필요
  - 외단열과 열교에 대한 내용을 우회하고서는, 초에너지절약형건축물 성능확보 및 국제성능에 부합하는 주택 보급은 불가능

- 국내 에너지관련 건축사 교육프로그램에 대한 교육내용 및 정확한 지식전달 여부에 대한 점검 필요

(마) 국내 초에너지절약주택 활성화 방안4 (기존 지원정책 및 인증관련)

- 생태건축, 친환경건축, 에너지절약형건축물 등등의 정확한 개념수립 필요. 특히 독일 파시브주택이라는 단어가 국내에서는 독일과는 달리 오히려 저가 민간주택시행사들을 통해 성능과 질이 와전되어가는 상황이므로, 이 시기에 독일에서 파생된 파시브주택이라는 단어이외에 대한민국만이 보유할 수 있는 단어선택 및 홍보필요.(예:초에너지절약형 주택)

- 기후변화특성화 대학원과 같은 제로에너지디자인특성화대학원 설립 및 지원 필요- 초에너지절약

형 건축물 디자인를 포함한 제로에너지디자인까지를 총망라한 통합형 전문인양성 및 학위배출 필요

- 초에너지절약주택에 신재생에너지를 설치한 경우, 에관공에서 그린홈 보급사업에서 지원하는 신재생에너지설치비용보다 일정 비용 더 추가로 지원하는 정책 필요. 일반건축물에 신재생만을 설치하는 정책은 앞으로 국토부 차원에서 차단할 필요가 있음

- 현 에너지절약에 대한 검증시스템이 결여되어있음
  - 초에너지절약주택에 BEMS 또는 HEMS와의 연계를 통한 에너지관리 및 검증시스템도입이 가능할 수 있도록 보급형 통합시스템 개발 필요

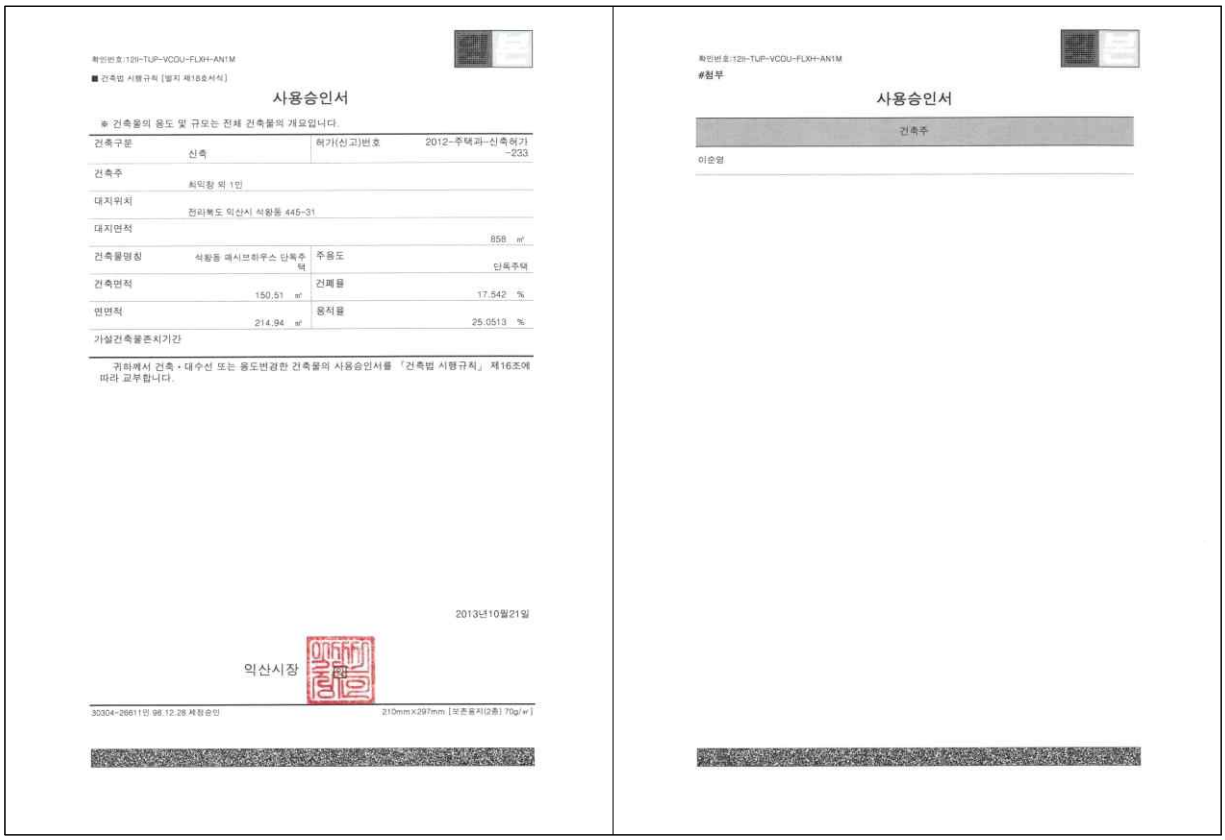
- 현 에너지효율등급인증과 녹색건축인증의 본 인증을 준공과 동시에 발급하는 방식에서 탈피하여 검증 1년 후에 본인증서 부여하도록 하는 제도 개편 필요

(4) 시제품제작

[표3.44] 건축개요



구분		내용	비고
공사개요		익산시 석왕동 패시브 단독주택 신축공사	
대지위치		전라북도 익산시 석왕동 445-31번지	
지역/지구		자연녹지지역	
용도		단독주택	
대지면적		858 ㎡	
도로현황		남측 6m 도로, 동측 6m 도로에 접함	
건축면적		152.58 ㎡	
연면적	지상	219.92 ㎡	
	합계	219.92 ㎡	
건폐율		17.78%	
용적율		25.63%	
건축구조		철근콘크리트조	
건물규모		지상 2층	
건물높이		7.23m	



사용승인서

※ 건축물의 용도 및 규모는 전체 건축물의 개요입니다.

건축구분	신축	허가(신고)번호	2012-주택과-신축허가-233
건축주	최익창 외 1인		
대지위치	전라북도 익산시 석왕동 445-31		
대지면적	858 ㎡		
건축물명칭	석왕동 패시브하우스 단독주택	주용도	단독주택
건축면적	150.51 ㎡	건폐율	17.542 %
연면적	214.94 ㎡	용적률	25.0513 %
가설건축물존치기간			

귀하께서 건축·대수선 또는 용도변경한 건축물의 사용승인서를 「건축법 시행규칙」 제16조에 따라 교부합니다.

2013년10월21일

익산시장

210mm×297mm [보존용지(2종) 70g/㎡]

사용승인서

건축주

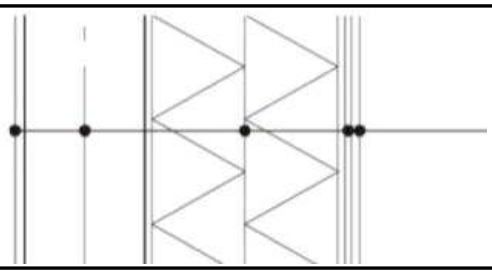
이순영

[그림3.69] 시제품 - 사용승인서

나. 과제지표

(1) 한국형 패시브주택 시제품의 패시브디테일 및 시공방법 적용

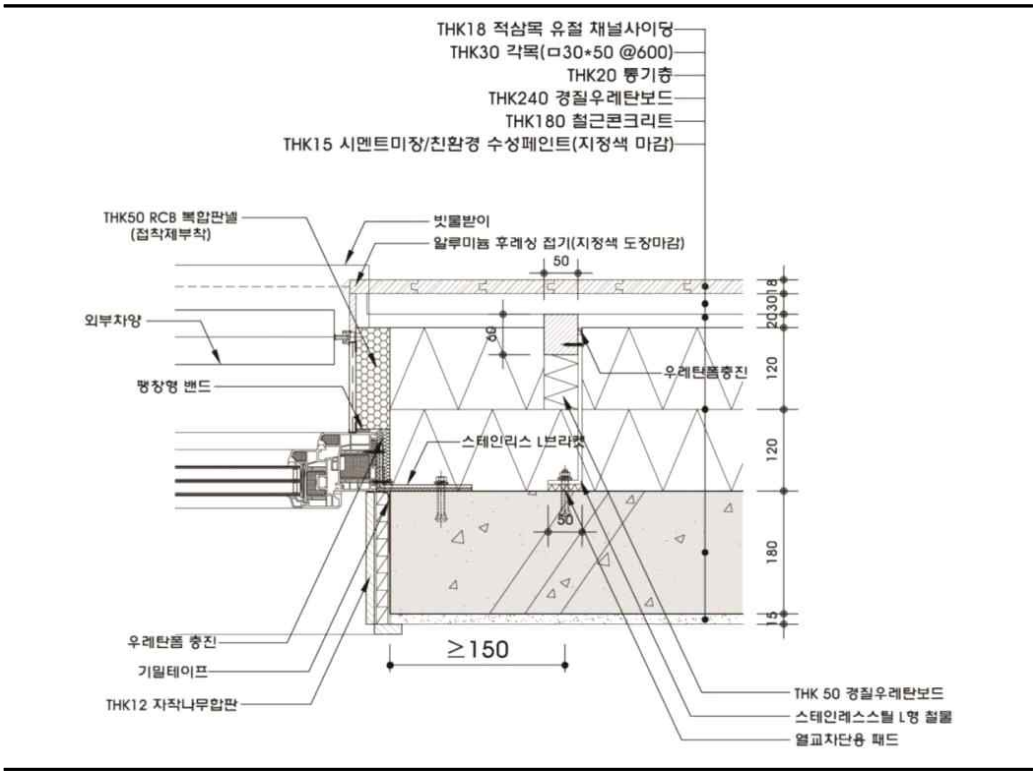
(가) 외단열 습식부착 디테일



THK12 화산석타일
THK10 시멘트모르타르
THK300 록셀보드복합단열재
(T10 RCB+T280 XPS+T10 RCB)
THK180 철근콘크리트
THK15 시멘트미장
/친환경 수성페인트(지정색마감)

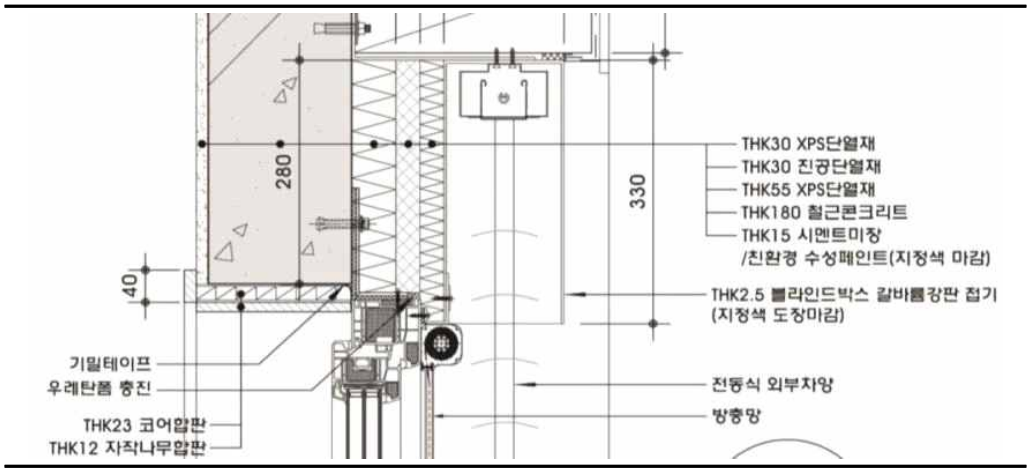
[그림3.70] 외단열 습식부착 디테일

(나) 건식외장재 부착디테일



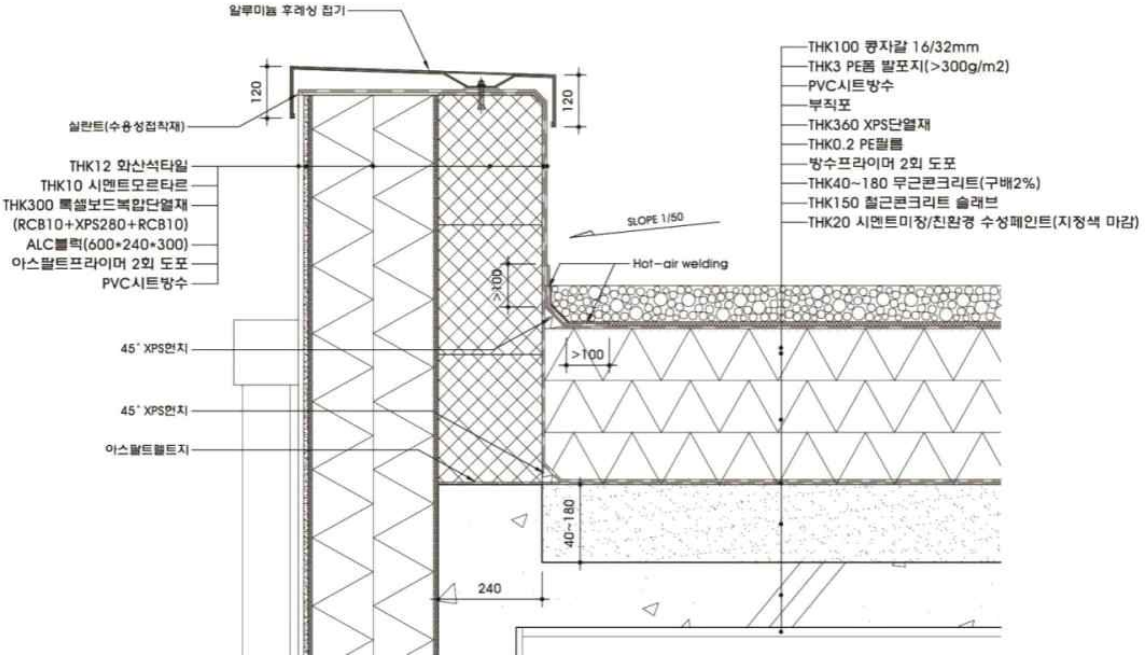
[그림3.71] 벽체 유형(2) 구성 디테일(1)

(다) 외부블라인드 부착디테일



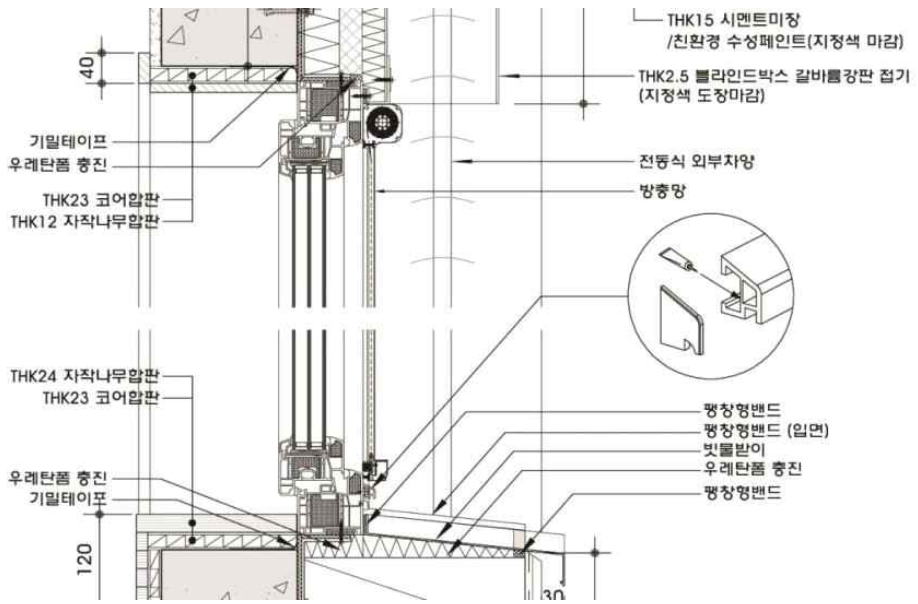
[그림3.72] 벽체 유형(3) 구성 디테일(1)

(라) 파라펫 열교방지 디테일



[그림3.73] 지붕시스템의 구성(1)

(마) 창호 설치부위 열교방지 디테일

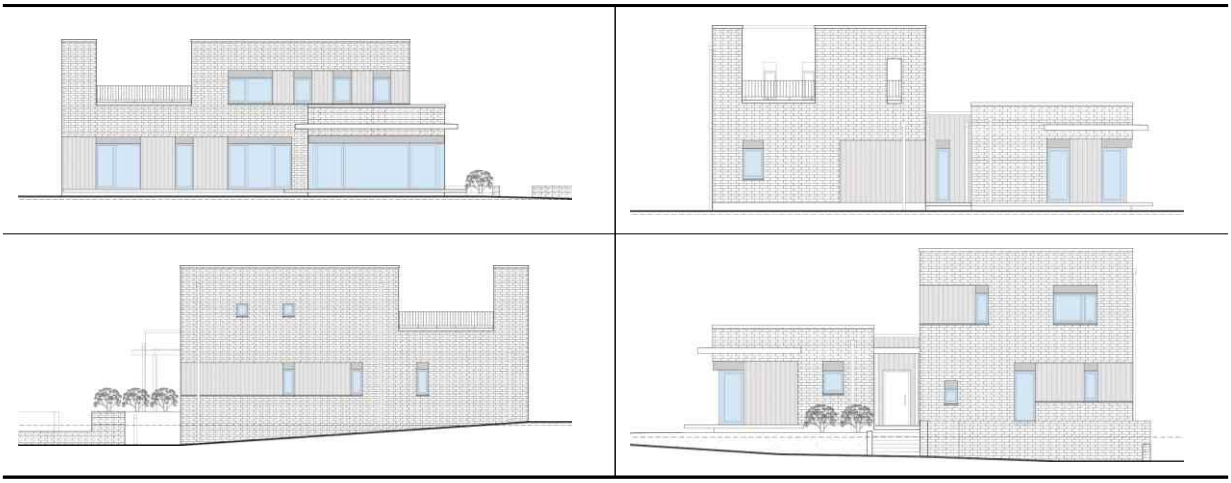


[그림3.74] 창호 설치부위 열교방지 디테일

(2) 패시브인증기준에 준하는 제품적용

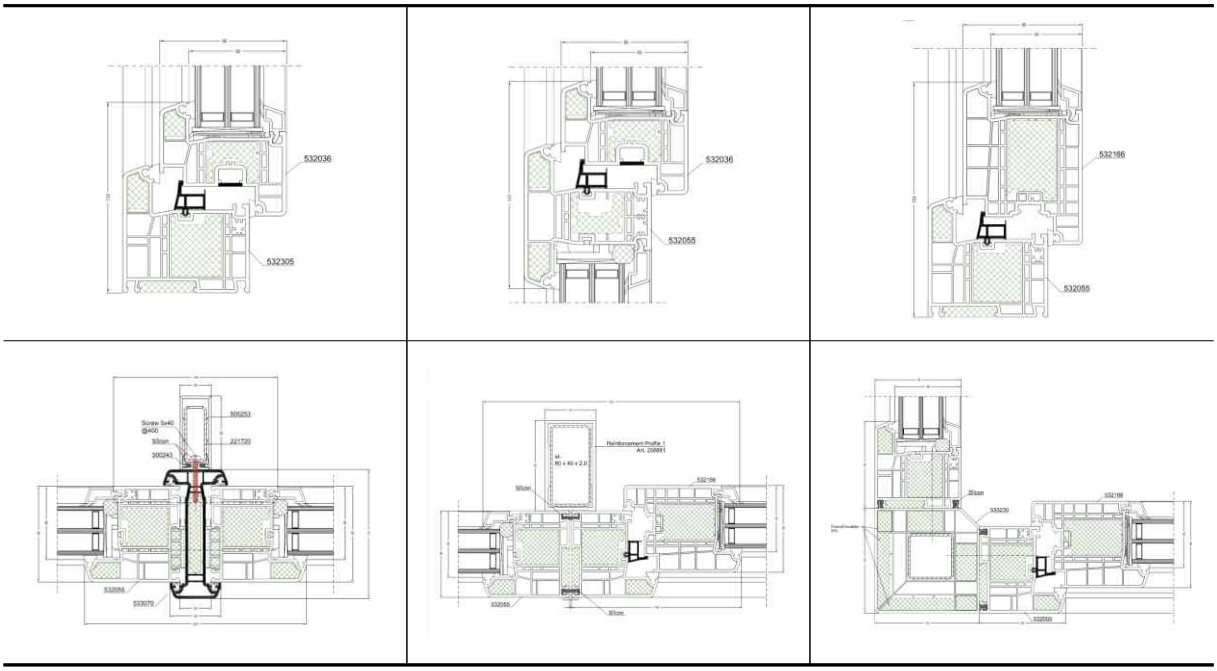
(가) 창호

- 패시브하우스 인증을 받기 위해 패시브 인증 창호 사용이 의무사항은 아니다. 그러나 국내 제품의 열성능과 기밀성능이 부족하기 때문에 수입제품을 쓸 수 밖에 없는 실정이다. 적용된 창호는 프레임이 PVC재질로 이루어져 있으며, 로이코팅을 한 저철분 삼중유리에 중간에 아르곤 가스를 주입하고, 고성능 간봉으로 조립된 고성능 창호이다.



[그림3.75] 방위별 입면

- 적용된 창호의 프레임 단면은 다음과 같다.



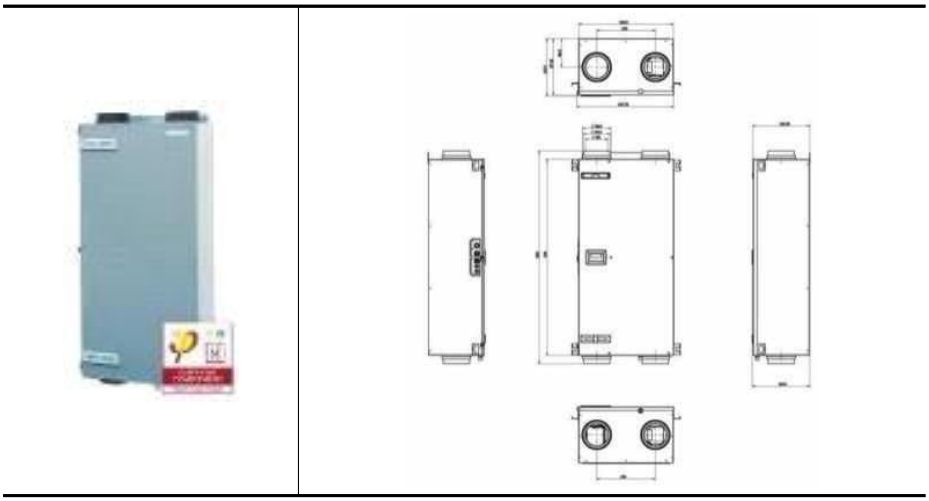
[그림3.76]

• 적용된 창호의 기본 특성은 다음과 같다.
  - 창호 프로파일 : REHAU Profile(GENEO system)
  - 하드웨어 : G-U, 잠금장치, 손잡이
  - 유리 : 6유리(이중 은 로이코팅) + 15아르곤(90%) + 6유리(이중 은 로이코팅) + 15아르곤(90%) + 6유리(클리어) = 48mm IGU
  - 유리 열관류율 ≤ 0.7 (EN 673)
  - 간봉 : Edgetech Super® Spacer 열교값 Ψ ≤ 0.03
  - 가스켓 : REHAU EPDM 가스켓

• 적용된 유리의 기본적인 속성은 다음과 같다.
  - 두께 48.0mm
  - 무게 45.0kg/㎡
  - 태양에너지 투과율 solar factor g = 0.53
  - 차폐계수 SC = 0.61
  - 열관류율 Ug = 0.6 W/㎡K

(나) 폐열회수 환기장치

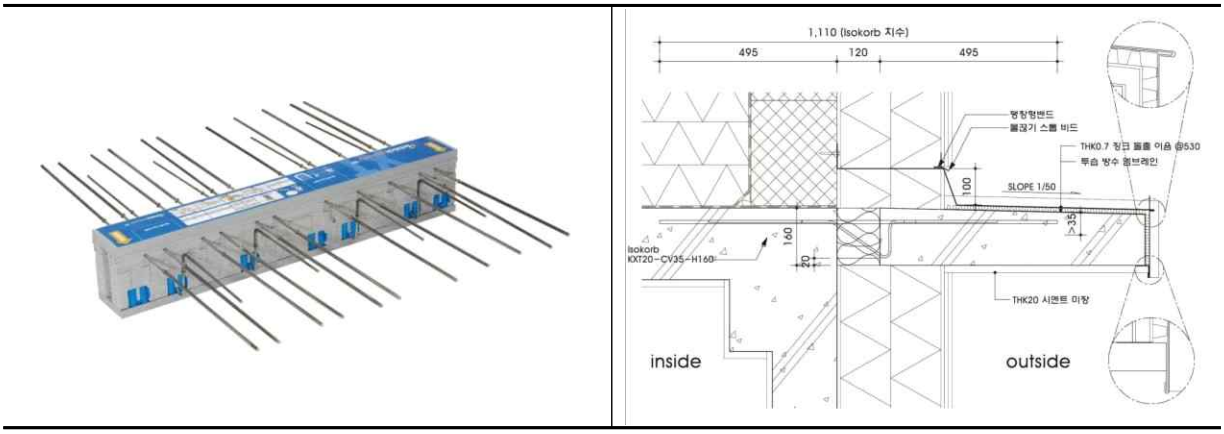
• 환기장치는 Zehnder 사의 ComfoAir 200을 사용하였으며 특성은 다음과 같다.
  - 환기량은 200 ㎥/h 까지 담당
  - 열회수 효율 최대 95 %
  - 저전력 모터 사용 전기사용량 0.42 Wh/㎥
  - 기밀성 기기 내부 2.84 %, 기기 외부 0.8 %
  - 여름철 자동 100 % 바이패스
  - 매우 낮은 온도에서도 결빙 보호 기능
  - 설치가 쉽고 안전함



[그림3.77] 폐열회수 환기장치

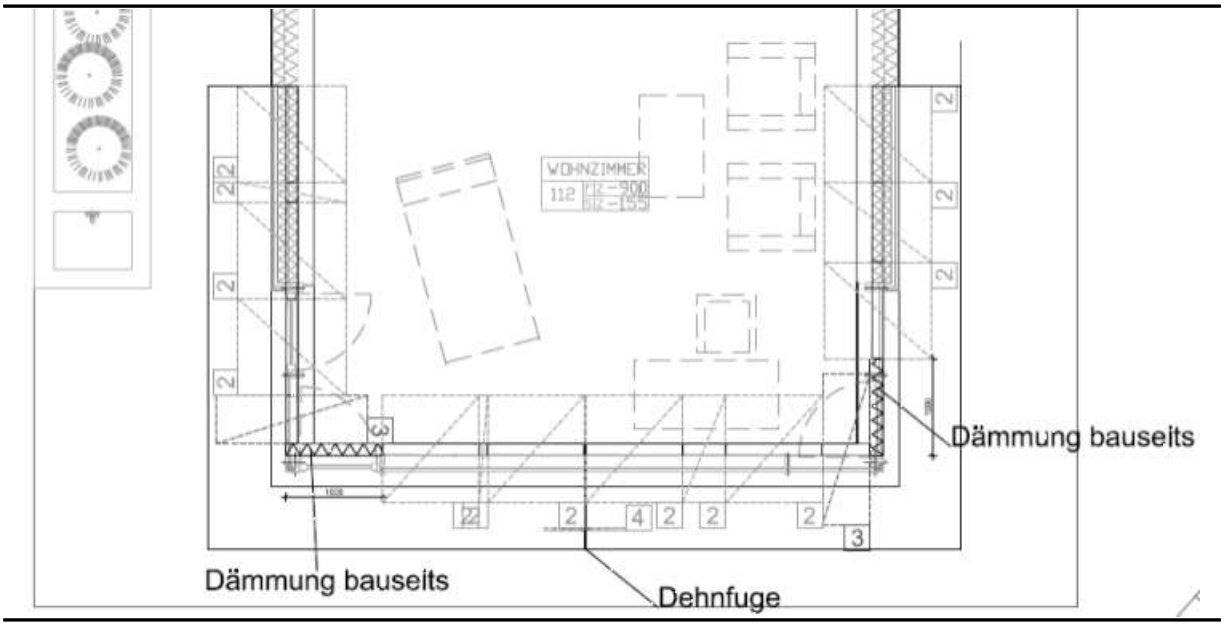
(다) 열교차단 구조물

• 거실 처마를 열교없이 만들기 위해 아래 그림과 같은 콘크리트와 콘크리트를 연결하는 열교차단 장치 Schöck Isokorb®의 제품을 사용했으며, 자재의 열전도율은 0.11W/mK이다.



[그림3.78] Schöck Isokorb® 제품

• 구조적인 검토와 자재 적정성을 본사로부터 받아 진행하였다.



[그림3.79] 거실 처마 부위 구조 검토 자료

(3) 건축물 기밀성(n50 0.3~1/h) 확보

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 20130813
Test File: 20130813_BDT_3rd

Technician: LEE WOO JOO, KIM WON SEOK

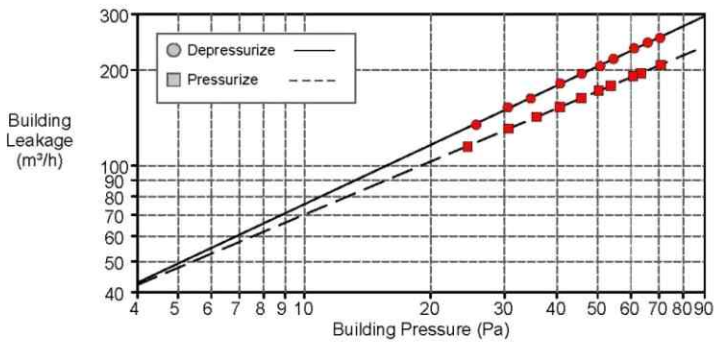
Customer: Ikachang choi
445-31 Seogwang-dong
Iksan-si, Jeolabuk-Do 570-320
Phone:
Fax:

Building Address: EFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus
445-31 Seogwang-dong
Iksan-si, Jeolabuk-Do 570-320

	Depressurization	Pressurization	Average
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m³/h)	204 (+/- 0.2 %)	171 (+/- 0.1 %)	188
n50: Air Changes per Hour (1/h)	0.42	0.35	0.39
w50: m³/hm² Floor Area	1.13	0.95	1.04
q50:			
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm²)	84.2 (+/- 1.1 %)	78.3 (+/- 0.4 %)	81.2
LBL ELA @ 4 Pa (cm²)	46.0 (+/- 1.7 %)	45.4 (+/- 0.6 %)	45.7
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	18.5 (+/- 2.7 %)	19.9 (+/- 0.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	18.1 (+/- 2.7 %)	19.6 (+/- 0.9 %)	
Exponent (n)	0.620 (+/- 0.007)	0.555 (+/- 0.002)	
Correlation Coefficient	0.99953	0.99993	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
Type of Test Method: A
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	33 °C	Volume:	484 m³
Outside Temperature:	39 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	181 m²
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



[그림3.80] 건축물 기밀성 테스트 (블러도어 테스트)

(4) 독일 패시브인증 취득



Passive House Institute
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstr. 44/46
D-64283 Darmstadt

Certificate

The Passive House Institute awards the seal "Certified Passive House" to the following building

Single-family house Iksan, 445-31 Seokwang-dong, 570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do, Republic of Korea

Certified Passive House
Passive House Institute

Client: **Ikachang Choi**
445-31 Seokwang-dong,
570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do, Republic of Korea

Architect: **ZEDMJ Architects Ltd.**
1702-10 Seocho-dong Seocho-gu
137-884 Seoul, Republic of Korea

Building Services: **Passivworks**
472-2 Nam-dong Cheoin-gu Yongin-si
449-030 Kyoungki-do, Republic of Korea

This building was designed to meet Passive House criteria as defined by the Passive House Institute. With appropriate on-site implementation, this building will have the following characteristics:

- Excellent thermal insulation and optimised connection details with respect to building physics. The heating demand or heating load will be limited to
  15 kWh per m² of living area and year or a heating load of 10 W/m², respectively
- When outdoor temperatures are high, thermal comfort can be ensured with passive solutions or with minimal energy demand for cooling and dehumidification according to the location-specific Passive House requirements.
- A highly airtight building envelope, which eliminates draughts and reduces the heating energy demand: The air change rate through the envelope at a 50 Pascal pressure difference, as verified in accordance with ISO 9972, is less than
  0.6 air changes per hour with respect to the building's volume
- A controlled ventilation system with high quality filters, highly efficient heat recovery and low electricity consumption, ensuring excellent indoor air quality with low energy consumption
- A total primary energy demand for heating, domestic hot water, ventilation and all other electric appliances during normal use of less than
  120 kWh per m² of living area and year

This certificate is to be used only in combination with the associated certification documents, which describe the exact characteristics of the building.

Passive Houses offer high comfort throughout the year and can be heated or cooled with little effort, for example, by heating/cooling the supply air. Even in times of cold outdoor temperatures the building envelope of a Passive House is evenly warm on the inside and the internal surface temperatures hardly differ from indoor air temperatures. Due to the highly airtight envelope, draughts are eliminated during normal use. The ventilation system constantly provides fresh air of excellent quality. Energy costs for ensuring excellent thermal comfort in a Passive House are very low. Thanks to this, Passive Houses offer security against energy scarcity and future rises in energy prices. Moreover, the climate impact of Passive Houses is low as they reduce energy use, thereby resulting in the emission of comparatively low levels of carbon dioxide (CO_2) and air pollutants.

issued: Darmstadt, 04. December 2013

Wolfgang Feist

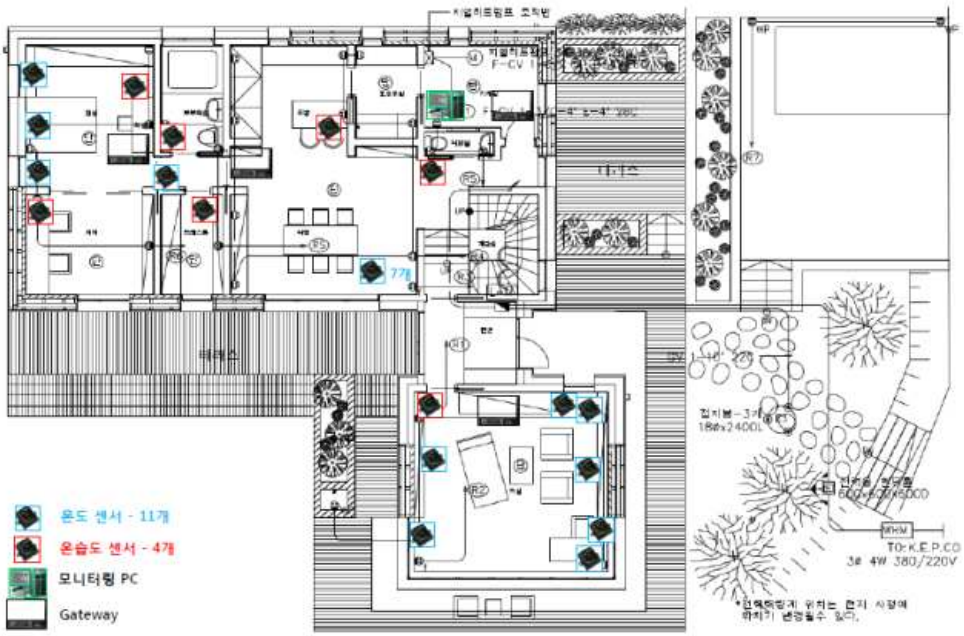
Dr. Wolfgang Feist

Certificate-ID: 8498_PHI_PH_20131204_ChW

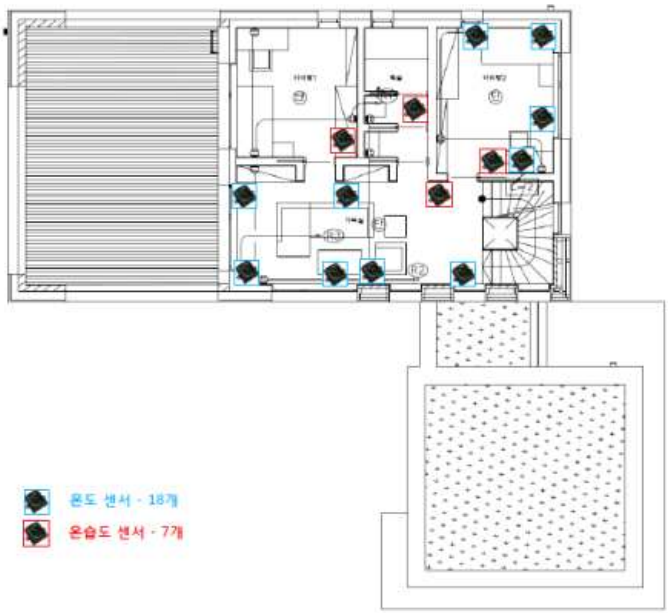
Zedmj (주)제드엠제이건축사사무소 부설 제로에너지기술연구소

[그림3.81] 독일 패시브인증서

(5) 모니터링 설계 및 설치



[그림3.82] 지상1층 모니터링 도면



[그림3.83] 지상2층 모니터링 도면



[그림3.84] 익산 모니터링 현장사진

제2절 한국형 패시브하우스 구현 (기술실시 및 적용사례)

- 한국형 패시브하우스는 초 에너지절약주택으로서 독일 패시브하우스 연구소(PHI: Passive House Institute)가 제시한 에너지성능 및 쾌적성기준이외에도 한랭건조 및 온난다습의 한국 기후를 고려하여 여름철 실내 제습부하까지 포함하여야한다.
  또한 초기 설계단계에서 건축주의 선호도, 생활환경, 주거문화 및 건축대상지 조건을 고려한 맞춤형 설계가 동시에 이루어져야 한다.
  이는 한국형 패시브하우스가 국내 주택 양식 및 국민 정서, 그리고 외부 기상상태와 무관하게 에너지소비량을 최소화하면서 실내 쾌적성(항온, 항습, 실내공기질 확보, 결로 및 곰팡이 방지)을 확보하는 것을 목표로 하기 때문이다.

[표3.45] 한국형 패시브하우스 설계기준

항목	기준	항목	기준
1차에너지 소요량	120 kWh/㎡a 이하	난방부하	10 W/㎡a 이하
난방에너지 요구량	15 kWh/㎡a 이하	냉방부하	10 W/㎡a 이하
		기밀도(n50)	0.6-1 이하
냉방에너지 요구량	15 kWh/㎡a 이하	열교	0.01 W/mk 이하
제습부하	실내습도 50% 유지하되 1차에너지 소요량 120 kWh/㎡a 이하 충족		
맞춤형 설계	건축주선호도, 건축대상지 조건, 생활환경 및 주거문화 등을 수용		

- 사랑채가 있는 패시브하우스: 컴펙트한 주택유형을 추구하는 유럽형 패시브하우스와는 달리 한국 전통주택에서 나타나는 별채개념을 도입함으로써 본채와 거실을 분리하는 분산형 패시브하우스를 계획하였다. 이는 에너지성능만을 목적으로 했던 독일 패시브하우스와는 달리 건축주의 요구사항을 반영하면서, 한국전통주택에서 보여지는 사랑채 개념이 디자인적으로 반영되어있는 분리형 주택디자인도 독일 패시브하우스 에너지성능을 만족시켰다는 점에서 의의가 있다. 디자인과 한국의 정서를 가미한 패시브하우스가 실현된 것이다.

- 바닥난방이 있는 패시브하우스: 유럽 및 미국과는 달리 한국주택에서는 바닥난방방식의 주택문화와 생활방식에 익숙해져 있다. 독일에서 주로 사용하는 폐열회수환기장치를 통한 공기냉난방방식에서 벗어나 우리나라의 바닥난방방식을 적용하면서 그 온수온도를 낮추고, 온수관의 밀도를 조절함으로써 한국형 패시브하우스를 실현하였다. 단, 이 패시브하우스에서의 폐열회수환기장치는 환기만을 담당하고 있다.

- 습기가 많은 한국기후를 고려한 패시브하우스: 중부유럽과는 달리 여름철 고온다습한 국내 기후에 맞고 습기가 많은 여름철에도 고단열, 고기밀 패시브하우스주택에서 습기에 대한 고민을 해결하기 위해 거실과 식당에 에어컨설치를 별도로 함으로써 제습과 여름철 실내환경을 조절하였다.

1. 설계개요 및 계획 개념

가. 설계 개요

(1) 건축 개요

[표3.46] 건축개요

구분		내용	비고
공사개요		익산시 석왕동 패시브하우스단독주택 신축공사	
대지위치		전라북도 익산시 석왕동 445-31번지	
지역/지구		자연녹지지역	
용도		단독주택	
대지면적		858 ㎡	
도로현황		남측 6m 도로, 동측 6m 도로에 접함	
건축면적		152.58 ㎡	
연면적	지상	219.92 ㎡	
	합계	219.92 ㎡	
건폐율		17.78%	
용적율		25.63%	
건축구조		철근콘크리트조	
건물규모		지상 2층	
건물높이		7.23m	

(2) 바닥면적 개요

[표3.47] 바닥면적 개요

구분		면적	용도	비고
지하	지하1층	-		지하층 없음
지상	지상1층	152.58 ㎡	단독주택	
	지상2층	67.34 ㎡	단독주택	
	옥탑층	-		옥탑층 없음
	소계	219.92 ㎡		
합계		219.92 ㎡		

(3) 에너지 성능 개요

[표3.48] 건물에너지성능 개요

건물에너지성능 개요		(TFA 188.7 ㎡)
연간 단위면적당 난방에너지요구량		11 kWh/㎡a
단위면적당 난방부하		11 W/㎡
연간 단위면적당 냉방에너지요구량		14 kWh/㎡a
단위면적당 냉방부하		9 W/㎡
연간 단위면적당 1차에너지소요량 (냉난방, 제습, 환기, 급탕, 조명, 가정용 전기 사용량포함)		79 kWh/㎡a
연간 단위면적당 난방 및 급탕 1차에너지소요량 (보조전력 포함)		31 kWh/㎡a
연간 과열빈도 (실내온도 ϴ>25℃ 이상인 일수)		9.4 %
평균열관류율	외벽	0.117 W/㎡K
	지붕	0.095 W/㎡K
	바닥	0.113 W/㎡K
	북측창호	0.892 W/㎡K
	동측창호	0.834 W/㎡K
	남측창호	0.798 W/㎡K
	서측창호	0.833 W/㎡K
	출입문	0.580 W/㎡K
단위면적당 열교로 인한 평균열손실량 (창호설치부분의 열교로 인한 열손실량 제외)		0.028 W/㎡K
폐열회수환기장치효율		ComfoAir 200 (현열교환장치 효율 92%) 설치 ERV 현열교환효율 86%, 잠열교환효율 64%
에너지효율화기자재 사용		에너지효율등급 1등급 세탁기 및 빌트인 냉장고 설치, LED 및 고효율형광등 설치 HEMS 모니터링 시스템 설치
신재생에너지사용		지열 히트펌프
50Pa 압력에서의 시간당 환기횟수(n50)		0.28 h^{-1}

나. 설계 계획개념

(1) 대지현황분석

(가) 광역현황

- 대지가 위치한 익산시는 금강과 만경강 하구에 위치한 충적평야 지대로 대체로 낮고 평탄한 구릉지와 넓은 평야로 이루어졌다.

- 익산시 전체가구의 약 12%가 농업가구로 주로 벼농사를 지으며 경지율이 52.9%에 이르지만, 대지가 위치한 익산 동지역은 1970년대 조성되 섬유, 봉제, 식품, 귀금속 가공 등 경공업 중심의 산업단지가 입지하고 있다.

- 호남선과 전라선, 장항선의 철도가 분기하며 호남고속도로와 접하는 호남지방 교통의 관문이다.



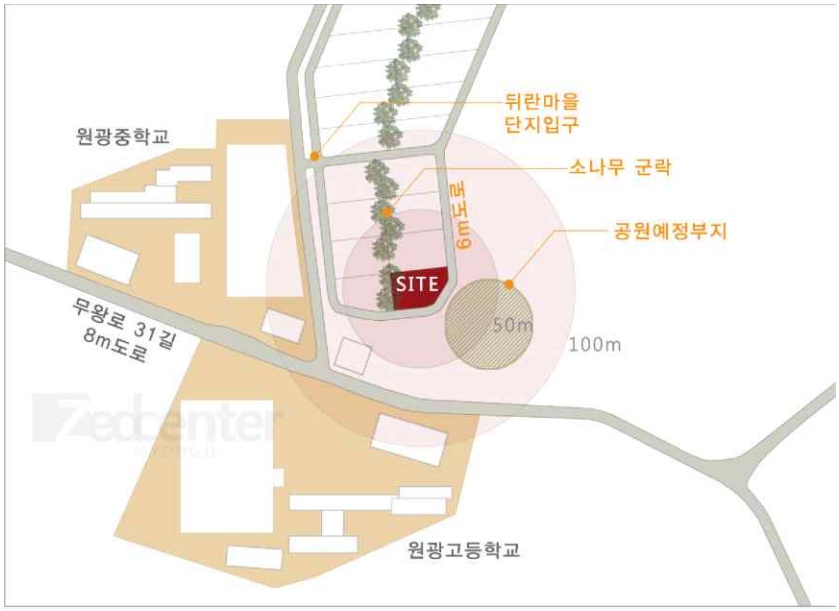
[그림3.85] 부지의 광역현황

(나) 입지현황

- 익산시 동북부 외곽 석왕동에 신규 조성된 전원주택단지 내의 대지는 동쪽 호남고속도로 익산 IC로부터 익산시내로 들어오는 길목에 위치하고, 삼례 IC와도 연결된다.

- 단지는 남쪽으로 원공고등학교와 서쪽으로 원광중학교와 접하고 있으며 인근에 익산 공설 운동장 및 실내체육관 등 주민여가시설과 익산시 신재생자원센터 등이 자리하고 있다.

• 단지 3km 반경 안에 익산 제2산업단지가 있으며, 5km 반경 내에는 익산 제1산업단지, 원광대학교, 익산시청이 있다.



[그림3.86] 대지의 입지현황

• 평야지대로 부지 남쪽과 서쪽으로는 산지가 없으며 북동쪽으로 미륵산 (463m)과 용화산 (342m) 등 낮은 구릉이 위치한다.



[그림3.87] 대지주변의 위성사진

(다) 기후현황

- 한국 전체 기후구를 기준으로 볼 때 남부 서안형 기후에 속한다.

- 대지에서 가장 가까운 기상관측지점인 전라북도 전주시 관측데이터에 근거한 설계부지의 기후조건은 다음과 같다.

- 연중 일사량이 가장 많은 달은 4월~6월이며 8월~9월 중의 일사량이 그 뒤를 잇는다. 7월은 장마로 인하여 일사량이 상대적으로 적게 나타난다.

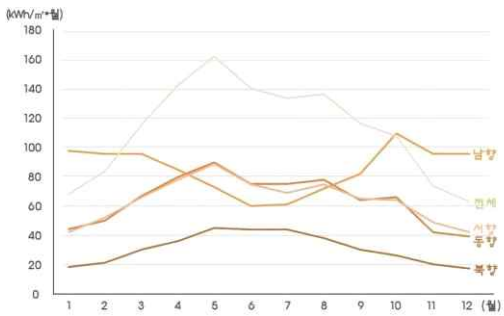
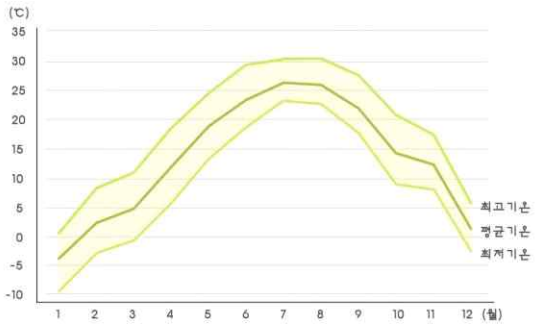
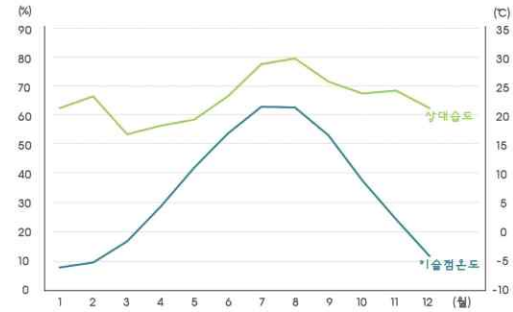
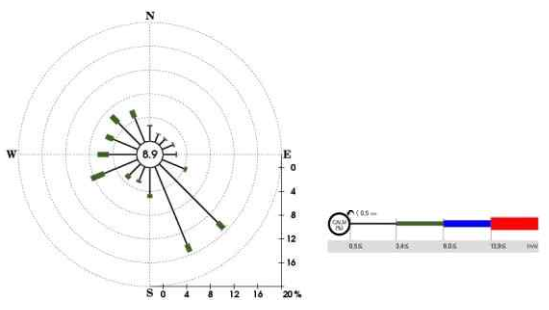
- 겨울철에는 남측면의 일사량이 다른 방위의 수직면 일사량보다 2배 이상 많으나 여름철에는 동측면과 서측면 일사량이 남측면 일사량을 약간 상회한다.

- 7월의 평균기온이 약 26.4℃로 연중 가장 높고 1월의 평균기온이 -4.1℃로 연중 가장 낮다.

- 월평균 습도는 장마철이 있는 8월에 연중 가장 높고(80%) 3월에 가장 낮은 것(54%)으로 관찰된다.

- 주 풍향은 남동과 남동남방향이며, 풍속은 주로 3m/s이하이나 남동풍의 경우 8m/s이상의 풍속도 적은 빈도지만 보이고 있다. 그 외에 북서, 서, 서북서 방향의 풍속이 3m/s를 초과하여 나타난다. 연중 바람이 거의 불지 않는 시간(풍속 0.5m/s이하)은 8.9%이다.

[표3.49] 전주지역 월 평균 기상분석 (출처: Meteonorm 6.0)

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>전주지역 월평균 일사량 분포</td><td>전주지역 월 평균・최저・최고기온 분포</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>전주지역 월평균 상대습도 및 이슬점온도</td><td>전주지역 바람장미(출처: 기상청)</td></tr>
</table>

(라) 대지 주변현황 및 분석

- 대상부지는 신규 조성된 전원주택단지의 가장 남쪽에 위치하고 있으며, 단지 서측 중앙의 주출입구는 중앙경비실의 통제를 받는다. 단지 둘레로는 경계가 존재하여 외부와 구분되고, 단지 내의 개별 부지들은 6m 폭의 단지 내 도로를 통해 연결된다.

- 대상부지의 남측 단지경계면은 소나무가 식수된 경사면으로써 원광고등학교와의 사이에 위치하는 8m 도로로부터 완충역할을 한다. 남측경사면의 서측에는 근린생활시설이 한 동 위치하고 있다. (학생 기숙사 및 상점)

- 부지의 서쪽으로는 단지를 남북방향으로 가르는 낮은 구릉과 소나무 숲이 위치하며 서측 부지와 경계를 형성한다.

- 부지 동측으로는 단지 내 주민공원시설이 조성될 예정이다.



[그림3.88] 대지 주변현황

- 대지의 주조망권은 마당이 있는 남측과 공원이 있는 남동측이며 남측 채광권과 겹쳐있다.

- 대지주변의 주 차양요인은 북측과 서측의 이웃주택, 서측의 구릉 및 소나무숲, 동측과 남측의 숲, 남측 원광고등학교이다.

- 대지의 남측과 동측이 6m도로에 접하여 있으나, 동서로 긴 대지의 형상과 대지레벨 상 주 진입로는 동측에 형성된다.

• 대지 경사로 인해 부지 내에 레벨 차이가 남서-북동 방향으로 2m이상 되어 북측 대지 보다 1.2m 높은 지점에 평균 대지레벨을 조성하였다

.



[그림3.89] 대지 현황분석

(마) 현황사진



남측전경



동측전경



북측전경



서측전경(이웃하는 주택 현장사진)

[그림3.90] 현황사진

(2) 건물 디자인 개념

(가) 주요 디자인 콘셉트



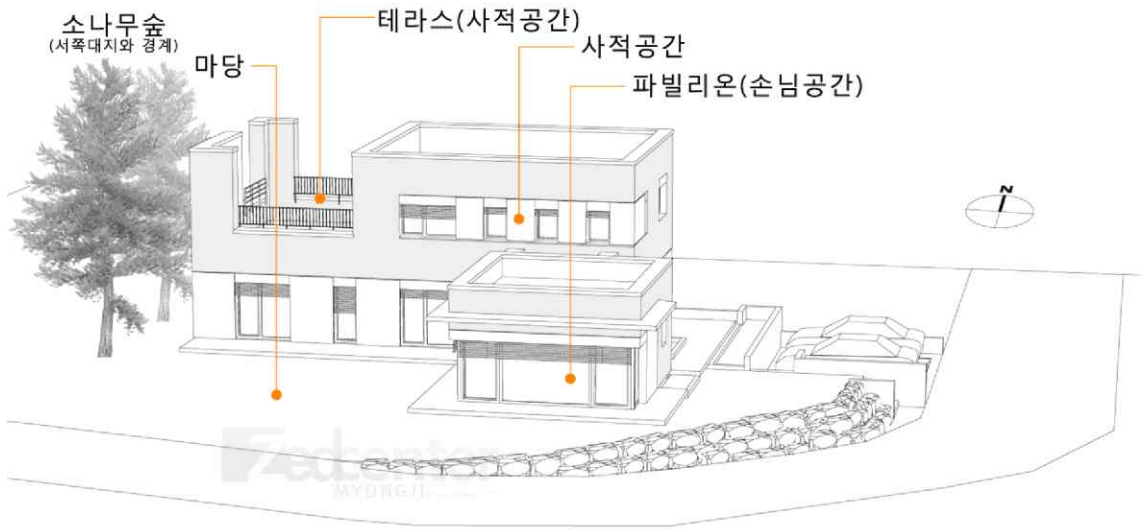
[그림3.91] 한국형패시브하우스 투시도

- 주택은 두 부부와 두 자녀가 살게 될 단독주택으로 건축주의 요구에 따라 마당이 있는 2층 집으로 계획되었다.

- 부지가 남쪽과 동쪽으로 도로에 면하여 외부의 시선으로부터 열려 있으므로, 주변경관을 주택 안으로 끌어들이면서도 최대한 프라이버시가 보장될 수 있도록 디자인하고자 하였으며, 전통한옥에서의 공간배치에서 착안하여 외부공간은 앞마당, 마당, 테라스로, 내부공간은 사랑채 개념의 거실과 가족공간이 되는 본채로 위계를 두고 점진적으로 구성하여 배치하였다.

- 대지의 북쪽 끝에 접한 ㄱ자형 배치는 외부공간을 진입동선이 지나는 앞마당과 주택의 중심에 위치하는 마당으로 구분하고, 서측 소나무 숲이 있는 구릉과 함께 마당을 병풍처럼 둘러 가족들만의 아늑한 공간이 조성되도록 하였다. 건물 내의 주 생활공간에서 시선은 항상 이 마당 공간을 향한다.

- 주택의 공간은 현관을 중심으로 가족들의 사적공간인 북쪽의 본채와 공용공간이자 찾아오는 손님을 맞을 수 있는 남쪽의 별채로 분리된다. 특히 별채는 대지 동남쪽에 조성될 단지 내 공원으로의 조망을 극대화하기 위해 계획되었으며, 주변으로부터 시선이 오픈되는 공간으로서 손님을 맞는 공간인 사랑채의 개념을 빌려왔다.



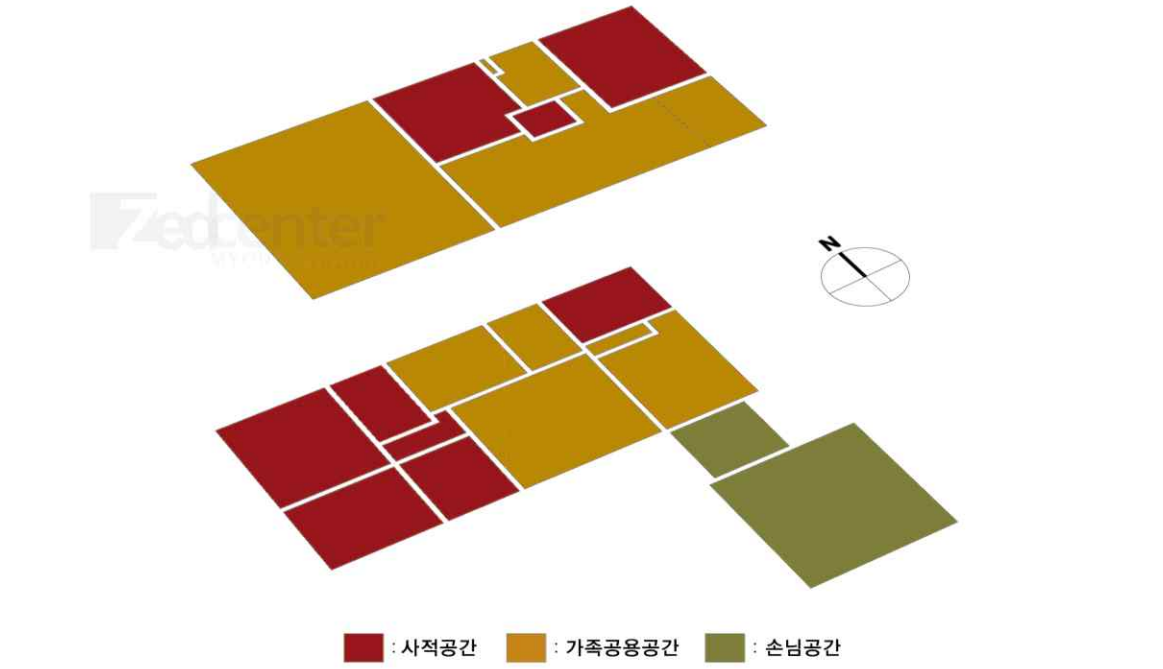
[그림3.92] 한국형패시브하우스 배치계획

- 동측의 현관을 들어서면 마주하는 창을 통해 가족의 공간인 마당을 조망할 수 있으며, 손님의 경우에는 바로 왼쪽의 별채로 안내되어 가족들의 공간으로 동선이 겹치지 않도록 계획되었다.

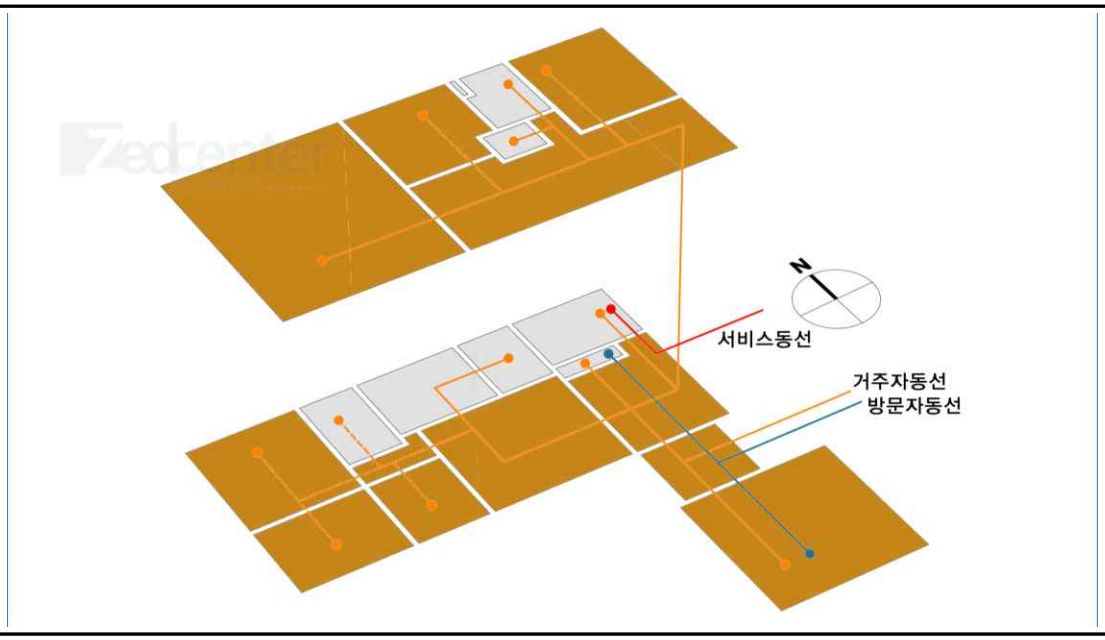
- 현관으로부터 오른쪽 문을 지나 본채로 들어서면 가족공용공간인 식당이 위치하며, 사적공간인 부부공간과 2층의 아이들 공간으로부터 동선이 모이게 된다. 식당을 지나 주택 1층 서편의 가장 안쪽 공간이 부부공간이며, 반대로 식당 동편의 계단을 통해 2층으로 올라가면 다시 남쪽에 작은 가족실이 위치하여 아이들의 방과 연결된다.

- 2층 가족실에서 연결되는 가장 안쪽 공간은 서측 테라스로서 아래층의 마당과 달리 외부로부터의 시선이 완전히 차단되어 가장 정적이고 고요하면서도 자연을 느낄 수 있는 사색의 공간으로 계획되었다. 단색의 차분한 외벽은 가장 은밀한 공간에 대한 경계를 이루면서도 사이사이의 개구부를 통해 소나무 숲을 적극적으로 끌어들이며, 남북으로 통하는 바람을 타고 주변의 향기가 테라스에 전해지도록 하였다.

- 주택의 공간은 주생활공간과 서비스공간으로 나뉘는 데, 주생활공간은 자연채광을 극대화하기 위해 마당을 중심으로 남쪽으로 배치되었으며 서비스공간은 배관배선 중의 손실을 최소화하기 위해 북측에 집중하여 배치하였다. 또한 서비스 공간의 층고는 낮추고 주생활공간의 층고는 높임으로써 공간에 대조를 통한 리듬을 주고자 하였으며, 서비스 공간 상부 반자 안에는 배관배선을 설치함으로써 추후 공간의 기능 및 수요 변경에 따라 수정이 가능하도록 하였다.



[그림3.93] 한국형패시브하우스 공간구분



[그림3.94] 한국형패시브하우스 실별동선계획

- 주생활공간 중 가장 큰 면적을 차지하고 있는 거실은 손님맞이가 잦은 아버지의 공간이다. 동-남-서를 둘러 난 남쪽의 파노라마전창을 통해 동쪽 공원과 마당을 공간의 한 부분으로 끌어들였으며, 가족 공간과 분리되어 별채의 분위기를 느낄 수 있도록 구성하였다. 또한 동측으로 액자식 창호를 두어 건축주가 원하는 동측 구릉의 경관을 들여다 볼 수 있도록 하였다.

• 넓은 부부공간은 전문직을 가진 어머니를 배려한 공간이다. 공간을 4등분하여 입구에는 드레스룸과 욕실을 배치하고, 가장 안쪽 공간의 남측으로 서재를, 북측으로 침실을 두되, 무빙월을 이용하여 공간을 가변적으로 나누어 쓸 수 있도록 구성하였다.

• 본채의 중심에 위치한 식당은 가족들이 모이는 공간으로 넓게 계획하였으며 서쪽에는 아트월을 두고 동쪽으로는 계단이 공간의 중심 오브제가 되도록 구성하였다. 식당 주위로 계획된 반자부분은 매입된 간접등과 상대적으로 낮은 층고가 동선을 자연스럽게 분리하면서 식당의 공간감을 강조하는 역할을 하며, 남쪽 마당으로 향한 큰 창은 데크를 통해 공간을 마당으로 확장시킨다.

• 2층 남쪽의 가족실은 제 2의 거실로서 낮시간 아이들이 머무는 활동공간이 되며, 남측 창을 통한 자연채광이 극대화된 공간이다.

• 북동쪽과 북서쪽에 위치한 아이들의 개인공간은 각각 동쪽의 배밭을 조망하고, 서쪽의 소나무 군락을 바라볼 수 있도록 동향과 서향으로 계획하였다.

• 마당을 둘러싸는 주택의 입면은 최대한 자연적인 느낌이 나도록 소재를 화산석 배경에 세로결 적삼목으로 구성하고 서측의 소나무 군락과 조화를 이루도록 하였다.

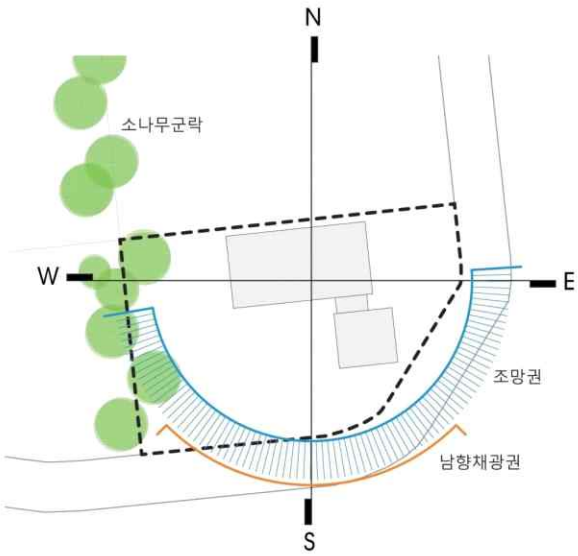
• 한국형 패시브하우스주택 모형으로써 건축주 개인의 선호도 뿐 아니라 국내의 단독주택에 대한 일반적인 디자인 선호도를 만족시킬 수 있도록, 선행연구결과에 따라 다음과 같은 디자인 요소를 반영하였으며, 기존의 콤팩트한 패시브하우스 유형에서 벗어난 다양한 공간 및 입면구성을 추구하였다.
  - 매스를 가족공간인 콤팩트한 본채과 사랑채 개념의 별채로 분절
  - 2층에 테라스를 두고 평지붕 형태로 지붕 디자인
- 태양의 패시브이용을 극대화하기 위해 남측으로 창문의 면적을 크게 하되, 주조망권인 동측으로는 전망을 끌어들이기 위한 액자형 창호계획
- 별도의 마당공간을 확보하기 위해 현관은 동측의 앞마당을 통해 진입
  - 매스로부터 들어간 형태의 현관계획으로 입구성을 강조하고 프라이버시를 보호
- 외부공간을 기능에 따라 위계를 두고, 앞마당, 마당, 테라스, 2층 가족테라스 등으로 다양화하여 배치
  - 변화있는 외피디자인을 위해 목재와 화산석 2가지 재료를 혼합하여 사용

(3) 한국형 패시브하우스 디자인 개념

(가) 배치계획

- 겨울철의 남측면 일사량을 최대한 이용하고 여름철 일사량은 쉽게 차단 할 수 있도록 건물을 남향으로 두되 마당을 최대로 이용할 수 있도록 대지의 형태에 따라 남동쪽으로 5° 틀어 배치되었다.

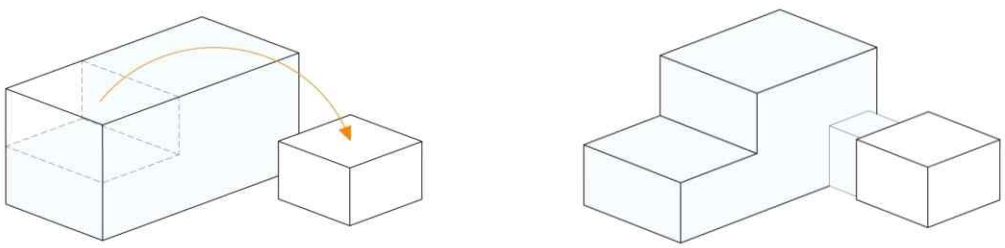
- 남향배치는 음영을 통해 건물 남북의 온도차를 유도하고, 이로 인한 압력차는 바람이 없는 여름에도 자연통풍을 가능하게 한다.



[그림3.95] 한국형패시브하우스 채광 및 조망분석

(나) 단열외피 및 매스계획

- 국내 단독주택 디자인 선호도에 대한 사전조사결과에 따라 건물에 요철을 두되 분절된 개별 매스는 최대한 컴팩트하게 구성하여 단열외피를 설정하였다.



[그림3.96] 한국형패시브하우스 매스계획

• 건물의 단열외피는 최대한 끊기지 않도록 설정하고 단열구조가 바뀌는 지점에서는 열교가 최소화 되도록 계획하였다.

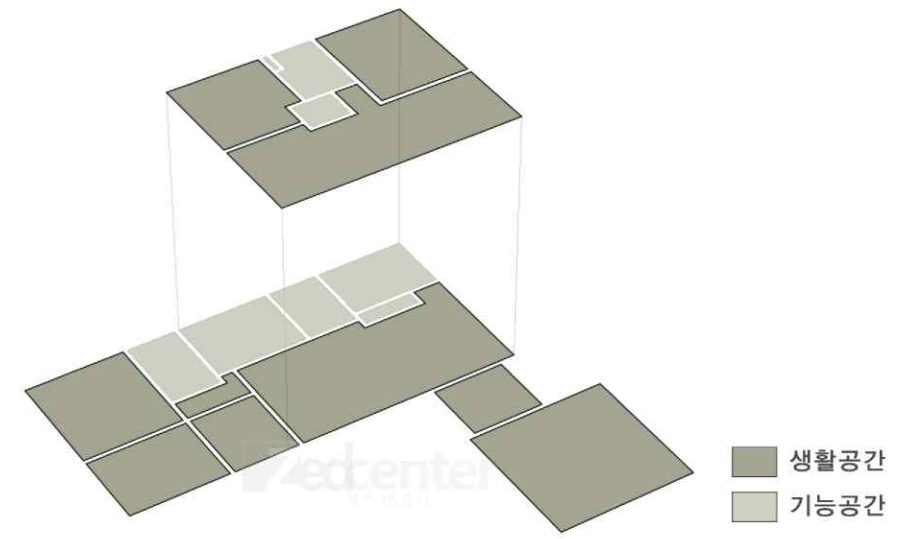


[그림3.97] 한국형패시브하우스 단열외피계획

(다) 평면계획

• 주요 거실 (침실, 거실 등)은 태양열원을 최대한 활용할 수 있도록 남쪽으로 배치되었다.

• 북측공간은 거주자가 오래 머물지 않는 기능공간을 집중 배치하고 환기, 위생, 냉난방 설비 등의 배관 배선 길이를 최소화할 수 있도록 계획하였다. 또한 열린 평면을 통한 매개공간의 최소화 역시 세대 내의 환기, 냉난방 분배시스템을 최소화하기 위함이다.

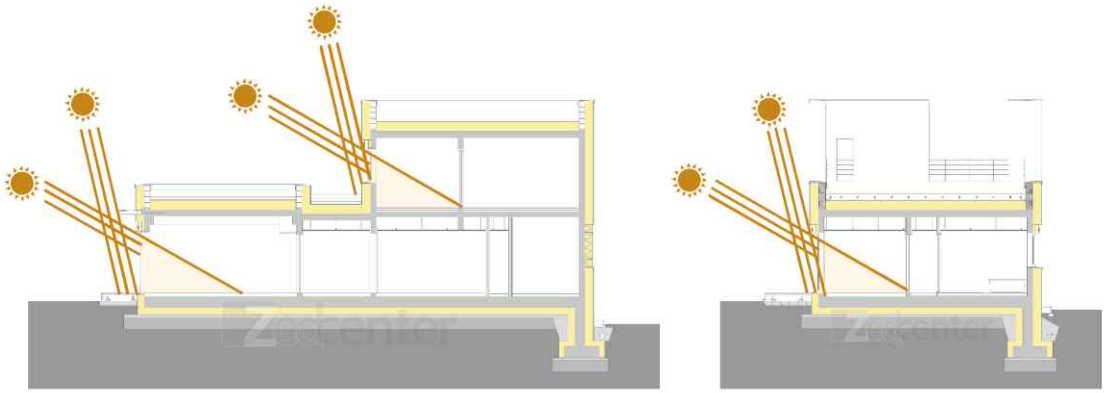


[그림3.98] 한국형패시브하우스 평면계획

(라) 태양열원 이용계획

- 남측입면의 창호는 태양열 이용을 효율적으로 조절하기에 적합하다. 남측면 창호의 경우 입사고도가 높은 여름철 직사광선은 상인방에 의해 차단되고 입사고도가 낮은 겨울철 직사광선은 건물 깊숙이 들어와 최대한 활용할 수 있다.

- 특히 거실 캐노피의 경우는 여름철 태양직사광선을 더욱 효과적으로 차단할 수 있다. 그러나 그 외의 창호의 경우는 여름철에 냉방부하를 최소화하기 위해 태양열을 효과적으로 차단하기 위해서는 별도의 외부차양이 고려되어야 하였다.

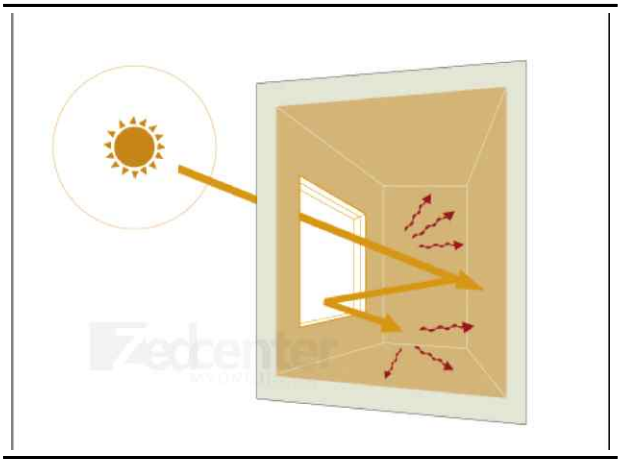


[그림3.99] 동지와 하지의 태양고도차를 활용한 태양열 패시브하우스이용계획

1) 겨울철 태양열의 패시브적 이용

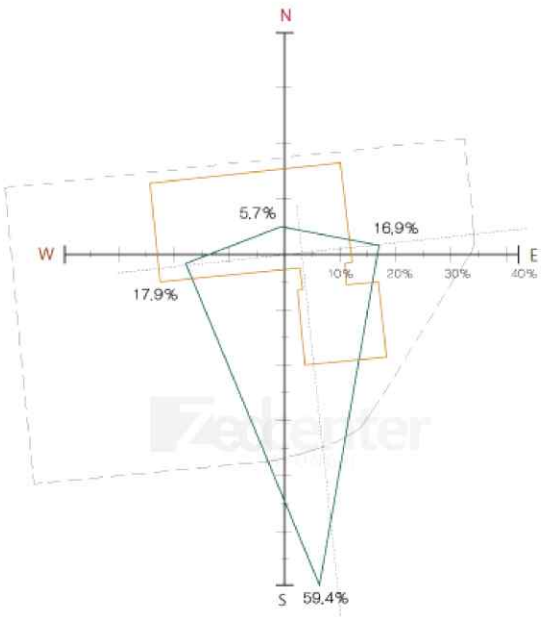
- 패시브하우스는 난방이 필요한 겨울철에 가급적 많은 태양에너지를 창문을 통하여 받아들여 축열체에 저장하고 그 복사열을 이용하는 시스템으로서 창문을 통하여 실내에 들어온 태양에너지가 온실효과를 통해 실내에 머물게 하고 전도나 환기로 인한 손실을 최소화하도록 단열성과 기밀성을 높인 주택이다.

- 본 한국형 패시브하우스인증모형에서도 이 원리를 활용하여 한편으로 남측면에 창호비율을 크게 하고 실내에 축열체를 둠으로써 태양에너지의 활용을 극대화하고 다른 한편으로 들어온 태양에너지를 오랫동안 보온하기 위하여 단열외피의 단열성능을 높이고 기밀층을 두어 기밀성을 보장할 수 있도록 하였다.



[그림3.100] 패시브하우스의 태양열 이용원리

- 기후분석과 PHPP 에너지계산 결과 남측면만 창호를 통해 빠져나가는 에너지량보다 창호를 통해 들어오는 태양에너지량이 많았으므로 태양열원을 효율적으로 활용하기 위하여 남측면을 중심으로 창호를 배치하였고 다른 면은 창호를 채광과 환기, 조망에 필요한 정도로 최소화하였다.

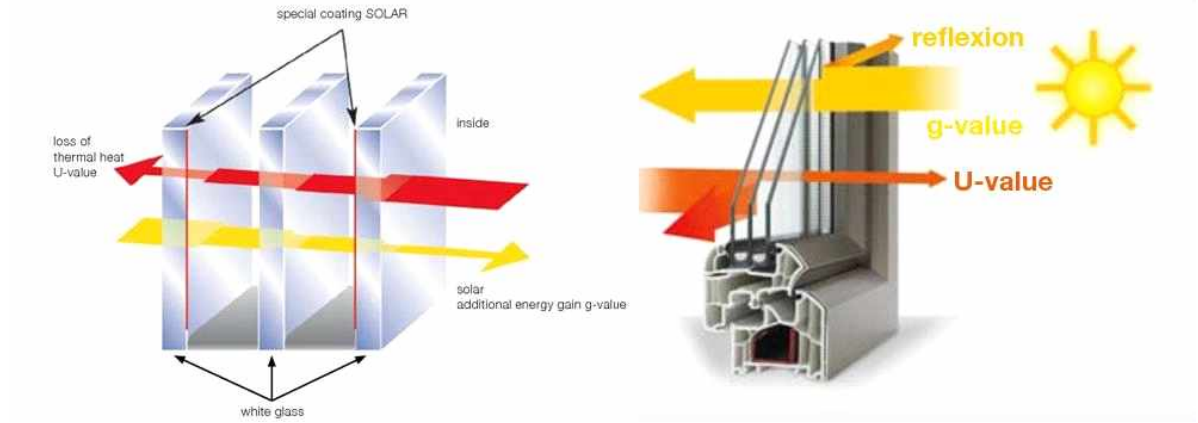


[그림3.101] 방위별 벽 대비 창호비율

2) 저철분 3중유리 패시브창호 사용

- 겨울철에 태양열원을 효과적으로 활용하기 위해서는 창호의 역할이 중요하다. 창호는 가능한 한 많은 태양열원이 실내로 들어올 수 있도록 태양열 취득계수(SHGC 또는 g-value)의 값이 큰 유리를 사용해야 하며 동시에 실내의 열이 다시 밖으로 빠져나가지 못하도록 U-값이 높은

유리시스템을 사용하여야 한다. 본 프로젝트는 이러한 태양열원의 효율적 이용을 위하여 3중 유리에 g값이 높은 저철분유리를 도입하였다.

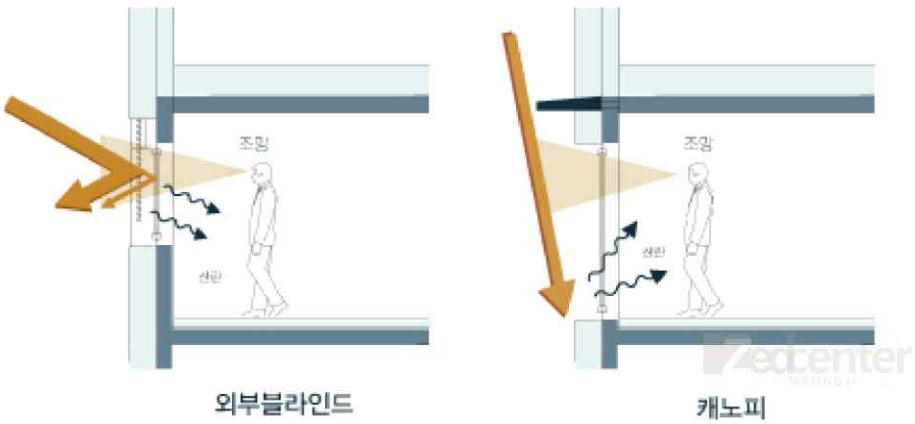


[그림3.102] 저철분 3중 유리 사용 - 창호유리의 태양열 취득계수와 열관류율
(출처: Internorm)

3) 여름철 태양열 차단 계획

- 여름철 냉방부하를 높이는 태양열에너지를 차단하기 위해 외부블라인드와 거실주변 캐노피를 도입하였다.

- 두 가지 시스템은 모두 입사각도가 높은 여름철 남측면 태양 직사광선이 실내로 들어오지 못하도록 차단하는 반면 실내는 산란광을 통해 자연채광이 가능하게 하며 실내의 거실자가 실외로 조망하는 것도 허용한다.



[그림3.103] 외부 차양시스템 (블라인드와 캐노피)

(마) 단열계획

- 벽체는 입면재료의 변화를 선호하는 국내 단독주택 디자인선호도 결과에 따라 크게 화산석타일 마감부분과 적삼목 마감 부분으로 구분되며 그 외 외부 전동블라인드 박스 부분도 입면과 열관류율은 다른 입면요소 부분과 동일하게 유지하면서도 벽체에 일체화하여 디자인하고자 별도로 벽면 구성을 계획하였다.

- 화산석 타일 마감부분에는 내화성능이 있는 록셀보드 10mm에 XPS 280mm 다시 록셀보드 10mm로 구성된 총 300mm의 록셀보드복합판넬로 단열되며 탄산칼슘계 발포단열재인 록셀보드의 특성상 마감타일을 시멘트몰탈을 이용하여 쉽게 접착할 수 있었다.

- 적삼목 마감부분은 통기파사드로 당초 내화성능을 고려하여 고밀도 글라스울 적용을 계획하였으나 화산석 타일마감부분과 같은 두께를 유지하고자 통기층만큼 단열재 두께를 줄이기 위해 열전도율이 낮은 경질우레탄보드 240mm를 사용하게 되었다. 적삼목사이딩 마감을 위한 하지 구조는 열교가 발생하는 부분이므로 별도의 구조계산을 통해 하지 고정갯수를 최소화하고자 하였으며, 열교시뮬레이션을 통하여 선형열관류율을 최소화하기 위해 스테인레스 L형철물과 에어로젤 열교차단재를 활용하여 계획하였다.

- 열교 발생없이 두께15cm의 전동블라인드박스를 입면에서 돌출시키지 않고 일체형으로 디자인하기 위해 이 부분의 단열재의 두께는 최소화되어야 했으며, 이를 위해 열전도율 0.0039W/mK의 진공단열재 30mm가 적용되었다. 또한 파손이 쉬운 진공단열재의 단점을 보완하기 위해 진공단열재의 앞뒤로 각 55mm, 30mm의 XPS압출법 단열재가 치부되어 진공단열재를 보호하도록 계획되었다.

- 그 결과 화산석타일 마감부분의 벽체 열관류율은 0.089W/㎡K, 적삼목 마감부분 0.097W/㎡K, 블라인드박스 부분 0.090W/㎡K이다.

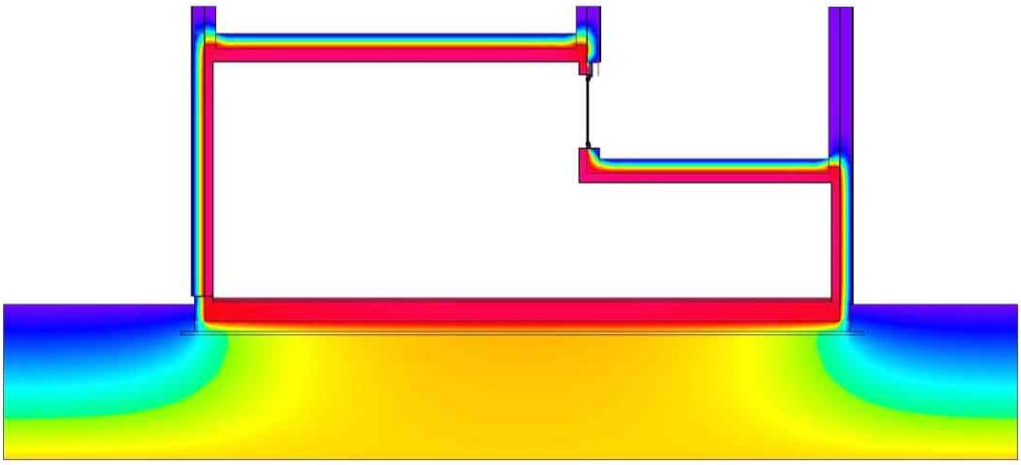
- 기초둘레 및 바닥부분 단열은 역시 가격면에서 록셀보드 복합판넬보다 유리하면서 방수성능이 있고 등분포하중에 강한 XPS 압출법단열재 240mm로 외단열이 계획되었고 기초둘레의 열교를 통한 열손실을 최소화하도록 별도의 열교시뮬레이션을 통하여 계획하였다. 또한 바닥슬래브의 경우 내부에 바닥완충재로서 XPS 압출법단열재 50mm가 추가로 설치되어 열관류율은 0.089 W/㎡K이다.

- 지붕의 단열은 옥상의 경우 XPS 압출법 단열재 360mm를 계획하여 열관류율이 0.074W/㎡K이며, 테라스의 경우는 데크 설치 및 2층 바닥과의 레벨차이를 고려하여 XPS 압출법 단열재 330mm를 계획하여 열관류율이 0.080W/㎡K이다.

- 문과 창호는 패시브하우스 인증제품을 활용하여 창호의 경우는 창틀의 열관류율이 0.79W/㎡K, 유리의 열관류율이 0.6W/㎡K이 되도록, 문의 경우는 0.66W/㎡K의 열관류율을 확보하도록 계획하였

다.

- 또한 열교시뮬레이션을 통하여 이종의 자재가 만나는 부분의 열교를 최소화하도록 하였다.



[그림3.104] 단열외피의 전열해석

(바) 환기계획

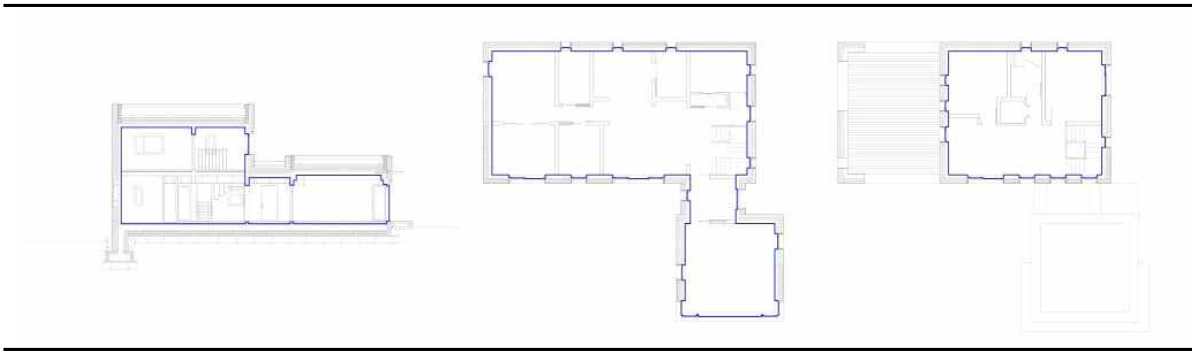
- 패시브하우스에서 획득한 태양열원을 주택 전체에서 골고루 이용하기 위해서는 실내에서 태양열을 순환 분배할 수 있는 환기시스템이 필수적으로 전제된다. 남측을 중심으로 유입된 태양열원이 남측에만 머물 경우 주택 내부 북측과 남측의 실내환경에 불균형이 발생하며, 남측은 냉방부하가 높아지고, 북측은 난방부하가 높아지는 현상이 발생할 수 있다.

- 또한 단열계획 및 침기로 인한 손실을 최소화하여도 필요 급배기량을 통한 환기열손실의 비중이 패시브수준의 난방에너지요구량을 초과하므로 환기로 인한 열손실을 최소화하기 위하여 폐열회수환기 장치를 도입이 필수적이다.

- 따라서 본 프로젝트는 폐열회수환기장치를 포함한 공조시스템을 계획하고 실내 압력차를 이용하여 남측에 급기된 공기가 북측으로 배기되어 실내의 태양열이 순환할 수 있도록 계획하였다. 또한 공조장치의 계획에 따라 외피의 높은 기밀성을 전제하였따.

1) 기밀외피

- 기밀층은 환기로 인한 열손실을 최소화하고 환기시스템의 작동을 최적화하기 위해 필요한 요소로 창호와 콘크리트 미장면을 잇는 내부마감층을 기밀층으로 설정하였다.



[그림3.105] 기밀외피

2) 공기조화시스템과 폐열회수환기장치

- 한국형 패시브하우스인증 모형 주택에서는 환기로 인한 열손실을 최소화하고 주택 의 쾌적한 실내환경을 균일하게 유지하기 위하여 폐열회수환기장치를 포함한 공조시스템이 계획되었다. 이 때 단독주택에서 추가적으로 도입되는 공조설비로 인한 비용을 최소화하고 주택 내부의 온도의 불균형을 해소하기 위하여 남측의 급기구를 통해 공급된 공기가 태양열에 의해 데워져서 북측의 환기구를 통해 빠져나갈 수 있도록 최적화된 공기조화시스템을 계획하였다.

- 급기구는 거실과 침실 등 주생활공간에 설치되고 환기구는 부엌과 화장실 등 기능공간에 설치되도록 하였으며 제트디퓨저를 통해 방안으로 급기된 공기가 벽체를 타고 방 깊숙이 창문 앞까지 이동한 후(코안다효과) 기능공간에서의 환기에 의한 압력차에 의해 환기구쪽으로 이동하도록 계획되었다. 이 때 문아래 1cm정도의 환기를 위한 틈을 두어 매개공간은 급기구와 환기구 없이도 공기가 순환될 수 있도록 계획하였다.

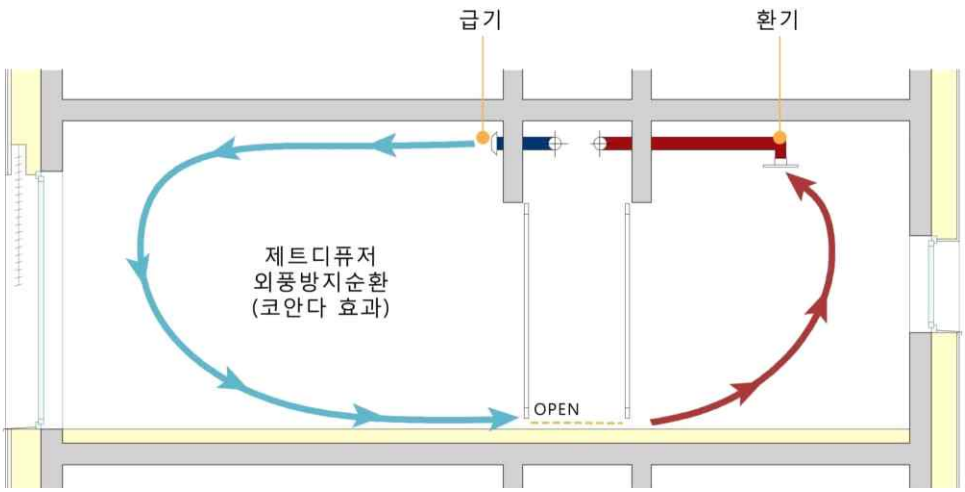
- 이러한 순환방식은 창문을 통해 데워진 실내공기가 북측의 기능공간까지 순환하면서 태양열을 균일하게 분산 이동시키는 데 기여할 뿐 아니라 짧은 환기배관 및 급배기구 개수의 최소화로 환기시스템 설치비용을 절감하는 효과가 있다.

- 공기조화시스템으로부터의 가장 큰 불만사항 중 하나인 소음문제를 해결하고자 분배장치에 소음차단기를 설치하고 PVC 관을 이용하여 서로 다른 방에서 환기구를 통해 이야기하는 소리가 전해지는 것을 방지하였다. 또한 공기순환을 위해 계획한 문틈을 통해 이야기가 전달되는 것을 최소화하기 위해 문짝 아래 위로 흡음효과가 있는 코르크를 설치하였다.

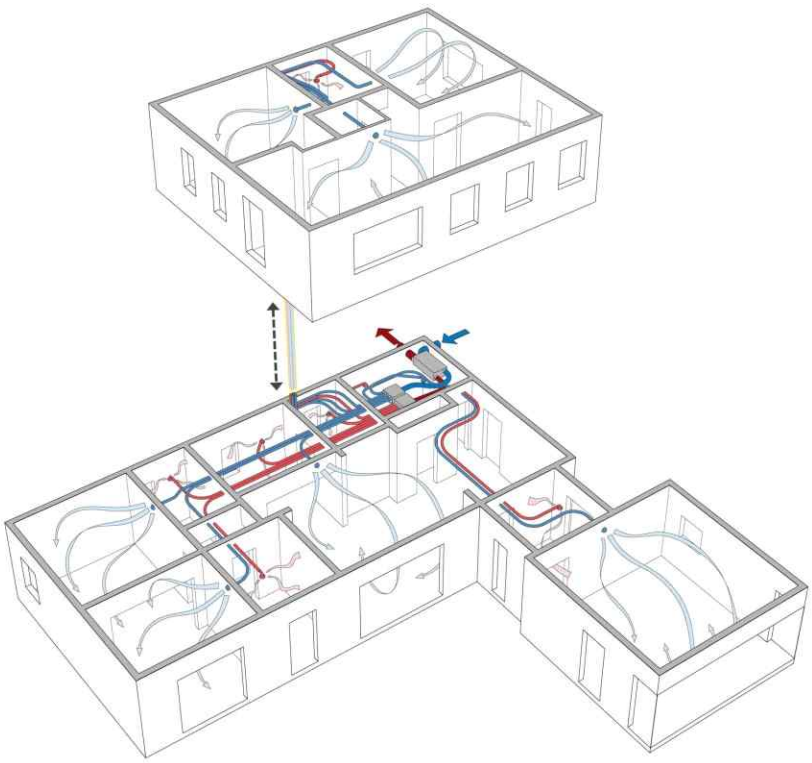
- 지열히트펌프가 설치된 기계실의 경우에는 히트펌프로부터 진동소음이 크게 발생하므로 히트펌프 아래에 방진재를 두고 기계실 벽도 모두 조적 또는 콘크리트 벽으로 하여 실간소음을 최소화하고, 문틈도 설치하지 않았다. 따라서 기계실의 경우는 급기구와 배기구가 모두 설치되었다.

- 외기구에 F7 기준의 필터를 설치하여 외부로부터의 먼지가 들어오는 것을 차단하여 실내공기질을 보장할 수 있도록 하고 환기구에는 실내의 먼지나 기름때, 더러움들이 들어가 환기장치가 손상되지 않도록 G3필터를 설치하였다.

- 외기구는 사람이 접근하기 어려운 높이와 위치의 북쪽에 배기구는 동쪽 보조 테라스쪽으로 거리를 두어 설치하여 배기구로 배출된 공기가 다시 외기구로 들어오는 것을 방지하였다.



[그림3.106] 패시브하우스의 환기 순환



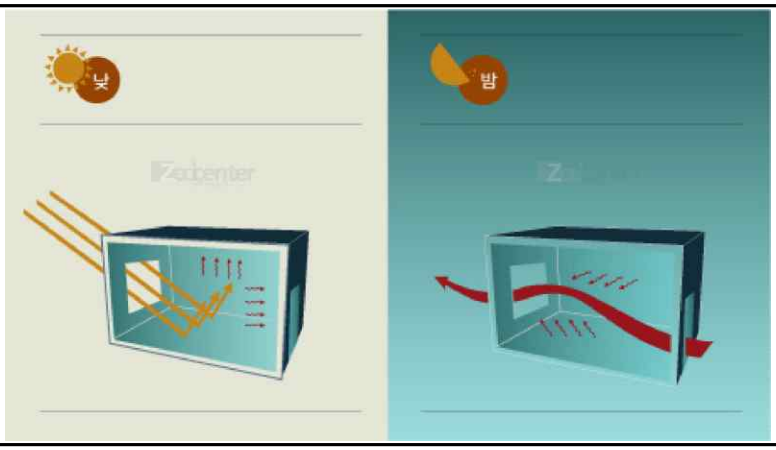
[그림3.107] 패시브하우스의 환기계획

3) 여름철 자연환기계획

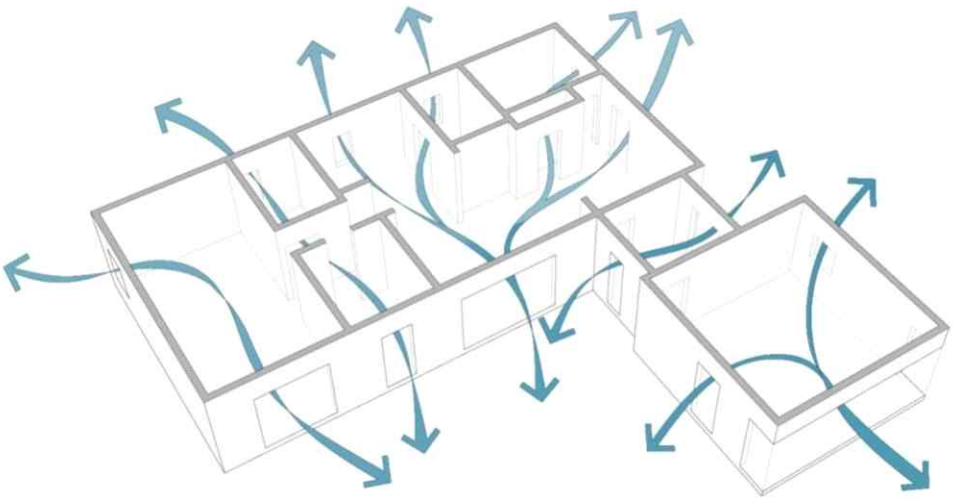
- 기후에 따른 건축물 에너지최적화에 대한 선행연구 결과 고온다습한 기후에서 여름철의 과열현상을 방지하는 데 가장 효과적인 방법은 야간의 자연환기였으나 다습한 기후에서 자연환기량이 많을 경우 실내쾌적성 기준을 만족시키기 위해서는 제습에 대한 에너지요구량이 높아져 냉방에너지 요구량이 증가되는 경향이 있었다.

- 따라서 본 프로젝트에서는 여름철에 1차적으로 외부차양을 이용하여 낮시간에 실내로 태양열원이 들어오는 것을 최소화하고 그럼에도 불구하고 실내로 들어와 축열체에 저장된 태양열을 외부기온이 떨어진 밤시간에 맞통풍을 통해 실외로 내보내도록 설계하였다.

- 맞통풍이 가능하도록 창문은 남북방향으로 배치되었으며 바람이 적은 밤 시간에 압력차를 통해 공기가 흐를 수 있도록 계획하였다.



[그림3.108]



[그림3.109]

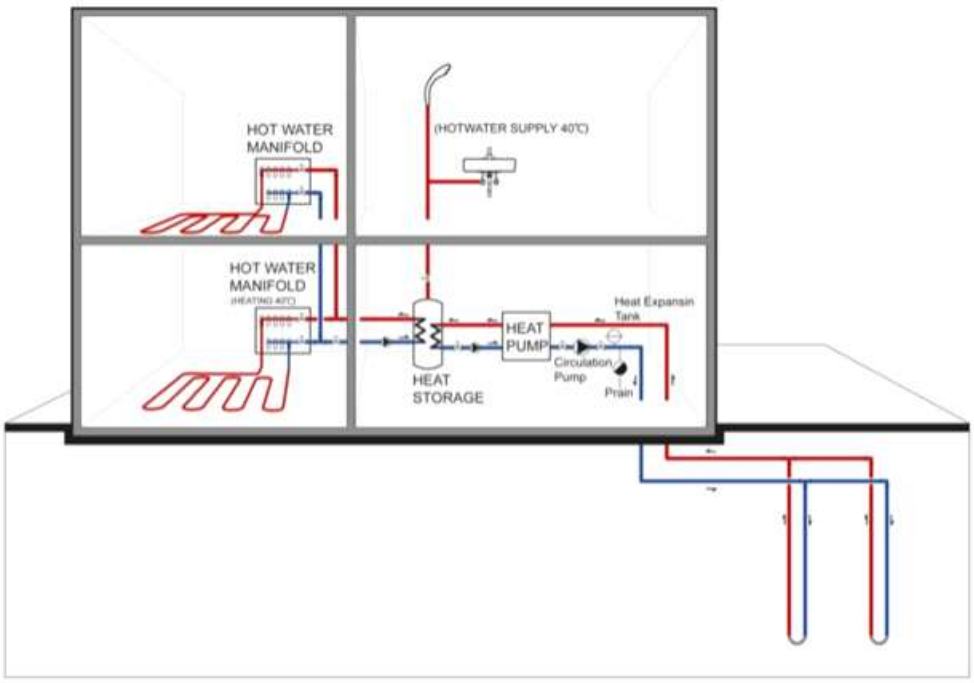
(사) 설비계획

1) 지열히트펌프사용

- 난방과 급탕에너지의 경우 신재생에너지이용을 통해 1차에너지사용량을 최소화하고자 지열히트펌프를 설치하도록 계획하였다. 다만, 지열히트펌프가 궁극적으로는 전기를 에너지원으로 사용하므로 전기에 대한 1차에너지환산계수인 2.6보다 COP가 높은 고효율 지열히트펌프를 사용할 수 있도록 하였다.

- 지열히트펌프는 그린홈사업을 통해 1대만 설치될 수 있었고, 그 결과 난방과 급탕의 초기설정온도를 다르게 설정할 수 없었다. 당초 복사난방의 경우 시스템 COP를 높이고 실내의 쾌적성을 고려하여 초기설정온도를 35℃까지 낮추고 급탕의 초기설정온도는 55℃까지 높이고자 하였으나 이를 위해 추가로 급탕을 위한 보일러를 설치하거나 히트펌프1대를 지원없이 설치할 경우 중복투자가 발생되어 경제성 없는 대안으로 평가되었다.

- 추후 다른 패시브하우스에서 지열시스템을 도입하게 된다면, 지열히트펌프를 저온냉난방에 이용하고, 급탕은 태양열이나 다른 신재생에너지원을 이용하도록 하는 시스템을 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 프로젝트에서 실현되지는 못하였으나 지열히트펌프+태양광 설치 시스템도 전기를 에너지원으로 사용하는 지열히트펌프시스템의 단점을 보완할 수 있는 시스템으로 평가된다.

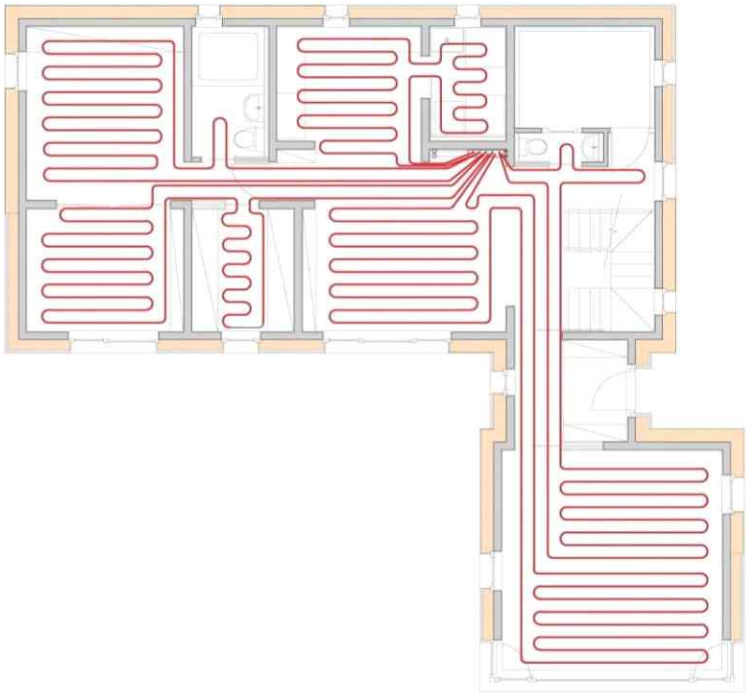


[그림3.110] 지열히트펌프 다이어그램

2) 저온복사난방 계획

- 난방부하가 10W/㎡이하인 패시브하우스의 경우 겨울철에도 난방이 거의 필요없을 뿐 아니라 실내쾌적성에 대한 국제 기준에 따라 외풍이 거의 없을 경우 고온복사보다는 저온복사에 대한 쾌적도가 높아 저온의 복사난방을 계획하고자 난방초기설정온도를 40℃로 낮추고 바닥난방 배관간격을 30cm로 넓혀 계획하였다.

- 특히 난방초기설정온도를 낮출 경우 실제 에너지계산에는 반영되지 못하지만, 지중온도와 난방온도 사이의 온도차를 줄여 지열히트펌프의 시스템 효율을 높이는 데 기여할 것으로 예상된다.



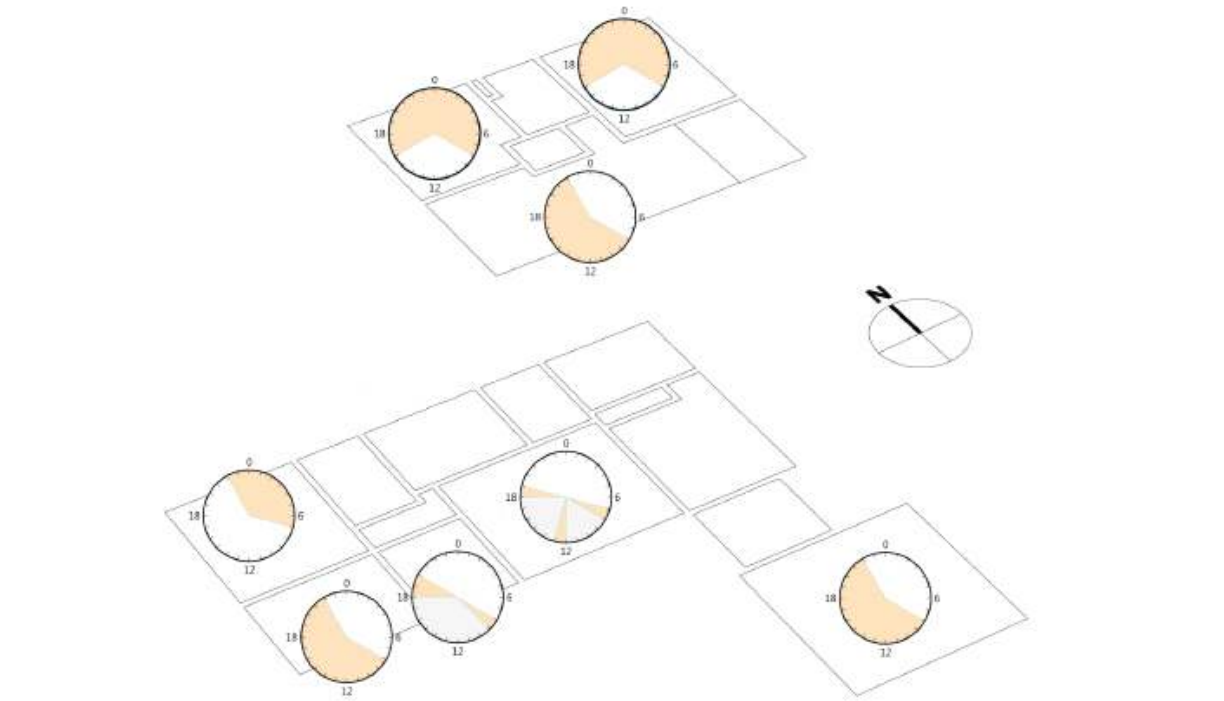
[그림3.111] 바닥난방 배관계획

(아) 생활에너지 효율화 계획

1) 자연채광을 이용 및 고효율 조명기기 도입으로 조명에너지 최소화

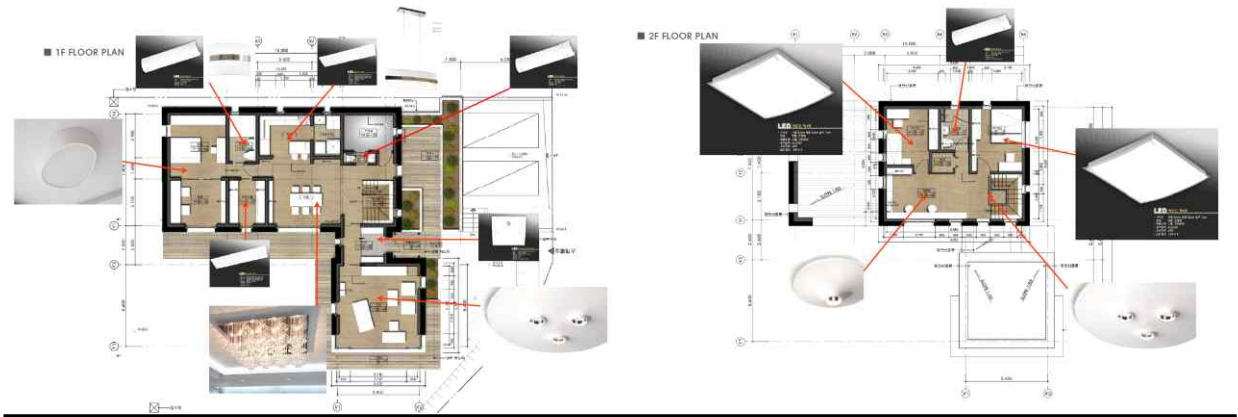
- 주간의 조명에너지 사용을 최소화하기 위해 생활 리듬을 반영하여 거실, 식당, 가족실, 서재 등 낮시간의 주생활공간을 남향으로 배치하였으며, 밤시간에 주로 사용하는 침실과 사용시간이 짧은 화장실, 다용도실, 기계실 등의 기능공간을 북향으로 배치하였다.

- 또한 남향의 주생활공간은 조도시뮬레이션을 통하여 낮시간 충분한 자연채광이 가능하도록 계획하였다.

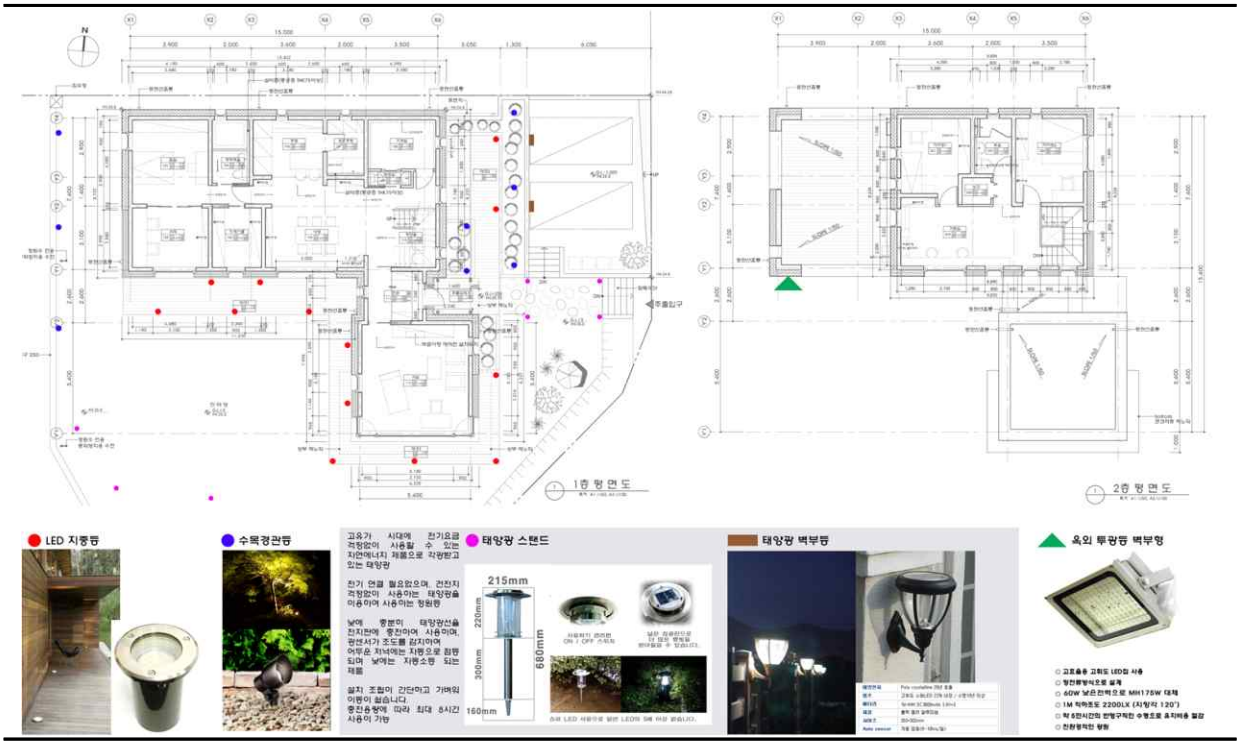


[그림3.112] 공간별 주사용시간

- 인공조명은 모두 LED와 고효율 전등기기를 사용하여 계획하였으며, 조명에너지사용의 최소화는 1차 에너지 사용량을 최소화할 뿐 아니라, 내부열원을 낮춰 여름철 냉방부하 저감에도 기여할 것으로 예상된다.



[그림3.113] 실내조명계획



[그림3.114] 외부조명계획

2) HEMS(Home Energy Management System) 도입

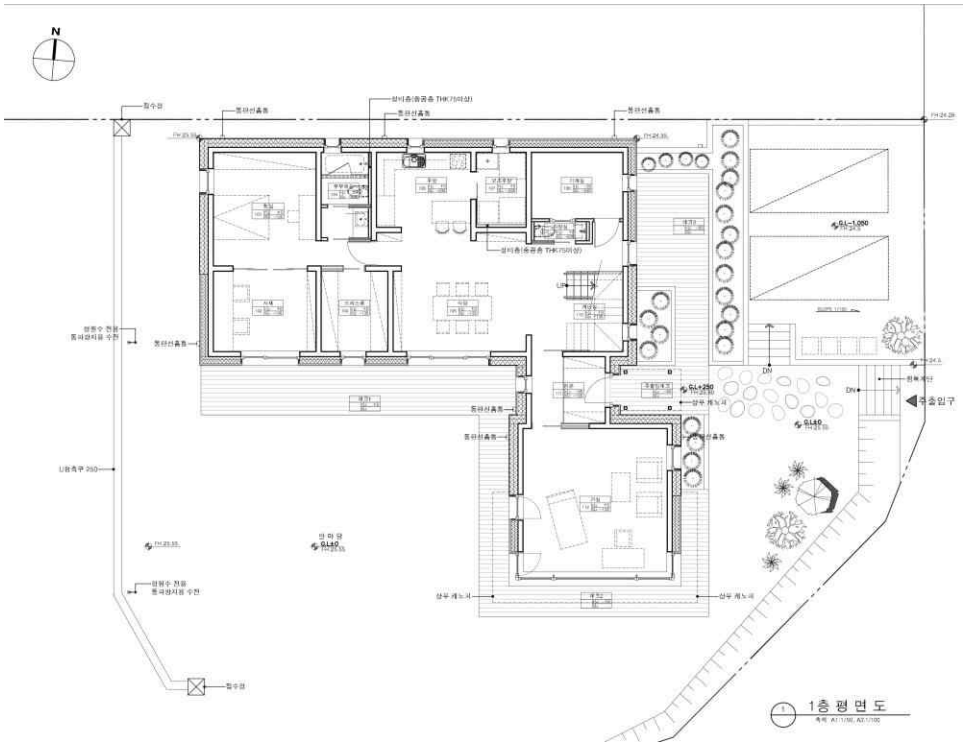
- HEMS란 가정용 에너지관리 시스템으로 냉난방, 급탕, 조명, 환기 및 생활에너지 사용량을 모니터링하고, 디스플레이를 통하여 가시화할 뿐 아니라 화면에서 직접 제어가 가능한 시스템이다.

- 한국형 패시브하우스인증모형주택의 경우 에너지사용량 모니터링을 세분화하여, PHPP 에너지계산에 적용되는 주요 가전제품의 에너지사용량까지 모니터링 할 수 있도록 계획하였으며 이외에도 지열히트펌프 시스템을 통한 열에너지사용량 모니터링과 실내환경모니터링, 조명제어 및 건축물 사용자 매뉴얼 기능까지 통합하였다.

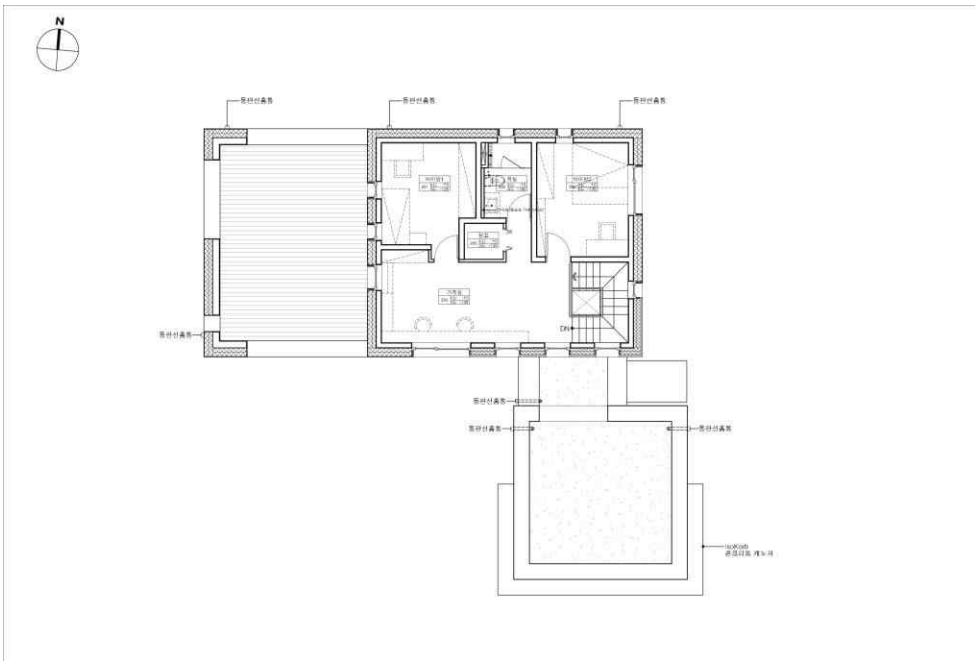
- HEMS로 인한 생활에너지절약의 효과는 건축물에너지성능평가에 직접적으로 반영될 수는 없지만, 실제 주택에서의 에너지사용절감에 기여할 것으로 판단된다.

2. 도면

가. 평면도

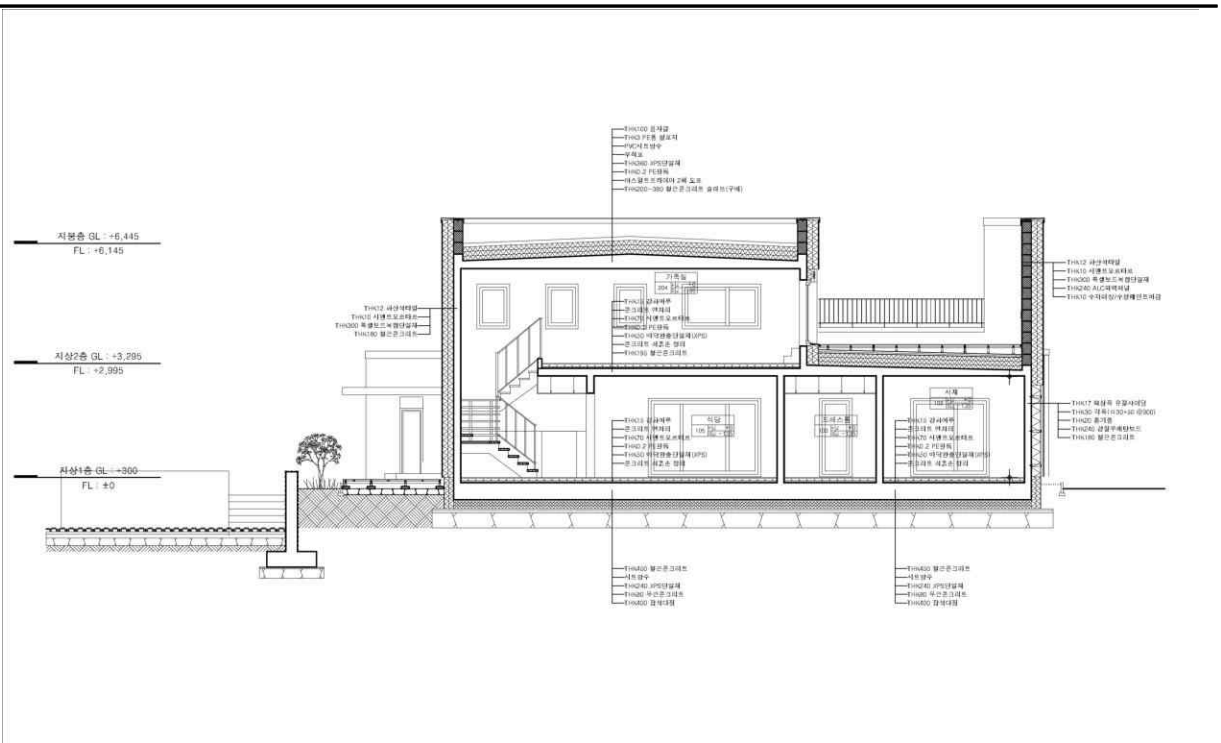


[그림3.115] 1층 평면도

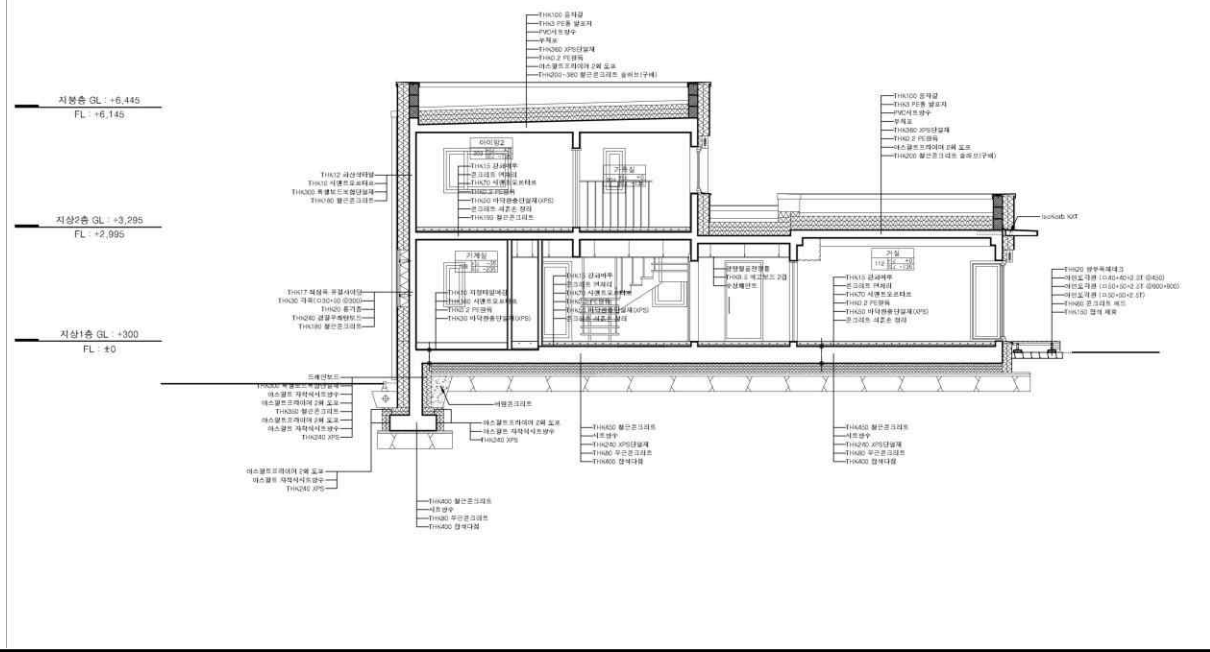


[그림3.116] 2층 평면도

나. 단면도

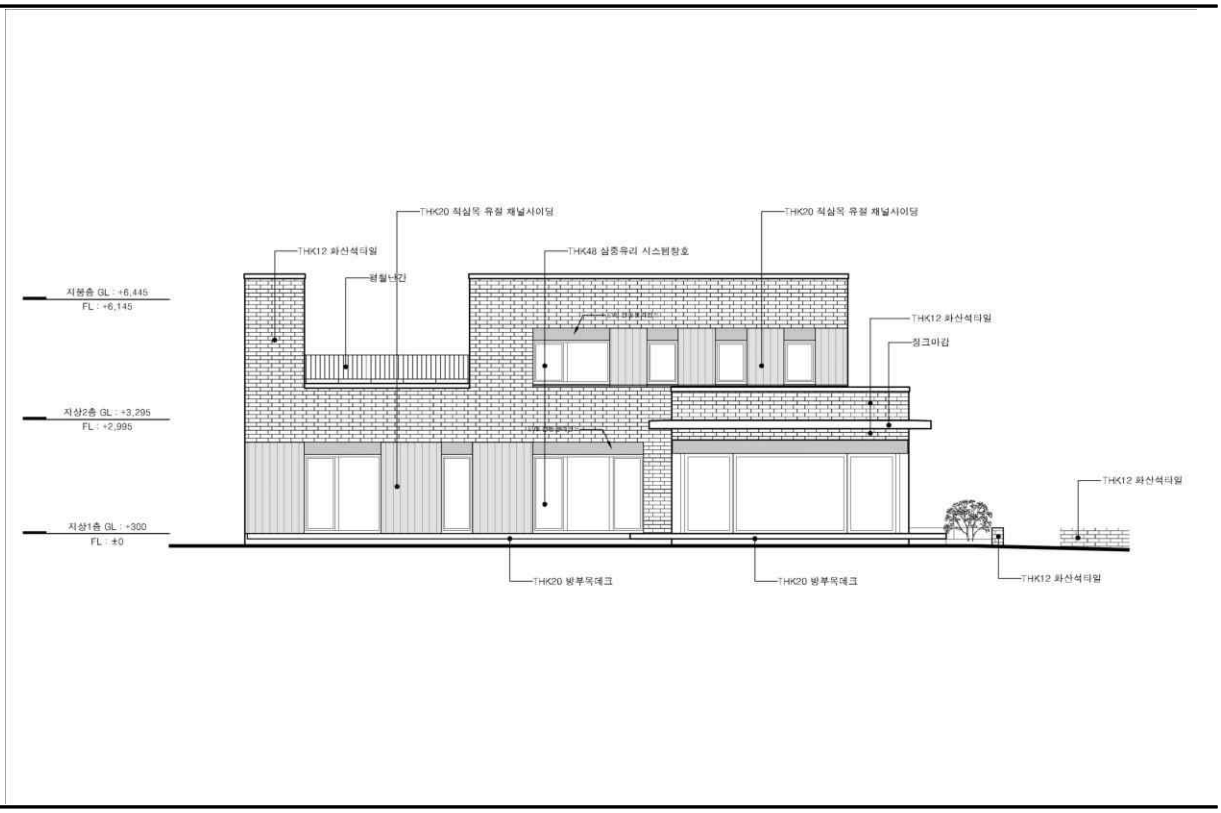


[그림3.117] 단면도-1

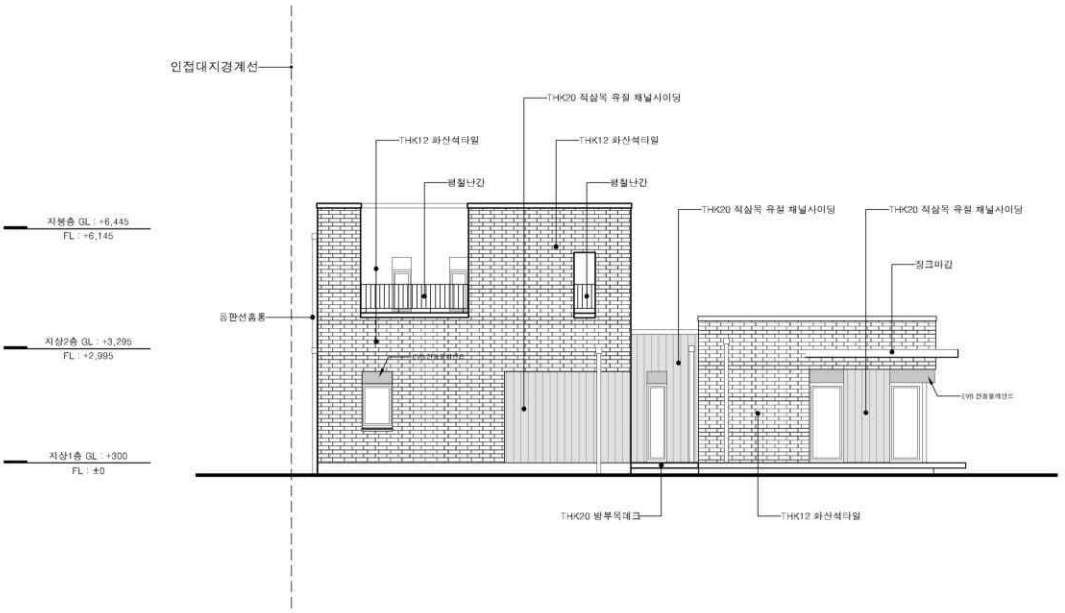


[그림3.118] 단면도-2

다. 입면도

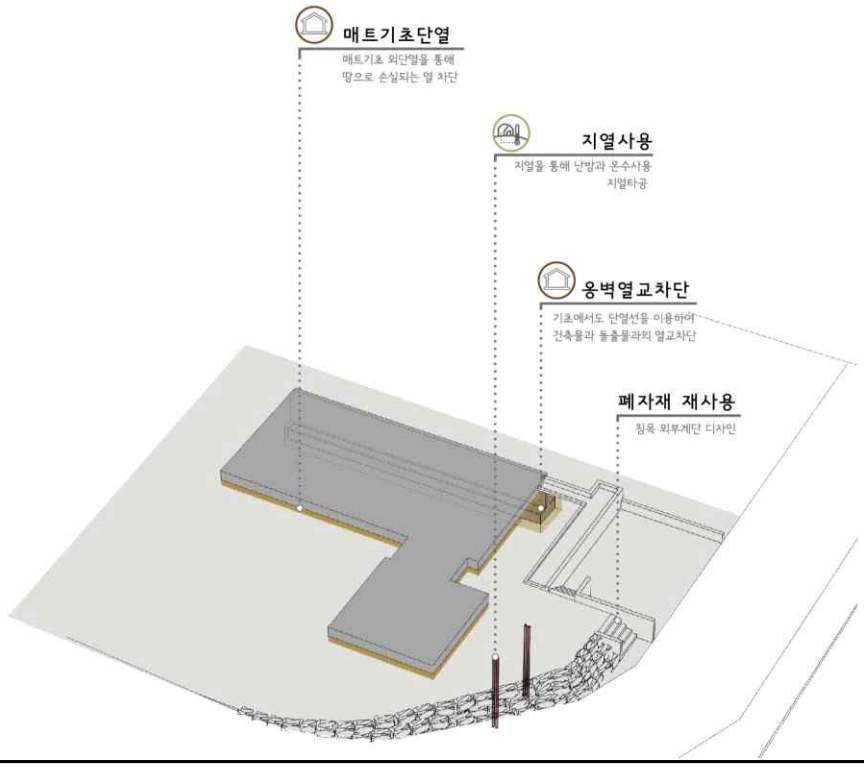


[그림3.119] 남측면도



[그림3.120] 서측면도

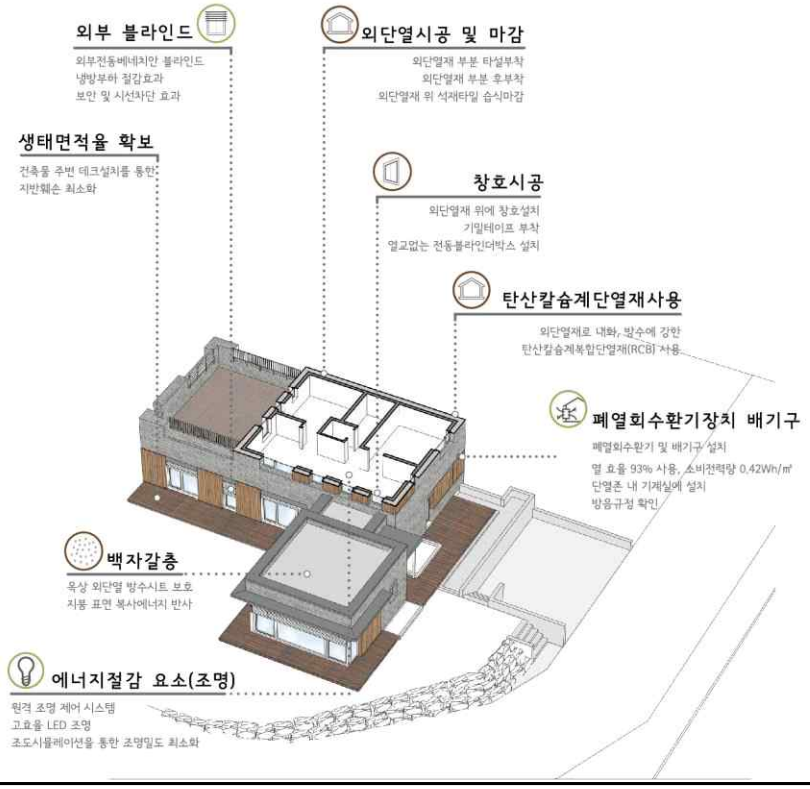
3. 익산패시브하우스 적용 기술요소



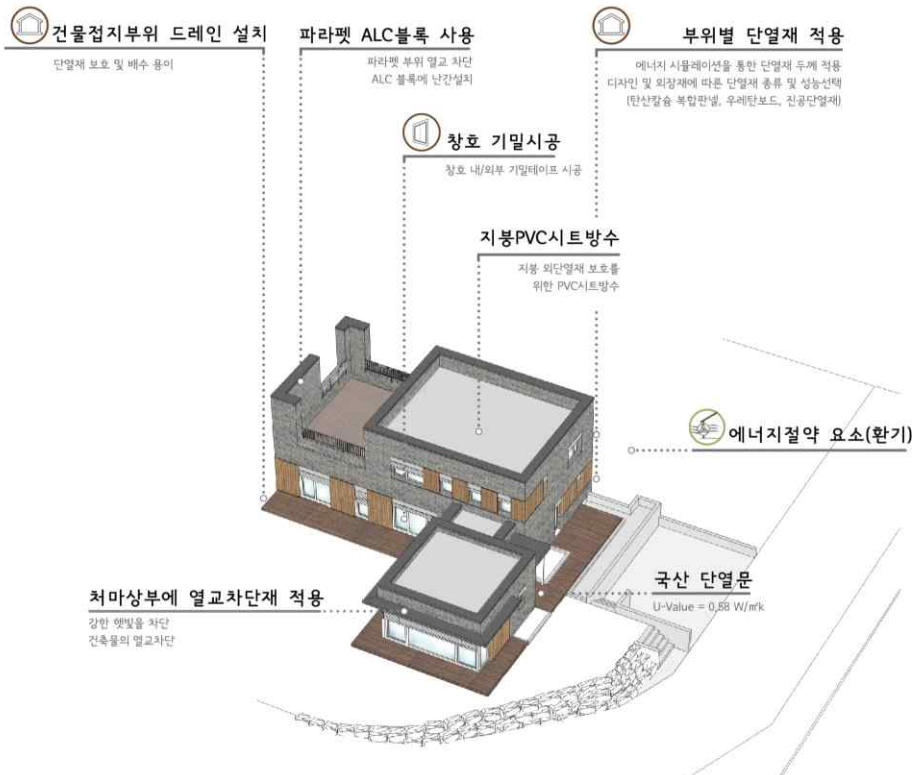
[그림3.121] 익산패시브하우스 지중 적용 기술요소



[그림3.122] 익산패시브하우스 1층 적용 기술요소



[그림3.123] 익산패시브하우스 2층 적용 기술요소



[그림3.124] 익산패시브하우스 옥상 적용 기술요소

[표3.50] 익산패시브하우스 적용 기술요소표

적용 기술 요소	외국기술	국내기술	명지대 보유기술	제드엠제이 보유기술	익산최초 적용기술
[주택 에너지절감 설계기술]					
01 일사 및 일조 최적화 건물 배치계획		✔		✔	
02 서비스공간(화장실, 기계실, 창고 등) 배치 계획 - 설비배관 길이 최소화, 북측 열손실 최소화				✔	
03 주 사용공간 남측배치(태양에너지 최대획득)		✔		✔	
04 에너지시뮬레이션을 통한 유리창 면적율 최적화 - 남측창 면적율 최대화 - 북측창 면적율 최소화			✔	✔	
05 주 사용공간 내부 축열면 확보 - 석고보드 지양 - 콘크리트 구조물 노출		✔		✔	
06 부분 무량판 구조시스템 사용 - 천장고 확보 및 구조체 노출 - 장수명 주택 설계		✔		✔	
07 용도별 실의 천장고 위계 분리 - 내부 공기부피 조절 - 주사용공간 및 서비스공간의 위계 분리				✔	✔
[주택 에너지절감 요소기술 - 단열]					
08 탄산칼슘계 단열재 사용 - 단열효과 유지 및 내화성 확보	✔				
09 탄산칼슘계 복합판넬 사용 - 외장재 접착강도 확보		✔			
10 에너지시뮬레이션을 통한 부위별 단열재 적용 - 디자인 및 외장재별 벽체 단열재 분리 적용(탄산칼슘 복합판넬, 우레탄보드)			✔	✔	✔
11 단열재 이음새 우레탄폼 충진			✔	✔	✔
12 건물 접지부위 드레인 설치 - 단열재 보호 및 배수 용이				✔	✔
[주택 에너지절감 요소기술 - 단열문, 창호]					
13 저철분 삼중유리사용(양면 Low-E코팅, 아르곤충전) - 창호를 통한 일사량 최대화 - G-value = 0.5이상, UW-value = 0.8 W/(㎡K)	✔				
14 기밀성능을 갖춘 고단열 PVC 프레임	✔				
15 자연환기를 위한 Tilt & Turn 적용		✔			

적용 기술 요소	외국기술	국내기술	명지대 보유기술	제드엠제이 보유기술	익산최초 적용기술
16 국산 단열문 - U-value = 0.58 W/㎡K		✔			
[주택 에너지절감 요소기술-열교]					
17 줄기초 및 매트기초 단열				✔	✔
18 수직차양 열교방지차단구조물 설치	✔				
19 건축물과 연결되는 옹벽부위 단열			✔	✔	✔
20 파라펫 ALC블록 사용 - 파라펫 부위 열교 차단 - ALC블록에 난간 설치			✔	✔	✔
21 스테인리스 브라켓 및 열교차단 패드 사용 - 적삼목 사이딩 및 창호, 블라인드 박스 고정시 - 에어로젤, EPDM 사용			✔	✔	✔
22 외부로 관통되는 설비배관 최소화				✔	✔
[주택 에너지절감 요소기술-차양]					
23 거실 외부 수평차양 - 계절별 태양고도를 고려한 거실 캐노피		✔		✔	
24 외부전동베네치안 블라인드		✔			
25 ALC 가벽을 이용한 일사차단			✔	✔	✔
26 주변 식재를 통한 일사량 조절 - 일조 및 에너지시뮬레이션을 통한 위치 지정			✔	✔	
[주택 에너지절감 요소기술-기밀성]					
27 창호 내외부 기밀테이프 시공	✔				
28 통합분전반 기밀시공			✔	✔	✔
29 외부 관통 설비배관 기밀자재 사용	✔				
30 기밀테스트 후 미장 보완			✔	✔	
[주택 에너지절감 요소기술-급탕]					
31 급탕 배관손실 최소화 - 급탕배관길이 최소화 - 급탕 배관 고단열			✔	✔	
[주택 에너지절감 요소기술-환기]					
32 Cross Ventilation 적용 - 급배기존 분리 - 실간 통기구 설치		✔		✔	
33 폐열회수환기장치 도입 - 열효율 93% - 소음규정 확인, 소비전력 0.42 Wh/㎥	✔				
34 TAB 테스트를 통한 환기 최적화		✔			

적용 기술 요소	외국기술	국내기술	명지대 보유기술	제드엠제이 보유기술	익산최초 적용기술
35 맞통풍이 가능하도록 창호 계획		✔		✔	
36 급기 제트디퓨저를 사용하여 배관 길이 최소화	✔				
[주택 에너지절감 요소기술-조명]					
37 고효율 LED조명		✔			
38 조도시뮬레이션을 통한 인공조명 최소화		✔			
39 원격 조명 제어 시스템		✔			
[주택 에너지절감 요소기술-제습]					
40 제습을 위한 EHP 설치		✔			
[주택 에너지절감 시공기술]					
41 외단열재 타설부착			✔	✔	✔
42 외단열재 후부착		✔		✔	
43 외단열재 위 석재타일 습식마감			✔	✔	✔
44 창호시공시 외단열재 상부에 창호 설치			✔	✔	✔
45 빗물받이 부착을 위한 프로필 사용(하자방지)		✔			
46 지붕 외단열 보호를 위한 PVC시트방수		✔			
47 벽면 외단열 보호를 위한 아스팔트 시트방수(자착식)	✔				
48 기초 고밀도 폴리에틸렌 시트방수(자착식)	✔				
[주택 설비기술]					
49 저온복사 바닥 난방(과열 방지)			✔	✔	
50 단열존 내부 기계실 설치 - 배관을 통한 열손실 최소화			✔	✔	✔
[주택 에너지생산 요소기술]					
51 지열히트펌프 - 국내산 히트펌프와 순환펌프 사용		✔			
52 축열조 단열		✔			
[주택 외부공간 친환경기술]					
53 폐자재 재사용 - 침목 외부계단 디자인		✔		✔	
54 생태 면적율 확보 - 지하시설 최소화를 통한 자연지반 보존 - 건축물 주변 데크설치		✔		✔	
55 거실 옥상 백자갈층 설치 - 옥상 방수층 보호 - 지붕 표면 반사율 증가로 냉방부하 저감			✔	✔	✔
[주택 모니터링기술]					
56 Wallpad UI			✔		✔
57 온라인 기반 원격 모니터링 시스템			✔		✔

적용 기술 요소	외국기술	국내기술	명지대 보유기술	제드엠제이 보유기술	익산최초 적용기술
58 계절별 건축물 사용매뉴얼			✔		✔
59 무선센서 이용 부위별 표면온도, 습도, 조도 계측			✔		✔
60 수직온도 프로파일을 통한 높이별 실내온도 계측			✔		✔
61 이동형 측정장비를 통한 쾌적성측정	✔				
62 건물에너지 사용량 분리 계측 - 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 계측		✔			
63 생활에너지 전력사용량 분리 계측 - 가전제품, 취사, 전동블라인드, 모니터링장비 계측		✔			
64 지열을 통한 열공급량 계측		✔			
[건축물검증기술]					
65 기밀성 테스트	✔				
66 열화상 카메라 측정	✔				
67 TAB 테스트		✔			
68 소음 측정 테스트		✔			
[기타기술-층간소음방지]					
69 바닥 구조체와 몰탈 사이에 단열층 설치		✔			
70 벽 구조체와 몰탈사이에 완충재 설치			✔	✔	✔

4. 에너지 및 열교 시뮬레이션

가. 에너지시뮬레이션 - PHPP 에너지계산(메테오놈기후데이터정리)

- 본 프로젝트는 독일 패시브하우스 연구소의 주택부문 패시브하우스 인증을 목표로 설계 초기단계부터 PHPP를 통한 건축물 에너지 성능평가를 통해 설계프로세스에서 에너지최적화를 시도하였다.

- PHPP 프로그램 이론

- PHPP 건축물에너지성능평가는 겨울철 실내적정온도 20℃, 여름철 실내적정온도 25℃를 기준으로 하였으며, 1인 단독주택 가구로서 거주인원은 인증기준 1인/35㎡TFA에 따라 5.2인으로 가정하였다.

- Monthly Method에 따른 계산 결과 연간 단위면적당 난방에너지요구량은 11kWh/㎡a로 패시브하우스 인증 기준인 15kWh/a를 만족하였고 단위면적당 난방부하 역시 11W/㎡로 패시브하우스의 급기난방 기준을 만족하였다.

- PHPP 7.0과 함께 2012년 개선된 패시브하우스 건축물에너지성능평가 기준에 따라 연간 단위면적당 냉방에너지요구량은 제습에 대한 요구량을 포함하여 14kWh/㎡a로, 익산기후에 대한 패시브하우스 인증 기준인 21kWh/㎡a를 만족하였고 냉방부하 역시 9W/㎡로 패시브하우스의 급기냉방 기준을 만족하였다.

- 냉난방, 급탕, 환기, 조명, 부속설비 등 건물에너지성능과 관련된 1차에너지소요량 뿐 아니라 가전제품 사용 등 가정의 생활 에너지까지 모두 포함한 PHPP 건축물 에너지성능평가에 따른 연간 단위면적당 1차에너지소요량은 79kWh/㎡a로 120kWh/㎡a의 패시브하우스 인증 기준을 만족하였다.

(1) PHPP 에너지계산 결과 전체개요

[표3.51] 패시브하우스 인증을 위한 PHPP 에너지계산 개요표

Passive House verification



Building:	Single-family house Iksan
Street:	445-31 Seokwang-dong,
Postcode/City:	570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do
Country:	Republic of Korea
Building Type:	Single-family house
Climate:	Chonchu (Jeonju) KS - validated by PHI
Home Owner(s) / Client(s):	Ikachang Choi
Street:	445-31 Seokwang-dong,
Postcode/City:	570-320 Iksan-Si, Jeolabuk-Do
Architect:	ZEDMJ Architects Ltd.
Street:	1702-10 Seocho-dong Seocho-gu
Postcode/City:	137-884 Seoul, Republic of Korea
Mechanical System:	Passivworks
Street:	472-2 Nam-dong Cheoin-gu Yongin-si
Postcode/City:	449-030 Kyoungki-do, Republic of Korea

Year of Construction:	2012	Interior Temperature:	20.0 °C
Number of Dwelling Units:	1	Internal Heat Gains:	2.1 W/m²
Enclosed Volume V_e:	953.1		
Number of Occupants:	5.4		

Specific building demands with reference to the treated floor area — use: Monthly method

				Requirements	Fulfilled?*
	Treated floor area	188.7	m²		
Space heating	Annual heating demand	11	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	yes
	Heating load	11	W/m²	10 W/m²	-
Space cooling	Overall specific space cooling demand	14	kWh/(m²a)	21 kWh/(m²a)	yes
	Cooling load	9	W/m²	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)		%	-	-
Primary Energy	Space heating and dehumidification, DHW, auxiliary electricity and cooling, household electricity	79	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	31	kWh/(m²a)	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity		kWh/(m²a)	-	-
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	0.4	1/h	0.6 1/h	yes

* empty field: data missing; "-": no requirement

Passive House?	yes

We confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this application.

Name:	Weber	Registration number PHPP:	PHIDE_101013_24379xxx_en8
Surname:	Christine	Issued on:	04. December 2013
Company:	Passive House Institute	Signature:	

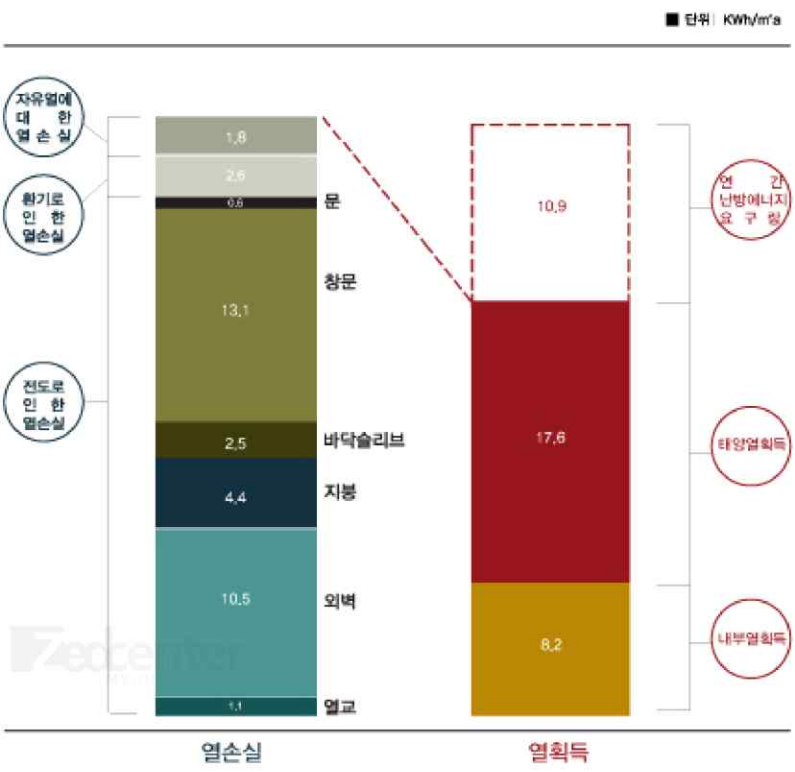
(2) 연간계산법(annual method)에 따른 건물에너지 수지

- 연간계산법(annual method)은 전도로 인한 열손실, 환기에 의한 열손실, 그리고 태양열원과 내부열원 사이의 에너지밸런스를 통하여 연간 난방에너지요구량을 산출한다.

- 본 프로젝트에서 열손실은 총 연간 단위면적당 41.5kWh/㎡이며, 이 중 전도로 인한 열손실은 단위면적당 연간 약 37.3kWh/㎡a, 환기로 인한 열손실은 단위면적당 연간 약 4.2kWh/㎡a이고, 이 외에 열획득량 중 이용되지 못하고 손실되는 부분이 연간 약 1.9kWh/㎡a에 해당된다.

- 전도로 인한 열손실은 다시 현관문을 통한 열손실, 창호를 통한 열손실, 바닥슬래브. 지붕 및 외벽을 통한 열손실과 열교를 통한 열손실로 구분되며 각각 0.5kWh/㎡, 13.72kWh/㎡, 3.23kWh/㎡, 5.57kWh/㎡, 13.18kWh/㎡, 1.1kWh/㎡에 해당하여 가장 열손실이 많은 부분이 창호이고 그 뒤를 외벽이 따른다.

- 열획득은 태양열획득이 연간 단위면적당 약 21.6kWh/㎡a, 내부열원을 통한 열획득이 연간 단위면적당 약 8.3kWh/㎡a로 총 29.9kWh/㎡a으로 총 열손실과 총 열획득의 편차가 연간 난방에너지요구량으로써 약 10.9kWh/㎡a가 된다.



[그림3.125] PHPP 연간계산법에 따른 건물에너지밸런스

(3) 월별계산법(monthly method)에 따른 건물에너지 수지

- 월별계산법(Monthly Method)에 따른 연간 난방에너지요구량은 1년 12개월의 기후조건에 대해 매달 전도로 인한 열손실, 환기로 인한 열손실, 그리고 태양열원과 내부열원사이의 밸런스를 통해 총 요구되는 난방에너지요구량을 합하여 산출한다. 월별 에너지 수지는 다음의 월별계산법에 의한 연간 난방에너지요구량 그래프와 같으며 이에 따른 이 건물의 연간 단위면적당 난방에너지요구량은 11 kWh/㎡a이다.

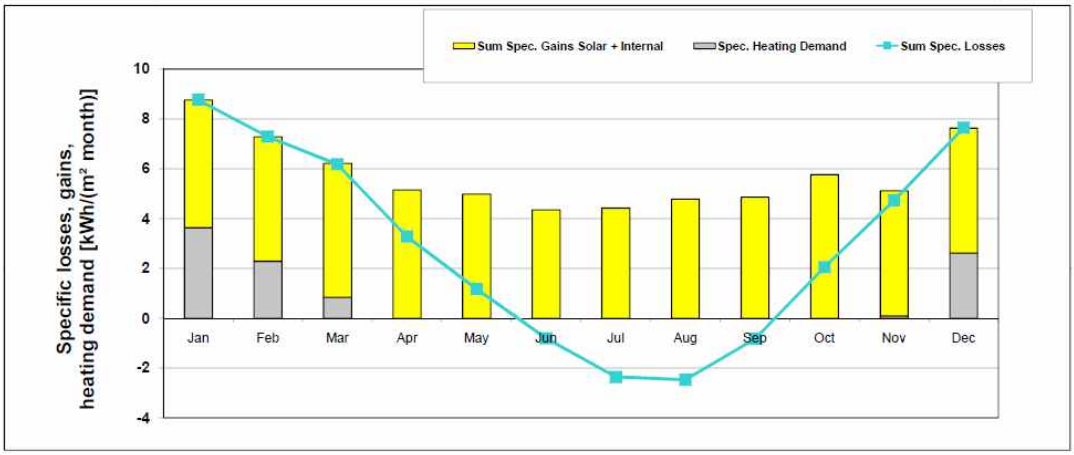
Passive House verification

SPECIFIC ANNUAL HEAT DEMAND
MONTHLY METHOD

Climate: Chonchu(Jeonju) KS
Building: EFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus

Interior Temperature: 20 °C
Building Type/Use: Einfamilienhaus
Treated Floor Area A_{TFA}: 181 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours - E	15.2	12.4	10.2	5.1	1.5	-1.8	-4.4	-4.4	-1.4	3.8	8.4	13.4	58	kKh
Heating Degree Hours - C	6.5	6.9	7.5	6.1	4.0	1.7	-0.1	-1.2	-1.1	0.1	2.3	4.6	38	kKh
Losses - Exterior	1478	1206	994	492	146	-176	-425	-429	-134	369	815	1305	5641	kWh
Losses - Ground	109	114	125	102	67	29	-2	-19	-18	1	39	77	623	kWh
Sum Spec. Losses	8.8	7.3	6.2	3.3	1.2	-0.8	-2.4	-2.5	-0.8	2.0	4.7	7.6	34.6	kWh/m²
Solar Gains - North	4	5	8	9	11	11	11	10	8	7	5	4	93	kWh
Solar Gains - East	47	54	74	90	102	86	86	88	71	72	45	41	856	kWh
Solar Gains - South	527	516	517	459	395	324	331	389	441	592	514	515	5520	kWh
Solar Gains - West	24	29	36	42	48	40	37	40	35	36	28	24	419	kWh
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Opaque	42	46	55	59	64	55	54	56	51	56	43	40	621	kWh
Internal Heat Gains	283	256	283	274	283	274	283	283	274	283	274	283	3331	kWh
Sum Spec. Gains Solar +	5.1	5.0	5.4	5.2	5.0	4.4	4.4	4.8	4.9	5.8	5.0	5.0	59.9	kWh/m²
Utilisation Factor	100%	100%	99%	64%	24%	100%	100%	100%	100%	35%	92%	100%	42%	
Annual Heating Demand	659	415	153	0	0	0	0	0	0	0	18	474	1718	kWh
Spec. Heating Demand	3.6	2.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.6	9.5	kWh/m²



[그림3.126] 월별계산법에 의한 연간 난방에너지요구량

- 현열에 대한 연간 냉방에너지요구량도 월별계산법(Monthly Method)에 따라 계산되며 역시 1년 12개월의 기후조건에 대해 매달 전도로 인한 열손실, 환기로 인한 열손실, 그리고 태양열원과 내부열원사이의 밸런스에 따라 열획득이 열손실을 초과하는 달에 대해 초과하는 에너지양만큼을 각 달의 냉방에너지요구량으로 보고 이를 연간 모두 합산하여 연간 냉방에너지요구량을 산출한다. 다음의 월별계산법에 의한 연간 냉방에너지요구량 그래프는 월별 현열에 대한 냉방에너지 수지를 나타내며 이에 따른 이 건물의 연간 단위면적당 냉방에너지요구량은 14kWh/㎡a이다.

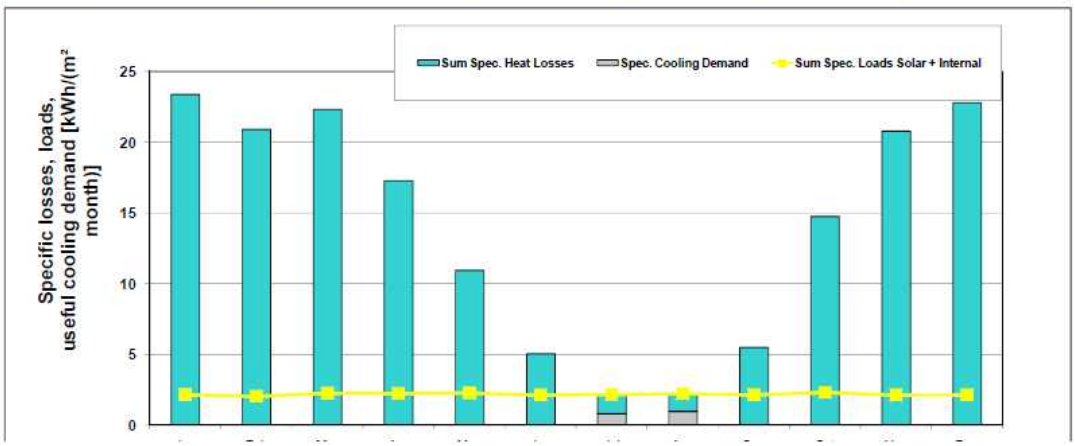
Passive House verification

SPECIFIC USEFUL COOLING DEMAND
MONTHLY METHOD

Climate: Chonchu(Jeonju) KS
Building: MFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus

Interior Temperature: 25 °C
Building Type/Use: Einfamilienhaus
Treated Floor Area A_{TFA}: 181 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours - E	18.9	15.8	14.0	8.7	5.2	1.8	-0.7	-0.7	2.2	7.5	12.0	17.2	102	kKh
Heating Degree Hours - G	10.3	10.2	11.2	9.7	7.8	5.3	3.6	2.6	2.5	3.8	5.9	8.4	81	kKh
Losses - Exterior	1847	1540	1361	845	509	174	-65	-69	216	733	1170	1674	9937	kWh
Losses - Ground	166	165	182	158	125	86	58	41	41	61	96	135	1315	kWh
Losses Summer Ventilatio	2221	2081	2499	2126	1348	653	266	251	736	1875	2499	2320	18875	kWh
Sum Spec. Heat Losses	23.4	20.9	22.3	17.3	10.9	5.0	1.4	1.2	5.5	14.7	20.8	22.8	166.4	kWh/m²
Solar Load North	1	1	2	2	3	3	3	3	2	2	1	1	25	kWh
Solar Load East	7	8	11	13	15	12	12	13	10	10	6	6	123	kWh
Solar Load South	55	53	54	48	41	34	34	40	46	61	53	53	572	kWh
Solar Load West	4	4	6	6	7	6	6	6	5	5	4	4	64	kWh
Solar Load Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Load Opaque	42	46	55	59	64	55	54	56	51	56	43	40	621	kWh
Internal Heat Gains	283	256	283	274	283	274	283	283	274	283	274	283	3331	kWh
Sum Spec. Loads Solar +	2.2	2.0	2.3	2.2	2.3	2.1	2.2	2.2	2.1	2.3	2.1	2.1	26.2	kWh/m²
Utilisation Factor Losses	9%	10%	10%	13%	21%	42%	95%	100%	39%	16%	10%	9%	15%	
Useful Cooling Energy De	0	0	0	0	0	0	144	177	0	0	0	0	321	kWh
Spec. Cooling Demand	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	kWh/m²



[그림3.127] 월별계산법에 의한 연간 냉방에너지요구량

(4) 난방에너지요구량의 최소화 계획

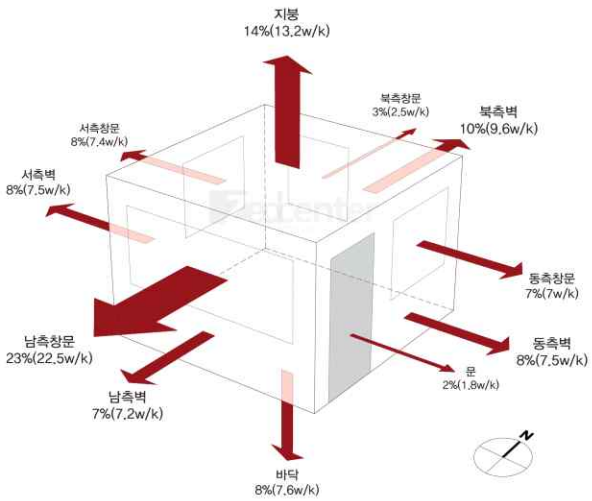
- 주택 에너지성능을 패시브하우스 수준으로 최적화하기 위해서는 전도로 인한 열손실, 환기로인한 열손실을 최소화하고 겨울철에는 태양열원을 최대로 활용하고 여름철에는 차단하며, 에너지효율기기 등을 활용하여 내부열원을 최소화시킴으로써 건물에너지성능이 건물을 이용하는 과정에서도 계획과 동일하게 유지할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

(가) 전도로 인한 열손실의 최소화

- 주택의 단열외피를 통해 빠져나가는 열손실을 최소화 하기위해 계획된 단열외피의 열관류율은 다음과 같으며 각 단열외피 부위별 전도로 인한 열손실량의 비중은 아래 그림과 같다.

[표3.52] 단열외피 부위별 열관류율 및 전도로 인한 열손실량 비중

구분	열관류율 [W/㎡K]
벽체유형 1 (화산석타일마감)	0.089
벽체유형 2 (적삼목마감)	0.097
벽체유형 3 (외부블라인드박스)	0.090
옥상지붕	0.074
테라스지붕	0.080
바닥슬래브	0.089
창틀	0.790
유리	0.600
문	0.660



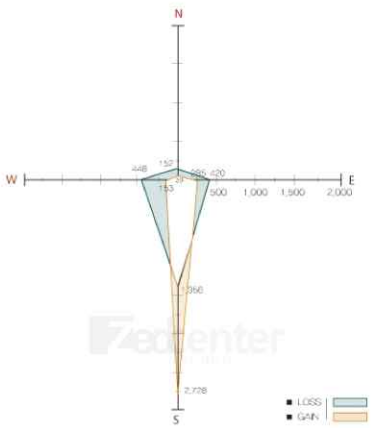
(나) 태양열 획득의 최대화

- 창호는 태양열을 받아들이기도 하나 태양복사가 적을 때는 전도로 인해 실내의 열이 빠져나가는 통로가 되기도 한다. 본 프로젝트에서는 남쪽만 창호를 통한 열획득이 창호를 통한 열손실을 상회하였고 이에 따라 창호의 면적을 남측에 집중시켰다. 방위별 창호의 에너지수지는 다음과 같다.

[표3.53] 방위별 창호의 에너지수지

[단위 : kWh/a]

	Transmission loss	Heat gain (Solor radiation)
North	152	29
East	420	285
South	1,356	2,728
West	448	153



(다) 환기로 인한 열손실의 최소화

- 한국형 패시브하우스인증모형 주택의 실내 압력차를 이용한 공기조화시스템을 정상화하기 위해 기존 신축건축물보다 고도의 기밀성이 요구된다. 본 프로젝트에서는 패시브하우스 인증기준인 50Pa 압력차에서의 시간당 환기횟수(n50) 0.6h-1보다 높은 기밀성을 전제하였으며 기밀도에 따른 연간 단위면적당 난방에너지요구 및 단위면적당 난방부하는 다음과 같다.

[표3.54] 기밀도에 따른 연간 단위면적당 난방에너지요구량 및 단위면적당 난방부하의 변화

구분	50Pa 압력에서의 시간당 환기횟수 [n50]	연간 단위면적당 난방에너지요구량 [kWh/㎡K]	단위면적당 난방부하 [W/㎡a]
인증모형주택의 기밀테스트 결과	0.28	9.5	8.9
패시브하우스 인증기준	0.60	10.5	10.1
환기장치가 있는 공동주택 기준	1.50	13.4	13.5
일반 신축건축물	2.00	15.1	15.4
기존건축물	10.00	43.6	45.7

- 고단열의 패시브하우스는 이미 전도로 인한 열손실을 최소화 한 상태이므로 패시브하우스의 인증기준을 만족시키기 위해서는 반드시 폐열회수 환기장치가 전제되어야 했다. 본 한국형 패시브인증모형주택에서 열회수 환기장치를 설치하지 않았을 경우 건물의 단위면적당 연간 난방에너지요구량은 23.5kWh/㎡a이었으며, 난방부하는 14.6W/㎡였다. 따라서 본 프로젝트에서는 독일패시브하우스 인증기준을 만족시키기 위해 폐열회수환기장치를 계획하였고 그 결과 단위면적당 연간 난방에너지요구량이 9.5kWh/㎡a, 난방부하 8.9W/㎡까지 절감되었다.

- 패시브하우스의 환기량은 최소환기량, 필요외기도입량, 필요배기량 중 가장 큰 값을 기준으로 설계되며 최소환기량은 실내 부피당 0.25h-1, 필요외기도입량은 주택의 경우 거주인원 당 30㎥/(P・h), 필요배기량은 욕실, 주방, 다용도실등 환기가 필요한 공간 기준으로 산정되며, 본 프로젝트에서는 필요배기량을 기준으로 다음과 같이 설계환기량을 210㎥/h로 산정하였다.

Ventilation dimensioning for systems with one ventilation unit

Occupancy	m³/P	35				
Number of occupants	P	5.2				
Supply air per person	m³/(P*h)	30				
Supply air requirement	m³/h	155		Bathroom		
Extract air rooms		Kitchen	Bathroom	(shower only)	WC	Etc
Quantity		1	2	0	3	1
Extract air requirement per room	m³/h	60	40	20	20	10
Total Extract Air Requirement	m³/h	210				
Design air flow rate (maximum)	m³/h	210				

Average air change rate calculation

Type of operation	Daily operation duration h/d	Factors referenced to maximum	Air flow rate m³/h	Air change rate 1/h
Maximum		1.00	210	0.46
Standard	24.0	0.77	162	0.36
Basic		0.59	124	0.27
Minimum		0.40	84	0.19
	Average value	0.77	Average air flow rate (m³/h) 162	Average air change rate (1/h) 0.36

[그림3.128] 공조시스템의 환기량 설계

- 설계된 환기량을 기준으로 환기에 의한 에너지손실을 줄이기 위하여 열회수효율이 92%로 매우 높은 패시브하우스 연구소 인증 환기장치 (Zehnder사 Comfo공기 200)의 설치를 계획하였다. Comfoair200의 전력사용량은 0.42Wh/㎥로 역시 패시브하우스 기준인 0.45Wh/㎥를 만족한다.

- 그러나 본 프로젝트에서는 겨울철 환기로 인해 건조함과 여름철의 높은 습도를 개선하기 위해 기존 패시브하우스에 설치되던 현열교환기(HRV)가 아닌 전열교환기(ERV)의 설치를 계획하였다.



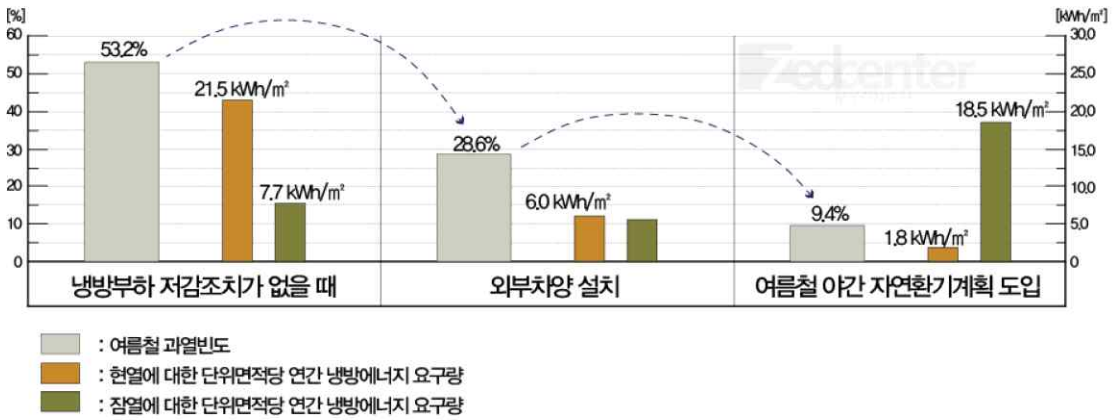
[그림3.129] Zehnder사 Comfoair200

(5) 냉방에너지요구량의 최소화 계획

- 본 한국형 패시브하우스 인증 모형 주택에서 여름철의 냉방을 위해 아무런 조치를 취하지 않았을 경우 실내온도가 25℃이상 상승하는 과열빈도가 53.2%까지 올라간다. 이는 연중 반 이상의 시간에서 과열현상이 나타나 여름 3개월 내내 뿐 아니라 봄가을에도 냉방부하가 발생한다는 의미로 과열빈도를 줄이기 위한 적극적인 조치가 요구된다. 독일 패시브하우스 인증기준에서는 주택의 경우 연간 과열빈도를 10%이상 낮추도록 하고 있으며, 비주거용 건물의 경우는 사용시간이 주로 낮시간이므로 그 이상 낮추도록 권장하고 있다.

- 따라서 본프로젝트에서는 여름철 과열현상을 최소화하기 위해 태양열획득을 줄일 수 있는 외부차양의 도입과 들어온 태양열을 밖으로 뺄 수 있도록 여름철 야간자연환기계획을 수립하였다. 그러나 야간 자연환기계획의 경우 현열에 대한 냉방에너지요구량을 최소화하고 과열빈도를 낮추기는 하나 잠열에 대한 냉방에너지요구량을 증가시키는 경향이 있어 본 프로젝트에서는 1차적으로 외부차양을 통해 냉방에너지요구량을 최소화할 수 있도록 계획하였다.

- 또한 주택의 패시브인증을 위한 PHPP 건물에너지성능평가에서는 내부열획득이 2.1W/㎡로 설정되어 냉방에너지요구량을 줄이는 데 영향을 줄 수는 없으나 실질적인 내부열획득을 최소화하고자 LED 및 고효율 조명기기를 계획하였다.



[그림3.130] 한국형 패시브인증모형 주택의 냉방부하 저감계획에 따른 과열빈도 및 냉방에너지요구량 변화

(가) 외부차양을 통한 여름철 태양열획득 최소화

- 여름철 실내온도를 올리는 태양열획득을 차단하기 위하여 외부블라인드를 설치하고 동측과 서측의 경우는 낮시간 최소한의 채광을 제외하고는 차양장치를 완전히 내리도록 사용자 매뉴얼을 계획하였다.

• 남측의 경우는 블라인드를 통해 직사광선은 차단되나 외부시야는 확보할 수 있는 정도로 외부차양을 운용하도록 계획하였으며, 거실 부분은 눈썹지붕을 추가로 계획하여 태양고도가 높은 여름철 낮시간에 직사광선이 실내로 직접 들어오는 것을 방지하도록 하였다.

• 2층 북측의 두 개 창호의 경우는 내부블라인드를 설치하고 Fc값 0.60을 적용하였으며, 그 외 1층 북측창호를 포함한 모든 창호에는 외부블라인드를 설치하고 Fc값 0.15를 적용하였다. 단, 2층 아이방의 동향창, 1층 거실의 동향창을 제외한 모든 동향창 및 서향창의 외부블라인드를 낮시간 완전히 차폐하도록 하고 Fc값 0.06을 적용하였다. 그결과 방위별 여름철 차양계수는 다음과 같으며, 과열빈도를 낮추는 데 약 25%정도 줄이는 데 기여하였다.

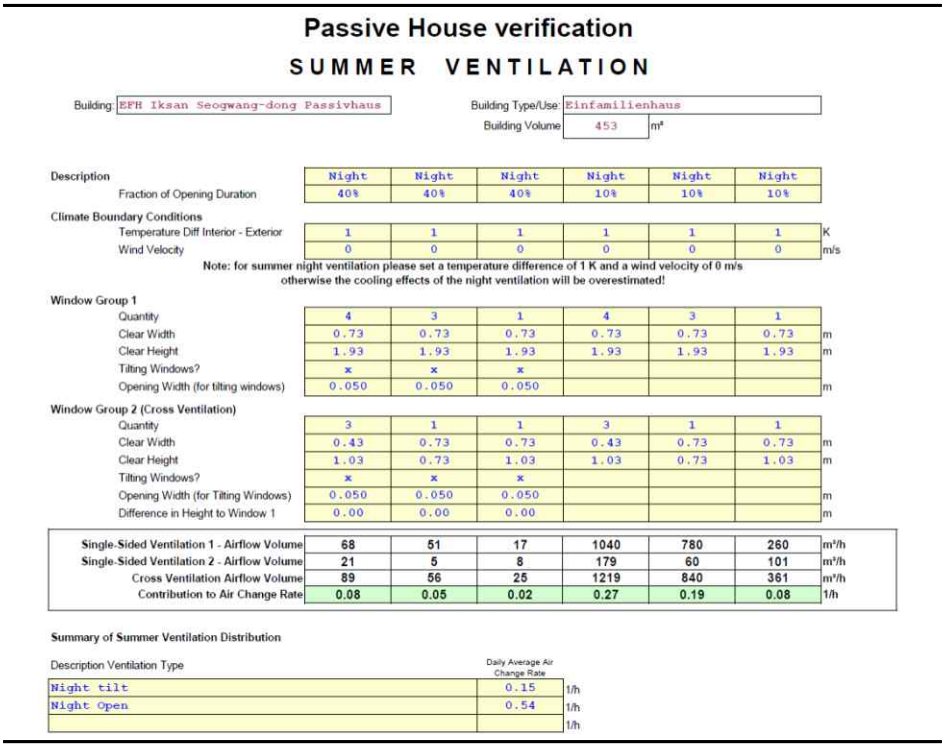
Orientation	Glazing area m^2	Summer shading factor r_s
North	1.20	12%
East	4.50	8%
South	20.27	6%
West	4.51	4%
Horizontal	0.00	100%

[그림3.131] 여름철 외부차양 계획에 따른 방위별 차양계수

(나) 여름철 야간 자연환기를 통한 과열현상 저감

• 여름철 외부차양계획으로 최소화되지 못한 과열빈도를 저감하기 위해서는 야간 자연환기를 계획하여 내부에 낮시간동안 축열되었던 에너지가 외부로 빠져나갈 수 있도록 계획하였다. 단, 여름철 야간자연환기는 냉방장치가 가동되지 않고, 야간의 외기온도가 실내온도보다 낮은 기간에만 시행되며, 냉방장치가 가동되거나 야간의 외기온도가 실내온도보다 높은 경우에는 기계환기를 통해 환기될 수 있도록 계획하였다.

• 여름철 야간 자연환기 계획은 다음과 같다. 1층의 경우는 저녁시간과 아침일찍 각 1시간씩 모든 창문을 열고 환기하도록 계획하였고, 그 외의 시간동안은 창문을 틸트시켜 실내 공기질을 유지시킬 수 있도록 한다. 2층의 경우는 저녁시간과 아침일찍 각 1시간 반씩 모든 창문을 열고 환기하도록 계획하였고, 그 외의 시간동안은 창문을 틸트시켜 실내공기질을 유지시킬 수 있도록 하였다. 그러나 비가 오거나 외기온도가 실내온도보다 높은 열대야의 경우에는 자연환기 대신 Bypass가 되는 기계환기를 가동시켜 실내의 공기질을 유지할 수 있도록 하였다.



Passive House verification

SUMMER VENTILATION

Building: EFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus
Building Type/Use: Einfamilienhaus
Building Volume: 453 m³

Description								
	Fraction of Opening Duration	Night 40%	Night 40%	Night 40%	Night 10%	Night 10%	Night 10%	
Climate Boundary Conditions								
	Temperature Diff Interior - Exterior	1	1	1	1	1	1	K
	Wind Velocity	0	0	0	0	0	0	m/s

Note: for summer night ventilation please set a temperature difference of 1 K and a wind velocity of 0 m/s otherwise the cooling effects of the night ventilation will be overestimated!

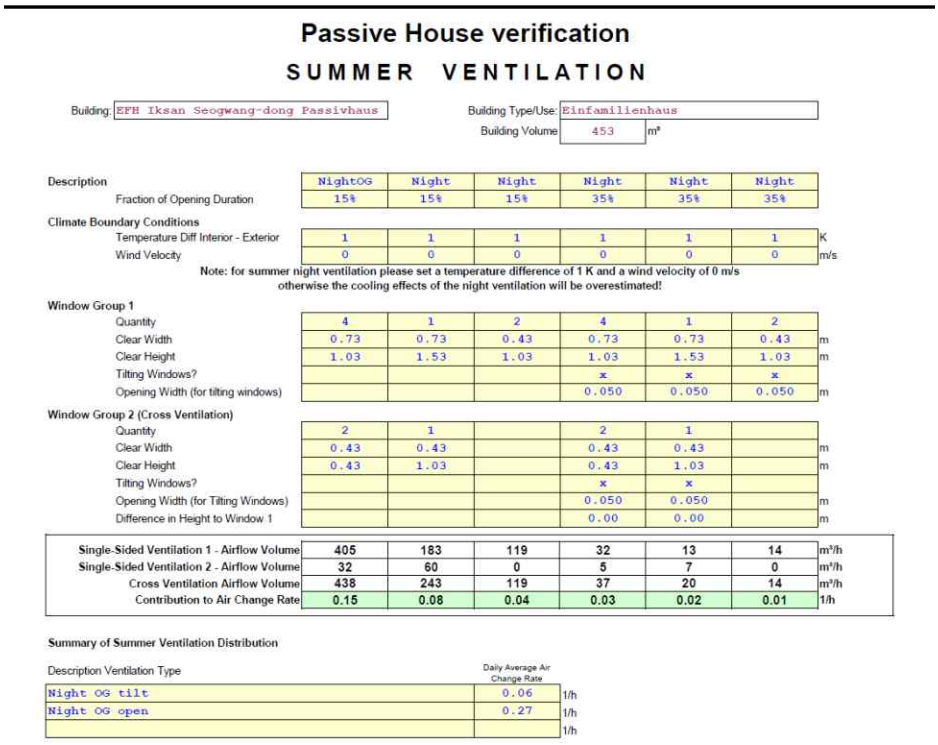
Window Group 1								
	Quantity	4	3	1	4	3	1	
	Clear Width	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	m
	Clear Height	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	m
	Tilting Windows?	x	x	x				
	Opening Width (for tilting windows)	0.050	0.050	0.050				m
Window Group 2 (Cross Ventilation)								
	Quantity	3	1	1	3	1	1	
	Clear Width	0.43	0.73	0.73	0.43	0.73	0.73	m
	Clear Height	1.03	0.73	1.03	1.03	0.73	1.03	m
	Tilting Windows?	x	x	x				
	Opening Width (for Tilting Windows)	0.050	0.050	0.050				m
	Difference in Height to Window 1	0.00	0.00	0.00				m

Single-Sided Ventilation 1 - Airflow Volume	68	51	17	1040	780	260	m³/h
Single-Sided Ventilation 2 - Airflow Volume	21	5	8	179	60	101	m³/h
Cross Ventilation Airflow Volume	89	56	25	1219	840	361	m³/h
Contribution to Air Change Rate	0.08	0.05	0.02	0.27	0.19	0.08	1/h

Summary of Summer Ventilation Distribution

Description Ventilation Type	Daily Average Air Change Rate	
Night tilt	0.15	1/h
Night Open	0.54	1/h
		1/h

[그림3.132] 1층의 여름철 야간 자연환기계획



Passive House verification

SUMMER VENTILATION

Building: EFH Iksan Seogwang-dong Passivhaus
Building Type/Use: Einfamilienhaus
Building Volume: 453 m³

Description								
	Fraction of Opening Duration	NightOG 15%	Night 15%	Night 15%	Night 35%	Night 35%	Night 35%	
Climate Boundary Conditions								
	Temperature Diff Interior - Exterior	1	1	1	1	1	1	K
	Wind Velocity	0	0	0	0	0	0	m/s

Note: for summer night ventilation please set a temperature difference of 1 K and a wind velocity of 0 m/s otherwise the cooling effects of the night ventilation will be overestimated!

Window Group 1								
	Quantity	4	1	2	4	1	2	
	Clear Width	0.73	0.73	0.43	0.73	0.73	0.43	m
	Clear Height	1.03	1.53	1.03	1.03	1.53	1.03	m
	Tilting Windows?				x	x	x	
	Opening Width (for tilting windows)				0.050	0.050	0.050	m
Window Group 2 (Cross Ventilation)								
	Quantity	2	1		2	1		
	Clear Width	0.43	0.43		0.43	0.43		m
	Clear Height	0.43	1.03		0.43	1.03		m
	Tilting Windows?				x	x		
	Opening Width (for Tilting Windows)				0.050	0.050		m
	Difference in Height to Window 1				0.00	0.00		m

Single-Sided Ventilation 1 - Airflow Volume	405	183	119	32	13	14	m³/h
Single-Sided Ventilation 2 - Airflow Volume	32	60	0	5	7	0	m³/h
Cross Ventilation Airflow Volume	438	243	119	37	20	14	m³/h
Contribution to Air Change Rate	0.15	0.08	0.04	0.03	0.02	0.01	1/h

Summary of Summer Ventilation Distribution

Description Ventilation Type	Daily Average Air Change Rate	
Night OG tilt	0.06	1/h
Night OG open	0.27	1/h
		1/h

[그림3.133] 2층의 여름철 야간 자연환기계획

- 주간에는 실내공기온도보다 실외공기온도가 높기 때문에 자연환기를 가급적 피하고, Bypass가 포함된 환기장치를 통해 환기될 수 있도록 계획하였다.

(6) 연간 1차에너지소요량

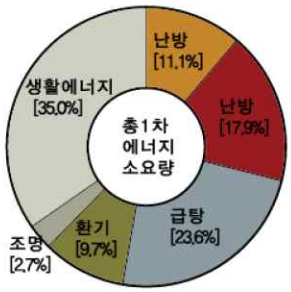
- PHPP 건물에너지성능평가에서 연간 1차에너지소요량은 설비보조전기를 포함한 냉난방에너지, 급탕, 환기, 조명 및 생활에너지를 포함한다.

- 한국형 패시브하우스인증주택의 경우 이 중 난방과 급탕의 경우 COP4.07의 지열히트펌프로 에너지를 사용하고, 냉방은 일반 전기에어컨(COP3.3)을 사용하며, 그 외 LED 및 고효율 조명기기와 고효율 가전제품이 설치되도록 계획하였다. 또한 에너지사용관리 및 모니터링을 위하여 HEMS(Home Energy Management System)을 도입하여 실별 에너지 및 환경모니터링과 제어가 가능하도록 하였다.

- 그 결과 한국형 패시브인증주택의 연간 단위면적당 1차에너지소요량은 89,3kWh/㎡a이며, 이 중 생활에너지의 1차에너지소요량이 31.2kWh/㎡a (35%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 급탕이 21.1kWh/㎡a (24%), 냉방이 16.0kWh/㎡a(18%)로 그 다음을 차지하고 있다. 조명의 경우는 100% LED 및 고효율 조명 사용 및 자연채광의 극대화를 통해 2.4kWh/㎡a (3%)로 최소화 되었다.

[표3.55] 연간 부문별 1차에너지소요량 및 이산화탄소 배출량

	최종에너지 소요량 [kWh/㎡]	1차에너지 소요량 [kWh/㎡]	예상 CO2 배출량 [kg/㎡a]
난방	3.8	9.9	2.58
냉방	6.1	16.0	4.15
급탕	8.1	21.1	5.51
환기	3.3	8.7	2.24
조명	0.9	2.4	0.61
생활에너지	12.0	31.2	8.16



[표3.56] PHPP의 연간 1차 에너지소요량 시트

Passive House verification

PRIMARY ENERGY VALUE

Building: EPH Ikaan Seogwang-dong Passivhaus

Building Type/Use: Einfamilienhaus

Treated Floor Area A_{TFA}: 181 m²

Space Heating Demand incl. Distribution: 10 kWh/(m²a)

Useful Cooling Demand: 20 kWh/(m²a)

		Final Energy kWh/(m²a)	Primary Energy kWh/(m²a)	Emissions CO_2-Equivalent kg/(m²a)
Electricity Demand (without Heat Pump)			PE Value	CO_2-Emissions Factor (CO_2-Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		2.6	680
Direct Electric Heating	$Q_{H,el}$	0.0	0.0	0.0
DHW Production, Direct Electric (without Wash&Dish)	$Q_{DHW,el}$ (DHW+Distribution, Solar DHW)	0.0	0.0	0.0
Electric Post heating DHW Wash&Dish	(Electricity, Solar DHW)	0.0	0.0	0.0
Strombedarf Haushaltgeräte	Q_{HHe} (Electricity worksheet)	12.9	33.6	8.8
Electricity Demand - Auxiliary Electricity		5.0	12.9	3.4
Total Electricity Demand (without Heat Pump)		**17.9**	**46.5**	**12.2**
Heat Pump			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)	100%	kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)	100%	2.6	680
Energy Carrier - Supplementary Heating		Electricity	2.6	680
Annual Coefficient of Performance - Heat Pump	Separate Calculation	4.07		
Total System Performance Ratio of Heat Generator	Separate Calculation	0.33		
Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)	Q_{HP}	10.1	25.5	6.7
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish	(Electricity worksheet)	0.3	0.7	0.2
Total Electricity Demand Heat Pump		**10.3**	**26.8**	**7.0**
Compact Heat Pump Unit			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		2.6	680
Energy Carrier - Supplementary Heating		Electricity	2.6	680
COP Heat Pump Heating	(Compact worksheet)	0.0		
COP Heat Pump DHW	(Compact worksheet)	0.0		
Performance Ratio of Heat Generator (Verification)	(Compact worksheet)			
Performance Ratio of Heat Generator (Planning)	(Compact worksheet)			
Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)	Q_{HP} (Compact worksheet)	0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish		0.0	0.0	0.0
Total Compact Unit	(Compact worksheet)	**0.0**	**0.0**	**0.0**
HP Combination: 2 independent HP for heating and WW see "HP Combi" worksheet			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		2.6	680
Energy Carrier - Supplementary Heating		Electricity	2.6	680
COP Heat Pump for Heating	(Compact worksheet)	0.0		
COP Heat Pump for DHW	(Compact worksheet)	0.0		
Performance Ratio of Heat Generator (Verification)	(Compact worksheet)			
Performance Ratio of Heat Generator (Planning)	(Compact worksheet)			
Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)	Q_{HP} (Compact worksheet)	0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish		0.0	0.0	0.0
Total Combined HP	(Compact worksheet)	**0.0**	**0.0**	**0.0**
Boiler			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		0.2	59
Boiler Type	(Boiler worksheet)			
Performance Ratio of Heat Generator	(Boiler worksheet)	94		
Annual Energy Demand (without DHW Wash&Dish)	(Boiler worksheet)	0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish	(Electricity worksheet)	0.0	0.0	0.0
Total Heating Oil/Gas/Wood		**0.0**	**0.0**	**0.0**
District Heat			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		0.0	0
Heat Source	(District Heat worksheet)			
Performance Ratio of Heat Generator	(District Heat worksheet)	94		
Heating Demand District Heat (without DHW Wash&Dish)	(District Heat worksheet)	0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish	(Heat Meter)	0.0	0.0	0.0
Total District Heat		**0.0**	**0.0**	**0.0**
Other			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
Covered Fraction of Space Heating Demand	(Project)		kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of DHW Demand	(Project)		0.2	59
Heat Source	(Project)	Wood		
Performance Ratio of Heat Generator	(Project)			
Annual Energy Demand, Space Heating		0.0	0.0	0.0
Annual Energy Demand, DHW (without DHW Wash&Dish)		0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish	(Heat Meter)	0.0	0.0	0.0
Non-Electric Demand Cooking/Drying (Gas)	(Heat Meter)	0.0	0.0	0.0
Total - Other		**0.0**	**0.0**	**0.0**
Cooling with Electric Heat Pump			PE Value	CO_2-Emission Factor (CO_2 Equivalent)
			kWh/kWh	g/kWh
Covered Fraction of Cooling Demand	(Project)	100%	2.6	680
Heat Source		Electricity		
Annual coefficient of performance cooling		3.3		
Energy Demand Space Cooling		**6.1**	**16.0**	**4.2**
Heating, Cooling, DHW, Auxiliary and Household Electricity		**34.3**	**89.3**	**23.4**
Total PE Value	**89.3**	kWh/(m²a)		
Total Emissions CO_2-Equivalent	**23.4**	kg/(m²a)		
Primary Energy Requirement	120	kWh/(m²a)		**yes**
Heating, DHW, Auxiliary Electricity (No Household Applications)		**15.0**	**38.4**	**10.0**
Specific PE Demand - Mechanical System	**38.4**	kWh/(m²a)		
Total Emissions CO_2-Equivalent	**10.0**	kg/(m²a)		

나. 열교 시뮬레이션

- 열교부위의 전열해석은 주택에서의 열교를 통한 열손실을 최소화하고 시공 후에 결로 등의 하자 발생을 방지하기 위하여 한국형 패시브인증모형주택의 시공상세를 대상으로 수행하였으며, 시행착오법(trial-and-error)을 통해 해당 열교발생 부위의 선형열관류율을 패시브하우스 수준으로 최소화하도록 하였다.

- 현재 국제 표준기구인 ISO에서 규정하는 열교부위를 통한 열손실 계산방법은 직접 수식을 이용한 계산방법을 규정하는 ISO 10211:2007와 건축물에서 열교가 발생되는 주요부위를 표준화하여 근사값을 통한 열손실을 추정하는 ISO 14683:2007의 두 가지로 나눌 수 있는 데, 본 연구에서는 ISO 10211:2007의 방법을 기준으로 하였다.

- 각 접합부분 상세의 열결합계수 및 선형열관류율, 실내표면온도의 산출은 ISO 10211:2007, EN ISO 10077-2:2012, EN ISO 13788:2001의 기준을 따랐으며, 다음과 같이 정의된다.

- L_{2D} 열결합계수 (Thermal coupling coefficient from two-dimensional calculation. W/mK)는 건축물 구조를 통해 연결된 서로 다른 두 열적 환경 사이에서 단위 온도차당 통과되는 열류율을 의미한다. 열결합계수는 단위 길이당 해당 건축물 구조를 통과하는 열류율을 두 열적환경의 온도차로 나누어 계산할 수 있으며 별도의 열해석 프로그램을 통하여 산출된다.

[표3.57] 열결합계수 산출식

$$L_{2D} = \frac{\Phi_1}{\Theta_i - \Theta_e} \quad \cdots\cdots (2)$$

Φ_1 : 단위 길이 당 열류율 (W/m) Θ_i : 내부 온도 (K) Θ_e : 외부 온도 (K)

- Ψ 선형열관류율 (Psi. Linear thermal transmittance. W/mK)은 정상상태에서 해당 선형열교부위를 통한 단위 길이당, 단위 온도차당 전열량(W/mK)을 뜻하고 2개 이상의 경계조건 (j)에 대하여 다음 식을 통해 산출된다.

[표3.58] 선형열관류율 계산식

$$\Psi = L_{2D} - (\Sigma U_j \cdot l_j) \quad \cdots\cdots (3)$$

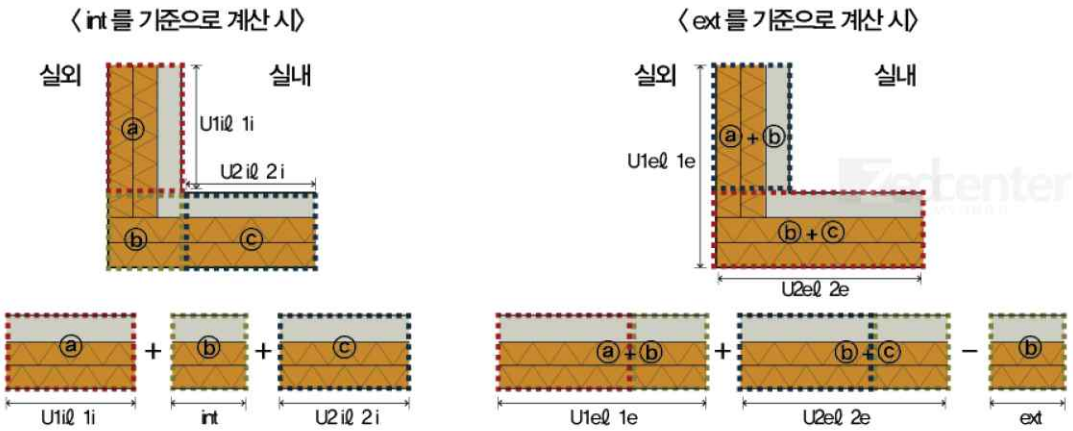
L_{2D} 열 결합계수 (W/m·K) U_j 두 열적 경계조건을 분리하는 1차원 요소 j 의 열관류율 (W/㎡K)
l_j 2차원 모델링에서 Uj값이 적용되는 범위의 길이(m)
f_{Rsi} 실내 표면온도계수(Temperature factor at the internal surface)는 두 가지의 서로 다른 열적환경(외부 및 내부)에서 실내 표면온도와 외부온도와의 차이를 실내온도와 외부온도와의 차이로 나누어 무차원 계수로 표현한 것으로 다음과 같이 계산된다.

[표3.59] 실내 표면온도계수 계산식

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \quad \cdots\cdots (4)$$

Θ_{si} : 실내 표면온도 (K)
Θ_i : 내부 기온 (K)
Θ_e : 외부 기온 (K)

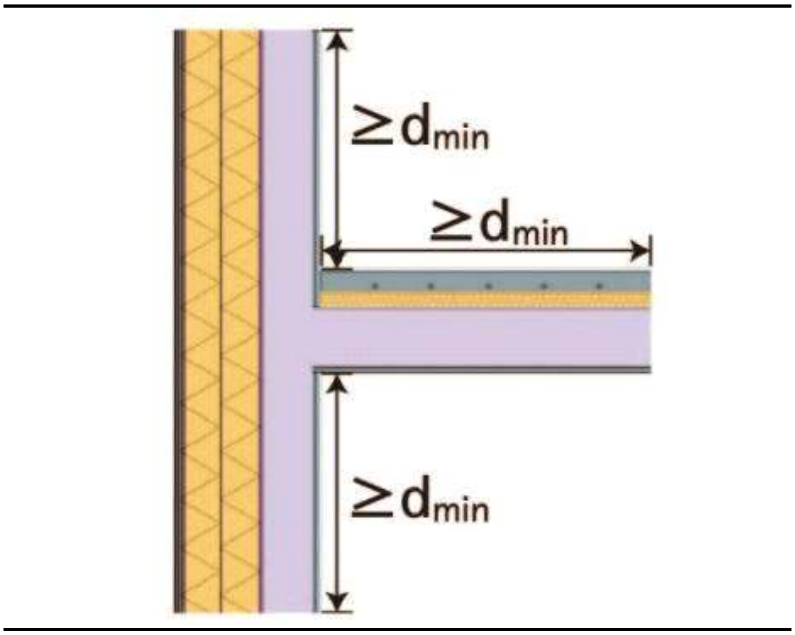
- ISO 10211:2007은 선형열관류율의 정의 시 건축물 내부의 치수와 외부의 치수를 적용한 경우 모두를 허용하고 있으나 본 연구에서는 패시브하우스인증을 목표로 하는 주택을 평가대상으로 하므로 독일 PHI의 에너지 요구량 산출프로그램 PHPP의 기준에 따라 건축물 외부의 치수로 계산하였다. 또한 선형열관류율은 식(3)과 같이 모델링 된 열교부위 전체의 전열량에서 부분 벽체의 열관류율과 그 해당길이의 곱의 합을 뺀 것이므로 그림 1과 같이 내부와 외부치수로 기준을 달리함에 따라 음(-)의 값을 결과로 가질 수 있으며 전도로 인한 열손실량 평가에서 기준치수에 의해 계산된 전도열손실량이 열교부위로 인해 오히려 감소함을 의미한다.



[그림3.134] 내부(左)및 외부(右)치수 기준 시의 선형열관류율 계산

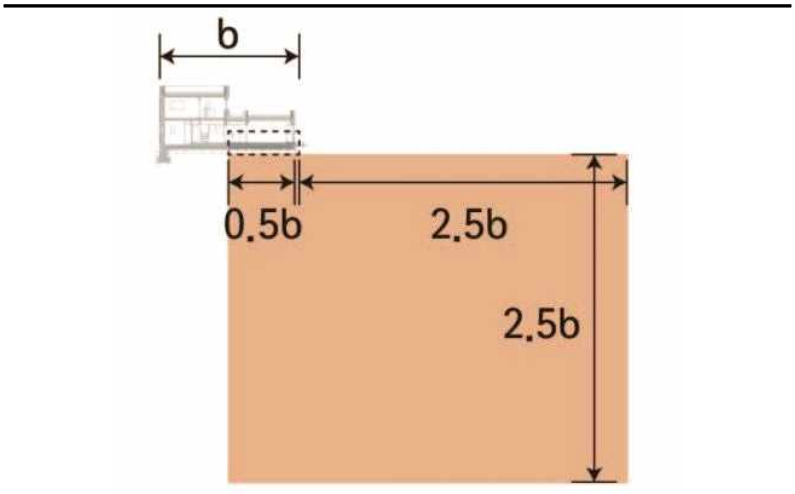
- 2차원 전열해석 시뮬레이션에는 ISO 10211:2007과 EN ISO 10077-2:2012에 대해 입증된 HEAT2 vers. 7.0은 프로그램이 사용되었다.

• 선형열교의 2차원 전열해석을 위한 단면 모델은 ISO 10211:2007의 기준에 따라 전열시뮬레이션 프로그램을 통해 다음 그림 2와 같이 구성되었다. 이 때 dmin은 최소 1m이상 해당 외피구성의 3배 두께로 정한다. 본 연구에서 패시브하우스는 외벽두께가 50cm이상이 되므로 패시브하우스 외피구성의 3배 두께를 기준으로 모델링하였다.



[그림3.135] 2차원 전열해석을 위한 열교부위 모델링조건

• 또한 토양을 매개로 열전달이 일어나는 접지 부분의 단면 역시 ISO 10211:2007에 따라 그림 3과 같이 모델링되었으며 그 경계는 단열경계로 가정되었다.



[그림3.136] 2차원 전열해석을 위한 접지부위 모델링조건

• ISO 13370:2007은 건물의 열적성능평가에서 지중을 통한 열전도를 계산하기 위한 기준을 제공하고 있으며, ISO 10211:2007은 지중접지 부분의 선형열관류율을 계산하기 위하여 산술적인 방법과 추가 전열해석을 이용한 방법의 두 가지 방법론을 제안하고 있다. 본 연구는 외부치수를 기준으로 하므로, ISO 13370:2007와 SO 10211:2007로부터 식(1)~(5)를 사용하여, 전열해석 프로그램을 통해 구해진 L2D값을 기초로 산술적으로 선형열관류율을 계산하는 방법을 사용하였다.

[표3.60] 2차원 전열해석을 위한 접지부위 모델링조건

$$\Psi g = L2D - (hW+hf)\,UW - 0.5 \times (B' + w)Ug \quad \cdots\cdots (1)$$

$$B' = \frac{A}{0.5 \cdot P} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$dt = w + \lambda\,(Rsi + Rfloor + Rse) \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\text{if } dt \geq B',\ Ug = \frac{\lambda}{0.457 \cdot B' + dt} \quad \cdots\cdots (4)$$

$$\text{if } dt < B',\ Ug = \frac{2\lambda}{\pi\ B' + dt}\ \ln\left(\frac{\pi\ B'}{dt} + 1\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

Ψ_g 지중접지부분의 선형열관류율 (W/mK)
L_{2D} 지중접지부분을 통한 열결합계수 (W/mK)
h_W 슬래브와 외벽 접합부에서 모델 경계까지의 벽체 높이 (m)
h_f 지표에서 슬래브표면까지의 높이 (m)
U_W 지상벽체열관류율 (W/㎡K)
B' 특성치수 (m)
A 바닥슬래브의 면적 (㎡)
P 바닥슬래브 둘레의 길이 (m)
w 지상벽체 두께 (m)
d_t 등가두께 (m)
λ 토양의 열전도율 (W/mK)
R_{si} 실내표면열전달저항 (㎡K/W)
R_{floor} 바닥슬래브의 열전달저항 (㎡K/W)
R_{se} 실외표면열전달저항 (㎡K/W)
U_g 바닥 슬래브와 토양의 열관류율 (W/㎡K)

• 본 연구에서 모든 전열해석은 정상상태 (steady-state-condition)를 가정하여 수행되었으며, 전열해석 조건은 패시브하우스 연구소의 기준을 따라 다음과 같이 설정하였다.

[표3.61] 열교부위 전열해석 조건

열교부위	전열해석조건		
실내온도	θ_i	20	° C
외기온도	θ_e	-10	° C
바닥슬래브 하부 3m이하의 지중온도	θ_g	10	° C
실외표면열전달저항계수 (외기)	R_{se}	0.04	(㎡K)/W
실외표면열전달저항계수 (통기층)	R_{se}	0.08	(㎡K)/W
실내표면열전달저항계수, 상승열류	R_{si}	0.10	(㎡K)/W
실내표면열전달저항계수, 수평열류	R_{si}	0.13	(㎡K)/W
실내표면열전달저항계수, 하강열류	R_{si}	0.17	(㎡K)/W
실내표면온도계산을 위한 실내표면열전달저항계수	R_{si}	0.25	(㎡K)/W
최하층 바닥슬래브의 실외표면열전달저항계수	R_{sg}	0.00	(㎡K)/W

• 사용된 건축자재들의 열전도율값은 기본적으로 ISO 10211:2007의 명시대로 ISO 10456의 Table3에 준거하였으나 그 외 재료들은 표5와 같이 DIN Ⅴ 4108-4, SIA D0170의 값을 참조하였다. 특히 단열재의 경우는 분석대상 주택에 실제로 적용되는 자재의 KS기준에 따른 시험성적서를 근거로 열전도율값을 적용하였다.

• 마지막으로 표준형 상세와 패시브하우스 상세의 결로 및 곰팡이 발생가능성은 PHI의 위생기준 중 온도계수기준(실내표면온도계수 fRsi=0.25≥0.7)에 근거하여 평가하였다.

[표3.62] 건축재료별 열전도율

건축재료	열전도율 λ [W/m·K]
시멘트미장[1]	1.000
시멘트모르타르[2]	1.400
철근콘크리트-1%철근[1]	2.300
무근콘크리트[2]	1.400
경량기포콘크리트[5]	0.095
록셀보드[5]	0.036
압출법보온판(XPS)[6]	0.027
폴리우레탄-폼[1]	0.050
EPDM[1]	0.250
네오프렌[1]	0.230
스텐레스 스틸[1]	17.000
화산석타일[1]	3.500
세라믹타일[1]	1.300
경질우레탄보드(PUR)[7]	0.024
진공단열재(VIP)[5]	0.0039
에어로젤[5]	0.019
목재[2]	0.130
아연도금강판[8]	60.000
시멘트블록[3]	0.700
버림콘크리트[2]	1.600
유리[1]	0.800
토양[4]	2.000

[1] ISO 10456 참조

[2] DIN V 4108-4 참조

[3] SIA D0170

[4] ISO 10211 참조

[5] KS L 9016에 의한 실제 적용재료의 시험성적서에 따름.

[6] KS M 3808-11에 의한 실제 적용재료의 시험성적서에 따름.

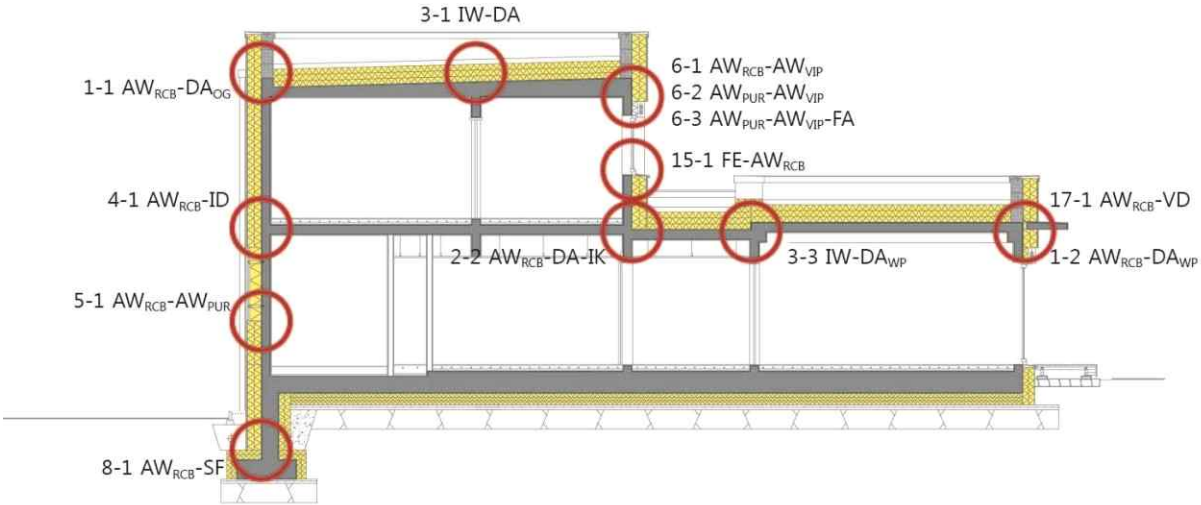
[7] KS M 3809에 의한 실제 적용재료의 시험성적서에 따름.

[8] Starzner, Sepp et al.: Ecobis - Ökologisches Baustoffinformationssystem, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, CD ROM 2000

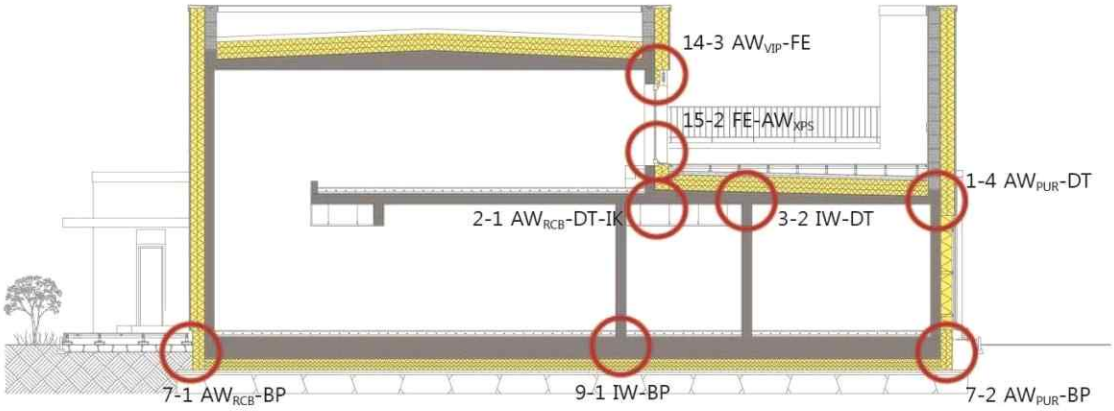
(1) 열교의 정의

- ISO 10211:2007이 정의하고 있는 열교란 일정한 열저항을 가지는 건물 외피 중 현저한 차이를 보이는 부분으로 열물성이 상이한 자재들이 교차하는 부분에서 발생되는 구조적 열교와 열을 빼앗기는 면적과 획득하는 면적 (실내와 외부의 면적)의 차이에 의해 발생하는 기하학적 열교로 나눌 수 있다.

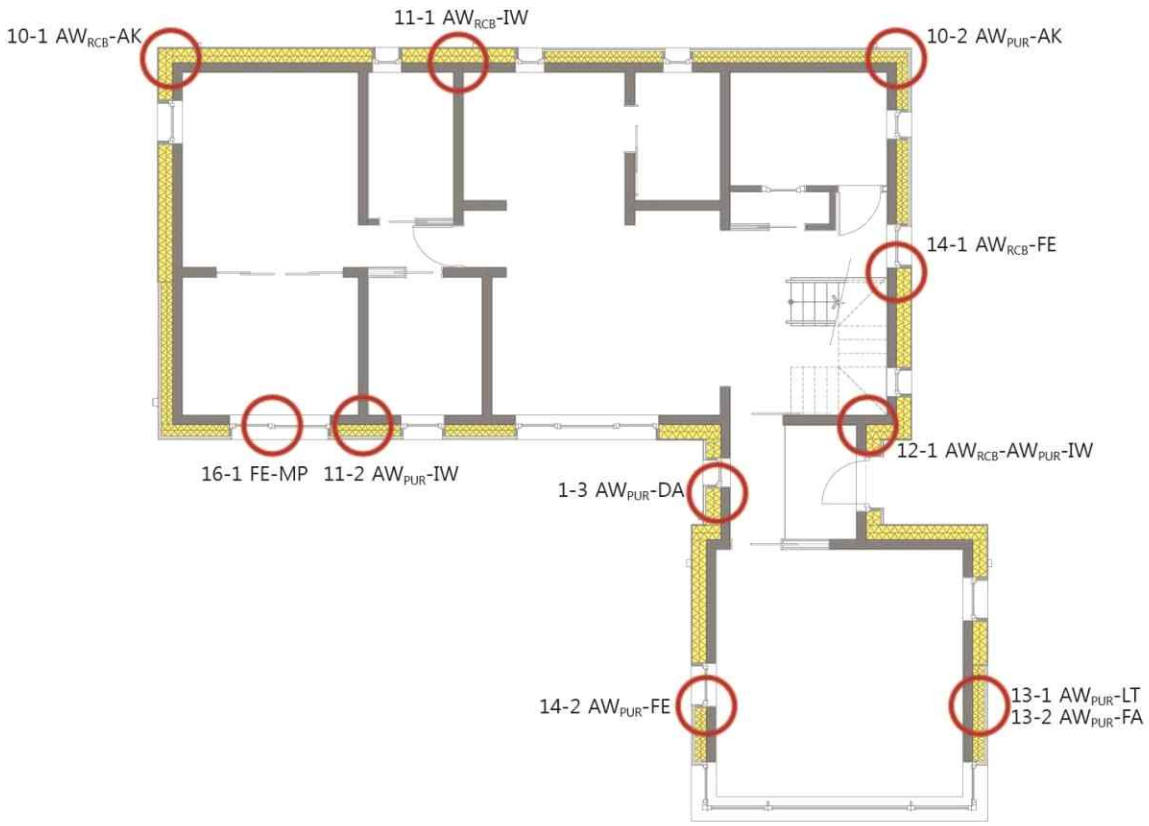
- 또한 열교의 형태에 따라서는 면형열교와 선형열교, 점형열교로 구분되는 데본 프로젝트에서는 PHPP 건축물에너지성능평가상에서 고려되는 선형열교만을 고려하되, 기하학적열교와 구조적 열교를 모두 포함하여 다음의 열교부위에 대하여 전열해석을 수행하였다.



[그림3.137] 단열외피 및 열교의 개요(1)



[그림3.138] 단열외피 및 열교의 개요(2)

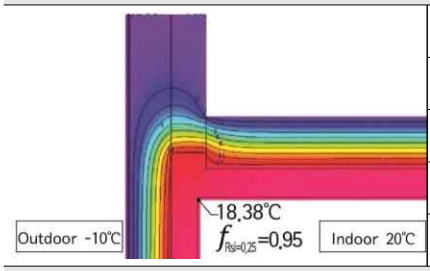
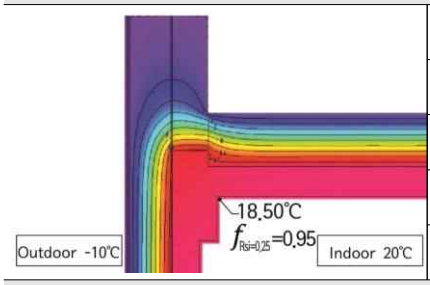
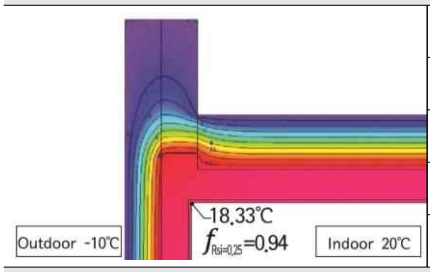
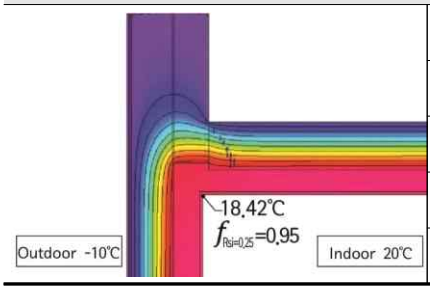


[그림3.139] 단열외피 및 열교의 개요(3)

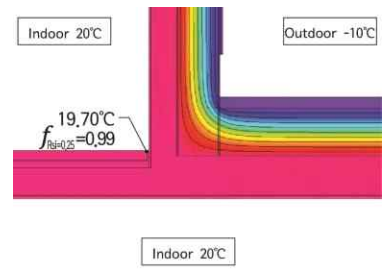
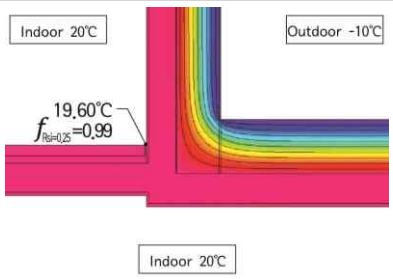
(2) 전열해석 결과 및 평가

- 본 한국형 패시브하우스인증모형 주택에서 각 접합부위의 선형열관류율 및 선형열교길이는 다음 표 x와 같으며, 연간 열교부위에 대한 전열손실량(ΣQt,WB)은 창호의 열관류율에 포함시켜 계산되는 창호 설치 부위의 전열손실량을 제외하고 약 205 kWh/a, 단위 면적당 약 1.1 kWh/㎡a이다.

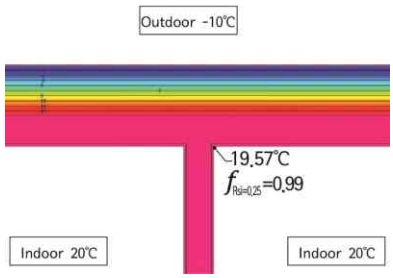
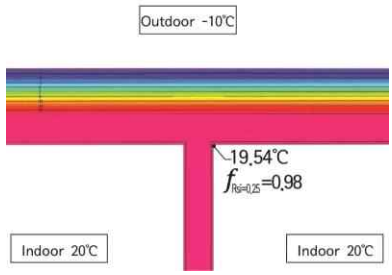
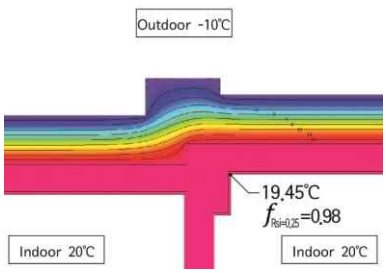
[표3.63] 파라펫 부위 열교시뮬레이션 분석

1-1 : AW_{RCB}-DA_{OG} (옥상 파라펫)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.007	
	선형열교 길이 l (m)	36.28	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.254	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.95	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.38	
1-2 : AW_{RCB}-DA_{WP} (거실 파라펫)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.006	
	선형열교 길이 l (m)	21.24	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.127	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.95	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.50	
1-3 : AW_{PUR}-DA (현관 파라펫)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.010	
	선형열교 길이 l (m)	3.56	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.036	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.94	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.33	
1-4 : AW_{PUR}-DT (테라스 파라펫)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.003	
	선형열교 길이 l (m)	20.02	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-0.060	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.95	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.42	

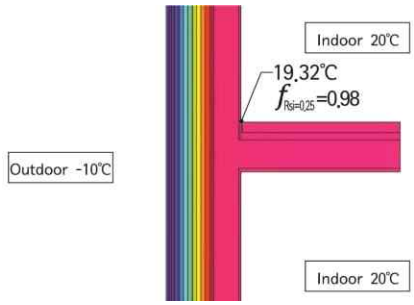
[표3.64] 테라스 오목모서리 부위 열교시뮬레이션 분석

2-1 : AW_{RCB}-DT-IK (테라스지붕과 외벽 오목모서리)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.023	
	선형열교 길이 l (m)	8.22	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.189	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.99	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.70	
2-2 : AW_{RCB}-DA-IK (테라스지붕과 외벽 오목모서리)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.015	
	선형열교 길이 l (m)	3.91	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.059	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.99	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.60	

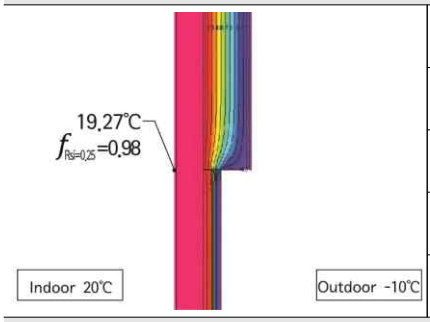
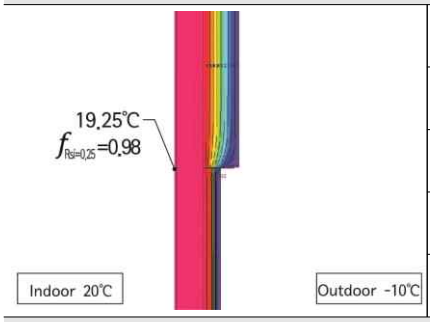
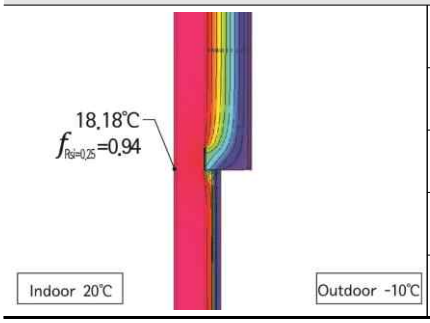
[표3.65] 최상층 슬래브와 내벽 연결부위 열교시뮬레이션 분석

3-1 : IW-DA (옥상지붕과 내벽 접합부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.000	
	선형열교 길이 l (m)	20.16	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.000	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.99	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.57	
3-2 : IW- DT (테라스지붕과 내벽 접합부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.000	
	선형열교 길이 l (m)	15.71	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.000	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.54	
3-3 : IW- DAWP (거실과 현관 사이 지붕 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.006	
	선형열교 길이 l (m)	3.64	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-0.021	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.45	

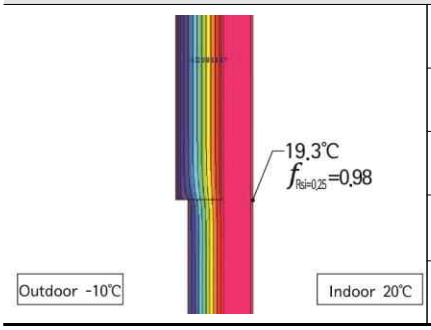
[표3.66] 외벽과 슬라브 연결부위 열교시뮬레이션 분석

4-1 :AWRCB-ID (화산석타일마감 외벽과 2층 바닥슬래브 접합부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.000	
	선형열교 길이 l (m)	20.16	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.000	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.99	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.57	

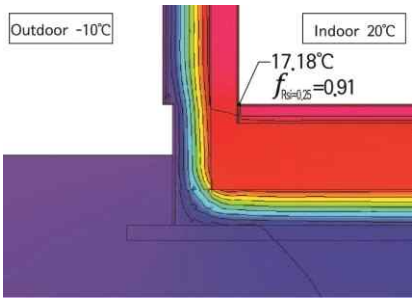
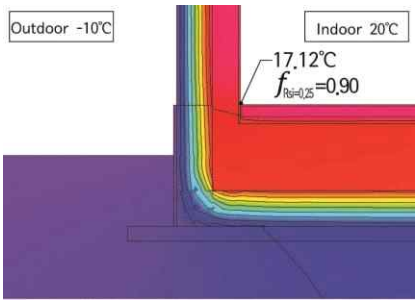
[표3.67] 외부블라인드 설치부위 열교시뮬레이션 분석

5-1 : AWRCB-AWVIP (화산석타일마감과 외부블라인드박스 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.009	
	선형열교 길이 l (m)	29.45	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.265	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.27	
5-2 : AWPUR-AWVIP (적삼목마감과 외부블라인드박스 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.006	
	선형열교 길이 l (m)	7.65	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.046	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.25	
5-3 : AWRCB-AWVIP-FA (화산석타일마감과 외부블라인드박스 연결부위 (앵커철물부위))			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.153	
	선형열교 길이 l (m)	8.10	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	1.239	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.94	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.18	

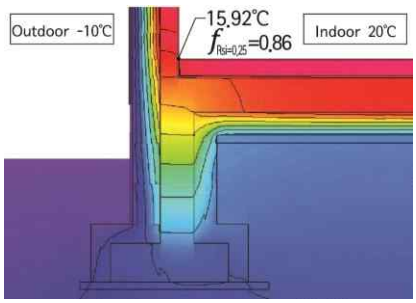
[표3.68] 서로 다른 외장재 연결부위 열교시뮬레이션 분석

6-1 : AWRCB-AWPUR (화산석타일마감과 적삼목 마감 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.001	
	선형열교 길이 l (m)	47.68	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.048	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.3	

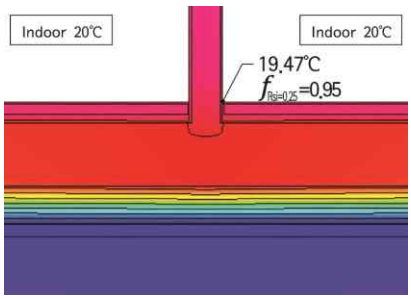
[표3.69] 기초둘레 부위 열교시뮬레이션 분석

7-1 : AWRCB-BP (화산석타일마감 기초둘레)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.023	
	선형열교 길이 l (m)	24.43	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-0.562	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.91	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	17.18	
7-2 : AWPUR-BP (적삼목마감 기초둘레)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.030	
	선형열교 길이 l (m)	30.20	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-0.906	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.90	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	17.12	

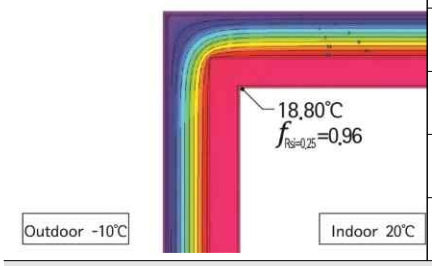
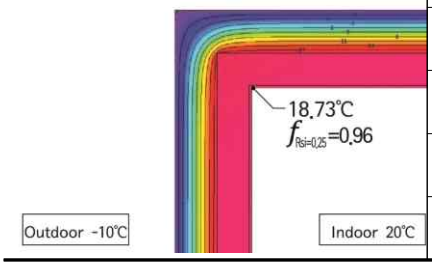
[표3.70] 줄기초 부위 열교시뮬레이션 분석

8-1 : AWRCB-SF (줄기초부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.121	
	선형열교 길이 l (m)	15.82	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	1.914	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.86	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	15.92	

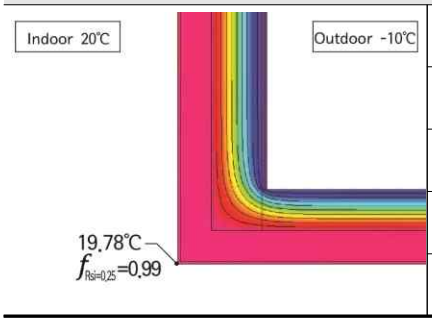
[표3.71] 바닥슬래브 부위 열교시뮬레이션 분석

9-1 : IW-BP (바닥슬래브와 내벽 교차부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.016	
	선형열교 길이 l (m)	35.58	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.569	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.95	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.47	

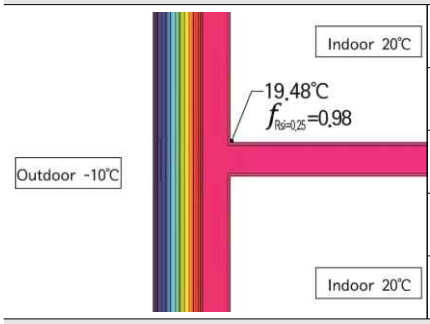
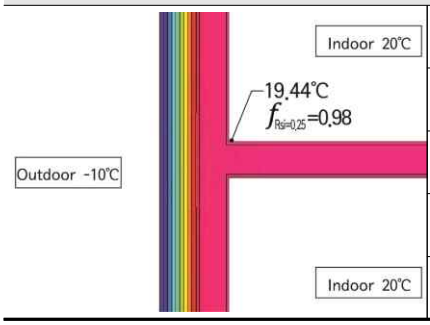
[표3.72] 외벽 볼록모서리 부위 열교시뮬레이션 분석

10-1 : AWRCB-AK (화산석타일마감 외벽 볼록모서리)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.045	
	선형열교 길이 l (m)	34.82	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-1.567	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.96	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.80	
10-2 : AWPUR-AK (적삼목마감 외벽 볼록모서리)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	-0.036	
	선형열교 길이 l (m)	10.30	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	-0.371	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.96	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	18.73	

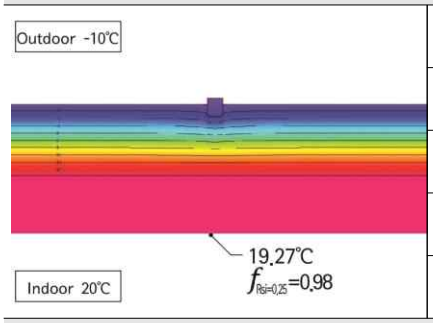
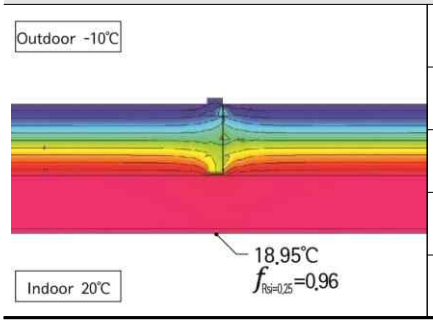
[표3.73] 외벽 오목모서리 부위 열교시뮬레이션 분석

11-1 : AWRCB-AWPUR-IK (외벽 오목모서리)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.017	
	선형열교 길이 l (m)	16.10	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.274	
	실내표면온도계수 f_{Rsi}=0.25	0.99	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.78	

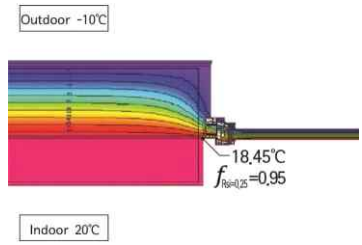
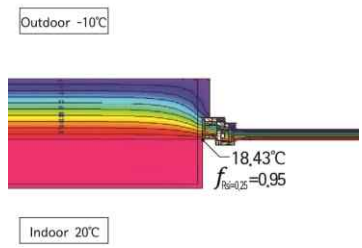
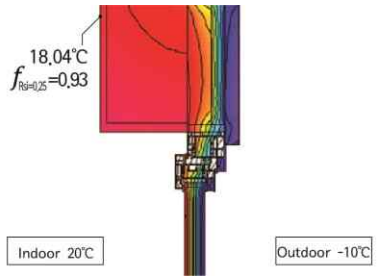
[표3.74] 외벽과 내벽 교차부위 열교시뮬레이션 분석

12-1 : AWRCB-IW (화산석타일마감 외벽과 내벽 교차부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.000	
	선형열교 길이 l (m)	35.55	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.000	
	실내표면온도계수 f_{RSi}=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 $\Theta_{si,\ min}$(K)	19.48	
12-2 : AWPUR-IW (적삼목마감 외벽과 내벽 교차부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.000	
	선형열교 길이 l (m)	9.30	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.000	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 Θsi, min(K)	19.44	

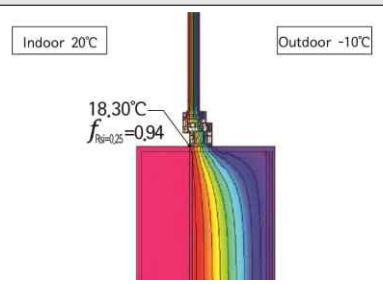
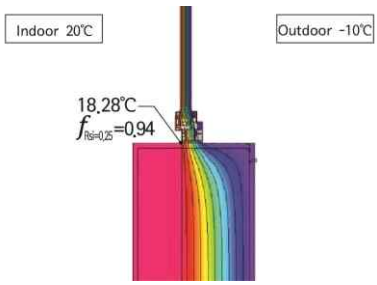
[표3.75] 철물 고정부위 열교시뮬레이션 분석

13-1 : AWPUR-LT (통기파사드 (하지각목부분))			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.001	
	선형열교 길이 l (m)	73.70	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.074	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.98	결로없음
	실내표면최저온도 Θsi, min(K)	19.27	
13-2 : AWPUR-FA (통기파사드 (하지철물부분))			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.039	
	선형열교 길이 l (m)	7.38	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.288	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.96	결로없음
	실내표면최저온도 Θsi, min(K)	18.95	

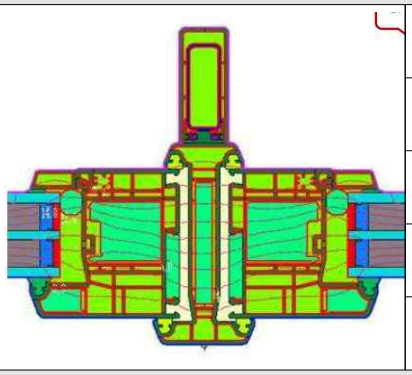
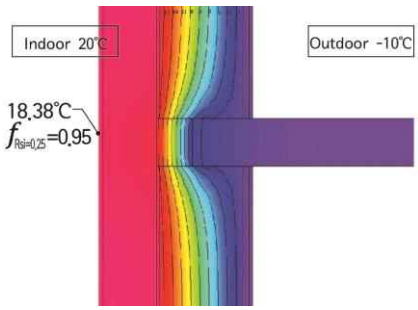
[표3.76] 창호 접합부위(1) 열교시뮬레이션 분석

14-1 :AWRCB-FE (창호 화산석타일마감 외벽설치)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.010	
	선형열교 길이 l (m)	32.80	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.328	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25		결로없음
	실내표면최저온도 θsi, min(K)		
14-2 : AWPUR-FE (창호 적삼목마감 외벽설치)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.007	
	선형열교 길이 l (m)	37.80	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.265	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25		결로없음
	실내표면최저온도 θsi, min(K)		
14-3 : AWVIP-FE (창호 블라인드박스 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.004	
	선형열교 길이 l (m)	30.25	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.121	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25		결로없음
	실내표면최저온도 θsi, min(K)		

[표3.77] 창호 접합부위(2) 열교시뮬레이션 분석

15-1 : FE- AWRCB (창호하인방 화산석타일마감 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.019	
	선형열교 길이 l (m)	15.30	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.291	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.94	결로없음
	실내표면최저온도 θsi, min(K)	18.30	
15-2 : FE- AWXPS (창호하인방 XPS기초둘레 연결부위)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.018	
	선형열교 길이 l (m)	16.15	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.291	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.94	결로없음
	실내표면최저온도 θsi, min(K)	18.28	

[표3.78] 기타 부위 열교시뮬레이션 분석

16-1 : FE-MP (창호 보강바)			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.046	
	선형열교 길이 l (m)	10.50	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	0.483	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25		결로없음
	실내표면최저온도 Θsi, min(K)		
16-2 : AWRCB-VD (거실 캐노피(Isokorb))			
	선형 열관류율 Ψ(W/mK)	0.118	
	선형열교 길이 l (m)	13.11	
	열교로 인한 열 손실 Ψ * l(W/K)	1.547	
	실내표면온도계수 fRsi=0.25	0.95	결로없음
	실내표면최저온도 Θsi, min(K)	18.38	

- 한국형 패시브하우스인증모형 주택의 전열해석 결과, 외단열의 경우 대부분의 상세에서 단열재의 연속성만 유지되면 독일패시브하우스 인증기준의 “열교없는 상세” 기준인 선형열관류율 $\Psi \leq$ 0.01W/mK을 만족시킬 수 있는 것으로 보인다.

- 다만 본 인증모형 주택에서는 외피의 오목모서리에서 발생하는 기하학적열교와, 앵커철물 설치부분, 줄기초부분, 바닥슬래브와 내벽교차부위, 거실 캐노피의 돌출캐노피 부분, 창호하인방, 창호보강바부분 등의 구조적열교부위에서 열교를 패시브하우스 기준까지 최소화할 수 없었다.

- 이중 내벽과 바닥슬래브 교차부위의 경우 바닥충격음 완충재로 압출법보온판이 사용됨에 따라 내단열의 경우처럼 내벽부분에 열관류율 차이가 생겨 선형열관류율값이 크게 나오는 편임을 알 수 있다.

- 또한 창호 하인방의 경우는 창호 좌우 및 상인방과 달리 빗물받이 설치로 인해 창틀 주변에 단열재를 추가로 덮어 시공하기 어려워 열교를 최소화할 수 없었다.

- 그 외 외피의 오목모서리, 줄기초, 앵커철물, 캐노피, 창호 보강바 등은 본 한국형 패시브하우스인증모형 주택의 대지 상황 및 디자인에 따라 불가피하게 발생하였으며, 열교최소화를 위해서는 디자인 변경이 전제되는 부분이다.

- 열교 부위별로 선형열관류율이 높은 부위는 줄기초부위(0.121 W/mK), 블라인드박스 설치 앵커철물 부분(0.153 W/mK), 거실 캐노피부분(0.118 W/mK), 창호보강바(0.0.46 W/mK), 건식파사드 철물(0.039 W/mK) 순이나, 열교부위를 통한 전열손실량이 많은 부위는 거실 캐노피(1.547 W/K), 외부블라인드박스 설치 앵커철물 부분(1.239 W/K), 줄기초부분(0.937 W/K), 옥상 파라펫둘레(0.254 W/K), 테라스지붕과 2층 외벽의 오목모서리(0.189 W/K) 순으로 나타났다. 이러한 차이는 선형열관류율로 인한 열손실이 선형열관류율 자체에도 영향을 받지만 선형열교가 나타는 길이에도 영향을 받기 때문이다. 특히 옥상 파라펫 둘레 부분의 경우는 선형열관류율이 낮지만, 열교 길이가 길어 총 전열손실량이 많은 경우이며, 외부블라인드박스 설치 앵커철물 부위는 열교길이는 상대적으로 짧지만, 선형열관류율이 높아 전열손실량이 큰 경우이다. 또한 줄기초 부분의 경우는 열교 길이도 상대적으로 길고, 선형열관류율도 높지만, 지중접지 부분이므로 보정계수 적용에 따라 전열손실량이 상대적으로 적어진 경우이다.

- 한국형 패시브하우스 인증모형 주택의 전열해석결과, 모든 경우에서 실내표면온도계수가 $f_{Rsi} = 0.25 > 0.90$으로 나타나 PHI의 한랭온대기후에서의 위생기준($f_{Rsi} = 0.25 > 0.70$)을 만족시켰으며, 패시브하우스에서 곰팡이 및 결로발생가능성이 배제되고 건축물 실내환경 개선에 기여됨을 보였다.

(3) 열교부위를 통한 연간 열손실량

- 본 한국형 패시브하우스 인증모형 주택에서 PHI기준에 따라 선형열교가 발생한 부분(선형열관류율 Ψ > 0.01 W/mK)만을 PHPP 건축물 에너지성능평가에 반영하였을 경우 열교를 통한 전열손실량은 5.4W/K로 전체 전열손실량의 약 5.4%를 차지하였으며, 모든 열교발생가능범위에 대한 전열해석 결과를 PHPP 건축물 에너지성능평가에 반영하였을 경우는 열교를 통한 전열손실량이 3.4 W/K로 전체 전열손실량의 3.5 %를 차지하였다. 또한 두 가지 계산방식에 따른 연간 단위면적당 난방에너지요구량은 각각 10.2 kWh/㎡a, 9.5 kWh/㎡a로 나타났다.

- 본 프로젝트에서의 전열해석을 통한 연구결과, 주요 열교 최소화 방안은 다음과 같다.

- 열교가 거의 없는 패시브하우스 상세의 경우 지붕 파라펫, 기초 줄기초와 같이 단열외피로부터 돌출되어 그 열손실 양이 큰 부위는 돌출된 부분을 끊어 단열외피의 길이를 최소화하는 것이 가장 좋으며 차선의 방법으로 가급적 돌출부위를 통해 단열외피의 연속성을 확보하도록 단열재를 돌출부위 전체에 설치하는 것이 중요하다. 또한 일단 돌출되는 부위가 발생했을 경우 최적화하기 어려운 경우가 많으므로 계획설계 시에 돌출부위가 최소화하도록 하는 것도 필요하다.

- 기하학적 열교의 경우에는 단열외피가 끊어지지 않도록 외단열로 하고 패시브하우스 수준으로 단열재의 두께를 증가시키면 열교로 인한 추가적인 열손실은 최소화된다. 다만 건물의 요철이 있는 경우 기하학적 열교의 경우라도 PHI의 선형열관류율기준을 모두 만족시키기는 어렵다.

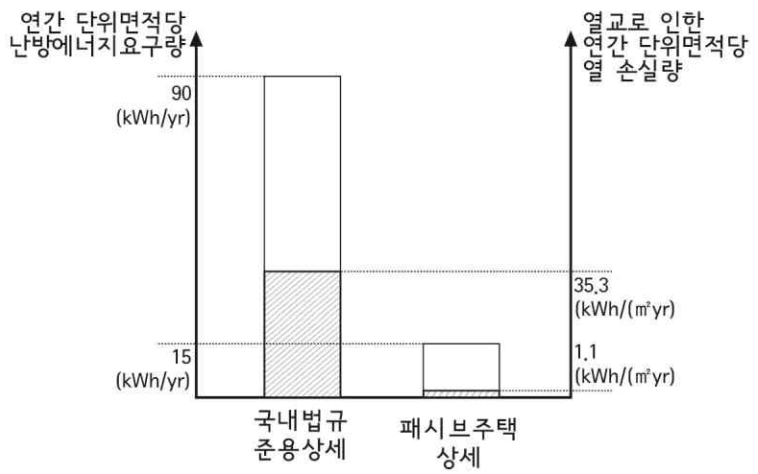
- 창호 부분의 경우 창호가 단열외피선에 위치하도록 하는 것이 중요하며 창틀 외부 둘레로 단열재가 덮이도록 설치하면, 창틀 설치 부분에 발생하는 열교를 최소화 할 수 있다. 또한 여름철 냉방부하를 최소화하기 위해 설치되는 외부차양은 주요 열교 부위가 될 수 있으므로 단열외피가 끊기지 않도록 신중한 상세 설계가 요구된다. 본 연구에서 도입된 열전도율이 매우 낮은 VIP 진공단열재와 같은 자재의 적용도 고려할 수 있다.

- 전열해석결과, 구조적 열교의 경우 같은 조건에서 단열재 두께가 증가할수록 선형열관류율이 증가하는 경향이 있으므로 건축물 에너지성능이 향상될수록 열교에 대한 조치가 중요해지는 것으로 보인다.

- 결로나 곰팡이 발생 가능성은 외단열에서 단열재가 연속적으로 설치되었을 때는 그 위험이 거의 최소화되는 것으로 나타나 외단열 상세개발이 중요함을 보인다.

- 마지막으로 본 프로젝트의 전열해석결과를 동일한 주택의 조건에 단열재의 두께를 현행 국내법규(“건축물의 에너지절약설계기준(국토해양부고시 제 2013-149호)) 기준으로 적용하고, 건축법 제23조 4항에 의거 별도의 허가 없이 신고를 통하여 착공할 수 있도록 고시한 표준설계도서 중 하나인 철근

콘크리트 구조의 농어촌주택 표준설계도서 농림-09-41-나, 농림-12-20-가의 참조하여 작성한 상세를 바탕으로 시행한 국내법규 준용 상세의 전열해석 결과와 비교했을 때, 국내법규 준용 상세의 경우 선형 열교부위를 통해 연간 6392.1 kWh/yr, 단위 면적당 약 35.3 kWh/㎡yr의 열손실이 계산된 반면, 열교 최소화작업을 수행한 패시브하우스 상세에서는 연간 약 203.9 kWh/yr, 단위 면적당 약 1.1 kWh/㎡yr의 수준까지 열교로 인한 열손실이 감축되었음을 볼 수 있었다. 이 때 국내법규 준용 상세에 대한 열교부위 절감량 약 34.2 kWh/㎡yr은 패시브하우스의 난방에너지요구량 연간 단위면적당 15 kWh/㎡yr의 두 배에 해당하므로 열교를 최소화하는 것이 패시브하우스와 같은 초에너지절약형 주택설계에 전제되어야 함을 알 수 있었다.



[그림3.140] 기존 국내 표준형 상세와 개선된 패시브상세의 선형열교를 통한 연간 열손실량($Q_{t,WB}$) 및 연간 단위면적당 열손실량

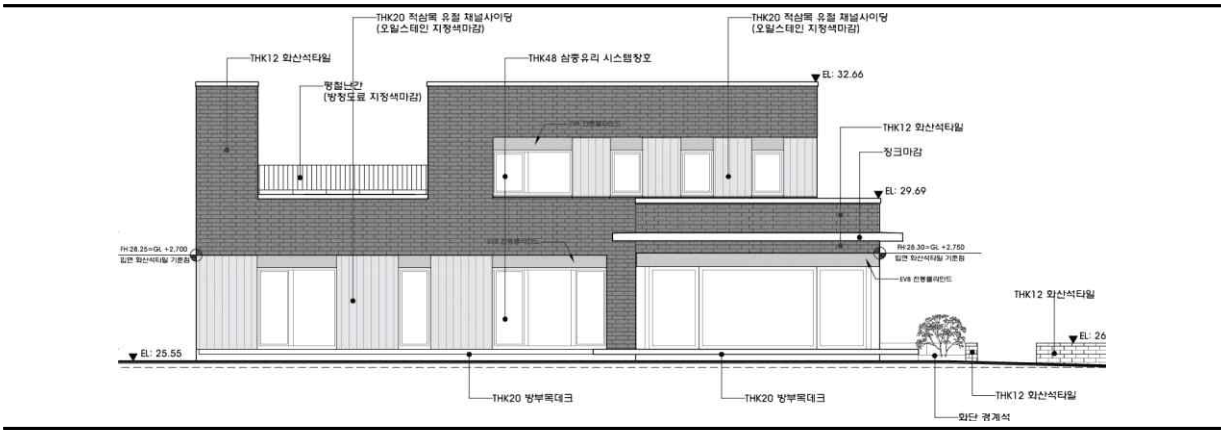
5. 한국형패시브하우스 인증모형 실현

가. 외단열 시공

(1) 외단열 벽체 시공

(가) 벽체유형(1) (화산석 타일마감)

• 벽체유형(1)은 대부분의 벽체를 구성하고 있으며 탄산칼슘계 단열재를 외단열로 부착하고 습식으로 외장을 타일로 마감한 외단열 외장마감(EIFS)의 유형이다.



[그림3.141] 벽체유형(1) 구성

• 해당 유형 벽체를 구성하기 위한 목표는 다음과 같다.
  - 질감을 살릴 수 있는 다양한 입면 디자인 재료 이용
  - 패시브하우스 수준을 만족시키는 열관류율
  - 열교 최소화
  - 불연성
  - 비용효율성

• 해당 유형 벽체의 특징은 다음과 같다.
  - 벽체유형(1)은 탄산칼슘계 단열재를 활용한 습식 외장 마감구성이다. 마감재는 기존에 패시브하우스에 많이 사용하는 화산석타일을 부착하였으며, 탄산칼슘계와 압출법 단열재의 복합 단열재를 사용함으로써 부착성을 높이고 불연성과 낮은 열관류율을 확보하였다.
  - 단열재로 사용된 무기질의 탄산칼슘계단열재는 독립기포구조를 가진 저밀도 발포체로서 단열성능뿐만 아니라 불연, 방수, 방습, 내구성이 좋다. 또한 접착형 단열재로 시공성이 좋으며, 외장재마감도 부착이 가능하여 열교방지가 용이하다. 또한 거푸집 겸용 시공방법 또는 접착공법을 통해 공기 단축에 따른 비용을 최소화할 수 있다.

• 탄산칼슘계 단열재의 특징은 다음과 같다.

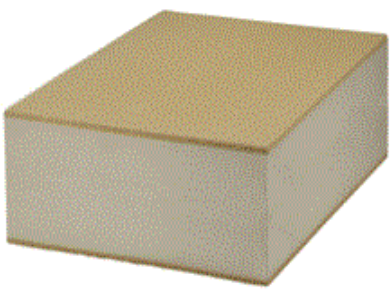
[표3.79] 탄산칼슘계 단열재의 특징

구 분	내 용
내구성	탄산칼슘의 막으로 독립기포구조로서 열이나 광, 물, 산소, 이산화탄소등에 기인하는 열화가 적어 일반적인 플라스틱계 단열재의 단점인 경시현상이 적으므로 단열성능이 장기간 지속됨
불연성	무기질의 탄산칼슘이 주원료로 불에 강하며 연소되지 않고 유해가스가 발생하지 않음
단열성	완전 독립기포 구조의 저밀도 발포체로 기포내 공기를 함유하고있어 전도율값이 낮고 단열성능이 있음
접착성	탄산칼슘계는 콘크리트와 이산화탄소가 반응하여 생성되는 화합물로서, 몰탈, 콘크리트, 플라스터 등과의 접착성이 있으며, 화학적으로 안정되어 열화가 없음. 또한 단열재의 점탄성으로 떨어짐 현상이 적음.
방수/방습	독립기포 구조로 흡수 또는 흡습이 없으며, 구조체와 직접 전면 접착되므로 내부에 생길 수 있는 결로 및 곰팡이의 발생도 없음
내동해성	-20도, +10도가 반복되는 가혹한 조건의 500회 사이클 테스트에서도 부착력이 그대로 유지되었음
가공성	무게가 가벼우며, 칼이나 톱에의한 전단이 용이함. 또한 70도 정도열을 가하면 구부림, 곡면, 요철가공도 쉽게 할수 있음
의장성	타일마감, 석재마감, 도장마감 등 다양한 마감이 가능하며, 신축으로 인해 외장재가 떨어질 염려가 없음

• 적용된 단열재는 탄산칼슘계단열재와 압출법단열재가 복합으로 이루어져 두 개 단열재의 장점을 취하고 단점을 보완 할 수 있다. 플라스틱 재료인 압출법 폴리스티렌폼판의 방화성이 열악하고, 열, 빛 등에 기인하는 재료 열화를 탄산칼슘단열재로 보완하였다. 이는 판간 실링이 필요 없고 보수성, 의장성이 향상되며, 콘크리트 벽체와 접착력이 좋아 앙카볼트로 인한 보수도 불필요하다.



[그림3.142] 화산석타일



[그림3.143] 탄산칼슘계단열재(상하)와 xps(중앙)로 구성된 복합단열재

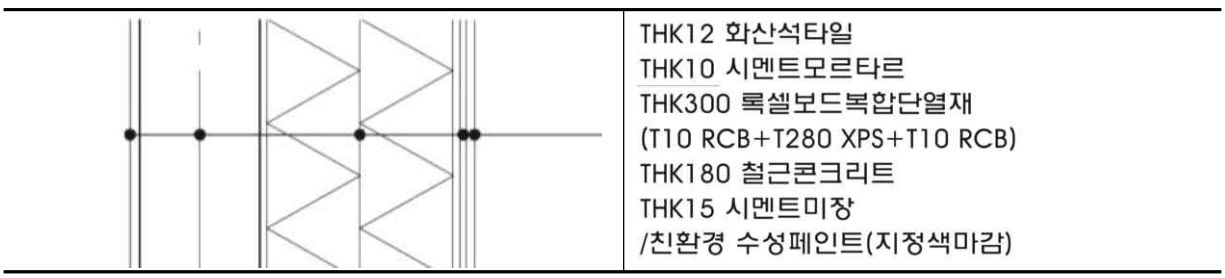
• 탄산칼슘계 단열재의 물리화학적 특성

[표3.80] 탄산칼슘계 단열재의 물리화학적 특성

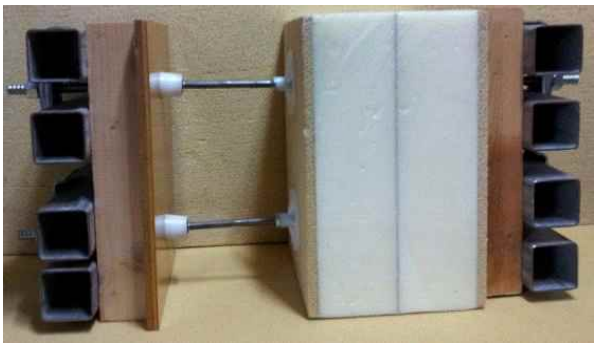
단열재의 성능 요소	성능치
열전도율 W/mk	0.036
투습계수(25) ng/㎡sPa	31
흡수량 g/100c㎡	2.0 이하
강도 kgf/c㎡	압축강도 1.8 인장강도 5.8 굽힘강도 5.1 굽힘탄성율 233
균등분포하중에 견디는 정도 ton/㎡	18
밀도(kg/㎥)	70
열용량	
내화성능	준불연재
내열온도(안전사용 온도)	100도 이상
산화	산화현상 없음
습기·기상·외부환경에 견디는 정도?	독립기포 구조로 매우 높음
환경친화성	환경무해함

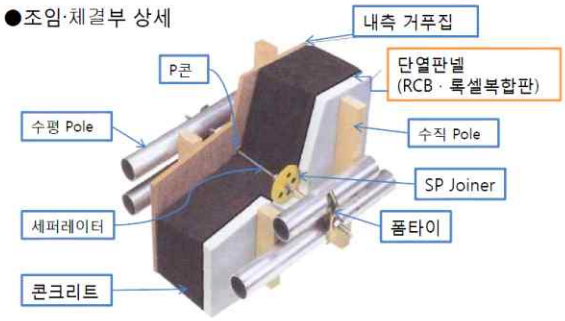
• 벽체구성 및 공법

- 단열재의 두께는 양 끝에 탄산칼슘계 단열재 10mm와 중간에 280mm 압출법 단열재를 부착하여 총 300mm로 구성되었으며, 접착성 시멘트 모르타르로 화산석타일을 부착하였다.



[그림3.144] 벽체 구성 디테일



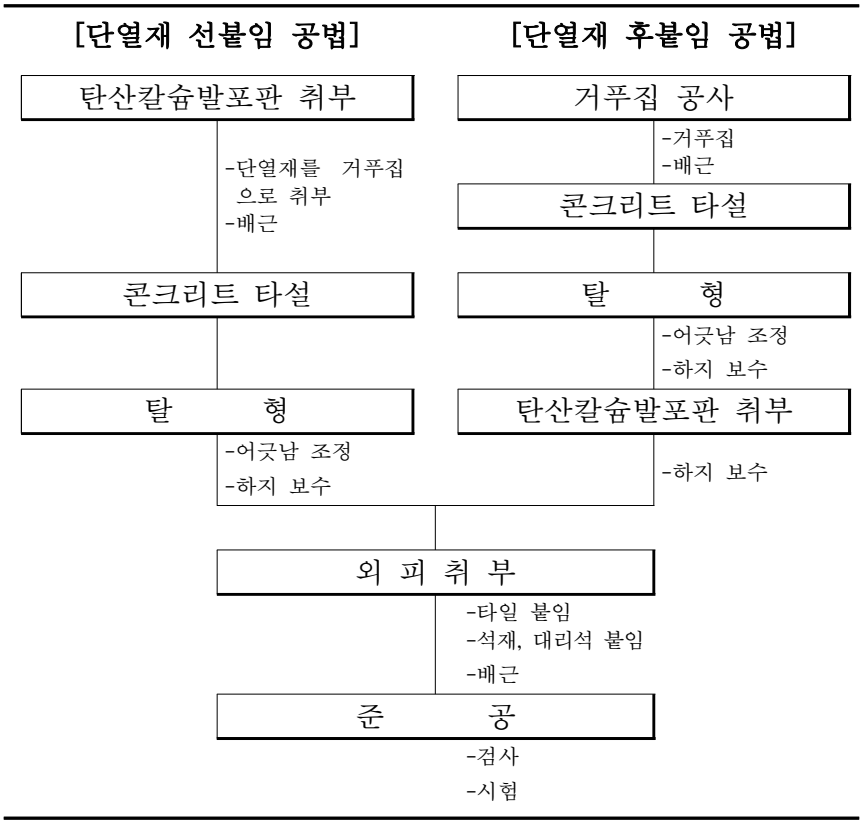


[그림3.145] 벽체구성 디테일

• 단열재 선붙임 & 후붙임 공법

- 록셀보드를 활용하여 선붙임을 실시하였으며 흐름도는 다음과 같다.

[표3.81] 단열재 선붙임 및 후붙임 공법 흐름도



• 선붙임공법의 장점 및 단점은 다음과 같다.

[표3.82] 선붙임공법의 장점 및 단점

타설 부착	장점	- 거푸집 대신 단열재를 바로 부착하여 벽체를 세움으로써 단열재 후부착으로 인한 추가 공정을 단축 할 수 있다. - 벽체와 단열재의 일체화가 이루어져 열교를 최소화 할 수 있다. - 벽체와 단열재의 일체화 이루어져 단열 성능을 높일 수 있다.
	단점	- 창호설치용 외부 브라켓 설치 부분, 거푸집 폼타이 제거후 단열재추가공정으로 인한 비용 발생한다. - 후붙임 공법보다는 단열재 부착 후 외장마감 부착 공정 까지의 기간이 길어져 현장에서의 단열재 손상이 있을 수 있다.

• 구체적으로 선붙임공법의 표준시공은 다음과 같다.

[표3.83] 선붙임공법의 표준시공

1. 기준 먹줄치기
2. 단열판넬 세로줄눈부에 각재 고정
3. 단열판넬 세우기
가. 판넬 절단 가공
나. Seperater 구멍 가공
다. SP Joiner, 축볼트 셋
라. 각재 본체에의 판넬 가고정
마. 줄눈 백업재의 셋
4. 개구부 프레임 취부
5. 벽배근 - 내측거푸집 - 슬라브 거푸집 - 슬라브 배근
6 단열판넬 본 조임
7. 상단부 통로 및 수직정도의 확인
8 콘크리트 타설

• 선붙임공법의 시공사진은 다음과 같다.



[그림3.146] 내측거푸집 설치



[그림3.147] 외측거푸집(단열재)



[그림3.148] 외측거푸집(단열재) 틈새시공



[그림3.149] 폼타이 설치



[그림3.150] 외측거푸집 완성



[그림3.151] 상층부 철근 배근



[그림3.152] 콘크리트 타설



[그림3.153] 단열재+벽체 완성

• 후 붙임 공법

- 일부분은 일반적인 단열재 후부착 공법을 사용하였으며, 장점 및 단점은 다음과 같다.

[표3.84] 후 붙임 공법

후 붙임 공법	장점	- 구조체 외부에 평철 시공이 용이하다.
	단점	- 벽체 평활도 요구되며, 외부 거푸집 설치 및 철거기간과 추가적인 단열재 부착시간이 필요하다.

• 후붙임공법의 시공요령(사례: 노원에코센터, 설계:(주)제드엠제이건축사사무소)은 다음의 흐름에 따른다.

[표3.85] 후 붙임공법의 시공요령

1. 콘크리트 보수 : 보수 모르타르로 콘크리트 타설 불량개소를 적절히 보수
2. 콘크리트 구조체 모르타르 어긋남 조정 : 모르타르, 프라이머, 혼화재 등으로 구조체의 어긋남을 조정하면서 모르타르 하지가 수직, 수평이 되도록 한다. 평탄도는 1m에 10mm이하이다.
3. 모르타르 양생, 보수 : 모르타르 건조양생 기간을 확보하여 적절히 양생한다. 크랙 등의 하자가 발생한 경우 시멘트 페이스트 등으로 보수(모르타르의 접착강도가 적절한지 인장시험을 거침)
4. 단열재 자르기 : 현장에서 단열재 자름이 필요한 경우 실시한다.
   1) 탄산칼슘계 단열재 부분을 커터기로 칼집을 낸다
   2) 니크롬 히터로 xps를 자른다.
   3) 단열재 사이즈는 길이 600mm * 폭 900mm 이하로 한다.
5. 단열재 압착 : 접착제는 미장 흙손으로 단열재 전면에 발라서 균일하게 도포한다. 빗살무늬 흙손을 사용하여 무늬를 넣고 단열재를 접착가능시간 안에 접착한다. 접착이 골고루 이루어지도록 두드림목으로 잘 눌러 압착한다.



[그림3.154] 벽체 완성 후 단열재 부착



[그림3.155] 단열재 틈새 시공



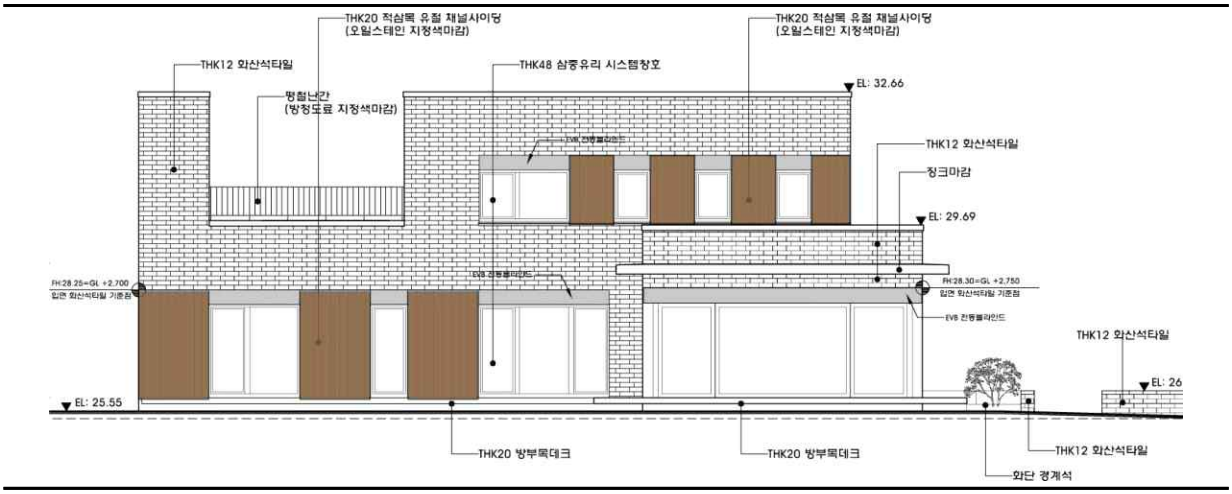
[그림3.156] 단열재 부착 및 화스너 고정



[그림3.157] 평활도 작업 및 외장재 부착

(나) 벽체유형(2) (적삼목 마감)

• 두 번째 유형은 일반벽체보다 다른 구성을 하여 다양한 입면디자인을 갖기 위해 설계되었다. 단열재는 경질폴리우레탄이 사용되었으며, 건식으로 외장을 마감하였다.



[그림3.158] 벽체유형(2) 구성

• 해당 유형 벽체를 구성하기 위한 목표는 다음과 같다.
  - 다양한 입면 디자인 및 재료 이용
  - 상대적으로 낮은 열전도율의 단열재
  - 열교 최소화
  - 통기층 필요

• 해당 유형 벽체의 특징은 다음과 같다.
  - 벽체유형 2는 L형 철물을 사용하여 목재사이딩을 걸고 화산석 타일이 아닌 나무 재질의 마감재를 사용하였다. 벽체유형1에 비하여 단열재 두께가 얇아져야 전체적인 마감면을 일정하게 유지할 수 있기 때문에 열전도율이 낮은 경질 폴리우레탄을 사용하였다.
  - 적용된 건식 파사드는 환기가 되는 통기 파사드로 구성하여 습기로 인한 목재 사이딩의 뒤틀

림을 방지하고 단열재의 통풍도 가능하도록 하였다. 또한 최적화된 구조계산을 통해 외단열 뒤 구조체에 부착되는 L형 철물의 개수를 최소화 하였으며 아연도철물 대신 스테인리스를 이용하고 에어로젤을 절연체로 사용함으로써 열교를 방지하였다.

- 사용된 경질 우레탄 폼의 특성은 자체 단열성, 경량성, 완충성 등의 성질을 활용하여 다른 재료를 보완하여 단열재, 경량구조재, 완충재 등으로 광범위하게 사용되고 있으며 단열재로서의 응용이 전체 80~90%를 점유하고 있다. 또한 150도의 고온 영역으로부터 인공위성 발사로켓의 연료탱크(-235도) 와 같은 극 저온 영역까지 광범위한 온도영역에서 사용할 수 있는 유일한 단열재이다.
- 보통 국내에서는 공장의 판넬건물로 조립식 판넬에 많이 사용되고 있으며, 스프레이 형태로 건축물 모든 부분의 시공적인 문제로 단열이 끊긴 부분이나 구멍이 나있는 부분을 충진 하는데 사용된다.
- 그러나 경질 폴리우레탄 보드는 가연성이기 때문에 다른 첨가제 및 물리적인 설계를 통해 화재 성능을 이끌어내야 한다. 그래서 단열재가 그대로 노출되지 않도록 시공하여 열 또는 불꽃이 표면에 튀지 않도록 해야한다.

[표3.86] 단열재의 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.018~0.022
투습저항 (water vapour diffusion resistance)	
투습계수 (g/㎡hmmHg)	40이하
강도	압축강도 1.5~4.5(kg/c㎡) 인장강도 2.5~5.0(kg/c㎡)
균등분포하중에 견디는 정도?	
밀도(g/c㎥)	0.025~0.070
선팽창률	5×10^5
열용량	
내화성능	
내열온도	-170~100도
산화에 견디는 정도	
환경저항성	물침투 적음
환경친화성	인체 무해 가스발생
규격	20~125T, 900-1000-1200W, 1000~2000L



[그림3.159] 적삼목



[그림3.160] 경질폴리우레탄

• 경질 폴리우레탄의 분류

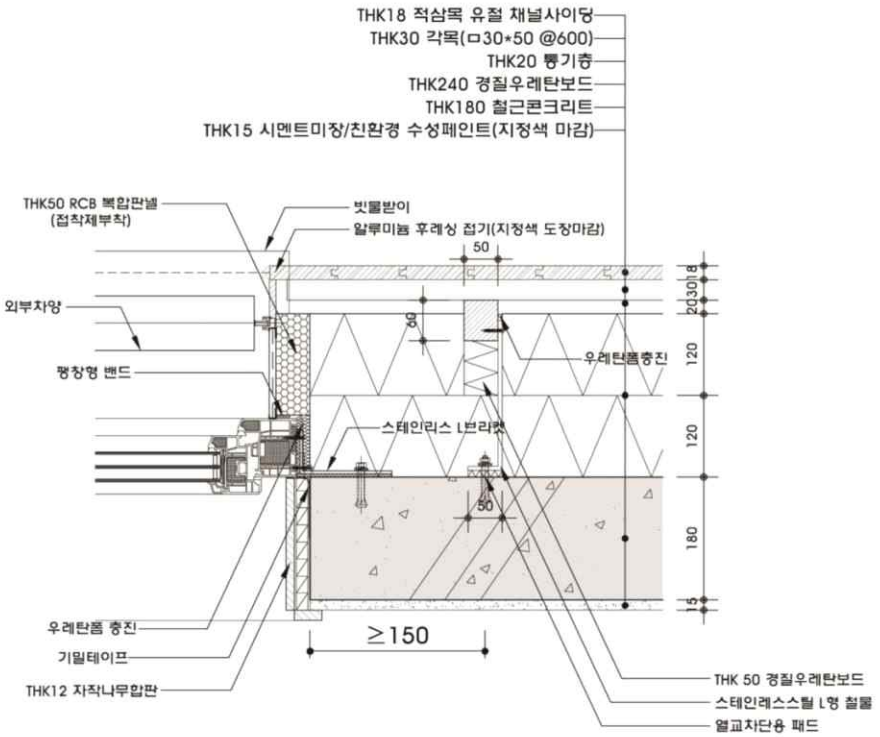
[표3.87] 경질 폴리우레탄의 분류

분류	사용
성형폼	슬래브 발포폼 : 절단보드, 파이프카바, 접합보드
	연속라미네이트 발포폼 : 라미네이트보드, 판넬, 금속샌드위치 판넬
	주입발포폼 : 전기냉장고, 냉동기, 쇼케이스, 자동판매기, 단열관, 아이스박스, 조립식목욕조, 단열샤시, 샌드위치판넬, 단열덧문, 파이프카바, 보드, 합성목재, 가구, 도아판넬 등
	스프레이 발포폼 : 단열관, 목욕조, 파이프카바 등
제조방법	**몰드폼(Mold Foam)** 내부에 일정한 공간을 차지하는 금형을 사용하여 제품을 생산하거나, 실제품을 조립하여 내부공간에 우레탄 원액을 주입, 생산하는 것이다. 예) 냉장고, 냉동콘테이너, 판넬 등
	블록폼(일명 박스폼) 사각형의 금형(약 1*1*1m)dp 우레탄 원액을 주입하여 폼을 생산, 용도에 적합하게 2차 가공을 실시하여 사용한다.
	슬라브폼(Slab Foam) 연속적인 컨베이어(Conveyer) 라인을 이용하여 하판에 면재를 부착하고 그 위에 우레탄 원액을 분사하여 폼을 생산한다. 위쪽은 열려있는 상태이며 2차가공하여 제품으로 사용한다.
	스프레이 폼(Spray Foam) 이소시아네이트와 레진프리믹스를 혼합하여 고압의 공기를 이용하여 노즐 밖으로 강하게 분사, 수초내에 표면이 불규칙한 폼으로 만들어지는 것을 말한다.

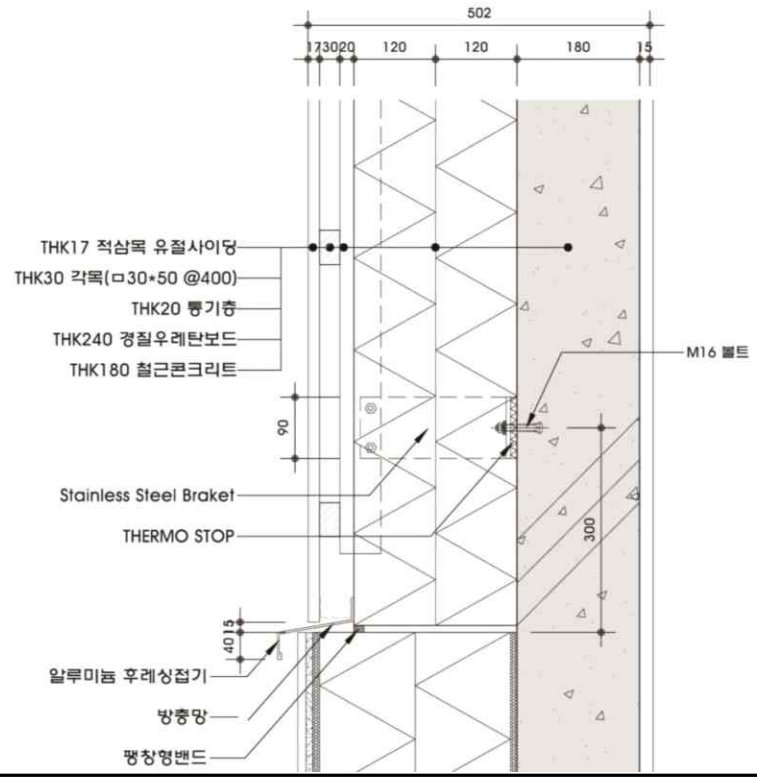
• 벽체구성 및 공법

- 240mm 경질 폴리우레탄보드, 20mm 통기층, 30mm 각목, 17mm 적삼목으로 벽체가 구성하였다. 외장마감재를 고정하기 위해 스테인리스 브라켓이 구조 벽체에 부착되고 열교 차단을 위해 에어로젤단열 패드를 대었다.
- 이 부위는 단열재가 두 번 부착되었는데 일차적으로 120mm 우레탄 단열재를 벽체에 화스너로 고정하고, 콘크리트에 연결되어 단열재 밖으로 튀어나온 브라켓에 목재 각상을 부착하였다. 그리고 두번째 120mm단열재를 목재 크기에 맞게 잘라내고 끼워 넣음으로써, 스테인리스 브라켓이 외부로 노출되지 않도록 하고, 노출된 각목 위에 적삼목으로 마감을 하였다. 이로 인해 콘크리트와 외부 마감재 사이의 열교가 거의 없는 디테일로 마감이 이루어졌다.
- 단열재와 마감재 사이 20mm의 통기층을 두어 공기가 통할 수 있도록 하였다. 이는 단열재의 습기문제를 해결한다.

• 해당유형의 구성



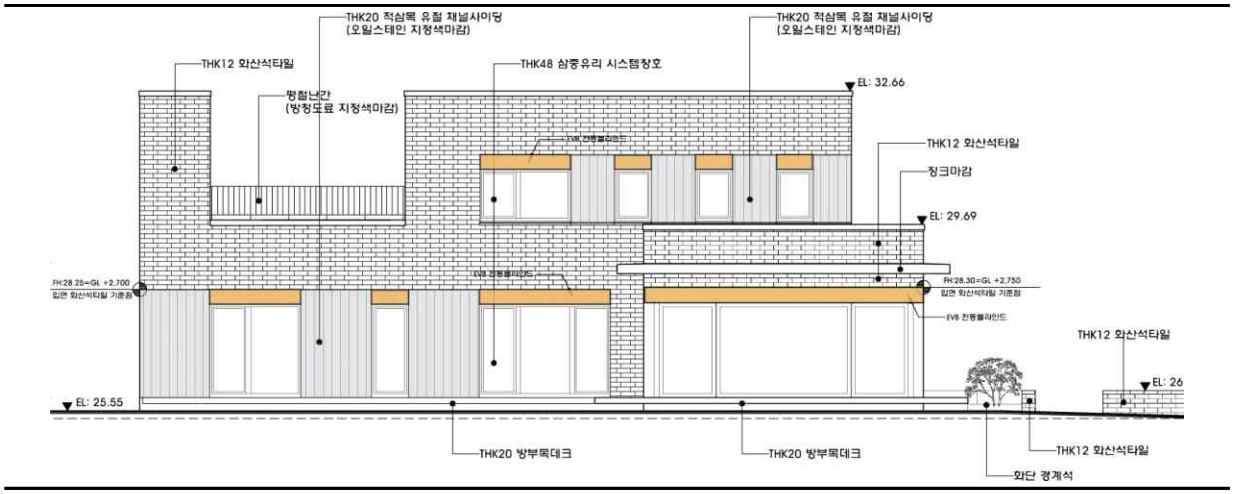
[그림3.161] 벽체 유형(2) 구성 디테일(1)



[그림3.162] 벽체 유형(2) 구성 디테일(2)

(다) 벽체 유형(3) (전동블라인드 박스)

• 벽체 유형(3)은 창호 위에 외부전동블라인드가 설치되는 부분에 사용되었으며, 전동블라인드 박스 설치로 인해 단열재두께가 최소화 되어야 하는 부분에 고성능 단열재를 활용하여 단열성능을 보강하였다.



[그림3.163] 벽체유형(3) 구성

• 해당 유형 벽체를 구성하기 위한 목표는 다음과 같다.
  - 외부블라인드 박스 부분의 단열성능 향상
  - 일반 벽체 부분에 적용된 단열성능에 상응해야함
  - 블라인드 박스설치부위가 다른 벽체의 마감면 보다 돌출되지 않도록 함

• 해당 유형 벽체의 특징은 다음과 같다.
  - 상대적으로 단열재를 부착할 공간이 부족한 외부 블라인드 박스부분의 단열성능 확보를 위해 두께 대비 열전도율이 매우 낮은 진공단열재를 사용하였다.
  - 이 유형에 적용된 진공단열재는 기밀성을 갖는 봉지재에 심재를 넣고 내부를 진공상태로 처리하여 생산되는 단열재로 기존의 단열재보다 높은 단열성능을 가지고 있다.
  - 심재의 종류로는 흄드실리카, 글라스울, 우레탄폼 등의 단열재가 들어가 형태 유지 및 가스 분자 이동을 방해하게 된다.
  - 진공처리가 되는 외피재는 제품 내·외부 경계에서 가스와 수분의 유입을 1차적으로 막는다. 본 프로젝트에 적용되는 진공단열재의 주 심재로 사용된 흄드실리카는 염화실란이 산소와 수소로 형성된 1,000℃ 이상의 고온의 불꽃 내에서 가수 분해되어 생성된다.

• 진공단열재의 외부는 알루미늄 필름으로 이루어져 내부는 진공상태로서 기밀성이 유지되어야 하는 자재이므로 시공 시 터지지 않도록 주의가 필요하다. 이 단열재의 장점은 다음과 같다.

[표3.88] 진공단열재의 장점분석표

구 분	내 용
단열성	기존 단열재 대비 8배의 열성능
내투수성	방습층이 필요 없음
준불연성	심재가 무기질 단열재인 경우
내구성	성능저하가 없음
부피감소	이 단열재는 높은 단열성능이 있지만 가격이 비싸기 때문에 부득이하게 두께를 줄여야 하는 부위에 적용된다. 건축물 단열재로서 내·외단열, 바닥, 천장, 지붕 등에서 공간이 협소한부분, 산업재의 단열 등 높은 열성능의 단열재가 필요한 부위, 단열문 등에 쓰인다.

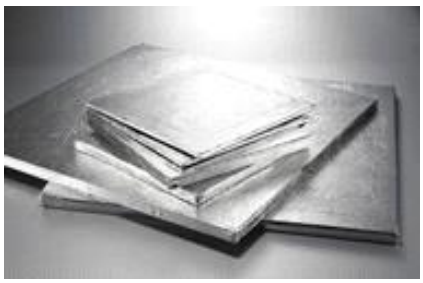
• 단열재의 물리화학적 특성 (비교표)

[표3.89] 진공단열재의 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.0045
진공도	5mbar 이하
밀도	210kg/㎥ ±30
화재 안정성	준불연
적용 온도 범위	-200~100℃
두께	5~40mm
압축강도	8N/㎠ 이상
환경친화성	유독가스 방출 없음
규격	960mm * 1,640mm



[그림3.164] 전동블라인드



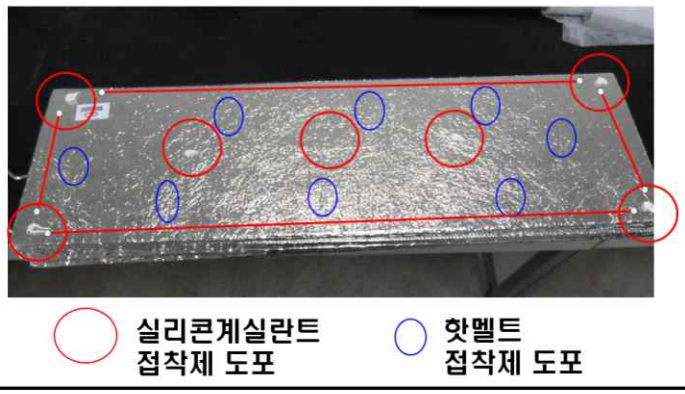
[그림3.165] 진공단열재(VIP)

• 벽체구성 및 공법

- 블라인드가 설치되는 부위는 그만큼 단열재를 넣을 수 없어 열성능이 상대적으로 높은 자재가 필요하므로, 열관류율이 낮은 단열재로 진공단열재를 사용하였다. 그러나 진공단열재는 손상에 의한 파손이 쉬우므로 창호 브라켓 등 벽체 표면의 장애물들로부터 보호를 위해 XPS 단열재 55mm를 브라켓에 맞게 절삭하여 평탄화작업을 하고 30mm 진공단열재를 부착하고, 또 30mm XPS 단열재를 부착하여 진공단열재를 보호한다.
- 그러나 시공상에 있어서 현장에서 벽면을 고르게 하는 작업 뿐만 아니라, 접착으로 물성이 다른 단열재를 두 번 부착하고 이를 완전히 붙이는데 예상보다 많은 시간이 소요되어 전체적인 공사기간에도 영향을 미쳤다.
- 접착은 실리콘계 실란트와 핫멜트 접착제 도포로 이루어졌으며, 아래 그림에 표시한대로 접착제가 도포되었다. 실리콘계 실란트 접착제의 경우 적정 사용량은 약 350g/㎡ 정도이며, 핫멜트 접착제의 경우 약 25g/㎡ 정도가 적당하다.

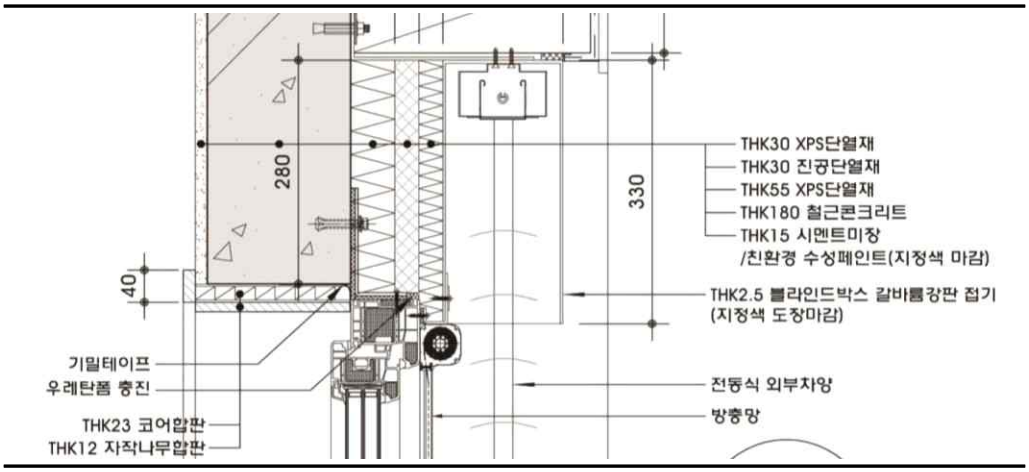


[그림3.166] 벽체 시공사진



[그림3.167] 접착 방법

• 해당유형의 구성은 다음의 단면도에서 볼 수 있다.



[그림3.168] 벽체 유형(3) 구성 디테일(1)

(2) 기초 바닥 시공

• 기초와 바닥은 물기 또는 습기에 영향을 받기 쉬우며, 건물의 하중 또는 지하토압을 견딜 수 있어야 하므로 그에 상응한 자재가 필요하다. 그러므로 기초 바닥슬래브 아래 외단열로 XPS단열재가 적용되었다.

• 해당 유형을 구성하기 위한 목표는 다음과 같다.
  - 토양으로부터의 수압에 견딜 수 있는 물기 저항이 강한 자재
  - 건물의 하중을 견디는 등분포하중이 높은 자재

• 해당 유형의 특징은 다음과 같다.[29)]
  - 기초와 바닥부위는 벽체와는 다르게 습기를 세밀하게 고려하면서 단열을 해야한다.
  - 익산패시브하우스에 적용된 기초, 바닥 단열재는 압출법 단열재가 사용되었다. 압출법 발포폴리스티렌은 플라스틱계 단열재중 하나이며 XPS(Extruded Polystyrene)라고 불리운다.
  - 이는 재료가 고르고, 공기와 냉매가스의 혼합물이 들어있는 막혀있는 구조의 단열재이며, 높은 열 저항값을 가지고 있으며, 투습저항이 높다.
  - 그리고 다른 단열재에 비교해서 강한 구조적 성능을 가지고 있다. XPS는 다른 폴리스티렌 폼인 EPS와 같이 공장, 상업, 주거건축물에 널리 사용되고 있는 단열재이다.
  - 대부분의 식당 기구들이 이 제품을 활용하여 사용되고 있다. 환경적으로 유해한 프레온가스(CFCs)가 이 제품을 만드는데 사용된다.

29) http://www.daviddarling.info/encyclopedia/E/AE_extruded_polystyrene.html

• 단열재의 물리화학적 특성 (비교표)

[표3.90] 단열재의 물리화학적 특성

열전도율(W/m・K)	0.027~0.031
투습저항(water vapour diffusion resistance)	80-250
투습계수 (g/㎡hmmHg)	0.07이하
강도(kgf/㎠)	압축 2.5~1.0 굽힘 4.5~2.5
밀도(kg/㎥)	25-45
열용량J/(kg・K)	1,500
내열온도(안전사용 온도)	75도
외부환경 영향	상대적으로 습기에 강함
환경친화성	프레온가스 함유, 재활용 가능
규격	최대 900mm * 2400mm

• 구성재료의 사진[30)]



[그림3.169] XPS 사진



[그림3.170] XPS 시공사진

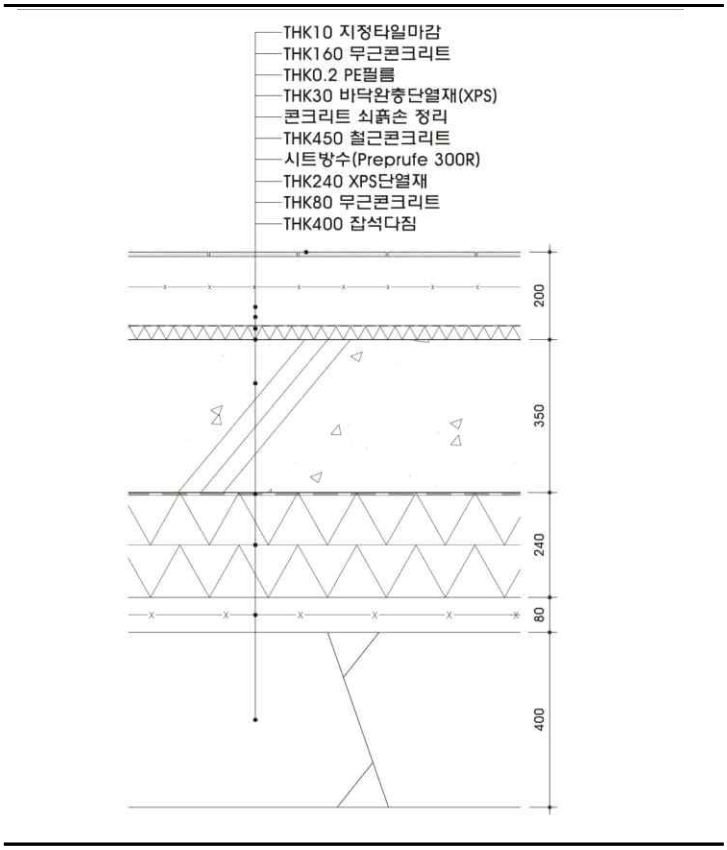
• 기초 바닥 구성 및 공법

- 바닥 단열은 모세관 현상을 방지하기 위해 잡석다짐을 한 후 무근콘크 리트를 치고 그 위에 120mm XPS단열재 두 장을 겹쳐서 쌓았다.
- 그리고 방수처리를 한 후 철근콘크리트를 450mm로 시공하였다. 단열재의 경우 국내에서는 아직 두꺼운 제품이 없었기 때문에 두 번 작업을 하는 것이 비용상승의 큰 원인이며, 전면부착을 하지 않으면 틈새로 수막이 형성되어 단열성능이 저하될 우려가 있으므로, 두꺼운 단열재 생산이 시급하다.
- 독일의 경우 단열재에 요철이 있어서 서로 겹쳐져서 틈새를 차단하는데 매우 유리하지만 우리나라는 그런 제품의 수급이 어려워 엇갈려서 단열재를 쌓아야 하기 때문에 더 세밀하게 위치

30) www.infrawaterproofing.com

선정과 노력이 요구된다. 또한 이 틈새에 물이 들어가지 않도록 전면 부착을 두 번 실시하여 시간과 비용이 증가하였다. 특히 단열재 마다 두께 차이가 존재하여 평활도를 맞추는데 매우 어려움을 겪었다.

• 해당유형의 구성



[그림3.171] 바닥시스템의 구성

(3) 지붕 시공

• 외피에서 가장 열손실이 많은 지붕은 가장 높은 단열성능이 요구되며 자외선과 우수로푸터 보호되는 것 뿐만 아니라 보행자의 무게까지도 고려해야하는등 벽체시스템보다 지붕의 외단열시스템은 여러 가지 고려해야할 사항들이 있다. 단열재는 XPS외단열로 사용하였다.

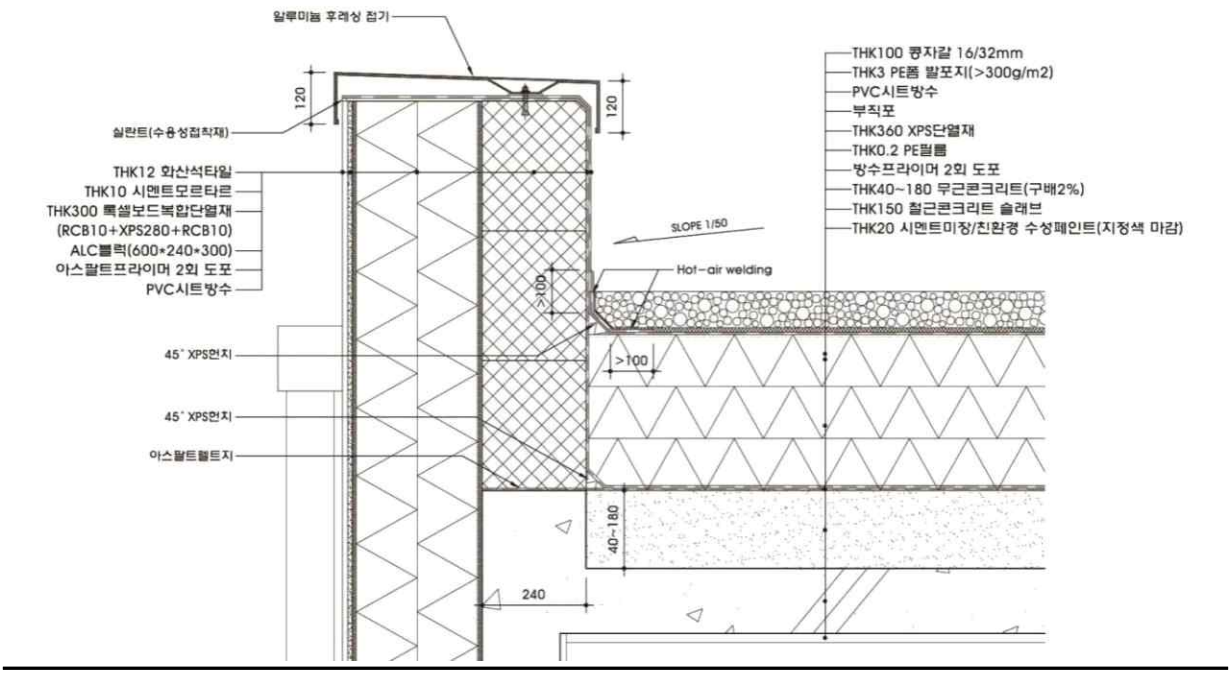
• 해당 유형을 구성하기 위한 목표는 다음과 같다.
  - 높은 단열 성능
  - 자외선 및 열에 강한 단열재
  - 물과 습기에 강한 단열재
  - 적절한 방수 시스템 계획
  - 보행자의 무게를 견딜 수 있는 등분포하중 강도 확보

• 해당 유형의 특징은 다음과 같다.[31)]

- 지붕디테일은 옥상부분과 테라스부분으로 나뉜다. 옥상은 단열성과 방수성을 높이고, 방수층을 보호하기 위해 자갈층을 두었다. 그리고 테라스는 단열성과 방수성뿐만 아니라 그 위에 사람이 이동할 수 있도록 고려하여 데크를 설치하였다. 단열재는 기초 및 바닥부위에 쓰인 XPS 단열재를 이용하였다.

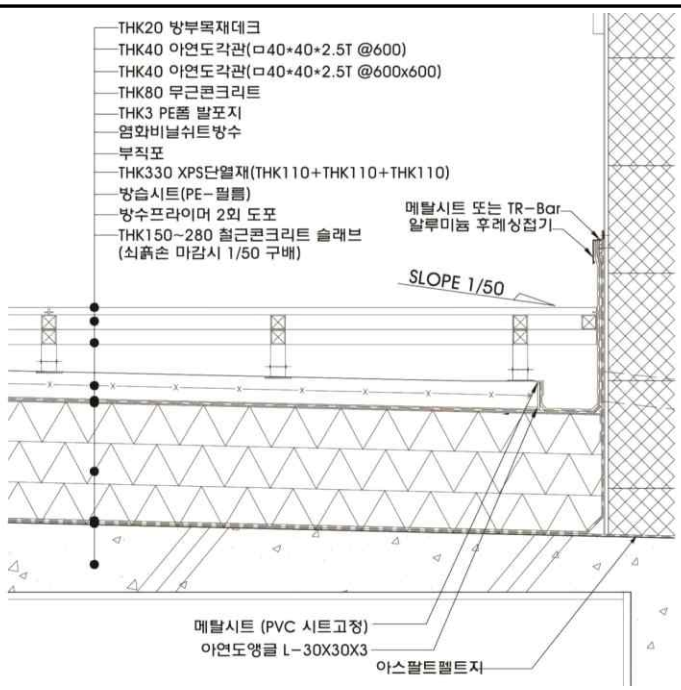
• 해당 유형의 구성 및 공법

- 옥상부분은 구배가 되어있는 지붕 콘크리트 위에 방수를 위해 아스팔트 프라이머 2회를 도포하고 콘크리트에서 올라오는 습기를 막기 위한 방습층으로 PE필름을 깐 후 두꺼운 단열재를 시중에서 구할 수 없었기 때문에 120mm XPS단열재를 세겹을 전면부착으로 엇갈리게 쌓아 360mm단열재로 구성하였다. 그리고 단열재 보호를 위해 부직포를 깔고 PVC시트방수를 덮었다. 그리고 발포지와 콩자갈 100mm로 최종 마무리를 하였다. 콩자갈은 PVC시트 방수 시 필수사항은 아니지만 자외선이나 햇빛에 의해 손상될 수 있는 부위를 최소화하기 위해 시공이 이루어졌다.
- 테라스는 구배가 있는 콘크리트 위에 방수프라이머시공과 방습시트로 PE필름을 깔고 110mm XPS단열재 세장을 전면부착으로 쌓았다. 부직포와 염화비닐시트방수로 방수처리를 하였고 방수 보호를 위해 PE폼 발포지를 깔았다. 그리고 데크를 깔기 위해 80mm무근콘크리트를 깔고 아연도각관을 교차하여 놓고 그 위에 방부목재 데크를 깔아 바닥마감을 하였다.



[그림3.172] 지붕시스템의 구성(1)

31) http://www.daviddarling.info/encyclopedia/E/AE_extruded_polystyrene.html

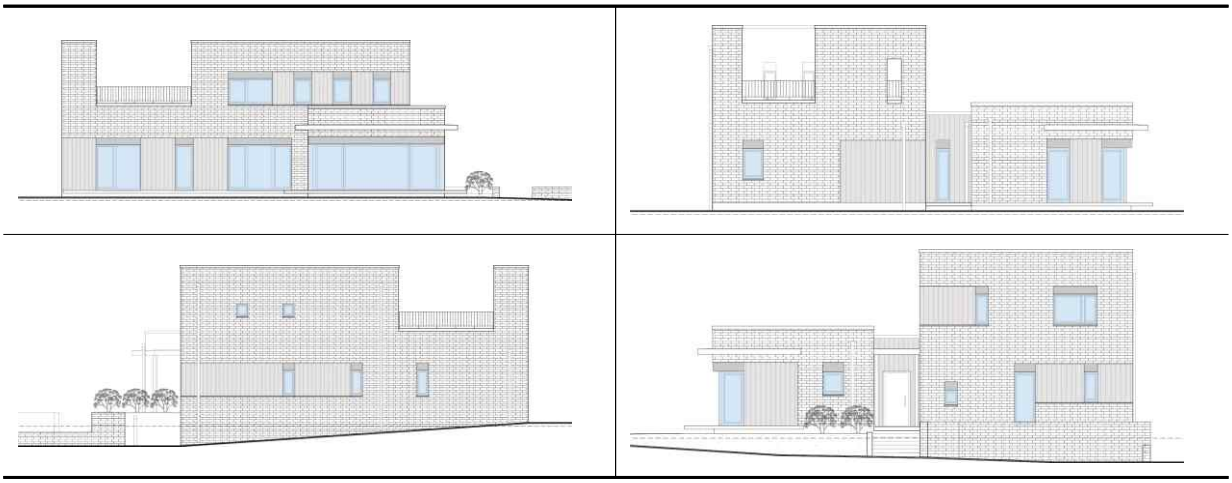


[그림3.173] 지붕시스템의 구성(1)

(4) 패시브 창호/문 시공

(가) 창호

- 패시브하우스 인증을 받기 위해 패시브 인증 창호 사용이 의무사항은 아니다. 그러나 국내 제품의 열성능과 기밀성능이 부족하기 때문에 수입제품을 쓸 수 밖에 없는 실정이다. 적용된 창호는 프레임이 PVC재질로 이루어져 있으며, 로이코팅을 한 저철분 삼중유리에 중간에 아르곤 가스를 주입하고, 고성능 간봉으로 조립된 고성능 창호이다.



[그림3.174] 방위별 입면

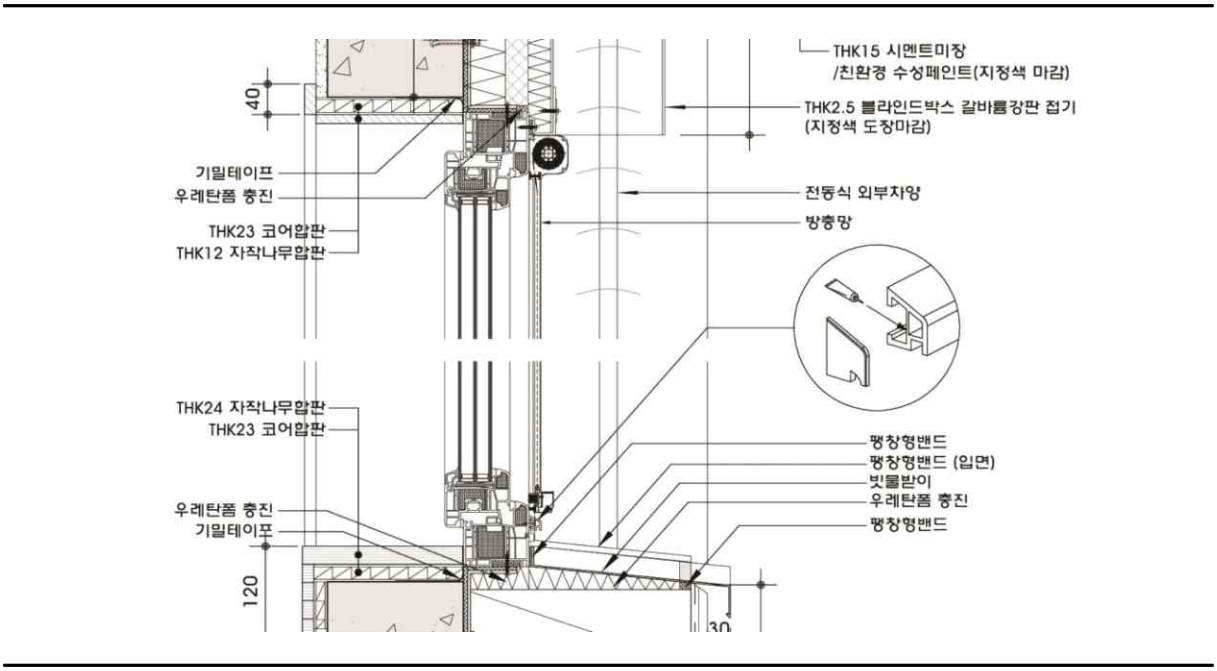
• 적용될 창호의 목표는 다음과 같다.
  - 열성능 및 기밀성을 보장할 수 있는 창호
  - 태양열 획득을 최대화 할 수 있는 유리
  - 열교를 최소화 할 수 있는 설치 위치

• 적용된 창호의 기본 특성은 다음과 같다.
  - 창호 프로파일 : REHAU Profile(GENEO system)
  - 하드웨어 : G-U, 잠금장치, 손잡이
  - 유리 : 6유리(이중 은 로이코팅) + 15아르곤(90%) + 6유리(이중 은 로이코팅) + 15아르곤(90%) + 6유리(클리어) = 48mm IGU
  - 유리 열관류율 ≤ 0.7 (EN 673)
  - 간봉 : Edgetech Super® Spacer 열교값 Ψ ≤ 0.03
  - 가스켓 : REHAU EPDM 가스켓

• 적용된 유리의 기본적인 속성은 다음과 같다.
  - 두께 48.0mm
  - 무게 45.0kg/㎡
  - 태양에너지 투과율 solar factor g = 0.53
  - 차폐계수 SC = 0.61
  - 열관류율 Ug = 0.6 W/㎡K

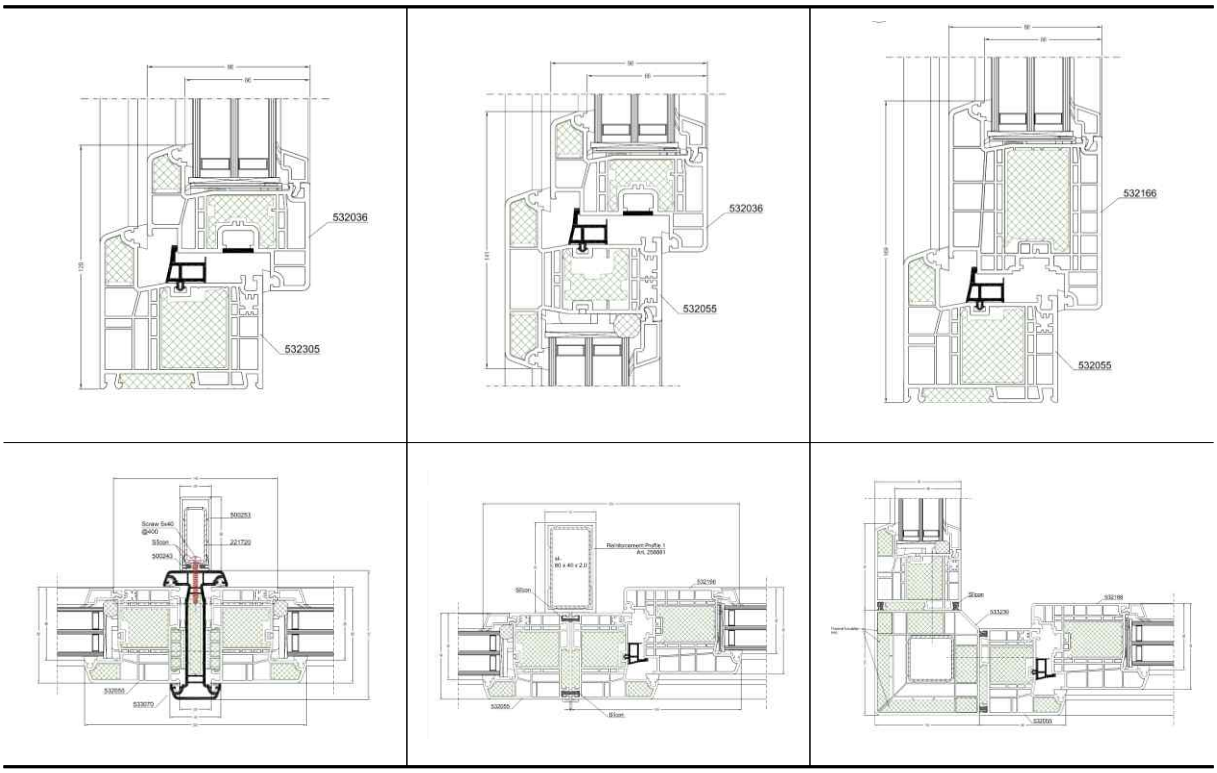
• 열관류율값을 계산하면 다음의 스펙에 따라 열관류율 Uw = 0.80 W/㎡K이 된다.
  - 창호 폭 W = 1230mm
  - 창호 높이 H = 1480mm
  - 창틀의 열관류율 Uf = 0.79 W/㎡K
  - 유리의 열관류율 Ug = 0.60 W/㎡K
  - 창틀의 면적 Af = 0.63 ㎡
  - 유리면적 Ag = 1.19 ㎡
  - 유리 둘레 lg = 4.34 m
  - 간봉 열교값 Ψg = 0.03 W/mK

• 창호 구성 및 설치는 다음과 같다.



[그림3.175] 창호 구성 및 설치

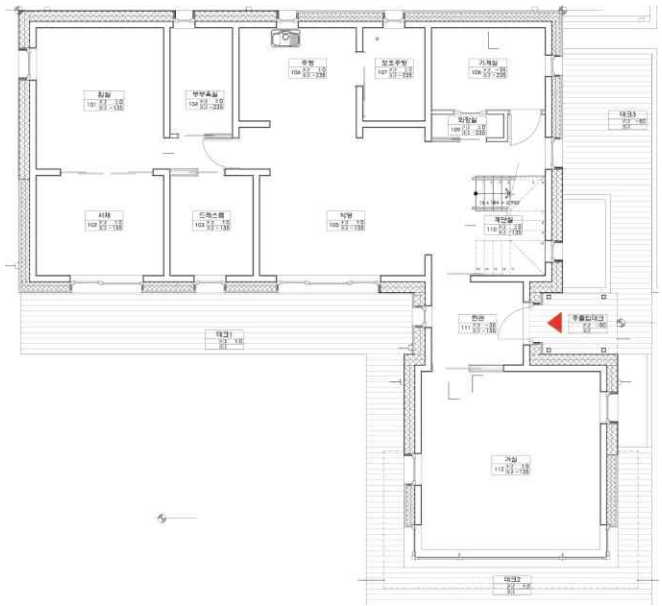
• 적용된 창호의 프레임 단면은 다음과 같다.



[그림3.176] 창호의 프레임 단면

(나) 문

• 현관문은 거실과 주동 사이 동측면에 위치하며, 특수 복합 단열재를 이용한 고성능 단열문을 사용하였다.

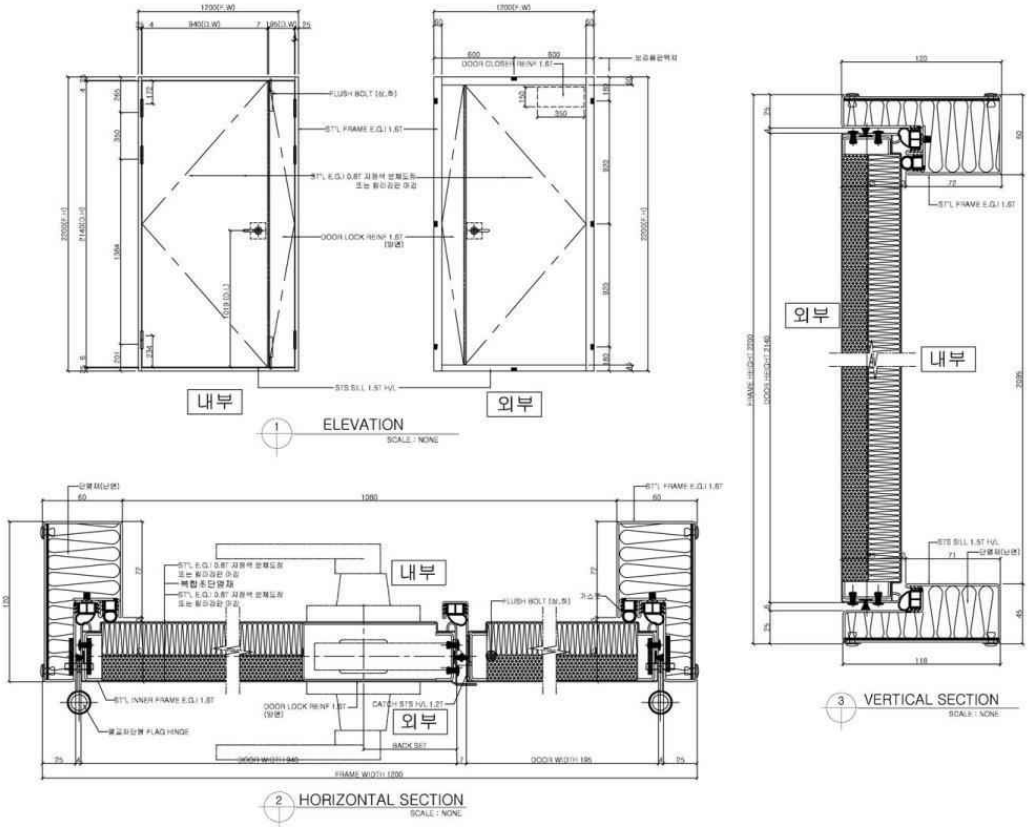


[그림3.177] 주출입문의 위치

• 단열문 설치시 다음과 같은 목표를 준수한다.
  - 열관류율 0.8W/㎡K 이하
  - 기밀성 등급이 높은 문

• 적용된 문의 기본 특성은 다음과 같다.
  - SPT SUPER 50 F60 VAQ 초단열 강철제문
  - 열관류율 0.57W/㎡K (KS F 2278:2008)
  - 기밀성능 0.20 ㎥/h㎡ (KS F 2292:2008)
  - 문틀 단열재는 글라스울, 문짝은 글라스울과 고성능 단열재의 복합으로 이루어짐
  - 1.10m * 2.20m 의 양개문

• 단열문은 무게가 무거워서 일정 폭 이상의 문을 달기가 어려워지므로, 양개문으로 제작 되었다. 입면과 단면의 구성은 다음과 같다.



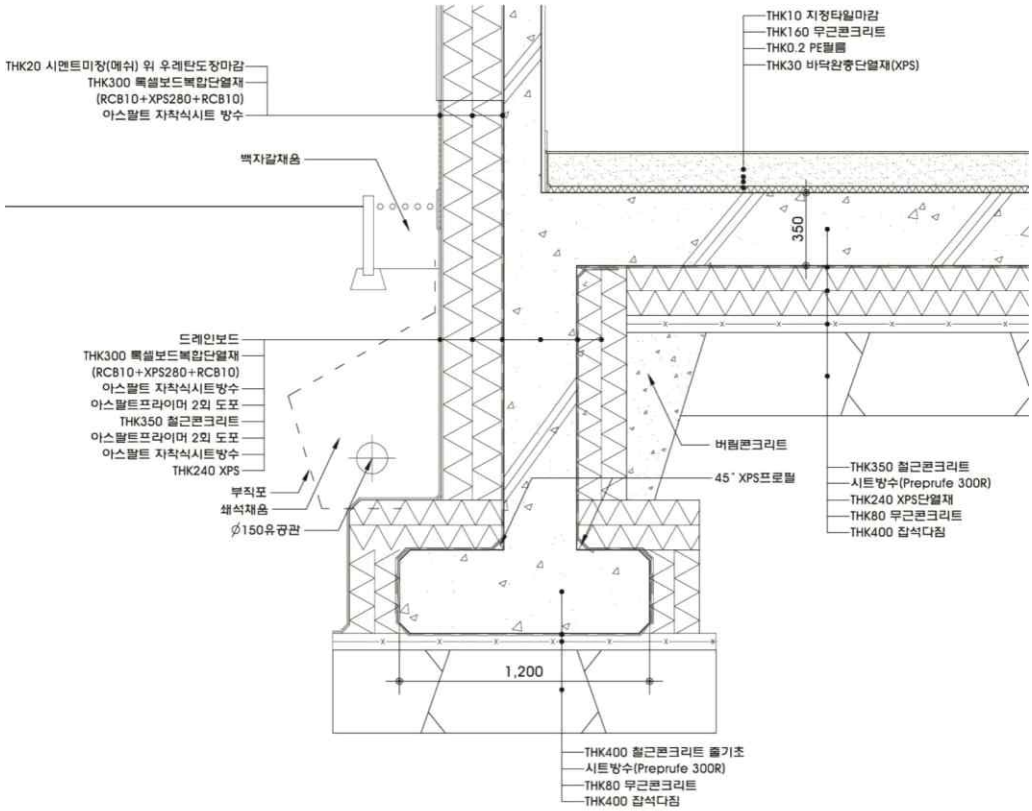
[그림3.178] 단열문 도면

(5) 부위별 열교 방지시공

- 에너지절약형 건축물을 계획하는데 있어서, 일반적인 단열성능 향상과, 기밀성능 향상이 주된 방법이다. 그러나 열교를 고려하지 않는다면 열교로 인한 열손실의 비중이 전체 연간 난방에너지 요구량을 초과하는 수준으로 높아질 수 있기 때문에 부위별로 세심한 열교방지 계획이 필요하다.

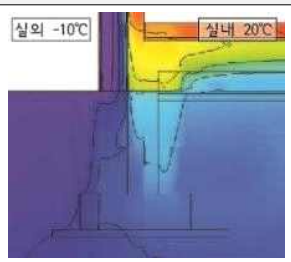
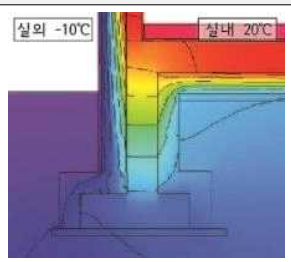
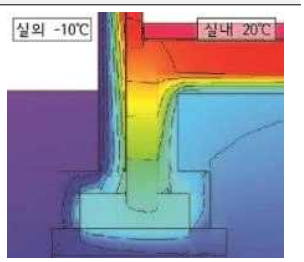
(가) 줄기초 부위

- 기초 단열은 콘크리트와 단열재 사이 방수처리를 하였으며 바깥쪽 단열재는 탄산칼슘계 10mm, XPS 140mm 두 겹, 다시 탄산칼슘계 10mm 총 300mm인 복합단열재를 사용하였으며, 기초 안쪽은 XPS 120mm 두겹으로 단열시공을 하였다. 줄기초의 바닥부위는 높은 압축강도를 버티기 어려울 것으로 판단되어 방수처리만 하였다.



[그림3.179] 줄기초 부위 도면

[표3.91] 줄기초부분의 전열해석결과

구분	지상접지부분 단열재	줄기초 안팎 단열재	줄기초하부 단열재
해석 결과			
Ψ	0.350(W/mK)	0.121(W/mK)	0.074(W/mK)

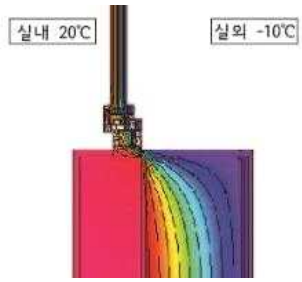
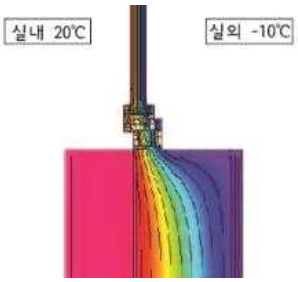
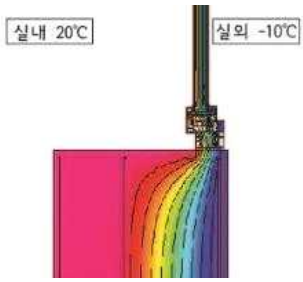
(나) 창호 설치 부위

- 패시브하우스 창호 설치시 열교를 고려하는 것은 창호 전체 열관류율에 긍정적인 효과를 줄것이며, 상대적으로 부족한 창호 프레임의 열 성능을 보완할 수 있게 한다.

- 창의 설치 위치에 따라 열관류율이 달라질 수 있으며, 벽체의 가운데가 이상적이다. 콘크리트건물에서는 건설단계 전에 창호를 직접 설치하는 것이 이상적이며, 일반적으로 단열재가 설치되기 전에 벽체 외부에 설치한다.

- 아래 그림에 따라, 창호를 단열재와 벽체가 만나는 부위에 설치하는 것이 열교를 최소화 할 수 있으며, 실내 쪽에 설치할 경우 같은 창호라도 열관류율이 매우 나빠지는 것을 볼 수 있다. 이때 창호의 기밀성을 위한 작업이 필수적이다.

[표3.92] 창호설치위치에 따른 선형열관류율

구분	구조체 상부 창호설치	단열재상부(내측) 창호설치	단열재상부(외측) 창호설치
해석 결과			
Ψ	0.077(W/mK)	0.019(W/mK)	0.024(W/mK)

(다) 브라켓 부위

- 에어로젤은 열・전기・소리・충격 등에 강해 미래세계를 바꿀 물질로 평가받는 신소재로서 1930년대에 처음 발견된 이후 열・전기・소리・충격 등에 강할 뿐만 아니라 무게도 같은 부피의 공기보다 3배밖에 무겁지 않아 미래의 단열재・충격완충재・방음재 등으로 주목을 받아왔다. 재료는 규소 산화물(SiO2)이며 머리카락의 1만 분의 1 굵기인 SiO2 실[絲]이 극히 성글게 얽혀 이루어지며, 실과 실 사이에는 나노 단위의 공기 분자들이 들어 있는데, 전체 부피의 98%를 공기가 차지한다.

- 그러나 에어로젤을 만드는 데 시간이 많이 걸리고, 손가락으로 가볍게 누르기만 해도 깨질 정도로 약해 실용화가 어렵기 때문에 세계 각국과 다국적기업・연구소 등에서 오랫동안 연구를 했지만, 실용화에는 실패하였다. 그러다 2003년 3월 한국인 공학자 이강필 박사가 미국에 세운 회사

아스펜 에어로젤에서 세계 최초로 실용화에 성공하였다. 그는 에어로젤에 특수 섬유를 첨가해 헝겊처럼 부드러워서 쉽게 깨지지 않고, 짧은 시간에 대량생산이 가능할 수 있는 새로운 에어로젤 기술을 개발하였다. 이 개량 에어로젤은 섭씨 1,100℃에서도 전혀 타지 않고, 충격방지 시트를 놓고 화약을 터뜨려도 전혀 흔적이 남지 않아 유리섬유 등 기존의 건축물 단열재를 대체할 소재로 주목을 받았다. 응용 범위도 재킷처럼 얇은 스키복・부츠・장갑, 불에 타지 않는 슈퍼 단열재, 우주복・우주범선, 충격을 막는 특수 철갑, 어뢰에도 전혀 충격이 없는 충격 방지막 등 다양하다.

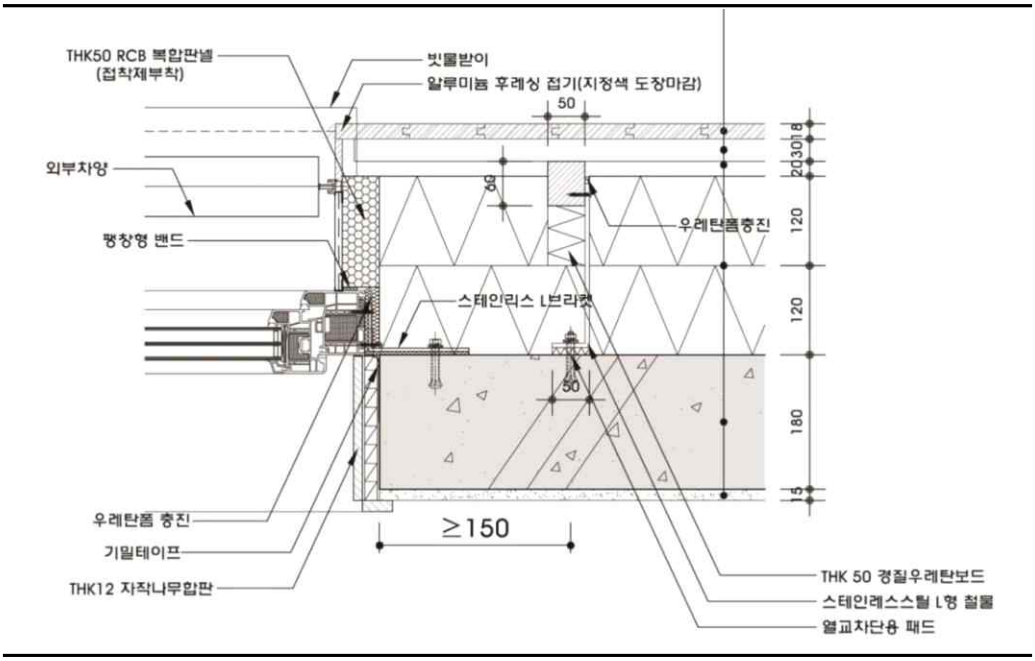
• 특징
  - 타 단열재 대비 열성능이 2~5배
    - 열저항이 균일한 단면, 두께 감소
    - 시공성
    - 유연함과 탄성을 동시에 가짐
    - 극고온 또는 극저온에서 안정적인 단열성능을 발휘함
    - 발수성

• 브라켓 부위에 사용된 단열재의 물리화학적 특성 (비교표)

[표3.93] 브라켓 부위에 사용된 단열재의 물리화학적 특성

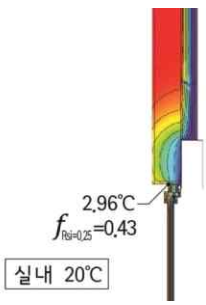
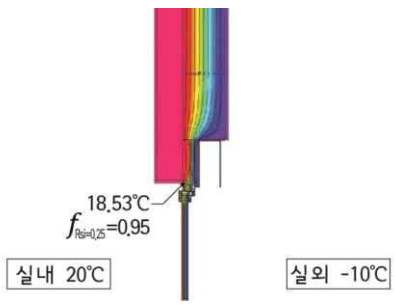
열전도율(W/mK)	0.020
함수율	3.8%
강도	인장 88.5N/c㎡ 압축 2N/c㎡ 굴곡 28N/c㎡
밀도(kg/㎥)	179.5
두께	5.0 mm
내화성능	평균온도 538℃
내열온도?(안전사용 온도)	최고온도 649℃
내약품성 (10% NaOH)	이상 없음
환경친화성	석면 없음

• 창호 브라켓 디테일



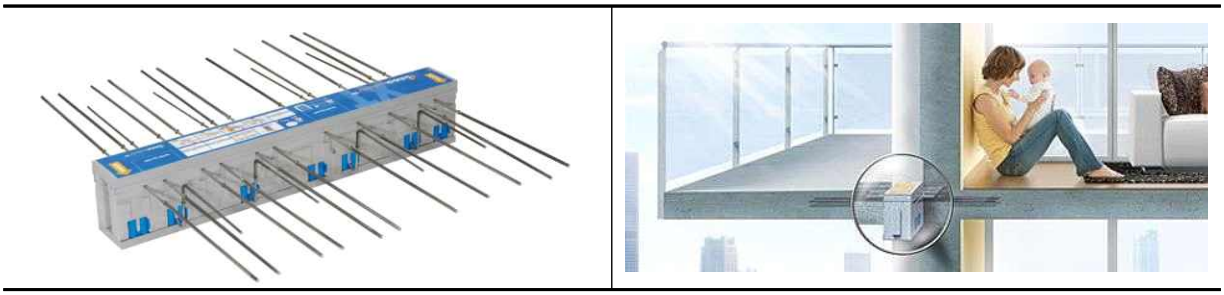
[그림3.180] 창호 브라켓 디테일

[표3.94] 창호 브라켓 디테일 비교표

번호	국내법규 전용 상세			패시브하우스 상세		
	l (m)	Ψ (W/mK)	$Q_{t,WB}$ (kWh/yr)	l (m)	Ψ (W/mK)	$Q_{t,WB}$ (kWh/yr)
창호상부 블라인드박스						
1) 브라켓 제외	20.51	1.81	2222.7	20.51	0.010	12.3
2) 브라켓 부위	8.10	1.93	939.0	8.10	0.157	76.3

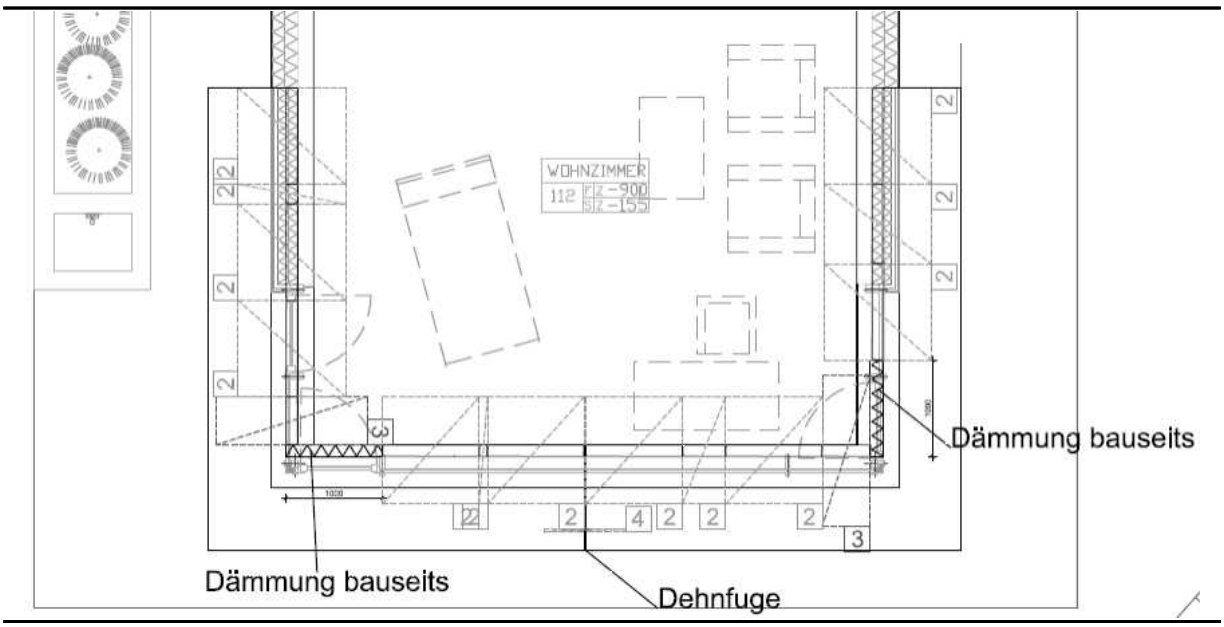
(라) 거실 처마 부위

• 거실 처마를 열교없이 만들기 위해 아래 그림과 같은 콘크리트와 콘크리트를 연결하는 열교차단 장치 Schöck Isokorb®의 제품을 사용했으며, 자재의 열전도율은 0.11W/mK이다.



[그림3.181] Schöck Isokorb® 제품

• 구조적인 검토와 자재 적정성을 본사로부터 받아 진행하였다.

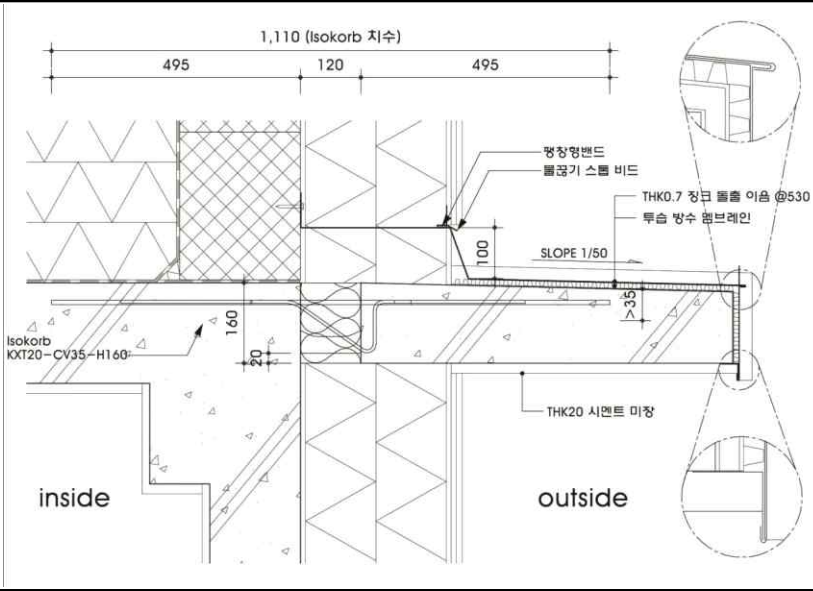


[그림3.182] 거실 처마 부위 구조 검토 자료

[표3.95] 거실 처마부위 열교차단장치 제품리스트

분류	타입	수량	M_{Rd} [kNm/m]	V_{Rd} [kN/m]
1	QXT30-h160	-	-	+56.4
2	KXT20-CV35-h160	11	-14.3	28.2
3	KXT60-CV35-h160	1	-34.9	112.8
4	ESD-20	1	-	-

• 거실 처마부위의 단면도는 아래와 같으며, 단열재 내부로 물이 침투하는 것을 막기 위해 팽창형 밴드, 물끊기 스톱비드, 투습방수 멤브레인, 징크 등을 계획하였다.



[그림3.183] 거실 처마부위 단면도

(마) 파라펫 부위

• 경량기포콘크리트 (ALC)
  - ALC란 Autoclaved Light Weight Concrete의 약자로 제조과정에서 사용되는 고온, 고압증기양생기를 말한다. 이는 밀도가 350~1100Kg/㎥ 인 고온 고압증기로 양생된 기포콘크리트로서 학술적으로는 AAC라고도 불리며 일반화된 독일에서는 Porenbeton이라고 불린다. ALC는 혼화제와 같은 화학물질로 콘크리트 내 기포를 생성하여 자연양생한 기포콘크리트(Foam Concrete)와는 구별된다. 이는 완전 무기질인 토버모라이트 결정으로 이루어져 수축팽창이 거의 없어 치수변화를 일으키지 않는다. 또한 무수한 독립기포로 이루어져 물에 뜨는 경량성으로 인해 지진이나 태풍이 미치는 압력으로부터 건물의 부담을 줄여준다.
  - 현재 ALC는 블록형태와 패널형태로 각 적용부위에 맞게 제조되고 있다.

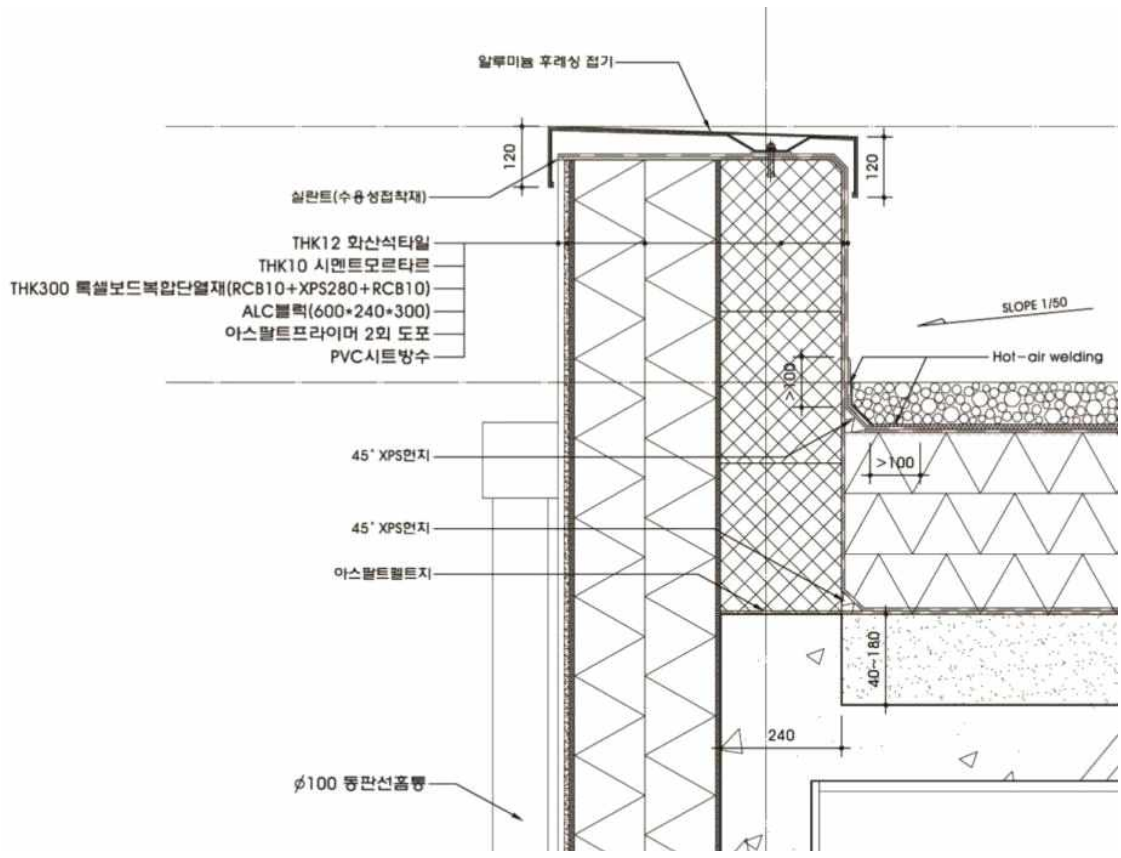
• ALC 블록은 단열성능이 있는 콘크리트 블록이며, 내화성과 내구성이 좋고, 경량이어서 시공성이 좋다. 또한 차음성능이 있어 실내 경계벽으로도 사용된다.

• 적용부위
  - 파라펫
  - 실간, 실 복도 간 경계벽, 외벽
  - 코어주변 내화구조벽, 지하방습벽
  - 비내력 가변벽, 세대간 차음구조벽

• 단열재의 물리화학적 특성

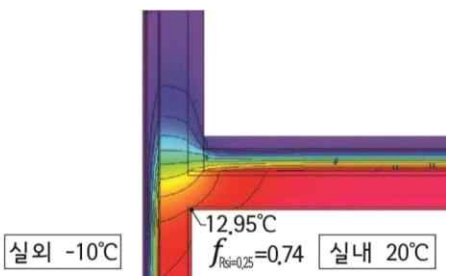
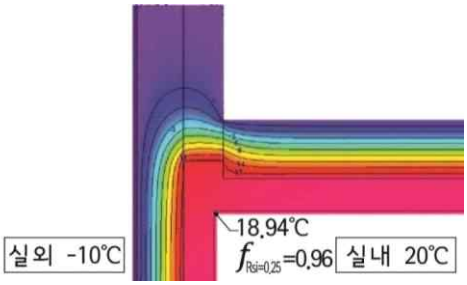
[표3.96] 경량기포콘크리트 (ALC)의 물리화학적 특성

열전도율(W/mK)	0.11 W/mK 이하
건조수축율	0.015%이하
흡수량	20%~36%
강도	압축 290~400N/c㎡ 인장 50N/c㎡
건조수축율	0.015% 이하
비중(기건)	0.50이상 ~ 0.60미만
비열	0.28 kcal/kg℃
열 팽창율	7.0 x 10-6/℃ 이하
흡수율	36%(전면흡수)
내화성능	내화구조
차음성능	차음등급 3등급
내동결 융해성	흡수일수 15일 동결 융해



[그림3.184] 파라펫 부위 도면

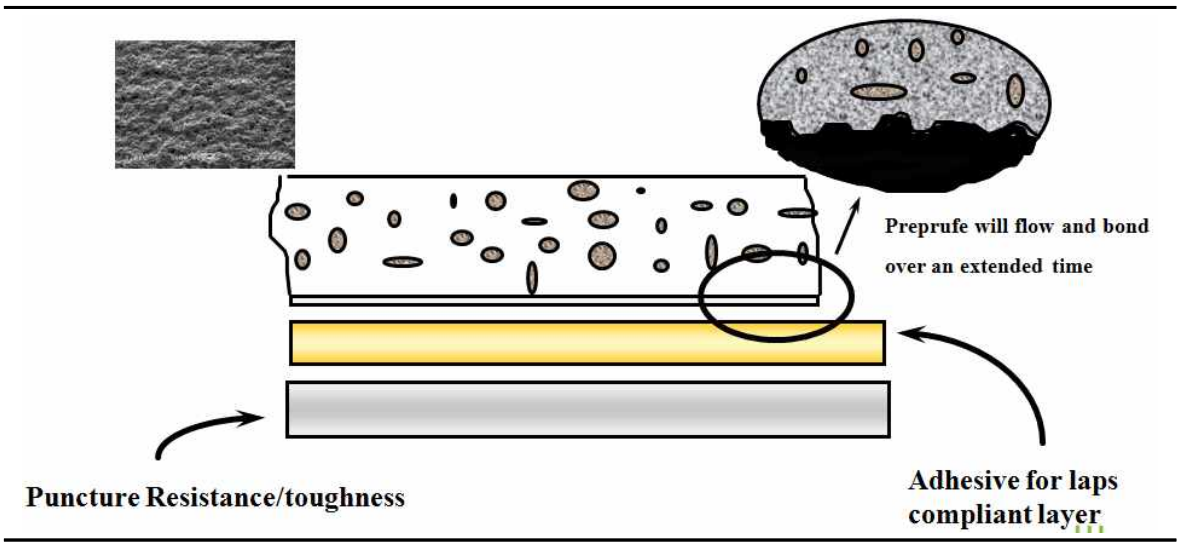
[표3.97] 파라펫 부위 열교 시뮬레이션 검토

번호	국내법규 전용 상세			패시브하우스 상세		
	l (m)	Ψ (W/mK)	$Q_{t,WB}$ (kWh/yr)	l (m)	Ψ (W/mK)	$Q_{t,WB}$ (kWh/yr)
창호상부 블라인드박스						
1)평지붕 둘레	48.43	0.482	1400.4	48.43	0.007	20.3
2)거실 둘레	21.02	0.461	581.4	21.02	0.006	7.6
3)현관 둘레	3.54	0.502	106.8	3.54	0.010	2.1
4)테라스 둘레	7.96	0.515	245.8	7.96	-0.003	-1.4

나. 방수 시공

(1) 기초/외벽 외방수 시공

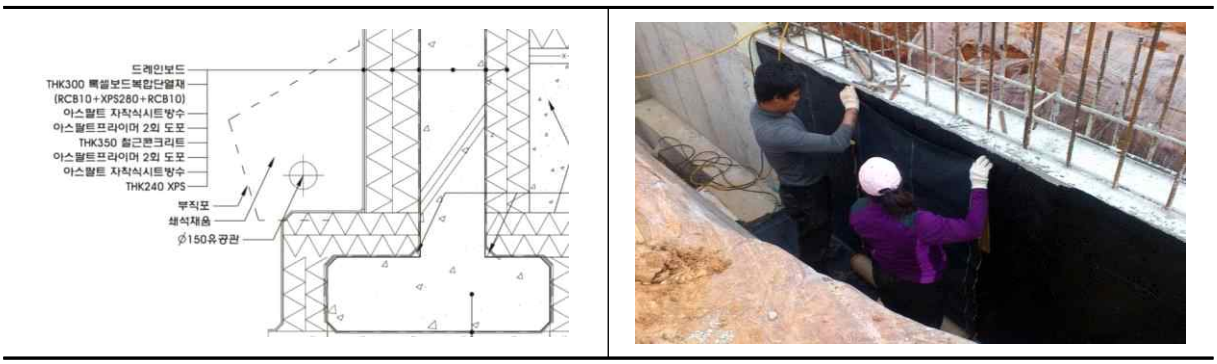
- 인증모형에 적용된 기초 바닥방수는 콘크리트 일체 부착형 방수맴브레인 Preprufe 300R 이며 특성은 다음과 같다.
  - 외방수 : 고밀도 폴리에틸렌으로 구성된 일체화 외방수 공법
  - 두께확보 : 1.2mm
  - 화학 저항성 : 염수, 메탄, 라돈가스 등 오염물질 저항도가 높음
  - 비파괴 : 구조물과 일체화 되어 부착되어 부등침하에 의한 파괴 없음
  - 균열 저항성 : ASTM C 836, Crack Cycling Test를 통과함
  - 수밀성 : 습기 밀 물 등이 완벽하게 차단됨
  - 투수저항성 : 내정수압 성능 70m 이상
  - 내구성 : 20년 이상
  - 경제성 : 재료, 시공, 관리적 측면
  - 하자보수 용이함 : 콘크리트와 방수층이 일체화되어 물의 이동이 없음
  - 시공성 : 바탕면의 습윤상태와 상관없이 시공이 가능하며, 일반공법에 비해 공기가 2배이상 빠름
- 기존 시트 바닥방수는 구체콘크리트, 방수 보호층, 시트방수, 고름몰탈, 버림콘크리트 그리고 방수시트 시공을 위한 방수벽이 필요하나, 콘크리트 일체부착형 방수 멤브레인은 구체콘크리트, 방수 멤브레인, 버림콘크리트만 시공하면 되기 때문에, 굴토량, 고름몰탈의 불필요 등으로 인해 공기가 최소 하루면 충분하다.



[그림3.185] 콘크리트 일체 부착형 방수맴브레인 Preprufe 300R

• 기초 벽체의 외방수는 자착식 고무화 아스팔트 시트 Bituthene 3000이 적용되었으며 특성은 다음과 같다.

- 외방수 : 고밀도 폴리 에틸렌과 고무화 아스팔트로 구성된 복합구조의 일체화 외방수 공법
- 두께확보 : 1.5mm
- 화학저항성 : 염수 메탄 라돈가스, 화학적 오염물질 등 저항
- 균열에 대한 유연성 : 거동 대응성으로 ASTM C 836, Crack Cycling Test 통과 300%까지 구조물 접합부위가 늘어남
- 수밀성 : 습기 및 물의 완벽 차단
- 투수저항성 : 내정수압 60m 이상
- 내구성 : 인열성능 25N 이상, 인장성능 30N/cm 이상, 50년이상
- 경제성 : 타 공법에 비해 재료, 시공, 관리적 측면에서 경제적임
- 하자보수 용이성 : 콘크리트와의 일체화로 하자보수가 용이함
- 시공성 : 자착식으로 간편함
- 유지관리 : 확실한 성능으로 보수가 용이함.



[그림3.186] Preprufe 300R 도면 및 시공사진

(2) 지붕 외방수 시공

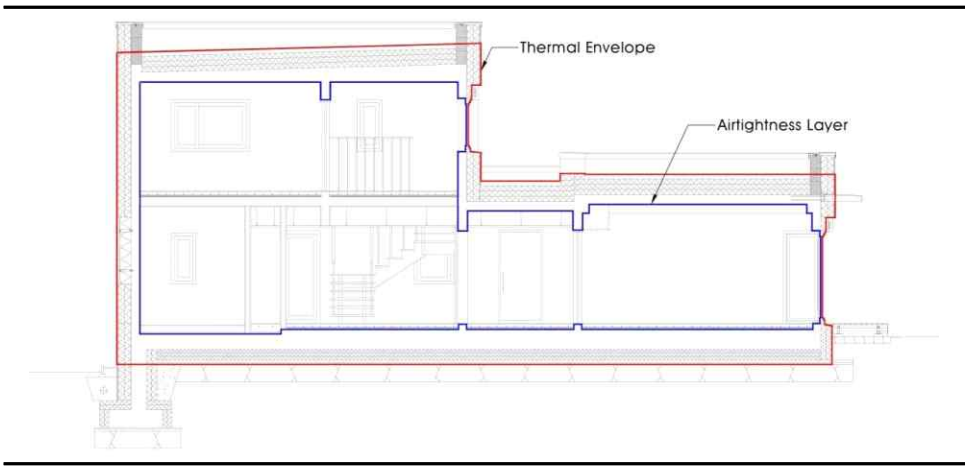
• 인증모형의 지붕외방수는 PVC방수로 계획되었으며 특성은 다음과 같다.

- 합성 고분자시트 PVC의 일반적 특징
- 고분자량(High molecular weight) 열가소성 수지를 기본원료로 제조되어 다른 방수소재에 비해 내구성(20~30년), 내후성, 내천공성, 충격강도 등 기본물성이 뛰어나다.
- 다양한 색상 구현 가능으로 백색계열 시트는 햇빛 반사율이 높아 건물의 에너지효율성을 높이고, 미관이 양호하다.
- 저온에서의 유연성 확보로 동절기 시공이 가능하다.
- 물리적 특성이 뛰어나 통로등 다목적 지붕면에 적용이 가능하다.
- 열융착에 의한 시공으로 접합강도가 높다.
- 지붕보수 시 기존 구조물에 손상을 입히지 않고 시공이 가능하다.

다. 기밀 시공

(1) 기밀외피 시공

- 익산 패시브하우스의 기밀 계획은 벽체 내벽면을 기준으로 이루어졌다. 기본적으로 미장이 이루어진 콘크리트벽은 기밀한 층으로 보기 때문에 개구부를 중점으로 실시하였다.



[그림3.187] 단면상 기밀계획

(2) 창호주변 기밀 시공

- 창호 주변에 사용된 기밀자재는 내부용과 외부용이 쓰였다.
- 내부용 기밀자재는 온도저항성능 -20도~+90도, 투습공기저항(Sd) 2.3m, 투습저항계수(μ) 7,668로서 투습성능과 접착성능이 좋은 자재를 사용하였다. 마찬가지로 실내에도 부착성능을 높이기 위해 아스팔트프라이머로 바탕작업을 하고 위에 기밀테이프를 부착했다.





[그림3.188] 창호 내부 기밀시공사진

- 외부용 기밀자재는 온도 저항성능 -40도~+90도, 투습공기저항(Sd) 0.05m, 방수성능 2,500m로서 투습뿐만 아니라 방수기능까지 있는 자재를 사용하였다. 또한 부착성능을 높이기 위해 아스팔트 프라이머를 발랐다.

- 아스팔트 프라이머 시공을 했음에도 겨울철이었기 때문에 테이프의 점착성이 매우 낮아, 테이프를 여러번 붙이느라 많은 시간이 소요되었다. 또한 기밀테스트를 거치는 동안 여러 부위에서 새는 것을 발견하였고, 그 부분을 재검토하여 기밀성을 보강하였다.

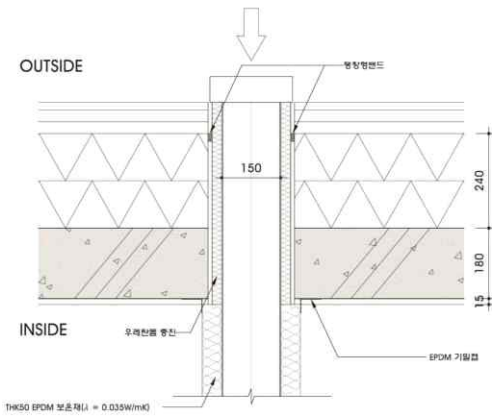




[그림3.189] 창호 외부 기밀시공사진

(다) 환기배관 기밀 시공

- 폐열회수 환기장치의 외부 환기구로 인해 벽체에 구멍이 생기게 되는데 이도 창호와 마찬가지로 기밀시공이 필요하다. 외부와 맞닿아 있는 환기배관 주위의 기밀성을 위해 외부 단열재 초입부분에 팽창형밴드를 부착하고 그 사이를 우레탄폼으로 충진하였으며, 실내 콘크리트 끝부분에 EPDM 기밀자재를 사용한다.





[그림3.190] 환기배관 기밀시공사진

(라) 통합분전반 기밀 시공

- 전기 배선을 통해 요구되는 기밀화작업의 시공성을 높이고 기밀도 확보를 위해 분전반 하나로 통합시킴으로써 그곳의 기밀성을 높였다. 기본적으로 기밀 시공이 간편한 만큼 기밀성을 높이기에 유리하다.

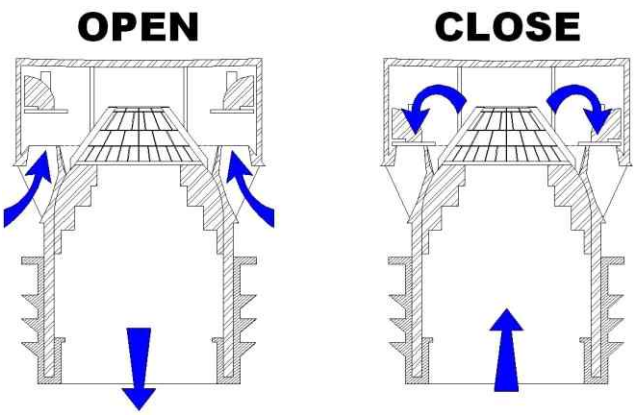




[그림3.191] 통합분전반 기밀시공사진p

(마) 화장실 통기밸브 기밀 시공

- 기밀도가 기존의 건축물에 비해 매우 높은 패시브하우스는 배수관 내의 압력까지 고려해야 한다. 특히 화장실에서 물 사용으로 인해 관내 배수의 흐름이 시작되면 압력이 외부 대기압보다 낮아지게 되는데, 통기밸브와 같은 특수한 장치가 필요하다. 이는 관내 압력이 낮아지면 밸브시트가 열리면서 외부 공기가 유입되고, 압력차가 해소되고 나면 밸브시트는 중력에 의해 닫히게 된다.



[그림3.192] 화장실 통기밸브 기밀시공도면 (출처 : 스튜더코리아)

(바) 내부마감 시공

- 위와 같은 기밀시공을 거치는 동안 수차례 기밀테스트를 실시하였으며, 창호설치부위와 창호 자체에서 새는 부위를 잡기위해 오랜 시간을 투자하였으나, 기밀성이 패시브인증을 받기 위한 수준이 나오지 않았다. 전체적으로 기밀성을 점검한 결과 콘크리트 벽체 자체가 기밀하지 않은 것으로 나타났다. 독일의 경우 콘크리트의 품질이 좋기 때문에 기밀층으로 보고 있으나, 국내는 그 정도 수준이 되지 않았으며, 부분적으로 마무리가 깔끔하지 않은 부위에서 공기가 새는 것을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 실내와 실외에 일정두께 이상의 시멘트로 미장을 실시하였으며, 최종 기밀테스트 결과 감압 가압 평균 0.28이라는 수치를 얻게 되었다.




[그림3.193] 내부마감시공 사진

라. 외부차양 시공

(1) 외부 베네션 블라인드(External Venetian Blinds)




[그림3.194] 외부 베네션 블라인드 사진

- 외부 베니션 블라인드는 독일에서 가장 많이 사용되고 있는 외부 차양장치로, 얇고 긴 널을 기울이거나 올리고 내릴 수 있어서 자연 주광을 받을 수 있게 기울기를 태양의 위치에 따라 조절할

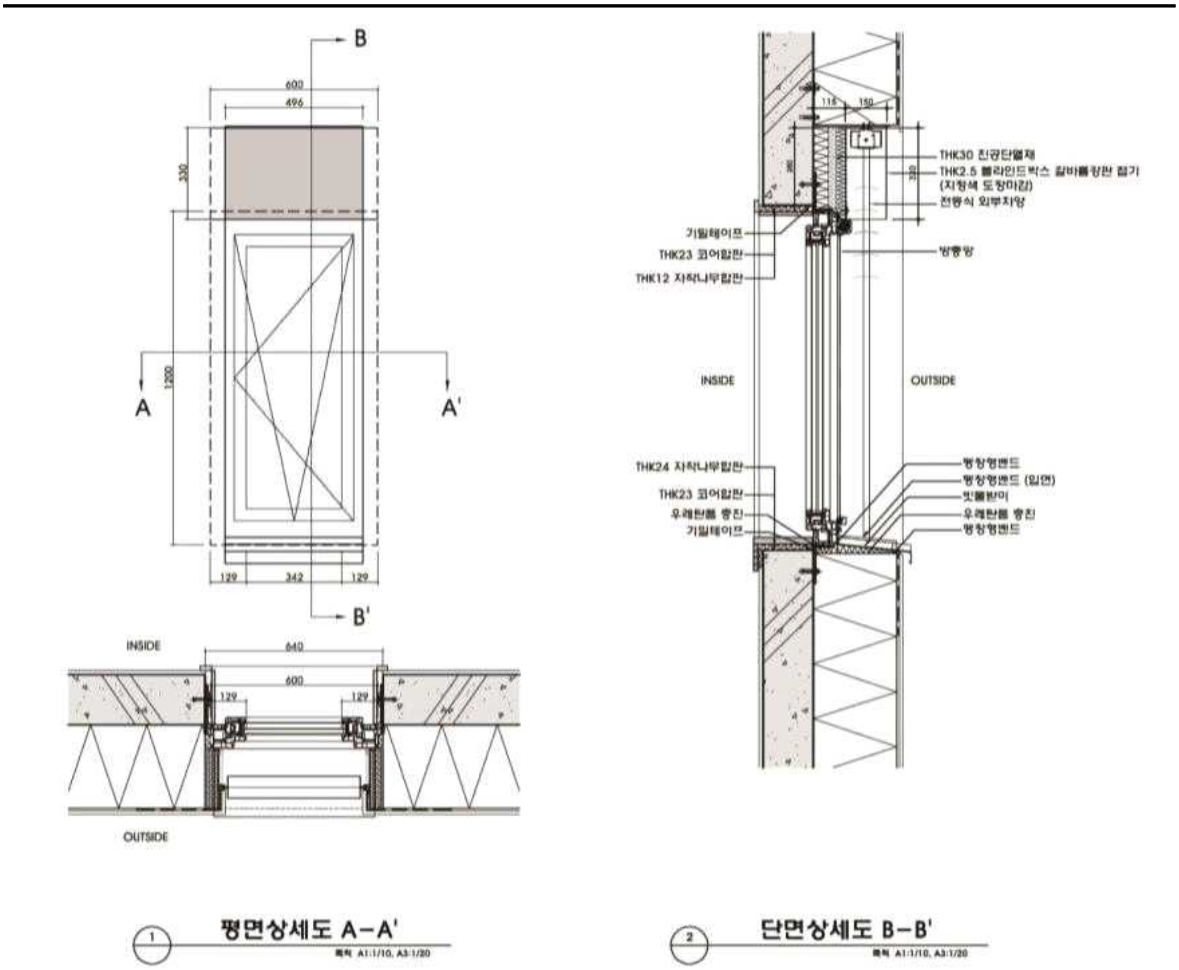
수 있다. 외부 베니션 블라인드는 외부 기후 조건에 따라 다능하게 조절할 수 있어 매우 효율적이다. 햇빛이 너무 강할 경우 실내의 과열을 방지하기 위해 베니션 블라인드로 90%의 태양열을 막아내며 여름철 냉방 에너지 소모를 줄일 수 있다. 겨울철엔 난방비를 줄이기 위해 블라인드를 위로 올려 태양열을 획득할 수 있다. 외부 베니션 블라인드의 자동적인 시스템과 조종이 가능한 창호는 건축물의 주간 냉방 에너지 소모를 줄여주며 야간 냉각을 효율적으로 돕는다. 이는 실내에서 조망을 해치지 않고도 일사량 조절을 가장 효율적으로 할수 있는 장치이다.

- 베네션 블라인드의 장점은 다음과 같다.
  - 자외선 차단 / 패시브 냉방 : 온실효과 및 과열 방지를 해주며 외부 열을 차단하여 냉방 설비 장치의 에너지 소모를 줄인다.
  - 일사열 취득 / 패시브 난방 : 겨울철 블라인드를 창 위로 모두 올려 태양열을 받아 난방 설비 장치의 에너지 소모를 줄인다.
  - 좋은 주광 활용으로 태양의 위치에 따라 널을 조정하여 주광을 최적도로 활용한다. 널의 색과 치수를 잘 활용하여 조명의 대한 에너지 및 조명의 과열로 인한 냉방 설비 장치 에너지 소모를 줄인다.
  - 섬광 차단 : 공간의 쾌적성을 유지하기 위하여 빛의 밝기를 줄여준다
  - 쾌적성 : 블라인드 조정에 따라 유리의 표면 온도와 온도에 따른 실내 온도 증가를 줄일 수 있으며 겨울철 유리 표면 및 실내 온도를 증가 시킬 수 있다.
  - 창호로 인한 열손실 : 겨울철 블라인드를 완전히 닫으면 창호로 인한 열손실을 각 재질의 U 치수에 따라 줄일 수 있다.
  - 외부시야 확보 : 자유롭게 조정이 가능하여 언제나 실내에서 조망권을 확보할 수 있다.

- 중요 변수 및 성능은 다음과 같은 치수를 이용한다.
  - 에너지 투과율 치수 (g value)은 창호를 통과하여 실내를 가열 하는 전환된 소수의 태양열이다.
  - 전체 에너지 투과율 치수 (gtotal 또는 gt) 는 유리와 차광 시스템의 에너지 투과율을 가리킨다.
  - 차광 시스템의 질은 차폐 계수로 (Fc value) 규정을 한다. Fc = gt/g 이며 이 치수가 낮을수록 자외선 차단이 더 효율적으로 이루어진다는 것이다. Fc = 1.0 (차광 없음), Fc = 0.1 (효율성 좋은 차광 시스템)

- 외부 베네션 블라인드의 효과를 계산하면 다음과 같은 성능을 보인다.
  - 유리 g = 0.65 (EN 410)
  - 유리 + 차광 g_t = 0.11 (EN 13363)
  - 차폐 계수 Fc = g_t/g = 0.15
  - 널의 기울기를 조절할 수 있는 관계로 차폐 계수는 해당 사항에 따라 조절 한다.
  - 냉방 기간 – 차광 활용
  - gt = 0.15 태양 에너지의 15%가 실내 온도에 전달된다.
  - 난방 기간 – 차광 해제
  - gt = g = 0.65 태양 에너지의 65%가 실내 난방으로 활용된다.

- 냉방 기간 30 kWh/㎡ 이상의 에너지 절약
- 난방 기간 10 kWh/㎡ 이하의 에너지 절약



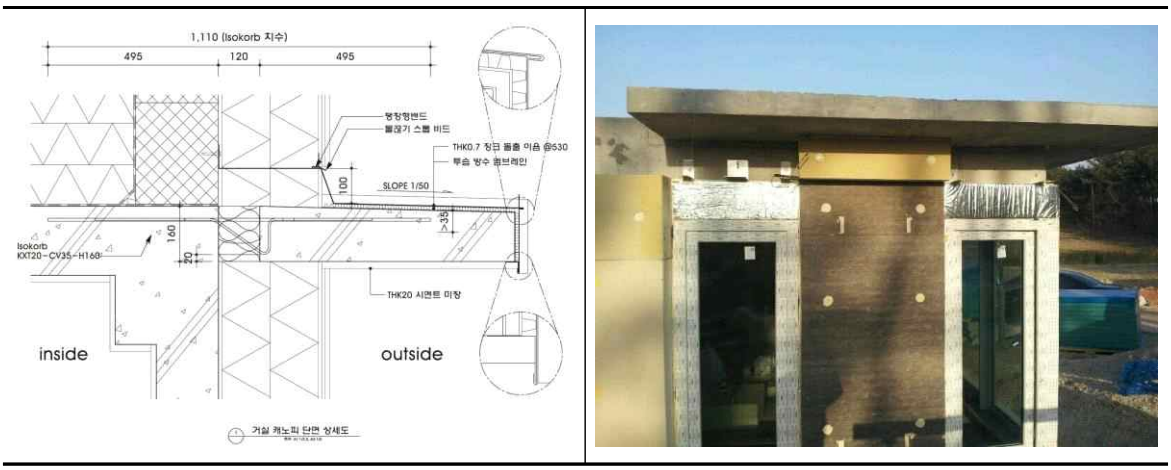
[그림3.195] 창호 블라인드 설치 도면

(2) 처마(Horizontal Solar Fins, Louvers and Balconies)

- 수평으로 고정된 또는 회전이 가능한 차광 장치는 건축적인 요구를 충족 시켜주며 동시에 태양열을 막아준다. 이 시스템은 남향 태양열을 막는데 적절하다. 주로 핀은 알루미늄으로 만들지만, 유리, 스텐리스 스틸 또는 직물로 만드는 경우도 있다. 수평으로 고정된 루버는 태양열을 잘 막아주지만 다른 외부 조건들을 어느 정도까지만 적합하다. 조종이 부족한 관계로 최상 조건의 자외선 차단 및 주광을 잘 활용 하려면 정확한 계획이 필요하다. 핀의 회전이 가능한 자동적인 시스템 및 조종이 가능한 창호는 건축물의 주간 냉방 에너지 소모를 줄여주며 야간 냉각을 효율적으로 돕는다.

• 처마의 장점은 다음과 같다.
  - 자외선 차단 / 패시브 냉방 : 외부로부터의 열전달을 적당히 줄여 냉방으로 인한 에너지 소모를 어느 정도 줄일 수 있다.
  - 일사열 취득 / 패시브 난방 : 겨울철은 해가 낮게 떠있으므로, 일사열 취득으로 난방에너지 요구량을 감소시킨다.
  - 주광 활용 방법 : 고정된 수평 차광 시스템은 주광을 잘 활용하지 못하지만 회전 가능한 루버는 주광을 잘 활용할 수 있다.
  - 쾌적성 : 루버는 해가 높이 떠있을 때 창호로 들어오는 빛을 막아주지만 가장 열을 많은 받을 때는 태양이 낮게 떠 있을 경우이다. 따라서 회전 가능한 루버를 사용하여 유리 및 실내의 온도를 내릴 수 있다.
  - 창호로 인한 열손실 : 겨울철 창호로 인한 열손실은 막을 수 없다.
  - 외부시야 확보 : 언제나 밖을 볼 수 있게 해준다.

• 처마 및 발코니의 효과를 계산하면 다음과 같은 성능을 보인다.
  - 유리 g = 0.65 (EN 410)
  - 유리 + 차광 gt = 0.39 (EN 13363)
  - 차폐 계수 Fc = gt/g = 0.6
  - 널의 기울기를 조절할 수 있는 관계로 차폐 계수는 해당 사항에 따라 조절 한다.
  - 냉방 기간 - 차광 활용
  - g_t = 0.39 가장 좋은 조건에서 태양 에너지의 39 %가 실내 온도에 전달된다.
  - g_t = g = 0.65 태양 에너지의 65 %가 실내 난방으로 활용된다.
  - 냉방 기간 10 kWh/㎡ 이상의 에너지 절약
  - 난방 기간 10 kWh/㎡ 이하의 에너지 절약



[그림3.196] 처마 설치도면

마. 설비 시공

(1) 지열(난방 및 급탕) 설비

- 지열시스템을 통해 난방과 급탕을 활용하도록 계획 하였으며, 약 16.7도가 되는 지중온도를 가지고 히트펌프를 거쳐 40도의 급탕온도로 복사 난방과 급탕을 제공한다. PHPP계산 시, 실내 목표온도는 20도를 기준으로 하였으며, 기본적으로 연간 면적당 난방 요구량이 기존의 건축물보다 80% 이상 낮은 수준이고, 기밀도가 매우 높으므로, 40도의 온도로 충분한 난방이 될 것으로 판단된다. 또한 기존의 단열성과 기밀성이 낮아서 열손실과 우풍이 심한 건물에서처럼 높은온도로 공급을 하게되면 실내 온도가 매우 높아질 위험이 있으며, 불쾌한 실내가 조성 될 것이다. 또한 40도의 낮은 온도는 에너지를 많이 소비하지 않으므로 환경부하 저감의 측면에서도 장점이 있다.

- 지열을 계획하기에 앞서 다음과 같은 설치 여건을 검토하였다.
  - 지리적 여건 : 도심 번화가가 아닌 지역으로서 민원제기 등의 소지가 없는 전원주택
  - 시간적 여건 : 신축건물로서 천공부지가 있어서 시간적으로 설비하는 데 특별한 문제가 없음
  - 설치적 여건 : 보일러실 등의 위치가 별도로 배정되어 있고 지열설비를 설치하는데 특별한 문제가 없음
  - 지열 설치
  - 다음은 냉난방부하계산서로서 설계 조건 및 일사에 의한 부하, 전도에 의한 부하, 인체 발열, 환기, 조명의 부하, 실내 잠열 부하등을 고려하여 최종 냉난방 부하계산을 실시하였다.

[표3.98] 냉난방부하계산서

냉 난 방 부 하 계 산 서

PROJECT NAME : 주택 지열냉난방 시스템 ZONE NAME :

실 명 : 주 택 공조방식 FCU+바닥코일방식 가로[M] : 세로[M] : 면적 : 217.10 [M2]

설계조건	하 절 기				동 절 기			
	DB [℃]	WB [℃]	RH[%]	X [kg/kg']	DB [℃]	WB [℃]	RH [%]	X [kg/kg']
실 외	34	26.3	60	0.019400	-8.5	-10.5	73	0.001100
실 내	22	19.9	50	0.010900	22	15.5	50	0.0074

1. 일사에 의한 부하

항 목	방위	면 적 [㎡]	차 폐 계 수	일사량 [Kcal/M2 hr] 10시	12시	14시	16시	하 계 [Kcal/hr] 취득열량 [Kcal/hr] 10시	12시	14시	16시
유리	s	18.15	0.8	39	43	39	28	581	640	581	417
소 계								581	640	581	417

실내 설계 조건

인원밀도	0.5	인/M2
조명부하	25	W//M2
인체 발생 현열 :	56	Kcal/hr
인체 발생 잠열 :	46	Kcal/hr
하계 환기 횟수 :	0.5	회/hr
동계 환기 횟수 :	2	회/hr

동 계 [Kcal/hr]

2. 전도에 의한 부하

항 목	방위	면 적 [㎡]	K	보정 C.L.T.D (℃) 10시	12시	14시	16시	하 계 [Kcal/hr] 취득열량 [Kcal/hr] 10시	12시	14시	16시
외벽	W	33.00	0.720			13.00				309	
외벽	E	30.00	0.190			9.00				51	
외벽	N	30.00	0.980			7.80				229	
외벽	S	33.00	0.510			10.00				168	
유리											
바닥											
지붕											
소 계										758	

1. 전도에 의한 부하

온도차 [℃]	방위계수	손실열량 Kcal/hr
28.00	1.10	732
28.00	1.10	176
27.00	1.20	953
25.00	1.00	421
		2,281

3. 환기,인체,조명,기타부하

						10시	12시	14시	16시
극 간 풍	0.288	x	145.00	CMH x	8.9 ℃	372	372	372	372
인 체	4.0	인 x	56	Kcal/hr 인 x	1.0	224	224	224	224
조 명	2500	W x	0.86	Kcal/hr/W x	1.2	2,580	2,580	2,580	2,580
기 구	2.5	KW x	860	Kcal/hr/Kw x	1.0	2,150	2,150	2,150	2,150
소 계						5,326	5,326	5,326	5,326
실내 현열 소계						5,906	5,966	6,664	5,742
안전율	[	10.00%	]			591	597	666	574
실내 현열 합계 [RHS]						6,497	6,562	7,330	6,317

4. 실내 잠열 부하

						10시	12시	14시	16시
극 간 풍	720	x	145.00	CMH x	0.0085 ℃	887	887	887	887
인 체	4.0	인 x	46	Kcal/hr 인		184	184	184	184
기 구	2.5	KW x	860	Kcal/hr/Kw		2,150	2,150	2,150	2,150
소 계						3,221	3,221	3,221	3,221
안전율	[	10.00%	]			322	322	322	322
실내 잠열 합계 [RLS]						3,544	3,544	3,544	3,544
실내 전열량 합계 [RTH]						10,040	10,106	10,874	9,860

2. 환기에 의한 부하

	1,216	M3/hr	
x	0.288		
x	30.50	℃	
=	10,679		
소 계	10,679		
안 전 율	10.00%	1,068	
난방 열량 합계	11,747		

현열비 = 7,330 / (7,330 + 3,544) = 0.67

급기풍량 = 7,330 / (0.288 x 10.0) = 2,545 CMH

급기횟수 2,545 CMH ÷ 608 M2 = 4.19 회/hr

1. 면적당냉방부하 = 50.09 Kcal/m2.hr
2. 면적당난방부하 = 54.11 Kcal/m2.hr
3. 하절기냉방부하 = 10,874 Kcal/hr
4. 동절기현열부하 = 4,942 Kcal/hr
5. 동절기잠열부하 = 3,544 Kcal/hr
6. 동절기전체부하 = 14,028 Kcal/hr

□ 하절기 냉방부하 = 실내현열 + 실내잠열

7,330 + 3,544 = 10,874 Kcal/hr

□ 동절기 난방부하 = 전도에 의한 부하 + 환기에 의한 부하

2,281 + 11,747 = 14,028 Kcal/hr

※ 전도에 의한 부하(손실열량) = 면적 x K x ⊿t x 방위계수

33.00 x 0.720 x 28.0 x 1.10 = 732

※ 환기에 의한 부하 = 환기량 x 공기의비중 x 공기의 비열 x ⊿t

(2 x 607.9) x 1.20 x 0.24 x 30.50 = 10,679

※ 환기량 = 환기횟수 x 체적

※ ⊿t = 실내온도 - 실외온도

• 지열은 냉방과 난방을 담당하도록 계획되었으며, 실냉난방면적은 217.1㎡ 이다. 적정한 지열 설비 용량을 계산하기 위해서는 GLD 프로그램을 사용하였으며, 기본적인 사항은 다음과 같다.

• 지열히트펌프의 선정
  - 총 부하량은 냉방 또는 난방의 부하량중 높은 것을 기준으로 하였으며 난방부하량은 14,028 kcal/hr 로 측정되었다.
  - 총 부하량 = (14,028 kcal/hr) / 860
    = 16.31 kW
  - 총 부하량에 따라 지열히트펌프의 용량은 17.5 kW 용량으로 산정하였다.

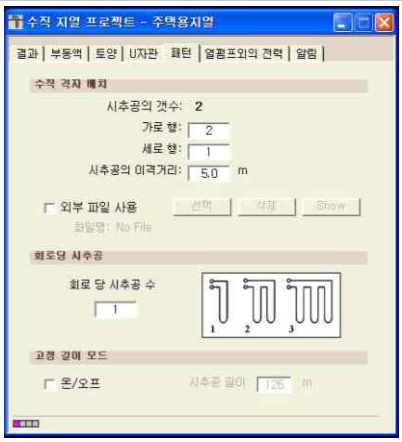
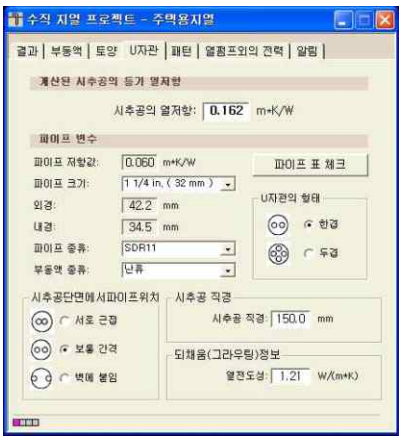
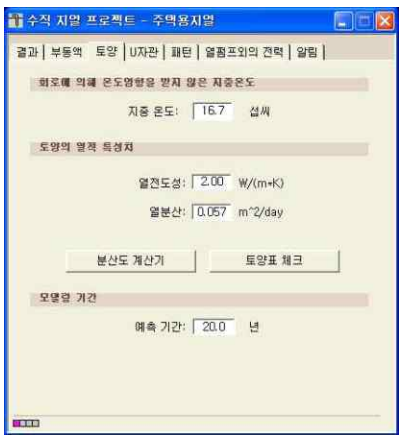
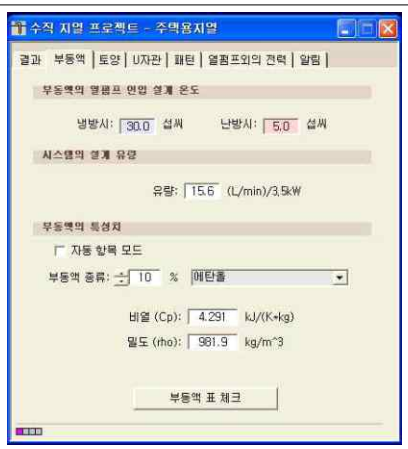
• 순환펌프 용량 선정
  - 유량 : 80 LPM (4.8 ㎥/h)
  - 양정 : 직관손실 7 m
    부속손실 0.7 m
    펌프 및 주변배관 1.0 m
    히트펌프 0.25 m
    여유율(10%) 0.89 m
    총 양정 : 9.84 m
  - 양정손실을 고려한 순환펌프의 양정은 10 m로 선정하였다.

※ 냉온수 순환펌프
  - 유량 : 60 LPM (3.6 ㎥/h)
  - 양정 : 정수두 1.0 m
    직관손실 1.0 m
    부속손실(직관의 10%) 0.1 m
    펌프 및 주변배관 1.0 m
    히트펌프 0.25 m
    여유율(10%) 0.33 m
  - 양정손실을 고려한 냉온수 순환펌프의 양정은 : 3.68 m ⇒ 4.0 m 선정.

• 지중 열교환기 용량선정

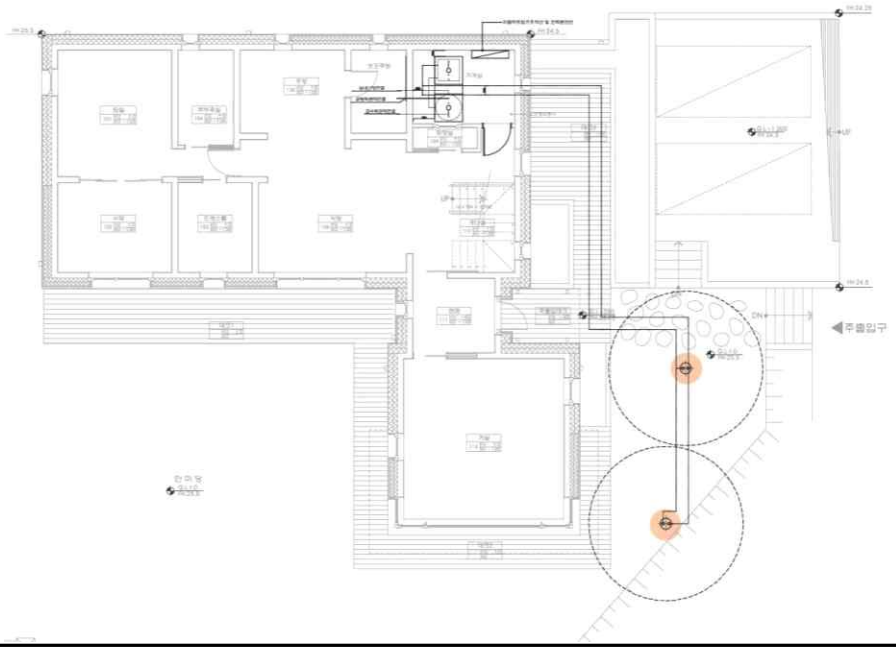
- 지열히트펌프는 난방 5 RT(17.5 kW)를 담당하도록 설계하였으며, GLD 프로그램을 이용하여 열교환기 용량 및 천공개수를 산정하였다. 지중열교환기 방식은 수직밀폐형이며 17.5 kW 난방을 하기 위해 150 m 깊이로 2개를 천공하게 되었다.

[표3.99] 지중 열교환기 용량선정

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>부하량 입력</td><td>지열 천공 패턴</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>열파이프 능력치 입력</td><td>지중온도 및 열 전도성 입력</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>시스템 유량/설계온도 입력</td><td>결과 값 산출</td></tr>
</table>

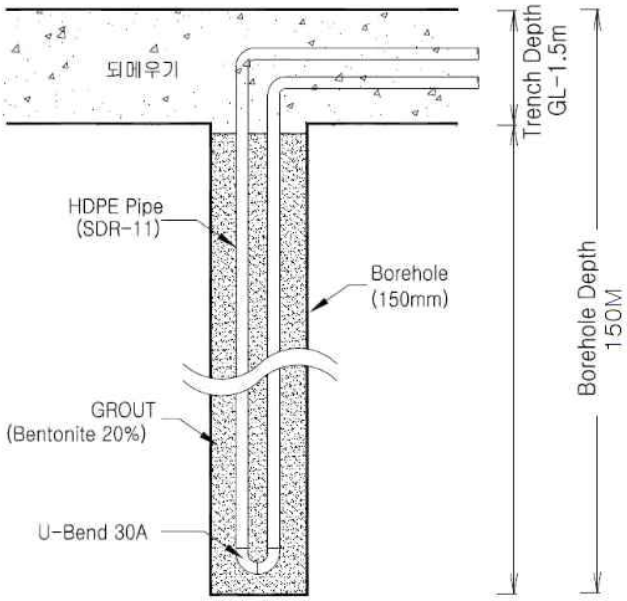
• 지열 흐름도 및 설치 위치

- 천공위치는 주 출입구 정면에서 왼편에 5m 간격으로 설치를 하였다.



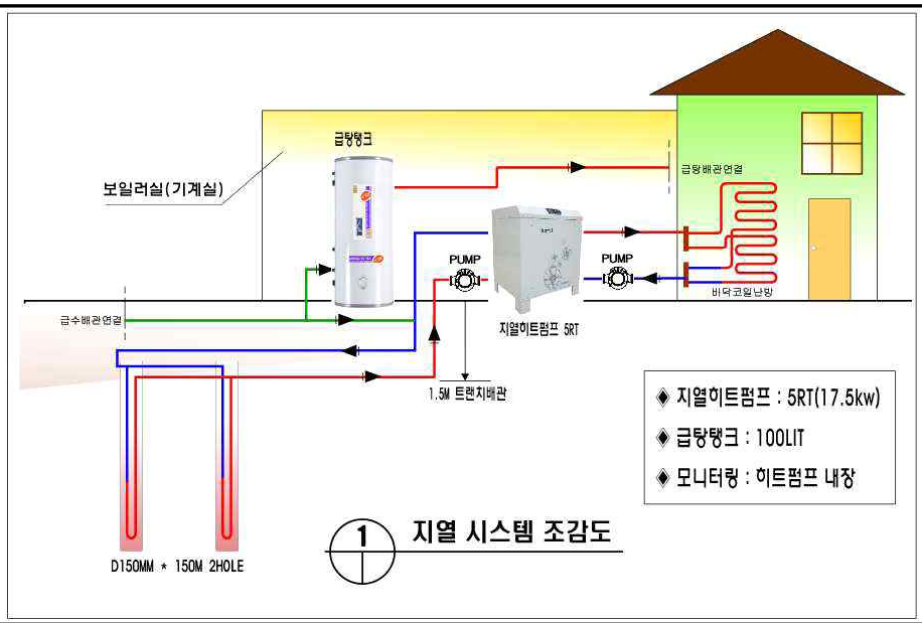
[그림3.197] 지열 흐름도

- 천공상세도는 아래와 같다.



[그림3.198] 지열 흐름도

• 지열시스템 조감도는 아래와 같다. 지열순환펌프로 지열관이 연결되어 지열 히트펌프를 통해 바닥 코일난방과 급탕탱크로 열원이 공급된다.



[그림3.199] 지열시스템 조감도

(2) 냉방 설비

• 초기에는 여름철 실내 쾌적성을 위해 복사냉방을 고려하였으나, 추가적인 비용 문제로 일반 에어컨으로 냉방을 계획하게 되었다. 설치된 에어컨의 사양은 다음과 같다.

- 냉방효율(COP) : 냉방효율은 소비전력 대비 냉방능력으로 3.4 W/W의 제품이다. 본 제품의 냉방능력은 6,000W이며 소비전력은 1,730W이다.
- 냉각은 히트펌프 시스템으로 작동하게 되며 과정은 압축 → 응축 → 팽창 → 증발의 순서로 이루어진다. 압축시 로타리 타입으로 압축기 2마력에 운전전류 8.2A이며, 응축시 모터 60W로 작동하여 온도는 40~50도 이다. 팽창시 모세관 타입으로 이루어지며, 증발시 표면온도 5~8도로 토출온도는 12~15도의 성능을 가지고 있다.
  → 압축 : COMP 2HP. 로타리타입, 운전전류 8.2A
  → 응축 : 모터 60W, 응축온도 40~50도
  → 팽창 : 모세관타입
  → 증발 : 표면온도 5~8도, 토출온도 12~15도
- 제습성능 : 실내온도 26도시 습도50% 성능

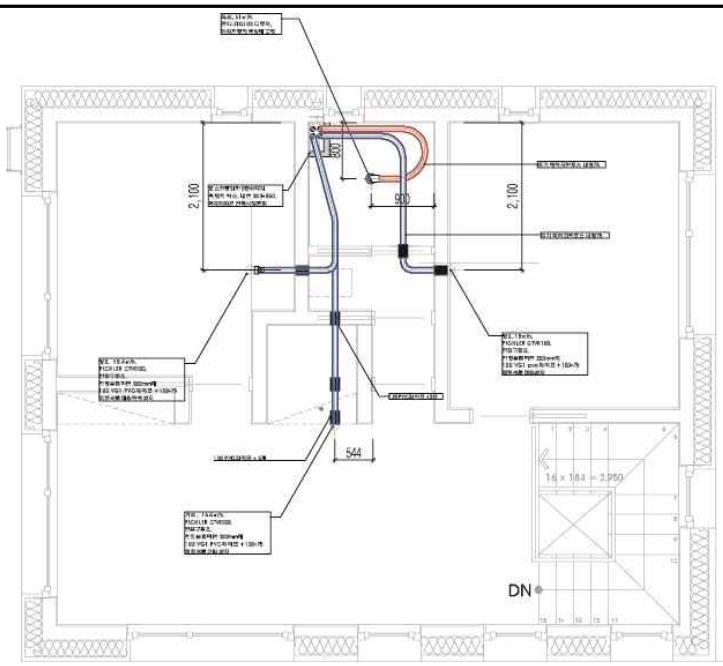
(3) 환기 설비

- 익산 주택의 기초환기량은 123 ㎥/h이며, 일반환기량은 161 ㎥/h, 최대환기량은 210 ㎥/h 이다. 아래 표는 환기밸런스를 맞추어 산정된 실별환기량이다.

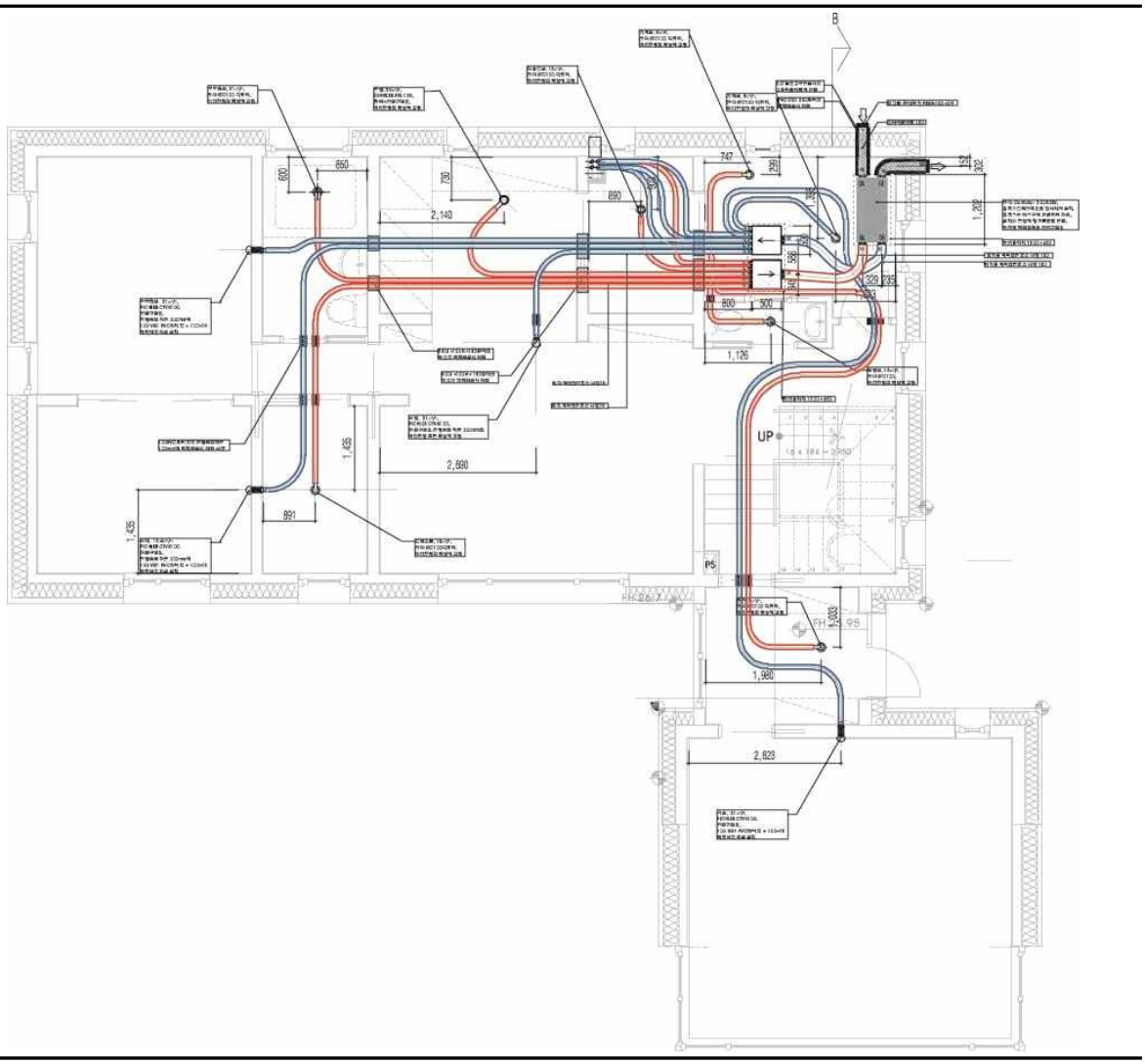
[표3.100] 실별 환기량 (단위:㎥/h)

급기		흡기		통기	
큰거실	30.8	주방	38.5	복도	46.2
안방(2)	30.8	욕실(2)	30.8	계단실	23.1
서재	15.4	화장실	15.4	창고	15
아이방(2)	15.4	세탁실	15.4		
작은거실	7.7	옷방	15.4		
기계실	7.7	현관	7.7		
		기계실	7.7		
총 급기	161.5	총 흡기	161.5		-

- 환기 배관 도면
  - 급기구역은 주 생활공간이며, 배기 구역은 서비스공간에서 이루어 진다. 주로 거실, 방 등은 급기배관을 설치하며, 화장실, 부엌 등에 배기를 설치하여 공기가 순환할 수 있도록 설치한다. 아래 그림의 파란부분은 급기, 빨간색은 배기이다. 환기장치 바로 앞에 각 실로 들어가기 전에 중앙 허브장치를 달아 실간 소음장치 비용을 줄였으며, 덕트는 PVC관으로 하여 시공성을 높였다.



[그림3.200] 2층 환기배관 도면



[그림3.201] 1층 환기배관 도면

- 우리나라는 여름의 높은 습도로 인해 제습이 필요한데, 냉방요구량은 난방요구량과 같이 연간 15kWh/㎡yr를 만족시켜야 하는 것뿐만 아니라, 제습으로 인한 에너지요구량 0.3W/㎡aK DDH 이하가 되어야한다. 이는 실제적으로 한국과 같은 기ㅁ후조건을 고려함으로써, 실제 들어가는 에너지사용량을 정확하게 예측할 수 있다.

- 환기장치는 현열 교환기(HRV:Heat recovery ventilator)와 잠열교환기(ERV:Energy recovery ventilator)가 있는데 어떤 기능을 채택할지 사전 검토를 실시 하였다. ERV는 잠열회수가 가능하므로 한국기후의 겨울철 건조함과, 여름철의 다습한 환경에서 거주자의 쾌적성을 높여주는 동시에 잠열에너지 소모를 줄일 수 있으나, ERV는 유럽에서 통상적으로 사용되는 HRV보다 가격이 30%이상 비싸다. 다음은 엔탈피회수의 효율을 비교하고 에너지 절감적인 측면을 분석하여 경제성 평가 결과이다.

[표3.101] 서울기후 기준

항목	HRV	ERV	HRV-PH	ERV-PH
현열회수효율	95	86	92	83.3
잠열회수효율	0	63	0	57.0
합	95	127	92	123.0

열회수효율에 의한 난방에너지 비용계산은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

[표3.102] 열회수효율에 의한 난방에너지 비용계산식

Qcost = Vv * Nv * c * Gt * (1-Veff) * 전력단가

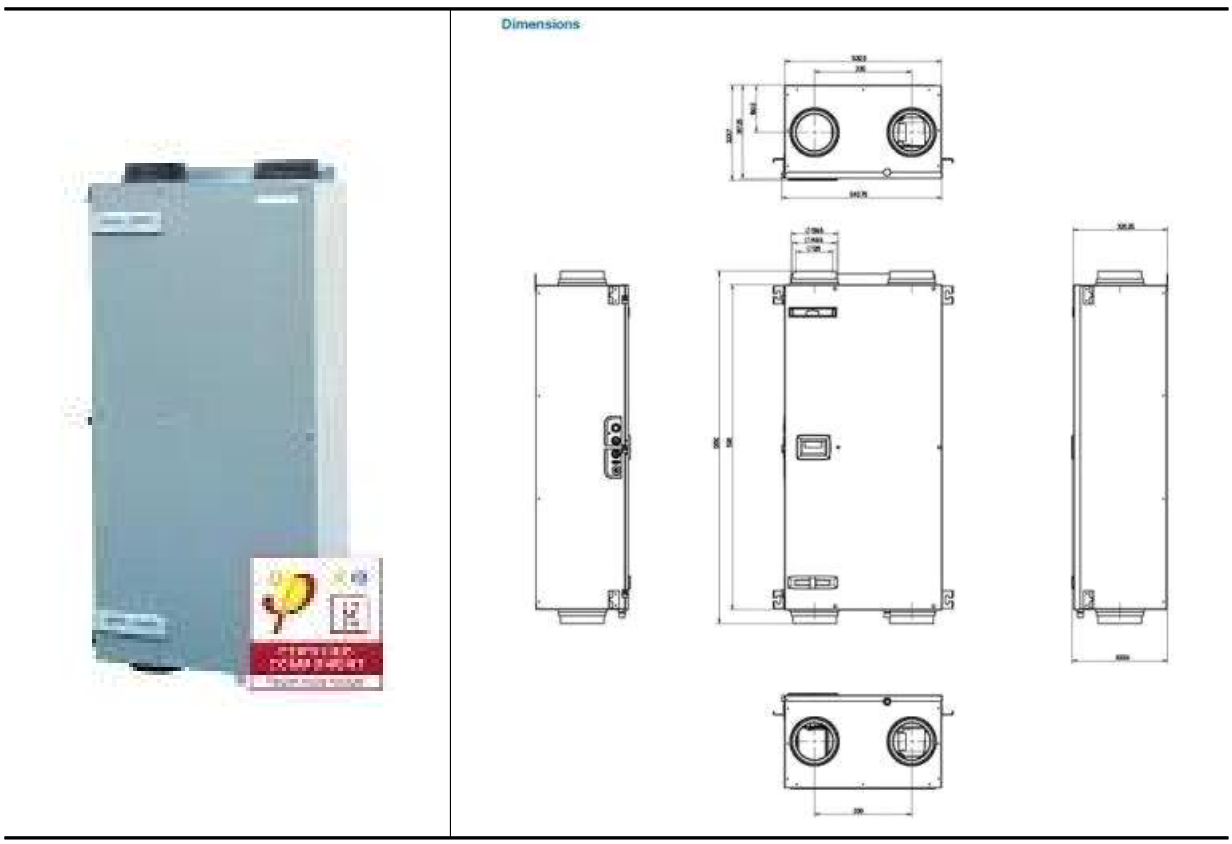
Qcost	환기에 소요되는 에너지비용	(\/년)
Vv	유효체적(TFA180㎡)	(180*2.5=450㎥)
Nv	실내환기비율	(패시브 0.3)
c	공기비열	(0.33W/㎥*℃)
Gt	년간난방시간*난방부하	(Hr℃/년, 서울기준 70,000)
Veff	열회수환기장치의 효율	(%)
전력단가		(150/KWH)

- 위의 정리된 정보에 따라 450 * 0.3 * 0.33 * 70000 * 0.31 * 150 = 145,000 으로 연간 약 14.5만원정도 에너지비용을 줄일 수 있으며, 최종적으로 난방에너지 비용 차이에 의한 투자비 차액 회수기간을 알아보면 다음과 같다.
  - HRV비용 : 480만원
  - ERV비용 : 625만원
  - 차액 : 145만원 회수기간 : 145만원 / 14.5만원 = 10년
- 일반적으로 회수기간이 10년이 넘어가면 선택하기 어려운 점이 있으나 경제적인 측면이외에 얻을 수 있는 사항은 적정한 습도의 유지를 위한 가습과 제습이 상대적으로 쉬워 쾌적하며, 열교환장치의 소자가 동결에 상대적으로 유리하며, 사용온도가 낮다. 또한 응측수 발생이 적어 관리가 편리하다. 그러나 열교환소자 청소시 물세척은 불가한 단점을 가지고 있다.

- 최종적으로 우리나라는 여름철 습기 관리가 어렵고 그에 따라 예상될 수 없는 에너지 비용이 추가될 것으로보고 습기가 가지고 있는 열을 교환할 수 있도록하는 ERV를 선택하여 여름철의 에너지효율을 더욱 높였다.

• 독일 패시브하우스에서 인증하는 환기장치에 있어서 요구되는 요소는 다음과 같다.
  - 공급온도 조건 16.5도 이상, (외부온도 -10도기준)
  - 열회수 효율 : 75% 이상
  - 전기사용량 : 0.45Wh/㎥ 이하
  - 기기 기밀성 실내 및 실외의 침기율이 3% 미만
    - 소　　음 : 35dB 이하
    - 외기 필터 : F7
    - 급기 필터 : G4
    - 결빙보호를 위해 외기온도 -15도 일 때 까지도 급기가 가능해야 함

• 환기장치는 Zehnder 사의 ComfoAir 200을 사용하였으며 특성은 다음과 같다.
    - 환기량은 200 ㎥/h 까지 담당
    - 열회수 효율 최대 95 %
    - 저전력 모터 사용 전기사용량 0.42 Wh/㎥
    - 기밀성 기기 내부 2.84 %, 기기 외부 0.8 %
    - 여름철 자동 100 % 바이패스
    - 매우 낮은 온도에서도 결빙 보호 기능
    - 설치가 쉽고 안전함



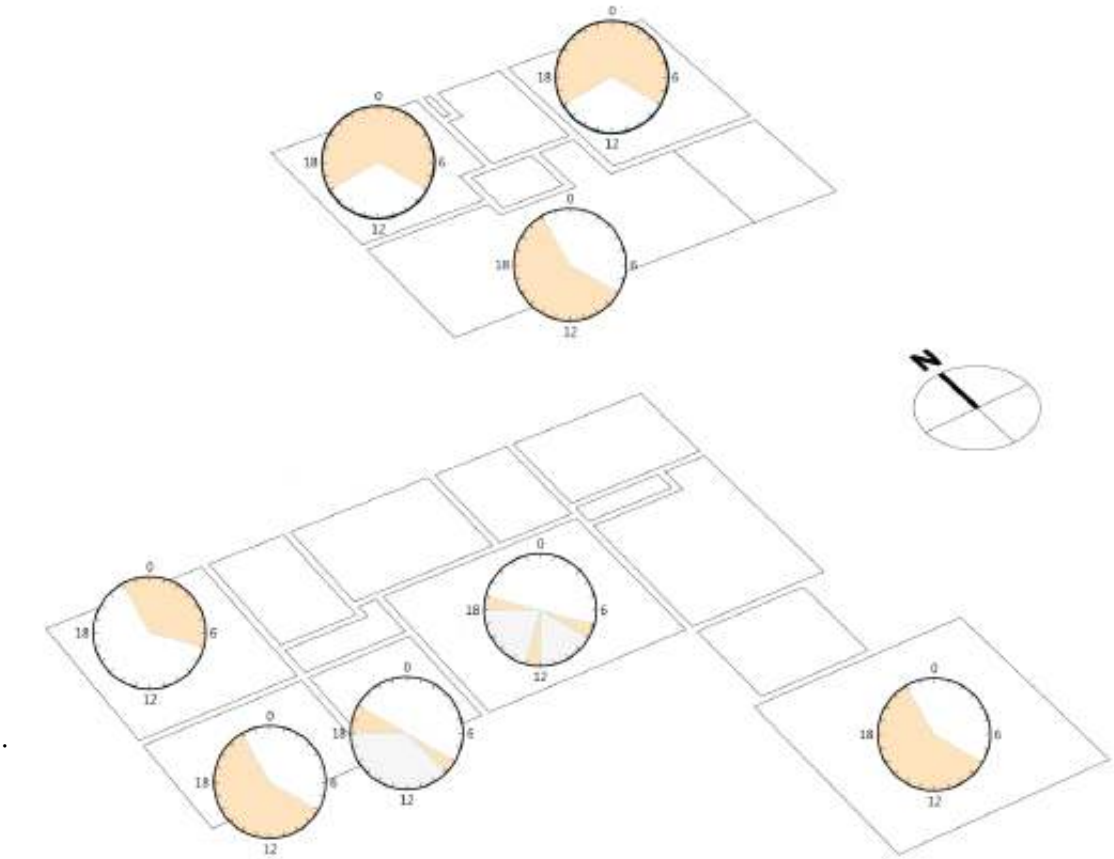
[그림3.202] Zehnder 사의 ComfoAir 200

바. 생활에너지효율화 계획

(1) 에너지효율화 조명계획

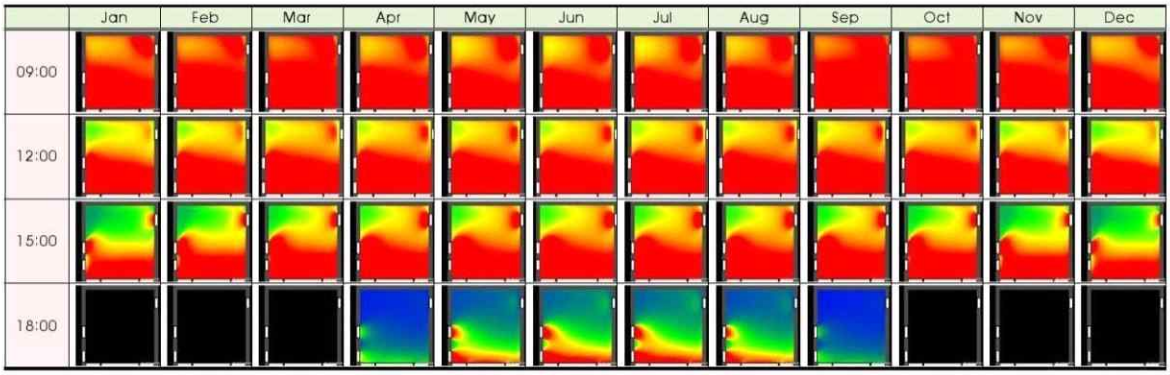
(가) 자연채광의 극대화

• 낮 시간 주생활 공간의 남향 배치

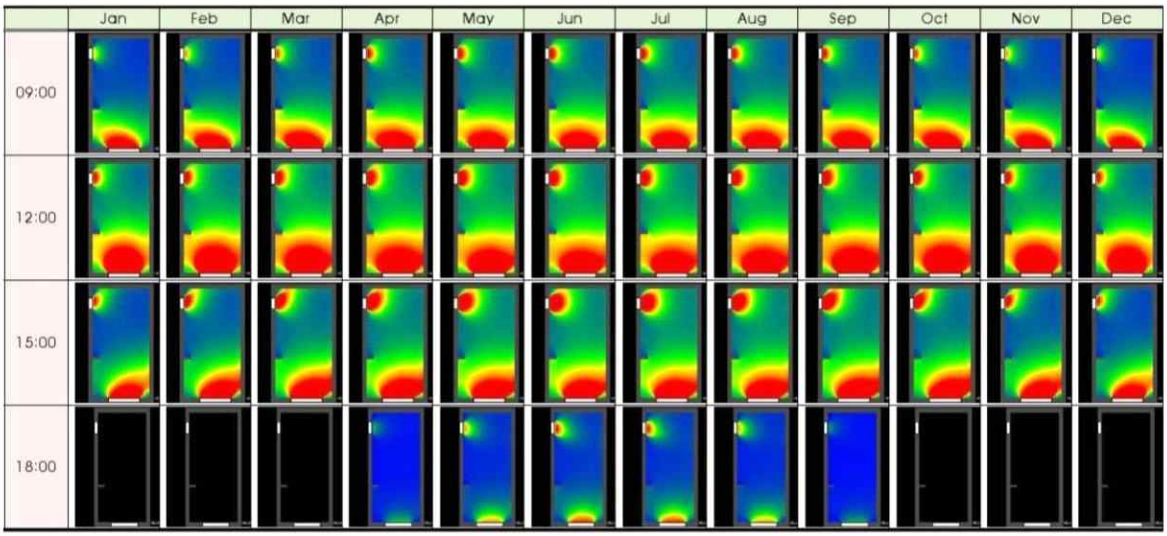


[그림3.203] 공간별 주 사용시간

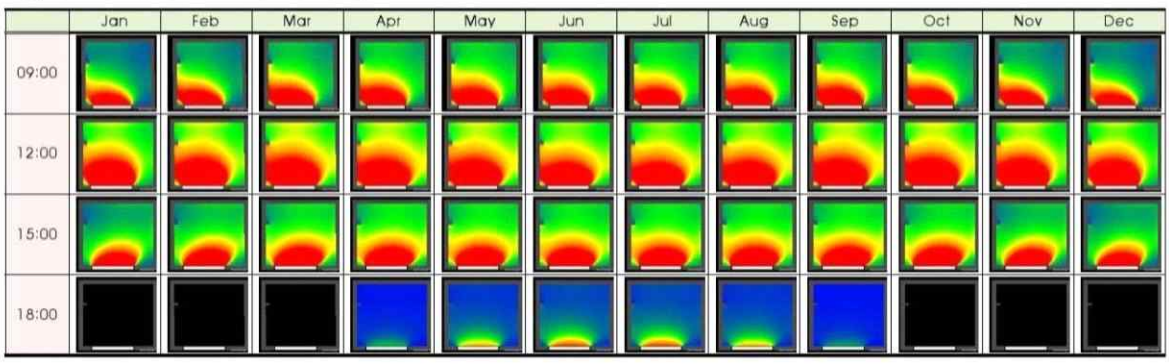
(나) 실별 자연채광계획



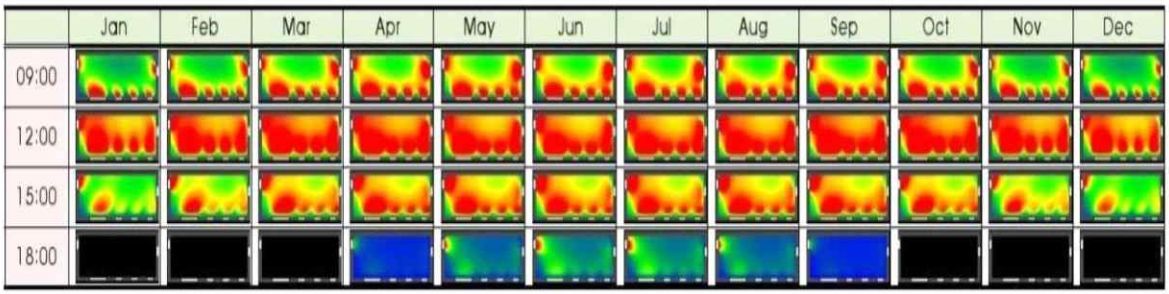
[그림3.204] 거실 자연채광계획



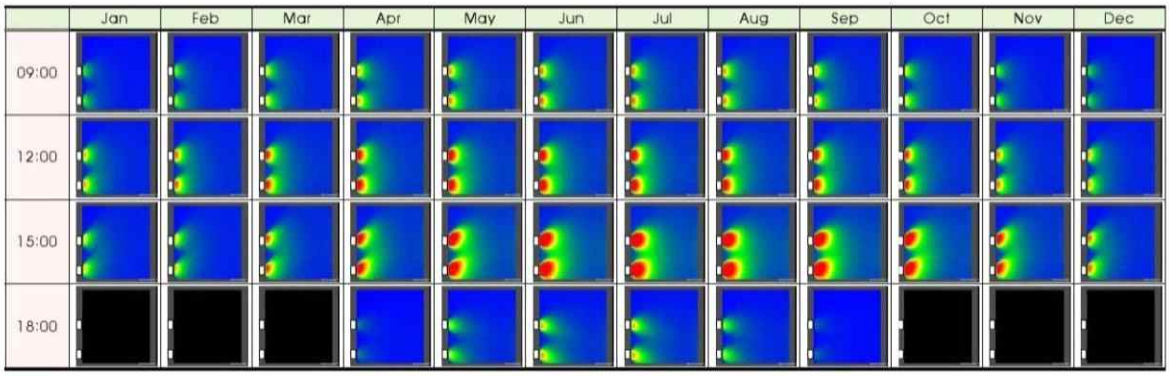
[그림3.205] 부부침실 자연채광계획



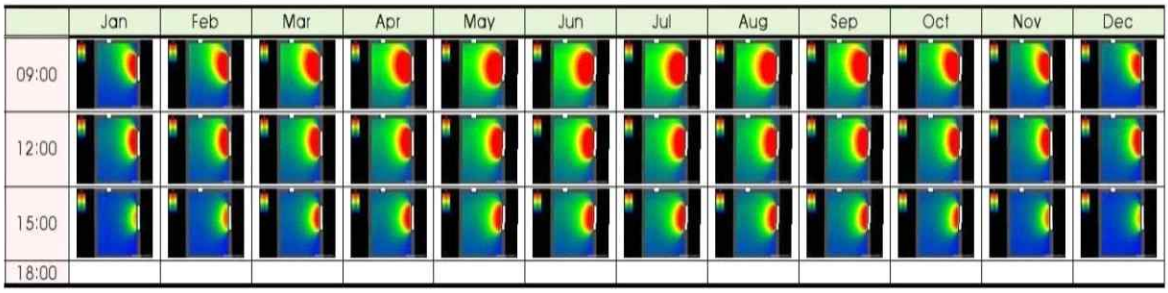
[그림3.206] 식당 자연채광계획



[그림3.207] 가족실 자연채광계획

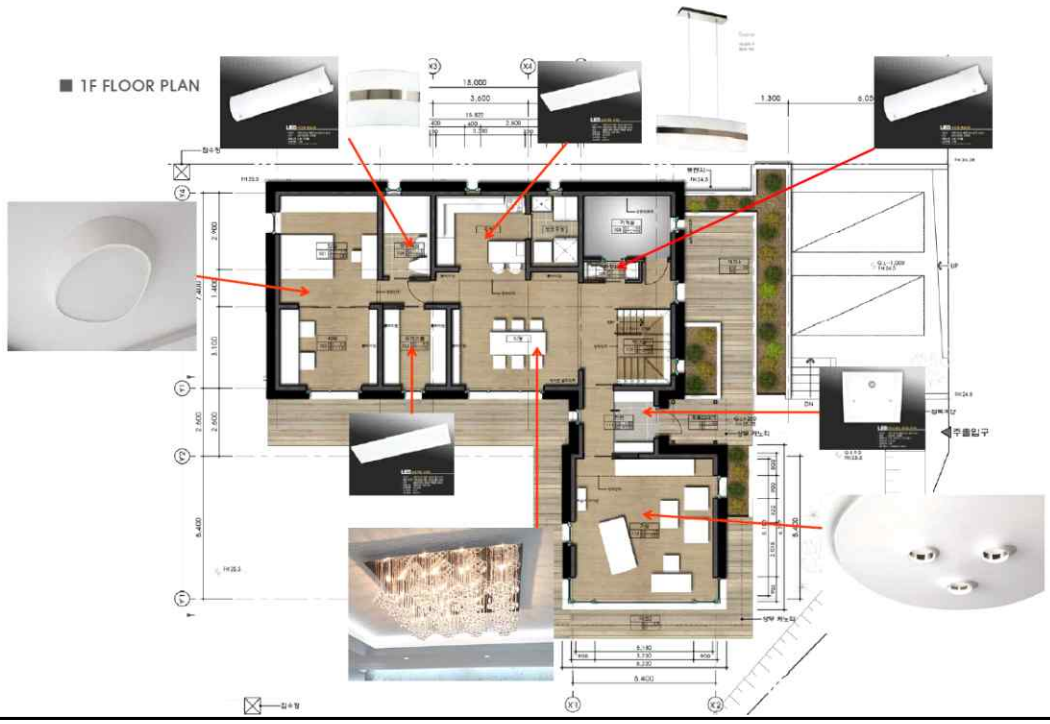


[그림3.208] 아이방(1) 자연채광계획

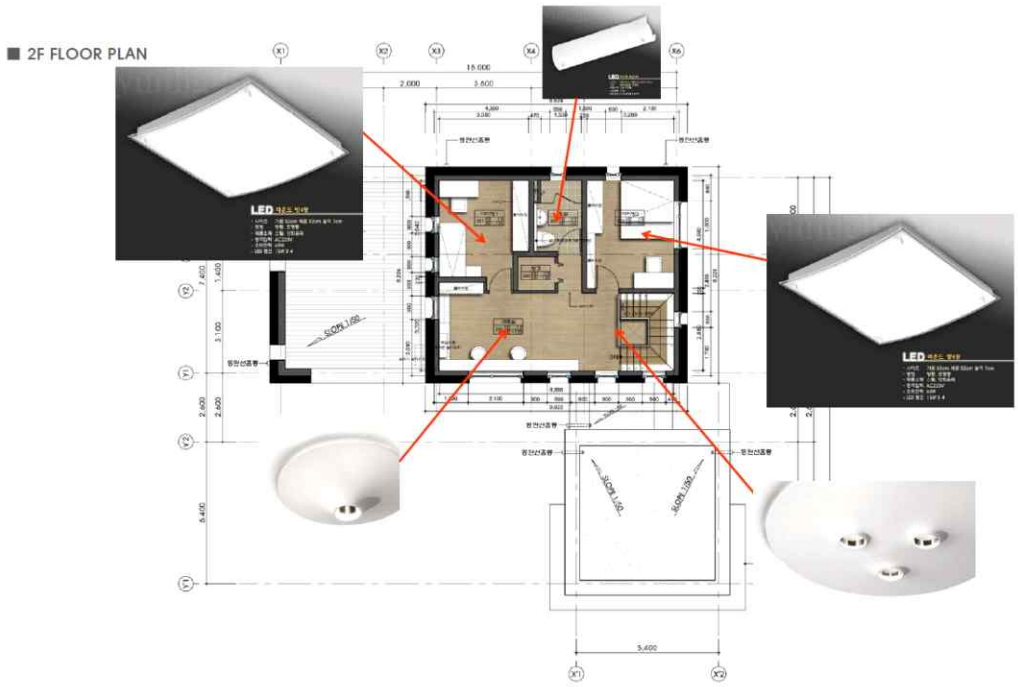


[그림3.209] 아이방(2) 자연채광계획

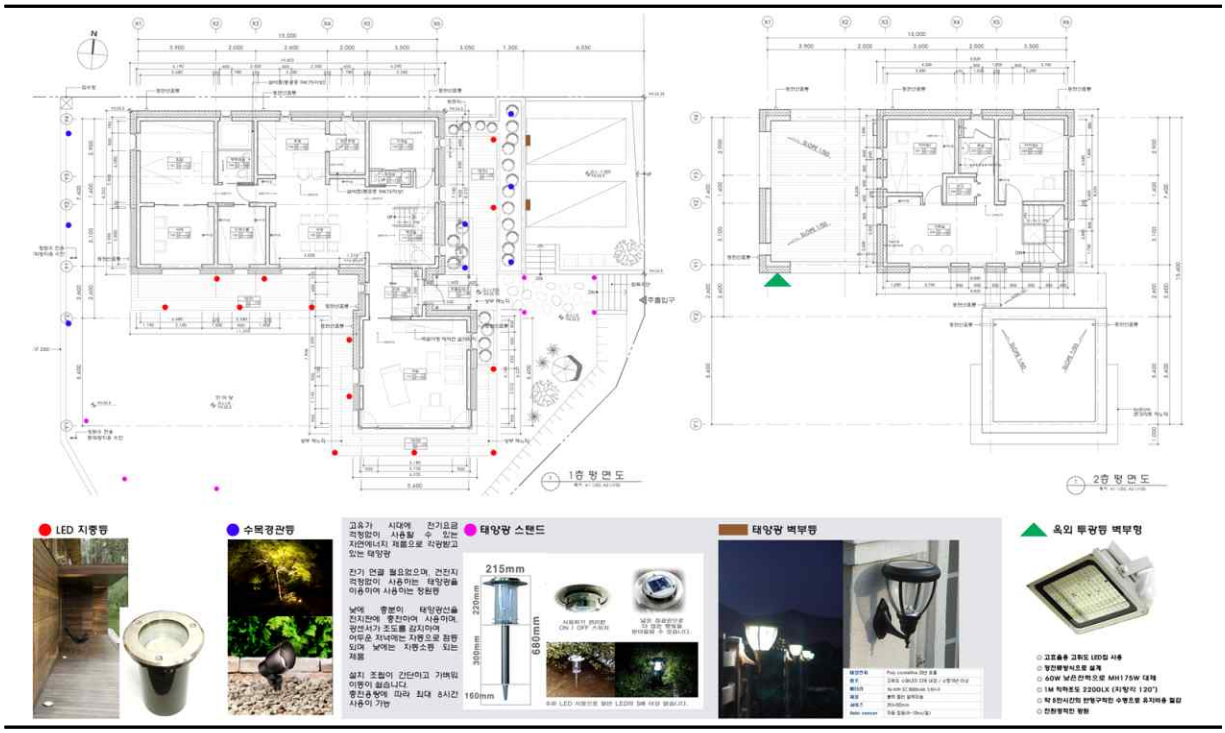
• LED 및 고효율조명기기 사용



[그림3.210] 지상1층 조명계획



[그림3.211] 지상2층 조명계획



[그림3.212] 외부 조명계획



Yoonlighting LED Highgrossy white sensor lamp
: Entrance - 1Pcs
: 10.5W
: LED Lamp X 1 (5050 Chips X 48 Pcs)
: Motion Detector



Yoonlighting LED Slim glass light
: Kitchen, Dressroom - 5Pcs
: 36W
: 5050 Chips X 240 Pcs
: 3600lm



Yoonlighting LED Acryl Badezimmer 2 light
: WC(EG), Bad(1OG) – 2Pcs
: 13W
: LED Lamp X 2 (5450 Chips X 60 Pcs)



Philips Roomstylers (QWG 305) LED
: Badezimmer(EG) - 2Pcs
: 30W LED



Philips Ecomoods Ceiling Light
: Schlafzimmer, Arbeitszimmer (EG) - 2Pcs
: FPL 36W X 3



Yoonlighting LED Round Room 4 light
: Kinderzimmer - 2Pcs
: 60W
: LED 15W X 4

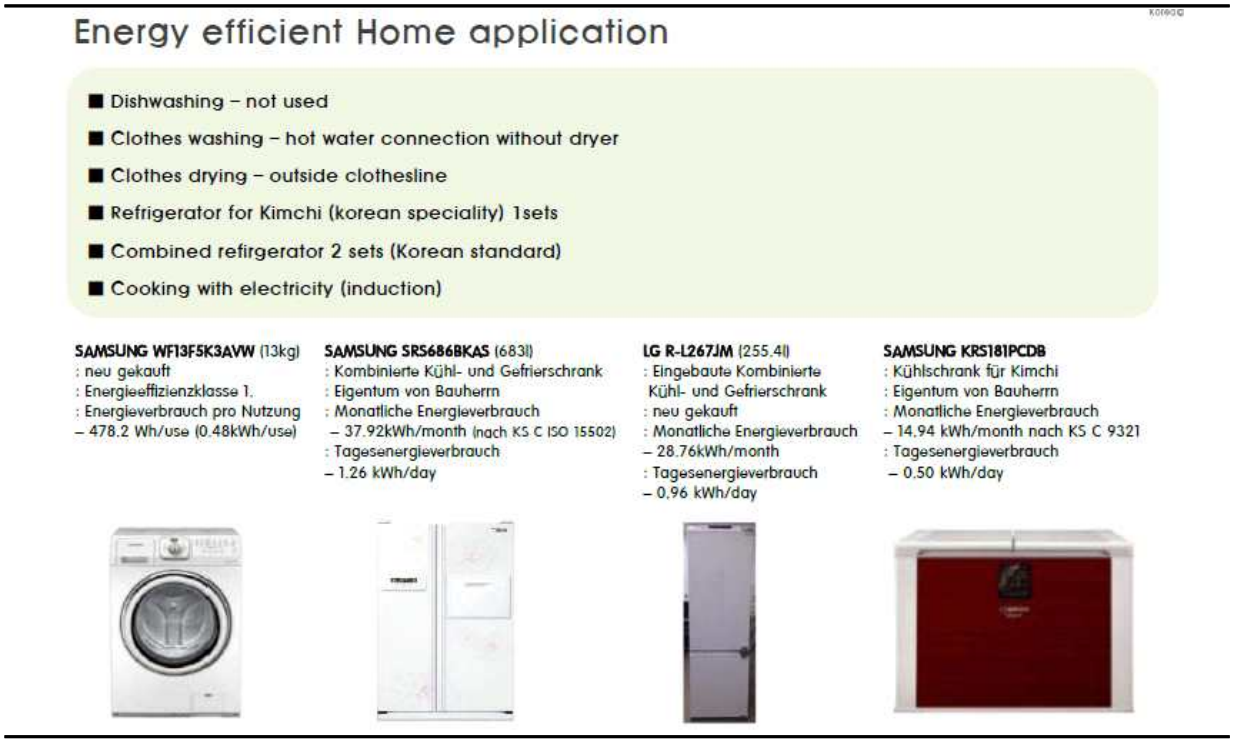


적용램프	규격	정격전원	소비전력	정격전류
T5 FBL 14W*1	580*33*44.3	220V/50Hz	16W	0.070A
T5 FBL 21W*1	880*33*44.3	220V/50Hz	24W	0.110A
T5 FBL 28W*1	1180*33*44.3	220V/50Hz	31W	0.145A
T5 FBL 24W*1	580*33*44.3	220V/50Hz	27W	0.127A
T5 FBL 39W*1	880*33*44.3	220V/50Hz	42W	0.182A
T5 FBL 54W*1	1180*33*44.3	220V/50Hz	57W	0.273A

Indirect Lighting around Diningroom
: FBL 21W x 11 Pcs

[그림3.213] LED 및 고효율 조명기기 모델

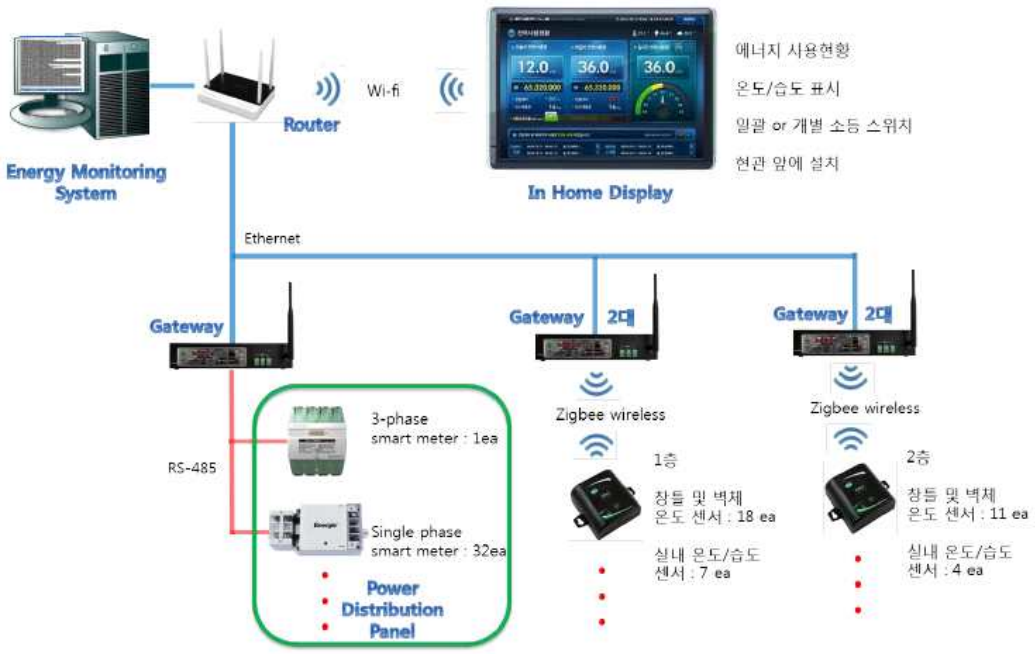
(2) 고효율 가전기기 설치



[그림3.214] 고효율 가전기기

(3) HEMS(Home Energy Management System)

- 시간대별, 일간, 주간, 월간 리포트 기능을 사용량 비교 용이
- 해당일 막대그래프 클릭시 일간 상세 정보 페이지 이동
- 자체 DB를 내장하여 back-up 없이 3년간 data 저장 가능
- Excel, Word, 한글 file로 report 출력 기능 제공
- 별도의 프로그램 설치 없이 Web Browser를 통한 원격 access 가능
- 대쉬보드 제공
- 다양한 차트/분석 자료 제공
- 개별 및 일괄 조명 on/off 기능
- (자동) 조명 및 전열 제어 기능 제공
- 에너지 및 환경 모니터링 기능 제공
- 개인별 위젯 모니터링 기능 제공



[그림3.215] HEMS(Home Energy Management System)



[그림3.216] 지상2층 모니터링 도면

제3절 한국형패시브하우스 인증모형 검증

1. 한국형패시브하우스 감리

[표3.103] 패시브하우스 감리 일지(1)

공정	공사 내용	일자
착공	수평규준틀 설치	2012.10.15
토공사	기초 터파기	2012.10.16
기초공사	기초버림콘크리트 타설	2012.10.18
	기초방수	2012.10.19
	줄기초 철근배근	2012.10.23
	기초 철근배근	2012.10.23
	기초 철근배근 및 거푸집 공사	2012.10.25
	건물 본체 기초 옹벽과 화단 옹벽 열교 차단 시공	2012.10.25
	기초 콘크리트 타설	2012.10.25
	거푸집 해체	2012.10.28
	방수 공사전 바탕 청소	2012.10.31
	아스팔트 프라이머 도포(방수전처리)	2012.10.31
	아스팔트 자착식 시트 부착	2012.10.31
	줄기초 단열재	2012.10.31
	줄기초 단열재 부착	2012.10.31
	줄기초 단열재 부착	2012.11.2
	배수관 슬리브 타공	2012.11.3
	줄기초 단열	2012.11.8
	되메우기	2012.11.8
	대지 정리	2012.11.8
	북측 대지 내 유공관 설치	2012.11.9
	배수관 설치 후 잡석깔기	2012.11.9
	잡석다지기	2012.11.9
거푸집공사	창틀 거푸집 제작	2012.11.9
철근콘크리트 공사 (1층)	버림콘크리트 타설 후 PE필름깔기, 기초바닥단열재 설치	2012.11.11
	바닥 단열재 깔기	2012.11.11
	시트방수지(Preprufr R300)설치	2012.11.11.
1층 바닥공사	1층 바닥 철근 배근	2012.11.12
철근콘크리트 공사 (1층바닥)	1층 바닥 철근 배근	2012.11.12
	배관 관통부위 리퀴드 방수보강	2012.11.12
지열배관공사	지열배관 수압테스트	2012.11.14
	지열배관	2012.11.14

[표3.104] 패시브하우스 감리 일지(2)

공정	공사 내용	일자
철근콘크리트공사 (1층바닥)	Plattenfundament- Stahlbewehrung (Stahlbetonarbeiten)	2012.11.14
	바닥 철근 배근	2012.11.14
	기초바닥 콘크리트 타설	2012.11.15
	1층 내벽 철근 배근	2012.11.19
	1층 내벽전기 배선용 슬리브 공사	2012.11.19
	1층 거푸집공사	2012.11.19
	1층 벽체거푸집 및 2층 바닥 거푸집공사	2012.11.21
기초방수공사	본체 기초 방수공사 - 아스팔트 프라이머 도포	2012.11.21
	자착식	2012.11.21
철근콘크리트공사	2층바닥 거푸집공사	2012.11.23
	위생배관, 전기배관, 환기장치, 배관용슬리브공사	2012.11.23
	2층바닥철근배근	2012.11.23
	1층 벽체 철근배근 (단열재 타설 부착 부위)	2012.11.23
	북측외벽 단열재 부착 (타설 부착용으로 거푸집 대용)	2012.11.24
	북측외벽 단열재 부착 (타설 부착용으로 거푸집 대용)	2012.11.25
	2층 바닥 철근배근	2012.11.27
	거실 캐노피 열교차단재 Isokorb 시공	2012.11.28
	2층 바닥 콘크리트 타설	2012.11.28
	단열재 타설 부착부위 수평 수직 고정	2012.12.12
	1층 내부 거푸집 및 동바리설치 사진	2012.12.12
	콘크리트 보양	2012.12.13
창호공사	창호설치 부위 프라이머 칠하기	2013.1.7
	창호 설치	2013.1.10
	창호 설치	2013.1.12
	창호 설치(창호 고정 철물)	2013.1.12
	창호설치후 틈새 메우기	2013.1.12
	창호설치 외부에서 본 모습	2013.1.12
	창호설치	2013.1.12
	거실창호설치	2013.1.13
	기밀테이프	2013.1.14
	창호기밀작업	2013.1.14
	1차 기밀테스트	2013.1.21
	기밀테스트 후 추가 기밀작업	2013.1.29
	2차 기밀테스트	2013.1.30
	창호 힌지 교정(레하우 엔지니어 방문)	2013.2.21
	3차 기밀테스트	2013.2.27

[표3.105] 패시브하우스 감리 일지(3)

공정	공사 내용	일자
외벽단열공사	1층 외부 단열	2013.3.4
	1층 외벽 단열(록셀보드복합 단열판)	2013.3.9
	1층 외벽 단열(록셀보드복합 단열판)	2013.3.10
	1층 외벽단열재 고정용 열교차단 PVC 화스너	2013.3.13
	2층 외벽단열(록셀보드복합단열판)	2013.3.13
	외벽 적삼목 사이딩부분 고정 철물 (열교차단위해 에어로젤설치)	2013.03.13
	외벽 적삼목 사이딩부분 고정 철물 (열교차단위해 에어로젤설치)	2013.03.13
미장공사	내벽시멘트미장공사	2013.3.18
외벽단열공사	블라인드박스설치부위 XPS단열재부착	2013.3.18
	블라인드박스설치부위 진공단열재부착	2013.3.23
	외벽단열재 부착	2013.3.23
창호공사	4차 기밀테스트	2013.3.25
외벽단열공사	외벽 적삼목사이딩 부분 우레탄보드 부착	2013.3.27
	외벽 적삼목사이딩 부분 우레탄보드 부착	2013.4.5
	블라인드박스설치 부위 XPS단열재부착	2013.4.8
	외벽 적삼목사이딩 부분 우레탄보드 부착	2013.4.10
	외벽 단열재 부착후 사진	2013.4.10
배관공사	화장실 배수관 설치	2013.4.13
실내바닥공사	바닥 무근콘크리트 타설 전 벽면 및 바닥 충격 완충재 부착	2013.4.13
	PE 필름깔기	2013.4.18
	바닥난방배관	2013.4.18
	무근콘크리트 타설	2013.4.18
환기설비공사	환기장치 배관공사	2013.4.23
내부공사	천정틀 설치	2013.4.23
	내부 창틀 설치위한 하지합판공사	2013.4.27
계단공사	내부계단 설치공사	2013.4.28
ALC공사	ALC공사전 프라이머 도포	2013.4.28
창호공사	5차 기밀테스트	2013.4.30
ALC공사	ALC블록공사	2013.4.30
계단공사	실내계단설치	2013.4.30
	실내계단설치	2013.5.8
실내공사	실내천정공사	2013.5.8
	내벽 자작나무 마감부분 하지 합판공사	2013.5.8

[표3.106] 패시브하우스 감리 일지(4)

공정	공사 내용	일자
외벽공사	적삼목 사이딩 하부 고정용 각재설치	2013.5.11
외부차양공사	블라인드 박스설치	2013.5.13
내부공사	창틀하부 틈새 우레탄 폼 충진	2013.5.17
	천정 석고보드 공사	2013.5.17
	천정공사	2013.5.17
외벽단열공사	ALC블록부분 외부 단열재 부착공사	2013.5.20
계단공사	내부계단 원목디딤판 설치	2013.5.21
지붕공사	단열재공사전 바탕정리	2013.5.21
	아스팔트 프라이머 도포	2013.5.26
외벽단열공사	ALC블럭부분 외벽단열재 부착	2013.6.3
	ALC블럭부분 외벽단열재 (RCB복합단열재)부착	2013.6.3
지붕공사	지붕단열재 공사	2013.6.4
	지붕단열재(XPS)공사	2013.6.4
	아스팔트 프라이머 도포	2013.6.6
	XPS접합부분 틈새 우레탄폼 충진	2013.6.6
	지붕단열재(XPS) 공사 시 들뜸 방지위해 모래주머니로 누름	2013.6.6
	지붕단열재(XPS)공사	2013.6.6
창호공사	창틀외부 빗물받이 설치	2013.6.7
지붕공사	2층 테라스 시트방수 작업	2013.6.8
	2층 테라스 시트방수 작업	2013.6.10
	거실 상부 시트방수 작업	2013.6.10
전기공사	전기소켓 설치	2013.6.10
	전기 분전반	2013.6.10
외벽마감공사	외벽 화산석타일 부착	2013.6.11
	외벽 화산석타일 부착	2013.6.14
	외벽 적삼목 사이딩 부착	2013.6.15
내부공사	천정몰딩공사	2013.6.15
지붕공사	지붕자갈깔기	2013.6.17
	파라펫 상부 알미늄쉬트 커버	2013.6.18
내부공사	기계실부분 벽체공사	2013.6.18
내부조적벽공사	기계실부분 벽체공사	2013.6.18
외벽마감공사	창틀 외부 드라이비트마감공사	2013.6.19
	2층 가벽부분 시멘트미장공사	2013.6.20
지붕 및 홈통공사	선홈통 설치	2013.6.20
옥외배관공사	옥외배수관 및 맨홀 설치	2013.6.22
토공사	대지정리	2013.6.24
내부공사	간접조명등 설치부분 천정마감	2013.6.24

[표3.107] 패시브하우스 감리 일지(5)

공정	공사 내용	일자
내부공사	자작나무 창틀설치	2013.6.25
문공사	문틀설치	2013.6.25
타일공사	화장실내벽 방수공사	2013.6.28
	주방 타일공사	2013.6.28
	다용도실 타일공사	2013.6.28
내부공사	서재 이건라움 인테리어도어 설치부분 바탕정리	2013.6.30
토공사	데크하부 자갈깔기	2013.6.30
외부공사	옥외 배수트렌치 설치	2013.7.1
홈통공사	선홈통을 열교방지위해 하부 목재거푸집에 고정	2013.7.1
외부타일공사	주차장 부분 외장재 화산석 타일 나누기	2013.7.1
	주차장 부분 외장재 화산석 타일 붙이기	2013.7.1
타일공사	화장실 타일 붙이기	2013.7.1
내부공사	창고선반공사	2013.7.1
지붕공사	시트방수위 무근 콘크리트 타설	2013.7.1
내부공사	식당부분 자작나무 마감재 부착	2013.7.2
	이건라움 슬라이딩 레일공사	2013.7.2
환기설비공사	폐열회수기 설치	2013.7.5.
	외기 및 배기관 단열공사	2013.7.5
	외기관부분 F7 필터	2013.7.5
	폐열회수기 설치부분 흡음단열재 설치	2013.7.7
	TAB Test	2013.7.8
	환기 시스템 설정	2013.7.8
	외기관 외부	2013.7.8
	급기구(제트 디퓨져)	2013.7.8
	급기구(거실부분)	2013.7.8
	흡기구	2013.7.8
	흡기필터	2013.7.8
	소음측정	2013.7.8
	전력측정	2013.7.8
지열공급공사	지열공급관 천공	2013.7.8
기밀성테스트	천정고 측정	2013.7.9
	블로어 도어 테스트	2013.7.9
외부공사	2층 테라스 데크 깔기	2013.7.12
	1층 외부데크 기초공사	2013.7.12
	1층 외부데크 기초공사	2013.7.18
	현관 캐노피 공사	2013.7.21
내부공사	내부 마감공사	2013.7.22

2. 패시브하우스 기술검증

가. 기밀테스트 (침기율 측정)

- 침기율이란, 건물 존의 기밀도에따라 강제적인 환기를 하지 않아도 온도차와 바람에 의한 풍압차에 의해 발생하는 공기 교환율을 의미한다. 침기율을 정량적으로 측정하기 위해 보통 존과 외부(외기)의 압력차가 50Pa인 상태의 환기횟수 값(n50)을 에너지성능평가의 침기율 기준자료로 삼는다. n50값은 현장에서 Blower Door Test를 통해 실측되는 측정데이터이다.

- 익산패시브하우스는 공사 중 지속적으로 기밀성테스트를 통하여 기밀성이 약한 부분을 지속적으로 보강하여 독일 패시브하우스 기준인 침기율(n50) $0.6h^{-1}$ 이하를 달성하도록 노력하였다.

- 익산패시브하우스의 최종 기밀성테스트(Blower Door Test) 측정 결과는 다음과 같다.

[표3.108] 익산패시브하우스 최종 기밀성테스트 측정 결과

Test Results at 50 Pascals	
공기량 v50	Airflow (㎥/h) 188
침기율 n50	Air Changes per Hour(1/h) 0.39
Leakage Areas	
공기유출면적	45.7 ㎠ LBL ELA@4Pa

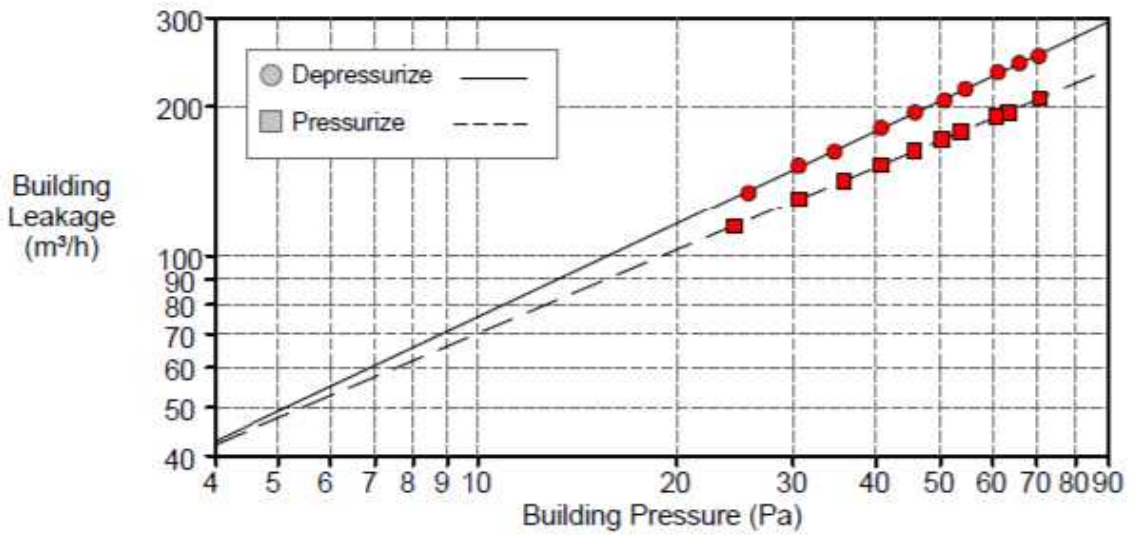
[표3.109] 감압 테스트 결과

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m³ /h)	% Error	Fan Configuration
-70.6	141.3	248	252	-0.2	Ring C
-66.0	132.7	240	244	0.7	Ring C
-61.2	122.3	230	234	1.1	Ring C
-54.7	105.4	213	217	0.5	Ring C
-50.8	95.3	202	206	-0.2	Ring C
-45.9	85.5	191	195	0.5	Ring C
-40.8	74.6	178	182	0.8	Ring C
-34.7	60.4	160	163	0.0	Ring C
-30.7	53.4	150	153	1.3	Ring C
-25.8	41.8	132	135	-0.5	Ring C

[표3.110] 가압 테스트 결과

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m³ /h)	% Error	Fan Configuration
40.8	101.7	209	208	0.0	Ring C
63.5	89.9	196	195	-0.3	Ring C
60.8	86.5	192	191	0.1	Ring C
53.8	75.8	180	179	0.1	Ring C
50.3	70.6	173	172	0.2	Ring C
45.8	63.7	164	163	0.1	Ring C
40.7	56.2	154	153	0.1	Ring C
35.9	48.9	143	142	0.1	Ring C
30.7	41.5	132	131	0.2	Ring C
24.6	32.2	116	115	-0.5	Ring C

- 익산패시브하우스는 기밀도가 높은 관계로 Blower Door Test시 3-Pan 시스템에서 25Pa에서 75Pa까지 10개점을 가압 테스트, 감압테스트 통하여 평균하여 산출되었다.



[그림3.217] 건물 공기압에 따른 누출량

- 테스트 결과 50Pa의 압력치에서 188㎥/h의 누기량을 기록한 익산 패시브하우스는 LBL ELA기준으로 총 약 45.7㎠ 정도의 틈새가 외피에 있는 것으로 추정된다.

- 최종 기밀테스트 결과 익산 패시브하우스하우스는 감압·가압테스트 평균 n50값이 0.39h-1를 획득함으로서 독일 패시브하우스 인증기준인 0.6h-1를 충족하였다.

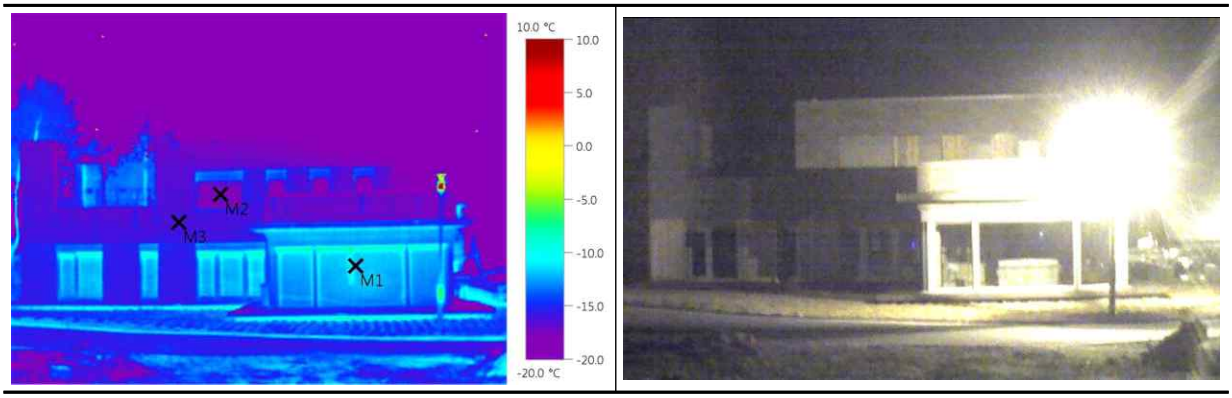
나. 열화상카메라

(1) 익산 패시브하우스 열화상카메라 촬영을 통한 열교 진단

• 남측 입면 열화상 카메라 촬영

- 유리표면(M1)의 경우 벽체온도보다 4~5도 정도 낮으면 표면온도가 고르게 분포되어 있다. 전동블라인드가 내려져 있는 창(M2)에 경우 벽체온도와 동일하게 분포하고 있다.

[표3.111] 남측 입면 열화상 카메라 사진

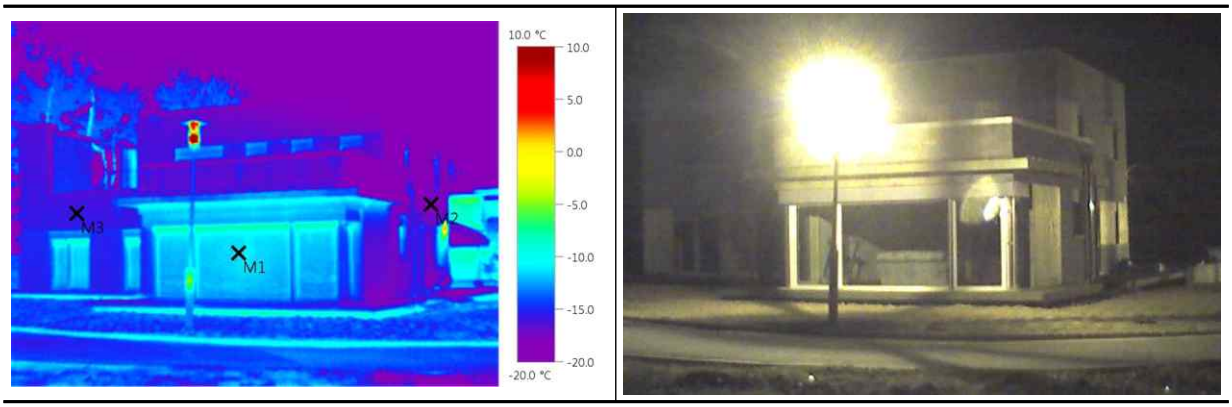


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-11.7	0.95	20.0	
M2	-17.8	0.95	20.0	
M3	-16.1	0.95	20.0	

• 거실 남측 열화상 카메라 촬영

- 창호 위 상인방부분에 사용한 진공단열재를 사용한 벽체에 경우 주변 벽체보다 온도가 4~5도 낮다. 거실 남측과 동측 벽체의 온도는 동일하다.

[표3.112] 거실 남측 열화상 카메라 사진

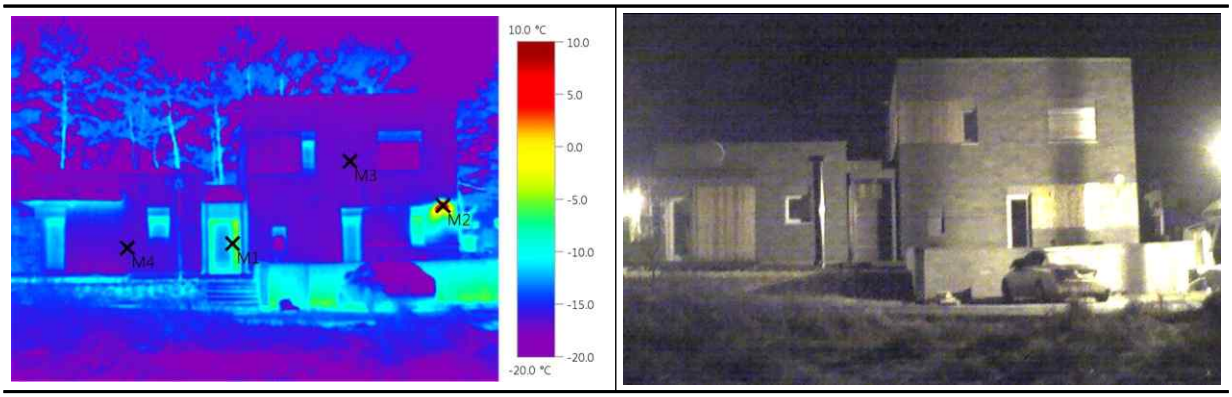


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-11.4	0.95	20.0	
M2	-19.6	0.95	20.0	
M3	-15.7	0.95	20.0	

• 동측 입면 열화상 카메라 촬영

- 현관문(M1)는 약간의 열손실(누기)가 발생하고 있으며, 폐열회수장치의 배기구(M2)에서 약 영상 5도의 공기가 배출되고 있다. 국산 단열문의 성능이 아직까지는 패시브하우스에 적용하기에 열교를 통한 손실량이 발생하고 있으며, 설치 상의 노하우가 미흡하여 약간의 열손실이 발생하고 있다. 그러나 건축물 전체 성능이 높아 단열문을 통한 열손실량이 차지하는 량이 미흡하여 독일패시브하우스 인증이 가능하였다.

[표3.113] 동측 입면 열화상 카메라 사진

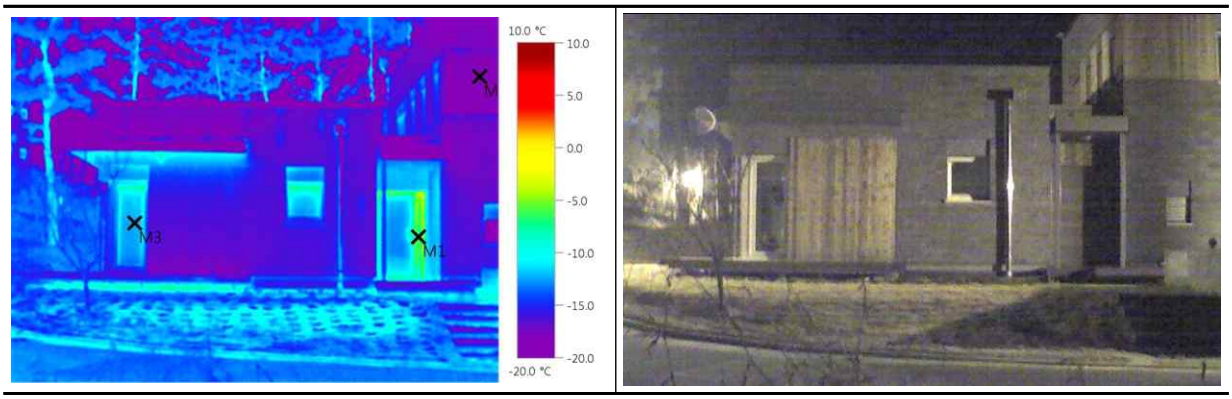


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-7.6	0.95	20.0	
M2	4.8	0.95	20.0	
M3	-16.9	0.95	20.0	
M4	-16.5	0.95	20.0	

• 거실 동측 열화상 카메라 촬영

- 현관문(M1) 온도(-7.6℃)와 창(M3) 온도(-12.1)는 4.5℃ 차이가 발생하고 있으며 벽체(M2) 온도(-18.3℃)와는 9.5℃ 차이가 발생하고 있는 것으로 보아 현관문의 열손실이 상대적으로 큰 것을 볼 수 있다.

[표3.114] 거실 동측 열화상 카메라 사진

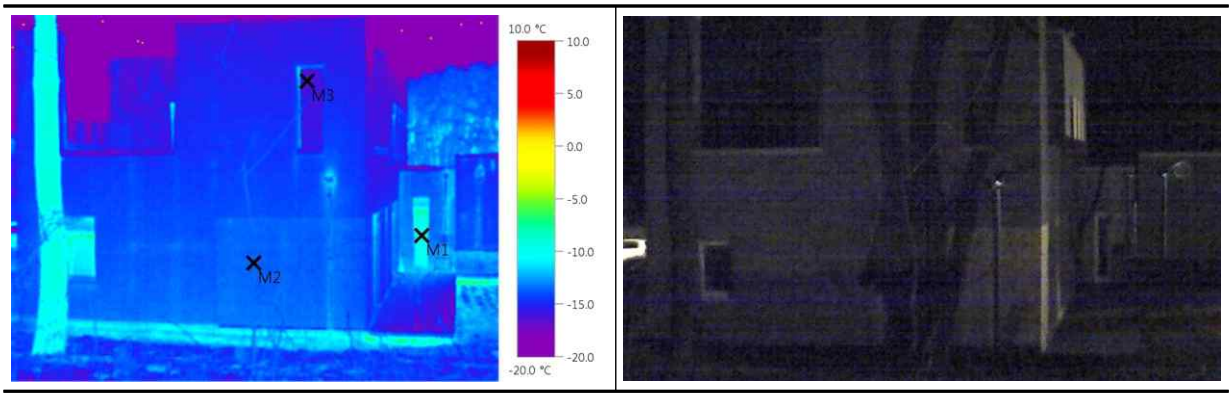


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-7.6	0.95	20.0	
M2	-18.3	0.95	20.0	
M3	-12.1	0.95	20.0	

• 서측 입면 열화상 카메라 촬영

- 서측 입면의 경우 벽체 대비 창호비율이 낮기 때문에 전체적으로 고른 온도 분포를 보이고 있다.

[표3.115] 서측 입면 열화상 카메라 사진

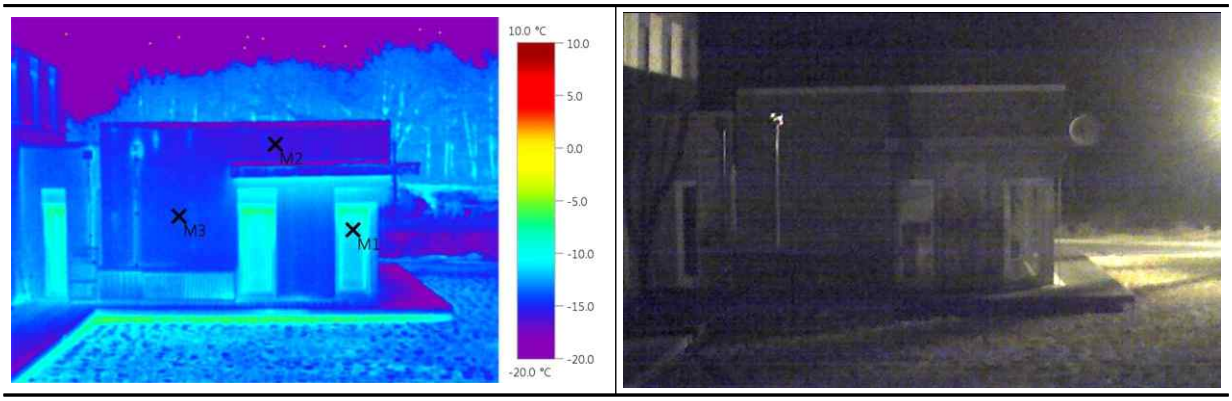


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-10.7	0.95	20.0	
M2	-13.8	0.95	20.0	
M3	-16.5	0.95	20.0	

• 거실 서측 열화상 카메라 촬영

- 거실 하부 벽체온도가 다른 부위는 에어컨 실외기 덮개가 설치 된 부위이며, 홈통에 경우 벽체와 분리되어 있어 열교라고 보기 어렵다. 기단하부에 생긴 온도차는 대지의 온도가 높아 반사된 열로 인한 온도차로 열교와는 무관하다.

[표3.116] 거실 서측 열화상 카메라 사진

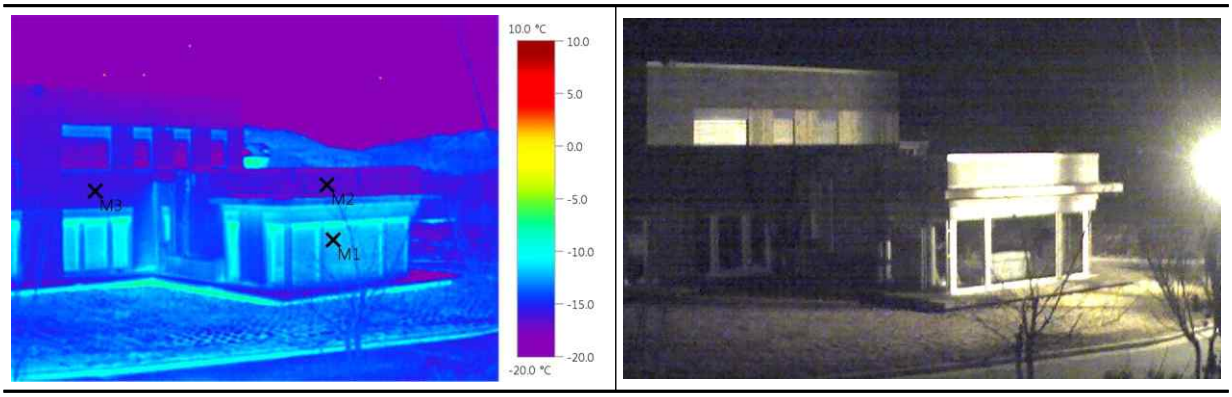


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-11.4	0.95	20.0	
M2	-15.8	0.95	20.0	
M3	-14.4	0.95	20.0	

• 남서측 전경 열화상 카메라 촬영

- 전체적으로 본 건물보다 거실 측이 창호가 많으므로 열손실이 상대적으로 많이 발생하며, 거실 측 차양하부에는 공기가 정체되어 있어 대류에 의한 표면열손실이 적어서 상대적으로 다른 벽체에 비해 표면온도가 높게 나타는 것으로 분석된다.

[표3.117] 남서측 전경 열화상 카메라 사진

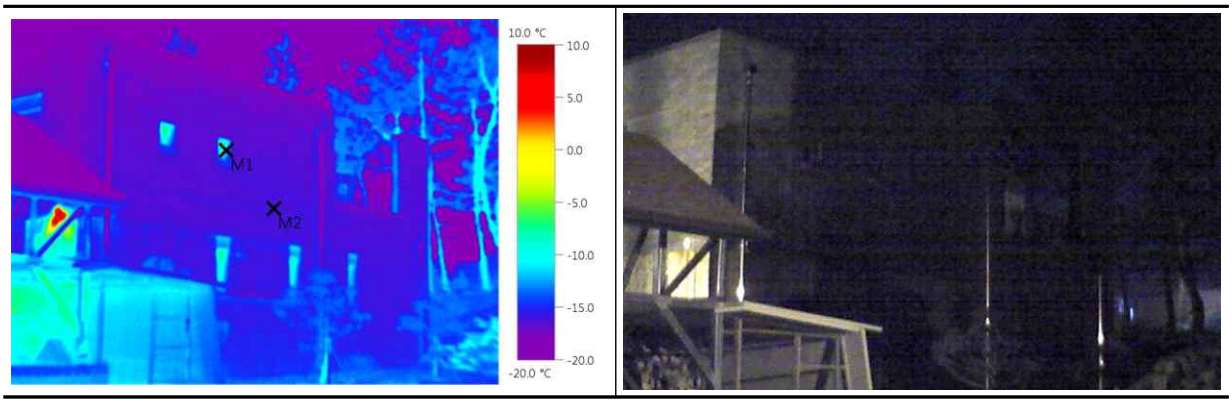


구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-12.1	0.95	20.0	
M2	-16.5	0.95	20.0	
M3	-15.9	0.95	20.0	

• 북동측 전경 열화상 카메라 촬영

- 북측 입면에 경우 벽체 대비 창호비율이 낮기 때문에 전체적으로 고른 온도 분포를 보이고 있다.

[표3.118] 북동측 전경 열화상 카메라 사진



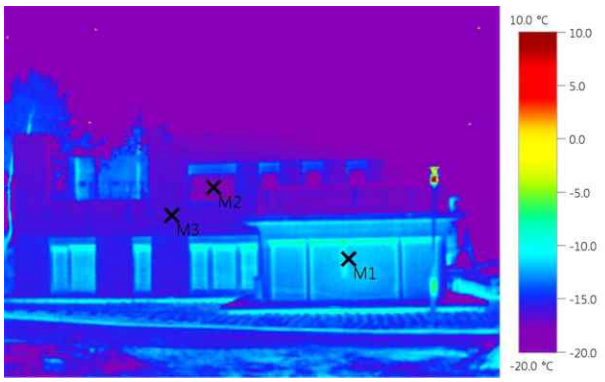
구 분	온도 [℃]	방사율	반사온도 [℃]	비고
M1	-11.8	0.95	20.0	
M2	-16.1	0.95	20.0	

(2) 주변 건물과 열교 비교

• 인근 건물과 동일조건 열화상 카메라 촬영 비교 (남측입면)

- 동일한 단독주택 단지 내에 일반주택과 비교하여 비교안(인근 일반주택)의 벽체온도와 익산패시브하우스의 창 표면 온도분포가 비슷한 수준으로 나타나며, 비교 안의 경우 부분적으로 0℃를 상회하는 열교와 누기가 발생하고 있다.

[표3.119] 인근 건물과 동일조건 열화상 카메라 사진 비교 (남측입면)

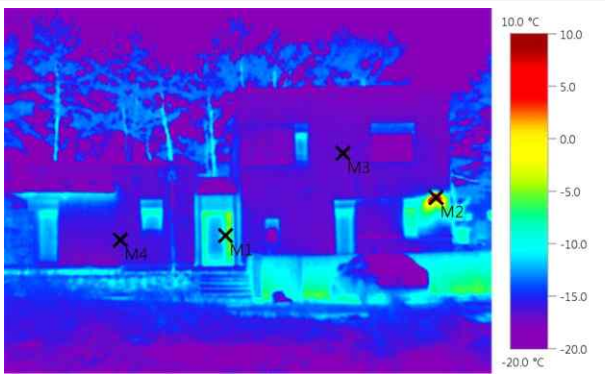
	
익산패시브하우스 남측입면	인근 일반주택 남측입면

익산패시브하우스	온도 [℃]	인근 일반주택	온도 [℃]
창 표면온도(M1)	-11.8	창표면온도(M1)	-8.3
벽체표면온도(M3)	-15.7	벽체표면온도(M3)	-11.1

• 인근 건물과 동일조건 열화상 카메라 촬영 비교 (동측입면)

- 동일한 단독주택 단지 내에 일반주택과 비교하여 비교안(인근 일반주택)의 현관부위의 누기 온도가 약 5℃ 정도가 발생하며, 벽체 온도가 평균적으로 5℃이상 차가 발생하는 것으로 분석되었다.

[표3.120] 인근 건물과 동일조건 열화상 카메라 촬영 비교 (동측입면)

	
익산패시브하우스 서측입면	인근 일반주택 서측입면

익산패시브하우스	온도 [℃]	인근 일반주택	온도 [℃]
문 틈새 온도(M1)	-7.6	문 틈새 온도(M1)	-2.9
벽체표면온도(M3)	-16.9	벽체표면온도(M3)	-11.8

다. TAB Test

(1) TAB(시운전)결과 요약

• TAB : Test, Adjust, Balance의 약어로써 환기장치 설치후 설계목표에 만족하도록 환기장치를 시운전, 측정, 조정하여 거주자의 실내공기질보장과 건강, 쾌적성을 유지한다.

• 시행일자
- 2013년 07월 05일과 07월 8일 2일간, 10:00 ~ 20:30
- 외기온도, 아침최저 24℃, 주간최고 27℃

• 결과요약
- 유럽패시브하우스기준에 준한 측정및 조정 밸런싱을 하였으며 패시브하우스의 인증요건인 전체 풍량의 언밸런스, 거주공간의 소음, 필터의 부착 상태등의 요건을 만족하였다.

(2) 열회수환기장치의 사양및 주변기기 사양

(가) 열회수 환기장치의 사양

• 메이커 : 유럽 Zehnder사
• 모델 : comfoair 200DX VV ERV
• 풍량 : 최대210㎥/h
• 특징 및 사양
- 열회수와 수분의 회수를 동시에 수행하는 전열교환장치(ERV : Enthalpy recovery ventilator) (ERV : Enthalpy recovery ventilator)이며 동절기에는 혹한시 열교환소자의 결빙을 방지하기 위하여 전기Preheater가 내장되었고 하절기에는 실내의 온도가 외기온도보다 높을시 열회수를 실시하지 않고 간이냉방기능을 수행하는 By-Pass기능이 내장되었다.
- 전열교환은 동절기에 외기가 건조하고 실내가 적정습도일시 습도차이를 회수하고 하절기에 실내가 외기가 과습이고 실내가 적정한 습도일때 또한 습도차이를 회수하여 쾌적한 실내공기질유지와 에너지절감을 이룩한다.
- 급기에는 초미세먼지보다 매우 적은 1㎛의 분진을 86% 여과하는 F7휠타가 배기에는 환기장치에 오염을 방지하기 위한 G4의 휠타가 장착되었다.

(나) 급기 및 배기 디퓨져

• 급기 디퓨져 : 유럽 Pichler사 제품
- 천정 면에 밀착하여 공기를 분산하여 급기하는 Koanda Effect기능의 제품이며 외풍을 발생치

않고 방내부를 전체적으로 급기하여 쾌적감을 향상시킨다.

• 배기 디퓨져 : 유럽 Pichler사 제품

- 저소음과 저압력손실의 특성을 갖은 제품으로서 디퓨져의 내부에 실내로부터 유입되는 분진 및 오염물질을 여과하는 휠타를 부착가능하여 환기장치 효율향상과 관로를 청결하게 유지가능토록 한다.

(다) 소음, 분배기

• 사양 : 유럽 ZEHNDER사의 제품을 사용하여 소음감쇄성능을 향상하였다.

(라) 플렉시블호스

• 국내제작품을 사용하였다.

(3) 환기시스템에서의 휠타의 교체및 청소, 점검

[표3.121] 환기시스템에서의 휠타의 교체및 청소, 점검

번호	품명	규격	작업자	기간	교체 및 점검방법
1	후드캡철망		사용자	하절기필요시	날벌레등에 외부의 철망이 오염시 청소함
2	후드캡	150mm			
3	스파이럴닥트	150mm			
4	급기 휠터	F7	사용자	최대16주	
5	에어 호스	150mm			
6	소음분배기				
7	에어 호스	75mm	전문가	약8년후	브러시, 진공청소기로 관로청소함
8	급기 디퓨져	100mm	사용자	오염시	디퓨져를 관로에서 분리하여 면걸레로 먼지청소
9	배기 디퓨져	100mm	사용자	오염시	디퓨져를 관로에서 분리하여 면걸레로 먼지청소
10	디퓨져 휠타		사용자	오염시	주방과 다용도실등 주부활동이 많은곳은 빨리 오염되므 로 2~3개월에 점검하여 교체함
11	배기 휠타	G4	사용자	최대16주	
12	환기장치				
13	열교환소자		사용자 / 전문가	약3년후	

(4) 운전요령

(가) 컨트롤러 조작

- 패시브하우스 규제치에 준하여풍량을 설계한 익산의 패시브하우스는 0.32의 환기율을 보이며 4인 가족 및 배기량에 기준하여 계산되었다. 따라서 최대풍량 210 ㎥/H은 약7명, 최소풍량 125 ㎥/H도 4명의 환기를 충족하도록 설계되었기에 이를 준수해야하고, 특히 겨울철에는 실내에 과급기되면 습도가 매우 낮아져서 건강과 쾌적 조건이 훼손될 수 있다. 따라서 동절기나 수용인원이 작을 때에는 인원에 맞추어 풍량을 조절하여 사용해야 한다.

- 07/05일과 07/08일 양일간 시 운전 작업시 실내의 온도가 비가내리는 외기의 온도보다 높아서 하절기 간이냉방이 가능한 BY PASS기능이 작동되었다.

(나) 바이패스 작동 시그널

- 바이패스의 작동은 아래의 경우에 자동으로 시행된다.

  1) 외기온도가 실내온도보다 2도 이상 낮을 때
  2) 쾌적온도의 셋팅온도가 실내온도보다 높을 때
  3) 외기의 온도가 13도보다 높을 때

(다) 습기의 조절

- 신선한 공기도 중요하지만 실내의 습도도 건강과 쾌적함을 유지함에 매우 중요하다. 습도계를 실내에 설치하여 습도를 계속 관찰하여 40 ~ 60%로 관리하는 요령을 거주자가 발휘할 필요가 있다.

- 습도가 낮을 시는 가습이 가능한 빨래널기, 화초재배, 가습기 설치 등으로 관리하며, 습도가 높을 때는 제습이 가능한 제습기설치 혹은 에어컨설치로 관리한다. 입주초기의 2~3개월간은 주택의 건축자재에서 발생하는 유기화합물과 습도의 방출을 위하여 취침시의 소음이 문제되지 않으면 3단으로 최대한의 환기를 시행하는 것이 건강에 유익하다.

- 또한 혹한기에는 외기가 유입 시 현저하게 습도가 떨어지므로 초기의 베이크 아웃과정이 끝난 뒤에는 규정량보다 다소 적은 량으로 환기하면 습도상승효과를 기대할 수 있다. 따라서 습도계로 습도를 관찰하여 규정 환기량을 환기하되 가습과 제습을 실시함이 건강에 유익하다.

3. 패시브하우스 모니터링 검증

가. 모니터링의 배경 및 방법

(1) 모니터링 구축 배경

• 정부에서는 저탄소 녹색성장을 시대적 과업의 목적으로 두고 주택의 에너지 소비가 전체 국내 에너지 소비의 약 30 %에 달하는 것을 감축하기 위해 “공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정”(산업통상자원부 고시 제2013-71호)을 통해 빌딩에너지관리시스템(Building Energy Management System; BEMS)를 도입하도록 하고 있다. 이를 통해 실내환경 및 건물의 에너지 사용 현황을 계량·계측하고 수집된 데이터로 설비장비를 분석하고 에너지소비 분석을 통해 비효율적인 운영설비를 파악하고 최적의 설비제어를 통해 쾌적한 실내 환경을 제공하여 에너지 절감을 유도하고 있다.

• BEMS는 일정 규모 이상의 공공건물뿐만 아니라 민간영역에서도 활발히 도입되고 있으며 앞으로 스마트그리드와 연동되어 건물에서 에너지소비를 절감하고 피크전력 감소를 위해 필요한 시스템이다. 한국에서 앞서가는 IT 기술을 이용하여 BEMS를 잘 활용하면 에너지 절감에 큰 역할을 할 수 있다.

[표3.122] 건물의 모니터링과 제어 시스템 분류

기술구분	목적	설명
BAS(Building Automation System)	건물설비에 대한 자동화운용 및 중앙감시	건물에너지 설비에 대한 상태감시 및 자동화된 감시조작 시스템
IBS (Intelligent Building System)	지능화된 건물 내 시스템의 통합 관리	건물 설비, 조명, 엘리베이터, 방제 등을 포함한 통합관리
FMS (Facility Management System)	건물의 경영에 대한 관리기능 제공	건물정보, 자재, 작업, 인력, 도면, 시스템, 예산에 대한 관리보고서 작성, 이에 대한 평가 및 분석 등의 기능을 수행하는 시스템
BMS (Building Management System)	각 설비의 정보관리 및 효율적인 운용	상태 감시 및 제어, 에너지 사용관리, 주차관제 등 각 설비의 단일시스템을 관리하는 기능
EMS (Energy Management System)	설비의 에너지 절감	건물설비에 대한 에너지사용량을 관리하는 시스템
BEMS (Building Energy Management System)	에너지 사용 절감 및 체계적인 시설의 운용	에너지 및 환경관리를 통해 빌딩 설비에 대한 관리 지원 및 시설 운영을 지원하는 시스템으로 BAS에 대한 중앙감시시스템 운영

• 가정용 에너지를 관리하는 목적으로는 HEMS(Home Energy Management System)가 있다.
- HEMS란 홈네트워크 시스템의 일종으로 가정용 에너지관리 시스템
- 전자제품, 급탕기기, PHEV, EV충전, 자가발전량 모니터링 및 매전 등의 일반 가정에서 생산, 소비되는 모든 에너지에 대한 관리를 네트워크화 하여 소비자가 원하는 형태로 관리, 제어함으로써, 에너지효율을 높이고 에너지비용을 절감할 수 있는 시스템이다. HEMS는 에너지의 가시화를 목적으로 하여 디스플레이(IHD-In Home Display)를 통해 에너지소비량, CO2 배출량, 실시간 전기요금 정보를 확인할 수 있다.

- 단독주택의 경우 HEMS도입이 적절하다고 판단하여 익산주택에 사용되는 HEMS의 구성요소로 난방, 온수, 냉방, 환기, 조명, 콘센트전력 그리고 주방의 가전제품만을 별도록 구분하였고, 지열시스템을 통해 생산되는 발열량을 알 수 있도록 하였다.

- 특히 본 연구에서 가장 두드러진 연구내용으로는 국내에서 최초로 실거주자가 사용하는 독일 패시브인증주택에 쾌적성분석을 진행 하였다는 것이다. 환경모니터링(쾌적성분석)은 내외부 온도(실내공기온도, 흑구온도), 습도, 기류, CO2, 벽체표면온도 등을 측정하여 결과치를 도출하였다.

(2) 모니터링의 목적

- “모니터링이란 일정기간 동안 유효한 변수에 대한 조직적 검출이다” (Goldsmith 1991)라고 하였다. 즉 무엇이 무엇으로 어느 기간 동안 어떻게 변화하였는지를 찾아낸다고 볼 수 있으며 대상물체의 속성이나 상태를 센서나 기타 전자 장비를 이용하여 측정하고 결과 값을 분석하여 파악하는 일을 말한다. 일반적인 의미의 모니터링은 비단 전자 장비를 사용하지 않더라도 대상을 관찰하고 변화를 알아내는 일련의 작업을 말하기도 한다.

- 환경모니터링과 에너지모니터링을 통해 독일 패시브 인증을 취득한 단독주택이 외부환경 의 변화로 인한 에너지사용을 최소하면서 인간이 거주하는데 필요한 쾌적도를 어느 정도까지 만족시킬 수 있는지를 연구하는 것을 목적으로 한다.

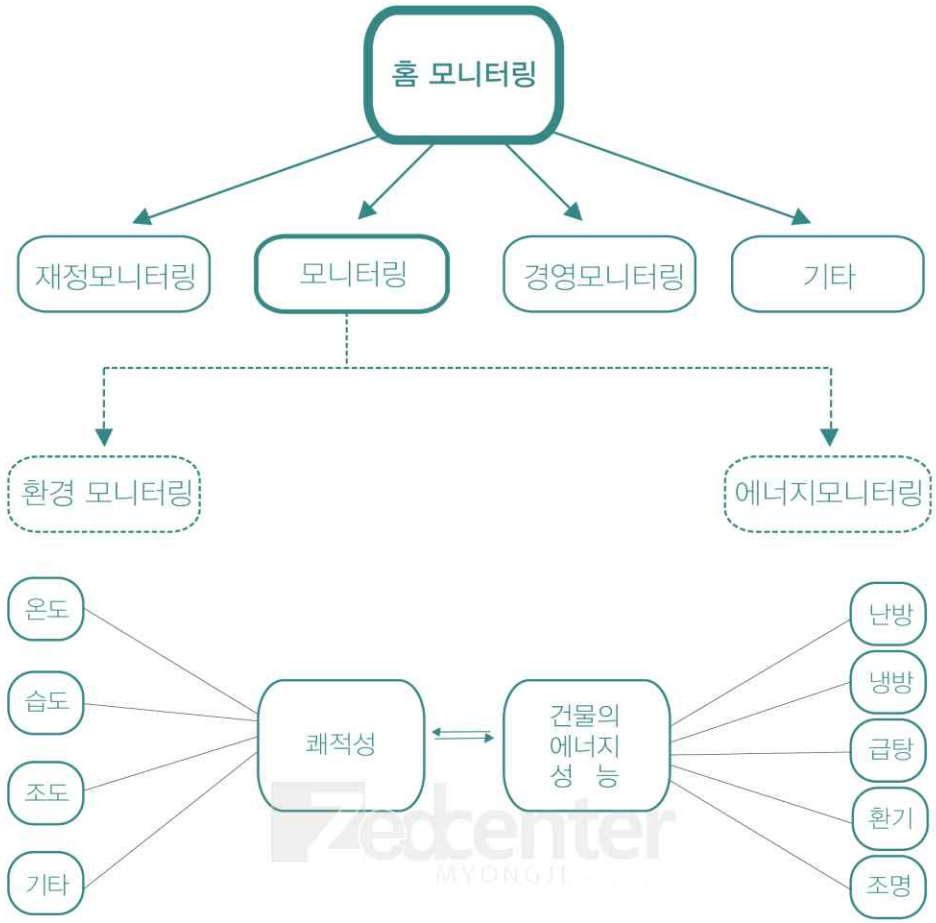
(3) 모니터링의 방법

- 본 익산 패시브하우스에서는 다음 개념도와 같은 모니터링 시스템을 기획하여 설계단계에서부터 전기 및 기계설비와의 설계를 통합하였으며, 시공단계에서 완공후의 모니터링이 가능할 수 있도록 모니터링 전문가와의 긴밀한 회의를 통해 실현하였다.

- 특히 단독주택인 익산 패시브하우스에서는 홈모니터링을 통해 두 개의 모니터링 즉, 환경모니터링과 에너지모니터링에 대한 값을 도출하도록 프로그램 및 시스템을 구축하였다.

• 환경모니터링의 구성요소로서는 온도, 습도, 조도이며, 에너지모니터링의 구성요소로는 주택 5대 에너지원인 환기, 조명, 냉방(거실과 식당의 에어컨), 난방, 온수 그리고 콘센트전력 등이다. 이 각각의 구성요소에 대한 월 사용량을 센서와 계측기를 통해 계측하였으며, 에너지모니터링의 계측기간은 2013년 11월, 12월 그리고 2014년 1월에 해당하고, 쾌적성모니터링의 계측기간은 2013년 12월 11일부터 13일까지의 48시간 동안의 결과물로 보고서를 작성하였다.

• 쾌적성에 대한 근거기준으로는 ASHRAE55와 ISO7730을 참고하였고, 에너지효율에 대한 근거기준으로는 실거주자의 에너지사용량을 통해 데이터값을 분석하였다.



[그림3.218] 모니터링의 개념 구조

나. 환경모니터링과 에너지모니터링의 이론적 배경

• 모니터링은 크게 각 부위별 환경조건을 파악하는 '환경 모니터링'과 에너지의 소비 및 생산을 알아내는 '에너지 모니터링'으로 나뉜다. 모니터링한 결과는 인터넷망을 통하여 데이터를 수집, 계산, 평가한 다음 거주자에게 알려주고 (월패드와 같은 인터페이스를 이용), 연구와 평가 목적을 위해 연구자도 쉽게 접근 가능하도록 한다.

(1) 환경 모니터링(쾌적성분석)

• 환경 모니터링을 하는 목적은 패시브하우스의 설계 및 에너지성능구현 목표에 따라 실제로 실내 환경이 쾌적한가를 평가하기 위함이다.

(가) 쾌적성 평가 기준

• ISO 7730에 따른 PMV(예상온열쾌적성 평가)와 PPD(예상불만족비율)를 계산하기 위한 알고리듬의 개발과 쾌적성 평가를 내리기 위한 국제기준을 찾아 측정 결과를 평가하였다.

• 실내 쾌적성의 기준으로는 다음 다섯 가지의 국제기준을 추적할 수 있지만, 현재 본 연구에서는 가번과 나번을 차용하였다.
  - EN ISO 7730-2005: 온열환경의 인간공학적인 측면- PMP와 PPD 지표의 계산을 이용하는 온열쾌적성에 대한 해석적인 결정과 국소 열적 쾌적성.
  - ASHRAE 55-2004: 재실 시 열적 환경 조건-
  - ASHRAE 62.1, 62-2-2004: 환기와 실내 공기질
  - CR 1752: 실내 환경에 대한 건물 내의 환기에 대한 기준
  - EN 13779: 비거주건물의 환기-환기와 공조장치의 성능 요구사항

• 주관적인 쾌적성 평가를 위해서는 거주자의 세밀한 기록이 필요하나 참여가 불확실하여 객관적인 쾌적성 평가를 위주로 한다.

(나) 측정 대상 및 방법

• ISO 7730에 따르면 객관적인 지표로 실내의 온도와 습도를 수집하며 실내의 기류 속도는 상시 측정이 아니라 개별적으로 측정 장비를 동원하여 측정하고 거주자의 착의량이나 활동도는 입주자에게 설문이나 기록을 통해 다음과 같은 사항을 추적하여야 한다.
  - 각 실별 적정 쾌적한 온습도 유지
  - 각 실별 과열 및 과냉현상 평가
  - 각 실별 온습도 불균형 평가

- 복사불균형 평가
- 수직온도변화분포 평가
- 실내외 온도차 측정을 통한 자연환기 가능성 평가

• 하지만 본 연구에서는 준공 후의 모니터링 연구기간이 매우 짧아 거주자를 통한 설문 및 기록 조사가 아닌 유무선센서 및 흑구장비를 사용하여 주택 내의 쾌적도를 분석하였다. 거주자는 아파트에서 생활하다가 처음으로 단독주택에서 사용하는데 있어 생활패턴 및 리듬이 달라졌다는 어려움도 있었고, 패시브하우스에 들어가는 장비사용에 대해 익숙하지 않은 점도 거주자 설문조사가 어려웠던 이유 중에 하나이다.

(다) 쾌적성분석에 따른 기대효과

• 에너지사용의 효율적 제어: 쾌적성 평가에 대한 결과를 바탕으로 에너지 소비변화량과 실내의 온습도 변화에 따른 최적냉난방제어의 기준을 마련하여 에너지절감 요소를 찾고, 적정 쾌적한 환경을 찾아내어 냉난방부하 발생시점을 밝혀 냉난방 설계 및 운영계획을 수립한다.

• 인간의 건강확보를 위한 쾌적도 제어: 시간차 및 내・외부온도차와 무관하게 실내에서의 최적의 쾌적감이 확보가능하다.

(2) 에너지 모니터링

• 패시브하우스의 에너지 성능 평가와 쾌적성을 유지하는데 필요한 외부의 에너지 공급 및 각 에너지원별 거주자의 에너지 소비를 알아내기 위해 에너지 모니터링을 실시한다.

(가) 소비전력

• 배전반에 전력측정장치를 설치하여 조명, 환기, 냉난방, 급탕, 콘센트전력을 식별하여 계측하고 결과를 모아 서버로 전송한다. 건물의 에너지 성능에 대한 소비전력을 바탕으로 쾌적성을 확보하기 위한 냉난방 실시 계획을 수립한다.

(나) 신재생에너지

• 신재생에너지원 별로 에너지(전력) 생산을 계측한다. 본 패시브하우스의 신재생에너지는 지열시스템을 도입하였으므로 지열을 얻는데 필요한 히트펌프의 가동에 들어가는 전력을 측정하고 축열조에서 급탕과 난방으로 들어가는 물의 공급온도를 측정하여 에너지를 계산한다.

(3) 콘센트 전력

- 거주자의 콘센트 전력을 계측하여 전기전자장치의 효율과 에너지소비 형태를 파악하여 개선점을 제시하여 전력절감에 대한 기준을 마련한다.

- PHPP에서 포함된 주방가전기기에 대한 별도의 콘센트전력을 분리하여 전력소비비중이 가장 많은 기계에 대한 사용량을 계측함으로써, 대기전력 및 에너지효율에 대한 결과 치를 유추한다.

다. 익산 패시브하우스 환경 및 에너지 모니터링 방법 및 과정

(1) 환경 및 에너지 모니터링 방법 및 설계

- 모니터링은 환경 모니터링(쾌적성분석)을 위한 환경센서를 각 부위별로 설치하고 무선 게이트웨이로 모아서 인터넷망을 통해 데이터 수집서버(gathering server)에서 받아 데이터베이스(DB)에 저장하였고, 필요한 결과를 받아볼 수 있는 알고리듬을 정해 거주자나 연구자가 원하는 결과를 계산한 다음 웹서버를 통해 거주자의 월패드나 연구자의 웹브로우즈에 나타나도록 하였다. 또한 DB에 저장된 데이터를 일정 양식에 따라 주기적으로 보고서를 만들어 연구자가 볼 수 있도록 하고 있다.

(가) 설계 개념

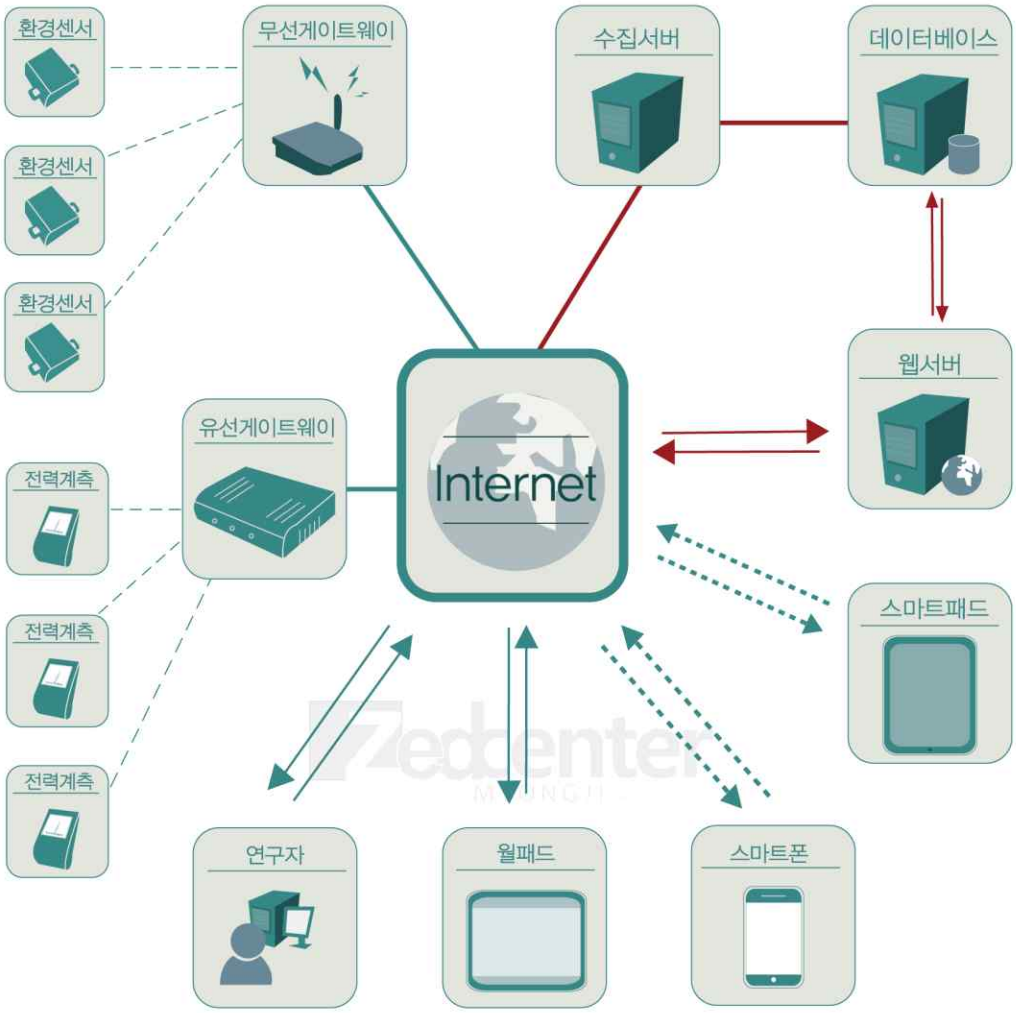
- 환경센서는 무선 기능을 추가하여 측정 결과를 일정한 시간 간격으로 게이트웨이(gateway)에 전송하고 인터넷망을 통해 수집서버에서 측정 데이터를 받고 있다. 에너지 모니터링은 배전반에 전력 계측장치를 설치하여 일정한 간격으로 측정하여 게이트웨이로 보내고 수집서버에서 측정 데이터를 받아 DB에 저장하고 있다. 웹서버에서는 사용자의 요청에 따라 데이터베이스에 저장이 된 데이터를 가공하여 사용자에게 인터넷 망을 통해 보낸다.



[그림3.219] 익산 패시브하우스에 설치된 분전반

(나) 데이터 처리

- 각 환경센서나 전력 계측은 5분 단위로 하여 (나중에 환경센서는 3분 간격으로 수정) 게이트웨이에서 수집하여 인터넷망을 통해 수집서버로 보내고 5분 간격으로 모아진 데이터는 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스는 PostgreSQL을 사용하고 사용자의 요구사항에 따라 데이터를 가공하여 웹서버로 보낸다. 일정한 간격을 두고 (하루, 한 달, 일 년 등) 보고서를 사용자의 요구사항에 알맞게 일정한 양식에 따라 생성하여 보관한다. 또 연구자의 데이터처리를 위해 스프레드시트 형식으로 데이터를 생성하여 보관한다.



[그림3.220] 에너지 및 환경 모니터링 프로세스

(2) 환경 모니터링(쾌적성분석) 계측센서 종류 및 특성

(가) 환경 센서의 사양

- 환경 센서는 지그비사의 XBee environment(모델명: XS-Z16-CB2R) 센서로 온도, 습도, 조도를 통합적으로 측정하고 측정값을 무선으로 게이트웨이에 전송할 수 있다.

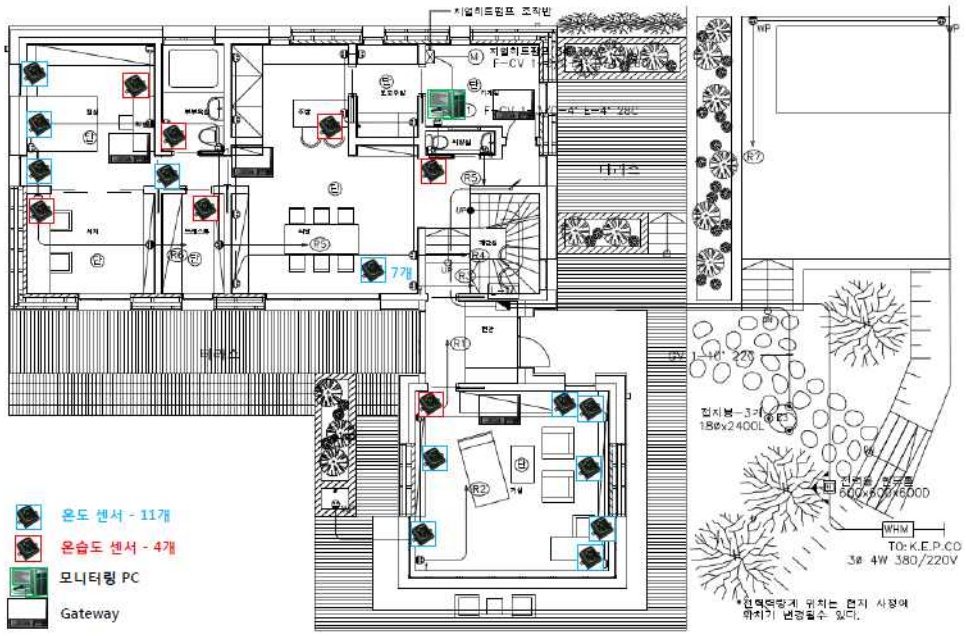
[표3.123] 환경 센서의 사양

항 목		사 양
통합센터	온도 센서	측정범위: -18 ~ +55 ℃, 정밀도: ± 2 ℃
	습도 센서	측정범위: 0 ~ 100 % (상대습도), 정밀도: ± 3.5 %
	조도 센서	측정범위: 360 ~ 970 nm (사람의 눈이 감지하는 영역과 일치)
성능	무선 주파수 대역	ISM 2.4 GHz
	무선 데이터 전송속도	250 kbps (250,000 bps)
	전송범위	실내: 40 m, 실외: 120 m (직선거리)
일반적인 사양	크기(L x W x H)	6.85 cm x 6.35 cm x 3.30 cm
	무게	91 g (배터리가 없을 때), 158 g (배터리가 있을 때)
	작동온도	-18 ~ +55 ℃
배터리 수명	배터리 수명	30초에 1회 읽음: 1.5 년, 1분에 1회 읽음: 2.5 년, 1 시간: 6 년
	전제 조건	스탠바이 상태에서 깨어나 1 회 전송, 21 ℃ 온도 조건
센서 이미지		

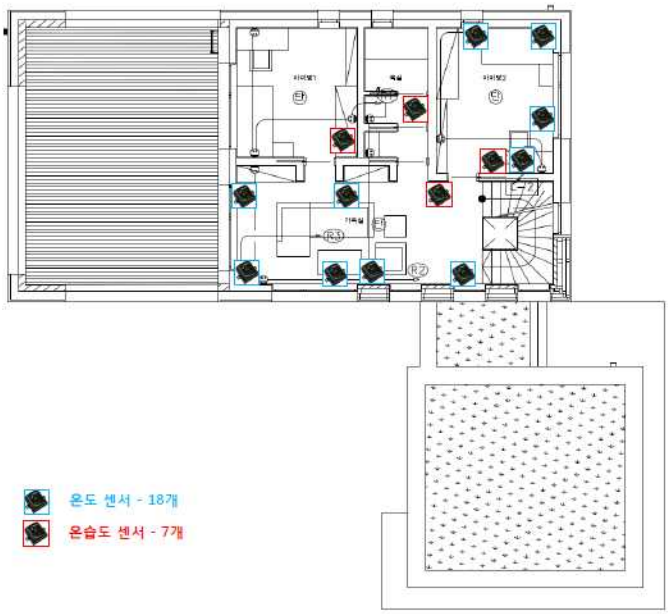
(나) 환경 센서 설치 장소

- 환경 센서는 각 방과 다른 부분과 구분이 되는 공간에 하나씩 설치하고 거실에는 동서남북에 대한 방향대비 쾌적도 평가를 위해 각 벽면, 각 유리창 표면, 각 창호의 프레임, 열교가 형성되기 쉬운 모서리 등에 설치하였다. 또 실내 공간 내에서 높낮이에 따라 온도가 어떻게 분포되는지 알아내기 위해 8개의 센서로 수직 프로파일을 형성하여 2층에 설치하여 계측하였다.

- 다음의 1층과 2층 평면도를 통해 쾌적성 분석을 위한 환경 센서 위치를 알 수 있다. 센서를 부착할 때 사랑채로 분리되어있는 거실부위는 동서남북의 향에 따른 온도변화를 계측하기 위해 거실부위에 집중적으로 부위별 환경 센서를 부착하였지만, 2층의 경우는 외기와 면한 동서남북의 벽면에 각각 설치하여 2층의 쾌적도를 분석하였다.



[그림3.221] 1층 환경 센서 설치와 전력 계측 장소



[그림3.222] 2층 환경 센서 설치와 전력 계측 장소

• 다음 아래의 <표 >에서는 환경센서 설치부위별 장치명과 실명을 기재하였다.

[표3.124] 환경센서 설치부별 장치명 및 실명

번호	장치명	설명	모델명
1	01	1F - 식당	XBSensor
2	02	1F - 주방	XBSensor
3	03	1F - 부부욕실	XBSensor
4	04	1F - 침실	XBSensor
5	14	거실 - 북향 - 벽체	XBSensor
6	15	거실 - 동향 - (상) 유리표면	XBSensor
7	17	거실 - 동향 - (상) 창틀표면	XBSensor
8	18	거실 - 동향 - (하) 유리표면	XBSensor
9	19	거실 - 동향 - (하) 창틀표면	XBSensor
10	20	거실 - 남향 - (우) 유리표면	XBSensor
11	21	거실 - 남향 - (우) 창틀표면	XBSensor
12	23	거실 - 남향 - (좌) 창틀표면	XBSensor
13	24	거실 - 남향 - (좌) 창틀벽체	XBSensor
14	25	2F - 아이방 2	XBSensor
15	27	2F - 욕실	XBSensor
16	28	2F - 아이방 1	XBSensor
17	29	2F - 수직프로파일 1	XBSensor
18	31	2F - 수직프로파일 3	XBSensor
19	33	2F - 수직프로파일 5	XBSensor
20	35	2F - 수직프로파일 7	XBSensor
21	36	2F - 수직프로파일 8	XBSensor

[그림]은 거실 동측부위의 벽체표면온도, 유리창프레임표면온도, 그리고 유리표면온도를 계측하기 위한 환경센서 위치를 보여주고 있다.



[그림3.223] 동쪽 벽면 방향으로 설치된 환경 센서

• 2층 거실에 설치한 수직 프로파일은 30cm간격으로 부착하였다.



[그림3.224] 2층에 설치한 수직프로파일

• 아래 은 2층 무선환경센서를 통해 수집된 데이터를 서버에 보내기위한 무선게이트웨이장치이다. 무선게이트웨이 장비를 포함한 계측장비는 데이터 수집기간 후 철거될 예정으로 설치되어있다.

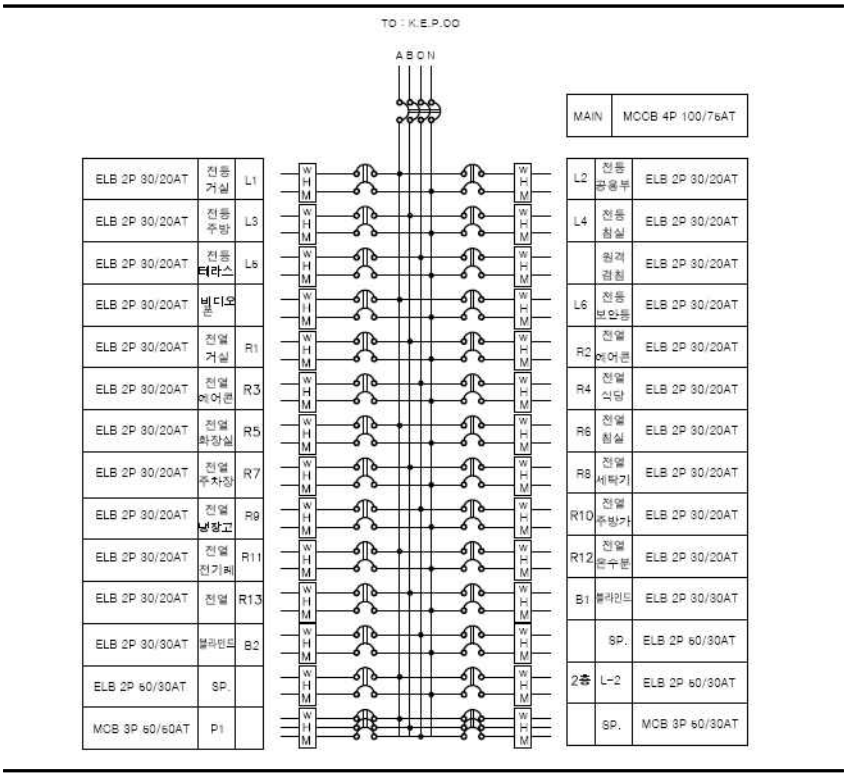


[그림3.225] 2층에서 수집된 데이터를 인터넷으로 보내는 게이트웨이

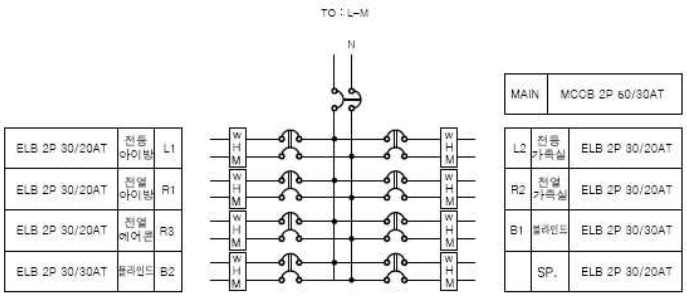
(1) 에너지 계측 방법

(가) 전력 계측 방법

- 전력은 가정용 고압전력(380 V AC)인 3상교류전력이 들어와서 지열의 히트펌프를 가동시키고 3상 교류전력에서 단상으로 뽑아 가정용인 저압전력(220 V AC)으로 감압하여 분전반에서 각 층과 방으로 전력을 공급한다. 에너지 소비를 알아내기 위해 조명과 각 방의 콘센트를 분리하여 계측을 하고 있다.



[그림3.226] 1층 전력연결도와 계측지점



[그림3.227] 2층의 전력 연결도와 계측 지점

• 각 소비되는 전력을 측정하는 분전반의 계측번호는 다음과 같다.

[표3.125] 익산 패시브하우스 분전반의 계측번호

종류	번호		위치	설명
	Device No.			
1층 거실 전등	21		1F 103	1층 사랑채
1층 현관, 복도, 보일러 전등	22		1F 102	1층 본채
1층 주방 전등	23		1F 102	1층 본채
1층 침실 전등	24		1F 102	1층 본채
1층 비디오폰 콘센트	27		1F 102	1층 본채
1층 거실 콘센트	28		1F 103	1층 사랑채
1층 거실 A.C.	29		1F 103	1층 사랑채
1층 주방 A.C.	30		1F 102	1층 본채
1층 주방 콘센트	31		1F 102	1층 본채
1층 서버 벽전원, 화장실 콘센트	32		1F 101	1층 기계실
1층 안방화장실 콘센트	33		1F 102	1층 본채
1층 서재, 침실 콘센트	34		1F 102	1층 본채
1층 TV증폭기, KT모뎀, 허브	35		1F 103	1층 사랑채
1층 세탁실 전기레인지	37		1F 102	1층 본채
1층 주방가전	38		1F 102	1층 본채
1층 주방 전기레인지	39		1F 102	1층 본채
1층 온수분배기	40		1F 102	1층 본채
2층 온수분배기	41		2F 104	2층
1층 블라인드-주방, 침실; 북쪽	42		1F 103	1층 사랑채
1층 블라인드-거실, 식당; 남쪽	43		1F 103	1층 사랑채
2층 블라인드	44		2F 104	2층
1층 지열-T6533	T6533		1F 101	1층 기계실
2층 거실 전등	45		2F 104	2층
2층 계단 쪽 전등	46		2F 104	2층
2층 아이방 1, 2 전등	47		2F 104	2층
2층 아이방 1, 2 콘센트	48		2F 104	2층
2층 거실 콘센트	49		2F 104	2층
2층 거실 A.C.	50		2F 104	2층
1층 기계실 배기 FAN	51		1F 101	1층 기계실

(나) 지열을 통한 열에너지 생산량 계측

- 지열을 이용하기 위해 국내산 히트펌프인 시스웍스(Sysworks(주))사의 SHP-G4005을 설치하였다. 히트펌프의 사양과 히트펌프 구성 부품 특성은 <표 >과 <표 >과 같다.

[표3.126] 히트펌프 사양

사항	내용	비고
품 명	물 - 물 지열열펌프 유니트	
모 델	SHP-G4005	
인증번호	GT-WWH-1-0135	
효 율	냉방: EER 5.06, 난방: COP 4.07	지중 루프시스템
크 기	608 mm x 618 mm x 900 mm	가로 x 세로 x 높이
무 게	120 kg	

- 열펌프의 각 부위 별 부품의 형식은 다음과 같다.

[표3.127] 히트펌프 구성부품의 사양 및 특성

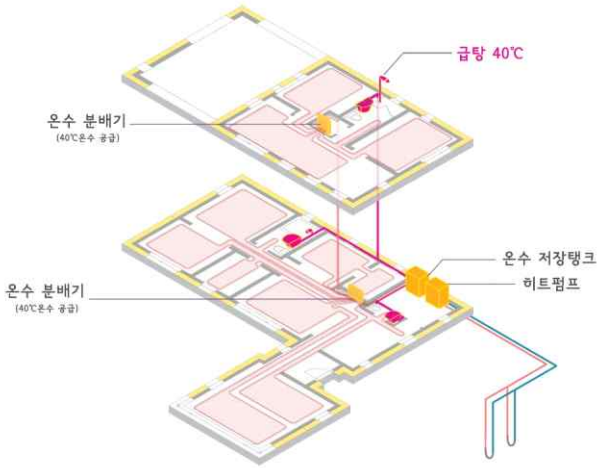
구분	형식	모델	규격(W)	제조사	효율	수명	인증
압축기	scroll	HRM060T9	17,490	DANFOSS	-	20,000 h	CE, UL
열교환기	plate	B25THx40	26,372	SWEP	97%	15 years	CE, UL
사방밸브	electronic	STF-0401G	20,200	SAGINOMIYA	-		CE, UL
팽창밸브	thermostatic	TGEX6TR	20,000	DANFOSS	-		CE, UL

- 익산 패시브하우스에 설치된 지열을 통한 난방과 급탕의 온도는 실내에 위치한 컨트롤러를 통해 제어가 가능하도록 되어있다.

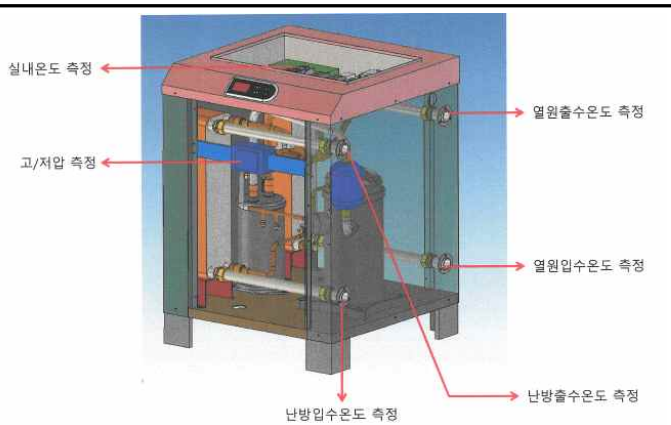


[그림3.228] 지열 히트펌프의 컨트롤러 조작반

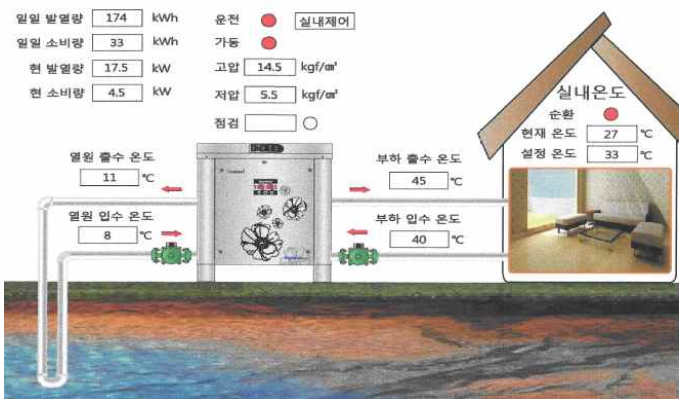
• 지열을 이용하는 히트펌프의 작동에 따른 각종 온도는 다음 <그림 XX>와 같이 구성되어 있고 작동 개요는 <그림 XX>와 같다.



[그림3.229] 지열을 이용한 난방구성



[그림3.230] 지열 히트펌프의 온도 측정 부위



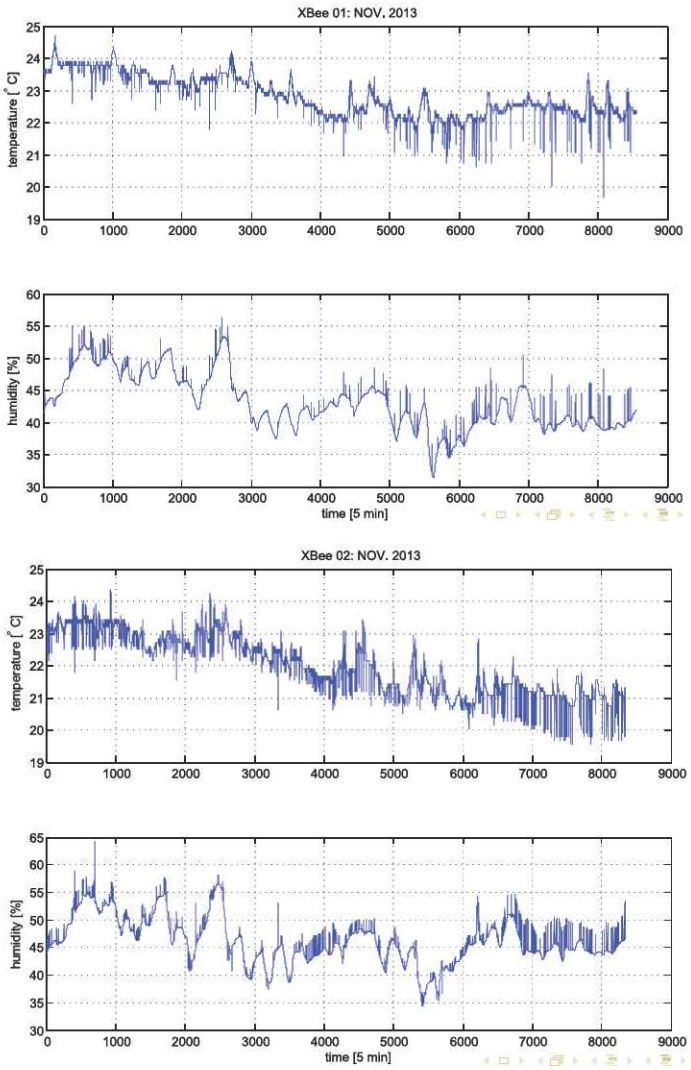
[그림3.231] 지열 히트펌프와 각 층별 난방과 급탕 연결도

라. 환경 모니터링 측정 및 평가

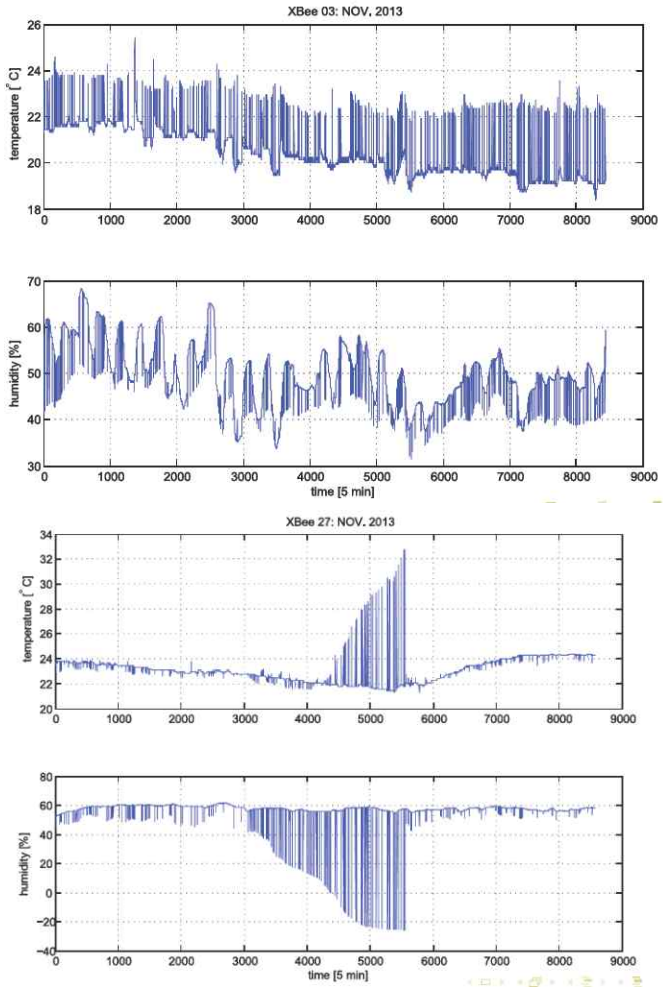
(1) 환경모니터링(쾌적성) 측정

(가) 환경센서를 통한 측정

- 환경 센서는 미국 지그비사의 제품을 사용하였으나, 측정데이터를 평가해 본 결과 정확한 실내 환경의 상태를 나타내는 값으로 인정하기 어려울 정도로 불안정하게 계측되어, 별도의 실험장비(테스터측정장비)를 통해 쾌적성분석을 재 시도하였다. 그러나 환경센서를 통한 결과값은 연구기간이 종료된 이후 신호를 다듬고(signal conditioning) 데이터를 처리하는 과정을 거쳐 실내 환경에 반영하도록 지속적으로 가공할 예정이다. 따라서 본 연구에서는 단기간의 정확한 결과값을 도출하기 위해 이동형 장비를 설치하여 익산지역에서 12월 중 가장 추운 날을 선택하여 계측하였다.



[그림3.232] 환경센서 측정데이터 그래프(1)



[그림3.233] 환경센서 측정데이터 그래프(2)

(나) 이동형 계측장비(testo 480)를 통한 측정

- 쾌적성 평가를 위하여 testo사의 장비인 testo 480으로 거실과 2층 거실의 환경 요소를 측정하였다. 이동형 계측장비는 정밀한 계측이 가능하고, 원하는 장소와 원하는 시간에 실내환경을 계측하는데 용이하다는 장점이 있다. 이동형 계측장비는 12월 중 가장 추웠던 날을 선택하여 난방을 하지 않는다는 가정 하에 거실과 2층공간의 쾌적도를 측정하였다. 특히 흑구는 각 벽체표면온도와 계측장소와의 거리를 고려한 계측지점의 복사열에 의한 온도와 실내온도공기를 동시에 계측할 수 있고, CO2의 농도와 기류의 속도를 동시간대에 계측할 수 있다. 즉, testo 480으로는 실내의 공기온도, 측정지점에서 벽체로부터 오는 복사열 온도, 상대습도, 기압, 건구온도, 습구온도, 엔탈피, 기류의 유속, 이산화탄소 농도를 동시에 측정할 수 있다.



[그림3.234] 쾌적성 평가를 하기 위한 측정 장비인 testo 480

- 이동형 측정기는 2013년 12월 11일부터 13일까지 하나는 1층 거실에 다른 하나는 2층 거실에 설치하였고 측정값은 20 초 간격으로 수집하였다.

- 온도와 습도를 동시에 계측할 수 있는 특별 제작한 센서를 각각의 측정부위에 따로 부착함으로써, 실외의 표면온도와 습도, 실내 벽체 및 유리표면의 표면온도 그리고 표면부위의 습도를 측정하였다.



[그림3.235] 1층 거실의 쾌적성 측정 장비(왼쪽)와 벽체의 온도를 알아보기 위한 부착형 센서(오른쪽)



[그림3.236] 2층의 작은 거실에 있는 측정 장비

(2) 환경모니터링(쾌적성) 평가요소

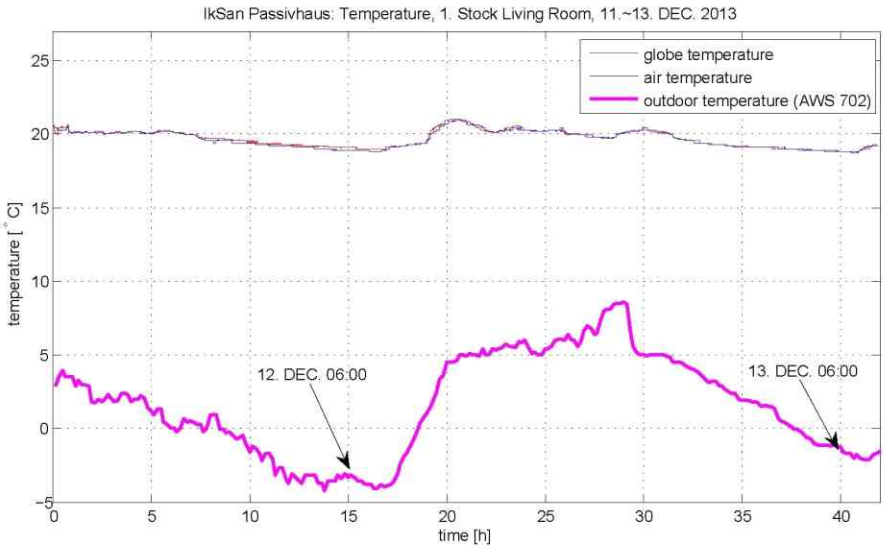
- 1층과 2층의 쾌적성을 측정하기위해 도출 및 비교한 값은 실내온도, 흑구온도, 상대습도, 기류속도, CO2농도, 예상평균 온열감 PMV, 예상불만족도 PPD, PMV VS. PPD, 온습도 쾌적한 범위, 벽체 표면온도와 실내공기온도의 쾌적함 관계이다.

(3) 익산패시브하우스 거실의 쾌적성

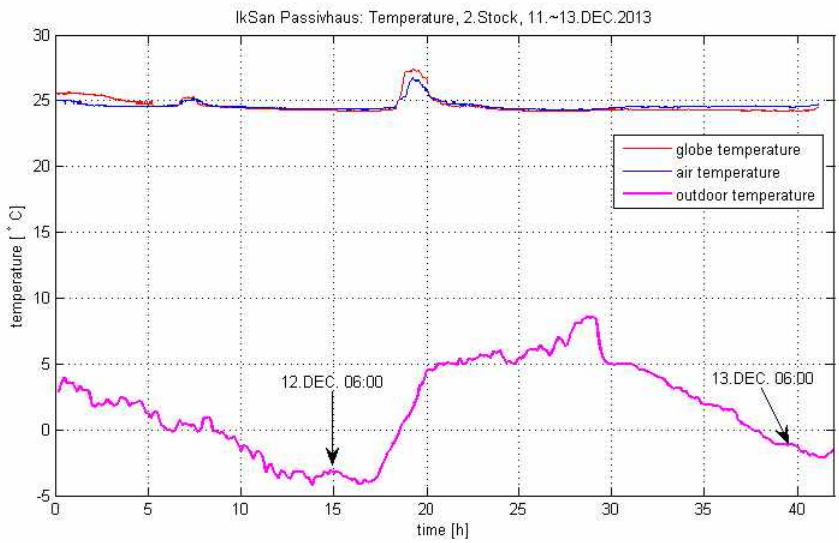
(가) 실내 온도 변화

- 실내 온도에서는 흑구온도(벽체로부터 오는 복사열에 의한 온도)와 실내공기온도가 거의 일치하는 것으로 나타났다. 즉 패시브하우스인 익산주택의 실내의 벽체 표면온도가 실내공기온도와 일치한다는 것인데, 이는 단열성능이 높고 손실되는 열이 거의 없음을 의미한다.
  - 1층 거실의 경우 5면이 외기에 면해있는 조건에서도 낮과 밤의 실내온도차가 20도를 중심으로 대략 ±0.8 ℃ 정도 밖에 변하지 않고 있는 것은 거주자에게 높은 쾌적성을 부여함과 동시에 독일 패시브하우스기준에 부합하고 있다는 것을 나타내고 있다.
  - 2층 거실(2층 가족실)의 실내 공기는 24.5 ℃를 전후로 거의 변동이 없다. 다만 둘째 날 일사량이 흑구와 TESTO의 온도계에 직접 닿아 27 ℃ 까지 올라갔으나 햇빛이 닿지 않은 부분의 온도는 24 ℃를 지속적으로 유지하고 있었다.

- 즉, 위의 결과는 주택의 실내 벽체 표면온도가 실내공기와 거의 일치할 정도로 익산패시브하우스의 단열성능이 높음을 입증하고 있다.



[그림3.237] 1층 거실의 실내 온도 변화



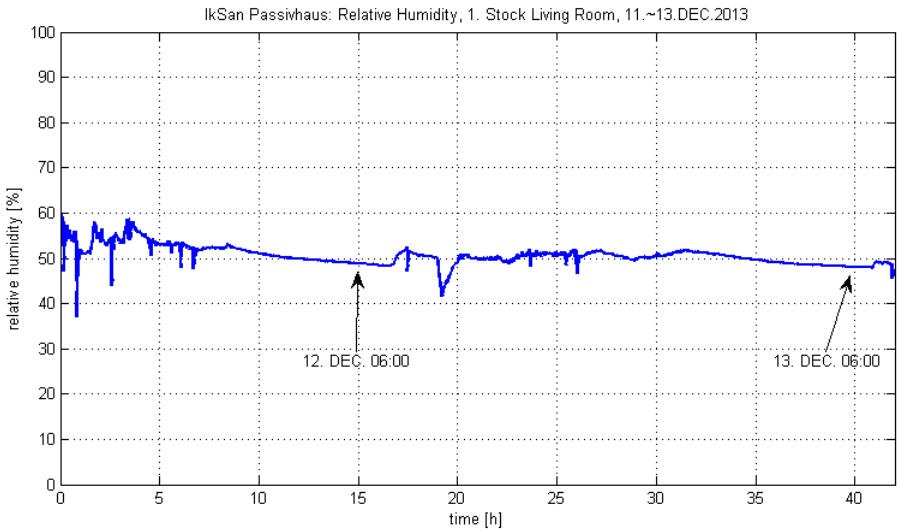
[그림3.238] 2층 거실의 실내온도 변화

(나) 실내의 상대습도 변화

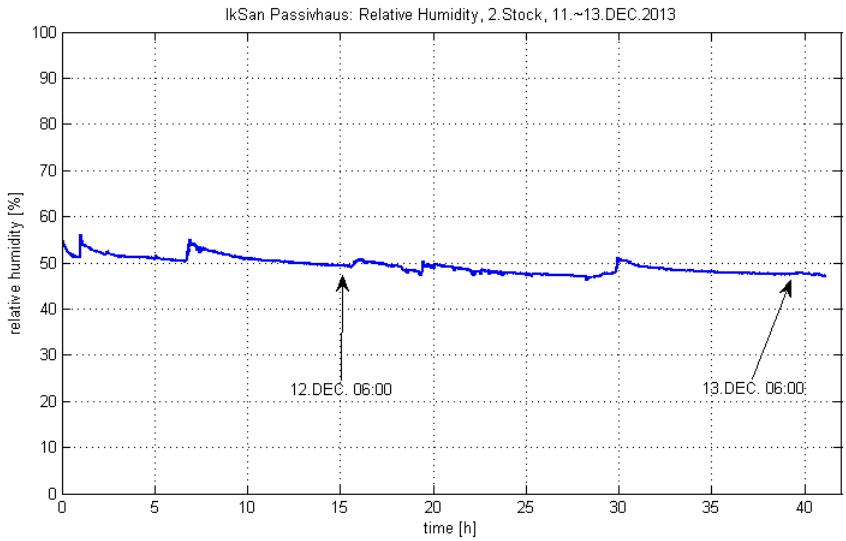
- 1층 거실은 실내온도 20℃에서 실내습도 50%를 기준으로 하루에 ±5% 정도 변하였고, 마지막 날에는 ±2% 내외로 변함으로써 거주자에게 높은 쾌적감을 부여하고 있었다.

- 또한, 2층 가족실의 상대습도는 첫째 날 50%를 중심으로 54%까지 증가했으나 이후에는 50%를 중심으로 ±2% 정도의 변동만 있을 정도로 안정된 상태를 유지하고 있다.

• 즉, 1층과 2층 모두 독일 패시브하우스 쾌적기준이라고 할 수 있는 실내습도 50 % 내외를 만족하고 있음을 알 수 있었다.



[그림3.239] 1층 거실의 실내 상대습도 변화

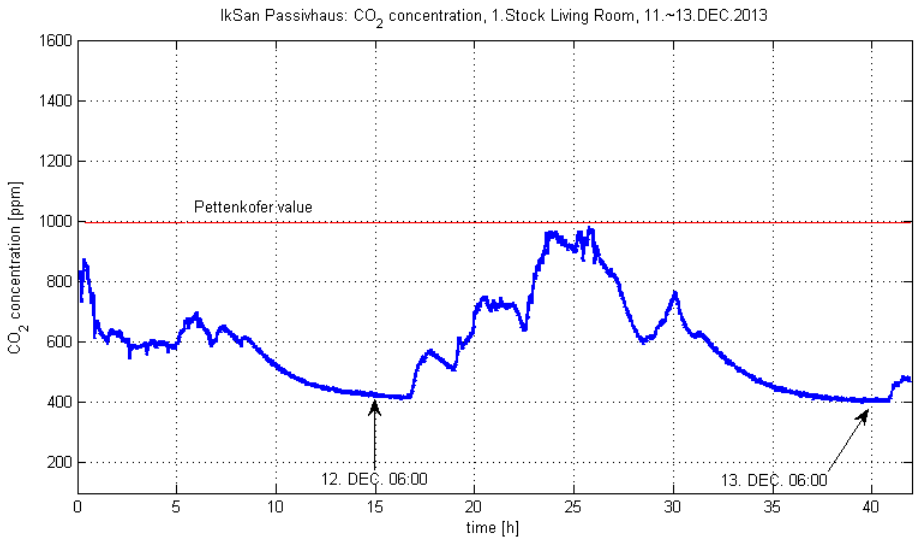


[그림3.240] 2층 거실의 실내 상대습도변화

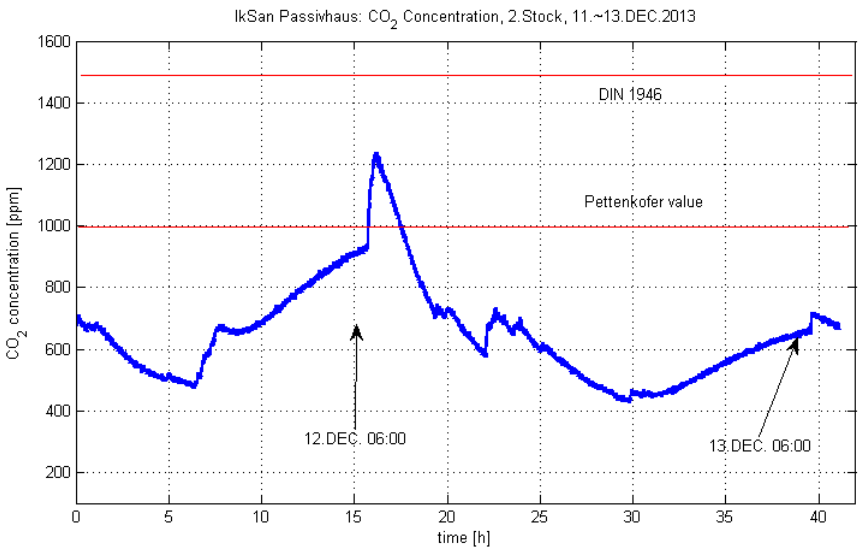
(다) CO2 농도의 변화

• 익산 패시브하우스는 페텐코프(M. von Pettenkofer)가 제시한 쾌적한 범위인 1000 ppm 이하를 측정기간 내내 만족하고 있었다. 이는 패시브하우스에서 꼭 설치되어야 하는 폐열회수환기장치가 유효함을 CO_2 측정을 통해 알 수 있는 것이다. 측정 기간 내에 잠시 농도가 높이 올라간 시점에서는 설치 작업인력이 거실에서 작업 중 이었다.

• 1층 거실과 2층 가족실 모두 이산화탄소의 농도는 측정기간 내에 700 ppm을 전후의 미세한 변동만이 있었다. 둘째 날 잠시 CO2농도가 잠시 올라간 이유는 작업인원이 몰려있을 시간대 였기 때문이다. 그럼에도 불구하고 익산 패시브하우스에서 나타난 최대 CO2농도는 DIN 1946에서 제시하고 있는 실내 이산화탄소 농도 상한치인 1500 ppm 이하의 값으로 나타나고 있어 불리한 상황에서도 최적의 쾌적성을 보여주고 있다.



[그림3.241] 1층 거실의 이산화탄소 농도변화



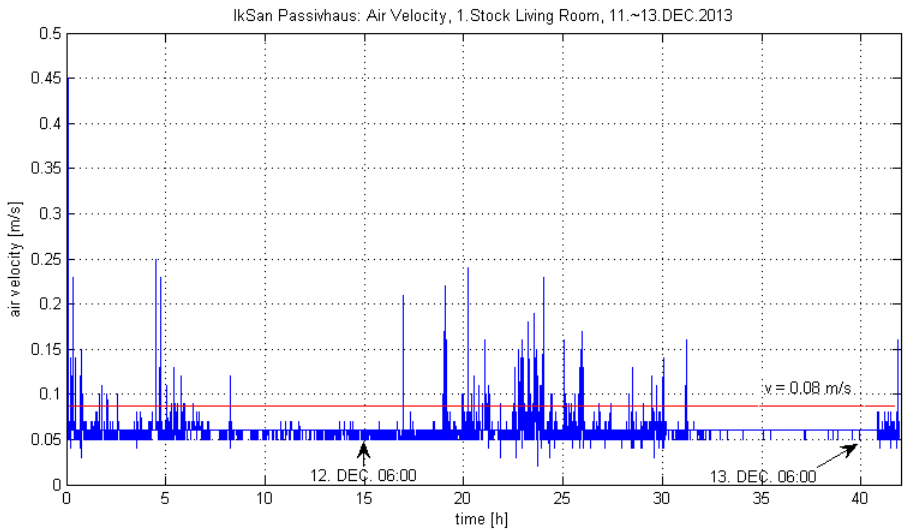
[그림3.242] 2층 거실의 이산화탄소 농도 변화

(라) 기류 속도

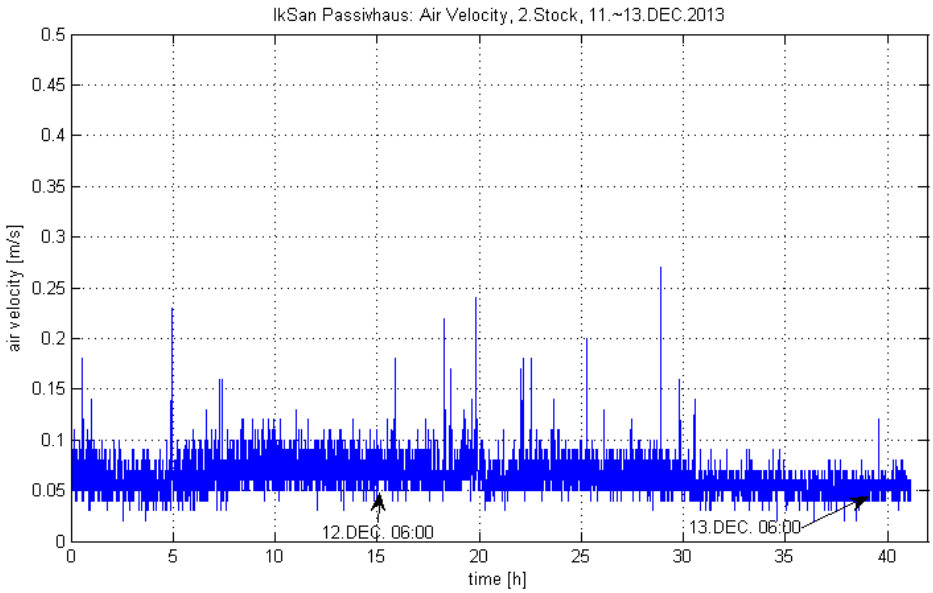
• 1층과 2층의 측정 기간 내내 외풍에 의한 공기의 이동 속도인 기류 변화는 거의 없었다. 이는 독

일 패시브하우스의 겨울철 기류 속도의 최대치인 0.08 m/s 이하를 만족한 결과 값이다.

- 기류속도를 통해 유추할 수 있는 바는 기밀성확보를 통한 틈새바람이나 외풍이 전혀없다는 것이며, 폐열회수환기장치의 급기구에서 나오는 기류속도가 흑구 주변에 영향을 끼치지 않을 정도로 잘 계산되어 급기가 되고 있음을 알 수 있었다. 도중에 기류의 속도가 급격히 증가한 부분은 작업 때문에 측정 장치의 주위를 작업인력이 스쳐 지나간 결과를 유속측정기가 계측한 것이다.



[그림3.243] 1층 거실의 공기 이동 속도



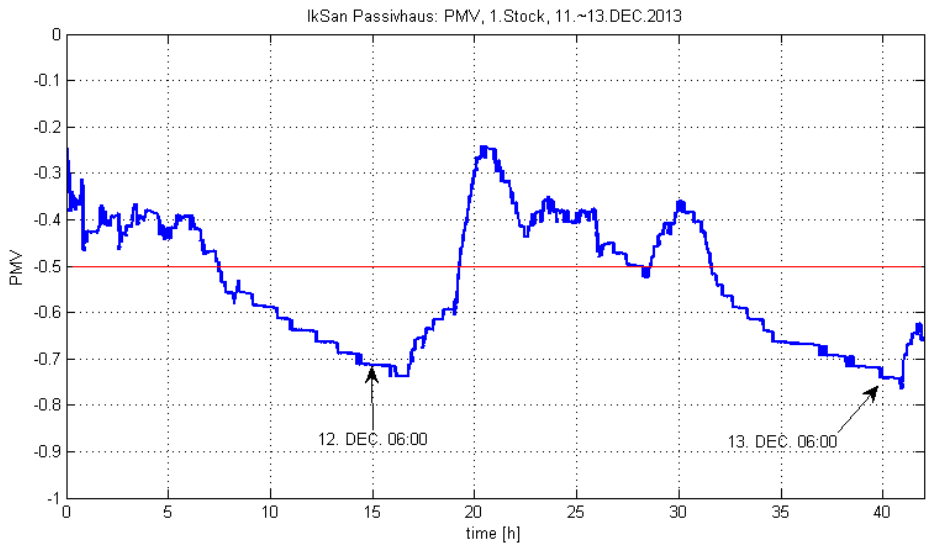
[그림3.244] 2층 거실의 실내 공기의 기류 속도 변화

(마) 예상평균온열감 PMV(predicted mean vote)

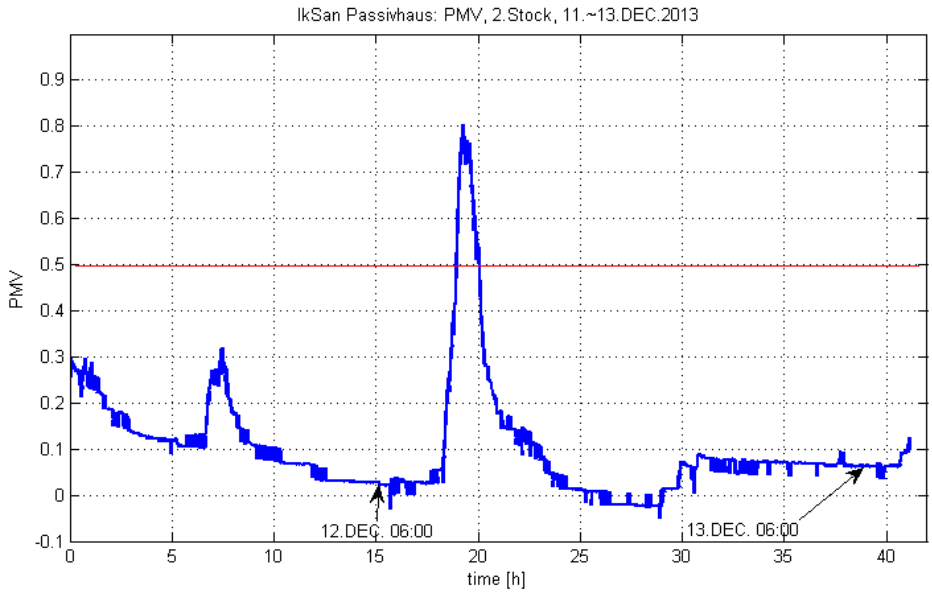
- ISO 7730에서 실내의 온열쾌적감은 사람의 온열쾌적감을 7 단계로 나누었을 때 PMV가 -0.5 < PMV < +0.5 사이에 들어올 때 쾌적한 상태라고 규정하고 있다. 패시브하우스의 1층 거실은 난방을 전혀 하지 않는 상태에서 주간에는 -0.5 이상, 야간에는 -0.5 이하로 되어 약간 춥다고 느낄 수 있는 수치가 나타났다. 다만 위의 예상 온열 쾌적감은 착의량이 1.2 (겨울철 가벼운 외출복), 활동도가 1.2 (자리에 앉아서 간단한 일을 할 때)일 때를 기준으로 하였던 값이므로 가만히 소파에 앉아 쉬고 있다면 한기를 느낄 수 있는 환경이라고 할 수 있다.

- 그 이유는 설치 당시 거실 남측면 블라인드를 내려둔 상태에서 계측하였기 때문이다. 이는 겨울철 남향의 일사량을 내부로 충분히 입사시키지 못했음을 증명한 예이다. 즉, 겨울철에 블라인드를 올려 남측면 유리면을 통한 일사량을 확보하거나 ,이를 통해 저녁시간에 축열바닥면의 온도를 약간 올려 새벽시간의 실내온도가 떨어지는 것을 막는 것으로 난방에너지 사용량을 줄일 수 있다.

- 그러나 2층의 경우, 착의량을 겨울철 가벼운 실내 복장인 1.0, 활동도는 앉아서 편하게 쉴 때인 1.0으로 가정했을 때 예상평균온열감은 0 ~ 0.1 사이에 있으므로 1층 거실에 비해서 가벼운 복장을 착용하고도 쾌적함을 느낄 수 있는 환경을 확보하였다고 할 수 있다.



[그림3.245] 1층 거실의 예상온열쾌적감



[그림3.246] 2층 거실의 예상평균온열감 PMV; 착의량 1, 활동도 1

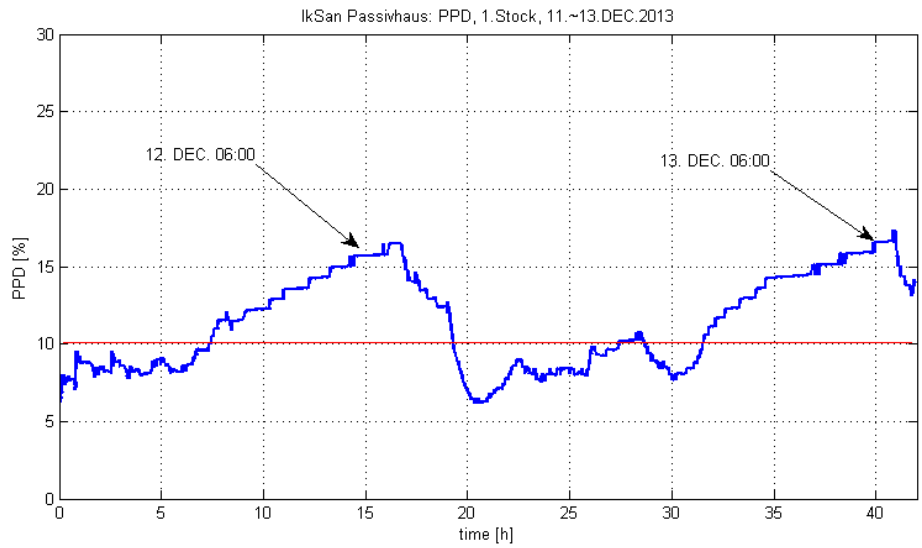
(바) 예상불만족도 PPD (predicted percentage of dissatisfied)

- 쾌적함은 예상불만족도가 PPD < 10 %일 때를 말한다. 이는 90%이상의 사람들이 쾌적하다고 느끼는 경우를 말한다.

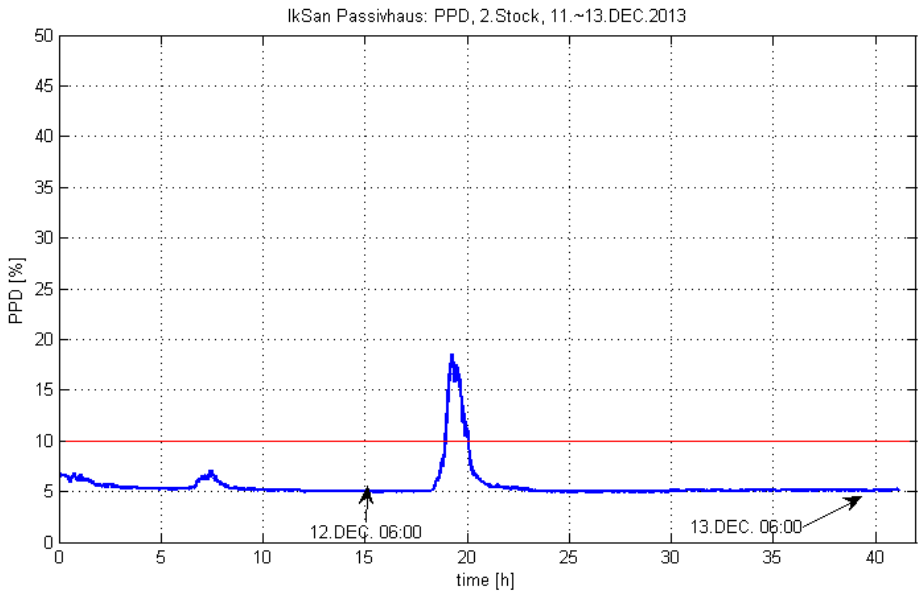
- 1층 거실의 경우, 낮에는 10 % 이하가 되지만 밤에는 추위를 느끼며 쾌적하지 못하다는 비율이 10%를 넘는다고 할 수 있다. 즉, 낮보다는 밤에 더 불쾌감을 느끼는 확률이 높다. 따라서 이 경우 저녁시간에 약간의 난방 또는 낮 시간의 복사에너지 축열을 통해 불쾌감 해소가 가능하다고 할 수 있다.

- 2층 거실(가족실)의 예상불만족도는 직사광이 비친 시간대를 제외하면 5% 이하가 되어 쾌적한 상태라고 느끼는 사람들이 95% 이상이 됨을 알 수 있었다.

- 즉, 1층은 조금 서늘하지만, 2층은 동일한 내외부조건 임에도 불구하고 실내온도가 상대적으로 높아 쾌적함을 느끼는 확률이 높게 나타나고 있다. 이러한 쾌적성분석을 통해 난방을 해야할 시간과 하지 않아도 되는 장소를 알 수 있다는 점에서 쾌적성분석이 에너지사용효율화에 기여하고 있음을 알 수 있다.



[그림3.247] 1층 거실의 예상불만족도; 착의량 1.2, 활동도 1.2

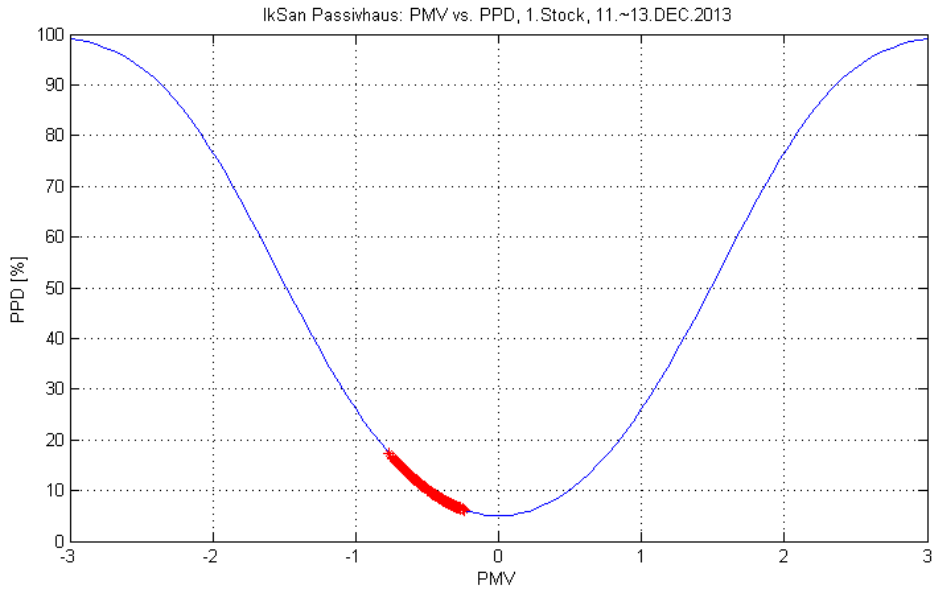


[그림3.248] 2층 거실의 예상불만족도; 착의량 1.0, 활동도 1.0

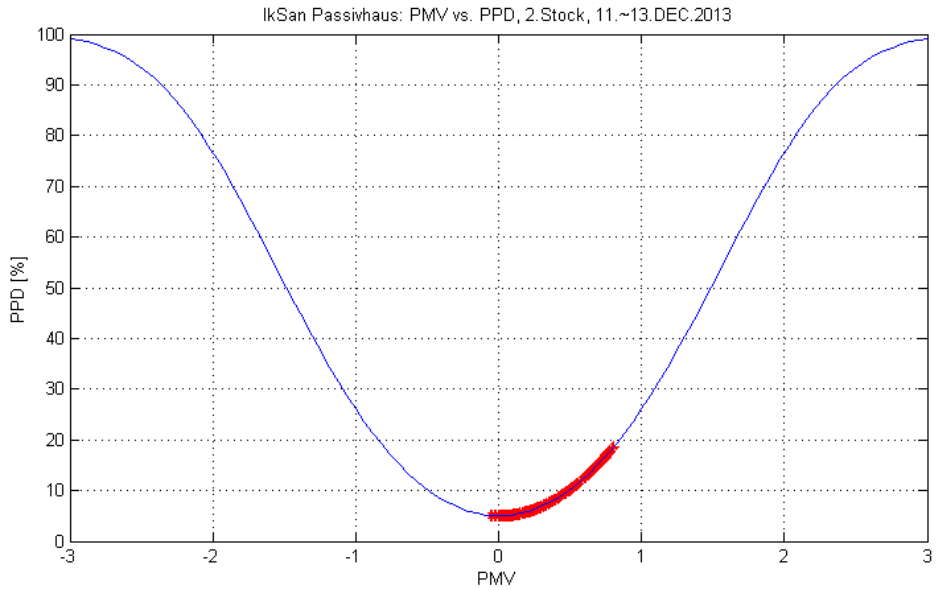
(사) PMV와 PPD의 관계

- 위의 두 그래프(PMV와 PPD)를 하나로 합쳐서 살펴보면, 1층 거실의 측정된 실내환경이 약간 서늘한 방향으로 치우쳐져서 분포되어있음을 알 수 있다.

- 그러나 2층 가족실의 경우, 약간 따뜻한 쪽으로 10 % 이하 범위에 위치하고 있어 매우 쾌적한 공간임을 알 수 있다.



[그림3.249] 1층 거실의 PMV와 PPD의 관계



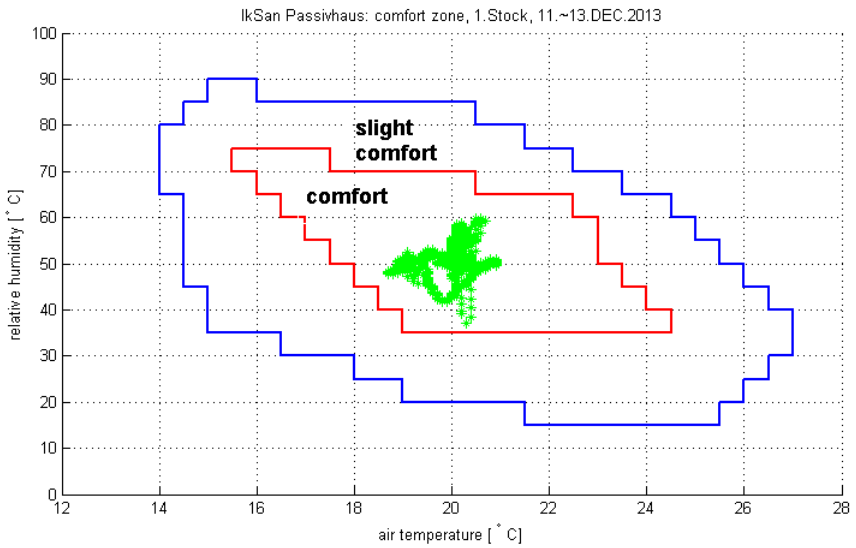
[그림3.250] 1층 거실의 PMV와 PPD의 관계

(아) 온도-습도 쾌적함 범위

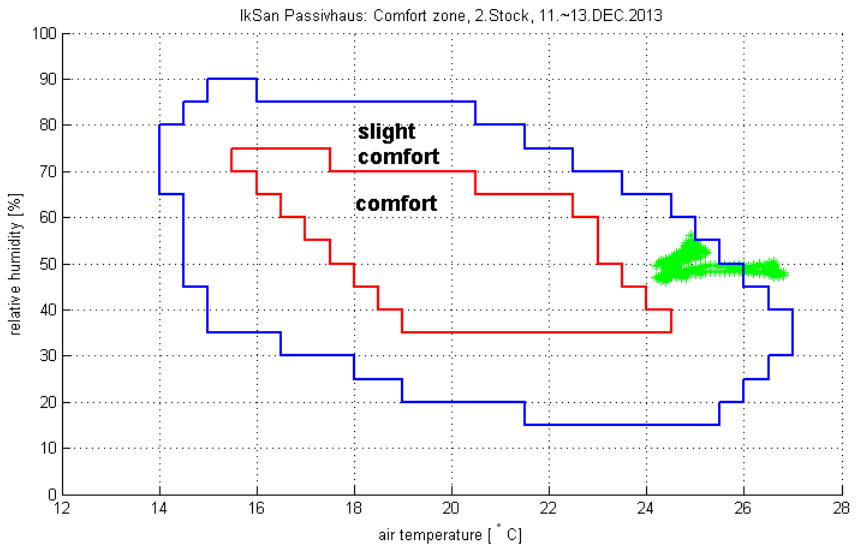
- 그래프 상의 둥근 점은 48시간동안 20초단위로 측정된 온도와 습도의 교점을 표현한 것이다. ASHRAE 55나 기타 다른 기준에 따라 온도-습도의 습공기선도에서 쾌적함의 범위를 지정할 때 1층 거실은 하루 중 대부분의 시간동안 쾌적한 상태로 나타나고 있다.

- 그러나 2층 가족실의 경우, 온도-습도의 관계에서 쾌적한 상태에서 벗어나 약간 더 따뜻한 상태에 있음을 알 수 있다.

- 1층과 2층의 온도와 상대습도의 차이는 주변의 산과 나무 등으로 인한 음영의 영역에서 2층이 더 자유롭다는 점과 지붕단열의 효율이 높은 것에 기인한다.



[그림3.251] 1층 거실의 온습도 쾌적함 범위

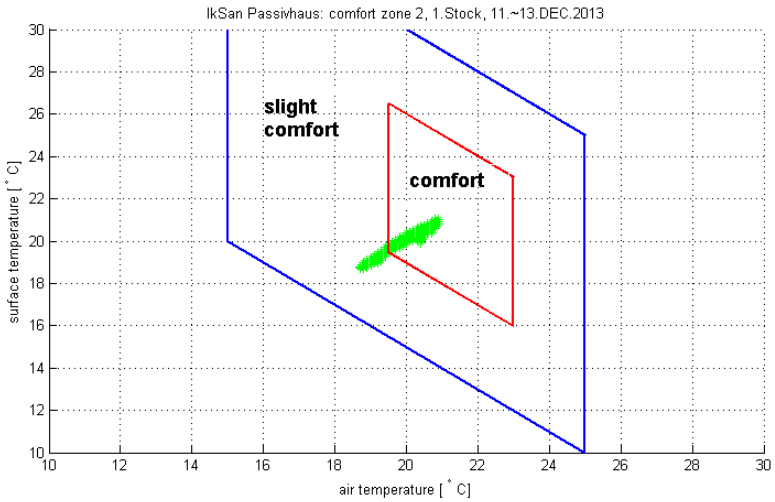


[그림3.252] 2층 거실(가족실)의 온습도 쾌적함 범위

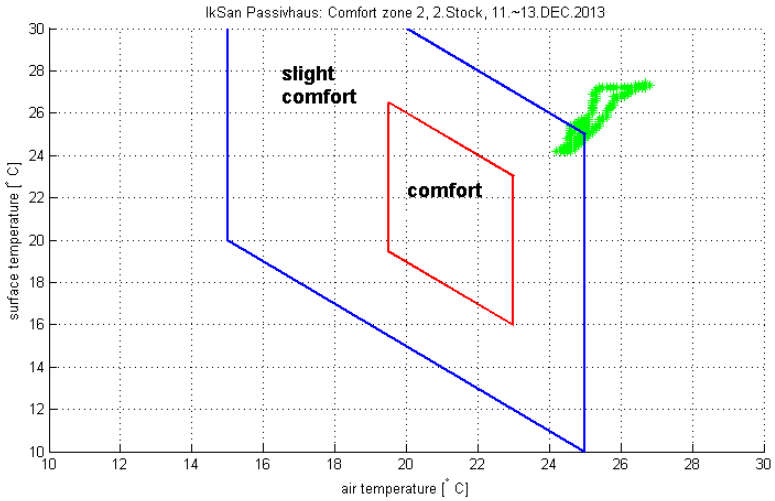
(자) 벽체온도와 실내 공기 온도의 쾌적함 관계

- 벽체의 표면에서 발산되는 복사열에 의한 실내온도와 실내 공기의 온도차가 5 ℃ 이상 차이가 나면 쾌적함을 느끼지 못한다. 그러나 익산 패시브하우스의 경우, 실내온도가 19도로 내려가는 새벽 시간에 쾌적함의 영역에서 약간 벗어나지만, 대부분의 시간에는 벽체온도와 실내온도의 차이가 나지 않아 쾌적함의 영역내에 쾌적도를 나타내는 둥근 점들이 배치되고 있다.

- 2층 가족실의 경우, 벽체온도가 상대적으로 높아 실내온도와 격차가 심할 때는 약간 덥다고 느낄 수 있다고 나타나고 있다.
  - 즉, 관계표는 익산 패시브하우스의 실내온도와 벽체온도의 차이가 거의 없다는 점을 증명해 주고 있다.



[그림3.253] 1층 거실의 벽체온도와 실내온도 쾌적함 관계



[그림3.254] 2층 거실의 벽체온도와 실내온도 쾌적함 관계

(4) 국소적인 불쾌함(local discomfort)

- PMV나 PPD는 실내 전체 환경에 노출된 사람의 열적 평형을 이용한 쾌적함의 척도라고 해도 국소적으로 쾌적함을 방해하는 요소들이 있다. ISO 7730에서는 대표적인 불쾌감을 일으키는 국소적인 요인으로 외풍, 심한 수직 온도차, 차갑거나 더운 바닥 온도, 벽체들 사이의 복사열 비평형 등을 예로 들고 있다.

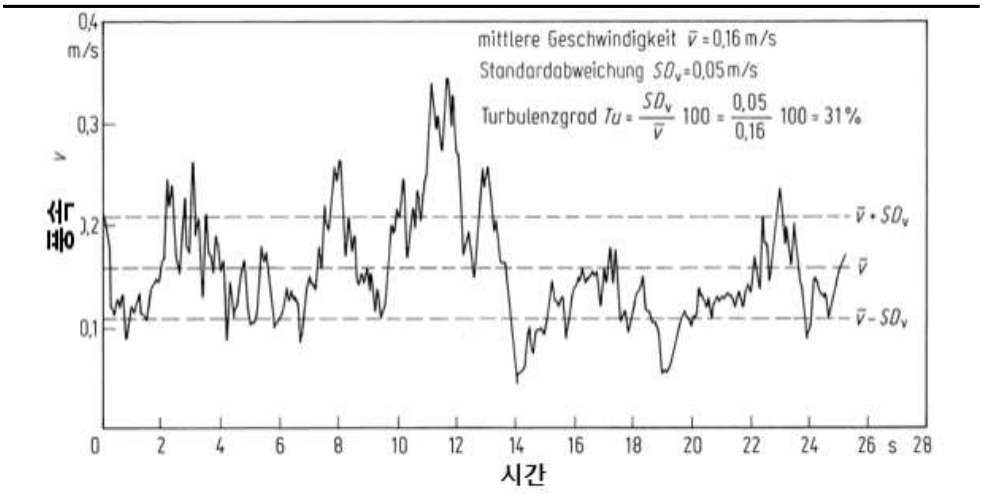
(가) 외풍(draught)

- 외풍에 의한 국소적인 불쾌감은 급기를 잘못해서 바람이 너무 강하거나 기밀성능이 떨어져 틈새바람이 강해 나타나는 현상으로 외풍의 비율(Draft Rate)을 구해서 어느 정도의 사람들이 불쾌감을 느끼는가를 계산한다.

$$DR = (34 - t_a)(V - 0.05)^{0.62}(0.37 \cdot V \cdot Tu + 3.14)$$

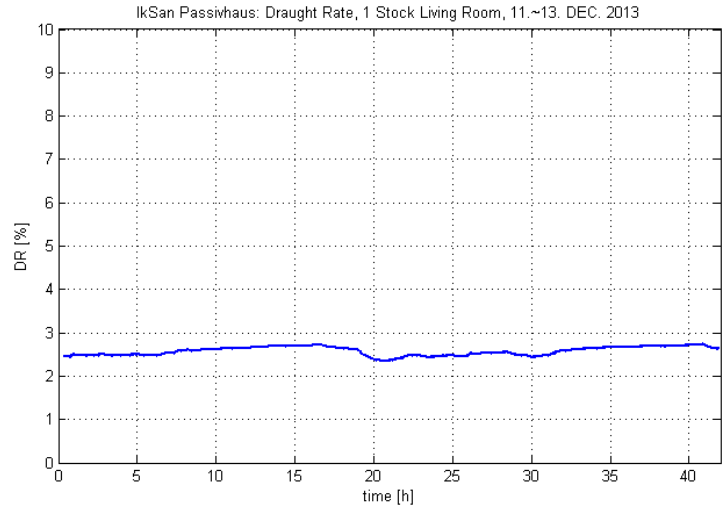
t_a 실내 공기의 온도　V 측정한 풍속　T_u 측정점에서의 난류도

- 거듭제곱 공식이 성립하기 위해서 측정한 풍속이 0.05 m/s 일 때는 V = 0.05 m/s로 가정하고, 난류도는 풍속의 표준편차를 평균 풍속으로 나누어 구한다. 난류도를 잘 모를 때는 40 %로 가정한다.

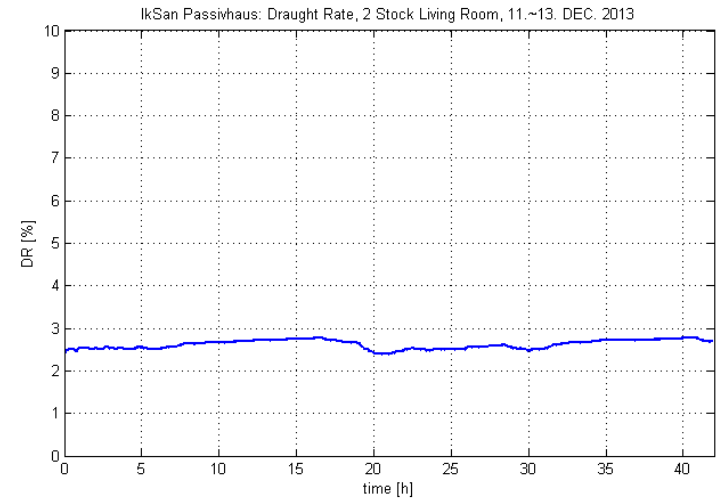


[그림3.255] 1층 거실의 평균 풍속

- 1층 거실인 경우 평균 풍속은 V = 0.060 m/s이고, 표준편차는 SD = 0.011 m/s로 난류도는 T_u = 18.3 %이다.
- 1층 거실과 2층 가족실의 측정치로 외풍에 의한 국소적인 불쾌감을 계산해보면 대략 2.3 % 내외가 되므로 외풍에 의해서는 실내에서 거의 불쾌감을 느끼지 않는다.



[그림3.256] 1층 거실의 외풍에 의한 불쾌감 정도



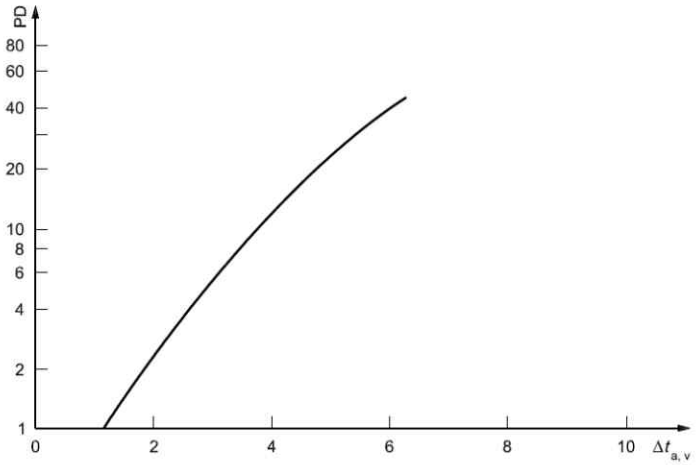
[그림3.257] 2층 가족실의 외풍에 의한 국소적인 불쾌감 정도

(나) 수직 온도차에 의한 국소적인 불쾌감

- 사람은 상하 온도차에 민감하여 발등과 머리 꼭대기까지 온도차가 2 ℃ 이상일 때 불쾌감을 느낀다. 수직 온도차에 따른 불쾌감의 정도를 나타내는 비율은 다음과 같다.

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5.76 - 0.856 \cdot \triangle t_{a,v})}$$

- 2층 가족실에 설치한 수직 프로파일을 형성하고 있는 온도센서에서 계측된 온도차는 상하 0.3 ℃ 이내이므로 수직 온도차에 따른 불쾌감을 느끼는 비율은 0에 가깝다. (수식에서 1 ℃ 이하의 온도차가 날 때는 공식에서 값을 정할 수 없다)

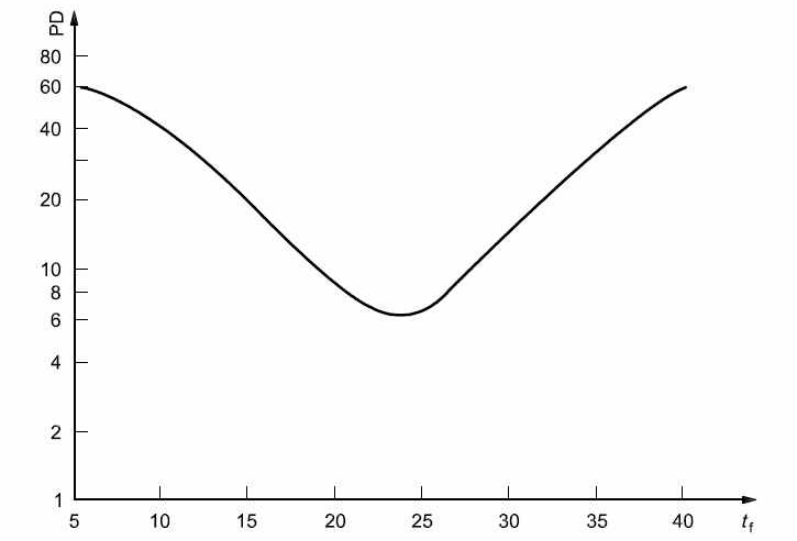


[그림3.258] 수직 온도차에 의한 불쾌감을 느끼는 비율

(다) 바닥면의 온도에 따른 불쾌감

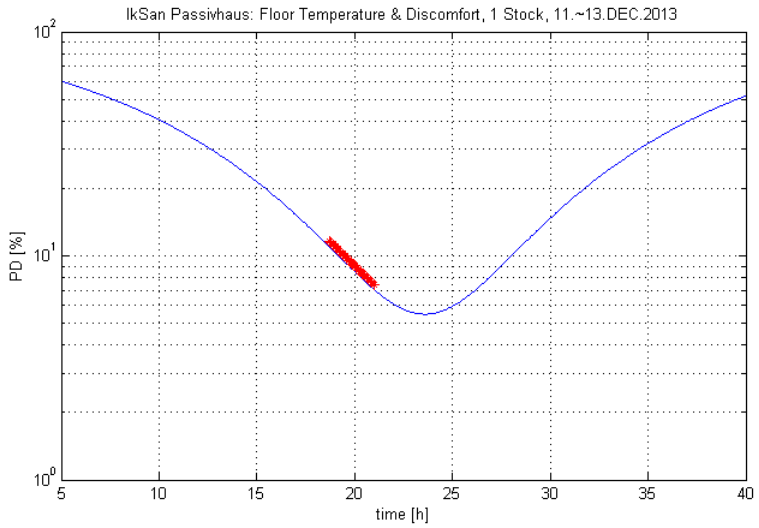
- 바닥면이 너무 차거나 더울 경우 앉거나 누워있을 때 불쾌감을 느낀다. 맨발로 바닥에 있을 때 열전도에 의해 발바닥에서 바닥의 표면으로 열이 이동하여 심한 열이동이 일어날 때 불쾌감을 느낀다. 바닥온도에 따른 불쾌감의 정도는 아래의 공식으로 계산하고 불쾌감을 느끼는 비율을 아래 그림과 같다.

$$PD = 100 - 94 \bullet \exp(-1.387 + 0.118 \bullet \triangle t_f - 0.0025 \bullet t_f^2)$$

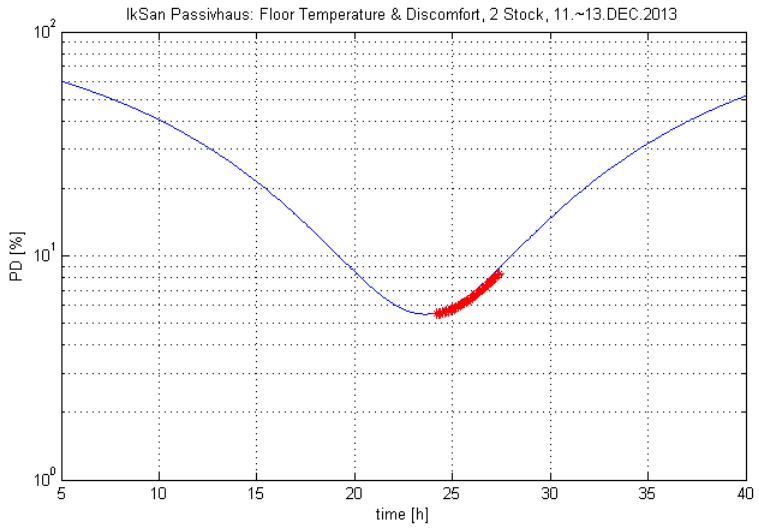


[그림3.259] 바닥면의 온도에 따른 불쾌감을 느끼는 비율

- 익산 패시브주택에서 실내온도와 벽체 표면의 온도가 거의 나지 않으나 1층 거실의 바닥은 대리석으로 되어 있어 발바닥이 닿았을 때 열이동이 많이 일어나 차게 느낀다. 중앙부근에서는 양탄자를 깔아 놓았기 때문에 실내 온도와 표면온도는 거의 차가 나지 않는다. 바닥온도와 실내공기의 온도가 0.3 ℃가 난다고 가정할 때 바닥온도에 따른 불쾌감을 느끼는 비율은 1층 거실은 10 % 이하고 2층 가족실은 8 % 이하이다.



[그림3.260] 1층 거실의 바닥 온도에 따른 불쾌감을 느끼는 비율



[그림3.261] 2층 가족실의 바닥온도에 따른 불쾌감을 느끼는 비율

(라) 벽면의 표면 온도 차이에 따른 불쾌감

- 실내에 있을 때 벽면 사이에 심한 온도차가 있을 때 불쾌감을 느낀다. 일반적으로 벽체 사이의 온도차가 4 ℃ 이상이 되면 불쾌감을 느낀다. 익산의 패시브주택에서는 벽체 사이의 온도 차이가 거의 나지 않아 쾌적한 상태를 유지한다. 1층 거실의 경우 남쪽창이 넓어 유리면의 표면온도가 내려갈 수 있으나 3중 로이유리를 사용하여 바깥의 외기 온도가 영하 10 ℃일 때도 유리면의 안쪽 표면온도는 17 ℃ 이상 올라가고 반대편 벽체의 표면온도는 실내온도 보다 조금 낮은 19 ℃가 되므로 양쪽 표면의 온도차가 2 ℃ 이하가 된다. 따라서 불쾌감을 느끼지 않는다.

(5) 환경모니터링(쾌적성) 평가 결과

- 환경 모니터링 측정 결과 1층 거실은 복사열의 손실로 인해 약간의 서늘함을 느낄 수 있었고, 2층 거실은 태양직사광선과 2층이라는 장점에 의해 약간 따뜻하다고 느낄 수 있었으나, 결국 둘다 쾌적함 범위 내에 존재하고 있었다.

- 이동형 측정기를 철거 한 후, 1층이나 2층 각 방에 설치된 무선환경센터를 통한 데이터를 평가해 볼 때, 불안정한 구간을 제외한 연속구간의 평균 데이터 값이 겨울동안 매일 20 ~ 22 ℃를 유지하고 있는 것으로 검증되었다.

마. 에너지 모니터링 측정 및 평가

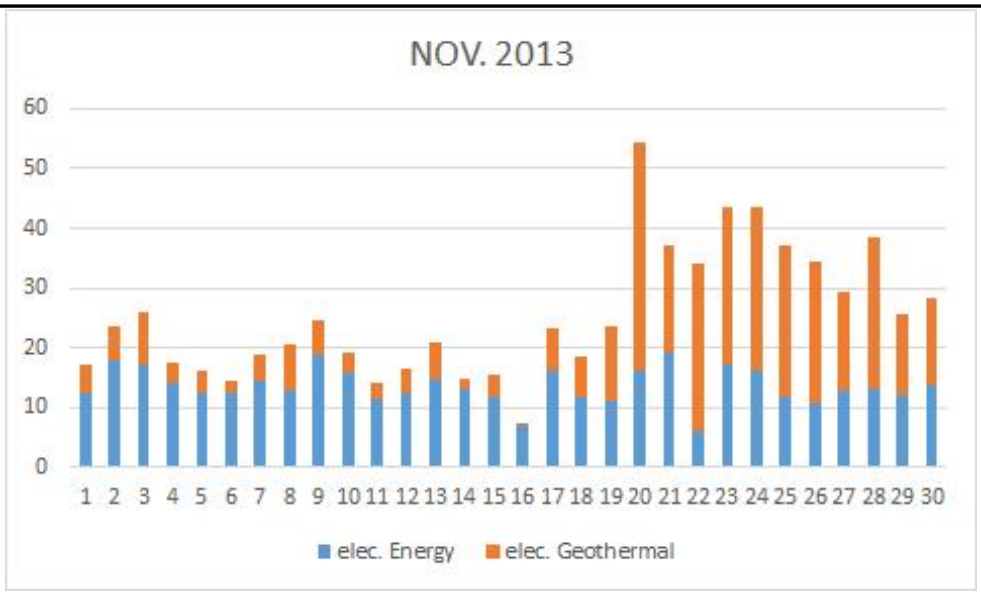
(1) 에너지 모니터링 측정

- 익산 패시브하우스의 에너지 모니터링은 한전의 계통전력이 들어오는 곳의 배전반에 각 방이나 에너지 용도별로 전력을 계측하여 에너지 소비를 측정하였다. 이 패시브하우스는 지열을 통해 난방과 급탕을 하고 있으나, 편의상 모든 에너지 소비는 전력량인 kWh 단위로 통일하였다. 에너지모니터링 결과 패시브하우스는 패시브적인 열을 최대한 이용하여 실내온도를 20 ~ 22 ℃로 유지하고 있어 설계에 따른 쾌적성을 확보하였다고 할 수 있다.

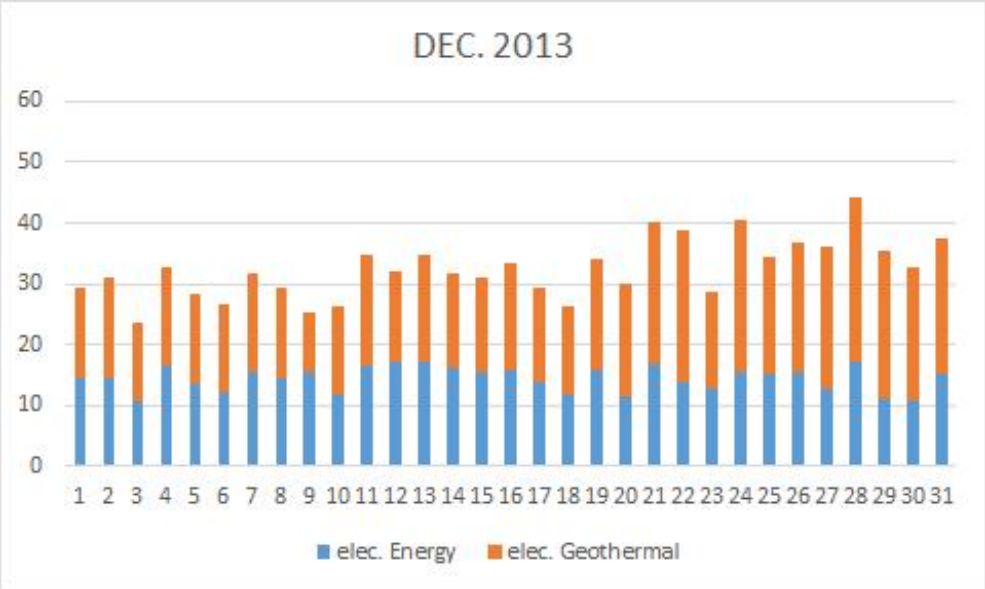
- 에너지사용량은 전력사용량과 지열사용을 위한 전력사용량으로 나누어 보고, 각 콘센트별로 조사를 하여 나중에 5대 에너지 소비량(난방, 냉방, 환기, 조명, 급탕)의 소비정도를 분석하였다.

- 본 에너지 모니터링에서는 2013년 11월, 12월과 2014년 1월의 에너지사용량을 에너지용도별과 컨센트별로 분리하여 계측한 내용을 월별로 기록 및 분류하여 분석하였다.

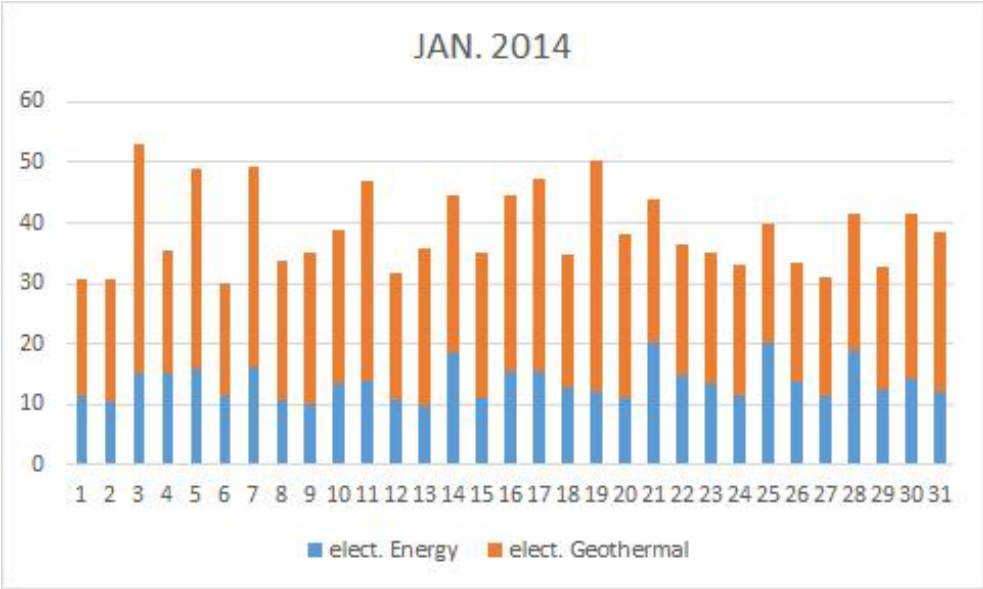
(가) 월별 에너지 사용량 분석 (5대 에너지 + 생활에너지)



[그림3.262] 11월 일별 전기에너지 사용량과 지열시스템의 전기에너지 사용량 비교



[그림3.263] 12월 일별 전기에너지 사용량과 지열시스템의 전기에너지 사용량 비교



[그림3.264] 1월 일별 전기에너지 사용량과 지열시스템의 전기에너지 사용량 비교

[표3.128] 월별 에너지 사용량 분석 (5대 에너지 + 생활에너지)

월	사용 전기에너지 [kWh]	지열용 전기에너지 [kWh]	비율 (지열/전기에너지) [%]
11	405.5	351.7	46.4
12	444.8	562.2	55.8
1	422.2	779.6	64.9

• 11월 전기에너지가 405.5 kWh(모니터링 전기에너지 포함)였고, 지열을 이용하는데 들어간 전력량은 351.7 kWh로 모든 전기에너지와 지열을 사용하는데 들어간 전기에너지의 비율은53.6:46.4 (351.7/(405.5+351.7) = 0.464)로 나타나고 있다. 1월과 같이 추운 달에는 지열에 들어가는 전력량은 65 % 정도로 증가하였다. 지열에 들어가는 전력량과 일반전인 전력량을 구분하는 이유는 한전의 과금체계에서 지열은 누진세율이 적용되지 않는 가정용 고압전력이기 때문에 지열을 설치한 주택은 두 개의 전기요금 고지서를 받게 되어 있다.

(나) 5대에너지 사용량 분석

1) 5대 에너지 전기에너지 소비량 비교

• 각 5대 에너지 별로 소비된 전기에너지의 사용량과 비율은 다음과 같다. (콘센트 전력량 제외) 지열에너지는 시스템을 구성할 때 난방과 온수공급용으로 동시에 사용하도록 설계하였으므로 필요한 전기에너지는 난방에너지와 급탕에너지를 사용하기 위한 전기에너지라고 할 수 있다.

[표3.129] 5대 에너지 합

구분	11월	12월	1월
5대 에너지 합	407.9 kWh	620.4 kWh	846.8 kWh

[표3.130] 5대 에너지 전기에너지 소비량 비교

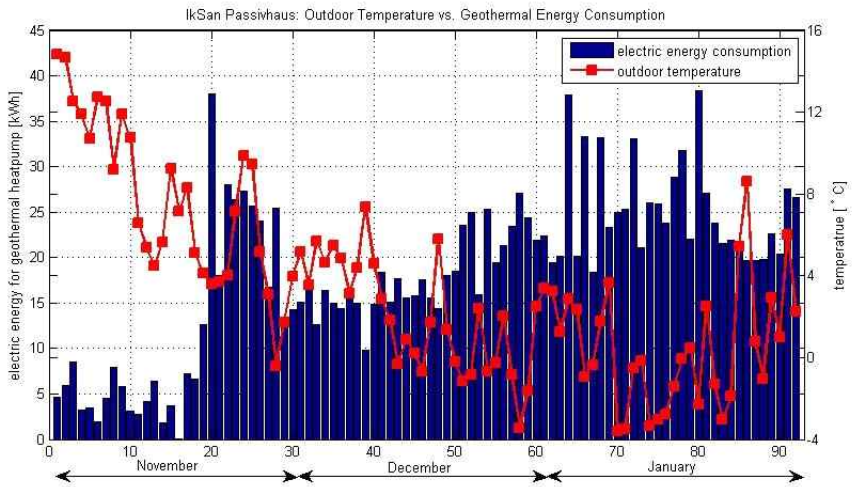
소비 에너지별 구분	사용량 [kWh]		5대 에너지 비율 [%]
난방에너지와 급탕에너지	11월	351.7	86.2
	12월	562.2	90.6
	1월	779.6	92.1
냉방에너지	11월	0	0
	12월	0	0
	1월	0	0
조명에너지	11월	26.5	6.5
	12월	28.6	4.6
	1월	30.4	3.6
환기에너지	11월	29.7	7.3
	12월	29.6	4.8
	1월	36.8	4.3

2) 난방·급탕에너지 사용량 분석

가) 지열히트펌프의 COP

- 익산 패시브하우스는 지열에너지를 이용하여 난방과 급탕에너지를 조달하고 있다. 그러나 난방과 급탕에너지를 구분하여 계측하지 못했으므로 전체 지열에너지를 패시브하우스의 특성에 맞게 구분하여 건물의 에너지성능을 판단하였다.

- 익산의 외기온도(AWS 702번 측정)와 지열히트펌프가 가동하는데 소모한 전기에너지의 그래프이다.

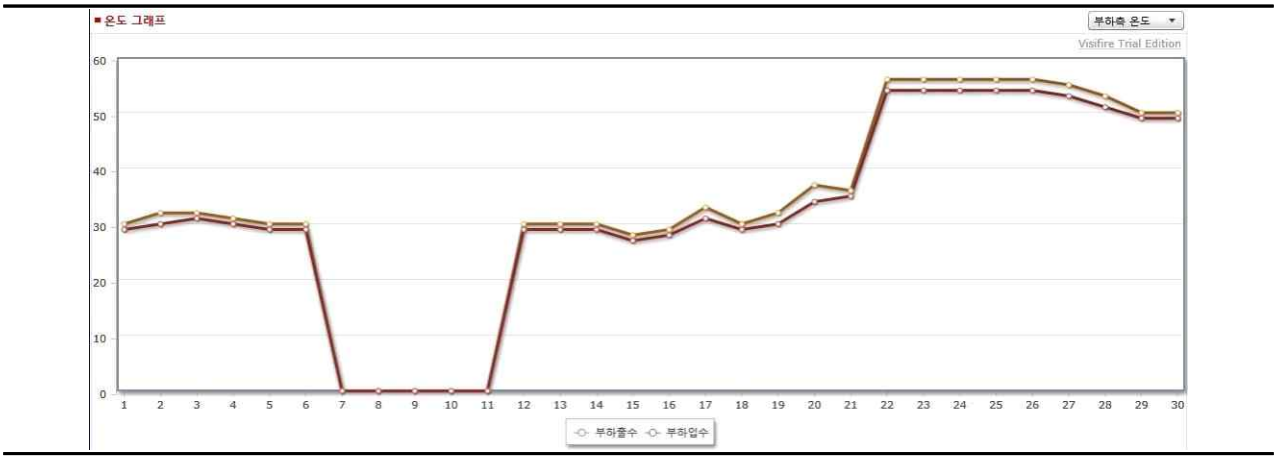


[그림3.265] 외기온도와 지열히트펌프 전기에너지 소모량 비교 그래프

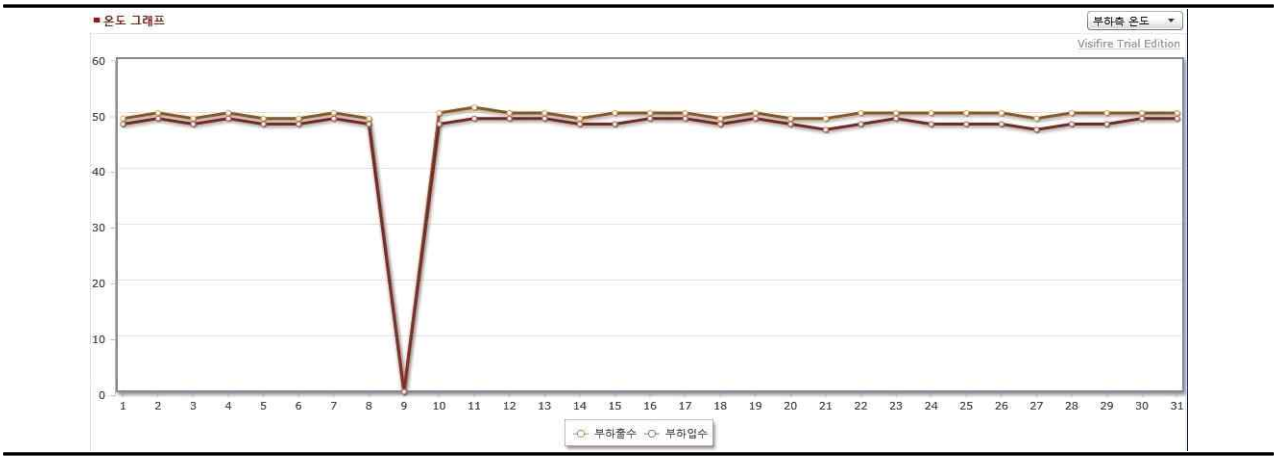
- 기기에 명시된 지열히트펌프 성능은 COP가 4.07이나, 계획단계에서 인증을 받기 위한 시뮬레이션 프로그램인 PHPP에서는 그 입력값을 3.60으로 하였고, 실제로 계측된 값은 약 3.17이다. 이것은 전기에너지가 1 kWh가 투입되면 열에너지가 3.17 kWh가 생산된다는 말로, 지열히트펌프의 효율을 나타내는 방식이다. 실제로 계측한 히트펌프의 COP는 다음과 같다.

[표3.131] 익산 패시브하우스 히트펌프의 COP

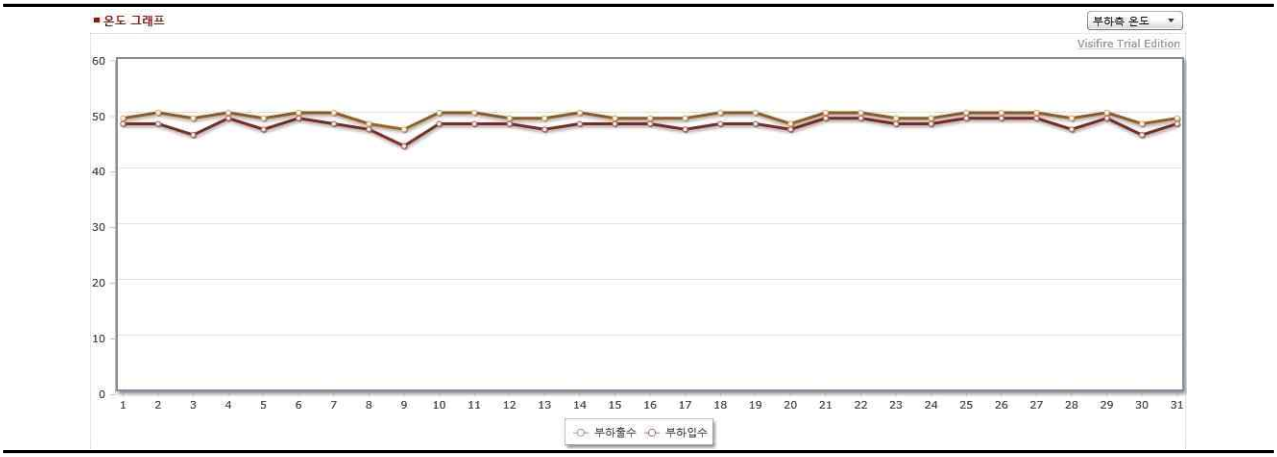
11월	실내온도 [℃]	소비전력 [kWh]	총발열량 [kWh]	COP
2013-11-01/01:09:24	23	29	128	
2013-11-30/23:15:24	22	388	1294	3.25
		359+2=361[32)]	1166+6=1172	
12월	**실내온도 [℃]**	**소비전력 [kWh]**	**총발열량 [kWh]**	**COP**
2013-12-01/01:05:46	22	390	1300	
2013-12-31/23:33:15	21	955	3092	3.17
		565+2=567	1792+6=1798	
1월	**실내온도 [℃]**	**소비전력 [kWh]**	**총발열량 [kWh]**	**COP**
2014-01-01/01:23:36	21	957	3098	
2014-01-31/23:25:43	21	1683	5778	3.68
		726+2=728	2680+6=2686	



[그림3.266] 2013년 11월 히트펌프 축열조 부하 입·출수 온도



[그림3.267] 2013년 12월 히트펌프 축열조 부하 입·출수 온도



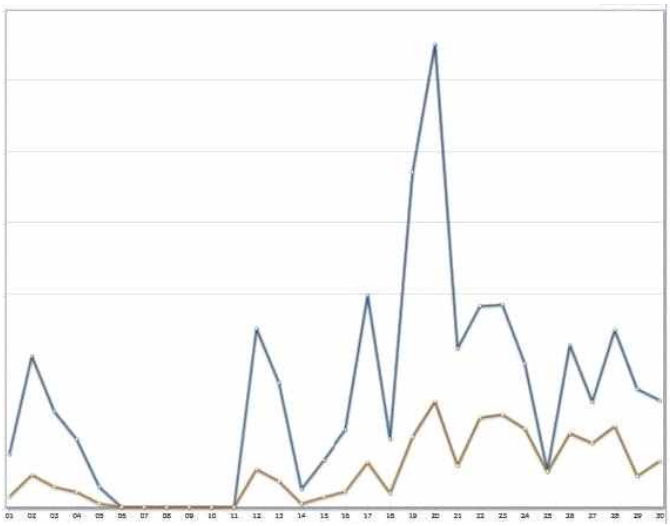
[그림3.268] 2014년 1월 히트펌프 축열조 부하 입·출수 온도

32) 계측한 소비전력은 다음 번 계측 사이에 변동값이 반영이 되지 않았으므로 소비전력에는 2 kWh를 더해주고 총발열량은 6 kWh를 더해주어야 한다.

• 배전반에서 계측한 지열에너지에 소모된 전력량과 히트펌프에서 계측한 소비전력량은 다음과 같다.

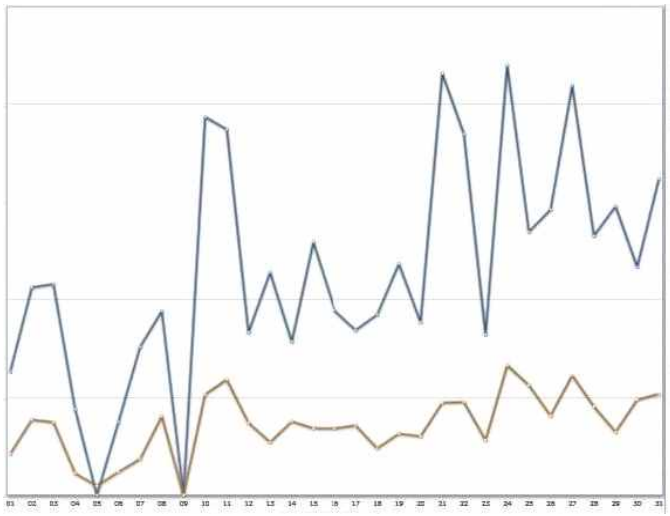
[표3.132] 지열에너지에 소모된 전력량과 히트펌프에서 계측한 소비전력량

	배전반에서 계측한 값 [kWh]	히트펌프의 소비전력량 [kWh]	차이 [kWh]	계측 오차비율 [%]
11월	351.7	361	-9.3	-2.6
12월	562.2	567	-4.8	-0.85
1월	779.6	728	51.6	+6.6



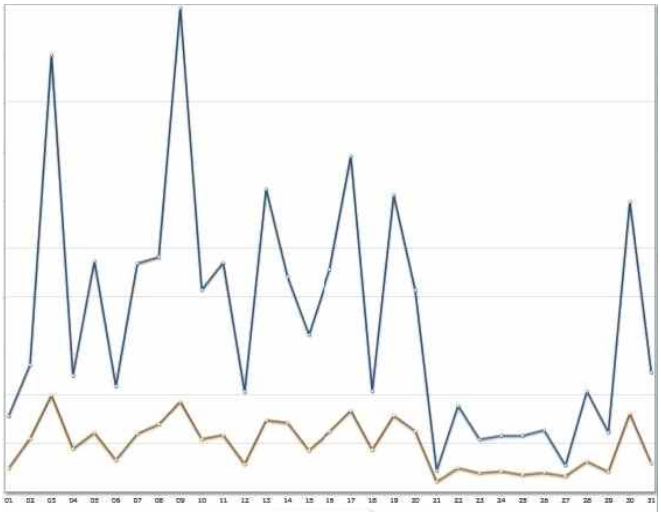
범 례
청색 : 생산
적색 : 소비

[그림3.269] 2012년 11월 지열히트펌프에서 소모한 전력과 생산한 열량 비교



범 례
청색 : 생산
적색 : 소비

[그림3.270] 2013년 12월 지열히트펌프에서 소모한 전력과 생산한 열량 비교



범 례
청색 : 생산
적색 : 소비

[그림3.271] 2014년 1월 지열히트펌프에서 소모한 전력과 생산한 열량 비교

나) 계측한 난방・급탕에너지와 사용에너지 계산

- 지열히트펌프에서 난방용 에너지와 급탕용 에너지를 구분하지 못하므로 난방용 에너지는 독일에서 패시브하우스를 인증한 PHPP에너지시뮬레이션 자료에 따라 겨울철 실내온도를 20 ℃로 유지하는데 필요한 연간 난방에너지는 qh = 10.46 kWh/(㎡a)로 한다. 1년에 난방을 하는 기간을 11월, 12월, 1월, 2월, 3월 등 5개월이라고 하면 월 별로 외기온도에 따라 난방을 하는 정도가 다르므로 다음과 같이 배정한다.

[표3.133] 계측한 난방・급탕에너지와 사용에너지

월	11월	12월	1월	2월	3월	합
면적당 난방에너지 [kWh/㎡]	1.05	2.09	4.18	2.09	1.05	10.46
평균 외기온도[33] [℃]	8.3	2.2	-0.5	1.5	6.3	
실내온도 [℃]	20	20	20	20	20	
차이 [℃]	11.7	17.8	20.5	18.5	14.7	

[표3.134] 전주지역의 월 평균온도

월	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
평균기온 (℃)	-0.5	1.5	6.3	12.8	18.2	22.5	25.8	26.2	21.5	15.0	8.3	2.2

33) 익산과 가까운 전주지역의 30년 평년값으로 한다.

• 익산 패시브하우스의 연면적은 188.6 ㎡이므로 월 별로 필요한 난방에너지는 다음과 같다.

[표3.135] 익산 패시브하우스 월별 난방에너지 요구량

월	11월	12월	1월	2월	3월	합
총 난방에너지 [kWh]	198.0	394.17	788.35	394.17	198.0	1972.69

• 급탕에너지는 qw = 19 kWh/(㎡a)이기 때문에 온수는 일 년 내내 고르게 사용한다는 가정을 하면 월 1.58 kWh/(㎡)이다. 따라서 전체 급탕에너지는 월 Qw= 298.0 kWh이다. 그러나 여름철에 온수 사용이 줄어든다는 가정을 하면 각 월 별로 급탕에너지 사용량을 조정할 수 있다.

[표3.136] 익산 패시브하우스 월별 급탕에너지 요구량

월	1	2	3	4	5	6
수정 전 [kWh]	298.0	298.0	298.0	298.0	298.0	298.0
수정 후 [kWh]	395.0	395.0	395.0	395.0	395.6	198.7
월	7	8	9	10	11	12
수정 전 [kWh]	298.0	298.0	298.0	298.0	298.0	298.0
수정 후 [kWh]	149.0	149.0	198.7	395.0	395.0	395.0

• 따라서 난방에너지와 급탕에너지를 더한 값을 각 월 별로 다음과 같다.

[표3.137] 익산 패시브하우스 월별 난방 및 급탕에너지 요구량의 합

월	1	2	3	4	5	6
난방 [kWh]	788.35	394.17	198.0	0	0	0
급탕 [kWh]	395.0	395.0	395.0	395.0	395.0	198.7
합	1183.35	789.17	593.0	395.0	395.0	198.7
월	7	8	9	10	11	12
난방 [kWh]	0	0	0	0	198.0	394.17
급탕 [kWh]	149.0	149.0	198.7	395.0	395.0	395.0
합	149.0	149.0	198.7	395.0	593.0	798.17

• 여기에서 필요한 에너지를 공급하는 장비를 살펴볼 때 히트펌프와 온수, 급탕 배관은 단열외피 안쪽으로 지나가도록 구성하였으므로 배관의 표면으로 빠져나가는 열손실은 없고, 장비의 제어와 온수 배급에 따르는 손실분만 고려하면 된다. 따라서 장비와 분배에서 오는 손실을 6 % 정도로 가정하면 장비성능계수는 대략 e_p = 1.06이 된다. 최종에너지는 $q_e = e_p * (q_h + q_w)$이므로 건물에다 설비를 이용해서 공급해야 하는 에너지를 구할 수 있다.

• 지열펌프의 COP는 계절에 따라 달라지지만 1.65라고 가정한다면 11월, 12월, 1월에 지열히트펌프가 생산한 에너지와 예상 난방, 급탕에너지는 다음과 같다.

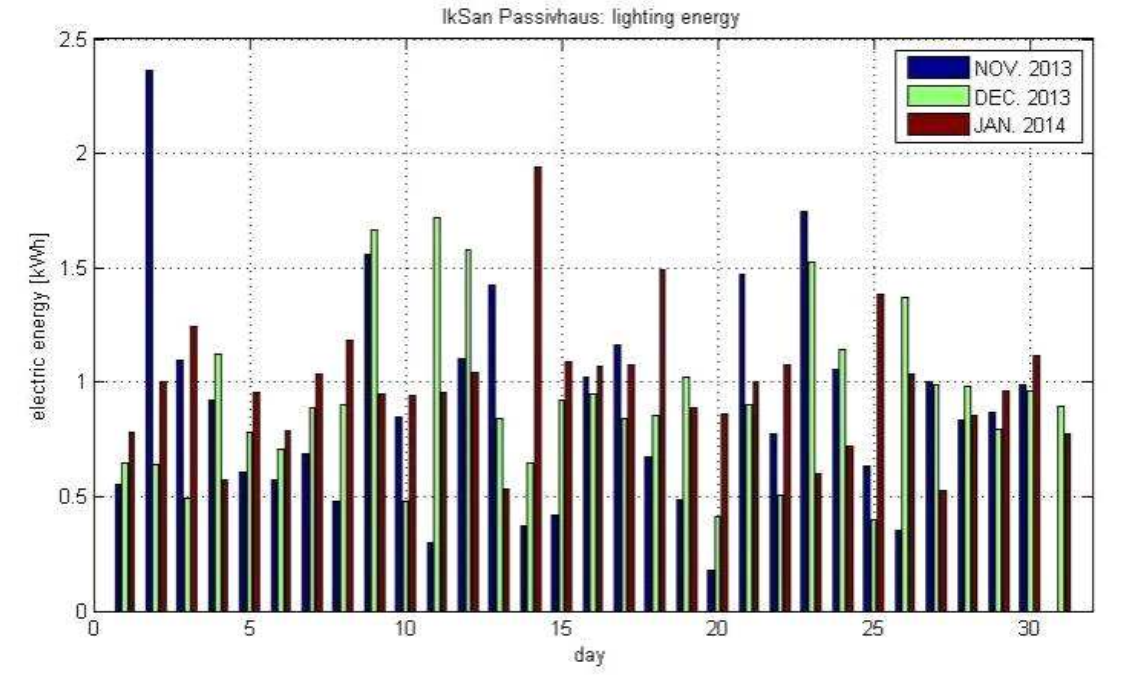
[표3.138] 지열펌프의 COP

구분	예상 난방+급탕 에너지 [kWh]	최종에너지 [kWh]	히트펌프의 소비전력 [kWh]	수정 COP	생산한 열량 [kWh]	오차 [kwh]	오차 비율 [%]
11월	593.0	628.6	361	1.65	595.7	+32.9	+5.2
12월	798.2	846.1	567	1.65	935.6	-89.5	-10.6
1월	1183.4	1254.4	728	1.65	1201.2	+53.1	+4.2

• 예상한 난방, 급탕에너지는 30년 평년값을 이용한 외기온도로 예측한 값이므로 지난 기간 동안 익산의 외기온도를 측정하여 난방에너지 사용량을 수정한다면 실제로 사용한 난방, 급탕에너지의 값에 더 가깝게 접근한 값으로 대치할 수 있다.

다) 조명에너지 사용량 분석

3개월간 익산 패시브하우스에서 사용된 월별・일별 조명에너지 사용량은 <표00-00>과 같다.



[그림3.272] 3개월간 조명 전기에너지 사용량

• 11 월 조명에 사용한 전기에너지는 26.5 kWh, 12월은 28.6 kWh, 1월은 30.4 kWh를 보였다. 조명에너지의 사용량은 외부기온의 변화와 상관성이 적은 반면, 주택의 면적, 사용인원, 실별 사용용

도 등에 영향을 받기 때문에 월별 에너지 사용편차가 크지 않은 결과를 나타낸 것으로 보인다. 지열을 포함한 전체 전기에너지에 대한 조명에너지의 비율은 다음과 같다.

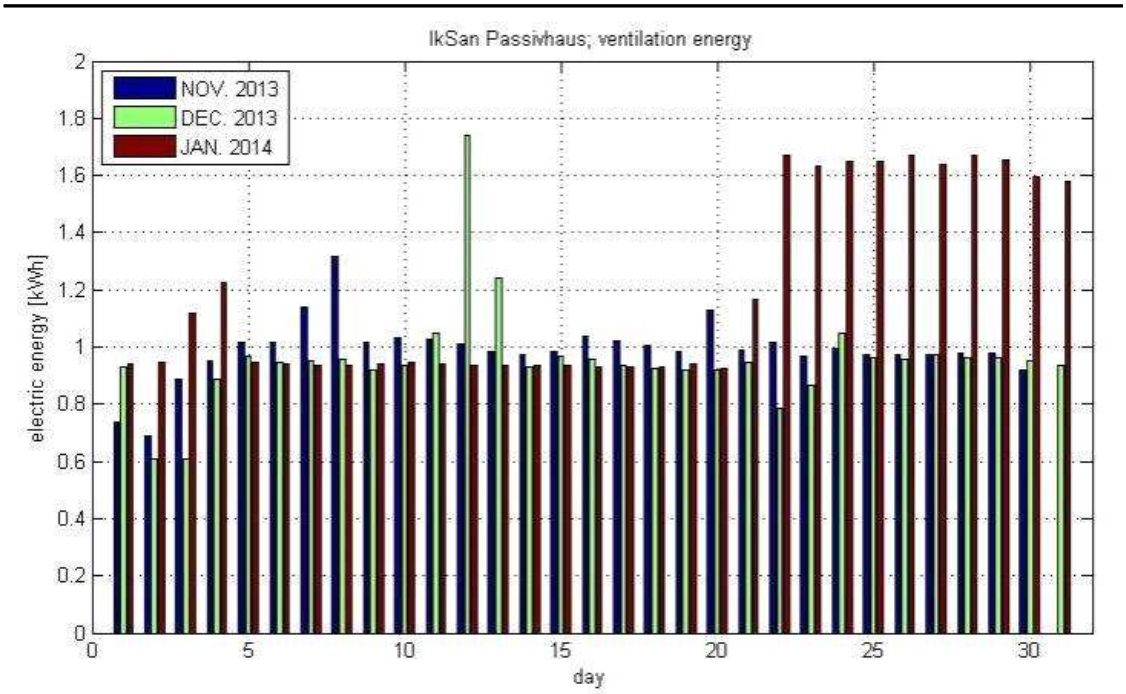
[표3.139] 익산 패시브하우스 조명에너지 비율

월	전체 전기에너지 [kWh]	조명용 전기에너지 [kWh]	비율 (조명/전기에너지) [%]
11	757.2	26.5	3.5
12	1007.0	28.6	2.8
1	1201.8	30.4	2.5

- 익산 패시브하우스의 경우 남향의 거실배치 및 일조시뮬레이션을 통해 최적의 조명설계를 수행하였으며, LED 조명기구를 사용하여 에너지사용량 절감을 위한 기술요소를 적용하여 전체 에너지 사용량 중 조명에너지 사용량의 비중을 크게 낮출 수 있었다.

라) 환기에너지 사용량 분석

- 익산 패시브하우스는 폐열회수 환기장치를 이용한 환기방식을 적용하였으므로 환기설비 가동을 위한 에너지가 소요된다. 3개월간 익산패시브하우스에서 사용된 월별・일별 환기에너지 사용량은 <표 00-00>과 같다.



[그림3.273] 3개월간 환기(폐열회수 환기장치)에너지 사용량

• 11월은 환기에 사용한 전기에너지는 29.7 kWh, 12월은 29.6 kWh, 1월은 36.8 kWh이다. 폐열회수 환기장치를 이용하여 급기난방을 하지 않는 익산주택의 경우, 외부기온의 변화보다 생활방식 및 사용인원 등에 영향을 받는다. 따라서 월별 환기에너지 사용편차가 크지 않은 결과를 얻을 수 있다. 다만 1월의 23~30일경 사용된 환기에너지의 사용량 증가는 재실인원의 수나, 실내사용에 있어 평소와 다른 환경이 조성되어 폐열회수 환기장치의 전력사용량이 소량 증가한 것으로 보인다. 지열을 포함한 전체 전기에너지에서 환기에너지 비율은 다음과 같다.

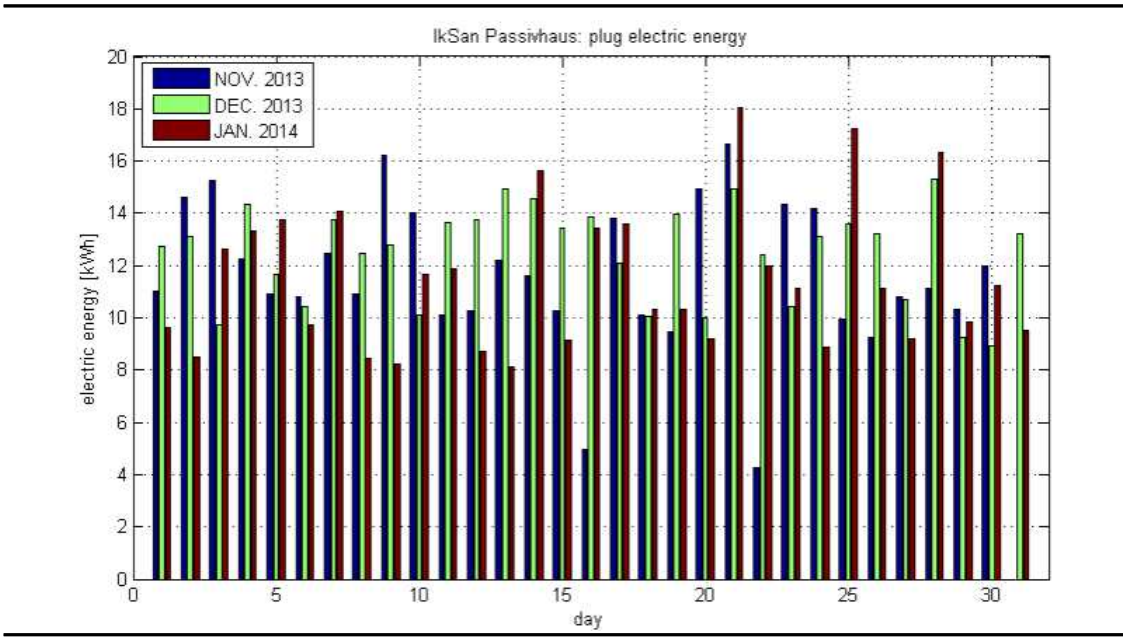
[표3.140] 익산 패시브하우스 환기에너지 비율

월	전체 전기에너지 [kWh]	조명용 전기에너지 [kWh]	비율 (조명/전기에너지) [%]
11	757.2	29.7	3.9
12	1007.0	29.6	2.9
1	1201.8	36.8	3.1

• 주택의 에너지사용량 대비 환기에너지 사용량은 약 2.9~3.9%로 낮은 비중을 차지하고 있다. 이는 익산 패시브하우스에 적용된 폐열회수환기장치가 독일패시브인증에서 요구하는 고효율 폐열회수 환기장치(열회수율 75%이하, 전력소비 0.45Wh/㎡)의 기준에 준했음을 증명하고 있다.

마) 생활에너지 사용량 분석

• 익산 패시브하우스에서 생활의 편의증진을 위한 가전제품 등에 의해 소비된 3개월간의 월별·일별 에너지사용량은 과 같다.



[그림3.274] 3개월간 생활에너지(콘센트) 사용량

• 11월의 콘센트 전력 사용량은 인덕션코일(여기에 구형 냉장고도 연결되어 있음)이 107.8 kWh, 에너지모니터링을 위한 기계실의 메인 서버(55.4 kWh) 및 무선게이트웨이 3개가 각각 약 23kWh, 거실의 가전제품이 39.6 kWh 그리고 구형 냉장고를 운영하는데 많은 전력이 들어가고 있다. 거실은 주로 TV를 시청하는데 필요한 전력으로 소비되고 있다. 전체 전기에너지 사용량 중 콘센트 전력량(전기에너지)의 비율은 다음과 같다.

[표3.141] 익산 패시브하우스 콘센트에너지 비율

월	전체 전기에너지 [kWh]	콘센트 전기에너지 [kWh]	비율 (콘센트/전기에너지) [%]
11	757.2	349.2	46.9
12	1007.0	386.6	38.4
1	1201.8	354.8	29.5

바. 에너지 및 쾌적성 모니터링 결과

• 2013년 12월까지 모니터링을 하고 이동형 쾌적성 장비로 측정한 결과 본 대상주택의 쾌적성은 상당히 좋았다. 보통 일반 주택의 쾌적지수 평가 지표로 사용하고 있는 PMV인 경우 쾌적성 범위를

$$-0.5 < PMV < +0.5$$

• 로 보고 있으므로 1층 거실의 경우 낮에는 -0.6 < PMV < -0.25 정도로 약간 서늘한 상태였으나 쾌적함을 느끼기에는 충분하였고, 2층 가족실은 0 < PMV < +0.3으로 매우 쾌적한 상태를 유지하였다.

• 여러 사람이 쾌적성을 평가를 할 때 몇 퍼센트의 사람들이 불쾌감을 느끼는가를 판단하는 기준은 일반 신축 건물인 경우

$$PPD < 10\ \%$$

• 라고 가정한다. 1층 거실의 경우 낮에는 PPD < 10 %, 2 층 가족실인 경우 직사광선이 계측장비에 직접 닿는 경우를 제외하고는 PPD < 10 %를 유지하고 있어 쾌적지수로 평가해도 본 대상 주택은 쾌적한 상태였다.

• ASHRAE의 습공기선도 상의 쾌적한 상태에서 1층 거실은 측정 기간 동안 모두 쾌적한 범위 내에 있었고, 2층 거실은 직사광선이 계측장비에 직접 닿는 경우를 제외하고는 쾌적한 범위와 약간 쾌적한 범위 내에 있었다.

제4절 패시브하우스 경제성분석결과

1. 일반 건축물 시공비 대비 패시브하우스의 추가상승비 비교

• 패시브하우스의 성능 구현을 위한 추가상승 비용 산출을 위해 각 시공 공정별로 소요되는 비용을 검토하였다. 패시브하우스 성능 구현을 위해 단열공사, 창호공사 및 단열문 공사, 방수공사 항목에서 시공비용 상승이 있었으며, 별도로 기밀공사, 열교차단공사, 열회수 환기장치 설치 공사 항목이 추가되었다.

• 시공비 검토 시 액티브기술 요소인 신재생에너지설치로 인한 추가비용은 패시브하우스의 필수요건이 아니므로 시공비 비교에서 제외하였다. 따라서 두 비교주택모두에서 지열 혹은 태양광등의 신재생에너지로 인한 추가시공 비용부분은 제외하여 비교되었다.

[표3.142] 일반 건축물 시공비 대비 패시브하우스의 추가상승비

구분	익산 패시브하우스 독일패시브기준	일반주택(비교모형) (2012년 건축물 에너지 절약 기준)	비고
총 시공비	515,767,868	357,313,990	부가세 미포함
㎡당 시공비	2,399,590	1,662,389	

공사 항목별 비교	익산 패시브하우스	일반주택(비교모형)	차액
1.단열 공사	88,186,126	63,119,276	25,066,850
2.기밀 공사	24,299,265	0(미적용)	24,299,265
3.열교차단 공사	24,938,038	0(미적용)	24,938,038
4.창호/단열문 공사	71,536,650	33,240,000	38,296,650
5.외부 블라인드 공사	17,494,000	0(미적용)	17,494,000
6.열회수 환기장치	21,976,000	0(미적용)	21,976,000
7.방수공사(기초,옥상)	18,383,900	12,000,825	6,383,075
8.일반공사비	248,953,889	248,953,889	0
합계	266,813,979	108,360,101	158,453,878

• 일반주택과 패시브하우스의 공사비 비교 기준
- 실내외장재는 동일한 재료를 적용하는 것으로 가정하였다.
- 위의 공사항목별 비교 항목은 패시브하우스와 일반주택(비교모형)에서 차이나는 공정만을 산출한 것이다.
- 창호의 경우 외관의 입면디자인을 동일하게 적용하는 것을 기준으로 하였다. (창호의 성능에 따라 창틀의 재질은 변할 수 있으나 외관상의 창호 입면비와 창의 크기는 변동 없음)
- 단열재의 경우 300mm탄산계 복합단열패널을 80mm탄산계 복합단열패널로 적용하였다.

(2012년 건축물에너지 절약계획기준)

- 지붕 : 보통단독주택의 경우 액체방수에 내단열 기준이다. 패시브하우스에 적용된 외단열 및 그레이스 쉬트 방수 및 콩자갈 시공 방법은 제외되었다.
- 일반 주택의 경우 2012년을 기준으로 할 때 건축물에너지 절약계획기준을 적용해야 할 의무가 없으나 비교기준을 선정하기 위해 2012년 건축물 에너지 절약계획 기준을 근거로 하여 비용을 산출하였다.

(단위 : 천원)



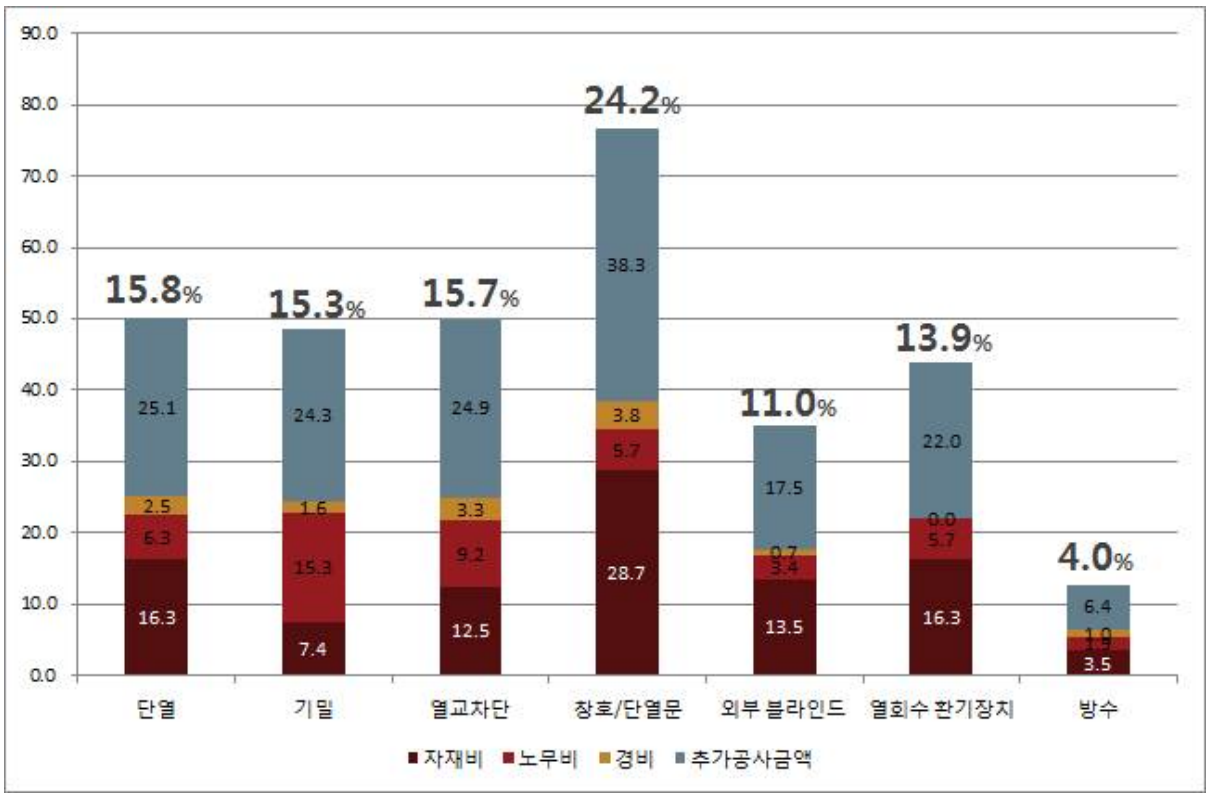
[그림3.275] 일반주택과 패시브하우스의 공사비 비교

• 익산 패시브하우스와 비교모형으로 설정한 일반주택의 시공비용 차이는 158,453,878원으로 나타났다. 패시브하우스 실현을 위해 추가 적용 된 공정으로는 기밀 공사, 열교 차단 공사, 외부 블라인드 공사, 열회수 환기장치 공사가 있으며, 패시브하우스 시공을 위해 상승·추가된 비용의 항목별 비율은 다음과 같다.

[표3.143] 공사항목별 공사비 비율

구분	공사항목	자재비	노무비	경비	추가공사금액	비율
1	단열	16,293,453	6,266,713	2,506,685	25,066,850	15.8%
2	기밀	7,382,600	15,340,000	1,576,665	24,299,265	15.3%
3	열교차단	12,510,750	9,174,500	3,252,788	24,938,038	15.7%
4	창호/단열문	28,722,488	5,744,498	3,829,665	38,296,650	24.2%
5	외부 블라인드	13,450,000	3,360,000	684,000	17,494,000	11.0%
6	열회수 환기장치	16,256,000	5,720,000	-	21,976,000	13.9%
7	방수 (기초,옥상)	3,510,691	1,914,923	957,461	6,383,075	4%
	합계	98,125,981	47,520,633	12,807,264	158,453,878	100%

(단위 : 천원)



[그림3.276] 공사항목별 공사비 비율

- 패시브 추가 상승비용으로 가장 높은 비율을 차지한 부분은 창호공사 및 단열문 공사부부분으로 24.2%이며, 단열 15.8%, 열교차단 15.7%, 기밀 15.3%의 순으로 나타났다. 또한 단열문과 외부블라인드를 제외한 모든 자재는 수입자재를 사용 하였는데, 이는 패시브하우스의 성능을 확보하기 위한 높은 g값과 열 성능을 나타내는 기자재의 대부분을 수입에 의존하여야 하기 때문이다. 창호의 경우에는 국산 자재도 이와 같은 성능의 자재가 있으나 창호크기의 제한성과 부자재의 성능 저하 등으로 수입산 자재를 적용하였다. 폐열회수기의 경우에도 패시브 인증조건을 만족하는 폐열회수기의 경우는 외국산의 사용이 불가피하여 시공비 상승의 원인이 되었다.

- 추후 패시브하우스 보급을 통해 관련 자재의 수요 증가로 인한 자재 국산화 및 상용화를 통해 비용절감이 가능할 것으로 예측된다.

2. 분석 모형

- 본 연구의 분석은 패시브하우스 건축에 의한 추가 비용과 각 연도별 발생하는 에너지 비용을 현재가치화 한 비용을 합산하여, 일반주택으로 건축했을 때의 비용과 에너지 비용의 현재가치화 비용을 합산한 결과와 비교 분석하였다. 두 비교 대안 (패시브하우스, 일반주택)에서 발생하는 에너지 비용을 등유, 도시가스, 지열 등 각각의 에너지원에 따라 추정하였으며, 연도별 에너지 물가 상승의 추정은 통계청의 에너지 소비자 물가지수 자료를 분석하여 사용하였다.

- 본 연구에서는 건물의 내구연한과 이에 따른 유지 관리 비용은 분석에서 제외하였으며, 주택시장의 불확실성에 의해 건물의 부동산적 가치 등도 분석에서 제외하였다.

가. 건축물 에너지 성능 비교를 위한 모델 설정

- 패시브하우스 건설에 따른 기존 주택 대비 에너지 절감량 분석을 위해 익산 패시브하우스와 기존 국내 시공기준을 만족하는 일반건축물 모델의 에너지 시뮬레이션을 실시하였다.

- 현재 국내 건축물의 에너지 절약설계기준에는 단독주택 연면적 500㎡ 이하에 대해서는 법적 열관류율 기준을 지킬 의무가 없다. 독일의 모든 개인주택이 EnEV(독일의 에너지절약 기준)에 의해 건축물의 부위별 법적 열관류율에 의해서 설계되어야 한다는 점과 비교할 때 단독주택의 경우 법적에너지 절약의무를 시행해야 할 의무가가 없다는 뜻이다. 하지만 본 연구에서는 비교 기준을 선정하기 위해 2012년 5월14일 이후 익산주택 건축허가신청 건물에 해당되는 국내 건축물 에너지 절약설계기준에 정해진 공동주택기준 열관류율을 기준으로 삼아 일반주택 성능을 설정하였다.

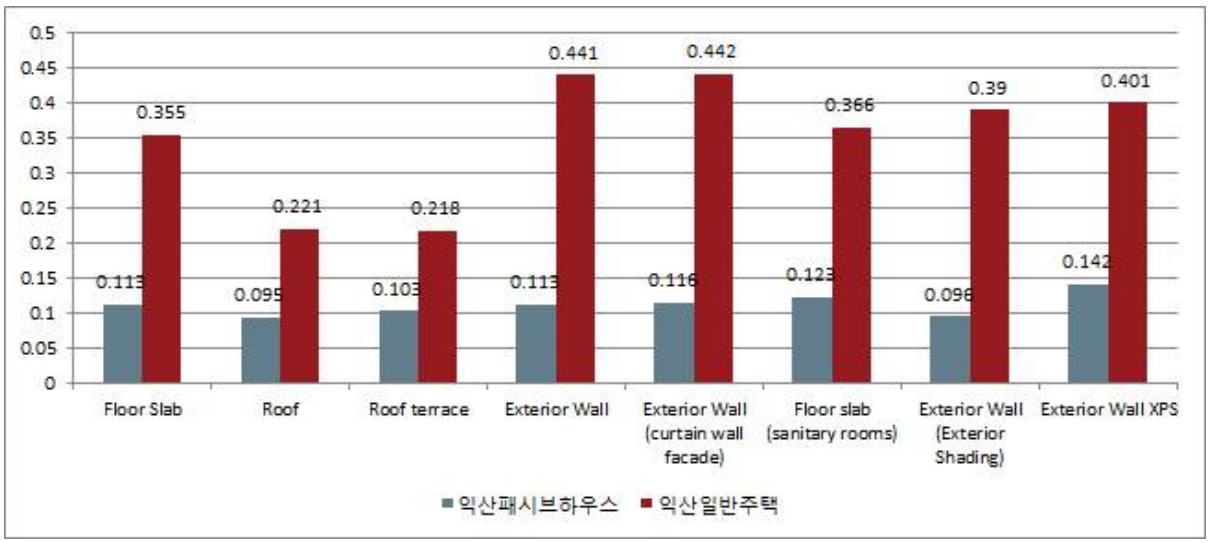
- 국내에서는 KOLAS기관의 인증을 받지 않은 고효율기자재 제품에 대해서는 에너지 절약계획서 심사대상에서 제외된다. 국내 법적 기준보다 더 좋은 열효율 또는 열관류율, 기밀 성능을 나타낸다

고 해도 지정 기관외의 고효율 기자재 측정기관에서 검토된 고효율 인증서는 효력이 없다는 뜻이다. 따라서 현재 독일 패시브 인증을 위해서 수입된 자재는 PHI(독일 패시브하우스 연구소)기관의 고효율 기자재 인증을 받은 자재로써 국내 KOLAS 기관의 인증을 따로 받지 않을 경우 인정받을 수 없지만. 각각 자재의 성능을 인증서대로 인정한다는 가정 하에 아래와 같은 열관류율 비교표를 작성하였다.

[표3.144] 부위별 열관류율 비교표

구분	익산패시브하우스	익산일반주택
Floor Slab	0.113 W/(㎡K)	0.355 W/(㎡K)
Roof	0.095 W/(㎡K)	0.221 W/(㎡K)
Roof terrace	0.103 W/(㎡K)	0.218 W/(㎡K)
Exterior Wall	0.113 W/(㎡K)	0.441 W/(㎡K)
Exterior Wall (curtain wall facade)	0.116 W/(㎡K)	0.442 W/(㎡K)
Floor slab (sanitary rooms)	0.123 W/(㎡K)	0.366 W/(㎡K)
Exterior Wall (Exterior Shading)	0.096 W/(㎡K)	0.390 W/(㎡K)
Exterior Wall XPS	0.142 W/(㎡K)	0.401 W/(㎡K)

(단위 : W/(㎡K)



[그림3.277] 부위별 열관류율 비교표

- 실내외에 적용되는 건축 자재는 익산 패시브하우스와 비교를 위한 일반주택 모델에 동일하게 적용되는 것을 가정하여 동일한 외관과 실내이미지를 갖도록 하였으며, 단열재 두께 및 창호에 변화를 주어 에너지 성능에만 차이가 있도록 하였다. 이를 기준으로 한 건축물 부위별 평균 열관류율은 다음과 같다.

[표3.145] 각 기준에 따른 부위별 평균열관류율표

구분	건축물의 부위별 평균열관류율표		독일패시브하우스 기준		건축물 에너지 설계기준 (2012)	
	남부지역기준 [W/㎡k]		패시브단독주택 [W/㎡k]		일반단독주택 [W/㎡k]	
거실의 외벽	외기직접	0.45	0.091		0.437	
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기직접	0.24	0.075		0.220	
최하층에 있는 거실 바닥	외기직접 바닥난방인경우	0.35	-		-	
	외기간접 바닥난방인 경우	0.43	0.089		0.358	
창 및 문 (창틀,문틀포함)	외기직접	2.70	북측창호	0.876	북측창호	2.182
			동측창호	0.816	동측창호	2.078
			남측창호	0.749	남측창호	2.001
			서측창호	0.818	서측창호	2.047
			현관문	0.663	현관문	2.40

- 창호의 경우에는 패시브 인증 기준에서는 창틀, 유리의 열관류율 및 창호시공후의 열관류율의 값도 에너지 계산에 포함되어 있지만 2012년 국내 건축물 에너지 설계기준에는 창틀과문을 포함한 열관류율 기준만이 있을 뿐이고, 유리의 차폐계수나, SHCG,g- value값에 대한 법적 기준이 없다. 현재 창호디자인을 그대로 유지하기 위해 열관류율 사양이나 g- value값이 낮은, 열적 성능이 패시브 기준 보다는 좋지 않은 Turn & Tilt의 창호를 기준으로 열관류율표를 작성하였다.
- 국내에서는 보통 지붕을 내단열로 시공하기에, 지붕의 경우 내단열 기준으로 열관류율과 에너지를 계산하였다. 그로 인한 외벽과 지붕이 만나는 부분의 선형열교 또한 추가 에너지 소비량으로 계산되었으며, 보통 기초하부 단열재가 누락되어 공사하므로 하부 부분도 단열재가 없는 것으로 계산하였다.

- 또한 우리나라 문화에서는 외부차양은 매우 낯선 건축 어휘이다. 따라서 창호+외부차양은 패시브하우스의 필수적인 조합임에도 불구하고, 어닝이나 혹은 요철을 튀어나오게 하여서 처리하는 현휘 방지 외에 다른 차양시설이 설치되지 않으므로 차양 또한 없는 것으로 간주하여 계산되었다. 적삼목 설치 부분에 열교를 최소화하기 위해 브라켓설치를 하였으나, 국내 일반적인 시공 방법인 콘크리트면에 직접 각상을 대고 단열재 설치 후 적삼목 채널 사이딩을 적용하는 것으로 하여 이 부분의 열교로 인한 에너지 손실량을 계산하였다.

나. 건축물 에너지 성능 (패시브하우스 VS. 일반주택 모형)

[표3.146] 익산패시브하우스와 일반주택의 에너지성능개요

건물에너지 성능개요			TFA 188.7 ㎡
구분		익산패시브하우스	일반주택 모형
연간단위면적당 난방에너지요구량		9kWh/(㎡a)	179.43kWh/(㎡a)
단위면적당 난방부하		9W/㎡	78.03W/㎡
연간 단위면적당 냉방에너지요구량		20kWh/(㎡a)	29.68kWh/(㎡a)
단위면적당 냉방부하		4W/㎡	14.96W/㎡
연간 단위면적당 1차에너지소요량 (냉난방,제습,환기,급탕,조명,가정용전기사용량포함)		89kWh/(㎡a)	249kWh/(㎡a)
연간 단위면적당 난방 및 급탕 1차에너지소요량(보조전력 포함)		38kWh/(㎡a)	192kWh/(㎡a)
연간과열빈도(실내온도 > 25도 이상인 일수)		9.4%	17.6%
평균열관류율	외벽	0.091 W/㎡K	0.437 W/(m² K)
	지붕	0.075 W/㎡K	0.220 W/(m² K)
	바닥	0.089 W/㎡K	0.358 W/(m² K)
	북측창호	0.876 W/㎡K	2.182 W/(m² K)
	동측창호	0.816 W/㎡K	2.078 W/(m² K)
	남측창호	0.749 W/㎡K	2.001 W/(m² K)
	서측창호	0.818 W/㎡K	2.017 W/(m² K)
	출입문	0.663 W/㎡K	2.4 W/(m² K)
폐열회수환기장치 효율		92	-
신재생에너지 사용		지열	-
50pa 압력에서의 시간당 환기횟수(n50)		0.28	2.00

다. 건축물 에너지 소비 비용 비교 (패시브하우스 VS. 일반주택 모형)

- 건축물의 에너지 성능 시뮬레이션에서 도출한 건축물 연간 사용 에너지에 따른 총 에너지 소비비용을 산출하였다. 패시브하우스와 일반주택 모형으로 구분하여 산출하였으며, 익산 패시브하우스의 경우에는 현재 지열을 통한 난방/급탕시스템을 구축하였으므로, 난방/급탕시스템을 지열로만 적용하였다.

[표3.147] 익산패시브하우스 연간에너지비용

구분	단위면적당 [kWh/㎡a]	면적 [㎡]	총에너지 [kWh]	연간총금액 [원]
난방/급탕	8.5	188.7	1603.95	516,000
조명/가전기기	17.6	188.7	3321.12	524,082
냉방	4.5	188.7	849.15	133,998
총에너지	30.6	188.7	5774.22	
비냉난방기 전기요금	39,480원		157,920	1,174,080/yr
냉방기전기요금	125,040원		500,160	

*지열외 일반전기요금은 주택용적용(누진세)

*지열전기요금은 사용하지 않아도 월별로 기본요금 약30,000원이 부과됨

- 위의 표는 익산 패시브하우스의 연간에너지 비용을 산출한 표이다. 난방/급탕에너지를 지열로 적용하고 조명/가전기기/냉방에 사용되는 에너지를 전기로 적용한 것이며, 연간 총에너지 사용량이 5,744.22kWh이고, 총에너지비용이 1,174,080원이 소요되는 것을 알 수 있다.

- 일반주택 모형의 경우에는 난방/급탕을 위한 에너지 원에 따른 경제성 검토를 위해 지열과 등유, 도시가스의 3가지 경우로 비교하여 산출하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

[표3.148] 일반 주택 연간에너지비용 (난방・급탕에너지를 지열로 적용 시)

구분	단위면적당 [kWh/㎡a]	면적 [㎡]	총에너지 [kWh]	연간총금액 [원]
난방/급탕	89.8	188.7	16945.26	2,114,760
조명/가전기기	17.6	188.7	3321.12	914,938
냉방	9.3	188.7	1754.91	483,462
총에너지	116.7	188.7	22021.29	총에너지비용
비냉난방기 전기요금	39,480원		157,920	3,513,130/yr
냉방기전기요금	310,120원		1,240,480	

[표3.149] 일반 주택 연간에너지비용 (난방・급탕에너지를 등유로 적용 시)

구 분	단위면적당 [kwh/㎡a]	면적 [㎡]	총에너지 [kWh]	연간총금액 [원]
난방/급탕	216.2	188.7	40796.94	5,545,365
조명/가전기기	17.6	188.7	3321.12	1,398,400
냉방	9.3	188.7	1754.91	
총에너지	243.1	188.7	45872.97	총에너지비용
비냉난방기 전기요금	39,480원		157,920	6,943,765/yr
냉방기전기요금	310,120원		1,240,480	

*등유의 경우 10kWh = 1리터

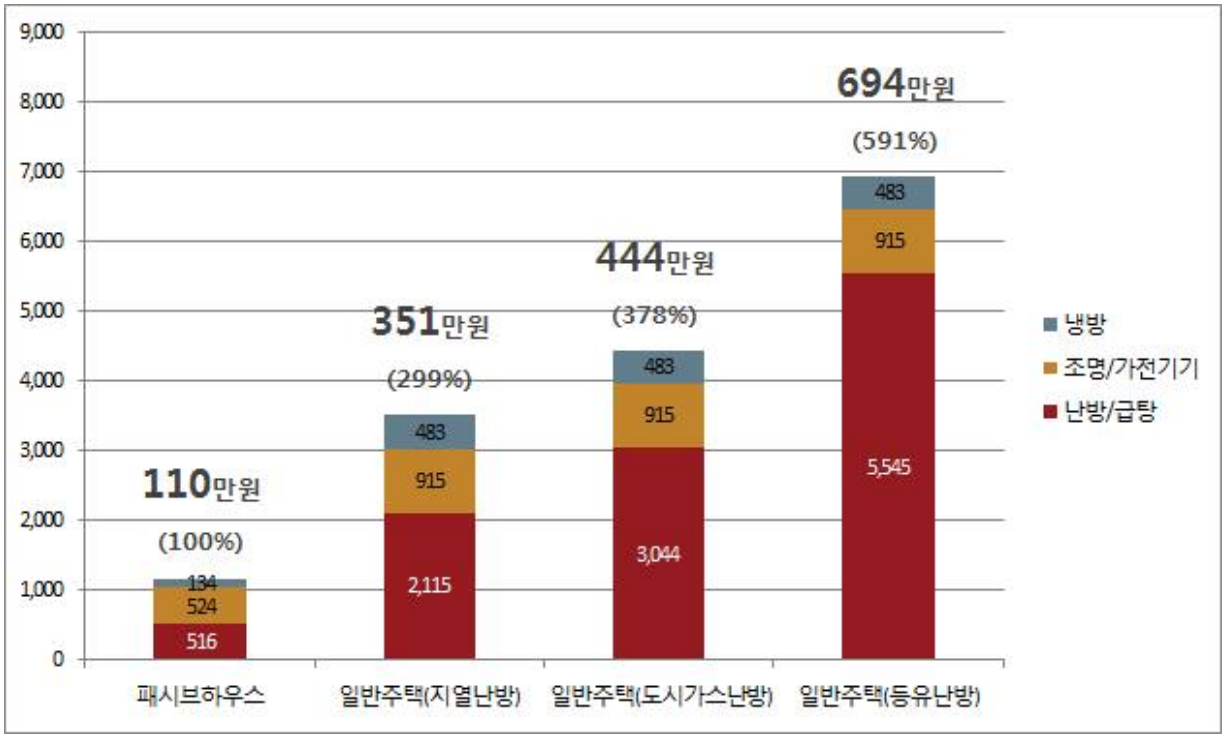
*리터당 1359.26원 난방유값기준-전북지역 난방유값근거 (2013년 9월)

[표3.150] 일반 주택 연간에너지비용 (난방·급탕에너지를 도시가스로 적용 시)

구 분	단위면적당 [kwh/㎡a]	면적 [㎡]	총에너지 [kWh]	연간총금액 [원]
난방/급탕	211.8	188.7	39966.66	3,043,767
조명/가전기기	17.6	188.7	3321.12	1,398,400
냉방	9.3	188.7	1754.91	
총에너지	238.7	188.7	45042.69	총에너지비용
비냉난방기 전기요금	39,480원		157,920	4,442,167/yr
냉방기전기요금	310,120원		1,240,480	

*도시가스의 경우 1kWh = 3.6MJ
*도시가스 단가 1MJ당 21.1549원 - 전북지역 난방취사용 도시가스 가격 기준 (2014.1.1.)

(단위 : 천원)



[표3.278] 일반 주택 연간에너지비용 (난방·급탕에너지를 도시가스로 적용 시)

- 일반 주택 모형의 경우 난방·급탕에너지를 지열로 적용 시 연간 총에너지 사용량이 22,021.29 kWh 이고, 총에너지비용이 3,513,130 원이 소요 될 것 이라 예상된다.

- 난방·급탕에너지를 등유로 적용 시에는 연간 총에너지 사용량이 45,872.97kWh이고, 연간 총 에너지 비용은 6,943,765원이 소요될 것이라 예상된다.

- 난방·급탕에너지를 도시가스로 적용 시에는 연간 총에너지 사용량이 45,042.69kWh이고, 연간 총 에너지 비용은 4,442,167원이 소요될 것이라 예상된다.

라. 에너지 물가 상승 추정

- 에너지물가 상승의 추정은 2010년을 기준으로 한 통계청[34]의 지출목적별 소비자물가지수 중 에너지 소비자물가지수에 근거 하였으며, 각 연도별 물가지수의 상승률을 먼저 구하고 전국 에너지물가상승률(1985년- 2012년)과 해당 건축물이 위치하고 있는 전라북도의 상승률(1990년 ~ 2012년)의 평균값을 구하여 분석에 사용하였다. 물가상승률의 추정 공식과 물가 상승 추정 값은 다음과 같다.

[표3.151] 물가상승률 계산식

$$\text{물가상승률} = \frac{\text{비교년도물가} - \text{기준년도물가}}{\text{기준년도물가}} \times 100$$

[표3.152] 에너지 물가 상승 추정

연도	전국	전북	전국상승률	전북상승률
1985	37.32	-		
1986	38.3	-	2.625938	
1987	39.23	-	2.428198	
1988	40.64	-	3.594188	
1989	42.34	-	4.183071	
1990	45.61	48.43	7.723193	
1991	50.71	53.26	11.18176	9.973157
1992	54.33	56.91	7.138631	6.853173
1993	57.23	58.98	5.337751	3.637322
1994	59.56	60.78	4.071291	3.051882
1995	62.09	63.0	4.247817	3.652517
1996	65.05	65.73	4.767273	4.333333
1997	68.36	69.1	5.088394	5.127035
1998	73.35	75.42	7.29959	9.146165
1999	71.12	73.22	-3.04022	-2.917
2000	73.74	77.49	3.683915	5.83174
2001	78.13	80.98	5.95335	4.503807
2002	80.27	80.5	2.739025	-0.59274
2003	83.68	83.12	4.248162	3.254658
2004	86.4	85.54	3.250478	2.911453
2005	88.05	89.16	1.909722	4.231938
2006	90.57	91.93	2.86201	3.106774
2007	92.6	93.9	2.24136	2.142935
2008	96.62	98.85	4.341253	5.271565
2009	97.7	97.85	1.117781	-1.01163
2010	100.0	100.0	2.354145	2.197241
2011	104.5	105.6	4.5	5.6
2012	109.3	110.9	4.593301	5.018939
평균			**4.090421**	**3.878376**

34) http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=C

따라서 본 연구에서 사용한 물가상승율은 전국의 에너지물가상승률인 4.09%이다. 하지만 이 숫치도 1990년부터 1992년까지 그리고 1997년부터 1998년까지 예상치 못하는 숫자로 에너지물가가 상승할 수 있는 것을 감안할 때, 앞으로 에너지물가상승률이 이 연구에서 적용한 4.09%보다 더 높아질 경우, 경제성은 더 뚜렷히 나타나리라 예측한다.

마. 할인율

- 할인율은 미래가치에 대한 현재가치의 환산을 위한 할인율을 의미하며, 미래의 비용이나 효용의 불확실성이 현재의 확실성 보다는 낮은 가치를 갖는다는 사실에 근거하며, 건물의 내구연한이나 정책의 시행연한 까지 발생하는 총 비용을 합산하기 위해서는 년차별 발생하는 비용에 할인율을 적용하야 한다. 1980년대 이후 정부의 공공 투자 사업의 할인율은 8-10%를 제시하고 있으며, KDI의 예비타당성 조사 수행을 위한 일반 지침 연구에서는 7.5%를 제안하고 있다.

- 본 연구에서 패시브하우스의 에너지 저감효과가 상승된 건축비를 상쇄시키는 손익분기점을 도출하는 분석에 있어서, 에너지 물가 상승률을 선회하는 할인율을 적용할 경우 연구 결과에 지나치게 큰 영향을 미칠 수 있으므로 기본 분석 에서는 할인율을 적용하지 않은 추정치를 먼저 분석하였고, 이후 에너지 물가상승률 이하에서 할인율을 적용하여 민감도 분석을 시행하였음.

바. 기타 제외 가정들

- 본 연구에서는 건물의 유지 관리 비용과 주택시장에서 발생하는 부동산 가치 상승요인도 분석에서 제외하였다. 건물의 유지비용은 내구연한이 10년인 경우는 유지비용이 초기 시설비용의 연차별 등가가치의 5%식 매년 발생하고, 내구연한이 30년인 경우는 매년 10%씩 발생하는 것으로 추정된다. 그러나 동일 조건에서 일반건축물과 패시브하우스의 내구연한 및 유지비용을 비교할 수 있는 구체적인 근거 자료가 없으므로 본 연구에서는 이를 제외하였다. 또한 주택시장에서 발생하는 가치의 상승은 에너지의 효율에 의한 요인 보다는 다른 부동산 시장 요소들에 의해 결정되므로 이 또한 분석에서 제외하였다. 제외된 두 가정들은 패시브하우스의 경제성 추정에 다소 유리하게 작용될 요소들로 사료되며 이들을 제외하는 것이 본 연구 결과에서 패시브하우스에 불리한 영향을 미치는 보수적 방향으로 작용할 것으로 사료된다.

3. 현금 흐름 분석

가. 분석 투입 추정 모수들

• 경제성 분석을 위해 투입된 추정 모수는 다음과 같다.

[표3.153] 건설 및 에너지 비용

Alternatives	Construct cost	Additional construct cost	Energy sources	Energy cost (yr)
Standard House	357,313,990	-	지열 (Geothermal)	3,513,160
			등유 (Kerosene)	6,943,765
			가스 (Gas)	4,742,113
Passive House	515,767,868	158,453,878	지열 (Geothermal)	1,174,080
Other parameters				
Energy cost inflation rate (mean, SD)		Overall	4.09 (2.56)	
discount rate (%)		0 % (0 - 3.00%)		
time period		50 years		

나. 대표 추정치들에 의한 기저 분석 결과

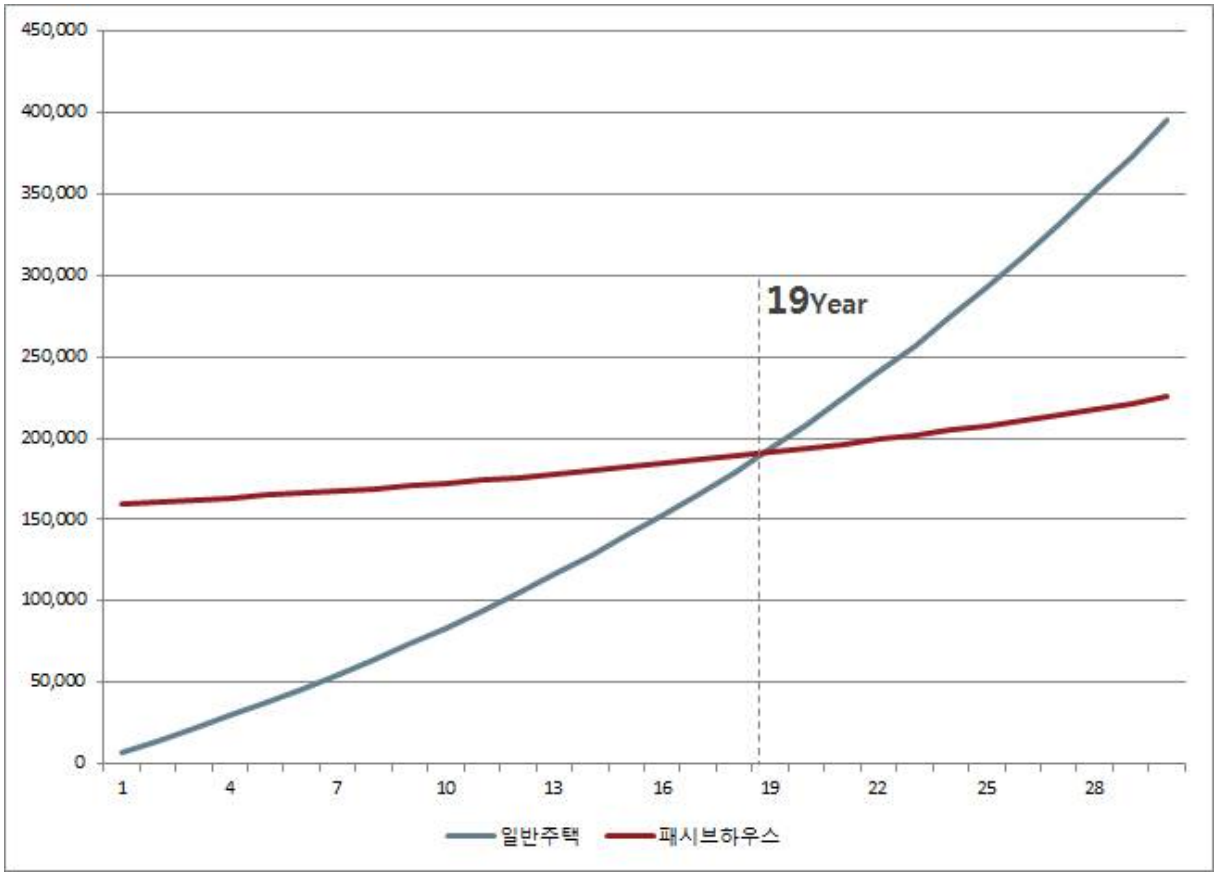
• 패시브하우스의 지열 난방/급탕 에너지원과 일반주택의 등유 난방/급탕 에너지원을 사용하는 상황에서 기저분석에서 사용된 모수들의 추정치는 에너지 물가 상승률이 4.09%, 건축비의 차이가 158,453,878원 등으로 하였으며, 50년간 누적비용을 산출하여 손익분기점을 도출하였다.

• 분석 결과, 19년 후부터 패시브하우스가 일반주택보다 누적비용이 적어지는 것으로 나타났으며(-2,612,277), 건축 50년 후에는 누적 비용이 -747,315,409원 으로 추정되었다. 즉, 이는 50년을 건축물의 내구연도라고 할 경우, 19년 이후부터 50년이 되는 해까지 패시브하우스가 에너지절약을 통해 얻어지는 비용이 약 7억5천이 될 전망이다.

[표3.154] 대표 추정치들에 의한 기저 분석표

Time (Year)	Standard house					Passive house					Break Even Analysis (₩)
	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	
1	0	6,943,765	6,943,765	6,943,765	6,943,765	158,453,878	1,174,080	1,174,080	159,627,958	159,627,958	152,684,193
2		7,227,765	14,171,530	14,171,530	14,171,530		1,222,100	2,396,180	160,850,058	160,850,058	146,678,528
3		7,523,381	21,694,911	21,694,911	21,694,911		1,272,084	3,668,264	162,122,142	162,122,142	140,427,231
4		7,831,087	29,525,997	29,525,997	29,525,997		1,324,112	4,992,376	163,446,254	163,446,254	133,920,256
5		8,151,378	37,677,376	37,677,376	37,677,376		1,378,268	6,370,644	164,824,522	164,824,522	127,147,146
6		8,484,770	46,162,145	46,162,145	46,162,145		1,434,639	7,805,283	166,259,161	166,259,161	120,097,016
7		8,831,797	54,993,942	54,993,942	54,993,942		1,493,316	9,298,599	167,752,477	167,752,477	112,758,535
8		9,193,017	64,186,959	64,186,959	64,186,959		1,554,393	10,852,992	169,306,870	169,306,870	105,119,911
9		9,569,012	73,755,971	73,755,971	73,755,971		1,617,967	12,470,959	170,924,837	170,924,837	97,168,866
10		9,960,384	83,716,355	83,716,355	83,716,355		1,684,142	14,155,101	172,608,979	172,608,979	88,892,624
11		10,367,764	94,084,119	94,084,119	94,084,119		1,753,024	15,908,125	174,362,003	174,362,003	80,277,884
12		10,791,805	104,875,925	104,875,925	104,875,925		1,824,722	17,732,847	176,186,725	176,186,725	71,310,801
13		11,233,190	116,109,115	116,109,115	116,109,115		1,899,353	19,632,201	178,086,079	178,086,079	61,976,964
14		11,692,628	127,801,743	127,801,743	127,801,743		1,977,037	21,609,238	180,063,116	180,063,116	52,261,373
15		12,170,856	139,972,599	139,972,599	139,972,599		2,057,898	23,667,136	182,121,014	182,121,014	42,148,415
16		12,668,644	152,641,243	152,641,243	152,641,243		2,142,066	25,809,202	184,263,080	184,263,080	31,621,836
17		13,186,792	165,828,035	165,828,035	165,828,035		2,229,676	28,038,878	186,492,756	186,492,756	20,664,721
18		13,726,132	179,554,167	179,554,167	179,554,167		2,320,870	30,359,748	188,813,626	188,813,626	9,259,459
19		14,287,530	193,841,697	193,841,697	193,841,697		2,415,794	32,775,542	191,229,420	191,229,420	-2,612,277
20		14,871,890	208,713,588	208,713,588	208,713,588		2,514,600	35,290,141	193,744,019	193,744,019	-14,969,568
21		15,480,151	224,193,738	224,193,738	224,193,738		2,617,447	37,907,588	196,361,466	196,361,466	-27,832,272
22		16,113,289	240,307,027	240,307,027	240,307,027		2,724,500	40,632,089	199,085,967	199,085,967	-41,221,061
23		16,772,322	257,079,350	257,079,350	257,079,350		2,835,932	43,468,021	201,921,899	201,921,899	-55,157,451
24		17,458,310	274,537,660	274,537,660	274,537,660		2,951,922	46,419,943	204,873,821	204,873,821	-69,663,839
25		18,172,355	292,710,015	292,710,015	292,710,015		3,072,656	49,492,599	207,946,477	207,946,477	-84,763,539
26		18,915,605	311,625,620	311,625,620	311,625,620		3,198,327	52,690,926	211,144,804	211,144,804	-100,480,816
27		19,689,253	331,314,873	331,314,873	331,314,873		3,329,139	56,020,065	214,473,943	214,473,943	-116,840,930
28		20,494,543	351,809,416	351,809,416	351,809,416		3,465,301	59,485,366	217,939,244	217,939,244	-133,870,173
29		21,332,770	373,142,186	373,142,186	373,142,186		3,607,031	63,092,397	221,546,275	221,546,275	-151,595,911
30		22,205,280	395,347,467	395,347,467	395,347,467		3,754,559	66,846,956	225,300,834	225,300,834	-170,046,633
31		23,113,476	418,460,943	418,460,943	418,460,943		3,908,121	70,755,077	229,208,955	229,208,955	-189,251,989
32		24,058,818	442,519,761	442,519,761	442,519,761		4,067,963	74,823,039	233,276,917	233,276,917	-209,242,843
33		25,042,823	467,562,584	467,562,584	467,562,584		4,234,342	79,057,381	237,511,259	237,511,259	-230,051,324
34		26,067,075	493,629,659	493,629,659	493,629,659		4,407,527	83,464,908	241,918,786	241,918,786	-251,710,872
35		27,133,218	520,762,877	520,762,877	520,762,877		4,587,795	88,052,703	246,506,581	246,506,581	-274,256,295
36		28,242,967	549,005,843	549,005,843	549,005,843		4,775,436	92,828,139	251,282,017	251,282,017	-297,723,827
37		29,398,104	578,403,947	578,403,947	578,403,947		4,970,751	97,798,890	256,252,768	256,252,768	-322,151,180
38		30,600,486	609,004,434	609,004,434	609,004,434		5,174,055	102,972,944	261,426,822	261,426,822	-347,577,611
39		31,852,046	640,856,480	640,856,480	640,856,480		5,385,673	108,358,618	266,812,496	266,812,496	-374,043,984
40		33,154,795	674,011,275	674,011,275	674,011,275		5,605,947	113,964,565	272,418,443	272,418,443	-401,592,832
41		34,510,826	708,522,101	708,522,101	708,522,101		5,835,231	119,799,796	278,253,674	278,253,674	-430,268,427
42		35,922,319	744,444,420	744,444,420	744,444,420		6,073,892	125,873,687	284,327,565	284,327,565	-460,116,855
43		37,391,542	781,835,962	781,835,962	781,835,962		6,322,314	132,196,001	290,649,879	290,649,879	-491,186,083
44		38,920,856	820,756,818	820,756,818	820,756,818		6,580,896	138,776,898	297,230,776	297,230,776	-523,526,042
45		40,512,719	861,269,537	861,269,537	861,269,537		6,850,055	145,626,953	304,080,831	304,080,831	-557,188,706
46		42,169,689	903,439,226	903,439,226	903,439,226		7,130,222	152,757,175	311,211,053	311,211,053	-592,228,172
47		43,894,429	947,333,655	947,333,655	947,333,655		7,421,848	160,179,024	318,632,902	318,632,902	-628,700,753
48		45,689,711	993,023,366	993,023,366	993,023,366		7,725,402	167,904,426	326,358,304	326,358,304	-666,665,063
49		47,558,421	1,040,581,787	1,040,581,787	1,040,581,787		8,041,371	175,945,797	334,399,675	334,399,675	-706,182,112
50		49,503,560	1,090,085,347	1,090,085,347	1,090,085,347		8,370,263	184,316,060	342,769,938	342,769,938	-747,315,409

(단위 : 천원)



[그림3.279] 패시브하우스와 일반주택 연차별누적에너지비용 비교

다. 에너지원, 에너지 물가 상승률, 할인율에 대한 민감도분석 결과

- 에너지원과 에너지 물가 상승률, 할인율의 변동에 따른 손익분기점의 변환을 확인하고자 민감도 분석을 시행하였다. 에너지원은 패시브하우스(지열 난방/급탕)에 대비한 일반주택의 난방/급탕을 등유, 도시가스, 지열로 사용한 경우를 가정하여, 각각 물가상승률과 할인율의 변동에 따른 손익분기점을 산출하였다. 연간 에너지 물가의 상승률은 0%에서 25%까지 순차적으로 사용하였으며, 할인율은 0-3%까지를 사용하였다.

- 패시브하우스(지열 난방/급탕) (연간 1,174,080원)과 일반주택(등유 난방/급탕) (연간 6,943,765원)를 비교하여 분석한 결과, 각 에너지물가 상승률과 할인율에서 손익분기점이 나타나는 기간은 다음 Table과 같이 추정되었다. 예를 들어 연 4%의 에너지 물가 상승률에 대해 0-3%까지의 할인율에 따라 손익분기점은 19년, 22년 27년 38년으로 각각 추정되었다.

[표3.155] 패시브하우스(지열 난방/급탕)과 일반주택(등유 난방/급탕) 비교

Annual growth of energy cost (%)	Break even year (passive to standard)			
	0% discount rate	1% discount rate	2% discount rate	3% discount rate
0	28	42	>50	>50
1	25	33	>50	>50
2	23	28	41	>50
3	21	25	32	>50
4	19	22	27	38
5	18	21	24	31
6	17	19	22	27
7	16	18	20	24
8	16	17	19	22
9	15	16	18	20
10	14	16	17	19
11	14	15	16	18
12	13	14	15	17
13	13	14	15	16
14	13	13	14	15
15	12	13	14	15
16	12	13	13	14
17	12	12	13	14
18	11	12	12	13
19	11	12	12	13
20	11	11	12	12
21	11	11	12	12
22	10	11	11	12
23	10	11	11	11
24	10	10	11	11
25	10	10	11	11

• 패시브하우스(지열 난방/급탕)(연간 1,174,080원)과 일반주택(도시가스 난방/급탕) (연간 4,442,167원)를 비교하여 분석한 결과, 각 에너지물가 상승률과 할인율에서 손익분기점이 나타나는 기간은 다음 Table과 같이 추정되었다. 예를 들어 연 4%의 에너지 물가 상승률에 대해 0-3%까지의 할인율에 따라 손익분기점은 21년, 25년 32년 50년 이상으로 각각 추정되었다.

[표3.156] 패시브하우스(지열 난방/급탕)과 일반주택(도시가스 난방/급탕) 비교

Annual growth of energy cost (%)	Break even year (passive to standard)			
	0% discount rate	1% discount rate	2% discount rate	3% discount rate
0	49	>50	>50	>50
1	40	>50	>50	>50
2	35	48	>50	>50
3	31	39	>50	>50
4	28	34	45	>50
5	26	30	37	>50
6	24	27	33	41
7	22	25	29	35
8	21	24	27	31
9	20	22	25	28
10	19	21	23	26
11	18	20	22	24
12	17	19	20	23
13	17	18	19	21
14	16	17	19	20
15	16	17	18	19
16	15	16	17	18
17	15	16	16	18
18	14	15	16	17
19	14	15	15	16
20	13	14	15	16
21	13	14	15	15
22	13	13	14	15
23	13	13	14	14
24	12	13	13	14
25	12	13	13	14

• 패시브하우스(지열 난방/급탕)(연간 1,174,080원)과 일반주택(지열 난방/급탕)(연간 3,513,160원)를 비교하여 분석한 결과, 각 에너지물가 상승률과 할인율에서 손익분기점이 나타나는 기간은 다음 Table과 같이 추정되었다. 예를 들어 연 4%의 에너지 물가 상승률에 대해 0-3%까지의 할인율에 따라 손익분기점은 34년, 42년, 50년 이상, 50년 이상으로 각각 추정되었다.

[표3.157] 패시브하우스(지열 난방/급탕)과 일반주택(지열 난방/급탕) 비교

Annual growth of energy cost (%)	Break even year (passive to standard)			
	0% discount rate	1% discount rate	2% discount rate	3% discount rate
0	>50	>50	>50	>50
1	>50	>50	>50	>50
2	44	>50	>50	>50
3	38	>50	>50	>50
4	34	42	>50	>50
5	31	37	46	>50
6	28	33	40	>50
7	26	30	35	43
8	25	28	32	37
9	23	26	29	33
10	22	24	27	30
11	21	23	25	28
12	20	22	24	26
13	19	21	22	25
14	18	20	21	23
15	18	19	20	22
16	17	18	20	21
17	17	18	19	20
18	16	17	18	19
19	16	16	17	19
20	15	16	17	18
21	15	16	16	17
22	14	15	16	17
23	14	15	15	16
24	14	14	15	16
25	13	14	15	15

라. 패시브하우스 시공을 위한 비용 감소에 따른 기대효과

- 위에서 패시브하우스의 지열 난방/급탕 에너지원과 일반주택의 등유 난방/급탕 에너지원을 사용하는 상황의 기저분석에서 에너지 물가 상승률이 4.09%, 건축비의 차이가 158,453,878원 일 때, 19년 후부터 패시브하우스가 일반주택보다 누적비용이 적어지는 것으로 나타났으며(-2,612,277), 건축 50년 후에는 누적 비용이 -747,315,409원 으로 추정된다.

- 그러나 본 연구에서 패시브하우스 실현을 위한 일반 주택 대비 상승된 건축비 158,453,878원의 대부분이 수입자재 및 양산되지 않은 국산화 자재의 이용을 통해 증가 되었음을 고려할 때, 자재의 국산화 및 양산화를 통해 상승되는 건축비의 절감이 가능할 것이라 판단된다.

- 따라서 패시브하우스의 지열 난방/급탕 에너지원과 일반주택의 등유 난방/급탕 에너지원을 사용하는 상황에서 상승된 건축비용이 자재국산화 및 양산화를 통해 30%, 45%, 60%로 각각 절감되는 것을 가정할 때 발생하는 효과를 예측하였다.

- 패시브하우스의 지열 난방/급탕 에너지원과 일반주택의 등유 난방/급탕 에너지원을 사용하는 상황에서 에너지 물가 상승률이 4.09%임을 고정하고, 건축비의 차이가 158,453,878원이 아닌 110,917,715원 (30% 절감), 87,149,633원(45% 절감), 63,381,551원(60% 절감) 일 때의 분석을 통한 회수기간 및 건축 50년 후 누적비용은 다음과 같다.

[표3.158] 상승비용 대비 회수기간

구분	공사비	회수기간	50년 누적
상승비용 현재	158,453,878원	19년	-747,315,409원
상승비용 30% 절감	110,917,715원	15년	-794,851,573원
상승비용 45% 절감	87,149,633원	13년	-818,619,655원
상승비용 60% 절감	63,381,551원	10년	-842,387,736원

- 공사비 상승비용이 현재보다 60% 절감할 경우 에너지 비용 절감을 통한 회수기간은 10년까지 줄어들 수 있으며, 누적 이득금액은 점점 증가하는 것을 알 수 있다.

[표3.159] 대표 추정치들에 의한 기저 분석표 (상승비용 30% 절감)

Time (Year)	Standard house					Passive house					Break Even Analysis (₩)
	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	
1	₹0	6,943,765	6,943,765	6,943,765	6,943,765	110,917,715	1,174,080	1,174,080	112,091,795	112,091,795	105,148,030
2		7,227,765	14,171,530	14,171,530	14,171,530		1,222,100	2,396,180	113,313,894	113,313,894	99,142,364
3		7,523,381	21,694,911	21,694,911	21,694,911		1,272,084	3,668,264	114,585,978	114,585,978	92,891,068
4		7,831,087	29,525,997	29,525,997	29,525,997		1,324,112	4,992,376	115,910,090	115,910,090	86,384,093
5		8,151,378	37,677,376	37,677,376	37,677,376		1,378,268	6,370,644	117,288,358	117,288,358	79,610,983
6		8,484,770	46,162,145	46,162,145	46,162,145		1,434,639	7,805,283	118,722,998	118,722,998	72,560,852
7		8,831,797	54,993,942	54,993,942	54,993,942		1,493,316	9,298,599	120,216,314	120,216,314	65,222,372
8		9,193,017	64,186,959	64,186,959	64,186,959		1,554,393	10,852,992	121,770,706	121,770,706	57,583,747
9		9,569,012	73,755,971	73,755,971	73,755,971		1,617,967	12,470,959	123,388,674	123,388,674	49,632,703
10		9,960,384	83,716,355	83,716,355	83,716,355		1,684,142	14,155,101	125,072,816	125,072,816	41,356,461
11		10,367,764	94,084,119	94,084,119	94,084,119		1,753,024	15,908,125	126,825,840	126,825,840	32,741,721
12		10,791,805	104,875,925	104,875,925	104,875,925		1,824,722	17,732,847	128,650,562	128,650,562	23,774,637
13		11,233,190	116,109,115	116,109,115	116,109,115		1,899,353	19,632,201	130,549,916	130,549,916	14,440,801
14		11,692,628	127,801,743	127,801,743	127,801,743		1,977,037	21,609,238	132,526,953	132,526,953	4,725,210
15		12,170,856	139,972,599	139,972,599	139,972,599		2,057,898	23,667,136	134,584,850	134,584,850	-5,387,749
16		12,668,644	152,641,243	152,641,243	152,641,243		2,142,066	25,809,202	136,726,916	136,726,916	-15,914,327
17		13,186,792	165,828,035	165,828,035	165,828,035		2,229,676	28,038,878	138,956,593	138,956,593	-26,871,443
18		13,726,132	179,554,167	179,554,167	179,554,167		2,320,870	30,359,748	141,277,463	141,277,463	-38,276,704
19		14,287,530	193,841,697	193,841,697	193,841,697		2,415,794	32,775,542	143,693,256	143,693,256	-50,148,441
20		14,871,890	208,713,588	208,713,588	208,713,588		2,514,600	35,290,141	146,207,856	146,207,856	-62,505,732
21		15,480,151	224,193,738	224,193,738	224,193,738		2,617,447	37,907,588	148,825,303	148,825,303	-75,368,436
22		16,113,289	240,307,027	240,307,027	240,307,027		2,724,500	40,632,089	151,549,803	151,549,803	-88,757,224
23		16,772,322	257,079,350	257,079,350	257,079,350		2,835,932	43,468,021	154,385,736	154,385,736	-102,693,614
24		17,458,310	274,537,660	274,537,660	274,537,660		2,951,922	46,419,943	157,337,658	157,337,658	-117,200,002
25		18,172,355	292,710,015	292,710,015	292,710,015		3,072,656	49,492,599	160,410,313	160,410,313	-132,299,702
26		18,915,605	311,625,620	311,625,620	311,625,620		3,198,327	52,690,926	163,608,641	163,608,641	-148,016,979
27		19,689,253	331,314,873	331,314,873	331,314,873		3,329,139	56,020,065	166,937,779	166,937,779	-164,377,093
28		20,494,543	351,809,416	351,809,416	351,809,416		3,465,301	59,485,366	170,403,080	170,403,080	-181,406,336
29		21,332,770	373,142,186	373,142,186	373,142,186		3,607,031	63,092,397	174,010,112	174,010,112	-199,132,075
30		22,205,280	395,347,467	395,347,467	395,347,467		3,754,559	66,846,956	177,764,671	177,764,671	-217,582,796
31		23,113,476	418,460,943	418,460,943	418,460,943		3,908,121	70,755,077	181,672,791	181,672,791	-236,788,152
32		24,058,818	442,519,761	442,519,761	442,519,761		4,067,963	74,823,039	185,740,754	185,740,754	-256,779,007
33		25,042,823	467,562,584	467,562,584	467,562,584		4,234,342	79,057,381	189,975,096	189,975,096	-277,587,488
34		26,067,075	493,629,659	493,629,659	493,629,659		4,407,527	83,464,908	194,382,623	194,382,623	-299,247,036
35		27,133,218	520,762,877	520,762,877	520,762,877		4,587,795	88,052,703	198,970,418	198,970,418	-321,792,459
36		28,242,967	549,005,843	549,005,843	549,005,843		4,775,436	92,828,139	203,745,853	203,745,853	-345,259,990
37		29,398,104	578,403,947	578,403,947	578,403,947		4,970,751	97,798,890	208,716,604	208,716,604	-369,687,343
38		30,600,486	609,004,434	609,004,434	609,004,434		5,174,055	102,972,944	213,890,659	213,890,659	-395,113,775
39		31,852,046	640,856,480	640,856,480	640,856,480		5,385,673	108,358,618	219,276,332	219,276,332	-421,580,148
40		33,154,795	674,011,275	674,011,275	674,011,275		5,605,947	113,964,565	224,882,280	224,882,280	-449,128,995
41		34,510,826	708,522,101	708,522,101	708,522,101		5,835,231	119,799,796	230,717,510	230,717,510	-477,804,591
42		35,922,319	744,444,420	744,444,420	744,444,420		6,073,892	125,873,687	236,791,402	236,791,402	-507,653,018
43		37,391,542	781,835,962	781,835,962	781,835,962		6,322,314	132,196,001	243,113,716	243,113,716	-538,722,246
44		38,920,856	820,756,818	820,756,818	820,756,818		6,580,896	138,776,898	249,694,612	249,694,612	-571,062,205
45		40,512,719	861,269,537	861,269,537	861,269,537		6,850,055	145,626,953	256,544,667	256,544,667	-604,724,869
46		42,169,689	903,439,226	903,439,226	903,439,226		7,130,222	152,757,175	263,674,890	263,674,890	-639,764,336
47		43,894,429	947,333,655	947,333,655	947,333,655		7,421,848	160,179,024	271,096,738	271,096,738	-676,236,917
48		45,689,711	993,023,366	993,023,366	993,023,366		7,725,402	167,904,426	278,822,140	278,822,140	-714,201,226
49		47,558,421	1,040,581,787	1,040,581,787	1,040,581,787		8,041,371	175,945,797	286,863,511	286,863,511	-753,718,276
50		49,503,560	1,090,085,347	1,090,085,347	1,090,085,347		8,370,263	184,316,060	295,233,774	295,233,774	-794,851,573

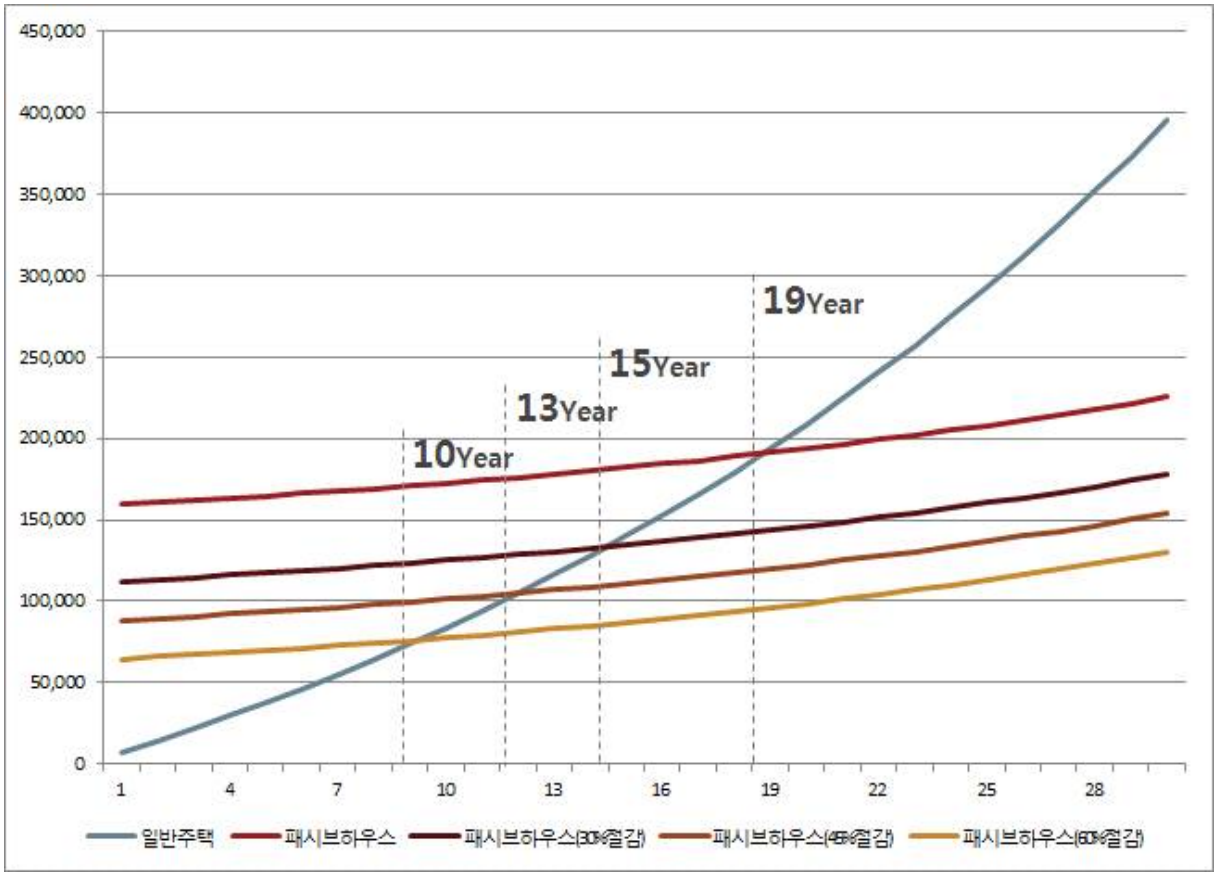
[표3.160] 대표 추정치들에 의한 기저 분석표 (상승비용 45% 절감)

Time (Year)	Standard house					Passive house					Break Even Analysis (₩)
	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	
1	₹0	6,943,765	6,943,765	6,943,765	6,943,765	110,917,715	1,174,080	1,174,080	88,323,713	88,323,713	81,379,948
2		7,227,765	14,171,530	14,171,530	14,171,530		1,222,100	2,396,180	89,545,813	89,545,813	75,374,283
3		7,523,381	21,694,911	21,694,911	21,694,911		1,272,084	3,668,264	90,817,897	90,817,897	69,122,986
4		7,831,087	29,525,997	29,525,997	29,525,997		1,324,112	4,992,376	92,142,009	92,142,009	62,616,011
5		8,151,378	37,677,376	37,677,376	37,677,376		1,378,268	6,370,644	93,520,277	93,520,277	55,842,901
6		8,484,770	46,162,145	46,162,145	46,162,145		1,434,639	7,805,283	94,954,916	94,954,916	48,792,771
7		8,831,797	54,993,942	54,993,942	54,993,942		1,493,316	9,298,599	96,448,232	96,448,232	41,454,290
8		9,193,017	64,186,959	64,186,959	64,186,959		1,554,393	10,852,992	98,002,625	98,002,625	33,815,665
9		9,569,012	73,755,971	73,755,971	73,755,971		1,617,967	12,470,959	99,620,592	99,620,592	25,864,621
10		9,960,384	83,716,355	83,716,355	83,716,355		1,684,142	14,155,101	101,304,734	101,304,734	17,588,379
11		10,367,764	94,084,119	94,084,119	94,084,119		1,753,024	15,908,125	103,057,758	103,057,758	8,973,639
12		10,791,805	104,875,925	104,875,925	104,875,925		1,824,722	17,732,847	104,882,480	104,882,480	6,556
13		11,233,190	116,109,115	116,109,115	116,109,115		1,899,353	19,632,201	106,781,834	106,781,834	-9,327,281
14		11,692,628	127,801,743	127,801,743	127,801,743		1,977,037	21,609,238	108,758,871	108,758,871	-19,042,872
15		12,170,856	139,972,599	139,972,599	139,972,599		2,057,898	23,667,136	110,816,769	110,816,769	-29,155,830
16		12,668,644	152,641,243	152,641,243	152,641,243		2,142,066	25,809,202	112,958,835	112,958,835	-39,682,409
17		13,186,792	165,828,035	165,828,035	165,828,035		2,229,676	28,038,878	115,188,511	115,188,511	-50,639,524
18		13,726,132	179,554,167	179,554,167	179,554,167		2,320,870	30,359,748	117,509,381	117,509,381	-62,044,786
19		14,287,530	193,841,697	193,841,697	193,841,697		2,415,794	32,775,542	119,925,175	119,925,175	-73,916,523
20		14,871,890	208,713,588	208,713,588	208,713,588		2,514,600	35,290,141	122,439,774	122,439,774	-86,273,813
21		15,480,151	224,193,738	224,193,738	224,193,738		2,617,447	37,907,588	125,057,221	125,057,221	-99,136,517
22		16,113,289	240,307,027	240,307,027	240,307,027		2,724,500	40,632,089	127,781,721	127,781,721	-112,525,306
23		16,772,322	257,079,350	257,079,350	257,079,350		2,835,932	43,468,021	130,617,654	130,617,654	-126,461,696
24		17,458,310	274,537,660	274,537,660	274,537,660		2,951,922	46,419,943	133,569,576	133,569,576	-140,968,084
25		18,172,355	292,710,015	292,710,015	292,710,015		3,072,656	49,492,599	136,642,232	136,642,232	-156,067,784
26		18,915,605	311,625,620	311,625,620	311,625,620		3,198,327	52,690,926	139,840,559	139,840,559	-171,785,061
27		19,689,253	331,314,873	331,314,873	331,314,873		3,329,139	56,020,065	143,169,698	143,169,698	-188,145,175
28		20,494,543	351,809,416	351,809,416	351,809,416		3,465,301	59,485,366	146,634,998	146,634,998	-205,174,418
29		21,332,770	373,142,186	373,142,186	373,142,186		3,607,031	63,092,397	150,242,030	150,242,030	-222,900,156
30		22,205,280	395,347,467	395,347,467	395,347,467		3,754,559	66,846,956	153,996,589	153,996,589	-241,350,878
31		23,113,476	418,460,943	418,460,943	418,460,943		3,908,121	70,755,077	157,904,709	157,904,709	-260,556,234
32		24,058,818	442,519,761	442,519,761	442,519,761		4,067,963	74,823,039	161,972,672	161,972,672	-280,547,089
33		25,042,823	467,562,584	467,562,584	467,562,584		4,234,342	79,057,381	166,207,014	166,207,014	-301,355,569
34		26,067,075	493,629,659	493,629,659	493,629,659		4,407,527	83,464,908	170,614,541	170,614,541	-323,015,117
35		27,133,218	520,762,877	520,762,877	520,762,877		4,587,795	88,052,703	175,202,336	175,202,336	-345,560,541
36		28,242,967	549,005,843	549,005,843	549,005,843		4,775,436	92,828,139	179,977,772	179,977,772	-369,028,072
37		29,398,104	578,403,947	578,403,947	578,403,947		4,970,751	97,798,890	184,948,522	184,948,522	-393,455,425
38		30,600,486	609,004,434	609,004,434	609,004,434		5,174,055	102,972,944	190,122,577	190,122,577	-418,881,857
39		31,852,046	640,856,480	640,856,480	640,856,480		5,385,673	108,358,618	195,508,250	195,508,250	-445,348,230
40		33,154,795	674,011,275	674,011,275	674,011,275		5,605,947	113,964,565	201,114,198	201,114,198	-472,897,077
41		34,510,826	708,522,101	708,522,101	708,522,101		5,835,231	119,799,796	206,949,429	206,949,429	-501,572,673
42		35,922,319	744,444,420	744,444,420	744,444,420		6,073,892	125,873,687	213,023,320	213,023,320	-531,421,100
43		37,391,542	781,835,962	781,835,962	781,835,962		6,322,314	132,196,001	219,345,634	219,345,634	-562,490,328
44		38,920,856	820,756,818	820,756,818	820,756,818		6,580,896	138,776,898	225,926,531	225,926,531	-594,830,287
45		40,512,719	861,269,537	861,269,537	861,269,537		6,850,055	145,626,953	232,776,586	232,776,586	-628,492,951
46		42,169,689	903,439,226	903,439,226	903,439,226		7,130,222	152,757,175	239,906,808	239,906,808	-663,532,418
47		43,894,429	947,333,655	947,333,655	947,333,655		7,421,848	160,179,024	247,328,656	247,328,656	-700,004,998
48		45,689,711	993,023,366	993,023,366	993,023,366		7,725,402	167,904,426	255,054,059	255,054,059	-737,969,308
49		47,558,421	1,040,581,787	1,040,581,787	1,040,581,787		8,041,371	175,945,797	263,095,430	263,095,430	-777,486,358
50		49,503,560	1,090,085,347	1,090,085,347	1,090,085,347		8,370,263	184,316,060	271,465,693	271,465,693	-818,619,655

[표3.161] 대표 추정치들에 의한 기저 분석표 (상승비용 60% 절감)

Time (Year)	Standard house					Passive house					Break Even Analysis (₩)
	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	Construct cost (Additional) (₩)	Energy cost (₩)	Cumulative Energy cost (₩)	Total cost (Construct cost +Energy cost) (₩)	dis Total cost (₩)	
1	₹0	6,943,765	6,943,765	6,943,765	6,943,765	63,381,551	1,174,080	1,174,080	64,555,631	64,555,631	57,611,866
2		7,227,765	14,171,530	14,171,530	14,171,530		1,222,100	2,396,180	65,777,731	65,777,731	51,606,201
3		7,523,381	21,694,911	21,694,911	21,694,911		1,272,084	3,668,264	67,049,815	67,049,815	45,354,904
4		7,831,087	29,525,997	29,525,997	29,525,997		1,324,112	4,992,376	68,373,927	68,373,927	38,847,929
5		8,151,378	37,677,376	37,677,376	37,677,376		1,378,268	6,370,644	69,752,195	69,752,195	32,074,819
6		8,484,770	46,162,145	46,162,145	46,162,145		1,434,639	7,805,283	71,186,834	71,186,834	25,024,689
7		8,831,797	54,993,942	54,993,942	54,993,942		1,493,316	9,298,599	72,680,150	72,680,150	17,686,208
8		9,193,017	64,186,959	64,186,959	64,186,959		1,554,393	10,852,992	74,234,543	74,234,543	10,047,584
9		9,569,012	73,755,971	73,755,971	73,755,971		1,617,967	12,470,959	75,852,510	75,852,510	2,096,539
10		9,960,384	83,716,355	83,716,355	83,716,355		1,684,142	14,155,101	77,536,653	77,536,653	-6,179,703
11		10,367,764	94,084,119	94,084,119	94,084,119		1,753,024	15,908,125	79,289,676	79,289,676	-14,794,443
12		10,791,805	104,875,925	104,875,925	104,875,925		1,824,722	17,732,847	81,114,399	81,114,399	-23,761,526
13		11,233,190	116,109,115	116,109,115	116,109,115		1,899,353	19,632,201	83,013,752	83,013,752	-33,095,363
14		11,692,628	127,801,743	127,801,743	127,801,743		1,977,037	21,609,238	84,990,789	84,990,789	-42,810,954
15		12,170,856	139,972,599	139,972,599	139,972,599		2,057,898	23,667,136	87,048,687	87,048,687	-52,923,912
16		12,668,644	152,641,243	152,641,243	152,641,243		2,142,066	25,809,202	89,190,753	89,190,753	-63,450,490
17		13,186,792	165,828,035	165,828,035	165,828,035		2,229,676	28,038,878	91,420,429	91,420,429	-74,407,606
18		13,726,132	179,554,167	179,554,167	179,554,167		2,320,870	30,359,748	93,741,299	93,741,299	-85,812,867
19		14,287,530	193,841,697	193,841,697	193,841,697		2,415,794	32,775,542	96,157,093	96,157,093	-97,684,604
20		14,871,890	208,713,588	208,713,588	208,713,588		2,514,600	35,290,141	98,671,693	98,671,693	-110,041,895
21		15,480,151	224,193,738	224,193,738	224,193,738		2,617,447	37,907,588	101,289,139	101,289,139	-122,904,599
22		16,113,289	240,307,027	240,307,027	240,307,027		2,724,500	40,632,089	104,013,640	104,013,640	-136,293,387
23		16,772,322	257,079,350	257,079,350	257,079,350		2,835,932	43,468,021	106,849,572	106,849,572	-150,229,777
24		17,458,310	274,537,660	274,537,660	274,537,660		2,951,922	46,419,943	109,801,494	109,801,494	-164,736,166
25		18,172,355	292,710,015	292,710,015	292,710,015		3,072,656	49,492,599	112,874,150	112,874,150	-179,835,865
26		18,915,605	311,625,620	311,625,620	311,625,620		3,198,327	52,690,926	116,072,477	116,072,477	-195,553,143
27		19,689,253	331,314,873	331,314,873	331,314,873		3,329,139	56,020,065	119,401,616	119,401,616	-211,913,257
28		20,494,543	351,809,416	351,809,416	351,809,416		3,465,301	59,485,366	122,866,917	122,866,917	-228,942,499
29		21,332,770	373,142,186	373,142,186	373,142,186		3,607,031	63,092,397	126,473,948	126,473,948	-246,668,238
30		22,205,280	395,347,467	395,347,467	395,347,467		3,754,559	66,846,956	130,228,507	130,228,507	-265,118,959
31		23,113,476	418,460,943	418,460,943	418,460,943		3,908,121	70,755,077	134,136,628	134,136,628	-284,324,315
32		24,058,818	442,519,761	442,519,761	442,519,761		4,067,963	74,823,039	138,204,590	138,204,590	-304,315,170
33		25,042,823	467,562,584	467,562,584	467,562,584		4,234,342	79,057,381	142,438,933	142,438,933	-325,123,651
34		26,067,075	493,629,659	493,629,659	493,629,659		4,407,527	83,464,908	146,846,460	146,846,460	-346,783,199
35		27,133,218	520,762,877	520,762,877	520,762,877		4,587,795	88,052,703	151,434,254	151,434,254	-369,328,622
36		28,242,967	549,005,843	549,005,843	549,005,843		4,775,436	92,828,139	156,209,690	156,209,690	-392,796,153
37		29,398,104	578,403,947	578,403,947	578,403,947		4,970,751	97,798,890	161,180,441	161,180,441	-417,223,506
38		30,600,486	609,004,434	609,004,434	609,004,434		5,174,055	102,972,944	166,354,495	166,354,495	-442,649,938
39		31,852,046	640,856,480	640,856,480	640,856,480		5,385,673	108,358,618	171,740,169	171,740,169	-469,116,311
40		33,154,795	674,011,275	674,011,275	674,011,275		5,605,947	113,964,565	177,346,116	177,346,116	-496,665,159
41		34,510,826	708,522,101	708,522,101	708,522,101		5,835,231	119,799,796	183,181,347	183,181,347	-525,340,754
42		35,922,319	744,444,420	744,444,420	744,444,420		6,073,892	125,873,687	189,255,239	189,255,239	-555,189,182
43		37,391,542	781,835,962	781,835,962	781,835,962		6,322,314	132,196,001	195,577,552	195,577,552	-586,258,409
44		38,920,856	820,756,818	820,756,818	820,756,818		6,580,896	138,776,898	202,158,449	202,158,449	-618,598,369
45		40,512,719	861,269,537	861,269,537	861,269,537		6,850,055	145,626,953	209,008,504	209,008,504	-652,261,033
46		42,169,689	903,439,226	903,439,226	903,439,226		7,130,222	152,757,175	216,138,726	216,138,726	-687,300,499
47		43,894,429	947,333,655	947,333,655	947,333,655		7,421,848	160,179,024	223,560,575	223,560,575	-723,773,080
48		45,689,711	993,023,366	993,023,366	993,023,366		7,725,402	167,904,426	231,285,977	231,285,977	-761,737,390
49		47,558,421	1,040,581,787	1,040,581,787	1,040,581,787		8,041,371	175,945,797	239,327,348	239,327,348	-801,254,439
50		49,503,560	1,090,085,347	1,090,085,347	1,090,085,347		8,370,263	184,316,060	247,697,611	247,697,611	-842,387,736

(단위 : 천원)



[그림3.280] 패시브하우스 초기비용 절감량에 따른 연차별누적에너지비용 비교

4. 한국형 패시브하우스 경제성 분석 결과

- 경제성 분석 연구를 통해 익산 패시브하우스 실현을 위해 초기 투자된 비용 158,453,878원을 회수하기 위해서 익산 패시브하우스와 동일한 주택이되 에너지성능으로는 2012년 국내 에너지절약기준을 적용한 일반건축물과의 에너지소비 비교를 진행하였다. 익산패시브하우스는 지열을 사용하였기 때문에 비교대상으로는 지열을 고정하되, 일반건축물은 지열, 등유, 그리고 도시가스를 사용할 3개의 경우를 비교분석하였다.

- 이때 등유를 사용하는 일반 건축물과 지열을 사용하는 익산 패시브하우스와 비교할 때 시공투자비용회수기간이 19년이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 이는 할인율을 감안하지 않는 단순한 과거의 에너지 물가상승률을 토대로 예측된 값을 적용했을 경우의 회수기간이다.

- 할인율까지 적용한 민감도분석 결과에서는 에너지 물가상승률이 올라가면 회수기간이 더 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 4%대의 에너지물가상승율일 때, 3%의 할인율이 적용되면 회수기간은 38년으로 늘어나는 것을 알 수 있다.

- 이는 일반주택보다 패시브하우스가 에너지에 대한 의존도가 상대적으로 낮아, 미래의 에너지 가격의 변동에도 거의 영향을 받지 않는 다는 것을 의미하지만, 할인율에 대한 변수까지 입력하였을 때는 회수기간도 상대적으로 영향을 받는 것을 알 수 있다.

- 또한 현재 패시브하우스 실현을 위해 초기 투자된 공사비용이 대부분 주택 에너지성능 확보를 위해 수입자재와 국내 양산되지 않는다는 이유로 자재비뿐만 아니라, 노무비, 경비까지도 상승됨을 확인한 바, 에너지절약형 주택을 보급하고, 경제적인 이익을 도출하기 위해서는 조속히 국산화 자재가 보급되어야 함을 시사하고 있다. 즉, 2012년 익산패시브하우스에서 사용된 추가공사비가 30%, 45%, 60%까지 인하된다고 가정할 때, 15년, 13년 그리고 10년으로 회수기간이 현재 대비 50%까지 줄어드는 것으로 나타났다.

- 국가차원에서 2017년 1차에너지소요량이 60%절약된 패시브하우스 의무화를 추진하고 있는 이 시점에서 추가상승비대비 회수기간에 대한 논리보다는 회수기간을 줄일 수 있는 여러 가지 변수를 연구하고 검증하면서 경제적인 에너지절약형주택을 보급화 하는데 초점을 맞춰야 할 것이다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 한국형 패시브하우스개발 최종목표 달성도

1. 한국형 패시브하우스 개발 연구의 목표 및 달성내용

- 한국형 패시브하우스의 개발연구를 위해 아래와 같은 연구목표를 설정하였으며, 2년 3개월간의 연구기간동안 설정된 목표 전반에 걸쳐 연구가 수행되었다.

- 한국형 패시브하우스의 모니터링의 경우, 당초 냉난방에너지요구량 검토를 위해 여름과 겨울을 모두 모니터링 하도록 계획하였으나, 시제품(한국형 패시브하우스)의 공사기간 지연으로 인해 모니터링 기간이 불가피하게 단축되었으나, 연구가 종료된 이후에도 1년이상의 모니터링을 지속적으로 추진할 예정이다.

[표4.1] 연구목표 대비 달성내용

연구목표	달성도	달성내용
독일 패시브하우스 인증 분석연구	100%	패시브하우스 인증제도의 전반적인 배경, 시행현황 및 취득과정을 분석하고, 인증취득주택의 문헌조사를 통해 계획 및 적용기술요소 도출 및 연구논문 게재
독일 패시브하우스 관련 국가 제도 분석 연구	100%	독일/EU 패시브하우스 관련 국가정책 및 지원제도 검토를 통한 국제 동향 분석
한국형 패시브하우스 실현방법 연구 및 기본실시설계	100%	한국형 패시브하우스 설계를 위한 국내 기후환경 검토 국내 생활문화에 적합한 설계방법 검토를 위한 단독주택 사례조사와 입면디자인 적용요소 도출 한국형 패시브하우스에 적용 가능한 국내외 자재 및 성능비교분석 한국형 패시브하우스에 관련된 국내외 고효율 설비 성능 및 비교분석 한국형 패시브하우스 기술요소를 적용한 시제품(익산 패시브하우스) 설계 시제품 에너지·열교 시뮬레이션 및 디테일 검토를 통한 계획기술 정립
한국형패시브하우스 설계, 실현	100%	한국형 패시브하우스 기술적용 시제품(익산 패시브하우스) 완공 한국형 패시브하우스 시공방법 연구 및 실증 한국형 패시브하우스 기술관리요소 도출 주택 시공진단 시스템(블러도어테스트, 열화상카메라, TAB) 적용 독일 패시브하우스인증 획득
한국형 패시브하우스 사후진단 및 이용실태에 관한 연구	90%	한국형 패시브하우스의 쾌적성 및 에너지 성능검증을 위한 모니터링시스템 개발 한국형 패시브하우스 모니터링 시스템 시제품(익산 패시브하우스) 적용 모니터링 결과 에너지사용량 및 실내환경 분석을 통해 에너지 성능 및 쾌적성 측면의 성능달성을 검증
국내 제도 개선 제안	100%	한국형 패시브하우스 개발 및 시제품제작 과정에서 쟁점이 되는 설계기준, 시공기준, 에너지절약형 건축물 인증 및 관련 제도, 교육 등 제도전반의 개선사항 도출과 관련 부처에 정책제안 완료
패시브하우스 쾌적성 분석	100%	국내외 쾌적성 기준에 대한 분석 및 그에 대한 검증 독일 패시브하우스에서 규정하는 쾌적성 조건에 부합하였는 지에 대한 검증
국내 패시브하우스 경제성평가	100%	에너지물가상승율과 할인율을 고려한 손익분기점 도출

제2절 한국형 패시브하우스개발의 기술적 효과

- 한국형 패시브하우스 설계기술 공유는 건축주 및 건축가와의 의사소통 및 조율을 통한 효과적인 계획을 가능하도록 한다.

- 국외 기술의 무분별한 도입 또는 패시브하우스 성능에 맞지 않는 이론들로 인한 건축계획 및 시공기술저하 그리고 경제적 손실을 최소화함으로써 한국형 패시브하우스 설계기술의 최적화가 가능하다.

- 한국형 패시브하우스의 설계기술을 구체적으로 제시함으로서 국내 기존 에너지절약형 건축물의 설계기술을 보완 및 개선하는 자료로 활용될 수 있다.

- 에너지절약형 건축물 계획 시 에너지 및 열교시뮬레이션의 적용을 보편화 시킬 수 있으며 비용 및 기술측면에서 효율적인 패시브하우스계획이 가능하다.

- 국내 건설현황 및 생활패턴에 적합한 설계기술을 개발하여 공동주택 및 고층건물 등을 위한 패시브하우스 기술마련의 초석으로 활용될 수 있다.

- 한국형 패시브하우스는 신재생에너지 의존을 유도하는 기존의 그린홈 주택 계획방식에서 벗어나 실내 쾌적성 확보 뿐만 아니라 건축물 자체의 에너지 요구량을 최소화함으로서 신재생에너지 투자효율까지도 증진시키는 선례가 될 수 있다.

- 한국형 패시브하우스는 에너지 다소비형 건축물에 요구되었던 대형 기계설비를 축소시킴과 동시에 기계설비의 고효율화를 요구하므로, 건축설계와 건축설비분야의 새로운 소통과 통합의 중요성을 제시할 수 있다.

제3절 한국형패시브하우스개발의 경제적 효과

- 한국형 패시브하우스 개발은 정책적으로 2017년 주거용 신축건축물의 패시브하우스 성능 의무화 계획에 따라 필요한 전문인력 확보 및 필요한 자재시장 확대 등 요구되는 기반시설을 미리 예상할 수 있는 연구이며, 정책수행과정에서 시행착오로 인한 경제적 손실을 최소화할 수 있다.

- 한국형 패시브하우스의 보급이 이루어질 경우, 에너지절약형 건축물을 설계, 시공, 유지, 관리, 검증하기 위한 자재, 설비, 기계, 인력 등의 수요가 증가하여 에너지절약형 건축물 시장의 활성화가 예상되며, 고성능 건축자재 개발 및 국산화를 통해 보다 경제적 측면에서 경쟁력 있는 한국형 패시브하우스의 추가개발이 가능하다.

- 한국형 패시브하우스 개발에서 수행된 주택 쾌적성 분석과 에너지물가상승률에 따른 손익분기점에 대한 분석을 통해 주택 수요자로 하여금 한국형 패시브하우스에 대한 에너지절감으로인한 경제성 이외에 건강과 쾌적성에 대한 정확한 정보를 제공할 수 있기 때문에 에너지절약형 건축물 시장의 확대 및 활성화를 기대할 수 있다.

- 한국형 패시브하우스의 우수한 쾌적 성능은 사용자의 주거환경을 향상시키므로 장기적으로 부가가치 측면에서 연구되어야 할 당위성을 가지고 있다. 이러한 패시브하우스의 특징은 사용자로 하여금 에너지위기와 환경변화에 대응하고 적응할 수 있는 해법이 될 수 있을거라 기대하고 있다.

제4절 한국형 패시브하우스 개발의 정책적 효과

- 한국형 패시브하우스의 보급 및 추가연구를 위해 각 부처 및 관련연구기관의 전문가집단의 네트워크를 통한 협력관계 형성이 가능하다.

- 건축물의 에너지성능을 정량화할 수 있는 한국형 패시브하우스의 보급이 증가함에 따라 건축분야에서 이산화탄소 증가량에 대한 부하를 줄이고, 프로그램 CDM사업을 촉진 시킬 수 있는 계기가 될 수 있다.

- 신재생에너지 이용에 대한 경제적인 기준을 제시하고, 사용량 및 회수기간에 대한 정확한 자료를 구축하여, 사용자의 신뢰 및 수요를 높임으로서 신재생에너지 관련정책의 올바른 수행이 가능하다.

- 건축물의 가치를 정량화된 에너지 사용량으로 평가할 수 있는 기준을 제시하고, 기존 건축물의 가치평가의 객관적 기준으로 활용될 수 있으므로 건축물 에너지소비 총량제 개선을 위한 기반연구로 사용될 수 있다.

- 설계 및 시공, 감리, 모니터링 등 건축전반적인 연구로 개발된 한국형 패시브하우스는 국내에너지절약설계기준의 목표를 제시하고, 한국형 패시브하우스뿐만 아니라 한국형 제로에너지 주택에 대한 제도적 기준 수립의 기초자료로 활용될 수 있다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 활용방안

1. 에너지 절약형 건축물의 참고자료로 활용

- 본 연구는 패시브하우스 건설에 참여하는 설계자와 시공자가 설계 가이드를 참고하여 기존 주어진 기술과 개발 기술 등을 활용하여 설계의 각 부문에서 협업이 효율적으로 이루어질 수 있다. 이를 통해 건축물에 각 기술을 효과적으로 적용하고 효율을 높여 건축물 에너지 절약이 최대한 가능하도록 한다.

- 또한 패시브하우스의 이해와 프로젝트 응용의 기초를 제시하고 실무자들이 에너지 절약형 건축물에 대한 지식기반을 확장하도록 도와줄 핵심적인 개념들을 제시했다. 프로젝트 참고자료로 꾸준히 활용할 수 있도록 에너지절약형 건축물 통합설계를 위한 필수자료들도 정리해 두었다.

2. 에너지 절약형 건축물 통합설계 로드맵

- 기존 설계과정은 일방향적인 건축주와 건축가 등 소수 그룹에서 초기 안이 결정되고 이후에 엔지니어링적 설계와 자재의 선택, 시공 프로세스로 이어져 선형적인 프로세스를 갖고 있으며 통합설계 프로세스는 설계 초기단계에서부터 관련된 여러 분야의 다양한 전문가들이 참여하여 이후에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 제시하고 여러 가지 이슈들을 고려하여 해결방안을 도출한다.

- 본 연구는 통합설계 과정을 중심으로 구성되기 때문에 각각의 실무자마다 자기만의 과정을 개발하도록 도와줄 하나의 로드맵으로 활용될 수 있다.

3. 중국시장으로의 경쟁력 확보

- 에너지 부족 문제 해결과 지속 가능한 발전을 위해 친환경 에너지 개발과 함께 에너지 절약이 강조되고 있다. 중국 전체 에너지 소비량 중 건축 에너지 소비량은 30% 이상이나 에너지 절약형 건축물의 비율은 5%에 불과하다.

- 중국 에너지 절약 산업의 70%는 공업 생산분야에 집중되어 있다. 에너지 절약형 건축분야에 진출한 중국기업은 매우 적으며 시장이 형성되고 있는 단계이다. 중국기업은 에너지 절약형 건축의 시공 전 설계와 시공 후 관리 분야 모두 취약하며 또한 에너지 절약형 건축에 대한 신기술 신소재 응용 능력이 부족해 기술개발이 사용화로 이어지지 못하고 있다.

• 본 연구를 비롯하여 에너지 절약형 건축물에 대한 연구가 지속적으로 진행이 된다면 아시아에서 선도적인 위치에 설 수 있으며 해외 시장에서 경쟁력 확보가 가능하다.

4. 에너지 절약형 건축물 발전방향 모색

• 건축물 에너지 절약을 위해 정책이 강화되고 있으며, 건축설계 분야와 시공분야에는 에너지 절약형 건축물을 위한 기술들을 개발해 실용화하는 연구 부서를 신설하거나 확대하고 있다.

• 패시브하우스 인증 시제품 제작 및 에너지, 쾌적성 모니터링을 통하여 국내 정책과 기술 현황을 파악하고 에너지 절약형 건축물 통합설계를 위한 정책방향 및 새로운 공법의 건축기술과 건축자재의 발전 방향을 모색할 수 있다.

5. 2017년 패시브하우스 수준 건축물 에너지 성능 국가로드맵

• 본 연구에서는 2017년 독일 수준의 한국형패시브하우스 보급에 박차를 가하고자 연구의 목적을 제시하였고, 목표하는 수준의 주택을 추가적인 지원 없이 건축주를 설득하여 2013년 프로젝트를 완료하였으므로, 기술적인 부분에서 패시브하우스 기준을 달성하는 것은 가능하다.

• 국내 재료만으로는 패시브하우스연구소(PHI)에서 인증하는 패시브하우스 인증을 달성하기 어려우며, 기준달성 국내제품이 상용화되지 않거나 성능개선이 충분히 이루어지지 않아 국외자재를 수입하여 사용하기 때문에 초기비용에 대한 부담이 있을 수 있다. 따라서 2017년 신축건축물을 패시브하우스 수준으로 상향하기 위해서는 국내 자재 성능 및 기준을 조정하여 시장을 형성하는 것이 필요하다.

제2절 추가연구의 필요성

1. 국산자재 에너지성능 데이터베이스 구축

• 현재 국내에서 유통되는 국산건축자재는 에너지절약형 주택계획과정에서 실행되는 에너지 및 열교시뮬레이션에서 요구하는 건축자재의 물리적 정보를 충분히 제공하지 못하고 있다.

• 그에 따른 결과는 계획단계에서의 에너지성능예측과 실제 건축물의 에너지성능의 오차를 발생시키는 원인중 하나로 파악된다. 그러므로 국가차원에서 정확한 건축자재가 제공해야 하는 물리적 성능 항목을 도출하고, 그에 따른 자재 및 설비의 정보수집 및 공유가 원활히 이루어질 수 있도

록 추가연구가 수행되어야 한다.

2. 제로에너지 주택기술 개발

- 기후변화에 대응하기 위한 건축물분야 국내정책의 목표는 2025년 신축주거건축물의 제로에너지주택 의무화이며, 제로에너지 주택을 구현하기 위해 선행되어야 하는 것이 본 연구를 통해 설계 및 시공 된 한국형 패시브하우스이다.

- 이와 더불어 에너지요구량을 최소화 한 한국형 패시브하우스와 국내 기후 및 지역조건에 따른 최적화된 신재생에너지 적용에 대한 연구를 통해 제로에너지 주택구현을 위한 기술개발이 이루어진다면 2025년 신축주거건축물의 제로에너지의무화 뿐 아니라 단지, 도시의 에너지효율화 기술개발에 연계될 수 있다.

3. 에너지절약형 주택 계획을 위한 국내기후분석연구

- 한반도는 3면이 바다에 접하며 편서풍의 영향을 받는다. 또한 국토의 2/3이 산지로 형성되어 이 모든 조건들이 넓지 않은 국토의 기후를 형성하고 있어 건축물의 에너지절약 설계기준에서 정하는 중부 남부 제주도로 한국의 기후를 구분하기는 어렵다.

- 실제로 에너지절약형 건축물 계획단계에서 수행되는 에너지시뮬레이션에는 구체적이고 정확한 기후정보가 입력될 때 건축물의 에너지사용 예측값과 실측값의 오차를 줄일 수 있으며 독일의 경우 전체 국토를 17개의 기후구로 상세히 구분하고 그에 따른 정보를 구축하고 있다.

- 국내에서도 에너지절약형 건축물의 보급을 위해서는 사용자가 기후관련 정보를 유용할 수 있도록 기후구분 및 관련데이터를 구축하기 위한 연구가 필요하다.

4. 한국형 패시브하우스 보급을 위한 금융지원정책 연구

- 에너지절약형 건축물 관련시장 활성화와 보급화는 순차적으로 이루어질 수 없으며 상호작용을 통해 상승효과를 기대할 수 있으므로 현재 소수의 수요자에게 금융지원 정책을 통해 선순환 고리를 형성하는 것이 정책적으로 필요한 시기이다.

- 한국형 패시브하우스는 일반주택과 비교하여 초기 투자비용이 상승하게 되며 이는 수요자로 하여금 한국형 패시브하우스의 계획 및 시공여부에 대한 의사결정을 좌우하는 주된 요인이다. 따라서 이와 관련된 금융지원정책을 통해 보급활성화가 필요하다.

- 에너지절약형 건축물은 국가정책과 더불어 확대될 예정이며 이에 따라 관련된 건설 및 금융시장이 상호발전 할 수 있도록 금융상품 및 정책에 대한 연구가 현 시점에서 이루어야 한다.

- 따라서 기후변화에 대응하는 건축물분야 국가로드맵 정책 단계 및 에너지절약형 건축물 시장 형성의 각 단계에 적합한 금융지원정책에 대한 추가연구가 필요하다.