

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000587-01

고단열 목질 건축재료의 건물에너지 절감 기여도 평가

(Evaluation of contribution for high-insulation
wood-based building materials to reduce building energy)

송실대학교

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고단열 목질 건축재료의 건물에너지 절감 기여도 평가” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 10 월 15 일

주관연구기관명 : 숭실대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김 수 민

세부연구책임자 : 김 수 민

연 구 원 : 서 정 기

연 구 원 : 이 정 훈

연 구 원 : 정 수 광

연 구 원 : 유 슬 기

연 구 원 : 서 현 정

연 구 원 : 장 성 진

협동연구기관명 : (주)미래환경플랜

협동연구책임자 : 안 형 준

요 약 문

I. 제 목

고단열 목질 건축재료의 건물에너지 절감 기여도 평가

II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 1차 에너지 소비량은 해마다 증가하는 추세이며, 2009년도 에너지 수입의존도는 96.4%에 이르고 있다. 건물 부문의 에너지 사용량은 전체의 20%에 해당하며, 선진국의 건물 부문 에너지 사용량이 40% 정도인 것을 감안할 때 우리나라도 향후 건물에서 사용되는 에너지가 증가할 것으로 생각된다.

건물에서 사용되는 에너지를 줄이기 위하여 국내·외에서 많은 연구 및 규제 정책이 진행 중이며 우리나라 또한 2025년까지 제로에너지하우스 수준의 그린홈을 보급할 예정이다. 또한, 이산화탄소의 배출 감축 역시 중요한 문제로 대두되고 있으며 우리나라는 세계 11번째 배출국으로 에너지 절약을 통한 이산화탄소 배출의 감축도 중요한 문제이다.

건축물에서 에너지를 절감하는 방법으로 가장 중요한 부분이 벽체 단열성능의 강화로서 목재는 낮은 열전도율, 높은 강도, 이산화탄소 고정 등의 다양한 장점으로 이미 유럽, 미국 등의 많은 주택이 목조로 지어지고 있다. 국내에서도 목조 주택이 점점 늘어나고 있으나 아직 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 목재를 건축재료로 활용하여 건물 냉난방 에너지의 저감 성능을 확인하고 높은 단열 성능을 가진 목재의 건물 적용 가이드라인 제시를 목표로 하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발의 범위는 크게 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용한 목질재료의 에너지 절감 성능 확인, 고단열성능의 목질마감재 개발, 목질 제품의 건축 부위별 적용 시 최소 기준 및 가이드라인 제시이며 세부 내용은 다음과 같다.

(1) 목재 수종의 열전도율 평가 및 고단열 실내마감재 제작

- ① 국·내외 열관류율 측정방법 조사 및 검토
- ② 시뮬레이션 프로그램 적용을 위한 목재의 열전도율 DB 구축
- ③ 목재의 열전도율 차이에 따른 건축물 에너지 부하 비교
- ④ 목질기반의 고단열 실내마감재 proto type 제작

- (2) 목질 재료의 건물에너지 절감 효과 평가 방법 구성 및 선정
 - ① 국내외 건물 에너지 관련 제도 분석
 - ② 시뮬레이션 평가 틀 및 평가방법 결정
 - ③ 목질 재료와 비목질 재료의 열성능 비교 평가
- (3) 목질기반 제품의 열차단 우수성 확인
 - ① 목질마감재 제품의 단열성능 평가
 - ② 실내환경에서의 에너지 저감 성능 확인
 - ③ 고단열 목질 마감재를 적용한 실내환경 구성 방안 도출
- (4) 목질 제품의 건축 부위별 적용시 최소 열성능 기준 및 목질 제품 가이드 라인 제시
 - ① 목질 제품의 종류 및 제품별 활용범위 도출
 - ② 목구조 이질재료 복합 부위의 계산 방법 도출
 - ③ 목질 제품의 활용에 따른 건물에너지 절감기여도 평가
 - ④ 건축 부위별 열성능 기준 및 적용 가이드 라인 제시

IV. 연구개발결과

- (1) 국내·외 건물 에너지 관련제도 및 열성능 평가방법 분석완료
 - ① 미국·영국·독일의 에너지 관련 제도 분석
 - ② 국내 건물에너지 관련 제도 분석
 - ③ 건물에너지 해석 프로그램을 동적·정적으로 구분하여 분석을 완료하였으며 본 과제를 진행하기 위한 최적의 프로그램을 선정
 - ④ 전열 성능 평가 방법 및 최적의 평가 프로그램을 선정
- (2) 수종별 열전도율 데이터 베이스 구축 완료
 - ① 목질 수종에 따른 분류 및 각 시뮬레이션 프로그램의 열전도율 데이터 베이스 분석
 - ② 시뮬레이션별 목재의 열전도율 차이에 의한 에너지 성능 분석
 - ③ 국내외 열관류율 측정방법 분석
 - ④ 약 60여종의 목재의 열전도율 DB 구축
- (3) 목질재료와 비목질 재료의 열성능 비교
 - ① 국내·외 사례 조사를 통한 건축 부위별 목재의 활용범위 조사
 - ② 콘크리트 구조, 목구조, 목질 마감, 비목질 마감 등의 변수를 놓고 비교를 통한 전열량 및 열교 분석 결과를 제시
- (4) 목구조 재료 복합부위 열성능 계산방법 도출
 - ① 회귀분석 결과를 통한 회귀식을 도출 및 검증
 - ② 도출된 식을 통해 목구조 열관류율 계산 프로그램 개발

(5) 목질기반 고단열 실내마감재 Proto-type 제작

- ① Fumed silica를 적용한 합판을 제조하여 기존 대비 30%의 단열성능 향상
- ② Fumed silica를 적용한 PB를 제조하여 기존 대비 29%의 단열성능 향상

(6) 목질제품의 에너지 절감 기여도 평가 및 부위별 열성능 기준 제시

① 남부지방과 중부지방의 열성능 기준에 따른 벽 부위 구성안을 제시하였으며 기존 대비 25%의 절감이 가능함.

(7) 목질 제품 적용 가이드 라인

- ① 각 재료의 최적 적용방법 및 열성능 기준에 따른 벽체 구성 제시
- ② 열교방지를 위한 시공 디테일 제시

V. 연구성과 및 성과활용 계획

본 연구를 통하여 국내 특허 출원 1건, 소프트웨어 등록 1건의 지식재산권의 성과를 달성하였으며, 5건의 논문과 9건의 활발한 학술발표를 통하여 2명의 인력양성을 실시하였다. 향후 본 연구의 결과를 목조주택의 설계 및 시공과 건축물 실내에 목질 자재 적용 시 이용하여 건축물의 에너지 절감 및 목재산업의 확대에 기여하도록 활용할 계획이다.

SUMMARY

With increasing world energy crisis, energy consumption in building sector which contributes majority of domestic energy consumption has become important. In particular, research have been conducted on the energy-saving using wood which has low thermal conductivity, carbon dioxide fixation, high wood with high rigidity.

However, relatively small amount of wood-based product has been used compared to other countries. In this study, energy efficiency of high performance wood-based buliding materials was evaluated and application guidelines were presented. Main purpose of this study is to comparison of domestic and foreign building energy analysis systems and thermal performance criteria, thermal performance evaluation of wood species used for building materials, and building energy saving performance of wood and non-wood materials. Also, optimal application method for wood finishing materials and application guidelines were presented. Through this study, database of thermal conductivity of 60 kinds of wood species has been set and plywood and particle board with low thermal conductivity were fabricated using fumed silica. Through the walls and roof design in central and southern region, it was confirmed that wood-based material showed 25% reduction of heating energy consumption compared to non-wood materials. The standard and guidelines for building energy efficiency were presented and these results contribute the future of the timber industry and building energy saving.

CONTENTS

Chapter. 1	Introduction	10
1. 1	Necessity of research	10
1.1.1	Domestic building energy consumption and problem	10
1.1.2	Existing research and necessity of simulation tool	15
1.1.3	Assessment method for thermal performance of wood-based products	19
1.1.4	Necessity of technology development	21
Chapter. 2	Domestic and foreign research	25
2. 1	Analysis of Domestic and foreign research	25
2.1.1	Comparison with domestic and foreign research status	25
Chapter. 3	Performance analysis and results	31
3. 1	Domestic and foreign building energy efficiency standard and assessment tools for thermal performance	31
3.1.1	Domestic and foreign building energy efficiency standard	31
3.1.2	Assessment method for building energy consumption	42
3.1.3	Assessment method for heat transfer performance	56
3.1.4	Conclusion	61
3. 2	Collection of wood species used for building material and analysis of thermal performance	62
3.2.1	Classification of wood materials and comparison of performance	62
3.2.2	Thermal conductivity database of wood species	78
3.2.3	Conclusion	95
3. 3	Comparison of thermal performance of wood materials and non-wood materials	96
3.3.1	Utilization and application of wood in buildings	96
3.3.2	Comparison of thermal performance of wood materials and non-wood materials	112
3.3.3	Conclusion	142

3. 4 Calculation of thermal performance of wood structure system.....	144
3.4.1 Concept and calculation logic of thermal transmittance of wood structure.....	144
3.4.2 Regression analysis of thermal transmittance.....	146
3.4.3. Development of thermal transmittance calculation program of wood structure	154
3.4.4 Conclusion.....	158
3. 5 Development of proto-type for high insulation wood-based finishing material and performance anaylsis.....	159
3.5.1 Fabrication of proto-type for high insulation wood-based finishing material...	159
3.5.2 Energy saving effect of high insulation wood-based finishing material.....	166
3.5.3 Conclusion	174
3. 6 Energy saving effect of wood-based material and thermal performance strandard by building components.....	175
3.6.1 Energy saving effect of wood-based material by building components	175
3.6.2 Minimum thermal performance standard of wood-based material.....	187
3.6.3 Configuration of wall according to the thermal performance standard	196
3.6.4 Conclusion.....	202
3. 7 Guideline for application of wood-based material	204
3.7.1 Application guideline of wood-based material by building components	204
3.7.2. Wood structure design Guideline for energy saving.....	208
3.7.3 Detail design for prevention of thermal bridge and high insulation performance...	211
Chapter. 4 Achievement of goal and contribution for related fields.....	215
4. 1 Achievement of goal.....	215
4. 2 Contribution for related fields	216
Chapter. 5 Results of research and plans for outcome application.....	217
5. 1 Results of research.....	217
5.1.1 Patented formula.....	217
5.1.2 Paper results.....	218
5.1.3 Education results.....	219
5. 2 Plan for future study.....	220
Chapter. 6 Foreign scientific technology founded from research process.....	222
6. 1 Foreign scientific technology.....	222

6. 2 Consideration of foreign study.....	224
Chapter. 7 Reference.....	227

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	10
1. 1	연구개발의 필요성	10
1.1.1	국내 에너지 소비현황의 문제점 및 개선의 필요성	10
1.1.2	기존 연구 및 시뮬레이션 기술개발의 필요성	15
1.1.3	목질제품의 열적 성능 평가방법 도출	19
1.1.4	기술개발의 필요성	21
제 2 장	국내외 기술개발 현황	25
2. 1	국내·외 기술개발 현황 분석	25
2.1.1	본 연구관련 국내외 기술수준 비교	25
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	31
3. 1	국내·외 건물 에너지 관련제도 및 열성능 평가방법 분석	31
3.1.1	국내·외 건물 에너지 관련제도 조사	31
3.1.2	건물에너지 평가방법 조사	42
3.1.3	전열성능 평가방법 조사	56
3.1.4	소 결	61
3. 2	건축 자재로 활용 가능한 목재 수종 수집 및 열성능 분석	62
3.2.1	목질 자재의 분류 및 성능 비교	62
3.2.2	목재의 수종별 열전도율 DB 구축	78
3.2.3	소 결	95
3. 3	목질재료와 비목질 재료의 열성능 비교	96
3.3.1	건물에서의 목재의 활용범위 및 적용방안	96
3.3.2	목질재료와 비목질재료의 열성능 비교	112
3.3.3	소 결	142
3. 4	목구조 재료 복합부위 열성능 계산방법 도출	144
3.4.1	목구조의 상당열관류율 개념 및 계산 로직 정의	144
3.4.2	상당 열관류율 계산 회귀식 도출	146
3.4.3	목구조 열관류율 계산 프로그램 개발	154
3.4.4	소 결	158
3. 5	목질기반 고단열 실내마감재 Proto-type 제작 및 성능 분석	159
3.5.1	목질기반 고단열 실내마감재 Proto-type 제작	159

3.5.2	목질기반 고단열 실내마감재의 실내적용시 에너지절감량 분석	166
3.5.3	소 결	174
3. 6	목질제품의 에너지 절감 기여도 평가 및 부위별 열성능 기준 제시	175
3.6.1	목질제품의 부위별 적용에 따른 에너지 절감 기여도	175
3.6.2	목질제품의 부위별 최소 열성능 기준	187
3.6.3	열성능 기준에 따른 부위별 벽체 구성안	196
3.6.4	소 결	202
3. 7	목질 제품 적용 가이드라인	204
3.7.1	목질제품의 건축 부위별 적용 가이드라인	204
3.7.2	에너지절감을 위한 목구조 설계 가이드라인	208
3.7.3	열교방지 및 단열성능 향상을 위한 상세설계 가이드라인	211
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	215
4. 1	목표달성도	215
4. 2	관련분야에의 기여도	216
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	217
5. 1	연구개발 성과	217
5.1.1	특허 기술	217
5.1.2	논문 성과	218
5.1.3	교육성과	219
5. 2	타 연구에 활용 계획	220
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	222
6. 1	해외 과학기술 정보	222
6. 2	해외 연구 문헌 고찰	224
제 7 장	참고문헌	227

제 1 장 연구개발과제의 개요

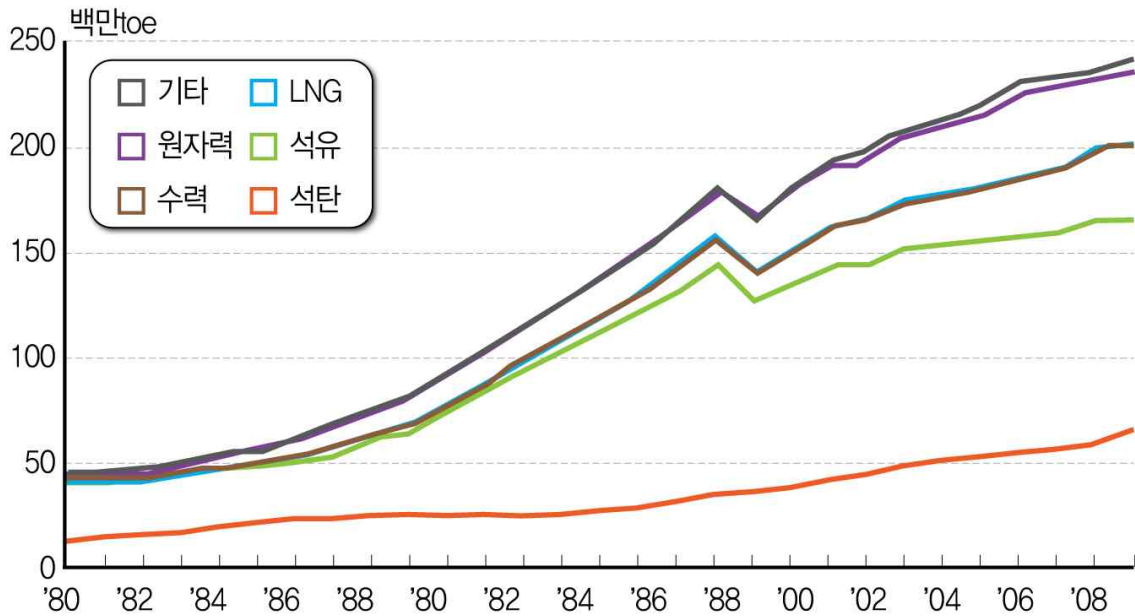
1. 1 연구 개발의 필요성

1.1.1 국내 에너지 소비현황의 문제점 및 개선의 필요성

가. 국내 에너지 소비현황의 문제점

(1) 에너지 소비량의 증가

우리나라의 1차 에너지 소비량은 해마다 증가하는 추세이며 <그림 1.1.1-1>, 2009년도 에너지 수입의존도는 96.4%에 이릅니다. 관세청의 2008년도 상반기 에너지 수입동향 분석 자료를 보면, 에너지 수입액이 전년대비 62% 증가한 702억불을 기록했으며, 전체 수입액에서 에너지수입의 비중이 총 32%를 차지하고 있다 [표 1.1.1-1].



<그림 1.1.1-1> 에너지원별 1차에너지 소비량 추이

[표 1.1.1-1] 총 수입액 대비 에너지 수입 비중

(단위 : 억불)

구 분	' 04년	' 05년	' 06년	' 07년	'07.1~6월	'08.1~6월
전 체 수입액	2,245	2,612	3,094	3,568	1,699	2,198
에너지 수입액	496	667	856	950	433	702
구 성 비	22.1%	25.5%	27.7%	26.6%	25.5%	31.9%
증감률(%)	-	15.4%	8.6%	△9.6%	△9.0%	25.1%

[표 1.1.1-2]. 주요 에너지류 연도별 수입실적

(단위 : 억 달러, 백만톤)

구분	' 04년	' 05년	' 06년	' 07년	'07.1~6월	'08.1~6월
금 액	496	667	856	950	434	702
(증감률)	(29.5%)	(34.5%)	(28.3%)	(11.0%)	(2.8%)	(61.8%)
중 량	236	234	247	256	128	135
(증감률)	(4.4%)	(-0.8%)	(5.3%)	(3.6%)	(3.1%)	(5.4%)

(2) 건물부문 에너지 사용량 비중 확대

가정·상업 분야의 에너지 사용량이 전체의 20%에 해당하며, <그림 1.1.1-2>는 부문별 에너지소비량 추이를 나타내며, 건물부문의 업종별 에너지 사용현황을 보면 아파트가 가장 많은 비중을 차지하고 있음. 아파트 부분을 보면 2000년 이후부터 에너지 사용량이 조금씩 감소되는 것을 볼 수 있다 [표 1.1.1-3]. 정부의 건축물 에너지 절감정책에 따라 그린홈의 성능기준이 강화되고 보급이 확대된다면 아파트에서의 에너지 절감량은 증가될 것으로 기대된다.



<그림 1.1.1-2> 서울시 부문별 에너지소비량 추이

[표 1.1.1-3] 건물 부문 업종별 에너지 소비량

(최종에너지, 천TOE)

구분	상용	공공	아파트	호텔	병원	학교	전화국	연구소	백화점	기타	계
2000	144	21	597	162	125	130	19	47	119	89	1,451
2005	244	102	564	192	193	217	26	82	252	99	1,971
2006	232	83	534	193	207	227	35	84	285	104	1,984
2007	275	90	516	211	213	240	36	85	284	104	2,055
2008	288	69	487	210	230	263	44	88	267	113	2,060

주) 건물부문 에너지소비량 중 「증기, 온수 등」을 제외한 값임

(3) CO₂ 배출 억제

[표 1.1.1-4]를 보면 전 세계적으로 큰 관심을 가지고 있는 온난화의 주범인 이산화탄소(CO₂)는 에너지 연소에 의한 배출량이 전체 온실가스 배출량의 대부분(84.3%)을 차지하며, 이 중에서 절반가량이 석유를 사용할 때 배출된다. 2007년 현재 우리나라는 에너지 연소에 의한 이산화탄소 배출이 세계 11번째로 전세계 배출량의 1.7%에 해당한다. 따라서 에너지 절약은 이산화탄소 배출 감축뿐 아니라 환경오염물질 배출을 감소시켜 지구환경을 개선하는데도 기여할 것이다.

[표 1.1.1-4] 이산화탄소 배출비중

구분	에너지	제조공정	농업,축산	폐기물	계
이산화탄소배출비중(% , 04년)	84.3	11.0	2.5	2.2	100

(4) 주거용 건물 에너지 절감 필요

가정용 에너지 용도별 소비에서 난방이 59.1%를 차지하고 있으며 [표 1.1.1-5], 주거 건물 외피의 단열성능을 향상하여 난방 부분에서 에너지 사용량을 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 정부에서는 건축물 에너지 절감정책을 추진하기 위해 '친환경 주택(이하 '그린홈')의 건설기준 및 성능'과 '건축물 에너지 효율등급 인증규정'을 제정하여 시행하고 있으며, 그린홈의 에너지 의무 절감율을 단계별로 진행하여 향후 2025년도에는 '제로 에너지 하우스'를 목표로 하고 있다. 현재 그린홈의 단열성능 최소 성능 기준을 [표 1.1.1-6]과 같이 제시하고 있으며, 단계별로 그린홈의 단열성능 최소 성능 기준을 강화하고 있다.



<그림 1.1.1-3> 그린홈 개념도 및 제로하우스

[표 1.1.1-5] 가정용 에너지 용도별 소비

(단위 : 천TOE, %)

구분	1990	1995	2000	2006	연평균 증감(%)
난방	12,800	12,637	13,412	12,665	-0.1
	(76.3)	(64.6)	(62.7)	(59.1)	
온수	763	2,600	2,911	2,545	7.8
	(4.5)	(13.3)	(13.6)	(11.9)	
취사	1,813	2,123	2,266	2,337	1.6
	(10.8)	(10.9)	(10.6)	(10.9)	
조명	457	657	798	858	4.0
	(2.7)	(3.4)	(3.7)	(4.0)	
전기기기	930	1,533	2,010	3,026	7.7
	(5.5)	(7.8)	(9.4)	(14.1)	
합계	16,769	19,550	21,397	21,431	1.5
	(100.0)	(100.0)	(100.0)	(100.0)	

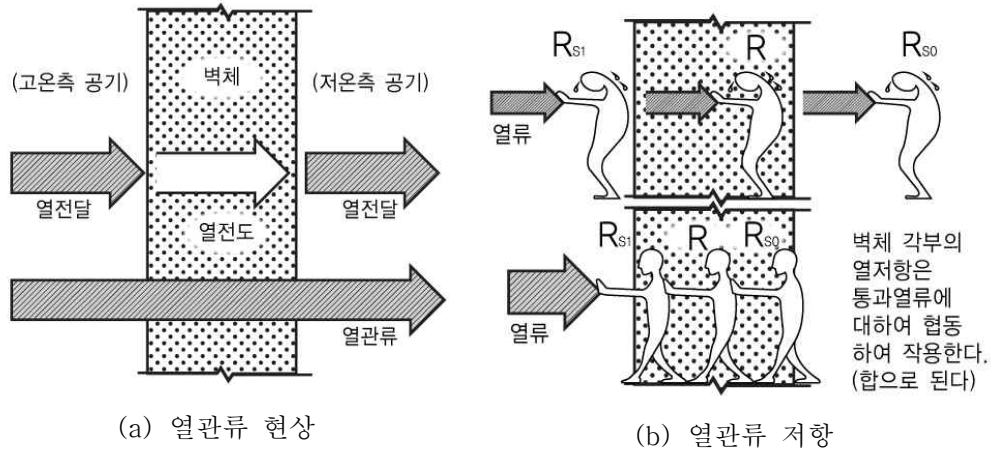
(5) 저탄소 그린홈의 탄생

○ 정부에서는 에너지 절감 및 이산화탄소 배출 저감을 위해 2012년부터 신축주택의 냉난방에너지의 50% 절감목표치를 세우고 있으며, 이는 2008년 단열기준의 2배 수준으로 강화하는 것이다. 특히 2012년부터 건축물 매매 및 임대 시 에너지 소비 증명서 첨부 의무화할 예정이며, 2017년부터 신축주택은 패시브하우스 수준으로 강화하여 에너지 성능을 60% 이상 개선하는 목표를 세워 실천하고 있고, 향후 2025년부터는 제로에너지하우스 수준의 그린홈을 보급할 계획이다. 따라서 주거건물의 에너지 효율 기술개발이 중요한 과제이며, 현재 국내외적으로 저에너지 저탄소 그린홈에 대한 관심 증가 및 관련 요소기술개발 활발하게 진행되고 있다.

○ 그린홈 보급과 관련하여, 최근 정부에서는 에너지 절약형 보급자리와 ESCO등의 정책을 추진하고 있으며 이에 따른 건축물에 대한 국가적인 에너지 소비 절감을 유도하고 있는 추세이다. 에너지 절약형 보급자리는 단열성능 강화나 신재생 에너지를 사용하는 것을 신축 건축물의 대해서 권고 사항으로 지정 하였으며, 기존 건축물에 대해서는 ESCO 사업의 지원을 통하여 에너지절약 개보수를 유도하고 있다. 이에 따라 신축 및 개보수 건축물에 대한 단열 성능 강화 방안과 부합하여 목재에 대한 적용이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 사업과 관련하여 정부에서는 2012년 이후 매매, 임대되는 건축물에 대하여 「에너지소비증명서」 발급의 의무화를 통해 민간의 자발적인 참여를 유도 할 예정이다.

○ 열관류란 고체벽 양쪽의 기체나 액체의 온도가 다를 때, 고체벽을 통해서 고온측에서 저온측으로 열이 흐르는 현상을 말하며, 벽·천장·마루·파이프 등 고체벽을 사이에 두고 양쪽의 기체나 액체의 온도가 다를 때, 고체벽을 통해서 고온측에서 저온측으로 열이 흐르는 현상을 말한다. 열관류의 이동과정은 고온측 고체표면으로부터의 열전달, 고체 내 열전도, 저온측 고체표면으로부터 열전달의 순으로 일어나며, 열관류에 의한 관류열량의 계수를 열관류율이라고 하는데, 고체벽의 양쪽 유체가 단위온도차일 때, 단위시간에 단위표면적을 지나 한쪽 유체에서 다른 쪽 유체로 흐르는 열량을 나타낸다. 기호는 K 또는 U를 사용하며, 단위는 kcal/m²h°C을 사용한다<그림 1.1.1-4>. 단위면적의 재료가 가지고 있는 열관류율이 낮을수록 건축물의 단열성능이 높아지게 되며, 친환경주택, 에너지 절감형 건축물을 구성하기

위해서는 낮은 열관류율의 고효율의 단열재가 필수적인 요소이며, [표 1.1.1-6~7]과 같은 SAP 등급 구분과 같은 성능을 요구 하고 있다. 목재가 가지고 있는 낮은 열전도율을 이용한 목질재료로 실내환경을 구성한다면 보다 단열성능이 강화된 주거환경을 구성 할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 1.1.1-4> 열관류율 개념도

[표 1.1.1-6] 친환경주택의 단열성능 기준(친환경주택 건설기준 및 성능평가지침)

부 위		평균열관류율 기준(W/m ² K)		
		북한지, 중부	남부	제주
외 벽	외기 직접 면함	0.30 이하	0.37 이하	0.55 이하
	외기 간접 면함	0.40 이하	0.55 이하	0.70 이하
층 벽		0.22 이하	0.30 이하	0.37 이하

[표 1.1.1-7] 평가기준 주택의 부위별 열관류율 (친환경주택 건설기준 및 성능평가지침)

(단위 : W/m²K)

부 위		지 역	북한지역 및 중부지역	남부지역	제주도
거실외벽		외기에 직접면함	0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
		외기에 간접면함	0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층의 거실의 반자 및 지붕		외기에 직접면함	0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
		외기에 간접면함	0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층의 거실의 바닥	외기에 직접면함	바닥난방인경우	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		바닥난방이아닌경우	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기에 간접면함	바닥난방인경우	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		바닥난방이아닌경우	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
층벽			0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하
창 및 문		외기에 직접면함	3.00 이하	3.30 이하	4.20 이하
		외기에 간접면함	4.30 이하	4.70 이하	6.00 이하

(6) 저탄소 그림홈 구현을 위한 목재의 역할 기대

현재 정부에서 추진 중인 친환경 저에너지 건축기술개발, 친환경 건축자재 생산관련 저탄소 기술개발이 핵심기술 중 하나이며, 이에 따라 국내 관련 업계에서 요소기술에 대한 개발

및 요소기술의 건물 적용성에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 재료적 측면에서의 기술개발 분야에서도 단열재를 중심으로 이루어지고 있지만, 자연재료를 활용한 저에너지 건축기술개발은 미흡한 실정이다. 특히 목재의 에너지 절감 요소기술 개발은 미흡하며, 이러한 상황에서 목재 수종에 따른 정확한 열성능을 측정하고, 에너지 절감 기여도 평가방법론을 도출하게 되면 목재를 적용한 에너지 절감 요소기술 개발이 활발해질 것으로 예상된다.

[표 1.1.1-8] 재료별 열전도율 비교

재 료	열전도율(W/m · K)
목재(편백)	0.082
합판(Plywood)	0.12~0.14
경질섬유판(Hardboard)	0.11~0.13
삭편판(Particle board)	0.13~0.14
목재-시멘트 삭편판(Wood-cement particleboard)	0.35
콘크리트	1.3
구리(Copper)	400
알루미늄(Aluminium)	201

* 출처 : 한국목재공업협동조합 및 목재공학회

1.1.2 기존 연구 및 시뮬레이션 기술 개발의 필요성

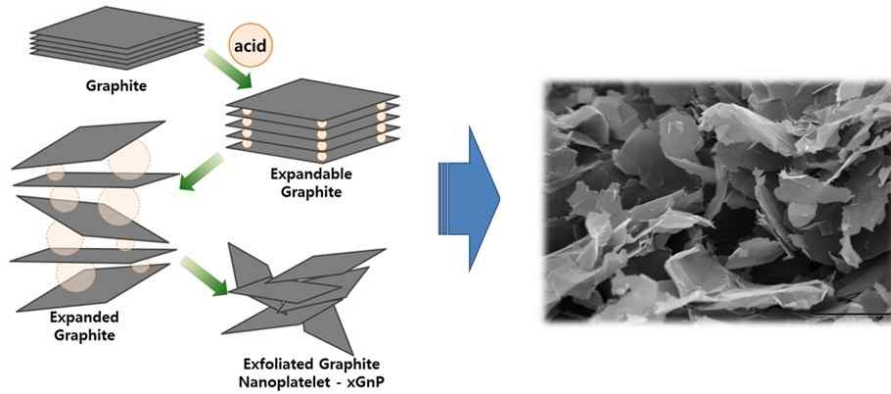
본 연구를 제시하기 이전에, 본 연구자는 국내 주거환경에서 목질마루바닥재의 열전도율을 향상시키기 위하여, 기존 연구로 농림기술개발사업의 고 에너지 효율형 목질 마루바닥재 개발”을 진행하고 있으며, 그 내용은 아래와 같다.

목재 원목 및 목질재료는 높은 단열성능을 지닌 재료로써 실내 내장재로 적용하였을 시 높은 단열성능을 나타낼 것으로 기대되나, 바닥복사 난방을 주로 사용하는 국내의 주거 환경에서 강화마루, 합판마루 등의 목질마루바닥재는 난방열의 실내 유입을 차단하는 역할을 차단재의 역할을 되므로, 이에 대한 해결방안으로 열전도율이 향상된 HDF 및 부자재를 개발하였으며, 기존 목질마루바닥재의 단점을 극복하고, 난방열의 실내 유입이 용이하게 된 것을 개발된 제품의 열전도율 측정을 통하여 확인하였다.

가. 열전도율 개선 소재

목질마루바닥재의 열성능을 개선하기 위하여 다양한 재료의 적용 가능성을 시험한 결과

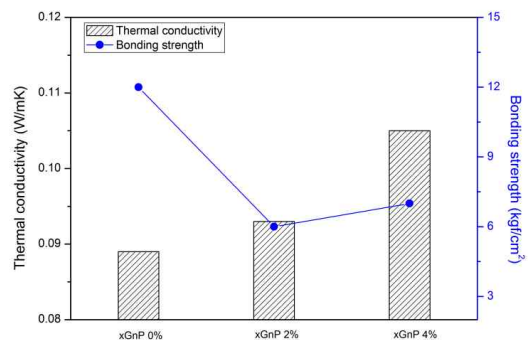
Graphite가 가격 및 분산성능 열전도율 등 다양한 부분에서 높은 성능을 보였으며 그 중에서도 분산성능이 높은 exfoliated graphite nanoplatelets(xGnP)가 선정되었다. <그림 1.1.2-1>은 xGnP의 개질과정으로 일반적인 natural graphite를 산처리, 폭쇄 마지막으로 파쇄 과정을 거쳐 graphite를 나노 사이즈로 가공하는 과정을 보여주고 있다.



<그림 1.1.2-1> Exfoliated graphite nanoplatelets의 개질방법 모식도



<그림 1.1.2-2> 열전도율 개선 HDF



<그림 1.1.2-3> 열전도율 개선 HDF의 xGnP 투입량에 따른 접착강도 및 열전도율

나. 열전도율 개선 강화마루 및 부자재

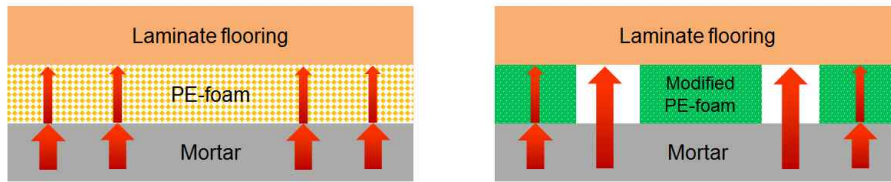
(1) 열전도율 개선 강화마루

열전도율 개선 물질인 xGnP를 통하여 강화마루의 열전도율을 향상하기 위해 강화마루의 코어 재료인 HDF의 제조 과정에 xGnP를 투입하여 투입량에 따른 열전도율의 변화를 살펴 보았다. 실험의 결과로 fiber 질량 대비 4%의 xGnP를 투입한 결과 기존의 HDF보다 15%이상의 열전도율 개선 성능을 보였다.

(2) 열전달성능 개선 부자재

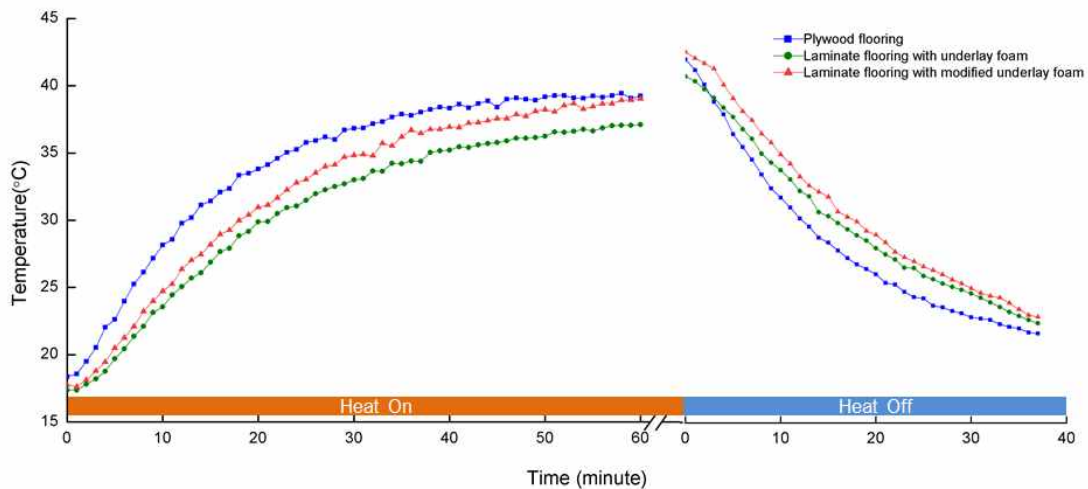
강화마루와 바닥 사이에 시공되는 PE-foam의 열성능 개선 또한 진행하였다. PE-foam은 강화마루 시공 시의 바닥 높낮이 차이와 충격음 등을 줄이기 위하여 시공이 되지만 PE-foam 내부의 미세공극으로 인하여 난방열을 막는 단열재의 역할을 하게 되어 바닥으로

부터 전달되는 열의 전달을 막는 단점을 가지고 있었다. 따라서 기존의 PE-foam에 일정한 간격으로 타공을 하여 바닥에서 강화마루로 열이 바로 전달될 수 있도록 개선을 함으로써 난방 시 실내로의 열전달 성능을 높이고자 하였다.



<그림 1.1.2-4> PE-foam과 타공 PE-foam의 열전달 방식 모식도

<그림 1.1.2-5>의 개선된 PE-foam의 열전달 성능을 살펴보면 기존의 PE-foam의 경우 35℃까지의 도달시간이 53분이 걸린 반면 개선된 PE-foam은 42분으로 25% 이상의 열전달 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있다.



<그림 1.1.2-5> PE-foam과 타공 PE-foam의 열전달 방식 비교

(3) 열전도율 개선 합판마루 및 접착제

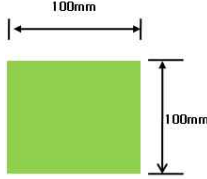
합판마루의 열성능을 개선하기 위하여 합판마루의 veneer의 접합을 위해 사용되는 접착제의 열전도율을 높이고자 하였으며 아래 <그림 1.1.2-6>는 xGnP를 투입한 합판마루 제조용 접착제를 통하여 제조한 합판을 보여주고 있으며 합판의 접합 부위에 xGnP의 투입으로 인하여 검게 변한 것을 볼 수 있다. [표 1.1.2-1]은 열전도율 개선 접착제로 제조한 합판의 열전도율을 나타내고 있으며 대조군과 비교하여 5%의 xGnP가 들어간 합판의 열전도율은 0.124W/mK에서 0.137W/mK으로 10.5%의 상승을 보이고 있으며 veneer의 사이에 소량의 접착제를 통해 적용하였지만 비교적 높은 상승률을 보이는 것을 알 수 있다.



<그림 1.1.2-6>
열전도율 개선 합판마루

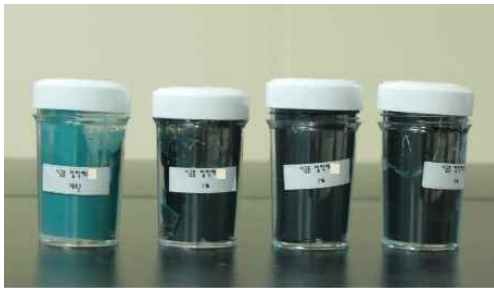
[표 1.1.2-1] 열전도율 개선
접착제로 제조한 합판의 열전도율

배합비	대조군	1%	3%	5%
열전도율 평균값 (W/mK)	0.124	0.127	0.131	0.137
향상률	-	2.42%	5.65%	10.48%



(4) 열전도율 개선 합판마루 시공용 접착제

합판마루에서는 강화마루와 달리 접착식 시공방식으로 건물에 적용을 하고 있으므로 합판마루의 열전도율 개선과 함께 마루 시공용 접착제의 열전도율 개선 또한 진행하였다. 국내에서 쉽게 구할 수 있는 마루 시공용 에폭시 접착제에 xGnP를 투입하여 실험한 결과 [표 1.1.2-2]와 같이 대조군과 비교하여 20%의 열전도율이 상승한 것을 확인할 수 있었다.



<그림 1.1.2-7> 열전도율 개선 시공용
에폭시 접착제

[표 1.1.2-2] 마루 시공용
에폭시 접착제의 열전도율

배합비	대조군	1%	2%	3%
주제	100g	100g	100g	100g
경화제	100g	100g	100g	100g
Exfoliated Graphite	-	2g	4g	6g
열전도율 평균값 (W/mK)	1.043	1.113	1.197	1.255
향상률	-	6.7%	14.7%	20.3%

(5) 목질 파생제품의 열전도율 변화

기존의 연구를 통하여 같은 목질제품이지만, 건축물에서의 적용 부위 및 목적에 따라 재료의 열전도율을 개선 혹은 낮춰야, 에너지 고효율적인 목질제품의 적용이 가능한 것을 확인하였다. 또한, 목질마루바닥재의 부자재 형태별, 첨가제로 인하여 열전도율이 개선된 것을 확인하였으며, Mock-up test를 통하여 난방 시 실내공간으로의 열전달 성능이 향상된 것을 확인하였다.

(6) 목질제품 에너지 효율 평가 개선의 필요성

Mock-up test를 통하여 개발된 제품의 열전달 성능을 확인하였지만, 실질적으로 건축물에 적용하여 평가하기에는 많은 비용이 필요하며, 1년 이상의 장기간에 걸친 에너지 절약 성능은 확인이 어렵다.

본 연구자는 시뮬레이션을 통하여 개발된 제품의 장기간에 걸친 에너지 절약 성능을 확인하고자 하였으나, 현재의 시뮬레이션 틀은, 각각의 목재 수종별, 파생상품별로 제품의 열전도율을 제시하지 않으며, 일반적인 목재의 열전도율을 적용하고 있음을 확인하였다. 따라

서, 건축물에 각기 다른 열성능을 지닌 제품을 적용하더라도, 현재의 시뮬레이션 틀은 실질적인 에너지 부하를 제시하지 못 할 것으로 판단되었다.

1.1.3 목질제품의 열적 성능 평가방법 도출

○ 목질기반 고 단열 인테리어 제품의 성능분석 수단 및 방향 :

목질기반의 고단열 혹은 열전도율이 개선된 제품의 에너지 효율 검증을 위해, 실제 건물을 구현하여 일정한 기간 동안 에너지 성능을 실측하는 것이 가장 신뢰도가 높은 결과를 도출할 수 있지만, 연구의 한정된 기한과 물리적 조건으로 실제 건물을 구현하여 성능을 검토하는 것은 한계가 있다. 그렇기에 많은 기존 연구에서도 콘크리트나 철골조 등 건축 구조체의 에너지 성능을 Computer Simulation을 이용하여 분석하였다. 따라서, 본 연구를 통해 구축될 목질제품의 열전도율 DB를 시뮬레이션 틀에 활용하여 에너지 시뮬레이션간 비교 분석하고, 목질재료에 적합한 시뮬레이션을 선정하여 에너지 절감성능을 분석하고자 한다.

○ 현재 국내에서 범용되는 건물 에너지 성능 분석 틀은 [표 1.1.3-1]과 같으며, 본 연구는 건축물에 목질기반 인테리어 제품을 적용하였을 때 정확한 에너지 절감률을 평가하기 위해 프로그램을 선정하는 연구도 포함한다. 시뮬레이션간의 비교 분석을 통하여 목재의 열적 성능을 좌우하는 요소(Factor)가 정확하게 입력되고, 목재를 적용한 에너지 성능 평가의 정확한 결과를 도출할 수 있는 시뮬레이션을 선정할 것이다.

[표 1.1.3-1] 에너지 시뮬레이션 프로그램 종류 및 특징

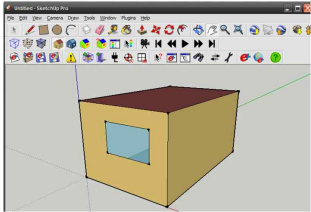
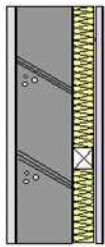
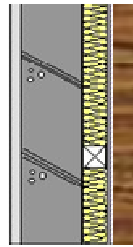
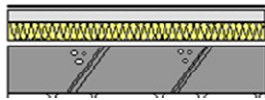
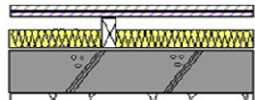
구분	DOE-2	BLAST	EnergyPlus	TRNSYS	ESP-r	HASP
개발기관	Lawrence Berkeley National Laboratory	University of Illinois	Department of Energy	University of Wisconsin	University of Stathclyde	동경대, 일본공기조화 위생공학회
개발국가	미국	미국	미국	미국	영국	일본
연간에너지 소비량해석	○	○	○	○	○	○
새로운 건축구조 해석	△	△	○	○	○	△
새로운 시스템 및 열원해석	×	×	○	○	○	×
시간별, 동적 에너지 해석	○	○	○	○	○	△
자료입출력 용이	△	△	△	△	△	△

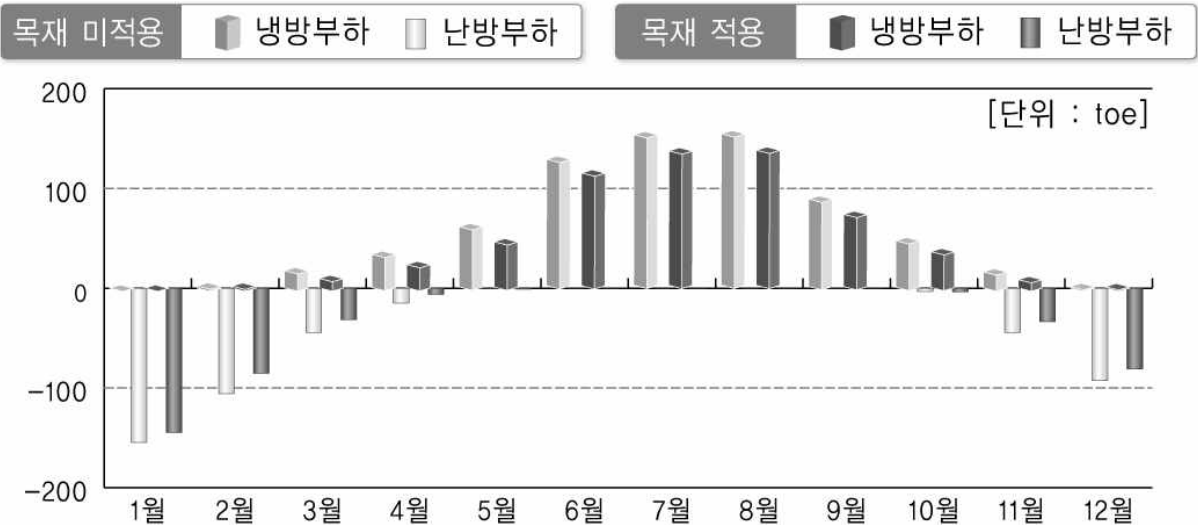
○ 목질 재료와 비목질 재료의 에너지 성능 비교 :

연구를 시작하기에 앞서, 일반 목재의 열전도율을 이용하여, 단일공간에서 [표 1.1.3-2]와 같이 건축물에 목질재료를 적용했을 때와 비목질재의 에너지 성능을 비교하였다. Case 1은 비

목질재를 적용한 벽과 바닥으로 각각 0.4W/mK의 열전도율을 나타냈으며, Case2는 건물 실내에 목질 마감재를 적용하여 벽과 바닥 모두 0.29W/mK의 열전도율을 나타내었다. 두 가지 Case를 적용한 건물의 에너지 성능을 비교한 결과 월별 에너지 부하량이 <그림 1.1.3-1>과 같았으며, 총 에너지 절감률은 목질 마감재를 이용한 Case2가 Case1에 비해 10%정도 에너지 절감률을 보였다.

[표 1.1.3-2] Case 구분

대상 건물	구분	Case1		Case2	
		구성도	구성재료	구성도	구성재료
	벽	 0.4W/mK	(실외측) 콘크리트 단열재 석고보드 벽지 (실내측)	 0.29W/mK	(실외측) 콘크리트 단열재 합판 (실내측)
	바닥	 0.4W/mK	(실내측) 초배지 몰탈 단열재 방습층 콘크리트	 0.29W/mK	(실내측) 합판 몰탈 단열재 방습층 콘크리트



<그림 1.1.3-1> 목재 적용 및 미적용 Case의 에너지 성능 비교

본 연구에서는 목재의 수종별, 제품 형태별 열전도율을 확인하고, 목질기반 고단열 인테리어 제품으로 접근하여, 최적의 적용방법을 도출 하는 것으로 목표로 한다. 또한 실내에 벽판재, 천장 마감재 등 다양한 인테리어 제품으로 적용하여 현재 구성하고 있는 벽지, 페인트 및 시트지를 대체하여 건축실내환경에 설치되었을 때 실제적인 냉난방에너지 절약 효과를 평가하고자 하며, 건축물 에너지소비 저감 효과를 시뮬레이션을 통하여 확인하고자 한다.

1.1.4 기술개발의 필요성

목질재료가 가지는 높은 단열성과 심리적 안정, 활기 증가부분 등에 대한 많은 긍정적인 효과에 대해서는 이미 널리 알려져 있는 사실이지만 목질 제품의 건축실내공간 적정 설치 수준, 목질제품 설치로 인한 냉·난방 부하절감 등에 따른 경제성 분석, 특히 목재 수종 분류에 따른 열전도율 분석은 다각적으로 이루어지지 않은 상태이다. 일반 주택에서 목질마루바닥재 외에 목질제품을 실내마감재로 설치한 사례 및 건축실내공간 목질제품 적용 부위에 따른 에너지 소비경향 분석에 대한 기초 자료 역시 부족한 실태이다.



<그림 1.1.4-1> 목재의 실내 인테리어 적용

목재는 제품생산 과정 시 타 건축자재와는 달리 적은 에너지 소비로 제품이 생산되며, 아울러 폐기 시에는 환경 공해물질을 전혀 발생시키지 않고 분해됨으로써, 다른 수목 생산에

필요한 영양분을 제공하는 특징이 있다. 또한 목재는 건축자재중 재활용 비율이 상당히 높은 자재이며, 목재를 원목상태의 제품으로 1차 가공하여 사용 후에도, 폐자재를 수급하여 파티클보드, MDF 등의 목질판상제품, 목재 펠릿 원료 등으로 2차적인 재생산이 가능한 특징이 있다 [표 1.1.4-1].

[표 1.1.4-1] 폐목재 재활용 현황¹⁾

단위 : 천톤/년간

구분	발생량	매립	소각	재활용	재활용율
총계	5,115	2,575	703	1,837	36%
임목부산물	2,448	2,208(미수거)	-	240	10%
사업장폐목재	1,841	11	257	1,573	85%
생활폐목재	826	356	446	24	3%

가. 국내산 목재 활용의 경제적 효과

현재 국내에서는 국내산 목재보다 수입산 목재 의존도가 95%이상임. 수입산 목재의 원자재 가격이 상승하면, 국내 관련 업계에 큰 영향을 미침. 2011년도 중국의 목재 수입량은 원목이 10%, 제재목이 20%정도 증가할 것으로 전망되어 중국 구매력이 더욱 강해져 국내의 목재 수급력이 약화될 것으로 전망됨. 이렇듯 목재의 수입의존도가 높은 우리나라는 목재의 국제시장의 동향이 국내 시장에 큰 영향을 미침. 수입목재의 경우 국산목재에 비해 가격이 약 2배 정도 높아 관련업계의 시장가격을 향상시키는 요인이 됨. 만약 국산목재를 활용한다면 저렴한 가격에 수급이 가능하여 목재관련 자재의 단가를 낮출 수 있음. 또한 국내산 목재의 열적 우수성을 Mock-up test 및 시물레이션을 통하여 증명하고, 에너지 절감량을 평가한다면 국내산 목재를 활용한 파생제품의 개발을 촉진하고 관련 산업의 활성화를 기대할 수 있음.

[표 1.1.4-2] 국산원목과 수입원목 가격

(단위: 원/m³)

구분	수종	등급	규격	12월	2011년 1월	전월대비
국산 원목	낙엽송	2등급	15-30cm X 1.8m이상	101,000	99,500	▼1,500
			15-30cm X 2.7m이상	122,500	123,140	▲640
			15-30cm X 3.6m이상	120,200	120,170	▼30
			30cm X 2.7m이상	138,000	138,000	-
			30cm X 3.6m이상	175,330	178,670	▲3,340
			45cm X 4.5-5.4m	195,000	195,000	-
			45cm X 6m이상	195,000	195,000	-
※ 생산지가격, VAT포함, 산림조합 목재집하장 평균가격/ 참고: 산림조합						

1) 폐목재 재활용 현황 '05'

수입 원목	라디에타파인 (뉴질랜드)	k-grade	-	174,000	174,000	-
	스프루스 (러시아)	1-2등급	-	225,000	225,000	-
	햄록 (미국)	-	직경 30cm이하	264,000	264,000	-
		-	직경30-50cm(GC)	285,000	285,000	-
	더글라스퍼 (미국)	-	직경40-50cm	363,000	363,000	-
		-	직경50cm	375,000	375,000	-
※ VAT별도, 운반비별도, 점포상차도, 현금결제						

나. 국내산 목재를 활용한 저에너지 건축기술 개발의 필요성

2010년도 국내산 목재의 자급률은 13%로 낮은 상황으로 산림청에서는 국산 목재 건축 활성화방안으로 2017년까지 목재자급률을 20%까지 늘릴 예정이라고 밝힘. 산림청은 올해 목재수요를 국내재 420만³와 수입재 2379만6000³로, 2010년 대비 4.1% 증가할 것으로 전망함. 국산목재 공급량은 2010년 대비 55만³ 증가한 420만³로 확대하고, 이 중 한옥 및 목조주택용으로 6만5000³ 공급할 계획이라고 발표함. 따라서 국산 목재를 활용한 건축자재개발이 활발해질 것으로 예측되며, 특히 저에너지 측면에서의 목재건축자재의 기술개발이 중요한 연구과제로 부각될 것임. 그러므로 저에너지 목재 건축자재 기술개발을 위한 건축적 측면에서 목재 활용성을 증가시킬 수 있는 구체적 적용방안이 필요한 시점임. 또한, 산림청의 연구에서는 국내산 목재의 수요를 증가시키기 위한 부분이 주요 내용이 되고 있으나 본 연구에서는 목재의 장점인 단열성능에 대한 데이터를 수집 및 정리하고 시뮬레이션을 통하여 단열성능의 정량적인 평가를 하여 목재의 장점을 알리고 향후 목재를 사용하는 건축물의 가이드라인을 제시하는 것이 목표임.

다. 건물에너지 시뮬레이션 평가 항목 개선의 필요성

현재 사용되고 있는 다양한 건축물 에너지 평가 시뮬레이션들은, 실내마감재(벽지, 시트, 페인트 등) 설치 및 종류에 따른 에너지 평가는 이루어지고 있지 않으며, 목재 역시 수종별, 파생제품에 따른 세부적인 데이터가 부족한 실정임. 실내마감재의 경우 건축물의 준공 후에도 소비자의 요구에 따라 다양한 종류 및 형태의 제품이 설치될 가능성이 크나, 이에 따른 건축물 에너지 평가에 대한 프로세스는 없는 상태임. 목질 제품의 경우 다양한 장점으로 인하여 국내 및 해외시장에서 친환경성 제품으로 각광 받을 가능성이 높으며, 인테리어적인 개념에서 벗어나, 단열성능을 갖춘 기능성 자재로 발전할 가능성이 큼. 본 연구를 통하여 목재의 수종, 파생제품에 대한 열전도율 DB를 구축하여 시뮬레이션 평가방법 개선을 위한 기반을 마련하고자 함.

따라서 본 연구에서는 다양한 수종의 목재를 대상으로 원목에서부터 인위적으로 가공·처리한 목질제품까지 수종별 열전도율 분석을 통하여, 향후 건축물 에너지 냉·난방 부하 저감을 위한 친환경 목질 건축자재의 기초적인 자료를 구축하고 목질 기반 제품의 단열 우수성을 확인하여 이에 대한 활용방안을 고찰하고자 함.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

2. 1 국내·외 기술개발 현황 분석

2.1.1 본 연구관련 국내외 기술수준 비교

개발기술명	관련기술 최고보유국	현재 기술수준		기술개발 목표수준	비고
		우리나라	연구신청팀		
목질기반 제품의 열차단 우수성 확인 및 파생제품 건축 적용 방안 도출	독일, 일본	40	40	100	
목질기반 제품의 건물 에너지 절감 기여도 평가 틀 및 평가방법론 도출	독일, 일본	50	50	100	

2.1.2 특허분석

가. 특허분석 범위

대상국가	국내, 국외(미국, 일본, 유럽)
특허 DB	특허정보원 DB(www.kipris.or.kr), Aureka DB
검색기간	최근 5년간
검색범위	제목 및 초록, 키워드

나. 특허분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명	목질기반 제품의 열차단 우수성 확인 및 파생제품 건축 적용 방안 도출	목질기반 제품의 건물 에너지 절감 기여도 평가 틀 및 평가방법론 도출	
Keyword	wood based material, insulation	에너지, 시뮬레이션, 건축	
검색건수	18	3	
유효특허건수	6	2	
핵심특허 및 관련성	특허명	A thermally insulating building panel	온돌난방의 외기보상 제어방법 및 장치
	보유국	유럽	한국
	등록년도	1997	2005
	관련성(%)	40%	40%
	유사점	건축물의 단열성능 강화를 위하여 슬래브 외부에 목재를 사용	건축자재의 물성치 및 축열량을 입력하여 열해석 시뮬레이션 도출
차이점	목질재료를 실내마감재료 적용 및 기타 활용방안 모색	건자재에 대한 구체적 DB구축 및 적절한 활용방안 모색	

2.1.3 논문분석

가. 논문분석 범위

대상국가	미국, 일본, 중국, 유럽
논문 DB	Elsevier(Science direct), Aureka DB, pubmed DB(www.ncbi.nlm.nih.gov)
검색기간	최근 5년간
검색범위	제목, 초록 및 키워드

나. 논문분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명	목질기반 제품의 열차단 우수성 확인 및 파생제품 건축 적용 방안 도출	목질기반 제품의 건물 에너지 절감 기여도 평가 틀 및 평가방법론 도출	
Keyword	Wood-based material, Thermal conductivity	composite, wood, Thermal conductivity, simulation	
검색건수	36건	48건	
유효논문건수	6건	8건	
핵심논문 및 관련성	논문명	Thermal analysis of wood-based test cells	A computational and experimental investigation on thermal conductivity of particle reinforced epoxy composites
	학술지명	Construction and Building Materials	Computational Materials Science
	저 자	E.L. Kruger, M. Adriaola	Rajlakshmi Nayak, Tarkes Dora P., Alok Satapathy
	게재년도	2010	2010
	관련성(%)	50	40
	유사점	<ul style="list-style-type: none"> • 브라질에서 생산되는 소나무, 유칼립투스 나무를 이용한 저비용주택에 대한 특성 및 열전도율 분석. • 상기 목재를 활용한 합판, 집성판, 목모시멘트보드, OSB 보드에 대한 proto-type 제작 및 열적 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 소나무 톱밥을 에폭시 수지에 적용한 composite 제작. • 에폭시에 톱밥의 비율을 증가시키며 그에 대한 열적성능(열전도도) 평가 • 경량 및 단열성능을 향상시킨 반도체 패키지, 단열보드, 보온병 등에 대한 열적 성능 평가
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 실내공간에 적용 후 냉난방 부하계산 및 고단열 목질기반 인테리어 제품으로의 개발 및 열적성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 구조재나 내부 치장재가 아닌 열적 성능 강화(단열성)에 초점을 맞추어 실내공간에 대한 열적부하 계산 및 저감률 평가 	

2.1.4 제품 및 시장 분석

가. 생산 및 시장현황

건축물의 실내에 사용되고 있는 목질 자재는 합판, PB, MDF, HDF 등이 있으며 생산량 및 시장은 다음과 같다.

(1) 국내 제품생산 및 시장 현황

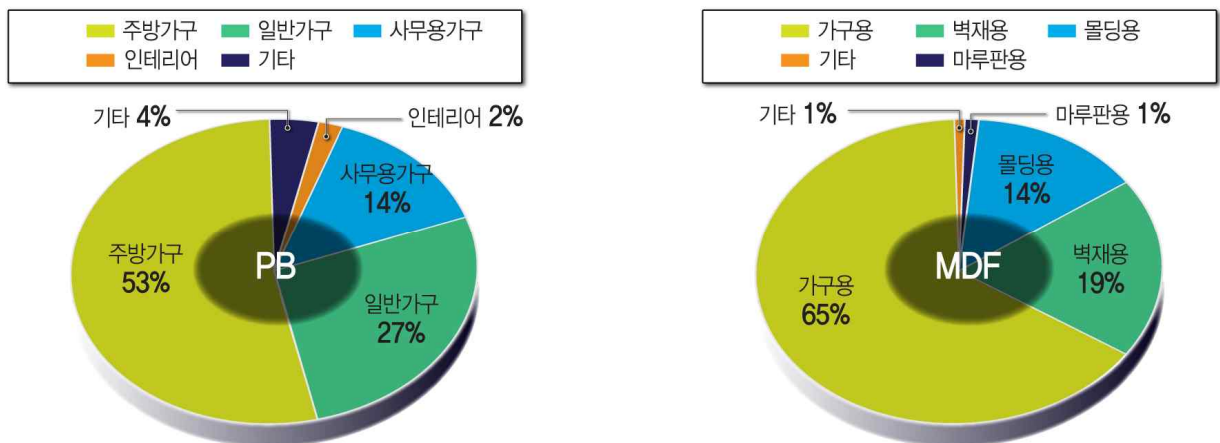
- 우리나라의 목질판상제품 제조공장은 42개 업체, 연간생산능력은 409만8000m³이며 평균 가동률 81%, 329만9000m³를 생산하고 있으며, 연간 생산액은 1조3083억원 규모임.

- 2009년 목질판상제품의 연간 수입액은 8,673억원으로, 국내 생산분과 합한 국내시장 규모는 약 2조1756억원에 달하고 있음. 대부분의 판상제품은 가구재료 및 목질마루판으로 사용이 되고 있음.

[표 2.1.4-1] 국내 목질 판상제품 생산현황 (2009년)

구분	단위	합판	PB	MDF	마루판	계
생산공장수	개	5	4	13	20	42
연간생산능력	천m ³	777	1,012	1,924	385	4,098
연간생산량	천m ³	493	934	1,655	217	3,299
가동율	%	63	92	86	56	81
종업원수	명	982	207	690	960	2,839
연간생산액	억원	2,623	1,968	4,642	3,830	13,083
연간수입액	억원	6,013	1,263	797	600	8,673

출처 : 제6회 한국 합판·MDF·파티클보드 심포지엄



<그림 2.1.4-1> PB, MDF 용도별 공급비율²⁾

2) 제6회 한국 합판·MDF·파티클보드 심포지엄

벽장재를 기준으로 살펴보면 최근, 일반벽지, 도료, 타일, 시트 외 기타자재로 구성되었던 국내 벽장재 시장에서 친환경 건축자재에 대한 요구가 증가함에 따라, 천연소재의 마감재를 활용한 실내공간 구성 사례가 점차 증가하는 추세임. 마루바닥재에 대한 수요가 종이에서 PVC 장판으로, 그리고 다시 목질마루바닥재로 수요가 바뀐 것처럼 국내 벽장재 시장 역시 기존의 벽지, 도료, 시트 및 기타자재에서 목질소재의 제품으로, 그 수요가 변화하여 해당산업의 발전 가능성이 큼.



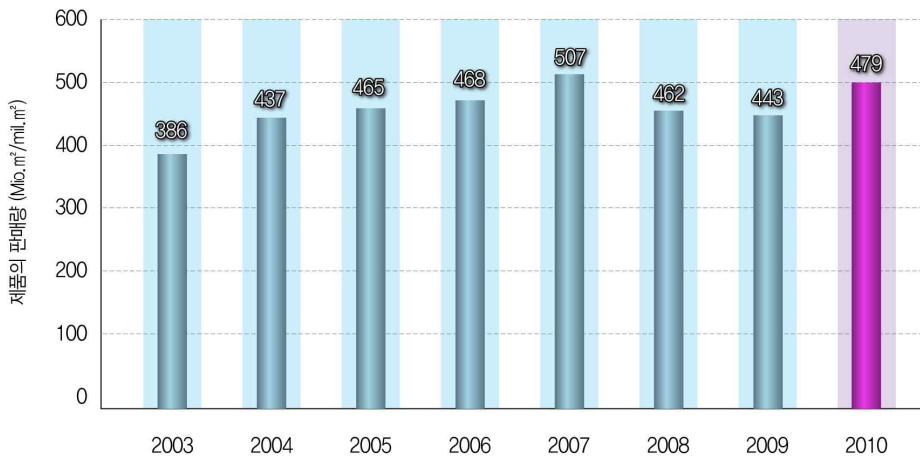
<그림 2.1.4-2> 국내 벽장재 시장규모 및 적용 사례

*출처 동화자연마루 내부자료(2010)

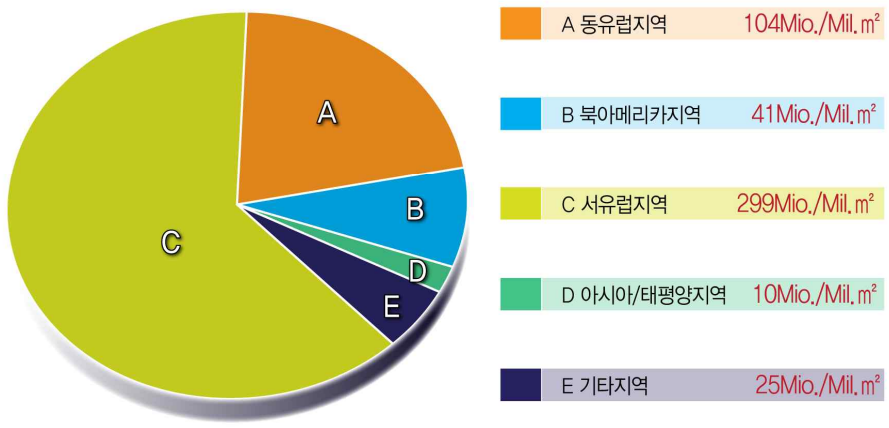
2) 국외 제품생산 및 시장 현황

국외에서는, 국내와는 달리 원목을 사용한 목조주택과 관련된 목질 제품이 주로 사용이 되고 있으며, 실내 내장재로는 목질 벽장재보다 패브릭, 대리석 벽장재가 주로 사용이 되고 있음. 아직 유럽지역 및 기타 해외에서는 목질 벽장재에 대한 시장이 형성되지 않았으며, 목질 마루의 소비량을 참고하여 시장 규모를 유추함. 또한 원목 및 대리석의 시공 금액이 고가인 점을 고려할 때 목질 벽장재의 사용량은 점차 증가 할 것으로 예상됨.

세계시장에서 EPLF(유럽산 라미네이트 바닥재) 판매량



세계시장에서 2010년도 EPLF (유럽산 라미네이트 바닥재) 판매량

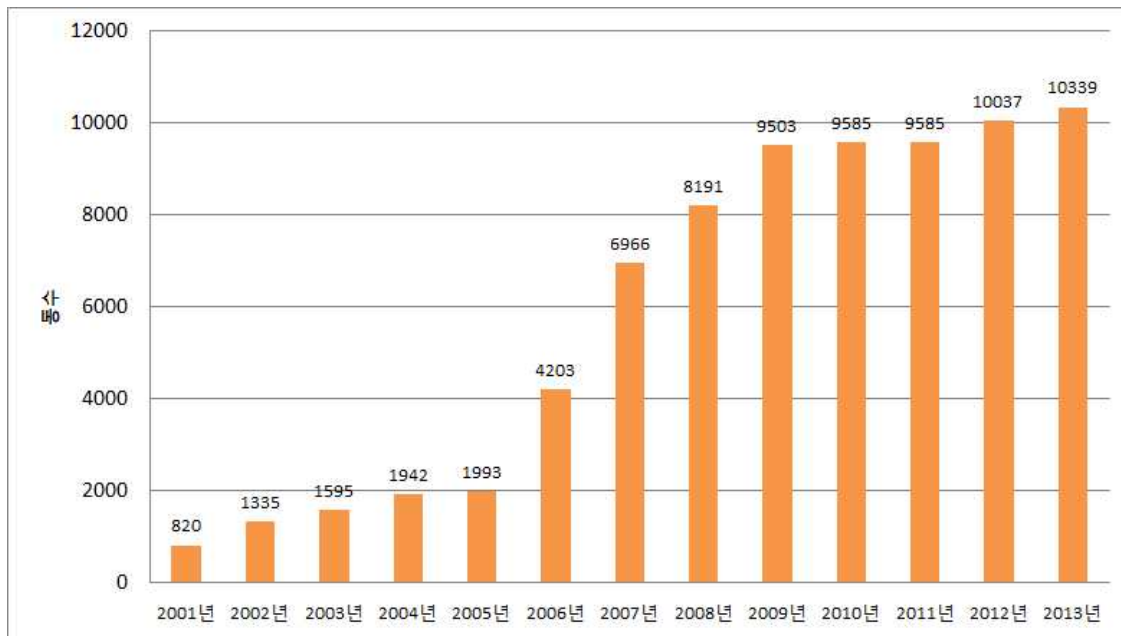


<그림 2.1.4-3> 연간 판매량 및 대륙별 강화마루 판매현황³⁾

3) EPLF(European Producers of Laminate Flooring) 통계

나. 목조 주택의 착공현황

국내 목조 주택의 착공현황은 다음과 같으며 2005년 이후로 크게 증가하였으며 현재에도 계속 증가하고 있는 추세에 있다. 따라서, 본 연구의 결과를 활용하여 목조 주택의 에너지 절약성을 알리고 에너지를 절약할 수 있는 가이드 라인을 제시하여 향후 목조 주택의 보급을 늘리고 국내 목재산업을 활성화 시키고자 한다.



<그림 2.1.4-4> 연간 착공되는 목조주택4)

4) 2000~2014 건축허가 및 착공 통계, 통계청

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

3. 1 국내·외 건물 에너지 관련제도 및 열성능 평가방법 분석

3.1.1 국내·외 건물 에너지 관련제도 조사

가. 국외 건물 에너지 관련 제도

(1) 미국의 건물 에너지 관련 제도

(가) HERS(Home Energy Rating System)⁵⁾

① HERS의 개요

HERS는 1992년에 시행된 Energy Policy Act의 일부로 국가적 차원에서의 건물에너지등급 가이드라인의 제정을 목적으로 개발되어 미국의 주 단위로 시행되고 있다.

이 제도는 건물의 성능을 정확하게 진단하여 이에 해당하는 금융상품을 개발하고, 주택시장을 활성화 시키려는 목적으로 만들어졌고, 건물 매매 시 건물의 객관적인 정보를 제공하는 수단이 되고 있으며, 현재 Energy Star인증에도 활용되고 있다.

건축물의 에너지 효율은 HERS index 수치에 따라 아래의 [표 3.1.1-1]과 같이 10개 등급으로 평가한다. HERS Index 수치가 낮을수록 에너지효율이 높은 상태를 나타내며, 수치가 높을수록 에너지효율이 낮은 상태를 의미한다. 즉 HERS index 100은 미국에서 가장 보편적인 건물(American Standard Building)의 성능수준을, HERS Index 0은 에너지 소비가 없는 상태(Zero Energy Building)을 의미한다.⁶⁾

[표 3.1.1-1] HERS Index

등급	HERS Index	인증서
★★★★★+	0 to 70	
★★★★★	71 to 85	
★★★★★+	86 to 90	
★★★★★	91 to 100	
★★★★+	101 to 150	
★★★★	151 to 200	
★★★+	201 to 250	
★★	251 to 300	
★+	301 to 400	
★	401 to 500	

② HERS의 평가방법

HERS Index의 건물 에너지 효율 평가방식은 아래 식 (1)과 같고, <그림 3.1.1-1>과 같은

5) <http://www.energy.ca.gov/HERS/>

6) RESNET, 2006 Mortgage Industry National Home Energy Rating System Standard, Table 303.3.3

순서로 진행되며 공인된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 신규 및 표준주택의 냉난방, 급탕 부하 및 에너지소요량을 산출하고, 이를 바탕으로 신규주택의 표준화(normalized)된 수정 냉난방, 급탕부하를 HERS index로 계산하고 해당 등급의 인증을 부여받는 방식으로 이루어진다.

$$HERS\ Index = \frac{TDV_{Rated} - TDV_{PV}}{TDV_{Reference}} \times 100 \quad (1)$$

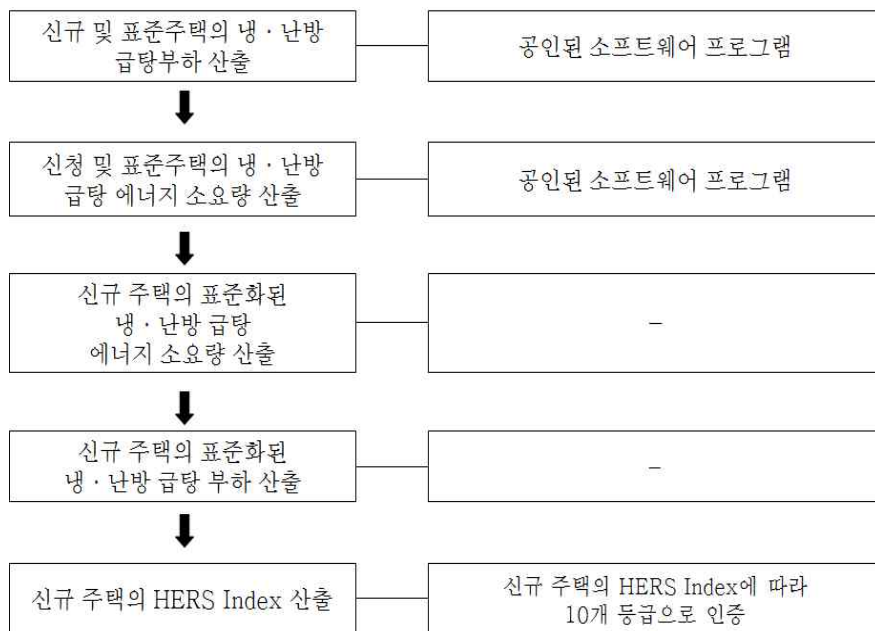
TDV_{Rated} : 평가대상주택의 TDV(Time Dependent Value)에너지(kBtu/year)

TDV_{PV} : 부지 내 PV나 기타 신재생에너지 시스템을 통해 생산되는 TDV 에너지(kBtu/year)

TDV_{Reference} : 표준 주택의 TDV 에너지(kBtu/year)

HERS 인증을 위해서는 RESNET으로부터 인정을 받은 소프트웨어를 사용하여야 하며, 현재 EnergyGauge ver.2.8과 REM/RATE ver.12.5가 사용되고 있다.

이 중 EnergyGauge는 Calculation Engine으로 Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL)에서 개발한 동적 건물 열에너지 해석 프로그램인 DOE-2를 사용하며 이를 기반으로 냉·난방, 급탕부하에 대한 시간별 열 성능을 계산하여 평가한다.⁷⁾



<그림 3.1.1-1> HERS 에너지 효율 평가방식

7) 김윤겸, 친환경 설계요소를 고려한 설계 대안별 생애주기비용 분석 : 공동주택을 중심으로, 서울시립대학교 건축공학과 건설사업관리, 2011년 02월

(나) Energy Star Home, Energy Star Building⁸⁾

① Energy Star Home, Energy Star Building의 개요

미국 환경청(EPA)과 에너지성(DOE)에서는 소비자의 결정으로 지구환경개선 및 건물의 성능향상과 비용을 절약할 수 있는 주택개발을 목적으로 에너지스타 홈(Energy Star Home) 프로그램을 1997년부터 개발하여 운영하고 있다.

에너지스타 홈은 단열기준을 볼 수 있는 모델에너지코드보다 30%이상의 에너지 효율적인 주택에 대해 연방정부차원에서 인증을 해주는 프로그램이다.

1991년 1월 이후로 EPA는 미국 내 유사한 건물과 관련된 상업용 건물의 에너지 성능을 신속하고 용이하게 평가하거나 벤치마킹 할 수 있는 방법을 모두에게 제공하고 있으며, 기후와 운영 특성처럼 에너지 강도에 중요한 요인을 고려해 성능지표가 1~100점수 사이의 값으로 나타내어 75점 이상(미국 내 상위 25퍼센트)에 위생적이고 생산적인 실내 환경을 제공하는 건물은 EPA에서 제공하는 ENERGY STAR라벨이 부착 되게 된다.



<그림 3.1.1-2> Energy Star Home 인증

② Energy Star Home, Energy Star Building의 평가방법

ENERGY STAR Home은 미국의 단열기준이라고 볼 수 있는 모델 에너지 코드보다 30% 이상 에너지 효율적인 주택에 대해 연방정부차원에서 평가를 하여 인증을 해주는 프로그램이며, 인증을 받기 위한 특징으로는 고단열, 기밀한 시공, 고성능의 창호 그리고 고효율의 냉·난방 시스템들을 사용해야 한다.

모델에너지코드보다 30%이상 절약된 주택 평가방법으로는 HERS와 마찬가지로 공인된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 신규 및 표준주택의 냉난방, 급탕부하 및 에너지소요량을 산출하고, 이를 바탕으로 냉·난방, 급탕부하를 HERS index로 계산하여 일정등급 이상일 시, 에너지스타 홈과 연계되어 동시에 인증 마크를 획득할 수 있으며, 위의 <그림 3.1.1-2>는 에너지 스타 홈의 인증서의 모습이다.

8) <http://www.energystar.gov/>

(2) 영국 건물 에너지 관련 제도

(가) SAP(Standard Assessment of Procedure)⁹⁾¹⁰⁾

① SAP의 개요

SAP 제도는 1993년 BRE(British Research Establishment)와 DOE(현재의 DEFRA, Department for Environment, Food and Rural Affairs)에 처음 시행되었으며, 이 후 몇 차례 개정되어 현재는 SAP 2009가 시행 중이다. 기준의 적용범위는 450m² 이하 주거건축물에 국한되며, 공동주택 적용 시에는 복도, 홀 등의 공용공간을 제외한 단위세대에만 적용된다.

SAP는 신청주택의 SAP rating(신청주택의 에너지 비용 평가지표) 또는 EI rating(신청주택의 환경성능 평가지표) 수치에 따라 [표 3.1.1-2]와 같이 7개 등급으로 인증을 부여한다. SAP rating 또는 EI rating은 수치가 높을수록 에너지 효율이 높은 상태를 나타내며 특히 SAP rating이 100인 경우는 에너지소비가 없는 상태를 의미한다.

[표 3.1.1-2] SAP 등급 구분

등급	SAP rating 또는 EI rating
A	92 or more
B	81 to 91
C	69 to 80
D	55 to 68
E	39 to 54
F	21 to 38
G	1 to 20

② SAP 평가 방식

SAP는 [표 3.1.1-3]과 같이 건물 에너지효율 관련 4개의 지표를 제공한다. SAP rating은 난방, 급탕, 환기, 조명 그리고 고효율 기기사용 등에 대한 에너지비용을 바탕으로 산출하며 1부터 100까지의 값을 가지고 숫자가 높을수록 연간 에너지비용이 적게 들어가는 건물을 의미한다.

[표 3.1.1-3] SAP 에너지효율 평가 지표

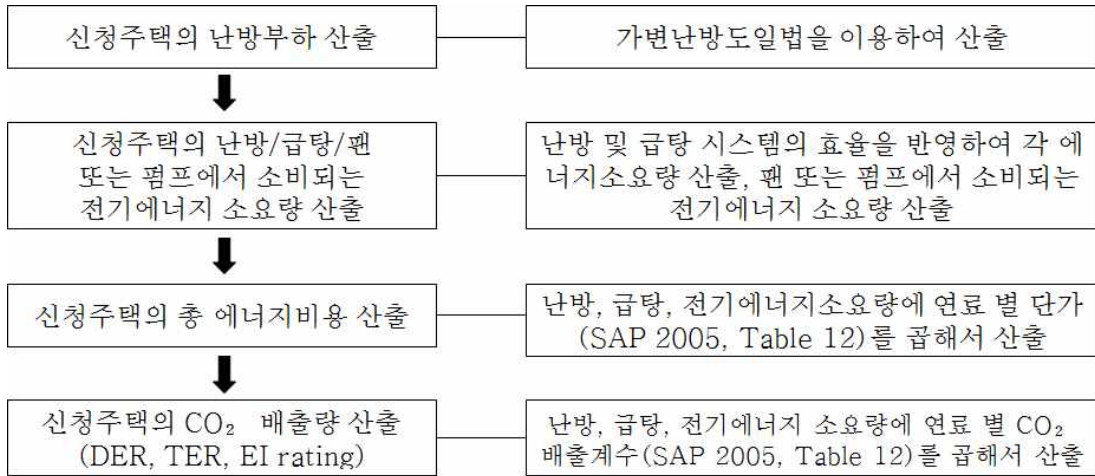
평가지표	평가내용
SAP rating	신청주택의 에너지비용 평가지표
EI rating	신청주택의 환경 성능지표
DER(Dwelling CO ₂ Emission Rate)	신청주택의 단위면적당 CO ₂ 배출율
TER(Target CO ₂ Emission Rate)	표준주택의 단위면적당 CO ₂ 배출율

EI rating은 난방, 급탕, 환기, 조명, 고효율 기기사용 등에 대한 CO₂ 배출량을 바탕으로 산출한다. SAP rating과 마찬가지로 1부터 100까지의 값을 가지며, 값이 높을수록 효율이 좋은 건물을 의미한다. DER은 난방, 급탕, 환기, 조명, 고효율 기기사용 등에 대한 신청주택의 단위면적당 CO₂ 배출량을, TER은 표준주택의 단위면적당 CO₂ 배출량을 뜻한다. 또한 <그림 3.1.1-3> 의 순서에 의해 각각의 지표를 산출하고 에너지 효율을 평가하며, 발급하는 인증서는

9) 이수진, 비용효율을 고려한 에너지절약형 공동주택 설계모델 설정, 이화여대 대학원 건축학과, 2009년 02월

10) BRE, The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings Table 15, 2005

<그림 3.1.1-4>와 같다,



<그림 3.1.1-3> SAP 에너지 효율 평가방식

Energy Performance Certificate

Address of dwelling and other details
 5, BOWMORE PLACE
 KILMARNOCK
 KA3 1TF

Dwelling type: End-terrace house
 Name of approved organisation: BRE
 Membership number: BRE1-D-00158
 Date of certificate: 02 November 2012
 Reference number: N/A
 Type of assessment: SAP, new dwelling
 Total floor area: 81 m²
 Main type of heating and fuel: Boiler and radiators, mains gas

The dwelling's performance ratings

This dwelling has been assessed using the SAP 2009 methodology. Its performance is rated in terms of the energy use per square metre of floor area, energy efficiency based on fuel costs and environmental impact based on carbon dioxide (CO₂) emissions. CO₂ is a greenhouse gas that contributes to climate change.

Energy Efficiency Rating

Rating	Current	Potential
A		
B	75	76
C		
D		
E		
F		
G		

Environmental Impact (CO₂) Rating

Rating	Current	Potential
A		
B	77	78
C		
D		
E		
F		
G		

Scotland
 EU Directive 2002/91/EC

The energy efficiency rating is a measure of the overall efficiency of the home. The higher the rating the more energy efficient the home is and the lower the fuel bills are likely to be.
 Approximate current energy use per square metre of floor area: 138 kWh/m² year
 Approximate current CO₂ emissions: 26 kg/m² per year

Cost effective improvements

Below is a list of lower cost measures that will raise the energy performance of the dwelling to the potential indicated in the table above.

1 Low energy lighting for all fixed outlets

A full energy report is appended to this certificate

Remember to look for the energy saving recommendation logo when buying energy-efficient products. It's a quick and easy way to identify the most energy-efficient products on the market.
 For advice on how to take action and to find out about offers available to help make your home more energy efficient, call 0800 512 012 or visit www.energysavingtrust.org.uk

Display Energy Certificate
 How efficiently is this building being used?

A Government Dept
 2nd Floor
 Jubilee House
 High Street
 Anytown
 A1 2SD

Certificate Reference Number: 1234-1234-1234-1234

The certificate indicates how much energy is being used to operate this building. The CO₂ emissions rating is based on fuel readings or if the energy actually used in the building is not known, it is compared to a benchmark that represents performance potential of buildings of this type. There is more information on how to measure this information on the Government's website www.gov.uk/government.

Energy Performance Operational Rating

This tells you how efficiently energy has been used in the building. The number on the meter represents actual energy consumed (also expressed as comparative energy efficiency) kWh used for the last year of building.

More energy efficient
 A 0-25
 B 26-50
 C 51-75
 D 76-100
 E 101-125
 F 126-150
 G 151-200

100 kWh/m² per year typical

108

Less energy efficient

Total CO₂ Emissions

This tells you how much carbon dioxide the building emits. It shows tonnes per year of CO₂.

200
 100
 0
 -100
 -200

Mar 2011 Apr 2011 May 2011

Previous Operational Ratings

This tells you how efficiently energy has been used in this building over the last few accounting periods.

Apr 2011 108
 Apr 2010 102
 Apr 2009 100

Technical Information

Thanks for your technical information about how energy is used in this building. Consumption data based on actual readings.

Main heating fuel: Gas
 Building Envelope: All Combined
 Total useful floor area (m²): 2017
 Asset Rating: B

	Actual	Target
Annual Energy Use (kWh/m ² /year)	120	120
Typical Energy Use (kWh/m ² /year)	50	48
Energy from renewables	0%	20%

Administrative Information

This is a Display Energy Certificate as defined in SI 2007/590 as amended.

Assessment Software: 123.45
 Property Reference #: 678910123456
 Assessor Name: John Smith
 Assessor Number: 654321098
 Accreditation Reference: 9876543210
 Employer Display Name: Property Dept Ltd
 Employer Display Address: 123 Main Street, Anytown, UK, SA1 1AA
 Issue Date: 02 Nov 2012
 Expiry Date: 01 Nov 2015
 Building Party Disputed: Energy Trust are contacted as energy managers
 Escrow transactions for property: The energy efficiency of the building are recorded in Report Reference Number: 1234 5678 9101 1234

<그림 3.1.1-4> 영국 에너지 성능 평가 인증서

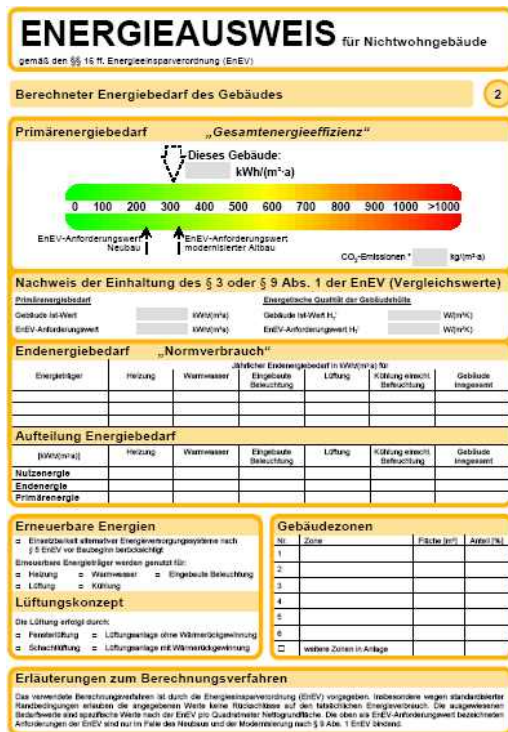
(3) 독일 건물 에너지 관련 제도

(가) ENEV 2009

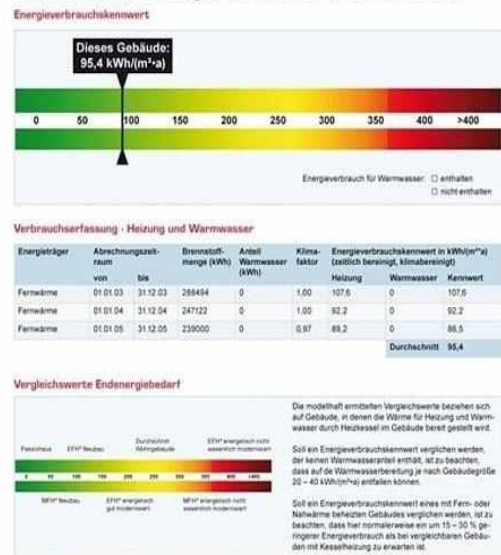
독일은 1970년대 이전 이미 독일공업규격 DIN 4108에서 건물하자가 발생하지 않는 수준의 건축물 부위별 최소 단열성능을 규정했으나, 이러한 부위별 성능기준만으로 에너지절약에 대해 충분한 대책이 될 수 없다고 판단하고 1977년 EnEG 에너지절약령을 제정하였다.

이후 에너지절약령은 건물 에너지 성능을 보다 효율적으로 관리하기 위하여 기준을 단계적으로 강화하였다. 1984년 1차 개정 때, 독일은 에너지절약령에서 건물의 연간 난방부하를 1977년 대비 20% 절감하도록 기준을 강화하였다. 1990년 기후변화협약 이후, 독일은 환경보호보다 큰 관심을 갖고 2005년까지 CO2방출량을 25% 절감한다는 목표 하에 1982년 대비 난방에너지를 25~30% 절감하는 새로운 개정안을 1995년에 제시하였다.

그 후 독일에서는 2002년 에너지절약법에 근거하여 EnEV 에너지절약기준을 제정하면서 단계별로 강화하며 난방, 냉방 및 환기, 조명, 급탕 등의 에너지를 평가하여 건축 허가 시, 연간 1차 에너지 요구량을 초과하지 못하도록 규정하였고, 2009년에는 2007년보다 더욱 보강하여 연 30%이상의 연료를 절약할 수 있는 주택이나 비 주택을 건설 하도록 규정하였다.



Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes

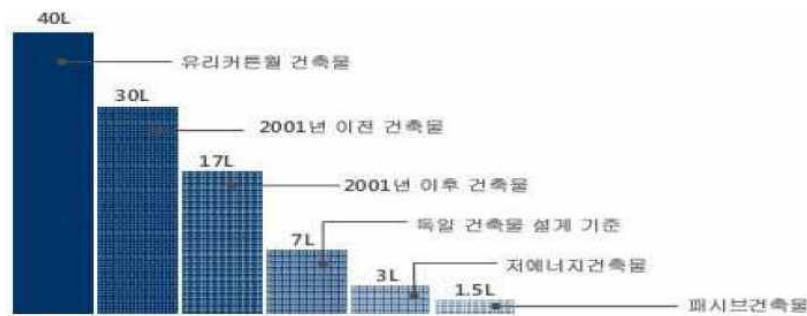


<그림 3.1.1-5> 독일 건축물 에너지 효율 증명서

(나) Passive House(PHI)인증

① Passive House의 개요

독일 건축물의 에너지 등급의 변천사는 아래 <그림 3.1.1-6>¹¹⁾ 와 같이 에너지 사용량에 따라 크게 4가지로 구분 할 수 있다. 에너지 절약 설계기준이 도입되기 전인(에너지절약률) 2001년 이전의 22리터 이상의 건축물과 에너지절약설계기준이 도입된 2001년 이후의 17ℓ 건축물, 2002년 제정된 저에너지 건축물(7ℓ)과 3ℓ 건축물 그리고 유럽 연합(EU)에서 2013년부터 신축건물에 한해서 의무화로 시행 된 1.5ℓ의 패시브 건축물로 구분 할 수 있다.



<그림 3.1.1-6> 독일 패시브 건축 기준 분류

패시브하우스는 여름철과 겨울철에 쾌적한 실내 환경을 제공하는 건물로 자연에너지를 적극 활용하여 건물의 열손실을 최소화함으로써 에너지를 최대한 절약하는 주택'으로 정의하였으며, 그에 따른 기준은 아래의 [표 3.1.1-4] 와 같다.¹²⁾

[표 3.1.1-4] 패시브 하우스 성능 기준

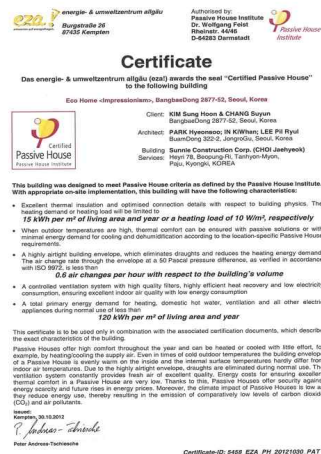
구분		패시브 하우스 기준
에너지 성능 목표	난방요구량(신축)	15 kWh/m ² ·a
	난방부하	10 Wh/m ² ·a
	1차 에너지 소요량	120 kWh/m ² ·a
	난방요구량(개축)	30 kWh/m ² ·a
단열 기준	벽체	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	지붕	$U \leq 0.11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	바닥	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	유리, 창틀, 문	$U \leq 0.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	열교	선형열교, 점형열교 $\psi \leq 0.01 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
	기밀성	$n_{50} \leq 0.6 \text{ 회/h}$
환기기준	열교환기 효율	75%(전열)
	환기장치 전력소모	0.45 W/m ² h
	급기/배기 비율차이	10% 이내

11) 한국 건설산업연구원 2008, 8월호 기술지

12) <http://www.passiv.de/>

② Passive House의 평가

패시브 하우스의 인증방식은 공인된 프로그램을 이용하여 냉난방에너지를 산정하고 벽체, 창호의 열관류율 냉난방에너지 요구량, 1차에너지 소요량, 냉난방 부하 등 기준 만족여부를 확인하여 인증서를 발부하고 패시브 하우스 건물로 인정해주고 있으며 인증서는 아래의 <그림 3.1.1-7>과 같다



<그림 3.1.1-7> 독일 패시브 하우스 인증서

나. 국내 건물 에너지 관련 제도

(1) 친환경 주택 건설 기준 및 성능

(가) 친환경 주택 건설 기준 및 성능 개요

「친환경 주택의 건설기준 및 성능」은 국토해양부 지침으로 「주택건설 기준 등에 관한 규정」 제 64조 제3항에 따라 친환경 주택의 성능 및 건설기준에 관한 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 정함을 목적으로 2009년 10월 고시하였으며, 2010년 10월 개정 이후 2012년 11월 개정 되었다.

이 기준은 「주택법」 제 2조 제7호에 따른 사업주체가 법 제 16조 제1항의 주택신설사업 계획의 승인을 얻어 건설하는 20세대 이상의 공동주택에 대하여 적용하며, 평가 기준 주택 대비 전용면적이 60㎡을 초과할 경우 총 에너지 절감율을 30% 이상, 60㎡ 이하일 경우 총 에너지 절감율 25% 이상인(2013년 10월 기준 개정) 에너지 절약형 친환경 주택으로 건설하여야 한다. 해당 제도는 에너지 절감에 목적을 두고 있으며 그에 따른 단열 성능 기준의 평균 열관류율은 아래의 [표 3.1.1-5]과 같으며, 평가기준 주택은 [표 3.1.1-6]과 같다.

[표 3.1.1-5] 친환경 주택의 단열성능 기준(2012. 11 개정)

부 위		평균열관류율 기준(W/m2K)		
		중부	남부	제주
외 벽	외기 직접 면함	0.25 이하	0.32 이하	0.50 이하
	외기 간접 면함	0.32 이하	0.47 이하	0.62 이하
측 벽		0.20 이하	0.28 이하	0.35 이하

[표 3.1.1-6] 평가 기준 주택의 부위별 열관류율(2013.10)

건축물 부위		지 역			
		중부지역	남부지역	제주도	
거실외벽	외기에 직접 면함	0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하	
	외기에 간접 면함	0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하	
최상층의 거실의 반자 및 지붕	외기에 직접 면함	0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하	
	외기에 간접 면함	0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하	
최하층의 거실의 바닥	외기에 직접면함	바닥난방인 경우	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기에 간접면함	바닥난방인 경우	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
공동주택 측벽		0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하	
창 및 문	외기에 직접 면함	3.00 이하	3.30 이하	4.20 이하	
	외기에 간접 면함	4.30 이하	4.70 이하	6.00 이하	

친환경 주택의 평가는 평가기준 단지 대비 대상단지의 총 에너지 절감율 또는 총 이산화탄소 저감률로 평가하며, 평가항목은 난방부문, 급탕부문, 열원설비, 전력부문에서 4가지 부문으로 평가하며 자세한 평가항목은 아래의 [표 3.1.1-7]와 같다.

[표 3.1.1-7] 친환경 주택 성능 평가 항목

항목	평가 내용
난방부문	외기에 직·간접 면한 벽, 지붕, 바닥, 창 및 문 등 열관류율
급탕부문	태양열 급탕 시스템, 지열시스템에 의한 급탕부하 절감량
열원설비	보일러, 지역난방, 구역형열병합발전, 소형열병합발전시설에 의한 난방·급탕에너지 절감량
전력부문	태양광, 풍력에 의한 전력부하 절감량

국토해양부는 친환경 주택의 성능 평가를 위해 엑셀 기반의 VBA로 개발한 친환경 주택 평가 프로그램 Ver 1.3을 제공하여 시트별로 지역, 열원시스템, 신·재생에너지, 외피성능 등을 입력하면 난방부하율에 따른 기술 수준별 선형방정식을 이용하여 난방부하 절감율이 계산되며, 이 계산된 값을 통해 주택 성능을 평가한다.

(2) 에너지 절약 설계 기준

(가) 에너지 절약 설계 기준 개요

건축물의 에너지 절약설계기준은 건축법 제 66조 2항의 규정에 따라 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 열손실 방지, 에너지 절약형 설비사용 등을 비롯하여 에너지 절약 설계에 대한 의무사항 및 권장사항 등 기준을 제시하고 에너지 절약에 따른 건축 기준 완화 등의 사항을 규정하고 있는 제도이다.

에너지 절약 관련 기준의 항목은 건축부문, 기계·설비부문, 전기설비부문, 신재생에너지 설비부문에 대한 설계 기준을 제시하고 있으며, 평점 합계 60점 이상을 만족하도록 요구하고 있다. 건축부문 의무사항으로는 주로 구조체의 단열성능 증진과 기밀 및 결로방지 등의 열손실 방지를 위한 사항들을 다루고 있다. 아래 표 [표 3.1.1-8]은 에너지절약설계기준의 건축부문 항목을, [표 3.1.1-9]은 2011년 에너지 절약 설계기준의 지역별 열관류율을 나타낸 것이다.

[표 3.1.1-8] 에너지 절약설계기준의 건축부문 항목 요약

항목	
건축 부 문	1. 외벽의 열관류율
	2. 지붕의 열관류율
	3. 최하층 거실바닥의 평균 열관류율
	4. 외단열 공법의 채택
	5. 기밀성 창호의 설치
	6. 주된 거실에 개폐 가능한 외기에 면한 창의 설치
	7. 유리창에 야간 단열 장치를 설치

[표 3.1.1-9] 에너지 절약 설계기준 지역별 열관류율(2011)

건축물 부위		지 역	중부지역	남부지역	제주도
거실외벽		외기에 직접면함	0.36 이하	0.45 이하	0.58 이하
		외기에 간접면함	0.49 이하	0.63 이하	0.85 이하
최상층의 거실의 반자 및 지붕		외기에 직접면함	0.20 이하	0.24 이하	0.29 이하
		외기에 간접면함	0.29 이하	0.34 이하	0.41 이하
최하층의 거실의 바닥	외기에 직접면함	바닥난방인 경우	0.30 이하	0.35 이하	0.35 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41 이하	0.41 이하	0.41 이하
	외기에 간접면함	바닥난방인 경우	0.43 이하	0.50 이하	0.50 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58 이하	0.58 이하	0.58 이하
공동주택 축벽			0.27 이하	0.36 이하	0.45 이하
공동주택의 층간 바닥	바닥난방인 경우		0.81 이하	0.81 이하	0.81 이하
그 밖의 경우	그 밖 의 경우		1.16 이하	1.16 이하	1.16 이하
창 및 문	외기에 직접면함	공동주택	2.10 이하	2.40 이하	3.10 이하
		공동주택외	2.40 이하	2.70 이하	3.40 이하
	외기에 간접면함	공동주택	2.80 이하	3.10 이하	3.70 이하
		공동주택외	3.20 이하	3.70 이하	4.30 이하

(3) 에너지 효율등급 인증제도

(가) 에너지 효율등급 인증제도 개요

건물 에너지 효율등급 인증제도는 건물의 에너지성능이나 주거환경의 질과 같은 객관적인 정보를 제공받고 건물의 가치를 인정받기 위한 제도로서, 건물부문에서의 합리적인 에너지 절약을 위해 건물에서 사용되는 에너지에 대한 정확한 정보를 제공하여 에너지 절약을 통한 경제적 효과와 더불어 편안하고 쾌적한 실내 환경을 제공하기 위해 시행¹³⁾되었다.

해당 제도는 「건축법」 제 66조 2에 의거 국토해양부와 지식경제부가 주관하고 에너지관

13) 에너지관리공단, 건물에너지절약사업 중 건물인증제도의 목적

리공단이 운영하는 인증제도로 18세대 이상의 공동주택과 업무용 건축물(2010년 1월 시행)을 대상으로 한다. 공동주택의 경우 환기에 따른 열손실 및 외벽, 지붕, 바닥, 창호 등 외피의 열손실과 태양열 취득 등을 종합적으로 고려하여 단위세대의 총 에너지 절감율을 계산한 후, 단위공동주택의 총 에너지 절감율을 구하고 최종적으로 전체 단지의 총 에너지 절감율을 평가하여 등급을 부여한다.

해당 제도의 인증기관은 한국건설기술연구원, 한국에너지기술연구원이고, 공동주택의 평가항목은 신청주택의 총 에너지 절감율을 기준으로 아래의 [표 3.1.1-10] 와 같이 10개의 등급으로 분류 된다.

[표 3.1.1-10] 건물 에너지 효율등급 인증제도

등급	주거용 건축물	주거용 이외의 건축물
	연간 단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/m ² ·yr)	연간 단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/m ² ·yr)
1+++	60 미만	80 미만
1++	60 이상 90 미만	80 이상 140 미만
1+	90 이상 120 미만	140 이상 200 미만
1	120 이상 150 미만	200 이상 260 미만
2	150 이상 190 미만	260 이상 320 미만
3	190 이상 230 미만	320 이상 380 미만
4	230 이상 270 미만	380 이상 450 미만
5	270 이상 320 미만	450 이상 520 미만
6	320 이상 370 미만	520 이상 610 미만
7	370 이상 420 미만	610 이상 700 미만

3.1.2 건물에너지 평가방법 조사

가. 정적 해석법¹⁴⁾¹⁵⁾

정적 해석법에 의한 건물 에너지 해석법은 실내의 조건을 정상 상태로 즉 시간에 따른 변화가 없는 상태로 가정하여 해석하는 방법이다. 축열에 의한 영향이 반영되지 못하는 계산 방법으로 정확성이 부족하나, 장비 용량 등의 산정 시에는 오차가 적고 신속하게 건물 에너지 성능을 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다.

(1) 냉난방도일법(Degree-day Method)

외부기상요소 중 외기온도만을 고려하는 난방도일법은 관찰적 경험에 근거하여, 일평균 기온이 일정한 온도 18℃가 되면 태양열취득과 내부발열 등으로 인하여 열손실이 상쇄하게 된다는 개념을 근거로 하여 난방부하 및 에너지소비량을 예측 평가하는 방법이다. 난방도일법은 태양열취득과 내부발열에 의한 난방부하 감소 효과를 고려하지 않아 난방부하가 과다하게 계산되고, 장기간의 평균치 개념으로 경험적인 방법에 기초하고 있어 큰 신뢰성을 확보하기 어렵다.

(2) 가변난방도일법((Variable Heating Degree-day Method)

난방도일법과 개념이 유사하지만 실내 발생열을 반영한 건물에 난방이 요구되지 않는 온도인 균형점 온도(Balance Point Temperature)의 개념을 도입한 것이다. 건물의 열부하가 0이 되는 균형점 온도를 계산한 후, 이에 따른 난방도일을 산정하여 기간열부하를 계산하는 방법이다. 균형점 온도는 실내온도, 일사, 내부발생열 및 건물의 열성능 등에 의해 결정되므로 난방도일법에 반영되지 못한 일사 및 내부 발생열의 효과가 반영된다. 하지만 가변난방도일법의 최초 연구가 주택에서 측정된 데이터를 이용하였기 때문에 기본적으로 주거용 건물에 적합한 방법이다.

(3) 확장난방도일법(extended degree-day Method)

확장난방도일법은 난방도일법에서 무시하고 있는 일사, 내부발생열, 야간복사량, 건물의 사용스케줄 등의 부하요소들을 고려하여 난방부하를 계산하는 방법이다. 확장난방도일법은 건물의 열부하에 영향을 미치는 주요 요소가 포함되었기 때문에 난방이 계속된다면 비교적 정확한 부하량을 예측할 수 있다. 그러나 야간에 운전을 정지하는 경우에는 그 추정치가 정확하지 않게 되며 이러한 경우에는 통계적으로 산출한 지역별 보정계수를 적용하여야 한다.

(4) 빈 방법(BIN method)

빈 방법이란 여러 가지 외기조건에서 일어나는 순간 열부하를 계산한 후 그 결과를 계산된 외기조건을 포함하는, 소위 빈으로 불리는 온도 간격의 빈도수에 따라 상당 계산하는 방

14) 현석균, 건물 냉난방 에너지의 동적 성능 시뮬레이션, 경희대학교 대학원, 석사 논문, 2003년

15) 김지연, 발코니 확장에 따른 열환경 성능 평가 및 개선안에 관한 연구, 인하대학교 대학원, 석사 논문, 2006년.

식이다. 빈은 임의의 간격으로 정할 수 있으나, 보통 3°C(화씨의 경우 5°F가 이에 해당)의 간격을 많이 사용한다. 빈 방식에서는 건물의 점유기간과 비점유기간 동안의 열부하를 따로 계산하는 것이 보통이며, 또한 균형점 온도를 사용하여 내부열 발생과 태양열 취득의 영향을 고려하기도 한다.

(5) 수정빈법(Modified BIN method)

종래의 빈법에 평균부하 또는 다변부하(diversified load)의 개념을 도입한다. 태양열 취득과 내부 발생열을 기상조건과 발생정도에 맞도록 상당 계산된 평균값을 적용하여 계산하는 방식이다. 또한 축열계수 또는 냉방부하계수(Cooling load factor)를 사용하여 구조체의 축열 성능도 동시에 고려하고 있으며, 정적 해석법 중에서 비교적 정밀한 연간 냉난방부하를 산정할 수 있는 방법이다.

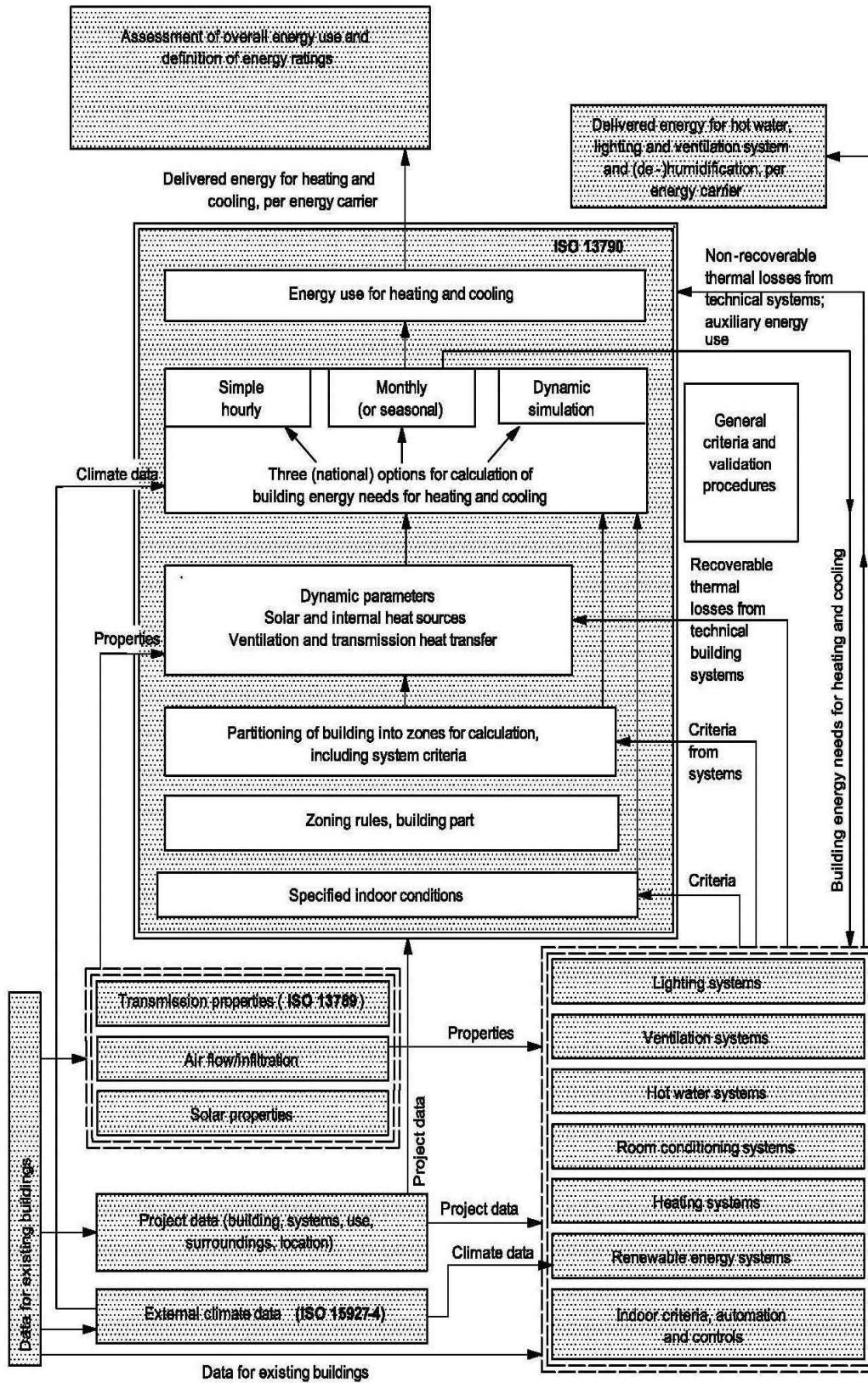
나. 준정상(ISO 13790) 해석법

ISO 13790은 건물의 난방 및 냉방 에너지요구량 산출방법을 규정한 국제표준으로 Monthly(or Seasonal) calculation method, Simple hourly calculation method, Dynamic simulation method 등 다양한 계산 방법들을 제시하고 있다. 이를 통해 산출한 난방 및 냉방 에너지 요구량은 외기온도에 대한 난방 및 냉방 설정온도를 유지하기 위해 요구되는 열량 값을 의미하고, 건물에서의 외피 및 환기 전열, 내부발열, 일사열획득을 계산에 포함하고 있다. 또한 선형 열교 부위의 선형 열관류율을 이용하여 열교 부위를 통한 전열량을 산출하여 이를 에너지 성능에 반영하고 있으며, 동적 건물에너지 해석프로그램보다는 정교하지 못하지만 건물 요소들의 유효 열용량으로 산출되는 시간 상수를 에너지 성능 계산과정 내에 포함하고 있어 축열로 인한 실내 온도 조절 효과를 어느 정도 반영할 수 있다.¹⁶⁾

즉 ISO 13790에 기반을 둔 준정상상태 해석법은 냉난방 에너지 요구량 계산 시 간단한 대수식으로 동적 상태 방법의 결과와 근사한 결과를 도출하기 위해 구조체 축열량을 에너지 요구량 식에 반영한다. ISO 13790에 근거한 주거용 건물의 에너지요구량 산출 프로그램으로는 대표적으로 독일의 PHPP 2007가 있고, 영국의 국가 기준인 SAP 2009, 그리스의 Energy Performance Regulation for Building(KENAK), 노르웨이의 EP Calculation Standard인 NS 3031(2007)이 있으며, 국내 프로그램은 ECO2, CE3, BESS 등이 있다. 다음 <그림 3.1.2-1>은 ISO 13790의 계산 과정과 다른 기준과의 연관 관계를 나타낸 것이다.¹⁷⁾

16) 구보경, 공동주택 외피에서의 열교 방지를 위한 제도 개선 방안 연구, 이화여대 대학원 건축학과 박사학위 논문, 2011년 02월

17) ISO 13790 : 2008, Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling



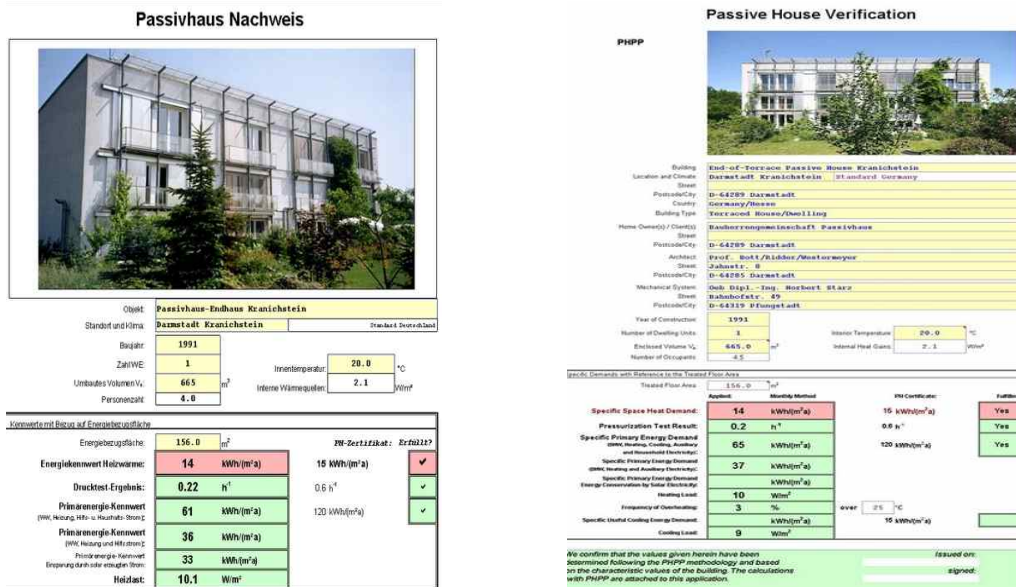
<그림 3.1.2-1> ISO 13790의 계산 과정 및 다른 기준과의 연계

(1) PHPP(Passive House Planning Package)

PHPP(Passive House Planning Package)는 독일 패시브 하우스 협회(PHI)의 에너지 성능 산출 프로그램으로, 외피 전열 및 환기에 의한 손실열량과 일사 열 획득 및 인체, 조명, 기기 등에 의한 내부발열을 고려한 유효획득열량을 계산하여 연간 단위면적당 난방부하를 산출한다. 이 밖에도 열교 고려, 태양열 온수 급탕 등 친환경 요소를 통해 건물 전체의 에너지 밸런스를 추정한다. PHPP에서 계산에 포함되는 공간은 재실자가 상시 거주하는 공간, 즉 난방공간만을 대상으로 하고, 계단실, 배관샤프트, 발코니 등의 비 난방공간은 포함하지 않는다.¹⁸⁾

PHPP 2007 프로그램은 엑셀 기반의 31개의 워크시트로 구성되어 있다. 에너지 요구량의 산정은 ISO13790과 DIN V 18599, DIN 4108을 혼용해 사용하며, 그 외 다양한 DIN 규정과 EN 규정 등을 이용해 열교, 환기, 창호열관류율, 시스템효율 등을 계산한다. 또한 열균형비(γ)와 매개변수(α)의 함수로 정의되는 열획득이용률(η , 유효계수)을 이용하여 축열효과를 반영한다.

PHPP에서는 월별 계산법(Monthly calculation method)과 연간 계산법(Annual calculation method) 중에서 계산 방법을 선택할 수 있다. 연간 계산법의 경우 1년 동안의 평균 온도를 적용하기 때문에 국내같이 사계절이 있는 나라의 경우에는 월 단위의 평균온도를 적용하는 월별 계산법을 통해 보다 정확하게 난방 및 냉방에너지 요구량 산출할 수 있다. 또한 구조체의 열용량을 반영해 줄 수 있을 뿐만 아니라 선형 열관류율을 이용한 열교부위 전열량도 함께 반영해 줄 수 있어, 열용량 변화와 열교 유무에 의한 영향을 모두 파악할 수 있는 장점이 있다.



<그림 3.1.2-2> PHPP Verification Sheet 화면

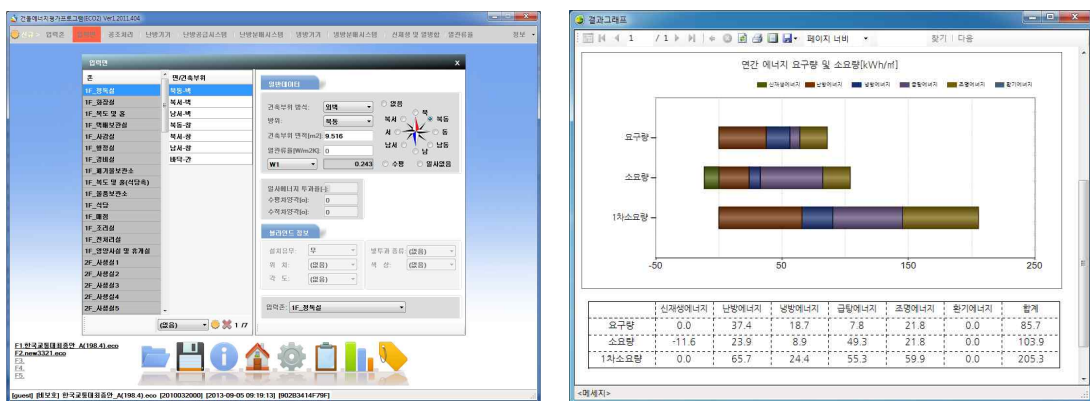
(2) ECO2(업무용 건축물 에너지효율등급 인증프로그램)

국토 해양부는 에너지관리공단을 통해 업무용(비주거용) 건축물의 에너지 효율 등급을 평가하기 위한 공개용 평가 툴(ECO2)을 평가기관과 관련업체에 배포하고 있다. ECO2는 ISO

18) 정선미, PHPP를 이용한 한국형 플러스 에너지 주택의 건물 에너지 성능 분석, 2011 생태건축환경학회 추계학술발표대회 논문집 제 11권 제 2호, 2011. 10

13790과 DIN V 18599을 기준을 적용해 개발된 업무용 건물 에너지 효율 등급 평가 도구로서 “월별 계산법(Monthly Calculation Method)”을 기본 평가 로직으로 사용해 준정상상태 해석을 수행한다. 건물 형상, HVAC 시스템, 신재생에너지시스템 등의 입력이 가능하며, 월별 평균 기상데이터를 이용하여 건물의 에너지 요구량을 산정한다. 최종적으로 계산된 에너지 요구량을 만족시키기 위한 시스템의 성능을 반영한 건물의 에너지 소요량을 계산할 수 있으며, 단위면적당 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 에너지로 구분하여 결과를 제시한다.

그러나 ECO2는 평가의 효율성 증대를 위해 입력항목을 최소화해 PHPP와 다르게 사용자가 자유롭게 수정할 수 없는 항목들(스케줄, 내부발열, 축열용량 등)이 많고 건축물의 선형 열교와 점형열교를 반영할 수 없는 구조로 구성되어있다. 다음 <그림 3.1.2-3>은 ECO2의 실행화면이다.



<그림 3.1.1.2-3> ECO 2 화면

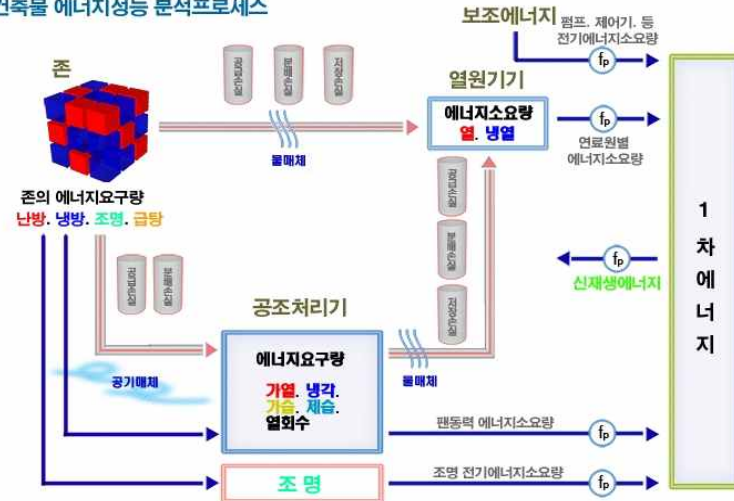
(3) CE3 (Construction Energy Efficiency Evaluation)¹⁹⁾

CE3는 민간기업인 (주)피앤디소프트가 개발한 건물 에너지 효율 평가 프로그램으로 유럽의 건물에너지성능지침인 EPBD(Energy Performance of Building Directives)에 따른 국제표준 ISO 13790과 독일의 건물에너지성능 평가규격 DIN V 18599를 바탕으로 국내 실정에 맞추어 개발된 Web 기반 건물 에너지 성능 평가 솔루션이다. 웹에서 구동되는 형태이며 주거 및 비주거용 건물 전반에 걸쳐 건축 물리적 또는 건축 설비적 특성에 의한 에너지 흐름의 상호작용을 종합적으로 고려하여 난방, 냉방, 조명, 급탕 및 환기에 요구되는 에너지를 정량적으로 분석할 수 있는 프로그램이다.

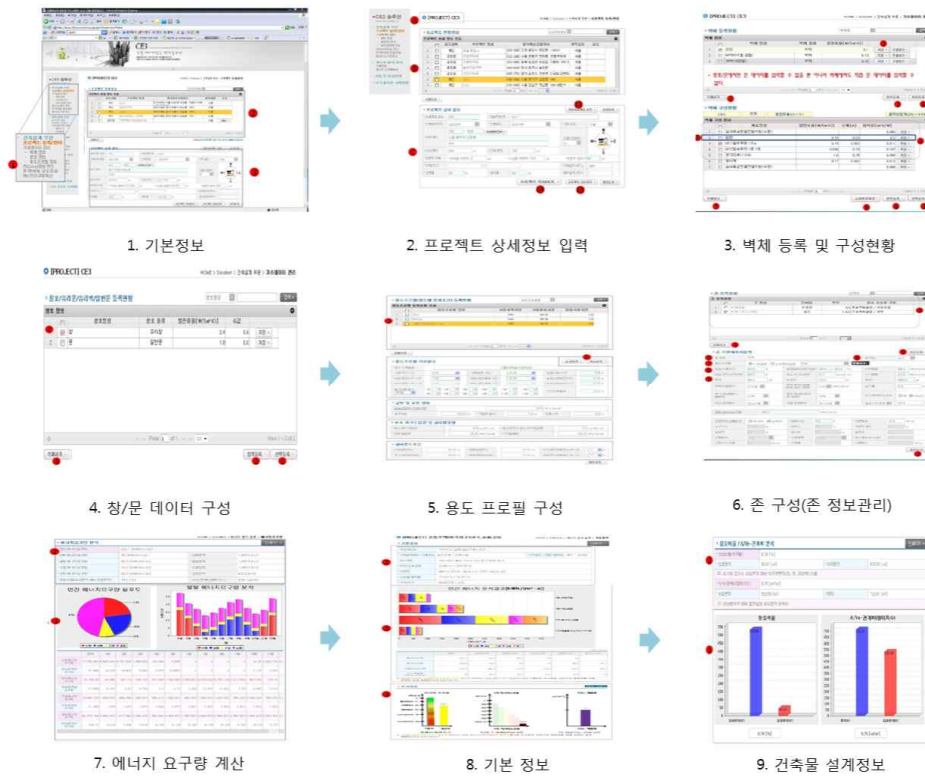
<그림 3.1.2-4>은 CE3의 에너지 성능 분석 개념도를 나타낸 것이다. 동일한 알고리즘을 가진 ECO2와 비슷한 입력 과정을 지나 입력 항목이 좀 더 많다. 또한 CO₂ 배출량을 분석할 수 있으며 프로그램에서 입력 데이터들을 엑셀로 만들어서 다운을 받을 수 있는 장점이 있지만, ECO2와 동일하게 열교 분석에 어려움이 있다.

19) www.kilhoo.co.kr

건축물 에너지성능 분석프로세스



<그림 3.1.2-4> CE3 건축물 에너지 성능 분석 개념도



<그림 3.1.2-5> CE3 건축 설계 부문 구성 및 진행 순서

다. 동적 해석법

(1) 동적 에너지 해석법²⁰⁾

실제 건물의 외기 조건은 수시로 변화하기 때문에 정상 상태 해석으로는 건물에서의 정확한 에너지 사용량을 계산할 수 없다. 즉 실제 건물의 실내·외 조건은 시간에 의해 변화하는 비정상상태이기 때문에 정확한 열부하 및 에너지 사용량의 계산을 위해서는 각각의 요소들을 시간의 함수로 처리하는 동적 계산이 요구된다. 이러한 동적 해석은 라플라스 변환을 이용하는 해석적인 방법과 유한차분 등을 이용하는 수치적인 방법으로 대별할 수 있으며, 두 경우 모두 수시로 변화하는 실내외 경계조건을 반영해 벽체에서의 열전달을 계산해야 하므로 계산량이 방대해 컴퓨터를 이용해 해석을 수행한다.

(가) 해석적인 방법

건물의 과도 열전달을 모델링하는 기본적인 도구는 전달행렬방식(transmission matrix method)이다. 시간과 공간에 대해 2차 편미분방정식 형태로 표현되는 열전도 기본 방정식을 라플라스 변환(laplace transformation)을 이용하여 가상공간으로 변환하면 실 공간에서의 미분방정식이 순수하게 대수적 형태로 처리할 수 있게 된다.

라플라스 공간으로 변환된 기본방정식에 대해 해석적 해를 도출하고 이를 행렬식 형태로 표현하면 출력과 입력 및 전달 행렬로 정리된다. 이 때, 전달행렬내의 각 원소(element : $A(s) - D(s)$)를 전달함수(transfer function)라 하면 벽체재료의 두께와 물리적 특성에 의해 결정된다. 경계조건에 따라 행렬식 각 요소의 재배치가 가능한데 예를 들어 표면의 열류율 표면온도의 자극에 대한 반응으로 표현하면 시간계(time-domain) 응답함수 형태로 표현된다. 다층(multi-layer) 구조벽의 전달행렬은 벽체 각층의 행렬을 곱함으로써 얻을 수 있으며 전체벽체의 열적해석은 단일층의 경우와 동일하게 처리될 수 있다.

전달함수는 일반적으로 열전달 방식 중 전도현상이 주된 성분인 벽체나 지붕을 모델링하는데 이용되며, 이 방식의 가장 중요한 특성은 입력과 출력이 시간 축 내에 균일하게 분배된 일련 값 형태를 가진다는 것이다. 따라서 외기온, 일사량과 같은 기후데이터를 복잡한 변환 과정 없이 입력값으로 사용할 수 있다. ASHRAE에서는 건물외피성분을 통한 과도열전도를 계산하는 표준 방식으로 전달함수법을 채택하였으며 복잡한 실내외 열전달계수와 구성 재료의 유형에 따라 전달함수의 계수값을 제시하고 있다. 그러나 이 계수의 응용은 상당외기온과 외표면 열전달계수의 계산조건에 따라 일부 제약을 받으며 전달함수의 기본가정은 다층 벽체를 구성하는 각 층의 재료가 순수한 물질로 구성되며 공간상에 x축 열류만을 가정하는 1차원 열전달만을 고려하고 있다.

해석적인 방법을 이용한 동적 해석 프로그램의 종류에서는 응답계수법(response factor)과 상당계수법(weighting factor)법을 적용한 미국의 DOE-2 및 일본의 HASP과 AHSRAE의 전달함수(transfer function)법을 적용한 TRNSYS 등이 있다.

(나) 수치적인 방법

유한차분법과 같은 수치 해석에 근간을 두고 있는 동적 해석 방법은 선형 및 비선형 모델

20) 현석균, 건물 냉난방 에너지의 동적 성능 시뮬레이션, 경희대학교 대학원, 석사 논문, 2003년

을 모두 포함하여 시스템 구성에 유연성이 큰 장점을 가진 반면, 요구되는 계산량이 방대하여 비용과 연산시간 측면에서 비효율적인 것으로 간주되어 왔다. 그러나 최근의 컴퓨터 환경을 고려할 때 이러한 문제는 더 이상 제약사항이 될 수 없으며 오히려 그 활용범위가 더욱 더 확대되고 있다. 수치해법의 기본개념은 미분방정식을 대수방정식으로 변환시키는 이산화방정식 또는 차분방정식을 수립함으로써 컴퓨터를 이용한 계산이 가능하게 하는 것으로, 실험 측정값과 유사하게 한정된 개수의 위치(nodes)에서 해를 구하게 된다.

수치해법의 종류는 이산화 방법에 따라 일반적으로 유한차분법(FDM : Finite Difference Method), 유한요소법(FEM : Finite Element Method) 및 유한체적법(FVM : Finite Volume Method)으로 구분하고 있다. HVAC이 시뮬레이션을 위해 일부의 구성 기기에서는 지배방정식이 미분방정식의 형태로 구성되며, 이에 매 시간간격마다 풀어야 하고 특히 반복적인 계산이 필요한 경우 수치적인 방법과 조화를 이루게 된다.

ESP-r, BLAST, EnergyPlus 등이 수치적인 방법을 이용해 계산을 수행하는 대표적인 프로그램이며, 동적 해석 방법 중 신속하고 계산 과정이 단순하다는 해석적인 방법의 장점이 사라지고 있는 상황에서 향후 완전히 대체하게 될 가능성도 충분히 있다.

(2) 동적 에너지 해석 프로그램

(가) EnergyPlus²¹⁾²²⁾

EnergyPlus는 미 에너지성(DOE)이 BLAST와 DOE-2 프로그램에 근간을 두고 단점을 보완하여 개발한 에너지 해석 및 열부하 시뮬레이션 프로그램으로, 베타테스트를 완료하고 2001년 4월에 ver. 1로 공식 발표되었다. EnergyPlus는 실제 건물에서와 같이 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 건물의 물리적 구성, 1차 Plant 장비의 많은 세부 조건들과 에너지 소비, 2차 HVAC 시스템과 Coil 부하 조건들을 입력해 열적 존의 설정 조건(setpoint)을 유지하기 위한 냉·난방 부하를 계산한다. EnergyPlus의 주요 기능은 다음과 같다.

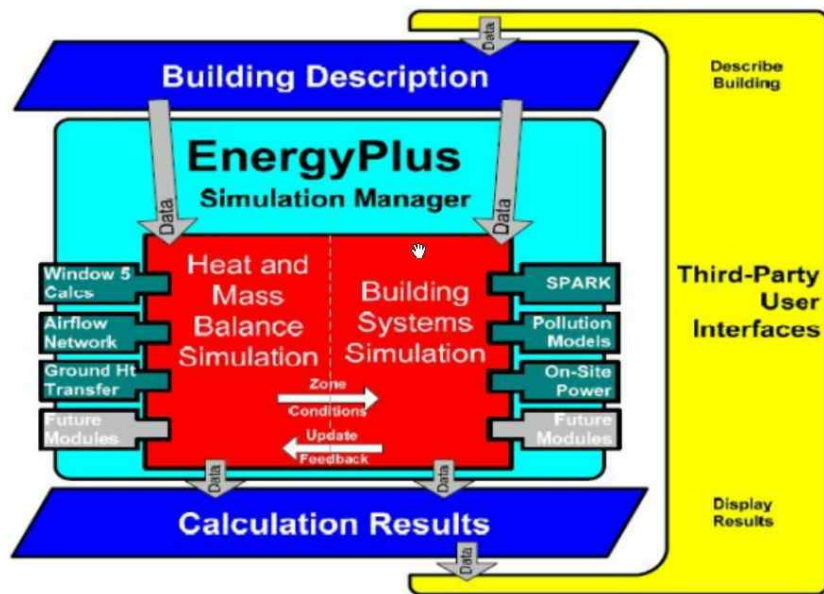
- 건물의 응답(Response)과 1차, 2차 시스템이 견고하게 결합되어져 건물과 시스템의 동시 해석 (필요에 따라 반복 계산 수행)
- 해석 시간 간격(Time Step)의 자유로운 지정과 보조 시간 간격(Sub Time Step)의 사용
 - 열적 존(thermal zones)과 주변 환경(외부 변수) 간의 상호작용을 위해 보조 타임 스텝의 활용,
 - 열적 존과 HVAC 시스템들 간의 상호 작용을 다양한 시간 간격으로 지정(해의 안정성을 확보하기 위한 자동 변경)
- 매 시간 간격에서 내·외부 표면에서의 복사과 대류 효과를 동시 계산이 가능하도록 하는 열 평형에 기반을 둔 해석 기법
- 전도 전달함수를 이용한 벽체, 지붕, 바닥 등과 같은 건물 구성요소들의 과도 열전도 해석 (transient heat conduction)
- 3차원 유한 차분 지중 모델과 단순 해석 기법의 연계를 통한 개선된 지중 열전달 모델링
- 전도 전달함수의 레이어별(layer-by-layer) 통합 또는 유효 습기침투 깊이 모델(EMPD)으로

21) DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Input Output Reference, US Department of Energy.

22) DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.

- 써 수분 흡착/탈착을 계산하는 결합된 열전달 및 축열성 모델
- 활동량, 실내건구온도, 습도 등에 기반을 둔 열쾌적 모델
- 경사면의 확산일사량 계산을 개선하기 위한 이방성 천공 모델(Anisotropic sky model)
- 가동식 창호 블라인드, 전기변색 유리(electrochromic glazing), 레이어별 열평형을 포함하는 진보된 창호 계산법 및 상업적으로 이용 가능한 방대한 창호 성능 라이브러리
- 인공조명의 효과, 디밍 제어, 현휘 분석 및 제어, 실내 조도 계산을 포함하는 자연 채광 해석
- Node 와 Loop 기반으로 구성된 유연성 있는(configurable) HVAC 시스템
- ASCII 텍스트 기반 기상 자료 및 입·출력 파일
- 건물 구성요소의 상세 분석을 위한 WINDOW 6 및 DELight와 같은 다른 공용 시뮬레이션과 링크 컴포넌트 제공

EnergyPlus는 시뮬레이션 엔진으로 Open-Source 형태로 무료로 제공되어 다양한 사용자의 목적과 용도에 적합한 제 3 사용자 인터페이스(Third-Party User Interface)의 개발이 가능하다. 현재 DesignBuilder, Openstudio 등을 비롯한 다양한 제 3 사용자 인터페이스들이 개발되어 상용되고 있다. 또한 객체 지향의 모듈 형식으로 구성되어 다양한 구성요소를 개발 추가 할 수 있도록 하고 있으며, 부하 및 에너지 계산에 있어 건물, 시스템, 플랜트의 상호간 통합을 구현하고 있다. <그림 3.1.2-6>은 EnergyPlus의 구조를 나타낸 것이다.



<그림 3.1.2-6> EnergyPlus의 구조

(나) TRNSYS(Transient systems Simulation)²³⁾

TRNSYS는 1975년 Wisconsin 대학의 SEL(Solar Energy Lab)에서 태양에너지 응용시스템에 대한 비정상상태 시뮬레이션을 위해 처음 개발 되었다. 초기에는 건물 에너지 해석에 초점을 두고 있지 않아 관련 기능이 약했으나, 이후 다양한 연구 기관(TESS, Transsolar, CSTB

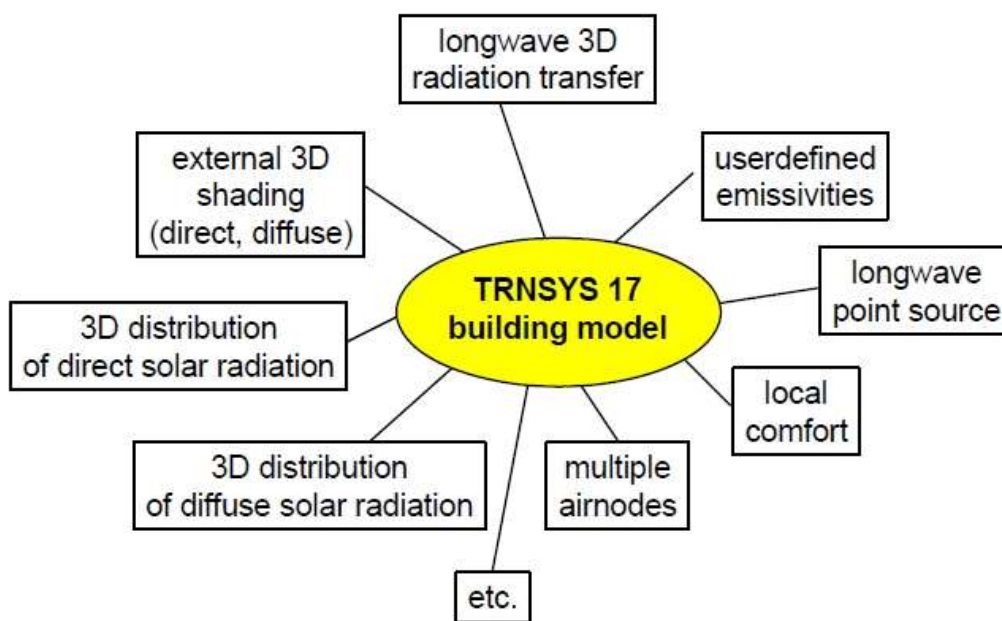
23) <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>

등)에 의한 지속적인 모듈 개발과 버전 업(현재 17 버전까지 개발)으로 건물 부하 및 에너지 해석은 물론 HVAC 시스템으로 프로그램 기능을 확장시켜 현재는 유럽을 비롯한 세계 각국에서 사용되고 있다.

TRNSYS는 ASHRAE에서 제시한 전달함수(transfer function)법을 이용해 동적 계산을 수행하며, HVAC기기, 멀티존 모델, 각종 컨트롤러 및 태양열 집열기와 같은 약 60여개의 표준 컴포넌트 모델을 제공한다.

또한 TRNSYS는 다중 공간의 침기나 환기, 오염원 전달 등을 해석할 수 있는 1차원 유동 해석 엔진인 COMIS에 기반한 TRANFLOW, 최적화 도구인 GenOpt 엔진에 기반한 TRANOPT을 제공한다. 또한 건물의 기하학적 형상을 정의하기 위해 CAD 프로그램 (최근 SketchUP을 통한 3차원 모델링까지 연계 확장)과 연동이 가능하다. Open Source 형식으로 구성 요소(Component) 추가가 용이하며, 기상데이터 및 외부 조건을 외부 입력파일을 활용하여 쉽게 반영할 수 있는 장점이 있다.

Equation 컴포넌트를 이용해 입력값을 수식 형태로 입력할 수 있으며, 구성요소 항목간 링크를 자유롭게 할 수 있어 다른 동적해석 프로그램에 비해 유연성과 확장성이 높다.



<그림 3.1.2-7> TRNSYS 멀티존 빌딩 모델 프로세스

(다) ESP-r(Environmental System Performance-research)²⁴⁾²⁵⁾

ESP-r은 영국의 스트라스 클라이드 대학의 ESUR(Energy System Research Unit)에서 개발되어 EU에서 공인한 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램으로 유한 체적법을 기본 알고리즘으로 채용하고 있다. 최초에는 유닉스 운영체계의 워크스테이션에서 수행되는 건물 에너지 시뮬레이션으로 개발되었으나, 현재는 WINDOW 운영체계에서도 실행이 가능하다.

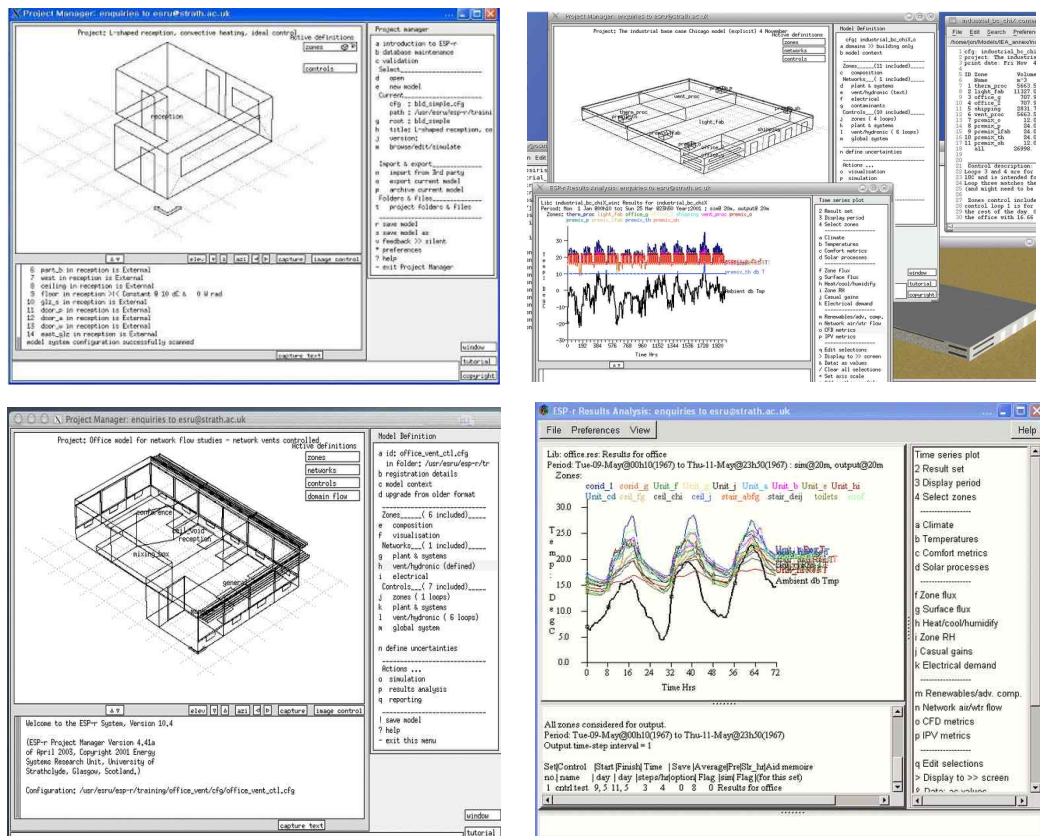
24) <http://www.esru.strath.ac.uk>

25) 김미현, 건물의 열성능 평가 지표에 관한 연구, 인하대학교 대학원 건축공학과, 2008년 02월

대규모 행렬식 처리를 위해 행렬분할 등과 같은 고급 수치해석기법을 도입하여 수행속도가 탁월하며, 모듈화 된 개별 에너지 시스템을 하나의 통합된 환경에서 메뉴 방식으로 운영 가능하며, 입출력의 그래픽 지원, 재료의 물성 및 각종 건물 운영 프로파일의 데이터베이스화하여 사용자 인터페이스 측면에서도 많은 편의를 제공하고 있다.

ESP-r은 EU의 자연형 건축 프로젝트인 Passive Solar Components and System Testing의 국가 간 실증 실험을 통한 검증 모델로 최근 유럽에서 활발히 이용되고 있으며, 지속적인 업그레이드가 진행되고 있다. ESP-r의 기능상 주요 특징은 다음과 같다.

- 열용량이 다른 멀티-존에서의 비정상 열전달(대류, 전도, 복사) 해석
- 열적 존(Thermal Zone)은 잘 혼합된 공기(Well-Mixed)를 갖는 것으로 가정
- 다각형 기반으로 임의의 기하학적 형태를 구현 가능
- 열적 존의 벽체(Surface)들은 명칭, 경계조건 및 기하학 그리고 열역학적 물성의 속성을 지정할 수 있으며, PV모듈이나 상변화 재료들을 포함 가능
- 인체, 조명, 기기 등의 내부 발열이 설정 및 각각의 대류 및 복사 열전달 비율 지정
- 열적 존은 표면 내부의 절점(node)이나 공기 절점을 기준으로 열을 유출입하며, 존이나 유동 제어 또는 열역학적 물성의 치환에 의해 침기 및 환기 설정
- HVAC, 습기전달, Air flow network, CFD, 조명, 그리고 전력 배전 사이의 상호작용 해석



<그림 3.1.2-8> ESP-r 화면 예

라. 건물에너지 해석 프로그램 선정

(1) 동적해석방법과 준정상해석방법의 비교

다음의 [표 3.1.2-1]은 본 연구에서 수행할 해석법을 선정하기 위하여 준정상 해석법과 동적해석법의 입력항목의 차이점을 비교한 것이다.

[표 3.1.2-1] 준정상해석과 동적해석의 입력 항목 특성 비교

구 분	준 정상해석	동적해석
건물 용도	△	○
분석 타임스텝 조정	X	○
분석 기간 조정	X	○
지형 조건	X	○
점형 열교 입력	○	X
선형 열교 입력	○	X
지중 온도	○	○
지중 전열정밀해석	X	○
재실 스케줄	△	○
기기 운영 스케줄	△	○
열전도율	○	○
비열	X	○
밀도	X	○
풍속에 의한 표면열저항	X	○
창호 SHGC	○	○
창호 열관류율	○	○
VLT	X	○
창틀 및 간봉 물성	○	○
차양(본 건물에 의한)	○	○
음영(타 건물에 의한)	○	○
블라인드 설정	△	○
단열경계조건	X	○
내벽 구획	X	○
내부 발열	○	○
건물 열용량	△	○
침기량	○	○
환기량	○	○
공급 열원 설정	○	○
공조 시스템	△	○
열원 기기	△	○
출력 항목 조정	X	○

※ ○ : 입력 가능, △ : 한정적 입력, X : 입력 불가능

준정상해석방법은 ISO 13790과 DIN 4108의 알고리즘을 기반으로 간단한 대수식(algebraic equation)으로 건물의 에너지 성능을 평가한다. 환기 및 전열, 내부발열, 일사취득 등을 계산에 포함하고 있으며, 열교 부위의 전열량과 복합 재료의 적용에 따른 열관류율의 계산이 용이하다. 열획득활용계수를 이용해 축열 성능을 반영하기 때문에 동적 해석 도구에 비해 정확성이 부족하지만, 입력항목이 적고 계산 알고리즘이 직관적이어서 사용자의 능숙도에 따른 결과 값의 차이가 작고, 계산이 신속하게 이루어진다.

반면 동적 에너지 해석 프로그램은 수시로 변화하는 건물의 실내외 조건을 지정된 타임 스텝별로 계산해 건물 에너지 성능을 평가한다. 전열 해석을 위해 전달함수법과 수치해석법의 선택 사용이 가능하며 외벽을 통한 관류, 시간에 따른 실내 현열 및 잠열 발열, 환기 및 침기에 의한 열손실/취득, 일사, 천공복사, 내벽체간 복사, 주위건물 음영, 건물 내외부 대류 열전달, 구조체 축열 등 여러 가지 열전달 경로를 통하여 동시에 발생하는 열부하를 통합하여 계산한다. 또한 건물, 시스템(공조시스템), 플랜트(열원기기)간의 피드백을 통해 동시 계산을 수행하여 해석의 정밀도가 높다. 특히 건물 구성요소들을 수준별 클래스에 따라 다양한 방법으로 입력할 수 있으며, 보조 벽체 또는 벽체의 분할을 이용해 열교를 해석할 수 있는 가능성도 가지고 있다.

이상의 연구를 통해 살펴보았든 준 정상 해석방법과 동적 해석방법은 각각의 장단점을 가지고 있으나, 본 연구에서는 해석의 범위가 넓고 해석의 정확도가 높은 동적 해석 방법을 이용하여 건물 에너지 성능 시뮬레이션을 수행하고자 한다.

(2) 동적해석 프로그램 선정

대표적인 건물 에너지 동적 해석 프로그램은 EnergyPlus, TRNSYS, ESP-r, DOE2, IES-VE 등이 있다. 다음 [표 3.1.2-2]는 동적 해석 프로그램의 특징을 비교한 것이다.

[표 3.1.2-2] 동적에너지 해석 프로그램 비교

프로그램 특징	EnergyPlus	ESP-r	TRNSYS	DOE-2
해석 시간간격 조정	○	○	△	X
기하학 모델의 구현 방식	형상	형상	면적	형상
CAD 및 3D 모델링 입출력	○	○	○	○
음영 및 차양의 반영	○	○	△	○
벽/존/시스템 및 기기수 제한	무제한		제한	
열평형계산(각 시간단계에서 복사/대류의 동시계산)	○	○	△	△
건물, 시스템, 플랜트 간 피드백을 통한 동시계산	○	○	△	X
벽체의 습기 흡수/방출	○	○	X	○
온도와 공기 유동	○	○	△	○
내부 열 용량	○	○	○	○
열 쾌적도	○	○	△	○
전도열 계산 알고리즘	전달함수법 유한체적법(FVM)	유한차분법(FDM) 유한체적법(FVM)	전달함수법	전달함수법
연간에너지 소비량 해석	○	○	○	○
장비 용량 자동 계산	○	X	X	○
새로운 시스템 해석	○	△	○	X
컴퓨터 환경	WINDOW	UNIX, WINDOW	WINDOW	WINDOW

본 연구에서는 목재의 다양한 열적 성능(전도, 축열성능, 함수율 등)을 입력하고 이로 인한 건물 에너지 사용량의 변화를 정확하게 분석하기 위한 목적으로 동적 해석 프로그램을 사용할 예정이다. 이에 건물 구성 요소의 입력 항목과 실내외 표면의 열전달과 벽체의 열평형 알고리즘이 다양한 EnergyPlus를 건물 에너지 동적 해석 프로그램으로 선정하였다. EnergyPlus의 구체적인 선정 이유는 다음과 같다.

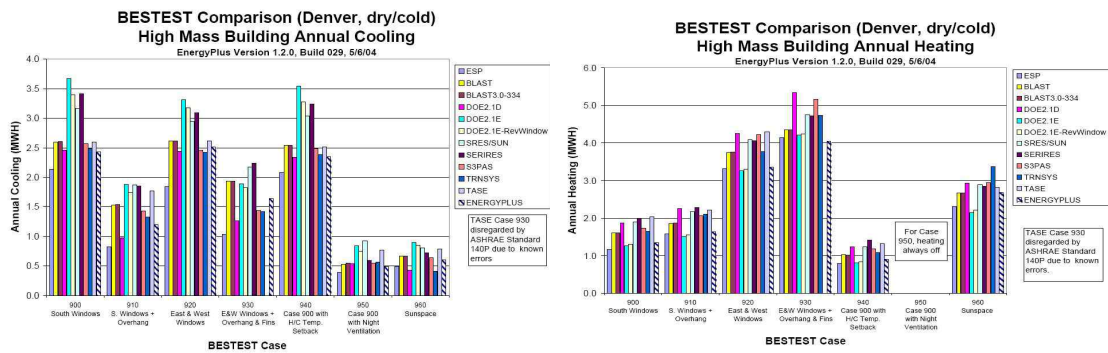
- 건물, 공조시스템, 열원기기(Buildings, System, Plant) 사이의 실시간 피드백을 통한 부하 계

산의 동시 수행

- 매 시간 간격에서 내·외부 표면에서의 복사와 대류 효과를 동시 계산이 가능하도록 하는 열 평형에 기반한 해석 기법
- 다양한 표면 열전달 및 벽체 열전도 알고리즘(전달함수법과 수치해석법 선택 가능)
- 건물 구성 요소(벽체, 창호, 차양 등)의 수준별 다양한 입력 항목
- ASCII 텍스트 기반의 입출력 파일과 다양한 기상 데이터 변환 프로그램 제공
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2001에 의한 프로그램 검증

특히 EnergyPlus는 ASHRAE 1051 Toolkit을 이용한 해석적 결과와 비교, ANSI/ASHRAE Standard 140-2001에 의한 상용 프로그램간 비교(BESTEST) 등의 다양한 프로그램 신뢰성 검증을 수행하였다. <그림 3.1.2-9>는 ‘ANSI/ASHRAE Standard 140-2001’에 기술된 방법으로 GARD Analytics에 의해 수행한 프로그램 간 비교 결과의 일부이다. 다양한 모델 조건(구조체의 종류, 창호면적, 차양 적용, 기상데이터 변화 등)에서 대부분의 상용 프로그램과 동일한 경향을 나타냈으며, 유효한 64개의 결과 중에서 4개의 결과에서만 참조 기준값의 최대값을 초과했으며 초과한 최대 오차도 5.6%로 분석되었다.²⁶⁾²⁷⁾

이러한 해석 용이성과 각종 테스트를 통한 신뢰성에 근거하여, EnergyPlus를 본 연구에서 수행할 건물 에너지 성능 평가의 분석 프로그램으로 최종 선정하였다.



<그림 3.1.2-9> BESTEST에서의 비교 결과(난방, 냉방)

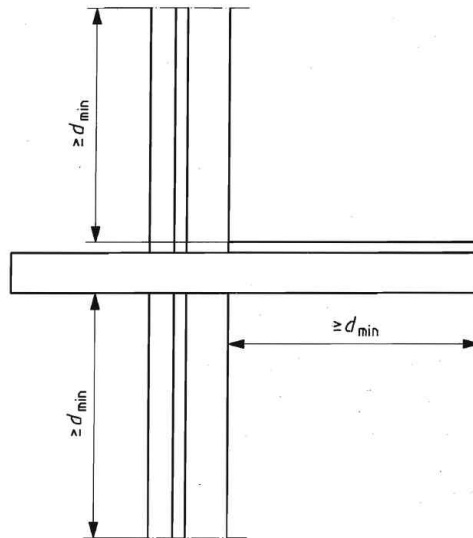
26) GARD Analytics, 2013, EnergyPlus EnergyPlus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2011. US Department of Energy.

27) <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

3.1.3 전열성능 평가방법 조사

가. 전열 해석(ISO 10211)의 이론적 고찰²⁸⁾

‘ISO 10211 : 2007’에서는 구조체 열교 부위의 열류량, 표면결로 관정을 위한 표면온도 계산의 모델링 상세 기준과 방정식을 정의하고 있다. 외벽과 지붕 슬래브 또는 공동주택의 층간 슬래브의 경우, <그림 3.1.3-1>과 같이 열교 부위 전열량 산출을 위한 모델링 시 각 부위 최소 치수를 정의하고 있다. 2차원 단면상에서 구조체를 통한 열류량을 산출해야하며, 모델링 시 열교 부위를 중심으로 이웃하는 구조체의 길이는 건축물의 연속되는 단면의 경우, 대칭선을 기준으로 하되, 이 길이는 적어도 벽체두께의 3배와 1,000mm 중 더 큰 값이 되도록 모델링해야 한다. 열류량 계산을 위한 방정식은 다음 수식 (2)와 같다.



<그림 3.1.3-1> 바닥 및 외벽 선형 열관류율 산출 시 모델링 방법

$$\psi = \frac{\Phi}{\theta_i - \theta_o} - \sum U_i l_i \quad (2)$$

ψ : 선형열관류율(W/m.k)

Φ : 2차원 구조체를 통한 총 열류량(W/m)

θ_i : 실내측 설정온도(°C)

θ_o : 실외측 설정온도(°C)

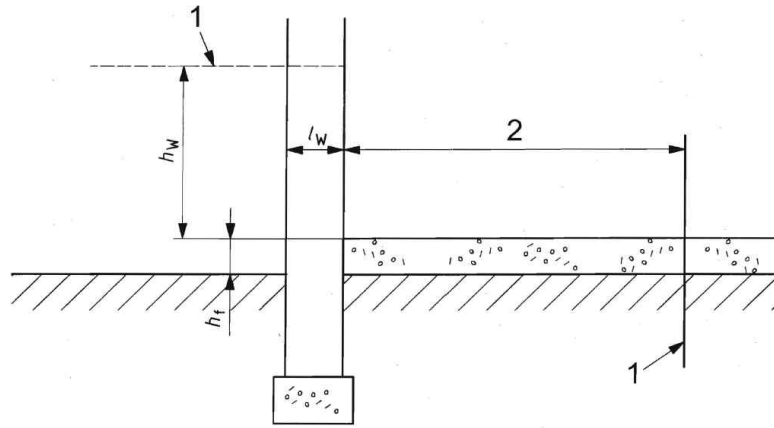
U_i : 열교와 이웃하는 부위의 1차원 열관류율(W/m²K)

l_i : U_i 의 열관류율 값을 가지는 부위의 길이(M)

바닥과 외벽 부위 선형 열관류율 값 산출을 위한 모델링 시 바닥길이(B')가 8m 이하일 경우에는 바닥길이(B')에 0.5를 곱한 값을 적용하고, 8m 이상일 경우에는 최대 4m로 적용하여 계산하도록 규정되어 있다. 또한 앞에서 설명한 바와 같이 벽체의 높이는 1m 이상으로 그

28) ISO 10211 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations(ISO 10211), 2007 12

려야하며, 인접한 지중의 경우 아래 <그림 3.1.3-3>과 같이 $2.5 \times B'$ 또는 최대 20미터로 입력하도록 명시하고 있다.



<그림 3.1.3-2> 바다 및 외벽 선형 열관류율 산출 시 모델링 방법

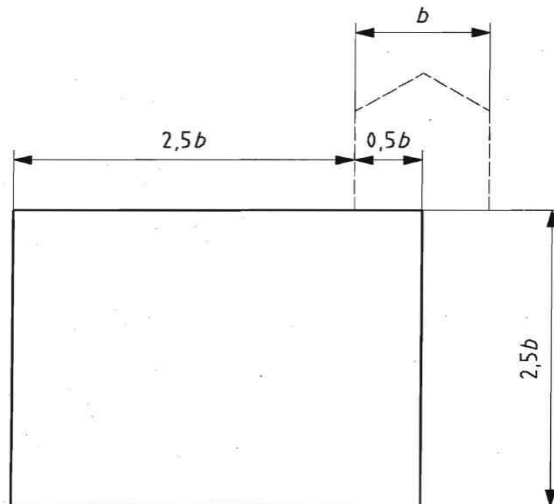
1 : 단열 경계

2 : $0.5 \times B'$ ($B' \geq 8\text{m}$) or 4m

h_f : 땅의 높이를 제외한 바닥 슬래브의 높이

h_w : 단면도에서 본 최소 길이(최소 1m)

l_w : 확정된 거리(벽체의 두께)

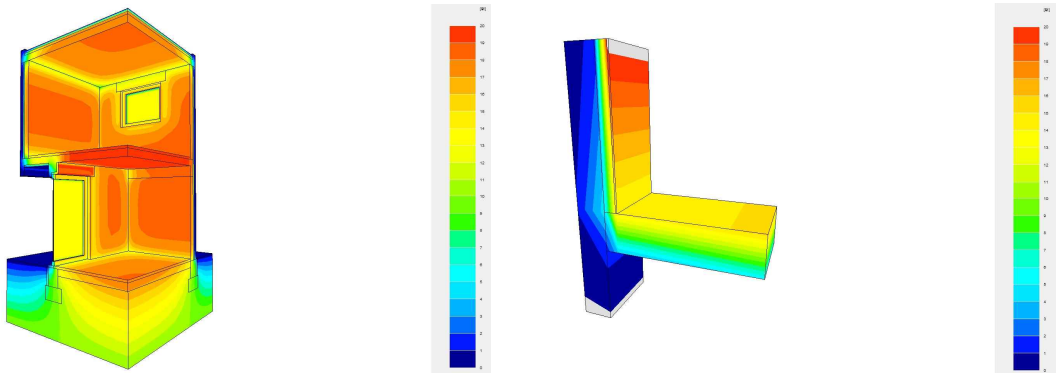


<그림 3.1.3-3> 인접 지중 바다 및 외벽 선형 열관류율 산출 시 모델링 방법

나. 전열 해석 프로그램

(1) PHYSIBEL²⁹⁾

PHYSIBEL은 벨기에 PHYSIBEL사에 의해 개발된 건축물의 각종 열전달 해석을 위한 전용 소프트웨어이다. PHYSIBEL TRISCO는 정상 상태 해석법을 이용해 직각 형태의 구조물에 대한 3차원 열교, 결로 해석, 열관류율 계산 등을 수행한다. EN ISO 10211의 계산 방법에 따라 열교 해석(Thermal Bridge analysis)을 수행해 열전달, 표면 결로 등을 분석하며, ISO 6946에 의해 같이 건물의 구성 성분 및 요소들의 열 투과도를 계산하며, prEN ISO 10077-2을 이용하여 창문, 창틀(frame), 문, 셔터의 열 성능을 해석한다. PHYSIBEL TRISCO는 3차원 정상상태 전열 해석이 가능한 상용 건물 열 해석 프로그램으로서 유한차분법에 의해 열평형방정식을 이산화하여 계산함으로써 복잡한 형태의 구조물에 대한 정밀한 해석이 가능하고 각 노드의 온도를 계산하는 장점을 가지고 있다.



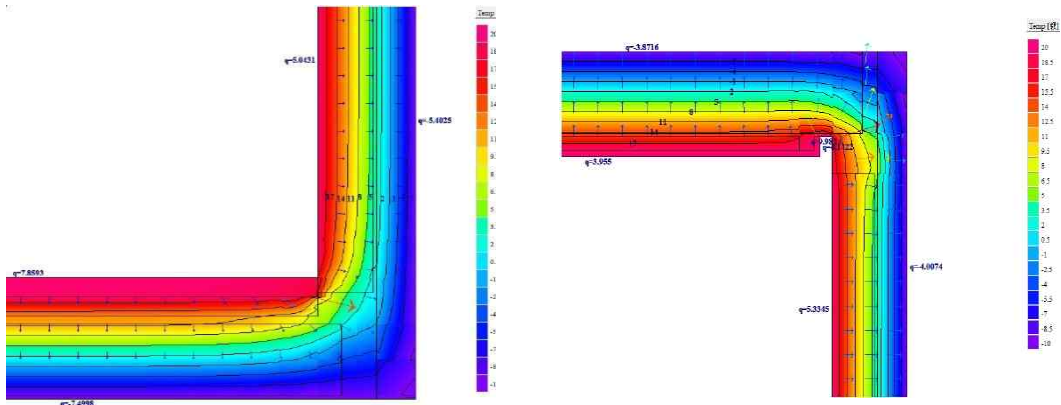
<그림 3.1.3-4> PHYSIBEL 실행 화면

(2) HEAT³⁰⁾

HEAT는 2차원 및 3차원 정상 및 비 정상상태 열전달을 해석하기 위한 PC용 프로그램으로써 스웨덴의 룬드대학교(Lund-Göteborg Group for Computational Building Physics, Dept. of Building Physics, Lund University)에서 개발되었으며 복잡한 건축요소들의 열류, 즉 열교의 분석 및 벽체와 연결된 창이나 프레임을 통한 열전달, 바닥에서 기초로의 열손실, 표면온도의 예측, 바닥 난방시스템의 평가, 단열재의 최적화 등의 열류 계산에 사용되어진다. 또한 공기층의 복사계산을 위한 빠른 루틴이 개발되어 창문, 중공층을 가진 건축요소들, 바닥하부의 Crawl-Space등의 계산에서 결과를 빠르게 얻을 수 있는 장점이 있으며 경계 조건은 각 요소들의 초기온도와 표면 열 저항으로 주어진다. HEAT 2/3는 유한차분법을 이용하여 열전도방정식을 계산하며, 시간간격(time-step)은 자동으로 계산된다. 또한 계산 메쉬(mesh)가 사용자에 의해 손쉽게 선택되는 장점이 있다.

29) <http://www.physibel.be/v0n2tr.htm>

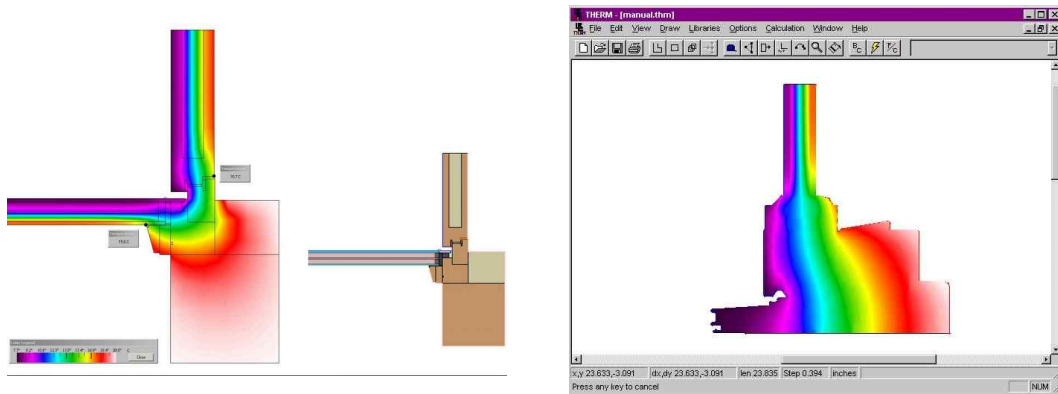
30) <http://www.buildingphysics.com>



<그림 3.1.3-5> HEAT 실행 화면

(3) THERM³¹⁾

THERM은 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 창 및 문의 단열 성능 평가를 위해 개발한 프로그램으로 미국의 국립창호인증위원회(NFRC:National Fenestration Rating Council) 및 미국 환경성(EPA)의 창호 인증 평가 시뮬레이션 도구로 활용되고 있다. THERM은 유한요소법(finite-element method)을 이용해 창호뿐만 아니라 벽, 지붕, 기초 등과 같은 일반 부위의 2차원 열전도 해석이 가능하며, 온도 분포 및 전열량뿐만 아니라 결로 및 습기로 인한 손상의 판정도 가능하다. 창호 열 및 광학 성능 해석 프로그램인 WINDOW 5와 연계되며, 복잡한 형상의 창틀 구현에 장점을 가지고 있다.



<그림 3.1.3-6> THERM 실행 화면

다. 전열 해석 프로그램 선정

대표적인 벽체 전열 해석 프로그램으로는 PHYSIBEL Trisco, HEAT 2/3, THERM 등이 있으며, [표 3.1.3-1]은 그 주요 특징을 비교한 것이다. 본 연구에서는 목질 재료의 적용에 따른 열교 부위의 전열 성능 평가와 선형열관류율(Ψ) 계산을 위해 전열 해석 프로그램을 이용할 예정이다. 이 같은 목적을 위해 국제표준인 ISO 10211 : 2007의 계산 방법에 의해 전열 해석을

31) <http://windows.lbl.gov/software/therm>

수행하고, CAD 프로그램과 연동이 용이한 PHYSIBEL Trisco를 전열 해석 프로그램으로 선정하였다. 구체적인 선정 이유는 다음과 같다.

- ISO 10211 : 2007에 의한 전열 해석 알고리즘 사용 및 검증 수행
- 다양한 출력값의 종류와 형식
- CAD 프로그램과 연동 용이
- 많은 사용자와 손쉬운 인터페이스

[표 3.1.3-1] 전열 해석 프로그램 비교

프로그램	특징	입력값	출력값	계산법
PHYSIBEL Trisco	<ul style="list-style-type: none"> · 건물의 구성요소(창문, 벽, 기초, 지붕, 문 등)을 통한 열전달 특성과 열교현상에 의한 열성능 해석 · 3차원 정상상태 전열해석 가능 · CAD 모델링 용이 · 결로 해석 가능 · ISO 10211 해석 	<ul style="list-style-type: none"> · 재료의 물성치 · 경계조건 · 3차원 모델 치수 · 구조물의 형태 (길이, 두께 등) 	<ul style="list-style-type: none"> · 온도분포 (등온곡선) · U값(열관류율) · Psi 값, · 각 부분의 온도 · 열 유속, 열 유동 	유한 차분법
HEAT 2/3	<ul style="list-style-type: none"> · 건물의 구성요소(창문, 벽, 기초, 지붕, 문 등)을 통한 열전달 특성과 열교현상에 의한 열성능 해석 · 2차원 열전도 분석 · 결로 해석 가능 · ISO 10211 해석 	<ul style="list-style-type: none"> · 재료의 물성치 · 경계조건 · 구조물의 형태 	<ul style="list-style-type: none"> · 온도분포 (등온곡선), · 열유속 · Psi 값 · 각 부분의 온도, · U값(열관류율) 	유한 차분법
THERM	<ul style="list-style-type: none"> · 건물의 구성요소(창문, 벽, 기초, 지붕, 문 등)을 통한 열전달 특성과 열교현상에 의한 열성능 해석 · 주로 창호를 분석 · 결로 해석 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 재료의 물성치 · 경계조건, · 구조물의 형태 (길이, 두께 등) 	<ul style="list-style-type: none"> · 온도분포 (등온곡선), · 열유속 · 각 부분의 온도, · U값(열관류율) 	유한 요소법

3.1.4 소 결

본 절에서는 목질 재료의 부위별 단일 성능 기준 및 에너지 절감 목표량을 선정하기 위하여, 국내·외 건축물 에너지 성능 평가 제도를 조사하였다. 또한 건물에너지 해석과 전열성능 해석을 위한 평가 방법과 프로그램을 조사하였으며, 선정된 기준과 프로그램은 다음과 같다.

1) 목질 제품의 성능 평가 기준 선정

국내 에너지 절약에 관련된 주택 성능 기준 중 단일 평가 기준을 제공하며 건축물의 인허가 시 필수적으로 평가하고 있는 ‘친환경 주택 건설기준 및 성능’ 제도의 평가기준주택의 부위별 열관류율을 열성능 기준으로 선정하고, 목질 구조재, 목질 마감재 및 목재 창호의 적용에 따른 부위별 열성능과 에너지 절감량을 비교하고자 한다. 선정된 기준은 아래 [표 3.1.4-1]과 같다

[표 3.1.4-1] 평가기준주택의 부위별 열관류율(2012.11)

건축물 부위	지 역		
	중부지역	남부지역	
거실외벽	외기에 직접면함	0.47 이하	0.58 이하
최상층의 거실의 반자 및 지붕	외기에 직접면함	0.29 이하	0.35 이하
최하층의 거실의 바닥	외기에 직접면함	0.35 이하	0.41 이하
창 및 문	외기에 직접면함	3.00 이하	3.30 이하

2) 건물 에너지 해석 프로그램 선정

건물 에너지 해석법은 수시로 변화하는 건물 실내외 조건을 반영할 수 있고, 외벽을 통한 열 전달을 정밀하게 해석할 수 있는 동적 해석 방법으로 선정하였다. 다양한 동적 해석 프로그램 중 목재의 다양한 열적 성능(전도, 축열성능, 함수율 등)을 정밀하게 입력할 수 있고, ANSI/ASHRAE Standard 140에 의한 상용 프로그램 간 비교(BESTEST)을 통해 정확성이 검증된 EnergyPlus를 선정하였다. 단 실제 시뮬레이션 시에는 EnergyPlus 입력 인터페이스의 불편함을 보완한 EnergyPlus 해석 엔진 기반의 Third-Party User Interface인 DesignBuilder를 사용하여 모델링은 수행하고자 한다.

3) 전열 해석 프로그램 선정

목질 재료의 적용에 따른 전열 성능 평가와 열교 부위의 선형열관류율(Ψ) 계산은 ISO 10211 : 2007에 제시된 방법을 이용해 수행하고자 하며, 전열 해석 프로그램은 ISO 10211 기준을 해석 알고리즘으로 이용하고, CAD와의 연동이 용이하며, 3차원 모델링이 가능한 PHYSIBEL Trisco를 선정하였다.

3. 2 건축 자재로 활용 가능한 목재 수종 수집 및 열성능 분석

3.2.1 목질 자재의 분류 및 성능 비교

가. 목재 수종의 분류

목재의 열전도율 분석이전에 원목과 가공목(합판, 섬유판, 파티클보드, 적층재)으로 나누어 국내외의 목재 리스트를 작성하였으며 각각의 용도 또한 파악해 보았다. 결과는 아래와 표와 같다.

(1) 원목 리스트업

No.	한글이름	영문이름	용도
1	소나무	pine	동바리, 거푸집, 교각, 말뚝, 합판, OSB
2	버지니아소나무	Pinusvirginiana	일반 공학목재
3	방크스소나무	jack pine	OSB
4	흑송	black pine	구조재, 조작재, 마감재, 건구, 가구재
5	적송	red pine	구조재, 조작재, 마감재, 건구, 가구재
6	해송		구조재, 조작재, 마감재, 건구, 가구재
7	백송	lacebark pine	OSB
8	미송	douglasfir	합판, OSB, 집성재
9	스트로브잣나무	white pine	일반 공학목재
10	전나무	fir	합판, OSB
11	삼나무	Cedar	합판
12	솔송나무	a hemlock spruce	합판, 집성재
13	편백나무	firetree	구조재, 조작재, 마감재, 건구, 가구재
14	낙엽송	larch	합판, 집성재
15	나한백		교각, 말뚝, 침목, 동바리, 전주
16	밤나무	chestnut	침목, 지지재, 가구, 기구
17	은행나무	Ginkgo	가구, 마감재, 조작재, 건구, 장식재
18	물푸레나무	Ashtree	가구
19	포플러	Poplar	가구, 합판
20	호두나무	walnut tree	가구, 마루바닥재
21	떡갈나무	DaimyoOak	가구
22	참나무	Oak	마루바닥재
23	느티나무	Sawleaf Zelkova	가구
24	오동나무	paulowniatomentose	가구, 장식재
25	단풍나무	Maple	합판, 마루바닥재, 가구, 치장재
26	박달나무		가구, 마감재, 조작재, 건구, 장식재
27	자작나무	Birch	가구, 마감재, 조작재, 건구, 장식재, 합판

28	백자작나무	SilverBirch	OSB
29	사시나무	whitePoplar	합판, OSB, 단판적층재
30	느릅나무	Japanese Elm	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
31	나왕	lauan	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재, 합판
32	측백나무	Oriental arborvitae	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
33	자단	red sanders	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
34	흑단	anebont	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
35	벚나무	CherryBlossoms	가구, 마루바닥재
36	너도밤나무	beech	합판, 마루바닥재
37	졸참나무	Konara Oak	가구
38	티크	teak	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
39	마호가니	mahogany	가구, 마감재, 조각재, 건구, 장식재
40	떡갈나무	DaimyoOak	가구
41	유칼립투스	eucalyptus	OSB
42	녹심목	greenheart	항만공사용
43	참피나무	basswood	합판
44	일본잎갈나무	Japanese larch	일반공학목재
45	아피통	apitong	합판
46	사이프러스	Cyprus	합판
47	풍	sweetgum	합판
48	튤립나무	tulip tree	합판
49	오리나무	Aldertree	합판
50	미루나무	cottonwood	합판
51	고무나무	rubber tree	지붕이나 벽 피복, 애벌 바닥용, 1형 장선의 복재(web), 비늘판
52	장미나무	a rose tree	마루바닥재
53	잣나무	Nutpine	일반 공학목재
54	적삼목	red cedar	일반 공학목재
55	레드우드	Redwood	합판
56	라디에타소나무	Pinusradiata	OSB

(2) 가공목 리스트업

(가) 합판

No.	분류	한글명	영문명
1		아피통	apitong
2		너도밤나무	beech
3		자작나무	berch
4		미송	douglas fir
5		카푸르	kapur
6		케루잉	keruing
7		낙엽송	larch
8		단풍나무	maple
9		소나무	pine
10	일반합판	탄오크	tanoak
11	비방수합판	삼나무	cedar
12	방수합판	사이프러스	cypress
13	TEGO합판	전나무	fir
14	UCP합판	솔송나무	hemlock
15		나왕	lauan
16	코아합판	단풍나무	maple
17	미송합판	멩쿨랑	mengkulang
18	라민합판	메란티	meranti
19		머르사와	mersawa
20	PET합판	가문비나무	spruce
21		풍	sweetgum
22	태고합판	미국낙엽송	tamarack
23	무취합판	틀립나무	yellow poplar
24	포리톤합판	오리나무	alder
25		자작나무	birch
26		삼나무	cedar
27		솔송나무	hemlock
28		단풍나무	maple
29		미국삼나무	redwood
30		가문비나무	spruce
31		사시나무	aspen
32		삼나무	cedar
33		미루나무	cottonwood
34		소나무	pine
35		참피나무	basswood
36		포플러나무	poplar

(나) 섬유판

No.	분류	한글명	영문명
1	중밀도섬유판(MDF)	인테리어MDF	
2		고비중MDF	
3		중비중MDF	
4		저비중MDF	
5		비규격MDF	
6	고밀도섬유판(HDF)		
7	연질섬유판(Insulation Board)		
8	경질섬유판(Hard Board)		

(다) 파티클보드(PB)

No.	분류	한글명	영문명
1	배향성스트랜드보드 (OSB)	미송	douglasfir
2		전나무	fir
3		소나무	pine
4		백자작	white birch
5		적단풍	red maple
6		스위트검	sweet gum
7		황포플라	yellow-poplar
8		동부백송	eastern white pine
9		가문비나무	spruce
10		사시나무	aspen
11		방크스소나무	jack pine
12		발삼포플러	balsam poplar
13		백자작	white birch
14		구주소나무	scots pine
15		해안소나무	maritime pine
16		라디에타소나무	radiata pine
17		고무나무	rubber wood
18		유칼립투스	eucalyptus
19	웨이퍼보드 (waferboard)		
20	플레이크보드 (flakeboard)		
21	트리보드 (triboard)		
22	복합합판 (com-ply)		
23	적층복합재 (LCL)		
24	목모보드 (wood wool board)		

(라) 적층재

No	분류	한글명	영문명
1	단판적층재(LVL)	사시나무	aspen
2		황포플라	yellow-poplar
3	장스트랜드적층재(PSL)		
4	단스트랜드적층재(LSL)		
5	단판적층판(LVB)		
6	집성(목)재	미송-낙엽송군	
7		남부송	
8		솔송	
9		가문비나무-소나무-솔송군	
10	I형 장선		
11	페럴램		

나. 기존 문헌 및 시뮬레이션 프로그램을 통한 열전도율 DB 조사

열전도율 실측에 앞서 기존의 건물에너지 분석을 위해 이용하는 시뮬레이션 프로그램에 입력되어 있는 열전율 값 및 문헌의 열전도율 값을 조사하였다.

(1) 시뮬레이션별 목질재료 열전도율

Design Builder			
No.	Name	Type	Thermal Conductivity (W/m·K)
1	Beech(Dry)	Wood derivatives	0.15
2	Chip board	Wood derivatives	0.15
3	Chip board (at 50°C)	Wood derivatives	0.07
4	Chipboard, bonded with melamine Dry	Wood derivatives	0.12
5	Chipboard, bonded with melamine Moist	Wood derivatives	0.25
6	Chipboard, bonded with PF Dry	Wood derivatives	0.12
7	Chipboard, bonded with PF Moist	Wood derivatives	0.25
8	Chipboard, bonded with UF Dry	Wood derivatives	0.12
9	Chipboard, bonded with UF Moist	Wood derivatives	0.25
10	Chipboard, perforated, at 50C degrees	Wood derivatives	0.07
11	Cork	Wood derivatives	0.04
12	Cork board	Wood derivatives	0.04
13	Fiberboard, including MDF	Wood derivatives	0.14
14	Fir, Pine	Woods	0.12
15	Flooring Blocks	Wood derivatives	0.14
16	Hardboard (Medium)	Wood derivatives	0.08
17	Hardboard (Standard)	Wood derivatives	0.13
18	Hardwood (Dry)	Woods	0.17
19	Maple, Oak	Woods	0.16
20	North Canadian gaboon (Derivatives, Dry)	Wood derivatives	0.12
21	Oak, Beech, Ash, Walnut, Meranti (Dry)	Woods	0.17
22	Oak, Beech, Ash, Walnut, Meranti (Moist)	Woods	0.23
23	Oak, Radial	Woods	0.19
24	Oriented Strand Board (OSB)	Wood derivatives	0.13
25	Painted Oak	Wood derivatives	0.19
26	Particle board (High density)	Wood derivatives	0.12
27	Particle board (Low density)	Wood derivatives	0.10
28	Pine (20% Moist)	Woods	0.14
29	Pine, Pich pine (Dry)	Woods	0.17
30	Pine, Pich pine (Moist)	Woods	0.23
31	Plywood (High density)	Wood derivatives	0.15
32	Plywood (Lightweight)	Wood derivatives	0.15
33	Plywood (Low density)	Wood derivatives	0.12
34	Red fir (Derivatives, Dry)	Wood derivatives	0.13
35	Red fir (Derivatives, Moist)	Wood derivatives	0.21
36	Red fir, Oregon fir (Dry)	Woods	0.14
37	Red fir, Oregon fir (Moist)	Woods	0.17
38	Softboard, at 50C degrees	Wood derivatives	0.05
39	Softwood	Woods	0.13
40	Spruce, Sylvester pine (Dry)	Woods	0.12

41	Tiber (at 50°C)	Woods	0.14
42	Timber Flooring	Wood derivatives	0.14
43	Weatherboard	Wood derivatives	0.14
44	Willow, Birch, Soft beech (Dry)	Woods	0.14
45	Willow, Birch, Soft beech (Moist)	Woods	0.17
46	Willow, North Canadian gaboos	Woods	0.12
47	Wood fibres, compressed	Wood derivatives	0.06
48	Wood particle panels	Wood derivatives	0.12
49	Wood particle panels Hard	Wood derivatives	0.29
50	Wood particle panels Soft	Wood derivatives	0.08

ECOTECT

No.	Name	Type	Thermal Conductivity (W/m-K)
1	Balsa (Across Grain)	Wood	0.084
2	Board	Wood derivatives	0.040
3	Chip Board, Cement Bonded	Wood derivatives	0.150
4	Chipboard	Wood derivatives	0.067
5	Chipboard, Bonded With Melamine	Wood derivatives	0.250
6	Chipboard, Bonded With PF	Wood derivatives	0.250
7	Chipboard, Bonded With UF	Wood derivatives	0.250
8	Chipboard, Perforated	Wood derivatives	0.066
9	Coir Board	Wood derivatives	0.038
10	Cork	Wood	0.040
11	Cork Ground	Wood derivatives	0.043
12	Cork Ground Regranulated	Wood derivatives	0.045
13	Cypress (Across Grain)	Wood	0.096
14	Fibre, Loose Fill(Soft)	Wood	0.043
15	Fibres, Compressed	Wood	0.055
16	Fir, Pine	Wood	0.120
17	Flooring Blocks	Wood derivatives	0.140
18	Hardboard	Wood derivatives	0.290
19	Hardwood (Unspecified)	Wood	0.050
20	Mahogany (Across Grain)	Wood	0.130
21	Maple (Across Grain)	Wood	0.176
22	Maple, Oak And Similar Hardwoods	Wood	0.160
23	Multiplex, Beech	Wood	0.150
24	Multiplex, North Canadian Gaboons	Wood	0.120
25	Multiplex, Red Fir	Wood	0.210
26	Norway Pine (Across Grain)	Wood	0.151
27	Oak Red Black (Across Grains)	Wood	0.146
28	Oak White Live (Across Grains)	Wood	0.209
29	Oak, Beech, Ash, Walnut, Merantis	Wood	0.230
30	Oak, Radial	Wood	0.190
31	Oregon Pine (Across Grain)	Wood	0.113
32	Particle Board	Wood derivatives	0.120
33	Particle Panels	Wood derivatives	0.140
34	Pine (With Grain)	Wood	0.343
35	Pine, Pitch Pine	Wood	0.230
36	Plywood	Wood derivatives	0.150
37	Rattan	Wood	4.184

38	Red Fir, Oregon Fir	Wood	0.170
39	Resinous Woods (Spruce, Sylvestes	Wood	0.120
40	Shingle	Wood derivatives	0.120
41	Slab	Wood derivatives	0.055
42	Softboard	Wood derivatives	0.047
43	Softwood	Wood	0.140
44	Spruce (Across Grain)	Wood	0.126
45	Spruce (With Grain)	Wood	0.230
46	Teak (Across Grain)	Wood	0.172
47	Timber	Wood	0.140
48	Timber Flooring	Wood derivatives	0.140
49	Virginia Pine (Across Grains	Wood	0.142
50	Wallboard	Wood derivatives	0.047
51	White Fir (Across Grain)	Wood	0.109
52	White Pine (Across Grain)	Wood	0.130
53	Willow, Birch, Soft Beech	Wood	0.140
54	Willow, North Canadian Gaboon	Wood	0.120

TRNSYS			
No.	Name	Type	Thermal Conductivity (W/m·K)
1	Spruce_pine	Wood	0.13
2	Beech_oak	Wood	0.20
3	Common leafy Resinous	Wood	0.13
4	Vert light wood	Wood	0.12
5	Plywood (Low density)	Wood derivatives	0.10
6	Plywood (Medium density)	Wood derivatives	0.13
7	Plywood (High density)	Wood derivatives	0.14
8	Hard_bo_h_dens	Wood derivatives	0.17
9	particle_board (Low density)	Wood derivatives	0.06
10	particle board (Medium density)	Wood derivatives	0.14
11	particle board (High density)	Wood derivatives	0.18
12	Wood siding	Wood derivatives	0.14
13	Tiber flooring	Wood derivatives	0.14
14	MDF(Low density)	Wood derivatives	0.07
15	MDF(Medium density)	Wood derivatives	0.12
16	MDF(High density)	Wood derivatives	0.18
17	OSB Board	Wood derivatives	0.13

건물 에너지 시뮬레이션을 위하여 많이 사용되는 Design Builder, ECOTECT, TRNSYS 3 종류의 프로그램의 입력값을 조사하였다. 조사한 결과 동일한 수종임에도 프로그램별로 편차가 크게 나타났으며 이는 목재의 열전도율이 습도, 온도에 따라 달라지기 때문이며 또한, 측정기기에 따른 편차도 있을 것으로 생각된다. 아래 표는 동일 목질재료의 열전도율을 나타내었다. 목질재료에 따라 편차가 큰 재료와 작은 재료가 있는 것을 알 수 있다.

(2) 시뮬레이션별 동일 목질재료 열전도율

Type	No.	Name	Thermal Conductivity (W/m·K)		
			Design Builder	ECOTECT	TRNSYS
제품_판재	1	Chipboard	0.15	0.07	.
	2	MDF	0.14	.	0.12
	3	Hardboard	0.13	0.29	0.17
	4	OSB	0.13	.	0.13
	5	Particle board (M. density)	0.11	0.12	0.14
	6	Plywood (M. density)	0.15	0.15	0.13
	7	Wood Flooring	0.14	0.14	0.14
침엽수	1	Fir	0.12	0.12	.
	2	Red fir	0.13	0.21	.
	3	Spruce	0.12	0.13	0.13
	4	Pine	0.17	0.23	0.13
활엽수	1	Beech	0.15	0.23	0.2
	2	Maple	0.16	0.18	0.13
	3	Mahogany	.	0.13	.
	4	Larch	0.12	0.13	0.13

다. 시뮬레이션별 열전도율 확인 및 열적성능 평가

(가) 시뮬레이션 프로그램별 구조재의 열전도율 및 물성값

시뮬레이션별 다른 열전도율 값에 의해 실제 시뮬레이션을 진행하였을 때 건물의 열성능에 어느 정도의 영향을 끼치는지를 알아보기 위하여 국내 수종 중 목조건축의 구조재로 사용되는 낙엽송, 소나무, 전나무의 열전도율을 각 시뮬레이션에서 추출하였다. Design Builder, ECOTECT, TRNSYS에서 조사한 수종별 열전도율은 [표 3.2.1-1]과 같고, 목조건축의 지붕, 벽체, 지면 슬래브의 구성 및 물성을 [표 3.2.1-2]에 나타내었다.

[표 3.2.1-1] 시뮬레이션 프로그램별 구조재의 열전도율

Species	Thermal conductivity (W/m·K)		
	Design Builder	ECOTECT	TRNSYS
Larch	0.12	0.13	0.20
Pine	0.17	0.23	0.13
Fir	0.12	0.12	0.13

[표 3.2.1-2] 목조 건물 구성재료의 물성값

Component	Material	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/mK)
Roof	Gypsum board	20	0.210
	Air	38×38@450	0.184
	Polyethylene sheet	.	.
	Glass fiber insulation	240	0.040
	Wood stud	38×240@610	[Table 1]
	Building paper	.	.
	Air	38×38@450	0.184
	Brick veneer	20	1.590
Wall	Gypsum board	10	0.210
	Air	38×38@450	0.184
	Polyethylene sheet	.	.
	Glass fiber insulation	140	0.040
	Wood stud	38×140@610	[Table 1]
	OSB	20	0.130
	Air	38×38@450	0.184
	Wood siding	20	0.431
Slab	Wood finishing floor	10	0.125
	OSB	20	0.130
	Glass fiber insulation	140	0.040
	Wood stud	38×140 @510	[표 3.2.1-1]
	OSB	20	0.130
	Glass fiber insulation	180	0.040
	Wood stud	38×180 @650	[표 3.2.1-1]
	OSB	20	0.130
	Concrete	100	2.700

(나) 목조건물 벽체 열관류율

각 수종의 열전도율을 스티드의 물성에 대입하여 지붕, 벽체, 지면 슬래브의 열관류율(U)을 비균질 부재의 열전도율공식을 이용하여 계산하였다. 계산된 각 부재의 열관류율은 [표 3.2.1-3]에 나타내었다.

[표 3.2.1-3] 각 부재의 열관류율

Component	Species	Thermal transmission (W/m ² K)			
		Design Builder	ECOTECT	TRNSYS	$\Delta (U_{\max} - U_{\min})$
Roof	Larch	0.172	0.174	0.187	0.015
	Pine	0.182	0.192	0.174	0.018
	Fir	0.172	0.172	0.174	0.002
Wall	Larch	0.265	0.267	0.284	0.019
	Pine	0.277	0.290	0.267	0.023
	Fir	0.265	0.265	0.267	0.002
Slab	Larch	0.124	0.125	0.132	0.008
	Pine	0.129	0.134	0.125	0.009
	Fir	0.124	0.124	0.125	0.001

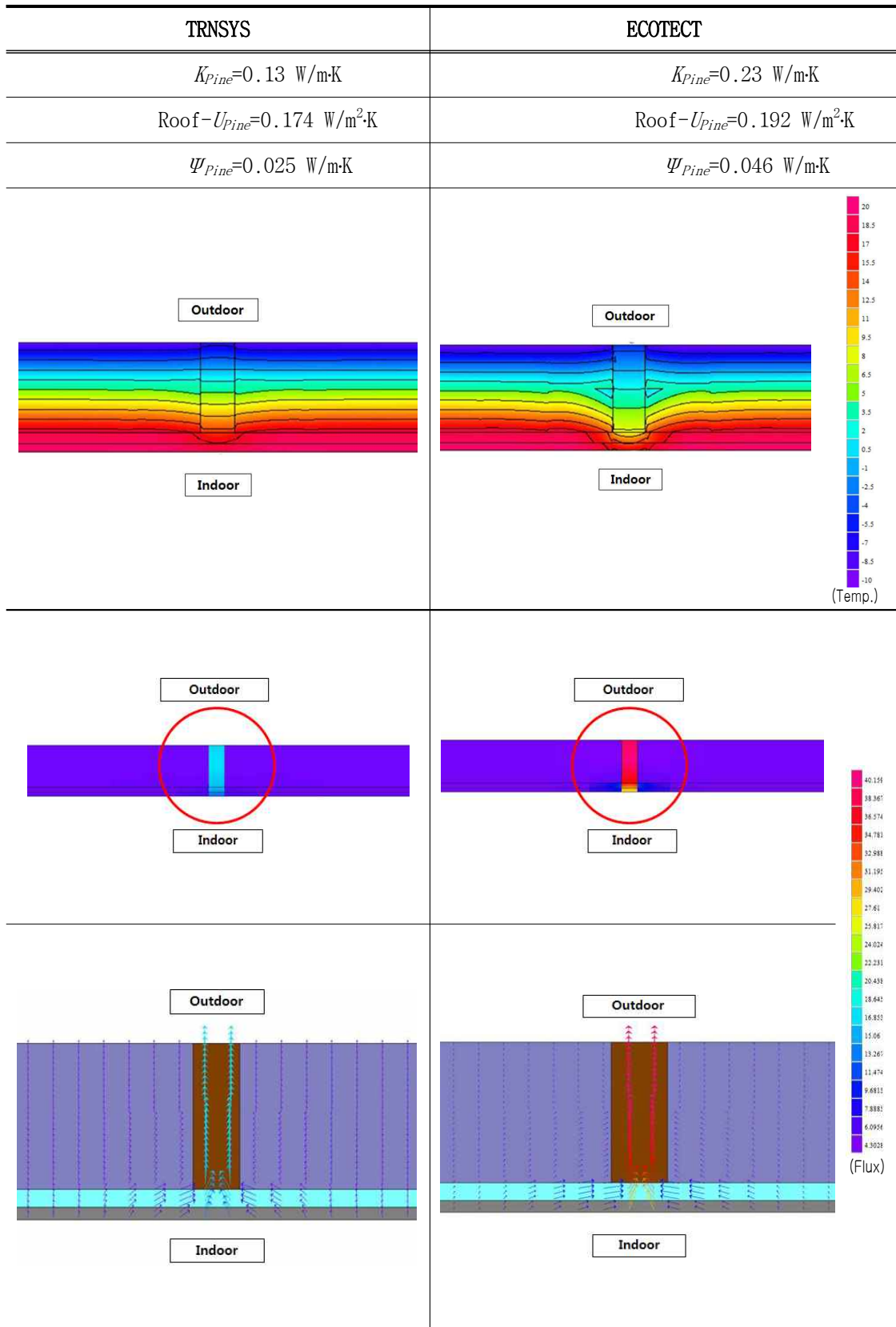
(다) 목조건물 접합부 열교 분석

[표 3.2.1-4] 에는 각 시뮬레이션의 수종 별 접합부에서의 열교값(Ψ)을 나타내었다. 그리고 [표 3.2.1-5] ~ [표 3.2.1-7] 에는 시뮬레이션에서 추출한 열전도율 중 가장 큰 차이를 보이는 TRNSYS와 ECOTECT에서 조사 된 소나무의 열전도율을 스타드에 적용 시 열관류율, 열교, 온도변화의 전열해석 결과를 나타내었다.

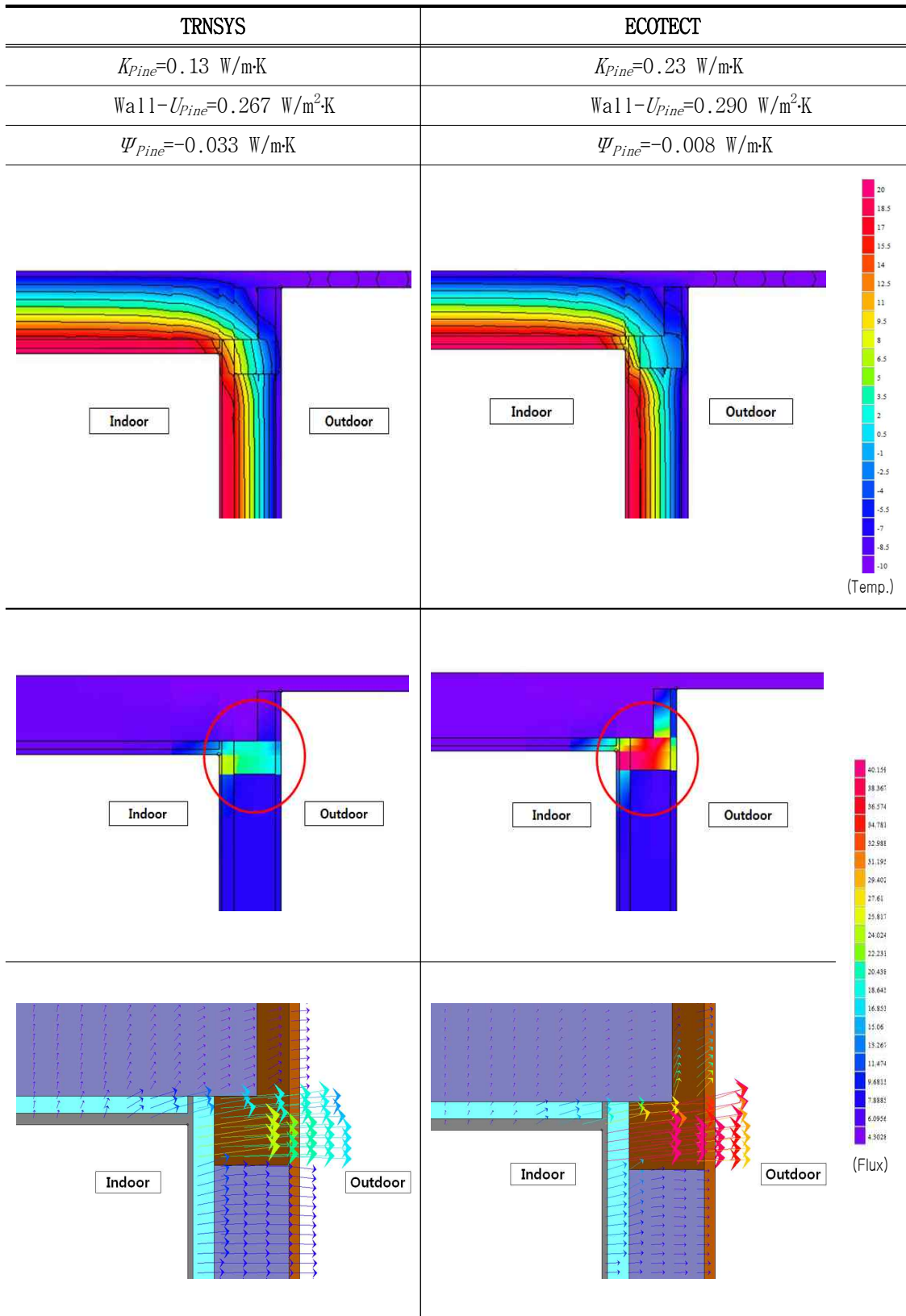
[표 3.2.1-4] 시뮬레이션의 수종 별 접합부에서의 열교값

Connection	Species	Thermal bridge (W/mK)			
		Design Builder	ECOTECT	TRNSYS	$\Delta (\Psi_{\max} - \Psi_{\min})$
Rafter	Larch	0.022	0.025	0.040	0.018
	Pine	0.034	0.046	0.025	0.021
	Fir	0.022	0.022	0.025	0.003
Roof-Wall	Larch	-0.036	-0.033	-0.014	0.022
	Pine	-0.022	-0.008	-0.033	0.025
	Fir	-0.036	-0.036	-0.033	0.003
Slab-Wall	Larch	0.051	0.051	0.053	0.002
	Pine	0.052	0.053	0.051	0.002
	Fir	0.051	0.051	0.051	0

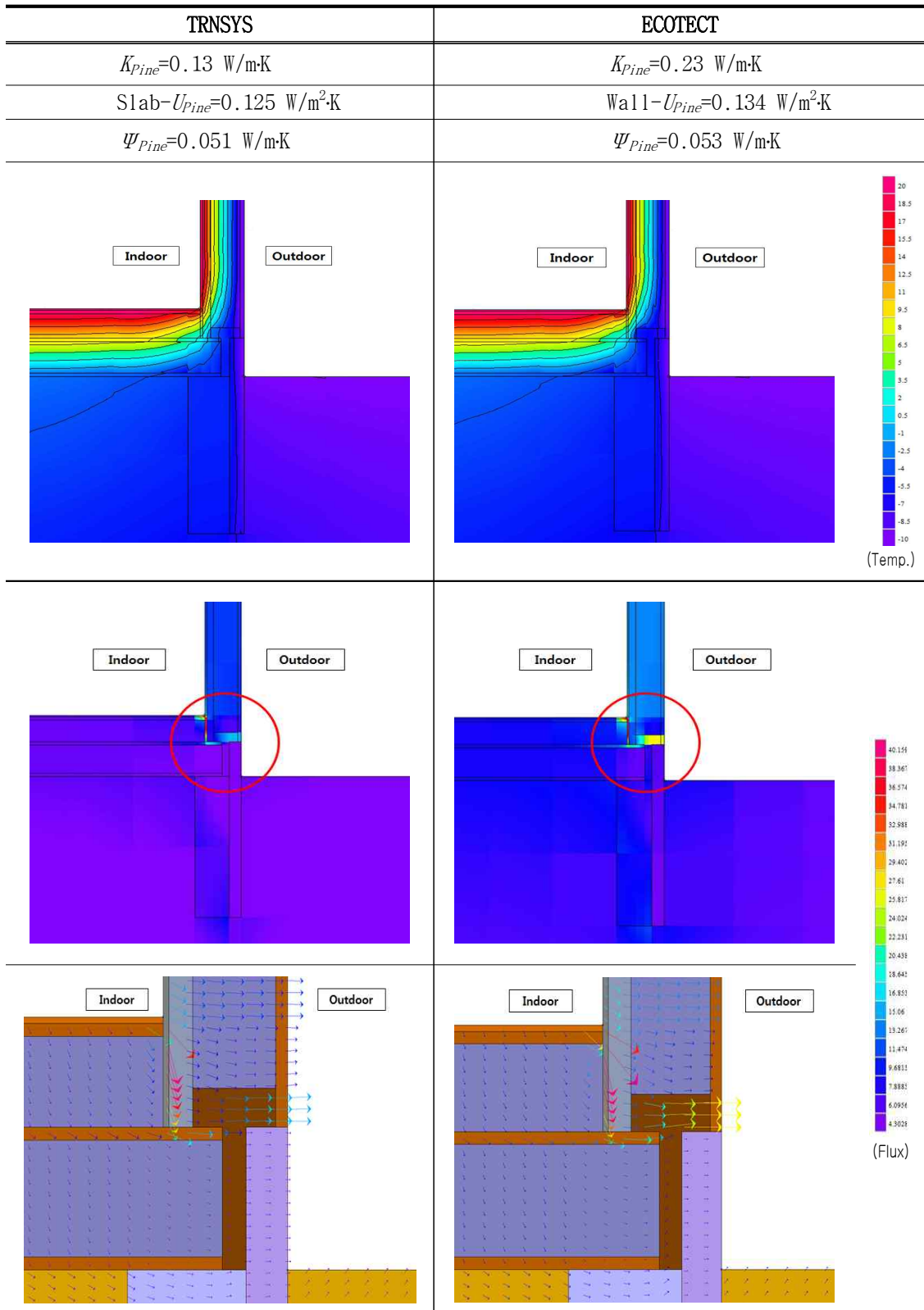
[표 3.2.1-5] 시뮬레이션별 소나무의 열전도율 적용 시 열성능의 변화



[표 3.2.1-6] 지붕과 벽체의 시뮬레이션별 열 성능 차이



[표 3.2.1-7] 슬래브의 시뮬레이션별 열 성능 차이



시뮬레이션 별로 목구조의 구조용 스티드로 사용되는 수종의 열전도율을 확인해보았다. Design Builder의 목재 평균 열전도율은 0.14 W/m·K, ECOTECT은 0.17 W/m·K, TRNSYS는 0.15 W/m·K 이었다. 즉, 각 시뮬레이션 별 목재 열전도율은 ECOTECT, TRNSYS, Design Builder 순으로 높은 값의 데이터를 이용하고 있었다.

각 수종의 열전도율을 스티드의 물성에 대입하여 지붕, 벽체, 지면 슬래브의 열관류율과 지붕 서까래 접합부, 지붕-벽체 접합부, 벽체-지면 슬래브 접합부에서의 열교를 평가하였다. 열관류율과 열교는 계산값을 얻기 전 열전도율을 표를 보고 예측했던 바와 동일한 경향성을 가진 결과를 얻을 수 있었다. 지붕의 열관류율은 TRNSYS에서 추출한 열전도율을 대입하였을 때 최소 0.174 W/m²·K, ECOTECT의 데이터를 사용하였을 경우 최대 0.192 W/m²·K로 두 데이터 값의 차이는 0.018 W/m²·K의 차이를 보였다. 벽체와 지면 슬래브의 경우도 지붕의 경우와 마찬가지로, 벽체 열관류율 최소 0.267 W/m²·K에서 최대 0.290 W/m²·K, 지면 슬래브 열관류율 최소 0.125 W/m²·K에서 최대 0.134 W/m²·K이 나왔다. 그 차이는 각각 0.023 W/m²·K과 0.009 W/m²·K이었다. 지붕, 벽체, 지면 슬래브의 최대, 최소 열관류율 차이를 보면 벽체 0.023 W/m²·K, 지붕 0.018 W/m²·K, 지면 슬래브 0.009 W/m²·K 순으로 나타났다. 이러한 열관류율의 차이는 각 건물 부재별로 단위 면적당 목조 스티드가 차지하는 비율에 따라 발생하였다.

지붕의 서까래 접합부의 열교 또한 TRNSYS에서 추출한 열전도율을 대입하였을 때 최소 0.025 W/m·K, ECOTECT의 데이터를 사용하였을 경우 최대 0.046 W/m·K로, 그 차이는 0.021 W/m·K이었다. 지붕-벽체 및 지면 슬래브-벽체 접합부의 열교에서도 서까래 접합부 경우와 마찬가지로, TRNSYS에서 최소 ECOTECT에서 최대값이 산출되었다. 지붕-벽체 접합부 열교값 최소 -0.033 W/m·K에서 최대 -0.008 W/m·K, 지면 슬래브-벽체 열교값 최소 0.051 W/m·K에서 최대 0.053 W/m·K가 계산되었다. 그 차이는 각각 0.025 W/m·K과 0.002 W/m·K이었다. 이 때, 지붕-벽체 접합부에서는 모든 열교값이 (-) 값이 나온 것으로 보아 본 연구에서 연구하였던 벽체 구성에서는 열교가 발생하지 않는 것으로 간주 할 수 있다. 열관류율과 마찬가지로 서까래 접합부, 지붕-벽체 접합부, 지면 슬래브-벽체 접합부의 최대, 최소 열교 차이를 보면 지붕-벽체 0.025 W/m·K, 지붕 서까래 0.021 W/m·K, 지면 슬래브-벽체 0.002 W/m·K 순으로 나타났다. 벽체와 지붕은 거의 유사하다고 볼 수 있는데, 그 이유는 열관류율의 경우와 동일하게 단위 길이 당 목조 스티드가 차지하는 비율의 차이에서 기인한 것이다. 하지만 지붕과 지면 슬래브의 열교 발생량이 차이가 다른 경우보다 확연히 크다고 볼 수 있다. 그 이유는 앞의 경우는 단순히 스티드의 비율에 따른 것이지만, 이 경우는 지면 슬래브와 벽체사이의 접합부는 대기에 노출되어있는 것이 아니라, 지면 또는 지면 아래에서 만나기 때문이다. KS에서 명시하고 있는 외부온도, 내부온도, 지중온도에 따라, 실내·외가 직접 대기와 맞닿는 경우 외기 온도차는 31 °C 이지만 지면 슬래브-벽체의 경우 온도차는 21 °C이기 때문에 온도차가 적어 열교가 적게 발생한 것으로 보인다.

시뮬레이션에서 추출한 열전도율 중 가장 큰 차이를 보이는 TRNSYS와 ECOTECT에서 조사 된 소나무의 열전도율을 스티드에 적용 시 열관류율, 열교, 온도변화의 전열해석 결과를 표현한 [표 3.2.1-5 ~ 7]에서 앞에서 언급한 열교차이를 확연히 볼 수 있다. 건축물 구조

체의 온도 분포를 열선으로 표시하면 단열이 부족하거나 시공상에 부실이 있는 경우 소위 끊어진 두 개의 가온 온도의 선을 볼 수 있다. 끊어진 부분이 다른 부분보다 온도가 낮고, 또 이 부위를 통해 다른 보통의 구조체보다 더 많은 열이 흐른다는 것을 의미한다. 지붕 서까래 접합부, 지붕-벽체 접합부, 지면 슬래브-벽체 접합부의 온도 변화를 살펴보면, 스티드가 단열재 부위에 비하여 온도가 빠르게 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 소나무의 열전도율이 $0.13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 인 경우(TRNSYS)는 열전도율이 $0.23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 인 경우(ECOTECT)에 비하여 스티드 주변에서 온도 감소 속도 및 변화 곡선이 보다 완만하게 나타난 것을 볼 수 있다. 유사하게 열류량의 차이를 나타낸 그림을 보면, TRNSYS의 열전도율을 사용한 경우는 접합부 스티드에서 낮은 열류량을 상징하는 청색 계열로 표현되고, 그 내부에서 외부로 이동하는 벡터크기가 작다는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 상향의 열전도율을 사용하는 ECOTECT의 경우 높은 열류량을 의미하는 적색 계열로 나타냄과 동시에 내부에서 외부로 향하는 벡터양과 크기가 크게 해석되었다.

수치적으로 계산한 각 부재의 열관류율과 각 접합부에서의 열교량은 시뮬레이션 프로그램에서 표현된 전열해석 이미지와 동일한 결과를 보여주었다. 단순히 열전도율 $0.10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 차이가 목재뿐만 아니라 타 건축재료에서 매우 낮고, 건물 전체에 어떠한 영향도 주지 않는 수치로 보일 수도 있다. 하지만 작은 열전도율의 차이임에도 불구하고 건물은 작은 부재들이 조합되어 하나의 거대한 구조체를 이루는 과정이기 때문에 재료의 작은 열전도율 차이는 부재의 열관류율 및 접합부의 열교량에 영향을 주게 되고, 결국 전체 건물에너지 성능에도 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 반드시 고려해야한다.

3.2.2 목재의 수종별 열전도율 DB 구축

가. 국내·외 열관류율 측정 표준 조사

건축에서 일반적으로 사용하는 재료의 열성능 분석은 열전도율 측정 및 열관류율 측정이 있다. 열전도율의 경우 재료의 길이가 반영되지 않은 재료 자체의 물성을 알아 볼 수 있는 방법으로 비교적 간편하게 측정이 가능하다. 하지만 열전도율은 측정 기기에 따라 큰 차이를 보이기도 하며 건물에 적용된 벽체의 경우 두께를 가지고 있기 때문에 벽체 전체의 열성능을 알 수 있는 열관류율 또한 중요하다. 따라서 목재의 수종별 열전도율 DB 구축 이전에 측정된 열전도율 값을 효과적으로 적용하기 위하여 열관류율에 대한 조사를 진행하였다.

(1) 국내 열관류율 측정 표준

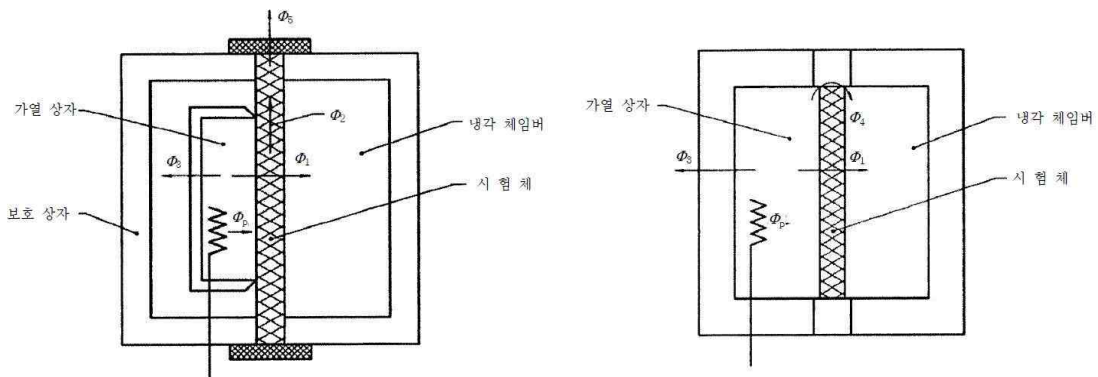
건축재료의 열관류율 측정과 관련된 한국 산업 표준에서는 건축용 구성재의 단열성능 측정방법과 창호의 단열성 시험방법에 관한 것이 있다.

- KS F 2277 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법
- KS F 2278 창호의 단열성 시험방법

공식적으로 특정 건축재료의 열관류율을 인정받기 위해서는 위에서 언급한 두 표준에 따른 시험성적서를 요구하고 있다. KS F 2277(건축용 구성재의 단열성능 측정방법)과 KS F 2278(창호의 단열성 시험방법)의 내용 및 그 원리는 아래의 내용과 같다.

(가) KS F 2277 - 건축용 구성재의 단열성능 측정방법

건축용 구성재의 단열성능 측정방법에는 교정 열상자법과 보호 열상자법이 있다. 그림 <그림 3.2.2-1> 및 <그림 3.2.2-2>는 보호 열상자법 및 교정 열상자법의 전형적인 예를 나타낸다.



<그림 3.2.2-1> 보호 열상자

<그림 3.2.2-2> 교정 열상자

① 보호 열상자법

보호 열상자 장치는 <그림 3.2.2-1>과 같이 보호 열상자의 중간에 가열 상자가 설치되고 Φ_2 및 Φ_3 가 최소가 되도록 제어된다. 이상적으로는 $\Phi_2=\Phi_3=0$ 이 되어 시험체 통과 열량과 가열 상자의 공급 열량이 동일하게 $\Phi_P=\Phi_1$ 이 된다. 그러나 실제 측정에서는 $\Phi_2=\Phi_3=0$ 이 되는 것은 어려우므로 Φ_P 에 대하여 Φ_2 및 Φ_3 의 교정이 필요하다.

② 교정 열상자법

교정 열상자 장치는 <그림 3.2.2-2>와 같이 장치 전체가 항온조 내에 설치된다. 시험체 통과 열량 Φ_1 은 가열 상자로의 공급 열량 Φ_P 로부터 가열 상자에서의 손실 열량 Φ_3 및 시험체 측면의 손실 열량 Φ_4 를 빼서 구한다. 이 Φ_3 및 Φ_4 는 미리 교정해야 한다. 이 교정에는 열저항을 미리 알고 있는 교정판을 상용하지만 Φ_4 의 교정에는 실제로 시험하는 시험체와 같은 두께 및 같은 정도의 열저항을 갖는 교정판을 선택하고, 같은 정도의 온도 조건에서 실시할 필요가 있다.

③ 시험장치

가열 상자는 상자 내의 온도를 균일하게 유지할 수 있도록 한다. 상자의 손실 열량을 서모파일 또는 열류계로 측정하기 위해 열적으로 균질한 구조로 하고 열교 등을 포함하지 않도록 한다. 또한 제작은 발포 플라스틱을 적당한 표면재에 끼워 넣은 패널 등의 적당한 단열재로 하고 투기성 및 투습성이 없도록 한다. 가열기 및 순환용 팬에 의해 가열 상자 내의 시험체에 수직 방향에서의 온도 차이가 시험체 양면의 공기 온도차의 2% 이하가 되도록 한다. 또한 기류 방향의 공기의 온도 기울기는 균질한 시험체의 표면 경계층의 바깥쪽에서 측정하여 어떤 부분도 $2K/m$ 을 초과하여서는 안 된다. 시험체 틀은 시험체를 지지하기 위한 강도와 단열성이라는 서로 상반된 성능이 요구되지만 적어도 시험체와 접하는 면은 열을 전달하기 어려운 재료로 마무리하는 것이 필요하다. 냉각 체임버의 치수는 열 상자 치수에 의해 결정되며 냉동기의 부하를 작게 하고 결로가 일어나지 않는 구조로 한다. 체임버의 안쪽 표면은 요구되는 방사전열을 얻을 수 있는 방사율로 마무리한다. 시험 시 필요한 표면 열전달률을 얻기 위하여 기류 속도는 가변으로 하고 그 때의 기류를 측정하도록 한다.

④ 온도측정

일반적으로는 가열 상자 내의 공기 온도 및 시험체의 표면 온도를 측정하기 위한 센서는 전열 면적 내에 같은 간격으로 동시에 가열쪽과 냉각쪽의 동일 위치에 설치한다. 평균 방사 온도 T_r 를 계산하기 위하여 시험체에 마주한 장치 벽면의 표면 온도를 측정한다. 공기 온도 및 표면 온도 측정용의 센서는 $1m^2$ 당 2개 이상으로 하고 측정면마다 9개 이상으로 한다. 시험체 표면 온도를 측정하기 위한 센서는 측정점의 온도에 변화를 주지 않는 것을 선택한다. 표면 열전달률은 균질한 시험체를 유사한 조건에서 측정하여 얻을 수 있지만 그 결과를 모든 경우에 적용하는 것은 주의가 필요하며 비균질한 시험체의 경우 정확한 표면 평균 온도의 측정이 어려우므로 유의해야 한다.

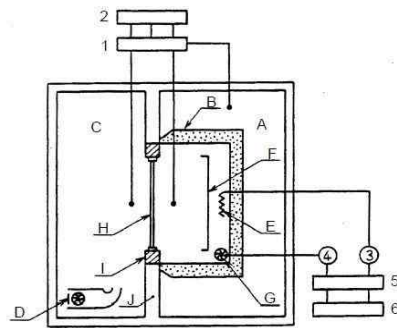
⑤ 시험절차

실제의 제품 또는 구조물을 대표하는 시험체를 선택하여 설치하도록 한다. 시험체 표면의

기밀이 필요한지 또한 가열 쪽 표면에서의 결로를 방지하기 위하여 온도를 제어할 필요가 있는지 고려해야 한다. 평균 시험 온도는 10~20℃, 온도차는 20℃ 이상으로 하는 것이 일반적이다. 가열 쪽 및 냉각 쪽의 기류 속도는 시험의 목적에 맞게 조절하고 온도는 Φ2 및 Φ3를 가능한 한 적게 제어한다. 균질한 시험체의 경우 표면 온도로부터 열저항 R를, 환경 온도로부터 열관류율 U 및 표면 열전달률 h를 계산할 수 있다. 통상 측정된 R로부터 열관류율을 산출하는 것은 표준, 기타로 규정된 열전달률을 사용한다. 불균질한 시험체의 경우나 특수한 형상을 한 경우 환경온도 Tni 및 Tne를 사용하여 열관류율 U만을 계산한다. 이 계산 값을 시험 결과와 비교한 후 명확한 차이가 있는 경우 시험체의 시방서를 기본으로 하여 시험체에 차이가 있는가를 조사하고 다시 계산을 하여 그 차의 원인을 조사한다.

(나) KS F 2277 - 창호의 단열성 시험방법

시험 장치는 <그림 3.2.2-3>과 같이 약 2000mm × 2000mm의 개구부를 끼워 접하는 항온실과 저온실의 내부에 가열 상자, 저온실 냉풍 취출장치, 그 밖의 측정기류를 갖춘 것으로 한다.



- | | |
|------------|--------------------|
| A 항온실 | 1 기준 점검 |
| B 가열 상자 | 2 온도 측정기 |
| C 저온실 | 3 가열 교반 장치용 전력 측정기 |
| D 냉풍 취출 장치 | 4 가류 교반 장치용 전력 측정기 |
| E 가열 장치 | 5 전력 조정기 |
| F 복사 차단판 | 6 전원 안정 장치 |
| G 기류 교반 장치 | |
| H 시험체 | |
| I 시험체 부착 틀 | |
| J 칸막이 벽 | |

<그림 3.2.2-2> 시험장치의 구성

표면 열전달 저항의 설정은 표준판을 사용하여 가열 상자 쪽 및 저온실 쪽의 표준판 표면에서 기류를 조정함으로써 한다. 표면 온도 및 공기 온도가 정상 상태가 된 후, 각 측정점의 온도를 측정하고 9등분한 각 부분에 대하여 표면 열전달 저항(Ri, R0)을 식(1) 및 식(2)에 의해 구하고, 그 값이 일정해지도록 기류를 조정한다.

- 가열 상자 쪽 표면 열전달 저항

$$R_i = R_s \frac{Q_{Ha} - Q_{Hs}}{Q_{Hs} - Q_{Cs}} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

- 저온실 쪽 표면 열전달 저항

$$R_o = R_s \frac{Q_{Cs} - Q_{Ca}}{Q_{Hs} - Q_{CS}} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

다만 $R_s = d/\lambda$

여기에서,

R_s : 표준관의 열 저항($m^2 \cdot K/W$)

Q_{Ha} : 가열 상자 내 공기 온도(K)

Q_{Hs} : 표준관 가열 상자 쪽 표면 온도(K)

Q_{Cs} : 표준관 저온실 쪽 표면 온도(K)

Q_{Ca} : 표준관 내 공기 온도(K)

d : 표준관의 평균 두께(m)

λ : 표준관 소재의 열전도율($W/m \cdot K$)

R_s 또는 λ 의 값은 KS L 9016에 의해 별도로 측정한다.

그리고 표면 열전달 저항을 설정한 때와 동일한 기류 조건하에서 정상 상태가 된 후 표면 온도, 가열 장치 공급 열량 및 기류 교반 장치 공급 열량을 측정하고, 교정 열량(Q)을 식 (3)에 의해 구하여 <그림 3.2.2-4> 나타내는 교정 선도를 작성한다.

- 가열 상자 둘레벽과 시험체 부착 틀의 교정 열량

$$Q = Q_H + Q_F - Q_S \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

다만, $Q_S = \frac{Q_{Hs} - Q_{Cs}}{R_s} \cdot A_S$

여기에서,

Q_H : 가열 장치 공급 열량(W)

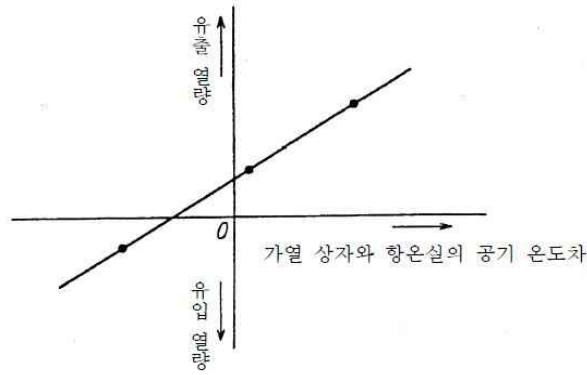
Q_F : 가열 교반 장치 공급 열량(W)

Q_{Hs} : 표준관의 가열 상자 쪽 평균 표면 온도(K)

Q_{Cs} : 표준관의 저온실 쪽 평균 표면 온도(K)

R_s : 표준관의 열 저항량($m^2 \cdot K/W$)

A_S : 표준관의 전열 면적(m^2)



<그림 3.2.2-4> 교정 선도

온도 조건은 향온실, 가열상자는 20±1℃, 저온실은 0±1℃와 같이 하여 30분 간격으로 3회 측정한다. 표면 열전달 저항의 설정에서 표준판 양쪽 표면 열전달 저항의 합이 0.16 m²·K/W이 되지 않는 경우는 식(4)에 의해 차를 구하여 표면 열전달 저항의 보정값으로 한다. 3회의 측정 결과를 이용하여 열관류저항(R)을 식(5)에서 각각 구하여 평균한다.

- 표면 열전달 저항의 보정값

$$\Delta R = 0.16 - (R_i - R_o) \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

- 열관류 저항

$$R = \frac{1}{K} = \frac{(Q_{Ha} - Q_{Ca}) \cdot A}{Q_H + Q_F - Q_I} + \Delta R \dots\dots\dots \text{식(5)}$$

여기에서,

K : 열관류율(W/m²·K)

A : 전열 개구 면적(m²)

Q_{Ha} : 가열 상자 내 평균 공기 온도(K)

Q_{Ca} : 저온실 내 평균 공기 온도(K)

Q_H : 가열 장치 공급 열량(W)

Q_F : 기류 교반 장치 공급 열량(W)

Q_I : 가열 상자 공기 온도의 평균값과 향온실 공기 온도 평균값의 차로부터 그림 4를 이용하여 구한 교정 열량(W)

(2) 국외 열관류율 측정 표준

ISO(International Organization for Standardization)는 1947년도에 설립된 비정부조직(NGO)으로 전 세계 160여 개국의 국가표준기관의 연합체이다. 상품 및 서비스의 국제간 교류를 원활하게 하고, 지식, 과학, 기술 및 경제활동분야의 협력발전이라는 관점에서 표준화 및 관련 활동을 증진시키기 위해 설립되었다. ISO는 국제표준기관들 중 가장 규모가 크며 산업 전반과 서비스에 관한 국제 표준 제정을 담당한다. 법적인 구속력이 전혀 없지만 현재 ISO의 대부분의 ISO의 표준에 따라가는 추세이고 개별 국가의 표준이 ISO 표준과 차이가 있을 경우 그 표준을 이용하는 사용자가 국제 무역에서 불편을 겪을 수 있기 때문에 ISO는 그 정체성을 키워가고 있다. ISO의 회원가입 현황은 '09.7월 현재 정회원(Member body)에 108개국, 준회원(Correspondent Member)에 48개국, 간행물구독회원(Subscriber Member)에 9개국 등 총165개국이 가입, 활동하고 있다. 우리나라는 1999년 이후로는 기술표준원(KATS : Korean Agency for Technology and Standards)이 정회원으로 활동 중이다. 우리나라가 국제 표준을 따라가는 실정이므로 KS의 열전도율의 측정 표준은 ISO에 정하고 있는 측정 표준과 차이가 적다. 관련된 표준으로는 (1) ISO 8990 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법 (2) ISO 12567-1 창호의 단열성 시험방법 등이 있다.

[표 3.2.2-1] 열관류율 측정 관련 ISO & KS 표준

구분	표준번호	표준명	인용표준
ISO	ISO 8990	Thermal insulation - Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box	KS L 9016 ISO 7345
KS	KS F 2277	건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법	
ISO	ISO 12567-1	Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 1: Complete windows and doors	KS A 3251-1 KS C 1303-3 KS C 1606 KS F 2297 KS L 9016 KS M 3808
KS	KS F 2278	창호의 단열성 시험방법	

(3) 국내 열관류율 측정기기

현재, 국내에서 열관류율 측정기기를 제작하는 업체는 서학테크가 유일하다. 현재, 동 업체에서 제작된 열관류율 측정기기를 보유하고 있는 기관과 기기의 사양은 아래와 같다.

[표 3.2.2-2] 열관류율 측정기기

기기명	이미지	보유기관	시 편 종류	시 편 크 기 (mm)	적용표준
부착틀 고정형		건설기술연 구원 방재시험연 구원	벽체 단 열 재	1,500 × 1,500 (두께 300T이 하)	KS F 2277
부착틀 교환형		LG 하우스 스 공주대학교	문 벽체 창호	1,500 × 1,500 2,000 × 2,000 (두께 300T이 하)	ISO 12567 ISO 8990 KS F 2277 KS F 2278
유리 & 단열재 전용		-	유리 단 열 재	1,600 × 1,200 (두께 30T이하)	KS F 2277

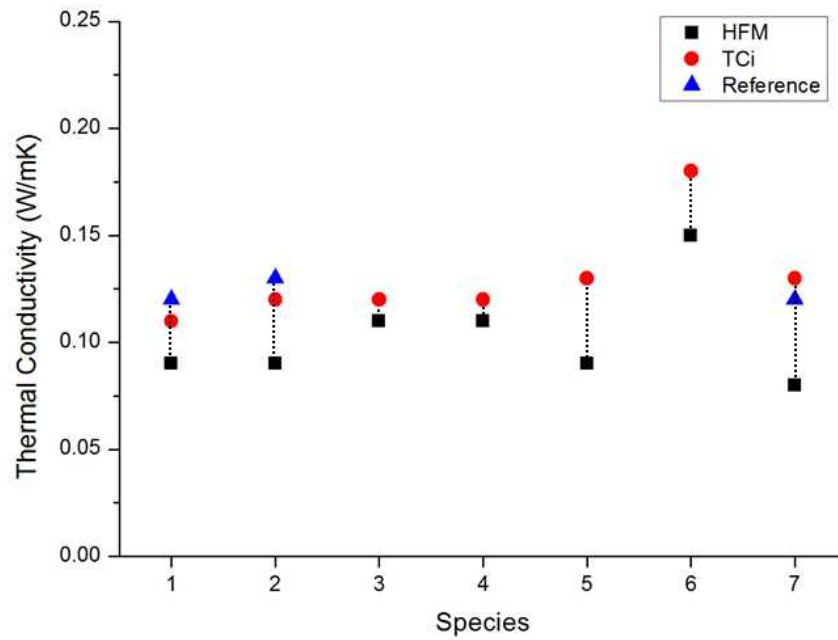
나. 실측 및 문헌조사를 통한 측정 조건에 따른 열전도율 비교

(1) HFM과 TCi 열전도율 측정값의 비교

수급된 원목의 열전도율을 평판열류계법을 이용하는 HFM과 modified transient plane source법을 이용하는 TCi 두가지 장비를 통하여 측정하였다. 측정결과는 [표 4-10]과 같으며 전체적으로 비슷한 값의 열전도율을 나타내었다. 하지만 목재의 낮은 열전도율로 인하여 타 재료에서는 적은 오차임에도 상대적으로 어느정도의 편차를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 기존 문헌과의 비교결과 TCi를 통한 열전도율 분석이 HFM 보다 신뢰성이 높다는 것을 확인할 수 있었다.

[표 3.2.2-3] 원목 열전도율 HFM, TCi 측정결과

No.	수종	두께 (mm)	실측결과 (W/m·K)		논문조사 (W/m·K)	오차
			HFM	TCi		
1	Ponderosa pine	19.3	0.09	0.11	0.12	0.02
2	Red pine	18.9	0.09	0.12	0.13	0.03
3	Southern Yellow Pine	21.8	0.11	0.12	-	0.01
4	Batu	17.1	0.11	0.12	-	0.01
5	Larch, Russia	14.6	0.09	0.13	-	0.04
6	Red balsa,Indonesia	16.9	0.15	0.18	-	0.03
7	Spruce	13.1	0.08	0.13	0.12	0.05



<그림 3.2.2-5> 원목 열전도율 HFM, TCi 측정결과

(2) 원목의 축방향별 열전도율 비교

또한 목재는 축방향별 열전도율이 크게 차이가 나므로 본 과제에서 또한 대표적인 수종을 대상으로 축방향에 따른 열전도율 변화값을 분석하였다. 그 결과 최대 0.03W/mK정도의 열전도율이 차이가 나는 것을 확인 할 수 있었으며 예상과 달리 크게 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

[표 3.2.2-4] 원목 열전도율 축방향별 TCi 측정 결과

No.	수종	실측결과 (W/mK)		
		Radial	Tangential	longitudinal
1	Ponderosa pine	0.11	0.10	0.13
2	Red pine	0.10	0.09	0.08
3	Southern Yellow Pine	0.08	0.10	0.13
4	Batu	0.13	0.10	0.13
5	Larch, Russia	0.08	-	-
6	Red balsa, Indonesia	0.09	0.12	-
7	Spruce	0.08	-	-

(3) TCi를 통한 합성목의 열전도율 측정

합성목의 열전도율 또한 위의 표와 같이 분석하였다. 합성목의 경우 두께가 얇은 제품이 많아 축방향의 분석은 제외하고 앞뒤의 열전도율을 분석하였다. 측정 결과 예상과 달리 앞면과 뒷면의 열전도율 크게 차이나는 제품들이 많았다. 이는 목재의 경우 면이 일정하지 않고 각각의 밀도가 다르기 때문으로 생각되며 TCi를 통한 분석의 경우 재료를 투과하는 열을 분석하는 것이 아니라 재료에서 투과되면서 반사되는 열을 분석하여 열전도율 값을 나타내기 때문으로 생각됨.

[표 3.2.2-5] TCi를 통한 합성목의 열전도율 결과

No.	수종	두께 (mm)	열전도율(W/mK)	
			앞면	뒷면
1	편백1	10.0	0.09	
2	편백2	8.0	0.07	
3	화이트과인	7.5	0.07	
4	메이플1	6.0	0.23	0.24
5	메이플2	6.0	0.24	0.06

6	티크	6.0	0.09	0.11
7	오크	6.0	0.18	0.07
8	내츄럴오크	6.0	0.23	0.06
9	로얄오크	6.0	0.19	0.08
10	워시오크	6.0	0.08	0.06
11	아프로모시아	6.0	0.23	0.05
12	강화마루	8.2	0.22	
13	원목마루	9.5	0.13	
14	합판마루	7.9	0.08	






다. 열전도율 DB 구축






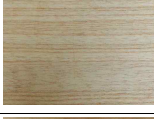








(1) 수급된 목재의 열전도율 DB





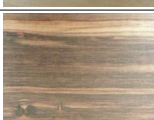




목재의 열전도율을 실측하고 향후 건축물에 적용했을 시의 열전도율 DB를 만들기 위하여 다양한 수종을 수급하여 HFM을 통한 열전도율을 측정하였다. 그 결과는 [표 3.2.2-6]과 같다. <그림 3.2.2-6>는 측정된 샘플의 침엽수와 활엽수 차이에 따른 열전도율 차이를 보여주고 있으며 일반적으로 침엽수의 열전도율이 활엽수보다 낮게 분포되고 있는 것을 알 수 있다. 향후 시뮬레이션 분석을 위하여 다양한 목재의 열전도율 값이 필요할 때 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

[표 3.2.2-6] HFM을 통한 목재의 열전도율 DB

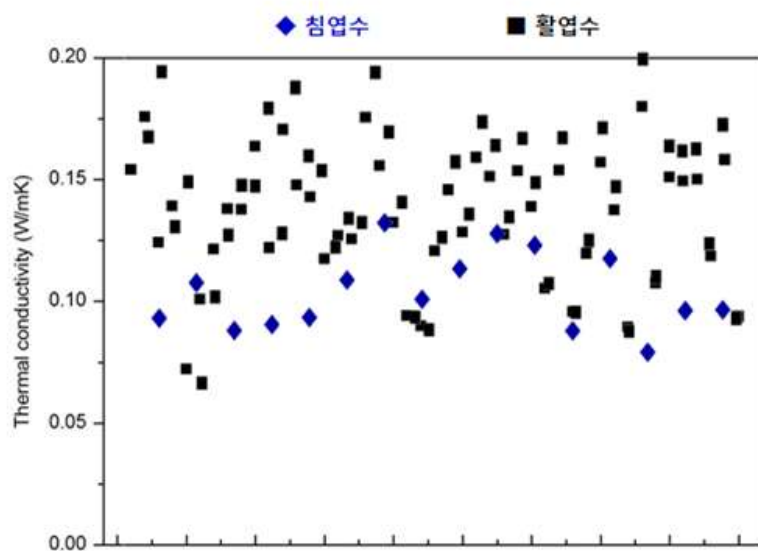
번호	수종	사진	열전도율(W/mK)
1	오동나무		0.072
2	가문비나무		0.083
3	이페		0.089
4	낙엽송		0.09
5	황철나무		0.09
6	삼나무		0.09
7	폰데로사 소나무		0.092
8	적송		0.094
9	나왕		0.094
10	솜벃나무		0.094

11	캐나다소나무		0.094
12	편백나무		0.096
13	마호가니		0.096
14	시트카 가문 비나무		0.097
15	사시나무		0.101
16	잣나무		0.101
17	바투		0.107
18	미송		0.107
19	가래나무		0.11
20	라디에타소나 무		0.11
21	단풍나무		0.11
22	옐로우파인		0.111
23	적삼목		0.114
24	호두나무		0.117
25	부빙가		0.119

26	산버들		0.12
27	아프젤리아		0.12
28	홍송		0.12
29	밤나무		0.121
30	육송		0.122
31	스웬프 애쉬		0.122
32	은행나무		0.125
33	리기다소나무		0.126
34	자작나무		0.127
35	음나무		0.13
36	참죽나무		0.13
37	다릅나무		0.13
38	솔배나무		0.13
39	단풍나무		0.137

40	티크		0.138
41	벗나무		0.138
42	느릅나무		0.139
43	느티나무		0.14
44	워터컴		0.14
45	오리나무		0.143
46	흑단		0.148
47	피플하트		0.149
48	다오		0.15
49	소태나무		0.15
50	참나무		0.15
51	팽나무		0.15
52	오방쿨		0.151
53	발사나무		0.154
54	레드오크		0.155

55	제브라노		0.158
56	아카시나무		0.16
57	참박달		0.16
58	멀바우		0.16
59	물푸레나무		0.163
60	박달나무		0.17
61	너도밤나무		0.175
62	화이트오크		0.18
63	방킬라이		0.18



<그림 3.2.2-6> 침엽수와 활엽수의 열전도율 차이

(2) 온습도에 의한 목재의 열전도율

일반적으로 건축물의 경우 계절, 재실자의 생활방식 등에 따라 실내 및 실외의 온습도의 변화가 심하다. 건축물의 구조재 및 내장재로 쓰이는 목재도 이러한 영향에 의해 함수율이 변화하며 함수율에 따라 목재는 열전도율의 차이를 보이게 된다. 하지만 시시각각 변화하는 목재의 열전도율을 시뮬레이션 프로그램에 적용하는 것은 어려운 일이기 때문에 본 연구에서는 일반적으로 재실자가 쾌적을 느끼며 여름철의 다습한 조건과 겨울철의 건조한 조건의 중간의 온습도를 25℃, 50%의 상대습도 조건으로 정하고 많이 사용되는 구조재의 열전도율 측정하였다.

(가) 실험방법

[표 3.2.2-7]의 목재를 75mm × 75mm × 25mm의 일정한 크기로 재단하여 일정한 크기의 샘플로 만든 뒤 건조기에 향량에 도달할 때까지 건조를 시킨 뒤 25℃, 상대습도 50%의 항온항습기에 넣고 무게 변화가 일정해질 때까지 안정화를 시킨 뒤 TCi를 통해 열전도율을 측정하였다.

[표 3.2.2-7] 열전도율 측정샘플

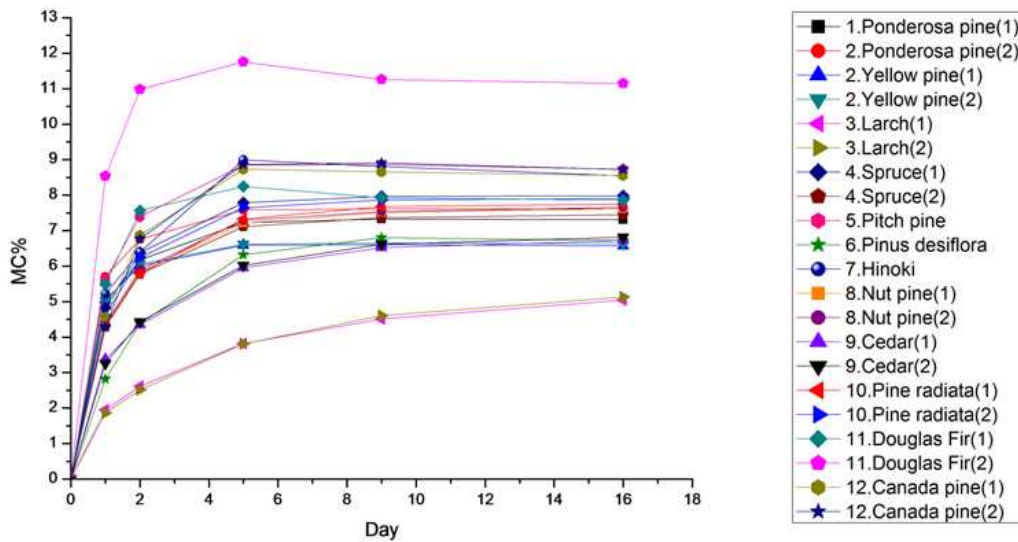
수종	평균 두께(mm)	수종	두께
폰테로사 소나무	19.03	편백나무	22.70
옐로우 파인	20.81	잣나무	24.80
낙엽송	13.05	삼나무	24.69
가문비 나무	11.93	라디에타 소나무	24.67
리기다 소나무	23.44	미송	24.88
육송	24.86	캐나다 소나무	24.77

(나) 실험결과

실험과정 및 목재 샘플은 <그림 3.2.2-7>에 나타나 있으며, 목재의 시간경과에 따른 함수율 변화는 <그림 3.2.2-8>과 같다. 대부분의 수종이 5일 경과 후 일정한 함수율 변화를 보이고 있으며 낙엽송의 경우 건조기간 동안 송진이 표면으로 새어나와 표면을 코팅하는 역할을 하여 다른 수종에 비하여 변화가 느린 것으로 보인다.



<그림 3.2.2-7> 향온항습기 내부의 샘플



<그림 3.2.2-8> 시간경과에 따른 함수율 변화

[표 3.2.2-7] 구조용 목재의 온습도 조건(25℃, 50%)에 따른 열전도율

수종	열전도율 평균 W/mK	수종	열전도율 평균 W/mK
폰테로사 소나무	0.124	편백나무	0.129
옐로우 파인	0.106	잣나무	0.125
낙엽송	0.140	삼나무	0.126
가문비 나무	0.153	라디에타 소나무	0.127
리기다 소나무	0.121	미송	0.130
육송	0.136	캐나다 소나무	0.137

열전도율 측정결과는 [표 3.2.2-7]에 제시되어 있으며 16일 경과 후 측정된 값이다. 향후 위의 데이터를 이용하여 건축물의 시뮬레이션에 적용할 시 조금 더 정확도가 높은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.3 소결

본 장에서는 다양한 건축물 시뮬레이션 프로그램의 목재 열전도율 입력값이 실제 실험보다는 각각의 연구에서 값을 가져와서 적용하고 있기 때문에 프로그램별로 다른 값을 보이며 실제 에너지 부하에서도 차이를 보이는 문제점을 해결하고자 연구를 진행하였다. 목재의 열전도율은 다른 건축재료들 보다 낮으며 일반적으로 공장에서 생산되는 건축재료와 달리 측정 위치, 측정 장치에 따라 다양한 차이를 보인다. 하지만, 본 결과를 통해 얻어진 데이터 베이스를 통하여 기존 프로그램에 없는 수종 또는 프로그램별 크게 열전도율이 차이나는 수종에 적용할 경우 시뮬레이션 값의 오차를 줄일 수 있으며 국내의 목조주택이 증가하고 있는 실정에서 국내산 목재를 적용하는 건축물의 에너지성능을 파악하는데 적지 않은 도움이 될 것으로 생각된다.

3. 3 목질재료와 비목질 재료의 열성능 비교

3.3.1 건물에서의 목재의 활용범위 및 적용방안

가. 건물에서의 목재의 활용범위

(1) 목재의 일반적 특징³²⁾

친환경 건축재료는 천연자원을 그대로 사용해 언제든지 자연으로 되돌아 갈 수 있는 흙, 벽돌, 목재와 같은 자연친화적인 전통적 재료를 말하며, 환경 친화를 위해 상당히 유용한 방법이라고 할 수 있다. 친환경 건축에 사용되기 위해서는 재료의 생산에 있어 지구 환경 보존에 조화되면서 환경부하가 적은 재료로 생산, 이용, 재활용, 폐기 시 공해가 적고 에너지 소비가 적은 재료가 선정되어야 하며 이러한 기준에서 목재는 성장하는 과정에서부터 공기 중의 탄소를 흡수하여 탄소를 고정 축적시키며 벌채 후 목재로 제조 시 소모되는 에너지량이 타 건축 재료에 비해 현저히 적고, 강재 및 콘크리트와 비교하여 수백만 개의 기공을 갖는 세포구조로 구성되어 열 흐름에 대한 저항성을 가지고 있는 재료이다.

또한 목재는 다른 건축 소재와 비교하여 시각, 청각, 후각, 촉각 등에 인간 친화적인 장점이 있는 재료로 이 같은 목재가 갖는 특징을 극대화하면 좋은 건축 재료로 활용이 가능하다. 목재의 장점은 다음과 같다.

(가) 온도 조절 작용

산림청(1996)의 ‘목재가 인체 및 주거생활에 미치는 영향’ 연구에 의하면 동일한 실내 환경 유지를 위한 목조주택과 벽돌조 주택의 에너지 소모량을 비교해 본 결과, 목조주택이 모든 계절에 적은 에너지를 소비하며, 연평균 에너지 절감량이 약 26%에 달하는 것으로 분석되었다. 또한 벽체 실내·외 표면의 온도를 비교해 본 결과, 실내면의 온도는 목조주택에서 더 높았으나 실외면의 온도는 목조주택에서 더 낮게 측정되어 목조주택의 단열성능이 벽돌조보다 우수한 것으로 나타났다. 주택재료의 온도조절 성능을 나타내는 지표로서 실온변동비가 사용되는데, 동일한 주택에 대해 실온 변동비를 비교한 결과 목재의 실온변동비가 콘크리트, 흙, 단열재 등의 다른 재료에 비해 현저히 낮게 나타났다.

[표 3.3.1-1] 여러 가지 건축 재료의 열 정수

재료	열전도율, λ (Kcal/mh℃)	용적비열, Cp (Kcal/m ³ ℃)	비열, C (Kcal/Kg℃)	비중, p (Kg/m ³)
콘크리트	1.4	481	0.21	2300
흙벽	0.59	273	0.21	1300
벽돌	0.53	332	0.20	1700
삼나무	0.083	187	0.42	450
측백	0.088	223	0.42	530
유리섬유	0.038	4.0	0.20	20
단열재 스티로폼	0.032	10.5	0.35	30

32) 강석구, 김윤희, 친환경건축소재로서의 목재의 특징과 활용, Journal of the KGBC 0406 Vol.13, No.1, 20 p27-36, 10pages, 2012

(나) 습도 조절 작용

실내의 습기가 많아지면 목재는 습기를 빨아들여 습도를 낮추고 습기가 적어지면 목재가 지닌 습기를 실내로 내줌으로써 습도를 높이는 작용을 하는데 이러한 작용을 조습작용이라 한다. 이러한 기능은 에너지 효율을 높이기 위해 기밀성을 높게 디자인한 건축에서 유용하게 적용될 수 있다. 목재는 대기 중의 습기 및 온도 변화에 따라서 평형 함수율이 변하게 되며 그 변화의 방향이 항상 습도가 높아지면 이를 낮추는 쪽으로 습도가 낮아지면 이를 높이는 쪽을 나타냄으로써 실내의 습도 변동 폭을 최소로 유지시켜준다.

여름과 겨울철 실내·외 온도차가 높은 국내의 환경에 비추어 볼 때 주택의 벽체 부분에서 자주 발생하게 되는 결로 현상은 표면결로와 내부결로로 나눌 수 있는데, 이러한 결로현상은 곰팡이와 밀접한 관련이 있으며 수분이 벽체 내에 축적되기 때문에 벽체내부의 부후로 인한 결합발생에 따른 내구성 감소의 원인이 될 수 있다. 목재는 조습 작용으로 인해 실내의 습도를 미리 낮추어 결로현상을 방지할 수 있다.

(다) 소리 조절 작용

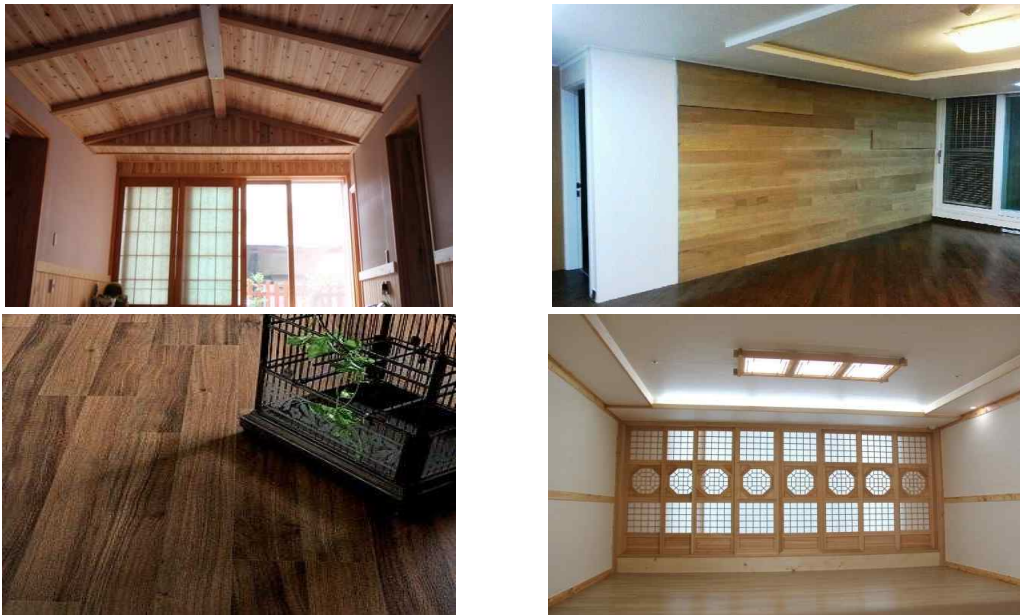
주거환경 불만요인 중 높은 비중을 차지하고 있는 소음문제는 외부로부터 소음과 바닥충격음이 대표적인 예이다. 건물 안에서 발생한 음의 잔향시간은 목조건물이 0.2~0.4초이며 흡음률은 0.25~0.30이다. 실질적으로 콘크리트 주택은 가청역과 초음파역에서 투과 손실이 모두 크기 때문에 차음성능이 우수하다. 하지만 목질계 재료의 특성이 결합된다면 흡음율이 높고 실내음의 잔향이 적을 뿐만 아니라 외부로부터 초음파음이 실내로 많이 전달되기 때문에 소음환경에 대한 만족도를 더욱 향상될 수 있다.

(라) 심리적 안정감 작용

목재는 주거환경용 재료로써 생리적으로나 심리적으로 안정감을 주는 재료이다. 주택의 구조재와 사망 연령과의 관계 연구에서 목조주택에 사는 사람들의 수명이 콘크리트주택에 사는 사람보다 평균 6.8세 정도 더 수명이 길고 발암율도 훨씬 낮은 것으로 밝혀진 바 있다. 또한 생쥐 실험에 있어서도 콘크리트 사육 상자에서 키운 쥐는 100마리 중 93마리 폐사했고, 살아남은 7마리의 쥐들도 자신의 새끼를 잡아먹거나 다른 쥐를 죽이는 등의 포악하고 이해할 수 없는 이상 행동을 보였다. 반면 목재로 만들어진 사육 상자에서 자란 쥐는 15마리만 폐사했고 이상 행동이 적었다는 결과도 얻어졌다고 한다.³³⁾

(마) 실내 공기 질 개선효과

목재는 사용 중에 먼지의 발생이 적고 목재 내에 미세 공극들이 많기 때문에 먼지 등의 미세한 부유물질들을 흡입하여 공기 중의 먼지 농도를 낮추는 효과가 있다. 토양에서 생산되는 대부분의 자연재료에 포함되어 있는 라돈 성분은 실내 환기가 잘 이루어지지 않는 공기에서 농도가 상승되며 폐암의 기작으로도 알려져 있어 미국 환경보호청(EPA)에서는 각 가정에서 라돈 농도를 측정하여 석고보드와 같은 건축 재료의 사용량을 감소시키기를 권하고 있다. 유기재료인 목재는 타 건축재료에 비해 1/2정도의 라돈 농도를 보이는 재료로서 이러한 특성은 실내 공기질 향상에 좋은 영향을 미칠 것으로 사료된다.



<그림 3.3.1-1> 목재 마감재 적용 모습

33) 엄영근, 친환경 건축재료로써의 목재와 공학목재, 공기청정기술 제 20권 제 2호 통권 77호, pp26-49, 2007

(2) 사례조사를 통한 건축 부위별 목재의 활용 범위 조사

국내·외 목구조 주택들의 부위별 목재 사용현황에 대하여 선행 문헌 사례 조사를 통해 분석하였으며, 각 주택별 목재 적용 부위는 국외의 경우 [표 3.3.1-2]와 같고 국내의 경우는 [표 3.3.1-3]과 같이 조사되었다.³⁴⁾³⁵⁾

[표 3.3.1-2] 국외 목재 적용 부위 사례조사

사진	건물위치	건축형태	목재 적용 부위					비고
			지붕	바닥	외벽	내벽	창호	
	일본	목구조	○	○	○	×	○	외부 : 목재 사이딩 내부 : 석고보드 바닥 : 원목마루 창호 : 알루미늄, 우드
	독일	목구조	×	○	○	×	×	외부 : 목재 사이딩 내부 : 석고보드 바닥 : 원목마루
	독일	목구조	○	○	○	×	○	외부 : 목재 사이딩 내부 : 석고보드 바닥 : 오크마루 창호 : 알루미늄, 우드
	덴마크	목구조	○	○	○	×	○	외부 : 목재 사이딩 내부 : 석고보드 바닥 : 오크마루 창호 : 원목 프레임
	네덜란드	목구조	○	×	○	○	×	외부 : 목재 사이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 석재마감
	오스트리아	목구조	×	○	○	○	×	외부 : 목재 사이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 오크마루
	미국	목구조	×	○	×	○	○	외부 : 벽돌, 드라이비트 내부 : 원목루버 바닥 : 원목마루 창호 : 알루미늄, 우드
	독일	목구조	○	○	×	×	○	외부 : 친환경 페인트 내부 : 석고보드 바닥 : 원목마루
	라트비아	목구조	○	○	○	○	×	외부 : 원목마감 내부 : 원목마감 바닥 : 원목마루

34) 국립산림과학원, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2011

35) <http://www.woodhomes.co.kr/>

[표 3.3.1-3] 국내 목재 적용 부위 사례조사

사진	건물위치	건축형태	목재 적용 부위					비고
			지붕	바닥	외벽	내벽	창호	
	대한민국	목구조	o	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 목재샤이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 강화마루
	대한민국	목구조	x	o	o	x	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 벽돌, 목재샤이딩 내부 : 실크벽지 바닥 : 원목마루
	대한민국	목구조	x	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 스타코 내부 : 히노끼루버 바닥 : 강화마루
	대한민국	목구조	x	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 인조석, 목재샤이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 강화마루
	대한민국	목구조	x	o	o	x	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 목재샤이딩(2층) 내부 : 실크벽지 바닥 : 강화마루
	대한민국	목구조	x	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 목재샤이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 온돌마루
	대한민국	목구조	x	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 벽돌, 목재샤이딩 내부 : 원목루버 바닥 : 온돌마루
	대한민국	목구조	x	o	x	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 시멘트샤이딩 내부 : 레드파인루버 바닥 : 합판마루
	대한민국	목구조	x	o	o	o	x	구조 : 2×6, 2×4 외부 : 목재샤이딩 내부 : 레드파인루버 바닥 : 합판마루
	대한민국	목구조	x	o	x	x	x	구조 : 2×6, 2×2 외부 : 드라이비트 내부 : 페인트 바닥 : 강화마루
	대한민국	목구조	x	o	x	x	o	구조 : 2×6, 2×2 외부 : 드라이비트 내부 : 페인트 바닥 : 합판마루

다음 [표 3.3.1-4]은 구조재 및 마감재로 목재가 이용된 주택을 무작위로 추출해 목질 및 비목질 재료의 부위별 적용 빈도를 조사한 결과로, 목재사용 주택 수, 목재적용률, 사용된 비목질

재료, 목질재료 종류에 대하여 정리하였다.

[표 3.3.1-4] 국내·외 사례조사를 통한 목조 주택의 마감 재료와 목재 적용률

사례조사	지붕재	바닥	외벽	내벽	창호
목재 사용 주택 수	8	19	15	11	6
목재 적용률	40%	95%	75%	55%	30%
사용된 비목질재료	· 아스팔트싱글	· 석재(타일)	· 외단열마감 (드라이비트) · 조적식 · 페인트 · 인조석 · 시멘트 사이딩	· 벽지 · 페인트 · 석고보드	· PVC · 알루미늄
사용된 목질재료	· 원목사이딩 (SPF, 적삼목) · 레드파인 주로사용	· 원목마루 · 강화마루 · 합판마루 · 오크마루	· 원목 사이딩 · 지붕과 마찬가지로 SPF계열과 레드파인 사용	· 원목 루버 (레드파인, 히노끼) · 적삼목	· 목재 창 · 목재+알루미늄 창

지붕재의 경우 비 목질재료 중 아스팔트싱글이 높은 비율로 사용이 되며, 목재의 경우 원목 사이딩이 주로 사용되었다. 원목 중에서는 SPF 계열의 가문비나무, 소나무, 잣나무의 3가지 종류가 주로 이용되었고, 소나무계열의 레드파인이 가장 보편적으로 많이 사용되는 것으로 조사되었다. 바닥 마감재의 경우 일부 석재를 제외하고, 95%에 달하는 높은 비율로 목재가 사용되었고, 목조주택 특성 상 목재의 사용비율이 높았으며, 국내에서는 친환경성을 선호하는 거주자들이 목조주택에 거주하는 경우가 많아 원목 및 강화마루, 합판마루를 선호하는 것으로 나타났다.

외벽 마감재의 경우 비목질 재료로는 외단열 마감, 페인트, 조적, 인조석 등 다양한 재료들이 시공되었다. 목재 마감재의 경우 원목 사이딩이 높은 비율을 차지하였으며, 지붕과 마찬가지로 SPF 계열과 레드파인, 레드시다(적삼목)이 보편적으로 사용되는 것으로 조사되었다. 내벽 마감재로는 비목질 마감재의 적용률은 45% 정도이며, 석고보드 위에 벽지 및 페인트가 주로 사용되었다. 이것은 내부 마감 시 편리함과 간편함, 시공성 등이 고려된 것으로 판단되며, 목재의 경우 주로 거실 천장, 벽 부위에서 많이 적용된 것으로 조사되었다.

창호의 경우 PVC와 알루미늄창호가 높은 비율을 차지하고 있었고, 목재창이나 목재+알루미늄 창호의 이용은 주로 국외 사례에서 조사되었다. 국내의 경우에는 외부 창호로 목재 또는 목재 시스템창호가 보편적이지 않으며, 가격이 비싸고, 기술 수준이 해외에 비해 낮아 적용 비율이 낮은 것으로 판단된다.

이상의 사례들을 통해 조사된 바와 같이 목조 주택의 경우 구조재 외에도 지붕재, 바닥, 외벽, 내벽, 창호 부위에서 목질 재료들이 마감재로 높은 비율로 사용되고 있으며, 일반 구조의 경우에도 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

나. 목질 제품의 수종에 따른 건축재료로의 적용방안

(1) 목질 제품 수종 조사

목질 제품을 크게 두 가지 수종으로 분류하면 침엽수와 활엽수로 분류할 수 있다. 침엽수는 바늘모양의 잎을 가지면서 일 년 내내 푸른 나무로서 주로 건축에서 뼈대를 이루는 구조재로 활용되며, 기타 토목 가구, 실내장식, 토목 파렛트, 깔판 등 산업용으로도 다양하게 이용되고 있으며 작업성과 가공이 용이하여 Soft-wood로 분류된다. 활엽수는 넓은 잎을 가지며, 가을 및 겨울에 잎이 떨어지는 낙엽수로서 침엽수에 비해 가공이 어렵고 단단하여 구조재보다 내부장식, 생활가구, 악기 제조용 등으로 활용되며 Hard-wood로 분류된다.

이러한 침엽수와 활엽수의 종류는 매우 다양하고 수종이 많으나, 침엽수의 경우 국내의 소나무, 향나무, 편백나무 등과 캐나다 서부 및 미국 북서부를 중심으로 자라는 더글라스, 전나무, 솔송나무, 폰데로사 파인, 아이다호 백 소나무, 슈나 파인, 앵겔만 스프르스, 인센스 시더, 웨스턴 리더 시더 등이 있으며 남부 지역에서 주로 생산되는 남부산 소나무가 있다. 활엽수는 ‘레드오크’ ‘화이트 오크(White Oak)’ ‘단풍나무(Maple)’ ‘호두나무(Walnut)’ ‘튤립우드(Tulipwood)’ ‘벚나무(Cherry)’ ‘오리나무(Alder)’ ‘물푸레나무(Ash)’ 등의 40여종으로 구분된다.³⁶⁾

실무적으로 가장 많이 사용되는 수종은 침엽수 계열로 가문비나무(Spruce), 소나무(pine), 전나무(Fir) 수종이며, 활엽수 중 물푸레나무(Ash), 단풍나무(Maple), 참나무(Oak) 등이 있으며, 침엽수와 활엽수의 장·단점 및 특성은 [표 3.3.1-5]과 같다.

[표 3.3.1-5] 침엽수와 활엽수의 특징

구 분	침엽수(Soft-wood)	활엽수(Hard-wood)
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 비교적 경량이며, 가공이 용이함 · 압축 및 인장, 휨 강도가 강함 · 대량으로 직선부재의 생산이 용이하며, 건조가 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> · 가공 후 외관 및 연륜의 화려함 · 외적으로 다양한 특징을 지님
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 방부 및 병충해 작업 필수 필요 · 방부처리로 인한 2차 피해 우려 	<ul style="list-style-type: none"> · 비중이 무거우며, 가공이 어려움 · 건조가 어렵고, 결함 발생 확률이 높음
특성	<ul style="list-style-type: none"> · 나무의 내부조직이 부드러움 · 성장속도가 빠름 · 낙엽이 발생하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 나무의 내부조직이 단단함 · 성장속도가 느림 · 낙엽이 발생
용도	<ul style="list-style-type: none"> · 목조주택의 골조로 사용 · 다양한 산업에서 활용 	<ul style="list-style-type: none"> · 고급 가구 및 내장재 · 전문 목공작업에 사용
대표적 수종	<ul style="list-style-type: none"> · 가문비나무(Spruce), 미송(Douglas fir) · 소나무(pine), 전나무(Fir) 	<ul style="list-style-type: none"> · 물푸레나무(Ash), 자작나무(Birch) · 단풍나무(Maple), Oak(참나무)

36) 김진희, 친환경재료적용·목조건축, 대한건축사협회지 통권 제 519호 pp80-83, 2012.07

[표 3.3.1-6] 수종별 특징 및 건물에서의 사용부위

목재명	사진	색상	특징	사용 부위				
				S	I	O	V	F
침엽수	가문비나무		· White · Yellow · 나무결이 곧고 뚜렷함 · 내구성이 강하나 변형 및 휨 주의	◎	◎	◎	◎	◎
	적송		· Light Red · 촘촘한 나뭇결과 선명한 나이테 보유 · 시간이 지날수록 붉은색으로 변함	◎	◎	◎	◎	◎
	미송		· White · Yellow · 침엽수 중 가장 강한 수종 · 마찰이나 마모 진동에 강함	◎	◎	◎	◎	◎
	적삼목		· Dark Red · 목재의 밀도가 낮아 단열에 우수 · 해충에 대한 자연적인 내성 보유	◎	◎	◎	◎	◎
	편백나무		· White · 피톤치드가 가장 많이 함유량 우수 · 항균 및 살균작용 뛰어난	○	◎	◎	◎	◎
	슬래쉬파인		· Bright Yellow · 용이가 없는 것이 특징 · 합판으로 주로 이용	○	◎	◎	◎	◎
	뉴송		· Bright Yellow · 단단한 목질, 저렴한 가격 · 집성판재 제품으로 주로 사용	○	◎	◎	◎	◎
활엽수	물푸레나무		· White · 나무결이 크고 견고한 하드우드 · 집성판 또는 가구에 사용	X	◎	△	○	◎
	단풍나무		· Light Red · 무겁고 외력에 강하며 변형이 적음 · 충격에 의한 저항성이 높음	X	◎	△	○	◎
	털바우		· Brown · 표면강도와 구조적강도가 높은 목재 · 부패에 강해 천연 방부목이라 함	X	◎	△	○	◎
	참나무		· White · Red · 무게가 무겁고 충격에 강한 특성 · 나무결이 뚜렷함	X	◎	△	◎	◎
	자작나무		· Bright Yellow · 견고하여 습기에 강함 · 해충에 대한 자연적인 내성 보유	X	◎	△	○	◎
	오리나무		· Red · 표면이 매끄럽고 나뭇결이 촘촘함 · 공기중에 노출되면 붉은색으로 변함	X	◎	△	○	◎
	벗나무		· Dark Red · 벌목직후 회색이지만 붉게 변함. · 마감작업성이 탁월 도장성이 좋음	X	◎	△	○	◎
	호두나무		· Dark Brown · 중간정도의 무게, 경도, 강도 보유 · 내충격성이 뚜렷한 목리를 가진 목재	X	◎	△	○	◎

※ 1. S : 구조재, I : 내장재, O : 외장재, V : 합판, F : 가구

2. ◎ : 매우사용, ○ : 보통사용, △ : 잘 사용되지 않음, X : 사용되지 않음

(2) 목질 제품의 건축 부위별 적용방안

(가) 경량목구조(Light-weight Wood Frame)

경량목구조는 두께 2인치, 폭 4인치로 다른 구조보다 가벼운 구조용 목재를 사용하기 때문에 붙여진 이름이며 과학적으로 발전된 건축 양식으로 현재는 대부분의 목조 주택이 이 방식으로 건축되고 있다.

투바이포공법으로도 불려지는 경량목구조는 단면이 2인치×4인치(혹은 6인치)의 각재를 사용하여 수평 및 수직격판이 상호 긴밀하게 결합되어 수평수직하중에 저항하는 “상자형 구조(box system)”로서, 설계상 거의 제약이 없어 원하는 구조와 디자인을 연출할 수 있으며, 지진에도 강한 저항 능력을 가진다.

경량목구조 건축이 등장하기 전까지 로그나 팀버프레임 등 중량목재를 이용한 건축 방식이 대중적이었으나 로그나 팀버프레임 건축은 상당히 숙련된 기술을 필요로 하고 바닥이나 지붕에 가로로 놓이는 수평부재, 도리, 장선 등이 하중에 의해 휘는 단점이 있었다. 이러한 점을 극복한 방식이 경량목구조 건축 방식이다.

경량목구조는 별륜구조와 플랫폼구조 두 가지가 있으며, 그 특징은 아래와 같다.

① 별륜 구조

별륜구조는 1830년경, 시카고주의 엔지니어이며 건설업자이자 목재상이었던 스노우(George Washington Snow)에 의해 처음으로 고안되어 졌는데 당시 스노우는 기존의 기둥-보 방식에서의 칸막이 벽체에 사용된 비내력 부분의 소단면 각재들로 그 상부에서 전달되는 하중을 충분히 지탱할 수 있음을 깨닫고 각재를 사용한 프레임으로 기둥의 역할을 대신하게 한 공법을 개발하게 되었다. 구조 방식의 우수성과 건물을 가볍게 구성하여 풍선처럼 날아갈 듯 한 인상에서 별륜구조란 이름으로 불리게 되었다.

별륜구조의 특징은 외벽의 스테르드가 기초에서 지붕에 이르기까지 두 개 층의 길이로 된 단일 부재를 사용하고, 이층바닥은 스테르드가 기초에서 지붕에 이르기까지 두개 층의 길이로 된 단일 부재를 사용해서 스테르드 중간에 끼워 시공하고 지붕의 서까래와 천장들은 스테르드 상부의 이중 깔도리 위에 지지되는 것이다.

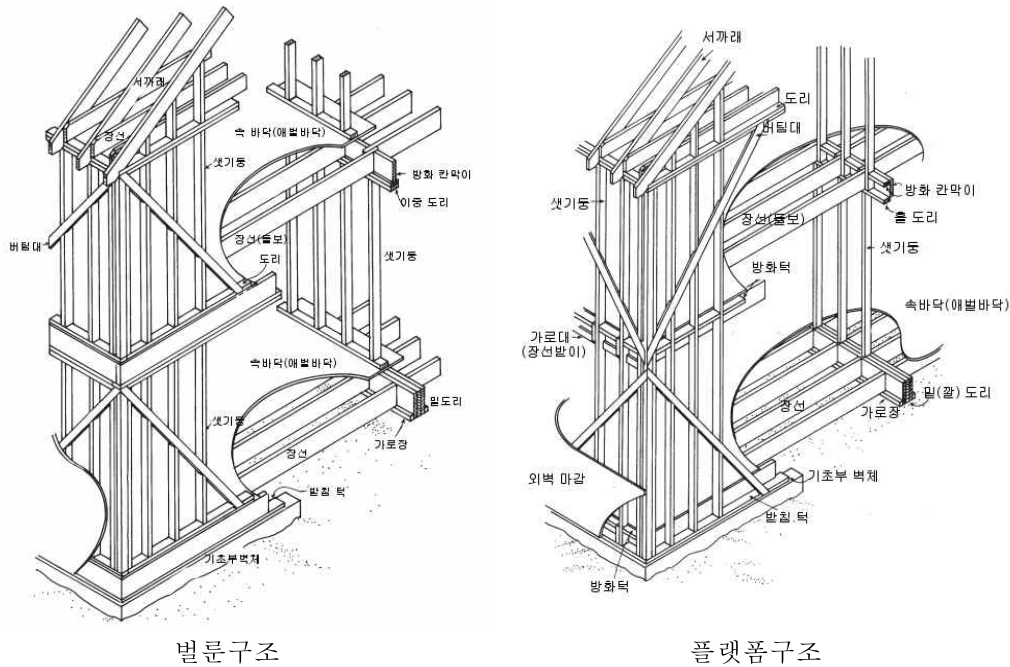
이러한 별륜구조는 외벽마감을 스타코(Stucco)등의 습식 공법 자재로 마감할 경우 스테르드 부재의 단일성으로 벽면에 금(Crack)이 가지 않게 하는 최적의 방법이지만 벽체와 비트의 장선 결합 방식이 화염진행을 적절하게 차단하지 못하여 화재 시 두 개 층에 달하는 스테르드 간의 중공이 연도의 역할을 하게 되고 이러한 스테르드의 길이가 길어 시공 시 다루기 힘들고 자재 값이 고가여서 현재는 거의 사용되지 않는다.

② 플랫폼 구조

플랫폼구조는 별륜구조의 화재 시 취약한 내화성능과 열악한 시공 성능의 단점을 보완한 구조방식이다. 플랫폼 구조의 장점은 구조부재의 길이가 짧아지고 가벼워져 작업이 용이하고, 벽체가 평판한 플랫폼 위에서 조립되기 때문에 정확하게 직각으로 제작 될 수 있고, 세워지기 전에 합판이나 대각선 가새를 설치할 수 있어 벽체 프레임의 강성을 높일 수 있게 된다.

또한 플랫폼 위에서의 작업 공간 확보로 벽체를 신속하게 제작하고, 용이하게 설치할 수 있어 보통 하나의 벽체를 두 사람 정도가 5~15분 정도에 설치할 수 있게 된다. 플랫폼으로 구

성된 바닥구조는 하층부와 상층부의 벽체 구조사이에서 방화막이 역할을 한다는 추가적인 장점도 있다. 플랫폼이 구성하는 방화막에 인해 벌룬구조에서 추가적으로 소요되었던 방화용 깔판이나 방화막이 등의 설치를 위한 인력과 시간을 절감할 수 있게 된다.³⁷⁾ 다음 [표 3.3.1-7]은 경량목구조에서 스테드, 장선 및 서까래에 사용되는 구조 자재의 규격과 적용부위를 정리한 표이다.



<그림 3.3.1-2> 목구조의 벌룬구조와 플랫폼구조

[표 3.3.1-7] 구조재 규격 및 적용부위

구조재	형태	규격	적용 부위	적용 목재
2 × 2		38 × 38	스테드(Stud), 깔도리(Plate)	SPF Hem-Fir Douglas-Fir
2 × 4		38 × 89		
2 × 6		38 × 140		
2 × 8		38 × 184	장선(Floor Joist), 서까래(Common Rafter), 계단재	
2 × 10		38 × 235		
2 × 12		38 × 285		

※ SPF : Spruce(가문비 나무), Pine(소나무), Fir(전나무)

37) 한국목조건축연구소, 목구조기술자 양성제도 개선 및 교육 프로그램 개발, 산림청, 2011년 11월

(나) 실내·외 마감재

다음의 [표 3.3.1-8]은 앞서 사례조사를 바탕으로 경량목구조에서 주로 사용되는 마감재 제품들의 종류 및 특징을 정리한 것이다. 목재 마감재 시공은 목재를 단순하게 조립 후 부착 고정시키는 공정이 주를 이루어 어렵지 않게 시공이 가능한 것으로 판단된다. 하지만 이질재가 혼합되어 설치되고 모서리 등의 결합이 기밀하지 못하기 때문에, 저에너지 목구조 건축물 시공을 위해서는 구조체 시공에 많은 노력을 기울여야하며, 초기 계획부터 재료적 열교와 구조적 열교를 방지하기 위한 방법이 고려되어야 한다.

[표 3.3.1-8] 제품별 특징 및 시공법

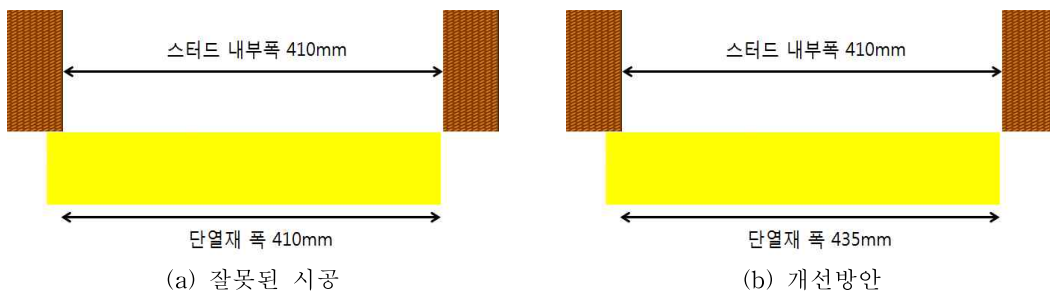
목재명		사진	상세 및 결합 모습	특징	
외부 마감	베벨 사이딩			<ul style="list-style-type: none"> · 목구조에서 가장 일반적으로 사용되는 시공법 · 경사진 널이라는 의미로 삼각형 모양의 단면 <ul style="list-style-type: none"> · 적삼목이나 가문비나무를 주로 사용 	
	로그 사이딩			<ul style="list-style-type: none"> · 반원형태로 가공하여 통나무 주택 느낌 · 다른 사이딩에 비해 고가 · 적삼목, 가문비나무, 낙엽송 등을 주로 사용 	
	채널 사이딩			<ul style="list-style-type: none"> · 채널사이딩, 스펜스조사이딩이라고 불림 · 베벨사이딩의 단면이 경사가 있는 형태라면 한번의 가공을 거쳐 수직형태로 만든 사이딩 · V자형 루바는 간격이 좁아 촘촘하게 시공되는 모습을 보임 	
내부 마감	V자 루바			<ul style="list-style-type: none"> · 시간이 지남에 따라 V자에서 U자로 변해감 · 시공법은 루바를 홈에 끼워 글루건 및 실리콘으로 붙이거나 벽체에 타카로 고정 	
	U자 루바			<ul style="list-style-type: none"> · U자형 루바는 간격이 넓어 약간의 굴곡이 있어보이게 시공됨 · U자형 루바는 형상이 그대로 유지됨 · 시공법은 루바를 홈에 끼워 글루건 및 실리콘으로 붙이거나 벽체에 타카로 고정 	
일차 마감 & 마감	일반 합판			<ul style="list-style-type: none"> · 일정한 규격으로 절단하여 서로 직교하게 만든 판상재 · 합판마루의 주 재료이며 바닥판재로 주로사용 · 단열재+각재 시공 후 마감 사용(1차 마감) · 수분에 의한 틀어짐 및 휨에 주의해서 사용 	
	파티클 보드	O S B			<ul style="list-style-type: none"> · 나무입자를 방수성 수지와 함께 압축하여 강도와 안전성을 극대화 시킨 제품 · 합판과 마찬가지로 1차 마감재로 사용됨 · 1차마감 뿐만아니라 인테리어로도 많이 사용
		M D F			<ul style="list-style-type: none"> · 목섬유를 접착제와 함께 고온, 고압으로 압착 성형하여 만든 중밀도 판재 · 주로 가구 및 인테리어로 사용됨

다. 에너지 절감을 위한 목구조 시공방법

목구조는 벽체에서 반드시 단열재와 각재가 혼합되어 사용되기 때문에 재료적 열교가 발생한다. 목구조 주택의 에너지 절감과 열성능 구현을 위해서는 올바른 시공법과 공정 관리가 요구된다. 시공 상에 실수 및 전문지식의 부재로 인한 주택의 열성능 하락을 미연에 방지하기 위해 본 절에서는 에너지 절감을 위한 목구조 시공법에 대하여 정리하고자 한다.

(1) 목구조 스테드 사이 단열재 채우기

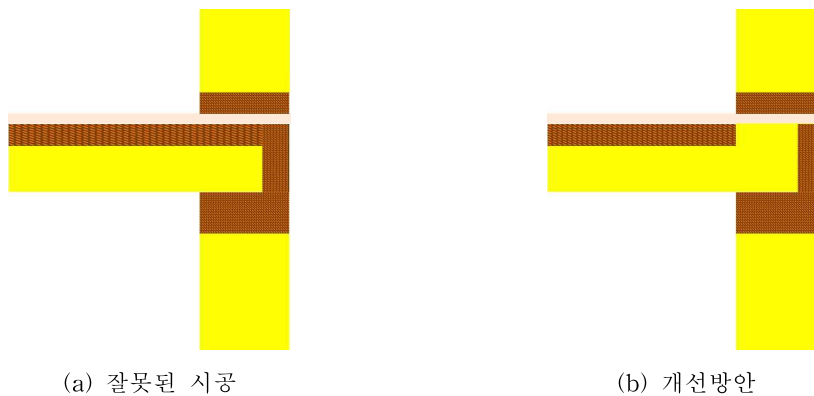
유리섬유 단열재의 경우 재단이 필요한 경우 스테드 또는 장선 서까래 사이의 공간보다 대략 25mm 정도 넓게 길게 재단하여 단열재가 접히거나 골조와 틈이 생기지 않도록 설치를 해야한다.



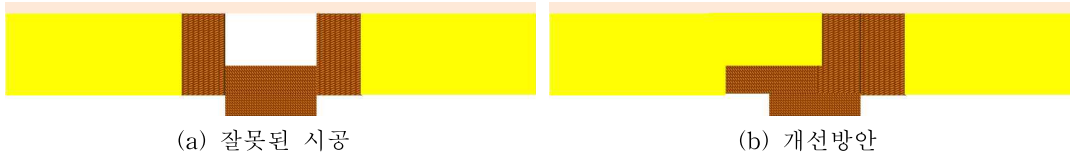
<그림 3.3.1-3> 스테드 사이 단열재 시공법

(2) 목구조 열교차단

경량 목구조 주택에서 열교의 주요 발생 부위는 단열층이 끊긴 부위로 다음 <그림 3.3.1-4>, <그림 3.3.1-5>의 좌측과 같다. 아래 그림의 좌측처럼 잘못된 시공을 할 경우 목재가 만나는 부위로 열교가 발생이 위험이 있으므로, 우측의 개선방안과 같이 단열재를 시공해야 열교를 줄일 수 있다. 부위별 참고 디테일은 아래와 같다.



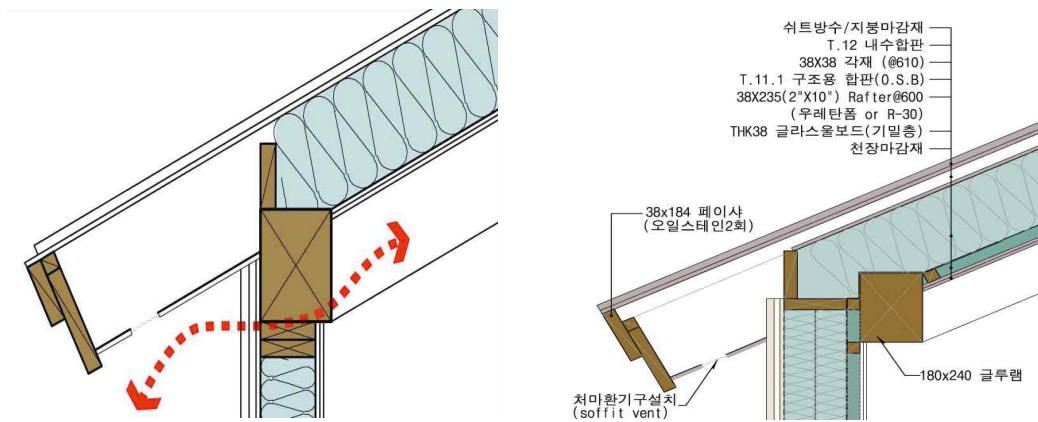
<그림 3.3.1-4> 슬래브 바닥 열교 방지 시공법



<그림 3.3.1-5> 지붕층 열교 방지 시공법

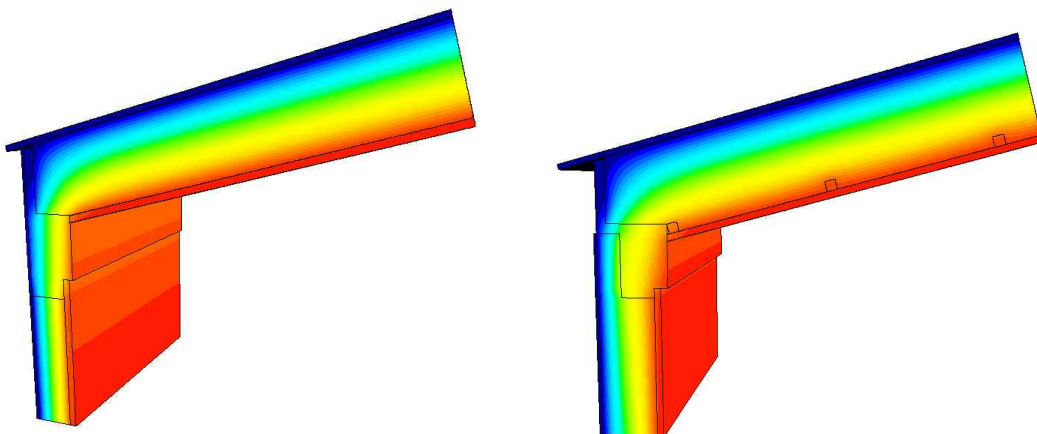
① 벽 - 지붕층

벽과 지붕이 마주치는 부위의 경우 각재 위에 보를 시공하기보다 단열재 안쪽에 기밀층을 두어 보를 연결시키는 것이 열교를 줄일 수 있는 대안이다. 또한 외벽을 2x6 공법으로 단열재를 한 줄로 시공 하는 것이 아닌 2x4공법으로 교차 시공하여 단열의 두께를 더 두껍게 시공하여 각재가 교차되도록 계획 하는 것이 열교로 인한 열성능 저하를 방지할 수 있는 방법이다.



<그림 3.3.1-6> 벽-지붕 접합부 문제점과 대안

출처 : 산림청, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2012



<그림 3.3.1-7> 벽 - 지붕 접합부 전열해석 결과

해당 부위(벽-지붕)를 Physibel Trisco를 이용해 전열해석 시뮬레이션을 실시해 선형열관류율 (psi)을 비교한 결과, 좌측의 일반시공법은 0.214 W/m·K로 계산된 반면, 우측의 열교방지시공

법은 0.118 W/m·K로 분석되었다. 시공법에 따라 선형열관류율이 약 45% 낮아진 것으로 나타나 목재부위인 글루램 및 각재의 열교차단이 중요하다는 것을 알 수 있다. 벽체를 이중단열을 하고 내벽 쪽에 기밀층을 두어 벽체를 구성하는 것이 벽체에서 열교를 줄이며 결로를 방지할 수 있는 방법이다.

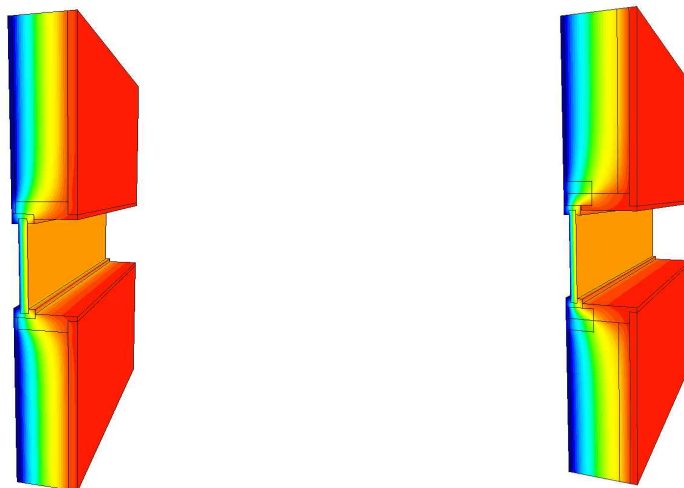
② 벽 - 창호

벽-지붕의 접합 부위와 마찬가지로, 벽과 창호가 마주치는 부위 역시 벽체는 2x4 공법으로 교차시공하고 창호와 각재가 직접적으로 접합하지 않도록 시공해야 한다. 프레임과 이질재가 접합하는 부위에서 열교가 많이 발생하기 때문에 프레임 접합부에 단열재를 설치하여 열교를 줄이도록 시공하여야 한다.



<그림 3.3.1-8> 벽-창호 접합부 문제점과 대안

출처 : 산림청, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2012



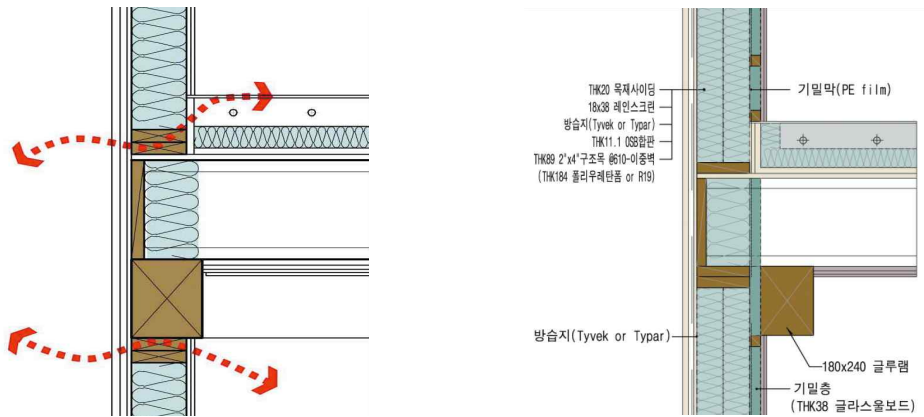
<그림 3.3.1-9> 벽-창호 접합부 전열해석 결과

해당 부위(벽-창호)를 Physibel Trisco를 이용해 전열해석 시뮬레이션을 실시해 선형열관류율 (psi)을 비교한 결과, 좌측의 일반시공법은 0.505 W/m·K로 계산된 반면, 우측의 열교방지시공법은 0.503 W/m·K로 분석되었다. 열성능 차이가 미비하게 나온 이유는 열교 차단 성능이 높은 동일한 창호를 이용해 분석을 수행했기 때문으로 사료된다. 창호 프레임에 의한 열교는 동일하게

나타났지만 즉 선형열교 값에서의 차이는 미미하나, 단열층을 추가한 우측 열교방지시공법의 등온선 분포에서 내벽측에 붉은색의 분포가 많게 나타나 내벽의 온도가 더 높게 형성되는 것으로 분석되었다.

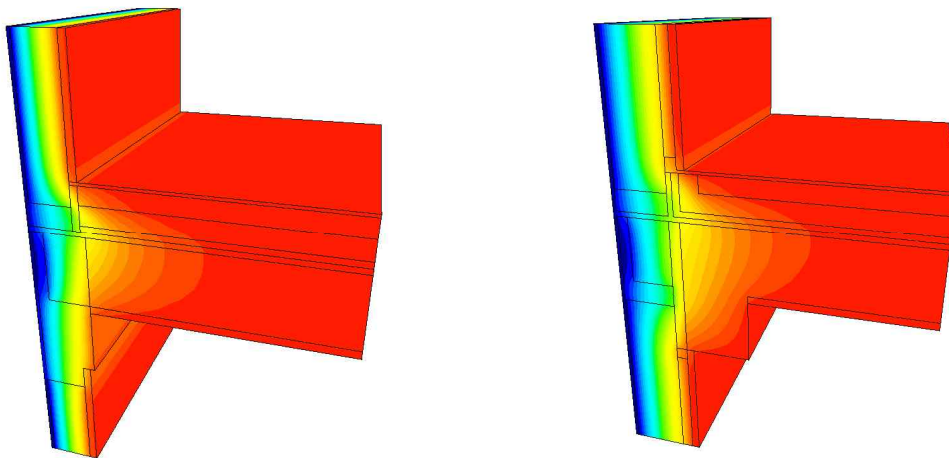
③ 벽-슬래브

벽과 슬래브의 접합 부위도 벽-지붕층과 마찬가지로 각재 위에 보를 설치하지 말고 실내측으로 설치하고, 바닥 단열재를 각재보다 높게 ㄴ자 형태로 설치하는 것이 벽체에서 바닥으로 들어오는 열교를 줄일 수 있는 방법이다.



<그림 3.3.1-10> 벽-슬래브 접합부 문제점과 대안

출처 : 산림청, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2012

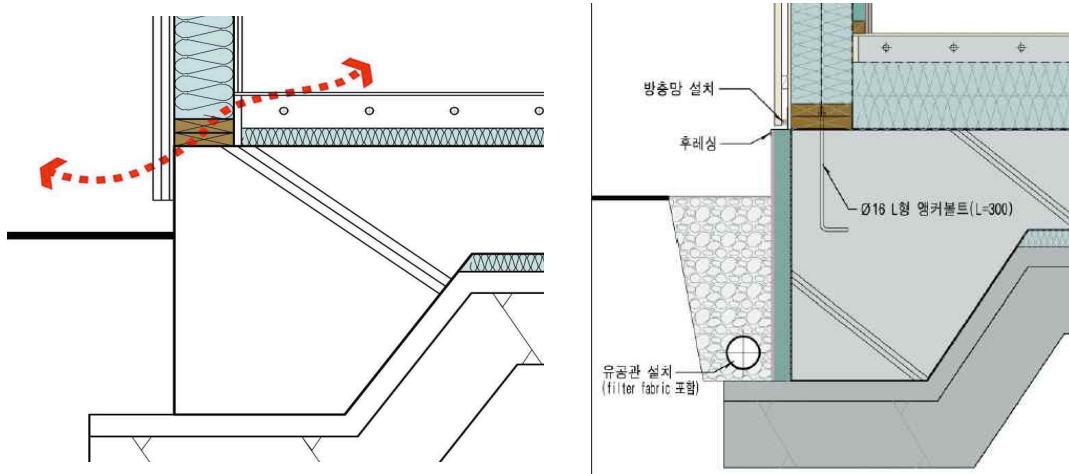


<그림 3.3.1-11> 벽-슬래브 접합부 전열해석 결과

해당 부위(벽-슬래브)를 Physibel Trisco를 이용해 전열해석 시뮬레이션을 실시해 선형열관류율(ψ)을 비교한 결과, 좌측의 일반시공법은 0.181 W/m·K로 계산된 반면, 우측의 열교방지시공법은 0.035 W/m·K로 분석되었다. 바닥 단열재를 1자 형태로 하는 것보다 ㄴ자 형태로 설치하고 기밀층을 형성하는 시공법이 열교 방지에 큰 효과가 있는 것으로 사료된다.

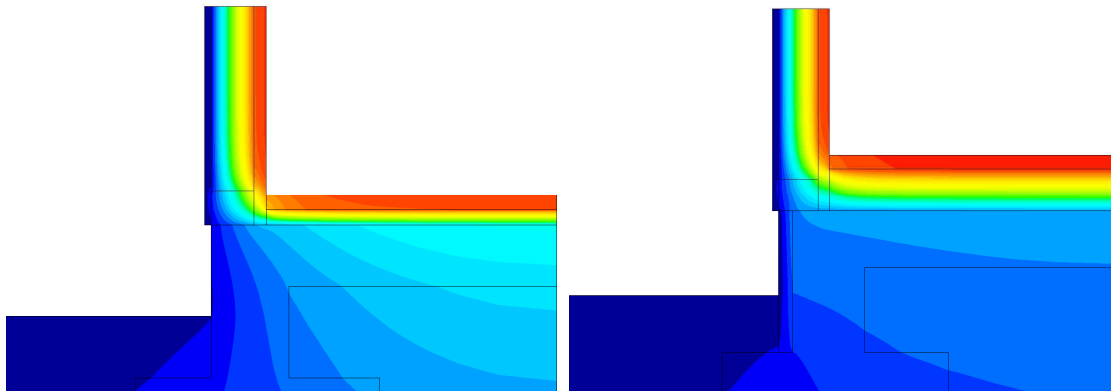
④ 바닥-기초

바닥-기초의 접합부의 경우에는 바닥 단열재가 각재보다 높게 설치될 수 있도록 시공해야 하며, 이중 단열을 시공하는 것이 열교 차단에 보다 효율적이다.



<그림 3.3.1-12> 바닥-기초 접합부 문제점과 대안

출처 : 산림청, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2012



<그림 3.3.1-13> 바닥-기초 접합부 전열해석 결과

목구조에서는 하단에 콘크리트 기초와의 긴결을 위해 구조목을 몇 겹 두는데, 이 구조용 목재의 높이보다 바닥 단열재의 높이가 낮을 경우 열교로 인해 열을 빼가기 쉽다. 구조용 목재보다 단열재의 높이가 낮을 시 재료간의 열전도율 차이로 인해 열교가 발생하며, 구조적 열교도 동시에 발생하여 열교가 발생한다. 특히 최하층 바닥의 경우 충분한 두께의 단열재를 시공하는 것이 바닥에서 올라오는 지중열과 열교를 방지할 수 있다

해당 부위(바닥-기초)를 Physibel Trisco를 이용해 전열해석 시뮬레이션을 실시해 선형열관류율(psi)을 비교한 결과, 좌측의 일반시공법은 0.483 W/m·K로 계산된 반면, 우측의 열교방지 시공법은 0.147 W/m·K로 계산되 약 70%의 선형열교로 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

3.3.2 목질재료와 비목질재료의 열성능 비교

가. 건축재료로서 목질재료와 비목질재료의 특성 비교

(1) 구조재

건축물에서 구조재는 사용 재료에 의한 분류할 수 있으며, 목조구조, 조적식구조, 철골구조, 철근콘크리트구조, 콘크리트 구조 등이 대표적이다. 아래의 [표 3.3.2-1]은 각 구조재 종류별 열전도율을 정리한 표이며, 목재의 경우 0.12~0.13, 콘크리트의 경우 1.6, 철근콘크리트의 2.3 정도의 열전도율을 나타냈으며, 5개의 구조재 중 목재의 열성능이 가장 우수한 것으로 나타났고, 비목질 재료 중에서는 시멘트벽돌과 붉은벽돌이 열전도율이 낮은 것으로 조사되었다.

[표 3.3.2-1] 구조재의 종류 및 열전도율

특 성	재 료	열전도율 (W/m·k)	밀도 (kg/m ³)	기 준
콘크리트 구조	콘크리트 (concrete)	1.6	2,200	KS
철근 콘크리트 구조	철근콘크리트 (reinforced concrete)	2.3~2.5	2300~2400	DIN
철골 구조	철골(steel)	53	7800	KS
조적식구조	시멘트 벽돌 (cement brick)	0.6	1700	KS
	붉은 벽돌 (red brick)	0.96	2000	DIN
목조 구조	가문비나무 (spruce)	0.13	450	DIN
	소나무 (pine)	0.13	520	DIN
	전나무 (fir)	0.12	530	DIN

목구조는 강도가 높지 않아 고층으로 구성은 불가능하지만 저층의 주거용 건물에서는 활용도가 매우 높다. 현장 또는 공장에서 조립생산이 가능하여, 공기단축을 통한 시공비가 저렴하다. 이러한 이유로 수십 년째 미국에서는 목구조가 주택건축의 가장 적정한 시스템으로 채택되어 왔다. 더욱이 근래에 들어서는 합성보(Engineered Beam), 공장제 트러스(Truss Systems), 집성목재(Glue-Laminated Beam), I형 장선(I joint, I-Beam), 구조용 합판재 (Structural Wood Panels)등과 같은 공학목재를 사용한 구조 시스템의 발달로 목조 주택의 활용 범위가 더욱 커졌으며, 나아가 공동주택에 있어서도 새로운 가능성을 나타내고 있다.

[표 3.3.2-2] 목질 구조재의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 자연소재로서 습도조절이 가능하며 쾌적함 - 안정적 구조로서 건축물의 수명이 오래감 - 단열과 차음 성능이 우수함 - 배관 등 설비 하자에 대한 수리가 용이함 - 공사기간이 짧고, 동절기 공사가 가능함 - 구조변경이 여타 구조에 비해 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> - 타 구조에 비해 자재, 시공비가 다소 높음 - 공사기간은 짧지만, 설계 및 자재선택, 발주, 수입 등의 준비기간이 오래 소요됨 - 벌레등에 의한 피해 우려 - 일반 조적조 등이 비해 전자금 투여분이 많음 - 경험 많은 업체가 타 공사에 비해 비교적 적음

(2) 실내 바닥 마감재

국내 주택에서 일반적으로 사용되는 실내바닥 마감재의 종류를 대별하면 PVC바닥재, 원목마루, 합판마루, 강화마루, 인조대리석, 고분자계 바닥재, 도자기질 타일로 구분할 수 있으며, 주택에서 가장 많이 시공되고 사용되는 마감재는 PVC바닥재(장판)이다. 일반적으로 립이라 불리는 PVC 바닥재는 바닥재의 주류를 이루는 재료로 시공이 간편하고, 제품이 다양하며, 가격이 저렴한 장점들로 인해 많이 이용되어 왔다. 하지만 바닥재에 대한 다양화 및 고급화 요구가 생기면서 주거공간의 바닥재 종류에 변화가 생겼으며, 1980년대 후반부터 국내시장에 유통되기 시작한 목질 바닥재는 초기에는 PVC 바닥재의 대체 재료로써 일부 공간에만 사용되었지만 현재는 바닥면적의 80% 이상의 면적을 차지하기에 이르렀다.

목질 바닥재는 PVC 바닥재에 비하여 표면이 단단하고, 내구연한이 길며, 미적으로 우수한 외관 등 다양한 장점으로 각광을 받고 있고 있으나, 온수파이프의 열로 바닥을 데워 쓰는 한국형 온돌시스템에서는 겨울철 난방 정지 상태에서 일정 온도로 상승하기까지 타 바닥재에 비해 시간이 다소 많이 소모 된다는 불만이 있는 것도 사실이다. 하지만 온도가 한번 상승하면 타 바닥재에 비해 지속력이 길고 여름철 표면온도가 낮다는 장점으로 인해 그 사용빈도가 높다.

[표 3.3.2-3] PVC 바닥재와 목질 바닥재의 특징 및 열전도율

구분	장 점	단 점	열전도율 (W/m·k)	밀도 (kg/m ³)	기준
PVC 바닥재	<ul style="list-style-type: none"> - 가격이 저렴 - 시공이 간편 - 제품이 다양 - 재료자체의 쿠션으로 안정감 - 열전도성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 인위적인 질감 및 촉감 - 내구연한이 짧음 - 손상된 부위 재시공 시 색상차 존재 - 바탕의 단점들이 그대로 노출 - 내안인성이 약함 - 난방 종료 시 단시간에 온도저하 	0.19	1500	KS
목질 바닥재	<ul style="list-style-type: none"> - 친자연적 천연질감 - 미려한 실내공간 연출 - 내구연한이 길음 - 쾌적한 실내환경 조성 - 열전도성이 낮으나 난방시 장시간 유지 	<ul style="list-style-type: none"> - 내수성에 한계가 있음 - 전문적인 시공인력 필요 - 목질적 특성으로 수축팽창 - 가격이 고가 	0.12	400 ~ 500	DIN

목질 바닥 마감재는 원목마루판, 합판마루판, 강화마루판 등으로 구분할 수 있으며, 특징 및 차이점은 아래와 같다.

(가) 원목 마루판

원목마루판은 원목을 그대로 마루판으로 가공한 마루 재료로 천연재료라는 장점과 고급재료라는 소비자들의 인식으로 인해 최고급 바닥재로 취급되고 있다. 마루재 수종으로는 주로 활엽수재가 사용되나 그 수종은 많지 않으며 수종에 따라 가격의 차이가 난다. 장선 시공으로 별도의 상 작업과 더불어 시공비가 많이 들고 숙련된 시공자가 시공해야하며, 유지관리 또한 세심한 주의가 필요하다.

(나) 합판 마루판

합판을 코어재로 사용한 마루재로 두께 10mm 이하의 온돌용 마루재와 주로 상업용 및 비 온돌용으로 쓰이는 두께 10mm 이상의 비 온돌용 마루재가 있다. 합판 마루판 표면은 주로 무늬단판을 접착한 다음 그 위에 도장을 하게 되며, 접착시공은 원래 바닥 위에 합판을 설치한 후 시공하는 방법으로 일본에서 개발되었으나, 국내에 도입되면서 콘크리트 미장 바닥 위에 직접 시공하는 방식으로 고정되었다.

(다) 강화 마루판

강화마루판은 일명 라이네이트 마루판이라고 하며 삭편판(Particleboard), 섬유판(Fiberboard)을 코어재로 하고 HPL(High-Pressure Laminate)이나 LPL(Low -Pressure Laminate)을 표면판으로 접착시킨 복합재 구조를 하고 있다. [표 3.3.2-4]는 각 마루 제품별 장점 및 단점과 열전도율을 정리한 것이다.

[표 3.3.2-4] 목질 마루 제품별 특징

구분	장 점	단 점	두께(mm)	열전도율 (W/m·k)
원목 마루판	- 천연질감 - 가장 쾌적한 환경 조성 - 보행성이 우수 - 표면 마모 시 재도장 가능	- 가격이 고가 - 수축팽창이 심함 - 표면강도가 약하고 변색 및 퇴색이 됨	- 8~22 (보통18)	0.12
합판 마루판	- 천연질감 - 원목마루에 비해 시공이 간편	- 표면강도가 약함 - 표면 무늬단판의 두께에 따른 유지관리가 어려움	- 10 이하 온돌 - 10 이상 비 온돌	0.12
강화 마루판	- 가격이 저렴 - 기능성이 우수하고 디자인이 다양함	- 천연질감 - 원목마루에 비해 시공이 간편	- 7~10	0.12

(3) 내벽 및 천장 마감재

국내 주택에서 내벽 및 천장에 가장 많이 사용되는 마감 재료는 모르타르 미장 위 벽지 및 도장(페인트) 또는 석고보드 위 벽지 및 도장이다. 물을 사용하는 욕실과 주방 외의 주거 공간에서는 대부분 벽지를 사용하며 비닐벽지, 종이벽지, 직물벽지, 기타벽지의 4가지로 대별된다. 국내에서 주로 사용되는 벽지는 종이벽지로서 일반적으로 가격이 저렴하며 색상, 무늬가 다양하고 질감도 부드럽다.

그러나 벽 마감 재료에 대해 벽 마감재의 기능을 갖춘 실내 디자인의 중심 소재로 인식의

전환이 이루어지고 있으며, 경제적인 수준이 높아지면서 단순 벽지 대신 고급스러우면서도 기능성과 실용성을 갖춘 내부 마감재들을 선호하는 경향이 크게 늘어나고 있다. 그 중에서도 목재는 가볍고 강하며, 가공이 편리하고, 유해물질 흡착과 습도 조절 능력이 있어 매우 훌륭한 내벽 마감 재료이며, 목재 제품들이 점차 블록 형태나 몰딩이 가능한 형태로 출시됨에 따라 그 활용도가 비약적으로 증가하고 있다.

[표 3.3.2-5]내벽 및 천장 마감재 특징 및 열전도율

재 료	용 도	특 징	열전도율 (W/m·k)	기준
벽 지	모든벽	- 색상, 문양이 다양하고 재질에 따라 종이, 비닐, 직물, 기타로 구분할 수 있다. - 비닐벽지는 유지관리는 쉬우나, 열에 약하고 통풍이 나쁘며 소리를 반사한다. - 직물벽지는 섬유에 따라 종류와 특성이 다양하며, 비교적 가격이 비싸고 갈포벽지는 먼지가 잘 끼지만 방음성, 절연성이 좋다.	비닐계 : 0.27 종이계 : 0.17	KS
목재	내외벽	- 나뭇결과 색은 자연미를 주며, 표면이 매끄럽고 문양이 다양하다. - 방수, 방오 처리를 해주고, 내구성, 절연성이 좋고 유지관리가 쉬운편이며, 외벽에 사용할 때에는 특수처리를 해야한다.	경 량 : 0.14 보통량 : 0.17 중 량 : 0.19 밤나무 : 0.16 전나무 : 0.12 낙엽송 : 0.14 소나무 : 0.13	DIN
페인트	모든벽	- 수성·유성, 무광·유광 색상 등이 아주 다양하다. - 경제적이고 용도가 다양하며, 각 특성과 용도에 알맞게 잘 선택해서 칠해야한다.	-	-
벽돌	내외벽	- 크기, 색상, 모양, 문양이 다양하고 견고하다. 또한 이음새가 드러나고 회반죽이나 특수 도료를 칠하기도 하며, 방수처리를 해야 한다. - 불, 해충, 기후변화에 내구성이 강하며, 유지·관리가 쉽고, 절연성은 약하며, 소리를 반사한다.	시멘트 : 0.60 내 화 : 0.99	KS
타일	내외벽	- 모양, 색상, 질감 패턴과 소재도 다양하므로 벽 마감 처리 재료로써 자주 사용된다. 타일은 부엌, 목욕탕, 풀 주위와 같은 물이 닿는 공간에서 주로 사용된다. - 장식을 하거나 색을 칠한 타일은 예술품처럼 보이기도 한다.	자기질 : 1.80 세라믹 : 1.20	DIN
석고 보드	모든 벽	- 미장효과가 뛰어나 건물 내벽 및 칸막이 천장재로 쓰인다. - 단열성이 높고 방화성, 방수성, 방균성이 뛰어나며 차음효과가 우수하다. - 온도 및 습도변화에 강하고, 시공 후 뒤틀림이나 처짐 등이 거의 나타나지 않는다.	석고보드:0.18 석고보드:0.21	KS DIN

(4) 외벽마감재

외벽 재료로 사용되는 마감재는 종류가 매우 다양하여 마감층의 구성방법, 공법, 형태, 재질 순으로 구분할 수 있다. 구성방식에 의해 주로 분류되며 바름재와 붙임재로 구분된다. 바름재는 벽의 표층을 막상 또는 층상의 연속한 면에서 구성하는 부정형한 재료로서, 습식 공법에 의해 막상 혹은 층상의 연속한 면을 구성하는 미장계, 도료 및 마감 바름재를 말한다. 특징으로는 물, 용제 등의 액체를 이용한 재료를 연속한 막 또는 층으로 형성하기 때문에 기상 요건에 의해 품질 차이가 자주 발생한다. 붙임재는 벽의 표층을 귀상 및 판상의 재료 또는 그 짝으로 구성하여 붙여서 사용하는 재료로 습식 및 건식의 두 가지가 공법이 있다.

건식 붙임재로 주로 사용되는 목재는 유럽과 북미의 경우 목구조 주택뿐만 아니라 일반

주택에서도 외벽 마감 재료로 이용하는 공법이 발달하였다. 하지만 국내에서는 펜션이나 개인주택 등의 목구조 주택 위주로 활용 빈도가 증가하고는 있지만, 아직까지는 도심지 일반 건물에서의 활용도는 낮은 편이다. 다음 [표 3.3.2-6]은 외벽 마감재의 종류와 공법에 따른 열전도율을 나타낸다.

[표 3.3.2-6] 외벽 재료의 종류 및 열전도율

위치	구성구분	공법	형태구분	재질구분	주요 외벽마감재료의 예	열전도율(W/m·k)	기준
외벽	바름재	습식	층상	미장류	시멘트모르타르, 석고플라스터, 고분자시멘트모르타르	모르타르: 1.40	KS
			막상	도재류	페인트, 와니스, 락카	두께가 얇아서 제외	-
				마감도재	박부마감도재, 복층마감도재, 후부마감도재	두께가 얇아서 제외	-
	붙임재	습식	편상	석재류	화강암, 대리석, 인조석	화강암 : 3.3 대리석 : 2.8	KS
				타일류	도자기타일, 자기질타일, 석기질타일	[표 3]참조	DIN
			괴상	벽돌류	보통벽돌, 공동벽돌	[표 3]참조	DIN
				블록류	화장콘크리트블록, 벽돌블록	시멘트 블록 : 0.35 콘크리트블록 : 0.70	KS
		건식	판상	금속류	아연철판, 프린트강판, 알루미늄, 스펠드럴	알루미늄 : 200 아연도금 : 44 스테인레스 15	KS
				목재류	삼나무판, 노송나무판, 화장합판, 섬유판, 파티클보드	합판 : 0.15 파티클 : 0.15	DIN
	석면류			석면플레이트 평판, 석면시멘트화장판	석고보드 : 0.18	KS	
	시멘트류			규산칼슘판, 파라이트판, 목편시멘트판	규산칼슘판 : 0.06 페리아트 : 0.05	DIN	
	플라스틱류			섬유보강 플라스틱판	섬유강화석고보드 : 0.32	DIN	
	복합류			석면슬레트 목수시멘트 합판		-	

(5) 창호 프레임

창호는 창, 문, 셔터 등을 포함하며 창호 프레임의 주재료에 따라 목재, 철, 알루미늄, 플라스틱(PVC) 등으로 구분할 수 있다. 국내에서 주로 이용되는 창호 프레임의 재료는 PVC와 알루미늄이며, 각 창호 프레임의 특징은 아래의 [표 3.3.2-7]과 같다.

목재창호는 미관 및 질감이 뛰어나 훌륭한 의장적 효과를 기대할 수 있지만, 시간의 경과에 따라 변형, 수축 및 부패 등이 생기고 강도가 저하하는 문제점이 있다. 이에 목재창호의 재료는 결이 좋고 응이가 없는 양질의 재료를 기건상태(함수율 15% 내외)로 건조하여 사용하며, 나왕, 전나무, 느티나무, 감나무, 티이크, 벗나무, 줄참나무, 미송 등의 수종이 이용된다. 최근에는 목재를 알루미늄과 결합한 시스템창호가 많이 이용되며 이러한 시스템 창호는 저에너지 주택에 시공될 만큼 기밀성과 열관류율이 높다.

[표 3.3.2-7] 창호 프레임의 특징 및 열전도율

재 료	특 성	열전도율(W/m·k)	기 준
알루 미늄	<ul style="list-style-type: none"> - 철의 1/3로 경량인 것이 특징이다. - 녹슬지 않기 때문에 관리가 쉽고 사용기간이 길며, 염색 등 자유로운 착색이 가능하다. - 경도가 낮아 흠이 나기 쉬우며 손상 시 복구가 불가능 - 내화성이 약해 다른 종류의 금속과 접촉하면 부식 되며 알칼리 에 약한 단점이 있다. 	200	KS
플라 스틱	<ul style="list-style-type: none"> - 형상이 다양하고 단열효과, 흡음성이 높다. - 개폐 시 유연성이 높으며 무게가 가벼워 이동과 시공이 용이하다. - 인화물질로 불에 약하며, 유독성 가스를 배출한다. - 자외선에 장기간 노출 시 색상변화가 우려된다. 	0.17	KS
목재	<ul style="list-style-type: none"> - 낮은 열전도율 때문에 열적 성능이 우수하다. - 색상이 일정하며 자연미 우수하다. - 단열성능은 양호하나 기밀 성능 미흡 - 습기에 약하며 부패 우려 	0.12~0.16	KS
시스템 창호	<ul style="list-style-type: none"> - 목재 + 알루미늄, 목재 + 플라스틱을 조합한 제품들이 많다. - 내·외부의 열전도가 이루어지지 않도록 부재사이에 단열바를 삽입하여 성능을 높인 제품을 지칭한다. - 다른 창호들에 비해 고가이다. 	혼합 시 열관류율로 산정	



<그림 3.3.2-1> 알루미늄 창호와 시스템(목재+알루미늄) 창호

본 절에서는 건축물에서 사용되는 목질재료와 비목질재료의 전열성능을 비교하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 재료 선정을 위한 사례 및 문헌 조사를 실시하였다.

구조재의 경우는 철근콘크리트구조, 조적식구조, 철골구조, 목구조 등이 건물 높이, 하중, 스판 길이 등의 구조 성능에 따라 선택되어 다양하게 이용되는 것으로 나타났다. 목구조는 저층 주거용 건물에 주로 이용되는 것으로 조사되었으며, 점차 그 이용이 확대되고 있는 것으로 나타났다.

실내 마감재 중 바닥의 경우 비목질 마감재로는 PCV 바닥재(장판)이 주로 시공되었으며, 목재 마감재는 원목마루, 합판마루, 강화마루 등이 주로 이용되었다. 천장과 내벽에 가장 많이 적용된 비목질 재료는 석고보드와 벽지이며, 목질 마감 재료는 원목루버가 가장 많이 사용되는 것으로 조사 되었다.

외부마감재 중 지붕의 경우 비목질 재료는 아스팔트싱글의 사용 비율이 가장 높았으며, 목질 재료는 목재 사이딩이 주로 사용되었다. 외벽의 경우 비목질 재료는 외단열+드라이비트 마감, 내단열+시멘트 몰탈 위 페인트가 주로 이용되었으며, 목질 재료는 지붕과 동일하게 사이딩이 주로 사용되었다.

창호의 경우 국내에서는 사용 빈도가 낮게 조사되었으나, 국외의 사례를 보면 활용 가능성이 충분한 것으로 판단되었다. 현재는 비목질 재료인 PVC와 알루미늄 창호가 주로 이용되는 것으로 조사되었다. 이상의 조사를 통해 목질재료와 비목질재료의 사용현황을 살펴보았으며, 전열성능 비교를 위한 건물 부위별 재료의 선정 결과는 다음 [표3.3.2-8]과 같다.

[표 3.3.2-8] 건물 부위별 주로 사용되는 목질 및 비목질 마감 재료

구 분		비목질 재료	목질 재료
구 조 재		콘크리트	SPF(가문비, 소나무, 전나무)
외부 마감	지붕	아스팔트 싱글	목재 사이딩
	외벽	외벽마감재(EIFS)	목재 사이딩
내부 마감	바닥	시멘트 몰탈 위 장판	원목마루, 합판 또는 강화마루
	천장	석고보드 + 벽지	원목루버
	내벽	석고보드 + 벽지	원목루버
창 호		알루미늄 창호	목재 창호

나. 목질재료와 비목질재료의 열성능 비교

(1) 해석 부위 선정 및 분석 Case 구성

목질 재료와 비목질재료의 전열성능을 비교하기 위해 목질 재료가 주로 이용되는 주거용 건물을 대상으로 열성능이 취약한(열교 발생) 부위를 선정하고, 각 부위별로 구조재와 마감재의 구성에 따라 총 16 Case에 대해 전열성능 분석을 실시하였다. 표 [6-1]은 선정된 열교 부위와 각 Case의 구성을 나타낸 것이다.

[표 3.3.2-9] 주거용 건물의 열교 부위 및 분석 Case

열교 위치		Con'c구조+비목질마감	Con'c구조+목질마감	목구조+목질마감
평 면				
		1 P-WI-RF	2 P-WI-WF	3 P-WI-WS
			4 P-W1-WS	
			5 P-W2-WS	

* P-WI-RF : 위치 - 부위-구성

[위치 약자] P : 평면 , S : 단면

[부위 약자] W : 외벽 , I : 내벽 , R : 지붕 , F : 층간 슬래브 , G : 바닥 슬래브 , P : 필로티

[구성 약자] RF : 콘크리트+비목질마감, WF : 콘크리트+목질마감, WS : 목구조+목질마감

[표 3.3.2-9] 주거용 건물의 열교 부위 및 분석 Case - 계속 -

열교 위치		Con'c구조+비목질마감	Con'c구조+목질마감	목구조+목질마감		
단 면						
	6	S-FW-RF	7	S-FW-WF	8	S-FW-WS
	9	S-PW-RF	10	S-PW-WF	11	S-PW-WS
12	S-GW-RF	13	S-GW-WF	14	S-GW-WS	
	X					
			* 목구조+목질마감 형태임			
			15	S-W1-WS	16	S-RW-WS

* P-WI-RF : 위치-부위-구성

[위치 약자] P : 평면, S : 단면

[부위 약자] W : 외벽, I : 내벽, R : 지붕, F : 층간 슬래브, G : 바닥 슬래브, P : 필로티

[구성 약자] RF : 콘크리트+비목질마감, WF : 콘크리트+목질마감, WS : 목구조+목질마감

(2) 시뮬레이션 입력 조건

전열 해석 시뮬레이션 도구는 ISO 10211의 계산 방법을 따르며 분석 결과의 비교를 통한 검증이 완료된 Physibel Trisco를 이용하였다. 해석 부위의 모델링 역시 ISO 10211에서 제시된 기준에 의해 실시하였으며, 경계 온도 조건은 에너지절약설계기준에 따라 실내온도 20℃, 실외온도 -11.3℃(서울 기준)로 설정하였다. 실내·외 표면열저항값도 에너지절약설계기준에 고시된 값을 사용했으며 다음 [표 3.3.2-10] 와 같다.

[표 3.3.2-10] 열교 부위 전열 해석을 위한 실내 및 실외 측 표면 열전달 저항

건물부위	열전달저항	실내표면열전달저항 Ri [단위:m ² ·K/W] (괄호안은 W/m ² K)	실외표면열전달저항 Ro [단위:m ² ·K/W] (괄호안은 W/m ² K)	
			외기 간접 면합	외기 직접 면합
거실의 외벽 (측벽 및 창, 문 포함)		0.11 (9.09)	0.11 (9.09)	0.043 (23.25)
최하층에 있는 거실 바닥		0.086 (11.62)	0.15 (6.66)	0.043 (23.25)
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕		0.086 (11.62)	0.086 (11.62)	0.043 (23.25)
공동주택의 층간 바닥		0.086 (11.62)	-	-

표 [3.3.2-11]은 사례 및 문헌조사 결과를 바탕으로 선정된 벽체 구성 및 재료 물성을 나타낸다. 비교 대상인 ‘콘크리트구조+비목질마감’의 경우 일반적인 시공 사례를 참조하되 건축물의 에너지절약 설계기준의 ‘별표 4. 지역별 건축물 부위의 열관류율’의 기준에 부합하도록 벽체를 구성하였으며, ‘콘크리트구조+목질마감’의 경우는 위의 비목질 마감재를 목질 마감재로 변경해 구성하였다. ‘목구조+목질마감’의 경우는 목구조의 시공 사례를 바탕으로 ‘콘크리트구조+목질마감’과 열관류율이 비슷한 값을 갖도록 재료를 구성하였다.

[표 3.3.2-11] 벽체 구성 및 재료 물성 (ASHRAE Handbook Fundamentals 2009)

분 류	재료	두께(mm)	열전도율(W/m·K)	밀도(kg/m ³)	비열(J/kg·k)		
콘크리트 구조 + 비목질 마감 (내단열)	외벽	콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	90	0.036	20	1210	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
	지붕	모르타르	30	1.400	1920	900	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	170	0.036	20	1210	
	층간 바닥	석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
		보호모르타르	30	1.400	1920	900	
		장판지	3	0.072	480	1380	
		최하층 바닥	버림 콘크리트	50	1.950	2240	900
			비드법보온판	90	0.036	20	1210
			콘크리트	200	1.950	2240	900
			기포콘크리트	110	0.200	640	900
보호모르타르	30		1.400	1920	900		
	장판지	3	0.072	480	1380		

[표 3.3.2-11] 벽체 구성 및 재료 물성 (ASHRAE Handbook Fundamentals 2009) -계 속-

분 류	재료		두께(mm)	열전도율 (W/m·K)	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kg·k)	
콘크리트 구조 + 목질 마감 (내단열)	외벽	목재 사이딩*	20	0.090	592	1170	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	90	0.036	20	1210	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		목재(적삼목) 루버	10	0.113	447	1630	
	지붕	목재 사이딩*	20	0.090	592	1170	
		모르타르	30	1.400	1920	900	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	170	0.036	20	1210	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
	층간 바닥	목재(적삼목) 루버	10	0.113	447	1630	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
		보호모르타르	30	1.400	1920	900	
	최하층 바닥	목재(SPF계열) 마루	10	0.119	447	1630	
		버림 콘크리트	50	1.950	2240	900	
		비드법보온판	90	0.036	20	1210	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
	목구조 + 목질 마감 (내단열)	외벽	목재 사이딩	20	0.090	592	1170
OSB			11	0.135	800	1300	
유리섬유 단열재 (구조목)			90	90.7% 9.3%	0.036 0.167	140 680	960 1630
석고보드			12.5	0.160	800	1090	
목재(적삼목) 루버			10	0.113	447	1630	
목재 사이딩			20	0.113	447	1630	
지붕		OSB	11	0.135	800	1300	
		유리섬유 단열재 (구조목)	200	93.8% 6.2%	0.036 0.167	140 680	960 1630
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		목재(적삼목) 루버	10	0.113	447	1630	
		OSB	11	0.135	800	1300	
층간 바닥		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
		보호모르타르	30	1.400	1920	900	
		목재(SPF계열) 마루	10	0.119	447	1630	
		버림 콘크리트	50	1.950	2240	900	
최하층 바닥		비드법보온판	90	0.036	20	1210	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
		보호모르타르	30	1.400	1920	900	
		목재(SPF계열) 마루	10	0.119	447	1630	

* 공동주택의 경우 적용 안함.

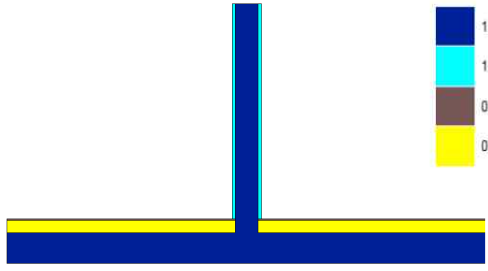
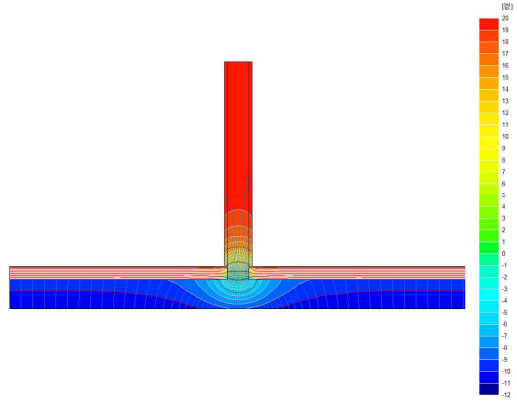
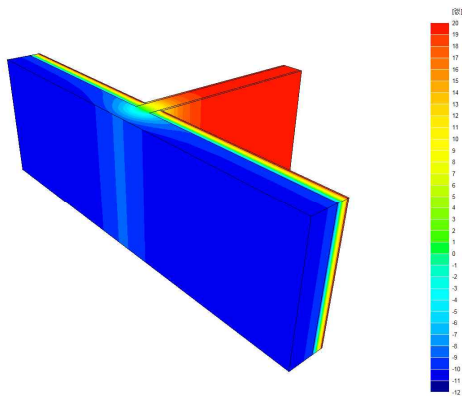
(3) 시뮬레이션 분석 결과

이상의 입력 조건을 이용하여 단열 성능이 취약한 열교 예상 부위의 전열 성능을 해석한 결과는 다음 [표 3.3.2-12]~[표 3.3.2-27]과 같다. 열교 부위의 벽체구성 및 경계조건, 2차원 온도분포, 3차원 온도분포 그래프를 표로 정리하였으며, 총전열량(Q), 벽체 열관류율(U) 및 선형열관류율(Ψ)을 이용해 결과를 분석하였다.

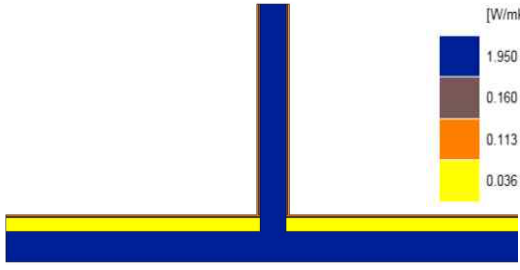
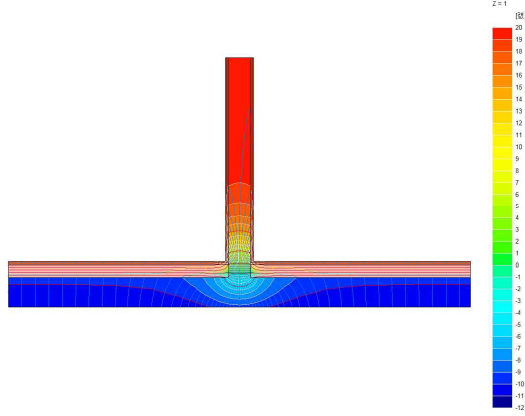
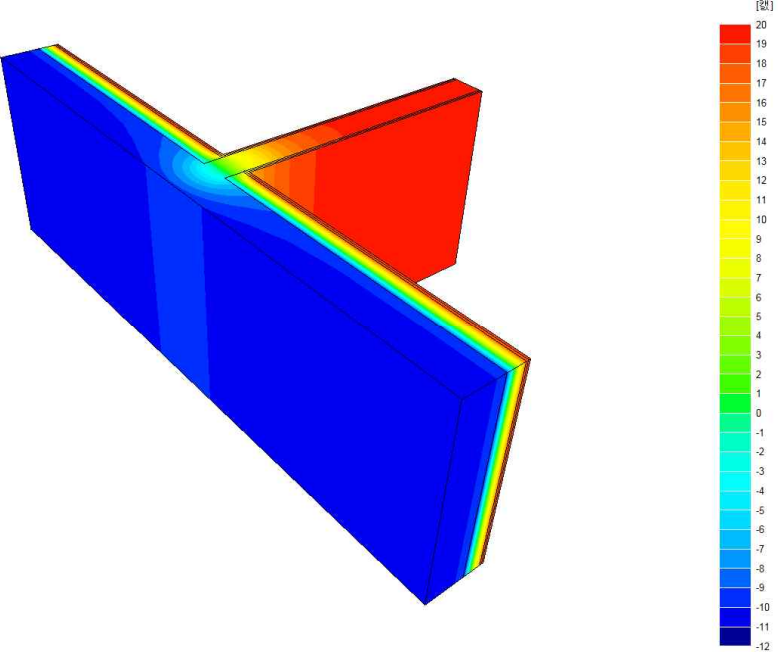
(가) 평면 : 내벽과 외벽의 교차부

[표 3.3.2-12~14]는 평면상 외벽과 내벽이 만나는 지점의 전열 성능을 분석한 결과이다. 모든 Case(1~3)에서 단열재의 불연속으로 선형 열교가 발생하였으나, 목구조인 Case 3은 목구조재와 단열재의 열관류율의 차가 적어 선형열교가 낮게 나타났다. 또한 목질 마감재의 단열 성능이 비 목질 마감재보다 우수해 비목질 마감재를 적용한 Case 1에 비해 목질 마감재를 적용한 Case 2의 선형열관류율이 다소 낮게 나타났다.

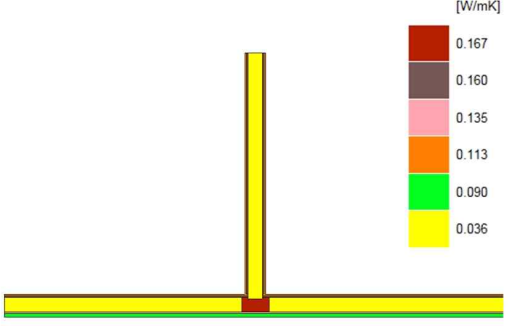
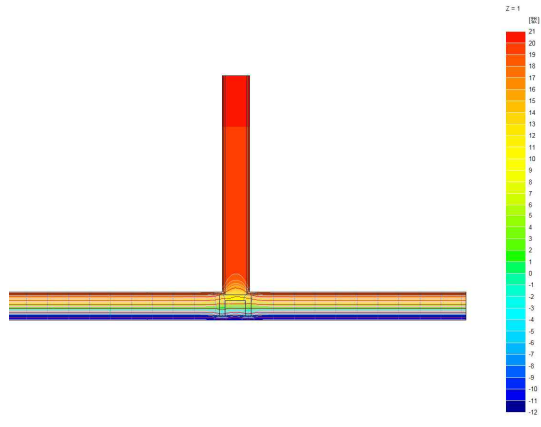
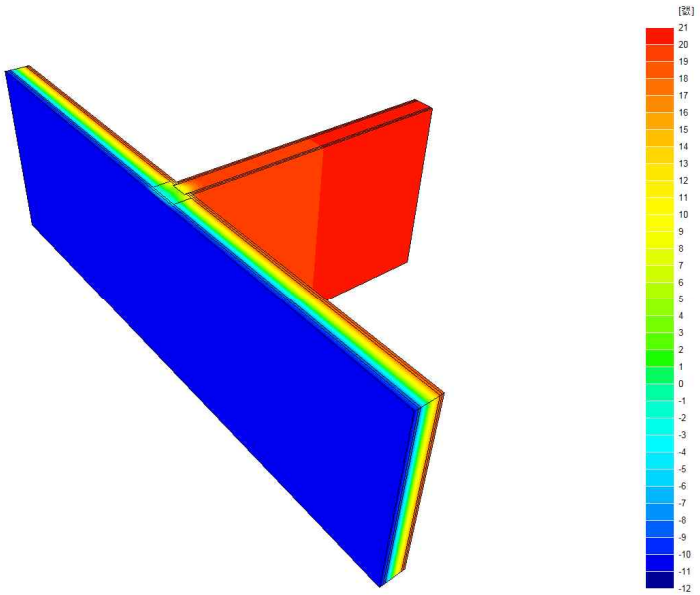
[표 3.3.2-12] Case 01 (P-WI-RF) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	01	Case 명	P-WI-RF
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
$Q = 63.294 \text{ W}$ $U_{wall} = 0.394 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $\psi = 0.782 \text{ W/m} \cdot \text{K}$			

[표 3.3.2-13] Case 02 (P-WI-WF) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	02	Case 명	P-WI-WF
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
<p>Q = 53.778 W</p> <p>$U_{wall} = 0.344 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$</p> <p>$\psi = 0.634 \text{ W/m}\cdot\text{k}$</p>			

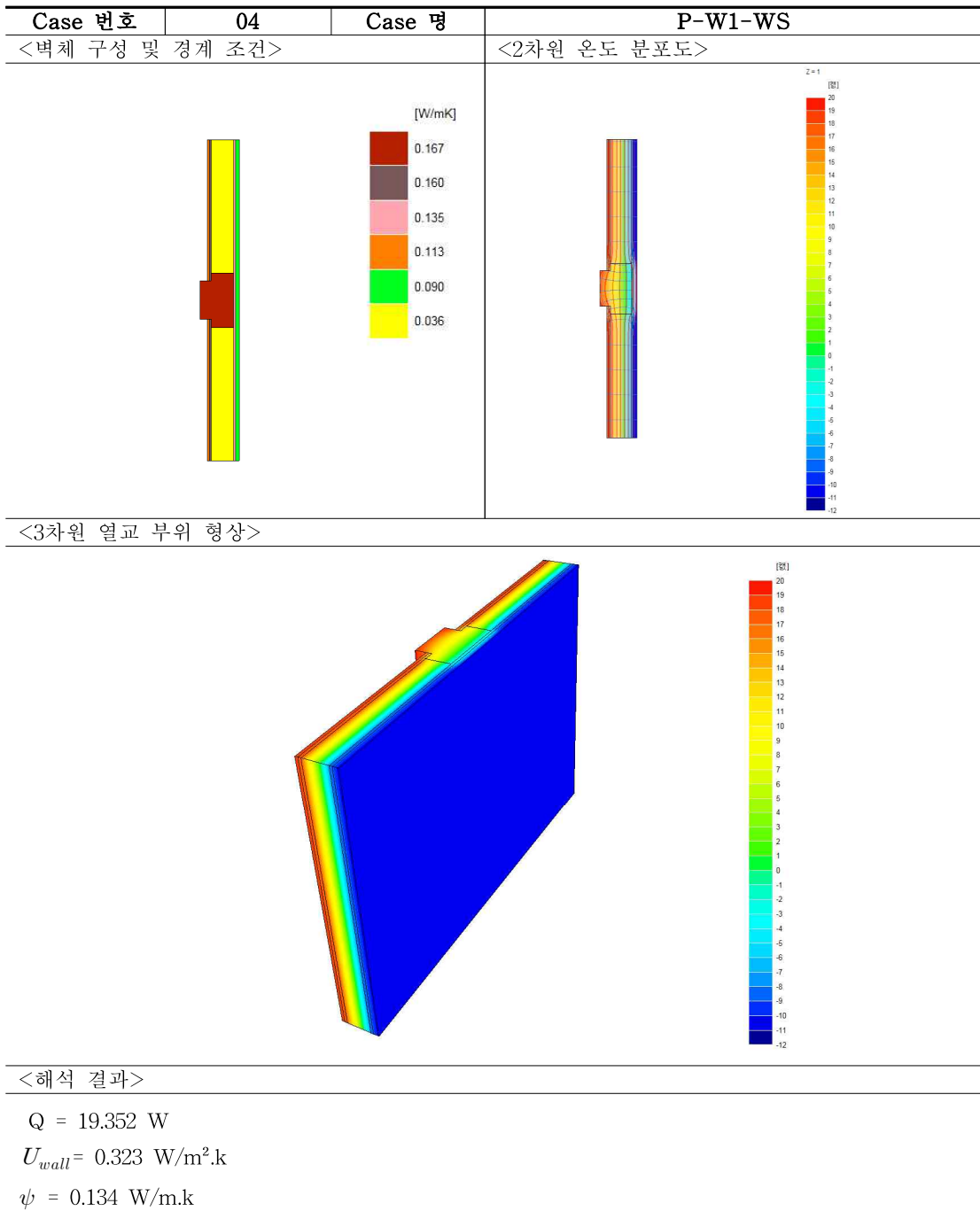
[표 3.3.2-14] Case 03 (P-WI-WS) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	03	Case 명	P-WI-WS
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
$Q = 33.760 \text{ W}$ $U_{wall} = 0.323 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ $\psi = 0.111 \text{ W/m}\cdot\text{k}$			

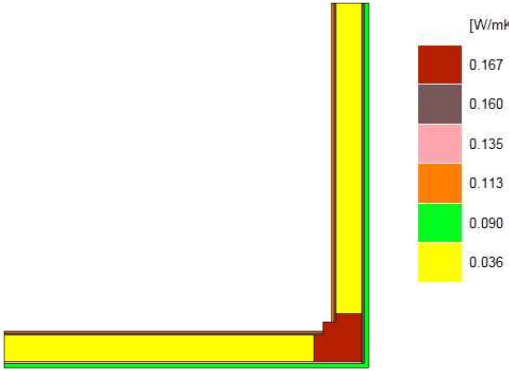
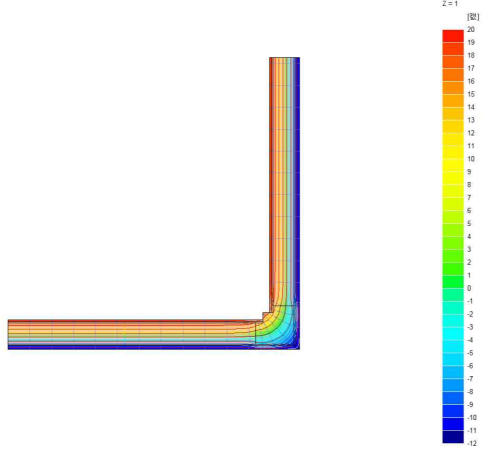
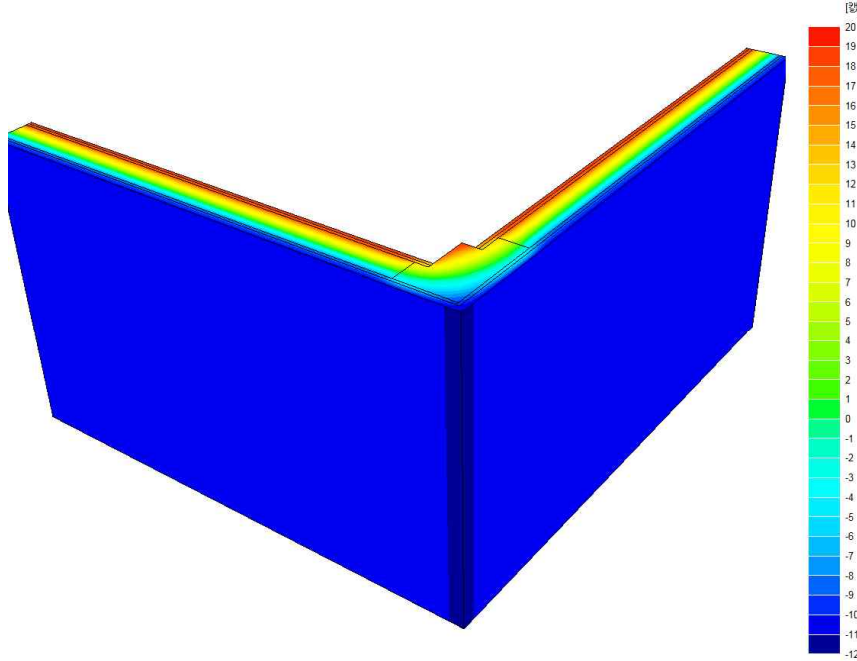
(나) 평면 : 목구조 외벽

[표 3.3.2-15, 16]은 목구조 건물의 외벽과 외벽 교차부의 전열 성능 해석 결과이다. 목구조의 경우 일반적으로 이질 재료(구조재와 단열재)가 같이 구성됨에 따라 열교가 발생하였다. 하지만 구조재와 단열재의 열관류율 차가 크지 않아 선형열관류율(Ψ)은 0.134~0.095로 계산되었다.

[표 3.3.2-15] Case 04 (P-W1-WS) 전열성능 및 열교 분석



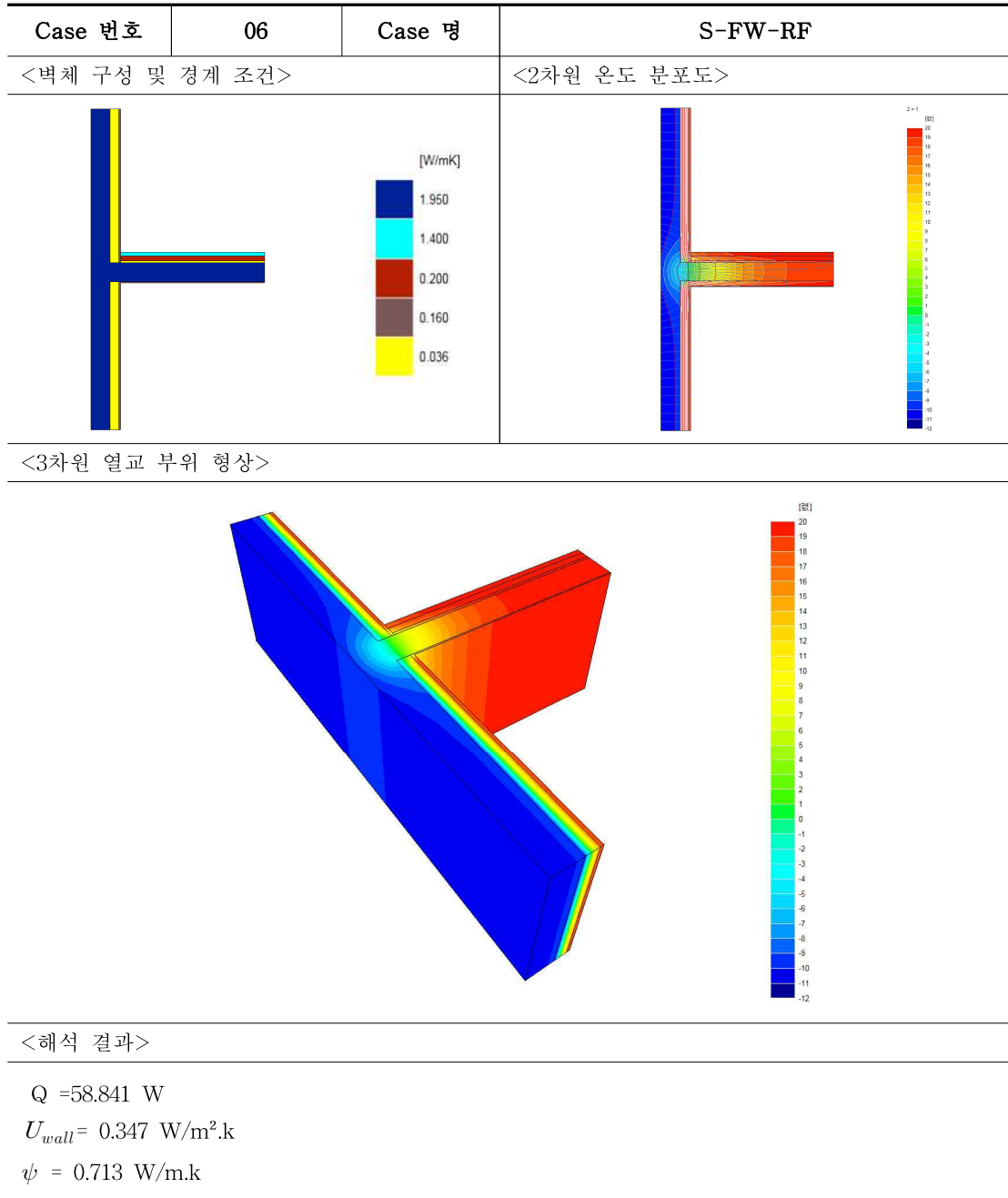
[표 3.3.2-16] Case 05 (P-W2-WS) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	05	Case 명	P-W2-WS
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
<p>Q = 28.282 W</p> <p>$U_{wall} = 0.324 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$</p> <p>$\psi = 0.095 \text{ W/m}\cdot\text{k}$</p>			

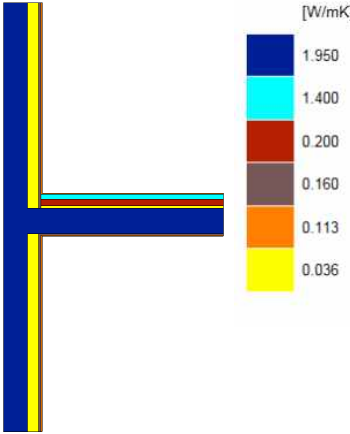
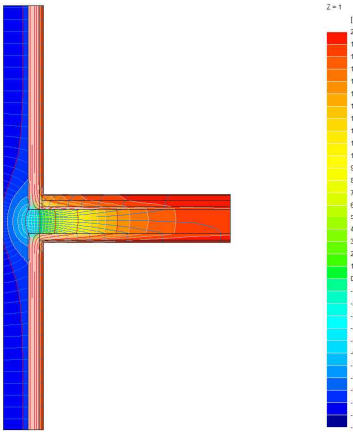
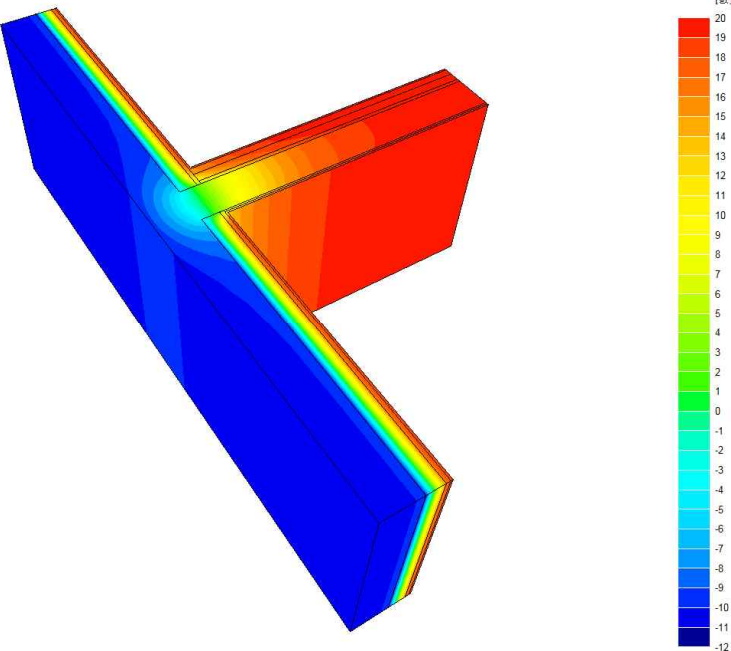
(다) 단면 : 층간슬래브와 외(측)벽의 교차부

[표 3.3.2-17~19]는 단면상 층간슬래브와 측벽이 교차하는 지점의 전열 성능을 분석한 결과이다. 평면의 내벽과 외벽의 교차부와 동일하게 단열재의 불연속으로 열교가 발생하였으며, 콘크리트구조인 Case 6과 Case 7은 선형열관류율이 각각 0.713 W/m·K, 0.643 W/m·K로 매우 높게 나타났다. 목구조의 경우도 0.213 W/m·K로 동일 부위의 콘크리트구조에 비해서는 낮게 나타났지만 목구조인 다른 부위에 비해서는 높게 계산되었다.

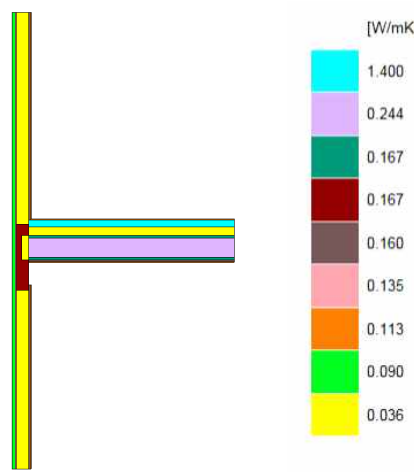
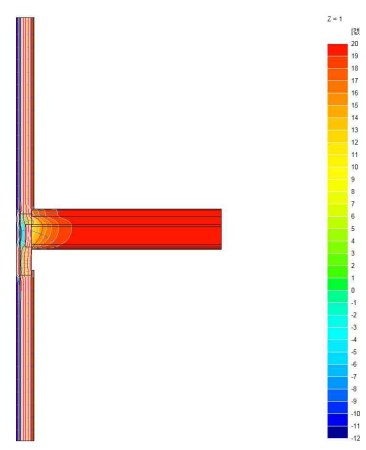
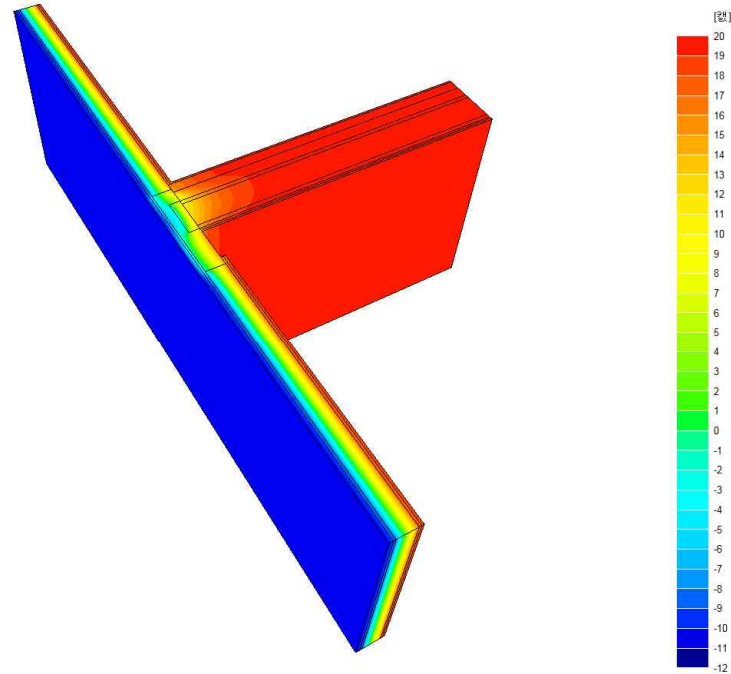
[표 3.3.2-17] Case 06 (S-FW-RF) 전열성능 및 열교 분석



[표 3.3.2-18] Case 07 (S-FW-WF) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	07	Case 명	S-FW-WF
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
<p>Q = 55.761W</p> <p>$U_{wall} = 0.337 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$</p> <p>$\psi = 0.643 \text{ W/m}\cdot\text{k}$</p>			

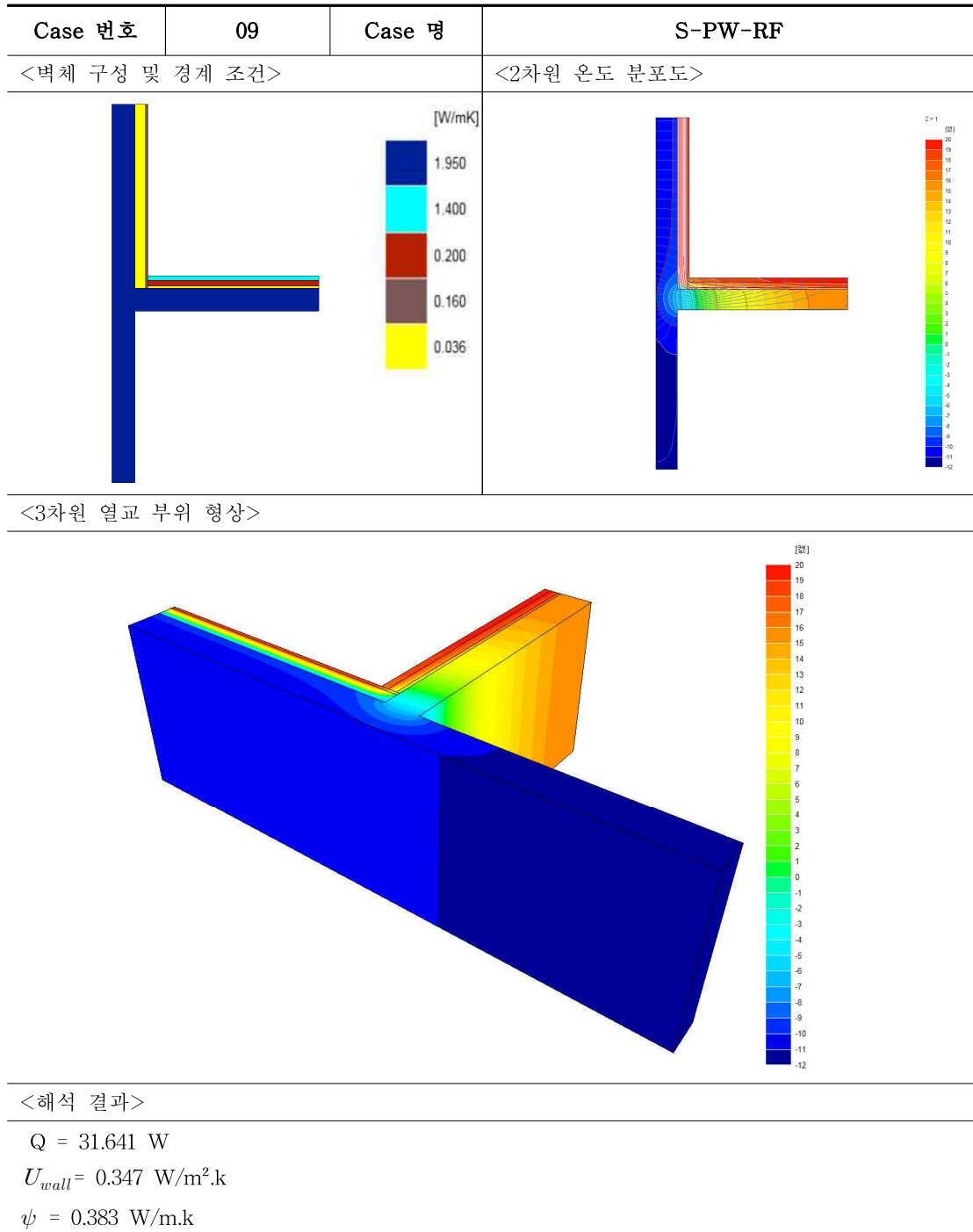
[표 3.3.2-19] Case 08 (S-FW-WS) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	08	Case 명	S-FW-WS
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
 <p>[W/mK]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.400 0.244 0.167 0.167 0.160 0.135 0.113 0.090 0.036 		 <p>[℃]</p> <ul style="list-style-type: none"> 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 	
<3차원 열교 부위 형상>			
 <p>[℃]</p> <ul style="list-style-type: none"> 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 			
<해석 결과>			
<p>Q = 40.184 W</p> <p>$U_{wall} = 0.323 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$</p> <p>$\psi = 0.213 \text{ W/m}\cdot\text{k}$</p>			

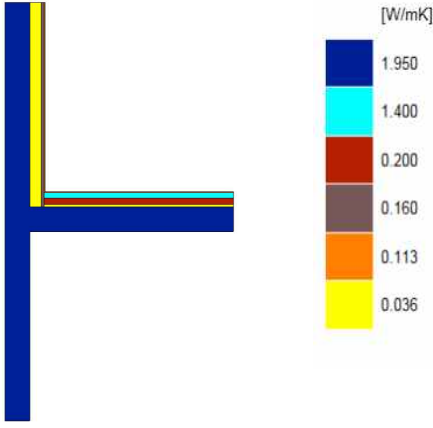
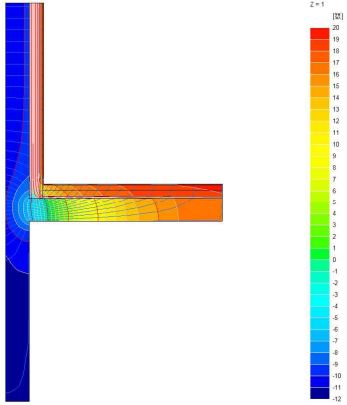
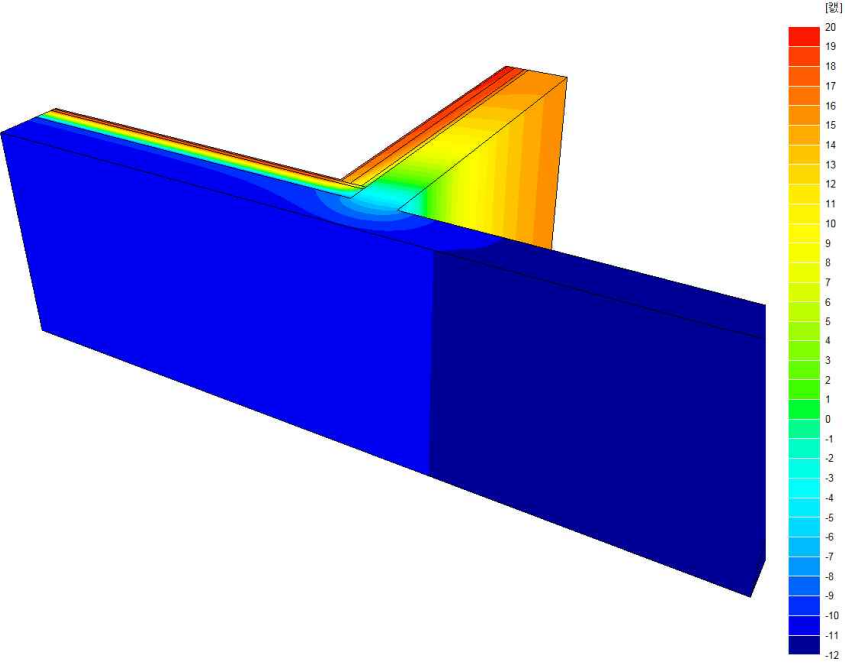
(라) 단면 : 필로티(주차장)슬래브와 외(측)벽의 교차부

[표 3.3.2-20~22]은 단면상 필로티 또는 주차장슬래브와 측벽이 교차하는 지점의 전열 성능을 분석한 결과이다. 형태가 비슷한 Case 6~8과 유사한 경향을 보였으나 필로티 부위의 벽체 구성의 차이로 선형열관류율은 Case 6~8보다 다소 낮게 나타났다.

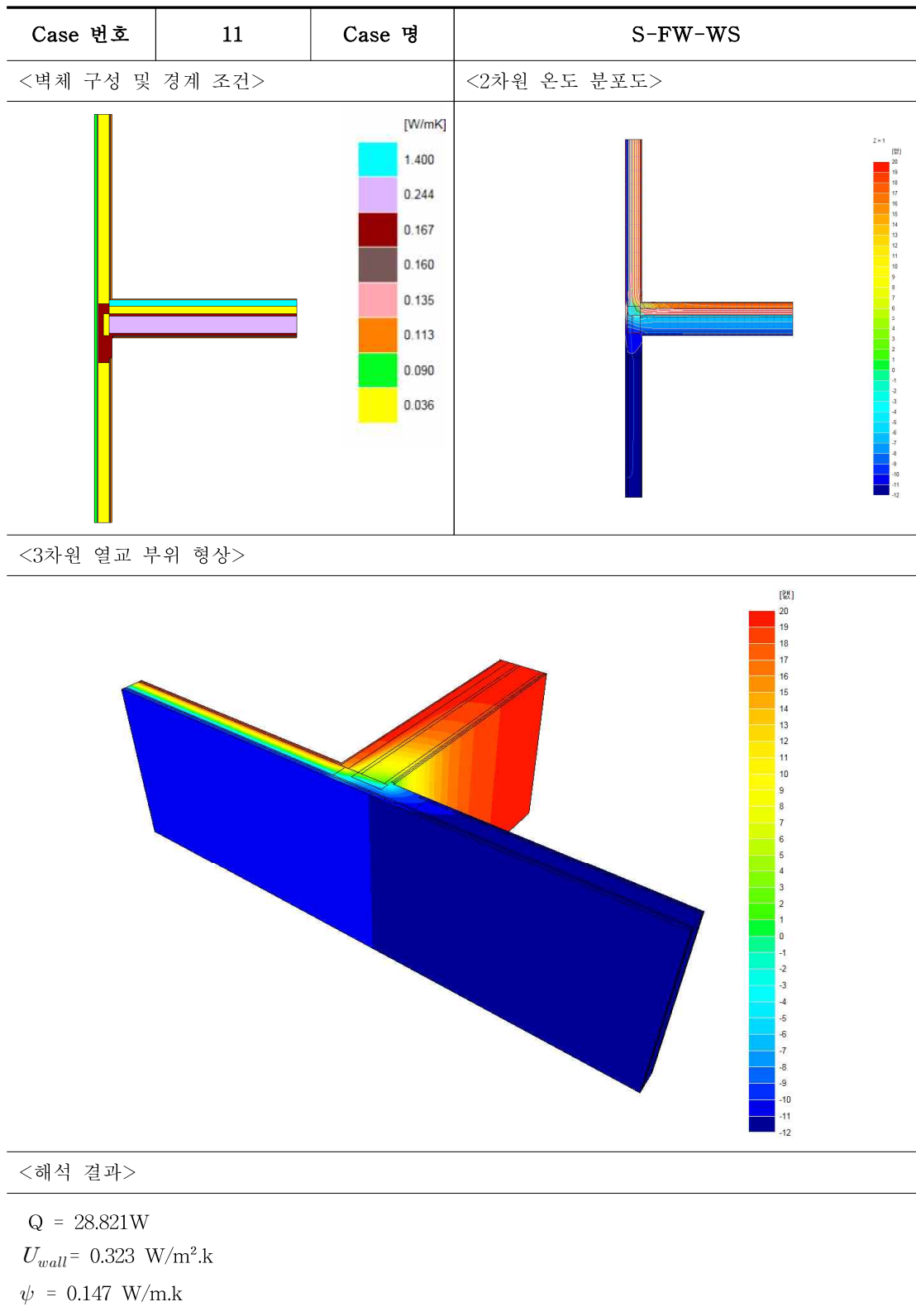
[표 3.3.2-20] Case 09 (S-PW-RF) 전열성능 및 열교 분석



[표 3.3.2-21] Case 10 (S-PW-WF) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	10	Case 명	S-PW-WF
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
$Q = 30.606 \text{ W}$ $U_{wall} = 0.337 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ $\psi = 0.365 \text{ W/m.k}$			

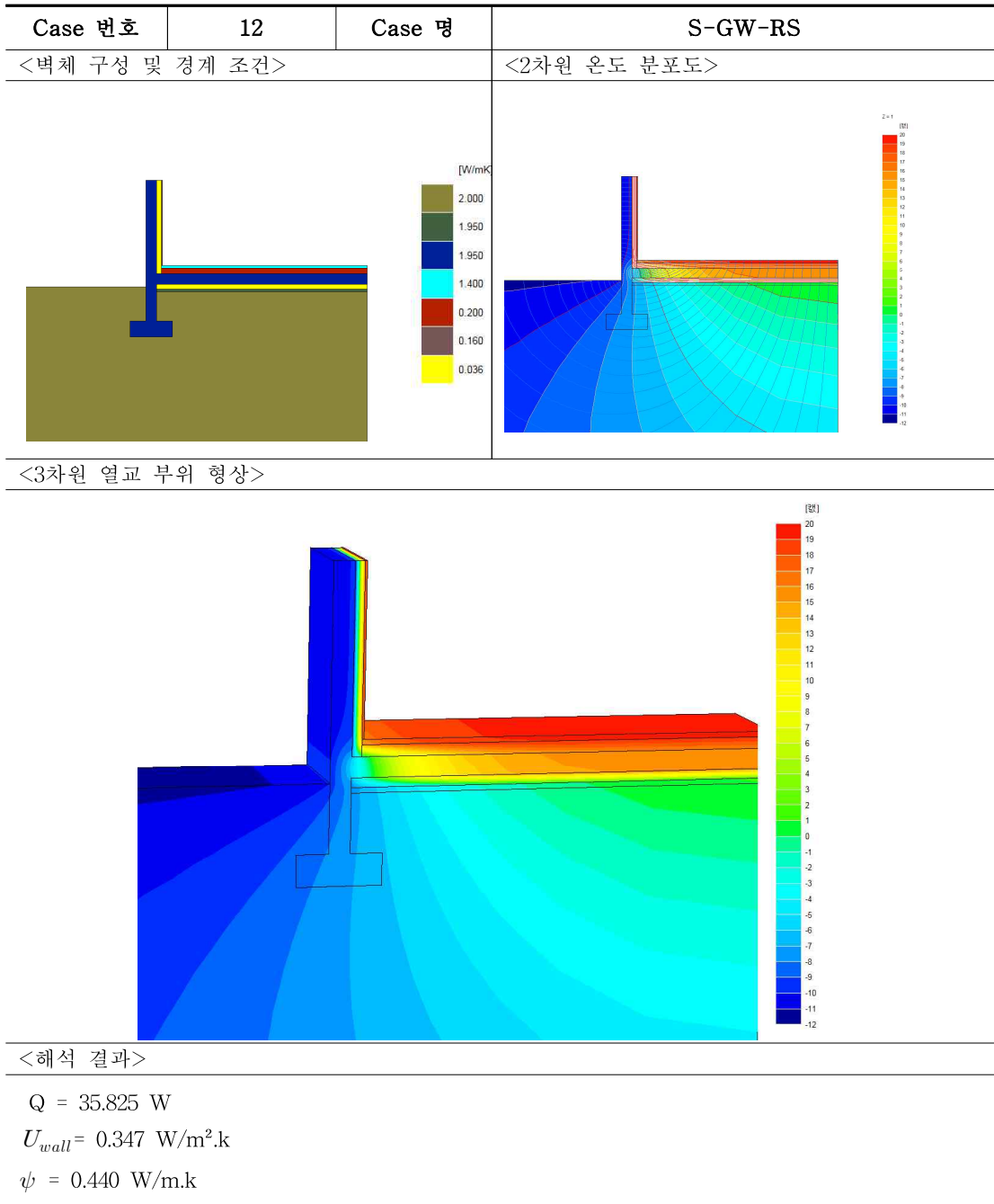
[표 3.3.2-22] Case 11 (S-FW-WS) 전열성능 및 열교 분석



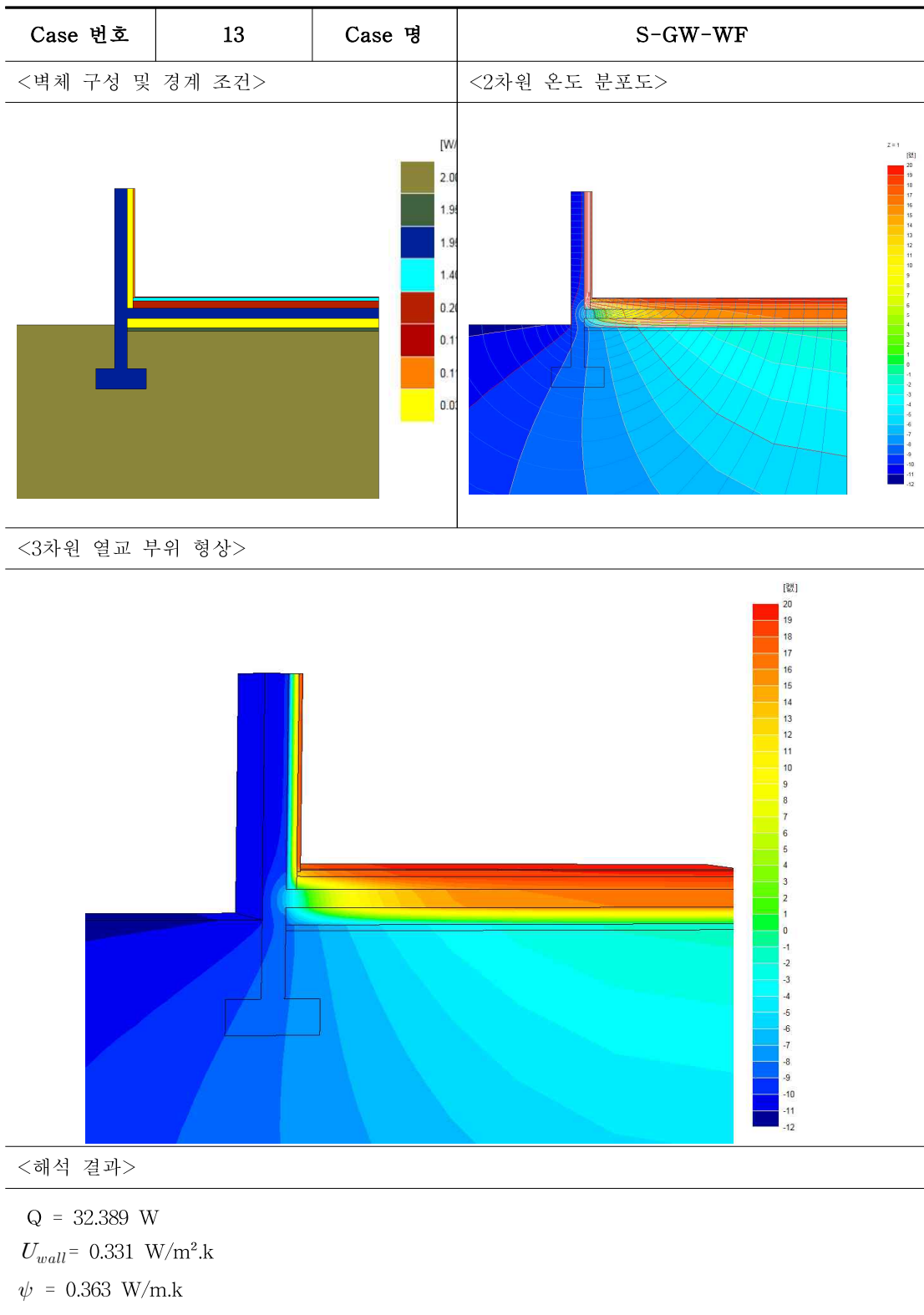
(마) 단면 : 바닥슬래브와 외벽의 교차부

[표 3.3.2-23~25]는 단면상 바닥슬래브와 외벽이 교차하는 지점의 전열 성능을 분석한 결과이다. 다른 부위와 달리 목구조인 Case 14의 선형열관류율이 0.427 W/m·K로 콘크리트구조인 Case 12(0.440 W/m·K)와 Case 13(0.363 W/m·K)에 비해 높게 나타났다. 기초부(콘크리트)와 외벽(목구조)의 구조 형상의 차이에 의한 것으로 사료된다.

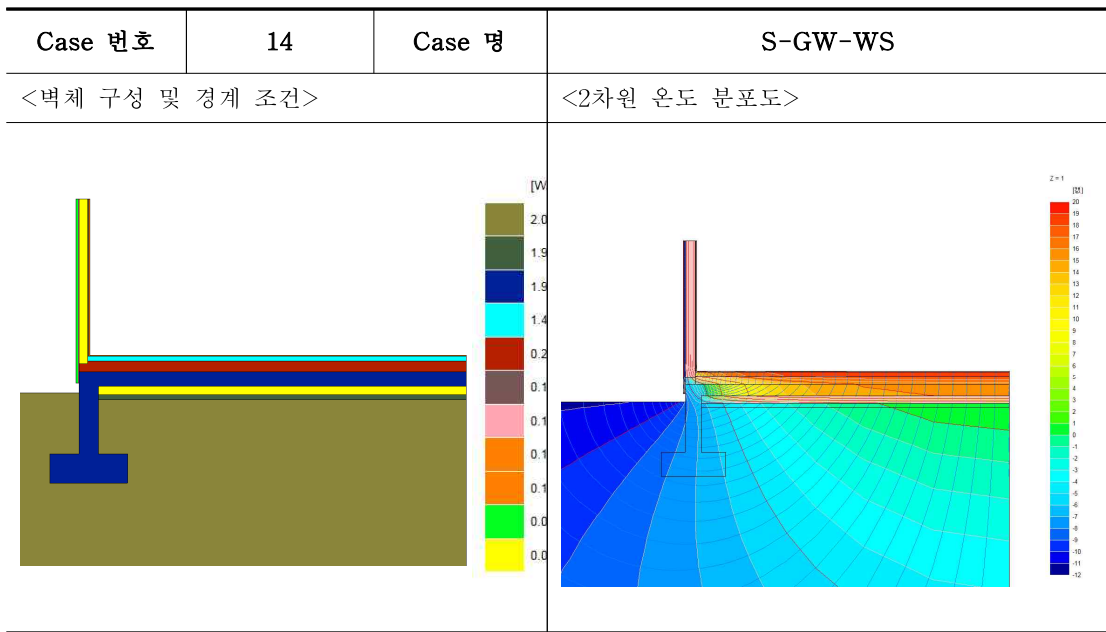
[표 3.3.2-23] Case 12 (S-GW-RS) 전열성능 및 열교 분석



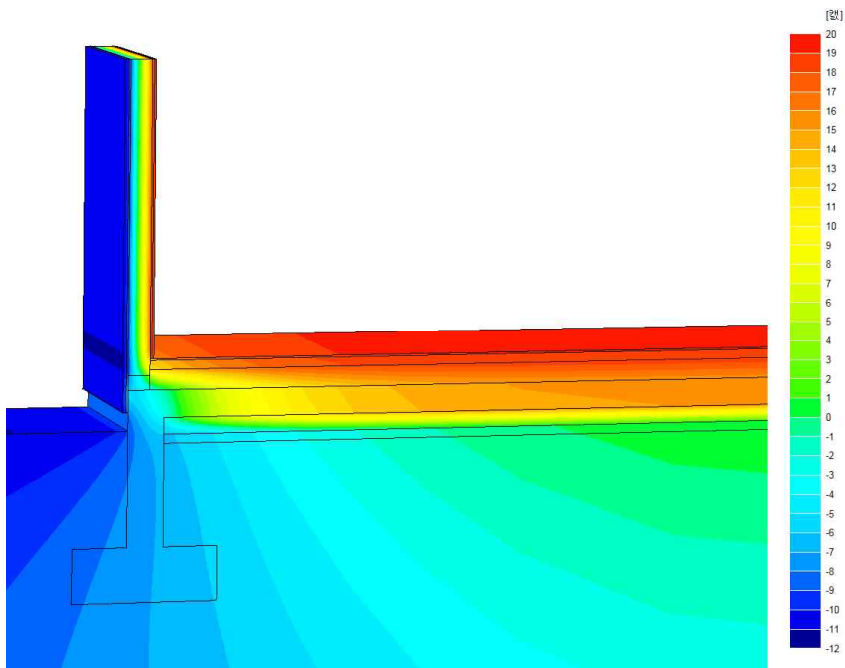
[표 3.3.2-24] Case 13 (S-GW-WF) 전열성능 및 열교 분석



[표 3.3.2-25] Case 14 (S-GW-WS) 전열성능 및 열교 분석



<3차원 열교 부위 형상>



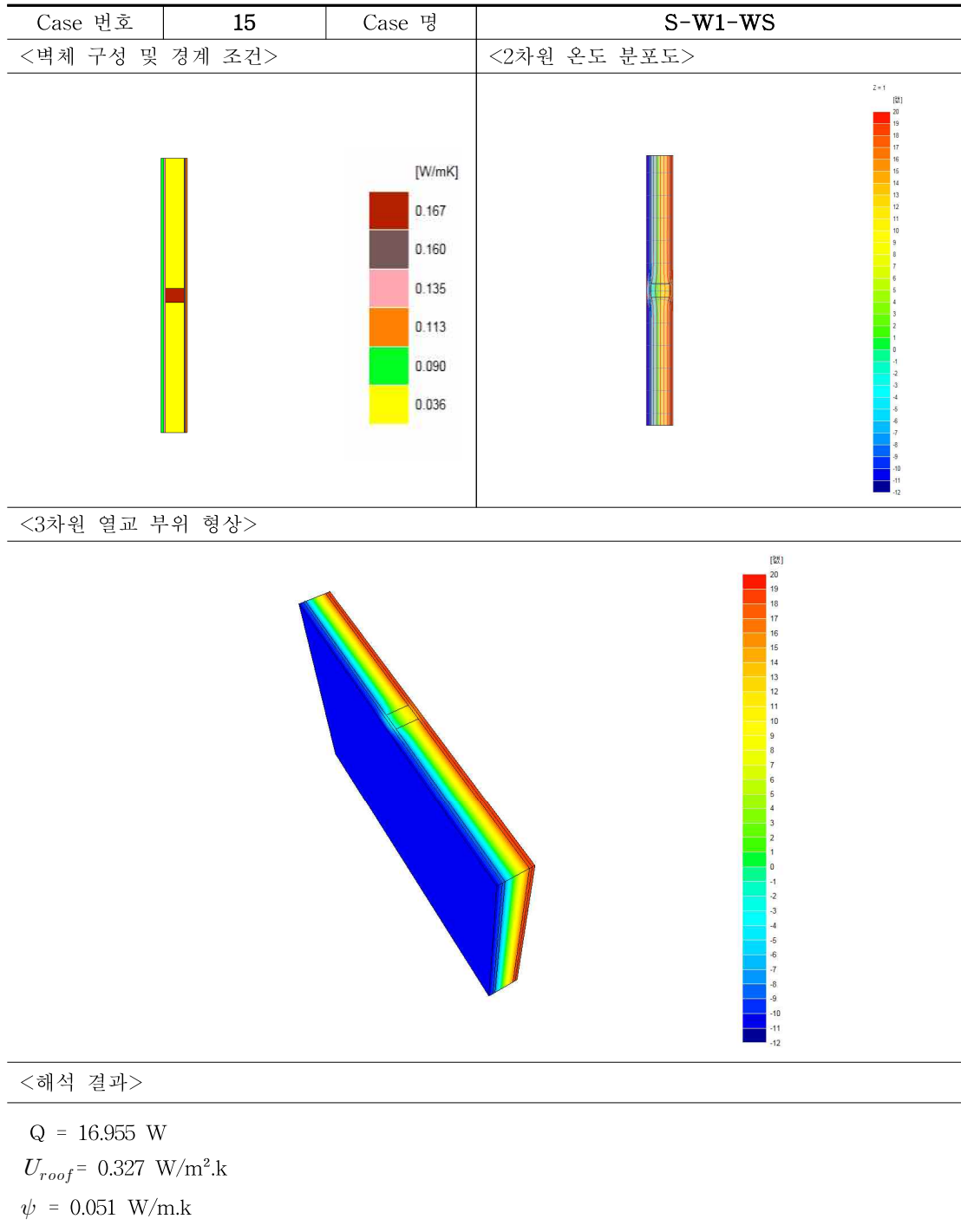
<해석 결과>

$Q = 33.554 \text{ W}$
 $U_{wall} = 0.323 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$
 $\psi = 0.427 \text{ W/m.k}$

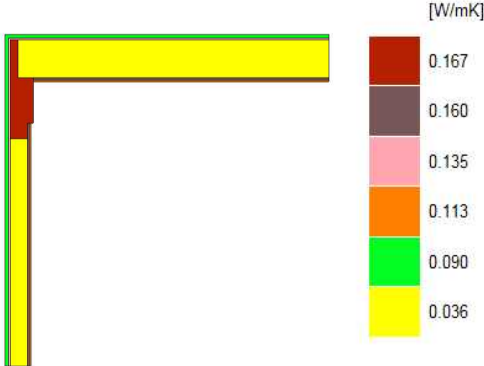
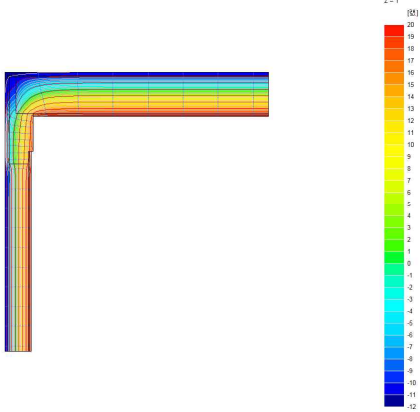
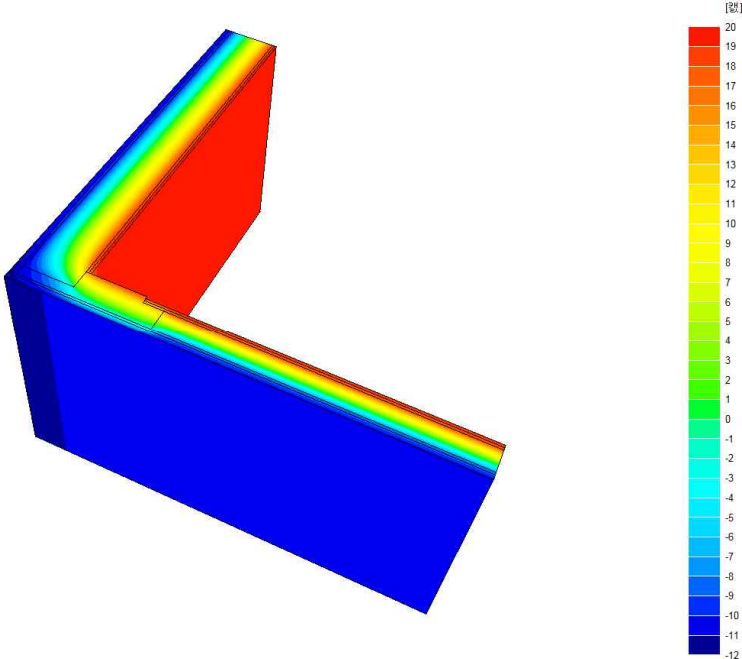
(바) 단면 : 목구조 외벽

[표 3.3.2-26~27] 는 목구조 건물의 단면상 외벽과 외벽 지붕슬래브 교차부의 전열 성능을 해석한 결과이다. 구조체 내 이질재료 사용으로 인해 해당 부분에 열교가 발생했으나, 선형열관류율(Ψ)은 0.051~0.113 W/m·K으로 높지 않은 결과를 보였다.

[표 3.3.2-26] Case 15 (S-W1-WS) 전열성능 및 열교 분석



[표 3.3.2-27] Case 16 (S-RW-WS) 전열성능 및 열교 분석

Case 번호	16	Case 명	S-RW-WS
<벽체 구성 및 경계 조건>		<2차원 온도 분포도>	
			
<3차원 열교 부위 형상>			
			
<해석 결과>			
<p> $Q = 30.038W$ $U_{wall} = 0.327 \text{ W/m}^2.k$ $U_{roof} = 0.164 \text{ W/m}^2.k$ $\psi = 0.113 \text{ W/m.k}$ </p>			

(4) 시뮬레이션 결과 비교

본 절에서는 주거 건물의 일반적인 열교 발생 부위에서 구조재와 마감재의 종류에 따른 전열 성능을 비교하기 위해, ISO 10211 기반의 Physibel Trisco 프로그램을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다. 전열 성능 비교는 각 부위별 총전열량(Q)과 선형열관류율(Ψ) 결과값을 이용하였다.

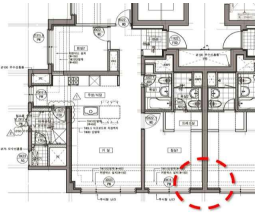
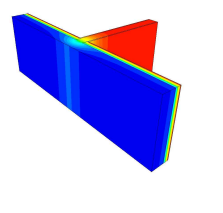
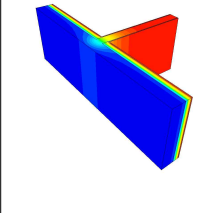
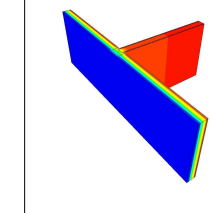
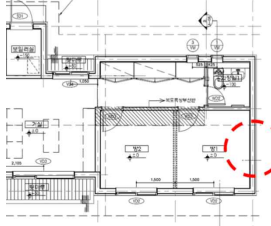
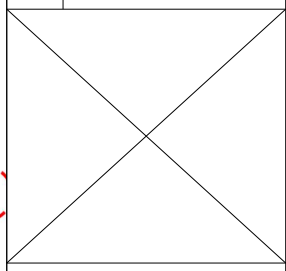
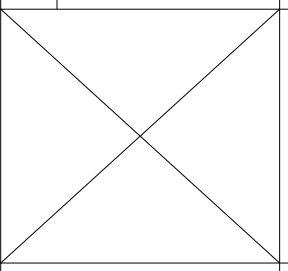
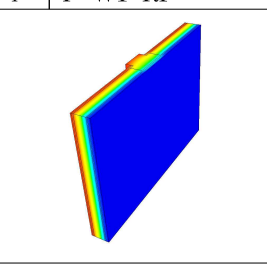
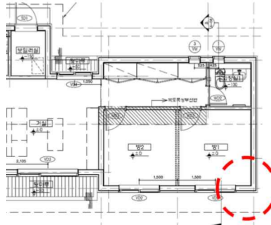
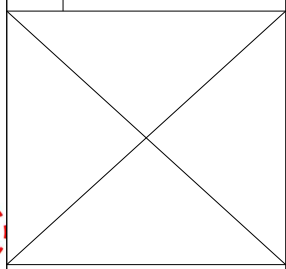
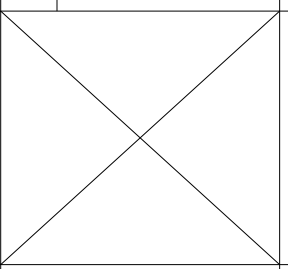
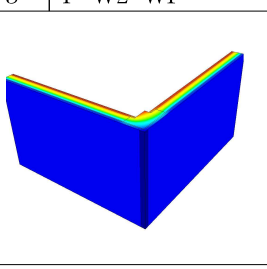
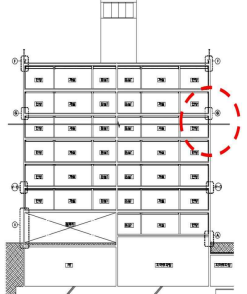
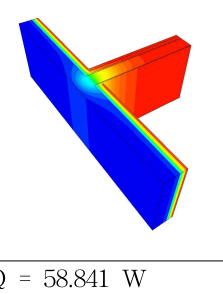
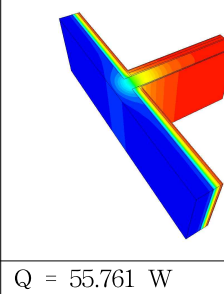
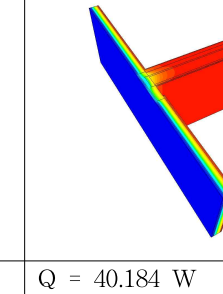
콘크리트구조의 경우 구조적 형상으로 인해 단열재 불연속부분이 나타나며 해당 부위에서 열교가 발생하였으며, 목구조의 경우 구조적 형상 및 이질 재료(구조재와 단열재)의 적용 부위에서 열교가 발생하였다. 또한 콘크리트구조의 경우 비목질 마감재에 비해 목질 마감재를 적용하였을 때 선형열관류율이 다소 작게 나타났으나, 그 차이가 크진 않았다.

목구조의 경우 콘크리트구조에 비해 일반적으로 선형열관류율이 작게 나타났으며, 이는 단열재와 구조목의 열관류율 차이가 콘크리트에 비해 작기 때문으로 판단된다. 하지만 바닥슬래브-외벽의 접합부의 경우에는 기초부(콘크리트)와 외벽(목구조)의 구조가 다른 형상적 원인에 기인해 목구조의 선형열관류율이 가장 높게 나타났다.

콘크리트구조의 경우 평면상 세대간벽-외벽, 단면상 층간슬래브-측벽의 교차 부위에서 열교가 가장 많이 발생하였으며, 목구조의 경우에는 교차 부위에서의 선형열관류율은 콘크리트구조에 비해 낮았으며, 일자형의 외벽에서도 이질 재료의 사용으로 인해 열교가 발생하는 것으로 분석되었다. 목구조와 같이 이질 재료가 동시에 사용되는 경우에는 각각 재료의 열관류율과 구성 비율에 의해 선형열관류율(Ψ)이 결정되는 것으로 사료된다. 각 Case 별 총전열량(Q)과 선형열관류율(Ψ)는 다음 [표 3.3.2-28]과 같다.

이상의 연구를 통해 콘크리트구조의 경우 형상적 원인에 의해, 목구조의 경우 형상적인 원인에 재료적 원인이 더해져 다발적으로 열교가 발생함을 확인할 수 있었다. 콘크리트구조에 목질 마감재가 적용되는 경우에는 형상적 단점을 보완할 수 있는 열교 차단재의 적용으로, 목구조의 경우에는 단열재 및 구조재의 위치 조정, 보강재의 시공 등 열교 방지 설계안(디테일)의 개발로 열교 부위를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

[표 3.3.2-28] Case별 전열량 및 선형열관류율 비교

열교 위치	Case 1 (Con'c구조+비목질마감)		Case 2 (Con'c구조+목질마감)		Case 3 (목구조+비목질마감)	
	1	P-WI-RF	2	P-WI-WF	3	P-WI-WS
						
	$Q = 63.294 \text{ W}$ $\psi = 0.782 \text{ W/m.k}$		$Q = 53.778 \text{ W}$ $\psi = 0.634 \text{ W/m.k}$		$Q = 33.760 \text{ W}$ $\psi = 0.111 \text{ W/m.k}$	
					4 P-W1-RF 	
					$Q = 19.352 \text{ W}$ $\psi = 0.134 \text{ W/m.k}$	
					5 P-W2-WF 	
					$Q = 28.282 \text{ W}$ $\psi = 0.095 \text{ W/m.k}$	
	6 S-FW-RF 		7 S-FW-WF 		8 S-FW-WS 	
	$Q = 58.841 \text{ W}$ $\psi = 0.713 \text{ W/m.k}$		$Q = 55.761 \text{ W}$ $\psi = 0.643 \text{ W/m.k}$		$Q = 40.184 \text{ W}$ $\psi = 0.213 \text{ W/m.k}$	

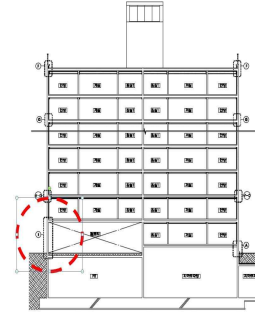
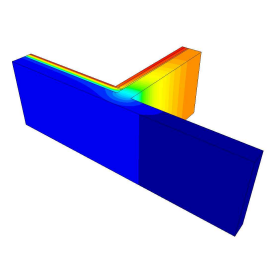
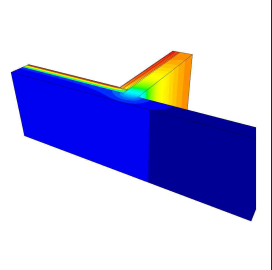
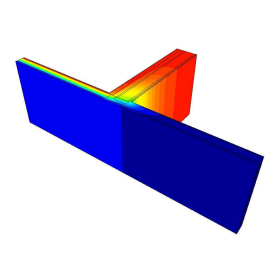

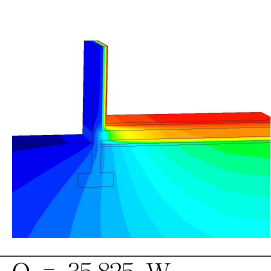
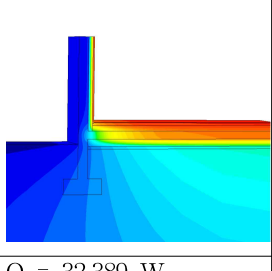
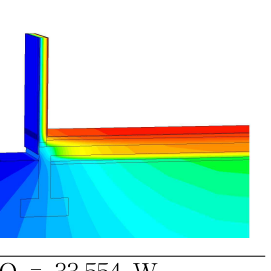

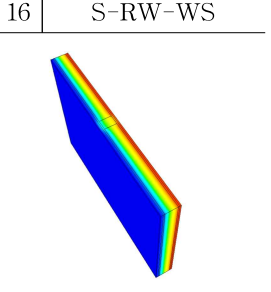
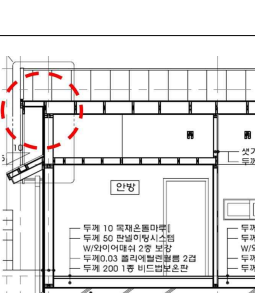
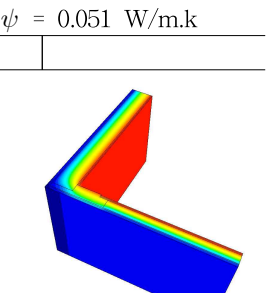
* P-WI-RF : 위치 - 부위 - 구성

[위치 약자] P : 평면, S : 단면

[부위 약자] W : 외벽, I : 내벽, R : 지붕, F : 층간 슬래브, G : 바닥 슬래브, P : 필로티

[구성 약자] RF : 콘크리트+비목질마감, WF : 콘크리트+목질마감, WS : 목구조+목질마감

[표 3.3.2-28] Case별 전열량 및 선형열관류율 비교 - 계 속 -

열교 위치	Case 1 (Con'c구조+비목질마감)		Case 2 (Con'c구조+목질마감)		Case 3 (목구조+비목질마감)	
	9	S-PW-RF	10	S-PW-WF	11	S-PW-WS
						
	$Q = 31.641 \text{ W}$ $\psi = 0.383 \text{ W/m.k}$		$Q = 30.606 \text{ W}$ $\psi = 0.365 \text{ W/m.k}$		$Q = 28.821 \text{ W}$ $\psi = 0.147 \text{ W/m.k}$	
	12 S-GW-RF		13 S-GW-WF		14 S-GW-WS	
						
$Q = 35.825 \text{ W}$ $\psi = 0.440 \text{ W/m.k}$		$Q = 32.389 \text{ W}$ $\psi = 0.363 \text{ W/m.k}$		$Q = 33.554 \text{ W}$ $\psi = 0.427 \text{ W/m.k}$		
			15 S-W1-WS		16 S-RW-WS	
						
				$Q = 16.95 \text{ W}$ $\psi = 0.051 \text{ W/m.k}$		
						
					$Q = 30.038 \text{ W}$ $\psi = 0.113 \text{ W/m.k}$	

* P-WI-RF : 위치-부위-구성

[위치 약자] P : 평면, S : 단면

[부위 약자] W : 외벽, I : 내벽, R : 지붕, F : 층간 슬래브, G : 바닥 슬래브, P : 필로티

[구성 약자] RF : 콘크리트+비목질마감, WF : 콘크리트+목질마감, WS : 목구조+목질마감

3.3.3 소 결

본 절에서는 건물에서의 목재의 활용 범위 및 목재 수종별 건축재료로의 적용 방안에 대해 조사하였다. 또한 건물에서 사용되는 목질 재료와 비목질 재료의 열성능에 대해 비교 분석하였으며, 그 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 건축 재료로 주로 사용되는 목질 및 비목질 재료를 조사한 결과 다음 [표 3.3.3-1]과 같이 나타났다. 건축 재료의 고급화 및 다양화 요구에 따라 건물에서 목재의 활용 비율이 높아지고 있었으며, 이 조사 결과를 바탕으로 목질 및 비목질 재료의 열성능 비교를 위한 재료를 구성하였다.

[표 3.3.3-1] 건물 부위별 주로 사용되는 목질 및 비목질 마감 재료(표 3.3.2-8과 동일)

구 분		비목질 재료	목질 재료
구 조 재		콘크리트	SPF(가문비, 소나무, 전나무)
외부 마감	지붕	아스팔트 싱글	목재 사이딩
	외벽	외벽마감재(EIFS)	목재 사이딩
내부 마감	바닥	시멘트 몰탈 위 장판	원목마루, 합판 또는 강화마루
	천장	석고보드 + 벽지	원목루버
	내벽	석고보드 + 벽지	원목루버
창 호		알루미늄 창호	목재 창호

- 2) 목구조의 경우 단열재와 각재가 혼합되어 사용되기 때문에 재료적 열교가 발생하며, 이는 기밀층 설치, 이중 단열재, 재료 위치 조정 등의 열교 방지 상세 설계를 통해 해결할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 건물의 열교 발생 부위에서 구조재와 마감재의 종류에 따른 전열 성능을 비교하기 위해, ISO 10211 알고리즘을 활용하는 Physibel Trisco 프로그램을 이용해 전열 시뮬레이션을 수행하였으며, 전열 성능 비교는 각 부위별 총전열량(Q)과 선형열관류율(Ψ)을 이용해 분석하였다.
- 4) 콘크리트구조의 경우 구조적 형상으로 인해 단열재가 불연속되는 부위에서 열교가 발생하였으며, 목구조의 경우에는 구조적 형상에 의한 열교뿐만 아니라 이질 재료(각재와 단열재)의 적용 부위에서도 재료적 열교가 발생하였다.
- 5) 콘크리트구조의 경우 비목질 마감재에 비해 목질 마감재를 적용하였을 때 선형열관류율이 다소 작게 나타났으나, 그 차이가 크진 않았다.

- 6) 목구조의 경우 콘크리트구조에 비해 일반적으로 선형열관류율이 낮게 나타났으며, 이는 단열재와 구조목의 열관류율 차이가 콘크리트에 비해 작기 때문으로 판단된다. 하지만 바닥슬래브-외벽의 접합부의 경우에는 기초부(콘크리트)와 외벽(목구조)의 구조가 다른 형상적 원인에 기인해 목구조의 선형열관류율이 가장 높게 나타났다.
- 7) 콘크리트구조의 경우 평면상 세대간벽-외벽, 단면상 층간슬래브-측벽의 교차 부위에서 열교가 가장 많이 발생하였으며, 목구조의 경우에는 교차 부위에서의 선형열관류율은 콘크리트구조에 비해 낮았으며, 일자형의 외벽에서도 이질 재료의 사용으로 인해 열교가 발생하는 것으로 분석되었다.
- 8) 목구조와 같이 이질 재료가 동시에 사용되는 경우는 각각의 재료의 열관류율과 구성 비율에 의해 선형열관류율(Ψ)이 결정되는 것으로 사료된다.

이상의 연구를 통해 콘크리트구조의 경우 형상적 원인에 의해, 목구조의 경우 형상적인 원인에 재료적 원인이 더해져 다발적으로 열교가 발생함을 확인할 수 있었다. 콘크리트구조에 목질 마감재가 적용되는 경우에는 형상적 단점을 보완할 수 있는 열교 차단재의 적용으로, 목구조의 경우에는 단열재 및 구조재의 위치 조정, 보강재의 시공 등 열교 방지 설계안(디테일)의 개발로 열교 부위를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3. 4 목구조 재료 복합부위 열성능 계산방법 도출

3.4.1 목구조의 상당열관류율 개념 및 계산 로직 정의

목구조처럼 단열재와 각재가 한 벽체 안에 혼합되어 있는 경우 동적 에너지 해석 프로그램에 서는 혼합된 벽체로 해석하지 못하고 단일재료의 벽체 또는 재료가 분리된 벽체로 해석을 한 다.

(1) 주재료로 산정

일반적인 건물 에너지 해석 프로그램은 1차원 동적 해석이기 때문에 벽체에 이질재료가 혼합 되어 있는 경우, 구성 비율의 차이가 크면 구성비가 높은 주재료로 단일벽체를 구성하여 모델 링하는 경우가 대부분이다. 이 같은 방법은 입력이 간단해 시간이 절약되나 주재료의 열전도 율만으로 계산되기 때문에 재료 간의 열전도율의 차이가 큰 경우 에너지 성능 해석 결과에 오 차가 크게 발생하기도 한다.

(2) 비율에 의한 산정

단면적 비율에 의한 산정방식은 각각의 재료가 차지하는 면적 비율에 의해 열관류율을 산술 평 균해 계산하는 방법이다. 건물 에너지 성능 해석 시에 단면 비율에 따라 해당 층의 면적 또는 두께를 조정해 입력하는 방식을 사용하며, 주재료만으로 산정하는 경우에 비해서는 정확도가 향 상되나, 재료적 차이에 의한 열교를 반영할 수 없다.

(3) ISO 6946에 따른 산정

건물 구성 요소 및 건물 요소의 열 저항 및 열전달에 대한 계산법을 정의한 ISO 6946에서는 이질재료로 구성된 건물부위의 열관류율(U-Value)을 계산하기 위하여 다음과 같은 식 (1), (2) 를 제시하였다. 비율에 의한 산정 방법과 유사하나 최대 및 최소 열저항을 이용해 이질 재료 복합 부위의 열관류율을 계산한다.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

R'_T	: 저항값의 최대	($m^2 \cdot K/W$)
R''_T	: 저항값의 최소	($m^2 \cdot K/W$)
R_T	: 저항값의 평균	($m^2 \cdot K/W$)
U	: 열관류율	($W/m^2 \cdot K$)

(4) ISO 10211에 따른 전열해석 산정

위와 같은 방법들을 이용해 열전도율 차이가 큰 단열재와 각재가 혼합된 목구조의 열관류율을 계산하는 경우, 열교를 반영할 수 없어 벽체를 통해 전달되는 정확한 열전달량을 계산할 수 없다. 건물의 열교, 표면온도 및 열류에 대해 규정한 ISO 10211-2의 계산 방법을 이용해 벽체를 통해 전달되는 열교를 포함한 정확한 열전달량을 계산할 있으며, 식 (3)과 같이 열교로 인해 발생하는


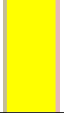
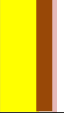


열전달을 포함한 상당열관류율을 정의할 수 있다. 또한 주재료의 열관류율과 선형열관류율을 이용해 상당열관류율을 재정의하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 실질적으로 이 같은 계산은 다양한 상용 전열해석프로그램(Physibel Trisco, HEAT 등)을 이용해 수행할 수 있다. 하지만 이 같은 계산 과정은 정확성은 높으나 프로그램을 이용한 별도의 모델링과 입력 작업으로 인해 수행 시간이 매우 길고, 계산 과정이 복잡해 전문 지식이 필요하다.

$$U_{eq} = \frac{Q}{\Delta T \cdot A} \quad (3)$$

$$U_{eq} = U + \frac{\sum_j l_j \psi_j}{A} \quad (4)$$

- U_{eq} : 상당열관류율 (W/m²·K)
- ΔT : 내·외부온도차 (°C)
- A : 면적 (m²)
- Q : 벽체의 총 전열량 (W)
- U : 주재료 열관류율 (W/m²·K)
- l : 선형열교가 발생하는부위의 길이 (m)
- ψ : 선형열관류율 (W/m·K)

[3.4.1-1] 열관류율 산정 방법에 따른 결과 비교

벽체	재료명	열전도율(W/m·K)	두께(mm)	주재료로 산정	비율에 의한 산정
	석고보드	0.1	10		
	단열재	0.036	89	Ueq = 0.354 W/m ² ·K	Ueq = 0.377 W/m ² ·K
				오차율 : 18.92%	오차율 : 11.67%
				ISO 6946에 따른 산정	ISO 10211-2 전열해석 산정
	각재	0.14	89		
	OSB	0.1	10	Ueq = 0.387 W/m ² ·K	Ueq = 0.421 W/m ² ·K
오차율 : 8.07%					

[표 3.4.1-1]은 일반적인 목구조에서 위에 제시한 계산 방법에 따라 열관류율을 계산한 것이다. 해당 목구조의 경우 계산 방법에 따라 열관류율에 차이가 발생했으며, 전열해석을 수행한 경우와 비교해 8.07~18.92%의 오차를 나타냈다. 이 같은 열관류율의 차이는 에너지 성능 해석에 있어서 오차로 연결되며, 일반적으로 단열재, 각재 및 판재들이 혼합된 목구조의 경우 정확한 에너지 성능 해석을 위해 간편하게 선형열교와 상당열관류율을 예측할 수 있는 계산식이 요구된다.

3.4.2 상당 열관류율 계산 회귀식 도출

가. 회귀분석 개요

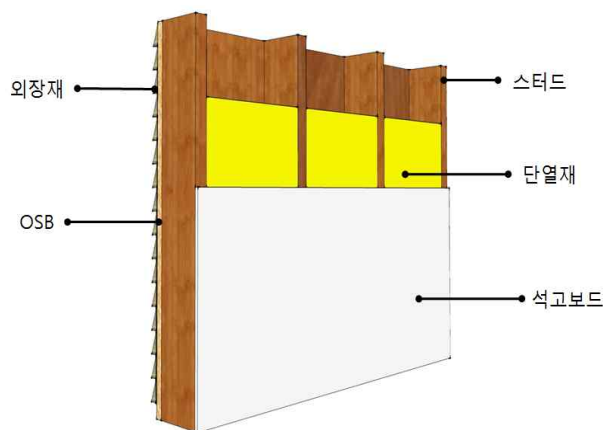
상당열관류율을 계산하기 위해서는 선형열관류율의 입력이 요구된다. 이에 다양 Case의 전열해석 결과에 대한 회귀 분석을 통해 선형열관류율 예측식 도출하였다. 통계 분석은 SPSS v.18을 이용해 실시하였으며, 회귀식의 각 계수의 결정과 동시에 독립변수별 영향도를 파악하기 위해 위계적 회귀분석(Hierarchical Regression Analysis)을 실시하였다. 위계적 회귀분석은 종속변수에 대한 독립변수의 상대적 영향력의 크기를 순서대로 파악할 수 있으며, 각 단계별로 회귀식의 결정력과 계수를 분석할 수 있다. 회귀 모형의 적합도는 결정계수(R^2), F비 등을 이용해 판단할 수 있다. F비는 독립변수와 종속변수 간에 유의 수준을 확인하는 척도로, 결정계수(R^2)는 독립변수의 종속변수에 대한 설명력의 크기를 나타내는 척도로 활용할 수 있다. 아래의 식 (5)는 F비를 구하는 식이며, 결정계수(R^2)는 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$F = \frac{\text{회귀분산}}{\text{오차분산}} = \frac{\text{회귀제곱평균}}{\text{오차제곱평균}} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{\text{회귀제곱합}}{\text{총제곱합}} \quad (6)$$

나. 회귀분석 Case 선정 및 입력조건

아래 <그림 3.4.2-1>은 일반적인 목구조의 구성을 나타낸 것이다. 선형열관류율(Ψ) 예측식은 목구조에서 주로 사용되는 각재(스터드) 크기인 2×4", 2×6", 2×8"로 구분하여 도출하였으며, 각재 비율, 각재 열전도율, 단열재 열전도율, 외부마감 두께 및 열전도율, 내부마감 두께 및 열전도율을 독립변수로 설정하였다.



<그림 3.4.2-1> 일반적인 목구조의 구성

독립변수의 분석 범위 및 간격은 [표 3.4.2-1]와 같으며 총 226 Case에 대해 전열해석을 실시하였다. 각재 및 단열재, 내·외부 재료들의 두께는 실제 시공 사례를 참조하여 선정하였으며,

열전도율의 경우 ASHRAE Handbook Fundamentals(2009)을 기준으로 물성값의 범위를 선정하였다. 목구조에서 단열재와 각재의 혼합비율은 실제 각재의 시공 간격(300~900mm)을 고려해 5~15% 범위로 선정하였다.

[표 3.4.2-1] 독립변수의 분석 범위 및 간격

변수 항목	Case 및 범위	분석 간격
각재비율(%)	5~15%	
각재 열전도율(W/m·K)	0.1~0.20	0.02
단열재 열전도율(W/m·K)	0.01~0.05	0.01
외부마감 두께(mm)	10~30	10
내부마감 두께(mm)	10~30	10
외부마감 물성(W/m.k)	0.1~0.2	0.1
내부마감 물성(W/m.k)	0.1~0.2	0.1

전열 해석을 위한 실내·외 설정온도 및 표면열전달 저항은 에너지절약설계기준을 참조해 입력하였으며, 다음 [표 3.4.2-2]와 같다.

[표 3.4.2-2] 실내·외 설정온도 및 표면 열전달 저항

실내		실외	
설정온도	표면열전달계수	설정온도	표면열전달계수
20℃	9.09 W/m ² ·K	-11.3℃	23.25 W/m ² ·K

다. 회귀분석 결과 및 회귀식 도출

(1) 위계적 회귀분석 결과

[표 3.4.1-4]는 회귀 모형을 요약한 것으로 목구조에서 주로 사용되는 각재(스터드) 규격인 2×4" (89mm), 2×6" (140mm), 2×8" (184mm)에 대해 독립변수를 단계적으로 한 변수씩 추가하여 위계적 회귀분석을 실시한 결과이다. 내·외부 마감 물성은 종속변수에 대해 유의하지 않아 변수가 제거되었고, 각재비율, 각재열전도율, 단열재열전도율을 독립변수로 추가시킨 모형에는 독립변수의 설명력을 나타내는 결정계수(R²)의 변화가 크게 나타났으나, 외부마감두께(모형4)와 내부마감두께(모형5)에서는 결정계수(R²)의 변화가 0.01 이하로 매우 작게 나타났다.

[표 3.4.1-5]는 회귀 모형의 각종 계수, 표준화계수(β), 유의확률, 공선성 등을 분석한 결과이다. 특히 표준화계수인 베타(β)는 독립변수의 상대적 영향력을 비교할 수 있는 값으로써 모든 각재 규격에서 각재비율>각재열전도율>단열재열전도율>내부마감두께>외부마감두께의 순서로 나타났다. 독립변수의 영향도를 판단할 수 있는 결정계수(R²)와 표준화계수(β)를 기준으로 각재비율, 각재열전도율, 단열재열전도율을 독립변수로 입력한 모형 3을 회귀모형으로 선정하였으며, 이 경우 결정계수(R²)는 2×4" - 0.952, 2×6" - 0.969, 2×8" - 0.917로 나타났다.

[표 3.4.2-3] 목구조 선형열관류율 위계적 회귀 모형의 각종

모형		비표준화계수		표준화계수	t	유의확률	공선성 통계량		
		B	표준오차	베타			공차	VIF	
2×4" (89mm)	1	(상수)	-0.004	0.021		-0.179	.858		
		x_1 각재비율	3.510	0.240	0.863	14.612	.000	1.000	1.000
	2	(상수)	-0.301	0.034		-8.776	.000		
		x_1 각재비율	3.510	0.161	0.863	21.803	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	2.063	0.217	0.377	9.515	.000	1.000	1.000
	3	(상수)	-0.187	0.025		-7.410	.000		
		x_1 각재비율	3.510	0.105	0.863	33.289	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	2.063	0.142	0.377	14.528	.000	1.000	1.000
		x_3 단열재물성	-3.792	0.385	-0.255	-9.841	.000	1.000	1.000
	5	(상수)	-0.124	0.023		-5.343	.000		
		x_1 각재비율	3.510	0.086	0.863	40.732	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.991	0.117	0.364	17.065	.000	0.990	1.010
		x_3 단열재물성	-3.792	0.315	-0.255	-12.041	.000	1.000	1.000
		x_4 외부두께	-0.002	0.000	-0.097	-4.517	.000	0.976	1.025
		x_5 내부두께	-0.002	0.000	-0.101	-4.708	.000	0.976	1.025
2×6" (140mm)	1	(상수)	-0.007	0.014		-0.525	.601		
		x_1 각재비율	2.418	0.156	0.875	15.457	.000	1.000	1.000
	2	(상수)	-0.201	0.022		-9.065	.000		
		x_1 각재비율	2.418	0.104	0.875	23.177	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.349	0.141	0.362	9.598	.000	1.000	1.000
	3	(상수)	-.120	0.014		-8.728	.000		
		x_1 각재비율	2.418	0.057	0.875	42.054	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.349	0.077	0.362	17.415	.000	1.000	1.000
		x_3 단열재물성	-2.708	0.210	-0.268	-12.886	.000	1.000	1.000
	5	(상수)	-0.093	0.014		-6.719	.000		
		x_1 각재비율	2.418	0.052	0.875	46.681	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.319	0.070	0.354	18.797	.000	.990	1.010
		x_3 단열재물성	-2.708	0.189	-0.268	-14.304	.000	1.000	1.000
		x_4 외부두께	-0.001	0.000	-0.066	-3.472	.001	.976	1.025
		x_5 내부두께	-0.001	0.000	-0.057	-3.001	.004	.976	1.025
2×8" (184mm)	1	(상수)	0.001	0.013		0.082	.935		
		x_1 각재비율	2.018	0.145	0.853	13.954	.000	1.000	1.000
	2	(상수)	-0.169	0.022		-7.746	.000		
		x_1 각재비율	2.018	0.103	0.853	19.683	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.182	0.138	0.371	8.558	.000	1.000	1.000
	3	(상수)	-0.119	0.019		-5.670	.000		
		x_1 각재비율	2.018	0.081	0.853	24.905	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.182	0.109	0.371	10.829	.000	1.000	1.000
		x_3 단열재물성	-1.970	0.296	-0.228	-6.653	.000	1.000	1.000
	5	(상수)	-0.128	0.022		-5.961	.000		
		x_1 각재비율	2.018	0.080	0.853	25.174	.000	1.000	1.000
		x_2 각재물성	1.202	0.109	0.377	11.080	.000	.990	1.010
		x_3 단열재물성	-1.970	0.293	-0.228	-6.725	.000	1.000	1.000
		x_4 외부두께	0.001	0.000	0.053	1.536	.129	.976	1.025
		x_5 내부두께	0.001	0.000	0.044	1.295	.200	.976	1.025

※ 4변 모형의 경우 5변 모형에 내용이 포함되어 있어 생략함.

[표 3.4.2-4] 목구조 선형열관류율 위계적 회귀 모형 요약

모형	독립변수	제거 변수	2×4"					2×6"					2×8"					회귀 모형 선정
			R	R ²	수정 R ²	R ² 변화	표준 오차	R	R ²	수정 R ²	R ² 변화	표준 오차	R	R ²	수정 R ²	R ² 변화	표준 오차	
x ₁	각재 비율	진입	0.863	0.745	0.742	0.745	0.620	0.875	0.766	0.763	0.766	0.404	0.853	0.727	0.724	0.727	0.373	○
x ₂	각재 물성	진입	0.942	0.887	0.884	0.142	0.416	0.947	0.897	0.894	0.131	0.269	0.930	0.865	0.861	0.138	0.264	○
x ₃	단열재 물성	진입	0.976	0.952	0.950	0.065	0.272	0.985	0.969	0.968	0.72	0.148	0.957	0.917	0.913	0.052	0.209	○
x ₄	외부마감 두께	진입	0.979	0.959	0.957	0.007	0.254	0.986	0.973	0.971	0.03	0.141	0.959	0.919	0.914	0.052	0.208	×
x ₅	내부마감 두께	진입	0.984	0.969	0.967	0.010	0.222	0.988	0.976	0.974	0.03	0.133	0.960	0.921	0.915	0.002	0.207	×
x ₆	외부마감 물성	제거	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×
x ₇	내부마감 물성	제거	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×

(2) 회귀식 도출

(가) 2x4" 구조(두께-89mm)

2×4" 구조재를 사용한 목구조의 선형열관류율 예측식은 식 (7)과 같으며, 결정계수(R²)는 0.952로 약 95.2%가 예측식에 의해 설명되는 것으로 나타났다. 분산분석 결과를 나타낸 표 9의 F비와 유의확률을 보면, F비가 472.02로 매우 크고, 유의확률은 0.0001보다 작아 통계적 유의수준 하에 있는 것으로 나타나 회귀모형이 적합한 것으로 판단된다.

$$\psi = 3.510 \cdot x_1 + 2.063 \cdot x_2 - 3.792 \cdot x_3 - 0.187 \quad (7)$$

[표 3.4.2-5] 2×4" 구조. 선형열관류율(Ψ)에 대한 분산 분석

모형		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
3	회귀모형	1.051	3	0.350	472.02	.0000
	잔차	0.053	71	0.001		
	합계	1.104	74			

(나) 2x6" 구조(두께-140mm)

2x6" 목구조의 선형열관류율 예측식은 식 (8)과 같으며, 결정계수(R²)는 0.969로 나타났다. F비를 포함한 유의도는 표 10과 같으며, 예측식의 F비는 745.96로 매우 크며, 유의확률이 0.0001보다 작아 회귀모형이 매우 유의한 것으로 나타났다.

$$\psi = 2.418 \cdot x_1 + 1.349 \cdot x_2 - 2.708 \cdot x_3 - 0.120 \quad (8)$$

[표 3.4.2-6]. 2x6" 구조의 선형열관류율(Ψ)에 대한 분산 분석

모형		제공합	자유도	평균제공	F	유의확률
3	회귀모형	0.494	3	0.165	745.96	.0000
	잔차	0.016	71	.000		
	합계	0.510	74			

(다) 2x8" 구조(두께-189mm)

2x8" 목구조의 선형열관류율 예측식은 식 (9)와 같으며, 분산분석은 아래의 표 8과 같다. 다른 규격의 결과와 유사하게 결정계수(R²)가 0.917이고, F비가 260.59로 유의확률 또한 0.0001보다 작아 2x8 목구조의 회귀모형 역시 적합한 것으로 분석되었다.

$$\psi = 2.018 \cdot x_1 + 1.182 \cdot x_2 - 1.970 \cdot x_3 - 0.119 \quad (9)$$

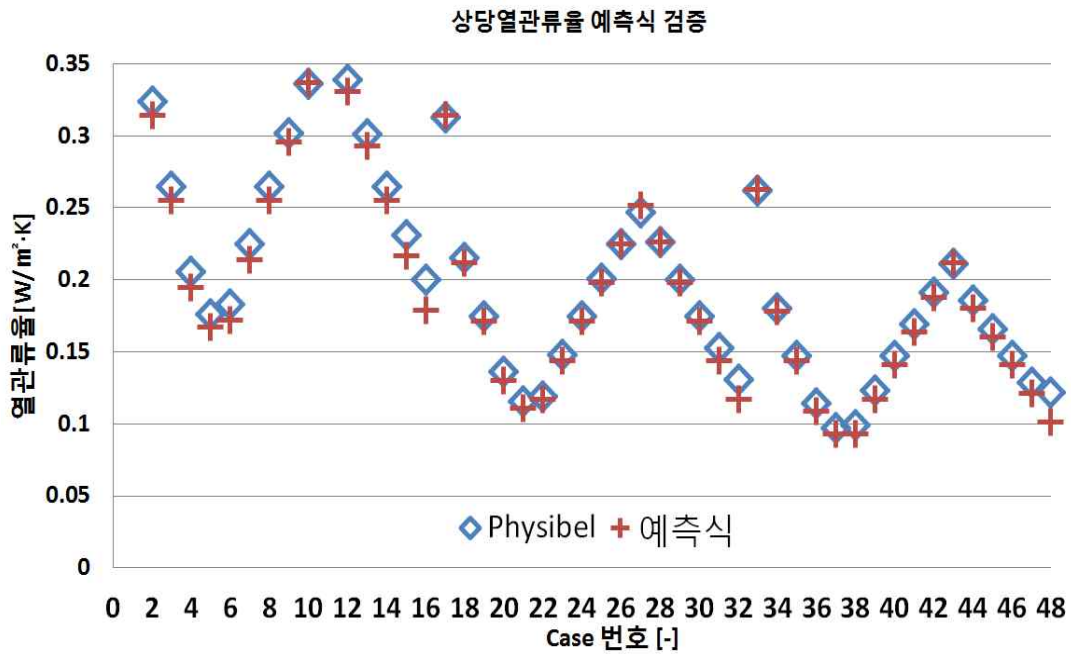
[표 3.4.2-7] 2x8" 구조의 선형열관류율(Ψ)에 대한 분산 분석

모형		제공합	자유도	평균제공	F	유의확률
3	회귀모형	0.343	3	0.114	260.59	.0000
	잔차	0.031	71	0.000		
	합계	0.374	74			

일반적으로 가장 많이 사용되는 2x4", 2x6", 2x8" 규격 구조재를 사용한 목구조에 대한 선형열관류율(Ψ) 예측식의 적합도를 결정계수(R²)와 F비로 분석한 결과, 모든 경우의 결정계수(R²)가 0.9 이상으로 설명력이 높고, 통계적 유의수준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

라. 회귀식 검증

도출한 선형열관류율(Ψ) 예측식의 정확도를 검증하기 위해 전열해석에 의한 결과와 예측식에 의한 결과의 비교를 수행하였다. 분석을 실시한 총 226 Case의 평균 오차율은 4.2%, 최대 오차율은 16.9%로 계산되었다. 각재와 단열재의 물성 차이가 작은 일부 Case(총 14 Case, 약 6.19%)에서 오차가 10% 이상으로 다소 커졌으나, 최대 오차가 16.9%로 크지 않고, 대부분 공학적 오차율인 10% 이내로 나타나 신뢰도적인 측면에서 타당한 것으로 판단된다. [표 3.4.2-8]과 <그림 3.4.2-2>는 각재비율, 각재물성, 단열재물성을 변화시킨 대표적인 Case의 계산 결과를 비교한 것이다.



<그림 3.4.2-2> 대표적인 Case의 상당열관류율 값 비교

예측 회귀식을 통해 계산된 선형열관류율을 식 (4)에 대입하면 목구조 벽체의 열교를 포함한 열관류율인 상당열관류율(U_{eq})의 계산이 가능하다. 예측식을 이용해 계산한 상당열관류율과 전열해석을 통해 계산된 상당열관류율을 비교한 결과, 분석을 실시한 총 226 Case의 평균 오차율은 1.7%, 최대 오차율은 4.6%로 매우 낮게 나타났다. [표 3.4.2-9]는 각재비율, 각재물성, 단열재물성을 변화시킨 대표적인 Case의 상당열관류율 계산 결과를 나타낸 것이다.

[표 3.4.2-8] 선형열관류율(Ψ)의 전열해석 결과와 예측식 결과 비교

모형	각재비율(%)	각재물성	단열재 물성	전열해석(Ψ)	예측식(Ψ)	오차율(%)	
2 × 4"	1	0.135	0.14	0.03	0.473	0.462	2.3%
	2	0.093	0.14	0.03	0.324	0.314	2.9%
	3	0.076	0.14	0.03	0.265	0.255	3.8%
	4	0.059	0.14	0.03	0.206	0.195	5.3%
	5	0.051	0.14	0.03	0.176	0.167	5.1%
	6	0.076	0.10	0.03	0.183	0.172	5.8%
	7	0.076	0.12	0.03	0.225	0.214	5.1%
	8	0.076	0.14	0.03	0.265	0.255	3.8%
	9	0.076	0.16	0.03	0.302	0.296	2.0%
	10	0.076	0.18	0.03	0.336	0.337	0.4%
	11	0.076	0.20	0.03	0.368	0.379	2.9%
	12	0.076	0.14	0.01	0.339	0.331	2.5%
	13	0.076	0.14	0.02	0.301	0.293	2.7%
	14	0.076	0.14	0.03	0.265	0.255	3.8%
	15	0.076	0.14	0.04	0.231	0.217	6.1%
	16	0.076	0.14	0.05	0.2	0.179	10.5%
2 × 6"	17	0.135	0.14	0.03	0.313	0.314	0.3%
	18	0.093	0.14	0.03	0.215	0.212	1.2%
	19	0.076	0.14	0.03	0.175	0.171	2.1%
	20	0.059	0.14	0.03	0.136	0.130	4.2%
	21	0.051	0.14	0.03	0.116	0.111	4.4%
	22	0.076	0.10	0.03	0.119	0.117	1.3%
	23	0.076	0.12	0.03	0.148	0.144	2.4%
	24	0.076	0.14	0.03	0.175	0.171	2.1%
	25	0.076	0.16	0.03	0.201	0.198	1.3%
	26	0.076	0.18	0.03	0.225	0.225	0.2%
	27	0.076	0.20	0.03	0.247	0.252	2.2%
	28	0.076	0.14	0.01	0.226	0.226	0.2%
	29	0.076	0.14	0.02	0.2	0.198	0.8%
	30	0.076	0.14	0.03	0.175	0.171	2.1%
	31	0.076	0.14	0.04	0.153	0.144	5.7%
	32	0.076	0.14	0.05	0.131	0.117	10.5%
2 × 8"	33	0.135	0.14	0.03	0.262	0.263	0.2%
	34	0.093	0.14	0.03	0.18	0.178	1.2%
	35	0.076	0.14	0.03	0.147	0.144	2.3%
	36	0.059	0.14	0.03	0.114	0.109	4.2%
	37	0.051	0.14	0.03	0.097	0.093	4.0%
	38	0.076	0.10	0.03	0.099	0.093	5.6%
	39	0.076	0.12	0.03	0.123	0.117	4.8%
	40	0.076	0.14	0.03	0.147	0.141	4.3%
	41	0.076	0.16	0.03	0.169	0.164	2.7%
	42	0.076	0.18	0.03	0.191	0.188	1.6%
	43	0.076	0.20	0.03	0.211	0.212	0.3%
	44	0.076	0.14	0.01	0.186	0.180	3.1%
	45	0.076	0.14	0.02	0.166	0.160	3.3%
	46	0.076	0.14	0.03	0.147	0.141	4.3%
	47	0.076	0.14	0.04	0.129	0.121	6.2%
	48	0.076	0.14	0.05	0.122	0.101	16.9%

단위 : 물성(W/m·K), Ψ (W/m²·K), Ueq(W/m²·K)

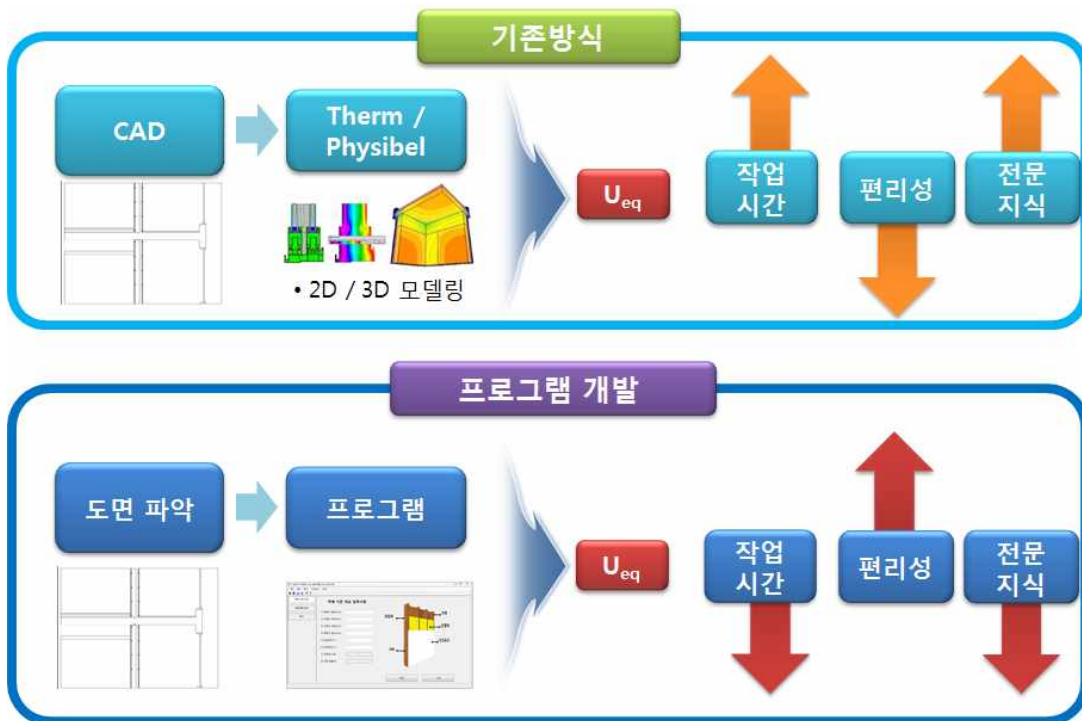
[표 3.4.2-9] 상당열관류율(Ueq)의 전열해석 결과와 예측식 결과 비교

모형	각재비율(%)	각재물성	단열재 물성	전열해석(Ueq)	예측식(Ueq)	오차율(%)	
2 × 4"	1	0.135	0.14	0.03	0.406	0.404	0.58%
	2	0.093	0.14	0.03	0.373	0.371	0.57%
	3	0.076	0.14	0.03	0.36	0.358	0.66%
	4	0.059	0.14	0.03	0.347	0.344	0.76%
	5	0.051	0.14	0.03	0.34	0.338	0.55%
	6	0.076	0.10	0.03	0.342	0.339	0.80%
	7	0.076	0.12	0.03	0.351	0.348	0.73%
	8	0.076	0.14	0.03	0.36	0.358	0.66%
	9	0.076	0.16	0.03	0.368	0.367	0.33%
	10	0.076	0.18	0.03	0.376	0.376	0.01%
	11	0.076	0.20	0.03	0.383	0.385	0.55%
	12	0.076	0.14	0.01	0.183	0.181	0.84%
	13	0.076	0.14	0.02	0.275	0.273	0.71%
	14	0.076	0.14	0.03	0.36	0.358	0.66%
	15	0.076	0.14	0.04	0.439	0.436	0.64%
	16	0.076	0.14	0.05	0.513	0.509	0.83%
2 × 6"	17	0.135	0.14	0.03	0.261	0.262	0.30%
	18	0.093	0.14	0.03	0.239	0.239	0.09%
	19	0.076	0.14	0.03	0.231	0.230	0.40%
	20	0.059	0.14	0.03	0.222	0.221	0.47%
	21	0.051	0.14	0.03	0.217	0.217	0.16%
	22	0.076	0.10	0.03	0.218	0.218	0.04%
	23	0.076	0.12	0.03	0.225	0.224	0.41%
	24	0.076	0.14	0.03	0.231	0.230	0.40%
	25	0.076	0.16	0.03	0.236	0.236	0.03%
	26	0.076	0.18	0.03	0.242	0.242	0.03%
	27	0.076	0.20	0.03	0.247	0.248	0.43%
	28	0.076	0.14	0.01	0.119	0.119	0.10%
	29	0.076	0.14	0.02	0.177	0.176	0.51%
	30	0.076	0.14	0.03	0.231	0.230	0.40%
	31	0.076	0.14	0.04	0.281	0.279	0.69%
	32	0.076	0.14	0.05	0.327	0.324	0.91%
2 × 8"	33	0.135	0.14	0.03	0.208	0.208	0.17%
	34	0.093	0.14	0.03	0.19	0.190	0.25%
	35	0.076	0.14	0.03	0.182	0.182	0.06%
	36	0.059	0.14	0.03	0.175	0.174	0.42%
	37	0.051	0.14	0.03	0.171	0.171	0.18%
	38	0.076	0.10	0.03	0.171	0.171	0.13%
	39	0.076	0.12	0.03	0.177	0.176	0.55%
	40	0.076	0.14	0.03	0.182	0.181	0.40%
	41	0.076	0.16	0.03	0.187	0.187	0.25%
	42	0.076	0.18	0.03	0.192	0.192	0.11%
	43	0.076	0.20	0.03	0.196	0.197	0.53%
	44	0.076	0.14	0.01	0.094	0.093	1.04%
	45	0.076	0.14	0.02	0.139	0.139	0.25%
	46	0.076	0.14	0.03	0.182	0.181	0.40%
	47	0.076	0.14	0.04	0.223	0.221	0.95%
	48	0.076	0.14	0.05	0.261	0.259	0.96%

단위 : 물성(W/m·K), Ψ (W/m·K), Ueq(W/m²·K)

3.4.3. 목구조 열관류율 계산 프로그램 개발

앞서 도출한 회귀식과 목재 열전도율 데이터베이스를 이용해 이질체가 혼합된 벽체의 상당열관류율을 계산해 주는 프로그램을 MicroSoft Visual Studio 2013의 C#을 이용해 개발하였다. 본 계산 프로그램은 목구조와 같은 건물에서 구현되는 벽체 방식 즉 이질체가 혼합체 벽체의 열교를 포함한 열관류율인 상당열관류율을 계산하여 벽체의 열성능 기준 만족 여부를 보다 정확하게 평가하기 위해 개발하였다. 본 프로그램은 복잡한 2D/3D 모델링 및 전열 해석 없이 간단한 대수식 기반으로 쉽고 빠르게 목구조의 열관류율을 계산할 수 있으며, 실측한 목재 열전도율 DB를 활용함으로써 결과의 정확성을 향상시켰다.

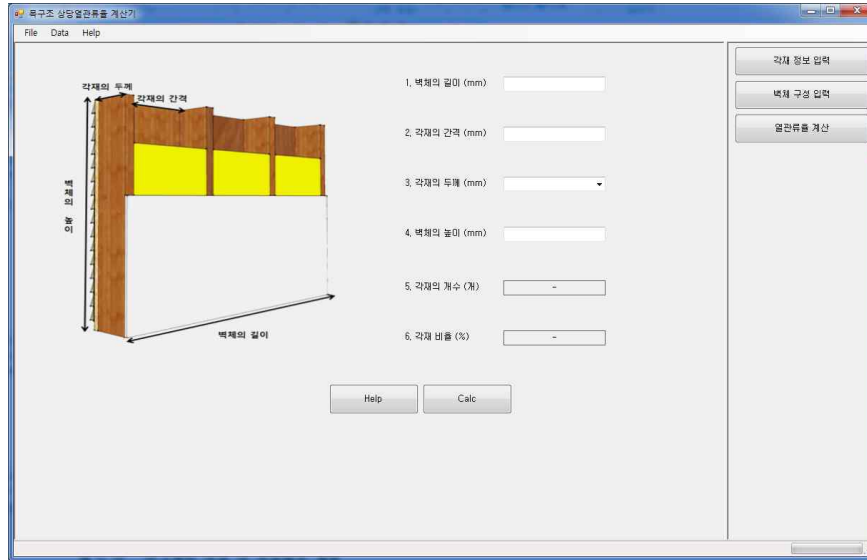


<그림 3.4.3-1> 프로그램의 개발 목적

본 프로그램의 평가프로세스는 정보입력프로세스와 분석프로세스로 구성된다. 정보입력프로세스는 상당열관류율 계산에 필요한 데이터를 수집하고 이를 입력하는 과정을 의미하며, 벽체 길이 및 높이, 각재 간격 등을 이용해 각재 비율을 계산하는 각재정보입력부와 실내외 온도, 벽체 구성, 재료의 열전도율 및 두께 등을 입력하는 벽체 구성 입력부로 구성된다. 분석프로세스는 앞서 입력된 정보를 통해 상당열관류율 계산을 수행하고 온도구배와 현재 기준(에너지 절약설계기준 2013)에 만족 여부를 평가해주며, 계산 결과를 그래프로 가시화하고 출력해주는 열관류율 계산부로 구성된다.

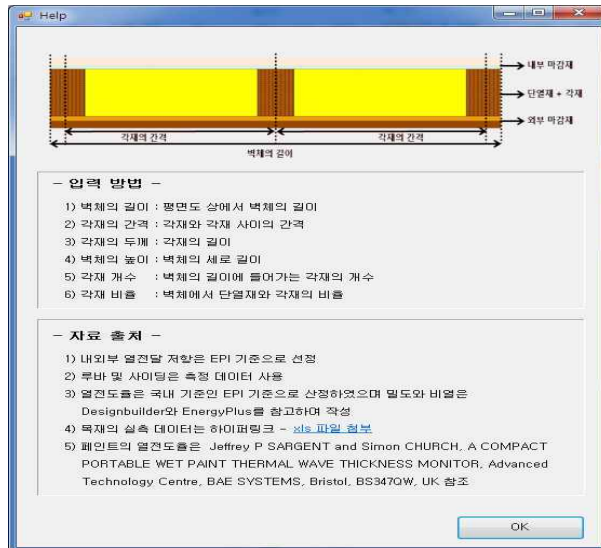
(1) 각재 정보 입력부

본 프로그램의 첫 화면은 각재 정보 입력부로서 벽체의 길이, 각재의 간격, 각재의 두께, 벽체의 높이를 입력하여 각재 개수와 비율을 계산할 수 있다. 다음 <그림 3.4.3-2>는 각재 정보 입력부의 화면 구성을 보여준다.



<그림 3.4.3-2> 개발 프로그램의 각재 정보 입력부 화면

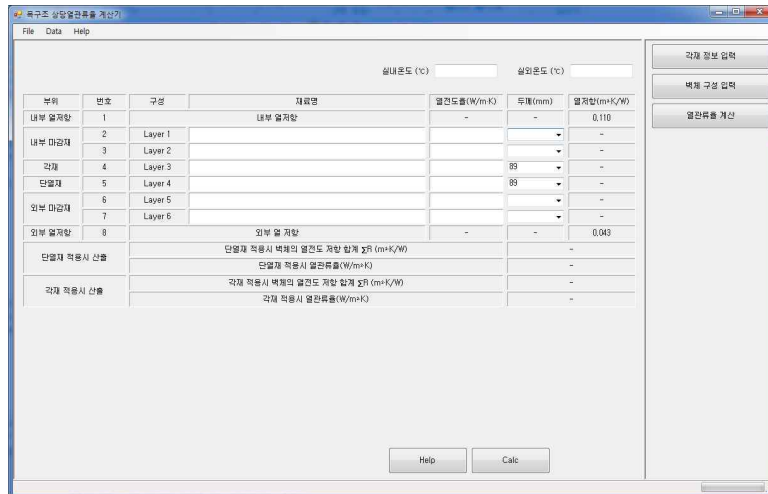
또한 사용자 편의성을 위해 프로그램 이용 시 입력 부위 명칭과 입력 방법을 제시해주는 도움말(Help) 화면을 별도로 구성하여 제공한다. 다음 <그림 3.4.3-3>은 도움말 화면의 모습이다.



<그림 3.4.3-3> 개발 프로그램의 도움말 화면

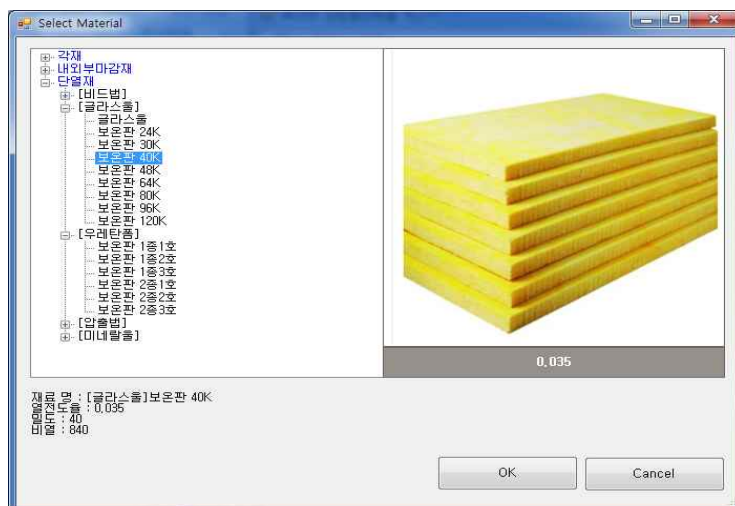
(2) 벽체 구성 입력부

벽체 구성 입력부에서는 실내외 온도와 실내·외 마감재 및 각재, 단열재의 열전도율 및 두께를 입력하고 단일 벽체로 계산시 열저항과 열관류율을 계산해준다. 구성 재료의 물성과 두께는 목재 실측 데이터를 포함한 재료 데이터베이스에서 삽입할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3.4.3-4> 개발 프로그램의 벽체 구성 입력부 화면

벽체 구성 재료의 열전도율과 두께를 저장하고 관리하는 재료 데이터베이스의 경우, 내부마감재, 외부마감재, 목재, 단열재 등으로 구분하여 데이터베이스를 구축하였다. 목재의 경우 다양한 제품(수종)에 대한 실측 결과를 포함하고 있으며, 단열재의 경우 에너지절약설계기준에 고시된 값들을 적용하였다. 기타 재료는 다양한 국내외 기준들을 참조하여 물성을 입력하였으며, 내부 마감재는 벽지, 루바, 석고보드, OSB 등으로, 외부마감재는 페인트, 사이딩, 석고보드, OSB로 분류되어 있다.



<그림 3.4.3-5> 개발 프로그램의 재료 데이터베이스 화면

(3) 열관류율 계산부

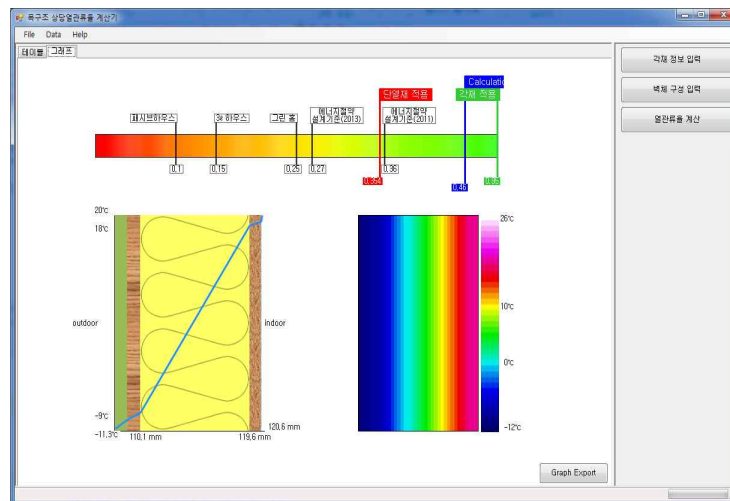
열관류율 계산부는 정보 입력부에서 입력한 값과 예측 회귀식을 이용해 이질재가 혼합된 목구조 벽체의 선형열관류율(Psi), 상당열관류율(Ueq) 및 총전열량(Q)을 계산한다. 테이블

탭에서는 계산 결과를 수치 형식으로 제공하며, csv 형식의 파일로 내보내기(Export)가 가능하다.

구성요소	재료	열전도율(W/m·K)	열저항(m ² ·K/W)
내부 열차양	-	-	0.110
내부 마감재	Layer 1	[벽지]벽지	0.006
	Layer 2	[석고보드]석고보드	0.053
각재	Layer 3	[각재]벽체(경량)	0.14
	Layer 4	[플라스쿨]보온단 24K	0.037
단열재	Layer 5	[OSB]OSB	0.13
	Layer 6	[무늬,사이딩]가운뎃나뭇	0.083
외부 마감재	-	-	0.043
단열재 적용시 산출	단열재 적용시 벽체의 열전도 저항 합계 값 (m ² ·K/W)		2.022
	단열재 적용시 열관류율(W/m ² ·K)		0.354
각재 적용시 산출	각재 적용시 벽체의 열전도 저항 합계 값 (m ² ·K/W)		1.053
	각재 적용시 열관류율(W/m ² ·K)		0.95
상당 열관류율 산출	상당 열관류율 계산시 벽체의 열전도 저항 합계 값 (m ² ·K/W)		2.176
	상당열관류율 계산시 열관류율(W/m ² ·K)		0.459
선반 열관류율(W/m ² ·K)	PSI		0.316
벽체의 총 열관류율(W)	Q		129.594

<그림 3.4.3-6> 열관류율 계산부 - 테이블 탭 화면

다음 <그림 3.4.3-7>은 열관류율 계산부의 그래프 탭 화면이다. 그래프 탭은 계산된 결과를 그래프로 가시화하여 제공하며, jpg 형식의 파일로 내보내기(Export)가 가능하다. 상단에는 해당 벽체와 에너지절약설계기준(2011, 2013), 그린홈, 3L 하우스, 패시브하우스 등의 국내외 기준과 비교가 가능한 스케일바가 있으며, 하단에는 벽체 구성과 온도구배를 개략적으로 보여주는 그래프가 배치되어 있다.



<그림 3.4.3-7> 열관류율 계산부 - 그래프 탭 화면

3.4.4. 소 결

본 절에서는 목구조 건물의 에너지 성능 평가 시 정확도를 높이기 위해 열교를 포함한 벽체의 상당열관류율(U_{eq})을 복잡한 전열해석 과정 없이 손쉽게 계산할 수 있는 예측식을 통계적 방법을 이용해 도출하였고, 그 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 목구조에 주로 사용되는 2×4", 2×6", 2×8" 각재 규격을 대상으로 독립변수를 단계적으로 추가해 영향력을 비교하는 위계적 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 독립변수로 각재비율(x_1), 각재열전도율(x_2), 단열재열전도율(x_3)을 이용한 다중회귀모형이 선정되었으며, 도출된 선형열관류율(Ψ) 예측식은 다음과 같다.

$$2 \times 4 \text{ " } : \psi = 3.510 \cdot x_1 + 2.063 \cdot x_2 - 3.792 \cdot x_3 - 0.187$$

$$2 \times 6 \text{ " } : \psi = 2.418 \cdot x_1 + 1.349 \cdot x_2 - 2.708 \cdot x_3 - 0.120$$

$$2 \times 8 \text{ " } : \psi = 2.018 \cdot x_1 + 1.182 \cdot x_2 - 1.970 \cdot x_3 - 0.119$$

- 2) 예측식의 적합도를 결정계수(R^2)와 분산분석(F비)을 통해 분석한 결과, 모든 예측식의 결정계수가 0.9 이상이고, 분산분석의 유의수준 역시 $p < 0.0001$ 로 나타나 예측식이 매우 유의한 것으로 분석되었다.
- 3) 예측 회귀식의 정확성을 검증하기 위해 예측식을 이용해 계산한 선형열관류율(Ψ) 및 상당열관류율(U_{eq}) 값을 전열해석을 통해 계산된 값과 비교하였다. 총 226 Case를 비교한 결과, 선형열관류율의 경우에는 평균 오차 4.2%, 최대 오차 16.9%로 계산되었으며, 상당열관류율(U_{eq})의 경우에는 평균 오차 1.7%, 최대 오차 4.6%로 나타나 공학적으로 신뢰성(<10% 수준)이 있는 것으로 판단된다.
- 4) 앞서 도출한 회귀식과 목재 열전도율 데이터베이스를 이용해 이질재가 혼합된 벽체의 상당열관류율 계산 프로그램을 Microsoft Visual Studio 2013의 C#을 이용해 개발하였다. 해당 프로그램은 복잡한 2D/3D 모델링 및 전열 해석 없이 쉽고 빠르게 목구조의 열관류율을 계산할 수 있으며, 실측한 목재 열전도율 DB를 활용함으로써 결과의 정확성을 향상시켰다.

이상의 연구를 통해 이질재료가 혼합된 목구조의 열관류율을 예측할 수 있는 회귀식을 제시하였으며, 그 정확성 및 활용성을 검증하였고, 위의 식을 바탕으로 프로그램을 개발하여 전열 해석 없이도 목구조 벽체의 열관류율을 산출할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램을 이용한 목구조 벽체의 정확한 열성능 산정을 통해 목구조 설계의 기술력 향상과 에너지 절감에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 5 목질기반 고단열 실내마감재 Proto-type 제작 및 성능 분석

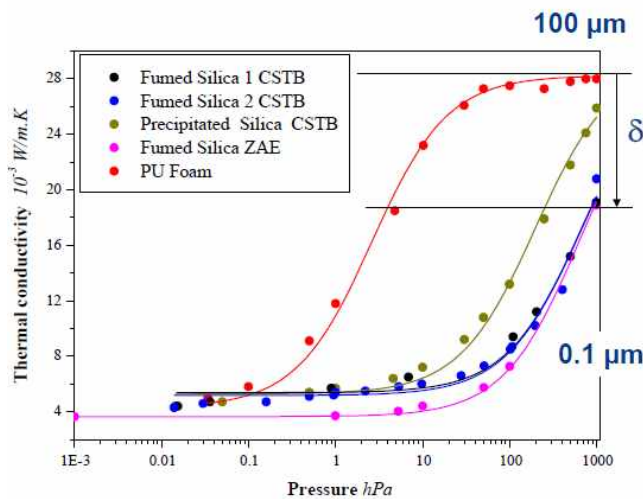
3.5.1 목질기반 고단열 실내마감재 Proto-type 제작

가. 실내마감재 제작을 위한 단열 성능 향상 물질

단열성능을 향상시키기 위한 물질은 여러 가지가 있으며 일반적으로 재료의 내부에 공기를 많이 포함할수록 단열성능이 높아지게 된다. 하지만 목재의 경우 기본적으로 가지고 있는 단열 성능이 낮아 적용할 수 있는 물질에 한계가 있으며 또한, 가공 목재에 적용하기 가장 쉬운 방법인 접착제와 혼합하는 방법을 적용하기 위해서는 접착제에서의 부피가 매우 작고, 분산성이 좋아야 하며 가격이 싸야 한다. 따라서 본 연구에서는 실리카계 물질인 Fumed silica를 단열 성능 향상을 위하여 사용하였다. Fumed Silica는 OCI 제품인 Konasil K-300을 사용하였으며 기본적인 재료의 물성은 [표 3.5.1-1]과 같으며 열전도율은 <그림 3.5.1-1>과 같다. 대기압 하에서 0.004W/mK의 열전도율을 나타내고 있으며 이는 목재의 열전도율 향상을 위해 매우 적합하다고 생각된다.

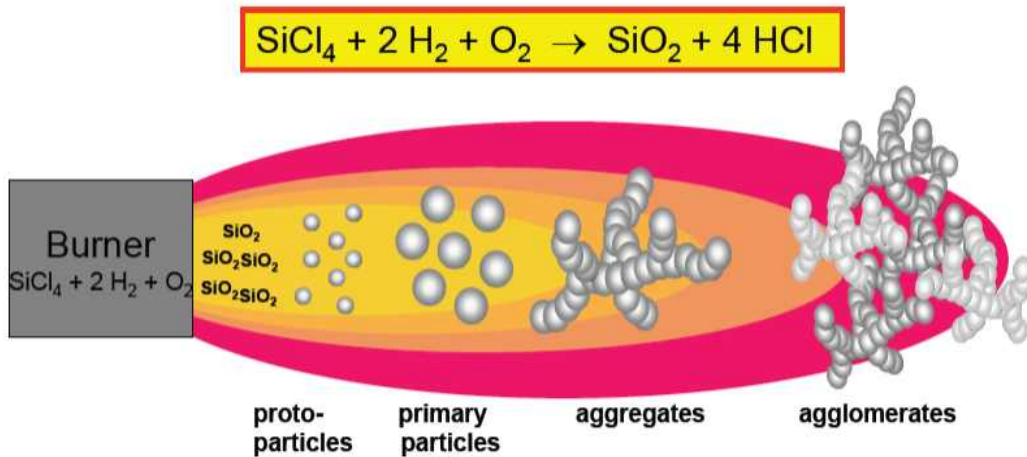
[표 3.5.1-1] Fumed silica의 물성

Specific Surface Area	pH	Tap Density	SiO2-content
300±30 m ² /g	3.7~4.7	50~100 g/l	≥99.8



출처: CSTB

<그림 3.5.1-1> Fumed silica의 열전도율



출처: WACKER

Ceramic

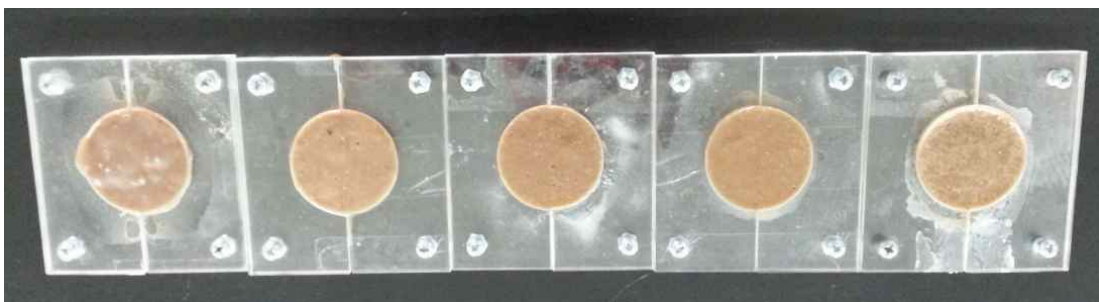
<그림 3.5.1-2> Fumed silica의 제조 방법

나. Fumed silica를 혼합한 합판의 제조

목재의 열전도율을 낮추기 위하여 본 연구에서는 합판 제조용 접착제에 Fumed silica를 혼합하여 합판을 제조하였다. 합판을 제조하기 위하여 사용된 veneer는 갑을판으로 동남아산의 MLH를 이용하였으며, 병판과 증판에는 네덜란드에서 수입된 북양재를 사용하였다.

(1) 합판의 제조

veneer의 접착을 위하여 melamine-formaldehyde 접착제를 주제로 이용하였으며 주제에 경화제 첨가제(소맥분), 증량제(규조토)를 투입하여 접착제를 제조하였다. 각각의 접착제에 아래 [표 3.5.1-2]와 같이 질량비에 따라 fumed silica를 투입하였으며 지나친 점도 상승을 막기 위하여 투입된 fumed silica의 양에 따라 첨가제의 양을 조절하였다.



<그림 3.5.1-3> 제조된 접착제 사진

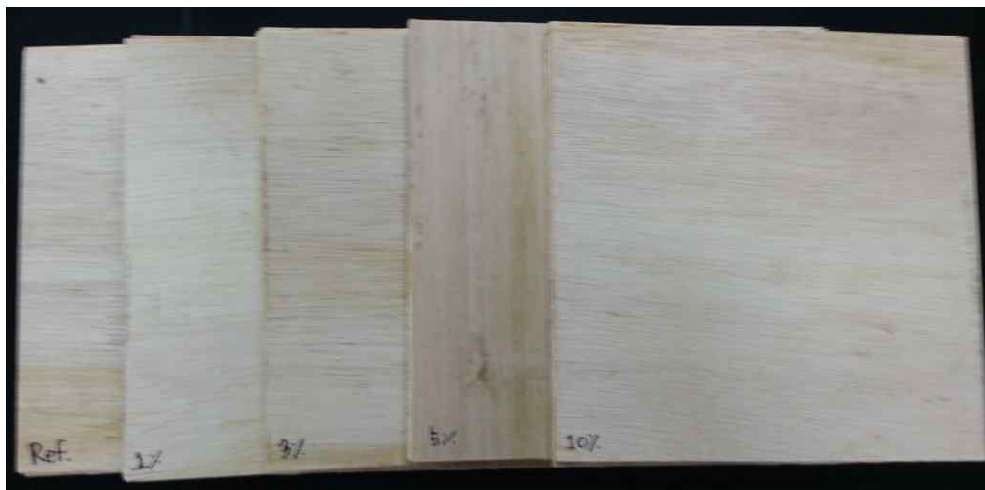
[표 3.5.1-2] 단열성능 강화를 위한 접착제 배합비

배합비	대조군	1%	3%	5%	10%
주제	100g	100g	100g	100g	100g
경화제	0.1g	0.1g	0.1g	0.1g	0.1g
첨가제(소맥분)	10g	9g	7g	5g	0g
증량제(규조토)	5g	5g	5g	5g	5g
Fumed silica	0g	1g	3g	5g	10g

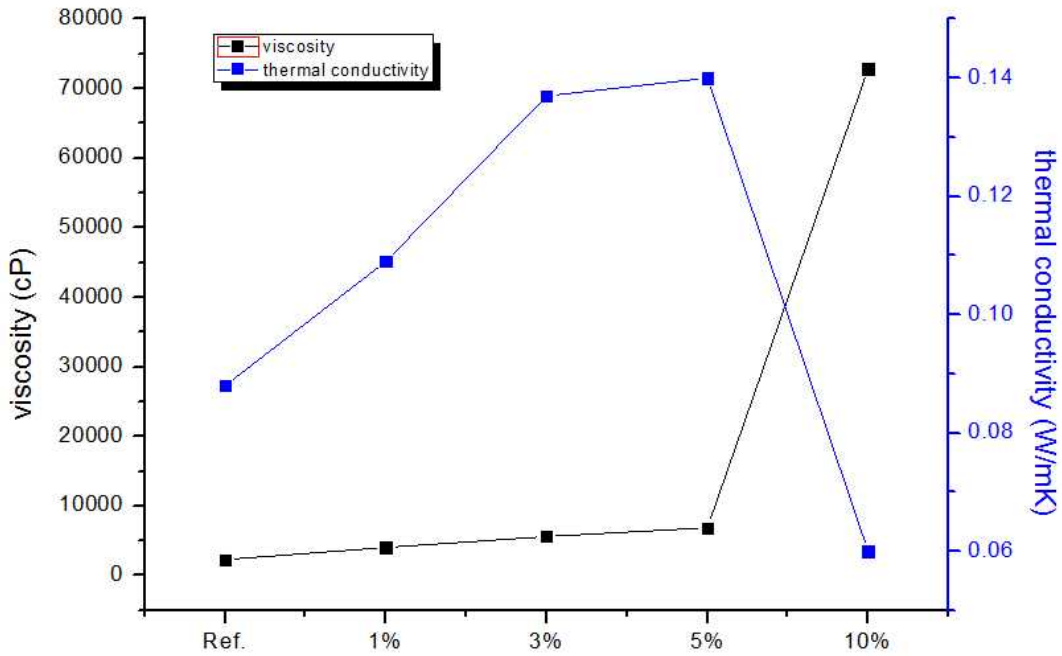
도포량은 18g/layer, 냉압시간은 30분, 열압시간은 10kgf/6분, 열압온도는 115℃로 합판을 제작하였다.

(2) 제조된 가공목의 성능 분석 및 고찰

실험결과 제조된 합판을 [그림 6-4]에 나타내었다.



<그림 3.5.1-4> 제조된 합판 사진



<그림 3.5.1-5> 제조된 합판의 열전도율 및 점도 그래프

[표 3.5.1-3] 제조된 합판의 열전도율 및 점도

질량비	대조군	1%	3%	5%	10%
점도(cP)	2288	4048	5616	6864	72800
열전도율 (W/mK)	0.088	0.109	0.137	0.14	0.06
감소율(%)		-23.9	-55.6	-59.1	31.8

실험결과는 <그림 3.5.1-5>와 [표 3.5.1-3]과 같다. 제조된 합판의 점도는 5%까지 크게 변함이 없었으나 10%에서는 제조가 힘들 정도의 점도 상승을 보였다. 하지만 바름성의 경우 1~5%까지는 점도가 상승함에도 오히려 시공이 용이한 결과를 보였으며 이는 fumed silica가 접착제와 베니어의 사이에서 윤활제 역할을 한 것으로 생각된다. 하지만 10%에서는 매우 높은 점도로 인하여 접착제의 도포가 쉽지 않았다.

열전도율 결과는 예상과 달리 1~5%까지는 선형으로 상승하는 결과를 보였으며 10%를 투입한 결과 열전도율이 기존 보다 떨어지는 값을 나타내었다. 이는 fumed silica가 다공을 통해 접착제를 흡수하여 접착제의 밀도가 상승된 결과 열전도율이 상승한 것으로 생각되며 10%에서는 접착제에 비해 다량의 fumed silica가 투입되어 비교적 많은 공극이 존재하여 fumed silica의 성능이 나타나 열전도율이 낮아진 것으로 생각된다.

(3) 제조된 가공목의 가격 경쟁력 분석

본 실험에 사용된 fumed silica는 10kg/bag에 121,000원에 구매할 수 있으며 일반적인 합판의 사이즈에 fumed silica를 적용한다고 보았을 때 206g에 2503원이 들며, 합판은 12mm × 1220mm × 2440 mm 사이즈의 가격이 27,000이다. 따라서 단일 성능이 30% 향상된 합판의 가격 상승폭이 10% 미만으로 기존 제품대비 가격 경쟁력을 가지고 있다.

다. Fumed silica를 혼합한 파티클 보드의 제조

파티클 보드는 건축물의 실내에 많이 적용되고 있으며 특히 가구, 붙박이장, 벽면 마감 등 다양한 곳에 사용되고 있다. 본 연구에서는 파티클 보드에 fumed silica를 혼합하여 파티클 보드의 열전도율을 낮추고자 하였다.

(1) Fumed silica를 이용한 파티클보드의 제조

fumed silica를 이용한 합판의 제조와 달리 접착제와 fumed silica를 섞게 되면 접착제가 파티클과 잘 섞이지 않으므로 접착제와 파티클을 혼합한 후 fumed silica를 투입하여 보드를 제조하였다.

실험에 사용된 접착제와 파티클은 D사에서 수급한 재료를 이용하였으며 고형분 함량이 65%인 수지를 이용하였으며 core와 surface의 함지율은 8.50, 11.90%으로 하였다. 열압은 170℃ 조건에서 34kg/cm²의 압력으로 150초 동안 가압하였다.

[표 3.5.1-4] 파티클 보드의 제조방법

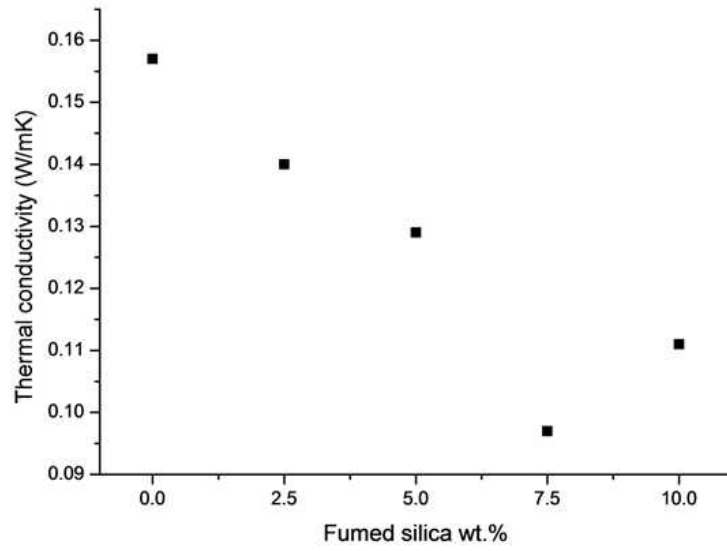
종 류	고형분	비 중	CORE			SURFACE		
			ℓ	LIQUID (kg)	SOLID (kg)	ℓ	LIQUID (kg)	SOLID (kg)
농축수지	65%	1.275	70	89.25	58.0125	70	89.25	58.0125
W/E	40%	0.96	5	4.8	1.92	4	3.84	1.536
H2O	-	-	5	5		15	15	
경화제 (NH4Cl)	20%	1.06	9	9.54	1.908	-	-	-
계			89	108.59	61.8405	89	108.09	59.5485
혼 합 비 중			1.2201			1.2145		
배합농도(고형분)			56.949			55.092		
함 지 율			8.50%			11.90%		
CHIP함수율			2%					
BOARD함수율			8%					



<그림 3.5.1-6> 제조된 fumed silica 혼합 파티클보드

(2) 실험결과

파티클 무게대비 1~10%의 fumed silica를 혼합하여 제조하였으며, 실험결과 7% 이상의 fumed silica를 혼입할 경우 fumed silica의 양이 많아 보드의 강도가 약해져 <그림 3.5.1-6>과 같이 끝 부분이 부서지며 파티클 보드가 정상적으로 제조되지 않았다. 열전도율은 fumed silica의 투입량이 증가할수록 낮아지는 결과를 보였으며 7.5%에서 0.097 W/mK의 가장 낮은 값을 보이고 있으며 전체적으로 투입량이 증가할수록 열전도율 선형적으로 낮아지는 결과를 보였다. 7.5%에서 가장 낮은 값을 보인 이유는 fumed silica의 지나친 혼합으로 인하여 7.5%와 10%를 혼합한 파티클보드의 fumed silica 혼합이 제대로 되지 않아 뭉쳐있는 fumed silica로 인한 것으로 예상된다.



<그림 3.5.1-7> 제조된 파티클보드의 열전도율

[표 3.5.1-5] 제조된 파티클보드의 열전도율

Fumed silica 투입량 (fiber 질량대비)	대조군	2.5%	5.0%	7.5%	10%
열전도율(W/mK)	0.157	0.140	0.129	0.097	0.111

3.5.2 목질기반 고단열 실내마감재의 실내적용시 에너지절감량 분석

가. 시뮬레이션 개요

목질기반 고단열 실내마감재의 실내 적용시 에너지 절감 효과의 비교를 위해 목재 마감재의 사용이 많은 주거용 건물(단독주택)을 대상으로 건물 에너지 동적 해석 시뮬레이션을 수행해, 마감재의 종류에 따른 냉·난방 및 총에너지 요구량을 분석하였다. 시뮬레이션 도구는 미국 에너지부(Department of Energy)가 BLAST와 DOE-2의 장점을 결합해 만든 동적 에너지 해석 엔진인 EnergyPlus를 이용하였다. EnergyPlus는 다양한 건물 및 HVAC 시스템 구성요소(Object)에 대한 입력항목(Field)을 가지고 있으며, 특히 건물, 공조시스템, 열원기기 사이의 피드백을 통해 통합된 동시계산을 수행하며, ASHRAE Standard 140-2007 표준에 따라 상용 프로그램 간의 비교를 통해 검증된 프로그램이다.

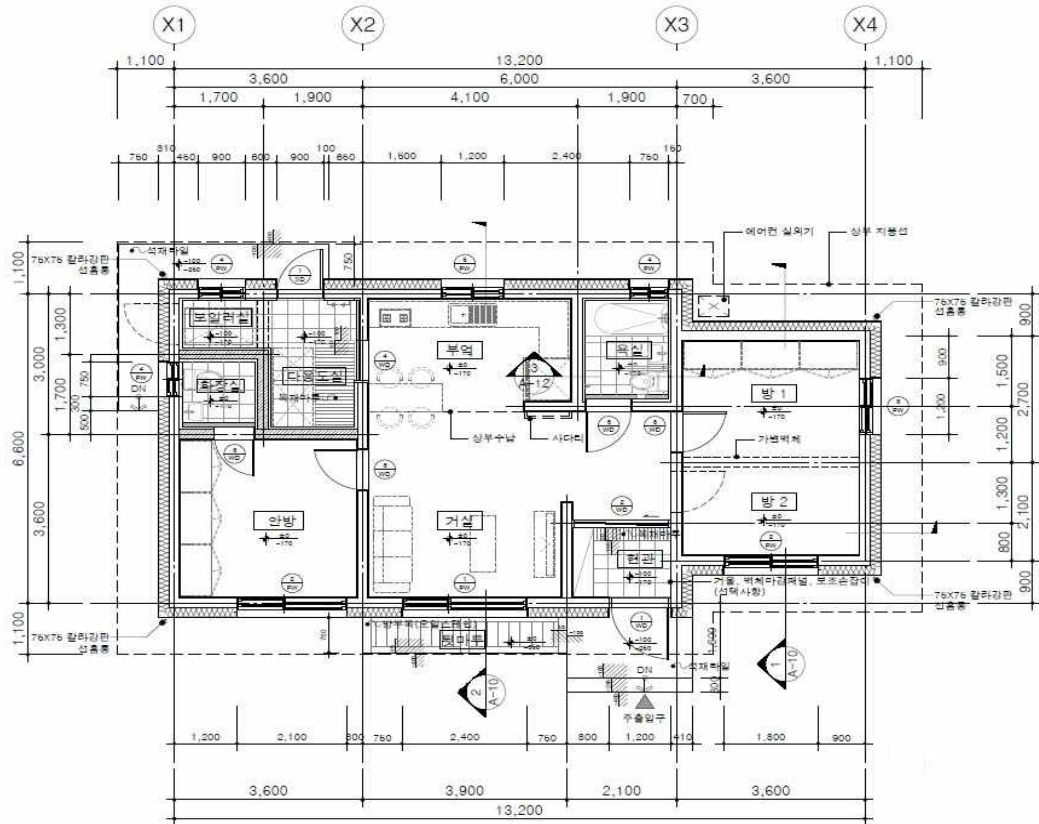
(1) 해석 모델

현재 국내의 경우 건물 에너지 시뮬레이션을 위한 표준 건물에 대한 기준이 없어, 국내 주거문화의 변화를 반영해 다양한 단독주택의 설계도를 지속적으로 갱신하고있는 농어촌주택 표준설계도서의 유형 중 하나를 선정하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 해석 대상 모델은 한국농어촌공사에서 제시한 2012년 농·어촌주택 표준설계도면 중 ‘농림-12-26-가’ 유형을 이용하였으며,³⁸⁾ 총 10개의 실로 구성된 84.64㎡(25평형)인 단층 주택으로 실 구성 및 면적은 [표 3.5.2-1]과 같다. <그림 3.5.2-1, 2, 3>은 목질 재료 적용에 따른 건물 에너지 요구량 분석을 위한 해석 대상 모델의 조감도, 평면도, 단면도이다.

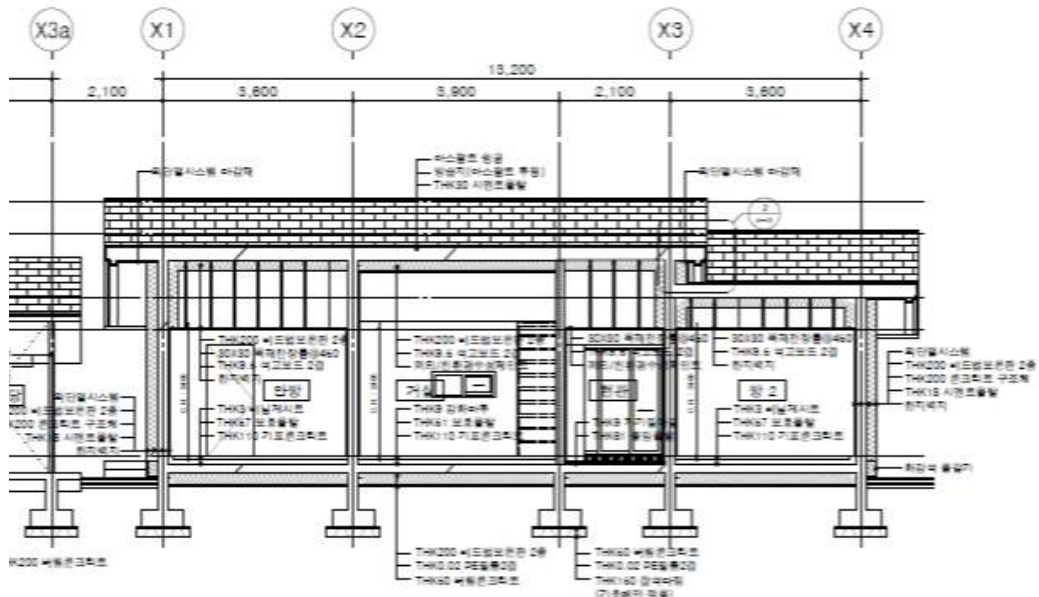


<그림 3.5.2-1> 해석 모델 조감도1)

38) 한국농어촌공사, 농어촌주택 표준설계도면, 2012



<그림 3.5.2-2> 해석 모델 평면도1)



<그림 3.5.2-3> 해석 모델 단면도1)

[표 3.5.2-1] 해석 대상 건물 개요

구분	면적	층고	천장고	난방여부
안방	13.69	4.8	2.4	난방
거실	20.04	4.8	Var.	난방
침실 1	9.36	4.2	2.4	난방
침실 2	8.64	4.2	2.4	난방
부엌	12.58	4.8	2.4	난방
화장실	2.89	4.8	2.4	난방
욕실	4.90	4.8	2.4	난방
현관	3.96	4.8	2.4	비난방
보일러실	2.54	4.8	2.4	비난방
다용도실	6.04	4.8	2.4	비난방
합계	84.64			난방 7, 비난방 3

[표 3.5.2-2] 벽체 구성 및 물성값(Case 1: Reference Case)

	재료	두께(mm)	열전도율 (W/m·K)	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kg·k)
외벽	마감용 미장재	12.5	0.720	1856	840
	콘크리트	200	1.950	2240	900
	비드법보온판	65	0.036	20	1210
	석고보드*	12.5	0.180	800	1090
	한지 벽지**	1	0.170	-	-
지붕	아스팔트 싱글	3	0.040	1120	1260
	아스팔트 루핑**	2	0.190	-	-
	모르타르	30	1.400	1920	900
	콘크리트	200	1.950	2240	900
	비드법보온판	110	0.036	20	1210
	석고보드*	12.5	0.180	800	1090
	한지벽지**	1	0.170	-	-
바닥	버림 콘크리트	50	1.950	2240	900
	PE 필름**	2	0.210	-	-
	비드법보온판	70	0.036	20	1210
	콘크리트	200	1.950	2240	900
	기포콘크리트	110	0.200	640	900
	보호모르타르	30	1.400	1920	900
	장판지	3	0.072	480	1380
내벽	모르타르	18	1.400	1920	900
	콘크리트	200	1.950	2240	900
	모르타르	18	1.400	1920	900
천장	석고보드	12.5	0.160	800	1090
	한지벽지**	1	0.170	-	-
문	목재문	45	0.150	608	1630
외부창	PVC+Low-e복층	열관류율((W/m ² ·K) : 2.4 (법기준: 2.4), SHGC : 0.56)			

* : Case 구성에 따라 재료 변경

** : 열관류율 산정 제외

(2) 기상데이터

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 IWEC 인천 지역의 epw 형식 기상데이터를 이용하였으며, 기상데이터 주요 인자의 월 평균값은 다음 [표 3.5.2-3] 과 같다.

[표 3.5.2-3] 기상데이터의 주요 인자별 월평균 값

월	건구온도 (°C)	노점온도 (°C)	상대습도 (%)	수평면전일사량 (kWh/m ² ·mon)	풍속 (m/s)
1월	-2.2	-11.9	47	62.03	3.3
2월	-0.3	-6.7	62	78.46	4.6
3월	4.8	-1.5	66	107.35	3.3
4월	10.8	4.9	70	134.85	3.8
5월	15.8	10.5	73	142.54	3
6월	20.5	15.3	74	140.28	3
7월	23.6	21.1	86	107.79	2.5
8월	25	21.7	83	107.07	3.7
9월	20.8	15.4	73	98.13	2.2
10월	14.5	7.4	66	86.09	2.1
11월	7.6	1.6	67	60.87	3.5
12월	1.2	-5.7	59	50.44	2.7

(3) 시뮬레이션 입력조건

시뮬레이션을 위한 기본 입력 조건은 [표 3.5.2-4] 과 같다. 해석 모델의 HVAC 시스템은 시스템 관련 변수에 의한 간섭을 최대한 배제하기 위해 ‘Ideal Load Air System(이상적인 공조 시스템)’을 적용하였다. ‘Ideal Load Air System’은 존에서 요구된 냉·난방 부하가 무한 용량의 가상 공조 시스템(시스템 효율 100%)에 의해 처리되는 것으로 가정하며, 지정된 공급 공기와 혼합(환기+외기)공기의 엔탈피 차에 의해서만 부하 계산을 수행한다.³⁹⁾ 대상 건물의 설정 온·습도는

에너지절약설계기준에 따라 설정하였으며,⁴⁰⁾ 내부 열취득은 ASHRAE Handbook Fundamentals(2009)의 기준을 참조하였다.⁴¹⁾ 국·내외 신뢰성이 확보된 기준이 없는 주거용 건물의 재실 밀도 및 스케줄은 국내 선행 연구 및 법 기준을 참조하여 입력하였다.⁴²⁾⁴³⁾ 환기 및 조명 발열은 재실 스케줄과 동일하게 입력하였으며, 침기와 기기발열은 시간대별로 변동 없이 일정한 것으로 가정하였다.

39) DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.

40) 국토해양부 고시 제 2010-1031호, 건축물의 에너지절약 설계기준

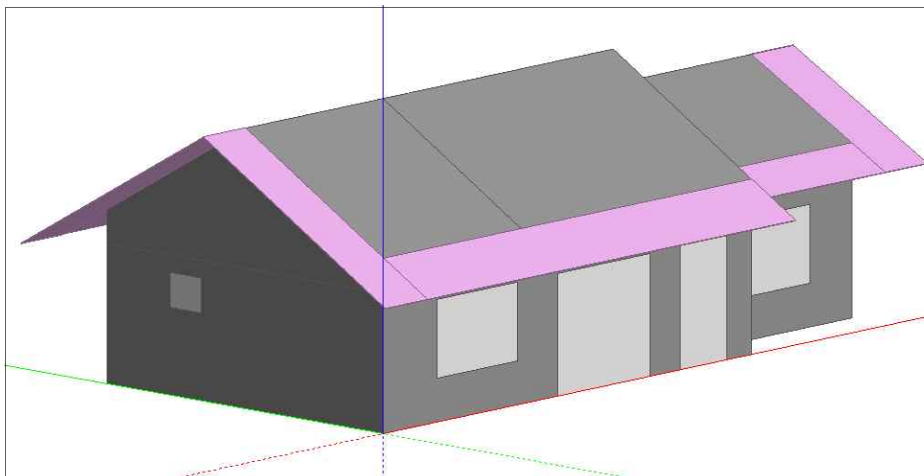
41) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc, 2009.

42) 김석중, 공동주택의 적정 급수·급탕량 산정법에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.

43) 유선용, 김지영, 주거 건물의 내부 발열 및 시스템 가동 행태 분석, 대한설비공학회 하계학술발표, pp. 683-686, 2011.

[표 3.5.2-4] 시뮬레이션 입력 조건

실내설정온도	Heating : 20℃, RH 50%, Cooling : 26℃, RH 50%	
채실 스케줄	00:00~08:00, 18:00~24:00	100%
	08:00~18:00	30%
인체발열량	117 W/person	
조명 발열	5.4 W/m ²	
기기 발열	3.0 W/m ²	
거주자 수	3 person/unit	
침기량	0.2 ACH	
환기량	10 ℓ / sec·person	
HVAC	Ideal Loads Air System	
기상데이터	Incheon, Korea (.epw)	



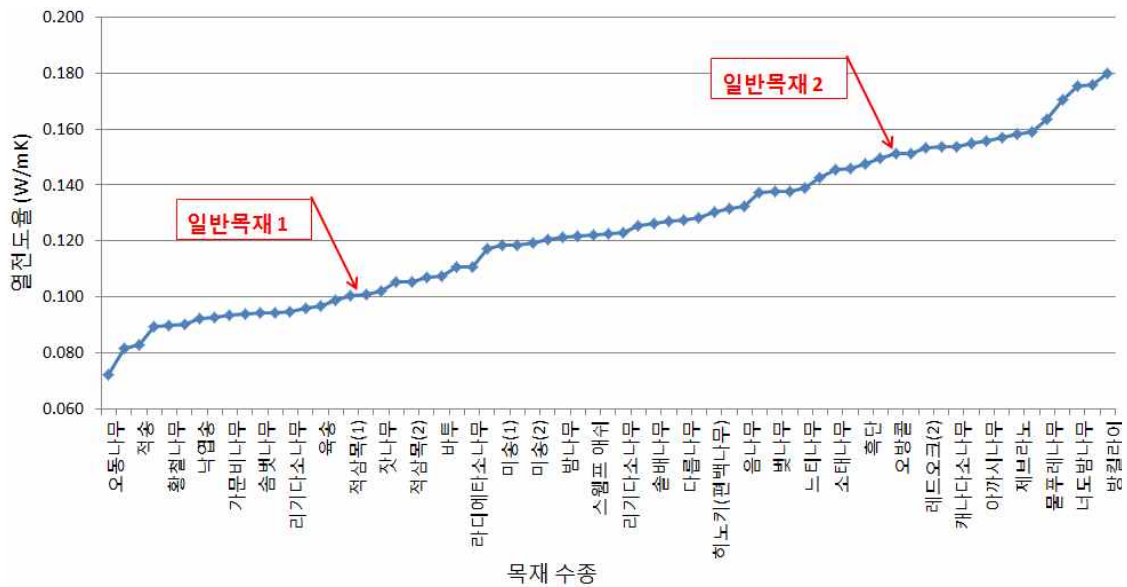
<그림 3.5.2-4> 해석 대상 건물 모델링(DesignBuilder)

(4) 분석 Case 구성

목질기반 고단열 실내마감재의 실내 적용에 따른 에너지 절감 효과를 비교하기 위해 비목질마감재, 일반 목질 마감재 및 목질기반 고단열 실내마감재를 적용한 총 5 Case에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 비교 기준인 Case 1은 비목질마감재 중 일반적으로 가장 많이 사용되는 석고보드를 적용해 구성하였으며, 일반 목질 마감재의 경우는 목재 실측 데이터를 바탕으로 열전도율이 높은 마감재를 적용한 Case 2와 열전도율이 낮은 마감재를 적용한 Case 3로 구분하였다. 목질기반 고단열 실내마감재의 경우에는 비목질마감재와 동일 두께를 적용한 Case 4와 두께를 2배 두껍게 적용한 Case 5로 구성하였으며, Case 구성의 상세 내용과 물성은 다음 [표 3.5.2-5]와 같다.

[표 3.5.2-5] 분석 Case 구성

구분	재 료	두께 (mm)	열전도율 (W/m·K)	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kg·k)	비고 (자료 출처)
Case 1	비목질 (석고보드)	12.5	0.180	800	1,090	에너지절약 설계기준
Case 2	일반목재 1 /열전도율 높음 (대표목재:참나무)	12.5	0.150	700	2,390	실측
Case 3	일반목재 2 /열전도율 낮음 (대표목재:적삼목)	12.5	0.100	510	1,380	실측
Case 4	개발 제품	12.5	0.058	500	1,630	실측
Case 5	개발 제품	25.0	0.058	500	1,630	실측



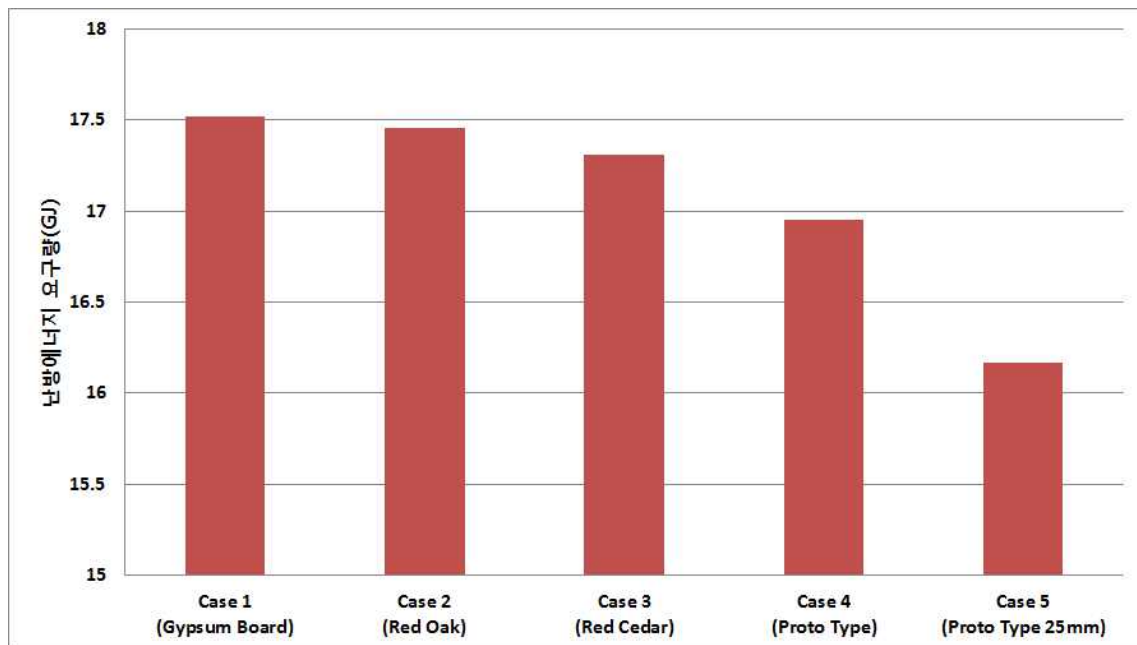
<그림 3.5.2-5> 일반 목재 수종별 열전도율 분포

나. 시뮬레이션 분석 결과

이상의 입력 조건을 이용해 Case별로 시뮬레이션을 수행해 연간 냉·난방 에너지 요구량을 분석한 결과는 [표 3.5.2-6]과 같다. 비목질마감재를 적용한 Case 1에 비해 단열 성능이 높은 목질 마감재(Case 2, 3)와 개발한 목질기반 고단열 실내마감재(Case 4, 5)를 적용함에 따라 난방 에너지 요구량은 감소하고 냉방 에너지 요구량은 다소 증가하는 것으로 나타났다. 총 에너지 요구량은 냉방 에너지 요구량 증가폭에 비해 난방 에너지 요구량의 감소폭이 커 감소하는 것으로 계산되었다.

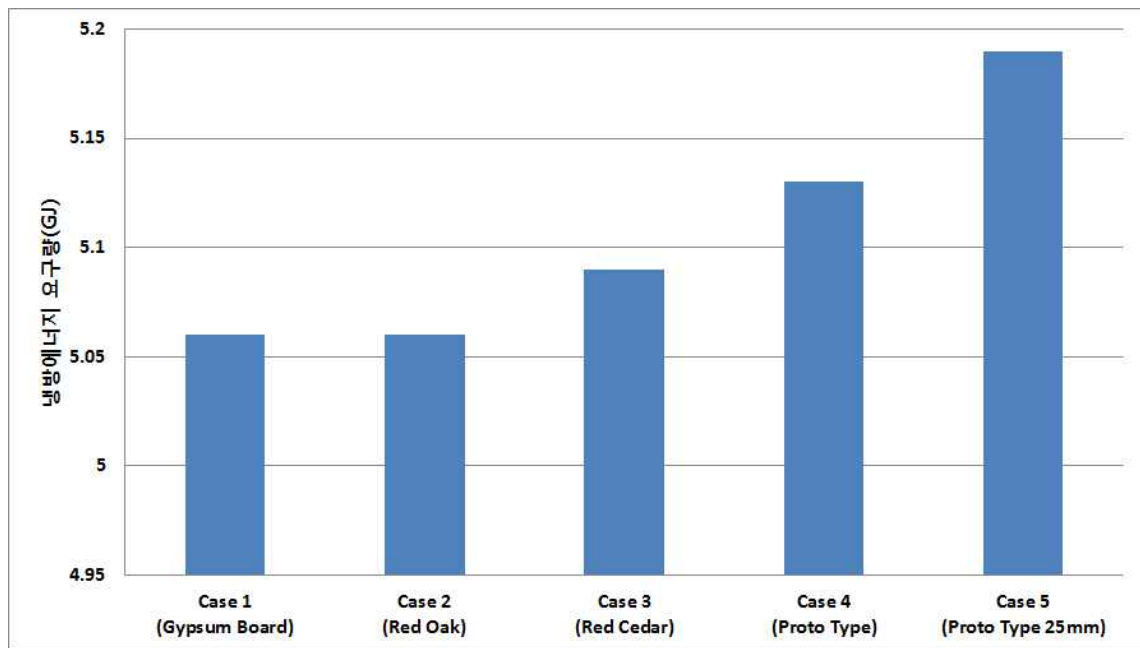
[표 3.5.2-6] 연간 냉난방 에너지요구량

Case	난방에너지		냉방에너지		총 에너지	
	요구량(GJ)	비율(%)	요구량(GJ)	비율(%)	요구량(GJ)	비율(%)
Case 1	17.52	100%	5.06 GJ	100%	22.58 GJ	100%
Case 2	17.46	99.6%	5.06 GJ	100%	22.52 GJ	99.7%
Case 3	17.31	98.8%	5.09 GJ	100.6%	22.40 GJ	99.2%
Case 4	16.95	96.7%	5.13 GJ	101.4%	22.07 GJ	97.8%
Case 5	16.17	92.3%	5.19 GJ	102.6%	21.36 GJ	94.6%

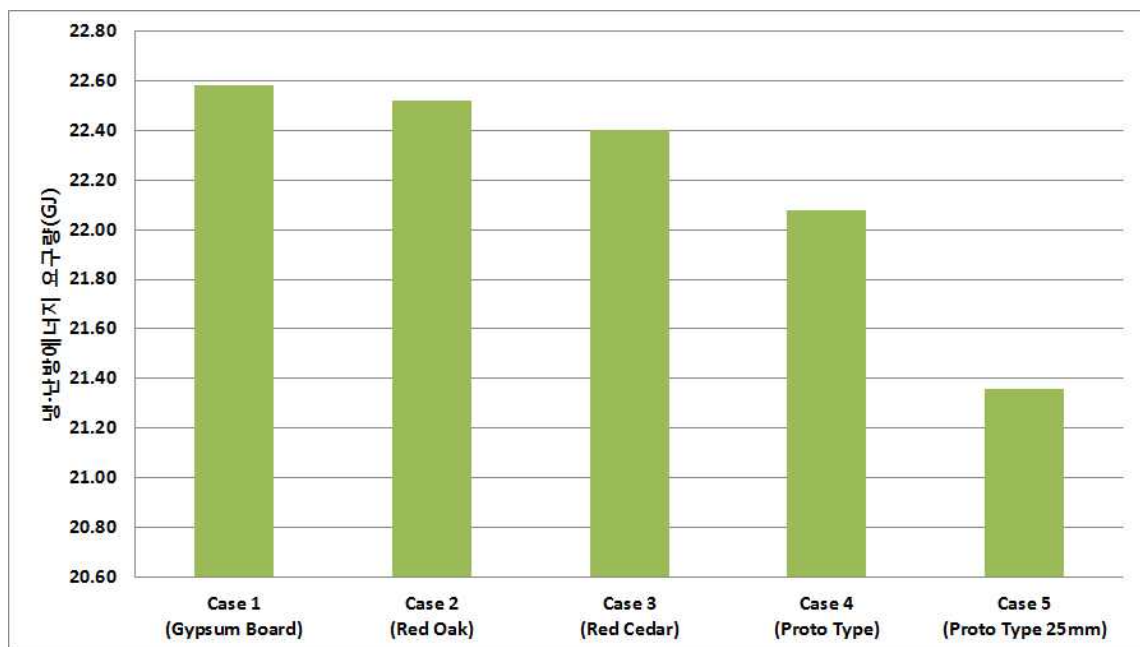


<그림 3.5.2-6> Case별 연간 난방에너지 요구량

동일한 두께의 개발 제품을 적용한 Case 4의 경우 3.3%의 난방 에너지 절감을 나타냈으며, 두께를 2배로 늘린 Case 5의 경우에는 7.7%의 절감을 나타냈다. 개발 제품의 마감재 적용만으로 난방 에너지 및 총 에너지 절감이 가능할 것으로 사료되며, 특히 난방 부하가 큰 주거용 건물에 개발 제품을 마감재로 적용할 경우 그 효과가 클 것으로 사료된다.



<그림 3.5.2-6> Case별 연간 난방에너지 요구량



<그림 3.5.2-7> Case별 연간 총에너지 요구량

3.5.3 소 결

건축물의 에너지절약을 위하여 실내마감재로 사용되는 합판과 파티클보드에 낮은 열전도율을 가지고 있는 fumed silica를 혼합하여 열전도율 낮은 실내마감재를 제작하였다. 합판은 접착제에 fumed silica를 직접 혼합하여 제조하였으며 파티클 보드는 접착제의 혼합이 완료된 파티클에 fumed silica를 혼합하여 제조하였다.

실험결과 파티클보드는 fumed silica의 혼합량이 증가할수록 열전도율이 낮아지는 결과를 보였으며 합판은 투입량이 증가할수록 열전도율 증가하다가 10%를 투입할 경우 열전도율이 **기준 대비 30%** 감소하는 경향을 보였다. 이는 다공질인 fumed silica가 접착제를 흡수해 fumed silica의 열전도율이 상승하기 때문으로 보이며 10%에서는 과량의 fumed silica가 혼합됨으로 인하여 fumed silica의 낮은 열전도율이 베니어 사이에 영향을 미치지 않기 때문으로 생각된다.

목질기반 고단열 실내마감재의 적용에 따른 에너지 절감 효과를 비교하기 위하여, 2012년 농·어촌주택 표준설계도면 중 ‘농림-12-26-가’ 유형을 기준 모델(Base Model)로 구성하여 비목질 마감재, 일반 목질 마감재 및 목질기반 고단열 마감재를 적용한 총 5 Case에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과는 아래와 같다.

- 1) 비목질 마감재를 적용한 Case 1에 비해 단열 성능이 높은 일반 목질 마감재(Case 2, 3) 적용 시 Case 2(열전도율이 높은 일반 목재)의 경우 0.3%, Case 3(열전도율 낮은 일반 목재)의 경우 1.2% 난방에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 여기서 일반 목질 마감재는 목재 실측 데이터의 열전도율 범위에 따라 2 Case를 선정하였다.
- 2) 개발한 제품 적용 시 Case 4(12.5mm)의 경우 3.3%의 난방 에너지 절감을 나타냈으며, 개발한 제품의 두께를 두 배로 늘린 Case 5(25mm) 경우에는 7.7까지 에너지 절감이 가능한 것으로 분석되었다. 개발 제품의 마감재 적용만으로 난방 에너지 및 총 에너지 절감이 가능할 것으로 사료되며, 특히 난방 부하가 큰 주거용 건물에 개발 제품을 마감재로 적용할 경우 그 효과가 클 것으로 사료된다.

3. 6 목질제품의 에너지 절감 기여도 평가 및 부위별 열성능 기준 제시

본 절에서는 목질제품의 적용에 따른 건물 에너지 절감 기여도를 평가하고, 지역별 부위별 목구조 벽체의 열성능(열관류율) 기준을 제시하고, 열성능 기준에 따른 다양한 벽체 구성안을 정밀 전열 해석을 통해 도출하고자 한다. 건물 에너지 시뮬레이션은 해석엔진으로 EnergyPlus를 사용하는 Third-Party User Interface인 DesignBuilder를 이용하여 수행하였으며, 난방 에너지 요구량을 기준으로 절감을 및 열성능 기준을 도출하였다. 전열 해석은 ISO 10211의 계산 방법에 따라 벽체에서의 3차원 정상상태 열전달을 계산하는 Physibel Trisco를 이용하였다. 연구 범위 및 방법은 아래와 같고, 연구흐름도는 <그림 3.6-1>에 나타냈다.

(1) 국내·외 기준 검토

- 국내·외 건축물 부위별 열성능 기준 조사 및 적용 가능성 검토

(2) 목표 기준(난방에너지 절감율) 설정

- ‘친환경주택 건설기준 및 성능’의 평가기준주택 대비 난방에너지 요구량 절감률 설정

(3) 표준건물(주거용) 선정

- 국내외 표준건물 현황 조사를 통해 농어촌 주택 표준설계도서 선정

(4) 시뮬레이션을 통한 난방 에너지 절감 기여도 평가 및 열성능 기준 수립

- 농어촌 표준주택을 이용해 목질 적용 범위(실내마감재, 실외마감재, 창호, 구조재)에 따른 에너지 절감율 평가
- 표준주택을 이용해 목표 절감율 달성이 가능한 벽체 열성능(열관류율) 기준 수립

(5) 민감도 분석을 통한 수립된 열성능 기준 검증 및 보정

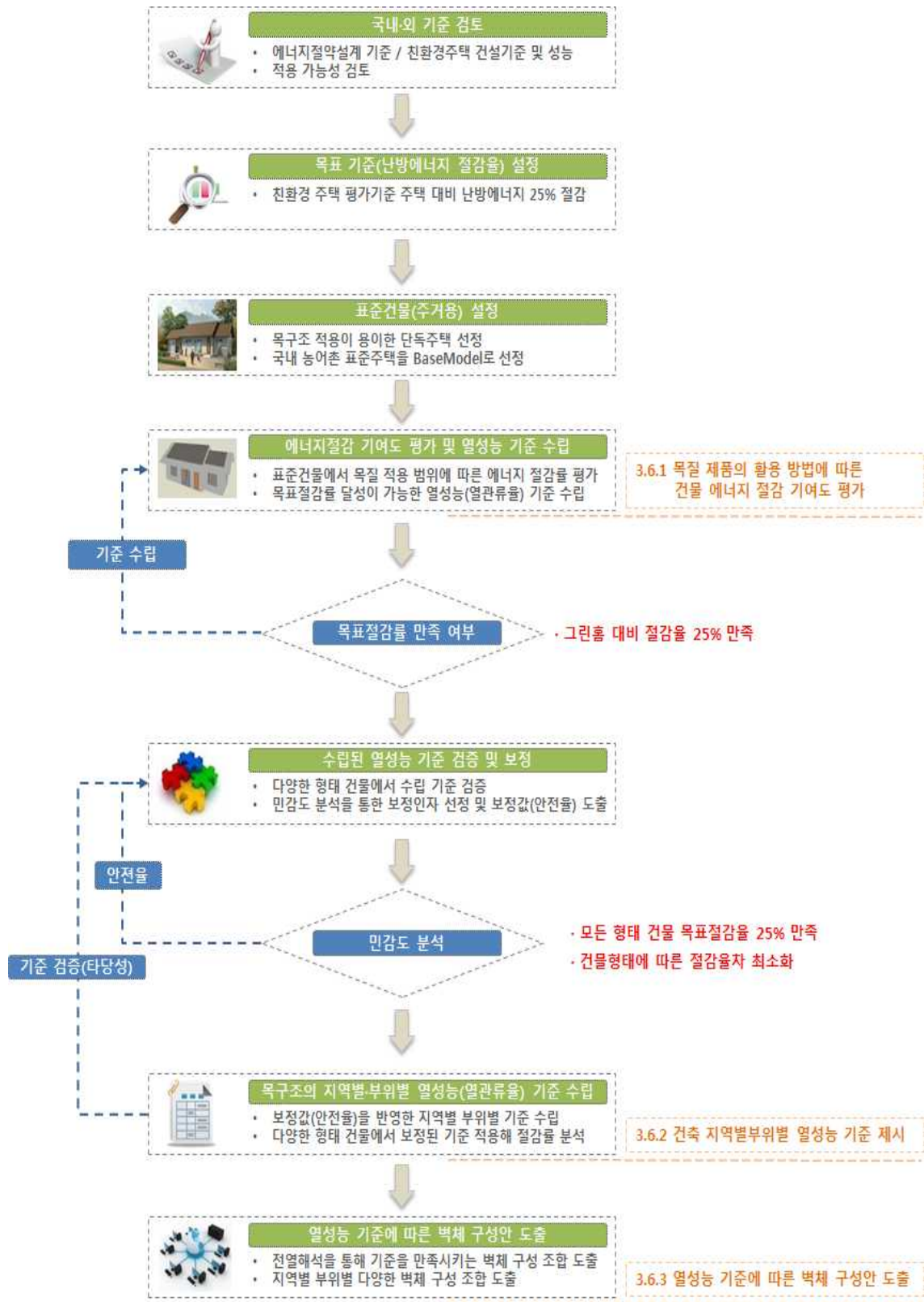
- 수립된 열성능 기준을 다양한 형태(창면적비, 지붕면적비) 건물에 적용해 검증
- 민감도 분석을 통한 보정 인자(벽체, 지붕, 창호) 선정 및 반복 시뮬레이션을 수행해 보정 기준을 만족시키는 부위별 보정값(안전율) 도출

(6) 목구조의 지역별·부위별 열성능 기준 수립

- 보정값(안전율)을 반영한 지역별·부위별 열관류율 기준 수립
- 보정된 열관류율 기준을 적용해 절감율 만족 여부 확인

(7) 열성능 기준에 따른 벽체 구성안 도출

- 전열해석을 통해 수립된 열성능 기준을 만족시키는 벽체 구성 조합 도출



<그림 3.6-1> 에너지절감 기여도 평가 및 열성능 기준 수립 연구 흐름도

3.6.1 목질제품의 부위별 적용에 따른 에너지 절감 기여도

가. 시뮬레이션 개요

(1) 국내의 열성능 기준 검토 및 목표 절감량 설정

국내에서 건물 부위에 대한 열관류율 기준을 고시한 법규는 ‘에너지 절약 설계기준’의 지역별 열관류율과 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’의 단열성능 기준과 평가기준 등이 있다. 본 연구에서는 건물에 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’에 고시된 평가기준 주택의 부위별 열관류율을 기준 모델(Base Model)의 열관류율로 설정하였다. 이에 따라 목질 제품 적용시의 목표 절감율을 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’에 고시된 바와 같이 난방에너지 기준 25%로 설정하고 연구를 수행하였다.

단, 지중에 면한 바닥 부위는 콘크리트구조와 목구조의 구성 차이가 거의 없어 기준 수립에서 제외한다. 또한 지역별 열관류율의 제시 범위는 제주도를 제외한 중부지역과 남부지역으로 한정한다. 제주도의 경우 열성능만 고려 시 구조재 최소 규격인 2x4" 이하로도 설치가 가능하나, 바람 등의 기후적 영향과 최소 구조 성능 확보를 고려해 남부 지방과 동일한 기준을 적용하는 것이 합당할 것으로 판단되어 연구 범위에서 제외한다.

[표 3.6.1-1] 친환경주택 평가기준 주택의 부위별 열관류율

부 위		지 역		
		중부지역 (W/m ² ·k)	남부지역 (W/m ² ·k)	
거실외벽	외기에 직접면함	0.47 이하	0.58 이하	
	외기에 간접면함	0.64 이하	0.81 이하	
최상층의 거실의 반자 및 지붕	외기에 직접면함	0.29 이하	0.35 이하	
	외기에 간접면함	0.41 이하	0.52 이하	
최하층의 거실의 바닥	외기에 직접면함	바닥난방인경우	0.35 이하	0.41 이하
		바닥난방이아닌경우	0.41 이하	0.47 이하
	외기에 간접면함	바닥난방인경우	0.52 이하	0.58 이하
		바닥난방이아닌경우	0.58 이하	0.64 이하
측벽		0.35 이하	0.47 이하	
창 및 문	외기에 직접면함	3.00 이하	3.30 이하	
	외기에 간접면함	4.30 이하	4.70 이하	

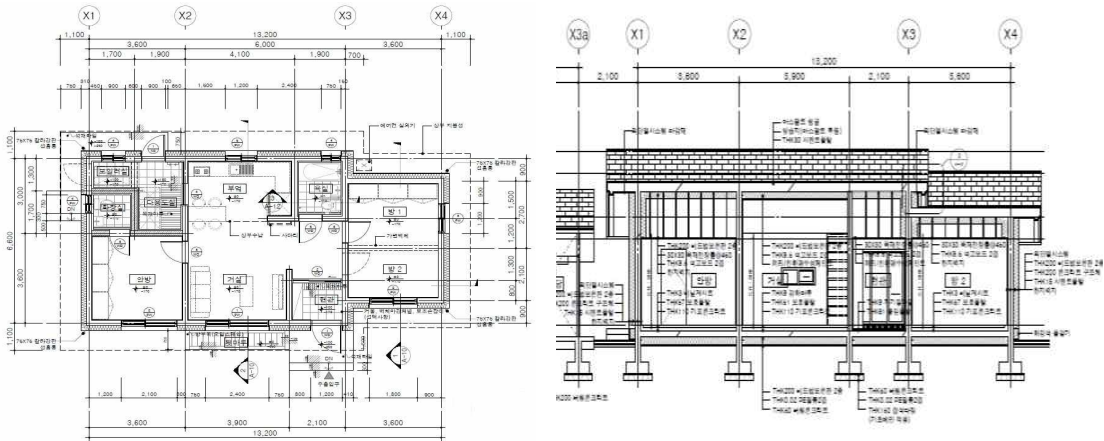
(2) 표준건물(주거용) 선정

현재 국내의 경우 건물 에너지 시뮬레이션을 위한 표준 건물에 대한 기준이 없다. 이에 본 연구에서는 활용용도는 다르지만 다양한 단독주택 설계도를 지속적으로 갱신하는 농어촌주택 표준설계도서의 유형 중 하나(2012년, ‘농림-12-26-가’)를 선정하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다.⁴⁴⁾ 총 10개의 실로 구성된 84.64m²(25평형)의 단층 주택으로 실 구성 및 면적은 [표 3.6.1-2]와 같다. 건물의 조감도와 평면도, 단면도는 아래의 <그림 3.6.1-1, 2,>와 같다.

44) 한국농어촌공사, 농어촌주택 표준설계도면, 2012



<그림 3.6.1-1> 해석 모델 조감도



<그림 3.6.1-2> 해석 모델 평면도, 단면도

[표 3.6.1-2] 해석 대상 건물 개요

구분	면적	층고	천장고	난방여부
안방	13.69	4.8	2.4	난방
거실	20.04	4.8	Var.	난방
침실 1	9.36	4.2	2.4	난방
침실 2	8.64	4.2	2.4	난방
부엌	12.58	4.8	2.4	난방
화장실	2.89	4.8	2.4	난방
욕실	4.90	4.8	2.4	난방
현관	3.96	4.8	2.4	비난방
보일러실	2.54	4.8	2.4	비난방
다용도실	6.04	4.8	2.4	비난방
합계	84.64			난방 7, 비난방 3

[표 3.6.1-3] 중부지방 벽체 구성 및 물성값

		재 료	두께(mm)	열전도율(W/m·K)	밀도(kg/m ³)	비열(J/kg·k)
콘크리트 구조	외벽	마감용 미장재	12.5	0.720	1856	840
		콘크리트	200	1.950	2240	900
		비드법보온판	65	0.036	20	1210
		석고보드*	12.5	0.180	800	1090
		한지 벽지**	1	0.170	-	-
	지붕	아스팔트 싱글	3	0.040	1120	1260
		아스팔트루핑**	2	0.190	-	-
		모르타르	30	1.400	1920	900
		콘크리트	200	1.950	2240	900
		비드법보온판	110	0.036	20	1210
		석고보드*	12.5	0.180	800	1090
		한지벽지**	1	0.170	-	-
	바닥	버림 콘크리트	50	1.950	2240	900
		PE 필름**	2	0.210	-	-
		비드법보온판	70	0.036	20	1210
		콘크리트	200	1.950	2240	900
		기포콘크리트	110	0.200	640	900
		보호모르타르	30	1.400	1920	900
	내벽	장판지	3	0.072	480	1380
		모르타르	18	1.400	1920	900
콘크리트		200	1.950	2240	900	
천장	모르타르	18	1.400	1920	900	
	석고보드	12.5	0.160	800	1090	
문	한지벽지**	1	0.170	-	-	
	목재문	45	0.150	608	1630	
창호	PVC+Low-e복층	열관류율(W/m ² ·K) : 3.0, SHGC : 0.56				
목 구조	외벽	목재 사이딩*	12.5	0.120	510	1380
		OSB	11.3	1.950	800	1300
		유리섬유단열재 (구조목)	89	0.047	194	1027
		수성연질폼*	38	0.050	136	750
		석고보드	12.5	0.160	800	1090
		목재(적삼목) 루버	12.5	0.120	510	1380
		목재 사이딩	12.5	0.120	510	1380
	지붕	OSB	11.3	1.950	800	1300
		유리섬유단열재 (구조목)	140	0.047	194	1027
		수성연질폼*	38	0.050	136	750
		석고보드	12.5	0.160	800	1090
		목재(적삼목) 루버	12.5	0.120	510	1380
		콘크리트 구조와 동일				
	내벽	목재(적삼목) 루버	12.5	0.120	510	1380
		OSB	11.3	1.950	800	1300
		유리섬유단열재 (구조목)	140	0.047	194	1027
		OSB	11.3	1.950	800	1300
		목재(적삼목) 루버	12.5	0.120	510	1380
	천장	석고보드	12.5	0.160	800	1090
		한지벽지**	1	0.170	-	-
문	목재문	45	0.150	608	1630	
창호	목재창호	열관류율(W/m ² ·K) : 2.2, SHGC : 0.56				

* : Case 구성에 따라 재료 변경,

** : 열관류율 산정 제외

[표 3.6.1-4] 남부지방 벽체 구성 및 물성값

		재 료	두께(mm)	열전도율(W/m·K)	밀도(kg/m³)	비열(J/kg·k)	
콘크리트 구조	외벽	마감용 미장재	12.5	0.720	1856	840	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	50	0.036	20	1210	
		석고보드*	12.5	0.180	800	1090	
		한지 벽지**	1	0.170	-	-	
	지붕	아스팔트 싱글	3	0.040	1120	1260	
		아스팔트루핑**	2	0.190	-	-	
		모르타르	30	1.400	1920	900	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		비드법보온판	90	0.036	20	1210	
		석고보드*	12.5	0.180	800	1090	
		한지벽지**	1	0.170	-	-	
	바닥	버림 콘크리트	50	1.950	2240	900	
		PE 필름**	2	0.210	-	-	
		비드법보온판	70	0.036	20	1210	
		콘크리트	200	1.950	2240	900	
		기포콘크리트	110	0.200	640	900	
		보호모르타르	30	1.400	1920	900	
		장판지	3	0.072	480	1380	
		내벽	모르타르	18	1.400	1920	900
내벽	콘크리트	200	1.950	2240	900		
	모르타르	18	1.400	1920	900		
	천장	석고보드	12.5	0.160	800	1090	
천장	한지벽지**	1	0.170	-	-		
	문	목재문	45	0.150	608	1630	
창호	PVC+Low-e복층	열관류율(W/m²·K) : 3.3, SHGC : 0.56					
목 구조	외벽	목재 사이딩*	12.5	0.120	510	1380	
		OSB	11.3	1.950	800	1300	
		유리섬유단열재 (구조목)	89	0.047	194	1027	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		목재(적삼목) 루버*	12.5	0.120	510	1380	
		목재 사이딩*	12.5	0.120	510	1380	
	지붕	OSB	11.3	1.950	800	1300	
		유리섬유단열재 (구조목)	140	0.047	194	1027	
		석고보드	12.5	0.160	800	1090	
		목재(적삼목) 루버*	12.5	0.120	510	1380	
		바닥	콘크리트 구조와 동일				
		내벽	목재(적삼목) 루버*	12.5	0.120	510	1380
	OSB		11.3	1.950	800	1300	
	유리섬유단열재 (구조목)		140	0.047	194	1027	
	OSB		11.3	1.950	800	1300	
	목재(적삼목) 루버*		12.5	0.120	510	1380	
	천장		석고보드	12.5	0.160	800	1090
	천장	한지벽지**	1	0.170	-	-	
		문	목재문	45	0.150	608	1630
	창호	목재창호	열관류율(W/m²·K) : 2.4, SHGC : 0.56				

* : Case 구성에 따라 재료 변경,

** : 열관류율 산정 제외

(3) 기상데이터

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 IWEC 인천과 광주 지역의 epw 형식 기상데이터를 이용하였으며, 기상데이터 주요 인자의 월 평균값은 다음 [표 3.6.1-5, 6]과 같다.

[표 3.6.1-5] 중부 지방 기상데이터의 주요 인자별 월평균 값

월	건구온도 (°C)	노점온도 (°C)	수평면전일사량 (kWh/m ² ·mon)	풍속 (m/s)
1월	-2.16	-11.92	66.84	3.3
2월	-0.34	-6.66	74.86	4.6
3월	4.81	-1.53	77.35	3.3
4월	10.84	4.88	90.04	3.8
5월	15.84	10.55	89.57	3.0
6월	20.53	15.28	72.93	3.0
7월	23.58	21.06	33.98	2.5
8월	24.97	21.72	36.02	3.7
9월	20.78	15.41	52.13	2.2
10월	14.49	7.45	65.27	2.1
11월	7.55	1.62	55.33	3.5
12월	1.23	-5.70	44.93	2.7

[표 3.6.1-6] 남부 지방 기상데이터의 주요 인자별 월평균 값

월	건구온도 (°C)	노점온도 (°C)	수평면전일사량 (kWh/m ² ·mon)	풍속 (m/s)
1월	0.62	-5.17	67.44	2.88
2월	2.84	-3.83	71.97	2.41
3월	7.51	-0.22	97.48	2.21
4월	13.22	4.54	130.13	2.70
5월	17.94	11.99	140.87	2.52
6월	22.08	17.56	92.57	2.65
7월	25.76	22.65	83.86	2.05
8월	26.01	21.09	75.88	1.79
9월	22.04	17.37	100.52	1.61
10월	15.77	9.33	114.67	1.79
11월	9.54	4.55	79.37	1.90
12월	3.72	-0.92	64.02	2.47

(4) 시뮬레이션 입력조건

시뮬레이션을 위한 기본 입력 조건은 [표 3.6.1-7]과 같다. 해석 모델의 HVAC 시스템은 시스템 관련 변수에 의한 간섭을 최대한 배제하기 위해 ‘Ideal Load Air System(이상적인 공조 시스템)’을 적용하였다. ‘Ideal Load Air System’은 존에서 요구된 냉·난방 부하가 무한 용량의 가상 공조 시스템(시스템 효율 100%)에 의해 처리되는 것으로 가정하며, 지정된 공급 공기와 혼합(환기+외기)공기의 엔탈피 차에 의해서만 부하 계산을 수행한다.⁴⁵⁾ 대상 건물의 설정 온·습도는 에너지절약설계기준에 따라 설정하였으며,⁴⁶⁾ 내부 열취득은 ASHRAE Handbook Fundamentals(2009)의 기준을 참조하였다.⁴⁷⁾ 국·내외 신뢰성이 확보된 기준이 없

45) DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.

46) 국토해양부 고시 제 2010-1031호, 건축물의 에너지절약 설계기준

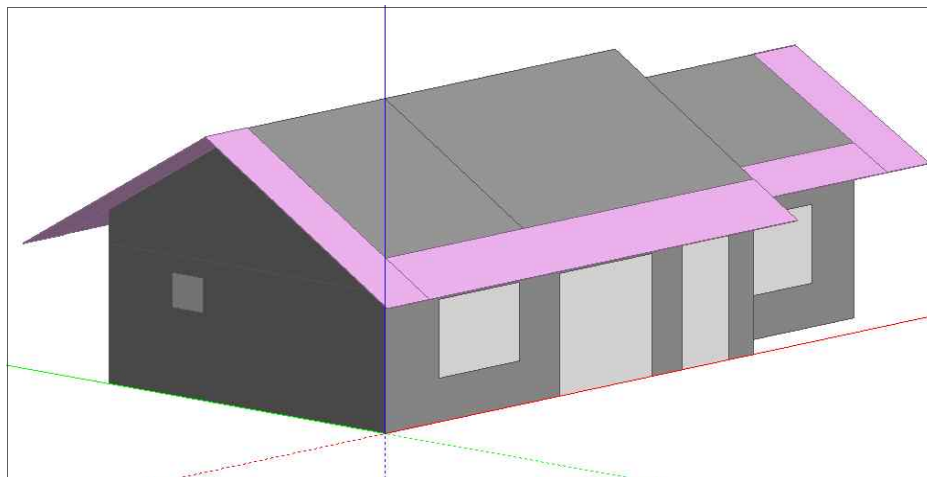
47) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc, 2009.

는 주거용 건물의 재실 밀도 및 스케줄은 국내 선행 연구 및 법 기준을 참조하여 입력하였다.⁴⁸⁾⁴⁹⁾ 환기 및 조명 발열은 재실 스케줄과 동일하게 입력하였으며, 침기와 기기발열은 시간대별로 변동 없이 일정한 것으로 가정하였다.

단열재와 각재가 혼합된 층의 정확한 열전도율을 입력하기 위해 본 연구에서 개발한(3. 4 절) 상당열관류율⁵⁰⁾ 계산 프로그램을 활용하여 해당 층의 열전도율을 계산하였다. 벽체 전체의 상당열관류율을 계산한 후 역산하여 단열재+각재 혼합층의 열전도율을 계산하였다.

[표 3.6.1-7] 시뮬레이션 입력 조건

실내설정온도	Heating : 20℃, RH 50%, Cooling : 26℃, RH 50%	
재실 스케줄	00:00~08:00, 18:00~24:00	100%
	08:00~18:00	30%
인체발열량	117 W/person	
조명 발열	5.4 W/m ²	
기기 발열	3.0 W/m ²	
거주자 수	3 person/unit	
침기량	0.2 ACH	
환기량	10 ℓ / sec·person	
HVAC	Ideal Loads Air System	
기상데이터	Incheon & Kwangju , Korea (.epw)	



<그림 3.6.1-3> 해석 대상 건물 모델링(DesignBuilder)

48) 김석중, 공동주택의 적정 급수·급탕량 산정법에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.

49) 유선용, 김지영, 주거 건물의 내부 발열 및 시스템 가동 행태 분석, 대한설비공학회 하계학술발표, pp. 683-686, 2011.

50) 이질재가 혼합된 벽체에서 재료적 열교로 인해 발생하는 선형열교값을 열관류율에 가중하여 산정한 값

나. 시뮬레이션 분석 결과

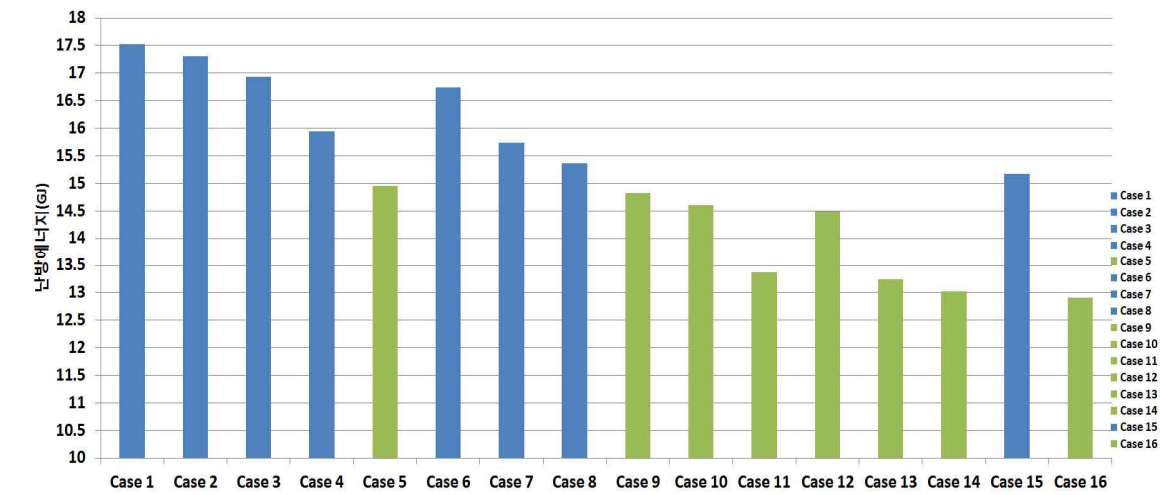
(1) 목질 제품의 적용 범위에 따른 에너지 절감율

목질 제품을 건물 부위별로 적용시 절감되는 에너지절감량을 비교하기 위해 비목질 구조재(콘크리트)+비목질 마감재가 적용된 기준 모델(Case 1)에 실내마감재, 실외마감재, 창호, 구조재까지 목질 제품의 적용 범위를 단계별로 변경해 시뮬레이션을 수행하였다. 총 16 Case에 대해 시뮬레이션을 수행했으며, 그 결과는 다음 [표 3.6.1-8], <그림 3.6.1-4>와 같다.

[표 3.6.1-8] 중부지방 목질제품 적용에 따른 에너지 요구량

Case 구성	난방에너지	비율	냉방에너지	비율	합계	비율
Case 1(Base Model)	17.52 GJ	100%	5.06 GJ	100%	22.58 GJ	100%
Case 2(IF)	17.31 GJ	98.8%	5.09 GJ	100.6%	22.40 GJ	99.2%
Case 3(OF)	16.93 GJ	96.6%	5.27 GJ	104.2%	22.20 GJ	98.3%
Case 4(WD)	15.95 GJ	91.0%	5.34 GJ	105.5%	21.29 GJ	94.3%
Case 5(ST)	14.95 GJ	85.3%	5.41 GJ	106.9%	20.36 GJ	90.2%
Case 6(IF+OF)	16.74 GJ	95.5%	5.29 GJ	104.5%	22.02 GJ	97.5%
Case 7(IF+WD)	15.74 GJ	89.8%	5.37 GJ	106.1%	21.10 GJ	93.5%
Case 8(OF+WD)	15.36 GJ	87.7%	5.57 GJ	110.1%	20.93 GJ	92.7%
Case 9(ST+IF)	14.82 GJ	84.6%	5.42 GJ	107.1%	20.24 GJ	89.7%
Case 10(ST+OF)	14.61 GJ	83.4%	5.55 GJ	109.7%	20.16 GJ	89.3%
Case 11(ST+WD)	13.37 GJ	76.3%	5.72 GJ	113.0%	19.09 GJ	84.5%
Case 12(ST+IF+OF)	14.49 GJ	82.7%	5.56 GJ	109.9%	20.05 GJ	88.8%
Case 13(ST+IF+WD)	13.24 GJ	75.6%	5.73 GJ	113.2%	18.97 GJ	84.0%
Case 14(ST+OF+WD)	13.03 GJ	74.2%	5.87 GJ	116.0%	18.90 GJ	83.7%
Case 15(IF+OF+WD)	15.17 GJ	86.6%	5.58 GJ	110.3%	20.75 GJ	91.9%
Case 16(ST+IF+OF+WD)	12.91 GJ	73.7%	5.88 GJ	116.2%	18.79 GJ	83.2%

※ 실내목재마감 : IF, 실외목재마감 : OF, 목구조 : ST, 목재창호 : WD



<그림 3.6.1-4> 중부지방 목질제품 적용에 따른 난방에너지

중부지방의 경우, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.2% 난방에너지가 절감되었으며, 실외 마감재를 적용 시에는 3.4%, 내·외부 동시 적용 시에는 4.5%의 난방에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호 적용 시에는 9.0% 난방에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용 할 경우 10.2% 에너지가 절감되었고, 외부마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 12.3% 난방에너지가 절감되었다.

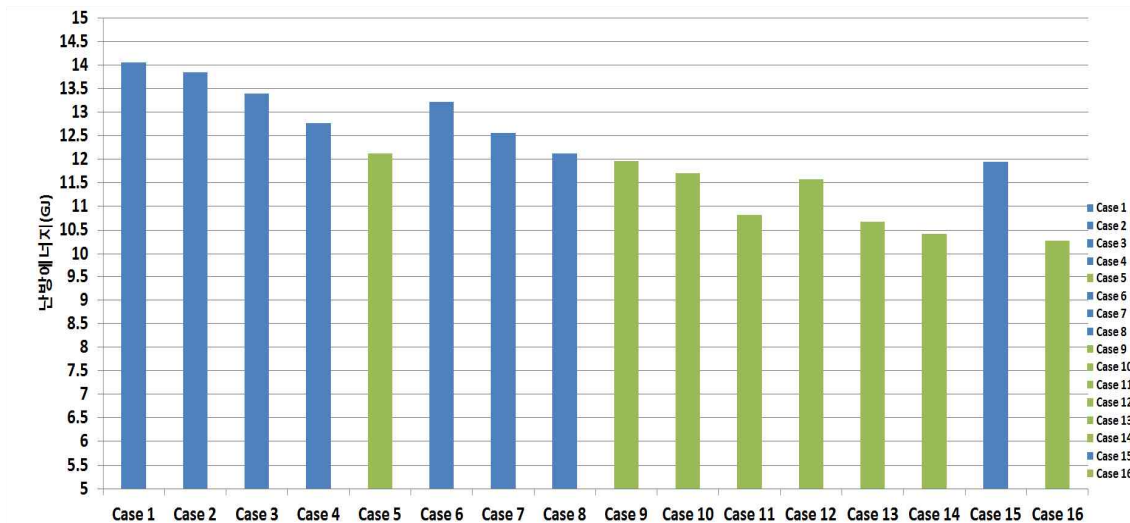
목구조를 적용했을 경우 14.7%의 난방에너지가 절감되었고, 실내 마감재까지 적용 시에는 15.4%, 외부 마감재까지 적용했을 시에는 16.6%의 난방에너지가 절감되었다. 실내·외 마감재, 창호, 구조재를 전부 교체했을 경우에는 26.3%의 난방 에너지 절감이 가능했으나, 냉방 에너지는 다소 상승하는 것으로 분석되었다. 총 에너지 요구량은 냉방 에너지 요구량 증가폭에 비해 난방 에너지 요구량의 감소폭이 커 16.8% 감소하는 것으로 나타났다.

남부지방의 경우에도 중부지방과 동일하게 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’의 평가기준 주택의 부위별 열관류율을 적용한 비목질 구조재(콘크리트)+ 비목질 마감재인 기준 모델 (Case 1)에 목질 제품의 적용 범위를 실내마감재, 실외마감재, 창호, 목구조로 단계적으로 변경해 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과는 다음 [표 3.6.1-9], <그림 3.6.1-5>과 같다.

[표 3.6.1-9] 남부지방 목질제품 적용에 따른 에너지 요구량

Case 구성	난방에너지	비율	냉방에너지	비율	합계	비율
Case 1(Base Model)	14.05 GJ	100%	9.24 GJ	100%	23.29 GJ	100%
Case 2(IF)	13.84 GJ	98.5%	9.25 GJ	100.1%	23.09 GJ	99.1%
Case 3(OF)	13.39 GJ	95.3%	9.56 GJ	103.5%	22.95 GJ	98.5%
Case 4(WD)	12.77 GJ	90.9%	9.52 GJ	103.0%	22.29 GJ	95.7%
Case 5(ST)	12.12 GJ	86.3%	9.27 GJ	100.3%	21.39 GJ	91.8%
Case 6(IF+OF)	13.21 GJ	94.0%	9.56 GJ	103.5%	22.77 GJ	97.8%
Case 7(IF+WD)	12.56 GJ	89.4%	9.53 GJ	103.1%	22.09 GJ	94.8%
Case 8(OF+WD)	12.12 GJ	86.3%	9.85 GJ	106.6%	21.97 GJ	94.3%
Case 9(ST+IF)	11.97 GJ	85.2%	9.28 GJ	100.4%	21.25 GJ	91.2%
Case 10(ST+OF)	11.70 GJ	83.3%	9.52 GJ	103.0%	21.22 GJ	91.1%
Case 11(ST+WD)	10.83 GJ	77.1%	9.56 GJ	103.5%	20.39 GJ	87.5%
Case 12(ST+IF+OF)	11.57 GJ	82.3%	9.52 GJ	103.0%	21.09 GJ	90.6%
Case 13(ST+IF+WD)	10.68 GJ	76.0%	9.57 GJ	103.6%	20.25 GJ	86.9%
Case 14(ST+OF+WD)	10.42 GJ	74.2%	9.82 GJ	106.3%	20.24 GJ	86.9%
Case 15(IF+OF+WD)	11.94 GJ	85.0%	9.85 GJ	106.6%	21.79 GJ	93.6%
Case 16(ST+IF+OF+WD)	10.28 GJ	73.2%	9.82 GJ	106.3%	20.10 GJ	86.3%

※ 실내목재마감 : IF, 실외목재마감 : OF, 목구조 : ST, 목재창호 : WD



<그림 3.6.1-5> 남부지방 목질제품 적용에 따른 난방에너지

남부지방의 경우도 중부지방과 유사하게, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.5% 난방에너지가 절감되었으며, 실외 마감재를 적용 시에는 4.7%, 내·외부 동시 적용 시에는 6.0%의 난방에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호의 적용 시에는 9.1%의 난방에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용 할 경우에는 약 10.6% 에너지가 절감되었고, 외부마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 13.7% 난방에너지가 절감되었다.

목구조를 적용했을 경우 13.7%의 난방에너지가 절감되었고, 실내 마감재까지 적용 시에는 14.8%, 외부 마감재까지 적용했을 시에는 16.7%의 난방에너지가 절감되었다. 실내·외 마감재, 창호, 구조재를 전부 교체했을 경우에는 26.8%의 난방 에너지 절감이 가능했으며, 난방 에너지는 다소 상승하는 것으로 분석되었다. 총 에너지 요구량은 난방 에너지 요구량 증가 폭에 비해 난방 에너지 요구량의 감소폭이 커 13.7% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 목표 절감을 달성이 가능한 목구조 열성능(열관류율) 기준 수립

이상의 연구를 통해 목질 제품의 적용을 통해 친환경주택 평가기준 주택 대비 난방에너지 요구량 25% 절감의 달성이 가능한 것을 확인하였다. 이에 선정된 표준 건물의 목표 절감을 달성이 가능한 벽체, 지붕, 창호의 열성능(열관류율) 기준을 반복 시뮬레이션을 통해 다음과 같이 수립하였다. 비목질모델은 콘크리트구조와 비목질마감재를 사용한 친환경주택 평가기준 주택의 열관류율 기준이 적용된 기준 모델(Case 1)이며, 목질모델은 목구조와 목질마감재를 사용한 기준모델 대비 25%의 난방 에너지 절감 목표를 달성한 모델(Case 16)이다.

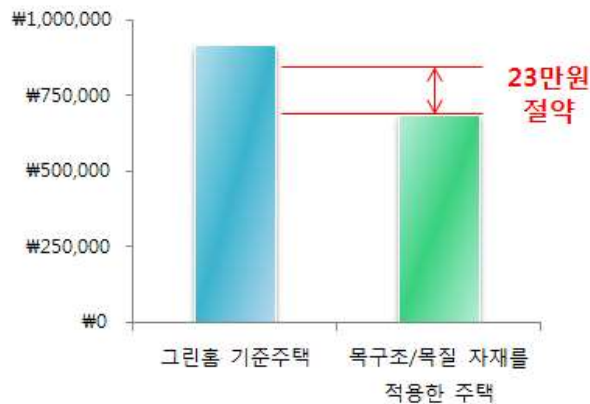
[표 3.6.1-10] 표준건물 분석으로 수립한 지역별 부위별 열성능(열관류율) 기준

구 분		부 위	열관류율 (W/m ² ·K)
중부지방	비목질모델 (기준모델)	벽체	0.460
		지붕	0.290
		창호	3.000
	목질모델 (기준모델 대비 난방에너지 25% 절감 모델)	벽체	0.310
		지붕	0.235
		창호	2.200
남부지방	비목질모델 (기준 모델)	벽체	0.570
		지붕	0.345
		창호	3.300
	목질모델 (기준모델 대비 난방에너지 25% 절감 모델)	벽체	0.405
		지붕	0.285
		창호	2.400

※ 바닥부위는 콘크리트 구조와 동일하여 열관류율 산정에서 제외함.

(3) 그린홈 대비 연간 에너지 절약 성능 비교

본 연구에서 시뮬레이션에 이용한 건축물 모델은 농어촌 주택 표준설계도서로서 그린홈 기준으로 제시하였다. 동일한 건축물 모델에서 목구조와 목질자재를 사용할 때에는 25%의 난방에너지 목표절감을 달성이 가능하였다. 따라서, 본 주택에 거주하게 될 농어업인과 소비자의 경우 연간 약 23만원의 난방비가 절약이 되는 것으로 나타났다. 또한, 상기의 시뮬레이션 결과를 볼 때 철근콘크리트 구조와 비교하여 목구조로 변경하는 것만으로도 상당량의 에너지가 절감되는 것을 확인할 수 있으며 건축물의 경우 기성재처럼 단순히 시공비를 비교할 수 없지만 일반적인 단독 주택의 3.3m² 당 공사비가 400만원 정도로 볼 때 목구조의 경우 비슷한 공사비로 공기의 절감으로 인한 시공비 절감 효과가 높으므로 동일한 건물을 지을 때 목구조의 경우 에너지 절감 및 시공비 절감의 효과가 있음을 알 수 있다.



<그림 3.6.1-6> 그린홈 대비 연간 난방 요금 비교

3.6.2 목질제품의 부위별 최소 열성능 기준

가. 검증 시뮬레이션 개요

본 절에서는 표준건물 분석을 통해 수립된 열성능 기준의 타당성을 검증하기 위해 다양한 형태(창면적비, 지붕면적비)의 건물에 대해 수립된 열성능 기준을 적용해 목표절감율 달성 여부를 평가하였다.

목표절감율 설정 기준은 연구 시작 시점의 ‘친환경주택 건설기준 및 성능’에 명시된 기준인 평가기준주택 총 에너지 대비 15%에서 10%를 추가 절감한 25%로 설정하였다. 2012년 해당 고시의 절감 기준이 변경(15%→25%로 강화)됨에 따라, 본 연구에서는 ‘친환경주택 건설기준 및 성능’의 현행 기준인 평가기준주택 대비 25%를 절감율 목표구조 주택의 목표절감율로 설정하여 연구를 수행하였다.

위와 같은 목표 절감율을 기준으로 모든 건물 형태에서 목표절감율 달성이 가능한지를 분석하고, 민감도 분석을 통해 보정 인자(부위)를 선정한 뒤, 반복 시뮬레이션을 통해 인자별 보정값(안전율)을 도출하였다.

검증 기준은 모든 형태의 건물에서의 목표절감율 달성과 건물 형태에 따른 절감율차 최소화이며, 선정된 표준건물(농어촌주택 표준설계도서 ‘농림-12-26-가’)에 친환경주택 평가기준 주택의 열관류율 기준을 적용한 비목질모델(기준모델)과 표준건물에서 난방에너지 절감목표를 달성한 목질모델(목표달성모델)을 비교하였다. 건물의 장단변을 7.2m부터 14.4m까지 3.6m 모듈로 다양하게 변화시키고, 창면적비를 20%~50% 범위에서 10% 간격으로 변화시켜 검증 Case를 구성하였다. 건물 높이는 3.6m로 설정하였으며, 기타 시뮬레이션 입력조건은 3.6.1절과 동일하다. 다음 [표 3.6.2-1]은 검증 시뮬레이션 Case와 열관류율 기준을 나타낸 것이다.

[표 3.6.2-1] 검증시뮬레이션 Case 및 열관류율 기준

구조	Case 구성		부위	열관류율(W/m ² ·K)	
	평면규격(m)	창면적비(%)		중부 지방	남부지방
비목질 모델 (기준 모델)	7.2 x 7.2	20~50%	벽체	0.460	0.570
	7.2 x 10.8				
	10.8 x 7.2		지붕	0.290	0.345
	7.2 x 14.4				
	14.4 x 7.2		창호	3.000	3.300
	10.8 x 10.8				
	10.8 x 14.4				
	14.4 x 10.8				
14.4 x 14.4					
목질모델 (목표 절감율 달성 모델)	7.2 x 7.2	20~50%	벽체	0.310	0.405
	7.2 x 10.8				
	10.8 x 7.2		지붕	0.235	0.285
	7.2 x 14.4				
	14.4 x 7.2		창호	2.200	2.400
	10.8 x 10.8				
	10.8 x 14.4				
	14.4 x 10.8				
14.4 x 14.4					

※ 바닥부위는 콘크리트 구조와 동일하여 열관류율 산정에서 제외함.

나. 건물 형태별 시뮬레이션 분석 결과

표준건물을 이용해 수립한 열성능 기준의 타당성을 검증하기 위해 다양한 형태(평면규격, 창면적비)를 가진 36개의 Case에 대해 지역별(중부, 남부), 구조별(비목질모델, 목질모델) 시뮬레이션을 수행하였다. [표 3.6.2-2]은 중부지방 검증 시뮬레이션 결과를, [표 3.6.2-3]은 남부지방 검증 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[표 3.6.2-2] 중부지방 검증 시뮬레이션 난방에너지 비교

검증 Case	평면규격	지붕/벽면적비(%)	창면적비(%)	난방에너지(GJ)		절감량(%)
				비목질모델	목질모델	
Case 1	7.2 x 7.2	50.0	20	16.60	12.28	26.0
Case 2	7.2 x 7.2	50.0	30	18.41	13.35	27.5
Case 3	7.2 x 7.2	50.0	40	20.48	14.71	28.2
Case 4	7.2 x 7.2	50.0	50	22.43	16.07	28.4
Case 5	7.2 x 10.8	60.0	20	22.65	16.98	25.0
Case 6	7.2 x 10.8	60.0	30	24.94	18.33	26.5
Case 7	7.2 x 10.8	60.0	40	27.51	19.97	27.4
Case 8	7.2 x 10.8	60.0	50	29.91	21.56	27.9
Case 9	10.8 x 7.2	60.0	20	22.21	16.53	25.6
Case 10	10.8 x 7.2	60.0	30	24.35	17.72	27.2
Case 11	10.8 x 7.2	60.0	40	26.82	19.26	28.2
Case 12	10.8 x 7.2	60.0	50	29.17	20.82	28.6
Case 13	7.2 x 14.4	66.7	20	28.70	21.15	26.3
Case 14	7.2 x 14.4	66.7	30	31.49	22.76	27.7
Case 15	7.2 x 14.4	66.7	40	34.36	24.66	28.2
Case 16	7.2 x 14.4	66.7	50	37.49	26.52	29.3
Case 17	14.4 x 7.2	66.7	20	27.78	20.72	25.4
Case 18	14.4 x 7.2	66.7	30	30.28	22.06	27.1
Case 19	14.4 x 7.2	66.7	40	33.15	23.80	28.2
Case 20	14.4 x 7.2	66.7	50	35.92	25.56	28.8
Case 21	10.8 x 10.8	75.0	20	29.71	22.55	24.1
Case 22	10.8 x 10.8	75.0	30	32.27	23.97	25.7
Case 23	10.8 x 10.8	75.0	40	35.16	25.70	26.9
Case 24	10.8 x 10.8	75.0	50	37.84	27.39	27.6
Case 25	10.8 x 14.4	85.7	20	37.22	28.57	23.2
Case 26	10.8 x 14.4	85.7	30	40.25	30.25	24.8
Case 27	10.8 x 14.4	85.7	40	43.62	32.27	26.0
Case 28	10.8 x 14.4	85.7	50	46.76	34.15	27.0
Case 29	14.4 x 10.8	85.7	20	36.74	28.08	23.6
Case 30	14.4 x 10.8	85.7	30	39.60	29.60	25.3
Case 31	14.4 x 10.8	85.7	40	42.84	31.44	26.6
Case 32	14.4 x 10.8	85.7	50	45.84	33.25	27.5
Case 33	14.4 x 14.4	100.0	20	45.73	35.44	22.5
Case 34	14.4 x 14.4	100.0	30	49.02	37.17	24.2
Case 35	14.4 x 14.4	100.0	40	52.68	39.28	25.4
Case 36	14.4 x 14.4	100.0	50	56.09	41.21	26.5

[표 3.6.2-3] 남부지방 검증 시뮬레이션 난방에너지 비교

검증 Case	평면규격	지붕/벽 면적비(%)	창면적비 (%)	난방에너지(GJ)		절감량(%)
				비목질모델	목질모델	
Case 1	7.2 x 7.2	50.0	20	13.59	10.42	23.3
Case 2	7.2 x 7.2	50.0	30	14.91	11.10	25.6
Case 3	7.2 x 7.2	50.0	40	16.54	12.10	26.8
Case 4	7.2 x 7.2	50.0	50	18.12	13.15	27.4
Case 5	7.2 x 10.8	60.0	20	18.50	14.15	23.5
Case 6	7.2 x 10.8	60.0	30	20.13	14.94	25.8
Case 7	7.2 x 10.8	60.0	40	22.09	16.08	27.2
Case 8	7.2 x 10.8	60.0	50	23.97	17.26	28.0
Case 9	10.8 x 7.2	60.0	20	18.08	13.74	24.0
Case 10	10.8 x 7.2	60.0	30	19.60	14.42	26.4
Case 11	10.8 x 7.2	60.0	40	21.53	15.52	27.9
Case 12	10.8 x 7.2	60.0	50	23.42	16.68	28.8
Case 13	7.2 x 14.4	66.7	20	23.43	17.59	24.9
Case 14	7.2 x 14.4	66.7	30	25.38	18.50	27.1
Case 15	7.2 x 14.4	66.7	40	27.72	19.78	28.6
Case 16	7.2 x 14.4	66.7	50	29.95	21.11	29.5
Case 17	14.4 x 7.2	66.7	20	22.54	17.16	23.9
Case 18	14.4 x 7.2	66.7	30	24.29	17.88	26.4
Case 19	14.4 x 7.2	66.7	40	26.53	19.09	28.0
Case 20	14.4 x 7.2	66.7	50	28.74	20.40	29.0
Case 21	10.8 x 10.8	75.0	20	24.11	18.66	22.6
Case 22	10.8 x 10.8	75.0	30	25.86	19.39	25.0
Case 23	10.8 x 10.8	75.0	40	28.00	20.53	26.7
Case 24	10.8 x 10.8	75.0	50	30.08	21.71	27.8
Case 25	10.8 x 14.4	85.7	20	30.18	23.59	21.8
Case 26	10.8 x 14.4	85.7	30	32.20	24.42	24.2
Case 27	10.8 x 14.4	85.7	40	34.64	25.67	25.9
Case 28	10.8 x 14.4	85.7	50	36.98	26.94	27.1
Case 29	14.4 x 10.8	85.7	20	29.70	23.13	22.1
Case 30	14.4 x 10.8	85.7	30	31.60	23.83	24.6
Case 31	14.4 x 10.8	85.7	40	33.96	24.99	26.4
Case 32	14.4 x 10.8	85.7	50	36.26	26.21	27.7
Case 33	14.4 x 14.4	100.0	20	36.91	29.13	21.1
Case 34	14.4 x 14.4	100.0	30	39.05	29.89	23.5
Case 35	14.4 x 14.4	100.0	40	41.64	31.10	25.3
Case 36	14.4 x 14.4	100.0	50	44.12	32.33	26.7

검증 시뮬레이션을 수행한 결과, 중부지방에서는 36개의 Case 중 4개, 남부지방에서는 12개의 Case가 목표절감율(친환경주택 기준주택 대비 난방에너지 25% 절감) 달성을 못한 것으로 나타났다. 창면적비가 낮을수록 지붕/벽면적비가 높을수록 에너지 절감율이 낮게 나타났다. 중부지방의 경우는 최대 2.5%가 부족하게, 남부지방에서는 3.9%가 부족하게 나타났다.

다. 민감도 분석을 통한 열성능 기준 보정

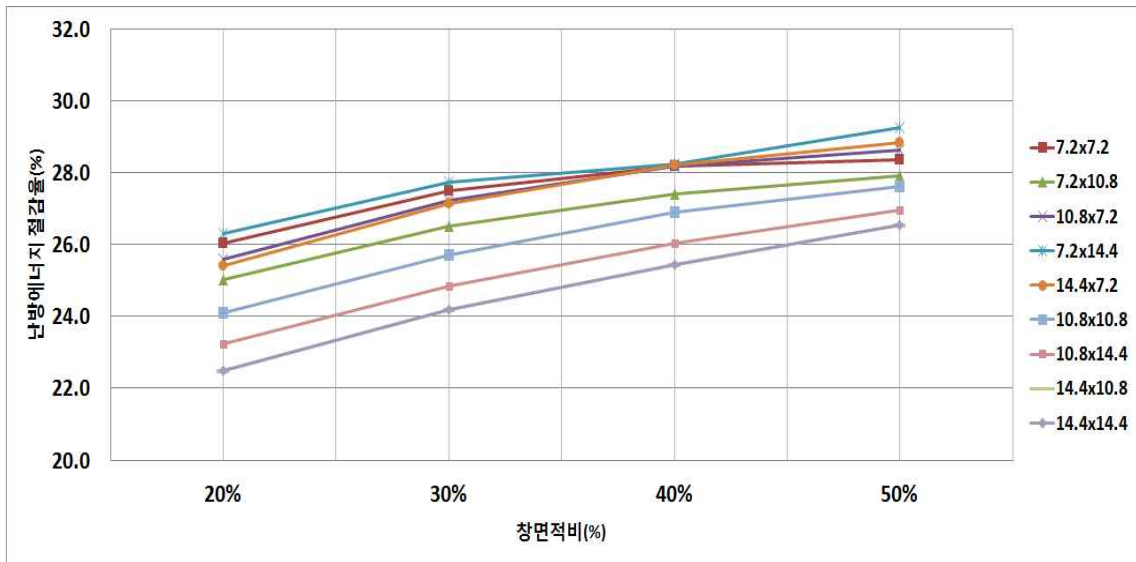
표준건물을 이용해 수립한 지역별·부위별 열성능 기준이 다양한 형태의 건물을 이용한 검증 시뮬레이션에서는 일부 Case에서 목표 절감율을 달성하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 창면적비 및 지붕/벽면적비에 대한 민감도 분석을 통해 보정할 부위 즉 안전율을 적용할 부위와 우선순위를 선정하고자 한다.

(1) 창면적비

[표 3.6.2-4]와 <그림 3.6.2-1>은 중부지방의 창면적비 변화에 따른 난방에너지 절감율 변화를 나타낸 것이다. 창면적비가 커질수록 절감율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 창의 열관류율을 조정할 경우 절감율 차이가 현재보다 더 벌어질 수 있음을 의미하며, 이에 벽체와 창호 중에서는 벽체의 열관류율을 조정하는 것이 절감율을 높이면서 창면적비에 따른 절감율 차이를 줄일 수 있어 열성능 기준 보정에 효과적일 것으로 사료된다.

[표 3.6.2-4] 중부지방 창면적비에 의한 난방에너지 절감율

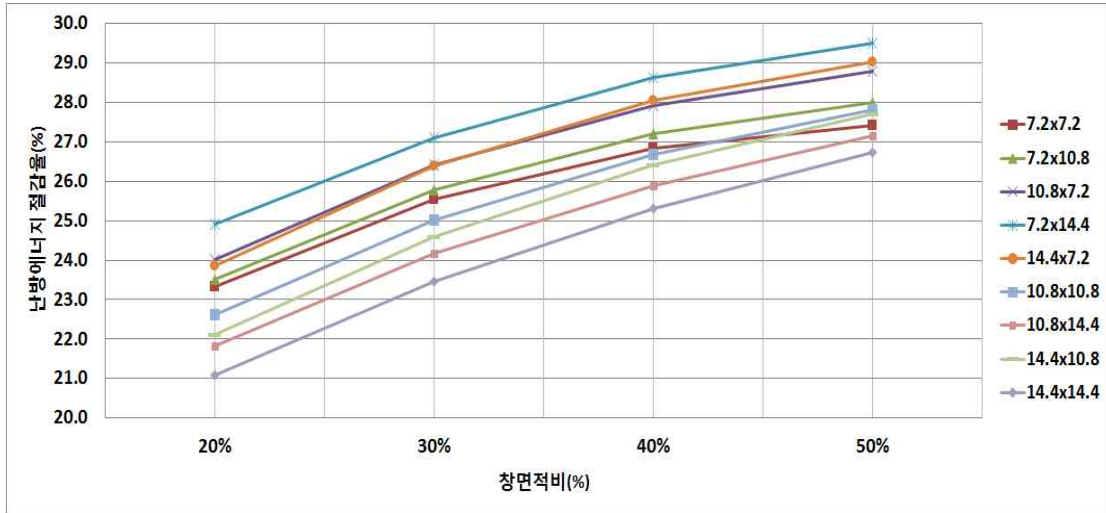
창면적비 (%)	단위 : %								
	7.2x7.2	7.2x10.8	10.8x7.2	7.2x14.4	14.4x7.2	10.8x10.8	10.8x14.4	14.4x10.8	14.4x14.4
20	26.0	25.0	25.6	26.3	25.4	24.1	23.2	22.5	22.5
30	27.5	26.5	27.2	27.7	27.1	25.7	24.8	24.2	24.2
40	28.2	27.4	28.2	28.2	28.2	26.9	26.0	25.4	25.4
50	28.4	27.9	28.6	29.3	28.8	27.6	27.0	26.5	26.5



<그림 3.6.2-1> 중부지방 창면적비에 의한 난방에너지 절감율 추이

[표 3.6.2-5] 남부지방 창면적비에 의한 난방에너지 절감율

창면적비 (%)	단위 : %								
	7.2x7.2	7.2x10.8	10.8x7.2	7.2x14.4	14.4x7.2	10.8x10.8	10.8x14.4	14.4x10.8	14.4x14.4
20	23.3	23.5	24.0	24.9	23.9	22.6	21.8	22.1	21.1
30	25.6	25.8	26.4	27.1	26.4	25.0	24.2	24.6	23.5
40	26.8	27.2	27.9	28.6	28.0	26.7	25.9	26.4	25.3
50	27.4	28.0	28.8	29.5	29.0	27.8	27.1	27.7	26.7



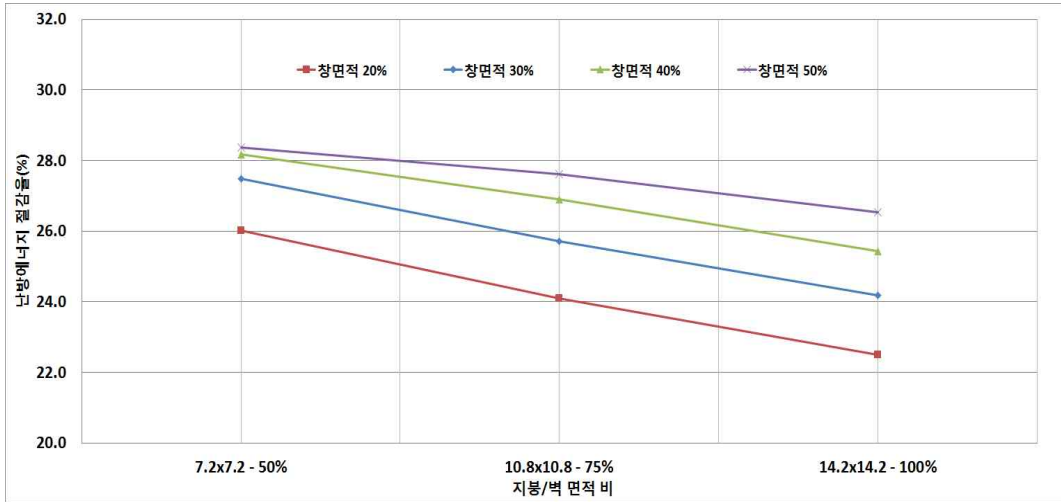
<그림 3.6.2-2> 남부지방 창면적비에 의한 난방에너지 절감율 추이

(2) 지붕/벽면적비

[표 3.6.2-6]와 <그림 3.6.2-3>은 중부지방의 지붕/벽면적비 변화에 따른 난방에너지 절감율 변화를 나타낸 것이다. 지붕/벽면적비가 작아질수록 절감율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 벽체의 열관류율을 조정할 경우 절감율 차이가 현재보다 더 벌어질 수 있음을 의미하며, 이에 벽체와 지붕 중에서는 지붕의 열관류율을 조정하는 것이 절감율을 높이면서 지붕/벽면적비에 따른 절감율 차이를 줄일 수 있어 열성능 기준 보정에 효과적일 것으로 사료된다. 남부지방의 경우에도 동일한 경향이 나타났다.

[표 3.6.2-6] 중부지방 지붕/벽면적비에 의한 난방에너지 절감율

지붕/벽면적비	단위 : %			
	창면적비 20%	창면적비 30%	창면적비 40%	창면적비 50%
7.2x7.2 (지붕/벽면적비:50%)	26.0	27.5	28.2	28.4
10.8x10.8 (지붕/벽면적비:75%)	24.1	25.7	26.9	27.6
14.2x14.2 (지붕/벽면적비:100%)	22.5	24.2	25.4	26.5

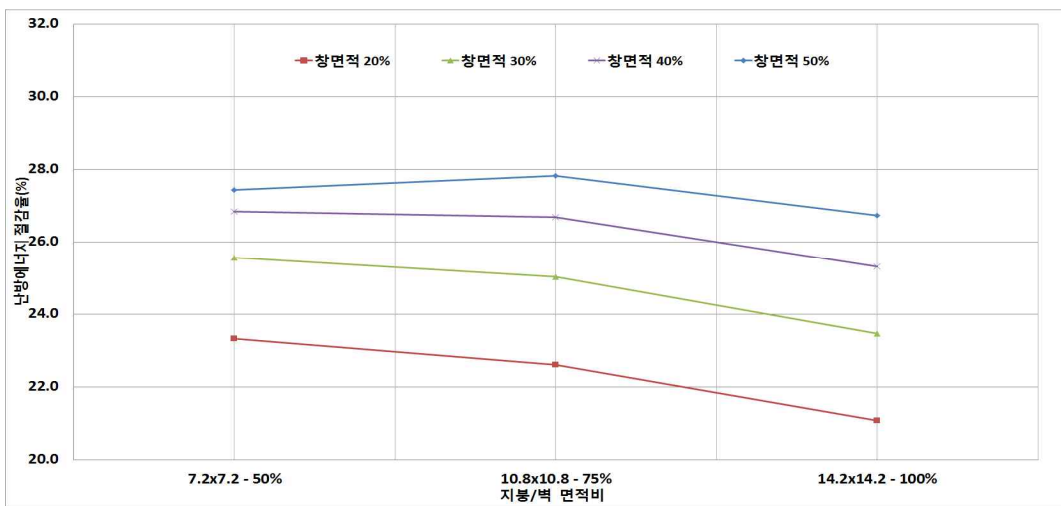


<그림 3.6.2-3> 중부지방 지붕/벽면적비에 의한 난방에너지 절감율 추이

[표 3.6.2-7] 남부지방 지붕/벽면적비에 의한 난방에너지 절감율 (%)

단위 : %

지붕/벽면적비	창면적비 20%	창면적비 30%	창면적비 40%	창면적비 50%
7.2x7.2 (지붕/벽면적비:50%)	23.3	25.6	26.8	27.4
10.8x10.8 (지붕/벽면적비:75%)	22.6	25.0	26.7	27.8
14.2x14.2 (지붕/벽면적비:100%)	21.1	23.5	25.3	26.7



<그림 3.6.2-4> 남부지방 지붕/벽면적비에 의한 난방에너지 절감율 추이

위의 내용을 종합하면 모든 형태에서 절감율을 25% 이상으로 높이면서 창면적, 벽체면적, 지붕면적의 차이에 따른 절감율차를 줄이기 위해서는 '지붕열관류율 > 벽체열관류율 > 창호열관류율' 순서로 보정하는 것이 효율적일 것으로 사료된다.

라. 지역별·부위별 열성능 기준

본 절에서는 위의 민감도 분석을 통해 정해진 부위별 우선순위를 바탕으로, 지붕과 벽체의 열관류율을 0.01 간격으로 조정하며 시뮬레이션을 반복적으로 수행해, 검증 기준인 모든 형태의 건물에서의 목표 절감을 달성하고 절감율 차이 최소화를 만족시킬 수 있는 보정값(안전율)을 도출하였다.

(1) 보정값(안전율)을 적용한 지역별·부위별 열성능 기준 제시

민감도 분석 결과 지붕 > 벽체 > 창호의 순서로 열관류율을 변경하는 것이 모든 형태에서의 목표절감을 달성하고 동시에 절감율 차를 최소로 하는 것으로 나타났다. 이에 지붕과 벽체의 열관류율만 변화시켜 순차적인 반복 계산을 통해 검증 조건을 만족시킬 수 있는 보정값(안전율)을 분석한 결과, 지붕의 열관류율을 약 12%, 벽체의 열관류율을 약 8% 강화하는 대안이 가장 효율적인 것으로 분석되었다. [표 3.6.2-8]은 보정된 열성능(열관류율) 기준을 정리한 것이다.

[표 3.6.2-8] 보정된 목구조의 지역별·부위별 열성능 기준

지역	부위	열관류율(W/m ² ·K)	
		기존 기준 (표준 주택 분석)	보정된 기준 (부위별 안전율 적용)
중부지방	벽체	0.310	0.290
	지붕	0.235	0.200
	창호	2.200	2.200
남부지방	벽체	0.405	0.375
	지붕	0.284	0.250
	창호	2.400	2.400

(2) 보정된 기준을 적용한 시뮬레이션 분석 결과

[표 3.6.2-9]는 보정된 열성능 기준을 적용해 중부지방에서 다양한 형태 모델의 목표절감을 달성 여부를 검증한 결과이다. 모든 Case에서 난방에너지 절감율이 25% 이상으로 나타났으며, Case 간 절감율 차이도 보정 전에 비해([표 3.6.2-2] 참조) 줄어든 것으로 분석되었다. 절감률 차이를 구체적으로 살펴보면 7.2*7.2 모델에서 창면적비에 따라 2.4% 차이가 나던 절감률이 0.7%로 줄어들었으며, 14.4*14.4 모델에서는 창면적비에 따라 4.0%에서 2.7%로 절감률 차이가 감소하였다.

[표 3.6.2-10]은 보정된 열성능 기준을 적용해 남부지방에서 다양한 형태 모델의 목표절감을 달성 여부를 검증한 결과이다. 중부 지방과 동일하게 모든 Case에서 난방에너지 절감율이 25% 이상으로 나타났으며, Case 간 절감율 차이도 보정 전에 비해([표 3.6.2-3] 참조) 줄어든 것으로 분석되었다.

이로써 [표 3.6.2-8]에 제시한 보정 열성능(열관류율) 기준의 타당성이 검증되었으며, 이는 목구조 설계를 위한 가이드라인으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[표 3.6.2-9] 보정된 열관류율을 적용한 중부지방 검증 시뮬레이션 결과

검증 Case	평면규격	지붕/벽 면적비(%)	창면적비 (%)	난방에너지(GJ)		절감량(%)
				비목질모델	목질모델	
Case 1	7.2 x 7.2	50.0	20	16.60	11.67	29.7
Case 2	7.2 x 7.2	50.0	30	18.41	12.80	30.5
Case 3	7.2 x 7.2	50.0	40	20.48	14.21	30.6
Case 4	7.2 x 7.2	50.0	50	22.43	15.62	30.4
Case 5	7.2 x 10.8	60.0	20	22.65	16.13	28.8
Case 6	7.2 x 10.8	60.0	30	24.94	17.56	29.6
Case 7	7.2 x 10.8	60.0	40	27.51	19.25	30.0
Case 8	7.2 x 10.8	60.0	50	29.91	20.92	30.1
Case 9	10.8 x 7.2	60.0	20	22.21	15.69	29.4
Case 10	10.8 x 7.2	60.0	30	24.35	16.95	30.4
Case 11	10.8 x 7.2	60.0	40	26.82	18.56	30.8
Case 12	10.8 x 7.2	60.0	50	29.17	20.18	30.8
Case 13	7.2 x 14.4	66.7	20	28.70	20.09	30.0
Case 14	7.2 x 14.4	66.7	30	31.49	21.78	30.8
Case 15	7.2 x 14.4	66.7	40	34.36	23.75	30.9
Case 16	7.2 x 14.4	66.7	50	37.49	25.69	31.5
Case 17	14.4 x 7.2	66.7	20	27.78	19.65	29.3
Case 18	14.4 x 7.2	66.7	30	30.28	21.07	30.4
Case 19	14.4 x 7.2	66.7	40	33.15	22.89	31.0
Case 20	14.4 x 7.2	66.7	50	35.92	24.73	31.2
Case 21	10.8 x 10.8	75.0	20	29.71	21.40	28.0
Case 22	10.8 x 10.8	75.0	30	32.27	22.91	29.0
Case 23	10.8 x 10.8	75.0	40	35.16	24.71	29.7
Case 24	10.8 x 10.8	75.0	50	37.84	26.48	30.0
Case 25	10.8 x 14.4	85.7	20	37.22	27.10	27.2
Case 26	10.8 x 14.4	85.7	30	40.25	28.88	28.2
Case 27	10.8 x 14.4	85.7	40	43.62	30.97	29.0
Case 28	10.8 x 14.4	85.7	50	46.76	32.97	29.5
Case 29	14.4 x 10.8	85.7	20	36.74	26.61	27.6
Case 30	14.4 x 10.8	85.7	30	39.60	28.23	28.7
Case 31	14.4 x 10.8	85.7	40	42.84	30.17	29.6
Case 32	14.4 x 10.8	85.7	50	45.84	32.07	30.0
Case 33	14.4 x 14.4	100.0	20	45.73	33.58	26.6
Case 34	14.4 x 14.4	100.0	30	49.02	35.43	27.7
Case 35	14.4 x 14.4	100.0	40	52.68	37.62	28.6
Case 36	14.4 x 14.4	100.0	50	56.09	39.68	29.3

[표 3.6.2-10] 보정된 열관류율을 적용한 남부지방 검증 시뮬레이션 결과

검증 Case	평면규격	지붕/벽 면적비(%)	창면적비 (%)	난방에너지(GJ)		절감량(%)
				비목질	목구조	
Case 1	7.2 x 7.2	50.0	20	13.59	9.79	28.0
Case 2	7.2 x 7.2	50.0	30	14.91	10.52	29.4
Case 3	7.2 x 7.2	50.0	40	16.54	11.58	30.0
Case 4	7.2 x 7.2	50.0	50	18.12	12.68	30.0
Case 5	7.2 x 10.8	60.0	20	18.50	13.29	28.2
Case 6	7.2 x 10.8	60.0	30	20.13	14.16	29.7
Case 7	7.2 x 10.8	60.0	40	22.09	15.37	30.4
Case 8	7.2 x 10.8	60.0	50	23.97	16.61	30.7
Case 9	10.8 x 7.2	60.0	20	18.08	12.88	28.8
Case 10	10.8 x 7.2	60.0	30	19.60	13.64	30.4
Case 11	10.8 x 7.2	60.0	40	21.53	14.80	31.3
Case 12	10.8 x 7.2	60.0	50	23.42	16.04	31.5
Case 13	7.2 x 14.4	66.7	20	23.43	16.52	29.5
Case 14	7.2 x 14.4	66.7	30	25.38	17.52	31.0
Case 15	7.2 x 14.4	66.7	40	27.72	18.87	31.9
Case 16	7.2 x 14.4	66.7	50	29.95	20.28	32.3
Case 17	14.4 x 7.2	66.7	20	22.54	16.07	28.7
Case 18	14.4 x 7.2	66.7	30	24.29	16.89	30.5
Case 19	14.4 x 7.2	66.7	40	26.53	18.17	31.5
Case 20	14.4 x 7.2	66.7	50	28.74	19.57	31.9
Case 21	10.8 x 10.8	75.0	20	24.11	17.50	27.4
Case 22	10.8 x 10.8	75.0	30	25.86	18.32	29.2
Case 23	10.8 x 10.8	75.0	40	28.00	19.53	30.3
Case 24	10.8 x 10.8	75.0	50	30.08	20.81	30.8
Case 25	10.8 x 14.4	85.7	20	30.18	22.12	26.7
Case 26	10.8 x 14.4	85.7	30	32.20	23.06	28.4
Case 27	10.8 x 14.4	85.7	40	34.64	24.41	29.5
Case 28	10.8 x 14.4	85.7	50	36.98	25.78	30.3
Case 29	14.4 x 10.8	85.7	20	29.70	21.67	27.0
Case 30	14.4 x 10.8	85.7	30	31.60	22.47	28.9
Case 31	14.4 x 10.8	85.7	40	33.96	23.73	30.1
Case 32	14.4 x 10.8	85.7	50	36.26	25.06	30.9
Case 33	14.4 x 14.4	100.0	20	36.91	27.29	26.1
Case 34	14.4 x 14.4	100.0	30	39.05	28.17	27.9
Case 35	14.4 x 14.4	100.0	40	41.64	29.50	29.2
Case 36	14.4 x 14.4	100.0	50	44.12	30.84	30.1

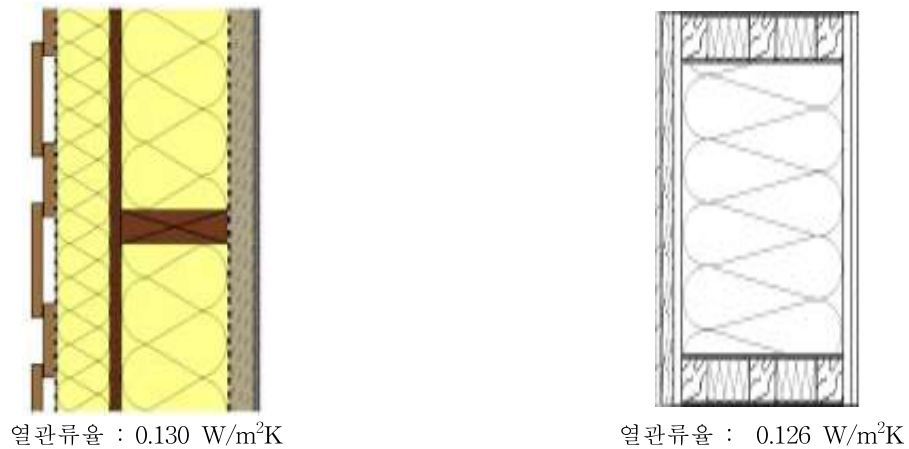
3.6.3 열성능 기준에 따른 부위별 벽체 구성안

본 절에서는 3.6.2절에서 제시한 지역별, 부위별 최소 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 목구조의 다양한 외피 구성안을 도출하였다.

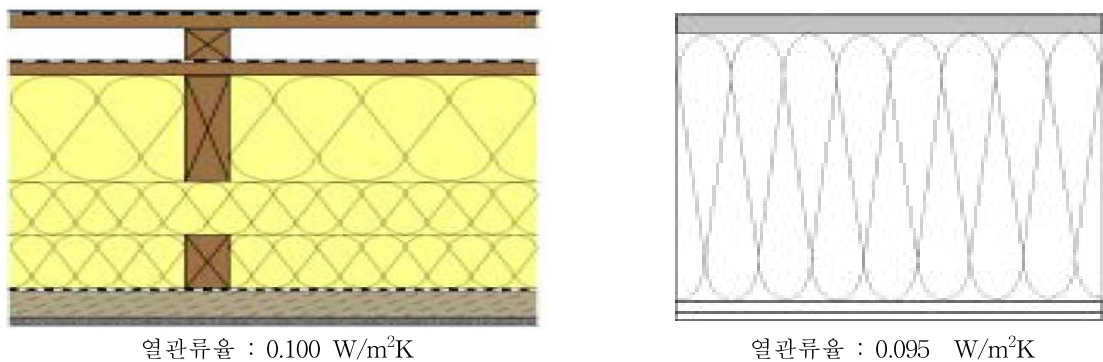
목구조 벽체 구성안은 목조 건물이 활성화 되어있는 유럽의 초 에너지 절약주택 시범보급 사업(CEPHEUS)의 단면도를 기준으로 국내 목구조 주택 디테일 등을 참조하여 도출하였다.

도면을 참조하여 구성안을 선정한 결과, 벽체와 지붕에서 주로 사용되는 외피재료는 목재 사이딩으로 선정하였으며, 외부 1차 마감재는 구조재 역할과 습기의 차단이 가능한 OSB로 구성하였다. 단열재의 경우 목구조에서 일반적으로 많이 사용되는 유리섬유단열재(Glass Wool)로 선정하였고, 각재의 간격은 400mm로 구성하였다. 실내측 1,2 차 마감재 경우 석고 보드를 사용하여 2ply로 마감한 형태의 벽체를 구성하였다. 각 부위별로 단열 성능 확보가 가능한 범위에서 사용할 수 있는 구조재 규격에 따라 구성안을 도출하였다.

아래의 <그림 3.6.3-1, 2>는 CEPHEUS의 지붕과 벽체의 단면상세도⁵¹⁾⁵²⁾이다.



<그림 3.6.3-1> CEPHEUS의 벽체 단면 상세도



<그림 3.6.3-2> CEPHEUS의 지붕 단면 상세도

51) Helmut Krapmeier, Eva Muller, CEPHEUS(Cost efficient passive houses as european standard) Wohnanlage Kuchl, CEPHEUS P/N BU/0127/97, 2001

52) Dr. Wolfgang Feist, Climate neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg : Construction and Measurement Result, CEPHEUS P/N BU/0127/97, 2003

위와 같은 도면을 참고로 그린홈 평가기준 주택 대비 25%를 절감할 수 있는 디테일을 도출하였으며, 단순 열관류율 제시보다 이질재가 혼합된 목구조의 열관류율에 따른 벽체 구성안을 정확하게 도출하기 위해 전열해석 프로그램인 Physibel Trisco를 이용하여 구성된 벽체의 열관류율을 계산하였다.

시뮬레이션 분석을 위해 필요한 경계 온도 조건 및 실내·외 표면열저항값은 [표3.6.3-1]과 같이 에너지절약설계기준에 고시된 값을 사용했으며, 분석을 위한 각종 재료의 물성은 [표3.6.3-2]와 같다.

[표3.6.3-1] 열교 부위 전열 해석을 위한 실내 및 실외 측 표면 열전달 저항

건물부위	열전달저항	실내표면열전달저항 Ri, [단위:m ² ·K/W] (괄호안은 W/m ² K)	실외표면열전달저항 Ro [단위:m ² ·K/W] (괄호안은 W/m ² K)	
			외기에 간접 면하는 경우	외기에 직접 면하는 경우
거실의 외벽 (측벽 및 창, 문 포함)		0.11 (9.09)	0.11 (9.09)	0.043 (23.25)
최하층에 있는 거실 바닥		0.086 (11.62)	0.15 (6.66)	0.043 (23.25)
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕		0.086 (11.62)	0.086 (11.62)	0.043 (23.25)
공동주택의 층간 바닥		0.086 (11.62)	-	-

[표3.6.3-2] 재료의 물성

재료명	열전도율(W/m·K)	밀도(kg/m ³)	비열(J/kg·k)
목재 사이딩(적삼목)	0.101	510	1380
OSB	0.135	800	1300
글라스 울	0.036	20	840
각재	0.14	400	1630
수성연질폼	0.050	136	750
석고보드	0.180	1090	800
루마(적삼목)	0.101	510	1380

가. 열성능 기준에 따른 벽 부위 구성안

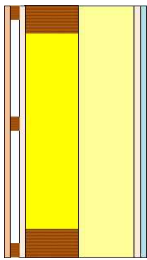
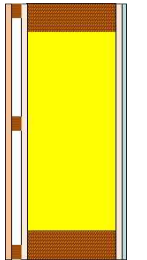
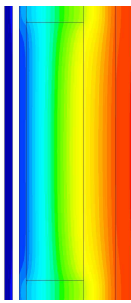
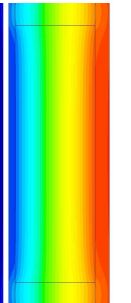
(1) 중부지방 벽체 구성안

다음 [표 3.6.3-3]은 본 연구에서 제시한 목구조 벽체의 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 중부지방 벽체 구성안을 나타낸 것이고, [표 3.6.3-4]는 해당 구성안의 전열해석 결과를 나타낸 것이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 벽체 구성안을 도출하였으며, Case 1의 경우 2x4 구조에서 일반적으로 사용되는 구성안으로 단열층이 2겹으로 시공되어 열교와 결로 방지에 유리할 것으로 판단된다.

[표3.6.3-3] 중부지방 벽체 구성안

대안	부 위	재 료	두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
ALT. 1 89mm 벽체	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.290 (기준:0.280)
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	단열층/기밀층	수성 연질폼	50	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5	
ALT. 2 140mm 벽체	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.280 (기준:0.280)
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	140	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5	

[표3.6.3-4] 중부지방 벽체 구성안 전열해석 결과

ALT. 1 89mm 벽체		ALT. 2 140mm 벽체	
			
			
열관류율(U)	0.290 W/m ² K	열관류율(U)	0.280 W/m ² K
총전열량(Q)	105.7 W	총전열량(Q)	0.103.8 W

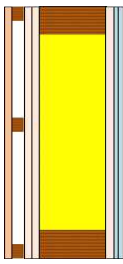
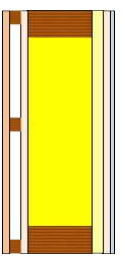
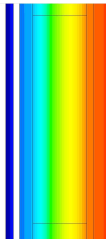
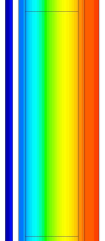
(2) 남부지방 벽체 구성안

다음 [표 3.6.3-5]는 본 연구에서 제시한 목구조 벽체의 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 남부지방 벽체 구성안을 나타낸 것이고, [표 3.6.3-6]은 해당 구성안의 전열해석 결과를 나타낸 것이다. 남부지방의 경우 열성능이 낮아 2x4" 구조재만을 이용해 벽체 구성안을 도출하였으며, 마감재와 단열재의 사용 여부에 따라 Case를 구분하였다. Case 2와 같이 단열재 두께를 조정하는 것이 열성능에는 유리하나, 경량 목구조의 경우 규격화된 각재를 사용하기 때문에 간격과 단열재의 크기가 정해져있어 규격 제품의 마감재를 활용해 벽체를 구성하는 Case 1을 같이 제시하였다.

[표3.6.3-5] 남부지방 벽체 구성안

대안	부 위	재 료	두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
AL.T. 1 89mm (마감재 추가)	외부마감재 3차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.380 (기준:0.375)
	외부마감재 2차	OSB	11.1	
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	내부마감재 1차	OSB	11.1	
	내부마감재 2차	석고보드	12.5	
	내부마감재 3차	석고보드 & 루바	12.5	
AL.T. 2 89mm 벽체 (단열층 추가)	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.375 (기준:0.375)
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	단열층/기밀층	수성 연질폼	10	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5	

[표3.6.3-6] 남부지방벽체 구성안 전열해석 결과

AL.T. 1 89mm 벽체(마감재 추가)		AL.T. 2 89mm 벽체(단열층 추가)	
			
			
열관류율(U)	0.380 W/m ² K	열관류율(U)	0.380 W/m ² K
총전열량(Q)	138.1 W	총전열량(Q)	136.6 W

나. 열성능 기준에 따른 지붕 부위 구성안

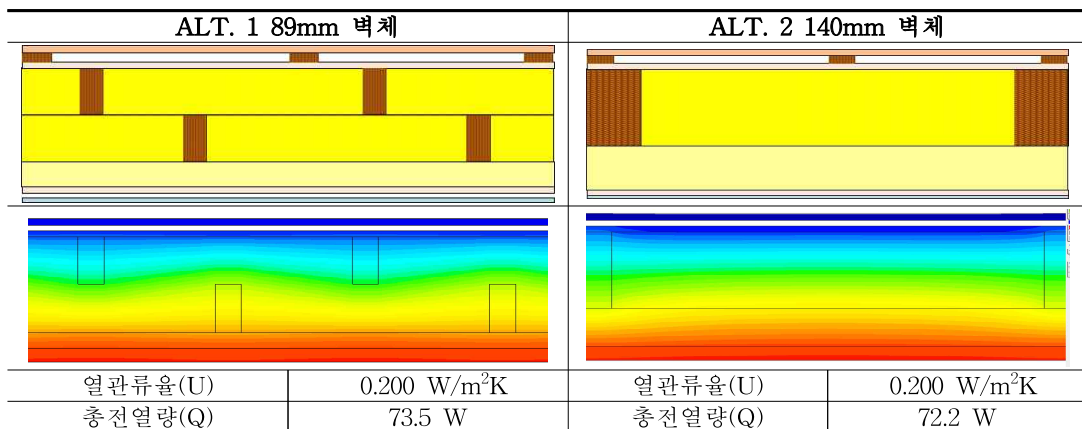
(1) 중부지방 지붕 구성안

다음 [표 3.6.3-7]은 본 연구에서 제시한 목구조 지붕의 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 중부지방 벽체 구성안을 나타낸 것이고, [표 3.6.3-8]은 해당 구성안의 전열해석 결과를 나타낸 것이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 지붕 구성안을 도출하였으며, Case 1의 경우가 목구조 지붕층의 가장 일반적인 형태로 이중단열로 구성하여 지붕층의 단열을 높이는 구성이다. 또한 지붕층에서 내부에 단열재를 두껍게 할 경우 글라스울 앞에 투습지를 설치하여 빗물이나 외부에서 발생하는 이슬에 의해 부식하지 않도록 계획해야하며, 외단열을 할 경우 단열재는 EPS 및 네오폴 같이 투습성이 좋은 단열재를 사용하여야 내부 글라스울이 부식되는 현상을 막을 수 있다

[표3.6.3-7] 중부지방 지붕 기준 제시

대안	부위	재료	두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
ALT. 1 89mm 지붕	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.200
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	단열층/기밀층	수성연질폼	30	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5-20	
ALT. 2 140mm 지붕 + 단열층	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.200
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	140	
	단열층/기밀층	수성연질폼	70	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5	

[표3.6.3-8] 중부지방 지붕 그림 예시



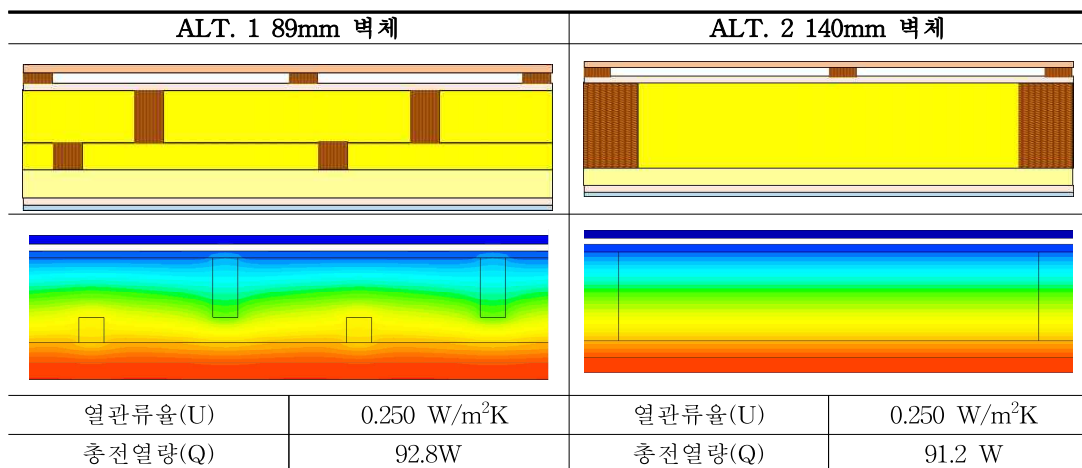
(2) 남부지방 지붕 구성안

다음 [표 3.6.3-9]는 본 연구에서 제시한 목구조 지붕의 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 남부지방 벽체 구성안을 나타낸 것이고, [표 3.6.3-10]은 해당 구성안의 전열해석 결과를 나타낸 것이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 지붕 구성안을 도출하였다.

[표3.6.3-9] 남부지방 지붕 기준 제시

대안	부위	재료	두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
ALT. 1 89 mm 지붕	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.250
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	89	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	38	
	단열층/기밀층	수성연질폼	30	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5-20	
ALT. 2 140mm 지붕 + 단열층	외부마감재 2차	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20	0.250
	외부마감재 1차	OSB	11.1	
	단열재 + 각재	GlassWool + Stud (각재 간격 400mm)	140	
	단열층/기밀층	수성연질폼	25	
	내부마감재 1차	OSB or 석고보드	12.5	
	내부마감재 2차	루바 or 석고보드	12.5	

[표3.6.3-10] 남부지방 지붕 그림 예시



3.6.4 소 결

본 절에서는 목질제품의 적용에 따른 건물 에너지 절감 기여도를 평가하고, 지역별 부위별 목구조 벽체의 열성능(열관류율) 기준을 제시하고, 열성능 기준에 따른 다양한 벽체 구성안을 정밀 전열 해석을 통해 도출하였다. 난방 에너지 요구량을 기준으로 절감율 및 열성능 기준을 도출하였으며, 열성능 기준 제시를 위한 검증 기준은 모든 형태의 건물에서의 목표절감율 달성률과 건물 형태에 따른 절감율 차이 최소화로 설정하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 선정된 표준 건물(농어촌주택 표준설계도서 ‘농림-12-26-가’)를 이용해 비목질모델(콘크리트구조+비목질마감)을 기준으로 목질 제품에 적용에 따른 에너지 절감률을 분석한 결과, 목질 실·내외 마감재, 목재 창호, 목질 구조재를 적용할 경우 25% 이상의 난방 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났다. [표 3.6.4-1]은 목질 제품의 적용 범위에 따른 에너지 절감률을 정리한 것이다.

[표3.6.4-1] 목재 제품별 적용 시 난방에너지 절감율

Case 구성	중부지방 절감율(%)	남부지방 절감율(%)
Case 1(Base Model)	-	-
Case 2(IF)	1.2	1.5
Case 3(OF)	3.4	4.7
Case 4(WD)	9.0	9.1
Case 5(ST)	14.7	13.7
Case 6(IF-OF)	4.5	6.0
Case 7(IF-WD)	10.2	10.6
Case 8(OF-WD)	12.3	13.7
Case 9(ST-IF)	15.4	14.8
Case 10(ST-OF)	16.6	16.7
Case 11(ST-WD)	23.7	22.9
Case 12(ST-IF-OF)	17.3	17.7
Case 13(ST-IF-WD)	24.4	24.0
Case 14(ST-OF-WD)	25.6	25.8
Case 15(IF-OF-WD)	13.4	15.0
Case 16(ST-IF-OF-WD)	26.3	26.8

※ 실내목재마감 : IF, 실외목재마감 : OF, 목구조 : ST, 목재창호 : WD

- 2) 표준건물 분석 결과를 바탕으로 도출된 지역별·부위별 열성능 기준에 대해 다양한 형태의 모델에 대해 검증 시뮬레이션을 실시한 결과, 지붕/벽면적비 및 창면적비를 변화시킨 36개의 Case 중부지방 4개, 남부지방 12개의 Case가 목표절감률 달성(친환경주택 평가기준 주택 대비 난방에너지 25% 절감)을 하지 못한 것으로 나타났다. 창면적비가 낮을수록 지붕/벽면적비가 높을수록 난방 에너지 절감율이 낮게 나타났다.

- 3) 열성능 기준을 보정할 부위 및 우선순위 선정을 위해 지붕/벽면적비와 창면적비에 따른 난방에너지 절감율의 민감도 분석을 실시한 결과, ‘지붕열관류율>벽체 열관류율>창호열관류

을' 순서로 열관류율을 보정하는 것이 모든 형태의 모델에서 목표절감을 달성과 동시에 절감을 차이를 최소화 할 수 있는 것으로 분석되었다.

- 4) 부위별 열관류율을 변경시켜 반복 시뮬레이션을 수행해 검증 조건을 만족시킬 수 있는 보정값(안전율)을 분석한 결과, 지붕의 열관류율을 약 12%, 벽체의 열관류율을 약 8% 강화하는 대안이 가장 효율적인 것으로 분석되었다. [표 3.6.4-2]은 보정 전·후의 열성능(열관류율) 기준을 정리한 것이다.

[표 3.6.4-2] 목표절감을 달성을 위한 목구조의 지역별·부위별 열성능 기준

지 역	부 위	열관류율(W/m ² ·K)	
		기존 기준 (표준 주택 분석)	보정된 기준 (부위별 안전율 적용)
중 부 지 방	벽체	0.310	0.290
	지붕	0.235	0.200
	창호	2.200	2.200
남 부 지 방	벽체	0.405	0.375
	지붕	0.285	0.250
	창호	2.400	2.400

- 5) 보정된 열성능(열관류율) 기준을 적용할 경우, 모든 형태 모델에서 친환경주택 평가기준 주택 대비 난방에너지 25% 절감의 목표절감을 달성이 가능하고, 보정 전에 비해 Case 간 절감을 차이도 크게 줄어드는 것으로 분석되었다.
- 6) 마지막으로 제시된 지역별·부위별 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 경량 목구조의 외피 구성안을 전열해석을 통해 분석한 열관류율을 기반으로 규격화된 각재, 단열재, 목질 마감재를 이용하여 도출하였다.

이상의 연구를 통해 목질 제품의 적용 범위에 따른 에너지 절감량을 산출하고, 지역별 부위별 열성능 기준과 해당 열성능 기준을 만족시킬 수 있는 외피 구성안을 제시하였다. 이를 통해 건물에서의 목질 제품을 이용한 에너지 절감 가능성을 정량적으로 확인하였으며, 저에너지 목구조 건축물 설계를 위한 기초 자료를 마련하였다.

3. 7 목질 제품 적용 가이드라인

이 가이드라인은 목구조 건축물을 위한 목질 제품의 적용 방법, 에너지 절감을 위한 외피의 열성능, 열교 방지 디테일을 제시하여 목구조 설계 및 시공의 효율성을 향상시켜 목구조 저에너지 건물의 활성화를 기여함을 목적으로 한다.

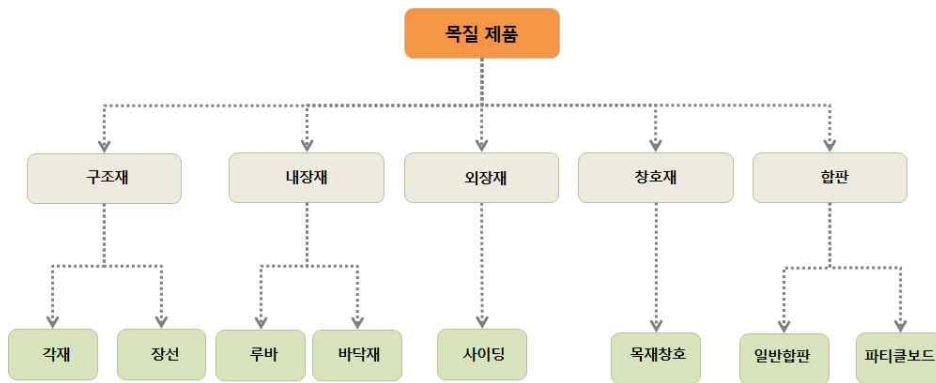
- 목질제품의 건축 부위별 적용 가이드라인 제시
- 에너지 절감을 위한 목구조 설계 가이드라인 제시
- 열교방지 및 단열성능을 위한 상세설계 가이드라인 제시

3.7.1 목질제품의 건축 부위별 적용 가이드라인

건축에서 주로 사용되는 목질제품의 사용 부위는 <그림 3.7.1-1>처럼 구조재, 내장재, 외장재, 창호재, 합판 등으로 분류할 수 있다.

상세 분류를 하면 구조재는 각재와 장선으로, 내장재는 루바와 바닥재로, 외장재는 사이딩으로, 창호재는 목재창호의 용도로 합판은 일반합판 및 파티클 보드로 세분화할 수 있다.

각 항목별로 세분화된 제품들은 형태 및 크기에 따라 다시 분류되며 또한 제조 방식에 의해서도 분류가 된다. 다음의 [표 3.7.1-1]은 목질 제품의 상세 분류표이며, 각 제품의 상세 내용은 아래에 자세히 서술하였다.



<그림 3.7.1-1> 목질 제품의 분류

[표 3.7.1-1] 목질 제품의 상세(형태/크기/제조방법) 분류

이름	각재		루바	바닥재	사이딩	일반합판	파티클보드
사용 제품	2×2	2×8	U자형 V자형	원목마루	로그	원목합판	PB
	2×4	2×10		온돌마루	베벨		OSB
	2×6	2×12		계단재	채널		MDF

(1) 각재

각재는 목재를 직사각형 형태로 가공하여 경량목구조 건물의 뼈대를 세우는데 이용하며, 일반적인 구조 공법은 2×4 혹은 2×6 공법으로 두께 2인치, 폭 4~6인치의 구조용 각재를 16인치 (406mm) 간격으로 세워 건물의 하중을 지지한다.

지지 방법은 각재를 수직으로 세워 고정시킨 뒤 구조용 각재 사이에 단열재를 넣고 건물 내부와 외부를 마감하는 방법으로 주택을 시공한다.

[표 3.7.1-2] 각재 상세 내용

요소	세부 사항	
수종	S.P.F, 가문비나무, 소나무, 전나무, 솔송나무(hem-fir), 미송(Douglas-Fir) 등등	
사용부위 & 제품형태	2×2 (38 × 38)	Stud, Rain Screen
	2×4 (38 × 89)	내벽 Stud, 외벽 Stud
	2×6 (38 × 140)	외벽 Stud,
	2×8 (38 × 184)	서까래, 장선
	2×10(38 × 235)	서까래, 장선
	2×12(38 × 285)	보
	직사각형의 형태로 38mm는 고정이며 세로의 길이가 변하는 형태	
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 경량목구조 건물의 뼈대 역할을 하여 건물의 하중을 지지 · 제품의 정해진 간격별로 시공 · 수직으로 세워 고정시킨 뒤 각재 사이에 단열재를 넣고 내외부 마감 	

(2) 루바

루바는 목재를 가공하여 홈부분을 만들어 끼워 놓을 수 있는 패널을 칭하며, 내벽 몰딩에 주로 사용된다. 주로 U자형과 V자형의 홈이 있으며 설치 시 V자의 경우 홈이 깨지지 않도록 시공하여야 한다. 또한 목재의 수축율에 의하여 변형이 될 수 있으니 유의해야한다.

[표 3.7.1-3] 루바 상세 내용

요소	세부 사항		
수종	가문비나무, 적삼목, 향목, 히노끼, 삼나무, 홍송, 미송, 등등		
사용부위 & 제품형태	홈이 없는형	내벽, 천장	홈이 없는 루바
	U자 형	내벽, 천장	홈이 U자 형태의 루바
	V자 형	내벽, 천장	홈이 V자 형태의 루바
	9mm, 12mm, 18mm 등 다양한 두께로 제작		
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 내부 인테리어 마감 · 루바는 벽면 및 천장에 목공본드 및 실리콘으로 접착하여 부착 (홈이 있는 경우 홈에 끼워서 한쌍씩 부착) · U자, V자홈이 있는 경우 홈이 8mm정도 되기 때문에 한 쌍으로 결합 시 루바 길이가 120mm일 경우 240mm가 아니고 232mm이므로 시공 시 벽면 길이 산정에 유의 · 홈에 루바를 결합 시 홈이 깨지거나 부서지지 않도록 시공 		

(3) 바닥재

목구조 또는 공동주택의 거실 및 바닥에 사용하는 자재로서 원목마루, 온돌마루, 강화마루, 강마루 등 목재를 사용한 다양한 마루가 있으며, 비용 및 필요성에 맞게 선택하여 사용한다. 강화마루의 시공방법은 루바와 마찬가지로 접착제를 바닥 또는 바닥재에 바른 후 홈이 있는 부분을 서로 결합하여 바닥에 붙여 시공하는 형태이며, 나머지 제품들은 홈이 없는 제품의 경우 접착제를 이용하여 압착시공을 하는 형태가 주를 이룬다. 비용은 원목마루 > 온돌마루 > 강마루 > 강화마루 순이며 보통 단독주택 및 공동주택에서는 원목마루의 비용 때문에 온돌마루 또는 강마루를 가장 많이 사용한다.

[표 3.7.1-4] 바닥재 상세 내용

요소	세부 사항		
수종	자작나무, 단풍나무, 참나무, 멸바우, 오리나무, 물푸레나무, 벗나무, 오동나무 등등		
사용부위 & 제품형태	통원목(Flooring)	바닥마감	통 원목을 그대로 가공하여 사용
	원목마루	바닥마감	천연원목을 합판위에 2~3밀리 이상의 두꺼운 원목을 붙여 마루판으로 가공한 마루
	온돌마루	바닥마감	합판부에 천연무늬를 입혀서 만든 마루
	강마루	바닥마감	톱밥을 접착제와 고밀도로 압축한 뒤 원목무늬의 화학필름을 씌운 마루
	강화마루	바닥마감	목재를 얇게 저며서 엇갈려 만든 원목무늬의 화학필름을 씌운 마루
	대부분 밑에 합판이 덧대져서 나오는 형상으로 직사각형의 형태를 가짐		
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 바닥난방인 국내에서는 온돌마루나 강마루 강화마루가 주로 사용됨 · 마루형태의 제품들은 수분에 취약하며 자칫하면 부식되거나 틀어짐 		

(4) 사이딩

사이딩은 단독주택의 외벽에 주로 적용되며, 다양한 형태에 의해 종류가 나뉜다. 일반적으로 베벨 사이딩이 보편적으로 사용되며, 최근에는 채널 사이딩이 편리성에 의해 많이 시공된다. 채널 사이딩은 루바와 마찬가지로 목재에 홈을 만들어 결합하는 형태로 적용된다.

[표 3.7.1-5] 사이딩 상세 내용

요소	세부 사항		
수종	S.P.F, 솔송나무, 적삼목, 낙엽송, 향삼목		
사용부위 & 제품형태	베벨 사이딩	외벽마감	경사진 삼각형 모양의 단면을 가진 외벽 사이딩
	로그 사이딩	외벽마감	목재를 반원형태로 가공한 단면 가진 외벽 사이딩
	채널 사이딩	외벽마감	목재를 수직형태로 가공한 단면과 홈을 만들어 끼울수 있도록 계획한 외벽 사이딩
	T & G 사이딩	외벽마감	루바처럼 수직형태의 단면을 홈에 끼워 넣는 방식
		직사각형 형태 또는 경사진 삼각형모양 반원형태등 다양한 방식을 가짐	
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 목조주택의 외벽 마감 시 주로 사용 · 사이딩 고정 시 아연으로 만든 사이딩 못을 사용 · 사이딩 시공 후 오일스테인을 2년에 한번씩 주기적으로 발라줘야 함 		

(5) 창호

목재 창은 알루미늄이나 플라스틱 프레임에 비해 열전도율이 낮아 목구조 패시브하우스에 주로 사용된다. 목재창호 적용 시 목재는 결이 좋고 웅이가 없는 양질의 재료로 건조한 창호를 사용하는 것이 좋다. 기존에는 목재만으로 창호프레임을 구성하여 사용하였지만, 최근 패시브 하우스에 사용되는 제품은 플라스틱 등과 결합하여 시스템 창호로 사용되기도 한다.

그러나 목재 창호는 시일이 지남에 따라 변형, 수축 및 부패 등이 생겨 강도 저하가 발생할 수 있어 결로 및 습기에 주의하여야 한다.

[표 3.7.1-6] 창호 상세 내용

요소	세부 사항		
수종	홍송, 육송, 미송, 가문비나무, 미송, 참나무, 벗나무, 단풍나무, 나왕, 호도나무 등등		
사용부위 & 제품형태	목재 창호	프레임	목재로 만든 프레임 창(부패 및 부식, 휨 우려)
	목재 + 알루미늄	프레임	외부는 알루미늄 내부는 목재인 제품
제품형태	프레임이 목재로 구성되어 있으며 Turn & Tilt, Sliding 등 다양한 형태로 제작		
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 목조주택의 창호 프레임에 사용 · 창호재는 변형에 주의해야하며, 웅이 및 결합이 없고 건조가 잘된 것 사용 · 기밀하게 설치하여야하며 및 결로수 방지에 대해 주의 해야함 		

(6) 합판

일반합판은 얇게 썬 나무 널빤지를 나뭇결이 서로 엇갈리게 여러겹 붙여 만든 목재를 말하며, 주 사용 부위는 목구조 주택 건축 시 각재와 단열재를 마감하는 건축자재로, 바닥을 마감하는 자재로, 콘크리트 거푸집용 유로폼 등으로 건축공사에서 다양하게 사용된다. 파티클 보드는 목재 플레이크나 칩, 톱밥, 대패밥 등을 조각내어 접착제와 혼합 후 열압하여 만든 합판이며 OSB, MDF 또한 파티클 보드에 속한다. 건축에서 주로 사용되는 부위는 건축 외벽 및 내벽 마감재 또는 인테리어에 많이 사용되며 다양한 부위의 마감재로 사용된다.

[표 3.7.1-7] 창호 상세 내용

요소	세부 사항		
수종	S.P.F, 가문비나무, 적삼목, 향목, 히노끼, 삼나무, 홍송, 미송, 자작나무, 단풍나무, 참나무, 멀바우, 오리나무, 물푸레나무, 벗나무, 오동나무 등등		
사용부위 & 제품형태	일반합판	일차마감	원목을 얇게 가공한 합판
	파티클보드	벽체마감 바닥판	목재 플레이크나 칩, 톱밥, 대패밥 등을 조각내어 접착제와 혼합 후 열압하여 만든 합판
제품형태	일반합판의 사이즈는 2~30mm까지 다양하게 나오며, 파티클보드에서 대표적으로 건축에서 많이 쓰이는 OSB는 11.1mm, 18.3mm가 주로 사용		
특징 & 시공방법	<ul style="list-style-type: none"> · 바닥판에 합판을 주로 사용하여 마감 · 목조주택의 경우 OSB를 외부에 시공하여 구조적 강도와 습기차단의 성능을 높이는데 사용 · 합판에 쓰는 접착제의 경우 인체에 해로울 수 있으니 내부에 합판을 시공 시 인체에 해롭지 않은 접착제를 사용한 합판을 선정 		

3.7.2. 에너지절감을 위한 목구조 설계 가이드라인

다음 표 [표 3.7.2-1]은 친환경 주택 성능 기준의 평가 기준 주택 대비 25% 난방 에너지 절감이 가능한 목구조 건축물의 지역별 부위별 열성능(열관류율) 기준이다.

[표 3.7.2-1] 평가기준 주택의 부위별 열관류율

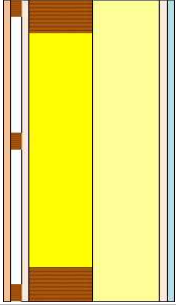
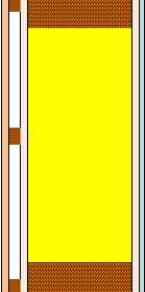
부 위	지 역	중부지방(W/m ² ·k)	남부지방(W/m ² ·k)
		거실외벽	외기에 직접면함
최상층 지붕	외기에 직접면함	0.200	0.250
창 및 문	외기에 직접면함	2.200	2.400

가. 열성능 기준에 따른 벽체 부위 제시안

(1) 중부지방 벽체 제시안

[표 3.7.2-2]는 중부지방 외벽의 열관류율 기준을 만족시킬 수 있는 구성안이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 벽체 구성안이며, ALT 1는 2x4" 구조재를 이용해 단열층을 2겹으로 구성한 형태이며, ALT 2는 2x6" 구조재를 이용한 구성안이다.

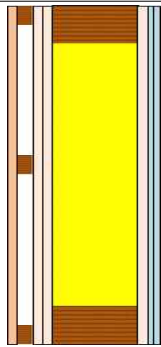
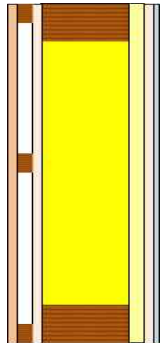
[표 3.7.2-2] 중부지방 벽체 구성안 및 열관류율

대안	재료	두께 (mm)	구 성 도	열관류율 (W/m ² ·K)
ALT. 1	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.290 (기준:0.280)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	89		
	수성 연질폼	50		
	OSB or 석고보드	12.5		
	루바 or 석고보드	12.5		
ALT. 2	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.280 (기준:0.280)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	140		
	OSB or 석고보드	12.5		
	루바 or 석고보드	12.5		

(2) 남부지방 벽체 제시안

[표 3.7.2-3]은 남부지방 외벽의 열관류율 기준을 만족시킬 수 있는 구성안이다. 남부지방의 경우 열성능 기준이 낮아 2x4" 구조재만을 이용해 벽체 구성안을 도출하였다. ALT 1은 마감재를 이용하여 2겹으로 구성한 형태이며, ALT 2는 단열재를 추가한 구성안이다.

[표 3.7.2-3] 남부지방 벽체 구성안 및 열관류율

대안	재료	두께 (mm)	구성도	열관류율 (W/m ² ·K)
ALT. 1	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.380 (기준:0.375)
	OSB	11.1		
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	89		
	OSB	11.1		
	석고보드	12.5		
	루바	12.5		
ALT. 2	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.375 (기준:0.375)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	89		
	수성 연질폼	10		
	OSB or 석고보드	12.5		
	루바 or 석고보드	12.5		

나. 열성능 기준에 따른 지붕 부위 제시안

(1) 중부 지붕 기준 제시

[표 3.7.2-4]는 중부지방 지붕의 열관류율 기준을 만족시킬 수 있는 구성안이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 지붕 구성안이며, ALT 1은 2x4" 구조재를 이중으로 구성한 형태이며, ALT 2는 2x6" 구조재를 이용한 형태로 지붕의 기본 구성안이다.

지붕의 경우 특히 이중단열로 구성하여 지붕층의 단열을 높이고, 만일 지붕층 내부에 단열재를 두겹게 할 경우 글라스울 앞에 투습지를 설치하여 빗물이나 외부에서 발생하는 이슬에 의해 부식하지 않도록 계획해야하며, 외단열을 할 경우 단열재는 EPS 및 네오폴 같이 투습성이 좋은 단열재를 사용하여야 내부 글라스울이 부식되는 현상을 막을 수 있다

[표 3.7.2-4] 중부지방 지붕 구성안 및 열관류율

대안	재료	두께 (mm)	구 성 도	열관류율 (W/m ² ·K)
ALT. 1	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.200 (기준:0.200)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	89		
	GlassWool + Stud	89		
	수성연질폼	30		
	OSB or 석고보드	12.5		
ALT. 2	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.200 (기준:0.200)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	140		
	수성연질폼	70		
	OSB or 석고보드	12.5		
	루바 or 석고보드	12.5		

(2) 남부 지붕 기준 제시

[표 3.7.2-5]는 남부지방 지붕의 열관류율 기준을 만족시킬 수 있는 구성안이다. 2x4" 구조재, 2x6" 구조재를 이용한 지붕 구성안이며, ALT 1은 2x4" 구조재에 2x2" 각재를 이중으로 구성한 형태이며, ALT 2는 2x6" 구조재를 사용하되 중부지방 구성안에서 실내측 단열재를 줄인 형태이다.

[표 3.7.2-5] 남부지방 지붕 구성안 및 열관류율

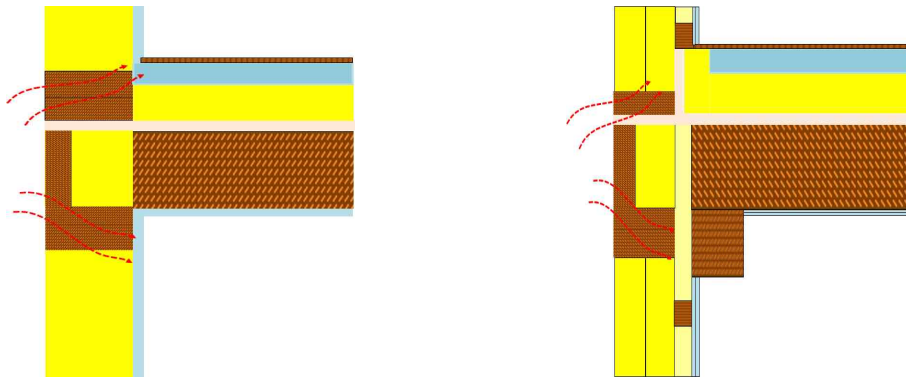
대안	재료	두께 (mm)	구 성 도	열관류율 (W/m ² ·K)
ALT. 1	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.380 (기준:0.375)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	89		
	GlassWool + Stud	38		
	수성연질폼	38		
	OSB or 석고보드	12.5		
ALT. 2	목재 사이딩(Red Cedar)	12.5-20		0.375 (기준:0.375)
	OSB	11.1		
	GlassWool + Stud	140		
	수성연질폼	25		
	OSB or 석고보드	12.5		
	루바 or 석고보드	12.5		

3.7.3 열교방지 및 단열성능 향상을 위한 상세설계 가이드라인

(1) 벽체 - 슬래브 부위

목구조에서 슬래브 계획 시 각재보다 단열재를 낮게 시공하는 경우 외기가 각재를 지나 기포콘크리트로 열이 빨리 전달되기 때문에 내·외부의 심한 온도차를 발생시키고 그에 의해 결로가 생길 확률이 높으며, 열교현상도 일어나기 쉽다.

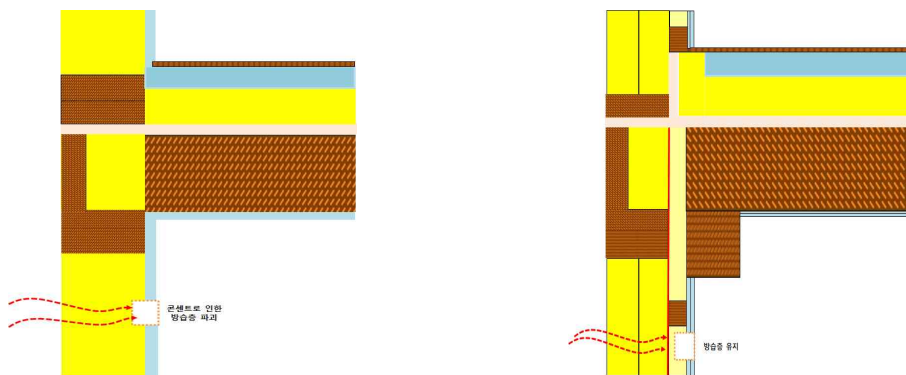
이와 같은 이유로 슬래브 바닥 계획 시 단열재를 ㄴ자로 각재보다 높게 시공하여 외부에서 슬래브로 들어오는 외기를 차단하고 기밀층을 각재 바닥부까지 시공하여 열교를 줄이도록 계획한다.



<그림 3.7.3-1> 벽체 부위 가이드라인

(2) 벽체 - 콘센트 부위

패시브하우스나 저에너지 하우스처럼 고단열에 고기밀성이 유지된 주택이라면 콘센트로 빠져나가는 열이 상당히 많다. 실제로 블로우 도어 테스트 시 연기가 콘센트쪽으로 많이 나가는 것을 확인할 수 있으며, 이 부분에 대한 설계 및 시공의 중요성이 대두되고 있다. 그래서 기밀층 및 설비층을 두어 방습층의 파괴가 일어나지 않도록 계획해야 하며, 방습층 파괴 시 열교현상 및 열손실이 일어날 확률이 높다.

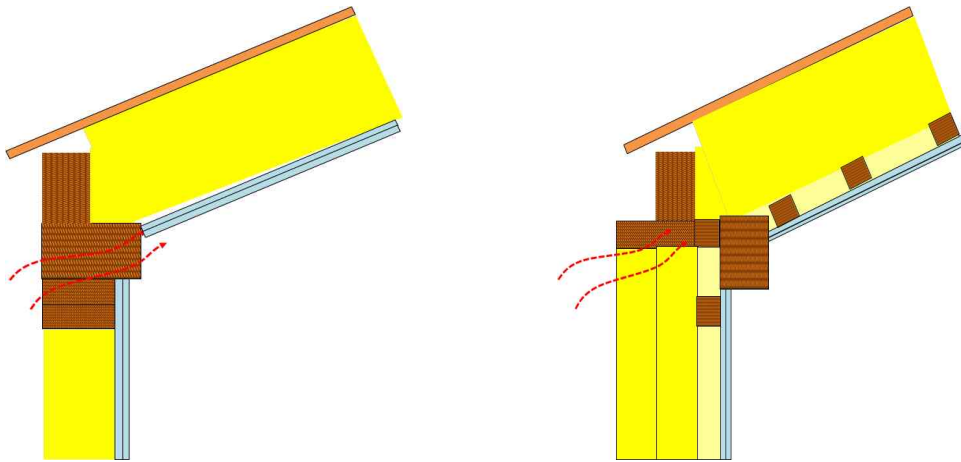


<그림 3.7.3-2> 콘센트 부위 설치 가이드라인

(3) 지붕 부위

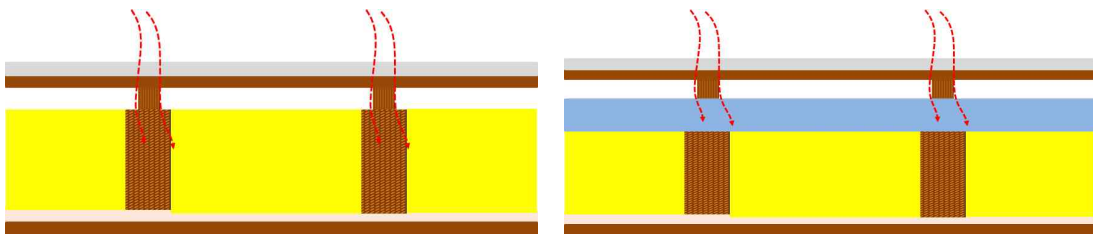
목구조에서 벽체와 지붕에서 열교를 방지하기 위해서는 벽체의 단열층을 한 층으로만 구성하기보다 이중으로 시공하여 열교를 차단하고 각재로 빠져나가는 열을 방지하고 글루랩 안쪽으로 설치하여 재료적/구조적 열교를 줄여야한다.

또한 2x2" 구조의 각재와 단열재로 기밀층을 구성하여 단열층을 한층 더 강화하는 것이 저에너지 건축에 좀 더 유리하며, 공기층을 두는 것도 하나의 방법이다.



<그림 3.7.3-3> 지붕 부위 가이드라인 (1)

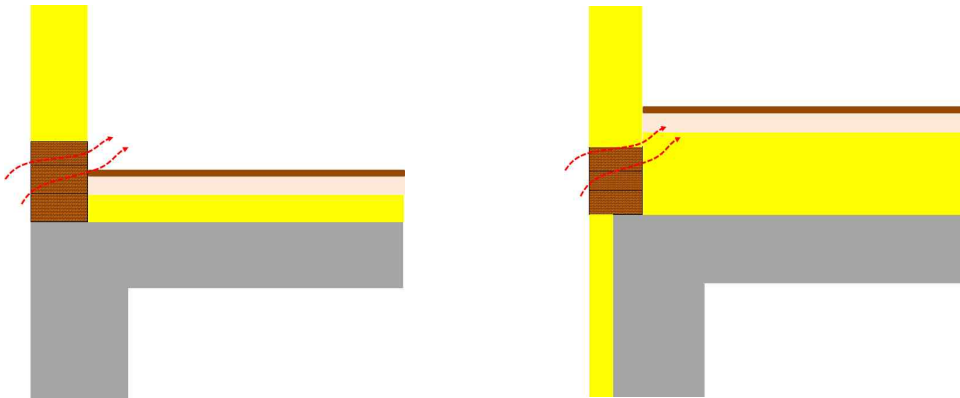
아래 <그림 3.7.3-4>는 아스팔트 싱글재를 이용한 외부 마감이며 일반 기와에 비해 시공이 간단하고 가격이 저렴하여 국내에서 지붕 마감재로 많이 시공되는 구조이다. 좌측의 도면은 일반적으로 문제가 없는 구조이나 우측그림에 비교하면 열교가 있다고 볼 수 있으며 저에너지 건축 및 패시브 건축으로 설계하기 위해서는 서까래 위에 단열재를 한층 더 시공하여 이중구조로 설계하고 단열재는 EPS 및 네오폴 같은 단열재를 사용하여 투습을 외부로 억제하고 단열성을 높이는 것이 좀 더 유리하다.



<그림 3.7.3-4> 지붕 부위 가이드라인 (2)

(4) 기초 부위

목구조에서 기초 바닥부는 콘크리트위로 쌓은 각재보다 단열재를 높게 설치해야 열교를 방지할 수 있다. 각재의 높이가 단열재보다 높을 시 상대적으로 열전도율이 크기 때문에 재료적 열교현상이 발생하며, 그 부위로 자연스럽게 열손실이 일어나게 된다. 그러므로 <그림 3.7.3-5>의 우측처럼 각재보다 단열재가 높게 시공되어야 열교를 방지할 수 있다. 또한 지하에 매설한 콘크리트 바깥쪽으로 외단열을 시공하여 지하를 통해 유입되는 외기를 방지하여야한다. 지중에 있는 열이 실내 바닥으로 전열되어 온도차이가 크게 발생하면 습기 및 곰팡이가 생기면서 바닥판을 부식시킬 수 있으므로 지하층 외측벽에 단열재를 설치하는 것이 열교 방지에 유리하다.



<그림 3.7.3-5> 기초 부위 가이드라인

(5) 창호 부위

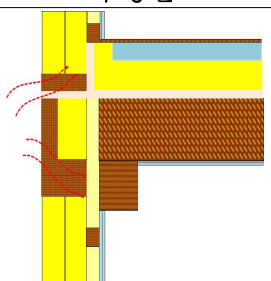
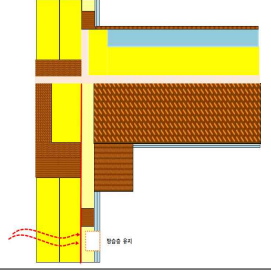
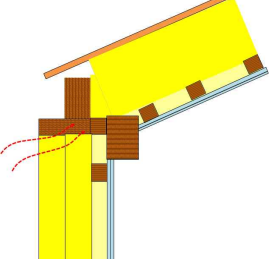
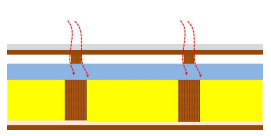
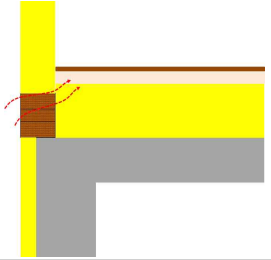
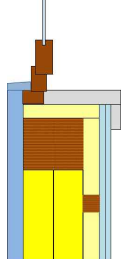
벽과 창호가 만나는 부위는 단열을 창호의 프레임의 하부 부위에 단열을 해주는 것이 창호 열교를 방지 할 수 있는 방법이다. 또한 프레임이 외기와 직접적으로 만나지 않게 계획하여야 하고 OSB와 XPS, EPS랑 만나는 부분은 방수층 테잎을 사용하여 OSB가 수분 및 습기에 의해 부식되는 것을 방지하여야 한다.



<그림 3.7.3-6> 창호 부위 가이드라인

(6) 열교 방지 시공법 종합

[표 3.7.3-1] 열교 방지 디테일 요약

부위	구성안	시공법
벽체 - 슬래브		<ul style="list-style-type: none"> • 슬래브 단열 및 OSB 바닥판 ㄴ자 시공 • 기밀층 바닥 하부 밑까지 시공 • 벽체 각재 높이보다 단열재 높게 시공
벽체 - 콘센트		<ul style="list-style-type: none"> • 콘센트 설치 시 투습층 파괴 금지 • 석고보드에 고정하도록 시공 어려울 경우 콘센트 뒤에 각재 추가 시공하고 콘센트 시공 • 투습층이 파괴될 것 같을 시 밴드형으로 밀리도록 설치
지붕 부위		<ul style="list-style-type: none"> • 이중단열로 단열성 증가 • 기밀층 설치로 방습 및 기밀성 증가 • 글루랩 실내로 외기와 접하지 않게 시공
		<ul style="list-style-type: none"> • 지붕층 서까래 위에 EPS 추가 시공 • 아스팔트청글 하부에 방습층 추가 시공
기초 부위		<ul style="list-style-type: none"> • 기초부에 외단열 시공하여 지중열 차단 • 벽체에 설치된 각재보다 바닥 단열이 높아야함
창호 부위		<ul style="list-style-type: none"> • 창호 프레임에 단열 추가 시공 • 외부는 습기에 강한 XPS, EPS 단열재 시공 • OSB와 EPS 만나는 부위 방습층 추가 시공 (습기 및 수분에 의해 OSB 부식 위험 우려)

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

4. 1 목표 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용	
1차년도 (2012)	목재 수종의 열전도율 평가 및 고단열 실내마감재 Proto-type 제작	목재의 수종별 열관류율 DB 구축	100%	국·내외 열관류율 측정방법 조사 및 검토 목재의 열전도율 측정을 위한 DB 작업 및 열전도율 측정	
		목질기반의 고단열 실내마감재 Proto-type 제작	100%	단열성능 향상 물질을 활용한 고단열 실내 마감재 제작 단열성능 향상 물질을 활용한 실내마감재용 단열성능 향상 합판 proto-type 제작	
		목질 재료와 비목질 재료의 열성능 비교 평가	100%	마감재로서의 목질 재료와 비목질 재료의 단열성능 검토	
	목질 재료의 건물에너지(난방부하) 절감 효과 평가 방법 구성 및 선정	국내외 건물 에너지 관련제도 분석	100%	그린홈/패시브하우스 단열 성능 및 에너지 성능 기준 검토	
		시뮬레이션 평가 툴 및 평가방법 결정	100%	국내외 에너지 성능 분석 툴 조사 및 성능 비교 시뮬레이션 평가 툴 및 평가방법 결정	
		목질 재료와 비목질재료의 열성능 비교 평가	100%	건축 접합부 열손실 부위 및 열성능 현황 분석 목질 재료와 비목질 재료의 열교 부위 열성능 검토	
	2차년도 (2013)	목질기반 제품의 열차단 우수성 확인 및 파생제품 건축적용 방안 도출	목질마감재 제품의 단열성능 평가	100%	제품 core type에 따른 단열성능 및 기본 물성 분석 고단열 마감재의 기존제품과의 성능 비교 분석
			건축 실내환경에서의 에너지 저감 성능 확인	100%	건물 용도별 에너지 소비 패턴 분석 목질 재료와 비목질 재료의 에너지 절감량 비교
			고단열 목질 마감재를 적용한 실내환경 구성 방안 도출	100%	적용면적 및 시공방법에 따른 열관류율 분석 비교실험을 통한 개선 효과 검증
목질 제품의 건축 부위별 적용시 최소 열성능 기준 및 목질 제품 가이드라인 제시		목질 제품의 종류 및 제품(수종)별 건축재료로서의 활용 범위 도출	100%	목질 제품 종류와 수종에 따른 건축 재료로서의 활용 방법 및 적용 범위 도출	
		목구조 이질재료 복합 부위의 열성능(열관류율) 계산 방법 도출	100%	목구조 이질 재료 복합 부위의 열관류율 예측을 위한 계산식 개발 및 검증	
		목질 제품의 활용 방법에 따른 건물에너지 절감 기여도 평가	100%	일반목질 및 개발된 목질 제품의 건축 부위별 적용에 따른 에너지 절감량 평가	
		건축 부위별 적용시 열성능 기준 제시	100%	목표 기준(현행 그린홈 기준) 달성을 위한 목재 부위별 열성능 기준 및 조합 제시	
		목질 제품 적용 가이드라인 제시	100%	일반 목질 및 개발된 목질 제품의 건축 부위별 적용방안 도출 단열성능 향상을 위한 목구조재 및 마감재의 열교방지 디테일 제시	

4. 2 관련분야에의 기여도

현재 국내뿐만이 아니라 전세계적으로 저탄소 배출 및 녹색성장에 관련된 시행안이나 규제안이 발표되고 있고 정부에서도 강력한 의지를 표명하고 있다. 이러한 시대적인 흐름은 관련업계로까지 영향을 끼쳐 에너지 저감에 대한 다양한 기술을 개발시키고 있다. 특히 건축물에서의 에너지 사용은 많은 부분을 차지하고 있으며 이러한 에너지를 줄이기 위해 단열성능이 높고 이산화탄소 배출을 줄이는 등의 많은 장점을 가지고 있는 목조주택의 건축이 국내에서도 증가하고 있다.

하지만, 한국농어촌공사에 의해 농어촌표준주택이 개발되고 있으나, 목조주택이 그 개발 목표는 아니며, 저에너지 표준주택의 개발은 전무한 실정이다.



[표 4.2-1] 저에너지 농촌표준주택, 한국농어촌공사, 2009년

본 연구는 고단열성능을 가지고 있는 목질재료와 기존 재료의 성능을 향상시킨 목질재료를 통하여 건축물의 에너지 저감 성능을 확인하여 보고 이를 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램을 통하여 검증하였으며, 시뮬레이션 프로그램에서 입력되는 목재의 열전도율 값의 차이에 따른 문제점을 해결하기 위하여 다양한 조건에서의 목재 수종별 열전도율 DB를 제시하였다.

또한 벽체의 단열성능을 간단하게 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였으며 시공 디테일 및 가이드라인을 제시하여 향후 국내 목조주택 및 목재산업의 발전에 기여하리라 예상된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

5. 1 연구개발 성과

5.1.1 특허 기술

본 과제를 통하여 이질재가 혼합된 목구조 벽체에 대한 열관류율 분석 시스템 및 방법으로 1개의 특허와 1개의 소프트웨어 등록을 하였으며 관련 내용은 다음과 같다.

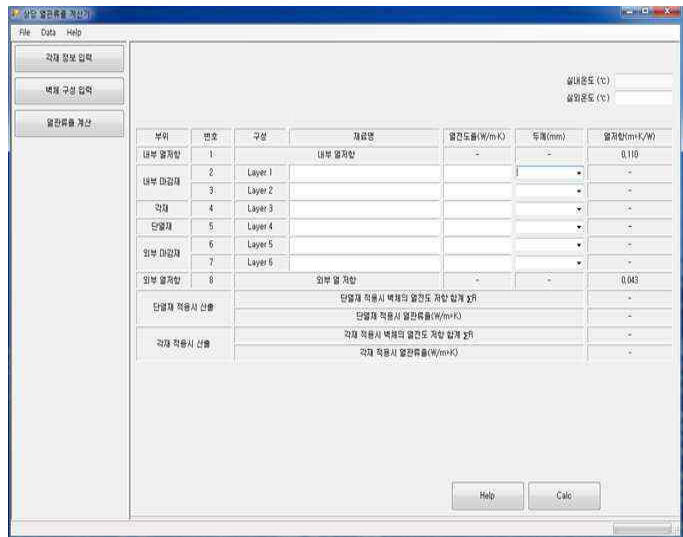
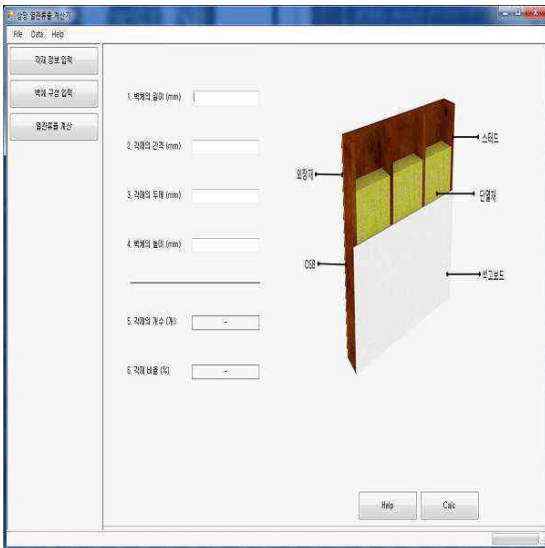
출원번호 : 특허출원 제 2014-0094634호

출원일 : 2014년 07월 25일

발명명칭 : 이질재가 혼합된 목구조 벽체에 대한 열관류율 분석 시스템 및 방법

출원인 : 미래환경플랜(주)

발명자 : 안형준/박창영/장향인/김연아/유동철



<그림 5.1.1-1> 출원된 특허의 도면

5.1.2 논문 성과

본 과제를 통하여 5편의 국내 논문을 작성하였으며 9건의 학술발표를 진행하였음.

가. 연구실적- 논문

계재 년도	논 문 제 목	저자	학술지명	Vol (No.)	저널 구분	SCI 여부	비고
2013	패시브 하우스(Passive House)설계 기준에 대한 고찰	차정훈 김석환 정수광 김수민 최정만	한국건축친환경 설비학회 논문집	7(1)	국내	-	
2013	PHPP를 활용한 일반 목조주택과 목조 패시브하우스의 난방에너지 성능 비교 분석	유슬기 김석환 서정기 김수민	대한건축학회 논문집	29(8)	국내	-	-
2013	목조건축물 구조부재의 열전도율에 따른 건물외피의 단열 성능	김석환 유슬기 서정기 김수민	목재공학	41(6)	국내	-	-
2013	학교 옥외 공간 내 식재된 수목의 차양효과에 따른 여름철 실내 온열환경 및 빛환경 분석	홍현진 박주 유슬기 김수민	한국생활환경학 회지	20(5)	국내	-	
2013	통계적 방법을 이용한 이질재가 혼합된 목구조의 상당열관류율 예측	유동철 한인준 영강 안창희 김희아 김연호 최창호	한국건축친환경 설비학회논문집	7(4)	국내		

나. 연구실적-학술대회

계재 년도	논 문 제 목	발표자	학회명	Vol (No.)	학회 구분	비고
2013	바닥난방시스템에서의 난방에너지 절감을 위한 목질마루바닥재용 합판의 열전도율 향상	서정기 차정훈 김석환 김수민	목재공학회 (학술발표요지집)	320-321	국내	
2013	목질재료의 단열성능 적용을 통한 건축물의 난방에너지 절감	서정기 이정훈 김연아 김수민	목재공학회 (학술발표요지집)	90-91	국내	
2013	목조건축물 구조부재의 열전도율에 따른 외피 단열 성능 평가	김석환 서정기 유슬기 김수민	목재공학회 (학술발표요지집)	30-31	국내	
2013	PHPP를 활용한 일반 목조주택과 목조 패시브하우스의 연간 난방에너지 요구량 평가	유슬기 김석환 서정기 김수민	대한건축학회 추계학술발표대회	33-2	국내	
2013	학교 옥외공간 내 수목의 종류에 따른 실내 온열환경 분석	유슬기 김수민	2013 한국가구학회 국제학술세미나	95	국제	
2013	Improving thermal conductivity of plywood on flooring for radiant floor heating system to save heating energy	서정기 김수민	International conference on wood adhesives		국제	
2013	서울 시내 지하도상가의 리모델링 특성에 따른 포름알데히드 농도 분석	유슬기 심경섭 김수민	한국실내환경학회	10-153	국내	
2013	경량목구조의 골조 열전도율에 따른 건물외피 열적 성능	김석환 유슬기 서정기 김수민	대한설비공학회	416-419	국내	
2014	목재의 열성능 차이에 따른 건축물 단열 성능 비교	서정기 유슬기 김석환 김수민	목재공학회		국내	

5.1.3 교육 성과

본 연구를 통하여 석사 3명과 학사 1명의 인력을 양성하였으며 현재 과제를 수행하였던 대부분의 졸업하는 2015년에 많은 인력 양성 성과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

목표 구분	성 과
교육	학사 1명양성
	석사 3명 양성

5. 2 타 연구로의 활용 계획

본 과제의 최종연구결과를 바탕으로 다양한 연구에 적용을 시도하고 있다. 그에 따라 후속 연구에 본 과제를 통해 개발된 프로그램, 재료, 시공 가이드라인, 상세디테일 등을 활용할 수 있는 목조 건축물 에너지 절약과 관련된 과제를 진행하고자 하며 현재 “목조 건축물의 에너지 절약성능 향상을 위한 축열(PCM) 활용 표준주택 개발” 과제를 제안 중에 있으며 향후 본 과제의 결과물을 바탕으로 목재와 건축을 접목하여 다양한 과제를 진행할 예정이다. 아래에 상기 과제의 요약서를 첨부하였다.

○ 연구개발 목표

○ 온실가스의 증가로 지구온난화가 가속되면서 자연환경의 변화 및 자연재해가 잦아지고 있다. 또한, 화석연료의 고갈에 대한 위기감 등 다양한 원인으로 인해 에너지 소비 절감 및 이산화탄소 배출 감소를 통한 대응이 절실한 실정이다. 건축은 산업, 수송과 함께 에너지 소비 및 온실가스 배출의 3대 부문이며, 국내 에너지 소비량의 약 25% 이상을 차지하고 있다. 따라서, 정부에서는 ‘저탄소 녹색성장 기본법’, ‘녹색건축물 조성 지원법’ 등의 방안으로 건축물의 에너지 절약성능을 향상 시키고자 하고 있다.

○ 건축물의 에너지 절약 성능을 향상시키기 위해서 많이 이용되고 있는 건축재료인 목재는 건축에서 사용되는 다른 재료에 비하여 열전도율이 낮으며 강도가 높고 이산화탄소 고정 등의 많은 장점을 가지고 있다. 따라서 국내·외의 많은 에너지 절약 건축물이 목조로 지어지고 있으며 관련 연구도 활발하게 진행되고 있다. 하지만 목조 건축물은 철근콘크리트 구조 건물에 비하여 실내의 축열성능이 상대적으로 낮아서 실온의 변화폭이 크고 여름철 일사에 의해 크게 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

○ 본 연구에서는 건물에너지 절감 및 쾌적성 향상을 위한 목조 주택 실내의 축열 성능 향상 방안 및 최적의 적용방안을 도출하기 위하여 다음과 같은 연구를 순차적으로 수행한다.

1. 목조 주택 실내 적용에 적합한 최적의 축열재 선정
2. 축열재의 목조 주택 실내 적용 방안 도출
3. 개발된 축열성능 자재의 성능 분석 및 시공 상세 개발
4. 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램을 통한 기존 건물 대비 절약 성능 분석
5. 축열성능이 향상된 내장재를 이용한 표준 디테일 개발
6. 축열재를 적용한 목조주택의 최적의 축열면적이 적용된 표준 주택안 제시

○ 연구내용

1. 축열재료 물성 분석 및 최적의 축열재 선정
2. 목조 주택 실내 내장재 파악 및 축열재 적용 적합성 평가
3. 축열재를 통한 목조 주택 실내 내장재 축열 성능 개선 자재 개발
4. 축열재 적용 시공 상세 개발(두께, 적용 위치 등)
5. 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램을 통한 축열재의 기존 건물 대비 절약 성능 비교 분석
6. 축열재 적용을 통한 재실자 쾌적성 평가
7. 축열재를 적용한 목조주택 표준 디테일 및 표준 주택안 제시

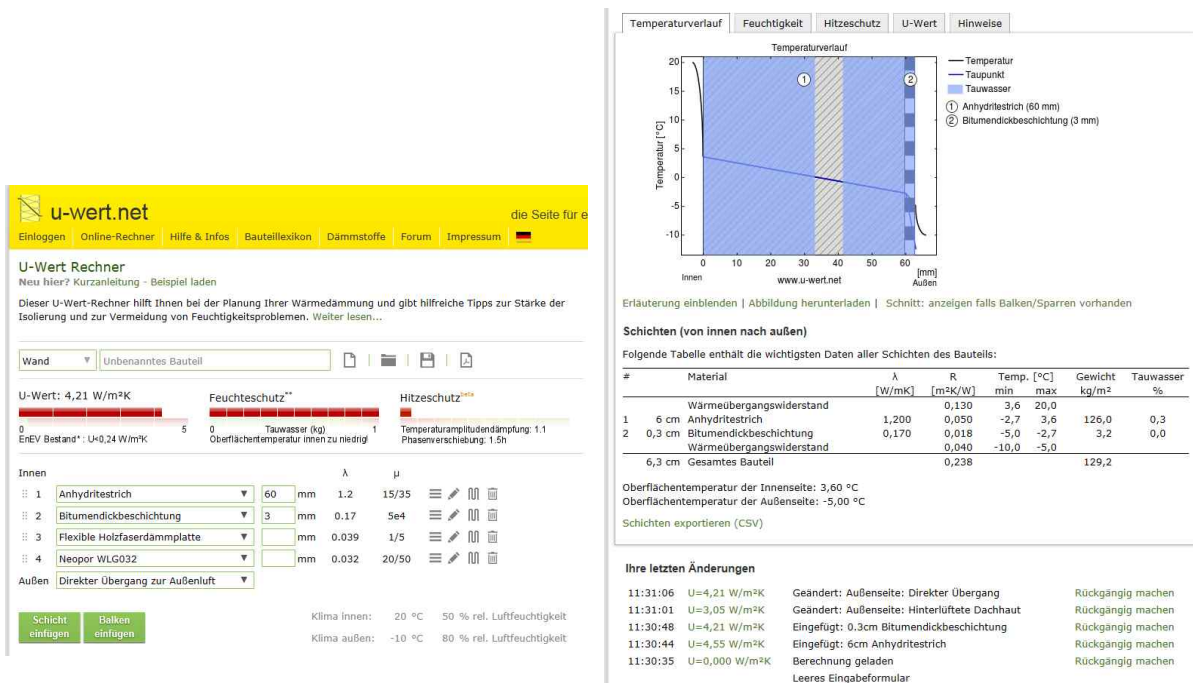
○ 연구개발에 따른 기대성과

1. 목조 주택의 에너지 절약 성능 향상을 통한 목재 이용률 증가 및 목조 주택의 보급에 기여
2. 목조 주택의 재실자 쾌적성 향상
3. 다양한 실내 마감재료 개발을 위한 기초자료로 활용되어, 공동주택에 적용 가능한 실내 건축 마감 재료 개발 및 요소 기술력 향상에 기여
4. 축열재료의 건축물 적용을 통한 냉난방 비용 절감에 기여
5. 축열재료를 목조 건축물에 적용 시의 시공 디테일 방법 제시로 인한 목질 축열재료의 사용 증대 및 시장 확대
6. 목질 제품이 실내 마감 재료로 활용할 수 있는 구체적 방안을 제시
7. 목질 기반 실내마감 제품의 내수시장 및 수출 확대
8. 정부에서 추진 중인 중인 그린홈 보급 확대에 기여

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

6. 1 해외 과학기술 정보

u-wert.net 웹상에서 서비스 되고 있는 열관류율 계산 프로그램이며 재료를 선택하고 두께를 입력하면 열관류율, 에너지 사용량, 벽체의 온도구배를 계산해주는 서비스를 제공하고 있으며 추가로 결제할 경우 더 많은 정보를 제공하고 있음. 본 연구에서 개발한 소프트웨어와 비슷한 모습을 보이고 있으며 향후 아래 사이트와 같이 일반인의 접근이 쉽고 홍보 및 수익 모델에 좋은 사례라고 생각됨.



53)

2) Oak Ridge 국립 연구소에서 발행한 목재 및 목질 기반 건축 재료의 열성능을 분석한 보고서이다. 열성능을 분석하기 위한 이론과 실험방법에 대한 이론적 정리뿐만 아니라 원목, 합판, 파티클 보드 등 다양한 목질 기반 건축 재료를 데이터베이스화하여 제시하였다. 또한, 열적 성능을 분석한 내용을 기존 연구 결과 및 자체 실험 결과를 통합하여 분석하였다. 실험 결과의 오차가 20%로 다소 높으나 기존의 실험 및 수식적 계산 방법의 정확성을 높이기 위한 정보로서 활용성이 높다.⁵⁴⁾

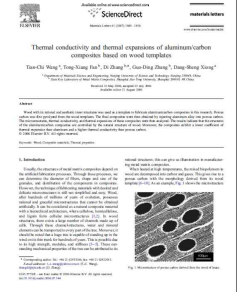
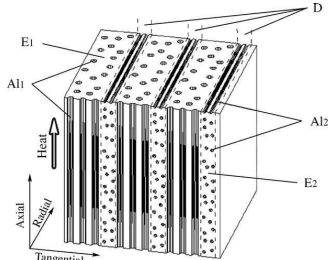
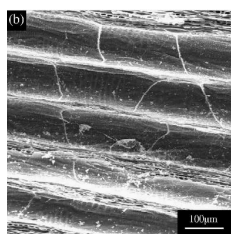
53) www.u-wert.net

54) Oak ridge national laboratory, Thermal performance of wood and wood panel products for use in buildings, 1988

Table 1. Thermal conductivity measurements reported in the literature

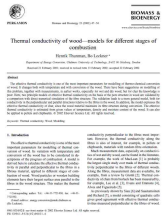
Type	Source	Number of data sets ^a	Number of observations
Solid wood	MacLean (11)	56	477
	Wangaard (15)	236	236
	Rowley (16)	306	306
	Griffiths and Kaye (17)	29	29
	Jespersen (18)	11	11
Plywood	MacLean (11)	1	12
	Rowley, Jordan, Lander (19)	18	18
	Lund, Lander, Kanninen (20)	9	9
	White and Schaffer (21)	1	3
Fiberboard	Lewis (1)	21	84
	Ratcliffe (22)	10	10
	Rowley, Jordan, Lander (19)	18	18
	Rowley et al. (23)	4	4
	Ball (24)	12	12
	Pratt and Ball (25)	14	14
Particleboard	Lewis (1)	9	36
	Ward and Skaar (10)	1	23
Flakeboard	Nanassy and Szabo (26)	7	7
	Ward and Skaar (10)	3	70
	White and Schaffer (21)	1	3

6. 2 해외 연구 문헌 고찰

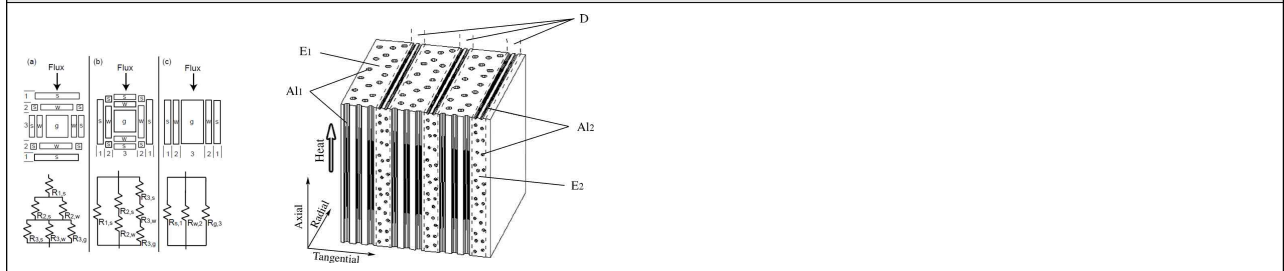
국외 참고 논문 01	
Title	Thermal conductivity and thermal expansions of aluminum/carbon composites based on wood templates ⁵⁵⁾
Journal	materials letters
Author	Tian-Chi Wang <i>et al.</i>
주요 연구내용	
	<p>본 논문은 목재의 열전도율을 증가시키기 위하여 Al합금과 카본을 주입하여 열전도율을 증가시킨 논문으로 향후 목재의 열전도율을 낮추기 위한 연구에 활용할 수 있을 것으로 생각됨.</p>
대표 이미지	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div>	

55) Tian-Chi wang *et al.* Thermal conductivity and thermal expansions of aluminum/carbon composites based on wood templates, Materials letters 2007, 61, 1849-1854

국외 참고 논문 02

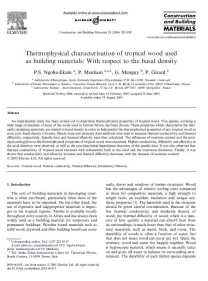
Title	Thermal conductivity of wood-models for different stages of combustion ⁵⁶⁾
Journal	Biomass & Bioenergy
Author	Henrik Thunman <i>et al.</i>
주요 연구내용	
	본 논문은 목재의 열전도율을 쉽게 측정할 수 있는 밀도, 함수율, 수축율 등을 통하여 열전도율을 예측하는 방법을 설명하고 있으며 목재의 열전도율을 수종으로부터 얻을 수 있는 정보를 통해 비교적 정확한 값을 제시하고 있다.

대표 이미지

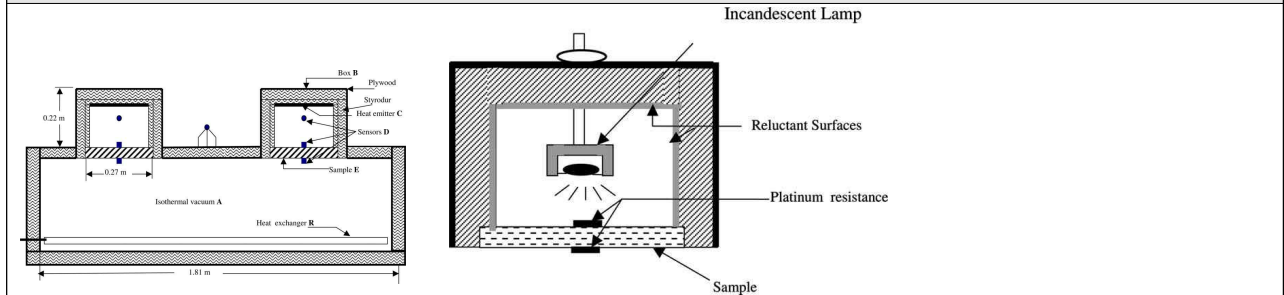


국외 참고 논문 03

Title	Thermophysical characterisation of tropical wood used as building materials: With respect to the basal density ⁵⁷⁾
Journal	Construction and Building materials
Author	P.S. Ngohe-Ekam <i>et al.</i>
주요 연구내용	

	본 논문은 밀도가 각각 다른 열대 활엽수림 5종의 열전도율을 정적, 동적 해석 방법을 통해 측정하였다. 실험을 통해 함수율 및 목재 절단 방법에 따른 열전도율, 열확산율을 측정하였고, 수식을 통해 비열 및 열방사율을 산출한 뒤 각 측정값들의 상관관계를 규명하였다.
---	---

대표 이미지



56) Henrik Thunman *et al.*, Thermal conductivity of wood-models for different stages of combustion, Biomass & Bioenergy 2002, 23, 47-54

57) P.S. Ngohe-Ekam *et al.* Thermophysical characterisation of tropical wood used as building materials: With respect to

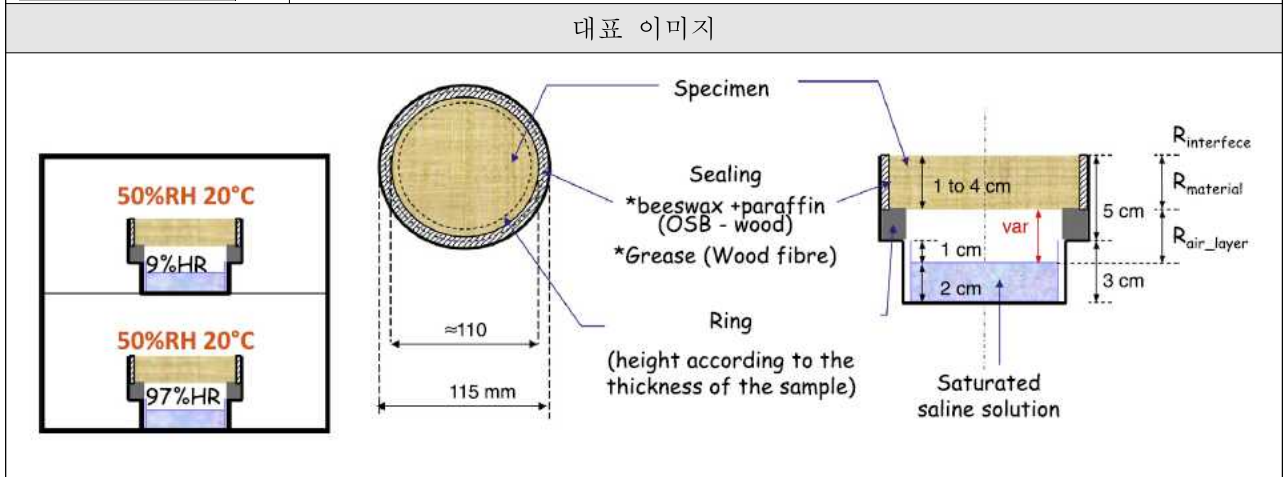
국외 참고 논문 04

Title	Characterization of hygrothermal properties of wood-based products - Impact of moisture content and temperature ⁵⁸⁾
Journal	Construction and Building Materials
Author	Oly Vololonirina <i>et al.</i>
	주요 연구내용



본 논문은 목질기반 건축재료인 원목, 목섬유단열재, OSB를 대상으로 열전도율, 흡방습 성능 및 투습저항계수를 측정하였다. 재료별 데이터베이스 구축을 위한 단계적 연구로 다양한 실험방법 및 수식을 통해 실험 결과를 보완하고 있다.

대표 이미지



the basal density, Construction and Building materials 2006, 20, 929-938

58) Oly Vololonirina *et al.* Characterization of hygrothermal properties of wood-based products - Impact of moisture content and temperature, Construction and Building materials 2014, 63, 223-233

제 7 장 참고문헌

1. 폐목재 재활용 현황 '05'
2. 제6회 한국 합판·MDF·파티클보드 심포지엄
3. EPLF(European Producers of Laminate Flooring) 통계
4. 2000~2014 건축허가 및 착공 통계, 통계청
5. <http://www.energy.ca.gov/HERS/>
6. RESNET, 2006 Mortgage Industry National Home Energy Rating System Standard, Table 303.3.3
7. 김윤겸, 친환경 설계요소를 고려한 설계 대안별 생애주기비용 분석 : 공동주택을 중심으로, 서울시립대학교 건축공학과 건설사업관리, 2011년 02월
8. <http://www.energystar.gov/>
9. 이수진, 비용효율을 고려한 에너지절약형 공동주택 설계모델 설정, 이화여대 대학원 건축학과, 2009년 02월
10. BRE, The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings Table 15, 2005
11. 한국 건설산업연구원 2008, 8월호 기술지
12. <http://www.passiv.de/>
13. 에너지관리공단, 건물에너지절약사업 중 건물인증제도의 목적
14. 현석균, 건물 냉난방 에너지의 동적 성능 시뮬레이션, 경희대학교 대학원, 석사 논문, 2003년
15. 김지연, 발코니 확장에 따른 열환경 성능 평가 및 개선안에 관한 연구, 인하대학교 대학원, 석사 논문, 2006년.
16. 구보경, 공동주택 외피에서의 열교 방지를 위한 제도 개선 방안 연구, 이화여대 대학원 건

축학과 박사학위 논문, 2011년 02월

17. ISO 13790 : 2008, Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling

18. 정선미, PHPP를 이용한 한국형 플러스 에너지 주택의 건물 에너지 성능 분석, 2011 생태 건축환경학회 추계학술발표대회 논문집 제 11권 제 2호, 2011. 10

19. www.kilhoo.co.kr

20. 현석균, 건물 냉난방 에너지의 동적 성능 시뮬레이션, 경희대학교 대학원, 석사 논문, 2003년

21. DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Input Output Reference, US Department of Energy.

22. DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.

23. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>

24. <http://www.esru.strath.ac.uk>

25. 김미현, 건물의 열성능 평가 지표에 관한 연구, 인하대학교 대학원 건축공학과, 2008년 02월

26. GARD Analytics, 2013, EnergyPlus EnergyPlus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2011. US Department of Energy.

27. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

28. ISO 10211 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations(ISO 10211), 2007 12

29. <http://www.physibel.be/v0n2tr.htm>

30. <http://www.buildingphysics.com>

31. <http://windows.lbl.gov/software/therm>

32. 강석구, 김윤희, 친환경건축소재로서의 목재의 특징과 활용, Journal of the KGBC 0406 Vol.13, No.1, 20 p27-36, 10pages, 2012

33. 엄영근, 친환경 건축재료로써의 목재와 공학목재, 공기청정기술 제 20권 제 2호 통권 77호, pp26-49, 2007
34. 국립산림과학원, 목조 패시브하우스 설계 기술, 2011
35. <http://www.woodhomes.co.kr/>
36. 김진희, 친환경재료적용·목조건축, 대한건축사협회지 통권 제 519호 pp80-83, 2012.07
37. 한국목조건축연구소, 목구조기술자 양성제도 개선 및 교육 프로그램 개발, 산림청, 2011년 11월
38. 한국농어촌공사, 농어촌주택 표준설계도면, 2012
39. DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.
40. 국토해양부 고시 제 2010-1031호, 건축물의 에너지절약 설계기준
41. ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc, 2009.
42. 김석중, 공동주택의 적정 급수·급탕량 산정법에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.
43. 유선용, 김지영, 주거 건물의 내부 발열 및 시스템 가동 행태 분석, 대한설비공학회 하계학술발표, pp. 683-686, 2011.
44. 한국농어촌공사, 농어촌주택 표준설계도면, 2012
45. DOE., 2010, EnergyPlus 6.0 Engineering Reference, US Department of Energy.
46. 국토해양부 고시 제 2010-1031호, 건축물의 에너지절약 설계기준
47. ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc, 2009.
48. 김석중, 공동주택의 적정 급수·급탕량 산정법에 관한 연구, 중앙대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.
49. 유선용, 김지영, 주거 건물의 내부 발열 및 시스템 가동 행태 분석, 대한설비공학회 하계학

술 발표, pp. 683-686, 2011.

50. www.u-wert.net

51. Oak ridge national laboratory, Thermal performance of wood and wood panel products for use in buildings, 1988

52. Tian-Chi wang et al. Thermal conductivity and thermal expansions of aluminum/carbon composites based on wood templates, Materials letters 2007, 61, 1849-1854

53. Henrik Thunman et al., Thermal conductivity of wood-models for different stages of combustion, Biomass & Bioenergy 2002, 23, 47-54

54. P.S. Ngohe-Ekam et al. Thermophysical characterisation of tropical wood used as building materials: With respect to the basal density, Construction and Building materials 2006, 20, 929-938

55. Oly Vololonirina et al. Characterization of hygrothermal properties of wood-based products - Impact of moisture content and temperature, Construction and Building materials 2014, 63, 223-233

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.