

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D /
16CTAP-C077464-02

BIM기반 공동주택 단열·결로 해석 시스템 개발 최종보고서

2016.10.13.

주관연구기관 / (주)연우테크놀러지
공동연구기관 / 미래환경플랜(주)

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘BIM 기반 공동주택 단열·결로 해석 시스템 개발’ (연구개발 기간 : 2014. 07. 11. ~ 2016. 07. 10.) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2016 . 08. 25.

주관연구기관명 : (주)연우테크놀러지 (대표자) 최 일 섭 (인)

공동연구기관명 : 미래환경플랜(주) (대표자) 박 창 영 (인)

주관연구기관책임자: 이 명 도

공동연구기관책임자: 장 향 인

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.
--

[빈 페이지]

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP-C07746 4-02	해당 단계 연구 기간	2014.07.11. ~ 2016.07.10.	단계구분	1/1 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	BIM 기반 공동주택 단열·결로 해석 시스템 개발			
연구책임자	이 명 도	해당단계 참여 연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:400,000천원 기업:136,000천원 정부 외: 천원 계:536,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 명	총 연구개발비	정부:400,000천원 기업:136,000천원 정부 외: 천원 계:536,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)연우테크놀러지			참여기업명: (주)연우테크놀러지, 미래환경플랜(주)	
국제공동연구	-			-	
위탁연구	-			-	
요약:				보고서 면수: 282페이지	
- 본 연구는 공동주택 단열·결로 성능평가 수행을 위한 기존 작업 프로세스의 개선을 위해 기존 프로세스의 효율성 및 정확성을 향상 시킬 수 있는 BIM 기반 단열·결로 성능평가 시스템을 개발하는 것을 목적으로 함					
- 국토교통부에서는 공동주택의 주거환경 개선을 목적으로 2013년 500세대 이상의 공동주택을 대상으로 결로 방지를 위한 설계기준을 제정하였음(국토교통부고시 제2013-845호). 이에 따라 설계단계에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 결로 방지 성능 기준을 만족하여 설계되었는지를 반드시 검토하여야 하며, 이를 위해서는 결로 취약부위의 선정, 시뮬레이션을 위한 도면의 가공 및 모델링, 해석을 위한 정보의 입력 등의 작업프로세스가 수반됨					
- 이러한 과정에는 작업자의 주관적 판단 개입, 도면 작업 및 정보입력에서의 오류, 설계 변경으로 인한 반복 작업 등이 불가피하게 발생하는 문제점이 있으며, 이는 평가 업무의 효율성 저하를 초래하고 있는 실정임					
- 이에 본 연구에서는 국내 건설산업에서 적용이 확대되고 있는 BIM 모델을 기반으로 단열·결로 성능평가를 위한 새로운 시스템을 제안하여 개발하였음					
- 본 연구에서 개발한 시스템은 국내 단열·결로 성능평가의 새로운 프로세스로 제시될 수 있으며, 이를 통해 평가의 효율성 및 정확성을 향상시켜 관련 업무의 신뢰성 회복 및 긍정적 이미지 제고와 국내 건설 산업에서의 친환경 기초에 기여할 것으로 사료됨					

[빈 페이지]

〈 요약 문 〉

연구의 목적 및 내용	다양한 건설 공종에서 BIM(Building Information Modeling)의 도입이 활성화되고 있지만, 친환경 분야는 호환 정보의 방대함과 전문성으로 인해 타 분야에 비해 BIM 활용이 늦어지고 있다. 특히 건축물의 단열 및 결로에 대한 성능 확보는 에너지 절감 및 거주 쾌적성 측면에서도 매우 중요하며, 이를 통한 국민 행복 지수 향상 및 주거복지 실현을 위한 정부의 관심 또한 지대하다. 따라서 설계/시공 과정에서 단열 성능 및 결로 방지를 위한 지속적인 계획이 필요하며, BIM 데이터를 단열·결로 분석에 활용하는 것은 분석의 정확성 향상, 업무 효율성 증대, 인력 및 시간 투입 감소, 비용 절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 BIM 데이터를 전열해석 프로그램 및 단열·결로 설계 기준과 연계해 활용할 수 있는 ‘BIM 기반 공동주택 단열·결로 해석 시스템’을 개발하고자 한다.					
연구개발성과	• BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 • 단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 • 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 • BIM 모델 단열·결로 예상부위 정의 기술 • 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 • BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈 • 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 • BIM 기반 단열·결로 분석 사용자매뉴얼 및 교육프로그램					
연구개발성과 의 활용계획 (기대효과)	기술적 기대성과	• BIM 라이브러리 및 변환모듈 개발을 통해 각 설계 공종 주체간 정보 교환 호환성 향상시키고, 단열·결로 분석의 정확성 및 업무 효율성 향상에 기여 • 친환경 BIM의 설계 품질을 향상시키고, 설계자의 기술력을 상향화에 기여 • 국내 법규 및 설계 환경이 반영된 BIM 요소기술 자립을 통해 BIM 기술의 국산화에 기여함으로써 해외 기술 의존도 줄이고 국제 표준에 이바지 • BIM 요소기술 및 가이드라인을 제공함으로써 BIM 전문 인력을 양성하고, BIM 적용에 따른 투자 효과 확대에 관련 기술 활성화에 기여				
	사회·경제적 파급효과	• BIM 라이브러리 및 변환 모듈 개발을 통해 관련 기술 중복 투자가 방지되며 자동화 구현에 따른 업무 정확도 및 생산성 증진. • 개발기술 활용에 따른 단열·결로 해석을 위한 인력투입 및 소요시간 감소, 이에 따른 절감 비용의 재투자로 인한 관련 산업의 활성화 • BIM 모델의 정보 재활용을 통한 정보 재생산 및 소멸에 따른 노력 및 비용이 절감되며 정보 재생산에 따른 인력운용 시간 및 비용이 최소화 • BIM 모델 정보의 활용을 통한 설계 오류 감소 및 정확도 향상으로 건설산업계 전반의 신뢰성 회복 및 긍정적 이미지 고취 • 국내기술 기반의 법규 기준에 적합한 단열·결로 해석 프로그램 개발의 기초기술로, 향후 국외 프로그램 수입 의존 감소에 따른 초기투자비 절감 효과				
핵심어 (5개 이내)	공동주택	비아이엠	결로	단열	호환성	

[빈 페이지]

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	BIM(Building Information Modeling) is increasing in AEC industry, BIM in environmental engineering is getting delayed due to immense amount of exchange information and special knowledge comparing other professions. Especially, securing performance of insulation and condensation is important in aspect of saving energy and comfort of living environment. Therefore it requires continuous effort to supplement insulation and prevent condensation through out design and construction phases. Additionally we can expect effectiveness of increasing accuracy, maximizing work productivity, decreasing input of labor and time by utilizing BIM data for insulation and condensation performance evaluation. The aim of this study is to develop “The development of BIM based insulation and condensation analysis system in the apartment house” by connecting BIM data to heat transfer simulation software and domestic standard for insulation and condensation performance evaluation.				
Results	• Standard BIM-based condensation evaluation process • Defining BIM model for condensation performance evaluation • BIM library for Insulation and Condensation performance evaluation • Technical definition of selecting expected condensation area in BIM model • Automation module of extracting BIM object for condensation performance evaluation • Conversion module for interoperability between BIM tool and simulation software • Evaluation module for Insulation and Condensation performance evaluation with reflecting local standard • Manual for educating BIM based condensation evaluation process				
Expected Contribution	Technical Expected Contribution	• Contributes to accurate and efficient performance evaluation through developing BIM library and conversion module • Improving quality for sustainable design in BIM tool and contributing to improving architect’s operation • Contributes to domestic regulation and design environment with independent capability without dependence on imported software • Contributes to BIM technician manpower by providing BIM related element technology or guideline, and expansion effect of investment following BIM application			
	Social and Economical Expected Contribution	• Avoid overlapping investment by increasing accuracy and productivity from developing automatic process through BIM library and conversion module • Vitalizing related industry by minimizing cost and time through developing reuse information in BIM model • Clawing back credibility and promoting positive image for overall AEC industry by reducing drawing errors and increasing accuracy with BIM based work process from reusing information in BIM model • initial investment saving with low level of dependence on imports by developing basic technique of insulation and condensation performance evaluation			
Keywords	Apartment	BIM	Condensation	Insulation	Compatibility

[빈 페이지]

〈 Table of contents 〉

1. Introduction	13
2. Current Status of Technology in native and foreign	25
3. Achievement and Applications	35
4. Goal Achievements and Expected Effects	259
5. Exploitation of Achievements & Proposal for Further Research	269
6. Collection of Scientific And Technical Information	277
7. Security level of research result	277
8. Status of registered research facility and equipment in national science and technology information system	277
9. List of safety regulation in research lab	277
10. Representative Achievement	277
11. Notes	277
References	277

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요	13
1. 과제의 개요	13
2. 연구개발 단계 및 연차별 연구내용	21
3. 연구수행체계	23
제2장. 국내외 기술 개발 현황	25
1. 국내외 연구동향 및 학술적 성과	25
2. 국내외 기술 특허 동향	28
3. 국내외 정책 및 산업동향	32
4. 국내외 기술개발에 대한 종합결론	34
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	35
1. 연구개발결과 요약	35
2. 연구개발 주요내용	37
3. 최종 성과물 (통합 모듈) 검증 및 보완	235
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	259
1. 연구 수행 진도를	259
2. 연구개발 목표의 달성도	261
3. 핵심과제 달성 개요	264
4. 관련 분야 기여도	268
제5장. 연구개발성과의 활용 계획	269
1. 연구성과	269
2. 연구결과의 활용방안	271
3. 기대성 및 파급효과	273
4. 연구결과의 기업 활용방안	276
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	277
제7장. 연구개발성과의 보안등급	277
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	277
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	277
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	277
제11장. 기타 사항	279
참고문헌	281

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 과제의 개요

가. 연구개발 최종목표

- 본 과제의 최종 목표는 ‘BIM 기반 공동주택 단열·결로 해석 시스템’ 개발임. 본 연구에 대한 전체 개요는 아래 그림과 같음



그림 1.1 연구의 개요

- 국토교통부에서는 공동주택의 주거환경 개선을 목적으로 2013년 500세대 이상의 공동주택을 대상으로 결로 방지를 위한 설계기준을 제정하였음(국토교통부고시 제2013-845호). 이에 따라 설계단계에서는 컴퓨터 시뮬레이션 등을 통해 결로 방지 성능 기준을 만족하여 설계되었는지를 반드시 검토해야 함
- 이러한 과정에는 작업자의 수작업에 의한 오류, 주관적 판단 개입, 도면 작업 및 정보입력에서의 오류, 설계 변경으로 인한 반복 작업 등이 불가피하게 발생하는 문제점이 있으며, 이는 평가 업무의 효율성 저하를 초래하고 있는 실정임
- 최근 조달청에서는 2016년부터 모든 공사에 BIM 설계를 적용하여 발주하고 있으며, 전 세계적인 추세에 따라 국내 건설프로젝트에서의 BIM 도입이 확대되고 있음. 이에 따라 설계단계, 시공단계, 유지관리 단계 등 건설 프로젝트의 각 단계에서는 BIM 모델의 적용 및 활용에 대한 다양한 접근이 시도되고 있으며, 이를 통해 전면적인 BIM 도입을 대비하고 있는 실정임
- 그러나 친환경 분야에서는 정보의 방대함, 해석의 전문성, 전문 프로그램과의 연계 등 다양한 고려사항들이 있어 BIM 모델이 적극적으로 활용되지 못하고 있는 실정임. 이는 현재 단열·결로 성능평가 프로세스에서도 마찬가지이며, BIM 모델을 활용하지 못하고 비효율성 및 비정확성이 내재된 기존 방식으로 진행되고 있음
- 이에 따라 본 연구에서는 기존의 단열·결로 성능평가 업무의 효율성을 제고 할 수 있는 시스템을 BIM 기반으로 개발하였음. 본 연구는 BIM 도입확대에 대비하고 현실성을 고려한 실무중심의 기술개발을 통해 기술의 실질적인 활용을 목표로 하였음
- 본 연구의 결과는 공동주택 단열·결로 성능평가의 새로운 프로세스를 제공할 수 있으며, 건설 산업의 각 분야에서 BIM 도입에 대비한 기존 기술의 개선방향을 제시할 수 있는 기초연구로 제공될 수 있을 것으로 사료됨

- 이를 위해 4대 핵심성과를 설정하였으며, 체계적인 연구수행 및 업무의 효율성 향상을 위해 각 차년도별 연구목표 및 내용을 명확히 수립하였음

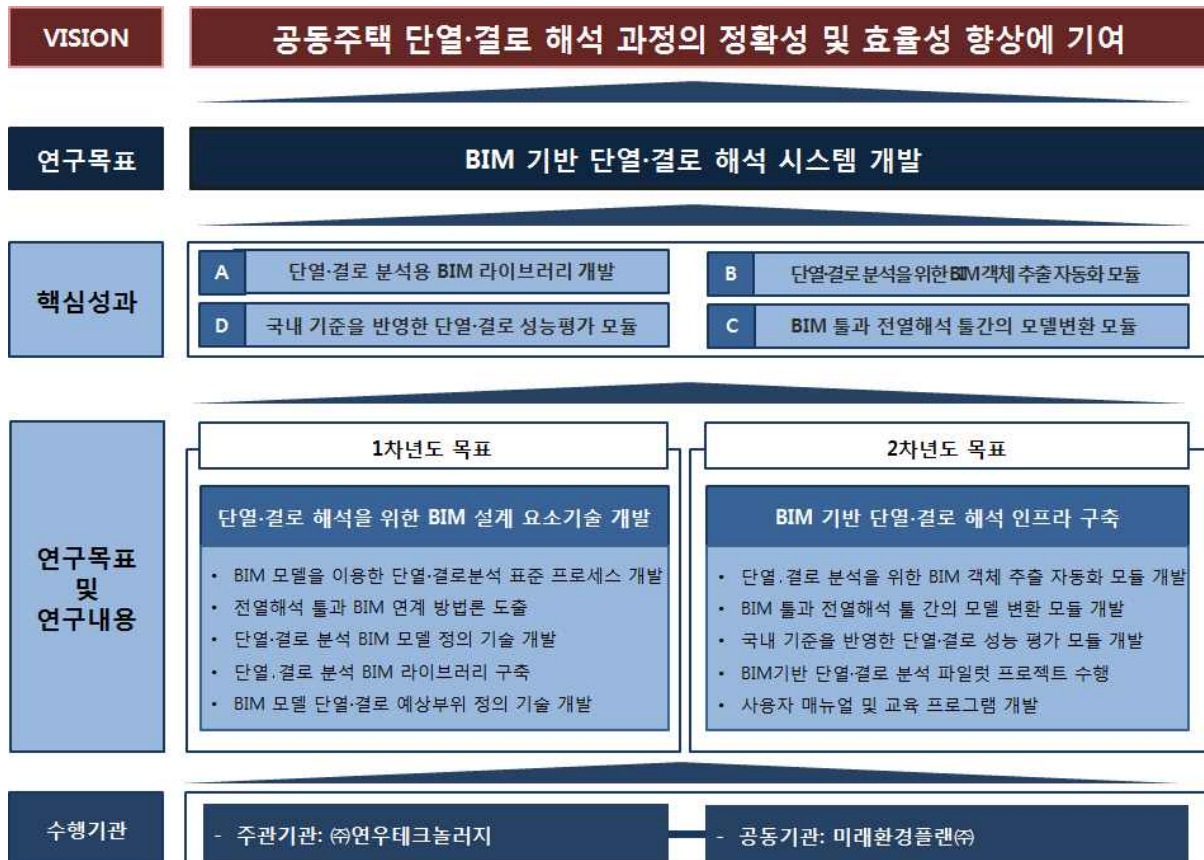


그림 1.2 연구의 구성

- 본 연구의 개발 기술은 BIM기반의 설계과정에서 생성된 모델정보를 활용, 분석에 필요한 정보를 추출 및 표준화하고 자동생성 및 관리할 수 있으며, 물성 및 형상정보를 자동 변환·추출하여 국내 법적 기준을 충족하는 단열·결로 성능 평가를 수행할 수 있는 기술임
- 본 연구에서는 최종 결과물인 BIM 기반 단열·결로 해석 시스템 개발을 위해, 다음과 같은 핵심성과를 설정하여 각 차년도별로 연구 목표 및 내용을 수립하였음
 - 핵심성과 A: 단열·결로 분석용 BIM 라이브러리 개발
 - 핵심성과 B: 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈
 - 핵심성과 C: BIM 툴과 전열해석 툴간의 모델변환 모듈
 - 핵심성과 D: 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능평가 모듈
- 본 연구는 기존의 비효율적인 분석과정을 자동화 할 수 있는 중요 모듈개발을 통해 단열·결로 해석 소요시간을 단축시키며 결과의 신뢰도 또한 향상 시킬 수 있는 단열·결로 해석 프로세스의 자동화를 구현할 수 있음

- 기존 단열·결로 해석 프로세스와 본 연구를 통해 개선된 프로세스의 비교에 대한 개요는 다음 그림과 같음

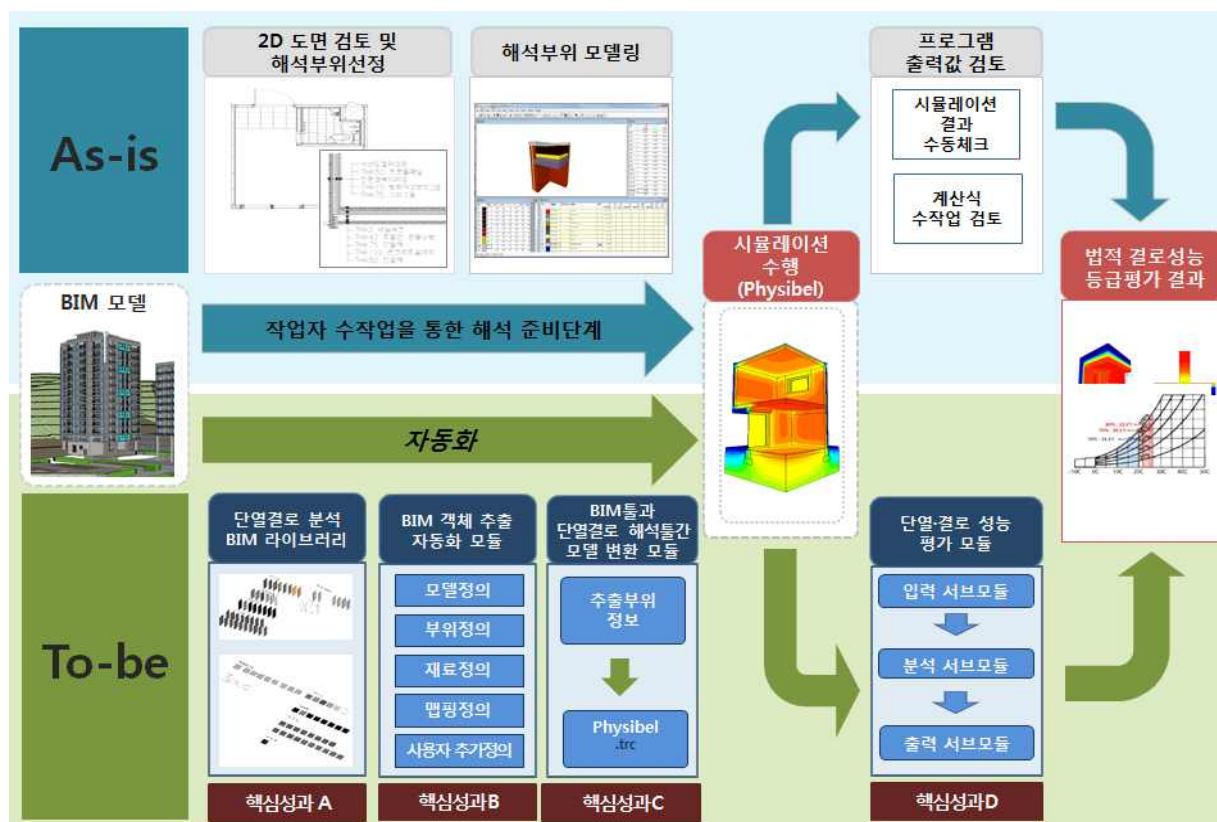


그림 1.3 AS-IS 및 TO-BE

- 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」 기준에 따르면 단열·결로 해석은 ISO 15099의 적용에 적합한 프로그램을 활용하도록 의무화하고 있으며, 현재 국내에서는 해외의 전열 해석 프로그램인 Therm&Window 혹은 Physibel을 사용하고 있음
- 최근 BIM 수행을 통해 3D 데이터가 작성되나 Therm&Window와 Physibel을 사용하기 위해서는 2D 설계도면을 기반으로 결로 예상 부위를 각 프로그램에서 해석 모델링으로 재가공하는 비효율적인 작업을 거쳐야 하며, 이때 분석자의 주관개입 및 건물형상정보의 생략에 따른 정보 누락 등으로 분석결과에 신뢰도가 하락될 우려가 있는 실정임
- 또한 Therm&Window와 Physibel의 시뮬레이션 결과 화면에서 최저표면온도를 체크(수동 체크)한 후 계산식을 활용하여 수작업으로 등급을 평가하도록 되어 있어 오류 및 작업자의 주관적 판단이 개입될 수 있음
- 본 연구의 통해 개발된 핵심성과는 BIM기반의 설계과정에서 생성된 모델정보를 활용하여 분석에 필요한 정보를 추출 및 표준화하여 자동생성 및 관리할 수 있으며, 물성 및 형상정보를 자동 변환 추출하여 국내 법적 기준을 적용해 단열·결로 성능 평가를 수행할 수 있는 기술임

나. 연구배경 및 필요성

- 건설 공종에서의 BIM 도입 및 적용 활성화
- 친환경 BIM(Green BIM)의 경우 정보 호환 및 연동 기술의 부족, BIM 기반의 통합 프로세스 부재 등의 장애 요인으로 인해 BIM 데이터의 효율적인 사용이 불가능한 실정
→ 환경성능(단열, 결로 등) 분석 시 중복작업으로 비효율과 비용 증가 발생
- 국민 행복 지수 향상 및 주거복지 실현을 위한 쾌적한 주거환경 개선 요구 증대
→ 정부, 결로 등과 같은 생활밀착형 주거성능 향상기술에 대한 투자 확대
→ 정부, 2014년, 05월 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」 시행
- 공동주택의 단열·결로 해석을 위한 BIM 기반 요소기술 및 인프라 구축 필요
→ BIM 데이터를 전열해석 엔진 및 결로 방지 설계기준과 연계

(1) 기술적 측면

- BIM수행에 있어 반드시 풀어나가야 할 과제 중 하나는 정보호환으로 설계단계에서 생성되는 정보들이 다양한 BIM 소프트웨어 혹은 전용 해석 소프트웨어간의 정보교환의 한계로 인하여 효율적으로 호환되지 않아 많은 문제점들이 제시되고 있음
- 친환경 BIM(Green BIM)도 마찬가지로 정보교환기술의 부족으로 BIM 기반의 3D 데이터가 작성됨에도 불구하고, 단열·결로 분석 단계에서 3D 데이터를 재작성하는 등 중복투자 와 자원 낭비가 발생되고 있음. 더구나 전문 인력의 부족 및 수행시간의 과다투입에 대한 기피, BIM기반의 통합프로세스의 부재 등의 원인으로 타 분야에 비해 실질적으로 BIM을 활용한 사례가 희박한 실정임
- 건축물의 설계/시공 과정에서 발생된 단열 성능 부족과 결로 하자는 발생 시 보수가 힘들고, 보수효과에 비해 투입 비용이 매우 높아, 그 효율이 떨어짐. 따라서 초기 설계 단계부터 검토가 필요하며, 이에 따라 설계단계에서 생성되는 BIM기반 모델 데이터를 단열·결로 분석과정에서 활용하여 단열·결로 분석과정의 효율성을 향상시키는 연구가 필요한 실정임
- 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」 기준에 따르면 단열·결로 해석은 [ISO 15099]의 적용에 적합한 컴퓨터 프로그램의 활용을 의무화하고 있으며, 현재 국내에서는 단열·결로 해석 기준 및 평가 툴의 부재로 국외의 전열해석 프로그램인 Therm&Window와 Physibel을 사용하고 있음

- Therm&Window와 Physibel을 사용하기 위해서는 사전에 단열·결로 분석 전문가가 2D 설계도면을 기반으로 결로 예상 부위를 각 프로그램에 적합한 모델로 가공하는 작업을 수행해야함. 이런 모델링 과정에서 분석자의 주관개입 및 건물형상정보의 생략에 따른 정보누락 등으로 분석결과 신뢰도가 하락할 우려가 있음. 그리고 그림 1.2의 프로세스와 같이 각 결로 예상 부위에 대한 다양한 대안 검토 시 각 대안별 모델링의 재작업이 필요해 분석 수행 시간이 증대되는 문제점이 발생함

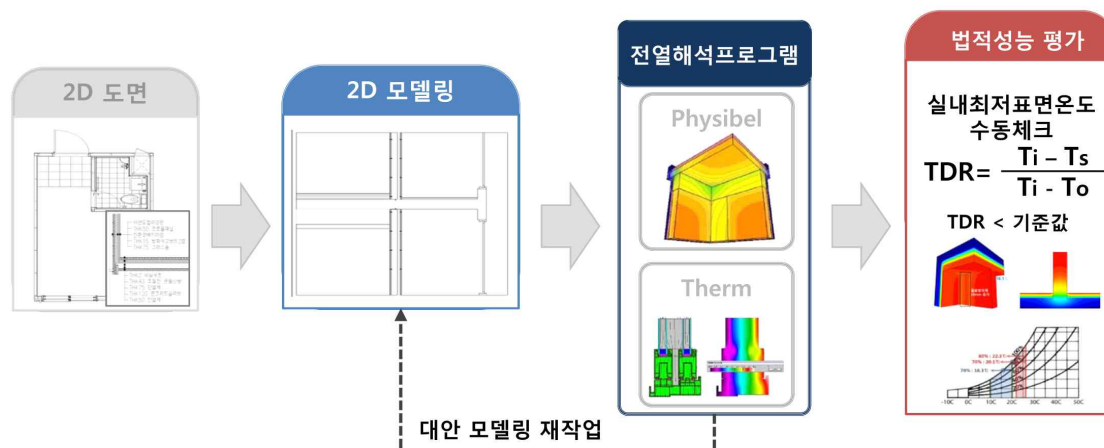


그림 1.4 기존의 단열·결로 해석 프로세스

- 또한 기준에서 고시한 평가방법인 온도차비율(TDR) 평가는 Therm&Window와 Physibel의 시뮬레이션 결과 화면에서 사용자가 직접 최저표면온도를 선택한 후 계산식을 활용하여 평가등급을 결정하도록 되어 있어, 최저표면온도를 체크하는 과정에서 사용자의 주관적 판단이 개입되고 있음
- 단열·결로 해석 시 정확한 정보 추출 및 작업시간 단축을 위해서는 BIM 모델을 활용하여 Therm&Window와 Physibel에 필요한 물성 및 형상정보의 자동 추출 기술이 요구되지만, 현재까지 이러한 연구 수행은 전무한 상황으로 이를 해결할 수 있는 BIM 기반의 단열·결로 해석 요소기술 개발 및 표준화된 프로세스가 필요함
- 본 연구의 개발기술은 BIM기반의 설계과정에서 생성된 모델정보를 활용하여, 단열·결로 분석에 필요한 정보를 추출 및 표준화하여 자동생성 및 관리할 수 있으며, 전열해석 프로그램으로 물성 및 형상정보를 자동 변환 임포트 할 수 있음. 또한 국내 법적 기준을 적용해 단열·결로 성능 평가 수행 작업의 효율성을 높일 수 있도록 개발함
- 본 연구에서 개발한 기술은 기존 평가 프로세스를 단축하고, 중복 및 재입력 시간을 줄여 건축물의 단열·결로 성능 분석의 정확성 및 효율 향상에 기여할 것이며, 국내 기준 전열해석 및 단열·결로 성능 평가 툴 개발의 기초원천기술로 활용될 수 있음

(2) 경제·산업적 측면

- IT기술의 발달과 더불어 최근의 국내 산업계는 저탄소 녹색성장이라는 큰 화두에 적극적으로 반응하고 있음. 저탄소 녹색성장을 비롯한 친환경에 대한 관심은 우리 사회가 선진화되면서 주요한 관심의 대상으로 자리잡고 있으며, 향후 친환경에 대한 사회·경제적인 요구는 더욱 높아질 전망이다
- 특히 건축물의 단열·결로에 대한 성능 분석은 에너지 절감이라는 경제적인 측면에서 뿐만 아니라, 쾌적한 거주공간의 구축 및 환경 보전의 차원에서도 그 중요성이 대두되고 있음. 결로 발생에 의한 하자는 공동주택의 하자 관련 민원·소송 중 그 빈도가 높아 사회적 이슈가 되고 있으며, 설계/시공과정에서 발생한 이러한 결로 하자는 분양자뿐만 아니라 사업시행자, 설계/시공자 등에게까지 지속적인 심리적·경제적 손실을 야기함
- 현재 다양한 건설 공종에서 BIM 도입 및 적용이 활성화되고 있으며, 이를 통해 단순히 BIM 데이터 작성에 그치지 않고 BIM정보를 활용하기 위한 다양한 노력이 이루어지고 있음. 그러나 친환경 BIM(Green BIM)의 경우 연동 기술 및 전문 인력의 부족, 수행시간의 과다투입, BIM 기반의 통합 프로세스의 부재 등의 이유로 타 분야에 비해 BIM 도입이 늦어지고 있는 실정임
- BIM 데이터의 구축에도 불구하고 친환경 분야에서 BIM 데이터가 활용되기 어려운 현실은, 2D기반 설계도서의 분석 및 재가공과 프로그램별 개별 모델링 수행의 중복 작업을 야기하며, 이는 전체 프로젝트 전체의 작업 생산성 저하, 업무 비효율성, 사업비 증대를 발생시킴
- 본 연구에서 개발한 기술은 기존 친환경 BIM(Green BIM)분야에서 BIM 데이터 활용성을 높이고 이를 통해 생산성 및 업무 효율성, 사업비 절감의 효과를 야기시켜, 국내 건설 산업에 긍정적 효과를 발생시킬 것으로 기대됨

(3) 사회·문화적 측면

- 2013년 주거의식수준의 확대, 삶의 질에 대한 사회적 요구가 반영되어 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」 기준이 고시됨. 이 기준은 500세대 이상 공동주택의 단열·결로 성능평가를 의무화한 기준으로 세대 부위별, 위치별 구조체 열성능이 법적 요구 성능 이상을 만족해야 하며, 설계단계에서 결로가 발생할 것으로 예상되는 모든 부위에 대해 시뮬레이션 수행을 통한 최적 대안을 도출하여 설계 및 시공에 반영해야 하는 설계의무의 내용임
- 또한 국토교통부는 2014년도 정부 R&D사업 부처 합동설명회에서 주거공간의 쾌적화, 장

수명화, 안전성 확보를 지향하는 국민 체감형 주택기술 개발을 통해 국민 행복을 만드는 주거 공간 구현을 목적으로 다음 그림과 같은 추진방향 및 내용을 발표한 바 있음

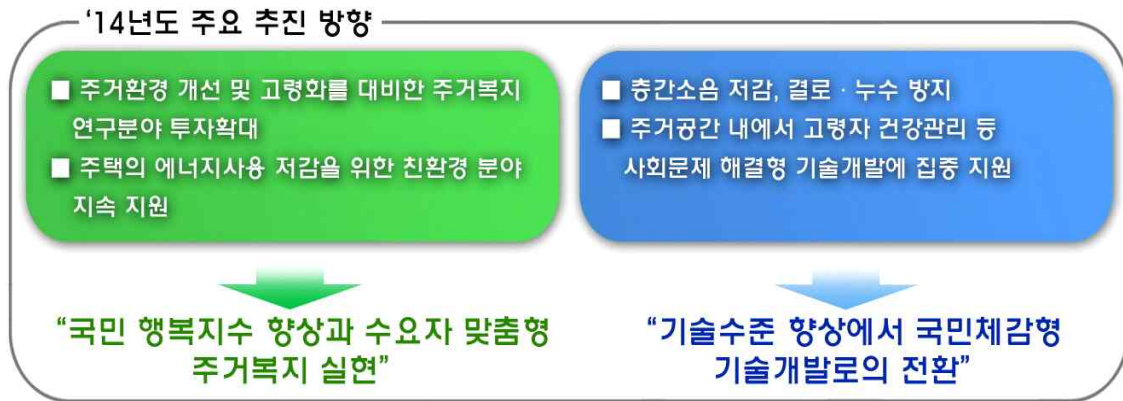


그림 1.5 국토교통부의 주거환경연구사업 추진방향

- 특히 ‘쾌적한 주거공간’을 위해 2014년 6,800백만원의 투자를 계획하고, 주거환경 개선의 일환으로 층간소음, 실내 공기질, 결로·누수 등 생활밀착형 주거성능 향상기술 등, 주거환경 개선을 위한 지원을 핵심사항으로 결정함
- 본 연구의 결과물은 이러한 국가 주도의 주거환경 개선의 요구를 만족시키기 위한 공동주택 단열·결로 해석 시스템 개발을 통해 쾌적한 주거공간 구현에 이바지할 것으로 예상됨

2. 연구개발 단계 및 연차별 연구내용

가. 연구개발 단계

- 본 연구를 수행하기 전 핵심요소기술의 성숙도에 대한 객관적이고 일관성 있는 지표 설정을 위해 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level)를 설정하였음

표 1.1 기술개발 성숙도 분류

분류 유형	구분		단계별 설명	
시스템 유형	기초연구 단계	TRL 1	TRL 1	이론적 연구단계
		TRL 2	TRL 2	기술적 개념정립 단계
공법·기법 유형	실험 단계	TRL 3	TRL 3	실험적 증명 단계
		TRL 4	TRL 4	실험실 성능평가 단계
재료·자재 유형	시작품 단계	TRL 5	TRL 5	유사환경 시험 단계
		TRL 6	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
소프트웨어 유형	실용화 단계	TRL 7	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
		TRL 8	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
장비·장치 유형	사업화 단계	TRL 9	TRL 9	현장적용/사업화 단계

- 연구개발환경, 연구개발결과물, 기술수준에 따라 기술성숙도를 아래와 같이 분류하였음

표 1.2 핵심성과물별 기술성숙도

핵심성과		기술성숙도		설정근거
		유형	단계	
A	단열·결로 분석용 BIM 라이브러리 구축	소프트웨어	TRL 3	- 정의된 단열·결로 분석 BIM 객체를 기반으로 실무에 활용될 수 있도록 입·출력 정보를 체계화하여 객체 라이브러리를 개발하는 단계로 라이브러리의 개념을 기술적으로 정립하고, 후속 연구를 위한 단위 요소기술에 대한 기초 기술을 확보하는 단계
B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈	소프트웨어	TRL 4	- BIM 모델 정보 중 단열·결로 예측 부위를 설정하고, 관련 객체 정보를 자동으로 추출할 수 있는 모듈을 개발하는 단계로, 핵심적인 기능과 모듈의 체계 구성이 완료된 단계
C	BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈	소프트웨어	TRL 4	- 공동주택에 한하여 BIM 톨과 다양한 단열·결로 분석 톨의 정보를 호환할 수 있는 데이터 변환 모듈을 개발하는 단계로, 모듈의 핵심 기능 및 체계 구성이 완료된 단계 - 또한 파일럿 프로젝트 수행하여 모듈의 테스트 결과를 분석하고 문제점을 보완하는 단계
D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	소프트웨어	TRL 4	- 국내 법적 기준을 적용해 단열·결로 성능을 평가하기 위해 BIM 모델, 전열해석 결과, 사용자입력정보를 통합해 평가하는 모듈을 개발하는 단계로, 모듈의 핵심 기능 및 체계 구성이 완료된 단계

나. 연차별 연구목표 및 내용

- 본 연구의 각 연차별 연구목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음

표 1.3 연차별 연구목표 및 주요 연구내용

연차	연구목표	주요 연구내용	해당 핵심성과	
1 차 년 도	BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발	(1) 사례조사를 통한 전열해석 프로그램 활용 프로세스 분석 (2) 결로해석 프로그램의 단열·결로 해석 프로세스 분석 (3) BIM 모델정보를 이용한 단열·결로 분석 프로세스 정립	A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리
	단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 요구객체 정립 (2) BIM 객체의 요구정보 정의 (3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립		
	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계)	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑 (2) 단열·결로 해석을 위한 BIM객체 입·출력 정보 체계 구축 (3) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발		
	BIM 모델 단열·결로 예상부위 정의 기술 개발	(1) 기존 단열·결로 Project 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB구축 (2) BIM 모델을 이용한 결로 예상부위 정의 알고리즘 개발	B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈
	전열해석 툴과 BIM 연계 방법론 도출	(1) PHYSIBEL / THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석 (2) PHYSIBEL / THERM 특성 비교를 통한 BIM 연계성 검토 (3) 단열·결로 분석을 위한 모델 정보 도출	C	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈
	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교 (2) 국내·외 단열·결로 분석 사례 조사 DB 구축	D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈
	단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축	(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발 (2) 단열·결로 평가 객체 입·출력 정보체계 구축		
2 차 년 도	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계)	(1)입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발(보완)	A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리
	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발	(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 (2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출 구조 분석 (3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발	B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈
	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈 개발	(1) 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 (2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현	C	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈
	단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발	(1) 입력모듈 정보의 분류 체계 구성 (2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발	D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈
	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발	(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의 (2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 정확성 검증		
	BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 수행	(1) 통합 모듈 (BIM 기반 단열·결로 해석 지원 시스템) 검증 (2) 통합 모듈 보완 사항	최종 성과물 검증	

3. 연구수행체계



[빈 페이지]

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- BIM 설계와 연계한 친환경·저에너지 성능 분석과 관련된 기존 연구들과 본 연구 개발의 유사성을 검토한 결과, 에너지 성능 분석과 연계한 연구가 주를 이루고 있었으며, 일조, 조망, 친환경주택성능 등과의 데이터 연동을 위한 연구도 일부 수행되고 있는 것으로 조사됨
- 또한 대부분의 연구가 기 작성된 BIM 객체 정보를 타 프로그램에서 활용하는 정보 호환 방법에 초점을 두고 있어, 분석 인자 및 설계 수준에 따른 BIM 정보의 정의, 라이브러리 구축 등의 BIM 설계 요소 기술에 관한 연구는 다소 미흡한 것으로 조사됨

표 2.1 유사연구 과제

부처명 (연구기간)	사업명	과제명	예산 (억원)	비 고
교육과학기술부 (2010.09.01 ~2013.08.31)	일반연구자지원	BIM 설계 기반의 건물 에너지 성능분석 프로그램 개발	0.54	광운대학교 산학협력단
중소기업청 (2011.06.01 ~2013.05.31)	중소기업기술 혁신개발사업	BIM 기반 건축물에 대한 에너지성능 평가 솔루션 개발	2.20	버추얼빌더스
중소기업청 (2012.08.01 ~2013.07.31)	중소기업기술 혁신개발사업	BIM 모델 기반의 공동주택 환경분석/평가 솔루션 개발	1.54	(주)코스팩
국토해양부 (2010.12.29 ~2012.06.28)	R&D정책인프라사 업	BIM 기반 냉난방에너지해석 및 절약계획서 작성을 위한 도구 개발	1.29	(주)디.씨.에스
중소기업청 (2011.06.01 ~2012.05.31)	산학협력기술개 발	Web 기반 친환경 BIM 객체 라이브러리 관리 시스템 개발	1.58	광운대학교 산학협력단
국토해양부 (2009.12.30 ~2012.09.29)	첨단도시개발	Web 기반 Green BIM System 개발	0.95	썬앤라이트
교육과학기술부 (2009.09.01 ~2012.08.31)	일반연구자지원	건물에너지 성능향상을 위한 BIM 기반 시뮬레이션 기술 및 설계 지원 도구 개발	1.00	단국대학교 산학협력단

- BIM 설계 기반의 건물 에너지 성능분석 프로그램 개발
 - 광운대학교 산학협력단, 2010.09 ~ 2013.08
 - 국내 기후 및 건물 특성에 적합한 설계단계에서의 에너지 사용량 저감 방안을 적용하고 설계안 검증과정의 시간 단축을 위한 BIM 설계와 연계한 에너지 성능분석 프로그램을 개발
- BIM 기반 건축물에 대한 에너지성능 평가 솔루션 개발
 - 버추얼빌더스(주), 2011.06 ~ 2013.05
 - Timeline 기반의 한국형 건물 에너지 성능 생애주기 활용 모듈 개발 및 BIM 기반 한국형 건물 에너지 설계수준 향상을 위한 저작도구 개발 등 BIM 기반의 건물 에너지 해석 S/W 개발 및 실제 대상건물의 적용하기 위한 방안 연구
- BIM 모델 기반의 공동주택 환경분석/평가 솔루션 개발
 - (주)코스팩, 2012.08 ~ 2013.07
 - 설계단계의 에너지 검토를 통한 친환경 건축 설계 구현으로 건물에 의한 에너지 소비량 감축. 에너지 분석 뿐 아니라 일조, 조망, 사생활 침해 등의 분석. 친환경주택성능 평가 분석 모듈, 환경분석 종합 보고서 작성 모듈, 대안 비교 보고서 작성 모듈
- BIM 기반 냉난방에너지해석 및 절약계획서 작성을 위한 도구 개발
 - (주)디.씨.에스, 2010.12 ~ 2012.06
 - BIM 라이브러리 구축 표준안에 의해 작성된 모델을 바탕으로 해석에 필요한 에너지 성능지표(EPI) 데이터를 추출하여 향후 에너지 진단 및 절약, 신재생 에너지와 관련된 데이터 추출 시스템 개발
- Web 기반 친환경 BIM 객체 라이브러리 관리 시스템 개발
 - 광운대학교, 2011.06 ~ 2012.05
 - BIM 데이터 작성도구 및 친환경 소프트웨어 간의 정보호환을 위한 친환경 BIM 객체 라이브러리 시스템 개발로 객체 정보의 재생산 및 재입력에 소요되는 비효율을 개선하며 궁극적으로 친환경 성능의 효과적 관리를 통해 건축물 에너지 소비의 저감에 기여할 수 있는 객체 기반 표준 정보관리 기술, 객체 기반 친환경 성능정보 관리기술, 객체 기반 친환경 성능정보 맵핑 기술 개발
- 건물에너지 성능향상을 위한 BIM 기반 시뮬레이션 기술 및 설계 지원 도구 개발
 - 단국대학교 산학협력단, 2009.09 ~ 2012.08
 - IFC/gbXML 기반의 데이터 모델 개발, 건물에너지 분석을 위한 EXPRESS-G 데이터 모델 개발, LEED, 탄소 발생량 저감, 에너지 저감 방안 평가 기능 개발, 에너지 저감형 건축물 설계도구 개발 및 컴포넌트 구현, 건물에너지 성능 가시화 모듈 및 시뮬레이션 데이터 변환 모듈을 개발하고 건물 유형별 사례분석을 DB화함으로써 사용자 중심의 저에너지 설계가 가능

(2) 연구개발과제의 차별화 방안

- BIM에 기반을 둔 단열·결로 분석 연구의 수행은 전무한 것으로 조사됨. 또한 국민의 주거 쾌적성 확보를 위한 결로 방지 기준의 시행과 발맞춘 단열·결로 해석과 BIM 정보의 연계 기술 개발은 매우 시의성 있는 연구로 사료됨
- 기존 연구 개발된 BIM과 친환경 성능 분석 연계 툴의 경우, 단열·결로 해석 부위에 대한 추출이 불가능하고 해석 관련 입력 정보가 미비하여 정확한 데이터 산출이 어려움. 따라서 단열·결로 분석을 위해서는 특화된 정보를 가진 BIM 데이터의 재제작이 요구됨
- 이에 따라 본 연구에서는 단열·결로 분석 BIM 객체를 기반으로 실무에 활용될 수 있는 입력 및 출력 정보를 체계화하고, 해당 정보를 가진 객체 라이브러리 시스템을 구축하고, 기존 BIM 데이터를 단열·결로 해석에 특화된 정보 입력 및 해석 툴에 적용하기 위한 파일 형식 변환 모듈을 개발을 수행함
- 또한, 국내 법적 기준에 적합한 단열·결로 평가 모듈을 개발해 해석의 정확도를 높이고, 동시에 기존의 단열·결로 평가 프로세스를 단축시킬 수 있음

나. 연구동향 분석

- BIM 정보를 이용해 친환경 성능을 분석하는 대표적인 연구실적은 아래와 같음

표 2.2 국내 관련 연구 논문 및 기술현황

연구제목(연도)	저자	분석내용	출처
친환경 리모델링을 위한 BIM기반 환경 및 에너지 성능분석 통합 프로세스 구축에 관한 연구 (2013)	박경순 외 1	환경 및 에너지 성능확보를 위한 에너지, 빛, 열, 음, 기류 등 우선 고려사항을 프로세스 상에 명시하여 기획 및 계획, 설계 실무진행의 효율성을 극대화할 수 있는 대안 제시	한국건축친환경설비학회 논문집 7권 2호
BIM기반 친환경건축물 환경성능평가를 위한 표준라이브러리 개발 (2012)	홍성욱 외 2	KBIMS 표준 라이브러리에 환경성능평가에 필요한 속성정보를 적용하여 BIM 저작도구 일람표 추출	대한건축학회 추계학술발표대회논문집 제32권 제2호
BIM기반 친환경건축물 인증제도의 사용자 중심적인 개선방안에 관한 연구 (2012)	안광호 외 2	국내 친환경 건축물 인증제도의 문제점을 분석하고 사용자 중심의 BIM기반 시뮬레이션을 통해 인증제도의 개선방안 제시	대한건축학회 논문집 제28권 제1호
친환경 공동주택 계획을 위한 BIM기반 환경 성능 분석사례 (2011)	이주영 외 4	BIM기반의 환경성능 분석을 위한 적용가능 항목을 제시하고 데이터 호환측면에서의 문제점과 극복사례 제시	한국BIM학회 정기학술대회 제1권 제1호
BIM기반 시뮬레이션 모델의 상호운용성을 이용한 건물 에너지 성능평가 (2011)	오세민 외 3	BIM데이터를 교환하는 상호 운용성을 파악하기 위하여 데이터 중심, 프로세스 중심의 성능평가를 이론적으로 비교	대한건축학회논문집 제27권 제6호
지속가능한 건축을 위한 BIM기반 친환경건축 설계프로세스 적용가능성에 관한 연구 (2011)	김미경 외 3	BIM기반 친환경건축물 구현을 위해 다양한 에너지 성능분석도구를 분석하고, BIM기반 통합 설계프로세스의 단계별 에너지 분석 요소들의 적용 가능성을 검증함	한국생태환경건축학회 논문집 제11권 제2호

- BIM 정보를 이용해 친환경 성능을 분석하는 Green BIM과 관련된 연구는 현재까지 BIM 모델링 프로그램과 에너지 성능 해석 프로그램 간 호환성 연구를 중심으로 활발히 이루어지고 있으며, 친환경 설계(일조, 조망, 기류 등) 및 국내 친환경 인증과의 연계를 위한 연구도 일부 수행되고 있음
- BIM 정보와 단열·결로 해석 프로그램의 데이터 연계를 위한 연구는 국내외에서 전무한 실정이며, 이를 위한 정보 추출 및 호환 기술과 국내 실정에 적합한 단열 결로 평가를 위한 정보 처리 및 가공 기술의 개발이 요구되고 있음

2. 국내외 기술 특허 동향

가. 국내 관련 기술 특허 동향

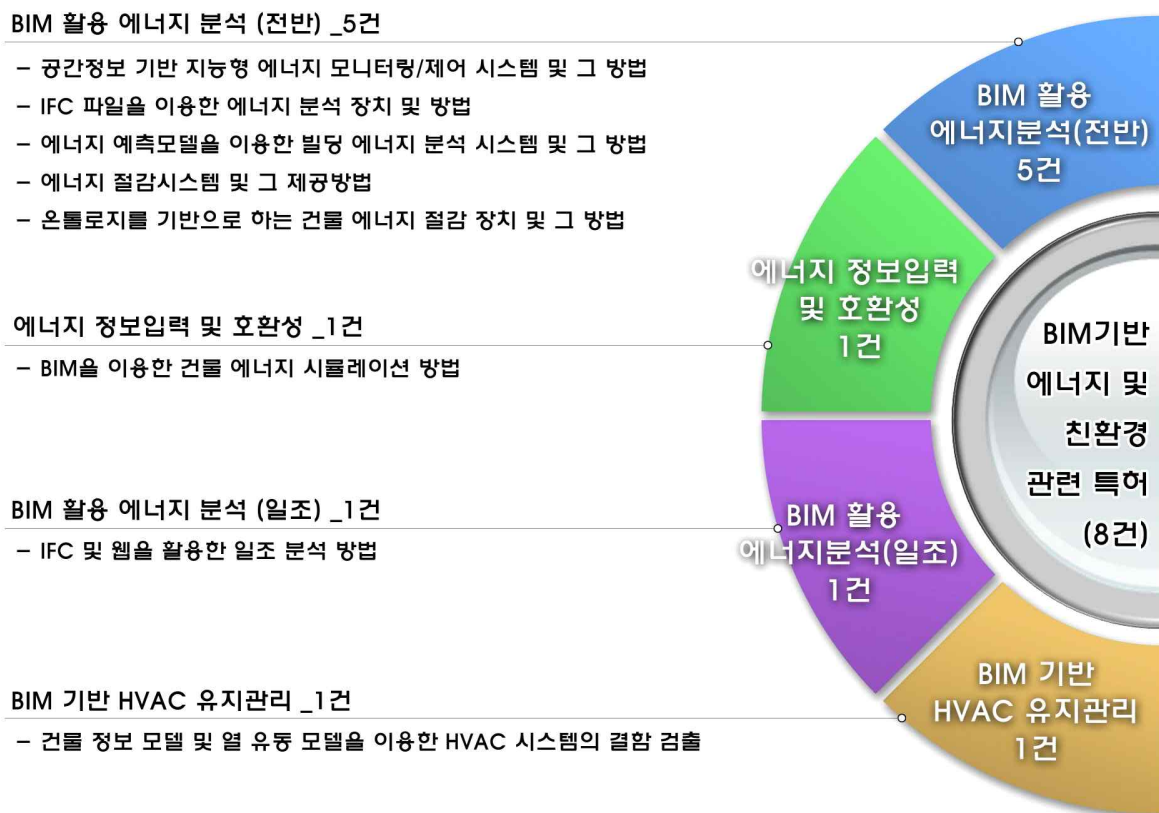


그림 2.1 국내 BIM기반 에너지 및 친환경 관련 특허 현황

- 국내 BIM 기반의 친환경 및 에너지 분야 관련 기술 특허 사례는 ‘BIM 기반의 친환경 및 에너지 분석에 대한 전반적인 기술 특허’ 5건, ‘에너지 분석을 위해 필요한 정보 입력 및 호환성에 관한 기술 특허’ 1건, ‘BIM 기반의 일조분석에 특화된 기술 특허’ 1건, ‘BIM 데이터를 활용한 냉·난방, 통풍, 공기조화 유지관리 기술 특허’ 1건으로 총 8건을 확인함

- BIM 기반 단열·결로 분석 시스템에 대한 기술 특허는 현재 사례가 없으며 기존 특허들의 BIM 정보 분석 및 데이터 호환 기술은 단열·결로 분석 기술과 관련 부위 및 필요 정보가 상이하고, 데이터를 연동할 소프트웨어의 데이터 체계가 상이하므로 중복성 및 유사성이 없는 것으로 판단됨
- 국내 BIM 기반의 친환경 및 에너지 분야 관련 기술 특허 사례와 BIM 기반 단열·결로 분석 시스템에 대한 기술 특허는 아래표와 같음. 본 연구과제에서 개발하고자 하는 BIM기반의 단열·결로 분석 시스템은 유사기술이 없는 실정임

표 2.3 국내 BIM기반 에너지 및 친환경 관련 특허 현황

기술 특허명	출원인	특허출원번호
BIM을 이용한 건물 에너지 시뮬레이션 방법	경북대, 경희대	10-2012-0097690
IFC 및 웹을 활용한 일조 분석 방법	썬앤라이트	10-2012-0058759
공간정보 기반 지능형 에너지 모니터링/제어 시스템 및 그 방법	버추얼빌더스	10-2012-0008754
에너지 예측모델을 이용한 빌딩 에너지 분석 시스템 및 그 방법	버추얼빌더스	10-2011-0127527
온톨로지를 기반으로 하는 건물 에너지 절감 장치 및 그 방법	한국전자통신연구원	10-2012-0072600

- BIM을 이용한 건물 에너지 시뮬레이션 방법
 - 경북대, 경희대, 2012
 - 건물 정보 입력 프로그램을 이용하여 건물 형상, 코드화된 자재 정보, 및 코드화된 실용도 정보를 입력해 에너지 시뮬레이션 프로그램용 파일로 컨버팅할 수 있도록 하는 일련의 프로세스를 개발. 에너지분석을 위해 BIM 객체에 데이터베이스화 할 수 있는 정보를 정의하고 호환 프로세스를 정립했다는 흐름은 본 과제와 유사한 점이 있지만, 본 연구에서 개발하고자 하는 것은 기존의 수행사례가 없는 ‘단열·결로’에 대한 연구이기에 그 대상이 상이하므로 중복성 및 분쟁 가능성 없음
- IFC 및 웹을 활용한 일조 분석 방법
 - 썬앤라이트, 2012
 - 사용자가 일조 분석의 대상이 되는 창 요소를 IFC로부터 추출해 이를 지역정보와 함께 웹상에서 일조 분석이 가능토록 하는 프로세스를 개발. 본 특허는 개방형 포맷인 IFC를 통한 일조분석 프로세스 개발이 주요한 목적인데 어떤 특정 툴에 의존하지 않는 IFC를 활용한다는 점에서 기대가 큼. 하지만 기존의 상용 툴에서도 gbxml등의 포맷을 통해 재현 가능한 것으로 실무에서의 상용성이 떨어질 것으로 보임. 본 연구에서 개발하고자 하는 호환기술은 선행기술과 같이 소프트웨어 간의 호환형태를 분석하여 IFC 또는 gbxml을 통한 변환을 통해 분석기술을 업그레이드하는 점에 유사점이 있음. 하지만 일조분석이 환경성능 항목 중의 하나이기는 하나 사용 소프트웨어가 상이하여 중복성 없음

- 공간정보 기반 지능형 에너지 모니터링/제어 시스템 및 그 방법
 - 버츄얼빌더스, 2012
 - BIM 툴을 이용하여 모델링된 특정 공간에서 사용되는 에너지 사용현황을 다양한 방식으로 가시화하여 사용자에게 직관적인 에너지 사용현황을 제시할 수 있는 시스템 및 그 방법에 대한 프로세스를 개발. 사용자 중심을 접근을 시도했다는 점이 수요도를 높이는 장점이 존재. 실무자 중심의 결과물이 도출될 것이라는 점 이외의 내용상의 중복, 유사점이 없음
- 에너지 예측모델을 이용한 빌딩 에너지 분석 시스템 및 그 방법
 - 버츄얼빌더스, 2011
 - 과거 오랜 시간에 걸쳐 빌딩의 다양한 에너지 관련 파라미터를 획득했던 방법을 개선하여 보다 빠르고 효과적으로 설계, 시공에 적용할 수 있는 에너지 예측모델을 이용한 빌딩 에너지 분석 시스템 개발에 대한 내용을 서술. 기존의 2D기반의 설계·시공정보를 BIM 모델을 활용한다는 점이 공통되는 사항일 뿐, 에너지 분석에 관한 연구내용으로 ‘단열·결로’를 분석하는 본 연구과제의 목적과 적용대상이 상이함
- 온톨로지를 기반으로 하는 건물 에너지 절감 장치 및 그 방법
 - 한국전자통신연구원, 2012
 - BIM과 gbXML 형식을 이용해 건물 내부 및 외부의 상황과 특성을 포함하는 건물 정보를 온톨로지로 표현해 온톨로지를 기반으로 건물 에너지를 절감하는 장치 및 그 방법을 제공. 우선 BIM과 gbxml형식을 이용한 상호운용성 검토하는 점이 유사하지만 해당 특허는 온톨로지에 그치는 반면 본 연구과제에서 수행하고자 하는 것은 실무적으로 실용화 할 수 있는 모듈

나. 국외 관련 기술 특허 동향

- 국외 관련 기술 특허를 조사한 결과 본 연구와 관련한 특허는 아래표와 같음

표 2.4 국외 BIM기반 에너지 및 친환경 기술 관련 선행 특허 동향

기술 특허명	출원인	특허출원번호
Interoperability format translation and transformation between IFC architectural design file and simulation file formats	International Business Machines Corporation (미국)	US 2013/0339404 A1
Method and system for integrating computer aided design and energy simulation	Pongsak Chaisuparasmikul (미국)	US 2008/0249756 A1
Device for conducting machine room computational fluid dynamics simulation through building information model	Shanghai Municipal Electric Power Company (중국)	CN 102819620A
Environment simulation system for construction site and environment simulation method for construction site	OHBAYASHI CORP (일본)	特願 2013-37715 (P2012-37715)

- 국외 관련 기술 특허를 조사한 결과 미국의 경우 BIM 데이터를 다양한 상용툴에서 활용 가능한 포맷(IFC, gbxml 등)으로 변환하는 기술에 대한 특허가 주를 이룸. 일본 및 중국의 경우에는 국내 기술 특허와 마찬가지로 친환경 분석의 전반적인 기술 특허가 대부분이며 BIM 정보의 호환에 있어 범용성의 확보와 분석 결과의 신뢰성이 부족
- 국외 기술 특허 역시 BIM, 정보 정의, 소프트웨어의 상호호환성 연구라는 점에서 유사성이 있지만, 국내 기술 동향과 마찬가지로 본 연구과제에서 수행하고자 하는 단열·결로 성능 분석의 목적과는 유사성은 없는 것으로 조사됨
- Interoperability format translation and transformation between IFC architectural design file and simulation file formats
 - International Business Machines Corporation, 미국, 2012
 - 상호운용성 포맷인 IFC 파일을 EnergyPlus, Radiance 프로그램과 같은 시뮬레이션 프로그램으로 자동 변환 또는 자동 추출할 수 있는 프로세스를 서술
- Method and system for integrating computer aided design and energy simulation
 - Pongsak Chaisuparasmikul, 미국, 2007
 - 컴퓨터 기반의 설계와 에너지 시뮬레이션 사이에서의 상호 운용성을 위한 소프트웨어 시스템과 기법을 서술. 그 기법으로 전자식 시공계획 및 구조 정보를 추출하며 구조 정보의 한 부분을 이용해 에너지 시뮬레이션을 실행, 에너지 효율성 결과를 인터페이스를 통해 디스플레이 하는 기술을 말함
- Device for conducting machine room computational fluid dynamics (CFD) simulation through building information model (BIM)
 - Shanghai Municipal Electric Power Company, 중국, 2011
 - BIM 모델을 통해 CFD(Computer Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 수행하는 장치에 대해 서술, 그 장치는 다수의 센서, 프로세서, BIM 모델 데이터베이스, 디스플레이, 전원 공급 모듈로 구성
- Environment simulation system for construction site and environment simulation method for construction site
 - OHBAYASHI CORP., 일본, 2012
 - 시공 전 날씨의 영향에 따른 시공현장의 환경 시뮬레이션 시스템을 제공하는 기술. BIM 모델과 날씨 정보 데이터를 바탕으로 시공할 건물과 주변 건물에 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션 할 수 있는 기술을 서술

3. 국내외 정책 및 산업동향

가. 국내외 정책동향

- 국내의 경우 2025년까지 건축물의 제로에너지 의무화를 목표로 2013년에 국토교통부에서 에너지 절약 설계기준을 강화하였고, 녹색건축인증제도와 건축물에너지효율등급 인증 제도를 비롯한 친환경 인증 제도를 확대하는 등 건축물 에너지 소비량 저감을 목적으로 하는 친환경적 통합설계에 대한 연구와 실천적 방안에 대한 정부 지원과 제도구축이 이루어지고 있음
- 국토교통부는 지난 2013년 12월말 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」이 제정됨에 따라, 공동주택 500세대 이상의 건물에 대하여 단열·결로 검토가 의무화되었으며, [ISO 15099]의 적용에 적합한 컴퓨터 프로그램(Therm& Window, Physibel 등)을 활용하여 평가하도록 제시하고 있음
- 국토부에서는 제1차 건축정책기본계획안 (2010년~2014년)을 발표한 바 있음. 그 중 탄소 저감형 도시환경 조성, 건축물 에너지 효율 제고, 친환경 주택 건설·공급 활성화를 위한 녹색건축 선도 사업 추진전략으로 BIM를 비롯한 IT 융·복합 기술 고도화를 통해 건축·도시 관련 산업을 창의성과 기술력을 겸비한 고부가가치 지식서비스 산업으로 집중 육성하려는 계획이 발표됨
- 해외 국가별 BIM 추진 동향을 보면, 미국의 경우 연방 및 각 주정부, 공공기관이 BIM을 의무화하기로 하였으며, 영국의 경우 2015년까지 모든 공공 프로젝트에 BIM 적용을 확대하기로 함. BIM 정착속도가 가장 빠른 싱가포르의 경우 2014년 까지 BIM 제출을 의무화하고, 장기적으로는 10년 이내 생산성 25% 증대를 목표로 하고 있음
- 중국의 경우 Ministry of Housing and Urban-Rural Development(MOHURD)는 중국 5개년 개발계획을 위한 BIM가이드라인을 공표하였으며, 일본 Ministry of Land Infrastructure and Transportation(MLIT)은 20개 시범과제에 BIM을 적용하기로 발표하는 등 주요 국가들에서도 BIM 도입 및 활성화하기 위한 전략들을 세우고 있음

나. 국내외 시장현황 및 산업동향

- 설계 건설시장의 글로벌화 추세에 따라 디자인 첨단화, 에너지 저감형·친환경 건축물 구축이 활성화되고 있으며, 이를 위한 BIM 기반의 첨단 설계 및 시공을 위한 기술 적용 시도가 가속화되고 있음

- 2013년 4월 한수원은 한국형 원전인 APR+ 개발에 맞춰 해외 수출 확대를 위한 포석을 위해 BIM을 도입한다고 발표하였으며, 2013년 10월, 한국건설기술연구원은 시설물의 유지관리에 필요한 BIM 데이터 확보를 자동으로 가능케 하는 ‘BIM기반 유지관리 정보 모델링 지침 V1.0’을 개발, 홈페이지 등을 통해 배포하여 설계와 시공, 유지관리 등에 활용하는 BIM 기법의 활용 빈도가 더욱 늘어날 것으로 기대됨
- 정부는 2012년부터 500억 이상 건축공사에 대해 BIM설계를 의무화 하였으며, 건설 분야에 3차원 설계와 친환경 요소를 강조하는 추세에 따라 여러 공공기관에서 표 2.5와 같이 BIM 기반으로 공공발주를 하고 있으며, 건설 분야에서의 BIM 시장의 규모는 앞으로 더욱 증대될 것으로 예상됨

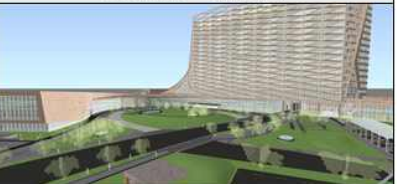
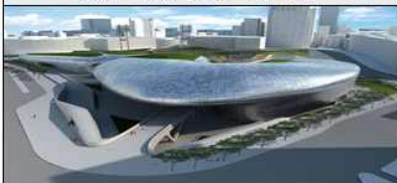
한국뇌연구원 건립공사 2011.11 한국뇌연구원	세종시 정부청사 2011, 세종시	종합직업체험관 2011.12(완공), 노동부
		
부산항 국제여객터미널 2012.10, 부산항만공사	KEPCO 본사 신사옥 2012.11 한국전력공사	LH공사 신사옥 건립공사 2012.11 LH공사
		
동대문 디자인플라자 2014.3(완공), 조달청	MBC 신사옥 2014.4(완공), MBC	롯데월드타워 2016. 10(완공 예정), 롯데
		

그림 2.2 국내 대표적인 BIM 발주공사

- 국내의 BIM기반 S/W시장을 살펴보면 2008년에 약 1,000억원에 달하며, 이는 계속 증가할 것이라고 전망 됨(CAD & Graphics, 2009). 또한 국내 친환경 건축시장 규모는 2010년 1조 3,100억 원, 2011년 3조 5,700억 원, 2012년 6조 3,500억 원, 2013년 10조 6,500억 원 2015년까지 약 25조 원 규모로 성장할 것으로 예측됨(건설산업의 녹색건설시장 확대전략 세미나, 김상범, 2010)
- 2008년 ‘저탄소 녹색성장’을 국가 비전으로 선언하고 2009년 ‘저탄소 녹색성장 기본법’ 정부안을 확정하는 등 활발한 친환경 관련 정책을 강조함에 따라 건설시장에서 차지하는 녹색 건축시장의 비중이 오는 2030년에는 33.7%까지 증가할 것이라는 전망이 제기되고 있음(2012 녹색건축 한마당 세미나, 우효섭, 2012)

- 세계적으로도 에너지 효율 개선 시장 매출은 2014년 682억 달러에서 2023년 1275억 달러로 성장할 전망이다. 또한 미국의 경우, 친환경 건물 시장은 711조원(2010년)에서 1735조원(2015년)으로 증가할 것으로 예상되며, 상업용 건물도 또한 같은 시기에 연 18.1%의 증가세를 유지하여 350조원에서 818조원의 급격한 증가를 이룰것으로 예측됨(출처:글로벌인포메이션)

4. 국내외 기술개발에 대한 종합결론

- 본 연구는 BIM 공공건물 설계 의무화 및 관련 시장 확대 등의 국내외 현황과 사회적 요구 측면에서 매우 시의적절한 것으로 판단됨. 또한 국내외 관련 기술 및 특허의 부재로 인해 독창성과 국제 경쟁력을 가질수 있을 것으로 사료됨
- 본 연구의 관련 국내외 현황을 검토한 SWOT분석 결과는 아래와 같음

그림 2.3 본 연구과제의 SWOT 분석

▪ 국가 정책의 방향과 일치(그린IT) ▪ 국내외 관련 기술 및 특허의 부재 ▪ 업계 상위의 차별화된 기술 보유 ▪ 풍부한 관련 프로젝트 수행 경험 (주관-BIM 설계, 공동-단열, 결로 분석) ▪ 국내의 건설 IT 분야의 높은 기술력 ▪ 각종 친환경 저에너지 관련 규정 확대로 개발 기술의 활용 분야 다양		▪ 국가적인 BIM 표준 미흡 ▪ 핵심 기술에 국외 전열해석 엔진 사용 ▪ 관련 설계/시공 기술의 실용화 부족 ▪ 수요 탄력성이 높은 컨설팅 산업 특성 ▪ 기준 상이로 인한 개발 기술 수출 어려움	
기술 독창성 및 민간 수요	S	W	BIM 표준 미흡 및 국산 프로그램 부재
관련법 제정 및 시장 확대 SW 개발 중심의 창조경제 구현	O	T	지속적인 보완 및 정부 지원
▪ 2025년 제로에너지 건물구현 정책 ▪ 공동주택 결로방지 설계기준 제정 ▪ 정부 R&D 추진 방향의 전환 (국민 체감형 기술, 주거환경 개선) ▪ BIM 공공건물 의무화 및 시장 확대 ▪ 건설산업의 활성화를 위한 민간 의지 ▪ 각종 인증제도의 기준 강화 지침 ▪ 친환경 전문 인력의 양성 확산 ▪ 사회전반에 걸친 친환경 건축 인식제고		▪ 장기간에 걸친 피드백의 필요 ▪ 국외 기준 적용을 위한 지속적인 업데이트 ▪ 관련 제도의 유관부서가 다양함 ▪ 지속적인 정부의 지원이 필요 ▪ 관련 프로그램 및 해석 툴의 국산화 필요	

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구개발결과 요약

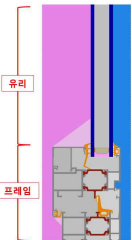
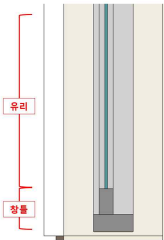
핵심성과		연구목표	연구내용	해당 연차
A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리	BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발	(1) 사례조사를 통한 전열해석 프로그램 활용 프로세스 분석 (2) 결로해석 프로그램의 단열·결로 해석 프로세스 분석 (3) BIM 모델정보를 이용한 단열·결로 분석 프로세스 정립	1
		단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 요구객체 정립 (2) BIM 객체의 요구정보 (메타데이터/그래픽) 정의 (3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립	1
		단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계)	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑 (2) 단열·결로 해석을 위한 BIM객체 입·출력 정보 체계 구축 (3) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발	1
		단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계)	(1) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발(보완)	2
B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈	BIM 모델 단열·결로 예상부위 정의 기술 개발	(1) 기존 단열·결로 Project 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB구축 (2) BIM 모델을 이용한 결로 예상부위 정의 알고리즘 개발	1
		단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발	(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 (2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출 구조 분석 (3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발	2
C	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈	전열해석 툴과 BIM 연계 방법론 도출	(1) PHYSIBEL / THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석 (2) PHYSIBEL / THERM 특성 비교를 통한 BIM 연계성 검토 (3) 단열·결로 분석을 위한 모델 정보 도출	1
		BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈 개발	(1) 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 (2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현	2
D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교 (2) 국내·외 단열·결로 분석 사례 조사 DB 구축	1
		단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축	(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발 (2) 단열·결로 평가 객체 입·출력 정보체계 구축	1
		단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발	(1) 입력모듈 정보의 분류 체계 구성 (2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발	2
		국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발	(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의 (2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 정확성 검증	2
최종 성과물 (통합모듈) 검증		BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 수행 및 사용자매뉴얼 제작	(1) BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 선정 (2) BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 수행을 통한 분석 정확성 평가 (3) 프로그램 기능 보완 및 검증 (4) 시제품 제작 및 사용자 매뉴얼 구축	2

[빈 페이지]

2. 연구개발 주요내용

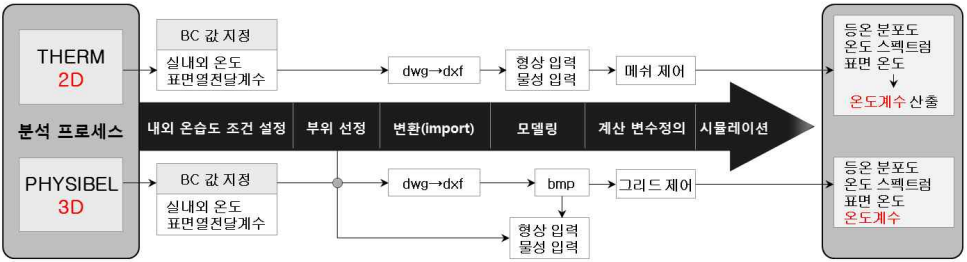
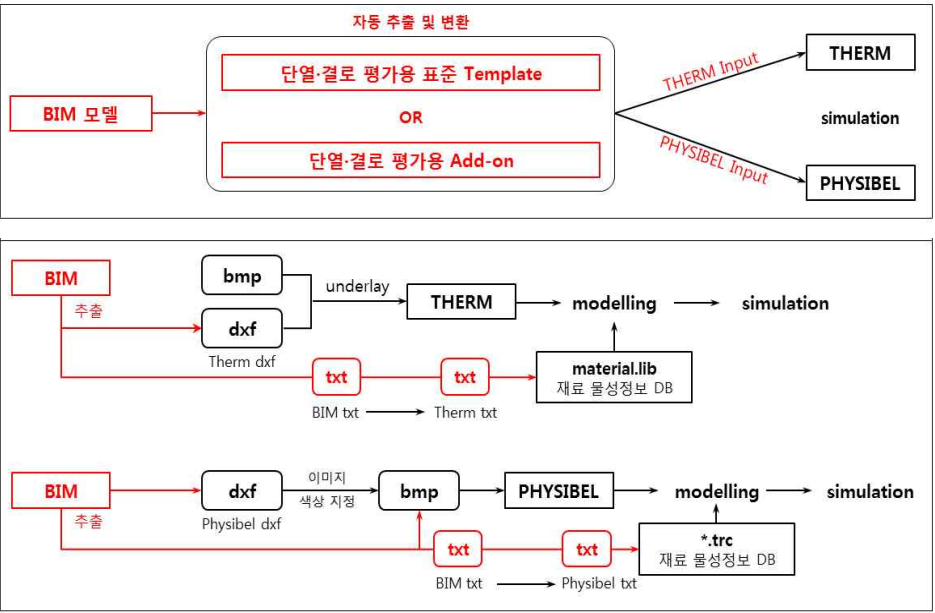
가. 핵심성과 A : 단열·결로 분석 BIM 라이브러리

핵심성과	A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리
단위성과	A-1	BIM 객체에서 단열·결로 분석에 필요한 형상 및 속성정보 정의
	A-2	BIM 툴에서 직접 적용 가능한 BIM 라이브러리 개발

연차	연구목표	연구내용	단위성과 구분																			
1차년도	단열·결로 분석을 위한 BIM 라이브러리 구축	(1) BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발 (2) 단열·결로 분석을 위한 BIM 모델의 정의기술 개발 (3) 단열·결로 분석을 위한 BIM 라이브러리 구축 (1단계)	A-1 A-2																			
1차년도 결과		(1) BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발 - 전열해석 프로그램에서 요구하는 형상과 속성에 관한 정보데이터를 BIM 저작도구의 형상 및 속성정보데이터베이스 체계와 연계하여 BIM 데이터를 활용한 표준 프로세스를 도출함 (2) 단열·결로 분석을 위한 BIM 모델의 정의기술 개발 - 전열해석 프로그램에서 요구하는 정보는 형상의 그리드 간격, 각 재료층의 물성, 경계조건의 속성, 중공층에 대한 정의로 구분되어 이를 BIM 객체의 표현 기준으로 정립함 (3) 단열·결로 분석을 위한 BIM 라이브러리 구축 - 재료물성 73종, 경계조건 15종, 중공층 8종에 대한 라이브러리를 작성함																				
2차년도	단열·결로 분석을 위한 BIM 라이브러리 구축	(1) 단열·결로 해석을 위한 BIM 창호 및 문 라이브러리 구축 (2단계)	A-2																			
최종 결과물		- 전열해석 프로그램에서 요구하는 정보는 형상의 그리드 간격, 각 재료층의 물성, 경계 조건의 속성, 중공층에 대한 정의로 구분되어 이를 BIM 객체의 표현 기준으로 정립함  창호제품 해석 모델  저작도구 일반 - 국토교통부 고시 「공동주택 결로방지를 위한 상세 도 가이드라인」에서 제시하는 창호 모델링 방식 : 유리 + 단순 모델형 프레임 - BIM 실무 시 창호 및 문 제품의 디테일한 형상이 아닌, 단순 모델을 활용함 ∴ 디테일 모델의 열관류율을 통해 단순 모델의 상당 열관류율을 산출하여 열전도율을 변수로 입력함																				
		<table><tr><th colspan="2">1 차년도</th><th colspan="2">2 차년도</th></tr><tr><td>재료 물성</td><td>73종</td><td rowspan="3">창 문</td><td>창유리</td><td>23종</td></tr><tr><td>경 계조건 모델</td><td>15종</td><td>창 프레임</td><td>25종</td></tr><tr><td rowspan="2">중공층</td><td rowspan="2">8종</td><td>문짝</td><td>4종</td></tr><tr><td>문 프레임</td><td>4종</td></tr></table>	1 차년도		2 차년도		재료 물성	73종	창 문	창유리	23종	경 계조건 모델	15종	창 프레임	25종	중공층	8종	문짝	4종	문 프레임	4종	
1 차년도		2 차년도																				
재료 물성	73종	창 문	창유리	23종																		
경 계조건 모델	15종		창 프레임	25종																		
중공층	8종		문짝	4종																		
		문 프레임	4종																			
관련 성과물	구분	질적 성과	양적 성과																			
	1차년도	매뉴얼2건, 보고서1건, 라이브러리 파일	국내 논문 1건																			
	2차년도	보고서1건, 라이브러리 파일	-																			

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

연구목표	BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발
연구내용	(1) 사례조사를 통한 전열해석 프로그램 활용 프로세스 분석 (2) 결로해석 프로그램의 단열·결로 해석 프로세스 분석 (3) BIM 모델정보를 이용한 단열·결로 분석 프로세스 정립
연구기관	미래환경플랜(주)
수행연도	1차년도
연구결과	♦ 단열·결로 분석 사례 조사를 통한 단열·결로 분석 프로세스 정립 - 공통적으로 전열해석을 위한 2D(THERM), 3D(PHYSIBEL) 형상모델과 모델의 물성정보, 경계조건 정보가 요구되며 전열해석 시뮬레이션을 통해 최종적으로 그래픽 정보와 계산 결과 레포트 정보가 출력됨  - BIM 저작도구 내에 단열·결로 평가용 표준 Template을 개발하여 각 전열해석프로그램의 입력값을 추출하여 해당 프로그램에 자동 입력하는 프로세스 (대안 1) 와 BIM 모델로부터 각 전열해석 프로그램에서 요구되는 형상정보와 속성정보로 분류 및 추출하여 파일형식에 맞게 불러오는 프로세스 (대안 2) 방식이 있음 
관련 성과물	- 국내논문 1건 - ISO 10211 전열해석을 통한 경량목구조의 주요 구조부 단열성능 데이터베이스 구축, 2015.04, 대한건축학회 계획계, 제31권 제4호, pp239~246 - 매뉴얼 1건 - 단열·결로 분석 가능한 형상정보

(1) 사례조사를 통한 전열해석 프로그램 활용 프로세스 분석

(가) 2차원 형상의 결로 분석 사례

- 1) [1단계] 2D CAD 도면의 취약부위 선정 후 도면 가공
 - 취약부위 선정: 설계도서 검토 및 발주처와의 협의를 통해 취약부위 선정
 - 모델링: 취약부위 도면 가공 후 2차원 기반의 도면 가공(DXF)
 - 경계조건 설정: 2D 가공 도면에서의 실내외 경계조건 구분
- 2) [2단계] 결로해석 프로그램 2D 시뮬레이션 수행
 - 모델링 불러오기: 가공된 취약부위의 2차원 기반의 도면 불러오기
 - 취약부위의 경계조건 설정: 건축물 에너지절약 설계기준에 따른 외부 경계 조건 및 해당 룸의 내부 경계 조건을 정의함(온도 및 표면열전달저항)
 - 취약부위 구성재료 및 물성 적용: 각 재료별 물성(열전도율, 방사율) 지정
 - 시뮬레이션 분석: 시뮬레이션 계산을 통한 취약부위에 대한 표면온도를 산출 후 노점 온도와 비교
- 3) [3단계] 결로판단 및 대안 검토
 - 표면결로 판단: 실내측 최저표면온도와 노점온도 비교
 - 법적 성능 검토: 실내외 온도 및 표면온도를 활용한 TDR 산출 후 법적 기준과의 비교를 통해 결로 성능 검토(법적 기준에 미달될 경우 추가 대안 검토)

1) 중간층-발코니 확장부위(외벽+내벽 결합부)

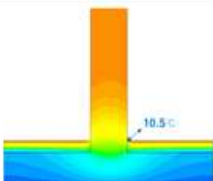
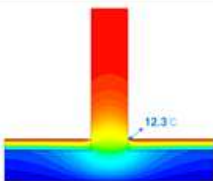
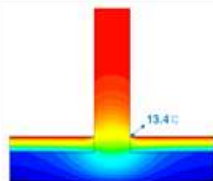
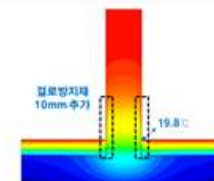
구분	에너지절약 설계기준(서울지역)				공동주택 결로 방지를 위한 설계기준(중부지역)							
분석 조건	실외온도	실내			실외온도	실내						
		온도	상대습도	노점온도		온도	상대습도	노점온도				
	-11.3℃	20℃	50%	9.2℃	-15℃	25℃	50%	13.8℃				
분석 대상	원안 (외벽단열 80mm, 결로방지재 미설치)				원안 (외벽단열 80mm)		대안-1 (외벽단열 120mm)		대안-2 (외벽단열 120mm+결로방지재 10mm)			
												
분석 결과	실내측 최저표면온도 : 10.5℃ 9.2℃ < 9.5℃ 결로 미발생				TDR 산출결과 $\frac{25 - 12.3}{25 - (-15)} = 0.317$		TDR 산출결과 $\frac{25 - 13.4}{25 - (-15)} = 0.290$		TDR 산출결과 $\frac{25 - 19.8}{25 - (-15)} = 0.130$			
	실내측 최저표면온도	판단기준 (노점온도)	결로 판단	TDR	판단기준 (벽체접합부)	법규 만족여부	TDR	판단기준 (벽체접합부)	법규 만족여부	TDR	판단기준 (벽체접합부)	법규 만족여부
	9.5℃	9.2℃	미발생	0.317	TDR<0.25	불만족	0.290	TDR<0.25	불만족	0.130	TDR<0.25	만족
검토 의견	가. 결로방지재를 설치하지 않은 원안(외벽단열 80mm)을 분석한 결과 에너지 절약설계기준의 냉난방 온습도에서 결로가 발생하지 않으나, 공동주택 결로방지 설계기준(TDR<0.25)은 만족하지 못함. 나. 원안에서 '대안-2(외벽단열 120mm + 결로방지재 10mm)'와 같이 단열재를 추가하여 분석한 결과, 공동주택 결로방지 설계기준(TDR<0.25)을 만족함. 따라서 해당부위를 설계 및 시공할 경우 '대안-2'와 같은 성능을 확보해야 함.											

그림 3.1 전열해석 시뮬레이션을 통한 내벽과 외벽 접합부위 2D 결로 분석 사례

(나) 3차원 형상의 결로 분석 사례

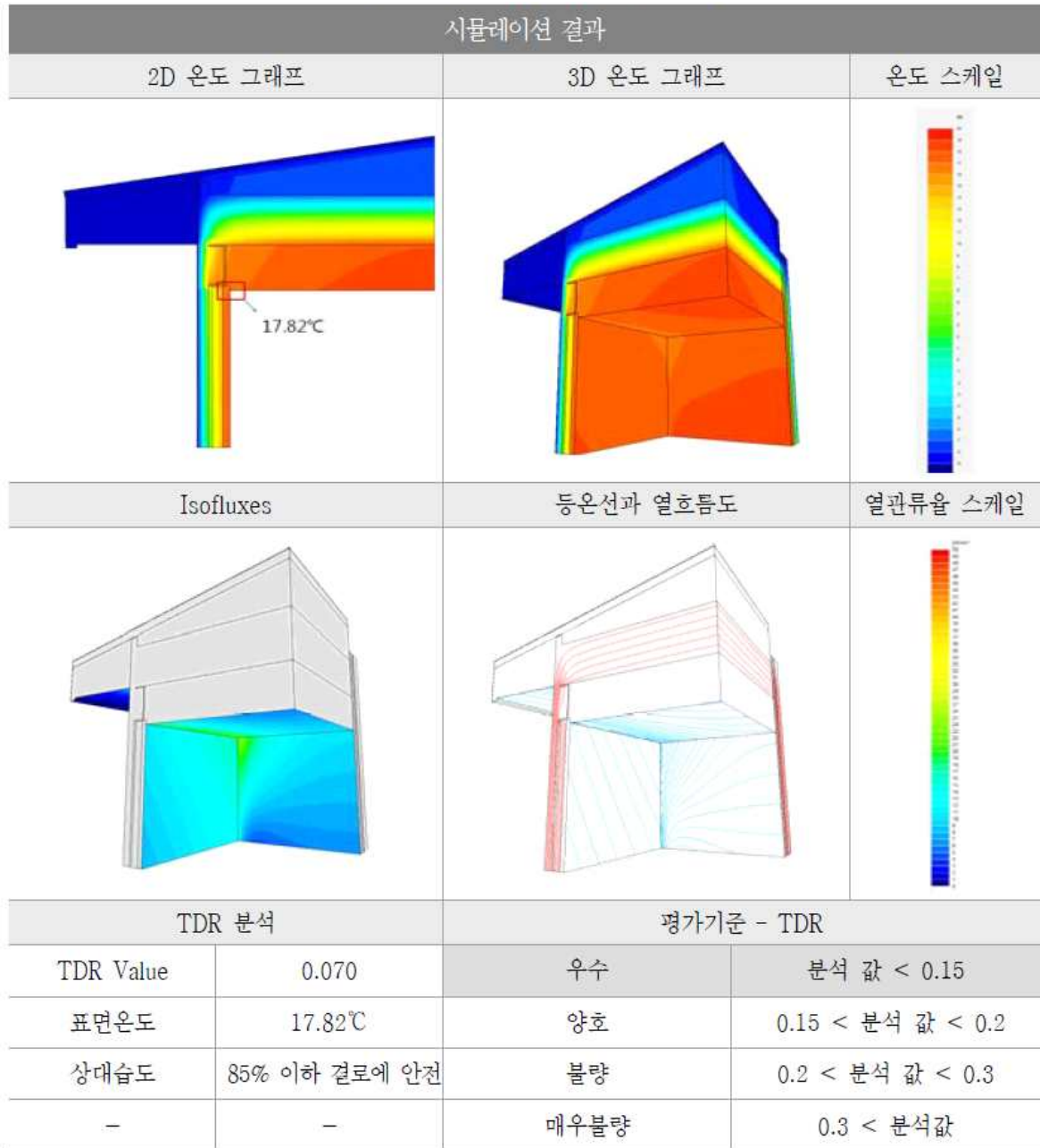


그림 3.2 전열해석 시뮬레이션을 통한 내벽과 외벽 접합부위 2D 결로 분석

- [1단계] 2D CAD 도면의 취약부위 선정 후 도면 가공
 - 취약부위 선정: 설계도서 검토 및 발주처와의 협의를 통해 취약부위 선정
 - 모델링: 취약부위 도면 가공 후 2차원 기반의 도면 가공(DXF)
 - 경계조건 설정: 2D 가공 도면에서의 실내외 경계조건 구분
- [2단계] 결로해석 프로그램 3D 시뮬레이션 수행
 - 모델링 불러오기: 가공된 취약부위의 2차원 기반의 도면 불러오기
 - 3차원 모델링: 불러온 2D 기반의 모델링을 활용하여 3D 모델링으로 구성

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 취약부위의 경계조건 설정: 건축물 에너지절약 설계기준에 따른 외부 경계 조건 및 해당 룸의 내부 경계 조건을 정의함(온도 및 표면열전달저항)
- 취약부위 구성재료 및 물성 적용: 각 재료별 물성(열전도율, 방사율) 지정
- 시뮬레이션 분석: 시뮬레이션 계산을 통한 취약부위에 대한 표면온도를 산출 후 노점온도와 비교

3) [3단계] 결로판단 및 대안 검토

- 표면결로 판단: 실내측 최저표면온도와 노점온도 비교
- 법적 성능 검토: 실내외 온도 및 표면온도를 활용한 TDR 산출 후 법적 기준과의 비교를 통해 결로 성능 검토(법적 기준에 미달될 경우 추가 대안 검토)

※ 사례분석을 통한 일반 전열해석 프로세스 분석 결과

- 3D 기반 분석 시 기존의 2D 기반의 형상을 바탕으로 모델링함에 따른 추가 작업 과정이 요구됨
- 2D와 3D 모델에 대한 모델링의 작업 방식에 따른 차이 이외에 평가 및 분석 시 요구되는 정보의 차이점은 없음

(2) 결로해석 프로그램의 단열·결로 해석 프로세스 분석

(가) THERM을 활용한 단열·결로 해석 프로세스



그림 3.3 THERM의 단열·결로 분석 프로세스

1) [1단계] 2D 모델 정의

- 2차원 CAD에서 정의한 가공도면 불러오기 (DXF파일을 활용한 underlay 기능 활용)
- DXF파일의 형상정보대로 모델링 : 재료물성 및 경계조건 지정

2) [2단계] 시뮬레이션 수행

- mesh 나누기 기능을 활용하여 형상 모델의 분석을 위한 유한요소 나누기
- 각 mesh 요소에 대한 온도와 열류 계산 수행 (시뮬레이션)
- 2D 모델 상에서 각 mesh의 온도 및 열류 형상 출력

3) [3단계] 결로판단

- 열관류율 (U factor) 및 표면의 최소·최대 온도 산출

(나) PHYSIBEL을 활용한 단열·결로 해석 프로세스

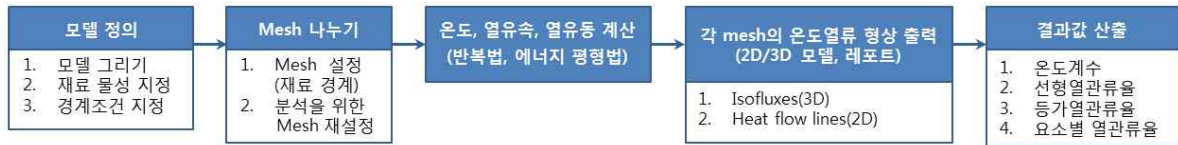


그림 3.4 PHYSIBEL의 단열·결로 분석 프로세스

1) [1단계] 2D 모델정의

- 분석을 위한 2D/3D 모델: dxf, bmp 파일을 활용한 모델링 / 직접 모델링
- 색상(Colours) 기능과 연계된 재료의 물성 지정
- 나누어진 Grid를 활용한 Block기능을 이용한 모델링

2) [2단계] 시뮬레이션 수행

- 반복법, 에너지평형법을 이용한 온도, 열유속, 열유동 계산을 통한 전열형상 산출

3) [3단계] 결과판단

- 온도계수, 선형열관류율, 등가열관류율, 요소별 열관류율 산출

※ 각 프로그램 별 단열·결로 해석 프로세스 비교

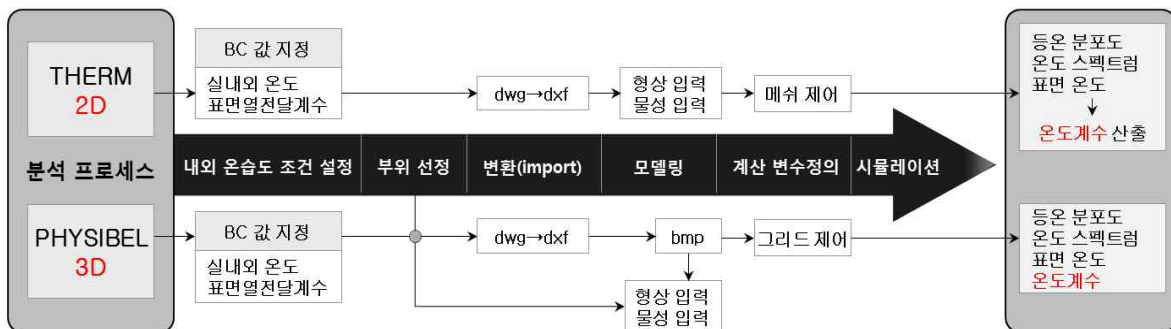


그림 3.5 각 프로그램 별 단열·결로 분석 프로세스

- Boundary Conditions 지정을 위한 온도조건, 열전달계수를 결정한 후 결로 분석을 위한 부위를 선정함
- 선정 부위 도면 DWG 파일을 DXF 파일로 변환함. THERM에서의 모델 작성은 dxf파일 형상을 참고하여 모델링하며, PHYSIBEL의 경우 DXF파일을 IMPORT하거나 프로그램 상의 Grid 시스템 기반의 모델링 방법으로 직접 모델링함
- 형상 모델링 후, 각 형상에 대한 물성(재료명칭, 열전도율, 방사율 등)을 지정해줌. 두 프로그램 모두 속성에 대한 정보는 라이브러리로 저장됨
- 메쉬 제어, 그리드제어를 통해 해석(계산)을 위한 변수를 정의함
- 시뮬레이션 분석 후 등온 분포도와 온도 스펙트럼을 통해 열교현상을 확인할 수 있으며, 각 절점의 온도확인 기능을 통해 최저표면온도를 확인함. 이를 통해 온도계수를 수작업

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

으로 산출하여 결로를 판단함

- 3차원 등온분포, 온도 스펙트럼을 확인할 수 있으며 열교로 인한 열손실량에 대한 정량적 수치를 얻을 수 있으며, 최저표면온도 및 온도계수도 결과 레포트 상에서 직접 확인할 수 있음

(3) BIM 모델정보를 이용한 단열·결로 분석 프로세스 정립

(가) BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 프로세스

- BIM모델에서 추출되는 데이터의 형식에 따라 연구는 ALT 1)전열해석 프로그램을 통한 단열·결로 시뮬레이션 평가를 위해 형상 및 속성정보를 직접 변환하여 정보를 활용하는 방법과 ALT 2)BIM모델로부터 형상정보 및 속성정보를 정의할 수 있는 각각의 파일 형식을 통해 이를 각 전열해석 프로그램 구성변수에 맞추어 대응시켜 적용하는 방법이 있음

ALT 1 (BEST)



그림 3.6 BIM기반 단열·결로 해석시스템 변환 프로세스 (대안1)

ALT 2 (SECOND BEST)

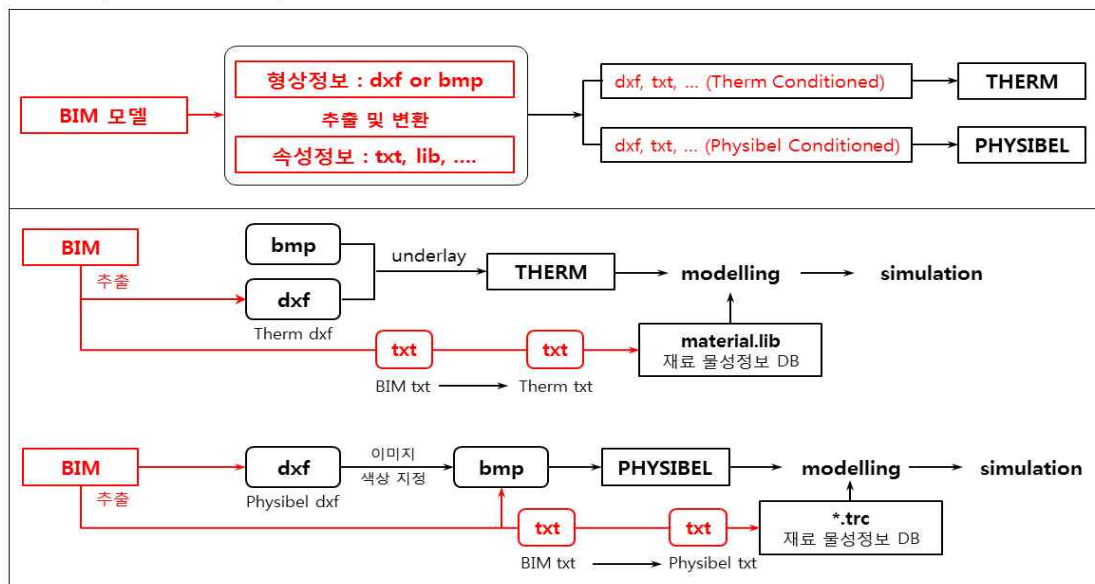


그림 3.7 BIM기반 단열·결로 해석시스템 변환 프로세스 (대안2)

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	검증

- BIM 모델로부터 추출 및 변환을 위한 플랫폼을 사용하여 각 해석 프로그램을 위한 자동 Input 시스템을 구성함
- 전열해석 툴 개발사의 소스 공개 문제로 인해 ALT 1이 여의치 않을 시 각 해석시스템의 조건에 부합하는 dxf파일 및 txt파일로 추출되어야함
- Physibel 활용 시 BIM 저작도구에서 바로 bmp 파일형식으로 추출되면 dxf 파일에서 bmp 파일로 변환하는 과정을 생략할 수 있음
- BIM 파일의 속성정보 활용을 위해서는 물성정보를 txt로 추출한 후 이를 각 해석 프로그램 라이브러리에 적합한 txt 형태로 변환되어 물성정보 DB와 호환되어야함<그림 3.8>
BIM 모델에서 추출된 속성정보가 각 해석시스템이 인식할 수 있는 txt 문서로 정렬 및 변환되어야함

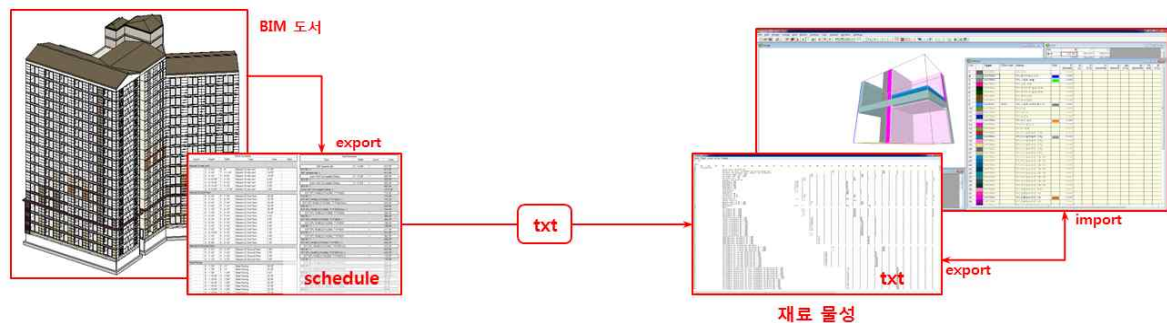


그림 3.8 BIM기반 단열.결로 해석시스템 변환 프로세스

(나) 전열 해석 프로그램의 선정

- Therm은 2D 기반 분석 프로그램이므로 3D 형상에서 확인이 가능한 구조체의 우각부에 대한 결로 성능 평가가 가능하지 않음
- Therm은 모델링 시 모델 객체 간 접점에 대한 인식 오류로 인해 에러 발생율이 높은 반면, Physibel은 Grid 설정 체계로 인한 객체 모델의 접점에 대한 인식이 분명하므로 Physibel을 변환 대상 전열 해석 프로그램으로 선정함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

연구목표	단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발
연구내용	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 요구 객체 정립 (2) 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체의 요구정보(그래픽/메타데이터) 정의 (3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립
연구기관	미래환경플랜(주)
수행연도	1차년도
연구결과	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 요구 객체 정립
	THERM 재료층 정의 NAME CONDUCTIVITY EMISSIVITY 경계조건 정의 NAME TEMPERATURE FILM COEFFICIENT 중공층 정의 NAME CAVITY MODEL PHYSIBEL 재료층 정의 NAME CONDUCTIVITY 경계조건 정의 NAME TEMPERATURE FILM COEFFICIENT 중공층 정의 NAME EQUIVALENT CONDUCTIVITY
	(2) 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체의 요구정보(그래픽/메타데이터) 정의
THERM 2D 객체 경계선 재료층 정의 NAME CONDUCTIVITY EMISSIVITY OR 중공층 정의 NAME CAVITY MODEL 경계조건 정의 NAME TEMPERATURE FILM COEFFICIENT PHYSIBEL 3D 모델 객체 exterior interior Adiabatic COL. 객체 고유번호 TYPE 소재 타입 재료층 정의 NAME CONDUCTIVITY 중공층 정의 NAME EQUIVALENT CONDUCTIVITY 경계조건 정의 NAME TEMPERATURE FILM COEFFICIENT	
(3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립	
단열벽 단열벽	

(1) 단열.결로 분석을 위한 BIM 요구객체 정립

(가) 단열.결로 분석을 위한 속성정보 요구객체 정립

- 1) 재료 물성에 관한 속성정보
- 전열 해석을 위해 요구되는 재료의 물성정보는 열전도율과 방사율이 있음
 - 본 연구의 재료 물성은 단열재의 경우 건축물 에너지절약설계기준에서 제시한 열전도율을 활용하며 그 외 골조, 마감, 방수 자재에 관한 열전도율은 건축물 에너지절약설계기준 해설서를 참고함

① THERM의 재료 물성 입력체계

표 3.1 THERM 입력 값의 형식

구 분	Name (재료 이름)	Conductivity (열전도율)	Emissivity (방사율)	Color
형 식	문자	실수 (소수 3째 자리)	실수 (소수 1째 자리)	RGB

- THERM에서 입력되는 재료별 각 변수의 형식은 모두 직접 입력해야 하며 문자로 표현되는 Name, 소수 3째 자리로 표현되는 Conductivity, 소수 1째 자리로 표현되는 Emissivity, RGB 번호로 표현되는 Color로 구분하여 재료별 속성 값 을 정의함
- 입력된 값은 프로그램 상의 라이브러리 파일에 저장됨

② PHYSIBEL의 재료 물성 입력체계

표 3.2 PHYSIBEL 일반재료(Material) 입력 값의 형식

구 분	Col.	Type	Name (재료 이름:영문)	Conductivity (E, 열전도율)	Color
형 식	숫자	MATERIAL	문자	숫자 (소수 3째 자리)	RGB

- PHYSIBEL에서 입력되는 각 변수의 형식은 모두 직접 입력 값이며 해당 객체에 관한 고유번호인 Col.(1~250)을 통해 속성이 지정됨. Type의 경우 8가지의 유형 중 특정 유형을 지정하게 되어있으며 Name은 직접 입력함. 열전도율(E)은 소수 3째 자리로 표현되며 Color는 RGB 번호로 표현됨
- 입력된 객체의 속성 값은 프로그램 상의 라이브러리 파일에 입력되어 저장됨

2) 경계조건에 대한 속성정보

① 실내외 조건

- 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준(국토교통부 고시 제2013-845호)의 제2조 제2항에서는 공동주택 설계 시 결로 방지 성능을 판단하기 위해 사용하는 표준적인 실내외 환경조건은 온도 25℃, 상대습도 50%의 실내조건과 지역을 최한월인 1월의 월평균 일 최저외기온도를 기준으로 하여 전국을 지역Ⅰ(-20℃), 지역Ⅱ(-15℃), 지역Ⅲ(-10℃)의 외기온도 조건으로 구분하여 적용함

표 3.3 지역별 실외온도 조건 구분 (공동주택 결로 방지를 위한 설계기준 발체)

지역	지역구분
지역Ⅰ	강화, 동두천, 이천, 양평, 춘천, 홍천, 원주, 영월, 인제, 평창, 철원, 태백
지역Ⅱ	서울특별시, 인천광역시(강화 제외), 대전광역시, 세종특별자치시, 경기도(동두천, 이천, 양평 제외), 강원도(춘천, 홍천, 원주, 영월, 인제, 평창, 철원, 태백, 속초, 강릉 제외), 충청북도(영동 제외), 충청남도(서산, 보령 제외), 전라북도(임실, 장수), 경상북도(문경, 안동, 의성, 영주), 경상남도(거창)
지역Ⅲ	부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 울산광역시, 강원도(속초, 강릉), 충청북도(영동), 충청남도(서산, 보령), 전라북도(임실, 장수 제외), 전라남도, 경상북도(문경, 안동, 의성, 영주 제외), 경상남도(거창 제외), 제주특별자치도

- 물리적 시험평가는 실험계의 모든 부분에 대한 온도가 측정 가능하므로 실험체 표면의 대류 및 복사로 인한 열전달계수가 요구되지 않음. 하지만 전열 해석 프로그램을 활용한 시뮬레이션 평가 시 실제 실내외 환경조건을 모사하기 위해 온도와 대류 및 복사가 고려된 표면열전달계수가 요구됨
- 건축물의 에너지절약설계기준 (국토교통부 고시 제 2014 - 957호) 별표4는 열관류율 계산 시 적용되는 실내 및 실외측 표면 열전달저항 값에 대해 국내에서 분석된 실험을 통해 정의된 값들을 제시함

② 실내외 표면 열저항

- 표면 열전달저항 값은 건축물의 외벽, 최상층 지붕, 최하층 바닥(공동주택의 경우 층간 바닥을 추가로 구분함)으로 구분하여, 실내외 표면 열전달저항 값을 정의하고 있음.
- 특히 실외의 경우 외기 직접면과 외기 간접면에 대한 표면 열전달저항 값을 세분화하여 정의하고 있음

표 3.4 부위별 실내외 표면 열전달저항 기준표 (건축물의 에너지절약설계기준 참고)

	실내		실외			
			외기에 간접 면하는 경우		외기에 직접 면하는 경우	
	표면 열전달 저항 (m ² K/W)	표면 열전달율 (W/m ² K)	표면 열전달 저항 (m ² K/W)	표면 열전달율 (W/m ² K)	표면 열전달 저항 (m ² K/W)	표면 열전달율 (W/m ² K)
거실의 외벽	0.11	9.09	0.11	9.09	0.043	23.3
최하층에 있는 거실 바닥	0.086	11.6	0.15	6.67	0.043	23.3
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	0.086	11.63	0.086	11.63	0.043	23.3
공동주택 의 층간 바닥	0.086	-	-	-	-	-

③ THERM과 PHYSIBEL의 경계조건 입력체계

- Boundary Condition(경계조건)은 건물 구조체(계)의 단열·해석 시뮬레이션 평가 시 요구되는 실내외 조건에 관한 속성을 정의하며 THERM에서는 2D 객체로 표현된 모델의 둘레 선을 지정하여 각 선들에 대한 경계조건을 입력하는 반면, PHYSIBEL에서는 3D 모델 객체로 표현됨. <그림 3.9>와 같이 프로그램의 모델 뷰 상에서 기체 상태를 정의하는 Type으로 설정됨과 동시에 모델에서도 투명하게 정의됨

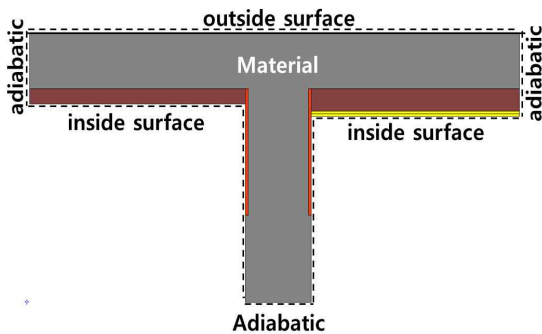


그림 3.9 THERM 상의 경계조건 정의

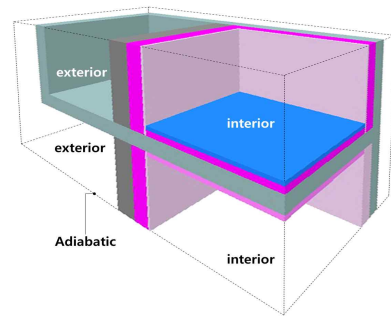


그림 3.10 PHYSIBEL 상의
경계조건 View

표 3.5 THERM의 경계조건 입력 값의 형식

구 분	Name (경계 이름)	Temperature (표면 기준 온도, °C)	Film Coefficient (표면열전달계수, W/m ² K)	Color
형 식	문 자	숫자(소수 1째 자리)	숫자(소수 2째 자리)	RGB

표 3.6 PHYSIBEL 경계조건 입력 값의 형식

구 분	Col.	Type	CEN-rule	Name (경계 이름)	Θ (표면 기준 온도)	h (표면 열전달계수)	Color
형 식	숫자	BC_SIM PL	NIHIL	문자	숫자 (소수 1째 자리)	숫자 (소수 2째 자리)	RGB

3) 중공층에 대한 속성정보

- 국외의 경우 결로방지 성능평가를 위한 시뮬레이션에서 적용하는 중공층에 대한 전열 성능 기준은 일반적으로 ISO 15099, ISO 6946, ISO 10077에서 제시하는 계산방법을 활용하고 있음. 국내의 경우 건축물의 에너지절약설계기준 (국토교통부 고시 제 2014 - 957호) 별표6에 열관류율 계산 시 적용되는 중공층의 열저항 값의 기준을 제시하는데 이 결로방지 성능평가 시 준용하거나 각 전열해석 프로그램에 내재된 계산모델을 활용함

표 3.7 열관류율 계산 시 적용되는 중공층의 열저항 (건축물의 에너지절약설계기준 별표6)

공기층의 종류	공기층의 두께 da (cm)	공기층의 열저항 Ra [단위: m ² ·K/W] (괄호안은 m ² ·h·°C/kcal)
(1) 공장 생산된 기밀제품	2 cm 이하	0.086×da(cm) (0.10×da(cm))
	2 cm 초과	0.17 (0.20)
(2) 현장시공 등	1 cm 이하	0.086×da(cm) (0.10×da(cm))
	1 cm 초과	0.086 (0.10)
(3) 중공층 내부에 반사형 단열재가 설치된 경우	방사율 0.5이하 : (1) 또는 (2)에서 계산된 열저항의 1.5배 방사율 0.1이하 : (1) 또는 (2)에서 계산된 열저항의 2.0배	

- 공기층의 종류에서 ‘공장 생산된 기밀제품’은 밀폐된 공기층으로 간주하며 ‘현장시공 등’은 통기가 되는 중공층 (열린 부분이 2~10mm인 경우 통기가 되는 중공층)으로 간주함
- THERM은 프로그램에 내재한 계산모델을 사용하여 중공층의 속성이 정의되어야 함 (계산모델 기준 : ISO 15099 - Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations)
- PHYSIBEL은 등가열전도율 입력을 통해 중공층의 속성을 정의할 수 있으므로 주어진 공기층의 열저항 값을 두께에 관한 식으로 변환하여 활용할 수 있음

① THERM에서의 중공층 입력체계

표 3.8 THERM의 중공층 정의를 위한 요구정보

구 분	Name (중공층 타입)
형 식	문자
종 류	Frame Cavity NFRC 100
	Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100

- <표 3.7>과 같이 THERM의 중공층 정의 시 요구되는 정보는 매개변수 Name으로 계산방식이 정의되며, 중공층의 통기 여부에 따라 Frame Cavity NFRC 100, Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100으로 구분됨

② PHYSIBEL에서의 중공층 입력체계

표 3.9 PHYSIBEL의 중공층 요구정보 체계

구 분	Col.	Type	CEN-rule	Name (중공층 이름)	E (열전도율)	C1	C2	C3
형 식	숫자	문자 (EQUIMAT)	문자	문자	소수 3째 자리	소수 6째 자리		

(나) 단열.결로 분석을 위한 형상정보 요구객체 정립

1) 프로그램 별 형상정보 변환 형식

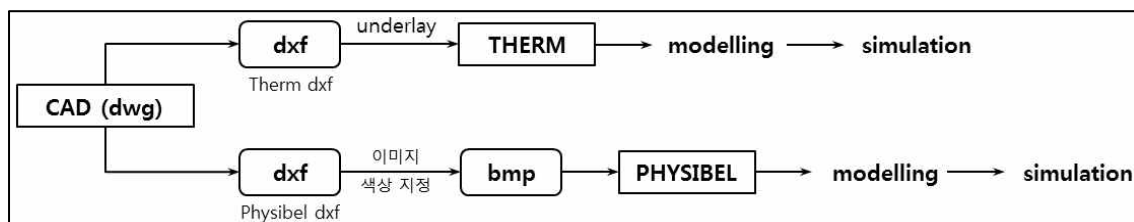


그림 3.11 단열.결로 해석시스템 분석 프로세스

- 전열해석 프로그램인 THERM과 PHYSIBEL을 활용한 전열 시뮬레이션 분석 시 기존의 CAD 도면 파일인 DWG 형식의 파일을 이용하여 DXF로 변환 및 가공하는 방식을 거치거나 각 전열해석 프로그램에서 제공하는 모델링 기능을 활용하게 됨. 전자의 방식과 같이 DXF로 변환한 파일을 활용하여 모델링하는 경우 각 전열해석 프로그램에서 요구되는 DWF 모델 조건을 만족시키기 위해 이를 재가공하는 단계를 거치게 되며, 후자의 방식과 같이 도면을 참고하여 직접 모델링하는 경우 도면을 보며 모델링 오류를 수정하는 작업이 추가로 발생하게 됨

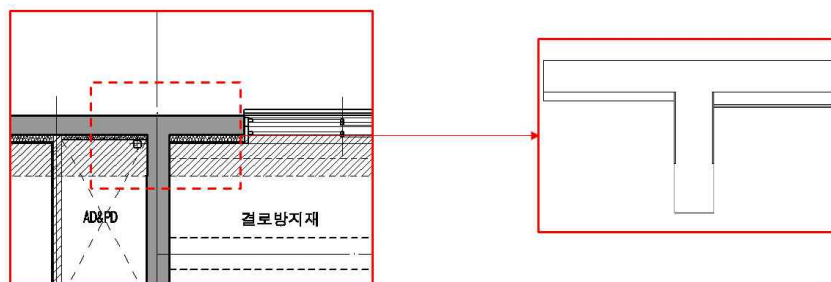


그림 3.12 도면 가공 사례

- 추출된 DXF파일 활용 시 각 전열해석 프로그램으로의 삽입(IMPORT)을 위한 조건(CONDITION)들이 요구되며 기존의 2D CAD의 DWG파일을 활용하여 도면 가공이 필요함. <그림 3.13>의 경우와 같이 도면에 표현된 해치나 문자, 그 외 비연속성 부재(나사, 못, 레일 등)를 제거해야 함. 도면 가공단계에서 THERM의 경우 각 선들은 CAD의 EXPLODE기능을 통해 분리해야 하며, PHYSIBEL의 경우 각 부재에 따라 부재선이 서로 JOIN되어 부재별 LAYER를 설정한다는 차이점이 있음
- 본 연구에서는 기존의 도면 가공작업 단계 없이 BIM 저작도구의 3D 형상으로부터 해석 부위 및 범위를 직접 지정한 후, 선택된 해당 부위가 2D 형상의 DXF 혹은 BMP 파일 형식으로 추출되도록 연구를 수행할 예정임

2) BIM기반 단열·결로 해석시스템 변환 프로세스

- BIM기반의 형상정보 활용을 위해서는 <그림 3.9>와 같이 전체 도서를 바탕으로 결로 예측부위 설정과 함께 부위별 범위를 지정하고, 범위가 지정된 해당 부위의 단면을 바탕으로 각 전열해석 프로그램의 조건(CONDITION)에 적합한 DXF형식의 그래픽 정보가 추출되어야 함

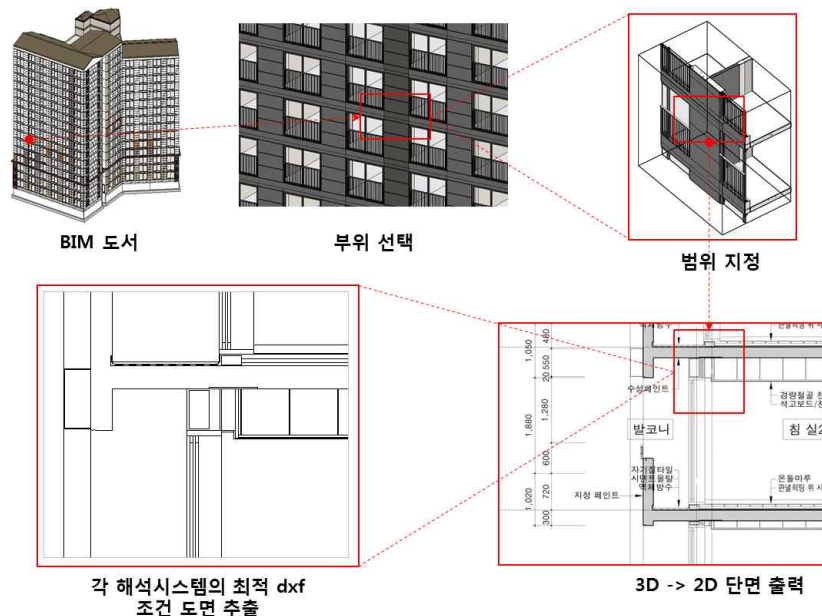


그림 3.13 형상정보 부위에 대한 추출 및 변환 과정

(2) BIM 객체의 요구정보 (메타데이터/그래픽) 정의 (단위성과 A-1-①, ②)

(가) 메타데이터(속성정보) 정의

1) 재료물성 (Material) 요구정보

표 3.10 각 프로그램 별 일반재료(Material) 정의 시 요구정보 비교

구 분	THERM Material 요구정보	PHYSIBEL Material 요구정보	비고
Col.	X	O	물성 번호
Type	X	O	'MATERIAL' 로 지정
Name (재료 이름)	O	O	-
E (Conductivity)	O	O	열전도율 (소수 셋째 자리)
Emissivity (방사율)	O	X	기본값 0.9 지정
Color (RGB)	(255,255,255)	(255,255,255)	임의 값 지정

- 각 전열해석 프로그램에서 일반재료(Material) 정의 시 요구되는 정보는 <표 3.9>와 같음
- PHYSIBEL에서의 공통적으로 요구되는 정보는 직접 입력 값인 해당 재료의 Name과 열전도율(Conductivity, E)이 있음
- 방사율의 경우 일반적으로 0부터 1사이의 소수 1째 자리 실수로 정의되며, 금속을 제외한 일반 건축재료의 방사율은 0.9가 기본임
- PHYSIBEL에서는 객체의 고유번호를 지정하는 변수인 Col.와 객체가 가지는 8가지의 고유 Type 중 MATERIAL로 지정해야 함
- Color는 프로그램 상에서 표현되는 색상에 관한 정의이며 각 프로그램에서 고유의 RGB 번호를 통해 정의됨

2) 경계조건 (Boundary Condition) 요구정보

표 3.11 각 프로그램 별 경계조건의 요구정보 비교

구 분	THERM 요구정보	PHYSIBEL 요구정보	비고
Col.	X	O	물성번호 (1~255)
Type	X	O	'BC_SIMPL'로 지정
CEN-rule Name	X O	O O	'NIHIL'로 지정 -
Temperature	O	O	온도(℃) (소수 1째 자리)
Film Coefficient (h)	O	O	표면 열전달계수(W/m²K) (소수 3째 자리)
Color (RGB)	(255,255,255)	(255,255,255)	임의값

- THERM과 PHYSIBEL에서 공통적으로 Name과 온도, 표면열전달계수를 통해 단순경계 조건을 정의할 수 있으며, PHYSIBEL의 경우에는 객체의 고유번호 Col.과 BC_SIMPL로 지정된 Type, NIHIL로 지정된 CEN-rule을 추가적인 고정 매개변수로 지정해야함
- THERM은 Name 지정과 함께 해당 계산 모델이 자동으로 적용되므로 Color를 제외한 추가적인 입력 사항이 없음
- PHYSIBEL은 객체의 고유번호 Col.과 Type, Cen-rule을 지정하고 NIHIL(사용자 정의)의 경우 추가적으로 중공층의 열전달율에 상당한 등가열전도율을 입력해야하며 NIHIL 이외의 중공층 형상에 관한 CEN-rule 변수들을 지정하면 프로그램 내부적으로 자동 계산되어 등가열전도율이 입력됨

3) 중공층 요구정보

표 3.12 중공층 요구정보 비교

구 분	THERM Material 요구정보	PHYSIBEL Material 요구정보	비고
Col.	X	O	-
Type	X	O	‘EQUIMAT’ 로 지정
CEN-rule	X	O	-
Name	O	O	-
E(Conductivity)	X	O	-
Color	RGB	RGB	임의 값 지정

(나) 그래픽(형상정보) 정의

1) 단열·결로 해석부위 범위 지정

- 단열·결로 시뮬레이션 분석을 위한 형상의 모델링 범위는 원칙적으로 ISO 10211(2007) Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures의 제5조 Modelling of the construction의 제1항 Dimension systems 기준과 제2항 Rules for Modelling의 열류 및 표면 온도해석을 위한 모델 해석 범위의 근거를 따름
- 본 연구를 수행함에 있어서도 ISO 10211에서 제시하는 ‘해석 부위로부터 1,000mm 이상 모델링이 되어야 한다’는 원칙을 적용하며, ‘해당 부위의 측면요소 두께의 3배가 1,000mm보다 클 경우 최소 측면요소 두께의 3배 값 이상을 적용해야 한다’는 예외 규정에 대해 두께의 3배가 1,000mm보다 큰 특정 부위를 대상으로 한 시뮬레이션 실험을 통해 예외 규정에 대한 타당성 여부를 검토함

가) ISO 10211의 해석모델 기준 고찰

① 해석부위 형상 정의

- 해석 부위를 중심으로 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상의 모델로 정의되어야 하며, 해당 부위의 측면요소 두께의 3배가 1,000mm보다 클 경우 최소 측면요소 두께의 3배 값 이상을 각 측면 요소 길이로 모델링해야 함
- 중심요소 C부분 이외의 나머지 부분은 모두 ‘측면 요소’로 정의함
- 해석 단면의 형상(F1~F5)에 따라 측면요소의 두께 정의가 달라짐

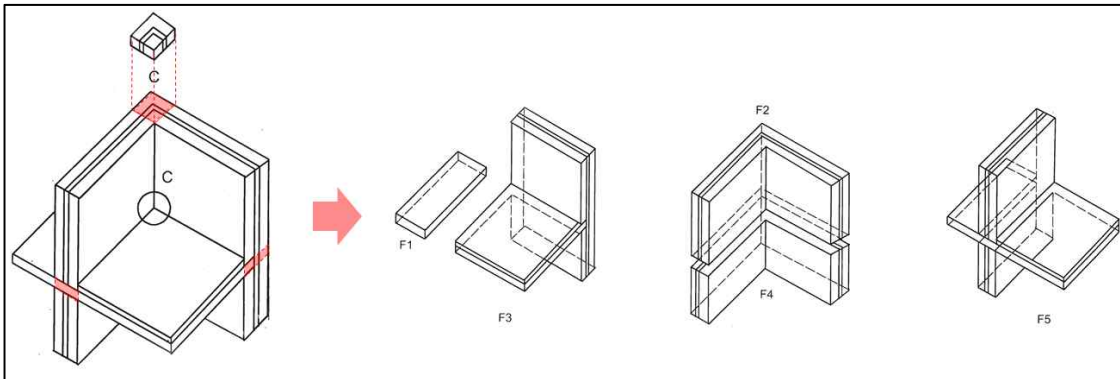


그림 3.14 ISO 10211의 열교 해석을 위한 모델범위 정의

② 개구부 모서리 평가 시 해석모델 범위 정의

- <그림 3.15>의 우각부인 A점에 대한 표면온도 해석 시 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상의 범위를 지정하여 평가함
- 개구부의 모서리 부위 평가 시 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상 연장하여 모델링함

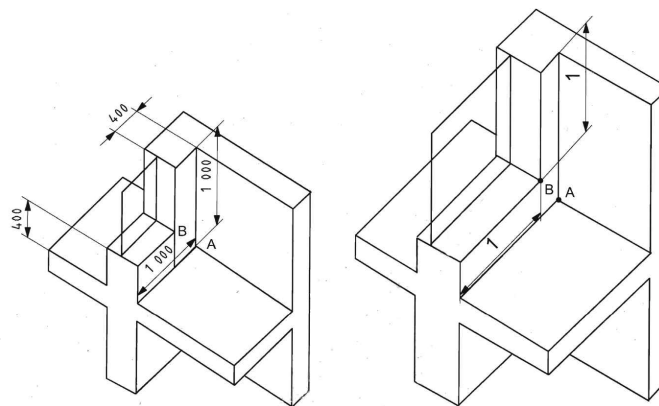


그림 3.15 ISO 10211의 개구부 모델정의

③ 추가 기준

- 형상이 대칭형일 경우 1,000mm미만의 모델로도 평가가 가능함

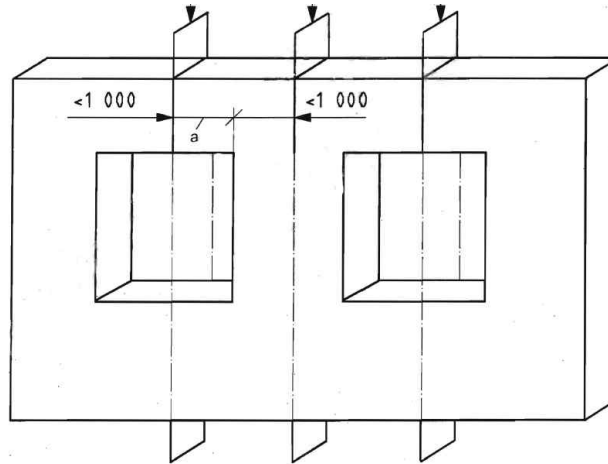
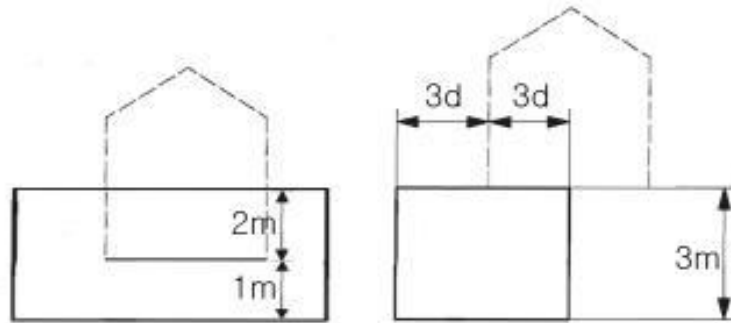


그림 3.16 ISO 10211의 개구부 모델정의

- 위와 같이 해석 부위 좌우 형상이 대칭일 때 모델링 범위는 1,000mm 미만도 가능한데 이는 실내외 온습도 조건이 동일한 가정 하에 반복되는 형상이면 모델 상의 열 분포 형상도 같기 때문으로 사료됨
- 지면부위의 해석 시 모델링 범위는 <표 3.13>와 같음

표 3.13 지면 접하는 부위 해석시의 범위 정의

해석 부위 유형	해석 부위로부터의 측면 요소길이
수직 단면의 수평거리 (건물 내부)	최소 벽 두께의 3배 이상
수직 단면의 수평거리 (건물 외부)	최소 벽 두께의 3배 이상
지표면으로부터의 수직거리	최소 3m 이상
지하층으로부터의 수직거리 (지하층 바닥이 지표면 이하 2m 이상일 때)	최소 1m 이상



④ 기준에 대한 실험

- ‘해석 부위로부터 각 측면 요소길이를 1,000mm 이상 모델링이 되어야 한다’는 원칙 중, ‘해당 부위의 측면요소 두께의 3배가 1,000mm보다 클 경우 최소 측면요소 두께의 3배 값 이상을 적용해야 한다’는 예외 규정에 대해 두께의 3배가 1,000mm보다 큰 특정 부위를 대상으로 한 시뮬레이션 실험을 통해 예외 규정에 대한 타당성 여부를 실험하였음
- 실내온도 25℃, 실외온도 -20℃, 실내 표면 열전달율 9.09W/m²K, 실외표면열 전달율 23.25W/m²K의 실험조건에서 검토대상 부위의 측면 요소길이를 1,000mm와 요소두께의 3배 값으로 각각 모델링하여 전열 해석 프로그램 THERM과 PHYSIBEL을 활용하여 해석하였음. 분석결과 두 가지 방식의 시뮬레이션 분석 결과는 차이가 없는 것으로 분석되었음

나) 2D 형상 (THERM)

- 공동주택 외벽과 내벽 접합 부위 (각 측면요소 두께×3 > 1,000mm)에 대한 THERM 시뮬레이션 결과, 해석부위로부터 1,000mm 이상인 부위 범위를 지정했을 때와 요소두께의 3배 이상인 부위 범위를 지정하여 시뮬레이션 분석 시 해석결과에 차이는 없음 따라서 부위의 정확한 범위에 따라 큰 영향이 없는 것으로 판단되는 바, ISO 10211 기준을 따름

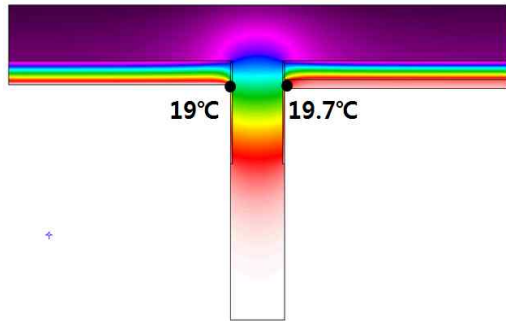


그림 3.17 1,000mm 이상 (1,000mm)

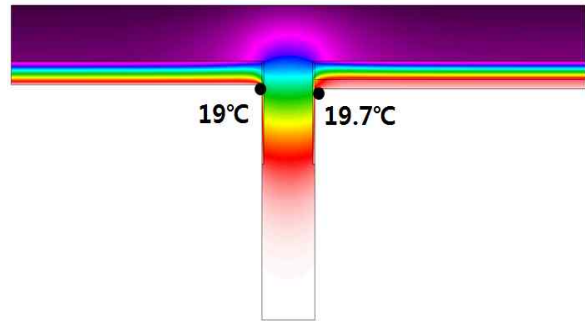


그림 3.18 측면요소로부터 두께의 3배 이상

다) 3D 형상 (PHYSIBEL)

- 공동주택 발코니 외벽 우각부 (각 측면요소 두께×3 > 1,000mm 이상인 부위)에 대한 Physibel 시뮬레이션 결과, 해석부위로부터 1,000mm 이상인 부위를 분석 범위로 지정했을 경우와 요소두께의 3배 이상인 부위를 분석 범위로 지정하여 시뮬레이션 수행한 경우의 해석 결과에는 차이가 발생하지 않음. 따라서 부위의 정확한 범위에 따라 큰 영향이 없는 것으로 판단되는 바, 해석범위에 대해서는 ISO 10211 기준을 따름

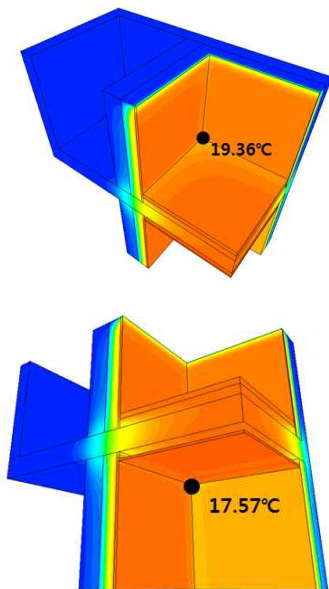


그림 3.19 1,000mm 이상 (1,000mm)

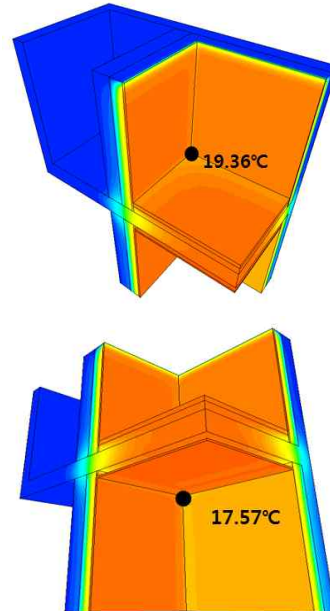


그림 3.20 측면요소로부터 두께의 3배 이상

2) THERM에서의 형상정보 요구 조건

- 해석 부위를 중심으로 각 측면 요소길이는 최소 1,000mm 이상으로 추출해야 함
- DWG 도면의 텍스트, 치수, 해치는 제거되어야 함 (제거하지 않을 시 프로그램 상의 기능 Underlay를 통해 DXF파일을 여는 과정에서 에러는 발생하지 않지만, 도면을 이용해

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

모델링하는 과정에서 절점인식 오류로 인한 모델링 오류발생 가능성이 증가함)

- 도면의 선들이 모두 분해(explode)된 상태에서 파일을 불러들여야 함
- THERM에서는 곡선 모델은 호환되지 않으므로, 반드시 곡선은 직선(LINE)으로 분해되어 표시되어야함.
- 요소별 각 선들은 정확히 절점에서 만나 닫힌 조건이어야 모델링이 완성됨
- BMP 형식의 파일도 THERM 프로그램 상에서 불러올 수 있으나, 모델링 시 BMP 파일의 각 절점을 인식하지 못한다는 한계로 인해 정확한 절점을 찍기 어려우므로 DXF파일을 사용하는 것이 용이함(snap기능 지원)

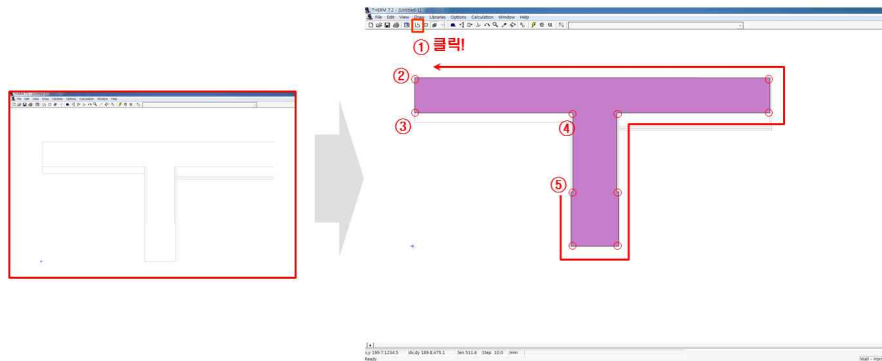


그림 3.21 불러온 DXF를 활용한 모델링 과정

3) PHYSIBEL에서의 형상정보 요구 조건

- 해석 부위를 중심으로 각 측면 요소길이는 최소 1,000mm 이상으로 추출해야 함
- 재료(material)별, 경계조건(boundary condition)별로 레이어가 설정되어야 함

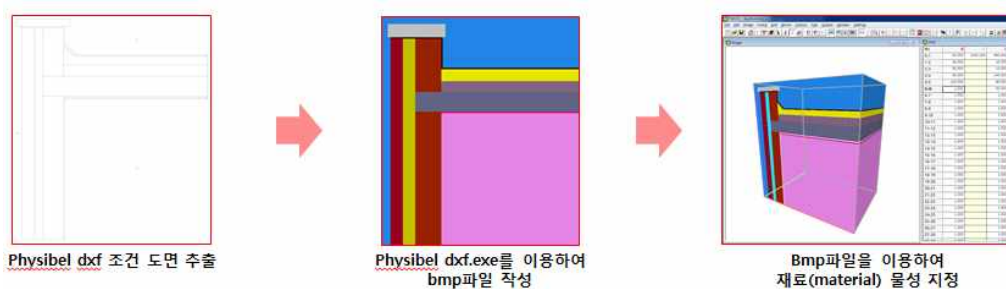


그림 3.22 PHYSIBEL에서 DXF파일 활용 과정

- 각 재료, 경계조건 요소들은 POLYLINE으로 모두 닫힌 조건이어야 함

Filters	S. Name	On	Fre...	L...	Color	Linetype	Linewei...	Plot S...	P...	N...	Description
All	0				w...	CONTIN...	Def...	Color_7			
All Used Layers	BITUMEN				40	CONTIN...	Def...	Color...			
	CONCRETE_1800				160	CONTIN...	Def...	Color...			
	CONCRETE_REINFORCED				170	CONTIN...	Def...	Color...			
	GYPSUM_900				130	CONTIN...	Def...	Color...			
	INDOORS_HORIZONTAL				220	CONTIN...	Def...	Color...			
	INDOORS_UPWARDS				220	CONTIN...	Def...	Color...			
	INSULATION_025				50	CONTIN...	Def...	Color...			
	INSULATION_030				50	CONTIN...	Def...	Color...			
	LIMESTONE				150	CONTIN...	Def...	Color...			
	MASONRY_HEAVY				240	CONTIN...	Def...	Color...			
	MASONRY_MEDIUM_DENSITY				134	CONTIN...	Def...	Color...			
	OUTDOORS				170	CONTIN...	Def...	Color...			

그림 3.23 각 LAYER별 POLYLINE 지정

- 실내외 경계 조건은 작은 객체를 그려 표현해주어야 하며 THERM의 2D 모델링 과정에서 구조체의 형상을 모델링한 후 경계선을 이용하여 경계조건을 설정하는 것과는 달리, PHYSIBEL 프로그램에서는 구조체와 경계조건이 모두 3D 모델로 표현된 객체로 인식하며, 모델링되지 않은 부분은 자동으로 단열경계조건(ADIABATIC)으로 인식함

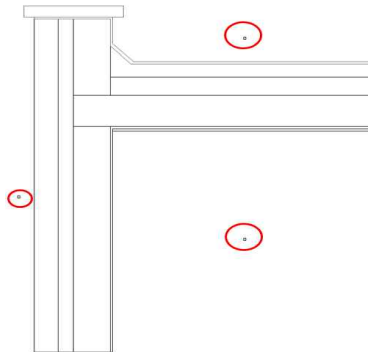


그림 3.24 경계조건 설정을 위한 모델링

- THERM의 경우 경계조건 설정은 완성된 2D 모델을 기반으로 해당모델의 외곽선을 객체로 인식하는 반면, PHYSIBEL에서는 구체적인 3D 객체를 통해 범위를 지정하게 됨
- 따라서 구조체 모델링 시 경계조건 모델링이 이루어지게 되어 경계조건 설정을 위한 모델요소가 DXF 상에서 표현되어야 함
- PHYSIBEL에서의 DXF 파일 활용 프로세스
 - 준비된 DWG파일에서 각 재료나 경계조건별로 레이어를 다르게 하여 DXF파일을 저장함
 - 프로그램에서 지원하는 TriscoDxf.exe를 실행함
 - 저장한 DXF파일을 불러옴
 - IMAGE 창과 함께 LAYER 창이 뜨는데 LAYER 창에서 DWG에서 설정한 LAYER들을 확인할 수 있음
- LAYER 창에서 Fill Mode는 FILL CONTOURS 혹은 FLOOD FILL을 선택함
 - FILL CONTOURS : 닫힌 Polyline의 경우 Fill countour를 지정하면 Polyline 내부 공간이 색깔로 채워짐
 - Flood fill : 조그만 사각을 그린 공간이 있는 경우, 사각 객체가 속한 공간이 모두 채워짐

No.	Name	Fill Mode
1	MASONRY_MEDIUM_DENSITY	FILL CONTOURS
2	MASONRY_HEAVY	FILL CONTOURS
3	INSULATION_030	FILL CONTOURS
4	GYPSUM_900	FILL CONTOURS
5	CONCRETE_REINFORCED	FILL CONTOURS
6	CONCRETE_1800	FILL CONTOURS
7	INSULATION_025	FILL CONTOURS
8	BITUMEN	FILL CONTOURS
9	LIMESTONE	FILL CONTOURS
10	INDOORS_UPWARDS	FILL CONTOURS
11	INDOORS_HORIZONTAL	FLOOD FILL
12	OUTDOORS	FLOOD FILL

그림 3.25 LAYER 창의 Fill Mode 변수

- TriscoDxf 프로그램 상에서 Calc > Calc Bitmap을 실행하면, BMP 파일이 생성되며 이를 PHYSIBEL 프로그램에서 불러올 수 있음
- PHYSIBEL에서 BMP파일을 IMPORT하면 BMP파일의 각 색상을 모델로 인식하기 때문에 각 재료의 물성을 지정할 수 있게 됨 (색상구분을 통해 각 속성정보의 변수를 입력함) 따라서, DXF에서 BMP로의 변환과정 없이 BIM 저작도구 상에서 바로 BMP 파일을 추출할 수 있으면, 모델링을 위한 추가 작업 없이 PHYSIBEL 상에서 바로 해석 작업이 가능함

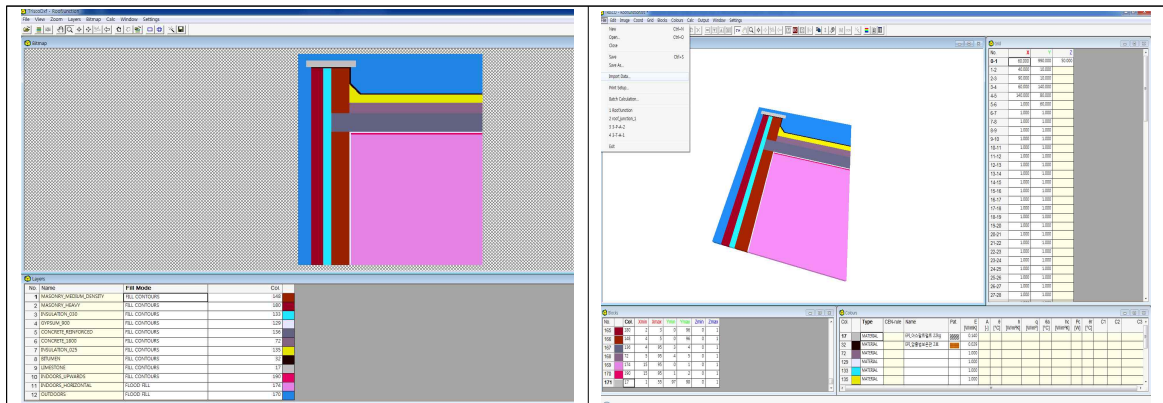
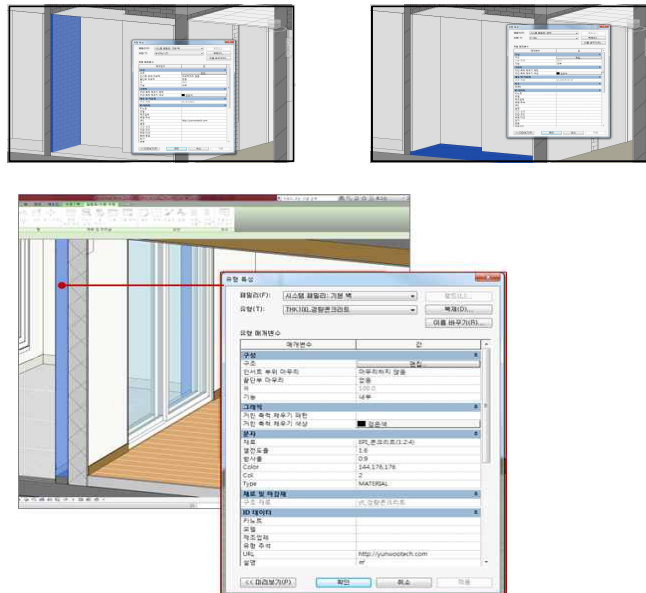


그림 3.26 PHYSIBEL 프로그램에서 생성된 BMP 파일을 불러온 화면

(3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립

(가) BIM 객체의 표현기준 수립

- 마감벽, 바닥, 천장 등 객체를 분리작성하거나 복합벽으로 그리지 않고, 단일벽으로 그린 후 정보를 기입함
- 각각의 객체를 분리작성하거나, 복합벽으로 작성하는 등, 객체정보가 독립적으로 추출될 수 있도록 모델링이 요구됨

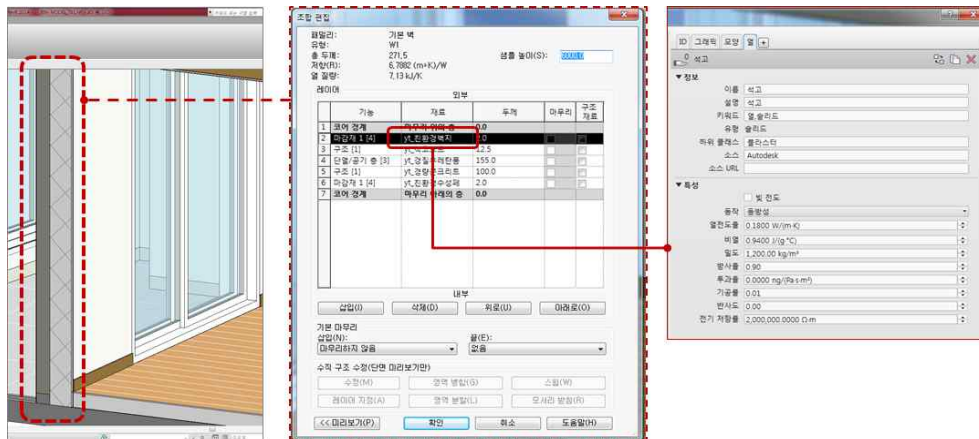


<11. 단열열로 일람표>

A	B	C	D	E	F	G
유형	재료	Col.	Type	열전도율	방사율	Color
THK100_경량콘크리트	EPI 콘크리트(1.2.4)	2	MATERIAL	1.6	0.9	144,176,176
THK12.5_석고보드	EPI 석고보드	13	MATERIAL	0.18	0.9	231,189,231
THK155_경질우레탄폼보온재	EPI 경질우레탄폼보온재 보온판 1종 1호	34	MATERIAL	0.024	0.9	0.6,160

그림 3.27 REVIT 일람표 추출 예

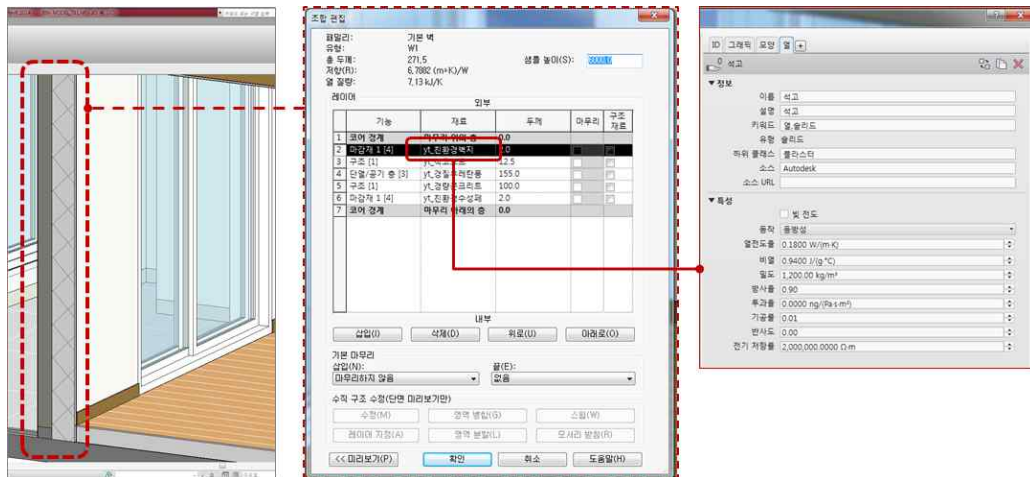
1) ALT1 : 분리벽체로 모델링



<벽 재료 견적>

A	B	C	D	E	F
유형	재료 이름	재료 마크	열 저항(R)	열 전송 계수(U)	열 질량
W1	y1_경량콘크리트	EPI 콘크리트(1.2.4)	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	y1_경질우레탄폼보온재	EPI 경질우레탄폼보온재 보온판 1종 1호	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	y1_석고보드	EPI 석고보드	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	y1_천환경벽지		6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	y1_천환경수성페인트		6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K

2) ALT2 : 복합벽체로 모델링



<벽 재료 견적>					
A	B	C	D	E	F
유형	재료 이름	재료 마크	열저항(R)	열전송계수(U)	열전달량
W1	yt_경량콘크리트	EPI_콘크리트(1:2:4)	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	yt_경질우레탄폼보온재	EPI_경질우레탄폼보온재 보온판 1종 1호	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	yt_석고보드	EPI_석고보드	6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	yt_천환경벽지		6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K
W1	yt_천환경수성페인트		6.7882 (m²·K)/W	0.1473 W/(m²·K)	7.13 kJ/K

그림 3.28 REVIT 일람표 추출 예

재료 (Name)	Col.	Type	열전도율, E (Conductivity) W/mk	방사율 (Emissivity)	Color
EPI_강재	1	MATERIAL	53	0.9	119,87,87
EPI_콘크리트(1:2:4)	2	MATERIAL	1.6	0.9	144,176,176
EPI_시멘트 벽돌	3	MATERIAL	0.6	0.9	128,128,128
EPI_내화 벽돌	4	MATERIAL	0.99	0.9	223,0,128
EPI_콘크리트 블록(경량)	5	MATERIAL	0.7	0.9	0,32,0
EPI_콘크리트 블록(중량)	6	MATERIAL	1	0.9	0,64,0
EPI_목재(경량)	7	MATERIAL	0.14	0.9	117,67,11
EPI_목재(중량)	8	MATERIAL	0.19	0.9	88,77,50
EPI_시멘트 모르타르(1:3)	9	MATERIAL	1.4	0.9	32,128,255
EPI_타일	10	MATERIAL	1.3	0.9	106,133,26
EPI_대리석	11	MATERIAL	2.8	0.9	187,155,187
EPI_화강암	12	MATERIAL	3.3	0.9	0,32,151
EPI_석고보드	13	MATERIAL	0.18	0.9	231,199,231

그림 3.29 건축자재 요구정보



그림 3.30 객체의 재료 물성 창

- > 프로그램 자체 기능에서는 재료물성을 추출하는 기능을 지원하지 않음
- > 개발단에서 추출할 수 있는 방법 모색 필요

(나) BIM 객체의 속성정보 작성법 수립

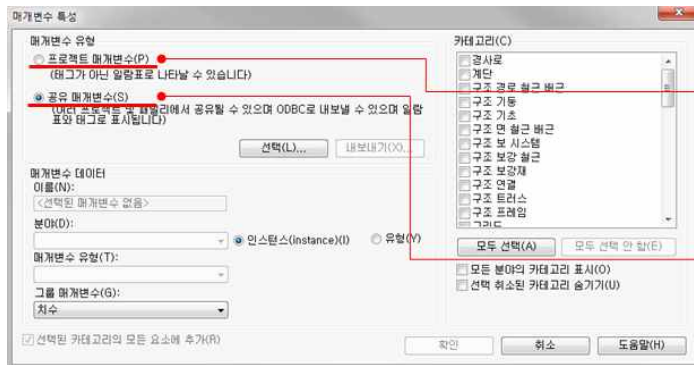
1) 매개변수의 정의

가) 프로젝트 매개변수

- 해당 프로젝트에서만 적용되는 객체의 속성정보를 설정하는 기능임

나) 공유 매개변수란

- 패밀리 또는 프로젝트 파일에 정의된 공유 매개변수는 타 패밀리 및 프로젝트와 공유할 수 있는 매개변수 설정 기능임



프로젝트 매개변수
해당 프로젝트(프로젝트파일)에서 적용되는 객체의 속성정보를 설정하는 기능입니다. 매개변수 데이터를 정의하고 카테고리를 선택하여 객체의 매개변수를 설정합니다. 다른 프로젝트와는 공유할 수 없습니다.

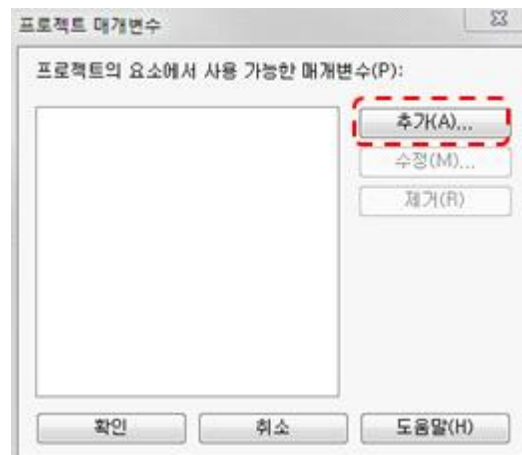
공유 매개변수
두 개 이상의 패밀리 또는 프로젝트에 동일한 속성정보를 정의할 때 독립된 파일(텍스트파일)에 작성, 저장하여 정의하고자 하는 객체에 불러들여 속성정보를 설정할 수 있습니다. 패밀리 또는 프로젝트에 추가한 후 다른 패밀리 및 프로젝트와 공유할 수 있는 매개변수이며, 일람표 작성시 유용합니다.

2) 속성정보 작성법 수립

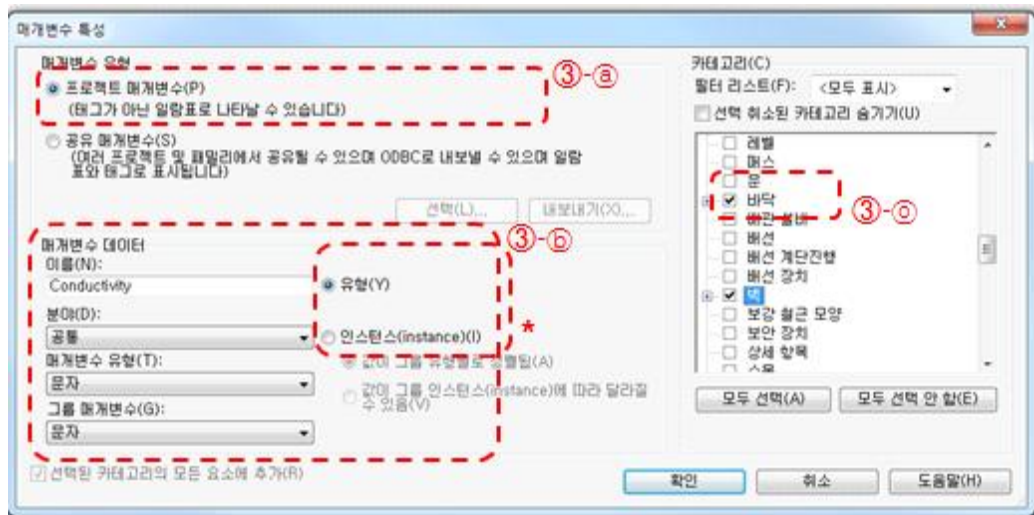
가) 리본메뉴에서 [관리>프로젝트 매개변수]를 선택함



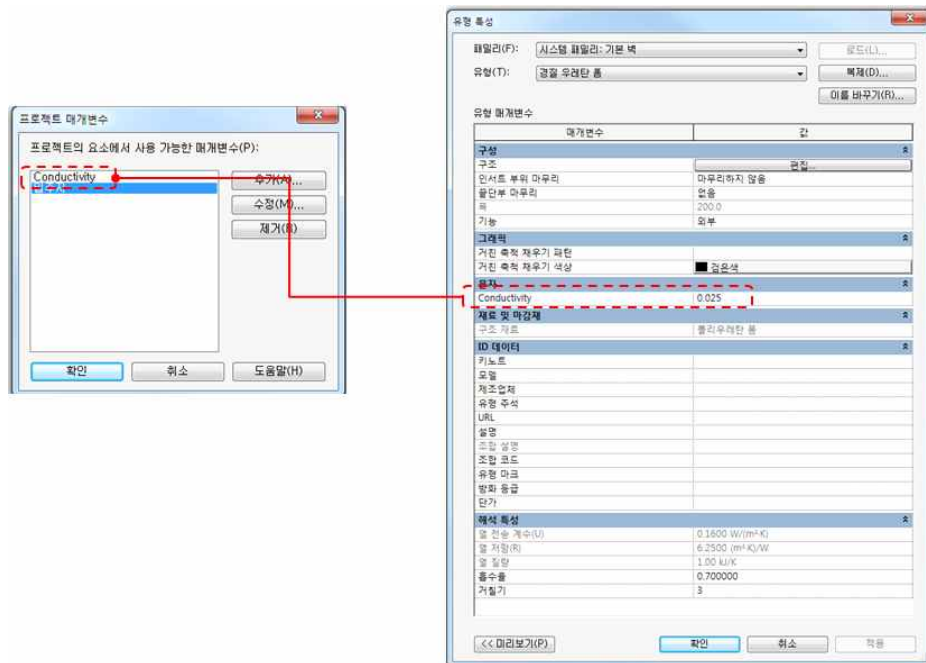
나) [추가]를 선택함



- 프로젝트 매개변수로 설정할 경우
 - ① [매개변수 유형>프로젝트 매개변수]를 선택하고
 - ② [매개변수 데이터]를 정의함
 - * 정의하는 매개변수가 각각의 객체마다 값을 가지는 정보는 [인스턴트](예:부재력정보), 각 객체들이 공통적으로 동일한 값을 가지는 정보는 [유형](예:G1부재의 배근정보)을 선택함
 - ③ 정의한 매개변수가 설정되는 카테고리(벽이나 바닥 등)를 설정함

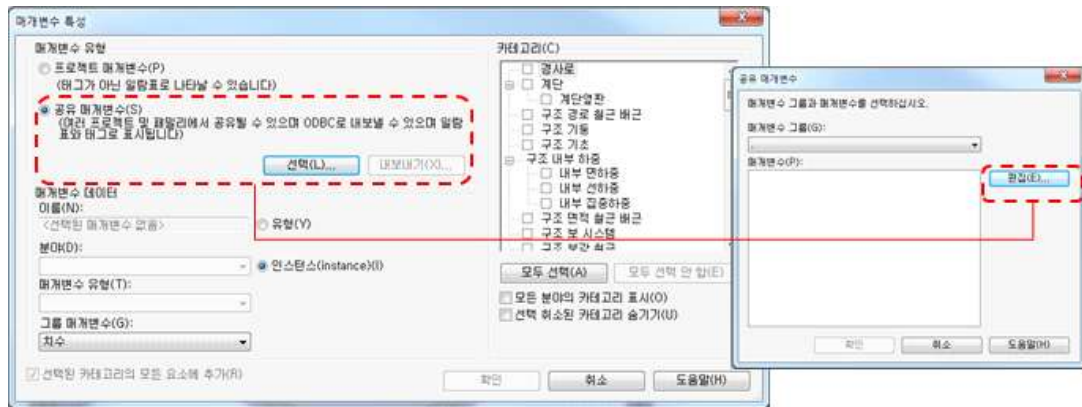


④ 입력이 완료된 것을 확인할 수 있음

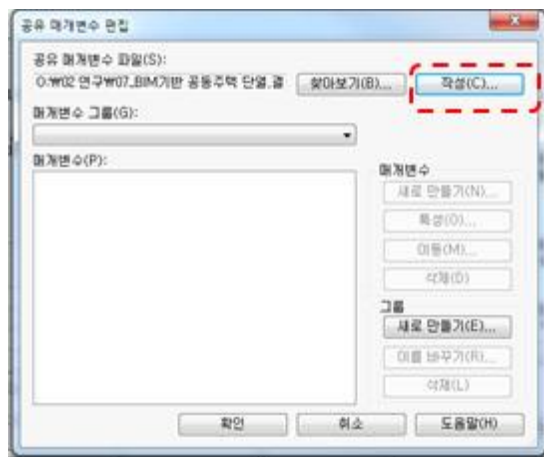


- 공유 매개변수로 설정할 경우

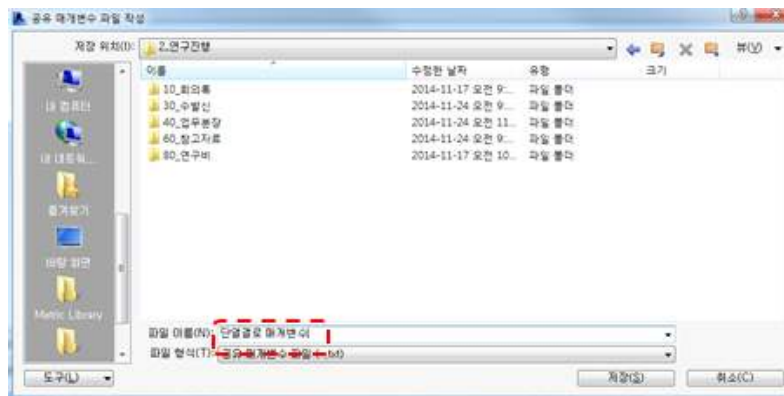
④ [매개변수 유형>공유 매개변수]를 선택하고 [매개변수 편집]창을 열음



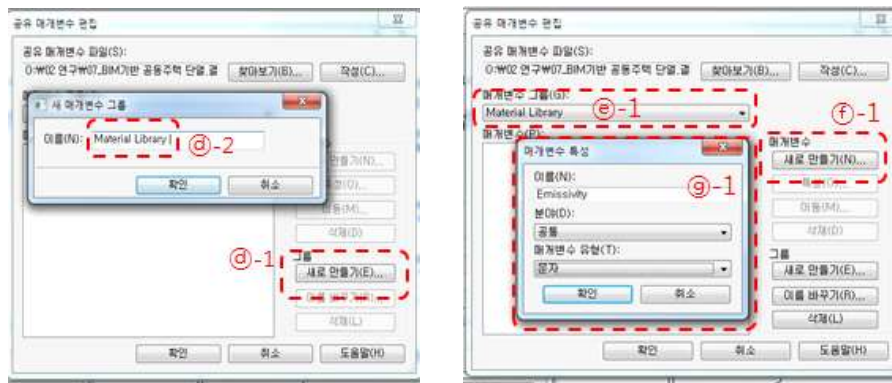
㉞ 공유 매개변수를 생성하기 위해 [공유 매개변수 파일]을 작성함



㉟ [공유 매개변수 파일]을 저장하고 싶은 위치의 폴더를 선택 후, txt파일을 생성함

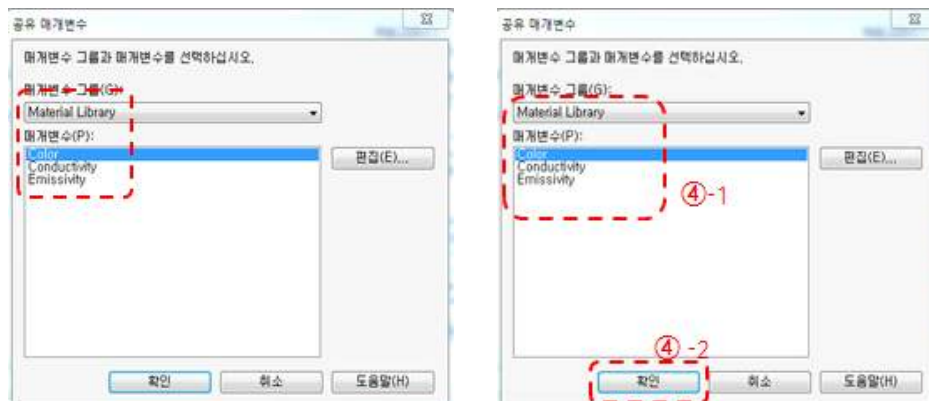


㊱ [공유 매개변수 파일]이 만들어지면, 그룹 [새로 만들기]를 선택하여 새 그룹을 만듦. 본 예제에서는 [Material Library]라는 그룹을 만듦

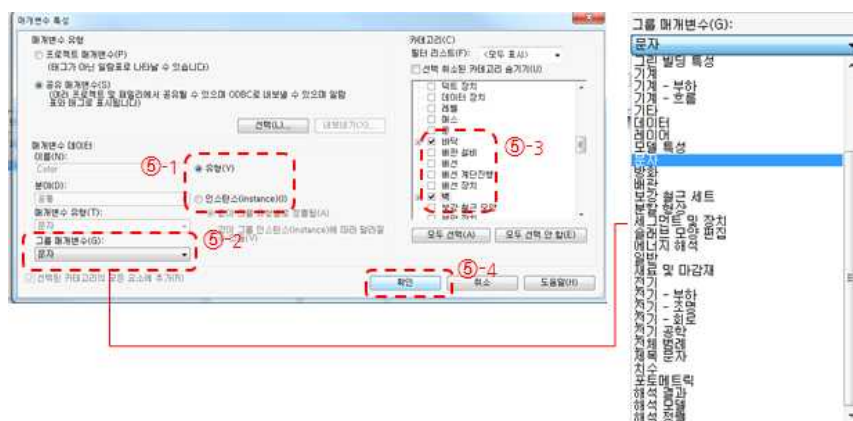


- ㉔ [매개변수 그룹]에 [Material Library]라는 그룹이 생성됨
- ㉔ 생성한 그룹에 매개변수를 새로 만들기 위하여, 매개변수 [새로 만들기]를 선택함
- ㉔ 매개변수 특성(이름, 분야, 매개변수 유형)을 입력한 후 확인을 선택함
- ㉔ [Material Library]라는 매개변수 그룹에 사용자가 작성한 매개변수들이 포함되어 있는 것을 확인할 수 있음. 공유매개변수 편집을 완료함

- ④ 생성한 매개변수를 선택함



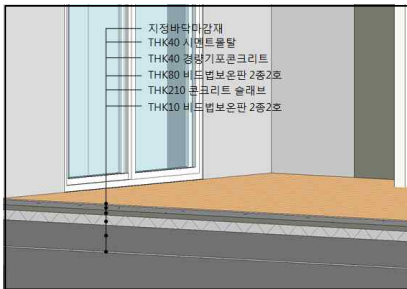
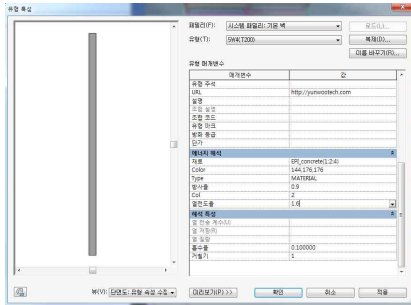
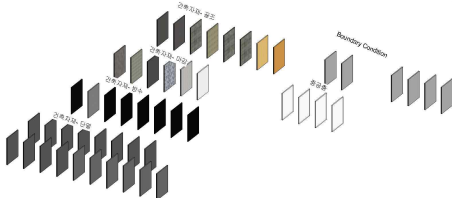
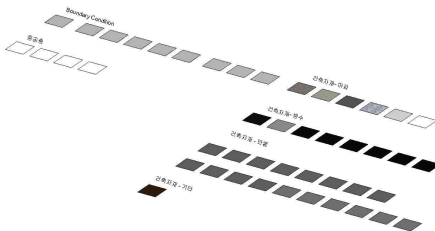
- ⑤ 매개변수 특성 창에서 [인스턴트/유형], 그룹매개변수, 카테고리를 선택함



⑥ 벽의 [유형]항목에 [문자>Color]가 추가된 것을 확인할 수 있음

The screenshot shows the '유형 특성' (Type Properties) dialog box. The '문자' (Text) section is highlighted with a red dashed box. The 'Conductivity' field is set to '0.025' and the 'Color' field is set to '검은색' (Black). The 'Emissivity' field is empty. The '재료 및 작업재' (Material and Work) section shows '구조 재료' (Structural Material) as '콘크리트' (Concrete). The 'ID 데이터' (ID Data) section is empty. The '물리 특성' (Physical Properties) section shows '열 전도 계수 (U)' (Thermal Conductance) as '0.1600 W/(m²K)', '열 저항 (R)' (Thermal Resistance) as '6.2500 m² K/W', '열 밀도' (Thermal Density) as '1.00 kJ/K', and '흡수율' (Absorption) as '0.700000'.

구분	값
구조	콘크리트
인서트 부위 마무리	마무리하지 않음
플랜지 마무리	없음
폭	200.0
기능	외부
고려액	
거친 측벽 채우기 확인	
거친 측벽 채우기 색상	검은색
문자	
Conductivity	0.025
Color	검은색
Emissivity	
재료 및 작업재	
구조 재료	콘크리트
ID 데이터	
키워드	
모델	
재질명	
유형 주석	
URL	
설명	
조건 설명	
조립 코드	
유형 코드	
방화 등급	
단가	
물리 특성	
열 전도 계수 (U)	0.1600 W/(m²K)
열 저항 (R)	6.2500 m² K/W
열 밀도	1.00 kJ/K
흡수율	0.700000

연구목표	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계)																																																																							
연구내용	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑 (2) 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 입·출력 정보 체계 구축 (3) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발																																																																							
연구기관	미래환경플랜(주)																																																																							
수행연도	1차년도																																																																							
연구결과	◆ 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑																																																																							
																																																																								
	◆ 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 입·출력 정보 체계 구축																																																																							
	- 구조체의 구성 시 기능에 따라 각 재료를 골조, 마감, 방수, 단열로 구분함. 공동주택 결로 평가를 위해 필요한 자재를 건축물 에너지절약설계기준 및 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준, 공동주택 결로 방지 가이드 라인을 참고하여 선정함																																																																							
	<table><tr><th colspan="2">재료 구분</th><th>재료 (Name)</th><th>Col</th><th>Type</th><th>열전도율</th><th>방사율</th><th>Color (RGB)</th></tr><tr><td rowspan="8">골조</td><td>EPI_강재</td><td>EPI_steel</td><td>1</td><td>MATERI-AL</td><td>53</td><td>0.5</td><td>119,87,87</td></tr><tr><td>EPI_콘크리트(1:2:4)</td><td>EPI_concrete(1:2:4)</td><td>2</td><td>MATERI-AL</td><td>1.6</td><td>0.9</td><td>144,176,176</td></tr><tr><td>EPI_시멘트벽돌</td><td>EPI_cement brick</td><td>3</td><td>MATERI-AL</td><td>0.6</td><td>0.9</td><td>128,128,128</td></tr><tr><td>EPI_내화벽돌</td><td>EPI_firebrick</td><td>4</td><td>MATERI-AL</td><td>0.99</td><td>0.9</td><td>223,0,128</td></tr><tr><td>EPI_콘크리트블록(경량)</td><td>EPI_concrete block(lightweight)</td><td>5</td><td>MATERI-AL</td><td>0.7</td><td>0.9</td><td>0,32,0</td></tr><tr><td>EPI_콘크리트블록(중량)</td><td>EPI_concrete block(heavyweight)</td><td>6</td><td>MATERI-AL</td><td>1</td><td>0.9</td><td>0,64,0</td></tr><tr><td>EPI_목재(경량)</td><td>EPI_wood(light weight)</td><td>7</td><td>MATERI-AL</td><td>0.14</td><td>0.9</td><td>117,67,11</td></tr><tr><td>EPI_목재(중량)</td><td>EPI_wood(heavyweight)</td><td>8</td><td>MATERI-AL</td><td>0.19</td><td>0.9</td><td>88,77,50</td></tr></table>							재료 구분		재료 (Name)	Col	Type	열전도율	방사율	Color (RGB)	골조	EPI_강재	EPI_steel	1	MATERI-AL	53	0.5	119,87,87	EPI_콘크리트(1:2:4)	EPI_concrete(1:2:4)	2	MATERI-AL	1.6	0.9	144,176,176	EPI_시멘트벽돌	EPI_cement brick	3	MATERI-AL	0.6	0.9	128,128,128	EPI_내화벽돌	EPI_firebrick	4	MATERI-AL	0.99	0.9	223,0,128	EPI_콘크리트블록(경량)	EPI_concrete block(lightweight)	5	MATERI-AL	0.7	0.9	0,32,0	EPI_콘크리트블록(중량)	EPI_concrete block(heavyweight)	6	MATERI-AL	1	0.9	0,64,0	EPI_목재(경량)	EPI_wood(light weight)	7	MATERI-AL	0.14	0.9	117,67,11	EPI_목재(중량)	EPI_wood(heavyweight)	8	MATERI-AL	0.19	0.9	88,77,50
재료 구분		재료 (Name)	Col	Type	열전도율	방사율	Color (RGB)																																																																	
골조	EPI_강재	EPI_steel	1	MATERI-AL	53	0.5	119,87,87																																																																	
	EPI_콘크리트(1:2:4)	EPI_concrete(1:2:4)	2	MATERI-AL	1.6	0.9	144,176,176																																																																	
	EPI_시멘트벽돌	EPI_cement brick	3	MATERI-AL	0.6	0.9	128,128,128																																																																	
	EPI_내화벽돌	EPI_firebrick	4	MATERI-AL	0.99	0.9	223,0,128																																																																	
	EPI_콘크리트블록(경량)	EPI_concrete block(lightweight)	5	MATERI-AL	0.7	0.9	0,32,0																																																																	
	EPI_콘크리트블록(중량)	EPI_concrete block(heavyweight)	6	MATERI-AL	1	0.9	0,64,0																																																																	
	EPI_목재(경량)	EPI_wood(light weight)	7	MATERI-AL	0.14	0.9	117,67,11																																																																	
	EPI_목재(중량)	EPI_wood(heavyweight)	8	MATERI-AL	0.19	0.9	88,77,50																																																																	
	◆ 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발																																																																							
	 																																																																							
	- 정의된 그래픽 및 메타데이터를 바탕으로 객체(벽, 바닥, 중공층 등), 재료 라이브러리를 최종 개발함. 총 96 종																																																																							
관련 성과물	• 보고서 1건 - 단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리(일반재료, 중공층, 경계조건) • 객체(재료층, 중공층, 경계조건모델 등) 라이브러리 96종 개발																																																																							

(1) 단열.결로 분석을 위한 BIM객체와 단열.결로 해석 모델 간 정보 맵핑

(가) BIM 객체의 그래픽데이터 정의

- BIM 툴을 활용하여 BIM객체의 그래픽 데이터베이스를 구축하였음

1) 건축자재

① 벽체

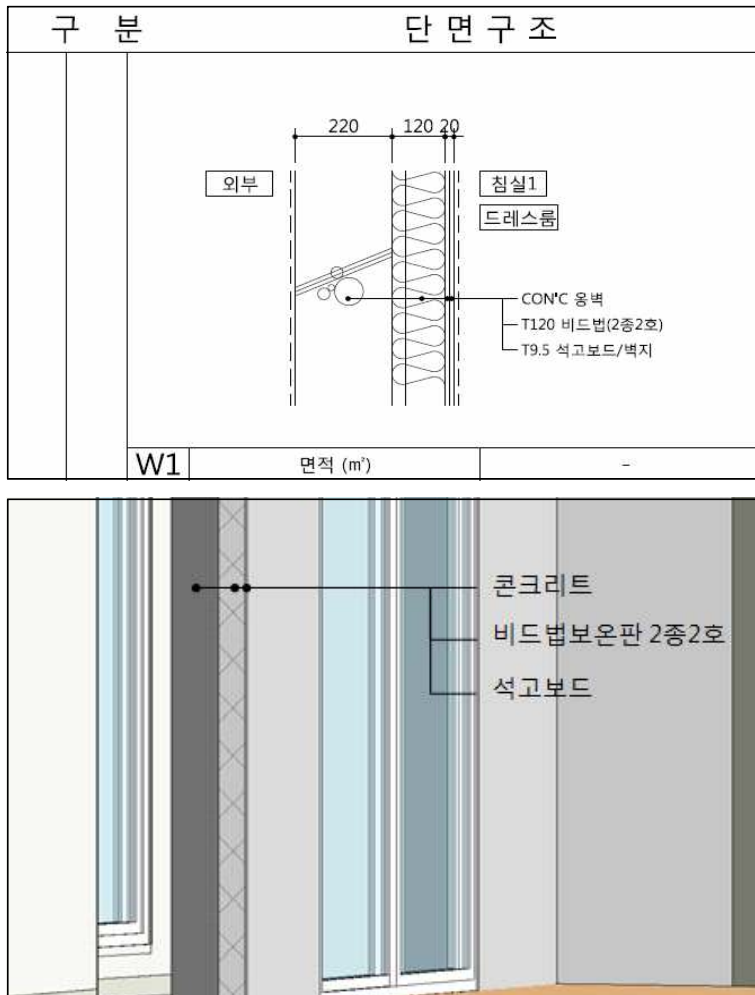


그림 3.31 벽체객체 그래픽정보 정의

② 바닥

거실(침실/주방(난방구간))	지정바닥마감재 THK40 시멘트몰탈 THK40 경량기포콘크리트 THK80 비드법보온판 2종2호 THK210 콘크리트 슬래브 THK10 비드법보온판 2종2호 지정 마감재(피로티의 경우)	
	※ 난방코일 하부와 콘크리트간 평균열류율 비율 (층간-70%이상) $(3+4)=2.808 / 2.857 = 98.3 \%$	
	F3	면적 (m²)

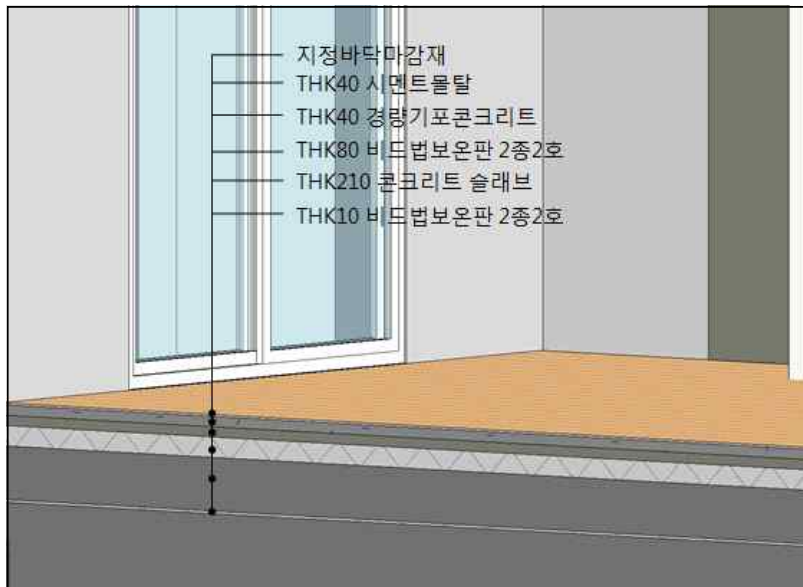


그림 3.32 바닥객체 그래픽정보 정의

(나) BIM 객체의 메타데이터 정의

- BIM 툴 및 전열해석 프로그램 분석을 통해 BIM객체의 메타 데이터베이스를 구축하였음

1) 건축자재

① 골조

표 3.14 골조객체 메타정보 정의

골조		
속성	표현방식	비고
재료구분	EPI_콘크리트(1:2:4)	-
재료 (Name)	EPI_concrete(1:2:4)	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col	2	Physibel 매개변수
Type	MATERIAL	Physibel 매개변수
열전도율,E (Conductivity) W/mk	1.6	Therm과 Physibel 공통 매개변수
방사율 (Emissivity)	0.9	Therm 매개변수
Color	144,176,176	Therm과 Physibel 공통 매개변수

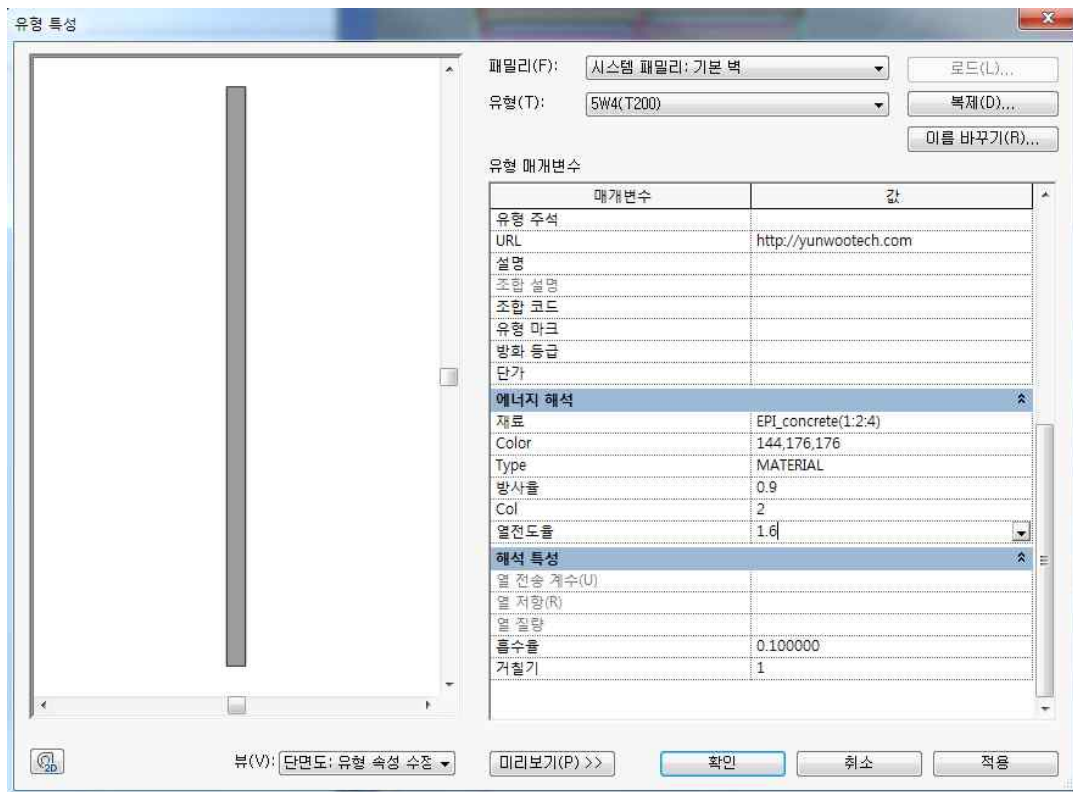


그림 3.33 골조객체 메타정보의 매개변수 구현

② 마감

표 3.15 마감객체 메타정보 정의

마감		
속성	표현방식	비고
재료구분	EPI_시멘트 모르타르(1:3)	-
재료 (Name)	EPI_mortar(1:3)	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col	9	Physibel 매개변수
Type	MATERIAL	Physibel 매개변수
열전도율,E (Conductivity) W/mk	1.4	Therm과 Physibel 공통 매개변수
방사율 (Emissivity)	0.9	Therm 매개변수
Color	32,128,255	Therm과 Physibel 공통 매개변수

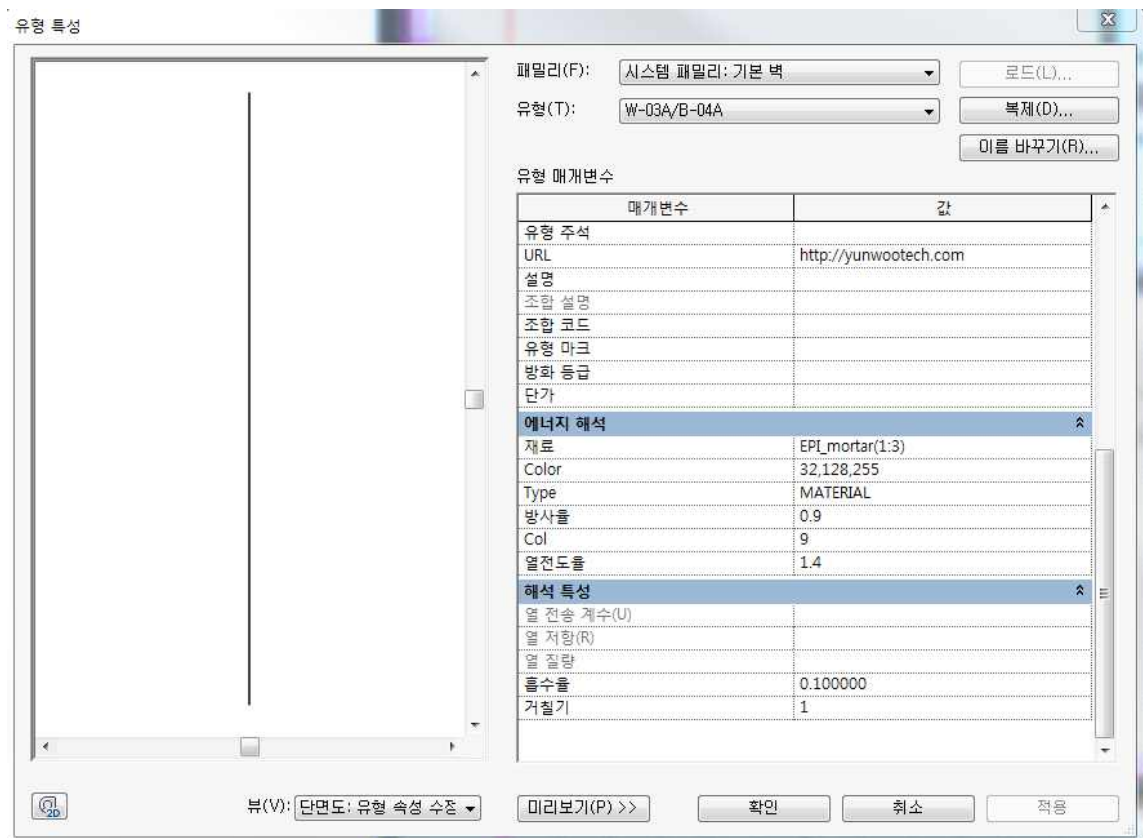


그림 3.34 마감객체 메타정보의 매개변수 구현

③ 방수

표 3.16 방수객체 메타정보 정의

방수		
속성	표현방식	비고
재료구분	EPI_아스팔트계	-
재료 (Name)	EPI_asphalt	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col	15	Physibel 매개변수
Type	MATERIAL	Physibel 매개변수
열전도율,E (Conductivity) W/mk	0.33	Therm과 Physibel 공통 매개변수
방사율 (Emissivity)	0.9	Therm 매개변수
Color	255,0,223	Therm과 Physibel 공통 매개변수

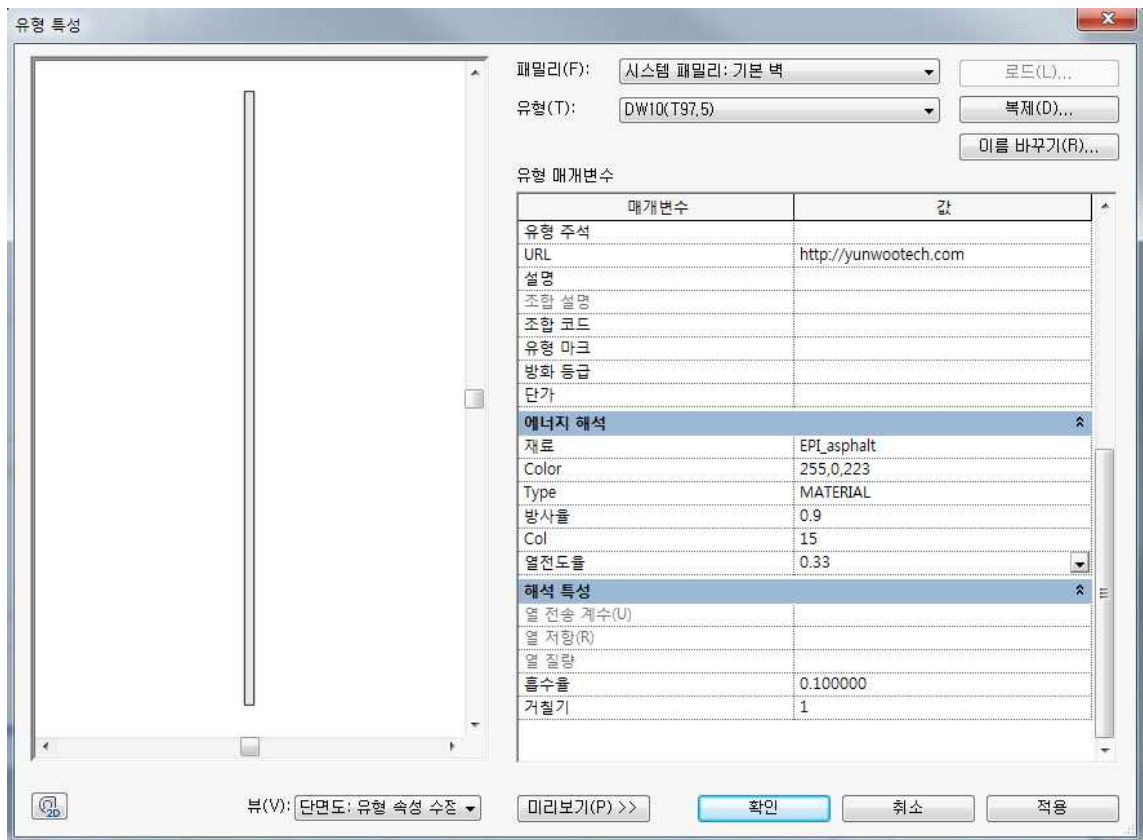


그림 3.35 방수객체 메타정보의 매개변수 구현

④ 단열

표 3.17 단열객체 메타정보 정의

단열		
속성	표현방식	비고
재료구분	발포폴리스티렌보온재 EXPANDED POLYSTYLENE _비 드법 보온판 EPS_1종_1호	-
재료 (Name)	EPI_EPS_1-1	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col	23	Physibel 매개변수
Type	MATERIAL	Physibel 매개변수
열전도율,E (Conductivity) W/mk	0.036	Therm과 Physibel 공통 매개변수
방사율 (Emissivity)	0.9	Therm 매개변수
Color	0,128,192	Therm과 Physibel 공통 매개변수

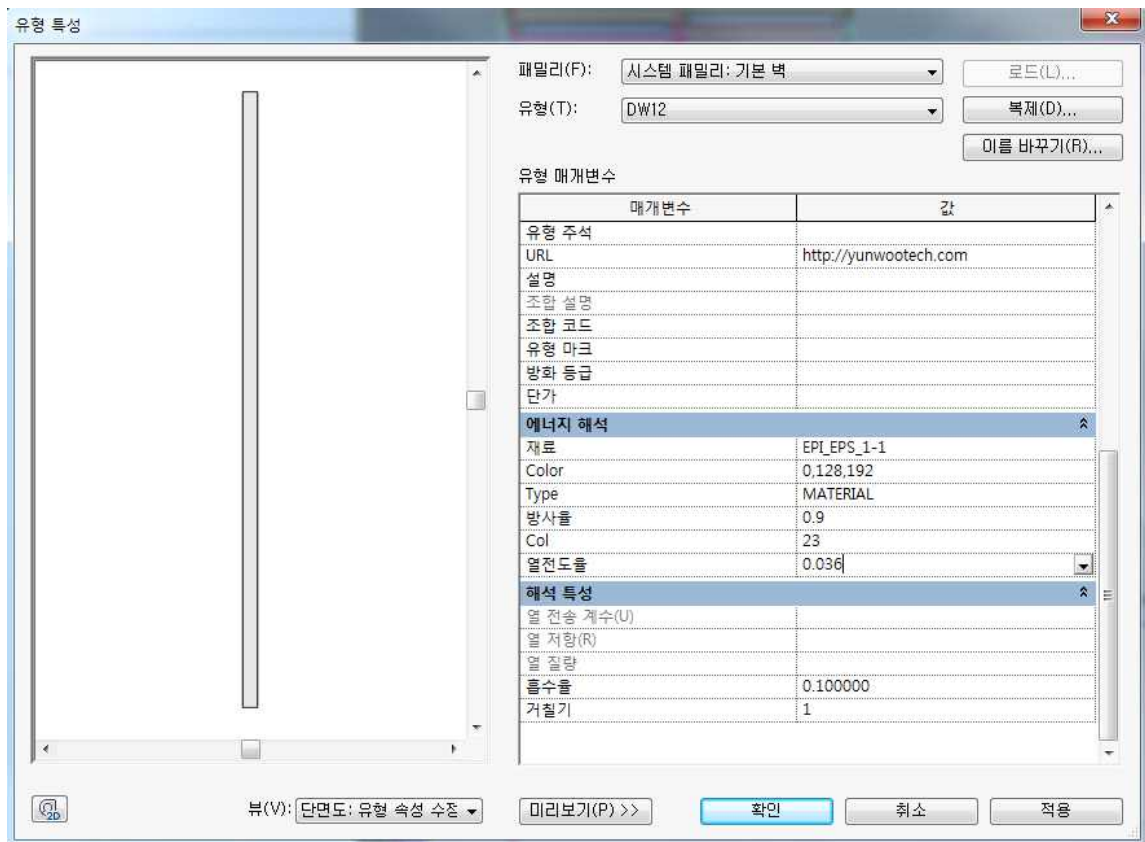


그림 3.36 방수객체 메타정보의 매개변수 구현

⑤ 기타

표 3.18 기타객체 메타정보 정의

기타		
속성	표현방식	비고
재료구분	토양	-
재료 (Name)	ISO13370_ground	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col	41	Physibel 매개변수
Type	MATERIAL	Physibel 매개변수
열전도율,E (Conductivity) W/mk	2	Therm과 Physibel 공통 매개변수
방사율 (Emissivity)	0.9	Therm 매개변수
Color	115,77,65	Therm과 Physibel 공통 매개변수

2) 경계조건 (Boundary Condition)

① Adiabatic

표 3.19 Adiabatic 메타정보 정의

Adiabatic			
속성	형식	표현방식	비고
구분	문자	Adiabatic	-
Name (경계이름)	문자	Adiabatic	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col.	숫자	42	Physibel 매개변수
Temperature (표면기준온도)	숫자 (소수 1째자리)	0	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	숫자 (소수 2째자리)	0	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Type	문자	BC_SIMPL	Physibel 매개변수
CEN-rule	문자	NIHIL	Physibel 매개변수
Color (RGB)	문자	146,146,146	Therm과 Physibel 공통 매개변수

② 실외조건(Exterior)

표 3.20 실외조건 메타정보 정의

실외조건 (Exterior)			
속성	형식	표현방식	비고
구분	문자	실외조건_외기 간접_거실외벽	-
Name (경계이름)	문자	EPI_exterior_in direct_external wall	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col.	숫자	43	Physibel 매개변수
Temperature (표면기준온도)	숫자 (소수 1째자리)	5	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	숫자 (소수 2째자리)	9.09	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Type	문자	BC_SIMPL	Physibel 매개변수
CEN-rule	문자	NIHIL	Physibel 매개변수
Color (RGB)	문자	255,255,185	Therm과 Physibel 공통 매개변수

③ 실내조건(Interior)

표 3.21 실내조건 메타정보 정의

실내조건 (Interior)			
속성	형식	표현방식	비고
구분	문자	실내조건_거실 외벽	-
Name (경계이름)	문자	EPI_interior _external wall	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Col.	숫자	49	Physibel 매개변수
Temperature (표면기준온도)	숫자 (소수 1째자리)	25	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	숫자 (소수 2째자리)	9.09	Therm과 Physibel 공통 매개변수
Type	문자	BC_SIMPL	Physibel 매개변수
CEN-rule	문자	NIHIL	Physibel 매개변수
Color (RGB)	문자	0,255,32	Therm과 Physibel 공통 매개변수

3) 중공층

① 공장 생산된 기밀제품

표 3.22 공장생산제품 메타정보 정의

공장 생산된 기밀제품			
속성		표현방식	비고
공기층의 종류		공장 생산된 기밀제품	-
공기층의 두께		2cm 이하	-
Therm	Name_Therm	Frame Cavity NFRC 100 - 2001	Therm 매개변수
Physibel	Name_Physibel	frame cavity <=2cm	Physibel 매개변수
	Col.	53	Physibel 매개변수
	Type	EQUIMAT	Physibel 매개변수
	CEN-rule	NIHIL	Physibel 매개변수
	E	11.628	Physibel 매개변수
	Color	116,124,0	Physibel 매개변수

② 현장시공 등

표 3.23 현장시공제품 메타정보 정의

공장 생산된 기밀제품			
속성		표현방식	비고
공기층의 종류		현장시공 등	-
공기층의 두께		1cm 이하	-
Therm	Name_Therm	Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100	Therm 매개변수
Physibel	Name_Physibel	frame cavity slightly ventilated <=1cm	Physibel 매개변수
	Col.	55	Physibel 매개변수
	Type	EQUIMAT	Physibel 매개변수
	CEN-rule	NIHIL	Physibel 매개변수
	E	11.628	Physibel 매개변수
	Color	0,155,123	Physibel 매개변수

(2) 단열.결로 해석을 위한 BIM객체 입·출력 정보 체계 구축

(가) 재료 물성 입력 DB

- 구조체의 구성 시 기능에 따라 각 재료를 골조, 마감, 방수, 단열로 구분함.
- 공동주택 결로 평가를 위해 필요한 자재를 건축물 에너지절약설계기준 및 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준, 공동주택 결로 방지 가이드 라인을 참고하여 선정함
- 공통적으로 요구되는 변수는 Name(재료명), 열전도율, Color(RGB)이며 재료명은 EPI (건축물의 에너지절약설계기준)_재료 영문명으로 나타냄
- PHYSIBEL은 고유번호 Col.과 재료의 열전도율 값을 입력할 수 있는 Type 인 MATERIAL을 선택함
- THERM은 재료의 방사율 값을 추가적으로 입력해야 하는데 특정 실험치가 없는 일반 재료의 방사율은 0.9로 정의함

표 3.24 재료층 입력 변수 및 입력 값

재료 구분		재료 (Name)	Co l	Type	열 전도율	방사 율	Color (RGB)
골조	EPI_강재	EPI_steel	1	MATERIAL	53	0.5	119,87,87
	EPI_콘크리트(1:2:4)	EPI_concrete(1:2:4)	2	MATERIAL	1.6	0.9	144,176,176
	EPI_시멘트벽돌	EPI_cement brick	3	MATERIAL	0.6	0.9	128,128,128
	EPI_내화벽돌	EPI_firebrick	4	MATERIAL	0.99	0.9	223,0,128
	EPI_콘크리트블록(경량)	EPI_concreteblock (lightweight)	5	MATERIAL	0.7	0.9	0,32,0
	EPI_콘크리트블록(중량)	EPI_concreteblock (heavyweight)	6	MATERIAL	1	0.9	0,64,0
	EPI_목재(경량)	EPI_wood(light weight)	7	MATERIAL	0.14	0.9	117,67,11
	EPI_목재(중량)	EPI_wood(heavywe ight)	8	MATERIAL	0.19	0.9	88,77,50
마감	EPI_시멘트 모르타르(1:3)	EPI_mortar(1:3)	9	MATERIAL	1.4	0.9	32,128,255
	EPI_KS F4099 현장타설용 기포콘크리트 0.5폼	EPI_lightweight foamed concrete	10	MATERIAL	0.16	0.9	79,129,189
	EPI_타일	EPI_tile	11	MATERIAL	1.3	0.9	106,133,26
	EPI_대리석	EPI_marble	12	MATERIAL	2.8	0.9	187,155,187
	EPI_화강암	EPI_granite	13	MATERIAL	3.3	0.9	0,32,151
	EPI_석고보드	EPI_gypsum board	14	MATERIAL	0.18	0.9	231,199,231
방수	EPI_아스팔트계	EPI_asphalt	15	MATERIAL	0.33	0.9	255,0,223
	EPI_PE 필름	EPI_PE film	16	MATERIAL	0.21	0.9	116,156,32
	EPI_아스팔트펠트17kg	EPI_asphaltpelt17k	17	MATERIAL	0.11	0.9	168,32,52

핵심성과 A					핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물
1차년도	2차년도				1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	검증
					g						
	EPI_아스팔트펠트22kg				EPI_asphaltfelt22kg g	18	MATERIAL	0.14	0.9	0,123,155	
	EPI_아스팔트펠트26kg				EPI_asphaltfelt26kg g	19	MATERIAL	0.22	0.9	255,128,223	
	EPI_아스팔트루핑 17kg				EPI_asphaltroofing 17kg	20	MATERIAL	0.19	0.9	234,221,117	
	EPI_아스팔트루핑 22kg				EPI_asphalt roofing 22kg	21	MATERIAL	0.27	0.9	95,95,127	
	EPI_아스팔트루핑30kg				EPI_asphaltroofing 30kg	22	MATERIAL	0.34	0.9	187,187,155	
단열	발포폴 리스티 렌 보온재	비드 법 보온 판 EPS	1종	1호	EPI_EPS_1-1	23	MATERIAL	0.036	0.9	0,128,192	
				2호	EPI_EPS_1-2	24	MATERIAL	0.037	0.9	0,103,153	
				3호	EPI_EPS_1-3	25	MATERIAL	0.04	0.9	0,82,121	
				4호	EPI_EPS_1-4	26	MATERIAL	0.043	0.9	0,53,79	
			2종	1호	EPI_EPS_2-1	27	MATERIAL	0.031	0.9	0,138,138	
				2호	EPI_EPS_2-2	28	MATERIAL	0.032	0.9	57,117,117	
				3호	EPI_EPS_2-3	29	MATERIAL	0.033	0.9	39,75,75	
				4호	EPI_EPS_2-4	30	MATERIAL	0.034	0.9	0,51,51	
		압출 법 보온 판 XPS	특 호	EPI_XPS_S	31	MATERIAL	0.027	0.9	255,128,192		
			1호	EPI_XPS_1	32	MATERIAL	0.028	0.9	255,38,147		
			2호	EPI_XPS_2	33	MATERIAL	0.029	0.9	255,0,255		
			3호	EPI_XPS_3	34	MATERIAL	0.031	0.9	162,0,162		
	경질우 레탄폼 보온재	보온 판	1종	1호	EPI_rigid urethane foam_1-1	35	MATERIAL	0.024	0.9	0,0,160	
				2호	EPI_rigid urethane foam_1-2	36	MATERIAL	0.024	0.9	128,128,255	
				3호	EPI_rigid urethane foam_1-3	37	MATERIAL	0.025	0.9	255,255,111	
			2종	1호	EPI_rigid urethane foam_2-1	38	MATERIAL	0.023	0.9	198,198,0	
				2호	EPI_rigid urethane foam_2-2	39	MATERIAL	0.023	0.9	121,121,0	
				3호	EPI_rigid urethane foam_2-3	40	MATERIAL	0.024	0.9	255,255,0	
기타	토양				ISO13370_ground	41	MATERIAL	2	0.9	115,77,65	

	THERM과 PHYSIBEL 공통 매개변수
	THERM 매개변수
	PHYSIBEL 매개변수

(나) 경계조건 입력 DB

- 각 전열해석 프로그램 별 요구정보별로 경계조건에 대한 입력 변수를 정리하면 <표 3.20>와 같은 입력체계를 구축함
- Color(RGB)의 경우 특정한 기준이 없어 임의로 지정하며 PHYSIBEL에서 요구되는 고유의 객체 번호에 관한 매개변수인 Col.도 임의로 지정함
- 실외조건의 Name은 EPI(건축물의 에너지절약설계기준)_외기 직접 혹은 외기 간접_해당 부위의 순서로 기호를 입력함
- 실내외 기준 온도, 표면 열전달계수는 지정된 값을 입력함
 - PHYSIBEL의 Type은 단순경계조건으로 입력할 수 있는 BC_SIMPL로 지정하고 CEN-rule은 NIHIL(사용자정의)로 지정함

표 3.25 경계조건 입력 변수 및 입력 값

구 분			Name	Col.	Temperature	Film Coefficient	Type	CEN-rule	Color
			(경계이름)		기준온도	표면 열전달 계수			RGB
형 식			문자	숫자	숫자 (소수1째자리)	숫자 (소수2째자리)	문자	문자	문자
Adiabatic			Adiabatic	42	0	0	BC_SIMPL	NIHIL	146, 146,146
실 외 조건	외기 간접	거실 외벽	EPI_exterior_indirect_external wall	43	5	9.09			255, 255,185
		최하층 거실 바닥	EPI_exterior_indirect_lowest slab	44	5	6.67			32, 0,151
		최상층 거실 반자 또는 지붕	EPI_exterior_indirect_ceiling or roof	45	5	11.63			0, 155,123
		외기 직접	지역 I	EPI_exterior_direct_I	46	-20			23.3
	지역 II		EPI_exterior_direct_II	47	-15	95, 127,95			
	지역 III		EPI_exterior_direct_III	48	-10	181,32,0			
	실 내 조건	거실 외벽	EPI_interior_external wall	49	25	9.09			0,255,32
최하층 거실 바닥		EPI_interior_lowest slab	50	25	11.6	255, 166,177			
최상층 거실 반자 또는 지붕		EPI_interior_ceiling or roof	51	25	11.63	255, 255,32			
공동 주택 층간 바닥		EPI_interior_floor slab	52	25	-	223, 255,223			

	THERM과 PHYSIBEL 공통 매개변수
	THERM 매개변수
	PHYSIBEL 매개변수

(다) 중공층 입력 DB

- THERM은 중공층의 통기여부에 따라 Name을 Frame Cavity NFRC 100, Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100을 선택하여 적용함
- PHYSIBEL은 Name을 중공층의 통기여부 및 두께의 기준에 따라 적용하며 등가열전도율로 중공층을 정의하는 EQUIMAT Type을 선택하고 등가열전도율은 열저항값을 통해 두께에 관한 식으로 변환하여 열전도율(W/mK)로 적용함

표 3.26 중공층 입력 변수 및 입력 값

공기층 종류	공기층 두께	THERM	PHYSIBEL					
		Name_THERM	Name_ PHYSIBEL	Col	Type	CEN -rule	E	Color
공장 생 산된 기밀제품	2cm 이하	Frame Cavity NFRC 100	frame cavity <=2cm	53	EQUIMAT	NIHIL	11.628	116, 124, 0
	2cm 초과		frame cavity >2cm	54			5.882*두께	168, 64, 20
현장시공 등	1cm 이하	Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100	frame cavity slightly ventilated<=1cm	55			11.628	0, 155, 123
	1cm 초과		frame cavity slightly ventilated>1cm	56			11.628*두께	255, 128, 255

	THERM과 PHYSIBEL 공통 매개변수
	THERM 매개변수
	PHYSIBEL 매개변수

(라) 형상정보

1) THERM의 형상정보

- 모델의 2D 면은 재료의 형상을 정의할 수 있는 객체이며 면으로서의 객체가 정의된 후 경계조건(BOUNDARY CONDITION)이 정의되며 경계조건은 면으로 정의된 객체 모델의 둘레 선으로 정의됨

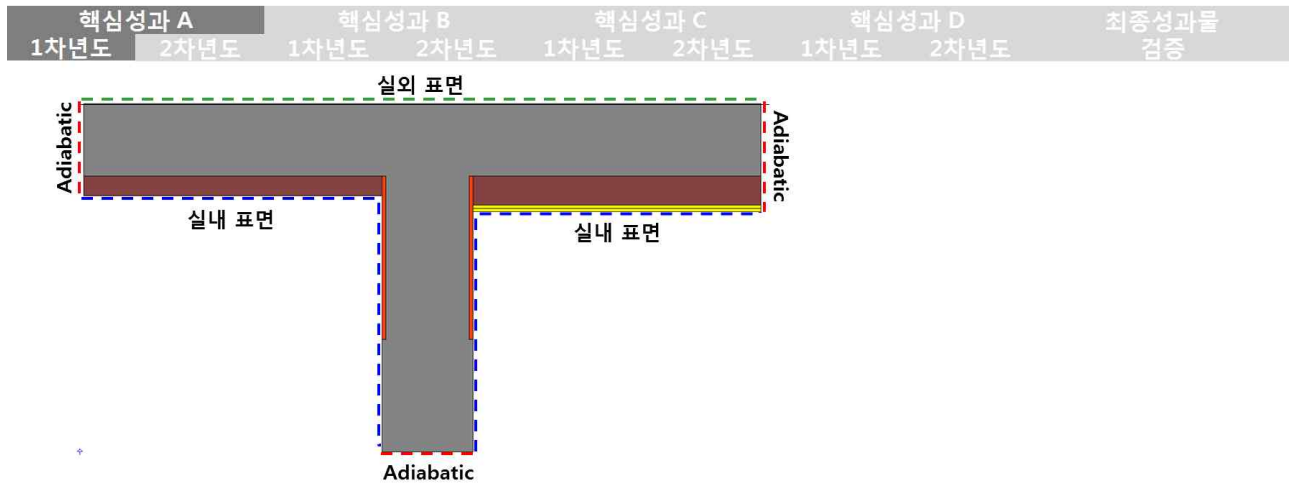


그림 3.37 THERM 프로그램 상의 경계조건 설정 개념

- 건물 구조체의 전열 해석을 위한 계의 조건은 일반적으로 실내외 표면조건과 단열경계조건 (ADIABATIC)으로 구분됨. THERM에서는 2D 면을 통해 구조체의 객체를 정의하며, 모델링된 구조체에 대해 최종적으로 2D 면의 경계선을 통해 경계조건을 정의함

2) PHYSIBEL의 형상정보

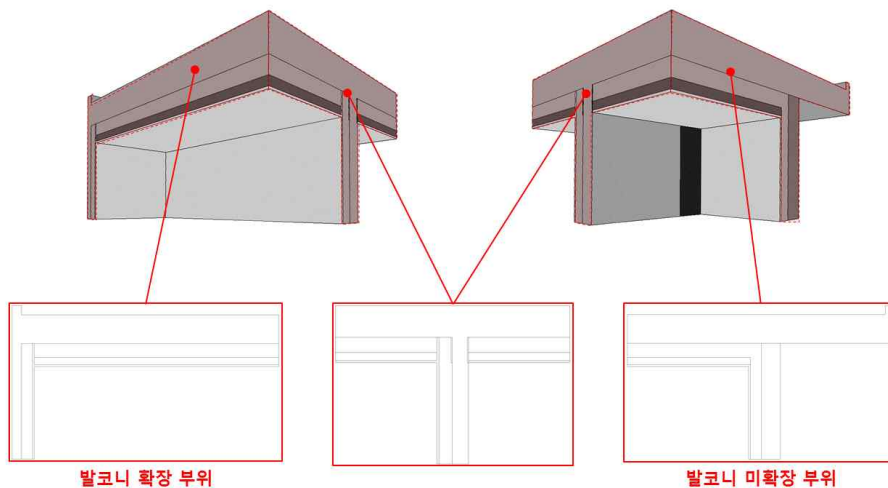


그림 3.38 각 단면에 대한 형상정보를 DXF파일로 추출

- 구조체의 우각부와 같이 3D 형상에 대한 표면결로 평가 시, XY단면-YZ단면 혹은 XY단면-XZ단면의 형상정보가 필요함 따라서 해당 부위에 대한 각각의 단면에 대한 형상정보를 dxf파일로 추출해야함
- 각 부분에 대해 BMP 파일로 변환 후 단면 형상 회전 및 두께 부여를 통해 모델링함 (형상이 겹치는 부위는 PHYSIBEL 프로그램 상에서 교집합 부위 + 추가 부위로 인식함)
- 각 따라서 PHYSIBEL을 활용한 3D 부위 (우각부) 평가 시에는 각 단면들에 대한 형상 정보의 DXF 혹은 BMP 파일이 요구됨

(3) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발 (단위성과 A-2-①)

- 정의된 그래픽 및 메타데이터를 바탕으로 객체(벽, 바닥, 중공층 등), 재료 라이브러리를 최종 개발함. 총 96 종

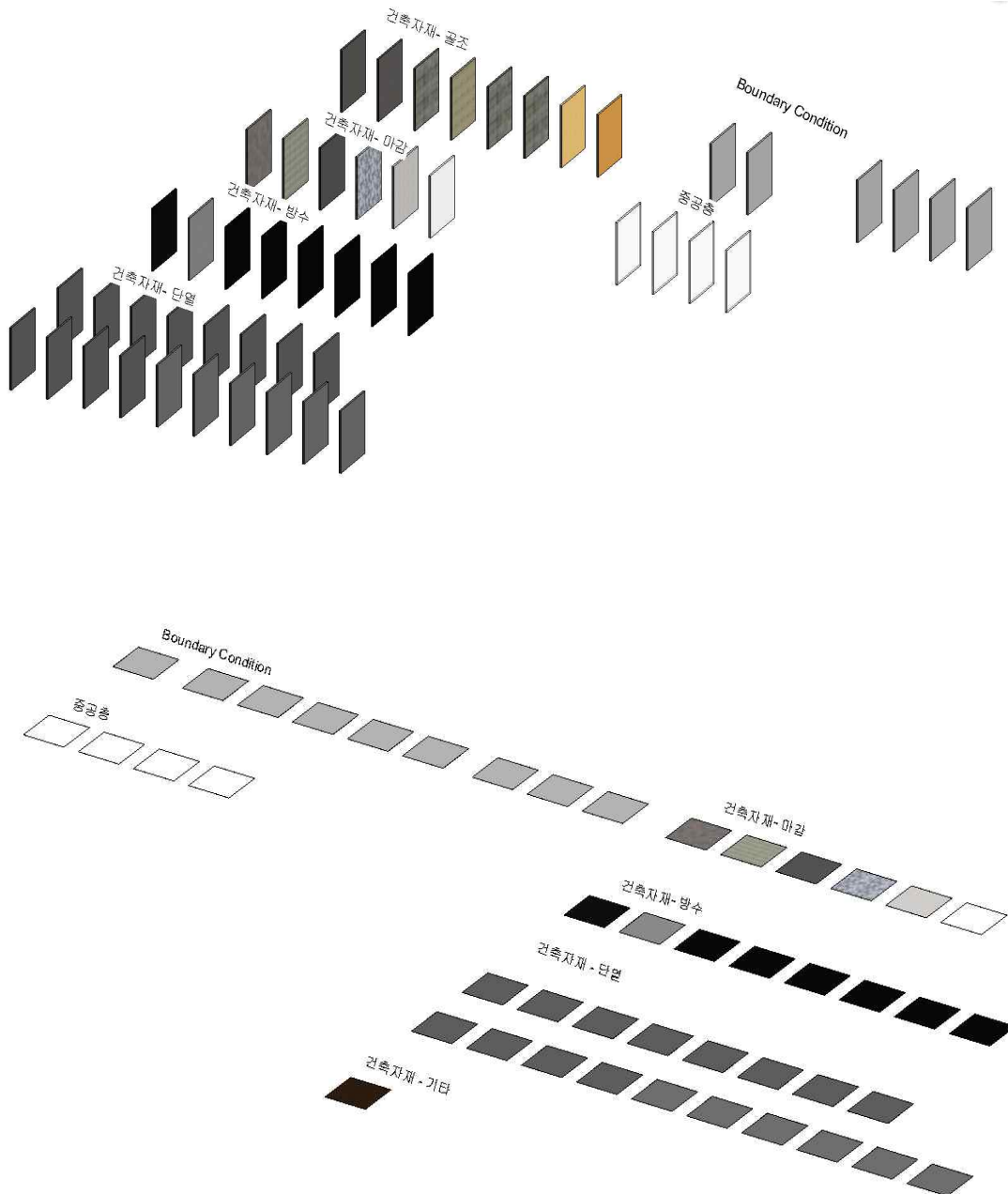


그림 3.39 단열·결로 BIM 라이브러리 개발

● 건축 객체

유형 특성

파일리(F): 시스템 파일리: 기본 벽

유형(T): EPLEPS_1-1

유형 매개변수

매개변수	값
구성	
구조	마무리하지 않음
인서트 부위 마무리	마무리하지 않음
플단부 마무리	없음
폭	100.0
기능	외부
그래픽	
거친 축적 채우기 패턴	흰색
거친 축적 채우기 색상	흰색
재료 및 마감재	
구조 재료	발포폴리스티렌보온재 비드보온판 E
ID 데이터	
에너지 해석	
Col.	23
Color	0.128,192
Type	MATERIAL
열전도율,E	0.036
방사율	0.9
재료 (Name)	EPLEPS_1-1
Name (강제이름)	
Temperature (표면기준온도)	
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	
CEN-rule	
Name_Physibel	
Name_Therm	
해석 특성	
열 전송 계수(U)	0.3600 W/(m²·K)

<< 미리보기(P) 확인 취소 적용

● Boundary Condition 객체

유형 특성

파일리(F): 시스템 파일리: 기본 벽

유형(T): EPLExterior_Indirect_External wall

유형 매개변수

매개변수	값
구성	
구조	마무리하지 않음
인서트 부위 마무리	마무리하지 않음
플단부 마무리	없음
폭	100.0
기능	외부
그래픽	
거친 축적 채우기 패턴	흰색
거친 축적 채우기 색상	흰색
재료 및 마감재	
구조 재료	실외조건 외기간접 거실외벽
ID 데이터	
에너지 해석	
Col.	43
Color	255,255,185
Type	BC_SIMPL
열전도율,E	-
방사율	-
재료 (Name)	-
Name (강제이름)	EPL_exterior_indirect_external wall
Temperature (표면기준온도)	5
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	9.09
CEN-rule	NIHL
Name_Physibel	
Name_Therm	
해석 특성	
열 전송 계수(U)	

<< 미리보기(P) 확인 취소 적용

● 중공층 객체

유형 특성

파일리(F): 시스템 파일리: 기본 벽

유형(T): 공장생산된 기밀제품 2cm 이하

유형 매개변수

매개변수	값
구성	
구조	마무리하지 않음
인서트 부위 마무리	마무리하지 않음
플단부 마무리	없음
폭	100.0
기능	외부
그래픽	
거친 축적 채우기 패턴	흰색
거친 축적 채우기 색상	흰색
재료 및 마감재	
구조 재료	공장생산된 기밀제품
ID 데이터	
에너지 해석	
Col.	53
Color	116,124,0
Type	EQUIMAT
열전도율,E	11.628
방사율	-
재료 (Name)	-
Name (강제이름)	-
Temperature (표면기준온도)	-
Film Coefficient, h (표면열전달계수)	-
CEN-rule	NIHL
Name_Physibel	frame cavity <=2cm
Name_Therm	Frame Cavity NFRC 100 - 2001
해석 특성	
열 전송 계수(U)	0.2500 W/(m²·K)

<< 미리보기(P) 확인 취소 적용

표 3.27 단열·결로 라이브러리 리스트

재료물성 총 73종			
No.	카테고리	유형명(재료명)	타입
1	기본 벽	EPI_asphalt	MATERIAL
2	바닥	EPI_asphalt	MATERIAL
3	기본 벽	EPI_asphalt felt 17kg	MATERIAL
4	기본 벽	EPI_asphalt felt 22kg	MATERIAL
5	기본 벽	EPI_asphalt felt 26kg	MATERIAL
6	기본 벽	EPI_asphalt roofing 17kg	MATERIAL
7	기본 벽	EPI_asphalt roofing 22kg	MATERIAL
8	기본 벽	EPI_asphalt roofing 30kg	MATERIAL
9	바닥	EPI_asphalt felt 17kg	MATERIAL
10	바닥	EPI_asphalt felt 22kg	MATERIAL
11	바닥	EPI_asphalt felt 26kg	MATERIAL
12	바닥	EPI_asphalt roofing 17kg	MATERIAL
13	바닥	EPI_asphalt roofing 22kg	MATERIAL
14	바닥	EPI_asphalt roofing 30kg	MATERIAL
15	기본 벽	EPI_cement brick	MATERIAL
16	기본 벽	EPI_concrete	MATERIAL
17	기본 벽	EPI_concrete block(heavy weight)	MATERIAL
18	기본 벽	EPI_concrete block(light weight)	MATERIAL
19	기본 벽	EPI_EPS_1-1	MATERIAL
20	바닥	EPI_EPS_1-1	MATERIAL
21	기본 벽	EPI_EPS_1-2	MATERIAL
22	바닥	EPI_EPS_1-2	MATERIAL
23	기본 벽	EPI_EPS_1-3	MATERIAL
24	바닥	EPI_EPS_1-3	MATERIAL
25	기본 벽	EPI_EPS_1-4	MATERIAL
26	바닥	EPI_EPS_1-4	MATERIAL
27	기본 벽	EPI_EPS_2-1	MATERIAL
28	바닥	EPI_EPS_2-1	MATERIAL
29	기본 벽	EPI_EPS_2-2	MATERIAL
30	바닥	EPI_EPS_2-2	MATERIAL
31	기본 벽	EPI_EPS_2-3	MATERIAL
32	바닥	EPI_EPS_2-3	MATERIAL
33	기본 벽	EPI_EPS_2-4	MATERIAL
34	바닥	EPI_EPS_2-4	MATERIAL
35	기본 벽	EPI_firebrick	MATERIAL
36	기본 벽	EPI_granite	MATERIAL
37	바닥	EPI_granite	MATERIAL
38	기본 벽	EPI_gypsum board	MATERIAL
39	바닥	EPI_gypsum board	MATERIAL
40	기본 벽	EPI_lightweight foamed concrete	MATERIAL
41	바닥	EPI_lightweight foamed concrete	MATERIAL
42	기본 벽	EPI_marble	MATERIAL
43	바닥	EPI_marble	MATERIAL
44	기본 벽	EPI_mortar	MATERIAL
45	바닥	EPI_mortar	MATERIAL
46	기본 벽	EPI_PE film	MATERIAL
47	바닥	EPI_PE film	MATERIAL
48	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_1-1	MATERIAL
49	바닥	EPI_rigid urethane foam_1-1	MATERIAL
50	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_1-2	MATERIAL
51	바닥	EPI_rigid urethane foam_1-2	MATERIAL
52	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_1-3	MATERIAL
53	바닥	EPI_rigid urethane foam_1-3	MATERIAL
54	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_2-1	MATERIAL
55	바닥	EPI_rigid urethane foam_2-1	MATERIAL

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	
56	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_2-2		MATERIAL				
57	바닥	EPI_rigid urethane foam_2-2		MATERIAL				
58	기본 벽	EPI_rigid urethane foam_2-3		MATERIAL				
59	바닥	EPI_rigid urethane foam_2-3		MATERIAL				
60	기본 벽	EPI_steel		MATERIAL				
61	기본 벽	EPI_tile		MATERIAL				
62	바닥	EPI_tile		MATERIAL				
63	기본 벽	EPI_wood(heavy weight)		MATERIAL				
64	기본 벽	EPI_wood(light weight)		MATERIAL				
65	기본 벽	EPI_XPS_1		MATERIAL				
66	바닥	EPI_XPS_1		MATERIAL				
67	기본 벽	EPI_XPS_2		MATERIAL				
68	바닥	EPI_XPS_2		MATERIAL				
69	기본 벽	EPI_XPS_3		MATERIAL				
70	바닥	EPI_XPS_3		MATERIAL				
71	기본 벽	EPI_XPS_S		MATERIAL				
72	바닥	EPI_XPS_S		MATERIAL				
73	바닥	ISO13370_ground		MATERIAL				

표 3.28 단열·결로 라이브러리 리스트

경계조건 15종			
No.	카테고리	유형명(재료명)	타입
1	기본 벽	Adiabatic	BC_SIMPL
2	바닥	Adiabatic	BC_SIMPL
3	기본 벽	EPI_exterior_direct_I	BC_SIMPL
4	바닥	EPI_exterior_direct_I	BC_SIMPL
5	기본 벽	EPI_exterior_direct_II	BC_SIMPL
6	바닥	EPI_exterior_direct_II	BC_SIMPL
7	기본 벽	EPI_exterior_direct_III	BC_SIMPL
8	바닥	EPI_exterior_direct_III	BC_SIMPL
9	바닥	EPI_exterior_indirect_ceiling or roof	BC_SIMPL
10	기본 벽	EPI_exterior_indirect_external wall	BC_SIMPL
11	바닥	EPI_exterior_indirect_lowest slab	BC_SIMPL
12	바닥	EPI_interior_ceiling or roof	BC_SIMPL
13	기본 벽	EPI_interior_external wall	BC_SIMPL
14	바닥	EPI_interior_floor slab	BC_SIMPL
15	바닥	EPI_interior_lowest slab	BC_SIMPL

표 3.29 단열·결로 라이브러리 리스트

중공층 8종			
No.	카테고리	유형명(재료명)	타입
1	바닥	공장 생산된 기밀제품 2cm 이하	EQUIMAT
2	바닥	공장 생산된 기밀제품 2cm 초과	EQUIMAT
3	기본 벽	공장생산된 기밀제품 2cm 이하	EQUIMAT
4	기본 벽	공장생산된 기밀제품 2cm 초과	EQUIMAT
5	기본 벽	현장시공 등 1cm 이하	EQUIMAT
6	바닥	현장시공 등 1cm 이하	EQUIMAT
7	기본 벽	현장시공 등 1cm 초과	EQUIMAT
8	바닥	현장시공 등 1cm 초과	EQUIMAT

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

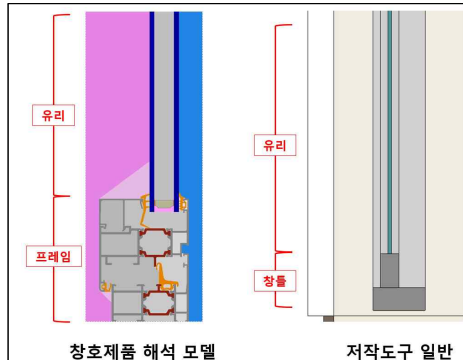
[빈 페이지]

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

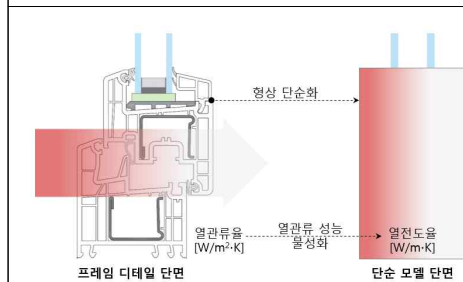
연구목표	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계)
연구내용	(1) 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발 (창호, 문)
연구기관	미래환경플랜(주)
수행연도	2차년도

연구결과

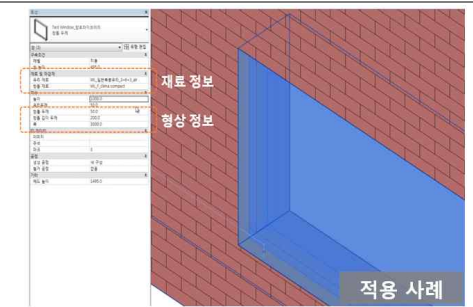
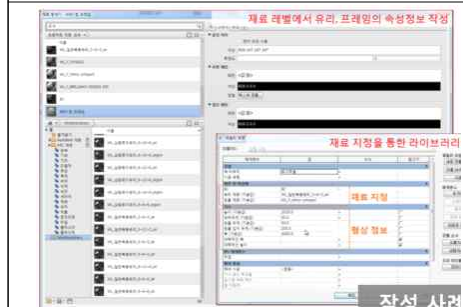
1. 창호 라이브러리의 구성 : 창유리 + 창 프레임



- 국토교통부 고시 「공동주택 결로방지 위한 상세도 가이드라인」에서 제시하는 창호 모델링 방식 : 유리 + 단순 모델형 프레임
- BIM 실무 시 창호 및 문 제품의 디테일한 형상이 아닌, 단순 모델을 활용함
∴ 디테일 모델의 열관류율을 통해 단순 모델의 상당열관류율을 산출하여 열전도율을 변수로 입력함

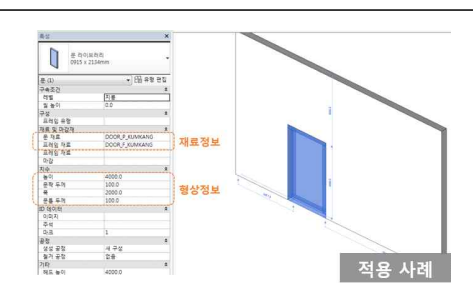
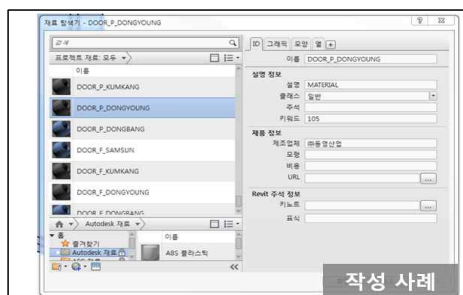


- 제품마다 다양한 단면을 가지는 창 프레임을 박스 형태로 단순 모델링할 경우, 형상정보는 단순 모델에 대한 열전도율을 도출하기 위해 디테일한 형상의 전체 두께를 평균화하고, 제품에서 제시하는 프레임의 열관류율 값에 대해 열관류율 산출 공식을 역산하여 해당 프레임만의 열전도율 값을 도출함



2. 문 라이브러리의 구성 : 문짝 + 문 프레임

- 방화문의 경우 프레임과 문짝이 다음과 같이 철재가 단열재를 감싸는 형태로 이루어지기 때문에 총 관류율에서 실내외 저항을 제외한 열관류율 값을 산출한 후, 프레임과 문짝을 구성하는 복합 재료를 단일 물성의 재료로 가정하여 해당 두께에 대한 재료의 열전도율로 산출함



관련 성과물

- 보고서 1건
 - 단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리 (창호, 문)
- 창호 라이브러리 : 창유리 23종, 창 프레임 25종
- 문 라이브러리 : 문짝 4종, 문 프레임 4종

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(1) 2차년도 변경사항

(가) 복합 구조체 모델링 작업 방식으로 인한 데이터 입력방식 변경

- BIM 모델링 실무 시에는 주로 구조, 단열, 내외장 마감에 대하여 복합벽체를 구성하여 모델링이 진행되므로 기존에 구축한 각 구조체 유형에 대한 속성정보입력데이터 레벨이 아닌, 복합벽체를 구성하는 재료 데이터입력 레벨에서 단열·결로 해석을 위한 데이터가 추가되어야 실무 적용이 가능하므로 라이브러리의 형식을 변경하였음

건축 자재 요구정보 DB

재료 구분	재료 (Name)	Col.	Type	열전도율, E (Conductivity) W/mk	방사율 (Emissivity)	Color
구조	EPI 강재	1	MATERIAL	53	0.9	119,87,87
	EPI 콘크리트(2.24)	2	MATERIAL	1.6	0.9	144,176,176
	EPI 시멘트 벽돌	3	MATERIAL	0.6	0.9	128,128,128
	EPI 벽돌 벽돌	4	MATERIAL	0.99	0.9	233,0,128
	EPI 콘크리트 블록(중형)	5	MATERIAL	0.7	0.9	0,32,0
	EPI 콘크리트 블록(중형)	6	MATERIAL	1	0.9	0,64,0
	EPI 목재(중형)	7	MATERIAL	0.14	0.9	117,67,31
마감	EPI 목재(중형)	8	MATERIAL	0.15	0.9	88,77,50
	EPI 시멘트 모르타르(1.3)	9	MATERIAL	1.4	0.9	32,128,255
	EPI 경량콘크리트 모르타르(1.3)	10	MATERIAL	0.19	0.9	78,128,128
	EPI 타일	11	MATERIAL	1.3	0.9	106,133,26
	EPI 대리석	12	MATERIAL	2.8	0.9	187,155,187
	EPI 대리석	13	MATERIAL	3.3	0.9	0,32,151
	EPI 대리석	14	MATERIAL	0.19	0.9	231,199,231
방수	EPI 아스팔트	15	MATERIAL	0.13	0.9	255,0,223
	EPI PE 필름	16	MATERIAL	0.01	0.9	116,156,32
	EPI 아스팔트 필름 17kg	17	MATERIAL	0.11	0.9	168,32,52
	EPI 아스팔트 필름 22kg	18	MATERIAL	0.14	0.9	168,32,52
	EPI 아스팔트 필름 26kg	19	MATERIAL	0.22	0.9	255,0,223
	EPI 아스팔트 필름 17kg	20	MATERIAL	0.19	0.9	231,199,231
	EPI 아스팔트 필름 22kg	21	MATERIAL	0.27	0.9	95,95,127
단열	EPI 아스팔트 필름 30kg	22	MATERIAL	0.34	0.9	187,167,155
	EPI EPS 1-1	23	MATERIAL	0.036	0.9	0,128,152
	EPI EPS 1-2	24	MATERIAL	0.037	0.9	0,108,153
	EPI EPS 1-3	25	MATERIAL	0.04	0.9	0,82,121
	EPI EPS 1-4	26	MATERIAL	0.043	0.9	0,55,79
	EPI EPS 2-1	27	MATERIAL	0.031	0.9	0,138,138
	EPI EPS 2-2	28	MATERIAL	0.032	0.9	57,117,117
	EPI EPS 2-3	29	MATERIAL	0.033	0.9	39,75,75
	EPI EPS 2-4	30	MATERIAL	0.034	0.9	0,51,51
	EPI XPS 5	31	MATERIAL	0.027	0.9	255,128,192
	EPI XPS 1	32	MATERIAL	0.028	0.9	255,38,147
	EPI XPS 2	33	MATERIAL	0.029	0.9	255,0,255
	EPI XPS 3	34	MATERIAL	0.031	0.9	162,0,162
	EPI rigid urethane foam 1-1	35	MATERIAL	0.024	0.9	0,0,160
	EPI rigid urethane foam 1-2	36	MATERIAL	0.024	0.9	128,128,255
	EPI rigid urethane foam 1-3	37	MATERIAL	0.025	0.9	255,255,111
	EPI rigid urethane foam 2-1	38	MATERIAL	0.023	0.9	190,190,0
	EPI rigid urethane foam 2-2	39	MATERIAL	0.023	0.9	121,121,0
	EPI rigid urethane foam 2-3	40	MATERIAL	0.024	0.9	255,255,0
기타	토양	41	MATERIAL	0.9	0.9	115,77,65

↓

A,B,C,D,E

그림 3.40 기존 단일구조체 입력 방식에 따른 라이브러리 작성방법

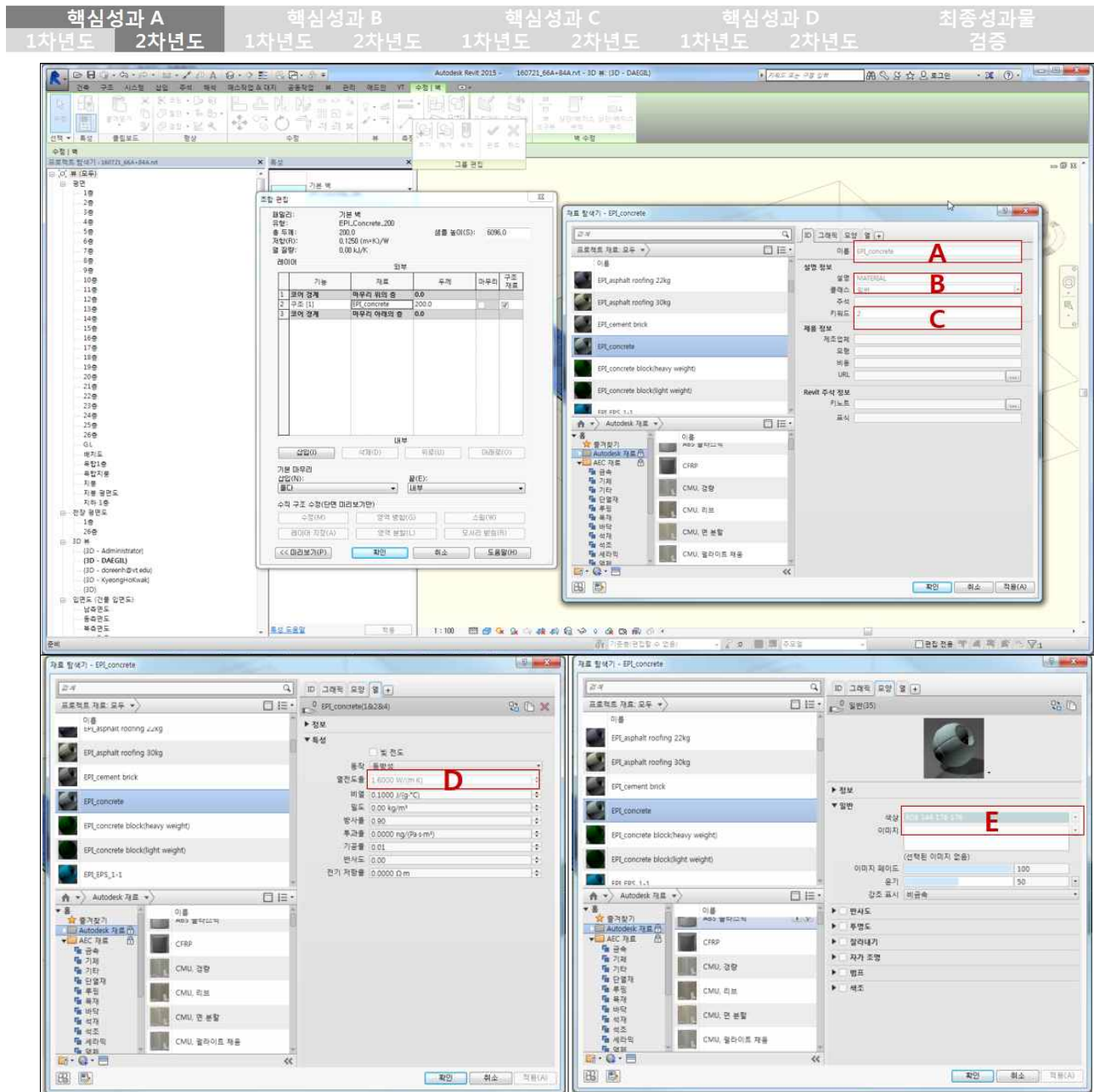


그림 3.41 복합구조체 입력 방식에 따른 재료레벨을 활용한 라이브러리 작성방법

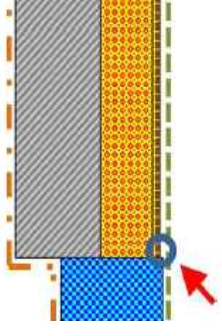
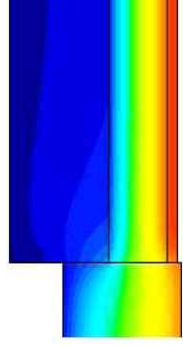
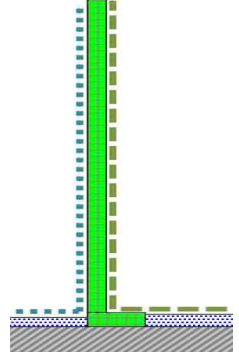
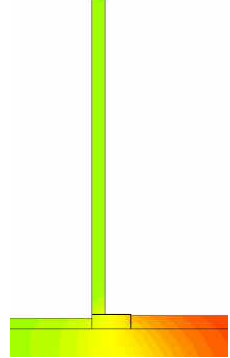
(3) 창호 및 문 라이브러리 작성

- 1차년도에 단열·결로 시뮬레이션 프로그램에 직접적으로 적용 가능한 BIM 라이브러리 작성을 위해 저작도구 상에서 구조체 모델링 시 요구되는 속성정보데이터를 정의하여 재료물성 41종, 경계조건 11종, 중공층 4종에 관한 라이브러리를 구축하였음. 2차년도에는 추가적으로 BIM 저작도구의 창호 및 문 모델의 직접적인 활용을 위한 라이브러리를 구축하였음
- 창호 및 문 제품의 정확한 단열·결로 성능 평가 시에는 실제 프레임의 디테일한 형상 및 속성, 유리에 대한 형상 및 속성 정보를 활용하여 분석이 이루어짐

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 건물 구조체에서 개구부와 벽체 접합부의 경우 구조적인 열교로 인해 주요 결로 발생 부위로 분류되나 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인 (국토교통부, 2014.05.07.)에서 예시로 수행한 모델링 구현 방식은 실제 창호 프레임 형상이 아닌, 프레임을 박스 형태로 모델링하여 총 열관류율에서 실내외 저항을 제외한 열관류율 값을 산출하여 해당 프레임 두께에 대한 열전도율로 산출(역산)하는 간략한 방식으로 TDR을 평가함

표 3.30 공동주택 결로방지를 위한 상세도 가이드라인에서 제시하는 창호 모델링

							
벽체-창호 접합부 평가				베란다 창호 모델링 모습			

- 현재 BIM 모델링 실무에서 창호 및 문 제품의 모델링 시 프레임의 경우 위와 같은 간략한 모델로 작성되므로 BIM데이터를 시뮬레이션 프로그램에서 직접적으로 활용되기 위한 라이브러리는 간략한 모델에 적합한 형태로 제시되어야함
- 그러나 창호의 경우, 총 열관류율 값을 활용하여 두께에 대해 각 구성부분 (유리, 프레임)의 열전도율로 산출하는 방법은 실제 성능과의 오차가 큰 점을 고려하여 본 연구에서는 해당 오차를 최소화하기 위해 창호의 주된 구성부분인 유리 와 프레임에 대해 각각 재료 및 두께 성능에 따른 속성정보 DB를 구축하였음
- 유리의 경우 일반복층유리, 복층로이유리, 삼중로이유리에 대해 각각 유리층, 가스층의 종류 및 두께에 따른 열전도율을 THERM 프로그램을 통해 시뮬레이션 분석 값을 라이브러리의 입력 값으로 활용함
- 프레임의 경우 ISO 10077에서 제시하는 형상의 조건에 따른 열관류율 및 두께, 그 외에 제조사별 제품군에 대한 두께 및 열관류율 정보를 이용한 역산을 통해 열전도율을 도출하여 라이브러리의 입력 값으로 활용함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

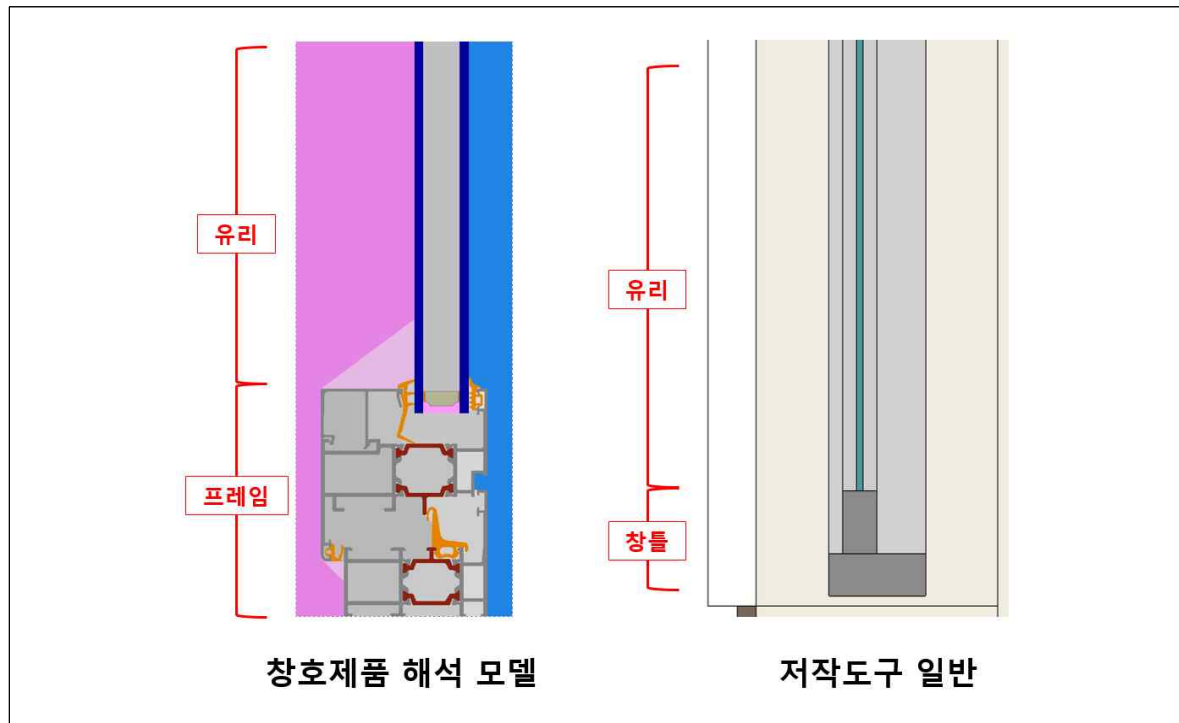


그림 3.42 창호 제품의 해석 모델과 BIM실무에서의 창호 모델

(4) 창호 및 문 라이브러리 구성

(가) 창호 라이브러리 구성

1) 창 유리 열전도율 도출

- 창유리의 경우, THERM&WINDOW 프로그램을 통한 시뮬레이션 값을 활용하여 유리의 열관류율을 산출함. 유리의 층 구성, 가스층의 종류, 두께의 물리적 특성과 일반적인 유리 제품에 대한 태양광선, 가시광선, 적외선에 대한 투과율, 반사율, 방사율을 설정하여 열관류율을 도출함

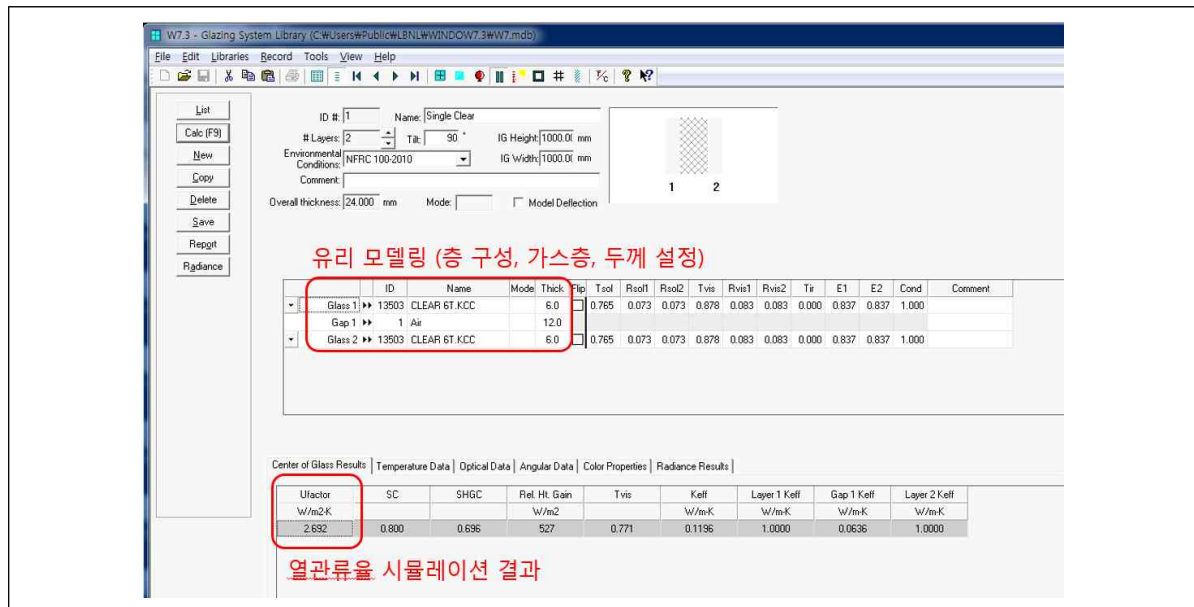


그림 3.43 WINDOW 프로그램을 통한 유리의 열관류율 시뮬레이션 분석

- 시뮬레이션을 통해 분석된 창유리의 열관류율을 통해 다음 식과 같이 열관류율 역산을 통해 설정된 창유리만의 열전도율 값을 도출함

$$\text{유리 열전도율 } [W/mK] = \frac{\text{유리두께 } [m]}{\left(\frac{1}{\text{열관류율 } [W/m^2K]} - \text{실내 열저항 } [m^2K/W] - \text{실외 열저항 } [m^2K/W] \right)}$$

2) 창 유리 라이브러리 구축

- 1차년도에 구축된 재료 라이브러리의 매개변수와 같이 재료명, Col.(PHYSIBEL의 재료 설정변수), Type (PHYSIBEL의 모델 속성변수), 열전도율, Color (PHYSIBEL의 그래픽변수)를 설정함. 또한, 지정된 창유리 두께를 형상정보에 입력하여 창유리에 관한 라이브러리 데이터를 구축함

매개변수					창유리 두께 [m]
재료명	Col.	Type	열전도율 [W/m·K]	Color(RGB)	
일반복층유리_3+6+3_air	57	MATERIAL	0.073	212,231,244	0.012
일반복층유리_5+6+5_air	58	MATERIAL	0.096	179,197,209	0.016
일반복층유리_5+8+5_air	59	MATERIAL	0.095	186,210,226	0.018
일반복층유리_6+6+6_air	60	MATERIAL	0.106	152,199,230	0.018
일반복층유리_6+8+6_air	61	MATERIAL	0.104	140,177,201	0.020
일반복층유리_5+12+5_air	62	MATERIAL	0.102	140,202,243	0.022
일반복층유리_6+12+6_air	63	MATERIAL	0.110	122,197,246	0.024
복층로이유리_6+8+6_air	64	MATERIAL	0.041	142,186,215	0.020
복층로이유리_6+10+6_air	65	MATERIAL	0.040	84,178,240	0.022
복층로이유리_6+12+6_air	66	MATERIAL	0.040	104,176,224	0.024
복층로이유리_6+14+6_air	67	MATERIAL	0.043	143,205,245	0.026
복층로이유리_6+8+6_argon	68	MATERIAL	0.033	193,225,246	0.020

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증	
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도		
	복층로이유리_6+10+6_argon	69		MATERIAL		0.032		159,205,235	0.022
	복층로이유리_6+12+6_argon	70		MATERIAL		0.033		205,222,233	0.024
	복층로이유리_6+14+6_argon	71		MATERIAL		0.036		213,234,247	0.026
	삼중로이유리_6+8+6_air	72		MATERIAL		0.025		168,215,246	0.020
	삼중로이유리_6+10+6_air	73		MATERIAL		0.023		217,233,243	0.022
	삼중로이유리_6+12+6_air	74		MATERIAL		0.023		158,211,246	0.024
	삼중로이유리_6+14+6_air	75		MATERIAL		0.023		172,203,224	0.026
	삼중로이유리_6+8+6_argon	76		MATERIAL		0.019		216,231,241	0.020
	삼중로이유리_6+10+6_argon	77		MATERIAL		0.018		187,227,253	0.022
	삼중로이유리_6+12+6_argon	78		MATERIAL		0.018		144,208,251	0.024
	삼중로이유리_6+14+6_argon	79		MATERIAL		0.018		164,213,245	0.026

표 3.31 단열·결로 평가를 위한 창 유리 속성 라이브러리

(3) 창 프레임 열전도율 도출

- 제품마다 다양한 단면을 가지는 창 프레임을 박스 형태로 단순 모델링할 경우, 형상정보는 단순 모델에 대한 열전도율을 도출하기 위해 디테일한 형상의 전체 두께를 평균화하고, 제품에서 제시하는 프레임의 열관류율 값에 대해 열관류율 산출 공식을 역산하여 해당 프레임만의 열전도율 값을 도출함

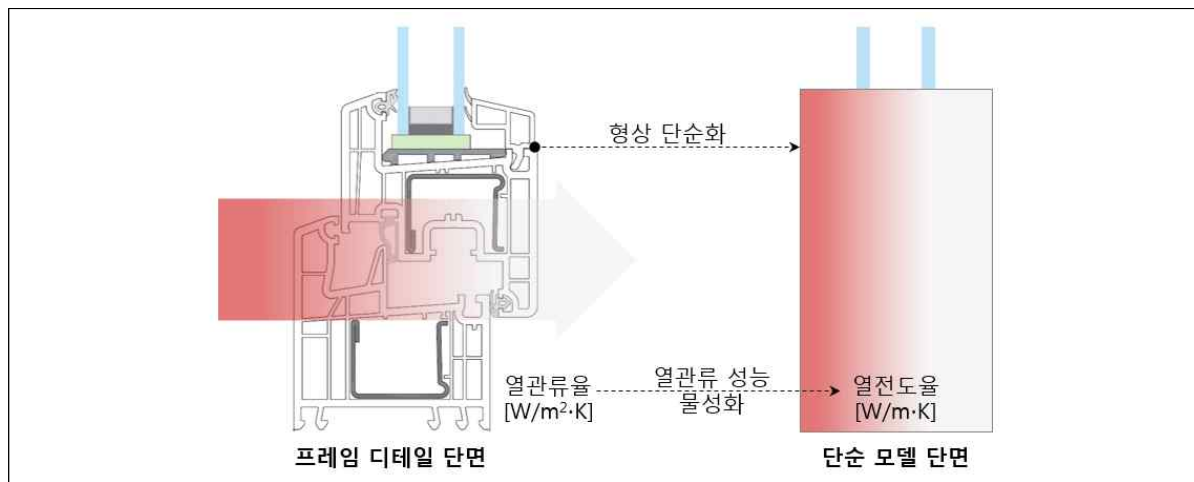


그림 3.44 형상 단순화에 따른 단순 모델의 상당열관류율 활용

(4) 창 프레임 라이브러리 구축

- 1차년도에 구축된 재료 라이브러리의 매개변수와 같이 재료명, Col.(PHYSIBEL의 재료 설정변수), Type (PHYSIBEL의 모델 속성변수), 열전도율, Color (PHYSIBEL의 그래픽 변수)를 설정함. 또한, 프레임 두께를 형상정보에 입력하여 프레임에 대한 라이브러리 데이터를 구축함

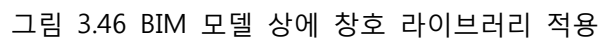
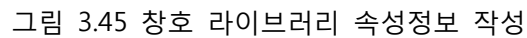
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

• 창 프레임 라이브러리 작성

재료명	제조사	매개변수				프레임 두께 [m]
		Col.	Type	열전도율 [W/m·K]	Color(RGB)	
uPVC2hollowchamber	ISO 10077 Standard	80	MATERIAL	0.176	217,216,215	0.050
uPVC 3 hollow chamber	ISO 10077 Standard	81	MATERIAL	0.152	226,221,215	0.050
Wood (50mm Hardwood)	ISO 10077 Standard	82	MATERIAL	0.203	153,113,61	0.050
Wood (50mm Softwood)	ISO 10077 Standard	83	MATERIAL	0.152	148,98,34	0.050
THERMO-DESIGN	REHAU	84	MATERIAL	0.127	226,223,218	0.060
BRILLANT-DESIGN	REHAU	85	MATERIAL	0.114	232,231,229	0.070
BRILLANT-DESIGN MD	REHAU	86	MATERIAL	0.130	239,238,236	0.080
SYNEGO	REHAU	87	MATERIAL	0.088	250,249,247	0.080
Alcoa RT 82 HI+	AlcoaArchitectuurs ystemen	88	MATERIAL	0.104	225,219,212	0.116
Alto Nova 0.74 System 10+12	Hubert Fosoder e.U.	89	MATERIAL	0.108	245,237,227	0.130
BADER PASSIV BOIS-ALU 112	MENUISERIEBADE R	90	MATERIAL	0.100	241,236,231	0.107
BLUEGREEN Plus	TROHA-DILd.o.o.	91	MATERIAL	0.113	233,230,227	0.124
clima compact	Pollmann&Renken GmbH	92	MATERIAL	0.116	227,228,233	0.131
Delta plus cold climate	dPHt,deutschePAS SIVHAUstransfer	93	MATERIAL	0.060	220,221,224	0.100
DW-plus XPS	WIEGANDFensterb au	94	MATERIAL	0.123	229,230,235	0.137
eCo2	profine GmbH, Kömmerring Kunststoffe	95	MATERIAL	0.115	240,242,247	0.138
MAKROWIN 88 G2	Makrowins.r.o.	96	MATERIAL	0.111	213,215,219	0.131
Passiv 115	BeijingMilanWindo wEnergySavingBuil dingMaterialsCo.,Lt d	97	MATERIAL	0.110	227,232,246	0.119
QUESTY	PierretSystem	98	MATERIAL	0.098	232,238,253	0.118
smartwin	proPassivhausfenst erGmbH	99	MATERIAL	0.067	214,215,218	0.086
Synergist	Casagrande Woodworks, Inc.	100	MATERIAL	0.092	205,205,207	0.098
The Vale Passive Window	ValePassiveWindo wPartnershipLtd.	101	MATERIAL	0.112	222,223,224	0.128
UDOBJE E112	MSORAd.d.	102	MATERIAL	0.090	222,226,235	0.111
VADB-Plus 550	HilzingerFBSGmbH	103	MATERIAL	0.053	190,193,199	0.075
VÖRDE-Passivhausfen ster	H.BuckGmbH	104	MATERIAL	0.102	168,168,168	0.126

표 3.32 단열·결로 평가를 위한 창 프레임 속성 라이브러리

(5) 창호 라이브러리 작성 예시



핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(나) 문 라이브러리 구성

- 방화문의 경우 프레임과 문짝이 다음과 같이 철재가 단열재를 감싸는 형태로 이루어지기 때문에 총 관류율에서 실내외 저항을 제외한 열관류율 값을 산출한 후, 프레임과 문짝을 구성하는 복합 재료를 단일 물성의 재료로 가정하여 해당 두께에 대한 재료의 열전도율로 산출함

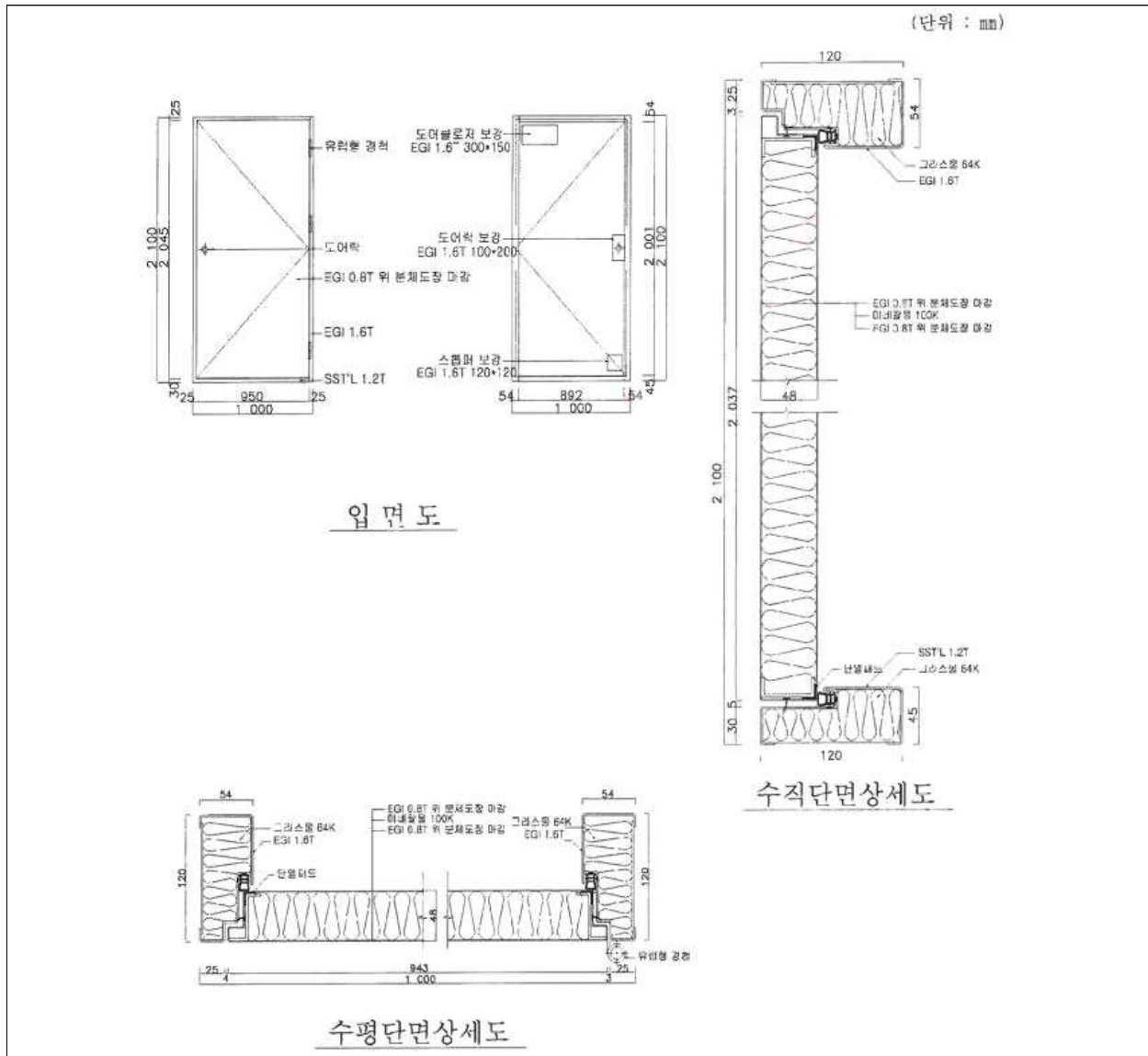


그림 3.47 방화문 단면 상세도 예시

- 1차년도에 구축된 재료 라이브러리의 매개변수와 같이 재료명, Col.(PHYSIBEL의 재료 설정변수), Type (PHYSIBEL의 모델 속성변수), 열전도율, Color (PHYSIBEL의 그래픽변수)를 설정함. 또한, 문짝과 문 프레임의 두께를 형상정보에 입력하여 각각의 라이브러리 데이터를 구축함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

매개변수						문짝 두께 [m]
재료명	제조사	Col .	Type	열전도율 [W/m·K]	Color (RGB)	
DOOR PANEL	A 사	105	MATERIAL	0.0528	166,185,222	0.040
	B 사	106	MATERIAL	0.0621	166,185,223	0.045
	C 사	107	MATERIAL	0.0696	166,185,224	0.050
	D 사	108	MATERIAL	0.0705	166,185,225	0.053

표 3.33 단열·결로 평가를 위한 문짝 속성 라이브러리

매개변수						문 프레임 두께 [m]
재료명	제조사	Col .	Type	열전도율 [W/m·K]	Color (RGB)	
DOOR FRAME	A 사	109	MATERIAL	0.1584	83,120,193	0.120
	B 사	110	MATERIAL	0.138	83,120,194	0.100
	C 사	111	MATERIAL	0.139	83,120,195	0.100
	D 사	112	MATERIAL	0.133	83,120,196	0.100

표 3.34 단열·결로 평가를 위한 문 프레임 라이브러리

- 문 라이브러리 작성 예시

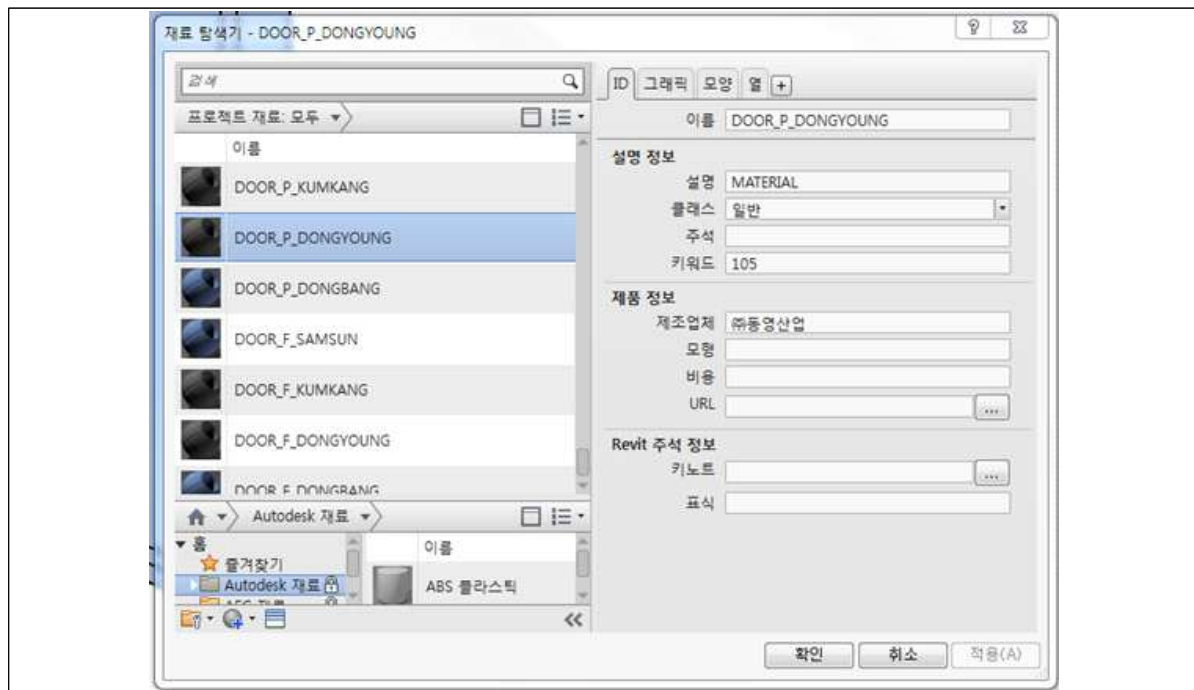


그림 3.48 문 라이브러리 속성정보 작성

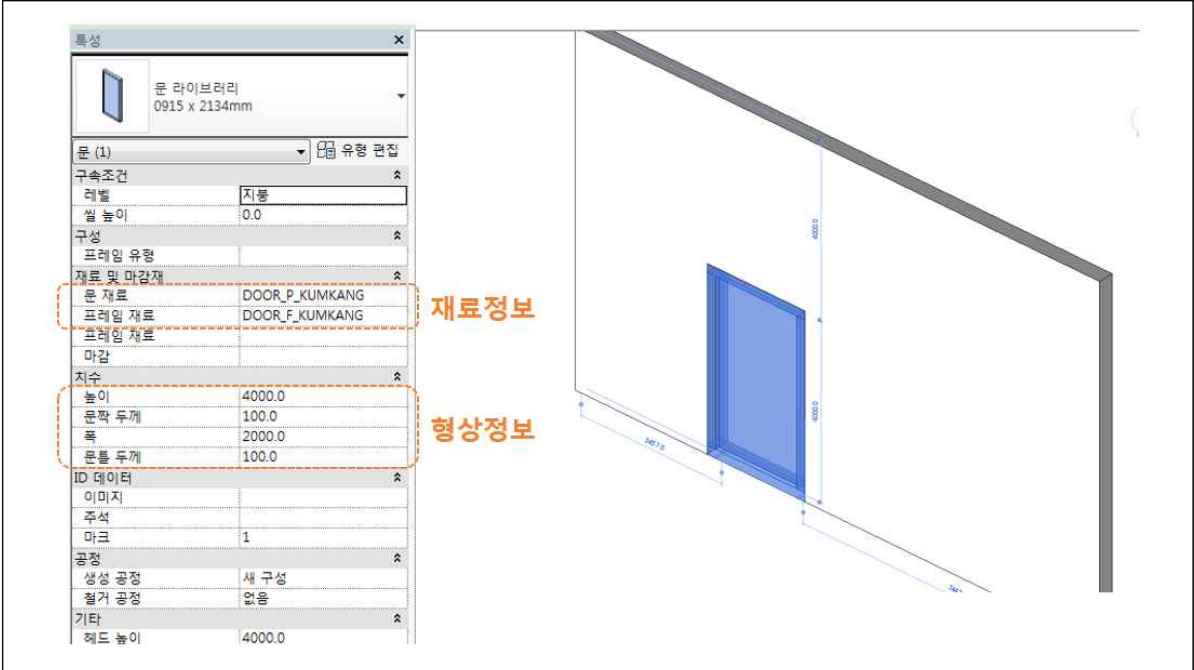


그림 3.49 BIM 모델 상에 문 라이브러리 적용

(5) 결 론

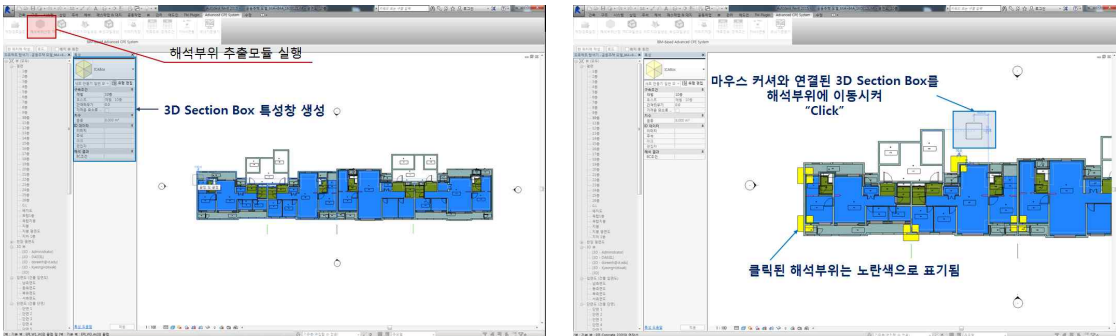
- 이상의 연구를 통해 구축된 BIM 데이터를 활용한 단열·결로 해석을 위한 라이브러리는 1차년도에 구축된 일반 재료 물성에 관한 라이브러리 73종, 경계조건 모델에 관한 라이브러리 15종, 중공층 라이브러리 8종과 2차년도에 추가된 창 및 문에 관한 라이브러리 56종임

1 차년도		2 차년도		
재료 물성	73종	창	창유리	23종
경계조건 모델	15종		창 프레임	25종
중공층	8종	문	문짝	4종
			문 프레임	4종

표 3.35 단열·결로 평가를 위한 라이브러리 작성 현황

나. 핵심성과 B : 단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈

핵심성과	B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈 개발
단위성과	B-1	단열·결로 예측부위 정의 알고리즘을 바탕으로 분석범위 및 결로 예측부위 설정 자동화
	B-2	BIM모델에 포함된 부위, 위치, 재료정보 추출
	B-3	정보를 기반으로 *.xml 포맷의 Graphic Data와 *.ifc 포맷의 Meta Data파일 추출

연차	연구목표	연구내용	단위성과 구분
1차년도	BIM 모델 단열·결로 예측부위 정의 기술 개발	(1) 기존 단열·결로 Project 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB구축 (2) BIM 모델을 이용한 결로 예측부위 정의 알고리즘 개발	B-1
1차년도 결과		- BIM 모델러의 작업방식에 따라 객체 구성방식이 다양하므로 가장 일반적인 모델링 방식을 고려하여 개발방향을 설정하고 이를 BIM 모델링 가이드라인으로 제공할 필요가 있음 - BIM 소프트웨어 자체의 객체 구성방식이 전열해석 프로그램과 상이하므로 이를 100% 고려하여 개발하는 것은 불가능한 실정임. 일부 수작업을 고려하여 보다 정확한 정보의 추출과 효율성향상을 고려한 적정기술이 요구됨 - 추출 모듈 개발 대상선정: 본 연구에서는 해석부위를 3D로 모델링하여 시각적으로 이해도를 높이고 우각부의 해석이 가능하며 열관류율을 세부적으로 표현할 수 있는 전열해석프로그램으로 ISO 10211 기준에 따라 모델링을 구현할 수 있으며 유럽 및 미국 등에서 활발히 사용되고 있는 Physibel을 대상으로 개발을 수행함	
2차년도	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발	(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 (2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출 구조 분석 (3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발	B-2 B-3
최종 결과물		[BIM 해석부위 추출 모듈 실행 화면]  단열결로 성능분석이 필요한 해석부위에 마우스 컨트롤을 통해 3D section box를 위치시켜 “원-클릭”으로 해당부위의 형상 및 속성정보를 추출할 수 있는 모듈	
관련 성과물	구분	질적 성과	양적 성과
	1차년도	보고서 2건	특허출원 1건
	2차년도	보고서 3건(Data file 2건)	특허출원 1건 S/W 등록 1건 국내 학술발표 1건

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

연구목표	단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발							
연구내용	(1) 기존 단열·결로 PROJECT 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB 구축 (2) BIM 모델을 이용한 결로 예상부위 정의 알고리즘 개발							
연구기관	(주)연우테크놀로지							
연구기간	1차년도							
연구결과	-단열·결로 분석을 위한 BIM 객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑 -친환경 분야 BIM 적용 연구논문 및 실 BIM 프로젝트 수행사례를 분석하여 BIM기반 단열·결로 해석을 위한 형상 및 정보, 모델링 수준을 정의하였음 -정의된 내용을 기반으로 전열해석 정보를 BIM 객체에 맵핑하여 입력할 수 있는 기술을 개발함 -층지정 / 평면IMPORT / SECTION 설정 / 요구위치 POINTING / SECTION 크기 설정 / 3D SECTION BOX 생성의 순으로 예상부위 추출 알고리즘을 최종 개발함 <pre> graph TD Start([start]) --> Level[Required Level Selection] Level --> Import[Import Plan] Import --> Design[Multi-designation the required spot] Design --> Control[SectionBox control by boundary condition] Control --> Extract[Extracting each Section view of required Part] Extract --> End([end]) </pre>							
관련 성과물	- 특허 출원 1건 - BIM기반의 건축물의 단열 및 결로 해석 평가 시스템 및 그 방법 - 보고서 2건 - BIM기반 단열·결로 분석을 위한 단열·결로 예측부위 정의보고서 - BIM기반 단열·결로 분석을 위한 단열·결로 예측부위 설정자동화 알고리즘 개발보고서							

(1) 기존 단열.결로 Project 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB구축

(가) 친환경 분석시 요구되는 BIM 모델의 LOD 사례분석

- BIM모델 구축을 위한 세밀도(LOD) 기준설정에 관한 연구_한양대학교 대학원_배경진 _2011년 8월
 - ① 에너지 분석 프로그램 중‘ECOTECT’ 프로그램으로 설정
 - ② 특징 : 초기설계단계에서 설계자들이 쉽게 건물의 에너지를 분석하고 데이터를 쉽게 취득할 수 있음
 - ③ ECOTECT의 건물 재질설정을 위한 구성요소 단위

표 3.36 ECOTECT의 건물 재질설정을 위한 구성요소 단위

	건축구성요소
재질설정	층, 벽, 천장, 지붕, 파티션(내벽), 창문, 패널, 문
건물 모델링 표현	면

- ④ ECOTECT를 통한 건물의 에너지 분석항목

표 3.37 에너지 분석항목에 따른 LOD 기준 및 표현수준

분석항목	세부항목	표현범위	
		LOD 단계	표현특징
Solar Analysis	- 건물의 개구부 및 표면에 전달되는 복사에너지 계산 및 시각화 - 설계된 건물주변의 공간에 대해 태양에너지의 가용성 계산가능	LOD2	- 도시차원에서의 건물 표현 - 주변대지 및 건물 모습 표현 - 면적인 매스형태로 표현
Prevailing Winds	시간단위의 날씨정보를 이용하여 현재 모델링된 건물에서의 바람속도와 방향 표현가능	LOD2	- 도시차원에서의 건물 표현 - 주변대지 및 건물 모습 표현 - 면적인 매스형태로 표현
Shadows Reflections	- 특정위치와 시간을 정의하면 Sun Path Diagram 과 음영변화 예측가능 - 시간단위의 일간변화 또는 월단위의 연간변화로 표현가능 - 일부분, 혹은 단면/평면상의 변화에 대해서도 표현가능	LOD2	- 주변대지 및 건물모습 표현 - 면적인 매스형태로 표현 2차원 도면상의 공간구성 표현

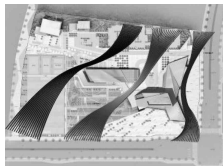
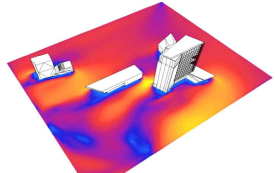
표 3.38 에너지 분석항목에 따른 LOD 기준 및 표현수준

분석항목	세부항목	표현범위	
		LOD 단계	표현특징
Shading Design	- 차광장치 또는 일사에 대한 차단이 효과적인 건물을 디자인하는 목적 - 일사장치등에 일정한 단면을 취해 빛의 흐름과 입사각등을 시각화하여 표현	LOD3	- 전체적인 건물모습 표현 - 창문 및 출입구 위치/ 크기 표현 - 차양장치의 디테일(종류) 표현
Light Analysis	- Daylighting analysis - Artificial Lighting 실내외의 한 부분에 대해 조도를 지정해주면 각 부분에서 일사량을 계산하고 시각화하여 전달	LOD4	- 내 벽 및 내부단위공간계획 표현 - 단위공간크기 및 위치 표현
Thermal Analysis	외피 단열효과, 실내온도변화, 내부발열량, 외부손실량, 쾌적범위계산 등 건물 연간 에너지부하량과 관련된 시뮬레이션	LOD5	- 내/외부의 벽, 바닥, 천정 및 단열재를 포함한 마감재 표현 (재질/종류) - 건물내부 단위공간구성 표현 - 조명/설비기구의 위치 및 종류표현

• KDN 본사사옥 건립공사 사례조사

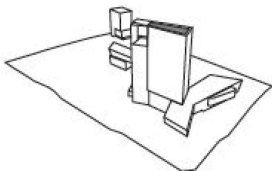
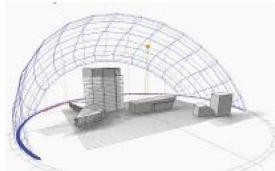
① 기류분석

표 3.39 기류분석의 LOD 단계 및 표현수준

LOD단계	표현수준	표현모습	분석모습
LOD2	- 도시차원에서의 건물 표현 - 주변대지 및 건물표현 - 면적인 매스형태로 표현		

② 일영분석

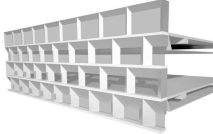
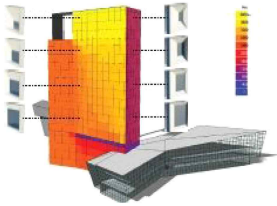
표 3.40 일영분석의 LOD 단계 및 표현수준

LOD단계	표현수준	표현모습	분석모습
LOD2	- 전체적인 건물모습 면적인 매스형태로 표현 - 건물 구성요소의 디테일한 표현은 요구되지 않음		

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

③ 외피일사량 분석

표 3.41 외피일사량분석의 LOD 단계 및 표현수준

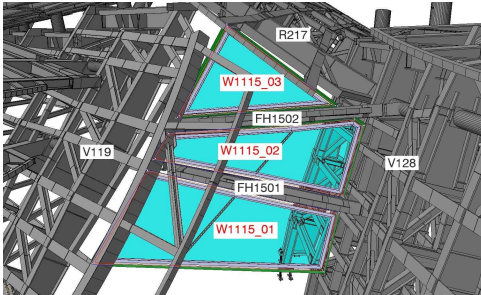
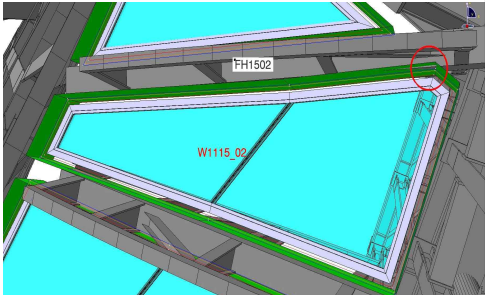
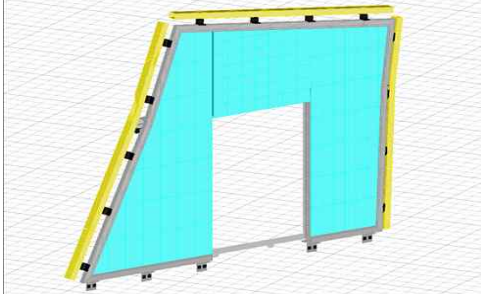
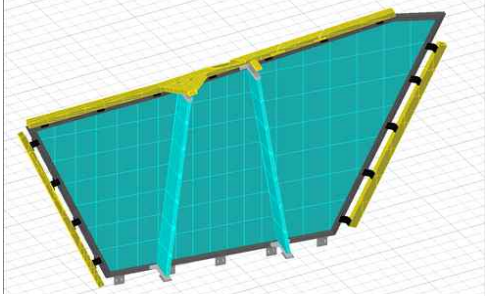
LOD단계	표현수준	표현모습	분석모습
LOD5	• 건물의 구성요소가 적용된 전체적인 건물모습 표현 • 건물의 단위공간으로 표현범위가 좁혀짐 • 공간을 구성하는 구성요소의 구체적인 부분까지 표현	 	

- 카타르 국립중앙박물관 BIM설계 프로젝트 사례조사

① 단계별 업무내용

구분	계획	기본	실시	시공
파라메트릭 디자인				●
오토메이션				●
협업지원/시각검토				●
품질검토/간섭검토				●
수량기초데이터 산출				●
설계도서				●
디지털목업				●

② 모델링 상세 이미지

구분	단면구조		표현방 법
시공 단계			골조 + 창호 + 하지재
			

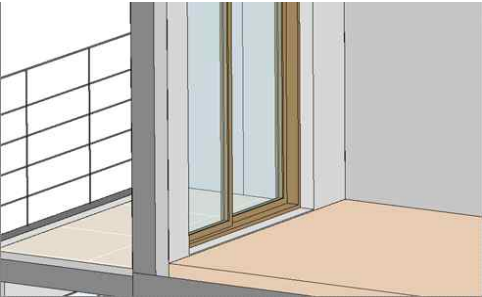
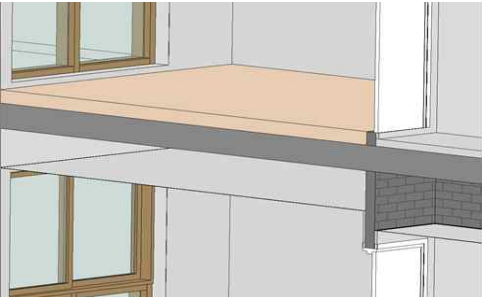
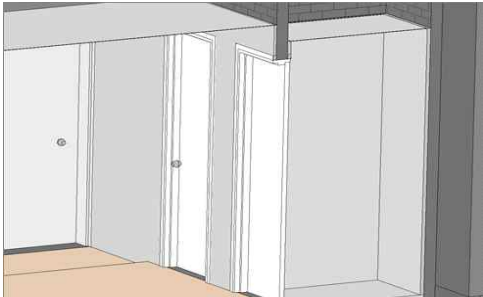
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 진천선수촌 건립공사 BIM설계 프로젝트 사례조사

① 단계별 업무내용

구분	계획	기본	실시	시공
BIM 코디네이션			●	
협업지원/시각검토			●	●
품질검토/간섭검토			●	●
수량기초데이터 산출			●	
Shop DWG				●
비용일정통합관리(4D/5D)				●
가시설 계획			●	
자재 및 제품관리(FMS)			●	
디지털목업				●

② 모델링 상세 이미지

구분	단면구조			
실시 단계 & 시공 단계				
	골조벽 + 마감벽체 + 바닥		건축벽 + 마감벽체 + 천장	
				
	천장 + 바닥 + 바닥마감		건축벽 + 마감벽체 + 창호	

- 국내 BIM 프로젝트 사례조사 결과 기본설계, 실시설계 및 시공단계에서 BIM 설계가 다양한 LOD로 수행되고 있는 것으로 판단됨. 친환경 분석을 위한 BIM LOD는 분석 종류에 따라 다양하게 수행되고 있음. 단열결로 해석프로세스는 기본설계 단계에서 수행되므로 BIM LOD는 3정도로 수행될수 있을것으로 판단되며, 전환설계 측면에서 2D 기본설계에서 표현하지 않으나 해석에 필요한 부분은 모델링이 추가되어야 할 것으로 판단됨

(나) 친환경 분석시 요구되는 전열해석 모델의 LOD 사례분석

- 전열해석 프로그램의 해석 모델링 수준

① THERM 프로그램

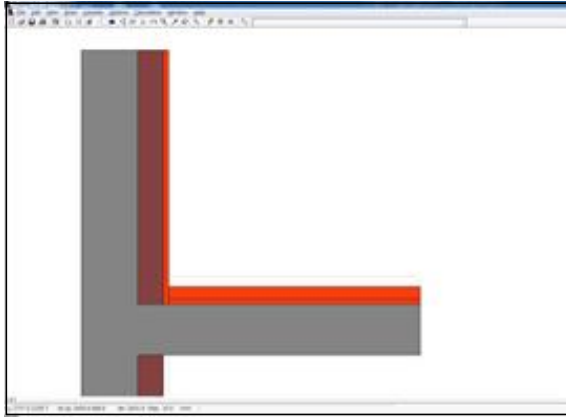


그림 3.50 객체 모델링 및 재료 설정

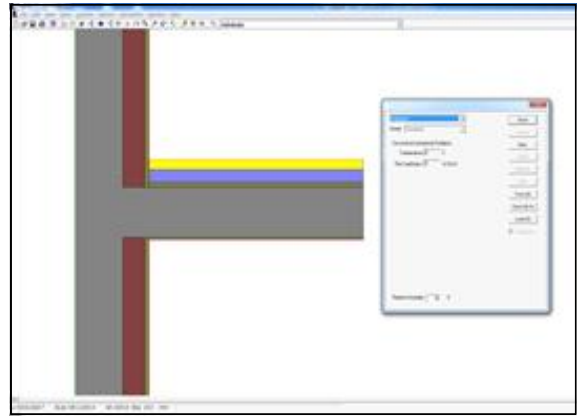


그림 3.51 Boundary Condition 설정

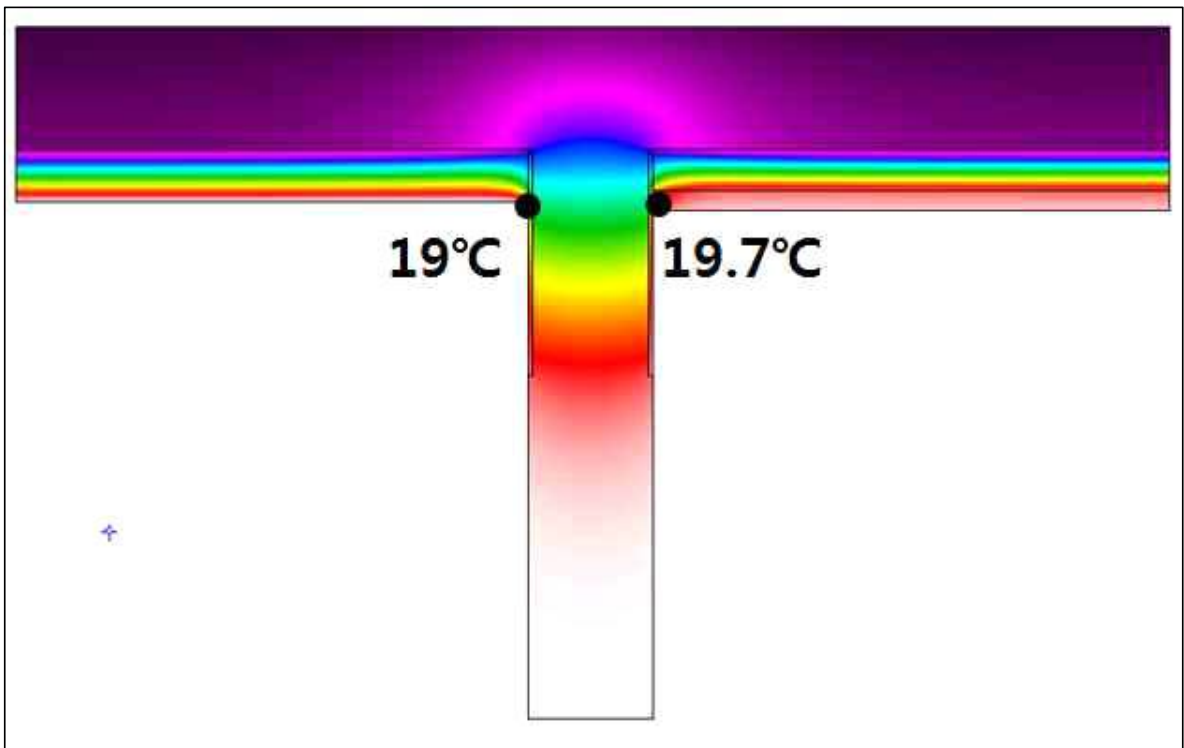


그림 3.52 시뮬레이션 결과 모습

- Therm 프로그램은 2차원 해석이 가능하며, 우각부 해석이 불가함 (3차원 해석 불가)
- 해석모델의 Boundary는 객체(벽체 또는 슬래브, 보 등)의 양쪽 최외측 면을 기준으로 1m 떨어진 범위까지를 기준으로 함

② Physibel 프로그램

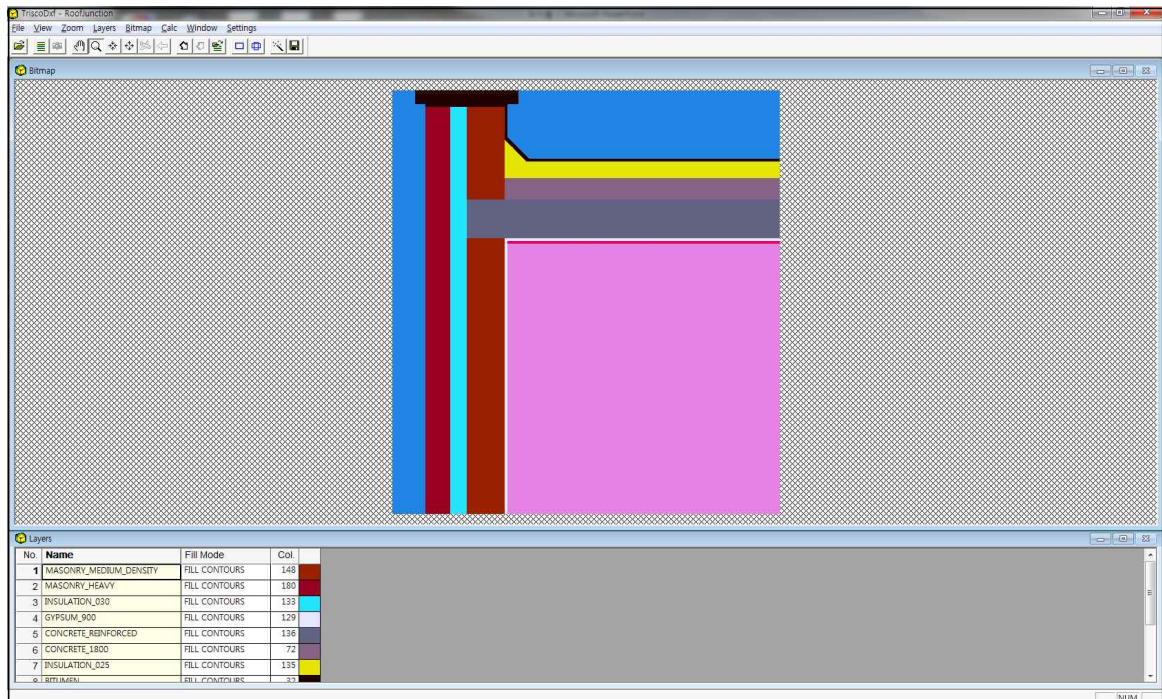


그림 3.53 DXF 모델링

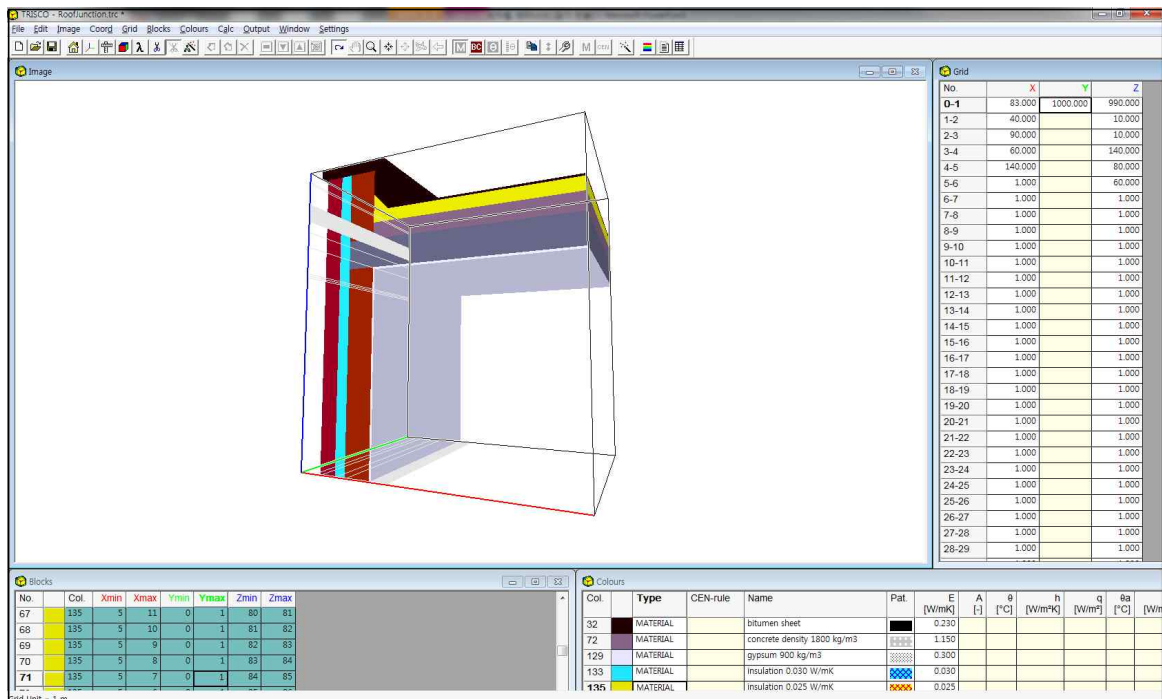


그림 3.54 벽체와 바닥구성 및 물성 및 실내,외 조건 입력

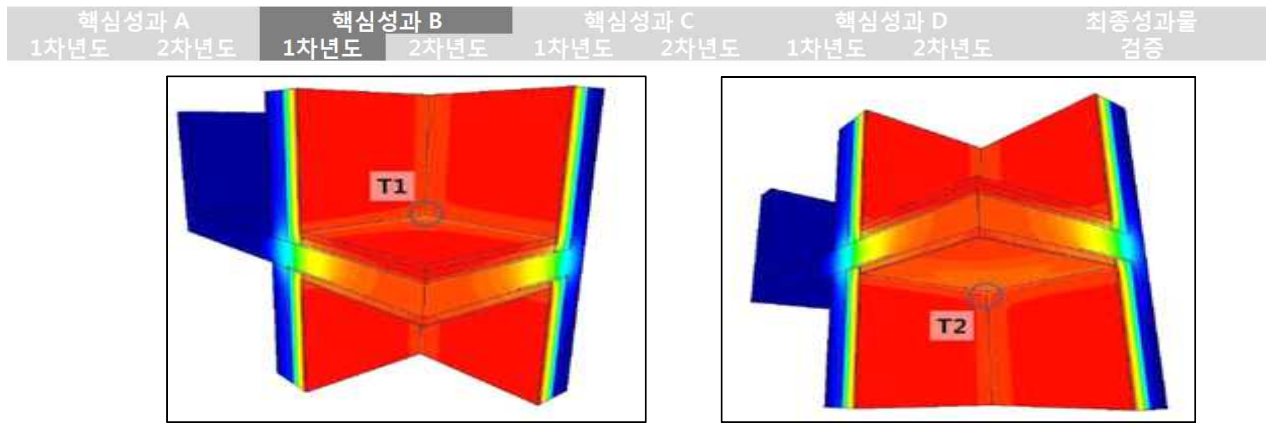


그림 3.55 시뮬레이션 결과 모습

- Physibel 프로그램은 3차원 해석이 가능하며, 우각부 해석이 가능함
- 해석모델의 Boundary는 Therm 해석시와 마찬가지로 객체(벽체 또는 슬래브, 보 등)의 양쪽 최외측 면을 기준으로 1m 떨어진 범위까지를 기준으로 함

(다) BIM기반 단열·결로 예측부위 정의

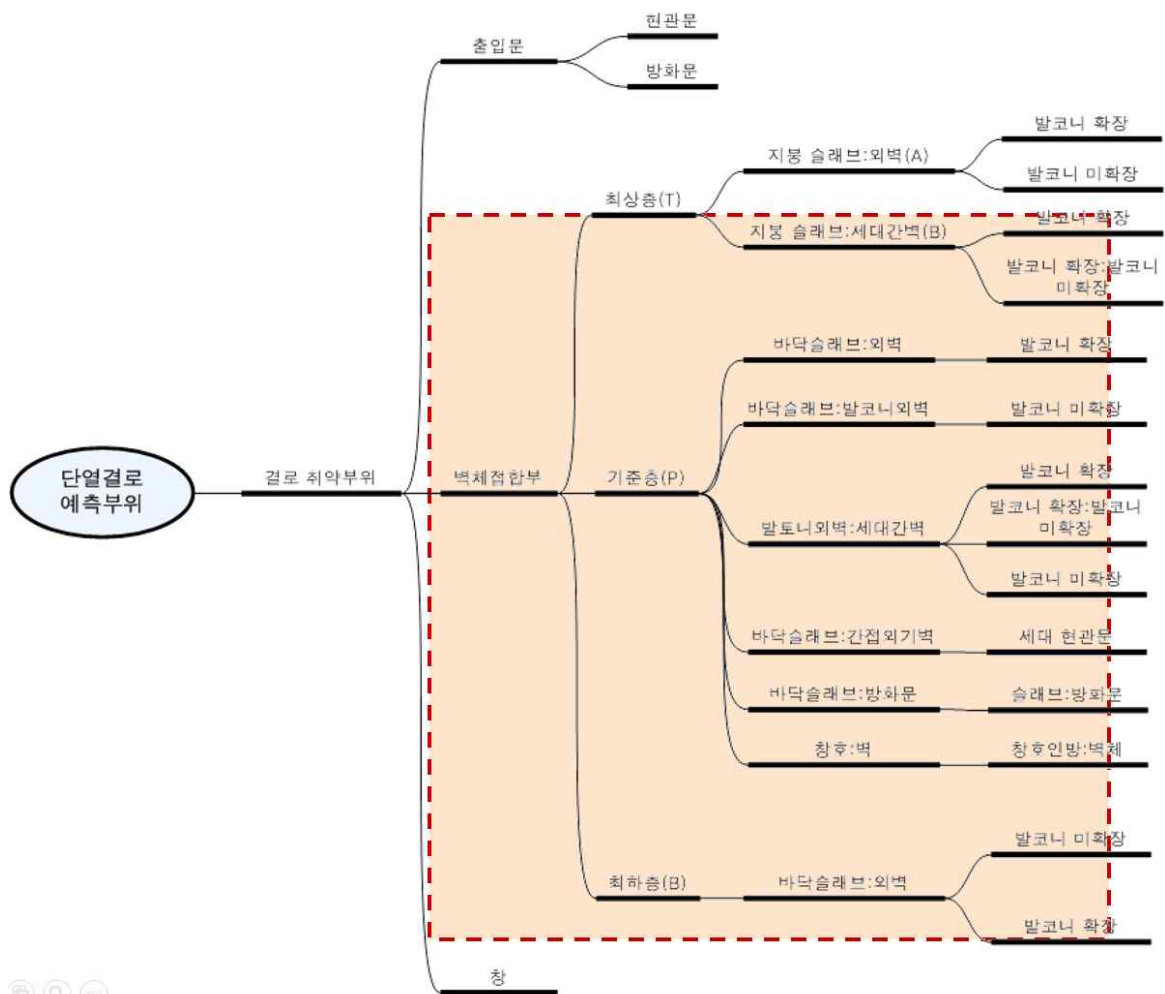


그림 3.56 단열·결로 예측부위 정의

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

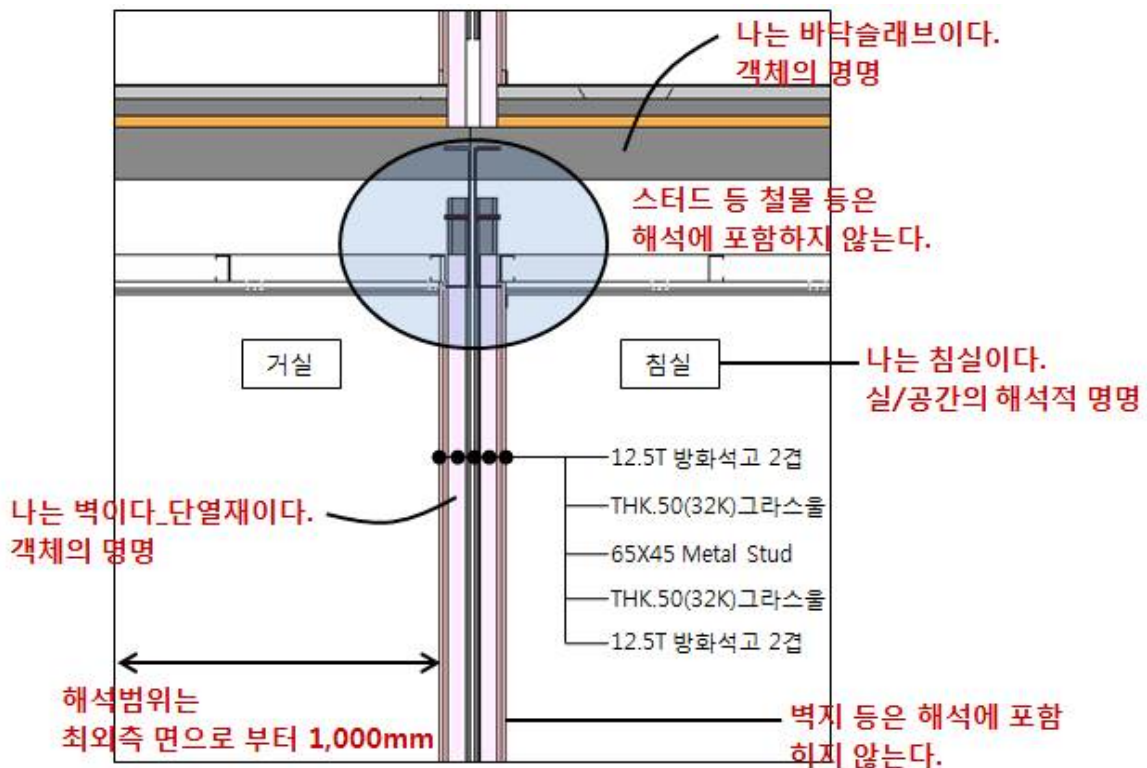


그림 3.57 BIM객체 단열·결로 예측부위 정의

• 범위 지정의 근거

- 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인 (국토교통부)에서 제시한 공동주택 결로 취약부위에 공동주택의 결로성능을 분석한 4개의 실무 프로젝트의 취약부위 사례를 종합하여 특정 유형의 형상으로 인해 발생하는 결로 취약부위를 제외하고 공통적으로 발생할 수 있는 부위에 대해 표준화된 유형으로 정의하여 총 4개 부위를 추가함
- 2D 형상의 경우 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인 (국토교통부)에서 제시한 공동주택 결로 취약부위 형상의 기존 14개 부위에서 대피공간/발코니 문틀과 벽체에 접합하는 부위와 창호, 문을 추가하여 총 17개 부위의 결로 취약부위 형상정보 유형의 DB가 구축되었음
- 3D 형상의 경우 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인 (국토교통부)에서 제시한 공동주택 결로 취약부위 형상의 기존 14개 부위에서 바닥슬래브, 외벽, 간접외기 벽이 접합하는 부위의 유형이 추가되어 총 15개 부위의 결로 취약부위 형상정보 유형의 DB가 구축되었음

① 공동주택 결로 취약부위 형상정보 DATABASE - 2D

표 3.42 결로 취약 부위 DB

분류	부위	추가 상세	부위 코드	비 고
T - 최상층	A - 지붕 슬래브 : 외벽	1. 발코니 확장	T-A-1	가이드 라인
		2. 발코니 미확장	T-A-2	
	B - 지붕 슬래브 : 세대간 벽	1. 발코니 확장	T-B-1	
		2. 발코니 확장 : 발코니 미확장	T-B-2	
P - 기준층	A - 바닥 슬래브 : 외벽	발코니 확장	P-A	
	B - 바닥 슬래브 : 발코니 외벽	발코니 미확장	P-B	
	C - 발코니 외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장	P-C-1	
		2. 발코니 확장 : 발코니 미확장	P-C-2	
		3. 발코니 미확장	P-C-3	
	D - 바닥 슬래브: 간접외기 벽	세대 현관문	P-D	CASE 1
		AD/PD, 대피공간		
	E - 창호 : 벽	창호 인방 :벽체	P-E	가이드 라인
	F - 바닥 슬래브 : 방화문	슬래브 : 방화문	P-F	
	G - 문 : 벽	대피공간/발코니 문틀: 벽체	P-G	CASE 3
	H - 창호	창호 (난방공간의 외기점합 창)	P-H	CASE 4
	I - 문	문 (현관문, 대피공간 방화문)	P-I	
B - 최하층	A - 바닥 슬래브 : 외벽	1. 발코니 확장	B-A-1	가이드 라인
		2. 발코니 미확장	B-A-2	

② 공동주택 결로 취약부위 형상정보 DATABASE - 3D

표 3.43 결로 취약 부위 DB

분류	부위	추가 상세	부위 코드	비 고
3-T 최상층	A 지붕 슬래브 : 외벽 : 축벽	1. 발코니 확장	3-T-A-1	가이드 라인
		2. 발코니 미확장	3-T-A-2	
	B 지붕 슬래브 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-T-B-1	
		2. 발코니 확장: 미확장 세대간 벽	3-T-B-2	
		3. 발코니 미확장 세대간 벽	3-T-B-3	
3-P 기준층	A 바닥 슬래브 : 외벽 : 축벽	1. 발코니 확장	3-P-A-1	CASE 2
		2. 발코니 미확장	3-P-A-2	
	B 바닥 슬래브 : 발코니 외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-P-B-1	
		2. 발코니 확장: 미확장 세대간 벽	3-P-B-2	
		3. 발코니 미확장 세대간 벽	3-P-B-3	
	C 바닥 슬래브 : 외벽 : 간접외기 벽	-	3-P-C	
3-B 최하층	A 최하층 바닥 슬래브 : 외벽 : 축벽	1. 발코니 확장	3-B-A-1	가이드 라인
		2. 발코니 미확장	3-B-A-2	
	B 최하층 바닥 슬래브 : 외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-B-B-2	
		2. 발코니 미확장 세대간 벽	3-B-B-2	

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(2) BIM 모델을 이용한 결로 예상부위 정의 알고리즘 개발

(가) BIM기반 단열·결로 예측부위 설정 자동화 시나리오

- ① 해석이 요구되는 층(Level)을 지정함(최상층, 기준층, 최하층 등)
- ② 평면을 불러옴
- ③ 해석 요구단면(Section)기준을 설정함
- ④ 평면 상에 해석 요구 위치를 Pointing함
- ⑤ Section Box 크기를 설정함
- ⑥ 각 3D Section Box(절단부,단면부) 생성을 완료함

(나) BIM기반 단열·결로 예측부위 설정 자동화 알고리즘

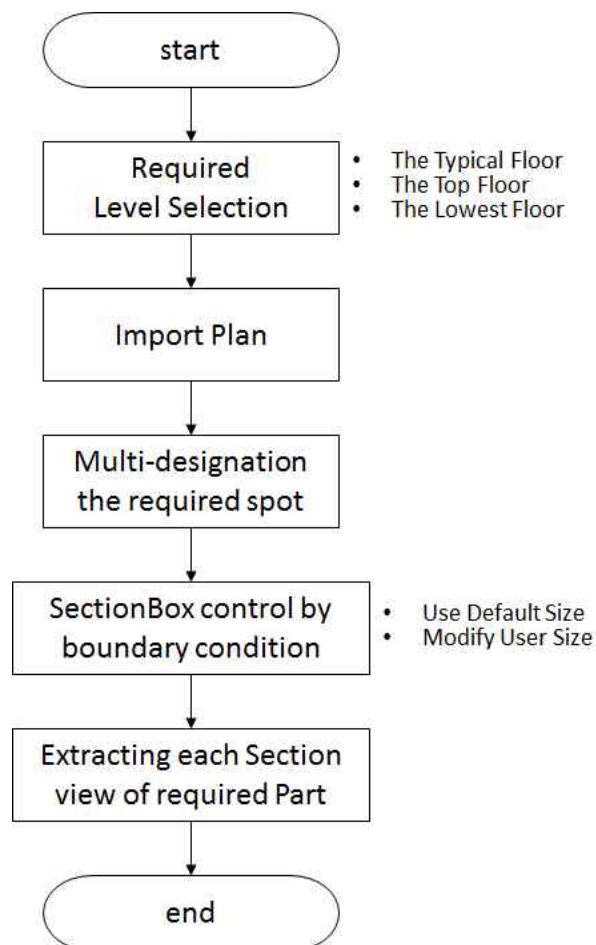


그림 3.58 예측부위 설정 자동화 알고리즘

(다) 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 구현예시(동영상 캡처)

- 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환

표 3.44 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환

부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 구현 예(동영상)

단열결로해석 모듈개발

Revit 실행 및 Add in 아이콘

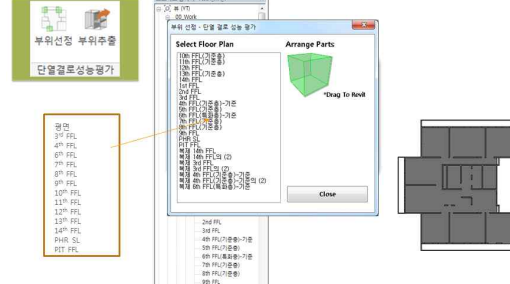


단열결로해석 모듈 선정 및 층 나누기



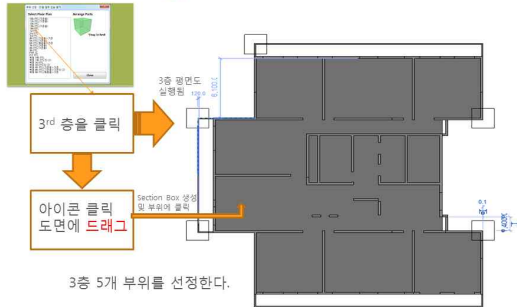
단열결로해석 모듈 과정

Add in을 실행하고 family Load 아이콘을 클릭한다.



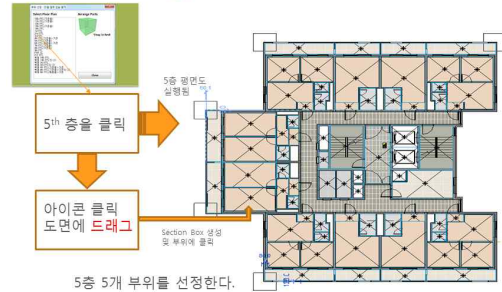
단열결로해석 모듈 과정

Add in을 실행하여 저 층부3층의 선정부위를 클릭



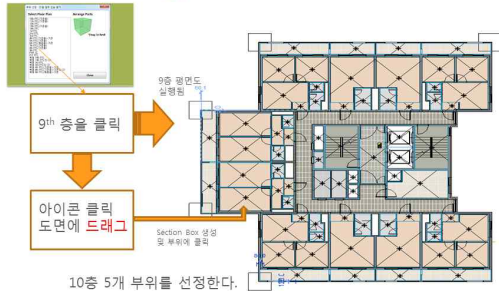
단열결로해석 모듈 과정

Add in을 실행하여 중 층부 5층 5개 부분을 선정



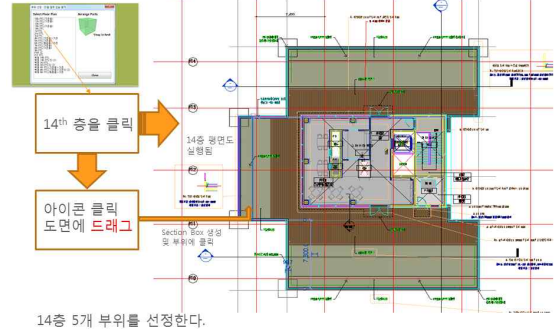
단열결로해석 모듈 과정

Add in을 실행하여 10층의 5개 부분을 선정



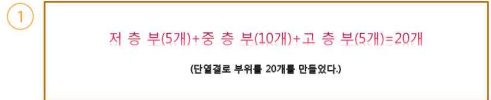
단열결로해석 모듈 과정

Add in을 실행하여 고 층부 14층 5개 부분을 선정



단열결로해석 모듈개발

Add in-familyLoad 실행 완료

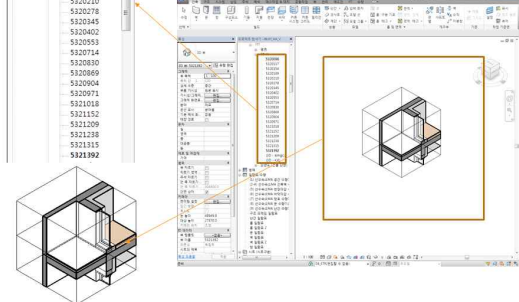


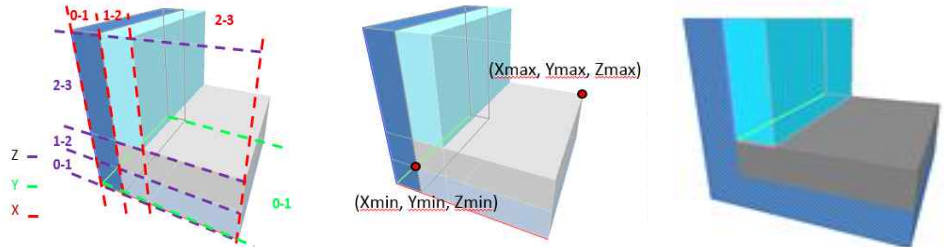
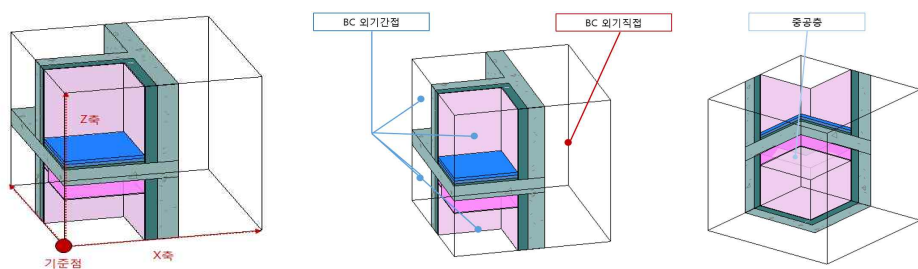
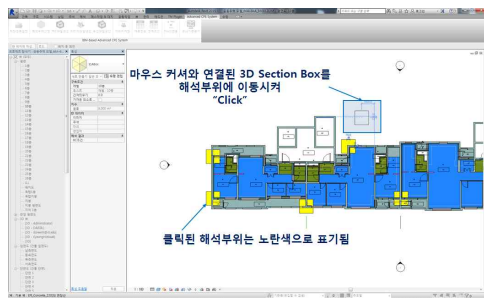
Add in-section box를 실행한다.



※ 20개의 section box가 생성되어 View로 확인한다.

마친 후 보고서 작성.



연구목표	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발							
연구내용	(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 (2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출 구조 분석 (3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발							
연구기관	(주)연우테크놀로지							
연구기간	2차년도							
연구결과	- 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 - 전열해석 프로그램의 Grid, Blocks, Colours 의 구조분석을 통해 BIM 해석부위의 추출 모델 도출  - BIM 해석부위의 추출범위 및 추출 구조 분석 - 추출범위는 전열해석 프로그램의 모델링 범위에 맞게 중심점에서 1000mm의 3D section box 형태로 추출 - 경계조건의 정보입력을 위한 공간객체 생성  - 추출 모듈의 개발 및 검증 - 추출모듈은 AUTODESK社 REVIT 2015의 Add-in 형태로 개발됨 - 단열·결로 성능분석이 필요한 해석부위에 마우스 컨트롤을 통해 3D section box를 위치시켜 “원-클릭”으로 해당부위의 형상 및 속성정보를 추출할 수 있는 모듈 							
관련 성과물	- 특허출원 - 건축물의 단열·결로 평가를 위한 BIM 객체 추출 및 변환 자동화 모듈 및 그 방법 - S/W 등록 - 단열·결로 해석부위 추출 및 변환 프로그램 - 국내 학술발표 1건 - BIM기반 공동주택 결로 성능평가를 위한 프로세스 개선방안에 관한 기초연구 - 보고서 3건 - 단열·결로 성능 분석을 위한 BIM 객체 해석부위의 정보 추출 및 변환 모듈 개발 보고서 - 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 형상정보(Graphic Data) 추출 (Data 파일) - 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 속성정보(Meta Data) 추출 (Data 파일)							

(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석

(가) 전열해석 프로그램 해석부위 모델링 작업 분석

- 단열결로 성능평가를 위해서 작업자는 설계자로부터 인계받은 2D 도면을 검토한 후 해석 부위를 선정한 후 선정된 해석부위의 도면을 참조하여 전열해석 프로그램에서 모델링 작업을 수행함
- 본 연구에서는 해석부위를 3D로 모델링하여 시각적으로 이해도를 높이고 우각부의 해석이 가능하며 열관류율을 세부적으로 표현할 수 있는 전열해석프로그램으로 ISO 10211 기준에 따라 모델링을 구현할 수 있으며 유럽 및 미국 등에서 활발히 사용되고 있는 Physibel을 대상으로 수행함
- 전열해석 프로그램에서 해석부위의 모델링은 아래 그림과 같이 Grid, Blocks, Colours에 값을 입력함으로써 수행됨
 - Grid: Layer 별 x,y,z 축의 그리드를 생성
 - Blocks: Layer 별로 그리드를 기준으로 x,y,z 의 min, max 값 지정
 - Colours: Layer 별 속성 정보 입력

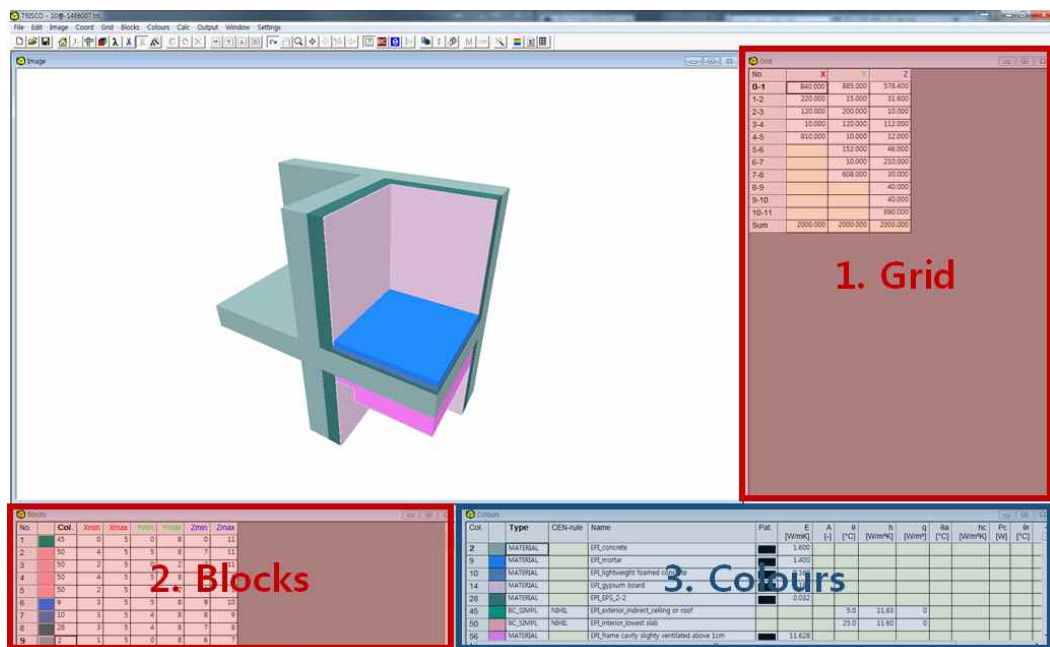


그림 3.59 전열해석 프로그램 메인화면 구분

- 따라서 Grid와 Blocks은 해석부위를 3D로 모델링하는 형상정보 입력에 해당되며, Colours는 전열해석을 위한 필요정보인 속성정보의 입력에 해당됨

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 기존 단열·결로 성능평가를 위한 전열해석 프로그램 해석부위 모델링 작업

① 계획 단계: 전열해석 프로그램에서의 모델링을 위한 모델링 구상작업

- 해석부위의 3D 모델화를 위한 해당부위의 평면 및 단면 분석
- 모델링 기준선 지정 및 각 Layer 별로 x,y,z 축 Grid 개수 및 간격 확인

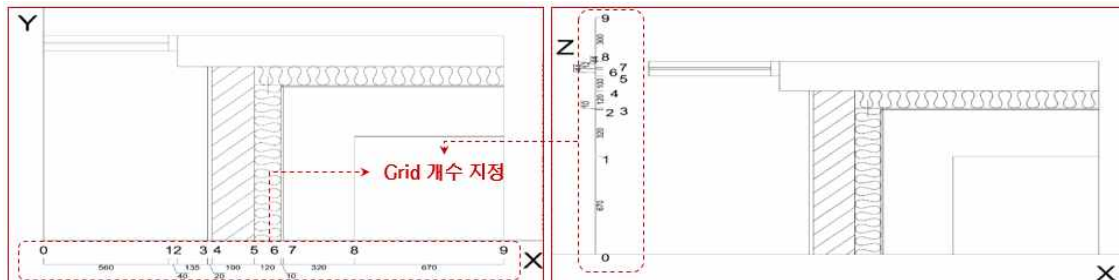


그림 3.60 2D 도면에서의 Grid 구상작업

② 전열해석에서의 모델링 작업단계: Grid 및 Blocks 값을 입력하여 모델링 형성단계

- 전열해석 프로그램에서의 Grid 값 입력

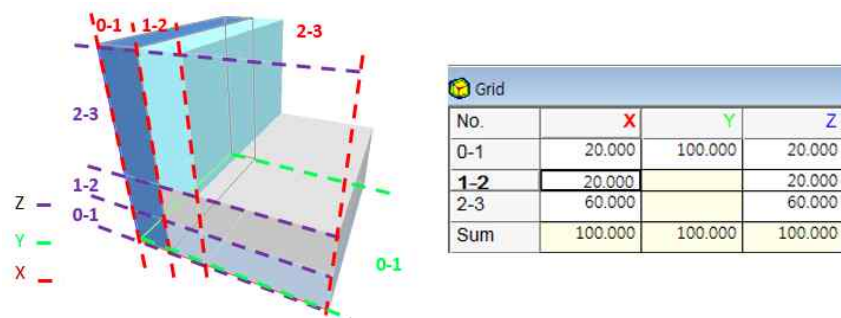


그림 3.61 전열해석 프로그램에서의 Grid 값 입력

- 전열해석 프로그램에서의 Blocks 값 입력

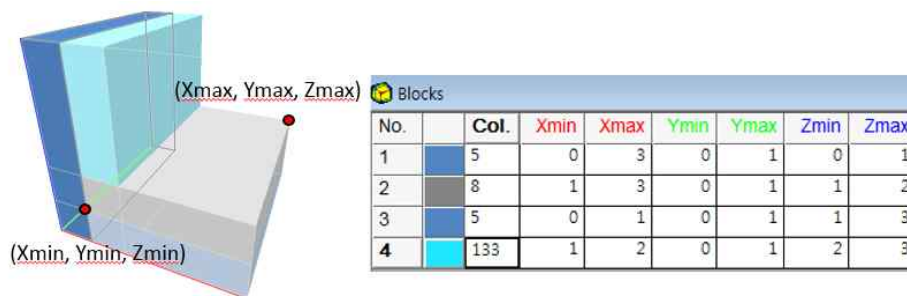


그림 3.62 전열해석 프로그램에서의 Blocks 값 입력

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 전열해석 프로그램에서의 Colours 값 입력

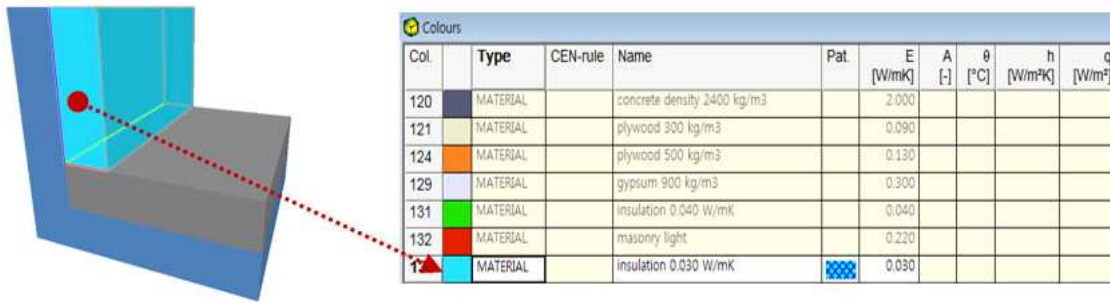


그림 3.63 전열해석 프로그램에서의 Colours 값 입력

- Grid는 해석부위의 Layer 개수를 확인하고 객체의 두께에 따라 Layer의 간격을 입력함
- Blocks는 설정된 Grid에 객체 생성범위를 Xmin, Ymin, Zmin, 값과 Xmax, Ymax, Zmax 값을 입력함
- Colours에 해석에 필요한 속성정보를 입력하여 모델링을 완료함
- BIM 모델과 전열해석 프로그램에서의 모델링은 3D 모델이라는 점에서 동일하나 모델링의 생성측면에서 완전히 다른 구조를 가지고 있음
- 전열해석 프로그램에서의 모델링 작업을 자동화하기 위해서는 BIM 모델의 해석부위에 대한 형상 및 속성정보를 전열해석 프로그램의 모델링 구조로 재구성해야 함

(나) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석

- 본 연구개발은 BIM 모델에서 해석부위에 대한 형상 및 속성정보를 추출하는 기능을 통해 전열해석 프로그램에서의 해석 모델링 작업을 자동화하는 것으로 BIM 해석부위의 완벽한 추출이 요구됨
- BIM 해석부위의 형상정보 및 속성정보를 추출하여 전열해석 프로그램에 임포트하기 위해서는 BIM 형상정보를 전열해석 프로그램의 포맷형식으로 재구성해야 함
- 이를 위해 전열해석 프로그램의 프로젝트 파일(*.trc)의 구조를 분석하였으며, BIM 해석부위의 형상정보를 프로젝트 파일(*.trc)의 구조로 재구성 할 수 있는 추출 모듈이 요구됨
- 아래 그림은 전열해석 프로그램에서 해석부위 1개소의 프로젝트 파일의 포맷형식 검토 결과임

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

구분	검토결과	프로젝트 파일(*.trc) 포맷형식																																																									
Colours	Col	colr=3																																																									
	RGB	crgb=128 128 128																																																									
	Type (MATERIAL 선택 시)	type=0																																																									
	Col	colr=4																																																									
	RGB	crgb=255 128 192																																																									
	Type (MATERIAL 선택 시)	type=0																																																									
	Col	colr=5																																																									
	RGB	crgb=128 0 255																																																									
	Type (MATERIAL 선택 시)	type=0																																																									
	Col	colr=8																																																									
	RGB	crgb=88 77 50																																																									
	Type (BC_SIMPL 선택 시)	type=1																																																									
	Col	colr=9																																																									
	RGB	crgb=32 128 255																																																									
	Type (BC_SIMPL 선택 시)	type=1																																																									
Grid	X축 그리드 분할 개수 (3개로 분할 - 0~1 / 1~2 / 2~3)	nxwi=3																																																									
	0~1 간격	xwid=100																																																									
	1~2 간격	xwid=300																																																									
	2~3 간격	xwid=1500																																																									
	Y축 그리드 분할 개수 (3개로 분할 - 0~1 / 1~2 / 2~3)	nywi=3																																																									
	0~1 간격	ywid=100																																																									
	1~2 간격	ywid=300																																																									
	2~3 간격	ywid=1500																																																									
	Z축 그리드 분할 개수 (3개로 분할 - 0~1 / 1~2 / 2~3)	nzwi=3																																																									
	0~1 간격	zwid=2500																																																									
	1~2 간격	zwid=300																																																									
	2~3 간격	zwid=2500																																																									
	Blocks	Block 개수 (6개로 지정 시)	nblk=6																																																								
		<table><tr><th>No.</th><th>Col.</th><th>xmin</th><th>xmax</th><th>ymin</th><th>ymax</th><th>zmin</th><th>zmax</th></tr><tr><td>1</td><td>9</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>4</td><td>5</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>5</td><td>8</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>8</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	No.	Col.	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	1	9	0	3	0	3	0	3	2	3	2	3	2	3	1	2	3	4	1	2	2	3	0	3	4	5	1	3	1	2	0	3	5	8	2	3	2	3	0	1	6	8	2	3	2	3	2	3	blk=0 9 0 3 0 3 0 3 blk=1 3 2 3 2 3 1 2 blk=2 4 1 2 2 3 0 3 blk=3 5 1 3 1 2 0 3 blk=4 8 2 3 2 3 0 1 blk=5 8 2 3 2 3 2 3
		No.	Col.	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax																																																		
1		9	0	3	0	3	0	3																																																			
2		3	2	3	2	3	1	2																																																			
3		4	1	2	2	3	0	3																																																			
4		5	1	3	1	2	0	3																																																			
5		8	2	3	2	3	0	1																																																			
6		8	2	3	2	3	2	3																																																			
Azimuth / Altitude		vwpt=32.9412 43.1046																																																									
	grun=0.001																																																										
Calculation Parameters	Radiation (Linear of Non-linear)	linr=1																																																									
	Black radiation heat transfer coefficient	hrbl=5.1																																																									
	Smallest accepted view factor	vwfc=0.0001																																																									
	Number of visibility rays between radiative surfaces	rays=100																																																									
	Recalculation of CEN values (before each iteration cycle)	ocen=1																																																									
	Default temperature difference across airspace	dtas=10																																																									
	Maximum number of iteration cycles	cycl=5																																																									
	Maximum number of iterations within each iteration cycle	iter=10000																																																									
	Maximum temperature difference within each iteration cycle	mxd=0.0001																																																									
	Maximum temperature difference between iteration cycles	mxd=0.001																																																									
	Max heat flow divergence for total node	mxd=0.001																																																									
	Max heat flow divergence for any node	mxd=1																																																									

그림 3.64 프로젝트 파일 포맷형식 검토결과(1/2)

구분	검토결과	프로젝트 파일(*.trc) 포맷형식
Temperature Range	Minimum temperature	tmin=0
	Maximum temperature	tmax=20
	First increment	tin1=1
	Second increment	tin2=5
Heat Flux Range	Minimum heat flux	qmin=0
	Maximum heat flux	qmax=50
	First increment	qin1=1
	Second increment	qin2=5
Colours	CoL	colr=3
	Name	name=name2
	Pat.	patt=3
	E[W/mK]	lamb=1.5
	CoL	colr=4
	Name	name=name3
	Pat.	patt=4
	E[W/mK]	lamb=1.4
	CoL	colr=5
	Name	name=name4
	Pat.	patt=5
	E[W/mK]	lamb=1.3
	CoL	colr=8
	CEN-rule (NIHL 적용 시)	rule=0
	Name	name=INSIDE
	Pat.	patt=8
	θ [°C]	temp=23
	h [W/m²K]	hglo=9.09
	q [W/m²]	flux=0
	CoL	colr=9
	CEN-rule (NIHL 적용 시)	rule=0
	Name	name=OUTSIDE
	Pat.	patt=9
	θ [°C]	temp=-20
	h [W/m²K]	hglo=23.3
	q [W/m²]	flux=0
Node BCs		nnbc=0
Borderface BCs		nbor=0
Material BCs		nmat=0
Derived Thermal Properties	Temperature factor	rptf=0
	2D/3D surplus thermal transmittance	rppt=0
	Equivalent thermal transmittance	rptq=0
	Thermal transmittance of element	rpte=0
	Name (상기 element 이름 지정)	name=Ufloor
Graphic Report Definition	Image	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Create	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Projection	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Asimuth	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Altitude	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Object Lines	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Grid Lines	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Isolt Lines	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0
	Isotux Lines	grep=0 0 1000 0 1 0 0 0 0

그림 3.65 프로젝트 파일 포맷형식 검토결과(2/2)

- 따라서 BIM 해석부위의 형상정보 및 속성정보는 위 그림의 프로젝트 파일(*.trc) 포맷의 구조와 동일한 형식으로 추출되어야 함

(다) BIM 해석부위의 추출 범위 설정

- 본 연구의 해석부위 추출모듈 개발을 위해서는 해석부위의 추출범위를 설정하여 설정된 부위의 형상 및 속성정보를 추출하는 기능이 요구되므로 해석부위 모델링 범위의 정의가 요구됨
- 단열·결로 시뮬레이션 분석을 위한 형상의 모델링 범위는 원칙적으로 ISO 10211(2007) Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures의 제5조 Modelling of the construction의 제1항 Dimension systems 기준과 제2항 Rules for Modelling의 열류 및 표면 온도해석을 위한 모델 해석 범위의 근거를 따름
- ISO 10211의 해석모델 기준
 - ① 해석부위 형상 정의
 - 해석 부위를 중심으로 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상의 모델로 정의되어야 하며, 해당 부위의 측면요소 두께의 3배가 1,000mm보다 클 경우 최소 측면요소 두께의 3배 값 이상을 각 측면 요소길이를 모델링해야 함
 - 중심요소 C부분 이외의 나머지 부분은 모두 ‘측면 요소’로 정의함
 - 해석 단면의 형상(F1~F5)에 따라 측면요소의 두께 정의가 달라짐

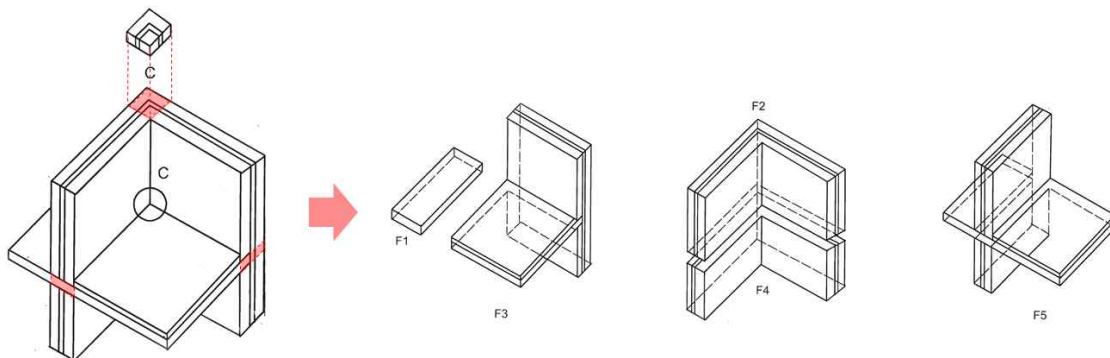


그림 3.66 ISO 10211의 열교 해석을 위한 모델범위 정의

- ② 개구부 모서리 평가 시 해석모델 범위 정의
 - 우각부인 A점에 대한 표면온도 해석 시 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상의 범위를 지정하여 평가함
 - 개구부의 모서리 부위 평가 시 각 측면 요소길이를 최소 1,000mm 이상 연장하여 모델링함

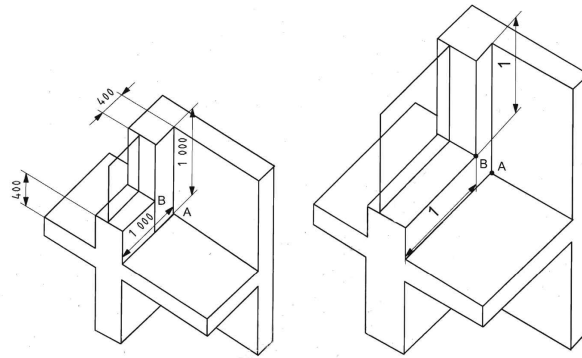


그림 3.67 ISO 10211의 개구부 모델정의

③ 추가 기준

- 형상이 대칭형일 경우 1,000mm미만의 모델로도 평가가 가능함

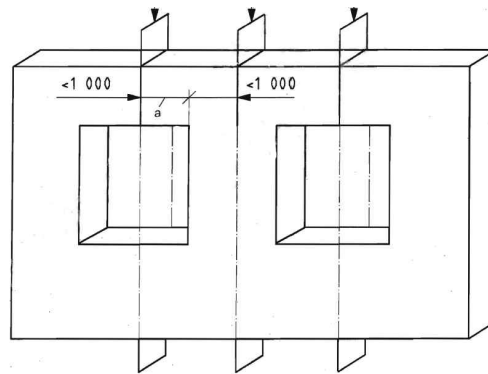


그림 3.68 ISO 10211의 개구부 모델정의

- 해석 부위 좌우 형상이 대칭일 때 모델링 범위는 1,000mm 미만도 가능한데 이는 실내 외 온습도 조건이 동일한 가정 하에 반복되는 형상이면 모델 상의 열 분포 형상도 같기 때문임
- 지면부위의 해석 시 모델링 범위는 아래와 같음

표 3.45 지면 접하는 부위 해석시의 범위 정의

해석 부위 유형	해석 부위로부터의 측면 요소길이
수직 단면의 수평거리 (건물 내부)	최소 벽 두께의 3배 이상
수직 단면의 수평거리 (건물 외부)	최소 벽 두께의 3배 이상
지표면으로부터의 수직거리	최소 3m 이상
지하층으로부터의 수직거리 (지하층 바닥이 지표면 이하 2m 이상일 때)	최소 1m 이상

- ‘해석 부위로부터 각 측면 요소길이를 1,000mm 이상 모델링이 되어야 한다’는 원칙 중, ‘해당 부위의 측면요소 두께의 3배가 1,000mm보다 클 경우 최소 측면요소 두께의 3배

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

값 이상을 적용해야 한다’는 예외 규정에 대해 두께의 3배가 1,000mm보다 큰 특정 부위를 대상으로 한 시뮬레이션 실험을 통해 예외 규정에 대한 타당성 여부를 실험하였음

- 실내온도 25℃, 실외온도 -20℃, 실내 표면 열전달율 9.09W/m²K, 실외표면열전달율 23.25W/m²K의 실험조건에서 검토대상 부위의 측면 요소길이를 1,000mm와 요소두께의 3배 값으로 각각 모델링하여 전열해석 프로그램을 활용하여 해석한 결과 두 가지 방식의 시뮬레이션 분석 결과는 차이가 없는 것으로 분석되었음

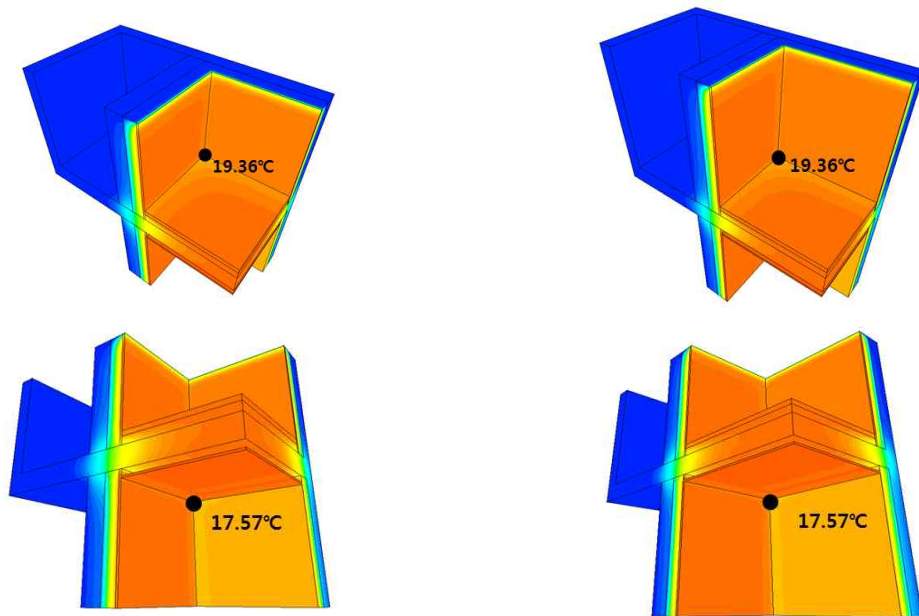


그림 3.69 시뮬레이션 분석결과(좌:1000mm 이상, 우:측면요소로부터 두께의 3배이상)

- 결론적으로 BIM 해석부위의 추출 범위는 중심점에서 1000mm의 정육각형 형태로 설정함
- 따라서 BIM 해석부위는 중심점에서 1000mm의 정육각형 박스형태로 추출되며 추출범위는 전열해석 프로그램에서의 모델링 작업범위와 동일하게 되므로 박스내의 형상 및 속성 정보를 추출하여 전열해석 프로그램의 프로젝트 파일 포맷의 구조형식으로 변환될 수 있도록 프로그램을 개발함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출구조 분석

(가) BIM 해석부위의 형상정보 추출

- BIM 해석부위는 아래 그림과 같이 정육각형 박스형태(3D Section Box)로 추출되도록 개발되며 박스내부 BIM 모델의 형상 및 속성정보의 추출이 요구됨. 형상 정보의 경우 전열 해석 프로그램에서의 모델링 구조인 Grid, blocks 의 구조로 추출되어야 함

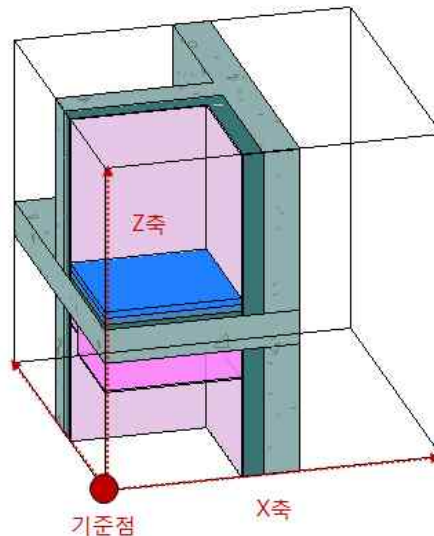


그림 3.70 해석부위의 Grid 설정 기준

- Grid 설정
 - 평면기준으로 좌측 하단을 부위를 기준점으로 설정
 - 기준점에서 X,Y,Z축을 설정
 - 단열결로 해석을 위해서는 객체 내외부 조건의 입력이 요구되며 이는 경계조건으로 설정됨. BIM 모델에서는 해석을 위한 경계조건의 속성정보를 담은 객체가 없으므로 해석 부위내 객체외 부분인 내외부 공간을 객체로 인식하도록 설정하여 경계조건(Boundary condition; 이후 BC)의 정보를 담을수 있도록 설정
 - 단열결로 해석을 위해서는 중공층의 속성정보가 요구되며 BC와 마찬가지로 BIM 모델에서는 중공층의 정보를 담은 객체를 모델링 하지 않으므로 중공층을 객체로 인식하도록 설정
 - 벽체는 단일벽체로 모델링되는 것이 일반적이며, 마감, 단열재, 방수 등은 복합벽체로 모델링되므로 각 객체를 분리하여 Grid를 설정
 - 기준점에서 내부 공간, 객체 1, 객체 2, ..., 외부 공간으로 Grid를 설정
 - 기준점을 중심좌표로 설정하고 각 객체의 좌표값을 인식하여 Grid 간격을 설정

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

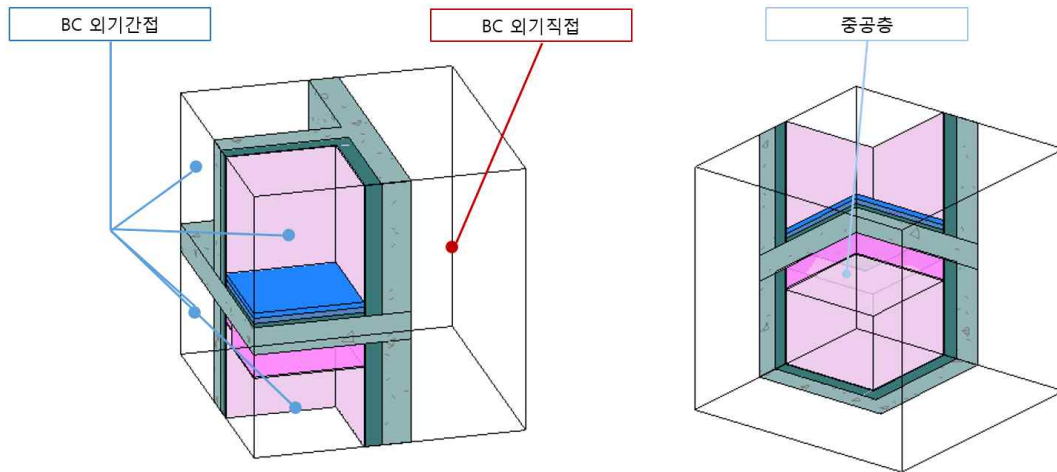
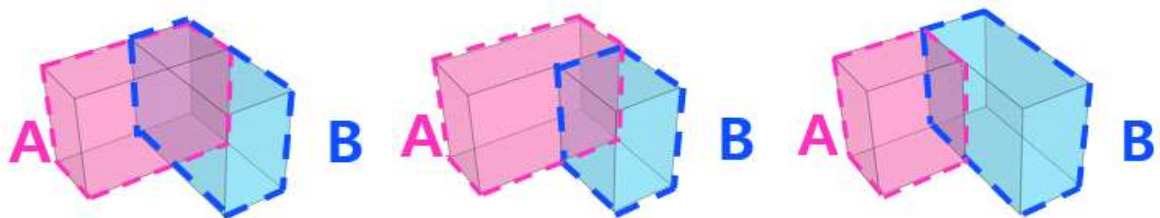


그림 3.71 BC 및 중공층의 설정

• Blocks 설정

- Grid 설정에 따라 각 객체의 좌표값으로 객체를 Blocks으로 설정
- BIM 모델에서는 실질적으로 창, 문, 벽, 바닥 등의 객체 형상정보가 아래그림 (가)와 같이 겹쳐져 있는 상태임. 이를 그대로 추출할 경우 Blocks 값에서 오류가 발생되므로 추출시에는 이를 고려하여 객체 표현의 우선순위를 설정하여 (나) 혹은 (다) 같이 추출되어야 함. 이에 대한 개념은 아래 그림과 같음



(가) 형상정보의
겹침

모델링상에는 겹쳐보이지
않으나 형상정보 상에서는
겹쳐져 있는 상태임

(나) A블럭의 우선순위가
높을때

	우 선 순 위	블 록 순 서
A	높 을	2
B	낮 을	1

(다) B블럭의 우선순위가
높을때

	우 선 순 위	블 록 순 서
A	낮 을	1
B	높 을	2

그림 3.72 시뮬레이션 분석결과(좌:1000mm 이상, 우:측면요소로부터 두께의 3배이상)

- 따라서 전열해석 프로그램의 모델링 구조와 일치되어 Blocks 값이 설정되기 위해서는 BIM 모델의 구조상 일반객체<룸<바닥<천장<벽<문<창 의 순서로 우선순위가 설정되어 Blocks을 형성시키고 추출되어야 함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(나) BIM 해석부위의 속성정보 추출

- 본 연구에서의 BIM 해석부위 추출 개념은 BIM 해석부위의 형상정보를 전열해석 프로그램의 모델링 구조와 동일하게 추출하고 추출된 객체의 속성정보를 전열해석 프로그램에서 요구하는 정보 및 구조로 추출하는 것임
- 일반적인 BIM 모델링에서 사용하는 객체에는 전열해석 프로그램에서 요구하는 재료명, Col. 값, TYPE 명, 열전도율 값, RGB 등의 속성정보가 포함되어 있지 않음
- 따라서 본 연구에서의 개념과 같이 BIM 해석부위의 추출을 통해 전열해석 프로그램에서의 모델링 및 속성정보의 입력 자동화를 위해서는 BIM 객체의 속성정보가 전열해석 프로그램에서 요구되는 정보와 동일하게 구축되어 있어야 함
- 이를 위해 본 연구에서는 단열결로 분석 BIM 라이브러리(핵심성과 A)를 구축하였으며 구축된 라이브러리를 사용하여 BIM 설계가 수행되어야 함
- 핵심성과 A에서 구축된 BIM 라이브러리는 객체 라이브러리와 재료 라이브러리로 구분될 수 있음. 이는 일반적인 공동주택의 BIM 모델링에 사용되는 거의 모든 객체를 포함하는 것으로 본 연구에서 개발한 라이브러리를 사용하여 모델링이 가능하도록 구현하였음
- 객체 라이브러리는 벽, 바닥, 창호, 문, 중공층 등으로 개발되었으며, BIM 템플릿에 시스템 패밀리로 구축되어 모델링 작업시 본 템플릿에서 작업을 수행하게 됨

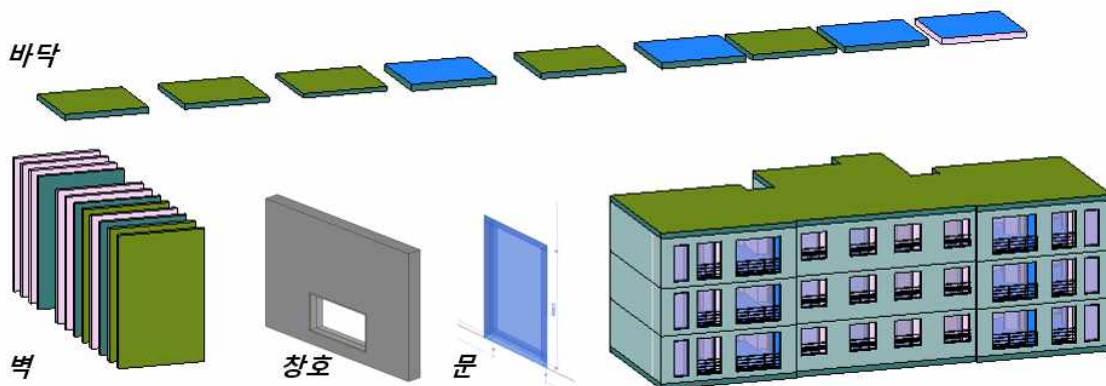


그림 3.73 객체 라이브러리

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 재료 라이브러리는 재료층(건축자재, 창문, 문), 중공층, 경계조건(Boundary Condition)으로 구분되어져 있으며, 아래 그림과 같이 DB로 구축되었음
- 재료 라이브러리 DB는 재료명, Col. 값, TYPE 명, 열전도율 값, RGB 등 전열해석 프로 그램에서 요구되는 정보가 포함되어 있음

- 건축자재 DB

Category	Name	Col	Type	E	R	G	B
▶ 골조	EPI_steel	1	MATERIAL	53	119	87	87
골조	EPI_concrete	2	MATERIAL	1.6	144	176	176
골조	EPI_cement brick	3	MATERIAL	0.6	128	128	128
골조	EPI_firebrick	4	MATERIAL	0.99	223	0	128
골조	EPI_concrete block(light weight)	5	MATERIAL	0.7	0	32	0
골조	EPI_concrete block(heavy weight)	6	MATERIAL	1	0	64	0
골조	EPI_wood(light weight)	7	MATERIAL	0.14	117	67	11
골조	EPI_wood(heavy weight)	8	MATERIAL	0.19	88	77	50
마감	EPI_mortar	9	MATERIAL	1.4	32	128	255
마감	EPI_lightweight foamed concrete	10	MATERIAL	0.16	79	129	189
마감	EPI_tile	11	MATERIAL	1.3	106	133	26
마감	EPI_marble	12	MATERIAL	2.8	187	155	187
마감	EPI_granite	13	MATERIAL	3.3	0	32	151
방수	EPI_gypsum board	14	MATERIAL	0.18	231	199	231
방수	EPI_asphalt	15	MATERIAL	0.33	255	0	223
방수	EPI_PE film	16	MATERIAL	0.21	116	156	32
방수	EPI_asphalt felt 17kg	17	MATERIAL	0.11	168	32	52
방수	EPI_asphalt felt 22kg	18	MATERIAL	0.14	0	123	155
방수	EPI_asphalt felt 26kg	19	MATERIAL	0.22	255	128	223
방수	EPI_asphalt roofing 17kg	20	MATERIAL	0.19	234	221	117
방수	EPI_asphalt roofing 22kg	21	MATERIAL	0.27	95	95	127
방수	EPI_asphalt roofing 30kg	22	MATERIAL	0.34	187	187	155
단열	EPI_EPS_1-1	23	MATERIAL	0.036	0	128	192
단열	EPI_EPS_1-2	24	MATERIAL	0.037	0	103	153
단열	EPI_EPS_1-3	25	MATERIAL	0.04	0	82	121

그림 3.74 재료층(건축자재) 속성정보

- 창호 DB

Category	Name	Col	Type	E	R	G	B
창유리	일반복층유리_3+6+3_air	57	MATERIAL	0.0734599380634	212	231	244
창유리	일반복층유리_5+6+5_air	58	MATERIAL	0.095573669776	179	197	209
창유리	일반복층유리_5+8+5_air	59	MATERIAL	0.094827695192	186	210	226
창유리	일반복층유리_6+6+6_air	60	MATERIAL	0.10627452921	152	199	230
창유리	일반복층유리_6+8+6_air	61	MATERIAL	0.10426029121	140	177	201
창유리	일반복층유리_5+12+5_air	62	MATERIAL	0.10165765095	140	202	243
창유리	일반복층유리_6+12+6_air	63	MATERIAL	0.10985438445	122	197	246
창유리	복층로이유리_6+8+6_argon	64	MATERIAL	0.041154157162	142	186	215
창유리	복층로이유리_6+10+6_argon	65	MATERIAL	0.039982925077	841	782	40
창유리	복층로이유리_6+12+6_argon	66	MATERIAL	0.040377926934	104	176	224
창유리	복층로이유리_6+14+6_argon	67	MATERIAL	0.043127908012	143	205	245
창유리	복층로이유리_6+8+6_argon	68	MATERIAL	0.032642573814	193	225	246
창유리	복층로이유리_6+10+6_argon	69	MATERIAL	0.031909031035	159	205	235
창유리	복층로이유리_6+12+6_argon	70	MATERIAL	0.03303475986	205	222	233
창유리	복층로이유리_6+14+6_argon	71	MATERIAL	0.036245924851	213	234	247
창유리	삼중로이유리_6+8+6_argon	72	MATERIAL	0.024679440694	168	215	246
창유리	삼중로이유리_6+10+6_argon	73	MATERIAL	0.023347370893	217	233	243
창유리	삼중로이유리_6+12+6_argon	74	MATERIAL	0.022754650092	158	211	246
창유리	삼중로이유리_6+14+6_argon	75	MATERIAL	0.022994665156	172	203	224
창유리	삼중로이유리_6+8+6_argon	76	MATERIAL	0.018909780202	216	231	241
창유리	삼중로이유리_6+10+6_argon	77	MATERIAL	0.017967830698	187	227	253
창유리	삼중로이유리_6+12+6_argon	78	MATERIAL	0.017708313626	144	208	251
창유리	삼중로이유리_6+14+6_argon	79	MATERIAL	0.018318540543	164	213	245
창틀	uPVC 2 hollow chamber	80	MATERIAL	0.17571884984	217	216	215
창틀	uPVC 3 hollow chamber	81	MATERIAL	0.15151515152	226	221	215

그림 3.75 재료층(창문) 속성정보

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 문 DB

건축 자재 DB							
Category	Name	Col	Type	E	R	G	B
창틀	Delta plus cold climate	93	MATERIAL	0.060053502211	220	221	224
창틀	DW-plus XPS	94	MATERIAL	0.12311034773	229	230	235
창틀	eCo2	95	MATERIAL	0.11515821286	240	242	247
창틀	MAKROWIN 88 G2	96	MATERIAL	0.11098559729	213	215	219
창틀	Passiv 115	97	MATERIAL	0.11002545459	227	232	246
창틀	QUESTY	98	MATERIAL	0.098468616793	232	238	253
창틀	smartwin	99	MATERIAL	0.067420763803	214	215	218
창틀	Synergist	100	MATERIAL	0.091568366457	205	205	207
창틀	The Vale Passive Window	101	MATERIAL	0.11172196466	222	223	224
창틀	UDOBJE E112	102	MATERIAL	0.089813899128	222	226	235
창틀	VADB-Plus 550	103	MATERIAL	0.053210358283	190	193	199
창틀	VORDE-Passivhaufenster	104	MATERIAL	0.10195091252	168	168	168
문	DOOR PANEL	105	MATERIAL	0.0528	166	185	222
문	DOOR PANEL	106	MATERIAL	0.0621	166	185	223
문	DOOR PANEL	107	MATERIAL	0.0696	166	185	224
문	DOOR PANEL	108	MATERIAL	0.0705	166	185	225
문틀	DOOR FRAME	109	MATERIAL	0.1584	83	120	93
문틀	DOOR FRAME	110	MATERIAL	0.138	83	120	94
문틀	DOOR FRAME	111	MATERIAL	0.139	83	120	95
문틀	DOOR FRAME	112	MATERIAL	0.133	83	120	96
중공층	EPI_Frame Cavity above 2cm	54	EQUIMAT	5.882	168	64	20
중공층	EPI_Frame cavity less or equal to 2cm	53	EQUIMAT	5.882	116	124	0
중공층	EPI_Frame_cavity slightly ventilated above 1cm	56	EQUIMAT	11.628	255	128	255
중공층	EPI_Frame_cavity slightly ventilated less or equal to 1cm	55	EQUIMAT	11.628	0	155	123

그림 3.76 재료층(문)

- 중공층 DB

건축 자재 DB							
Category	Name	Col	Type	E	R	G	B
창틀	Delta plus cold climate	93	MATERIAL	0.060053502211	220	221	224
창틀	DW-plus XPS	94	MATERIAL	0.12311034773	229	230	235
창틀	eCo2	95	MATERIAL	0.11515821286	240	242	247
창틀	MAKROWIN 88 G2	96	MATERIAL	0.11098559729	213	215	219
창틀	Passiv 115	97	MATERIAL	0.11002545459	227	232	246
창틀	QUESTY	98	MATERIAL	0.098468616793	232	238	253
창틀	smartwin	99	MATERIAL	0.067420763803	214	215	218
창틀	Synergist	100	MATERIAL	0.091568366457	205	205	207
창틀	The Vale Passive Window	101	MATERIAL	0.11172196466	222	223	224
창틀	UDOBJE E112	102	MATERIAL	0.089813899128	222	226	235
창틀	VADB-Plus 550	103	MATERIAL	0.053210358283	190	193	199
창틀	VORDE-Passivhaufenster	104	MATERIAL	0.10195091252	168	168	168
문	DOOR PANEL	105	MATERIAL	0.0528	166	185	222
문	DOOR PANEL	106	MATERIAL	0.0621	166	185	223
문	DOOR PANEL	107	MATERIAL	0.0696	166	185	224
문	DOOR PANEL	108	MATERIAL	0.0705	166	185	225
문틀	DOOR FRAME	109	MATERIAL	0.1584	83	120	93
문틀	DOOR FRAME	110	MATERIAL	0.138	83	120	94
문틀	DOOR FRAME	111	MATERIAL	0.139	83	120	95
문틀	DOOR FRAME	112	MATERIAL	0.133	83	120	96
중공층	EPI_Frame Cavity above 2cm	54	EQUIMAT	5.882	168	64	20
중공층	EPI_Frame cavity less or equal to 2cm	53	EQUIMAT	5.882	116	124	0
중공층	EPI_Frame_cavity slightly ventilated above 1cm	56	EQUIMAT	11.628	255	128	255
중공층	EPI_Frame_cavity slightly ventilated less or equal to 1cm	55	EQUIMAT	11.628	0	155	123

그림 3.77 중공층 DB

- 경계조건(Boundary Condition) DB

경계 조건 DB										88
	Name	Col	Temp	Firm	Type	Rule	R	G	B	
▶	Adiabatic	42	0	0	BC_SIMPL	NIHIL	146	146	146	
	EPI_exterior_indirect_external wall	43	5	9.09	BC_SIMPL	NIHIL	255	255	185	
	EPI_exterior_indirect_lowest slab	44	5	6.67	BC_SIMPL	NIHIL	30	0	151	
	EPI_exterior_indirect_ceiling or roof	45	5	11.63	BC_SIMPL	NIHIL	0	155	123	
	EPI_exterior_direct_I	46	-20	23.3	BC_SIMPL	NIHIL	234	189	149	
	EPI_exterior_direct_II	47	-15	23.3	BC_SIMPL	NIHIL	95	127	95	
	EPI_exterior_direct_III	48	-10	23.3	BC_SIMPL	NIHIL	181	32	0	
	EPI_interior_external wall	49	25	9.09	BC_SIMPL	NIHIL	0	255	32	
	EPI_interior_lowest slab	50	25	11.6	BC_SIMPL	NIHIL	255	166	177	
	EPI_interior_ceiling or roof	51	25	11.63	BC_SIMPL	NIHIL	255	255	32	
	EPI_interior_floor slab	52	25	0	BC_SIMPL	NIHIL	223	255	223	

그림 3.78 경계조건 DB

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 재료 라이브러리의 각 객체의 속성정보에는 전열해석에 요구되는 정보가 아래와 같이 매개변수로 구현되어 있음

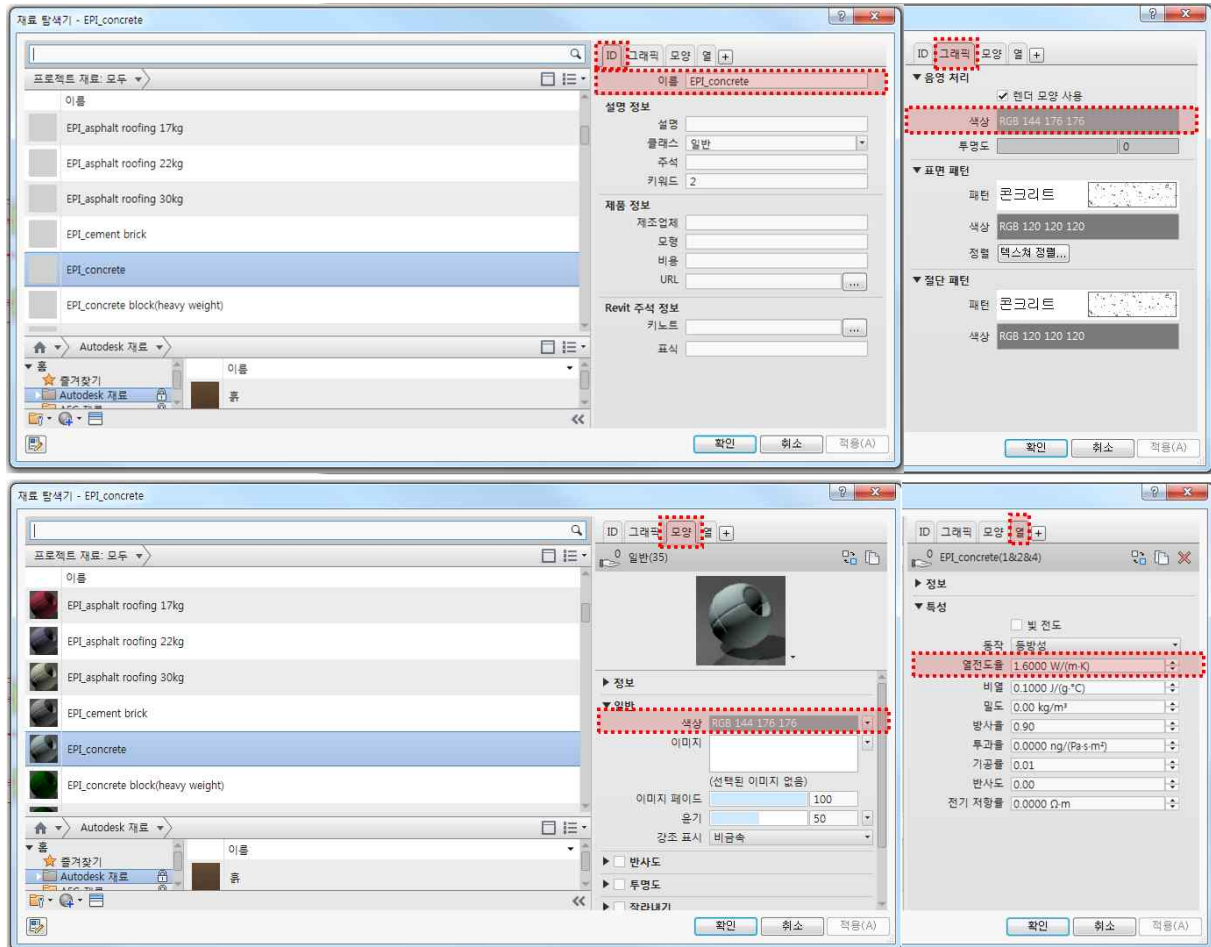


그림 3.79 재료 라이브러리에 포함된 속성정보

- BIM 해석부위의 속성정보 추출 절차를 정리하면 다음과 같음
 - BIM 해석부위를 3D Section Box 형태로 추출
 - 박스내 객체의 형상정보를 전열해석 프로그램의 포맷구조에 맞게 추출
 - 추출된 형상정보의 각 객체의 재료명을 읽음
 - 재료 라이브러리 DB에서 추출된 재료명과 동일한 객체명 찾음
 - 동일한 객체명에 포함된 속성정보를 추출

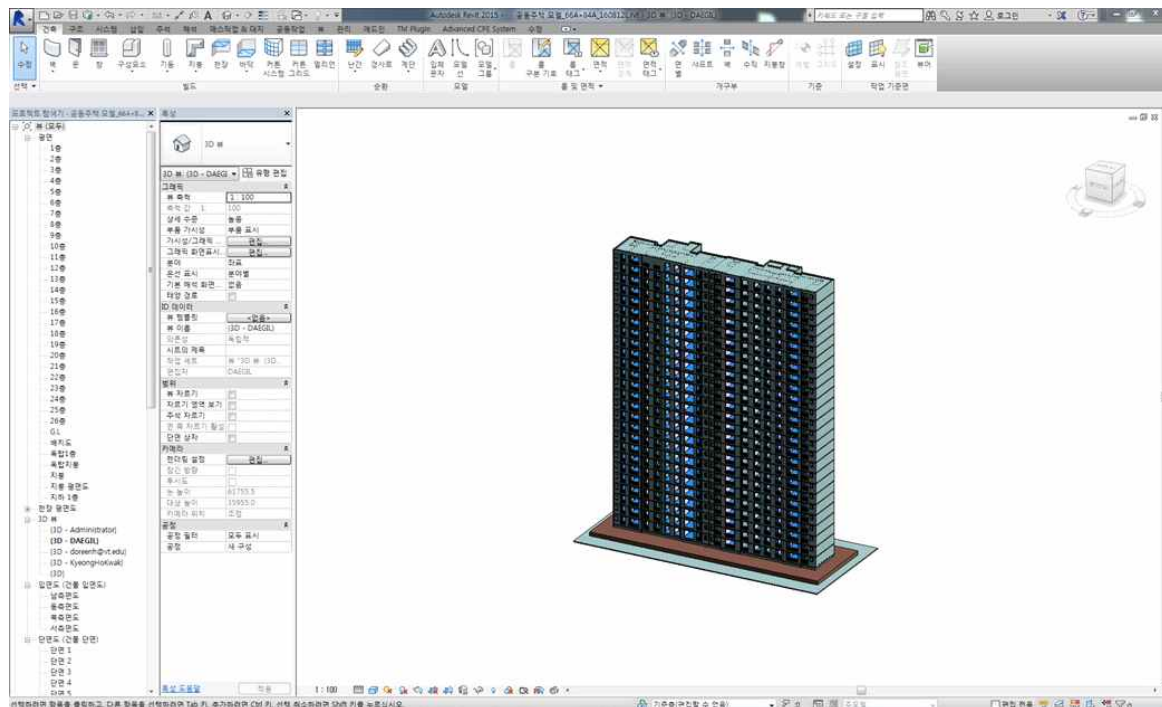
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발

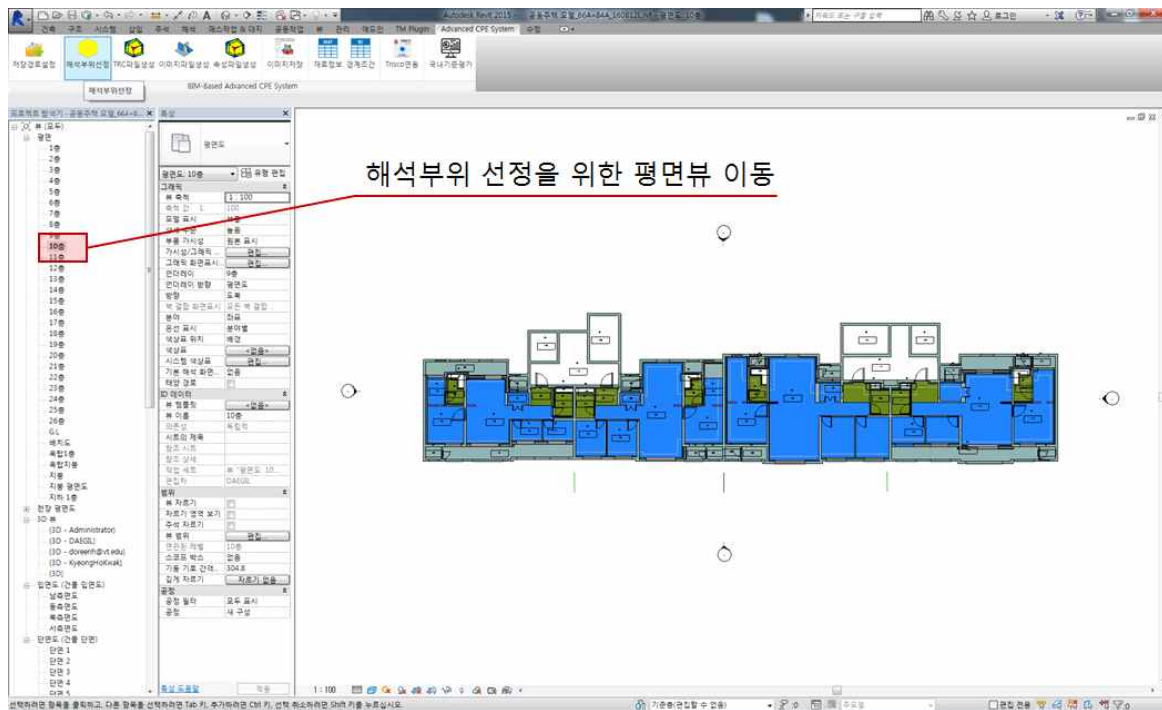
(가) 해석부위 추출 모듈의 개발

- 본 장에서는 BIM 해석부위의 형상 및 속성정보를 추출하는 모듈을 개발함. 모듈은 AUTODESK社 REVIT 2015의 Add-in 형태로 C#을 사용하여 구현되었음
- 본 모듈은 전열해석 프로그램에서의 모델링 범위와 동일한 가로, 세로 2000mm의 3D section box를 생성시키고 이를 마우스 커서에 연동하였으며 이를 해석부위에서 포지셔닝하면 해석부위의 형상 및 속성정보를 추출하게 됨
- 본 모듈을 통한 BIM 해석부위의 추출 절차는 다음과 같음. 본 절차는 본 연구에서 개발한 라이브러리를 사용하여 BIM 모델이 작업된 이후 이를 단열결로 성능평가 작업자가 인계받아 REVIT 파일을 실행시킨 이후부터를 도식화 한 것임

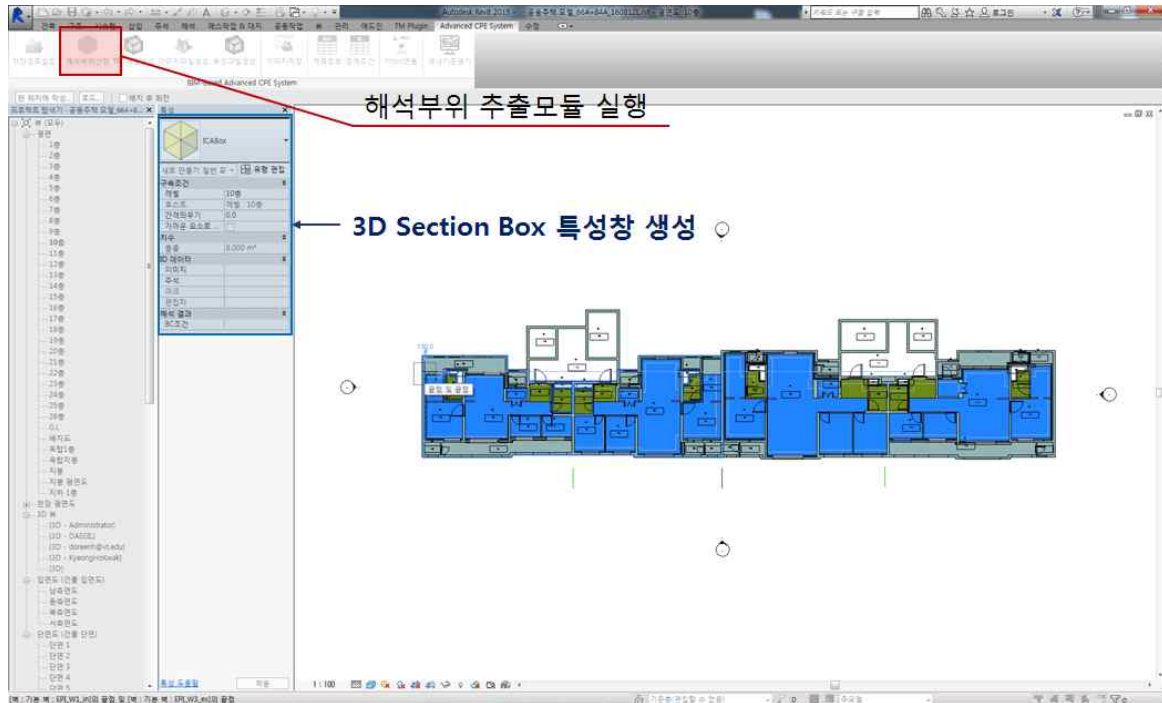
① REVIT 파일 실행하여 해석 대상모델 열기



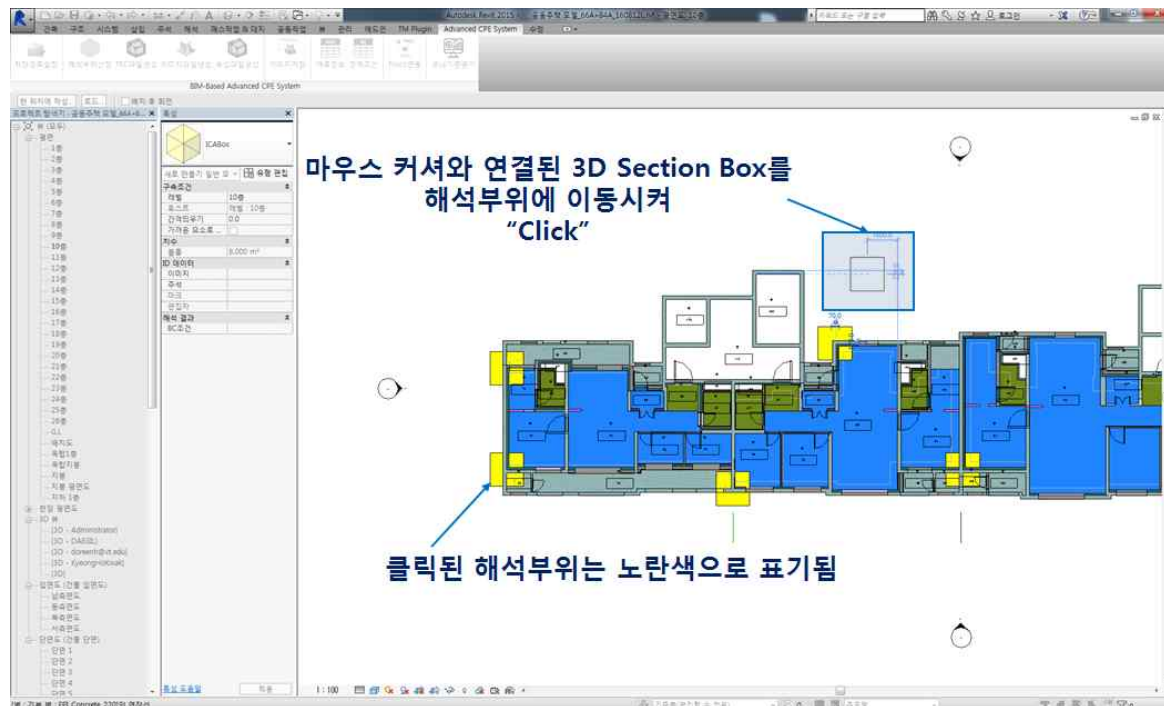
② 해석부위 선정을 위해 평면뷰로 이동



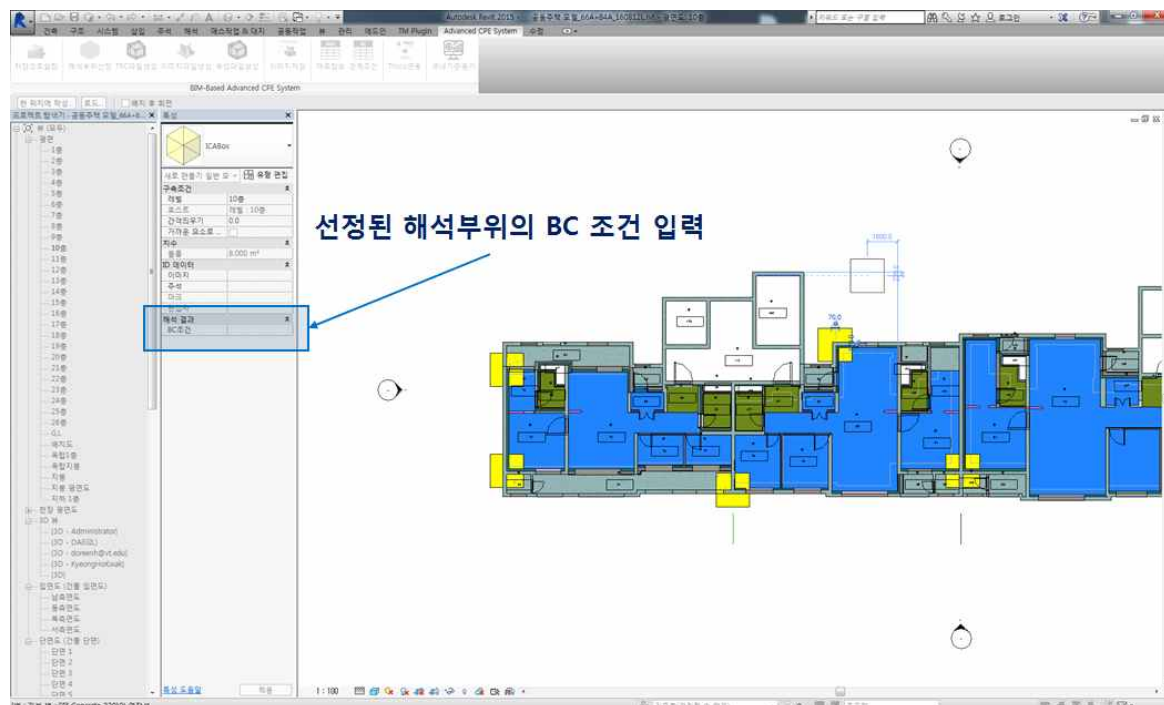
③ 메뉴에 구성된 해석부위 추출모듈 실행



④ 마우스 커서에 연결된 3D Section Box를 이동시켜 해석부위에서 클릭



⑤ BC의 Col. 값 입력



⑥ 종료

그림 3.80 단열·결로 해석부위 추출 모듈 실행 절차

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(나) 해석부위 추출 모듈의 검증

- 본 장에서는 단열·결로 성능평가의 자동화를 위해 개발된 BIM 해석부위의 형상정보 추출 모듈에 대한 검증의 일환으로 BIM 해석부위의 형상정보가 전열해석 프로그램에서 형상정보와 동일하게 추출되는지를 검증함
- 본 보고서에서의 검증절차는 아래와 같음
 - 본 연구를 통해 개발된 핵심성과 A(단열결로 분석 BIM 라이브러리)를 사용하여 BIM 설계가 수행된 공동주택의 BIM 도면 준비
 - 기준층 1개층을 대상으로 5개의 해석부위를 선정
 - 개발된 추출 모듈을 사용하여 선정된 해석부위의 형상 및 속성 정보를 추출
 - 변환 모듈을 통해 추출된 정보를 전열해석 프로그램의 프로젝트 파일(*.trc)로 변환
 - BIM 모델에서 추출된 정보와 전열해석 프로그램에 임포트된 형상정보를 비교
 - 프로젝트 파일(*.trc)을 *.txt파일로 임포트하여, 전열해석 프로그램의 입력값(Grid, Blocks, Colours)과 비교
- 아래 그림은 공동주택 BIM 모델의 기준층에서 추출된 해석부위를 도식화 한 것임

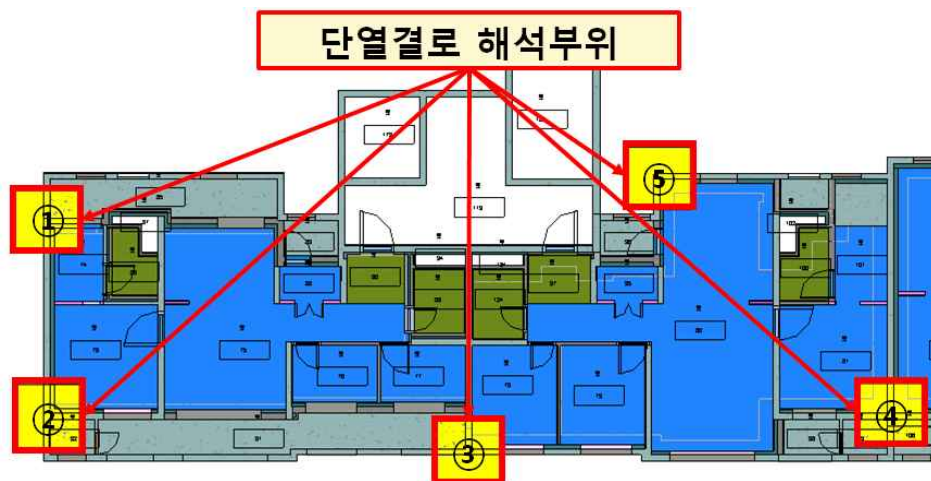


그림 3.81 전열해석을 위해 선정된 해석부위

- BIM 형상정보와 전열해석 프로그램의 형상정보 비교 결과는 아래와 같음
 - 검증결과 BIM 해석부위의 객체 형상정보가 추출될 수 있는 것으로 판단됨
 - 단, 창호 및 문에서 형상이 중첩되어 도출됨. 이는 BIM 저작도구에서 창호를 모델링 할 경우 시각적으로는 벽체가 뚫려져 창호가 설치되어 있으나 실제 형상적으로는 겹쳐져 있는 상태이기 때문
 - 창호의 모델링 방법은 매우 다양하며 이에 대한 고려는 현실적으로 불가능하므로 창호와 문부분은 전열해석 프로그램에서 수정이 요구됨

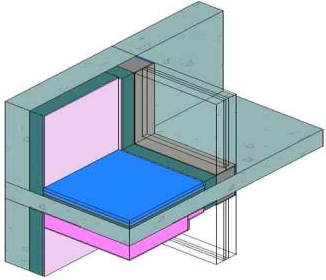
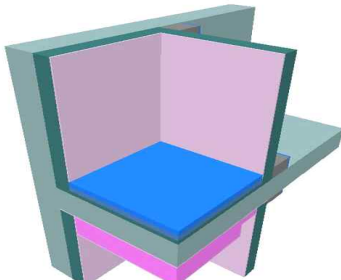
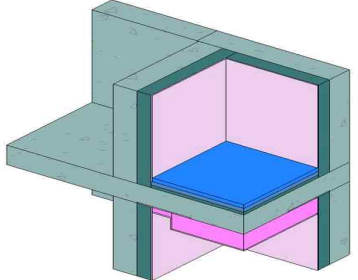
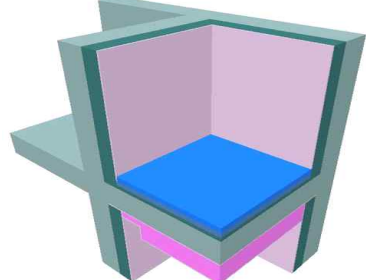
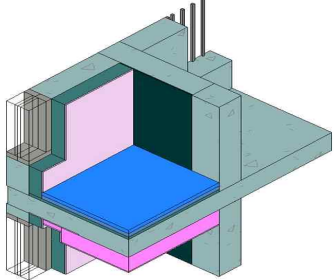
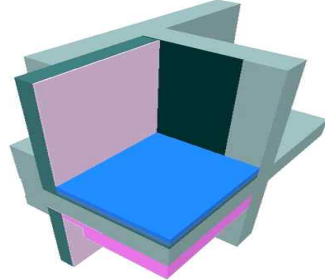
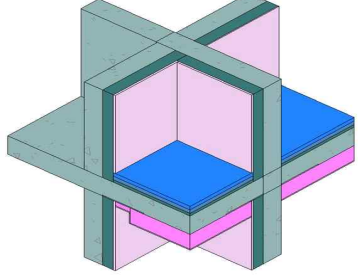
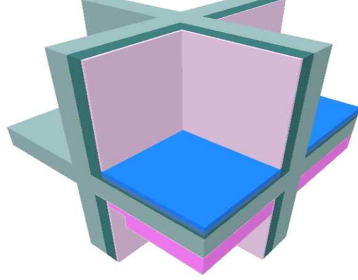
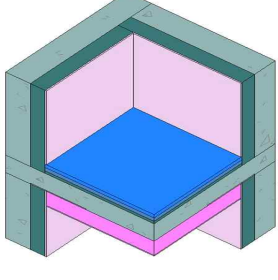
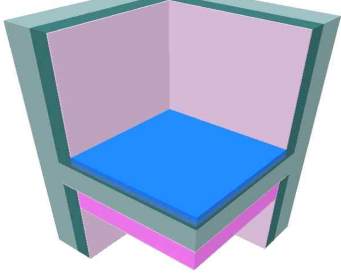
	BIM 형상 정보	PHYSIBEL 형상 정보
①		
②		
③		
④		
⑤		

그림 3.82 형상정보 추출 결과 비교

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 프로젝트 파일(*.trc)의 값과 전열해석 프로그램의 입력값에 대한 비교검토는 아래와 같음

구분
검토 그림

Grid

No.	X	Y	Z
0-1	890.000	605.500	578.400
1-2	220.000	10.000	31.600
2-3	120.000	152.000	10.000
3-4	10.000	10.000	112.000
4-5	25.000	120.000	8.390
5-6	9.610	77.500	3.610
6-7	725.390	25.000	6.000
7-8		25.000	40.000
8-9		62.500	10.000
9-10		15.000	200.000
10-11		897.500	30.000
11-12			40.000
12-13			40.000
13-14			9.610
14-15			40.390
15-16			840.000
Sum	2000.000	2000.000	2000.000

Blocks

No.	Col.	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	Zmin	Zmax
1	0	0	7	0	11	0	16
2	50	4	7	0	3	0	1
3	50	2	7	10	11	0	1
4	9	3	7	0	3	12	13
5	10	3	7	0	4	11	12
6	28	3	7	0	4	10	11
7	2	1	7	0	11	8	10
8	3	4	0	3	0	8	

Colours

그림 3.83 추출 결과와 전열해석프로그램 매칭 검토 결과(대표부위 1개소)

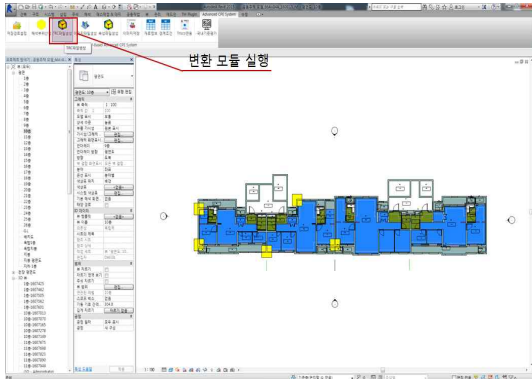
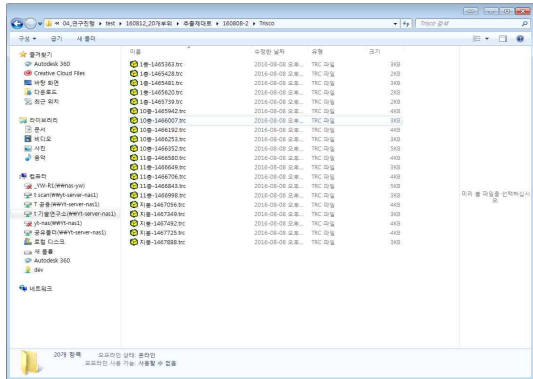
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

다. 핵심성과 C : BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈 개발

핵심성과	C	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈
단위성과	C-1	추출된 3D (Graphic Data와 Meta Data) 파일의 2D Coordinating
	C-2	단열·결로 분석 소프트웨어에서 활용 가능한 정보로 재정립할 수 있는 모듈(*.thermxml)을 개발

연차	연구목표	연구내용	단위성과 구분
1차년도	전열해석 툴과 BIM 연계 방법론 도출	(1) PHYSIBEL / THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석 (2) PHYSIBEL / THERM 특성 비교를 통한 BIM 연계성 검토 (3) 단열·결로 분석을 위한 모델 정보 도출	C-1
1차년도 결과		- 추출 모듈에서 추출된 BIM 해석부위를 전열해석 프로그램으로 바로 임포트 할 수 있도록 추출부위를 전열해석프로그램의 프로젝트 파일(*.trc)로 변환 시키는 모듈로 개발 방향을 설정함 - 단열·결로 성능평가 업무의 지원을 위해 전체 업무의 효율성을 향상 시킬수 있도록 추출 및 변환 모듈외에 해석부위의 이미지 추출 및 저장 기능, 속성정보 DB 관리 기능, 전열해석 프로그램 연동 기능 등 추가 기능이 요구됨 - 라이브러리 DB, 추출 모듈, 변환 모듈, 평가 모듈을 통합하고 작업자의 편의성을 고려한 통합형 시스템이 요구됨	
2차년도	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈 개발	(1) 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 (2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현	C-2
최종 결과물	[BIM 해석부위 변환 모듈 실행 화면]		
	  추출 모듈에서 추출된 형상 및 속성정보를 전열해석 프로그램의 프로젝트 파일로 변환시켜 작업자가 해석프로그램에서 즉시 시뮬레이션을 수행할 수 있는 자동화 모듈		

관련 성과물	구분	질적 성과	양적 성과
	1차년도	보고서1건	국내논문 1건
	2차년도	보고서2건(동영상, DATA file)	국외논문(SCI) 1건 특허출원 1건 S/W 등록 1건

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

(1) PHYSIBEL / THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석

(가) PHYSIBEL 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석

- PHYSIBEL 분석 기준
 - 3차원 열교, 결로해석, 열관류율 계산 등의 직각 형태 구조물에 대한 정상 상태 열해석
 - 모델 (Model)
 - 사각블록을 이용하여 모델링
 - 블록당 6개 좌표와 1개 색과 재료 입력 필수
 - 공간에서의 중첩을 통하여, 요구되는 블록 수가 최소
 - 재료 (Materials)
 - 재료의 물성(열전도율, 표면방사율)은 색상과 연계됨
 - 공통재료로 모델링된 부위에 대하여 등가열전도도 자동 계산
 - 경계조건 (Boundary Condition)
 - 재료블록의 외각 경계에서의 표면 경계조건 (주위 온도, 열전달계수, 열유속)
 - RADCON module의 사용으로 복사 및 대류에 대한 향상된 시뮬레이션
 - 재료블록 간의 경계면에서의 표면 경계조건 (온도 또는 열유속 고정)
 - 물체 블록 표면을 통한 시스템 노드의 직교격자를 활용한 격자 세밀화
 - 에너지 평형법 (Energy Balance Method)을 이용한 선형 방정식 시스템의 배치

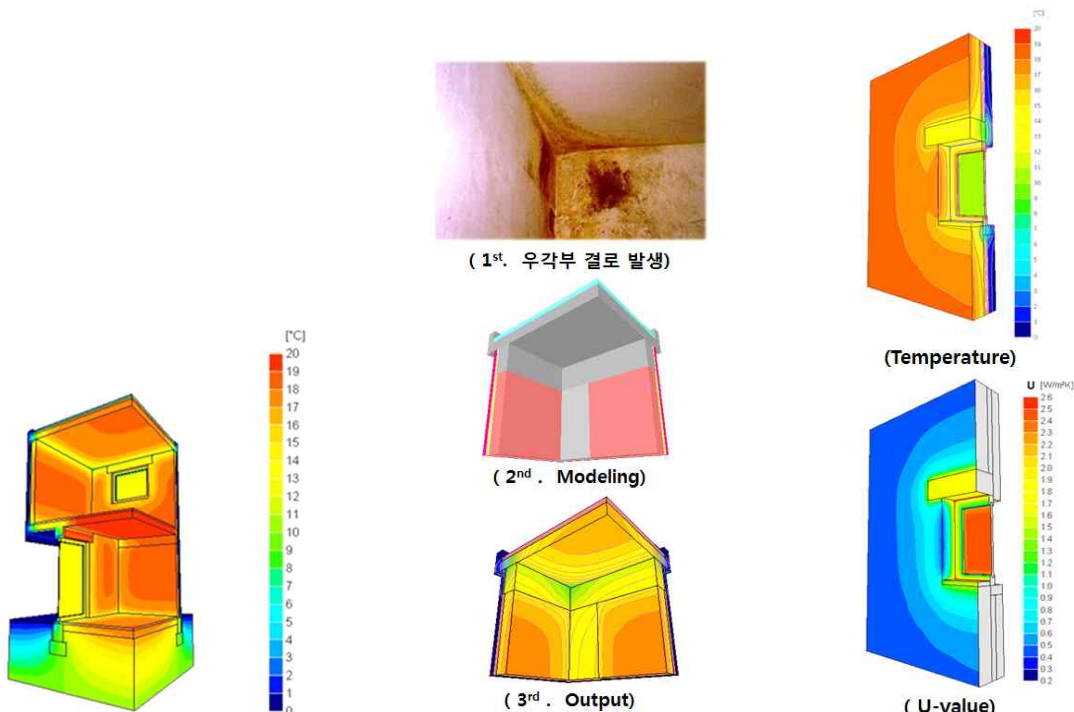


그림 3.84 우각부
입체 단면 분석

그림 3.85 우각부 결로
예측

그림 3.86 2D 단면
분석

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 출력 결과(Output)

- 계산된 온도, 열유속, 열유동 등을 perspective view, 단면 및 표로 가시화
- 열투과도 및 열교 상태량의 계산

• PHYSIBEL 입력 정보 형식 분석

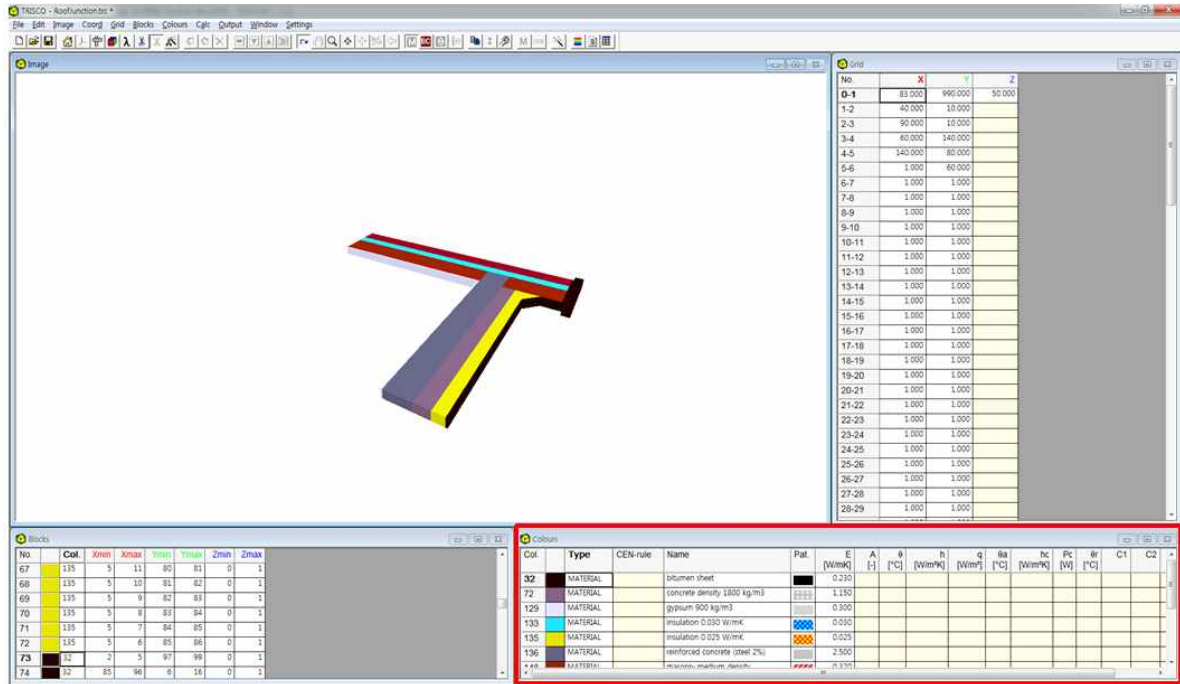


그림 3.87 2D PHYSIBEL 인터페이스의 형태

Col.	Type	CEN-rule	Name	Pat.	E [W/mK]	A [-]	θ [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]	εa [°C]	hc [W/m²K]	Pc [W]	εr [°C]	C1	C2	C3
2	EQUIMAT	NIHL	exterior		1.000											
3	EQUIMAT	CEN_Xy_1	interior		5.104							0.025	0.73	0.333333		
4	MATERIAL		outer leaf cavity wall		1.000											

그림 3.88 열적 물성을 정의하는 Colours 창

- Colours 창에서 열적 물성에 대한 다양한 변수들을 활용하여 열적 성능을 계산함
- Colours 창의 다양한 CEN-rules는 EQUIMAT, BC_SIMPL, BC_FRE_S, BC_FREE, BC_SKY, BC_NOSKY에 의해 선택됨
- 변수 창의 다양한 기호 및 용어 정리
 - $\lambda [W/mK]$: 재료의 열전도율 (MATERIAL, EQUIMAT, TRANSMAT)
 - $\epsilon [-]$: 재료 표면의 적외선 방사율 (MATERIAL, EQUIMAT)
 - $\theta [^{\circ}C]$: 주위 온도 (BC_SIMPL)
 - $h [W/m^2K]$: 표면열전달계수 (BC_SIMPL, BC_FRE_S)
 - $q [W/m^2]$: 표면열유속 (BC_SIMPL, BC_FRE_S, BC_FREE, BC_SKY, BC_NOSKY)

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- $\theta_a [^{\circ}\text{C}]$: 기온 (BC_SKY, BC_NOSKY)
 - $h_c [W/m^2K]$: 대류열전달계수 ((BC_FREE, BC_SKY, BC_NOSKY)
 - $P_c [W]$: 중공층의 대류에너지 (BC_FRE_S, BC_FREE)
 - $\theta_r [^{\circ}\text{C}]$: 주위 환경의 복사 온도 (BC_SKY)
 - C_1, C_2, C_3 : CEN 공식에서 활용되는 계산을 위한 변수 기호 (EQUIMAT, BC_FREE, BC_SKY, BC_NOSKY)
- CEN-rules이란 Commission for European Norms (CEN)에 의해 승인된 표준에 따라 열적 성능을 자동으로 계산하는 것을 말함 (등가열전도율 혹은 대류열전달계수)
 - 계산은 변수 C1, C2, C3를 활용함
 - 계산의 기본 온도 설정값 : 평균온도 $\theta_m = 10^{\circ}\text{C}$
 - 중공층 사이의 온도 차이 기본 설정값 : $\Delta\theta_{ss} = 10^{\circ}\text{C}$
 - CEN-rule의 열적 특성은 전반적인 열 계산을 통해 얻어진 실제 온도값을 토대로 재계산됨
 - 비선형 연산은 몇 가지의 반복적인 계산으로 나뉘지며 각각의 반복 사이클은 선형 시스템으로 구성됨
 - 선형 시스템은 이전에 반복된 사이클의 값으로부터 얻어진 온도를 통해 업데이트된 열적 특성을 토대로 함
 - 재계산된 열적 특성은 각각의 새롭게 반복되는 사이클의 시작점에서 Colours 창에 업데이트됨

표 3.46 객체의 열적 특성 정의를 위한 속성들

열전달 모드	속성 [단위]	내용
전도	$E[W/mK]$	열전도율
대류	$q[W/m^2]$	표면 열류(flux, 벡터)
	$\theta_a [^{\circ}\text{C}]$	대류 온도
	$h_c[W/m^2K]$	대류열전달계수
	$P_c[W]$	공기층 대류열에너지
복사	$\theta_r [^{\circ}\text{C}]$	복사 온도
	$A(\epsilon)$	재료 표면의 방사율
대류 / 복사	$\theta [^{\circ}\text{C}]$	주위 온도
	$h[W/m^2K]$	대류+복사 표면열전달계수
전도 / 대류 / 복사	$C1, C2, C3$	CEN 계산을 위한 변수

- 일반재료의 경우 MATERIAL 타입을 통해 속성이 정의되며 이 때 요구되는 속성 값은 $E(\text{열전도율})$ 임
- TRANSMAT의 경우 전도/대류/복사가 모두 정의하여 재료의 물리적 특성을 고려한 복

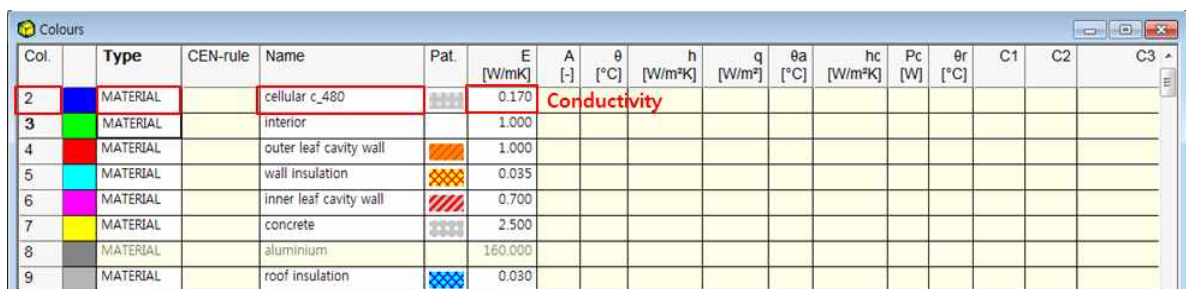
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

사 투과율을 적용하며 이외의 타입들은 모두 기체의 상태를 정의함

- 기체(경계 조건)를 정의하는 타입 중 BC_SIMPL의 경우 단순 경계조건으로서 공간 내 온도 및 표면의 열전달계수를 알고 있는 경우 활용할 수 있음

※ CEN-rule : ISO 6946 : Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance Calculation method, ISO 10077-2 : Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance에 따라 공기층의 등가열전도율이나 대류열전달계수를 계산할 수 있는 변수를 C1, C2, C3로 정의하여 자동으로 계산함

① PHYSIBEL의 Material 요구정보



Col.	Type	CEN-rule	Name	Pat.	E [W/mK]	A [-]	θ [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]	ea [°C]	hc [W/m²K]	Pc [W]	θr [°C]	C1	C2	C3
2	MATERIAL		cellular c_480		0.170											
3	MATERIAL		interior		1.000											
4	MATERIAL		outer leaf cavity wall		1.000											
5	MATERIAL		wall insulation		0.035											
6	MATERIAL		inner leaf cavity wall		0.700											
7	MATERIAL		concrete		2.500											
8	MATERIAL		aluminium		160.000											
9	MATERIAL		roof insulation		0.030											

그림 3.89 PHYSIBEL 상의 MATERIAL 정의

- PHYSIBEL의 경우 THERM과 같이 면 객체로 구성된 Material과 선 객체로 된 Boundary Condition으로 구성된 것이 아닌, 해당 3D 객체에 대해 일률적으로 정의할 수 있도록 객체 속성 체계가 구성됨
- PHYSIBEL에서의 객체에 대한 속성 값은 Colours 탭에서 정의되는데 Col.는 객체에 고유로 붙은 번호(1~250)이며 고유번호 Col.에 대한 색상과 Type을 우선적으로 지정하게 됨
- 특정 Type의 선택에 따라 열적 특성을 정의할 수 있는 12 가지의 변수를 활용할 수 있음
- 해당 그림의 경우 Type을 MATERIAL로 정의하면 열전도율 E[W/mK]가 활성화되어 해당 값을 직접 입력할 수 있음
- 객체의 열적 특성을 정의하기 위한 변수들은 아래와 같음

표 3.47 객체 타입의 종류

타입 종류	열전달 형태	객체 타입	정의를 위한 속성
MATERIAL	전도	고체	E
TRANSMAT	전도/대류/복사	공기층	E, A(ϵ)
EQUIMAT	대류/복사	공기층	E
BC_SIMPL	대류/복사	주위 환경	θ , h, q
BC_FRE_S	대류/복사	공기층	h, q, Pc
BC_FREE	전도/복사	공기층	q, h _c , Pc
BC_SKY	대류/복사	주위 환경	q, θ_a , h _c , θ_r
BC_NOSKY	대류/복사	주위 환경	q, θ_a , h _c

② PHYSIBEL의 경계조건 요구정보

Col.	Type	CEN-rule	Name	Pat.	E [W/mK]	A [-]	θ [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]	θa [°C]	hc [W/m²K]	Pc [W]	θr [°C]	C1	C2	C3
2	BC_SIMPL	NIHIL	exterior				온도	25.00	0							
3	BC_SIMPL	NIHIL	interior				25.0									
4	MATERIAL		outer leaf cavity wall		1.000											
5	MATERIAL		wall insulation		0.035											
6	MATERIAL		inner leaf cavity wall		0.700											
7	MATERIAL		concrete		2.500											
9	MATERIAL		roof insulation		0.030											

그림 3.90 PHYSIBEL의 경계조건 정의

- PHYSIBEL의 경우 경계조건을 정의하는 6가지 속성 Type 중 단순 경계조건으로 정의가 가능한 BC_SIMPL을 지정할 경우 온도와 표면열전달계수를 통해 경계조건이 정의됨
- BC_SIMPL로 지정한 후 CEN-rule의 계산 방식의 적용여부를 설정하는데 NIHIL(사용자 정의)를 설정하여 직접 입력 값을 통해 경계조건이 정의될 수 있도록 선택이 가능함
- 경계조건 Type을 BC_SIMPL로 설정하면 경계조건의 열적 특성은 소수 1째 자리로 표현되는 온도(°C)와 소수 2째 자리로 표현되는 표면열전달계수(W/m²K)로 정의됨
- 이 외에 THERM과 달리 추가적으로 객체 고유번호 Col.을 지정하고 CEN-rule은 'NIHIL'로 설정함
- Name은 직접 입력 값의 문자형태로 정의되며 Color는 RGB를 통해 설정되는데 프로그램의 View 상에서 경계조건은 투명하게 표현되므로 입력 시 고려 대상이 아님

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

표 3.48 PHYSIBEL 공기층 Type

기체 상태를 정의하는 Type	내 용
BC_SIMPL	단순 경계조건으로 대상 공간 내 온도 및 표면의 열전달계수로 정의됨
BC_FRE_S	공간에 대한 온도 값은 미지수, Global 열전달 계수를 알고 있는 경계조건
BC_FREE	공간에 대한 온도 값은 미지수, 대류와 복사 열전달 계수가 분리되어 있는 경우 주변 온도는 모르는 상태에서 대류 또는 복사에 의해 계산됨
BC_SKY	공간에 대한 복사 온도 값을 알고 있고, 대류 및 복사 열전달 계수가 분리되어 있는 경우
BC_NOSKY	공간에 대한 복사 열 전달 없이 고정 온도만 알고 있고, 대류 및 복사 열전달 계수가 분리되어 있는 경우
EQUIMAT	재료와 재료 사이의 열특성을 고려 (중공층 내 열전도)

③ PHYSIBEL의 중공층 요구정보 체계

- PHYSIBEL에서 중공층 정의 시 Type은 EQUIMAT으로 지정함
 - Type 지정 후 CEN-rule에 관한 변수의 지정이 요구되며, NIHIL(사용자 정의)로 지정하
면 중공층의 특정한 열전달 성능에 상당한 등가열전도율을 직접 입력할 수 있음
 - NIHIL(사용자 정의) 설정 이외에 형상의 특성에 따라 정의됨
- ※ C1, C2, C3 : 중공층 열적 특성 계산을 위한 방정식 매개변수 (지정 값 적용)

Col.	Type	CEN-rule	Name	Pat.	E [W/mK]	A [-]	θ [°C]	h [W/m²K]	q [W/m²]	εa [°C]	εc [W/m²K]	Pc [W]	εr [°C]	C1	C2	C3
2	EQUIMAT	NIHIL	exterior		1.000											
3	EQUIMAT	CEN_Xy_I	interior		5.104									0.025	0.73	0.333333
4	MATERIAL		outer leaf cavity wall		1.000											

그림 3.91 PHYSIBEL에서의 중공층 정의

- PHYSIBEL에서 중공층의 전열 성능을 정의하는 정보는 <표 3.49>에서 제시된
CEN-rule, 소수 3째 자리의 실수로 표현되는 E(열전도율), 그 외에 CEN 기준 적용
시 활용되는 계산을 위한 변수 C1, C2, C3가 있음
- CEN-rule열의 기호는 열흐름 축과 이에 직교하는 해당 구조체의 면적에 평행한 축을
정의하여 구성함
- 이 외에 객체를 구분하고 정의하는 객체 고유번호 Col., 중공층 객체의 이름을 지정하
는 Name이 있음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

표 3.49 타입 EQUIMAT의 CEN-rule 변수의 내용

Type	CEN-rule	내 용
EQUIMAT	NIHIL	사용자가 지정한 열전도율
	CEN_Xy_I	통기없는 중공층, 열흐름은 X축에 평행하고 폭은 Y축에 평행
	CEN_Xz_I	통기없는 중공층, 열흐름은 X축에 평행하고 폭은 Z축에 평행
	CEN_Yx_I	통기없는 중공층, 열흐름은 Y축에 평행하고 폭은 X축에 평행
	CEN_Yz_I	통기없는 중공층, 열흐름은 Y축에 평행하고 폭은 Z축에 평행
	CEN_Zx_I	통기없는 중공층, 열흐름은 Z축에 평행하고 폭은 X축에 평행
	CEN_Zy_I	통기없는 중공층, 열흐름은 Z축에 평행하고 폭은 Y축에 평행
	CEN_Xy_E	통기 중공층, 열흐름은 X축에 평행하고 폭은 Y축에 평행
	CEN_Xz_E	통기 중공층, 열흐름은 X축에 평행하고 폭은 Z축에 평행
	CEN_Yx_E	통기 중공층, 열흐름은 Y축에 평행하고 폭은 X축에 평행



• PHYSIBEL 출력 정보 형식 분석

① TEXT 출력정보

표 3.50 PHYSIBEL의 TEXT 출력 정보 분류

정보		내용																																																																																																				
1	Heat flow divergence	Number of nodes = 706847 Heat flow divergence for total object = 3.8477e-011 Heat flow divergence for worst node = 200																																																																																																				
2	물성 정보	<table><tr><th>Col.</th><th>Type</th><th>Name</th><th>tmin</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th><th>tmax</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr><tr><th colspan="3"></th><th>[;EC]</th><th colspan="4"></th><th>[;EC]</th><th colspan="3"></th></tr><tr><td>2</td><td>MATERIAL</td><td>EPI_Concrete</td><td>-20.00</td><td>1</td><td>0</td><td>103</td><td>22.91</td><td>113</td><td>0</td><td>40</td></tr><tr><td>3</td><td>MATERIAL</td><td>EPI_Cement brick</td><td>-19.90</td><td>49</td><td>40</td><td>118</td><td>-4.57</td><td>69</td><td>0</td><td>40</td></tr><tr><td>9</td><td>EQUIMAT</td><td>EPI_Mortar</td><td>17.08</td><td>97</td><td>16</td><td>76</td><td>24.90</td><td>113</td><td>0</td><td>90</td></tr><tr><td>13</td><td>MATERIAL</td><td>EPI_Gypsum board</td><td>-16.72</td><td>87</td><td>44</td><td>0</td><td>24.12</td><td>97</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>32</td><td>MATERIAL</td><td>EPI_Insulation</td><td>-19.50</td><td>71</td><td>44</td><td>118</td><td>24.87</td><td>113</td><td>0</td><td>76</td></tr><tr><td>44</td><td>BC_SIMPL</td><td>EPI_Direct ex</td><td>-20.00</td><td>1</td><td>0</td><td>103</td><td>-16.30</td><td>112</td><td>64</td><td>49</td></tr><tr><td>47</td><td>BC_SIMPL</td><td>EPI_Direct in</td><td>10.14</td><td>101</td><td>13</td><td>26</td><td>24.90</td><td>113</td><td>0</td><td>90</td></tr></table>	Col.	Type	Name	tmin	X	Y	Z	tmax	X	Y	Z				[;EC]					[;EC]				2	MATERIAL	EPI_Concrete	-20.00	1	0	103	22.91	113	0	40	3	MATERIAL	EPI_Cement brick	-19.90	49	40	118	-4.57	69	0	40	9	EQUIMAT	EPI_Mortar	17.08	97	16	76	24.90	113	0	90	13	MATERIAL	EPI_Gypsum board	-16.72	87	44	0	24.12	97	1	5	32	MATERIAL	EPI_Insulation	-19.50	71	44	118	24.87	113	0	76	44	BC_SIMPL	EPI_Direct ex	-20.00	1	0	103	-16.30	112	64	49	47	BC_SIMPL	EPI_Direct in	10.14	101	13	26	24.90	113	0	90
Col.	Type	Name	tmin	X	Y	Z	tmax	X	Y	Z																																																																																												
			[;EC]					[;EC]																																																																																														
2	MATERIAL	EPI_Concrete	-20.00	1	0	103	22.91	113	0	40																																																																																												
3	MATERIAL	EPI_Cement brick	-19.90	49	40	118	-4.57	69	0	40																																																																																												
9	EQUIMAT	EPI_Mortar	17.08	97	16	76	24.90	113	0	90																																																																																												
13	MATERIAL	EPI_Gypsum board	-16.72	87	44	0	24.12	97	1	5																																																																																												
32	MATERIAL	EPI_Insulation	-19.50	71	44	118	24.87	113	0	76																																																																																												
44	BC_SIMPL	EPI_Direct ex	-20.00	1	0	103	-16.30	112	64	49																																																																																												
47	BC_SIMPL	EPI_Direct in	10.14	101	13	26	24.90	113	0	90																																																																																												
3	경계 정보	<table><tr><th>Col.</th><th>Type</th><th>Name</th><th>ta</th><th>Flow in</th><th>Flow out</th></tr><tr><th colspan="3"></th><th>[;EC]</th><th>[W]</th><th>[W]</th></tr><tr><td>44</td><td>BC_SIMPL</td><td>EPI_Direct ex</td><td></td><td>0.00</td><td>138.72</td></tr><tr><td>47</td><td>BC_SIMPL</td><td>EPI_Direct in</td><td></td><td>138.72</td><td>0.00</td></tr></table>	Col.	Type	Name	ta	Flow in	Flow out				[;EC]	[W]	[W]	44	BC_SIMPL	EPI_Direct ex		0.00	138.72	47	BC_SIMPL	EPI_Direct in		138.72	0.00																																																																												
Col.	Type	Name	ta	Flow in	Flow out																																																																																																	
			[;EC]	[W]	[W]																																																																																																	
44	BC_SIMPL	EPI_Direct ex		0.00	138.72																																																																																																	
47	BC_SIMPL	EPI_Direct in		138.72	0.00																																																																																																	
4	온도 계수, 열관류율 열전달저항, 표면결로 발생 습도	Temperature factor (EN ISO 10211) = 0.670 h1 = 9.09 W/(m².K) Rsi = 0.11 m².K/W Surface condensation if RH > 39 % (at 25.00;EC)																																																																																																				
5	선형열관류율 총 전열량 열관류율 상당 열관류율	2D/3D surplus thermal transmittance dL = Q/(ti-te) - U1*A1 - U2*A2 - U3*A3 = 1.604 W/K Equivalent thermal transmittance Ueq = Q/((ti-te)*(A1+A2+A3)) = 1.028 W/(m².K) Q = 138.722 W ti = 25.00°C te = -20.00°C U1 = 0.185 W/(m².K) Xmin=1 Xmax=113 Ymin=0 Ymax=0 Zmin=0 Zmax=0 A1 = 1 m² Xmin=97 Xmax=97 Ymin=0 Ymax=16 Zmin=90 Zmax=118 U2 = 0.976 W/(m².K) Xmin=113 Xmax=113 Ymin=0 Ymax=64 Zmin=0 Zmax=0 A2 = 1 m² Xmin=97 Xmax=113 Ymin=16 Ymax=16 Zmin=90 Zmax=118 U3 = 0.317 W/(m².K) Xmin=113 Xmax=113 Ymin=0 Ymax=0 Zmin=0 Zmax=118 A3 = 1 m² Xmin=97 Xmax=113 Ymin=0 Ymax=16 Zmin=90 Zmax=90 Ufloor = (Q/(ti-te) - U2*A2 - U3*A3)/A1 = 1.789 W/(m².K)																																																																																																				

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- Heat flow divergences for total object (개체의 열 발산량)

- 해석결과와 특성은 대부분 개체 전체의 열 발산량(heat flow divergence)에 의해 결정됨
- 개체가 가진 모든 요소의 열류량(heat flows)의 총합을 (외부로 유출되면 -값) 모든 열류의 절대값의 절반으로 나눈 값으로 정의됨

$$OD = \frac{|\Phi_{i,o} - \Phi_{out,o}|}{0.5 \cdot (|\Phi_{i,o}| + |\Phi_{out,o}|)} \cdot 100$$

OD : 개체의 열 발산량 (Object Divergence) [%]

$\Phi_{i,o}$: 개체로 들어오는 열류량 [W]

$\Phi_{out,o}$: 개체에서 나가는 열류량 [W]

- 개체가 가진 모든 요소의 열류량(heat flows)의 총합을 (외부로 유출되면 -값) 모든 열류의 절대값의 절반으로 나눈 값으로 정의됨
- 분모에 0.5라는 계수를 적용함으로 인해, 분모는 개체를 통과하는 열류량으로 해석됨
- 열 발산량의 최대값은 200% (허용오차 0.001%), (들어오는 열류만 있고 나가는 열류가 없을 때 $\Phi_{i,o} > 0$ and $\Phi_{out,o} = 0$ 이거나, 나가는 열류만 있고 들어오는 열류가 없을 때 $\Phi_{i,o} = 0$ and $\Phi_{out,o} > 0$)

- Heat flow divergences for worst node (최대 절점의 열 발산량)

- 전체 절점의 최대 열 발산량

$$ND = \max_n \left(\frac{|\Phi_{i,n} - \Phi_{out,n}|}{0.5 \cdot (|\Phi_{i,n}| + |\Phi_{out,n}|)} \cdot 100 \right)$$

ND : 절점 열 발산량 (Node Divergence) [%]

$\Phi_{i,n}$: 절점 주변의 검사체적에 대한 들어오는 열류량 [W]

$\Phi_{out,n}$: 절점 주변의 검사체적에 대한 나가는 열류량 [W]

- Temperature factor (온도계수)

- 온도계수(Temperature factor)는 표면결로를 평가하기 위한 최소 내부 표면온도를 나타내는 무차원의 수임
- ISO 10211 기준에 따른 방정식

$$f = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

f : 온도 계수 [-]

θ_i : 내부 온도 조건

θ_e : 외부 온도 조건

$\theta_{si,min}$: 최소내부표면온도

- 온도계수 이외에 $\theta_{si,min}$ (최소내부표면온도) 적용을 위한 내부열전달계수 h_i [W/m²K]와 내부 표면저항 R_{si} [m²K/W]를 확인할 수 있음
- RH (Relative Humidity) : 내부 온도 조건에서 표면결로가 발생하는 상대습도

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 2D or 3D surplus thermal transmittance / Linear thermal transmittance

- 2, 3차원 잔여 열관류율은 열교의 2, 3차원 효과에 대한 측면요소의 1차원 열관류율의 면적 가중과 비교된 정정 조건임
- ISO 10211 기준에 따른 방정식

$$\Delta L = \frac{\Phi}{\theta_i - \theta_e} - U_1 \times A_1 - U_2 \times A_2 - U_3 \times A_3$$

ΔL : 2, 3차원 잔여 열관류율 [W/K]

Φ : 개체를 통한 총 열류 [W]

θ_i : 내부 온도 조건 [°C]

θ_e : 외부 온도 조건 [°C]

U_1, U_2, U_3 : 측면요소에 대한 1차원 열관류율 [W/(m2K)]

A_1, A_2, A_3 : 측면요소의 면적 [m2]

- 2차원에서의 선형열관류율 ψ [W/(mK)]는 ΔL 을 3차원의 단일 메시의 폭으로 나눔으로서 구할 수 있음

- Equivalent thermal transmittance (상당 열관류율)

- 상당 열관류율 : 1차원 요소의 열관류율(U value)
- 요소에서 지정된 벽 면적을 통한 열류량과 동일함

$$U_{eq} = \frac{\Phi}{(\theta_i - \theta_e) \times (A_1 + A_2 + A_3)}$$

U_{eq} : 상당 열관류율 [W/m2K]

Φ : 개체를 통한 총 열류량 [W]

θ_i : 내부 온도 조건 [°C]

θ_e : 외부 온도 조건 [°C]

A_1, A_2, A_3 : 측면요소의 면적들 [m2]

- Thermal transmittance of element (요소의 열관류율)

$$U_{elem} = \frac{\frac{\Phi}{\theta_i - \theta_e} - U_2 \times A_2 - U_3 \times A_3}{A_1}$$

U_{ele} : 요소의 열관류율 [W/m2K]

θ_i : 내부 온도 조건 [°C]

θ_e : 외부 온도 조건 [°C]

U_2, U_3 : 측면요소의 1차원 열관류율 [W/m2K]

A_1, A_2, A_3 : 각 요소에 대한 면적 [m2]

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

• 이미지 출력정보

- 온도 스펙트럼 : 구조체의 내외부를 포함한 전체에 대해 전열해석을 통한 온도를 스펙트럼으로 나타내어 표현하며 적색으로 갈수록 고온을 나타냄
- 열류 스펙트럼 : 열류(벡터량)를 스펙트럼으로 표현하며 전열량이 많은 부위에서 색상의 변화가 생기고 적색으로 갈수록 열류량이 많은 것을 나타냄
- 등온선도 : 온도가 동일한 부위를 등온선으로 이어서 표현하며 등온선의 간격이 좁을수록 전열량이 많음 (열교 증가)
- 등열류선도 : 구조체에서 같은 열류량이 발생하는 부위를 등열류선으로 이어서 표현하며 간격이 좁을수록 열류가 크게 발생함

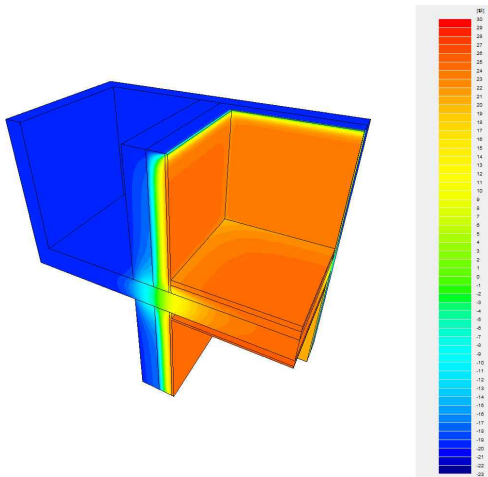


그림 3.114 온도 스펙트럼

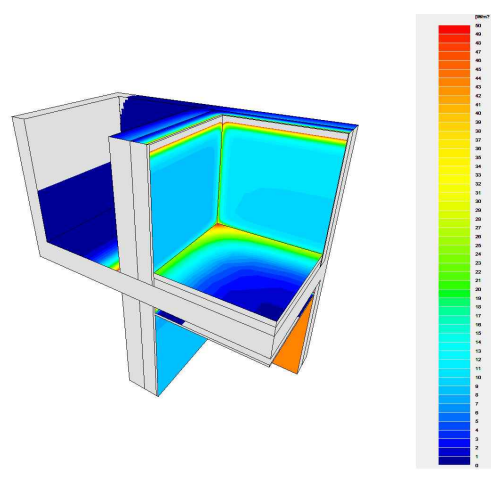


그림 3.115 열류 스펙트럼

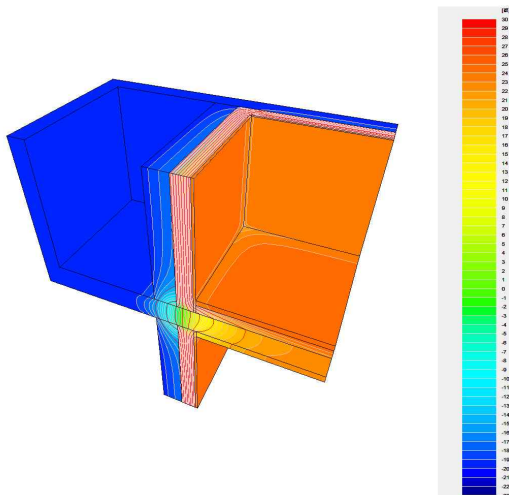


그림 3.116 등온선도

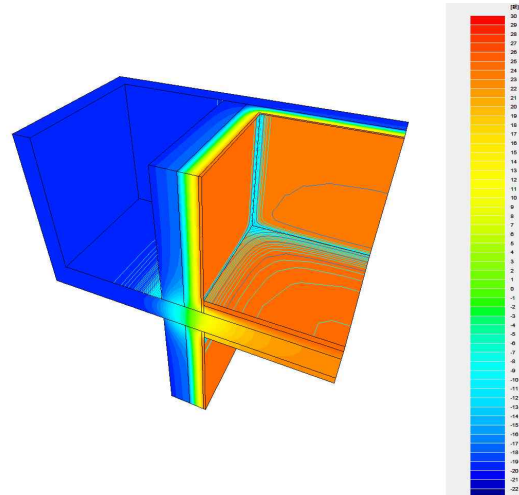


그림 3.117 등열류선도

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 기타 출력 정보

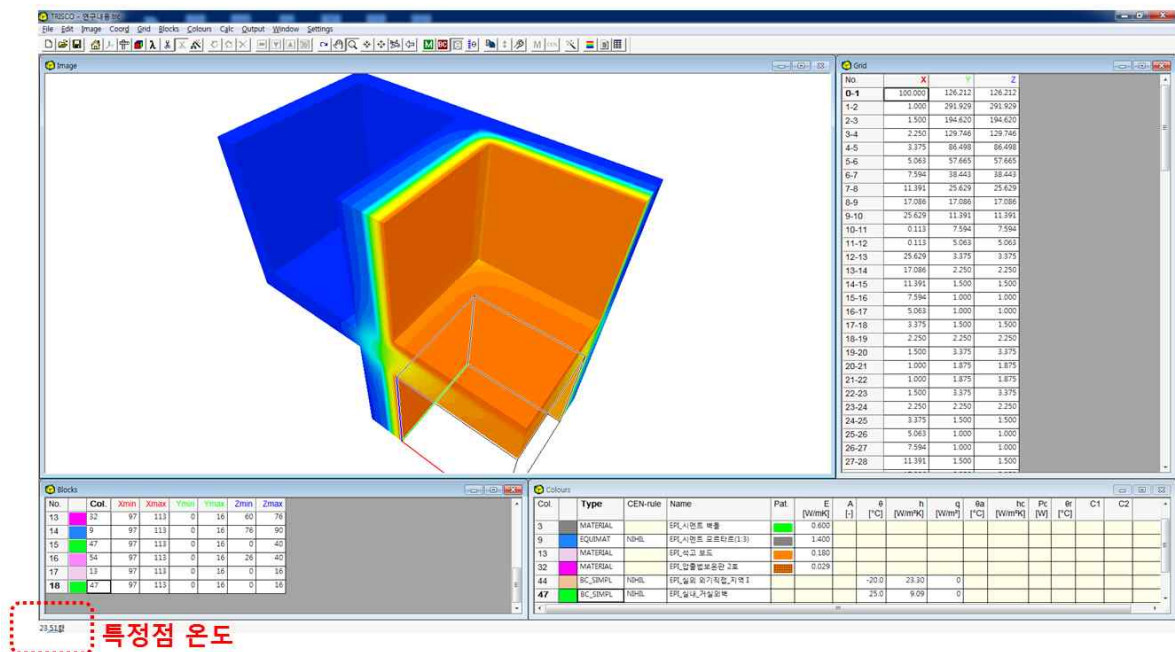


그림 3.92 Cursor를 통한 특정 점의 온도 확인

- 특정부위 온도 : 특정부위에 커서를 올려놓으면 특정부위 온도를 나타내는데 이를 통해 구조체 각 층과 경계면의 온도를 확인할 수 있음

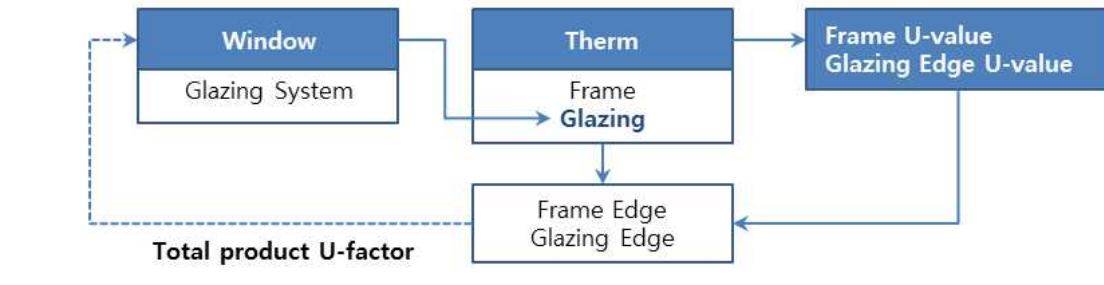
(나) THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석

- THERM 분석 기준
 - WINDOW 프로그램과 연동하여 창호에 관한 전열 해석에 최적화됨
 - 2차원 열전달 모델의 수적 해석을 위해 유한요소법을 활용하며 벽체 접합부에 대한 열 성능 해석도 가능하나 주로 창호에 대한 열성능을 측정하는데 사용됨
 - 기하모델은 Therm에서 적용된 프레임과 Window 프로그램에서 생성한 유리재료로 구분됨
 - 외기와 내기에 노출된 표면부위는 적당한 경계조건(Boundary Condition)을 정의하며 그 외에 위, 아래 부위에는 단열경계조건을 적용함
 - 재료는 Therm 내부의 재료 라이브러리 정보를 활용함
 - 분석 개체의 모든 외부 경계 조건(Boundary Condition)은 완전하게 정의되어 있어야 해석이 가능함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

표 3.51 THERM과 WINDOW를 활용한 전열해석 프로세스

프로그램	특징	입력값	출력값
Therm	창호의 구성요소를 통한 열전달 영향과 열교현상에 의한 열성능 해석	- 창틀의 종류 및 물성값 - 경계 조건 - Glazing	- 온도분포, 열 유속 - 각 부분의 온도 - U-factor
Window	창호, 유리창, 창틀, 충전가스 등을 설정하고 창호 열전달 및 결로 여부 해석	- 창틀 규격 및 형태 - glazing 종류 - 외기특성 및 실내외 열적 조건	- 전체 창호의 열전달해석 - CR, U-factor



- THERM 입력 정보 형식 분석
 - ① THERM의 Material 요구정보

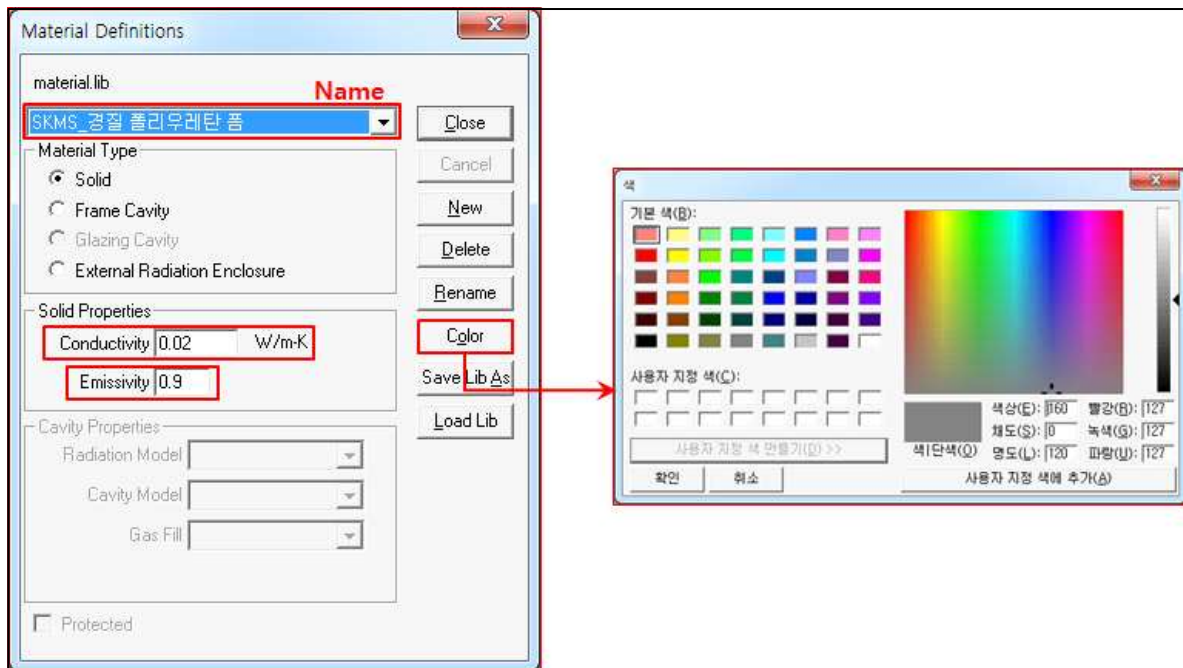


그림 3.93 THERM 상의 MATERIAL 정의를 위한 변수

- 재료정의를 위한 Material Definitions 창에서 객체를 정의하는 정보(입력 항목)는 크게 Material Type과 Solid Properties로 분류됨
- Material Type은 일반재료(Solid)와 중공층 등 재료 종류를 선택하며, 기본값은 일반재

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

료(Solid)로 설정됨

- Solid Properties의 전열해석을 위한 정보는 Conductivity(열전도율)와 Emissivity(방사율)로 구성되며 해당 값을 직접 입력하게 되어 있음
- THERM에서 재료의 물성을 정의하는데 있어 요구되는 정보는 Name (재료명), Conductivity (열전도율, 단위 W/mK), Emissivity (방사율), Color (RGB)로 구분됨
- Color의 경우 RGB로 입력하여 재료를 구분할 수 있으며, Color를 제외한 나머지 정보는 직접 입력하도록 구성됨

② THERM의 경계조건 요구정보

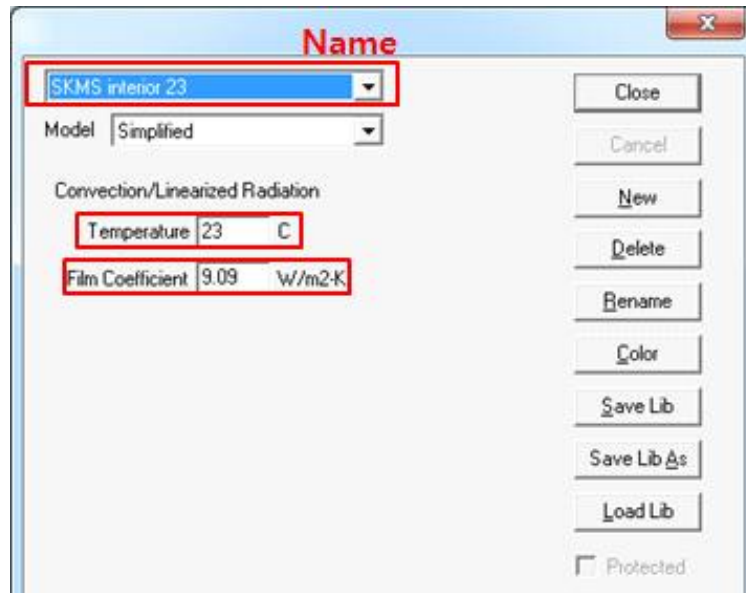


그림 3.94 THERM의 경계조건 정의

- 경계조건 설정 창에서 명칭을 입력한 후 Model의 형식(기본값 : Simplified)을 지정함
- 형식을 Comprehensive로 지정할 경우 해당 조건의 열전달에 있어서의 대류온도 및 대류열전달계수와 복사열전달을 정의하기 위한 온도 및 방사율을 직접 입력해야하며, Simplified로 지정할 경우에는 단순경계조건으로 대상 공간 내의 온도(℃)와 대류와 복사가 고려된 표면열전달계수 (Film Coefficient, W/m2K)를 통해 경계조건을 정의함
- Therm에서 Simplified 경계조건 입력 시 요구되는 정보는 직접 입력된 문자로 정의되는 Name과 경계조건의 열적 특성을 정의하는 온도(℃), 표면열전달계수(W/m2K)로 구분되며 온도는 소수 1째 자리의 실수로 표현되며 표면열전달계수는 소수 2째 자리의 실수로 표현됨
- Color는 프로그램 View 상에서 선의 색상으로 표현되며 RGB 번호로 정의됨

• THERM의 중공층 요구정보

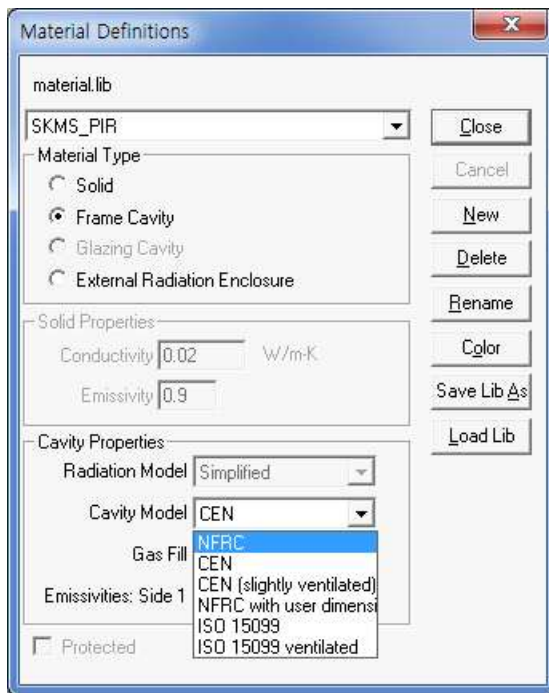


그림 3.95 THERM의 중공층 모델 정의

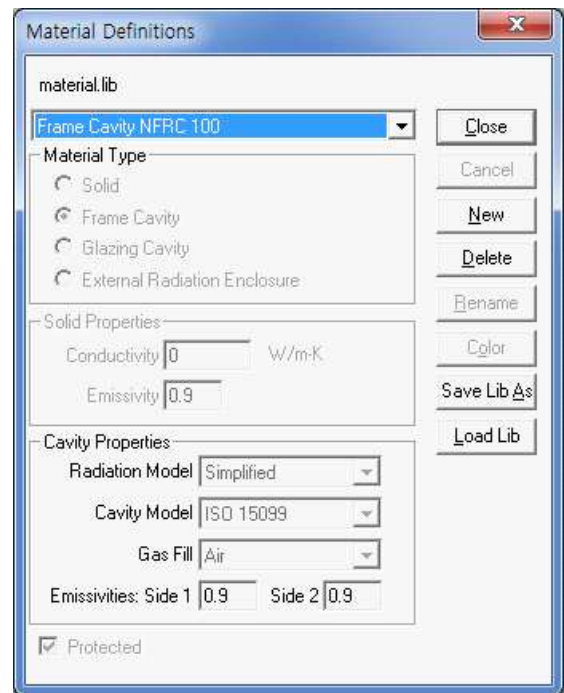


그림 3.96 중공층 모델의 기본값

- THERM의 중공층의 계산모델은 크게 NFRC, CEN, ISO 15099로 구분됨
- 중공층의 계산모델 설정 후 중공층 내부의 기체 종류(Gas Fill), 중공층 내부의 마주보는 양 표면의 방사율(Emissivities)을 입력함 (방사율 기본값 0.9)
- THERM에서 기본값으로 제시하는 'Frame Cavity NFRC 100'은 통기가 되지않는 밀폐된 중공층으로 ISO 15099 계산모델 방식을 따르며, 통기가 발생하는 중공층의 경우 'Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100' 으로 입력할 수 있으며 이 경우 역시 계산모델은 'ISO 15099'의 Ventilated Cavity 해석 식을 따름
- 따라서 <표 3.95>와 같이 THERM의 중공층 정의 시 요구되는 정보는 매개변수 Name으로 계산방식이 정의되며, 중공층의 통기 여부에 따라 Frame Cavity NFRC 100, Frame Cavity Slightly Ventilated NFRC 100으로 구분됨

• THERM 출력 정보 형식 분석

① TEXT 출력정보

- Cross Section Type

- 단면의 형상을 지정함으로서 열류(벡터량)의 방향을 지정함

- U-factors

- 해당 구성체에 대한 열관류율을 산출함
- 표에서 제시한 예는 창호의 경우인데 유리, 프레임, 유리엣지를 구분하여 각각의 열관류율을 분석할 수 있음

표 3.52 THERM의 TEXT 출력 정보 분류

정보		내용																																																																											
1	cross section type	Cross Section Type: Sill Underlay Name: C:\Users\우*-\Desktop\ 계개논문준비\2. 삼중유리 Reference\삼중유리 CAD도면\HP-ATT 79 _A Sill.dxf																																																																											
2	열관류율	<table><thead><tr><th>Name</th><th>Length mm</th><th>Basis</th><th>U-factor W/m2-K</th></tr></thead><tbody><tr><td>Frame</td><td>67.00</td><td>Unknown</td><td>3.5983</td></tr><tr><td>SHGC Exterior</td><td>69.00</td><td>Unknown</td><td>3.6854</td></tr><tr><td>Edge</td><td>63.50</td><td>Unknown</td><td>1.8471</td></tr></tbody></table>												Name	Length mm	Basis	U-factor W/m2-K	Frame	67.00	Unknown	3.5983	SHGC Exterior	69.00	Unknown	3.6854	Edge	63.50	Unknown	1.8471																																																
Name	Length mm	Basis	U-factor W/m2-K																																																																										
Frame	67.00	Unknown	3.5983																																																																										
SHGC Exterior	69.00	Unknown	3.6854																																																																										
Edge	63.50	Unknown	1.8471																																																																										
3	물성 정보	<table><thead><tr><th>Name</th><th>Conductivity W/m-K</th><th>Emissivity</th></tr></thead><tbody><tr><td>Aluminum Alloy (painted)*</td><td>160.00</td><td>0.90</td></tr><tr><td>VHB 3M TAPE 4972</td><td>0.14</td><td>0.90</td></tr><tr><td>Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*</td><td>0.25</td><td>0.90</td></tr><tr><td>Silicone*</td><td>0.35</td><td>0.90</td></tr><tr><td>Urethane / Polyurethane*</td><td>0.21</td><td>0.90</td></tr><tr><td>Polyamide 6.6 with 25% glass fiber*</td><td>0.30</td><td>0.90</td></tr></tbody></table>												Name	Conductivity W/m-K	Emissivity	Aluminum Alloy (painted)*	160.00	0.90	VHB 3M TAPE 4972	0.14	0.90	Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*	0.25	0.90	Silicone*	0.35	0.90	Urethane / Polyurethane*	0.21	0.90	Polyamide 6.6 with 25% glass fiber*	0.30	0.90																																											
Name	Conductivity W/m-K	Emissivity																																																																											
Aluminum Alloy (painted)*	160.00	0.90																																																																											
VHB 3M TAPE 4972	0.14	0.90																																																																											
Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*	0.25	0.90																																																																											
Silicone*	0.35	0.90																																																																											
Urethane / Polyurethane*	0.21	0.90																																																																											
Polyamide 6.6 with 25% glass fiber*	0.30	0.90																																																																											
4	중공층 정보 해석기준 중공층 온도 중공층 길이 뉴셀값	<table><tbody><tr><td>191</td><td>Horizontal</td><td>7.00</td><td>0.90</td><td>6.89</td><td>0.90</td><td>7.38</td><td>17.20</td><td>1.00</td><td>0.0504</td><td>N/A</td></tr><tr><td>190</td><td>Horizontal</td><td>10.08</td><td>0.90</td><td>9.16</td><td>0.90</td><td>21.52</td><td>13.29</td><td>1.01</td><td>0.0869</td><td>N/A</td></tr><tr><td>189</td><td>Horizontal</td><td>7.16</td><td>0.90</td><td>7.05</td><td>0.90</td><td>2.33</td><td>5.43</td><td>1.00</td><td>0.0328</td><td>N/A</td></tr><tr><td>188</td><td>Horizontal</td><td>10.06</td><td>0.90</td><td>9.83</td><td>0.90</td><td>2.25</td><td>3.85</td><td>1.00</td><td>0.0326</td><td>N/A</td></tr></tbody></table> Name: Frame Cavity NFRC 100* Gas Fill: Air Convection Model: ISO 15099 Radiation Model: Standard <table><thead><tr><th>Poly ID</th><th>Heat Flow Dir</th><th>Side 1 Temp C</th><th>Side 1 Emis</th><th>Side 2 Temp C</th><th>Side 2 Emis</th><th>Dimension Horz. Vert. mm mm</th><th>Nu #</th><th>Keff W/m-K</th><th>Cavity Height mm</th></tr></thead><tbody><tr><td colspan="10">-----</td></tr></tbody></table>												191	Horizontal	7.00	0.90	6.89	0.90	7.38	17.20	1.00	0.0504	N/A	190	Horizontal	10.08	0.90	9.16	0.90	21.52	13.29	1.01	0.0869	N/A	189	Horizontal	7.16	0.90	7.05	0.90	2.33	5.43	1.00	0.0328	N/A	188	Horizontal	10.06	0.90	9.83	0.90	2.25	3.85	1.00	0.0326	N/A	Poly ID	Heat Flow Dir	Side 1 Temp C	Side 1 Emis	Side 2 Temp C	Side 2 Emis	Dimension Horz. Vert. mm mm	Nu #	Keff W/m-K	Cavity Height mm	-----									
191	Horizontal	7.00	0.90	6.89	0.90	7.38	17.20	1.00	0.0504	N/A																																																																			
190	Horizontal	10.08	0.90	9.16	0.90	21.52	13.29	1.01	0.0869	N/A																																																																			
189	Horizontal	7.16	0.90	7.05	0.90	2.33	5.43	1.00	0.0328	N/A																																																																			
188	Horizontal	10.06	0.90	9.83	0.90	2.25	3.85	1.00	0.0326	N/A																																																																			
Poly ID	Heat Flow Dir	Side 1 Temp C	Side 1 Emis	Side 2 Temp C	Side 2 Emis	Dimension Horz. Vert. mm mm	Nu #	Keff W/m-K	Cavity Height mm																																																																				

5	경계 정보 온도 열전달계수	<table><thead><tr><th>Name</th><th>Temperature C</th><th>Film Coefficient W/m2-K</th></tr></thead><tbody><tr><td colspan="3">-----</td></tr><tr><td>KS indoor</td><td>20.00</td><td>9.090</td></tr><tr><td>삼중유리 기본 KS (ID:65) U-factor Inside Film</td><td>20.00</td><td>9.090</td></tr></tbody></table>												Name	Temperature C	Film Coefficient W/m2-K	-----			KS indoor	20.00	9.090	삼중유리 기본 KS (ID:65) U-factor Inside Film	20.00	9.090																																																				
Name	Temperature C	Film Coefficient W/m2-K																																																																											

KS indoor	20.00	9.090																																																																											
삼중유리 기본 KS (ID:65) U-factor Inside Film	20.00	9.090																																																																											
6	시뮬레이션 정보 메쉬 파라미터 에러율 버전정보	Calculation Specifications ----- Mesh Parameter : 7 Estimated Error: 7% CR results available Calculations done in Version 7.3.2.0																																																																											

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

$$U_t = \frac{[\sum(U_f \times A_f) + \sum(U_d \times A_d) + \sum(U_e \times A_e) + \sum(U_{de} \times A_{de}) + \sum(U_c \times A_c)]}{A_{pf}}$$

U_t : 전체 열관류율, W/m ² K	A_{pf} : 창호의 투영면적, m ²	U_f : 프레임 열관류율, W/m ² K
A_f : 프레임 면적, m ²	U_d : 디바이더 열관류율, W/m ² K	A_d : 디바이더 면적, m ²
U_e : 유리 가장자리 열관류율, W/m ² K	A_e : 유리 가장자리 면적, m ²	U_{de} : 디바이더 가장자리 열관류율, W/m ² K
A_{de} : 디바이더 가장자리 면적, m ²	U_c : 유리 중심부위 열관류율, W/m ² K	A_c : 유리 중심부위 면적, m ²

- Solid Material

- 각 재료에 대한 물성 정보를 나타내며 전도율과 방사율로서 정의됨

- Cavities

- 중공층의 대류, 복사에 따른 계산 모델을 나타내며 전열 방향, 온도, 방사율에 의해 정의됨
- Temp: 온도/Emis: 방사율/Nu: 일정표면의 대류열전달계수를 정의하는 무차원 상수/
Keff : 열전도율

- Standard Boundary Conditions

- 재료 명에 따라 온도와 표면열전달계수로 정의되는 단순 경계 조건을 나타냄

- Calculation Specifications

- 2D 유한 해석을 위한 메쉬의 개수의 등급을 나타내는 Mesh Parameter와 허용 오차를 나타내는 Estimated Error에 관한 정보를 제공함

• 이미지 출력정보

- Finite Element Mesh

- 2D 유한요소 해석을 위해 세분된 Mesh의 형상을 나타내며 전열이 발생하는 부위는 더 많은 계산을 위해 더욱 세분되어야 하므로 Mesh의 크기가 작아짐

- Isotherms

- 등온선 분포를 통해 전열형상을 나타내며 등온선의 간격이 좁을수록 전열이 많이 발생하는 부위임

- Flux Vectors

- 전열의 흐름을 벡터량(방향)으로 나타낸 것이며 화살표는 전열의 방향, 그 길이는 크기를 나타냄

- Constant flux lines

- 동일한 유속을 가지는 부분을 선으로 이어 등유속선으로 나타내며 등유속선의 간격이 좁을수록 전열량이 증가하는 부위임

- Color Infrared

- 온도의 범례에 따라 스펙트럼으로 온도의 분포를 나타냄

- Color flux magnitude

- 유속을 스펙트럼으로 표현한 양으로 전열량 높을수록 스펙트럼의 변화가 심하게 나타남

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

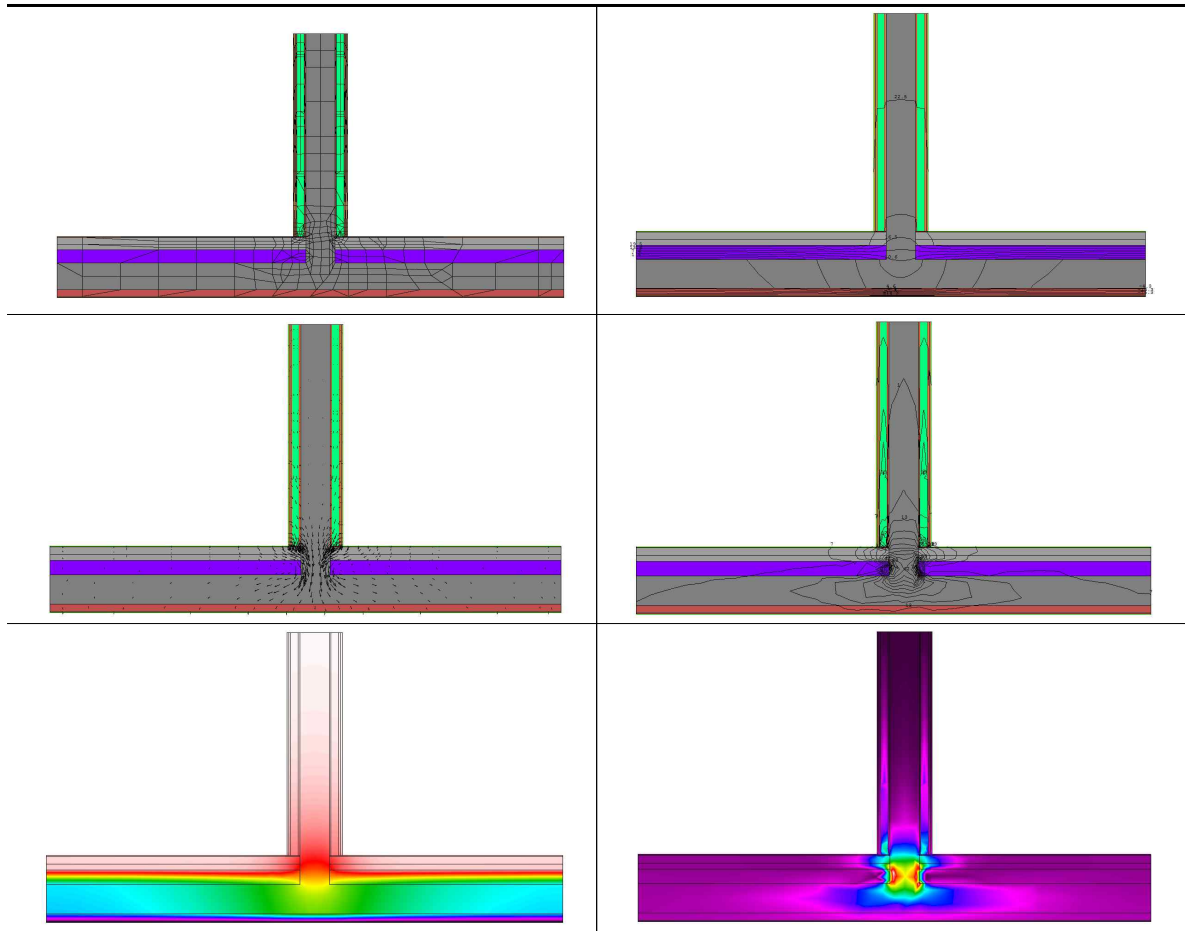


그림 3.97 THERM 분석의 Display Option

• 기타 출력 정보

- 특정부위 온도 : 특정부위에 커서를 올려놓으면 특정부위 온도를 나타내는데 이를 통해 구조체 각 층과 경계면의 온도를 확인할 수 있음
- 선형열관류율 계산 : 구조체의 모서리 부위의 길이 정보를 통해 선형열관류율 계산변수인 L2D 값을 산출할 수 있음

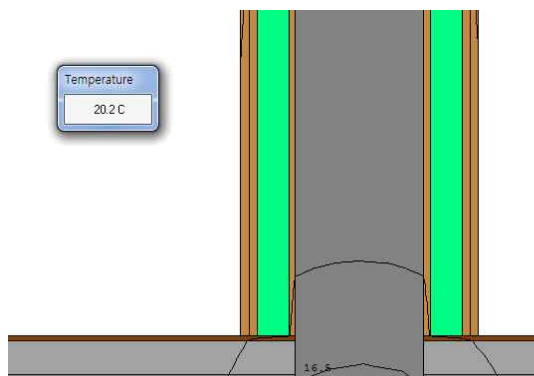


그림 3.98 Cursor를 통한 특정 점의 온도 확인

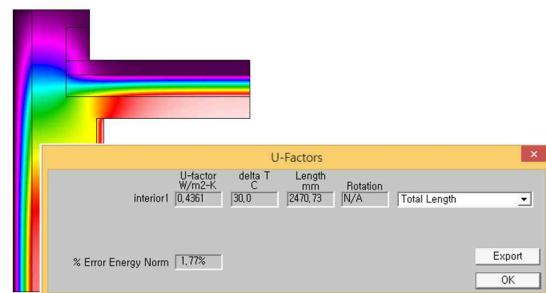


그림 3.99 총열관류율과 외기에 접하는 길이 도출

(2) PHYSIBEL / THERM 특성 비교를 통한 BIM 연계성 검토

- 분석된 PHYSIBEL 및 THERM의 입출력 정보와 BIM 저작도구와의 연계성을 검토하는데 있어 입력정보에 대한 BIM 저작도구와 전열해석 프로그램 요구정보와의 매핑(mapping) 형식에 관하여는 본 연구개발의 1차년도 세부 연구 목표 3 ‘단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발’의 BIM 객체의 요구정보 정의된 바에 따름
- 본 장에서는 전열해석 프로그램의 출력 결과물에 대한 BIM 연계성 검토에 초점을 맞추며 이를 위해 각 전열해석 프로그램 출력 정보를 비교하고 전열해석 프로그램에서 도출된 출력 결과물을 BIM 툴에도 활용 가능한 공통파일 형식인 TXT파일로 추출하여 이를 다시 전열해석 프로그램에서 정보를 불러오는 것이 가능한지의 여부에 대해 실험을 진행함

(가) 전열해석 프로그램 간 출력 정보 비교

표 3.53 각 전열해석 프로그램 출력 정보 비교표

구분		THERM (2D)	PHYSIBEL (3D)
Text	Cross section type	○	
	Heat flow divergence		○
	열관류율	○	○
	선형 열관류율	○	○
	상당 열관류율		○
	총 전열량		○
	열 전달저항		○
	표면결로 발생습도		○
	물성정보	○	○
	중공층 온도	○	
	중공층 길이	○	
	뉴셀값	○	
	온도	○	○
	열전달계수	○	
	메쉬 파라미터	○	
	에러율	○	
	버전 정보	○	
Image	온도 스펙트럼		○
	열류 스펙트럼		○
	등온선도	○	○
	등열류선도		○
	Finite Element Mesh	○	
	Flux Vectors	○	
	Constant flux lines	○	
	Color Infrared	○	
	Color flux magnitude	○	

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- Text 출력 변수는 PHYSIBEL TRISCO가 THERM에 비해 상당 열관류율, 총 전열량, 열 전달저항 등 열관류율 계산 부분이 보다 자세한 것으로 조사됨
- PHYSIBEL TRISCO는 표면결로 발생 시의 임계습도를 출력할 수 있음
- THERM은 PHYSIBEL TRISCO에서 출력되지 않는, 중공층의 온도, 길이와 전열 해석의 에러율을 출력함
- PHYSIBEL TRISCO는 구조체의 내외부를 포함한 전체에 대해 전열해석을 통한 온도를 스펙트럼으로 표현함 또한 열류(벡터량)를 스펙트럼으로 표현하여 전열량이 많은 부위에서 색상의 변화가 생김

(나) 전열해석 프로그램 과 BIM 저작도구 연계성 검토를 위한 TXT파일 호환성 실험

- ‘BIM모델을 이용한 단열·결로 분석 프로세스’에서 전열해석 프로그램의 TXT 파일 입출력 가능 여부에 대해 실험함

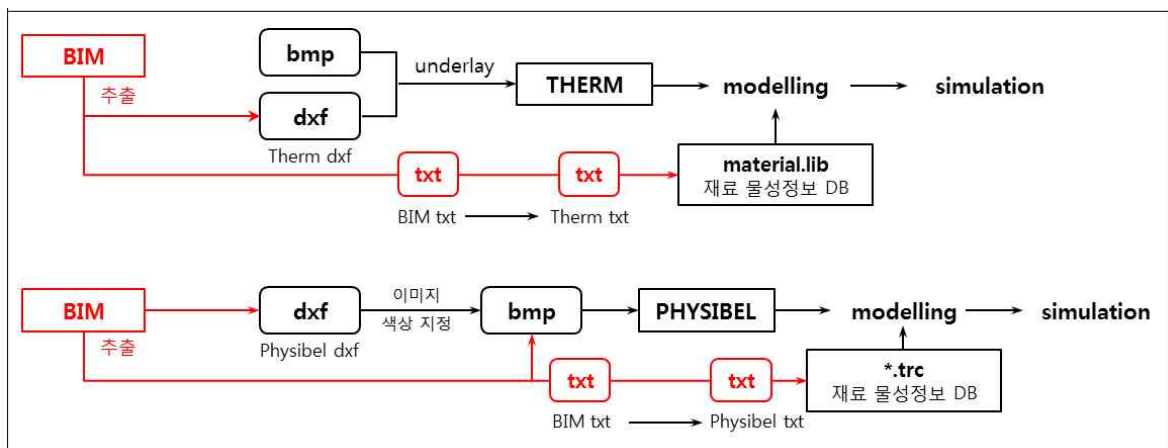


그림 3.100 BIM기반 단열·결로 해석시스템 변환 프로세스 대안2

• 실험 개요

- 전열해석 프로그램 PHYSIBEL의 속성정보를 TXT 파일로 변환하여 BIM 저작도구에 활용할 수 있도록 하기 위해 PHYSIBEL 프로그램으로부터 입력된 속성데이터들을 TXT파일로 변환 시 표현되는 데이터들의 내용과 정렬 유형을 분석함

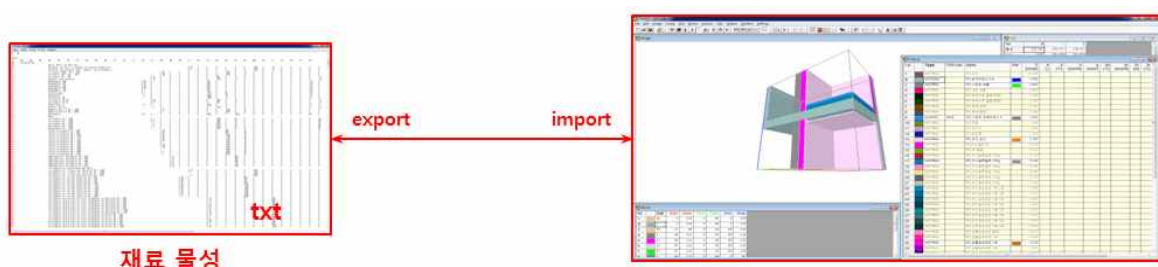


그림 3.101 TXT파일을 활용한 속성정보 추출

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(3) 단열.결로 분석을 위한 모델 정보 도출

(가) ALT1; BMP 파일 추출 방법

- BMP파일 추출 순서
 - 재료 별로 색상을 적용 후(색상변환 애드인 적용) 가시성 조절하여(가시설 조절 애드인 적용) BMP파일 추출
 - ① 애드인 프로그램을 실행하여 재료별 색상 DB를 읽음
 - ② 원 재료의 색상을 백업함
 - ③ 재료 별 색상을 변경함
 - ④ 가시성을 조절, 전열해석 프로그램에서 적용 가능한 가시성 수준은 색상일치임
 - ⑤ ExportImage 기능으로 이미지 추출을 실행, 이때 전열해석 프로그램에서 적용 가능한 이미지 포맷은 BMP 포맷임
 - ⑥ 원 재료 색상으로 ROLLBACK 함

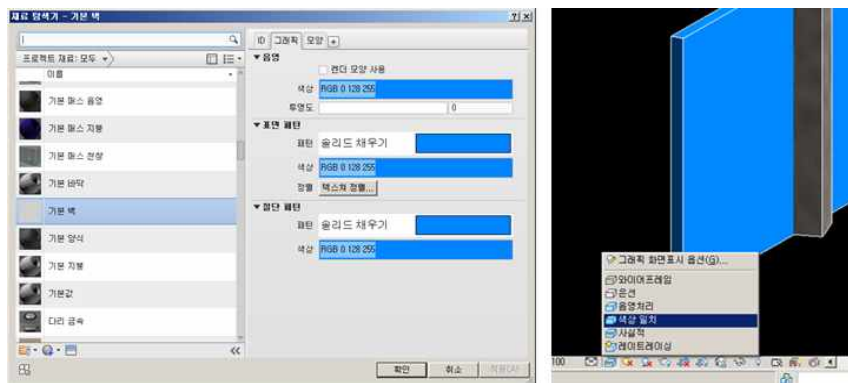


그림 3.104 재료별 색상 설정 및 가시성 설정 기능

- BMP파일 색상 코드 연구
 - ① 색상(RGB) 인식을 테스트

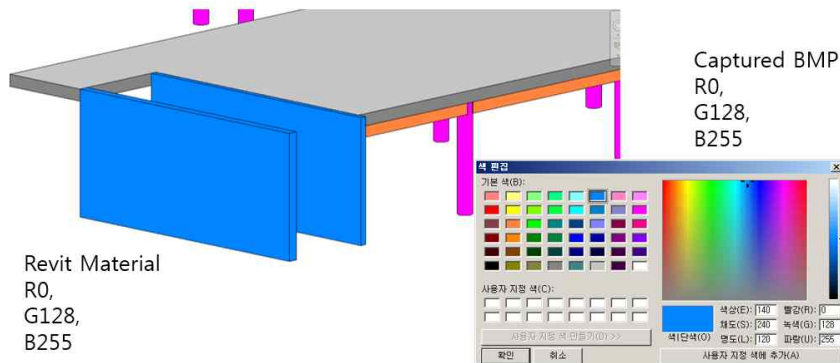


그림 3.105 색상 인식률 테스트

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

② BMP 좌표 연구

- BIM 좌표 설정 별 TRISCO 좌표 인식 파일

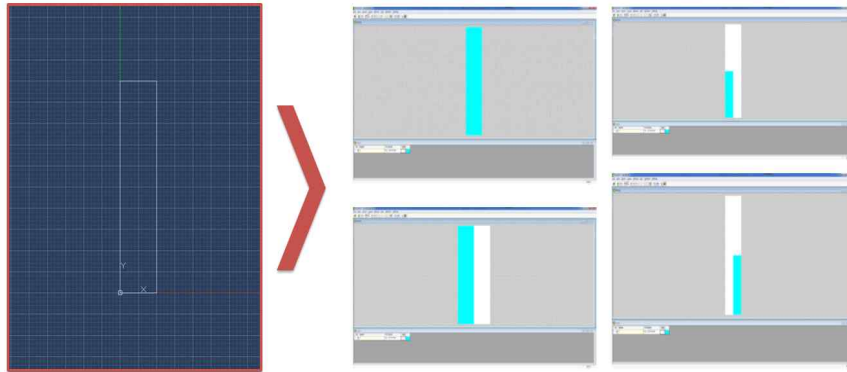


그림 3.106 변환된 객체를 전열해석 프로그램으로 구현

(나) ALT2; 프로젝트 파일 생성 방법

• 프로젝트 파일 생성 순서

- BIM 틀에서 추출되는 그래픽 및 메타데이터와 그 외 전열해석에 기본으로 필요한 설정 값들이 모두 입력되는 프로젝트 파일을 바로 생성

- ① 부위 단면(Section)을 생성함
- ② 객체 별 단면에 대한 좌표를 추출함
- ③ 유형(재료), 좌표, 색상 DB로 Physibel 프로젝트 파일(*.trc)을 생성함
- ④ 전열해석 프로그램 Physibel에서 생성한 프로젝트 파일(*.trc)을 import하여 바로 해석을 수행함

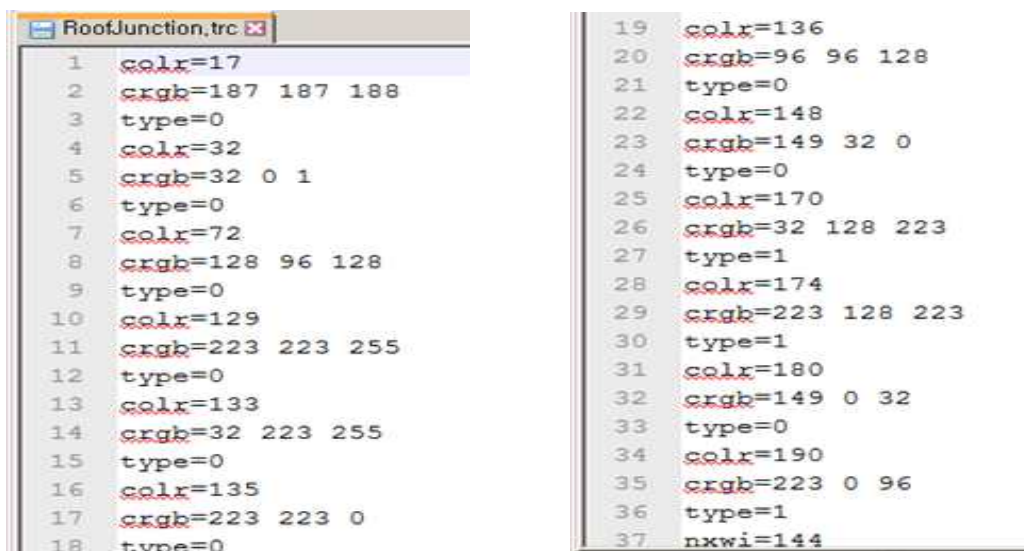
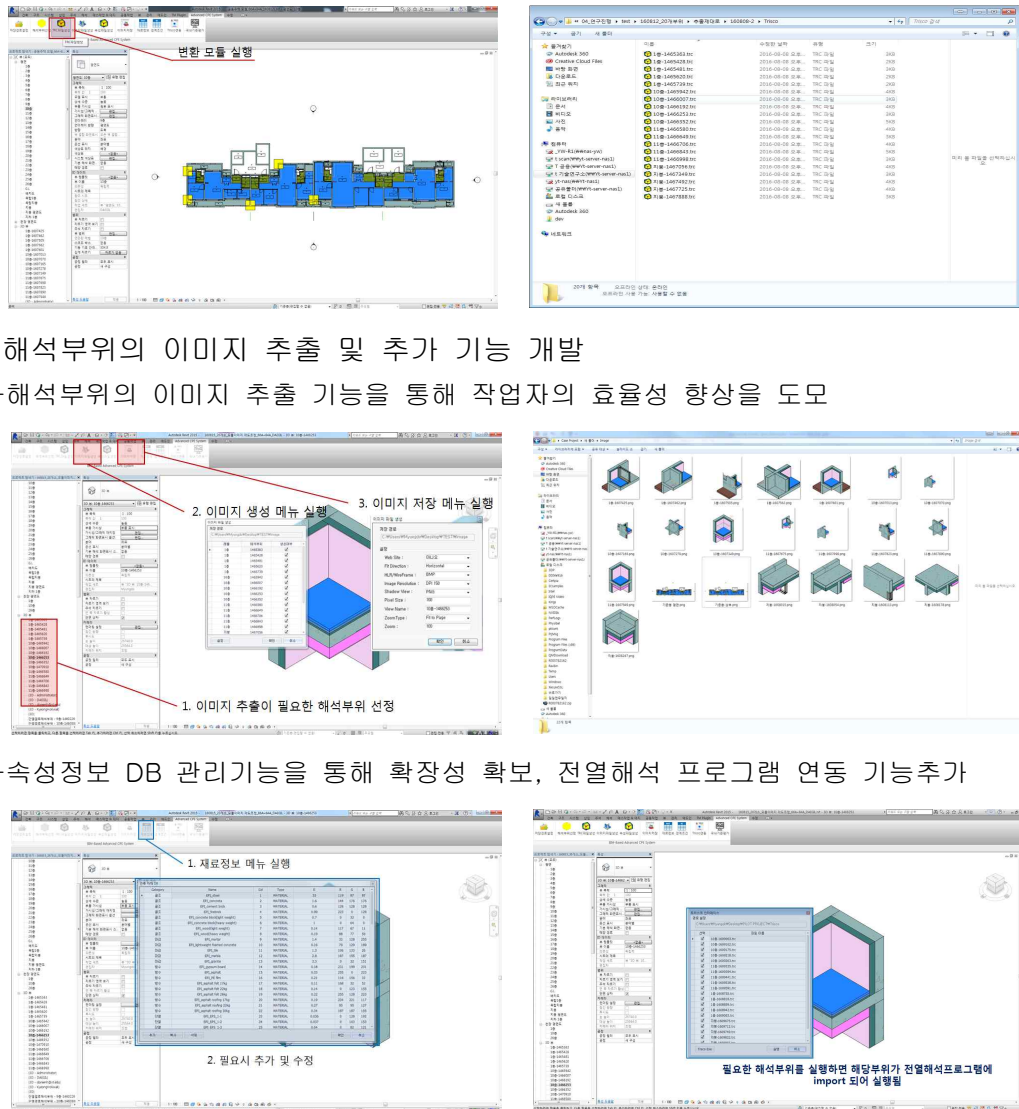


그림 3.107 전열해석 프로그램의 trc포맷 형식

연구목표	BIM 툴과 전열해석 툴 간의 모델 변환 모듈 개발
연구내용	(1) 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 (2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현
연구기관	㈜연우테크놀로지
연구기간	2차년도
연구결과	- 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 - 변환 모듈은 AUTODESK社 REVIT 2015의 Add-in 형태로 개발됨 - 추출 모듈에서 추출된 형상 및 속성정보를 전열해석 프로그램의 프로젝트 파일로 변환시켜 작업자가 해석프로그램에서 즉시 시뮬레이션을 수행할 수 있는 자동화 모듈 - 해석부위의 이미지 추출 및 추가 기능 개발 - 해석부위의 이미지 추출 기능을 통해 작업자의 효율성 향상을 도모 - 속성정보 DB 관리기능을 통해 확장성 확보, 전열해석 프로그램 연동 기능추가
관련 성과물	- 국외논문(SCI) 1건 - An advanced process of condensation performance evaluation by BIM application - 특허출원 2건 - 건축물의 BIM을 이용한 결로 예상 부위 자동 추출 방법 및 그 시스템 - S/W 등록 1건 - 열·결로 해석부위 이미지 추출 프로그램 - 보고서 2건 - 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 - 단열·결로 성능 분석을 위한 BIM 객체 해석부위의 정보추출 및 변환 모듈 개발

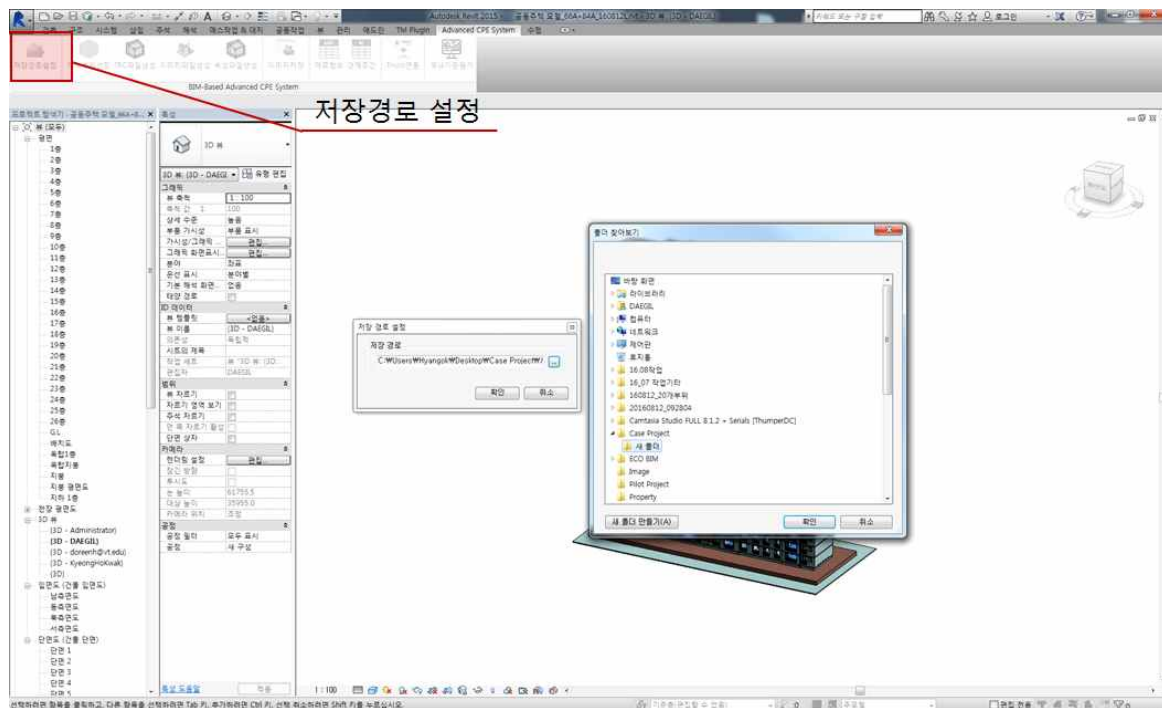


(1) 단열-결로 해석부위 변환 모듈 개발

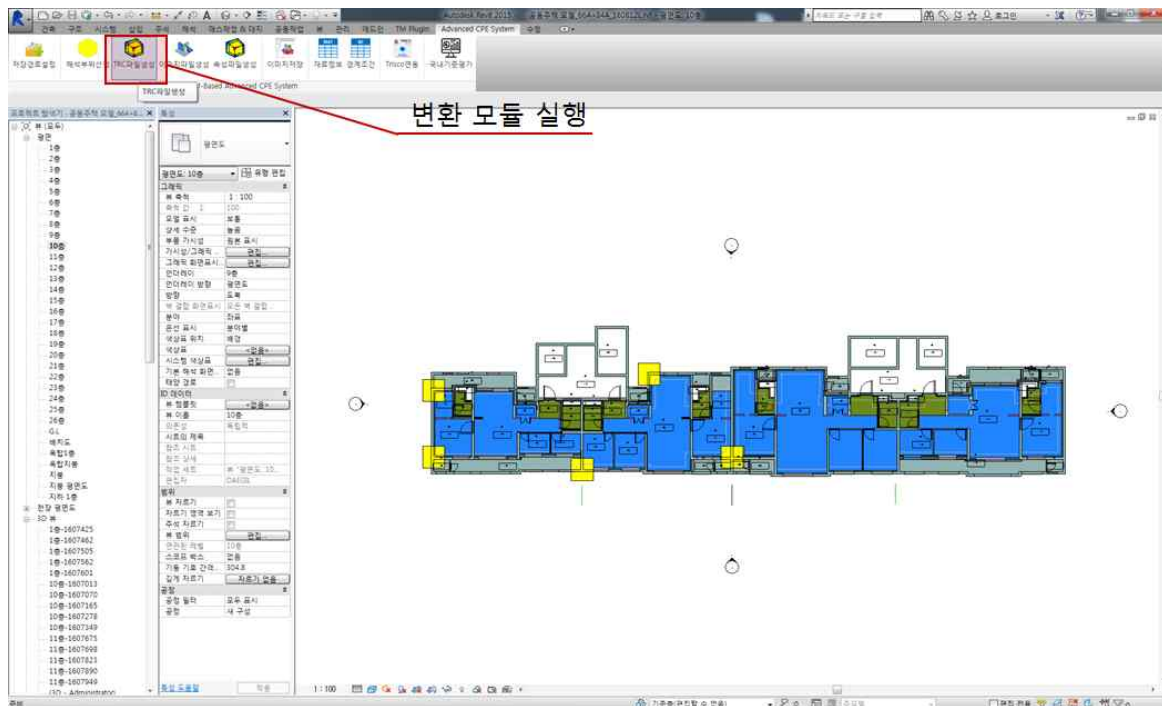
(가) 해석부위 변환 모듈의 개발

- 본 장에서는 추출된 BIM 해석부위의 형상 및 속성정보를 전열해석 프로그램에 임포트하여 바로 시뮬레이션 해석을 수행할 수 있는 변환 모듈을 개발함. 모듈은 AUTODESK社 REVIT 2015의 Add-in 형태로 C#을 사용하여 구현되었음
- 본 모듈은 추출모듈에서 추출된 형상 및 속성정보를 전열해석 프로그램의 구조 형식에 맞게 재구성하며 이를 본 연구의 대상 프로그램인 Physibel의 프로젝트 파일인 *.trc 로 변환하는 기능을 가짐
- 본 모듈은 먼저 변환되어 추출되는 프로젝트 파일의 저장경로를 설정한 후 변환 모듈을 실행하면 추출모듈에서 선정된 모든 해석부위의 레벨정보 및 부위명이 리스트업 되며 확인 버튼을 클릭하면 저장경로에 *.trc 파일이 생성되는 기능을 가짐
- 본 모듈을 통한 BIM 해석부위의 변환 절차는 다음과 같음. 본 절차는 본 연구에서 개발한 추출 모듈의 작업 이후부터를 도식화 한 것임

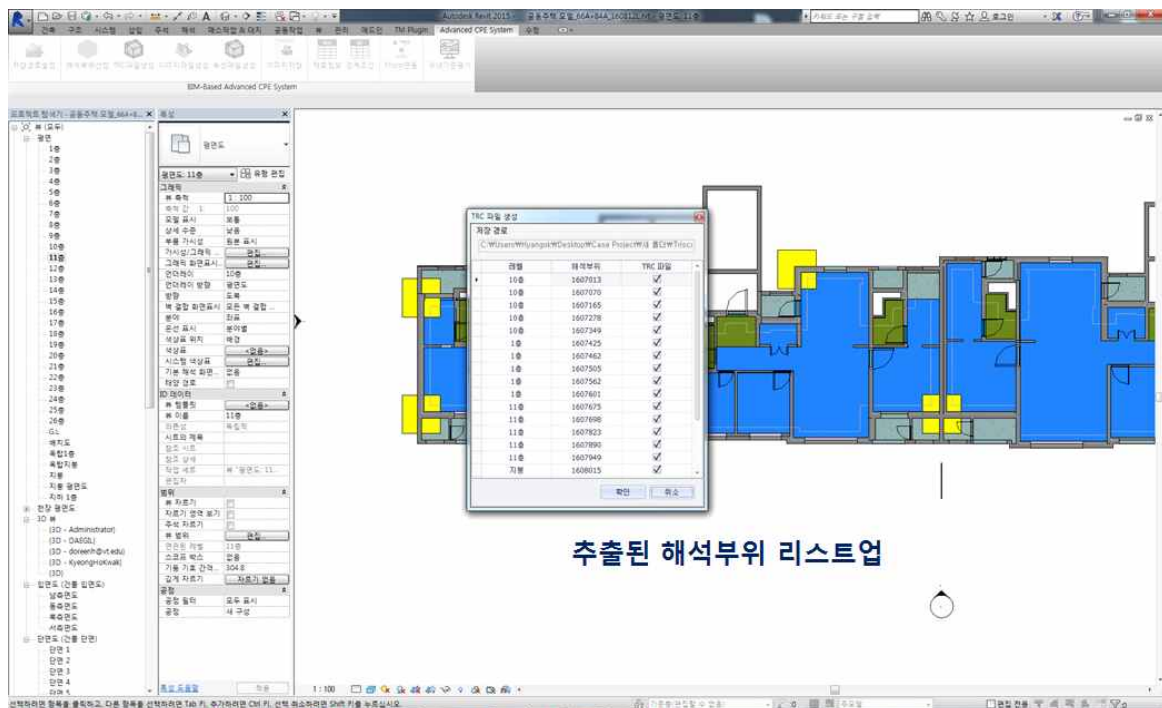
① 저장경로 설정 메뉴를 실행하여 저장경로 지정



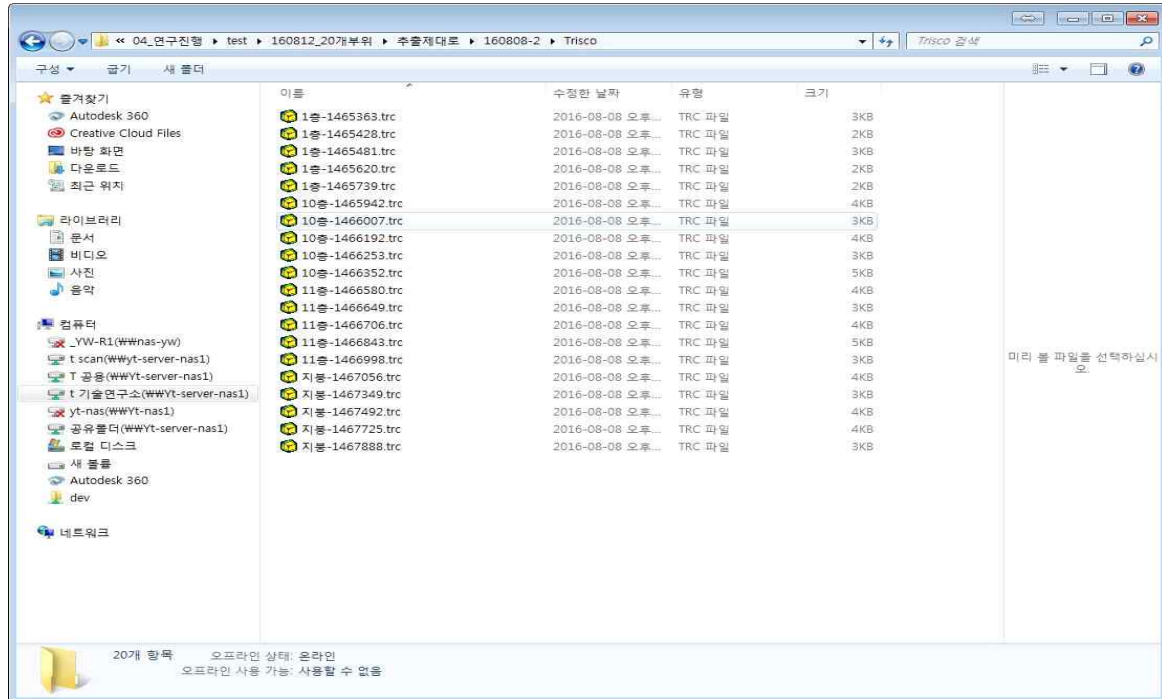
② TRC 파일생성 메뉴를 실행



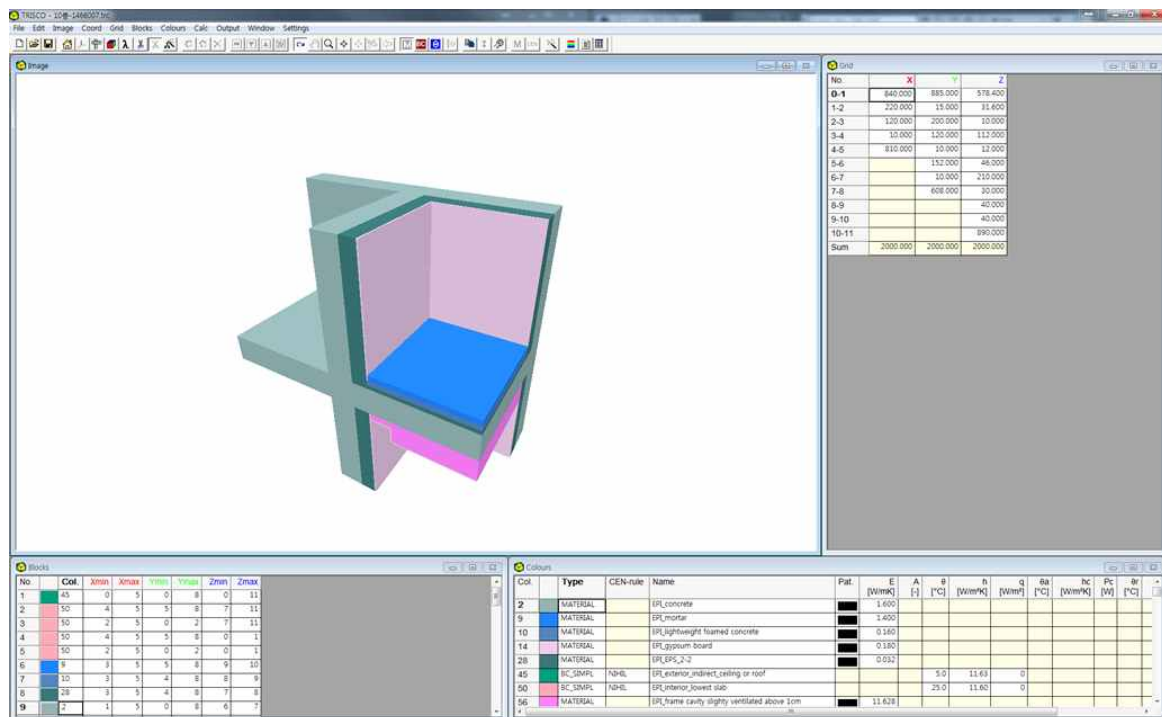
③ TRC 파일 생성창을 확인하고 실행



④ 초기 설정된 저장경로에 TRC 파일 자동생성됨



⑤ TRC 파일을 실행하면 전열해석 프로그램에서의 작업이 완료되어 있음



⑥ 종료

그림 3.110 단열·결로 해석부위 변환 모듈 실행 절차

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(나) 변환 모듈의 검증

- 본 장에서는 개발된 BIM 해석부위의 추출 및 변환 모듈을 검증하기 위해 공동주택 BIM 모델을 대상으로 20개 해석부위에 대한 파일럿 테스트를 진행하였음
 - 본 연구를 통해 개발된 핵심성과 A(단열결로 분석 BIM 라이브러리)를 사용하여 BIM 설계가 수행된 파일럿 프로젝트의 BIM 도면 준비
 - 해석부위 20개소 선정
 - 추출 모듈 및 변환 모듈 실행
 - 추출 모듈을 통해 생성된 추출부위의 BIM 모델과 변환모듈을 통해 임포트된 전열해석 프로그램 상에서의 형상 및 속성정보를 비교함

표 3.54 파일럿 프로젝트의 개요

공 사 명	남양주 ○○○ 공동주택				
대지현황	대지위치	남양주시			
	공부상 대지면적	78,444.00㎡	(23,729.31평)		
	사업대지면적	78,444.00㎡	(23,729.31평)		
	지역/지구	공동주택증지			
	도로현황	남측 18M도로, 서측 27M도로			
건설규모	용도 및 규모	공동주택 및 부대시설			
	건물높이	지하1층, 지상 29층			
	건축면적	9,513.56㎡			
	연면적	지상	141,178.10㎡	(42,706.38 평)	
		지하	47,084.19㎡	(14,242.97 평)	
		합계	188,262.29㎡	(56,949.34 평)	
	용적률 산정용 연면적		141,178.10㎡	(42,706.38 평)	
	건폐율	12.13%		법정건폐율	50%
	용적률	179.97%		법정용적률	180%

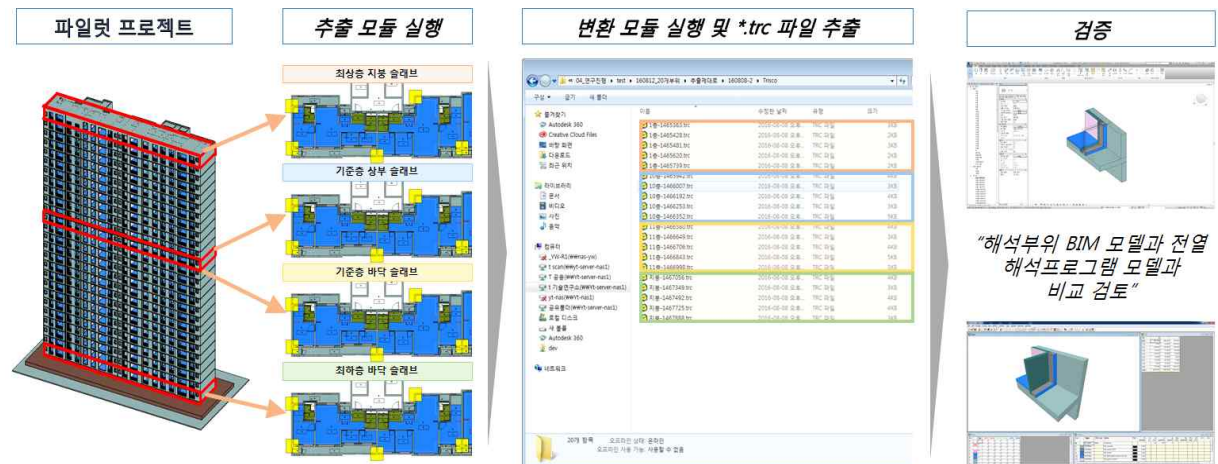


그림 3.111 파일럿 프로젝트 개념

- 파일럿 프로젝트에서 최상층 지붕슬래브의 5개소, 기준층 천장쪽 상부슬래브 5개소, 기준층 바닥슬래브 5개소, 최하층 바닥슬래브 5개소로 총 20개소의 해석부위를 선정하였으며, 아래그림 대표적 해석부위 4개소에 대한 비교 그림임
 - 검증결과 BIM 해석부위의 객체 형상 및 속성정보가 해석 가능한 수준으로 추출되는 것으로 판단됨
 - 단, 창호 및 문에서 형상이 중첩되어 도출됨. 이는 BIM 저작도구에서 창호를 모델링 할 경우 시각적으로는 벽체가 뚫려져 창호가 설치되어 있으나 실제 형상적으로는 겹쳐져 있는 상태이기 때문
 - BIM 모델러의 창호 모델링 방법은 매우 다양하며 BIM 저작도구 상에서도 창호의 위치에 따라 경우의 수는 매우 다양하므로 이에 대한 고려는 현실적으로 불가능하므로 창호와 문 부분은 전열해석 프로그램에서 수정이 요구됨

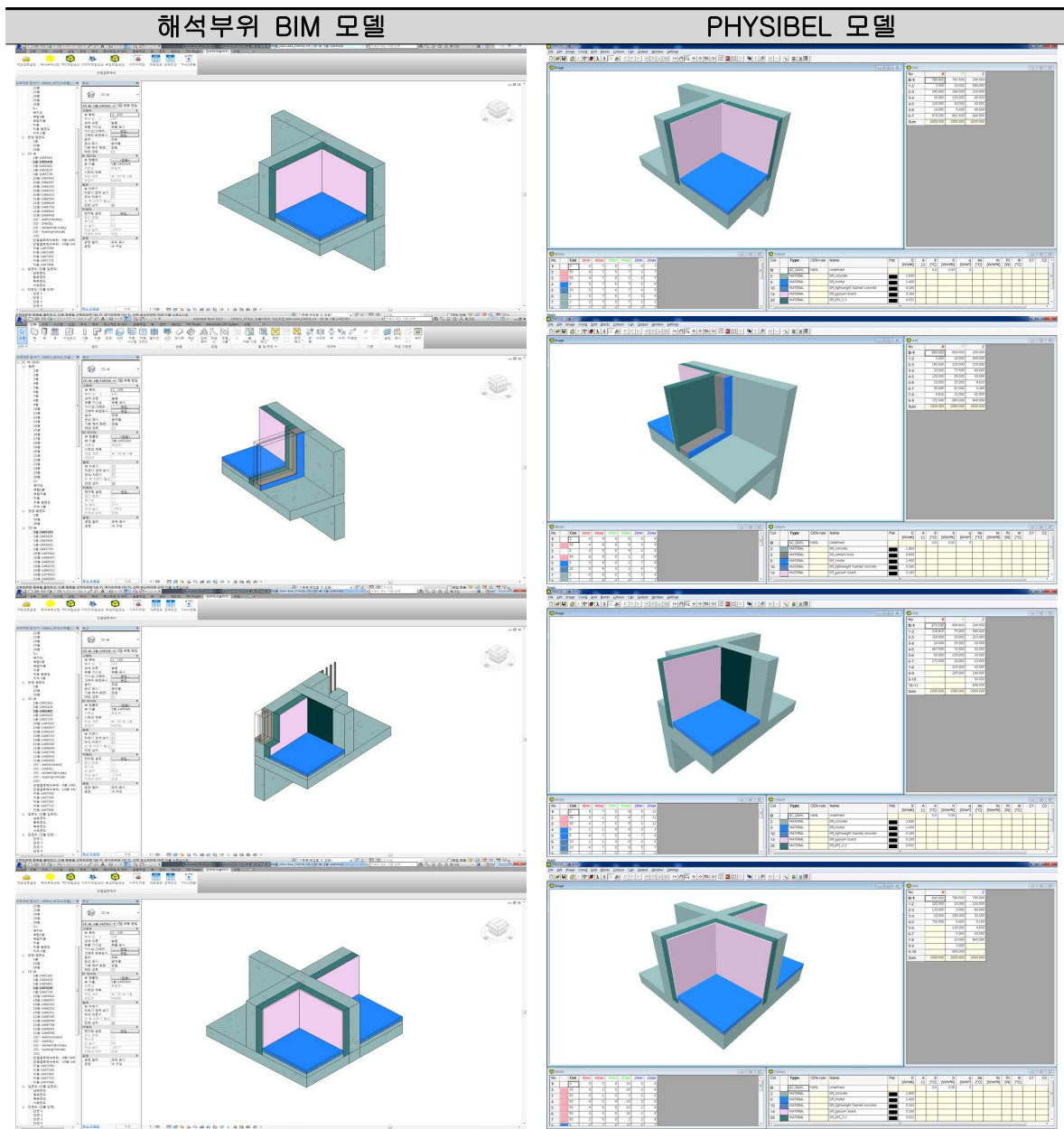
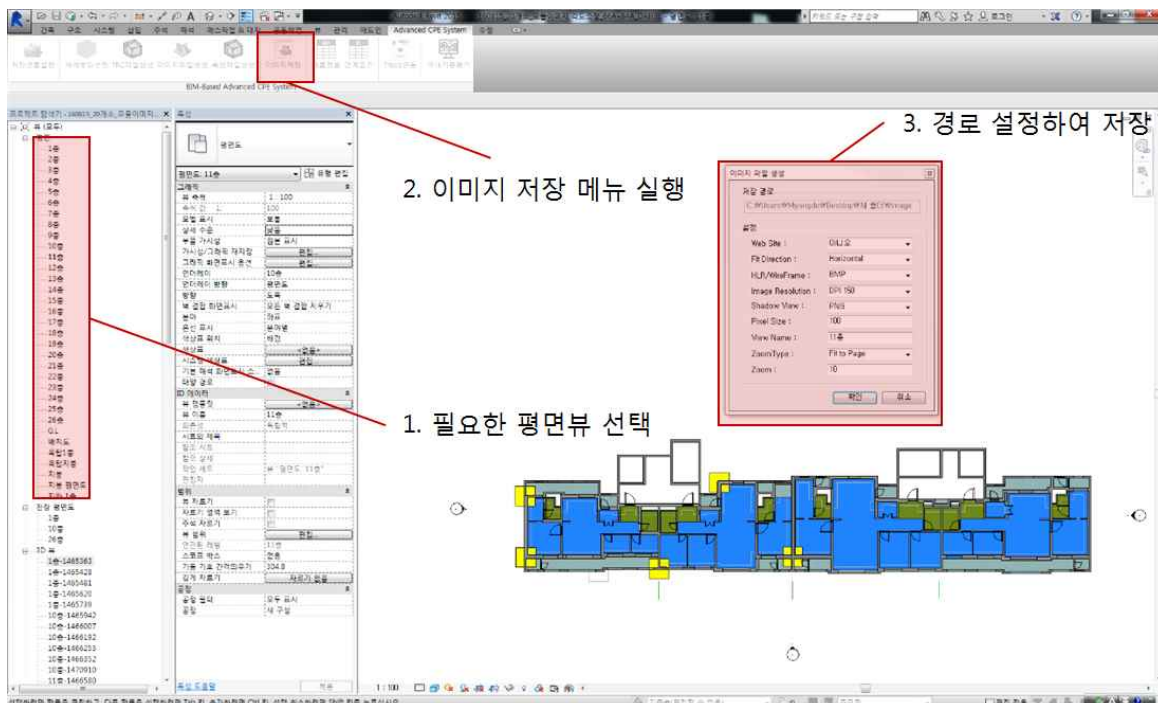


그림 3.112 해석부위 모델의 비교검토

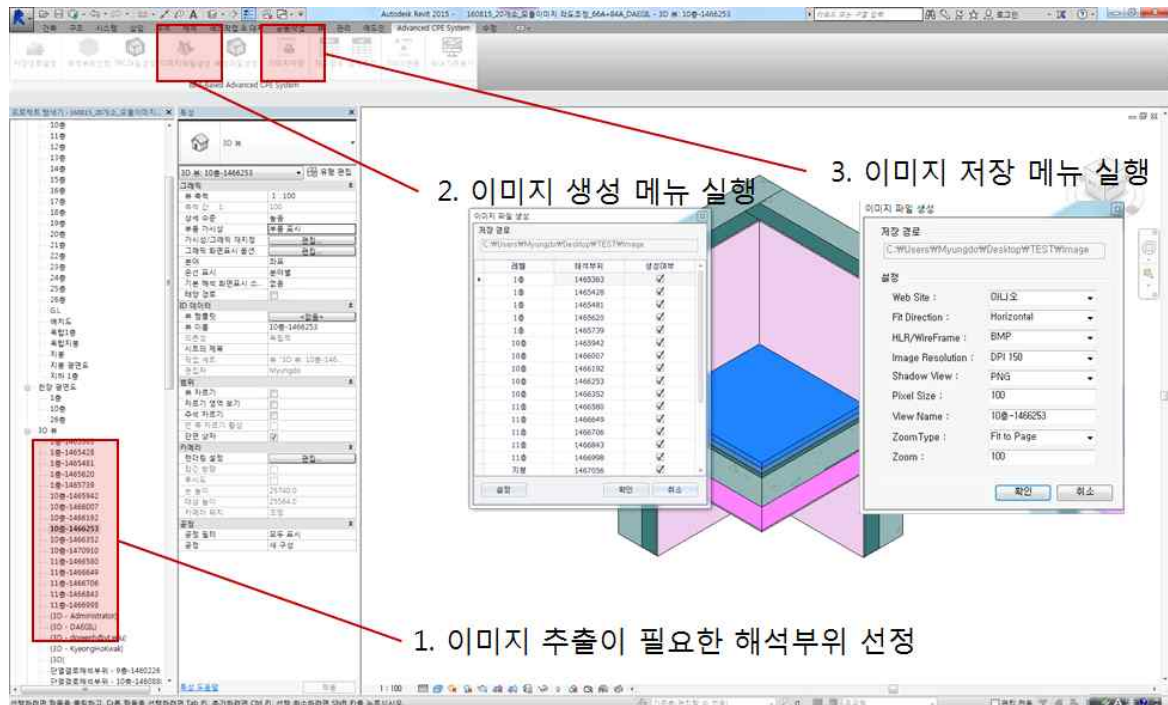
(2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현

- 본 장에서는 단열·결로 해석 시스템의 추가기능을 구현한 것으로 평가 작업자 인터뷰를 통해 본 시스템을 설명하고 작업의 효율성을 높일수 있는 기능을 구현한 것임. 이를 통해 구현된 기능은 아래와 같음
 - 해석부위의 이미지 추출 및 저장 기능
 - 속성정보 DB 관리 기능
 - 전열해석 프로그램 연동 기능
- 위 기능은 작업자의 편의성을 고려하여 개발된 기능으로 BIM 프로그램의 기능과 연계되고 기능의 확장성을 가지고 있어 단열·결로 성능평가 업무의 효율성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- 해석부위의 이미지 추출 및 저장 기능
 - 본 기능은 단열·결로 해석 결과에 대한 보고서 작성시 해석부위의 이미지를 생성 시키는데서 오는 작업시간을 단축시키기 위한 기능으로 선정된 해석부위를 이미지 파일로 생성시키고 원하는 저장경로에 저장시킬수 있음

① 해석층의 평면 이미지 저장



② 해석부위의 이미지 생성 및 저장



③ 저장경로에 저장된 이미지 파일 모습

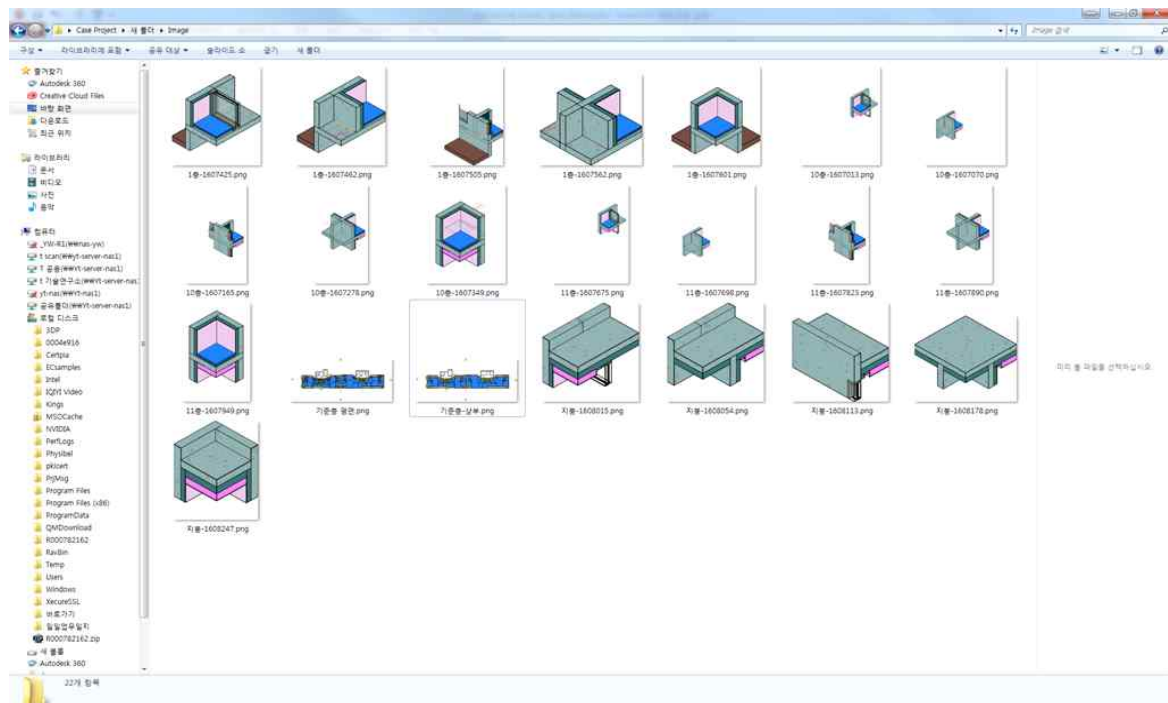


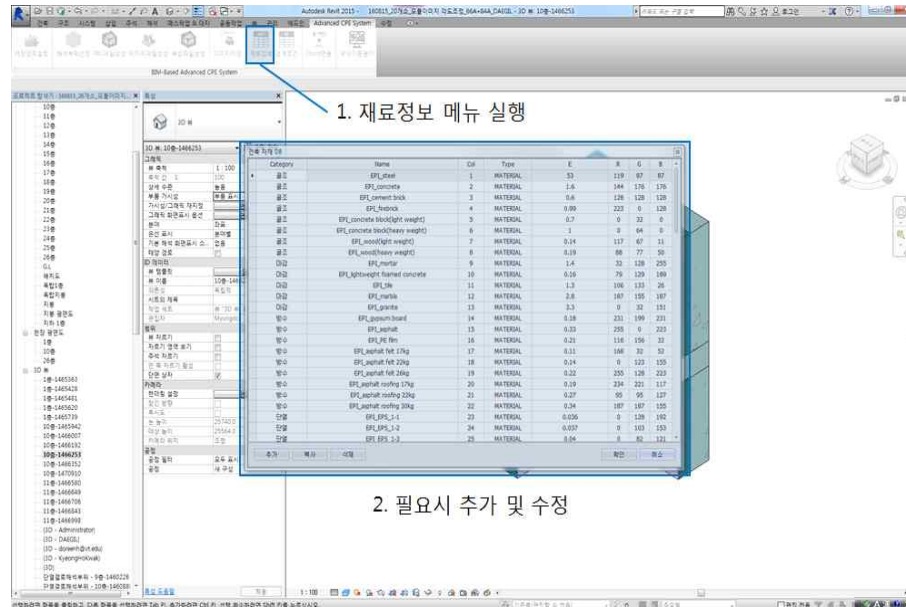
그림 3.113 이미지추출 기능

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

• 속성정보 DB 관리 기능

- 본 연구를 통해 기존 공동주택 단열결로 해석에 적용되는 대부분의 객체의 라이브러리를 구축하였음(재료물성 73종, 경계조건 15종, 중공층 8종, 창유리 23종, 창 프레임 25종, 문짝 4종, 문 프레임 4종)
- 본 기능은 재료 라이브러리의 DB를 관리할 수 있는 기능으로 구축된 DB 외의 객체가 포함되어 있을 경우 본 라이브러리에서 추가하여 사용할 수 있게 한 기능임
- 단열결로 해석에서 중요한 것은 라이브러리 구성요소의 재질에 대한 속성임. 이에 따라 본 모듈에서 재질 데이터 및 경계조건을 관리할 수 있는 기능을 추가하였음

① 재료정보 DB 관리 기능



② 경계조건 DB 관리 기능

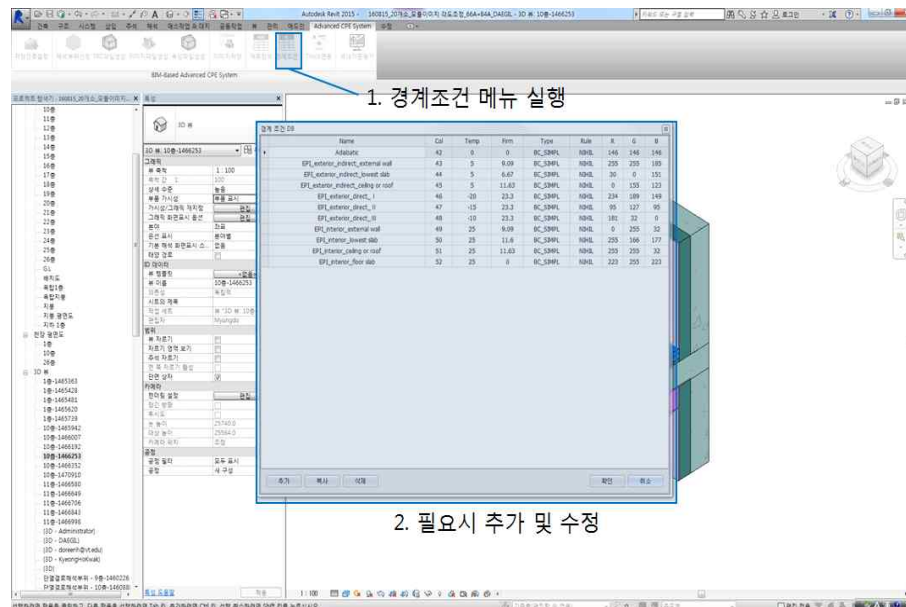


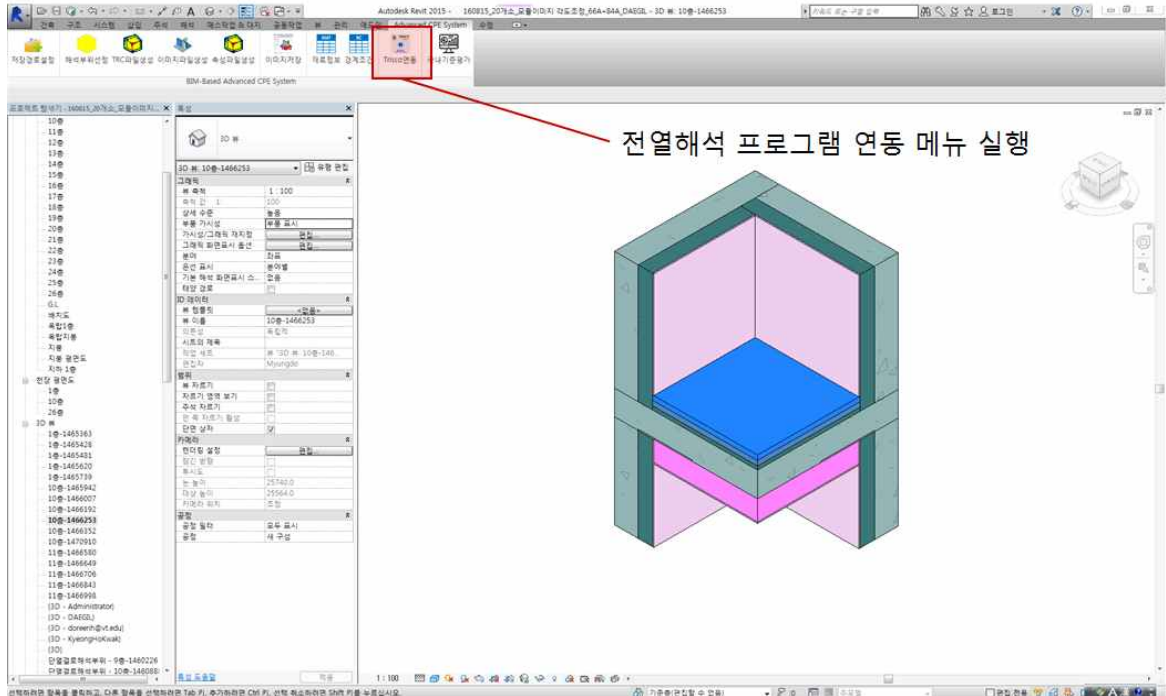
그림 3.114 재료 라이브러리 관리 기능

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

• 전열해석 프로그램 연동기능

- 본 기능은 전열해석 프로그램을 연동시킨 기능으로 원하는 해석부위를 선택하면 해석 부위에 대한 전열해석 프로그램이 실행될수 있도록 구현한 기능임

① 전열해석 프로그램 연동 메뉴 실행



② 원하는 부위를 선택하여 해당부위의 전열해석 프로그램 실행

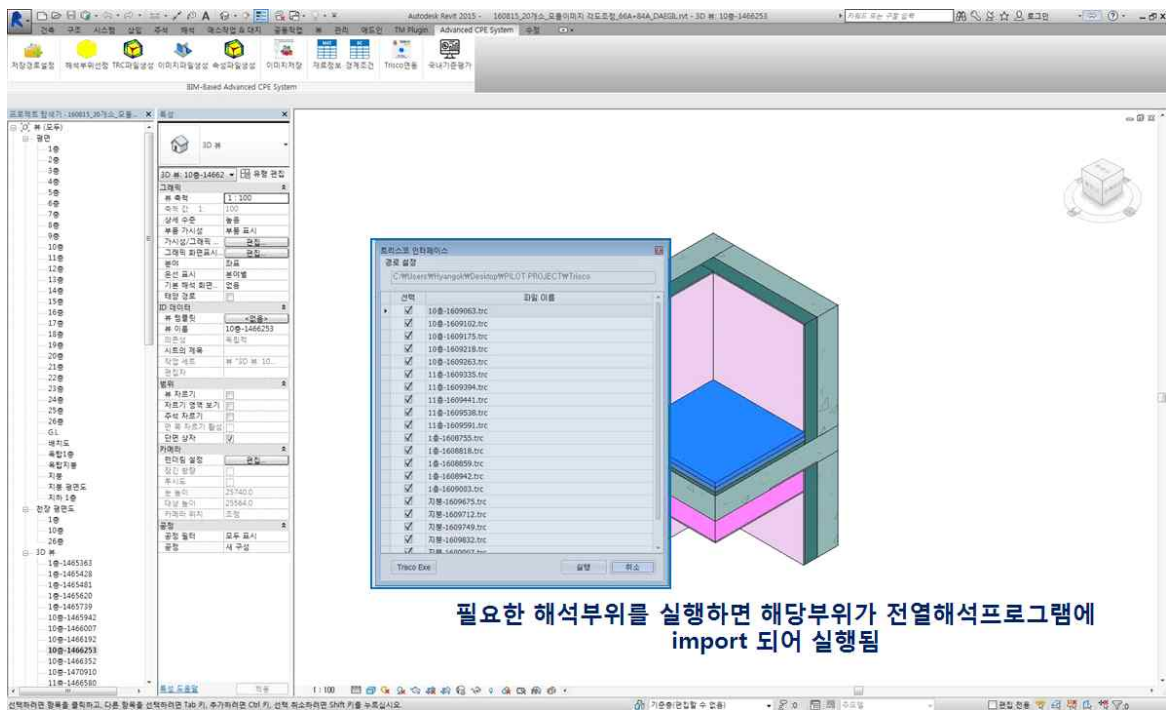


그림 3.115 전열해석 프로그램 연동기능

라. 핵심성과 D : 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈

핵심성과	D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈
단위성과	D-1	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사
	D-2	단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축
	D-3	단열·결로 성능 분석 알고리즘 개발
	D-4	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발

연차	연구목표	연구내용	단위성과 구분
1차년도	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사 (2) 단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축	D-1 D-2
1차년도 결과		- 단열·결로 성능에 관한 관련 법규 국토교통부 고시 공동주택 결로방지 설계 가이드 라인 및 실무 사례를 조사하여 단열·결로 취약부위에 대한 유형을 분석함 - 결로 성능 평가 시 내부결로 평가에 관한 국제기준인 ISO 13788에 따른 내부결로 성능 평가법에 따른 입출력 요구변수를 분석함 - 단열 성능, 표면 결로 성능, 내부 결로 성능 분석 시 요구되는 입출력 변수를 정의하여 시뮬레이션 분석 결과, 기후데이터, 사용자 직접입력 정보로 카테고리 분류함 - 표면 결로 및 내부 결로 분석을 위한 프로세스를 구축함 - 최종 출력 정보의 형태는 각 부위 열관류율에 대한 단열 성능 평가결과, 우각부 TDR 값에 대한 표면결로 성능 평가결과, 내부결로 성능에 대한 연간 결로발생율임	
2차년도	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	(1) 단열·결로 성능 분석 알고리즘 개발 (2) 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발	D-3 D-4
최종 결과물		- 단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계에 따라 모듈의 기능을 데이터 입력, 단열성능 평가, 표면결로 성능 평가, 내부결로 성능 평가, 데이터 출력부로 구성함 - 국내 기준에 따른 단열·결로 성능 평가 알고리즘을 개발하여 모듈에 적용하여 개발을 완료하였고 공동주택 시범사례 20개 부위에 대한 파일럿 프로젝트를 진행하여 모듈 구동에 대한 실험을 완료함	
		<pre> graph LR A[데이터 입력] --> B[단열 성능] B --> C[표면결로 성능] C --> D[내부결로 성능] D --> E[결과 데이터 출력] subgraph A [데이터 입력] A1[BIM DATA] --> A2[전열해석 결과] A3[건물 개요] A4[부위별 열관류율 기준] end subgraph B [단열 성능] B1[총 전열량] B2[총 열교량] B3[상당열관류율] B4[우각부 실내표면온도] B5[결로발생 최소 습도] B6[벽·지붕·바닥 열관류율] B7[국내 기준 만족 여부] end subgraph C [표면결로 성능] C1[TDR값 산출] C2[국내 기준 만족 여부] end subgraph D [내부결로 성능] D1[기후조건/자재정보] D2[월별 계산] D3[결로발생위험도] end subgraph E [결과 데이터 출력] E1[단열 성능 평가] E2[표면결로 성능 평가] E3[내부결로 성능 평가] end A1 --> A2 --> B1 A3 --> B4 A4 --> B6 B7 --> C2 C1 --> C2 C2 --> D1 D1 --> D2 D2 --> D3 D3 --> E1 E1 --> E2 E2 --> E3 </pre>	

관련 성과물	구분	질적 성과	양적 성과
	1차년도	보고서 1건 매뉴얼 1건	국내논문 1건
	2차년도	보고서 1건 Data 파일 1건	국외논문(BISCI) 1건 소프트웨어 저작권 등록 2건 특허출원 1건 시제품 1건

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

[빈 페이지]

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

연구목표	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사																																																																										
연구내용	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교 (2) 국내외 단열·결로 분석 사례 조사 DB 구축																																																																										
연구기관	미래환경플랜(주)																																																																										
연구기간	1차년도																																																																										
연구결과	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교 - 국외의 경우 평가에 사용하는 지표는 온도계수, 온도지수가 있음. 지표활용의 구분은 크게 주거, 비주거로 구분하며 건물의 유형별로 세부적으로 분류함. - 결로 성능 평가는 유럽의 경우 지중해성 기후, 겨울철 주거 내 벽난로 사용에 따른 실내 복사열 취득으로 인해 건조한 실내 환경이 문제가 되는 상황임. 이에 실내습도가 높은 주거환경을 가진 국내의 경우 국외에 비해 평가기준을 상대적으로 높게 설정한 것으로 사료됨 - 국내 단열 성능에 관련한 법규의 경우 국토교통부 고시 건축물의 에너지절약설계기준에서 지역을 크게 중부, 남부, 제주도로 구분하여 공동주택, 일반건물로 유형을 구분하여 부위별(외기 직간접 여부)에 따라 분류하여 기준을 설정함 - 국내 결로 성능에 관련한 법규의 경우, 국토교통부 고시 공동주택 결로방지 설계기준에서 표면 결로에 관한 성능의 기준만이 제시되어 있는데, 내부결로 성능평가의 경우, 실내 사용용도에 따른 온습도 프로파일의 기준이 아직 부재함에 따른 것으로 판단됨 - 표면결로 성능 평가의 기준은 온도차이비율(TDR)로 제시되어 있으며 지역을 크게 3지역으로 구분하고 부위를 벽체, 창호, 문으로 분류하여 각각의 최대 허용치를 제시함 (2) 국내외 단열·결로 분석 사례 조사 DB 구축 - 공동주택의 결로 예측부위 설정 자동화를 위해 예측부위의 유형을 분류하여 취약 부위 유형에 관한 DB 구축 - 가이드라인에서 제시한 유형(28 유형) + 실무사례 분석을 통해 4개의 유형을 추가하였음 <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">선정부위 개수</th><th colspan="2">Dimension</th><th colspan="2">가이드라인 공동형상 부위</th><th rowspan="2">특이 형상</th><th rowspan="2">추가 부위</th><th rowspan="2">비고 (추가부위 유형)</th></tr> <tr> <th>2D</th><th>3D</th><th>2D</th><th>3D</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>공동주택 결로방지 가이드라인</td><td>28</td><td>14</td><td>14</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr> <td>CASE 1</td><td>9</td><td>8</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>4</td><td>- AD/PD : 실내벽 - 지하주차장 계단실 벽체</td></tr> <tr> <td>CASE 2</td><td>15</td><td>0</td><td>15</td><td>0</td><td>8</td><td>6</td><td>1</td><td>- 현관 : 간접외기 - AD/PD : 실내벽 - 발코니로 둘러싸인 우각부</td></tr> <tr> <td>CASE 3</td><td>22</td><td>22</td><td>0</td><td>8</td><td>0</td><td>2</td><td>12</td><td>- 현관/발코니/대피공간 문틀 - AD/PD : 실내벽 - 대피공간 : 실내벽</td></tr> <tr> <td>CASE 4</td><td>1</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>- 창호</td></tr> <tr> <td>TOTAL</td><td colspan="6">- 4개 프로젝트 47개 부위의 사례 분석을 통해 18개 추가형상 부위를 도출하여 4가지 유형으로 정리함</td><td>18</td><td>- 총 4개 유형 추가</td></tr> </tbody> </table>								구분	선정부위 개수	Dimension		가이드라인 공동형상 부위		특이 형상	추가 부위	비고 (추가부위 유형)	2D	3D	2D	3D	공동주택 결로방지 가이드라인	28	14	14	-	-	-	-	-	CASE 1	9	8	1	4	1	0	4	- AD/PD : 실내벽 - 지하주차장 계단실 벽체	CASE 2	15	0	15	0	8	6	1	- 현관 : 간접외기 - AD/PD : 실내벽 - 발코니로 둘러싸인 우각부	CASE 3	22	22	0	8	0	2	12	- 현관/발코니/대피공간 문틀 - AD/PD : 실내벽 - 대피공간 : 실내벽	CASE 4	1		1				1	- 창호	TOTAL	- 4개 프로젝트 47개 부위의 사례 분석을 통해 18개 추가형상 부위를 도출하여 4가지 유형으로 정리함						18	- 총 4개 유형 추가
구분	선정부위 개수	Dimension		가이드라인 공동형상 부위		특이 형상	추가 부위	비고 (추가부위 유형)																																																																			
		2D	3D	2D	3D																																																																						
공동주택 결로방지 가이드라인	28	14	14	-	-	-	-	-																																																																			
CASE 1	9	8	1	4	1	0	4	- AD/PD : 실내벽 - 지하주차장 계단실 벽체																																																																			
CASE 2	15	0	15	0	8	6	1	- 현관 : 간접외기 - AD/PD : 실내벽 - 발코니로 둘러싸인 우각부																																																																			
CASE 3	22	22	0	8	0	2	12	- 현관/발코니/대피공간 문틀 - AD/PD : 실내벽 - 대피공간 : 실내벽																																																																			
CASE 4	1		1				1	- 창호																																																																			
TOTAL	- 4개 프로젝트 47개 부위의 사례 분석을 통해 18개 추가형상 부위를 도출하여 4가지 유형으로 정리함						18	- 총 4개 유형 추가																																																																			
관련성과물	- 보고서 1건 - 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사																																																																										

(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교

(가) 국외 관련 법규 및 기준

- 국외의 경우 평가에 사용하는 지표는 온도계수, 온도지수가 있음. 지표활용의 구분은 크게 주거, 비주거로 구분하며 건물의 유형별로 세부적으로 분류함.
- 결로 성능 평가는 기후에 큰 영향을 미치게 되는데 유럽의 경우 지중해성 기후, 겨울철 주거 내 벽난로 사용에 따른 실내 복사열 취득으로 인해 건조한 실내 환경이 문제가 되는 상황임. 이에 실내습도가 높은 주거환경을 가진 국내의 경우 국외에 비해 평가기준을 상대적으로 높게 설정한 것으로 사료됨

1) 국외 표면결로 방지 설계기준

표 3.55 국외 표면결로 방지 설계기준

국가	기준명	건물구분	적용구분	평가 지표	성능기준	온습도 기준
영국	Building Regulations Part L1A, L2A	신축건물 (흡습성 내표면)	주거용, 학교	온도 계수	0.75	N/A
			수영장		0.90	
			창고		0.30	
		신축건물 (방습성 내표면)	오피스		0.50	
			스포츠홀,식당		0.80	
			수영장,세탁소		0.80	
네덜란드	Dutch Building Code	신축 주거용 건물	외벽, 비난방 공간과 접해있는 내부 파티션 벽체 등		0.65	외기온도 0℃ 실내온도 18℃ 지중온도 10℃
		신축 비주거용 건물			0.50	
오스트리아	ONORM B 8110-2	모든 건물	일반벽체 (결로방지)		표면실내습도 100%미만 유지	N/A
			일반벽체 (공팡이방지)		표면 근처 실내습도 80%미만 유지	N/A
			열교부위 (결로방지)		0.69	실내온도 20℃ 실내습도 65%
			열교부위 (공팡이방지)		0.71	실내온도 20℃ 실내습도 55%
벨기에	BBRI, Technical Note 153, 1984	주거용 건물	-			0.7
핀란드	Sosiaali-ja terveysministerion oppaita 2003:1	주거용 건물	벽체	온도 지수	81 (최소치) 87 (적정치)	실내온도 21℃ 외기온도 -5℃
			바닥		87 (최소치) 97 (적정치)	
			접합부		61 (최소치) 65 (적정치)	

가) 영국 : 신축 건물에 대해 구조체의 흡습 및 방습 성능을 분류하여 평가하며 각 용도별로 성능의 기준을 달리함. 해당 공간에 대한 온도계수 평가이므로 온습도 기준이 요구되지 않음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	검증

- 나) 네덜란드 : 신축 건물에 대해 용도별로 주거용 비주거용 건물로 분류하여 성능을 평가하며 해당 공간이 아닌 특정 결로 취약부위에 대한 성능을 평가함. 특정 부위에 대한 평가의 경우 온습도 기준이 요구됨
- 다) 오스트리아 : 건물의 유형과 용도를 구분하지 않고 일반벽체 및 열교부위에 대한 결로방지와 곰팡이방지 성능을 평가함. 일반벽체의 경우 표면근처의 실내습도 100%, 80%에 따라 결로 및 곰팡이 성능을 평가하며 열교 발생 부위의 경우 특정 부위에 대한 평가를 수행하므로 온습도 기준이 요구되며 특정온도계수 적용
- 라) 벨기에 : 주거용 건물만을 대상으로 해당 공간에 대한 온도계수를 평가하며 해당 공간에 대한 평가이므로 온습도기준이 요구되지 않음
- 마) 핀란드 : 주거용 건물만을 대상으로 벽체, 바닥, 접합부의 특정부위에 대해 온도지수로 평가하며 최소치와 적정치를 설정하여 평가함. 특정 부위에 대한 평가이므로 실내외온도기준이 요구됨

(나) 국내 표면결로 방지 설계기준

- 국내의 평가지표는 온도차이비율(TDR)이며 온도계수와 동일한 이론에서 파생된 지표임
- 국내 기준의 특이사항은 최한월인 1월의 월평균 일 최저외기온도를 기준으로 하는 실외온도 설정 기준을 세 지역으로 구분한 점임.
- 실내 습도의 기준을 50%로 정하였으나, 이는 평가지표에 따른 표면 결로 성능을 판단하는데 요구되는 정보가 아님. 향후 내부 결로, 곰팡이의 영향을 평가 기준을 추가하기 위해 설정해놓은 조건으로 사료됨

표 3.56 국내 표면결로 방지 설계기준

평가방법	용도	기준			검토부위	온습도 조건	
		지역 I	지역 II	지역 III		실외온도	실내온도
TDR	공동주택 (500세대 이상)	0.23	0.25	0.28	벽체접합부	지역 I -20℃ 지역 II -15℃ 지역 III -10℃	25℃ 상대습도 50%

1) 국내 결로성능 시뮬레이션 평가를 위한 실내외 경계 조건

- 평가를 위한 실내외 온습도 조건
 - 실내온도: 온도 25℃ , 상대습도 50%
 - 외기온도: 지역 I 은 -20℃, 지역 II 는 -15℃, 지역 III 는 -10℃
 - 외기에 간접 면하는 온도 5℃
- 평가를 위한 실내·외 표면열전달저항 및 표면열전달율
 - 전열해석 프로그램을 통한 시뮬레이션 평가 시 실내·외 표면열전달저항을 적용해야 하는데 이는 결로 성능 판단 시 요구되는 정보가 아니기 때문에 결로방지 설계기준에 정의되지 않음. 이에 시뮬레이션 조건 설정을 위한 표면열전달저항은 건축

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	검증

물 에너지절약설계기준의 별표 4의 열관류율 계산 시 적용되는 실내 및 실외측 표면 열전달저항을 준용해야함

2) 국내 취약부위 선정 기준

- 출입문 : 현관문 및 대피공간 방화문
- 벽체접합부 : 외기에 직접 접하는 벽체와 세대 내 천정 및 바닥이 동시에 만나는 접합부
- 창 : 난방설비가 설치되는 공간에 설치되는 외기에 직접 접하는 창 (비난방 공간 제외)

1. 출입문: 현관문 및 대피공간 방화문
2. 벽체접합부: 외기 직접 부위, 벽체와 세대 내의 천정 및 바닥이 동시에 만나는 접합부
3. 창: 난방설비가 설치된 공간의 외기 직접창

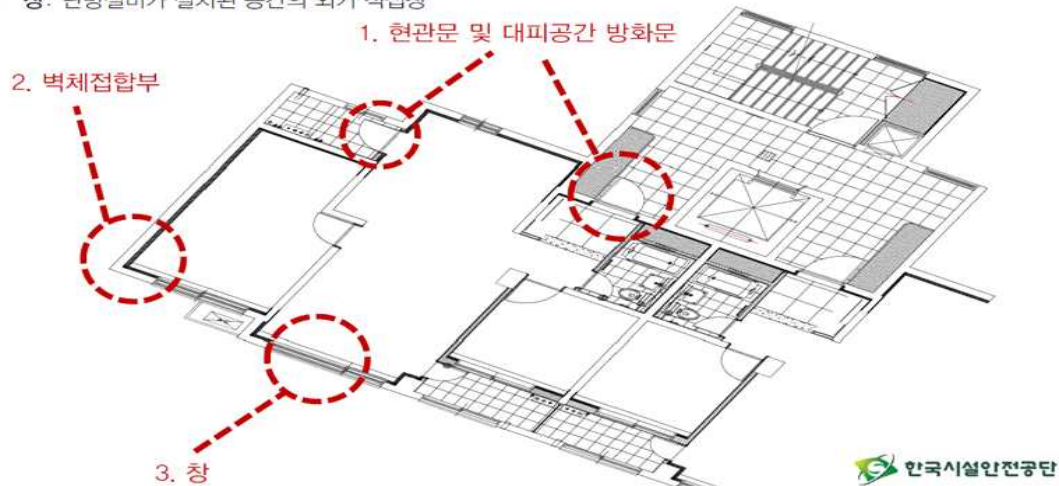


그림 3.116 공동주택 결로방지 설계기준에 따른 결로 취약부위

3) 공동주택 각 부위별 결로 성능 평가방법

- 국내 기준의 경우 일반적인 국외 사례와 같이 해당 실에 대해 평가 지표를 적용하는 것과 달리 공동주택에 대해 대상부위를 출입문, 벽체접합부, 외기에 직접 접하는 창으로 구분하여 적용함
- 출입문과 창은 해당 제품의 특정점에 대한 표면온도들을 산출하여 최소표면온도를 보이는 부위의 값을 기준으로 TDR을 산출하여 평가하며, 벽체접합부는 구조적 열교가 발생하게 되는 우각부가 최소표면온도를 보이는 경우가 일반적임
- 천장 및 바닥과 외벽 및 축벽이 접하는 부위에서 구조적 열교에 의해 최소표면온도가 산출됨에 따라 우각부의 특정점에 대한 TDR 성능을 평가함

대상 부위			산정위치	
출입문	문틀	문틀 모서리	상부 좌우, 하부 좌우 4개 모서리의 대각선 중앙점	
		문짝 중앙점	마주보는 문짝 모서리간 연결선의 교차점	
	문짝	문짝 모서리	문짝 모서리로부터 수직 및 수평으로 각각 3cm 이격된 지점 (상부 좌우 및 하부 좌우의 4개 모서리 산정)	
창	유리	유리 중앙부	마주보는 창유리 모서리간 연결선의 교차점	
		유리 모서리	문짝 모서리로부터 수직 및 수평으로 각각 2cm 이격된 지점 (상부 좌우 및 하부 좌우 4개 모서리 산정)	
	창틀	창틀 프레임	상부, 하부 및 좌우부 4개 창틀 프레임 중앙점	
		창틀프레임 모서리	상부 좌우, 하부 좌우 4개 모서리 대각선 중앙점	
	창짝	창짝 프레임	상부, 하부 및 좌우부 4개 창짝 프레임 중앙점	
		창짝프레임 모서리	상부 좌우, 하부 좌우 4개 모서리 대각선 중앙점	

그림 3.117 공동주택 결로방지 설계기준에 따른 출입문과 창의 결로 평가 부위

대상 부위		산정위치
벽 체	접합부 모서리 (우각부)	접합부 모서리(우각부)의 상부 및 하부 (상부에 별도의 천정마감있을 경우 마감면과의 모서리 부위)

그림 3.118 공동주택 결로방지 설계기준에 따른 벽체의 결로 평가 부위

(2) 국내외 단열·결로 분석 사례 DB 구축

- 공동주택의 결로 예측부위 설정 자동화를 위해 예측부위의 유형을 분류하여 취약부위 유형에 관한 DB를 구축함
- 국토교통부에서 제시한 공동주택 결로방지 상세도 가이드라인의 유형을 고찰하고, 4개의 공동주택 결로성능 평가 프로젝트를 분석하여 취약부위의 유형을 도출함
- 가이드라인에서 제시한 2D, 3D의 선정부위 유형 28개에 더하여 실무사례 분석을 통해 4개의 유형을 추가하였음

표 3.57 공동주택의 결로 취약부위 유형 도출 현황

구분	선정부위 개수	Dimension		가이드라인 공동형상 부위		특이 형상	추가 부위	비고 (추가부위 유형)
		2D	3D	2D	3D			
공동주택 결로방지 가이드라인	28	14	14	-	-	-	-	-
CASE 1	9	8	1	4	1	0	4	- AD/PD : 실내벽 - 지하주차장 계단실 벽체
CASE 2	15	0	15	0	8	6	1	- 현관 : 간접외기 - AD/PD : 실내벽 - 발코니로 둘러싸인 우각부
CASE 3	22	22	0	8	0	2	12	- 현관/발코니/대피공간 문틀 - AD/PD : 실내벽 - 대피공간 : 실내벽
CASE 4	1		1				1	- 창호
TOTAL	- 4개 프로젝트 47개 부위의 사례 분석을 통해 18개 추가형상 부위를 도출하여 4가지 유형 으로 정리함						18	- 총 4개 유형 추가

1) 공동주택 결로방지 가이드라인에서 제시하는 결로 취약부위

- 결로방지 상세도 가이드라인 제시를 위해 공동주택 표준유형(판상형과 탑상형)을 설정하여 직접 외기접촉과 간접 외기접촉 부위 형상을 도출함

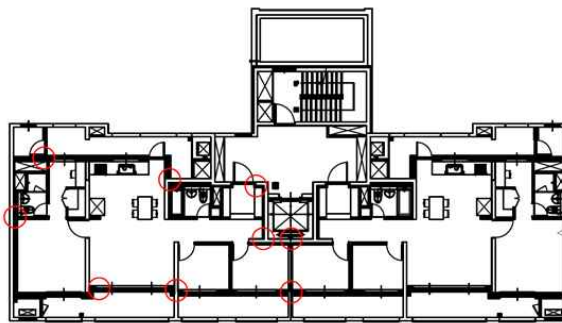


그림 3.119 판상형 공동주택 주요 결로 발생
가능 부위

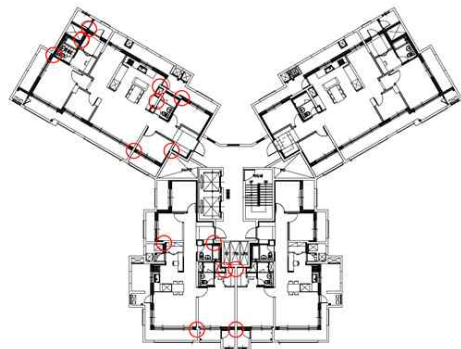


그림 3.120 탑상형 공동주택 주요
결로 발생 가능 부위

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

가) 구조체 구성 정보

- 구조체 구성도는 상세도, 외기와의 관계, 주요 구성재료 종류 및 두께 등 결로 분석에 필요한 상세정보를 포함함

나) 2D 결로취약 부위 유형 분류

- 결로방지 상세도 가이드라인에서는 공동주택을 최상층, 기준층, 최하층을 구분하여, 해당 층별 결로취약 부위를 슬래브, 창호 등으로 구분하여 제시함
- 최상층은 지붕 슬래브, 기준층과 최하층은 바닥 슬래브를 중심으로, 발코니 확장 여부로 분류하였으며, 이외 창호와 세대간 벽을 공유하는 발코니 외벽 부분은 기준층에서 분류하여 취약부위의 유형을 제시함
- 부위 코드는 상위분류, 하위분류 및 발코니 확장, 미확장의 여부를 알파벳 기호와 숫자로 구성함

표 3.58 공동주택 2D 결로취약 부위 유형

분류	부위	추가 상세	부위코드
T - 최상층	A -지붕 슬래브 : 외벽	1. 발코니 확장	T-A-1
		2. 발코니 미확장	T-A-2
	B -지붕 슬래브 : 세대간 벽	1. 발코니 확장	T-B-1
		2. 발코니 확장 : 발코니 미확장	T-B-2
P -기준층	A - 바닥 슬래브 : 외벽	발코니 확장	P-A
	B - 바닥 슬래브 : 발코니 외벽	발코니 미확장	P-B
	C -발코니외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장	P-C-1
		2. 발코니 확장 : 발코니 미확장	P-C-2
		3. 발코니 미확장	P-C-3
	D - 바닥 슬래브 : 간접외기 벽	세대 현관문	P-D
	E - 창호 : 벽	창호 인방 :벽체	P-E
	F - 바닥 슬래브 : 방화문	슬래브 : 방화문	P-F
B - 최하층	A -바닥 슬래브 : 외벽	1. 발코니 확장	B-A-1
		2. 발코니 미확장	B-A-2

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

다) 3D 결로취약 부위 분류

표 3.59 공동주택 3D 결로취약 부위 유형

분류	부위	추가 상세	부위 코드
3-T 최상층	A -지붕 슬래브 : 외벽 : 측벽	1. 발코니 확장	3-T-A-1
		2. 발코니 미확장	3-T-A-2
	B -지붕 슬래브 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-T-B-1
		2. 발코니 확장 : 미확장 세대간 벽	3-T-B-2
		3. 발코니 미확장 세대간 벽	3-T-B-3
3-P 기준층	A -바닥 슬래브 : 외벽 : 측벽	1. 발코니 확장	3-P-A-1
		2. 발코니 미확장	3-P-A-2
	B -바닥 슬래브 : 발코니 외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-P-B-1
		2. 발코니 확장 : 미확장 세대간 벽	3-P-B-2
		3. 발코니 미확장 세대간 벽	3-P-B-3
3-B 최하층	A -최하층 바닥 슬래브 : 외벽 : 측벽	1. 발코니 확장	3-B-A-1
		2. 발코니 미확장	3-B-A-2
	B -최하층 바닥 슬래브 : 외벽 : 세대간 벽	1. 발코니 확장 세대간 벽	3-B-B-2
		2. 발코니 미확장 세대간 벽	3-B-B-2

2) 공동주택 결로방지 성능 해석 사례에서 제시하는 결로 취약부위

가) CASE 1 : L 공동주택 결로 취약부위 DATA

표 3.60 L 공동주택 결로취약 부위 유형

분류	부위	Dimensions	가이드라인 공동부위 매칭 코드	추가부위	추가부위 DATA 유형
T - 최상층	최상층 슬래브 : 세대내 벽	2D	T-B-1		
P - 기준층	발코니 : 세대내 벽 (거실:침실)	2D	P-C-3		
	외벽 : 세대내 벽 (침실:PD)	2D		외 벽 : 침 실:AD/PD	바닥 슬래브 : 간접외기 벽
	발코니 : AD/PD : 침실	2D		발코니 외벽:침 실:AD/PD	
	발코니 : 천정슬라브	2D	P-B		
	슬라브 : 발코니 : 측벽	3D	3-P-A-2		
	발코니 : 세대내 벽	2D	P-C-3		
	AD/PD : 인접주방	2D		주방 : AD/PD	바닥 슬래브 : 간접외기 벽
B - 최하층	지하주차장 계단실 벽체	2D		지하주차장 계단 실 벽체	

L 공동주택 결로 평가 시에는 AD/PD(외기간접공간) : 외벽 접촉 부위에 면한 실내공간 우각부가 결로 취약부위로 분석되었음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

나) 남양주 D 공동주택 결로 취약부위 분석 결과

표 3.61 D 공동주택 결로취약 부위 유형

분류	부위	Dimensions	가이드라인 공동부위매칭 코드	추가 부위	특이 형상
66㎡A 기본형	TYPE 1 (시뮬레이션 1)	3D	3-P-B-3		
	TYPE 2 (시뮬레이션 3)	3D			√
	TYPE 3 (시뮬레이션 4,5)	3D	3-P-B-3		
	TYPE 4 (시뮬레이션 6,7)	3D	3-P-B-3		
84㎡A 기본형	TYPE 5 (시뮬레이션 1,2)	3D			√
84㎡C 기본형	TYPE 6 (시뮬레이션 1)	3D		AD/PD 주변 바닥 슬래브 : 외벽 : 간접외기 벽	
	TYPE 7 (시뮬레이션 2)	3D			√
	TYPE 8 (시뮬레이션 3)	3D			√
84㎡C 확장형	TYPE 9 (시뮬레이션 1,2)	3D	3-P-B-2		
	TYPE 10 (시뮬레이션 3)	3D	3-P-B-2		
66㎡A 단차부분	TYPE 11 (시뮬레이션 1)	3D			√
84㎡A 단차부분	TYPE 12 (시뮬레이션 1)	3D			√
66㎡+84㎡A 조합	TYPE 13 (시뮬레이션 1)	3D	3-P-B-2		
	TYPE 14 (시뮬레이션 2)	3D	3-P-A-1		
84㎡A+84㎡A 조합	TYPE 15 (시뮬레이션 1)	3D	3-P-B-2		

다) 수원 S 공동주택 단지 결로 취약부위 분석 결과

표 3.62 수원 S 공동주택 결로취약 부위 유형

부위	Dimensions	가이드라인 공통부위 매칭 코드	추가부위	특이형상
TYPE 1	2D	P-C-1		
TYPE 2	2D	P-C-1		
TYPE 3	2D	P-C-2		
TYPE 4	2D		현관 문틀	
TYPE 5	2D		발코니: AD/PD:내부	
TYPE 6	2D		발코니 문틀	
TYPE 7	2D		대피공간 : 실 벽	
TYPE 8	2D		외기: AD/PD:내부	
TYPE 9	2D	P-C-1		
TYPE 10	2D		대피공간 문틀	
TYPE 11	2D			√
TYPE 12	2D		발코니 문틀	
TYPE 13	2D		발코니 문틀	
TYPE 14	2D	P-C-2		
TYPE 15	2D	P-C-2		
TYPE 16	2D		발코니 문틀	
TYPE 17	2D		대피공간 문틀	
TYPE 18	2D		발코니 문틀	
TYPE 19	2D			√
TYPE 20	2D		대피공간 문틀	
TYPE 23	2D	P-C-1		
TYPE 25	2D	P-C-1		

라) 지사동 S 공동주택 단지 경로 취약부위 분석 결과

표 3.63 지사동 S 공동주택 경로취약 부위 창호

분류	부위	Dimensions	가이드라인 공동부위 매칭 코드	추가부위	추가부위 DATA 유형
H - 최상층	발코니 창호	3D	-	P-H	

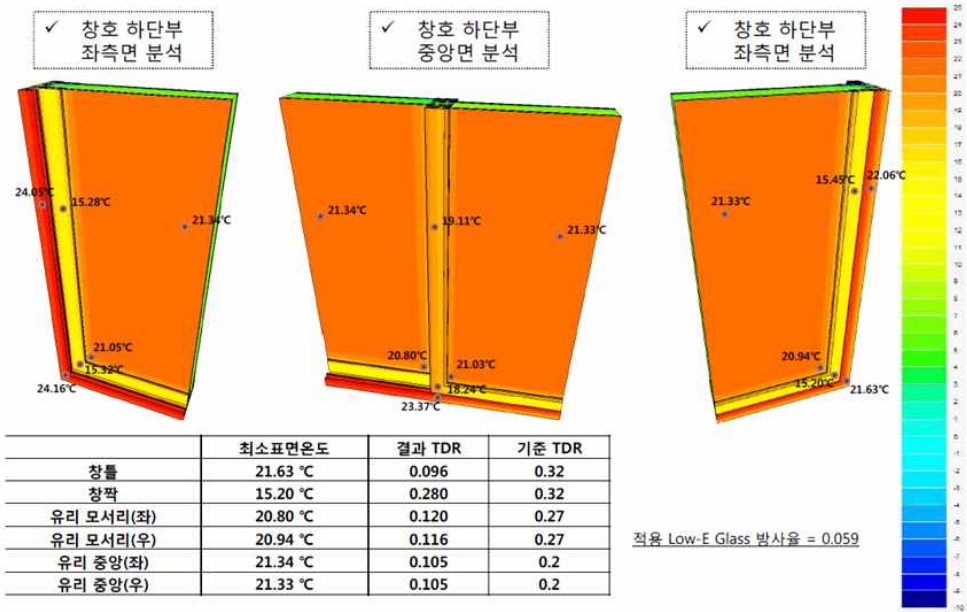


그림 3.121 발코니 창호 TDR 분석

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

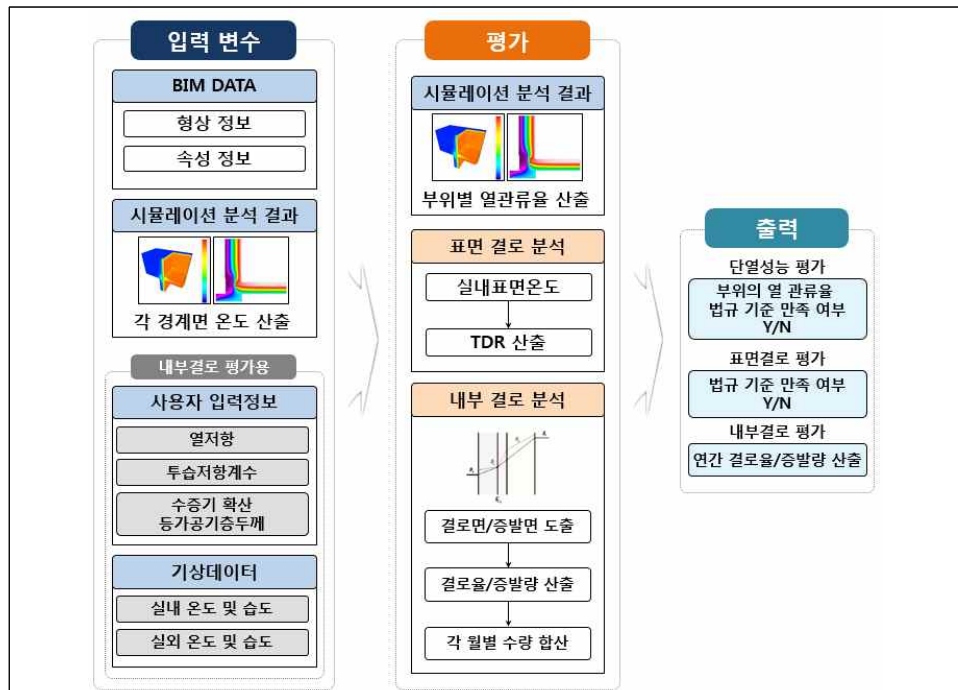
연구목표	단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축
연구내용	(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발 (2) 단열·결로 평가 객체 입출력 정보체계 구축
연구기관	미래환경플랜(주)
연구기간	1차년도

연구결과

(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발

단열 성능 평가부	Physibel을 통해 전열해석 결과를 TXT파일로 변환하여 구조체의 총 전열량, 총 열교량, 상당열관류율, 우각부 실내표면온도, 결로발생 최소습도, 각 부위의 열관류율 정보를 사용자가 입력하여 정보를 수집함
표면결로 성능 평가부	전열해석 결과로부터 도출된 우각부 실내표면온도(최소 표면온도)에 관한 데이터를 활용하여 TDR 산출 알고리즘에 대입함
내부결로 성능 평가부	BIM 데이터로부터 재료명, 열전도율 정보를 XML로 변환하여 구조체의 구성정보로 활용하고, 평가를 위한 기 후데이터(연중 월평균)를 선택변수로서 지정함

(2) 단열·결로 평가 객체 입출력 정보체계 구축



- 입력변수를 크게 BIM 데이터, 전열해석 결과 데이터, 사용자 입력 데이터로 구분함
- 각 성능(구조체의 단열,표면결로,내부결로 성능)별로 요구되는 정보로 입력변수를 재분류하여 평가에 활용함
- 각 평가 단계별로 산출 알고리즘이 적용되어 최종 평가결과를 출력함

관련
성과물

- 국내논문 1건, 국외 논문 1건
 - BIM기반 공동주택 표면 결로 시뮬레이션 평가를 위한 요구정보 정립에 관한 연구, 2015.04, 한국건축친환경설비학회논문집, 9권 2호, pp170~179
 - Input information system building for BIM-based simulation evaluation of apartment surface condensation, 2015.7, Vol.6, No.3, pp188~197
- 매뉴얼 1건
 - 단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축

(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발

(가) 요구정보 변환 및 수집 방법론 정의

해석 부위 형상 정보	BIM DATA → 이미지 파일 변환 → PNG → 특정 저장위치 지정 → 폴더 → import → Module
단열 성능 평가부	BIM DATA → 추출/변환 → 전열해석 결과 → 사용자 입력 → Module 총 전열량 총 열교량 상당열관류율 우각부 실내표면온도 결로발생 최소 습도 벽,지붕,바닥 열관류율 평가 알고리즘 Physibel을 통해 전열해석 결과를 TXT파일로 변환하여 구조체의 총 전열량, 총 열교량, 상당열관류율, 우각부 실내표면온도, 결로발생 최소습도, 각 부위의 열관류율 정보를 사용자가 입력하여 정보를 수집함
표면결로 성능 평가부	BIM DATA → 추출/변환 → 전열해석 결과 → 사용자 입력 → Module 단열성능 평가부 총 전열량 총 열교량 상당열관류율 우각부 실내표면온도 결로발생 최소 습도 벽,지붕,바닥 열관류율 평가 알고리즘 전열해석 결과로부터 도출된 우각부 실내표면온도(최소표면온도)에 관한 데이터를 활용하여 TDR 산출 알고리즘에 대입함
내부결로 성능 평가부	BIM DATA → 추출/변환 → XML → 물성정보 추출 → 평가 알고리즘 → Module 국내 도시별 기후데이터 (온도, 습도, 수증기압) BIM 데이터로부터 재료명, 열전도율 정보를 XML로 변환하여 구조체의 구성정보로 활용하고, 평가를 위한 기후데이터(연중 월평균)를 셋팅변수로서 지정함

(나) 단열 성능 평가부의 요구정보

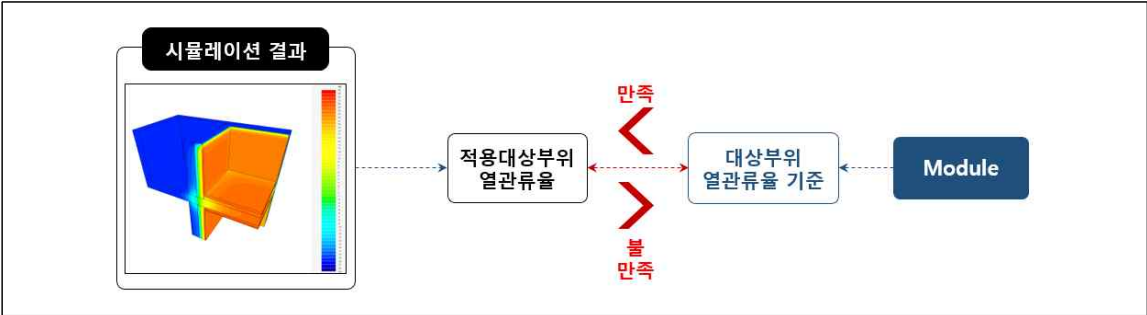
- 1) 단열 성능 평가를 위한 요구 정보
- 단열 성능 평가는 해당 부위 재료층의 각 재료의 열전도율, 실내외 열저항 값을 통한 열관류율(W/m2K)을 평가함
 - 국내 건축물 구조체의 단열 성능 분석은 국토교통부 고시 「건축물 에너지절약설계 기준」 별표 1의 지역별, 부위별 열관류율 기준에 따라 형별성능을 비교분석하여 이루어짐 기준에 관한 내용은 다음 표와 같음

표 3.64 건축물의 에너지절약설계기준 별표 1의 지역별, 부위별 열관류율 기준

(단위:W/m²・K)

지역			중부지역	남부지역	제주도
건축물의 부위					
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.210이하	0.260이하	0.360이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	0.300이하	0.370이하	0.520이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150이하	0.180이하	0.250이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.220이하	0.260이하	0.350이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	0.180이하	0.220이하	0.290이하
		바닥 난방이 아닌 경우	0.220이하	0.250이하	0.330이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	0.260이하	0.310이하	0.410이하
		바닥 난방이 아닌 경우	0.300이하	0.350이하	0.470이하
바닥난방인 층간바닥			0.810이하	0.810이하	0.810이하

- 2) 단열 성능 평가 방법
- 지역별, 부위별 열관류율 기준을 셋팅 변수로 지정하고 입력된 해당부위의 열관류율을 비교하여 기준의 만족/불만족 여부를 평가함



(다) 표면결로 성능 평가부의 요구정보

- 1) 표면 결로 개요
- 국내의 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준에서는 결로방지 성능을 평가하기 위한 지표로 온도차이비율(TDR)을 이용하며, 국외에서는 온도계수(fRsi) 혹은 온도지수(TI)를 이용함. 이러한 지표들은 실내온도, 외기온도, 실내 표면온도의 관계에 의해 정의되며 각각의 식들은 다음과 같음
 - 온도 변수로만 구성된 지표로 판단이 가능한 표면 결로 성능은 실내외 온도조건과 전 열해석 프로그램을 통한 적용 대상부위 실내표면온도 산출을 통하여 평가가 가능함

표 3.65 표면 결로 평가를 위한 기준 지표 종류

지표	산출식	내용
TDR (국내)	$\text{온도차이비율}(TDR) = \frac{\text{실내온도} - \text{적용 대상부위 실내표면온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}}$	실내와 외기의 온도차이에 대한 실내와 적용 대상 부위의 실내표면의 온도차이를 표현하는 상대적인 비율을 표현하는 값으로, 아래 계산식에 따라 산정되며 그 범위는 0에서 1사이임
f _{Rsi} (국외)	$\text{온도계수}(f_{Rsi}) = \frac{\text{적용 대상부위 실내표면온도} - \text{외기온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}}$	실내와 외기의 온도차이에 대한 적용 대상 부위의 실내표면과 외기의 온도차이를 표현하는 상대적인 비율을 표현하는 값으로, 아래 계산식에 따라 산정되며 그 범위는 0에서 1사이임
TI (국외)	$\text{온도지수}(TI) = \frac{\text{적용 대상부위 실내표면온도} - \text{외기온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}} \times 100$	온도계수(fRsi)와 동일한 개념이지만, ‘실내와 외기의 온도 차이에 대한 적용 대상부위의 실내표면과 외기의 온도차이’의 백분율로 표현한다는 점에서 차이가 나며, 아래 계산식에 따라 산정되며 그 범위는 0에서 100사이임

표 3.66 주요 부위별 결로 방지 성능기준

대상부위			TDR값 ^{주1), 주2)}		
			지역 I	지역 II	지역 III
출입문	현관문	문짝	0.30	0.33	0.38
	대피공간 방화문	문틀	0.22	0.24	0.27
벽체접합부			0.23	0.25	0.28
외기에 직접 접하는 창	유리 중앙부위		0.16 (0.16)	0.18 (0.18)	0.20 (0.24)
	유리 모서리부위		0.22 (0.26)	0.24 (0.29)	0.27 (0.32)
	창틀 및 창짝		0.25 (0.30)	0.28 (0.33)	0.32 (0.38)

주1) 각 대상부위 모두 만족하여야 함
주2) 괄호 안은 알루미늄(AL)창의 적용기준임

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

2) 표면 결로 판정을 위한 요구 정보

- 국내 기준의 표면 결로 판정을 위해서는 TDR 산출을 위한 변수가 요구되는데 평가를 위한 실내외 온도는 기준에서 제시되며 적용 대상 부위의 실내표면온도는 전열 해석 프로그램을 통해 산출됨.

표 3.67 표면 결로 판정을 위한 요구정보

입력 정보	해당 값	비 고
실내 온도	25℃	공동주택 결로방지 설계기준
실외 온도	지역Ⅰ(-20℃), 지역Ⅱ(-15℃), 지역Ⅲ(-10℃)	
적용대상부위 실내표면온도	시뮬레이션 분석을 통한 적용 대상부위 최소실내표면온도	PHYSIBEL / THERM을 통한 대상부위의 실내표면온도 최소값 산출

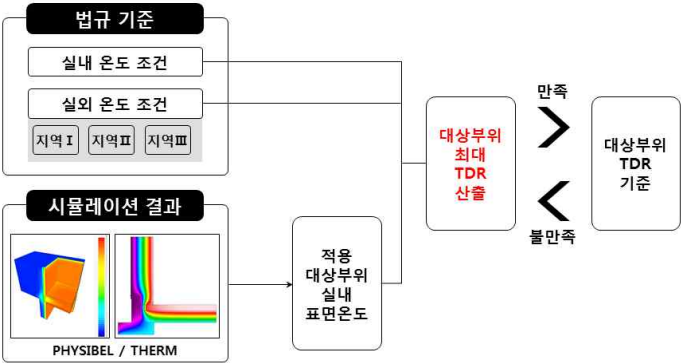


그림 3.122 전열해석 프로그램을 활용한 TDR 평가
프로세스

(라) 내부결로 성능 평가부의 요구정보

3) 내부 결로 판정

- 내부 결로 판정 시 전열해석을 통한 온도에 관한 지표에 추가하여 구조체 구성재료의 투습, 방습 성능에 대한 정보가 요구되나 국내에는 아직 판정 기준이 없으므로 본 연구의 국내법 기준의 단열·결로 성능 평가 모듈의 내부결로 평가 부분은 건물의 결로 성능 평가에 대한 국제표준 ISO 13788을 적용함

가) 내부 결로 계산 개요

① 내부 결로 계산에 대한 개요

- 내부 결로 계산을 위한 구조체에 대해 습기가 전혀 없는 상태를 가정함
- 결로 예상되는 달을 시작 월(month)로 하여 그 달에 대한 평균 외기조건을 설정하여 결로량 혹은 증발량을 계산함
- 결로가 발생한 월(month)들의 연중 축적된 결로수의 양과 결로가 발생하지 않은 월들의 총 증발량을 비교함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 1차원으로 정상상태를 가정하며, 기류는 고려되지 않음
- 습기의 전달량에 대한 분석은 수증기확산 분석을 통해 이루어짐

표 3.68 수증기 유량 밀도 산출식

$g = \frac{\delta_0}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta x} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d}$	g : 수증기 유량의 밀도	kg/m ² s
	δ_0 : 투습율 (=2×10 ⁻¹⁰ kg/m·s·Pa)	kg/m·s·Pa
	μ : 투습저항계수	-
	Δp : 내외부 수증기압 차	Pa
	ΔX : 두께	m
	S_d : 수증기 확산에 대한 등가공기의 두께	m

② 내부 결로 계산을 위한 재료 물성정보

표 3.69 내부결로 계산을 위해 요구되는 재료 물성

물성	기호
Thermal conductivity	λ
thermal resistance	R
Water vapour resistance factor	μ
Water vapour diffusion-equivalent air layer thickness	S_d

- 구조체를 구성하는 각 재료층의 R 과 S_d 의 계산이 필요함
- 금속의 경우 무한대의 μ 값을 가짐
- 총 R 과 S_d 산출식은 다음 식과 같음

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se} \quad s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j}$$

③ 내부 결로 계산을 위한 경계조건

표 3.70 내부결로 계산을 위한 경계조건 설정

구분	내용
외기온도	해당월 평균온도
내기온도	해당 건물의 사용 조건온도 설정
외기습도	월평균 수증기압
내기습도	외기습도와 내부발생 습도의 합

- 월평균 수증기압 : 해당월 평균온도와 상대습도에 관한 식

$$\overline{p_e} = \overline{\varphi_e} p_{sat}(\overline{\theta_e})$$

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 월평균 수증기압 : 외기습도와 내부발생 습도의 합으로 나타내며 내부발생 습도는 건물의 사용 조건습도 설정

$$p_i = p_e + \Delta p$$

나) 내부 결로 계산

① 온도와 포화수증기압 분포

- 재료 간 경계면에서의 온도 계산

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} (\theta_i - \theta_e)$$

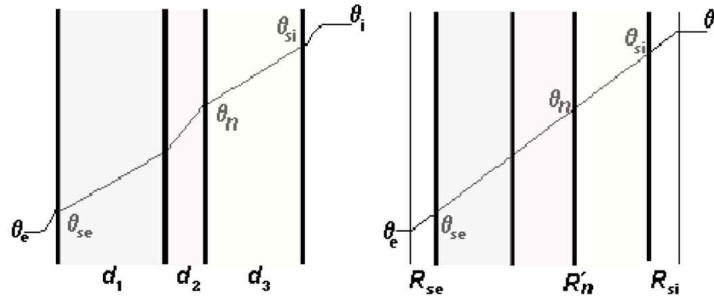


그림 3.123 각 층의 두께, 열저항 차에 의한 온도분포

- 경계면의 온도로부터 각 경계면에서의 포화수증기압 계산

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3+\theta}} \quad \text{for } \theta \geq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,5+\theta}} \quad \text{for } \theta < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

② 수증기압 분포

- 결로량의 계산식은 수증기압과 S_d 에 대한 관계식으로 표현하며 결로량은 수증기압에 비례하며 총 S_d 에 반비례함

$$g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{S'_{d,T}}$$

- 각 재료층의 S_d 에 해당하는 두께를 그려서 각 층의 포화수증기압과 내외부의 내외부의 수증기압을 선으로 표현함

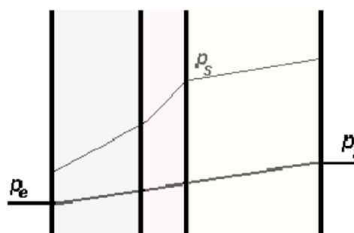


그림 3.124 결로가 발생하지 않음

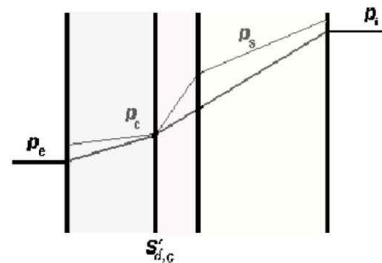


그림 3.125 특정 경계면에서 결로 발생

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

- 포화수증기압 선의 하부에 수증기압선이 분포할 경우 결로가 발생하지 않는다고 판단하며 포화수증기압 선과 수증기압선이 만날 경우 특정 경계면에서는 결로가 발생함

③ 결로율 (결로수의 양) 산정

- 결로율은 결로가 발생하는 면으로부터 결로가 발생하지 않는 면 사이의 결로수의 양으로 표현되며 경계면 자체의 결로율은 면의 포화수증기압으로 계산함

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right)$$

- 결로가 발생하는 경계면이 두 개일 경우의 결로수 양의 계산은 각각의 경계면에서의 결로수 양을 산정하여 합산함

$$\text{Interface c1: } g_{c1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$$

$$\text{Interface c2: } g_{c2} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$$

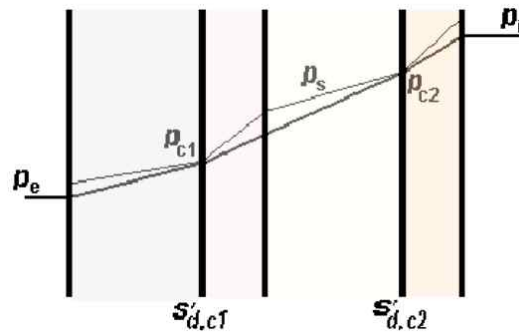


그림 3.126 두 개의 경계면에 결로 발생

④ 증발량 산정

- 결로가 발생하지 않는 월(month)의 특정 경계면에서 포화수증기압 선과 수증기압 선이 만나는 점은 증발량이 산정되는 점으로 결로수의 양을 구하는 식과 동일하며 물리량으로 볼 때 서로 양(+)과 음(-)의 관계가 있음

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right)$$

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

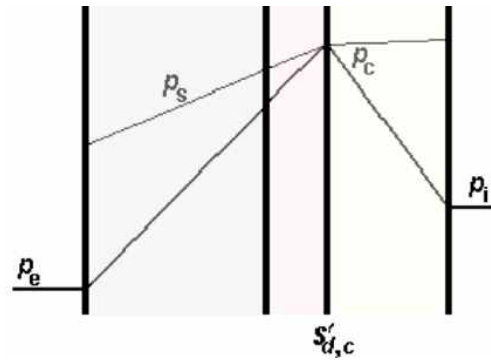


그림 3.127 한 개 경계면에 증발발생

- 한 개 이상의 결로 발생 면이 있는 구조체의 경우 증발량의 계산식은 결로율의 산정식을 준용함
- ⑤ 증발량과 결로율
- 한 개 이상의 결로 발생 면이 있는 구조체의 경우 한 면에서는 결로가 발생하고 다른 면에서는 증발이 발생할 때 증발량과 결로율을 동시에 산정함

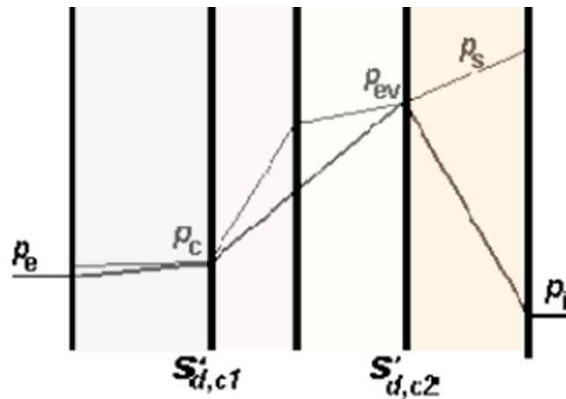


그림 3.128 한 개의 경계면에서 결로발생
다른 면에서 증발량 발생

- 각각의 면에 대해 결로율(g_c)과 증발량(g_{ev})을 계산함

$$\text{경계면 } P_c : g_c = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$$

$$\text{경계면 } P_{ev} : g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$$

다) 내부 결로 부하 기준

- 이론상으로 구조체 내부에 결로수가 발생하면 결로 발생으로 인한 하자로 간주되어야 하지만, 대기 안에 존재하는 모든 구조체는 결로를 피할 수 없음. 이에 표면 결로 판정기준과 같이 일정한 내부 결로 부하 기준이 요구됨
- 국제표준 ISO 13788에는 건물 용도에 따라 5가지 종류로 구분하여 체적당 습도($\Delta\nu$)와 수증기압(Δp)의 내부 결로 부하 기준을 제시하고 있음 (서유럽 기준)

표 3.71 ISO 13788에서 제시하는 건물 용도별 내부 결로 부하 등급

내부 결로 부하 등급	건물
1	창고
2	사무실, 상점
3	낮은 점유율의 주거 ('낮은'의 기준을 제시하고 있지 않음)
4	높은 점유율의 주거, 스포츠홀, 부엌, 식당
5	특정 건물 ; 세탁소, 수영장 등

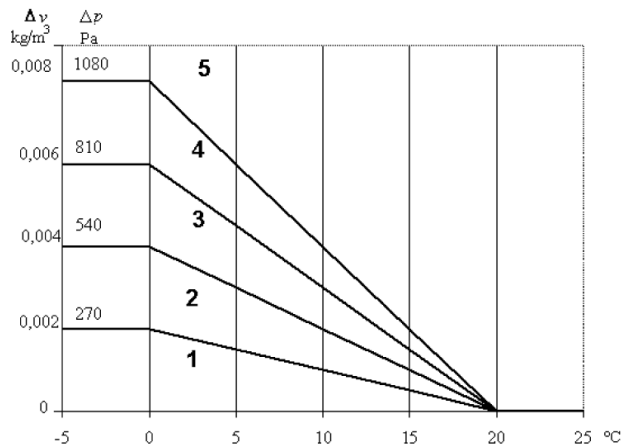


그림 3.129 외기온도에 따른 내부 결로 부하 등급의 변화

라) 내부 결로 판정을 위한 입력 정보

- 내부 결로 판정을 위한 입력정보는 경계조건과 재료물성으로 구분함
- 경계조건은 실내외 온습도 정보가 요구되며 실외 온습도는 월평균 값을 사용함. 실내 온습도는 해당 건물의 사용자 프로파일에 적합하게 설정함
- 재료물성은 전열성능에 관한 정보로서 재료의 열전도율과 열전도율과 두께의 관계식을 통해 산출되는 열저항이 요구되며 투습성능에 관한 정보로서 투습저항계수, 투습등가공기층 두께가 요구됨

표 3.72 내부 결로 판정을 위한 입력정보

입력 정보		해당 값
경계 조건	실외 온도	해당월 평균온도(℃)
	실외 습도	월평균 수증기압(Pa)
	실내 온도	해당 건물 조건온도(℃)
	실내 습도	외기습도와 내부발생 습도(수증기압)의 합(Pa)
재료 물성	열전도율	해당 재료층 열전도율(W/m·K)
	열저항	두께 / 열전도율(m ² ·K/W)
	투습저항계수	-
	수증기 확산 등가공기층 두께	재료층의 수증기 확산 정도를 공기층의 성능으로 변환한 값(m)

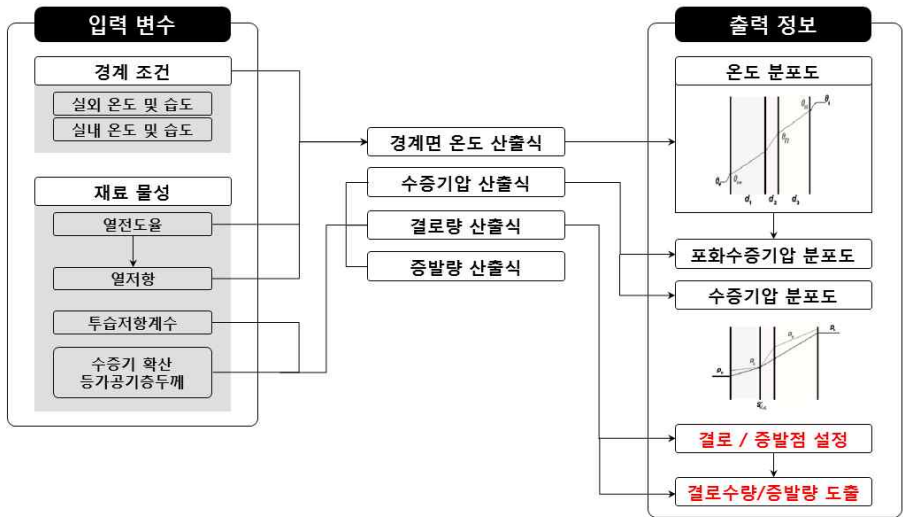


그림 3.130 내부 결로 판정을 위한 입력 변수 및 출력 정보

(2) 단열·결로 평가 객체 입출력 정보체계 구축

1) 평가 입출력 체계

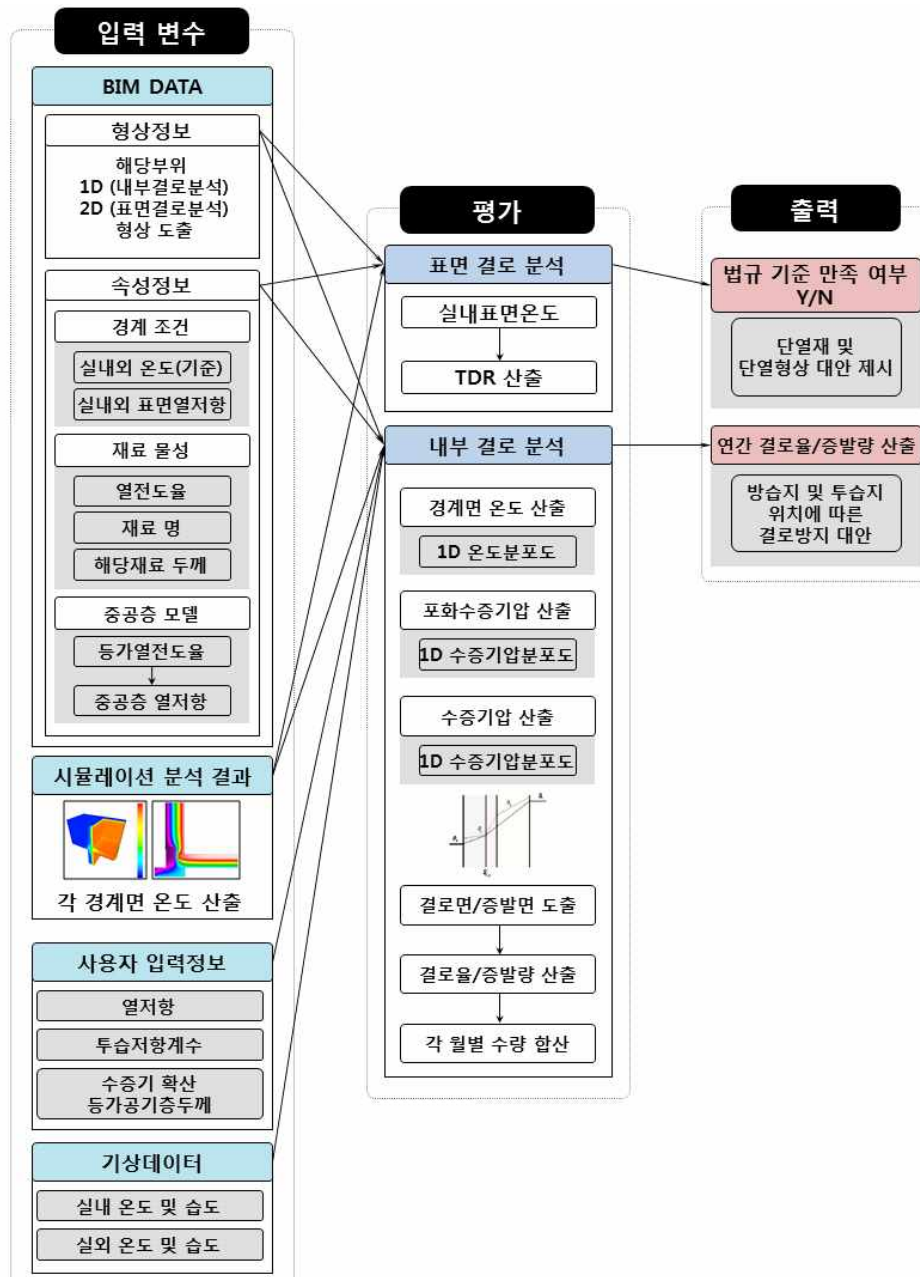


그림 3.131 단열·결로 평가를 위한 입출력 및 정보 체계의 개요

다) 입력 변수

① BIM DATA

- 형상정보 : 표면 결로 분석을 위해서는 시뮬레이션 프로그램에서 요구하는 2D형상의 이미지 파일(DXF)이 요구되며, 내부 결로 분석을 위해서는 균질한 층의 형상으로 표현된 1차원 열류 방향의 2D 형상이 요구됨

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	검증

- 속성정보 : 시뮬레이션 프로그램을 통한 표면 결로 분석을 위해 요구되는 입력정보는 경계조건, 재료물성, 중공층 물성 등임. 경계 조건의 경우 기준으로 제시된 특정 값을 활용하며, 재료 물성은 열전도율, 재료명, 해당 재료층의 두께이며, 중공층은 기준에서 제시된 중공층 열저항을 통한 등가열전도율 산출 값을 적용함. 내부 결로 판정을 위한 경계조건은 실측자료를 활용하므로 BIM DATA로 활용하는 것보다 사용자 입력을 통한 정보를 활용하는 것이 용이함.

② PHYSIBEL을 통한 시뮬레이션 분석 결과

- 전열해석 시뮬레이션 프로그램을 통해 최종적으로 도출되는 정보는 열관류율과 온도이며, 결로 분석은 전열현상을 온도로 표현하므로 표면 결로 판정을 위한 적용 대상부위 최소 표면온도 및 내부 결로 판정을 위한 각 경계면 온도 산출값을 활용함

③ 사용자 입력 정보

- 내부 결로 평가를 위해 추가되는 정보는 재료의 투습저항계수, 투습등가공기층 두께이며 국내에는 아직 표준적인 DB가 부재함. 평가 모듈 개발 시 BIM DATA로부터 추출하는 표면 결로 평가를 위해 요구되는 재료의 물성과 구분하기 위해 추가적인 사용자 입력정보로 분류함

④ 기상데이터

- 국제표준 ISO 13788에 따른 내부 결로 평가를 위한 실내외 온습도 기준은 실측값을 요구함. 또한 특정한 표면열전달 값을 기준으로 제시하므로 표면 결로 평가를 위한 경계조건과는 다름

라) 결로 평가 및 최종 출력

① 표면 결로 평가

- 시뮬레이션 분석 프로그램을 통해 분석된 결과인 적용 대상 부위의 최소 실내표면온도를 통해 TDR 값을 산출함
- 산출된 TDR 값과 기준 TDR을 비교하여 기준 값보다 작은 값을 가져야 법규 기준에 만족함

$$\text{온도차이비율}(TDR) = \frac{\text{실내온도} - \text{적용대상부위 실내표면온도}}{\text{실내온도} - \text{외기온도}}$$

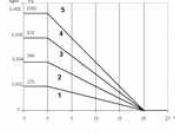
② 내부 결로 평가 (이론적 고찰의 내부 결로 평가 참조)

- 내부 결로 평가를 위해 BIM 데이터로부터 추출한 1D 형상을 다시 투습 등가공기층 두께로 다시 그려주어 각 경계면의 포화수증기압과 수증기압을 통해 선을 그려 연간 월별 평균 기온과 습도 조건에서 결로가 발생한 월들의 총결로율을 산출함
- 국내에는 기준이 없으나 국제표준 ISO 13788에서는 건물 용도에 따라 5등급으로 나누어 내외부 수증기압, 체적 당 수증기량의 차로 평가함

2) 평가별 입출력 정보

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

표 3.73 평가별 입출력 정보 체계

구분	입력		평가	출력
단열	PHYSIBEL	총 전열량	벽, 지붕, 바닥 열관류율을 기준과 대비하여 만족/불만족 여부를 평가함	대상부위 열관류율  OR  만족 불만족 대상부위 열관류율 기준 지역별 부위별
		총 열교량		
		상당열관류율		
		최소실내표면온도		
		결로발생 최소습도		
표면 결로	BIM	2D 형상 (DXF)	BIM DATA 2D 형상 실내외 기준온도 실내외 표면열저항 열전도율 재료 두께 중공층등가열전도율 PHYSIBEL / THERM 시뮬레이션 적용 대상부위 실내표면온도 실내외 기준온도 TDR(온도차이비율)	대상부위 최대 TDR 산출  OR  불만족 만족 대상부위 TDR 기준 지역별 부위별
		실내외 기준온도(℃)		
		실내외 표면 열저항(m²K/W)		
		각 재료명		
		열전도율(W/mK)		
내부 결로	BIM	재료 두께(m)	1D 형상 각 층 경계면 온도 PHYSIBEL / THERM 시뮬레이션 분석결과 각 층 온도로부터 포화수증기압 계산 $p_{sat} = 610.5 e^{\frac{17.269 \cdot \theta}{237.3 + \theta}}$ $p_{sat} = 610.5 e^{\frac{21.875 \cdot \theta}{265.5 + \theta}}$ 각 층 수증기압 계산 $\bar{p}_e = \varphi_e \cdot p_{sat}(\bar{\theta}_e)$ $p_i = p_e + \Delta p$ $g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{S'_{d,T}}$ 투습등가공기층 두께 내부 발생 습도 Redrawing 결로면/증발면 도출  결로율/증발량 산출 $g_c = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{S'_{d,c2} - S'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{S'_{d,c1}} \right)$ $g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{S'_{d,T} - S'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{S'_{d,c2} - S'_{d,c1}} \right)$ 각 월별 수량 합산	1. 결로율 산출 결로발생월의 결로율 합산 ↓ 연간 결로수량 도출 2. ISO 13788 기준 준용 시 ISO 13788 기준의 수증기압 등급을 적용할 경우 $\Delta p = p_i - p_e$  ↓ 용도에 따른 등급 만족 여부 Y/N
		실내외 기준온도(℃)		
		열전도율(W/mK)		
		재료 두께(m)		
		중공층등가열전도율(W/mK)		
기상 데이터	PHYSIBEL / THERM	각 경계면 온도(℃)		
		투습저항계수		
사용자 입력정보		투습 등가공기층두께		
		실내온도		
		실내온도		
		실외습		
		실외습도		
		실외습도		

연구목표	단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발
연구내용	(1) 입력모듈 정보의 분류 체계 구성 (2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발
연구기관	미래환경플랜(주)
연구기간	2차년도

연구결과

(1) 입력모듈 정보의 분류체계 구성

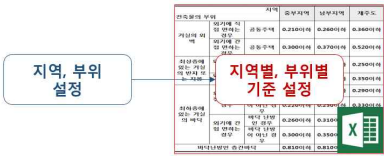
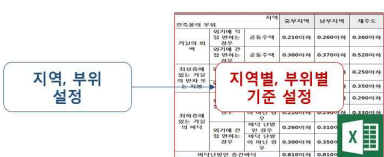
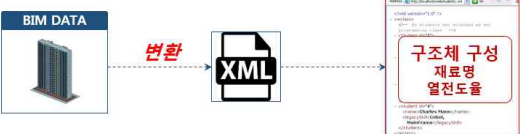
구분	입력 변수	설정 변수
프로젝트 개요정보	대치위치	기후데이터
	지역지구	-
	용도	-
	대지면적	-
	건축면적	-
	연면적	-
	평형/세대	-
단열성능 평가 정보	총 전열량	-
	총 열교량	-
	상당열관류율	-
	우각부 실내표면온도	-
	결로발생 최소 습도	-
	부위별 열관류율	지역별, 부위별 열관류율 기준
표면결로성능 평가 정보	우각부 실내표면온도	지역별, 부위별 TDR 기준
내부결로성능 평가 정보	실내외 기후조건	기후데이터
	구조체 구성 및 물성	투습저항계수, 열저항, Sd

(2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발

- 입력-평가-출력의 프로세스에 따른 모듈 구동에 의해 각각의 성능 평가 알고리즘이 작동하도록 법적 성능 분석 알고리즘을 개발함

관련 성과물	- 특허출원 1건 - 내단열 벽체의 연간 최대 누적 결로량 예측 시스템 및 방법, 출원번호 10-2016-0102303 - 소프트웨어 등록 1건 - 단열·결로 해석 프로그램, 등록번호 C-2016-017052 - 보고서 1건 - 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발
--------	---

(1) 입력모듈 정보의 분류 체계 구성

구분	입력 변수	셋팅 변수
프로젝트 개요정보	대치위치	해당 프로젝트 위치의 지역(도시)정보를 설정하면 모듈에 엑셀데이터가 연동되어 해당 지역에 대한 온도, 습도, 수증기압에 대한 정보 데이터가 자동으로 설정됨 
	지역지구	해당 프로젝트의 지역을 문자로 입력
	용도	해당 프로젝트의 용도를 문자로 입력
	대지면적	해당 프로젝트의 대지면적을 숫자로 입력
	건축면적	해당 프로젝트의 건축면적을 숫자로 입력
	연면적	해당 프로젝트의 연면적을 숫자로 입력
	평형/세대	해당 프로젝트의 평형 및 세대를 숫자로 입력
단열성능 평가 정보	총 전열량	해석결과 중 총 전열량을 숫자로 입력
	총 열교량	해석결과 중 총 열교량을 숫자로 입력
	상당열관류율	해석결과 중 상당열관류율을 숫자로 입력
	우각부 실내표면온도	해석결과 중 우각부 실내표면온도를 숫자로 입력
	결로발생 최소 습도	결로발생 최소 습도를 숫자로 입력
	부위별 열관류율	건축물의 에너지절약설계기준에 따른 부위별, 지역별 열관류율의 기준 데이터 설정 
	우각부 실내표면온도	공동주택 결로방지 설계기준에 따른 부위별, 지역별 TDR 기준 데이터 설정 
	실내외 기후조건	ISO 13788에 따른 내부결로 평가를 위한 실내외 기후조건에 관한 데이터 설정 
내부결로성능 평가 정보	구조체 구성 및 물성	BIM 데이터로부터 추출 재료명, 열전도율 정보 추출 

(2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발

- 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈을 구현하기 위해 단열·결로 성능분석 알고리즘을 개발함
- 현재 건축 구조물에 관한 단열 성능 기준은 국토교통부 고시 「건축물 에너지절약설계기준」에 지역별, 부위별로 별표1에 열관류율을 통해 명시되어 있으며, 결로 성능의 경우 국토교통부 고시 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」에 구조체의 표면 결로 성능에 관한 기준이 명시되어 있음 그러나 구조체의 내부 결로 (Interstitial Condensation)에 관한 평가방법 및 기준은 부재함

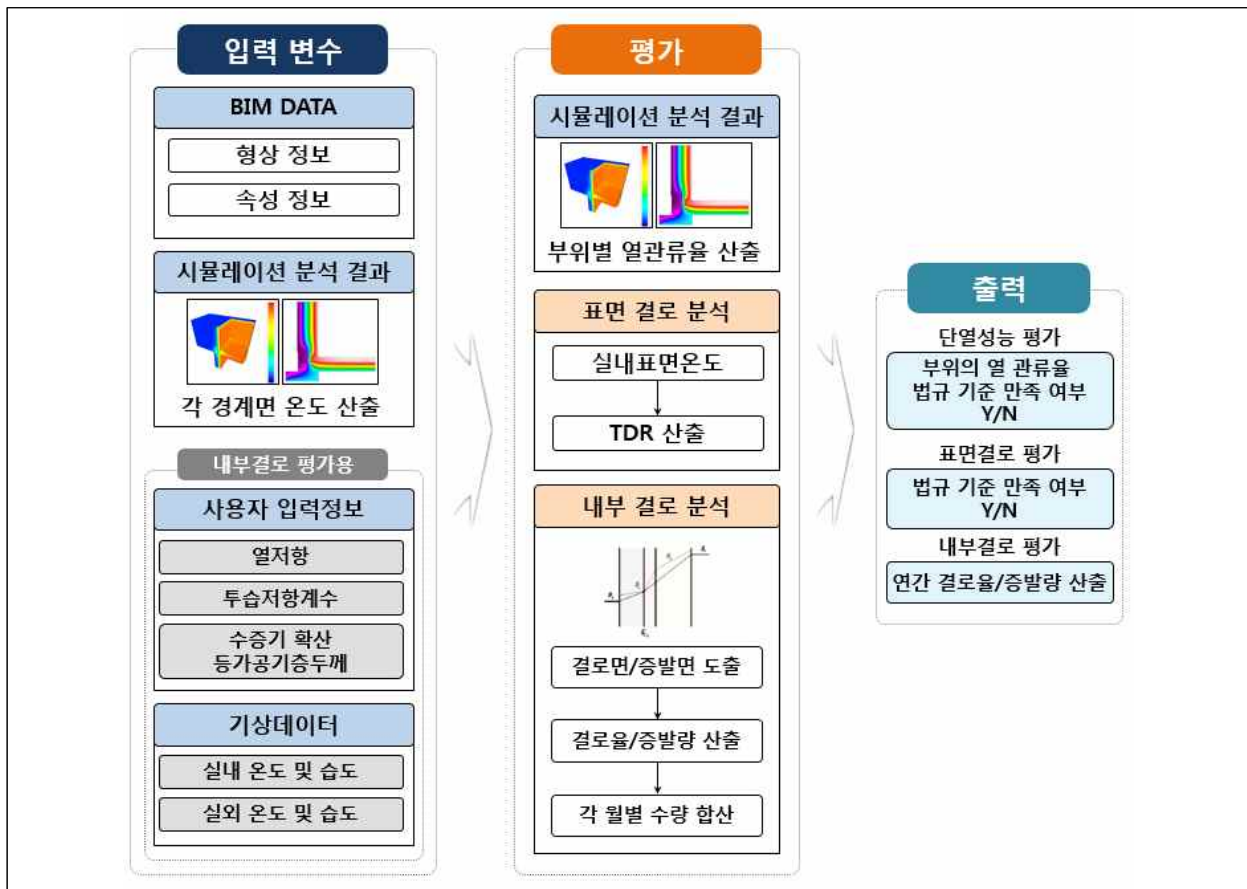


그림 3.132 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개요

- 단열·결로 성능 평가모듈의 시스템 구성은 크게 입력변수부, 평가부, 결과출력부로 구성됨
- 입력변수부는 BIM 데이터로부터 평가를 위한 변수를 직접적으로 불러오는 방법, 전열 해석 결과를 간접적으로 불러오는 방법, 그 외 사용자가 직접 입력하는 방법으로 구성됨 특히, BIM 데이터로부터 형상정보로서 평가 대상의 도면 이미지, 부위 3D 이미지를 직접적으로 활용하며 속성정보로서 재료명, 열전도율을 활용함
- 평가부에서는 전열해석 프로그램 Physibel로 시뮬레이션한 결과를 통해 3D 구조체의 각 구성 부분 (벽, 지붕 및 바닥)의 열관류율을 도출하여 단열 성능을 평가하고, 시뮬레이션 결과를 통해 도출된 실내측 최소표면온도를 통해 TDR값을 도출하여 표면결로 성능을

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

평가하고, BIM 데이터 및 사용자 입력 정보를 활용하여 ISO 13788에 따른 내부결로 성능을 평가함

- 결과출력부는 단열 성능과 표면결로 성능에 대한 평가 결과와 국내 기준의 비교하여 기준의 만족 여부를 평가하여 출력하며, 내부결로 성능에 대해서는 ISO 13788에 따른 연간 결로 발생량 및 누적량의 추세 결과를 출력함
- 입력변수부, 평가부, 결과출력부로 구성되는 본 모듈을 기능별로 분류하면 단열 성능 평가, 표면결로 성능 평가, 내부결로 성능 평가로 구분됨
- 단열성능 분석은 본 연구의 성과물인 BIM 저작도구 데이터로부터 전열 해석 프로그램 Physibel으로의 추출 및 변환 모듈을 이용하여 전열해석 프로그램 Physibel을 통해 해석된 결과로부터 도출된 열관류율을 「건축물 에너지절약설계기준」에 따른 열관류율 기준과 비교하여 성능의 만족 여부를 평가함
- 표면 결로 성능 분석은 상기 전열 분석으로부터 도출된 실내 측의 최소표면온도를 「공동주택 결로방지를 위한 설계기준」의 TDR(Temperature Differential Ratio) 기준과 비교하여 성능의 만족 여부를 평가함
- 내부 결로(Interstitial Condensation) 성능 분석의 경우, 국내에 평가에 대한 기준이 부재하므로 벽체의 투습 성능 평가에 대한 국제 표준인 「ISO 13788 : Hygrothermal performance of building components and building elements – Calculation methods」를 통하여 성능을 평가함

※ 각각의 기준에 따른 평가에 대한 방법 및 과정은 1차 년도의 질적 성과 증빙자료 「D-2-① 단열·결로 평가를 위한 입출력 정보 체계」를 참고

(가) 알고리즘 적용을 위한 모듈의 구조

- 알고리즘 적용을 위한 모듈은 기능별로 구동되며 1)건물 개요 입력과 기준 설정을 위한 데이터 입력, 2)도출된 전열해석 결과를 통한 국내 기준에 맞는 단열 성능 평가, 3)TDR 값 산출을 통한 국내 기준에 맞는 표면결로 성능 평가, 4)기후조건데이터와 자재물성정보를 활용한 ISO 13788 평가 방법에 따른 내부결로 성능 평가 5)평가데이터의 저장 및 출력으로 기능이 구분됨
- 데이터 입력 기능으로부터 생성된 정보를 바탕으로 단열, 표면결로, 내부결로 성능 평가를 수행하며 단열 및 표면결로 평가는 각각 해당부위 열관류율 기준, TDR값 기준에 대해 입력된 값을 필터링하여 만족여부를 평가하며, 내부결로 평가는 ISO 13788에 따른 분석방법이 적용됨

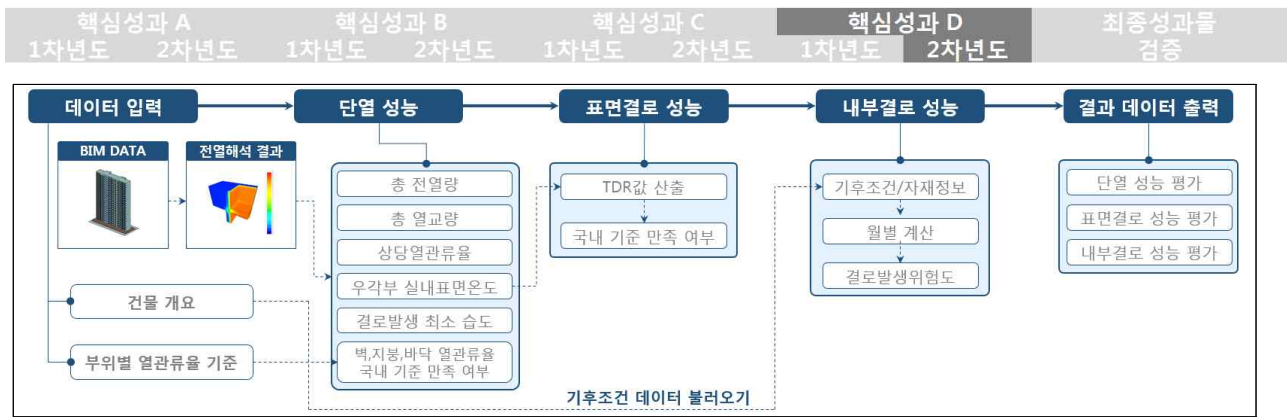


그림 3.133 기능에 따른 평가 모듈 구동 프로세스

(나) 데이터의 입력

1) 추출된 형상 이미지 import

- BIM 데이터로부터 평가대상 공동주택의 평면 및 해당 부위에 대한 3D 모델 형상을 이미지 파일로 변환, 추출하여 전열해석 결과로부터 도출된 isotherm 이미지를 모듈에 import함

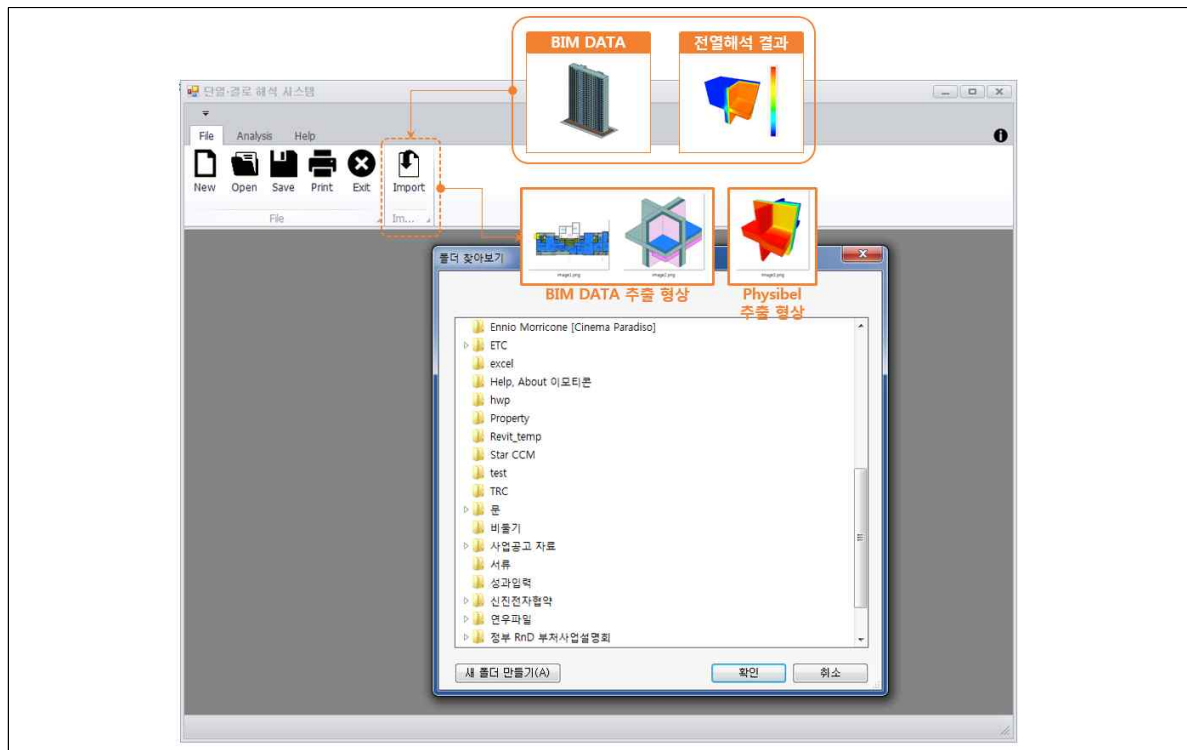


그림 3.134 해석 부위의 그래픽 정보를 이미지파일로 변환하여 import

2) 프로젝트 개요 입력

- 공동주택 도면이 자동으로 import되며 프로젝트에 대한 개요정보는 직접 입력됨 또한 결과 성능 평가시 요구되는 월 평균 기후데이터 적용을 위한 국내 지역(주요 도시)을 설정함

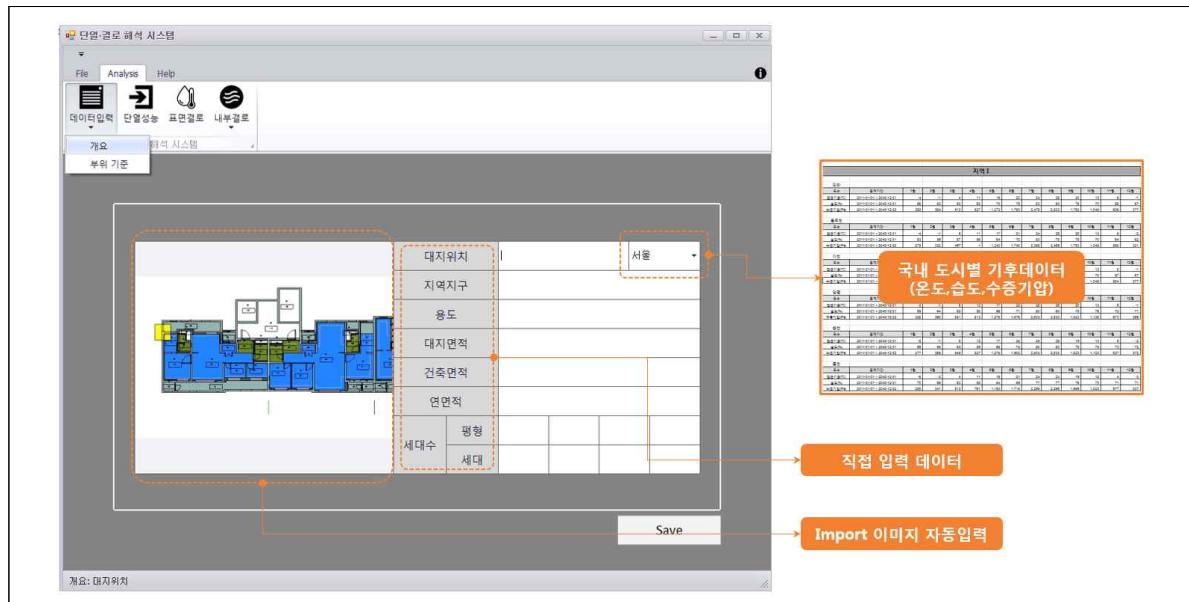


그림 3.135 데이터 입력부의 프로젝트 개요 입력

- 해당부위 3D모델이미지가 자동으로 import되며 「건축물의 에너지절약설계기준-별표1」 부위별·지역별 열관류율 기준에 따른 단열 평가를 위해 부위 및 지역을 지정함

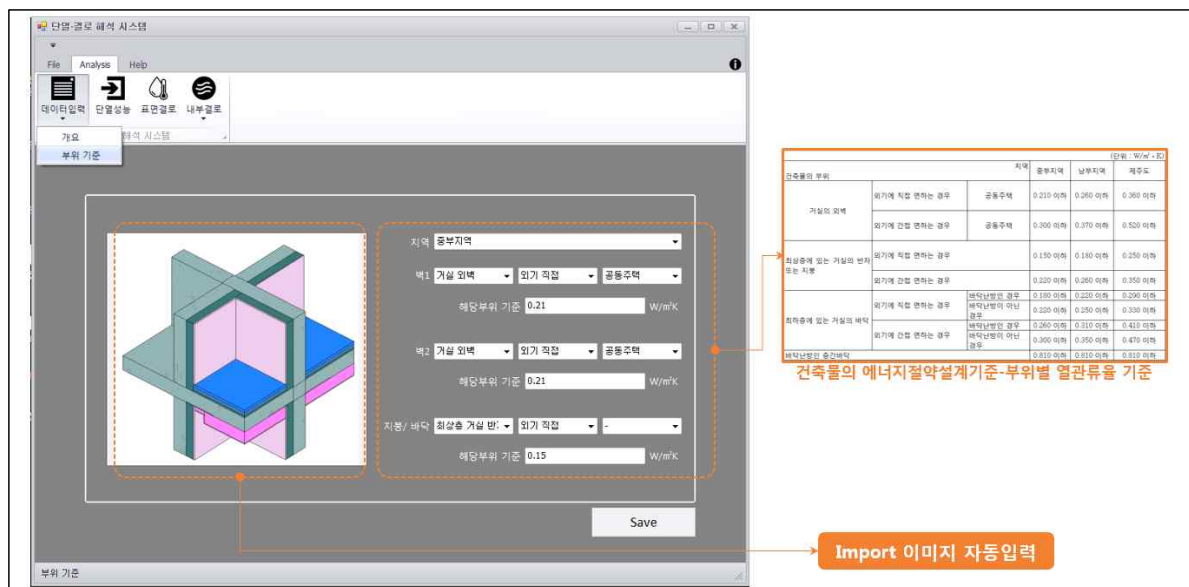


그림 3.136 데이터 입력부의 프로젝트 개요 입력

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(다) 단열 성능 분석

1) 단열 성능 평가를 위한 국내 기준

- 단열 성능 평가는 해당 부위 재료층의 각 재료의 열전도율, 실내외 열저항 값을 통한 열관류율(W/m²K)을 평가함
- 국내 건축물 구조체의 단열 성능 분석은 국토교통부 고시 「건축물 에너지절약설계기준」 별표 1의 지역별, 부위별 열관류율 기준에 따라 형별성능을 비교분석하여 이루어짐 기준에 관한 내용은 다음 표와 같음

표 3.74 건축물의 에너지절약설계기준 별표 1의 지역별, 부위별 열관류율 기준

(단위:W/m² · K)

지역			중부지역	남부지역	제주도
건축물의 부위					
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	0.210이하	0.260이하	0.360이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	0.300이하	0.370이하	0.520이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.150이하	0.180이하	0.250이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.220이하	0.260이하	0.350이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	0.180이하	0.220이하	0.290이하
		바닥 난방이 아닌 경우	0.220이하	0.250이하	0.330이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	0.260이하	0.310이하	0.410이하
		바닥 난방이 아닌 경우	0.300이하	0.350이하	0.470이하
바닥난방인 층간바닥			0.810이하	0.810이하	0.810이하

2) 단열 성능 분석 프로세스

- BIM 모델 데이터 추출 및 변환모듈을 활용하여 전열해석 프로그램 Physibel 시뮬레이션 분석을 수행함
- 전열 해석 결과로부터 단열성능 데이터를 취득함 (구조체의 총 전열량, 총 열교량, 상당열관류율, 결로 취약부위인 우각부의 실내표면온도, 표면 결로를 야기하는 최소 습도, 구조체 각 구성부위의 열관류율)
- 단열성능을 표현하는 대표적인 성능지표인 열관류율에 대해 건축물 에너지절약설계기준 별표1에 따른 지역별, 부위별 열관류율 기준을 설정함
- 상기 기준과 전열해석 결과의 열관류율을 비교하여 성능의 만족여부를 평가함

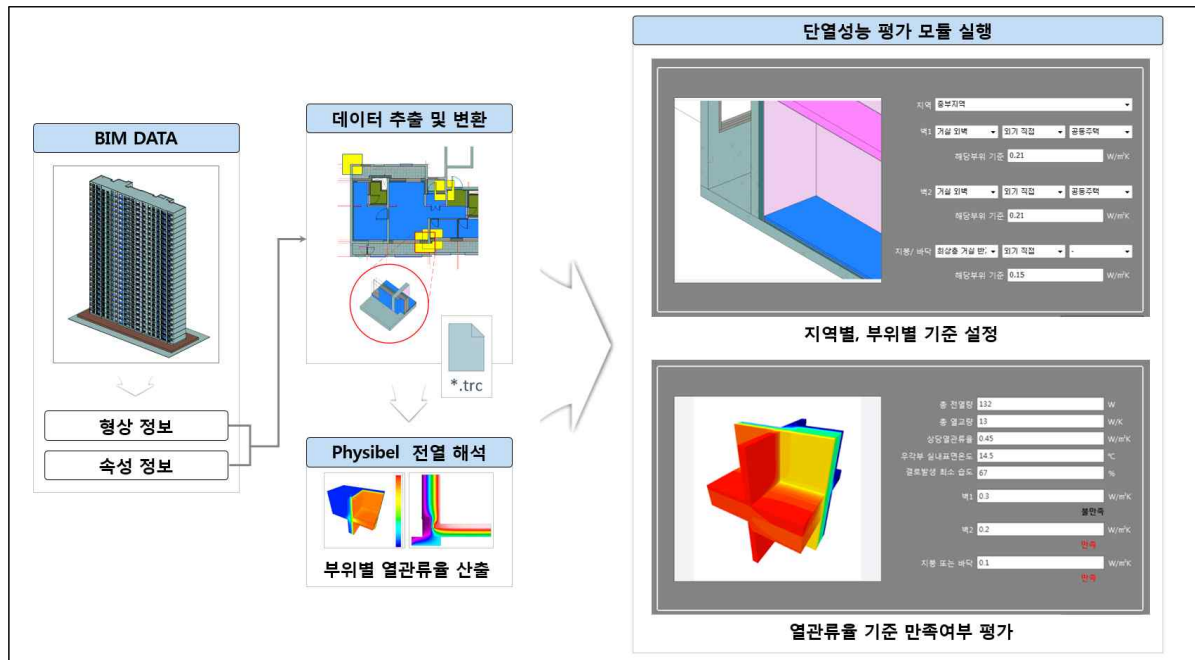


그림 3.137 모듈을 통한 단열 성능 분석 프로세스 실행

3) 단열 성능 분석 알고리즘

- 해당부위 3D모델이미지가 자동으로 import되며 각 전열해석 결과를 직접 입력함 또한 벽 1, 벽2, 지붕 또는 바닥의 열관류율 입력 값이 상기 개요부에서 설정한 기준 값과 비교되어 기준의 만족 여부가 만족/불만족으로 평가되어 화면에 표현됨

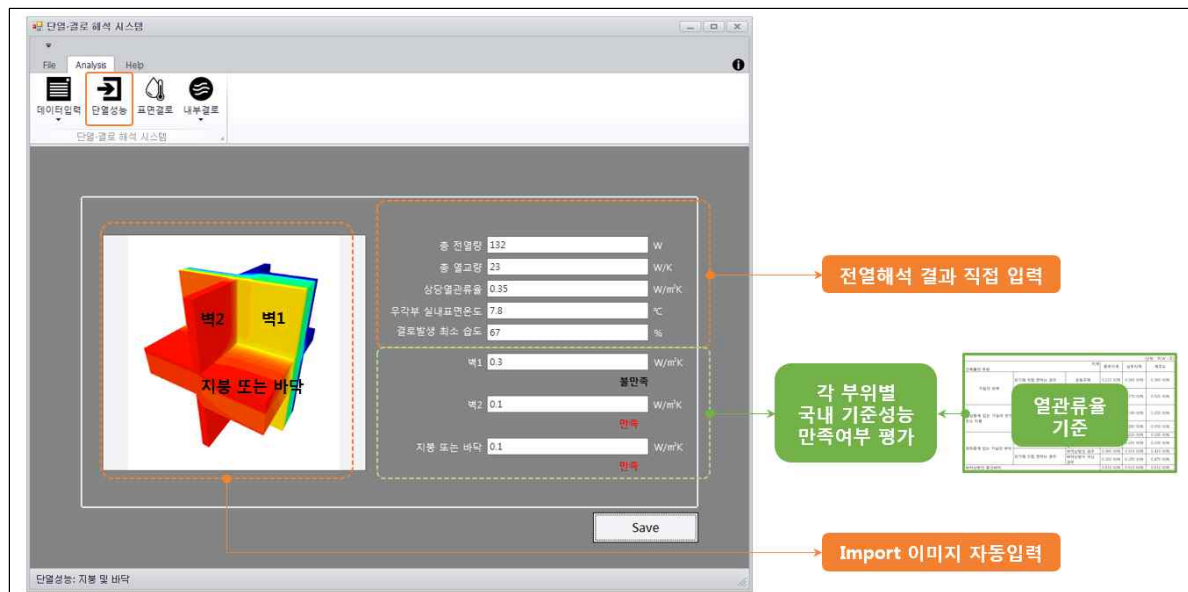


그림 3.138 단열 성능 평가부의 구성

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(라) 표면 결로 성능 분석

1) 표면 결로 성능 평가를 위한 국내 기준

- 국내 건축물 구조체의 표면 결로 성능 평가는 국토교통부 고시 「공동주택 결로방지 설계 기준」의 지역별 TDR값 기준 미만을 만족하는지 여부를 평가함

표 3.75 지역별 결로 방지 성능기준

대상부위	TDR값		
	지역 I	지역Ⅱ	지역Ⅲ
벽체접합부	0.23	0.25	0.28

표 3.76 결로 방지 성능 평가를 위한 지역구분

지역	지역구분
지역 I	강화, 동두천, 이천, 양평, 춘천, 홍천, 원주, 영월, 인제, 평창, 철원, 태백
지역Ⅱ	서울특별시, 인천광역시(강화 제외), 대전광역시, 세종특별자치시, 경기도(동두천, 이천, 양평 제외), 강원도(춘천, 홍천, 원주, 영월, 인제, 평창, 철원, 태백, 속초, 강릉 제외), 충청북도(영동 제외), 충청남도(서산, 보령 제외), 전라북도(임실, 장수), 경상북도(문경, 안동, 의성, 영주), 경상남도(거창)
지역Ⅲ	부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 울산광역시, 강원도(속초, 강릉), 충청북도(영동), 충청남도(서산, 보령), 전라북도(임실, 장수 제외), 전라남도, 경상북도(문경, 안동, 의성, 영주 제외), 경상남도(거창 제외), 제주특별자치도

주) 지역 I, 지역Ⅱ, 지역Ⅲ은 최한월인 1월의 월평균 일 최저외기온도를 기준으로 하여, 전국을 -20℃, -15℃, -10℃로 구분함

2) 표면 결로 성능 분석 프로세스

- 단열성능 분석을 통해 취득한 실내측 최소표면온도(우각부) 도출함
- 해당지역 외기온도, 내기 기준온도 (25℃), 상기 ①에서 도출된 실내측 최소표면온도를 변수로 하여 기준에서 제시하는 TDR 값을 산출 공식에 대입하여 기준에서 제시하는 TDR 값을 도출하여 성능만족여부를 평가함

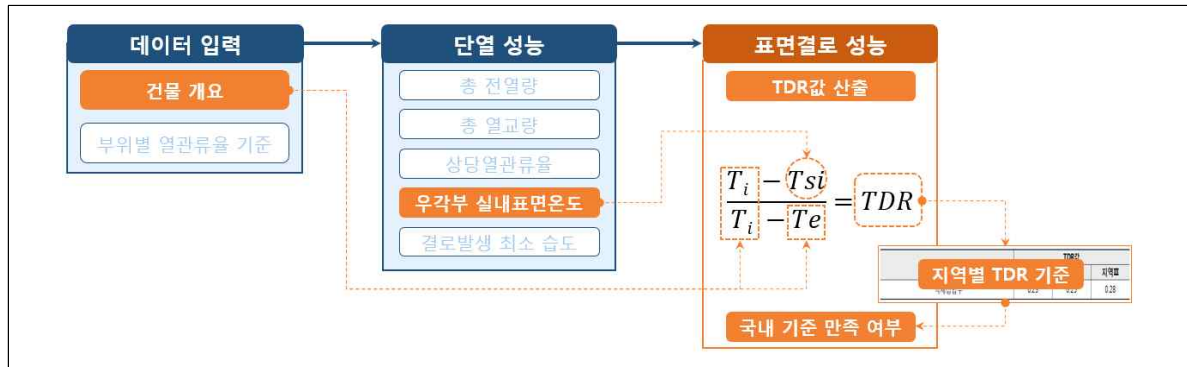


그림 3.139 표면 결로 성능 분석 알고리즘 프로세스

3) 표면 결로 성능 분석 알고리즘

- 전열해석 결과로부터 도출하여 입력된 우각부 실내표면온도와 기준에 제시된 표준 실내온도 $T_i(25^{\circ}\text{C})$ 와 지역별 온도기준을 통해 설정되는 실외온도 T_e 를 통해 TDR 값이 산출되고, 성능기준 만족여부가 만족/불만족으로 평가되어 화면에 표현됨

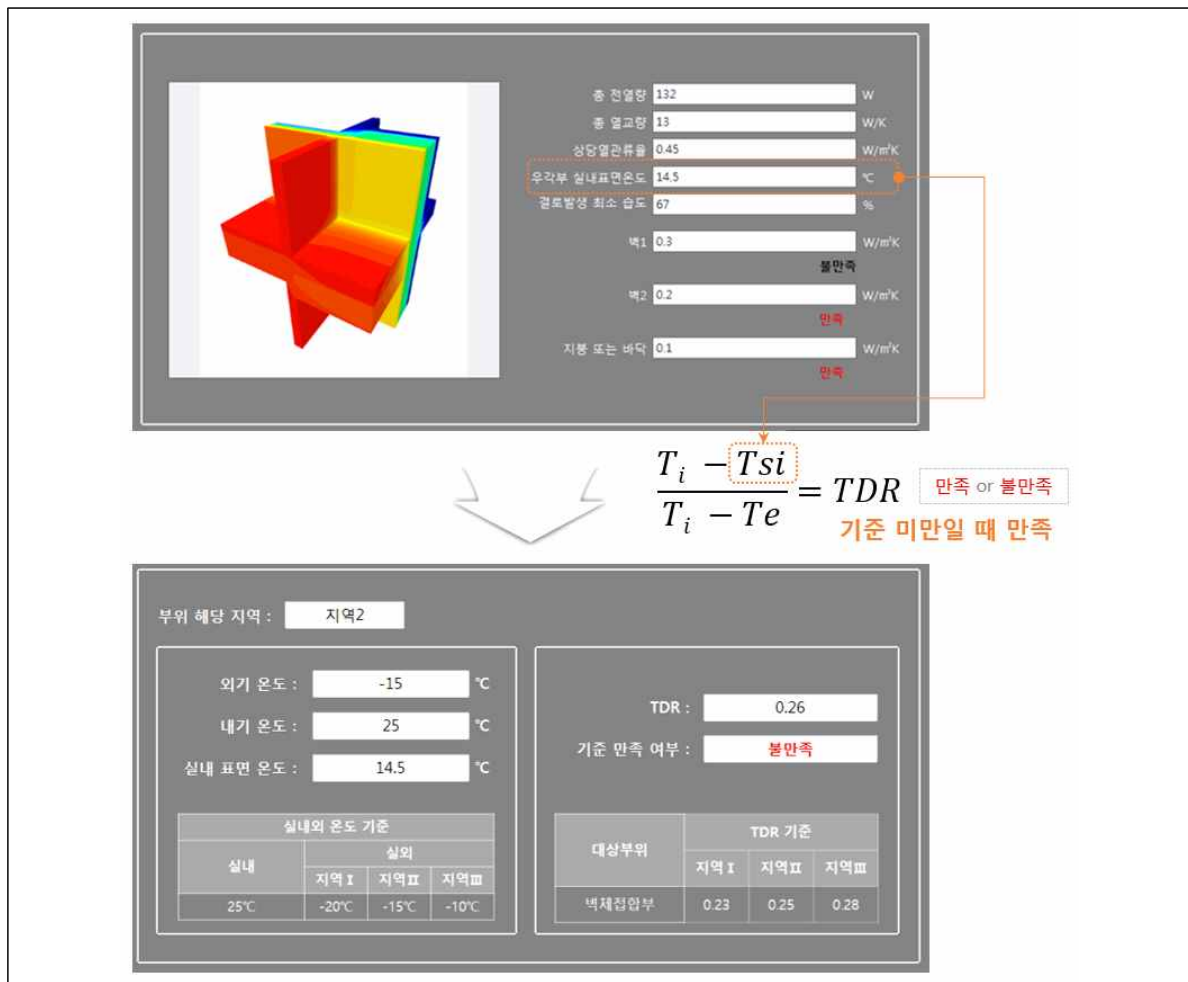


그림 3.140 표면결로 성능부의 구성

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

(마) 내부 결로(Interstitial Condensation) 성능 분석

1) 내부 결로 평가 개요

- 구조체 내부의 결로는 단순한 내외부 전열에 의한 온도차에 대한 성능이 아닌 구조체 내에 대한 습기의 영향력이 고려되어야 함 구조체에 대한 습기의 영향력은 크게 수증기 형태의 습기이동, 대류를 통한 습기이동, 우수 등의 외부유입을 통한 습기이동, 바닥으로부터의 습기이동으로 분류됨 이 중 우수 등의 외부유입을 통한 습기이동이 실제 구조물에 가장 큰 영향을 미치는 요인이지만, 이에 대한 평가 방법과 기준은 현재 국제적으로 표준화되지 않아 계속 연구가 진행 중임
- 구조체에 관한 온습 성능 평가 방법에 대한 국제적인 기준인 ISO 13788은 구조체에 대한 수증기 형태의 습기이동 현상에 대해 연중 월평균 기온 및 상대습도를 활용한 정상상태 분석방법을 정의하였음 (Glaser 방법) 그러나 평가결과에 따른 내부결로 성능에 대한 구체적인 기준은 부재함
- 현재 국제적으로 IS EN 15026에 따른 구조체의 내부결로 성능에 대한 비정상상태 분석 방법이 있으나, 이를 위해서는 기후조건으로서 연중 시간별 기후변화 데이터(온도, 습도, 일사량, 우수, 풍향, 풍속)가 요구되며 재료성능의 조건으로서 구조체 구성 재료의 함습율, 습기변화에 따른 열전도율 변화율, 습기변화에 따른 투습성능계수 변화율, 모세관 현상에 따른 액체상태의 전달능력 등이 동시에 고려되어야 함 이러한 계산을 수행하는 전문적인 해석 도구는 독일 프라운호퍼 연구소에서 개발한 WUFI가 유일함
- ISO 13788에서 제시하는 구조체의 투습성능 평가방법은 정확하고 디테일한 성능 분석이 아닌, 구조체의 투습 성능을 연중 결로발생량에 대한 검토를 통해 전체적인 경향을 나타내는 데 의의가 있음
- 내부 결로 평가에 대한 국내 기준은 부재하므로, 본 연구에서는 ISO 13788에 따른 평가 방법을 모듈로 구현하여 성능을 평가하는데 중점을 두었음

2) 내부 결로 평가 개요

- 내부 결로 평가를 위한 연중 월별 평균 외기온도, 습도에 대한 기후데이터를 기상청 정보 데이터로부터 불러옴 내기의 평균 온도 및 습도는 「공동주택 결로방지 설계기준」에 따라 25℃, 50%로 지정함
- 상기로부터 내기와 외기의 월별 포화수증기압을 산출함
- BIM 모델의 데이터로부터 구조체를 구성하는 재료층의 재료이름, 열전도율 데이터를 변수로 불러오고 추가적으로 요구되는 두께, 투습저항계수의 직접입력을 통해 재료층 별 열저항 값과 Sd 값을 산출함
- 구조물의 월별 투습성능에 따른 결로 발생 또는 증발 발생 여부를 Pa-Sd 차트 생성을 통해 판단함
- 상기 각 월별 판단에 따라 연중 결로발생 시작월이 지정되고 지정월로부터의 결로 누적량 결과가 표와 그래프로 도출되어 모듈에 표현되며 이를 통해 연중 결로 발생 추세를 확인함

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

참고하여 온도 25℃, 상대습도 50%를 준용함 이에 따라 포화수증기압 1583 Pa로 지정되어 데이터에 설정됨

- 구조체의 구성부에서는 구조체 내부의 Sd(water vapour diffusion equivalent air layer thickness, 투습 등가공기층 두께)에 대한 포화수증기압과 수증기압 차트 생성을 위한 물성데이터가 입력됨
- ISO 13788에 따른 평가는 구조체 부위의 1D 구성요소를 평가하기 때문에 3D 구조체의 각 면을 벽1, 벽2, 지붕 및 바닥으로 구분하여 평가함
- 물성데이터는 각 재료에 대한 두께(m), 열전도율(W/mK), 투습저항계수(-), 열저항(m²K/W), Sd[m]로 구성된 열저항 값은 두께에 열전도율을 나눈 값으로 산출되어 입력되며 Sd 값은 두께에 투습저항계수를 곱한 값이 산출되어 입력됨
- 구성 재료명과 열전도율 값은 BIM 데이터로부터 XML 파일 형식이 변환되어 입력되며 두께는 직접입력, 투습저항계수는 재료명에 대한 데이터에 따라 지정됨
- 구조체의 투습 성능 산출을 위한 내기 및 외기 열저항 값은 내외기 선택 시 ISO 13788 기준에 따라 각각 0.25m²K/W, 0.04m²K/W로 지정됨

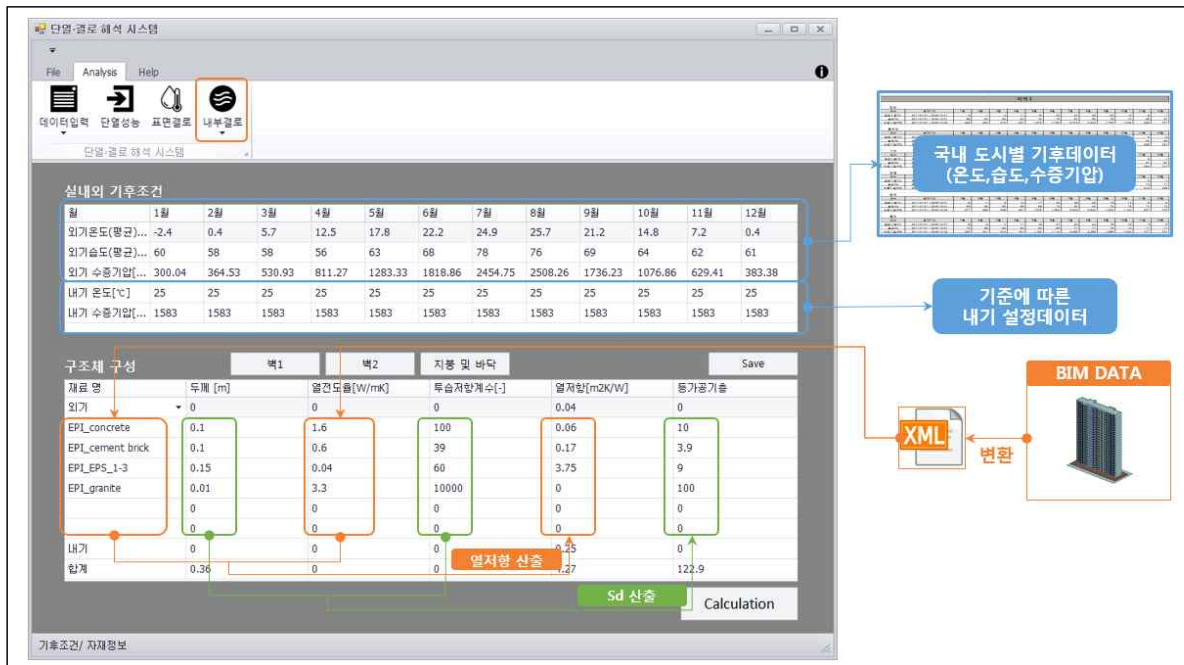
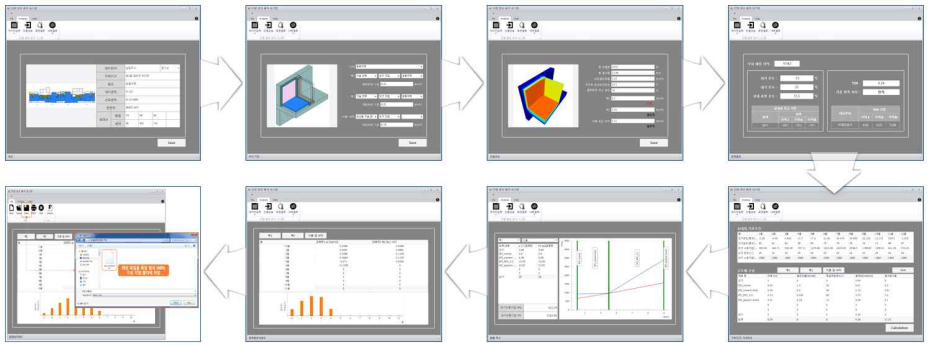
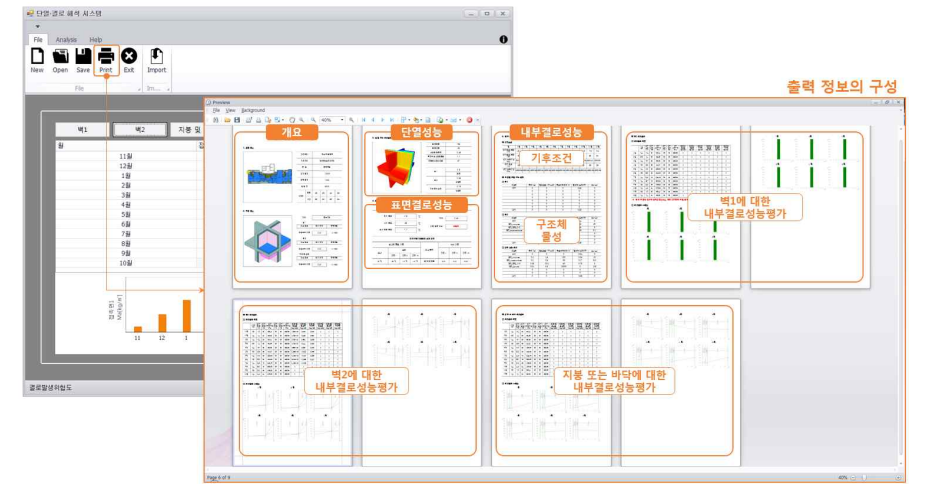


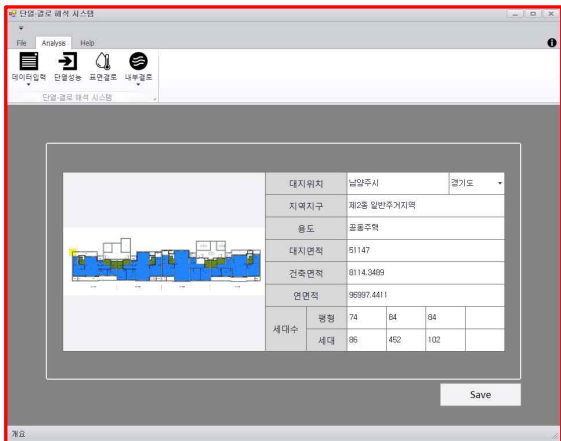
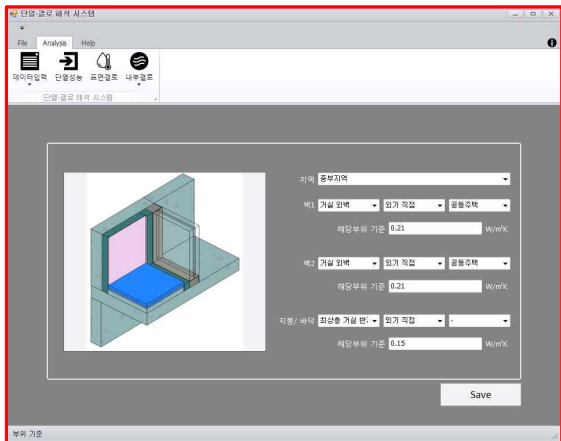
그림 3.142 내부결로 성능 평가를 위한 기후조건, 구조체 구성 입력부의 구성

- 구성 재료명과 열전도율 값은 BIM 데이터로부터 XML 파일 형식이 변환되어 입력되며 입력부에서 도출된 연중 월평균 기후데이터와 구조체의 투습물성을 통해 재료층의 Pa-Sd 차트를 작성함
- 차트는 부위별(벽1, 벽2, 지붕 또는 바닥), 월별로 생성되며 각 부위 및 월을 설정함에 따라 해당 데이터가 표와 그래프로 모듈에 표현됨
- 구조체의 투습물성을 통해 Pa-Sd 차트의 Psat 선이 도출되며 기후데이터를 통해 외기와 내기의 수증기압을 통해 Pe-Pi 선이 도출됨

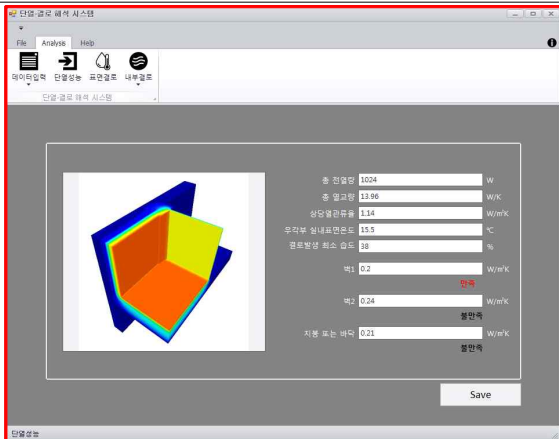
핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

연구목표	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발							
연구내용	(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의 (2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 정확성 검증							
연구기관	미래환경플랜(주)							
연구기간	2차년도							
연구결과	(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의  - 개발된 산출 알고리즘이 모듈을 통해 성능평가별 프로세스에 따라 구동되어 프로젝트 개요입력, 단열 성능 평가, 표면결로 성능 평가, 내부결로 성능 평가, 결과물 출력이루어짐 - 사용자 편의성을 위해 직관적인 판단이 가능하도록 인터페이스를 구성하여 비전문가도 쉽게 관련 내용을 파악하여 평가할 수 있도록 하였음  - 모듈을 통해 평가된 각 성능들이 간단한 출력 기능을 통하여 개요, 단열 성능의 열관류율 만족여부, 표면결로 성능의 TDR값 만족여부, 내부결로 성능의 연중 결로누적량 그래프 및 표가 출력됨							
	(2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 정확성 검증 - BIM 공동주택 모델을 선정하여 해당 부위 20개 부위를 선정하여 모듈 구동여부를 실험한 결과 모듈 구동 이상 없음 - 검증결과는 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발 보고서 참조							
관련 성과물	- 보고서 1건 - 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발 - 소프트웨어 등록 1건 - 건설정보모델링 기반 단열·결로 해석 지원 시스템, 등록번호 0000000000 - 시제품 1건 - 건설정보모델링 기반 단열·결로 해석 지원 시스템							

(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의

데이터입력																																																
개 요	부위 기준																																															
 <table><tr><td>대지위치</td><td>남양주시</td><td>경기도</td></tr><tr><td>지역지구</td><td>제2종 일반주거지역</td><td></td></tr><tr><td>용도</td><td>공동주택</td><td></td></tr><tr><td>대지면적</td><td>51147</td><td></td></tr><tr><td>건축면적</td><td>8114.3489</td><td></td></tr><tr><td>연면적</td><td>98997.4411</td><td></td></tr><tr><td>평형</td><td>74</td><td>B4</td></tr><tr><td>세대</td><td>85</td><td>452</td></tr><tr><td></td><td>102</td><td></td></tr></table>	대지위치	남양주시	경기도	지역지구	제2종 일반주거지역		용도	공동주택		대지면적	51147		건축면적	8114.3489		연면적	98997.4411		평형	74	B4	세대	85	452		102		 <table><tr><td>지역 중부지역</td><td></td></tr><tr><td>벽1 가실 외벽</td><td>외기 적당</td><td>공동주택</td></tr><tr><td>채단부의 기준</td><td>0.21</td><td>W/mK</td></tr><tr><td>벽2 가실 외벽</td><td>외기 적당</td><td>공동주택</td></tr><tr><td>채단부의 기준</td><td>0.21</td><td>W/mK</td></tr><tr><td>지붕/벽의 최상층 가실 반</td><td>외기 적당</td><td></td></tr><tr><td>채단부의 기준</td><td>0.15</td><td>W/mK</td></tr></table>	지역 중부지역		벽1 가실 외벽	외기 적당	공동주택	채단부의 기준	0.21	W/mK	벽2 가실 외벽	외기 적당	공동주택	채단부의 기준	0.21	W/mK	지붕/벽의 최상층 가실 반	외기 적당		채단부의 기준	0.15	W/mK
대지위치	남양주시	경기도																																														
지역지구	제2종 일반주거지역																																															
용도	공동주택																																															
대지면적	51147																																															
건축면적	8114.3489																																															
연면적	98997.4411																																															
평형	74	B4																																														
세대	85	452																																														
	102																																															
지역 중부지역																																																
벽1 가실 외벽	외기 적당	공동주택																																														
채단부의 기준	0.21	W/mK																																														
벽2 가실 외벽	외기 적당	공동주택																																														
채단부의 기준	0.21	W/mK																																														
지붕/벽의 최상층 가실 반	외기 적당																																															
채단부의 기준	0.15	W/mK																																														
대지위치, 지역지구, 용도, 대지면적, 건축면적, 연면적, 평형 및 세대를 공란에 입력하도록 인터페이스를 구성함	프로젝트 해당 지역, 각 부위를 선택하여 공란에 해당 부위에 대한 기준이 나타나도록 인터페이스를 구성함																																															

단열 성능



단열 성능 해석 시스템

총 전열량: 1024 W

총 열교량: 13.96 W/K

상당열관류율: 1.14 W/mK

우각부 실내표면온도: 15.5 °C

결로발생 최소 습도: 38 %

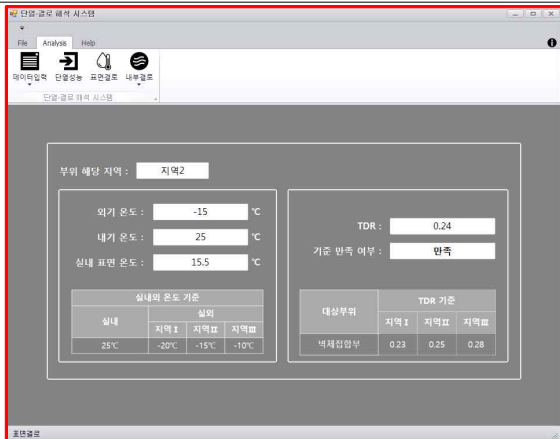
벽1: 0.2 W/mK (불만족)

벽2: 0.24 W/mK (만족)

지붕 또는 바닥: 0.21 W/mK (만족)

Save

표면결로 성능



단열 성능 해석 시스템

부위 해당 지역: 지역2

외기 온도: -15 °C

내기 온도: 25 °C

실내 표면 온도: 15.5 °C

TDR: 0.24

기준 만족 여부: 만족

실내	실외			
	지역 1	지역 2	지역 3	지역 4
25°C	-20°C	-15°C	-10°C	

대상부위	TDR 기준		
	지역 1	지역 2	지역 3
벽체입단부	0.23	0.25	0.28

- 전열해석 시뮬레이션을 통한 총 전열량, 총 열교량, 상당열관류율, 우각부 실내표면온도, 결로발생 최소 습도, 각 부위의 열관류율을 직접 입력할 수 있도록 인터페이스를 구성함
- 열관류율 입력부에는 입력 값이 셋팅 변수에 의해 평가되어 만족 및 불만족 여부가 표현됨

- 부위 해당 지역, 외기온도, 내기온도 정보가 좌측에 표현되며 우측에 TDR, 기준의 만족 여부가 표현됨
- 단열 성능부의 우각부 실내표면온도 데이터를 활용하여 추가적인 입력없이 자동으로 TDR 값을 산출하도록 함으로서 성능 기준의 만족 및 불만족 여부가 표현됨

내부결로 성능

기후조건/자재정보

단열·결로 해석 시스템

File Analysis Help

데이터입력 단열성능 표면결로 내부결로

단열·결로 해석 시스템

실내외 기후조건

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
외기온도(평균)...	-3.35	-6.45	4.925	11.7	17.2	21.65	24.475	24.925	20.125	13.175	5.675	-1.075
외기습도(평균)...	65	62	60	58	65	70	79	78	76	72	68	67
외기 수증기압...	300.05	364.71	520.39	797.11	1274.86	1810.59	2423.93	2458.4	1789.87	1090.21	621.39	374.23
내기 온도[℃]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
내기 수증기압...	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583

구조체 구성

재료명	두께 [m]	열전도율[W/mK]	투습계수[S _v]	열저항[m ² K/W]	투습기율
외기	0	0	0	0.04	0
EP_L_mortar	0.02	1.4	25	0.01	0.5
EP_L_cement brick	0.09	0.6	39	0.15	3.51
EP_L_EPS_2-2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EP_L_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
내기	0	0	0	0	0
합계	0.24	0	0	4.26	11.31

Calculation

기후조건/ 자재정보

월별 계산

단열·결로 해석 시스템

File Analysis Help

데이터입력 단열성능 표면결로 내부결로

단열·결로 해석 시스템

월: 11월

외기온도 [℃] 외기습도 [Pa] 외기온도 [℃] 외기습도 [Pa]

외기온도: 5.68 외기습도: 5.68

EP_L_mortar: 5.9 5.9

EP_L_cement brick: 6.58 6.58

EP_L_EPS_2-2: 23.39 23.39

EP_L_gypsum board: 23.87 23.87

내기: 0 0

내기 수증기압 [Pa]: 621.39

내기 수증기압 [Pa]: 1582.96

월별 계산

• 실내외 기후조건 데이터와 구조체의 재료물성 정보가 벽 및 지붕, 바닥에 대한 정보가 표로 표현되며 해당 값을 입력한 후 Calculation하여 저장함

• 해당 부위 및 해당 월을 선택하면, 투습성능 그래프가 자동으로 모듈에서 출력됨

결로 평가

단열·결로 해석 시스템

File Analysis Help

데이터입력 단열성능 표면결로 내부결로

단열·결로 해석 시스템

벽1 벽2 지붕 및 바닥

월

월	접속면2 gc [kg/m ²]	접속면2 Ma [kg / m ²]
12월	0.0388	0.0388
1월	0.0493	0.0881
2월	0.0288	0.1169
3월	-0.0064	0.1105
4월	-0.071	0.0395
5월	-0.1299	0
6월	0	0
7월	0	0
8월	0	0
9월	0	0
10월	0	0
11월	0	0

결로발생위험도

• 각 해당 부위 (벽1, 벽2, 지붕 및 바닥)를 선택하면 연중 시작월로부터 각 월의 결로발생량 (gc), 결로발생 누적량이 표를 통해 산출되어 출력됨

• 표를 통해 산출된 결로발생 누적량의 추이를 하단의 막대 그래프를 통해 시각적으로 파악할 수 있도록 인터페이스를 구성함

- 모듈을 통해 평가 완료된 데이터를 특정 형식(*.mir)으로 지정 폴더에 저장함

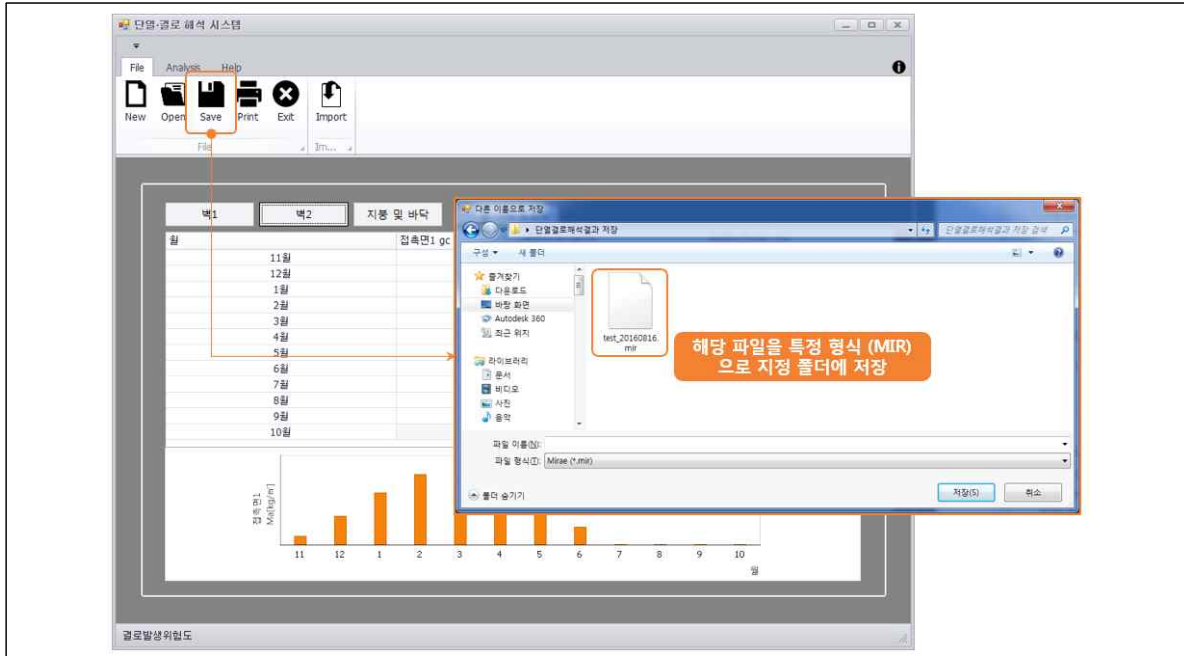


그림 3.145 평가 결과 데이터의 저장

- 모듈이 구동된 순서에 따라 개요정보, 단열성능 평가 정보, 표면결로성능 평가 정보, 내부 결로성능 평가 정보로 출력 sheet를 구성하여 특정 부위에 대한 단열·결로 성능을 확인함

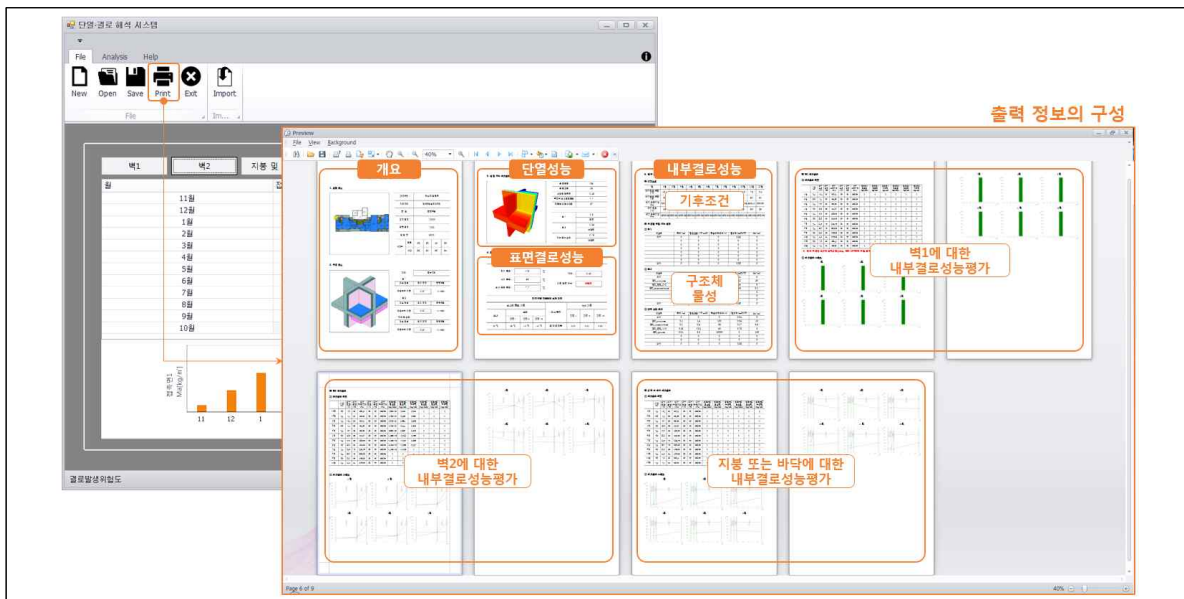


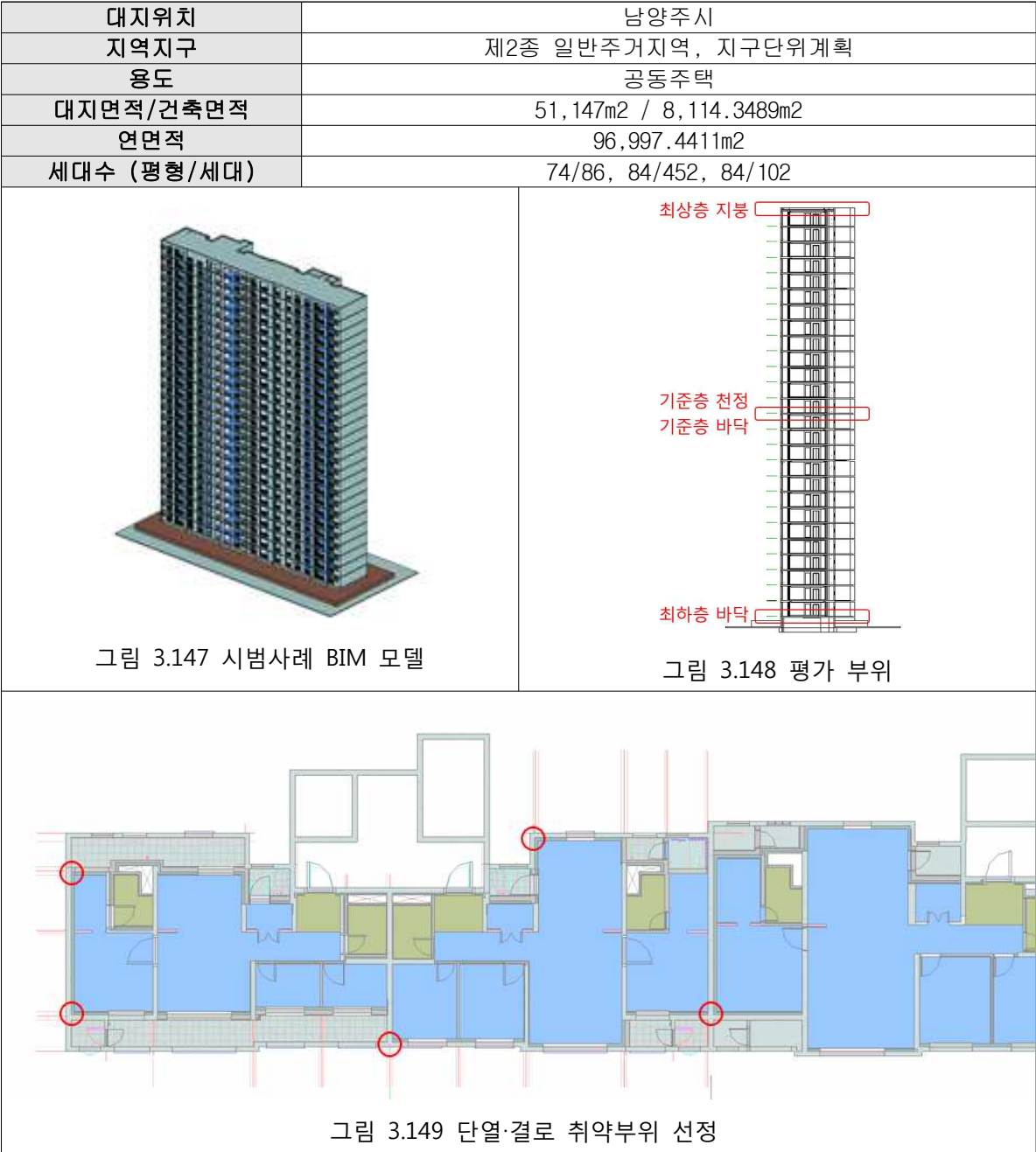
그림 3.146 평가 결과 데이터의 출력

(2) 파일럿 프로젝트를 통한 정확성 검증

- 공동주택 시범 사례에 대해 평가 모듈을 구동하여 알고리즘의 작동성 여부를 실험함
- 본 연구 결과물의 「증빙자료(별책보고서) D-4-①」에서 공동주택 BIM 모델을 선정하여 20개 부위에 대한 평가사례를 도출하였음

(가) 모듈 시험을 위한 시범 사례 선정

1) 남양주 ○○ 공동주택



(나) 모듈 작동 여부 평가 (본 보고서에는 1개 부위에 대한 시범사례를 기재하였음)

데이터입력		단열 성능		표면결로 성능		내부결로 성능
개 요	→		→		→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가

대지위치	남양주시	경기도
지역지구	제2종 일반주거지역	
용도	공동주택	
대지면적	51147	
건축면적	8114.3489	
연면적	96997.4411	
세대수	평형	74, 84, 84
	세대	86, 452, 102

Save

개요

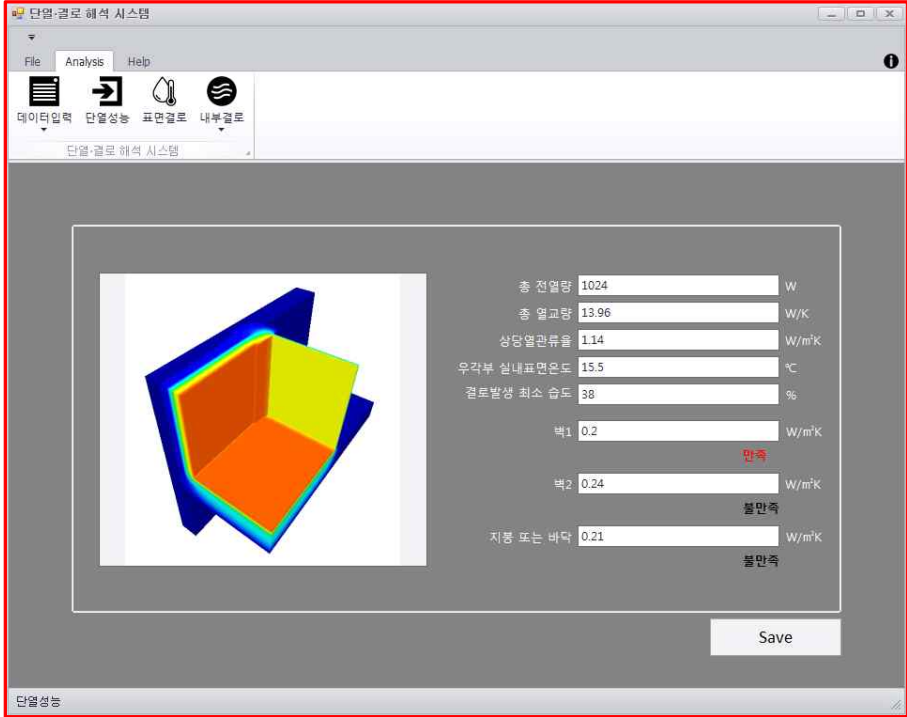
데이터입력		단열 성능		표면결로 성능		내부결로 성능
개 요	→		→		→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가

지역	중부지역
벽1	거실 외벽, 외기 직접, 공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m²K
벽2	거실 외벽, 외기 직접, 공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m²K
지붕/바닥	최상층 거실 반, 외기 직접, -
해당부위 기준	0.15 W/m²K

Save

부위 기준

데이터입력						내부결로 성능
개 요	→	단열 성능	→	표면결로 성능	→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가



데이터입력						내부결로 성능
개 요	→	단열 성능	→	표면결로 성능	→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가



데이터입력						내부결로 성능
개 요	→	단열 성능	→	표면결로 성능	→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가

단열·결로 해석 시스템

File Analysis Help

데이터입력

단열성능

표면결로

내부결로

단열·결로 해석 시스템

실내외 기후조건

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
외기온도(평균)...	-3.35	-0.45	4.925	11.7	17.2	21.65	24.475	24.925	20.125	13.175	5.675	-1.075
외기습도(평균)...	65	62	60	58	65	70	79	78	76	72	68	67
외기 수증기압[...]	300.05	364.71	520.39	797.11	1274.86	1810.59	2423.93	2458.4	1789.87	1090.21	621.39	374.23
내기 온도[°C]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
내기 수증기압[...]	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583	1583

구조체 구성

재료 명	두께 [m]	열전도율[W/mK]	투습저항계수[-]	열저항[m ² K/W]	등가공기층
외기	0	0	0	0.04	0
EPI_mortar	0.02	1.4	25	0.01	0.5
EPI_cement brick	0.09	0.6	39	0.15	3.51
EPI_EPS_2-2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EPI_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0
합계	0.24	0	0	4.26	11.31

Save

Calculation

기후조건/ 자재정보

데이터입력						내부결로 성능
개 요	→	단열 성능	→	표면결로 성능	→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가

단열·결로 해석 시스템

File Analysis Help

데이터입력

단열성능

표면결로

내부결로

단열·결로 해석 시스템

월별 계산

벽1

11월

외측 내측	° [°C] 접촉면	Ps [Pa] 접촉면
외기	5.68	5.68
EPI_mortar	5.9	5.9
EPI_cement ...	6.58	6.58
EPI_EPS_2-2	23.59	23.59
EPI_gypsum ...	23.87	23.87
	0	0
	0	0
내기	25	25

외기수증기압 [Pa]

621.39

내기수증기압 [Pa]

1582.96

월별 계산

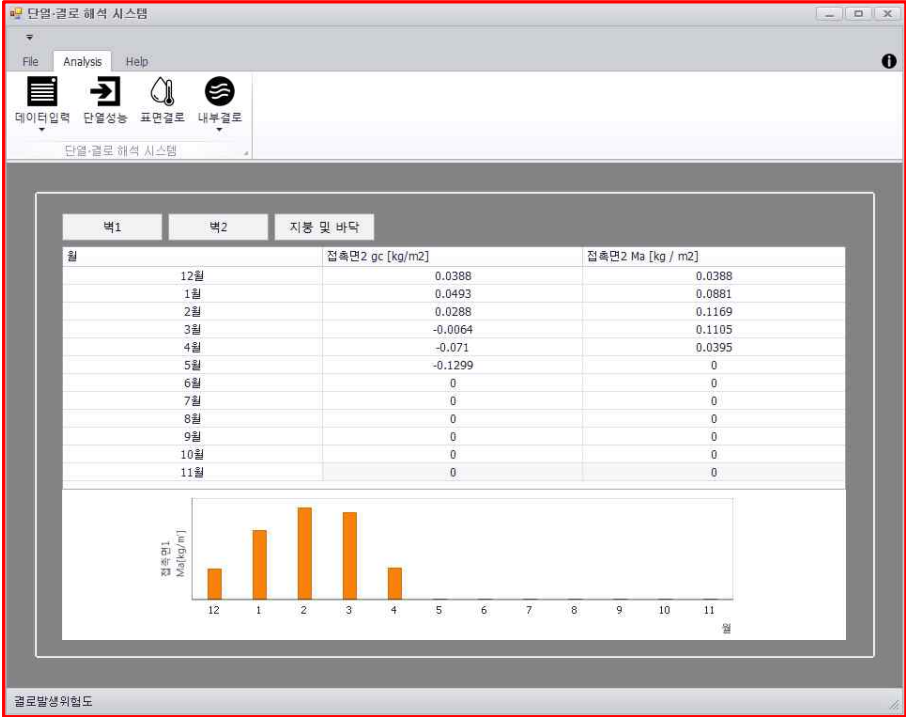
월별 계산

월별 계산

월별 계산

- 222 -

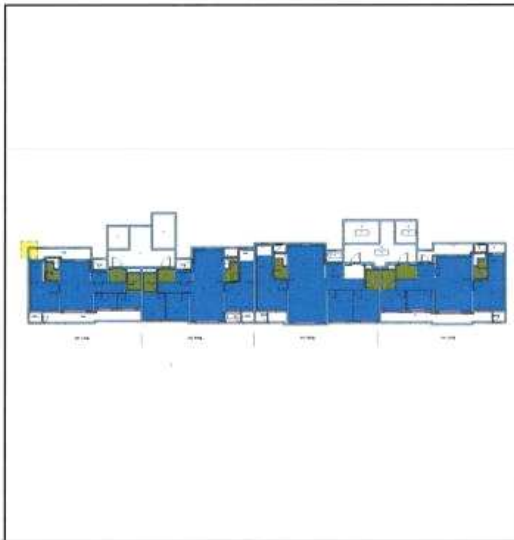
데이터입력						내부결로 성능
개 요	→	단열 성능	→	표면결로 성능	→	기후조건/자재정보
부위 기준						월별 계산
						결로 평가



출력 결과 (Report)

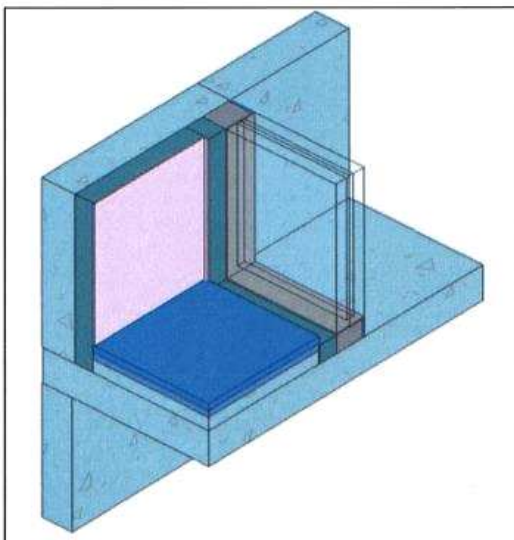
공동주택 단일·결로 해석 시스템

1. 건물 개요



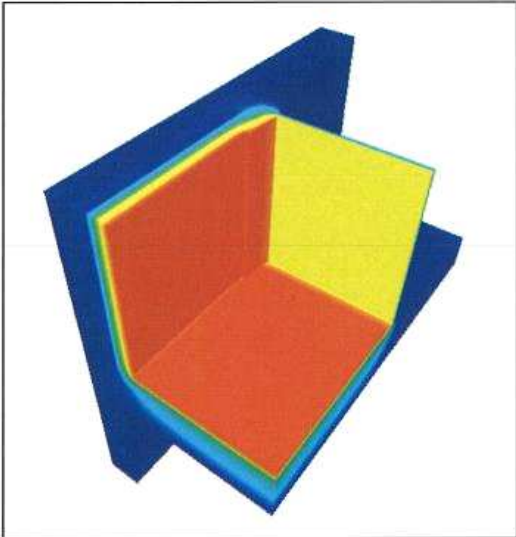
대지위치	남양주시			
지역지구	제2종 일반주거지역			
용도	공동주택			
대지면적	51147			
건축면적	8114.3489			
연면적	96997.4411			
세대수	평형	74	84	84
	세대	86	452	102

2. 부위 개요



지역	중부지역	
벽 1		
거실 외벽	외기 직접	공동주택
해당부위 기준	0.21	W/m2K
벽 2		
거실 외벽	외기 직접	공동주택
해당부위 기준	0.21	W/m2K
지붕 및 바닥		
거실 외벽	외기 직접	공동주택
해당부위 기준	0.21	W/m2K

3. 단열 성능 평가결과



총 전열량	1024
총 열교량	13.96
상당열 관류율	1.14
우각부 실내표면온도	15.5
결로방생 최소습도	38

벽 1	0.2
	만족
벽 2	0.24
	불만족
지붕 또는 바닥	0.21
	불만족

4. 표면 결로 평가결과

표면 결로 평가결과			
외기 온도 :	-15	℃	TDR : 0.24
내기 온도 :	25	℃	기준 만족 여부 : 만족
실내 표면 온도 :	15.5	℃	

공동주택 결로방지 설계 기준							
실내외 온도 기준				대상부위	TDR 기준		
실내	실외				지역 I	지역 II	지역 III
	지역 I	지역 II	지역 III				
25 ℃	-20 ℃	-15 ℃	-10 ℃	벽체접합부	0.23	0.25	0.28

5. 내부 결로 평가결과

■ 기후조건

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
외기온도(평균) [℃]	-3.35	-0.45	4.925	11.7	17.2	21.65	24.475	24.925	20.125	13.175	5.675	-1.075
외기습도(평균) [%]	65	62	60	58	65	70	79	78	76	72	68	67
외기 수증기압 [Pa]	300.05	364.71	520.39	797.11	1274.86	1810.59	2423.93	2458.4	1789.87	1090.21	621.39	374.23
내기 온도 [℃]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
내기 수증기압 [Pa]	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96

■ 부위별 형별 성능 내역

○ 벽 1

재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPI_mortar	0.02	1.4	25	0.01	0.5
EPI_cement brick	0.09	0.6	39	0.15	3.51
EPI_EPS_2-2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EPI_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0

○ 벽 2

재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPI_concrete	0.22	1.6	100	0.14	22
EPI_EPS_2-2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EPI_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0

○ 지붕 또는 바닥

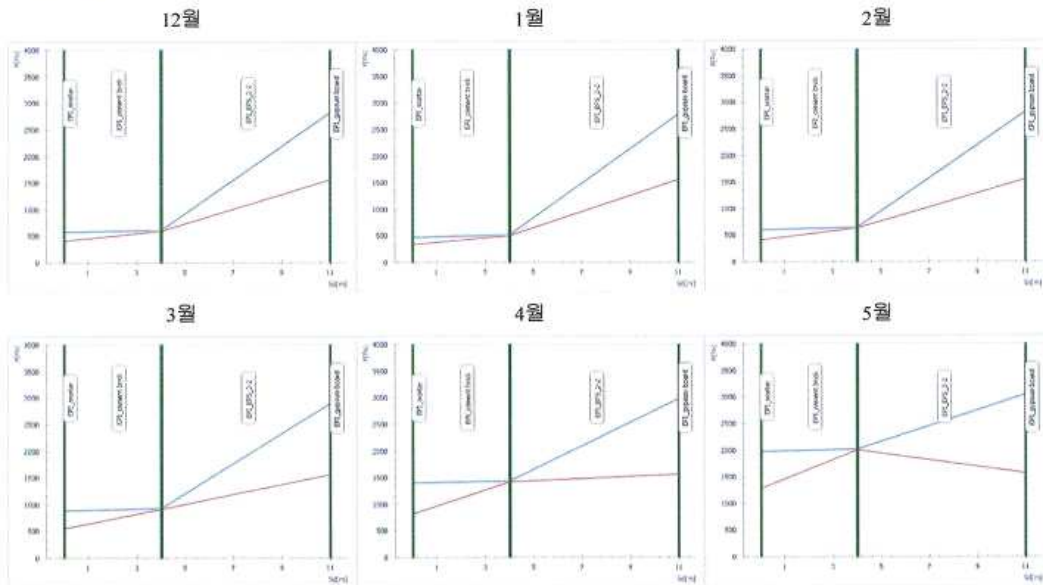
재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPI_EPS_2-2	0.04	0.032	60	1.25	2.4
EPI_concrete	0.21	1.6	100	0.13	21
EPI_XPS_S	0.05	0.027	150	1.85	7.5
EPI_EPS_2-2	0.03	0.032	60	0.94	1.8
EPI_wood(light weight)	0.04	0.14	150	0.29	6
EPI_mortar	0.04	1.4	25	0.03	1
내기	0	0	0	0.25	0

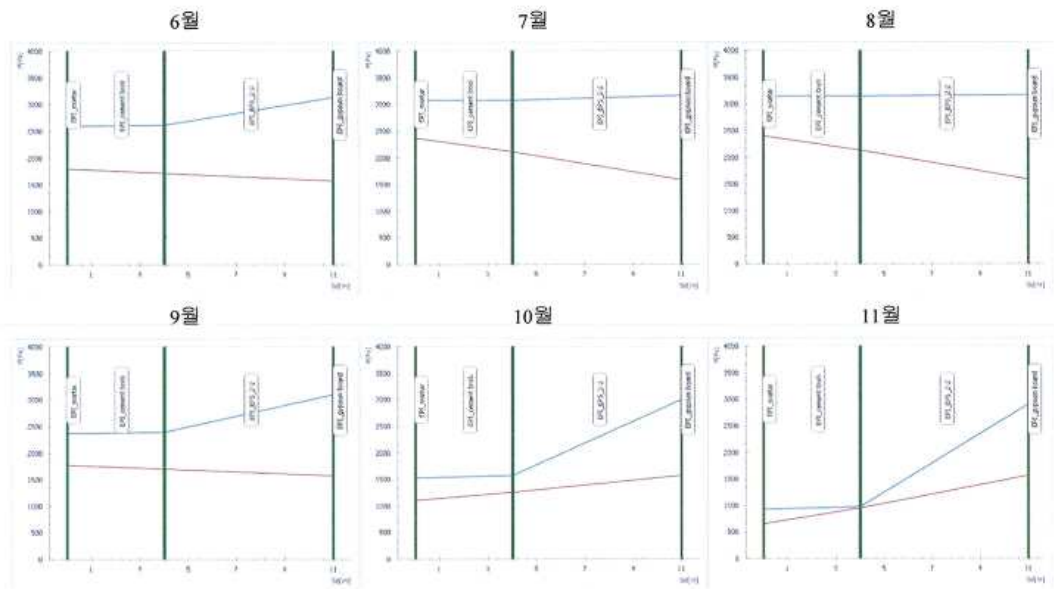
■ 벽1 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [℃]	외기 습도 [%]	외기 수증기압 [Pa]	내기 온도 [℃]	내기 습도 [%]	내기 수증기압 [Pa]	접촉면2 결로율 [kg/m2s]	접촉면2 결로량 [kg/m2]	접촉면2 누적량 [kg/m2]	접촉면3 결로율 [kg/m2s]	접촉면3 결로량 [kg/m2]	접촉면3 누적량 [kg/m2]
12월	744	-1.075	67	374.23	25	50	1582.96	1.45E-08	0.0388	0.0388	0	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	50	1582.96	1.84E-08	0.0493	0.0881	0	0	0
2월	672	-0.45	62	364.71	25	50	1582.96	1.19E-08	0.0288	0.1169	0	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	50	1582.96	-2.4E-09	-0.0064	0.1105	0	0	0
4월	720	11.7	58	797.11	25	50	1582.96	-2.74E-08	-0.071	0.0395	0	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	50	1582.96	-4.85E-08	-0.1299	0	0	0	0
6월	720	21.65	70	1810.59	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
7월	744	24.47 5	79	2423.93	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
8월	744	24.92 5	78	2458.4	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
9월	720	20.12 5	76	1789.87	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
10월	744	13.17 5	72	1090.21	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
11월	720	5.675	68	621.39	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프



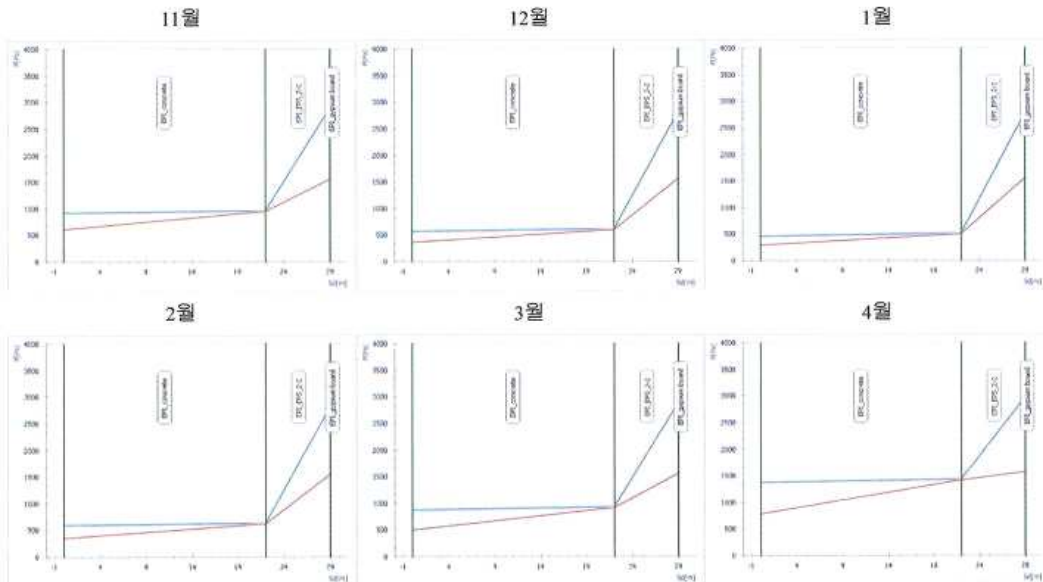


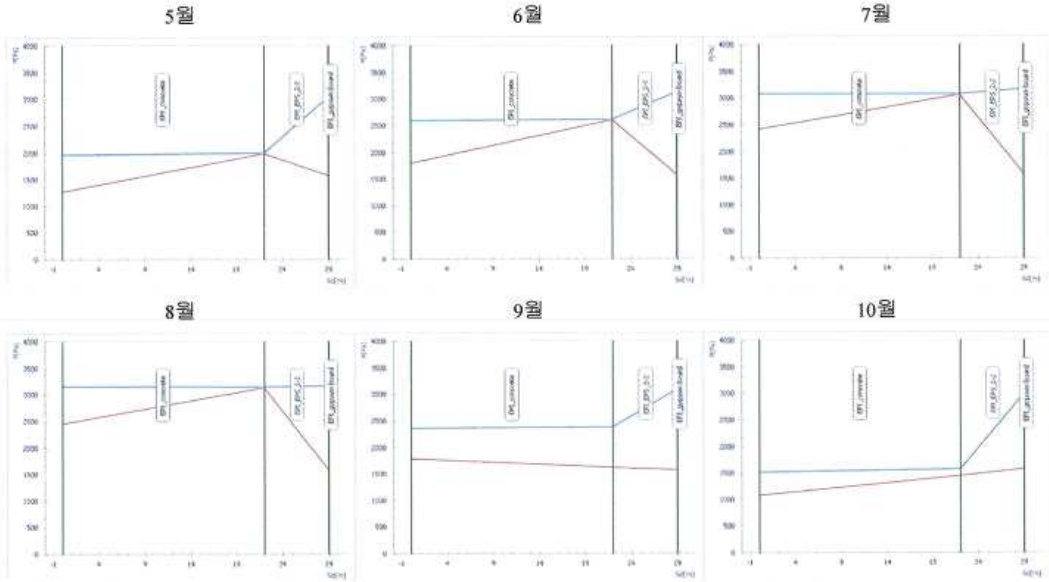
■ 벽2 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [℃]	외기 습도 [%]	외기 수증기압 [Pa]	내기 온도 [℃]	내기 습도 [%]	내기 수증기압 [Pa]	접촉면1 결로율 [kg/m2s]	접촉면1 결로량 [kg/m2]	접촉면1 누적량 [kg/m2]	접촉면2 결로율 [kg/m2s]	접촉면2 결로량 [kg/m2]	접촉면2 누적량 [kg/m2]
11월	720	5.675	68	621.39	25	50	1582.96	1.37E-08	0.0355	0.0355	0	0	0
12월	744	1.075	67	374.23	25	50	1582.96	2.45E-08	0.0656	0.1011	0	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	50	1582.96	2.74E-08	0.0734	0.1745	0	0	0
2월	672	-0.45	62	364.71	25	50	1582.96	2.34E-08	0.0566	0.2311	0	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	50	1582.96	1.45E-08	0.0388	0.2699	0	0	0
4월	720	11.7	58	797.11	25	50	1582.96	-1.55E-09	-0.004	0.2659	0	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	50	1582.96	-1.8E-08	-0.0482	0.2177	0	0	0
6월	720	21.65	70	1810.59	25	50	1582.96	-3.54E-08	-0.0918	0.1259	0	0	0
7월	744	24.47 5	79	2423.93	25	50	1582.96	-4.67E-08	-0.1251	0.0008	0	0	0
8월	744	24.92 5	78	2458.4	25	50	1582.96	-4.91E-08	-0.1315	0	0	0	0
9월	720	20.12 5	76	1789.87	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
10월	744	13.17 5	72	1090.21	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프



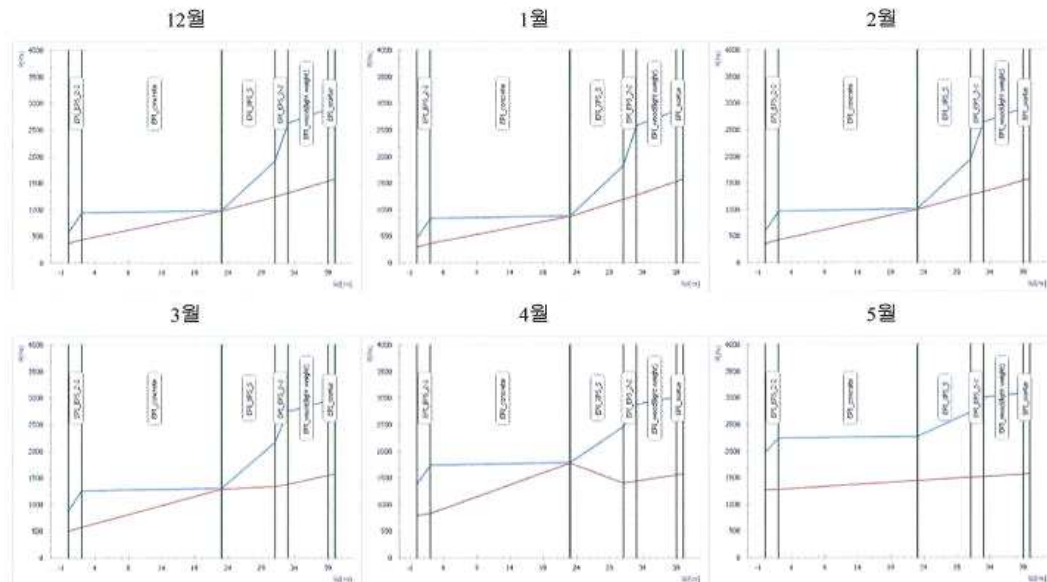


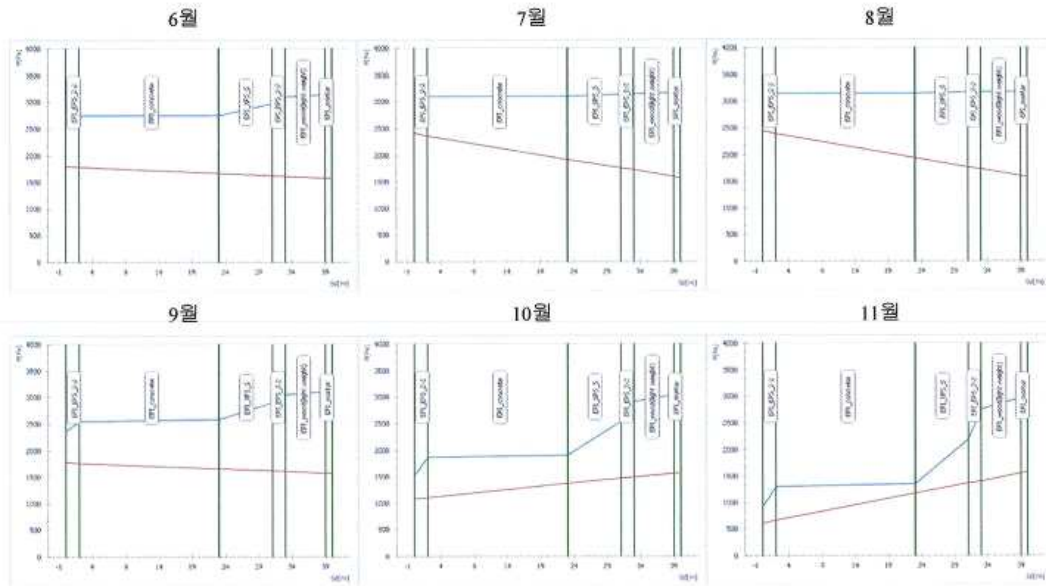
■ 지붕 및 바닥 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [℃]	외기 습도 [%]	외기 수증기압 [Pa]	내기 온도 [℃]	내기 습도 [%]	내기 수증기압 [Pa]	접촉면2 결로율 [kg/m2s]	접촉면2 결로량 [kg/m2]	접촉면2 누적량 [kg/m2]	접촉면3 결로율 [kg/m2s]	접촉면3 결로량 [kg/m2]	접촉면3 누적량 [kg/m2]
12월	744	-1.075	67	374.23	25	50	1582.96	2.2E-09	0.0059	0.0059	0	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	50	1582.96	3.71E-09	0.0099	0.0158	0	0	0
2월	672	-0.45	62	364.71	25	50	1582.96	1.55E-09	0.0037	0.0195	0	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	50	1582.96	-3.26E-09	-0.0087	0.0108	0	0	0
4월	720	11.7	58	797.11	25	50	1582.96	-1.09E-08	-0.0283	0	0	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
6월	720	21.65	70	1810.59	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
7월	744	24.47 5	79	2423.93	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
8월	744	24.92 5	78	2458.4	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
9월	720	20.12 5	76	1789.87	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
10월	744	13.17 5	72	1090.21	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
11월	720	5.675	68	621.39	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프





(다) 평가 모듈 실행 결과

1) 평가 결과 일람

표 3.77 모듈구동을 통한 20개 부위 해석결과 일람

부위		단열성능평가 (W/m ² K)			표면결로평가	내부결로평가 (결로발생월)		
		벽1	벽2	지붕/바닥		벽1	벽2	지붕/바닥
최하층 바닥	1-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.21 불만족	TDR 0.24 (만족)	5개월	9개월	4개월
	1-2	0.2 만족	0.25 불만족	0.21 불만족	TDR 0.23 (만족)	7개월	9개월	4개월
	1-3	0.2 만족	0.2 만족	0.21 불만족	TDR 0.15 (만족)	7개월	7개월	4개월
	1-4	-	0.2 만족	0.21 불만족	TDR 0.25 (만족)	-	7개월	7개월
	1-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.21 불만족	TDR 0.19 (만족)	8개월	8개월	5개월
기준층 천정	2-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.8 만족	TDR 0.18 (만족)	7개월	8개월	-
	2-2	0.24 만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.19 (만족)	8개월	7개월	-
	2-3	0.2 만족	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	7개월	7개월	-
	2-4	-	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	-	7개월	-
	2-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	8개월	8개월	-
기준층 바닥	3-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.8 만족	TDR 0.12 (만족)	7개월	9개월	-
	3-2	0.24 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.15 (만족)	9개월	8개월	-
	3-3	0.2 만족	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.15 (만족)	7개월	7개월	-
	3-4	-	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.17 (만족)	-	7개월	-
	3-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.18 (만족)	8개월	8개월	-
최상층 지붕	4-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.17 불만족	TDR 0.19 (만족)	7개월	9개월	8개월
	4-2	0.24 불만족	0.25 불만족	0.17 불만족	TDR 0.2 (만족)	9개월	8개월	8개월
	4-3	0.2 만족	0.2 만족	0.17 불만족	TDR 0.23 (만족)	7개월	7개월	8개월
	4-4	-	0.2 만족	0.17 불만족	TDR 0.2 (만족)	-	7개월	8개월
	4-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.17 불만족	TDR 0.15 (만족)	8개월	8개월	8개월

- 개발된 평가모듈을 구동하여 해석 사례 20개 부위를 평가한 결과 대입된 산출 알고리즘에 따라 단열성능의 경우 해당 부위의 열관류율 성능과 기준의 만족여부, 표면결로 성능의 경우 해당 부위의 TDR 값과 기준의 만족여부를 평가할 수 있었음
- 내부결로 평가의 경우 연중 월평균 결로누적량을 바탕으로 결로발생 기간을 도출할 수 있었음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과를 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

2) 모듈구동 실험 분석 결과

- **실무적합성** : 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈을 공동주택을 시범 사례에 적용한 결과, 단열 성능, 표면결로 성능, 내부결로 성능을 하나의 단일 모듈에서 평가하여 결과를 도출되는 점, 인터페이스의 구성이 간단 명료하게 구성된 점으로 인해 실무 활용이 용이할 것으로 판단됨
- **정확성** : 각 기준에 대한 산출식 알고리즘이 각 입력변수에 적용되어 모듈로서 구동되며, 산출 값 생성 시 발생하는 오류를 해결하여 각 성능에 대한 평가 기준에 따라 정확한 결과 값이 도출되었음
- **준수성 (변환데이터)** : 기후데이터, 국내 기준에 관한 데이터는 setting parameter로서 모듈 구동 시 연동하는데 특이점은 발생하지 않으나 BIM 데이터를 활용하는 범위가 형상에 대한 이미지, 내부결로 평가 시의 ‘구조체 구성’란의 재료명, 열전도율로 한정됨 이에 평가를 위한 모든 데이터가 자유롭게 연동되도록 향후 모듈 업그레이드가 요구됨
- **이해가능성** : 모듈의 작동이 데이터 입력, 단열 성능 평가, 표면결로 성능 평가, 내부결로 성능 평가, 데이터 출력으로 평가의 프로세스 별로 기능이 분화되어 있어 전문가 및 비전문가도 편리하게 사용할 수 있을 것으로 사료됨

표 3.78 평가 모듈 프로그램 자체 평가 결과

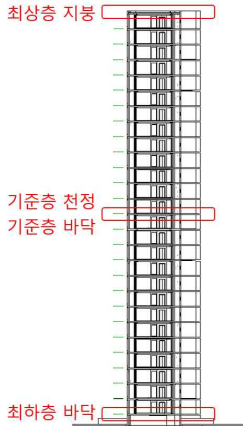
구분	실무적합성	정확성	준수성 (변환데이터)	이해가능성
상	○	○		○
중			○	
하				

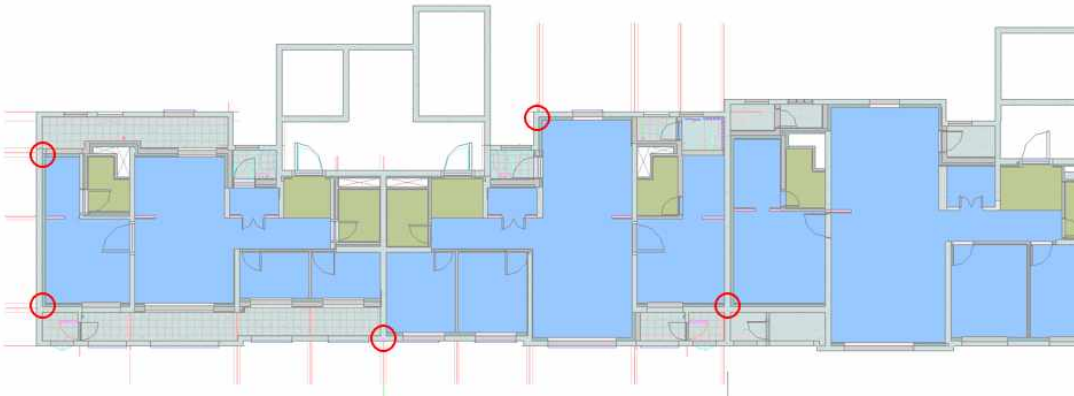
3. 최종 성과물 (통합 모듈) 검증 및 보완

- 본 연구를 통하여 개발된 추출, 변환, 평가 모듈을 하나의 단일 모듈로 통합하여 구동 여부를 검증함
- 개발된 모듈들은 단일 실행 파일로 구축되어 BIM 저작도구인 Autodesk Revit 2015의 Add-in 프로그램으로서 구동됨

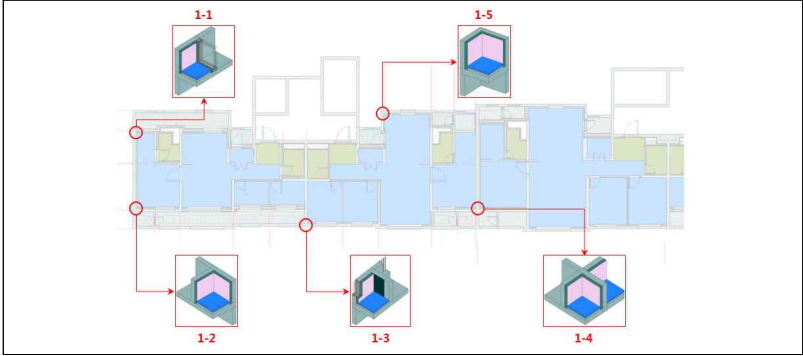
가. BIM 기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 선정

대지위치	남양주시
지역지구	제2종 일반주거지역, 지구단위계획
용도	공동주택
대지면적/건축면적	51,147m ² / 8,114.3489m ²
연면적	96,997.4411m ²
세대수 (평형/세대)	74/86, 84/452, 84/102

 <시범 사례 BIM 모델>	 <평가 부위>
--	--

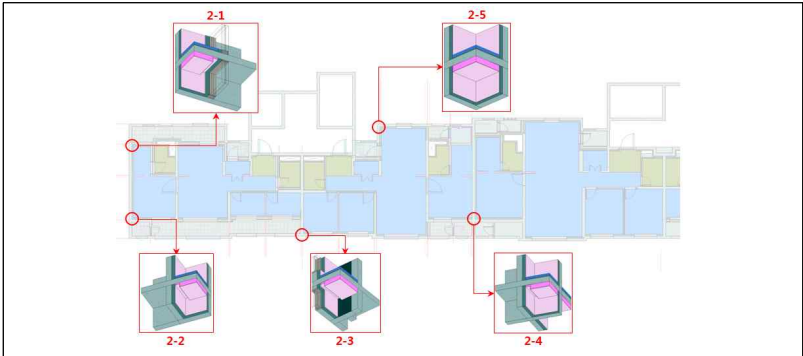
 <단열·결로 취약부위 선정>

(1) 최하층 바닥



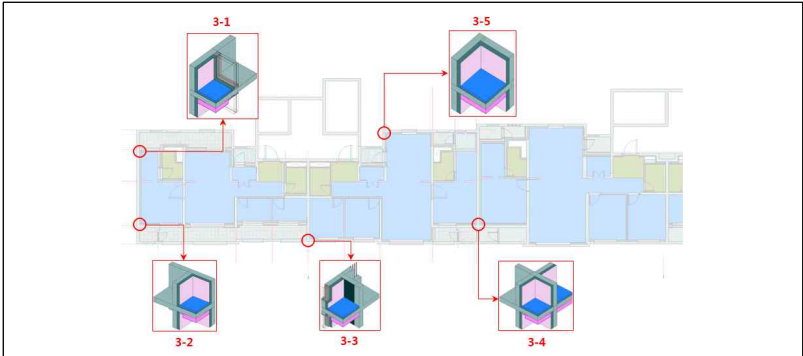
<최하층 바닥 단열·결로 취약부위 선정>

(2) 기준층 천정



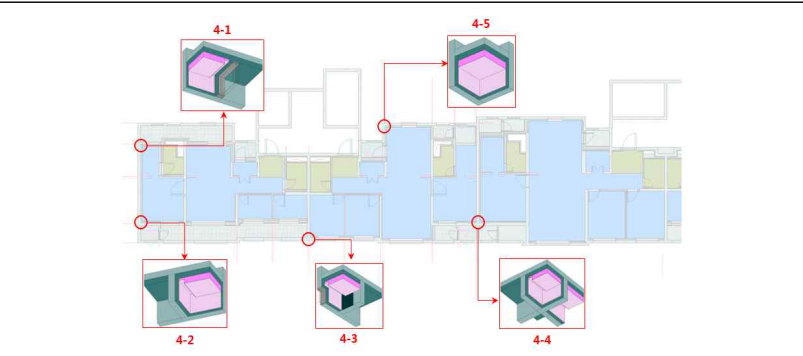
<기준층 천정 단열·결로 취약부위 선정>

(3) 기준층 바닥



<기준층 바닥 단열·결로 취약부위 선정>

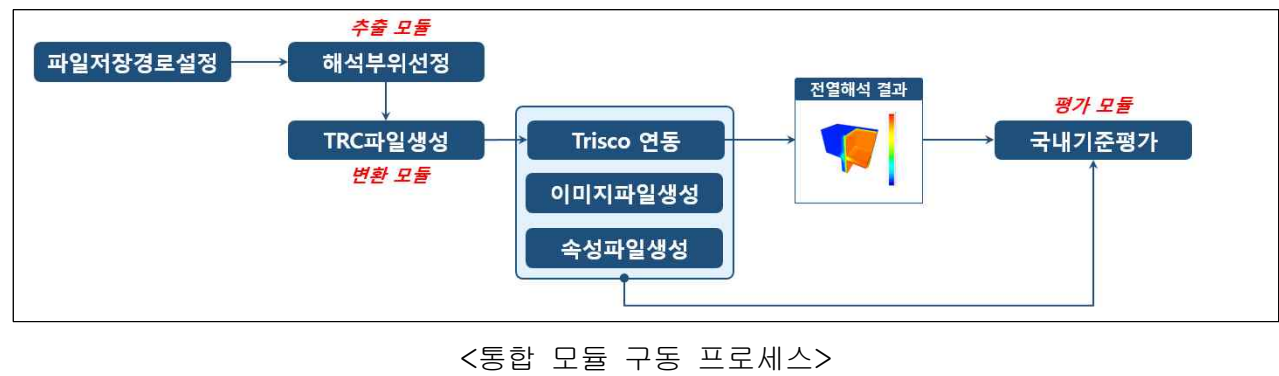
(4) 최상층 지붕



<기준층 바닥 단열·결로 취약부위 선정>

나. 파일럿 프로젝트 수행을 통한 분석 정확성 평가

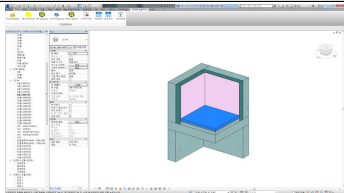
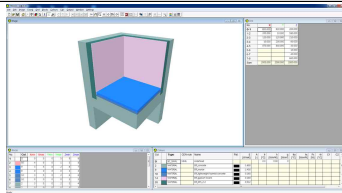
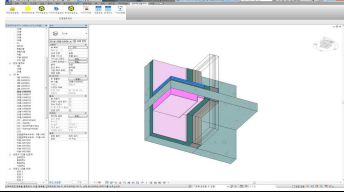
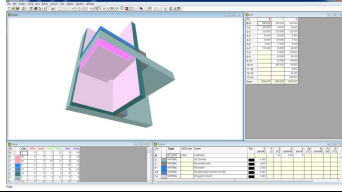
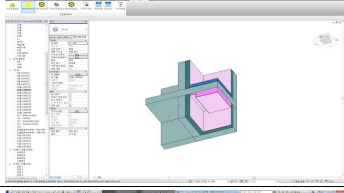
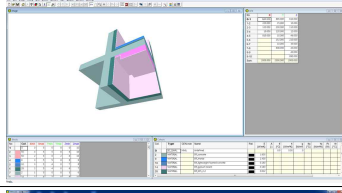
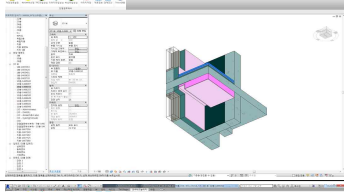
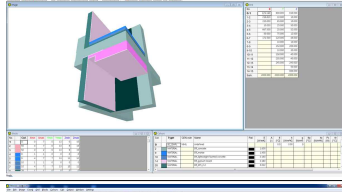
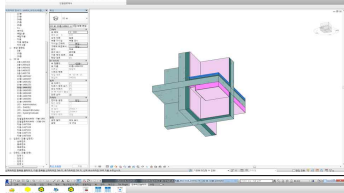
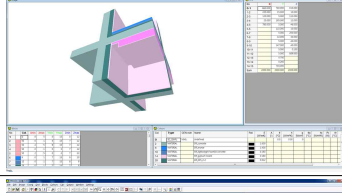
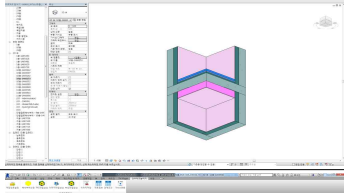
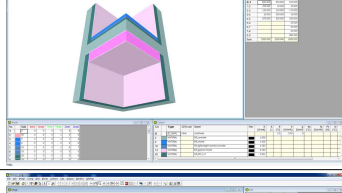
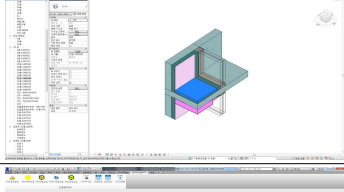
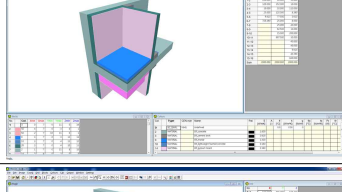
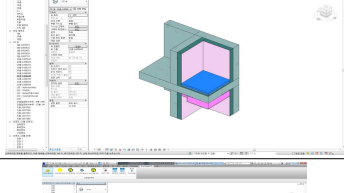
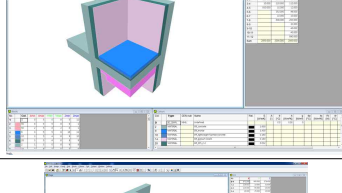
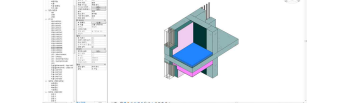
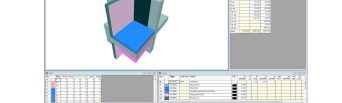
(1) 통합모듈 구동 실험 절차

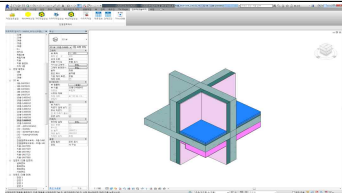
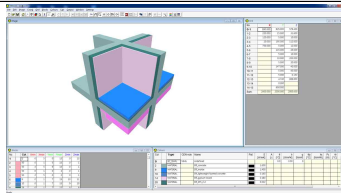
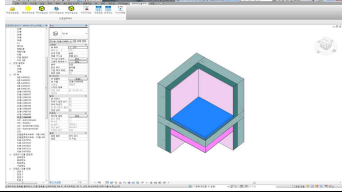
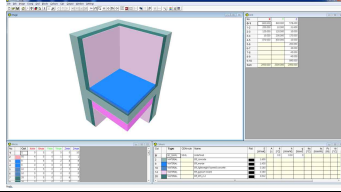
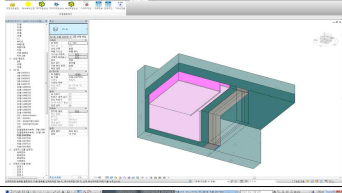
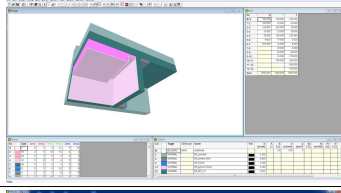
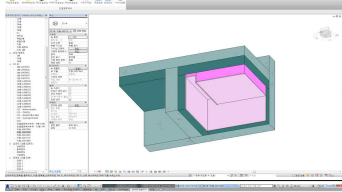
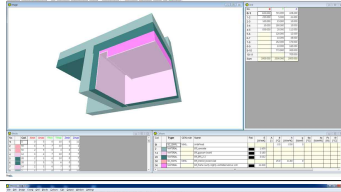
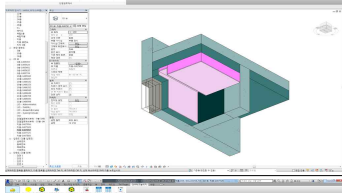
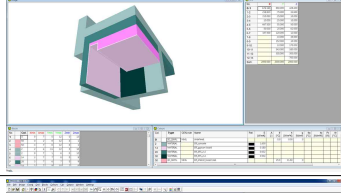
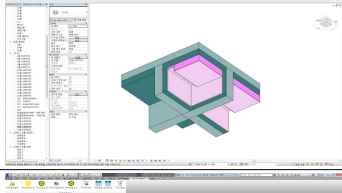
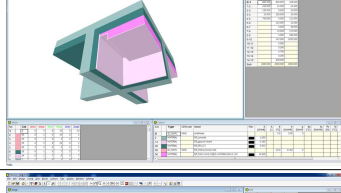
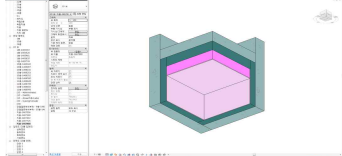
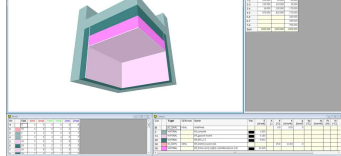


(2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 분석 정확성 평가

<추출 및 변환모듈 구동에 대한 20개 부위 테스트 결과>

부위		BIM 모델	추출 및 변환 모델	비고
최하층 바닥	1-1			형상 및 속성정보 변환 이상없음
	1-2			형상 및 속성정보 변환 이상없음
	1-3			창호부위를 제외한 형상 및 속성정보 변환 이상없음
	1-4			형상 및 속성정보 변환 이상없음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	
기준층 천정	1-5			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	2-1			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	2-2			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	2-3			창호부위를 제외한 형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	2-4			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	2-5			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
기준층 바닥	3-1			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	3-2			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	3-3			창호부위를 제외한 형상 및 속성정보 변환 이상없음				

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	
최상층 지붕	3-4			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	3-5			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	4-1			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	4-2			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	4-3			창호부위를 제외한 형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	4-4			형상 및 속성정보 변환 이상없음				
	4-5			형상 및 속성정보 변환 이상없음				

- 해당 부위 20개소에 대한 추출 및 변환 모듈 구동 실험 결과 형상 및 속성정보가 이상없이 추출되는 것을 검증함
- 단, 창호 및 문에서 형상이 중첩되어 나타남. BIM 저작도구의 객체 구조상 창호 및 문을 모델링 할 경우, 시각적으로는 벽체가 없이 창호가 설치되어 있는 것으로 보이나 실제 형상 정보에서는 중첩되어 있는 구조이기 때문
- 창호 및 문에 대한 모델러의 모델링 방법, 객체의 구성 종류, 설치 위치 등이 매우 다양하여 이에 대한 고려는 현실적으로 불가능하므로 창호와 문부분은 전열해석 프로그램에서 수정이 요구됨. 그러나 실질적인 형상/속성정보는 추출 및 변환되어 있으므로 간단한 수정입력으로 완료될 수 있음

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

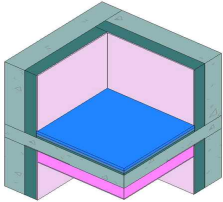
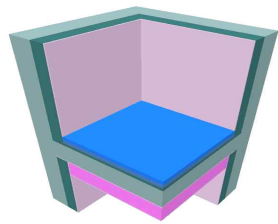
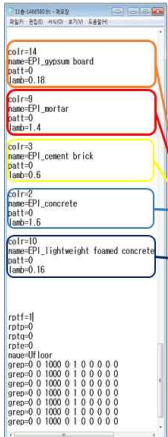
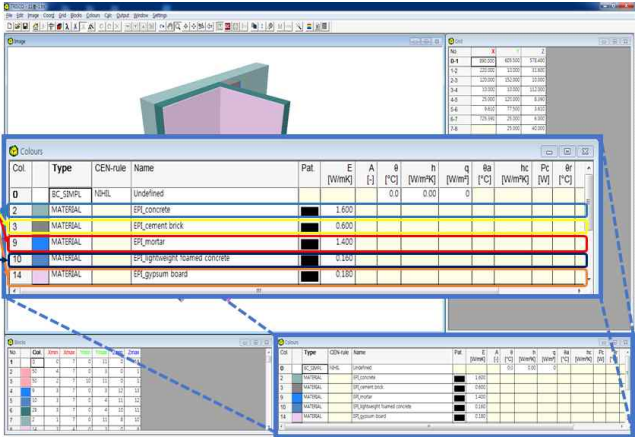
<평가 모듈을 통한 20개 부위 평가결과>

부위		단열성능평가 (W/m ² K)			표면결로평가	내부결로평가 (결로발생월)		
		벽1	벽2	지붕/바닥		벽1	벽2	지붕/바닥
최하층 바닥	1-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.21 불만족	TDR 0.24 (만족)	5개월	9개월	4개월
	1-2	0.2 만족	0.25 불만족	0.21 불만족	TDR 0.23 (만족)	7개월	9개월	4개월
	1-3	0.2 만족	0.2 만족	0.21 불만족	TDR 0.15 (만족)	7개월	7개월	4개월
	1-4	-	0.2 만족	0.21 불만족	TDR 0.25 (만족)	-	7개월	7개월
	1-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.21 불만족	TDR 0.19 (만족)	8개월	8개월	5개월
기준층 천정	2-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.8 만족	TDR 0.18 (만족)	7개월	8개월	-
	2-2	0.24 만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.19 (만족)	8개월	7개월	-
	2-3	0.2 만족	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	7개월	7개월	-
	2-4	-	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	-	7개월	-
	2-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.1 (만족)	8개월	8개월	-
기준층 바닥	3-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.8 만족	TDR 0.12 (만족)	7개월	9개월	-
	3-2	0.24 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.15 (만족)	9개월	8개월	-
	3-3	0.2 만족	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.15 (만족)	7개월	7개월	-
	3-4	-	0.2 만족	0.8 만족	TDR 0.17 (만족)	-	7개월	-
	3-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.8 만족	TDR 0.18 (만족)	8개월	8개월	-
최상층 지붕	4-1	0.2 만족	0.24 불만족	0.17 불만족	TDR 0.19 (만족)	7개월	9개월	8개월
	4-2	0.24 불만족	0.25 불만족	0.17 불만족	TDR 0.2 (만족)	9개월	8개월	8개월
	4-3	0.2 만족	0.2 만족	0.17 불만족	TDR 0.23 (만족)	7개월	7개월	8개월
	4-4	-	0.2 만족	0.17 불만족	TDR 0.2 (만족)	-	7개월	8개월
	4-5	0.25 불만족	0.25 불만족	0.17 불만족	TDR 0.15 (만족)	8개월	8개월	8개월

- 개발된 평가모듈을 구동하여 해석 사례 20개 부위를 평가한 결과 대입된 산출 알고리즘에 따라 단열성능의 경우 해당 부위의 열관류율 성능과 기준의 만족여부, 표면결로 성능의 경우 해당 부위의 TDR 값과 기준의 만족여부를 평가할 수 있었음
- 내부결로 평가의 경우 연중 월평균 결로누적량을 바탕으로 결로발생 기간을 도출할 수 있었음

다. 프로그램(통합 모듈) 검증 결과 및 보완 사항

(1) 검증 결과

구분	내용
추출 모듈	추출모듈을 실행하여 해당 부위를 추출한 결과 3D Section box 내부의 BIM 객체 형상 및 속성정보가 정확히 추출됨   <추출된 3D Section box 내부 BIM 객체> <추출부위의 Physibel 형상정보>
변환 모듈	추출된 해석부위의 TRC 파일 변환결과 추출부위 BIM 객체의 형상 및 속성정보가 Physibel의 포맷구조와 동일하게 변환됨 <Grid>  <Grid>  <Blocks>  <Blocks>  <Colours>  <Colours> 

핵심성과 A		핵심성과 B		핵심성과 C		핵심성과 D		최종성과물 검증
1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	

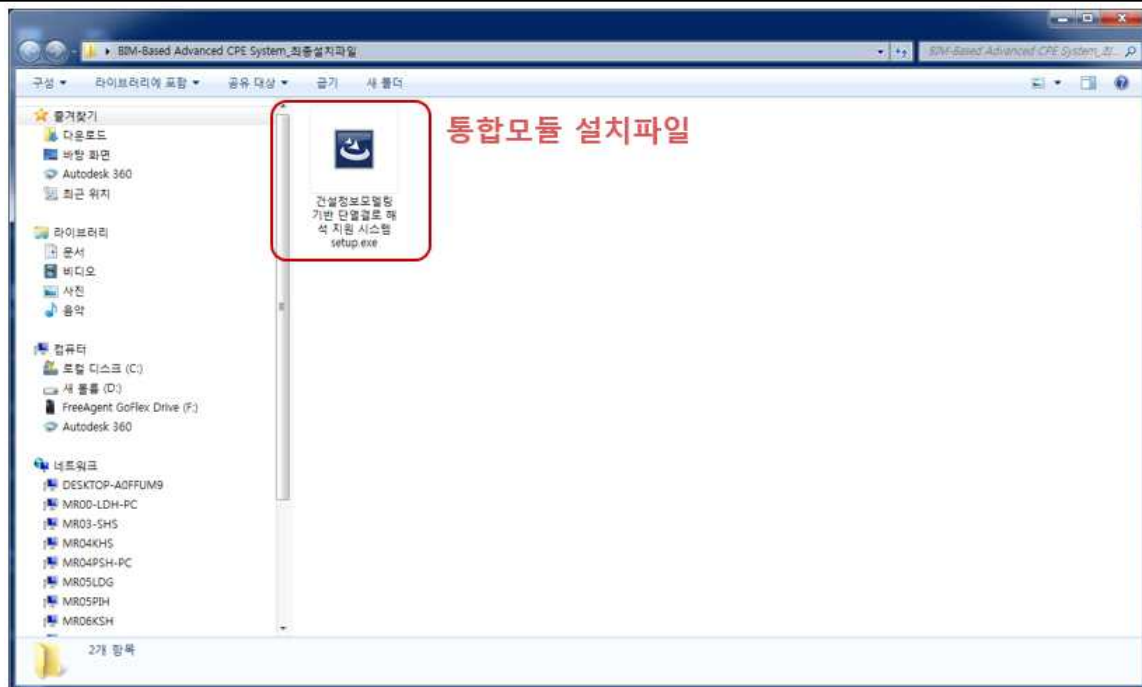
평가 모듈	단열성능 평가부	• Physibel을 통한 시뮬레이션 결과 값을 직접 입력하여 해당 열관류율 성능을 건축물의 에너지절약설계기준과 비교한 결과 벽 1:0.25W/m ² K,벽2:0.25W/m ² K,지붕:0.17W/m ² K로 기준 (외벽 0.21이하, 지붕 0.15이하)를 만족하지 못하여 기준에 불만족인 것을 확인하였음. 해당 기준에 따른 수계산 결과와 정확하게 일치함.			
	표면결로 성능 평가부	• 직접 식에 대입한 결과 모듈 실행 결과와 같이 지역Ⅱ의 TDR 기준 0.25에 대하여 0.15로 해당성능을 만족하는 것을 확인하였음. 해당 기준에 따른 수계산 결과와 정확하게 일치함.			
	내부결로 성능 평가부	• ISO 13788에 따른 계산을 수행하는 타 프로그램(ISO 13788 CONDENSE)와 해당 값을 비교한 결과, 연간 결로 누적량의 오차가 1% 이내로 나타나 정확성이 검증됨. 특히 ISO 13788에 따른 내부결로 성능평가는 누적량을 직접적으로 평가하는 것이 아닌 결로가 발생하는 시작월과 연간 월별 결로누적 추이를 평가하는 것이므로 내부결로 성능의 평가 결과는 매우 정확한 것으로 사료됨.			
최종평가	• 기존 해석부위 평가방식(AS-IS)과 본 통합 모듈(TO-BE)의 추출 및 변환에 대한 작업시간을 비교하였을 때 작업시간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 것으로 분석됨 - 해석부위 한 개소당 기존방식 62분 - 해석부위 한 개소당 통합모듈 12분 - 작업시간 기존 대비 64.8% 저감 • 파일럿 테스트를 통한 작업시간 분석결과 추출 및 변환 모듈 기준으로 기존 작업시간의 64.8%가 저감되므로 단일해석 업무수행시 중급기술자(일 단가: 200,466원) 기준으로 일 129,837원(200,466원*64.8%)의 비용을 저감할 수 있는 경제성이 있는 것으로 판단됨				
	AS-IS A35 10 B10 10 65 TO-BE C6 D6 12 A. 평가를 위한 모델링 계획 B. Physibel 해석 모델링 작업 C. 추출 모듈 실행 D. 변환 모듈 실행 0102030405060 (단위:분) • 평가 모듈을 통해 국내 법규의 기준에 맞추어 단일모듈 내에서 평가함으로서 반복되는 작업을 최소화하여 결과의 정확성 및 작업의 효율성이 향상됨				
구분	평가결과 정확성	분석성	변환 시 상호운용성	각 모듈 간 결함 허용성	사용 시 이해가능성
상	○	○	○	○	○
중					
하					

(2) 통합 모듈 보완 사항

구분	보완 전 (문제점 및 오류사항)		보완 후 (개선사항)
추출 모듈	기본 기능	오류 없음	오류 없음
	해당 객체의 3D view 탐색 및 저장	각 객체별로 필요한 3D view 생성 필요	3D 뷰 탐색기능을 추가하여 원하는 3D view를 설정하고 이미지를 저장할 수 있도록 함
변환 모듈	기본 기능	오류 없음	오류 없음
	라이브러리 DB	추출 객체의 속성 정보를 확인할 수 있는 라이브러리 DB 필요	객체 라이브러리 DB를 확인할 수 있는 기능을 추가하여 객체의 속성 정보를 확인할 수 있게 함
평가 모듈	기본 기능	저장 기능 없음	특정 파일 형식을 해당 폴더 위치에 지정하여 저장
	단열성능 평가부	오류 없음	오류 없음
	표면결로 성능 평가부	오류 없음	오류 없음
	내부결로 성능 평가부	구조체 재료층 3개 (기본형만 평가 가능)	접촉면이 1개 이상 발생 시에도 표와 그래프에 각 면에 대한 결로량이 평가될 수 있도록 함으로서 재료층 최대 6개를 수용가능하게 보완하였음 (다중 레이어 평가 가능)
		내벽에 대한 실내외 설정 오류	ISO 13788은 외기 직접 구조체에 대해서만 평가하므로 내벽 평가 시 평가 제외 대상에 대한 안내 문구를 출력함
한계점 분석	추후 국내 전열해석프로그램 개발 시 연동 방안	- 국내 전열해석 프로그램 개발시 범용성을 목적으로 Plysibel 등 관련(유사) S/W의 파일을 Import 하는 기능이 요구됨. 만약 국내에서 단열결로해석을 위한 Neutral Format이 결정(작성)된다면 Revit에서 해당 포맷으로 Export 하는 기능을 추가 개발할 필요가 있음 - 본 연구에서 Revit 모델의 형상 및 속성 추출에 대한 기술을 구현하였으므로 국내 개발된 프로그램의 파일포맷 분석으로 연계될 수 있음 Trisco 파일 포맷과 국내 추가 개발 S/W의 데이터 포맷으로 변환할 수 있는 인터페이스 기능이 추가될 필요가 있음(파일 변환)	
	BIM S/W 버전 업데이트에 대한 대응	- 본 연구를 통해 개발된 시스템은 Revit 2015 버전으로 개발되어 있음. 이후 버전(Revit 2016, 2017 등)에서는 추가 작업 없이 현재 버전에서 개발된 플러그인을 사용할 수 있음. 이하 버전(2014 등) 및 향후 버전에 대해서는 해당 버전의 API를 참조하여 재 배포하는 것으로 사용할 수 있음	

라. 통합 모듈 (BIM 기반 단열·결로 해석 지원 시스템) 사용자 매뉴얼

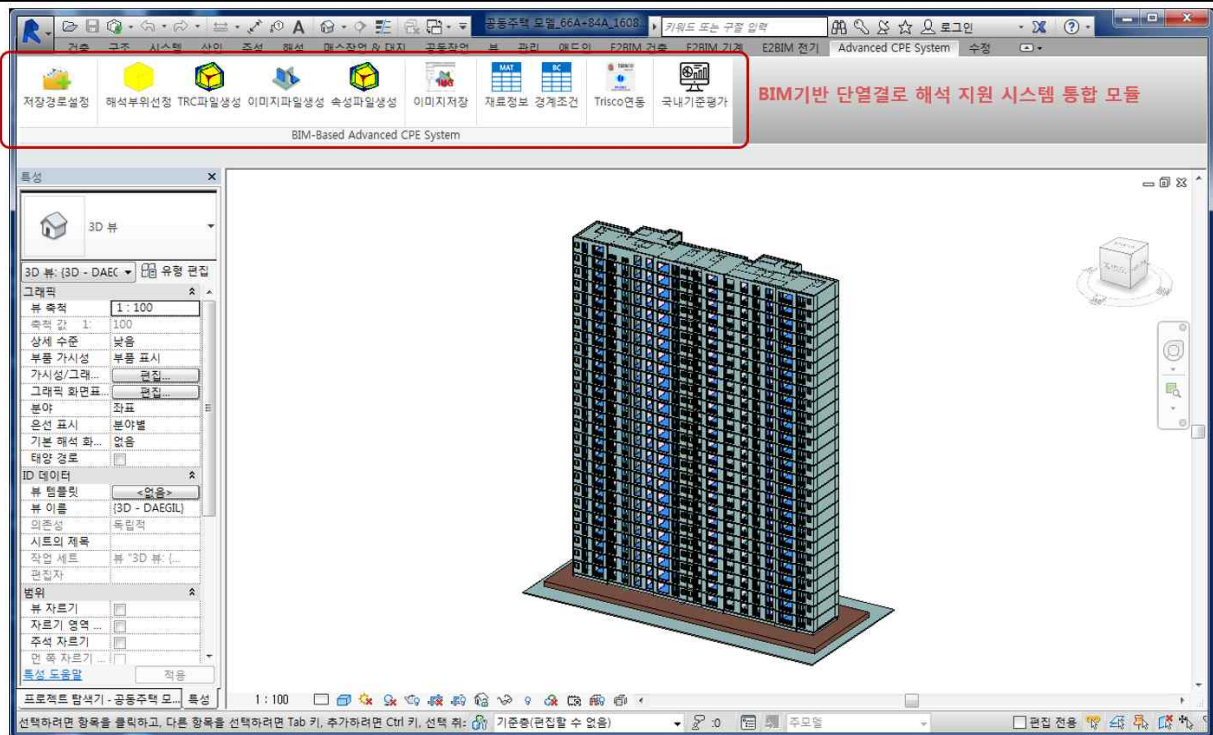
(1) 통합 모듈의 설치



[설치방법]

1. Setup파일을 설치한다.
2. 설치 후 'C:\WProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\YunwooTechnology\W'폴더에 들어가 'MirealInsulReports'폴더를 마우스 오른쪽 클릭하고 속성에 들어간다.
3. 속성 창에서 [보안]탭 클릭 - '편집'버튼 클릭 - 사용자 이름을 클릭하고 '수정', '읽기 및 실행'을 허용으로 체크 - 적용
4. 레빗 실행

(2) 통합 모듈 인터페이스 구성

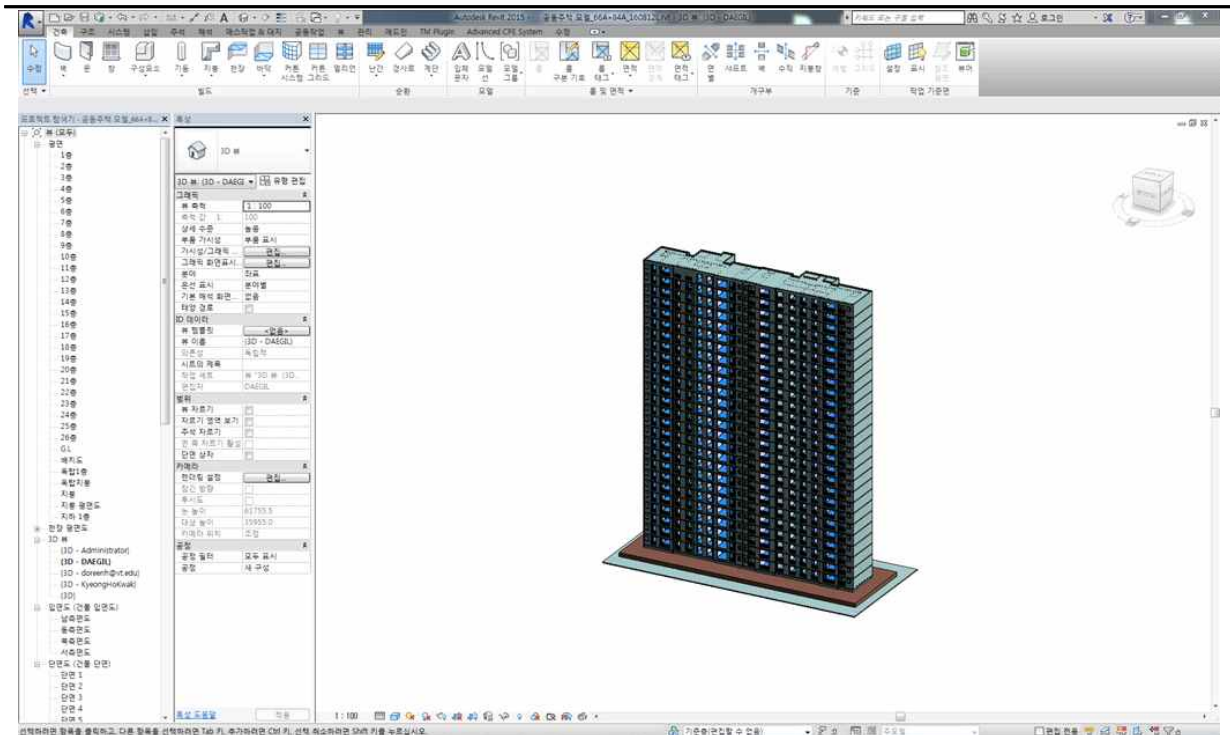


[인터페이스 구성]

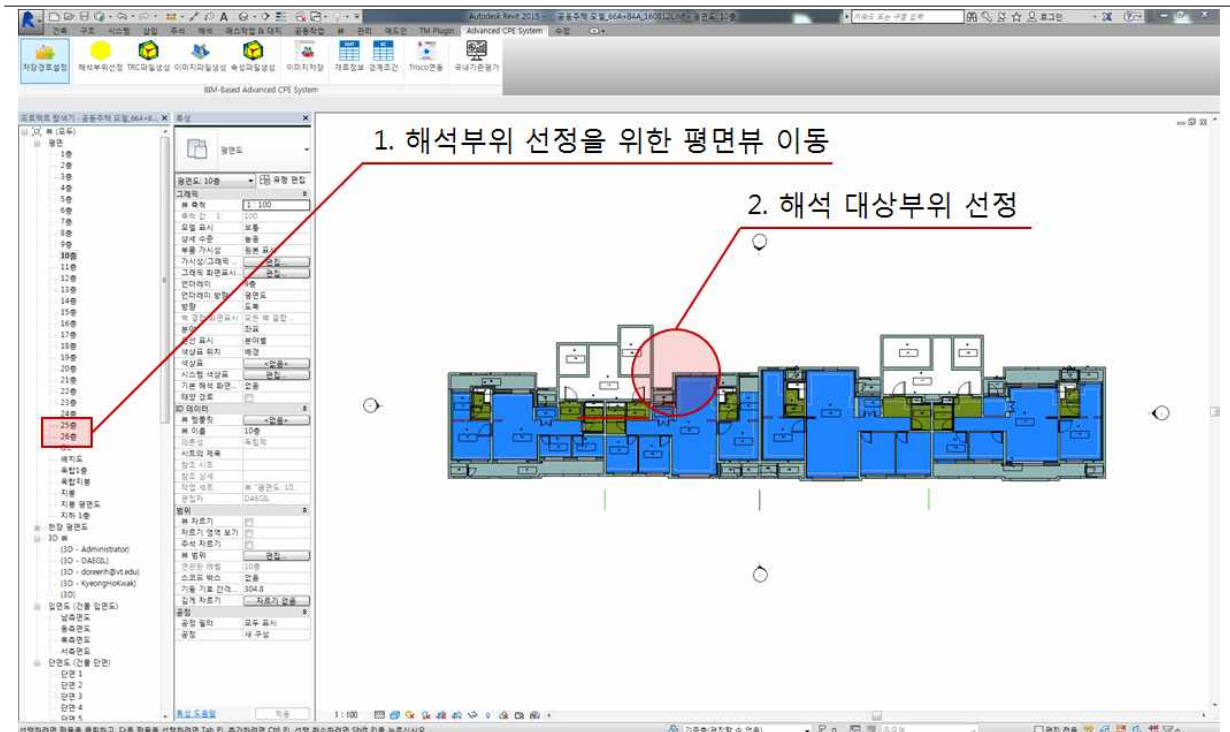
1. 저장경로설정 : 추출 및 변환을 통해 생성된 파일 경로 설정
2. 해석부위선정 : Section Box를 통한 해석부위 추출
3. TRC파일생성 : BIM 형상정보 데이터를 Physibel 파일 형식으로 변환하여 생성
4. 이미지파일생성 : 평가모듈로 import되는 형상정보 이미지 파일 생성
5. 속성파일생성 : BIM 속성정보 데이터를 XML 형식으로 생성
6. 이미지저장 : 생성된 이미지파일 경로 설정
7. 재료정보 : BIM모델로부터 추출된 재료정보 일람
8. 경계조건 : BIM모델로부터 추출된 경계조건정보 일람
9. Trisco 연동 : Physibel 실행
10. 국내기준평가 : 평가모듈 실행

(3) 프로그램 수행 매뉴얼

1) 단열·결로 해석용 BIM 도면 실행 및 해석 대상 부위 선정

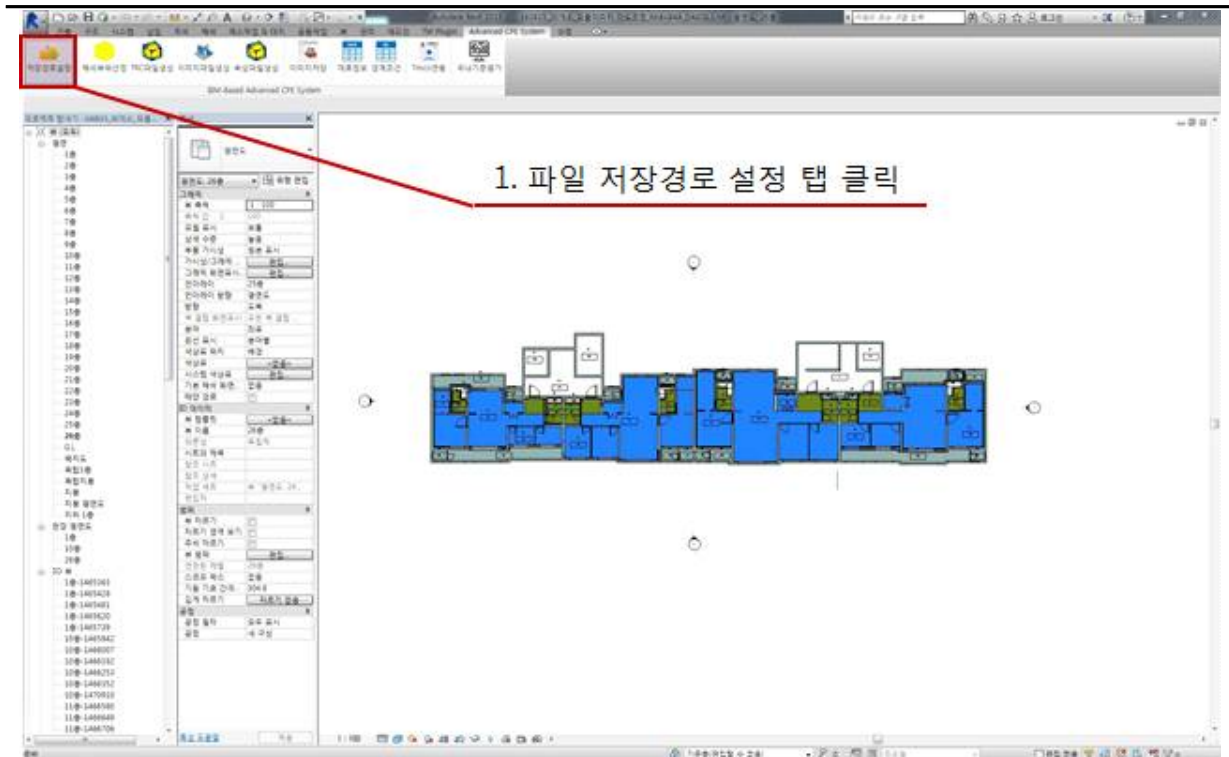


- 본 연구를 통해 개발된 핵심성과 A(단열·결로 분석 BIM 라이브러리)를 사용하여 BIM 설계가 수행된 공동주택의 BIM 모델 실행

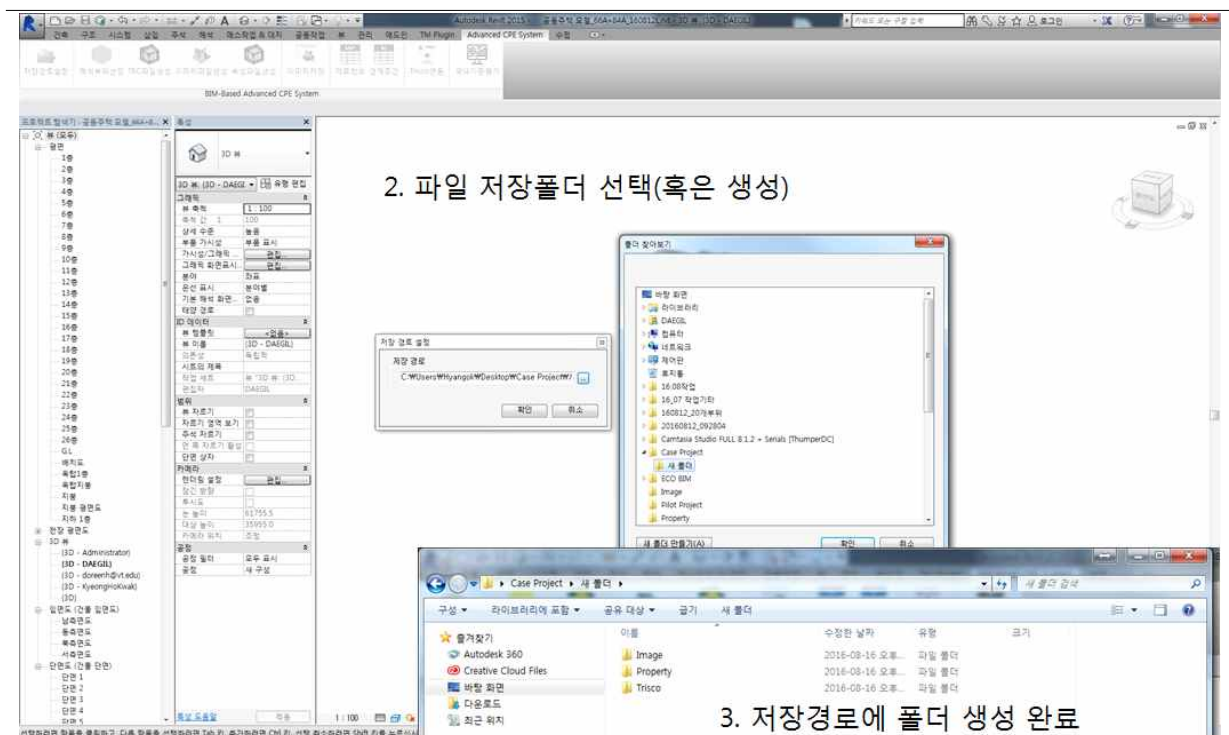


- 해석부위 선정을 위한 평면뷰 이동
- 해당 평면을 검토하여 해석 대상 부위를 선정(본 실험에서는 지붕 층 1개소)

2) 파일 저장경로 설정

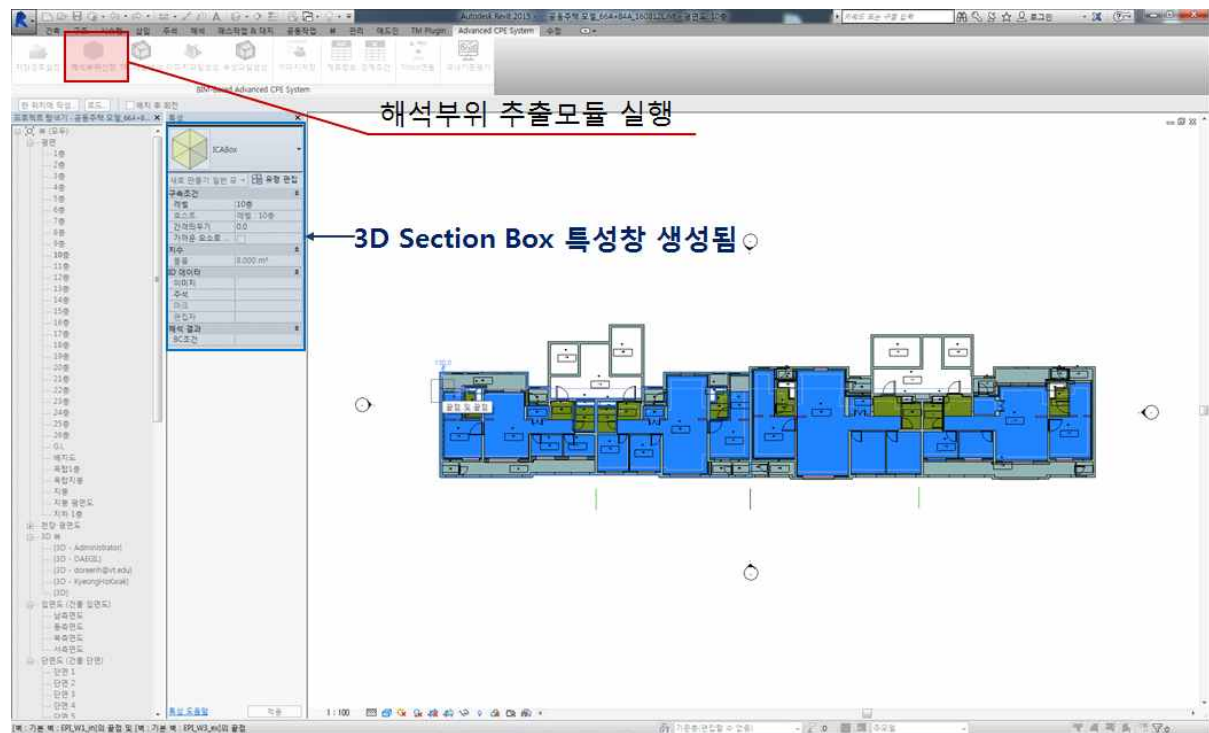


- 본 연구를 통해 개발된 핵심성과 A(단열결로 분석 BIM 라이브러리)를 사용하여 BIM 설계가 수행된 공동주택의 BIM 모델 실행

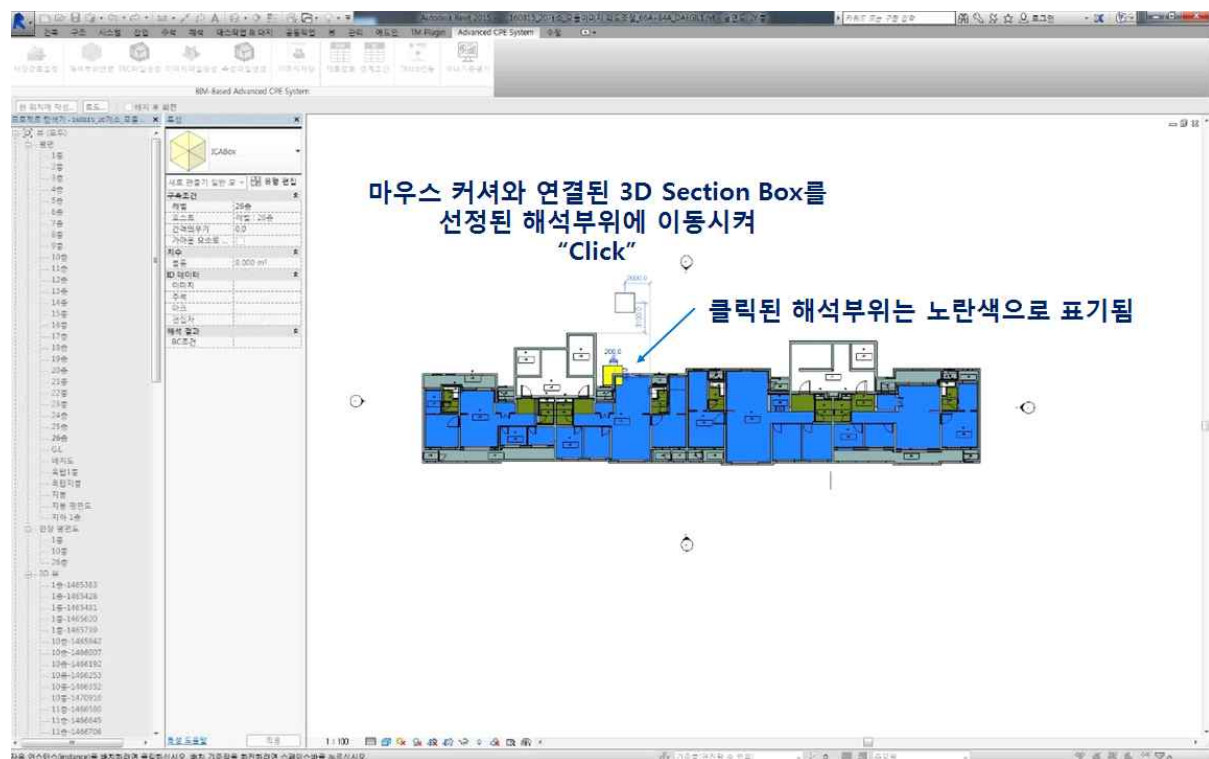


- 해석부위 선택을 위한 평면뷰 이동
- 해당 평면을 검토하여 해석 대상 부위를 선정(본 실험에서는 지붕 층 1개소)

3) 해석부위 선정

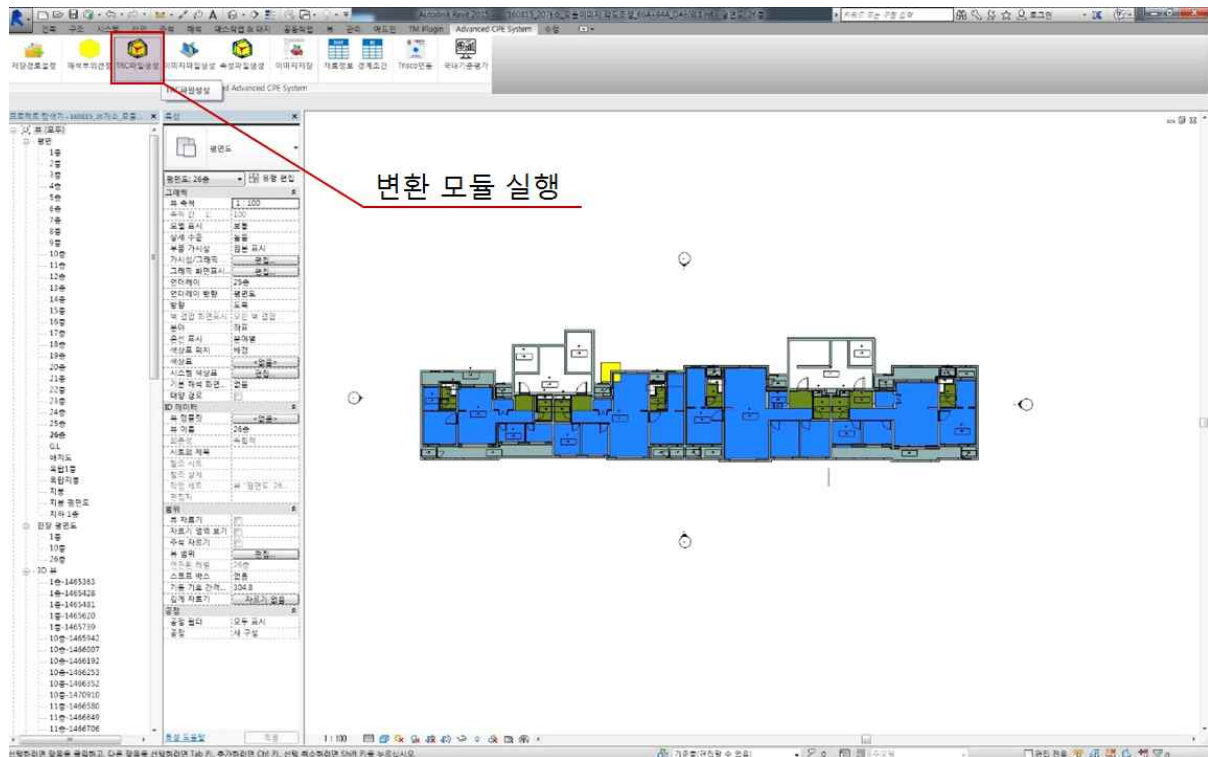


- 해석부위 추출모듈 실행
- 모듈을 실행하면 모듈 특성창이 생성되며 마우스 커서에 3D Section box가 생성됨

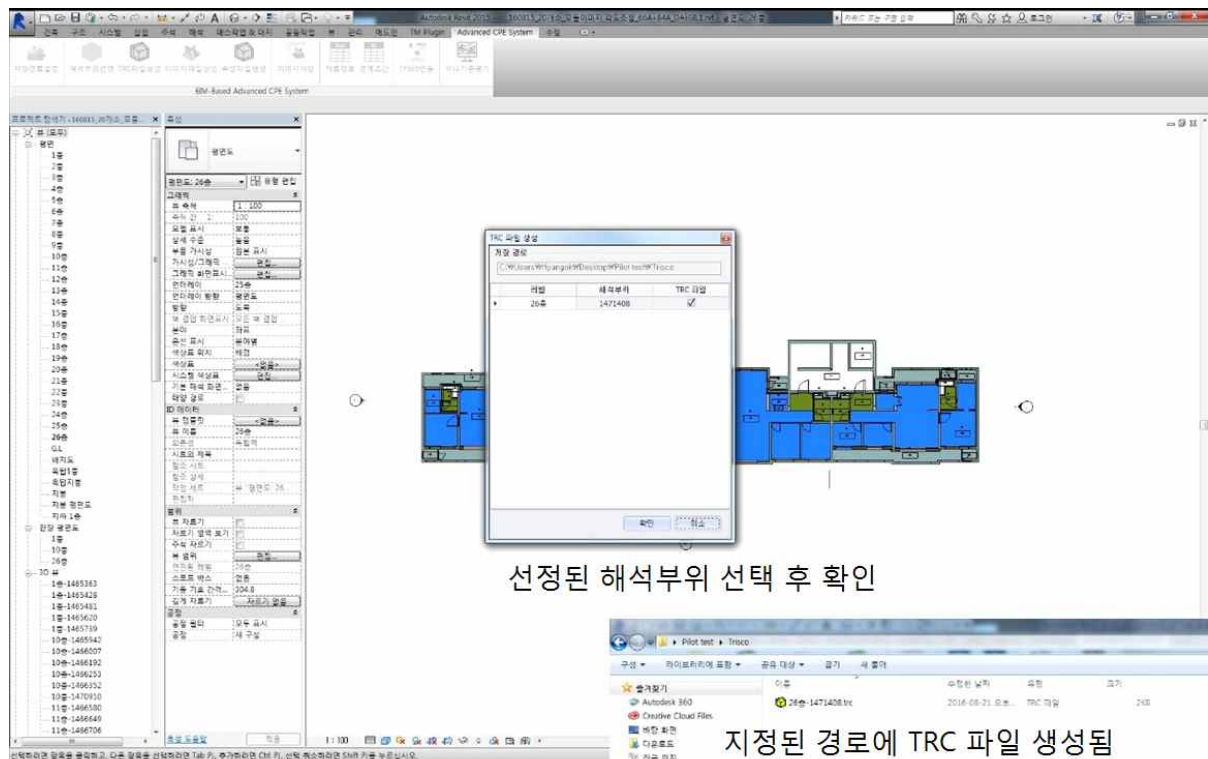


- 마우스 커서에 생성된 3D Section box를 해석 대상부위에서 클릭
- 클릭된 해석 대상부위는 노란색으로 표기됨

4) TRC파일 생성

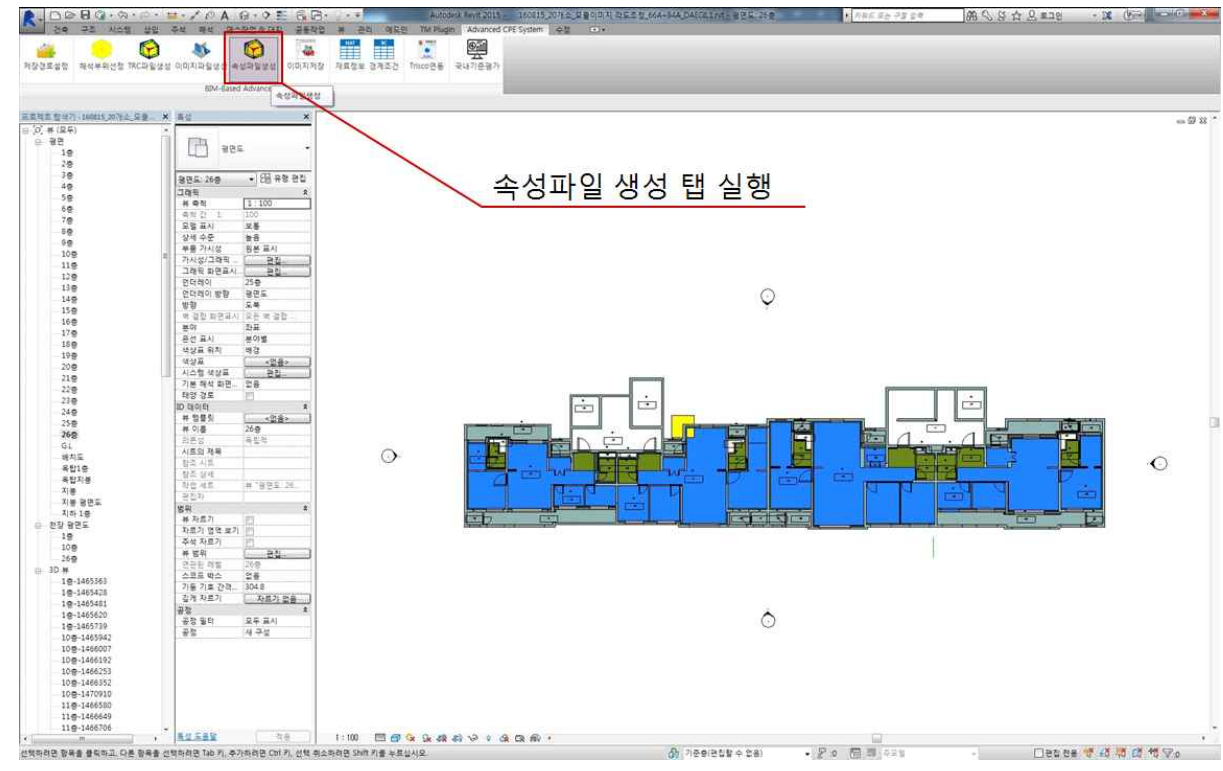


- TRC파일 생성 탭 실행

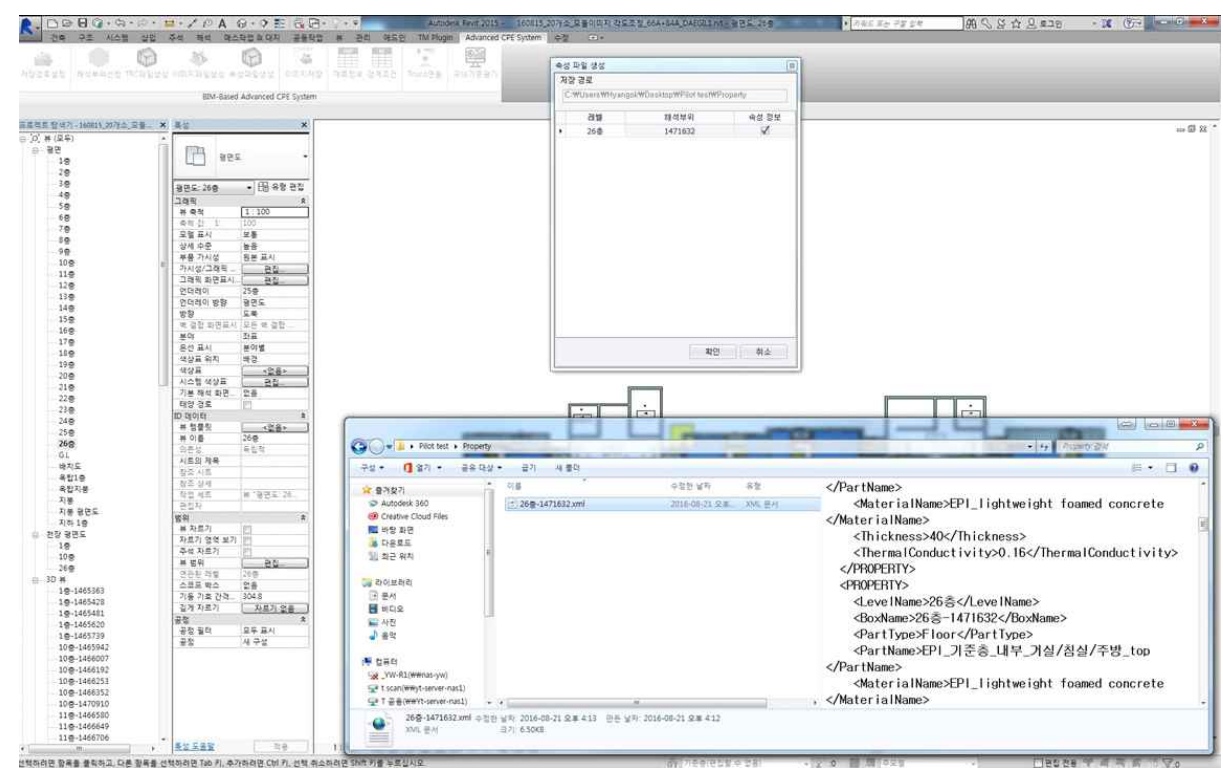


- 해석부위의 위치 및 부위명이 리스트업된 TRC 파일 생성창이 실행됨
- 해석부위를 선택하고 확인하면 설정된 저장폴더에 해석부위의 TRC 파일이 생성됨

6) 속성 파일 생성

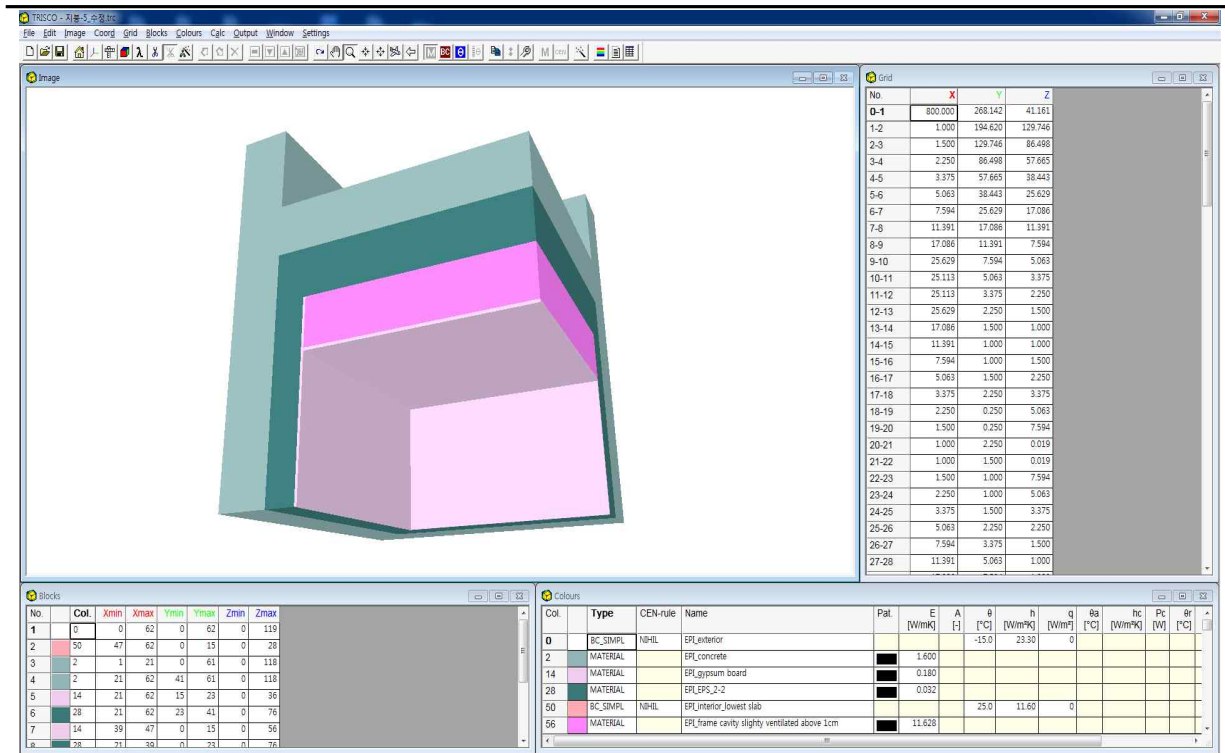


- 속성파일 생성 탭을 실행

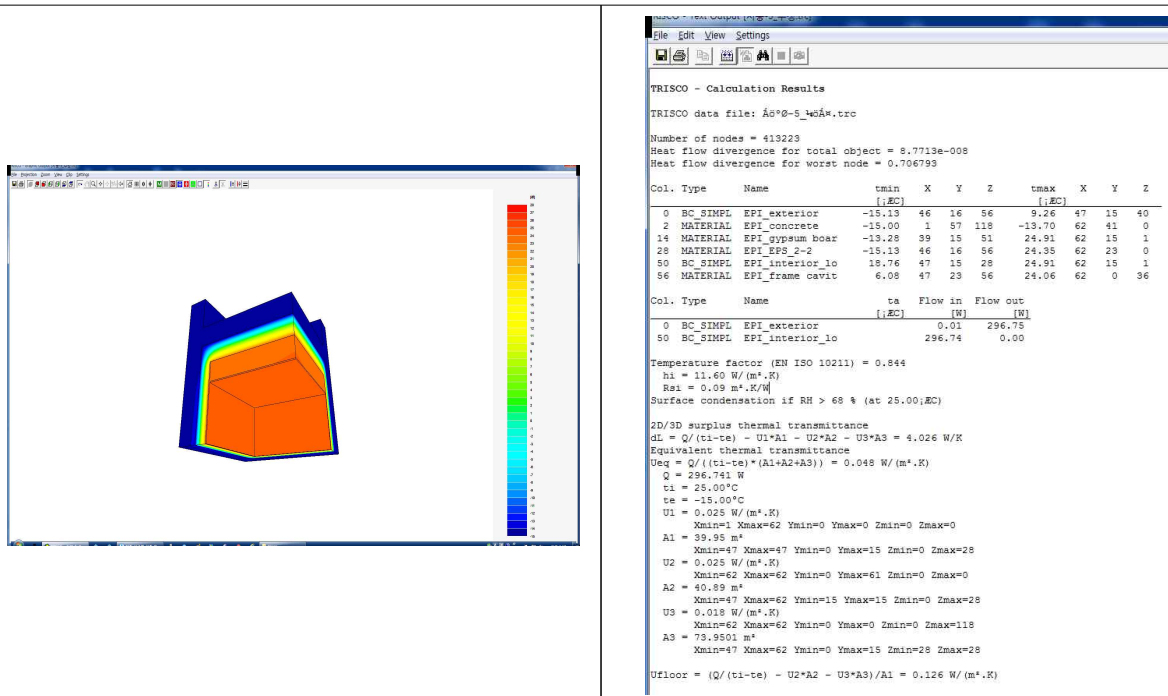


- 해석부위의 위치 및 부위명이 리스트업된 속성파일 생성창이 실행됨
- 해석부위를 선택하고 확인하면 설정된 저장폴더에 속성파일(*.xml)이 생성됨

7) Trisco 연동



- BIM 데이터로부터 저장된 Physibel Trisco 파일을 열어 해당 부위의 모델링 상태 및 속성정보를 확인한 결과 이상 없음
- 해석 실행을 위해 Grid를 split한 후 시뮬레이션을 실행함



- 시뮬레이션을 실행한 결과의 iso thermal 형상을 BIM 추출 모듈에서 지정한 폴더 위치에 저장함
- 시뮬레이션 해석 결과를 프로그램 내의 text 출력 보기를 열어 총 전열량, 총 열교량, 상당열관류율, 우각부 실내표면온도, 결로발생 최소습도 및 각 부위의 열관류율 정보를 확인함

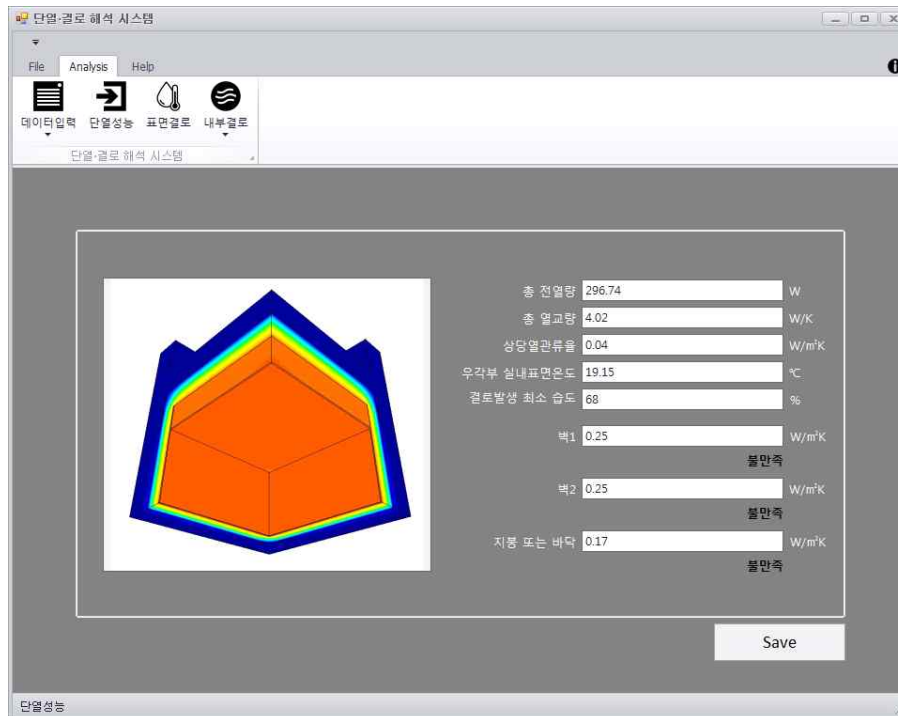
8) 국내기준평가

대지위치	남양주시			경기도
지역지구	제2종 일반주거지역			
용도	공동주택			
대지면적	51147			
건축면적	8114.3489			
연면적	96997.4411			
세대수	평형	74	84	84
	세대	86	452	102

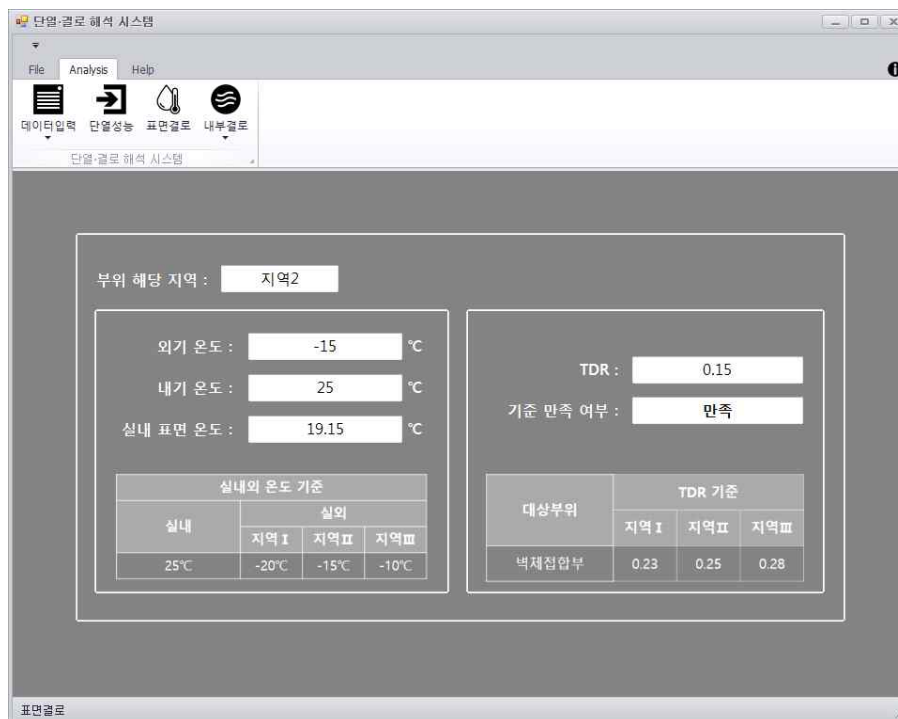
- BIM 저작도구 상의 평가모듈을 실행하여 대지위치, 지역지구, 용도, 대지면적, 건축면적, 연면적, 평형/세대를 직접 입력함
- 각 성능 평가를 위한 지역(도시)를 설정함

지역	중부지역		
벽1	거실 외벽	외기 직접	공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m²K		
벽2	거실 외벽	외기 직접	공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m²K		
지붕/바닥	최상층 거실 반	외기 직접	-
해당부위 기준	0.15 W/m²K		

- 이미지를 확인하여 해당 부위가 맞는지 확인함
- 상단 화면에서 지정한 지역에 맞게 지역이 설정되고, 벽1, 벽2, 지붕 및 바닥에 대한 열관류율 기준을 부위별, 외기 직간접 접촉 여부에 따라 설정함



- 전열해석 결과 이미지를 확인함
- 단열 성능 화면에 전열 해석 결과 데이터를 입력함
- 각 부위의 열관류율 성능 결과 입력 시 설정한 기준에 맞게 성능의 만족/불만족 여부를 확인함



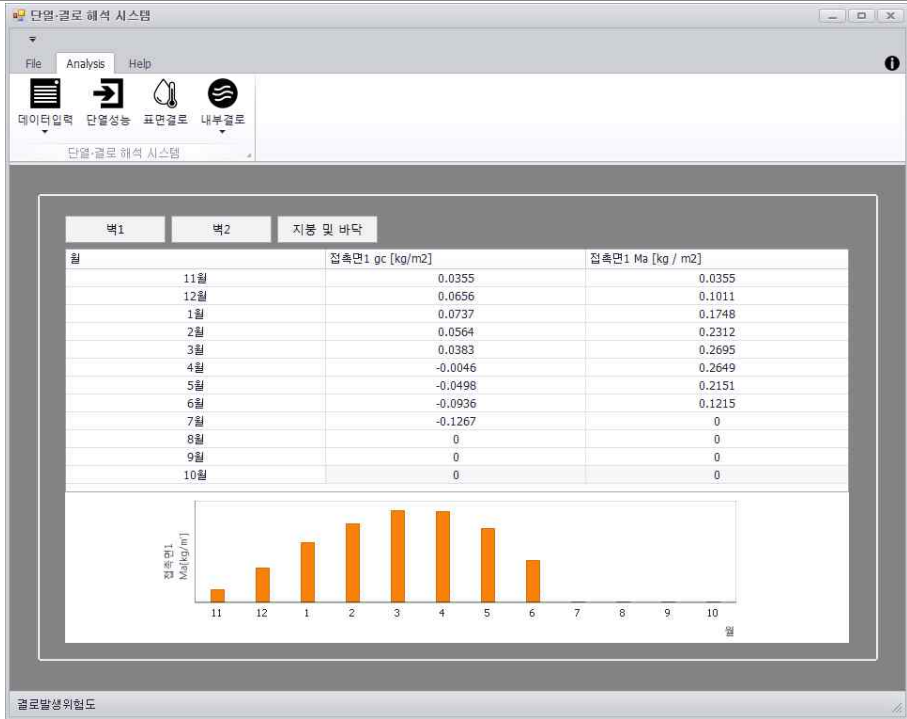
- 입력된 최소 표면온도를 활용하여 우각부에 대한 TDR 값을 자동으로 산출하고 해당 값에 대한 국내기준의 만족 여부를 확인함



- 내부결로 평가창의 기후조건/구조체 구성 창을 열어서 기후조건 입력부를 확인하고 구조체의 구성을 설정함
- 구조체 구성 재료를 직접 선택한 후 해당 두께를 입력하면 열전도율, 투습저항계수, 열저항, 등가공기층이 자동으로 산출되어 도출됨



- 월별 투습 성능 그래프가 자동으로 도출됨
- 각 부위(벽1, 벽2, 지붕 및 바닥)을 선택하여 평균 투습 성능을 확인함
- 포화 수증기압 선과 수증기압 선이 만나는 부분에서 결로가 발생함

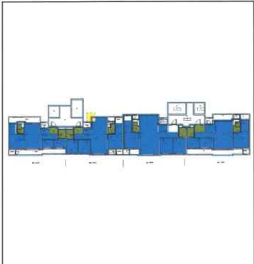


- 최종 평가화면에서 접촉면에서의 연중 월별 결로 발생량 및 연간 결로 발생 누적량을 확인함
- 연간 결로 발생 누적량 도출을 통해 결로가 발생하는 월, 누적된 결로량이 증발되는 월을 확인할 수 있음

출력 결과 확인 (Report)

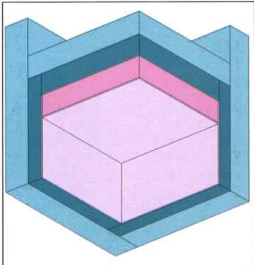
공동주택 단열·결로 해석 시스템

1. 건물 개요



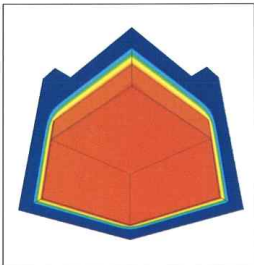
대지위치	남양주시		
지역지구	제2종 일반주거지역		
용 도	공동주택		
대지 면적	51147		
건축 면적	8114.3489		
연 면 적	96997.4411		
세대수	평형	74	84
	세대	86	102

2. 부위 개요



지역	중부지역		
벽 1	기실 외벽	외기 직립	공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m2K		
벽 2	기실 외벽	외기 직립	공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m2K		
지붕 및 바닥	기실 외벽	외기 직립	공동주택
해당부위 기준	0.21 W/m2K		

3. 단열 성능 평가결과



총 전달량	296.74
총 열교량	4.02
상당열 관류율	0.04
무각부 실내표면온도	19.15
결로발생 최소습도	68

벽 1	0.25 불만족
벽 2	0.25 불만족
지붕 또는 바닥	0.17 불만족

4. 표면 결로 평가결과

표면 결로 평가결과

외기 온도 :	-15 ℃	TDR :	0.15
내기 온도 :	25 ℃	기준 만족 여부 :	만족
실내 표면 온도 :	19.15 ℃		

공동주택 결로방지 설계 기준

실내외 온도 기준				대상부위	TDR 기준		
실내	실외				지역 I	지역 II	지역 III
	지역 I	지역 II	지역 III				
25 ℃	-20 ℃	-15 ℃	-10 ℃	벽체접합부	0.23	0.25	0.28

5. 내부 결로 평가결과

■ 기후조건

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
외기온도(평균) [℃]	-3.35	-0.45	4.935	11.7	17.2	21.65	24.475	24.925	20.125	13.175	5.675	-1.075
외기습도(평균) [%]	65	62	60	58	65	70	79	78	76	72	68	67
외기수증기압 [Pa]	300.05	364.71	520.39	797.11	1274.86	1810.59	2423.93	2458.4	1789.87	1090.21	621.39	374.23
내기온도 [℃]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
내기수증기압 [Pa]	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96	1582.96

■ 부위별 열별 성능 내역

○ 벽 1

재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPL_concrete	0.2	1.6	100	0.12	20
EPL_EPS_2~2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EPL_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0

○ 벽 2

재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPL_concrete	0.2	1.6	100	0.12	20
EPL_EPS_2~2	0.12	0.032	60	3.75	7.2
EPL_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0

○ 지붕 또는 바닥

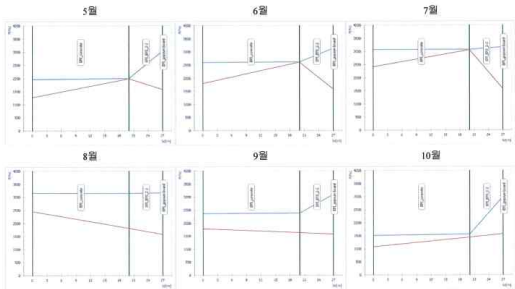
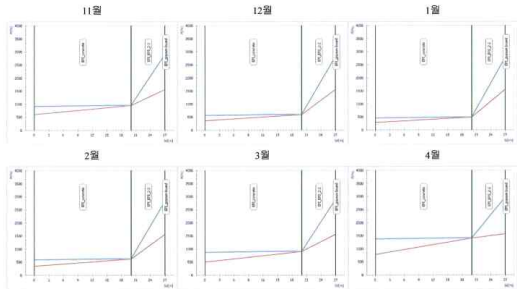
재료명	두께 [m]	열전도율 [W/m·K]	투습저항계수 [-]	열저항 [m ² K/W]	Sd [m]
외기	0	0	0	0.04	0
EPL_concrete	0.08	1.6	100	0.05	8
EPL_concrete	0.18	1.6	100	0.11	18
EPL_EPS_2~2	0.17	0.032	60	5.31	10.2
EPL_gypsum board	0.01	0.18	10	0.06	0.1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
내기	0	0	0	0.25	0

■ 벽1 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [℃]	외기 습도 [%]	외기 수증기압 [Pa]	내기 온도 [℃]	내기 수증기압 [Pa]	점속면1 필로용 [kg/m ² s]	점속면1 점포량 [kg/m ²]	점속면1 누적량 [kg/m ²]	점속면2 필로용 [kg/m ² s]	점속면2 점포량 [kg/m ²]	점속면2 누적량 [kg/m ²]	
11월	720	5.675	68	621.39	25	50	1582.96	1.37E-08	0.0355	0.0355	0	0	0
12월	744	-1.075	67	374.23	25	50	1582.96	2.45E-08	0.0656	0.1011	0	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	50	1582.96	2.75E-08	0.0737	0.1748	0	0	0
2월	672	-0.45	62	364.71	25	50	1582.96	2.33E-08	0.0564	0.2312	0	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	50	1582.96	1.43E-08	0.0383	0.2895	0	0	0
4월	720	11.7	58	797.11	25	50	1582.96	-1.78E-09	-0.0046	0.2649	0	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	50	1582.96	-1.86E-08	-0.0498	0.2151	0	0	0
6월	720	21.65	70	1810.59	25	50	1582.96	-3.61E-08	-0.0936	0.1215	0	0	0
7월	744	24.475	79	2423.93	25	50	1582.96	-4.73E-08	-0.1267	0	0	0	0
8월	744	24.925	78	2458.4	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
9월	720	20.125	76	1789.87	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0
10월	744	13.175	72	1090.21	25	50	1582.96	0	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프

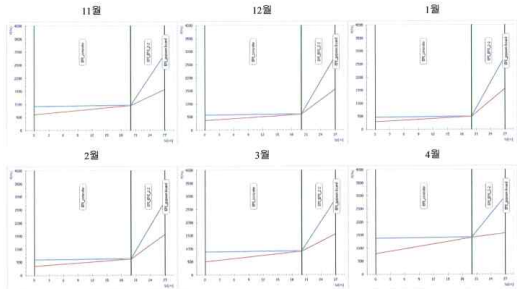


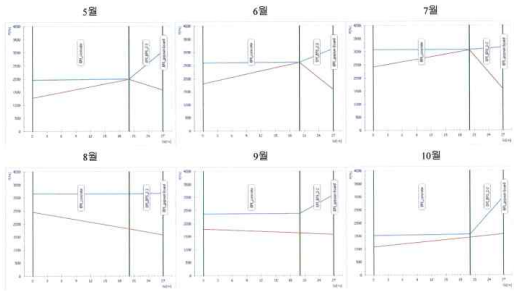
■ 벽2 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [℃]	외기 습도 [%]	외기 수증기압 [Pa]	내기 온도 [℃]	내기 수증기압 [Pa]	점속면1 필로용 [kg/m ² s]	점속면1 점포량 [kg/m ²]	점속면1 누적량 [kg/m ²]	점속면2 필로용 [kg/m ² s]	점속면2 점포량 [kg/m ²]	점속면2 누적량 [kg/m ²]
11월	720	5.675	68	621.39	25	50	1582.96	1.37E-08	0.0355	0	0	0
12월	744	1.075	67	374.23	25	50	1582.96	2.45E-08	0.0656	0.1011	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	50	1582.96	2.75E-08	0.0737	0.1748	0	0
2월	672	-0.45	62	364.71	25	50	1582.96	2.33E-08	0.0664	0.2312	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	50	1582.96	1.43E-08	0.0383	0.2895	0	0
4월	720	11.7	58	797.11	25	50	1582.96	-1.78E-08	-0.0046	0.2649	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	50	1582.96	-1.86E-08	-0.0498	0.2151	0	0
6월	720	21.65	70	1810.59	25	50	1582.96	-3.61E-08	-0.0936	0.1215	0	0
7월	744	24.475	79	2423.93	25	50	1582.96	-4.73E-08	-0.1267	0	0	0
8월	744	24.925	78	2458.4	25	50	1582.96	0	0	0	0	0
9월	720	20.125	76	1789.87	25	50	1582.96	0	0	0	0	0
10월	744	13.175	72	1090.21	25	50	1582.96	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프





■ 저장 및 바닥 평가결과

○ 평가결과 차트

	시간 [h]	외기 온도 [°C]	외기 습도 [g/kg]	외기 압도 [Pa]	내기 온도 [°C]	내기 습도 [g/kg]	내기 압도 [Pa]	점속면2 경도율 [kg/m2s]	점속면2 경도율 [kg/m2]	점속면3 경도율 [kg/m2s]	점속면3 경도율 [kg/m2]	점속면3 경도율 [kg/m2s]	점속면3 경도율 [kg/m2]
11월	720	5.676	68	621.39	25	60	1582.96	9.65E-09	0.025	0.025	0	0	0
12월	744	-1.075	67	374.23	25	60	1582.96	1.73E-08	0.0463	0.0713	0	0	0
1월	744	-3.35	65	300.05	25	60	1582.96	1.95E-08	0.0522	0.1235	0	0	0
2월	672	-0.46	62	364.71	35	60	1582.96	1.65E-08	0.0399	0.1634	0	0	0
3월	744	4.925	60	520.39	25	60	1582.96	1.01E-08	0.0271	0.1905	0	0	0
4월	720	11.7	58	707.11	25	60	1582.96	-1.64E-09	-0.0043	0.1862	0	0	0
5월	744	17.2	65	1274.86	25	60	1582.96	-1.36E-08	-0.0364	0.1498	0	0	0
6월	720	21.65	70	1810.69	25	60	1582.96	-2.61E-08	-0.0677	0.0821	0	0	0
7월	744	24.47 5	79	2423.93	25	60	1582.96	-3.39E-08	-0.0908	0	0	0	0
8월	744	24.02 5	78	2458.4	25	60	1582.96	0	0	0	0	0	0
9월	720	20.12 5	76	1789.87	25	60	1582.96	0	0	0	0	0	0
10월	744	13.17 5	72	1090.21	25	60	1582.96	0	0	0	0	0	0

○ 평가결과 그래프

11월

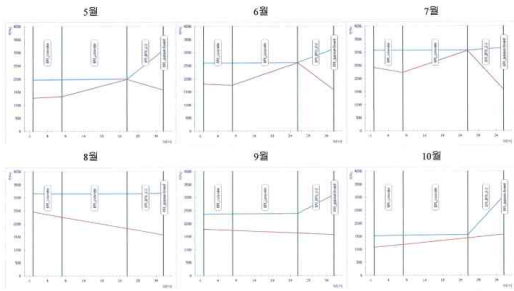
12월

1월

2월

3월

4월



제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 연구 수행 진도율

가. 1차년도 연구 수행 진도율

구 분 개발내용		연 구 개 발 기 간												진도(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1 차 년 도	BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발													100
	단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발													100
	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계)													100
	BIM 모델 단열·결로 예상부위 정의 기술 개발													100
	전열해석 툴과 BIM 연계 방법론 도출													100
	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사													100
	단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축													100

..... 당초계획

_____ 실적

나. 2차년도 연구 수행 진도율

구 분 개발내용		연 구 개 발 기 간												진도(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2 차 년 도	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계)													100
	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발													100
	BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈 개발													100
	단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발													100
	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발													100
	BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 수행													100

..... 당초계획

_____ 실적

2. 연구개발 목표의 달성도

가. 1차년도

구분	연구목표	달성도 (%)	내용
1 차 연 도	BIM 모델을 이용한 단열·결로 분석 표준 프로세스 개발	100	(1) 사례조사를 통한 전열해석 프로그램 활용 프로세스 분석 (2) 결로해석 프로그램의 단열·결로 해석 프로세스 분석 (3) BIM 모델정보를 이용한 단열·결로 분석 프로세스 정립
	단열·결로 분석 BIM 모델 정의 기술 개발	100	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM 요구객체 정립 (2) BIM 객체의 요구정보 정의 (3) BIM 객체의 표현기준 및 속성정보 작성법 수립
	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계)	100	(1) 단열·결로 분석을 위한 BIM객체와 단열·결로 해석 모델 간 정보 맵핑 (2) 단열·결로 해석을 위한 BIM객체 입·출력 정보 체계 구축 (3) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발
	BIM 모델 단열·결로 예상부위 정의 기술 개발	100	(1) 기존 단열·결로 Project 검토를 통한 결로 발생 예상부위 DB구축 (2) BIM 모델을 이용한 결로 예상부위 정의 알고리즘 개발
	전열해석 툴과 BIM 연계 방법론 도출	100	(1) PHYSIBEL / THERM 분석 기준 및 입출력 정보 형식 분석 (2) PHYSIBEL / THERM 특성 비교를 통한 BIM 연계성 검토 (3) 단열·결로 분석을 위한 모델 정보 도출
	국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석 사례 조사	100	(1) 국내외 단열·결로 관련 법규 및 해석방법 비교 (2) 국내·외 단열·결로 분석 사례 조사 DB 구축
	단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축	100	(1) 평가 요구정보 자동변환 및 수집 기술 개발 (2) 단열·결로 평가 객체 입·출력 정보체계 구축

나. 2차년도

구분	연구목표	달성도 (%)	내용
2 차 연 도	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계)	100	(1) 입·출력 정보를 반영한 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발(보완)
	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체 추출 자동화 모듈 개발	100	(1) 전열해석 프로그램의 형상 및 속성정보 구조 분석 (2) BIM 해석부위의 형상 및 속성정보 추출 구조 분석 (3) 단열·결로 해석부위 추출 모듈 개발
	BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈 개발	100	(1) 단열·결로 해석부위 변환 모듈 개발 (2) 단열·결로 해석부위의 이미지 추출 및 추가기능 구현
	단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발	100	(1) 입력모듈 정보의 분류 체계 구성 (2) 단열·결로 법적 성능 분석 알고리즘 개발
	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발	100	(1) 입출력 User Interface 개발 및 Report 출력 형식 정의 (2) 파일럿 프로젝트 수행을 통한 정확성 검증
	BIM기반 단열·결로 분석 파일럿 프로젝트 수행	100	(1) 통합 모듈 (BIM 기반 단열·결로 해석 지원 시스템) 검증 (2) 통합 모듈 보완 사항

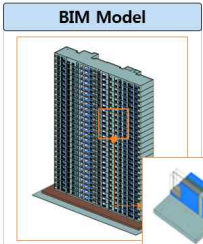
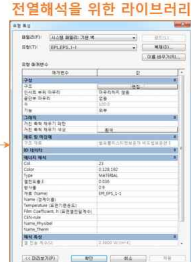
다. 정량적 성과지표 달성도

연차	핵심 성과		성 과 지 표	측정방법	목표치	달성치	달성치
1차년도	B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈	단열·결로 예측부위 정의 (보고서)	보고서 작성여부	1건	20%	1건
			단열·결로 예측부위 설정 자동화(보고서)	보고서 작성여부	1건		1건
			특허출원(추가실적)	-	-		1건
	C	BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈	부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 (파일럿적용)	파일럿적용 시연 동영상	1건	10%	1건
			국내학술지 게재 논문	국내학술지 게재 여부	1건		1건
	A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발	단열·결로 분석 가능한 형상정보(매뉴얼)	매뉴얼 작성여부	1건	40%	1건
			단열·결로 분석 가능한 속성정보 (매뉴얼)	매뉴얼 작성여부	1건		1건
			단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리(라이브러리 파일)	라이브러리 개발여부	1건		1건
			단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리 (보고서)	-	2건		2건
			국내학술지 게재 논문	국내학술지 게재 여부	1건		1건
	D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	관련 법규 및 해석 사례 DB 구축(보고서)	보고서 작성여부	1건	30%	1건
			입출력 정보 체계 (매뉴얼)	매뉴얼 작성여부	1건		1건
			국내학술지 게재 논문	국내학술지 게재 여부	1건		1건
	소 계						100%
2차년도	B	단열·결로 분석을 위한 BIM 객체추출 자동화 모듈	단열·결로 분석 가능한 부위, 위치, 재료 정보(보고서)	보고서 작성여부	1건	40%	1건
			Graphic Data (*.xml) (Data파일)	Data파일 개발여부	1건		1건
			Meta Data (*.ifc) (Data파일)	Data파일 개발여부	1건		1건
			특허출원	특허 출원 여부	1건		1건
			S/W 개발	S/W 등록 여부	1건		1건
			국내학술발표(추가실적)	-	-		1건
	C	BIM 톨과 전열해석 톨 간의 모델 변환 모듈	부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 (동영상 시연)	파일럿적용 시연 동영상	1건	30%	1건
			부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 (Data파일)	Data파일 개발여부	1건		1건
			특허출원	특허 출원 여부	1건		1건
			특허등록	특허 등록 여부	1건		-
			국외학술지 게재 논문	SCI 게재 여부	1건		심사중
			S/W 개발	S/W 등록 여부	1건		1건
	A	단열·결로 분석 BIM 라이브러리 개발	단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리(라이브러리 파일)	라이브러리 개발여부	1건	10%	1건
	D	국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈	단열·결로 성능 분석 (보고서)	보고서 작성여부	1건	20%	1건
			성능 평가(Data파일)	Data파일 개발여부	1건		1건
			특허 출원 (추가 실적)	-	-		1건
			국외학술지 게재 논문	SCI	1건		-
			국외학술지 게재 논문(대체)	비 SCI	-		1건
			시제품	시제품 개발 여부	1건		1건
			S/W 개발 1건	S/W 등록 여부	1건		2건
	소 계						100%

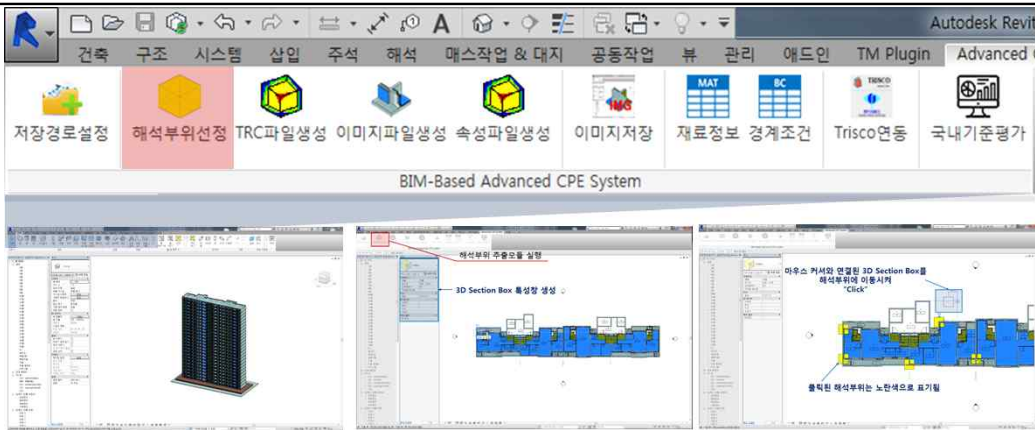
- * 특허출원 2건, 소프트웨어개발 1건, 국내학술발표 1건 추가 달성.
- * 특허등록 1건은 진행 중 (총 연구개발기간이 2년으로 기간 내 달성에 한계가 있음)
- * SCI 논문 2건 중 1건 심사 진행 중
- * SCI 논문 2건 중 1건 SCOPUS 논문으로 대체 진행

3. 핵심과제 달성 개요

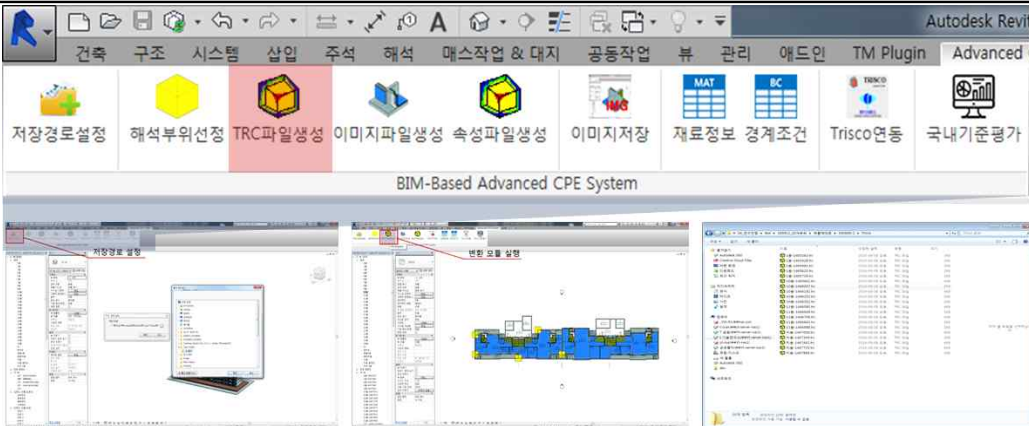
가. 핵심성과 A: 단열·결로 BIM 라이브러리 개발

관련 그림 / 사진		   <table border="1"><thead><tr><th>no.</th><th>Type</th><th>Name</th><th>Proc.</th><th>Unit</th><th>Value</th></tr></thead><tbody><tr><td>5</td><td>MATERIAL</td><td>EP-epoxygroutfilled concrete</td><td></td><td>0.1</td><td></td></tr><tr><td>11</td><td>MATERIAL</td><td>insulation steel</td><td></td><td>17000</td><td></td></tr><tr><td>122</td><td>MATERIAL</td><td>insulation G.D.B.V.M.</td><td></td><td>0.000</td><td></td></tr></tbody></table> 전열해석 프로그램 Physibel 데이터							no.	Type	Name	Proc.	Unit	Value	5	MATERIAL	EP-epoxygroutfilled concrete		0.1		11	MATERIAL	insulation steel		17000		122	MATERIAL	insulation G.D.B.V.M.		0.000	
no.	Type	Name	Proc.	Unit	Value																											
5	MATERIAL	EP-epoxygroutfilled concrete		0.1																												
11	MATERIAL	insulation steel		17000																												
122	MATERIAL	insulation G.D.B.V.M.		0.000																												
정의		· 단열·결로 분석을 위한 BIIM객체의 속성정보 및 형상정보를 정의하여 단열·결로 성능 분석에 사용할 수 있는 범용 BIM 라이브러리 개발																														
목적		· BIM 모델은 기본적으로 라이브러리로 구성되므로 슬라브, 벽, 창, 문 등으로 구성된 라이브러리 데이터에 단열·결로 성능을 평가하기 위한 변수들을 입력하면 일정한 체계를 갖는 정보의 단위로 추출이 가능하므로 BIM기반의 단열·결로 해석 시스템 개발을 위한 가장 기초적인 기술임 · 이에 공공연구를 통한 BIM 라이브러리 개발 및 보급을 통해 개인 차원의 중복 투자를 방지하고 설계자의 BIM기술 숙련도에 지배되지 않고 전반적으로 실무자들의 엔지니어링 기술수준 상향화를 위함																														
성능목표		· 기존기술 수준 : BIM 저작도구에서 기본적으로 제공하는 라이브러리는 건축 및 구조 등의 정보에 한하며 민간, 공공 기관에 의해 실무 전반에 적용 가능한 표준 라이브러리 배포를 위해 공중 및 구조에 관한 정보를 포함시키는 연구 중임 · 개발기술 수준 : 생산되는 BIM 모델이 적용 활용될 수 있도록 BIM객체에 전열 해석 프로그램에서 요구하는 형상 및 속성정보를 정의하고, 이를 BIM 라이브러리 (패밀리 및 카탈로그 등)에 입력할 수 있는 속성 및 형상 데이터를 작성함. 이를 통해 관련 정보의 라이브러리 작성을 위한 중복투자를 막고, 표준화할 수 있으며 업무 생산성 및 정확도가 향상에 기여할 것임																														
성과달성 책임자		장항인 (미래환경플랜(주))																														
소요기간		'14.07 ~ '15.12 (1년 6개월, 2년차)																														
핵심성과	달성 확인방법	1차년도	· 라이브러리에 전열 해석을 위한 자재, 경계조건의 요구정보 입력여부 확인																													
		2차년도	· 라이브러리에 전열 해석을 위한 창 및 문 객체의 요구정보 입력여부 확인																													
	양적성과	1차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타																								
		2차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타																								
	질적성과	1차년도	· 단열·결로 분석 가능한 형상정보 매뉴얼 1건 · 단열·결로 분석 가능한 속성정보 매뉴얼 1건 · 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (1단계) 보고서 1건 · 라이브러리 파일 작성 : 전열 해석을 위한 자재 라이브러리 작성																													
		2차년도	· 단열·결로 분석 BIM 라이브러리 구축 (2단계) 보고서 1건 · 라이브러리 파일 작성 : 전열 해석을 위한 창 및 문 라이브러리 작성																													
성과 활용계획		· 라이브러리에 작성된 데이터가 객체의 추출 및 변환을 통해 전열 해석 프로그램에서 활용되는 것을 검증하였으며 향후 다양한 전열 해석 프로그램에 대응할 수 있도록 라이브러리를 추가하는 개발과정이 요구됨 · BIM 설계도서가 의무화된 공동주택 프로젝트 시 추출 및 변환모듈, 평가모듈을 함께 적용하여 업무 프로세스의 개선 정도를 파악하고 추가적인 보완 사항을 점검하여 실무환경의 표준 라이브러리의 정보로 제공되도록 기여할 것임																														

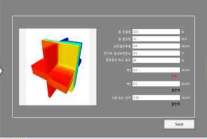
나. 핵심성과 B: 단열·결로 BIM 객체추출 자동화 모듈 개발

관련 그림 / 사진							
정의		· 전열해석 프로그램에서 해석부위를 모델링하고 정보를 입력하는 작업을 자동화할 수 있는 모듈로서 BIM 모델에서 전열해석프로그램에서 모델링하는 범위인 가로세로 2000mm의 3D Section box를 해석부위에 위치시켜 box 내부 BIM 객체의 형상 및 속성정보를 추출할 수 있는 모듈					
목적		· 단열결로 성능평가 작업자가 해석용모델을 재생성하지 않고 BIM모델을 추출하여 활용함으로써 작업의 효율성을 향상시키고 전열해석 프로그램에서의 모델링 작업시 오류를 사전에 제거할 수 있음					
성능목표		· 기존기술 수준 : 단열결로 성능평가 작업자는 설계사로부터 인계받은 2D-CAD 도면을 바탕으로 전열해석프로그램에서 수작업으로 모델링하고 정보를 입력해야 하므로 작업의 효율성이 낮은 실정임 · 개발기술 수준 : 기존 작업자가 전열해석 프로그램에서 해석부위를 모델링하고 정보를 입력하는 작업을 수행해야하나 본 모듈을 통해 BIM 모델에서 해석부위를 즉시 추출하고 변환하여 기존 작업을 자동화 할 수 있음					
성과달성 책임자		이명도 (주연우테크놀러지)					
소요기간		'15.01 ~ '15.12 (1년, 2년차)					
핵심성과	달성 확인방법	1차년도	· 해석부위 추출 알고리즘 및 추출방법의 적정성 검토				
		2차년도	· 추출모듈의 출력 정확성 검토				
	양적성과	1차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W
			1건	-	-	-	-
		2차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W
			1건	-	-	-	1건
질적성과	1차년도	· 단열·결로 예측부위 정의 보고서 1건 · 단열·결로 예측부위 설정 자동화 보고서 1건					
	2차년도	· 단열·결로 성능 분석을 위한 BIM 객체 해석부위의 정보 추출 및 변환 모듈 개발 보고서 1건 · 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 형상 및 속성 정보 추출 보고서 2건 · 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 형상 및 속성 정보 추출 파일					
성과 활용계획		· 향후 추가적으로 모듈의 안정성을 개선하여 연구기관의 관련 실무자들을 대상으로 업무에 시범 적용함 · 건설 정보화 설계도서 작성이 의무화된 공동주택 프로젝트에 적용하여 시범 사례를 구축하고 사용자의 추가적인 요구사항을 수용하여 상용화 및 제품화 함					

다. 핵심성과 C: BIM 틀과 전열해석 틀 간의 모델 변환 모듈 개발

관련 그림 / 사진								
정의		· 단열결로 성능평가 수행시 작업자가 BIM 모델을 검토한 후 추출 모듈을 사용하여 해석부위를 추출하면 이를 전열해석프로그램의 프로젝트 파일인 *.trc 포맷으로 변환시켜주는 모듈로서 전열해석 프로그램에서의 모델링 작업 및 속성정보 입력이 완료된 상태로 구현해 주는 모듈임						
목적		· BIM S/W 와 전열해석 프로그램과의 호환성이 없어 각 프로그램이 연동되지 못해 작업자가 단순 반복작업을 수행하여 작업의 효율성이 낮은 실정으로 단열결로 성능평가 작업자가 해석용모델을 재생성하지 않고 BIM모델을 추출하여 활용함으로써 작업의 효율성을 향상시키고 전열해석 프로그램에서의 모델링 작업시 오류를 사전에 제거할 수 있음						
성능목표		· 기존기술 수준 : 단열결로 성능평가 작업자는 설계사로부터 인계받은 2D-CAD 도면을 바탕으로 전열해석프로그램에서 수작업으로 모델링하고 정보를 입력해야 하므로 작업의 효율성이 낮은 실정임 · 개발기술 수준 : 기존 작업자가 전열해석 프로그램에서 해석부위를 모델링하고 정보를 입력하는 작업을 수행해야하나 본 모듈을 통해 BIM 모델에서 해석부위를 즉시 추출하고 변환하여 전열해석 프로그램인 Physibel에서 모델링 작업 및 정보 입력 작업이 자동화 됨						
성과달성 책임자		이명도 (㈜연우테크놀러지)						
소요기간		'15.02 ~ '16.03 (1년2개월, 2년차)						
핵심성과	달성 확인방법	1차년도	· 추출된 해석부위의 변환 알고리즘 및 변환방법의 적정성 검토					
		2차년도	· 추출모듈과의 연계 및 변환모듈의 출력 정확성 검토					
	양적성과	1차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
		2차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
	질적성과	1차년도	· 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환(1단계) 동영상 1건					
		2차년도	· 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환(2단계) 동영상 1건 · 단열·결로 성능 분석을 위한 BIM 객체 해석부위의 정보추출 및 변환 모듈 개발 보고서 1건 · 단열·결로 성능 분석을 위한 BIM 객체 해석부위의 정보추출 및 변환 파일					
성과 활용계획		· 향후 추가적으로 모듈의 안정성을 개선하여 연구기관의 관련 실무자들을 대상으로 업무에 시범 적용함 · 건설 정보화 설계도서 작성이 의무화된 공동주택 프로젝트에 적용하여 시범 사례를 구축하고 사용자의 추가적인 요구사항을 수용하여 상용화 및 제품화 함						

라. 핵심성과 D: 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈

관련 그림 / 사진		 BIM 모델 데이터 불러오기  단열 성능 분석  표면결로 성능 분석  내부결로 성능 분석 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈						
정의		· BIM 모델, 전열해석 결과, 사용자 입력정보를 통합해 국내 법적 기준을 적용해 단열·결로 성능을 평가하는 모듈 개발						
목적		· 구조체의 특정부위에 대해 국내 기준을 반영한 표면 결로 해석과 국제 표준에 근거한 내부 결로 해석 평가를 통해 구조체의 단열·결로 성능을 종합적으로 평가하는 도구를 개발함 · 본 모듈은 BIM 모델 정보, 전열 해석 엔진(Physibel) 해석 결과, 사용자 입력 정보를 자동 변환해 단열 성능(열교포함 열손실량), 표면 결로 법적 기준(TDR), 온도구배, 내부결로등을 계산하여 성능을 평가할 수 있는 모듈임						
성능목표		· 기존기술 수준 : BIM 모델을 활용한 단열 및 결로 성능 평가는 기술은 현재 부재하며, 실무에서는 2D CAD 도면을 기반으로 프로그램 상에서 모델링이 진행됨. 국내 법규 기준에 따른 성능 분석 시에는 단열·결로에 대한 각 기준에 따라 별도의 산출과정이 요구됨. 또한 결로 발생 여부 결과에 따른 설계 변경안의 도출을 위하여, 반복적인 입력 작업과 대안 평가가 발생할 시 지속적인 데이터 수정이 요구됨 · 개발기술 수준 : BIM정보, 단열·결로 해석정보 및 사용자입력정보들을 입력받아 분석요구정보를 자동변환 및 수집하는 기술개발과, 단열·결로 법적 성능 분석 모듈을 개발함. 사용자 편의성을 고려한 입출력 User Interface와 다양한 Report 출력을 지원하는 소프트웨어를 개발함으로써 업무시간을 70% 이상 감소시키고 이를 통해 구조체의 단열·결로 시뮬레이션 성능 평가의 비용 절감을 도모함						
성과달성 책임자		장향인 (미래환경플랜(주))						
소요기간		'15.02 ~ '16.07 (1년 6개월, 2년차)						
핵심성과	달성 확인방법	1차년도	· 모듈 개발을 위한 입출력 정보 체계의 적합성 여부를 보고서를 통하여 확인					
		2차년도	· 시제품을 통해 평가된 사례를 확인					
	양적성과	1차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
		2차년도	특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI논문	S/W	기타
	질적성과	1차년도	· 국내외 단열·결로 관련법규 및 해석 사례조사 - 해석 사례에 대한 46개 부위 유형 분석 보고서 1건 · 단열·결로 평가를 위한 객체 입출력 정보 체계 구축 - 입출력 정보 흐름도 작성 매뉴얼 1건					
		2차년도	· 단열·결로 성능 분석 알고리즘 개발 - 성능 분석 모듈의 알고리즘 (보고서 1건) · 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가모듈 개발 - 20개 부위에 대한 성능 시범 평가 파일 및 보고서 1건					
성과 활용계획		· 연구개발을 통해 시제품이 개발까지 완료되었고 향후 추가적으로 모듈의 안정성을 개선하여 연구기관의 관련 실무자들을 대상으로 업무에 시범 적용함 · 건설 정보화 설계도서 작성이 의무화된 공동주택 프로젝트에 적용하여 시범 사례를 구축하고 사용자의 추가적인 요구사항을 수용하여 상용화 및 제품화할 것임						

4. 관련 분야 기여도

가. 기술적 기여

- 공동주택 단열결로 성능평가 업무 수행시 BIM 모델을 활용한 새로운 성능평가 업무 프로세스를 제시할 수 있으며, 개발 시스템의 활용을 통해 작업 효율성 및 정확성 향상에 기여할 수 있음
- 국내 관련 법규 및 국내 설계환경 반영한 BIM 요소기술 자립을 통한 BIM 기술의 국산화에 기여함으로써 해외 기술 의존도 줄이고 국제 표준에 이바지할 수 있을 것으로 사료됨
- 친환경 BIM의 설계 품질을 향상시키고, 설계자들의 기술력의 향상에 기여할 수 있을 것임. 친환경 BIM 라이브러리 및 콘텐츠의 확산과 투자 효과 확대에 관련 기술 활성화에 기여할 수 있음
- 본 연구의 결과는 공동주택 단열·결로 성능평가의 새로운 프로세스를 제공할 수 있으며, 건설 산업의 각 분야에서 BIM 도입에 대비한 기존 기술의 개선방향을 제시할 수 있는 기초연구로 제공될 수 있을 것으로 사료됨
- BIM 모델 적용에 대비하여 전열해석 프로그램과 연동된 프로세스를 제시함으로써 향후 BIM 적용에 대비한 기존 프로세스의 대응방안 제시할 수 있음

나. 사회경제적 기여

- 개발기술 활용에 따른 단열·결로 해석을 위한 소요인력 감소 및 시간절약에 따른 생산성 향상에 따른 인력투입비용 절감 및 비용절감의 재투자로 인한 산업의 활성화에 기여할 수 있음
- BIM모델의 정보 재활용을 통한 정보 재생산 및 소멸에 따른 노력 및 비용의 절감되며 정보 재생산에 따른 인력운용 시간 및 비용이 최소화할 수 있음
- BIM모델 정보의 활용을 통한 설계 오류 감소 및 정확도 향상으로 건설산업계 전반의 신뢰성 회복을 통한 긍정적 이미지를 제고함
- 국내기술 기반의 국내 법규 기준에 적합한 단열·결로 해석 프로그램 개발의 기초기술로, 향후 국외 프로그램 수입 의존 감소에 따른 초기투자비 절감 효과

제5장. 연구개발성과의 활용 계획

1. 연구성과

가. 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015	ISO 10211 전열해석을 통한 경량목구조의 주요 구조부 단열성능 데이터베이스 구축	유동철	장향인	안형준 오향옥 조대구	대한건축학회논문집 계획계	제31권 제4호	국내	비SCI
2015	BIM기반 공동주택 표면 결로 시뮬레이션 평가를 위한 요구정보 정립에 관한 연구	홍성욱	장향인	김연아 황소영 조대구	한국건축 친환경 설비학회 논문집	제9권 2호	국내	비SCI
2015	Prototype Development for BIM based Thermal Insulation and Condensation Performance Evaluation of Apartment Housings	오향옥	조대구	장향인 홍성욱	대한건축학회논문집	v.17 no.2	국내	비SCI
2016	Input information system building for BIM-Based simulation evaluation of apartment surface condensation	홍성욱	안형준	정호건 조대구	International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development	V.6 no.3	국외	비SCI
2016	An advanced process of condensation performance evaluation by BIM application	홍주영	이명도	김대길 엄진업 최창호	Advances in Materials Science and Engineering	-	국외	SCI

나. S/W 등록 성과

SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
단열·결로 해석 프로그램	201606	미래환경플랜(주) (주)연우테크놀러지	2016.07.11	C-2016-017052	미래환경플랜(주) (주)연우테크놀러지
단열·결로 해석부위 추출 및 변환 프로그램	201607	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)	2016.08.18	C-2016-019990	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)
단열·결로 해석부위 이미지 추출 프로그램	201607	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)	2016.08.18	C-2016-019991	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)
건설정보모델링 기반 단열·결로 해석 지원 시스템	201606	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)	-	-	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)

다. 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
16.5.19	BIM기반 공동주택 결로 성능평가를 위한 프로세스 개선방안에 관한 기초연구	홍주영 외 3	한국건축시공학회 춘계학술발표대회	국내

라. 특허 성과

특허명칭	출원번호	등록일	출원인 (등록권리자)
BIM 기반의 건축물의 단열 및 결로 해석 평가 시스템 및 그 방법	10-2015-0080833 (출원번호)	등록 中	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)
내단열 벽체의 연간 최대 누적 결로량 예측 시스템 및 방법	10-2016-0102303 (출원번호)	등록 中	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)
건축물의 단열 및 결로 평가를 위한 BIM 객체 추출 및 변환 자동화 모듈 및 그 방법	10-2016-0099513 (출원번호)	등록 中	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)
건축물의 BIM을 이용한 결로 예상 부위 자동 추출 방법 및 그 시스템	10-2016-0099514 (출원번호)	등록 中	(주)연우테크놀러지 미래환경플랜(주)

마. 기타 보고서

- 단열·결로 분석을 위한 형상정보 정의 (A-1-① / 메뉴얼)
- 단열·결로 분석을 위한 속성정보 정의 (A-1-② / 메뉴얼)
- 단열·결로 분석 가능한 BIM 라이브러리 (A-2-① / 라이브러리 파일)
- 단열·결로 예측부위 정의 (B-1-① / 보고서)
- 단열·결로 예측부위 설정 자동화 (B-1-② / 보고서)
- 단열·결로 성능분석을 위한 BIM객체 정보 추출 및 변환 모듈 개발(B-2-①/보고서)
- 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 형상정보 추출 (B-3-①/Data 파일)
- 단열·결로 분석을 위한 BIM 해석부위의 속성정보 추출 (B-3-②/Data 파일)
- 부위 및 위치 TYPE별 20개소 변환 (C-1-② / 동영상)
- 단열·결로 성능분석을 위한 BIM 객체 정보추출 및 변환 모듈 개발 (C-2-①/Data 파일)
- 관련 법규 및 해석 사례 DB 구축 (D-1-① / 보고서)
- 단열·결로 평가를 위한 입출력 정보 체계 (D-2-①/ 메뉴얼)
- 단열·결로 성능분석 알고리즘 개발보고서(D-3-① / 보고서)
- 국내 기준을 반영한 단열·결로 성능 평가 모듈 개발 (D-4-① / Data 파일)

2. 연구결과의 활용방안

가. 기술수요처 및 현장적용 방안

(1) 건축 설계사무소

- 실무에 적용 가능한 BIM 가이드가 부족했던 국내 실정에서 개발된 친환경 BIM 분야 가이드라인을 설계자 또는 BIM 엔지니어에게 보급하여 적용함
- BIM 라이브러리, 개발모듈을 적용하여 친환경 BIM의 설계 품질을 향상시키고, 설계자들의 기술력을 상향화

(2) 건축 시공사

- BIM 모델을 통해 취약부를 시각적으로 확인하고, 부재별 성능확인에 활용
- 시공단계에서 설계변경 시 법적 성능기준을 만족하는 대안 검토에 활용

(3) 친환경건축 컨설팅회사 및 단열·결로 전문업체

- 건물 외피의 단열·결로 성능을 정확히 예측하여 건물 벽체 최적 설계에 활용
- 기존에 종이 기반으로 확인 가능하던 단열·결로 성능 정보를 BIM 모델의 디지털 데이터를 활용함으로써 분석과 동시에 시각적인 검토에 활용함
- 결로 발생현장에서의 결로 방지 대안 수립(단열성능확보 및 시공방법)에 활용
- 소프트웨어 업계, 자재업체 및 콘텐츠 제공자에게 보급하여 친환경 BIM 라이브러리 및 콘텐츠의 확산참여 유도

(4) 대학 및 연구기관

- BIM 모델을 활용한 단열·결로 전문 교육 프로그램으로 활용하여 관련 전문가 양성 및 친환경·저에너지 건축 관련 연구 자료로 활용

나. 실용화·제품화 방안

- 단열·결로 분석용 BIM 라이브러리는 실무 적용 가능한 데이터베이스로써 설계사나 BIM 엔지니어에게 보급하여 활용
- 단열·결로 분석용 객체 추출 모듈 및 정보 변환 모듈은 BIM 설계업체와 친환경건설팅업체에 패키징된 소프트웨어 형태로 판매
- BIM 설계기반의 국내 법적 기준에 적합한 단열·결로 해석 프로세스 및 평가 툴 개발을 통해 단열·결로 실무(설계/시공/엔지니어링)분야에 보급 활용

다. 미래원천기술 확보 및 신산업 창출

- 건설과 IT기술을 접목한 프로세스 개선을 통해 업무생산성이 향상된 BIM & 친환경 연계 기술 개발로 친환경 BIM(Green BIM) 분야 원천 기술 개발
- BIM 설계를 기반으로 국내 법적 기준에 적합한 단열·결로 평가 프로그램 개발을 위한 기초원천기술 창출



그림 5.1 연구 결과의 활용 방안

3. 기대성 및 파급효과

가. 기술의 시장성 및 미래 시장 확대 전망

- BIM 모델의 정보를 사용함으로써, 단열·결로 분석 모델링을 위한 건축설계정보 재가공 프로세스 및 단열·결로 분석시간을 단축하고 부정확한 정보입력을 방지하여 BIM 기반 건축설계정보의 효율적 활용이 가능하며, 분석의 정확성의 확보로 분석 결과에 대한 신뢰도가 상승
- 향후 국외 단열·결로 분석 엔진 개발사와 기술적 협약을 맺어, 국내외 기준을 만족하는 단열·결로 분석 엔진 개발에 일조
- 정부의 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」 제정으로 인해 향후 공동주택 이외의 건물까지 결로 방지 설계 대상건축물이 확대될 전망
- 향후 본 연구개발 기술을 기반으로 국외 기술수준을 추월한 핵심기술을 개발하여 국외기술 활용기반인 국내외 시장에 국내 기술을 확대

나. 기술적 기대성과

- 해석과정 및 평가과정이 기존 시간의 75%이상 단축으로 인해 공동주택 프로젝트 1건 당 단열·결로 해석 컨설팅 비용 50% 이상 절감
- 공동주택 특정부위에 대한 단열·결로 성능을 단일모듈에서 평가함으로써 두 성능을 동시에 고려한 최적 대안 산정이 가능함
- BIM 모델과 친환경 해석 프로그램과의 연계방안을 제시하여 작업의 효율성 향상 방안을 제시함
- BIM 라이브러리 개발 및 변환모듈 개발을 통해 각 설계 공종 주체간 정보 유통 및 호환성 향상 및 단열·결로 분석의 정확성 및 업무 효율성 향상에 기여
- 국내 관련 법규 및 국내 설계환경 반영한 BIM 요소기술 자립을 통한 BIM 기술의 국산화에 기여함으로써 해외 기술 의존도 줄이고 국제 표준에 이바지
- BIM 요소기술 및 가이드라인을 제공함으로써 BIM 인력을 양성하고 및 전문성을 제고하고 친환경 BIM의 완성도를 향상시킬수 있음

다. 사회·경제적 기대성과 및 파급효과

- BIM 라이브러리 및 변환 모듈 개발을 통해 관련 기술 중복 투자가 방지되며 자동화 구현에 따른 정확도 및 생산성이 증진
- 개발기술 활용에 따른 단열·결로 해석을 위한 소요인력 감소 및 시간절약에 따른 생산성 향상에 따른 인력투입비용 절감 및 비용절감의 재투자로 인한 산업의 활성화

표 5.2 국내 녹색건축물 및 BIM 시장 현황

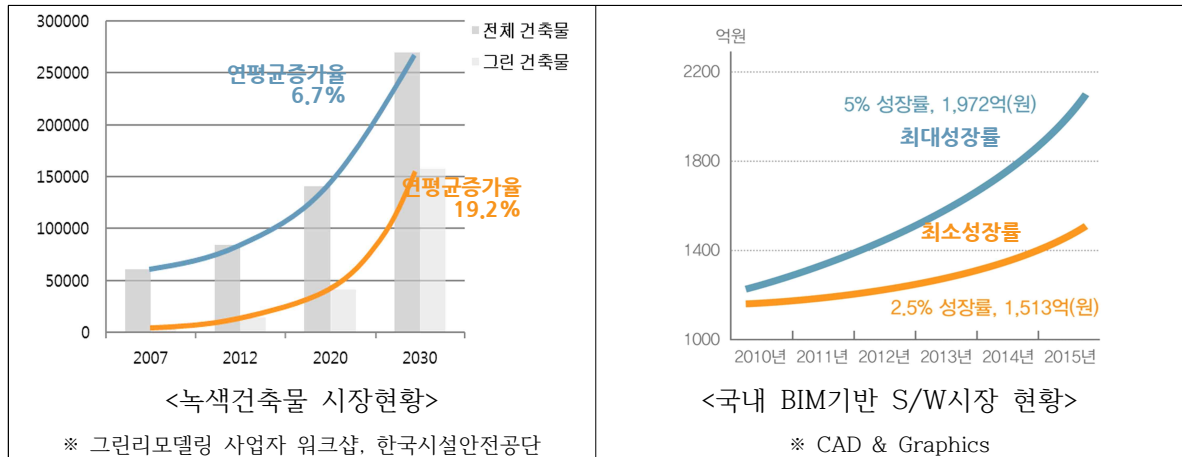
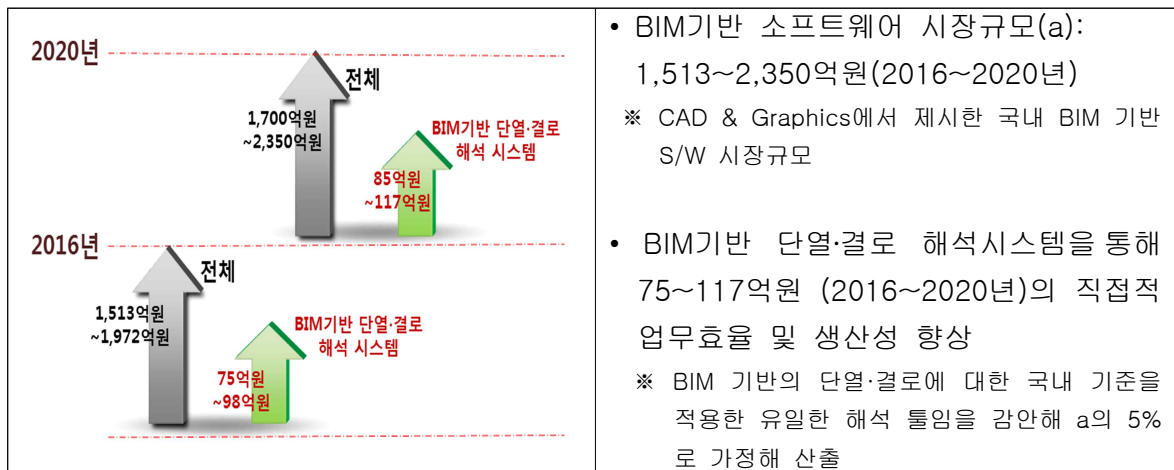


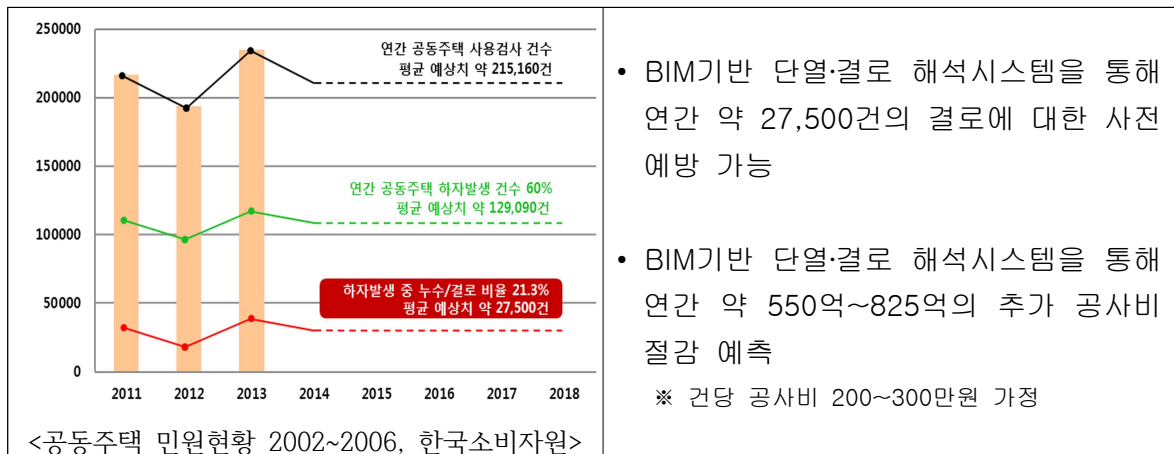
표 5.3 기대 효과 및 경제적 파급 효과 (직접효과)



- BIM모델의 정보 재활용을 통한 정보 재생산 및 소멸에 따른 노력 및 비용의 절감되며 정보 재생산에 따른 인력운용 시간 및 비용이 최소화
- BIM모델 정보의 활용을 통한 설계 오류 감소 및 정확도 향상 → 건설산업계 전반의 신뢰성 회복을 통한 긍정적 이미지 고취

- 국내기술 기반의 국내 법규 기준에 적합한 단열·결로 해석 프로그램 개발의 기초기술로, 향후 국외 프로그램 수입 의존 감소에 따른 초기투자비 절감 효과

표 5.4 기대 효과 및 경제적 파급 효과 (간접효과)



라. 전략적 측면의 파급효과

- 친환경 BIM 활용이 가능한 고급 엔지니어 양성 및 기술 수준 고도화
- 건축물의 단열·결로 표준 프로세스에 대한 가이드 및 교육프로그램을 제공함으로써, 저에너지 건축과 쾌적한 주거환경에 대한 인식 및 관련 지식 고취
- 본 연구 성과는 기후변화에 따른 다양한 환경에서 결로 발생 방지 수립에 활용하여 실내 환경의 질을 향상시키며, 나아가 국민복지 향상에 일조

4. 연구결과와 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

- (주)연우테크놀러지
 - 건축 엔지니어링 및 소프트웨어 개발 업체, 연간 매출액 약 11억, 임직원 40명, 연간 BIM 실무 프로젝트 30여건, BIM 관련 소프트웨어 개발 4건
 - 다양한 BIM 소프트웨어(Digital Project, Revit, Catia, Tekla 등) 활용 프로젝트 실적 다수 보유한 전문인력의 연구개발 및 성과품 검증 참여
 - BIM 관련 프로그램 개발에 다수 프로젝트에 참여한 BIM에 특화된 IT 전문인력 연구개발 참여
- 미래환경플랜(주)
 - 건축기술 및 엔지니어링 컨설팅 용역 업체, 연간 매출액 약20억원, 임직원 40여명, 연간 단열·결로 연구용역 및 컨설팅 용역 약 30건
 - 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」에서 명시한 Window&Therm 및 Physibel 프로그램 활용 전문가 10여명 보유, 단열·결로 분석 분야에 특화

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

- (주)연우테크놀러지 : BIM 기반 단열·결로 객체 자동화 추출 모듈 및 변환 모듈을 BIM 설계 프로젝트에 적용해 단열·결로 성능 분석과 연계
- 미래환경플랜(주) : BIM 기반 단열·결로 해석 시스템을 실제 공동주택 단열·결로 성능 분석 프로젝트에 적용해 실무 수행
- 연구 개발 최종성과물의 실무 프로젝트 적용을 통한 적용가능성 여부 확인
- 연구 성과물의 실무 적용을 위한 합리적 적용방안 마련
- 성과물의 정보공유 및 적용과 문제점 도출의 신속한 피드백을 통한 보완
- 유관 산업분야의 연계를 통해 성과물에 대한 교육 실시

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 해당없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

2. 결정사유

- 과제 공고에 따름

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

- 해당없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 해당없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	ISO 10211 전열해석을 통한 경량목구조의 주요 구조부 단열성능 데이터베이스 구축	미래환경플랜	-	대한민국	-	2015.04	단독	비 SCI
2	논문	BIM기반 공동주택 표면 결로 시뮬레이션 평가를 위한 요구정보 정립에 관한 연구	미래환경플랜	-	대한민국	-	2015.04	단독	비 SCI
3	논문	Input information system building for BIM-Based simulation evaluation of apartment surface condensation	미래환경플랜	-	대한민국	-	2015.09	단독	SCOPUS
4	논문	Prototype Development for BIM based Thermal Insulation and Condensation Performance Evaluation of Apartment Housings	연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.06	단독	비 SCI
5	논문	An advanced process of condensation performance evaluation by BIM application	연우테크놀러지	-	대한민국	-	심사중	단독	SCI
6	학술	BIM기반 공동주택 결로 성능평가를 위한 프로세스 개선방안에 관한 기초연구	연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.05	단독	국내학술
7	S/W	단열·결로 해석 프로그램	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2016.07.11	단독	-
8	S/W	단열·결로 해석부위 추출 및 변환 프로그램	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2016.08.18	단독	-
9	S/W	단열·결로 해석부위 이미지 추출 프로그램	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2016.08.18	단독	-
10	S/W	건설정보모델링 기반 단열·결로 해석 지원 시스템	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	-	단독	-
11	특허	BIM 기반의 건축물의 단열 및 결로 해석 평가 시스템 및 그 방법	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.06.08	단독	-
12	특허	내단열 벽체의 연간 최대 누적 결로량 예측 시스템 및 방법	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.08.11	단독	-
13	특허	건축물의 단열 및 결로 평가를 위한 BIM 객체 추출 및 변환 자동화 모듈 및 그방법	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.08.04	단독	-
14	특허	건축물의 BIM을 이용한 결로 예상 부위 자동 추출 방법 및 그 시스템	미래환경플랜 연우테크놀러지	-	대한민국	-	2015.08.04	단독	-

제11장. 기타 사항

- 해당없음

[빈 페이지]

참고문헌

1. 국토교통부. 2013. 건축물 에너지절약설계기준 해설서
2. 황하진, 김종엽, 이종성. (2011). 공동주택 세대내 결로방지 설계를 위한 실내외 온습도 기준 수립 연구. LHI Journal, v.2 n.3, 269-276.
3. 국토교통부. 2014. 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인
4. 국토교통부. 2013. 공동주택 결로 방지 설계기준
5. 정찬울, 김영탁, 송두삼. (2013, 10). 국내 공동주택 결로 방지 기준의 분석. 2013 대한건축학회 추계학술발표대회논문집: 대한건축학회. 제33권 제2호 321-322
6. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. (2008). BIM Handbook. US:John Wiley & Sons Inc
7. ISO 10077-2. (2012). Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance - part 2: Numerical method for frames
8. ISO 10211. (2007). Thermal bridges in building construction-Heat flows and surface temperatures-Detailed calculations
9. ISO 15099. (2003). Thermal performance of windows, doors and shading devices-Detailed calculations
10. ISO 6946. (1996). Building components and building elements-Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation method
11. Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. (2012). Heat and Mass Transfer 4th Edition. US: McGraw-Hill
12. John Carmody, Charlie Huizenga. (2014). THERM NFRC Simulation Manual. US:Lawrence Berkeley National Laboratory
13. Y. N. Bahar, C. Pere, J. Landrieu, and C. Nicolle. "A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform." Buildings, vol. 3, no. 2, pp. 380-98, 2013.
14. S. Azhar, J. Brown, and R. Farooqui, "BIM-based sustainability analysis: An evaluation of building performance analysis software." Proceedings of the 45th ASC Annual Conference, vol. 1, no. 4, 2009.
15. A. Schlueter, and F. Thesseling, "Building Information Model Based Energy/exergy Performance Assessment in Early Design Stages." Automation in Construction, vol. 18, no. 2, pp. 153-63, 2009.
16. S. Hong, H. Ahn, H. Jung, and D. Cho, "Input Information System Building for BIM-Based Simulation Evaluation of Apartment Surface Condensation,"

International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, vol. 6, no. 3, pp. 188–97, 2015.

17. Ministry of Land Infrastructure and Transport of Korea Government, Design Guideline for Condensation prevention in apartment housing, Seoul, South Korea, 2014.
18. H. M. Bernstein, Green, BIM: How Building Information Modeling is Contributing to Green Design and Construction, McGraw–Hill Construction Smart–Market Report, Bedford, MA, USA, 2010.
19. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2nd edition, 2011.
20. P. Bynum, R. R. A. Issa, and S. Olbina. "Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction." Journal of Construction Engineering and Management, vol. 139, no.1, pp. 24–34, 2013.
21. E. Krygiel and B. Nies, "Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling, Wiley Pub, Indianapolis, IN, USA, 2008.
22. P. Sanguinetti, S. Abdelmohsen, J. Lee, J. Lee, H. Sheward, and C. Eastman, "General System Architecture for BIM: An Integrated Approach for Design and Analysis," Advanced Engineering Informatics, vol. 26, no. 2, pp. 317–33, 2012.
23. J. K. W. Wong and J. Zhou, "Enhancing Environmental Sustainability over Building Life Cycles through Green BIM: A Review." Automation in Construction, vol. 57, pp.156–65, 2015.
24. J. Basbagill, F. Flager, M. Lepech, and M. Fischer, "Application of Life-cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts", Building and Environment, vol. 60, pp. 81–92, 2013.
25. K. Wong, and Q. Fan, "Building Information Modelling (BIM) for Sustainable Building Design." Facilities, vol. 31, no. 3, pp. 138–57, 2013.
26. P. Inyim, J. Rivera, and Y. Zhu, "Integration of Building Information Modeling and Economic and Environmental Impact Analysis to Support Sustainable Building Design." Journal of Management in Engineering, vol. 31, no. 1, 2015.
27. International Standard Organization, ISO 10211 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations, ISO 2007, Geneva, Switzerland, 1st edition, 2007.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.