

보안 과제(), 일반 과제(✓) / 공개(✓), 비공개()

국토교통기술촉진사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001514-01

R&D /
15CTAP-C078040-02

공동주택용 외단열 적층시공 공법 개발 최종보고서

2016.7.17.

주관연구기관 / 고 려 대 학 교

공동연구기관 / (주)한 라

현대산업개발(주)

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 귀하

‘공동주택용 외단열 적층시공 공법 개발’(연구개발 기간 : 2014.7.18 ~ 2016.7.17) 과제의 최종보고서 15부를 제출합니다.

2016. 7. 17.

주관연구기관명 :	고려대학교 산학협력단	고 제 상
공동연구기관명 :	(주)한 라	정 몽 원, 박 철 홍
공동연구기관명 :	현대산업개발(주)	김 재 식
참여기관명 :	(주)한 라	정 몽 원, 박 철 홍
참여기관명 :	현대산업개발(주)	김 재 식

주관연구기관책임자:	고려대학교	조 훈 희
공동연구기관책임자:	(주)한라	최 준 석
	현대산업개발(주)	백 호
참여기관책임자:	(주)한라	최 준 석
	현대산업개발(주)	백 호

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	14CTAP-C078040-01	해당 단계 연구 기간	2014.7.18.- 2016.7.17	단계구분	1단계 /1단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창의도전연구-사회이슈해결형			
연구과제명	대과제명	공동주택용 외단열 적층시공 공법 개발			
	세부과제명	T1. 외단열 적층시공 가설시스템 T2. 공정간소형 외단열 시공방법 T3. 외단열 적층공법 최적공정관리 T4. 국내 외단열 화재안전기준 정비방안 (추가)			
연구책임자	고려대학교 조 훈 희	해당단계 참여 연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 0 명	해당단계 연구개발비	정부: 207,300 천원 기업: 389,700 천원 정부 외: 0 천원 계: 597,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부: 207,300 천원 기업: 389,700 천원 정부 외: 0 천원 계: 597,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	고려대학교 건축사회환경공학부			참여기업명: (주)한라, 현대산업개발(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수: 100페이지	

- 본 과제는 공동주택의 에너지 절감에 효과적인 외단열 공법의 활성화에 기여하기 위해 골조공사와 함께 외단열 공사를 동시에 수행할 수 있도록 “적층시공 가설시스템”, “공정간소형 외단열 시공기술” 및 “적층공법 최적공정관리기술”을 통해 ‘공동주택용 외단열 적층시공 공법’을 개발함
- [핵심기술 1] 외단열 적층시공 가설시스템 기술: 외벽거푸집과 통합된 시스템으로, 가설시스템 상부에서는 골조와 단열재를 일체타설하여 외단열 벽체를 형성하고, 하부에서 미장마감공사를 적층시공할 수 있도록 지원하는 기술
 - [핵심기술 2] 공정간소형 외단열 시공기술: 외단열 적층시공 공법에 최적화된 공정을 수립하기 위한 단열재 시공 layer통합 및 설치공정을 간소화하는 기술
 - [핵심기술 3] 외단열 적층공법 최적공정관리기술: 외단열 적층공법이 동시에 진행되는 타 공정과 간섭되지 않고 효율적인 공정을 진행할 수 있도록 지원하는 최적공정관리 기술

연구의 목적 및 내용	▪ 본 과제는 검증된 기술의 상용화를 최종 목표로, 골조공사와 함께 외단열 공사를 동시에 수행하여 공동주택 외단열 공사의 비용을 10% 절감하고 전체 공사기간을 단축하는 “외단열 적층시공 공법”을 개발하며, 그 핵심기술별 목표는 아래와 같음. [System] 외단열 적층시공 가설시스템 - 외단열 가설시공 비용 기존 시스템 대비 30% 감소 달성 [Method] 공정간소형 외단열 시공방법 - 외단열의 시공공정을 기존 공정대비 25% 감소 달성 [Management] 외단열 적층공법 최적공정관리 - 외단열 적층공법 기존 공정과의 간섭최소화 ▪ 본 과제의 목표달성을 위한 핵심기술별 연구내용 및 범위는 아래와 같음. [외단열 적층시공 가설시스템] - 외단열 공사를 골조공사와 동시에 시공하기 위해 외벽거푸집 시스템과 통합한 가설시스템으로 외단열 적층시공 달성을 위한 주요 요소기술을 아래와 같음 □인양레일 시스템 □단 발판 프레임 □상부이물질 방지 발판 시스템 [공정간소형 외단열 시공방법] - 외단열 적층시공 공법에 최적화된 공정을 가지기 위해 단열재 layer통합과 유닛화를 통해 설치 공정을 간소화한 외단열 시스템으로 주요 기술을 아래와 같음 □단열재 시공레이어 통합 시스템 □골조-단열재 일체시공 공법 □열교방지형 단열재 일체시공 부속자재 [외단열 적층공법 최적공정관리] - 외단열 적층시공 최적공정관리 기법은 외단열 적층공법이 동시에 시공되는 다른 공정과 간섭되지 않고 효율적으로 공정이 진행될 수 있도록 최적의 공정과 성능을 도출하는 관리기술로 주요기술은 아래와 같음 □외단열 적층공법 최적화 공정(공정연계/양중방안) □외단열 적층공법 품질 최적화(개구부 및 최상부) □외단열 적층공법 시공성 및 경제성 분석 □외단열 적층공법 에너지 성능 평가
연구개발성과	▪ 본 과제를 통해 도출되는 핵심연구 성과는 다음과 같음 - 외단열 적층시공 가설시스템 - 공정간소형 외단열 시공방법 - 외단열 적층공법 최적공정관리 - 국내 외단열 화재안전기준 정비방안 (추가 Activity)

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	▪ 공동주택 전체공정 단축 및 단열성능 향상 - 외단열 공사 적층시공으로 인한 후속 공정 기간 확보 - System Form을 활용한 후속 공정 진행 (단열, 창호, 코킹, 도장) 으로 공기 단축에 기여 - 외단열 공정 적용 시 건축물 축열 저하, 열적성능확보를 통해 결로방지, 열교 저감등에 적용 ▪ 에너지 저감형 연구개발을 통한 국내 건설기술의 수출 경쟁력 향상 - 지속가능한 건설기술 개발에 대한 실용화된 연구 성과를 제시함으로써 에너지 저감형 기술개발 및 연구기반 구축 - 정부의 녹색성장 추진전략 등 신축건물의 제로에너지화에 대응하는 공동주택 열손실 달성 및 외단열 시공기술의 국제 경쟁력 제고 - 공정 간소형·비용 절감형 시스템 개발을 통해 외단열 공사의 생산성 향상과 가격 경쟁력을 확보함으로써 국내 건설기술의 수출 경쟁력 향상 ▪ 경쟁력 확보 및 고부가가치 기술 창출 - 차별화된 기술보유를 통한 국제적 건축기술 경쟁력 확보 - 저에너지, 친환경 건설기술 및 제품의 보급 촉진 및 관련 산업 육성 - 외단열 시공 및 건축물 운영 효율화를 달성하여 생산·관리 주체의 자원낭비 최소화 ▪ 삶의 질 향상 및 미래사회 변화에 대응 - 단열성능 향상 및 건물에너지 절감을 통한 공동주택 거주자 삶의 질 향상과 제로에너지형 건축의 미래상 구축 - 안전에 대한 요구를 반영한 신개념의 시공방안을 개발함으로써 선도적 외단열 시공기술 확보 ▪ 외단열 외에 다른 공정과의 융합과 확장을 통한 건설신사업 창출 - 외단열 적층시공 공법의 기본 개념은 골조공사와 마감공사를 동시에 시공하는 것으로 향후 외벽에 시공되는 다른 마감공사 공정(창호, 도장)에도 통합하여 활용할 수 있을 것으로 기대됨				
핵심어 (5개 이내)	외단열	공동주택	공사비	가설시스템	동시시공

< SUMMARY >

Purpose & Contents	▪ The ultimate objective of the project is commercialization of verified technology developed and proposed throughout the work, wherein structural framework and exterior insulation finishing work are simultaneously conducted, in order to reduce total construction time and 10% of the total construction cost for external insulation of apartment building. The technology is called, “Concurrent Construction Method of External Insulation Finishing System(EIFS)” , and its specific objectives are as follows. [System] Temporary System for Concurrent Construction of EIFS - 30% reduction of construction cost, compared with the existing construction system. [Method] Construction method with simplified process - 25% reduction of construction process, compared with the existing method. [Management] Optimized process management of the method - Intervention from the existing process minimized. ▪ The contents and scope for achieving the objective of this project are as follows. [Temporary System for Concurrent Construction of EIFS] - For the simultaneous construction of the exterior insulation finishing work and structural framework, the temporary system developed in this project is integrated with the external wall formwork system. Below are major components of the system. □ Lifting rail system □ 5-level working platforms □ Debris-preventive platform system [Simplified Construction Method of EIFS] - To optimize the construction processes of concurrent construction method of EIFS, thermal insulation layer is integrated and unitized in order to simplify the processes of external insulation finishing work. Main methods are as follows. □ Thermal insulator construction layer integration system □ Framework-insulator integration method □ Heat bridge-preventive insulator integration material [Optimized management of Concurrent Construction Method of EIFS] - The optimized management of the outside insulation accumulative construction prevents the intervention of other processes which are simultaneously conducted, and maintains the optimal efficiency of the method. Below are major
-----------------------	---

	specific methods for inducing the optimized process and performance of the construction method. ☐ Optimization of concurrent construction of EIFS (Linkage between processes/lifting plan) ☐ Optimized quality of concurrent construction of EIFS (Opening portion and top portion) ☐ Analysis of workability and economic feasibility of concurrent construction of EIFS ☐ Energy performance evaluation of concurrent construction of EIFS
Results	▪ Major achievements of the project are as follow. - Temporary System for Concurrent Construction of EIFS - Simplified construction method of EIFS - Optimized management - Plans for improving domestic fire safety code (<i>additional activity</i>)
Expected Contribution	▪ Reduction in process and enhancement of thermal insulation of apartment building construction - Construction periods for follow-up processes secured by the reduced construction period. - Follow-up process (Insulation, window, caulking, and painting) assisted by system form, thereby contributing to the reduction of construction period. - Reduction of building' s thermal storage, when applying the exterior insulation process, as well as frost-prevention through the securement of thermal performance, and reduced heat bridge. ▪ Competitiveness of domestic construction methods secured, through the energy-reducing research and development - By suggesting a profound result of the sustainable construction method, the basis for the research and development of energy-saving construction methods can be constructed. - Achievement of apartment building' s energy reduction, which corresponds to the zero-energy consumption plan of newly constructed buildings (e.g. Green Growth), and enhancement of international competitiveness. - Price-competitiveness secured, as well as the productivity of the outside insulation construction enhanced through the simplified process and cost-effective system, thereby improving the international competitiveness of the domestic construction technology. ▪ Securing competitiveness and creating high value-added technology - International competitiveness secured through the ownership of differentiated technology - Dissemination of low-energy, environmental-friendly construction method and

	product, as well as fostering of relevant industries - Efficiencies of the proposed method secured, contributing for the minimization of wasted resources derived from the production and management of buildings. ▪ Enhance life quality, and response to the future society - Enhanced quality of life of apartment building dwellers, as well as the achievement of zero-energy building construction, by the improved insulation performance and energy reduction in building. - By developing a new construction plan which reflects the demand for safety, a leading technology for the external insulation construction method can be secured. ▪ Creation of new construction industry through expansion and further integration of the exterior insulation construction method with other processes - The basic concept of concurrent construction method of EIFS is to perform the structural framework and finishing work simultaneously in a single temporary system. In the future, this is expected to be applied and integrated to other finishing works on the exterior wall (window, or painting).				
Keywords	exterior insulation	apartment	construction cost	temporary equipment	concurrent construction

< Table of Contents >

Chapter 1. R&D Project Overview

Section 1. R&D Project Goals	1
1. Project Overview	1
2. Core Technologies for Concurrent Construction Method of EIFS	2
Section 2. Necessity for R&D	3
1. Technological Aspect	3
2. Economic· Industrial Aspect	5
3. Social· Cultural Aspect	6
Section 3. R&D Scope	8
1. Ultimate Goals	8
2. Research Tasks & Scope According to Annual Plans	9
3. Core R&D Achievements	10
4. R&D Organizing Team	15

Chapter 2. Status Quo of Domestic/Foreign Technologies & Industry

Section 1. Status Quo of Relevant Researches	17
Section 2. Status of Relevant Patents	18
Section 3. Core Patents	20

Chapter 3. R&D Tasks & Performances

Section 1. R&D Tasks & Outcomes	23
T1. Temporary System for Concurrent Construction of EIFS	23
T2. Simplified Construction Method of EIFS	34
T3. Optimized Management of Concurrent Construction Method of EIFS	55
T4. Proposal for Improved Domestic Fire Safety Standards Relative to EIFS	64
Total. Virtual Site Application of Concurrent Construction Method of EIFS	73
Add. Preliminary Research on EIFS Method Specialized for Low-Stories	79

Section 2. R&D Achievements of Intended Goals	82
1. Qualitative Achievements	82
2. Quantative Achievements	83
 Chapter 4. Achieved Goals & Contribution on Relevant Research Field	
 Section 1. Goal Achievements	87
 Section 2. Contribution on Relevant Research Field	88
 Chapter 5. Proposal for Further Utilization of Outcomes	91
 Chapter 6. Security Level of R&D Achievements	93
 Chapter 7. Performance on Safety Measures Implemented by Laboratory Throughout the Course of R&D	95
 Chapter 8. List of Core Achievements	97
 Chapter 9. References	99

< 목 차 >

제 1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적	1
가. 과제 개요	1
나. 외단열 적층시공 핵심기술	2
2. 연구개발의 필요성	3
가. 기술적 측면	3
나. 경제산업적 측면	5
다. 사회 문화적 측면	6
3. 연구개발 범위	8
가. 연구개발 최종목표	8
나. 연차별 연구목표 및 내용·범위	9
다. 연구개발 핵심성과	10
라. 연구조직도	15

제 2장 국내외 기술 개발 현황

가. 기술개발 수준	17
나. 특허 동향	18
다. 주요 특허	20

제 3장 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구 수행 내용 및 결과	23
T1. 외단열 적층시공 가설시스템	23
T2. 공정간소형 외단열 시공공법	34
T3. 외단열 적층공법 최적공정관리	55
T4. 국내 외단열 화재안전기준 개선방안	64
종합. 외단열 적층시공 공법 가상현장 적용	73
추가. 저층부 특화 외단열 공법 기초조사	79
2. 연구개발 성과	82
가. 질적 성과	82

나. 양적 성과	83
----------------	----

제 4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도	87
2. 관련분야 기여도	88

제 5장 연구개발성과의 활용 계획 91

제 6장 연구개발성과의 보안등급 93

제 7장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 95

제 8장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 97

제 9장 참고 문헌 99

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

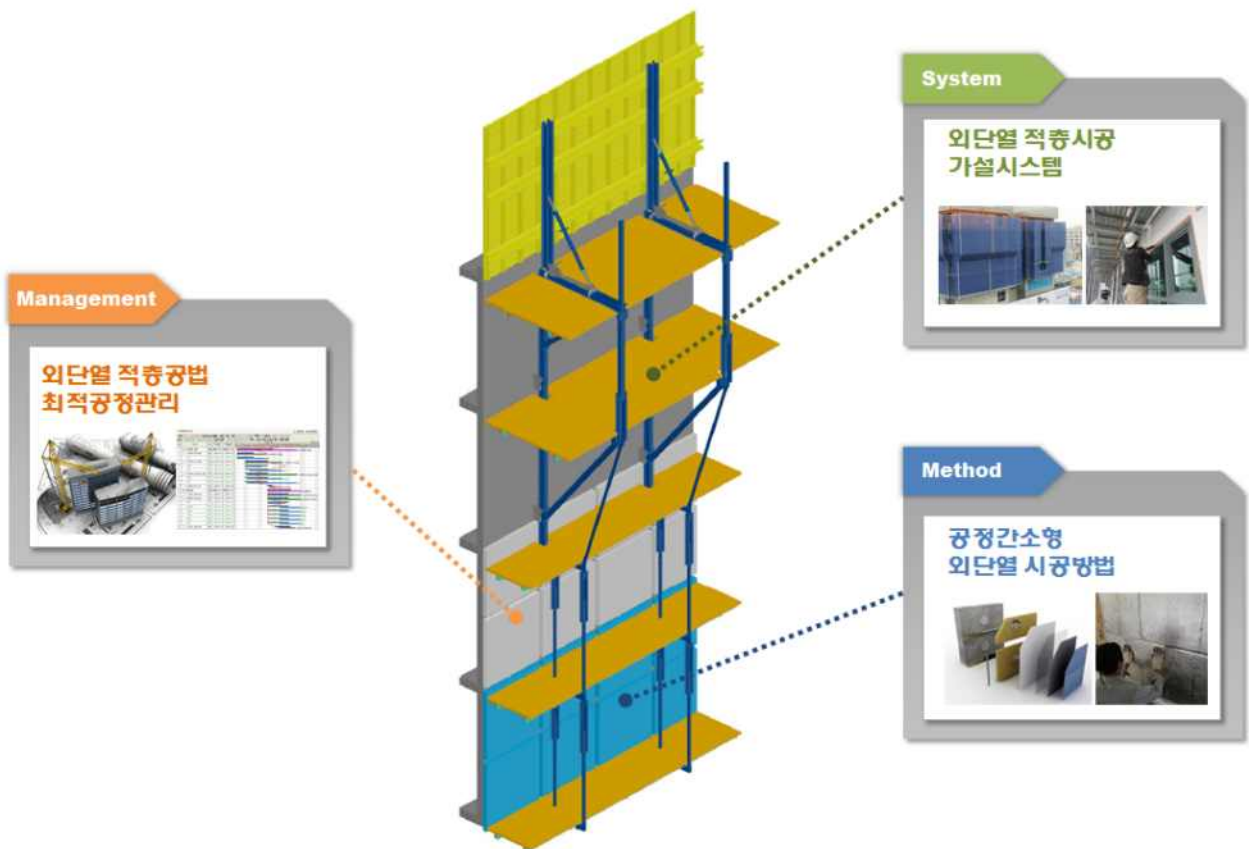
가. 과제 개요

- 본 과제는 골조공사와 함께 외단열 공사를 동시에 수행하여 공동주택 외단열 공사의 비용을 절감하고 전체 공사기간을 단축하는 “ 외단열 적층시공 공법”을 개발하는 과제임
- 외단열 적층시공 공법은 다음의 3가지 핵심기술로 구성됨

[System] 외단열 적층시공 가설시스템

[Method] 공정간소형 외단열 시공방법

[Management] 외단열 적층공법 최적공정관리



[그림 1] 외단열 적층시공 공법의 핵심기술

나. 외단열 적층시공 핵심기술

[System] 외단열 적층시공 가설시스템

- 외단열 적층시공 가설시스템은 외단열 공사를 골조공사와 동시에 시공하기 위해 외벽거푸집 시스템과 통합한 가설시스템으로 외단열 적층시공 달성을 위한 주요 요소기술은 아래와 같음
 - 인양레일 시스템
 - 5단 발판 프레임
 - 상부 이물질 방지 발판 시스템

[Method] 공정간소형 외단열 시공방법

- 공정간소형 외단열 시공방법은 외단열 적층시공 공법에 최적화된 공정을 가지기 위해 단열재 layer통합과 유닛화를 통해 설치 공정을 간소화한 외단열 시공방법으로 주요 기술은 아래와 같음
 - 단열재 시공레이어 통합 시스템
 - 골조-단열재 일체시공 공법
 - 열교방지형 단열재 일체시공 부속자재

[Management] 외단열 적층공법 최적공정관리

- 외단열 적층시공 최적공정관리 기법은 외단열 적층공법이 동시에 시공되는 다른 공정과 간섭되지 않고 효율적으로 공정이 진행될 수 있도록 최적의 공정과 성능을 도출하는 관리기술로 주요기술은 아래와 같음
 - 외단열 적층공법 최적화 공정(공정연계/양중방안)
 - 외단열 적층공법 품질 최적화(개구부 및 최상부)
 - 외단열 적층공법 시공성 및 경제성 분석
 - 외단열 적층공법 에너지 성능 평가

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

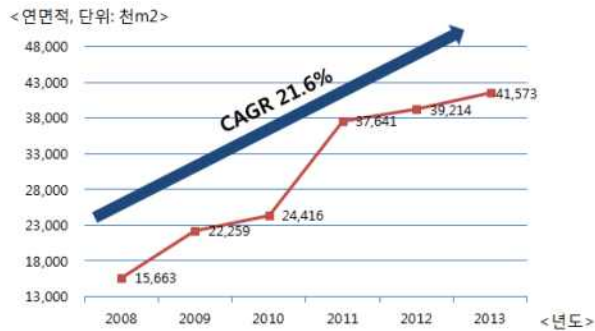
- 공동주택의 외단열 시공은 골조공사 후 별도의 가설을 설치하기 때문에 외단열 시공이 내단열에 비해 공사기간과 비용 측면에서 불리하게 작용하며, 이런 이유로 외단열은 에너지 절감 효과가 뛰어남에도 불구하고 적용실적이 미비함
- 공동주택의 외단열 공법의 활성화를 위해서는 먼저 공사기간을 단축하고 가설비용을 줄일 수 있는 시공 공법의 개발이 선행되어야 함
- 외단열 시공은 일반적으로 골조공사와 동시 시공되는 내단열과 달리 골조공사가 완성된 후 마감공사와 함께 시공하며, 가설시스템은 크게 외부비계, 곤도라(Gondola), 이동식 작업승강대(Working Platform)으로 나눌 수 있음
- 외부비계의 경우 골조공사가 완료된 후 외벽에 비계를 설치하여 외단열 시공이 가능한 작업발판을 만드는 가설시스템임. 가격이 경제적이고 작업공간이 안정적이어서 저층건물에 대한 시공실적이 많은 편이나 층고가 높아질수록 하중과 비용의 증가로 고층엔 적합하지 않고 설치/해체에 많은 시간이 소요됨
- 곤도라의 경우 골조공사가 완료된 후 건물 옥상에 지지대를 부착하여 와이어로프를 통해 외단열 작업대를 승강시키는 시스템임. 설치가 용이하고 높이에 영향을 받지 않으며 구조체에 영향을 미치지 않기 때문에 고층건물에 주로 적용되어 왔으나 바람의 영향을 많이 받아 작업자의 안전성이 낮고 제한된 공간으로 인해 작업량이 한정되어 있음
- 이동식 작업승강대의 경우 비교적 최근에 개발된 기술로서 상부에 골조공사의 진행과 동시에 하부에 외단열을 포함한 마감공사의 작업승강대를 설치하여 자동으로 상승/하강하면서 작업하는 시스템임. 골조와 동시에 시공이 가능하고 작업자가 넓은 작업발판을 통해 안정적으로 작업할 수 있는 장점이 있지만 해외 장비이므로 장비비용이 고가이고 골조공사와 공기간극이 발생함
- 기존의 외단열 공법은 골조공사가 일정부분 진행된 이후 마감공사와 함께 진행하며 추가적인 가설시스템을 요구하기 때문에 고층 공동주택에 적용할 경우 공사기간과 비용이 설치면적(높이)에 따라 크게 증가하는 한계가 있음
- 이에 골조공사가 완료된 후 추가적인 가설시스템을 사용해야하는 한계를 극복하기 위해 골조공사의 가설시스템과 통합하여 동시 시공되는 외단열 적층시공 공법에 대한 기술이 요구되고 있음

[표 1] 외단열 가설공법 비교

구 분	외부비계	곤도라	이동식 작업승강대
이미지			
고층건물 외단열 공사실적			
	국내 공동주택 (38층)	국내 공동주택 (25층)	국외 공동주택 (21층)
장 점	▪ 가격이 경제적 ▪ 다수층 병행 공정진행 가능 ▪ 작업 안전성 확보	▪ 설치· 해체 용이 ▪ 구조체에 영향 없음	▪ 안정적인 작업공간 확보 ▪ 지지대를 통한 자동 상승/하강 시스템
단 점	▪ 층고가 높아질수록 하중부담의 증가 ▪ 갱폼 활용 증가로 인한 활용성 감소 ▪ 고층 건물에 적용시 비용/공기 증가로 적용 어려움 ▪ 설치· 해체시간 필요 ▪ 골조공사 완료 후 시공	▪ 자재적재량 및 탑승인원 제한으로 작업량 한정 ▪ 배면 모양이 다양한 경우, 대수 증가로 작업성 저해 ▪ 고층으로 올라갈수록 작업자 안전성 저하 ▪ 기후, 풍속 등의 영향으로 시공성 저하 및 공기 지연	▪ 국내 장비 보유업체수가 적고 마스트(지지대)를 상부까지 설치해야하므로 장비비가 고가 ▪ 소음, 분진시설 필요 ▪ 지속적인 연장작업 요구 ▪ 골조공사와 공기간극 10개층 이상

나. 경제·산업적 측면

- 건물은 국내 전체 에너지 소비량의 21%를 차지할 정도로 에너지 소비가 많고 특히 그 중 공동주택은 최근 5년간 착공면적이 증가하고 있으며 그에 따라 사용되는 에너지 사용량도 증가하고 있음
- 2013년을 기준으로 아파트의 냉/난방에너지 소모량은 123,903,486 MWh이며, 이를 비용으로 환산하면 약 7조원¹⁾으로 아파트의 단열성능 향상을 위한 기술이 요구되고 있음



[그림 2] 연도별 주거용 건축물 착공면적



[그림 3] 연도별 아파트 냉/난방 에너지 사용량

- 외단열은 열교현상(Heat-bridge Effect)의 차단으로 내단열보다 우수한 단열성능을 가지기 때문에 공동주택에서 사용하는 냉/난방 에너지의 약 13%²⁾ 절감효과를 나타냄
- 외단열을 현시점부터 적용하여 10년 후 전체 공동주택의 10%에 적용된다 가정하면 연간 절감되는 에너지 소비량은 1,738,578 MWh로 이를 금액으로 환산하면 약 1천억원³⁾의 경제적 효과가 나타남
- 이는 300MW급 화력발전소 1.3기를 줄일 수 있는 수치로 공동주택에 외단열 적용은 경제적 효과 뿐아니라 환경적인 효과를 함께 고려할 수 있어 외단열은 향후 공동주택 단열시장을 선도할 것으로 예상됨

1) 아래 계산근거 참조

- 국내 2013년 기준 아파트 면적 954,162천m² (국토교통부, 2014)
- 공동주택 에너지 원단위(kWh/m²·년): 냉방 55.1/ 난방 77.9/ 취사 10.12/ 급탕 39 /전력 70.8 (김민경, 2010)
- 전력량 요금: kWh당 60.7원, 누진세 미적용 및 최소 kWh 요금 적용 (KEPCO, 2014년 5월 기준)

2) 송승영, “내단열 vs 외단열, 외단열 공동주택의 에너지절약 효과”, 대한건축학회지, 58(3), pp.16-21, 2014.03

다. 사회문화적 측면

- 전 세계적으로 UN기후변화협약 및 환경에 대한 관심이 증대됨에 따라 건설부문의 에너지 절감을 위한 정책도 강화되면서 주요 선진국들은 주거건물의 에너지 절약 성능 기준들을 지속적으로 강화하는 추세임
- 미국은 건축물의 에너지 절약을 위한 기준 및 제도개발을 장기적으로 추진하고 있으며, 기준의 실효성을 높이기 위한 제반 노력을 강구하고 있음. 1997년 5월 미국 에너지성은 신축 주거용 건축물의 에너지 절약 기준의 개정(안)을 제시하여 1992년 개정된 미국 모델 에너지코드에 비하여 단독주택에 대해서는 11%, 공동주택의 경우는 26% 이상 성능을 강화함
- 일본은 1997년부터 1999년 시행을 목표로 현재의 기준을 더욱 강화하기 위하여 차세대에너지 기준 개정 작업을 진행함. 일본의 차세대 에너지절약 기준은 현행 기준 대비 20% 에너지 절감형 주택의 구현을 목적으로 건축물의 요구 성능을 높이기 위한 기준의 강화(안)을 설정하여 단열 및 기밀성능 기준의 강화, 일사 침입방지 기준으로 구성됨
- 독일은 1995년에 에너지 절약 기술의 개발 지원 및 건축주에게 인센티브의 부여 등 자발적인 에너지 절약의 극대화를 추구할 수 있는 정책 수립과 제도 개선 작업을 추진하여 강화된 기준을 공포함. 또한 열교제거형 시공을 passive house 인증의 필수 조건으로 하여 외단열 적용을 의무화하고 있으며, 모든 열교부위에 대해 ISO 10211에서 정하고 있는 선형 열관류율값이 0.01W/mK 이하가 되도록 규정함
- 영국은 1994년에 에너지 절약기준인 Building Regulation 1991을 개정하였으며, 전반적으로 부위별 단열기준이 더욱 강화되었고 열교 및 침기현상을 감소시킬 수 있는 항목들이 신설됨. 아울러 건물구조체의 열손실을 억제하기 위한 방법들을 다양하게 제시하여 융통성 있는 법규 적용을 가능하게 하고 있으며, 에너지비용을 근거로 정부승인의 기준 평가방법(SAP)에 의해 에너지 등급을 권장함
- 국내의 경우 국내 연간 에너지 소비량의 약 20%를 건물부분이 차지하고 있고, 대표적인 주거용 건물인 공동주택의 경우 건물 연간에너지 소비량의 약 21%⁴⁾를 차지하고 있어 공동주택에 대한 단열성능에 대한 정책이 강화되고 있음
- 국토교통부에서는 건물부문에 있어서 선진국 수준의 저탄소 건축물 구현을 위하여 2020년까지 건축물 온실가스 배출량(BAU)의 31% 감축 및 2025년부터 모든 신축건물에 대해 제로에너지를 의무화하는 내용의 녹색성장 추진전략을 발표함
- 이 중 에너지절약 설계기준에서는 외벽의 열관류율 기준을 단계적으로 30% 이상 향상시켜 궁극적으로 독일 패시브하우스 수준에 해당하는 수준까지 강화할 예정이며, 친환경 주택 건설기준 및 성능에 의한 에너지 절감을 기준 또한 2009년 20% 이상 절감에서 2011년 30% 이상 절감으로 향상시켰으며, 단계적으로 더욱 강화 예정임

4) 에너지총조사 보고서, 에너지 경제 연구원, 2011

- 산업통상자원부에서는 2011년 그린에너지 전략로드맵을 발표함. 에너지 관리에 취약한 부문인 건물 외피에 대해 고성능/고기능성 시스템에 대한 필요성을 언급하고 있음. 특히, 한국의 기상 조건과 초고층 공동주택의 건설환경 등을 종합적으로 고려한 한국형 외단열 시스템 및 부품, 시공 프로세스 기술 개발 필요성을 강조함
- 공동주택의 외단열 적용은 주거건물의 에너지 저감에 대한 전세계적 이슈와 국가정책에 대응하기 위한 핵심요소이며 주거환경 개선을 위한 정책강화와 함께 점차 적용이 확산될 것으로 예상되고 있음
- 공동주택의 외단열공사 활성화를 위해서는 우선 시공 공법에 개선이 선행되어야 하며 공동주택에 적합하고 경제적인 외단열 시공공법의 개발이 요구되고 있는 시점임

3. 연구개발 범위

가. 연구개발 최종목표

- 본 연구는 공동주택 외단열 공사의 공사비절감을 위해 “ 외단열 적층공법 개발을 통한 외단열 공사비용 10% 절감” 을 최종목표로 설정함
- 가설시스템/시공공법/공정관리 분야의 핵심기술을 통해 골조공사와 동시에 외단열 공사를 수행하는 외단열 적층공법을 달성함

[외단열 적층시공 가설시스템]

- 외단열 가설시공 비용 기존시스템 대비 30% 감소 달성

[공정간소형 외단열 시공공법]

- 외단열의 시공공정 기존 공정대비 25% 감소 달성

[외단열 적층공법 최적공정관리]

- 외단열 적층공법 기존공정과의 간섭최소화 달성
- 외단열 적층공법을 공동주택 현장의 외단열 공사에 시험적용하여 효과를 분석하고 검증된 기술의 상용화를 본 연구 성과물의 최종목표로 설정함



나. 연차별 연구목표 및 내용·범위

연 차	연구목표	연구내용· 범위
[1차년도] 요소기술 아이디어 도출 및 시스템 설계	외단열 적층시공 가설시스템 설계	▪ 외단열 적층시공 층별 공정분석
		▪ 적층시공 가설시스템 설계
	공정간소형 외단열 시공공법 구축	▪ 공정간소형 외단열 시스템 설계
		▪ 열관류율 시뮬레이션
		▪ 부착력 Test (추가)
	외단열 적층공법 현장적용 최적방안 도출	▪ 외단열 최적공정 도출
		▪ 외단열 최적성능 도출
	외단열 적층시공 공법 가상현장 적용 (추가)	▪ 적층시공 공법 공정 분석
		▪ 적층시공 공법 공사비 분석
[2차년도] Mock-up Test 및 현장적용	외단열 적층시공 가설시스템 제작	▪ 시스템 Mock-up Test 계획 수립
	공정간소형 외단열 시공공법 Mock-up Test	▪ 공정간소형 외단열 시스템 Mock-up Test 계획 수립
	외단열 적층공법 최적공정 관리기법 기초조사	▪ 최적공정관리 기법 제안
		▪ 시공 매뉴얼 작성안
	저층부 특화 외단열 공법 기초조사 (추가)	▪ 저층부 특화 외단열 공법 기초 조사
	국내 외단열 화재안전기준 정비방안 (추가)	▪ 국내· 외 외단열 화재안전기준 조사
		▪ 국내 외단열 화재안전기준 개정에 따른 업계 실태 및 인식조사
		▪ 국내 외단열 화재안전기준 정비방안

다. 연구개발 핵심성과

(1) 성과 리스트

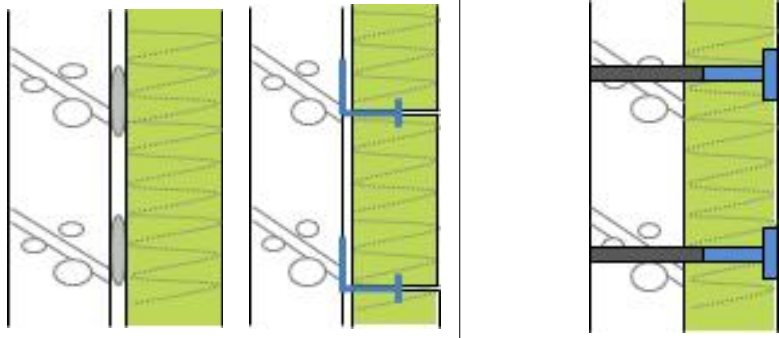
연번	핵심성과명	정 의	성과유형	기술성숙도 (TRL)
T1	외단열 적층시공 가설시스템	골조공사와 외단열 공사를 적층시공하기 위한 가설시스템	공법/기법	TRL 3
T2	공정간소형 외단열 시공방법	갯폼에 단열재를 선고정한 후 콘크리트를 타설하는 현장 타설일체형 공법으로 별도의 접착제를 사용하지 않고 단열재와 벽체가 직접 부착되는 외단열 방식	공법/기법	TRL 3
T3	외단열 적층시공 최적공정관리	적층공법 적용시 아래와 같은 공정 간섭을 최소화하여 공기가 지연되지 않도록 관리 포인트(투입시점, 자원투입량, 허용시간 외) 제시. - 철근 및 형틀 vs 단열재 설치 - 외장마감 vs 창호설치 - 창호설치 vs 콘크리트 양생용 서포트	공법/기법	TRL 3
T4	국내 외단열 화재안전기준 정비방안	외단열 건축물 화재안전성능 향상을 위한 국내 외단열 화재안전기준 정비방안	기타 (정책/표준)	=

(2) 핵심성과물별 세부 설명

T1. 외단열 적층시공 가설시스템

정 의		외단열 적층시공 가설시스템				
목 적		외단열 가설시공 비용 30% 절감				
성능목표			외부비계		적층시공 가설시스템	
		이미지				
		설치방법	골조공사 완료 후 설치		거푸집 시스템과 동시에 설치	
		인상방법	건물높이까지 연장하여 설치		타워크레인을 통한 시스템 인상	
		자재양중	골조완료 후 리프트 운영		리프트와 연계하여 N-2층 운영	
		안전	외부노출로 풍력에 영향		안정적인 작업공간 확보	
		주요부재	- 강관파이프 - 유공발판 - 클램프 - 낙하물방지망		5단발판 프레임 - 인양레일 시스템 - 상부 이물질 방지 개폐발판 - 리프트 연계 시스템	
성과달성 책임자 (소속기관)		조훈희 (고려대학교)				
소요기간		‘ 14.07 ~ ‘ 16.07 (2년)				
핵심 성과	양적 성과	특허	논문	학술발표	인력양성	
		출원 4 등록 1	일반학술지 1 SCI(E)학술지 1 (심사중)	국내 3	석사 1	
	질적 성과	- 동시 시공가능 공정수 및 허용 발판수 - 인양방식 - 허용하중				
		달성 확인 방법	3개 공정, 발판 5단 - 가이드레일 통한 인양 5ton			

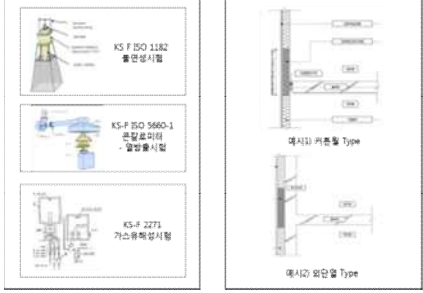
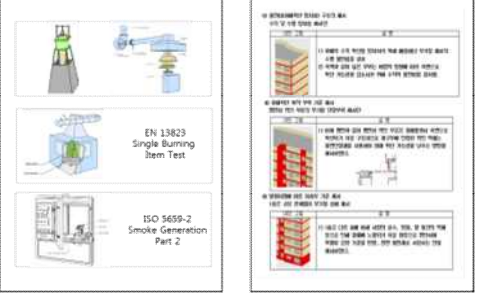
T2. 공정간소형 외단열 시공공법

정 의		외단열 공정 간소화를 위한 외부단열재와 골조의 일체시공 공법		
목 적		외단열 시공공정 25% 감소(4 layer →3 layer)		
성능목표	이미지	기존 외단열 공법		외부단열재 일체시공 공법
				
	시공 layer	4단계 시공 layer (접착재→단열재→보강재→마감재)		3단계 시공 layer (단열재일체→보강재→마감재)
성과달성 책임자 (소속기관)		백호 (현대산업개발주)		
소요기간		‘ 14.07 ~ ‘ 16.07 (2년)		
핵심 성과	양적 성과	특허	논문	홍보
		출원 1 등록 1	일반학술지 1	1
	질적 성과	▪ 시공 Layer 간소화 ▪ 주요 열교부위 증가, 선형열관류율 산출		
	달성 확인 방법	▪ 3 Layer 설계 ▪ 열성능 평균 46% 향상		

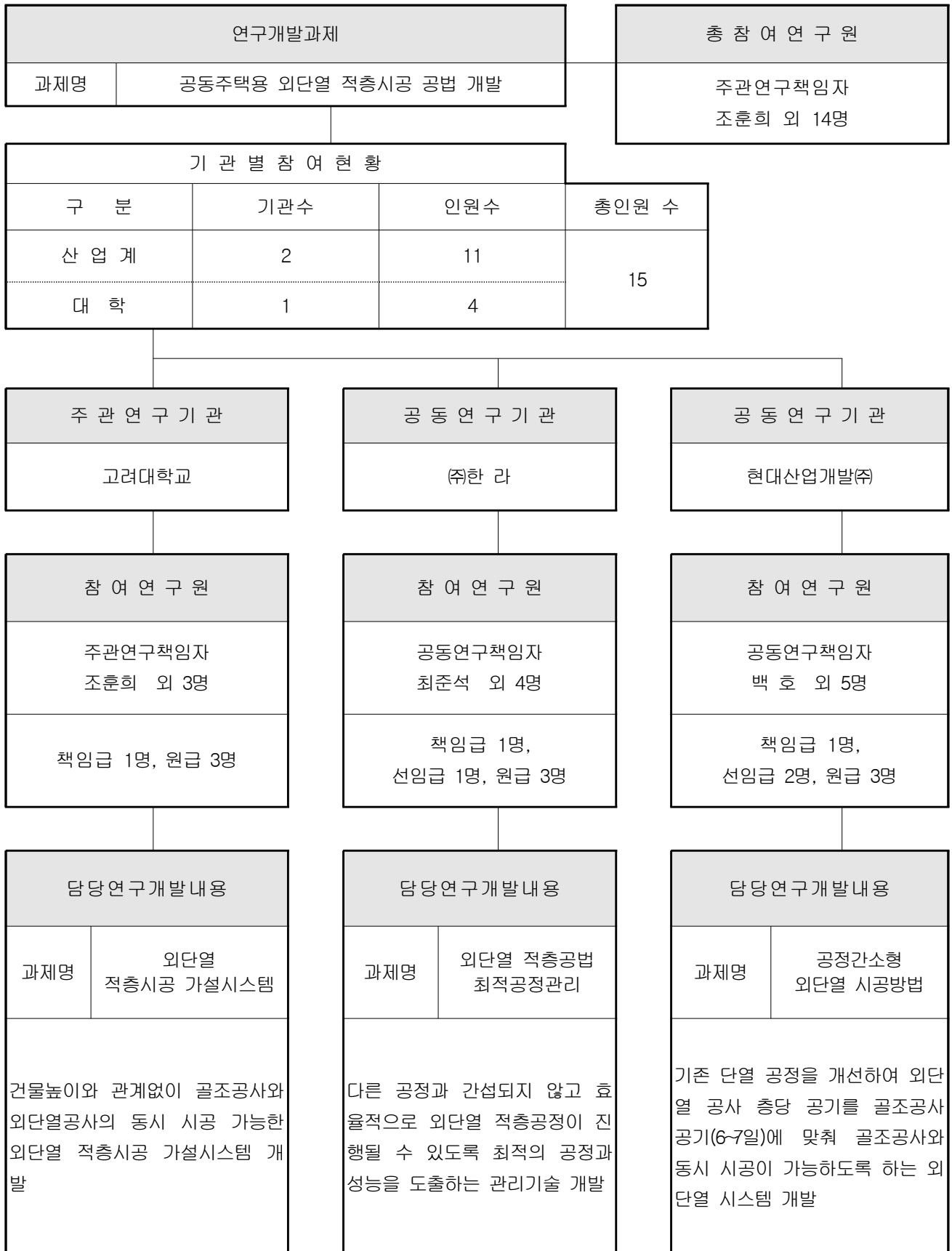
T3. 외단열 적층공법 최적공정관리

정 의		외단열 적층공법 최적공정관리 기법																																																																																																																																																																																																																																																																							
목 적		외단열 공정최적화 및 기존공정과 간섭 최소화																																																																																																																																																																																																																																																																							
성능목표	구분	기존 외단열 공법 공정관리												외단열 적층공법 공정관리																																																																																																																																																																																																																																																											
	이미지	<table><tr><th>DAY</th><th>D+0</th><th>—</th><th>N+0</th><th>N+1</th><th>N+2</th><th>N+3</th><th>N+4</th><th>—</th><th>E+0</th><th>E+1</th><th>비 고</th></tr><tr><td>외부</td><td>골조</td><td>적층</td><td>창호</td><td>단열</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>창호</td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>창호</td><td>단열</td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>배벽</td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>수질</td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>도배</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>가구</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>외단열</td><td>외단열</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td></tr><tr><td>외단열</td><td>도장</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td></tr><tr><td>가설장비</td><td>가설장비</td><td>행동</td><td>콘도라</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>콘도라/배계</td><td></td><td></td></tr></table>												DAY	D+0	—	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	—	E+0	E+1	비 고	외부	골조	적층	창호	단열								내부	창호		적층						창호	단열		내부	배벽			적층								내부	수질				적층							내부	도배					적층						내부	가구						적층					외단열	외단열								적층			외단열	도장									적층		가설장비	가설장비	행동	콘도라						콘도라/배계			<table><tr><th>DAY</th><th>D+0</th><th>D+1</th><th>D+2</th><th>D+3</th><th>D+4</th><th>D+5</th><th>D+6</th><th>D+7</th><th>D+8</th><th>D+9</th><th>비 고</th></tr><tr><td>외부</td><td>골조</td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>외부</td><td>창호</td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>배벽</td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>수질</td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>도배</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>내부</td><td>가구</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>외단열</td><td>외단열</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>외단열</td><td>도장</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>가설장비</td><td>가설장비</td><td>적층시공</td><td>가설시스템</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>												DAY	D+0	D+1	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7	D+8	D+9	비 고	외부	골조	적층										외부	창호		적층									내부	배벽			적층								내부	수질				적층							내부	도배					적층						내부	가구						적층					외단열	외단열											외단열	도장											가설장비	가설장비	적층시공	가설시스템								
	DAY	D+0	—	N+0	N+1	N+2	N+3	N+4	—	E+0	E+1	비 고																																																																																																																																																																																																																																																													
	외부	골조	적층	창호	단열																																																																																																																																																																																																																																																																				
내부	창호		적층						창호	단열																																																																																																																																																																																																																																																															
내부	배벽			적층																																																																																																																																																																																																																																																																					
내부	수질				적층																																																																																																																																																																																																																																																																				
내부	도배					적층																																																																																																																																																																																																																																																																			
내부	가구						적층																																																																																																																																																																																																																																																																		
외단열	외단열								적층																																																																																																																																																																																																																																																																
외단열	도장									적층																																																																																																																																																																																																																																																															
가설장비	가설장비	행동	콘도라						콘도라/배계																																																																																																																																																																																																																																																																
DAY	D+0	D+1	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7	D+8	D+9	비 고																																																																																																																																																																																																																																																														
외부	골조	적층																																																																																																																																																																																																																																																																							
외부	창호		적층																																																																																																																																																																																																																																																																						
내부	배벽			적층																																																																																																																																																																																																																																																																					
내부	수질				적층																																																																																																																																																																																																																																																																				
내부	도배					적층																																																																																																																																																																																																																																																																			
내부	가구						적층																																																																																																																																																																																																																																																																		
외단열	외단열																																																																																																																																																																																																																																																																								
외단열	도장																																																																																																																																																																																																																																																																								
가설장비	가설장비	적층시공	가설시스템																																																																																																																																																																																																																																																																						
공정		골조공사 완료 후 외부 마감공사(단열, 마감) 공정관리												골조, 창호, 단열공사 연계 공정관리																																																																																																																																																																																																																																																											
시공		열교발생, 화재, 탈락 등의 취약부위 시공기준 미비												외단열 적층 공법 적용 시 취약부위 시공기준 제시																																																																																																																																																																																																																																																											
성과달성 책임자 (소속기관)		최준석 (주)한라																																																																																																																																																																																																																																																																							
소요기간		‘ 14.07 ~ ‘ 16.07 (2년)																																																																																																																																																																																																																																																																							
핵심 성과	양적 성과	지침 제안																																																																																																																																																																																																																																																																							
		1																																																																																																																																																																																																																																																																							
	질적 성과	최적공정 관리 기법을 실증현장에 적용하여 개선하고, 이 때 기록한 자원투입 데이터를 활용하여 타 현장에도 적용할 수 있는 보편적 데이터로 활용하려 했으나 관계 법령 개정에 따른 과제 조기 종료.																																																																																																																																																																																																																																																																							
	달성 확인 방법	지침제안 1건 및 실증현장 근거데이터																																																																																																																																																																																																																																																																							

T4. 국내 외단열 화재안전기준 정비방안

정 의		국내 외단열 화재안전기준 정비방안	
목 적		외단열 시스템에 적합함과 동시에 화재안전성능 향상에 기여 가능한 정비방안 제시	
성능목표	구분	기존 국내 외단열 화재안전기준	국내 외단열 화재안전기준 정비방안
	이미지		
	건축재료 난연성능 시험규정	화염의 수직 확산속도 · 확산범위에 대해 규정하는 시험항목 없음	화염의 수직 확산속도 · 확산 범위 등에 대한 시험항목 추가에 대해 검토하여 화재 발생시 재실자의 대피시간 확보
	가스 유해성	피검동물(쥐)에게 연소생성물을 유입한 후 반응에 대해 측정(생물학적 분석)	연소가스의 채집을 통한 유독성분 정량적 측정(화학적 분석)
	화재확산 방지구조	수평불연띠	수평불연띠 외 수직불연띠, 개구부 상인방 불연재 설치 허용 등
성과달성 책임자 (소속기관)		고려대학교 조훈희 (주)한라 최준석 현대산업개발(주) 백호	
소요기간		‘ 16.04 ~ ‘ 16.07 (4개월)	
핵심 성과	양적 성과	정책 제안 1 (‘ 16년 12월 게재 예정)	
	질적 성과	-	
	달성 확인 방법	-	

라. 연구조직도



제2장. 국내외 기술 개발 현황

가. 기술개발 수준

- ‘ 공동주택용 외단열 적층시공 공법’은 건설·교통 분야 국가전략기술(제3차 과학기술기본계획, ‘13~’17) 중 하나인 ‘ 고효율 에너지 빌딩’을 실현할 수 있는 기술로서, 한국과학기술기획평가원⁵⁾에서 수행한 기술수준 분석 결과와 하위 요소기술인 ‘ 외단열 적층시공 공법 기술’에 대해 자체적으로 실시한 기술수준 분석 결과는 다음과 같음.

[표 2] 건설·교통 분야 전략기술(외단열 적층시공 공법)의 우리나라와 주요국 간 기술격차

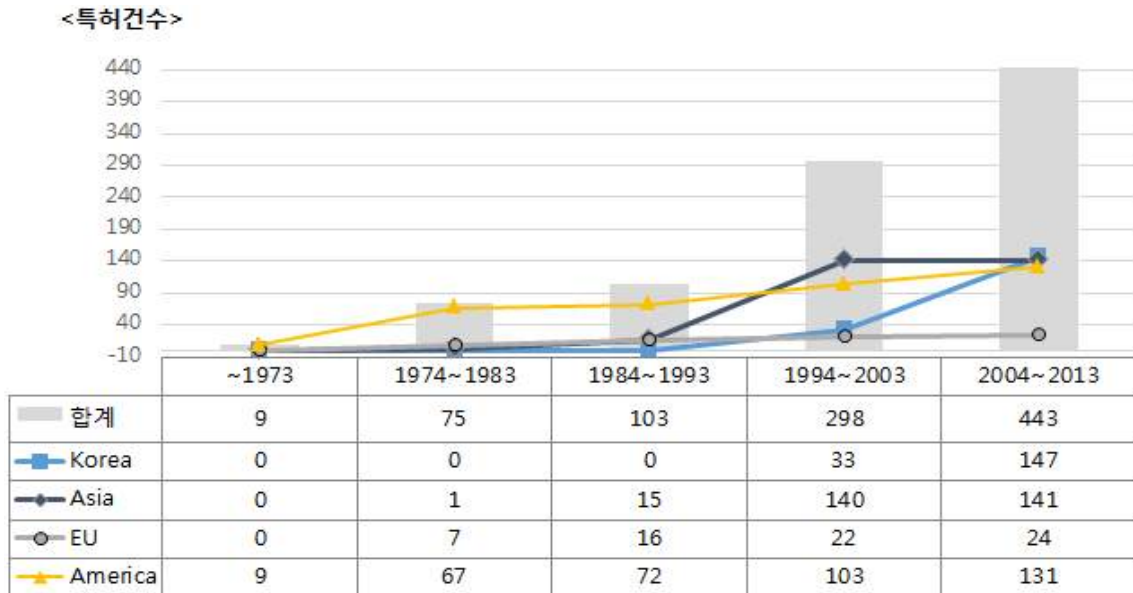
전략기술		제안 당시 기술수준(2014년)			과제 종료시 기술수준(2016년)		
		기술수준 (%)	기술격차 (최고국/년)	기술수준 그룹	기술수준 (%)	기술격차 (최고국/년)	기술수준 그룹
	외단열 적층시공 공법	75.0	EU / 4.5	추격	95.0	EU / 0.0	선도
	고효율 에너지 빌딩 기술	81.1	EU / 4.5	선도			
	전체 건설·교통 분야	79.0	미국 / 4.7	추격			

- 2014년 과제 제안 당시 우리나라 ‘ 고효율 에너지 빌딩 기술 분야’의 기술수준은 선도그룹으로 비교적 높은 것으로 확인되나, 주요국(중국, 일본, 미국, EU)와의 기술격차는 전체 건설·교통 분야의 기술격차 보다 다소 큰 것으로 나타나 이를 추격하여 선도하기 위한 노력이 필요함
 - 주요국과의 기술격차를 살펴보면, 현재 최고국인 EU와 4.5년, 미국과 4.2년, 일본과 3.0년이 뒤쳐지는 것으로 나타났고, 중국보다는 1.1년 앞선 것으로 나타났음.
- 또한 당시 ‘ 외단열 적층시공 공법 기술’의 기술수준(75%)은 상위 레벨인 ‘ 고효율 에너지 빌딩 기술’의 기술수준(81.1%) 보다 낮지만 최고국인 EU와 기술격차는 4.5년으로 동일하였음.
 - 이는 EU를 포함한 선진국의 경우 일찍이 건축물 에너지 소비 절감의 필요성을 인식하면서 외단열 재료나 패널, 그 시공방법에 대한 연구개발을 통해 높은 기술수준을 확보할 수 있었으나 20층 이상 고층건물의 외단열 시공을 목적으로 갖는 ‘ 외단열 적층시공 공법’에 대한 기술 개발은 상대적으로 미흡하기 때문인 것으로 판단됨.
- 본 연구과제는 과제 제안 당시 기술발전의 여력이 큰 ‘ 외단열 적층시공 공법 기술’을 개발하였으며 최종적으로 현 과제 종료시점의 기술수준은 95%로 최고국과 동등이상의 위치를 점하고 있는 것으로 판단됨.

5) 한국과학기술기획평가원(KISTEP), “2012년 기술수준 평가”, pp.210~228, 2013.2

나. 특허 동향

(1) 연도별 특허출원 추이



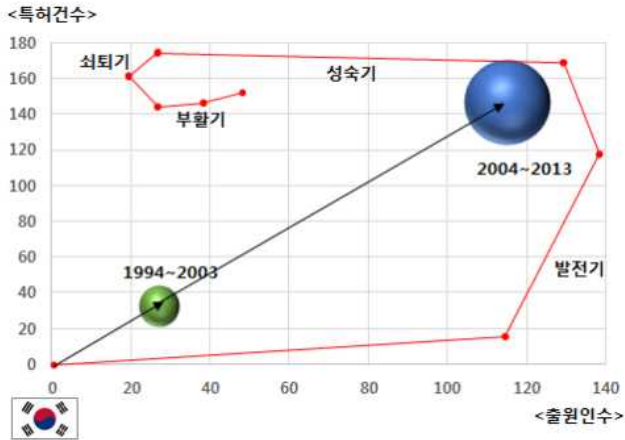
[그림 4] 주요국 연도별 특허출원 건수

- 외단열 기술 분야의 검색된 총 특허 수는 928건으로 1970년대 이후로 꾸준히 증가하고 있음. 국내의 경우 2000년 이후 특허수가 급증하고 있는 것으로 나타남. 이는 국제적 에너지절감 이슈에 대응하여 에너지절감을 위해 단열성능 기준 강화에 대응하여 관련 연구개발이 활발히 진행되고 있기 때문으로 판단됨

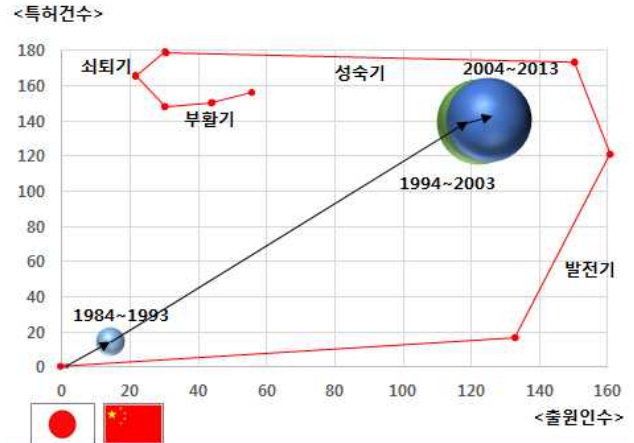
(2) 국가별 특허출원 동향

- 국가별 특허출원 현황을 분석한 결과, 전체 특허출원 중 가장 많은 특허를 보유한 곳은 비중이 51% 아시아 지역으로 중국과 일본이 32%, 우리나라가 19%를 차지하고 있음. 다음으로 비중이 큰 곳은 아메리카 지역으로 41%를 차지하고 있고, 그 외 EU가 7%를 차지하고 있음
- 2000년을 전후로 주요국 특허 비중을 분석한 결과, 우리나라가 눈에 띄게 특허출원 비중이 증가(4%→30%, +26%p)하였으며 2000년 이후 2위를 차지함. 이는 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)를 기점으로 온실가스 감축 및 에너지 절감에 대한 관심이 고조되면서 건물 분야에서 에너지 절감이 가능한 외단열 분야가 주목받기 시작했기 때문으로 판단됨

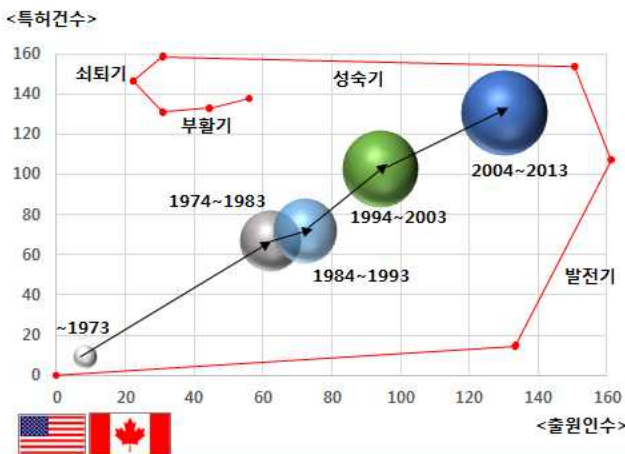
(3) 포트폴리오



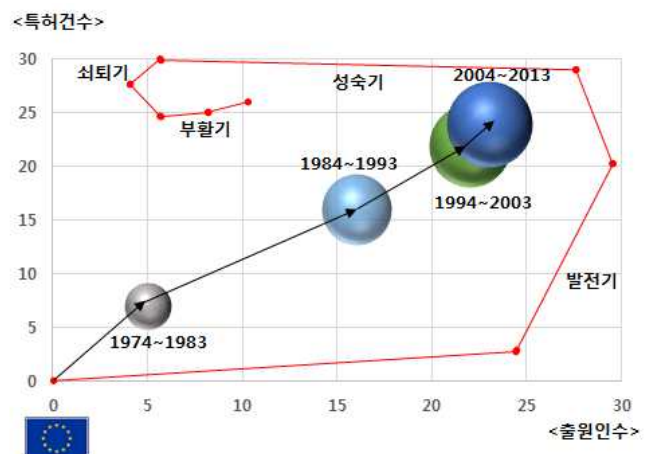
(a) 국내 특허 동향: 발전기



(b) 아시아 특허 동향: 발전기



(c) 아메리카 특허 동향: 발전기



(d) 유럽 특허 동향: 발전기

[그림 5] 포트폴리오를 통한 주요국 기술발전 위치

- 기술발전 위치의 거시적 분석을 위해 10개년 단위로 특허 및 출원인 수를 기준으로 주요국의 포트폴리오 분석 결과, 주요국 모두 특허출원 및 출원인 수가 증가하는 추세를 보이는 ‘발전기 단계’에 위치해 있는 것으로 분석됨
- 기술의 발전기 단계에서는 시장에서 압도적 우위를 점하고 있는 국가는 없다고 판단할 수 있고 이에 따라 우위를 선점할 수 있는 가능성이 크다고 할 수 있음. 따라서 해외시장 선도와 기술적 우위 확보를 위해서 향후에도 외단열 기술의 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨

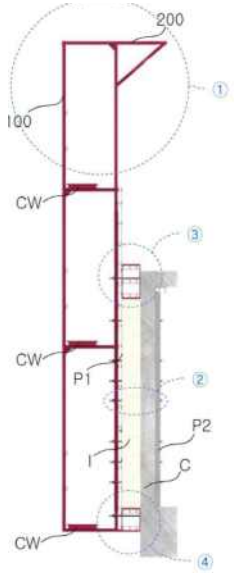
다. 주요 특허

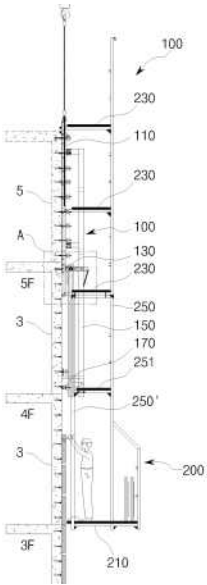
- 본 과제의 개발 기술인 “ 공동주택용 외단열 적층시공 공법 기술” 관련 국내· 외 기술개발 현황을 조사함.
- 특허 DB: 국가과학기술정보센터(NDSL) 및 키프리스(KIPRIS)
- 키워드: “ 외단열” , “ Exterior Insulation

[표 3] 주요특허 차별성 검토결과

기 존 특 허					검토 결과	
특허명	출원번호	출원일	출원인	분야	중복도	차별성
개량형 외단열 갱폼장치 및 이를 이용한 외단열 벽체 시공방법	10-2012-0025031	2012.03.12	㈜근하기공, 삼성물산㈜	시공/가설시스템	하	있음
외단열 시공 겸용 시스템 거푸집, 외벽 및 외단열 시공방법	10-2012-0067398	2012.06.22	미진정공㈜, 현대건설㈜	시공/가설시스템	중	있음
구조물의 벽체와 외부 단열재가 일체로 형성되는 시공구조 및 방법	10-2012-0136220	2012.11.28	현대산업개발㈜	시공/가설시스템	하	있음
패널유닛 클라이밍 설치공법	10-2011-0113950	2011.11.03	권혁준	시공/가설시스템	하	있음
고성능 단열을 구현하기 위한 구조물 외벽의 단열 마감 시공 방법	10-2009-0090390	2009.09.24	김기태	재료/시공	하	있음
외단열 패널 유닛 및 이를 이용한 외단열 시스템	10-2010-0104008	2010.10.25	현대엠코, 다은건설(주)티오피	재료/시공	하	있음
외단열 패널 및 그 제조 방법	10-2012-0086409	2012.08.07	대보페인트(주)	재료	하	있음
패널 마감형 외단열 구조	10-2011-0076437	2011.08.01	연세대학교(주)케이씨씨	시공	없음	있음
Exterior insulation and finish system and method and tool for installing same	11166563	2011.11.08	Serino Roland (USA)	재료/시공	없음	있음
EIFS STRUCTURES, METHODS OF MANUFACTURING AND COMPOSITIONS FOR USE IN EIFS CLADDING FOR REDUCING BIRD-RELATED EXTERIOR WALL DAMAGE	12573793	2011.04.07	ADAMS BENJAMIN (USA)	재료/시공	없음	있음

- 국내· 외 기술개발 현황을 조사한 결과 10건의 기술이 있었으며 그 중 주요 기술 2건의 내용은 다음과 같음.

특허명	개량형 외단열 갱폼장치 및 이를 이용한 외단열 벽체 시공방법 (삼성물산, 근하기공)	
도 면	내 용	연구성과와 차별성
	▪ 단열재를 갱폼에 부착하여 콘크리트를 타설하는 방식 ▪ 단열재를 갱폼에 부착하는 방식으로 시공이 간단하며 골조의 면정리 작업이 없음	▪ 본 연구의 시스템은 단열재를 GCS에 부착하여 동시에 시공한 후 하부에서 보강재 접착재와 다른 공정(창호,도장)과의 연계까지 고려한 가설시스템이란 점에서 시스템 운영방식의 차별성을 지니며 열교차단 타이 부재의 개발로 기존 공법의 한계를 극복할 수 있음 ▪ 또한 단순한 가설시스템만이 아닌 공정분석과 외단열 시스템, 양중연계 시스템을 모두 고려하여 차별성을 지님
	한 계	
	▪ 갱폼 타이부분 열교 발생으로 단열효과 저하 ▪ 갱폼 브라켓 부분 단열재 후시공 ▪ 갱폼 해체시 단열재 파손 우려	

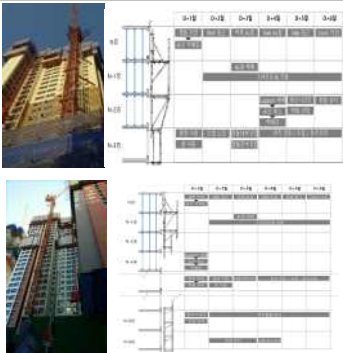
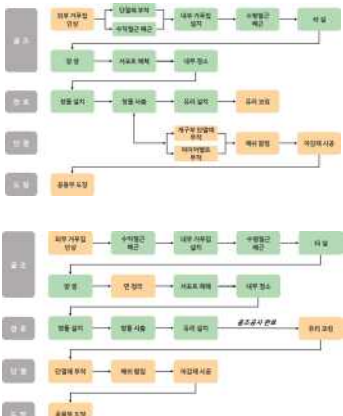
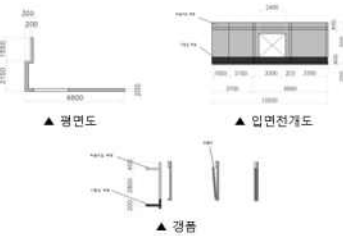
특허명	외단열 시공 겸용 시스템 거푸집, 외벽 및 외단열 시공방법(미진전공, 현대건설)	
도 면	내 용	연구성과와 차별성
	▪ 갱폼시스템에서 외단열을 위한 하부 발판을 추가 설치하여 골조 하부층에서 단열재를 시공하는 방식	▪ 본 연구의 시스템은 골조와 동시타설하는 점에서 특허와 시공방법의 차별성을 지니며, 상부 갱폼이동을 위한 트레블러의 설치로 기울어짐 없이 안전한 갱폼의 해체가 가능하고 인양레일과 슈를 사용하는 점에서 시스템의 차별성을 가짐 ▪ 또한 단순한 가설시스템만이 아닌 공정분석과 외단열 시스템, 양중연계 시스템을 모두 고려하여 차별성을 지님
	한 계	
	▪ 발판의 수가 많을 경우 갱폼 인양시 기울어져서 위험 ▪ 다수의 앵커볼트 결속을 통해 갱폼시 인양작업시간 소요 ▪ 상부타설시 발생하는 이물질 방지에 대한 고려가 없음 ▪ 단열재 양중에 대한 고려가 없음	

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구 수행 내용 및 결과

T1. 외단열 적층시공 가설 시스템

- (1) 기술의 정의
- 외단열 적층시공 가설시스템은 외단열 공사를 골조공사와 동시에 시공하기 위해 외벽거푸집 시스템과 통합한 가설시스템으로, 기존 외단열 공사 방식 대비 공기시간 단축 및 공사비 절감을 지원
- (2) 기술개발 절차

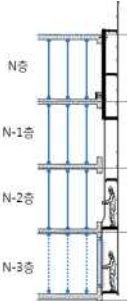
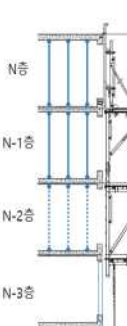
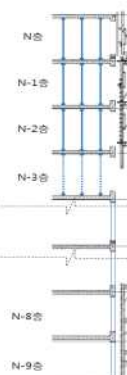
절 차	내 용	이미지
(가) 외단열 적층시공 층별 공정분석	- 적층시공 사례분석 - 외단열 적층시공 공정분석	
(나) 적층시공 가설시스템 설계	- 가설시스템 운영방식 선정 - 외단열 적층시공 가설시스템 기본 설계	
(다) 시스템 Mock-up Test 계획 수립	- 외단열 적층시공 가설시스템 상세 설계 - Mock-up용 가설시스템 제작 범위 설정 - Mock-up 계획 수립	

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

(가) 외단열 적층시공 층별 공정분석

① 적층시공 사례분석

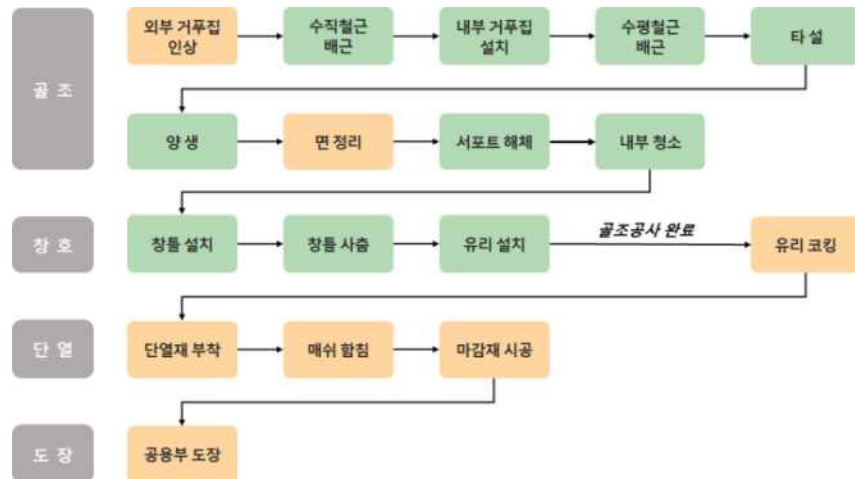
- 공동주택과 주상복합 공사에 적층시공 공법이 적용된 최근 사례를 표 4과 같이 분석한 결과, 가설 시스템의 운영에 따라 갬폼통합형, RCS 통합형, RCS분리형 등으로 구분될 수 있음
 - 갬폼 통합형: 기존의 갬폼의 발판을 1개층 연장하여 N-3층(4개층)까지 늘려 하부에서 창호를 전시공
 - RCS 통합형: RCS를 1-2개층 연장하여 4-5개 층까지 늘려서 하부에 창호공사와 마감공사를 전시공
 - RCS 분리형: 골조공사의 RCS와 별개로 하부에 작업발판만 있는 RCS를 설치하여 마감공사를 수행

구 분	현장 사진	시스템별 층별 공정 분석																																																	
갬폼 통합형		 <table><tr><th></th><th>D+1일</th><th>D+2일</th><th>D+3일</th><th>D+4일</th><th>D+5일</th><th>D+6일</th></tr><tr><td>N층</td><td>갬폼 인입 골조 확보</td><td>Wall 철근</td><td>벽체 AL폼</td><td>Slab AL폼</td><td>Slab 철근</td><td>Conc 타설</td></tr><tr><td>N-1층</td><td></td><td></td><td>AL폼 해체</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>N-2층</td><td></td><td></td><td colspan="4">그라운드 및 건물</td></tr><tr><td>N-3층</td><td>Support 해체 골조 철조 벽체 철</td><td>창틀 양측 창틀 설치</td><td>몰탈 시공 몰탈 시공</td><td>창틀 내부코팅</td><td>유리 양측 / 조립 / 유리코팅</td><td></td></tr></table>		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일	N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설	N-1층			AL폼 해체				N-2층			그라운드 및 건물				N-3층	Support 해체 골조 철조 벽체 철	창틀 양측 창틀 설치	몰탈 시공 몰탈 시공	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅															
		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일																																												
N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설																																													
N-1층			AL폼 해체																																																
N-2층			그라운드 및 건물																																																
N-3층	Support 해체 골조 철조 벽체 철	창틀 양측 창틀 설치	몰탈 시공 몰탈 시공	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅																																														
RCS 통합형		 <table><tr><th></th><th>D+1일</th><th>D+2일</th><th>D+3일</th><th>D+4일</th><th>D+5일</th><th>D+6일</th></tr><tr><td>N층</td><td>갬폼 인입 골조 확보</td><td>Wall 철근</td><td>벽체 AL폼</td><td>Slab AL폼</td><td>Slab 철근</td><td>Conc 타설</td></tr><tr><td>N-1층</td><td></td><td></td><td>AL폼 해체</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>N-2층</td><td></td><td></td><td colspan="4">그라운드 및 건물</td></tr><tr><td>N-3층</td><td>몰탈 시공 몰탈 시공</td><td>조방 도장</td><td>창틀 내부코팅</td><td>유리 양측 / 조립 / 유리코팅</td><td></td><td></td></tr></table>		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일	N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설	N-1층			AL폼 해체				N-2층			그라운드 및 건물				N-3층	몰탈 시공 몰탈 시공	조방 도장	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅																
		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일																																												
N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설																																													
N-1층			AL폼 해체																																																
N-2층			그라운드 및 건물																																																
N-3층	몰탈 시공 몰탈 시공	조방 도장	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅																																															
RCS 분리형		 <table><tr><th></th><th>D+1일</th><th>D+2일</th><th>D+3일</th><th>D+4일</th><th>D+5일</th><th>D+6일</th></tr><tr><td>N층</td><td>갬폼 인입 골조 확보</td><td>Wall 철근</td><td>벽체 AL폼</td><td>Slab AL폼</td><td>Slab 철근</td><td>Conc 타설</td></tr><tr><td>N-1층</td><td></td><td></td><td>AL폼 해체</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>N-2층</td><td></td><td></td><td colspan="4">그라운드 및 건물</td></tr><tr><td>N-3층</td><td>Support 해체 골조 철조 벽체 철</td><td>창틀 양측 창틀 설치</td><td>몰탈 시공 몰탈 시공</td><td>창틀 내부코팅</td><td>유리 양측 / 조립 / 유리코팅</td><td></td></tr><tr><td>N-8층</td><td></td><td></td><td colspan="4">그라운드 및 건물</td></tr><tr><td>N-9층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일	N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설	N-1층			AL폼 해체				N-2층			그라운드 및 건물				N-3층	Support 해체 골조 철조 벽체 철	창틀 양측 창틀 설치	몰탈 시공 몰탈 시공	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅		N-8층			그라운드 및 건물				N-9층						
		D+1일	D+2일	D+3일	D+4일	D+5일	D+6일																																												
N층	갬폼 인입 골조 확보	Wall 철근	벽체 AL폼	Slab AL폼	Slab 철근	Conc 타설																																													
N-1층			AL폼 해체																																																
N-2층			그라운드 및 건물																																																
N-3층	Support 해체 골조 철조 벽체 철	창틀 양측 창틀 설치	몰탈 시공 몰탈 시공	창틀 내부코팅	유리 양측 / 조립 / 유리코팅																																														
N-8층			그라운드 및 건물																																																
N-9층																																																			

- 적층시공에 경우 골조공사 뿐만 아니라 하부에서 마감공사를 수행해야 하기 때문에 갱폼보다 발판이 넓고 허용하중이 높은 RCS가 선호되고 있는 것으로 나타되며 일반적으로 가설시스템의 4개 발판을 이용하여 골조공사와 창호공사, 도장 초벌공사까지 진행하는 것으로 나타남

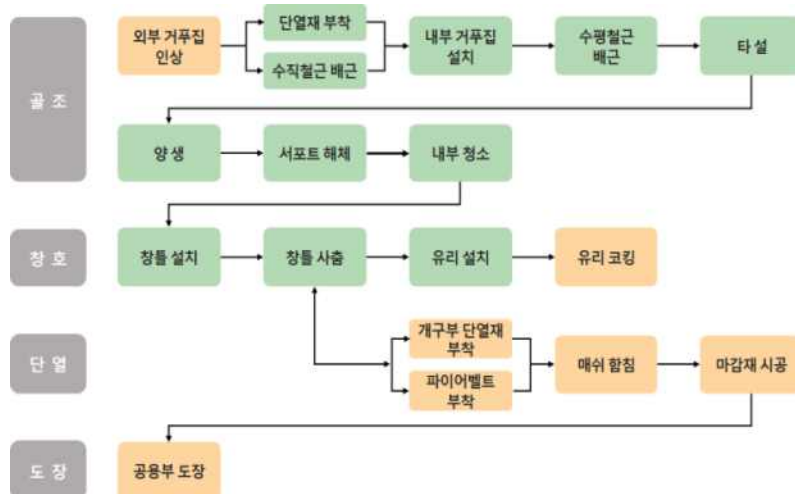
② 외단열 적층시공 공정분석

- 외단열 공동주택 외부마감 공정 분석 결과 단열재가 개구부 주변까지 설치되기 때문에 외단열의 선행공정으로 창틀이 반드시 설치되어야 하며 단열공사의 후행공정으로는 공용부 도장공사가 있음



[그림 5] 기존 외단열 공동주택 외부마감 공정 분석

- 적층시공의 사례분석을 통해 외단열 공사를 적층시공으로 했을 경우의 외단열 적층시공 공정은 다음과 같음



[그림 6] 외단열 적층시공 공정 분석

- 단열재가 창틀보다 먼저 시공되기 때문에 창틀주변의 단열재는 하부에서 후시공함
- 단열 공정의 경우 창틀이 설치가 완료되면 시작할 수 있기 때문에 사출완료 후 외부에서 개구부 단열 공정이 시작됨. 유리 공사의 경우 내부에서 진행이 가능하므로 동시에 수행함
- 모든 면에 단열재 부착이 완료되면 후에 매쉬합침과 마감재 시공을 통해 단열공정을 마무리함

(나) 적층시공 가설시스템 설계

① 가설시스템 운영방식 선정

- 외단열 공사를 가설시스템을 통해 적층시공하기 위해서는 가설시스템에 아래의 요소가 충족되어야 함
 - 외단열 자재의 적재 및 시공이 가능한 넓은 작업공간
 - 품질향상을 위한 흔들리지 않는 작업발판
 - 인양으로 인한 단열재 품질손상 최소화
 - 추가적인 가설비용의 최소화
- 외단열 적층공사를 위한 가설시스템을 선정하기 위해 기존에 공동주택의 적층시공에 적용된 시스템을 비교분석함
- 공동주택의 적층시공이 가능한 외벽 가설시스템으로 갱폼, GCS⁶⁾, RCS를 적용할 수 있으며 시스템의 특징에 대한 분석은 다음의 표와 같음

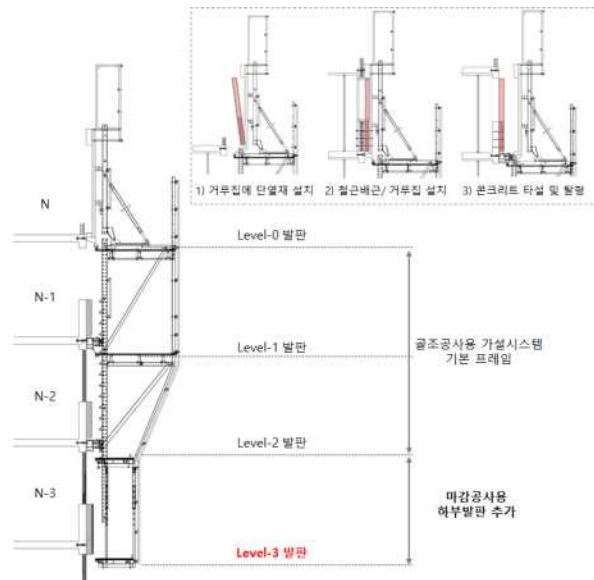
[표 4] 외벽 가설시스템의 비교 분석

	갱폼	GCS	RCS
이미지			
적용층수	25층 내외	20~40층 내외	30층 이상
인양방식	타워크레인 인양	타워크레인 인양	유압장치로 자동인양
가이드레일	없음	있음	있음
인양시간	1unit당 15~20분	1unit당 5~10분	1unit당 5분
풍하중 영향	풍하중 영향을 많이 받음	풍하중 영향을 받음	풍하중 영향 거의 없음
작업발판 폭	0.6~0.8m	1.3~2.2m	1.3~2.2m
설치층	3개층	4개층	4개층
가설비용	100%	270%	400%

- GCS는 타워크레인으로 인양하는 방식을 제외하면 RCS의 장점을 모두 가지고 있으며 임대비용이 RCS에 비해 2/3 수준으로 경제성 확보가 용이하기 때문에 적층시공에 유리한 것으로 판단되어 운영시스템으로 선정
- 골조공사 통합형 가설시스템은 단열재를 수직거푸집에 부착하여 콘트리트와 함께 타설하면 외단열공사의 단열재 부착공정의 생략이 가능하여 외단열 공사에 필요한 작업발판의 단수를 1단으로 줄여 기존의 가설

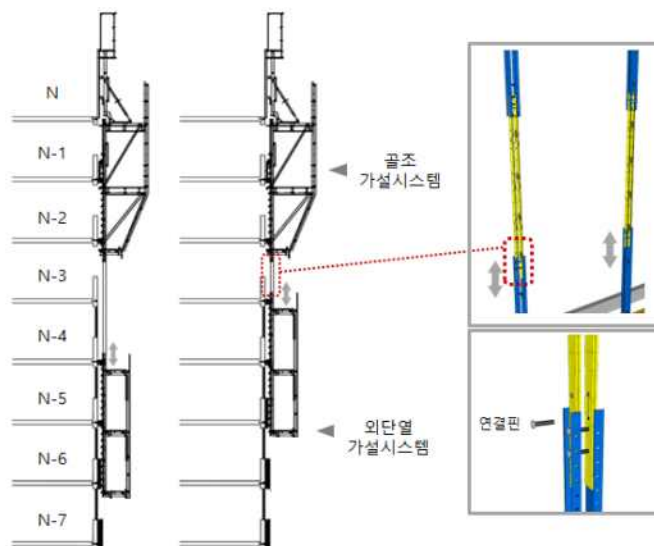
6) GCS(Guide-rail Climbing System): 타워크레인으로 인양하는 수직 시스템거푸집으로 가이드레일을 따라 인양되기 때문에 안정성이 높고 갱폼에 비해 작업발판이 넓다

시스템에 발판을 1단만을 추가하여 활용할 수 있으며 외단열 습식공정을 줄여 골조공사의 지연 가능성을 크게 줄일 수 있는 시스템임



[그림 7] 골조공사 통합형 가설시스템

- 외단열 분리형 가설시스템은 상부 골조용 가설시스템의 가이드 레일과 하부 외단열용 가설시스템의 가이드 레일을 연결하여 타워크레인으로 상부 가설시스템을 인상하면 별도의 인상장비 없이 두 가설시스템을 동시에 인상할 수 있고 하부의 외단열공사의 지연으로 골조공사 공정마저 지연될 우려가 있는 경우에는 그림과 같이 두 시스템을 연결하고 있는 연결핀을 제거하면 골조용 가설시스템만 상승이 가능하도록 한 시스템임



[그림 8] 외단열 분리형 가설시스템

- 외단열 적층시공 가설시스템의 운영방식은 상기와 같이 골조 통합형 방식과 외단열 분리형 방식으로 나눌 수 있으며 외단열 적층시공에 적합한 가설시스템의 운영방식을 선정하기 위해 평가항목을 선정한 후 Pugh matrix를 사용하여 두 대안을 평가함

[표 5] 골조 통합형· 외단열 분리형 가설시스템 대안 평가

평가항목	가중치	골조 통합형	외단열 분리형
경제성	5	-	—
시공성	4	+	+
안전성	3	+	+
품질	4	+	+
공기단축	5	++	+
주공정 영향	5	-	S
합 계		11	6

- 평가결과 통합형 가설시스템이 분리형 가설시스템 보다 외단열 적층시공 공법의 운영방식에 전체적으로 더 적합한 것으로 나타났음
- 통합형 가설시스템은 곤돌라보다는 가설비용이 고가이지만 분리형 시스템에 비해서 경제적이고 골조공사와 동시에 진행되어 공기단축에 크게 효과적인 것으로 나타났음
- 또한 고정된 발판의 사용으로 기존 곤돌라보다 시공성, 안전성, 품질 부분에서 더 효과적인 것으로 나타났음
- 다만 주 공정에 대한 영향이 기존 시스템과 분리형보다 크게 나타나 주 공정에 대한 영향을 최소화하는 보완방안이 요구됨

② 외단열 적층시공 가설시스템 기본 설계

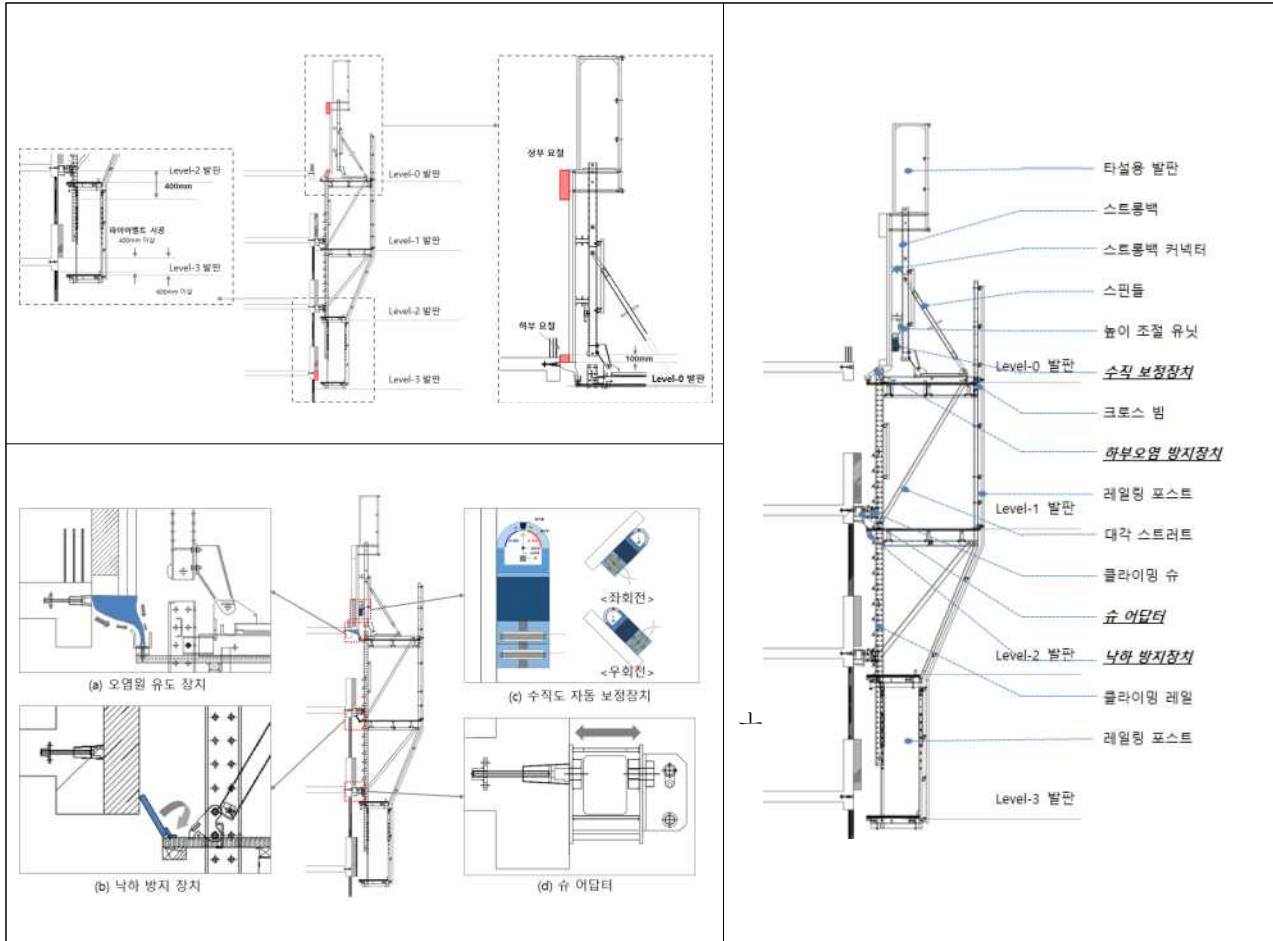
- 통합형 운영방식은 상부에서 단열재를 골조공사와 함께 하는 시공방식으로 기존에 골조공사 후 전면을 한번에 시공하는 방식과 다르게 골조공사의 3개 층 하부에서 층 단위로 수행하는 방식이기 때문에 다음과 같은 사항들이 요구됨



[그림 9] 외단열 적층시공 가설시스템 기본 설계 요구사항

- 프레임
 - 외단열 경우 3인의 작업자가 1조로 작업하며 하부에는 마감재료의 부착으로 1unit의 작업하중을 최대 0.5ton으로 설정함
 - 0.5ton의 추가하중은 기존의 GCS의 허용하중인 5ton으로 충분히 지지가 가능하므로 별도의 프레임 설계보다 기존의 프레임을 사용하여 경제성을 확보하기로 함
- 발판
 - 추가되는 하부 발판의 단수는 기존 골조공사용 가설시스템의 발판단수 3단(N~N-2)에 창호공사와 단열공사를 위한 발판 1단(N-3)을 추가하여 총 4단(N~N-3)으로 구성함
- 갱폼
 - 파이어벨트 후시공을 위한 공간을 남겨놔야 하기 때문에 갱폼에서 파이어벨트 시공부분에 대한 상부요철 400mm를 설계함
 - 기존의 갱폼의 경우 골조와 달는 부분을 기준으로 수평간격과 수직도를 조정했는데 파이어벨트를 위한 공간확보로 수평이격거리를 측정해서 설치해야 함 이 경우 갱폼 설치시간의 증가와 수직도 확보의 어려움이 있기 때문에 하부에도 수평거리와 수직도 확보를 위해 요철 100mm를 설계함
- 슈어답터
 - 기존의 슈를 활용하기 위해 슈와 연결할 수 있는 연장부재를 개발하고 연장길이는 단열재와 마감재의 두께에 설치 작업성을 고려하여 200mm로 설정함
- 상부 오염방지 장치
 - 접착력을 떨어뜨리는 오염물질은 타설 시 갱폼 안쪽에서 흘러내리는 콘크리트 페이스트와 갱폼 외부에서 흘러내리는 빗물로 두 오염물질이 갱폼에서부터 시작되기 때문에 갱폼 하부에 고무소재의 유도장치를 설치하여 발판 방향으로 유도되도록 하였고 유도된 오염물질이 발판에 설치된 유도로를 통해 가설시스템 바깥방향으로 흐르게 함
 - 갱폼의 하부발판에는 갱폼 탈형시 발생하는 콘크리트 파편 등이 창호나 단열재를 손상시키지 못하도록 방지막이 부착된 접이식 발판을 통해 상부 파편이 하부로 낙하하지 못하도록 함
- 의장형 파이어벨트
 - 외단열 적층 시공의 경우 단열재 두께 차이로 인해 파이어벨트 부분의 요철이 발생하는데 이 요철 부분을 활용하여 의장형 띠로 구성하면 건물의 심미성을 높이고 추가적인 공사 수행 없이 미세한 수직도의 차이를 완화시켜 보이게 할 수 있음
- 수직도 보정장치
 - 갱폼에 감지부를 부착하고 갱폼의 경사를 회전으로 조절하는 스핀들에 회전부를 설치하여 타설 시 경사변화를 감지하여 수직으로 보정해주는 장치

[표 6] 외단열 적층시공 가설시스템 기본설계(안)



(다) 시스템 Mock-up Test 계획 수립

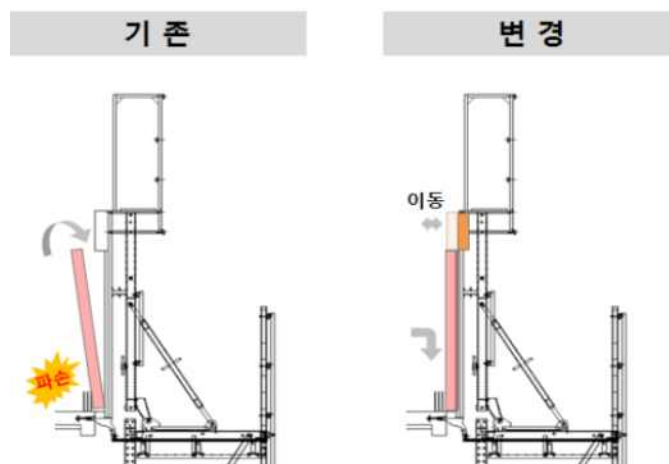
① 외단열 적층시공 가설시스템 상세 설계

- 가설시스템 상세설계안은 지난 1차년도 가설시스템 개념설계안을 바탕으로 골조/외단열/창호 시공업체 전문가와 가설시스템업체 전문가와 논의를 통해 최종 도출하였음.
- 논의 결과, 각 공종 전문가의 요구사항은 아래와 같으며 상세설계안에 반영된 요구사항은 골조공사와 외단열공사 전문가의 요구사항이고 창호공사 전문가의 제안사항은 미반영하였음.

[표 7] 공종별 전문가 요구사항 및 반영 여부

공종	요구사항	반영여부		반영방안
		가설시스템 전문가	연구진	
골조공사	[일체타설용 거푸집 요철부] 거푸집에 단열재 고정작업 및 거푸집 탈형 작업 용이성 확보	○	○	거푸집 상·하단의 요철부를 서랍처럼 빼고 넣을 수 있도록 변경
외단열공사	[상·하부 발판 간격] 단열재 보완 및 미장마감시 작업자의 작업자세를 고려해 발판 높이 조정	○	○	상·하부 발판 간격을 기존보다 좁게 하고 발판 한단 추가
창호공사	[가설시스템 내부 공간 확장] 가설시스템 내부 공간을 통해 내부에서 창호 운반 용이성 확보	△	X	-

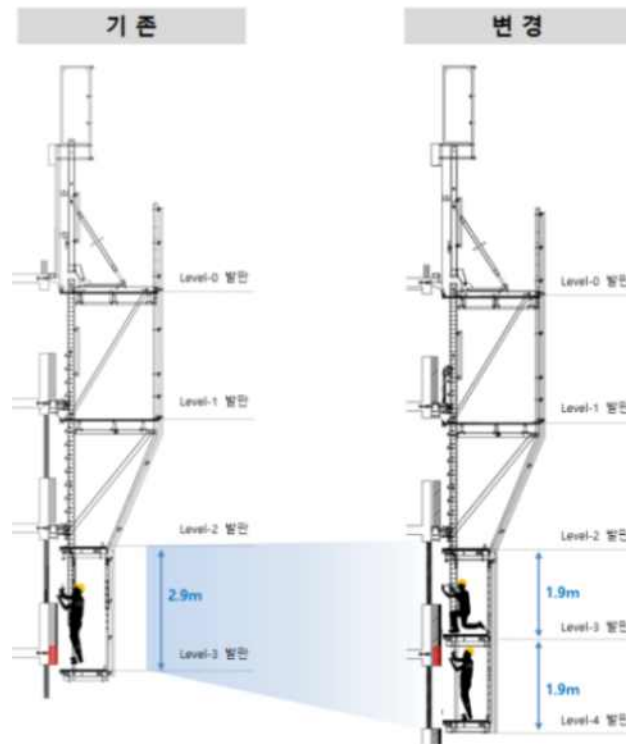
- (골조공사) 일체타설용 거푸집 요철부: 반영
 - 골조공사 전문가의 요구사항은 거푸집에 단열재 고정 작업시 N층 바닥에서 약 40cm 가량 빠져나와있는 벽체 철근과 간섭하지 않도록 하는 것과 타설 후 탈형작업시 거푸집과 단열재가 탈형이 용이하도록 하는 것임.
 - 이를 해결하기 위해 본 연구진은 거푸집 상부 요철부를 서랍형태로 빼고 넣을 수 있도록 장치를 고안하였으며 가설시스템 전문가에게 충분히 제작 가능하다는 답변을 받았음.



[그림 10] 일체타설용 거푸집 요철부 반영 사항

▪ (외단열공사) 상·하부 발판 간격: 반영

- 외단열공사 전문가의 요구사항은 단열재 보완작업 및 미장마감 작업시 작업자의 자세를 고려해 상·하부 발판간 높이 간격을 조정하는 것임. 기존 클라이밍시스템의 상·하부 발판 간격은 약 3m로 이러한 경우 창호부 단열재 보완, 파이어벨트 설치, 미장마감 등의 작업을 수행할 때 작업자의 손이 닿지 않는 높은 부위가 존재하게 되어 작업성이 떨어지게 됨.
- 이를 해결하기 위해 본 연구진과 가설시스템 전문가와 논의한 결과, Level-2, 3 발판간 간격을 1.9m로 줄이고 최하부에 발판을 하나 추가함으로써 외단열공사 작업자의 작업자세를 고려하고 손이 닿지 않는 범위가 없도록 조정하였음.



[그림 11] 가설시스템 상·하부 발판간격 반영 사항

▪ (창호공사) 가설시스템 내부 공간 확장: 미반영

- 창호공사 관련 요구사항은 가설시스템 내부 공간 확장을 통해 시스템 내부에서 창호의 운반 용이성향상을 위해 제안한 사항임.
- 그러나 가설시스템 전문가와 협의한 결과 본 제안과 같이 가설시스템의 내부공간을 확장하는 것이 가설시스템 측면에서 불가능하진 않으나 시스템 하중 증가로 인해 시스템 한 유닛의 넓이가 좁아지고 가설시스템 비용 또한 상승하게 되는 현실적인 문제가 있었음.

② Mock-up용 가설시스템 제작 범위 설정

- Mock-up용 가설시스템의 제작 범위는 Mock-up의 목적과 비용을 고려하여 설정함

▪ (1안) 전체 가설시스템 제작

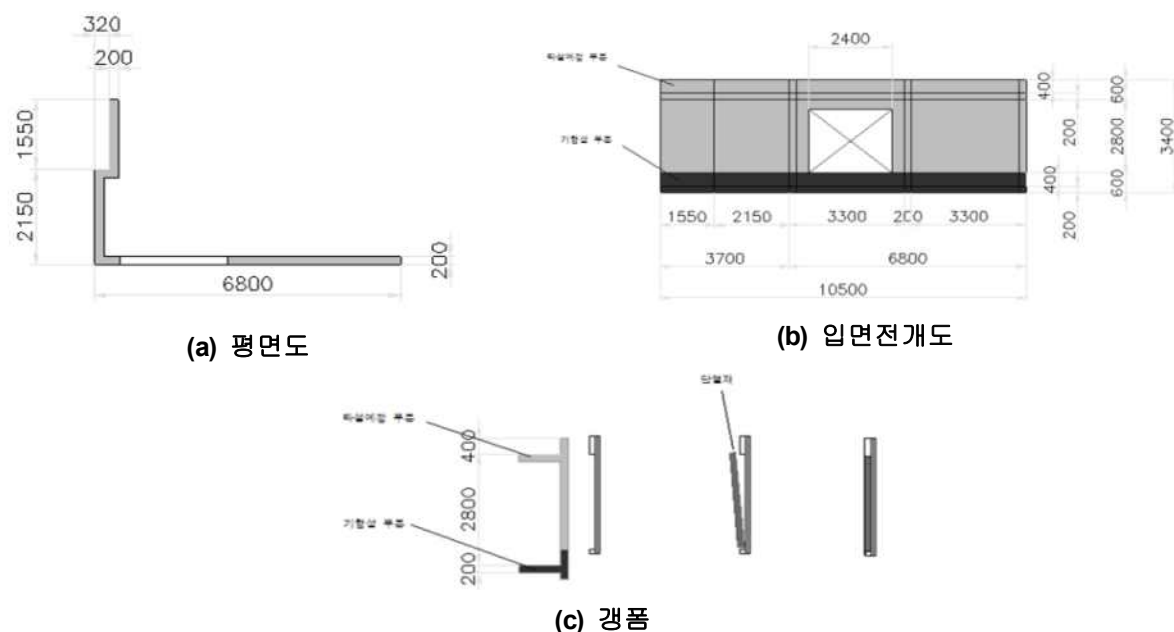
- 전체 시스템(거푸집, 클라이밍 레일, 발판 등)을 제작할 경우, 이 시스템을 설치하기 위해선 4

층 이상의 구조물을 형성해야 하므로 현실적으로 어려움

- 만약 건설 중인 구조물에 적용한다고 하더라도 중량물인 Mock-up용 가설시스템의 운반, 설치, 해체 등에 과다한 비용이 소요됨
 - 또한 Mock-up 테스트의 목적은 가설시스템 상부에서 수행되는 골조 및 단열재의 일체타설 공법에 대한 일체타설용 거푸집의 적용성과 골조공정 부하 증가 정도를 평가하는 것이므로 전체 시스템의 제작이 필요하지 않음
- (2안) 가설시스템 중 일체타설용 거푸집 부분 제작
 - 가설시스템 Mock-up의 목적과 비용을 고려하여 가설시스템 중 일체타설용 거푸집 부분을 제작함
 - 일체타설용 거푸집 부분은 갱폼과 이를 앞·뒤로 수평 이동하기 위한 트레블러로 구성됨. 트레블러의 경우 이를 레일 시스템과 분리할 수가 없으므로 일체타설용 갱폼을 제작
 - 상기의 검토과정을 통해 Mock-up 테스트를 위한 가설시스템의 제작범위는 2안의 일체타설용 갱폼부분으로 설정하였음

③ Mock-up 계획 수립

- 대상: 가설시스템의 거푸집 + 일체타설 시스템
- 측정데이터
 - 골조 및 단열재 일체타설 공정부하(투입인력, 작업시간 등)
 - 골조 및 단열재 품질
- 규모: 10.5m(W) x 3.4m(H), 1.5개층 (0.6m 기형성 후, 2.8m 타설)
- 부위: 창호부/ 코너부/ 측벽부 + 파이어벨트 선부착/후부착 방법 비교실험



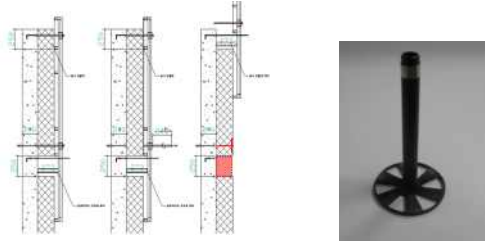
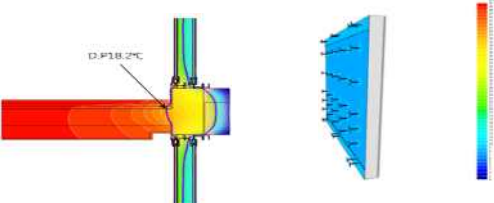
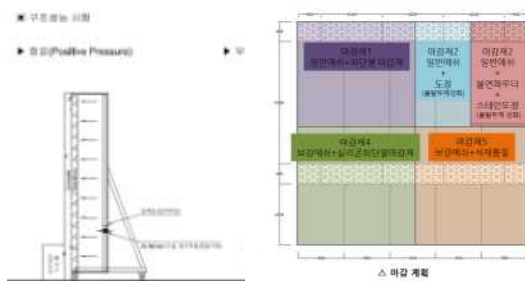
[그림 12] Mock-up Test 계획수립

T2. 공정간소형 외단열 시공공법

(1) 기술의 정의

- 갱폼에 단열재를 선고정한 후 콘크리트를 타설하는 현장 타설일체형 공법으로 별도의 접착제를 사용하지 않고 단열재와 벽체가 직접 부착되는 외단열 방식

(2) 기술개발 절차

절 차	내 용	이미지
(가) 공정간소형 외단열 시스템 설계	▪ 공정간소형 외단열 시스템 설계 ▪ 단열재 사양 및 설치방법 ▪ 단열재 부속자재 개발	
(나) 열관류율 시뮬레이션	▪ 대상 및 시뮬레이션 부위 선정 ▪ 단열성능 분석 ▪ 결로 분석 ▪ 열교최소화 방안 도출	
(다) 부착력 Test	▪ 단열재와 콘크리트간 부착력 시험	
(라) 공정간소형 외단열 시공공법 Mock-up Test 계획 수립	▪ 가설시스템과 연계한 시험체 설계	

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

(가) 공정간소형 외단열 시스템 설계

① 공정간소형 외단열 시스템 설계

■ 기존 단열 공법의 문제점 분석

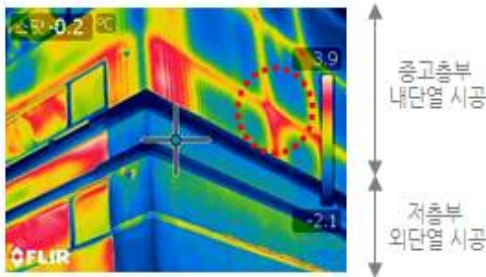
- 기존 내단열 공법의 문제점

- 슬래브, 벽체 등 교차부위 단열재 불연속성으로 열교발생

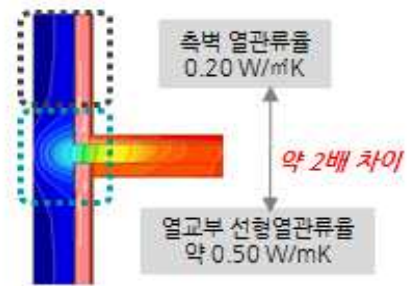
→ 일반벽체 대비 약 2배 이상 성능이 약함

- 현행 단열기준법의 단열재 두께를 30~50%향상하여도
부위별 열교현상 및 열손실 발생

- ‘17년 패시브하우스 구현시 내단열 공법 적용불가 예상



[그림 13] 열화상 촬영



[그림 14] 측벽-슬라브 접합부 SW분석 결과

- 기존 외단열 공법의 문제점

- 기존 외단열공법의 경우 품질기준 미준수, 내구성 저하

→ 중대 하자 발생 : 탈락, 균열, 변형, 오염

- 고층용 시공사례 부족

- 비계, 곤도라 등 가설재 추가 설치, 골조 완료 후 시공

→ 시공성 및 경제성 低, 공기지연



[그림 15] 하자(탈락) 사례



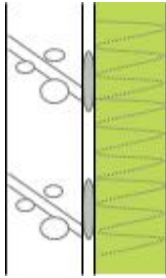
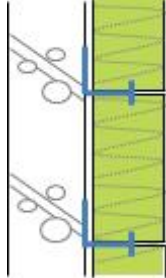
[그림 16] 가설재 설치 및 작업 사진

■ 기존 외단열 공법 분석

– 단열재 부착 방식에 따른 분석

- 탈락 등의 중대하자를 방지하기 위한 콘크리트 일체형 공법, 골조공사와 동시에 외단열 시공이 가능한 공기단축형 시스템, 기존 가설시스템과 통합을 통한 경제성이 확보된 타설일체형 외단열 공법

[표 8] 기존 공법 단열재 부착 방식에 따른 분석

분류	습식공법	건식공법
단면도		
장점	경제적 단열재 탈락현상	부착력 높음 고가의 공사비
단점	균열 발생 공기 지연	낮은 시공성 공기 지연

– 시공 방식에 따른 분석

[표 9] 기존 공법 외단열 시공 방식에 따른 분석

분류	비계/ 곤도라 방식	Work Plat Form/ ACS RCS
사진		
장점	경제적	높은 안정성 높은 작업성
단점	고층 공사 불리 낮은 안정성 공기 지연, 기후 영향	고가의 비용

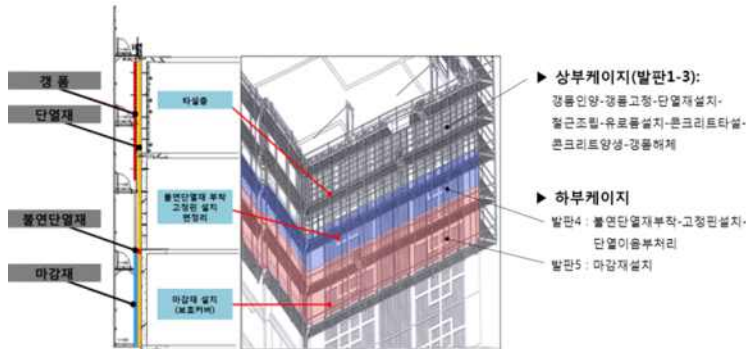
■ 공정간소형 외단열 시스템 설계

– 개요

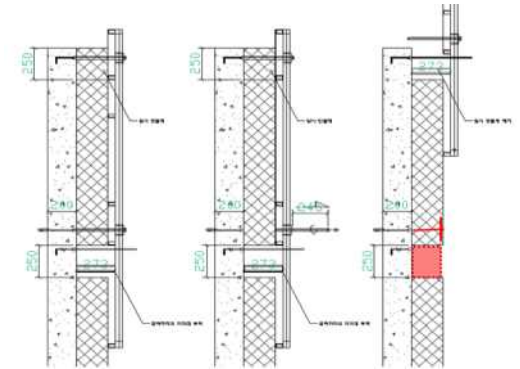
- 본 공법은 갱폼에 단열재를 선고정한 후 콘크리트를 타설하는 현장 타설일체형 공법으로,

별도의 접착제를 사용하지 않고 단열재와 벽체가 직접 부착되는 외단열 방식

- 갱폼시스템을 고정하기 위해 누락된 단열부는 불연단열재로 충진하여 화재 확산을 방지하고, 거푸집 고정을 위해 설치되는 원터치볼트의 해체시 발생하는 단열재의 천공부는 플라스틱 고정구를 설치하여 열교를 최소화하고, 단열재와 마감재의 부착성을 향상시킨 공법



[그림 17] 공정간소형 외단열 시스템 개념도



[그림 18] 공정간소형 외단열 시스템 상세도

– 특징

- 본 공법의 장점은 단열재와 콘크리트의 일체 시공과 세파타이와 고정구의 볼트체결을 통한 단열재의 부착력 향상으로 기존 습식형 외단열 공법의 문제점인 탈락하자를 방지
- 외부 단열마감을 통해 겨울철 콘크리트의 동해 피해를 줄이고 골조 미세균열의 노출을 방지하는 등 골조품질 향상 가능
- 외부 견출작업, 단열 합지공정, 갱폼 면처리 작업 등 불필요한 공정이 생략되어 시공성이 향상되며, 동절기 공사에 유리함
- 공사비의 경우 공정 간소화에 따른 공임 및 자재비 절감과 기존 갱폼시스템을 활용한 가설비 절감으로 기존 습식형 외단열 공법보다 경제성이 우수함

– 시공프로세스

- 상부케이징에서 「갱폼인양 - 갱폼고정 - 단열재 설치 - 철근조립 - 유로품 설치 - 콘크리트 타설 - 콘크리트 양생 - 갱폼 해체」 순서로 단열재와 콘크리트가 타설되며, 동시에 하부케이징에서는 「불연단열재 부착 - 고정핀 설치 - 단열이음부 처리 - 마감재 설치」 순서로 마감공사를 진행

② 단열재 사양 및 설치 방법

▪ 단열재 사양

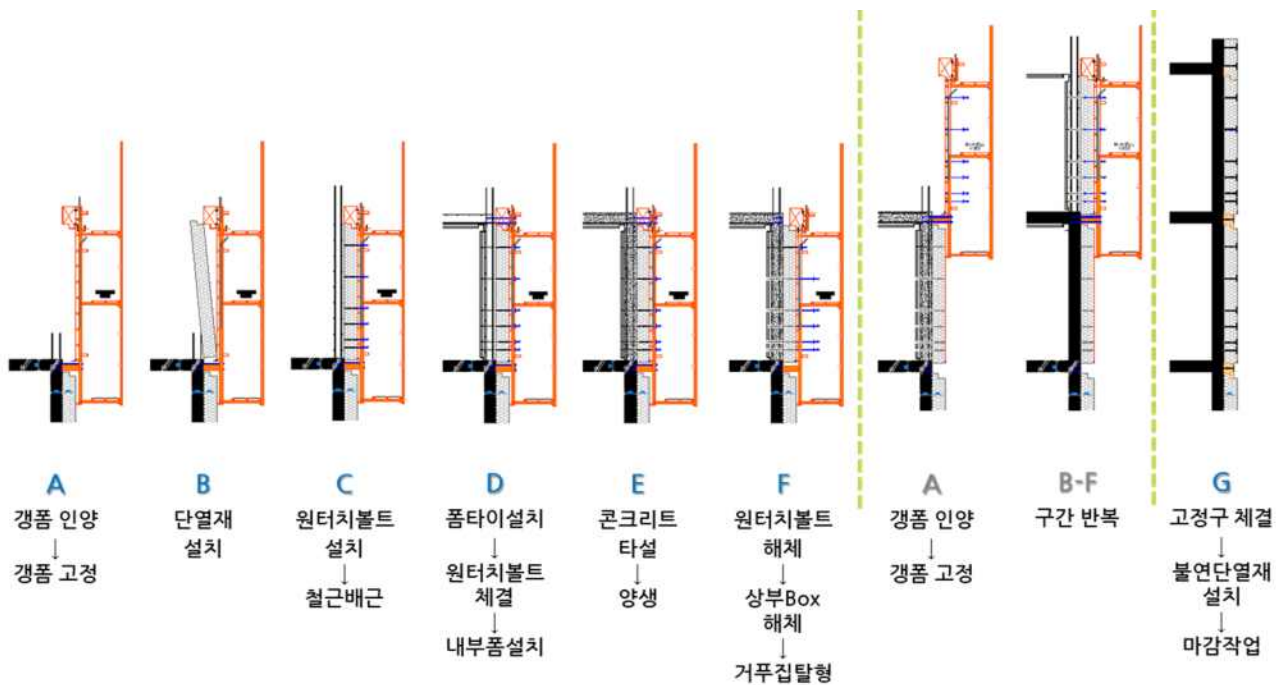
- 본 공법에 적합한 단열재는 콘크리트와의 부착성, 내구성, 안전성, 경제성, 시공성, 유지관리성 등을 고려하여 적정 자재를 선정하기 위해 단열재 사양을 조사함

[표 10] 단열재 사양

구분	비드법보온판 (2종2호)	압출법보온판(특호)	경질 우레탄	록셀보드(무기질)	비고
사진					
기본 물성	열전도율	0.032 W/mK	0.027 W/mK	0.020 W/mK	0.037 W/mK
	밀도	15~30 Kg/m³	20 이상 Kg/m³	30~45 Kg/m³	70 Kg/m³
	압축강도	0.15 N/mm²	0.20 N/mm²	0.15 N/mm²	0.17 N/mm²
	굽힘강도	0.23 N/mm²	0.27 N/mm²	0.20 N/mm²	0.51 N/mm²
	인장강도	0.57 N/mm²	0.57 N/mm²	0.65 N/mm²	0.58 N/mm²
	흡수량	1.00이하 g/100cm²	1.00이하 g/100cm²	1.00이하 g/100cm²	2.00이하 g/100cm²
	투습저항	0.0034 m² Spa/ng	0.0068 m² Spa/ng	0.0044 m² Spa/ng	0.0316 m² Spa/ng
특성	내구성	○	△	△	○
	방화성	△ (자기소화성)	△ (자기소화성)	△ (자기소화성)	○ (불연성)
	내수성	○	○	○	○
	경제성	○	○	△	X
					성적서 참조
					경시변화

▪ 단열재 설치 방법

- 갱폼 고정 후 단열재와 콘크리트의 일체 시공과 세파타이와 고정구의 볼트체결을 통해 단열재를 콘크리트와 화학적, 물리적으로 고정하여 부착력을 강화함



[그림 19] 공정간소형 외단열 시스템 상세 시공 프로세스

③ 단열재 부속자재 개발

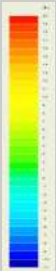
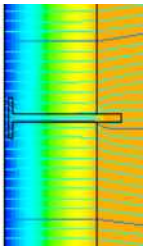
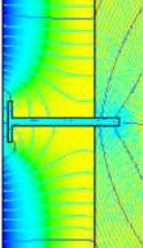
▪ 폴리아미드 고정구 개발

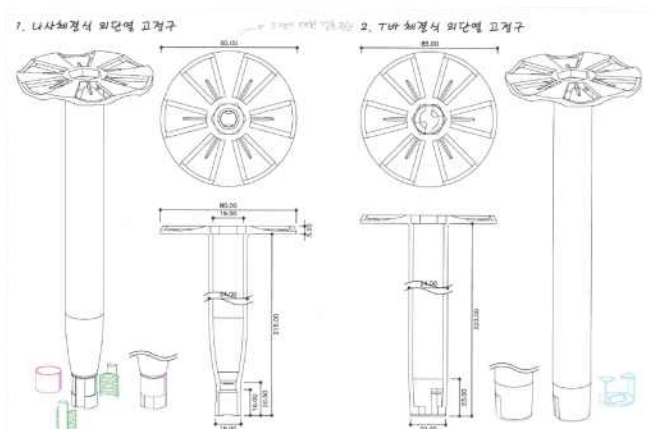
- 단열재 및 마감재 부착성능 향상과 열교를 최소화하기 위한 고정구를 개발하였고 소재는 기존 PVC에서 강성이 높은 폴리아미드로 변경함
- 고정구는 형틀 공사 시 내부품과 갱폼을 세파타이+원터치볼트로 체결하여 고정하게 되는데, 원터치볼트 해체 시 발생하는 단열재 천공부 및 세파타이의 나사선을 활용한 고정구를 개발

하여 본 공법의 내풍압성 및 부착성능을 향상시킬 수 있음

- 폴리아미드 고정구의 열교 성능 검증을 위해 철재 고정구와 비교한 결과, 선형열관류율의 차이는 90%이상으로 개발 고정구를 열교 저감용 자재로 활용가능하다는 것을 검증함

[표 11] 폴리아미드· 철재 고정구의 선형열관류율 비교

구분	폴리아미드	철재
		
선형열관류율 (w/mK)	0.006	0.108



[그림 20] 폴리아미드 고정구 상세도



[그림 21] 폴리아미드 고정구



[그림 22] 폼타이-원터치볼트 체결 모습

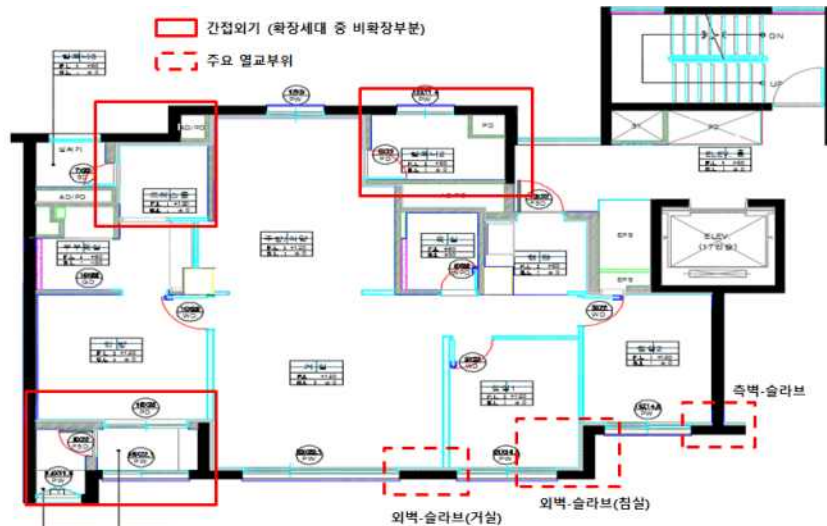


[그림 23] 폼타이-고정구 체결 모습

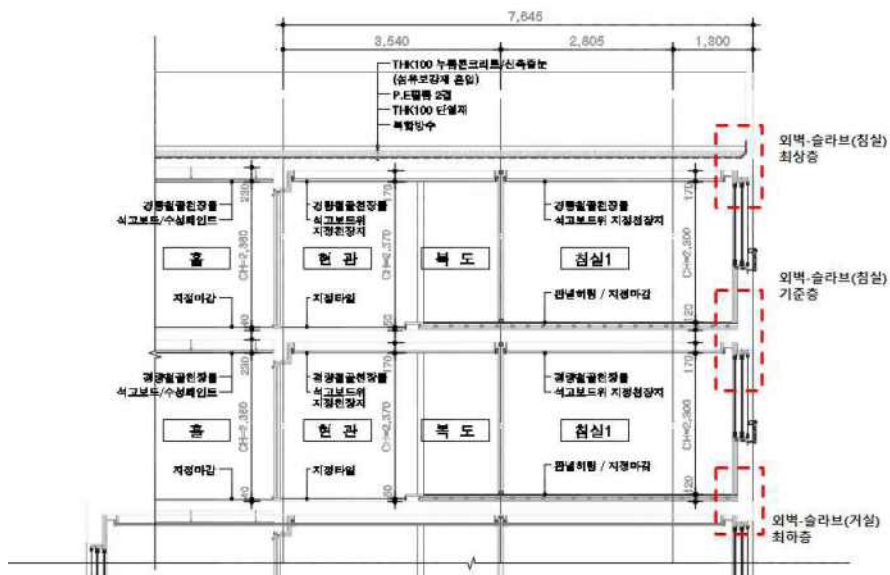
(나) 열관류율 시뮬레이션

① 대상 및 시뮬레이션 부위 선정

- 대상 선정 및 시뮬레이션 부위 선정
 - 우리나라에서 가장 보급률이 높은 기준층이 84㎡인 당사 공동주택을 대상으로 선정하였으며, 단열성능 분석, 발코니 비확장 부위 결로분석, 열교최소화 방안을 위한 단열캡 두께에 따른 열관류율 분석을 실시
- 주요 열교 부위



[그림 24] 주요 열교 부위



[그림 25] 확장형 세대 주단면도

② 단열성능 분석

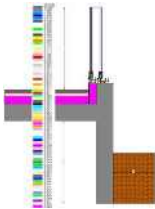
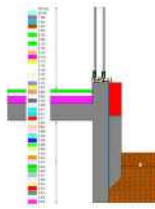
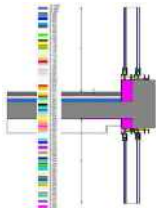
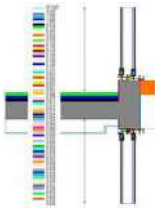
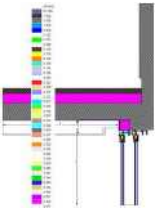
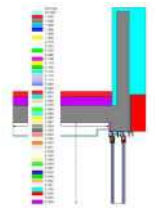
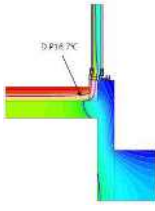
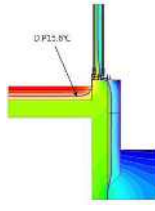
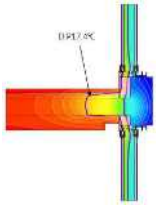
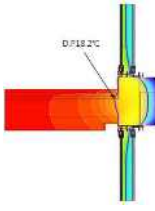
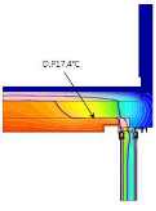
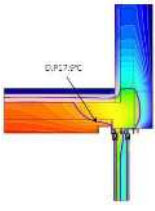
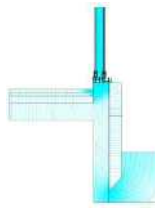
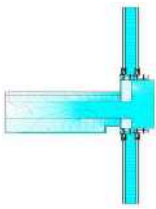
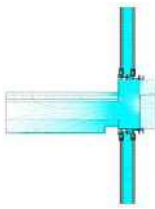
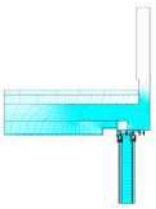
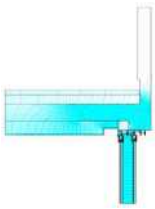
▪ 2차원 정상상태 열관류율 시뮬레이션

- 외피 공법에 따른 선형열관류율을 파악하기 위하여 측벽-슬라브 접합부, 전면외벽-슬라브 접합부, 세대간벽 접합부로 내단열 공법의 경우와 공정간소형 외단열 공법의 경우를 분석함

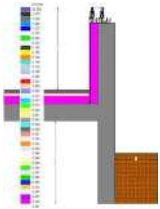
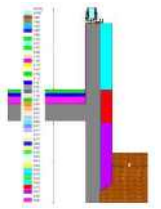
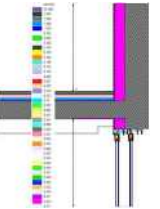
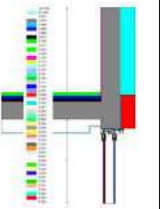
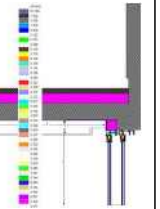
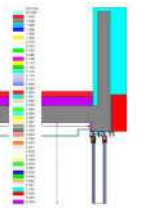
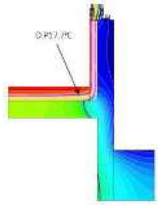
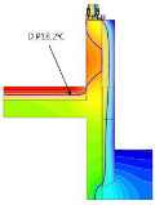
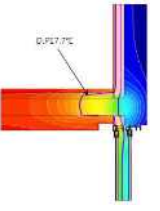
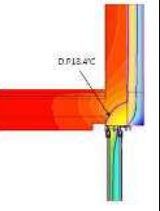
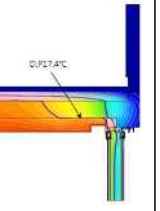
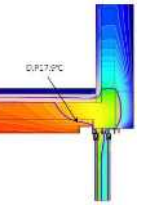
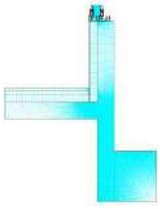
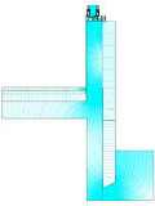
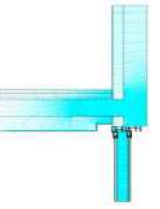
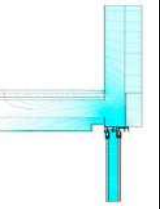
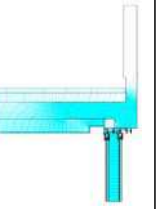
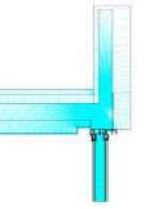
[표 12] 측면-슬라브 접합부 열관류율 시뮬레이션 결과

측벽-슬라브 접합부						
구분	최하층		기준층		최상층	
	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법
해석부위 및 경계조건						
온도분포						
손실열흐름						
실내최저온도	24℃	20.9℃	22.5℃	24.2℃	21.5℃	22.4℃
결로발생시점	0.02 (<0.25) if) RH > 95% (@25℃)	0.10 (<0.25) if) RH > 79% (@25℃)	0.07 (<0.25) if) RH > 84% (@25℃)	0.01 (<0.25) if) RH > 96% (@25℃)	0.08 (<0.25) if) RH > 81% (@25℃)	0.06 (<0.25) if) RH > 86% (@25℃)
선형열관류율	1.68W/m·K (0%)	0.417W/m·K (-75%)	0.610W/m·K (0%)	0.055W/m·K (-90%)	0.445W/m·K (0%)	0.325W/m·K (-29%)

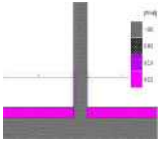
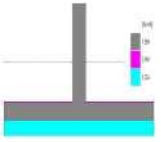
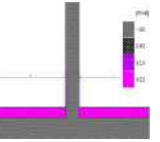
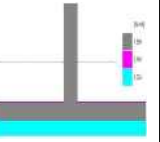
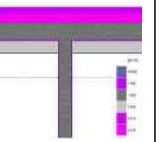
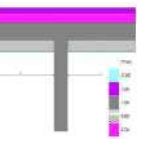
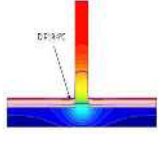
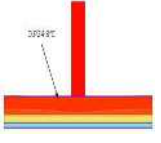
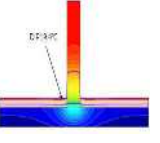
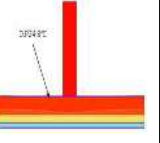
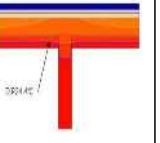
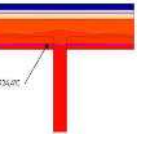
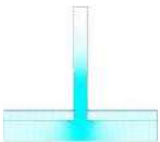
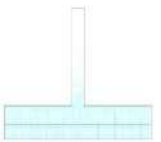
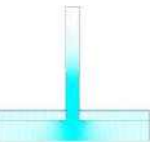
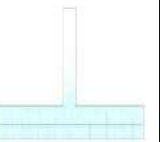
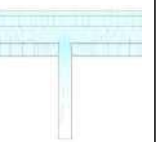
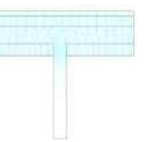
[표 13] 전면 외벽-슬라브 접합부 열관류율 시뮬레이션 결과

전면 외벽-슬라브 접합부						
구분	최하층		기준층		최상층	
	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법
해석부위 및 경계조건						
온도분포						
						
손실열흐름						
실내최저온도	16.4℃	15.5℃	17.4℃	18.2℃	17.4℃	17.8℃
결로발생시점	0.21 (<0.25) if) RH > 60% (@25℃)	0.23 (<0.25) if) RH > 56% (@25℃)	0.18 (<0.25) if) RH > 63% (@25℃)	0.17 (<0.25) if) RH > 66% (@25℃)	0.19 (<0.25) if) RH > 63% (@25℃)	0.17 (<0.25) if) RH > 65% (@25℃)
선형열관류율	1.98W/m·K (0%)	0.687W/m·K (-65%)	0.61W/m·K (0%)	0.66W/m·K (8.1%)	0.43W/m·K (0%)	0.45W/m·K (4.6%)

[표 14] 전면 외벽-슬라브 침실1 접합부 열관류율 시뮬레이션 결과

전면 외벽-슬라브 침실1 접합부						
구분	최하층		기준층		최상층	
	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법
해석부위 및 경계조건						
온도분포						
						
손실열흐름						
실내최저온도	17.5℃	15.6℃	17.5℃	18.4℃	17.4℃	17.8℃
결로발생시점	0.18 (<0.25) if) RH > 64% (@25℃)	0.17 (<0.25) if) RH > 66% (@25℃)	0.18 (<0.25) if) RH > 64% (@25℃)	0.16 (<0.25) if) RH > 67% (@25℃)	0.19 (<0.25) if) RH > 63% (@25℃)	0.17 (<0.25) if) RH > 65% (@25℃)
선형열관류율	0.85W/m·K (0%)	-0.11W/m·K (-87%)	0.637W/m·K (0%)	0.410W/m·K (-35%)	0.43W/m·K (0%)	0.45W/m·K (4.6%)

[표 15] 세대간벽 접합부 열관류율 시뮬레이션 결과

세대간벽 접합부						
구분	최하층		기준층		최상층	
	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법	내단열	공정간소형 외단열 공법
해석부위 및 경계조건						
온도분포						
						
손실열흐름						
실내최저온도	19.5℃	24.1℃	19.5℃	24.1℃	24.4℃	24.4℃
결로발생시점	0.14 (<0.25) if) RH > 74% (@25℃)	0.02 (<0.25) if) RH > 95% (@25℃)	0.14 (<0.25) if) RH > 74% (@25℃)	0.02 (<0.25) if) RH > 95% (@25℃)	0.015 (<0.25) if) RH > 97% (@25℃)	0.01 (<0.25) if) RH > 96% (@25℃)
선형열관류율	0.631W/m·K (0%)	0.040W/m·K (-93%)	0.631W/m·K (0%)	0.040W/m·K (-93%)	0.035W/m·K (0%)	0.034W/m·K (-2.8%)

- 공정간소형 외단열 공법이 선형열관류율 측면에서 내단열 공법 대비 평균 측벽-슬라브 65%, 전면외벽-슬라브 거실 접합부 17%, 전면외벽-슬라브 침실1 접합부 39%, 세대간벽 접합부 63% 개선이 되는 것을 알 수 있었음
- 공정간소형 외단열 공법과 내단열 공법에서 창호와 연결된 부위의 경우 창호와 콘크리트 사이의 열저항이 낮은 부위를 통해 손실열량 흐름으로 인해 선형열관류 값 차이는 크게 나타나지 않는 것을 파악할 수 있었음
- 외피 면적 중 창호가 차지하는 면적이 높아질수록 외피 성능이 낮아지기 때문에 창호 성능 또한 개선 되어야 할 것으로 사료됨
- 또한 최상층 전면외벽-슬라브 거실 접합부와 침실1 접합부 내단열 공법과 공정간소형 외단열 공법의 단열 성능측면에서 내단열 공법이 약 4.6% 우수하게 평가됨
- 이는 공정간소형 외단열 공법 상부측 창호를 통해 흐르는 손실열량을 차단하기 위한 열저항적 요소가 없기 때문에 선형열관류율 값이 내단열 공법보다 높게 나타난 것으로 사료되고, 최상부측 단열재의 배치는 단열 성능에 효과가 없는 것으로 판단됨

■ 3차원 정상상태 열관류율 시뮬레이션

- 외피 공법에 따른 등가열관류율을 파악하기 위하여 내단열, 기존외단열, 공정간소형 외단열 3가지 공법에 대해 벽체(W3000×H2800)에 슬라브를 결합한 형태로 등가열관류율을 분석함

[표 16] 3차원 정상상태 열관류율 시뮬레이션 결과

구분	내단열	기존 외단열	공정간소형 외단열 공법
해석부위 및 경계조건			
온도분포			
손실열흐름			
벽체 열관류율	0.207W/m²K	0.197W/m²K	0.203W/m²K
등가 열관류율	0.631W/m²K	0.200W/m²K	0.205W/m²K

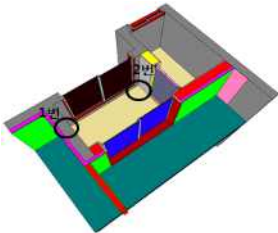
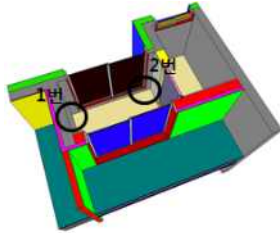
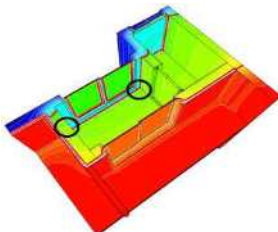
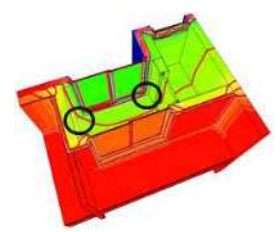
- 내단열 공법 등가열관류율 0.631W/m²K, 기존 외단열공법 등가열관류율 0.200W/m²K, 공정간소형 외단열 공법 등가 열관류율 0.205W/m²K로 나타났으며, 기존 외단열공법과 공정간소형 외단열 공법의 등가열관류율이 좋은 성능을 나타내고 있었음
- 공정간소형 외단열의 경우 공기층의 R-value가 없기 때문에 약 2.4% 기존외단열과 단열 성능 차이를 나타내는 것으로 사료됨
- 공정간소형 외단열과 기존 외단열 공법의 차이는 실질적으로 단위 m당 공사비, 안정성 및 내구성을 같이 고려한다면 공정간소형 외단열이 우선시 될 것이라 판단됨

③ 결로 분석

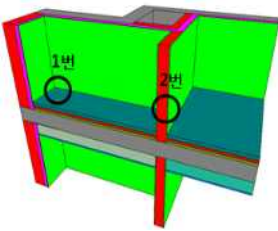
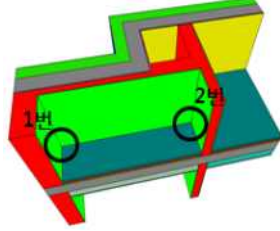
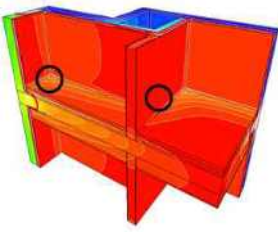
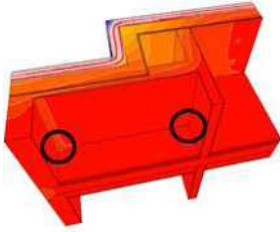
▪ 발코니 비확장 부위 결로 분석

- 발코니 비확장 부위 결로 발생 여부 파악을 위해 전면부 안방 발코니, 후면부 다용도실, 후면부 주방 발코니에 대해 분석함

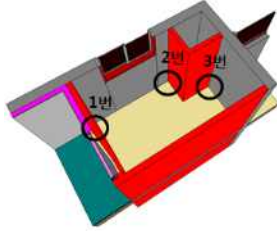
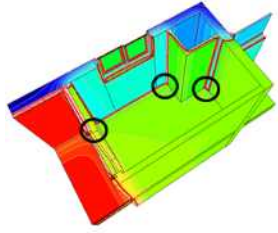
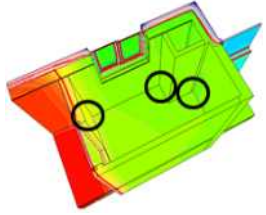
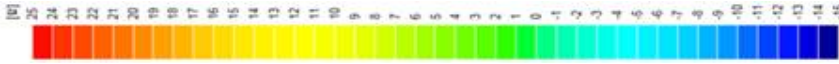
[표 17] 전면부 안방 발코니 1 부위 결로 분석 결과

전면부 안방 발코니 1			
구분	내단열		공정간소형 외단열 공법
분석부위 모델링			
분석결과			
			
단열재 추가	추가 없음	단열재10mm 추가	추가 없음
최저표면온도	1번 -3.43℃ (0.42 > 기준 0.25) 2번 -2.04℃ (0.35 > 기준 0.25)	1번 0.48℃ (0.22 < 기준 0.25) 2번 1.28℃ (0.18 < 기준 0.25)	1번 7.34℃ (-0.11 < 기준 0.25) 2번 3.48℃ (0.07 < 기준 0.25)
적합여부	벽체접합부 결로 발생	벽체접합부 결로 미발생	벽체접합부 결로 미발생

[표 18] 후면부 다용도실 부위 결로 분석 결과

후면부 다용도실		
구분	내단열	공정간소형 외단열 공법
분석부위 모델링		
분석결과		
최저표면온도	· 1번 19.30℃ (0.14 < 기준 0.25) · 2번 22.19℃ (0.07 < 기준 0.25)	· 1번 23.5℃ (0.03 < 기준 0.25) · 2번 24.4℃ (0.01 < 기준 0.25)
적합여부	벽체접합부 결로 미발생	벽체접합부 결로 미발생

[표 19] 후면부 주방 발코니2 부위 결로 분석 결과

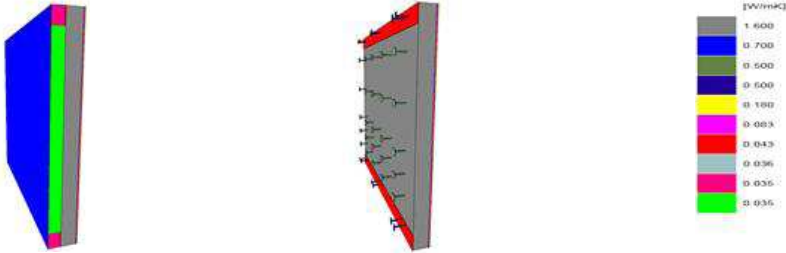
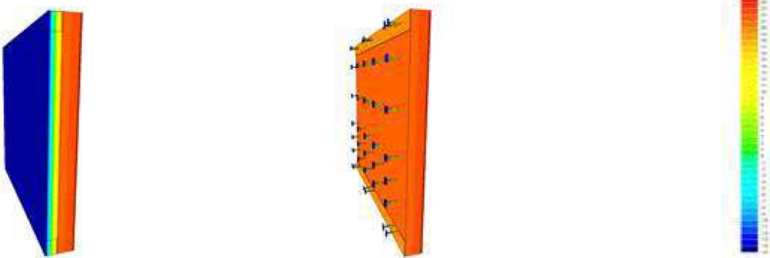
후면부 주방 발코니 2					
구분	내단열				개발공법
분석부위 모델링					
분석결과					
					
단열재 추가	추가 없음	단열재 10mm 추가	단열재 20mm추가	단열재 30mm추가	추가 없음
최저 표면 온도	· 1번 -4.23℃ (0.46 > 기준 0.25) · 2번 -5.23℃ (0.51 > 기준 0.25) · 3번 -3.15℃ (0.40 > 기준 0.25)	· 1번 -2.02℃ (0.35 > 기준 0.25) · 2번 -2.84℃ (0.39 > 기준 0.25) · 3번 0.01℃ (0.24 < 기준 0.25)	· 1번 -0.75℃ (0.28 > 기준 0.25) · 2번 -1.48℃ (0.32 > 기준 0.25) · 3번 0.74℃ (0.21 < 기준 0.25)	· 1번 0.64℃ (0.21 < 기준 0.25) · 2번 -0.06℃ (0.25 = 기준 0.25) · 3번 1.18℃ (0.19 < 기준 0.25)	· 1번 9.69℃ (-0.23 < 기준 0.25) · 2번 3.92℃ (0.05 < 기준 0.25) · 3번 3.65℃ (0.06 < 기준 0.25)
적합여부	벽체접합부 결로 발생	벽체접합부 결로 발생	벽체접합부 결로 발생	벽체접합부 결로 미발생	벽체접합부 결로 미발생

- 내단열 공법의 경우 전면부 안방 발코니 부위 TDR 기준 0.25를 만족하지 않는 결과로 일정 습도를 충족시킨 경우 결로가 발생될 것으로 분석됨
- 이에 결로 발생을 방지하기 위해 단열재(비드법 1종 1호)를 10mm 추가할 경우 TDR 0.22, 0.18의 결과로 결로를 방지할 수 있으며, 20mm, 30mm 추가할 경우 마다 결로가 발생되지 않음
- 후면부 다용도실은 TDR 기준 0.25를 0.14, 0.07로 모두 만족하여 결로 발생이 되지 않는다. 후면부 주방 발코니 부위 TDR 기준 0.25를 만족하지 않는 결과로 일정 습도를 충족시킨 경우 결로가 발생될 것으로 파악됨
- 결로 발생을 방지하기 위해 단열재(비드법 1종 1호)를 30mm 추가할 경우 TDR 0.21, 0.25, 0.19로 결로가 발생하지 않음
- 내단열 공법의 적정 단열재 두께는 30mm로 추가 단열재를 설치할 경우 전면부 안방 발코니 부위와 후면부 주방 발코니 부위의 결로를 모두 방지할 수 있음
- 공정간소형 외단열 공법의 경우 전면부 안방 발코니, 후면부 다용도실, 후면부 주방 발코니 부위 TDR 기준 0.25를 만족하며 결로 기준에 적합한 것으로 분석됨

④ 열교최소화 방안 도출

- 공정간소형 외단열 공법에 대한 열교부위 최소화 분석
 - 벽체는 W3000 X H2800에 개발 공법의 단열캡 두께에 따른 성능 변화에 대한 분석을 위해 단열캡 두께를 10mm, 15mm, 20mm 변화를 주어 단열 성능을 비교함

[표 20] 공정간소형 외단열 공법에 대한 열교최소화 방안

구분	단열캡 두께에 따른 성능		
해석부위 및 경계조건			
온도분포			
손실열흐름			
단열캡 두께	10mm	15mm	20mm
실내최저온도	24.1℃	24.1℃	24.1℃
열량	67.201W	67.168W	67.156W
벽체 열관류율	0.200W/㎡ K	0.200W/㎡ K	0.200W/㎡ K
등가 열관류율	0.200W/㎡ K	0.200W/㎡ K	0.200W/㎡ K

- 단열캡의 두께에 따른 단열 성능의 변화는 나타나지 않았음
- 단열캡 두께 10mm, 15mm, 20mm와 단열 성능은 열량의 차이는 조금씩 있지만 등가열관류율은 유사한 것으로 나타남

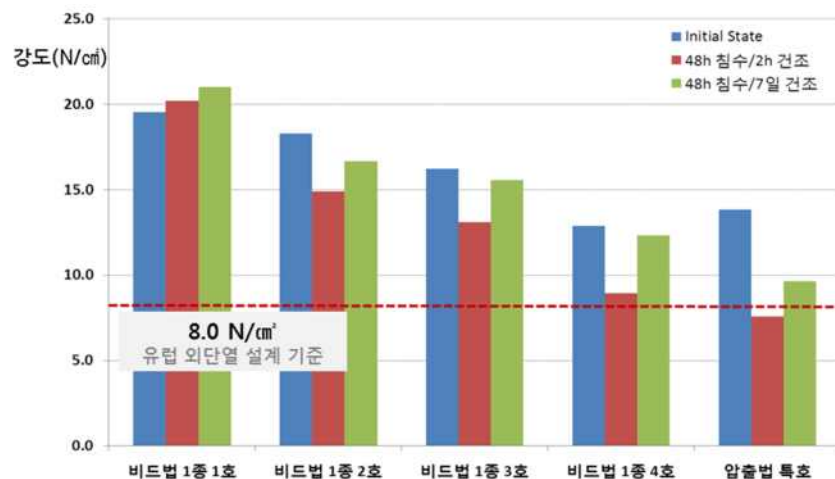
(다) 부착력 Test

① 단열재와 콘크리트간 부착력 시험

- 조건 변화에 따른 단열재-콘크리트간 부착강도 시험
 - 부착강도 시험은 유럽의 외단열 설계기준(ETA004)을 적용하여 조건변화에 따른 단열재와 콘크리트간 부착성을 평가
 - 조건은 상온상태, 48시간 침수후 2시간 건조(23℃/50%RH) 상태, 48시간 침수후 7시간 건조(23℃/50%RH) 상태로 3가지 타입으로 실시
 - 단열재는 비드법보온판 1종 1,2,3,4호, 압출법보온판 특호(표면처리 및 홈처리)로 총 5종을 선정



[그림 26] 부착강도 시험 모습



[그림 27] 조건 변화에 따른 부착강도 시험 결과

- 시험결과, 상온상태의 경우 5종 모두 유럽 외단열 설계기준인 8.0 N/cm²을 만족
- 비드법 1종 2,3,4호와 압출법 특호의 경우, 48시간 침수후 2시간 건조시 부착강도는 상온상태 대비 약 20~45% 낮아졌고, 7시간 건조시 부착강도가 일부 상온상태와 유사하게 상승하는 것을 확인
- 비드법 1종 1,2,3호는 3가지 조건 모두 유럽의 부착강도 기준을 만족하여 본 공법에 적용이 가능할 것으로 판단되며, 특히 비드법 1종 1호의 경우 조건의 변화와 무관하게 안정된 부착강도를 유지하여 본 공법에 적용하는데 가장 적합할 것으로 판단됨

(라) 공정간소형 외단열 시공공법 Mock-up Test 계획 수립

① 가설시스템과 연계한 시험체 설계

㉞ 기본성능시험 계획 수립

- 목적 : 공정간소형 외단열 공법의 기본 물성 검증
- 시험 장소 : KCL(한국건설생활환경시험연구원, 충남서산)
- 시험 항목
 - 내풍압성능 : 풍력기에 의한 내풍압성능(ASTM E 330 & by Specification)
 - : 정압 $5,179\text{N/m}^2$, 부압 $-10,194\text{N/m}^2$
 - 열순환성능(AAMA 501.5) : 내후성
 - 물침투성(AAMA 501.1 & by Specification)
 - 내충격시험(KSF2221) : 일반메쉬, 하부보강메쉬
 - 기타 (화재시험, 부위별 토치 활용)

㉟ 기본성능시험 계획 수립

- 시험체 설계
 - 시험체 규모 : 가로 5.0m * 세로 5.0m * 두께 0.45m (철근 13mm)
 - (기초 : 가로 5.4m * 세로 3.6m * 높이 0.35m , 철근 16mm_240pitch)
 - 콘크리트 벽체 : 가로 5.0m * 세로 5.0m * 두께 0.20m(24MPa)
 - 단열재 : 가로4.5m * 세로 4.4m * 두께 0.21m
 - (비드법보온판 1종1호 205T, 미네랄울 140K 200T)
 - 마감재 : 메쉬(일반, 보강메쉬) + 외단열마감재(드라이비트외 4종)

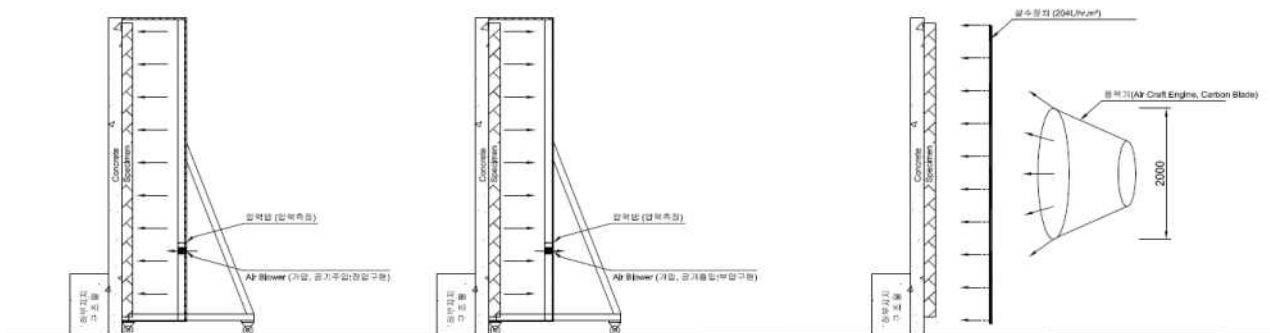
■ 구조성능 시험

▶ 정압(Positive Pressure)

▶ 부압(Negative Pressure)

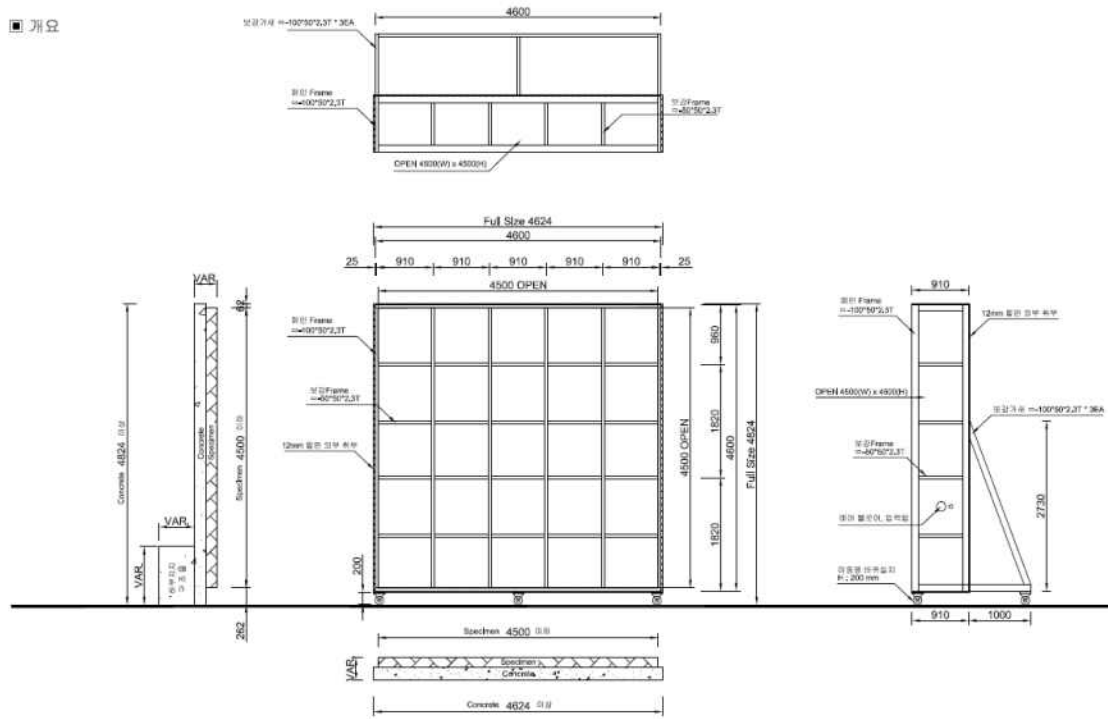
■ 수밀성능 시험

▶ 동압수밀성능시험

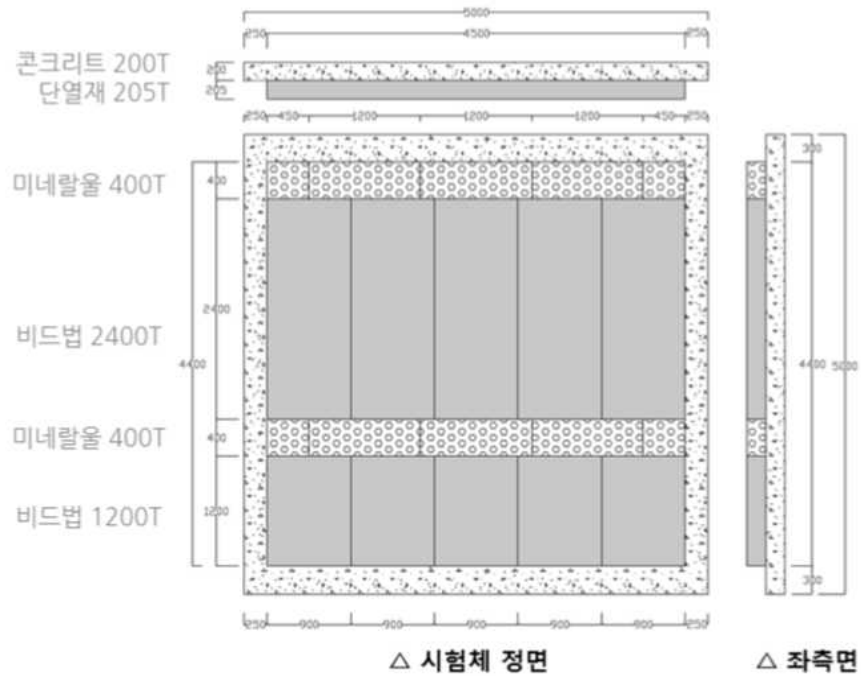


[그림 28] 기본성능시험 모식도

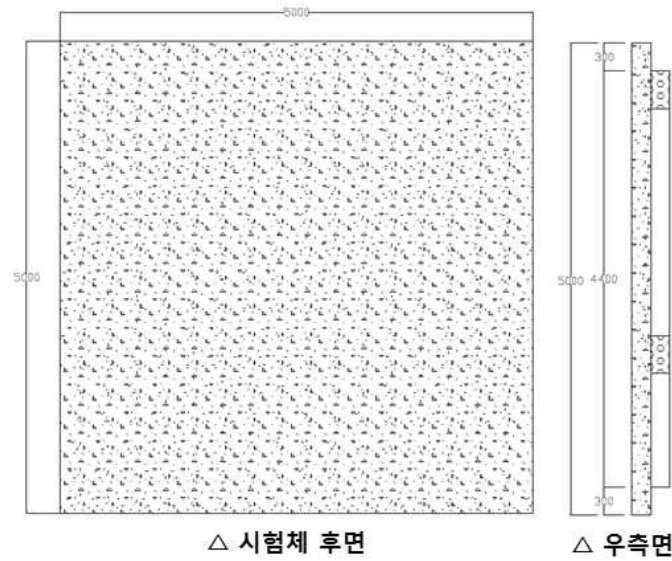
■ 개요



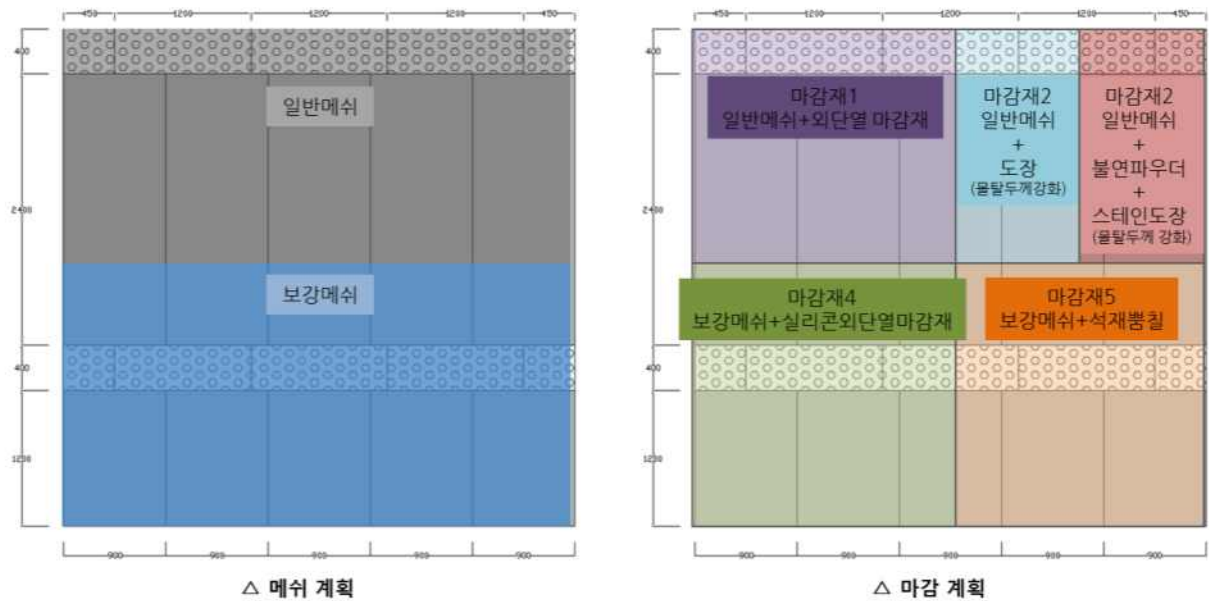
[그림 29] 기본성능시험 챔버계획도



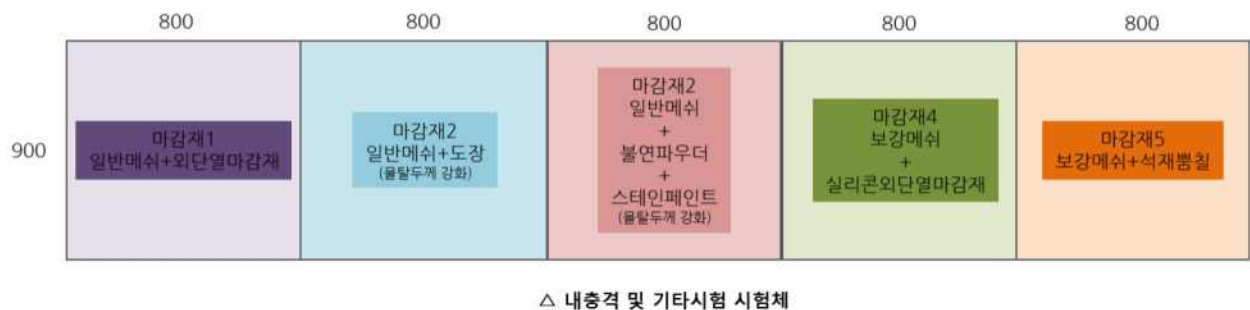
[그림 30] 기본성능 시험체 설계(정면, 좌측면)



[그림 31] 기본성능 시험체 설계(후면, 우측면)



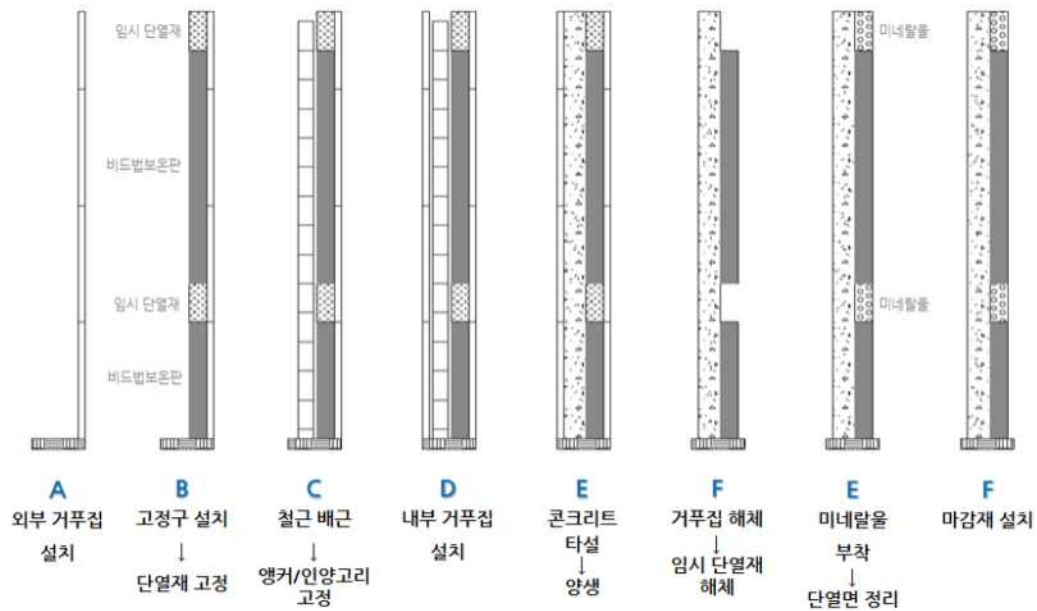
[그림 32] 기본성능 시험체 디테일 설계



[그림 33] 기타 시험체 설계(내충격 및 간이 내화 시험)

② 외단열 시스템 시험체 시공

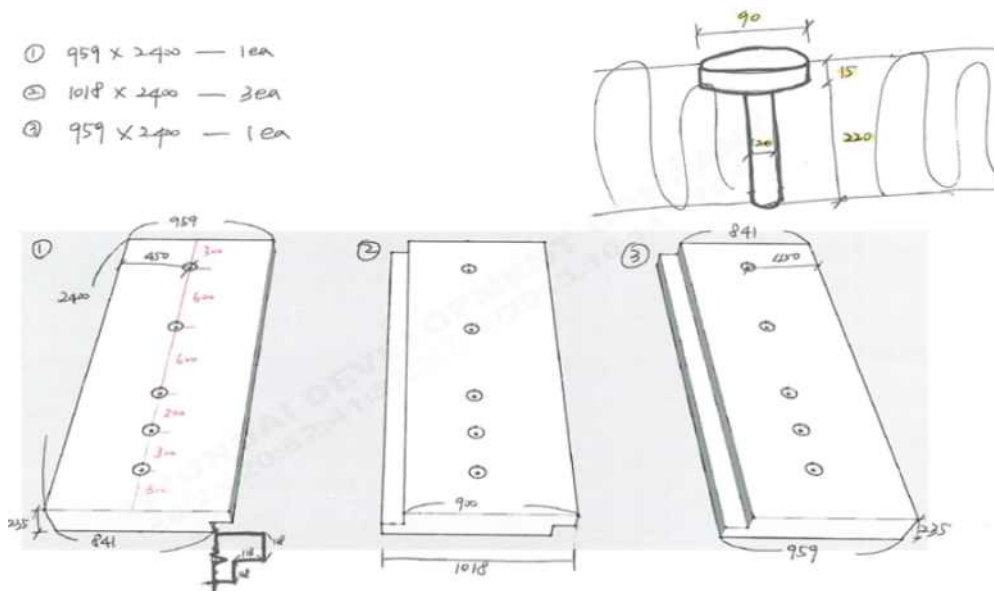
가. 시험체 시공 순서



[그림 34] 시험체 시공 순서

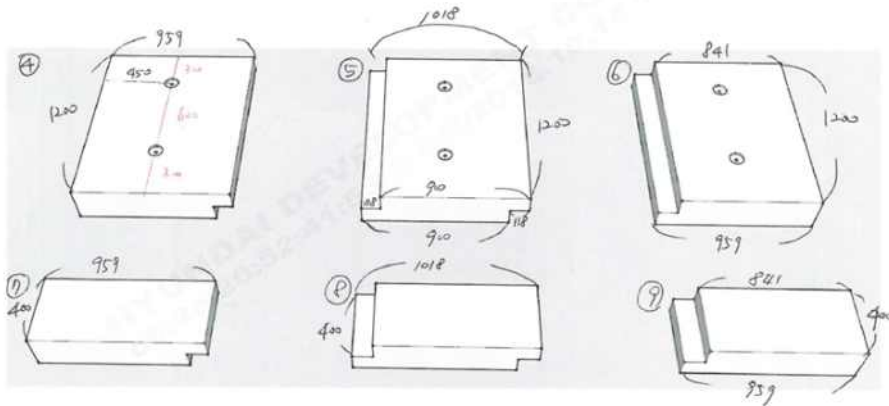
나. 자재 생산

- 단열재(생산 완료) → EPS단열재는 양생기간(6주)가 필요하여 선발하였음
 - 특수형상가공(205T) : 총 29매(9종)
 - 평판 가공(200T) : 총 5매(미네랄울 설치 공간확보를 위한 임시 거푸집)



[그림 35] 기본성능 시험체 단열재 재단 및 타공 계획도 - 1

- ④ 959 X 1200 — 1ea ⑪ 959 X 400 — 2ea
 ⑤ 1018 X 1200 — 3ea ⑫ 1018 X 400 — 6ea
 ⑥ 959 X 1200 — 1ea ⑬ 959 X 400 — 2ea



[그림 36] 기본성능 시험체 단열재 재단 및 타공 계획도 - 2

- 고정구
 - 비드법 보온판 : 총 35 sets(고정구+볼트)
 - 미네랄울 : 총 36개

[표 21] 비드법 보온판· 미네랄울용 고정구

구분	비드법 보온판	미네랄울
구성	고정구(지오산업)+볼트	미네랄울용 고정구(테라코코리아)
사진		

- 단열캡(생산완료) : 35개(비드법 1종 2호) - EPS단열재는 양생기간(6주)가 필요하여 선발주하였음

[표 22] 비드법 보온판용 단열캡

규격	900(□)*10(mm)
사진	

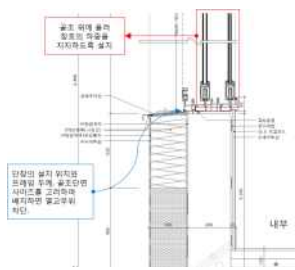
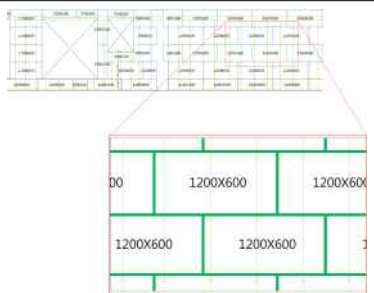
- 기타 필요 부자재
 - 기타 : 페인트(도장용), 우레탄 폼 스프레이, 인양고리, 스페이서, 타이, 접착제(단열캡용), 보양비닐, 갑바

T3. 외단열 적층공법 최적공정관리

(1) 기술의 정의

- 기존 공법의 골조공종에 외단열, 창호, 외장마감이 간섭되어 불필요한 공정 투입을 방지하기 위한 공정순서를 정하고, 최적의 성능을 도출하기 위해 취약부위의 상세도를 제시하여, 공정과 품질을 동시에 만족할 수 있는 관리 포인트를 제시

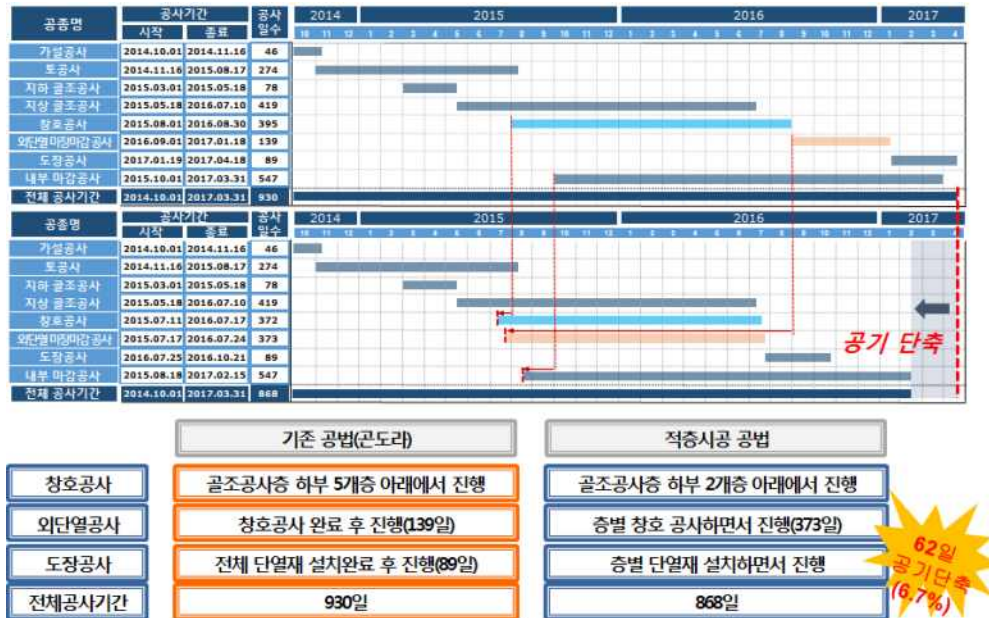
(2) 기술개발 절차

절 차	내 용	이미지
(가) 외단열 최적공정 도출	적층시공 층당공정 작성	 ▲ 골조,창호,단열,외장 공정표
(나) 외단열 최적성능 도출	- 개구부 외단열 개선 상세도 설계 - 최상층 외단열 개선 상세도 설계 - 기타 시공중 문제점 개선 상세도 설계	 ▲ 단열취약부위 상세도 제시
(다) 최적공정관리 기법 기초조사	- 현장적용시 공정변경에 따른 관리기술 도출 - 외단열 적층공법 최적화 공정관리 방안 도출	 ▲ 개구부 위치 및 크기에 따른 단열재 기본규격을 제시하여 효율적 시공 및 자재조달에 기여
(4) 시공매뉴얼 작성안	시공매뉴얼 작성안	 ▲ 공정 진행에 따른 당해 연구과제 내용 피드백

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

(가) 외단열 최적공정 도출

- 기존 당초 공기대비 변경공법 적용시 ‘골조와 함께 창호, 단열, 외장마감’을 조기시행 하게 되면 아래와 같은 공기 단축의 효과가 있음



[그림 37] 당초공법 대비 변경공법 적용시 공기 비교 - 1

- 상기 표의 전체 조건이 창호, 단열, 외장마감이 주요공정인 골조공사의 공기를 준수해야 하므로 아래와 같이 골조공정 사이에 단열, 창호, 외장마감 공정이 동반되어야 하는데, 이때 자원 투입(인력, 장비, 자재)량을 계획하여 엄격히 이행하도록 한다면 각 공정은 허용된 시간내에 작업이 종료되고 골조공기를 훼손하지 않을 것임

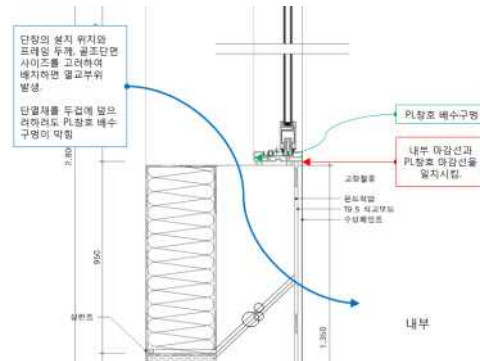


[그림 38] 당초공법 대비 변경공법 적용시 공기 비교 - 2

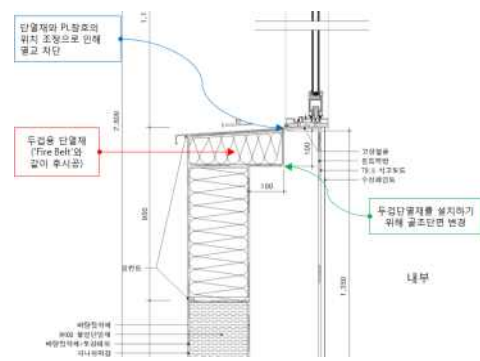
(나) 외단열 최적성능 도출

① 개구부 외단열 개선 상세도 설계

- 건축물에서 외벽 다음으로 많은 에너지가 방출되는 개구부의 최적성능을 구현하기 위해 고려한 사항은 열교방지, 구조안정성, 파손방지 등임에 따라, 아래 그림과 같이 당초에 존재했던 열교에 대해 대안을 제시함



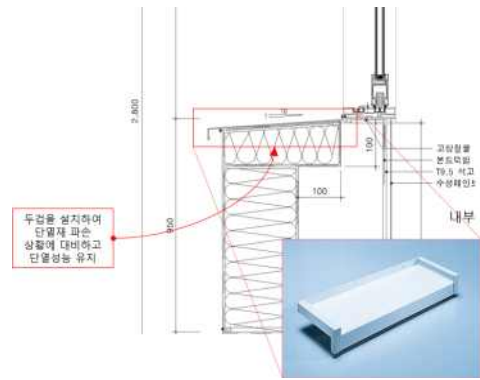
[그림 39] 창호 배치에 따른 열교 발생



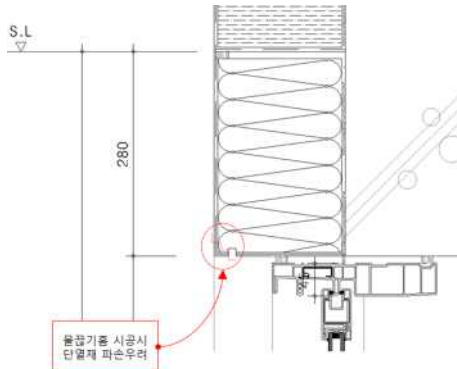
[그림 40] 창호 배치에 따른 열교차단 상세도 제시



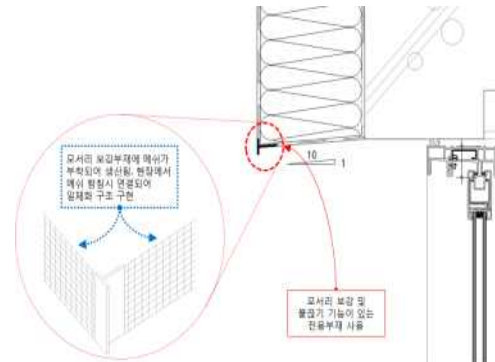
[그림 41] 창호주변 우수로 인한 오염
<출처 : Sto A&C 블로그>



[그림 42] 우수배수를 위한 창틀부속 제안



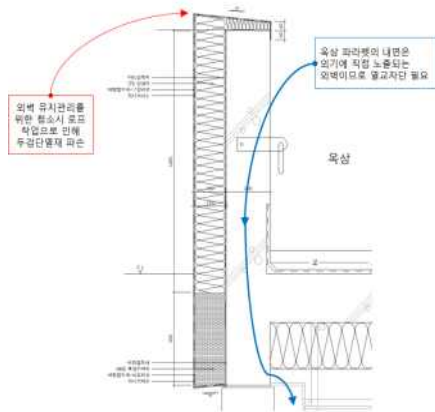
[그림 43] 물끊기층 시공시 단열재 파손우려



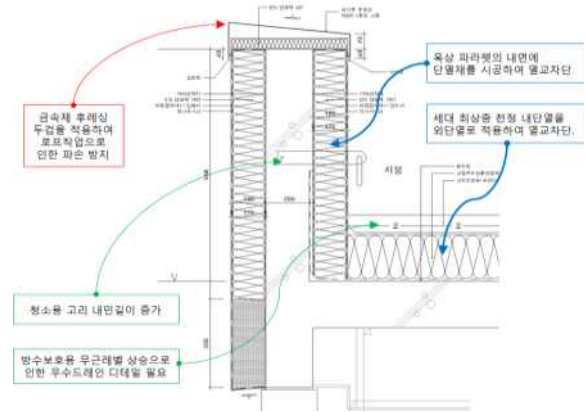
[그림 44] 기성재시공 및 경사조성 상세도 제시

② 최상층 외단열 개선 상세도 설계

- 최상층은 기준층과 비교해볼 때 옥상으로 인한 열손실이 많은 구간이며, 외벽청소와 배수 시설은 외단열을 적용시 더 많은 고려가 필요하여 아래와 같이 상세를 제안함

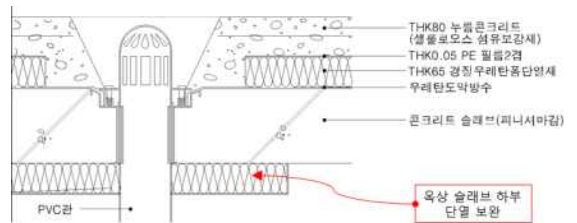


[그림 45] 옥상 파라펫과 슬래브를 통하는 열교 발생



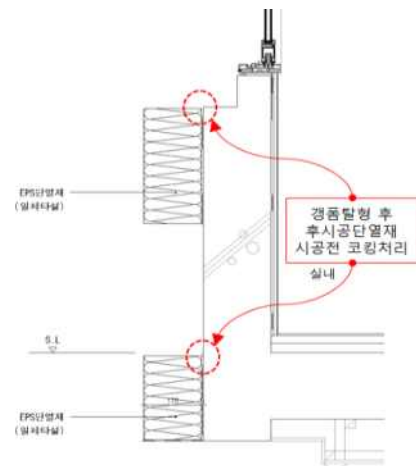
[그림 46] 열교를 차단하고 외벽청소를 위한 로프작업시 두겹의 손상을 방지하는 금속두겹 제안

최상층 외단열 시공시 배수 드레인 주변 열교발생
당초 드레인주변 열교취약부위

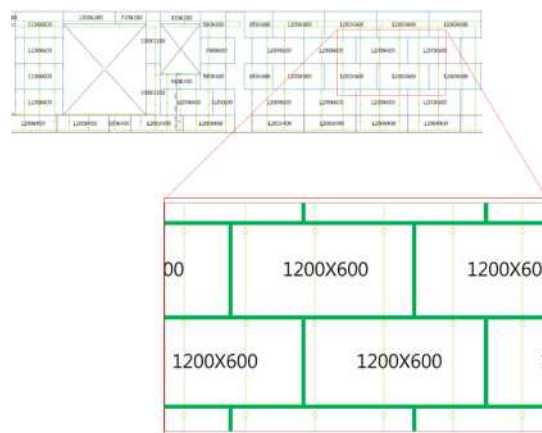


[그림 47] 내단열을 적용하여 열교 최소화

③ 기타 시공중 문제점 개선 상세도 설계



[그림 48] 시공중 침투되는 우수로 인해 단열성능 저하를 방지하는 시공법 제안



[그림 49] 일체타설로 인한 시멘트 페이스트 누출 방지 방법 제안

(다) 최적공정관리 기법 기초조사

① 현장적용시 공정변경에 따른 관리기술 도출 기초조사

- 적층시공 공법 적용 시 골조, 창호, 단열, 외장마감의 4공종이 서로 간섭되기 쉬움. 하지만 공종 간의 간섭을 최소화하기 위해 공정들을 완벽히 분리한다면 전제 공정완료 시점이 늦어지게 되므로 병행 또한 일부 허용하여야 하며, 현장의 상황에 따라 공정분리와 병행, 우선순위에 판단 기준은 Critical-Path가 가장 짧은 상황을 선택해야 함

② 외단열 적층공법 최적화 공정관리 방안 도출 기초조사

1) 실증현장 선정을 위한 최적공정 사전 검토 예

- 한양대행복기숙사 적용 검토안

(공사기간 : 15년 7월 ~ 17년 1월 / 13층 규모 / 내단열 설계)



[그림 50] 전체 조감도

① 공법적용시 유리점

- a. 대지에 경사면이 많아 외장마감을 위한 강관비계를 설치하기 어려운 구간이 있어 당 공법 적용시 가설로 인한 설치해체 시간소요 부담 경감
- b. 이동형 크레인의 설치시 위치가 멀어 용량이 큰 크레인을 사용해야 하는데, 갱폼 가설발판 설치시 이동형크레인 작업량이 현격히 감소하여 고소장비 작업비용 감소
- c. 내단열 보호용 조적시공이 삭제되어 내부 마감공정 간소화 및 VE가능

② 공법적용시 불리점 :

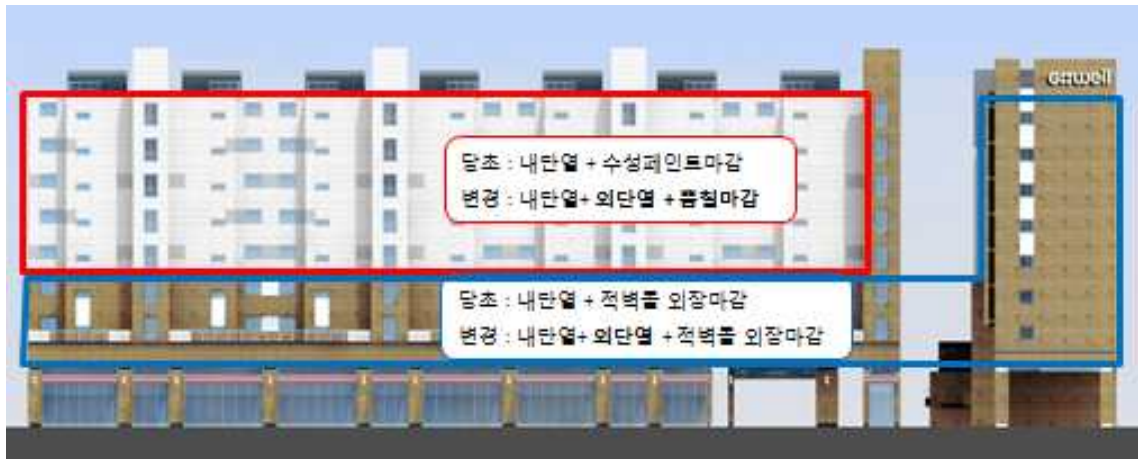
- a. 당초 내단열 현장이므로 외단열 설계로 변경필요하며, 이로 인해 연면적 증가에 따른 추가 설계용역비, 대관업무비가 추가됨
- b. 외단열 마감시 저층부(특히 1층) 파손 우려(주변 구기종목 운동시설로 인함)
- c. 외장마감재 중 변경할 수 없는 재질(컬러 징크판넬)이 있어 외단열적 불리함 (열교

발생 및 고소장비 추가투입) 극복이 필요함

- d. 현장대리인이 숙련 작업자의 수배 및 가공자재의 정확도에 대한 보증이 요구됨
- e. 외단열재의 시공주체가 골조공정 작업자가 수행해야 하는지, 수장 작업자가 설치해야 하는지에 따른 비용 및 품질이 상이함

- 광고오피스텔 적용 검토

(공사기간 : 15년 9월 ~ 17년 3월 / 9층 규모 / 내단열 설계)



[그림 51] 설계변경 컨셉 입면도

① 공법적용시 유리점 :

- a. 당초의 내단열 설계를 외단열로 변경할 경우 내부 석고바탕면 공종이 삭제되어 내부마감 공정 간소화 및 VE가능
- b. 수평적으로 입면이 반복되어 단열재 사이즈 모듈화에 유리함
- c. 저층부의 외벽마감이 시공단가가 높은 고급마감(조적조)이므로 내단열 설계를 외단열로 변경시 외장마감으로 인한 원가 증가폭이 상대적으로 낮음

② 공법적용시 불리점

- a. 기단부, 저층부와 상층부의 구조가 달라 갱폼 및 가설발판의 적용시기가 늦음
- b. 층수가 낮아 가설발판의 효율이 저하됨
- c. 당초 수성페인트 마감에 비해 외단열+뿔철마감 비용의 상승폭이 큼
- d. 계단실이 세대 중간에 배치되어 있어 열교방지에 불리함

- KCC 스마트시티호텔 적용 검토안

(공사기간 : 16년 2월 ~ 18년 4월 / 19층 규모 / 외단열 설계)



[그림 52] 조감도

① 공법적용시 유리점 :

- a. 외단열 설계가 적용된 현장이며 당초 가설비계 설치가 계획되어 있어 당 연구의 가설시스템 적용시 가설비용 절감폭이 높음
- b. 입면의 요철하부를 마감하기 위한 외벽 작업시 장비 및 가설 비용의 많은 투입이 예상되나 당해 공법 적용시 저렴한 비용으로 안정적인 작업발판 제공이 가능함

② 공법적용시 불리점

- a. 입면에 요철이 많아 열교 방지를 위한 상세 적용이 어려움
- b. 입면에 요철을 커버하기 위해 갱폼의 수평위치를 조정할 수 있는 장치가 필요하며 제작에 많은 비용이 소요됨
- c. 기단부가 있어 기준층 갱폼적용 시기가 상대적으로 늦음
- d. 외벽에 창이 많은 구조이므로 창호 입고 지연으로 인해 공정이 지연되지 않도록 주요공정으로 관리가 필요함

(라) 시공매뉴얼 작성안

- 본 연구에서 제시된 공정을 현장에서 시행했을 때 연구시 계획했던 상황과 차이점, 현장관리자와 작업반의 요청사항 및 불합리 사항, 개선할 점을 반영하여 시공매뉴얼로서 명문화된 관리기준을 제시하고자 함

① 골조공사

갯폼Shop DWG 검토 : 단열재나누기도와 갯폼의 Shop. DWG 고정구의 위치 일치여부

창호 하부에 열교방지 단열재 설치를 위한 턱가공 표현여부

갯폼탈형시 : 부착타설된 단열재가 탈락되지 않도록 수평으로 이동하여 탈형여부

탈형시 단열재 탈락 발생 경우 보수 주체 및 비용에 대해 계약시 포함

갯폼양중 설치 : 갯폼양중시 단열재 파손에 주의(벽체와의 이격거리 준수)

갯폼양중 설치시 측면에 설치되는 갯폼과의 수평도 확인

갯폼 설치 후 면정리(시멘트페이스트) 실시 여부

갯폼에 박리제 사용금지

단열재 자재관련 : 갯폼 탈형 전일 자재입고 여부 확인

철근작업 : 철근 소운반시 단열재 파손에 주의

철근의 이음시 가스압접을 지양 (겹침이음 혹은 기계적이음(커플러) 사용)

단열재 훼손을 최소화하는 전용 스페이서 사용

콘크리트 타설 : 벽체콘크리트 타설시 고정단열재의 고정 및 슬립방지관리

② 일체타설용 단열공사

단열재 작업반 인원관리 : 단열공중에 부여된 작업시간(0.5day)에 작업종료 가능한 작업반의 숙련도 및 출역인원수(4명/700m²) 확인

사전 준비사항 : 갯폼 탈형전 단열재 양중 완료여부

양중시 단열재 보양

갯폼 설치전 단열재 설치위치 분배여부

단열재 자재관련 : 단열재 크기 가공치수의 정확도 확인

단열재 타공위치의 정확도 확인

단열재나누기도의 연번과 단열재 부여번호 일치여부 확인

단열재 설치 : 단열재나누기도를 기준으로 시공여부 확인

시멘트페이스트 유출 방지를 위한 테이핑 작업 여부

단열재타공홀과 고정구의 오차 발생시 기록

창호주변부 단열재 일체형사용(조각사용시 크랙발생)

③ 창호공사

창호 작업반 인원관리 : 해당 공중에 부여된 시간(1 day)에 양중 및 작업을 완료할 수 있는 작업반 숙련도와 출역인원수(5명/층) 확인

창호 발주시점 : 입고시점 대비 제작시간을 감안하여 발주시기 결정
창호 입고 스케줄 관리 : 후속공종 지연원인이 되지 않도록 스케줄관리 철저
창호 설치관련 : 창호틀에 공정용 브라켓설치위치 확인 및 관리(단열재와 간섭 확인)

④ 후부착단열재 및 외장마감공사

외장마감 작업반 인원관리 : 당 공종에 부여된 시간(1 day)에 작업을 완료할 수 있는 작업반 숙련도와 출역인원수(7명 / 층) 확인
단열재 평활도 관리 : 갱폼탈형 후 일체타설단열재면 평활도 체크 및 수정
화재확산방지층 평활도 관리 : 일체타설단열재와 화재확산방지층의 평활도 관리
(선부착 단열재와 후부착 단열재간 이질재로 인한 단차이 극복을 위한 마감철저)
메쉬작업 : 마감 후 평활도를 확보할 수 있지 사전확인
창호주위 구배 : 창호 주변부 물끊기흙 혹은 유사시스템 설치시의 구배확보 체크
상도작업 : 기준 두께 이상으로 마감하는지 확인
중간층 작업 마무리 처리 : 중간층 작업 후 우수와 타설 잉여수가 유입되지 않도록 외장마감 상단 코킹처리 여부 확인

⑤ 타워크레인 사용

우선순위 : a. N층의 단열재 양중 / b. N층의 갱폼양중 / c. 기타(외장마감재 외)

⑥ 안전관리

화기 주의 : 창호부 설치시 용접등 화기 사용금지(화재 방지 차원)
강우, 강설시 : 작업중지 및 골조스케줄과 벌어진 차이 극복방안 모색.
작업발판 관리 : 가설재의 안전도확보 적재하중에 대한 교육과 고지가 필요
상하동시작업 관리 : 상하동시작업이 되지 않도록 작업반 위치 관리.

⑦ 품질관리

부착력 시험 : 일체타설시 인발 부착력에 대한 현장 검측 방법
수직도 관리 : 탈형후 수직도 검측 및 보완 방법

T4. 국내 외단열 화재안전기준 정비방안

(1) 기술의 정의

- 국내 외단열 건축물의 화재안전성능 향상을 위한 화재안전기준 정비방안

(2) 기술개발 절차

절 차	내 용	이미지
(가) 국내· 외 외단열 화재 안전기준 조사	- 외단열 건축물의 화재 특성 분석 - 국내· 외 외단열 화재안전기준 비교· 분석 결과	
(나) 국내 외단열 화재안전기준 개정에 따른 업계 실태 및 인식조사	단열재 업계 실태 및 인식조사	
(다) 국내 외단열 화재안전기준 정비방안	국내 외단열 화재안전기준 정비방안	

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

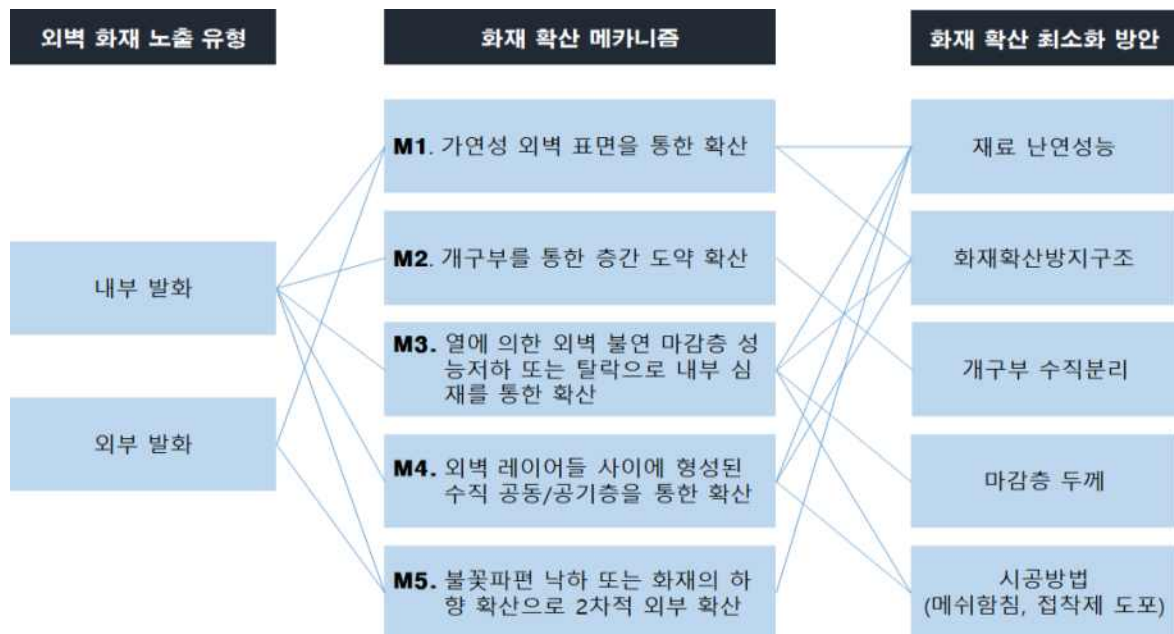
(가) 국내· 외 외단열 화재 안전기준 조사

① 배경 및 목적

- 외단열 시스템에 적합하며 화재안전성을 보다 더 향상시킬 수 있는 외단열 화재안전기준 개선방안을 제시하고자 함
 - 외벽 화재 사례 분석 및 이론적 고찰을 통해 외단열 건축물의 화재 확산 매커니즘을 도출함
 - 다음으로 국내· 외 화재안전기준 분석을 통해 각 화재 확산 메커니즘별 대비방안을 도출하고 난연성능 시험항목을 비교· 분석함
 - 마지막으로 외단열 및 화재안전기준 전문가 5인과의 자문회의를 통해 각 화재안전기준에 대한 보완 필요성 및 적합성에 대해 검토하여 국내 외단열 화재안전기준 정비방안을 제안함

① 외단열 건축물의 화재 특성 분석

- 외단열 건축물 화재 사례와 기존 문헌 고찰을 통해 외벽의 화재 노출 유형 및 확산 메커니즘을 분석한 결과 다음과 같음



[그림 54] 외벽 화재 노출 유형 화재 확산 메커니즘에 따른 화재 확산 최소화 방안

- 그 결과 각 메커니즘에 따른 화재 확산 최소화를 위한 방안은 ¹⁾재료 난연성능 확보, ²⁾화재확산 방지구조 설치, ³⁾개구부 수직분리 설계, ⁴⁾마감층 두께 확보, ⁵⁾시공방법(올바른 메쉬함침, 올바른 접착제 도포 방법), ⁶⁾그 외에 내부 발화의 경우, 스프링클러 설치

② 국내· 외 외단열 화재안전기준 비교· 분석 결과

- 국내와 독일, 유럽, 중국, 미국 등의 재료 난연성능(화재안전성능) 시험항목, 화재확산방지(화재확산방지구조, 개구부간 수직분리, 마감층 두께)로 구분하여 비교· 분석한 결과는 다음과 같음

[표 30] 국가별 화재안전기준 비교· 분석 결과

구 분			국내	해외				비 고
				독일	유럽	중국	미국	
재료의 화재 안전성능 시험항목	화염확산속도	수직	-	○ (B1~B3)	○ (A2~F)	○	○	
		수평	-					
	화염확산범위	수직	-	○ (A1~B1)	○	○	○	
		수평	○ (발포 플라스틱 KS규격)					
	연소지속시간		○ (발포 플라스틱 KS규격)	○ (A1~A2)	○ (A1~A2)	○ (A1~A2)	○	
	연기발생량		-	○	○ (A2~D)	○ (A2~D)	○	
	가스유해성		○ (불연~난연)	○	○	○	○	
	불꽃파편		-	○	○ (A2~E)	○ (A2~E)		
	온도(열방출)		○ (불연~난연)	○ (A1~A2)	○ (A2~C)	○	○	
	질량감소		○ (불연)	-	○ (A1~A2)	○ (A1~A2)	-	
	균열/용융/구멍		○ (준불연~불연)	-	-	-	-	
화재 확산방지	난연성능 등급분류		3개 등급	5개 등급	7개 등급	7개 등급	3개 등급	
	화재확산방 지구조	수평 불연띠	○ (1개층, 높이 400mm 이상)	○ (2개층, 높이 200mm 이상)		○ (1개층, 높이 300mm 이상)	-	
		수직 불연띠	-	○		-	-	
		개구부 인방 불연재	-	○		-	-	
	개구부간 수직 분리 (수평 돌출부 등)		-	-		-	○	
	마감층 두께		-	-		○	-	
대상 건축물 분류	스프링클러		-	-		-	○	
	용도		상업지역 내 지정 용도 건축물	공공건물 (병원, 학교 등)		주거: ≥ 100m, 100-27m. 비주거: ≥ 50m, 50-24m, 커튼월: ≥ 24m	상업지역 내 재실자의 이용 빈도수 등에 따라 내화성능확보시간 다름	
	높이		≥ 6층 또는 22m	7m-22m, ≥ 22m			3층 초과 건축물	

(나) 국내 외단열 화재안전기준 개정에 따른 업계 실태 및 인식조사

- 화재안전기준 개정에 따라 현재 사용가능한 단열재 제품 현황 및 현 업계 실태에 대한 조사 결과는 아래 표와 같이 요약됨

[표 31] 공동주택 외단열용 단열재 업계 실태 조사 요약

구분		유기질			무기질			비고
		난연성이 있는 EPS	난연 EPS	PF보드	미네랄울	글라스울	록셀보드	
이미지								-
개요		고분자난연제인 PolyFR 적용(난연성능 강화)	비드에 난연재 코팅 후 열경화 몰딩	페놀수지를 발포 (독립기포율 90%이상)	규산칼슘계 광석을 고온에서 용융 후 섬유화	규사, 파유리 등의 유리 원료를 용융 후 섬유화	탄산칼슘계 독립기포 구조의 저밀도 발포체	-
난연성 시험	등급 ¹⁾	독일 B1등급	준불연재료	준불연재료	불연재료	불연재료	불연재료	-
	간이토치 시험				불연재료로 간이시험 불필요			-
	시험결과	· 단열재 관통 · 용융발생	· 수축, 변형 없음 · 비드는 모두 연소 · 코팅층이 형상 유지	· 크랙 발생 · 크랙 커지며 관통	*복합판 개발(무게 보완) 준불연(미네랄울+무기재) 	-	*복합판(가격 보완) 준불연(록셀보드+XPS) 	무기질 단열재 단점을 보완한 복합판을 개발하였으나, 현 법규상 적용가능 여부에 대한 모니터링 필요
단열성능	열전도율	0.032W/mK	0.037W/mK	0.019W/mK	0.036W/mK	0.032W/mK	0.036W/mK	-
	등급 ²⁾	‘가’ 등급	‘나’ 등급	‘가’ 등급	‘나’ 등급	‘가’ 등급	‘나’ 등급	-
장점		시공성, 부착성	난연성, 시공성, 부착성	단열성, 난연성	난연성, 친환경성	난연성, 친환경성	난연, 방수, 방습, 부착성	-
단점		수분취약	단열성, 수분취약	산성(구조체 부식우려) 시공성, 수분취약	무게(고밀도), 수분취약	분진발생, 수분취약	고가	-
외단열 적용성	가능 여부	적용불가 (유럽에서는 사용가능)	적용 가능	적용 가능	적용 가능	적용 가능 (건식 외단열용)	적용 가능	-
	검토	· 향후 국내 법규에 따른 적용성 여부 판단	· 단열성,경시변화,강도 등에 대한 검증 필요	· 흡수, 산성에 대한 검토 · 최근 개발제품 모니터링	· 흡수력 및 자중 검토 · 층간방화띠 적용 검토	· 저층부 적용 검토	· 고가의 단열재로 가격에 대한 모니터링 필요	-

1) 난연시험 방법

- 준불연재료 : KS F 2271:2006 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성시험방법, KS F ISO 5660-1:2008 연소성능시험
- 불연재료 : KS F 2271:2006 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성시험방법, KS F ISO 1182 재료의 불연성 시험방법

2) 단열등급 : 건축물의 에너지 절약 설계기준(국토교통부고시 제2015-1108호, 2016.1.1시행)

(다) 국내 외단열 화재안전기준 정비방안

① 화재안전성능 시험항목

[표 32] 국가별 화재안전성능 시험항목 요약

No	시험 항목		국내	해외				비 고
				독일	유럽	중국	미국	
1	화염 확산 속도	수직		○ (B1~B3)	○ (A2~F)	○	○	항목추가
		수평						
2	화염 확산 범위	수직		○ (A1~B1)	○	○	○	항목추가
		수평	○ (발포 플라스틱 KS규격)					
3	연소 지속시간		○ (발포플라스틱 KS규격)	○ (A1~A2)	○ (A1~A2)	○ (A1~A2)	○	
4	연기 발생량			○	○ (A2~D)	○ (A2~D)	○	항목추가
5	가스 유해성		○ (불연~난연)	○	○	○	○	시험방법 변경
6	불꽃파편			○	○ (A2~E)	○ (A2~E)		항목추가
7	온도 (열방출)		○ (불연~난연)	○ (A1~A2)	○ (A2~C)	○ (A2~C)	○	
8	질량감소		○ (불연)		○ (A1~A2)	○ (A1~A2)		
9	균열/용융/ 구멍		○ (준불연~불연)					항목삭제

- [1] 수직 화염확산속도 시험항목 추가
 - 화염의 수직 확산속도는 화재 발생시 재실자가 대피할 수 있는 시간에 영향을 미침. 그러나 국내 재료의 난연성능 시험규정에는 이에 대한 항목이 없음.
 - 따라서 국내 기준에 유럽의 EN 13823 (SBI) 또는 독일의 DIN 53438과 같은 시험항목 추가 검토 필요.
- [2] 수직 화염확산범위 시험항목 추가
 - 화염은 수평 확산 뿐만 아니라 수직 확산도 고려해야 하나 국내 재료의 난연성능 시험규정에는 수직 확산에 대한 항목이 없음.
 - 따라서 국내 기준에 유럽의 EN 13823 (SBI) 또는 독일의 DIN 53438과 같은 시험항목 추가 검토 필요.
- [4] 연기 발생량 시험항목 추가

- 마감재료 연소가스의 위험성을 판정하기 위해선 가스의 발생도와 그 유해정도를 측정하는 것이 매우 중요함⁷⁾. (다만, 외벽 화재시 사망원인을 살펴보면 가스 노출 및 흡입으로 인한 사망자는 건물 내부에서 발생한 화재에 비해 상대적으로 적은 편임⁸⁾)
 - 그러나 국내 재료의 난연성능 시험규정에는 가스의 유해성 항목만 있을 뿐 가스의 발생정도에 대한 시험항목은 없음.
 - 따라서 국내 시험항목에 유럽의 EN 13823 (SBI) 또는 독일의 DIN 4102-1 (Smoke generation test - compound method, flame method)과 같이 연기 발생정도를 시험할 수 있는 항목 추가 검토 필요.
- [5] 가스유해성 시험방법 변경
 - 국내 가스유해성 시험방법은 연소가스에 노출된 동물의 활동성만을 체크하여 미지 가스의 유해성을 평가하는 과거의 방식을 활용 중임⁹⁾.
 - 그러나 미국이나 유럽의 국가들에서는 동물에게 치명적인 독성을 정량적으로 분석하여 객관적인 자료를 통해 가스유해성을 판단하고 있음.
 - 따라서 가스유해성 시험방법의 객관성을 높이기 위하여 독일의 DIN 53436-1,2 (Smoke toxicity testing of class A materials)과 같은 정량적 분석방법으로 국내 시험방법의 변경 검토 필요.
- [6] 불꽃파편 시험항목 추가
 - 마감자재 연소시 불꽃파편의 발생은 화재 확산 메카니즘 중 하나로 2차적인 외부 화재를 야기할 수 있음. 그러나 국내 화재안전성능 시험항목에는 불꽃파편 발생을 시험하는 항목이 없음.
 - 따라서 국내 기준에 유럽의 EN 13823 (SBI)과 같이 불꽃파편 시험항목 추가 검토 필요.
- [6] 불꽃파편 시험항목 추가
 - 마감자재 연소시 불꽃파편의 발생은 화재 확산 메카니즘 중 하나로 2차적인 외부 화재를 야기할 수 있음. 그러나 국내 화재안전성능 시험항목에는 불꽃파편 발생을 시험하는 항목이 없음.
 - 따라서 국내 기준에 유럽의 EN 13823 (SBI)과 같이 불꽃파편 시험항목 추가 검토 필요.
- [9] 균열/용융/구멍 시험항목 제거
 - 국내에서만 존재하는 시험항목으로 난연성능 중 준불연재료, 난연재료를 판단할 때 적용되고 있음. 만약 시험 대상 재료의 뒤편에 가연성 물질이 있다면 균열/용융/구멍의 발생으로 화재가 확산될 수 있어 위 항목을 체크하는 것이 필요함(예를 들어, 가연성 단열재가 사용된 외단열 시스템의 마감층으로 쓰일 자재의 경우 이 시험항목 필요).
 - 그러나 그 외의 경우, 특히 뒤편이 콘크리트 벽체인 외단열 시스템의 단열재 시험에서는 본 시험항목은 화재확산에 영향이 없음.

② 화재 확산방지

7) 대한건축학회(2001), 건축물 방재기준의 제도적 기반 선진화 방안 연구, 건설교통부

8) Nathan White, & Michael Delichatsios (2015), "Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components", New York: Springer

9) 위와 동일

[표 33] 국가별 화재 확산방지 현황

구 분		한국	독일	중국	미국	비 고
화재 확산방지 구조	수평 불연띠	○ (1개층, 높이 400mm 이상)	○ (2개층, 높이 200mm 이상)	○ (1개층 높이 300mm 이상)		
	수직 불연띠		○			추가
	개구부 인방 불연재		○			추가
개구부간 수직 분리 (수평 돌출부 등)					○	
마감층 두께				○		추가
스프링클러					○	

■ 화재확산방지구조(Firestop barrier)

- 화재확산방지구조는 수평 불연띠 뿐 아니라, 수직 불연띠, 개구부 싱인방 불연재 설치를 허용하며 각 건축물의 특성에 맞춰 각 화재확산방지구조를 선택할 수 있도록 할 수 있음.

■ 개구부간 수직 분리(수평 돌출부 등)

- 개구부간 수직 분리는 화재 확산 메카니즘 중 하나인 개구부를 통한 화재의 층간 도약 확산을 방지할 수 있음. 이는 재료나 시공방법이 아닌 설계기준 관한 사항으로 향후 추가적인 검토 필요.

■ 마감층 두께

- 마감층 두께는 난연성능이 부족한 단열재를 사용하는 외단열시스템의 화재 확산을 지연시키기 위해 필요한 것으로 적정한 마감층 두께를 확보하도록 설계 또는 시공방법에 명시하도록 할 수 있음.

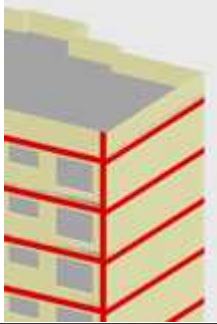
③ 화재 확산방지구조 상세

- 외단열 건물의 화재 양상으로 볼 때 하기의 그림과 같은 상세가 관계법령에 제시된다면 화재의 확산저해, 소방활동 및 피난에 유리, 피해복구 범위가 축소, 경제성 확보되는 등의 유리한 점이 많을 것으로 판단하여 제안함.

- 불연띠(화재확산 방지층) 구조의 제시

수직 및 수평 방지층 제시안

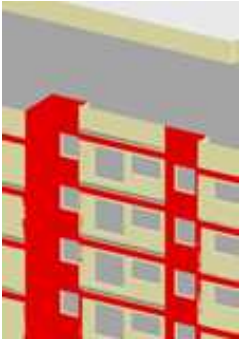
[표 34] 불연띠(화재확산 방지층) 구조의 제시

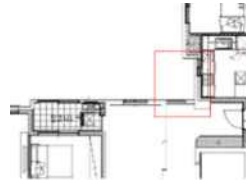
대안 그림	설 명
	1) 화재의 수직 확산을 방지하기 위해 매층마다 무기질 재료의 수평 불연띠를 설치 2) 측벽과 같이 넓은 부위는 바람의 방향에 따라 측면으로 확산 가능성을 감소시키기 위해 수직의 불연띠를 설치함.

- 화재확산 취약 부위 기준 제시

평면상 꺾인 부분의 무기질 단열부위 제시안

[표 35] 화재확산 취약 부위 기준 제시

대안 그림	설 명
	1) 아래 평면과 같이 평면상 꺾인 부분은 화재발생시 측면으로 확산되기 쉬운 구조이므로 개구부에 인접한 꺾인 벽체는 불연단열재를 사용하여 화재 확산 가능성을 낮추는 방법을 제시하였다.



- 발화지점에 따른 저층부 기준 제시

1층은 규모 관계없이 무기질 상세 제시

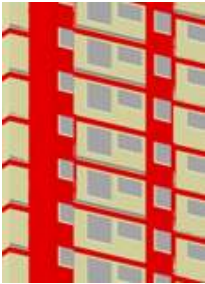
[표 36] 발화지점에 따른 저층부 기준 제시

대안 그림	설 명
	1) 1층은 다른 층에 비해 사람의 실수, 방화, 탈 물건의 적재 등으로 인해 화재에 노출되기 쉬운 환경으로 판단하여 특별히 강한 기준을 반영, 전면 불연재로 시공하는 안을 제시하였다.

- 공동주택 피난공간 상세 제안

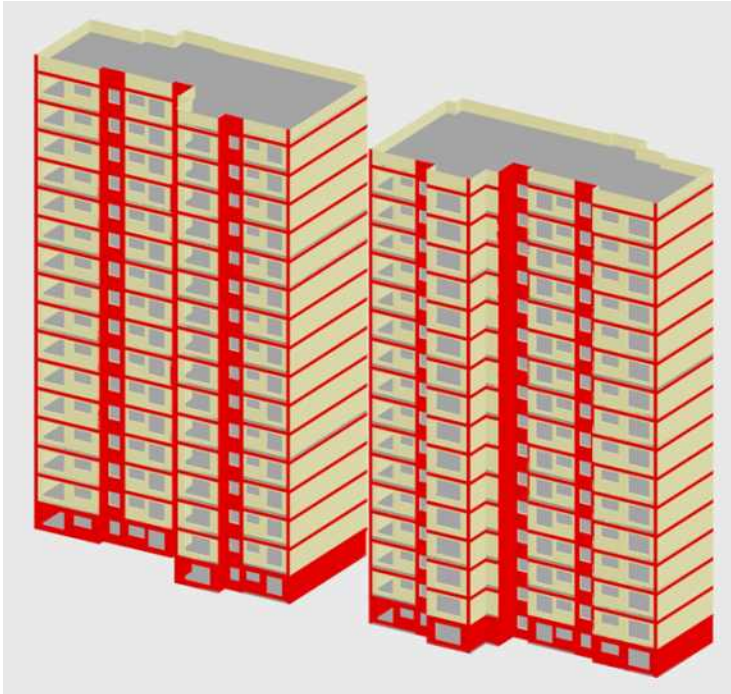
고층(6층 이상) 공동주택 피난공간의 외부 무기질 단열재 기준제시

[표 37] 공동주택 피난공간 상세 제안

대안 그림	설 명
	1) 아래 평면의 적색 위치는 공동주택에 법으로서 설치하도록 되어 있는 ‘대피공간’이다. 실내는 불연구조로 시공되어 유사시 탈출할 수 있는 공간이며, 외단열 건물의 경우 화재 확산으로 인해 탈출이 불가하게 될 수 있는 상황을 고려하여 해당 라인을 전면 불연재로 제시하였다. 

- 국내 기준으로 많은 인구가 집중하여 거주하고, 고층건물이며, 최근 큰 사고가 발생하였던 공동주택에 상기의 안을 종합하여 본 제안 투시도임.

[표 78] 제안 투시도 종합

제시안 종합


종합. 외단열 적층시공 공법 가상현장 적용

(1) 기술의 정의

- 기존의 외단열 공법과 비교하여 본 과제에서 제시하는 외단열 적층시공 공법 적용을 통해 달성가능한 공사비 절감 및 공기 단축 효과를 파악하기 위하여 공동주택 현장에 가상으로 적용

(2) 기술개발 절차

절 차	내 용	이미지																																																																																																																																																										
(가) 적층시공 공법 공정분석	- 공정분석 개요 - 공정분석 결과	 																																																																																																																																																										
(나) 적층시공 공법 공사비 분석	가상적용 사례현장 공사비 분석	<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">단위</th><th colspan="3">기존 공법 적용액</th><th colspan="3">적용기술 적용액</th><th rowspan="2">절감액</th><th rowspan="2">절감률</th></tr><tr><th>단위</th><th>단위</th><th>단위</th><th>단위</th><th>단위</th><th>단위</th></tr><tr><td rowspan="5">외단열</td><td>단위</td><td>5.46</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>12.48</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>10.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td rowspan="5">내단열</td><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td rowspan="5">합계</td><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>단위</td><td>1.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>115.00</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr></table>	구분	단위	기존 공법 적용액			적용기술 적용액			절감액	절감률	단위	단위	단위	단위	단위	단위	외단열	단위	5.46	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	12.48	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	10.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	내단열	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	합계	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%
구분	단위	기존 공법 적용액			적용기술 적용액			절감액	절감률																																																																																																																																																			
		단위	단위	단위	단위	단위	단위																																																																																																																																																					
외단열	단위	5.46	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	12.48	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	10.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
내단열	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
합계	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			
	단위	1.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	0.00	0.00%																																																																																																																																																			

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

(가) 적층시공 공법 공정분석

① 공정분석 개요

㉠ 사례현장 개요

- 외단열 적층시공 공법 적용을 통한 공사비 절감효과를 파악하기 위하여 기존의 외단열 공법과 적층시공 외단열 공법을 공동주택 현장에 가상 적용하였음
- 사례현장은 현재 경기도에 시공 중인 공동주택 프로젝트이며 개요는 아래와 같음

[표 23] 사례현장 건축개요



공사명	배곧신도시 OO 신축공사
대지위치	시흥 배곧신도시
공사기간	2014.10.01.~2017.08.31
연면적	총 439,568m ² (지상층 329,491m ² , 지하층 110,076m ²)
건폐율	23.75%
용적률	352.06%
규모	지하 2층, 지상40층, 12동
구조	철근콘크리트구조

㉡ 적층시공 공법 가상적용

- 기존 외단열 공법은 골조공사에 GCS를 사용하고 골조공사 완료 후 곤돌라를 설치하여 외단열 공사를 수행하는 방식을 적용함
- 외단열 적층시공공법은 골조공사와 외단열 공사가 적층시공 가설시스템을 동시에 사용하며 골조공사, 창호공사, 단열공사를 연속적으로 시공하는 방식을 적용함
- 골조공사 층당 공사기간(Cycle)은 일반적인 공동주택 골조공사 cycle인 7일로 설정함
- 사례현장은 내단열 공법을 적용하기 때문에 외단열 공법의 적용을 위해서는 전체 건축공사 공정에 외단열 공정을 추가하여 공정과 공사기간을 조정해야 함
- 현장실무자와의 회의를 거쳐 사례현장의 건축공사 공정 계획을 기반으로 두 공법을 적용한 공정을 수립하였음

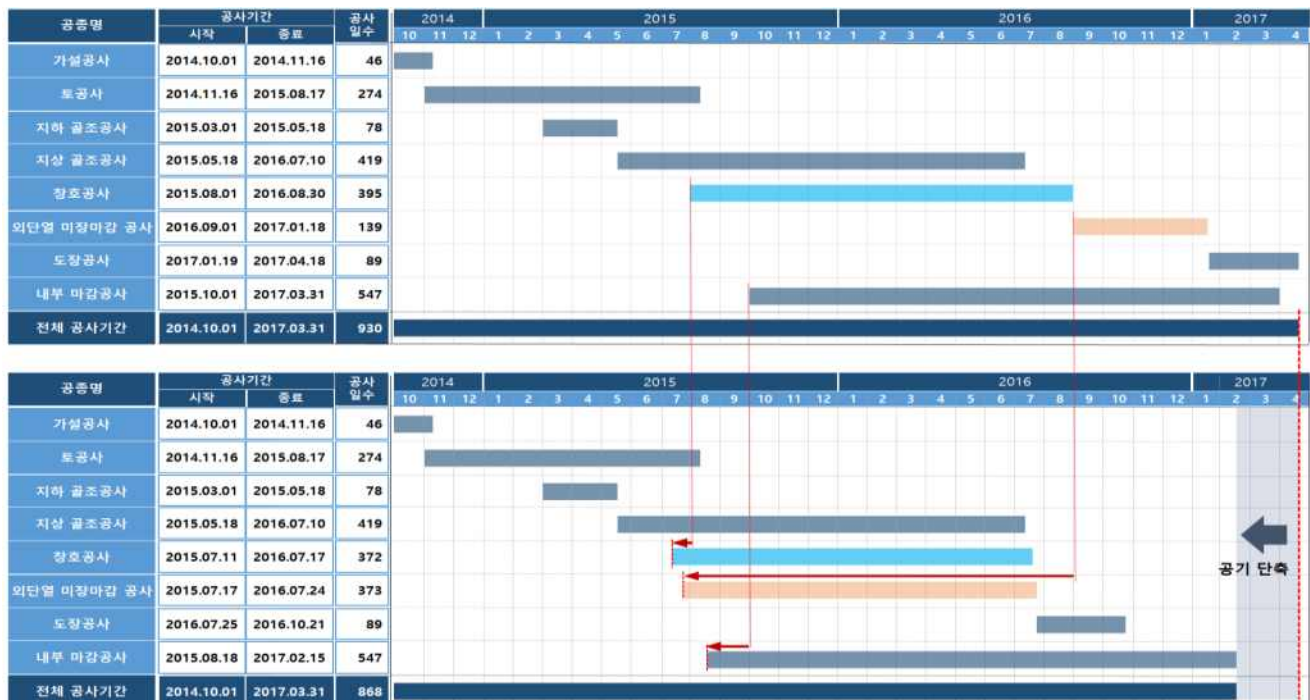
[표 24] 적층시공 공법 가상적용

입평면도	 — 외단열 미장마감 도장마감	
단열방식	외단열 미장마감 공법	
단열 면적	110,923㎡ (개구부와 공용부 제외한 면적임)	
구분	기존 공법	적층공법
골조용 가설시스템	G.C.S	외단열 적층시공 가설시스템
외단열용 가설시스템	곤돌라	

② 공정분석 결과

- 두 공법의 비교분석 결과 적층시공 외단열 공법이 기존의 외단열 공법보다 6.7%인 62일을 단축할 수 있을 것으로 분석되었음

 - 이는 분리되어 순차적으로 수행되었던 창호공사와 외단열 공사가 적층으로 연속시공되면서 두 공정의 공사기간이 534일에서 379일로 단축됐고, 이로 인해 후속공정인 도장공사가 당겨지면서 최종 공정이 도장공사에서 내부마감공사로 변경된 것에 기인함



[그림 53] 기존 공법 및 적층시공 공법 적용시 전체 공정 비교

(나) 적층시공 공법 공사비 분석

① 분석 개요

- 적층시공 공법과 기존 공법의 공사비를 분석하기 위하여 각 공법의 적용 시 변동되는 공정을 대상으로 사례현장의 공사비를 분석함

[표 25] 기존 vs. 적층공법의 골조 및 외벽 마감 작업 비교

구 분	기존 공법	적층공법
골 조	-	단열재 고정
	골조 타설	골조+단열재 일체 타설
외벽마감	건출	-
	단열재 부착	-
	메쉬 함침	메쉬 함침
	마감재 시공	마감재 시공

- 공사비는 크게 자재비, 노무비, 장비비로 구분하였음
 - 노무비의 경우, 소요량은 2015년 표준품셈, 단가는 2015년 상반기 시중노임단가를 토대로 산정하였음
 - 자재비의 경우, 소요량은 2015년 표준품셈, 단가는 2015년 종합물가정보를 토대로 산정하였음
 - 장비비는 가설시스템 실무자 면담을 통해 최근 3년간 평균 임대비용을 기준으로 하였음
- 단열시공 물량은 사례현장의 전체 동의 입면에서 개구부와 공용부를 제외한 면적인 110,923㎡으로 산출하여 적용하였음
- 가설시스템 물량은 사례현장의 도면을 바탕으로 각 가설 시스템을 배치하여 각 동별로 GCS 31유닛, 곤돌라 18유닛으로 산정함

② 공사비 분석

- 자재비는 적층시공 공법이 41,014원/m²이고 기존 공법은 37,285원/m²으로 산정되어 개발공법의 자재비가 단위면적당 3,729원이 상승하는 것으로 분석됨
- 노무비는 개발 공법이 17,182원/m², 기존 공법이 38,229원/m²으로 산정되어 개발공법의 단위면적당 인건비가 21,047원 더 낮은 것으로 분석됨
- 장비비는 적층시공 가설시스템을 사용하는 공법이 1,450,800,000원, 곤돌라를 사용하는 기존 공

법이 729,000,000원으로 산정됨

- 곤돌라와 가설시스템은 임대장비로 적용기간에 따른 임대비용을 기준으로 산정했으며 적층시공 가설시스템의 경우 기존의 가설시스템인 GCS에서 외단열 공사로 인해 증가하는 부분에 대한 비용만을 산정함
- 적층시공 가설시스템은 기존의 GCS에 비해 하부발판 수가 1단 증가하며 연장 슈 연장부재와 하부오염 방지장치 추가로 약 15%의 비용이 증가하는 것으로 분석되어 한 유닛의 월 임대비용인 2,000천원의 15%인 300천원을 외단열 적층시공 가설의 추가비용으로 산정하고 여기에 모든 동에 적용되는 전체 유닛수를 곱하여 비용을 계상했음
- 이에 외단열 공사를 위한 적층시공 가설시스템 비용은 곤돌라를 사용한 공법에 비해 721,800천원이 증가하여 장비비가 기존공법보다 약 99%가 증가하는 것으로 나타났음

㉠ 전체 공사비

- 전체공사비는 기존 외단열 공법이 9,105,227,963원, 적층시공 공법이 7,905,995,092원으로 산정되어 적층시공 공법이 기존 공법에 비해 1,199,232,871원의 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다
- 이는 적층시공의 장비비가 기존 공법에 비해 90%이상 크게 증가하지만 전체 공사비에서 차지하는 비중이 낮고, 가장 금액 비중이 높은 노무비에서 견출공과 내장공이 줄어 55%가 절감되면서 전체적으로 기존 공법에 비해 약 13%의 비용절감 효과가 있는 것으로 분석됨
- 다만 본 공사비 분석은 연구 구체화 과정에서 표준품셈 기반 가상현장 적용을 통한 기초적인 분석으로서 실제 현장의 공사비와 상이할 수 있음.

[표 26] 기존 외단열 공법 및 적층시공 공법의 공사비 비교

비목		기존 외단열 공법(a)				적층시공 공법(b)				증감 (b- a)	증감 비율 (b- a)/a%
		단가(원)	물량	단위	소계(원)	단가(원)	물량	단위	소계(원)		
자재비	접착제	6,148	110,923	m ²	681,936,315					-681,936,315	-100.00%
	단열재	22,440	110,923	m ²	2,489,110,145	25,000	110,923	m ²	2,773,072,800	283,962,655	+11.41%
	패스너	960	110,923	m ²	106,485,996	8,276	110,923	m ²	917,998,020	811,512,024	+762.08%
	메쉬	1,437	110,923	m ²	159,409,535	1,437	110,923	m ²	159,409,535		
	마감재	6,300	110,923	m ²	698,814,346	6,300	110,923	m ²	698,814,346		
	소계	37,285			4,135,756,337	41,013			4,549,294,701	413,538,364	+10.00%
노무비	내장공	10,133	110,923	m ²	1,124,026,236					-1,124,026,236	-100.00%
	미장공	7,322	110,923	m ²	812,196,640	7,322	110,923	m ²	812,196,640		
	보통인부	3,530	110,923	m ²	391,531,369	3,530	110,923	m ²	391,531,369		
	목공					5,573	110,923	m ²	618,182,262	618,182,262	+100.00%
	견출공	16,486	110,923	m ²	1,828,727,261					-1,828,727,261	-100.00%
	도장공	757	110,923	m ²	83,990,119	757	110,923	m ²	83,990,119		
	소계	38,228			4,240,471,626	17,182			1,905,900,391	- 2,334,571,235	- 55.05%
장비비	곤도라	162,000,000	4.5	개월	729,000,000					-729,000,000	-100.00%
	시스템					111,600,000	13	개월	1,450,800,000	1,450,800,000	+100.00%
	소계				729,000,000				1,450,800,000	721,800,000	+99.01%
합 계					9,105,227,963				7,905,995,092	- 1,199,232,871	- 13.17%

추가. 저층부 특화 외단열 공법 기초조사

(1) 기술의 정의

- 공동주택의 층·부위 중 가장 외부요인으로 인해 품질에 손상이 쉽게 가는 저층부의 특성을 고려하여, 저층부 마감시공에 적합한 단열재 종류, 마감재, 시공방법 등이 종합적으로 반영된 외단열 공법

(2) 기술개발 절차

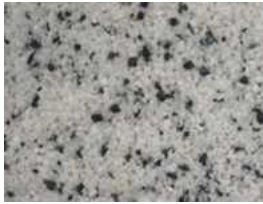
절 차	내 용	이미지
(가) 저층부 외단열 시스템 선정 위한 기초조사	- 저층부 외단열 마감재 대안별 분석 - 저층부 외단열 단열재 대안별 분석	 소지면 처리 및 건물 프라이마 도포 식재 중첩 심도교정 후 보양물 제거
(나) 저층부 외단열 시공방법 선정 위한 기초조사	- 저층부 특화 외단열 시공을 위한 고려사항 도출 - 가설장비 대안별 분석	 ▲ 외부비계  ▲ 적층시공 가설시스템

(3) 연구개발 수행 내용 및 결과

(가) 저층부 외단열 시스템 선정 위한 기초조사

- 공동주택의 저층부 외단열 공사 시 적용 가능한 마감재 종류 및 관련 시공기술로 ¹⁾석재도료, ²⁾일반 수성페인트마감, ³⁾스타코(드라이비트), ⁴⁾석재마감 등의 대안이 제시될 수 있으며, 각 마감재에 대한 분석은 다음 표와 같음

[표 27] 마감재 대안별 특징

구분	석재도료	수성페인트	스타코(드라이비트)	석재마감
이미지				
특징	실제 규사가 포함되어 있는 뽕칠 마감재와 석재의 패턴을 모방한 페인트 마감재가 있음	타 마감재와 비교하여 비용이 가장 적게 발생하며, 작업이 간단하지만 내구성이 부족하여 외부 충격 시 품질이 쉽게 저하됨	일반 화강석 등 석재마감에 비해 50% 이상의 비용절감 효과가 있으나 내구성이 부족하여 내부벽체에도 이중단열이 요구됨	필로티·2층 슬라브까지 건식공법으로 두께 50mm 이내의 대리석/화강석 부착함
비용	약 31,000 원/㎡	약 16,400 원/㎡	약 25,000 원/㎡	약 68,000 원/㎡

- 저층부의 상대적으로 외부요인으로 인한 손상우려가 높을 뿐만 아니라 지면 경계 부위에 가까울수록 단열재 흡습 및 마감재 훼손 등이 해결 주안점이 되기 때문에 단열성능 및 내구성이 확보되어야 함. 이에 불연 성능을 지니며 화재에 대응하는 성능이 우수한 단열재의 선택이 불가피했던 실정임
- 이에 개정령 공포 이전에 적용가능성을 검토하기 위해 비교분석하였던 단열재 대안 중 가연성을 지닌 단열재는 배제하였으며, 개정안의 요구사항에 부합하는 단열재를 재검토하여 각 재료의 성능 및 저층부 특화용 시공과의 적합성을 평가하는 것으로 추진계획을 변경함

[표 28] 단열재 대안별 특징

구분		단열재			
		미네랄울	록셀보드	그라스울	경질우레탄
이미지					
특징		무기질계 단열재로 강하며 내연성 및 흡습성 측면에서 특히 뛰어남	무기질계 독립기포구조를 가짐으로써 흡수 및 흡습을 차단함	가는 유리섬유 사이에 공기가 밀봉되어 단열효과를 발휘함	폴리우레탄을 발포, 판상으로 성형한 유기발포체로 가공성이 높음
기본	열전도율	0.04W/mk	0.036W/mK	0.04W/mk	0.02 W/mK
특성	불연성	○(준불연)	○ (준불연)	○ (준불연)	△(난연)
	내수성	○	○	○	○
	내구성	○	○	○	○
	경제성	X (약 1,875원/T㎡)	△ (약 1,200/T㎡)	X (약 1,800원/㎡)	○ (약 200원/T㎡)

(나) 저층부 외단열 시공을 위한 가설장비 분석

- 저층부 외단열 시공을 위해 활용할 수 있는 가설장비로 가설비계· 곤돌라, 스카이차량(Sky), 적층시공 가설시스템 등이 있음
- 스카이차량의 경우 비계의 설치를 위한 현장여건이 마련되지 않을 경우 차안으로 고려되는 장비이며, 고층부 혹은 셋백이 발생하는 구간 등 시공이 까다로운 경우에 주로 활용되기 때문에 저층부 외단열 시공에 대한 대안 분석 시 제외되었음

[표 29] 가설장비 대안별 분석

구분	가설비계	적층시공 가설시스템
이미지		
특징	한 개 층에 대해서만 발판을 설치하는 것이 아닌 저층부 시공 대상 전체 부분에 대하여 발판을 일괄적으로 설치해야 함	가설시스템의 설치를 위해 확보해야 하는 최소 타설층 및 높이가 낮을수록 저층부 시공 효율성이 증대될 수 있음
설치방법	골조공사 완료 후 설치함	골조공사 4~5층 진행 시점에서 설치함
인상방법	지면에서부터 공사층까지 연속 설치	타워크레인을 통해 시스템이 인상됨

2. 연구개발 성과

가. 질적 성과

핵심기술		단위성과		질적성과		목표치	달성치
A	외단열적층시공 가설시스템	A-1	외단열적층시공 층별 공정분석	①	동시 시공가능 공정수	3개공정	3개공정
		A-2	적층시공 가설시스템 설계	①	하부 발판수	5단	5단
				②	인양방식	가이드레일	가이드레일
				③	허용하중	5ton	5ton
B	공정간소형 외단열 시공공법	B-1	공정간소형 외단열 시스템 설계	①	시공 Layer 간소화	3Layer	3Layer
				②	주요 열교부위평균선형 열관류율	10% 감소	46% 감소
C	외단열적층공법 최적공정관리	C-1	외단열최적공정 도출	①	적층시공층당공정	7일	7일
		C-2	외단열최적성능 도출	①	개구부외단열 시공개선	시공개선	시공개선
				②	최상층 외단열 적용개선	시공개선	시공개선

나. 양적 성과

(1) 총괄표

괄호()안의 숫자는 달성 예정 실적임

구분	양적성과		고려대학교		현대산업개발(주)		(주)한라		합계	
			계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적
공공적 성과	법 제정 및 개선									
	설계기준, 시방서, 지침에 제안							1		1
	설계기준, 시방서, 지침에 반영									
	정책제안							(1)		(1)
	정책채택									
기술적 성과	특허	출원	2	4	1	1			3	5
		등록	1	1	1	1			2	2
	디자인	출원								
		등록								
	소프트웨어(S/W)									
	신기술 지정									
	표준채택									
	시제품 제작									
학술적 성과	국내외 학술지 게재	일반학술지	2	1	1	1			3	2
		SCI(E)학술지		(1)						(1)
	국내외 학술회의 발표			3						3
경제적 성과	기술실시계약									
	사업화/제품화									
	현장적용에 의한 비용절감									
기타	홍보					1				1
	인력양성			1						1
합 계			5	10(1)	3	4		1(1)	8	15(2)
총 연구개발비 (천원)	정부출연금		135,000		34,435		37,865		207,300	
	기업부담금		-		149,565		240,135		389,700	
	합계		135,000		184,000		278,000		597,000	

(2) 세부 내역

(가) 공공적 성과

① 설계기준/시방서/지침에 제안

번호	설계 및 시방기준/지침	명 칭	관리기관	비고
1	지침	외단열 상세설계 지침	한라	

② 정책제안

번호	구분	시책명	담당부처	시행일시	제안내용	비고
1	-	-	-	-	국내 외단열 화재안전기준 정비방안	' 16년 12월 게재예정

(나) 기술적 성과

① 특허성과

번호	특허명	출원국	출원인	출원된 특허의 경우		등록된 특허의 경우		비고
				출원일	출원번호	등록일	등록번호	
1	구조물의 벽체와 외부 단열재가 일체로 형성되는 시공구조 및 방법	대한민국	현대산업개발/한라/고려대	2015.06.16	10-2015-0084837	2015.10.15	10-1562362	
2	분리형 수직 클라이밍 가설장치	대한민국	고려대/현대산업개발/한라	2015.06.16	10-2015-0084974			
3	외단열 동시 공사용 수직 클라이밍 가설장치	대한민국	고려대/현대산업개발/한라	2015.06.16	10-2015-0084973			
4	거푸집의 자동 수직도 보정장치 및 이를 갖는 수직 클라이밍 가설장치	대한민국	고려대/현대산업개발/한라	2015.06.16	10-2015-0084975	(' 16.9.22 등록결정)	(' 16.9.22 등록결정)	
5	건축용 케이지 장치	대한민국	고려대/현대산업개발/한라	2016.07.15.	10-2016-0089604			

(다) 학술적 성과

① 일반 논문게재

번호	논문명	게재 연도	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	비고
			주저자	교신저자	공동저자				
1	공동주택용 외단열 적층 시공공법 개념모델 개발	2015	임현수	조훈희	강경인 김태훈	한국건축시공 학회 논문집	15(4)	국내	
2	다차원전열해석을 통한 공정간소형 외단열 시스 템의 열성능 평가	2016	이상현	백호	최지혜	대한건축학회 논문집	32(9)	국내	

② SCI(E) 논문게재

번호	논문명	게재 연도	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	비고
			주저자	교신저자	공동저자				
1	Case Study of a Window Proximity Tracking Method for Tall Building Construction	-	Lim, hyunsu	Cho, Hunhee	Kang, Kyung-In & Kim, Taehoon	Journal of Construction Engineering and Management	-	국외	(심사중)

③ 학술대회 발표 성과

번호	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
1	2014.11	공동주택용 외단열 적층시공 공법 개발을 위한 기초연구	CUI JUNLONG, 김태훈, 임현수, 조훈희, 강경인	한국건축시공학회 2014년도 추계학술발표대회	국내
2	2015.05	공동주택용 외단열 동시타설 공법 적용을 위한 리스크 요인 평가	CUI JUNLONG, 김태훈, 임현수, 조훈희, 강경인	한국건축시공학회 2015년도 춘계학술발표대회	국내
3	2015.11	공동주택용 외단열 적층시공 공법의 생산성 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발	김민주, 김태훈, 임현수, 조훈희, 강경인	한국건축시공학회 2015년도 추계학술발표대회	국내

(다) 기타성과

① 홍보

번호	홍보일	홍보자료	자료 수록	홍보 기관	비고
1	2014.12	공동주택 외단열 특화 공법 소개	한국건축시공학회지 14(4)	현대산업개발	

② 인력양성

번호	취득 학위	지원대상				지원기관		지원내용
		이름	성별	논문명	학위취득일	시작	종료	
1	석사	CUI JUNLONG	남	공동주택용 외단열 적층시공 공법 개발	2016.08 (예정)	2014.07	2016.04	공동주택용 외단열 적층시 공 공법 개발 연구 지원

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

기 관	목 표	달성도 (%)	내 용
주관- 고려대학교	외단열 적층시공 가설시스템	100	■ 외단열 적층시공 총별 공정분석 - 적층시공 사례분석 - 외단열 적층시공 공정분석 ■ 적층시공 가설시스템 설계 - 가설시스템 운영방식 선정 - 외단열 적층시공 가설시스템 설계 ■ 시스템 Mock-up Test - 가설시스템 상세 설계 - Mock-up용 가설시스템 제작 범위 설정 - Mock-up 계획 수립
공동- 현대산업 개발(주)	공정간소형 외단열 시공공법	100	■ 공정간소형 외단열 시스템 설계 - 공정간소형 외단열 시스템 설계 - 단열재 사양 및 설치방법 - 단열재 부속자재 개발 ■ 열관류율 시뮬레이션 - 대상 및 시뮬레이션 부위 선정 - 단열성능 분석 - 결로 분석 - 열교최소화 방안 도출 ■ 부착력 Test (추가) - 단열재와 콘크리트간 부착력 시험 ■ 공정간소형 외단열 시공공법 Mock-up Test - 가설시스템과 연계한 시험체 설계
공동- (주)한라	외단열 적층공법 최적공정관리	100	■ 외단열 최적공정 도출 - 적층시공 총당공정 작성 ■ 외단열 최적성능 도출 - 개구부 외단열 개선 상세도 설계 - 최상층 외단열 개선 상세도 설계 - 기타 시공중 문제점 개선 상세도 설계 ■ 최적공정관리 기법 기초조사 - 현장적용시 공정변경에 따른 관리기술 도출 - 외단열 적층공법 최적화 공정관리 방안 도출 ■ 시공매뉴얼 작성안
전체기관	국내 외단열 화재안전기준 정비방안 (추가)	100	■ 국내· 외 외단열 화재 안전기준 조사 ■ 국내 외단열 화재안전기준 개정에 따른 업계 실태 및 인식조사 ■ 국내 외단열 화재안전기준 정비방안

2. 관련 분야 기여도

핵심기술	관련 분야 기여도
외단열 적층시공 가설시스템 (주관- 고려대학교)	○ 기술적 기대효과 - 외단열 공사와 골조공사를 동시에 수행하기 위해 외벽거푸집과 통합된 시스템으로, 외단열 공사 외에 마감패널 공사 등 타 공종에도 응용 가능하여 건축시장 전반과 연계하여 가설시스템의 실용화 및 기술경쟁력 확보 방안 마련 가능 - System form을 활용한 후속 공정 진행을 통해 공기 단축을 비롯하여 공사비 절감, 품질 향상 등에 기여함으로써 외단열 시공기술의 국가경쟁력 제고
	○ 경제적 기대효과 - 기존 방식 대비 비용절감형 가설시스템의 개발을 통해 외단열 공사의 생산성 향상과 가격경쟁력을 확보함으로써 국내 기술의 수출 경쟁력 향상에 기여 - 국내 제품의 시장진입에 따른 국내자본의 해외 유출 방지
	○ 산업적·정책적 기대효과 - 에너지 절감 이슈에 대한 정부의 정책 기조에도 불구하고 복잡한 시공 및 추가 가설 요구 등에 의해 활성화되지 못했던 기존 외단열 시공의 문제점 중 공기 및 비용 측면에서 해결책을 제시함으로써 외단열 공법 활성화에 기여
공정간소형 외단열 시공방법 (공동- 현대산업개발㈜)	○ 기술적 기대효과 - 공동주택의 기존 갱폼을 활용한 기술로 새로운 공법에 대한 이질감 감소로 실용화 가능성이 높고 안정성이 확보되어 안전사고 예방 기대 - 일체타설을 통한 단열재 탈락 및 균열 문제 개선으로 품질확보 및 하자 감소 기대 - 외단열 공법을 적용함에 따라 구조체 접합부에서 발생하는 열교가 기존 내단열 공법 대비 평균 약 45% 감소됨으로서 벽 전체의 단열 성능이 약 3배 증가함에 따라 건물의 에너지절감 및 결로 예방 효과 기대
	○ 경제적 기대효과 - 시공측면에서 공정간소화에 따른 공기단축으로 인한 공사비 감소, 사용자측면에서 에너지 절감으로 관리비 감소 기대
	○ 산업적·정책적 기대효과 - 국제적 환경 규제에 선대응 및 기술력 확보로 지속가능한 녹색성장 구축 - 국내 정부의 2025년 제로에너지 주택 의무 공급에 선제적 대응이 가능하고 공동주택 외단열 공법 활성화에 기여

핵심기술	관련 분야 기여도
외단열 적층공법 최적공정관리 (공동-쐼한라)	○ 기술적 기대효과 - 취약부위 성능보완 및 시공중 발생할 수 있는 하자요인 관리, 고층화된 건축물의 가설비용을 감소시켜 투입대비 최대효율을 낼 수 있는 계획 제시.
	○ 경제적 기대효과 - 공정의 순서, 투입자원, 장비 우선배정 등의 관리기법으로 효율적인 시공법을 도입하여 불필요한 공기지연 및 후속공정단축으로 초과원가 투입을 방지.
	○ 산업적·정책적 기대효과 - 친환경정책 기조에 발맞춘 외단열 건축물의 시공 및 원가관점의 불리함을 해소하여 외단열 설계를 장려하고, 유사 사례 공사시 응용할 수 있는 공정, 품질, 원가의 대안 제시 - 작업자의 안전한 작업환경을 제공함으로써 안전사고발생 저감
국내 외단열 화재안전기준 정비방안 (전체기관)	○ 기술적 기대효과 - 외단열 건축물의 외벽 화재확산 메커니즘 규명을 통해 외벽 화재 예방 기술 개발에 기여
	○ 경제적 기대효과 - 외단열 건축물 화재안전성능 확보를 통해 매년 약 1,400건의 화재가 발생하는 외벽 화재 발생 빈도를 감소시켜 인적피해 뿐만 아니라 재산적 피해 감소 기대
	○ 산업적·정책적 기대효과 - 외단열 건축물의 화재안전성능 향상을 통해 외단열 건축물의 화재안전성에 대한 부정적인 인식을 전환하여 에너지절약형 공동주택 보급 활성화에 기여

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 산업적 활용 방안

- (외단열 적층시공 가설시스템) 외단열 적층시공 가설시스템은 타 마감공종(패널, 커튼월, 도장 등)의 적층시공을 위한 가설시스템으로 활용가능하며, 다른 타입의 클라이밍 시스템(ACS, RCS 등)에도 적층시공 가설시스템 컨셉을 확장 적용 할 수 있음. 또한 이 가설시스템의 요소기술 중 하나인 수직도 자동보정장치는 골조와 단열재의 일체타설방식 이외에도 일반적인 골조 단열타설 방식에도 활용 가능함.
 - 다만, 중·저층 건물의 경우 대개 경제성으로 인해 클라이밍 시스템을 사용하지 않음. 이에 적층시공 가설시스템을 적용하기에는 어려움이 있으나, 이 가설시스템의 거푸집 부분만을 분리하여 갱폼 형태로 제작할 경우 일체타설용 거푸집으로 활용할 수 있음.
- (공정간소형 외단열 시공방법). 공정간소형 외단열 시공방법은 외부 단열재(외단열) 뿐만 아니라 내부 단열재(내단열), 외장패널의 일체타설 시에도 응용 가능함.
 - 또한, 비록 국내에선 EPS단열재의 사용이 불가능하지만 중국이나 독일과 같은 해외에선 해당 국가의 기준에 의해 난연EPS의 사용이 가능하므로 해외에선 본 기술을 적용한 외단열 시공이 가능함.
- (외단열 적층공법 최적공정관리) 외단열 적층공법 최적공정관리의 외단열 최적성능 설계도(개구부, 최상층 등)는 일반적인 외단열 건축물의 열교최소화 설계에 활용할 수 있으며, 타 마감공종(패널, 커튼월, 도장 등)의 적층시공 공정관리에 활용할 수 있음.
 - 또한, 외단열 최적성능 설계도는 기존 건축물의 리모델링시 단열 성능이 낮은 부위를 파악하여 이를 개선하는데 활용될 수 있으며 이를 통해 외단열 최적 성능을 확보할 수 있음.
- (국내 외단열 화재안전기준 정비방안) 국내 외단열 화재안전기준 정비방안은 국내 관련 기준 정비를 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 외벽 화재 확산 메커니즘 분석 결과는 외단열 뿐만 아니라 다른 외부 마감재의 화재 확산 최소화를 위한 방안을 마련하는데 활용될 수 있음.

최 종 성 과 물	수 요 처	활 용 방 안			
		실용화	시방/지침	정책/표준	타분야확대
외단열 적층시공 가설시스템	- 종합건설업체 - 전문건설업체(골조/외단열) - 거푸집 제작·임대업체				●
공정간소형 외단열 시공방법	- 종합건설업체 - 전문건설업체(골조/외단열)				●
외단열 적층공법 최적공정관리	- 종합건설업체 - 전문건설업체(골조/외단열)		●		●
국내 외단열 화재안전기준 정비방안	- 정부			●	

2. 연구결과의 기업 활용 방안

가. 참여기업 현황

기업명	업 종	매출액 (천원)	고용 현황 (인)	생산성 현황 (매출액/인원)	기업이 얻을 수 있는 부가가치/ 앞으로의 전망
현대산업 개발(주)	종합건설업	2,877,143	1,609	1,788	- 외단열 적층시공 공법 적용을 통한 공사 비절감 및 이미지 제고 - 공동주택 시공경험 풍부
(주)한라	종합건설업	1,999,194	1,106	1,807	- 외단열 적층시공 공법 적용을 통한 공사 비절감 및 이미지 제고 - 공동주택 시공경험 풍부

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안 및 추진전략								
		기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
현대산업 개발(주)	공정간소형 외단열 시공방법		√	√	√	√	√		√	
(주)한라	외단열 적층공법 최적공정관리		√	√	√	√	√		√	

제6장. 연구개발성과의 보안등급

가. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

나. 결정사유

2014년 창의도전연구 공고 및 2차 평가접수 안내서 참조

제7장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구실 안전관리비

- 본 기관에서는 연구실 안전관리에 관한 기준을 확립하여 사고 또는 재해를 미연에 방지하고, 연구자의 안전과 연구시설을 보호·보존함을 목적으로 안전관리 규정을 두고 있으며, 안전관리팀을 전담부서로 지정하여 안전교육 및 훈련, 연구실 안전점검, 연구실 안전진단을 실시하고 있음

나. 안전점검 및 정밀안전진단

- 점검대상 : 자연계, 이공계열 모든 대학원 연구실 및 연구소(센터)
- 안전점검
 - 일상안전점검 : 연구활동 종사자 매일 점검 → 매월 4일 안전점검의 날
 - 정기안전점검 : 년 1회, 4~5월 실시(유자격자 또는 업체 위탁점검)
 - 특별안전점검 : 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 경우 실시
- 정밀안전진단
 - 진단시기 : 2년 1회, 4~5월 실시

다 안전교육

- 교육대상자 : 연구활동 종사자(학부생, 대학원생, 연구원)
- 온라인 안전교육 : 전반기 6시간, 후반기 6시간)
- 자체교육 : 실험실습 수업 전 5분 자체 안전교육실시(지도교수 또는 조교의 지도하에 당해 실험 주의사항)



<고려대학교 온라인 안전교육 사이트>



<고려대학교 온라인 안전교육 동영상>

라. 상해보험 가입

- 대상 : 자연계 연구활동 종사자(학부생, 대학원생, 연구(보조)원)
- 보상기준 및 내용(상세 내역은 관련 부서 연락실 상세히 안내)

마. 건강검진

- 대상 : 자연계 연구 활동 종사자(학부생, 대학원생, 연구(보조)원)
- 시행 : 매년 3~4월, 교내에서 지정한 장소(2곳)

바. 추가 연구실 안전시설 안전성 확보

- 위험물 저장소 설치, 비상샤워기 및 세안기 설치, 가스누설경보기 설치, 가스용기 전도방지 고정장치 설치, 안전보호구함 제작, 안전관리팀 전담부서 설치

제8장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분	명 칭	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 또는 중복)	특기 사항
1	논문	공동주택용 외단열 적층시공공법 개념모델 개발	고려대	주저 자	한국건축시공 학회	-	2015.08	단독 사사	-
2	특허	구조물의 벽체와 외부 단열재가 일체로 형성되는 시공구조 및 방법	현대산업 개발/한라 /고려대	발명 인	대한민국	-	출원 2015.06.16 등록 2015.10.15	-	-
3	정책	국내 외단열 화재안전기준 정비방안	고려대/ 현대산업 개발/한라	제안 자	대한민국	-	-	-	‘ 16년 12월 게재 예정
4	특허	거푸집의 자동 수직도 보정장치 및 이를 갖는 수직 클라이밍 가설장치	고려대/ 현대산업 개발/한라	발명 인	대한민국	-	출원 2015.06.16 등록결정 2016.09.22	-	
5	특허	분리형 수직 클라이밍 가설장치	고려대/ 현대산업 개발/한라	발명 인	대한민국	-	출원 2015.06.16	-	
6	특허	외단열 동시공사용 수직 클라이밍 가설장치	고려대/ 현대산업 개발/한라	발명 인	대한민국	-	출원 2015.06.16.	-	-
7	논문	다차원전열해석을 통한 공정간소형 외단열 시스템의 열성능 평가	현대산업 개발	주저 자	대한건축학회	-	2016.09	단독 사사	
8	논문	Case Study of a Window Proximity Tracking Method for Tall Building Construction	고려대	주저 자	Journal of Construction Engineering and Management	0.842	(심사진행중)	단독 사사	SCI /예정

제9장. 참고 문헌

- 구보경, 외 4인(2010). 열교부위 전열량 및 열용량 차이가 내, 외단열 공동주택의 에너지성능에 미치는 영향. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 계획계, 30(1), pp.513-514.
- 구소영, 외 3인(2008). 열교를 고려한 커튼월 벽체부의 열성능 평가에 관한 연구. 한국건축친환경설비학회 논문집, 2(2), pp.1-7
- 국가기술표준원(제2014-0760), 건축용 보드류의 충격시험 방법, KS F 2221, 2014.
- 국토교통부(2014), 건축물 에너지 절감 생활 속에서 느끼게 된다: 수요자 중심의 건축물 에너지 성능 향상 방안 마련, 보도자료
- 국토교통부(2014), 전국 건축물 총 6,851,802동 / 33억7천6백만㎡: 전년대비 수도권은 2.1% 증가, 지방은 0.1% 증가, 보도자료
- 국토교통부(2015). 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준, 국토교통부고시(제2015-141호)
- 국토교통부(2015), 건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부고시(제2015-1108호)
- 국토교통부(2015), 에너지절약형 친환경주택의 건설기준, 국토교통부고시(제2015-994호),
- 김태엽(2012), 내년도 해외건설 수주 600억달러 이상 가능할 듯, Cerik Journal, pp.25-27
- 박효순(2006), 주택·건물부문의 에너지절약 동향분석(上:) 신기술·운영시스템을 중심으로, Moazine, pp.126-132
- 박종문 외 2인(2012), 친환경 건축물 단열재 최근 연구 동향, Clean Technology, 18(1), pp.14-21
- 신지욱 외 3인(2010), 공동주택 단위세대에서의 내외단열 시스템 적용에 따른 난방에너지 소비량 분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 30(1), pp.517-518
- 송승연(2012), 에너지 절약형 외단열 공동주택의 표준설계, 시공기술 개발 및 경제성 분석, 교육과학기술부
- 송승영(2014), 내단열vs외단열, 외단열 공동주택의 에너지절약 효과, 대한건축학회지, 58(3), pp.16-20
- (주)실빅스(2013), 탄소 저감 및 에너지 절감을 위한 나노 복합 신소재 단열재 개발, 지식경제부
- 송승영 외 2인(2008). 내, 외단열 시스템 적용시의 공동주택 기준층 전면 외벽-슬라브 접합부 및 측벽-슬라브 접합부 단열성능 비교 평가. 대한건축학회 논문집 - 계획계, 24(8), pp.277-284
- 윤명오(2001), 건축물 방재기준의 제도적 기반 선진화 방안 연구, 국토교통부
- 이종성 외 2인(2014). 공동주택의 단열형태별 선형열관류율 평가, LHI Journal, 5(4), pp.315-323.
- 연세대학교 외(2013), 저에너지 친환경 공동주택 기술개발 연구보고서, 국토교통부
- 오성덕(2013), 주거용 건물 복합 외피 시스템으로 세대 당 냉난방비 60~70% 줄였다 -그린 리모델링-, 건설기술신문
- 오성덕(2013), 열손실 ‘제로’ ...결로 발생도 없었다 -부하저감 위한 한국형 외단열 시스템 개발-, 건설기술신문
- 오성덕(2011), ‘내구성 20년’ 단열성능 10배이상 높였다 -박형초단열 신소재 이용 ‘복합 단

열재’ 개발-, 건설기술신문

- 이승복(2011), 에너지 절약형 다기능 외피시스템 개발, 한국연구재단
- 안홍섭(2003), 시공· 운전비용 동시절감형 냉동냉장창고 외피시스템 기술개발, 한국연구재단
- 장희경(2010), 냉난방에너지소비량 절감을 위한 공동주택의 외피단열성능 도출 및 경제성 평가, 부산대학교 석사학위논문
- 조동우(2007), 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 산업자원부
- 조동우 외(2013), 제로카본 그린홈 실증연구, 한국건설기술연구원
- 최정만(2015), “ 의정부 화재와 외단열“ , 한국그린빌딩협의회지, 16(4), pp.90-93
- 한국과학기술기획평가원(2013), 2012년 국가중점과학기술 기술수준평가 연구, 미래창조과학부
- ASHRAE, A. H. F., & Book, D. (1997). American Society of Heating. Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- American Architectural Manufacturers Association. (2005). AAMA 501.1-05 Standard Test Method for Water Penetration of Windows, Curtain Walls and Doors Using Dynamic Pressure.
- ANSI, A. (2009). ASTM E330-Structural Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors by Uniform Static Air Pressure Difference, 08610-2.
- European Organization for Technical Approvals (EOTA) 2000. Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. EOTA, Brussels, March. ETAG 004.
- ISO, E. (2007). 10211: Thermal bridges in building construction-Heat flows and surface temperatures-detailed calculations (ISO 10211: 2007).
- ISO, E. (2007). 13370: Thermal performance of buildings-Heat transfer via the ground-Calculation methods (ISO 13370: 2007).
- Leakage, M. W. According to AAMA 501.1. Water leakage does not include water controlled by flashing and gutters that is drained to exterior and water that cannot damage adjacent materials or finishes.
- Lei Peng, Zhaopeng Ni, Xin Huang (2013), Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China, The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 62, pp.663-670
- Nathan White, & Michael Delichatsios (2015), “ Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components“ , New York: Springer
- sto(2015). Fire Protection on EIFS



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.