

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "주거공간 성능개선을 위한 상변화물질(PCM)의 건축물 적용 기술개발 기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2017. 08.

주관연구기관명 : 숭실대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김수민

연구원 : 정수광

" : 장성진

" : 위승환

" : 강유진

" : 이종기

협동연구기관명 : (재)한국건설생활환경시험연구원

협동연구책임자 : 서정기

협동연구기관명 : 한국화학연구원

협동연구책임자 : 박종목

위탁연구기관명 : (사)한국패시브건축협회

위탁연구책임자 : 최정만

과제고유번호	16RDPP-C 119066-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2016. 09. 07~ 2017. 03. 06	단 계 구 분	1/1
연 구 사 업 명	국토교통연구기획사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술개발 기획			
	단위과제명	주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술개발 기획			
연 구 책 임 자	김수민	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 19명 내부 : 19명 외부 : 명	총연구비	정부 : 50,000 천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	승실대학교 산학협력단 (재)한국건설생활환경시험연구원 한국화학연구원 (사)한국패시브건축협회		참여기업명	(사)한국패시브건축협회	
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약				보고서면수	
1. 기술의 정의 - 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발 - PCM 적용 축열 건축자재 개발 - 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화 - PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발 2. 기술의 필요성 - 저비용 제로에너지 건물 기술의 한계 - 쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 요구 증대 - 해외 기술과의 격차를 줄이고 시장선도를 위해 체계적인 연구의 필요 3. 비전 - 제로에너지 시대 맞춤형 행복 주거공간 실현 4. 목표 - 기존 건축물 대비 건물에너지사용량 10% 저감 - 비공조 건축물의 온열 불쾌적 시간 300시간 저감 - 표준주택(100m²) 대비 이산화탄소 배출량 4 ton 저감					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	상변화물질, 열쾌적, 건물에너지, 최적화, 경제성			
	영 어	Phase Change Material, Thermal Comfort, Building Energy, Optimization, Economics			

요 약 문

I. 제 목

주거공간 성능개선을 위한 상변화물질(PCM)의 건축물 적용 기술개발 기획

II. 연구개발과제 개요

1. 기술의 정의

- 경제성을 고려한 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발
 - 건축자재용 Paraffin-wax 저비용 생산기술 개발
 - 건축자재용 Bio-based PCM 제조기술 개발
 - 장기안정성을 확보한 용도 맞춤형 안정화 기술 개발
- PCM 적용 고축열 건축자재 개발
 - 30 J/g이상의 축열성능을 갖는 축열 건축자재 개발
 - 기존대비 20% 저렴한 PCM 가공 및 시공 방법 개발
 - 기존대비 피크온도 2℃ 저감
- 건축물 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화
 - 구조체, 건축 내·외장재의 PCM 적용에 따른 효율 향상 분석
 - PCM을 활용한 제로에너지/친환경 설계 기법 개발
 - 하자발생, 과설계 방지를 위한 시공/운영 가이드라인 개발
- PCM 성능평가 방법 및 테스트베드 실증 방법 개발
 - PCM 소재 및 건축자재 평가방법 도출 및 검증
 - PCM 건축자재의 에너지 절약성능 평가방법 도출 및 검증
 - 테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발

2. 연구개발 배경

- 고효율 건축물 및 이산화탄소 배출 저감형 저에너지 건축시장의 확대
- 제로에너지하우스 패시브요소기술의 새로운 패러다임 도출
- 쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 관심 증대

3. 연구개발 필요성

- 건축물 소비 에너지 절감의 중요성 증가
- 제로에너지 건물의 현 단계 기술수준 및 한계점
- 쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 관심 증대

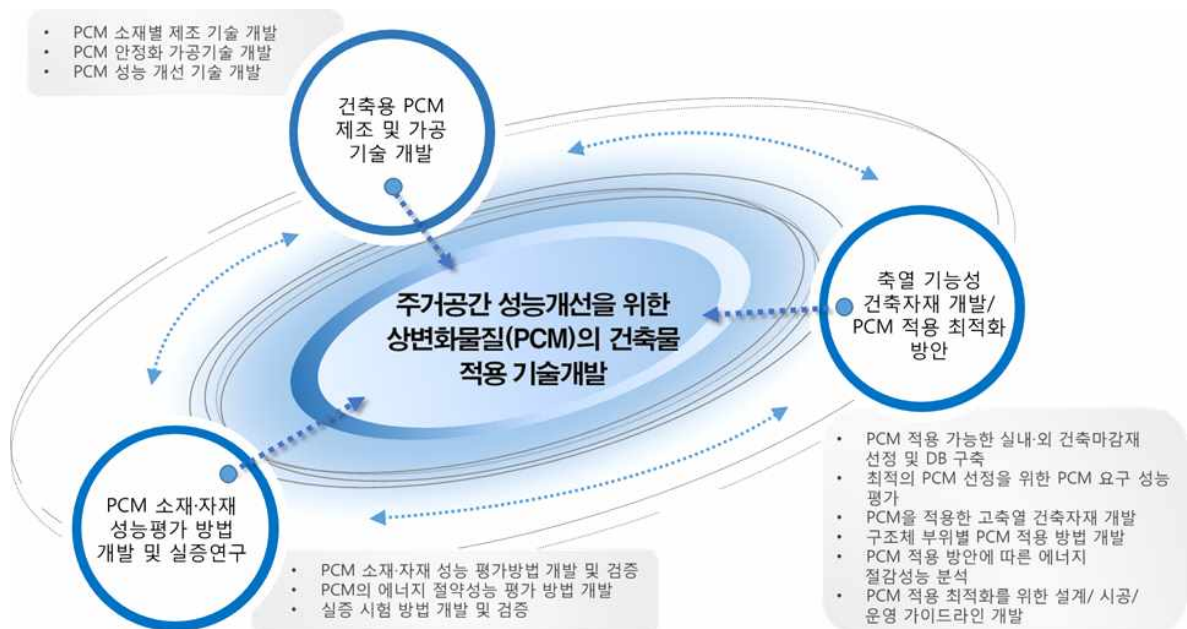
- 해외 기술격차 감소 및 국내 PCM 시장의 경쟁력 강화
- 국내 PCM 시장의 활성화를 위해 정부지원을 통한 PCM 건축자재의 전과정에 대한 체계적인 연구가 필요

III. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구과제의 비전 및 목표



2. 연구과제의 구성

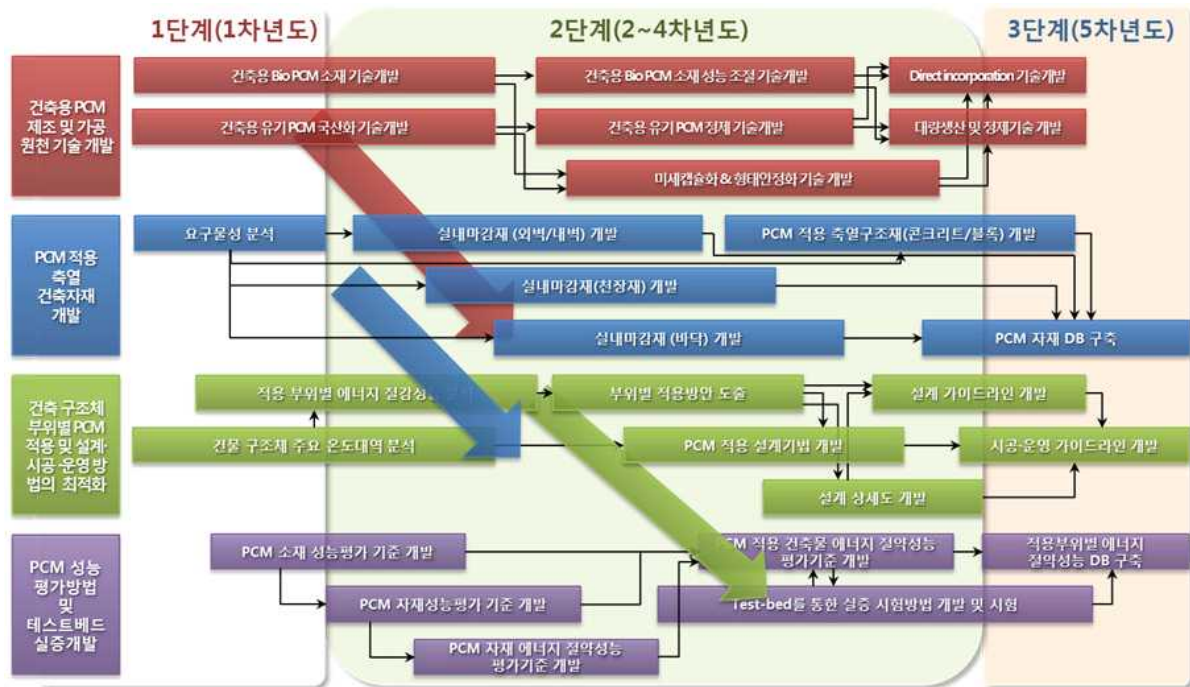


3. 연구의 내용

핵심기술요소	중분류	소분류
1. 건축용 PCM 제조 및 가공 원천 기술 개발	1-1. Paraffin계 PCM 제조 기술 개발	1-1-1. Paraffin계 PCM 상변화온도 조절 정제기술 개발
		1-1-2. 가지달린 이성체 제거기술 개발
		1-1-3. 석유화학으로부터 대량생산 기술 개발
	1-2. Bio-PCM 제조 기술 개발	1-2-1. Bio-PCM 상변화온도 조절 기술 개발
		1-2-2. 잠열량 조절 기술 개발
		1-2-3. Bio Oil로부터 합성 및 정제 기술 개발
	1-3. PCM 안정화 가공기술개발	1-3-1. Immersion 기술(다공성물질 설계 및 합성기술 포함) 개발
		1-3-2. Nano-, Micro-, Macro-encapsulation 기술 개발
		1-3-3. 분산형, Powder형 제형 기술 개발
	1-4. PCM 성능 개선 기술 개발	1-3-1. 열전도를 개선 기술 개발
		1-3-2. 과냉각 방지 기술 개발
		1-3-3. 난연성 부여 기술 개발
2. PCM 적용 축열 건축자재 개발	2-1. 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가	2-1-1 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가
		2-1-2 국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가
		2-1-3 RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가
	2-2. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발	2-2-1. PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발
		2-2-2. PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발
		2-2-3. PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발
		2-2-4. 대용량형 PCM 적용 적용 기술 개발
	2-3. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (천장재) 개발	2-3-1. PCM 적용 고축열 천장텍스 개발
		2-3-2. 천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발
		2-3-3. 천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발
		2-3-4. 환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발
	2-4. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발	2-4-1. 겨울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발
		2-4-2. 실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시
	2-5. PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적 벽돌) 개발	2-5-1. 콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발
		2-5-2. PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발
		2-5-3. PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발
		2-5-4. 고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발
3. 건축 구조체 부위별	3-1. 건축 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발	3-1-1. 구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도변화 대역 분석
		3-1-2. 구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온도범위 분석

PCM 적용 및 설계·시공· 운영 방법의 최적화		3-1-3. 부위별 PCM 적용방안 도출
		3-1-4. 부위별 적용 가능한 PCM 정립
	3-2. 건축 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석	3-2-1. 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지 절감 성능 분석
		3-2-2. 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
		3-2-3. 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
	3-3. PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발	3-3-1. PCM 적용을 위한 설계상세도 개발
		3-3-2. 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발
		3-3-3. 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량 분석 및 도출
		3-3-4. 하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축물 운영 가이드라인 개발
4. PCM 성능 평가방법 및 테스트베 드 실증 방법 개발	4-1. PCM 소재 및 적용소재 성능 평가방법 개발 및 검증	4-1-1. PCM 소재별 성능 평가기준 개발
		4-1-2. PCM 자재의 성능 평가기준 개발
	4-2. PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발	4-2-1. PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 도출
		4-2-2. PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 평가 방법 도출
	4-3. PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험	4-3-1. PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법 개발
		4-3-2. PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 실증

4. 단계별 추진체계



IV. 최종 연구성과 및 활용방안

1. 최종 연구성과

세부과제	성과물	성과물 유형	성과지표
건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발	Paraffin계 PCM 제조 기술 개발	특허, 시제품	- 맞춤형 상전이온도(-4, 5, 25, 32℃) - 잠열량(150~200kJ/kg)
	Biobased-PCM 제조기술 개발	특허, 시제품	- 맞춤형 상전이온도(-4, 5, 25, 32℃) - 잠열량(150~200kJ/kg)
	PCM 안정화 가공기술 개발	특허, 시제품	- 용도 맞춤형 장기안정성(3,000cycle, 10years)
PCM 적용 축열 건축자재 개발	PCM 적용 건축자재 및 축열시스템	논문, 시제품, 특허	- 축열성능이 최소 30J/g이상 축열 건축자재 내/외벽 적용 고축열 실내 마감재 개발 (석고보드, 페인트, 타일, 타일접착제) - 천장 적용 고축열 실내 마감재 개발 (천장텍스, 금속/플라스틱 패널) - 바닥난방 축열시스템 개발 - 축열 구조재 개발
	PCM 적용 축열 건축자재 에너지 저장기술	논문, 시제품, 특허	- 환기시스템을 활용한 축열 건축자재 효율 증대 기술 개발 - 상용되는 축열 건축자재 대비 2℃ 이상 피크온도 감소 기술개발

건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화	건축 구조체 부위별 PCM 적용기법	논문, 특허	- 구조체의 계절별 온도변화 대역을 분석하여, 적용 가능한 PCM 상변화온도범위 제시 - 부위별 적용 가능한 PCM 정립
	건축 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감	논문, 보고서	- 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지절감 성능 분석 - 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지절감 성능 분석 - 에너지절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
	PCM 설계·시공·운영 가이드라인 개발	지침/설계/ 메뉴얼	- PCM 적용을 위한 설계상세도의 개발 - 시공 하자 방지·품질확보를 위한 PCM 시공 상세도 개발 - 고효율 건축물의 건물 운용스케줄
PCM 성능평가방법 및 테스트베드를 통한 실증	건축자재용 PCM 성능평가 기준개발	규격(안)	- PCM 성능평가 기준 제시
	PCM을 적용한 건축자재 성능평가 기준개발	규격(안)	- PCM 건축자재 성능평가 기준 제시
	PCM을 적용한 건축물 에너지 성능평가 방법	규격(안)	- PCM 적용 건축물 에너지 성능평가 기준 제시
	테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발	규격(안)	- PCM 적용 건축물 실증시험방법 제시

2. 활용방안

- 원천소재 제조기술 확립으로 가격경쟁력 확보
- 국내·외 축열 건축자재 시장활성화
- 건물부위별 요구성능 충족을 위한 건축자재로 활용
- 높은 축열 성능 기술 개발을 통한 세계 수준의 기술력 및 가격경쟁력 확보
- 건물에너지 저감 핵심기술로 활용
- PCM의 건물에너지 저감성능 정량화 및 지표 수준 설정에 활용
- PCM을 활용한 저에너지/친환경 설계기법으로 적용 및 활용
- 한국형 축열성능 향상 저에너지 주택 수출
- 건축물 적용을 위한 PCM 소재 및 자재 개발 성능지표로 활용
- 건물에너지효율등급 및 녹색건축인증제도의 평가항목에 축열성능 도입

V. 인력투입 소요예산 산정

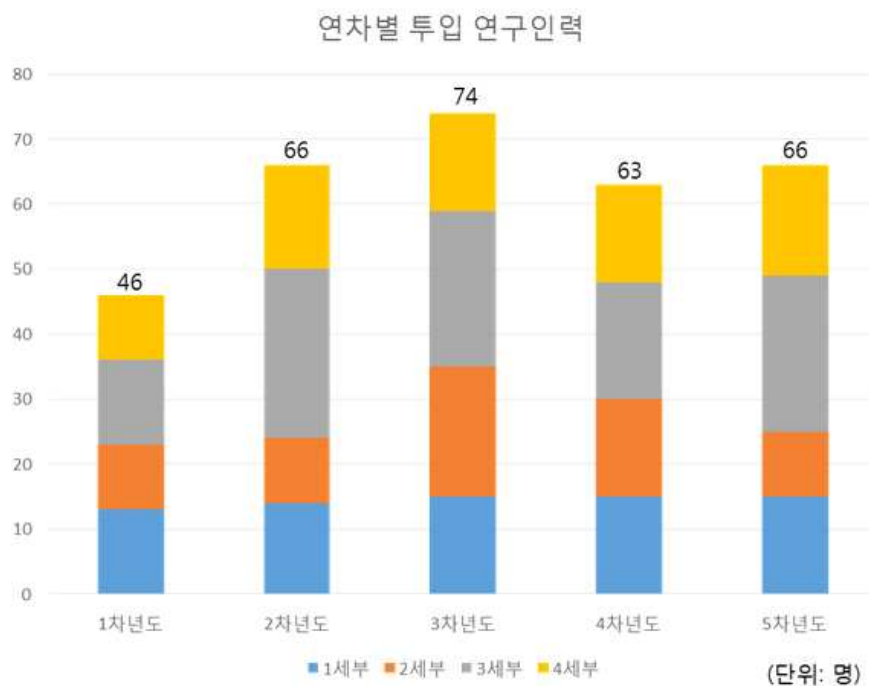
1. 연구일정에 따른 인력투입계획

1) 전체사업 인력투입계획

- 본 사업의 인력투입 계획은 다음의 표와 같으며 평균 매년 63명의 인력이 투입됨.
 각 세부별 특성에 따라 인력의 집중 시기가 다르게 되며 1세부와 2세부의 경우 연구의 중반까지 투입 인력이 증가하며 3세부와 4세부는 연구의 후반에 투입 인력이 증가함

단위 : 명

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
총괄	46	66	74	63	66	315
1세부과제	13	14	15	15	15	72
2세부과제	10	10	20	15	10	65
3세부과제	13	26	24	18	24	105
4세부과제	10	16	15	15	17	73



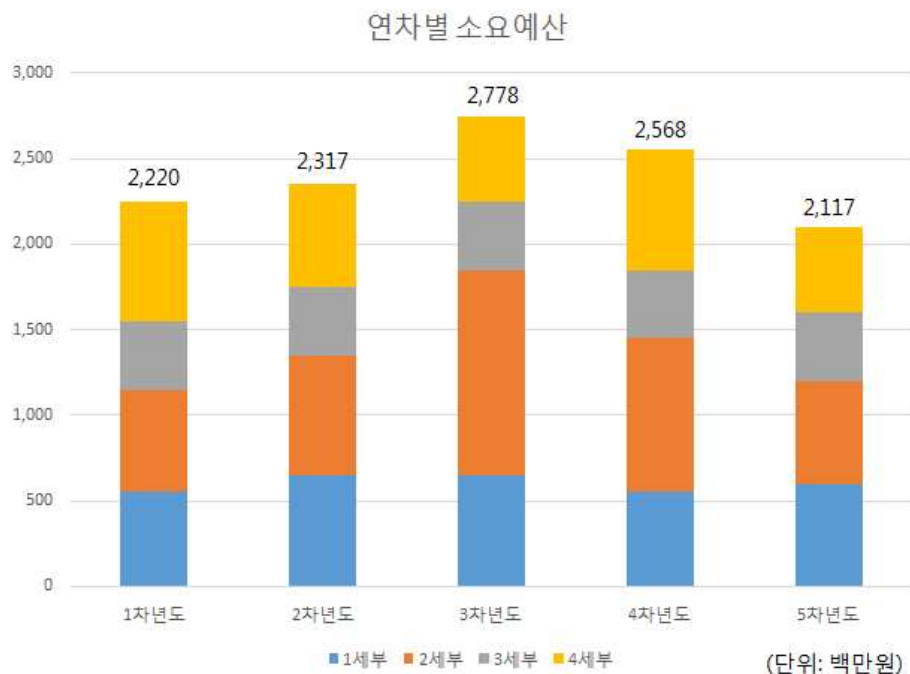
2. 소요예산 산정

1) 전체사업 소요예산

- 본 사업의 소요예산은 150억원(정부:120억원, 민간: 30억원)이며 매년 평균 24억원의 연구비가 투입됨
- 각 세부별 연구의 진행단계에 따라서 연구비가 책정되었으며 1세부와 2세부는 연구의 진행단계에 따라 3차년도에 가장 많은 연구비가 책정되며 4세부는 시험평가를 위한 장비 구축 계획에 따라 1차년도와 4차년도에 가장 많은 연구비가 책정됨

(단위 : 백만원)

구분		1세부	2세부	3세부	4세부	합계
1차년도	정부	550	570	400	700	2,220
	민간	138	143	100	175	555
2차년도	정부	650	667	400	600	2,317
	민간	163	167	100	150	579
3차년도	정부	650	1,228	400	500	2,778
	민간	163	307	100	125	695
4차년도	정부	550	918	400	700	2,568
	민간	138	230	100	175	642
5차년도	정부	600	617	400	500	2,117
	민간	150	154	100	125	529
합계	정부	3,000	4,000	2,000	3,000	12,000
	민간	750	1,000	500	750	3,000



SUMMARY

I. Title

Technology development plan on building application of PCM for performance improvement of living space

II. Summary

1. Definition

- Development of technology for PCM manufacture and processing for building materials
 - Development of technology for building Bio-based PCM manufacture
 - Development of technology for building Paraffin계 PCM manufacture
 - Development of technology for PCM stabilization process
- Development of PCM-specific heat storage building materials
 - Analysis on required property by building materials and performance evaluation on PCM
 - Development of building materials(internal/external) for high performance of thermal storage applying PCM
 - Development of building structures for high performance of thermal storage (concrete/masonry brick) applying PCM
- Optimization on application and design/construction/operation method for building structure
 - Development of PCM application method for building structure
 - Analysis on improvement of energy efficiency according to PCM application plan for building structure
 - Eco-friendly design method applying PCM
 - Development of guideline on design/construction/operation for optimization applying PCM
- Performance test method for PCM and demonstration through test bed
 - Development and verification of performance test method on PCM material and applied material
 - Development of performance test method for buildings applied PCM
 - Verification test for performance evaluation of buildings applied PCM

2. Background

- Promotion of high efficiency buildings and expansion of market on low energy building for reducing CO₂ emission
- Establishment of new paradigm for passive-house related element technology and zero energy house
- Increase of interest in comfort and healthy eco-friendly building

3. Research necessity

- Necessity of Energy Reduction Technology of Buildings in Response to Climate Change
 - Importance of improvement of residential space performance through materials
 - Activation of domestic PCM market
 - Necessity of linkage strategy with government policy through systematic research

III. Research configuration and strategies

1. Vision and objectives

1) Vision

- Realizing of customized happy residential space for zero energy age

2) Objectives

- Improvement of Building energy performance : reduction of energy consumption by 10 % compared to existing building
- Improvement of thermal comfort : Reduction of thermal-discomfort time about 300 hours on non-air-conditioning buildings
- Reduction of carbon emission : Reduction of CO₂ emission by 4 ton compared to 2016 standard housing(floor area : 100m²)

CONTENTS

I . Technology Definition and Necessity

- 1.1. Technology Definition / 1
- 1.2. Technology Development / 5
- 1.3. Technology Necessity / 8

II . Domestic and International Trend and Environment Analysis

- 2.1. Domestic and International Policy Trend / 17
- 2.2. Domestic and International Market Condition and Prospect / 36
- 2.3. Technical Trend Analysis / 49
- 2.4. Technical Level Analysis / 73
- 2.5. Comparable Research Analysis / 100
- 2.6. Research Infra Analysis / 104
- 2.7. Overall Analysis / 117
- 2.8. Establishment of technology development direction / 121

III. Research Development Composition and Performance Strategy

- 3.1. Vision and Goal / 122
- 3.2. Selection of Core Technology Element and TRL / 124
- 3.3. Research Development Composition / 140
- 3.4. Main Contents of detailed Assignments and Performance Strategy / 141
- 3.5. Relationship between detailed Assignments / 159
- 3.6. Technology and Outcome Roadmap / 160
- 3.7. Outcome Application Plan / 165
- 3.8. Suggestion of Research Performance Structure / 169

IV. Validity Review in Advance

- 4.1. Policy Validity / 170
- 4.2. Technology Validity / 181

4.3. Economic Validity / 190

4.4. Overall Validity Review / 197

V . Manpower Plan and Necessary Budget Calculation

5.1. Manpower Plan according to Research Schedule / 199

5.2. Necessary Budget Calculation / 204

VI. Request for Proposal

6.1. Request for Proposal / 212

6.2. Evaluation Criteria / 243

Appendix

References / 244

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의	1
2절. 연구개발 배경	5
3절. 연구개발 필요성	8
2장. 국내외 동향 및 환경 분석	17
1절. 국내외 정책동향	17
2절. 국내외 시장현황 및 전망	36
3절. 기술동향 분석	49
4절. 기술수준 분석	73
5절. 유사과제 분석	100
6절. 연구개발 인프라 분석	104
7절. 종합분석	117
8절. 기술개발추진방향 정립	121
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	122
1절. 비전 및 목표	122
2절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표	124
3절. 연구개발과제 구성	140
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	141
5절. 세부과제 간 연계관계	159
6절. 과제별·연차별 기술로드맵	160
7절. 성과의 활용방안	165
8절. 연구수행체계 제안	169
4장. 사전타당성 검토	170
1절. 정책적 타당성	170
2절. 기술적 타당성	181
3절. 경제적 타당성	190
4절. 타당성 검토 종합	197
5장. 인력투입 소요예산 산정	199

1절. 연구일정에 따른 인력투입계획	199
2절. 소요예산 산정	204
 6장. 과제 제안요구서	212
1절. 과제 제안 요구서(RFP)	212
2절. 평가기준 설정	243
 [부록] 자문의견서	244

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

※ 본 기획과제는 축열성능을 가지는 상변화물질(PCM)을 건축물에 적용함으로써, 세계 최고수준의 능동적인 열흡수·방출 및 열저장이 가능한 건축기술을 개발함으로써 낮은 에너지비용으로 쾌적한 주거공간을 구현하고자 함

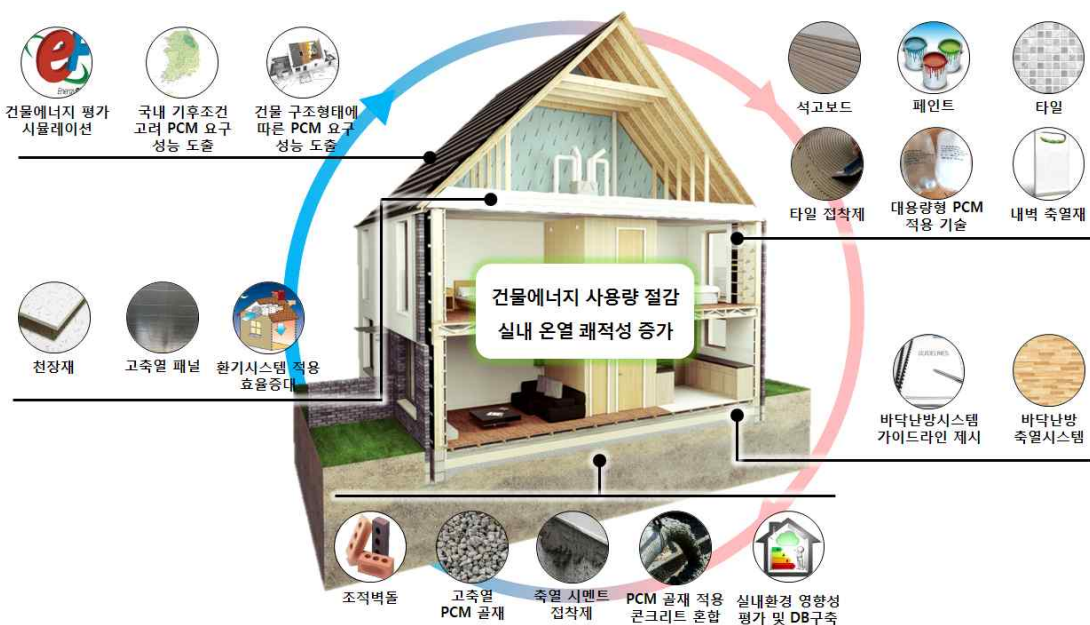


그림 1. 건축물 적용 PCM 기술의 개요

1. 관련 기술 정의

가. PCM (Phase Change Materials; 상변화물질)

- PCM은 주변의 온도변화에 따라 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도의 변화 없이 잠열(Latent heat)¹⁾의 형태로 자발적으로 열을 저장·방출할 수 있는 에너지 저장 물질임
- 고유의 상변화온도를 가지고 있는 PCM을 건축자재에 적용 시 실내의 피크온도를 낮추어 총 냉난방부하를 감소시킬 수 있고 실외에서 유입·유출되는 열의 이동을 지연시켜 Peak-hour 부하를 이동시킬 수 있음

1) 잠열은 숨은 열을 뜻하며, 어떤 물체가 온도의 변화 없이 상태가 변할 때 방출되거나 흡수되는 열

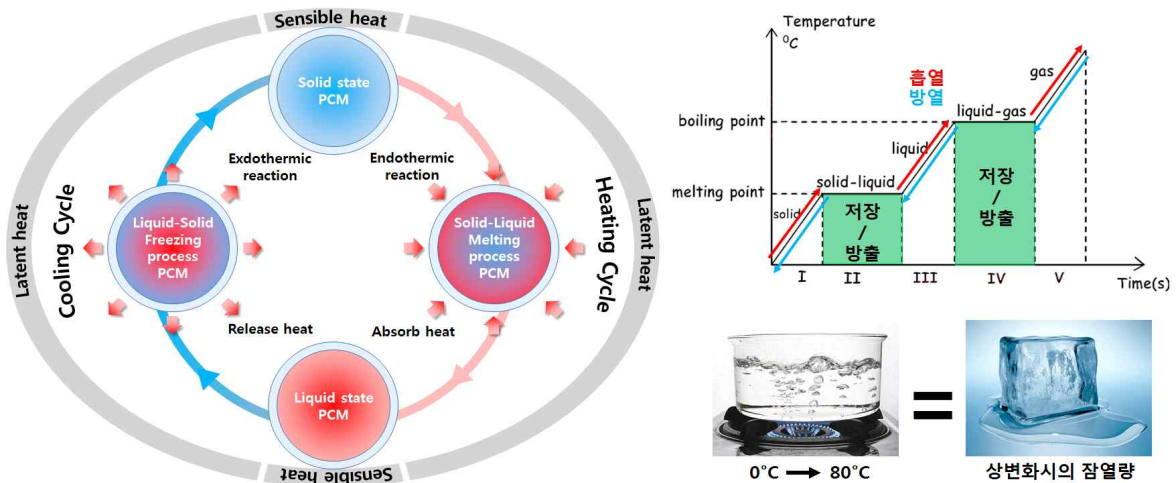


그림 2. PCM의 원리

나. 축열 건축자재

- 열 에너지를 저장하는 방법은 물질의 상태변화 없이 열을 저장하는 현열저장과 물질의 상태변화에 따른 잠열의 형태로 열을 저장하는 방법이 있으며, 상변화물질을 건축자재에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 상변화특성이 없는 일반 건축재료에 비해 약 20배 이상 큰 열 저장능력을 가짐
- 따라서 우수한 잠열저장 성능을 이용한 축열 건축자재는 녹는점에 따라 적용 부위 및 용도에 맞춘 축열범위 조절이 가능하고 목표 온도대에서의 상변화를 통해 많은 양의 잠열을 능동적으로 저장 또는 방출하는 온도조절 건축자재임

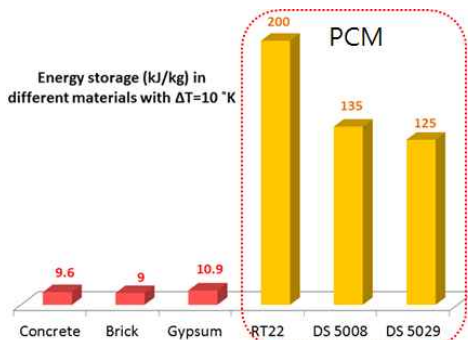


그림 3. PCM과 건축자재의 축열량 비교
(출처: A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes, H.Akeivber)

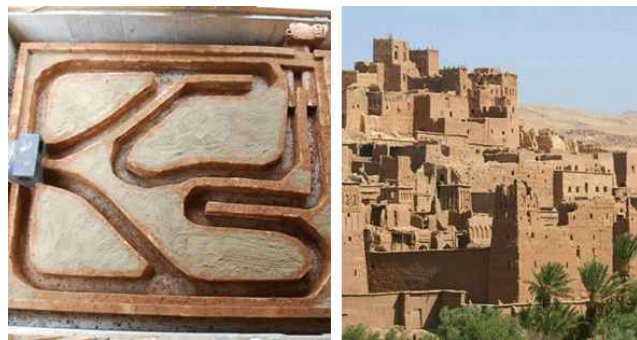


그림 4. 축열을 이용한 건축
(전통 구들장(왼), 모로코 흙건축(오른))

다. 주거공간 성능개선

- 건축물 주거 공간에 열적 관성 기능을 부여함으로써, 외부환경의 영향을 최소한으로 받게 함으로써 냉·난방 피크부하를 낮추어 에너지사용을 저감시켜주고 실내온도를 쾌적 범위로 오랫동안 유지하게 해주며 건축물의 내구성을 증가시킴으로써 국민들이 거주하는 주거공간의 성능을 개선

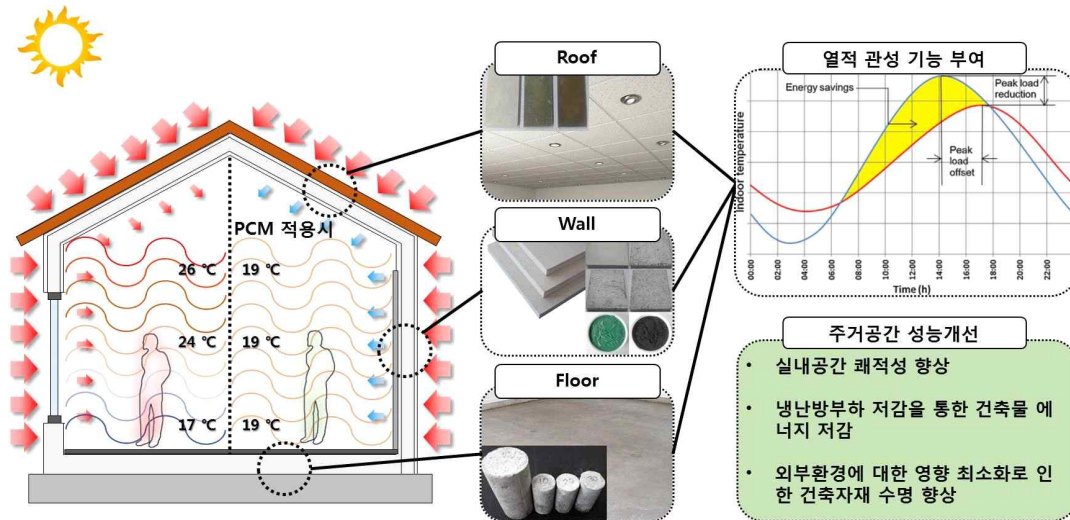


그림 5. PCM을 활용한 주거공간 성능개선 방법

2. 세부과제별 기술정의

가. “주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술개발” 사업 구성

- 1세부과제 : 경제성을 고려한 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발
- 2세부과제 : PCM 적용 축열 건축자재 개발
- 3세부과제 : 우리나라 기후 환경에 맞는 건축 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화
- 4세부과제 : PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발

나. 1세부과제 : 경제성을 고려한 건축용 PCM제조 및 가공 기술 개발

- Paraffin계 PCM 제조 기술 개발
- Bio-PCM 제조 기술 개발
- PCM 안정화 가공기술개발
- PCM 성능개선 기술개발

다. 2세부과제 : PCM 적용 축열 건축자재 개발

- PCM을 적용 가능한 실내·외 건축마감재 선정 및 DB 구축

- 최적의 PCM 선정을 위한 PCM 요구 성능 평가
- PCM을 적용한 고축열 건축자재 개발

라. 3세부과제 : 우리나라 기후환경에 맞는 건축물 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화

- 건축 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발
- 건축 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
- PCM 적용 최적화를 위한 설계/시공/운영 가이드 라인 개발

마. 4세부과제 : PCM 성능평가 방법 및 테스트베드 실증 방법 개발

- PCM 소재 및 적용자재 성능 평가방법 개발 및 검증
- PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발
- PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험
- PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발
- PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험

2절. 연구개발 배경

1. 고효율 건축물 및 이산화탄소 배출 저감형 저에너지 건축시장의 확대

- 국제기후협약에 따른 이산화탄소배출 감축 요구 증대로 우리나라는 2015년에 BAU (2030년) 대비 37% (국내 25.7% + 해외 11.3%) 감축 시나리오를 발표하였으며, 산업부문 감축률 12%, 발전(원전 추가고려), 수송, 건물 등의 온실가스 감축 기술 개발을 통한 감축 계획이 마련되고 있음
- 국내 총 에너지 사용량 중 건물분야에서는 약 25%의 에너지소비를 차지하고 있으며, 향후 미국, 영국 등의 선진국과 같이 전체 에너지 소비의 30~40% 수준까지 높아질 것으로 예상되고 있음
- 이에 대한 대처방안으로, 정부에서는 신축건축물의 에너지 소비량을 저감시키기 위해 2001년 에너지절약설계기준을 마련한 이후 점진적으로 건물에너지 설계 및 시공기준을 강화하였으며, 지속적인 건물에너지 효율향상과 에너지 절감을 유도하고 있음
- 또한, 기존 건축물에 대해서도, 건물에너지 성능 개선에 대한 요구의 증대, 장기적인 관점에서 LCA (Life cycle assessment)분석을 통한 기존건물부문의 이산화탄소 배출 저감 전략의 수립 마련이 요구되고 있음

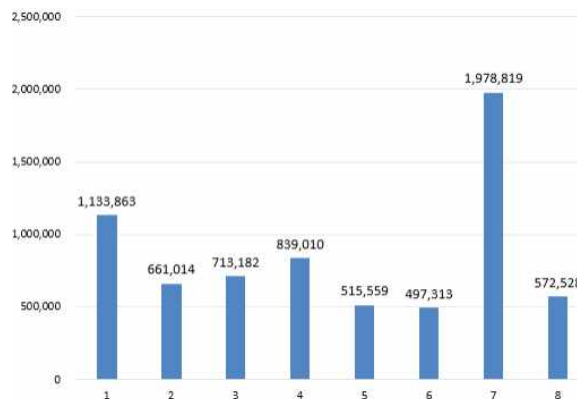


그림 6. 2014 노후 건축물 현황

출처: '14년 건축물현황 통계, 통계청

표 1. 2014년 노후건축물 현황

	준공시기	동수
1	10년 미만 (2006~2014)	1,133,863
2	10~15년 미만 (2001~2005)	661,014
3	15~20년 미만 (1996~2000)	713,182
4	20~25년 미만 (1991~1995)	839,010
5	25~30년 미만 (1986~1990)	515,559
6	30~35년 미만 (1981~1985)	497,313
7	35년 이상 (-1980)	1,978,819
8	기타	572,528

출처: '14년 건축물현황 통계, 통계청

- 2014년 통계청 자료에 의하면 국내 노후건축물로 분류되는 신축 후 15년 이상 된 건축물은 약 71.68%(기타 제외)를 차지하고 있어, 향후, 노후 건축물에 대한 재건축 및 그린리모델링 사업 진행시 건축물 에너지 효율향상을 위한 요소기술 개발이 필요한 것으로 판단됨

2. 제로에너지하우스 패시브 요소기술의 새로운 패러다임 도출

- 정부에서는 건물부문의 에너지소비효율을 향상시키기 위해 2017년에는 패시브하우스 수준의 주거용 건축물 달성, 2025년까지는 에너지 자립형 주택인 제로에너지하우스를 완성시킨다는 목표를 배경으로 저탄소녹색성장기본법, 2012년 신재생에너지 의무할당제(RPS; Renewable Portfolio Standard)시행 계획에 따라, 국내 건설산업 분야에서는 패시브 요소에 대한 기술개발 및 태양광, 태양열, 풍력 및 지열을 활용한 액티브 기술 개발 및 적용에 더욱 박차를 가하고 있는 상태임
- 현재의 기술개발 내용을 바탕으로, 패시브 요소기술을 통해 약 25% 정도의 건물에너지 절감효과를 달성하고 있지만, 액티브 요소기술의 효율분석, 기술 및 경제성 분석사례 부족 등 현실적인 측면의 검증이 아직 미흡하여, 보다 효율적인 건물에너지 절감 효과를 달성하기에는 아직 요소기술 개발이 부족한 상황으로 인식되고 있음

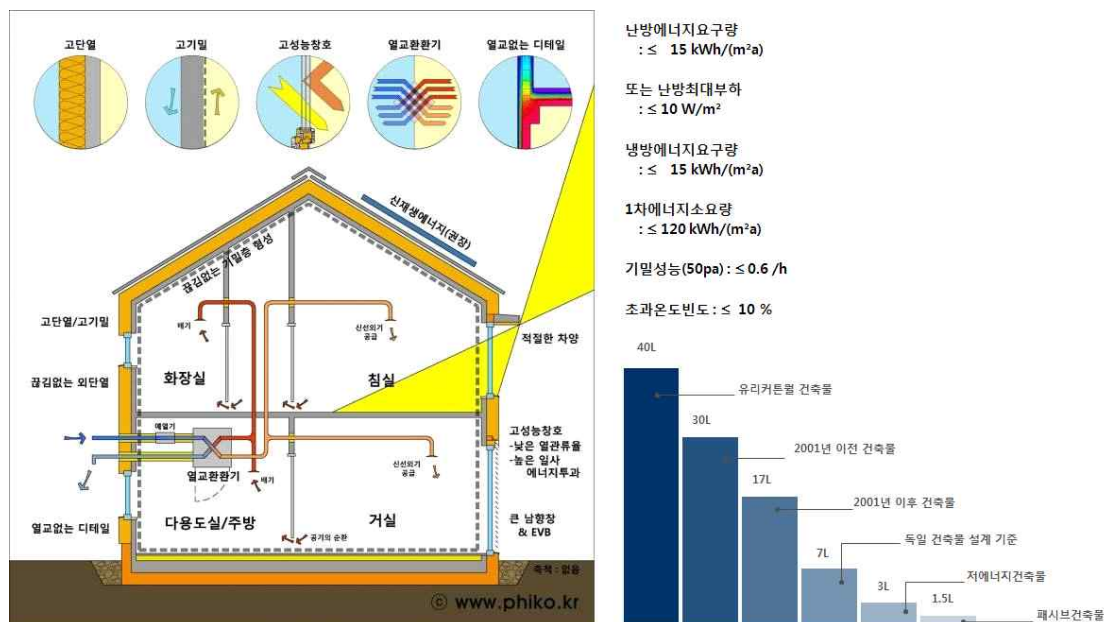


그림 7. 제로에너지하우스 패시브 요소기술

- 패시브하우스의 요소기술은 고단열, 고기밀, 고성능창호, 열교환환기, 열교 없는 디테일로 정의할 수 있으며, 그 중 국내 건설분야에서는 고단열, 고성능창호, 열교환환기장치를 통해 기존 건축물 대비 약 30%의 에너지 절감효과를 도모하고 있는 수준으로 확인됨
- 따라서 제로에너지 건축물을 구현하기 위해서는 현재 에너지 소비의 70%를 대처할 수 있는 저감모델을 구축해야 하는 문제에 직면하고 있음

- 이에, 최근 신재생에너지(태양열, 태양광, 풍력, 지열)등 액티브 요소기술의 사용과 적용에 이목이 집중되고 있지만, 건축비의 증가, 효율의 신뢰성 확보, 투자회수 기간의 설정 및 유지관리에 대한 문제점이 나타나고 있음

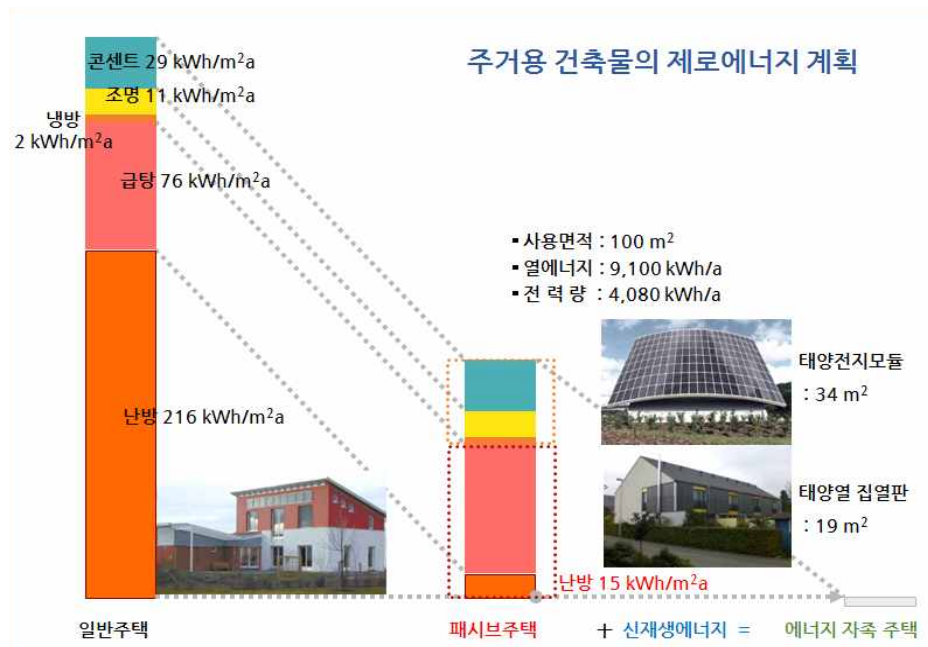


그림 8. 주거용 건축물의 제로에너지 계획

- 이러한 시점에서 건축재료에 적용되는 PCM 축열 기술은 새로운 패시브 요소기술로써, 액티브 온도조절 시스템 없이 실내 온도를 자발적으로 조절함으로써, 에너지 저감 성능과 쾌적한 주거환경 개선에 대한 요구 수준을 확보할 수 있는 미래지향적 기술에 해당함
- PCM을 적용한 축열기술과 기존 패시브 요소기술만으로도 60 %의 에너지저감 효과를 기대할 수 있다고 생각되며 이는 건축비 및 유지관리 측면에서도 매우 경제적이며 건축물 에너지 절감을 위해서도 반드시 필요한 기술이라고 판단됨

3. 쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 관심 증대

- 현대 도시인은 일상의 90% 정도를 실내공간에서 생활하고 있으며, 웰빙과 실내 환경 쾌적성에 대한 관심의 증대로 인해 건강한 실내 환경을 구성하려는 요구가 증대하고 있음
- 에너지 저감 효과 이전에, 건축물은 쾌적한 실내환경을 조성하는 것인 현대인이 요구하는 가장 기본적인 기능이라고 할 수 있음에도 불구하고, 그동안에는 건축물의 성능향상은 에너지 저감효과에만 초점이 맞추어져 기술개발이 이루어져 왔으며, 쾌적한 실내환경의 조건 설정을 기반으로 건축물의 실내환경을 구현할 필요가 있음
- 그동안에는 모든 건축물에 동일한 실내온도가 적용되었으나, 동일 건물이라도 사용용도 및 스케줄에 따라 실내 온도조건을 달리 설정할 필요가 있음

- 따라서, 거주인의 삶의 질을 향상시키고, 건축물의 에너지효율 향상이라는 측면에서, 축열(상변화)에 의한 기술은 최근 새로운 형태의 패시브적 아이템으로서 에너지 절감 성능과 쾌적한 주거환경과 삶의 질에 대한 요구 수준이 높아짐에 따른 재실자의 쾌적성까지 확보할 수 있는 미래지향적 기술에 대한 연구가 필요함

Maintenance of thermal comfort for occupants in buildings

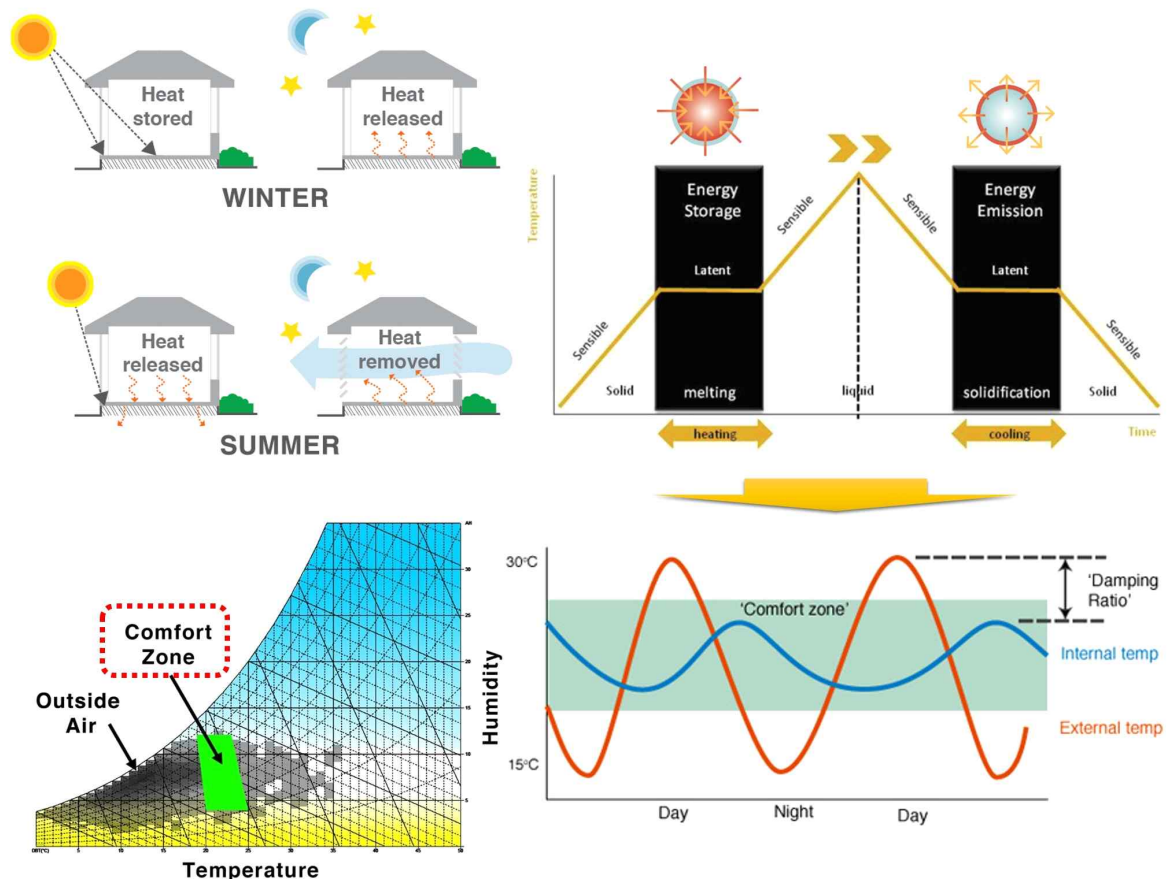


그림 9. PCM 적용에 따른 열 쾌적 유지 및 에너지 저감

3절. 연구개발 필요성

1. 기술개발의 시급성 및 중요도

가. 주거용 제로에너지 건물의 현 단계 기술수준 및 한계점

- 2000년 이후부터 국내에서도 제로에너지 주택에 대한 많은 연구 개발이 진행되고 있고, 연구소 대학 및 관련기업에서 다양한 모델주택도 건립하고 있으며, 최근에는 비용과 성능을 모두 충족시킬 수 있는 보급형 제로에너지 주택의 개발이 한창 진행되고 있음
- 실제로 민간수준에서 주도된 6가구로 구성된 대전 죽동의 제로에너지마을에 2011년 6월 입주 후 1년간의 정밀 모니터링을 통해 기존주택 대비 80 %의 연간 에너지소비 절감을 달성한 것이 실험적으로 입증되었으며, 지자체에서도 30가구

규모의 제로에너지 주택단지를 분양하여 2012년 말 입주가 완료되었으며 현재 성능검증을 진행하고 있는 상황임

- 하지만, 주거용 건물 구현사례의 대부분은 저층의 단독주택이며, 실제로 국내 시장의 큰 비중을 차지하고 있는 고층 공동주택의 경우는 상대적으로 높은 절감율의 제로에너지화 구현에 어려움을 겪고 있음
- 이는 고층 공동주택의 특성상 여러 세대가 지붕을 공유하고 있으며, 인동간격에 따라 벽체에 음영의 영향을 받기 때문에 태양열, 태양광 등의 설치면적에 큰 제약을 받게 되며, 단독주택과 달리 창면적의 비율이 매우 높아 슈퍼단열을 통한 큰 폭의 부하절감 효과를 기대하기 어려운 한계를 가지고 있음

나. 비주거용 제로에너지 건물(오피스)의 현 단계 기술수준 및 한계점

- 열부하 중심의 주거건물과 달리 오피스 등의 비주거 건물은 전기부하의 비중이 60% ~ 70%를 차지하기 때문에 제로에너지화의 구현은 더욱 어려운 상황임
- 자연채광 및 고효율 조명기기 등을 통한 조명부하의 일부는 절감이 가능하지만 여전히 큰 비중을 차지하는 플러그부하 등은 확실한 절감대책이 없는 상황이라, 현 기술수준에서는 일반적으로 30% ~ 50% 절감율이 최대 달성 가능수준인 것으로 국내외적으로 인정하고 있음
- 일부 특수한 상황에서는 제로에너지 오피스를 인천에 위치한 환경과학원내 기후변화연구동이 2011년에 완공을 하였으나, 이 사례의 경우 층수가 낮고, 부하조건이 일반건물과는 상이한 특수상황이 있었기에 제로에너지화의 구현이 가능했지만, 일반적인 비주거용 건물(오피스)의 제로에너지화는 아직 완전구현에는 많은 시간이 필요할 것으로 예상됨

다. 건축물에너지 저감을 위한 새로운 패시브 요소기술 개발

- 현재까지 건축물 에너지 절감을 위한 패시브 요소기술로는 단열재 및 창호 등에 초점을 맞추어 진행되어 왔으며 단열재의 경우에도 새로운 소재를 통한 재료의 개발이 아닌 기존 재료의 두께 증가 및 열반사형 단열재 등 단편적인 연구 위주로 진행되고 있음
- ' 17. 7. 1. 시행예정인 에너지절약형 건축친환경 주택의 건설기준에서는 의무적으로 확보해야하는 친환경기술요소로 신재생부문, 건축부문, 기계설비부문으로 나누어져 있으며 그 중 건축부문에서는 외피 열교부위의 단열성능 값만을 기술요소로 제시하고 있음
- 향후 제로에너지하우스의 에너지 성능에 도달하기 위해서는 다양한 측면에서의 접근이 필요하며 그 중 에너지 성능을 향상시킬 수 있으면 다양한 건축재료의 적용할 수 있는 재료의 개발은 중요한 부분을 차지할 것으로 생각됨
- 특히 국가 정책과의 연계성을 통해 건축재료의 건축물 적용을 위한 가이드라인 및 지원정책 등이 수반된다면 향후 다양한 고성능 건축재료 시장의 활성화 및 건축물 적용 확대 등이 예상됨

표 2. 에너지 절약형 친환경주택의 건설기준 - 별표 7. 신·재생 에너지설비 설치 등

구분	항목	기준	배점
신재생 부문	난방에너지 신재생 비율	전체난방설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 2% 이상	5
		전체난방설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 1% 이상~2% 미만	3
	급탕에너지 신재생 비율	전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 10% 이상	4
		전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 7% 이상~10% 미만	2
		전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 5% 이상~7% 미만	1
	조명에너지 신재생 비율	전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 60% 이상	4
		전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 40% 이상~60% 미만	2
		전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 20% 이상~40% 미만	1
건축 부문	외피 열교부위의 단열성능 값 (W/m.K)	0.160 미만	6
		0.160이상~0.370 미만	3
기계설비 부문	폐열회수 환기장치	전체 외기도입 풍량합의 60%이상 적용여부 (고효율에너지기자재 인증제품인 경우 해당)	2

2. 사회적 이슈 해결 방안 시급

가. 건축물 에너지 기준강화에 따른 저에너지주택의 요구 증대

- 환경기준의 강화에 따라 녹색주택 공급 필요성이 커지고, 주택 및 주거문화에 대한 관심이 지속적으로 확대될 전망
 - 태양열·태양광 주택 등 환경 친화적 녹색주택을 공급할 필요성이 증대
 - 한옥 등 전통적인 주택 및 주거문화에 대한 관심이 증대되면서 이에 대한 창조적 계승과 보급의 필요성이 높아질 전망

나. 쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 관심 증대

- 경제적 여유와 여가활동이 증가하면서 주택수요의 유형이 다양화될 것으로 예상
 - 전원주택, 별장주택, 단지형 단독주택, 타운하우스, 장애인 편의주택 등 여러 형태의 주택에 대한 수요가 증가할 전망
 - 1~2인 가구가 증가하면서 도시형 생활주택, 준주택 등 도심내 소형주택 등에 대한 수요가 증가할 것으로 예상
 - 노인가구가 증가하면 고령자임대주택, 실버타운, 노인복지주택 등 노인전용주택 수요가 증가하고, 전원지역 거주 수요도 증가할 것으로 예상
- 건강에 대한 관심으로 건축물의 실내 환경 개선 요구 증가

다. 건축물의 급속한 노후화

- 준공된지 30년 이상 경과한 건축물의 비율이 ‘20년경 50% 추정
 - 29%(‘05) → 34%(‘10) → 39%(‘15) → 50%(‘20) 예상
- 건축시장에서 리뉴얼(재건축 및 리모델링) 비중이 10%에서 선진국 수준인 40%로 확대 예상
 - 서구 15개국 건설시장 분포 조사결과(건설산업연구원) : 신규 주택 및 건축 42%, 유지보수 44%, 신규 토목 14%

3. 건축자재용 PCM 기술 개발의 필요성

가. 건축자재용 PCM 소재 및 가공기술 개발의 필요성

- PCM 물질은 각각 상전이온도, 잠열량, 부식성, 내화성, 열전도성, 과냉각성, 화학안정성, 사용사이클에 따른 열적안정성, 가격 등에 있어서 장단점을 가지고 있어 건축자재용도에 맞는 맞춤형물성 및 성능 발휘를 위한 연구개발이 필요하며, 최근에는 환경적인 이슈 대응, 원천기술확보 측면에서도 PCM 소재연구가 필요함
- 상변화 물질을 제품에 응용함에 있어서, 액체 상태의 상변화 물질을 단순 혼합하여 사용하면 상변화 물질의 누출이 발생하고 이로 인해 그 성능이 크게 떨어지는 문제점이 있으므로 안정적으로 상변화가 일어날 수 있도록 일정한 크기의 공간을 확보 및 부여, 과냉각방지기능 부여, 열적·화학적 안정성을 부여하는 안정화 기술이 필요함. 현재까지 알려진 상변화 물질의 안정화 방법으로는 함침법, Macro-encapsulation, Micro-encapsulation, 형태안정화법, Nano-encapsulation 이 있으며, 선진국에서 이미 원천기술을 다수 확보하고 있음
- 따라서, 축방열 소재기술개발에 성공하기 위해서는 가격경쟁력을 확보하고 적용 건축자재에 안정적으로 분산되어 외부에서 가해지는 전단력에도 파괴되지 않는 구조적으로 안정한 미세한 크기의 입자제조, 표면처리, 분산 등의 새로운 원천제조기술개발이 요구된다고 할 수 있음
- 축방열 소재에 있어 국내에서는 다양한 상전이 물질을 이용하여 미립화 기술 및 유화 기술을 사용하여 마이크로 사이즈의 캡슐제품을 제조하였으나, 대부분이 상용화에는 크게 성공하지 못한 상태이며, 몇몇 중소기업(주식회사 에네트, 미광다이텍주식회사 등)에서 소량생산단계에 머물고 있는 상태이며, 소재가 달라지면 PCM 소재에 따라 가공기술이 달라져야하며 적용하고자 하는 자재에 맞는 맞춤형 가공기술 연구가 반드시 필요함

(1) 건축자재용 PCM 소재 개발의 필요성

- 원하는 가동온도범위에 맞는 맞춤형 상전이온도의 조절필요($-5 \sim 60^{\circ}\text{C}$)
- 상전이시 저장 및 방출에너지 증가를 위한 잠열량의 조절필요(150~200kJ/kg)
- 비부식성, 비독성, 내화성, 열적·화학적 안정성이 있는 PCM 물질 개발필요
- 경제적인 제조단가 및 환경 친화적(Renewable resources)인 PCM 물질 개발 필요

(2) 건축자재 적합성 가공기술 개발의 필요성

- 가공 후에도 소재의 특성이 훼손되지 않는 가공기술 확보필요
- 적용하는 건축자재 물질과의 상용성, 분산안정성 확보필요
- 가공시 가해지는 전단력 및 압력을 극복하고 유출을 방지할 수 있을 정도의 내구성 확보 필요
- 건축자재에 적용하기 위한 소재 경량화의 필요성

- 장기사용에 따른 성능 안정성(예: 3,000 cycles, 10 years) 확보 필요
- 경제적인 제조단가 및 환경 친화적인 가공기술 개발 필요

나. PCM 적용 건축자재 개발의 필요성

- 현재까지 건축물의 에너지를 절감하기 위한 재료적인 방법은 단열재 및 창호 등에 초점을 맞추어 진행되어 왔으며 단열재의 경우에도 새로운 소재를 통한 재료의 개발이 아닌 기존 재료의 두께 증가 및 열반사형 단열재 등 단편적인 연구의 위주로 진행됨
- 향후 제로에너지하우스의 에너지 성능에 도달하기 위해서는 다양한 측면에서의 접근이 필요하며 그 중 에너지 성능을 향상시킬 수 있으면 다양한 건축재료의 적용할 수 있는 재료의 개발은 중요한 부분을 차지할 것으로 생각됨

(1) 정량적인 에너지 절감 성능

- PCM 적용 건축자재를 통한 에너지 절감성능 정량적인 평가의 필요성
- 실내온도 변화를 통한 에너지 절감 성능지표 설정
- 실내 피크온도 절감과 지연 효과를 동시에 고려한 정략적 축열성능의 판단기준

(2) 열쾌적성의 향상

- 패시브하우스, 제로에너지하우스 등 저에너지 건축물의 쾌적 지속성 향상
- 실온 변동폭 저감을 통한 재실자의 온열 쾌적감을 향상
- 고효율 건축물의 고도화를 통한 장시간 온열 쾌적감 달성

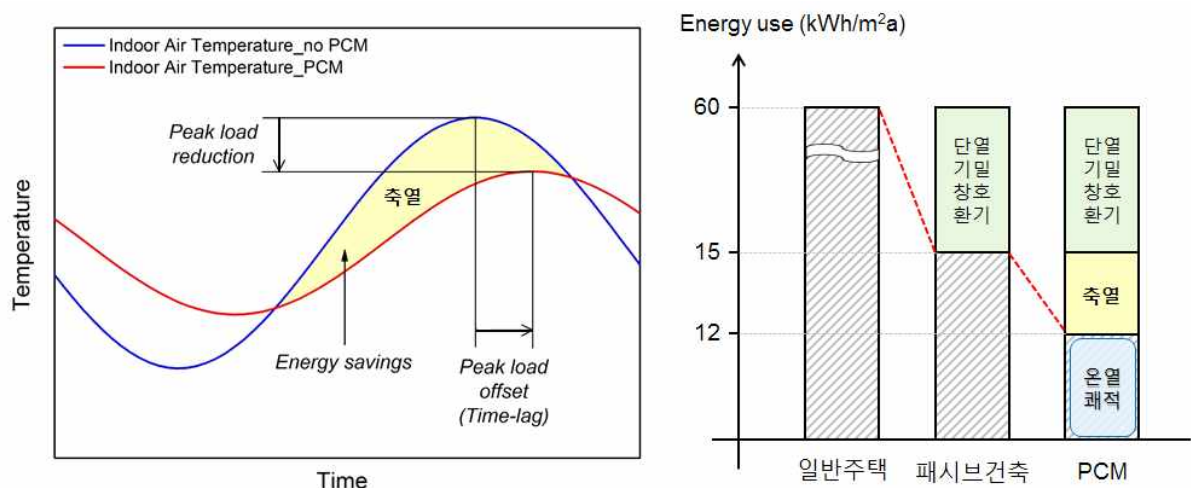


그림 10. 축열을 통한 건물에너지 절감

다. PCM 적용 기술 개발의 필요성

- PCM의 고유 성질인 상변화온도와 주변 온도의 차가 적을수록 천천히 열을 저장하거나 방출함. 반대로 상변화온도와 주변 온도의 차가 클수록 열을 빠르게 저장하거나 방출하게 되는데, 이를 토대로 열을 오랫동안 저장하도록 유도할 것인지, 빠르게 방출하도록 유도할 것인지 목표하고자 하는 효과에 따라 적절한 PCM을 적용해야 할 필요가 있음
- 또한 같은 기후조건에 노출된 건물이라도 구조체는 각 부위별로 온도편차가 존재하기 때문에 적절한 상변화 온도를 갖는 PCM을 적용해야 하며, 하절기/ 동절기 등 계절적인 요인도 고려가 되어야 함

(1) 용도별 적용 기술

- 상변화온도와 PCM 상변화 속도의 목표 설정
- 열저장의 지속성/ 열전달 속도의 향상 등 용도별 목적을 고려한 상변화 최적화 기술

(2) 부위별 적용 기술

- 지붕, 벽체, 바닥 등 구조체의 온도대역에 따른 PCM 성능지표 설정
- 기후요인을 고려한 부위별 PCM 적용의 전략 마련

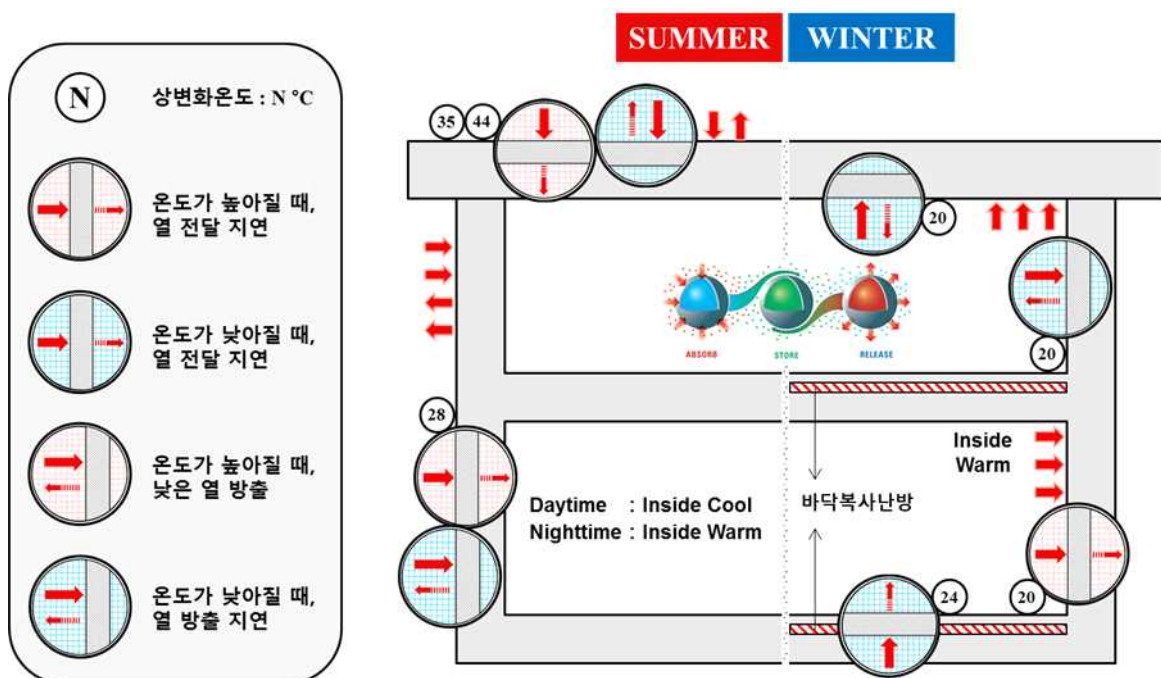


그림 11. PCM 적용 부위별 기대효과 및 적정 상변화 온도

라. 성능평가 방법 개발의 필요성

- 일반적으로 PCM 소재의 성능 평가 방법은 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 잠열량 및 녹는점 등을 평가하고 있으나 시료의 양 및 승온속도 등의 차이에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있고, 기업 및 연구소 등에서 소재를 개발하고 성능을 평가하는 과정에서 어려움으로 작용하며, PCM 소재 개발의 발전에 걸림돌로 작용하게 됨
- 독일의 RAL과 미국의 ASTM에서는 이러한 문제점을 인식하고 시험방법에 대한 세부적인 조건을 제시하고 있으며, 국내에서도 PCM 소재 개발을 위해 평가방법과 기준제시가 우선적으로 도출되어야 함
- PCM은 소재 가공방법에 따라 다양한 형태로 현재 개발된 건축재료에 적용이 가능함. 따라서 PCM이 적용된 건축재료는 균질하게 혼합되는 자재에서부터 층으로 분리되거나 일부면에 PCM이 함침되는 등 다양한 특성을 가지게 됨
- PCM 자재의 평가방법은 소재 적용방법에 따른 특성을 반영할 수 있도록 해야 하며, 실제 건축물 적용 시의 PCM 자재의 거동에 따른 변화를 파악할 수 있는 방법의 개발이 필요함
- PCM 건축자재는 잠열을 이용한 높은 축열효과를 통해 건축물의 에너지 부하를 저감할 수 있는 건축자재이므로 자재 자체에 대한 평가를 통해 실제 건축물에 적용되었을 때의 효과에 대한 평가는 어려움
- 따라서 향후 PCM 자재의 성능평가방법에서는 적용 성능에 대한 평가가 필수적인 요소로 실주거환경을 모사하거나 건축물의 적용을 통한 실질적인 성능 평가가 필요함
- 평가 방법 개발 및 검증은 PCM 소재·자재 개발 이전에 확립이 될 필요가 있으므로 병렬적 연구 추진 체계가 필요함

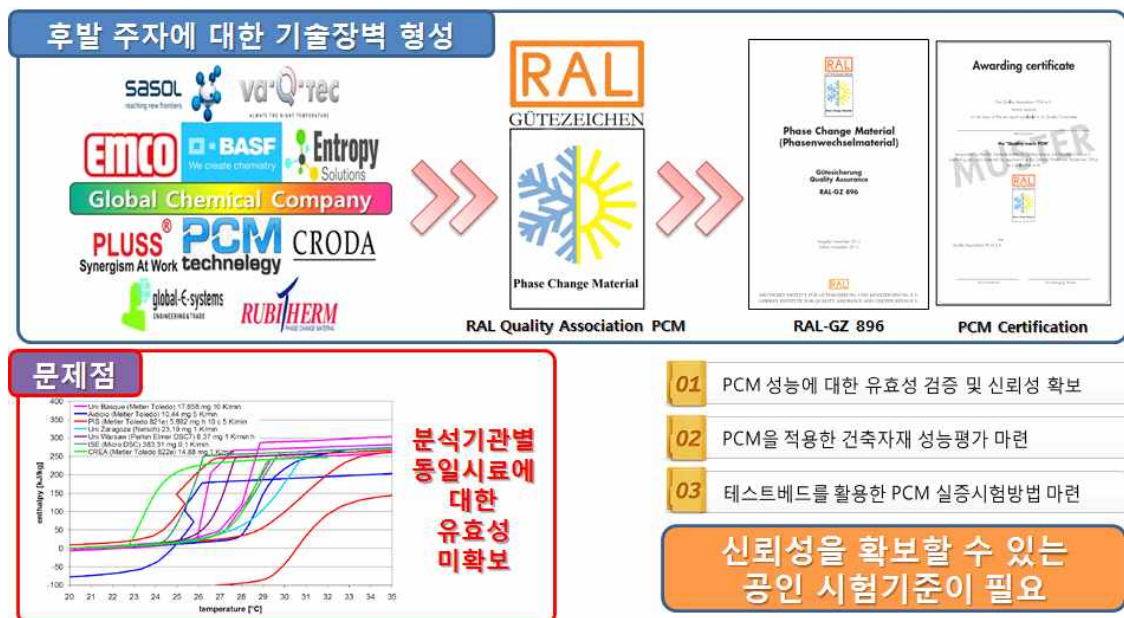


그림 12. PCM 성능평가 연구의 필요성

4. 정부지원의 필요성

가. 지구온난화 및 기후변화를 유발하는 온실가스 저감 시급

- 지구온난화 및 기후변화로 인한 세계 각국의 노력으로 파리기후변화협약이 채택되어 2016년 11월 4일부터 발효되었으며 우리나라는 2030년까지 온실가스 감축목표를 배출전망치(8억5060만톤CO₂)대비 37% 감축하기로 함
- '14. 1. 24. 국가 온실가스 감축 정책 총괄기관인 환경부는 대국민의견수렴, 23일 열린 녹색성장위원회 심의등을 거쳐, 2020년까지의 국가 온실가스 감축 목표(총 2억 3,300만톤의 온실가스 감축)와 부문별 이행 계획을 국무회의에 보고하고 확정



그림 13. 부문별 감축률 및 감축량(국가 온실가스 감축 2020년 로드맵, 환경부)

- 건축물은 우리나라 온실가스배출량의 27%를 차지하고 있으며 그에 따라 국토교통부에서는 '25년 제로에너지주택 공급 의무화를 목표로 사업계획승인 대상인 신축 공동주택의 에너지 의무절감률을 단계적으로 강화함
- * 녹색건축물 활성화 방안('09.11.) :
' 09(15%)→' 10(20%)→' 12(30%)→' 17(60%)→' 25(100%)
- 따라서 온실가스 감축을 위한 건축물에너지 절감 기술은 국가 정책 뿐만 아니라 향후 전세계적으로 온실가스 감축 및 에너지 소비량 절감 등의 높은 가치를 가진 기술로써 중요한 위치에 있음

나. 체계적인 연구의 필요성

- 독일 정부에서 추진 중인 PCM 실증화 프로젝트 II(PCM Demonstration Collaborative Project II) 및 미국 에너지부에서 추진 중인 PCM 적용 건축물 개발을 위한 연구프로그램(U.S. PCM research program)은 PCM을 건축물에 적용하기 위해 소재에서부터 건축물 적용에 이르기까지 일련의 과정에 대한 연구가 진행 중에 있음
- 이에 반해, 국내에서는 건축물에 PCM 적용을 위한 과제는 11건이 진행되었으며 대형과제의 경우에는 PCM 연구를 위한 단일과제는 없었으며 다양한 과제의 세부과제로 기 추진하였거나 추진 중인 과제들이 일부 존재함

- PCM의 건축물 적용을 위해서는 소재에서부터 최종 건축물 적용에 이르기까지 다양한 일련의 과정에 대한 연구가 진행되어야 함. 따라서 단일과제보다는 대형과제를 통하여 원천소재 개발 → 소재 가공기술 개발 → 건축자재 적용 → 건축물 적용 기술개발 → 평가기법 개발의 전과정에 대한 연구가 필요하며 PCM 적용을 통한 건축물의 에너지 소비량 절감률에 대한 실증연구 또한 필수적으로 수행되어야 함

다. 정책 연계성

- 현재 국내·외 PCM 관련 시장은 유럽 및 미국을 중심으로 크게 확장되고 있으며 국내 시장의 확대 및 연구는 아직 미비한 실정임
- 국외 기술과 대등한 수준의 기술을 개발하기 위해 국가지원 프로젝트를 통한 연구와 동시에 관련연구 및 건축물 적용의 확대를 위한 시장활성화에 대한 지원이 필요함
- 시장활성화를 위해 선행되어야 될 연구로 PCM에 대한 실증연구를 통한 성능검증이 필요하며 그 이후 성능평가 방법에 대한 기준 마련 및 건축물 적용 시의 가점 제도 등의 도입이 필요함. 따라서 PCM의 건축물 적용을 위한 과제의 성공적 수행을 위하여 정책과의 연계 방안에 대한 고려가 필수적임
- 독일을 제외한 대부분의 국가가 PCM 시장 도입 초기 단계에 머물러 있는 상태이며, 본 연구과제가 성공적으로 수행되어 PCM이 적용된 고성능의 축열건축자재 개발과 정량적인 성능평가를 통한 성능검증이 이루어진다면, PCM 건축자재 시장에서 기술경쟁력을 갖추어 관련 시장을 선점할 수 있을 것으로 판단되며, 실증연구를 통해 얻은 기술을 바탕으로 중동 및 동남아시아 건축 시장으로 진출하는 계기를 마련할 수 있을 것으로 기대함



그림 14. 고부가가치 PCM 건축자재 시장 선도의 가능성

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내외 정책동향

가. 국내 정책 동향

(1) 건물부문 에너지절감 강화 정책

- 정부에서는 저탄소 녹색성장 기본법 상에서 녹색건축물을 ‘에너지이용 효율 및 신재생에너지의 사용비율이 높고 온실 가스 배출을 최소화하는 건축물’로 정의하고 다양한 제도적 장치를 통해 녹색건축물 활성화를 유도하고 있음

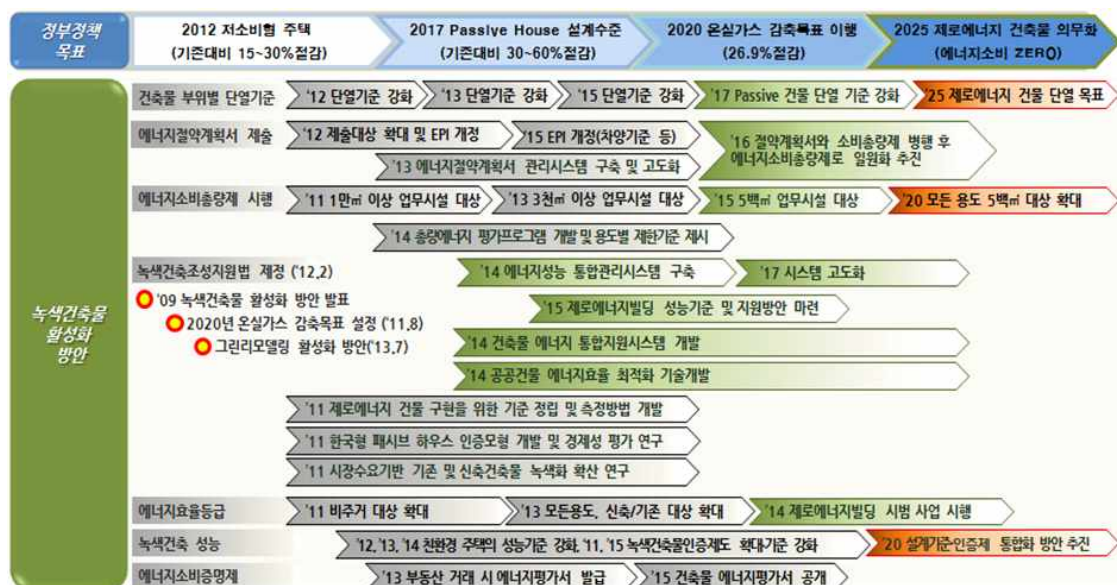


그림 15. 국내 건물부문 건물에너지 절감 강화 정책 현황 및 전망

- 국가 온실가스 감축목표 달성 및 제로에너지건물 의무화를 위하여 2009년 11월 제 6차 녹색성장위원회에서 제로에너지 건축물 도입 로드맵 수립, 2012년 에너지 저소비형 주택(냉난방에너지 50%절감), 2017년 패시브 하우스(냉난방에너지 90%절감), 2025년 제로에너지 하우스를 목표로 로드맵을 세웠으며 2020년에는 공공부문의 제로에너지 빌딩 의무화, 2025년에는 민간부문의 제로에너지 의무화를 목표로 함



냉난방에너지 50%절감 냉난방에너지 90%절감 건축물에너지 소비 ZERO

그림 16. 제로에너지빌딩 대응 국가 건물에너지 로드맵

(출처: 제6차 녹색성장위원회, 2009)

○ 기후변화 대응을 위한 “에너지 신산업* 및 핵심기술개발 전략” 이행계획 발표(2015.4.22.)

* 기후 변화 대응, 에너지 안보, 수요관리 등 에너지 분야의 주요 현안을 효과적으로 해결하기 위한 ‘문제 해결형 산업’ (전기차, 친환경에너지타운, 제로에너지빌딩, 에너지저장시스템(ESS), 에너지 자립섬, 수요자원 거래시장, 태양광 대여, 발전소 온배수열 활용사업 등)

- (시범사업) 시장선도형 제로에너지빌딩 모델 개발을 위한 단계적 시범사업 추진(국토교통부)

* (‘14년)저층형/7층이하 → (‘15년)고층형/8층이상 → (‘16년)타운형

- (제도기반) 제로에너지빌딩 인센티브 등 법적 기반 마련(2016)
- (공공 수요 창출) 소형 공공 건축물 대상 의무화 추진(2017)



그림 17. 국내 제로에너지빌딩 시범사업 수행 및 추진 현황

- 상향된 온실가스 감축 목표 대응 관련 (우리나라 2020년 건물부문 감축목표 26.9%)
 - COP 21 합의에 따른 부문·업종별 냉난방 설비의 효율 향상 등 적극적 감축 방안이 필요
 - 건물(가정·상업·공공 및 기타 부문) 감축 방안 중 “냉난방 설비 및 열원 효율 개선” 항목에 대한 집중 검토 필요
 - * 개별 냉·난방기기, 전동기, 냉동기의 효율개선

(2) 쾌적하고 문화적인 도시·주거환경 조성

- 제4차 국토종합계획 수정계획(국토교통부, 2011~2020)
 - 대한민국의 새로운 도약을 위한 글로벌 녹색국토를 비전으로, 국토경쟁력 제고를 위한 지역특화 및 광역적 협력 강화, 자연친화적이고 안전한 국토공간 조성, 쾌적하고 문화적인 도시·주거환경 조성, 녹색교통·국토정보 통합네트워크 구축, 세계로 열린 신성장 해양국토 기반 구축, 초국경적 국토경영 기반 구축의 6대 추진전략을 제시함
 - 환경에 대한 국제기준 강화에 대비하고 온실가스 감축과 에너지 절약을 위해 기반확보, 보급확산, 정착 및 일반화의 3단계로 에너지 절감형 녹색주택 보급을 확대
 - 기존 주택 개보수를 통해 에너지 효율을 높이고 신재생에너지를 활용하도록 하여 기존주택을 환경친화적으로 개조
 - 주거단지 및 주택 디자인을 통한 주거환경의 질적 향상 도모
 - 재고주택의 관리 강화
 - 주택의 성능·노후도·불량도에 따른 주택 정비 및 개보수 프로그램 수집
 - 재고주택 관리에 대한 정부지원 강화
 - 농어촌 인구 감소에 따라 발생하는 농어촌 공간에 대한 활용방안 강구
- 제2차 건축정책기본계획(국토교통부, 2015~2019)
 - 안전과 행복, 창조와 문화를 이끄는 건축 비전 실현을 위한 3개 목표, 9개 추진전략, 26개 실천과제 수립
 - 생활공간의 안전성 증진, 생활밀착형 공간복지 체계 구축, 건축물 리뉴얼 촉진 활성화, 공공건축 효율화, 건축서비스산업 활성화, 녹색건축 실현, 지역 고유의 건축문화 창달, 국토경과 향상, 통일 한국 건축 비전 제시의 9개 추진 전략을 제시함

나. 국외 정책동향

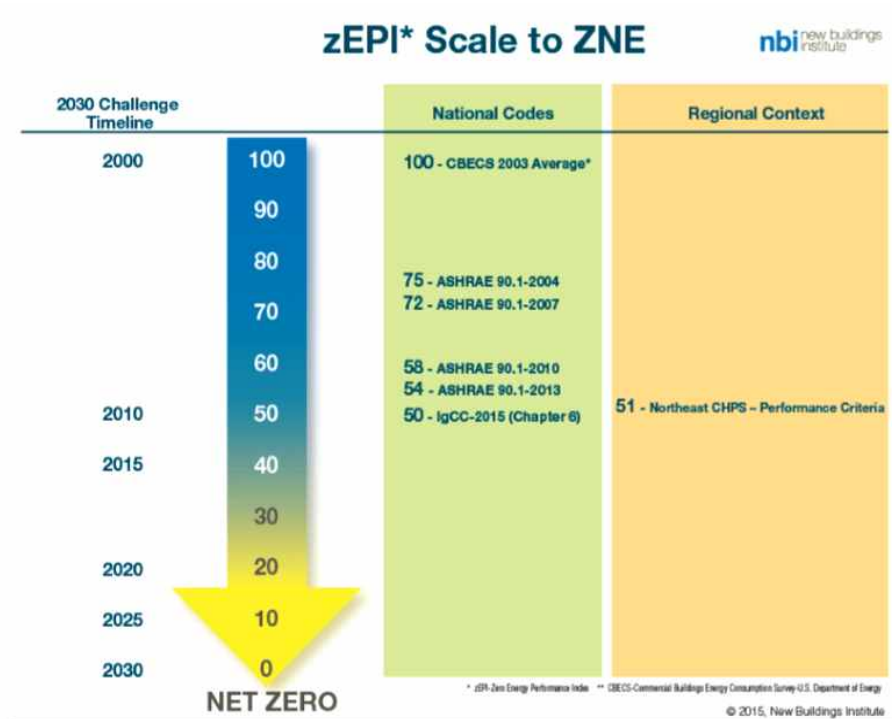
(1) 세계 주요국가의 주거복지 향상과 주택 에너지 효율화 계획 개요

- 최근 COP21 파리 협정이 채택됨에 따라 건물 부문에 대한 온실가스 감축 및 에너지 효율화에 대한 요구가 더욱 증대될 것으로 전망되며, 유럽연합 회원국 및 미국 등 주요 선진국들의 각 정부부처는 다양한 건물 관련 기준을 수립하고, 인증제도를 시행하여 건물에너지 효율성 개선을 위해 적극적으로 대응하고 있으며, 제도적 장치의 구축이 이루어지고 있음
- 세계 주요 선진국들은 저소득층, 고령인구 등의 삶의 질을 개선하고, 에너지 저감 등 국제 이슈 해결을 위한 주택정책을 적극 추진 중에 있음
 - (미국) 서민주택 개량시 자금을 지원하고, 에너지 효율화 병행 추진 및 실내공기질 개선을 위한 인증프로그램(Indoor Air PLUS) 운영
 - * ‘08년 오바마-바이든 플랜(OBM-Biden Plan), 매년 100만 가구 에너지 효율화를 추진
 - (영국) 저렴주택(Affordable Housing) 및 탄소제로 주택 보급 정책 시행 중
 - (독일) 교통건설부(BMVBS) 주도로 미래형 건축(Zukunfit Bau)에 대한 연구 클러스터 구축과 기술개발 지원 및 패시브하우스 보급·확대
 - (일본) 『200년 주택비전』을 수립하여 주택 장수명화 연구를 추진 중이며, 고령자 전용주택 개선도 중점 추진

(2) 미국의 Zero Energy Building 정책 동향

- 1996년 지역의 비영리 단체로 설립된 미국 동북부 에너지 효율 파트너십 (Northeast Energy Efficiency Partnership, NEEP)는 Net Zero Energy Buildings에 대한 실용적이고 구체적인 공동 노력이 필요함을 인식하고 2012년 Zero Energy Building의 Roadmap을 수립함
- NEEP은 제로 에너지 건물의 확산 및 보급을 위해서는 공공 부문의 리더십과 지역 사회의 역할이 중요하다고 인식함. 이 단체는 지역 건물 에너지 이해 관계자 그룹과 공동 개발 및 주요 단계는 공공 부문은 동북 및 중부 대서양 주에 걸쳐 제로 넷 에너지 건물의 최종 광범위한 적용을 촉진하기 위해 개발되었음
(동북 및 중부 대서양 지역 : Connecticut, Delaware, District of Columbia, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New York, New Jersey, Pennsylvania, Rhode Island and Vermont)
- 본 단체에서 제시하는 Roadmap은 공공부분의 신규 건물을 주요 대상으로 하고 있으며, Net Zero Energy 공공 건물의 보급을 위한 장애 요소를 분석하였고, 가까운 시일내의 해결책 및 10~15년간의 중간기 계획 수립하고 있음

○ Net Zero Energy Building 달성을 위한 단계별 수행 항목은 다음 그림17과 같음



Step 1: Develop a “Path to Highest Performance” Information Campaign



Step 2: Promote the Continued Development of Exemplary Public Buildings



Step 3: Prioritize Measurement and Public Reporting of Building Energy Performance



Step 4: Implement Stretch Building Energy Codes



Step 5: Create a Revolving Loan Fund or Similar Mechanism to Provide Capital for Energy

그림 17. NEEP의 Net Zero Energy Building 달성을 위한 단계별 수행 항목

BARRIERS & SOLUTIONS TO ZERO NET ENERGY BUILDINGS

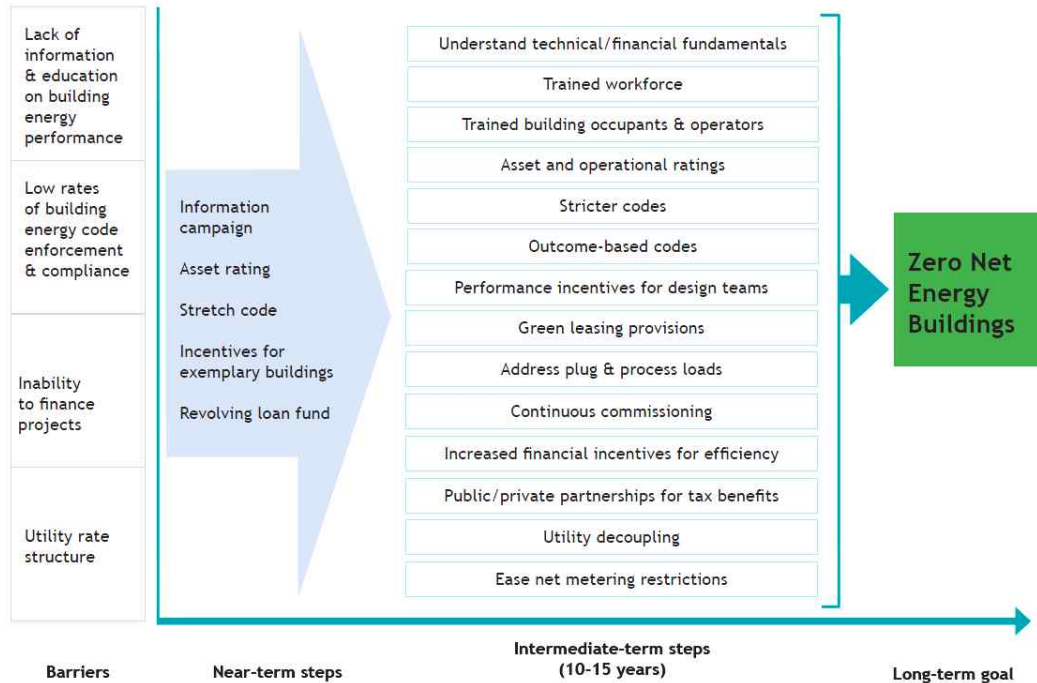


그림 18. Northeast Energy Efficiency Partnership의 Zero Energy Building Roadmap

- 2016년 6월에 NEEP는 ‘Roadmap to Zero Energy Public Buildings: Progress Report’를 발행하고, 2012년 보고서 발행 후 Zero Energy Building에 대한 3년간의 진행 상황을 평가하였으며, 공공 건물의 경우, 기존 에너지 가이드 라인 이상의 높은 성능을 가진 빌딩들이 점차적으로 증가되고 있으며, 정책적으로도 안정적인 구조가 되어가고 있는 것으로 분석함
- 상업 건물의 경우, 대부분의 국가에서 이용하고 있는 ASHRAE Standard 90.1과 the International Energy Conservation Code (IECC)의 기준을 따르고 있으며, 3년마다 갱신되는 이 두 기준은 지난 10년보다 30%이상의 에너지 저감을 계획하고 있는 것으로 확인됨
- 제로에너지 설계, 시공 및 운영을 가속화하고 그린빌딩을 장려하기 위해, 강화된 법규 및 기준이 만들어 지고 있음. ASHRAE Standard 189.1와 the International Green Construction Code (IGCC)이 ASHRAE Standard 90.1과 IECC 아래 만들어졌으며, 정기적인 프레임워크를 제공함과 동시에 제로에너지 및 그린빌딩 정책이 추진되고 있음.

State Report Card					
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
CT					
DC					
DE					
MA					
MD					
ME					
NH					
NJ					
NY					
PA					
RI					
VT					

그림 19. 각 주별 Roadmap to Zero Energy Public Buildings: Progress Report에 따른 3년간 달성도 평가

City-Level Benchmarking and Disclosure Ordinances					
	New York, NY	Boston, MA	District of Columbia	Philadelphia, PA	Cambridge, MA
Ordinance	<u>Local Law 84</u>	<u>Building Energy Reporting and Disclosure Ordinance</u>	<u>Clean and Affordable Energy Act of 2008 (Title V)</u>	<u>BILL NO. 120428-A</u>	<u>Building Energy Usage Disclosure Ordinance</u>
Enacted	2009	2013	2008	2012	2014
Municipal	May 2010 10,000 sq. ft.+	All	October 2014 10,000 sq. ft.+	January 2012 10,000 sq. ft. +	December 2014 10,000 sq. ft. +
Municipal Data & Reports	<u>2010</u> <u>2011</u> <u>2012</u>	<u>2012</u> <u>2013</u>	<u>Data/Map</u>	<u>2013 Report and Data</u>	<u>2013 Data</u>
Commercial	May 2011 50,000 sq. ft.+	Sept. 2014 50,000 sq. ft.+ AND May 2016 35,000 sq. ft.+	April 2013 100,000 sq. ft. + AND April 2014 50,000 sq. ft.+	November 2013 50,000 sq.ft.+ (Of commercial use)	May 2015 50,000 sq.ft.+ May 2016 25,000 sq.ft.+
Multi-Family	May 2011 50,000 sq. ft.+	May 2015 50k sq. ft.+ /50 Units+ AND May 2017 35k sq.ft.+ /30 units +	April 2013 100,000 sq. ft. + AND April 2014 50,000 sq. ft.+	March 2015 50,000 sq. ft.+	May 2015 50+ Units
Non-Compliance Penalty	\$500 per quarter (limit \$2,000 annually)	\$35-\$200/day (limit \$3,000 annually)	\$100/day Non-Compliance Penalty	\$300 within first 30 days, \$100 per day thereafter	Pending
State-Level Public Building Benchmarking and Disclosure Initiatives					
	New York	Connecticut	Rhode Island	Delaware	
Statute or Regulation	<u>Executive Order 88</u>	<u>Public Act 13-298</u>	<u>DOE funded grant (non-law)</u>	<u>Executive Order 18</u>	
Enacted	2012	2013	2012-2015	2010	
County Level Benchmarking and Disclosure Initiatives					
	Montgomery County, MD				
Statute or Regulation	<u>BILL 2-14</u>				
Enacted	2014				

그림 20. 제로에너지 빌딩 설계 및 구현을 위하여 해당 주의 강화된 법규 기준

(3) 일본의 Zero Energy Building 정책 동향

- 일본 경제산업성의 보고서에 따르면, 민생부분은 최종에너지 소비의 30%를 차지하고 타부문과 비교하여 증가가 현저하므로, 철저한 에너지 절감을 국가 과제로 하고 있으며, 특히, 동일본 대지진으로 인한 전력수급 문제, 국제정세 변화에 따른 에너지 가격의 불안정화 등 에너지セキュリティ의 관점에서 건축물의 에너지 자급(자립)의 필요성이 강하게 인식되고 있음

- 이러한 배경에서 실내의 환경 품질을 저하시키지 않으면서 대폭적인 에너지 저감을 실현하는 ZEB(Net Zero Energy Building)이 주목받고 있음
- 2014년 4월 결정된 ‘에너지기본계획’에 따르면, ‘2020년까지 신축 공공건축물에서, 2030년까지는 신축건축물의 평균이 ZEB을 실현하는 것을 목표로 함’이라는 정책목표가 설정되었으며, 또한, 2015년 7월에 정리되었던 ‘장기에너지수급예상’에서도 2030년의 목표로 정해진 에너지 절감량을 달성하기 위해, ‘ZEB실현을 위한 대책 등에 의한 고도의 에너지저감성능을 가진 건축물의 보급을 추진함’이 전제로 되어 있음
- 일본에서는 ZEB의 달성을 위한 구체적인 방안을 검토하기 위하여 2009년 5월에 [ZEB의 실현 및 배포에 관한 연구회]를 출범시키고, 이를 통해 향후 일본 건축물의 ZEB 화를 향한 새로운 비전을 제시하고, 과제에 대응하는 방안을 정리하고 있음
- 이밖에도 일본의 사단법인 공기조화·위생공학회에서는 2030년까지 “ZEB화 기술의 확립” 2050년까지 “관련 분야의 제로에너지화 완전 이행”이라는 슬로건으로 압도적인 기여를 매김하고, [공기조화 설비위원회 ZEB 정의 검토 소위원회]를 출범시켜 관련 검토를 수행해 오고 있으며, 또한 관련 업계에서도 자발적인 노력의 일환으로 자사의 건물을 ZEB화 하는 등의 실증적인 행동을 추진해 오고 있음

에너지를 소비의 불필요
(여름 서늘, 겨울 온화)

에너지를 효율적으로 사용

에너지를 생산

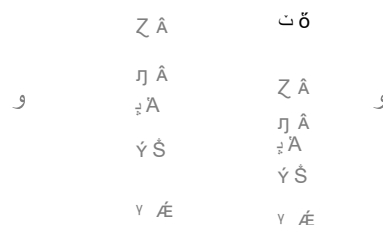


그림 21. 일본의 ZEH 개념도

BELS, CASBEE, LEED 지표와 ZEB의 관계

	CASBEE 건축환경 종합성능 평가시스템	BELS 건축물 에너지 절약 성능 표시제도	LEED Leadership in Energy & Environmental Design
평가 요구사항	① 건물의 수명주기, ② 「환경품질(Q)」과 「환경부하(L)」 ③ 환경 효율에 대한 개념에 기반한 지표 BEE (Built Environment Efficiency)의 3가지 관점에서의 평가 • 평가결과 S랭크, A랭크, B+랭크, B-랭크, C랭크로 표기	• 기존 및 신축 비주거 건축물을 대상으로 1차 에너지 소비량 및 BEI에 의해 평가 BEI (Building Energy Index) $BEI = \frac{\text{설계 1차 에너지}}{\text{기준이 되는 1차 에너지}}$ • 평가결과 5★, 4★, 3★, 2★, 1★로 표기	① Sustainable Sites ② Water Efficiency ③ Energy & Atmosphere ④ Material & Resources ⑤ Indoor Environmental Quality ⑥ Innovation Design ⑦ Regional Priority 관점에서 평가 • 평가결과 Certified, Silver, Gold, Platinum로 표기
라벨			



그림 22. 일본의 각 에너지 성능평가 지표와 ZEB와의 관계

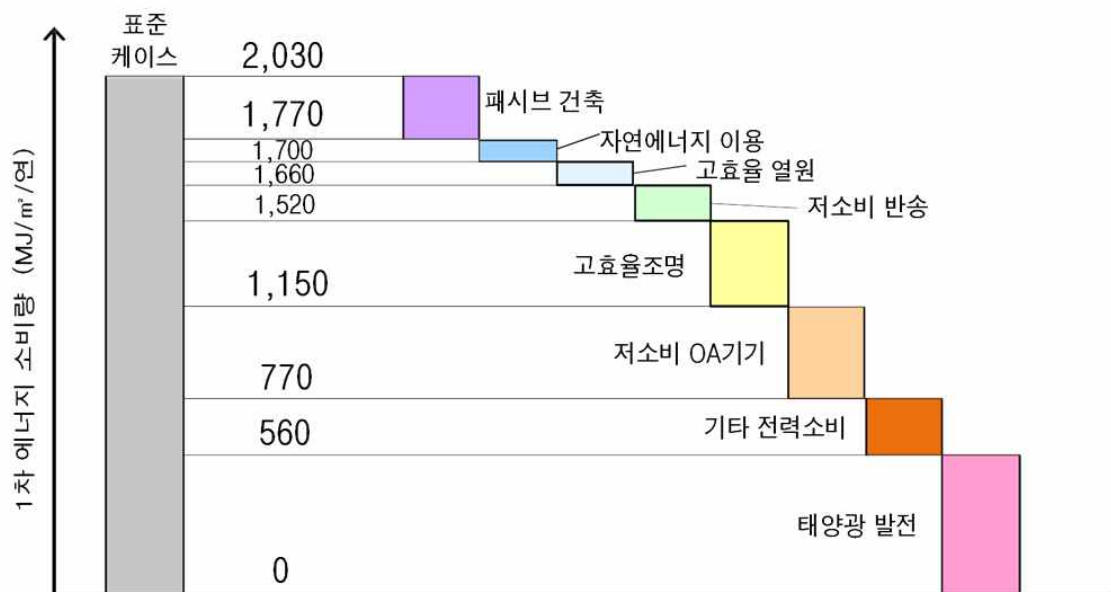


그림 23. ZEB의 실현 가능성에 대한 평가 (2009년)

- ZEB의 실현 가능성을 검토하고자 일본의 ZEH검토위원회에서는 ZEB의 실현 가능성에 대한 사례 연구를 실시하여 대응 방향에 대한 검토를 수행함
- 또한, ZEB의 타당성 검토 시에는 건물 용도별, 규모별, 형태별, 공법별, 지역별 구축설비별 등의 고려가 필요하며, 특히, 일본의 ZEB 검토위원회에 따르면 사무실 이외의 용도(상업시설 등)에 대해서 에너지 절약이 어렵다는 지적을 하고 있으나, 이는 최근 건설되는 대형 빌딩 등은 도시의 기능을 향상시키고 경쟁력을 강화한다는 관점에서 에너지 절약과 별도로 사회의 순기능을 향상시키는 긍정적인 면을 내포하고 있음

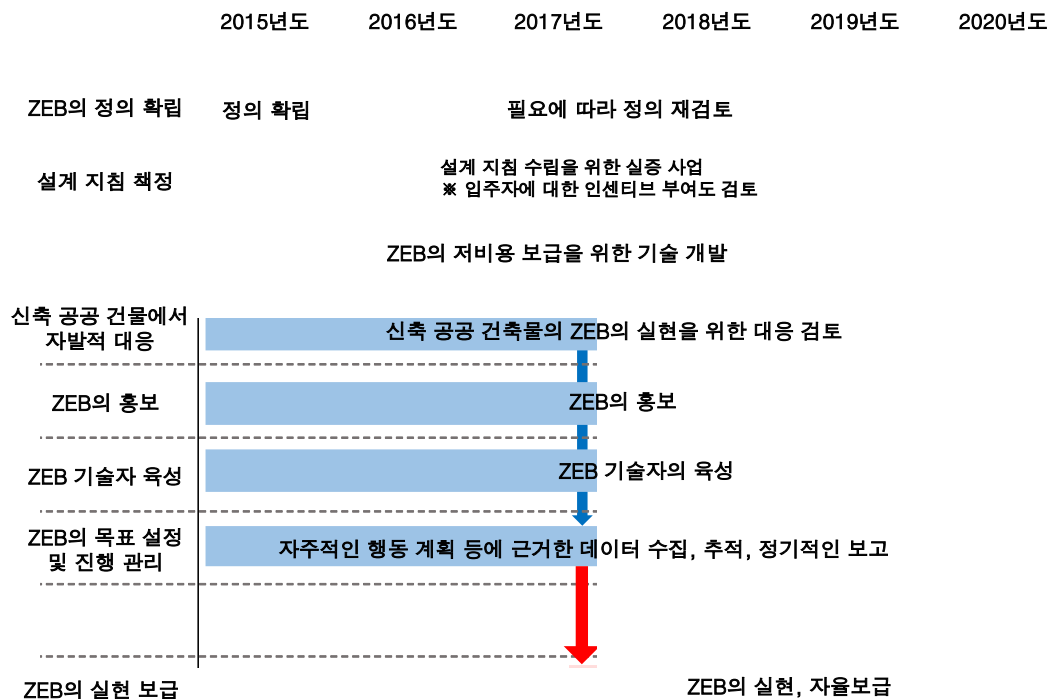


그림 24. 일본의 ZEB 실현 및 보급을 위한 로드맵

(4) EU EPBD(Energy Performance of Buildings Directive)²⁾ 정책

- 기후변화 관련 문제가 전 세계적인 주요 이슈가 됨에 따라, EU는 2020년까지는 건축물 부문에서 1990년 대비 온실가스 배출 20% 감축, 에너지소비 20% 절감 및 신재생에너지 보급을 20%까지 늘리는 것을 목표로, 2050년까지 건축물 부문의 온실가스 배출을 1990년 대비 88~91% 수준으로 급격하게 줄이는 것을 목표로 삼음
- 신축 공공 건축물의 경우 2018년 말까지 제로에너지 의무화를 제시하고 있으며, 2020년 말까지 제로에너지 건축물(n제로에너지빌딩, nearly Zero-Energy Buildings)이 되도록 규정함

2) Towards nearly zero-energy buildings "Definition of common principles under the EPBD" final report



그림 25. EPBD recast 의 n제로에너지빌딩관련 로드맵
(출처: Towards nearly zero-energy buildings “Definition of common principles under the EPBD” final report)

(5) IEA (International Energy Agency) 제로에너지빌딩 보급 정책

- IEA는 2D 시나리오를 만족하기 위하여 건물부분의 CO₂ 감축 수단에서 무엇보다도 우선적으로 전력 탈탄소화가 우선되어야 하며, 그 다음으로는 가전, 사무기기, 조명과 난방부분, 그리고 외피에 대한 에너지 고성능화 순으로 환경 시나리오에 대한 영향력 수준을 제시함
- 단기정책(~2025)으로 기존건물의 경우에 일상 개보수와 연계한 강도 높은 건물 에너지 리노베이션 이행 및 기존건물 리노베이션 이행율을 매년 2% 수준으로 유지하고, 신축건물의 경우 2020년부터 의무적으로 제로에너지 빌딩 의무화 추진을 권고함

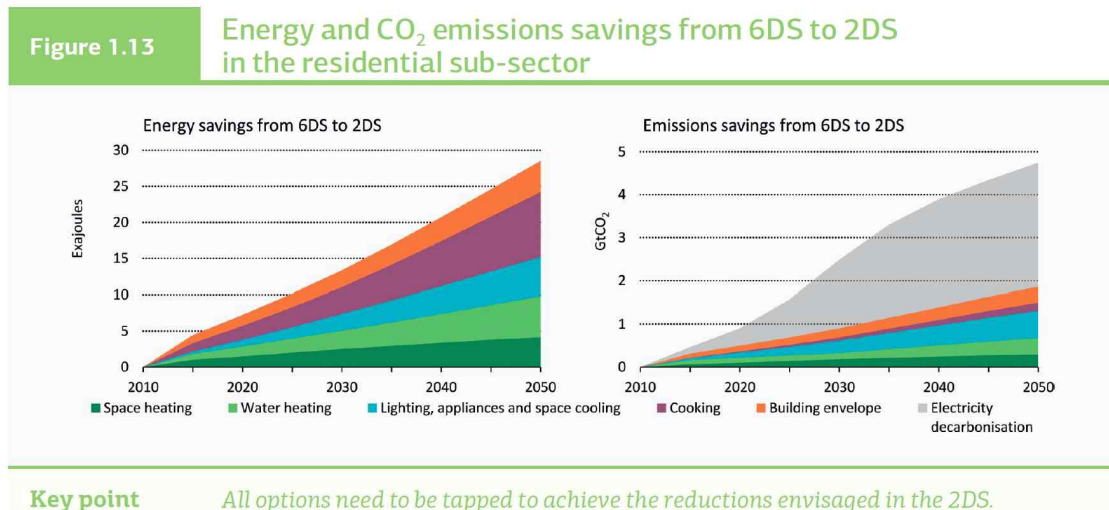


그림 26. IEA의 6D시나리오에서 2D시나리오로 가기 위한 감축 수단
(출처: Energy Technology Perspective 2014, IEA)

(6) 독일 제로에너지빌딩 관련 정책 및 전략

- 독일 연방 정부는 EPBD의 요구 사항을 충족하기 위해 2010년 9월 28일, 국가

에너지 계획과 ‘에너지 및 기후 기금’의 특별기금에 관한 법안을 채택하였고, 법안의 핵심 요소는 에너지소비의 감소, 에너지 효율의 증대, 신재생에너지의 개발이며, 2020년까지 온실가스 배출을 1990년 대비 40% 감축하고, 2050년까지 80%이상 감축하여 탄소 중립 건물에 도달하는 것이 목표이며, 제로에너지빌딩 보급을 위한 신축 및 기존 건물의 에너지성능 목표는 다음과 같음

- 2020년까지 난방 에너지요구량 20% 감소, 2050년까지 1차 에너지요구량 80% 감소
- 2050년까지 대부분의 건물을 기후변화 중립화 추진

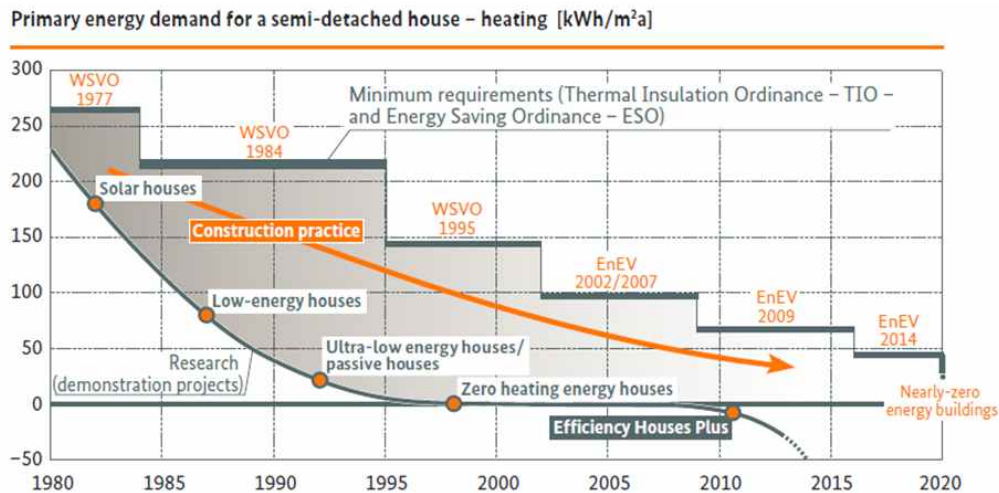


그림 27. 독일의 제로에너지 빌딩 관련 규제

(출처: Hauser, Gerd; SCHMIDT, Dietrich. What has been achieved in energy efficiency, IEA Annex, 2010)

(7) 프랑스 제로에너지빌딩 관련 정책 및 전략

- 2012년까지 제로에너지 빌딩, 2020년까지 플러스에너지 건물의 일반화, 2020년까지 2011년 대비 기존 건물의 에너지소비 38%이상 감축을 목표로 패시브하우스 수준을 건물에 초점을 맞춰 설계 및 시공하며, 추후 생태학적 설계와 고성능 건물을 베이스로 신재생 에너지를 추가 설치하여 플러스에너지 건물(BEPOS, batiment a energie positive)을 의무화 하도록 계획 하고 있음

- 프랑스는 제로에너지빌딩을 ‘저에너지건물(BBC)’이란 용어로 지칭하고 있으며 BBC는 RT2012를 준수하는 신축 건물로 연간 1차 에너지소요량 및 연간 최종에너지소요량 모두 0이나 음수의 값을 만족하는 건물을 의미하며 2020년부터 플러스에너지 건물화 되는 것을 목표로 하고 있음

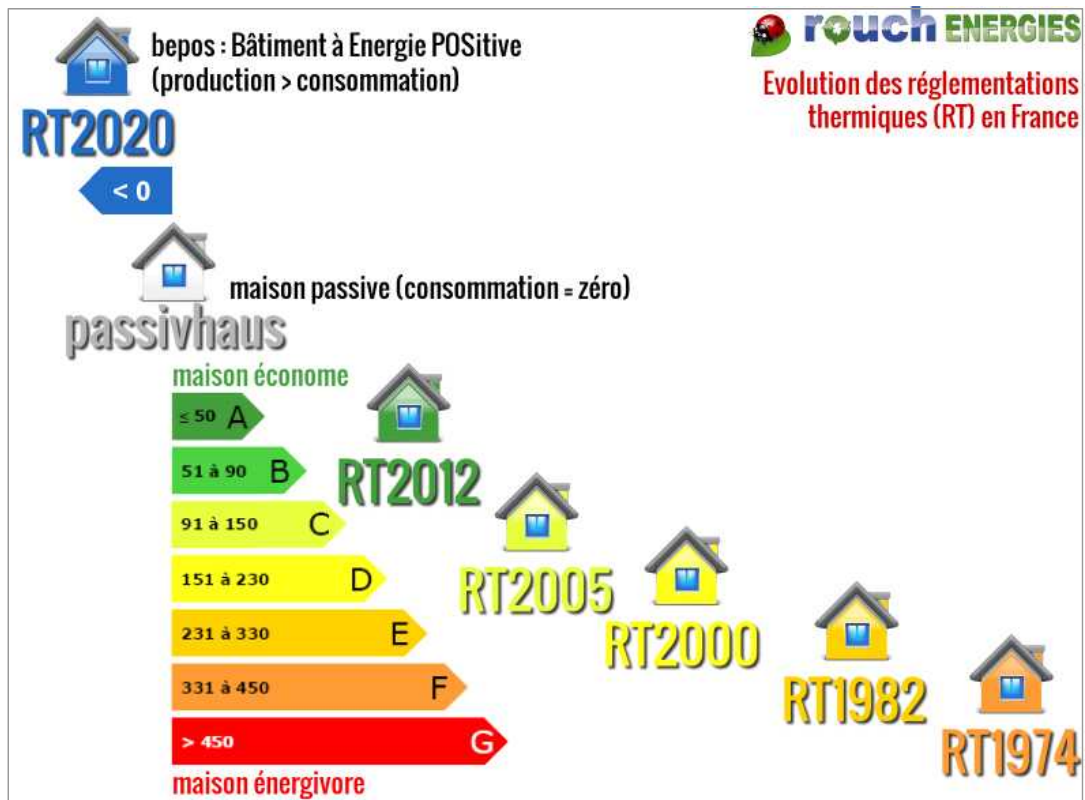


그림 28. 연도별 프랑스 BBC 목표 수준

(출처: www.rouchennergies.fr)

☞ 시사점

- 국토교통부에서는 국가 정책적으로 국토교통기술을 통해 국민행복 및 글로벌 가치창조를 슬로건으로, 친환경 녹색 건축기술 및 산업 육성에 기반을 둔 경제전략을 수립·추진하고 있으며, 이를 위해서는 건설산업의 선진화와 미래건축기술의 개발이 필수적임
 - 제로에너지빌딩 대응 국가 건물에너지 로드맵
(‘17년 패시브하우스 수준달성, ’25년 제로에너지 건축물 달성 계획)
 - 국민 생활복지 향상을 위한『수요자 맞춤형 주택분야』의 선정
 - 건설산업의 질적 성장모멘텀 확보를 위한 기술개발과 新시장의 창출
- 인간중심 사회 및 스마트 도시를 구현하기 위한 미래 건축기술 개발의 필요성
 - 국민 삶의 질 향상을 위한 시민 중심의 도시건축 공간 창출 기술 개발 계획
 - 지속가능 성장을 위한 도시·건축 에너지저장 기술 고도화 계획
- 국외 주요 선진국에서는 국가 정책으로 고효율 건축물 및 제로에너지 건축물을 달성하기 위하여 장기적인 추진계획을 통해 단계별로 기술개발과 기준의 도입을 시행하고 있음
 - EU의 EPBD 정책
 - 영국, 독일, 프랑스의 제로에너지 달성 추진전략
- 해외의 국가별 경쟁력을 비교하는 척도가 경제수준에서 국민 삶의 질 수준으로 변화되고 있는 추세이며, 서민과 고령인구를 고려한 주거복지향상 계획이 구축되어 점진적으로 시행중에 있음
 - 미국의 서민주택 개량 자금지원사업, 오바마 바이든 플랜(OBM-Biden Plan)
 - 일본의『200년 주택비전』 및 고령자 전용주택 개선 추진계획
- 건설 분야에 신기술을 적용하여 생산성 향상에 대한 법률적인 기초는 제시되어 있음
- 반면 신기술 적용에 따른 인센티브 제공 등 건설사의 동기 부여에 대한 규정은 없는 것으로 조사됨으로써, 본 기획연구로부터 사업이 추진된다면 관련 법 규정 및 제도 마련에 대한 연구도 함께 병행되어야 할 것으로 판단됨
- 국외 사례를 보면 현장 공기별 인센티브 제도를 도입하여 건축물 에너지 최소화를 위한 다양한 공법이 도입되고 있음
- 이에 따라 관련 규정이 준비되면 국내에서도 PCM 현장적용이 대폭 증가할 것으로 전망됨
- 고성능 재료 또는 신소재를 건축물에 활용하는 것과 관련된 직접적인 관련 법령은 없음

2. 국내외 주요 R&D 정책동향

가. 국내 R&D 정책동향

(1) 국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조

- 국토교통 산업이 국가 경제에 기여하기 위해 노동·자본 중심의 산업적 한계를 극복하는 질적 성장모멘텀 확보의 필요성
- 기존의 5년 단위계획(‘13~’ 17)과 2040 장기로드맵을 보완·반영하고, 국토교통 R&D 대표브랜드 발굴 및 집중 지원
- 2023년까지 7만 5천개 일자리 창출, 11개 세계 선도 기술 및 8개 글로벌 기업육성, 재해 및 사고 발생 20% 저감 목표 등
- 비전 실현을 위한 국토교통기술 4대전략 및 10대 중점 프로젝트(Value Creator 2.0)를 발굴하여 집중 지원

(2) 수요자 맞춤형 주택: 친환경·에너지절감 주택

- 국민 생활복지 향상을 위해『수요자 맞춤형 주택분야』를 선정하여 주택의 기본 거주성능은 물론, 편리성, 친환경성, 쾌적성 등을 극대화하고, 다양한 주거수요에 부응하는 미래 주택건설기술의 개발과 보급을 통한 주택 및 건축의 新시장 창출
- 주택 열손실 최소화 및 신재생 에너지 적용을 통해 보급형 제로에너지 주택을 실증하고, 주거환경의 쾌적성 향상을 위한 요소기술(조습, 온열환경, 실내공기질 조절 기능성)이 적용된 친환경 주택기술 개발



그림 29. 수요자 맞춤형 주택 로드맵

(3) 인공지능 국토공간: 스마트 친환경 도시

- 저비용으로 도시공간 및 건축물에서 소비하는 에너지 및 탄소를 저감하기 위한 친환경 녹색기술을 지속적으로 개발하여 확산



그림 30. 인공지능 국토공간 조성 계획
(출처: 국토교통부 “국토교통 R&D 중장기 전략”, 2014)

Vision 비전

국토교통기술을 통한 **국민행복 및 글로벌 가치 창조**

Target 목표



Direction & Strategy 방향 및 전략

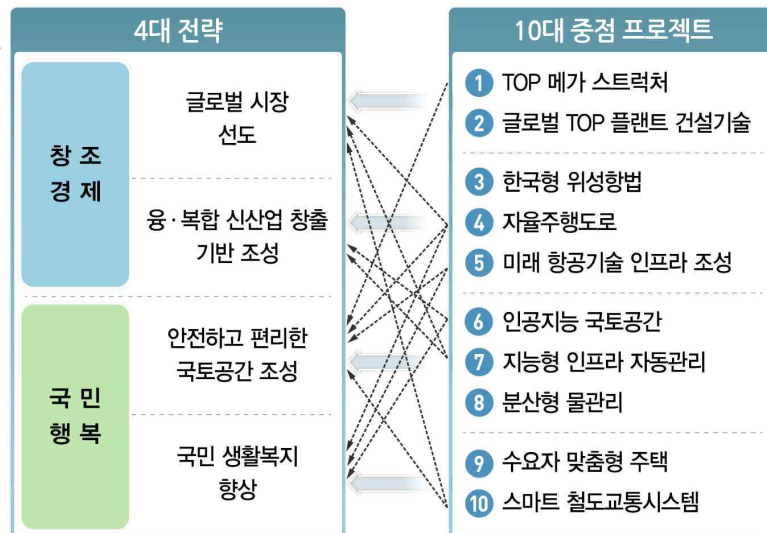


그림 31. 국토교통부의 중장기 4대전략 및 10대 중점 프로젝트
(출처: 국토교통부 “국토교통 R&D 중장기 전략”, 2014)

(4) 지구온난화에 대비한 에너지 자원의 효율적 이용

- SOC의 친환경 설계·시공·유지관리를 통한 환경부하 저감 기술: 첨단 건설 재료, 프로세스 효율화, 친환경 도료

(5) 인간중심 사회 및 도시 구현

- 국민 삶의 질 향상을 위한 시민중심의 도시건축 공간 창출 기술: 고효율 장수명 시공 및 유지관리
- 지속가능 성장을 위한 도시·건축 에너지 저감 기술 고도화: 지속가능한 도시인프라, 녹색건축재료 및 설계기법 개발

(6) 2040 국토교통 미래기술예측조사

- 국토교통 200대 미래기술 중 능동적으로 열을 차단 또는 흡수하는 건축물 외피 개발 기술 선정

나. 국외 R&D 정책동향

(1) 독일

- 2006년 ~ 2010년 ZAE Beyem 요청과 BMW 지원을 통해 예비 PCM 실증화 프로젝트(PCM Demonstration Project) 추진
 - 주요내용 : 상변화물질의 건축물 적용을 위한 구성요소 개발 및 실증 단지 적용
 - 1) Water-carrying heating / cooling ceiling with PCM
 - 2) Ventilated cooling ceiling with PCM
 - 3) Sunscreen system with PCM
- 2013년 ~ 2016년 독일 정부는 현대적인 에너지 기술의 연구개발 촉진을 위해 제6차 에너지 연구 프로그램(the 6th Energy Research Program)을 추진하면서 에너지 연구 기금 약 € 35 억원(4조 3천억원)을 마련하였으며 그 중 PCM 실증화 프로젝트 II (PCM Demonstration Collaborative Project II)를 추진 중에 있음
 - 주요 내용 : 건축물 적용이 가능한 다양한 상변화물질의 상업화를 위한 제품개발·시공·모니터링을 추진하고 있으며 그 중 건물에너지 효율 및 저장기술에 집중

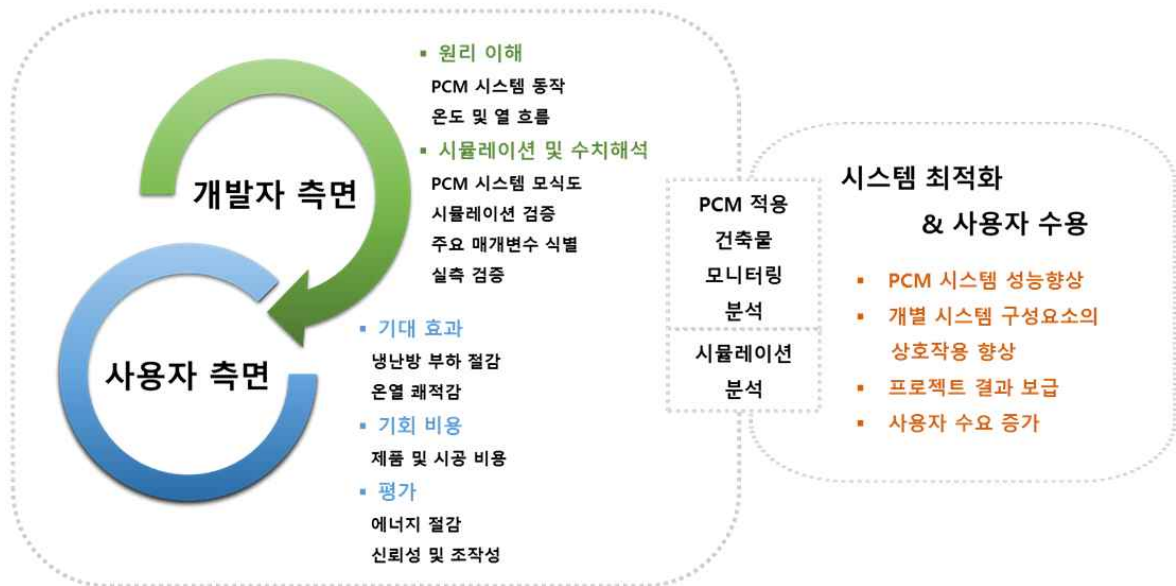


그림 32. PCM Demo II 사업목표 및 주요 추진 내용

(2) 미국

- 2013년 미국 에너지부(the U.S. Department of Energy)는 미국 남부 지역 기후에 맞는 PCM 적용 건축물 개발을 위한 연구프로그램(U.S. PCM research program)을 추진하면서 에너지 연구 기금을 투자하고 있음

☞ 시사점

- 국민의 삶의 질 향상을 위해서는 살기 좋은 주거환경을 제공하는 것을 목표로 하기 때문에 건축물에 축열성능을 부여할 수 있는 기술의 개발이 필요함
- 기술 선진국을 단순 답습하는 수준에서 세계를 선도할 수 있는 최고기술을 개발할 수 있는 R&D로 이전하고 있고, 탄소배출량 감소 등 녹색성장을 위한 연구개발을 중요시 하고 있음
- 이를 통해 해당 분야에 대한 국가 R&D 정책이 진행되고 있는 것으로 판단됨
- 최근 국내에서 축열성능을 가지고 있는 건설재료에 대한 관심이 고조되어 이 분야에 대한 몇 건의 R&D 투자가 이루어지고 있으나 현장에 적용할 수 있는 제품은 미개발되었음
- 그러나 아직까지 축열성능을 가진 PCM 재료에 대한 R&D 투자는 미진한 실정이며, 일부 개발된 재료가 활발히 현장에서 적용되지 못하고 있는 것은 활용 연구 미비, 경제성 문제, 설계기준 미비 등의 원인들이 있으므로 이러한 문제점들을 해결하기 위한 R&D가 실시되어야 함
- 이를 통해 이 분야에서 세계 최고 수준의 기술을 확보하면 우리나라의 건설경쟁력을 한 단계 도약시키는 계기를 마련할 수 있을 것임

2절. 국내외 시장현황 및 전망

- 전 세계적인 에너지 절약 정책에 따라 전기나 기타 에너지를 적게 사용하여 거주공간의 온도편차를 스마트하게 줄일 수 있는 PCM 적용이 늘어나고, 직간접적으로 관련된 PCM 적용시장이 급격히 커지고 있음
- 건물의 에너지 절약 정책이 앞선 유럽이 고기능성 PCM 시장을 이끌고 있으며, 북미가 그 다음으로 큰 시장임. 향후에는 아시아에서도 저비용 고에너지 효율 건축물, HVAC, Cold chain, Textile, Shipping, packaging등의 시장 형성과 더불어 매우 큰 PCM 시장이 형성될 것으로 전망됨

1. 국내외 시장현황

가. 국외 시장 현황

- 전 세계적인 공동 이슈인 지구온난화와 에너지 절약에 대한 관심이 증가하면서, 전 세계 PCM 원재료 시장은 2014년부터 CAGR 20.8%로 2025년에는 약 \$4,395 million(약 5조 원)에 이를 것으로 전망됨. (2014 ReportsnReports, “Advanced Phase Change Material Market by Type and Application”)
- 또한 Frost&Sullivan 보고서에 따르면, PCM 원료 중 Organic PCM을 가공한 Micro-encapsulated PCM(MPCM) 시장의 경우, 2025년경에는 약 \$2,760 million(약 3.1조 원)에 이를 것으로 전망됨

표 3. PCM 시장 성장 형태 및 기타 인자들. (2014년 Frost&Sullivan NF00-39)

Factor	Current	Future
Growth Trend	High growth	Stable
Primary Driver	Energy efficiency	Fire-resistance, lightweight and high phase change performance in hospitals, hotels, airports, and other public building and construction. Increasing applications in residential buildings subject to price reductions.
Dominant Material	Organics—higher revenue share	Organics
Materials Used	Paraffins—higher volume share	Slow but steady substitution by bio-based MPCMs

- 서유럽에서 PCM 개발 및 적용을 살펴보면 독일이 가장 앞서고 있으며, 그 다음으로 영국, 스위스 순서로 시장이 크게 형성되고 있음. 유럽의 경우, 경량의 건축물이 많이 지어지고 있으며, 경량 건축물의 경우 상대적으로 축열량이 작기 때문에, 건물의 쾌적 온도 유지 및 열적 효율을 증대시킬 수 있는 추가 기술이 요구됨. 즉, 열을 저장하고 방출할 수 있는 PCM의 수요가 많아질 것으로 예상됨

- 미국에서는 더운 지역에서 냉방부하를 저감을 위하여 PCM의 사용을 점차 늘리고 있는 추세임. 캐나다의 경우, PCM 시장이 급격히 성장하고 있으며, 특히 Bio 기반의 PCM 적용이 많이 이루어지고 있는 추세임
- 아시아 지역에서는 중국, 대만, 일본, 대한민국 등이 PCM 적용을 늘려가고 있는 상황임
- DuPont, BASF, National Gypsum 및 Climator 등의 글로벌 기업들이 다양한 분야로 다양한 제품에 적용하기 위한 PCM을 공급하고 있으며 특히, 빌딩 및 건축용 PCM 공급에 초점을 맞추고 있어, 건축 적용을 위한 PCM 개발 및 시장 확대가 이루어질 것으로 전망함
- RGEES사는 차별성을 통한 시장 경쟁력을 갖기 위해 Bio 기반 PCM을 건축용 이외에 Cold Chain, 자동차, Textiles 등에 적용을 위한 공급을 하고 있음

표 4. 빌딩 및 건축용 PCM 소재 형태 및 경쟁사 현황 (2014년 Frost&Sullivan NF00-39)

Suppliers	Position in Value Chain
MPCM	
Encapsys	Bio-based
RGEES	Paraffins and bio-based
Microtek	microPCM™-paraffins and bio-based
MCI Technologies	Paraffins
PCM Bulk	
Entropy Solutions	Bio-based
Rubitherm	Paraffin, bio-based, inorganics
Shell	Petrochemical-based paraffins
Chevron	Petrochemical-based paraffins
Sasol	Parafol® - oleochemical-based paraffins

나. PCM관련 판매량(수익) 및 판매점유율(2011~2016)

(1) 글로벌 기업별 PCM 판매 수입 및 판매점유율(2011~2016)

- PCM 판매 수입(9천억원) 중 55 %가 글로벌 기업이 차지하고 있으나, 유럽과 미국 글로벌 기업의 비중은 점차 감소되고 있지만, 수입은 오히려 2배씩 증가하고 있음

표 5. 글로벌 기업별 PCM 판매 수입 및 판매점유율(2011~2016)

(단위 M USD)

Brand	구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
BASF	수입	36.61	40.52	46.90	53.32	59.88	67.46
	점유율(%)	10.35	9.94	9.74	9.62	9.20	9.00
Honeywell	수입	30.33	34.53	40.99	46.06	54.10	62.96
	점유율(%)	8.58	8.47	8.52	8.31	8.31	8.40
Cryopak	수입	29.13	33.52	40.15	45.79	53.66	62.99
	점유율(%)	8.24	8.22	8.34	8.27	8.24	8.40
Entropy Solution Inc.	수입	26.14	30.05	35.40	40.40	46.77	54.51
	점유율(%)	7.39	7.37	7.35	7.29	7.18	7.27
Climator Sweden AB	수입	20.91	23.84	28.77	32.74	38.29	43.60
	점유율(%)	5.91	5.85	5.98	5.91	5.88	5.82
Phase Change Energy Solution	수입	10.68	12.49	14.73	16.52	19.71	22.82
	점유율(%)	3.02	3.06	3.06	2.98	3.03	3.04
Outlast Technologies	수입	9.12	10.68	12.63	14.65	17.58	20.12
	점유율(%)	2.58	2.62	2.62	2.64	2.70	2.68
Dow Building Solution	수입	9.09	10.44	12.25	13.72	15.77	17.90
	점유율(%)	2.57	2.56	2.54	2.48	2.42	2.39
Chemours Company	수입	9.05	10.27	12.27	14.10	16.57	18.86
	점유율(%)	2.56	2.52	2.55	2.54	2.55	2.52
PCM Energy Ltd	수입	8.92	10.06	11.95	13.52	15.80	17.91
	점유율(%)	2.52	2.47	2.48	2.44	2.43	2.39
Rubitherm Technologies GmbH	수입	8.73	9.89	11.65	13.54	15.80	18.36
	점유율(%)	2.47	2.42	2.42	2.44	2.43	2.45
Other	수입	154.89	181.49	213.66	249.67	297.08	342.16
	점유율(%)	43.80	44.50	44.39	45.06	45.63	45.64
Total	수입	353.60	407.80	481.35	554.03	651.02	749.67
	점유율(%)	100	100	100	100	100	100

(2) 국가별 PCM 판매 수입 및 판매점유율(2011~2016)

- 미국과 유럽 중심의 시장규모에서 중국과 일본 등 아시아 시장도 유럽시장 만큼 커져가고 있음

표 6. 국가별 PCM 판매 수입 및 판매점유율(2011~2016)

(단위 M USD)

Nation	구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
USA	수입	70.10	78.97	92.20	105.62	120.37	136.19
	점유율(%)	19.82	19.36	19.15	19.06	18.49	18.17
Europe	수입	63.56	73.14	84.94	95.50	110.72	125.85
	점유율(%)	17.97	17.94	17.65	17.24	17.01	16.79
China	수입	55.66	65.20	79.05	92.77	111.44	132.27
	점유율(%)	15.74	15.99	16.42	16.74	17.12	17.64
Japan	수입	52.06	58.17	65.60	71.73	80.21	89.03
	점유율(%)	14.72	14.26	13.63	12.95	12.32	11.88
Southeast Asia	수입	45.03	52.28	63.64	74.77	90.24	105.38
	점유율(%)	12.74	12.82	13.22	13.50	13.86	14.06
India	수입	28.78	34.24	41.28	49.34	59.73	69.67
	점유율(%)	8.14	8.40	8.58	8.91	9.17	9.29
ROW	수입	38.41	45.81	54.65	64.30	78.30	91.27
	점유율(%)	10.86	11.23	11.35	11.61	12.03	12.18
Total	수입	353.60	407.80	481.35	554.03	651.02	749.67
	점유율(%)	100	100	100	100	100	100

(3) 응용분야별 PCM 판매량 및 판매점유율(2011~2016)

- 응용분야별 PCM 판매량 및 판매점유율을 분석한 결과, 건축분야가 PCM 시장의 54 %이상을 차지하고 있으며, 판매량도 2011년 대비 2016년은 3배로 급증하고 있음

표 7. 응용분야별 PCM 판매량 및 판매점유율(2011~2016)

(단위 Ton)

Application	구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Building & Construction	판매량	14,765	18,072	22,713	28,247	35,194	43,177
	점유율(%)	56.06	55.64	55.24	54.91	54.16	53.79
Refrigeration	판매량	3,432	4,313	5,530	7,017	9,046	11,130
	점유율(%)	13.03	13.28	13.45	13.64	13.92	13.86
Consumer goods	판매량	4,243	5,207	6,644	8,277	10,534	13,117
	점유율(%)	16.11	16.03	16.16	16.09	16.21	16.34
Other	판매량	3,897	4,888	6,230	7,902	10,208	12,852
	점유율(%)	14.80	15.05	15.15	15.36	15.71	16.01
Total	수입	26,337	32,480	41,117	51,443	64,982	80,276
	점유율(%)	100	100	100	100	100	100

(4) Building & Construction에 대한 국가별 PCM 판매량 및 판매점유율 (2011~2016)

- Building & Construction에 대한 국가별 PCM 판매량 및 판매점유율을 분석한 결과,
중국이 판매점유율이 다른 국가에 비해 크게 증가하고 있음을 확인하였음

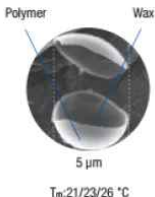
표 8. Building & Construction에 대한 국가별 PCM 판매량 및 판매점유율(2011~2016)
(단위 Ton)

Nation	구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
USA	수입	2,573	3,113	3,731	4,609	5,799	6,813
	점유율(%)	17.43	17.23	16.43	16.32	16.48	15.78
Europe	수입	2,291	2,724	3,236	3,849	4,583	5,421
	점유율(%)	15.52	15.07	14.25	13.63	13.02	12.56
China	수입	2,806	3,591	4,751	5,892	7,608	9,661
	점유율(%)	19.00	19.87	20.92	20.86	21.62	22.38
Japan	수입	1,940	2,272	2,670	3,246	3,862	4,595
	점유율(%)	13.14	12.57	11.76	11.49	10.97	10.64
Southeast Asia	수입	2,179	2,623	3,325	4,190	5,248	6,645
	점유율(%)	14.76	14.51	14.64	14.83	14.91	15.39
India	수입	1,588	1,977	2,576	3,287	4,206	5,404
	점유율(%)	10.76	10.94	11.34	11.64	11.95	12.52
ROW	수입	1,388	1,772	2,424	3,174	3,888	4,638
	점유율(%)	9.40	9.81	10.67	11.24	11.05	10.74
Total	수입	14,765	18,072	22,713	28,247	35,194	43,177
	점유율(%)	100	100	100	100	100	100

다. 글로벌 기업별 PCM관련 매출현황(2011~2016)

(1) BASF

표 9. 기업현황 및 매출현황(2011~2016)

기업현황			세부 내용				
Commercial Production Date			1865				
Manufacturing Locations of PCM			Europe				
Sales Regions			Global				
Market Position			Global Leader				
PCM Product Type			 Micronal® PCM				
구분	단위	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Sales	Tonnes	1,076	1,258	1,536	1,788	2,085	2,430
Revenue	M USD	36.61	40.52	46.90	53.32	59.88	67.46
Gross Margin	%	39.57	38.20	36.36	32.46	30.08	29.25
Price	USD/Tonne	34,033	32,222	30,527	29,818	28,716	27,758

(2) Cropak

표 10. 기업현황 및 매출현황(2011~2016)

기업현황			세부 내용				
Commercial Production Date			1990				
Manufacturing Locations of PCM			USA				
Sales Regions			Global				
Market Position			Global Leader				
PCM Product Type			 Phase 5™				
구분	단위	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Sales	Tonnes	889	1,059	1,291	1,494	1,757	2,064
Revenue	M USD	29.13	33.52	40.15	45.79	53.66	62.99
Gross Margin	%	39.51	37.19	34.89	33.69	30.78	27.79
Price	USD/Tonne	32,759	31,641	31,093	30,646	30,549	30,515

(3) Entropy Solutions Inc.

표 11. 기업현황 및 매출현황(2011~2016)

기업현황		세부 내용					
Commercial Production Date		2007					
Manufacturing Locations of PCM		USA					
Sales Regions		Global					
Market Position		Global authority on PCM					
PCM Product Type							
		PureTemp 15					
구분	단위	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Sales	Tonnes	824	982	1,189	1,376	1,646	1,966
Revenue	M USD	26.14	30.05	35.40	40.40	46.77	54.51
Gross Margin	%	38.46	35.13	33.01	29.61	27.51	24.68
Price	USD/Tonne	31,725	30,604	29,776	29,362	28,420	27,717

(4) Climator Sweden AB

표 12. 기업현황 및 매출현황(2011~2016)

기업현황		세부 내용					
Commercial Production Date		1979					
Manufacturing Locations of PCM		Sweden					
Sales Regions		Global					
Market Position		Global Leader in energy storage					
PCM Product Type		PureTemp 15					
구분	단위	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Sales	Tonnes	673	812	1,052	1,225	1,515	1,786
Revenue	M USD	20.91	23.84	28.77	32.74	38.29	43.60
Gross Margin	%	35.76	34.03	29.94	29.28	26.66	24.35
Price	USD/Tonne	31,049	29,358	27,351	26,722	25,270	24,418

(5) DOW Building Solutions

표 13. 기업현황 및 매출현황(2011~2016)

기업현황			세부 내용				
Commercial Production Date			1950				
Manufacturing Locations of PCM			China				
Sales Regions			Global				
Market Position			Global leader in extruded polystyrene insulation				
PCM Product Type							
			DECKMATE CM				
구분	단위	2011	2012	2013	2014	2015	2016E
Sales	Tonnes	829	1,003	1,255	1,527	1,859	2,256
Revenue	M USD	9.09	10.44	12.25	13.72	15.77	17.90
Gross Margin	%	33.74	32.68	32.18	28.75	26.92	25.04
Price	USD/Tonne	10,971	10,409	9,763	8,983	8,480	7,934

라. PCM관련 산업체인



Source: QYR Chemical & Material Research Center, Jan 2017

그림 33. PCM관련 산업체인

마. 국내 시장 현황

- 세계 PCM 시장은 초기 시장형태로 자리 잡고 있는 상황인데 비해, 국내 PCM 시장은 아직 뚜렷한 시장이 형성되지 않은 상황이므로 정확한 국내 시장 규모를 언급할 수 없지만 관련 연구는 활발히 진행되고 있으며, 국내의 건축물 에너지 절약 및 CO2 배출 억제를 위하여 관련 시장이 급격히 형성될 것으로 전망됨
- 현재 건축 및 건설 재료 시장은 성숙기에 접어든 반면, PCM과 같은 첨단융복합 건설재료 시장은 현재 도입기에 있으며, 매우 빠른 속도로 성장하고 있음. 향후 국내에서는 신규 건축물뿐만 아니라, 재건축 수요가 지속적으로 생겨나고 있어 이에 대한 친환경 고효율 건축물들이 PCM 수요로 직결될 것으로 예상됨

2. 국내의 시장전망

가. PCM 시장 성장 단계

- PCM 시장의 성장 단계는 개발 단계이며, 개발 단계의 주요인은 에너지절약이 될 것이고, 이후에는 경량화, 내화성 등의 주요한 기능이 부가될 것으로 예상되며 유럽과 미국을 중심으로 PCM 시장을 성장시킬 것으로 보임. 특히, 태양에너지 및 섬유산업과 더불어 PCM 적용에 따른 건축 시장이 커질 것으로 전망하고 있음

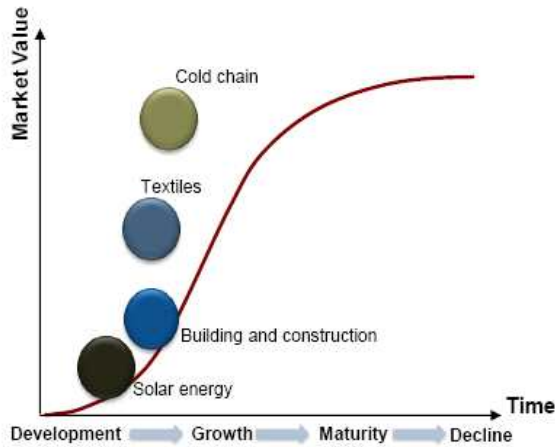


그림 34. PCM 성장단계 및 시장 가치

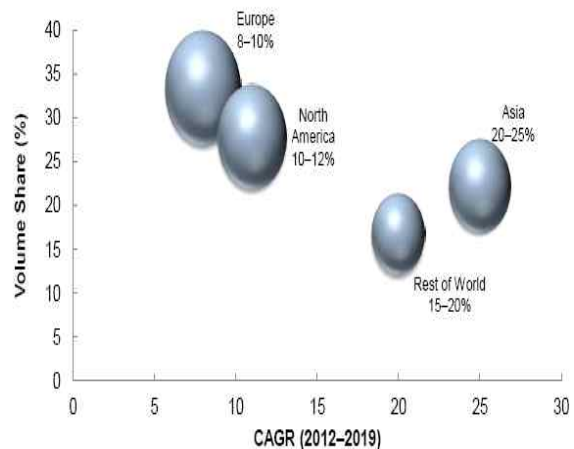


그림 35. 대륙별 PCM 시장 점유율 및 성장성

나. PCM 시장 성장 가능성

- 건축 및 건설 분야에서의 PCM의 성장가능성은 아시아를 제외한 나머지 지역에서 다른 분야에 비해 높은 성장 가능성을 가지고 있는 것으로 판단되고 있음. 이는 아시아 환경에 적합한 PCM에 대한 연구 및 인프라의 부족으로 인한 것으로 판단이 되며, 이와 관련한 연구 및 적용에 대한 인프라가 구축이 된다면, PCM 건축 적용에 따른 아시아 시장을 선점할 수 있으며 블루오션 분야로 성장이 기대됨

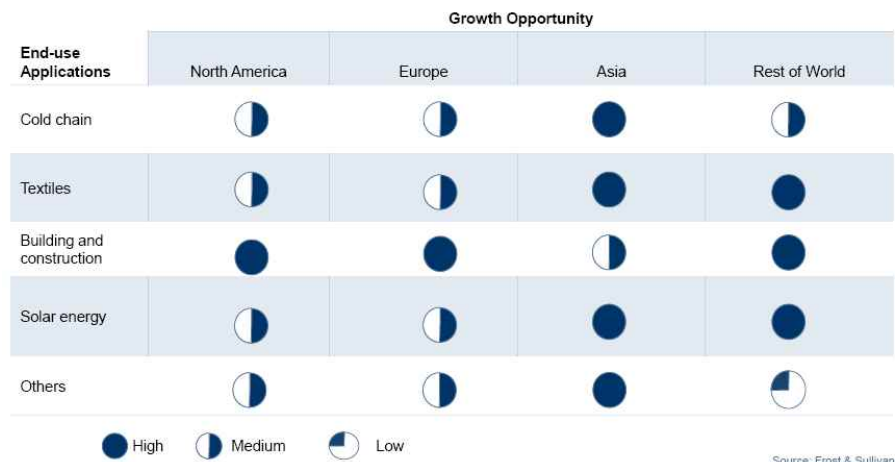


그림 36. 대륙별 PCM 시장 성장성 가능성

다. PCM 시장 성장 방해요인 및 전망

- 기술적 장애
 - 상변화온도에 대한 지속성 및 내구성에 대한 신뢰감이 낮은데다가 기 개발된 가공기술에 대한 대량생산체제의 부족으로 인해 PCM 시장 성장을 저해하고 있지만, 전 세계적으로 대량생산 및 가공기술을 확보하기 위하여 기술적 보완을 시도하고 있어 시장에 대한 수요와 더불어 3 ~ 4년 이내 기술적 장애가 상당히 보완 될 것으로 예상됨

○ 가격 경쟁력 미확보

- PCM의 평균 가격은 2002년에 \$8.5/kg에서 2010년에 \$5/kg으로 감소하였으며 이러한 가격 추이는 PCM 적용분야 증가와 사용 이점에 대한 PCM 인식 증가를 가져와 더욱더 PCM 가격이 하락할 것으로 예상됨. 건축분야는 상대적으로 타 분야에 비해 규모가 크기 때문에 PCM 요구량이 클 것으로 전망되며, 이에 수요-공급의 원리에 따라 대규모 생산이 가능해지고 kg당 PCM 가격 역시 감소할 것으로 전망됨

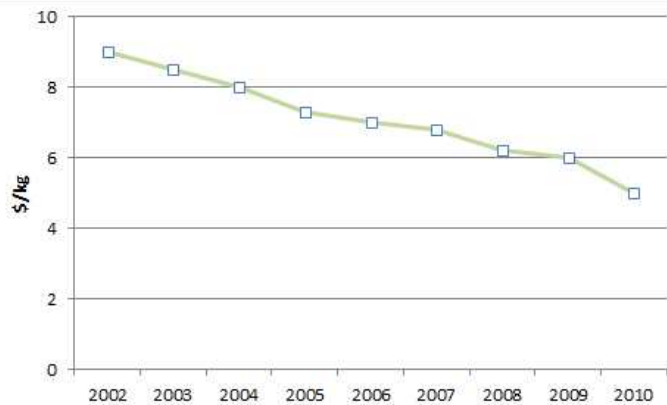


그림 37. PCM의 가격 변화트렌드

○ 평가방법 및 표준 부재

- PCM 원재료에 대한 평가는 시차주사열량계를 이용한 열분석이 주로 이용되고 있지만, PCM이 들어간 건축자재에 대한 열적 쾌적감이나 에너지 절약성능 등에 대한 평가방법 및 표준 부재로 시장 진출에 큰 장애 요인으로 판단되지만, 독일을 중심으로 PCM이 들어간 건축자재에 대한 평가 기법을 개발함으로써 제품의 신뢰성 확보에 노력 중에 있음

표 14. PCM 시장 성장 저해요인 및 전망

Restrains	1-2 years	3-4 Years	5-7 Years
Technological roadblocks	H	M	M
Higher prices hindering growth	M	M	M
Lack of testing standards and measurements	M	L	L

라. Porter' s 5 Forces Model³⁾을 이용한 PCM 시장 분석

- 기존 산업내 경쟁 정도 : High
 - PCM 시장은 한 기업이 지배적 경쟁력을 확보하고 있지 않으며, 다수의 기업이 유사한 강점과 규모를 가지고 경쟁을 하고 있음
- 신규 시장진입자의 위협 : High
 - 신규 시장진입자(아시아)가 산업의 진입에 드는 소요자본이 적게 들며, 정부 정책 부재로 인한 진입이 자유로우며, 유럽 및 미국 등은 PCM 캡슐화 기술 등의 신기술을 통해 시장 개척이 용이
- 대체재의 위협 : Low
 - 유럽 및 미국 등은 PCM의 단점을 보완하기 위한 연구로 인해 개선되고 있으며, 축열자재 및 에너지 보관 등의 이슈와 맞물려 PCM에 관심이 증폭되고 있음
- 구매자의 협상력 : Medium
 - 아시아를 중심으로 무기PCM에 대한 수요가 증가를 하고 있으며, 이를 통해 PCM가격을 다운시키고 있음
- 공급자의 협상력 : Medium
 - 제품의 종류에 따라 PCM공급자의 협상력이 좌우가 됨
 - 유럽을 중심으로 유기PCM의 공급이 시장을 지배하지만 아시아를 중심으로 무기PCM에 대한 관심이 증가하고 있음

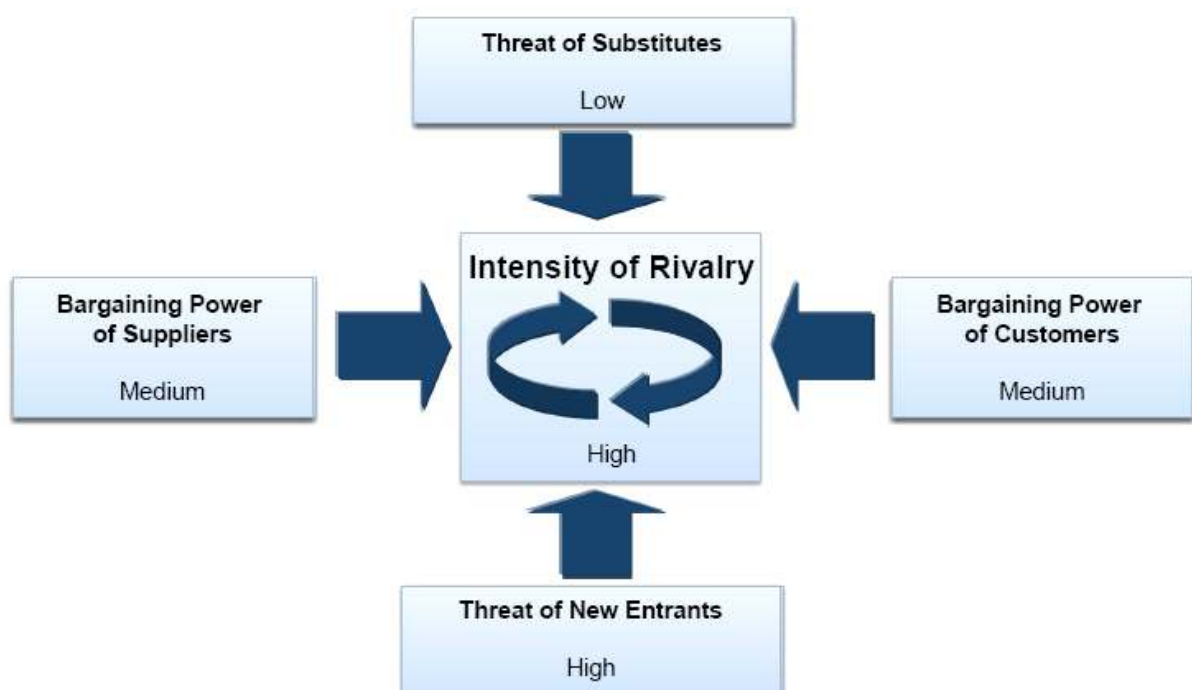


그림 38. Porter's 5 Forces Model을 이용한 PCM 시장 분석

3) 미국 하버드대 경영대학 교수 마이클 포터가 제시한 산업구조분석기법

☞ 시사점

- 2025년경, 전 세계 PCM시장은 \$4,395 million(약 5조원) 규모로 성장할 것으로 예상되고 있음
 - PCM 사용량은 지구온난화와 에너지 절약에 대한 관심의 증가로 인해 추가적인 수요가 발생할 것으로 예상됨
 - 건축분야가 향후 PCM의 주요 활용분야로 성장할 것으로 예상됨
 - 이에 따라 PCM 제조와 성능 확보를 위한 기술의 개발과, 가격경쟁력을 확보할 수 있는 방안에 대한 도출이 필요할 것으로 판단됨
- PCM 시장은 유럽과 북미 지역에서 두드러지게 성장하고 있음
 - 독일과 미국을 중심으로 건축물 에너지 절약 및 효율적 이용을 위한 PCM 활용사례가 급속하게 증가하고 있음
 - DuPont, BASF, National Gypsum 및 Climator 등 PCM을 생산하는 글로벌 화학회사들은 PCM의 가격 하락 및 적용분야를 확대하기 위해 주력하고 있음
- 아시아지역 건축시장의 PCM 성장 가능성
 - 아시아에서는 중국, 대만, 일본 등이 PCM 주요 수출국 시장으로 성장할 가능성이 높음
 - 아시아의 경우 유럽 및 북미에 비해 PCM 시장이 작고 기술적 수준이 다소 떨어지나, 아시아 환경에 적합한 PCM 개발 및 건축적용이 이루어진다면 타 시장보다 더 큰 경제적, 기술적 잠재성이 있다고 판단됨
- 국내에서도 세계시장 동향에 발맞추어 PCM 건축자재 적용 및 상용화를 위한 연구 및 대응이 필요할 것으로 판단됨
 - PCM 제조 및 적용을 위한 기초연구의 필요성
 - PCM 관련 기술 개발을 통한 미래건축시장 활성화와 선점의 필요성
 - 글로벌 PCM 시장으로의 진입을 위한 토대 마련

3절. 기술동향 분석

1. PCM 종류 및 특성

- PCM 물질을 건축물 열저장 매체로 응용하는 연구는 과거 40년 동안 진행되어 오고 있고 대부분의 연구가 건물 에너지 성능을 증가시키는 결과를 얻고 있음
- 그럼에도 불구하고, 초기비용, 상전이 능력 열화, 부식성 (일부 inorganic PCMs), leakage 등의 부정적인 문제들이 해결되지 않아 본격적인 시장형성을 가로막음
- PCM 물질은 크게 유기계 PCM 물질과 무기계 PCM 물질로 구분할 수 있고, 유기계 PCM 물질로는 paraffin류, fatty acids, sugar alcohols 등이 사용됨

가. 유기계 PCM

(1) Paraffinic PCM

- Paraffinic PCM은 직쇄상의 C13 ~ C28 Hydrocarbon 으로 이루어져 있어 길이가 길어지면 용융온도와 상전이엔탈피 증가하며, 온도범위가 (-5° C ~ 60° C) 다양하여 대부분의 기후에 맞출 수 있고 화학안정성, 비독성, 반복 사용 안정성, 작은 과냉각, 좋은 재현성, 생체 적합성, 가공의 용이성 등의 장점이 있어서 건축물 적용에는 현재 대부분 paraffinic PCM 사용되고 있음
- 그러나, 정제에 많은 비용이 들어 고가(technical grade \$7.04/kg)이며, 작은 엔탈피 (150~200kJ/kg), 높은 화재위험, 낮은 열전도도 등의 단점을 안고 있으며, 원유로부터 유도되므로 가격이 계절, 지정학적 정치 환경에 민감하며, 최근 석유 가격이 많이 오르기도 하여 paraffinic PCM을 다른 PCM으로 대체하고자 하는 시도가 활발한 상태임
- Paraffin에는 성능개선 및 가격 저감 위하여 carbon, graphite filler 부가(열 전도도 증가)

(2) Biobased PCM

- Biobased PCM은 Beef tallow, Lard 등의 동물성 지방이나 palms, coconuts, soybeans 오일 등의 식물성 Oils을 원료로 얻어지는 지방산 유도체물질들로, 직쇄상의 C12 ~ C22 Hydrocarbon 으로 이루어져 있어 길이가 길어지면 용융온도와 상전이엔탈피 증가하며, 온도범위가 (-5° C ~ 60° C) 다양하여 대부분의 기후에 맞출 수 있고 열적안정성, 화학안정성, 무독성, 반복 사용 안정성, 작은 과냉각, 좋은 재현성, 생체 적합성, 가공의 용이성 등의 paraffinic PCM의 장점을 모두가지고 있고, paraffinic PCM보다 더 높은 화재 안정성, 저렴한 가격, melting온도를 fatty acids들의 이원 공융혼합물을 이용하여 요구에 맞추어 쉽게 조정이 가능한 장점까지 가지고 있어서 petroleum-based PCM을 대체할 수 있는 잠재력을 가짐

- 또한, 원료가 되는 천연 오일들은 renewable 자원으로써 온실가스인 이산화탄소 배출에 중성인 친환경적인 원료라는 장점도 가지고 있음. Fatty acids들의 가격도(stearic-: \$1.43~1.56/kg, palmitic-: \$1.61~1.72/kg, oleic-: \$1.67~1.76/kg, Biodiesel crude glycerine \$0.22~0.29/kg (CIF china Mainland)) 비교적 저렴하고 화학적으로 손쉽게 분자구조개선이 가능하여 상전이온도 안정성 등의 조절이 쉬우므로 조기연구가 필요함

나. 무기계 PCM

- 무기계 PCM은 Salt hydrate로 분자 내에 하나 이상의 물을 배위하고 있는 구조로 되어 있고, latent heat/Mass 는 유기계와 비슷하나 밀도가 크기 때문에 latent heat/Volume 은 유기계보다 더 큰 특징을 가지고 있음
- 무독성, 내화학적, 유기보다는 높은 열전도성, 폭넓은 상전이온도 (5~130° C), 낮은 가격, 큰 열량 (250~350kJ/kg), 좋은 열전도도 (0.5w/m/K) 등의 장점을 가지고 있어 건축물 적용에 적합함
- 그러나 핵생성과정에서 과냉각유발, 부식성, 비균일 용융, 전이중 상분리 등의 불리한 특성을 동시에 갖기 때문에 지금까지 좋은 특성에도 불구하고 건축물 적용에 제한적임
- 무기계 PCM 연구에서는 이러한 부정적 특성을 제어하는 연구가 많이 진행되고 있음
 - Grag 등 (1985) 조핵제를 첨가하여 과냉각을 줄이려는 시도를 함. 대부분의 무기 salt 등이 매우 느린 결정 성장속도를 나타내기 때문에 결정 seed를 균일하게 분포시켜 결정 생성 속도를 높이려 함
 - 무기 salt 등은 불균일 용융의 문제를 겪고 있는데, 승온 시 생기는 결정수에 무수염들의 용해도가 충분치 않기 때문에 생기는 현상임. 이 문제는 무기염을 바닥으로 가라앉게 하고 열저장에 참여하지 못함으로 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 외부 물 첨가로 해결하고자 하는 시도가 있음.
 - 상분리 방지와 조핵제 침강 방지를 위하여 고분자로 된 증점물질을 첨가하는 연구도 진행중이다. polymer가 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 상분리를 유용하게 방지시킴(Ryu et al. 1992). 그러나 이런 Thixotropic 증점제는 또 다른 가격 상승의 원인이 됨
 - 열적/기계적 특성을 개선하기 위해 graphite fiber 금속 등을 PCM에 넣고 composite화 하기도 함
 - Microencapsulation of Salt hydrateo
무기 물질을 캡슐화 하기 위하여 emulsion polymerization, dispersion polymerization, microemulsion polymerization, miniemulsion polymerization 등의 방법이 연구되어지고 있음 (Jing et al, 2011)

- => 여전히 encapsulation yield가 낮아 캡슐 내의 solid content 가 낮음
- => 건축에 적용되기 위해서는 shell 물질이 water/vapor barrier로 작용해야하고 소수성이어야 함. 그래야 salt hydrate로부터 탈수를 막을 수 있음. Organic polymer 들이 주로 쓰이지만, salt hydrates 와는 상용성이 부족한 단점이 있음

(1) 무기물 encapsulation

- Salt hydrate melt를 Inorganic-Organic hybrid polymer ORMOCER 이용해서 Capsulation (Fraunhofer ISC)
- salt hydrate melt를 ORMOCER 용액에 Injection하면 salt drop과 접촉하는 부분은 부분적으로 solidifying 됨
- salt hydrate drop 주변에 단단한 capsule 층 형성
- 코팅 된 drop 분리, washing, dry
- salt hydrate 방울 은 cooling 됨에 따라 결정화 됨
- 크기, 수 μm ~ 수 mm
- 물론 여전히 투수성, 안정성 문제를 안고 있음

(2) Hessbrugge Vaidya (1997)

- water-soluble salt를 encapsulating하고 새로운 방법 제안
- aqueous-organic 계면을 안정화 시키는데 필요한 emulsifier, 그리고 가수분해에 의해 생기는 과잉의 산 제거를 위한 acid acceptors가 첨가제로 필요 없는 simple process
- 매우 싼 microencapsulation 방법

(3) Brandt 등 (2006)

- Na_2CO_3 hydrate 입자 파우더를 무기 SiO_x 층으로 encapsulation
- TMOS용액에서 sol-gel process

다. 연구개발 향후 전망

- 향후 연구개발은 경제성 확보연구로 집중될 전망이다. PCM Product의 가격은 원료 물질 가격과 encapsulation process 비용 등 두 가지 요소로 결정됨. 원료물질의 경제적인 제조방법과 경제적인 안정화 가공방법 개발에 초점이 맞추어질 전망이다.
- 원료물질로는 현재 paraffins이 가장 많이 쓰이고 있지만 Building application을 위해서는 latent enthalpy/unit volume, 발화성(화재 위험성)등 주요 성능 인자를 고려해야 함.
- paraffin은 사실 위 두 가지 criteria 에 잘 안 맞고 무기 salt hydrate는 이 두 가지 측면에서 우수하기 때문에 잠재적으로 paraffin을 대체 할 가능성에 무게를 두고

연구가 진행되고 있지만, 무기 PCM이 Building application에 무난히 쓰이기 위해서는 몇 가지 기술적 장벽을 해결해야 함

- 과냉각 현상
- 불균일 용융
- 상분리(열적 안정성)
- microencapsulation의 어려움

- Biobased PCM 도 열적안정성, 화학안정성, 무독성, 반복 사용 안정성, 작은 과냉각, 좋은 재현성, 생체 적합성, 가공의 용이성, paraffin PCM보다 더 높은 화재 안정성, 저렴한 가격, melting온도를 fatty acids들의 이원 공융혼합물을 이용하여 요구에 맞추어 쉽게 조절이 가능한 장점까지 가지고 있어서 petroleum-based PCM을 대체할 수 있는 잠재력을 가지고 있음. 뿐 만 아니라, 원료가 되는 천연 오일들은 renewable 자원으로써 온실가스인 이산화탄소 배출에 중성인 친환경적인 원료라는 장점도 가지고 있음
- paraffin에 비해 transition 특성을 control하는 더 깊은 지식이 필요하고, process technology의 진전. 개선이 진행 중이어서 가까운 미래에 Biobased PCM이 paraffin을 대체할 가능성도 점쳐지고 있음

2. PCM 공급사 동향

가. 국외 PCM 공급사 동향

표 15. 주요 PCM 원료 및 제조사

Raw Materials	Company	Location
Paraffin Wax	Petrochina	China
	Sinopec	China
	IOCI	India,
	Sasol	South Africa
	Exxonmobil	USA
	Igiwax	USA
	Petro-Canada	Canada
Sulfate	Lenzing AG	Austria
	Nippon Chemicals Industrial Company Ltd.	Japan
	Elementis plc	UK
	Du Pont	USA
	Alkim Alkali Kimya AS	Istanbul
	China NaFine Group International Co. Ltd.	China
Fatty Acids	Akzo Nobel	Netherlands
	BASF SE	USA
	Arizona Chemicals	USA
	Eastman Chemical	USA
	Croda and Oleon N.V.	Belgium

나. PCM 가격 구조

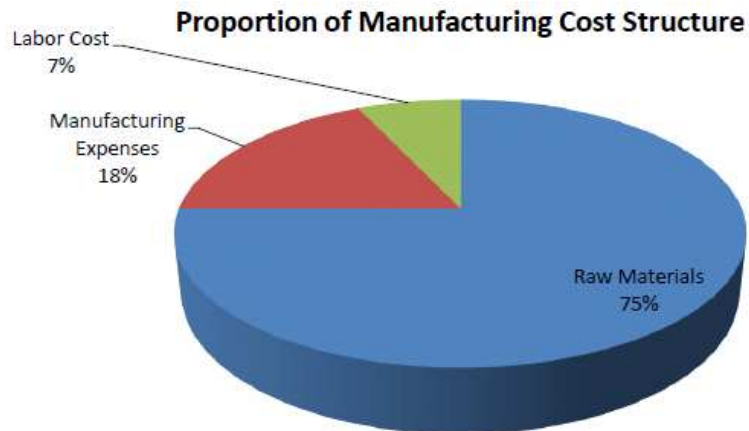


그림 39. PCM 가격 구조

다. 국외 PCM 공급사 동향



Source: QYR Chemical & Material Research Center, Jan 2017

그림 40. PCM관련 산업체인

라. 국내 PCM 공급사 동향

- 국내에서는 에네트, 셀시우스코리아, 고려신소재산업, 국내BASF 등에서 PCM 소재를 공급하고 있으나, 글로벌 PCM 기업과는 달리 국내에서는 PCM 소재에 대한 직접적인 기술 개발 없이 유통에만 집중되어 있음
- (주)에네트에서는 Rubitherm 사의 Paraffinic PCM을 12,000-22500원/Kg 가격으로 수입하여 in-situ방법으로 micro-encapsulation 하여 공급하고 있음
- 셀시우스코리아에서는 Sasol 사의 유기 PCM을 공급하고 있으며, 고려신소재산업에서는 미국 Phase Change Energy Solutions의 BioPCM을 대표적으로 공급하고 있음

표 16. 글로벌 PCM 소재 공급사 현황 (2013년 Frost&Sullivan 9833-39)

Company	End-use Applications						
	Cold Chain	Textiles	Building and Construction	Solar	Automotive, Aerospace and Defense	Electronics	Others
DuPont	-	-	*	-	-	-	-
BASF	-	-	*	-	-	-	-
National Gypsum	-	-	*	-	-	-	-
Climator	*	-	*	-	-	-	-
Croda	*	-	*	-	-	*	-
PCM Products Ltd	*	-	*	*	-	-	*
Rubitherm Technologies	*	*	-	-	-	-	*
PCM Energy P.Ltd	*	-	*	*	*	*	*
RGEES	*	-	-	*	*	*	*
Entropy Solutions, Inc	*	*	*	*	*	*	*
Phase Change Products Pty Ltd	*	-	*	*	-	*	*
Outlast Technologies	-	*	-	-	-	-	-
Laird Technologies	-	-	-	-	-	*	-
Brady Global Engineered Solutions	-	-	-	-	-	*	-

2. PCM 가공기술 개발 및 상용화 현황

가. PCM 가공기술 개발 동향

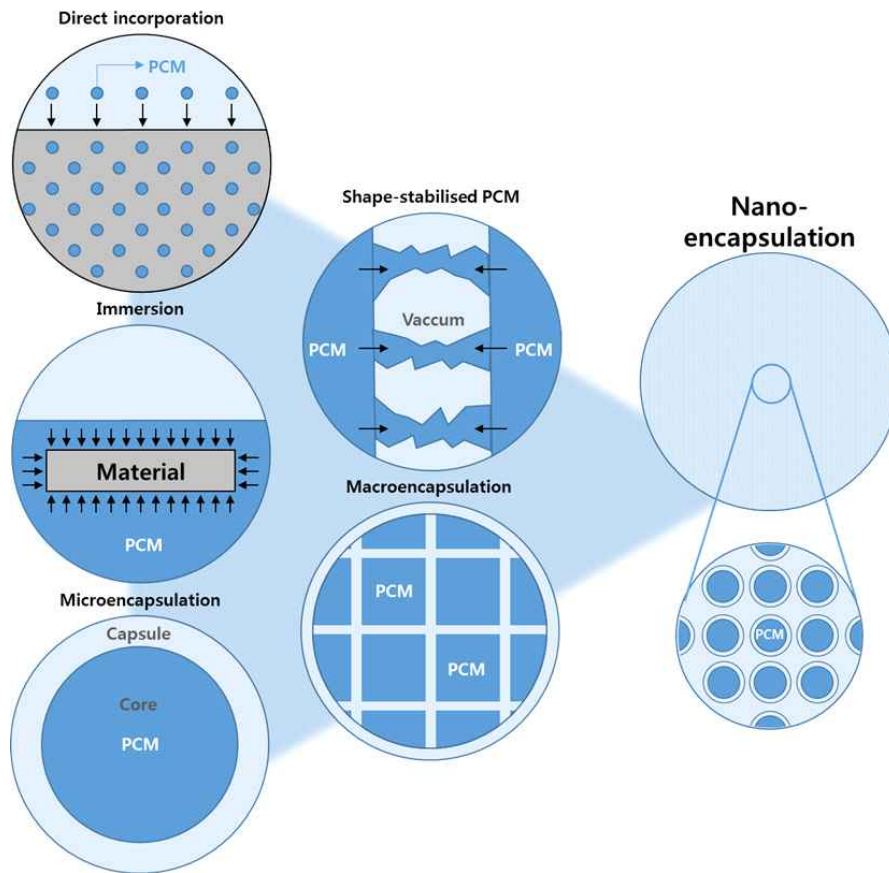


그림 41. PCM 가공 기술 동향

○ PCM 가공 기술 방식

- Direct incorporation : 액체상 또는 분말상 PCM을 석고, 콘크리트 등에 직접 혼합하는 방식으로 자재와의 비혼용 및 누출의 문제가 있음
- Immersion : 석고, 블록, 콘크리트 등의 건축자재에 액체상태의 PCM을 함침시키는 방식으로 누출의 문제가 존재함
- Macro-encapsulation PCM : 튜브, 패널 등의 용기에 PCM을 넣는 방식으로 누출의 문제는 없으나 모서리 부분의 미경화 및 자재간의 결합 문제가 존재
- Micro-encapsulation PCM : PCM을 고분자 물질로 캡슐화 하는 방식 압축 및 인장강도, 난연성 등의 구조적인 안정성에 대한 연구가 필요
- Shape-stabilized PCM : Poly-ethylene과 같은 지지재에 파라핀계의 PCM을 분산시키는 방식으로 일정한 함침율을 유지하기 위한 연구가 필요
- Nano-encapsulation PCM : 기존 건축자재뿐만 아니라 Smart windows 에 반사코팅 개념으로 적용할 수 있도록 투명성을 확보할 수 있는 연구가 필요

- PCM 가공 기술 동향을 살펴보면, 2000년 이전에는 PCM을 석고, 콘크리트 등에 직접 혼합하는 방식 및 함침을 시키는 방식을 개발하였으며, 2015년에는 PCM을 캡슐화 시켜서 석고보드에 적용하여 에너지소비를 40% 저감시키는 기술개발,
- 2020년경에는 나노캡슐된 PCM을 스마트 윈도우 개념으로 적용시키는 기술개발이 이루어질 예정임. (2016년 Frost&Sullivan D737-TV)

나. Micro-encapsulation PCM

(1) Micronal® PCM

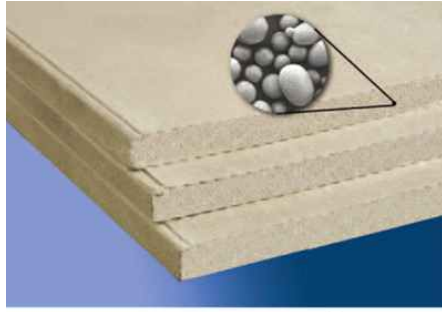
- 독일 BASF의 경우 상전이성 파라핀을 아크릴계 고분자로 캡슐화시켜 놓은 건축용 PCM소재를 21 °C(cooler)에서 26 °C(warmer)로 일정한 온도가 조절이 가능한 Micronal® PCM 제품으로 개발 및 판매하고 있으며, 표 17은 주요 Micronal® PCM의 주요 사양을 나타냄

표 17. 주요 Micronal® PCM

(출처: www.micronal.de)

Product designation	Product type	Melting point approx.	Application	Operational range	Latent heat capacity approx.	Solid content
DS 5000	Dispersion	26 °C	Summertime excessive heating protection	10–30 °C	45 kJ/kg	Approx 42%
DS 5007	Dispersion	23 °C	Stabilisation of the indoor temperature in the comfort zone Passive and active application	10–30 °C	41 kJ/kg	Approx 42%
DS 5030	Dispersion	21 °C	Surface cooling systems	10–30 °C	37 kJ/kg	Approx 42%
DS 5001	Pulver	26 °C	Summertime excessive heating protection	10–30 °C	110 kJ/kg	In powder form
DS 5008	Pulver	23 °C	Stabilisation of the indoor temperature in the comfort zone Passive and active application	10–30 °C	100 kJ/kg	In powder form
DS 5029	Pulver	21 °C	Surface cooling systems	10–30 °C	90 kJ/kg	In powder form

- Micronal® PCM은 표 17 에서 볼 수 있듯이 액상(Dispersion)과 파우더(Pulver) 형태의 PCM 소재 기술력 및 시장을 보유하고 있음
 - Micronal® PCM을 건축 재료 및 시스템에 적용하여 Knauf PCM SmartBoard® (from Knauf Gips KG), Ilkatherm® System (from Ilkazell Isoliertechnik GmbH), Maxit clima® machine-applied plaster (from Maxit Deutschland GmbH), CelBloc® Plus (from H+H Deutschland GmbH) 등의 상용화 제품도 개발 및 공급되고 있음



PCM SmartBoard®



Ilkatherm® System



Maxit clima® machine-applied plaster



CelBloc® Plus

그림 42. Micronal® PCM을 적용한 건축 재료 및 시스템 예

나. Macro-encapsulation PCM

(1) Energain®

- Energain®는 열적 관성이 적은 경량 구조물에 추가적인 Thermal Mass를 제공함으로써 태양 에너지 및 외부 온도 변화에 따른 실내의 온도 변화폭을 줄여 적절히 조절하기 위해 DuPont사에 의해 개발됨
- 알루미늄 적층 패널로 구성되어 있으며, 이를 통해 실내 쾌적성을 높이고 에너지 비용을 절감하며 CO2 배출량을 줄이는 것을 목표로 함
- 모든 크기로 자를 수 있는 알루미늄 판으로 되어 있으며, 일단 절단을 하면 알루미늄 테이프를 사용하여 시트의 가장자리를 밀봉하고 설치 중에 발생할 수 있는 구멍 등을 덮어 제품의 내구성을 높이고 열교를 차단할 수 있음



그림 43. Energain®의 단면 형상

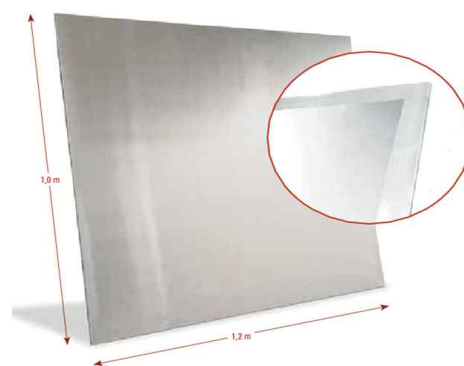


그림 44. Energain®의 기본 제품 크기

- 기본 크기의 제품은 5.2 mm의 두께와 4.5 kg/m²의 무게를 갖고 알루미늄 판 사이에는 Paraffin계 PCM이 적용되어 있음. 적용된 Paraffin은 상변화온도가 21.7 °C이며, 얇게 제조되었음에도 불구하고 높은 잠열량 (70 kJ/kg)을 보임
- 일반적으로 외부로부터 받는 충격에 의한 영향을 최소화하고자 천장 마감재로 적용되며 많은 건물에너지 평가 시뮬레이션 연구에서 적용된 사례를 보이고 있음

표 18. Energain® 및 알루미늄 테이프 물성

THERMAL MASS PANEL		
Descriptive Properties	Unit	Value
Thickness	mm	5.2
Width	mm	1000
Length	mm	1198
Area weight	kg/m ²	4.5
Aluminium thickness (sheet)	µm	100
Aluminium thickness (edges)	µm	75
Thermal properties		
Paraffin loading	%	60
Melt point (paraffin)	°C	21.7
Latent heat storage capacity (15°C - 30°C)	kJ/kg	> 70
Total heat storage capacity (Temperature range 15°C to 30°C)	kJ/kg	~ 140
Physical properties		
Aluminium sheet delamination force	N/cm	> 20
Conductivity solid	W/(m.K)	0.18
Conductivity liquid	W/(m.K)	0.14
Flash Point (paraffin)	°C	148

ALUMINIUM TAPE		
Descriptive Properties	Unit	Value
Thickness	µm	75
Width	mm	50



그림 45. 영국 Hamond 고등학교 적용 사례 (photos DuPont™ Energain®)



그림 46. Tibet Demo-house project 적용사례 (photos DuPont™ Energain®)

(2) BioPCM®

- BioPCM®은 미국 Phase Change Energy Solutions에 의해 개발되고 유통되고 있으며, 저렴한 가격과 시공이 용이하기 때문에 많은 Mock-up 실험에서 주로 사용됨
- 기존 PCM과 달리 내화성을 높이기 위해 인화 억제제 성분의 폴리 필름에 포장하였고, 바이오 성분을 이용한 자연 친화적 제품으로 개발되었음



그림 47. BioPCM®

- 사용자 임의의 크기로 잘라서 사용할 수 있으며 목조주택에 BioPCM®을 시공하는 경우에는 제품을 펼친 후 Stapler 건으로 나무 벽 스타드에 고정시키고 그 위에 석고 보드를 설치하면 간단하게 시공할 수 있음
- 특히, 다락방(attic)에 설치하면 최상의 에너지 절감 효과를 확인할 수 있음
- 최근 국내에서도 용인 동백지구 땅콩집에 시공된 사례가 있음



그림 48. 용인 동백지구 땅콩집 적용 사례

다. PCM 현 가공기술의 장·단점 분석

- Micronal[®]의 경우, 다양한 건축재료에 캡슐화된 PCM을 적용할 수 있고 화학적 Shell로 둘러 싸여있기 때문에 외부에 충격에도 누출이 일어나지 않지만 내화성이 낮은 단점을 보임
- Energain[®]은 얇고 넓게 시공이 가능하고 잠열량이 높은 장점이 있으나 불에 매우 취약한 단점을 보임
- 반면, BioPCM[®]은 인화 억제제 성분으로 인해 내화성은 강화되었지만 장기적인 내구성은 다른 PCM에 비해 낮은 단점을 보임
- 따라서 각 상용화 PCM들의 단점을 해결할 수 있는 방안을 제시할 필요가 있음

MATERIAL	USES/PROS & CONS	TEMPERATURE
Energain (DuPont)	+ In buildings, high surface area allows for large energy storage - Paraffin-based; flammable	20°C
Micronal (BASF)	+ Wax capsules in building material; no leaks if damaged - Flammable	21-26°C*
BioPCM (Phase Change Energy Solutions)	+ Soy-based gel in wall cavities Low flammability - Can leak if punctured	23-29°C* *multiple compounds have different melting temperatures

그림 49. 주요 상용화 PCM의 장·단점 및 상변화 온도 범위

3. PCM 적용 축열 건축자재 상용화 현황

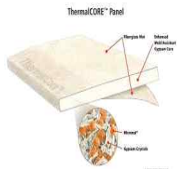
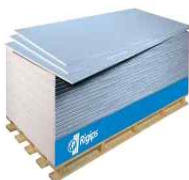
가. 콘크리트 및 벽바름재

표 19. 상용화 콘크리트 및 벽바름재 현황

제조사(국적)	제품명	제품사진	주요사항
Saint-Gobain Weber (독일)	Weber. Mur Klima [®] dry Plaster Mix		Enthalpy of fusion (Ts = 23 ~ 26 °C) : 18 kJ/kg
Maxit Deutsch-land (독일)	Maxit-Clima Gypsum Plaster		Enthalpy of fusion (Ts = 21 ~ 26 °C) : 18 kJ/kg
CSV(폴란드)	Klima 544 TYNK		Enthalpy of fusion (Ts = 26 °C) : 100 kJ/kg
WINCO Technologies SAS (프랑스)	ENERCIEL		Enthalpy of fusion (Ts = 23 ~ 26 °C) : 184 kJ/kg

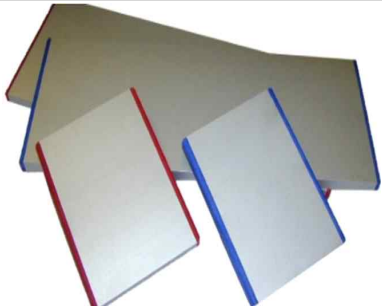
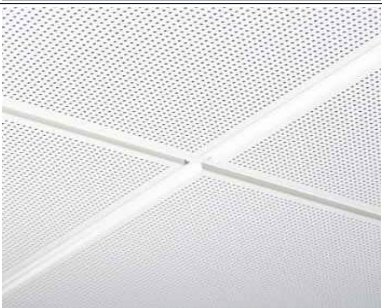
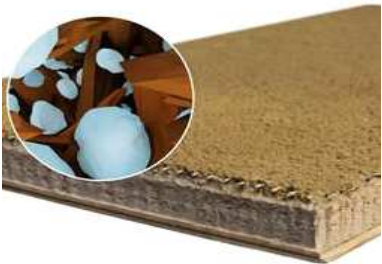
나. 석고보드

표 20. PCM 적용 상용화 석고보드 현황

제조사(국적)	제품명	제품사진	주요사항
Knauf (독일)	Knauf PCM Smartboard [®]		Enthalpy of fusion (Ts = 23 ~ 26 °C) : 110 kJ/kg
National Gypsum (미국)	ThermalCORE [®]		Enthalpy of fusion (Ts = 23 ~ 26 °C) : 110 kJ/kg
Saint-Gobain Rigips (스위스)	Alba [®] Balance Plaster Panels		Enthalpy of fusion (Ts = 23 ~ 26 °C) : 110 kJ/kg

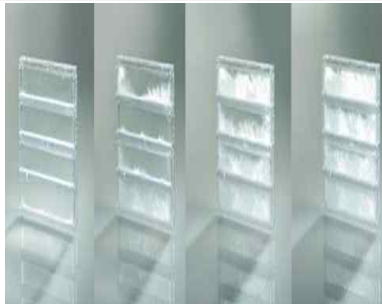
다. 보드 및 바닥재

표 21. PCM 적용 보드 및 바닥재 현황

제조사(국적)	제품명	제품사진
Rubitherm (독일)	Rubitherm® FB (fiber board)	
Datum Phase Change Ltd. (영국)	ThermaCool®	
Armstrong (영국)	CoolZone ceiling tile	
EBB board technology	Ecco Building Boards	
DuPont™	Energain® Boards	

라. 단열재 및 창호

표 22. PCM 적용 상용화 단열재 및 창호 현황

제조사(국적)	제품명	제품사진
Advanced Fiber Technologies (미국)	PCM Enhanced Cellulose Fiber Insulation	
GLASSX Inc.(스위스)	GLASSX	

4. PCM 건축물 시공기법 현황 및 실제 사례

가. 시공 기법

(1) CoolZone

○ 천장

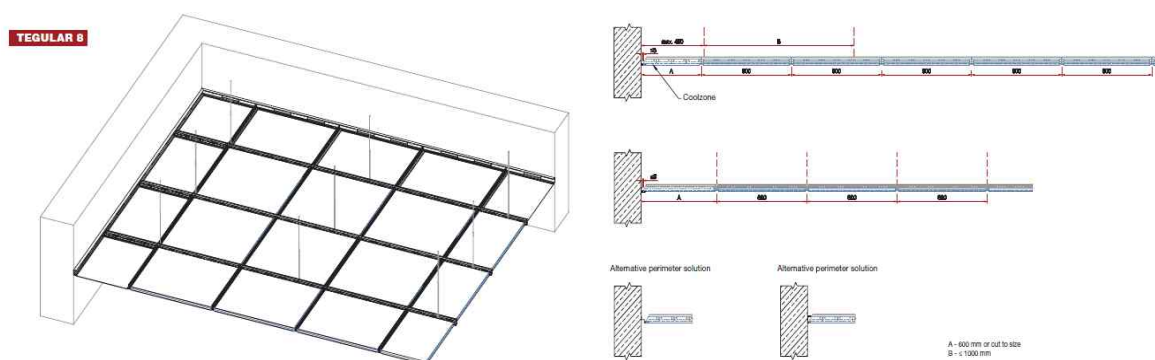
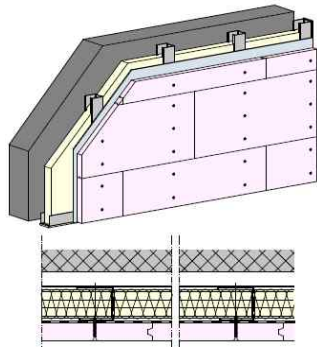


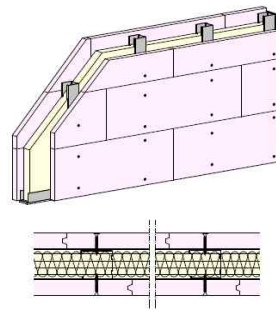
그림 50. CoolZone 천장 시공 기법

(2) Alba® balance solid plasterboard

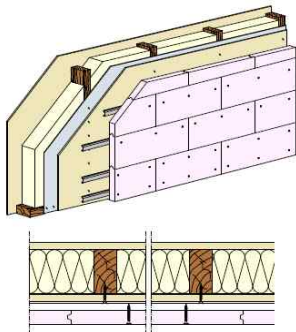
○ 벽체



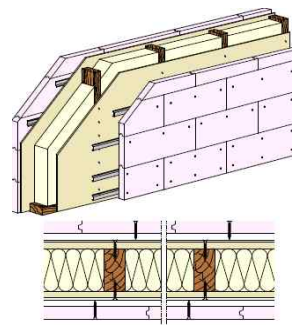
Cladding for facing wall



Metal-framed wall



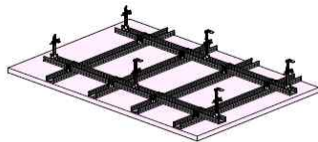
Cladding exterior wall in timber structure



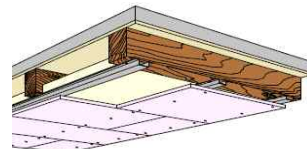
Cladding for wooden frameworks

그림 51. PCM 적용 벽체 시공 기법

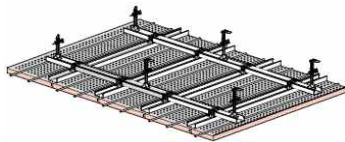
○ 천장



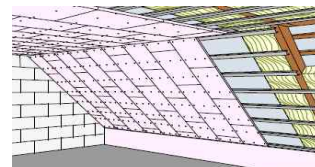
Cladding for suspended ceiling



Cladding for wooden beam ceiling



Cladding for heated/chilled ceiling



Attic extension

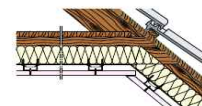
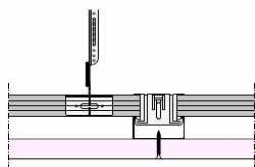


그림 52. PCM 적용 천장 시공 기법

- 건축물의 동절기, 하절기에 따른 온도대역에 따라 건물에너지 절감을 위한 효율적인 대처를 위해, PCM의 상변화온도에 따라 벽체, 지붕 및 천장에 각기 다른 PCM을 적용하고 있는 것으로 판단되며, 각 PCM 제조업체별로 최적의 성능구현 및 하자방지를 위한 시공방법을 개발하여 안내하고 있음을 알 수 있음

나. 적용 사례

(1) Whitehall Building(영국)

- 건축물 내 쾌적한 작업환경 및 에너지 효율성 향상을 위해 BASF의 Micronal® PCM을 이용한 천정타일 시스템 RACUS®을 영국의 에너지 기후변화부(영국)가 있는 Whitehall Building에 설치



그림 53. Great Pavilion

(2) Great Pavilion(독일)

- PCM을 적용한 바닥재 또한 현재 연구 및 개발이 초기 단계로써 천장 타일은 현재 베를린달렘식물원에 위치한 세계최대의 온실인 Great Pavilion의 실내온도 유지를 위해 대류타워 내부에 RUBITHERM사의 Macro-encapsulation PCM인 CSM(compact storage modules) 3000 kg을 적용하여 일정한 온도의 유지를 돕고 연간 22,000 kWh의 에너지와 5톤의 CO2 가 저감되는 것으로 계산됨



그림 54. Great Pavilion

(3) CasaE(브라질)

- 상파울루의 비즈니스 지구에 지어진 CasaE는 브라질 최초의 에너지 효율적인 집으로 건축면적 400 평방미터 기준으로 기존의 주택보다 최대 70 %의 에너지 소비를 절감한 주택으로 집 내부 벽에 Micronal® PCM을 적용하여 효율적인 건축물을 구현함
- 브라질 기후의 특성상 난방에너지보다는 냉방에너지 부하 절감에 주안점을 두어 구조체의 주요 온도변화대역에 상변화온도가 비교적 높은 온도에서 이루어지는 PCM을 적용한 것으로 판단됨



그림 55. CasaE

(4) Micronal[®] PCM Clayboard가 적용된 건축물



Somerset House East Wing(London)



Beattie Passive House



ecolar



German Government Building(Berlin)



Bicester Eco-Town House



Steigereiland(Amsterdam)



Solar Decathlon(Madrid)

그림 56. PCM Clayboard가 적용된 건축물 사례

- 상기의 그림과 같이 유럽에서는 주거용/상업용 건축물의 건물에너지 절감을 위하여 기존의 건축적인 공법 외에 PCM을 적용하는 사례가 증가하고 있음을 알 수 있으며, 목구조, RC구조 및 조적식 구조 등 다양한 건축물에 적용되어 사용되고 있음

5. PCM 소재 및 이를 적용한 기능성 건축자재 평가기술 동향

가. PCM 소재 평가기술

- 현재 소재에 대한 숙련도 프로그램 소개 및 현재 상황을 정리

나. 시험실 규모의 축열 건축자재 평가기술

- 현재 미국과 유럽 등에서는 PCM을 적용한 축열 건축자재에 대한 시험실 규모의 성능평가는 주로 Guarded hot box와 Large scale climate simulator를 이용하여 열전도율, 열저항, 에너지 소비량등을 평가하고 있으나, 아직까지 표준화된 시험방법은 없는 상태임

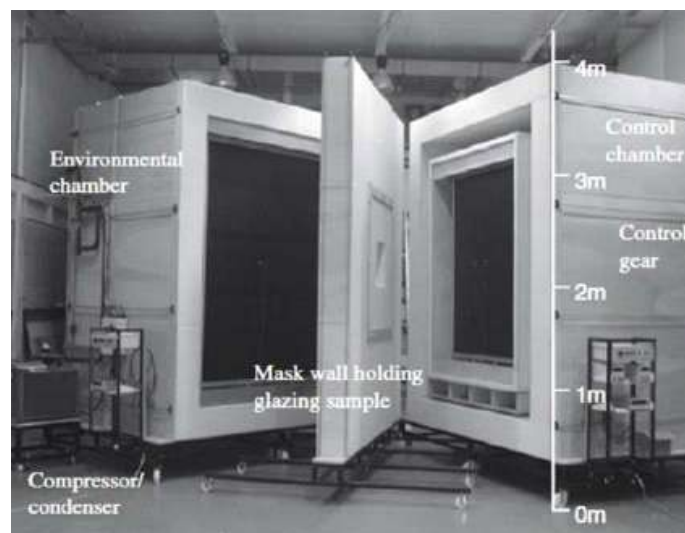


그림 57. Guarded hot box 구성



그림 58. Large scale climate simulator를 이용하여 PCM을 적용한 지붕재에 테스트 장면

다. 실규모 모형실험주택에서의 축열 건축자재 평가기술

- 실규모 모형실험주택에 대한 축열 건축자재 평가기술은 크게 Hut Field Test와 Whole-Building Field Testing로 나누어지는데 현재 미국과 유럽 등에서는 두 시험방법에 대해서는 연구용으로 진행 중에 있으며, 시험용 건축물이 규격화 되지 않는 것과 외부 기후 변경에 따라 결과 값에 영향을 줌으로써, 아직까지 표준화된 시험방법은 없는 상태임



그림 59. Hut Field Testing



그림 60. Whole-Building Field Testing

라. 인증사업

○ 독일 RAL Quality Association PCM에서는 RAL-GZ 896을 제정하여 PCM을 적용한 기능성 건축자재에 대한 평가 및 인증사업을 하고 있음

- 주요평가 항목
 - Phase Transition Temperature
 - Stored heat
 - Cycle Stability (50 ~ 10,000 Cycle)

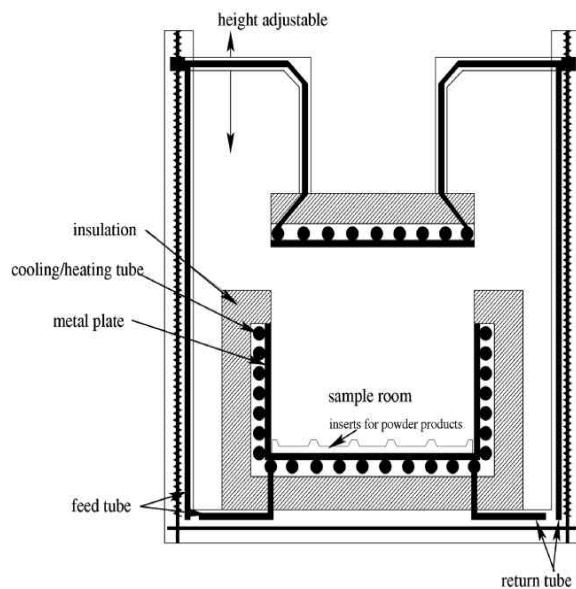


그림 61. PCM을 적용한 기능성 건축자재에 대한 Cycle Stability Test 모식도

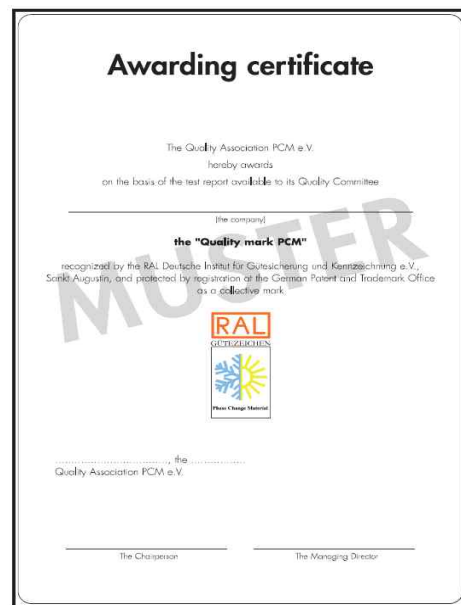


그림 62. PCM관련 성능인증서 (RAL Quality Association PCM발행)

○ RAL Quality Association PCM 인증제품 현황

- Micronal® PCM, PCM Smartboard®
 - 독일 BASF에서 개발된 PCM 소재 및 건축자재(건식 내벽마감재)
 - 두 PCM 소재와 건축자재는 모든 RAL 테스트 통과
 - 2008년 8월 22일 RAL 품질 마크 획득
- RAL 인증협회 Members 기업
 - 국외 주요 PCM 선진 기업들(BASF, PCM Technologie, Ehtropy Solutions, Rubitherm, Sasol 등)은 RAL 인증협회와 Members 관계
 - RAL 인증을 통한 개발 PCM 소재 및 자재의 품질 인증 테스트 실시



그림 63. RAL 인증협회 Members 기업

☞ 시사점

- PCM 원천 소재 가공 기술은 점점 그 크기가 작아지는 경향을 보임
 - 2000년 이전에는 PCM을 직접 혼합하는 방식으로 적용
 - 2015년에는 PCM을 캡슐화 시켜서 건축자재에 적용
 - 2020년에는 Nano 사이즈의 PCM 가공 기술이 개발될 것으로 예정
- 미국, 유럽, 호주에서 활발하게 PCM이 공급되고 있으며, 미국과 독일의 Dupont, National Gypsum, BASF에서 Building & Construction 분야에 초점을 두고 기술개발
- 국내에서는 셀시우스코리아, 고려신소재산업, 국내BASF 등에서 PCM 소재를 공급하고 있으나, 글로벌 PCM 기업과는 달리 국내에서는 PCM 소재에 대한 직접적인 기술 개발 없이 유통에만 집중되어 있음
- 국외 주요 상용화 PCM 제품의 장단점 분석 결과, 외압으로부터 누출을 완벽히 막을 수 있는 내구성과 내화성을 동시에 해결할 수 있는 방안이 연구 및 제시되어야 함
- PCM을 벽, 보드, 지붕, 다락, 바닥, 타일, 창호, 설비시스템 등 건축분야에 적용하여 건물에너지 저감 효과와 실내 온열쾌적성을 높여주는 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중임
 - 같은 종류의 PCM이라고 하더라도 적용된 PCM 함량에 따라 잠열량과 적용 부위에 따라 작용 온도대가 다르기 때문에 에너지 저감 성능에 차이가 있음
 - 정확한 효과에 대한 평가 방법 및 지표가 개발될 필요가 있음

4절. 기술수준 분석

1. 논문동향분석

가. 분석개요 및 목적

- 조사범위 : 2001년~2015년
- 국내/외 논문검색 : 학술연구정보서비스(RISS), 논문 검색 전문사이트(SCOPUS)
- 조사항목 : 국가별/연도별 논문수에 대한 조사를 실시하였으며, PCM의 적용 분야에 대한 구분에서부터 건축분야의 적용까지 전반적인 PCM 연구 및 논문 사례에 대해서 조사함
- 분석목적 : 논문동향조사는 논문문헌정보를 기술 분야별로 조사, 분류, 가공, 분석함으로써 과거부터 현재까지의 기술동향 및 기술수준, 주요 연구개발 주체의 연구개발동향 등을 파악하여 본 연구기획의 중점추진분야 설정을 위한 객관적인 근거를 제시하는 것을 목적으로 함

나. 국내·외 논문 동향

(1) PCM 관련 국내 발표 논문

- 국내 PCM 기술 개발 관련 논문의 연도별 발표 현황을 살펴보면 2008년 19건에서부터 2015년 41건까지 지속적으로 증가하는 추세를 보임
 - 2014년에 가장 많은 논문이 발표되었고, 2016년 여름의 폭염문제가 사회적 관심을 끌게 되면서 점차 더 늘어날 것으로 전망
 - 학술대회논문집을 포함한 8년간 총 논문은 793건이 발표되었으며, 이 중 논문집에 발표된 논문은 1/3 수준인 277건에 달함

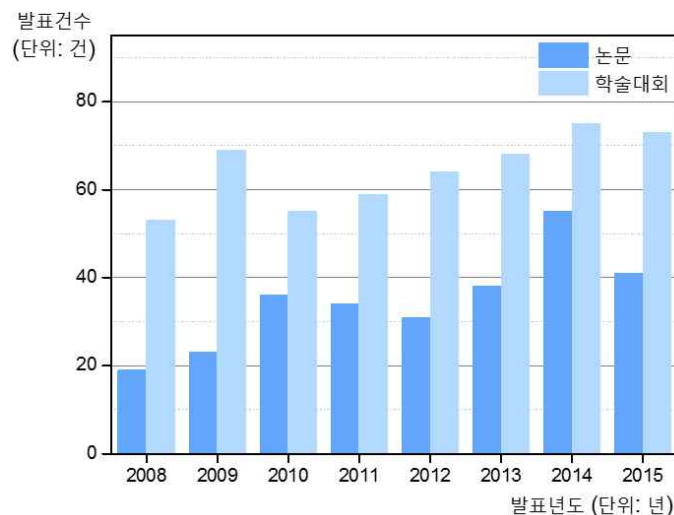


그림 64. PCM 관련 국내 논문 연도별 발표 건수
(RISS 통합검색)

(2) PCM 관련 SCI급 발표 논문

- 전 세계적으로 PCM에 대한 연구 및 논문 발표는 기하급수적으로 꾸준히 늘어나고 있음
- 2001년의 154건에서 2014년의 10,752건까지 SCI급 발표 논문 건수가 약 70배 증가
- 논문이 발표된 주요국에 대해 살펴보면, 중국과 미국이 전체 나라의 절반을 차지하며, 국내에서 발표된 PCM 논문은 3.45%의 매우 낮은 점유율을 보임

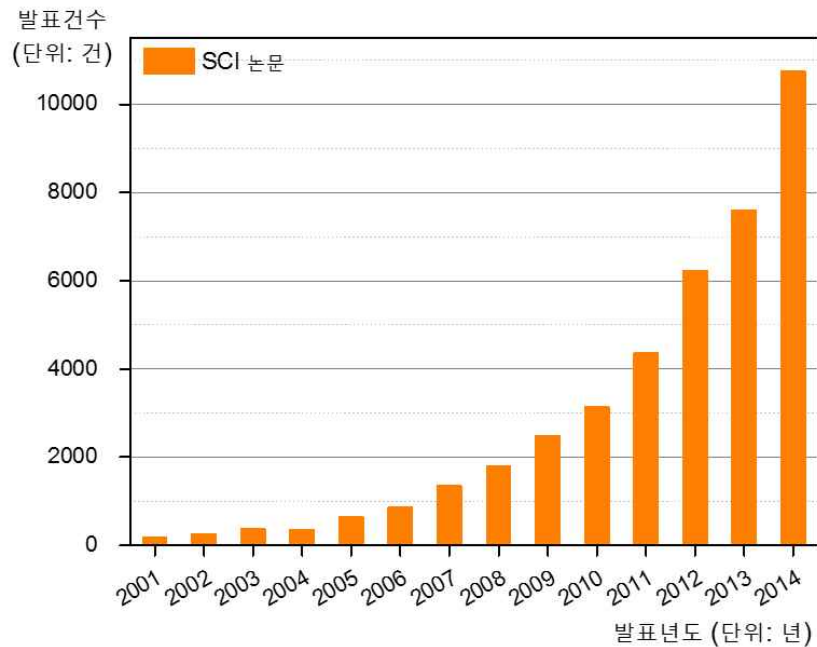


그림 65. PCM 관련 SCI급 논문 연도별 발표 건수
(Web of Science)

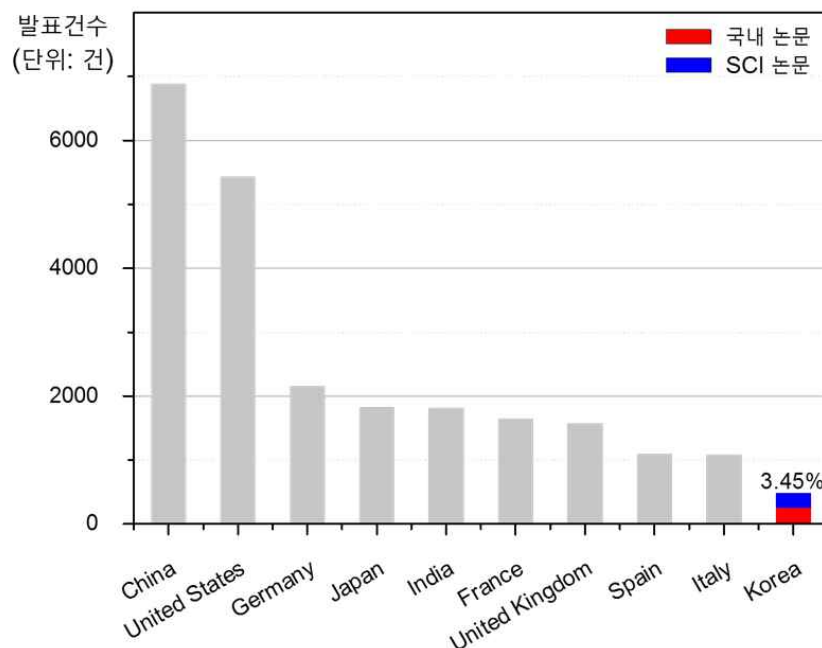


그림 66. PCM 연구 주요국 및 국내논문 현황 비교

다. 분야별 PCM 적용 기술 동향

- 우수학술지 검색 전문사이트 Scopus에서 Keyword 검색을 ‘Phase Change Materials’ or ‘Phase Change Material’ 로 검색한 결과를 분석하여 각 요소별로 동향을 분석한 결과 PCM 시장은 Cold Chain 분야에서 가장 활발한 것으로 나타나지만, 분야별 SCI급 연구 논문 동향을 살펴보면 2008년에서 2015년 동안 94건의 논문이 발표됨
- Building and Construction 분야의 논문은 시장규모와 달리 발표 논문 건수(총 2,720 건)가 가장 많고 지속적으로 증가하는 추세를 보임
 - PCM의 경우 에너지 저장 기술을 대표하는 재료로써 실제 인간과 밀접하게 관련이 있는 건축, 섬유 분야에서 많은 연구가 되어오고 있는 것을 확인할 수 있음
 - 그러나 시장규모가 작은 이유는 PCM에 대한 가격경쟁력이 확보되지 않았기 때문이라고 판단됨

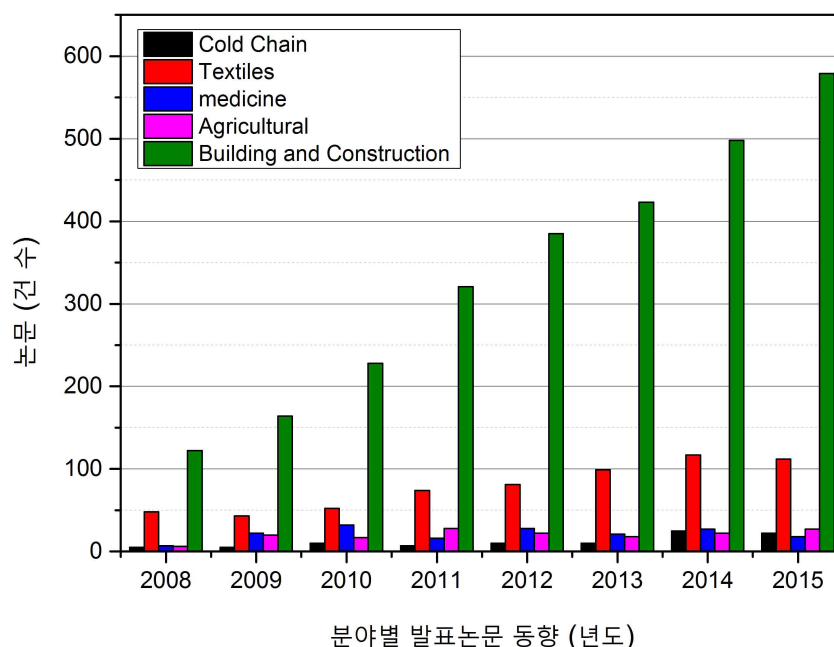


그림 67. 분야별 SCI급 연구 논문 현황

라. 원천기술별 발표 논문 동향

- PCM은 크게 유기 PCM, 무기 PCM, 공융 PCM으로 구분할 수 있음
 - 공융 PCM은 유기 PCM과 무기 PCM이 혼합되어 새로운 물성을 갖는 PCM을 의미
 - 유기 PCM은 파라핀계 PCM과 비파라핀계 PCM으로 구분
 - 무기 PCM은 각종 수화물들로 구성되어 있음

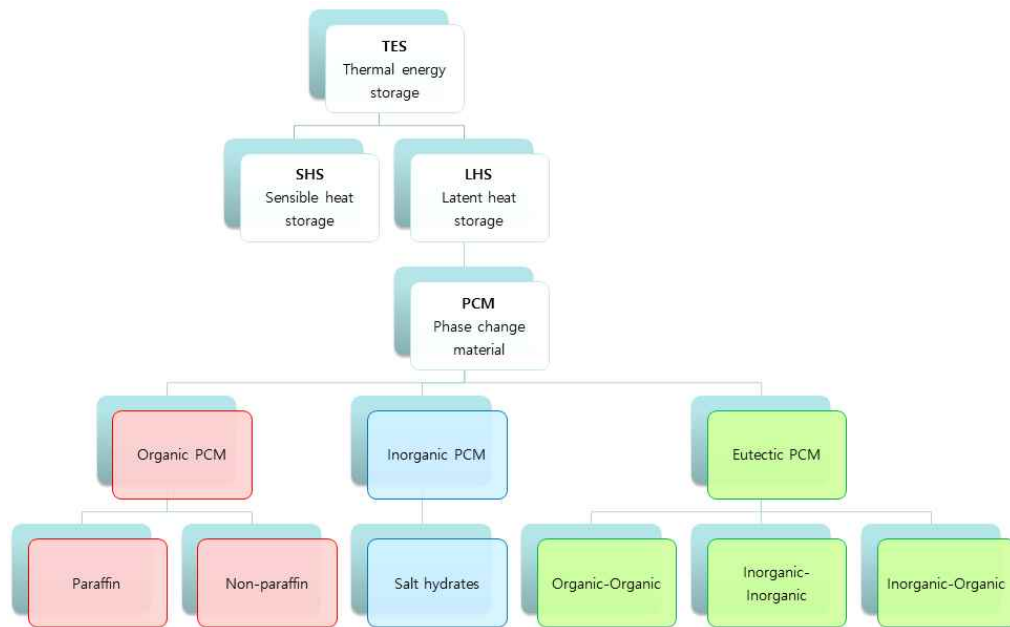


그림 68. 열에너지 저장 시스템 및 PCM 구분

- 원천소재별 연구 논문 동향을 살펴보면, 유기 PCM에 대한 발표 논문 비율이 가장 높으며 지속적으로 증가하는 추세를 보임
- 공융 PCM의 경우에도 논문 건수는 상대적으로 적으나 지속적으로 증가해가는 추세이며, 더 높은 잠열량을 갖고 원하는 상변화온도 범위의 PCM을 제조하기 위하여 더 많은 연구가 진행될 것으로 예상됨
- 무기 PCM이 지속적인 연구가 되고 있지 않은 이유는 무기 PCM이 상전이현상, 과냉각현상 등의 단점을 갖고 있기 때문임
 - 그러나 무기 PCM은 다른 PCM에 비해 단가가 매우 싸기 때문에 가격경쟁력 확보 측면에서 더 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단됨

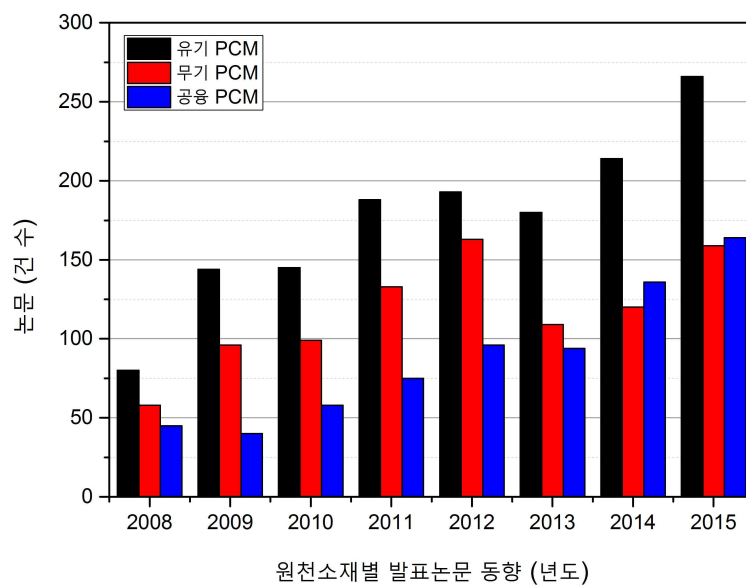


그림 69. 원천소재별 SCI급 연구 논문 현황

마. 상안정 방법 기술 연구 동향

○ PCM 가공 및 상안정 방법은 크게 5가지로 구분됨

- 진공함침을 활용한 Shape-stabilized PCM (SSPCM)에 대한 논문이 가장 많이 발표되었으며, 직접주입방법 및 Micro-encapsulated PCM (MPCM)에 대한 논문이 그 뒤를 잇고 있음
- 현재 미국이나 유럽에서 상용화되고 있는 제품에도 SSPCM과 MPCM 기술이 적용되어 있음
- 최근에는 Honeycomb PCM, PCM Panel 등 PCM을 대량으로 주입하여 성능을 극대화한 Macro-encapsulated PCM에 대한 기술 개발 및 연구의 필요성 인식이 높아짐
- Macro-encapsulated PCM 기술에 대한 연구 및 논문 발표가 큰 폭으로 증가할 것으로 예상됨

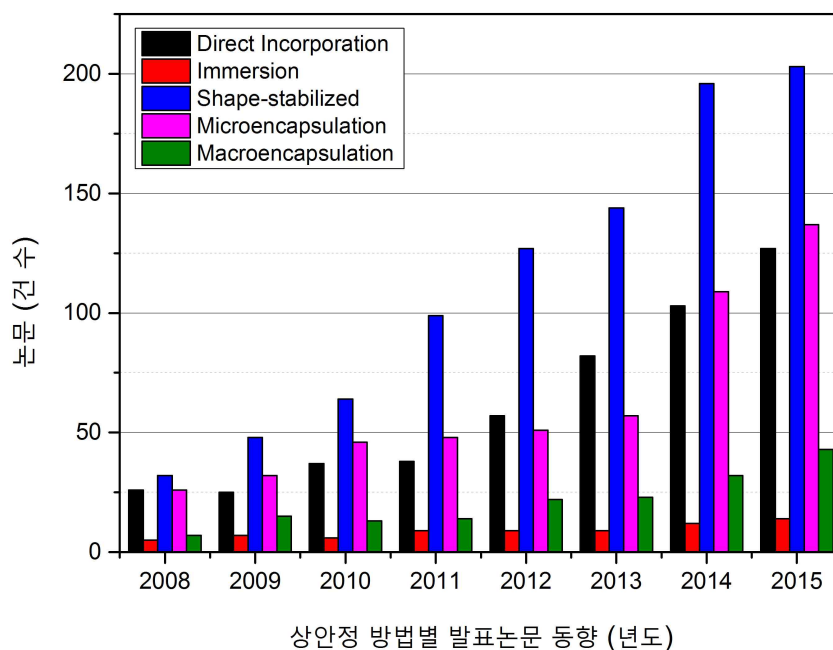
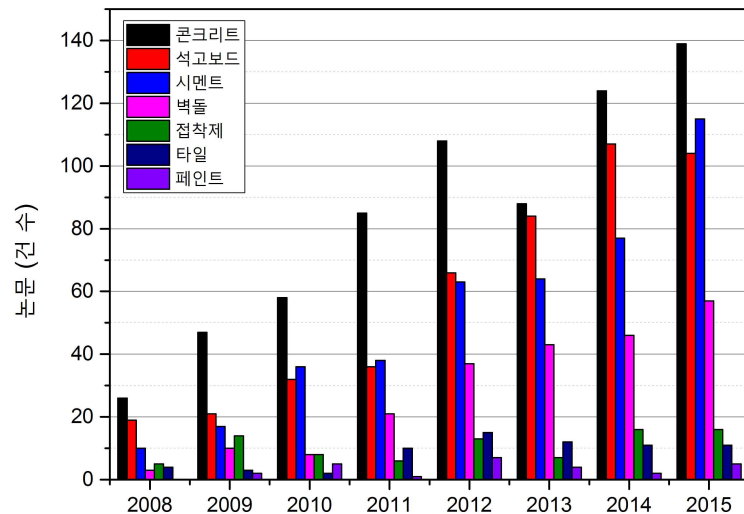


그림 70. 상안정 방법별 SCI급 연구 논문 현황

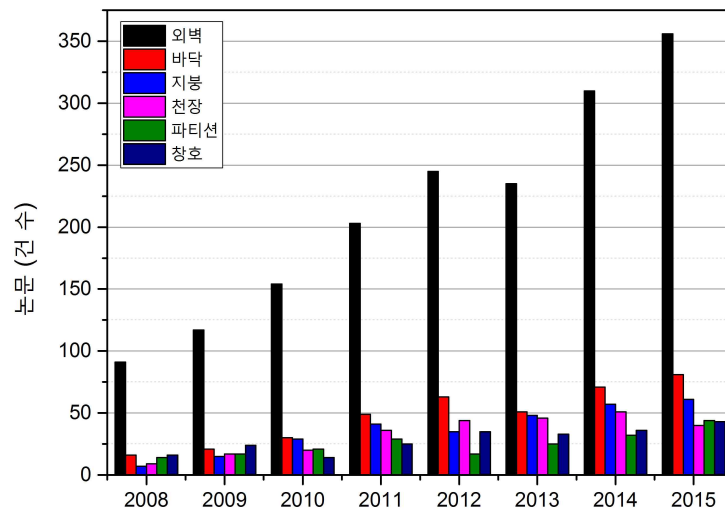
바. PCM 적용 건축자재별 연구 동향

- 페인트나 타일의 경우, 실제 PCM이 적용되는 함량이 적기 때문에 잠열량이 많이 낮아지게 되고 그로 인해 상품화 가치가 떨어지게 됨
- 반면에 PCM의 함량을 많이 적용할 수 있는 콘크리트, 벽돌에 적용한 연구가 많이 진행된 것을 알 수 있음
- 실내 내장재로 사용되는 석고보드에 적용하여 실내 온열 쾌적감을 높이고 에너지 절감 성능을 높인 연구도 많이 진행되었음
- 독일 BASF의 PCM Smartboard도 이와 같은 석고보드의 한 종류임



적용 건축자재별 발표논문 동향 (년도)

그림 71. 적용 건축자재별 SCI급 연구 논문 현황



적용부위별 발표논문 동향 (년도)

그림 72. 적용부위별 SCI급 연구 논문 현황

사. 건축 적용부위별 PCM 연구 동향

- PCM은 외기와 직접적으로 접하는 외벽 부위에 가장 많이 적용되어 연구가 진행되었음
 - 실내외 온도차가 생겨 발생하는 열의 이동을 최대한 지연시켜주기 위해 외벽에 가장 많이 적용
- 지붕의 경우에도 외기와 직접적으로 접하기는 하지만 단층 건물 이외의 건물에서는 직접적인 건물에너지 절감 효과를 기대하기 어려움
 - 최근에는 도시열섬현상을 저감시키기 위하여 지붕에 PCM을 적용하는 사례가 증가하는 추세이며, 일사를 고려한 높은 상변화온도를 갖는 PCM의 적용에 대한 연구가 필요하다고 판단됨

아. 건물에너지 평가 시뮬레이션 논문 동향

- 건물에너지 평가 시뮬레이션 프로그램은 여러 종류가 있지만 PCM의 성능을 평가할 수 있는 대표적인 프로그램은 Energy Plus 프로그램임
- 7년간 국내에 발표된 논문은 35건, SCI급 논문은 239건
- 국내는 뚜렷한 동향을 나타내지 않으나, SCI급 논문은 매년 증가하는 추세

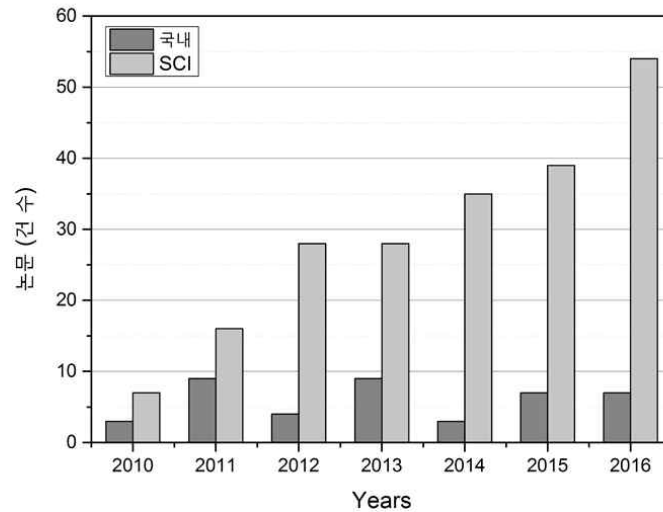


그림 73. 국내외 Energy Plus 논문 동향

- 국내 논문의 경우, 35건의 논문 중에 PCM의 성능을 평가한 논문은 1건에 달함
 - 해당 논문은 2012년에 학술발표학술지에 발표된 논문으로 정식으로 게재된 논문은 없음
- SCI급 논문의 경우, 24건의 논문에서 PCM을 적용하여 시뮬레이션을 진행
 - 국내 논문보다 높은 비율과 많은 건 수를 나타내지만, Energy Plus를 활용한 PCM의 시뮬레이션 분석이 많이 진행되고 있지 않음

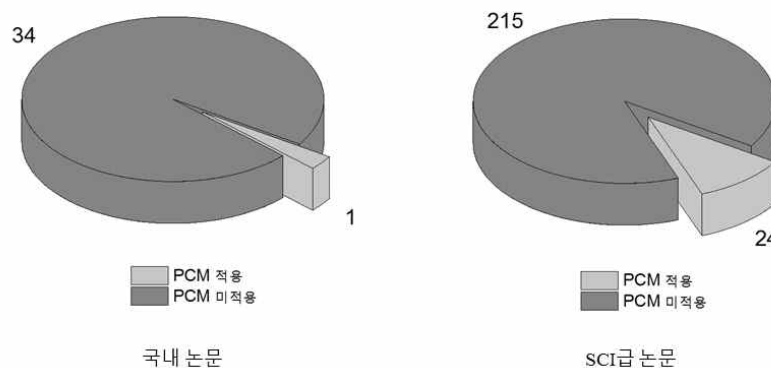


그림 74. PCM관련 Energy Plus 논문 건 수

2. 특허동향분석

가. PCM 기술 동향 분석

(1) 분석 목적 및 분석 범위

- PCM 기술의 국내외 특허동향을 분석함으로써, 연구개발 방향 및 목표를 설정하고 특허전략을 수립하기 위한 기초자료로서 활용할 수 있도록 함에 그 목적이 있음
- PCM 분야와 직간접적으로 관련 있는 기술을 분석대상 기술로 설정하였고, 한국, 일본, 미국 및 유럽특허를 분석대상으로 함
- 유효 데이터를 획득하기 위한 검색식 및 국가별 검색 데이터 개수는 다음의 표에 개시된 바와 같으며, 중복제거 및 필터링한 유효특허를 기술별로 구별한 결과를 동시에 나타내었음

표 23. PCM 특허 기술 검색식

대분류	중분류	검색식	검색건수 (유효특허)				총계
			한국	미국	유럽	일본	
PCM	캡슐	(상전이물질 상변화물질 상변환물질 상변이물질 (phase-change adj material) (Phase adj Change adj Material*) ((상전이 상변환 상변화 상변이) adj (물질 소재 재료)) (위상 adj (변화 변환 전이) adj (재료 소재 물질))) and (캡슐* capsule)	151 (49)	75 (20)	18 (2)	111 (11)	355 (82)
	마이크로 캡슐	(((((마이크론 마이크로 micro*) and (캡슐* capsul*)) Microencapsul*) adj ((상전이물질 상변화물질 상변환물질 상변이물질 (phase-change adj material) (Phase adj Change adj Material*) ((상전이 상변환 상변화 상변이) adj (물질 소재 재료)) (위상 adj (변화 변환 전이) adj (재료 소재 물질))))))	30 (11)	11 (2)	12 (0)	1 (1)	54 (14)
	주입	(상전이물질 상변화물질 상변환물질 상변이물질 (phase-change adj material) (Phase adj Change adj Material*) ((상전이 상변환 상변화 상변이) adj (물질 소재 재료)) (위상 adj (변화 변환 전이) adj (재료 소재 물질))) and (주입 inject*)	40 (7)	81 (0)	7 (0)	15 (0)	143 (7)
	진공함침	(상전이물질 상변화물질 상변환물질 상변이물질 (phase-change adj material) (Phase adj Change adj Material*) ((상전이 상변환 상변화 상변이) adj (물질 소재 재료)) (위상 adj (변화 변환 전이) adj (재료 소재 물질))) and (진공함침* ((vacuum 진공) adj (impregna* 함침*)))	3 (2)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	7 (2)
	건축관련	((((상전이물질 상변화물질 상변환물질 상변이물질 (phase-change adj material) (Phase adj Change adj Material*) ((상전이 상변환 상변화 상변이) adj (물질 소재 재료)) (위상 adj (변화 변환 전이) adj (재료 소재 물질))))).key.) and ((B27* B28* B29* B32* C04* C09* E01* E02* E03* E04* E05* E06* F03* F24* C23* F25* F28*).ipc.) AND ((@AD>=19900101))	400 (126)	955 (109)	365 (61)	257 (43)	1,977 (339)
	총합						2,536 (444)

(2) 분석 방법

○ 동향분석(정량분석)

- 특허를 출원연도별/국가별, 출원인별로 분류하여 각 부문별 특허건수, 점유율 및 증가율 등을 분석함
- 이를 통해 외국의 주요 출원국가(일본, 미국, 유럽)의 특허 수준과 우리나라의 특허 수준을 비교·고찰하고, PCM 기술 분야에서 세부 기술별 연구개발 현황 및 주요 출원인을 고찰함

○ 심층분석(정성분석)

- 관련 특허를 이용하여 텍스트 마이닝 및 매트릭스 분석을 통해 공백영역을 도출한 후, 연구개발에 참작할 수 있는 참고특허를 도출

나. PCM 기술 동향 분석

(1) PCM 기술의 국가별 출원동향

- 전체적으로 한국, 미국, 유럽, 일본의 순으로 출원을 많이 한 것으로 분석됨
- PCM 기술 분야 특허 검색 결과, 관련 기술 분야의 특허는 1996년 이전부터 출원이 시작되었으나, 기술초기 출원이 미미하였으며, 2000년대에 들어서며 본격적인 출원이 진행되었음
- 한국의 경우 2007년까지 년 10건 미만의 출원율을 나타내다 2007년을 기점으로 급격히 증가하기 시작하였으며, 2010년 이후 다소 주춤한 모습을 보이고 있으나, 2013년을 기점으로 다시금 출원이 증가하고 있는 것으로 나타났음
- 미국 및 유럽의 경우 2000년을 기점으로 꾸준히 증가하는 모양으로 출원이 이어졌으나, 2010년 이후 점차 감소하고 있는 것으로 나타남
- 일본의 경우 2000년대 중반에 잠시 출원이 증가하였으나, 2006년 이후 관련 기술의 출원이 거의 나타나지 않는 것으로 나타남

(2) PCM 기술의 PCM TYPE별 출원동향

- 복합 TYPE의 출원이 거의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타남
- 복합 TYPE의 출원은 기술 초기부터 꾸준한 증가를 이어오고 있으며, 2010년 최대치를 기록한 후 급격히 감소하는 모습을 나타냈으나, 다시금 서서히 증가하고 있음
- 유기 TYPE의 출원은 2009년까지 년 5건 미만으로 출원이 미미하였으나, 2009년을 기점으로 년 10건 정도의 출원을 꾸준히 이어오고 있음
- 공융과 무기 TYPE의 출원은 년 최대 2건 정도의 매우 적은 출원을 나타내고 있음

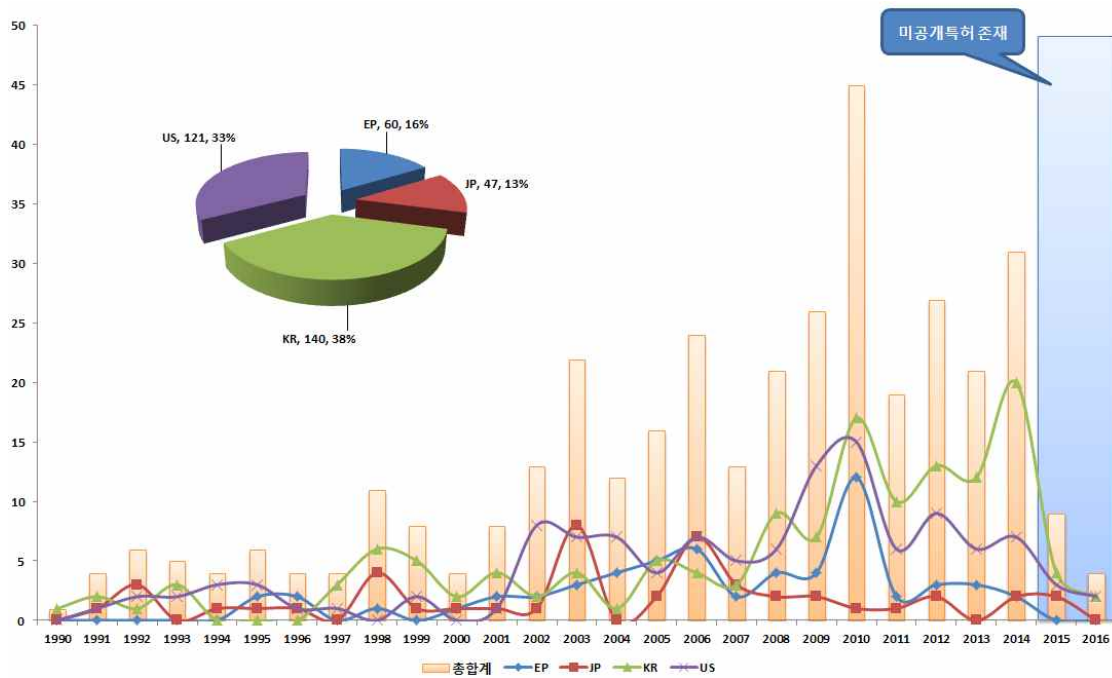


그림 75. PCM 기술의 국가별 출원동향

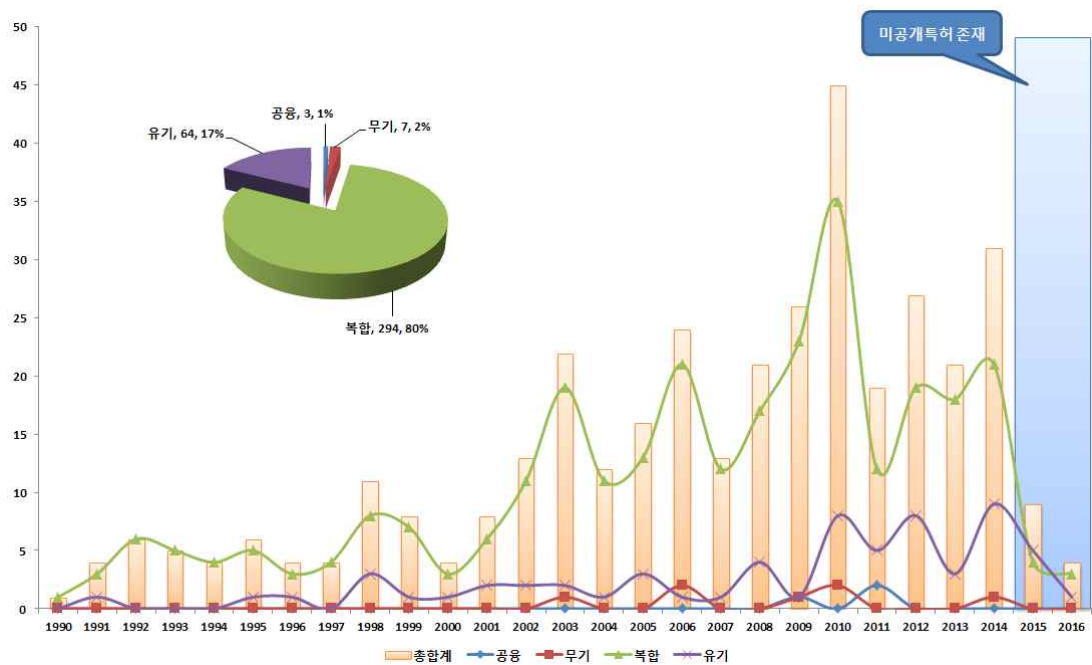


그림 76. PCM 기술의 PCM TYPE별 출원동향

○ 각 국가에서 복합 TYPE의 출원이 강세를 나타내고 있음

- 한국의 경우 복합 TYPE과 유기 TYPE에 의한 출원만 진행되는 것으로 나타나며, 그중 복합 TYPE 기술의 출원이 70%를 차지하고 있음
- 미국의 경우 복합 TYPE 기술의 출원 전체의 84%를 차지하고 있는 것으로 나타나며, 다음으로 유기 TYPE 11%, 무기 TYPE 3%, 공유 TYPE 2%로 나타남
- 유럽의 경우도 복합 TYPE의 출원이 전체의 95%를 차지하고 있는 것으로 나타나며, 다음으로 유기 TYPE 3%, 공유 TYPE 2%로 나타남
- 일본의 경우 복합 TYPE의 출원이 79%를 나타내고 있으며, 다음으로 유기 TYPE 15%, 무기 TYPE 6%의 순으로 나타남

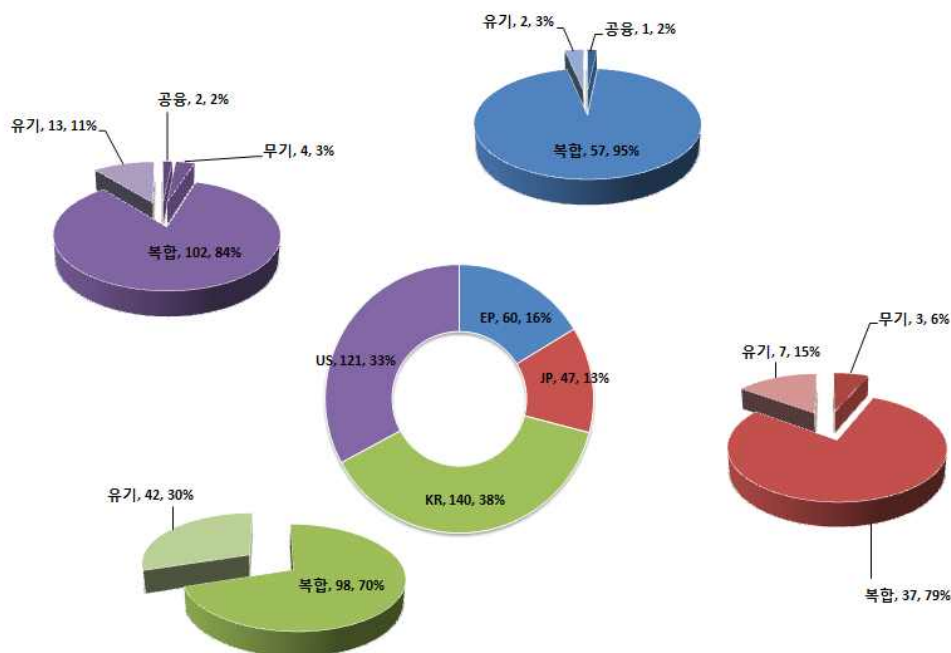


그림 77. PCM 기술의 PCM TYPE별 출원동향

(3) PCM 기술의 기술별 출원동향

○ 건축관련 특허를 제외한 세부 기술별 출원동향을 분석하였음

○ PCM 캡슐 관련 기술이 전체의 77%를 차지하고 있는 것으로 나타남

○ PCM관련 세부 기술들은 년 10건 미만의 출원을 나타내고 있음

- PCM 캡슐 관련 기술은 년평균 5건 정도로 소폭의 등락을 반복하고 있는 것으로 나타남
- PCM 주입 관련 기술은 2010년 5건의 최대치를 나타낸 후 출원이 이루어지지 않고 있는 것으로 나타남

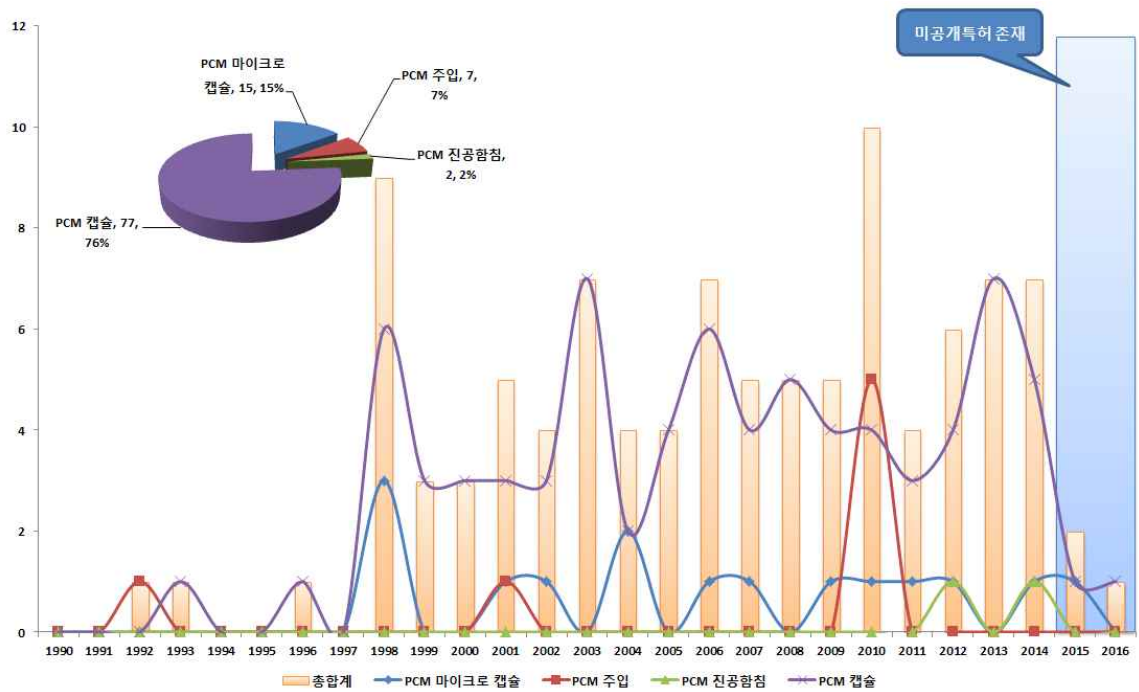


그림 78. PCM 기술의 기술별 출원동향

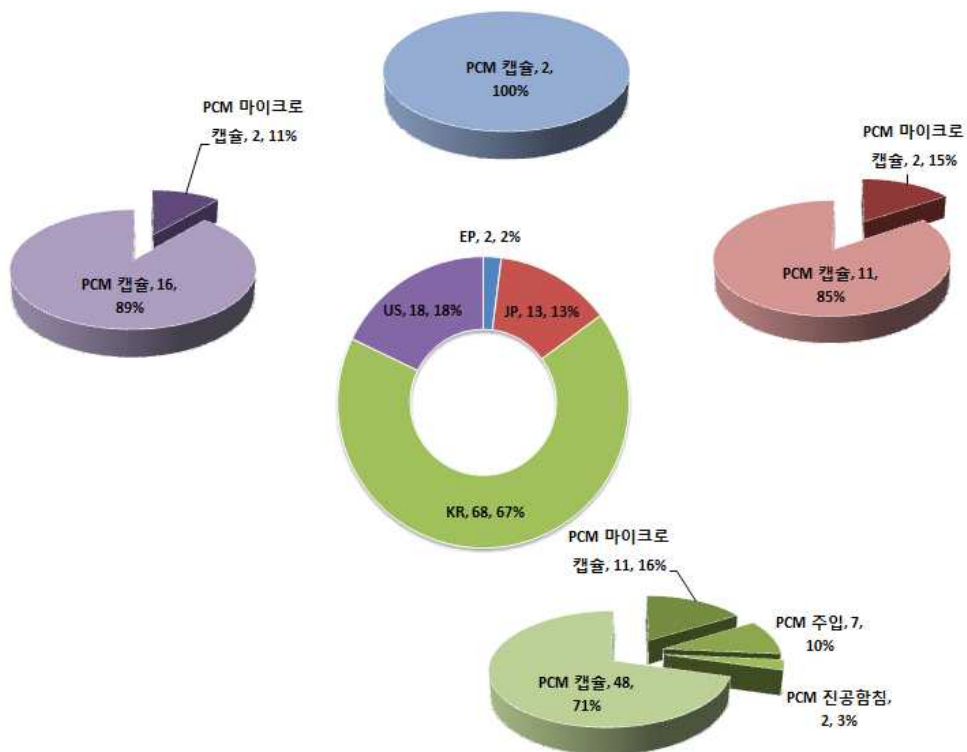


그림 79. PCM 기술의 세부 기술별 출원동향

- 건축관련 특허를 제외한 세부 기술별 출원동향을 분석하였음
- PCM 캡슐 관련 기술이 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타남
 - 한국의 경우 전 분야에서 출원이 진행되고 있으나, PCM캡슐 분야의 출원이 전체의 71%를 차지하고 있는 것으로 나타남
 - 미국의 경우 캡슐기술과 마이크로 캡슐 기술의 연구가 진행되고 있는 것으로 나타나며, 캡슐기술이 전체의 89%를 차지하고 있는 것으로 나타남
 - 유럽의 경우는 타국가에 비하여 세부 기술별 출원이 미미하며, 캡슐기술 2건만이 나타났음
 - 일본의 경우도 미국과 동일하게 캡슐기술과 마이크로 캡슐 기술의 연구가 진행되고 있는 것으로 나타나며, 캡슐기술이 전체의 85%를 차지하고 있는 것으로 나타남

(4) PCM 기술의 주요 출원인 분석

- 본 분석은 PCM 기술에 대하여 국가별 주요 출원인을 도시함으로써, 국가별 PCM 기술의 주요 출원인 분석뿐만 아니라, 외국 국적의 출원인의 동향을 고찰 할 수 있도록 함
- PCM 기술의 주요출원인 TOP 11을 살펴보면 미국의 OUTLAST TECHNOLOGIES가 36건으로 가장 높은 출원을 나타내고 있으며, 다음으로 CERTAIN TEED CORP, UNIV DAYTON, VKR HOLDING A/S등의 순으로 나타남
- 한국의 연세대학교, 한국에너지기술연구원, 엘지하우시스, 한국건설기술연구원도 주요출원인 TOP 11에 포진하고 있는 것으로 나타남

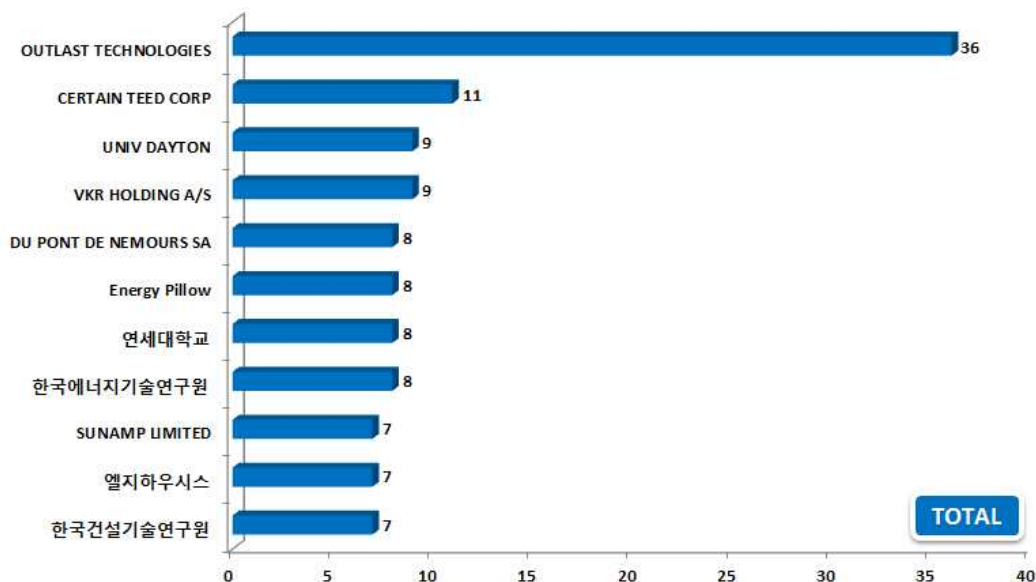


그림 80. PCM 기술의 주요 출원인

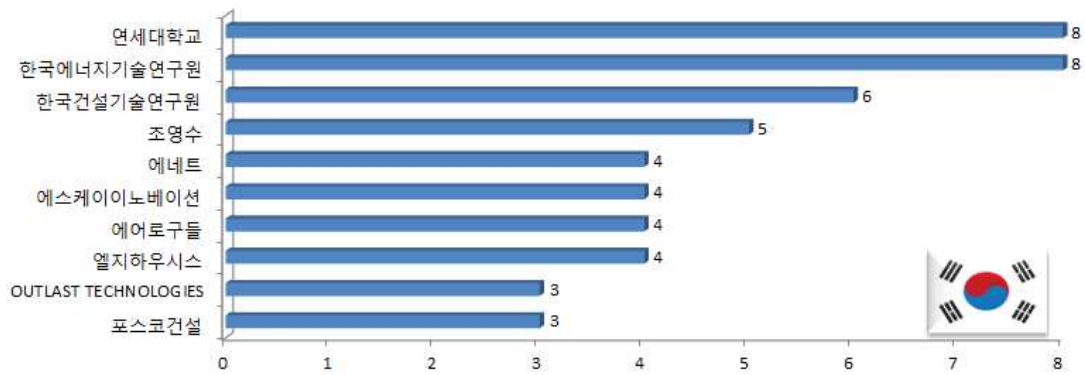


그림 81. PCM 기술의 한국 주요 출원인

- 한국의 PCM 기술의 경우 연세대학교 및 한국에너지기술연구원이 8건으로 가장 많은 출원을 나타내고 있으며, 다음으로 한국건설기술연구원 등이 있음

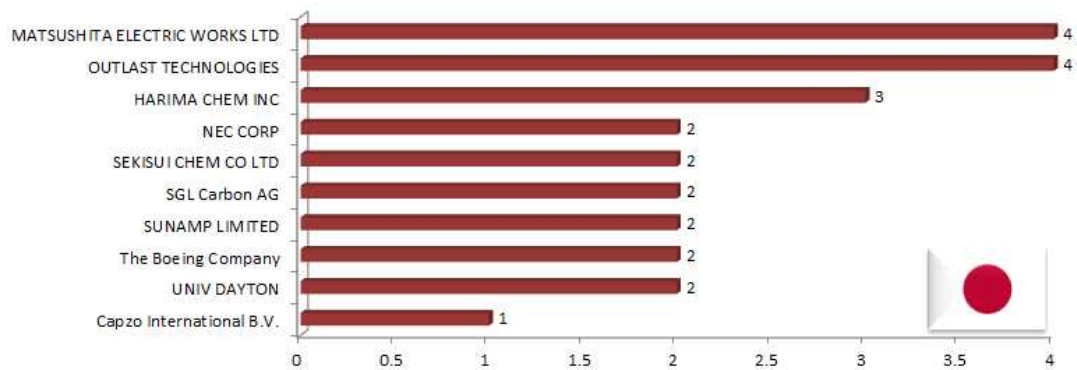


그림 82. PCM 기술의 일본 주요 출원인

- 일본의 PCM 기술의 경우 MATSUSHITA ELECTRIC과 OUTLAST TECHNOLOGIES가 각 4건의 출원을 나타내고 있으며, 다음으로 HARIMA CHEM, NEC CORP 등으로 나타남

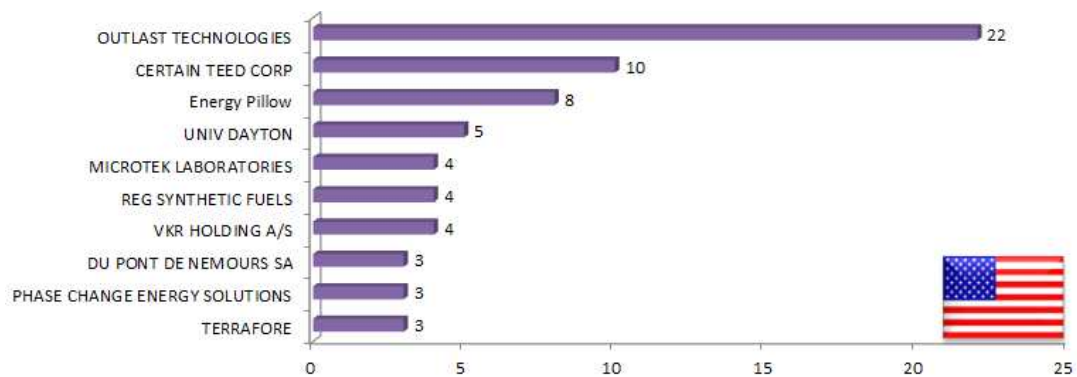


그림 83. PCM 기술의 미국 주요 출원인

- 미국의 PCM 기술의 경우 OUTLAST TECHNOLOGIES가 22건으로 가장 많은 출원을 나타내고 있으며, 다음으로 CERTAIN TEED CORP, Energy Pillow 등이 랭크되어 있음

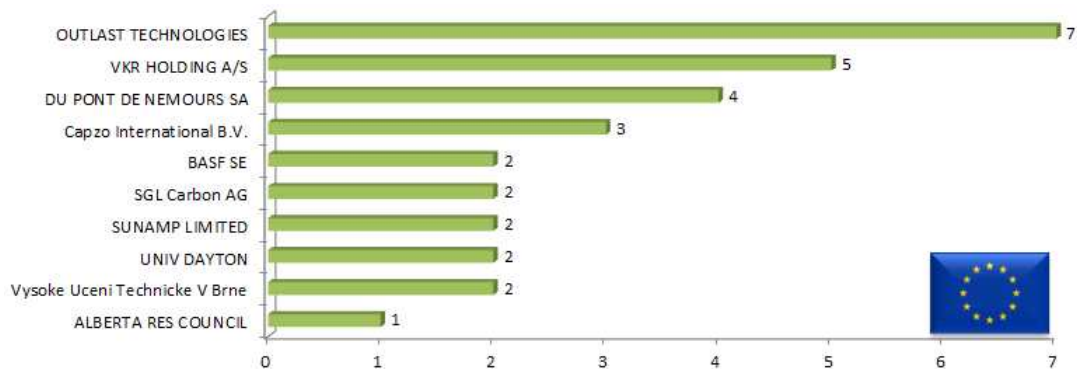


그림 84. PCM 기술의 유럽 주요 출원인

- 유럽의 PCM 기술의 경우 OUTLAST TECHNOLOGIES 7건으로 가장 많은 출원을 나타내고 있으며, 다음으로 VKR HOLDING, DU PONT, Capzo International등이 랭크되어 있음

(5) PCM 기술의 주요 출원인별 기술분석

- 본 분석은 PCM 기술에 대하여 주요 출원인의 PCM TYPE 출원동향을 도시함으로써, 각 주요 출원인의 주요 관심 분야에 대하여 고찰 할 수 있도록 함
- 복합 TYPE 기술의 경우 OUTLAST TECHNOLOGIES가 32건을 가장 많은 출원을 하였으며, 다음으로 CERTAIN TEED 11건, VKR HOLDING와 조영수가 각 10건, 연세대학교가 9건 등으로 나타남
- 유기 TYPE 기술의 경우 한국에너지기술연구원이 6건으로 가장 높은 출원을 보이고 있으며, 다음으로 OUTLAST TECHNOLOGIES 5건, 연세대학교와 에네트가 각 4건, 엘지하우시스 3건 등으로 나타남

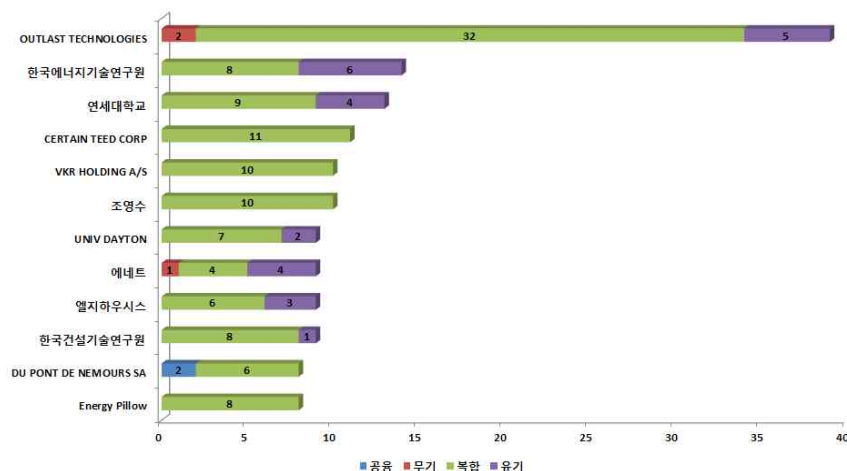


그림 85. PCM 기술의 주요 출원인 관심분야

- PCM 건축관련 기술의 경우 OUTLAST TECHNOLOGIES가 가장 많은 출원을 나타내고 있으며, 그 중 복합 TYPE의 기술이 30건을 차지하고 있음

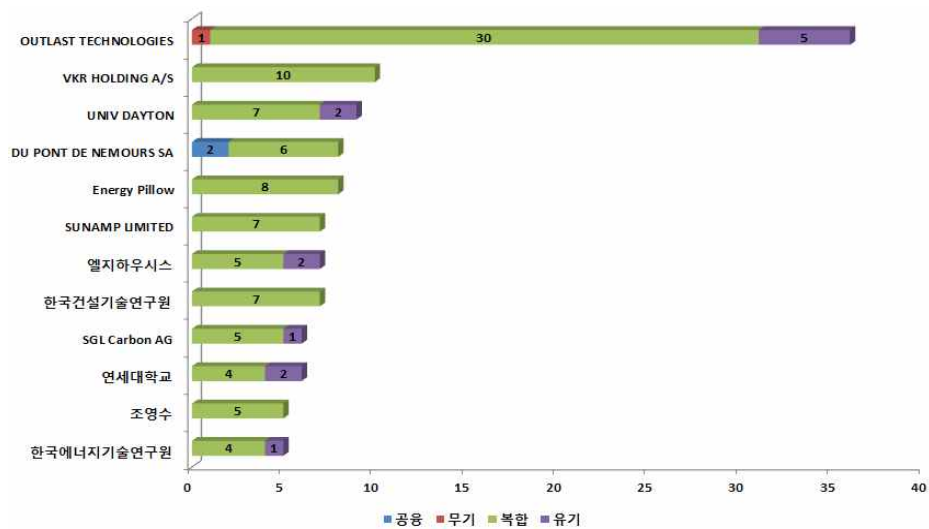


그림 86. 건축관련 기술의 주요 출원인 관심분야

- PCM 마이크로 캡슐 기술의 경우 한국에너지기술연구원이 2건으로 가장 많은 출원을 하였음

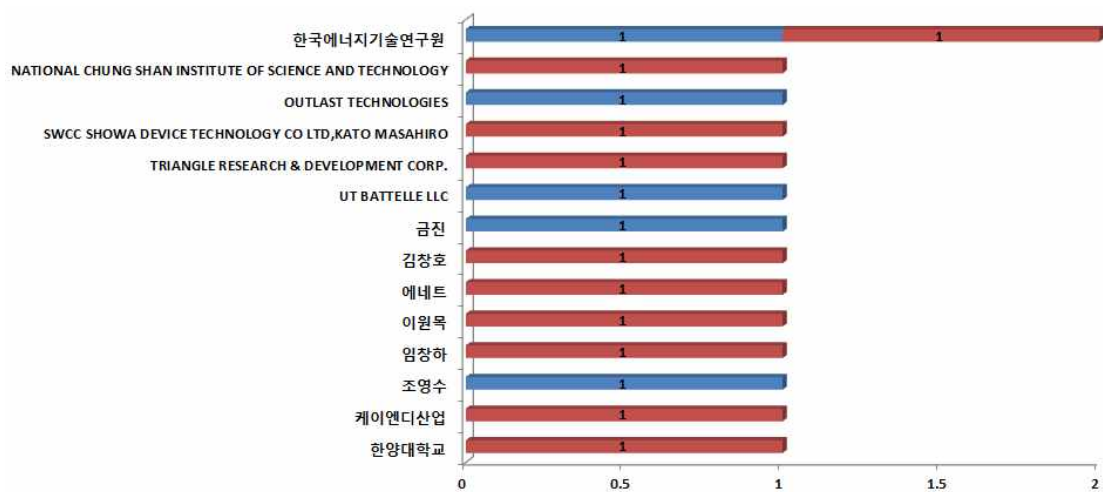


그림 87. PCM 마이크로 캡슐 기술의 주요 출원인 관심분야

- PCM 주입 관련 기술은 모두 한국 출원인에 의한 것으로 나타났으며, 그 중 개인 출원인인 조영수씨가 3건으로 가장 많은 출원을 하였음

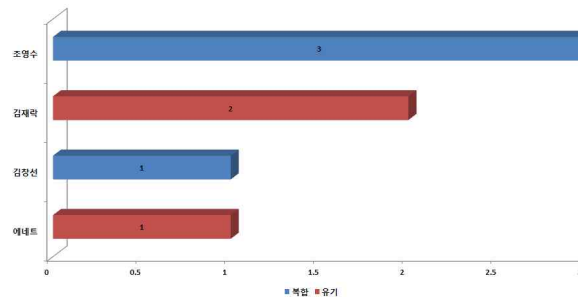


그림 88. PCM 주입 관련 기술의 주요 출원인 관심분야

- PCM 진공함침 기술의 경우 롯데건설과 숭실대학교에서 각 1건씩을 출원한 것으로 나타남

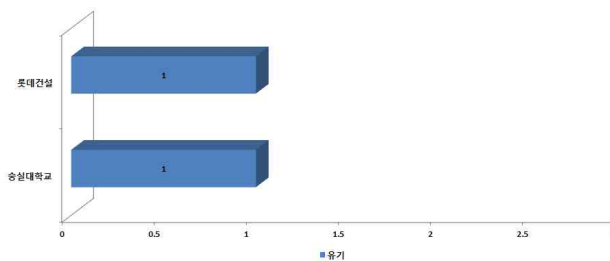


그림 89. PCM 진공함침 기술의 주요 출원인 관심분야

- PCM 캡슐기술의 경우 CERTAIN TEED사가 유기 TYPE 캡슐기술 7건을 출원하였으며, 연세대학교는 유기 TYPE 5건, 복합 TYPE 2건을 출원하였고, 한국에너지기술연구원은 유기 TYPE 3건, 복합 TYPE 4건을 출원하여 가장 많은 출원을 하였음

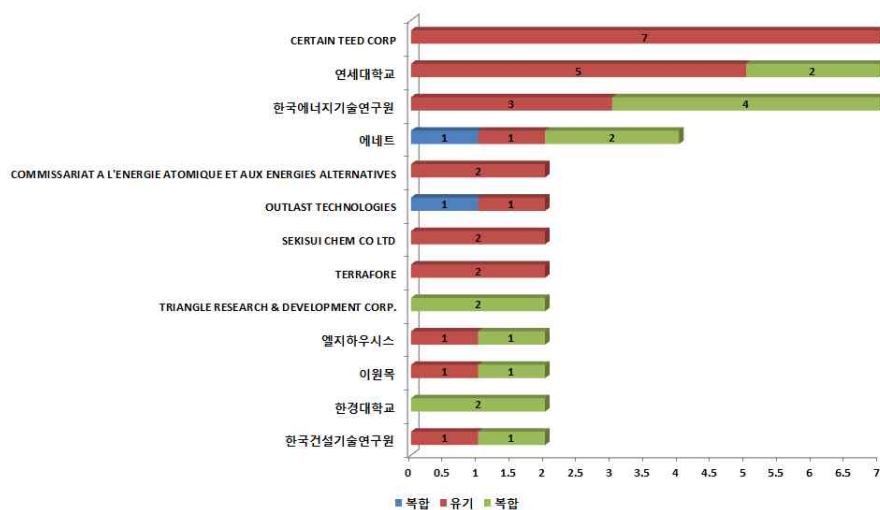


그림 90. PCM 캡슐 기술의 주요 출원인 관심분야

- 대부분의 국가에서 PCM 건축관련 기술 중 복합 TYPE 기술에 중점을 두고 있는 것으로 나타나며, PCM주입 기술 및 PCM 진공함침 기술의 경우 한국에서만 연구가 진행되어 있는 것으로 나타남
- PCM 캡슐 기술의 경우 한국은 복합 TYPE과 유기 TYPE 기술이 고르게 개발되고 있는 것으로 나타나며, 타 국가의 경우 복합 TYPE에 주력을 하고 있는 것으로 나타남

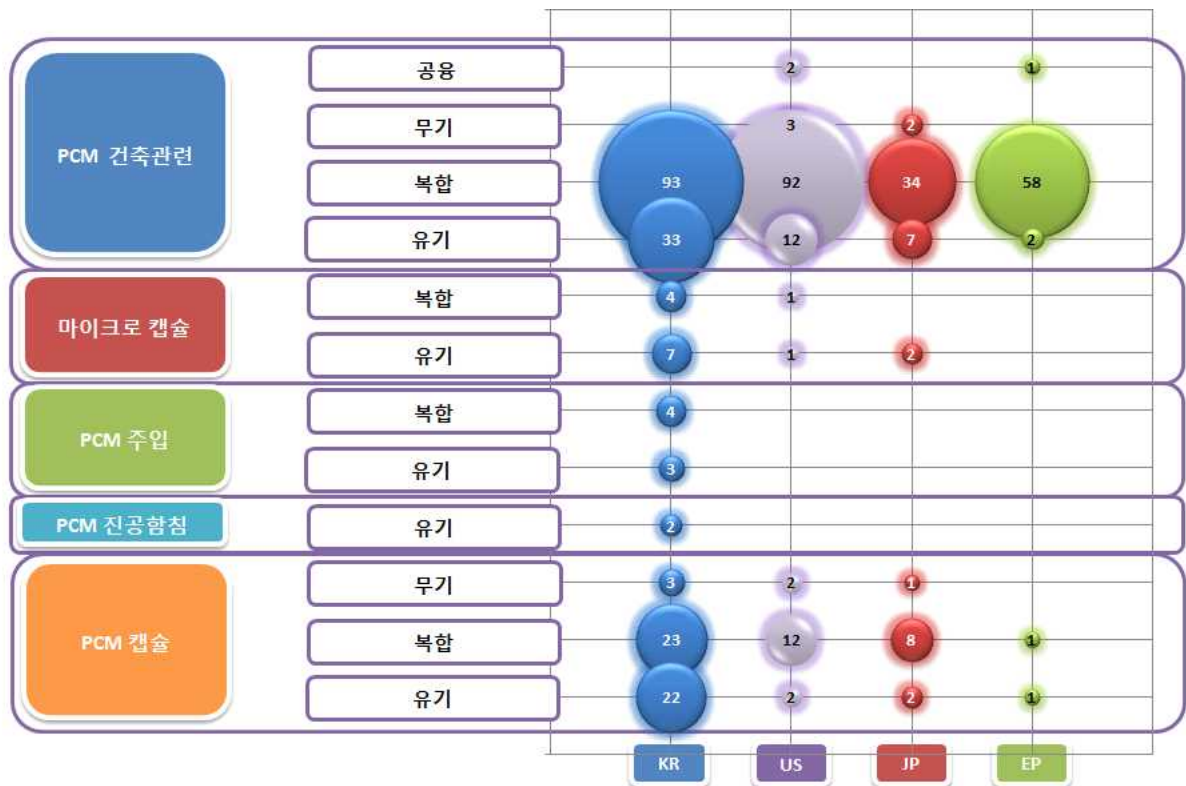


그림 91. PCM 캡슐 기술의 국가별 주력 분야

다. PCM 기술수명 주기 분석

(1) 기술수명 주기 해석 기준



그림 92. 기술수명 주기 해석 기준

- 각 출원구간으로 구분하여 출원건수(특허건수)와 출원인수(특허권자수)를 2차원 버블차트로 구현한 그래프임 (버블의 크기는 출원인수(특허권자수)임)
- 출원건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당기술분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함
- 태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계이며, 성숙기 단계는 출원건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장진입자들이 빠져나가는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원인 뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음. 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음

(2) PCM 기술 기술수명 주기

- 본 그래프는 PCM 기술 분야의 전체 및 해당 국가의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음. 각 구간은 1구간(1990~1994년), 2구간(1995~1999년), 3구간(2000~2004년), 4구간(2005~2009년), 5구간(2010~2014년)으로 나누었음
- PCM 기술 분야는 출원건수 및 출원인수가 지속적으로 증가하고 있는 발전기 상태에 있는 것으로 판단됨
 - 한국의 경우 3구간인 2000~2004년을 지나면서 급격히 발전하고 있는 것으로 나타남

- 미국의 기술초기 출원인수가 소폭 감소하였으나, 현재까지 꾸준한 발전기에 있는 것으로 나타남
- 유럽의 경우는 기술의 출원이 타 국가에 비하여 늦은 것으로 나타나며, 3구간과 4구간 사이에 출원인과 출원건수가 급격히 증가하였으나, 5구간에 들어서며 증가폭이 낮아진 것으로 나타남
- 일본의 경우 4구간인 2005~2009년 까지 꾸준히 증가하였으나, 5구간인 2010~2014년에 들어서며 출원인과 출원건수가 급격히 감소하는 퇴조기 단계에 있는 것으로 나타남

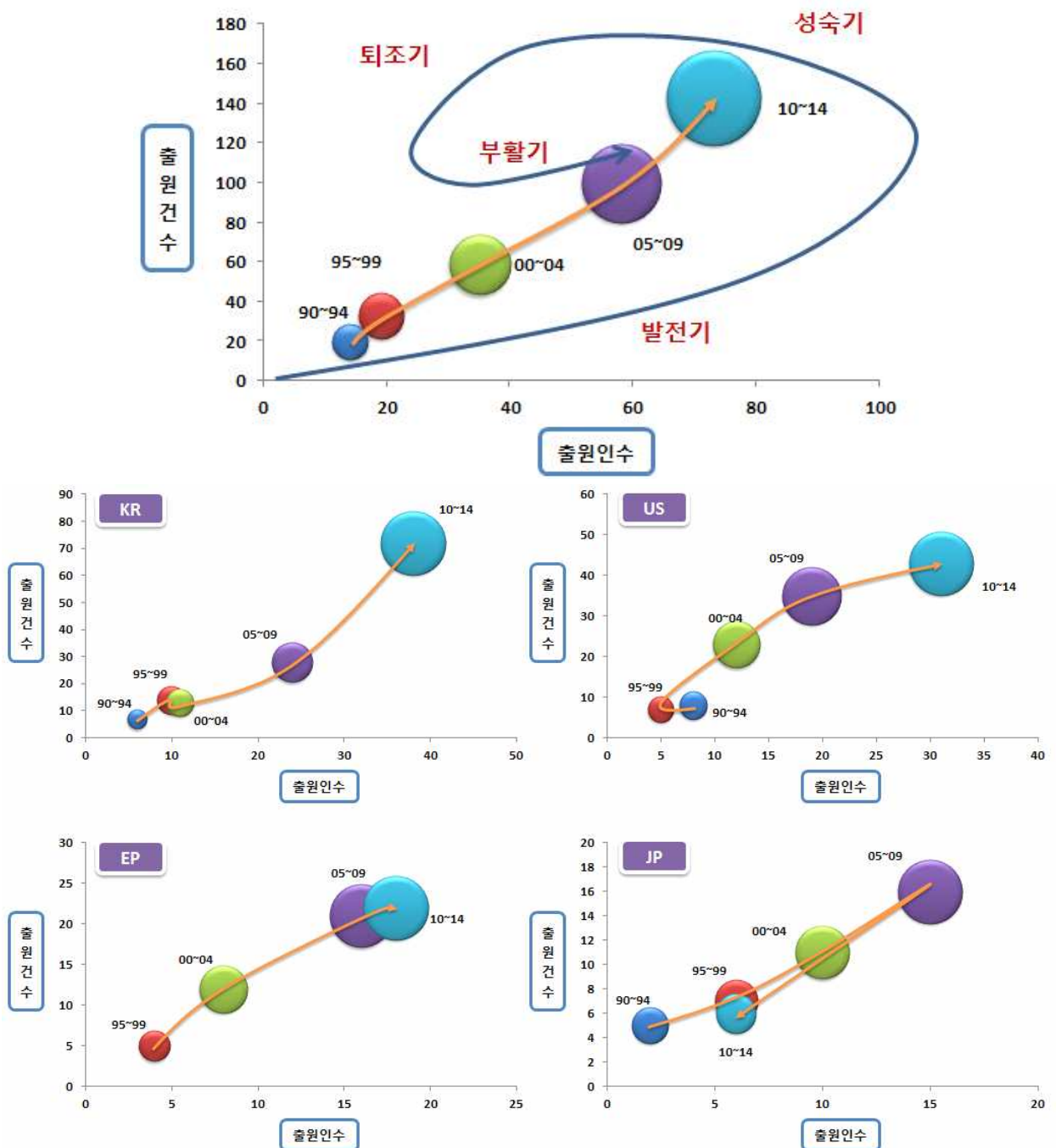


그림 93. PCM 기술의 국가별 기술수명 주기도

(3) 피인용지수(CPP) 및 시장확보지수(PFS)의 상관 분석

- 본 분석은 기술 분석 데이터가 제공되는 미국 등록특허만을 대상으로 분석하였음
 - 패밀리 특허 분석을 통하여 시장확보력을, 피인용 지수 분석을 통하여 기술력을 파악할 수 있음

피인용도지수(CPP) = **출원인국적의 피인용수/출원인국적의 특허건수**

출원된 특허를 Family Patent라고 하는데, Family Patent의 비교를 통해서 각 국가의 시장 확보 정도를 살펴 볼 수 있음. 시장확보지수가 큰 값을 가지면 특정 IP포트폴리오에 포함된 특허가 다양한 국가에 걸쳐 기술을 보호하려는 특징이 있음을 알 수 있음.

높으면 원천 기술일 가능성이 크고, 특허 침해모니터링이 가능하며 기술이전 및 분쟁예측에 사용 가능함. 즉, 피인용지수가 높으면 기술력이 높은 것으로 나타남

시장확보지수(PFS) = **출원인국적의 평균 패밀리수/전체 평균 패밀리 특허수**

피인용도지수(CPP) 및 시장확보지수(PFS)를 2차원적으로 상관분석하면 어떤 출원인(국가)가 기술력 위주의 IP경영을 하는지, 아니면 시장 확보 위주의 IP경영을 하는지를 손쉽게 확인할 수 있음

- PCM 기술의 기업별 상관분석은 다음의 그림에 도시된 바와 같음

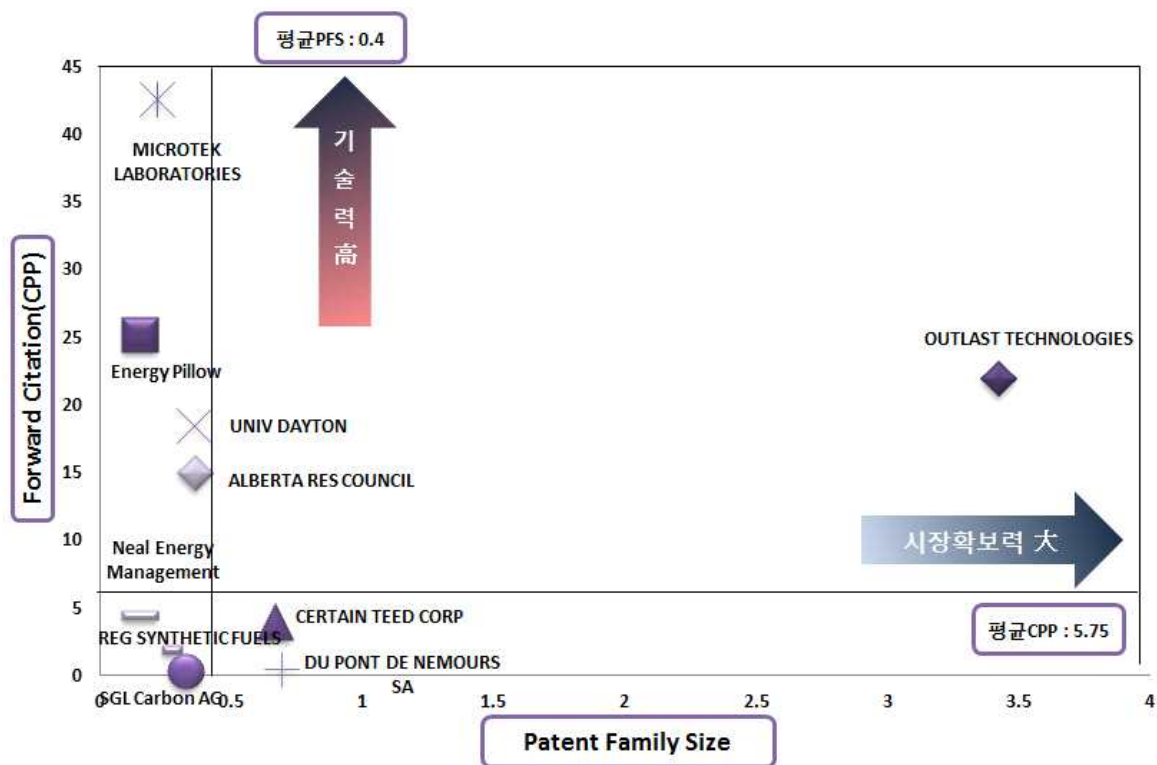


그림 94. PCM 기술의 기업별 지수 분석

- 미국의 OUTLAST TECHNOLOGIES가 1사분면에 위치하여 기술력 및 시장확보력을 모두 갖춘 기업으로 나타남
- 기술력은 관련 특허를 타 특허에서 인용한 횟수를 통하여 파악할 수 있으며, MICROTEK LABORATORIES가 가장 높은 것으로 나타나며, Energy Pillow, UNIV DAYTON, ALBERTA RES COUNCIL 등이 높은 것으로 나타나나, 시장확보력은 낮은 것으로 나타남

- 시장확보력은 관련 특허의 패밀리 특허 개수를 통하여 파악할 수 있으며, 미국의 ALCOA사가 가장 높은 것으로 나타남
- 한국의 기업 및 연구 기관들은 출원은 높으나 특허의 해외출원이 미미하여 기술력 및 시장확보력이 낮은 것으로 나타남

라. 심층분석

(1) 텍스트 마이닝을 통한 시각화

- 상술한 바와 같이, 차량 경량화 소재 기술 특허 중 368건을 대상으로 텍스트 마이닝을 수행
- 텍스트 마이닝 대상 미국, 한국, 유럽 및 일본특허 중 영문 요약서가 있는 368건의 대상으로 수행
- 368건의 특허를 텍스트 마이닝 후, 밀도맵으로 시각화 한 결과는 다음과 같음
⇒ 최초 3974개의 키워드를 정리하여 최종적으로 415개의 기술 키워드를 이용하여 시각화 함

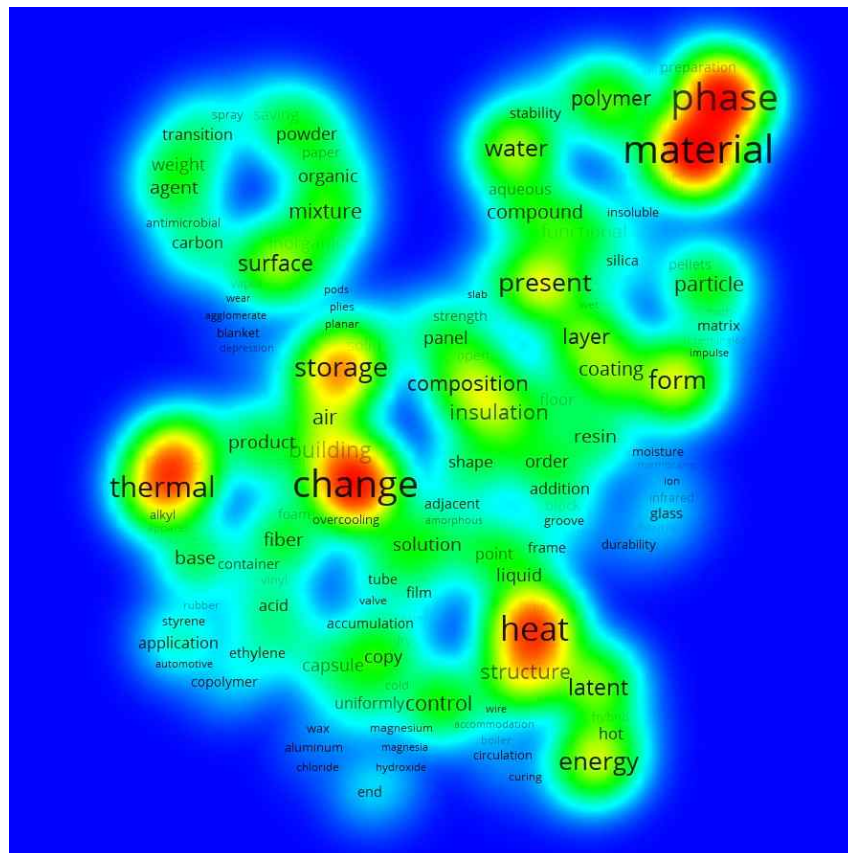


그림 95. PCM 기술의 주요 키워드 밀도맵

- 상기 키워드 밀도맵을 고찰해 보면 phase, material, change, heat, thermal, latent, storage, polymer, compound, energy 등의 키워드가 출현 빈도가 높음을 알 수 있음

마. PCM 건축적용관련 유사특허동향

- 특허청 자료 및 국내외 특허출원과 관련한 연구기술을 분석한 결과, 2016년 기준으로 KIPRIS로 검색되는 PCM 관련 특허는 국내 3,051건, 국외 1,337,398건으로 확인됨
 - 국외의 경우, 전기소재, 전자정보, 저온저장시스템, 섬유, 냉동탑차, 이차전지, 열제어시스템 및 축열 시스템과 같은 다양한 산업 및 분야에서 관련 연구가 수행중인 것으로 분석됨
 - PCM 건축분야 적용에 대한 특허는 크게 PCM 가공 및 원천기술과 건축시스템 적용 그리고 건축재료 적용으로 나눌 수 있음
- 본 기획과제는 PCM 소재에 대한 연구에서부터 건축적용과 이를 검증하는 PCM 건축 적용과 관련하여 전반적인 연구를 수행하고자 함
 - 추후 PCM 건축적용과 관련된 연구를 수행하기 위하여 관련된 특허동향을 살펴보았으며, 원천기술, 건축시스템 및 건축재료 적용에 따른 대표적인 PCM 특허는 아래의 표에 나타내었음
- PCM 건축관련 기술개발 및 특허출원 건수는 국외 동향에 따라 지속적으로 늘어나고 있는 추세이나, 아직 등록된 기술 및 특허 수가 많지 않아 국내 적용을 위한 기술 개발 수준이 미미한 것을 보임
 - 본 기획과제를 통해 도출된 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용에 대한 연구를 수행함으로써 더 많은 요소기술이 도출될 것으로 전망됨

표 24. PCM 건축적용을 위한 원천기술관련 특허동향

특허명	출원인	출원번호	내용 요약
브로민화스트론튬 상변화물질	썬앰프 리미티드	10-2016-7007010	약 76 °C내지 88 °C의 온도범위에서 열을 비축하는데 적합한 브로민화스트론튬과 금속 할라이드를 포함하는 상변화물질
상변화물질의 제조방법	한국식품연구원	10-2007-0048717	유화 콜로이드와 전처리된 고분자를 반응시켜 마이크로캡슐 슬러리 형태의 상변화물질을 제조하여 0~15°C에서 보냉 온도특성을 갖도록 함
다중 코어 형태의 상변화물질을 포함하는 잠열축열캡슐의 제조방법	학교법인 연세대학교	10-2003-0088712	잠열축열캡슐의 외벽을 이루고 있는 고분자 물질의 일부가 손상되더라도 내부의 상변화물질의 유출을 최소화하여 상기 상변화물질이 특정온도에서 상변화됨으로써 열적 성능을 발현할 수 있도록 하고, 과냉각 현상을 방지
진공함침 공정에 의해 캡슐화된 잠열축열재 및 그 제조방법	롯데건설(주), 에스피엠(주)	10-2014-0107423	유기화합물을 상변화 물질로 선택하고 이를 무기질 다공성 재료 또는 다공성 섬유상 재료에 진공함침 시켜 온도 변화에 의해서도 상변화물질의 상분리 문제가 발생하지 않도록 하여 잠열축열재로 사용할 때, 상이 안정한 상태로 존재할 수 있도록 제조하여 우수한 잠열 축열 특성을 갖도록 한 진공함침 공정에 의해 캡슐화된 잠열축열재 및 그 제조방법
높은 엔탈피를 갖는 잠열재 조성물(0 °C) 및 이의 제조방법	한국식품연구원	10-2014-0154599	높은 엔탈피를 갖는 잠열재 조성물 및 이의 제조방법에 관한 것으로 서로 다른 평균입경을 갖는 상변화마이크로캡슐 입자가 혼합됨으로써, 비교적 낮은 온도에서 수행된 중합반응 및 높은 밀도에 의하여 우수한 엔탈피를 보이며, 0 °C를 장기간 유지
파라핀계 상변화물질로 충전된 축열재 파이프 및 이를 이용한 온도유지방법	라성에너지(주)	10-2014-0173213	PCM이 제올라이트 등 다공성 입자의 세공경에 충전하여 시멘트 등에 코팅하여 내열성 축열재를 개발 및 온도유지방법
파라핀계 상변화물질을 이용한 내열성 축열재 및 이의 제조방법	라성에너지(주)	10-2014-0154393	파라핀계 상변화물질을 이용한 열전도성이 우수한 내열성 축열재 및 이의 제조방법
진공함침법을 이용한 상안정된 상변화 물질 및 이의 제조방법	송실대학교 산학협력단	10-2012-0131861	상안정된 상변화 물질은 진공 함침법에 필터링 과정을 부가함으로써, 기존의 진공 함침법에 비해 상변화 물질을 최대한 함침

표 25. PCM 건축시스템 적용 관련 특허동향

특허명	출원인	출원번호	내용 요약
하이브리드 상변화물질을 구비한 건축물의 벽체 구조 및 이의 시공 방법	한양대 에리카 산학협력단	10-2014-0127961	하이브리드 상변화물질을 구비한 건축물의 벽체 구조 및 이의 시공 방법에 관한 것
냉냉 및 축열용 형태안정성 상변화물질 팩	주식회사 탭스인터내셔널	10-2014-0099182	냉냉 및 축열용 형태안정성 상변화물질 팩은 백신과 같은 제품 보관온도가 2 내지 8 ℃로 요구되는 온도민감성 의약품 운송을 위한 패시브 콜드체인 단열포장시스템의 구성요소인 온도조절물질로서 사용될 수 있으며, 콜드체인 운송, 보관 및 취급 시 상변화물질 팩의 누출 문제점을 해결
상변화물질을 이용하는 냉축열식 냉방장치와 그 냉방방법	개인(박희태)	10-2001-0044456	상변화물질을 통하여 온도차에 따른 잠열을 이용하여 부가적인 비용의 발생없이 지속적인 냉방이 가능하게 할 수 있도록 하는 상변화물질을 이용하는 냉축열식 냉방장치와 그 냉방방법
축열 시스템용 상변화물질	경희대학교 산학협력단	10-2012-0017896	축열 시스템에 사용되는 상변화물질의 제조방법에 관한 것으로, 탄소나노튜브 나노입자를 첨가하여 열전도도를 향상시킨 상변화물질을 제공
상변화물질이 충전된 복합패널	주식회사 탭스인터내셔널	10-2013-0025374	상변화물질이 충전된 복합패널에 관한 것으로, 2 내지 100 층 모두에 상변화물질이 충전(充填)되거나, 하나의 바깥층 및 이에 인접한 수개의 층이 기체 또는 액체로 충전되고 나머지 층 모두에 상변화물질이 충전된 것을 특징으로 하는 복합패널
상변화물질을 구비하는 커튼월	한국건설기술연구원	10-2013-0058424	상변화물질을 구비하는 커튼월은 겨울철 실외 공간과 실내 공간의 온도차에 의해 창호 또는 커튼월에서 발생할 수 있는 결로 현상을 주위 온도에 따라 상변화하여 열을 저장하거나 열을 방출하는 상변화물질을 이용하여 방지
상변화물질을 구비하는 결로방지장치, 창호 및 커튼월	한국건설기술연구원	10-2010-0119693	상변화물질을 구비하는 결로방지장치, 창호 및 커튼월은 겨울철 실외 공간과 실내 공간의 온도차에 의해 창호 또는 커튼월에서 발생할 수 있는 결로 현상을 주위 온도에 따라 상태 변화하여 열을 저장하거나 열을 방출하는 상변화물질을 이용하여 방지
상변화물질이 표면이 집중화된 경량 벽체 및 그의 제조방법	대림산업 주식회사	10-2008-0107498	경량벽체의 양측 또는 일면에만 상변화물질을 혼합한 경량콘크리트 패널이 위치되고, 내부에는 단열재를 충전한 구조로 제조함으로써 경량벽체의 열용량을 콘크리트 벽체의 수준으로 증대시키고, 자재의 보관/운반 및 시공시에 상변화 물질이 손상 또는 탈리되는 것을 방지한 상변화물질이 표면에 집중화된 경량벽체 및 그의 제조
에너지 절약형 열병합 발전 시스템	지에스건설 주식회사, (주)이에스	10-2007-0111807	잠열회수식 축열탱크에 의한 축열 효율 향상 등 미활용 에너지의 유효이용, 경제적 운전에 따른 종합 열효율향상으로 에너지 절약효과가 큰 에너지 절약형 열병합 발전 시스템
자연공조지열시스템	개인(이두상)	1020040090775	저장탱크 내부에 상변화물질(PCM)을 이용하여, 에너지 절약, 피크제어 및 냉동기 고장시 비상용으로 사용할 수 있으며, 실외기(응축기)를 땅속으로 지관(HDPE 파이프)를 이용하여 열교환하여, 소음 및 환경적인 것을 해소하는 자연공조지열시스템

표 26. PCM 건축재료 적용관련 특허동향

특허명	출원인	출원번호	내용 요약
상변화물질이 혼입된 콘크리트제조방법	이화여대 산학협력단	10-2014-0076708	상변화물질이 혼입된 콘크리트 제조방법
콘크리트용 상변화 물질 및 그 제조방법	지에스건설 주식회사	10-2005-0108716	콘크리트의 대량타설시 발생하는 발열을 억제하기 위한 방법으로 빠른 초기강도를 확보하여 공사기간을 단축하고 콘크리트의 내부 온도를 낮게 하여 발열에 의한 균열 등을 억제하는 콘크리트용 상변화 물질 및 그 제조방법을 제공
고강도 콘크리트의 폭열을 방지하기 위한 상변화 물질 함유 내화성 보드용 조성물	한국건설 기술연구원	10-2008-0037192	화재에 의한 고강도 콘크리트 부재 표면의 폭열을 방지하고 구조 안전성 및 내화성을 확보하기 위한 고내화성 보드용 조성물을 개시
나노 캡슐화된 상변화물질 혼성 폴리우레탄 에멀전 및 그 제조방법	한진화학 주식회사	10-2008-0118308	나노 캡슐화된 상변화물질 혼성 폴리우레탄 에멀전 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 미니 에멀전 합성법을 이용하여 제조된 나노 입자크기의 캡슐화된 상변화물질을 폴리우레탄에 혼성화시켜 상변화물질이 안정한 상태로 존재
상변화물질 및 에어로겔을 포함하는 복합재 및 이의 제조방법	알이엠텍 주식회사	10-2013-0093487	소수성 에어로겔을 포함하는 기재 및 상기 에어로겔의 공극에 내포되어 있는 상변화물질을 포함하는 복합재; 및 소수성 에어로겔을 포함하는 기재의 일면에 액상의 상변화물질을 적용하는 단계를 포함하는 복합재 제조방법
마이크로캡슐상의 상변화물질을 함유한 건설토목재료 및 그 제조방법	개인 (이원목)	10-2012-0009526	선정된 건설토목재료의 외표면에 마이크로캡슐상의 상변화물질을 부착 고정시켜 마이크로캡슐상의 상변화물질이 부착된 건설토목재료를 포함하는 2종 이상의 건설토목재료를 혼합하여 건물과 도로 및 교량 등을 건설
접착제 및 그 제조방법	송실대학교산학협력단	10-2013-0088526	열전도도, 에너지 효율 및 축열성능이 향상된 접착제 제조
축열시트, 그를 이용한 축열 지붕구조, 축열 외벽구조 및 시공방법	주식회사 미람아이에프, 삼성물산 주식회사	10-2008-0062029	축열시트, 그를 이용한 축열 지붕구조, 축열 외벽구조 및 시공방법에 관한 것으로서, 건축물의 철골보 위에 설치되는 바닥판, 바닥판 위에 설치되며 상변화물질을 포함하는 축열시트, 축열시트 위에 설치되는 단열재, 단열재 위에 설치되는 방수시트를 포함하여 구성되며, 건축물의 열용량을 높이되 상전이온도에서의 잠열축적을 통해 실내온도의 급격한 온도변화를 방지
축열 바닥재 및 그 제조 방법	한국에너지기술연구원	10-2007-0003641	상변화물질을 이용한 축열 바닥재 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 고분자 가교화법에 의해 상변화물질을 저장함으로써 출되지 않도록 하여 상변화 온도범위에서 난방열을 오랫동안 저장할 수 있도록 제조한 축열 바닥재 및 그 제조방법
축열기능을 갖는 바닥재 및 그 제조방법	(주)엘지하우시스	10-2010-0105044	바닥재에 관한 것으로 습기차단부재, 발포층, 결합력향상부재, 유리섬유층, 표면처리부재가 순차적으로 적층되고, 상기 유리섬유층에는 상변화물질이 구비되어 있는 것을 특징
에너지 절약형 축열 건자재와 그 제조방법	한국에너지기술연구원	10-2008-0071582	에너지 절약형 축열 건자재와 그 제조방법에 관한 것으로, 그 목적은 축열미립자를 축열 건자재에 혼입하여, 축열 건자재가 열저장 및 열공급 기능을 구비
상변화 물질을 이용하여 축열성이 증가된 경량 콘크리트 및 이의 제조방법	한경대학교 산학협력단	10-2014-0141689	상변화 물질을 코어로 하고, 고분자 수지를 쉘로 하는 마이크로캡슐 형태의 잠열 축열재로서, 상기 상변화 물질은 1-도데카놀이며, 상기 고분자 수지는 멜라민 수지와 포름알데히드가 축합된 고분자 수지로, 불규칙적인 3차원 공간 구조를 가지는 공간망상중합체인 것을 특징으로 하는 마이크로캡슐 형태의 잠열 축열재 및 이를 이용한 경량 콘크리트용 조성물
상변화 물질을 포함하는 축열 천연 섬유 보드	개인 (김보현)	10-2011-0132920	상변화 물질을 포함하는 축열 천연 섬유 보드에 관한 것으로서, 상변화 물질, 천연 섬유, 채움재 및 경화 접착제를 포함

☞ 시사점

- PCM 관련 국외 SCI급 논문은 지속적으로 증가하는 추세를 나타내며, 2014년에는 10,000건 이상의 논문이 발표되었음
 - 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체 나라의 절반 이상을 차지
 - 국내에서 발표된 PCM 논문은 3.45%의 매우 낮은 비율
- Building and Construction 분야의 시장은 아직 작은 규모로 형성되어 있지만 발표 논문이 가장 많은 것으로 보아 연구는 활발히 진행 중인 것으로 보임
 - PCM의 경우 에너지 저장 기술을 대표하는 재료로써 실제 인간과 밀접하게 관련이 있는 건축, 섬유 분야에서 많은 연구가 되어오고 있는 것을 확인
 - 그러나 시장규모가 작은 이유는 PCM에 대한 가격경쟁력이 확보되지 않았기 때문이라고 판단됨
 - 무기 PCM은 다른 PCM에 비해 단가가 매우 싸기 때문에 상전이현상, 과냉각현상의 단점을 극복하여 가격경쟁력 확보 측면에서 더 많은 연구가 진행되어야 할 필요가 있음
- PCM을 대량으로 주입하여 성능을 극대화한 Macro-encapsulated PCM에 대한 기술 개발 및 연구가 필요하며, PCM의 함량을 많이 적용할 수 있는 콘크리트, 석고보드, 시멘트에 PCM을 적용한 연구가 많이 진행됨
- PCM을 적용한 건축물의 에너지성능 평가는 실측을 통해서 평가하는 것도 중요하지만 건축계획단계에서 평가할 수 있게끔 에너지 평가 시뮬레이션이 동반되어야 함
 - PCM의 성능을 평가할 수 있는 대표적인 프로그램은 Energy Plus임
 - Energy Plus를 통해 PCM을 평가한 논문에서 국내에 비해 국외 SCI급 논문이 더 많은 비율을 차지하고 있으나 실제 발표 논문 건수는 24건으로 Energy Plus를 활용한 PCM의 시뮬레이션 분석이 많이 진행되고 있지 않음을 의미함
- PCM 건축관련 기술개발 및 특허출원 건수는 국외 동향에 따라 지속적으로 늘어나고 있는 추세이나, 상용화를 위한 기술개발이 이루어지지 않아 정부의 적극적인 지원하에 PCM 건축적용을 위한 실질적 연구가 수행되어야함
 - 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용에 대한 연구를 수행함으로써 더 많은 요소기술이 도출될 것으로 전망함

5절. 유사과제 분석

1. PCM 관련 정부과제 현황

- NTIS(국가과학기술지식정보)에서 유사과제를 검색하여 기존 연구과제의 연구분야, 범위 및 특징을 고찰하였음
 - 검색조건 과제명 키워드 : 상변화물질, PCM
 - 검색조건 과제년도 : 2010년 ~ 2015년

가. 부처별 PCM 관련 연구과제 현황

- 부처별 PCM 관련 정부과제 건수는 총 19 건으로 미래창조과학부 6건, 중소기업청 4건, 국토교통부 4건, 기타 부처(교육부, 농림축산식품부, 산업통산자원부) 5건으로 확인되었음



그림 96. 부처별 PCM관련 연구과제 현황

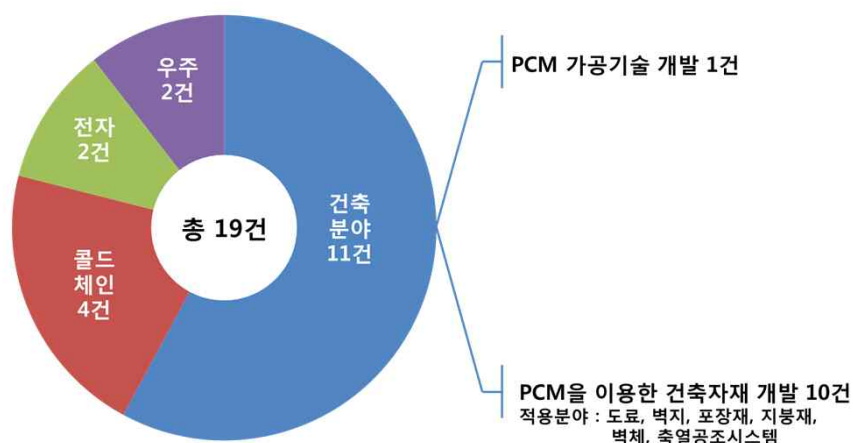


그림 97. 분야별 PCM관련 연구과제 현황

나. 분야별 PCM 관련 연구과제 현황

- PCM 관련 정부과제 19건 중 60 %인 11건이 건축분야이며 나머지는 콜드체인 4건, 기타(전자부품, 우주) 4건으로 확인 되었으며, 건축분야에서는 11건 중 1건(PCM 가공기술 개발)을 제외한 나머지 10건은 PCM을 이용한 건축자재 개발로 확인되었음

표 27. 건축분야 상변화물질(PCM)관련 연구과제 현황

부처명	사업명	과제명	연구기간	과제분류 (주관/위탁)
국토교통부	국토교통 기술촉진연구	도시열섬현상 저감을 위한 PCM(Phase Change Material) Cool Roof System의 적용기술 개발	2014.07 ~2017.07	주관
	국토교통 기술촉진연구	상안전 PCM이 들어간 축열 플레이트 개발 및 축열 성능향상 연구	2014.07 ~2017.07	위탁
	건설기술연구	상변화물질 및 이를 혼입한 건축용 도장 재료 제조	2012.06 ~2016.11	위탁
	첨단도시 개발사업	PCM을 활용한 구체축열 공조시스템 개발	2012.04 ~2015.04	주관
미래창조 과학부	신진연구자지원	상변화물질과 고흡수성폴리머를 이용한 콘크리트의 균열 저항성 및 열에너지 효율 향상 기법 연구	2015.11 ~2018.10	주관
	중견연구자지원	PCM을 활용한 구체축열 공조시스템의 최적 설계 및 제어기술	2015.05 ~2018.04	주관
	중견연구자지원	에너지저감형 SSPCM 적용 고에너지 고축열 판상형 건축자재 개발	2014.12 ~2016.10	주관
	중견연구자지원	건축물에너지 절감을 위한 Composite PCM 개발 및 적용 평가	2011.05 ~2014.04	주관
중소기업청	산학연협력 기술개발	상변화물질을 이용한 건식 온돌시스템용 축열패널 개발	2015.12 ~2016.11	주관
	중소기업 기술혁신개발	마이크로캡슐 상변화 잠열재(MPCM)을 이용한 에너지 절약형 기능성 벽지 개발	2013.06 ~2015.06	주관
교육부	기초연구 기반구축	정유산업 부산물 및 PCM을 활용한 반강성 도로 포장용 시멘트 주입재 개발에 관한 연구	2012.09 ~2013.08	주관

2. 기존 연구와의 중복성 검토

표 28. 국내 기존연구와의 중복성 검토

과제명	비교 및 차별성	
도시열섬현상 저감을 위한 PCM(Phase Change Material) Cool Roof System의 적용 기술 개발	활용/ 차별화	○ 도시열섬현상을 해결하기 위한 방안으로 PCM을 플레이트 형태로 개발하여 PCM이 지붕재로 적용가능 여부에 대한 연구지만, 실용화와 무관함
상안전 PCM이 들어간 축열 플레이트 개발 및 축열 성능향상 연구		
상변화물질 및 이를 혼입한 건축용 도장재료 제조	활용	○ PCM을 혼입한 건축용 도장재료 개발 및 실용화 연구로써, 본 과제에서는 건축용 도장재 개발 중 제조비용 절감 및 실용화에 초점
PCM을 활용한 구체축열 공조시스템 개발	차별화	○ PCM을 구조체 바닥에 적용하여 축열 성능을 높인 연구로써 아이디어 도출 수준
상변화물질과 고흡수성폴리머를 이용한 콘크리트의 균열 저항성 및 열에너지 효율 향상 기법 연구	활용	○ 콘크리트의 상변화 현상과 내부양생 효과를 통해 콘크리트의 거동을 예측한 연구로써, 본 과제에서는 PCM을 콘크리트 적용 기술에 기존 연구결과를 활용할 필요가 있음
PCM을 활용한 구체축열 공조시스템의 최적 설계 및 제어기술	활용	○ PCM을 구조체 바닥에 적용하기 위하여 중공 슬래브 구조체의 설계방법 및 공조시스템의 운전 가이드라인을 제시한 연구인 반면 본 과제에서는 PCM 시공 및 설계 기준 등을 제안하는 것을 목표
에너지저감형 SSPCM 적용 고에너지 고축열 판상형 건축자재 개발	활용 / 차별화	○ 진공함침법에 의해 개발된 SSPCM을 석고보드와 같은 판상형 건축자재로 적용하는 연구로써 본과제에서는 PCM 제조와 관련해서 제조비용 절감 및 실용화에 초점을 목표
건축물에너지 절감을 위한 Composite PCM 개발 및 적용 평가		
상변화물질을 이용한 건식 온돌시스템용 축열패널 개발	활용	○ 건식바닥온돌시스템에 축열성능을 높이기 위한 PCM적용 연구로서 연구결과를 활용할 필요가 있음
마이크로캡슐 상변화 잠열재(MPCM)을 이용한 에너지 절약형 기능성 벽지 개발	활용	○ MPCM을 실내 마감 벽지에 적용한 에너지 절약형 기능성 건축자재 개발연구로써, 본 과제에서는 기 결과를 참조하여 벽지 적용 가능 여부부터 실용화가능 여부까지 검토를 목표
정유산업 부산물 및 PCM을 활용한 반강성도로 포장용 시멘트 주입재 개발에 관한 연구	중복 없음	○ 본 과제는 시멘트 주입재개발과 무관함

☞ 시사점

- 기존 연구를 분석한 결과, 건축물 에너지 절감 및 주거공간 쾌적성을 위한 PCM 연구가 건축자재 적용가능여부 위주로 진행되고 있으나, PCM 원재료부터 가공기술 및 건축자재 적용(제품 개발-설계-시공-폐기)까지 PCM을 적용한 건축자재 전생애에 대한 연구가 부족한 상태임
- 선진국 특히 독일과 미국은 건축물 적용이 가능한 다양한 PCM의 상업화를 위한 제품 개발·시공·모니터링을 추진하고 있으며 그 중 건물에너지 효율 및 저장기술에 집중하고 있음
- 본 기획 연구 방향은 주거공간의 특정 부분 재료 개발이 아닌 건물부위별(벽/지붕/바닥) 적용 가능한 PCM관련 연구 및 이에 따른 건물특성(부하패턴, 재료)을 고려한 건축물 에너지 관리 운영 방안을 도출함으로써 기존 연구와의 중복성 및 차별성을 두고자 함

6절. 연구개발 인프라 분석

1. 연구인력 인프라

가. 세계과학기술인력 대비 한국 과학기술 연구인력현황

- 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발간하는 KISTEP 통계브리프 (K-브리프)의 2015년 제27호 ‘OECD 자료로 살펴본 세계과학기술인력 현황’ 자료에 의하면 한국은 취업자 천명당 연구원수가 OECD국가 중 6위로 높은 수준을 보임
- 취업자 천명당 연구원수(FTP: Full-time Equivalent) 세계1위는 이스라엘로 17.4명(2012년 기준), 2위는 핀란드 15.7명(2013년 기준), 3위는 덴마크 14.9명(2013년 기준) 순으로 집계되었으며 한국은 12.8명(2013년 기준)으로 조사됨

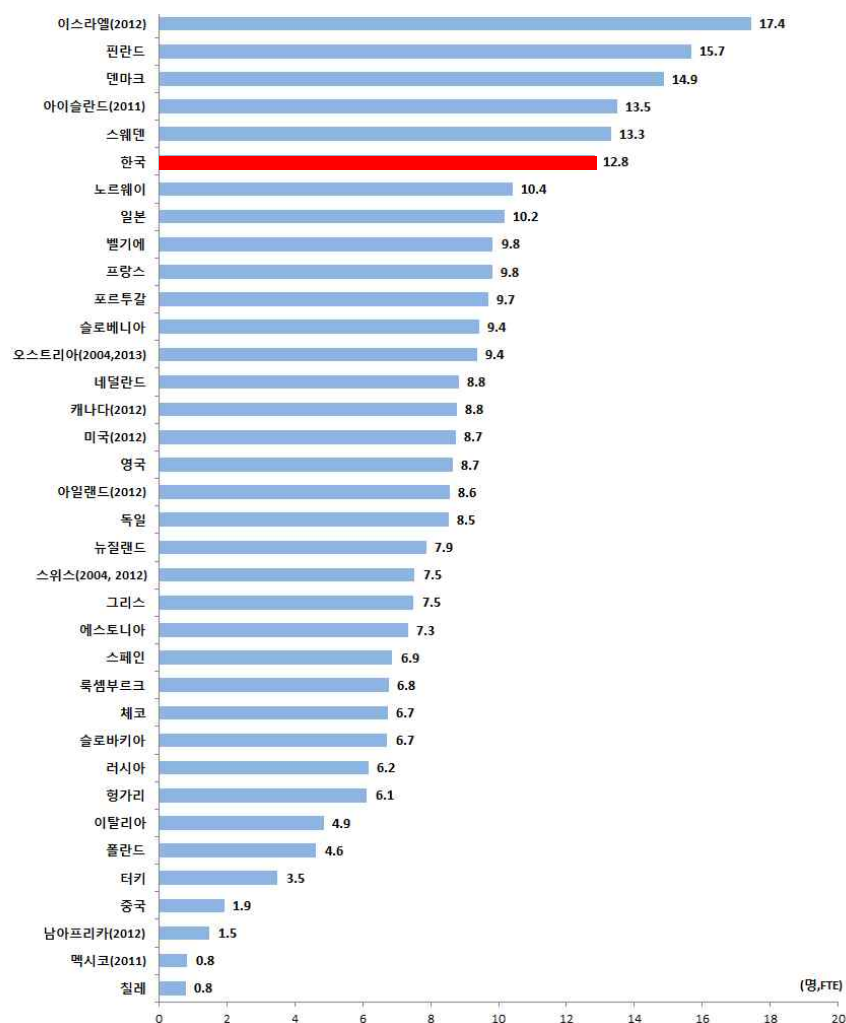


그림 98 . 취업자 천명당 연구원(FTE) 수 (2013년기준)

(출처 : 한국과학기술기획평가원, OECD자료로 살펴본 세계과학기술 인력 현황, 2015)

- 연구참여비율을 고려한 상근상당 연구원 수는 한국이 345,463명(2014년)으로 세계 6위 수준으로 집계됨
- 중국이 1,484,040명(2013년)으로 세계1위로 나타났으며 이어서 미국이 1,265,064명(2012년), 일본이 660,489명(2013년)순으로 높은 것으로 나타남
- 기타 R&D 인력을 포함한 2013년 취업자 천명당 연구인력(FTE) 수는 덴마크 (21.3명), 핀란드(21.2명) 순이며 한국은 16.0명으로 7위인 것으로 조사됨
- 우리나라의 취업자 천명당 연구인력(FTE) 수는 2003년 8.4명에서 2013년 16.0명으로 10년 동안 약 2배 증가한 것으로 조사됨

표 29. 취업자 천명당 연구인력 수 (2013년, 2003년)

(출처 : 한국과학기술기획평가원, OECD자료로 살펴본 세계과학기술인력 현황, 2015)

구분	2013년(명, FTE)			2003년(명)
	연구원 수(A)	기타 R&D 인력 수(B)	연구인력 수(A+B)	연구인력 수
덴마크	14.9	6.4	21.3	15.2
핀란드	15.7	5.5	21.2	24.2
이스라엘(2012)	17.4	3.7	21.1	N/A
아이슬란드(2011)	13.5	5.9	19.4	18.7
스웨덴	13.3	4.0	17.3	16.7
슬로베니아	9.4	7.1	16.5	7.3
한국	12.8	3.2	16.0	8.4
스위스(2012, 2004)	7.5	8.3	15.8	12.4
프랑스	9.8	5.7	15.6	13.1
오스트리아(2013, 2004)	9.4	6.1	15.4	11.2
벨기에	9.8	4.8	14.6	12.6
독일	8.5	5.8	14.3	12.1
노르웨이	10.4	3.8	14.2	12.3
네덜란드	8.8	5.3	14.2	10.8
일본	10.2	3.2	13.3	13.3
룩셈부르크	6.8	6.2	12.9	13.7
캐나다(2012)	8.8	3.8	12.5	12.3
아일랜드(2012)	8.6	3.7	12.2	8.0
체코	6.7	5.4	12.2	5.8
영국	8.7	3.4	12.1	11.2
러시아	6.2	5.4	11.6	14.7
스페인	6.9	4.5	11.3	8.3
뉴질랜드	7.9	3.1	11.0	9.5
그리스	7.5	3.3	10.8	7.1
포르투갈	9.7	1.0	10.7	5.0
이탈리아	4.9	5.5	10.4	6.7
에스토니아	7.3	2.4	9.7	6.9
헝가리	6.1	3.2	9.3	5.5
슬로바키아	6.7	1.1	7.8	6.5
폴란드	4.6	1.4	6.1	5.7
중국	1.9	2.7	4.6	1.5
터키	3.5	0.9	4.4	2.0
남아프리카(2012)	1.5	0.9	2.4	2.1
칠레	0.8	1.0	1.8	N/A
미국(2012)	8.7	N/A	N/A	N/A
멕시코(2011)	0.8	N/A	N/A	1.5

- 2012년 기준, 노동연령인구(25세~64세) 천명당 박사학위자가 가장 많은 국가는 스위스로서 27.5명인 것으로 집계됨
- 오스트리아(15.8명), 미국(14.0명), 스웨덴(13.6명), 룩셈부르크(13.2명) 등 선진국의 노동연령인구 천명당 박사학위자가 높은 수준을 나타냄
- 우리나라는 2012년 기준 노동연령인구 천명당 박사학위자 수가 6.9명으로 상대적으로 낮은 수준인 것으로 집계됨

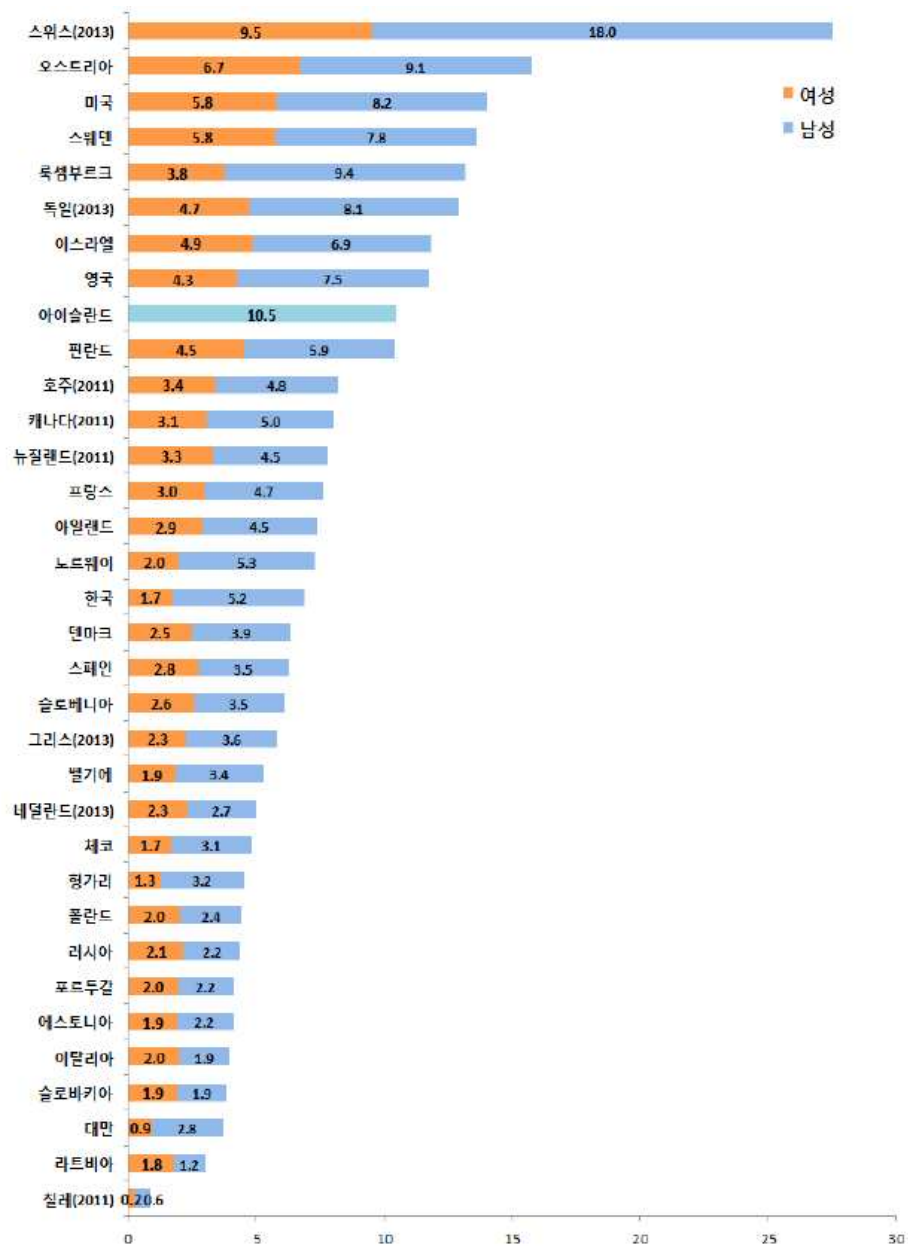


그림 99 . 노동연령인구 (25세~64세) 천명당 박사학위자 수(명, 2012년)
 주) 아이슬란드는 남자와 여자를 모두 합한 수치

(출처 : 한국과학기술기획평가원, OECD자료로 살펴본 세계과학기술 인력 현황, 2015)

- OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015에 의하면, 대부분의 OECD 국가에서 연구원은 주로 기업 또는 대학에 종사하는 것으로 분석함
- 한국, 미국, 일본, 프랑스, 중국 등 주요 국가에서 연구원이 기업에 종사하는 비중은 60%이상인 것으로 조사됨

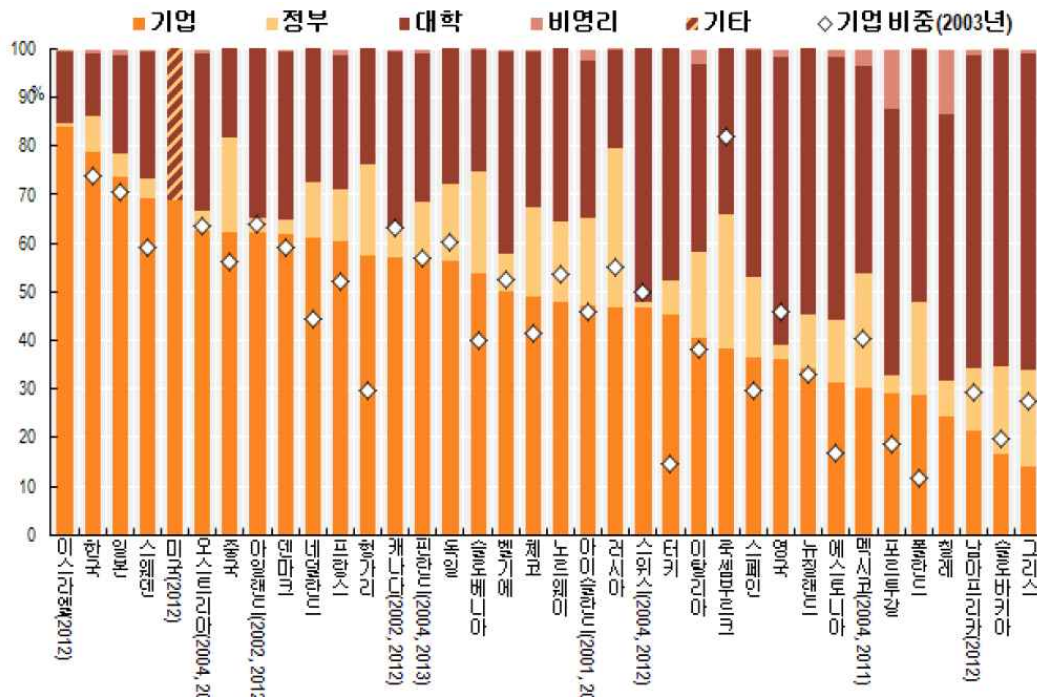


그림 100. 연구원의 취업 부문별 분포 현황 (2013년, FTE 기준 비중)

주) 괄호 안은, 처음은 기업비중 데이터의 해당년도를 의미하고 두 번째는 취업 부문별 분포 데이터의 해당년도를 의미

(출처 : 한국과학기술기획평가원, OECD자료로 살펴본 세계과학기술 인력 현황, 2015)

나. 공학전공 연구개발인력 현황

- 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발간하는 KISTEP 통계브리프 (K-브리프)의 2015년 제18호 ‘우리나라와 주요국의 연구개발 인력 현황’에 의하면 우리나라 연구참여 비율을 고려한 상근상단 연구원수(FTE)는 345,463명으로 세계 6위권임
 - 상근상단 연구원 수는 중국(1,484,040명, 2013년), 미국(1,265,064명, 2012년), 일본(660,489명, 2013년) 순으로 높은 것으로 나타남
- 2014년 우리나라의 총 연구원 수는 437,447명이고 연구보조원을 포함한 연구개발 인력은 605,640으로 조사됨
 - 전년대비 연구원 수는 27,114명(6.6%), 연구개발 인력은 36,271명(6.4%)증가

- 2014년 우리나라 경제활동인구 천명당 연구원 수(FTE 기준)는 13.0명으로 주요국 중 높은 수준연구참여 비율을 고려한 상근 상당2014년 우리나라의 총 연구원 수는 437,447명이고 연구보조원을 포함한 연구개발 인력은 605,640으로 조사됨
 - 전년대비 연구원 수는 27,114명(6.6%), 연구개발 인력은 36,271명(6.4%)증가
- 과학기술분야 연구원 중에서도 공학분야 전공자 수는 298,436명으로 한국 전체 연구원의 68.2%를 차지하는 것으로 집계됨

표 30. 연구수행주체별 전공별 연구원 현황(2014년 기준)

(단위 : 명, %)

구분		공공연구기관		대 학		기업체		전 체	
		연구원	비중	연구원	비중	연구원	비중	연구원	비중
과학기술 분야	이학	5,614	(16.8)	14,693	(14.8)	34,465	(11.3)	54,772	(12.5)
	공학	17,239	(51.7)	33,567	(33.8)	247,630	(81.2)	298,436	(68.2)
	의약보건학	1,868	(5.6)	18,674	(18.8)	2,980	(1.0)	23,522	(5.4)
	농업과학	2,829	(8.5)	4,553	(4.6)	3,280	(1.1)	10,662	(2.4)
	소계	27,550	(82.7)	71,487	(72.0)	288,355	(94.6)	387,392	(88.5)
인문 사회 분야	인문학	570	(1.7)	11,068	(11.1)	11,232	(3.7)	22,870	(5.2)
	사회과학	5,202	(15.6)	16,762	(16.9)	5,221	(1.7)	27,185	(6.2)
	소계	5,772	(17.3)	27,830	(28.0)	16,453	(5.4)	50,055	(11.4)
총계		33,322	(100.0)	99,317	(100.0)	304,808	(100.0)	437,447	(100.0)

(출처 : 한국과학기술기획평가원, 우리나라와 주요국의 연구개발 인력 현황, 2015)

2. 연구기자재 인프라

가. 국내 연구기자재 구축 현황

- 국가연구시설장비 공동활용서비스(NTIS)에서 발간하는 ‘2014년도 국가연구시설장비 조사·분석 보고서’에 의하면 연구수행주체별·연구장비분류별 연구기자재 구축현황은 다음과 같음
- 최근 5년간 연구수행주체별 연구시설 장비 투자 비중은 출연연구소(31.3%, 1조 1,893억원), 대학(20.8%, 7,922억원), 민간기업(20.1%, 7,626억원), 기타공공기관(9.0%, 3,422억원), 국공립연구소(3.0%, 1,131억원), 공기업(1.4%, 542억원) 순으로 나타남

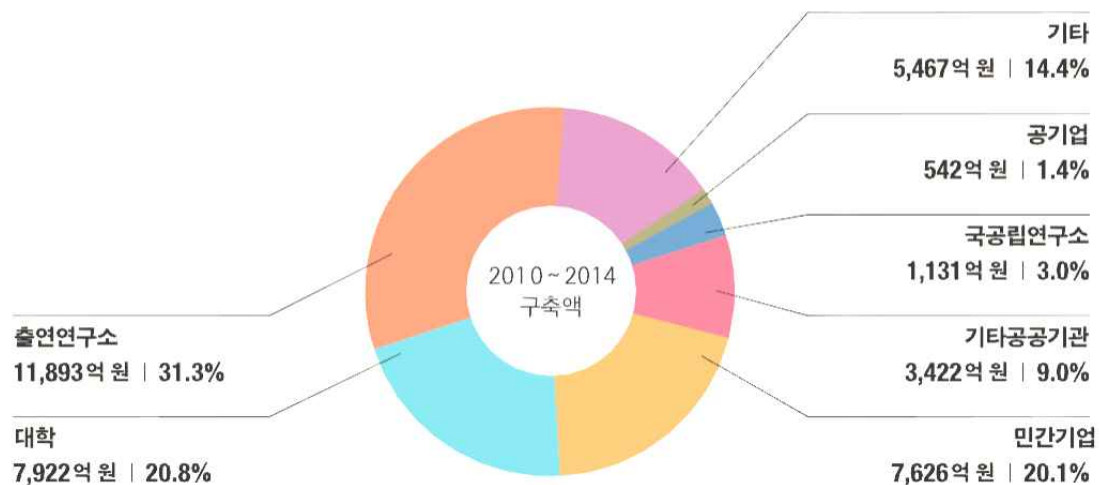


그림 101 . 최근 5년간(2010년~2014년) 연구수행주체별 연구시설 장비 투자현황(구축액)
(출처 : 국가연구시설장비 공동활용서비스(NTIS), 국가연구시설장비 조사·분석 보고서, 2014)

- 본 과제에서 활용할 수 있는 연구장비 분야는 건축재료 및 기능성 PCM의 물성을 측정할 수 있는 물리적 측정장비와 개발기술의 열적거동을 분석하기 위한 데이터 처리장비로 파악됨
- 물리적 측정장비에는 온도/ 열/ 습도/ 수분 측정장비, 음향/ 소음/ 진동/ 충격 측정장치 등, 데이터 처리장치에는 컴퓨터/ 컴퓨터 서버/ 장비 소프트웨어 등 본 과제를 수행함에 활용할 수 있는 장비들을 포함함

표 31 . 국가연구시설장비 표준분류 - 데이터 처리장비 및 물리적 측정장비

데이터 처리장비	장비 하드웨어	• 컴퓨터, 컴퓨터서버, 데이터 저장장치, 데이터 입출력장비, 달리 분류되지 않는 하드웨어
	장비 소프트웨어	• 시스템소프트웨어, 응용소프트웨어, 달리 분류되지 않는 소프트웨어
	달리 분류되지 않는 데이터 처리장비	-
물리적 측정장비	온도 / 열 / 습도 / 수분 측정장비	• 온도 및 열 측정장비, 습도 및 수분 측정장비, 달리 분류되지 않는 온도 / 열 / 습도 / 수분 측정장비
	길이 / 각도 / 면적 / 거칠기 측정장비	• 치수측정장비, 좌표측정장비, 표면거칠기측정장비, 레이저측정장비, 달리 분류되지 않는 길이 / 각도 / 면적 / 거칠기측정장비
	시간 / 주파수 / 속도 / 회전수 측정장비	• 시간 및 주파수 측정장비, 속도 및 회전수 측정장비, 달리 분류되지 않는 시간 / 주파수 / 속도 / 회전수 측정장비
	질량 / 무게 / 부피 / 밀도 측정장비	• 질량 및 무게 측정장비, 부피 및 밀도 측정장비, 달리 분류되지 않는 질량 / 무게 / 부피 / 밀도 측정장비
	힘 / 토크 / 압력 / 진공 측정장비	• 힘 및 토크 측정장비, 압력 및 진공 측정장비, 달리 분류되지 않는 힘 / 토크 / 압력 / 진공 측정장비
	음향 / 소음 / 진동 / 충격 측정장비	• 음향 및 소음 측정장비, 진동 및 충격 측정장비, 달리 분류되지 않는 음향 / 소음 / 진동 / 충격 측정장비
	유체유량역학 측정장비	• 점도 및 유속 측정장비, 액체 / 기체유량 측정장비, 달리 분류되지 않는 유체유량역학 측정장비
	달리 분류되지 않는 물리적 측정장비	-

(출처 : 국가연구시설장비 공동활용서비스(NTIS), 국가연구시설장비 조사·분석 보고서, 2014)

- 국가연구시설장비 표준분류별 투자 현황을 보면, 기계가공 시험장비, 전기 전자장비, 화합물전처리 분석장비 순으로 나타남 - 물리적 측정장비와 데이터 처리장비의 경우, 각 각 10.3%(3,904억원)과 6.6%(2,505억원)으로 조사됨

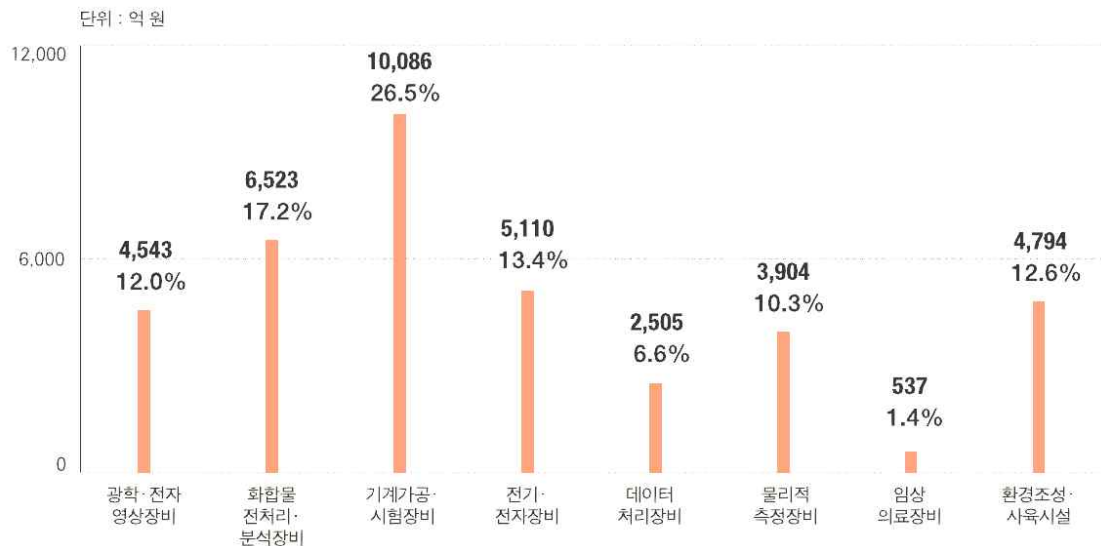


그림 102. 최근 5년간(2010년~2014년) 국가연구시설장비 표준분류별 투자현황(구축액)
(출처 : 국가연구시설장비 공동활용서비스(NTIS), 국가연구시설장비 조사·분석 보고서, 2014)

- 2010~2014년을 기준으로 3천만원 이상의 기자재를 기준으로하고 있으며 장비분류 중에서는 기계가공·시험장비가 총 기자재의 24.7%로 가장 많이 구축되어있었으며 연구수행주체 중에서는 민간기업이 총 기자재의 27.8%로 가장 많은 수를 보유하고 있는 것으로 나타남
- 물리적 측정장비는 총 2,867개를 구축하고 있으며 총 기자재의 11%를 차지하고 있으며 데이터 처리장비는 2383개로 9.1%의 비중을 보임

표 32. 연구수행주체별·연구장비분류별 연구기자재 구축현황(2010~14년, 3천만원 이상)

구분	국공립 연구소	출연 연구소	대학	민간기업	공기업	기타 공공기관	기타	합계
광학·전자 영상장비	169	762	1,365	488	4	241	281	3,310
화합물 전처리·분석장비	628	1,413	1,629	1,437	17	352	765	6,241
기계가공·시험장비	117	1,366	1,255	2,716	42	219	745	6,460
전기·전자장비	38	1,167	897	1,183	90	227	467	4,069
데이터 처리장비	109	665	519	574	84	212	220	2,383
물리적 측정장비	152	695	665	780	23	327	225	2,867
임상 의료장비	40	119	256	28	0	46	78	567
환경조성·사육시설	25	42	47	46	1	23	34	218
합계	1,278	6,229	6,633	7,252	261	1,647	2,815	26,115

(출처 : 국가연구시설장비 공동활용서비스(NTIS), 국가연구시설장비 조사·분석 보고서, 2014)

표 33. 국내 공공연구기관 주요장비 현황

(출처 : 서울지방중소기업청)

연구기관	주요장비
한국과학기술연구원	융복합기술, 재료 및 소자연구, 생명보건연구, 로봇시스템연구
한국산업기술시험원	화학, 전기전자제품, 생활용품, 외국인증대행공장심사
한국세라믹기술원	세라믹제품성능평가, 주로 연구 및 표준화하고 있음
요업기술원	요업 및 신요업원료, 제품에 관한 시험분석 광물 및 정광에 관한 시험분석
한국건설생활시험연구원	건설관련, 건축자재관련 성능평가
한국화학시험연구원	화학제품 성능평가, 자율안전확인, 의료기기 등
한국생산기술연구원	금형기술분야, 열표면기술분야, 사이버설계지원분야
한국기계연구원	나노융합기계, 지능형생산시스템, 그린환경기계 시험분석
포항산업과학연구원	에너지환경, 재료공정, 강구조, 마그네슘, 연료전지 연구분석
한국석유품질관리원	석유제품 품질검사, 시험분석, 연구개발
한국석회신소재연구재단	석회석 신소재 기술개발 및 관련 업체 지원, 대체원료개발 사업
한국표준과학연구원	역학적시험, 전자기적시험, 열적시험, 광학시험
한국건설기술연구원	건설관련, 건축자재관련 성능평가

나. 주요 국내 건축환경 시험기관의 시험평가 항목 및 구축장비 예시

- 건설과 관련된 국내의 주요 시험연구원은 한국건설생활환경시험연구원, 한국건설기술연구원이 대표적이며, 재료 및 신소재와 관련된 주요 시험연구원은 한국과학기술연구원, 한국화학시험연구원, 한국석회신소재연구재단 등이 전문시험기관으로의 역할을 수행중인 것으로 확인함
- 국내 주요 건설과 관련된 시험연구원은 건축에너지, 건축환경, 건설재료에 대한 시험평가 항목을 따로 분류하여, 전문화된 연구부서와 각기의 목적에 부합하는 시험평가를 진행할 수 있도록 시험장비와 테스트를 위한 실험동 및 관련 규격들을 구축하고 있는 것으로 파악됨
- 한국건설생활환경시험연구원은, 건축 에너지 환경부분과, 건설재료에 대한 항목을 구분하여 친환경·저에너지·그린건축물에 적용되는 모든 제품의 시험·평가가 가능하도록 전문적인 시험장비와 실험동을 구축하고 있으며, 건축 에너지 환경부분에서는 『에너지효율 성능 평가』, 『음환경 시험·평가』, 『내후성 시험·평가』 및 『커튼월 시험·평가』 등 건축물 에너지 및 환경에 영향을 미치는 요인에 대하여 전반적인 시험·평가가 이루어지고 있는 것으로 확인됨
- 또한, 건설재료 부분에서는 토목 및 건축재료의 기초물성, 구조안전성에 대한 시험·평가장비가 구축되어 있으며, 『건설재료』, 『목재』, 『플라스틱 판 및 플라스틱/ 금속벨브』, 『도료/실란트』, 『면진/내진/제진 장치 및 기타 구조재료』에 대한 시험·평가가 이루어지고 있음을 확인함

표 34. 한국건설생활환경시험연구원의 건축에너지 환경 주요 시험·평가항목

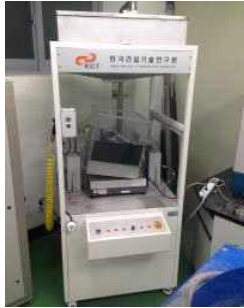
평가항목	시험·평가 내용	시험·평가동 구축현황
에너지 효율 성능평가	- 고효율 에너지 기자재 - 유리 기초물성 시험 - 창호, 문, 커튼월 등의 열관류율, 기밀, 수밀, 내풍 압 및 일사확득계수(SHGC) 평가 - 복사 냉난방 시스템 에너지 효율 평가 - 유·무기 단열재 물성 및 열전도 특성 평가	 
음환경 시험·평가	- 칸막이 벽, 창호, 문, 차음 시트 등의 음향 투과 손실(차음) 성능 평가 - 우레탄폼, 암면, 유리면 흡음재의 흡음 성능 시험·평가 - 바닥 완충재, 천장 시스템, 바닥재 등의 바닥 충격음 시험·평가 - 주택설비 유닛, 가전제품군 등 각종 소음 발생설비 유닛의 소음 성능 시험·평가 - 각종 건축 부재의 음압 레벨차 시험	
내후성 시험·평가	- 산업재료 및 건설재료의 옥외실증 시험·평가 - 시험조건 설계를 통한 실내측진 시험·평가 - 해양 및 공업환경 시험·평가 - 자동차 내·외장재 소재 및 부품 내후성능 평가	
커튼월 시험·평가	- 기밀성능 : 건축물 내·외부의 공기 흐름 정도를 확인하여 냉난방 에너지 손실 간접평가 - 수밀성능 : 집중호우 시 건축물 내부로 물의 유입 여부 평가 - 내풍압성능 : 강풍 및 내·외부 압력차에 의한 구조물 안전 성능 평가 - 층간변위 : 구조물의 상·하, 좌·우 흔들림에 대한 안전 성능 평가 - 열순환 및 결로시험 : 내·외부 온도차에 의한 외장재 이상 유무 및 거주성 평가 - 현장시험 : 시공 완료된 커튼월의 적절성 평가	

표 35. 한국건설생활환경시험연구원의 건축재료 주요 시험·평가항목

평가항목	시험·평가 내용	시험·평가 장비 구축현황
건설재료	- 토질, 암석, 혼합골재, 토목섬유, 차수재 등 토목 기초재료에 대한 시험·평가 - 개질용 특수첨가제, 재생첨가제 및 아스팔트 콘크리트 혼합물 등 도로포장재에 대한 시험·평가 - 건축 및 토목구조물에 사용되는 말뚝 및 지반의 지지력 시험·평가 - 시멘트, 콘크리트 및 혼화재 시험·평가	
목재	- 목재재료 분야 시험 - 목재 가공제품 시험 및 연구 - 목재의 R&D 및 성능, 환경소재 관련 품질 시험 - 목재 관련 제품 품질 인증	
플라스틱 관 및 플라스틱/금속 밸브	- 플라스틱 관 및 이음관 등에 대한 신뢰성 평가 및 인증 - 플라스틱 소재 및 제품에 대한 장기 내구강도 평가 및 인증 - 플라스틱 소재 및 제품의 고장분석 및 열화 분석 - 플라스틱 및 금속 밸브에 대한 시험평가	
도료 / 실란트	- KS M 5000 도료 및 관련 원료 시험·평가 - 건축·자동차·IT용 도료 및 특수 산업용 도료 시험·평가 - 방청 도료, 도료표지용 도료 등 시험·평가 - 실란트 줄눈제, 에폭시, 벽바름재, 미끄럼 방지 포장재 시험·평가 - 광고물 부착 방지 도료, 시트 등 시험·평가	
면진/내진/제진 장치 및 기타 구조재료	- 토목/건축용 받침 및 댐퍼의 각종 의존성 및 내구성 시험·평가 - 신축이음장치, Snubber, STU 및 기타 구조재료의 시험·평가	

- 한국건설기술연구원은 연구원이 보유하고 있는 고가의 실험·분석·계측용 연구장비 중 공동활용이 가능한 장비를, 정부R&D 투자효율 제고정책을 적극 추진하고, 연구장비의 수요 충족 및 중복투자 방지 및 중소기업의 기술력 향상 및 경쟁력 확보를 지원하기 위해 산/학/연과 공동으로 활용 중에 있음

표 36. 한국건설기술연구원 주요 보유 장비

장비정보	시험·평가 내용	시험·평가 장비 구축현황
열관류율 및 결로방지 성능 시험장치	- 건물에너지 절감을 위한 핵심 요소기술인 건축용 창호 및 외피 단열성능 및 결로 방지 성능 평가 - 열관류율 및 결로 시험장치는 시험을 행하기 위해 냉각, 가열, 송풍이 가능한 테스트 챔버와 조작반으로 구성됨 - 실험 조작공간에서 조작자가 기기의 상태 및 변화를 쉽게 판독할 수 있음	
밀도측정장치	- 물을 흡수하는 재료나 불 균질한 재료에 대해서도 밀도 측정을 수행할 수 있도록 함 - 본 사양에 포함된 밀도 측정 장비는 이러한 기준에 의한 시험방법에 적용될 수 있는 밀도 측정 장비에 대한 것임 - 또한, 본 밀도 측정 장비는 시료의 형상에 관계없이 신뢰할 수 있는 측정 결과를 제시하는 밀도 측정 장비를 제시함	
가스 크로마토 그래피	- 기체시료 또는 기화한 액체나 고체시료를 운반가스에 의하여 분리, 관재에 전개시켜 기체상태에서 분리되는 각 성분을 크로마토그래피 적으로 분석함 - 총전물에 따라서 흡착성 고체분말은 기체-고체 크로마토그래피, 적당한 담체에 고정상 액체를 합치는 것은 기체-액체 크로마토그래피로 분류함	
외피환경 성능평가 시스템	- 적외선 등 인공일사조건을 부여하는 실험측정장비 - 인공일사조건에 따른 외피환경시스템의 평가	
창호 에너지 성능 측정장비	- 건물 부재의 열관류율 및 결로방지성능 시험, 기타 온/습도 환경 조절에 따른 성능평가 - 창호의 에너지 성능을 측정	

- 한국화학융합시험연구원은 건설환경분야 및 토목·건축분야에서 국제공인기관 (KOLAS), 소음, 진동측정대행 자격을 인정받은 시험전문기관으로서 다양한 시험분석 내용중 건설재료에 대한 분류를 따로 설정하여, 콘크리트, 토질, 시멘트, 에폭시 등 건설재료에 대한 시험·평가 및 장비를 구비하고 있으며, 산/학/연을 연계한 인프라를 통해 활발한 시험분석 및 연구시스템을 운영중에 있음
- 한국화학융합시험연구원은 주로 건설재료에의 성능, 유해성, 품질 등에 대한 시험·평가를 수행하고 있으며, 건축환경 부분에서는 배경소음, 진동, 생활소음 등 주로 음환경과 관련된 항목을 평가하고 있는 것으로 확인되었음

표 37. 한국화학시험연구원 건축재료 및 건설환경 평가 항목

평가항목	세부 품목	시험·평가 장비 구축현황
콘크리트	- 시멘트, 혼화제, 그라우트재, 코아, 2차제품, 내구성평가 등	 <자동다짐 시험기>
아스팔트콘크리트	- 채움재, 플랜트혼합물, 아스콘 배합설계 등	
골재	- 천연골재, 부순골재, 순환골재, 경량골재 등	
토질	- 토목재료, 토질, 암석, 차수재 등	-
목재	- 천연목재, 합성목재, 합판, 플로오링보드, 토류판, 파티클보드 등	-
유리	- 복층유리, 접합유리 등	 <유리 쇼트백 시험기>
난연시험	- 건축용 내·외장재, 보온단열재 등	 <콘칼로리미터>
방수재료	- 방수재, 보수재, 보강재, 시트방수 등	-
내·외장재	- 목재, 콘크리트벽돌, 보온·단열재 등	 <만능 재료 시험기>
접착제	- 에폭, 타일용접착제 등	
건설환경	- 배경소음·진동, 생활소음·진동 등	-
현장품질시험	- 평판재하, 들밀도, 앵커인발 등	-

☞ 시사점

- 건축물에너지 절감에 따른 인센티브 제공 규정 등 제도 마련, Test-bed 구축을 위하여 관·산·학·연공동연구체제 구축하고 한국건설생활환경시험연구원 등 실험규모 검증이 가능한 기관 주도의 실증 연구 실시
- 일부 분야의 경우 전문 인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능하다고 판단됨
- 국내 연구진들로 기술개발이 어려운 분야는 국제 공동연구 또는 위탁연구를 통해 선진 기술을 습득하는 전략을 취함
- 새로운 기술을 건축물에 적용하고자 할 때 보수적인 건설업계 특성을 감안하여 세미나 또는 기술 강습회 등을 통해 일선 실무자 및 관리주체들과 교감하여 조기에 축열성능을 가진 자재가 국내에 정착될 수 있도록 노력해야 함
- 연구인력 인프라는 구축되었으나, 상호 관련 분야에 대한 이해와 기술적 교류가 필요함

7절. 종합분석

1. 국내외 정책 동향 및 환경분석 시사점

가. 국내

- 국토교통부에서는 국가 정책적으로 국토교통기술을 통해 국민행복 및 글로벌 가치창조를 슬로건으로, 친환경 녹색 건축기술 및 산업 육성에 기반을 둔 경제전략을 수립·추진하고 있으며, 이를 위해서는 건설산업의 선진화와 미래건축기술의 개발이 필수적임
 - 제로에너지빌딩 대응 국가 건물에너지 로드맵
(‘17년 패시브하우스 수준달성, ’ 25년 제로에너지 건축물 달성 계획)
 - 국민 생활복지 향상을 위한『수요자 맞춤형 주택분야』의 선정
 - 건설산업의 질적 성장모멘텀 확보를 위한 기술개발과 新시장의 창출
 - 2040 국토교통 미래기술예측조사를 통해 국토 교통 미래 기술수요 선정
- 건설분야에 신기술을 적용하여 생산성 향상에 대한 법률적인 기초는 제시되어 있지만, 신기술 적용에 따른 인센티브 제공 등 건설사의 동기부여에 대한 규정은 없으므로, 건축물 에너지 최소화를 위한 다양한 공법이 도입되도록 관련 법 규정 및 제도마련이 필요함
- 기술 선진국을 단순 답습하는 수준에서 세계를 선도할 수 있는 최고기술을 개발할 수 있는 R&D로 이전하고, 탄소배출량 감소 등 녹색성장을 위한 연구개발이 중요시 되고는 있지만, 아직까지 축열성능을 가진 PCM 재료에 대한 R&D 투자는 미진한 실정이며, 일부 개발된 재료가 활발히 현장에서 적용되지 못하고 있는 것은 활용 연구 미비, 경제성 문제, 설계기준 미비 등의 원인들이 있으므로 이러한 문제점들을 해결하기 위한 R&D가 실시되어야 하며, 이를 통해 이 분야에서 세계 최고 수준의 기술을 확보하면 우리나라의 건설경쟁력을 한 단계 도약시키는 계기를 마련할 수 있을 것임

나. 해외

- 국외 주요 선진국에서는 국가 정책으로 고효율 건축물 및 제로에너지 건축물을 달성하기 위하여 장기적인 추진계획을 통해 단계별로 기술개발과 기준의 도입을 시행하고 있음
 - EU의 EPBD 정책
 - 영국, 독일, 프랑스의 제로에너지 달성 추진전략
- 건설 선진국들은 건축물에너지 절감 및 실내 쾌적성확보를 목표로 정책적 지원을 실시하고 있으며, 이를 통하여 글로벌 경쟁력 강화와 세계시장 선도를 추진하고 있음

2. 국내외 시장동향 분석 시사점

- 2025년경, 전 세계 PCM시장은 \$4,395 million(약 5조원) 규모로 성장할 것으로 예상되고 있음
 - PCM 사용량은 지구온난화와 에너지 절약에 대한 관심의 증가로 인해 추가적인 수요가 발생할 것으로 예상됨
 - 이에 따라 PCM 제조와 성능 확보를 위한 기술의 개발과, 가격경쟁력을 확보할 수 있는 방안에 대한 도출이 필요할 것으로 판단됨
- PCM 시장은 유럽과 북미 지역에서 두드러지게 성장하고 있음
 - 독일과 미국을 중심으로 건축물 에너지 절약 및 효율적 이용을 위한 PCM 활용사례가 급속하게 증가하고 있음
 - DuPont, BASF, National Gypsum 및 Climator 등 PCM을 생산하는 글로벌 화학회사들은 PCM의 가격 하락 및 적용분야를 확대하기 위해 주력하고 있음
- 아시아지역 건축시장의 PCM 성장 가능성
 - 아시아의 경우 유럽 및 북미에 비해 PCM 시장이 작고 기술적 수준이 다소 떨어지나, 아시아 환경에 적합한 PCM 개발 및 건축적용이 이루어진다면 타 시장보다 더 큰 경제적, 기술적 잠재성이 있다고 판단됨
- 국내에서도 세계시장 동향에 발맞추어 PCM 건축자재 적용 및 상용화를 위한 연구 및 대응이 필요할 것으로 판단됨
 - PCM 관련 기술 개발을 통한 미래건축시장 활성화와 선점의 필요성
 - 글로벌 PCM 시장으로의 진입을 위한 토대 마련

3. 국내외 기술개발 동향 분석 시사점

가. 기술동향 분석 시사점

- 미국, 유럽, 호주에서 활발하게 PCM이 공급되고 있으며, 미국과 독일의 Dupont, National Gypsum, BASF에서 Building & Construction 분야에 초점을 두고 기술개발
- 국내에서는 셀시우스코리아, 고려신소재산업, 국내BASF 등에서 PCM 소재를 공급하고 있으나, 글로벌 PCM 기업과는 달리 국내에서는 PCM 소재에 대한 직접적인 기술 개발 없이 유통에만 집중되어 있음
- 국외 주요 상용화 PCM 제품의 장단점 분석 결과, 외압으로부터 누출을 완벽히 막을 수 있는 내구성과 내화성을 동시에 해결할 수 있는 방안이 연구 및 제시되어야 함
- PCM을 벽, 보드, 지붕, 다락, 바닥, 타일, 창호, 설비시스템 등 건축분야에 적용하여 건물에너지 저감 효과와 실내 온열쾌적성을 높여주는 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중임

- 같은 종류의 PCM이라고 하더라도 적용된 PCM 함량에 따라 잠열량과 적용 부위에 따라 작용 온도대가 다르기 때문에 에너지 저장 성능에 차이가 있음
- 정확한 효과에 대한 평가 방법 및 지표가 개발될 필요가 있음

나. 논문분석 결과

- PCM 관련 국외 SCI급 논문은 지속적으로 증가하는 추세를 나타내며, 2014년에는 10,000건 이상의 논문이 발표되었음
 - 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체 나라의 절반 이상을 차지
 - 국내에서 발표된 PCM 논문은 3.45%의 매우 낮은 비율
- Building and Construction 분야의 시장은 아직 작은 규모로 형성되어 있지만 발표 논문이 가장 많은 것으로 보아 연구는 활발히 진행 중인 것으로 보임
 - PCM의 경우 에너지 저장 기술을 대표하는 재료로써 실제 인간과 밀접하게 관련이 있는 건축, 섬유 분야에서 많은 연구가 되어오고 있는 것을 확인
 - 그러나 시장규모가 작은 이유는 PCM에 대한 가격경쟁력이 확보되지 않았기 때문이라고 판단됨
 - 무기 PCM은 다른 PCM에 비해 단가가 매우 싸기 때문에 상전이현상, 과냉각현상의 단점을 극복하여 가격경쟁력 확보 측면에서 더 많은 연구가 진행되어야 할 필요가 있음
- PCM을 대량으로 주입하여 성능을 극대화한 Macro-encapsulated PCM에 대한 기술 개발 및 연구가 필요하며, PCM의 함량을 많이 적용할 수 있는 콘크리트, 석고보드, 시멘트에 PCM을 적용한 연구가 많이 진행됨
- PCM을 적용한 건축물의 에너지성능 평가는 실측을 통해서 평가하는 것도 중요하지만 건축계획단계에서 평가할 수 있게끔 에너지 평가 시뮬레이션이 동반되어야 함
 - PCM의 성능을 평가할 수 있는 대표적인 프로그램은 Energy Plus임
 - Energy Plus를 통해 PCM을 평가한 논문에서 국내에 비해 국외 SCI급 논문이 더 많은 비율을 차지하고 있으나 실제 발표 논문 건수는 24건으로 Energy Plus를 활용한 PCM의 시뮬레이션 분석이 많이 진행되고 있지 않음을 의미함

다. 특허분석 결과

- 2016년 기준으로 KIPRIS로 검색되는 PCM 관련 특허는 국내 3,051건, 국외 1,337,398건으로 국외에 비해 특허출원정도가 매우 미미한 수준인 것으로 확인됨. 국내의 경우, 소멸 및 거절되지 않고 등록된 건이 1,818건 정도로 국외와 비교하여 상당히 기술적 인프라가 미미한 것으로 확인됨
- 국내의 경우, 저온저장시스템, 섬유, 냉동탑차, 이차전지, 열제어시스템 및 축열시스템과 같은 다양한 산업 및 분야에서 관련 연구가 수행중인 것으로 분석되며, 건축분야와 관련된 PCM 특허는 원천 및 가공기술, 건축시스템

적용기술과 건축재료 적용기술로 나눌 수 있음

- PCM 건축관련 기술개발 및 특허출원 건수는 국외 동향에 따라 지속적으로 늘어나고 있는 추세이나, 아직 등록된 기술 및 특허 수가 많지 않아 국내 적용을 위한 기술 개발 수준이 미미함. 따라서, 본 기획과제를 통해 도출된 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용에 대한 연구를 수행함으로써 더 많은 요소기술이 도출될 것으로 전망함

라. 유사과제분석 결과

- 기존 연구를 분석한 결과, 건축물 에너지 절감 및 주거공간 쾌적성을 위한 PCM 연구가 건축자재 적용가능여부 위주로 진행되고 있으나, PCM 원재료부터 가공기술 및 건축자재 적용(제품 개발-설계-시공-폐기)까지 PCM을 적용한 건축자재 전생애에 대한 연구가 부족한 상태임
- 선진국 특히 독일과 미국은 건축물 적용이 가능한 다양한 PCM의 상업화를 위한 제품 개발·시공·모니터링을 추진하고 있으며 그 중 건물에너지 효율 및 저장기술에 집중하고 있음
- 본 기획 연구 방향은 주거공간의 특정 부분 재료 개발이 아닌 건물부위별(벽/지붕/바닥) 적용 가능한 PCM관련 연구 및 이에 따른 건물특성(부하패턴, 재료)을 고려한 건축물 에너지 관리 운영 방안을 도출함으로써 기존 연구와의 중복성 및 차별성을 두고자 함

마. 인프라 및 기반역량 분석

- 건축물에너지 절감에 따른 인센티브 제공 규정 등 제도 마련, Test-bed 구축을 위하여 관·산·학·연공동연구체제 구축하고 한국건설생활환경시험연구원 등 실험규모 검증이 가능한 기관 주도의 실증 연구 실시
- 일부 분야의 경우 전문 인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능하다고 판단됨
- 국내 연구진들로 기술개발이 어려운 분야는 국제 공동연구 또는 위탁연구를 통해 선진 기술을 습득하는 전략을 취함
- 새로운 기술을 건축물에 적용하고자 할 때 보수적인 건설업계 특성을 감안하여 세미나 또는 기술 강습회 등을 통해 일선 실무자 및 관리주체들과 교감하여 조기에 축열성능을 가진 자재가 국내에 정착될 수 있도록 노력해야 함
- 연구인력 인프라는 구축되었으나, 상호 관련 분야에 대한 이해와 기술적 교류가 필요함

8절. 기술개발추진방향 정립

1. SWOT 분석

- 2장의 국내외 동향 및 환경분석 결과로부터 다음과 같이 SWOT 분석을 수행한 결과는 다음과 같음

외부요인 내부요인	O (기회) - 친환경, 저에너지 주택에 대한 기술 개발 및 요구증대 - 이산화탄소 저감을 위한 국가 정책의 강화 - 미래건축산업 및 기능성 건축자재 시장의 형성 - 국내 노후건축물의 에너지 효율 향상 필요성의 대두	T (위협) - 북미, 유럽 기술수준과의 격차 - PCM 건축자재에 대한 국내시장의 인식 부재 - 가격상승에 대한 부담으로 인한 국내 건설사의 신기술 적용 기피현상 - Dupont, BASF 등 국외 글로벌 기업의 PCM 시장 선점
S (강점) - 연구진의 PCM에 대한 기초 연구의 수행 - 연구진의 기능성 건축자재 개발 경험 - 제조·적용·평가가 가능한 연구진의 구성 - 신축, 리모델링 사례	SO 전략 추진방향 • 고효율, 저에너지 주택 구현을 위한 PCM 소재·건축자재 개발 및 적용방안 도출 • PCM의 성능 검증을 위한 기획/ 제작/ 실증 위주의 연구 수행 • 축열건축자재 개발 및 보급을 통한 국내·외 시장 개척	ST 전략 추진방향 • 국외 PCM 선도국가와의 기술 격차 축소 • PCM 관련 국내시장의 형성 • 정량적 성능 지표 도출과 요소 기술 이전을 통한 기술경쟁력 강화 • 한국형 축열소재 개발 및 건축 적용을 통한 차별성 확보
W (약점) - 축열 기능성 건축자재의 대한 성능 기준 및 평가방법 미흡 - 요소기술 정립의 미흡 - 정량적인 성능평가를 위한 실증연구의 부족 - 산업체의 기술부족	WO 전략 추진방향 • 축열 기능성 건축자재 기준 마련 및 평가방법 개발 • 고효율 건축물을 위한 PCM 요소기술 개발 • PCM 요소기술별 성능의 정량화 • Test bed 구축 및 실증 평가를 통한 정량적·객관적 축열 성능 평가지표 마련	WT 전략 추진방향 • 열교, 기밀, 단열 등 에너지향상을 위한 PCM 요소기술 개발 연구의 수행 • PCM 적용을 위한 상세디테일 개발과 기술의 보급 • 국내 PCM 산업체의 기술경쟁력 강화 및 육성 • PCM 관련 중소기업 등 요소기술 개발 업체와의 협력 체계 구축

기본방향
• 고효율, 제로에너지 구축 및 보급확대를 위한 PCM 소재·건축자재의 개발과 적용방안 연구 • 축열 기능성 건축자재의 성능평가를 위한 평가기준과 요구 성능 지표의 도출 • 글로벌 미래건축산업 시장 진입을 위한 PCM 기초연구, 제조방법, 실증화가 연계된 연구목표의 설정 • PCM 적용을 위한 적용방안 도출 및 설계·시공 상세디테일의 개발

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 목표



2. 단계별 목표

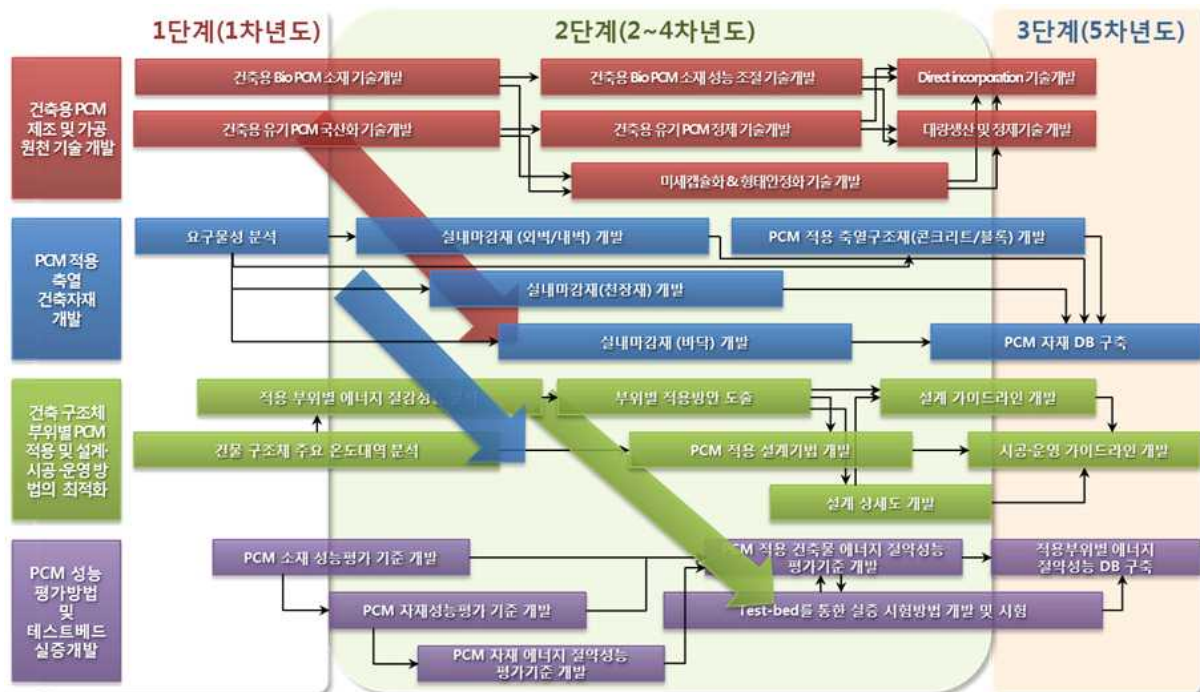


그림 103. 기술로드맵

비전		제로에너지 시대 맞춤형 행복 주거공간 실현				
Time Span		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
환경/시장 니즈	중분류	고효율 건축물 및 이산화탄소 배출 저감형 저에너지 건축시장의 확대				
		패시브 요소기술 및 제로에너지하우스에 대한 새로운 패러다임의 도출				
		쾌적하고 건강한 친환경 건축에 대한 관심 증대				
총괄 목표		건물에너지 사용량 10% 저감		온열 불쾌적 시간 300H 저감		탄소배출량 1,500kg 저감
핵심 요소 기술	소재	Paraffin계 PCM 제조기술 개발	상변화 온도 -5~60℃ 잠열량 150~200 KJ/Kg	정제기술	상전이온도 조절	Pilot 규모 대량생산 기술개발
		Biobased-PCM 제조기술개발	상변화 온도 -5~60℃ 잠열량 150~200 KJ/Kg	PCM의 가격 경쟁력 확보 30% 이상	소재합성기술	Pilot 규모 대량생산 기술개발
	자재	PCM 안정화 가공기술개발			장기안정성 3,000Cycles 수명 10 years 이상	
		PCM 적용 죽열 건축자재 개발	부위별 요구물성 분석 보고서	30 J/g 이상의 내벽마감재 축열성능	30 J/g 이상의 천정마감재 축열성능	30 J/g 이상의 바닥마감재 축열성능
	적용	PCM 적용 죽열 건축자재 개발	2℃이상 피크온도 감소 10%이상 타임랙 효과	2℃이상 피크온도 감소 10%이상 타임랙 효과	2℃이상 피크온도 감소 10%이상 타임랙 효과	2℃이상 피크온도 감소 10%이상 타임랙 효과
		건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발	구조체의 계절별 주요 온도대역 분석	적용 부위별 에너지 저감성능 분석	부위별 적용 방법 최적화	PCM 적용 친환경 설계기법
	평가	PCM 적용 최적화를 위한 가이드라인 개발			설계가이드라인 개발	시공/운영 가이드라인 개발
		건축자재용 PCM 성능 평가 및 기준 개발		PCM 성능평가 기준 도출		
		POM을적용한건축자재성 능평가및기준개발		PCM 자재 성능평가 기준 도출		
		PCM을 적용한 건축물 에너지 성능평가 방법		PCM 자재 에너지 절약 성능 평가기준 도출		
		테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발			테스트베드 실증 시험방법 개발	PCM 적용 건축물 에너지 절약 성능 검증

그림 104. 성과로드맵

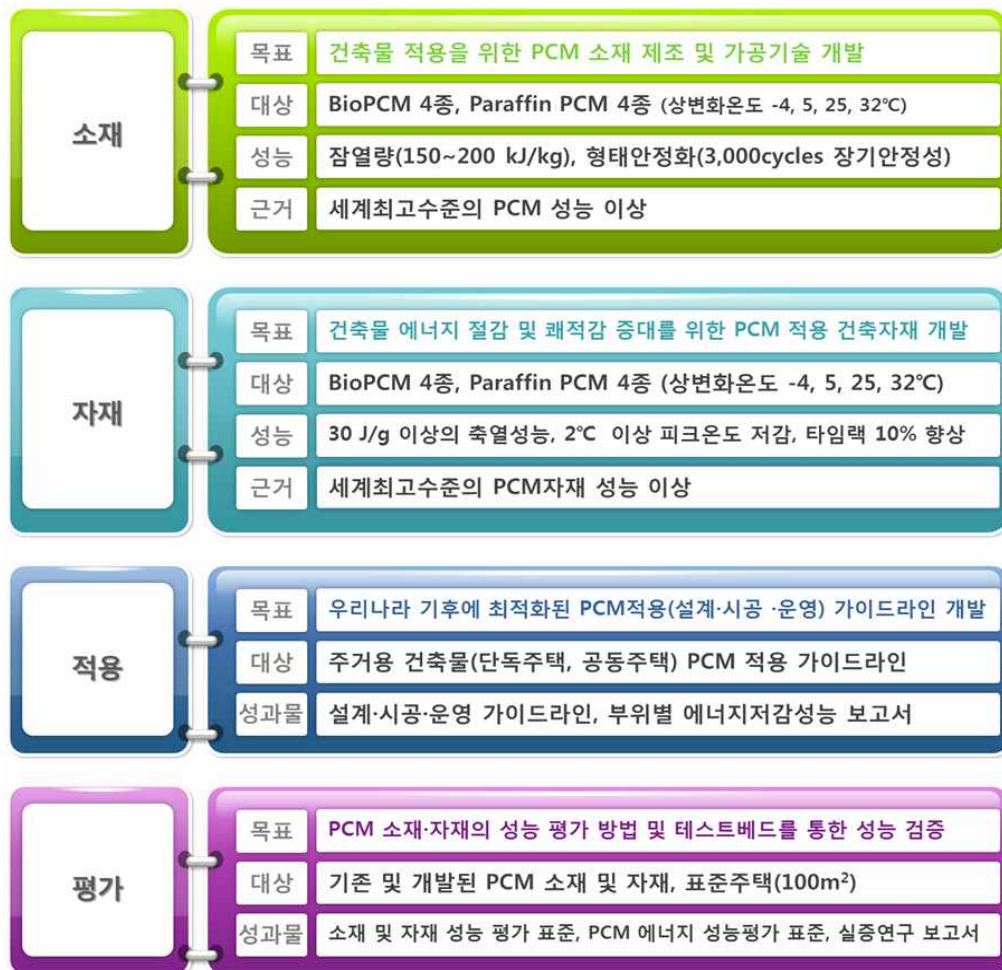


그림 105. 세부별 연구대상 및 성능 목표

2절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

1. 핵심기술요소(CTE, Critical Technology Element) 선정

- 핵심기술요소는 과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 본 기획연구는 주거공간의 성능개선을 위한 PCM 적용을 위한 연구로서 기존 PCM 과제의 한계점인 단편적인 연구로 인한 시장활성화 및 관련 정책의 반영에 대한 미흡함을 개선하고자 소재개발 → 자재개발 → 적용방법 → 성능평가의 전 범위에 걸친 연구를 기획하고자 함
- 따라서 본 사업의 핵심기술요소는 1. 건축용 PCM 소재 개발, 2. PCM 적용 건축자재 개발, 3. PCM 건축자재 적용 방법 및 최적화, 4. 건축용 PCM 소재·자재의 성능평가 및 Test bed를 통한 실증연구로 도출하였음



그림 106. 단위과제 도출 프로세스

□ 과제개요

과제명	주거공간 성능개선을 위한 상변화물질 (PCM)의 건축물 적용 기술개발	총개발기간	2018.xx.xx ~ 2022.xx.xx (5년)
(총괄/세부) 주관기관		(총괄/세부) 책임자	

□ 핵심기술요소(CTE, Critical Technology Element)

핵심기술요소1(CTE1) (소재/부품/시스템 등)	건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발	TRL 평가지표 Code	TRL010101
핵심기술요소2(CTE2) (소재/부품/시스템 등)	PCM 적용 축열 건축자재 개발	TRL 평가지표 Code	TRL010101
핵심기술요소3(CTE3) (소재/부품/시스템 등)	건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화	TRL 평가지표 Code	TRL010101
핵심기술요소4(CTE4) (소재/부품/시스템 등)	PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발	TRL 평가지표 Code	TRL010101

2. 중점과제 도출

가. 중점과제 도출

- 본 연구에서는 QFD 분석을 통해 도출된 품질수요와 요소 기술들 간의 상관관계 조사 및 요소기술의 중요도를 평가하여 각 분야별 최종 중점 과제를 도출하고자 함
- QFD(Quality Function Deployment: 품질기능전개)는 1972년 미쓰비시 중공업의 고베 조선소에서 처음 적용된 후 산업전반에 널리 사용되어 오고 있는 품질경영기법
 - 신제품의 개념정립, 설계부터 생산계획 및 판매까지의 모든 단계에서 고객의 요구가 최종 제품 및 서비스에 충실히 반영되도록 하여 고객의 만족도를 극대화 하는데 초점을 두는 고객중심경영을 위한 품질관리기법⁴⁾
- House Of Quality
 - QFD를 구현하기 위한 도구로써 고객의 요구 파악 및 체계화하여 기술특성간의 상관관계를 도출함으로써 기술특성의 중요도 및 목표 값을 파악하기 위한 도구
 - 고객요구사항, 고객의 인지도, 기술특성, 품질표, 상관관계, 기술특성의 목표값, 총 6가지의 요소로 구성되며 연구 범위나 적용분야에 따라 6개의 모든 단계를 거치지 않을 수도 있음



그림 107. 품질의 집

출처 : 정영미, 도서관 서비스 품질 향상을 위한 QFD 적용에 관한 사례 연구, 2014

4) 정영미, 도서관 서비스 품질 향상을 위한 QFD 적용에 관한 사례 연구, 2014

나. 중점과제 도출 프로세스



그림 108. 중점과제 도출 프로세스 개요

(1) 품질수요 중요도 평가

- 화학, 건축시공, 건축재료, 건축설계, 시험평가 분야 관련 전문가 37인을 대상으로 품질수요의 중요도 평가

표 38. 품질수요의 중요도평가 설문조사 하기 위한 설문조사 양식

품질 수요		1	2	3	4	5
소재	낮은 가격	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	대량생산의 가능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	공정의 단순화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	잠열량의 증가	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	건축자재 적용의 용이	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	열전도율의 개선(증가)	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	상변화로 인한 누출의 방지	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	재활용의 가능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	내구성의 증가	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	온도범위의 다양화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
자재	높은 잠열량 유지	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	기존 상변화온도 범위 유지	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	강도 확보	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	내구성 및 내후성 확보	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	경량화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	대량 생산의 가능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	가공 용이	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	운반 용이	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	시공 용이	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	리모델링의 용이성	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	상변화 시 적은 부피변화의 감소	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	DB 구축을 통한 효율적인 선택 가능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
적용	건물에너지 절감수준의 정량화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	구조체의 단열/외기변화 대처 수준 정량화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요

	PCM 적용 구조체 디테일	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	PCM 적용 내부 마감 디테일	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	패시브 요소기술 도입방안	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	PCM을 활용한 저에너지 설계 요소기술	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	PCM의 건물에너지 효율분석 프로그램의 개발 및 지원	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	품질 확보 전략	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	설계/시공 가이드라인	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	건축물 최적화 운용 계획	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
평가	자재의 기본 물성 변화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	잠열량	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	오염물질 방출량	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	내후성	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	내화성	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	상변화온도	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	열전도율	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	에너지 절약성능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	쾌적성능	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	환경영향성	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	에너지 절약성능 실증	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요
	시장활성화	전혀 불필요	필요 없음	보통	필요	매우 필요

표 39. 품질수요 중요도 조사 결과

품질 수요		중요도
소재	낮은 가격	4.00
	대량생산의 가능	4.19
	공정의 단순화	4.05
	잠열량의 증가	4.27
	건축자재 적용의 용이	4.59
	열전도율의 개선(증가)	4.08
	상변화로 인한 누출의 방지	4.24

	재활용의 가능	3.51
	내구성의 증가	4.05
	온도범위의 다양화	3.89
자재	높은 잠열량 유지	4.27
	기존 상변화온도 범위 유지	3.97
	강도 확보	4.16
	내구성 및 내후성 확보	4.30
	경량화	3.62
	대량 생산의 가능	4.16
	가공 용이	4.08
	운반 용이	3.73
	시공 용이	4.22
	리모델링의 용이성	3.68
	상변화 시 적은 부피변화의 감소	3.97
	DB 구축을 통한 효율적인 선택 가능	3.68
적용	건물에너지 절감수준의 정량화	4.30
	구조체의 단열/외기변화 대처 수준 정량화	4.24
	PCM 적용 구조체 디테일	3.86
	PCM 적용 내부 마감 디테일	3.78
	패시브 요소기술 도입방안	4.08
	PCM을 활용한 저에너지 설계 요소기술	4.22
	PCM의 건물에너지 효율분석 프로그램의 개발 및 지원	4.03
	품질 확보 전략	4.14
	설계/시공 가이드라인	4.14
	건축물 최적화 운용 계획	3.89
평가	자재의 기본 물성 변화	3.97
	잠열량	4.38
	오염물질 방출량	4.08
	내후성	4.22
	내화성	4.16
	상변화온도	4.08
	열전도율	4.08
	에너지 절약성능	4.46
	쾌적성능	4.16
	환경영향성	3.97
	에너지 절약성능 실증	4.46
	시장활성화	4.38

표 40. 요소기술 도출 결과

요소 기술	
소재	1. 무기 PCM 기술개발
	2. 유기 PCM 기술개발
	3. Bio PCM 기술개발
	4. 미세 캡슐화 기술의 개발
	5. 형태안정화 PCM기술개발
	6. Direct incorporation 기술개발
자재	7. 고함량 PCM 적용 건축자재 개발
	8. 건축자재별 요구 물성 분석
	9. 실내 마감재 (내벽/파티션) 개발
	10. 실내 마감재 (천장) 개발
	11. 실내 마감재 (바닥) 개발
	12. 축열 구조재 (콘크리트/블록) 개발
	13. 실외 마감재 개발
	14. 기존 건축물 적용 방안 고찰
	15. 신축 건축물 적용 방안 고찰
	16. 공장생산 축열 건축자재 개발 (건식)
	17. 현장시공 축열 건축자재 개발 (습식)
	18. PCM 적용 건축자재 DB 구축
	19. 태양열 연계 구체 축열시스템 개발
적용	20. 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방안 도출
	21. PCM 적용 부위별 에너지 절감성능 분석
	22. PCM을 활용한 열교차단 기술개발
	23. PCM이 적용된 건축물의 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발
	24. PCM을 활용한 저에너지/ 친환경 설계기법의 개발
	25. PCM을 활용한 리모델링 기법의 개발
	26. PCM 건축자재 시장 활성화를 위한 사업모델 개발
평가	27. 건축자재용 PCM 성능평가기준 개발
	28. PCM 적용 건축자재 축열 성능평가기준 개발
	29. PCM 적용 건축자재 에너지 성능평가기준 개발
	30. PCM 건축자재의 내후성 평가
	31. 테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발
	32. PCM을 적용한 건축물에너지 성능평가방법
	33. 저에너지 요소부품 시스템 통합성능평가
	34. 구축조건에 따른 외부환경 평가기준 개발
	35. 적용 부위에 따른 에너지 절약성능 DB 구축
	36. 열섬저감 효과 정량화 및 기준개발

(2) QFD를 통한 품질수요와 요소 기술 간의 상관관계 분석

- 화학, 건축시공, 건축재료, 건축설계, 시험평가 분야 관련 전문가 자문 및 연구진 회의를 거쳐 품질수요와 요소 기술 간의 상관관계를 분석함

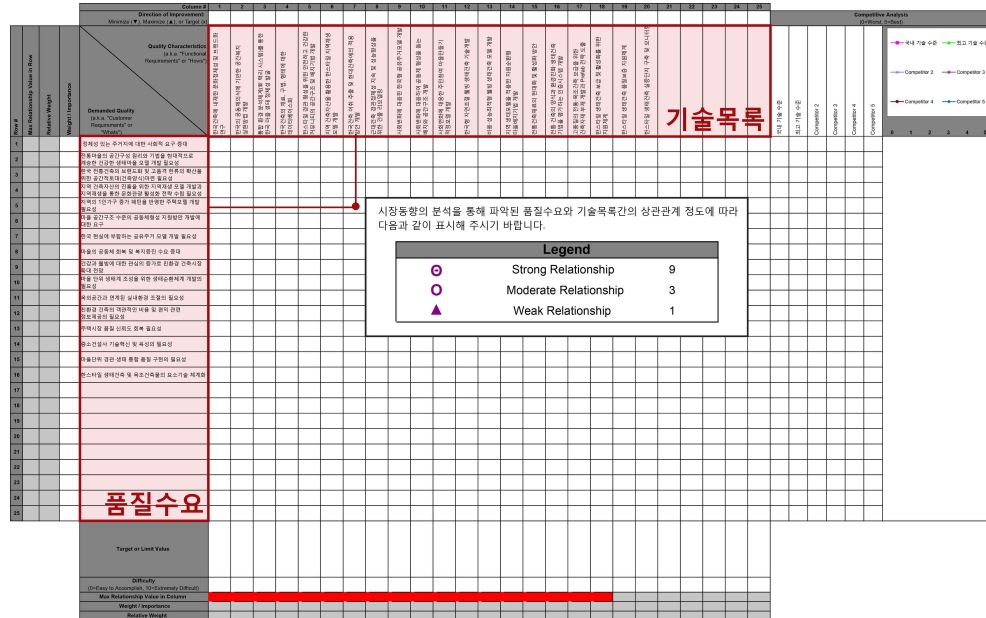


그림 109. 핵심연구과제 도출을 위한 QFD 프로세스

(3) 최종 중점과제 설정

- QFD를 통해 도출된 상관관계에 의한 요소기술별 중요도에 따라 최종 중점과제 도출

표 41. QFD를 통한 요소기술별 중요도

요소 기술		중요도
소재	1. 무기 PCM 기술개발	100.8
	2. 유기 PCM 기술개발	237.9
	3. Bio PCM 기술개발	365.0
	4. 미세 캡슐화 기술의 개발	275.0
	5. 형태안정화 PCM기술개발	227.6
	6. Direct incorporation 기술개발	211.8
자재	7. 고함량 PCM 적용 건축자재 개발	163.1
	8. 건축자재별 요구 물성 분석	213.3
	9. 실내 마감재 (내벽/파티션) 개발	340.1
	10. 실내 마감재 (천장) 개발	295.7
	11. 실내 마감재 (바닥) 개발	306.7
	12. 축열 구조재 (콘크리트/블록) 개발	209.5
	13. 실외 마감재 개발	213.0
	14. 기존 건축물 적용 방안 고찰	138.3
	15. 신축 건축물 적용 방안 고찰	106.7
	16. 공장생산 축열 건축자재 개발 (건식)	141.9
	17. 현장시공 축열 건축자재 개발 (습식)	208.5
	18. PCM 적용 건축자재 DB 구축	241.5
	19. 태양열 연계 구체 축열시스템 개발	125.4
적용	20. 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방안 도출	220.9
	21. PCM 적용 부위별 에너지 절감성능 분석	239.6
	22. PCM을 활용한 열교차단 기술개발	181.9
	23. PCM이 적용된 건축물의 설계/시공/운영 가이드라인 개발	256.5
	24. PCM을 활용한 저에너지/친환경 설계기법의 개발	268.9
	25. PCM을 활용한 리모델링 기법의 개발	192.7
	26. PCM 건축자재 시장 활성화를 위한 사업모델 개발	186.8
평가	27. 건축자재용 PCM 성능평가기준 개발	321.7
	28. PCM 적용 건축자재 축열 성능평가기준 개발	432.6
	29. PCM 적용 건축자재 에너지 성능평가기준 개발	252.4
	30. PCM 건축자재의 내후성 평가	174.6
	31. 테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발	243.3
	32. PCM을 적용한 건축물에너지 성능평가 방법	218.0
	33. 저에너지 요소부품 시스템 통합성능평가	155.4
	34. 구축조건에 따른 외부환경 평가기준 개발	115.1
	35. 적용 부위에 따른 에너지 절약성능 DB 구축	126.4
	36. 열섬저감 효과 정량화 및 기준개발	112.8

○ 최종 중점과제

- QFD를 통해 도출된 요소기술의 중요도 평가 후 분야별로 중요도 200이상의 중점과제를 선정하였음

표 42. 요소기술 중요도 평가 및 중요도 200이상 중점과제 선정

요소 기술		중요도
건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발	1. Bio PCM 기술개발	365.0
	2. 미세 캡슐화 기술의 개발	275.0
	3. 유기 PCM 기술개발	237.9
	4. 형태안정화 PCM 기술 개발	227.6
	5. Direct incorporation 기술개발	211.8
	6. 무기 PCM 기술개발	100.8
PCM 적용 축열 건축자재 개발	1. 실내 마감재 (내벽/파티션) 개발	340.1
	2. 실내 마감재 (바닥) 개발	306.7
	3. 실내 마감재 (천장) 개발	295.7
	4. PCM 적용 건축자재 DB 구축	241.5
	5. 건축자재별 요구 물성 분석	213.3
	6. 축열 구조재 (콘크리트/블록) 개발	209.5
	7. 실외 마감재 개발	188.2
	8. 현장시공 축열 건축자재 개발 (습식)	186.1
	9. 고함량 PCM 적용 건축자재 개발	163.1
	10. 공장생산 축열 건축자재 개발 (건식)	141.9
	11. 기존 건축물 적용 방안 고찰	138.3
	12. 태양열 연계 구체 축열시스템 개발	125.4
	13. 신축 건축물 적용 방안 고찰	106.7
건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화	1. PCM을 활용한 저에너지/친환경 설계기법의 개발	268.9
	2. PCM이 적용된 건축물의 설계/시공/운영 가이드라인 개발	256.5
	3. PCM 적용 부위별 에너지 절감성능 분석	239.6
	4. 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방안 도출	220.9
	5. PCM을 활용한 리모델링 기법의 개발	192.7
	6. PCM 건축자재 시장 활성화를 위한 사업모델 개발	186.8
	7. PCM을 활용한 열교차단 기술개발	181.9
PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 개발	1. PCM 적용 건축자재 축열 성능평가기준 개발	432.6
	2. 건축자재용 PCM 성능평가기준 개발	321.7
	3. PCM 적용 건축자재 에너지 성능평가기준 개발	252.4
	4. 테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발	243.3
	5. 적용 부위에 따른 에너지 절약성능 DB 구축	234.2
	6. PCM을 적용한 건축물에너지 성능평가 방법	218.0
	7. PCM 건축자재의 내후성 평가	174.6
	8. 저에너지 요소부품 시스템 통합성능평가	155.4
	9. 구축조건에 따른 외부환경 평가기준 개발	115.1
	10. 열섬저감 효과 정량화 및 기준개발	112.8

- 사업의 성공적인 추진을 위하여 설문, 자문 및 QFD 분석 등을 통하여
핵심기술요소 및 세부과제를 구성하였으며 아래와 같이 도출되었음

표 43. 핵심기술요소 및 세부과제 구성

핵심기술요소	중분류	소분류
1. 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발	1-1. Paraffin계 PCM 제조 기술 개발	1-1-1. Paraffin계 PCM 상변화온도 조절 정제기술 개발
		1-1-2. 가지달린 이성체 제거기술 개발
		1-1-3. 석유화학으로부터 대량생산 기술 개발
	1-2. Bio-PCM 제조 기술 개발	1-2-1. Bio-PCM 상변화온도 조절 기술 개발
		1-2-2. 잠열량 조절 기술 개발
		1-2-3. Bio Oil 로부터 합성 및 정제 기술 개발
	1-3. PCM 안정화 가공기술개발	1-3-1. Immersion 기술(다공성물질 설계 및 합성기술 포함) 개발
		1-3-2. Nano-, Micro-, Macro-encapsulation 기술 개발
		1-3-3. 분산형, Powder형 제형 기술 개발
	1-4. PCM 성능 개선 기술 개발	1-3-1. 열전도를 개선 기술 개발
		1-3-2. 과냉각 방지 기술 개발
		1-3-3. 난연성 부여 기술 개발
2. PCM 적용 축열 건축자재 개발	2-1. 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가	2-1-1. 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가
		2-1-2. 국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가
		2-1-3. RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가
	2-2. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발	2-2-1. PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발
		2-2-2. PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발
		2-2-3. PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발
		2-2-4. 대용량형 PCM 적용 적용 기술 개발
	2-3. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (천장재) 개발	2-3-1. PCM 적용 고축열 천장텍스 개발
		2-3-2. 천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발
		2-3-3. 천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발
		2-3-4. 환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발
	2-4. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발	2-4-1. 겨울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발
		2-4-2. 실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시
	2-5. PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적벽돌) 개발	2-5-1. 콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발
		2-5-2. PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발
		2-5-3. PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발
		2-5-4. 고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발

3. 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화	3-1. 건축 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발	3-1-1. 구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도변화 대역 분석
		3-1-2. 구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온도범위 분석
		3-1-3. 부위별 PCM 적용방안 도출
		3-1-4. 부위별 적용 가능한 PCM 정립
	3-2. 건축 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석	3-2-1. 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지 절감 성능 분석
		3-2-2. 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
		3-2-3. 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
	3-3. PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발	3-3-1. PCM 적용을 위한 설계상세도 개발
		3-3-2. 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발
		3-3-3. 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량 분석 및 도출
		3-3-4. 하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축물 운영 가이드라인 개발
4. PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발	4-1. PCM 소재 및 적용자재 성능 평가방법 개발 및 검증	4-1-1. PCM 소재별 성능 평가기준 개발
		4-1-2. PCM 자재의 성능 평가기준 개발
	4-2. PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발	4-2-1. PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 도출
		4-2-2. PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 평가 방법 도출
	4-3. PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험	4-3-1. PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법 개발
		4-3-2. PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 실증

3. 기술준비도(TRL) 목표

- 핵심기술요소 및 세부과제를 통해 기술준비도(TRL)을 도출하였으며 각 TRL에 대한 목표는 다음과 같이 설정하였음

□ 기술준비도(TRL) 목표 항목

① CTE1 : 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발

구분	단계	TRL 정의	시험평가 주체	시험평가		생산수준 또는 결과물 결과물 수준	시험평가 환경	개발 연차
				대상	평가항목			
기초 연구 단계	1	기초이론/실험	-	-	-	-	-	-
	2	실용목적 아이디어·특허 등 개념정립	연구진	기존 PCM 소재의 종류, 성능 분석, 적용방법 정립	문헌자료	보고서 사례집 (DB)		1차 년도
실험 단계	3	실험실 규모의 기본 성능 검증	연구진	신규 PCM 소재 (Paraffin계 PCM, Biobased-PCM) 개발	성능지표	성능보고서 (DB)		1·2·3차 년도
	4	실험실 규모의 소재/부품/ 시스템 핵심성능 평가	연구진	PCM 안정화 가공기술개발 PCM 성능 개선 기술 개발	성능지표	성능보고서 (DB)		3·4차 년도
시작품 단계	5	확정된 소재/부품/시 스템의 시작품 제작 및 성능 평가	연구진	건축자재(벽재, 바닥재, 천장재 등) 적용기술 개발	제품화	제품 제조기술		4·5차 년도
	6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가	연구진/시 험전문기 관	PCM 소재의 경제적인 제조공정 확립 및 적용제품 평가	성능지표	성능보고서 제품설명서		5차 년도
실용화 단계	7	신뢰성 평가 및 수요기업 평가						
	8	시제품의 인증 및 표준화						
사업화	9	사업화						-

* 음영표시된 TRL 1, 9단계는 원칙적으로 정부 R&D 비지원 영역임

② CTE2 : PCM 적용 축열 건축자재 개발

구분	단계	TRL 정의	시험평가 주체	시험평가		생산수준 또는 결과물 결과물 수준	시험평가 환경	개발 연차
				대상	평가항목			
기초 연구 단계	1	기초이론/실험	-	-	-	-	-	-
	2	실용목적 아이디어·특허 등 개념정립	연구진	PCM 적용 가능 실내·외 건축마감재 선정	문헌자 료	보고서 사례집 (DB)		1차 년도
실험 단계	3	실험실 규모의 기본 성능 검증	연구진	기존 실내·외 건축마감재의 기초 물성 분석	성능지 표	성능보고서 성능평가집 (DB)		1·2차 년도
	4	실험실 규모의 소재/부품/ 시스템 핵심성능 평가	연구진	PCM 적용 예측 효과 시뮬레이션 분석	소재발 굴	기술보고서		2~5차 년도
				기후조건 및 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가	개발 전략	개발전략		
시작품 단계	5	확정된 소재/부품/시 스템의 시작품 제작 및 성능 평가	연구진	PCM 적용 축열 건축자재 개발기술 정립	제품화	제품 제조기술		
				Proto-type 축열 건축자재				
	6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가	시험전 문기관	PCM 적용 축열 건축자재 열적 성능 평가	성능지 표	성능보고서 성능평가집 (DB)		
			연구진	PCM 적용 축열 건축자재 실내환경 영향성 평가				
실용화 단계	7	신뢰성 평가 및 수요기업 평가						
	8	시제품의 인증 및 표준화						
사업화	9	사업화						-

* 음영표시된 TRL 1, 9단계는 원칙적으로 정부 R&D 비지원 영역임

③ CTE3 : 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화

구분	단계	TRL 정의	시험평가 주체	시험평가		생산수준 또는 결과물 결과물 수준	시험평가 환경	개발 연차
				대상	평가항목			
기초 연구 단계	1	기초이론/실험	-	-	-	-	-	-
	2	실용목적 아이디어·특허 등 개념정립	연구진	PCM 적용에 따른 건물에너지 절감성능 분석	성능지표	보고서		1차 년도
실험 단계	3	실험실 규모의 기본 성능 검증	연구진	부위별 PCM 적용을 위한 최적화 방안 도출	성능지표	보고서		2·3차 년도
				적용방법(구조체별, 실내·외장재별)에 따른 최적화 방안 도출				
	4	실험실 규모의 소재/부품/ 시스템 핵심성능 평가	연구진	PCM 최적화 적용 방안에 따른 건물에너지 절감 지표수준 설정	성능지표 지표수준	보고서 모델(안)		3차 년도
시작품 단계	5	확정된 소재/부품/시스 템의 시작품 제작 및 성능 평가	평가전 문 기관	PCM 적용을 위한 설계방법	제품화	PCM 적용 설계기법		4차 년도
				시공 하자/ 품질확보를 위한 시공방법		가이드라인		
실용화 단계	6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가	평가전 문 기관	PCM 적용 건축물의 운영 최적화 방안	사용성 쾌적성	가이드라인		5차 년도
	7	신뢰성 평가 및 수요기업 평가						
사업화	8	시제품의 인증 및 표준화						
	9	사업화						-

* 음영표시된 TRL 1, 9단계는 원칙적으로 정부 R&D 비지원 영역임

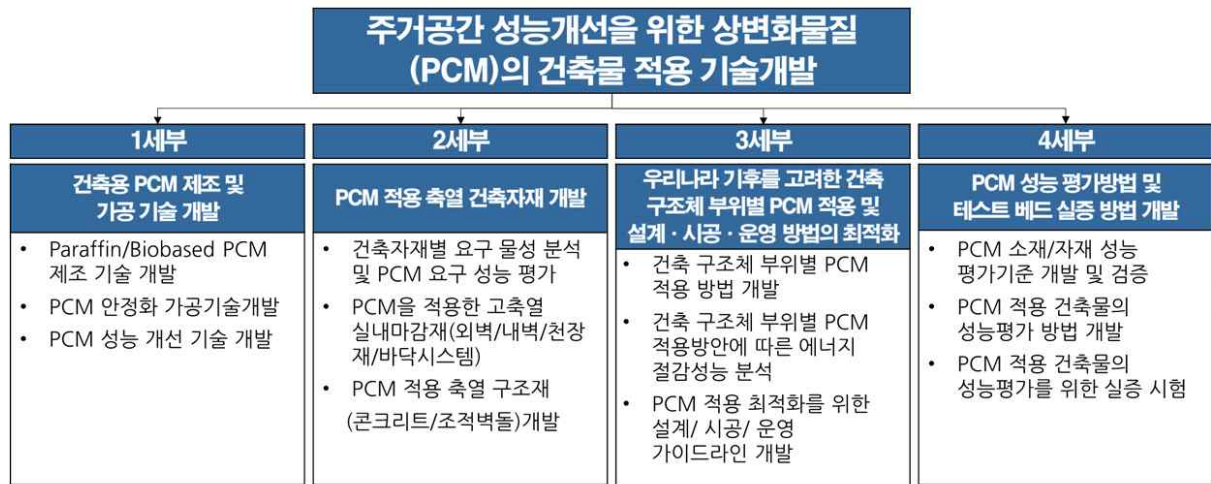
④ CTE4 : PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발

구분	단계	TRL 정의	시험평가 주체	시험평가		생산수준 또는 결과물 결과물 수준	시험평가 환경	개발 연차
				대상	평가항목			
기초 연구 단계	1	기초이론/실험	-	-	-	-	-	-
	2	실용목적 아이디어·특허 등 개념정립						
실험 단계	3	실험실 규모의 기본 성능 검증						
	4	실험실 규모의 소재/부품/ 시스템 핵심성능 평가	평가전 문기관	PCM 소재별 성능평가기준 개발	평가지표	평가기준		1~3차 년도
시작품 단계	5	확정된 소재/부품/시스 템의 시작품 제작 및 성능 평가	평가전 문기관	PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 도출	평가지표	평가기준		3차 년도
	6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가	평가전 문기관	PCM 적용 건축물의 실증시험	유효성	보고서		4차 년도
				PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 평가방법 도출	평가지표	평가기준		5차 년도
실용화 단계	7	신뢰성 평가 및 수요기업 평가						
	8	시제품의 인증 및 표준화						
사업화	9	사업화						-

* 음영표시된 TRL 1, 9단계는 원칙적으로 정부 R&D 비지원 영역임

3절. 연구개발과제 구성

1. 세부과제별 연구개발 구성



PCM 소재/ 건축자재/ 설계기법의 개발과 패시브하우스 요소기술화를 통한
건물에너지 절감 및 실내 온열쾌적감 증대

- 본 기획과제의 연구는 주거공간에서의 에너지 절약과 온열 쾌적감 향상 및 미래건축기술의 하나로, PCM 소재/ 자재/ 적용방법 및 평가방법을 개발하는 것으로 연구방향을 설정하였으며, 다음의 세부 연구수행을 통해 최종 기술개발을 위한 전략을 수립하였음
- 세부 연구내용
 - 1세부 (건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발)
 - 2세부 (PCM 적용 축열 건축자재 개발)
 - 3세부 (건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화방안 개발)
 - 4세부 (PCM 성능 평가방법 및 테스트 베드 실증 방법 개발)
- PCM의 건축물 적용을 통한 주거공간 성능개선을 위해 본 연구에서는 4개의 세부로 나누었으며 PCM의 소재개발에서부터 평가에 이르기까지 전과정을 포함할 수 있도록 구성하였음

4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제별 연구목표 및 추진체계

세부과제 1. 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발

가. 연구목표

- 특정 상변화 온도, 충분한 잠열량, 건축자재와의 상용성을 지닌 신규 PCM 소재(Paraffin계 PCM, Biobased-PCM) 확보 및 PCM 안정화 가공기술 개발
- 상업화를 위한 PCM 소재의 경제적인 제조공정 확립 및 건축자재(벽재, 바닥재, 천장재 등) 적용기술 개발
- 건축물의 효율적 에너지 관리 및 적절한 온도 유지로 거주자의 쾌적성 확보를 위한 PCM 성능 향상 패키지 기술 개발. (열전도율 개선, 과냉각 방지, 난연성 부여)

나. 필요성

- PCM 물질은 각각 상전이온도, 잠열량, 부식성, 내화성, 열전도성, 과냉각성, 화학안정성, 사용사이클에 따른 열적안정성, 가격 등에 있어서 장단점을 가지고 있어 건축자재용도에 맞는 맞춤형물성 및 성능 발휘를 위한 연구개발이 필요하며, 최근에는 환경적인 이슈 대응, 원천기술확보 측면에서도 PCM 소재연구가 필요함
- 상변화 물질을 제품에 응용함에 있어서, 액체 상태의 상변화 물질을 단순 혼합하여 사용하면 상변화 물질의 누출이 발생하고 이로 인해 그 성능이 크게 떨어지는 문제점이 있으므로 안정적으로 상변화가 일어날 수 있도록 일정한 크기의 공간을 확보 및 부여, 과냉각방지기능 부여, 열적·화학적 안정성을 부여하는 안정화 기술이 필요함. 현재까지 알려진 상변화 물질의 안정화 방법으로는 함침법, Macro-encapsulation, Micro-encapsulation, 형태안정화법, Nano-encapsulation 이 있으며, 선진국에서 이미 원천기술을 다수 확보하고 있음
- 따라서, 축방열 소재기술개발에 성공하기 위해서는 가격경쟁력을 확보하고 적용 건축자재에 안정적으로 분산되어 외부에서 가해지는 전단력에도 파괴되지 않는 구조적으로 안정한 미세한 크기의 입자제조, 표면처리, 분산 등의 새로운 제조기술개발이 요구된다고 할 수 있음
- 축방열 소재에 있어 국내에서는 다양한 상전이 물질을 이용하여 미립화 기술 및 유화 기술을 사용하여 마이크로 사이즈의 캡슐제품을 제조하였으나, 대부분이 상용화에는 크게 성공하지 못한 상태이며, 몇몇 중소기업(주식회사 에네트, 미광다이텍주식회사 등)에서 소량생산단계에 머물고 있는 상태이며, 소재가 달라지면 PCM 소재에 따라 가공기술이 달라져야하며 적용하고자 하는 자재에 맞는 맞춤형 가공기술 연구가 반드시 필요함
- PCM 물질의 경제적인 대량생산 기술개발 확립이 필요함

(1) 건축자재용 PCM 소재 개발의 필요성

- 원하는 가동온도범위에 맞는 맞춤형 상전이온도의 조절 필요(-5 ~ 60° C)
- 상전이시 저장 및 방출에너지 증가를 위한 잠열량의 조절 필요(150~200KJ/Kg)
- 비부식성, 비독성, 내화성, 열적·화학적 안정성이 있는 PCM 물질 개발 필요
- 경제적인 제조단가 및 환경 친화적(Renewable resources)인 PCM 물질 개발 필요
- 대량생산 공정 개발이 필요

(2) 건축자재 적합성 가공기술 개발의 필요성

- 가공 후에도 소재의 특성이 훼손되지 않는 가공기술 확보 필요
- 적용하는 건축자재 물질과의 상용성, 분산안정성 확보 필요
- 가공시 가해지는 전단력 및 압력을 극복하고 유출을 방지할 수 있을 정도의 내구성 확보 필요
- 경량화 필요
- 장기사용에 따른 성능 안정성(예: 3,000 cycles, 10 years) 확보 필요
- 경제적인 제조단가 및 환경 친화적인 가공기술 개발 필요

다. 추진체계

- 산/학/연 신규 PCM 소재 개발 및 제품 적용화 단계 연구
 - 화학물질 설계 및 합성에 강점을 가진 연구기관/대학에서 신규 PCM 후보물질을 개발하고, 석유화학업체가 참여하여 기존에 생산하고 있는 Paraffin oil 의 생산공정을 PCM 물질에 적합하도록 개조하여 생산하게 하며, 정밀화학업체가 참여하여 산연공동으로 안정화 가공기술을 개발한다. 건축자재 산업체와의 연계를 통해 친환경성의 신규 PCM 소재 및 제품개발의 실용성을 타진하고, 성능기반의 검증을 통해, 개발제품의 정량적인 성능 및 실내 영향성을 평가함
 - 실내온도의 편차가 거의 없게 조절할 수 있는 에너지 세이빙 PCM 소재를 발굴하고, PCM 소재의 성능을 정량적으로 평가하며, 이를 건축용 제품(바닥재, 벽장재, 도료 등)으로 개발하기 위하여, 건축자재 산업체와의 공동연구 혹은 자문단 구성을 통해 PCM 소재의 성능향상 기술 마련
- 신규 제품 상품화 단계
 - 제품 상용화 단계에서는 축방열 기능을 가지는 PCM원료의 개발을 완료하고 이를 현장화 하기 위한 시설(PCM반응기, 분산 및 배합기, 정제설비 등)을 구축하며, 공정 최적화를 확립하고자 함
 - 기존의 거래관계의 업체를 통하여 실제 Line에 양산하여 제품의 성능을 확인하며, 현장 시공을 통해 물성자료를 확보함. 또한 협력업체를 통한 마케팅을 실시하고 각종 전시회 및 세미나에 참석하여 제품을 적극 홍보함

○ PCM 적용 건축자재 시장 진입 단계

- 초기 PCM 적용 건축자재의 상품화가 이루어지면 국내시장의 관련분야별로 확대를 위한 시제품 평가를 실시하여 점차 수요기업별로 진입을 추진하며, 해외시장의 경우 기존 거래 상사를 통한 제품 평가를 추진한다. 또한 해외전시회나 세미나에도 적극 참여하여 해외로의 수출확대를 위한 초석을 다짐

라. 연구기간 및 소요 예산

- (기간 · 소요예산) 5년 / 총 30억 원

마. 주요 연구내용

○ 기존 PCM 소재의 종류 및 성능 분석

- 기존 PCM 소재의 종류 및 적용방법을 정립하고 객관적인 성능 검증
- 기존 PCM 소재의 성능을 DB로 구축
- 분석 자료 및 성능검증을 통한 신규 PCM 소재 개발 방향 정립

○ Paraffin계 PCM 제조 기술 개발

- 상변화온도 조절 정제기술 개발
- 가지달린 이성체 제거기술 개발
- 물성분석 기술 표준화
- 석유화학으로부터 대량생산 기술 개발

○ Bio-PCM 제조 기술 개발

- 상변화온도 조절 기술 개발
- 잠열량 조절 기술 개발
- Bio Oil로부터 합성 및 정제 기술 개발
- 물성분석 기술 표준화

○ PCM 안정화 가공기술개발

- Immersion 기술(다공성물질 설계 및 합성기술 포함) 개발
- Micro-encapsulation 기술(Double capsulation 포함) 개발
- Macro-encapsulation 기술 개발
- 분산형 제형 기술 개발
- Powder형 제형 기술 개발
- 형태안정화 PCM 물성분석 기술 표준화

○ PCM 성능 개선 기술 개발

- 열전도율 개선 기술 개발
- 과냉각 방지 기술 개발
- 난연성 부여 기술 개발

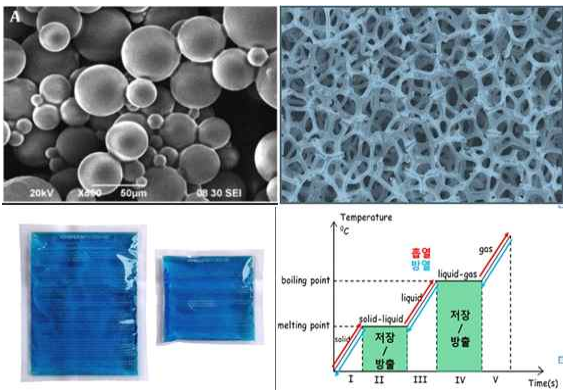
바. As-Is, To-Be

AS-IS



□ PCM은 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도의 변화 없이 잠열(Latent heat)의 형태로 열을 저장·방출할 수 있는 물질임. PCM 소재를 건축자재에 적용 시 실내의 온도를 일정하게 유지하거나 실외에서 유입·유출되는 열의 이동을 지연시킬 수 있는 기능을 가지므로 쾌적하고 에너지 절약형인 건축물 구축에 응용되고 있으나 국내에는 그 원천소재 생산기술이 없어 세계적 조류에 편성하지 못하고 시장이 활성화 되고 있지 못함.

TO-BE



□ 원유와 동물유, 식물유 등 천연오일로부터 건축물 실내 열관리에 적합한 PCM 원천 소재를 생산하는 기술을 개발하고, 이 PCM 원천소재가 건축자재에 적용되었을 경우 반복사용에도 성능의 열화 없이 안정되게 실내의 온도를 일정하게 유지하거나 실외에서 유입·유출되는 열의 이동을 지연시키는 기능을 지속할 수 있도록 하는 신뢰성있는 가공기술(Encapsulation, SSPCM 등)을 개발하여 건축자재에 적용되도록 제공한다.

핵심 기술	성능 지표	AS-IS	TO-BE
Paraffin계 PCM 제조 기술 개발	맞춤형 상전이온도 (-4, 5, 25, 32℃) 잠열량(150~200KJ/Kg)	Base Oil 생산기술 존재 PCM용 Paraffin wax 생산기술 없음	PCM용 Paraffin wax 생산기술 개발 -5~60℃, 150~200KJ/Kg
Biobased-PCM 제조 기술 개발	맞춤형 상전이온도 (-4, 5, 25, 32℃) 잠열량(150~200KJ/Kg)	가수분해, 에스테르화기술 존재 Biobased-PCM 제조기술이 없음	PCM용 Biobased materials 생산기술 개발 -5~60℃, 150~200KJ/Kg
PCM 안정화 가공기술개발	장기 안정성 (3,000 cycles, 10 years)	부분적인 안정화기술 존재 용도 맞춤형 안정화기술 필요	용도 맞춤형 안정화기술 개발 3,000 cycles, 10 years

사. 기대효과

- PCM 원료물질 제조기술 확보로 능동적인 열흡수, 열저장, 열방출하는 축열기능을 부여하는 건축물기술 개발에 중요한 기반을 마련함으로써 국민에게 보다 낮은 에너지비용으로 보다 쾌적한 주거공간을 제공하는데 기여할 수 있음.
- 축방열 전자재 적용시 실내피크온도 1~2 ℃ 저감 및 Peak-hour 부하의 이동으로 건축물의 효율적 에너지 관리의 요소기술로 기대됨.
- 대표적 에너지 의존 국가인 우리나라에서 스마트 축방열 소재를 건축자재 외에도 신체용품, 냉난방 시스템, 수송용 기기에 적용함으로써 냉난방에 사용되는 에너지를 절감하고 환경 보전에도 기여할 수 있음
- 모바일 기기의 과열을 방지할 수 있는 요소기술로 적용되어 과열로 인한 사고방지 및 장기 사용 안정성확보에 기여
- 경제적인 제조기술 확보로 활용가능한 후방산업, 즉, 건축자재, 신체용품, 냉난방 시스템, 수송용 기기, 모바일 기기 산업의 경제성을 확보할 수 있으며, 또한, 에너지 절감 효과에 따른 기후변화 대응을 위한 건축물의 CO2 절감 기술로 활용 가능함

세부과제 2. PCM 적용 축열 건축자재 개발

가. 연구목표

- 건축재료 제조 및 시공과정을 고려하여 PCM이 적용 가능한 실내·외 건축마감재를 선정하고, 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 국내 기후조건과 건축 구조 형태에 따른 PCM 적용 효과를 분석하여 요구 성능에 맞는 PCM을 적용한 고축열 건축자재를 개발을 목표로 함
- 개발된 축열 건축자재의 열적 성능 평가는 본 과제를 통해 개발된 평가 기법 및 지표에 따라 분석하며, 최종적으로 축열 건축자재 종합 Database를 구축하는 것을 목표로 함

나. 필요성

- 건축재료에 따라 PCM을 적용하는 방식이 다르기 때문에 제조 방법에서부터 시공까지의 분석을 통해 PCM을 적용할 수 있는 실내·외 건축마감재 선정 필요
 - 석고보드의 경우에는 제조 과정에서 Powder 및 Particle type으로 PCM을 적용할 수 있으나 Macro-encapsulation type으로 적용하기 어려움
- PCM 적용 축열 건축자재 개발 이후 축열 성능의 객관적인 평가 및 지표를 개발하기 위해 기존 건축마감재의 물성 Database 구축 필요
- PCM의 잘못된 적용으로 인한 역효과 방지 방안 고찰 필요
 - 적절하지 않은 상변화온도 범위를 갖는 PCM을 적용할 경우에는 오히려 실내의 온도가 충분히 못하여 내부의 온도가 계속적으로 높아져서 여름철 냉방부하를 높이는 요인으로 작용
 - 중량 건축물의 경우에는 충분한 축열 성능을 가지고 있기 때문에 과도한 잠열량을 갖는 PCM이 적용되어 역효과를 나타냄
 - 건물에너지 성능 평가 시뮬레이션 Tool을 이용하여 구조형태 및 기후조건에 따라 최적의 성능이 발현될 수 있는 PCM을 사전에 평가하여 축열 건축자재를 개발할 필요가 있음
- 목조건축물 등의 낮은 축열성능을 갖는 건축물의 축열성능 보완 필요
 - PCM은 건축에 적용되어 여름철 외부에서 유입되는 열을 지연시키고, 겨울철 외부로 방출되는 열의 흐름을 지연시켜, 그로 인해 피크온도를 저감하는 효과를 볼 수 있음
 - 피크온도 저감은 건물에너지 절감과 직결되며 실내 재실자의 온열 쾌적성을 증대할 수 있음

다. 추진체계

○ 학/연 공동연구

- PCM에 대한 기술적 한계를 극복하기 위한 화학 재료 관련 전문연구기관과의 공동연구를 통해 국외 수준을 뛰어넘는 성능을 갖는 PCM 축열 건축자재를 개발하고자 하며, 나아가 PCM 가격경쟁력 확보에 활용
- SCOPUS 논문 검색을 통한 PCM의 건물에너지 평가 시뮬레이션 연구 및 논문 동향은 국외에서도 미비한 수준(2008년부터 2015년까지 24건의 SCI급 논문 게재)에 머물러 있으며, 건설생활환경시험 전문기관과 공동연구를 통해 실측 데이터와 함께 건물에너지 시뮬레이션 검증 수행

라. 연구기간 및 소요 예산

○ 5년 / 총 40억 원

마. 주요 연구내용

○ 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가

- 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가
- 국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가
- RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가

○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발

- PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발
- PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발
- PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발
- 대용량형 PCM 적용 적용 기술 개발

○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (천장재) 개발

- PCM 적용 고축열 천장텍스 개발
- 천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발
- 천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발
- 환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발

○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발

- 겨울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발
- 실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시

○ PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적벽돌) 개발

- 콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발
- PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발

- PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발
- 고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발

바. As-Is, To-Be

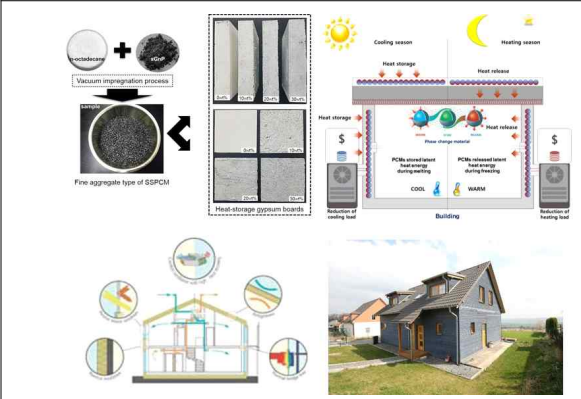
AS-IS



☐ 개념

캡슐화된 PCM을 석고보드에 적용하거나 패키징한 제품이 유럽과 북미를 중심으로 한 제품이 상용화되었음. 특정 건축재료 및 건축부위로 적용이 되었지만, 축열성능 향상, 난연 및 경제성에 대한 문제가 여전히 남아있음. 많은 연구진들이 다양한 방법을 통하여 축열성능 극대화 및 건축적용에 대한 연구를 수행하고 있지만, 건축부위별 재료별 최적화에 대한 연구는 미미한 수준임. PCM 소재별 건축부위별 최적화 및 축열성능 향상에 대한 연구가 필요함.

TO-BE



☐ 개념

환경에 대한 이해를 기반으로 건축부위별 PCM 소재를 선정하고 최적화된 적용을 통하여 건축물의 축열성능을 극대화함. P 기준에 BASF에서 개발하고 상용화된 축열 석고보드의 경우 20J/g의 축열성능을 가지고 있으며, 30J/g 이상의 축열성능이 발현되는 축열 건축자재 개발이 가능함. 축열성능의 향상과 더불어 건축자재가 가지고 있는 원재료의 성능 감소가 일어나지 않는 축열자재 개발. 축열성능 향상을 통해 1-2℃의 피크온도 저감효과를 가져올 수 있음.

핵심 기술	성능 지표	AS-IS	TO-BE
건축부위별 최적의 PCM 적용	○ 건축물 레이어별 맞춤형 적용기술 ○ 부위별 요구성능 검토 및 축열성능 향상 기술	○ 건축물 레이어별 단순 적용 ○ 캡슐화된 PCM을 혼합한 축열 건축재료 (낮은 축열성능) ○ 일반적인 PCM 소재 단순 적용	○ 해당부위별 사용온도에 따른 최적의 PCM이 적용된 축열 건축자재 개발 ○ 축열성능이 최소 30J/g 이상 축열 건축자재 개발 ○ 기존대비 20%이상 저렴한 PCM 가공 및 시공 방법 개발
PCM 적용 축열 건축자재 에너지 저감 기술	○ 축열 건축자재 적용에 따른 피크 온도 저감 기술	○ PCM이 적용되지 않은 건축 자재 및 부위 ○ 축열건축자재가 적용된 건축물 ○ 국내환경이 고려되지 않은 축열건축자재 및 부위	○ 상용되는 축열 건축자재 대비 2℃ 이상 피크온도 감소 기술개발

사. 기대효과

- 기후변화에 대응하기 위한 제로에너지 빌딩 수립 정책 목표 달성을 위해 개발된 PCM 적용 축열 건축자재의 높은 건물에너지 절감 효과
- 건물에너지 성능 평가 시뮬레이션과 실측 검증을 통해 정확한 PCM의 효과 분석이 가능하며, PCM의 적용 조건에 따른 최적의 PCM 선정 가능
- 현대인의 높아진 삶의 질에 대한 요구 및 쾌적성에 대한 수요 대처
- 경량 건축물의 단점을 개선한 축열성능 향상
- 새로운 PCM 소재를 개발하고 이를 적용한 실내·외 축열 건축마감재를 개발하고 제작함으로써 인한 해외시장 진출 및 수요창출
- 국내 PCM 시장 확대 및 가격경쟁력 확보
- 건축 계획단계에서부터 축열 건축자재의 Database를 활용한 축열 벽체 구성 가능

세부과제 3. 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화

가. 연구목표

- 상변화물질의 잠열을 이용한 에너지 저장 기술을 통해 기존 건축물의 건물에너지 요구량을 추가적으로 절감하고, 건축물 구조체 구성에 따른 온열환경 쾌적성을 극대화하기 위한 설계/ 시공/ 운영기법을 개발함
- 본 세부과제에서는, 건축물 구조체의 계절별 주요 온도변화대역을 분석하고, 구조체 부위별 적용가능한 최적의 PCM 소재를 선정하며, 벽체/ 지붕/ 바닥 등의 구조체별 적용방안에 따른 분석과 건축 내·외장재별 적용방안에 따른 건물에너지 절감량을 종합적으로 분석하여 건축물에 PCM 적용을 통한 최적화 방안을 도출함
- 종합분석된 결과값을 바탕으로, 적용방법에 따른 건물에너지 절감효과를 정량적으로 제시하며, 선택적인 사용이 가능하도록 설계 상세디테일을 개발함
- 또한, 시공단계에서의 발생할 수 있는 하자과 품질저하를 방지하기 위해, 시공 상세 가이드라인을 개발하는 것을 목표로 하며, 운영단계에서도 Over Heating/ Over Cooling 을 방지하기 위해 운영스케줄 제시 및 최적 운영방안을 제시하는 것을 목표로 함

나. 필요성

- 국내의 부족한 패시브하우스 요소기술 개발 사례
 - 현재 전 세계적으로, 패시브하우스의 보급확대, 제로에너지 하우스 구현 기술 등 건축물에서의 에너지 절감을 위하여, 국가별로 강한 드라이브를 정책적으로 걸고 있으며, 국내에서도 패시브하우스 수준달성('17), 제로에너지하우스('25)를 구현한다는 정부정책에 따라, 고단열/ 고기밀/ 열교차단/ 고성능창호/ 폐열회수환기장치 등 패시브하우스 요소기술을 개발하기 위한 다양한 연구들이 수행 중에 있으나, 구체적인 요소기술의 결과물은 아직 제시된 사례가 미비함
 - 또한, 패시브하우스, 제로에너지 하우스 단지 등과 같은 실증사업이 최근 들어 국내 전역에 걸쳐 실증사업이 발주되고 있으나, 아직 정밀한 성능수치와 실증이 충분히 이루어지지 않았으며, 국외의 주요 기술수준을 추격하는 형태로 나타나고 있음
 - 따라서 PCM 건축자재 적용 단계에서 민간기업 및 주택관련 공공기관 참여가 필요함
- 국내 경량건축물의 보급확대 및 건축물 축열 성능에 대한 관심 증대
 - 커튼월 건축물, 목조주택 및 모듈러 건축물의 보급과 확대로 인하여 건축물에서 축열체 역할의 재료들이 감소하고 있으며, 냉·난방부하에 취약한 건축물이 증가하고 있음
 - 이를 보완하기 위해 경량건축물에서도 축열 성능을 부여하기 위해 PCM 소재의 활용방안에 대한 관심이 증가하고 있음
 - PCM 적용에 따른 정확한 성능발현과 시공상의 하자발생제어, 축열 기능성을 통한 냉·난방 피크부하 절감량 산정 등을 위해서는, 정밀한 건축물 에너지성능평가 및 설계기법 등이 개발되어야 할 것으로 판단됨

다. 추진체계

- 산/학/연 공동연구를 통한 PCM 적용 설계방안에 따른 성능지표 설정 및 시공·운영 가이드라인 마련
 - 학/ 연구소에서 건축물 부위별 PCM 적용방안에 따른 건물에너지 성능지표를 설정하며, 이를 상세설계안으로 개발하기 위해 설계사와 함께 공동연구를 진행하는 것을 제안하며, 주요 기술과 설계기법의 표준화, 기준 및 규격을 설정하기 위한 토대를 구축함
 - 연구결과를 토대로 설계상세도, 시공·운영 단계의 가이드라인을 보급하여 기술 확산 유도
 - 설계기준, 시공기준 등 관련 학회/ 협회의 협조 및 기술이전을 통해 기술표준으로 제정하여 기술의 확산을 유도
 - PCM이 적용된 건물에너지 성능에 대한 신뢰성 확보를 위하여 산업계와 연구소의 협업을 통해 성능평가방법, 성능평가 기준, 실험방법에 대하여 정립함

라. 연구기간 및 소요 예산

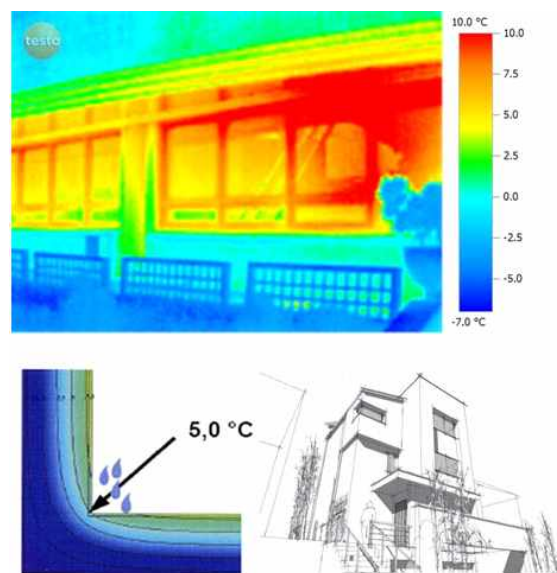
- 5년 / 총 20억원

마. 주요 연구내용

- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발
 - 구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도변화 대역 분석
 - 구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온도범위 분석
 - 부위별 PCM 적용방안 도출
 - 부위별 적용 가능한 PCM 정립
- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석
 - 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
- PCM 적용 친환경 설계기법
 - PCM 적용을 위한 부위별 설계상세도 개발
 - 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량 분석 및 도출
- PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발
 - PCM 적용을 위한 설계가이드라인 제작
 - 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발
 - 하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축물 운영 가이드라인 개발

바. As-Is, To-Be

AS-IS

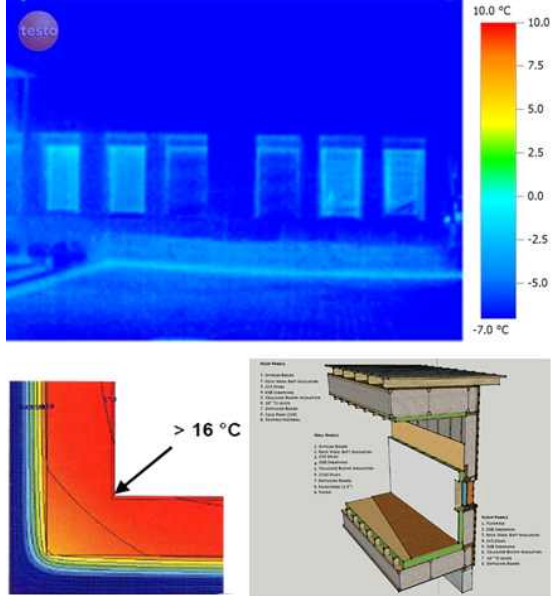


□ 개념

기존의 국내 건축물은 건물에너지 성능보다 건축물의 미적 관점에 주안점을 두어 프로젝트가 진행되는 사례가 다수 존재하였으며, 이로 인해 건물에너지 다소비, 열교발생, 결로 및 곰팡이 등 불쾌적인 요인이 생성하는 단점이 발생할 수 있음.

건물에너지 효율에 대한 중요성이 대두됨에 따라, 현재 건축정책적으로 패시브하우스 수준의 건축물을 구현하기 위해, 고단열, 고기밀, 고성능창호, 열교방지, 폐열회수장치 등의 요소기술이 요구되고 있음. 고단열의 건축물을 구현하기 위해 단열재의 두께는 더욱 두꺼워지고, 열에 대한 효율을 개선할 수 있지만, 공간 활용성은 떨어지게 되는 것이 단점으로 지적받고 있음.

TO-BE



□ 개념

건물 에너지효율에 대한 바른 접근법을 제공하고 고효율의 건축물을 구현하기 위한 설계자를 위한 저에너지/ 친환경 설계기법의 개발.

PCM의 정량적인 에너지효율 개선 수준에 기반하여 기존의 단열개념을 뛰어넘는 건축물이 외기에 따라 능동적으로 대처할 수 있는 적용 방안 및 설계기법의 개발.

신기술의 적용으로 인한 숙련도 미숙 및 하자발생 방지를 위한 시공상세 디테일의 개발.

고효율 주택의 에너지효율과 절감수준을 반영한 과냉방/과난방을 방지하기 위한 최적 운영방안의 도출.

핵심 기술	성능 지표	AS-IS	TO-BE
건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발	○ 맞춤형 적용기술 ○ PCM 종류 및 상변화온도에 따른 적용부위 정립	○ 동절기 난방에너지에 대한 건축 단열기준 ○ PCM의 건축 적용방법 부재	○ 요구성능을 고려한 적용방안 도출 ○ 부위별 적용 가능한 PCM의 도출
건축물 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석	○ 부위별 에너지 절감·최적화 방안 ○ 부위별 PCM에 따른 절감수준 정립	○ 건축법규의 열관류율 ○ 단열재 성능에 의존하는 구조체 열적기준	○ 건축 구조체, 부위별 에너지절감 성능 분석 ○ PCM 적용 최적화 방안 도출
PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발	○ 설계기법 ○ 시공가이드라인 ○ 운영방안	○ PCM을 적용하기 위한 설계기준/ 시공·운영가이드라인 없음	○ PCM 설계기준 개발 ○ 시공 상세도 개발 ○ 운영 가이드라인 개발

사. 기대효과

- 건축물의 축열 성능 확보를 위한 최적의 PCM 적용방안 제시
 - 경량건축물의 축열성능 확보방안 및 PCM 적용 방안에 따른 건물 에너지 절감성능 도출
 - 건축물 구조체 부위별/ 실내·외장재별 PCM 적용에 따른 에너지 절감성능 도출
 - 정량적인 성능을 기반으로 한 PCM 부위별 적용 설계방안 제시
- 고효율, 고기능성 설계기법의 개발
 - 설계상세도 및 시공 가이드라인 개발을 통한 설계자, 시공자의 이해도 향상 및 올바른 설계·시공 유도
 - 설계상세도 및 시공 가이드라인 보급을 통한 기술의 확산
 - PCM 적용 건축물의 성능저하 방지 및 품질 확보
- 건축물 냉·난방 피크부하 감소효과
 - PCM 축열 기능성을 통한 건축물 냉·난방 피크부하 감소
 - 설비용량의 축소 및 에너지 절감
 - Time-Lag 효과의 발현 및 실내공간의 온열쾌적성 시간대역의 증가효과

세부과제 4. PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발

가. 연구목표

- PCM 소재 및 자재의 정확한 성능을 도출하기 위해 평가기준의 도출 및 검증을 목표로 하며, 개발된 평가기준을 통하여 건축물 적용 시의 성능 평가기준 도출 및 정량적인 에너지 절약성능의 평가기준 마련을 목표로 함
- 또한 건축물의 에너지 절약을 위해 다양한 요소기술들이 개발되고 있으나 실증연구를 통한 검증 및 정책반영의 부재로 인한 시장활성화의 어려움을 개선하기 위해 테스트베드를 통한 실증 시험의 방법을 마련하고 성능 검증을 목표로 함
- 세부적으로 성능평가기준 마련을 위해 다양한 종류의 열분석장비 및 이론을 분석하고 축열 건축자재에 대한 정확한 평가를 위한 시험조건, 시료량 및 소재별 평가방법 등에 대한 연구를 수행함
- 실증연구에서는 다양한 건축물에 PCM 자재를 적용하여 에너지 절약성능에 대한 평가를 실시하고 수집된 데이터를 바탕으로 PCM 건축자재의 적용 시 에너지 절약성능에 대한 정확한 평가방법을 마련함

나. 필요성

- 소재 평가
 - 일반적으로 PCM 소재의 성능 평가 방법은 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 잠열량 및 녹는점 등을 평가하고 있으나 시료의 양 및 승온속도 등의 차이에 따라 다른 결과를 가져오게 됨
 - 따라서 기업 및 연구소 등에서 소재를 개발하고 성능을 평가하는 과정에서 어려움으로 작용하게 되며 나아가 PCM 소재 개발의 발전에 걸림돌로 작용하게 됨
 - 독일의 RAL과 미국의 ASTM에서는 이러한 문제점을 인식하고 시험방법에 대한 세부적인 조건을 제시하고 있음. 따라서 소재에 대한 기준을 개발하여 PCM 소재 업체의 제조 및 품질향상을 도출하고 최종적으로 제품수요증대 기반을 마련함

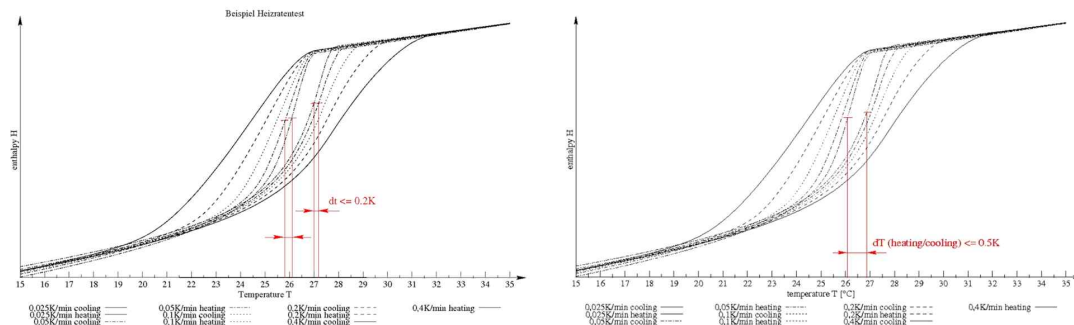


그림 111. 승온속도에 변화 따른 PCM의 엔탈피 변화

(출처: Detailed Regulations of RAL-GZ 896)

○ 자재 평가

- PCM은 소재 가공방법에 따라 다양한 형태로 적용이 가능하며 현재 개발되어 있는 자재에 함침시키거나 새로운 레이어를 붙이거나 자재에 혼합하는 등의 방법으로 적용이 가능함
- 따라서 PCM 자재의 평가방법은 소재 적용방법에 따른 특성을 반영할 수 있도록 해야 하며, 실제 건축물 적용 시 PCM 자재의 특성에 따라 달라지는 거동을 파악하고 그에 따른 변화를 파악할 수 있는 방법의 개발이 필요함
- 또한, PCM 자재는 인체와 접촉가능한 건축부위에 직접 적용되기 때문에 PCM 누출 등의 문제로 인해 발생될 인체 유해성에 대한 평가 및 검증이 필요함

○ 적용 성능 평가

- PCM 자재는 잠열을 이용하는 특성으로 인하여 건축물에서 에너지 저감성능을 정량적으로 나타내기 어려운 점이 있음
- 따라서 실증연구를 통해 PCM 자재의 성능 발현정도를 파악하고 DB화 하여 향후 PCM 자재의 에너지 저감성능을 파악할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있음
- 또한 최종적으로 건축물의 에너지 저감성능을 파악하기 위해 실증연구가 필요하며 정책반영 및 에너지 저감요소에 반영하기 위해 실증연구를 통한 정량적인 데이터의 제시가 필요함

다. 추진체계

○ 국내·외 기준의 검토 및 실험 DB 구축을 통한 정량적 평가방법 수립

- 관련 정책 반영을 위한 PCM 소재·자재 성능 DB 구축
- 정량적 평가방법 수립을 통한 성능평가 방법의 유효성 검증

○ 관련분야 전문가 자문을 통한 평가지표 도출 및 실증시험

- 해당 산업 적용을 위해 관련분야 전문가의 자문을 활용하여 평가지표 도출 및 실증시험 계획 수립 및 검토
- 실증시험을 통해 도출된 결과를 토대로 PCM 자재의 건축물 적용 시 에너지절약성능 정량 평가

라. 연구기간 및 소요 예산

○ 5년 / 총 30억원

마. 주요 연구내용

○ PCM 소재 및 적용자재 성능평가방법 개발 및 검증

- PCM 소재 및 자재 특성에 따른 성능(물성, 내구성, 인체유해성 등) 평가방법 개발
- PCM 소재 및 자재 성능 평가 방법 검증

○ PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발

- 대상 건축물의 선정 및 성능평가 항목 설정
- 적용 방식 및 자재에 따른 성능분석을 통한 최적의 평가방안 도출
- 도출된 결과를 통한 PCM 적용 시의 에너지 절약성능 평가방법 도출

○ PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험

- PCM 적용 건축물의 실증 시험계획 수립
 - 대상건축물 선정, 자재 및 적용 부위 선정, 최적의 축열량·상변화온도 선정
 - 시험 기후(온습도, 풍속, 일사량) 설정 및 시험 장비(모니터링) 배치 계획 수립
- 대상 건축물의 제작(100m² 표준주택) 및 시험장비 설치
- 기후환경실험실(대형챔버) 설치 및 실증 시험 진행

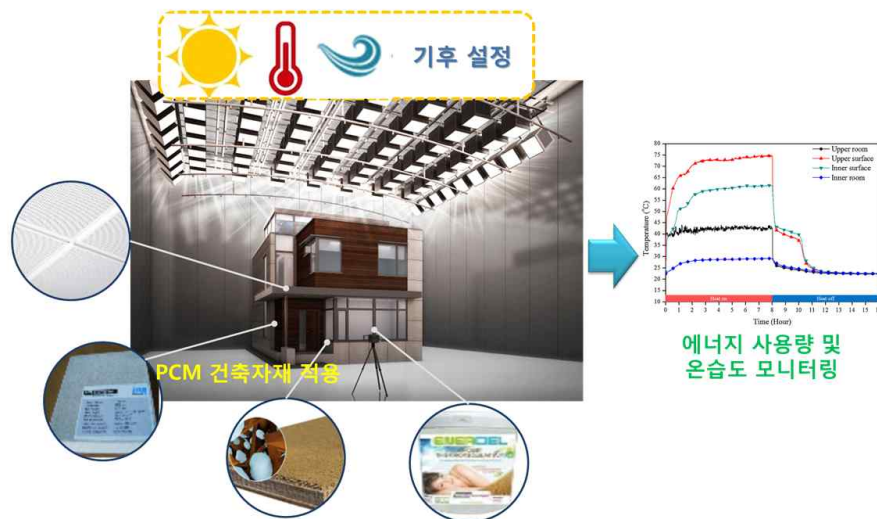


그림 112. PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법

바. As-Is, To-Be

AS-IS



☐ 개념

분석장비(DSC)를 통한 소량의 시편으로 축열소재 및 자재에 대한 기본 성능을 평가하지만 유효성 검증이 없는 관계로 기업 및 연구소 등에서 소재를 개발하고 성능을 평가하는 과정에서 어려움으로 작용하게 되며 나아가 축열자재 개발의 발전에 걸림돌로 작용

TO-BE



☐ 개념

축열자재에 대한 성능 및 에너지 평가를 위해 소재부터 제품까지의 평가 방법을 Lab 규모부터 테스트베드까지 마련하여, 제품의 개발부터 적용까지 전반적인 평가 및 기준을 마련하여 축열자재 개발 발전에 기여하고자 함

핵심 기술	성능 지표	AS-IS	TO-BE
건축자재용 PCM 성능평가 및 기준 개발	○ 잠열량 ○ 상변화전이온도 ○ 사이클링을 통한 내구성	○ 일반적으로 PCM은 시차주사열량계(DSC) 등을 이용하여 잠열량 및 녹는점을 평가하나 시료 양 및 승온 속도에 따라 다른 결과를 가져옴	○ 성능지표를 평가하기 위한 평가조건 표준화를 통해 결과값에 대한 유효성을 확보
PCM을 적용한 건축자재 성능평가 및 기준 개발	○ 잠열량, 상변화전이온도, 사이클링통한 내구성 ○ 열전도율 ○ 열단열성능	○ 평가 방법 및 기준 부재	○ Hot-Box 등을 이용하여 PCM을 적용한 건축자재 성능평가 방법 및 항목 확보
PCM을 적용한 건축물 에너지 성능평가 방법	○ 연간 냉·난방에너지 ○ 연간 1차 에너지 소량 ○ 열적 쾌적성능	○ 현재는 연구용으로 진행중이며, 시험용 건축물이 규격화 되지 않는 것과 외부 기후 변경에 따라 결과값에 영향을 줌	○ 외부 기후 조절 및 시험용 건축물 규격화를 통한 PCM 적용 건축물 성능검증 방법 도출
테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발	○ PCM건축자재와 건물요소간의 상관관계 분석	○ 현재는 연구용으로 진행중이며, 시험용 건축물이 규격화 되지 않는 것과 외부 기후 변경에 따라 결과값에 영향을 줌	○ 외부 기후 조절 및 시험용 건축물 규격화를 통한 PCM 적용 건축물 성능검증 방법 도출

사. 기대효과

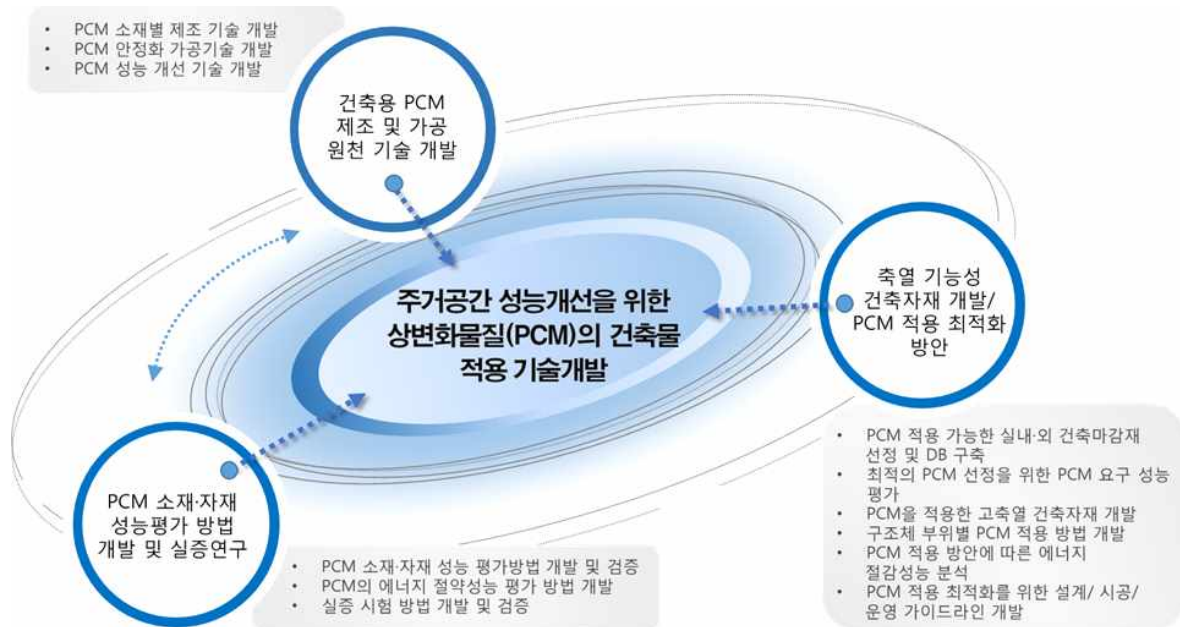
- PCM 소재·자재의 평가기준 제시
 - PCM 소재·자재의 개발을 위한 정량적 기준 확립
 - PCM 소재·자재의 성능분석 및 성능목표 도출
- PCM 자재의 건축물 적용 시 성능 검증
 - PCM 자재 특성 및 적용 부위에 따른 성능 검증
 - 건축물 특성에 따른 PCM 적용 방법 도출
 - 정책 및 기준에 반영을 위한 정량적 데이터 도출
- PCM 건축자재의 보급 및 시장활성화
 - 정량적 기준 마련을 통한 PCM 소재·자재 개발 확대
 - PCM 관련 산업 분야의 활성화

2. 개발 단계별 주요 연구활동 및 추진 전략

개발단계	세부항목	추진전략
건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발	기존소재의 성능 검증	- 기존 PCM 소재의 종류 및 성능분석 - 재료·자재별 물성 상세분석을 통한 열적 특성 도출 - Data base 구축 - 신규 PCM 물질개발 방향 설정
	PCM 원천물질 개발	- 파라핀계 국산화 기술개발(상변화 온도 -4, 5, 25, 32℃) - Bio-PCM 제조 기술개발(상변화 온도 -4, 5, 25, 32℃)
	PCM 안정화 가공기술 개발	- Immersion 기술(다공성물질 설계 및 합성기술 포함) 개발 - Encapsulation 기술(Macro-, Micro-) 개발 - 제형기술(분산형, Powder형) 개발
PCM 적용 고축열 건축자재 개발	건축부위별 최적의 PCM 적용	- 해당부위별 사용온도에 따른 최적의 PCM이 적용된 축열 건축자재 개발 - 축열성능이 최소 30J/g이상 축열 건축자재 개발 - 기존대비 20%이상 저렴한 PCM 가공 및 시공방법 개발
	축열 건축자재 에너지 저감 기술	- 상용되는 축열 건축자재 대비 2℃ 이상 피크온도 감소 기술개발 - 상용되는 축열 건축자재 대비 10%이상 향상된 타임랙 효과
PCM 적용 최적화 단계	축열 기능성 건축자재	- PCM 적용 Proto-type 축열 건축자재 개발 - 축열 건축자재 적용을 통한 열적 성능 개선 및 실내환경 영향성 평가 - 기존 건축자재 및 축열 건축자재 기초 물성 DB 구축
	건물에너지 절감성능 분석	- 소재 분석/ 평가 전문기관과의 연계를 통한 PCM 소재 물성 확인 - 건물에너지 평가 전문 연구기관과의 공동연구를 통하여 PCM의 건물에너지 절감 기여도를 예측할 수 있는 방법 도출 - 건물에너지, 구조체 전열해석, Hygrothermal 분석 시뮬레이션 Tool을 활용하여 PCM의 건물에너지 절감 기여도를 상호 분석, 평가함
	PCM 최적 적용방안 도출	- 부위별 최적 PCM 적용방안을 제시하기 위해 건축물 구조체 내·외부, 실내·외장재 등으로 접근하여 방법론을 제시함 - 계절별 주요 온도대역 분석 및 건축물 부위별로 PCM 소재의 분류 - 에너지 절감 성능에 기반한 PCM 설계기법을 개발
	설계/ 시공/ 운영 가이드라인	- 정확한 설계방안 제시, 시공단계의 하자발생 제어를 위한 상세도 및 최적 디자인 모델을 개발 - PCM 적용 건축물의 건물에너지 절감 수준 및 운영 가이드라인 발간
PCM 성능평가 기준 및 실증방법 개발	성능평가 기준 개발	- PCM 소재 및 자재 성능평가 방법 도출 및 검증 - PCM 소재 및 자재 성능평가 기준 개발
	에너지절약 성능평가	- 건축물에 적용되는 PCM의 성능평가 방법 도출 - PCM 자재의 건축물 에너지 절약성능 평가 방법 개발
	실증 시험	- PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법 개발 - PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 실증

5절. (세 부과제 간) 연계관계

1. 과제 체계구성



- 본 기획과제는 주거공간의 성능개선을 위해서 PCM의 건축물 적용 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 PCM과 관련된 연구 및 인프라가 부족한 국내 시장에 맞춰 PCM 제조를 위한 원천소재 개발, PCM의 건축자재 적용을 위한 원천소재의 가공기술 개발, 가공된 PCM의 건축자재 적용 기술 개발을 실시하여 PCM 자재를 개발함
- 개발된 자재의 건축물 적용을 위해 건축물의 용도, 크기, 특성, 적용부위 등의 다양한 요소에 따라 최적의 성능을 낼 수 있는 적용 방안을 마련하고 최종적으로 개발된 자재의 성능을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 개발 및 검증하고 실증 연구를 통해 에너지 절감 성능을 정량화하고자 함
- 따라서 본 연구에서는 새로운 건축자재의 개발과 관련하여 소재, 자재, 적용방법, 평가방법의 전반적인 연구를 체계적으로 수행하기 위해 각 연구들은 매우 밀접하게 연결되어 있음

6절. 과제별·연차별 기술로드맵

1. 연구단계별 목표

- 본 연구는 각 세부과제별 연구개발 단계와 제품화 및 규격화를 위한 단계로 구성되며, 연차별 목표를 다음과 같이 설정하였음

단계	연구내용	연차	주요 목표
1단계		1년차	- 연구의 방향설정 - 소재, 자재, 평가방법의 기초연구 수행
2단계	연구개발 단계	2년차	- PCM 소재 개발 및 Immersion 기술 개발 - 국내 기후별 PCM 요구 성능 평가 - 건축물 적용 부위에 따른 최적의 PCM 자재 적용 방법 분석 - PCM 소재·자재 성능평가 방법 개발
	기술 정립 단계	3년차	- PCM 소재 성능 조절 및 캡슐화 기술 개발 - PCM 적용 축열 건축자재 개발 - PCM 소재·자재 성능평가 방법 검증 및 기준 마련
	품질확보 단계	4년차	- PCM 소재의 건축자재 적용 기술 최적화 - PCM 자재의 열적 성능 및 실내환경 영향성 평가 - 건축물 에너지 절감 성능 평가를 위한 PCM 적용 실증연구 계획
3단계	제품화·규격화단계	5년차	- 소재별 최적 가공방법 및 대량생산 기술 개발 - PCM 건축자재 성능 DB 구축 - 건축물의 PCM 자재 적용 가이드라인 제안 - 실증연구 진행 및 PCM을 통한 에너지 절약성능 분석

- 1단계는 각 세부의 연구를 진행함에 있어 기초 연구를 수행하는 단계로 각 세부의 최종 목표를 달성하기 위한 제반 내용의 수집, 정리 및 차년도 연구계획을 수립하는 단계임
- 2단계는 1단계 연구를 바탕으로 실제 연구를 수행하는 단계로 소재 및 자재의 개발, 적용방안 및 평가방법의 도출을 목표로 함
- 3단계는 건축물에 PCM을 적용하기 위한 제품화·규격화 단계로서 PCM 원천소재 및 가공소재의 대량생산 기술을 개발하고 PCM 자재의 성능 DB를 구축 및 시공·운영 가이드라인을 제작하여 최적의 건축물 적용 방법을 제시하며 최종적으로 건축물 적용 시의 에너지 절약성능을 검증하는 단계임

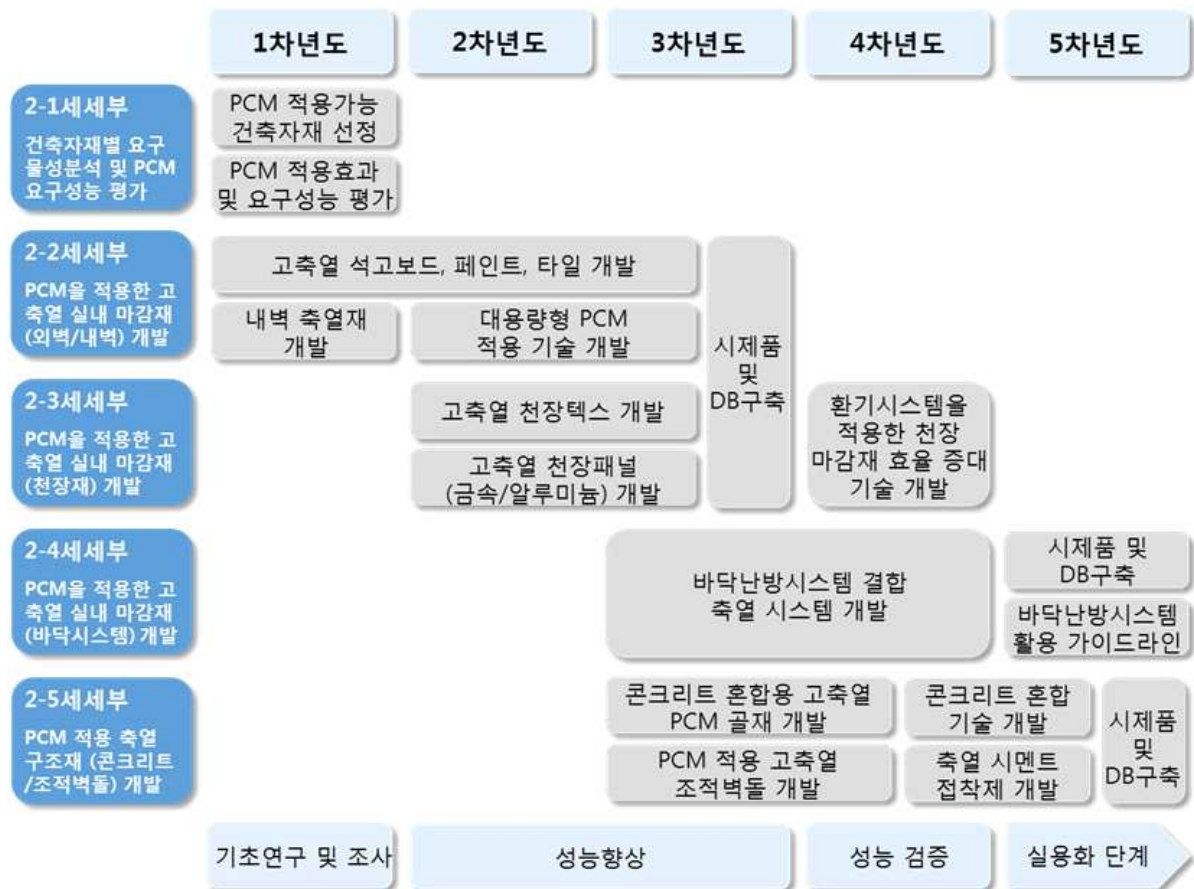
2. 연차별 기술로드맵

가. 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발



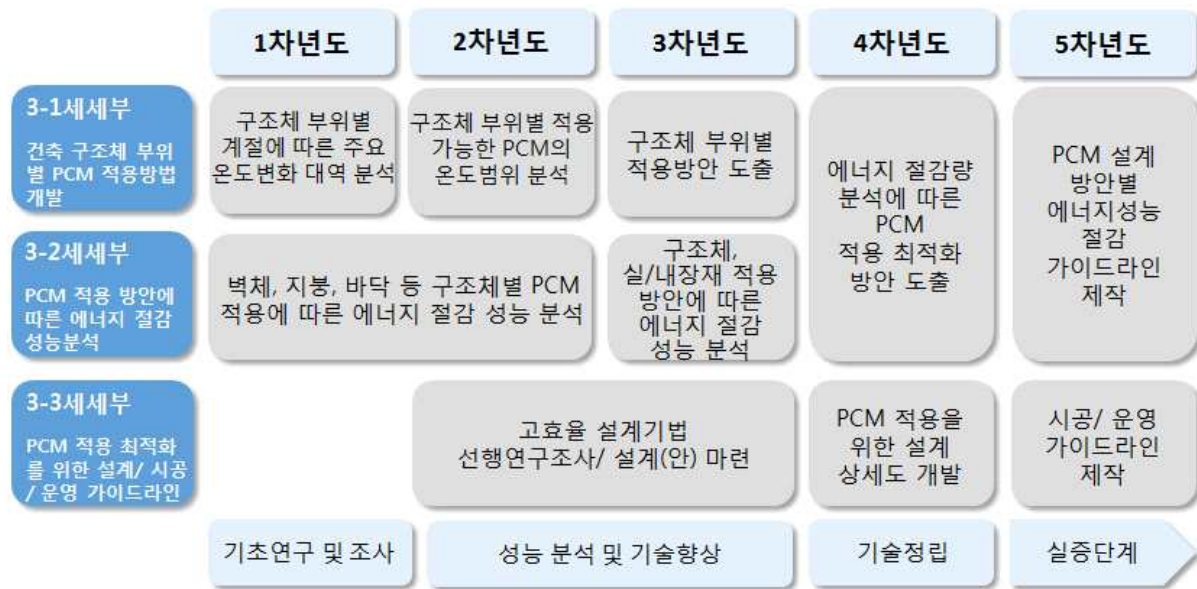
- 기초연구 및 조사, 평가방법 정립 및 성능평가의 단계적 연구를 거쳐 최종적으로 성능검증을 통해 특정 상변화 온도, 충분한 잠열량, 건축자재와의 상용성을 지닌 신규 PCM 원천 소재 확보, PCM 안정화 가공기술 개발, 상업화를 위한 PCM 소재의 경제적인 제조공정 확립, 건축자재 적용기술 개발, 건축물의 효율적 에너지 관리, 적절한 온도 유지로 거주자의 쾌적성 확보를 위한 PCM 성능 향상 패키지 기술 개발을 목표로 함

나. PCM 적용 축열 건축자재 개발



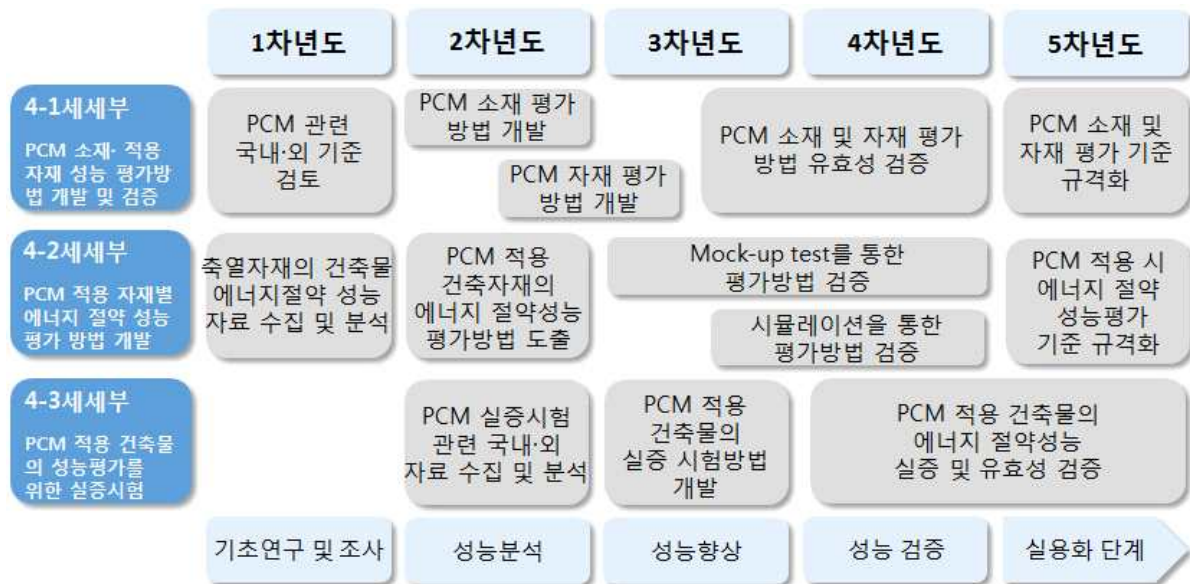
- PCM 적용을 위한 기존 건축마감재의 기초연구 및 조사, 성능 분석 및 향상 단계를 거쳐 국내 기후조건과 건축 구조 형태에 적용가능한 PCM 축열 건축자재를 개발하고, 최종적으로 성능 검증 단계를 통해 열적 성능 및 실내환경에 대한 영향성을 평가하여 건물에너지 절감 효과 분석, 실내 열적 쾌적성을 확보, 실용화를 위한 Database 구축을 목표로 함

다. 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화



- PCM 성능발현 온도구간대와, 계절별 건축물 구조체의 주요 온도변화대역을 분석하여, 해당부위별/ 계절별/ 건축 내·외장재별로 적용가능한 최적의 PCM을 선정하고자하며, 이를 기반으로 한 고효율 PCM 적용 설계기법을 개발하는 것을 목표로 함
- 또한, 설계자와 시공자의 이해도 향상을 위해 연구결과를 바탕으로 설계방안별 건물에너지 절감 성능에 대한 가이드라인을 제작하며, 시공단계에서는 하자발생과 품질저하를 방지하고, 운영단계에서는 Over Heating/ Over Cooling을 방지하는 최적 운영방안을 제시하는 것을 목표로 함

라. PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발



- 1,2차년도에는 개발된 PCM 소재·자재의 성능을 평가하기에 앞서 평가 방법 및 PCM 적용 건축자재의 에너지 절약성능 평가방법을 개발하고자 함
- PCM을 적용한 건축물의 에너지 절약성능에 대한 실증 연구를 수행하기 위해 시험방법의 개발, 실증, 유효성 검증을 실시하며, 최종적으로 평가 기준의 규격화를 목표로 함

7절. 성과의 활용방안

1. 성과의 활용방안

가. 건축자재용 PCM 개발

핵심성과	단위성과물	성과검증 기준			
		성과지표 (KPI)	성능목표	성과목표 측정방법	검증방법 (성능수준)
기술 성과	Paraffin계 PCM 제조 기술 개발 (-4, 5, 25, 32℃)	특허등록건수	1건	특허등록 여부	- 등록증 제출
		시제품 출시 건수	4건	제품 출시여부	- 잠열량 : RAL-GZ 896 - 상변화온도 : RAL-GZ 896
	Biobased-PCM 제조기술 개발 (-4, 5, 25, 32℃)	특허등록건수	1건	특허등록 여부	- 등록증 제출
		시제품 출시 건수	4건	제품 출시여부	- 잠열량 : RAL-GZ 896 - 상변화온도 : RAL-GZ 896
	PCM 안정화 가공기술 개발	특허등록건수	2건	특허등록 여부	- 등록증 제출
		시제품 출시 건수	8건	제품 출시여부	- 내후성(3,000cycles) : RAL-GZ 896 - 잠열량 : RAL-GZ 896 - 상변화온도 : RAL-GZ 896
목표성과물			활용방안		활용대상
• 맞춤형 상전이온도(-4, 5, 25, 32℃) 및 잠열량 (150~200kJ/kg)을 보유할 수 있는 건축자재용 PCM Paraffin wax 생산기술 개발			• 원천소재 제조기술 확립으로 가격경쟁력 확보 • 국내·외 축열 건축자재 생산 유도 • 냉난방시스템, 수송용 기기, 모바일 기기 등 제조 산업군 전 분야 시장 확보		• 국내·외 건축자재 제조 기업 • 제조 산업군 전 분야
• 용도 맞춤형 장기안정성(3,000cycle, 10years)을 확보한 용도 맞춤형 안정화 기술 개발			• 2세부에서 축열 건축자재 개발 • 용도에 맞는 최적의 PCM 생산 및 상안정화 기술 확보		

나. PCM을 적용한 축열 건축자재 개발

핵심성과	단위성과물	성과검증 기준			
		성과지표 (KPI)	성능목표	성과목표 측정방법	검증방법 (성능수준)
기술 성과	PCM 적용 건축자재 및 축열시스템	학술지 게재 논문 건수	4건	학술진흥재단 등재여부	- 논문 게재
		시제품 출시 건수	8건	제품 출시여부	- 잠열량(30J/g) : RAL-GZ 896 - 자재 물성: 자재별 KS 기준 부합 여부
		특허출원·등록 건수	10건	특허출원·등록 여부	- 출원·등록증 제출
	PCM 적용 축열 건축자재 에너지 저감기술	학술지 게재 논문 건수	4건	학술진흥재단 등재여부	- 논문 게재
		시제품 출시 건수	1건	제품 출시여부	- 피크온도 감소 (2℃이상) : 실증시험
		특허출원·등록 건수	3건	특허출원·등록 여부	- 출원·등록증 제출
목표성과물		활용방안		활용대상	
- 축열성능이 최소 30J/g이상 축열 건축자재 개발 - 고축열 실내 마감재 개발 - 석고보드, 페인트, 타일, 타일접착제 - 천장텍스, 금속/플라스틱 패널 - 바닥난방 축열시스템 개발 - 축열 구조재 개발 - 축열 골재, 콘크리트 혼합 기술, 조적벽돌, 축열 시멘트 접착제 개발		- 건축부위별 요구 성능을 충족하기 위한 축열 구조체 및 축열 실내마감재로 활용 - 높은 축열성능 기술 개발을 통한 세계 수준의 기술력 및 가격 경쟁력 확보 - 실내 모든 적용부위에 적용함으로써 최적의 에너지 저감 성능 확보		- 국내·외 건축자재 제조 기업 - 신축 및 리모델링 건설·시공사 - 개인	
- 환기시스템을 활용한 축열 건축자재 효율 증대 기술 개발 - 상용되는 축열 건축자재 대비 2℃ 이상 피크온도 감소 기술개발		- 재실자 스케줄을 고려한 적절한 PCM 적용 가능 - 건물에너지 저감 핵심기술로 활용			

다. 건축물 구조체 부위별 PCM적용 및 설계·시공·운영방법의 최적화

핵심성과	단위성과물	성과검증 기준			
		성과지표 (KPI)	성능목표 (성능수준)	성과목표 측정방법	검증방법
기술 성과	건축 구조체 부위별 PCM 적용기법	학술지 게재 논문 건수	2건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		특허출원·등록건수	1건	특허출원·등록 여부	출원·등록증 제출
	건축 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감	학술지 게재 논문 건수	2건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		수치해석건수	2건	시뮬레이션 결과확인	보고서 작성
정책 성과	건축 구조체 부위별 PCM 적용기법	지침/설계/매뉴얼 개발 및 보급	1건	지침/설계/매뉴얼 작성여부	보고서 별첨자료 제출
	PCM 적용 최적화를 위한 설계/시공/운영 가이드라인 개발	지침/설계/매뉴얼 개발 및 보급	1건	지침/설계/매뉴얼 작성여부	보고서 별첨자료 제출
목표성과물		활용방안		활용대상	
- 구조체의 계절별 온도변화 대역을 분석하여, 적용 가능한 PCM 상변화온도범위 제시 - 부위별 적용 가능한 PCM 정립		- 건축 부위별 PCM의 적용 방안과 최적 PCM 제시에 활용 - 하절기, 동절기 구조체의 주요 온도변화 대역 자료의 구축		- 국내·외 건설·시공사 - 건물 적용 냉난방 설비 제조 업체 - 개인	
		- PCM의 건물에너지 저감성능 정량화 및 지표수준 설정에 활용 - PCM을 활용한 저에너지/ 친환경 설계기법의 요소기술로 개발 - 에너지 절감 성능 분석을 통한 회수기간 산정 및 품질 확보			
- 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지절감 성능 분석 - 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지절감 성능 분석 - 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출		- PCM을 활용한 저에너지/친환경 설계기법으로 적용 및 활용 - 고효율 건축물의 운영계획 도출을 위한 기초 자료로 활용 - 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량의 산정에 활용 - 한국형 축열성능 향상 저에너지 주택 수출			
- PCM 적용을 위한 설계상세도의 개발 - 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 PCM 시공 상세도 개발 - 고효율 건축물의 건물 운용스케줄					

라. PCM성능평가 방법 개발 및 테스트베드 실증 방법 개발

핵심성과	단위성과물	성과검증 기준			
		성과지표 (KPI)	성능목표 (성능수준)	성과목표 측정방법	검증방법
기술 성과	건축자재용 PCM 성능평가 및 기준개발	학술지 게재 논문 건수	1건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		시험/조사/관측기법 개발실적	1건	관련 규격 재·개정 여부	시험/조사/관측 보고서 작성
	PCM을 적용한 건축자재 성능평가 및 기준개발	학술지 게재 논문 건수	2건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		시험/조사/관측기법 개발실적	2건	관련 규격 재·개정 여부	시험/조사/관측 보고서 작성
	PCM을 적용한 건축물 에너지 성능평가 방법	학술지 게재 논문 건수	1건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		시험/조사/관측기법 개발실적	1건	관련 규격 재·개정 여부	시험/조사/관측 보고서 작성
		테스트베드 활용건수	1건	테스트베드 구축여부	시험결과 보고서 작성
	테스트베드를 활용한 실증 시험방법 개발	학술지 게재 논문 건수	1건	학술진흥재단 등재여부	논문 게재
		시험/조사/관측기법 개발실적	1건	관련 규격 재·개정 여부	시험/조사/관측 보고서 작성
		테스트베드 설계,구축 및 개선건수	1건	테스트베드 구축여부	실험결과보고서 작성
		테스트베드 활용건수	1건	테스트베드 구축여부	실험결과보고서 작성
		테스트베드 운영지침 및 매뉴얼 개발	1건	테스트베드 운영관리 평가	테스트베드 운영지침 / 매뉴얼 별도첨부
목표성과물		활용방안		활용대상	
• 상변화물질 원료 및 가공제에 대한 기술규격 및 기준 제시		• 건축자재용에 사용될 PCM 원료 및 가공제품 개발을 위한 성능지표로 활용		• 국내·외 제조 산업군 전 분야 • 건설·시공사 • 건축물 등급 인증기관 • 개인	
• Hot-Box 또는 인공기후챔버를 이용하여 PCM을 적용한 건축자재 성능평가 방법 및 항목 제시		• PCM을 적용한 건축자재의 Lab 수준의 평가 기술체계 정립 • 축열 건축자재의 성능 평가 방법 개발을 통한 축열 성능 인증 마크 도출			
• 외부 기후 조절 및 시험용 건축물 규격화를 통한 PCM 적용 건축물 성능검증 방법 도출		• PCM건축자재와 건물요소간의 상관관계 규명 • 건물에너지효율등급 및 녹색건축인증제도의 평가 항목에 축열 성능 도입 • 시험/조사/관측기법 세계 시장 수출			

8절. 연구수행체계 제안

연구개발과제(연구단)			총 참여 연구원	
과제명	주거공간 성능개선을 위한 상변화물질 (PCM)의 건축물 적용 기술개발		주관연구책임자 ()외 명	
주관 기관				

기관별 참여 현황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산업계			
대학			
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

1 세 부 과 제 (주 관 연 구 기 관)
00000000000000 (외 00개 개관)

2 세 부 과 제 (협 동 연 구 기 관)
00000000000000 (외 00개 개관)

3 세 부 과 제 (협 동 연 구 기 관)
00000000000000 (외 00개 개관)

4 세 부 과 제 (협 동 연 구 기 관)
00000000000000 (외 00개 개관)

참 여 연 구 원
세부과제책임자 ()외 명
책임급 명, 선임급 명, 원급 명, 기타 명

참 여 연 구 원
협동연구책임자 ()외 명
책임급 명, 선임급 명, 원급 명, 기타 명

참 여 연 구 원
협동연구책임자 ()외 명
책임급 명, 선임급 명, 원급 명, 기타 명

참 여 연 구 원
협동연구책임자 ()외 명
책임급 명, 선임급 명, 원급 명, 기타 명

담당연구개발내용	
과제명	건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발
1. 신규 PCM 소재 확보 및 PCM 안정화 가공기술 연구 2. 상업화를 위한 PCM 소재의 경제적인 제조공정 확립 및 건축자재 적용기술 연구 3. 건축물의 효율적 에너지 관리 및 적절한 온도 유지로 거주자의 쾌적성 확보를 위한 PCM 성능 향상 패키지 기술 개발	

담당연구개발내용	
과제명	PCM 적용 축열 건축자재 개발
1. 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가 2. PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (외벽/내벽/천장재/바닥시스템) 개발 3. PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적벽돌) 개발	

담당연구개발내용	
과제명	건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화
1. 건축물 구조체 부위별 주요 온도대역 분석을 통한 PCM 적용방안 개발 2. 건축물 구조체 부위별(벽체, 지붕, 바닥 등)과 실내·외장재 등 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석 3. PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발	

담당연구개발내용	
과제명	PCM성능 평가방법 및 테스트베드 실증 개발
1. PCM 소재 성능 평가방법 개발 및 검증 2. PCM 적용 건축자재의 성능 평가방법 개발 및 검증 3. PCM 자재별 건축물 에너지 절감성능 평가 방법 개발 4. PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험 5. 에너지 절감성능의 정량적 평가를 위한 비교방법 도출	

참 여 기 업	

4장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

1. 국가 정책 전략적 중요성

가. 국토교통건설/ 산업의 정책적 중요성

- 제로에너지 시대 맞춤형 행복 주거공간의 구현, 세계 선도형 건설기술을 개발하기 위한 「주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발」 과제의 국토교통건설 정책적 중요성 및 건설 산업의 배경은 다음과 같음
- 新기후변화체제에 대처하고, 범국가적인 온실가스 배출량을 줄이기 위해 건축부문의 건물에너지 효율화를 위한 정책은 점진적으로 강화되고 있으며, 이를 뒷받침할 수 있는 저에너지/친환경 요소기술 개발의 필요성이 대두되고 있음
- 국내의 건설산업은 신주택보급률이 100%를 초과한 이후로, 주택보급의 포화상태가 지속되고 있으며, 국내 건설경기의 둔화와 전반적인 경제 체감경기의 불황으로 인해 건설산업은 약진을 거듭하고 있는 실정에서, 이를 타개하고 건설산업의 활성화를 위해서는, 고부가가치의 건설산업 혹은 새로운 시장의 창출이 필요한 시점임
- 또한 건설산업 침체를 타파하기 위하여 국토교통 R&D 전략에서도 세계 최고 수준의 기술 개발과 이를 통한 해외 시장 점유율 확대를 주요한 목표로 설정하고 있음
- 최근, 국토교통부는 2016년 11월 16일 보도 자료를 통해 국가 온실가스 감축 및 국민 주거비 경감을 위하여 신축 공동주택의 에너지 의무절감률을 상향 조정(30~40% → 50~60%) 하겠다는 내용을 주로 하는 「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」 개정안을 2017년 6월부터 시행한다고 예고하여, 저에너지/ 친환경 건축물을 구현할 수 있는 고도화된 요소기술의 개발이 필요한 실정임
- 이처럼 정부정책의 강화, 요소기술의 개발과 저에너지 건축물에 대한 인식의 저변 확대가 이루어지고 있는 상황에서, 본 연구단에서 제시하는 연구 기획의 내용은 저에너지/ 고효율 건축물을 실현하기 위한 요소기술로 에너지효율화를 위한 국가 건축 정책을 반영하고 있음

나. 사회문화적 기여도와 중요성

- 본 연구과제의 수행 및 요소기술 개발의 추진을 통해 다음과 같이 긍정적인 사회문화적 기여도를 예상할 수 있음
- 첨단 재료 및 설계·제작 핵심기술 확보에 따라 건축물 제로에너지 시대에 발맞추어 건축물의 에너지 고효율화를 이룰 수 있으며, 건축물 생애주기 기간동안 유지관리 비용의 절감으로 범국가적인 예산 절감에 기여할 것으로 판단함

- 월드베스트 기술의 확보로 세계 건설 자재 시장 진출에 기여하며, 관련기술의 글로벌 경쟁력 강화에 기여함
- 세계 선도형 상변화물질 건축물 적용 기술 개발 사업을 통해 개발된 기술을 주거용·상업용 건물 등에 반영하여 관련기술의 보급/확산 및 파급효과를 기대할 수 있음
- 제안 기술은 기존 기술 대비 건축물 사용자의 쾌적성 및 에너지 저감을 중심으로 한 사용자의 건강 향상과 경제적 부담을 줄여주는 기술로서 국민행복기술에 해당함

2. 상위계획과의 부합성

가. 정책적 일관성

(1) 제4차 국토종합계획 수정계획(국토교통부, 2011~2020)

- 대한민국의 새로운 도약을 위한 글로벌 녹색국토를 비전으로 추진전략을 수립
- 국토경쟁력 제고를 위한 지역특화 및 광역적 협력 강화, 자연친화적이고 안전한 국토공간 조성, 쾌적하고 문화적인 도시·주거환경 조성, 녹색교통·국토정보 통합네트워크 구축, 세계로 열린 신성장 해양국토 기반 구축, 초국경적 국토경영 기반 구축의 6대 추진전략을 제시함

⇒ 본 과제는 이러한 국토교통부의 6대 추진 전략 중 쾌적한 주거환경 조성 및 신성장 기반 구축에 부합됨.

(2) 제2차 건축정책기본계획(국토교통부, 2015~2019)

- 안전과 행복, 창조와 문화를 이끄는 건축 비전 실현을 위한 3개 목표, 9개 추진전략, 24개 실천과제 수립
- 생활공간의 안전성 증진, 생활밀착형 공간복지 체계 구축, 건축물 리뉴얼 촉진 활성화, 공공건축 효율화, 건축서비스산업 활성화, 녹색건축 실현, 지역 고유의 건축물화 창달, 국토경과 향상, 통일 한국 건축 비전 제시의 9개 추진 전략을 제시함

⇒ 본 과제는 건축물 리뉴얼 촉진 활성화, 녹색건축 실현의 실천방안 마련을 요소 기술로 활용될 수 있어 상위 계획과 충분히 부합됨

(3) 국토교통부 도시·건축 정책

- 도시재생 활성화 및 지원, 그린리모델링 활성화 사업, 토지이용 인허가 절차 개선방안, 토지이용 규제개선, 국가건축자산의 보전·활성화, 국토경관개선 사업 추진, 제로에너지건축물 활성화, 개발제한구역을 핵심 정책주제로 선정

⇒ 본 과제는 그린리모델링 활성화 사업, 제로에너지건축물 활성화를 뒷받침 하는 연구로 상위 정책과 충분히 부합됨

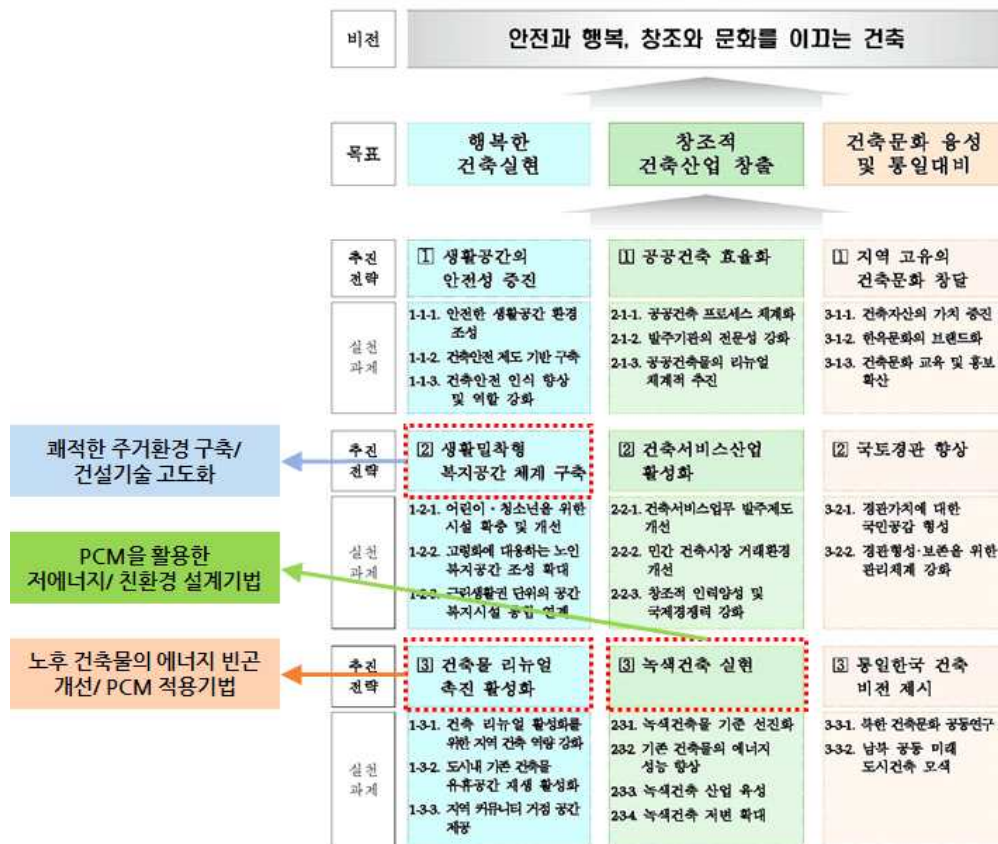


그림 114. 2020 건축정책 기본계획과 연구과제의 연관성

나. 국토교통부 주택 R&D 추진전략과의 부합성

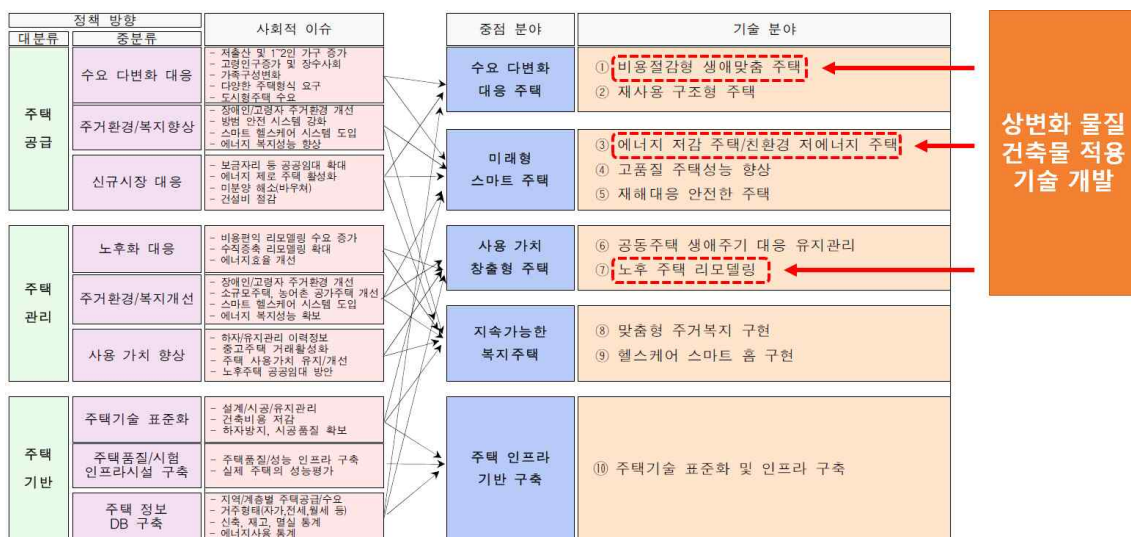


그림 115. 국토교통부 R&D 추진전략과의 연계성

(1) 비용절감형 생애맞춤 주택

- 100년 지향의 구조체 수명 내에서 시대적으로 변화되는 수요자의 요구변화에 대응할 수 있도록 공간구성 변경, 설비 시스템 교체 등이 자유롭도록 개방되면서 건설비 측면에서 저비용으로 대응이 가능한 주택 유형 및 적용 요소 기술이 필요함

⇒ 상변화물질을 활용한 저에너지/제로에너지 건축물의 구현은 건축물의 수명주기 동안 냉·난방비 소요비용을 절감하여 소득이 부족한 노령인구의 경제적 부담을 줄여줄 수 있으며, 주택 유형의 변화에 따라 적용방안을 도출한다면 비교적 저비용으로 요소기술의 적용이 가능할 것으로 기대됨

(2) 에너지 저감 주택/친환경 저에너지 주택

- 우리나라 기후특성과 건설환경, 산업기술력 및 경제성 등을 고려하여 2017년 패시브하우스 성능 의무화 및 2025년 제로에너지 성능을 구현할 수 있는 주택기술 확보의 필요성
- 제로에너지 시대에 적합한 건축물 고효율화를 위한 기술 개발 및 고도화의 필요성

⇒ 상변화물질(PCM)은 난방 및 냉방의 피크 부하를 저감시켜 장비의 용량 및 에너지 소비량을 줄여주는 연구로 정부의 패시브하우스 성능 의무화 및 제로에너지 성능 구현 방향과 부합됨

(3) 노후주택 리모델링

- 기존 노후주택을 대상으로 맞춤형 주택 그린 리모델링 기술확보를 통해 리모델링 및 에너지절감을 통한 국민 부담 최소화를 통한 국민 삶의 질 개선 연구 필요
- 주거환경/복지 향상을 위한 전체 건축물의 60% 이상을 차지하는 사용연한 20년 이상의 노후화 주택의 에너지 빈곤 해결의 필요성

⇒ 상변화물질(PCM)은 일반적인 건축물 내·외장 리모델링의 공사 범위에서 요소기술을 적용할 그린 리모델링 기술 확보가 용이할 것으로 예상되어, 산업계에 부담을 최소화 하면서 주거환경을 개선시킬 수 있을 것으로 기대됨

다 . 그린리모델링 활성화 사업과의 연계

(1) 그린리모델링

- 그린리모델링은 안전하고 행복한 삶이 약속되는 생활공간을 실현하기 위하여 기존건축물의 에너지 낭비예방과 쾌적한 환경조성을 지원하는 국토교통부의 정책사업으로 공공건축물 시범사업과 민간 이자지원 사업으로 구분하여 운영 중에 있음

- 녹색건축에 대한 국민적 인식의 향상과, 녹색건축물 조성을 활성화하기 위해 우선적으로 기존 공공건축물을 대상으로 시범사업을 진행하고 있으며, 그린리모델링을 통해 재실자 쾌적성, 높은 에너지성능, 노후화 억제, 운영의 적절성 및 편의성 개선을 도모하고 있음

표 44. 공공건축물 그린리모델링 시범사업 개요

사업 목적	그린리모델링 성공모델 창출로 녹색건축물 조성 활성화	
사업 대상	현재 리모델링 시공 예정이거나 구상중인 모든 공공건축물	
사업 내용	사업 단계별 맞춤형 기술지원 및 시공비 지원	
사업 목적	사업기획지원	사업 초기단계 에너지 성능개선 목적의 기획설계 기술지원
	사업 방법	공모를 통한 사업대상 선정 사업시행 기관과 협업을 통한 시행
사업 기간	2013년부터 매년 시행	

- 민간 이자 지원사업은 「녹색건축물 조성 지원법」 제25조(녹색건축물 조성사업에 대한 지원·특혜 등) 및 제26조(금융지원 및 활성화)의 추진 근거에 의거하여 건축주가 초기 사업비에 대한 부담 없이 건축물의 성능개선을 추진할 수 있도록 경제적 지원을 통하여 참여를 유도하고 있으며, 건축주는 은행에서 필요한 사업비를 대출하고 공사 후 절감되는 에너지 비용으로 대출금을 분할·상환하는 이점을 누릴 수 있음
- 민간 이자 지원사업의 대상사업은 기존 건축물에 대하여 에너지 성능개선을 위한 리모델링을 구상 또는 실행중인 모든 유형의 민간사업이며, 정부는 건축주의 초기 경제적 부담을 덜어줄 수 있도록 성능개선 공사비에 대한 이자를 지원하고 있음

표 45. 그린리모델링 프로젝트 우수사례

건축물	프로젝트 전/후 사진	리모델링 내역
라파엘센터 (의료센터)	 (시공 전)  (시공 후)	▪ (사업개요) 기존 근린생활시설의 단열성능을 강화, 의료시설로 변경 ▪ (사업내용) 외벽 디자인을 변경하고 고단열 창틀과 로이복층유리 창호를 적용하였고, 창면적을 줄여 성능개선 ▪ (성능개선) 공사비 133백만원 투입하여 냉난방 에너지 35.42% 절감 ▪ (기대효과) 그린리모델링 이후 건축물을 외국인노동자 무료진료 시설물로 사용하여 공공성을 강화하고 에너지비용 절감(창면적을 줄여 난방열손실을 최소화하고, 차양을 설치하여 냉방에너지 절감)
배재대학교 하워드관 (교육시설)	 (시공 전)  (시공 후)	▪ (사업개요) 노후한 학교시설에 대한 그린리모델링을 통해 에너지비용을 절감하고 그린캠퍼스를 구현 ▪ (사업내용) 단열·창호의 성능 향상, LED 조명설치, 고효율 가스히트펌프를 적용하여 기계설비 개선 ▪ (성능개선) 공사비 1,216백만원 투입, 냉난방에너지 30.1% 절감 예상

- 그린리모델링 사업 활성화에 대한 정부부처의 의지와 쾌적한 주거환경을 요구하는 현대인의 수요 증대로 인하여, 향후 그린리모델링 시장은 괄목할 만한 성장을 나타낼 것으로 예상되며, 기존 리모델링 방법 뿐만 아니라 보다 효율적으로 건물에너지를 절감시키는 고도의 기술 개발이 필요할 것으로 판단됨
- 상변화물질의 성능 개선, 건축물 적용방안 도출, 기능성 건축자재 제품개발 등의 연구과제 결과물은 에너지 절감과 직접적인 연관성을 지니고 있으며, 향후 그린리모델링 시장의 수요를 대처하고, 저에너지 건축물을 구현할 수 있는 기법으로 활용 할 수 있을 것으로 기대함
- 연구개발 결과물을 활성화하기 위해서는 공공건축물 그린리모델링 시범사업과의 연계를 통해 연구개발의 우수성을 입증하고, 정량적인 성능 개선효과를 분석하여 민간 그린리모델링 사업으로 확대 할 수 있는 전략 도출이 필요할 것으로 판단됨



그림 116. 그린리모델링 사업의 개요

라 . 녹색건축물 인증제도와 연계

(1) 정부 공인 건축물 환경성능 인증제도

표 46. 녹색건축 인증제도

		녹색건축인증 최우수(그린1등급) ★★★★★ 녹색건축인증 우수(그린2등급) ★★★ 녹색건축인증 우량(그린3등급) ★★ 녹색건축인증 일반(그린4등급) ★			
인증등급		최우수(그린1등급)	우수(그린2등급)	우량(그린3등급)	일반(그린4등급)
신축	주거용 건축물	74점 이상	66점 이상	58점 이상	50점 이상
	단독주택	74점 이상	66점 이상	58점 이상	50점 이상
	비주거용 건축물	80점 이상	70점 이상	60점 이상	50점 이상
기존	주거용 건축물	69점 이상	61점 이상	53점 이상	45점 이상
	비주거용 건축물	75점 이상	65점 이상	55점 이상	45점 이상
그린리모델링	주거용 건축물	69점 이상	61점 이상	53점 이상	45점 이상
	비주거용 건축물	75점 이상	65점 이상	55점 이상	45점 이상

- 녹색건축 인증제도는 설계와 시공 유지, 관리 등 전 과정에 걸쳐 에너지 절약 및 환경오염 저감에 기여한 건축물에 대한 친환경 건축물 인증을 부여하는 제도이며, 공공기관에서 발주하는 연면적 3,000㎡ 이상 건축물은 의무적으로 녹색건축물 인증을 필수적으로 획득해야 함
- 녹색건축물 인증 관련 인센티브 : 취득세 5~15% 경감, 재산세 3~15% 경감, 건축물의 용적률, 건축물 높이제한 기준 완화 2~12%, 조달청 입찰참가자격 사전심사기준 가산점을 부여하고 있음
- 정부 공인 인증제도의 신기술 항목에 적극 연계하여, 본 연구의 수행을 통해 개발되는 요소기술의 보급·활성화를 기대할 수 있음

(2) 녹색건축인증 제도 연계

- 녹색건축 인증제도에서는 다음과 같은 분류를 통해 건축물을 평가하고 있다.
(1.토지이용 및 교통, 2.에너지 및 환경오염, 3.재료 및 자원, 4.물순환 관리, 5.유지관리, 6.생태 환경, 7. 실내환경, 8.주택성능분야, ID. 혁신적인 설계)
- 상변화물질(PCM)을 적용한 건축자재는 평가를 통해 환경성선언제품(EPD), 저탄소 자재(탄소성적표지), 환경표지인증 등을 받을 수 있으며 인증제도와의 연계를 통해 녹색건축인증 의무화 대상 건축물 및 인센티브를 위한 민간사업 부분에서 수요가 창출 될 수 있을 것으로 기대함
- 별도의 인증제도가 산업 발전, 적용 유도를 위한 인센티브제도를 재정할 필요 없이 기존 녹색건축물 인증제도를 통해 녹색건축물에 적용 되도록 유도할 수 있으며, 상용화 된 제품에 대한 산업 경쟁력을 높이는 수단으로 활용할 수 있음

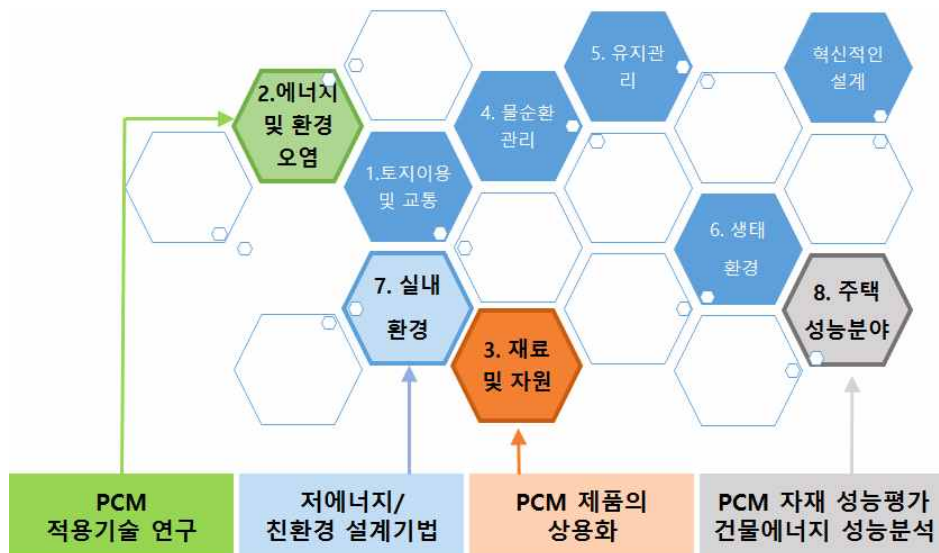


그림 117. 녹색건축인증제도 항목분류와 개발기술의 연계방향

표 47. 신축 주거용 건축물의 인증 심사기준 - 재료 및 자원 부분

전문분야	인증 항목	구분	배점	일반 주택 ¹⁾	공동 주택 ²⁾
3. 재료 및 자원	3.1 환경성선언 제품(EPD)의 사용	평가항목	4	●	●
	3.2 저탄소 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.3 자원순환 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.4 유해물질 저감 자재의 사용	평가항목	2	●	●
	3.5 녹색건축자재의 적용 비율	평가항목	4	●	●
	3.6 재활용가능자원의 보관시설 설치	필수항목	1	●	●

라 . 산업 육성 정책과의 부합성

(1) 과학기술을 통한 창조 산업 육성 정책과의 부합성

- 정부는 기술·지식 확보가 목표인 현재의 분절형 R&D를 신산업 창출을 위한 일련의 과정을 통섭하는 『생태계 창조형 R&D』로 과학기술정책의 패러다임을 전환하고 과학기술을 통한 신산업 창출 및 과학기술 ODA 등을 통한 과학한류를 실현하고자 함
- 상변화물질의 건축물 적용 기술개발 분야는 선진국들도 미래 신성장 동력으로 인식하고 개발과 적용에 있어 적극적인 정부 지원을 하는 고부가가치 신산업 분야로서 정부의 신산업 창출 정책과 부합함
- 정부의 적극적인 지원이 뒷받침된다면 빠른 추격자에서 벗어나 미래 선도자로서 건설산업 한류를 실현하는데 이바지할 수 있음
- 건축물 사용자의 쾌적성 및 에너지 저감을 중심으로 한 기술로서 사용자의 건강 향상과 경제적 부담을 줄여주는 기술로 국민행복기술에 해당

(2) 미래 신성장 동력 창출 정책과의 부합성

- 국가과학기술위원회(국가육성기술 개요서, 2012)에서는 총 9개 분야 90개를 국가육성기술로 선정하였으며, 건설·교통 분야에는 10개의 육성기술이 포함되어 있음. 그 중에서 ‘첨단 건설재료·소재 개발 기술’, ‘신 건설생산시스템 및 에너지·자원 절약형 건설기술’, ‘초고성능 재료 개발 기술’ 등이 본 사업과 부합성이 있음
- 제안 기술은 핵심 설계 및 소재 개발 분야의 세계 최고 기술 개발을 통한 세계 건설시장 주도권 확보를 주된 목표로 하므로 국가과학기술위원회(2013년도 정부연구개발 투자방향 및 기준(안), 2012)가 선정한 7대 중점추진분야 중에 ‘미래성장 기반 확충’에 해당하며, R&D 투자방향과 일치함
- 국토교통부에서는 「국토교통 R&D 발전전략」을 수립(2010)하고, ‘저탄소 녹색성장’ 패러다임에 맞도록 녹색·공공, 기초·원천기술의 투자가 확대되도록 사업체계를 개편하고 VC-10의 뒤를 이을 미래핵심기술로 짜여진 “Green-up

30”을 결정하였으며, 「주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발」과제는 미래핵심기술 중에서 ‘탄소저감형 건설재료’와 부합성이 있음

3. 사업추진의지와 관련 기관협조체계

- 본 사업은 실질적으로 국토교통부 “Green-up 30”의 미래핵심 기술 중 ‘탄소저감형 건설재료’는 국토교통부 R&D 수요와 정확하게 일치하여 부처의 사업추진의지는 매우 높다고 판단됨
- 국토교통부는 R&D를 통한 기대효과로 사회적 비용절감효과와 녹색산업 성장을 예상하고 있으며, 본사업의 추진으로 에너지 절감효과 및 녹색산업 성장이 예상됨

4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

가. 사업추진상의 위험요인

- 사업 추진상의 위험요인으로 국내외 제도적 요인, 자원조달 가능성, 실용화 추진, 권리확보 및 해당분야 전문가 및 기관 참여 부분으로 구분하여 기술함
 - 신재료, 고성능 재료 사용시 초기 건설비용이 높아짐에 따라 생애주기비용 개념을 도입한 평가가 이루어져야 하며, 이에 대한 법적, 제도적 보완이 요구 될 수 있음
 - 정부정책 변경에 따른 R&D 예산축소, 건설업 경기 악화에 따른 민간기업 참여 저조 등의 가능성으로 연구개발 결과물의 활용이 불충분 할 수 있으며, 연구종료 후 실용화 추진 시 연구비 부족으로 인해 진행이 불가능한 경우에 대한 대책 마련이 필요함
 - 연구진행 중 특허권을 추진 시 선행기술로 인해 취득이 불가능한 경우가 발생할 수 있으며, 해당 분야에 대한 경험이 없는 전문가 및 기관이 참여시 주어진 단기간 내에 실용화가 가능한 연구성과를 도출하기 어려운 가능성이 있음

나. 사업추진상의 위험요인에 대한 대응방안

- 각 위험요인에 대하여 다음과 같이 항목별 대처방안을 구축한다면, 사업을 추진함에 있어서 발생할 수 있는 위험요인에 대하여 대비책을 마련 할 수 있을 것으로 판단됨

위험요인	대응방안
국내외 법, 제도적 요인	■ LCC 기반 평가 확산을 위해 학회 등과 연계하여 설계기준을 변경 ■ 공청회 등을 통한 공감대 형성
재원조달 가능성	■ 정부의 R&D 예산 축소 및 민간기업 참여 축소 시에는 연구내용을 선택, 집중하여 주어진 연구예산 및 기간 내에 실용화가 가능하도록 연구내용 및 범위 등을 재조정
실용화 추진	■ 연구사업 종료후 실용화를 추진하는 것보다 연구사업 내에 실용화를 추진 ■ 실용화 추진시 예상되는 모든 문제점들에 대해 연구사업 내에 발굴, 검증하는 무결점 시스템을 도입
권리 확보 계획	■ 연구진행 전 브레인스토밍 등을 통해 연구 아이디어를 도출하고 가능한 빨리 특허를 출원하여 권리를 보호 받도록 노력
해당분야전문가 및 기관 참여	■ 선정평가시 해당 분야 전문가 및 기관이 선정될 수 있도록 공정한 평가 진행

그림 118. 사업추진상의 위험요인에 대한 대응방안

2절. 기술적 타당성

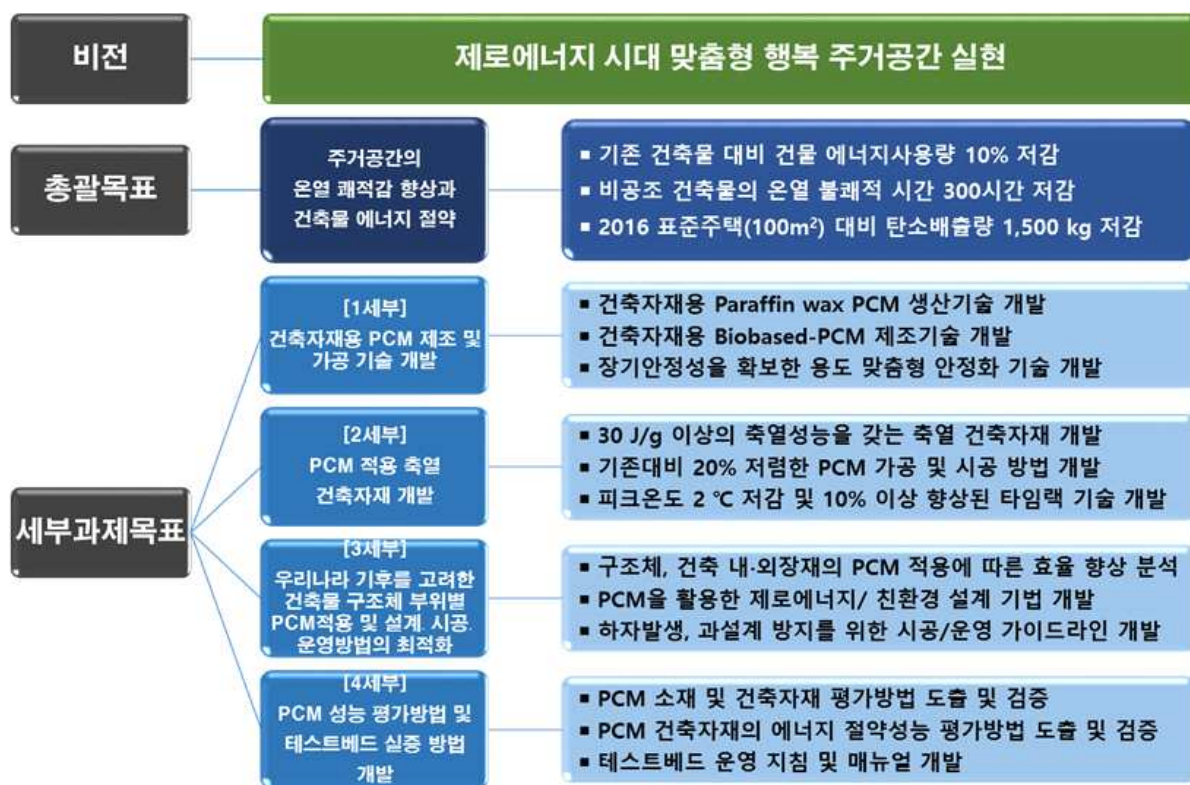
1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 구체성

(1) 사업목표의 구체성

○ 비전 및 목표

- 본 연구단은 ‘주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술개발 기획’을 과제명으로 ‘제로에너지 시대 맞춤형 행복 주거공간 실현’을 비전으로 제시함



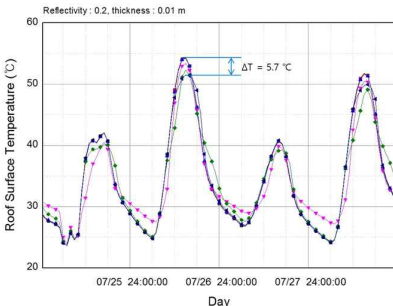
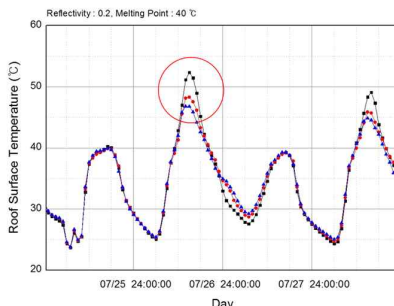
- PCM의 원천소재 개발 수준, 기능성 건축자재의 성능 발현, 실내온열환경 영향도, 주거환경의 쾌적범위 등의 범주를 설정한 연구개발 전략적 방향을 제시하여 ‘주거공간의 온열 쾌적감 향상과 건축물 에너지 절약’을 최종 목표로 함
- 이러한 최종 목표를 달성하기 위해 ‘PCM 제조 및 가공 기술개발’, ‘PCM 적용 축열 건축자재 개발’, ‘건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화’, ‘PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발’ 등의 구체성 있는 총괄 목표를 설정
- 사업의 목표달성을 위해 4개의 세부과제를 제시하고 있고, 이에 대한 세부목표를 구체적으로 제시함

○ 세부과제의 목표 설정 근거의 타당성

- 세부목표는 정책/경제/기술 동향 분석 및 특허 분석, 인프라 분석을 통해 도출된 시사점에 기초하고 있으며, 목표 설정 체계 및 근거가 논리적이고 타당성이 있는 것으로 분석됨
- ‘국토해양 R&D 발전전략’ 목표인 세계 1위 기술 확보, 해외 시장 점유율 확대, 사회경제적 비용 절감에 따라 본연구단에서는 구체적인 목표로 ‘기존 건축물 대비 건물 에너지사용량 10% 저감’, ‘비공조 건축물의 온열 불쾌적 시간 300시간 저감’, ‘기존 건축물 대비 이산화탄소 배출량 40 kg/m² 저감’을 설정함

비전	제로에너지 시대 맞춤형 행복 주거공간 실현
총괄목표	주거공간의 온열 쾌적감 향상과 건축물 에너지 절약 ■ 기존 건축물 대비 건물 에너지사용량 10% 저감 ■ 비공조 건축물의 온열 불쾌적 시간 300시간 저감 ■ 2016 표준주택(100m²) 대비 이산화탄소 배출량 1,500 kg 저감
설정 근거	○ 선행 연구 분석결과 22℃에서 상변화하는 PCM을 내벽에 적용하여 연간 최대 1833.4 kWh의 건물에너지 저감효과(PCM을 적용하지 않은 건물 대비 7.0%의 저감효과)를 가져옴. 이를 단위면적과 전기에너지로 환산하면 연간 7,517원/m²a의 비용 절감 효과를 기대할 수 있는 수치임 ○ 본 연구단에서는 더 높은 축열 성능을 갖는 축열 건축자재를 개발하고 내벽뿐만 아니라 천장 및 바닥 마감재의 적용 기술을 개발하여 기존 건물 에너지사용량 대비 10% (10,000원/m²) 이상의 성능을 발현하는 것을 목표로 설정함 ○ 온열쾌적에 대한 지표는 실내온도의 범위를 통해 분석할 수 있으며 선행 연구에서 벽면에 PCM을 적용하여 불쾌적 시간(냉/난방도시)을 79시간 저감하는 효과를 나타내었으며, 본 연구단에서는 고축열 건축자재의 부위별 최적의 적용을 통해 불쾌적 시간을 300시간 이상 저감시키는 것을 목표로 설정함 ○ 본 연구단에서는 기존 건축물 대비 2000 kWh 이상의 건물 에너지를 저감하는 것을 목표로 하고 있으며, 단위면적당 탄소배출량으로 환산하면 15.69 kg/m²임. 이를 2016 표준주택(100m²)에 적용하면 고축열 건축자재의 적용으로 2016 표준주택의 탄소배출량 대비 1,569 kg의 탄소배출을 저감시킬 수 있음을 의미함 ○ 유럽에서 CO₂의 거래는 ton당 10~30유로에 거래되며, 한국거래소 2016년 5월을 기준으로 ton당 17,600원으로 거래됨. 따라서 저감된 15.69 kg/m²의 탄소배출은 단위면적당 약 300원의 추가적인 금전적 이점으로 환산됨

1세부	건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발																								
세부 목표	건축 부위별 요구 성능에 따른 PCM 제조 및 가공 기술 개발 • 맞춤형 상전이온도(-4, 5, 25, 32℃) 및 잠열량(150~200kJ/kg)을 보유할 수 있는 건축자재용 Paraffin wax PCM 생산기술 개발 • 맞춤형 상전이온도(-4, 5, 25, 32℃) 및 잠열량(150~200kJ/kg)을 보유할 수 있는 건축자재용 Biobased-PCM 제조기술 개발 • 장기안정성(3,000cycles)을 확보한 용도 맞춤형 안정화 기술 개발 • 기존제품대비 30% 저렴한 PCM 물질 개발																								
설정 근거	○ 상업화 되어 사용되고 있는 Rubitherm 사의 Paraffin wax 샘플 5종을 직접 구입하여 분석을 실시한 결과 -3~83° C, 140~200kJ/kg의 잠열량을 가지고 있음을 알 수 있음. <table><tr><th>제품번호</th><th>상전이온도(℃)</th><th>실측 상전이온도(℃)</th><th>실측 잠열량(KJ/Kg)</th></tr><tr><td>1</td><td>-4</td><td>-3.22</td><td>143.3</td></tr><tr><td>2</td><td>5</td><td>7.23</td><td>143.2</td></tr><tr><td>3</td><td>25</td><td>27.21</td><td>205.2</td></tr><tr><td>4</td><td>32</td><td>31.16</td><td>141.4</td></tr><tr><td>5</td><td>82</td><td>83.24</td><td>186.0</td></tr></table> * 화학연구원에서 직접 분석한 DSC 결과임 ○ Biobased-PCM과 Paraffin wax는 Straight Saturated Hydrocarbon 사슬의 길이에 따라 상전이온도와 잠열량이 증가한다는 유사한 점이 있고 문헌자료 뿐만아니라 자체연구에서도 최대 잠열량이 유사한점이 확인 되었으며 다만 Biobased-PCM의 경우 modification에 의해 상전이온도 조절이 필요. ○ 세계 최고 수준이 독일 BASF사의 3,000 Cycles로 파악됨 ○ Fraunhofer CSE의 Jan Kosny의 경제성분석에 의하면 미국의 전기료를 기준으로 PCM가격이 7 \$/Kg을 넘지 않아야 10년에 Payback이 가능하다고 주장하고 있음. 현재 수입가격이 10~15 \$/Kg정도 이므로 최소 30%정도는 저렴해야 함	제품번호	상전이온도(℃)	실측 상전이온도(℃)	실측 잠열량(KJ/Kg)	1	-4	-3.22	143.3	2	5	7.23	143.2	3	25	27.21	205.2	4	32	31.16	141.4	5	82	83.24	186.0
제품번호	상전이온도(℃)	실측 상전이온도(℃)	실측 잠열량(KJ/Kg)																						
1	-4	-3.22	143.3																						
2	5	7.23	143.2																						
3	25	27.21	205.2																						
4	32	31.16	141.4																						
5	82	83.24	186.0																						
기술적 기대효과	○ 건축자재용 PCM 물질의 기초물성 DB 구축 ○ 경제적인 제조공정 확보 ○ 신뢰성있는 안정화 공정 기술 확보																								

2세부	PCM 적용 축열 건축자재 개발																																																								
세부 목표	건축 부위별 요구 성능에 따른 PCM 적용 및 축열 건축자재 에너지 저감 기술 ▪ 30 J/g 이상의 축열성능을 갖는 축열 건축자재 개발 ▪ 기존대비 20% 저렴한 PCM 가공 및 시공방법 개발 ▪ 기존대비 2 ℃ 이상 피크온도 저감 효과																																																								
설정 근거	○ 기술동향 분석을 통해 기존에 BASF사에서 개발하고 상용화된 축열 석고보드의 경우 20 J/g의 축열성능을 가지고 있음을 확인하였으며, 유기계 PCM의 대표적인 n-octadecane의 경우 약 256 J/g의 잠열량을 가지고 있기 때문에 축열 건축자재 제조 시 높은 잠열량을 최대로 유지하는 기술 개발을 통해 최대 30 J/g의 축열성능을 갖는 축열 건축자재 개발을 목표로 함  <table><tr><td>Thickness</td><td colspan="4">0.0125 [m]</td></tr><tr><td>Peak melting temperature</td><td colspan="4">25 [°C]</td></tr><tr><td>Thermal conductivity</td><td colspan="4">0.23 [W/m K]</td></tr><tr><td>Latent heat capacity</td><td colspan="4">200 [kJ/m²]</td></tr><tr><td>Specific heat capacity</td><td colspan="4">13 [kJ/m² K]</td></tr><tr><td>Density</td><td colspan="4">800 [kg/m³]</td></tr><tr><td>Specific heat</td><td colspan="4">1625 [J/kg K]</td></tr></table> 20 J/g <table><tr><td>Material</td><td>d [m]</td><td>λ [W/m K]</td><td>ρ [kg/m³]</td><td>C_p [J/kg K]</td></tr><tr><td>Galvanized steel</td><td>0.008</td><td>40</td><td>7824</td><td>500</td></tr><tr><td>Insulation</td><td>0.04</td><td>0.038</td><td>32</td><td>835</td></tr><tr><td>PCM gypsum board</td><td>0.0125</td><td>0.23</td><td>800</td><td>1625</td></tr></table> 그림 119. The PCM plasterboard (Knauf comfortboard) filled with Micronal[®] PCM microcapsules		Thickness	0.0125 [m]				Peak melting temperature	25 [°C]				Thermal conductivity	0.23 [W/m K]				Latent heat capacity	200 [kJ/m²]				Specific heat capacity	13 [kJ/m² K]				Density	800 [kg/m³]				Specific heat	1625 [J/kg K]				Material	d [m]	λ [W/m K]	ρ [kg/m³]	C _p [J/kg K]	Galvanized steel	0.008	40	7824	500	Insulation	0.04	0.038	32	835	PCM gypsum board	0.0125	0.23	800	1625
	Thickness	0.0125 [m]																																																							
	Peak melting temperature	25 [°C]																																																							
	Thermal conductivity	0.23 [W/m K]																																																							
Latent heat capacity	200 [kJ/m²]																																																								
Specific heat capacity	13 [kJ/m² K]																																																								
Density	800 [kg/m³]																																																								
Specific heat	1625 [J/kg K]																																																								
Material	d [m]	λ [W/m K]	ρ [kg/m³]	C _p [J/kg K]																																																					
Galvanized steel	0.008	40	7824	500																																																					
Insulation	0.04	0.038	32	835																																																					
PCM gypsum board	0.0125	0.23	800	1625																																																					
○ 국가적으로 제로에너지 시대에 대응하기 위하여 PCM 제조 및 가공 단계에서 가격경쟁력을 확보하는 것이 필요함. 기존 실험실 규모로 제조된 샘플의 경우, 개별 수급 재료의 단가가 높고 대량생산이 불가하다는 점에서 비용이 높게 산정되지만, 본 연구과제를 통해 대량생산 시스템 구축이 가능해지면 재료비, 노무비, 경비를 포함한 원가 절감이 가능하며, 최대 20% 이상 원가가 절감된 결과물을 도출하는 것을 목표로 함																																																									
○ 실내 피크온도의 저감 효과는 본 연구의 최종목표인 온열 쾌적감과 에너지 저감 효과에 직결되는 기술임. 기존의 경우, PCM 적용 유무에 따라 평균 5~7 ℃의 피크온도 저감효과를 보이는 것을 확인하였으며, PCM의 두께가 두꺼워짐에 따라(잠열량이 높아짐에 따라) 더 큰 저감효과가 있는 것을 확인하였음. 따라서 상기 높은 축열 성능을 갖는 축열 건축자재의 적용으로 기존대비 2 ℃ 이상의 피크온도 저감이 가능할 것으로 판단함																																																									
  그림 120. PCM 적용 유/무 및 두께 변화에 따른 표면온도 변화																																																									
기술적 기대효과	○ PCM 적용 축열 건축자재의 기초물성 DB 구축 ○ 월드 베스트 축열 건축자재 기술을 통한 글로벌 리더 지위 확보 ○ 실현가능한 축열 건축자재 개발 및 상세 디테일 제시																																																								

3세부	건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화
세부 목표	건축 부위별 요구 성능에 따른 PCM 적용 및 축열 건축자재 에너지 저감 기술 ▪ 건축 구조체의 계절별 온도대역 분석을 통한 부위별 PCM 적용 방안 도출 ▪ PCM 적용방안에 따른 건물에너지 절감성능 분석 ▪ 설계 상세도, 시공 및 운영 가이드라인 개발
설정 근거	○ 우리나라 하절기와 동절기의 기후변화 폭이 큰 기후를 지니고 있으며, 건축물 또한 난방/냉방 어느 한쪽에 치우치지 않은 설계 및 운영방안을 고려해야 하는 어려운 점을 지니고 있음 ○ 따라서 PCM을 활용하여 건물에너지를 저감하기 위해서는 하절기, 동절기 계절의 변화에 따른 건축 구조체(벽체, 지붕, 바닥 등)의 부위별 주요 온도대역을 분석하여 해당 부위에 <u>적용 가능한 적합한 상변화온도를 지니고 있는 PCM을 파악하고 분석하는 것이 필수적임.</u> ○ 국외의 경우 Great Pavilion, CasaE 등의 건축물에서 확인되듯이 PCM을 벽체, 천정 및 외벽 마감에 적용하여 건물에너지 절감을 유도하는 사례가 증가하고 있음. ○ 국내의 경우 PCM을 적용된 건축물이 일부 존재하나, 효과분석 및 에너지절감성능에 대한 <u>정량적인 개선 수준을 파악하기 어려우며</u>, PCM의 적용 확대를 위해서는 <u>부위별 적합한 PCM의 적용과 에너지 절감 수준을 분석하는 단계가 필요함.</u>
기술적 기대효과	○ 계절별 적용 가능한 PCM의 정립 및 부위별 에너지효율 개선수준 자료구축 ○ PCM 적용에 따른 정량적인 건물에너지 절감수준 확인 ○ PCM을 활용한 저에너지/친환경 설계기법의 개발 ○ 시공하자 방지를 위한 PCM 적용 방법의 도출 ○ 고효율 건축물의 운영방안에 대한 고찰 및 최적화방안

4세부	PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발
세부 목표	PCM을 적용한 건축자재 및 건축물에 대한 성능평가 및 기준 개발 ▪ 상변화물질 원료 및 가공제에 대한 기술규격 및 기준 제시 ▪ Hot-Box 또는 인공기후챔버를 이용하여 PCM을 적용한 건축자재 성능평가 및 항목 제시 ▪ 외부 기후 조절 및 시험용 건축물 규격화를 통한 PCM 적용 건축물 성능검증 방법 도출
설정 근거	○ 국내외적으로 PCM은 시차주사열량계(DSC) 등을 이용하여 잠열량 및 녹는점을 평가하나 시료 양 및 승온 속도에 따라 다른 결과를 가져옴 ○ <u>국내에는 PCM을 적용한 건축자재 성능평가 방법 및 관련 기준이 부재</u> ○ PCM을 적용한 건축물에 대한 성능평가는 연구 진행 중이며, 축열을 이용하는 <u>PCM 건축자재의 특성상 실증연구의 기간이 길며</u>, 국내 기후의 특성상 <u>다양한 온도 및 습도 등의 조건에 대한 반영</u>을 통한 실증 연구가 필요
기술적 기대효과	○ PCM을 적용한 건축자재 성능지표를 제시함으로써, 국내 기업들의 PCM 개발에 기여 ○ PCM을 적용한 건축자재에 대한 신뢰성 확보

(2) 사업내용의 논리성 및 적절성

- 각 세부과제를 도출하기 위하여 국내외 경제/기술 동향, 인프라분석, 선행사업 분석을 실시하였고, 비전 및 목표 달성을 위한 연구개발 과제들로 구성되어있음
- 세부과제의 개념 및 범위가 구체적으로 서술되었으며 각 세부과제간의 연계관계에 대해 구체적으로 서술하였음
 - 1세부과제는 PCM 제조 및 가공 기술 개발을 목적으로 함
 - 2세부과제는 PCM 적용 축열 건축자재 개발을 목적으로 함
 - 3세부과제는 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 최적화된 설계·시공·운영 방법 도출을 목적으로 함
 - 4세부과제는 PCM 성능 평가방법 및 테스트베드 실증 방법 개발을 목적으로 함
 - 1세부과제의 성과물을 통해 2세부 및 3세부과제에 적용이 가능하며, 최종적으로 4세부에서 PCM 적용 건축물의 성능평가 및 성능평가 방법을 개발함

나. 사업추진전략의 적절성

(1) 사업추진 전략의 구체성 및 도출근거

- 기술수요·예측조사 및 SWOT분석을 통해 세부과제별 사업추진전략을 도출하고 이를 상세히 서술함
- 기술수요·예측조사 및 SWOT분석은 세부과제 수준에서 이루어졌으나, 연구 추진 단계에서는 보다 구체화 된 분석이 필요할 것으로 판단되며 이에 따른 전략도출 프로세스를 명확히 할 필요가 있음

(2) 사업추진체계의 적절성

- 연구단 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술
 - 본 사업은 기초응용단계, 실용화 기술, 관리정책 등 다양한 연구의 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산학연관 간의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함
 - 연구단 운영과 자체 평가를 위한 자문위원회를 연구단에 구성함
 - 기초응용 성격의 기술은 설계이론의 정립, 실험 등의 기술정립이 필요하므로 연구기관 또는 대학에서 주도하도록 추진함
 - 실용화 기술은 현장 적용 기술로 생산현장 또는 시공현장을 보유한 기업에서 주도하도록 추진함
 - 과제 수행 중에 테스트베드 등의 구축이 필요하므로 이를 위한 공공기관 및 기업체의 참여가 필요함

(3) 성과평가 및 관리체계의 적절성

- 본 연구단의 달성 여부를 평가하기 위한 성과지표 및 측정방법을 세부과제 수준으로 나누어 제시함
- 각 세부과제에서는 학술적 성과와 지식재산권을 공통지표로 설정하고 각 세부과제의 특성에 맞는 지표를 설정하여 세부목표에 부합하도록 지표를 설정하고 이에 따른 설정 근거를 제시하였음
- 기대되는 성과의 활용도와 활용계획이 적절하게 설정되어 있어, 향후 본 연구단의 성과물들이 기술을 필요로 하는 현장 및 수요처에서 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 판단됨
- 추후 이 연구단을 추진하는 주체가 성공적인 사업목표달성을 위해 성과관리체계의 효과적인 방안을 검토하는 것이 필요함

다. 기술개발로드맵의 우수성

- 본 연구단의 기술개발 로드맵은 각 세부기술의 구성기술 수준에서 연도별로 성과물이 구체적으로 제시되어 있어, 연구개발계획의 완성도 측면에서 적절한 것으로 판단됨
- 기술개발 로드맵은 세부과제의 목표-세부과제의 단계별 목표-세부과제의 단계별 목표성과물-각 구성기술의 목표성과물로 이어져 선후관계가 명확하게 드러나도록 작성됨
- 구성기술 수준의 연도별 성과물은 단계별 세부목표 및 세부과제의 성과목표를 토대로 작성되어있음
- 본 연구단의 기술개발 로드맵은 국내외 동향 및 환경분석 결과를 반영하여 도출된 세부과제를 대상으로 하고 있으므로, 기술적/경제적 측면의 분석결과를 반영한 것으로 판단됨

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준 및 역량분석

(1) 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

- 세계 선도형 세계 선도형 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 연구단 관련분야의 선진국 대비 국내 기술수준을 파악하기 위해 특허 분석 및 기술동향 분석을 수행하였고, 이를 기초자료로 활용하여 기술수준을 조사함

(2) 기술개발 역량 및 잠재력

- 기술개발을 위한 전문인력 보유 정도, 기술 구축정도, 연구 시설 및 설비, 기술 투자지원 등에 대하여 국내와 선진국과의 인프라 수준을 비교 분석하였음
 - 각 세부과제관련 전문 인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능하다고 판단됨
 - 세계 선도형 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술은 건설, 화학 기술 분야가 융합된 것으로 국내 각 대학(숭실대, 중앙대, 이화여대 등) 및 국가 연구소(한국건설기술연구원) 등의 연구 인력들이 해당 기술 분야에 연구 개발을 하고 있음
 - 건축물 에너지 저감에 따른 인센티브 제공 규정 등의 제도 마련, test-bed 구축을 위하여 관·산·학·연 공동연구체제 구축하고 전문시험평가기관 등 실규모 검증이 가능한 기관 주도의 실증 연구가 실시되어야 할 것으로 판단됨

나. 기술개발의 성공가능성

(1) 기술적 위험요인

- 본 사업의 성공적인 수행을 위해 새로 발생할 수 있는 기술적 위험요인에 대해 세부과제별로 서술하였음
 - 기존 연구가 실용화되지 못한 가장 큰 이유는 고가의 재료 사용에 따른 경제성 문제로 분석됨
 - 개발한 기술을 활용하기위해 관련 설계기준 등의 제정이 필요하며 다수의 시공실적이 필요함

(2) 기술개발 성공가능성

- 추후 기술수준 및 역량대비 기술개발 성공가능성과 시장창출 및 진입 등 시장 경쟁력 측면에서의 성공가능성에 대한 논의가 필요함
 - 건축물 축열성능 부여 측면에서 민간기업의 관심도가 높아 민간기업의 참여도가 높을 것으로 분석됨

(3) 고효율 건축물을 위한 PCM 요소기술의 적용

- 축열성능이 부족한 건축물의 내장재 적용
 - 기존 내장재의 대체를 통한 실내의 축열 성능 향상이 가능하며 건축물 부위에 따라 선택적 적용이 가능한 건축자재
- 일사에 대한 영향이 기후지역 및 사무용건축물 외장재 적용
 - 축열 건축자재의 적용을 통한 일사 에너지 전달의 지연 및 건축물 수명 연장
- 축열 성능 적용이 가능한 액티브 기술의 접목
 - 열회수 환기장치의 성능 향상
 - 냉난방 설비의 정밀한 온도 조절 및 에너지 성능 향상

3. 기존 사업과의 중복성

- 본 연구단에서 추진하는 과제는 기획과정을 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하여 기존연구와 연계, 활용, 차별화 전략을 제시하여 중복성을 최소화한 것으로 분석됨
 - 본 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 선별함
 - 1차 선별된 중복 가능 과제에 대해 면밀한 검토를 하였음
 - 중복성 검토는 세부과제별로 기존과제 연구성과 활용을 통한 시간단축 및 시행착오 최소화를 위한 활용화 방안, 기존과제 연구성과의 성능 및 수준향상을 통한 성과의 고도화 방안, 과제 대상의 차별화 및 구체화를 통한 기존과제와의 차별화 방안으로 구분하여 분석함

3절. 경제적 타당성

1. 경제적 파급효과

○ 침체된 건설산업의 활성화를 위해서 고부가가치의 건설산업 혹은 새로운 시장의 필요한 시점

- PCM이 적용 가능한 건축자재인 건축마감재, 단열재, 건축용페인트의 2020년 예상 시장은 11.2조원으로 향후 PCM 적용 건축마감재의 시장점유율은 지속적으로 확대될 것으로 예상되며 따라서 관련 시장의 크기도 확대될 것으로 예상



그림 121. 국내 PCM 적용 가능 건축자재 시장
(2014년 Frost&Sullivan NF00-39, 2008, 화학경제연구원 국내건축자재 시장규모, 2012 국내및 세계 단열재 시장규모 The Freedonia Group.INC)

- PCM이 적용 가능한 응용분야 중 50%이상이 Building & Construction분야에 집중화 되고 있으며, 향후 PCM 판매량이 기후변화 기술의 요구 증대 등과 관련하여 증가할 것으로 예상

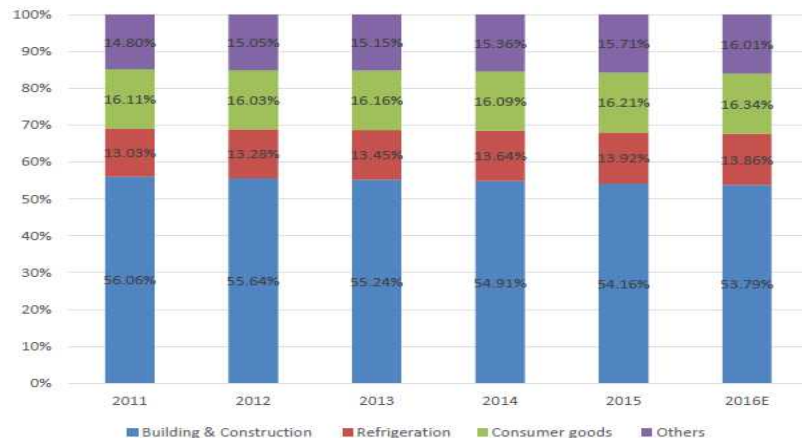


그림 122. PCM 적용 분야별 판매 점유율
(QYR Chemical & Material Research Center, Jan 2017)

- 기존 축열 건축자재 대비 건물 에너지사용량 10%(10,000원/m²) 저감에 기여
 - 선행연구에서 22℃에서 상변화하는 PCM을 내벽에 적용하여 개발하고 연간 최대 1,833.4 kWh의 건물에너지 저감효과(PCM을 적용하지 않은 건물 대비 7.0%의 저감효과)를 가져옴
 - 본 연구단에서는 더 높은 축열 성능을 갖는 축열 건축자재를 개발하고 내벽 뿐만 아니라 천장 및 바닥 마감재의 적용 기술을 개발하여 기존 건물 에너지 사용량 대비 10% (10,000원/m²) 이상의 성능을 발휘하는 것을 목표로 설정함

2. 과학기술적 파급효과

- 향후 그린리모델링 시장의 수요를 대처하고, 저에너지 건축물을 구현할 수 있는 기법으로 활용할 수 있을 것으로 기대
 - 그린리모델링 시장은 괄목할 만한 성장을 나타낼 것으로 예상되며, 기존 리모델링 방법 뿐만 아니라, 보다 효율적으로 건물에너지를 절감시키는 고도의 기술 개발이 필요할 것으로 판단됨
- PCM 관련 건축분야 글로벌 리더 지위 확보
 - R&D에 의한 월드베스트 원천 기술, 설계 및 시공 기술, 정부 관리 기술의 패키지 형태 해외진출 모범사례 실현 및 국제적인 가이드라인 제시

3. 사회적 파급효과

- 실내공간 쾌적성 향상을 통해 국민 삶의 질 향상에 기여
 - 비공조 건축물의 온열 불쾌적 시간 300 시간 저감
- 2016 표준주택(100m²) 대비 이산화탄소 배출량 1,500 kg 저감에 기여
 - 본 연구단에서는 기존 건축물 대비 2,000kWh 이상의 건물 에너지를 저감하는 것을 목표로 하고 있으며, 단위 면적당 탄소배출량으로 환산하면 15.69 kg/m²임. 이를 2016 표준주택(100m²)에 적용하면 2016 표준주택의 탄소배출량 대비 1,569kg의 탄소배출을 저감시킬 수 있음을 의미함

4. 비용 편익 분석

(1) 경제성 분석의 개요

- 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용 비율(B/C ratio), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return), 순현재가치(NPV, Net Present Value) 등이 있으며, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 편익/비용 비율(B/C 분석) 분석기법을 많이 사용함

○ 편익/비용 비율(B/C ratio)

- 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 가장 큰 대안을 선택하는 방법으로 일반적으로 편익/비용 비율이 1.0보다 크면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익}\cdot\text{비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 당해 연도 값

C_t : 비용의 당해 연도 값

r : 할인율(이자율)

n : 내구년도(분석년도)

○ 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)

- 내부수익률은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 r 을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{내부수익률}(IRR) : \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

○ 순현재가치 (NPV, Net Present Value)

- 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

(2) 경제성 분석의 전제 조건

○ 편익회임기간

- 편익의 기간은 사업의 특성에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있지만 R&D 사업의 특성상 기술의 변화주기가 빠르기 때문에 편익의 적용기간이 길다고 판단하기는 어려움
- 사회기반사업의 경우, 항만은 49~50년, 항공은 17~18년 등의 편익기간이 적용되기도 하지만 Mansfield(1991)는 투자시점으로부터 8년 이후에는 편익이 더 이상 발생하지 않는다는 연구결과를 토대로 본 사업의 경우 편익회임기간을 사업

종료 후 8년으로 계산하여 2023~2030년까지를 기간으로 산정함(출처 : 2015 국가연구개발사업 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석기반 고도화 연구, 한국과학기술기획평가원)

○ 미래 시장 규모

- 국내 시장 규모 : 국내 PCM 시장은 아직 형성되어 있지 않으므로 PCM의 적용이 가능한 건축마감재, 단열재, 건축용페인트 시장을 통해 성장 가능성을 분석함. 건축마감재 시장(7.00%), 단열재 시장(5.34%), 페인트 시장(3.30%)의 성장률로 계산하였으며 과제 종료 시의 초기 시장 점유율은 5%로 계산하였으며 성장률은 해외 PCM 시장 성장률인 20%로 계산함(출처 : 2014 Frost&Sullivan NF00-39, 2008 화학경제연구원 국내건축자재 시장규모, 2012 국내 및 세계 단열재 시장규모 The Freedonia Group.INC)

표 49. 국내 건축용 PCM 시장 규모 예측 (단위: 억 원)

년도	국내 PCM 적용 가능 건축자재 시장(마감재, 단열재, 페인트)	국내 건축용 PCM 시장
2018	55,331	
2019	58,682	
2020	62,245	
2021	66,003	
2022	69,762	
2023	73,765	6,934
2024	78,028	7,335
2025	82,568	7,761
2026	87,403	8,216
2027	92,553	8,700
2028	98,037	9,215
2029	103,880	9,765
2030	110,103	10,350

- 해외시장 규모 : 전세계 PCM 판매량 동향을 분석하였으며 시장 성장률은 2011년부터 2021년까지의 평균인 20%로 산정하였으며 성장 중인 PCM 시장의 특성상 타 업종에 비해 지속적인 가격하락이 예상되므로 2022년 PCM 가격변화율인 -6%를 적용하여 계산함(출처 : 2016 Global advanced phase change materials sales market report, QYR Chemical & Material Research Center)

표 50. 해외 건축용 PCM 시장 규모 예측

년도	해외 건축용 PCM 시장
2016	4,561
2017	5,160
2018	5,859
2019	6,729
2020	7,693
2021	8,713
2022	9,828
2023	11,086
2024	12,505
2025	14,105
2026	15,911
2027	17,947
2028	20,245
2029	22,836
2030	25,759

○ 예상 시장 점유율

- 본 사업을 통해 예상되는 시장 점유율은 국내·외 **10%**로 산정하였으며 국외의 경우 아시아 시장의 성장과 중동 시장 등의 신규 수요 창출 요소 등을 토대로 **10%**로 산정함

○ 사업기여율

- 사업기여율은 해당 사업이 전체시장에서 어느 정도 사업에 기여를 할 수 있는나를 측정하는 경제적 확률변수를 말하며, 사업에 따라 3.30% ~ 84%의 다양하게 적용됨. 본 사업의 경우 국내 시장이 형성을 위해 건축용 PCM의 소재 개발에서 평가에 이르기까지 전 범위를 아우르는 사업으로 전체 사업에 기여율은 매우 높을 것으로 판단되나, 여기서는 보수적으로 추정하여 **30%**로 산정함

○ R&D 기여율

- 최종 매출에 대한 R&D 기여도는 한국과학기술기획평가원의 ‘예비타당성조사 표준지침(제2판)’ (2014)에 제시된 **35.4%**를 적용함

○ R&D 사업화 성공률

- 시장가치수요접근법에서 편익의 창출은 기술의 실증 및 상용화를 통하여 이루어지는데 이 과정에서의 불확실성을 반영하기 적용되는 것이 R&D 사업화 성공률임. 연구개발사업의 다양한 특성으로 인해 일관되게 적용되기 힘들다는 한계점이 존재하므로 본 사업에서는 국가 연구개발사업의 평균 사업화 성공률인 **39.7%**를 적용함

표 51. 비용과 편익의 흐름

년도	사업비용	국내시장	해외시장	국내시장 +해외시장	도출편익	편익의 현재가 (2017년 기준)
2016			4,561	4,561		
2017			5,160	5,160		
2018	22.2		5,859	5,859		-19.9
2019	23.2		6,729	6,729		-19.8
2020	27.8		7,693	7,693		-22.4
2021	25.7		8,713	8,713		-19.7
2022	21.1		9,828	9,828		-15.3
2023		6,934	11,086	18,020		0.0
2024		7,335	12,505	19,840	28.0	18.3
2025		7,761	14,105	21,866	30.9	19.1
2026		8,216	15,911	24,127	34.1	19.9
2027		8,700	17,947	26,647	37.6	20.9
2028		9,215	20,245	29,460	41.6	21.9
2029		9,765	22,836	32,601	46.0	23.0
2030		10,350	25,759	36,109	51.0	24.1
계	120	68,276	188,937	257,213	269.3	50.0

○ 부가가치율 (33.5%)

- 본 사업을 통해 창출되는 경제적 가치의 경우 사업을 통해 추가적으로 창출되는 부가가치만 해당됨. 부가가치는 본 사업으로 인해 발생하는 생산액에 부가가치율을 곱하여 계산하며 본 사업의 부가가치율은 한국은행의 2013년 산업연관분석에 제시된 건설산업의 부가가치율 **33.5%**를 적용함

연간 경제적 편익 = 미래 시장 규모

- × 예상 시장 점유율 (국내외 각각 10%)
- × 사업기여율 (30.0%)
- × R&D 기여율 (35.4%)
- × R&D 사업화 성공률 (39.7%)
- × 부가가치율 (33.5%)

○ 사회적 할인율(Social Discount Rate)

- 경제성 분석에서 각기 다른 시기에 발생하는 비용과 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율이며 본 사업에서는 KDI의 ‘예비타당성조사 수행을 위한 일반지침’에 의하여 **5.5%**를 적용함

○ 경제성 분석 결과

- 비용/편익 분석에서 일반적으로 편익/비용 비율이 1보다 클 경우 경제적 타당성이 있는 것으로 판단됨
- 본 사업의 경우 순현재가치는 50.0억원으로 0보다 크며, 편익/비용 비율이 1.51로 1.0보다 크며, 내부수익률은 5.9%로 사회적 할인율 5.5%보다 높게 나타남
- 따라서 본 사업은 경제적 타당성을 가지는 것으로 평가됨

표 52. 연구개발사업의 경제성 분석결과(단위: 억원)

총편익의 현재가치	비용의 현재가치	비용대비 편익 비율 (B/C)	순현재가치	내부수익률
147.1	97.1	1.51	50.0	5.9%

5. 비용 회수 기간

○ 석고보드 적용

- 일반적으로 100m² 주택의 벽체에 석고보드를 적용 시(석고보드 단가 2,700원, 벽체면적 (길이 80m × 높이 2.4m = 192m²) 518,400원이 소요됨
- 기존 연구의 분석결과 22℃에서 상변화하는 PCM을 내벽에 적용 시 7%의 에너지 절약효과가 있음을 확인

○ 난방비 계산

- 서울 지역의 가구당 난방비는 2014년 겨울(2014년 12월 ~ 2015년 2월) 기준 월 평균 153,000원으로 연간 459,000원 소요 (출처 : 2015년 서울복지실태조사, 서울연구원)

- 따라서, PCM 건축자재 가격이 기존 자재의 1.5배일 경우 8년 이내에 비용 회수가 가능한 것으로 분석됨

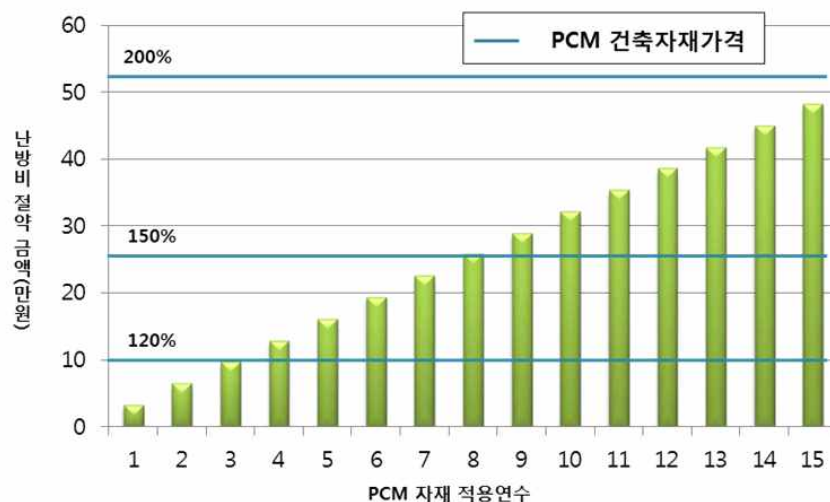


그림 123. PCM 건축자재 가격 증가에 따른 회수 기간

4절. 타당성 검토 종합(정부지원 필요성 포함)

1. 기술개발 투자의 시의성

가. 연구사업 추진의 시급성

- 국가 온실가스 감축목표 달성 및 제로에너지건물 의무화를 위하여 2009년 11월 제 6차 녹색성장위원회에서 제로에너지 건축물 도입 로드맵 수립, 2012년 에너지 저소비형 주택(냉난방에너지 50%절감), 2017년 패시브 하우스(냉난방에너지 90%절감), 2025년 제로에너지 하우스를 목표로 로드맵을 세웠으며 2020년에는 공공부문의 제로에너지 빌딩 의무화, 2025년에는 민간부문의 제로에너지 의무화를 목표로 함
- 본 연구는 현재 정부에서 추진 중인 주요 정책 중 건축물 리뉴얼 촉진 활성화, 그린리모델링 활성화, 제로에너지건축물 활성화 사업 등 여러 가지 정책 및 사업에 부합되는 정책 연계성이 큰 기술로 연구 개발의 시급성이 요청되는 기술임
- 기후 환경 변화 대응, 친환경/에너지 절감기술의 경쟁력 확보차원에서의 고품질/고효율의 주거환경을 구현하기 위한 기술개발 및 연구사업의 추진이 시급한 상태임
- 친환경, 쾌적, 주거복지 구현이 가능한 주거모델을 개발하기 위한 연구가 현재 수행 중에 있으나, 첨단소재와 주거모델과 연계하여 기술 개발을 수행하고 있지는 않으며, 이종 사업에서 PCM의 축열성능 우수성을 바탕으로, 이를 건축물 적용으로 개발하고 활용하기 위한, 방법 및 사용처를 도출하는 연구사업의 시행이 필요함

2. 정부 주도의 지원 필요성

가. 세계기술선도 필요

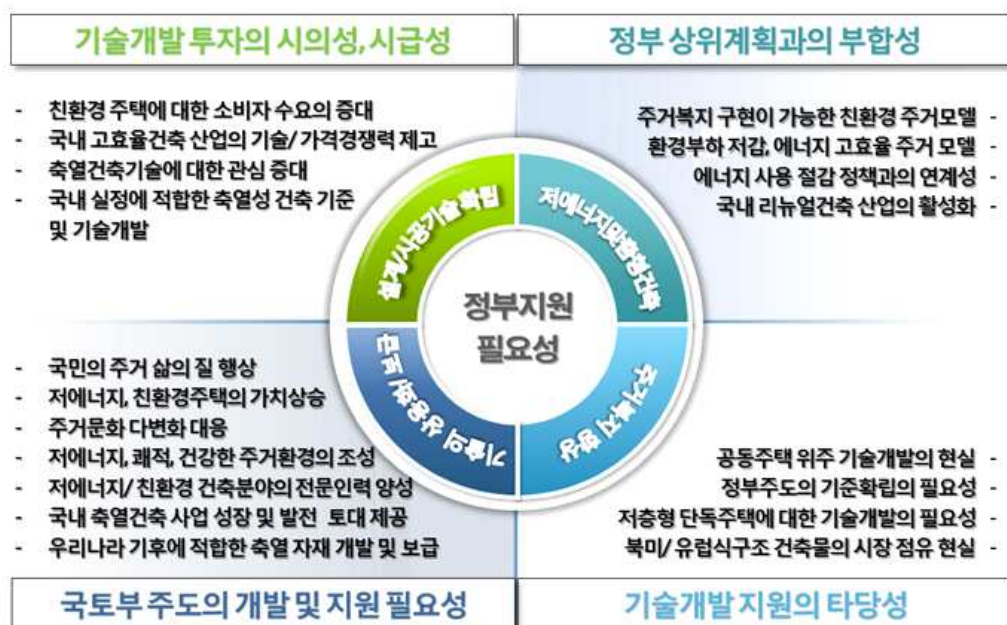
- 현재 건설산업의 화두는 건물에너지 소비 저감, 고부가가치 산업으로의 진출 및 글로벌 시장창출이라고 할 수 있으며, 소비자들의 친환경, 건물에너지에 대한 관심과 쾌적한 주거환경 및 삶의 질에 대한 요구 증대는, 이러한 시장 창출의 가능성을 나타내고 있음
- 국외의 양식과 공법이 시장을 점유하고 있는 실정에서, 이를 대처하고 우리나라의 주거문화를 내제하고 있는 모델로 개발한다면, 글로벌 건설시장에서의 경쟁력 강화와 더불어 국내 건설산업의 부가가치 향상을 도모할 수 있는 새로운 모델로 제시할 수 있을 것으로 판단됨
- 해외의 PCM 관련 대단위 프로젝트로는 독일 정부에서 추진 중인 PCM 실증화 프로젝트 II(PCM Demonstration Collaborative Project II) 및 미국 에너지부에서 추진 중인 PCM 적용 건축물 개발을 위한 연구프로그램(U.S. PCM research program) 등이 진행 중임
- 국내에서 건축물에 PCM 적용을 위한 과제는 11건이 진행되었으며 대형과제의 경우에는 PCM 연구를 위한 단일과제는 없었으며 다양한 과제의 세부과제로 기

추진하였거나 추진 중인 과제들이 일부 존재함

- 일부 개발된 재료가 활발히 현장에서 적용되지 못하고 있는 것은 활용 연구 미비, 경제성 문제, 설계기준 미비 등의 원인들이 있으므로 이러한 문제점들을 해결하기 위한 통합적인 R&D가 실시되어야 함
- 이를 통해 이 분야에서 세계 최고 수준의 기술을 확보하여 우리나라의 건설경쟁력을 한 단계 도약시키는 계기로 이바지할 수 있을 것으로 판단됨

나. 국산화 필요

- 그동안의 건설산업은 산업화·도시화 단계에서 주택, 사회간접자본 (SOC) 등 기반시설을 공급하면서 고도 경제성장의 밑거름이 되어왔으나 경제가 성숙기에 진입하면서 건설물량이 감소하는 등 성장률이 둔화되고 있으며, 복지수요의 증가와 더불어 국민생활과 밀접한 생활밀착형 SOC 투자와 민간투자사업의 비중은 증가할 것으로 전망하고 있음 (국토연구원, 2014)
- 현 시점에서 건설산업은 건설환경 변화에 대비하여 건설산업 활성화 및 발전을 위해 고부가가치를 창출할 수 있는 기술중심 산업으로의 정책적 재정립의 필요성이 부각되고 있으며, 현대인의 요구를 충족시킬 수 있는 친환경/ 쾌적성을 근간으로 하는 주거모델의 도출과, 주거환경 및 주택에 대한 소비자들의 패러다임의 전환이 향후 주택산업의 향방을 결정할 것으로 예상되고 있음
- 국내에서도 친환경 주택, 쾌적한 주거환경에 대한 소비자의 수요 증가와 이를 충족시키기 위한 시장은, 전 국가적인 경제발전의 과도기를 거치고, 국민 삶의 수준이 향상됨에 따라, 2000년대 이후로 지속적으로 성장 추세에 있으며, 공동주택 위주의 아파트 주거문화에서 비용절감형 생애맞춤 주택, 에너지 저감 주택, 노후주택 리모델링 등이 소비자의 큰 관심을 받고 있으나, 국내에서는 주로 북미/ 유럽식의 건축물과 공법이 유입되어 보급되고 있는 실정임



5장. 인력투입 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

가. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
총괄	46	66	74	63	66	315
1세 부과제	13	14	15	15	15	72
2세 부과제	10	10	20	15	10	65
3세 부과제	13	26	24	18	24	105
4세 부과제	10	16	15	15	17	73

2. 세부과제별 인력투입계획

가. 1세부 연구인원

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비 고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
계	책임연구원	4	4	4	4	4	20	
	연구원	6	7	7	7	7	34	
	연구보조원 (박사과정)	1	1	1	1	1	5	
	보조원 (석사과정)	2	2	3	3	3	13	
1-1 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	5	
	연구원	2	2	2	2	2	10	
	연구보조원 (박사과정)							
	보조원 (석사과정)							
1-2 세세부	책임연구원	1	1	1	1	1	5	

	연구원	2	3	3	3	3	14	
	연구보조원 (박사과정)							
	보조원 (석사과정)	2	2	2	2	2	10	
1-3 세세부	책임연구원	2	2	2	2	2	10	
	연구원	2	2	2	2	2	10	
	연구보조원 (박사과정)	1	1	1	1	1	5	
	보조원 (석사과정)			1	1	1	3	

나. 2세부 연구인원

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비 고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
계	책임연구원	2	2	4	3	2	13	
	연구원	2	2	4	3	2	13	
	연구보조원	2	2	4	3	2	13	
	보조원	4	4	8	6	4	26	
2-1 세세부	책임연구원	1					1	
	연구원	1					1	
	연구보조원	1					1	
	보조원	2					2	
2-2 세세부	책임연구원	1	1	1			3	
	연구원	1	1	1			3	
	연구보조원	1	1	1			3	
	보조원	2	2	2			6	
2-3 세세부	책임연구원		1	1	1		3	
	연구원		1	1	1		3	
	연구보조원		1	1	1		3	
	보조원		2	2	2		6	
2-4 세세부	책임연구원			1	1	1	3	
	연구원			1	1	1	3	
	연구보조원			1	1	1	3	
	보조원			2	2	2	6	
2-5 세세부	책임연구원			1	1	1	3	
	연구원			1	1	1	3	
	연구보조원			1	1	1	3	
	보조원			2	2	2	6	

다. 3세부 연구인원

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
계	책임연구원	2	2	3	2	3	12	
	연구원	2	4	4	3	4	17	
	연구보조원 (박사과정)	4	5	3	4	3	19	
	보조원 (석사과정)	2	5	5	6	7	25	
3-1 세세부	책임연구원	2	1				3	
	연구원	2	1				3	
	연구보조원 (박사과정)	4	2				6	
	보조원 (석사과정)	2	2				4	
3-2 세세부	책임연구원		1	2			3	
	연구원		3	3			6	
	연구보조원 (박사과정)		3	2			5	
	보조원 (석사과정)		3	3			6	
3-3 세세부	책임연구원			1	2	3	6	
	연구원			1	3	4	8	
	연구보조원 (박사과정)			1	4	3	8	
	보조원 (석사과정)			2	6	7	15	

라. 4세부 연구인원

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비 고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	
계	책임연구원	2	3	3	4	3	15	
	연구원	4	4	5	4	4	21	
	연구보조원 (박사과정)	5	6	5	6	5	27	
	보조원 (석사과정)	2	2	2	2	2	10	
4-1 세세부	책임연구원	2	2				4	
	연구원	4	2				6	
	연구보조원 (박사과정)	5	2				7	
	보조원 (석사과정)	2	1				3	
4-2 세세부	책임연구원		1	2	2		5	
	연구원		2	2	1		5	
	연구보조원 (박사과정)		4	2	3		9	
	보조원 (석사과정)		1	1	1		3	
4-3 세세부	책임연구원			1	2	3	6	
	연구원			3	3	4	10	
	연구보조원 (박사과정)			3	3	5	11	
	보조원 (석사과정)			1	1	2	4	

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

가. 산정개요

- 세부과제별 기획위원회를 구성, 기획위원회에 의한 상향식(Bottom-up) 방법으로 예산을 산출함
- 최소 연구단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정비용을 산정하고, 이를 토대로 일반과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정
- 인건비는 기획재정부 ‘2016년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성
- 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함. 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준’을 작성기준으로 활용
- 항목별 예산은 ‘국토교통부 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준에 따라 아래와 같이 산정함(기업부담금은 추정치임)

<기업부담금 출연기준>

구분	기업부담금 출연기준 (총 연구개발비 대비)
대기업참여	50% 이상
중소기업 참여	25% 이상
참여기업이 복합적으로 구성되고 중소기업의 비율이 2/3 이상	25% 이상

나. 예산 산정방법

(1) 민감부담 비율 산정

- 총 개발 비용에 대한 민감 부담 비율은 25%로 가정함(국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조 관련)

(2) 연차별 소요예산 산정

- 1년차는 PCM 소재 및 자재 개발을 위한 기반연구와 적용 연구를 위한 기초연구가 착수되는 시점이지만 성능평가를 위한 장비의 구축을 위한 연구비로 인하여 전체 연구비의 18.5%(2,220/12,000백만원)를 산정함
- 2년차는 PCM 소재 및 자재의 개발이 본격화 되는 시점 및 관련전문기관과의 시험체계 구축을 시작하는 단계로 전체 연구비의 19.3%(2,317/12,000백만원)를 산정함

- **3년차**는 PCM 소재 개발의 결과가 도출되며, PCM을 적용한 다양한 품목의 자재 개발연구가 진행되는 시기로서 전체 연구비의 23.2%(2,778/12,000백만원)를 산정함
- **4년차**는 PCM 자재의 적용 방법에 대한 연구의 결과를 통해 실증평가를 위한 시험 방법의 개발 및 장비의 구축이 진행하게 되며 개발된 소재와 자재에 대한 평가 및 검증을 실시하는 단계로 전체 연구비의 21.4%(2,568/12,000백만원)를 산정함
- **5년차**는 PCM 소재 및 자재의 정량적인 성능평가를 통한 성능지표 마련, 시뮬레이션 및 실증연구와의 비교를 통한 PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능을 확인하는 단계로 개발된 기술의 검증과 더불어 보급·활성화를 추진하는 단계로 전체 연구비의 17.6%(2,117/12,000백만원)를 산정함

(3) 세부과제별 소요예산 산정

- 세부과제별 연구비의 비율은 연구의 성격과 진행과정 등을 고려하여 산정하였음
- **1세부 과제**
 - Paraffin계/Biobased PCM 물질을 경제적으로 제조하는 기술을 실험실규모에서 Pilot 규모의 크기로 생산하는 기술을 개발하고, 이를 이용하여 실제 건축물 자재에 사용할 수 있도록 안정한 형태의 가공기술을 개발하여 건축자재개발 연구팀에 제공하는 연구로, 정량적인 열적 성능평가, PCM물질이 가지고 있는 여러 가지 성능을 향상시키는 성능개선기술 개발 등의 요소기술 개발 활동을 수행함
 - 기존제품의 성능 DB 구축, 새로운 정제공정개발, 새로운 합성기술 개발, 성능개선을 위한 첨가제기술 개발, 용도에 맞는 안정화 가공기술 개발, 국제적 기준에 부합하는 객관적인 성능평가 시험의 수행을 고려하여, 1세부 과제는 전체 연구비의 25.0%(3,000/12,000백만원)를 배정함
- **2세부 과제**
 - 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM의 요구 성능을 평가하고, 이를 바탕으로 최적의 PCM을 적용한 실내마감재(외벽/내벽/천장재/바닥시스템), 축열 구조재(콘크리트/조적벽돌) 개발을 목표로 연구를 수행함
 - 연구를 통해 개발되는 건축자재의 Proto-type 제품을 제작하기 위해, 2세부 과제는 전체 연구비의 33.3%(4,000/12,000백만원)를 배정함
- **3세부 과제**
 - 고효율/ 저에너지 건축물 설계가 가능한 PCM 적용의 설계기법을 개발하며, 건축물의 성능저하 방지와 효율적인 운영을 위하여, 시공/ 운영가이드라인 수립을 통해 PCM 적용 건축물의 성능발현 및 고품질화를 추진하는 연구를 진행함
 - 3세부 과제는 전체 연구비의 16.6%(2,000/12,000백만원)를 배정함
- **4세부 과제**
 - PCM 소재 및 적용자재의 성능평가방법 및 PCM을 적용한 건축물의 성능평가 방법을 개발하고 이를 검증하며, 최종적으로 실증 시험 방법을 개발하여 PCM

건축자재의 적용 시 에너지 절약성능에 대한 정확한 평가방법을 마련기 위한 연구를 진행함

- 4세부 과제는 전체 연구비의 25.0%(3,000/12,000백만원)를 배정함

2. 전체사업 소요예산

(단위 : 백만원)

구분		1세부	2세부	3세부	4세부	합계
1차년도	정부	550	570	400	700	2,220
	민간	138	143	100	175	555
2차년도	정부	650	667	400	600	2,317
	민간	163	167	100	150	579
3차년도	정부	650	1,228	400	500	2,778
	민간	163	307	100	125	695
4차년도	정부	550	918	400	700	2,568
	민간	138	230	100	175	642
5차년도	정부	600	617	400	500	2,117
	민간	150	154	100	125	529
합계	정부	3,000	4,000	2,000	3,000	12,000
	민간	750	1,000	500	750	3,000

3. 세부과제별 소요예산

□ 1세부 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급 여)	연평 균인 원/참 여율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구 원	74,640		59,712	59,712	59,712	59,712	59,712	298,560	10.0%
	연구원	57,216		85,824	100,128	100,128	100,128	100,128	486,336	16.2%
	연구보조 (박사과정)	30,000		30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	150,000	5.0%
	연구보조 (석사과정)	21,600		43,200	43,200	64,800	64,800	64,800	280,800	9.4%
	소 계			218,736	233,040	254,640	254,640	254,640	1,215,696	40.6%
직 접 비	연구장비 재 료비			95,707	162,392	136,472	92,622	144,547	631,740	21.0%
	연구활동비			30,000	30,000	30,000	20,000	30,000	140,000	4.7%
	연구과제 추진비			20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	100,000	3.3%
	연구수당			46,732	49,593	53,913	43,913	53,913	248,064	8.3%
	소 계			192,439	261,985	240,385	176,535	248,460	1,119,804	37.3%
위탁연구개발비				50,000	50,000	50,000	30,000	-	180,000	6.0%
간접비				88,825	104,975	104,975	88,825	96,900	484,500	16.1%
합 계				550,000	650,000	650,000	550,000	600,000	3,000,000	100.0%

□ 2세부 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급 여)	연평 균인 원/참 여율	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임 연구원	37,323		29,856	29,856	59,712	44,784	29,856	194,064	4.9%
	연구원	28,619		22,896	22,896	45,792	34,344	22,896	148,824	3.7%
	연구보조 (박사과정)	19,131		15,302	15,302	30,605	22,954	15,302	99,465	2.5%
	연구보조 (석사과정)	14,348		22,954	22,954	45,907	34,430	22,954	149,199	3.7%
	소 계			91,008	91,008	182,016	136,512	91,008	591,552	14.8%
직 접 비	연구장비 재 료비			104,000	127,000	231,000	173,000	116,000	751,000	18.8%
	연구활동비			116,000	142,700	257,100	193,900	128,800	838,500	21.0%
	연구과제 추진비			77,250	94,516	170,423	128,321	84,992	555,502	13.9%
	연구수당			18,202	18,202	36,403	27,302	18,202	118,311	3.0%
	소 계			315,452	382,418	694,926	522,523	347,994	2,263,313	56.6%
위탁연구개발비				72,900	88,000	155,500	112,000	80,100	508,500	12.7%
간접비				90,640	105,574	195,558	146,965	97,898	636,635	15.9%
합 계				570,000	667,000	1,228,000	918,000	617,000	4,000,000	100.0%

□ 3세부 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급 여)	연평 균인 원/참 여울	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구 원	74,640		44,784	44,784	60,480	44,784	67,176	262,008	13.1%
	연구원	57,216		57,216	68,659	63,317	85,824	68,659	343,675	17.2%
	연구보조 (박사과정)	30,000		60,000	45,000	33,696	36,000	27,000	201,696	10.1%
	연구보조 (석사과정)	21,600		21,600	32,400	43,085	38,880	45,360	181,325	9.1%
	소 계			183,600	190,843	200,578	205,488	208,195	988,704	49.4%
직 접 비	연구장비 재료비			15,000	10,000	10,000	10,000	10,000	55,000	2.8%
	연구활동비			35,000	33,000	33,000	36,000	35,000	172,000	8.6%
	연구과제 추진비			31,400	31,157	31,422	33,512	31,805	159,296	8.0%
	연구수당			30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	150,000	7.5%
	소 계			111,400	104,157	104,422	109,512	106,805	536,296	26.81%
위탁연구개발비				60,000	60,000	50,000	40,000	40,000	250,000	12.5%
간접비				45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	225,000	11.3%
합 계				400,000	400,000	400,000	400,000	400,000	2,000,000	100.0%

□ 4세부 과제

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	예산항목								비율 (%)
		단가 (연급 여)	연평 균인 원/참 여울	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구 원	74,640		44,784	67,176	67,176	89,568	67,176	335,880	11.2%
	연구원	57,216		45,772	45,772	57,216	45,772	45,772	240,304	8.0%
	연구보조 (박사과정)	30,000		30,000	36,000	30,000	36,000	30,000	162,000	5.4%
	연구보조 (석사과정)	21,600		43,200	43,200	43,200	43,200	43,200	216,000	7.2%
	소 계			163,756	192,148	197,592	214,540	186,148	954,184	31.8%
직 접 비	연구장비 재료비			330,000	200,000	100,000	250,000	120,000	1,000,000	33.3%
	연구활동비			50,000	30,000	35,000	35,000	40,000	190,000	6.3%
	연구과제 추진비			36,244	25,852	30,408	30,460	36,852	159,816	5.3%
	연구수당			10,000	8,000	7,000	10,000	7,000	42,000	1.4%
	소 계			426,244	263,852	172,408	325,460	203,852	1,391,816	46.4%
위탁연구개발비					50,000	50,000	50,000	30,000	180,000	6.0%
간접비				110,000	94,000	80,000	110,000	80,000	474,000	15.8%
합 계				700,000	600,000	500,000	700,000	500,000	3,000,000	100.0%

□ 세부과제별 소요예산 상세

세부	공동과제명		주요 TASK		참여인력(명)					주요 장비 및 시작품			인건비	직접비	간접비	연구비계
					책임급	선임급	원급	보조원	계	장비 및 시작품 내역	단가 (백만원)	개수				
1세부	1-1	Paraffin계 PCM 제조 기술 개발	1	Paraffin계 PCM 상변화온도 조절 정제기술	2	2	2		6				87,072	164,478	48,450	300,000
			2	가시달린 이성체 제거기술	2	2	2		6				87,072	164,478	48,450	300,000
			3	석유화학으로부터 대량생산 기술	1	1	1		3	정밀 증류탑	150	1	43,536	291,864	64,600	400,000
			소계		5	5	5		15				217,680	620,820	161,500	1,000,000
	1-2	Bio-PCM 제조 기술 개발	1	Bio Oil로부터 경제적인 화학적 합성 기술	2	2	3	3	10				166,176	169,224	64,600	400,000
			2	상변화온도, 잠열량 조절 정제기술	1	2	2	3	8				136,944	114,606	48,450	300,000
			3	Pilot 규모 생산공정 기술	2	3	2	4	11				187,776	213,474	80,750	500,000
			소계		5	7	7	10	29				490,896	515,304	193,800	1,200,000
	1-3	PCM 안정화 가공기술개발	1	Immersion 기술(다공성물질 설계 및 합성기술 포함)	3	1	2	2	8				130,896	120,654	48,450	300,000
			2	Nano-, Micro-, Macro-encapsulation 기술	4	2	2	3	11				198,528	69,792	51,680	320,000
			3	PCM 성능개선 기술(난연화, 과냉각, 열전도를 개선)	3	2	1	3	9				177,696	2,304	29,070	180,000
			소계		10	5	5	8	28				507,120	163,680	129,200	800,000
	세부과제 연구비 계		-	-	-	-	-					1,215,696	1,299,804	484,500	3,000,000	
2세부	2-1	건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가	1	건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가	1	1	1	2	5				45,504	156,381	48,115	250,000
			2	국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가												
			3	RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가						국내 지역별, 건축물 구조별 PCM 요구성능 보고서 작성	50	1				
	소계		1	1	1	1	5				45,504	156,381	48,115	250,000		
	2-2	PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발	1	PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발	1	1	1	2	5	고축열 석고보드	150	1	45,504	231,757	52,499	329,760
			2	PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발	1	1	1	2	5	고축열 페인트 (액상/분말)	150	1	45,504	227,101	53,900	326,505
			3	PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발	1	1	1	2	5	고축열 타일	80	1	45,504	304,601	75,663	425,768
										고축열 타일 접착제						
										PCM 대량 적용 패널						
소계		3	3	3	6	15				136,512	763,458	182,062	1,082,032			

세부	공동과제명		주요 TASK		참여인력(명)					주요 장비 및 시작품			인건비	직접비	간접비	연구비계
					책임급	선임급	원급	보조원	계	장비 및 시작품 내역	단가 (백만원)	개수				
	2-3	PCM을 적용한 마감재 (천장재) 개발	1	PCM 적용 고축열 천장텍스 개발	1	1	1	2	5	고축열 천장텍스	140	1	45,504	239,751	55,522	340,777
			2	환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발	1	1	1	2	5	PCM 적용 환기시스템	70	1	45,504	204,101	47,587	297,192
			3	천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발	1	1	1	2	5	고축열 금속 패널	130	1	45,504	309,101	72,427	427,032
			4	천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발						고축열 플라스틱 패널	150	1				
	소계				3	3	3	6	15				136,512	752,952	175,536	1,065,000
	2-4	PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발	1	거울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발	2	2	2	4	10	PCM 종류별 적용 바닥난방시스템	50	4	91,008	320,552	68,644	480,204
			2	실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시	1	1	1	2	5	바닥난방시스템의 최적의 효율적 사용을 위한 사용자 가이드라인 제시	30	1	45,504	144,101	27,192	216,797
			소계				3	3	3	6	15				136,512	464,652
	2-5	PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적 벽돌) 개발	1	콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발	1	1	1	2	5	고축열 PCM 골재	85	1	45,504	149,101	31,382	225,987
			2	PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발	1	1	1	2	5	PCM 골재 적용 고축열 콘크리트	130	1	45,504	200,401	36,104	282,009
			3	PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발	1	1	1	2	5	고축열 조적벽돌	50	3	45,504	284,868	67,600	397,972
			4	고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발						축열 시멘트 접착제	60	1				
	소계				3	3	3	6	15				136,512	634,369	135,086	905,967
	세부과제 연구비 계				-	-	-	-	-				591,552	2,771,813	636,635	4,000,000
	3-1	건축물 구조체 부위별 PCM 적 용 방법 개발	1	구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도 변화 대역 분석	2	2	1	2	7	구조체 내부 온-습도 센서 설치 비용	5	3	92,279	73,387	21,000	186,666
			2	구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온 도범위 분석	1	2	1	2	6	온-습도 센서 모니터링 유지 비용	5	3	79,096	62,903	18,000	160,000
			3	부위별 PCM 적용방안 도출	1	2	1	2	6				79,096	62,903	18,000	160,000
			4	부위별 적용 가능한 PCM 정립	1	2	1	2	6				79,096	62,903	18,000	160,000
	소계				5	8	4	8	25				329,568	262,098	75,000	666,666
	3-2	건축물 구조체 부위별 PCM 적 용방안에 따른 에너지 절감성능 분석	1	벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적 용에 따른 에너지 절감 성능 분석	1	1	1	2	6	ISO 10211 건축물 전열해석 프로그램 구매	8	1	87,238	69,379	19,852	176,470
			2	구조체, 실내-외장재 등 적용 방안에 따 른 에너지 절감 성능 분석	1	1	1	2	6	건물에너지 해석결과 검증 및 컨설팅 비용	10	1	87,238	69,379	19,852	176,470
			3	에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출	1	1	1	2	5				72,698	57,815	16,544	147,058
	소계				3	3	3	6	17				247,176	196,574	56,250	500,000

세부	공동과제명		주요 TASK		참여인력(명)					주요 장비 및 시작품			인건비	직접비	간접비	연구비계
					책임급	선임급	원급	보조원	계	장비 및 시작품 내역	단가 (백만원)	개수				
	3-3	PCM 적용 친환경 경 설계기법	1	PCM 적용을 위한 부위별 설계상세도 개발	2	4	3	5	14				85,443	67,951	19,444	172,839
			2	냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용 량 분석 및 도출	2	4	3	4	13				79,340	63,097	18,055	160,493
		소계				4	8	6	9	27				164,784	131,049	37,500
	3-4	PCM 적용 최적 화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이 드라인 개발	1	PCM 적용을 위한 설계가이드라인 제작	1	3	2	2	8	PCM 성능기반 설계 교육 프로그램 개 발 및 제작	15	1	82,392	65,524	18,750	166,666
			2	시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발	1	3	2	2	8	시공상세도 제작 및 컨설팅 의뢰	10	1	82,392	65,524	18,750	166,666
			3	하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축 물 운영 가이드라인 개발	1	3	2	2	8				82,392	65,524	18,750	166,666
	소계				3	9	6	6	24				247,176	196,574	56,250	500,000.0
	세부과제 연구비 계				-	-	-	-	-				988,704	786,296	225,000	2,000,000
	4-1	PCM 소재·자재 성능 평가방법 개발 및 검증	1	PCM 소재 성능평가방법 개발 및 검증	2	3	3	1	9	시차주사열량계(DSC)	120	1	123,351	244,400	74,260	470,000
2			PCM 자재 성능평가방법 개발 및 검증	2	3	4	2	11	자재 시험 챔버	100	1	137,901	223,600	67,940	430,000	
	소계				4	6	7	3	20				261,252	468,000	142,200	900,000
	4-2	PCM 적용 자재별 에너지 절약 성능 평가 방법 개발	1	건축물에 적용되는 PCM의 성능평 가 방법 개발	3	2	4	1	10				136,901	234,000	71,100	450,000
2			PCM 자재의 에너지 절약성능 평가 방법 개발	2	3	5	2	12				146,473	260,000	79,000	500,000	
	소계				5	5	9	3	22				283,374	494,000	150,100	950,000
	4-3	PCM 적용 건 축물의 실증시 험	1	PCM 적용 건축물의 실증 시험방 법 개발	3	5	5	2	15				200,493	286,000	86,900	550,000
			2	PCM 적용 건축물의 에너지 절약성 능 실증	3	5	6	2	16	실증시험 챔버	180	1	209,065	312,000	94,800	600,000
	소계				6	10	11	4	31				409,558	598,000	181,700	1,150,000
세부과제 연구비 합계					-	-	-	-	-				954,184	1,571,816	474,000	3,000,000
연구단 운영경비 계					-	-	-	-	-				-	-	-	-
총연구비 합계													3,824,776	6,355,089	1,820,135	12,000,000

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안 요구서(RFP)

연구개발과제명	주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술개발
1. 연구개발 목표	○ PCM 소재/건축자재/설계기법의 개발과 패시브하우스 요소기술화를 통한 건물에너지 절감 및 실내 온열쾌적감 증대
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 전세계적으로 건축물에서의 에너지 절감의 중요성이 강조되고 있으며 국내 또한 2025년까지 제로에너지하우스를 구현하기 위한 정부정책이 진행 중 ○ 제로에너지하우스를 구현하기 위해서는 다양한 측면에서의 접근이 필요하며 다양한 재료에 적용할 수 있는 에너지 절약형 소재의 개발 및 적용은 매우 중요한 부분을 차지함 ○ 상변화물질은 특별한 에너지의 투입없이 열을 저장·방출하는 물질로 건축물 적용 시 피크 부하의 감소 및 타임랙 효과로 인하여 건축물 소비에너지의 저감 및 재실자의 쾌적성 향상을 시킬 수 있는 물질임 ○ 국내 PCM 연구는 유럽·미국과 비교할 때 미비한 실정이며 대부분의 연구가 단편적으로 진행되고 있음 ○ 따라서 해외와의 기술격차 감소 및 국내 PCM 시장의 경쟁력 강화를 위해 PCM 소재 개발→ 자재 개발 → 적용방법 개발 → 평가방법 개발에 이르는 전과정에 대한 연구가 필요함 ○ 특히 건축산업의 특성상 정부의 지원 및 관련 기준의 개선 없이는 신기술의 적용이 어려운 단점을 가짐 ○ 따라서 정부지원을 통해 건축용 PCM 개발의 전과정을 진행하여 관련기술의 개발, 정책지원 및 지속적인 홍보 등을 통해 관련 산업의 확대를 앞당길 수 있음 □ 기술동향 ○ 국내 기술동향 - 국내 상변화물질 관련 국가과제는 2002년 4개에서 2015년 16개로 2010년 이후로 증가하고 있지만 여전히 미비한 실정이며 대부분의 연구가 PCM 소재의 개발보다는 어플리케이션에 집중되어 있어 소재 원천기술의 확보가 필요함

- 한국건설교통기술평가원의 탄소저감형 건설재료 기술개발 기획보고서 및 부산시 100대 기술(2015년)에 상변화물질에 대한 조사가 이루어져 있음
- 현재 국내의 PCM과 관련된 연구 및 제품의 대부분은 해외에서 캡슐화된 소재를 수입하여 가공하거나 완제품으로 수입하여 건축물에 적용하여 진행한 연구가 대부분임
- 국내에서는 대학을 중심으로 다양한 연구가 진행 중이며 Graphite를 이용한 PCM의 함침 및 PCM 경량콘크리트 패널, PCM을 이용한 저에너지복사냉난방시스템 등의 연구가 진행되었음
- 대한주택공사 주택도시연구원에서 PCM Mock-up test가 진행되었으며 축열성능을 가진 보드를 이용하여 대조군과의 비교실험을 실시하였음
- 상변화물질의 평가방법의 부재로 대부분의 연구의 경우 실험적인 방법을 통해 성능을 평가하고 있으므로 PCM 시장 활성화를 위해서는 평가방법의 개발 또한 중요한 문제임

○ 해외 기술동향

- 국외의 상변화물질과 관련된 연구는 2000년 77편에서 2014년 774편으로 10배 이상 증가하고 있음
- 글로벌 화학회사에서는 다양한 PCM 및 PCM 적용 자재를 판매하고 있으며 국내 일부 건축물에 적용되고 있음
- BASF의 경우 2005년부터 파라핀 기반의 Micronal 대량생산을 시작하였으며, 3kg/m³의 Micronal PCM(상변화물질)을 함유한 15mm 두께의 벽체보드의 성능이 90mm 두께의 콘크리트 벽체의 열용량과 같음을 입증
- 독일 Maxit clima사 및 독일DAW사에서는 BASF사의 Micronal PCM을 적용한 석고모르타르를 개발하여 생산하고 있음
- Saint-Gobain Rigips, Knauf 등에서는 PCM 소재를 적용한 석고보드를 판매중임
- 열대지역 통신기지국의 전력소모가 큰 장치에서 발생하는 열을 흡수하기 위해 PCM을 사용하고 있으며 기지국의 온도가 최대 허용치 이하로 유지되도록 하여 고부가장치를 보호함
- 특히 독일의 RAL-GZ 896, 미국의 ASTM C1784와 같이 PCM 및 적용 제품에 대한 평가방법이 제정되어 있으며, OECD 자치단체 중 하나인 IEA에 의해 실행된 Solar Heating and Cooling Program에서는 Task 42 Compact Thermal Energy Storage에서

3. 연구개발내용

□ 세부과제별 연구내용 [1세부과제]

- 건축용 Biobased PCM 제조기술개발
 - 동식물유의 경제적인 포화방법 개발
 - 경제적인 화학적 전환 및 정제방법 개발
 - 상전이온도 조절방법 개발
 - Pilot규모 생산 공정개발
- 건축용 Paraffin계 PCM 제조기술개발
 - 정밀 정제 방법 개발
 - 가지달린 이성체 제거방법 개발
 - 상전이온도 조절방법 개발
 - Pilot규모 생산 공정개발
- PCM 안정화 가공기술 개발
 - 미세 캡슐화 및 형태안정화 기술 개발
 - PCM 성능개선 기술 개발(난연화, 과냉각 개선, 열전도율개선)

[2세부과제]

- 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가
 - 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가
 - 국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가
 - RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가
- PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발
 - PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발
 - PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발
 - PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발
 - 대용량형 PCM 적용 기술 개발
- PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (천장재) 개발
 - PCM 적용 고축열 천장텍스 개발
 - 천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발
 - 천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발
 - 환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발
- PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발
 - 겨울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발

- 실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시
- PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적벽돌) 개발
 - 콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발
 - PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발
 - PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발
 - 고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발

[3세부과제]

- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발
 - 구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도변화 대역 분석
 - 구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온도범위 분석
 - 부위별 PCM 적용방안 도출 및 적용가능한 PCM 정립
- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성능 분석
 - 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - ISO 13790 기준에 따른 건물에너지 절감 수준 분석
 - ISO 10211 기준에 따른 부위별 열교 절감 수준 분석
 - 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
- PCM 적용 친환경 설계기법
 - PCM 적용을 위한 부위별 설계상세도 개발
 - 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량 분석 및 도출
- PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발
 - PCM 적용을 위한 설계가이드라인 제작
 - 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발
 - 하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축물 운영 가이드라인 개발

[4세부과제]

- PCM 소재 및 적용자재 성능평가방법 개발 및 검증
 - PCM 소재 및 자재 특성에 따른 성능 평가방법 개발
 - PCM 소재 및 자재 성능 평가 방법 검증
- PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발
 - 대상 건축물의 선정 및 성능평가 항목 설정
 - 적용 방식 및 자재에 따른 성능분석을 통한 최적의 평가방안 도출

	- PCM 적용 시의 에너지 절약성능 평가방법 도출 ○ PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험 - 대상 건축물의 선정, 적용 부위 및 자재의 선정 - PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법 개발
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시 - 핵심기술과 연차별 목표를 수립, 이에 따른 연차별 세부 연구내용과 추진전략 및 일정계획, 핵심성과 로드맵(TRL 반영) 제시 - 연차별 달성목표(마일스톤)을 구체적으로 제시하고 정량적 핵심 성과 목표를 제시 ○ 연구개발내용, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가지표와 평가 방안 제시 - 연구개발 성과목표·지표 등을 구체적으로 제시 ○ 성과물의 실용화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시 - 수요자가 활용 가능한 성과물 형태 제시 ○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함 ○ PCM 소재/자재 성능분석 및 평가 관련 전문가 및 장비/시설 인프라 보유 기관의 활용 방안 제시 ○ 본 과제는 기획이 완료된 과제이므로 현황조사, 사례조사, 문헌조사, 국내외 기술동향조사 등 조사 연구는 최소한으로 계획함
□ 추진체계	○ 산·학·연 공동연구로 구성, 건축용 PCM 소재 개발이 가능한 전문 분야 연구기관이 반드시 참여 ○ 세부과제 컨소시엄 구성 시 협동연구기관은 과제시점부터 종료까지 동일 기관으로 구성하고 연차별 연구수행내용에 따라 공동 또는 위탁 등 참여기업의 구성은 변화 가능 ○ 개발하는 저비용 고성능 PCM 소재의 성능평가와 관련하여 세부과제 간 연계 방안을 확립하여야 함 ○ 인증제도의 활성화를 위해서 국가기술표준원 또는 해당 부처 기준 부서와 연계 활동 계획 제시
5. 최종성과물	

☐ 주요
최종성과물

[1세부과제]

- Biobased PCM 4종류 (-4, 5, 25, 32°C, 150~200kJ/kg)
- Paraffin PCM 4종류 (-4, 5, 25, 32°C, 150~200kJ/kg)
- 형태안정화 된 PCM 8종류 (장기안정성(3,000cycles))

[2세부과제]

- 국내 기후조건 및 구조형태에 따른 최적의 PCM 요구 성능 도출
- PCM 적용 고축열 실내 마감재 개발
- PCM 적용 축열 구조재 개발
- 대용량형 PCM 적용 기술 개발
- 바닥난방 축열시스템 개발
- PCM 적용 축열 건축자재 DB 구축
- 환기시스템을 적용한 PCM 적용 건축자재의 효율 향상 기술 개발
- PCM 적용 건물 냉난방 시스템 사용 가이드라인 제시

[3세부과제]

- 건축물 구조방식(RC, 철골, 목조 등)에 따른 PCM 적용 설계기법
- PCM이 적용된 건축물 부위별 열적성능 검증 및 보고서
- PCM의 건물에너지 절감 수준 정량화
- PCM 성능확보 및 성능저하 방지기술
- 설계 시공자를 위한 설계/ 시공 가이드라인
- 건축주를 위한 저에너지 건축물의 운영 가이드라인

[4세부과제]

- PCM 성능평가 시험방법 개발
- PCM 성능평가 표준 개발
- PCM 성능 인증 및 인증시스템 개발
- Test-bed를 통한 실증 시험방법 개발 및 평가

6. 활용방안 및 기대효과

☐ 활용방안

- 국내기업에서 원재료 생산유도
- 건물에너지 저감 핵심기술로 활용
- 높은 축열성능 기술 개발을 통한 세계 수준의 기술력 및 가격경쟁력 확보
- PCM 적용에 따른 성능 개선 DB 자료의 보급을 통해 다양한 건

	축분야에서 활용 ○ 건물의 과설계, 성능저하 방지를 통한 건물에너지 절감 유도 ○ 기술융합형 건축 설계기법 개발 및 이를 이용한 친환경 건축물 보급 및 고성능화 ○ PCM 평가표준을 활용한 산업의 기초육성 ○ 국내 건설사의 PCM 자재 적용 유도
□ 기대효과	○ 수입에 의존하고 있는 원재료 국산화로 해당산업 활성화에 기여 ○ 스마트 축방열 소재를 건축자재 외에도 신체용품, 냉난방 시스템, 수송용 기기에 적용 ○ 기후변화에 대응하기 위한 제로에너지 빌딩 수립 정책 목표 달성을 위해 개발된 PCM 적용 축열 건축자재의 높은 건물에너지 절감 효과 ○ 현대인의 높아진 삶의 질에 대한 요구 및 쾌적성에 대한 수요 대처 ○ 국내 PCM 시장 확대 및 가격경쟁력 확보 ○ PCM 적용 건축물의 에너지 효율화 입증 ○ 친환경/ 저에너지 건축 설계기법의 보급·확산 ○ 기존/ 경량형 건축물의 온열환경 개선과 실내 쾌적성 향상 ○ 설계/ 시공 가이드라인을 통한 고품질의 주택 보급 ○ 성능평가방법 구축을 통한 시장활성화 ○ PCM 소재·자재의 품질 향상
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구개발기간 : 2018. ~ 2022. (5년) - 1차년도 연구개발기간 : 2018. ~ 2019. (12개월) ○ 총 정부출연금 : 12,000백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 2,220백만원 이내 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타 (필요시 내용 수정 가능)	○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임

- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용
 - ※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

연구개발과제명	(1세부) 건축용 PCM 제조 및 가공 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 건축 부위별 요구 성능에 따른 PCM 제조 및 가공 기술 개발 - 맞춤형 상전이온도(-5~60℃) 및 잠열량(150~200kJ/kg)을 보유할 수 있는 건축자재용 Paraffin wax PCM 생산기술 개발 - 맞춤형 상전이온도(-5~60℃) 및 잠열량(150~200kJ/kg)을 보유할 수 있는 건축자재용 Biobased-PCM 제조기술 개발 - 장기안정성(3,000cycles)을 확보한 용도 맞춤형 안정화 기술 개발 = 기존제품대비 30% 저렴한 PCM 물질 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ PCM 물질은 각각 상전이온도, 잠열량, 부식성, 내화성, 열전도성, 과냉각성, 화학안정성, 사용사이클에 따른 열적안정성, 가격 등에 있어서 장단점을 가지고 있어 건축자재용도에 맞는 맞춤형물성 및 성능 발휘를 위한 연구개발이 필요하며, 최근에는 환경적인 이슈 대응, 원천기술확보 측면에서도 PCM 소재연구가 필요함 ○ 상변화 물질을 제품에 응용함에 있어서, 안정적으로 상변화가 일어날 수 있도록 일정한 크기의 공간을 확보 및 부여, 과냉각 방지기능 부여, 열적·화학적 안정성을 부여하는 안정화 기술이 필요함. ○ 축방열 소재기술개발에 성공하기 위해서는 가격경쟁력을 확보하고 적용 건축자재에 안정적으로 분산되어 외부에서 가해지는 전단력에도 파괴되지 않는 구조적으로 안정한 미세한 크기의 입자제조, 표면처리, 분산 등의 새로운 제조기술개발이 요구됨 ○ 축방열 소재에 있어 국내에서는 다양한 상전이 물질을 이용하여 미립화 기술 및 유화 기술을 사용하여 마이크로 사이즈의 캡슐제품을 제조하였으나, 대부분이 상용화에는 크게 성공하지 못한 상태이며, 몇몇 중소기업(주식회사 에네트, 미광다이텍주식회사 등)에서 소량생산단계에 머물고 있는 상태이며, 소재가 달라지면 PCM 소재에 따라 가공기술이 달라져야하며 적용하고자 하는 자재에 맞는 맞춤형 가공기술 연구가 반드시 필요함 ○ PCM 물질의 경제적인 대량생산 기술개발 확립이 필요함

의 가격은 원료 물질 가격과 가공비용 등 두 가지 요소로 결정됨. 원료물질의 경제적인 제조방법과 경제적인 안정화 가공방법 개발에 초점이 맞추어지고 있음.

- 원료물질로는 유기(paraffin, Biobased), 무기, 공융혼합물 등이 쓰이고 있지만 건축물적용을 위해서는 latent enthalpy/unit volume, 발화성(화재 위험성), 상전이온도 등 주요 성능 인자가 고려됨.
- 무기 salt hydrate는 latent enthalpy/unit volume, 발화성(화재 위험성)이 우수하지만 과냉각 현상, 불균일 용융, 상분리(열적 안정성), microencapsulation의 어려움 등의 기술적 장벽이 있어서 사용이 제한적임
- Paraffin 계 PCM은 열적안정성, 화학안정성, 무독성, 반복 사용 안정성, 작은 과냉각, 좋은 재현성, 생체 적합성, 가공의 용이성등 장점이 있어 가장 많이 사용되고 있음
- Biobased PCM은 Paraffin 계의 장점을 가지고 있으면서 paraffin PCM보다 더 높은 화재 안정성, 저렴한 가격, 상전이온도를 쉽게 조정이 가능한 장점까지 가지고 있어서 petroleum-based PCM을 대체할 수 있는 잠재력을 가지고 있음.
- Biobased PCM은 renewable 자원인 천연 오일들을 원료로 사용함으로 온실가스인 이산화탄소 배출에 중성인 친환경적인 원료라는 장점도 가지고 있고, 제조공정이 개선되고 있어 가까운 미래에 paraffin을 대체할 가능성이 점쳐지고 있음
- PCM 가공 기술 동향을 살펴보면, 2000년 이전에는 PCM을 석고, 콘크리트 등에 직접 혼합하는 방식 및 함침을 시키는 방식을 개발하였으며, 2015년에는 PCM을 캡슐화 시켜서 석고벽보드로 적용하여 에너지소비를 40% 저감시키는 기술개발
- PCM 가공 기술 방식
 - Direct incorporation : 액체상 또는 분말상 PCM을 석고, 콘크리트 등에 직접 혼합하는 방식으로 자재와의 비혼용 및 누출의 문제가 있음
 - Immersion : 석고, 블록, 콘크리트 등의 건축자재에 액체상태의 PCM을 함침시키는 방식으로 누출의 문제가 존재함
 - Macro-encapsulation PCM : 튜브, 패널 등의 용기에 PCM을 넣는 방식으로 누출의 문제는 없으나 모서리 부분의 미경화 및

	자재간의 결합 문제가 존재 - Micro-encapsulation PCM : PCM을 고분자 물질로 캡슐화 하는 방식 압축 및 인장강도, 난연성 등의 구조적인 안정성에 대한 연구가 필요 - Shape-stabilized PCM : Poly-ethylene과 같은 지지재에 파라핀계의 PCM을 분산시키는 방식으로 일정한 함침율을 유지하기 위한 연구가 필요
3. 연구개발내용	
□ 세부과제별 연구내용 ○ 건축용 Biobased PCM 제조기술개발 - 동식물유로부터 경제적인 화학적 합성기술 개발 - 상변화온도, 잠열량조절 정제기술 - Pilot규모 생산 공정개발 ○ 건축용 Paraffin계 PCM 제조기술개발 - 정밀 정제 방법 개발 - 가지달린 이성체 제거방법 개발 - 상전이온도 조절방법 개발 - Pilot규모 생산 공정개발 ○ PCM 안정화 가공기술 개발 - 미세 캡슐화 및 형태안정화 기술 개발 - PCM 성능개선 기술 개발(난연화, 과냉각 개선, 열전도율개선)	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략 ○ 산/학/연 공동으로 PCM 소재 및 가공기술 연구 - 화학물질 설계 및 합성에 강점을 가진 연구기관/대학에서 신규 PCM 후보물질 개발 - 석유화학업체주도로 Paraffin계 PCM 생산공정 개발 - 정밀화학업체/대학 공동으로 PCM 안정화 가공기술 개발 - 성능평가 전문기관에서 성능 평가	
□ 추진체계 - 국토교통부 + 산/학/연 + 건물에너지 성능평가 전문기관 - 화학공학 전문가, 기술검토 및 전문가, 화학재료 생산자	
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물 ○ Biobased PCM 4종류 (-4, 5, 25, 32°C, 150~200kJ/kg) ○ Paraffin PCM 4종류 (-4, 5, 25, 32°C, 150~200kJ/kg) ○ 형태안정화 된 PCM 8종류 (장기안정성(3,000cycles))	
6. 활용방안 및 기대효과	

□ 활용방안	○ 국내기업에서 원재료 생산유도 ○ 정밀화학업체에서 가공기술 실시 및 생산유도 ○ 축열건축자재 개발에 제공
□ 기대효과	○ PCM 원료물질 제조기술 확보로 국민에게 보다 낮은 에너지비용으로 보다 쾌적한 주거공간을 제공하는데 기여할 수 있음. ○ 수입에 의존하고 있는 원재료 국산화로 해당산업 활성화에 기여 ○ 스마트 축방열 소재를 건축자재 외에도 신체용품, 냉난방 시스템, 수송용 기기에 적용함으로써 냉난방에 사용되는 에너지를 절감하고 환경 보전에도 기여할 수 있음 ○ 모바일 기기의 과열을 방지할 수 있는 요소기술로 적용되어 과열로 인한 사고방지 및 장기 사용 안정성확보에 기여 ○ 경제적인 제조기술 확보로 활용가능한 후방산업, 즉, 건축자재, 신체용품, 냉난방 시스템, 수송용 기기, 모바일 기기 산업의 경제성을 확보할 수 있으며, 또한, 에너지 절감 효과에 따른 기후변화 대응을 위한 건축물의 CO2 절감 기술로 활용 가능함
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2018 . ~ 2022 . (5 년) - 1차년도 연구개발기간 : 2018 . ~ 2018 . (12 개월) ○ 총 정부출연금 : 3,000백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 550백만원 이내
8. 기 타 (필요시 내용 수정 가능)	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서

차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부 과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용
- ※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

연구개발과제명	(2세부) PCM 적용 축열 건축자재 개발
1. 연구개발 목표	○ 건축재료 제조 및 시공과정을 고려하여 PCM이 적용 가능한 실내·외 건축마감재를 선정하고, 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 국내 기후조건과 건축 구조 형태에 따른 PCM 적용 효과를 분석하여 요구 성능에 맞는 PCM을 적용한 고축열 건축자재를 개발을 목표로 함 ○ 개발된 축열 건축자재의 열적 성능 평가는 본 과제를 통해 개발된 평가 기법 및 지표에 따라 분석하며, 최종적으로 축열 건축자재 종합 Database를 구축하는 것을 목표로 함 ○ 건축 부위별 요구 성능에 따른 PCM 적용 및 축열 건축자재 에너지 저감 기술 - 30 J/g 이상의 축열성능을 갖는 축열 건축자재 개발 - 기존대비 20% 저렴한 PCM 가공 및 시공방법 개발 - 기존대비 2 ℃이상 피크온도 저감 효과
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
가. 연구개발의 필요성	○ 건축재료에 따라 PCM을 적용하는 방식이 다르기 때문에 제조 방법에서부터 시공까지의 분석을 통해 PCM을 적용할 수 있는 실내·외 건축마감재 선정 필요 - 석고보드의 경우에는 제조 과정에서 Powder 및 Particle type으로 PCM을 적용할 수 있으나 Macro-encapsulation type으로 적용하기 어려움 ○ PCM 적용 축열 건축자재 개발 이후 축열 성능의 객관적인 평가 및 지표를 개발하기 위해 기존 건축마감재의 물성 Database 구축 필요 ○ PCM의 잘못된 적용으로 인한 역효과 방지 방안 고찰 필요 - 적절하지 않은 상변화온도 범위를 갖는 PCM을 적용할 경우에는 오히려 실내의 온도가 충분히 못하여 내부의 온도가 계속적으로 높아져서 여름철 냉방부하를 높이는 요인으로 작용 - 중량 건축물의 경우에는 충분한 축열 성능을 가지고 있기 때문에 과도한 잠열량을 갖는 PCM이 적용되어 역효과를 나타

	냄 - 건물에너지 성능 평가 시뮬레이션 Tool을 이용하여 구조형태 및 기후조건에 따라 최적의 성능이 발현될 수 있는 PCM을 사전에 평가하여 축열 건축자재를 개발할 필요가 있음 ○ 목조건축물 등의 낮은 축열성능을 갖는 건축물의 축열성능 보완 필요 - PCM은 건축에 적용되어 여름철 외부에서 유입되는 열을 지연시키고, 겨울철 외부로 방출되는 열의 흐름을 지연시켜, 그로 인해 피크온도를 저감하는 효과를 볼 수 있음 - 피크온도 저감은 건물에너지 절감과 직결되며 실내 재실자의 온열 쾌적성을 증대할 수 있음
나. 기술동향	○ 미국, 유럽, 호주에서 활발하게 PCM 적용 건축자재가 공급되고 있으며, 미국과 독일의 Dupont, National Gypsum, BASF에서 Building & Construction 분야에 초점을 두고 기술개발 ○ 국내에서는 셀시우스코리아, 고려신소재산업, 국내BASF 등에서 PCM 소재를 공급하고 있으나, 글로벌 PCM 기업과는 달리 국내에서는 PCM 소재에 대한 직접적인 기술 개발 없이 유통에만 집중되어 있음 ○ 국외 주요 상용화 PCM 제품의 장단점 분석 결과, 외압으로부터 누출을 완벽히 막을 수 있는 내구성과 내화성을 동시에 해결할 수 있는 방안이 연구 및 제시되어야 함 ○ PCM을 벽, 보드, 지붕, 다락, 바닥, 타일, 창호, 설비시스템 등 건축분야에 적용하여 건물에너지 저감 효과와 실내 온열쾌적성을 높여주는 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중임 - 같은 종류의 PCM이라고 하더라도 적용된 PCM 함량과 적용 부위에 따라 잠열량과 작용 온도대가 다르기 때문에 에너지 저감 성능에 차이가 있음
3. 연구개발내용	
가. 세부과제별 연구내용	○ 건축자재별 요구 물성 분석 및 PCM 요구 성능 평가 - 건물에너지 평가 시뮬레이션 Tool을 이용한 PCM 적용 효과 및 요구 성능 평가 - 국내 기후조건에 적합한 PCM 요구 성능 평가 - RC조, 목조, 조적조 등 구조형태에 따른 PCM 요구 성능 평가 ○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (내벽) 개발 - PCM 적용 고축열 석고보드 마감재 개발

	- PCM 적용 고축열 페인트 (액상/분말) 개발 - PCM 적용 고축열 타일 및 타일 접착제 개발 - 대용량형 PCM 적용 기술 개발 ○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (천장재) 개발 - PCM 적용 고축열 천장텍스 개발 - 천장 적용을 위한 고축열 금속 패널 개발 - 천장 적용을 위한 고축열 플라스틱 패널 개발 - 환기시스템을 적용한 천장 마감재 효율 증대 기술 개발 ○ PCM을 적용한 고축열 실내 마감재 (바닥시스템) 개발 - 겨울철 바닥난방 효율 증대를 위한 축열시스템 개발 - 실내 거주자의 바닥난방시스템 사용 가이드라인 제시 ○ PCM 적용 축열 구조재 (콘크리트/조적벽돌) 개발 - 콘크리트 혼합용 고축열 PCM 골재 개발 - PCM 골재 적용 콘크리트 혼합 기술 개발 - PCM 적용 고축열 조적벽돌 개발 - 고축열 조적벽돌 쌓기용 축열 시멘트 접착제 개발
4. 연구개발 추진방법	
가. 추진전략	○ PCM에 대한 기술적 한계를 극복하기 위한 화학 재료 관련 전문연구기관과의 공동연구를 통해 국외 수준을 뛰어넘는 성능을 갖는 PCM 축열 건축자재를 개발하고자 하며, 나아가 PCM 가격경쟁력 확보에 활용 ○ SCOPUS 논문 검색을 통한 PCM의 건물에너지 평가 시뮬레이션 연구 및 논문 동향은 국외에서도 미비한 수준(2008년부터 2015년까지 24건의 SCI급 논문 게재)에 머물러 있으며, 건설생활환경시험 전문기관과 공동연구를 통해 실측 데이터와 함께 건물에너지 시뮬레이션 검증 수행
나. 추진체계	○ 산/학/연 공동연구 - 국토교통부 + 산/학/연 + 건물에너지 성능평가 전문기관 - 건축재료 전문가, 기술검토 및 전문가, 건축자재 생산자, 건물에너지 전문가, 건축사, 건축기술 연구원
5. 최종성과물	
가. 주요 최종성과물	○ 국내 기후조건 및 구조형태에 따른 최적의 PCM 요구 성능 도출 ○ PCM 적용 고축열 실내 마감재 개발 - 벽체 적용 실내 마감재 개발 (석고보드, 페인트, 타일, 접착

	제, 내벽 축열재) - 천장 적용 실내 마감재 개발 (천장텍스, 금속/플라스틱 패널) ○ PCM 적용 축열 구조재 개발 - 고축열 골재 및 콘크리트 혼합 기술 개발 - 고축열 조적벽돌 및 축열 시멘트 접착제 개발 ○ 대용량형 PCM 적용 기술 개발 ○ 바닥난방 축열시스템 개발 ○ PCM 적용 축열 건축자재 DB 구축 ○ 환기시스템을 적용한 PCM 적용 건축자재의 효율 향상 기술 개발 ○ PCM 적용 건물 냉난방 시스템 사용 가이드라인 제시
6. 활용방안 및 기대효과	
가. 활용방안	○ 건축부위별 요구 성능을 충족하기 위한 축열 구조체 및 축열 실내마감재로 활용 ○ 건물에너지 저감 핵심기술로 활용 ○ 높은 축열성능 기술 개발을 통한 세계 수준의 기술력 및 가격 경쟁력 확보 ○ 재실자 스케줄을 고려한 적절한 PCM 적용 가능 ○ 건축 계획단계에서부터 축열 건축자재의 Database를 활용한 축열 벽체 설계 활용
나. 기대효과	○ 기후변화에 대응하기 위한 제로에너지 빌딩 수립 정책 목표 달성을 위해 개발된 PCM 적용 축열 건축자재의 높은 건물에너지 절감 효과 ○ 건물에너지 성능 평가 시뮬레이션과 실측 검증을 통해 정확한 PCM의 효과 분석이 가능하며, PCM의 적용 조건에 따른 최적의 PCM 선정 가능 ○ 현대인의 높아진 삶의 질에 대한 요구 및 쾌적성에 대한 수요 대처 ○ 경량 건축물의 단점을 개선한 축열성능 향상 ○ 새로운 PCM 소재를 개발하고 이를 적용한 실내 축열 건축마감재를 개발하고 제작함으로써 해외시장 진출 및 수요창출 ○ 국내 PCM 시장 확대 및 가격경쟁력 확보
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2018. ~ 2022. (5년) ○ 총 정부출연금 : 4,000백만원 이내

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

연구개발과제명	(3세부) 건축 구조체 부위별 PCM 적용 및 설계·시공·운영 방법의 최적화
1. 연구개발 목표	○ 상변화물질의 Thermal Storage, 잠열을 이용하여 기존 건축물의 건물에너지 요구량을 추가적으로 절감하고, 건축물 구조체 구성에 따른 온열환경 쾌적성을 극대화 ○ 건축물 구조체의 계절별 주요 온도변화대역을 분석하고, 구조체 부위별 적용가능한 최적의 PCM 소재를 선정 ○ 벽체/ 지붕/ 바닥 등의 구조체별 적용방안에 따른 분석과 건축 내·외장재별 적용방안에 따른 건물에너지 절감량을 종합적으로 분석 ○ PCM 적용에 따른 건물에너지 절감효과를 정량적으로 제시하며, 선택적인 사용이 가능하도록 설계 상세디테일을 개발

	○ 시공단계에서의 발생할 수 있는 하자과 품질저하를 방지하기 위해, 시공 상세 가이드라인을 개발 ○ Over Heating/ Over Cooling 을 방지하기 위해 운영스케줄 제시 및 최적 운영방안을 제시
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
가. 연구개발의 필요성	○ 현재 전 세계적으로, 건축물에서의 에너지 절감을 위하여, 국가별로 강한 드라이브를 정책적으로 걸고 있으며, 국내에서도 패시브하우스 수준달성('17), 제로에너지하우스('25)를 구현한다는 정부정책에 따라, 패시브하우스 요소기술을 개발하기 위한 다양한 연구들이 수행 중에 있으나, 구체적인 요소기술의 결과물은 아직 제시된 사례가 미비함 ○ 패시브하우스, 제로에너지 하우스 단지 등과 같은 실증사업이 최근 들어 국내 전역에 걸쳐 실증사업이 발주되고 있으나, 아직 정밀한 성능수치와 실증이 충분히 이루어지지 않았으며, 국외의 주요 기술수준을 추격하는 형태로 나타나고 있음 ○ 따라서 PCM 건축자재 적용 단계에서 민간기업 및 주택관련 공공기관 참여가 필요함 ○ 커튼월 건축물, 목조주택 및 모듈러 건축물의 보급과 확대로 인하여 건축물에서 축열체 역할의 재료들이 감소하고 있으며, 냉·난방부하에 취약한 건축물이 증가하고 있어, 이를 보완하기 위해 경량건축물에서도 축열 성능을 부여하기 위해 PCM 소재의 활용방안에 대한 관심이 증가함 ○ PCM 적용에 따른 정확한 성능발현과 시공상의 하자발생제어, 축열 기능성을 통한 냉·난방 피크부하 절감량 산정 등을 위해서는, 정밀한 건축물 에너지성능평가 및 설계기법 등이 개발되어야 할 것으로 판단됨
나. 기술동향	○ 경량 건축물의 축열성능 향상을 위해, 구조체와 PCM을 결합하거나, Cool Roof System으로 활용하려는 등 PCM을 건축물에 적용하려는 연구의 관심이 증가하고 있음 ○ 콘크리트, 몰탈, 페인트, 목질판상제품 및 샌드위치 등 성형가능한 재료 및 보드타입의 건축자재에 PCM을 적용하려는 제품 개발 사례가 존재하며, 이는 PCM을 적용함에 있어 타 건축자재에 비해 경제적이며 PCM주입이 용이한 특성을 가지고 있기 때문에 해당 제품을 타겟으로 한 제품 개발이 이루어지고 있음

- 또한, PCM을 석고보드에 적용하여 에너지 효율을 높이고자 하는 연구가 한창 진행 중에 있으며, 석고보드는 방화성, 단열성, 차음성, 내진성, 무해성, 무신축성, 경제성 및 위생성이 좋아 실내 내장재로서 상당히 많이 사용되고 있어 석고보드의 열적효율을 높임으로서 건축물의 열효율개선을 도모하고 있음
- 건물에너지 평가의 신뢰성을 확보하기 위해, 국내 지역적 기후의 특성을 반영하기 위한 기상데이터 제작 연구가 수행되고 있으며, 이를 기반으로 국내 지역적 기후 특성을 반영한 설계 기법에 대한 연구가 수행되고 있음
- 설계분야에서는 저에너지/ 고효율 건축물의 설계를 지원하기 위하여, 설계 표준디테일의 개발이 농어촌표준주택, 캐나다우드 표준설계 디테일 및 저에너지 표준주택 상세 등의 표준모델이 개발되어지고 있음
- 상기와 같이 한국의 기후와 지역적 자연풍토에 적합한 모델개발의 필요성이 대두됨에 따라, 주거모델 성능개선 연구와, 편의성과 에너지성능을 향상한 주거표준모델이 개발되고 있음

3. 연구개발내용

가. 세부과제별 연구내용

- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용 방법 개발
 - 구조체 부위별 계절에 따른 주요 온도변화 대역 분석
 - 구조체 부위별 적용 가능한 PCM의 온도범위 분석
 - 부위별 PCM 적용방안 도출 및 적용가능한 PCM 정립
- 건축물 구조체 부위별 PCM 적용방안에 따른 에너지 절감성
능 분석
 - 벽체, 지붕, 바닥 등 구조체별 PCM 적용에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - 구조체, 실내·외장재 등 적용 방안에 따른 에너지 절감 성능 분석
 - ISO 13790 기준에 따른 건물에너지 절감 수준 분석
 - ISO 10211 기준에 따른 부위별 열교 절감 수준 분석
 - 에너지 절감량 분석에 따른 PCM 적용 최적화 방안 도출
- PCM 적용 친환경 설계기법
 - PCM 적용을 위한 부위별 설계상세도 개발
 - 냉·난방 피크부하 절감에 따른 설비용량 분석 및 도출
- PCM 적용 최적화를 위한 설계/ 시공/ 운영 가이드라인 개발
 - PCM 적용을 위한 설계가이드라인 제작
 - 시공 하자 방지, 품질확보를 위한 시공 상세도 개발

- 하절기, 동절기 및 간절기에 따른 건축물 운영 가이드라인 개발																				
4. 연구개발 추진방법																				
가. 추진전략	○ 산/학/연 연계를 통한 연구수행으로 연구결과의 정확성, 정량적인 건축물 성능 향상 검증 및 설계 기법의 개발 - 건물에너지 평가 전문기관과, 건축 설계 사무소의 공동 연구를 통한 저에너지/ 고효율 건축물 설계기법 개발 - 연구 자문단 세미나를 통한 PCM 적용 방안의 타당성 고찰 ○ 설계/ 시공 업체의 자문 및 의견 수렴을 통한 설계/ 시공 가이드라인 제작 - 설계/ 시공 상의 문제점을 고찰하고 개선을 위한 전략 구축 - PCM을 적용한 친환경 설계기법의 보급 및 확산 유도																			
나. 추진체계	○ 국토교통부 + 산/학/연 + 건물에너지 성능평가 전문기관 ○ 건축재료 전문가, 기술검토 및 전문가, 건축자재 생산자, 건물에너지 전문가, 건축사, 건축기술 연구원																			
5. 최종성과물																				
가. 주요 최종성과물	○ 건축물 구조방식(RC, 철골, 목조 등)에 따른 PCM 적용 설계 기법 ○ PCM이 적용된 건축물 부위별 열적성능 검증 및 보고서 ○ PCM의 건물에너지 절감 수준 정량화 ○ PCM 성능확보 및 성능저하 방지기술 ○ 설계 시공자를 위한 설계/ 시공 가이드라인 ○ 건축주를 위한 저에너지 건축물의 운영 가이드라인 - 주요 분석내용																			
<table><tr><th>성능 구분</th><th>주요내용</th><th>비고</th></tr><tr><td>부위별 열교</td><td>기초, 슬라브, 돌출부위, 단열재 끊김 부위 등 열교발생량 분석</td><td>ISO 10211</td></tr><tr><td>건물에너지 성능</td><td>외벽, 바닥, 지붕 등 구조체의 열적 성능 향상을 통한 건물에너지 향상 수준 분석</td><td>ISO 13790</td></tr><tr><td>건물 온도대역</td><td>계절별 구조체 주요온도대역 분석을 통한 효과적인 PCM 선정</td><td>-</td></tr><tr><td>PCM 잠열성능</td><td>PCM 함량에 따른 축열성능 지표 설정 및 도입</td><td>-</td></tr><tr><td>건물에너지 부하</td><td>냉·난방에너지 부하 절감에 따른 설비용량의 산정</td><td></td></tr></table>			성능 구분	주요내용	비고	부위별 열교	기초, 슬라브, 돌출부위, 단열재 끊김 부위 등 열교발생량 분석	ISO 10211	건물에너지 성능	외벽, 바닥, 지붕 등 구조체의 열적 성능 향상을 통한 건물에너지 향상 수준 분석	ISO 13790	건물 온도대역	계절별 구조체 주요온도대역 분석을 통한 효과적인 PCM 선정	-	PCM 잠열성능	PCM 함량에 따른 축열성능 지표 설정 및 도입	-	건물에너지 부하	냉·난방에너지 부하 절감에 따른 설비용량의 산정	
성능 구분	주요내용	비고																		
부위별 열교	기초, 슬라브, 돌출부위, 단열재 끊김 부위 등 열교발생량 분석	ISO 10211																		
건물에너지 성능	외벽, 바닥, 지붕 등 구조체의 열적 성능 향상을 통한 건물에너지 향상 수준 분석	ISO 13790																		
건물 온도대역	계절별 구조체 주요온도대역 분석을 통한 효과적인 PCM 선정	-																		
PCM 잠열성능	PCM 함량에 따른 축열성능 지표 설정 및 도입	-																		
건물에너지 부하	냉·난방에너지 부하 절감에 따른 설비용량의 산정																			

6. 활용방안 및 기대효과	
가. 활용방안	○ PCM 적용에 따른 성능 개선 DB 자료의 보급을 통해 다양한 건축분야에서 활용 - 건축설계사무소건축자재 제조회사 - 건축환경 시뮬레이션 프로그램 - 건설회사, 설계사, 건축환경 연구소, 설비회사, 학교 등 - 건축자재 제조회사 ○ 건물의 과설계, 성능저하 방지를 통한 건물에너지 절감 유도 ○ 기술융합형 건축 설계기법 개발 및 이를 이용한 친환경 건축물 보급 및 고성능화
나. 기대효과	○ PCM 적용 건축물의 에너지 효율화 입증 ○ 친환경/ 저에너지 건축 설계기법의 보급·확산 ○ 기존/ 경량형 건축물의 온열환경 개선과 실내 쾌적성 향상 ○ 현대인의 높아진 삶의 질 요구에 대한 수요 대처 ○ 기술의 표준화와 설계, 시공, 상세의 개발로 건축 설계/시공 기술경쟁력 확보 ○ 설계/ 시공 가이드라인을 통한 고품질의 주택 보급
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2018. ~ 2022. (5년) ○ 총 정부출연금 : 2,000백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 400백만원 이내
8. 기 타	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을

구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

연구개발과제명	(4세부) PCM 성능평가방법 및 테스트베드를 통한 실증
1. 연구개발 목표	○ PCM 소재 성능(잠열량, 상전이온도, 열전도율, 내구성 등)에 대한 평가방법 개발 ○ PCM 자재 성능(잠열량, 상전이온도, 열전도율, 내구성 및 기본 물성 등)에 대한 평가방법 개발 ○ PCM 자재의 에너지 절약 성능 및 열 쾌적성에 대한 평가방법 개발 및 기준 제안 ○ Test-bed를 통한 PCM 적용 건축물의 에너지 절약성능 및 열쾌적 성능 평가방법 개발 및 평가기준 개발 ○ PCM 자재의 성능·종류·적용방법에 따른 건축물 에너지 절약 성능 DB 구축
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	가. 연구개발의 필요성 ○ 일반적으로 PCM 소재의 성능 평가 방법은 시차주사열량계(DSC)를 이용하여 잠열량 및 상변화온도 등을 평가하고 있으나 시료량, 승온속도, 장비제조사 등의 차이에 따라 상이한 결과를 가져옴 ○ 따라서 기업 및 연구소 등에서 소재를 개발하고 성능을 평가하는 과정의 어려움으로 작용하게 되며 나아가 PCM 소재 발전의 걸림돌로 작용하게 됨 ○ PCM 자재는 기존 건축재료에 PCM을 적용하는 방법이 주로 이용되고 있으며 적용 방법에 따라 PCM 자재의 분산성, 내화성, 내구성, 강도 등의 문제가 발생할 수 있으므로 표준화된 시험방법을 통해 성능에 대한 평가가 이루어져야 함 ○ 또한 PCM 적용의 주된 이유는 에너지 절약과 재실자 쾌적성 향상이므로 기본적인 물성에 대한 평가와 더불어 자재의 적용에 따른 에너지 절약성능에 대한 제시가 필요함 ○ 잠열을 이용하는 PCM의 특성상 건축물 적용 시 건축물 전체의 에너지 절약성능에 대한 평가가 어려우며 이는 PCM 시장 활성화에 방해 요인으로 작용함 ○ PCM의 적용에 따른 에너지 절약성능에 대한 평가 및 검증을 실시하기 위해 test-bed를 구축 및 평가방법을 마련하고 정량화된 PCM 성능에 대한 검증을 실시하여 시장활성화를 위한 데이터의 확보가 필요함 ○ 독일과 미국에서는 'RAL-GZ 896 Phase Change Material

나. 기술동향	(2009)', 'ASTM C1784-14 Using a heat flow meter apparatus for measuring thermal storage properties of phase change materials and products (2013)' 를 통해 PCM 소재 및 자재에 대한 평가 방법을 마련하고 있으며, 특히 독일에서는 인증사업을 진행 중에 있음 ○ 현재 미국과 유럽 등에서는 PCM을 적용한 축열 건축자재에 대한 시험실 규모의 성능평가를 진행하고 있으며 Guarded bot box와 Large scal climate simulator을 이용하여 열전도율, 열저항, 에너지 소비량 등을 평가하고 있으나, 아직까지 표준화된 시험방법은 없음 ○ 실규모 모형실험주택에 대한 축열 건축자재 평가기술은 크게 Hut Field Test와 Whole-Building Field Testing로 나누어지는데 현재 미국과 유럽 등에서는 두 시험방법에 대해서는 연구용으로 진행 중에 있으며, 시험용 건축물이 규격화 되지 않는 것과 외부 기후 변경에 따라 결과값에 영향을 줌으로써, 아직까지 표준화된 시험방법은 없는 상태임
3. 연구개발내용	
가. 세부과제별 연구내용	○ PCM 소재 및 적용자재 성능평가방법 개발 및 검증 - PCM 소재 및 자재 특성에 따른 성능 평가방법 개발 - PCM 소재 및 자재 성능 평가 방법 검증 ○ PCM 적용 건축물의 성능평가 방법 개발 - 대상 건축물의 선정 및 성능평가 항목 설정 - 적용 방식 및 자재에 따른 성능분석을 통한 최적의 평가방안 도출 - PCM 적용 시의 에너지 절약성능 평가방법 도출 ○ PCM 적용 건축물의 성능평가를 위한 실증 시험 - 대상 건축물의 선정, 적용 부위 및 자재의 선정 - PCM 적용 건축물의 실증 시험 방법 개발
4. 연구개발 추진방법	
가. 추진전략	○ 본 세부는 PCM의 성능 평가와 실증 연구를 진행함에 따라 시험평가전문기관의 참여를 통해 성능평가 기준 및 표준의 신뢰성 확보 ○ 1, 2, 3세부와와의 협업을 통한 PCM 소재 및 자재의 시험방법 개발 ○ 기술세미나 및 공청회를 통한 사업의 홍보 및 전문가집단의

	의견 수렴 ○ 실질적인 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립 ○ 실증연구의 비용 부담을 최소화할 수 있는 방안의 제시 필요
나. 추진체계	- 국토교통부 + 산/학/연 + 시험평가 전문기관 - 건축자재 시험평가 전문가, 기술검토 및 전문가, 건설사, 건물에너지·건축환경 전문가, 건축사
5. 최종성과물	
가. 주요 최종성과물	○ PCM 성능평가 시험방법 개발 - PCM 소재 성능평가 시험방법(안) - PCM 자재 성능평가 시험방법(안) ○ PCM 성능평가 표준 개발 - PCM 소재 성능평가 표준(안) - PCM 자재 성능평가 표준(안) ○ PCM 성능 인증 및 인증시스템 개발 - PCM 성능 인증방법(안) - PCM 성능 인증시스템(안) ○ PCM 자재 에너지 성능 평가방법 개발 - PCM 자재 에너지 성능 시험방법(안) - PCM 자재 에너지 성능평가 표준(안) ○ Test-bed를 통한 실증 시험방법 개발 및 평가 - Test-bed를 통한 실증 시험방법 개발(안) - PCM의 에너지절약성능 및 쾌적성 평가를 위한 Test-bed 구축 - Test-bed를 통한 기후대·계절의 변화를 반영한 실증시험 - 건축물 적용 부위별 에너지 절약성능 DB 구축
6. 활용방안 및 기대효과	
가. 활용방안	○ PCM 평가표준을 활용한 산업의 기초육성 - PCM 소재 및 자재 개발을 위한 성능지표로 활용 - PCM 자재 개발 활성화 - PCM 품질 향상 ○ 국내 건설사의 PCM 자재 적용 유도 - 품질 및 성능이 검증된 PCM 자재를 통해 신축 건축물 적용

	○ 건축물의 PCM 적용 시 국내 기후, 실정에 따른 PCM 성능 DB 활용
나. 기대효과	○ PCM 소재, 자재 및 적용 건축물 평가기준 제시 - 성능평가방법 구축을 통한 시장활성화 - 국외 PCM 시장 점유율 증가 - PCM 소재·자재의 품질 향상 - PCM 관련 업체의 시장 진입장벽 완화 ○ Test-bed를 통한 PCM 성능 실증 - 냉·난방 비용 및 온열쾌적성 정량화 - PCM 자재성능 및 적용방법의 최적화
7. 연구개발기간 및 소요예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2018. ~ 2022. (5년) ○ 총 정부출연금 : 3,000백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 700백만원 이내
8. 기 타	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반/보안 과제”임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시 ○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용

을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2절. 평가기준 설정

기준항목		세부항목
연구개발목표(10점)		○ 최종목표 및 연차별 달성 목표의 명확성 · 타당성(5점) ○ 성과목표/지표 설정의 명확성·적정성(10점)
연구개발내용(20점)		○ RFP 와의 부합성 ○ 과제 목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점) ○ 연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점) ○ 연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획(20점)		○ 연구수행체계 적정성(5점) ○ 연구추진 전략의 구체성 · 적절성(5점) ○ 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점) ○ 연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
연구성과물 실용성 및 경제성(40점)		○ 개발기술의 혁신성 · 차별성(10점) ○ 활용방안의 적절성 · 구체성(10점) ○ 개발기술의 실용성 · 사업성(10점) ○ 경제적 기대효과(투자 및 파급효과)(10점)
연구책임자의 관리능력 및 연구진의 전문성(10점)		○ 연구책임자의 연구과제 관리 및 운영 능력(5점) ○ 연구진의 전문성 및 해당분야 실적(5점)
기타	부합성 평가	○ 평가위원 과반수가 연구개발계획서와 과제제안요구서(RFP)가 부합되지 않는다고 판정할 경우 탈락 조치
	중복성 평가	○ 평가위원 과반수가 기 수행되었거나 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정할 경우 탈락 조치

[부록]

자 문 의 건 서

- 사 업 명 : 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발 기획
- 일시 /장소 : 16년 12월 1일 10:00~
- 과제수행기관 : 한국건설생활환경시험연구원

자문의견:

1. 기획과제의 가장 중요한 문제는 개발의 필요성이 시대적/정책적요구와 얼마나 부합되느냐가 관건이라고 판단됩니다. 따라서, 주거공간 성능개선을 위한 상변화 물질 개발의 필요성을 정부가 주도하고 있는 건물에너지로드맵을 구현하기 위한 패시브적 기술요소로 다시말하면, 2017. 7.1로 시행예정인 에너지절약형 건축친환경주택의 건설기준인 GH60(패시브수준)/100(제로에너지)의 요소기술로 활용할 수 있게 할 필요가 있습니다. 내년부터는 건물외피 단열성능 수준이 지역1기준으로 거의 한계상황(외피 0.15 W/m²K, 창호0.8 W/m²K)에 도달해 있습니다. 또한 의무적으로 확보(4점)해야 하는 친환경기술요소는 신재생 에너지 분야에 집중되어 있습니다. 건축부문의 기술요소를 보면 현재는 열교부위의 단열성능을 향상시키는 방법밖에 없습니다(에너지 절약형 친환경주택의 건설기준 별표 7참조).

[별표 7] 신재생에너지 설비 설치 등

구분	항목	기준	배점
신재생 부분	난방에너지 신재생 비율	전체난방설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 2% 이상	5
		전체난방설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 1% 이상~2% 미만	3
	급탕에너지 신재생 비율	전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 10% 이상	4
		전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 7% 이상~10%미만	2
		전체급탕설비용량에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 5% 이상~7%미만	1
	조명에너지 신재생 비율	전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 60% 이상	4
		전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 40% 이상~60% 미만	2
		전체조명설비전력에 대한 신·재생에너지 용량 비율이 20% 이상~40% 미만	1
건축 부분	외피 열교부위의 단열성능 값(W/m.K)	0.160 미만 0.160이상~0.370 미만	6 3
기계 설비 부분	폐열회수환기장치	전체 외기도입 풍량합의 60%이상 적용여부 (고효율에너지기자재 인증제품인 경우 해당)	2

또한, 2025년 제로에너지하우스의 경우 외단열이 의무화로 되어 있지만, 그 전 단계까지는 현재 대부분의 공동주택에 내단열이 적용되기 때문에 PCM사용시 에너지 절감효과는 예상보다 큰 효과를 나타낼 가능성이 높을 것으로 판단됩니다. 따라서, 본 PCM 과제가 정부의 국가에너지로드맵을 순차적으로 GH 70 /80/90/100 단계까지 갈 수 있는 기술요소로 활용이 된다는 자연스럽게 건축물 적용 기술개발이 필요하게 될 것이며, 그 파급효과는 매우 클 것으로 판단됩니다.

2. 1번에서 언급했듯이 국가에너지로드맵에 패시브 기술요소로 활용되기 위해서는 명확한 성능검증이 필요합니다. 랩수준에서 성능은 물론 확보할 것으로 판단되나 프로토타입의 공동주택 84Type 표준평면 정도의 필드테스트가 병행될 필요가 있습니다. 그래야만 PCM의 성능 및 적용부위별 절감효과가 규명되어 성능값 및 적용부위 면적에 따라 점수를 확보할 수는 기준이 만들어 질 수 있을 것으로 판단됩니다.

또한, 비즈니스모델로서의 성공을 위해선 신재생에너지 적용대비 경제성 평가도 동시에 진행될 필요가 있다고 판단됩니다.

3. 참고자료

[별표 1] 친환경주택의 단열성능 기준(창)

부 위		지 역			
		평균열관류율(W/m ² K)			
		중부1	중부2	남부	제주
창 (발코니 내측 창호 포함)	외기에 직접면함	0.80 이하	1.00 이하	1.20 이하	1.60 이하
	외기에 간접면함	1.00 이하	1.25 이하	1.50 이하	2.00 이하

[별표 2] 친환경 주택의 단열성능 기준(벽체 등)

부 위		지 역			
		평균열관류율(W/m ² K)			
		중부1	중부2	남부	제주
거실의 외벽	외기에 직접면함	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기에 간접면함	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접면함	0.15 이하		0.18 이하	0.25 이하
	외기에 간접면함	0.21 이하		0.26 이하	0.35 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접면함	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기에 간접면함	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
바닥난방인 층간바닥		0.81 이하			

소속 : 대림산업

직급 : 책임연구원

성명 : 원 종 서

자 문 의 건 서

- 사 업 명 : 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발 기획
- 일시 /장소 : 16년 12월 1일 10:00~
- 과제수행기관 : 한국건설생활환경시험연구원

자문의견:

1. PCM(상변화물질)은 건축물 Energy Saving 측면에서 서브역학을 할 수 있는 소재로 충분하며 우선 건축자재에 적용하기 위해선
 - ① 성능검증이 인증되어야 되고(성능 측정방법도 정립이 되어야 함)
 - ② 경쟁력을 확보하면 Passive House, Zero House 요소기술로서 비즈니스 모델 개발이 가능함
2. 내부적으로 PCM에 대한 기획이 제안되나 대기업의 경우 검증이 수반되어야 참여가 가능할 것으로 판단됨

소속 : KCC건설

직급 : 상무

성명 : 김 원 호

자 문 의 건 서

- 사 업 명 : 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발 기획
- 일시 /장소 : 16년 12월 1일 10:00~
- 과제수행기관 : 한국건설생활환경시험연구원

자문의견:

1. 벽지는 건물 내부에서 가장 많은 표면적을 가진 자재로서 PCM의 적용 시 높은 성능을 가질 수 있을 것으로 판단됨
2. 다만 벽지의 두께로 인하여 적은 양의 PCM이 혼합될 경우 제대로 성능발현이 될지가 의문
3. 벽지의 특성상 내화성에 대한 고민이 필요하며 또한 파라핀 등이 주원료인 유기 PCM의 경우 천연벽지를 생산하는 회사의 입장에서 실내공기질에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 생각됨

소속 : 에텐바이오벽지

직급 : 이사

성명 : 염 상 필

자 문 의 건 서

- 사 업 명 : 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질의 건축물 적용 기술 개발 기획
- 일시 /장소 : 16년 12월 1일 10:00~
- 과제수행기관 : 한국건설생활환경시험연구원

자문의견:

1. 기존에 PCM의 적용에 대한 검토 및 시도를 함
2. 긍정적인 부분은 패시브 수준이상의 단열이 적용 될 시 PCM의 효과가 증가함
 - 석고보드의 20~30\$를 PCM으로 적용 시 에너지 절감율이 5% 미만이나 패시브 수준에서는 10% 이상 절감되는 것으로 판단
3. 실증테스트 및 시뮬레이션과 같은 실증이 필요함
4. 유럽에서는 효과가 크나 우리나라에서는 유럽대비 낮은 효과를 가질 수 밖에 없음
5. 바닥과 벽에 적용을 우선적으로 고려하여야 하며 공동주택에서는 천장에 적용하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단됨
6. 패시브의 요소기수로는 적용하기 어려우나 제로에너지의 요소기술로는 적용이 가능함
7. 유리 PCM은 단점이 많아 무기를 통한 개발이 좋을 것으로 생각됨
8. 효과검증 및 제도 적용이 동시에 진행되어야 업체의 활성화를 이끌어 낼 수 있을 것으로 판단

소속 : LG하우시스

직급 : 과장

성명 : 강 길 호