

(옆면)

(앞면)

18CTAP-C
129762-02

PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공지능 기반 재실자 행동인식 및 신진대사(MET)산출 원천모델 개발 최종보고서

2019
국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()
국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C129762-02

PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공신경망 및 딥러닝 기반 재실자 행동인식 및 신진대사(MET)산출 원천모델 개발 최종보고서

2019. 02. 15.

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단
공동연구기관 / 인천대학교 산학협력단
한밭대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

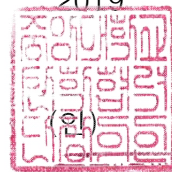
제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공지능경망 및 딥러닝 기반 재실자 행동 인식 및 신진대사(MET)산출 원천모델 개발’(연구개발 기간 : 2017. 04.~ 2018. 12.) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2019. 01. 11.

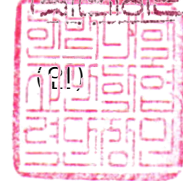
주관연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단 김 원 용



공동연구기관명 : 인천대학교 산학협력단 옥 우 석



공동연구기관명 : 한밭대학교 산학협력단 차 동 진



주관연구기관책임자: 문 진 우

공동연구기관책임자: 유 용 석

공동연구기관책임자: 이 광 호

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C129762-02	해당 단계 연구 기간	2018.01~ 2018.12	단계구분	(2차연도) / (2차연도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	대과제가 있을 경우 기재합니다(단위과제일 경우에는 아래에 기재합니다)			
	세부과제명	PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공지능망 및 딥러닝 기반 재실자 행동인식 및 신진대사(MET)산출 원천모델 개발			
연구책임자	문 진 우	해당단계 참여연구원 수	총: 21명 내부: 21명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:191,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:191,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22명 내부: 22명 외부: 명	총 연구비	정부:360,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:360,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	중앙대학교 산학협력단			협동연구기관명 인천대학교 산학협력단 한밭대학교 산학협력단	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	12	3				2					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약 -IoT 기반 복합 MET 센서모듈 개발 -Intelligent Agent MET 산출 모델 개발 -MET 산출모델 적용 시스템 에너지 및 쾌적 성능 평가	보고서 면수 54
---	-------------------------

요약문

연구의 목적 및 내용	- PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공지능망 및 딥러닝 기반 재실자 행동인식 및 신진대사(MET) 산출 원천모델 개발 • IoT 기반 복합 MET 센서모듈 개발 • Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발 및 성능분석 • 예측모델 적용에 따른 쾌적성, 에너지성능, 환경영향, 경제성 평가 • 실내 환경 변화에 대한 활동량(MET) 산출 빅데이터(Big data) 구축				
연구개발성과	- IoT 기반 복합 MET 센서모듈 개발 • 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET의 복합적 감지 • Arduino, Raspberry Pi 등 Open-source platform 채용을 통한 개발의 신속성 및 향후 확장성 극대화 • Zigbee, 3G/4G, WiFi/Ethernet 등 다양한 사물인터넷(IoT) 환경 접근성 확보 • IR LED 모듈 탑재를 통한 24시간 모니터링 가능 - Intelligent Agent MET 산출 모델 개발 • 재실자 실제 활동량 및 활동위치, 재실 패턴을 반영한 위치기반 맞춤형 MET 산출 모델 • 재실자별 온열선호도 반영하여 예측 제어 가능한 개인 맞춤형 시스템 • 환자, 노약자 등 재실자 활동량의 특성에 따른 맞춤형 PMV 자동 제어를 통해 건강, 안전, 생산성 향상 등 삶의 질 개선 (그림 2.2~2.4) • 성능예측 및 지능형 제어를 통해 냉난방기의 에너지 절약 도모 • 시뮬레이션 활용 성능평가 및 환경 영향 평가를 통한 국가적 차원의 1차 에너지 절감효과 입증				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용계획 • 개발된 모듈, 모델 및 알고리즘은 실제 환경조건 및 재실자 상황에 대한 정보취득을 위하여 내재된 시스템으로써 적용가능. 이는 인체부착 혹은 휴대 등 재실자의 관여가 불필요한 방법임. 이는 스마트빌딩의 주요 요소로써 적용 가능할 것으로 예상 • PMV 제어를 통해 쾌적한 온열환경이 요구되는 건강·의료 시설 등 인체활동에 관련된 분야에 활용 가능 • 특히, 거동 및 의사결정 취약계층 거주건물의 최적화된 열환경 조성 기술로써 적용 가능 • 또한, 최근 출시되고 있는 지능형 에어컨 등에 적용되어 실제 재실자의 활동 상황에 맞는 열환경 조성 가능 • 기존의 온도/습도 기반 열환경제어 시스템 뿐 아니라 복사냉난방 및 기류를 활용한 냉난방 시스템의 적극적 활용을 위한 기반으로써 적용 가능 • 재실자 활동량을 고려한 적응형 PMV 알고리즘 및 정보제공 서비스 개발에 활용 • 추후, PMV 기반 건물열환경제어 가이드라인 등 개발을 위한 기반 기술로 활용 가능 • 사물인터넷 및 인공지능 관련 연구·산업 응용 활성화에 기여 ○ 기대효과 • 세계 최초 IoT 및 인공지능 기반 MET 측정 센서모듈 개발로 국제적 선도 기술 보유 • 예측 환경제어 알고리즘 핵심기술로 스마트홈, BEMS, IoT, 공조시스템 등 인공지능 산업시장(6.4조원) 활성화 • 건축 및 컴퓨터공학의 공동 연구를 통한 융합적 시각 갖춘 전문 인력 양성				
국문핵심어 (5개 이내)	신진대사	사물인터넷	인공신경망	딥러닝	온열환경
영문핵심어 (5개 이내)	metabolic rate	Internet of Thing (IoT)	Artificial Neural Network (ANN)	Deep Learning	Thermal Environment

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	5
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	45
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	53
붙임. 참고 문헌	54

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목적

○ 최종목적

PMV 예측 정확도 10% 및 에너지성능 5% 향상을 위한 인공지능망 및 딥러닝 기반 재실자 행동인식 및 신진대사(MET) 산출 원천모델 개발

○ 세부목적

- IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발

- 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET의 복합적 감지
- 다양한 환경변수를 저비용으로 취득할 수 있는 IoT 센서 개발
- Arduino, Raspberry Pi와 같은 Open-source platform을 활용한 개발의 신속성 및 향후 확장성 극대화
- Zigbee, 3G/4G, WiFi/Ethernet 등 다양한 IoT 환경 접근성 확보
- IR LED 모듈 탑재를 통한 24시간 모니터링 가능

- Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발

- 인공지능 알고리즘(AI, ANN, Deep Learning 등) 활용 지능형 예측제어 모델 개발
- 재실자 활동기반 맞춤형 MET 산출 모델 개발
- 기존의 체온, 심박동에 기반하여 산출한 MET 적용 PMV 산출모델과 비교하여 PMV 예측 정확도 10% 개선을 목표로 하는 MET 산출모델 개발
- PMV에 근간한 열 환경 제어가 가능함에 따라 습도기반제어, 복사냉난방, 기류도입 등 다양한 시스템의 적용을 바탕으로 기존 온도기반 대류방식에 비하여 에너지성능 5% 향상 도모
- 시뮬레이션 활용 성능평가 및 환경 영향 평가를 통한 국가적 차원의 1차 에너지 절감효과 입증

1.2 연구개발의 필요성

○ 지능형 실내환경 제어의 필요성 대두

- 하루 80%이상 실내에서 거주하는 현대인
- 사용자 편의성과 에너지 과소비 문제 해결 필요

○ 개인 맞춤형 실내환경 제어시스템 개발 필요

- 기존 제어 시스템은 재실자 실제 활동 신진대사(Metabolism) 고려 미비
- 따라서, 정확한 MET(Metabolism)를 고려한 재실자별 맞춤형 쾌적·온열환경 제어 기술의 필요성 대두

○ 사물인터넷(IoT) 보급 확대에 따른 적용 기술 개발 시의성 만족

- IoT 산업 발전 및 인프라 구축 확산에 따라, IoT 기반 실내환경 제어 기술 개발 시의성 확보

○ 인공지능 기반 실내환경 제어 기술 개발 시급

- 인공지능 활성화 정책 및 시장 규모 성장에 비하여 건축분야 응용 수준 미미
- 인공지능망 활용 신진대사(MET)를 측정 및 제어하는 특허 없음(1988~현재)
- 상황인지 및 적응이 가능한 지능형 제어 시스템 원천 기술 개발 필요
- 전 세계 인공지능 시장규모 : 2015년 2억 달러 → 2024년 110억 달러 전망 (연평균 56.1% 성장 전망)
- HVAC, 인공지능 시장은 점차 확대되어 성장하고 있지만 인공지능이 응용 건축환경 조성 기술(MET, CLO, PMV 제어 등) 관한 연구는 전무한 실정

○ 기존 기술과의 차별성 및 효율성

- 기존 기술은 인체 관련 정보를 사용하는 제한된 방법으로써 오류 발생 확률이 높음
- MET 측정을 위해 기기 등 부가적인 시스템 사용으로 재실자의 번거로움을 야기하고 적용성이 낮음
- 개발 기술은 재실자의 실내활동 이미지를 활용하므로 단순하고 유동적인 적용성 확보
- MET 산출 시 비전문가인 재실자의 개입을 요구하지 않는 지능적 자동 산출 가능

1.3 연구개발 범위

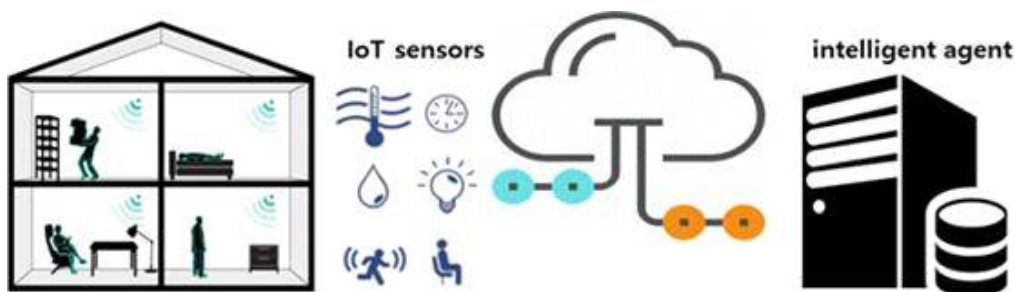
가. 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(중앙대학교) : IoT 기술 기반 센서 모듈 개발
- 공동연구기관1(인천대학교) : IoT 기술을 활용한 MET산출 프로토타입 모델 개발
- 공동연구기관2(한밭대학교) : MET 산출 유형 및 기술 기초 자료 수집 및 분석, 검토

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관 (중앙대학교)
 - Open-source platform을 활용한 IoT 기술 기반 센서 모듈 개발
 - 다양한 환경변수(건구온도, 상대습도, 평균복사온도, 기류속도) 및 개인변수(MET, CLO)를 저비용으로 실시간 취득할 수 있는 모니터링 센서 개발
 - Arduino, Raspberry Pi와 같은 Open-source platform을 활용하여 개발의 신속성 및 향후 확장성 극대화
 - Host System(PC, 스마트폰 등)과 Bluetooth, USB, WiFi와 통신 가능 모듈 기술 개발
 - Mock-Up 실험동 구축 계획 및 MET 센서 모듈 적용방안 검토
- 공동연구기관1 (인천대학교)
 - 구축된 빅데이터를 학습시킨 지능형 MET 산출모델 개발
 - 재실자 행동 기반 MET 산출 모델 적용 방안 분석(그림 1.1)
 - MET 산출 정확도 개선(10%)을 위한 재실자 활동량 및 활동위치, 재실 패턴 분석 및 적용 방안 도출
 - 빅데이터 분석을 통한 MET 산출 프로토타입 모델 개발
- 공동연구기관2 (한밭대학교)
 - MET 산출 유형 및 기술 기초 자료 수집 및 분석, 검토
 - MET 산출 방식 유형 분류 (인체부착형, 웨어러블기기형, 외부 센서형 등)
 - 각 유형별 MET 산출 모델 및 냉난방공조 제어 시스템 분석
 - MET 산출을 위한 사용자 행동 객관화 지표 자료 수집
 - 기존 MET 산출 기술의 실용성 및 경제성 검토



(그림1.1) 재실자 행동 기반 MET 산출 방안

나. 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관 (중앙대학교) : IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발 및 성능평가
- 공동연구기관1 (인천대학교) : Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발 및 최적화 (그림 1.2)
- 공동연구기관2 (한밭대학교) : MET 산출 모델 적용 시스템의 에너지 및 쾌적 성능평가

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관 (중앙대학교)

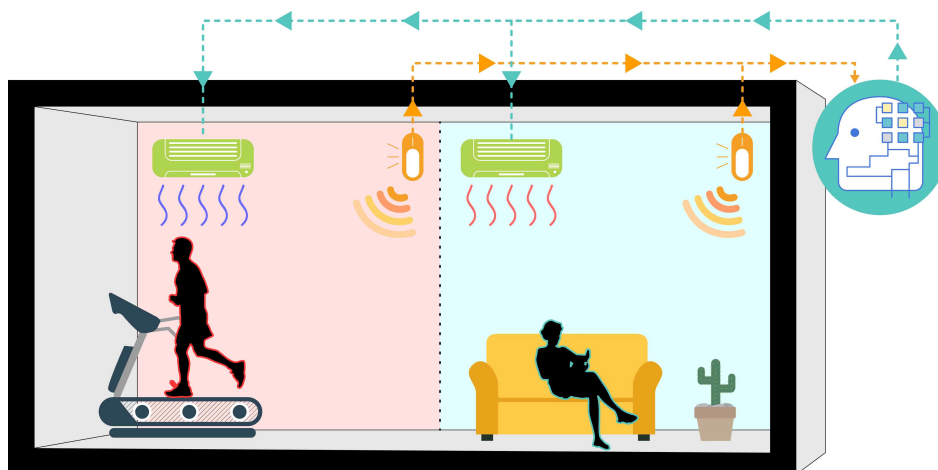
- IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발
- 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET의 복합적 적용
- 센서 및 MET 모델 시제품 Mock-up 실험을 통한 MET 센서 성능 검증 평가
- MET 산출 Big Data 모니터링 시스템 구축

- 공동연구기관1 (인천대학교)

- Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발 및 최적화
- Big Data를 활용한 다양한 인공지능 알고리즘 활용 방안 도출
- Deep Learning 기술을 활용한 MET 산출 정확도 향상
- 인공지능 기반 Intelligent Agent 적용

- 공동연구기관2 (한밭대학교)

- MET 산출 모델 적용 시스템의 에너지 및 쾌적 성능평가
- 시뮬레이션(EnergyPlus & MATLAB 연동)을 통한 MET 산출 모델 적용 시스템 쾌적 및 에너지 성능 평가
- MET산출 모델의 냉난방 에너지 비용 및 투자비용 회수 기간 분석 등 경제성 평가를 통한 산출 모델 성능의 타당성 분석



(그림 1.2) 인체 대사량(MET) 차이에 따른 맞춤형 환경 제어

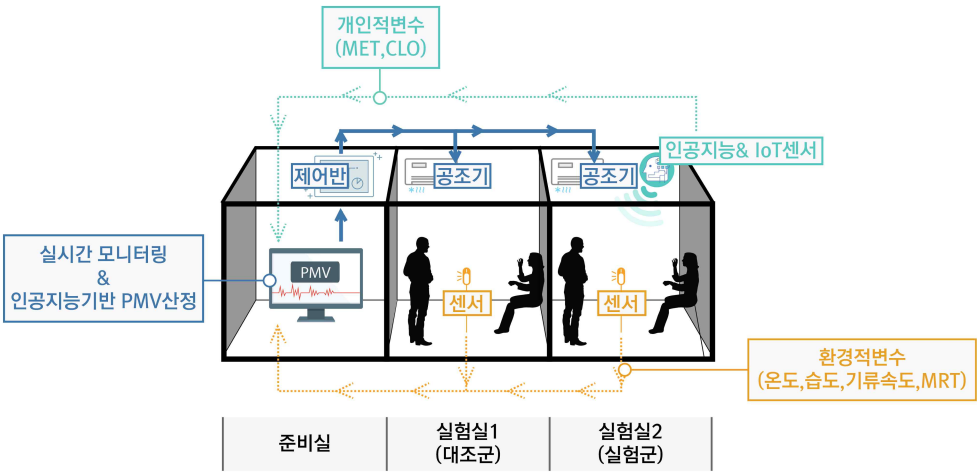
③ Mock-up 실험동 구축 계획

- Mock-up 실험동 규모 및 상세도

표 1.1 Mock-up 실험동 개요

구분	내용	평면도
실험동 높이	2.5m	
실험실 층고	2.4m	
층수	1층	
향	정남향	

- Mock-up 실험동 실험 개념도



(그림 1.3) MET 산출 성능검증을 위한 Mock-up 실험 개요

2. 연구수행내용 및 성과

2.1 연구개발 추진전략 · 방법 및 추진체계

가. 연구수행 추진전략 · 방법

1) 공동 기관과의 긴밀한 연계를 통한 업무 추진

- 전문가 자문 등 기초 자료 조사를 바탕으로 개발 기술에 대한 통합 계획안 도출
- 연구 최종 성과물 최적화 방안을 위하여 연구기관 간 협력 및 연계성 확보, 상호 협조 체계를 구축하여 지속적인 피드백이 가능하도록 하여 성공적 결과 도출 유도

2) 국내·외 관련 전문가 자문을 통한 신뢰도 높은 데이터 확보(구축)

- 국내·외 인공지능 분야 전문가 및 전문기관과의 기술 협력(자문)을 통한 신뢰도 확보

3) MET 산출 프로토타입 개발의 검증을 위한 다양한 성능평가

- Mock-up 실험실 구축 및 실험을 통하여 MET산출 모델의 성능 평가 및 적정성 검증

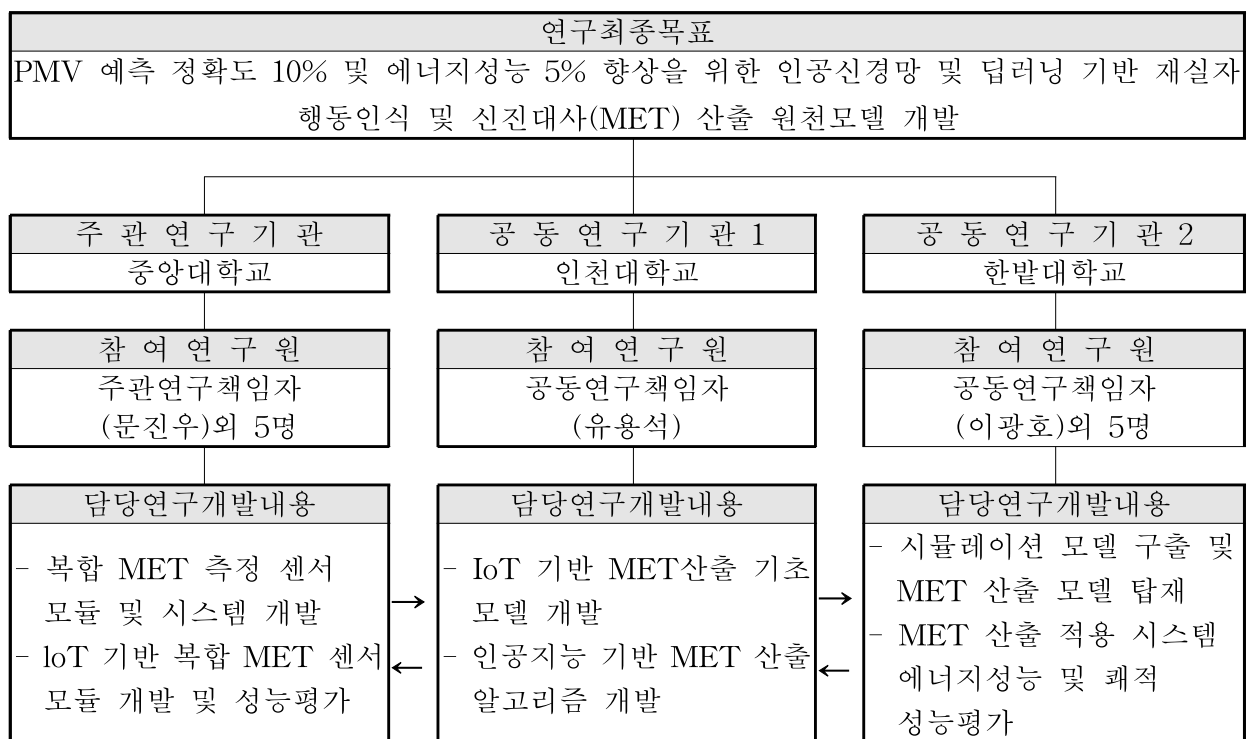
4) 시뮬레이션: 제안 방법의 적용에 따른 환경, 에너지 성능 평가

- 국내외 기준을 기반으로 한 시뮬레이션 구축 및 MET 산출 모델 탑재를 통한 제어 알고리즘의 성능 검증

5) 세계최초의 MET 산출 및 제어 모델의 적극 개발을 통해 선진 기술력 확보 및 시장성 극대화

- 개발초기부터 실용화 및 시장성을 고려한 연구를 통한 원가경쟁력, 정확성 향상 도모
- 현재 부족한 건축설비 분야의 전문가 인력의 대체 시스템으로서의 개발 고려

나. 연구수행 체계도



다. 추진일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도			2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
총괄														
주관	중앙대학교	IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발	복합 MET 감지 센서 모듈 개발 및 방향 도출	1-1-①	MET 센서 모듈 개발현황 조사	국내외 개발현황 분석	60							
					MET 산출 방안 도출	보고서								
			MET 산출 센서 모듈 프로토타입 개발	1-2-②	PMV 산출 센서 관련 시장현황 조사	시장현황 분석	45							
					프로토타입 설계	경제성평가 보고서								
					프로토타입 개발	특허출원								
		재실자 활동량에 따른 MET 산출 결과의 Big data 구축 및 활용방안 도출	Mock-up 실험 적용 알고리즘 검증	1-3-③	Mock 실험동 구축	Mock-up 구축	45							
					Mock-up 실험동 신뢰도 평가	보고서								
					Mock-up 성능 모니터링	보고서								
			Big Date 구축 및 Deep Learning 활용	1-4-④	Big Data 구축	보고서								
					Big Data 활용 방안 도출	보고서								
공동1	인천대학교	Intelligent Agent MET 산출 모델 개발	IoT 센서 모듈을 활용한 재실자 행동 인식	2-1-①	IoT 기술을 활용한 센싱 플랫폼 구축	보고서								
					동작 인식 활용한 재실자 행동 측정	보고서								
					MET 산출 데이터 구축	보고서								
					빅데이터 분석을 통한 MET 산출 모델 개발	특허출원								
			인공지능 기반 MET 산출 모델 개발	2-2-②	인공지능 기반 MET 산출 모델 개발	보고서								
					Deep Learning 기술을 활용한 MET 산출 정확도 향상	논문게재								
공동2	한밭대학교	MET 산출모델 적용 시스템의 에너지 및 패적 성능 평가	성능검증을 위한 시뮬레이션 모델 구축 및 MET 산출 모델 탑재	3-1-①	시뮬레이션 모델 구축	시뮬레이션 모델								
					MET 산출모델 탑재	시뮬레이션 모델								
			MET 산출 모델의 에너지, 패적성 및 환경영향 평가	3-2-②	에너지 성능 및 패적성 평가	논문								
					환경영향 및 경제성 평가	논문								

2.2 연구개발결과 요약

가. 1차 년도

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2017)	복합 MET 센서모듈 개발	다양한 환경변수(건구온도, 상대습도, 평균 복사온도, 기류속도) 및 개인변수(MET)를 저비용으로 실시간 취득할 수 있는 모니터링 센서모듈 개발	- Raspberry Pi 등 Open-source platform 을 활용하여 복합 MET 센서모듈 초기모델 개발	복합 MET 센서모듈 초기(안)
		Mock-Up 실험동 구축 계획 및 MET 센서모듈 적용방안 검토	- 3 종류의 독립적 환경 구축 (1) Miscellaneous occupational activity (2) office activity&walking (3) resting	성능분석을 위한 실험실 구축 계획 수립
	구축된 빅데이터를 학습시킨 지능형 MET 산출모델 개발	MET 산출을 위한 Deep-learning artificial neural network 초기 모델 개발	- 모델 학습 데이터 구축 - Python 적용 초기 예측 모델 개발	학습데이터 & 초기 예측 모델
	MET 산출 기술 기초 자료 수집 및 분석, 검토	MET 산출 방식 유형 분석 및 성능분석을 위한 시뮬레이션 환경 구축	- 인체부착형, 웨어러블기기형, 외부 센서형 등 산출방식 유형 분류 - 에너지 성능평가를 위한 EnergyPlus 시뮬레이션 환경 구축	시뮬레이션 환경 구축 및 성능평가 항목 선정

나. 2차 년도

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2018)	복합 MET 센서모듈 개발 및 성능평가	복합 MET 산출 센서모듈 개발 및 Mock-up 실험을 통한 성능평가	- 복합 MET 센서모듈 개발 - MQTT Broker 설정으로 측정된 이미지 및 환경 변수 서버전송 - Mock-up 실험을 통한 센서모듈 성능평가	복합 MET 센서모듈 개발 & 측정 성능 테스트 완료
	Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발 및 최적화	인공지능, 딥러닝 기반 재실자 맞춤형 MET 산출 모델	- 재실자 실제 MET 산출 모델 개발 - Deep Learning 기술을 활용한 MET 산출 정확도 향상	MET 산출 모델 개발 & PMV 예측 성능 80% 이상 향상

	MET 산출 모델 적용에 따른 에너지 성능 및 쾌적성 평가	MET 산출 모델 적용 시스템의 에너지 성능 및 쾌적성 평가	- 시뮬레이션(EnergyPlus)을 통한 MET 산출 모델 적용 시스템 에너지성능 평가 - MET 산출 모델의 냉난방 에너지 비용 및 투자비용 회수 기간 분석 등 경제성 평가를 통한 산출 모델 성능의 타당성 분석 - 주거건물에서 기존의 건구온도 제어 시와 비교하여 MET 변화가 고려된 PMV 제어시의 여름철과 겨울철 냉난방 에너지 저감 성능 평가	PMV 제어 시 연간 약 15.7%의 냉난방 에너지 감소 & MET 산출 모델 적용 PMV 제어 방식의 경제성 확인(회수년 8년)
--	----------------------------------	-----------------------------------	---	--

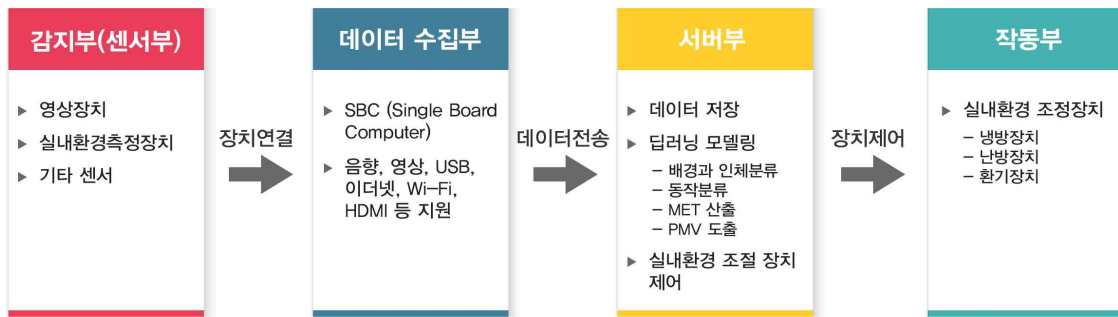
2.3 연차별 연구수행 내용 및 결과

가. 1차 연도

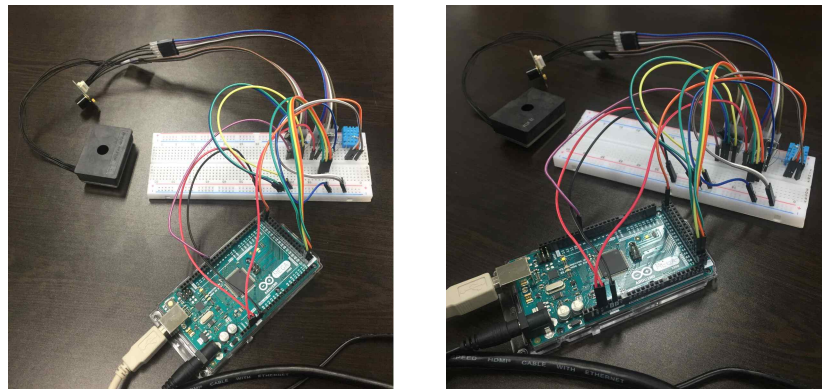
연구 범위	연구 수행 방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
복합 MET 센서모듈 개발	복합 센서 구축 방안 제시 및 실험실 적용 작동 성능평가	- 구성 : 감지부, 데이터수집부, 서버부, 작동부로 이루어진 복합 센서모듈 - 감지 및 데이터수집부 : MET 산출정보 획득을 위한 영상장치와 실내 열환경 측정 장치 포함 - 서버부 : 데이터 저장 및 Deep-Learning 기반 ANN 모델을 적용한 프로세스 수행 - 작동부 : 서버부의 제어 시그널에 따라 냉난방시스템 작동 - Raspberry Pi 등 Open-source platform을 적용하여 개발 - 실험실 적용을 통하여 정상 작동 여부 평가 완료
예측모델 개발	실험실 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 예측성능 및 건물에너지성능 평가	- Deep-Learning ANN 기반 MET 예측 모델 개발 • 복합 MET 센서모듈을 통해 획득된 채실자의 영상정보로부터 활동(Activity)의 분류 및 MET를 산출하는 모델 • 채실자 활동 자동 분류 학습 데이터 구축 • Deep-Learning 기반 채실자 활동 자동 분류 기술 개발 • MET 산출 기초 모델 개발 - 실험실 적용 예측 성능 평가 • 3종류의 실험실에서 각각의 채실활동에 대하여 정확한 활동 산출여부를 평가 완료 - 시뮬레이션 환경 구축 및 평가 • MET 산출 모델의 에너지 성능 및 쾌적성 평가를 위한 주거건물 해석모델 구축 • MET 변화에 따른 PMV 기반의 온열쾌적감 및 냉난방 부하 패턴 선행 분석 • MET을 적용한 건물환경제어의 효율성을 EnergyPlus 시뮬레이션을 통하여 평가

(1) 복합 MET 센서모듈 개발

1) 복합 MET 센서모듈 초기(안)



(그림 2.1) 복합 MET 센서모듈 초기(안)



(그림 2.2) 복합 MET 센서모듈 초기 제작품

- 정확한 PMV 예측을 위하여 재실자 활동량을 산출할 수 있는 복합 MET 센서모듈. 환경변수인 건구온도, 상대습도, 평균복사온도, 기류속도 측정 및 개인변수인 MET를 저비용으로 실시간 취득이 가능한 아두이노(Arduino) 활용 복합 MET 센서모듈 초기(안) 구축
- 본 연구의 복합 MET 센서모듈의 특징으로, PMV 산출에 요구되는 6가지 요소의 자동화된 측정을 가능하게 하여 비전문적 재실자의 개입이 요구되지 않음. 또한, 필요시 다양한 위치에 복수의 센서 설치 가능하므로 보다 넓은 범위의 측정이 가능함. 이는 측정된 데이터들의 통합 값을 반영하여 보다 정확한 PMV 산출을 위한 개인화된 복합 MET 센서모듈 적용이 가능함
- 복합 MET 센서모듈은 감지부, 데이터수집부, 서버부, 작동부로 구성. i) 영상장치 및 기타 센서로 구성되어 있는 감지부, ii) 상기 감지부의 각종 센서의 신호를 데이터화하여 서버부로 전송할 수 있는 데이터수집부, iii) 상기 데이터수집부로부터 감지된 데이터(인체활동 영상 및 온·습도, 기류, 복사온도 등의 실내환경 데이터)를 통해 재실자 MET를 도출하고 저장할 수 있으며, 작동부의 실내환경 조절 장치(냉·난방기)를 제어할 수 있는 신호를 생산하는 서버부, iv) 상기 서버부로부터 제어 신호를 수신 받아 실내환경을 조절할 수 있는 작동부로 구성 (그림 2.1~2.2)

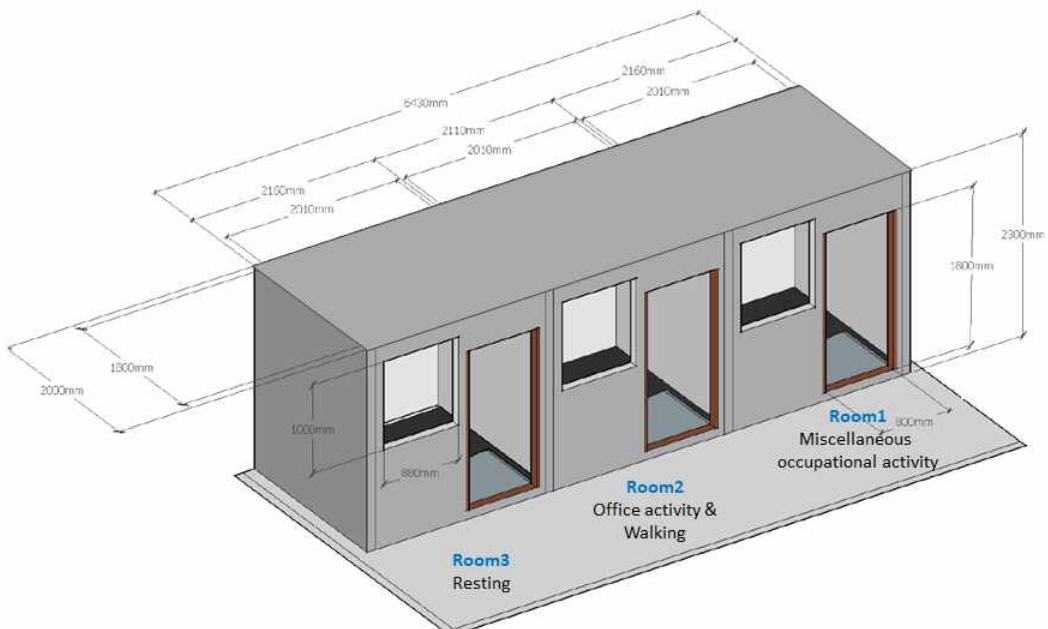
2) 성능분석을 위한 실험실 구축 계획 수립

- 센서 성능검증 평가 및 MET 산출 Big Data 모니터링 시스템 구축을 위한 Mock-up 실험동 구축 계획 마련 (표 2.1)
- MET의 타입을 유사한 성격인 Miscellaneous occupational activity, office activity &

walking, and resting 3가지 범주로 구분하여 독립적 환경 구축

- 3가지의 Room은 각각 서버실과 연결되어 측정 데이터를 활용하여 딥러닝 기반 ANN 모델 적용을 통해 MET 및 냉난방시스템 제어
- 실험의 대조군은 ASHRAE의 Metabolic rates for typical task에 대한 MET값이며, Mock-up 실험으로 산출된 MET값과 비교를 통한 센서모듈 및 모델의 성능 분석

표 2.1 Mock-up 실험동 개요

위치	서울특별시 동작구 흑석로 84 중앙대학교 208관 2층		
규모	6,000x2,000x2,300mm		
실험동 이미지			
실험 Setting	[기준 ASHRAE] MET 1.0 → PMV 계산 MET 2.0 → PMV 계산 MET 3.0 → PMV 계산 · ·	<--- ---> 비교분석	[Mock-up 실험 실제 측정] MET 0.8 → PMV 계산 MET 2.6 → PMV 계산 MET 2.1 → PMV 계산 · ·

(2) 예측모델 개발

1) 학습데이터 & 초기 예측 모델

- 재실자 활동 자동 분류 기술 개발을 위한 학습 데이터 구축
- 기본적으로 기존 연구들에서 널리 활용되는 Leeds Sports Pose (LSP) Dataset을 활용
- LSP Dataset의 장점은 다양하고 역동적인 활동의 모습을 포함 (그림 2.3)
- 또한, 실내 활동에 대한 실제 데이터 자체 구축 (그림 2.4)



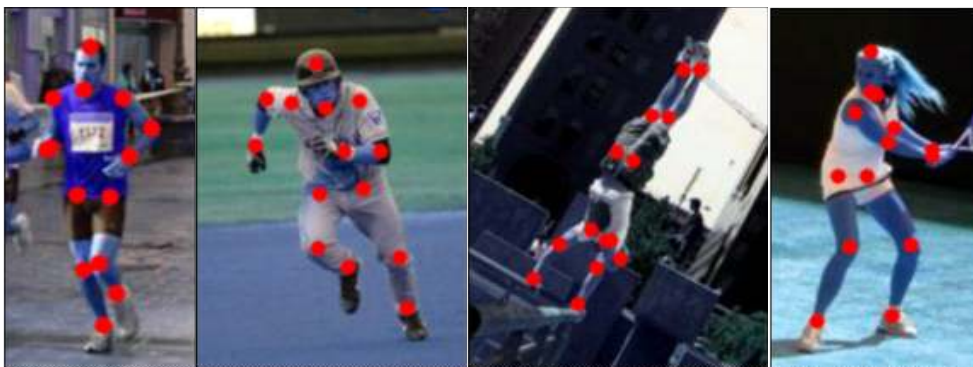
(그림 2.3) LSP Dataset에 포함되는 활동



(그림 2.4) MET 값 도출을 위한 실내 활동 영상데이터

2) MET 초기 산출 모델

- Deep-Learning 기반 재실자의 실제 MET 산출 모델 개발
- 입력 영상으로부터 재실자 신체 관절 인식 및 관절의 상대적 관계성 확립을 바탕으로 재실자 실제 활동 구분(그림 2.5)



(그림 2.5) 신체 각 부분 인식을 통한 동작 분류

3) 시뮬레이션 환경 구축 및 성능평가 항목 선정

- EnergyPlus에서 제공하는 ASHRAE 90.1기반의 고층 주거건물 Prototype 모델을 변형한 5층 규모의 일반 아파트 해석모델 구축
- MET 변화에 따른 PMV 기반의 온열쾌적감 및 냉난방 부하 패턴 선행적 분석을 위해, 공조방식은 EnergyPlus 상에서 HVAC System 및 Plant의 효율을 배제하여 냉난방 부하를 평가할 수 있는 IdealLoadsAirSystem 모델을 사용. 실내공기 온도 제어를

통해 PMV 범위를 ± 0.5 로 유지되도록 설정

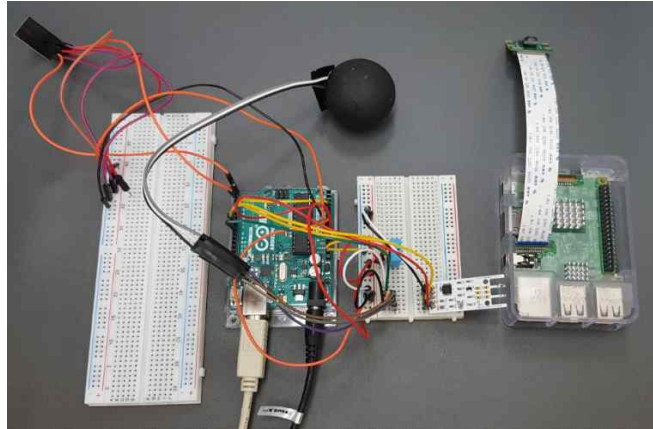
- 여름철과 겨울철 PMV는 실내공기 온도제어를 통해 쾌적영역 내에서 제어가 이루어졌고, MET Level 변화에 따라 높은 PMV 편차를 보임. 특히 난방위주인 주거용 건물의 특징에 따라 여름철보다 겨울철에 상대적으로 높은 PMV 편차가 나타남
- 여름철과 겨울철 모두 MET Level이 높을수록 PMV 제어를 위한 실내공기 온도는 낮게 나타났으며, 동일한 PMV를 유지하기 위한 실내 공기온도 차이는 최대 약 10℃ 이상으로 나타남
- 건물환경제어의 잠재적 효율성 향상, 에너지 성능 및 경제성 평가를 EnergyPlus 시뮬레이션을 활용하여 수행

나. 2차 연도

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
복합 MET 센서모듈 개발	복합 MET 산출 센서모듈 개발 및 데이터 전송 수행을 통한 성능평가	- 복합 MET 산출 센서모듈 개발 • 아두이노 활용 온습도, MRT, 기류 센서 각 1개, 무선 와이파이 모듈 장착 • 라즈베리파이에 카메라 모듈 연결 및 MQTT Broker 설정 • 라즈베리파이로부터 전송된 데이터를 저장하며 MET 예측모델이 탑재되어 있는 서버에 데이터를 전송하기 위한 코드 설정 • 적용성 및 실용성 확대를 위한 센서모듈 커버 디자인 시안 제작 - Mock-up 실험실 정상구동 실험 및 성능평가 • 재실자 활동 분류에 따라 2type의 독립적인 실험실 구축 • 복합 MET 산출 센서모듈 설치 및 환경변수와 재실자 활동 이미지 수집 • 수집된 데이터 검증을 통한 센서 성능평가 완료
예측모델 개발	MET 예측 모델 개발 및 시뮬레이션(EnergyPlus)을 활용한 MET 산출 모델 적용 시스템 성능 평가	- Deep Learning기반 MET 예측 모델 개발 및 성능 평가 • 재실자 활동량 산출을 위한 실내 활동 데이터 구축 및 전처리를 통한 증식 • 재실자 이미지로부터 재실자의 순간 포즈 및 MET를 산출하는 Deep Learning 모델 개발 • 특정한 제어 기간을 고려한 MET 및 PMV 산출 알고리즘 개발 • 개발된 산출 모델의 최적화를 통한 정확도 향상 - 실험실 적용 MET 예측 성능 평가 • 재실자 활동 분류에 따라 2type(주거시설 및 업무시설)의 독립적인 Mock-up실험실에 개발된 MET 예측 모델의 적용 및 산출 정확도 평가 • MET 예측 성능 평가는 ASHRAE 기준 MET 값과 비교를 통하여 진행 • 주거시설 및 업무시설 모두 80% 이상의 정확도 향상을 달성 - 시뮬레이션을 활용한 에너지, 쾌적성 및 경제성 평가 • 주거건물에서 기존의 건구온도 제어시와 비교하여 일반적인 MET 변화가 고려된 PMV 제어시의 여름철과 겨울철 냉난방 에너지 저감 성능 평가 결과 PMV제어 시 연간 약 15.7%의 냉난방 에너지 감소를 나타냄 • 건구온도 제어와 비교하여 MET산출 모델의 냉난방 에너지 비용 및 투자비용 회수 기간 분석(8년) 등 경제성 평가를 실시하여 산출 모델 성능의 타당성을 확인함

(1) 복합 MET 산출 센서모듈 개발

1) 복합 MET 산출 센서모듈



(그림 2.6) 복합 MET 산출용 센서모듈 적용 구조

- 정확한 MET 예측 및 PMV 산출을 위한 복합 MET 산출 센서모듈로 건구온도, 상대 습도, 평균복사온도, 기류속도 측정 및 카메라를 통한 재실자 활동 이미지 습득
- 센서모듈은 기존 제품을 적용하며 운영사양은 표 2.2에 정리
- 실내에 노출되는 감지부를 미관상, 기능상 이상이 없도록 별도의 커버를 제작하여 적용성 및 실용성 확보 (표 2.3~2.4)
- 제작된 센서모듈 관련 디자인 및 특허 출원을 완료하였으며 추후 등록을 진행하여 완료된 후 증빙자료 제출 예정

표 2.2 복합 MET 산출 센서모듈 적용 커버 디자인 및 도면

센서명	사양
온·습도	-사이즈 : 16x19mm -공급전압 : 5V -온도범위 : 0-50℃ -습도범위 : 20-90%
기류	-사이즈 : 40.0x6.4mm -공급전압 : 4-10V -공급전류 : 20-40mA -출력신호 : 아날로그
평균복사온도	-사이즈 : 16x19mm -공급전압 : 5V -온도범위 : 0-50℃ -MRT : 흑구추가
카메라	-사이즈 : 25x24x9mm -무게 : 5g -해상도 : 8MG Pixel -영상크기 : 3280x2464 Pixel

표 2.3 복합 MET 산출 센서모듈 적용 디자인

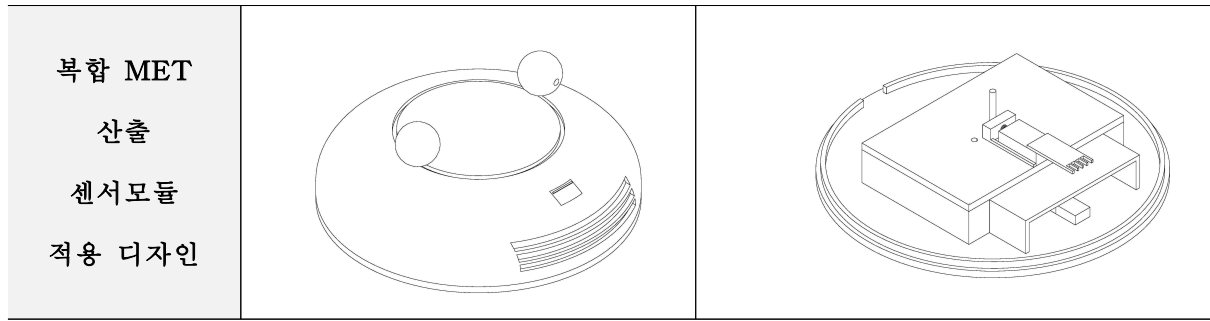
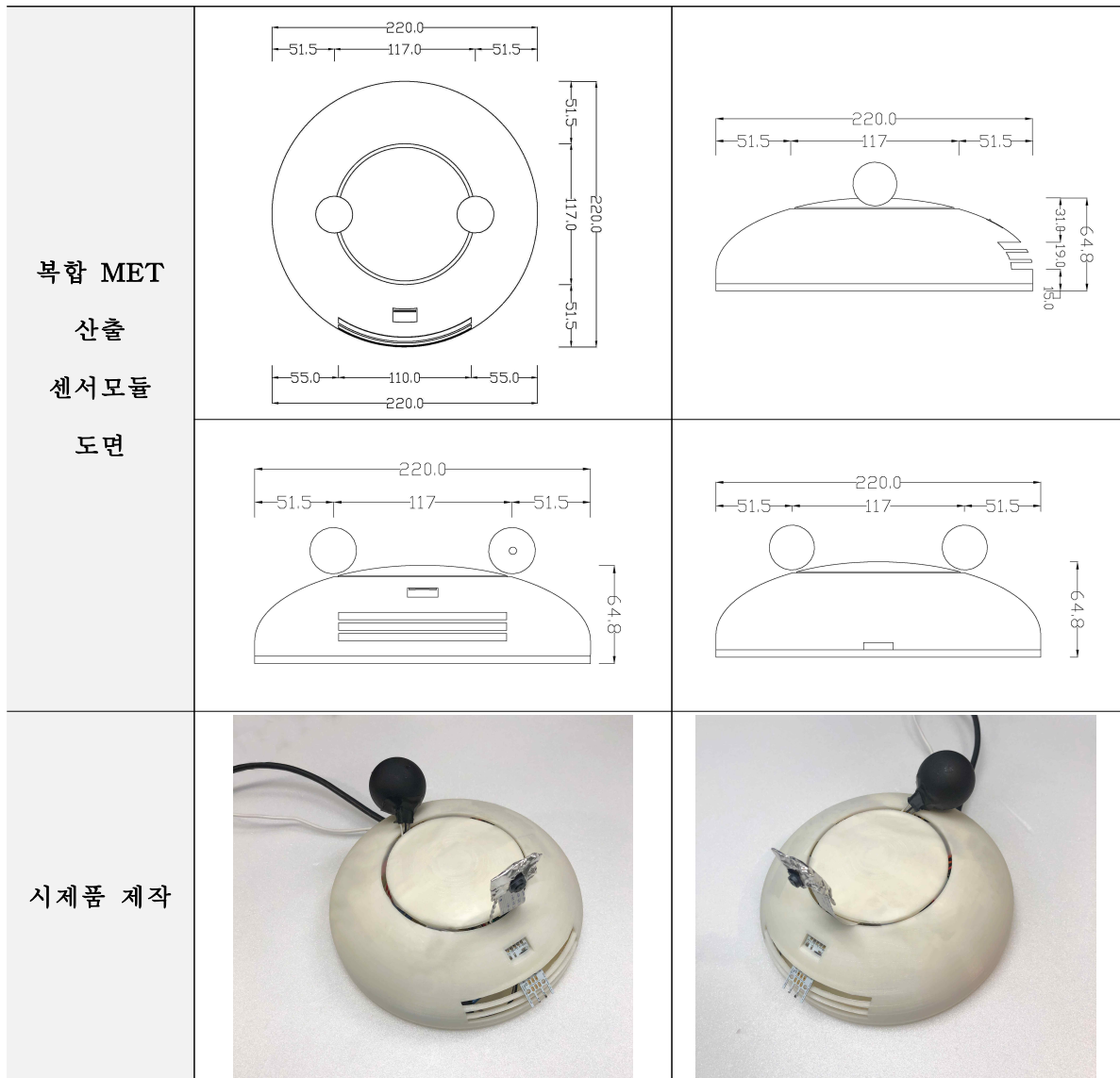


표 2.4 복합 MET 산출 센서모듈 적용 커버 도면 및 시제품

(단위 : mm)



2) 복합 MET 산출 센서모듈의 구성

- 복합 MET 산출 센서모듈은 감지부, 데이터수집부, 서버부, 작동부로 구성(그림 2.7)
- 감지부 : 온습도감지 센서, 평균복사온도감지 센서, 기류측정 센서를 아두이노에 연결, 재실자 활동 이미지를 수집하는 카메라모듈을 라즈베리파이에 연결하여 구성
- 데이터수집부 : 상기 감지부의 각종 센서의 신호를 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 방식을 이용해 서버 컴퓨터에서 데이터 수집 및 저장

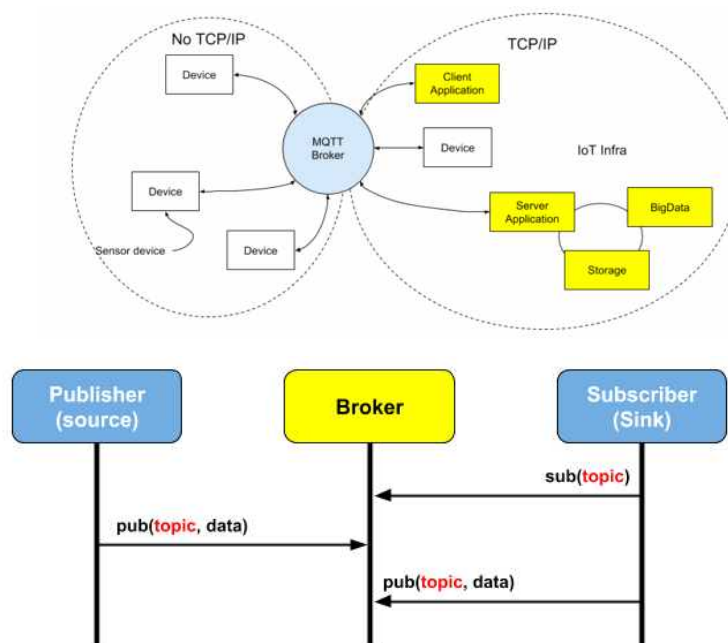
- 서버부 : 상기 데이터수집부로부터 감지된 데이터(인체활동 이미지 및 온·습도, 기류, 평균복사온도 등의 실내환경 데이터)를 습득하여 MET 예측모델을 통해 MET를 도출하고 저장할 수 있음. 이를 통해 PMV를 산출하여 적정 실내환경 제공. 이는 추후 작동부의 실내환경 조절 장치(냉·난방기)제어의 가능성이 있음
- 작동부[추후연구] : 상기 서버부로부터 제어 신호를 수신 받아 시스템 조절을 통한 쾌적한 실내 환경 제공



(그림 2.7) 복합 MET 산출용 센서모듈 적용 구조

3) 복합 MET 산출 센서모듈의 작동원리

- IoT기반 복합 MET 산출 센서모듈은 사물과 사람 또는 사람과 사물 등 인터넷기반 정보교류 및 상호소통을 위한 센싱 기술, 유·무선 통신 및 네트워크 인프라 기술을 접목함
- 복합 MET 산출 모델 센서모듈에서는 4가지 환경센서와 카메라 센서를 아두이노 및 라즈베리파이가 유·무선으로 통신하며 MET를 산출하고 데이터를 저장 및 전송하는 기술 개발을 진행함
- 감지부와 데이터 수집부는 설치의 용이성 및 사용의 편의성을 위해 무선으로 연결함
- 데이터 전송의 안정성을 위해 wifi로 연결하였으며 데이터 통신 방식은 IoT에 최적화된 낮은 전력, 낮은 대역폭의 환경에서도 사용할 수 있는 MQTT방식을 채택 (그림 2.8)



(그림 2.8) MQTT의 구성과 원리

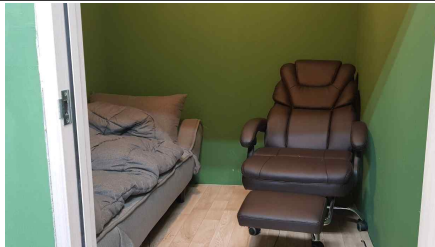
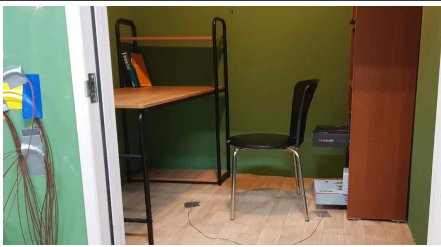
- MQTT는 경량의 Publish/Subscribe(Pub/Sub) 메시징 프로토콜로써 소형기기의 제어와 센서정보 수집에 유리
- 센서로부터 받은 데이터를 활용해 MQTT로 연결된 기기를 제어할 수 있으며 이를 위해서는 중앙에 있는 MQTT broker에 접속이 필수적임
- MQTT 프로토콜은 Publisher가 메시지를 발행하고 Subscriber가 메시지를 구독하는 것을 원칙으로 하며 Publisher와 Subscriber는 모두 Broker에 연결된 클라이언트로써 Publisher는 발행하고자 하는 메시지에 토픽이라는 제목을 지정함
- 다수의 Publisher와 Subscriber가 존재할 때 Subscriber는 원하는 토픽을 지정해 해당 토픽의 메시지만 수신 받는 기능이 있음
- 감지부의 라즈베리파이는 복합 MET 산출 센서모듈의 구성요소들 간에 데이터 Broker 역할 수행
- 즉, 아두이노, 라즈베리파이, 서버가 MQTT로 연결되어 있을 때 아두이노에서 취득한 센서 데이터와 라즈베리파이가 취득한 이미지 데이터를 서버가 구독하기 위해 라즈베리파이를 Broker로 사용
- 서버는 전송받은 데이터를 저장해 본 연구에서 개발된 MET 산출 모델에 사용함

(2) Mock-up 실험실 정상구동 실험 및 성능평가

1) Mock-up 실험을 통한 센서모듈 및 예측모델 성능분석

- 센서 성능검증 평가 및 MET 산출 모델 성능검증을 위한 Mock-up 실험동 구축 (표 2.5)
- MET의 타입을 유사한 성격인 i) resting, ii) office activity 2가지 범주로 구분하여 독립적 환경 구축

표 2.5 Mock-up 실험동 개요

Mock-up 실험동	
위치	서울특별시 동작구 흑석로 84 중앙대학교 208관 2층
규모	6,000x2,000x2,300mm
실험동 이미지	
	
	
	복합 MET 산출 센서모듈

Mock-up 실험동	
실험동 도면	
실험 Setting	- 재실자 행동 분류에 따라 2type으로 구분하여 독립적 환경 구축 - 복합 MET 산출 센서모듈이 방의 온습도 및 기류, 평균복사온도를 측정하고 재실자의 활동 이미지를 수집하여 서버로 데이터 전송

2) 성능평가 및 검증

- 환경센서는 아두이노, 이미지 수집은 라즈베리 파이에서 실행되며 각각의 데이터를 무선통신을 통해 서버에 저장하여 사용됨 (그림 2.9~2.10)
- 2가지의 Room에는 각각 복합 MET 산출 센서모듈이 설치되고 측정되는 환경 및 이미지 데이터를 MET 예측 모델이 내재되어 있는 서버로 전송·저장함
- 각 환경 센서와 이미지 데이터는 동시에 저장되며 Mock-up 실험을 통해 정상적으로 작동하는 것을 확인(그림 2.11, 표 2.6)
- 전송된 환경변수 및 이미지 데이터를 본 연구에서 개발된 지능형 MET 산출 모델에 적용하여 정확도 높은 MET 산출과 재실자 맞춤형 PMV 도출 성능 검증을 진행함

아두이노 환경 센서 작동

```

wind_speed_2 | 아두이노 2.1.0.5+dfsg2-4.1
파일 편집 스케치 도구 도움말

wind_speed_2 8
#include <Adafruit_Sensor.h>

#include "DHT.h"
#define DHTPIN1 8 // what pin we're connected to
#define DHTPIN2 7 // what pin we're connected to

// Uncomment whatever type you're using!
#define DHTTYPE1 DHT11 // DHT 11
#define DHTTYPE2 DHT11 // DHT 11

#define analogPinForRV 1 // change to pins you the analog pins are using
#define analogPinForTMP 0

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE1);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE2);

char buff_h1[6];
char buff_t1[6];
char buff_h2[6];
char buff_t2[6];

String h1_string;
String t1_string;
String h2_string;
String t2_string;
String dht_string;

int timer = millis();

const float zeroWindAdjustment = .2; // negative numbers yield smaller wind speeds and vice
int TMP_Therm_ADunits; //Temp terminator value from wind sensor
float RV_Wind_ADunits; //RV output from wind sensor
float RV_Wind_Volts;

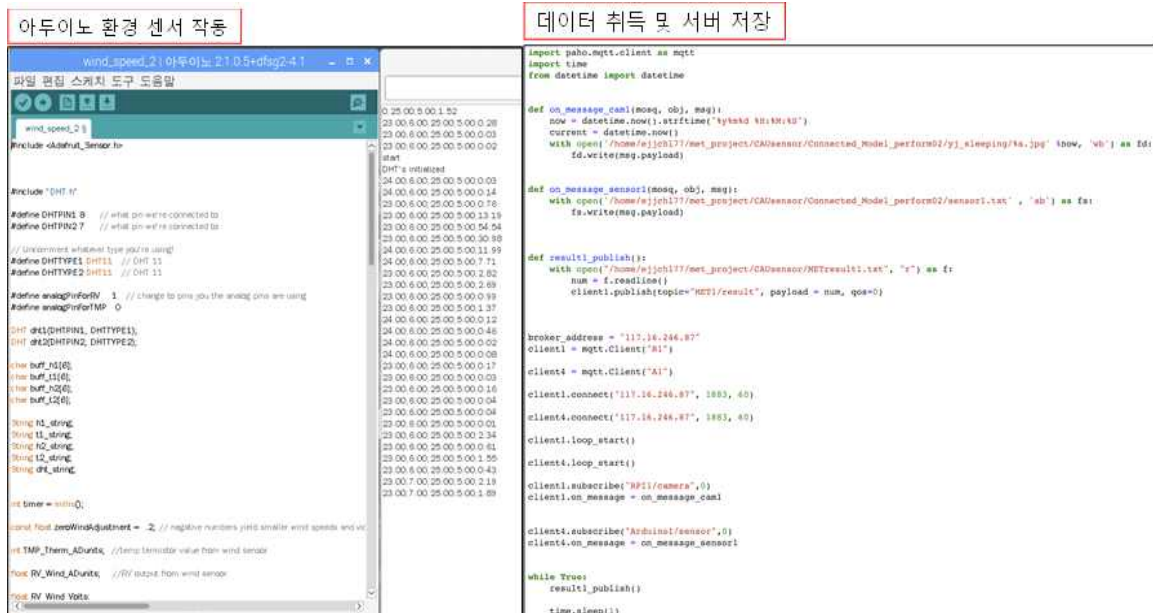
```

```

/dev/ttyACM0
0.25.00.5.00.1.52
23.00.6.00.25.00.5.00.0.28
23.00.6.00.25.00.5.00.0.03
23.00.6.00.25.00.5.00.0.02
start
DHT's initialized
24.00.6.00.25.00.5.00.0.03
24.00.6.00.25.00.5.00.0.14
23.00.6.00.25.00.5.00.0.78
23.00.6.00.25.00.5.00.13.19
23.00.6.00.25.00.5.00.54.54
23.00.6.00.25.00.5.00.30.98
24.00.6.00.25.00.5.00.11.99
24.00.6.00.25.00.5.00.7.71
23.00.6.00.25.00.5.00.2.82
23.00.6.00.25.00.5.00.2.69
23.00.6.00.25.00.5.00.0.99
23.00.6.00.25.00.5.00.1.37
24.00.6.00.25.00.5.00.0.12
24.00.6.00.25.00.5.00.0.46
24.00.6.00.25.00.5.00.0.02
24.00.6.00.25.00.5.00.0.08
23.00.6.00.25.00.5.00.0.17
23.00.6.00.25.00.5.00.0.03
23.00.6.00.25.00.5.00.0.16
23.00.6.00.25.00.5.00.0.04
23.00.6.00.25.00.5.00.0.04
23.00.6.00.25.00.5.00.0.01
23.00.6.00.25.00.5.00.2.34
23.00.6.00.25.00.5.00.0.61
23.00.6.00.25.00.5.00.1.55
23.00.6.00.25.00.5.00.0.43
23.00.7.00.25.00.5.00.2.19
23.00.7.00.25.00.5.00.1.89

```

(그림 2.9) 아두이노의 환경 센서 작동 코드



(그림 2.10) 라즈베리 파이의 데이터 무선 통신 설정 및 서버의 데이터 취득·저장

jupyter sensor1.txt 지난주 목요일 오후 3:15

	File	Edit	View	Language	온도	습도	MRT	기류속도
1	190110	11:57:48	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.05
2	190110	11:57:49	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.30
3	190110	11:57:50	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.15
4	190110	11:57:51	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.28
5	190110	11:57:53	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.05
6	190110	11:57:54	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.30
7	190110	11:57:55	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.15
8	190110	11:57:55	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.28
9	190110	11:57:58	/	25.00	17.00	26.00	6.00	5.77
10	190110	11:57:59	/	25.00	17.00	26.00	6.00	14.67
11	190110	11:58:00	/	25.00	17.00	26.00	6.00	64.69
12	190110	11:58:01	/	25.00	17.00	26.00	6.00	75.30
13	190110	11:58:01	/	25.00	17.00	26.00	6.00	10.74
14	190110	11:58:02	/	25.00	17.00	26.00	6.00	18.26
15	190110	11:58:03	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.14
16	190110	11:58:04	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.08
17	190110	11:58:05	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.03
18	190110	11:58:06	/	25.00	17.00	26.00	6.00	0.46
19	190110	11:58:07	/	25.00	17.00	26.00	6.00	1.03
20	190110	11:58:07	/	25.00	17.00	26.00	6.00	

(그림 2.11) 복합 MET 센서모듈의 환경 센서 데이터 저장 예시

표 2.6 복합 MET 센서 모듈의 저장된 이미지 데이터 예시



(3) Deep Learning기반 MET 예측 모델 개발 및 성능 평가

1) MET 예측 모델 개발을 위한 이미지 데이터 구축

가) 재실자의 실내 활동 분류 및 제한

- 재실자의 대표 실내 활동을 ASHRAE의 Metabolic rates for typical task를 기준으로

일반적으로 발생하는 주요 실내 활동 10가지 선정 (표 2.7)

- MET의 값에 따라 Label 번호를 부여하였고, MET 값이 작은 순으로 총 10개의 Label 번호 부여

표 2.7 주요 실내 활동 분류 기준

실내 활동		MET	Label
resting	sleeping	0.7	0
	reclining	0.8	1
	seated.quiet	1.0	2
	standing.relaxed	1.2	3
office activities	reading.seated	1.0	4
	writing	1.0	5
	typing	1.1	6
	filling.seated	1.2	7
	filling.stand	1.4	8
	walking about	1.7	9

나) MET 산출을 위한 실내 활동 데이터 수집

- 10가지 대표 실내 활동에 대하여 각각 60개의 이미지를 수집하여 총 600개 이미지 데이터 구축
- 이미지는 인터넷 웹페이지 및 Mock-up 실험실을 활용하여 수집 (표 2.8)

표 2.8 실내활동 이미지 구축 예시

sleeping					
reclining					
seated,quiet					
standing, relaxed					
reading.seated					
writing					
typing					



다) 실내 활동 분류 학습을 위한 데이터 구축

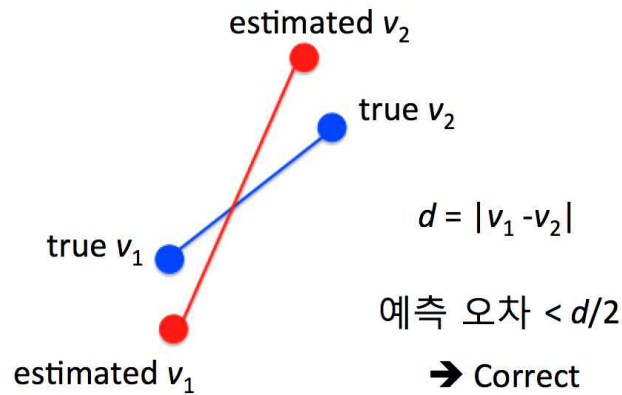
- 재실자의 활동량을 예측하는 학습 모델에는 수집한 이미지상의 인체 주요 관절 좌표 값이 사용되어 이를 기반으로 재실자의 활동을 분류함
- 학습할 데이터는 좌우 발목, 무릎, 골반, 손목, 팔꿈치, 어깨와 목, 이마로 총 14개의 (x,y) 좌표 값으로 구성되고 이미지에서 확인 할 수 없는 좌표일 경우 (-1,-1)로 일괄 처리함 (표 2.9)
- 실제로 적용할 때는 앞서 개발된 좌표 예측 모델을 통해 이미지에서 Joint 값을 도출하여 재실자의 활동을 예측하는데 사용함

표 2.9 입력 데이터의 주요 관절 좌표 위치

번호	인체 부위	관절 위치	이미지 예시
1	다리	오른쪽 발목	
2		오른쪽 무릎	
3		오른쪽 골반	
4		왼쪽 골반	
5		왼쪽 무릎	
6		왼쪽 발목	
7	얼굴	오른쪽 손목	
8		오른쪽 팔꿈치	
9		오른쪽 어깨	
10		왼쪽 어깨	
11		왼쪽 팔꿈치	
12		왼쪽 손목	
13	얼굴	목	
14		이마	

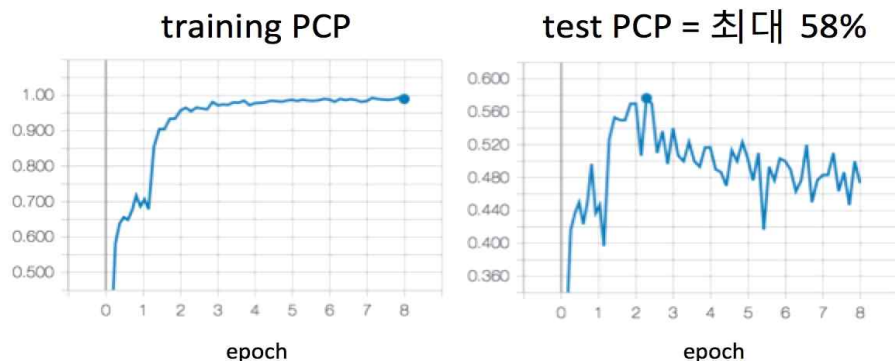
2) 이미지를 통한 joint 인식 모델

- 1차 년도에 개발한 MET 초기 예측 모델의 예측 정확도 향상을 수행
- 2차 년도에는 다음 두 가지 세부 목표로 연구 수행
 - ① 예측 모델 경량화: joint 예측 모델이 통합 센서에서 실행 가능하도록 경량화
 - ② 고성능 모델 개발: joint 예측 정확도를 최대로 높이는 모델 개발
- 성능 지표로 사용한 평균 Percent of Correctly estimated body Parts (PCP)는 먼저 각 joint 예측 오차가 인접한 joint와의 거리의 50% 이하일 때 해당 joint를 correct로 판별하고 모든 joint들의 평균값을 구함 (그림 2.12)



(그림 2.12) 정확히 예측된 joint의 기준

- 경량화 모델의 경우 Deep Learning을 활용한 학습이 진행(epoch 증가)되면서 training 정확도는 100%에 수렴했고, test 정확도는 epoch가 22,000 반복 시 최대값인 58%까지 증가하고 후에 다시 감소하는 경향을 보임 (그림 2.13)
- 따라서 test 정확도를 기준으로 최대 성능을 보인 22,000 반복 후의 Deep Neural Network의 상태를 저장하여 joint 위치 예측에 활용함
- 개발된 경량화 모델은 layer의 수가 10개 미만이고, 학습된 모델의 크기는 약 227MB로 적은 용량과 계산으로 통합 모델에서 joint 예측 가능



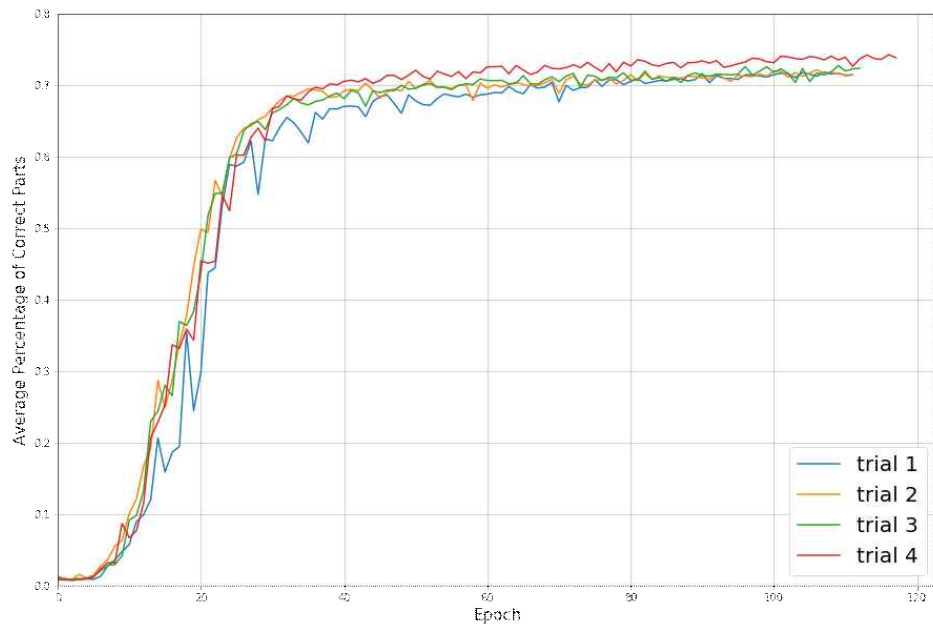
(그림 2.13) Deep Learning을 활용한 학습이 진행됨에 따른 training 정확도와 test 정확도 (epoch의 단위는 10,000회)

- Joint 예측 정확도를 높이기 위해 다양한 구조의 Deep Neural Network를 시도하였으며, 실험 결과 다음 그림 2.15과 같이 여러 단계(stage)의 Deep Neural Network를 적층하여 사용하는 것이 학습 용이성과 예측 정확도를 모두 향상시킬 수 있었음
- 첫 번째와 마지막 stage를 제외한 stage 2~4는 3~6개의 residual block으로 구성되며, 각 residual block은 다시 3개의 convolution layer와 관련된 후처리 layer로 구성됨 (그림 2.14)



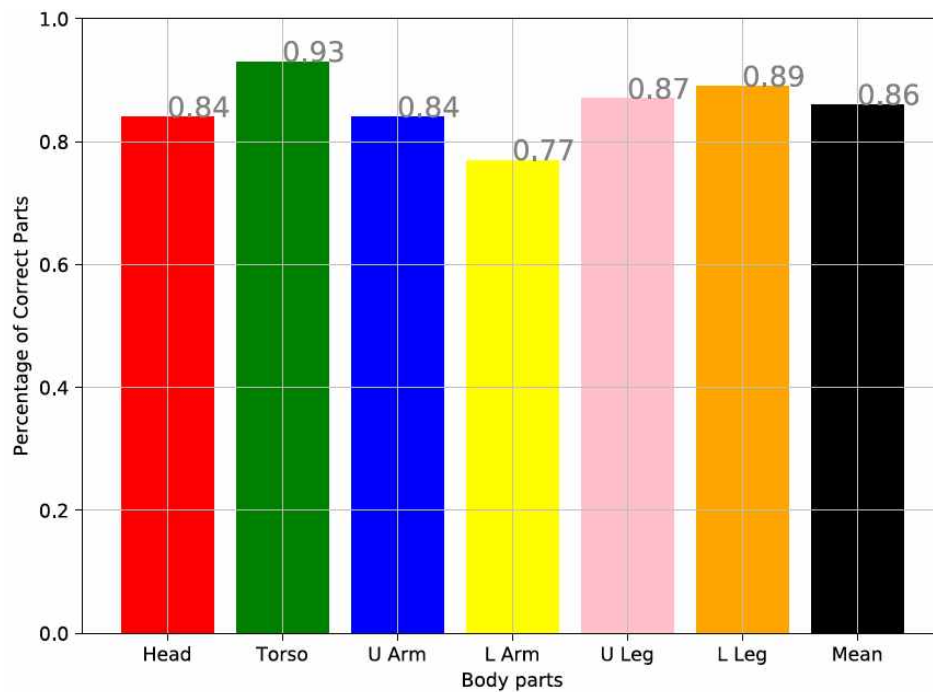
(그림 2.14) 여러 단계(stage)의 Deep Neural Network를 적응하여 joint 예측 정확도를 높인 사례

- 첫 번째 stage는 입력 영상에서 기본적인 특징을 추출하고 해상도를 낮추는 일종의 전처리 단계
- stage 4까지는 영상 전체의 정보로 모든 joint를 동시에 예측하기 위한 단계, 마지막 stage 5는 각 joint별로 예측 정확도를 높이는 단계에 해당
- 수렴성 검증을 위해 서로 다른 4개의 초기값에서 출발하여 고성능 모델을 학습하며 측정한 test PCP 값을 보면 (그림 2.15), 4 가지 경우 모두 PCP 값이 증가하여 70% 이상의 정확도에 수렴하는 것을 확인함
- 따라서 개발한 모델은 50개 이상의 많은 layer로 구성되지만 학습이 용이하다는 것을 확인함



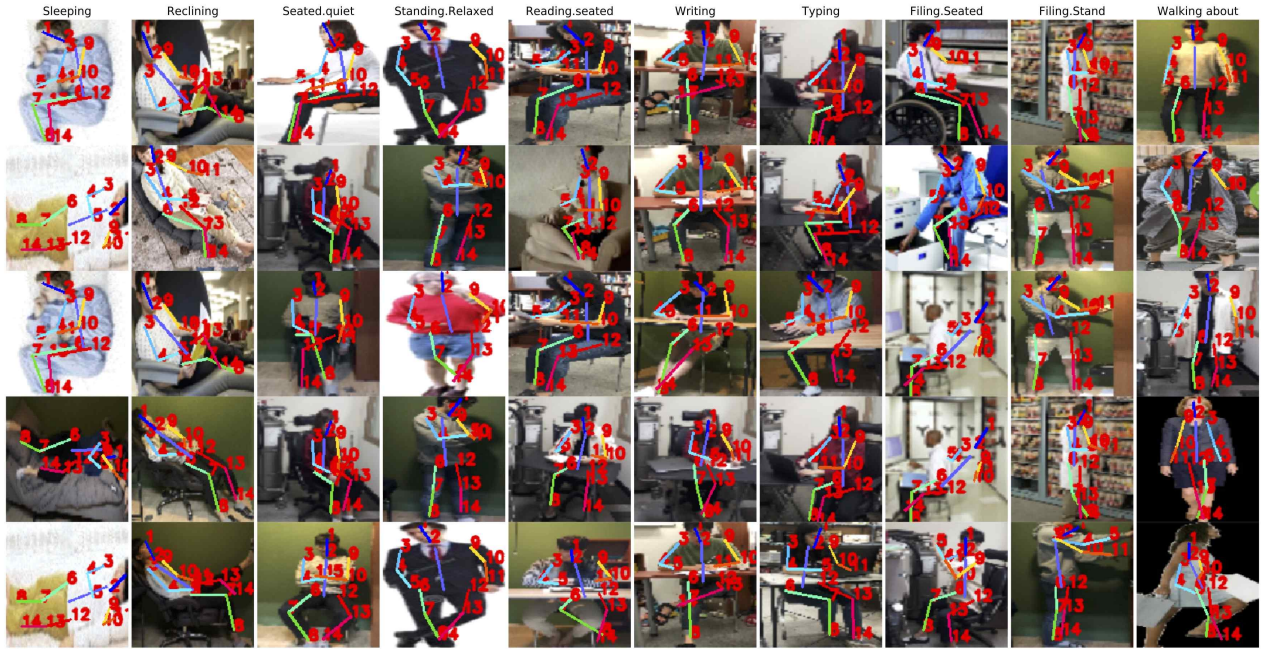
(그림 2.15) 서로 다른 초기값에서 고성능 모델을 학습하며 측정한 test PCP

- 최대 정확도를 보인 모델의 평균 PCP 값은 0.86이고, 각 인체 part별 정확도는 그림 2.16에 제시됨
- 예측 정확도는 채실자의 몸통(torso)이 가장 높고(0.93), 몸통에서 멀수록 낮아지는 경향을 보임



(그림 2.16) 인체 part별 예측 정확도 (PCP)

○ 각 activity 별로 예측된 joint의 예는 다음 그림과 같다. (그림 2.17)

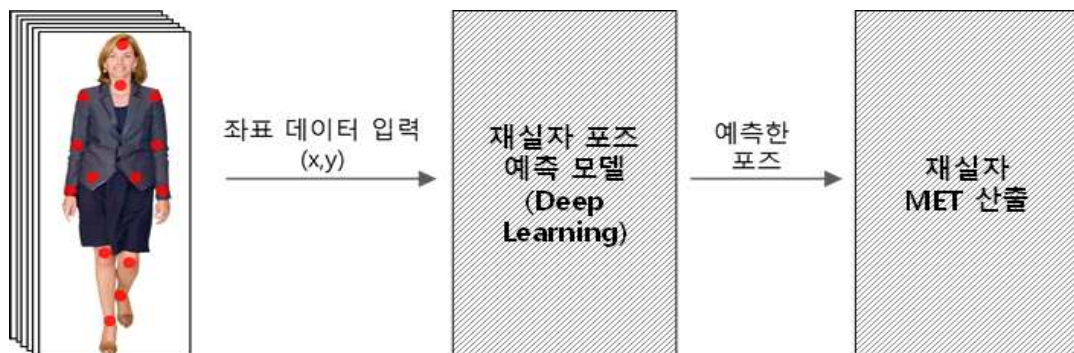


(그림 2.17) 각 activity 별 joint 예측의 예 (고성능 모델)

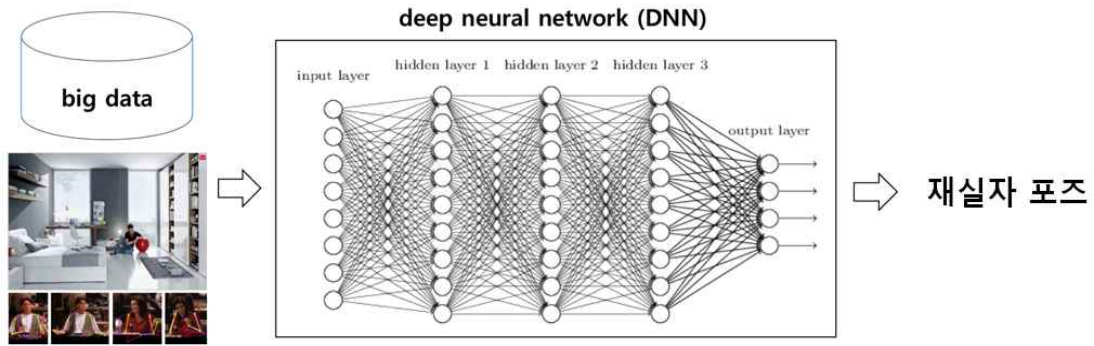
3) 인체 관절 좌표를 통한 재실자 MET 산출 모델

가) Deep Learning 기술 기반 MET 산출 모델 구축

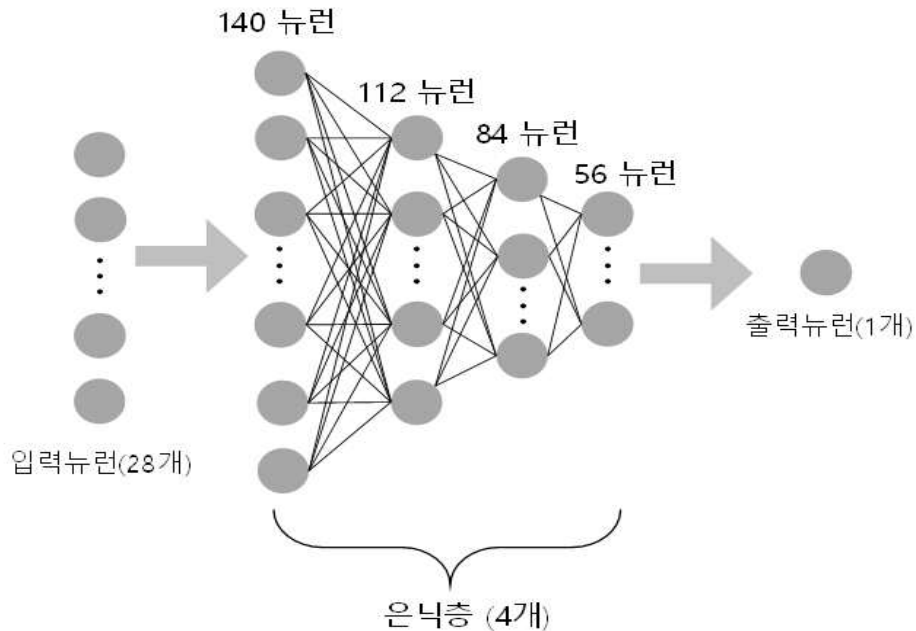
- Deep Learning 기술을 활용하여 재실자 MET를 산출하는 과정은 수집한 이미지의 관절 좌표데이터를 학습하여 재실자의 포즈를 예측하고 포즈를 기반으로 MET를 산출하는 절차로 진행 (그림 2.18)
- 예측에 사용되는 Deep Learning 모델은 학습할 데이터를 입력 받는 입력층과 각 노드 및 가중치를 통해 스스로 학습하는 여러 개의 은닉층, 그리고 결과 값을 내보내는 출력층으로 구성되어 좌표 값을 학습함 (그림 2.19)
- Deep Learning 모델은 관절 좌표 값 28개를 입력받고 1개의 포즈를 출력하기 때문에 입력뉴런 28개, 출력뉴런 1개로 구성됨
- 모델의 성능 향상을 위해 다양한 형태의 은닉뉴런 구조를 학습한 결과 4개의 은닉층에 각각 140-112-84-56개의 뉴런을 가지는 모델이 최적 구조로 설정됨 (그림 2.20)



(그림 2.18) 재실자 MET 산출 알고리즘 구성도



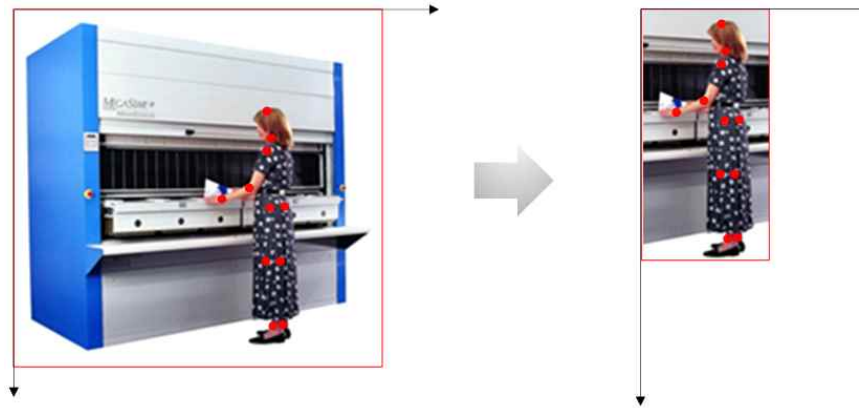
(그림 2.19) 재실자 행동분석을 위한 딥러닝 학습 방법



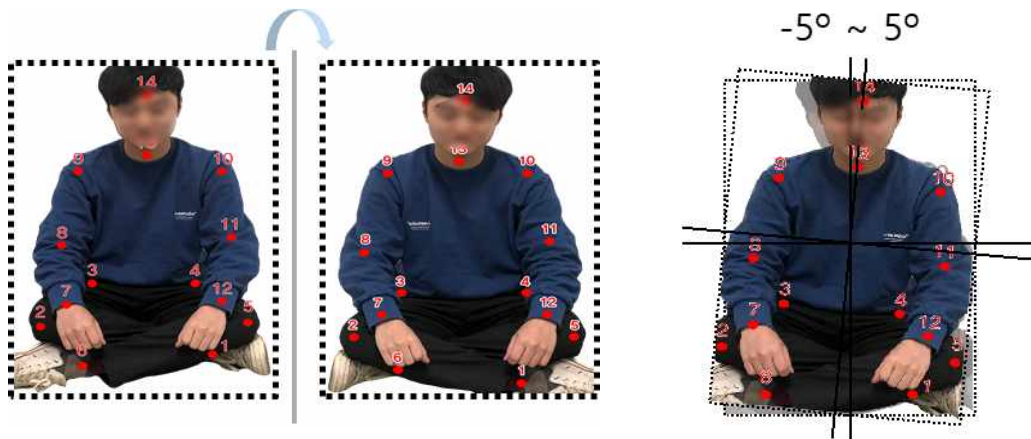
(그림 2.20) Deep Learning 최적 은닉층 구조

나) 재실자 MET 예측 모델의 입력 데이터 전처리 및 적용

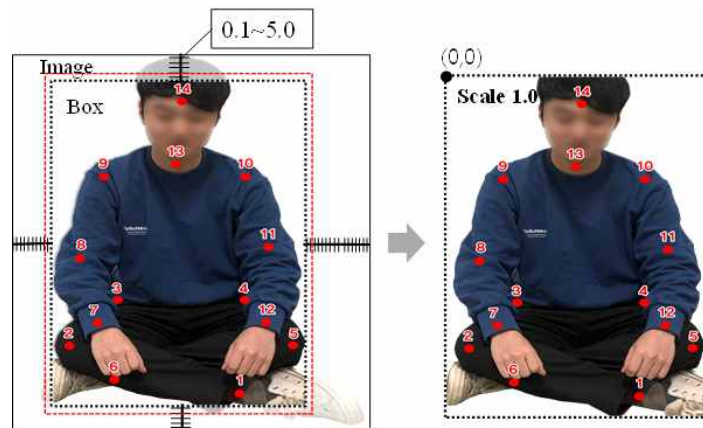
- 데이터의 입력 값은 행렬좌표계를 기준으로 하며, 이미지의 크기를 일정하게 조정함
- 이미지에서 사람의 위치에 따라 절대 좌표 값의 편차가 심하기 때문에, 주변 배경을 제거하고 사람을 감지해 이미지를 자르는 작업을 위해 Mask-RCNN 함수를 사용
- 사람을 감지하여 재실자만 포함하는 이미지로 조정하여 절대 좌표의 위치를 평준화 함 (그림 2.21)
- 그 외에도 다양한 데이터의 학습을 통해 MET 예측 정확도 향상이 가능하므로 구축된 좌표 데이터를 ‘좌우반전’, ‘회전’, ‘스케일 조정’ 등의 데이터 전처리를 통해 198배 이상 증가시켜 학습함
- 이미지의 ‘좌우반전’ 기법은 이미지를 좌우가 대칭되도록 변경하는 방법이며, ‘회전’은 이미지의 중심을 기준으로 -5~5도 사이로 이미지를 약간 회전하는 방법으로 이상치(outlier)를 생산하지 않는 선에서 같은 활동이더라도 다양한 관절 좌표값을 취득할 수 있음 (그림 2.22)
- ‘스케일 조정’ 기법은 재실자만 포함하는 이미지와 원본 이미지를 비교하여 주위 여백을 0.1 간격으로 0.0에서 5.0까지 균등하게 나누고 입력받는 Scale 값을 통해 여백의 크기를 결정함. 이 방법을 통해 같은 포즈에 대하여 여백에 따라 좌표값이 변경되는 방식으로 데이터를 증가시킴 (그림 2.23)



(그림 2.21) 이미지 조정을 통한 관절 좌표 위치 평준화



(그림 2.22) 이미지 좌우반전 및 회전 방법



(그림 2.23) 이미지 스케일 조정 방법

다) 모델 학습 결과 및 예측 정확도 분석

- 모델의 학습에 필요한 조절 파라미터, 오차함수 및 최적화 알고리즘을 설정하고 수집된 데이터의 80%를 학습에 사용(Train data)하고 나머지 20%를 학습된 모델의 평가에 사용함(Test data)
- 학습을 위해 K-fold Cross Validation 검증 방법을 사용하여 학습 데이터의 20%를 검증 데이터(Valid data)로 사용함으로써 데이터를 골고루 학습하게 하여 학습 결과의 신뢰도를 향상시킴 (그림 2.24)
- MET 산출 모델의 레이어 구성과 파라미터 설정 등을 Python을 사용하여 구현하였으며 Google Brain Team이 개발한 수치계산 오픈소스 소프트웨어인 텐서플로(TensorFlow)를 사용함 (그림 2.25~2.26)

- DNN 모델 학습 결과 학습 데이터(Train data)의 예측 정확도는 100%로 수집된 이미지 중 학습용 이미지에 대하여 재실자의 MET 학습이 완료되었으나 학습 데이터에 포함되지 않은 검증용 데이터(Valid data)에 대한 평가 정확도는 Train data 보다 낮게 나타남 (그림 2.27)
- 개발된 MET 예측 모델의 학습 결과 평가용 데이터(Test data)의 MET 값 산출 정확도는 최대 83.64%를 나타냄
- 설정된 10개의 활동에 대해 각 활동별 MET 값에 대한 분류 성능을 이진 분류기의 성능 평가 지표인 ROC 커브를 활용한 결과 MET 1.2('standing.relaxed', 'filing.seated')와 1.7('walking about')은 ROC 커브의 아래 면적인 AUC (Area Under the Curve)가 0.8이고 나머지는 0.9를 나타냄. 이때, AUC 0.8 이상은 분류 성능이 양호, 0.9 이상은 탁월하다고 판단됨 (표 2.10)

Train data set (80 %)					Test data set (20 %)
Fold 1 (Valid)	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Fold 1	Fold 2 (Valid)	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Fold 1	Fold 2	Fold 3 (Valid)	Fold 4	Fold 5	
Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4 (Valid)	Fold 5	
Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5 (Valid)	

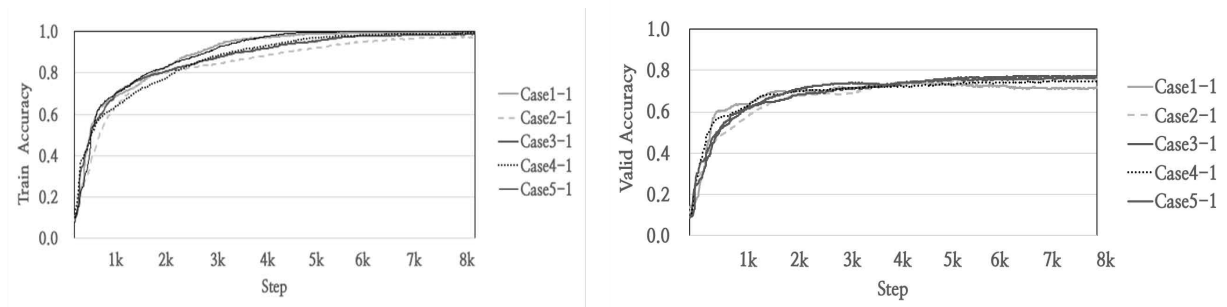
(그림 2.24) K-fold Cross Validation의 학습을 데이터 분류

레이어의 구성 설정
<pre>def fc(data, num_in, num_out, name=None, relu=True, bn=True, is_train=None): with tf.variable_scope(name) as scope: weights = tf.get_variable('weights', shape=[num_in, num_out], trainable=True) biases = tf.get_variable('biases', [num_out], trainable=True) output = tf.nn.xw_plus_b(data, weights, biases, name=scope.name) if bn : output = batch_norm(output, is_train) if relu : output = tf.nn.relu(output) return output</pre>
은닉층 및 은닉뉴런 설정
<pre>self.fc1 = fc(self.X, 28, HN1, name='fc1', relu=True, bn=True, is_train=self.is_train) self.fc1 = tf.nn.dropout(self.fc1, self.keep_prob) self.fc2 = fc(self.fc1, HN1, HN2, name='fc2', relu=True, bn=True, is_train=self.is_train) self.fc2 = tf.nn.dropout(self.fc2, self.keep_prob) self.fc3 = fc(self.fc2, HN2, HN3, name='fc3', relu=True, bn=True, is_train=self.is_train) self.fc3 = tf.nn.dropout(self.fc3, self.keep_prob) self.fc4 = fc(self.fc3, HN3, HN4, name='fc4', relu=True, bn=True, is_train=self.is_train) self.fc4 = tf.nn.dropout(self.fc4, self.keep_prob) self.fc5 = fc(self.fc4, HN4, 10, name='fc5', relu=True, bn=True, is_train=self.is_train) self.fc5 = tf.nn.dropout(self.fc5, self.keep_prob) self.logit = fc(self.fc5, 10, self.output_shape, name='logits', relu=False, bn=False) self.hypothesis=tf.nn.softmax(self.logit)</pre>

(그림 2.25) Python을 사용한 모델 구조 구현

입출력 변수 및 파라미터 설정
<pre>def batch_norm(data, is_train, is_trainable=True, name=None): return tf.layers.batch_normalization(data, training=is_train, trainable=is_trainable, name=name) with tf.variable_scope('input', reuse=True): self.X = tf.placeholder(tf.float32, self.input_shape) self.Y = tf.placeholder(tf.int32, [None, 1]) self.keep_prob = tf.placeholder(tf.float32)</pre>
오차함수 및 최적화 알고리즘 설정
<pre>cost=tf.reduce_mean(tf.nn.softmax_cross_entropy_with_logits(logits = net.logit, labels= net.Y_one_hot)) optimizer = tf.train.AdamOptimizer(learning_rate=1e-4)</pre>

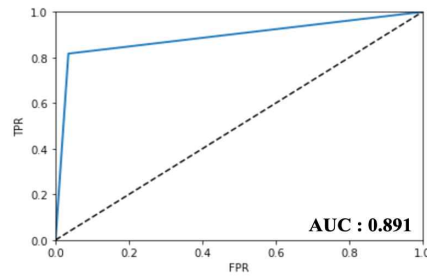
(그림 2.26) Python을 사용한 모델 파라미터 구현



(그림 2.27) MET 예측 모델의 Train data와 Valid data의 Accuracy 변화율

표 2.10 MET 예측 모델의 각 MET 값 별 ROC 커브 평가

MET 값 별 ROC 커브 및 AUC	
AUC : 0.919 MET = 0.7 ROC curve	AUC : 0.904 MET = 0.8 ROC curve
AUC : 0.909 MET = 1.0 ROC curve	AUC : 0.948 MET = 1.1 ROC curve
AUC : 0.849 MET = 1.2 ROC curve	AUC : 0.900 MET = 1.4 ROC curve



MET = 1.7 ROC curve

(4) 실험실 적용 MET 예측 성능 평가

1) 통합 모델의 PMV 산출 성능 평가

- 복합 MET 산출 센서모듈에서 취득된 이미지를 사용하여 Joint 인식 모델과 MET 예측 모델을 결합한 통합 모델의 개발 및 Mock-up 실험실에서 PMV 산출 성능평가를 수행함
- 실제 PMV 산출 시 필요한 6가지 요소인 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET, CLO는 모두 변수로 구분되나 측정이 불가능했던 MET, CLO는 주로 상수 값으로 사용함.
- 하지만 본 연구의 MET 산출 모델 개발을 통해 기존 상수로 적용하던 MET를 변수로 산정 가능하게 함. CLO는 상수 1.0으로 적용 하였으며 MET산출과 유사한 방식으로 변수로 산정 가능하도록 추가 연구가 필요함
- 학습된 Deep Neural Network 기반으로 실내에서 발생할 수 있는 행동을 주거시설(Home)과 업무시설(Office)로 분류하여 PMV 산출 성능평가를 진행함. 이때 실내 환경은 쾌적 범위 내에서 가정하여 설정함 (온도 : 22℃, 습도 : 50%, 평균복사온도 : 22℃, 기류속도 : 0m/s)
- PMV 성능 평가를 위해 실내 활동 이미지는 5초에 한 번씩 1시간 동안 총 720장을 수집함. PMV 산출 시 MET는 두 가지의 방법으로 적용됨: 1) 고정 MET, 2) 개발된 모델에서 산출된 MET(표 2.11~2.12)
- 이때, 두 가지 방법에 대하여 ASHRAE의 MET를 적용한 정답 PMV와 비교를 통해 성능 평가를 진행함
- 주거시설의 경우 ‘sleeping’, ‘reclining’, ‘seated.quiet’, ‘standing.relaxed’로 4가지의 실내 활동을 포함하고 업무시설은 ‘seated.quiet’, ‘standing.relaxed’, ‘typing’으로 3가지의 실내 활동을 포함함

표 2.11 PMV 성능 평가 시 주거시설(Home)의 MET 값 적용 방법

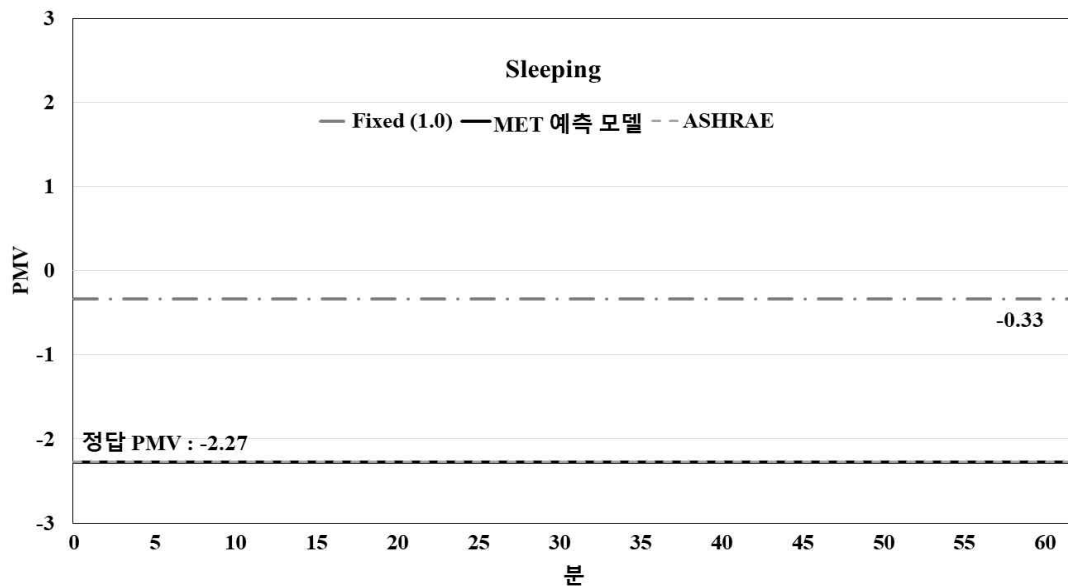
Home	방법	1) 고정 MET 값	2) MET 예측 모델	ASHRAE 정답
sleeping	↔	seated.quiet (1.0)	sleeping (0.7)	sleeping (0.7)
reclining			•	reclining (0.8)
seated.quiet			•	seated.quiet (1.0)
standing.relaxed			•	standing.relaxed (1.2)

표 2.12 PMV 성능 평가 시 업무시설(Office)의 MET 값 적용 방법

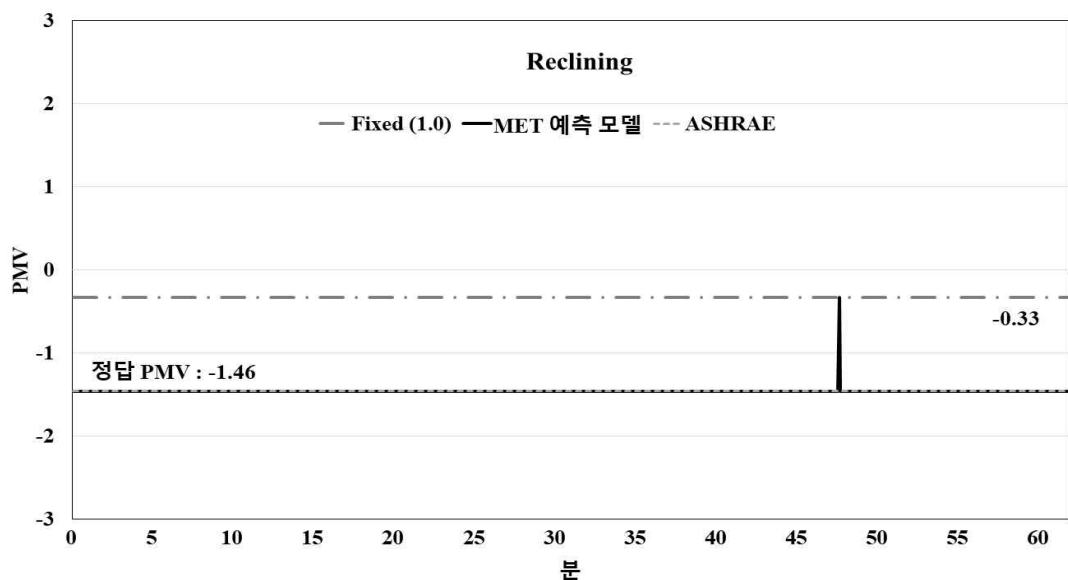
Office	방법	1) 고정 MET 값	2) MET 예측 모델	ASHRAE 정답
seated.quiet	↔	typing (1.1)	seated.quiet (1.0)	seated.quiet (1.0)
standing.relaxed			•	standing.relaxed (1.2)
typing			•	typing (1.1)

가) 주거시설(Home) 평가 결과

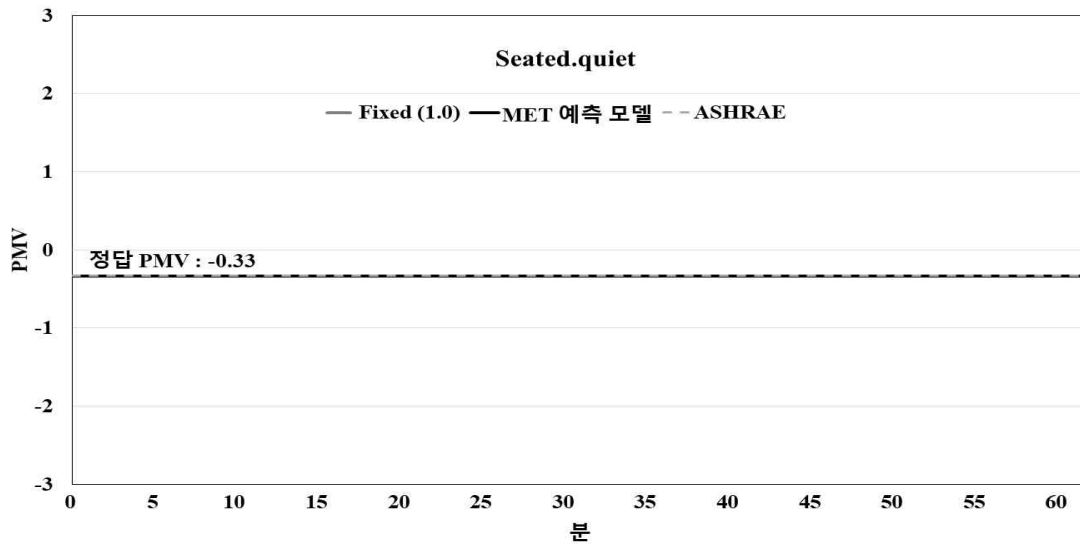
- 일반 주거시설(Home)의 경우 MET 예측 모델을 사용하여 PMV를 산출하였을 때 고정된 MET를 사용한 경우보다 정답 PMV(ASHRAE)와 일치하는 횟수가 많음 (그림 2.28~2.31)
- 2가지 방법에 대해 1시간 동안의 평균 PMV를 계산한 결과, 고정 MET 값과 같은 seated.quiet를 제외하고 MET 예측 모델을 사용할 경우가 정답 PMV(ASHRAE)와 더 유사하게 나타남 (그림 2.32)
- 또한, 정답 PMV(ASHRAE)와 나머지 두 가지 방법의 PMV 차이인 오차의 평균 비교 결과, MET 예측 모델을 적용할 경우 seated.quiet를 제외한 모든 활동은 정답 PMV와의 오차가 현저히 낮음 (그림 2.33)
- 즉, 각 활동의 PMV 예측 정확도는 기존에 사용하던 고정된 MET 값을 적용한 경우에 비해 sleeping, reclining, standing.relaxed 활동의 PMV 예측 정확도는 각각 100%, 99.8%, 95.9% 향상됨 (표 2.13)



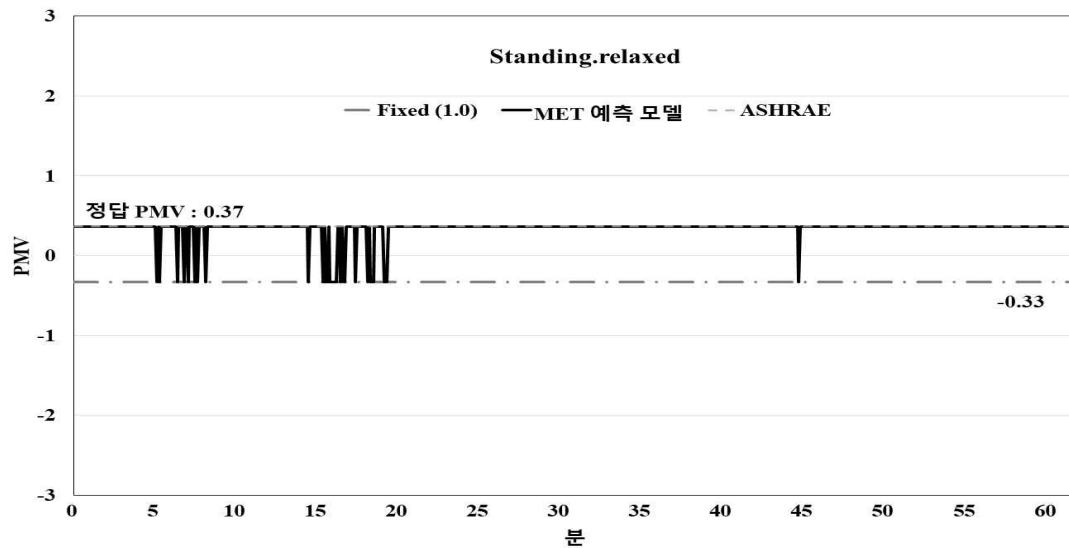
(그림 2.28) 주거시설 중 'sleeping' 이미지의 PMV 산출 결과



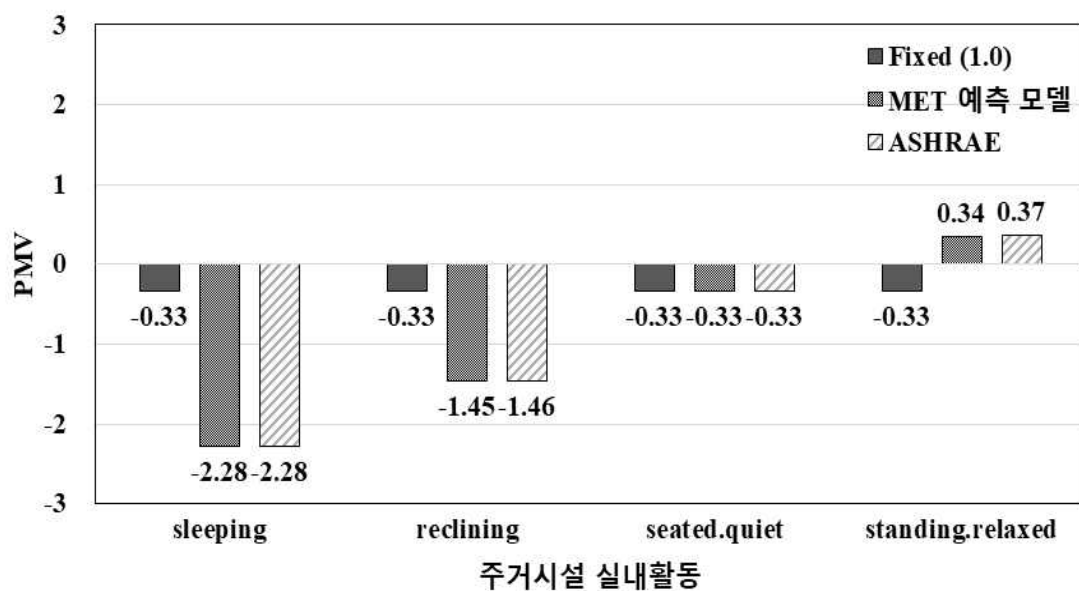
(그림 2.29) 주거시설 중 'reclining' 이미지의 PMV 산출 결과



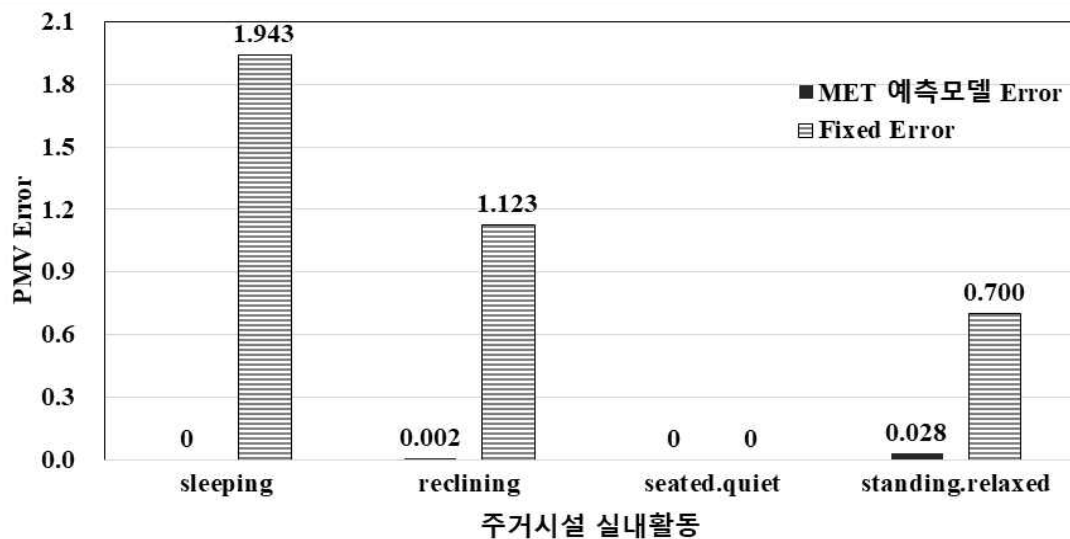
(그림 2.30) 주거시설 중 ‘seated.quiet’ 이미지의 PMV 산출 결과



(그림 2.31) 주거시설 중 ‘standing.relaxed’ 이미지의 PMV 산출 결과



(그림 2.32) 주거시설의 각 활동에 대한 1시간의 평균 PMV 비교



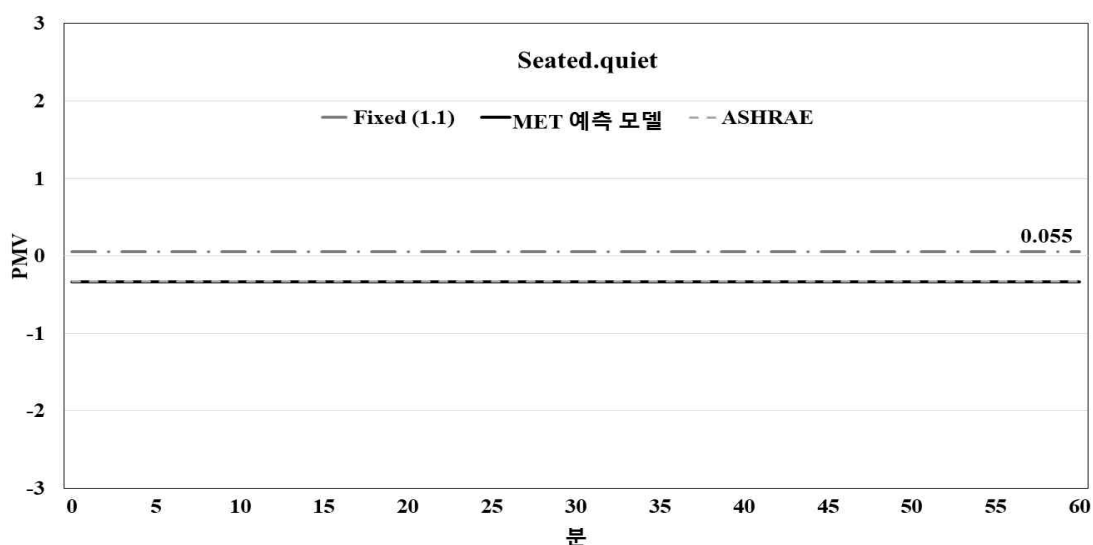
(그림 2.33) 주거시설 활동에 대한 두 가지 방법의 PMV 산출 오차 비교

표 2.13 PMV 산출 성능 평가

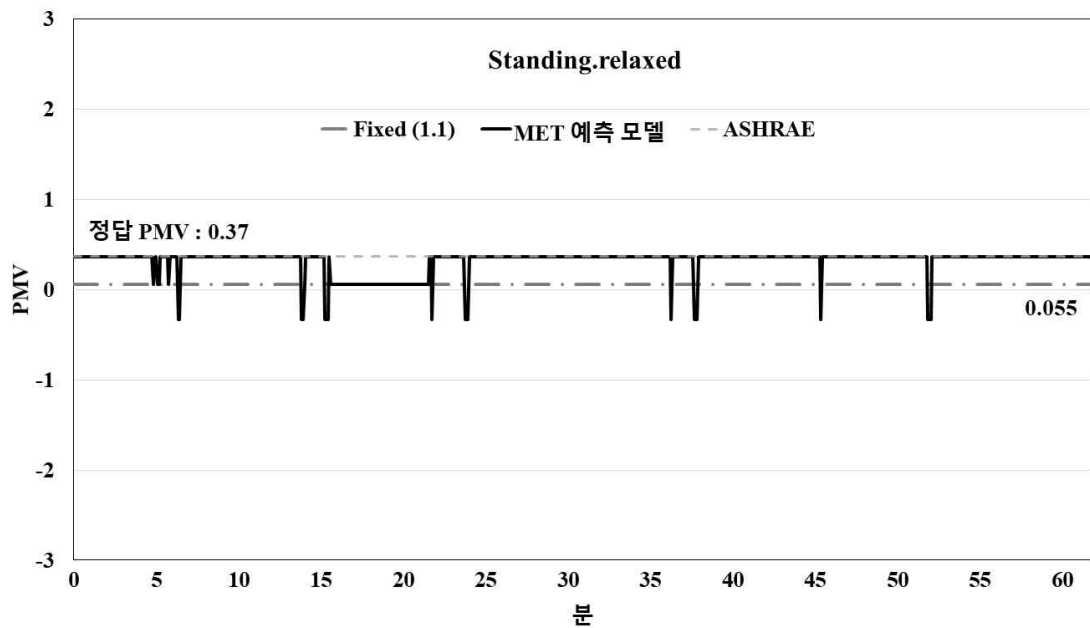
Home	오차	고정 MET 값 사용 오차	MET 예측 모델 사용 오차	성능 향상 (%)
sleeping		1.943	0.000	100.00
reclining		1.123	0.002	99.87
seated.quiet		0.000	0.000	0.00
standing.relaxed		0.700	0.028	95.96

나) 업무시설(Office) 평가 결과

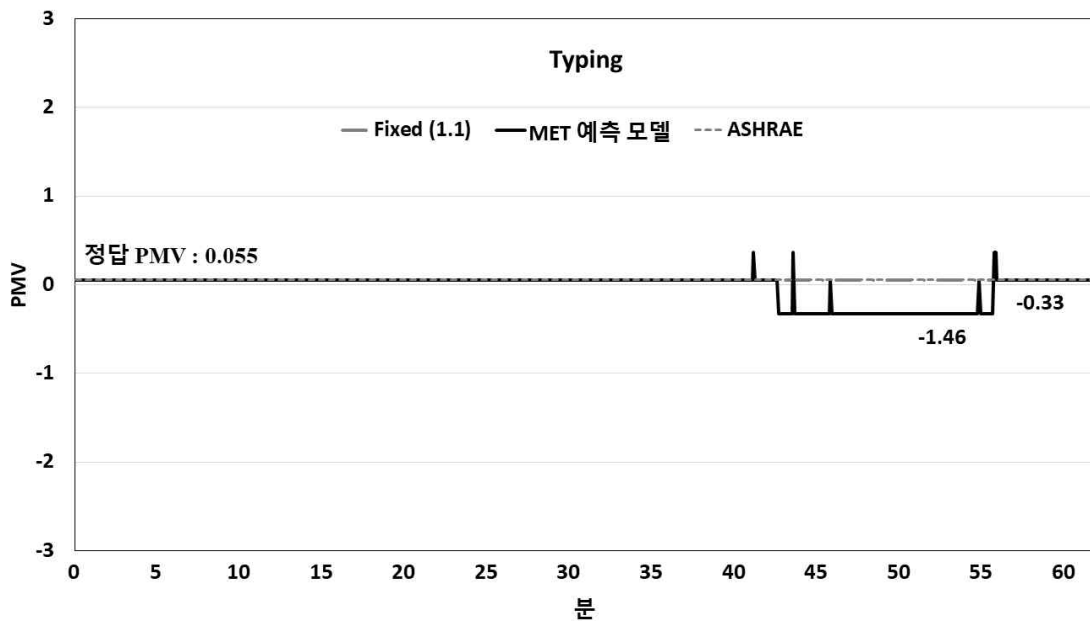
- 업무시설(Office)의 경우 ‘typing’을 제외하고 MET 예측 모델을 사용하였을 때 고정된 MET를 사용한 경우보다 정답 PMV(ASHRAE)와 일치하는 횟수가 많음 (그림 2.34~2.36)
- 2가지 방법에 대해 1시간 동안의 평균 PMV를 계산한 결과, 고정 MET 값과 같은 typing을 제외하고 MET 예측 모델을 사용할 경우가 정답 PMV(ASHRAE)와 더 유사하게 나타남 (그림 2.37)
- 또한, 정답 PMV(ASHRAE)와의 오차 평균 비교 결과, MET 예측 모델을 적용할 경우 역시 typing을 제외한 모든 활동은 정답 PMV와의 오차가 현저히 낮음 (그림 2.38)
- 각 활동의 PMV 예측 정확도는 MET 예측 모델을 적용하였을 때, typing의 경우 오차가 커졌지만 seated.quiet, standing.relaxed 활동의 PMV 예측 정확도는 고정 값을 적용한 방법에 비해 각각 100%, 83.88% 향상됨 (표 2.14)



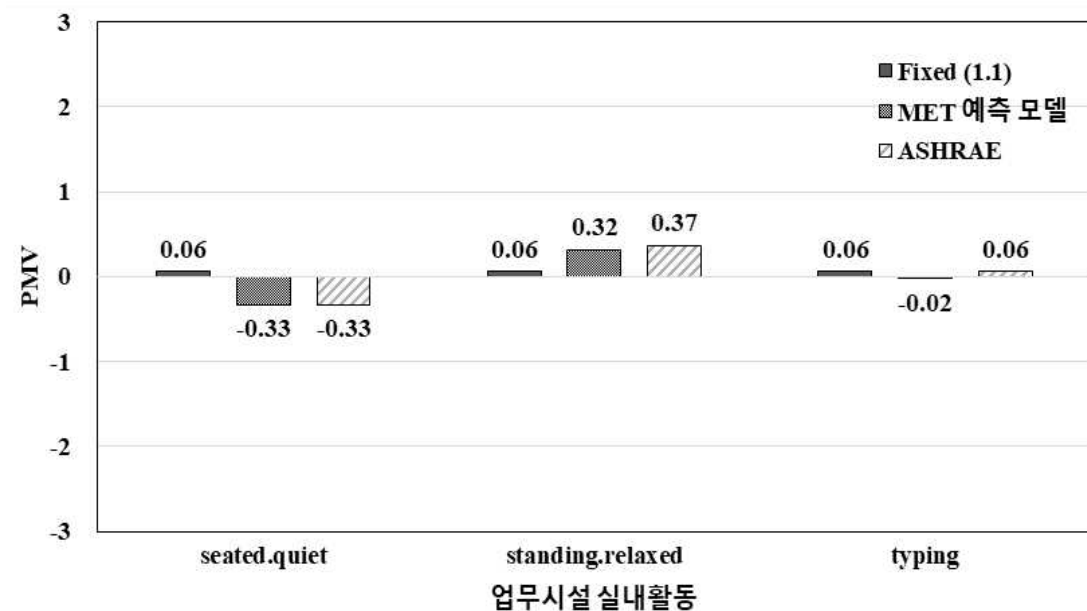
(그림 2.34) 업무시설 중 ‘seated.quiet’ 이미지의 PMV 산출 결과



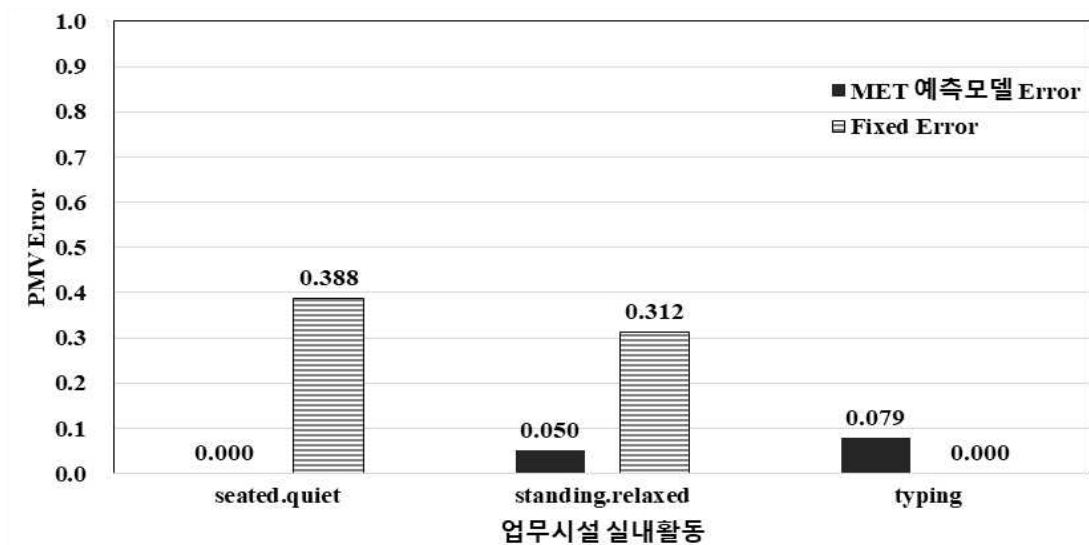
(그림 2.35) 업무시설 중 ‘seated.quiet’ 이미지의 PMV 산출 결과



(그림 2.36) 업무시설 중 ‘typing’ 이미지의 PMV 산출 결과



(그림 2.37) 업무시설의 각 활동에 대한 1시간의 평균 PMV 비교



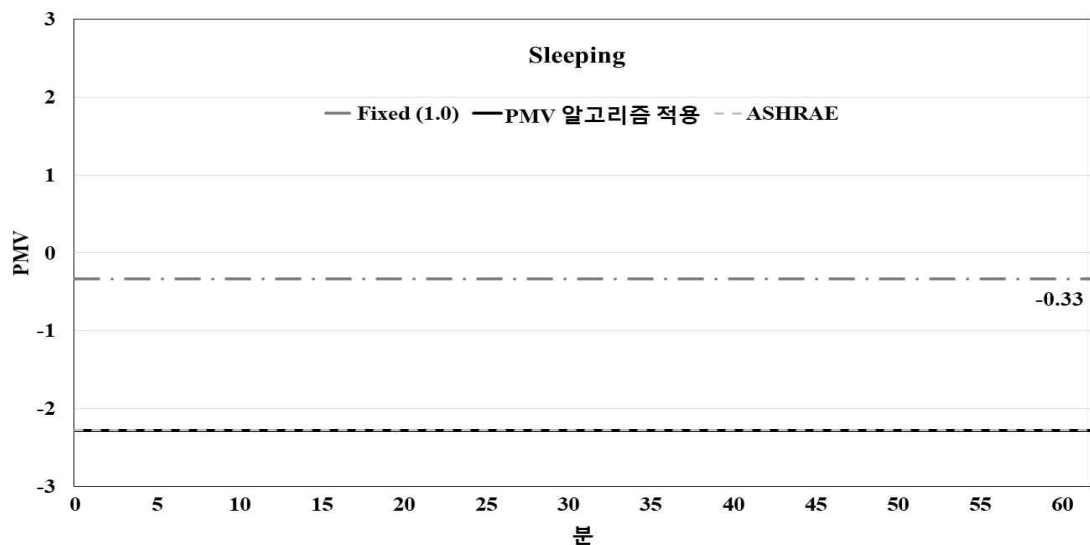
(그림 2.38) 업무시설 활동에 대한 두 가지 방법의 PMV 산출 오차 비교

표 2.14 PMV 산출 성능 평가

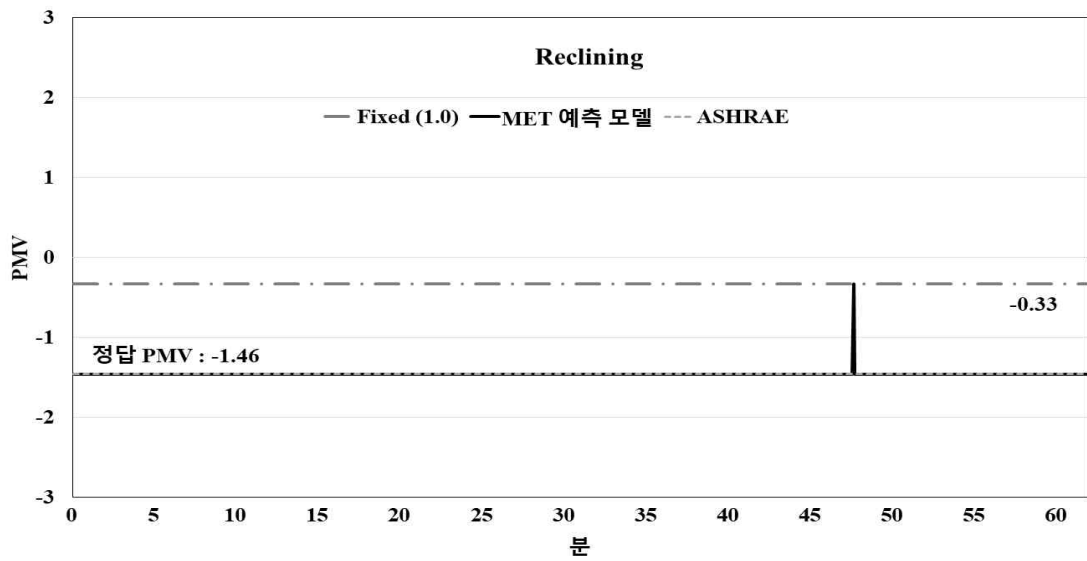
Office \ 오차	고정 MET 값 사용 오차	MET 예측 모델 사용 오차	성능 향상 (%)
seated.quiet	0.388	0.000	100.00
standing.relaxed	0.312	0.050	83.88
typing	0.000	0.079	-100.00

2) PMV 산출 알고리즘 적용

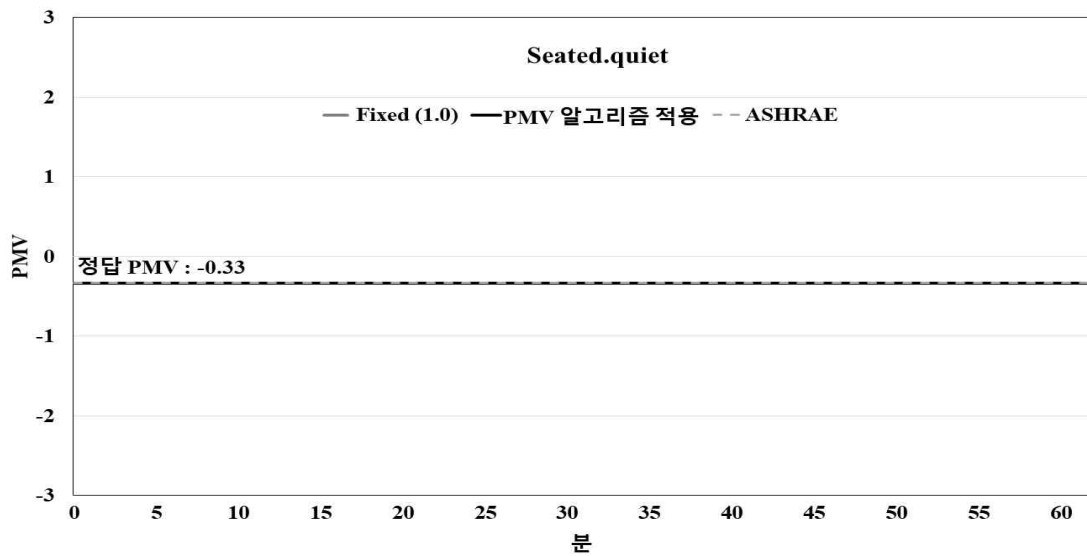
- 개발된 통합 MET 예측 모델을 10분의 제어 기간 동안 재실자 MET를 5초 단위로 산출한 뒤 MET의 최빈값을 사용하여 PMV에 적용하는 PMV 산출 알고리즘을 개발
- 1시간 동안 총 6번의 제어 기간(10분)에 해당하는 MET 값을 PMV 알고리즘을 통해 최빈값으로 산출하였으며, 주거시설 및 ‘typing’을 제외한 업무시설 모두 기존에 사용하던 고정 MET 값(Fixed)의 적용 보다 오차가 감소함 (그림 2.39~2.45)
- PMV 산출 알고리즘의 적용을 통해 고정 MET 값을 사용하던 기존의 방법과 비교하여 정답 PMV 산출 정확도가 높게 나타남
- 고정 MET를 정답 값으로 사용하는 주거시설의 ‘seated.quiet’와 업무시설의 ‘typing’을 제외하고 표 2.12, 2.13의 MET 예측 모델 단순적용 시 보다 오차가 감소하고 성능이 향상됨 (표 2.15~2.16)



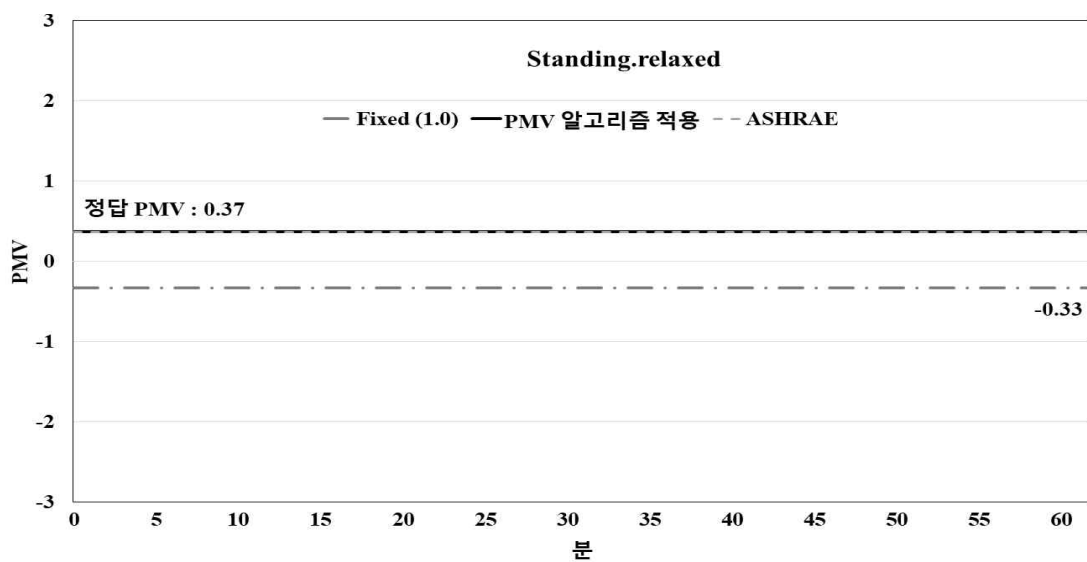
(그림 2.39) 주거시설 중 ‘sleeping’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



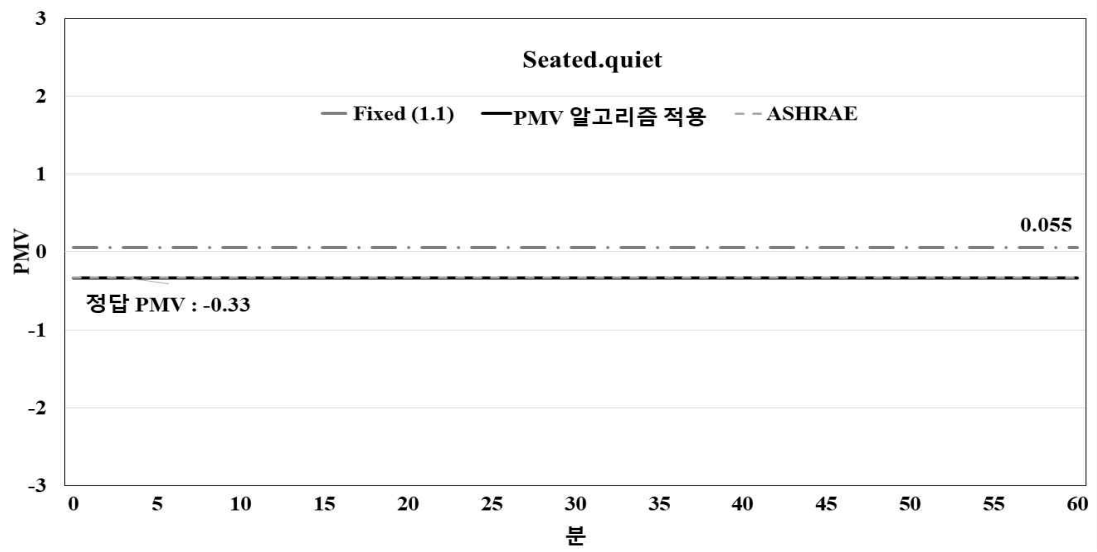
(그림 2.40) 주거시설 중 ‘reclining’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



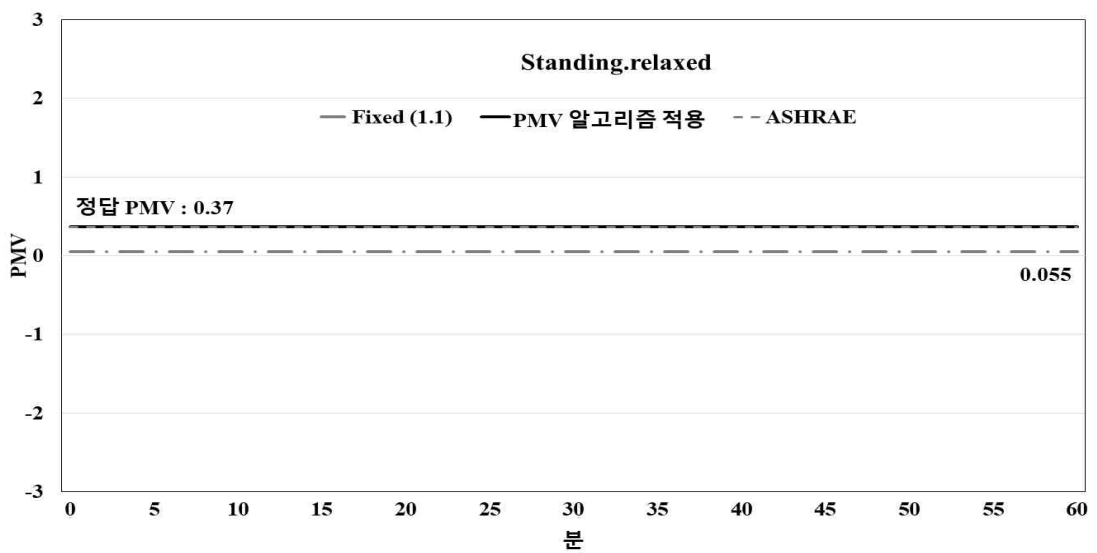
(그림 2.41) 주거시설 중 ‘seated.quiet’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



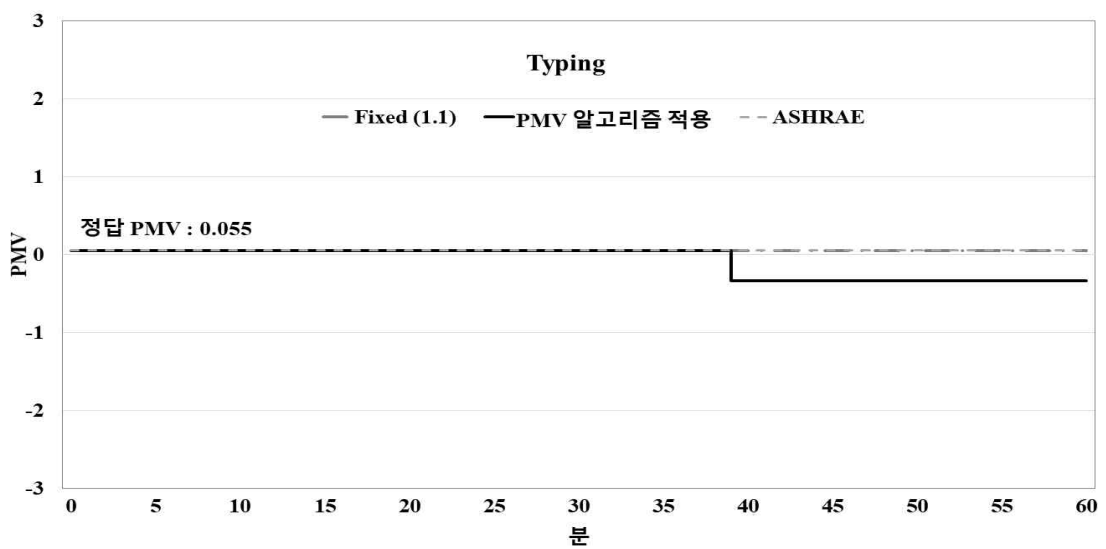
(그림 2.42) 주거시설 중 ‘standing.relaxed’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



(그림 2.43) 업무시설 중 ‘seated.quiet’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



(그림 2.44) 업무시설 중 ‘standing.relaxed’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과



(그림 2.45) 업무시설 중 ‘typing’ 이미지의 PMV 알고리즘 적용 결과

표 2.15 주거시설의 PMV 알고리즘 적용 시 산출 성능

Home \ 오차	고정 MET 값 사용 오차	MET 예측 모델 사용 오차	성능 향상 (%)
sleeping	1.943	0.000	100.00
reclining	1.123	0.000	100.00
seated.quiet	0.000	0.000	0.00
standing.relaxed	0.700	0.000	100.00

표 2.16 업무시설의 PMV 알고리즘 적용 시 산출 성능

Office \ 오차	고정 MET 값 사용 오차	MET 예측 모델 사용 오차	성능 향상 (%)
seated.quiet	0.388	0.000	100.00
standing.relaxed	0.312	0.000	100.00
typing	0.000	0.1383	-100.00

- 기존 방법인 고정 MET 값 사용과 비교하여 개발된 MET 예측 모델의 사용 시 PMV 예측 정확도 확인 결과 주거시설은 25%에서 100%, 업무시설은 33.3%에서 88.1%로 예측 정확도가 향상됨 (표 2.17)

표 2.17 MET 예측 모델 적용 전·후의 PMV 예측 정확도

(단위 : %)

	고정 MET값 사용 시	MET 예측 모델 사용 시	향상도
주거시설(Home)	25.0	100.0	75.0
업무시설(Office)	33.3	88.1	54.8

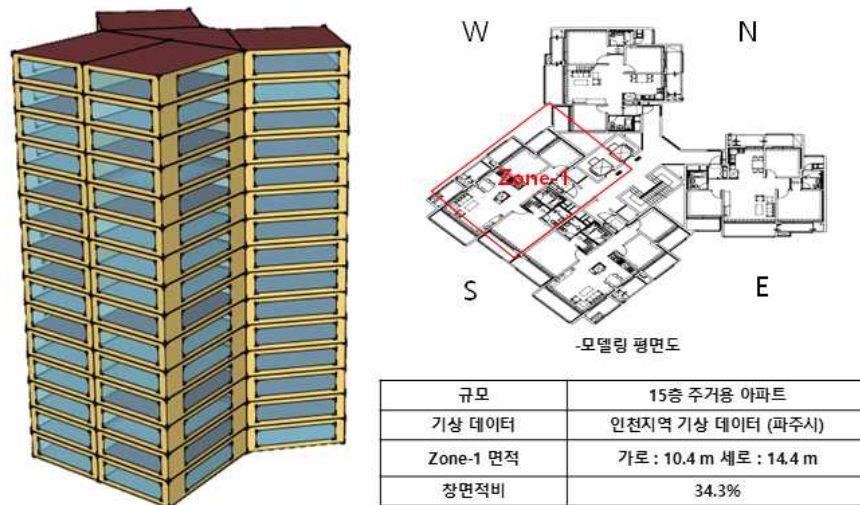
(6) MET 산출모델 적용 시스템의 에너지 및 쾌적 성능평가

1) 에너지성능 및 쾌적 성능평가

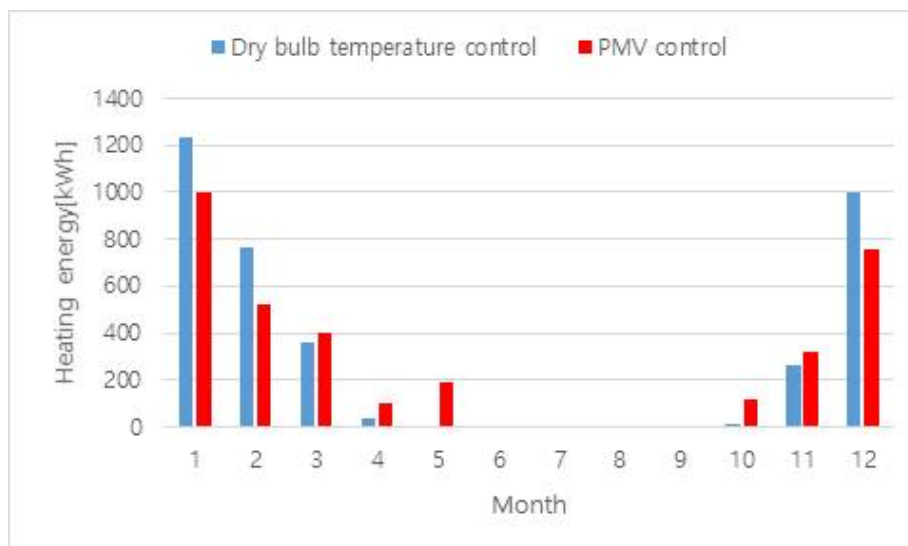
- EnergyPlus를 이용한 15층 규모의 일반 아파트 해석모델 구축 (그림 2.46)
- 여름철과 겨울철 주중과 주말 대표일 선정
- Activity Schedule은 ISO 18523-2 Residential Buildings Annex A를 기반으로 하였으며, 각 시간대별 MET값 산정은 EnergyPlus InputOutput Reference를 기반으로 하였음. ISO 18523-2 Residential Buildings Annex A에서 제시한 4인가족의 Schedule 중 주거 건물에 머무는 시간이 가장 많은 44살의 가정주부 여성을 적용하였음.
- 본 연구에서는 바닥 복사 난방시스템을 적용하여 난방하였으며, 실내 벽걸이형 에어컨을 통하여 냉방 시스템을 적용하였음.
- 국내 주거건물에서 흔히 사용되는 바닥복사 난방 시스템과 벽걸이형 에어컨을 적용한 냉난방 시스템 모델을 구축. 건구온도 제어의 경우 여름철 25℃와 겨울철 21℃, PMV 제어의 경우 제어 범위±0.5로 설정
- PMV제어의 경우 System의 상태가 ON일 때 모든 시간에서 쾌적성을 만족함. 건구온도 제어의 경우 재실자의 활동량이 높은 경우 PMV가 최대 1.5까지 증가하는 등 재실자의 쾌적성을 고려하지 못하는 시간이 많음
- 재실자의 쾌적성을 고려하지 못하고 불필요한 냉난방 에너지를 소비하는 기존 건구온도제어 방식 대비, 재실자의 쾌적성을 적절히 고려하는 PMV제어 시 연간 약 15.7%의 냉난방 에너지 감소를 나타냄
- 연간 냉난방 에너지 분석을 실시한 결과, 가스 에너지의 경우 1,2,12월에는 건구온도

제어방식의 경우에 더 많은 에너지 사용량을 나타냈으나 3,4,5,10,11월의 경우에는 PMV제어 방식의 경우에 더 많은 에너지가 발생하는 것으로 나타났음(그림 2.47). 전기 에너지의 경우 5,6,7,8,9,10월에 발생하였으며, 건구온도 제어 방식에서 더 많은 에너지 사용량을 나타냈음(그림 2.48). 즉, 두가지(냉방과 난방) 에너지 모두 건구온도 제어방식 대비 PMV제어 방식에서 에너지 사용량의 감소가 나타났음.

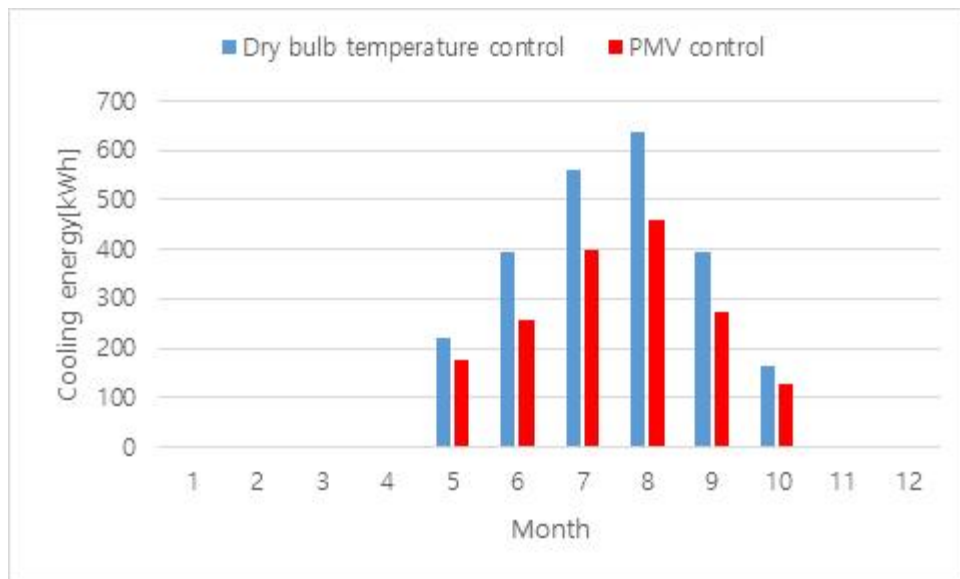
- 국내의 모든 아파트 건물에 해당 PMV 제어방식이 적용되었을 경우를 가정하여 국가 차원의 1차 에너지 절감효과를 계산한 결과, 약 10,342GWh의 1차 에너지를 절감할 수 있음을 확인하였음. 이는 기존에 국가 전체 아파트에서 소비되는 1차에너지 166,670GWh와 비교하였을 경우 약 6.2% 감소한 수치임(그림 2.49).
- 국가 차원의 tCO₂ 절감 효과 분석을 실시한 결과, 연간 난방용 가스 부문에서 270,566 tCO₂, 연간 냉방용 전기 부문에서 1,447,757 tCO₂를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났음. 이는 아파트에서 발생하는 국가 차원의 tCO₂를 연간 6.6% 감소시킬 수 있는 수치임(그림 2.50). 그러나 tCO₂는 각 에너지원에 적용된 순 발열량과 탄소배출계수의 기준에 따라 다소 차이가 나타날 수 있음. 또한 해당 건축물의 지역, 기후, 디자인 및 채실자의 스케줄에 따라 다소 차이가 있을 것으로 예상됨.



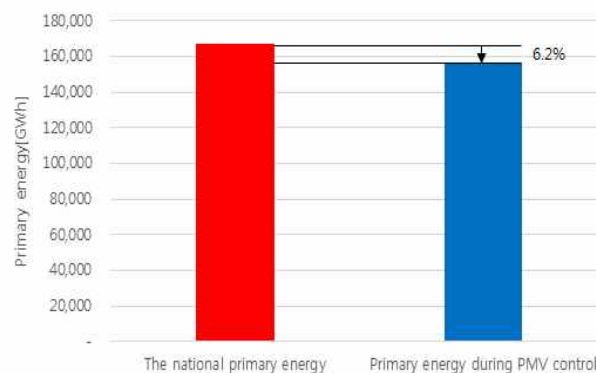
(그림 2.46) EnergyPlus 대상 건물 모델링



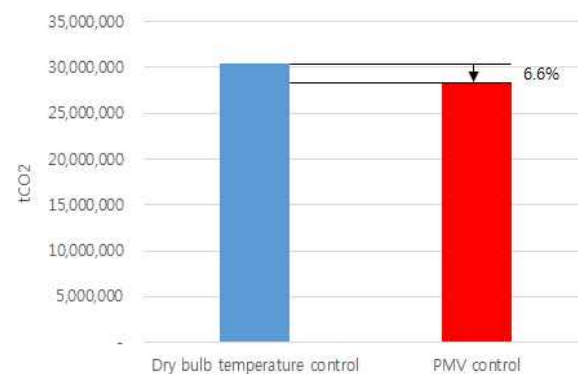
(그림 2.47) 연간 가스에너지 (난방)



(그림 2.48) 연간 전기에너지 (냉방)



(그림 2.49) 국가차원의 1차에너지 감소효과

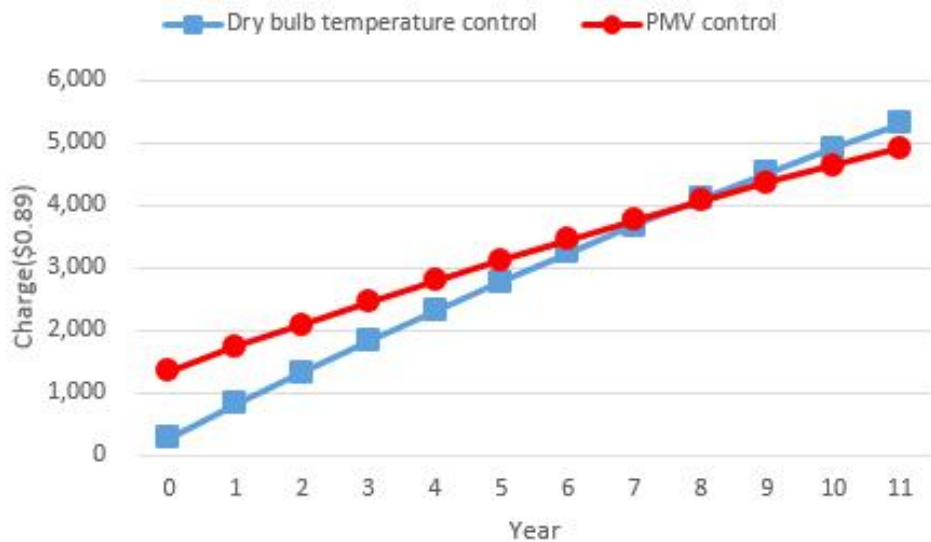


(그림 2.50) 국가차원의 tCO2 배출량 감소효과

2) 경제성 평가를 통한 산출 모델 성능의 타당성 분석 및 잠재적 온실가스 감축량 평가

- 경제성 평가를 위하여 한국은행 기준금리 10년간의 평균 할인율 3.24%를 적용한 현재가치 분석법에 근거하여 LCC 분석을 진행함
- 보다 정확한 PMV 제어를 위해 각 세대를, 배란다와 화장실을 제외한 3개의 방과 부엌 및 거실로 나누어 5개 Zone으로 분류하였음. 각각 온습도 센서(2,000원), 기류 센서(70,000원), MRT 센서(45,000원), 카메라(6,000원), 보드(90,000원), 온도조절기(55,000원)를 설치하여 실시간 재실자의 metabolic rate (MET) 실측하는 것으로 가정하였음. 5가지의 기기를 합한 금액은 약 268,000원이고, 5개존에 설치되었을 경우 총 1,340,000원의 초기설치비가 경제성 분석시에 고려되었음.

- 전기 에너지 사용량에 따른 요금의 경우 한국 전력공사에서 제공하는 주택용 전력(고압) 요금표를 사용함. 전기 요금의 필수 사용량 보장공제와 슈퍼유저 요금을 적용함. 가스 사용량에 따른 요금은 한국 가스공사에서 제공하는 요금을 사용함
- 건구온도 제어 방식과 PMV 제어 방식의 LCC 비교 결과, 필요한 비 반복 현재 가치 합과 연간 등가발생비용을 고려하면 약 8년이 지난 시점부터 PMV제어 방식이 경제적으로 유리함을 나타냄 (그림 2.47)
- 시뮬레이션 모델의 해석대상 건물 면적에서 나타난 온실가스 감소량을, 공동주택관리정보 시스템에서 공시한 아파트 면적인 7억1천5백만 m^2 을 적용하여 국가 차원의 잠재적 온실가스 감축량을 추정함



(그림 2.47) PMV 제어 방식의 경제성 평가

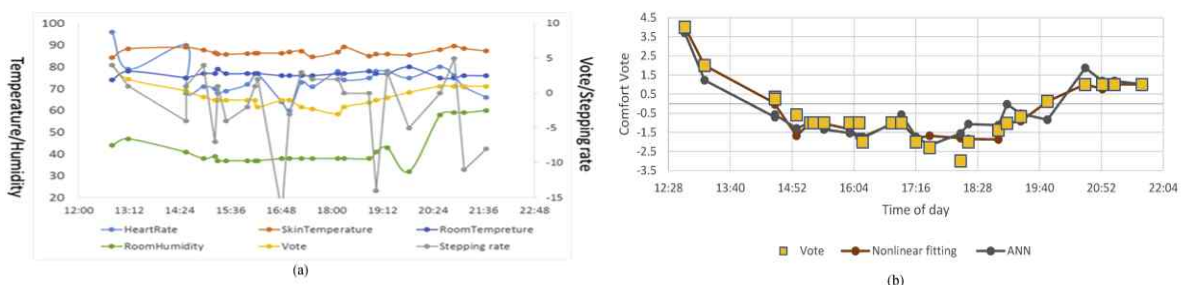
(6) 기존 기술 수준 및 개발 결과물의 기술·경제적 성과

1) 기존 기술 수준

가) 인체 활동량 (MET) 측정 기술 사례

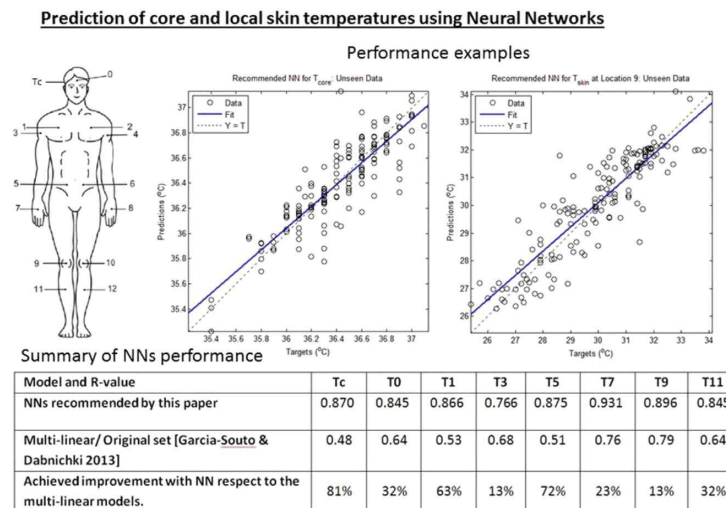
- ① Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation (2016)

- PMV의 열 쾌적성 모델에 관련하여 다수의 사람들의 환경과 매개변수를 연구
- PMV의 정확한 예측을 위해 웨어러블 기기 중 스마트 밴드를 활용하였으며 재실자의 심박동수 및 가속도계를 사용하여 활동 수준을 파악하고 재실자의 평균 MET 값을 지속적으로 저장, 분석
- 한계로는 다수의 사람들의 평균 MET를 사용한다는 점과 인체에 웨어러블 기기를 부착해야 하는 점이 있음



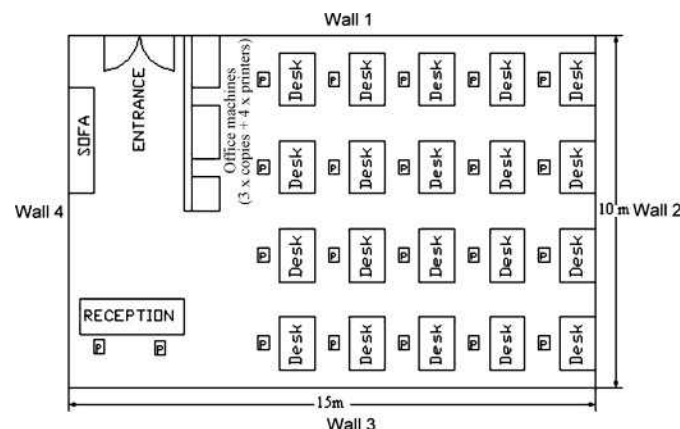
② An investigation of the suitability of Artificial Neural Networks for the prediction of core and local skin temperatures when trained with a large and gender-balanced database (2017)

- 인공신경망을 사용하여 인체의 내부(core) 온도 및 이마, 볼, 팔, 다리, 무릎 등의 피부 온도를 예측하는 것을 목적으로 연구 진행
- 피부온도는 데이터는 업무시설 상황에서 노출된 피부나 옷에 접촉된 부위의 직접적인 측정을 통해 수집됨
- 가장 정확한 예측 위치는 손과 무릎의 표면 온도이며 사람의 체온을 예측에 도움이 된다는 사실을 밝혔지만 피부 온도와 MET의 관계를 파악하는데 까지 미치지 못함



③ A distributed sensor network for measurement of human thermal comfort feelings (2008)

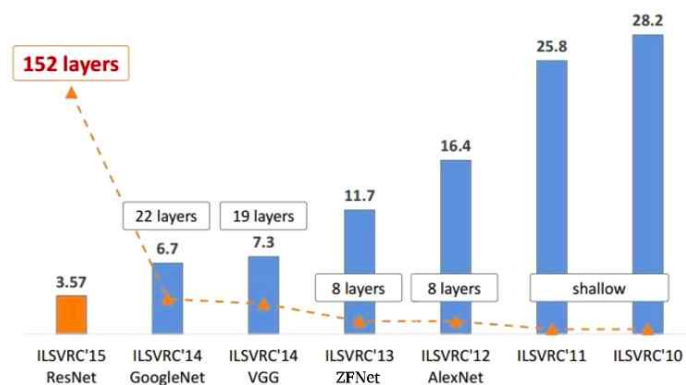
- 사무실내 재실자의 열적 쾌적함을 측정하기 위하여 분산 센서 네트워크를 사용하여 실시간 PMV를 측정하는 연구
- 오피스 건물에서 스마트 센서를 여러 위치에 설치하여 재실자 주위 온도를 측정하여 PMV를 계산하였으나 재실자의 MET에 대한 정확한 제어는 실시되지 않음



나) 예측 모델에 사용되는 인체 및 사물 인식 기술 조사

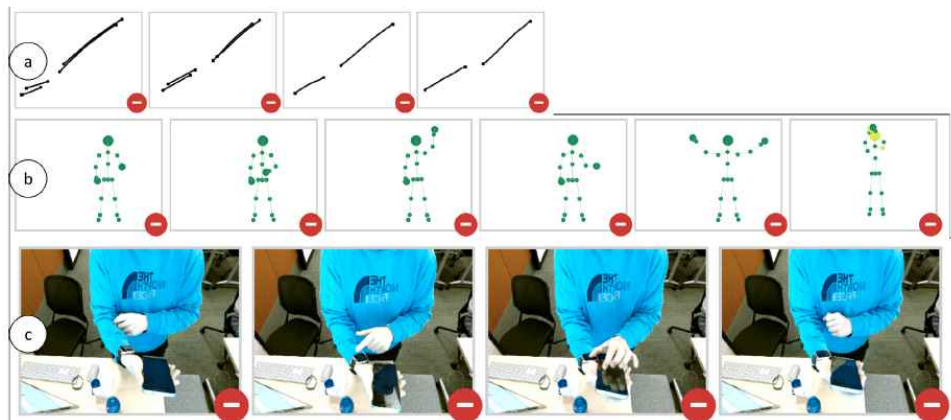
① ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC)

- 2010년부터 시작된 ILSVRC는 매년 열리는 컴퓨터 비전 학회이자 큰 범주의 사물 인식과 이미지 분류 알고리즘의 방법과 결과를 소개하는 것을 목적으로 하는 경진대회
- ImageNet 영상 데이터는 120만장의 이미지와 1,000개의 클래스로 이루어져있음
- LeNet(2010)은 Yann LeCun이 개발하였고 CNN 구조를 최초로 개발하였으며 이후 CNN 구조는 영상 이미지 인식에 있어 훌륭한 성과를 보임
- AlexNet(2012)은 영상 데이터 베이스를 기반으로 화상 이미지 분류 대회에서 CNN 모델을 사용하여 우승함
- ZFNet(2013)은 AlexNet 모델을 약간 변형하여 모델의 구조를 가시화 함
- GoogLeNet(2014)은 Convolution 층을 병렬적으로 사용하는 Inception 모듈을 활용하여 기존 CNN 구조와 비슷하면서 효과적으로 특징을 추출할 수 있는 모델을 제시함
- ResNet(2015) 구조는 더 깊은 망구조를 가지게 될 때 발생하는 문제인 gradient vanishing/exploding과 degradation 문제를 해결하고 더 좋은 결과를 보임

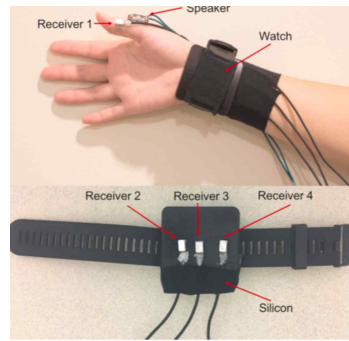
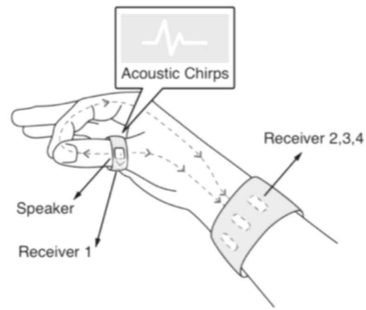


다) CHI 2018의 HCI 분야 최신 기술 동향

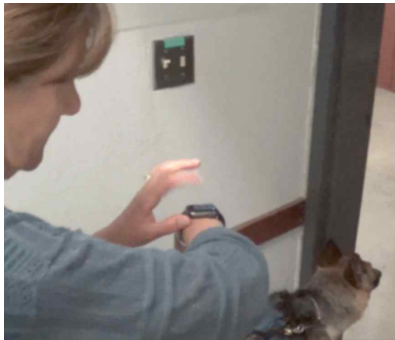
- 기존에 활용 및 사용되는 사용자의 제스처를 체계적으로 분류하고 분석하는 연구를 통해 사용자의 다양한 행동 패턴의 표현 방법 제안
- 사용자의 포즈에 따른 심리적인 변화를 측정하는 실험을 통해 우연에 의한 포즈의 변화는 큰 심리적인 변화가 없다는 것을 밝힘
- 사용자의 포즈를 보다 정확하게 측정하기 위한 crowd 기반의 기술 제시



- 소스와 센서를 활용하여 다양한 손동작을 인식하는 새로운 기술 제시



- Apple Watch의 응용소프트웨어를 활용하여 사용자의 위치를 인식하고 이를 활용하여 이동 시 되돌아오는 길을 안내하는 기술 제시
- 수집한 정보를 바탕으로 재실자의 상태를 보다 정확히 인지하는 인공지능 알고리즘을 구현하는데 활용함



라) ISO 18523-2 Energy Performance of Buildings - Schedule and Condition of Building, Zone and Space Usage for Energy Calculation, Part 2 Residential Buildings 출간

- 일반적인 가정집에서 각 가족구성원의 대표적인 활동량(MET) 스케줄을 통계 분석하여 공개하고 있음
- 해당 스케줄을 활용하여 본 연구의 에너지 성능 평가시에 유용하게 활용되었음
- 또한, 취침시간과 같이 MET 1.0에 해당하는 108 W의 활동량 이하의 조건에서는 ASHRAE 55-2017에 기반하여 PMV 산정이 불가능하기에 해당 조건하에서의 정확한 쾌적성 평가를 위해서는 PMV 이외의 쾌적지표가 필요할 것으로 판단됨

2) 기술적 성과

- 기존의 온·습도 기반 제어를 통한 PMV 제어와의 쾌적성 비교를 통한 진보된 기술력 확보
- 세계 최초로 IoT 기반의 MET 측정 센서 모듈 개발로 국제적 선도 기술 보유
- 개발된 IoT 기반의 MET 측정 기술은 의료시설의 환자 및 재실자 등 맞춤형 실내환경 제공 가능
- CO2 배출량을 기반으로 환경적 영향 평가를 통해 국가적 온실가스배출 저감
- 재실자 활동량에 따른 PMV 제어를 통해 건강, 안전, 생산성 향상 등 삶의 질 개선
- 건축 및 컴퓨터공학의 융합을 통해 양 분야 연구의 융합적 시각 갖춘 전문 인력 양성
- MET 측정 기술의 의료시설 및 요양시설 적용을 통한 환자 및 노약자 맞춤형 환경 제공

3) 경제적 성과

- 복합 MET 산출용 센서모듈 적용 시 기존 센서모듈 대비 제작비 약 40% 감소 가능
- Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 적용시의 생애주기비용 분석을 통해 해당 기술의 작용 가능성을 분석함

- 개발된 알고리즘의 에너지 성능 및 쾌적성 분석을 통해 쾌적한 실내환경 조성뿐만 아니라 건물에너지 이용의 효율화 가능
- 예측 환경제어 알고리즘 핵심기술은 향후 국내 성장 동력이 될 인공지능 산업시장(2017년 6.4조원) 활성화에 기여
- 스마트홈, BEMS, IoT, 공조시스템 등 관련 산업시장의 성장
- Machine Learning 기반 제어 및 모니터링 제공형 스마트 PMV 제어기로 시장 확대 가능

2.4 연구 개발 성과

번 호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Generalized Shift-Map Codes and Their Decoding Using an Iterative Algorithm	인천대학교 산학협력단	주저자	IEEE Communications Letters/미국	2.723	2017.09.08	단독	SCI급/0회
2	논문	Artificial Neural Network-Based Control of a Variable Refrigerant Flow System in the Cooling Season	중앙대학교 산학협력단	교신 저자	Energies	2.676	2018.06.24	단독	SCI급/0회
3	논문	Thermal Comfort, Energy and Cost Impacts of PMV Control Considering Individual Metabolic Rate Variations in Residential Building	한밭대학교 산학협력단	주저자	Energies	2.676	2018.07.05	단독	SCI급/0회
4	논문	Development of an energy cost prediction model for a VRF heating system	중앙대학교 산학협력단	주저자	Applied Thermal Engineering	3.771	2018.07.25	중복	SCI급/0회
5	논문	Development of control algorithms for optimal thermal environment of double skin envelope buildings in summer	중앙대학교 산학협력단	주저자	Building and Environment	4.539	2018.10	단독	SCI급/0회
6	논문	Development of a control algorithm aiming at cost-effective operation of VRF heating system	중앙대학교 산학협력단	주저자	Applied Thermal Engineering	3.771	2018.12	중복	SCI급/0회
7	논문	건물 냉방시스템의 예측제어를 위한 인공지능망 모델 개발	중앙대학교 산학협력단	교신 저자	KIEAE Journal		2017.10.16	단독	국내 등재지

8	논문	재실자 활동량 산출을 위한 딥러닝 기반 선행연구 동향	중앙대학교 산학협력단	주저자	KIEAE Journal		2017.10.16	단독	국내 등재지
9	논문	Variations of PMV based Thermal Comfort and Cooling/Heating Load according to MET	한밭대학교 산학협력단	주저자	KIEAE Journal		2017.12.15	단독	국내 등재지
10	논문	재실자 활동량 산출용 센서모듈 개발을 위한 기초 자료 분석	중앙대학교 산학협력단	주저자	KIEAE Journal		2017.12.18	단독	국내 등재지
11	논문	아파트 건물에서 재실자 활동량이 고려된 PMV 제어에 따른 연간 국가 차원의 1차 에너지 및 온실가스 감축량 분석	한밭대학교 산학협력단	주저자	대한 건축학회 논문집 구조계		2018.10	단독	국내 등재지
12	논문	재실자 활동량 산출을 위한 Pose 분류 모델 개발	중앙대학교 산학협력단	주저자	KIEAE Journal		2018.10	단독	국내 등재지
13	특허	재실자의 인체발생열량 산출 방법 및 장치	중앙대학교 산학협력단	발명자	대한민국		출원일 2017.12.04		
14	특허	재실자의 인체발생열량을 고려한 실내환경 제어 시스템 및 이의 제어방법	중앙대학교 산학협력단	발명자	대한민국		출원일 2017.12.04		
15	특허	딥러닝 기반의 재실자 포즈 분류를 이용한 재실자 활동량 산출 방법 및 시스템	중앙대학교 산학협력단	발명자	대한민국		출원일 2018.12.31		
16	S/W	Deep Pose	인천대학교 산학협력단	발명자	대한민국		등록일 2018.08.22		
17	S/W	Deep Image Browser	인천대학교 산학협력단	발명자	대한민국		등록일 2018.08.22		

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1. 연구 성과 목표

가. 성과 목표

성과지표	성과 목표	최소 성과 목표
SCI(E)급 학술지 게재(2점)	4건	4건
일반학술지 게재(1점)	5건	5건
특허출원(1점)	2건	2건
특허등록(2점)		
디자인 등록(1점)	1건	
소프트웨어(1점)	1건	
하드웨어(1점)	1건	
기타(1점)		
소계(점수)	18점	15점

3.2. 목표 달성여부

가. 연구개발성과 평가

(1) 총괄 성과점검 기준표

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가 중 치		
주관	1	IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발	1-1	복합 MET 감지 센서 모듈 개발 범위 및 방향 도출	①	MET 산출방안 도출	1건	200%	논문 게재 건수	논문	5	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>2</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
			1-2	IoT기반 복합 MET 센서 모듈 개발	②	모듈제작	3건	100%	특허 출원	특허 건수	15	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
	2	재실자 활동량에 따른 MET 빅데이터 구축 및 활용방안 도출	2-1	MET 산출 모델 Mock-up 성능 검증	①	Mock-up 구축	2건	150%	현장 실험	논문	15	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>2</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건 인력양성: <u>1</u> 건
			2-2	Big Date 구축 및 Deep Learning 활용	②	Big Date 취득 및 활용방안 도출	1건	400%	논문 게재 건수	논문	10	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>3</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
공동 1	3	Intelligent Agent MET 산출 모델 개발	3-1	재실자 행동 기반 MET 산출 모델 적용	①	MET 산출 알고리즘 개발 방안 분석			보고서	보고서	5	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건

				방안 분석								
			3-2	Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발	②	MET 산출 알고리즘 개발	1건	100%	특허 출원	특허 건수	15	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 S/W: 1 건
			3-3	Intelligent Agent MET 산출 모델 최적화 및 성능평가	③	MET 산출 모델 개발	2건	100%	논문 게재 건수	논문 및 소프트웨어	15	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 S/W: 2 건
공동 2	4	MET 산출모델 탑재 및 성능분석	4-1	Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 성능분석	①	MET 산출모델 탑재 및 성능분석	2건	50%	논문 게재 건수	논문	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 S/W: 1 건 인력양성: 1 건
			4-2	MET 산출 모델 Mock-up 성능검증	②	MET 산출모델 성능분석	2건	100%	논문 게재 건수	논문	10	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 2 건 시제품: 1 건 인력양성: 2 건
계							14건	135%			100	특허: 출원 3 건 등록 1 건 논문: 12 건 시제품: 2 건 S/W: 2 건 인력양성: 4 건

(2) 연차별 성과점검 기준표

[1차연도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중 치		
주관	1	IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발	1-1	복합 MET 감지 센서 모듈 개발 범위 및 방향 도출	①	MET 산출방안 도출	1건	200%	논문 게재 건수	논문	10	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>2</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
			1-2	IoT기반 복합 MET 센서 모듈 개발	②	모듈제작	3건	100%	특허 출원	특허 건수	30	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
공동 1	3	Intelligent Agent MET 산출 모델 개발	3-1	재실자 행동 기반 MET 산출 모델 적용 방안 분석	①	MET 산출 알고리즘 개발 방안 분석	-	-	보고서	보고서	10	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
			3-2	Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 개발	②	MET 산출 알고리즘 개발	1건	100%	특허 출원	특허 건수	30	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건
공동 2	4	MET 산출모델 탑재 및 성능분석	4-1	Intelligent Agent 기반 MET 산출 모델 성능분석	①	MET 산출모델 탑재 및 성능분석	2건	50%	논문 게재 건수	논문	20	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u>1</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>1</u> 건 인력양성: <u>1</u> 건

계			7건	114%			100	특허: 출원 <u>2</u> 건 등록 <u>건</u> 논문: <u>5</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>건</u> 인력양성: <u>1</u> 건
---	--	--	----	------	--	--	-----	--

[2차 연도]

구분		핵심성과 (CTE)	단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가 중 치		
주관	2	재실자 활동량에 따른 MET 빅데이터 구축 및 활용방안 도출	2-1	MET 산출 모델 Mock-up 성능 검증	①	Mock-up 구축	2건	150%	현장 실험	논문	30	특허: 출원 <u>2</u> 건 등록 <u>건</u> 논문: <u>2</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>건</u> 인력양성: <u>1</u> 건
			2-2	Big Data 구축 및 Deep Learning 활용	②	Big Data취득 및 활용방안 도출	1건	400%	논문 게재 건수	논문	20	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>건</u> 논문: <u>3</u> 건 시제품: <u>건</u> S/W: <u>건</u>
공동 1	3	Intelligent Agent MET 산출 모델 개발	3-3	Intelligent Agent MET 산출 모델 최적화 및 성능평가	①	MET 산출 모델 개발	2건	100%	논문 게재 건수	논문 및 소프 트웨 어	30	특허: 출원 <u>건</u> 등록 <u>건</u> 논문: <u>건</u> 시제품: <u>건</u> S/W: <u>2</u> 건
공동 2	4	MET 산출모델 성능분석	4-2	MET 산출 모델 Mock-up 성능검증	①	MET 산출모델 성능분석	2건	100%	논문 게재 건수	논문	20	특허: 출원 <u>건</u> 등록 <u>건</u> 논문: <u>2</u> 건 시제품: <u>건</u> S/W: <u>건</u> 인력양성: <u>2</u> 건
계							7건	143%			100	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>건</u> 논문: <u>6</u> 건 시제품: <u>1</u> 건 S/W: <u>2</u> 건 인력양성: <u>3</u> 건

(3) 핵심연구성과

연 번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	IoT 기반 복합 MET 센서 모듈 개발	재실자 활동량 및 활동위치, 재실패턴을 정확하게 감지하여 개인 맞춤형 열쾌적을 제공하기 위해 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET의 복합적 감지 모듈	④ 장비·장치	중앙대학교 인천대학교	2	3
2	재실자 활동량에 따른 MET 빅데이터 구축 및 활용방안 도출	MET모델 Big Data 구축 및 Deep Learning 활용을 통한 인공지능 알고리즘 확립	① 공법·기법	중앙대학교	2	2

3	Intelligent Agent MET 산출 모델 개발	인공신경망 및 딥러닝 기반 채실자 행동인식 및 신진대사(MET) 산출 원천모델 개발	③ 소프트웨어	중앙대학교 인천대학교	2	3
4	MET 산출모델 및 제어알고리즘 성능분석	MET산출 모델 적용 제어알고리즘의 에너지, 쾌적성, 환경영향 및 경제성 평가	⑦ 기타	중앙대학교 한밭대학교	2	4

(4) 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1		
정의	사물인터넷(IoT) 기반 복합 MET 센서 모듈	
목적	온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, 활동량(MET)의 복합적 고려를 통한 정확한 실제 PMV 산출	
성능목표	(기존기술 수준) 획일화된 산출을 통해 실제 거주자 개인 제어가 불가능 (개발기술 수준) 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, MET의 복합적 고려를 통한 실제 PMV 산출 가능하여 온열쾌적을 만족하는 개인 맞춤형 제어 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	문진우(중앙대학교)	
소요기간	'17.04 ~ '18.03(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	활동모델(MET) 산출이 가능한 복합 센서의 시작품 제작 여부	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	SCI(E) : 1건, 학술지 : 2건
	저작	
	S/W	
	신기술 기타	1건

핵심성과 2		
정의	채실자 활동량에 따른 MET 빅데이터 구축 및 활용방안 도출	
목적	MET 산출을 통해 생산된 데이터 확보 및 사용에 따라 누적된 빅데이터를 활용하여 자가 학습 가능한 시스템 개발 및 향후 즉응형 PMV 알고리즘 개발에 활용	
성능목표	(기존기술 수준) 온도, 습도의 단순 제어에 따라 기타 추가 데이터 확보 없음 (개발기술 수준) 온도, 습도, 기류속도, 평균복사온도, 활동량(MET) 등 다양한 요소의 복합 모니터링 및 제어를 통하여 환경별, 상황별 데이터 확보 가능하기 때문에 다방면으로 활용도 높음	
성과달성 책임자 (소속기관)	문진우(중앙대학교)	
소요기간	'18.01 ~ '18.12(1년차, 2년차)	
성과달성 확인방법	확보 된 MET, 온습도 등의 실제 데이터를 활용하여 PMV제어 활용 방안 보고서 제시	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	
	논문	학술지 : 1건
	저작	
	S/W	
	신기술 기타	

핵심성과 3		
정의	Intelligent Agent 기반MET 산출 모델 개발	
목적	- IoT 기술로 취득한 다양한 데이터로부터 MET를 산출하는 인공지능 기술 개발을 구현 - SW의 소스를 공개하여 다양한 분야에 활용 가능하도록 함	
성능목표	(기존기술 수준) 인공지능 기반의 기술 부재 (개발기술 수준) IoT와 인공지능 기술을 결합하여 정확한 MET 산출이 가능하게 됨	
성과달성 책임자 (소속기관)	유용석 (인천대학교)	
소요기간	'17.04 ~ '18.10(1년6개월, 1년차, 2년차)	
성과달성 확인방법	활동모델(MET) 산출이 가능한 SW의 동작 여부	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	SCI(E) : 2건
	저작	
	S/W	1건
	신기술 기타	

핵심성과 4		
정의	MET 산출모델 및 제어알고리즘 성능분석	
목적	MET 산출모델의 에너지 성능 및 쾌적성 향상의 정량적 평가를 통해 국가적 차원의 1차 에너지 절감효과 및 환경 영향 평가에 활용	
성능목표	(기존기술 수준) MET 산출모델의 에너지 및 쾌적성 성능 평가 데이터 전무 (개발기술 수준) MET 산출모델 및 제어알고리즘의 에너지, 쾌적성, 환경영향 및 경제성 등 다방면의 성능 평가 가능	
성과달성 책임자 (소속기관)	이광호(한밭대학교)	
소요기간	'17.04 ~ '18.12(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	* MET 산출모델 및 제어 알고리즘 성능 평가 관련 게재 논문	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 0건
	논문	SCI(E) : 1건, 학술지 : 2건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	4건

나. 총 연구성과 목표 및 달성도

[총괄 최종 달성도]

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	4건	125	6건 게재완료 (성과증빙 01)
	비SCI	-		
	계	4건		
국내 논문 게재	SCI	-		6건 완료 (성과증빙 02)
	비SCI	6건	100	
	계	6건		
특허 출원	국내	2건	150	3건 특허 출원 (성과증빙 03)
	국외	-		
	계	2건		
특허 등록	국내	-		
	국외	-		
	계	-		

구분		목표	달성도(%)	비고
인력 양성	석사	2건	200	석사 2명 졸업 및 2명 졸업 예정 (성과증빙 07)
	박사	-		
	계	2건		
기술 이전	계약 건수	-		
	계약액	-		
	징수액	-		
국제 표준화	기고서 제출	-		
	기고서 채택	-		
	표준안 채택	-		
국내 표준화	기고서 제출	-		
	기고서 채택	-		
	표준안 채택	-		
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-		
	연구시설·장비	-		
	기술요약정보	-	-	
	생명 자 원	생명 정보	-	-
		생물자원	-	-
		신품종	-	-
	소프트웨어	1건	200	2건 등록 (성과증빙 06)
	화학물	-	-	
기타	시제품	2건	100	2건 제작 (성과증빙 07)
	성과 홍보	-	-	
	일자리 창출	-	-	

[1차 연도]

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	-	100	1건 게재완료 (성과증빙 01)
	비SCI	-	-	
	계	-	100	
국내 논문 게재	SCI	-	-	
	비SCI	4건	100	4건 게재완료 (성과증빙 02)
	계	4건	100	
특허 출원	국내	2건	100	2건 특허출원 (성과증빙 05)
	국외	-	-	
	계	2건	100	
특허 등록	국내	-	-	
	국외	-	-	
	계	-	-	
인력 양성	석사	-	200	석사 1명 (성과증빙 08)
	박사	-	-	
	계	-	200	
기술 이전	계약 건수	-	-	
	계약액	-	-	
	징수액	-	-	
국제 표준화	기고서 제출	-	-	
	기고서 채택	-	-	
	표준안 채택	-	-	

구분			목표	달성도(%)	비고
국내 표준화	기고서 제출		-	-	
	기고서 채택		-	-	
	표준안 채택		-	-	
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	
	연구시설·장비		-	-	
	기술요약정보		-	-	
	생 명 자 원	생명정보	-	-	
		생물자원	-	-	
		신품종	-	-	
	소프트웨어		-	-	
	화학물		-	-	
	기타	시제품	1건	100	(성과증빙 07)
성과 홍보		-	-		
일자리 창출		-	-		

[2차 연도]

구분		목표	달성도(%)	비고	
국외 논문 게재	SCI	4건	100	5건 완료 (성과증빙 01)	
	비SCI	-	-		
	계	4건	100		
국내 논문 게재	SCI	-	-		
	비SCI	2건	100	2건 완료 (성과증빙 02)	
	계	2건	100		
특허 출원	국내	-	200	1건 특허 출원 (성과증빙 03)	
	국외	-			
	계	-	200		
특허 등록	국내	-			
	국외	-			
	계	-			
인력 양성	석사	2건	150	석사 1명 2018년 졸업 및 2명 2019년 2월 졸업 예정 (성과증빙 07)	
	박사	-			
	계	2건	150		
기술 이전	계약 건수	-	-		
	계약액	-	-		
	징수액	-	-		
국제 표준화	기고서 제출	-	-		
	기고서 채택	-	-		
	표준안 채택	-	-		
국내 표준화	기고서 제출	-	-		
	기고서 채택	-	-		
	표준안 채택	-	-		
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	-	
	연구시설·장비		-	-	
	기술요약정보		-	-	
	생명 자원	생명정보	-	-	
		생물자원	-	-	
		신품종	-	-	
	소프트웨어		1건	200	2건 저작권 등록 완료

구분		목표	달성도(%)	비고
기타	화학물	-	-	(성과증빙 07)
	시제품	1건	100	(성과증빙 07)
	성과 홍보	-	-	
	일자리 창출	-	-	

다. 관련 분야 기여도

성과 목표	자체 평가
사물인터넷(IoT) 기반 복합 MET 센서 모듈	- 다양한 환경변수 및 개인변수(MET)를 저비용으로 실시간 취득 할 수 있는 복합 IoT 센서모듈 개발 - Arduino, Raspberry Pi와 같은 Open-source platform을 활용한 개발로 신속성 및 향후 확장성을 극대화 할 수 있으며 다양한 IoT 환경에 접근이 용이함
재실자 활동량에 따른 MET 빅데이터 구축 및 활용방안 도출	- 복합 MET 산출 센서모듈에 의해 Big Data를 구축 - 구축된 Big Data를 Deep Learning 기반 MET 산출 모델에 적용하여 재실자 활동량에 따른 보다 정확하고 지능적인 MET 산출모델 개발에 기여함
Intelligent Agent 기반MET 산출 모델 개발	- 본 과제에의 결과물인 Deep Learning 기반의 MET 산출 모델은 새로운 인공지능 기술 연구 성과로서 의미가 큼 - 기존의 인공지능 기술을 활용하여 사용자의 행동을 분석을 시도하려는 시도가 계속 있어왔으나, 인공지능 기술로 재실자의 MET를 예측하는 시도는 처음으로 독창성이 있음 - 본 기술을 활용하여 재실자의 쾌적성을 극대화 하여 스마트 홈 시장에서 혁신을 주도할 수 있을 것으로 기대됨
MET 산출모델 및 제어알고리즘 성능분석	- Intelligent Agent 기반 MET산출 모델의 냉난방 에너지 비용 및 투자비용 회수 기간 분석 등 경제성 평가를 통한 산출 모델 성능의 타당성 분석을 진행함 - 에너지 성능 및 쾌적성 분석을 통한 쾌적한 실내환경, 건물에너지 이용의 효율화 가능성 증가 - 시뮬레이션 모델의 해석대상 건물 면적에서 나타난 온실가스 감소량을, 공동주택관리정보 시스템에서 공시한 아파트 면적인 7억1천5백만m^2을 적용하여 국가 차원의 잠재적 온실가스 감축량을 추정함

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4.1. 연구개발성과의 활용 계획

- 개발된 모듈, 모델 및 알고리즘은 실제 환경조건 및 재실자 상황에 대한 정보취득을 위하여 내재된 시스템으로써 적용가능. 이는 인체부착 혹은 휴대 등 재실자의 관여가 불필요한 방법임. 이는 스마트빌딩의 주요 요소로써 적용가능할 것으로 예상
- PMV 제어를 통해 쾌적한 온열환경이 요구되는 건강·의료 시설 등 인체활동에 관련된 분야에 활용 가능
- 특히, 거동 및 의사결정 취약계층 거주건물의 최적화된 열환경 조성 기술로써 적용 가능
- 또한, 최근 출시되고 있는 지능형 에어컨 등에 적용되어 실제 재실자의 활동 상황에 맞는 열환경 조성 가능
- 기존의 온도/습도 기반 열환경제어 시스템 뿐 아니라 복사냉난방 및 기류를 활용한 냉난방 시스템의 적극적 활용을 위한 기반으로써 적용 가능
- 재실자 활동량을 고려한 적응형 PMV 알고리즘 및 정보제공 서비스 개발에 활용
- 추후, PMV 기반 건물열환경제어 가이드라인 등 개발을 위한 기반 기술로 활용 가능
- 사물인터넷 및 인공지능 관련 연구·산업 응용 활성화에 기여
- 스마트홈, BEMS, IoT, 공조시스템 등 관련 산업시장에 적용 가능

4.2. 추가 연구의 필요성

○ 한계점 및 해결 방안

- 본 연구에서는 재실자의 활동량을 인식하는 모델을 개발하기 위한 것으로 도구를 인식하는데 한계가 있어 도구를 사용하지 않는 실내활동 10가지로 제한함
- 현재 연구는 단일 재실자에 대한 제한된 실내활동을 산출하는 모델로 제한됨
- 이를 보완하고 실내활동의 범위를 넓힐 수 있도록 도구 인식 모델 및 다중 재실자 인지 모델 등을 개발하는 연구가 필요
- 이에 따른 다양한 활동이 추가된 모델 개발과 주거시설, 업무시설의 실내활동 범위를 확장하여 성능 향상을 위한 연구의 진행이 필요
- 실제 PMV 산출을 위해 MET 뿐만 아니라 CLO를 산출하는 모델의 개발 필요

-
1. 현대경제연구원, AI시대, 한국의 현주소는? - 국내 AI(인공지능) 산업 기반 점검, Vol. 16, No. 8, 2016.
 2. 국토교통부, 건축물에너지관리시스템(BEMS) 산업 기술동향 조사 및 활성화 방안 연구, 2014.
 3. Mohammad H.Hasan, Fadi Alsaleem, Mostafa Rafaie, Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation, Building and Environment, vol.110, 2016.12, 173-183
 4. K.Michaela, M.D.P.Garcia-Soutob, P.Dabnichkic, An investigation of the suitability of Artificial Neural Networks for the prediction of core and local skin temperatures when trained with a large and gender-balanced database, Applied Soft Computing, vol.50, 2017.01, 327-343
 5. Wai Leung Tsea, Wai Lok Chan, A distributed sensor network for measurement of human thermal comfort feelings, Sensors and Actuators A: Physical, vol.144, 2008.07, 394-402
 6. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun, Deep Residual Learning for Image Recognition, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 770-778
 7. Muller MP, Tomlinson G, Marrie TJ, Tang P, McGeer A, Low DE, Detsky AS, Gold WL. Can routine laboratory tests discriminate between severe acute respiratory syndrome and other causes of community-acquired pneumonia?. Clinical infectious diseases, vol.40, 2005, 1079-86.
-

뒷면지

주 의

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