(엽면)

20CTAP-C152022-02

생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발 최종보고서

2020

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

(앞면)

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D /20CTAP-C152022-02

생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발

최종보고서

2021. 01. 19.

주관연구기관 / 한양대학교 에리카산학협력단
위탁연구기관 / 성균관대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발'(연구개발 기간 : 2019. 04. 15 ~ 2020 . 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 01. 19.

주관연구기관명 : 한양대학교 에리카산학협력단 (대표자) 박 태 준 (인)



위탁연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단 (대표자) 박 선 규 (인)

주관연구기관책임자: 이 주 성
위탁연구기관책임자: Srinivas Gandla

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C152022-02	해당 단계 연구 기간	2020.01.01. - 2020.12.31	단계구분	4 / 4 (해당단계) / (총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초원천			
연구과제명	대과제명	대과제가 있을 경우 기재합니다(단위과제일 경우에는 아래에 기재합니다)			
	세부과제명	생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발			
연구책임자	이 주 성	해당단계 참여연구원 수	총: 12명 내부: 12명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:210,000천원 민간: 0천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:210,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 12명 내부: 12명 외부: 명	총 연구비	정부:370,000천원 민간: 0천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:370,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한양대학교 에리카산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 성균관대학교 산학협력단			연구책임자: Srinivas Gandla	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용

본 연구는 인체의 온·습도, 심장 박동수 등 생체 신호를 계측할 수 있는 플렉서블 센서를 개발 및 이를 활용하여 재실자로부터 생체정보를 수집하고, 데이터가 축적됨에 따라 자가학습이 가능한 딥러닝(LSTM) 기술을 기반으로 재실자 생체 반응형 실시간 자동 공조 제어를 위한 IoT 원천 기술 개발을 최종 목표로 함.

■[1차년도] 생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축

[1세부] **실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계**

① 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의
② 실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축
③ 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석
④ 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계

[2세부] **재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발**

① 생체 정보 계측 센서 설계
② 재실자 생체 정보(온도, 습도, 압력, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발

■[2차년도] 실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발

[1세부] **클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발**

① 가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선
② 클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계
③ 실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가

[2세부] **실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발**

① 무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발
② 플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발

연구개발성과

■ 본 연구는 기초원천 기술 개발 연구로서 연구개발 성과물은 다음과 같음.

[1] 자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델

[2] 실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
예상성과 (N/Y)	SCI : 3건 비SCI : 2건	출원 2건									

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)

■ 활용방안

본 연구결과는 국가적 차원의 에너지 효율화 및 자동공조제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝 모델을 플렉서블 센서와 접목함으로써 융·복합 원천기술의 기반을 마련하고 다가오는 4차 산업혁명에 선제적으로 대응할 수 있는 중장기적 유지관리 전략을 수립하는데 활용될 수 있음.

■ 기대성과

플렉서블 센서와 IoT기술의 융복합을 통한 생체 반응형 자동 공조 제어 시스템을 개발하여 국제적 수준 이상의 기술력 확보 및 에너지 효율화와 IoT 산업의 경제적 역량 제고.

국문핵심어 (5개 이내)	딥러닝	사물인터넷	바이오센서	공조제어	생체반응
영문핵심어 (5개 이내)	Deep Learning	IoT	Bio sensor	Air conditioning control	Bio response

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· P.04 - 10

2. 연구수행내용 및 성과 ····· P.11 - 50

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· P.51 - 54

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· P.55 - 55

붙임. 참고 문헌 ····· P.56 - 57

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

■ 본 연구과제에서 개발되는 **"생체 반응형 자동공조제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT원천기술 개발"**은 재실자 생체 정보를 활용한 딥러닝(Deep Learning) RNN (Recurrent Neural Network)기법 중 LSTM(Long Short Term Memory)모델을 활용하여 **기존의 실내 온열 환경 제어를 생체반응에 따라 자동화**함으로써 스마트 홈 기술의 기초적인 인프라 구축이 가능한 **실내 환경 자동 제어 시스템의 핵심 원천기술**임.

■ 본 연구과제는 **스마트 홈 분야에 딥러닝 기반 모델(LSTM)을 접목하는 창의·도전적인 연구**이며 정부가 국토교통 중장기 전략으로 추진 중인 **8대 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 중 초연결 도시 구현 기술 개발 부문의 스마트 하우스를 위한 사용자 반응형 주거 환경 개발 목표를 달성하기 위해 시급히 요구되는 필수불가결한 기술**로서, 시의성이 매우 높고 향후 **2년 뒤 생체 반응형 공조시스템 자동제어를 통하여 실내 온열 환경을 효율적으로 조절하는 스마트 홈 분야의 IoT원천기술 확보가 가능한 연구**임.



그림 1. 연구개발의 개요

나. 본 연구개발 기술의 핵심 개념

■ 본 연구과제에서 제안하는 **“생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발”**은 스마트홈 기술의 보완 및 개선이 사회적으로 절실히 요구되는 시점에 효율적인 실내 온열환경 제어기술의 혁신적 시스템 발전을 위하여 공조 제어 시스템에 플렉서블 바이오 센서와 딥러닝(LSTM)을 접목한 스마트 기술 분야의 융합 원천 기술임.

■ 특히, 본 연구의 핵심 기술인 **생체반응형 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술**은 실내 환경 변화에 따른 재실자 생체 반응에 대한 시계열 데이터를 이용하여 **실내 온열 환경 변화와 재실자 생체 정보 변화간 유용한 상관관계를 분석**하고, 가상환경에서의 시뮬레이션과 실험실 환경에서의 검증을 통하여 **실내 온열 환경을 자동적으로 실시간 분석·판단·조절할 수 있는 딥러닝 기반의 고차원적 IoT 원천 기술**임. 무선통신이 가능한 패치형 생체정보 수집 센서와 LSTM 기반의 실시간 의사결정 시스템 개발을 통해 실내 온열 환경 정보, 인체의 온습도 및 심장 박동수 등 재실자의 생체정보 데이터를 기반으로 재실자의 추가적인 명령 없이 효율적인 공조제어를 자동적으로 수행할 수 있으며, 본 핵심 기술은 **사람-사물-인프라간 연결이 확장되고 인공지능을 결합하여 재실자의 쾌적성을 자동적으로 관리하는 스마트 홈 분야의 핵심 원천기술**이 될 것으로 사료됨.



그림 2. 연구개발 기술의 핵심개념

다. 연구개발의 필요성

4차 산업혁명 대응 추진전략 및 기술개발 정책과의 부합성	정부가 추진 중인 **국토교통 4대 전략 중 초연결 도시 구현 기술개발 정책에 부합**되며, 생체 반응형 자동공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술개발을 통해 향후 8대 혁신성장동력인 '스마트 시티'의 핵심기술로 활용될 수 있는 연구임.
생체반응형 자동공조 제어기술의 기초연구 및 개발의 시의성	"국토교통기술촉진연구사업" 내 기초원천기술구축 과제의 **스마트 하우스 부문의 기초연구로서 시급히 요구되는 필수불가결한 기술**일 뿐만 아니라, 생체반응형 자동공조제어기술의 기초연구를 통한 **에너지 절감, 1인 가구, 노약자 등의 사회 이슈에 적용되는 시의성이 높은** 연구임.
미래핵심기술 원천 기술 개발의 중요성	국토교통 8대 혁신성장동력인 스마트 시티 부문에 기초가 되는 기술로서 **사람-사물-인프라가 초연결된 4차산업혁명 대응 IoT 시스템의 기술융합과 성장을 촉진**할 뿐만 아니라, **미래형 실내 공간에서의 생체반응에 따른 자동제어 기술의 핵심 원천기술로 응용**될 수 있는 연구임.

(1) 4차 산업혁명 대응 추진전략으로서 초연결 도시 구현 기술 개발 정책과의 부합성

- 본 연구과제는 국토교통부의 연구개발계획의 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성 추진전략과 초연결 도시 구현 기술 개발 정책에 부합하는 생체 반응형 주거환경 기술개발 연구임.
- 본 연구과제는 국토교통 8대 혁신성장동력인 '스마트 시티'의 원천기술로서, 향후 도시를 연결하기 위한 인프라 통합정보 사업에 있어 도시를 센서·네트워크로 연결하고 데이터의 통합 관리를 통해 서비스를 제공하기 위한 기술로 활용 및 파급 효과가 매우 우수함.

(2) 생체반응형 자동 공조제어의 기초연구 및 원천기술개발의 시의성

- 본 연구과제는 국토교통부의 "국토교통기술촉진연구사업"에 따라 추진 중인 기초원천기술구축에 부합되는 기초 연구과제로서 사용자 반응형 주거환경을 통한 스마트하우스 기술개발이라는 사업추진방향과 일치하며, 국가차원의 시급히 처리되어야 할 필수불가결한 과제임.
- 본 연구과제를 통해 개발되는 원천기술은 자동 실내온열환경 제어를 통해 현재 국가적으로 요구되는 합리적 에너지 소비를 유도하며, 생체 반응형으로 1인 가구 최적화, 환경제어가 어려운 노약자(환자, 노인, 어린이 등) 친화적 기술로 현 사회의 이슈를 해결하기 위해 필요성과 시의성이 매우 높음.

(3) 미래핵심 원천기술 개발의 중요성

- 본 연구과제는 생체 반응형 자동공조제어 기술개발연구로, 4차산업혁명의 혁신성장동력인 '스마트 시티' 부문의 기초가 되는 기술로서 IoT시스템의 기술 융합과 성장을 촉진 할 수 있는 사람(센서)-사물(인공지능)-인프라(통신)로 초연결된 미래핵심원천기술임
- 또한, 스마트 홈 기술 및 IoT 기술 개발 등 국제적 연구트렌드에 부합하는 생체 반응형 자동 공조 제어 기술확보를 통해 원천기술로 응용이 가능하며, 미래 주거형태에 적용하여 실용화·사업화의 다양성을 갖춘 연구임.

종합의견	• 정부가 추진 중인 국토교통 4대 전략 중 초연결 도시 구현 기술개발에 부합되며, 국가차원의 시급히 처리되어야 할 필수불가결한 과제임. • 자동 실내온열환경 제어를 통해 현사회의 이슈를 해결하기 위해 필요성과 시의성이 매우 높고, IoT 기반 원천기술로 응용이 가능하므로 미래 주거형태에 적용하여 실용화·사업화의 다양성을 갖춘 중요한 연구임.

라. 연구개발 범위

(1) 기술성숙도 설정

■ 본 연구과제에서 최종 목표로 하는 **“생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발”**의 1차년도 기술개발 성숙도는 실내 환경 변화에 따른 재실자 생체 변화 정보 수집이 가능한 센서를 개발할 계획이며, 실내 환경 정보와 생체 정보간 상관관계 분석 및 재실자 생체 반응에 따른 자동 공조 제어를 위한 딥러닝 분석 기법에 대한 실험적으로 증명하는 수준(TRL 3)까지 완료할 계획임.

■ 2차년도에는 1차년도에 정립된 기술적 개념을 기반으로 재실자 생체 반응에 따른 자동 공조 제어를 위해 플렉서블 생체정보 계측 센서의 실시간 무선통신 기능과 딥러닝 알고리즘을 가상환경에서 검증하고, 실험결과에 따라 센서 및 딥러닝 알고리즘을 개선할 계획이며, 실험실 환경에서 재실자 생체 반응에 따라 딥러닝 알고리즘을 최적화함으로써 자동 제어 정확도 및 반응시간을 기준으로 생체 반응형 딥러닝 모델의 성능을 평가(TRL 4)할 계획임.

구분		연구착수	연구종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	■	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	■	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	□	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	□	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	□	□	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

최종성과물	기술성숙도(TRL)	
	연구시작시	연구종료시
[1] 자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델	TRL 2	TRL 4

본 연구과제의 최종 성과물인 “[1] 자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델”을 개발하기 위하여 [연구 시작시] 실내 환경 변화에 따른 재실자 생체 정보 변화를 수집하고 그 상관관계를 분석하여 기술적 개념을 정립하고, [연구 종료시] 실험실 환경에서 재실자 생체 반응에 따라 자동적으로 실시간 공조시스템을 제어할 수 있도록 딥러닝 모델의 정확도와 반응시간을 측정함으로써 성능을 평가할 계획임.

[2] 실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서	TRL 2	TRL 4

본 연구과제의 최종 성과물인 “[2] 실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서”를 개발하기 위하여 [연구 시작시] 재실자의 생체 정보인 온도, 습도, 심장박동수를 동시에 수집할 수 있도록 생체 정보 계측 센서를 개발하고, [연구 종료시] 실험실 환경에서 실시간 무선통신이 가능하도록 플렉서블 센서의 성능을 평가할 계획임.

(2) 연구개발 구상도

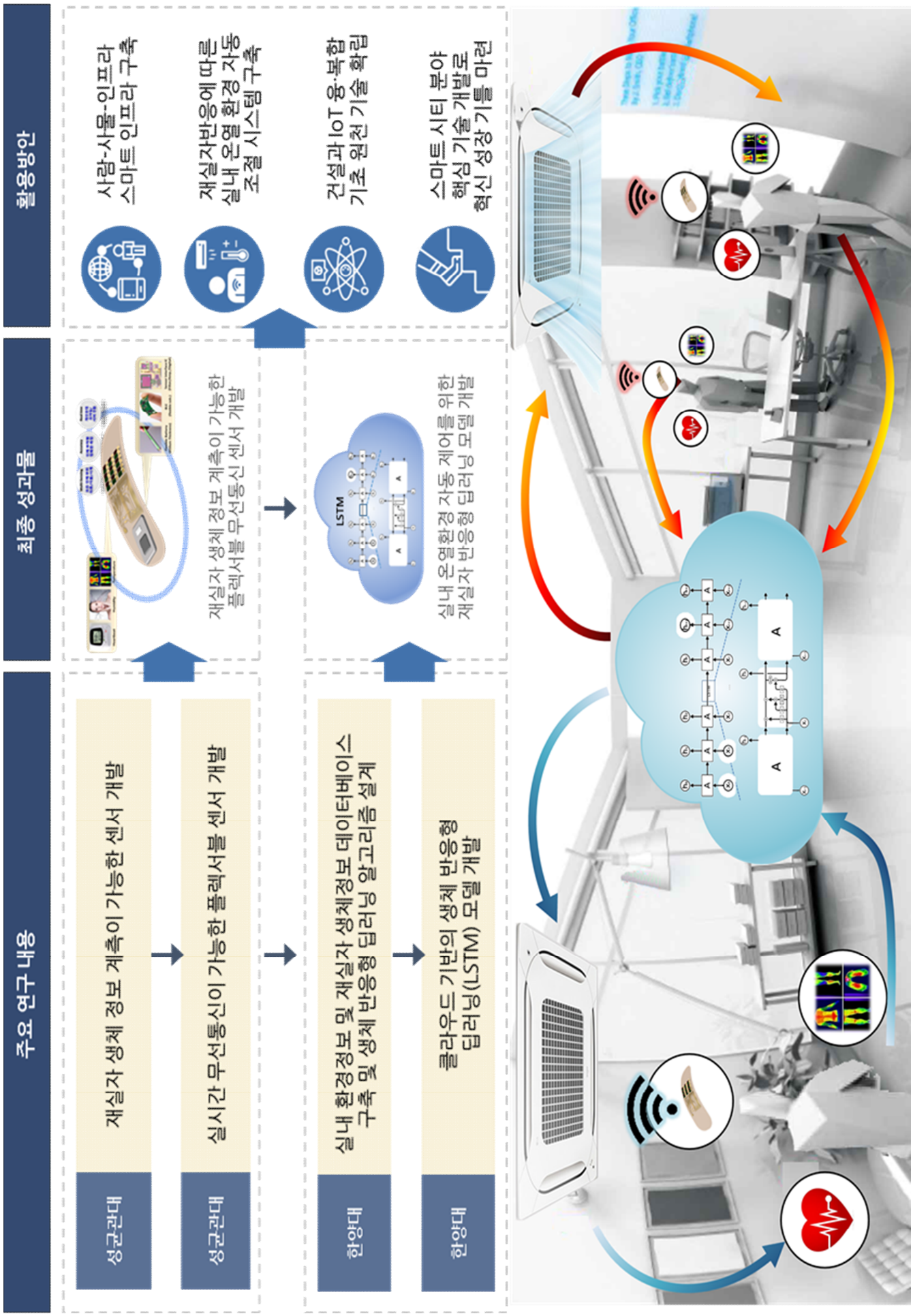


그림 3. 연구개발의 전체 구상도

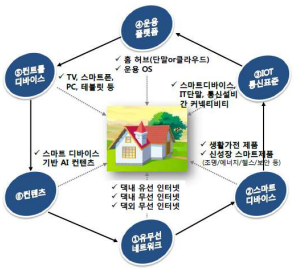
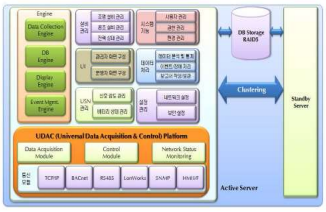
마. 국내외 기술 개발 현황

■ 최근 사용자들의 스마트 단말 이용이 대중화됨에 따라 **스마트 단말과 연동이 가능한 웨어러블 기기의 개발이 증가(16년 $13000 →17년 $15000)**하고 있으나, 현재의 기술력으로는 사용자들의 니즈를 충족시키기 어려운 실정임.

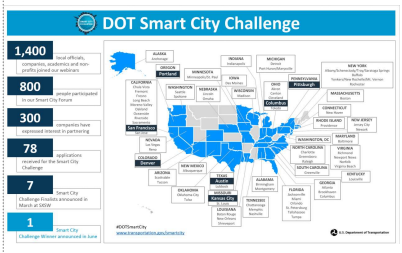
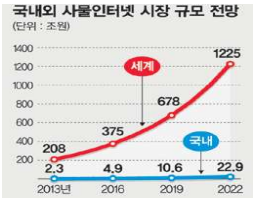
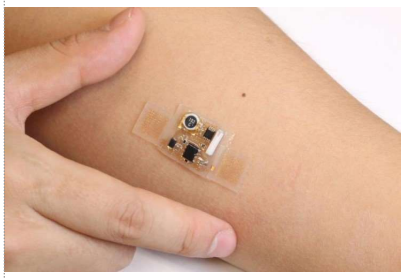
■ 국내의 경우 건물에너지 절감을 위한 에너지 관리 기술에 대한 연구를 진행하고 있으며, **건물 에너지 효율화를 위한 저전력, 초소형 지능형 센서 개발**을 목표로 하고 있음.

■ 국외의 경우는 딥러닝 모델을 접목시킨 사물인터넷 디바이스 개발을 진행 중이며, **실내 온열 환경 조절하는 기술 연구**에 박차를 가하고 있음.

(1) 국내 기술개발 현황

스마트 기기 기술 개발 대비 사람-사물-인프라간 초연결 기술 개발 부족	• 국내 기업들은 일찍이 스마트 홈의 필요성을 파악하여 스마트 기술개발에 앞장서고 있으며, 세계 최초로 NB-IoT 전국망을 구축하여 사물인터넷 연결 서비스 측면에서 다른 국가들보다 앞선 환경을 가지고 있음. • 그러나, 기기들 간의 연결은 원활하나, 사람-사물-인프라 간 연결을 위한 초연결 기반 기술이 부족.	 [스마트 홈 기술 구성 요소]
건축물 에너지 절감을 위한 센서 및 어플리케이션 기기 연구	• 건축물 에너지 절감을 위한 센서 개발 및 어플리케이션에 대한 연구가 활발하지만, 재실자에 관계없이 낭비되는 에너지가 많음. • 국내에는 온습도센서와 IoT플랫폼을 어플리케이션으로 연결하여 확인은 가능하나 실시간으로 변화하는 재실자의 생체 변화에 따라 자동으로 온열 환경을 조절하는 재실자 맞춤형 스마트 기술은 부족함.	 [유무선 센서 기반 에너지 관리]
개별난방 가능한 공간 확대	• 수요자의 요구가 변화되고 부하형태가 다양해 지고있음. 지가와 인건비 상승 등 유지관리비가 상승하게 됨. • 개별 공조 시스템이 적용된 건물이 국내에 많이 보급되고 있지만, 사용자에 따라 자율적으로 온도 조절이 쉽지 않음.	 [개별 바닥 급기 공조 방식]
신체 데이터를 측정하는 센서 개발	• 전도성 섬유를 기반으로 심박수, 호흡수, 체온, 운동량 등 생체정보를 측정하는 생체 정보 센서 기술을 이용한 기술 개발이 활발하게 진행중임. • 신체 데이터를 측정하고 정보를 토대로 신체조건에 적합한 체육활동과 건강관리 및 불의의 사고방지를 할 수 있음. • 웨어러블 기기는 액세서리 형에서 의복형, 신체부착형, 생체이식형, 생체내장형 등으로 발전해 나갈 것으로 기대가 되며, 2020년에는 3600억 원 규모의 시장을 이룰 것으로 전망됨.	 [신체 데이터 측정]

(2) 국외 기술개발 현황

국외의 스마트시티 사업 투자 확대	• 전 세계적으로 2020년까지 약 1조2000억 달러의 지속적인 투자가 있을 예정임. 34개의 도시들이 실질적인 스마트 시티로 계획되어 있고, 50%가 넘는 도시들이 유럽과 미국에 실현될 것임. • 새로운 스마트 도시가 빅데이터 구축과 교통기술들과 그를 기반으로 한 응용기술을 이용해 도시 내 혼잡을 감소시키고 기후변화에 유연하게 대처함과 동시에 환경을 살리며 경제 활성화를 가져다줄 것으로 기대함.	 [미국의 스마트 시티 현황]
IoT 시장, 향후 큰 폭의 성장률 전망	• ICT강국을 중심으로 국가적 차원에서 IoT를 지원하고 있음. 글로벌 IoT 시장이 2020년까지 연평균 26% 성장한 1조 달러에 이르고, 국내 IoT 시장은 동 기간 연평균 33% 성장한 약 17조원에 이를 것으로 전망되고 있는 상황임.	 [국내외 사물인터넷 시장규모 전망]
웨어러블 기기를 이용한 생체 정보 측정 기술 선도	• 센서의 발전은 액세서리 형에서 의류일체형, 신체 부착/이식형으로 발전하고 있음. • 웨어러블 디바이스는 IoT의 핵심 비즈니스 섹터인 헬스케어와 동반 성장 하고 있음. • 유로모니터는 미국 웨어러블 디바이스 시장이 2022년 99억 300만 달러 규모로 커질 것으로 전망함.	 [글로벌 웨어러블 시장 전망]
사용자의 사용 패턴 학습하는 디바이스 개발 확대	• 해외에서는 사용자의 사용 패턴을 학습하여 보다 지능적으로 온도를 조절, 또는 사용 패턴의 빅데이터를 분석해 이를 차세대 제품 개발에 반영하는 등의 IoT이상의 가치를 실현하는 연구가 활발히 진행 중임. • 와이파이가 내장된 연기 탐지기, 집에 들어섰을 때 자동으로 경보 장치를 해제하는 픽셀 휴대폰, 침입자나 특별한 순간을 자동으로 담는 AI가 결합된 카메라 등이 현실화 될 전망임.	 [사용자 패턴에 의한 온도조절]
종합의견	■ 국내에 도입된 스마트홈 같은 경우 해당 기기와 어플리케이션 간의 연동으로 작동이 이루어지고 있음. 하지만 소비자들은 실내 쾌적도가 자동으로 자신에 맞춰지는 서비스에 대한 요구가 높아짐. **실시간으로 변화하는 사용자 생체 변화에 따라 자동 공조 제어하는 IoT 원천 기술 연구 필요.** ■ 국외와 같이 사용자 반응에 따라 제어되는 기술이 국내에는 미비하므로 4차 산업혁명 기술인 딥러닝 모델을 접목 시킨 사물인터넷(IoT) 연구가 요구됨.	

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 목표

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>연구주제</td><td colspan="3">생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및
딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발</td></tr>
<tr><td>최종
목표</td><td colspan="3">본 연구는 인체의 온·습도, 심장박동수 등 생체 신호를 계측할 수 있는 플렉서블 센서 개발 및 이를 활용하여 재실자로부터 생체정보를 수집하고, 데이터가 축적됨에 따라 시계열 정보조합과 자가학습이 가능한 딥러닝(LSTM) 기술을 기반으로 재실자 생체 반응형 실시간 자동 공조 제어를 위한 IoT 원천 기술 개발을 최종 목표로 함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세부
목표</td><td>1세부
(한양대)</td><td colspan="2">자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발</td></tr>
<tr><td>2세부
(성균관대)</td><td colspan="2">실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
범위</td><td colspan="3">본 과제 1차년도 연구개발 범위는 생체 신호를 계측할 수 있는 <u>플렉서블 센서 개발</u>을 기반으로 재실자로부터 <u>생체정보(온도, 습도, 심장박동수)를 수집</u>하고, 생체변화를 감지하여 실시간 대응이 가능한 <u>딥러닝(LSTM) 기반의 데이터 분석·처리 알고리즘을 구현</u>함. 2차년도 연구개발 범위는 재실자 생체변화에 따른 <u>가상 시뮬레이션에 의한 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선, 실시간 재실자 생체정보 계측이 가능한 플렉서블 센서</u>를 바탕으로 <u>실험실 환경에서의 딥러닝(LSTM) 알고리즘 최적화</u>를 함으로써, 최종적으로 “생체 반응형 자동공조 제어를 위한 딥러닝(LSTM) 기반의 IoT 원천 기술 개발” 하는 것을 연구개발 범위로 함.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">주요
연구
내용</td><td rowspan="3">1세부
한양대</td><td>1차년도</td><td>실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계
① 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의
② 실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축
③ 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석
④ 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발
① 가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선
② 클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계
③ 실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2세부
성균관대</td><td>1차년도</td><td>재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발
① 생체 정보 계측 센서 설계
② 재실자 생체 정보(온도, 습도, 압력, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발
① 무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발
② 플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종
성과물</td><td colspan="3">[1] 자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델</td></tr>
<tr><td colspan="3">[2] 실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서</td></tr>
</table>

나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

■ 본 연구과제는 최종 목표인 “생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발”을 달성하기 위해 다음 표와 같이 연차별 연구개발 목표를 **“1차년도 : 생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축”, “2차년도 : 실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발”**로 수립하고 최종성과물인 “[1] 자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델”, “[2] 실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서”에 따라 주요 연구내용을 구성함.

구 분		1차년도	2차년도
연구목표		**생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축**	**실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발**
		TRL 2단계 → TRL 3단계	TRL 3단계 → TRL 4단계
[1세부] 연구목표		**실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계**	**클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝 (LSTM) 모델 개발**
한양대	자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	① 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의 ② 실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축 ③ 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석 ④ 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계	① 가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선 ② 클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계 ③ 실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가
[2세부] 연구목표		**재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발**	**실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발**
성균관대	실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서 개발	① 생체 정보 계측 센서 설계 ② 재실자 생체 정보(온도, 습도, 압력, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발	① 무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발 ② 플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발

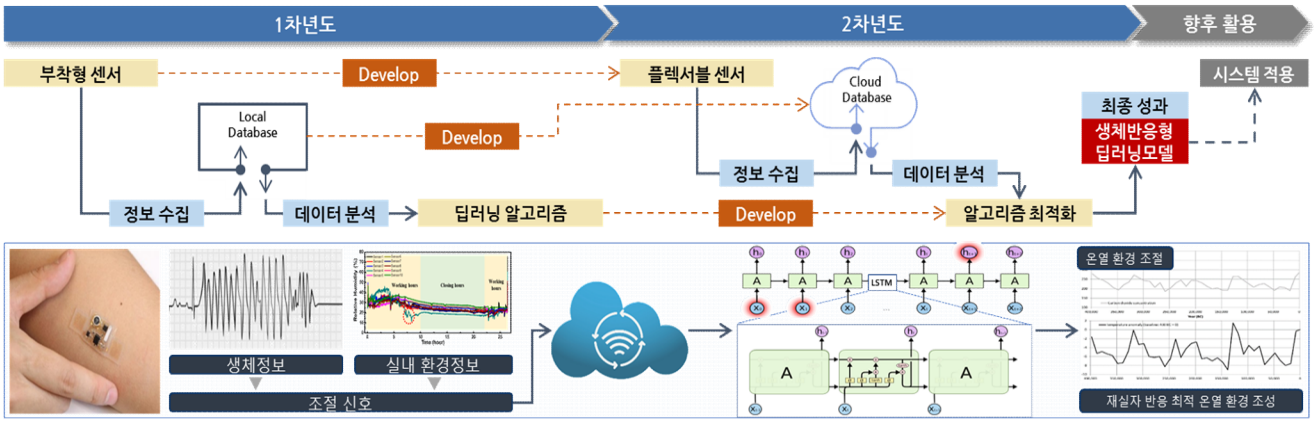


그림 4. 연차별 연구개발 목표 및 내용

(1) 1차년도 - 한양대학교 에리카산학협력단

■ 본 연구과제의 1차년도 개발 목표는 본 연구과제의 최종 목표인 **"생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발"**을 위한 **"생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축"** 연구이며, 주관연구기관인 한양대학교 에리카 산학협력단에서는 **"실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계"**의 1세부 연구목표를 세우고, 연구과제 수행을 통해 기술개발 성숙도를 TRL 2단계에서 3단계 수준까지 향상시킬 예정임.

(가) 개발 목표

연구과제 수행기관	한양대학교 에리카산학협력단	주관연구기관
1차년도 연구목표	생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축	
1세부 연구목표	실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계	

(나) 개발 내용 및 범위

①	**딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의**

- 자동 공조 제어를 위한 재실자 생체 정보 요소 및 실내 환경 정보 요소 정의
- 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의

②	**실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축**

- 기존 기기(온습도계, 심장박동 측정기)를 활용한 실내 환경 정보 및 재실자 생체정보 수집
- 생체 정보 수집 센서를 활용한 빅 데이터 수집 및 Local Database 구축

③	**생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석**

- 인체 열적 체감에 따라 자연 발생하는 재실자 생체 정보 변화 분석
- 실내 환경 정보 및 재실자 생체 정보 간 상관관계 분석

④	**생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계**

- 시계열 정보조합과 자가학습이 가능한 딥러닝 알고리즘 조사 및 분석
- 데이터베이스 기반 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계

(2) 1차년도 - 성균관대학교 산학협력단

■ 본 연구과제의 1차년도 개발 목표는 본 연구과제의 최종 목표인 **“생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발”**을 위한 **“생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축”** 연구이며, 위탁연구기관인 성균관대학교 산학협력단에서는 **“재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발”**의 2세부 연구목표를 세우고 센서 개발을 통해 주관연구기관인 한양대 에리카 산학협력단과 협동할 계획임.

(가) 개발 목표

연구과제 수행기관	성균관대학교 산학협력단	위탁연구기관
1차년도 연구목표	생체 정보 계측 센서 개발 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 데이터베이스 구축	
1세부 연구목표	재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발	

(나) 개발 내용 및 범위

① 생체 정보 계측 센서 설계

- 유연 센서 제작을 위한 유연 공정 기술 개발
- 유연 소재 기반의 초고감도 바이오 센서(온도, 습도, 압력, 심박) 개발
- 유연 기판 상의 센서에 대한 전기적 기계적 특성 분석

② 재실자 생체 정보(온도, 습도, 압력, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발

- 재실자의 생체 신호를 동시에 수집하기 위한 센서 어레이 설계 및 성능 최적화
- 저전력 생체 신호 센서 네트워크 구조 설계
- 생체신호 처리용 인터페이스 기술 개발(생체신호 증폭 및 필터 회로 설계)

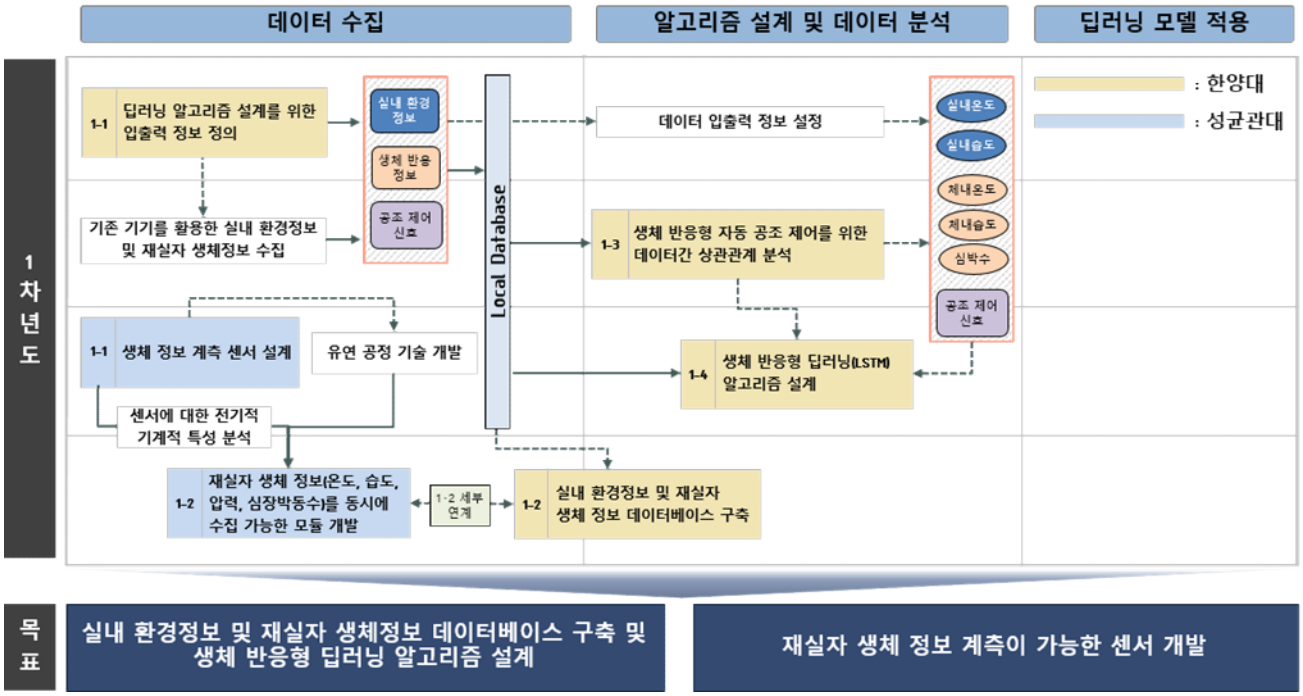


그림 5. 1차년도 주요 연구내용

(3) 2차년도 - 한양대학교 에리카산학협력단

■ 본 연구과제의 2차년도 개발 목표는 본 연구과제의 최종 목표인 **“생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발”**을 위한 **“실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발”** 연구이며, 주관연구기관인 한양대학교 에리카 산학협력단에서는 **“클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발”**의 2차년도 1세부 연구목표를 세우고, 연구과제 수행을 통해 **기술개발 성숙도를 TRL 3단계에서 4단계 수준까지 향상**시킬 예정임.

(가) 개발 목표

연구과제 수행기관	한양대학교 에리카산학협력단	주관연구기관
2차년도 연구목표	실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	
2세부 연구목표	클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	

(나) 개발 내용 및 범위

①	**가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선**

- 전문가 자문을 통한 딥러닝 알고리즘 구조 및 입출력 정보 개선
- 실시간 분석이 가능한 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계
- 가상환경 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토

②	**클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계**

- 무선통신 센서를 활용한 실시간 데이터 정보 수집 및 Cloud Database 구축
- 딥러닝 알고리즘과 연계 가능한 데이터 입출력 경로 정의
- 클라우드 데이터 베이스 무선통신 센서간 데이터 송수신 최적화

③	**실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가**

- 실시간 딥러닝 알고리즘 검증을 위한 센싱 종류, 부착 방식 및 위치별 실험 환경 구축
- 실험실 환경에서의 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 알고리즘 개선 및 최적화
- 생체 반응형 실시간 딥러닝(LSTM) 모델 성능 평가

(4) 2차년도 - 성균관대학교 산학협력단

■ 본 연구과제의 2차년도 개발 목표는 본 연구과제의 최종 목표인 **"생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발"**을 위한 **"실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발"** 연구이며, 위탁연구기관인 성균관대학교 산학협력단에서는 **"실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발"**의 2차년도 2세부 연구목표를 세우고실시간 무선통신이 가능한 센서 개발을 통해 주관연구기관인 한양대 에리카 산학협력단과 협동하여 최종 연구 결과 질적 수준을 향상시킬 계획임.

(가) 개발 목표

연구과제 수행기관	성균관대학교 산학협력단	위탁연구기관
2차년도 연구목표	실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발 및 클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	
2세부 연구목표	실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발	

(나) 개발 내용 및 범위

① 무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발

- 생체 신호(온도, 습도, 압력, 심박) 처리용 저전력 인터페이스 기술 개발
- 저전력 무선통신 하드웨어 플랫폼 기술 개발
- 클라우드 연동 무선 통신 기술 개발

② 플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발

- 유연 소자 간의 패키징을 위한 구조 및 본딩 기술 최적화
- 패치 형태의 패키징 구조 설계
- 패치형 바이오센서의 인체 안정성 평가

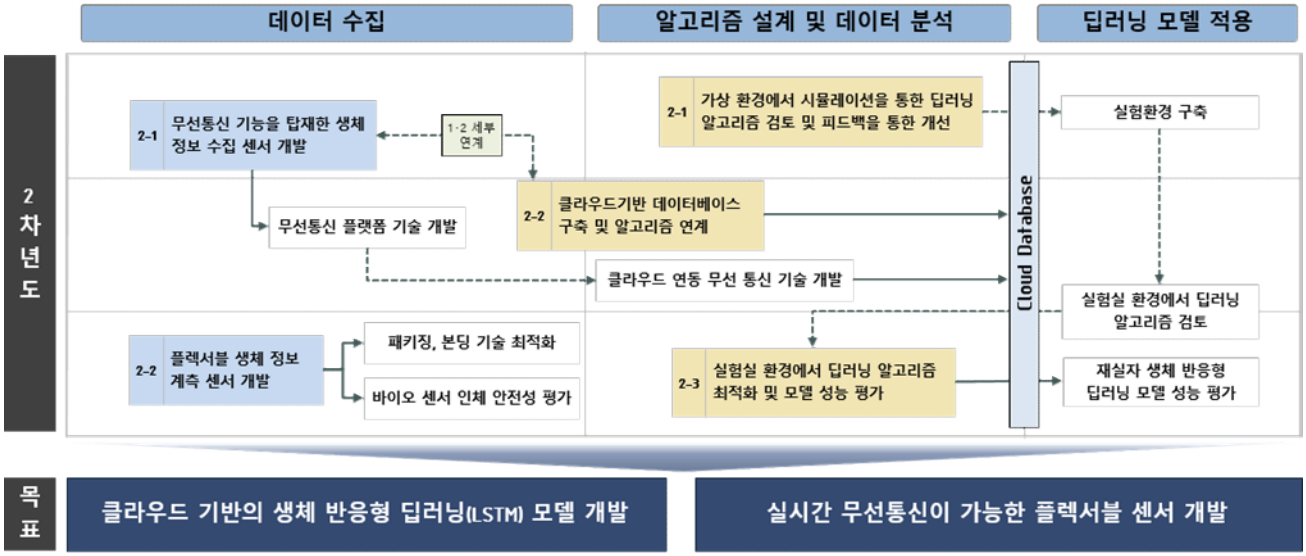


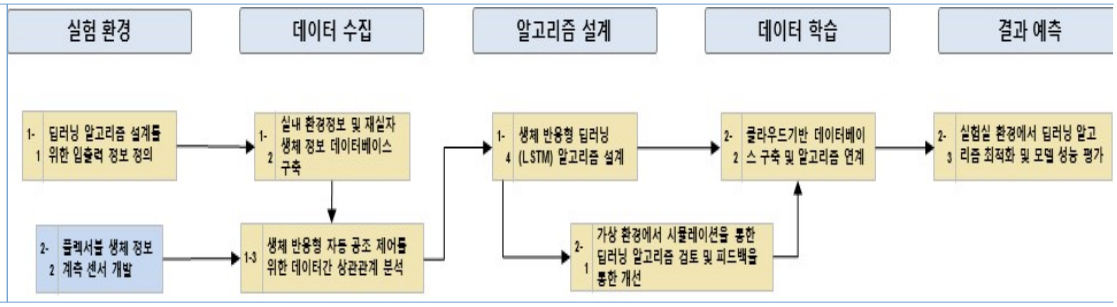
그림 6. 2차년도 주요 연구내용

다. 연구개발 결과

연구목표	생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝(LSTM) 기반 IoT 원천 기술 개발

(1) 연구개발 결과 요약

세부 과제명	세부연구목표	세부연구개발내용	연구결과
자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝 (LSTM) 모델 개발	실내 온열환경 자동 제어를 위한 실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터 구축	• 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의	• 재실자 생체 정보 및 실내 환경 정보 요소 정의
		• 실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축	• 데이터 수집 실험 및 수집 데이터 전처리
		• 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석	• 선행 연구 기반 입출력 변수 상관관계 및 적절성 검토
		• 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계	
	딥러닝 기반의 재실자 반응형 실시간 의사결정 시스템 개발	• 가상환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선	
		• 클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계	• 무선통신 센서와 Thinkspeak, Blynk 등의 API와 알고리즘을 활용한 클라우드 데이터베이스 구축
		• 실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가	
실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서 개발	재실자 생체 정보 계측이 가능한 패치형 센서 개발	• 생체 정보 계측 센서 설계	• 유연 온·습도 센서의 스펙 및 특성 분석을 통한 설계
		• 재실자 생체정보(온도, 습도, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발	• 생체신호 수집을 위한 모듈 개발
	실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발	• 무선통신 기능을 탑재한 생체정보 수집센서 개발	
		• 플렉서블 생체정보 수집센서 개발	

연구수행 절차	
	

연구 성과			
	1	실험 환경	• 재실자 생체 정보 및 실내 환경 정보 요소 및 입출력 정보 정의 • 가상 실험 환경 구축
	2	데이터 수집	• 실내 환경 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축 • 클라우드 데이터베이스 구축 • 수집 데이터 전처리
	3	알고리즘 설계	• 실내 환경 정보 및 재실자 생체 정보 간 상관관계 분석 • 가상환경 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 개선
	4	데이터 학습	• 데이터 입출력 정의 데이터 송수신 최적화 • 알고리즘 개선 및 최적화
	5	결과 예측	• 생체반응형 딥러닝 모델 성능 평가

(2) 세부연구목표별 연구개발 결과 요약

(가) 1차년도 연구개발 결과 요약

1-1	딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의

- 입출력 정보는 재실자 생체 정보와 실내 환경 정보 및 주관적 쾌적도 설문조사 데이터가 요소로 적용됨
- 재실자 생체 정보 요인은 피부 온도 및 습도, 심박수를, 실내 환경 정보는 오피스 내의 각 위치별 온도 및 습도, 개별 온열기기 근처의 온도 및 습도를 선정함.

1-2	실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축

- 데이터베이스 구축을 위한 실험은 오피스 환경과 유사한 연구실에서 진행되었음.
- 실험환경 : 온열환경에 따른 생체 정보 관계 분석을 위해 1) 업무환경 조성, 2) 심박수 측정을 위한 Hband 착용, 3) 피부 온도 및 습도 측정을 위해 양쪽 팔에 센서 부착

1-3	생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석

- 데이터 간의 유의미한 상관관계를 나타내어 이를 딥러닝 알고리즘 설계에 변수로 활용하기 위해 실내 환경정보 요소 및 생체정보 요소에서 서로 상관관계를 보이는 기존 문헌을 분석하였음.

1-4	생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계

- 데이터의 시계열 특성을 반영할 수 있는 LSTM 모델 적용
- 실시간으로 변화하는 다양한 실내환경 정보와 생체 정보 데이터의 시계열적 특성을 분석하고 이에 따른 재실자의 쾌적도 추정에 적합함.

(나) 2차년도 연구개발 결과 요약

2-1	가상환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선

- 프레임워크 개선 : 1차년도에 사용했던 tensorflow 알고리즘을 pytorch 프레임 워크로 변경하여 전보다 처리 속도와 성능을 증가 시켰으며 코드를 보다 단순화 시켰음.
- 알고리즘 개선 : 기존 Time sequence의 구성을 4개에서 3개로 변경하였으며 layer 값을 3개에서 2개로 변경하여 학습과정의 over fitting 문제점 해결
- 노이즈 제거 : 수집 데이터의 노이즈 제거 및 결측값을 보간법을 사용하여 보강

2-2	클라우드 기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계

- 무선 플렉서블 센서와 연동이 가능한 API를 활용하여 클라우드 데이터베이스 구축
- 각 센서 마다 field를 설정하고 센서와 연결된 컴퓨팅 플랫폼 2가지를 사용하여 웹과 스마트폰으로 데이터를 export할 수 있도록 개발
- 수집된 생체, 실내환경, PMV 데이터 등을 알고리즘과 연계가 가능한 폴더로 옮겨 전처리 진행함

2-3	실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가

- 1차년도 실험 환경에서 센서의 개수와 부착 위치를 조정
- 총 8개의 Input value와 온열쾌적성의 상관관계를 분석한 결과 재실자의 온열쾌적성 예측에 피부 습도는 유의미한 상관관계가 적고 학습에 방해가 되어 제거
- 총 6개의 Input vlaue로 학습을 진행하였음.

(3) 1세부 연구개발 수행결과

(가) 1차년도 연구수행 내용 및 결과

① 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의

• 본 연구에서는 연구의 최종 성과물인 “자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델”의 핵심 개념인 딥러닝 알고리즘 설계를 위하여 재실자의 생체 정보 요소 및 실내 환경 정보 요소를 분석하였으며, 딥러닝 알고리즘 설계에 요구되는 데이터 정보 요소들의 입출력 정보를 정의하여 알고리즘 설계에 적용하였음.

㉮ 딥러닝 알고리즘 개요

- 본 연구의 최종 목표인 재실자 생체 반응형 실시간 자동 공조 제어를 위한 IoT 원천 기술에 적용된 딥러닝(LSTM) 알고리즘은 RNN(Recurrent Neural Network)의 한 종류로 인공신경망(Neural Network)의 원리에 따라 데이터를 학습하고 처리하는 방식임.
- LSTM(Long Short Term Memory)방식은 Hochreiter & Schmidhuber (1997)에 의해 소개되었고, 긴 의존 기간을 필요로 하는 학습을 수행할 능력을 갖고 있어 시계열 데이터를 분석하기 위해 주로 활용되고 있음.
- 따라서 실내 환경 정보 데이터와 재실자 생체 정보 데이터베이스를 활용하여 생체 반응형 딥러닝(Bio-Response LSTM; BR-LSTM) 모델을 구현
- BR-LSTM 모델을 활용하여 실내 환경 변화와 재실자의 생체 변화를 분석하여 재실자의 쾌적도를 예측하였음.

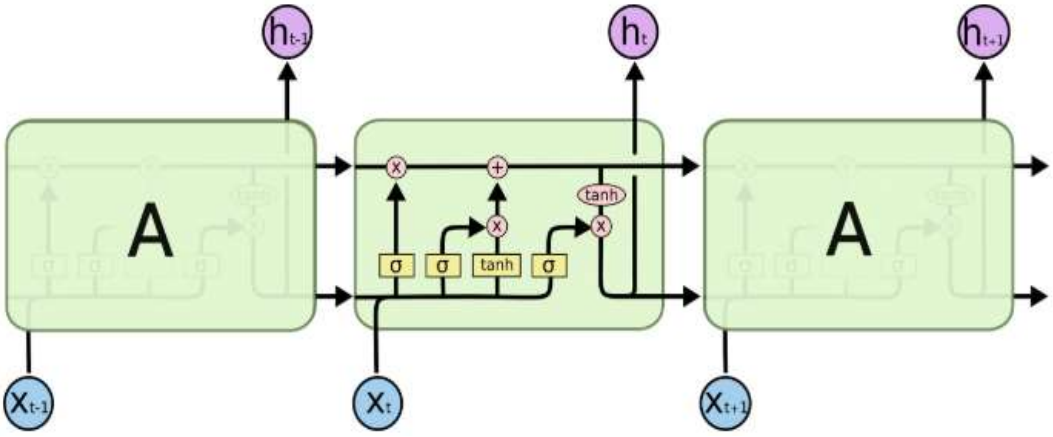


그림 7. LSTM의 반복 모듈 기본 개념

㉯ 재실자 생체 정보 요소 정의

- 본 연구에 적용하는 딥러닝(LSTM) 알고리즘 학습데이터는 크게 2가지 요소(재실자 생체정보 및 실내 환경 정보)로 구분됨.
- 기존 다수 연구문헌 분석결과, 심박수가 개인별 온열 쾌적여부를 예측할 수 있는 지표로 활용될 수 있음.
- 또한, 실내 온도는 심박변이도 분석지표인 LF, HF 등에 모두 영향을 주며 HF 값이 온도변화와 가장 큰 상관도를 보이는 연구결과가 있음.

- 특히, 손등이나 손끝의 피부온도와 전신 온열감의 상관관계 연구를 진행하였으며 손끝의 피부온도가 평균 온열감을 예측할 수 있는 도구로 활용될 수 있음.
- 이러한 연구결과를 바탕으로 아래의 표 1과 같이 생체정보 측정요인과 장비, 측정방식을 정의하였음

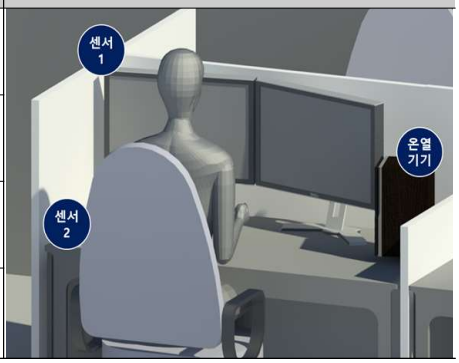
표 1. 재실자 생체 정보 요소 및 측정 개요

요소	단위	데이터 간격	활용 장비	측정 위치
피부 온도	℃	2 sec	상용 온·습도 센서	
피부 습도	%	2 sec	상용 온·습도 센서	
심장 박동수	BPM	1 sec	Max-Heath-Band	

㉯ 실내 환경 정보 요소 정의

- 앞서 정의한 생체 정보 요소에 이어, 본 절에서는 실험을 통해 수집되는 데이터베이스 요소 중 실내 환경 정보 요소를 정의하고자 함.
- 실내 온열환경 평가를 위해 ASHRAE Standard 55에 제시된 환경 요인(온도, 복사온도, 습도, 기류 속도) 및 개인 요인(착의량, 대사량)을 고려하여 열 쾌적도를 수학적으로 표현한 PMV(Predicted Mean Vote) 모델이 쾌적 기준으로 활용되고 있음.
- 하지만 Joyce Kim(2018)은 PMV 모델은 실제 건물 내에서 재실자들의 평균적인 쾌적도를 예측하도록 설계되어 소수의 사람이나 개인에게 적용할 때 예측에 대한 정확도가 떨어지며, PMV의 수학적 모델은 측정이 어려운 요인(기류 속도, 대사율 등)들을 활용해야 하기 때문에 실제 환경에서 완전한 적용이 어려움을 나타내었음.
- 또한 김보성(2011)은 PMV 모델에 근거한 환경에서 생리적 특성들이 각각 다른 결과를 나타내어 보편적인 쾌적성을 반영하지 못하는 연구 결과도 나타내었음.
- 이에 따라, 실험환경 구성, 데이터 취득, LSTM 모델 학습 최적화를 위하여, 다음의 표 2와 같이 실내환경정보 요소를 본 연구개발의 요인으로 설정하였음

표 2. 실내 환경 정보 요소 및 측정 개요

요소	단위	데이터 간격	활용 장비	측정 위치
실내 온도 1 (시스템 에어컨 영향)	℃	2 sec	DHT22 Raspberry Pi	
실내 습도 1 (시스템 에어컨 영향)	%	2 sec	DHT22 Raspberry Pi	
실내 온도 2 (개별 온열기기 영향)	℃	2 sec	DHT22 Raspberry Pi	
실내 습도 2 (개별 온열기기 영향)	%	2 sec	DHT22 Raspberry Pi	

- 실내 온도 및 습도 센서는 피험자 책상 위치 별 위쪽과 아래쪽 2곳에 부착하여 실험을 진행하였음.
- 표 2에서 ‘실내 온도 1’과 ‘실내 습도 1’은 측정 위치 그림의 ‘센서 1’에 해당하는 데이터임.

- 센서 1 : 오피스에 설치된 시스템 냉·난방기의 영향을 반영하는 실내 온열 환경을 측정하기 위해 활용
- 센서 2(실내 온도 2, 실내 습도 2) : 피험자들 책상 근처에 개별적으로 제어가 가능한 개별 온열기기를 위치시켜 해당 기기의 영향을 반영하는 실내 온열 환경을 측정하기 위해 활용되었음.

㉣ 입출력 정보 정의

- 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계 시 사용될 입력(Input) 및 출력(Output) 정보를 정의하기 위해 앞서 선정한 생체 정보 및 실내 온열 환경 요소 데이터 수집을 위한 실험을 진행하였음.
- 이후 수집된 데이터를 정리하여 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계 시 활용 가능한 데이터 형태로 전처리 과정을 거침.
- 수집하여 정리된 데이터를 활용하여 입력 및 출력 정보를 정의하였음.
- 딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보로는 실내 환경정보의 경우 오피스 내의 각 위치별 온도 및 습도(오피스 내 시스템 에어컨의 영향을 측정하기 위함), 개별 온열기기 근처의 온도 및 습도를 요인으로 선정하였음.
- 생체정보 데이터로는 피험자의 피부 온도 및 습도, 심박수를 요인으로 선정하였음.
- 이러한 입출력 변수는 기존 문헌을 바탕으로 선정되었으며, 변수끼리의 유의미한 상관관계를 나타내어 이를 활용하여 딥러닝 알고리즘 설계에 변수로 활용하였을 때 적절하다고 판단되는 변수들로 정의하였음.
- 다음 <표 3>에서는 실내 환경 정보 요소 및 생체 정보 요소 간 상관관계를 나타내는 기존 연구들을 나타내었음.

표 3. 입출력 변수의 상관관계 관련 기존 연구

상관관계		Peter Strom Tejsen 외. (2009)	배치혜 외. (2010)	Zhaojun Wang 외. (2013)	JoonHo Choi 외. (2012)	Weiwei Liu 외. (2008)	강기남 외. (2010)	이겨레 외. (2019)	민세동 외. (2015)	신항식 외. (2015)	Ye Yao 외. (2009)
변수1	변수2										
온열쾌적도	피부온도	●	●	●							
온열쾌적도	심박수				●	●					
온열쾌적도	실내온/습도						●				
피부온도	실내온/습도		●								
심박수	실내온/습도							●	●	●	●

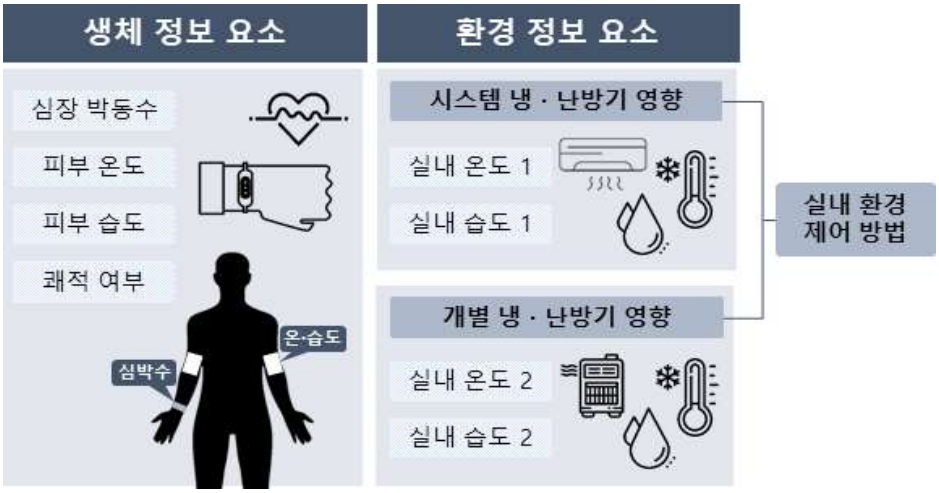


그림 8. 입출력 정보 요소

② 실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축

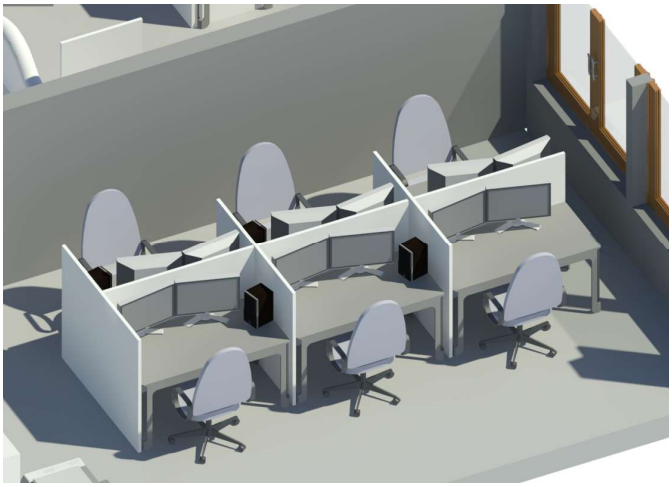
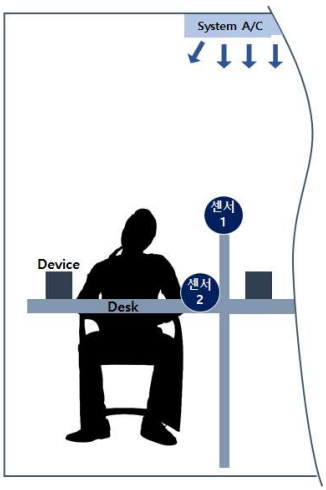
㉮ 데이터 수집 실험 프로토콜

- 실험은 시스템 에어컨이 작동되고 있는 환경에서 재실자가 개별 온열기기를 활용하였을 때의 오피스 내 온열 환경(실내 온도, 실내 습도)에 따른 재실자의 생체정보(피부온도, 피부 습도, 심장 박동수)를 측정하여 비교, 분석하는 것을 목적으로 함.
- 실험은 오피스 환경과 유사한 연구실에서 진행되었고 연구원을 피험자로 지정
- 실험 전 15분 정도 안정화 기간을 거친 후 오피스에서의 온열환경에 따른 생체 정보 관계 분석을 위해 평소와 같은 업무환경을 조성
- 피험자는 심박수 측정을 위해 장치를 착용하였음. 또한 피부 온도 및 습도 측정을 위해 양쪽 팔에 센서를 부착하였음.

표 4. 데이터 수집 실험 프로토콜

구분	내용	소요시간
①	적응 시간 및 hBand	15분
②	1차 실험 환경 노출	105분
③	점심 및 휴식	60분
④	2차 실험 환경 노출	120분
실험 환경		

표 5. 실험 공간 투시도 및 단면도

투시도	단면도
	

- 실험을 위해 오피스 환경과 유사한 연구실의 연구원을 피험자로 선정하였으며, 오피스는 3.8m x 8.2m x 4.0m(W x D x H) 규모의 연구실에서 실시됨.
- 해당 연구실 내에는 총 6개의 책상 및 의자가 배치되어 있으며, 연구실 평면은 다음

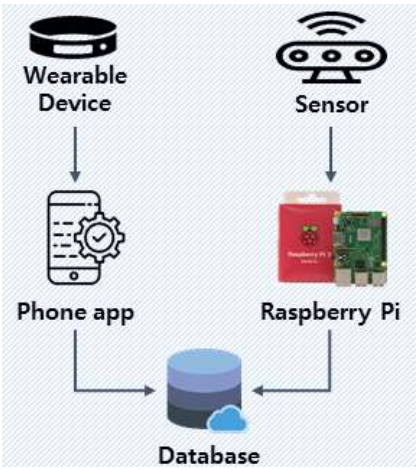
<표 5>과 같음.

- 연구실 내에는 시스템 에어컨 1개가 <표 5>의 단면도와 같이 상부 중앙에 설치되어 있음.
- 각 피험자들의 개별 공조 기기들은 <표 5과> 같이 책상 상단 오른쪽에 배치하였음.
- 각 책상 사이에는 파티션이 설치되어 실제 오피스 환경과 유사하게 구성하였음.
- 이러한 구조는 다른 피험자에게 각 피험자의 개별 온열기기의 영향이 적도록 하는 효과가 있음.

㉰ 수집 데이터 전처리 과정

- 본 실험에서 실내 온열 환경 정보 수집을 위해 온도 및 습도 측정 센서인 DHT 22를 활용하였음.
- 온도 및 습도 센서는 각 피험자의 영역에서 상부와 하부 총 2곳에 설치하였으며, Raspberry Pi 3 B+와 회로를 통해 연결시켜 센서로부터 데이터를 수집함.
- DHT 22는 2초 간격으로 데이터가 측정됨. 개별 온열기기는 전기 온풍기 DH-QN02 모델을 사용하여 피험자가 개별로 조절하도록 하였음.
- 또한 재실자가 불쾌감을 느끼는 경우 지표로 활용하기 위해 푸시버튼 센서를 활용하여 누르도록 하였음.
- 푸시버튼 센서 또한 Raspberry Pi B+를 활용하여 python 코딩을 통해 데이터를 수집함.

표 6. 사용된 센서 및 장비 개요

센서 및 장비 종류	수집 데이터 요소	데이터 획득 방법	개수 (1人)	개념도
DHT 21	피부 온도 및 습도	위탁연구기관 협동	2pc	
Max-Heath-Band	심장 박동수	스마트폰 앱 활용	1pc	
DHT 22	실내 온도 및 습도	Raspberry pi python coding	2pc	
푸시 버튼 센서	공조 제어 신호	Raspberry pi python coding	1pc	

- 모든 센서 및 장비를 통한 수집 데이터는 csv 유형의 파일로 수집한 후, 수집 데이터를 Excel 파일로 변환하여 피험자 1명, 1일 기준으로 하나의 파일에 각 항목별로 정리하였음.
- 또한 실내 온도 및 습도 측정을 위한 센서의 데이터 수집 간격이 2초인데 반해 나머지 데이터들의 수집 간격은 모두 1초이기 때문에 실내 온도 및 습도 데이터를 1초 간격으로 증폭시키는 과정을 거쳤음.
- 수집된 데이터는 총 1,159,795개 이며, 실내 환경 정보 데이터와 재실자 생체 정보 데이터 그리고 쾌적 지표를 나타내는 데이터를 수집하여 데이터베이스를 구축함.

표 7. 실내 환경 정보 및 재실자 생체 정보 데이터 베이스 구축 현황

실험 날짜	실내 환경 정보 데이터				재실자 생체 정보 데이터					쾌적지표		합계
	공용 공간		개인공간		왼팔		오른팔		심박수 (HR)	푸시 버튼 (Button)	쾌적 여부 (PMV)	
	온도(T1)	습도(H1)	온도(T2)	습도(H2)	온도(T3)	습도(H3)	온도(T4)	습도(H4)				
2019 0906	● 8,346	● 8,346	● 8,353	● 8,353	○ X	○ X	○ X	○ X	● 721	◐ 6	○ X	34,125
2019 0911	● 10,517	● 10,517	● 10,517	● 10,517	○ X	○ X	○ X	○ X	● 46,555	◐ 9	○ X	88,632
2019 0918	● 8,671	● 8,671	● 8,672	● 8,672	◐ 454	◐ 454	◐ 452	◐ 452	● 28,663	◐ 10	○ X	63,359
2019 0919	● 9,993	● 9,993	● 9,990	● 9,990	● 419	● 419	● 419	● 419	● 22,931	● 11	○ X	62,908
2019 1002	● 2,656	● 2,656	● 2,654	● 2,654	○ X	○ X	○ X	○ X	● X	◐ 11	○ X	10,631
2019 1004	● 17,978	● 17,978	● 17,978	● 17,978	○ X	○ X	○ X	○ X	● 16,138	◐ 36	○ X	88,086
2019 1008	● 53,212	● 53,212	● 53,211	● 53,211	○ X	○ X	○ X	○ X	● 22,026	◐ 28	○ X	234,900
2019 1015	● 51,583	● 51,583	● 51,583	● 51,583	○ X	○ X	○ X	○ X	● X	◐ 48	○ X	206,380
2019 1015	● 17,569	● 17,569	● 17,569	● 17,569	○ X	○ X	○ X	○ X	● 33,086	◐ 9	○ X	103,371
2019 1016	◐ 6,336	◐ 6,336	● 20,723	● 20,723	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	● 14,349	◐ 16	○ X	68,483
2019 1017	● 14,393	● 14,392	● 14,387	● 14,387	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	● 20,620	◐ 20	○ X	78,199
2019 1018	◐ 8,877	◐ 8,877	◐ 8,879	◐ 8,879	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	◐ 추출중	● X	◐ 17	○ X	35,529
2019 1020	● 4,870	● 4,870	● 4,870	● 4,870	○ X	○ X	○ X	○ X	● 11,831	◐ 10	● 43	31,364
2019 1020	● 9,397	● 9,397	● 9,397	● 9,397	○ X	○ X	◐ 추출중	○ X	● 16,204	◐ 3	● 33	53,828
총계												1,159,795

데이터 수집 현황 ● : 좋음 ◐ : 보통 ○: 나쁨

③ 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석

㉮ 선행연구 기반 입출력 변수의 상관관계 및 적절성 검토

- 딥러닝 알고리즘 설계의 입출력 변수는 앞서 언급하였던 실내환경 데이터(온도 및 습도)와 생체정보 데이터(피부 온도, 피부 습도 및 심장박동수)임.
- 이러한 입출력 변수는 기존 문헌을 바탕으로 선정되었으며, 변수끼리의 유의미한 상관관계를 나타내어 이를 활용하여 딥러닝 알고리즘 설계에 변수로 활용하였을 때 적절하다고 판단되는 변수들로 정의하였음.
- 적절한 입출력 변수를 정의하기 위해 실내 환경정보 요소 및 생체정보 요소에서 서로 상관관계를 보이는 기존 문헌을 분석하였음.
- 다음 표 8에서는 본 연구에서 정의한 입출력 변수들의 상관관계를 분석한 기존 연구들을 나타내었음.

표 8. 재실자 생체정보와 실내 환경정보의 상관관계 관련 기존 연구

저 자	내 용	상관관계	
		변수1	변수2
Peter Strom Tejsen 외. (2009)	손등이나 손끝과 같은 부위의 피부온도와 전신 온열감의 상관관계 연구를 진행하였으며 손끝의 피부온도가 평균 온열감을 예측할 수 있는 도구로 활용될 수 있다고 제안함.	온열 쾌적도	피부 온도
배치혜 외. (2010)	피부온도와 온열감, 온열 선호도 간 유의미한 상관관계(R^2= 0.61~0.68)를 나타내며 이는 성별에 따라 차이를 보이기도 함.		
Zhaojun Wang 외. (2013)	평균 피부 온도의 경우 온열감과 높은 상관성 (R^2=0.9737)을 나타내고 있음.		
JoonHo Choi 외.(2012)	심장박동수와 심박변이도(HRV)는 더운 상태에서 상당히 증가하였으며, 심장박동수는 대사량의 영향을 크게 받음.	온열 쾌적도	심장 박동수
Weiwei Liu 외.(2008)	심박변이도(HRV)에서 쾌적도를 나타내는 LF/HF 값을 분석하였을 때 온열쾌적감 사이에 유의미한 상관관계가 있음을 밝힘.		
강기남 외. (2010)	PMV는 실내 온도 변화 패턴과 거의 유사하게 나타나며, 측정된 환경 요소(풍속, 온도, 복사온도, 습도) 중에서 실내온도의 변화가 PMV 쾌적감 지표에 가장 큰 영향을 주는 결과를 제시함.	온열 쾌적도	실내 온/습도
배치혜 외. (2010)	피부온도와 작용온도 간 유의미한 상관관계를 나타내며(R^2 =0.8~0.9) 이는 성별에 따라 차이를 보이기도 함.	피부 온도	실내 온/습도
이겨레 외. (2019)	피험자들은 환경에 대한 쾌적감을 느낄 때 LF/HF 지표가 1과 가까운 값이 도출되었음. 이를통해 LF/HF 지표가 개인별 온열 쾌적 여부를 예측할 수 있는 생리적 반응 지표로 사용될 수 있음을 제안함.	심장 박동수	실내 온/습도
민세동 외. (2015)	다양한 온도조건에서 심박변이도 시간영역 분석 기법을 통해 추출한 자율신경계 분석지표와 주변 온도의 변화가 유의한 상관성을 가지고 있음을 확인하였음.(시간영역 분석 지표 중 AVNN, RMSSD, pNN20 이 가장 유의미한 수치를 나타내었음)		
신항식 외. (2015)	주변 온도는 VLF, LF, HF 성분에 모두 영향을 주며 그 중 HF 성분과 관계된 생체 활동이 가장 큰 영향을 받음.		
Ye Yao 외. (2009)	심전도 센서를 활용하여 HRV의 LF/HF 값은 1에 가까운 상관도를 보임.		

㉮ 열적 체감에 따라 발생하는 재실자 생체정보 변화 분석

- 한 요인 내에 있는 두 독립 표본 이상의 종속변수의 평균치에 대한 차이가 통계적으로 유의미한지를 검정하는 통계기법인 일변량분석 기법을 사용하여 해당 연구에서 수집한 데이터들의 요소의 상관관계을 분석함.
- 본 연구에서는 오피스 내 환경에서 재실자가 느끼는 열적 체감(이하; 쾌적도)과 재실자의 생체정보를 수집하여 쾌적도와 생체정보 간의 상관관계를 분석하였음.
- 실내 환경에서 재실자의 쾌적도와 생체정보는 '2.2.1 데이터 수집 프로토콜'에 따라, 데이터를 수집하였으며, 입출력 데이터로 정의된 10가지의 값(Value)을 바탕으로 상관관계를 분석하였음.
- 열적 체감에 따라 발생하는 재실자의 생체 정보 변화 분석을 위해, 개인 공간의 온/습도를 온열기기를 통해 의도적으로 조절함으로써 다양한 환경 변화를 조성하였음.
- 동시에, 재실자의 생체 정보 데이터를 수집하기 위하여 신체에 부착이 가능한 온/습도 센서를 활용하여 생체 정보를 수집하였음.
- 센서로 부터 수집된 데이터를 통해 상관관계를 분석하기 위하여 표 9와 같이 전처리 과정을 통해 수집된 데이터를 1초 간격으로 증폭시켰으며, 각 데이터가 균등하게 분포될 수 있도록 정리하였음.

표 9. 데이터 증폭 및 전처리된 실내환경 정보 및 생체정보 데이터 현황

Pearson 상관관계	실내 환경 정보 데이터		재실자 생체 정보 데이터			
	개인 공간		왼팔		오른팔	
	온도(T2)	습도(H2)	온도(T3)	습도(H3)	온도(T4)	습도(H4)
온도(T2)	1	−.882**	−.293**	.017*	**.512***	**−.492****
습도(H2)		1	.243**	−.008	**−.539****	**.565****
온도(T3)			1	.054**	.079**	.109**
습도(H3)				1	−.083**	.531**
온도(T4)					1	−.697**
습도(H4)						1

** 상관관계가 0.01 수준에서 유의. (양측)
* 상관관계가 0.05 수준에서 유의. (양측)

㉯ 실내 환경 정보 및 재실자 생체 정보 간 상관관계 분석

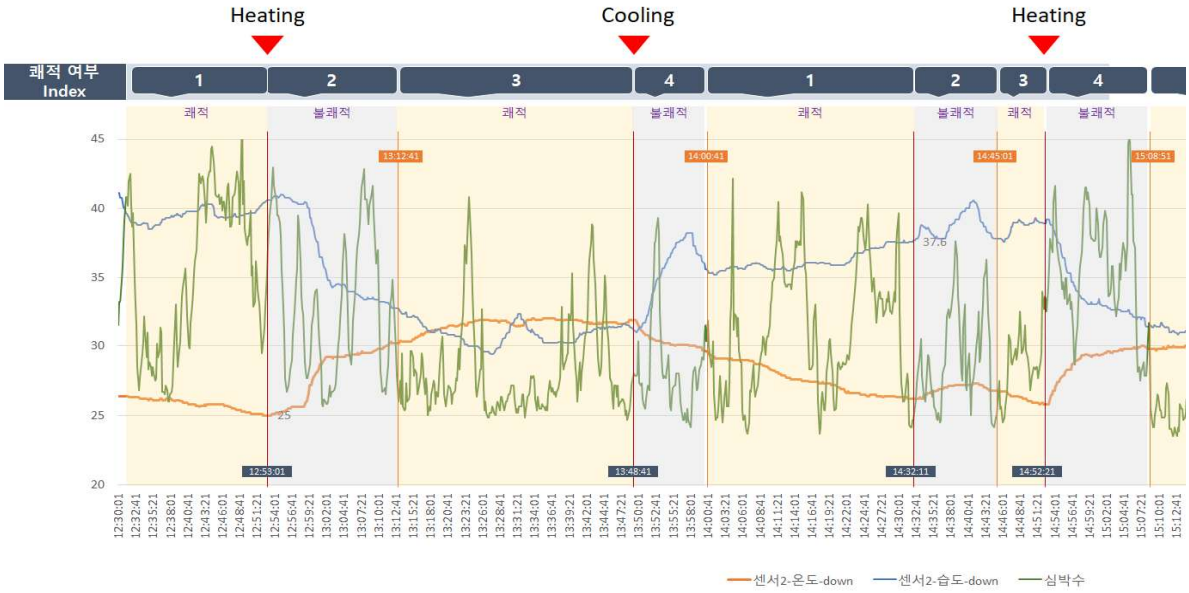


그림 9. 온/습도 및 심박수의 쾌적여부 그래프

- 실내 온/습도와 심박수 데이터의 그래프를 나타내었음. 그래프에 쾌적과 불쾌적 범위를 나누어 쾌적지표를 설정함.
- 재실자가 불쾌감을 느끼는 경우 누른 푸시버튼 데이터를 이용하여 쾌적지표를 1~4로 나누었음.

표 10. 쾌적지표(1) 구간 상관관계

Pearson 상관관계	실내환경 정보 데이터		재실자 생체 정보 데이터		
	온도(T2)	습도(H2)	온도(T4)	습도(H4)	심박수
온도(T2)	1	−0.396**	−0.543**	0.318**	−0.330**
습도(H2)		1			0.548**
온도(T4)			1		0.175*
습도(H4)				1	0.099*
심박수					1

** 상관관계가 0.01 수준에서 유의. (양측)
* 상관관계가 0.05 수준에서 유의. (양측)

표 11. 전체 구간 상관관계

Pearson 상관관계	실내환경 정보 데이터		재실자 생체 정보 데이터		
	온도(T2)	습도(H2)	온도(T4)	습도(H4)	심박수
온도(T2)	1	−0.872**	0.514**	−0.499**	−0.317**
습도(H2)		1	−0.543**	0.588**	0.209*
온도(T4)			1		−0.159*
습도(H4)				1	0.199*
심박수					1

** 상관관계가 0.01 수준에서 유의. (양측)
* 상관관계가 0.05 수준에서 유의. (양측)

- 재실자 생체정보 변화 분석을 통해 수집한 전체 구간 데이터 분석 결과, 실내 환경정보(개인공간) 데이터로부터 수집된 온/습도(T2/H2)는 <표 13>와 같이 재실자의 심박수 및 생체 온/습도(T4/H4)데이터와 유의미한 상관관계를 나타내는 것으로 확인됨.
- 전체 구간에서의 실내 온/습도(T2/H2) 데이터와 온/습도(T4/H4)는 <표 14> 같이 큰 상관관계를 보이는 것으로 나타남.
- 쾌적지표(1) 구간에서는 실내 온/습도(T2/H2) 데이터와 심박수 데이터가 전체구간에서보다 더 큰 상관관계를 보임을 확인함.

④ 생체 반응형 딥러닝 (LSTM) 알고리즘 설계

㉮ 생체 반응형 딥러닝 (LSTM) 알고리즘 기본 개요

- 생체 반응형 딥러닝 알고리즘을 설계하기 위하여, Hochreiter & Schmidhuber (1997) 제안한 Long Short Term Memory(LSTM) 모델을 도입하였으며, 이는 짧은 시간에 변화하는 실내 환경 정보 데이터와 실내 환경 변화에 따라 반응하는 생체 정보의 적응시간을 반영하는데 적합한 것으로 판단됨.
- 또한, 데이터의 시간 흐름의 특성을 반영할 수 있는 딥러닝 알고리즘으로 본 연구에서 수집하는 다양한 실내환경 정보와 생체 정보 데이터를 바탕으로 예측하고자 하는 재실자의 쾌적도를 분석하는데 적합함.
- 기본적으로 LSTM을 구성하는데 있어 시간의 흐름에 따라 달라지는 쾌적지표를 반영하기 위하여 Many to Many LSTM의 형식으로 모델을 구성하였음.

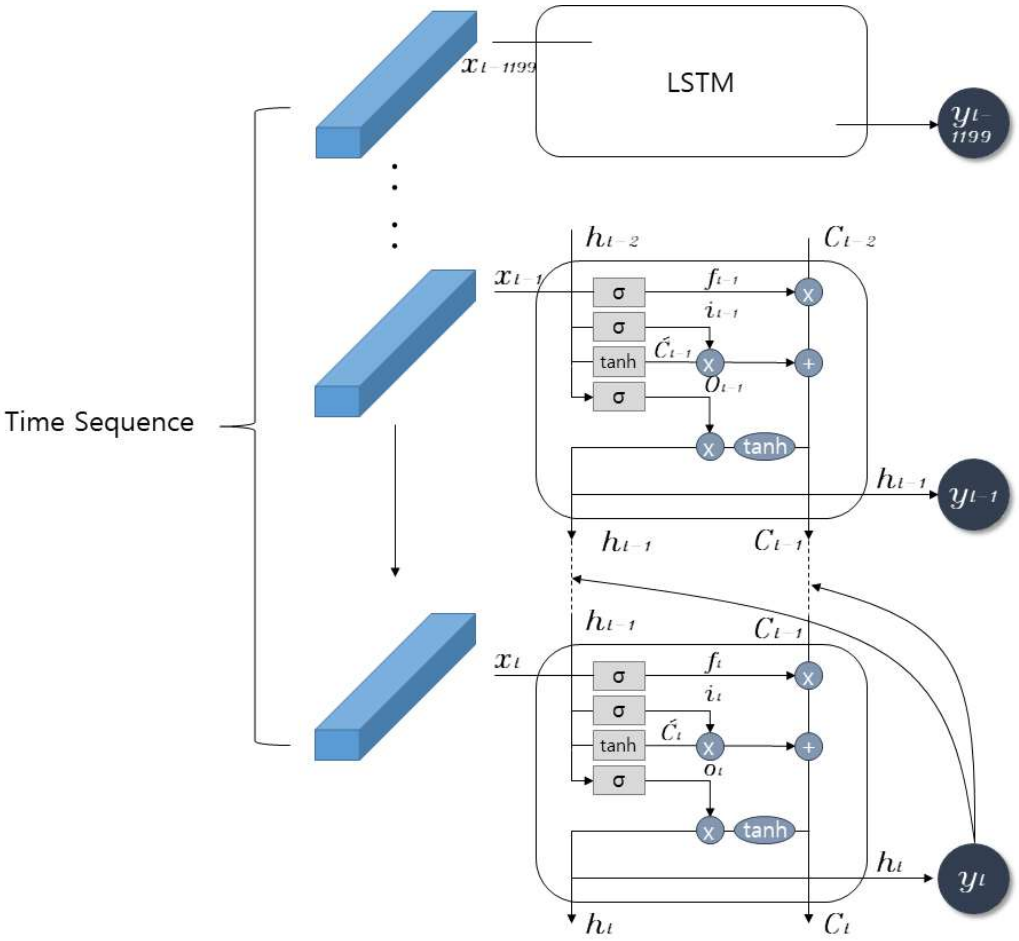


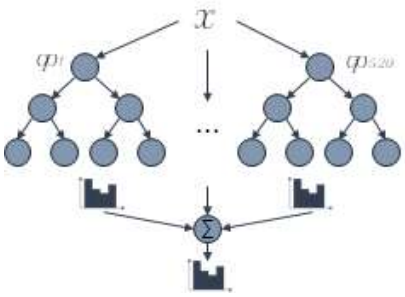
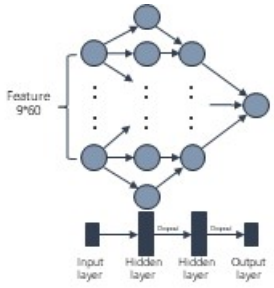
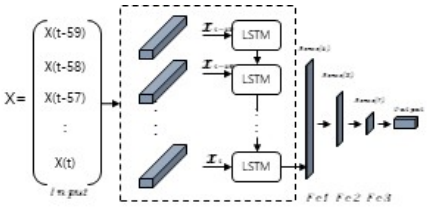
그림 10. Many to Many LSTM 구조

- 시간의 흐름(1초단위)에 따라 수집되는 데이터의 변화를 효과적으로 분석하기 위하여 본 연구에서 구성한 LSTM 알고리즘의 Tiem Sequence를 네 가지 구간(60,300,600,1200)으로 구분하여 설정하였음.
- 또한, Input Dataset으로 입력되는 데이터의 Feature 수는 '2.1. 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의' 에 따라 9가지로 설정하고, Output 값으로는 쾌적지표를 나타내는 Label은 쾌적(1)/불쾌(0)로 설정하였음.

㉰ 생체 반응형 딥러닝 (LSTM) 알고리즘 구조

- 본 연구에서 활용하는 LSTM기반 알고리즘은 머신러닝(ex; RandomForest) 또는 딥뉴럴네트워크(DNN; Deep Neural network)에 비해 네트워크의 계산량이 많아 계산속도가 느리다는 단점을 지니고 있으나, 시간의 흐름에 따라 변화되는 데이터의 특성을 반영하여 목표값(Target Value)을 예측하는데 적합한 구조를 지니고 있으므로, 시계열 데이터를 분석하는데 최적화되어 있음.

표 12. 알고리즘에 따른 정확도 비교 분석 결과

알고리즘 구조	정확도				
		Precision	Recall	F1-score	Support
 RandomForest 구조	class0	0.42	0.91	0.57	1715
	class1	0.24	0.02	0.04	2220
	micro avg	0.41	0.41	0.41	3935
	macro avg	0.33	0.46	0.31	3935
	weighted avg	0.32	0.41	0.27	3935
	Accuracy	0.40787			
		Precision	Recall	F1-score	Support
 DNN 구조	class0	0.88	0.42	0.57	3451
	class1	0.1	0.54	0.17	412
	micro avg	0.43	0.43	0.43	3863
	macro avg	0.49	0.48	0.37	3863
	weighted avg	0.8	0.43	0.53	3863
	Accuracy	0.43411			
		Precision	Recall	F1-score	Support
 Simple LSTM 구조	class0	0.90	0.46	0.61	3332
	class1	0.19	0.70	0.30	591
	micro avg	0.50	0.50	0.50	3923
	macro avg	0.54	0.58	0.45	3923
	weighted avg	0.79	0.50	0.56	3923
	Accuracy	0.49579			

- 표 12와 같이 결과적으로 RandomForest 혹은 DNN 모델에 LSTM 모델의 정확도가 더 높은 값을 나타내고 있음을 확인하였음.
- 이는 다른 모델과 달리 LSTM 모델의 경우 데이터 입력부에서 시간의 흐름(Time Sequence) 특성을 반영하여 데이터를 처리하기 때문에 시계열 데이터를 보다 정확하게 해석할 수 있다고 판단됨.
- 본 연구에서는 센서를 통해 수집된 실내 환경 변화 데이터와 생체 변화 데이터를 시간의 흐름에 따라 배열한 후, Time Sequence 설정에 따라 LSTM 모델에 입출력 변수로 설정하였음.
- 그러나 단일 Simple LSTM 모델의 경우 Time Sequence를 하나만 설정할 수 있

기 때문에, 시시각각 변화하는 데이터를 분석하는데 특정 구간(시간 길이)만 고려하여 분석해야하는 단점이 존재함.

- 따라서, 본 연구에서는 Time Sequence를 여러 구간으로 설정하여 이를 복합적으로 고려할 수 있도록 알고리즘의 구조를 개선하여 제안하였음.
- 본 연구에서는 이를 Bio-Response Long Shor Time Memory (BR-LSTM) 모델이라 명명하였으며, 알고리즘 구조는 <그림 11>와 같음.

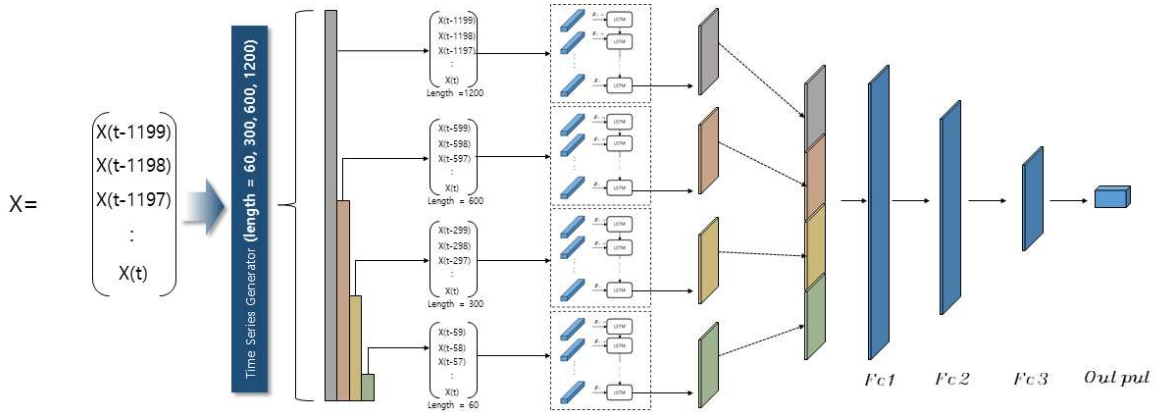


그림 11. 통합 BR-LSTM 구조

- 본 연구에서 제안하는 BR-LSTM 모델은 시간의 흐름에 따라 변화되는 실내 환경 정보와 생체 정보변화를 분석하여 재실자의 쾌적도를 예측하는 것이 목적이므로, 실내 환경 변화에 반응하는 시간을 반영하여 모델을 설계하는 것이 중요함.
- Xiuyuan Du (2014) 연구에 따르면, 실내 환경 변화에 따른 생체 변화의 반응 시간은 대략 20분정도 후에 반응이 나타난다는 연구 결과를 바탕으로 BR-LSTM의 Time sequence를 1200(20분)으로 설정하였음.
- 또한, 짧은 간격(Short Time)으로 변화되는 실내 환경 정보와 긴 간격(Long Time)으로 변화되는 생체 반응을 모두 반영하기 위하여 60, 300, 600, 1200의 네 가지 Time sequence를 적용한 통합 BR-LSTM 모델 구조를 제안하였음.

(나) 2차년도 연구수행 내용 및 결과

① 가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선

- 1차년도의 입출력 데이터에서 상관관계를 계산한 결과 실내 온습도와 생체 온습도가 표 13과 같이 심박수와 상관관계가 굉장히 낮으며 피부 습도는 표 14와 같이 온열쾌적감 예측에 있어 상관관계가 다른 입출력 데이터보다 낮음.
- 그로 인해 수집된 데이터의 질과는 별개로 딥러닝 학습에 방해가 되는 요소로 작용하게 되어 해당 요소들을 제외하여 딥러닝 알고리즘 개선을 진행함.

표 13. 심박수 상관관계

Pearson 상관관계	실내환경 정보 데이터		재실자 생체 정보 데이터		
	온도(T2)	습도(H2)	온도(T4)	습도(H4)	심박수
온도(T2)	1	−0.872**	0.514**	−0.499**	−0.317**
습도(H2)		1	−0.543**	0.588**	0.209*
온도(T4)			1		−0.159*
습도(H4)				1	0.199*
심박수					1

** 상관관계가 0.01 수준에서 유의. (양측)
* 상관관계가 0.05 수준에서 유의. (양측)

표 14. 피부 습도 상관관계

Spearman의 rho

		subPMV	T1	H1	T2	H2	T_RHAND	H_RHAND	T_LHAND	H_LHAND
H_RHAND	상관계수	.096**	.158**	−.089**	.176**	−.126**	.193**	1.000		
	유의확률(양측)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.		
	N	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803		
T_LHAND	상관계수	.692**	.889**	−.855**	.892**	−.873**	.925**	.136**	1.000	
	유의확률(양측)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.	
	N	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803	
H_LHAND	상관계수	.259**	.234**	−.177**	.220**	−.130**	−.026**	−.026**	.115**	1.000
	유의확률(양측)	.000	.000	.000	.000	.000	.006	.007	.000	.
	N	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803	10803

**. 상관관계가 0.01 수준에서 유의. (양측)

• 알고리즘 구조는 기존 Time sequence의 구성을 4개 구성에서 3개로 변경하였으며 Input length 역시 기존의 1200, 600, 300, 60 값에서 120, 60, 30으로 변경과 Fc layer 값을 기존 3개에서 2개로 변경을 통해 기존 모델의 Overfitting 문제점을 최소화 하였으며 빠른 학습이 가능하도록 알고리즘 구조를 변경함.

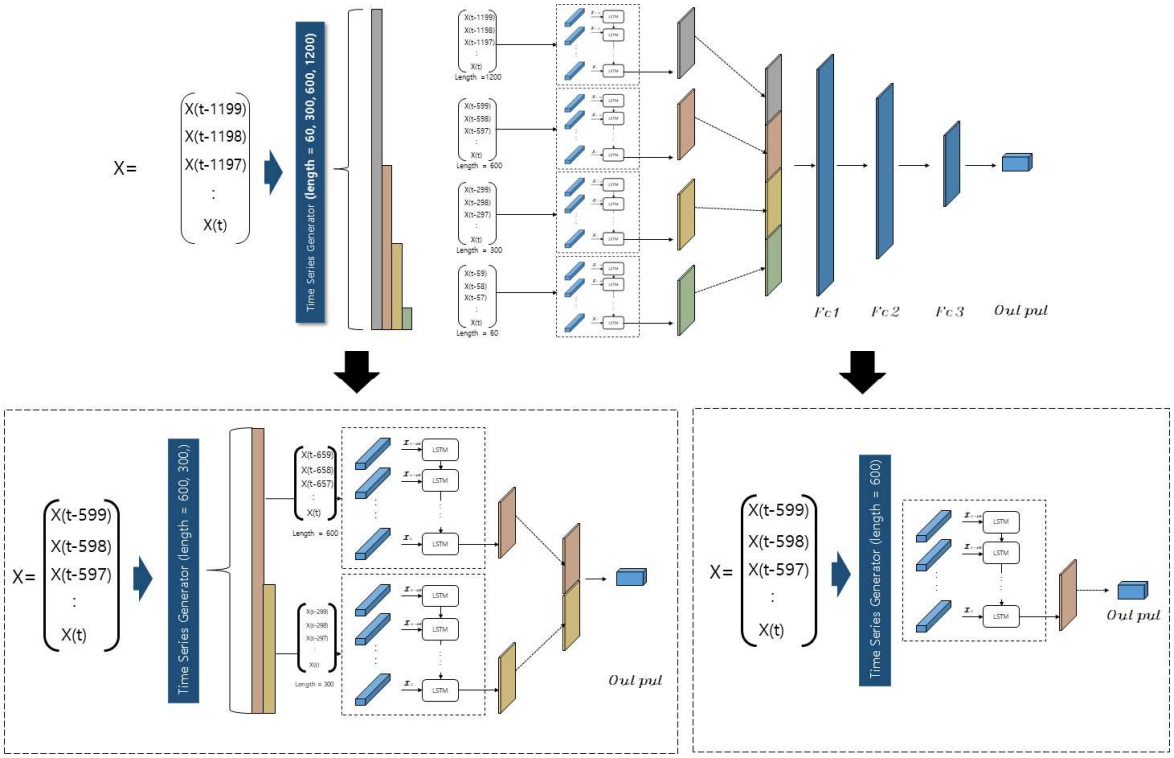


그림 12. 알고리즘 구조의 구성 변경

• 1차년도 실험자의 온열쾌적감은 쾌적, 불쾌적 여부만으로 실험을 진행하였으나 실험자의 온열쾌적감의 정도를 알기위해 ASHRAE에서 제시한 심리·생리학적 반응 척도인 7점 척도를 사용하여 재실자의 온열쾌적감 데이터를 수집함.

표 15. 주관적 판단에 의한 온열감 설문 척도

주관적 판단에 의한 온열감 판단 척도						
−3	−2	−1	0	1	2	3
매우 춥다	약간 춥다	서늘하다	보통	따뜻하다	조금 덥다	매우 덥다

• 1차년도 모델의 경우 classification의 관점으로 접근하였으며 평가 지표는 예측값과 실제값의 비율을 통해 표현하면 되지만 2차년도 모델의 경우 실험자의 온열쾌적감은 7점 척도로 조사하여 예측값이 실제값과 얼마나 차이가 있는지를 나타내기위해 Root Mean Squared Error(RMSE) 지표를 사용하여 표현함.

$$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-\overline{y_i})^2}\,(y_i=\text{실제값},\ \overline{y_i}=\text{예측값})$$

<식 1> RMSE

- 일반적 상황에서 빠르고 직관적인 이해가 가능하도록 1차년도 알고리즘 구현시 사용하던 Tensorflow를 2차년도에는 Pytorch 프레임 워크로 변경하였으며 상대적으로 상위 레벨의 언어이므로 같은 동작을 보다 간결한 코드로 표현이 가능함.
- Neural Network Intelligence(NNI)를 활용하여 정확도 높은 상위 Hyper parameter 모델 도출 및 정확도를 Mean Squared Error(MSE), Mean Absolute Error(MAE), Root Mean Squared Error(RMSE)로 정확도 검토하였으며 <표 16>을 통해 모델의 정확도를 판단할 수 있으며 <표 17>은 모델의 Hyper parameter 상세정보를 확인 가능함.

표 16. 각 모델별 Hyper parameter

	Var	LSTM	L_h1	Fc1	Seq	lr	Train set	Test set	batch	epoch_b	RMSE train	RMSE test
Model_1	6	1	1	-	600	0.001	v10	v10	256	33	0.6681	0.6840
Model_2	8	1	1	-	600	0.001	v10	v10	256	13	0.7318	0.6971
Model_3	6	1	1	-	120	0.001	v10	v10	256	22	0.6988	0.7492
Model_4	8	1	1	-	120	0.001	v10	v10	256	39	0.8109	0.7477
Model_5	6	1	1	-	60	0.001	v10	v10	256	13	0.6713	0.7363
Model_6	8	1	1	-	60	0.001	v10	v10	256	6	0.8761	0.8287
Model_7	6	1	1	-	10	0.001	v10	v10	256	31	0.6482	0.7697
Model_8	8	1	1	-	10	0.001	v10	v10	256	24	0.8283	0.7149
Model_9	6	1	1	-	600	0.001	v10	v10	64	29	0.4789	0.7677
Model_10	8	1	1	-	600	0.001	v10	v10	64	6	0.6624	0.8729

Var: variables, LSTM: the Number of LSTM layer, L_h1: LSTM_hidden1, Fc1: Fully connected layer_1, Seq: Sequence length, lr: learning rate, batch: batch_size, epoch_b: best epoch

• 원활한 딥러닝 학습을 위해 실험 시 발생하는 움직임이나 에러로 인해 발생되는 원본 데이터의 노이즈 값을 제거 및 결측값을 채우기 위한 전처리를 진행하였고 아래의 <그림 7>, <그림 8>, <그림 9> 와 같이 데이터를 보정하여 학습을 진행하였음.

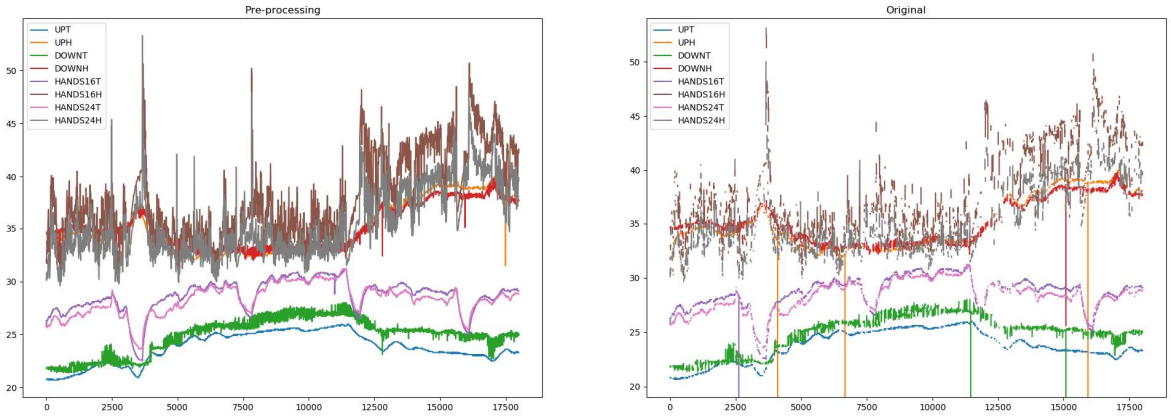


그림 13. 데이터 전처리 비교 1

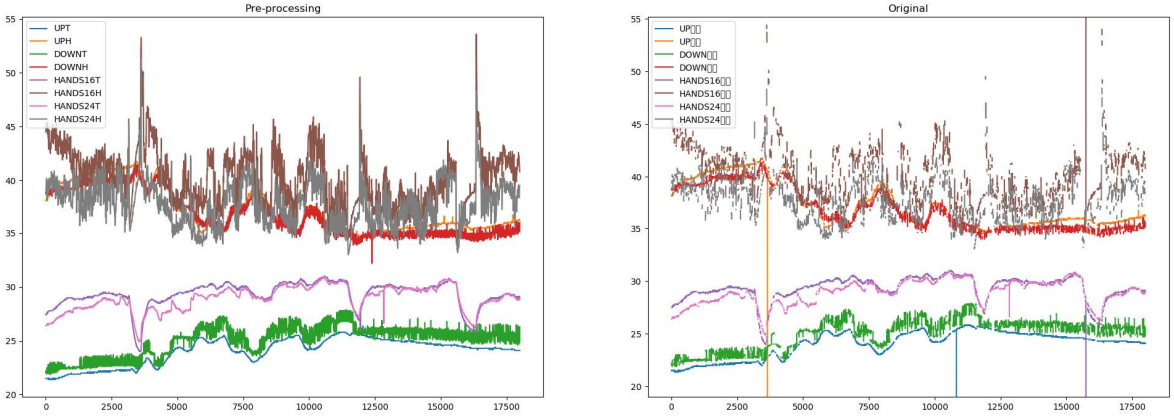


그림 14. 데이터 전처리 비교 2

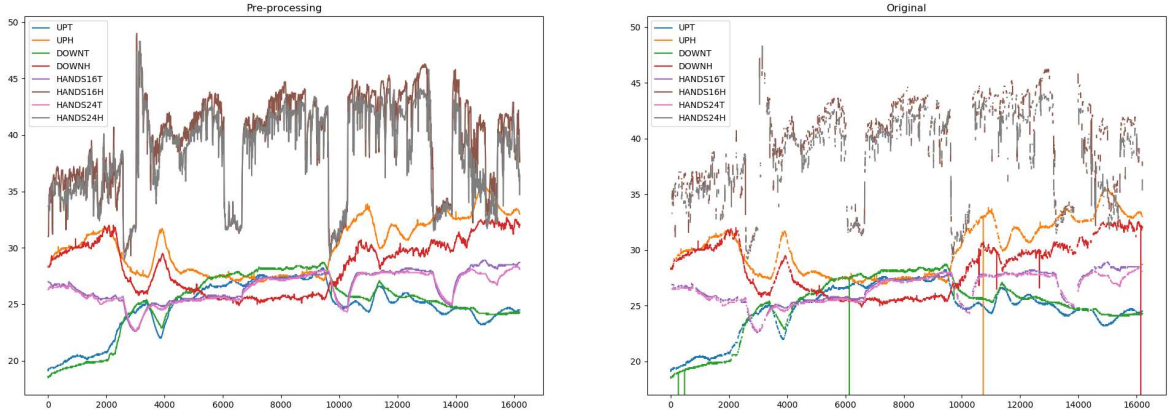


그림 15. 데이터 전처리 비교 3

② 클라우드기반 데이터베이스 구축 및 알고리즘 연계

- 본 연구에서 구축 하려는 Cloud Database는 총 2 종류의 기기에서 수집되는 데이터로 이루어져 있으며 PMV 측정 기기에서 수집되는 데이터와 주관적 쾌적도 설문조사 데이터는 알고리즘에 학습하기 전 양질의 데이터를 이용하기 위해 하나의 로컬 폴더에 모아 전처리를 실시함.
- 본 연구에서 활용하는 Cloud Database는 라즈베리파이에서 Thingspeak, 아두이노에서는 Blynk를 통해 채널을 구축하고 액세스하여 데이터 확인 및 추출할 수 있는 데이터베이스 서비스를 활용함.
- Cloud Database는 <그림 10>과 같이 코드에 API Key를 입력하여 수집된 데이터를 실시간으로 Cloud로 전송될 수 있게 하였다. Thingspeak와 Blynk라는 API를 활용하여 데이터 수집을 진행하였음.

```
import sys
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT
import urllib2
import time

myAPI = "Your_key"

def getSensorData():
    RH, T = Adafruit_DHT.read_retry(Adafruit_DHT.DHT22, 22)
    return (str(RH), str(T))
    RH2, T2 = Adafruit_DHT.read_retry(Adafruit_DHT.DHT22, 23)
    return (str(RH2), str(T2))
    RH3, T3 = Adafruit_DHT.read_retry(Adafruit_DHT.DHT22, 26)
    return (str(RH3), str(T3))

def main():
    print("starting...")
    baseURL = "https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s" % myAPI
```

그림 16. Thingspeak에 사용된 API key 코드

- 무선 플렉서블 센서에 사용한 컴퓨팅 플랫폼인 아두이노에는 API로 Blynk를 사용하였는데 이는 휴대폰으로 생체 데이터가 전송되고 실시간으로 측정 데이터를 확인 할 수 있으므로 간편하게 확인이 가능함.

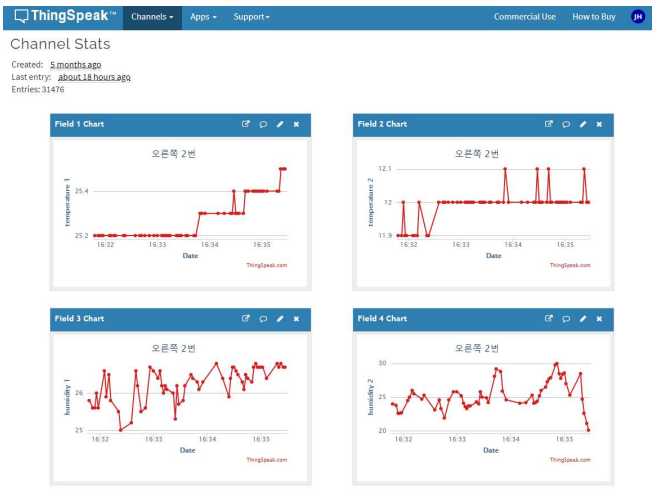


그림 17. Thingspeak 데이터 출력 모습

- 그림 12와 같이 각각의 센서에서 수집된 데이터를 온도와 습도로 나누어 field를 설정하고 측정되는 시간마다 실시간으로 온습도의 변화를 확인할 수 있으며 여러 개의 channel을 생성하여 여러 사람의 생체데이터를 확인 및 출력이 가능함.
- 딥러닝 알고리즘과 연계 가능한 데이터 입력(Input)및 출력(Output) 경로를 정의하고자하며, 알고리즘과 양질의 데이터 연계가 가능하도록 하기 위해 Cloud Database에서 데이터를 로컬 폴더로 전송하여 이용하였다.

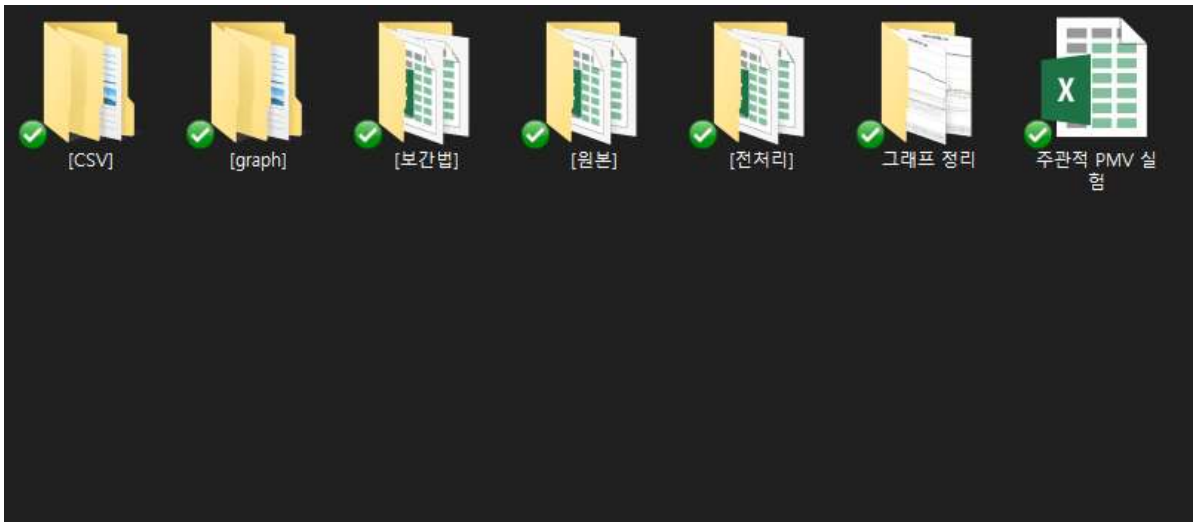


그림 18. 전처리를 위한 로컬 폴더

③ 실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가

- 딥러닝 알고리즘 검증을 위해 센서의 종류 및 개수, 부착 위치를 변경하여 실험을 진행하였음. 실내 온습도 측정을 위해 벽면과 모니터 아래에 부착하여 측정을 하였고, 생체 온습도 측정은 플렉서블 센서를 양손의 손등에 하나씩 부착하여 측정을 진행 하였음.

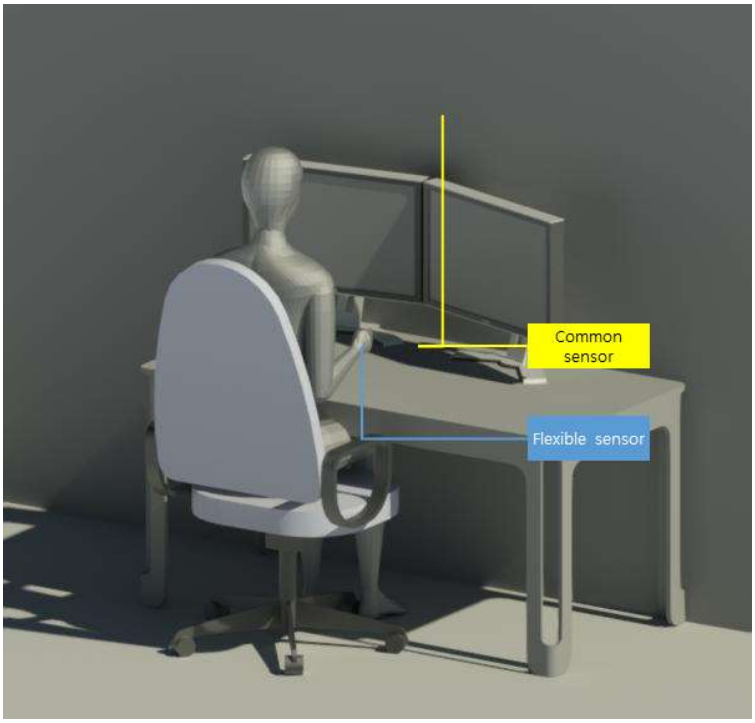


그림 19. 변경된 센서 부착 위치

• BR-LSTM 최적화 방법

본 연구에서 도출한 BR-LSTM 모델을 재실자의 생체 반응에 최적화하기 위하여 그림 <그림 00>과 같이 최적화 방안을 설정함.

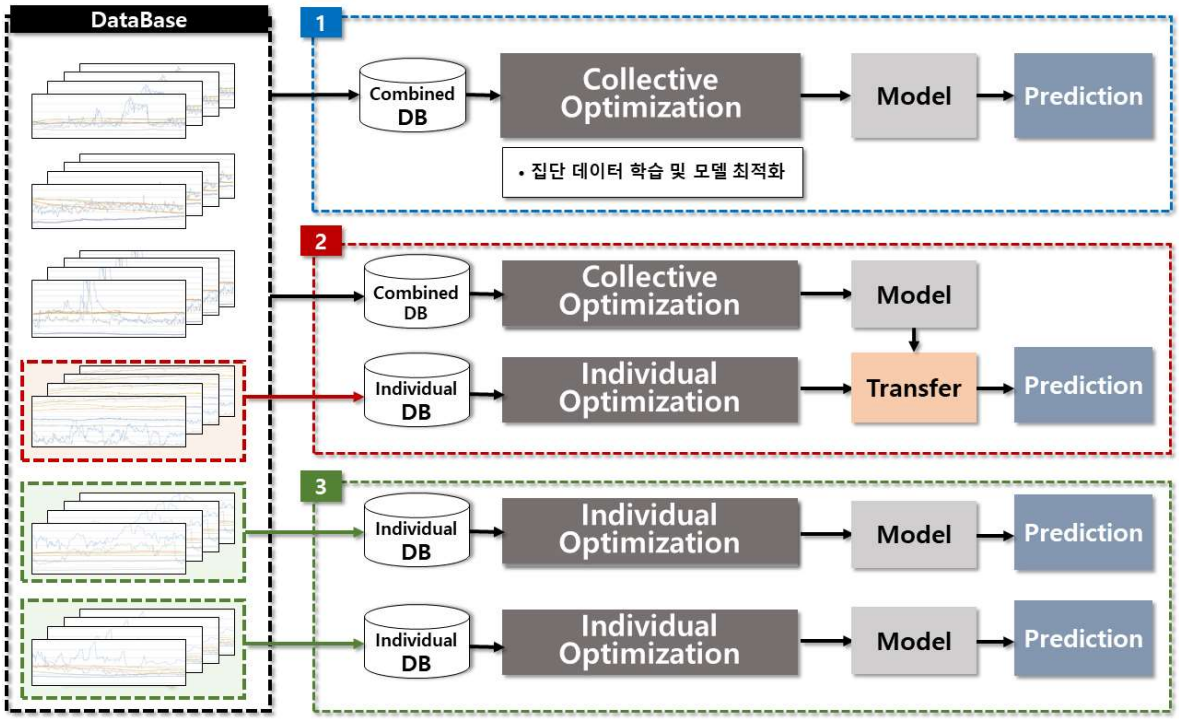


그림 20. BR-LSTM 최적화 방법

표 17. 최적화 방법에 대한 정의

전략 1	모든 재실자의 신체 온습도 데이터와 실내 온습도 데이터를 학습하고, 재실 개개인의 온열 쾌적도를 예측하는 방식.
전략 2	전략 1에 학습된 모델에 개별 데이터를 추가로 학습(개별 최적화)하고,재실 개개인의 온열 쾌적도를 예측하는 방식
전략 3	재실자 개인의 데이터만을 이용하여 모델을 학습시키고, 개인의 온열 쾌적를 예측하는 방식

④ BR-LSTM 최적화 실험 결과

• BR-LSTM 최적화 실험결과 표#3과 같으며, 결과적으로 재실자 개개인의 생체 반응 및 실내 환경 데이터를 모델에 학습하여 개별적으로 온열쾌적도를 예측하는 것이 가장 낮은 에러율을 나타내는 것을 확인할 수 있음.

표 18. 실험 결과 요약

최적화 방법		전략1	전략2	전략3
Model_1	**RMSE_Mean**	1.1198	0.8701	0.7510
	RMSE_Min	0.6610	0.3884	0.3204
7	RMSE_Max	1.3431	1.6376	0.8759
	RMSE_Mean	1.1194	0.8934	0.6396
Model_1	RMSE_Min	0.5733	0.5522	0.4484
	RMSE_Max	1.6860	1.3951	0.8308

• 실험 결과, 집단 데이터를 이용하여 BR-LSTM 모델을 최적화하는 방법(전략1)에 비해, 개별 데이터를 이용하여 BR-LSTM 모델을 최적화하는 방법(전략3)이 RMSE_Mean 지표 기준으로 약 0.4만큼 높은 성능을 나타냄을 확인함.

• 또한, 본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있음

- 같은 실내 환경에서 재실자의 온열쾌적도와 생체반응은 개인마다 차이가 있음.
- 재실자의 생체반응과 실내 환경이 재실자의 온열쾌적도에 영향을 주므로, 생체반응과 실내 온습도 환경 패턴에 따라 재실자의 온열쾌적도를 예측할 수 있음.
- 집단 데이터를 이용하여 최적화하는 것은 BR-LSTM 모델을 일반화하는데 유용할 수 있으나, 개개인의 생체반응에 따라 쾌적도를 예측하는데 평균적으로 약 1.0의 오차가 발생하는 것을 확인함.
- 다수의 재실자가 공존하는 환경에서도 재실자간 생체 반응이 상이하고, 쾌적지표도 개인마다 차이가 있으므로, 재실자의 개별 데이터만을 이용하여 BR-LSTM 모델을 최적화하는 것이 개인의 온열쾌적도를 예측하는데 유리한 것으로 판단됨.

- 결과적으로, 본 연구를 통해 BR-LSTM 모델을 개발하였으며, 이는 재실자의 생체신호(피부 온도, 습도)와 실내 환경 정보(온도, 습도)의 패턴을 인식하여, 재실자의 온열 쾌적지표를 예측할 수 있는 생체 반응형 딥러닝 원천 기술이라 할 수 있음.

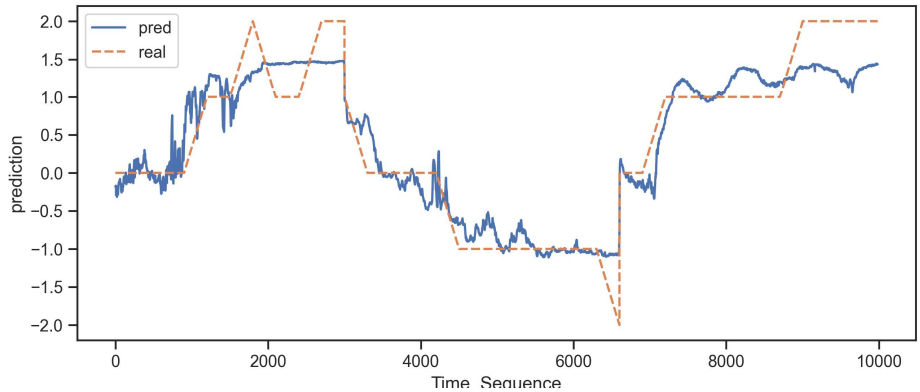


그림 21. 개별 최적화 학습 예시 1

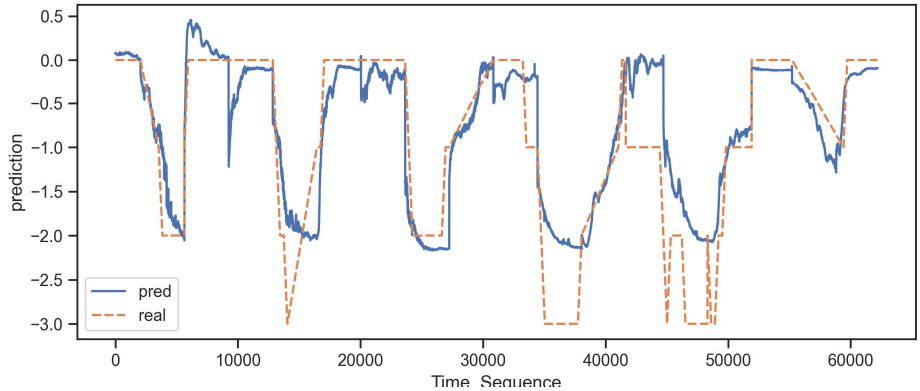


그림 22. 개별 최적화 학습 예시 2

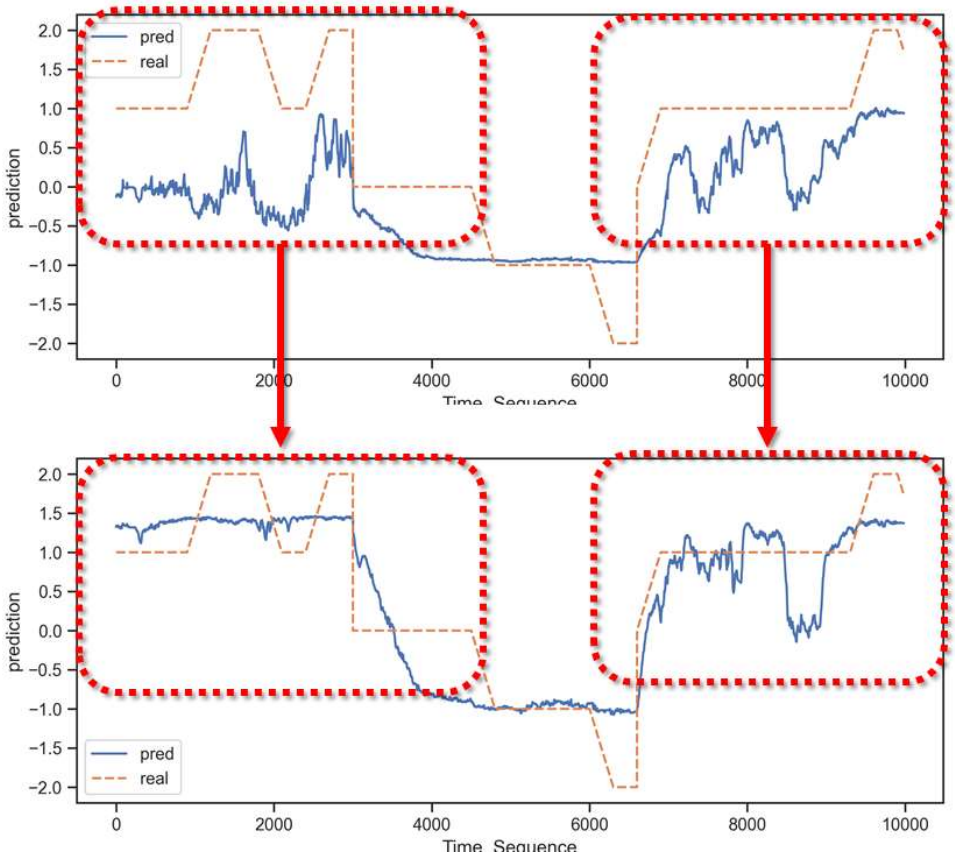


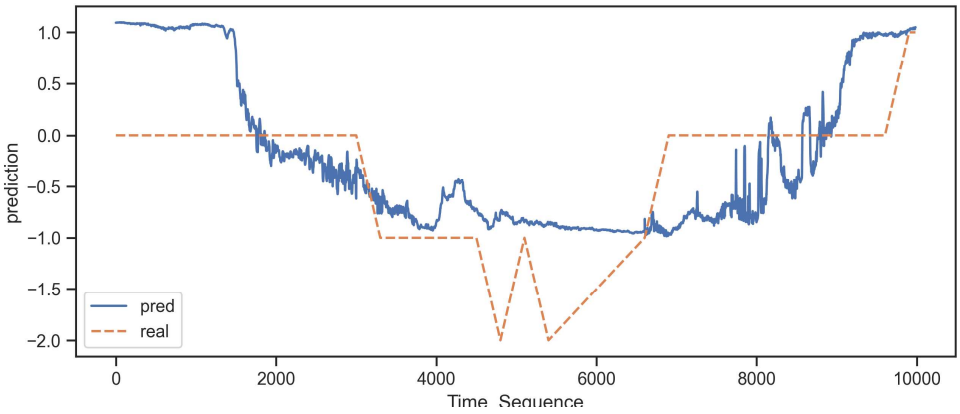
그림 23. 전략에 따른 예측 결과 개선 사항

표 19. 전략에 따른 온열쾌적도 예측 결과_Model_1

	Var	LSTM Block	Seq1	Seq2	Fc1	batch	lr		Test Dataset
Model_17	6	1	600	**300**	-	256	0.001		재실자 2

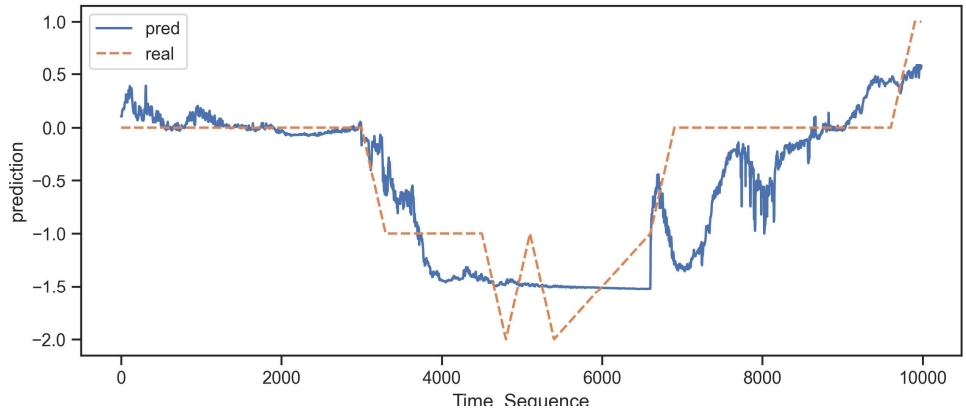
전략 1

RMSE: 0.5724



전략 2

RMSE: 0.2739



전략 3

RMSE: 0.4896

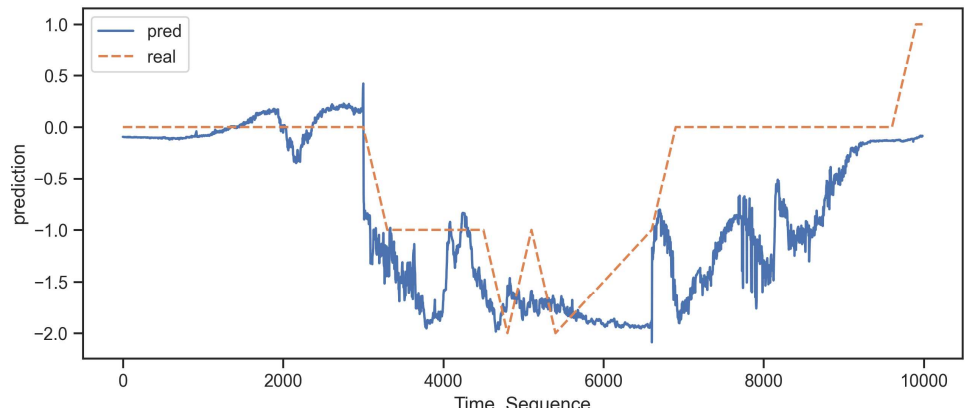
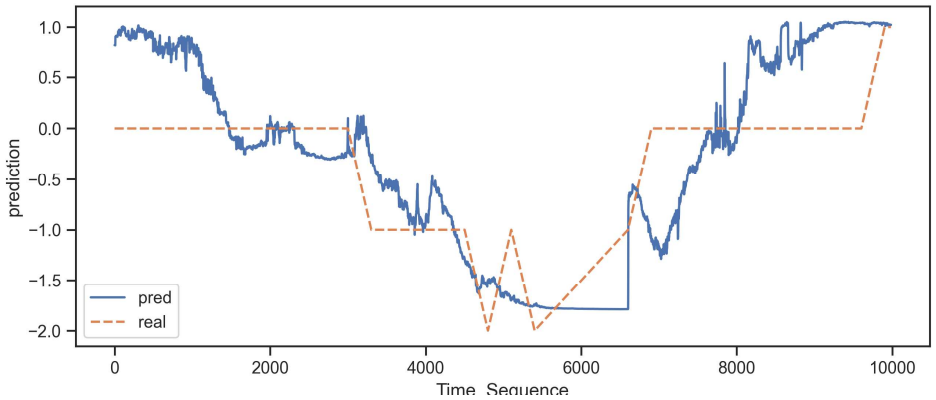


표 20. 전략에 따른 온열쾌적도 예측 결과_Model_1

	Var	LSTM Block	Seq1	Seq2	Fc1	batch	lr		Test Dataset
Model_1	6	1	600	-	-	256	0.001		재실자 2

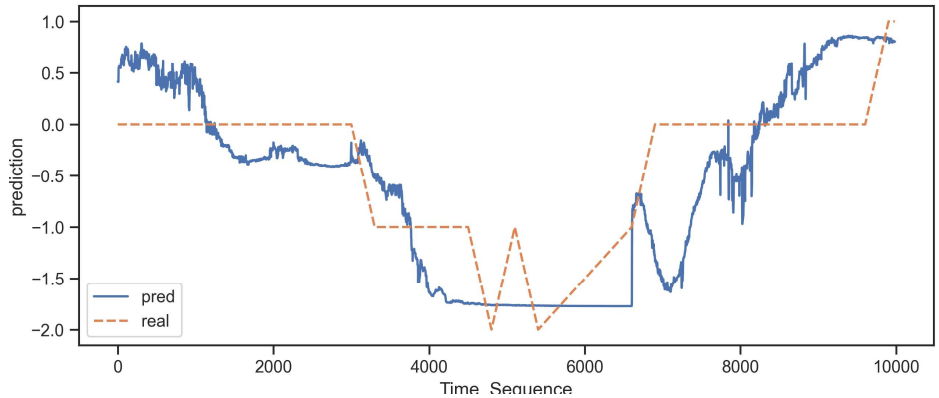
전략 1

RMSE: 0.4727



전략 2

RMSE: 0.4661



전략 3

RMSE: 0.3379

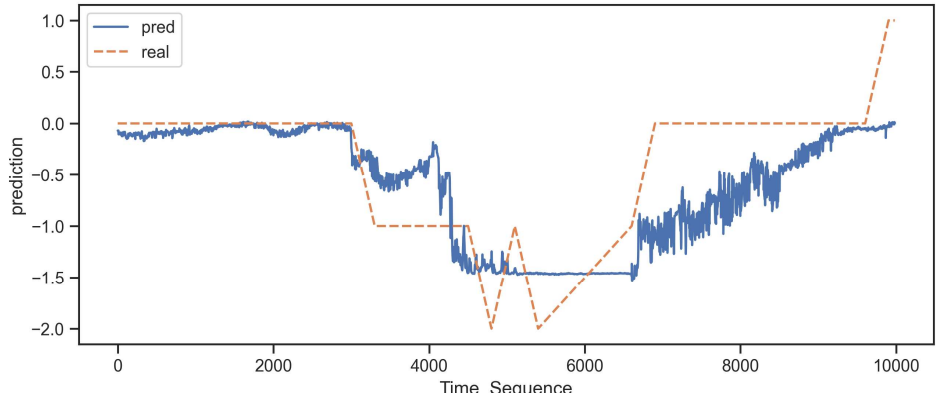
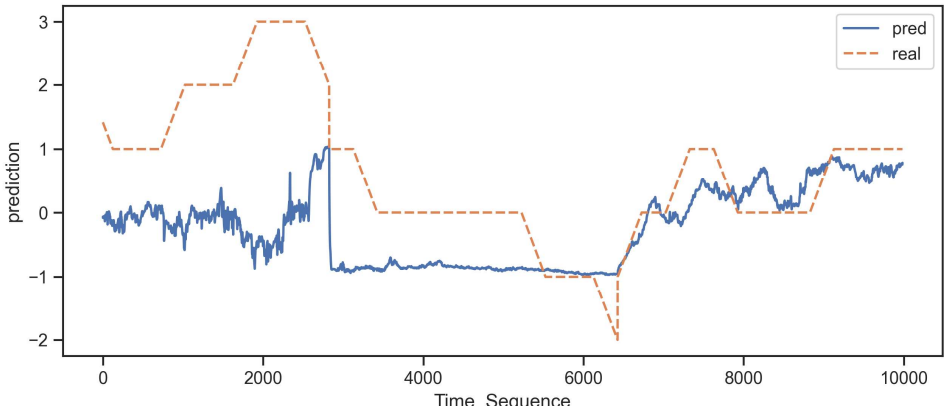


표 21. 전략에 따른 온열쾌적도 예측 결과_Model_17

	Var	LSTM Block	Seq1	Seq2	Fc1	batch	lr		Test Dataset
Model_17	6	1	600	**300**	-	256	0.001		재실자 1

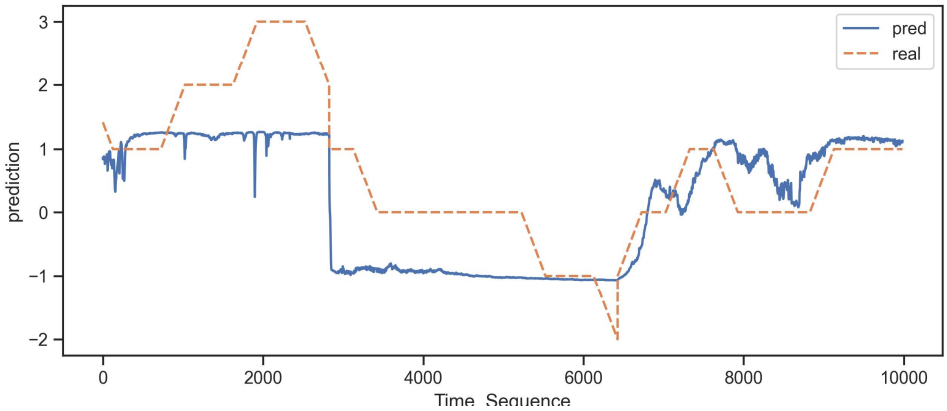
전략 1

RMSE: 1.0155



전략 2

RMSE: 0.7211



전략 3

RMSE: 0.8927

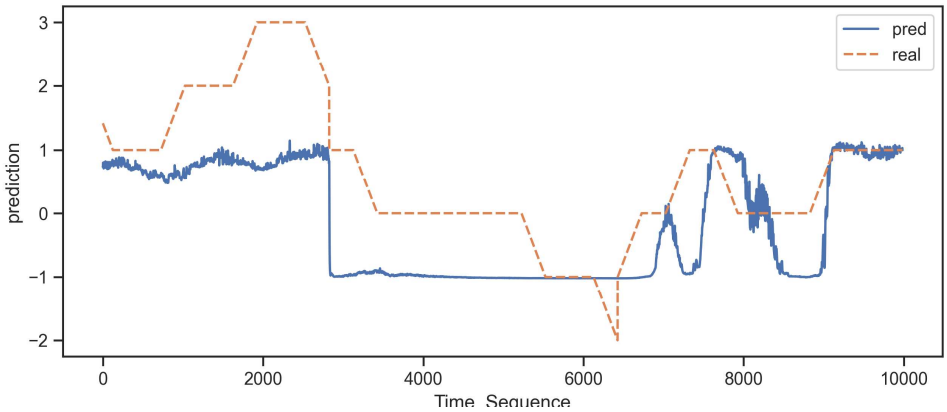
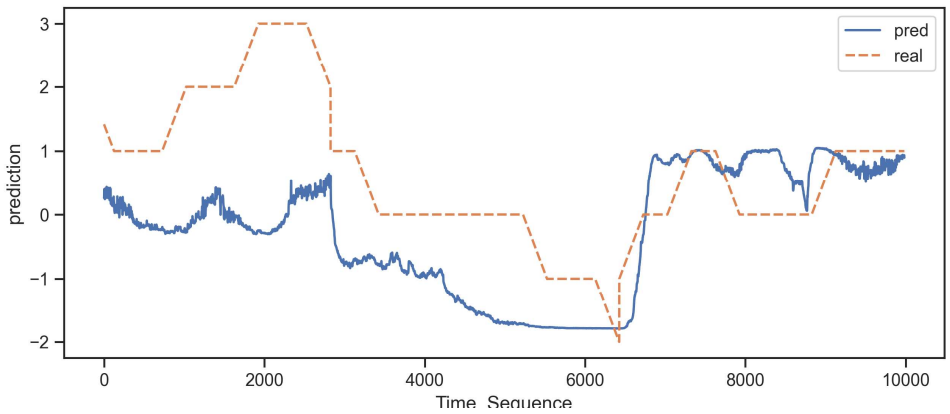


표 22. 전략에 따른 온열쾌적도 예측 결과_Model_1

	Var	LSTM Block	Seq1	LSTM Layer	Fc1	batch	lr	RMSE	Test Dataset
Model_1	6	1	600	1	-	256	0.001	0.6840	재실자 1

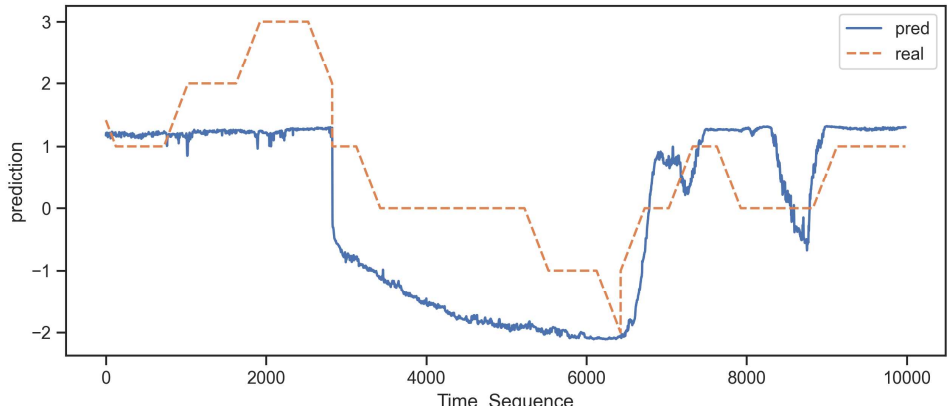
전략 1

RMSE: 1.1759



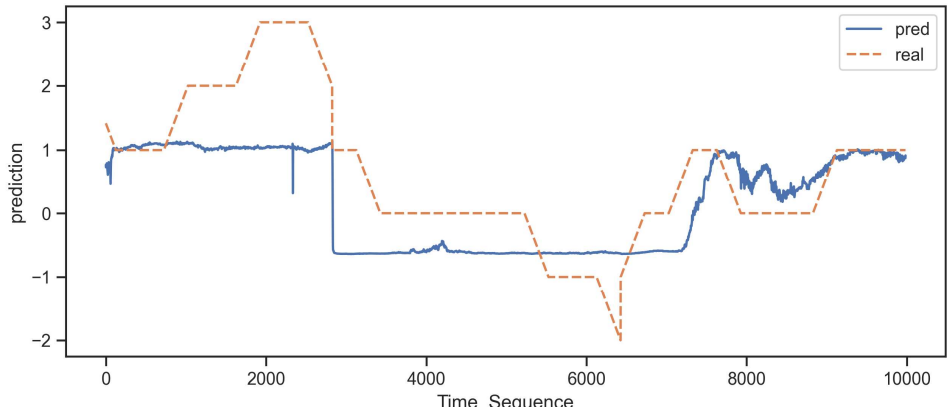
전략 2

RMSE: 1.0021



전략 3

RMSE: 0.6890



(3) 2세부 연구개발 수행결과

(가) 1차년도 연구수행 내용 및 결과

① 생체 정보 계측 센서 설계

- 유연 온·습도 센서 설계 및 제작
  - 열적, 화학정 안정성이 뛰어난 Solution Polyimide (PI)를 사용한 신유연공정 기술 개발
  - 센서의 전기적/기계적 안정성을 확보하기 위한 Neutral plane 구조 형성
  - 유연 온·습도 센서의 전기적 특성 측정 (온도 측정 정확도 ~0.3 ℃)
  - 유연 온·습도 센서의 기계적 특성 측정 (10000 회 cyclic bending test)
- 단일 유연 온도 센서의 구체적인 사양
  - 유연 기판 PI의 두께 ~ 4 μm
  - 센서 밴딩 안정성을 위해 두께 125 μm의 PET 필름을 센서 위·아래에 부착 (neutral plane 구조)
  - 온도 센서의 센싱부는 백금(Pt)으로 구성 (두께 ~각각 100 nm)
  - 센서부 패턴의 width ~ 190 μm, 전체 사이즈 ~ ⌀9 mm
  - 측정 가능 온도 범위 : -20 ℃~ 100 ℃(정확도 ± 0.3 ℃ 이내)
  - 반복 굽힘 실험 후 저항 변화율 1% 이내

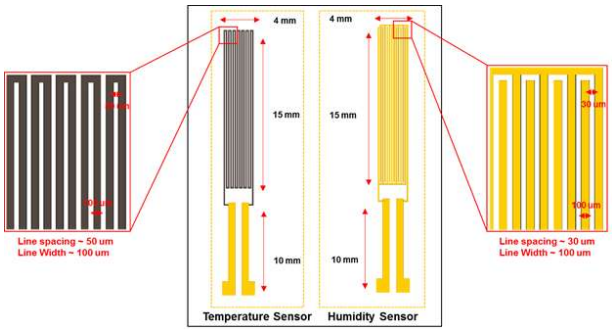


그림 24. 온도 센서와 습도 센서 설계도

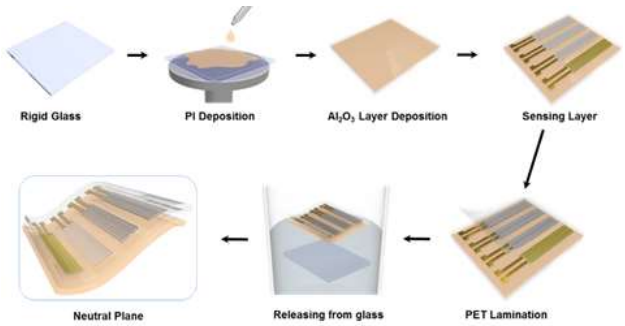


그림 25. 유연 센서 제작 공정 기술

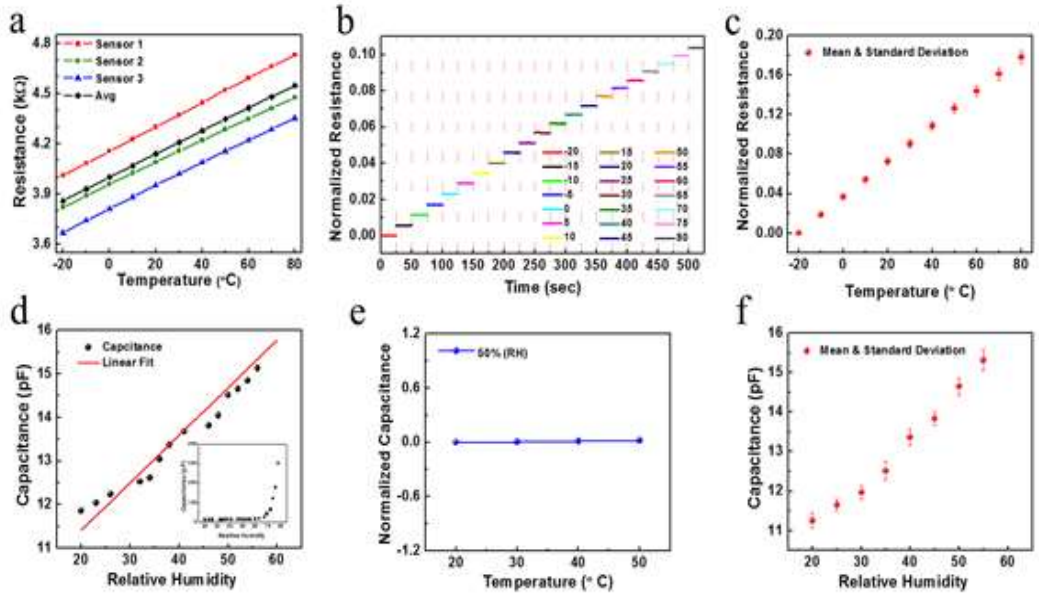


그림 26. 유연 온습도 센서의 전기적 특성

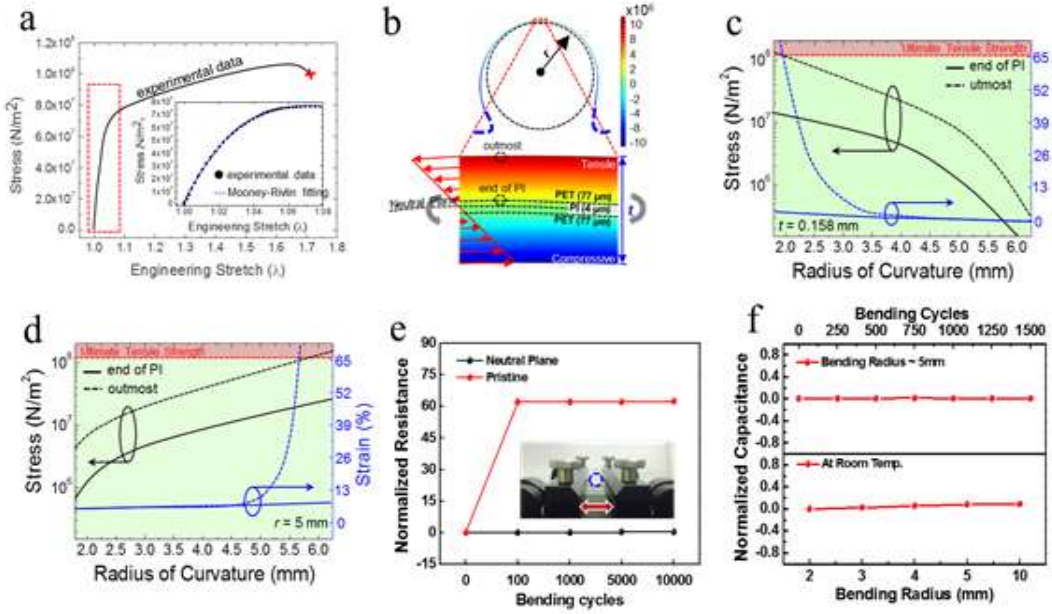


그림 27. 유연 온습도 센서의 기계적 특성

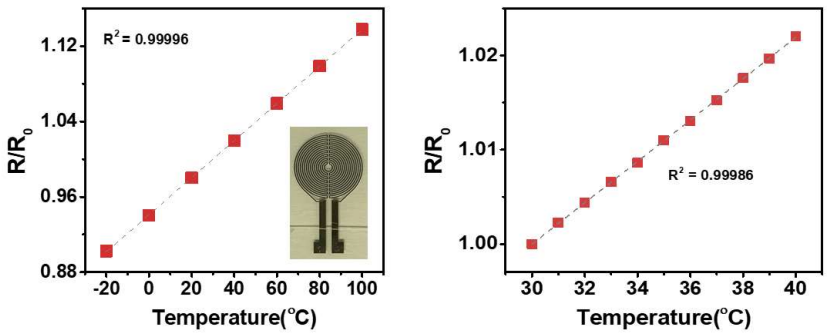


그림 28. 단일 유연 온도센서의 사진 및 전기적 특성

- 신축 온·습도 센서 설계 및 제작
  - 레이저 공정 기술을 통한 신축 센서 제작 기술 개발
  - x,y,z 축 방향에 최대 180 % 이상 안정성을 갖는 키리가미-서펜타인 구조 개발
  - 키리가미-서펜타인 구조의 신축 온·습도 센서의 전기적 특성 측정

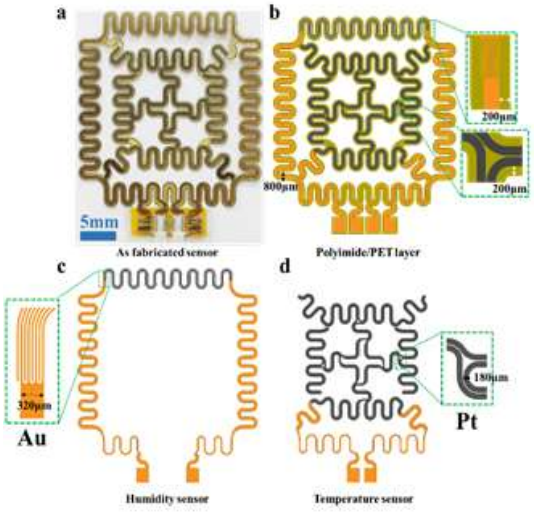


그림 28. 유연/신축 센서의 설계도 및 스펙

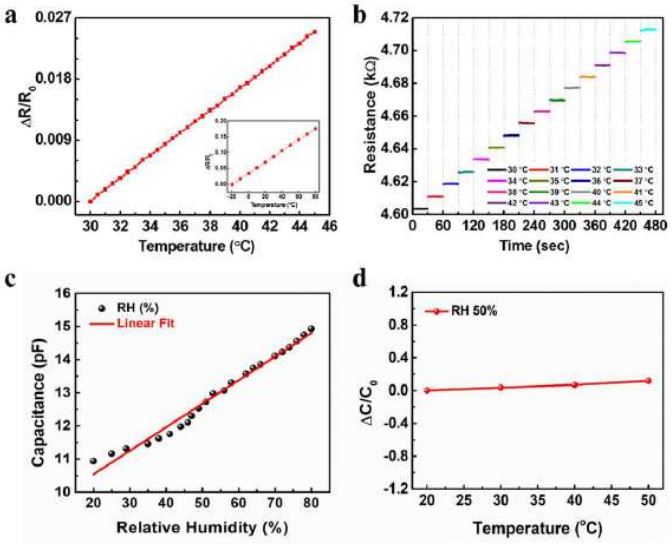


그림 29. 신축 센서의 온도 및 습도 특성 측정

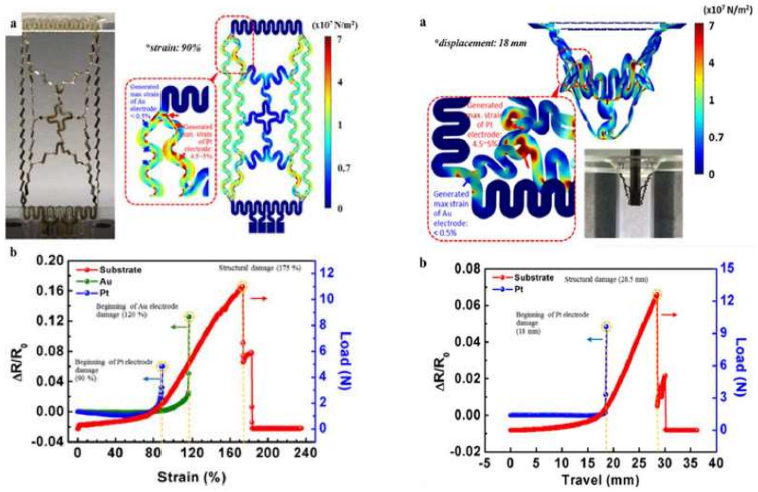


그림 30. FEM 시뮬레이션 및 신축성 테스트 결과

② 재실자 생체 정보를 동시에 수집 가능한 모듈 개발

- 블루투스 통신 기반 유연 전자 회로 모듈 개발
  - 저전력 무선통신 기반 유연 전자 모듈 회로 설계
  - 유연 온·습도 센서로부터 측정된 미세 생체신호 처리 모듈 설계 (증폭기, 노이즈필터 등)

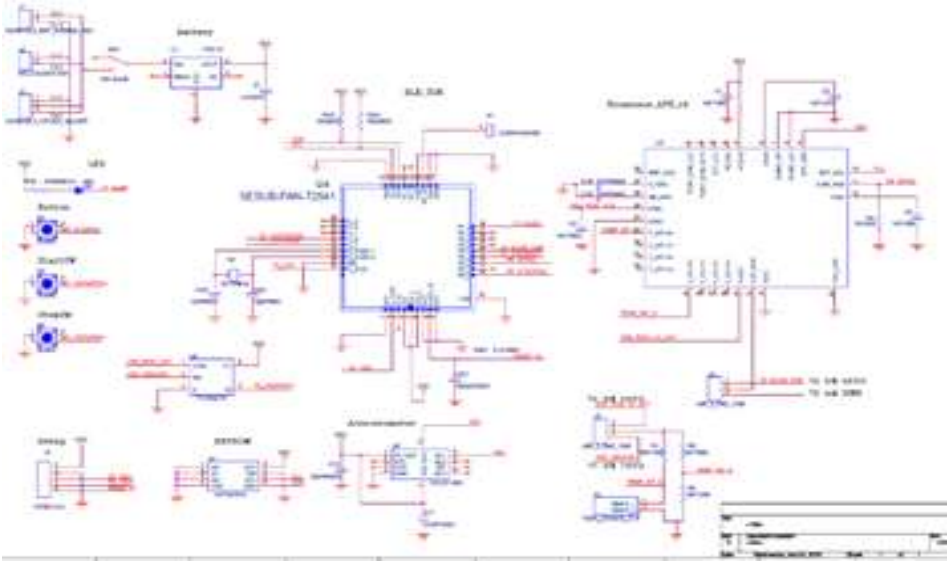


그림 31. 저전력 무선통신 기반 유연전자 모듈의 회로도

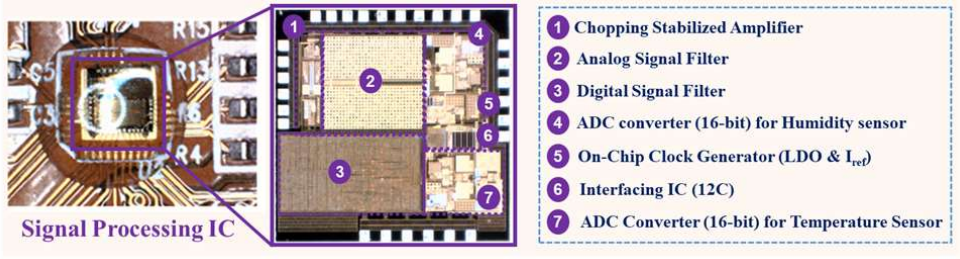


그림 32. 개발된 Integrated circuit(IC) 구성 및 설명

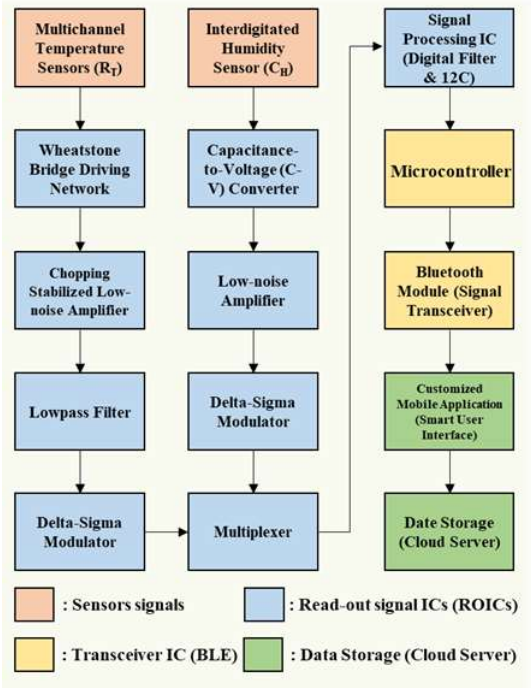


그림 33. 데이터 수집 과정

(나) 2차년도 연구수행 내용 및 결과

① 무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발

- 블루투스 및 와이파이 통신 기반 생체 신호 수집 모듈 제작
  - 배터리 제한 없이 장시간 다량의 생체신호 데이터를 수집하기 위한 아두이노 기반 맞춤형 무선통신 모듈 설계 및 개발
  - 블루투스 통신 모듈을 사용한 실시간 데이터 송수신 시스템 개발
  - 와이파이 통신 모듈을 사용한 실시간 데이터 송수신 시스템 개발

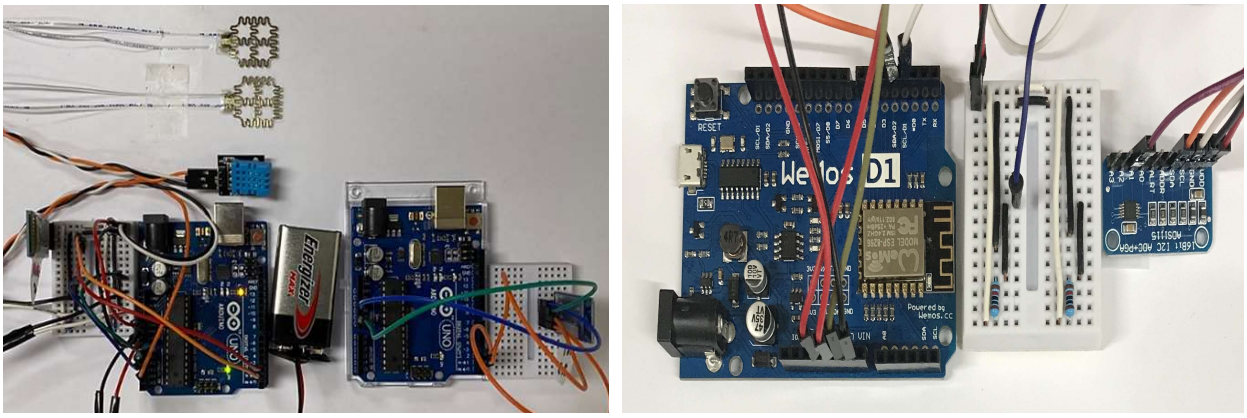


그림 34. 블루투스 통신기반 아두이노 보드와 와이파이 통신기반 보드 사진

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(2, 3);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ;
  }


  Serial.println("Hello World!");

  mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (mySerial.available()) {
    Serial.write(mySerial.read());
  }
  if (Serial.available()) {
    mySerial.write(Serial.read());
  }
}
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN A2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float source_volt1 = 5.0;
int inputPin1 = A0;
int R1 = 10000.0;
long reading1;
float current_volt1;
float resister1;

float source_volt2 = 5.0;
int inputPin2 = A1;
int R2 = 10000.0;
long reading2;
float current_volt2;
float resister2;

SoftwareSerial mySerial(2, 3);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ;
  }
 Serial.println("Start");
 Serial.println("");
 Serial.println("CLEARDATA");
 Serial.println("LABEL,Time, Temperature, Humidity,
Resister1, Resister2");
  mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
int h = dht.readHumidity();
int t = dht.readTemperature();
mySerial.print("Sensor1 ");
mySerial.print("Humidity: ");
mySerial.print(h);
mySerial.print(" %   ");
mySerial.print("Temperature: ");
mySerial.print(t);
mySerial.print(" C   ");
 reading1 = 0;
 for(int i =0; i<5;i++)
 {
  reading1+=analogRead(inputPin1);
 }

 reading1 = trunc(reading1/5);
 current_volt1 = (source_volt1/1023.0)*reading1;
 //mySerial.print(" current volt1 ");
 //mySerial.print(current_volt1,2);
 //mySerial.print(",");

 resister1 = R1 *(current_volt1/(source_volt1-
current_volt1));

reading2 = 0;
 for(int i =0; i<5;i++)
 {
  reading2+=analogRead(inputPin2);
 }

 reading2 = trunc(reading2/5);
 current_volt2 = (source_volt2/1023.0)*reading2;
 //mySerial.print(" current volt2 ");
 //mySerial.print(current_volt2,2);
 //mySerial.print(",");

 resister2 = R2 *(current_volt2/(source_volt2-
current_volt2));

// mySerial.print(h);
 //mySerial.print("%,");
 //mySerial.print(t);
 //mySerial.print("C,");
 mySerial.print("Resister1: ");
 mySerial.print(resister1);
 mySerial.print(" ohm   ");
 mySerial.print("Resister2: ");
 mySerial.print(resister2);
 mySerial.println(" ohm");
 delay(1000);
}
```

그림 35. 블루투스 통신용 master & slave 코드

```
void loop(){
  Blynk.run();
  timer.run();

  int16_t adc0, adc1, adc2, adc3;
  adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
  adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1);
  adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
  adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);

  // sensor_1,2
  float val_adc1[tnoreadings];
  float total_adc1 = 0;
  float val_adc2[tnoreadings];
  float total_adc2 = 0;
  for(int i=0; i<tnoreadings; i++){
    val_adc1[i] = (float) adc1/(float)tnoreadings;
    val_adc2[i] = (float) adc2/(float)tnoreadings;
    delay((float) 500/tnoreadings);
    total_adc1 = (float) total_adc1 + (float) val_adc1[i];
    total_adc2 = (float) total_adc2 + (float) val_adc2[i];
  }
  float avg_adc1 = (float) total_adc1;
  float avg_adc2 = (float) total_adc2;

  float current_volt1 = (float) avg_adc1 * (float) 1875;
  float resister1 = (float)R1 *(current_volt1/(source_volt1-
current_volt1));
  float temperature1 = (float)(resister1-9692)/12;
  Blynk.virtualWrite(V11, resister1);
  Blynk.virtualWrite(V9, temperature1);
  Serial.print(resister1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(temperature1);
  Serial.print(", ");

  float current_volt2 = (float) avg_adc2 * (float) 1875;
  float resister2 = (float) R2
*(current_volt2/(source_volt2-current_volt2));
  float temperature2 = (float)(resister2-9716)/12;
  Blynk.virtualWrite(V10, resister2);
  Blynk.virtualWrite(V12, temperature2);
  Serial.print(resister2);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(temperature2);
  Serial.print(", ");

}

void sendSensor(){
    float h1 = dht1.readHumidity();
    float t1 = dht1.readTemperature();
    float h2 = dht2.readHumidity();
    float t2 = dht2.readTemperature();

    Blynk.virtualWrite(V5, h1);
    Blynk.virtualWrite(V6, t1);
    Blynk.virtualWrite(V7, h2);
    Blynk.virtualWrite(V8, t2);
      Serial.print(h1);
      Serial.print(", ");
  Serial.println(h2);

}
```

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include "DHT.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#define DHTPIN1 D3
#define DHTPIN2 D4
#define DHTTYPE1 DHT11
#define DHTTYPE2 DHT11
DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE1);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE2);
BlynkTimer timer;

float source_volt1 = 50000000;
int R1 = 10000.0;e
long reading1;
float current_volt1;
float resister1;
float temperature1;

float source_volt2 = 50000000;
int R2 = 10000.0;
long reading2;
float current_volt2;
float resister2;
float temperature2;

float avg = 0;
const int tnoreadings = (float) 100; // the number of
readings for average calculate

Adafruit_ADS1115 ads(0x49);

char auth[] = "7Ai8en1lLLmi6LbplplqZ5mQs9_mDspc";
char ssid[] = "MFNB 2.4G";
char pass[] = "qksehcp01";

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Hello!");
  Serial.println("Getting single-ended readings from
AIN0..3");
  Serial.println("ADC Range: +/- 6.144V (1 bit =
3mV/ADS1015, 0.1875mtlfldjf V/ADS1115)");
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  timer.setInterval(500, sendSensor);
  ads.begin();
}
```

그림 36. Blynk를 이용한 와이파이 통신용 코드



그림 37. 생체신호 모니터링 App

- 센서와 모듈의 본딩 기술 개발
  - 초박막형 센서와 유연 전자회로의 안정적인 결합을 위한 ACF 본딩 기술 개발

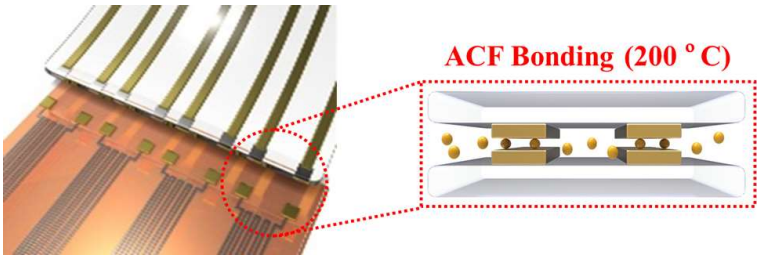


그림 38. ACF bonding 기술

② 플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발

- 유연/신축 온·습도 센서와 모듈 패키징 기술 개발
  - 유연/신축 온·습도센서를 피부에 안정적으로 부착하여 생체신호 데이터를 측정하기 위한 패키징 기술 개발
  - 피부 안정성을 위하여 ㈜티앤엘과 공동 연구하여 흡습층을 포함한 구조의 패치 적용

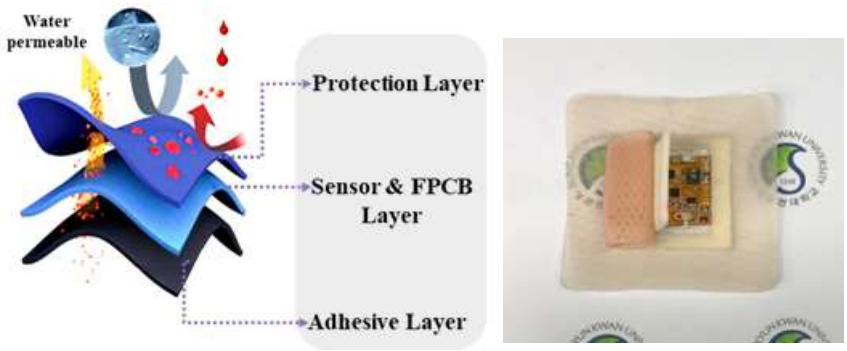


그림 39. 피부 안정성을 갖는 패치 패키징 기술

(다) 향후 센서의 전원공급 기술 및 생체데이터 획득을 위한 연구 계획

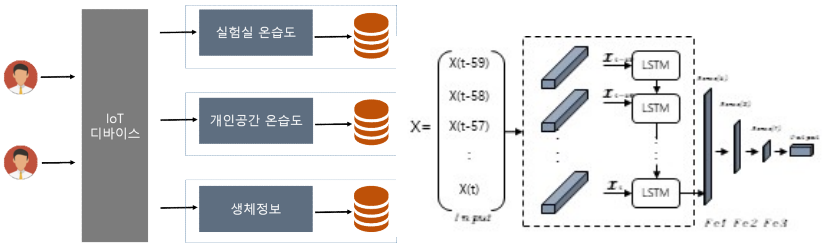
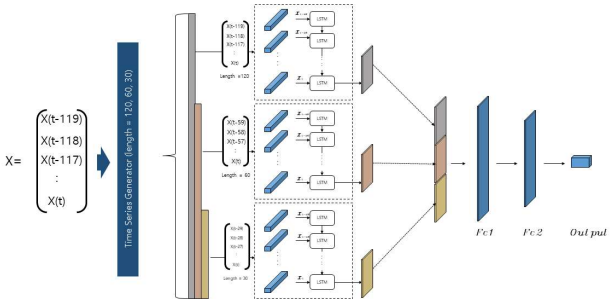
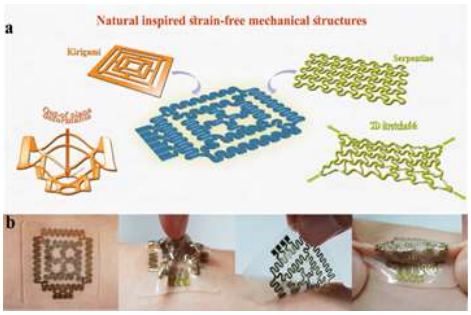
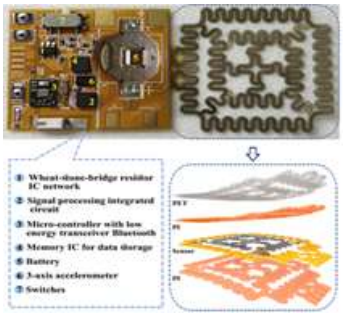
- 장시간 사용 가능한 생체신호 처리용 회로 모듈 개발
  - 배터리의 방전을 최소화하기 위해 사용자 필요에 따라 선택적으로 생체신호 수집이 가능하도록 설계
  - 저전력 무선통신 회로 개발을 통해 일주일 연속 모니터링이 가능한 모듈 개발 및 충전식 배터리 구조 적용
- 미세 생체 신호 처리 및 데이터 저장
  - 피부로부터 얻어지는 미세한 생체신호의 증폭 및 노이즈 제거
  - 측정된 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하여 원하는 측정값으로 설정하도록 알고리즘 설계
  - 측정된 미세 생체신호는 블루투스 및 와이파이 통신을 통해 스마트폰 어플리케이션과 연동, 스마트폰 어플리케이션에 데이터 모니터링 및 저장
  - 생체 신호는 측정됨과 동시에 스마트폰으로 전송되어 별도의 저장소에 데이터 저장
  - 저장된 데이터를 PC로 전송하여 데이터 분석

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

(1) 목표 달성도

(가) 연구개발 성과

■ 본 연구는 당초 핵심 연구목표로 계획된 “자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발”, “실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서 개발”, 등의 연구개발 성과를 달성하기 위해 성실하게 연구를 진행하였음.

연번	핵심 연구 목표	핵심성과 설명	달성도
1	**실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계**	IoT 디바이스를 통한 데이터 수집 및 데이터베이스화, 시간적 특성을 반영하는 LSTM 모델 선정 	데이터베이스 구축
2	**클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발**	Time sequence와 Fc layer 단순화로 Overfitting 최소화 및 클라우드기반 데이터를 활용하여 온열쾌적 예측 모델 개발 	딥러닝 모델 개발
3	**재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발**	유연 공정 기술 개발 및 신축 센서를 위한 새로운 구조의 개발 	센서 개발 완료
4	**실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발**	자동 공조 제어 시스템을 위한 유연/신축 센서 및 모듈 최적화 	센서 개발 완료

(나) 정량적 성과

■ 본 연구는 당초 계획된 정량적 성과를 달성하기 위해 성실하게 연구를 수행하였음.

■ 특히, SCI(E)급 논문은 3건이 게재되고, 2건의 논문(SCOPUS)을 게재, 관련 특허를 2건 출원 완료하였음.

성과지표	성과 목표	최소 성과 목표	성과 달성
SCI(E)급 학술지 게재	**3건**	**3건**	**3건 게재**
일반학술지게재	**2건**	**2건**	**2건 게재**
특허출원	**2건**	**2건**	**2건 달성**
특허등록	**-**	**-**	**-**
디자인 등록	-	-	-
소프트웨어	-	-	-
하드웨어	-	-	-
기타	-	-	-
소계	7건	7건	7건

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준						양적성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	
주관	A	자동 공조 제어가 가능한 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	A-1	실내 환경정보 및 재실자 생체정보 데이터베이스 구축 및 생체 반응형 딥러닝 알고리즘 설계	①	딥러닝 알고리즘 설계를 위한 입출력 정보 정의 보고서	보고서 1건	-	보고서 작성여부	보고서	특허 출원 : 1 건 논문(비SCI) : 1 건
					②	실내 환경정보 및 재실자 생체 정보 데이터베이스 구축	데이터베이스 1건	-	데이터베이스 구축 여부	데이터	
					③	생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 데이터간 상관관계 분석	보고서 1건	-	보고서 작성여부	보고서	
					④	생체 반응형 딥러닝(LSTM) 알고리즘 설계도 구축	LSTM 알고리즘 코드 1건	-	알고리즘 구축여부	전문가 검토 의견서	
			A-2	클라우드 기반의 생체 반응형 딥러닝(LSTM) 모델 개발	①	가상 환경에서 시뮬레이션을 통한 딥러닝 알고리즘 검토 및 피드백을 통한 개선 보고서	보고서 1건	-	알고리즘 구동 여부	시뮬레이션 구동 결과	논문(비SCI) : 1 건 논문(SCI) : 2 건
					②	클라우드기반 데이터베이스 구축	클라우드 데이터베이스 1건		클라우드 구축 여부	클라우드 데이터	
					③	실험실 환경에서 딥러닝 알고리즘 최적화 및 모델 성능 평가 보고서	보고서 1건	-	알고리즘 구동 여부	딥러닝 모델 구동 결과	
위탁	B	실시간 재실자 생체 정보 계측이 가능한 플렉서블 센서 개발	B-1	재실자 생체 정보 계측이 가능한 센서 개발	①	생체 정보 계측 센서 설계도	설계도 1건	-	센서 설계 여부	시제품	논문(비SCI) : 1 건 특허 출원 : 1 건
					②	재실자 생체 정보(온도, 습도, 압력, 심장박동수)를 동시에 수집 가능한 모듈 개발	센서 모듈 1건	-	모듈 개발 여부	시제품	
			B-2	실시간 무선통신이 가능한 플렉서블 센서 개발	①	무선통신 기능을 탑재한 생체 정보 수집 센서 개발	무선통신 기능 탑재한 센서 1건	-	무선통신 기능 작동 여부	시제품	시제품: 1 건
					②	플렉서블 생체 정보 수집 센서 개발	플렉서블 센서 1건	-	센서 개발 여부	시제품	
계											특허 : 출원 2 건 논문(SCI) : 3 건 논문(비SCI) : 2 건 시제품: 1 건

(2) 관련 분야 기여도

생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝 기반 IoT 원천 기술 개발	
생체 반응형 딥러닝 기법 기반의 스마트 분야 원천 기술 마련	사람과 사물간의 인프라를 구성하여 신체변화에 적응하고 패턴학습 가능한 디바이스의 개발
시스템 자동화 및 에너지 효율화를 통한 국가 차원 효율적 자원 배분	Machine to Machine이 아닌 Man to Machine으로 별도의 조작 없이 작동 가능한 기능 및 에너지 절감 효과
기존과 차별화 된 기술 개발	신체에 직접적인 변화 측정을 통해 정확한 신체변화를 감지하여 즉각적인 실내의 쾌적성 유지 가능.
딥러닝 적용 IoT 기술개발을 통한 스마트 기술 확대	여러 사용자의 생체정보를 수집하여 스마트홈, U-Health 등 스마트시티의 Data 구축으로 인프라 기반 확대
생체 신호 감지 가능한 플렉서블 센서의 확장성	사용자의 다양한 생체 정보 수집·분석을 통하여 건강관리 및 응급 상황 판단에 활용 가능



그림 40. 연구개발의 활용방안

(가) 기술적 측면

공조 기술과 IoT기술의 융복합을 통한 생체 반응형 자동 공조 제어 시스템을 개발하여 **국제적 수준 이상의 기술력 확보**	
국가적 원천기술 확보	국제적 IoT 기술의 성장과 정책의 변화에 대응할 수 있는 **사용자 반응형 실시간 공조제어 시스템에 대한 국가적 원천기술 확보가능**
사용자와 사물인터넷 간의 연결	센서를 통한 사용자의 생체변화 감지 및 딥러닝 모델을 통한 정밀한 변화 예측으로 **IoT분야와 건축분야의 융·복합 기술 확보**
지능형 IoT 시스템 개발	딥러닝(Deep Learning) 기술을 IoT 기술과 융합함으로써 **사물과 사용자간의 유기적 인프라 구축**
사물인터넷 기술 경쟁력 강화	**기존 사물인터넷(IoT)을 학습가능하게 하여** 지능형 IoT시스템을 개발함으로써 **사용자 반응형 공조제어 시스템 기술력 확보 및 국가 경쟁력 강화**

(나) 경제·산업적 측면

딥러닝(LSTM)을 기반으로 생체데이터를 분석 처리하는 알고리즘을 통한 **불필요한 에너지 낭비 절감 및 에너지 사용 효율화 기대**	
온열환경 제어 간편화	본 개발기술을 이용하여 **온열환경 제어가 어려운 노약자 및 장애인의 쾌적성 유지**의 간편화 가능
자동 공조 조절에 의한 에너지 절감 효과	사용자에게 적절한 온열환경 조성으로 **불필요한 에너지 낭비를 억제하고 에너지 사용 효율화 및 절감 효과를 기대**
사용자 반응형 스마트시티 기술 개발	생체 신호 계측 센서와 딥러닝 기반 IoT의 **융·복합 기술력을 바탕으로 사용자 반응형 스마트시티 기술 개발**
4차 산업 혁명 시대의 신성장 동력 창출	실내 온열환경 유지를 위해 실시간으로 수집되는 **신체데이터와 지능형 시스템을 융합함으로써 4차 산업 혁명 시대의 신성장 동력 창출 효과 기대**

(다) 사회적 측면

IoT 기반 기술 경쟁이 높아짐에 따라 차별화된 IoT 기술 수출을 통한 **국제 시장주도 및 국내 IoT 산업의 경제적 역량 제고**	
노약자 및 장애인 친화적 기술	환경제거가 어려운 노약자 및 장애인의 **별도 조작 없이 쾌적성 유지**
미래지향적 건설경제 기틀 마련	불필요한 에너지 낭비를 막아 **건축물 에너지 낭비에 대한 국민의식 고취**와 **미래지향적 건설경제 기틀 마련 가능**
스마트시티의 기초 인프라	국가 발전에 필수불가결한 스마트시티 기술에 필요한 **기초적인 인프라 자원으로 활용 가능**
최소의 에너지로 최대 효과를 창출	적절한 환경 조성으로 불필요한 에너지 사용이 없어, **최소한의 에너지로 온열환경 조절.**

4. 연구개발성과의 활용계획

(1) 연구개발성과의 활용방안

■ 생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 인체부착형 플렉서블 센서는 현재 피부표면의 온도 및 습도를 계측하는 수준에 있으며, 실시간 무선통신 모듈을 통해 계측된 데이터가 클라우드 데이터로 자동전송되도록 개발되었음. 이 기술을 통해, 실내환경 제어뿐만 아니라, 인체정보를 기반으로 변화시켜야 하는 다양한 환경(ex. 건설현장, 실내 근로자 작업환경, 의료 등)에서 작업자의 실시간 인체정보를 예측하는데 활용할 수 있음.

■ LSTM 기반 자동공조제어 알고리즘은 다변화하는 실내공간형태(1인 주거, 오피스, 교육시설 등)에서 각 개인의 쾌적도를 기반으로 실내공조환경을 제어할 수 있는 응용모델의 기초자료로써 활용될 수 있음.

■ 플렉서블 센서와 자동공조제어 알고리즘을 활용해서 오피스나 주택뿐만이 아니라 독거노인이나 병실과 같이 환경제어가 불편한 사람들의 쾌적성 유지에 활용 가능하며 생체데이터와 사물인터넷을 활용하여 건물 내의 IoT기기들을 조절하는데 활용할 수 있음.

생체 반응형 자동 공조 제어를 위한 플렉서블 센서 및 딥러닝 기반 IoT 원천 기술 개발	
사회적 활용방안	실내 온열환경을 적합하게 제어하는 스마트 유지관리 시설물에 적용 가능
	환경제어가 어려운 노약자 및 장애인의 쾌적성 유지를 위한 사회 복지 시설에 적용
	사람과 사물간의 인프라 구축으로 유기적인 스마트시티 구축 사업에 기여
경제적 활용방안	4차 산업 혁명 시대의 신성장 동력 창출 효과 기대
	사용자에 적절한 온열환경 조성으로 불필요한 에너지 절감
	스마트 시티의 원천 기술의 기초로 혁신성장의 기틀 마련
기술적 활용방안	건설 분야와 IoT 분야의 연계를 통하여 창조적 융·복합 원천 기술 선점
	국내외 사용되는 IoT 기기에 적용 가능한 핵심 원천 기술 확보
	건설 분야 전반에 걸쳐 사용자 중심 기술 혁신 유도

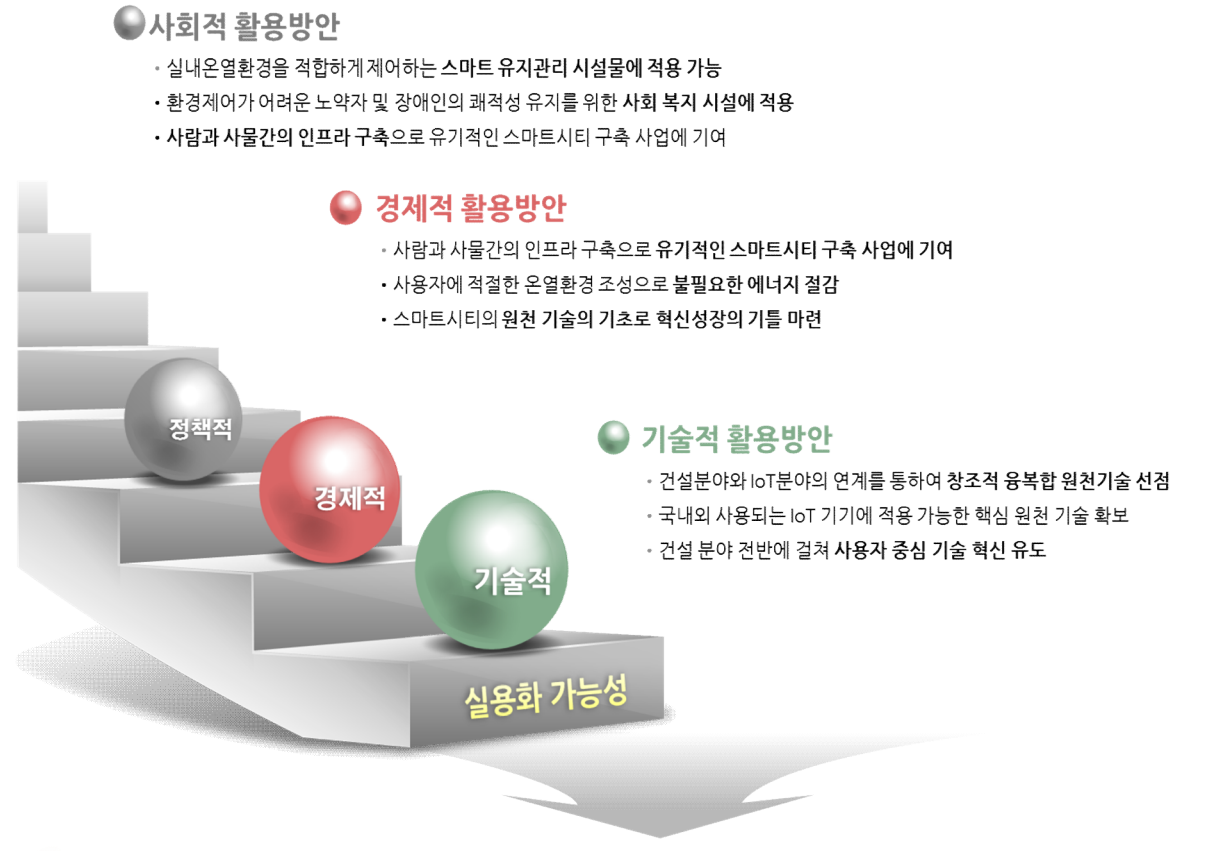


그림 41. 연구결과의 구체적 활용방안

붙임. 참고문헌

1. W.J. Fisk, A.H. Rosenfeld, Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, Indoor Air 7 (1997) 158 - 172, http://dx.doi.org/10. 1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00002.x.
2. A. Wagner, E. Gossauer, C. Moosmann, T. Gropp, R. Leonhart, Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – results of field studies in German low energy office buildings, Energy Build. 39 (2007) 758 - 769, http://dx.doi.org/10.1016/j. enbuild.2007.02.013.
3. P. Wargocki, D.P. Wyon,J. Sundell, G. Clausen, P.Fanger, The effectsof outdoorair supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity, Indoor Air 10 (2000) 222 - 236, http://dx.doi.org/10. 1034/j.1600-0668.2000.010004222.x.
4. P. Fanger, Thermal comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
5. Choi, J.-H., Loftness, V., & Lee, D.-W. (2012). Investigation of the possibility of the use of heart rate as a human factor for thermal sensation models. Building and environment, 50, 165-175.
6. Hofer, N., Resch, B., & Müller, W. (2012). Temperature to heart rate relationship in the neonate. Signa vitae: journal for intesive care and emergency medicine, 7(1), 57-50.
7. Kim, M. J. (2004). 겨울철 실내 온도에서 연령과 성에 따른 피부 온도와 열쾌적감'. Korean J. Community Living Science, 15(2), 55-64.
8. Liu, W., Lian, Z., & Liu, Y. (2008). Heart rate variability at different thermal comfort levels. European journal of applied physiology, 103(3), 361-366.
9. Strøm-Tejsen, P., Wyon, D. P., Żukowska, D., & Jama, A. (2009). Finger temperature as a predictor of thermal comfort for sedentary passengers in a simulated aircraft cabin. Paper presented at the 9th International Healthy Building Conference and Exhibition 2009.
10. Wang, Z., He, Y., Hou, J., & Jiang, L. (2013). Human skin temperature and thermal responses in asymmetrical cold radiation environments. Building and environment, 67, 217-223.
11. Yao, Y., Lian, Z., Liu, W., Jiang, C., Liu, Y., & Lu, H. (2009). Heart rate variation and electroencephalograph-the potential physiological factors for thermal comfort study. Indoor air, 19(2), 93.
12. 박태주, 강규민, 강기남, & 송두삼. (2013). 오피스공간 내 시스템 에어컨 운전 조건에 따른 재실자의 열쾌적성 평가. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 342-346. (1)
13. 김보성, 임동훈, 전윤창, 신주원, 민윤기, 민병찬, & 김진호. (2011). 냉, 난방 조건에서 예상 온열감 반응

(PMV) 지표에 따른 감성 반응 분석. 한국감성과학회 춘계학술대회, 2011, 77-78.

14. 공효주, 윤근영, & 김정태. (2011). 온열환경기준에 따른 여름철 사무실의 열쾌적성 평가. 한국생태환경건축학회 논문집, 11(3), 37-42.
15. 정창원, 윤인, 손정영, & 김치환. (2000). 빌딩 온열 환경 평가지표로서의 PMV 검토. 한국퍼실리티매니지먼트학회지, 2, 117-124.
16. 이겨레, & 임재한. (2019). 난방운전조건에 따른 실내 온열 환경과 인체 심박변이 (HRV) 와의 관계. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 39(1), 284-285.
17. 윤동원, 강효석, & 안병욱. (2003). 실내 온열환경 제어를 위한 PMV 센서의 개발 및 적용성 평가연구. 설비공학논문집, 15(10), 870-879.
18. Understanding LSTM Networks, (2015) http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/
19. SPSS 이용한 논문 통계 https://slidesplayer.org/slide/15325920/
20. 강기남, & 이건호. (2010). PMV 지표를 통한 사무공간에서의 이중외피시스템 적용에 따른 열쾌적성 평가. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 1288-1293.
21. 민세동, & 신항식. (2015). 심박변이율 시간영역 분석을 통한 실내온도변화에 따른 자율신경활동 평가. 전기학회논문지, 64(8), 1246-1250.
22. 배치혜, & 전정윤. (2010). 온열 쾌적감 간이 측정 방법 개발을 위한 국부 피부온도의 온열감 예측 가능성에 관한 연구. 대한건축학회 논문집-계획계, 26(6), 341-348.
23. 신항식. (2015). 심박변이율 주파수 분석을 통한 실내온도에 따른 건강한 성인의 자율신경계 활동 평가. 전기학회논문지, 64(8), 1240-1245.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

210㎜×297㎜[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]