

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[☒], 보안[☐]	
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	2020년 국토교통기술촉진연구사업						
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명	국토교통기술혁신연구						
공고번호	공고-제05호			총괄연구개발 식별번호	1615011959						
				연구개발과제번호	21CTAP-C157743-02						
국가과학기술 표준분류	EI1202	45%	EE0102	40%	EE0108	15%					
총괄연구개발명	국문	주택용 전력 품질데이터 AI 분석을 통한 벤치마킹 시스템 개발									
	영문	Development of Benchmarking System using AI Analysis on Power Quality Data for Residential Buildings									
주관과제명	국문	리빙 전력데이터 수집 및 소비패턴 벤치마킹 시스템 개발									
공동과제명	국문	AI 기반 전력 파형 분리·분석 알고리즘 개발									
주관연구기관	기관명	(사)한국건물에너지기술원			사업자등록번호	214-82-13473					
	주소	(우) 서울특별시 서초구 반포대로 30 길 81 웅진타워 7F, 8F			법인등록번호	110221-0020990					
주관연구책임자	성명	이남수			직위	차장					
	연락처	직장전화	02-6911-4561			휴대전화	010-2901-5360				
		전자우편	hisoo17@kbet.or.kr			국가연구자번호	1102-4697				
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 자립자립체 기타()		합계			연구개발비 외 지원금		
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계			
총계	370,000	13,000	117,000	-	-	-	-	383,000	117,000	500,000	-
1년차	119,000	4,000	36,000	-	-	-	-	123,000	36,000	159,000	-
2년차	251,000	9,000	81,000	-	-	-	-	260,000	81,000	341,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고				
		역할	기관유형								
공동연구기관	(주)바이솔라	이주윤	대표	010-8008-7407	lly.buysolar@gmail.com		공동		중소기업		
연구개발담당자 실무담당자	성명	주정훈			직위	대리					
	연락처	직장전화	02-6911-4565			휴대전화	010-9210-3979				
		전자우편	hoonyju@kbet.or.kr			국가연구자번호	1134-5069				

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 01 월 14 일

주관연구책임자 : 이 남 수

주관연구기관의 장 : 한국건물에너지기술원

조 정 훈

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		2020년 국토교통기술혁신연구사업			총괄연구개발 식별번호		1615011959		
내역사업명		국토교통기술혁신연구			연구개발과제번호		21CTAP-C157743-02		
국가과학기술 표준분류		EI1202	45%	EE0102	40%	EE0108	15%		
총괄연구개발명		주택용 전력 품질데이터 AI 분석을 통한 벤치마킹 시스템 개발							
주관과제명		리빙 전력데이터 수집 및 소비패턴 벤치마킹 시스템 개발							
공동과제명		AI 기반 전류 파형 분리·분석 알고리즘 개발							
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21개월)							
총 연구개발비		총 500,000천원 (정부지원연구개발비 : 370,000천원, 기관부담연구개발비 : 130,000천원)							
연구개발단계		기초[] 응용[☒] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(2 단계) 종료시점 목표(4 단계)		
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]							
연구개발과제 특성		기반연구							
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	기존건축물에 적용 가능한 AI(90%신뢰성 확보)기반 주택 전력기기 분리·분석 알고리즘 및 벤치마킹 시스템 개발							
	전체 내용	○ 리빙 전력데이터 수집 방안 및 기기특성별 벤치마킹 시스템 개발 ○ 딥러닝 기반 주택 전력기기의 전류 파형 분리·분석 및 이상 징후 감지시스템 개발 - 최근 스마트 홈 IoT, HEMS(Home Energy Management System)의 기반은 기기별 에너지사용량, 재실자의 유무, 사용자 패턴 등에 대한 데이터를 수집하고 이에 따른 업체별 진단분석 솔루션을 활용한 대기전력차단, on/off 제어, 자동화시스템 등과 연계된 서비스를 창출하고 있음 - 하지만, 이는 신축 공동주택에만 일부 적용되고 있는 시스템으로 기존건축물의 경우 상당한 공사비(전기공사 등)와 계측기에 대한 초기투자비에 대한 부담감으로 현실적으로 적용이 힘든 실정임. 이에 일부 통신사의 경우 플러그 형식의 IoT 가전기기 스마트홈 서비스를 제공하고 있으나 이 또한 기기 개별의 계측기가 설치되며, 에너지를 이해하는 수준이상의 사용자만이 어플로써 서비스를 제공 받을 수 있음 - 이에 본 연구에서는 기존건축물 어느 곳이나 적용 가능한 시스템으로 분전반 메인 전력 품질데이터의 AI 기반 패턴분석 및 전류 파형 분석 알고리즘을 통해 가전기기별 정량적 전력량을 진단하고, 유사 건물군과의 사용패턴 및 사용량에 대한 정성적 상대평가를 할 수 있는 벤치마킹 시스템을 개발하는데 목적이 있음							
		목표	○ 일반 공동주택 분전반 활용 전력데이터 측정 범위 설정 및 데이터 수집 프로세스 정립 ○ 전력 총 사용량에 대한 벤치마킹 시스템 구축 및 기기별 (최소 6대 가전이상) 특성을 고려한 벤치마킹 시스템 구성(안) 모델링 ○ 가전기기별 파형 특징 분석과 고유 파형 데이터 기반 전처리 ○ 이상징후 포착을 위한 가전기기별 정상 및 비정상 상태 전력 파형 학습						
		1년차 내용	○ 주택 대상 실증 전력데이터 측정 및 데이터 수집 프로세스 정립 - 전력부문 일반정보 및 기기별 소비패턴 분석을 위한 데이터 정규화 - 전력 사용량에 따른 기기별 Impact Factor 및 설치가이드 도출 - 주택 대상 실증데이터 수집을 위한 2개소 이상 데이터 수집 및 DB구축 ○ 기축 주택에 특화된 기기별 소비패턴 분석을 위한 벤치마킹 시스템 개발 - 수요자 중심 이해하기 쉬운 용어 및 디자인 모델링 - 사용성 및 편의성 증대를 위한 입력변수 최소화 및 결과 리포트 자동화 - 주택 거주·사용자별 에너지 사용 패턴 분석 및 최대전력 사용량 조사 ○ 전력파형 분석 및 AI 모델 구축과 학습 - 가전기기별 파형 특징 분석 및 학습을 위한 데이터 전처리 - Fourier Transform을 적용한 기기별 전력 선형 및 비선형 파형 분해 - 실시간성 보장을 위한 최소 Fourier Transform 산정 구간 정의 및 적용						

		- 상태분석을 위한 인공신경망 구축 ○ 이상징후 검출 및 자율 학습 시스템 구축 - 가전기기 명세에 따른 전력 특징 및 파형 범위 산정 및 검토
	목표	○ 주택 실증대상 (4개소 이상) 적용 전류 파형 알고리즘 시스템 연계 및 검증 ○ 전력 기기별(최소 6대 가전) Impact Factor를 적용한 벤치마킹 시스템 구축 및 에너지 효율화 운영 가이드라인 개발 ○ 비정상 전력 파형을 통한 가동상태 분석 및 이상 징후 감지 알고리즘 개발 ○ 실시간 전력 학습 데이터 수집을 통한 자율 학습 시스템 구축
2년차	내용	○ 주택 대상 실증 전력데이터 측정 및 데이터 수집 프로세스 정립 - 주택 대상 실증데이터 수집을 위한 4개소 이상 데이터 수집 및 DB구축 - 기기별 딥러닝 학습을 위한 데이터 연계방안 및 시스템 구축(안) 제시 - 전력기기 분리 분석시스템 개발 완료 후 실제 기기별 실측 데이터와 검증 ○ 기축 주택에 특화된 기기별 소비패턴 분석을 위한 벤치마킹 시스템 개발 - 주택 부문 에너지 효율화 개선 방안 및 기기별 절감요소 도출 - 기기별 소비패턴 특성 분석 및 에너지 효율화 운영 체크리스트 정립 - 가정용 누전세 구간 등을 고려한 에너지 효율화 운영 가이드라인 항목 도출 ○ 전력파형 분석 및 AI 모델 구축과 학습 - 상태분석을 위한 인공신경망 구축 - 가전기기별 정상 및 비정상 상태 전력 파형 학습 - 주택과 거주지 별 에너지 파형 분석 및 학습을 통한 가전기기 전력 최적화 시스템 개발 ○ 이상징후 검출 및 자율 학습 시스템 구축 - 일원화된 센서로부터 측정된 전체 파형 분해를 통한 개별 가전기기 분석 및 가동 상태 분석 및 학습 - 학습된 전력 파형을 토대로 이상징후 발생 시 예측 및 포착 - 파인튜닝과 주기별 업데이트를 통한 딥러닝 자율 학습 시스템 구축 - 지속적 학습을 통한 정상 및 비정상 전력 상태 예측 시간 단축
연구개발성과		○ (SW등록) 주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램 ○ (특허출원/등록) 주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템 ○ (게재논문) 다수 가전기기 유효전력의 스펙트로그램 분석 및 LSTM기반의 전력분해 알고리즘 ○ (게재논문) 딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용 ○ (게재논문) 개인 맞춤형 에너지 소모 피드백을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해 ○ (고용창출) 고용창출 2건 달성

〈 목 차 〉

1. 연구개발의 필요성	1
1) 연구개발과제의 최종 목표	1
2) 연구개발과제의 년차별 목표	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	3
1) 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계	3
2) 1차 연도 개발 목표 및 결과	7
3) 당해 연도 개발 목표 및 결과	26
4) 추진일정	49
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	51
1) 연구수행 결과	51
2) 목표 달성 수준	54
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	55
1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용	55
2) 자체보완 활동	55
3) 연구개발 과정의 성실성	57
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	59
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	60

	○ (보고서) - 6대가전 분석 데이터&실측 비교 검증 보고서 - 벤치마킹 시작품 보고서 - 6대가전 벤치마킹 시작품 및 분석 데이터(검증) 보고서 ○ (시작품) 가전기기 전력 계측 장치 제작 ○ (시스템) 주택 실증대상 (6개소 이상) 적용 전류 파형 알고리즘 시스템 연계 및 검증 ○ (시스템) 실시간 전력 학습 데이터 수집을 통한 자율 학습 시스템 구축																												
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	<활용계획> ○ 연구성과(SCI, 특허 등) 및 실증 검증을 통해 후속 연구과제 기획을 통한 기술 고도화 및 통합플랫폼 연구개발 수행 ○ 에너지 수요관리 대상 건축물 용도별 (주택, 오피스 등) 전력데이터 기반 에너지 진단 및 서비스 분야 경제성 모델 창출 ○ 에너지효율화 사업 대상 데이터 계측 IoT 기술 분야와 EMS 진단분야 시장점유 가능성 확보 및 신규·기존건축물 주택 대상 에너지 컨설팅 분야 시장 진입 ○ AI 기반 에너지 효율성 및 경제성 확보를 통해 새로운 수익 모델 창출 및 국내 건축물 AI 진단 분야 보급 확산 기반 마련 ○ 리빙데이터 통합 플랫폼 구축 시 다양한 데이터 정규화를 통한 에너지 서비스 (ex : 한전 빅데이터센터 연계/ 신재생에너지 ESS 최적 수요관리 방안 등) 연계 모델 구현 가능 <기대효과> ○ 선도적 기술 확보 및 해외업체와 경쟁 가능한 딥러닝 기반 전류 파형 알고리즘 핵심 기술 확보 ○ 전력 데이터 부문 기기별 사용 및 효율화를 위한 운영 가이드라인 제시를 통한 사용자의 자발적 참여로 에너지 효율화 기대 ○ 기존 건축물 저소득층 계층 주택 수요관리가 가능한 시스템 개발로 에너지 효율 서비스 불균형을 해소 ○ 전력 파형 분석 IoT 설치 및 주택 부문 에너지 운영관리 분야 신규 시장 진출, 매출 및 고용 창출 효과 기대																												
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음																												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	<table><tr><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구 시설· 장비</th><th rowspan="2">기술 요약 정보</th><th rowspan="2">소프트 웨어</th><th rowspan="2">표준</th><th colspan="3">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr><tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>화합물</th><th>정보</th><th>실물</th></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>3</td><td></td><td>5</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원			신품종		생명 정보	생물 자원	화합물	정보	실물	3	1	3		5	1					
논문	특허								보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원			신품종												
		생명 정보	생물 자원	화합물	정보	실물																							
3	1	3		5	1																								
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호																				
국문핵심어 (5개 이내)	스마트 하우스		전류 파형		인공지능		벤치마킹		패턴분석																				
영문핵심어 (5개 이내)	Smart House		Current Wave		Artificial Intelligence		Benchmarking		Pattern Analysis																				

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 기존건축물에 적용 가능한 AI(90%신뢰성 확보)기반 주택 전력기기 분리·분석 알고리즘 및 벤치마킹 시스템 개발
- 리빙 전력데이터 수집 방안 및 기기특성별 벤치마킹 시스템 개발
- 딥러닝 기반 주택 전력기기의 전류 파형 분리·분석 및 이상 징후 감지시스템 개발

“ 리빙데이터 플랫폼의 생활 밀착형 측정기술 및 AI 분석시스템개발을 통한 전력데이터 패턴 분석 및 파형분석 기법을 활용한 가전기기별 벤치마킹 시스템 개발 ”

최종 성과	데이터 수집 최적화 방안	가전기기 소비패턴 제시	가전전력 효율 최대화	이상징후 & 고장 예측
	- 분전반 단위 전력데이터를 활용함에 따라 계측기 비용 절감 30% 저비용 계측기 설계(안)를 통한 홈 IoT 기기와의 차별성 확보	- 가전기기 파형 분리 분석을 활용한 가전기기 소비패턴 파악 - 노화·오작동·고장 등의 현상 정보 제공 가능	- 가전기기별 소비패턴을 분석하여 불필요한 전력 사용 방지 - 시간대별 기기 사용 예측을 통한 전력 효율 최대화	- 실시간 검사를 통한 이상징후 검출 - 자율적 학습 체계 진화를 통한 이상 징후 예측 소요 시간 감소
제안 목적	파형 데이터 수집 및 분석	벤치마킹 시스템 개발	딥러닝 기반 전력 파형 학습	실시간 자율학습시스템 구축
	- 기성 계측기를 활용한 데이터 수집 및 계측 데이터 표준(안) 제시 - 우선적 6대 가전제품 파형 데이터 분석 가이드 제시	- 공동주택 대상 HEMS, IoT홈 설치 시 고비용 발생 절감 - 공동주택 가전기기 상세 에너지 사용량 서비스 제공	- 딥러닝 수량을 위한 전력 빅데이터 분석 플랫폼 구축 - 정상과 비정상 신호 분리 및 계산시간 단축	- 전력 학습 데이터 발생시점마다 딥러닝 결과 검증 - Anomaly 의심 신호에 대한 결함원인 진단
제안 배경	전력 품질데이터 소비패턴		측정 센서 최소화를 통한 실용성 최대화	
	- 전기요금 고지서 발행 시 과소비되는 가전기기에 대한 패턴분석이 부재 - 주택 누전세, 오피스 피크부하 발생 시 원초적 원인에 대한 문제점을 찾기 어려운 실정		- 기기마다 전력 센서를 부착하여야 측정이 가능하므로 센서를 최소화하여 전체 분석이 가능한 기술 필요 - 전자기기별 전력 데이터 학습을 통한 센서의 일원화 필요	

2) 연구개발과제의 년차별 목표

<주관연구기관 : (사)한국건물에너지기술원>

- 1차 연도 연구개발 목표
 - 일반 공동주택 분전반 활용 전력데이터 측정 범위 설정 및 데이터 수집 프로세스 정립
 - 전력 총 사용량에 대한 벤치마킹 시스템 구축 및 기기별 (최소 6대 가전이상) 특성을 고려한 벤치마킹 시스템 구성(안) 모델링
- 2차 연도 연구개발 목표
 - 주택 실증대상 (4개소 이상) 적용 전류 파형 알고리즘 시스템 연계 및 검증
 - 전력 기기별(최소 6대 가전) Impact Factor를 적용한 벤치마킹 시스템 구축 및 에너지 효율화 운영 가이드라인 개발

<공동연구기관 : (주)바이솔라>

- 1차 연도 연구개발 목표
 - 가전기기별 파형 특징 분석과 고유 파형 데이터 기반 전처리
 - 이상징후 포착을 위한 가전기기별 정상 및 비정상 상태 전력 파형 학습
- 2차 연도 연구개발 목표
 - 비정상 전력 파형을 통한 가동상태 분석 및 이상 징후 감지 알고리즘 개발
 - 실시간 전력 학습 데이터 수집을 통한 자율 학습 시스템 구축

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발	자문 보고서	업무용 건축물 대상 국한된 서비스 제공	1건	연구계획서 기준	30
	데이터 수집 방안 및 정규화	검증 보고서	수집 DB 제공 수준	2건	연구계획서 기준	10
	시스템 연계	-	DB 제공	-	연구계획서 기준	10
	데이터 전처리 및 AI 모델 구축	개제 논문	-	1건	연구계획서 기준	50
2년차 (2021)	주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발	특허, SW등록	업무용 건축물 대상 국한된 서비스 제공	2건	연구계획서 기준	30
	데이터 수집 방안 및 정규화	-	수집 DB 제공 수준	-	연구계획서 기준	10
	시스템 연계	자문보고서	DB 제공	1건	연구계획서 기준	10
	이상징후 검출과 자율 학습이 가능한 시스템 개발	국외 SCI 논문	-	1건	연구계획서 기준	50

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

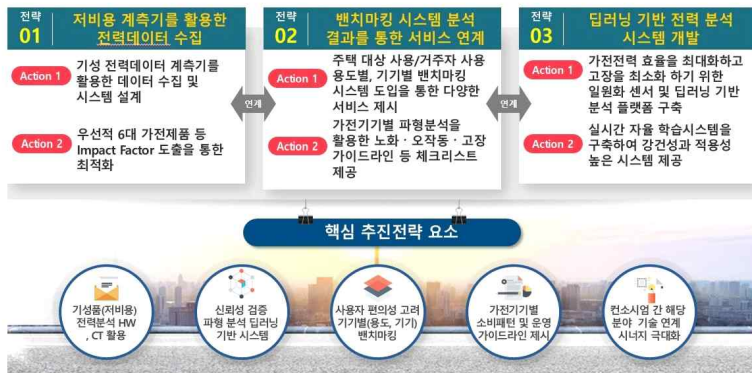
1) 연구개발의 추진전략 · 방법 및 추진체계

가. 연구개발 추진전략 · 방법

가) 연구과제 주요 추진전략

- 본 과제의 조직체계는 건물에너지 분야 다수의 과제 수행 경험이 있는 (사)한국건물에너지기술원(건축물에너지효율등급 인증기관)과 건물에너지 관련 인증 및 솔루션을 보유하고 있는 AI 전문 인력을 보유하고 있는 (주)바이솔라의 협업체제로 구축함
- 국내 기존 전력 품질데이터 분석시스템에 대한 사전연구를 통해 아이디어를 창출, 현재 '정보통신기획평가원' 자문위원으로 활동 중인 이주운 대표이사와의 회의를 통해 내용을 구체화 하였으며, 국내외 사례조사를 통해 차별성을 갖도록 하는 기술 고도화 방안과 주요 타켓을 주택으로 함으로써 보다 짧은 연구기간동안에 성과를 달성·검증 할 수 있는 과제으로써 제안하게 됨
- 최종목표 달성을 위해 세부목표 설정은 효율적인 추진을 위해 주요 3대 추진전략과 유기적인 연계시스템을 기반으로 구성하였으며, 시스템에 대한 전체적인 총괄과 연구의 지속적 후속 연구기획을 담당한 한국건물에너지기술원과 세부 전문적인 AI 알고리즘 개발 파트로 분류할 수 있음
- 최종적으로 스마트시티 관점에서의 에너지 효율화 및 수요관리 부분 '리빙데이터 통합 플랫폼' 개발을 목적으로 하며, 본 과제에서는 기초, 응용기술을 바탕으로 선도적 연구성과를 달성하고, 각 기관이 보유한 전문 자문인력 활용을 통해 후속 연구과제를 기획하여 지속적으로 연구를 수행하고자 함

본 연구과제의 성공적인 수행을 위해 3개의 추진전략을 도출하여 제시
30% 저비용/단기간 예측 & 90% 신뢰성 검증 AI 기반 파형 분석 & 에너지 효율화 방안 벤치마킹 시스템 개발

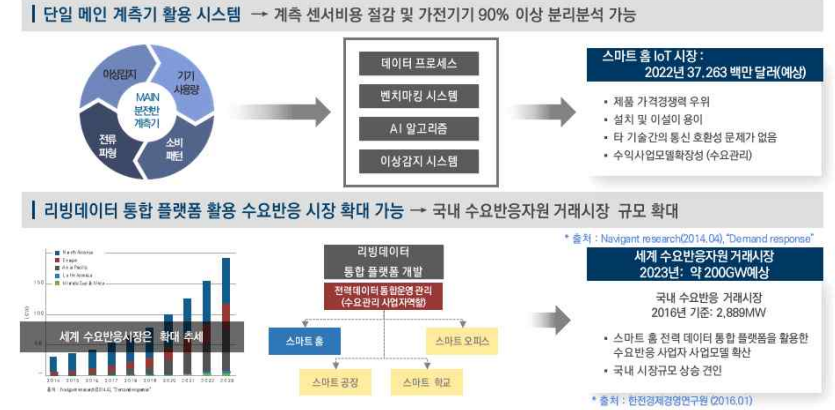


나) 연구과제 추진방법

- 전력데이터 분석을 위해 수집되는 전력에너지의 경우 특정 제품의 전력량계를 활용한 서비스 제공이 아닌 기존 보급되어 있는 기성제품에서 수집된 데이터 연계를 통하여 연구성과를 우선적 달성 검증하며, 향후 후속과제를 통해 전류파형 분석 전용 HW를 개발하여 저비용 보급화를 계획함
- 본 연구에서는 주택 분전반의 메인전력 계측 데이터를 활용하여 전력 에너지 사용량을 파형 분리 분석하고 주택에서 사용되는 6대 가전제품(전력 기기 제품 전체를 목표로 함) 이상의 분류에 대한 전력 에너지 정보를 주택 실거주자에게 제공이 가능하며, 추가적으로 과소비되는 가전기기 정보, 이상치·오작동 알람 등과 같은 서비스를 제공함으로써 향후 기기 유지관리 차원과 수요반응자원 거래시장으로의 확대 가능
- 2018년도 전 세계 주요국의 스마트 홈 보급률은 20%이상을 차지하고 있으며, 이는 인공지능 스피커 등 홈 게이트웨이를 중심으로 스마트 홈이 구현되고 있으며, 그 중 미국이 32%로 가장 높으며

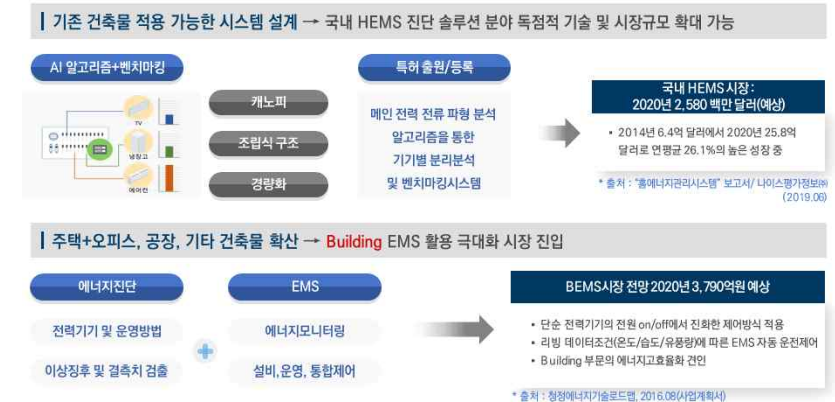
노르웨이 31.6% 에스토니아 26.8% 덴마크 22.5%, 스웨덴, 22.3% 그리고 한국이 20.6%임, 한국 무역협회 “미국 스마트홈 소비자 트렌드 및 시사점” 보고서에서는 기존 스마트홈 IoT 시장이 형성되어 있고 점차적 확대됨에 따라 2022년 37,263백만 달러로 예상됨에 따라 시장성이 이미 확보되어 있음

스마트홈 IoT 기술과 차별화 전략



- HEMS 시장규모는 2014년 6.4억 달러에서 2020년 25.8억 달러로 연평균 26.1%의 높은 성장이 이루어질 것으로 전망되며, 세계적으로 스마트그리드, AMI 및 신재생에너지 보급이 확대되면서 전력 인프라가 고도화되어 보급되고 있음. 이는 시장성 및 전력 데이터 수집에 대한 문제점이 해결됨에 따라 전력 품질데이터 시분석 및 벤치마킹 시스템의 시장성이 이미 확보하고 있음
- 국내 HEMS 시장에서도 스마트 그리드 및 AMI 보급이 확대되고 있으며, 이에 최근 신축 건물의 경우 추가적 계측기 설치 없이 기존 설치된 계측 데이터 연계를 통하여 서비스 제공이 가능함. 이는, 주택, 소형 건축물, 오피스, 공장 등과 같이 가전기기 중심의 건축물에 전력 에너지 계측이 가능해짐에 따라 EMS 보급시장성 극대화에 기여 가능

HEMS(Home Energy Management System)와 차별화 전략



다) 연구목표 달성을 위한 문제 해결 방안

○ 기존의 스마트 홈 IoT 및 EMS 시스템과의 차별화 문제

- 기존의 스마트 하우스 or 신축 건축물에 홈 IoT 센서 및 스마트 월패드, EMS 계측기 등이 이미 구축되어 있는 경우 개발하고자 하는 시스템 적용 시 연동의 한계점이 발생할 수 있음
- 본 시스템 개발의 목적은 신축 건축물 보다는 기존 건축물을 대상으로 하고 있으며, 저비용으로 누구나 쉽게 사용 가능한 시스템으로 최종적으로 구축하는 것이 목표임
- 향후 후속 연구과제의 리빙데이터 플랫폼을 통한 외부 장비와의 호환성 확보와 각 제품별로 상용표준에 따른 설계 및 자체 기술표준을 마련하여 설치 및 운영에 있어 유지보수가 용이하도록 개발하고자 함

○ 주택 대상 실증을 통한 데이터 신뢰성 확보 문제

- 본 과제에서의 전력 데이터 계측장비는 향후 상용화를 위한 저비용 제품이 아닌 전류파형 상세 데이터 수집이 가능한 고성능 전력분석기를 사용하고자 함
- 향후 알고리즘 및 시스템 검증이 완료 된 시점에서는 전력 분석 HW 저비용을 위한 신제품 개발이 요구될 것으로 사료됨
- 현재 미국 Verdigris 사의 제품의 경우 오피스 기준 전력분석 HW로 약 200~300만원 수준으로 로 파악되고 있으며, 본 시스템이 상용화 되는 시점에서는 계측기의 최종 목표가격은 30만원 이하로 책정 가능할 것으로 판단됨

○ 제품 개발 및 실증과정에서의 기술 보안 문제

- 본 과제를 통해 개발된 기술 및 노하우에 대해서는 빠른 특허 및 SW 등록 진행을 통해 권리 확보 방안 마련함
- 연구기간 종료 시 연구노트 등의 기록물을 공인기관에 임치를 통해 기술 유출 방지 및 후속 연구과제를 통해 특허, 사업화 구체화하고자 함

○ 리빙데이터 통합 플랫폼 구축 전략

- 에너지 진단/분석 및 시스템 구축 전문 기관의 특성을 활용하여 시스템 개발을 통한 비즈니스 모델 도출에 대한 전문 컨설턴트 자문 수행함
- 시스템 구축 초기부터 에너지 관리 전문 개발자와 전문 컨설턴트 투입으로 후속과제에서 수행하여야 하는 내용과 함께 연계의 완전성, 정책방향성, BM 적용성 등을 확보함

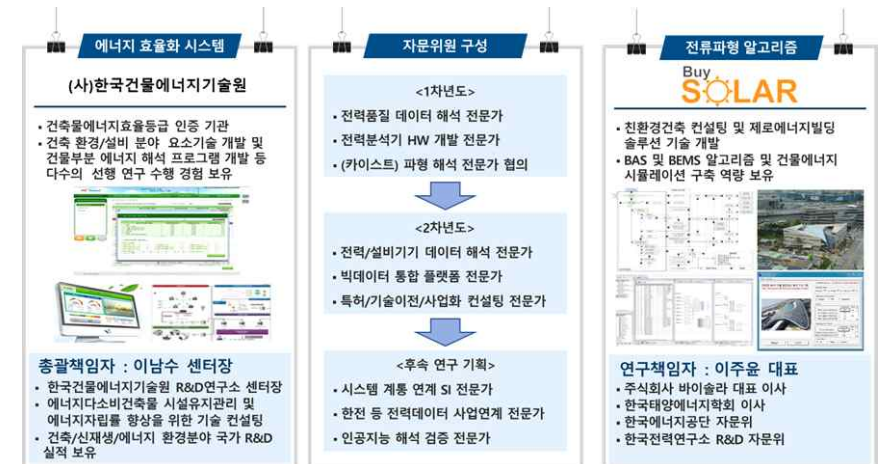
나. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
(총괄)과제명	주택용 전력 품질데이터 AI 분석을 통한 벤치마킹 시스템 개발	주관연구책임자 (이남수)와 총 11명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
중소기업	1	4
기 타	1	12

(사) 한국건물에너지기술원
리빙 전력데이터 수집 및 소비패턴 벤치마킹 시스템 개발
연구책임자명 (이남수)와 11명
담당기술개발내용
실증 데이터 적용 벤치마킹 시스템 적용 및 시스템 연계

[공동연구기관] (주)바이솔라
AI 기반 전류 파형 분리·분석 알고리즘 개발
연구책임자명 (이주윤)와 3명
담당기술개발내용
딥러닝 기반 전력 파형 분석 알고리즘 개발 이상징후 감지 및 예측 플랫폼 개발



2) 1차 연도 개발 목표 및 결과

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2020)	리빙 전력데이터 수집 방안 및 기기특성별 벤치마킹 시스템 개발	주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발	가전기기별 특성화 분류 분석	○ 전력사용량에 따른 기기별 ImpactFactor 도출 ○ 계측기 설치 가이드라인 도출 ○ 전력데이터 일반정보 및 기기별 소비패 턴 분석을 위한 정규화 프로세스 구축
			벤치마킹 소프트웨어 개발	○ 주택거주 사용자별 에너지 사용 패턴 분석 및 최대전력 사용량 사전조사 ○ 벤치마킹 분포 가시화 박스플롯 정의 ○ 주택부분 에너지 효율화 개선 방안 및 기기별 절감요소 도출을 위한 문헌조사
		데이터 수집 방안 및 정규화	분전반 전력계통 및 주택 가전기기 분석	○ 기기별 사용량 비교 검증을 위한 기기 별 측정방안 도출 및 시스템 실험 적용 ○ 전력계측기(분석기) 사양에 따른 데이터 오차 범위 및 데이터 학습 범위 설정
		시스템 연계	AI 시스템 연계방안 수립	○ 상태분석 결과값 벤치마킹 시스템에 적용
	AI 기반 전류 파형 분리·분석 알고리즘 개발	가동 중인 전자제품의 파악을 위한 플랫폼 구축	가정용 전자제품 단계별 전력 파형 분석	○ 가전기기별 파형 특징 도출 - FFT를 활용한 가전기기의 전력 데이터 주파수 영역별 분포도 분석
			전력 파형 분석 학습 플랫폼 구축	○ 클라우드 기반 학습 플랫폼 구축 - 딥러닝 네트워크 구축 및 데이터 학습 을 통한 알고리즘 보정
		학습된 내용을 토대로 전체 파형분석을 통한 현재 가동 중인 제품 분석	전력 파형 분석 및 분해 알고리즘 개발	○ LSTM 딥러닝 알고리즘 설계
		이상징후 감지 및 예측 플랫폼 개발	파인튜닝을 적용한 시스템 강건성 증대 여부 평가	○ 가전기기별 정상상태 평균 파형 학습에 따른 이상징후 포착 알고리즘 개발

가. 리빙 전력데이터 수집 및 기기특성별 벤치마킹 시스템 개발

가) 주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발

○ 가전기기별 특성화 분류분석

- 전력사용량에 따른 기기별 ImpactFactor 도출

- 2005년 국가에너지절약추진위(총리 회의실)에서 분석한 자료를 통해 총 전력 사용량 28,155GWh/년 (전체 가정 소비전력량의 62%)에 해당하는 6 대 가전기기 도출

표 1 국가에너지절약추진위 선정 6 대 가전기기

가전기기	총 소비전력량 (GWh/년)	총 보급대수 (만 대)	가정 내 비중
냉장고	9,544	1,650	21 %
TV	6,189	2,355	14 %
전기밥솥	5,016	1,080	11 %
컴퓨터	3,360	2,425	7 %
세탁기	2,103	1425	5 %
에어컨	1,943	630	4 %

* 6대 가전기기 에너지 효율향상 협약자료

- 국가 통계포털에서 제공하는 가전기기 총 보급대수 및 가구당 가전기기 보급률 통계자료 (1994~2013) 분석하여 주택 대상 가전기기별 Impactfactor 도출

표 2 KOSIS 통계자료 분석

가전기기	연간 사용량		총 보급대수	
	연간 사용량 (Wh)	ImpactFactor	보급대수 (천 대)	ImpactFactor
TV	255,520	0.1077	21,283	0.107
일반 냉장고	350,634	0.1479	17,948	0.090
김치 냉장고	155,275	0.065	14,788	0.074
세탁기	51,555	0.021	16,954	0.085
선풍기	27,420	0.011	29,695	0.149
에어컨	238,245	0.100	13,463	0.067
전기다리미	43,871	0.018	13,724	0.069
컴퓨터	155,589	0.065	10,789	0.054
전기밥솥 (취사)	342,407	0.144	16,001	0.080
전기밥솥 (보온)	604,01	0.254	16,001	0.080
전자레인지	35,753	0.015	12,241	0.061
진공청소기	109,186	0.046	14,226	0.071
비디오	1,064	0.0004	1,380	0.006

* KOSIS 통계자료

- 국가에너지절약추진위 및 KOSIS 통계자료를 통한 Impactfactor 분석을 통해 전기밥솥, 일반냉장고, TV, 에어컨, 선풍기, 김치냉장고, 컴퓨터, 진공청소기, 세탁기, 전기다리미, 전자레인지, 비디오 순으로 가전기기 우선순위 도출
- 실증단지별 동일한 조건의 데이터 확보를 위해 실증단지 가전기기 보유여부를 비교·분석하고 도출한 Impactfactor와 교차 검토하여 최종 6대 가전기기 도출

표 3 실증단지 보유 가전기기 분석

보유 가전기기	실증단지	
	실증단지 A (안산)	실증단지 B (오산)
TV	○	○
일반 냉장고	○	○
김치 냉장고	×	○
세탁기	○	○
선풍기	×	×
에어컨	○	○
전기다리미	×	○
컴퓨터	○	×
전기밥솥 (취사)	×	○
전기밥솥 (보온)	×	○
전자레인지	○	×
진공청소기	×	○
비디오	×	×
공기청정기	○	○
셋톱박스	○	○

- 파형 분석 및 분리를 위한 6대 가전기기로 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨, 공기 청정기, 셋톱박스 선정

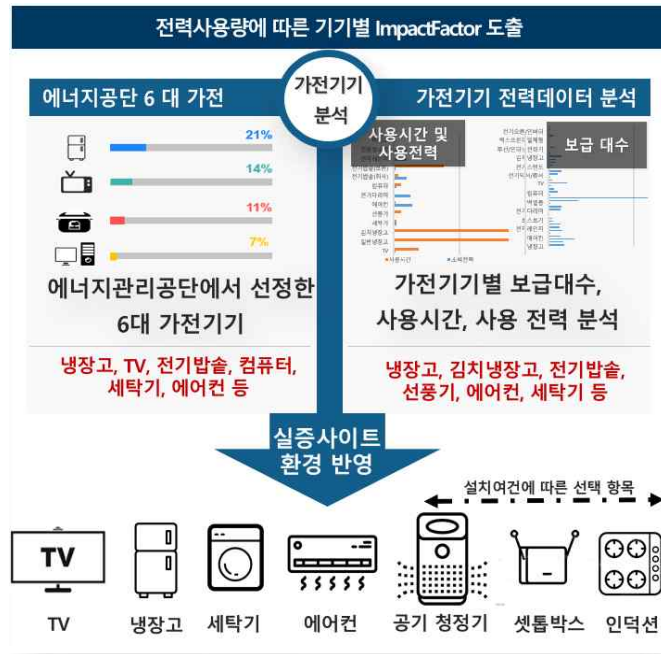


그림 1 6대 가전기기 도출

- 계측기 설치 가이드라인 도출

- 분전반의 메인전력 데이터와 6대 가전기기의 전력 데이터 분석 및 알고리즘 개발·검증을 위한 디지털 파워미터 설치 가이드라인 도출

표 4 계측기 설치 가이드라인

설치 목적		- 전력 총 사용량에 대한 벤치마킹 시스템 구축 및 기기별 특성을 고려한 벤치마킹 시스템을 위한 DB 구축 - 전력 빅데이터 기반 파형 분리를 위한 알고리즘 구축 및 검증용 데이터 활용
설치 장소	실증 단지 A	안산시 원선로 50 벽산블루밍 아파트(1세대)
	실증 단지 B	오산시 운암로 64 운암대동향토방다숲 아파트(1세대)
계측기 선정	메인 분전반	(주) 요코가와 전기 WT310E
	가전기기	자체제작 계측함
계측 범위	계측 항목	- 파형분리 및 검증 데이터 확보를 위한 계측항목으로 전압, 전류, 전력량, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 주파수, 왜형률 등을 선정
	계측 주기	0.1 초 단위
	계측 일자	2020. 07. 31 ~ 2020. 10. 20
실험 및 검증 방법		- 데이터 수집 및 전처리 - 데이터 모델링을 통한 모델 선정 - 검증 데이터와 비교를 통한 모델 정확도 검증
관리 책임자	메인 분전반	한국건물에너지기술원
	가전기기	바이솔라

- 메인 분전반 계측기 사양(요코가와 전기 WT310E)

표 5 주택용 전력 분전반 측정 계측기기 사양

계측기 모델명	사건	
요코가와 WT310E		
구분	사양	비고
기본 전력 확도	0.1% of drg + 0.05% of rng	-
역률영향	±0.1% of S, 45Hz≤f≤66Hz	역률(λ)=0 일 경우(S:피상전력)
대역폭	DC, 0.1Hz ~ 100Hz	-
전류 입력 레인지	5mA ~ 20A	12레인지
전압/전류 유효 입력범위	2% to 260%	20A레인지만 200%
주파수 측정	전압/전류	-
데이터 갱신 주기	100m/250m/50m 1/2/5/10/20 sec, Auto	-
고조파 측정	가능	-
고조파 종합 함유율	가능	1~50th
연산 최대 차수	-	-
IEEE 통신규격	IEEE488.2	-

표 6 가전기기 측정 계측기기 사양

계측기 모델명		사진	
BS-PQ1			
구분	사양	비고	
결선방식	1P2W, 1P3W, 3P3W, 3P4W		
입력	계측주파수	50 / 60 Hz (옵션)	
	전압입력	AC 10 ~ 380 (상전압)	3 EA
	전류입력	AC 5A	3 EA
	전압부담	0.5 VA 이하(1 Phase)	
	전류부담	0.5 VA 이하(1 Phase)	
	제어전원	AC/DC 85 V ~ 265 V	
출력	Digital Input	AC/DC 125 V (CB-OPEN,CLOSE 포함, AC 80 V 이상)	8 EA, 옵션
	PO	AC/DC 350 V 이하 (30 VA 이하) Normal Open	2 EA
	Digital Output	신호용 DRY, Normal Open, CB 제어용	2 EA, 옵션
통신	MODBUS-RTU	RS485 4800 ~ 38400 BPS	1 EA
	WIFI	전용 manager software 사용	1 EA
3-Phase Power Measurement		480 VAC, 5 A	

- 전력데이터 일반정보 및 기기별 소비패턴 분석을 위한 정규화 프로세스 구축

- NILM(Non-intrusive load monitoring) 비간섭 전력부하 감시 알고리즘 분석
- 개선된 실시간 NIALM 기반의 전기 에너지 패턴 분석에 관한 연구, 유효 및 무효 전력 변화를 이용한 비접촉식 가전기기 부하 식별, 딥러닝을 이용한 가전제품 분류 시스템 구현 등 관련 논문분석을 통한 파형분석에 필요한 필수 계측 데이터 정의

표 7 전력 데이터 일반정보

항 목	계측데이터 일반 정보	단위
전 압	전기장이나 도체 안에 있는 두 점 사이의 전기적인 위치 에너지 차	V
전 류	전하의 흐름을 뜻하며, 단위 시간동안 통과한 전하의 양을 의미	A
전력량	전기가 한 일의 총량을 전력과 시간의 곱으로 정의	Wh
유효 전력	전원에서 공급되고 부하에서 실제로 소비되는 전력, $P=V\cos\theta$	W
무효 전력	리액턴스로 인해 발생하는 일을 하지 않는 전력, $A=V\sin\theta$	VAR
피상 전력	교류의 부하나 전원의 용량을 나타내는 값, $S=VI$	VA
역률	교류회로에서 유효전력과 피상전력과의 비	-
주파수	1초 동안 진동한 횟수 (같은 모양의 파동이 1초에 반복되는 정도)	Hz
왜형률	파형의 일그러짐 정도, 왜형률=고조파 실효값 / 기본파 실효값	%

- 전력데이터 계측 시스템은 각 주택의 분전반 메인 전원에서부터 수집된 계측 데이터를 주기적으로 서버 데이터베이스로 전송
- 딥러닝 기반 전력파형 분석/분류 시스템은 기존 학습된 모델을 이용해 데이터베이스에 저장된 전력 데이터를 주요 가전기기 별로 분류한 뒤 그 결과를 데이터베이스에 저장
- 벤치마킹 시스템은 사용자의 요청에 따라 데이터베이스로부터 비교 평가를 위한 표본용 데이터를 구성하고, 해당 주택의 주요 가전기기의 전력 데이터를 조회하여 분석 및 평가하여 사용자에게 응답
- 사용자는 주택 내 주요 가전기기의 전력 사용 트렌드 및 상대적 사용 수준 등을 사용자 UI를 통해 확인

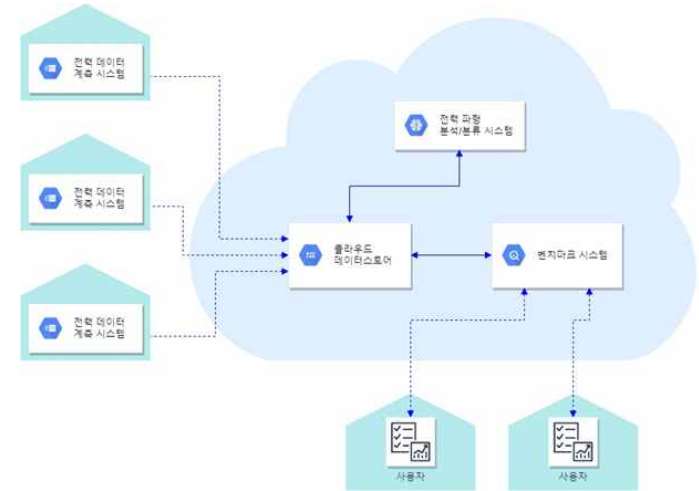


그림 2 시스템 다이어그램

- 벤치마킹 서비스 구축을 위한 데이터 계측 및 DB 구축, 가전기기 파형 분리 알고리즘, 벤치마킹 프로그램 프로세스 구축

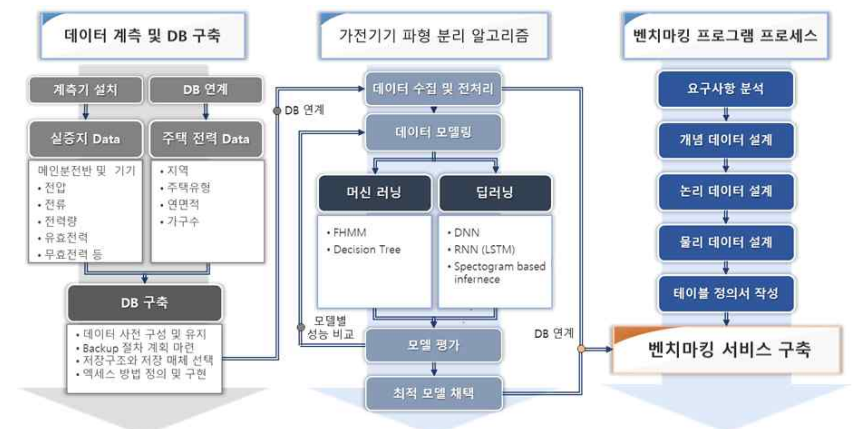


그림 3 벤치마킹 서비스 프로세스

○ 벤치마킹 소프트웨어 개발

- 주택거주 사용자별 에너지 사용 패턴 분석 및 최대전력 사용량 사전조사

- 한국전력 통계자료 분석을 통한 주택거주 사용자별 에너지 사용 패턴 분석 결과 주택용 전력수요는 동절기 및 하절기에 높은 경향을 보이는데 그 중에서도 동절기에 더 많은 전력을 소비
- 주택유형의 경우 아파트(전체의 51%), 단독주택, 연립 및 다세대, 기타 순으로 비중을 차지하고, 소득 수준이 높은 아파트의 경우가 전력소비량이 가장 크고, 단독주택과 연립 및 다세대의 경우에는 동절기의 월평균 전력수요가 아파트와 기타의 경우에는 하절기 전력 수요가 가장 많음

표 8 주택유형별 월평균 전력소비량 추이(2010년 ~ 2014년, 단위 kWh)

주택유형	단독주택	아파트	연립 및 다세대	기타
관 측 수	120,234	203,074	41,698	36,129
1 월	318	331	305	290
2 월	328	344	312	295
3 월	307	335	290	280
4 월	289	313	282	272
5 월	277	314	272	265
6 월	261	303	263	256
7 월	256	307	265	264
8 월	278	325	294	293
9 월	283	349	298	300
10 월	262	230	266	265
11 월	269	304	269	263
12 월	292	317	286	274

* 한전사이버지점 홈페이지

- 주택면적의 경우 주택면적과 월평균 전력수요는 비례하는 경향이 강하고, 주택면적에 관계없이 동절기에 전력수요가 가장 많음. 주택면적이 클수록 월간 최대와 최소 전력수요 격차가 커짐

표 9 주택면적별 월평균 전력소비량 추이(2010년 ~ 2014년, 단위 kWh)

주택면적	10평 미만	10평 이상 20평 미만	20평 이상 30평 미만	30평 이상 40평 미만	40평 이상 50평 미만	50평 이상
관 측 수	10,876	167,837	177,981	34,640	7,820	1,983
1 월	210	285	343	390	430	462
2 월	216	293	355	408	446	474
3 월	205	281	338	390	434	443
4 월	196	266	318	360	397	414
5 월	193	262	313	352	389	402
6 월	183	252	300	337	372	377
7 월	186	254	302	337	370	386
8 월	194	274	324	358	395	403
9 월	198	287	342	377	414	418
10 월	186	261	311	348	385	376
11 월	187	255	305	343	375	382
12 월	196	267	323	364	401	412

* 한전사이버지점 홈페이지

- 가구구성원과 전력소비는 양(+)의 상관관계를 강하게 나타내고 있고, 3인 이하 구성원의 경우 동절기에 가장 많은 전력소비를 나타내고 4인 및 6인 가구의 경우 하절기 전력 수요가 가장 많음. 7인 이상의 가구의 경우 표본수가 매우 작아 대표성이 의심되므로 패턴 분석이 어려움

표 10 가구 구성원수별 월평균 전력소비량 추이(2010년 ~ 2014년, 단위 kWh)

구성원 수	1	2	3	4	5	6	7
관 측 수	58,517	114,171	96,765	101,380	25,666	3,618	871
1 월	221	308	338	353	374	408	423
2 월	228	320	348	365	385	418	407
3 월	218	307	335	350	369	410	393
4 월	206	287	317	330	349	384	380
5 월	201	282	312	327	344	381	374
6 월	193	269	299	315	330	368	355
7 월	193	268	301	320	333	370	374
8 월	204	286	326	346	362	400	391
9 월	211	298	344	368	384	420	406
10 월	198	278	311	330	344	386	376
11 월	198	275	304	319	334	372	370
12 월	207	292	322	336	354	391	401

* 한전사이버지점 홈페이지

- 누진단계별 전력소비 가구분포를 분석해보면 월평균 전력소비가 100kWh 이하인 가구는 4,104천 가구로 전체 수용가의 18.2%를 차지하고 총괄원가 이하의 요금을 지불하는 월평균 전력소비가 300kWh 이하인 가구는 누적기준 71.4%이며, 최대 전력 소비 구간인 500kWh 이상 가구는 238천 가구로 전체의 1.1% 임

표 11 누진단계별 전력소비 가구분포

누진 단계	사용량 구간 (kWh)	가구수		판매량	
		천 가구	%	백만 kWh	%
1	100 이하	4,104	18.2	171	3.3
2	101 ~ 200	5,112	22.6	780	15.3
3	201 ~ 300	6,899	30.6	1,740	34.1
4	301 ~ 400	5,239	23.2	1,790	35.1
5	401 ~ 500	983	4.4	428	8.4
6	501 이상	238	1.1	191	3.7

* 한전사이버지점 홈페이지

- 수요자 대상 누구나 이해하기 쉬운 시스템 구성, 벤치마킹 결과를 비전문가도 쉽게 이해 가능하도록 분포 가시화 방법인 박스플롯 정의

- 평가목적에 적합한 시각화 도구들을 최대한 활용하고, 시스템 인터페이스를 직관적으로 구성하여 사용자 누구나 쉽게 결과를 해석할 수 있고, 전력사용량 표본을 기준으로 사용한 수준별 등급 구분을 통해 사용자가 스스로 평가 가능
- 벤치마킹 시스템은 분석 대상 주택의 주요 가전기기의 에너지 사용량을 유사한 주거형태의 주택 표본 데이터와 비교 분석한 뒤, 상대적 비교 평가를 위해 사용자에게 해당 주택의 전력사용량과 가전기기의 개별 에너지 사용량 수준 정보 제공

요구사항 ID

SFR-06-002

작성작

이혁

Version

Page Number

2

Page Location

Main > 가전 기기 에너지 사용량 벤치마킹 > 벤치마킹 시스템 개요(Di)

Web page title

주택 가전 기기 별 에너지 사용량 벤치마킹 시스템

벤치마킹 시스템 개요

Main > 가전 기기 에너지 사용량 벤치마킹 > 벤치마킹 시스템 개요

벤치마킹 분석하기

가전 기기 벤치마크란?

가전 기기 에너지 사용량 통계

“우리 집 주요 가전기기의 에너지 소비 수준은?”

벤치마킹 시스템을 수집된 가전기기의 에너지 사용량을 유사한 주거형태의 주택 표본 데이터와 비교 분석해 내 주택 가전기기의 에너지 소비 수준을 비교 평가해주는 서비스 도구입니다.

7월13일18일20일12월

7월13일18일20일12월

7월13일18일20일12월

7월13일18일20일12월

✓ 주택 주요 가전기기의 총 전력 사용량 수준 분석 및 평가

✓ 주택 주요 가전기기의 개별 에너지 사용량 수준 분석 및 평가

사용자 입력정보 및 온도

사용자 입력정보

온도

주택의 위치(광역시도, 군구)

동일 지역의 표본과 비교 평가

주택 유형 (단독주택, 아파트, 연립 및 다세대, 기타 등 선택)

동일 유형의 표본과 비교 평가

주택의 연면적(분석 주택의 연면적 입력, m²)

연면적당 에너지 사용량 계산

가구 구성(성인, 아동, 청소년, 장애인 등 선택, 명)

구성원의 수 대비 가전기기의 에너지 사용량

사용 가전기기 (냉장고, TV, 에어컨, 공기청정기, 세탁기 등 중복선택, 대)

가전 기기 별 에너지 사용량 결과(과전기, kWh)

그림 4 벤치마킹 시스템 메인화면 기획

- 벤치마킹 시스템의 주요 기능인 주택의 전력사용량 및 가전기기별 전력사용량 분석을 위한 탭 명칭을 설정하고 프로세스 구축

표 12 화면 탭 설정

탭 명칭	화면 설명 문구
연간 전력 사용량	벤치마킹 대상 주택의 사용년도에 대한 연간(월별) 전기 사용량과 주택이 위치한 지역, 유형, 연면적, 구성원 수에 따른 유사 주택군에 대한 에너지 사용량 순위를 분석 결과로 확인 가능
월별 전력 사용량	
가전기기 연간 전력 사용량	벤치마킹 대상 주택의 주요 가전기기의 연간(월별) 총 전기 사용량과 순위를 분석 결과로 확인 가능
가전기기 월 별 전력 사용량	

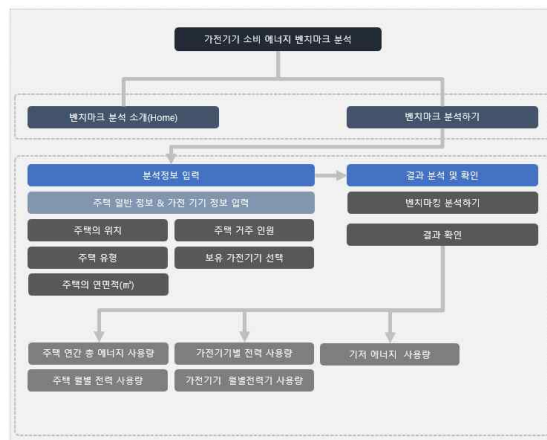


그림 5 벤치마킹 시스템 정보구성 및 프로세스

- 에너지 사용량 수준 평가 결과는 기본적으로 4분위수와 같은 기술통계를 이용하며, 박스플롯과 히스토그램을 이용해 시각화

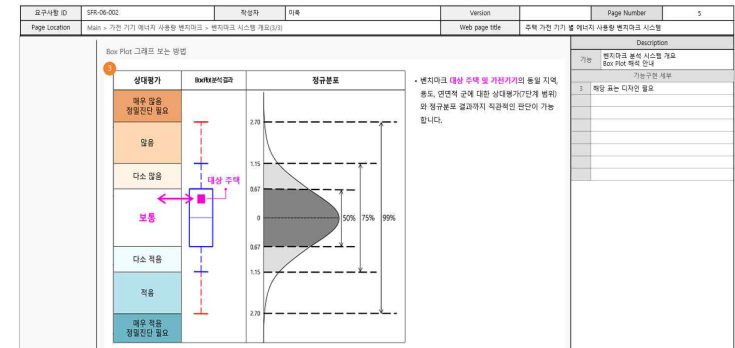


그림 6 벤치마킹 시스템 박스플롯 정의

- 주택부분 에너지 효율화 개선 방안 및 기기별 절감요소 도출을 위한 문헌조사

- Energy Impacts of smart Home Technologies (American Council for an Energy-Efficient Economy) : 스마트 홈 구성 요소별 에너지 비용절감 및 절약 기술과 그 효과에 대해 소개하고 기술 도입에 대한 고려사항 및 관리방법을 제시. HVAC, 스마트 가전기기, 조명, 블라인드, 온도조절기, 스마트 플러그, HEMS 등

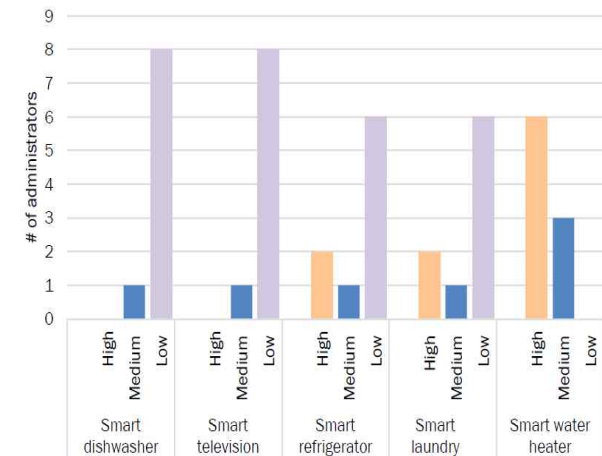


그림 7 스마트 기기의 에너지 절약

- 서울시 가정용 전력소비의 변화요인과 저감방안 (서울연구원) : 가정용 전력소비를 변화시키는 요인을 살펴보고 전력수요 안정과 전력소비 저감을 위한 정책방안 제시. 가정용 전력소비 저감을 위해 우선 적정 규모 이상의 가전기기를 중심으로 3대 에너지효율 관리제를 시행하기 위한 단계별 전략 수립

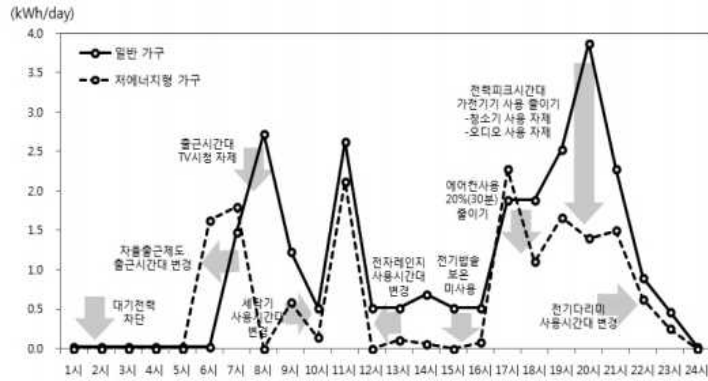


그림 8 에너지 절약 실천 가구의 전력 리크 저감효과

- 가정용 전자기기의 대기전력 측정에 따른 에너지 절약 방안 (에너지기후변화교육 학회) : 일반 가정에서 사용하고 있는 전자기기의 대기전력 소비를 측정하여 대기전력 절감방안 제시. 전자기기의 유형별 분류 및 유형별 절감방안 도출

표 13 대상 가정에서 사용하는 전자기기 유형별 분류

유형	특징	전자기기
A	어떠한 부조 부하 및 전원 스위치도 가지지 않으며 플러그를 연결하면 작동하며 대기 모드 없음	-
B	전원스위치를 가지고 있으며, 수동으로 전원 스위치를 켜 때 작동. 대기전력은 일반적으로 0	드라이기, 커피포트
C	기기에 단단한 전원 스위치가 없고, 동작 부하를 제어하거나 여러 관련된 기능을 수행하는 부가 기능을 가짐. 원격 제어 장치 또는 전기전원 스위치를 가질 수 있음	전기밥솥, 냉장고, 정수기, 설탕박스
D	동작 부하를 차단하는 전원스위치와 영구적으로 전원에 연결되는 부가 기능을 가짐	온수매트, 제습기, UV 소독기, 건조기
E	동작 부하의 연결을 차단하는 전원 스위치를 가지고 있고, 영구적으로 전원에 연결되고 전원스위치와는 연결되지 않는 부가 기능을 가질 수 있음	전자레인지, 세탁기, TV, 에어컨
F	초기 동작을 위한 전력을 기기에 제공하는 외부 전원 공급 장치를 가짐. 전원 공급 장치는 일반적으로 낮은 전압을 공급하고, 전압은 직류 교류 모두 가능하고 플러그를 통해 연결됨. 대기모드는 전원과 연관되고, 대량의 저전력 모드가 있을 수 있음	컴퓨터, 인터넷 공유기, 프린터기, 모니터
G	주로 배터리 충전을 위하여 전력을 기기에게 공급하는 외부 전원 공급 장치	핸디형청소기, 핸드폰 충전기

- 한국에너지공단 효율관리제도 홈페이지의 가전기기 절감 방안 (한국에너지공단) : TV, 전기세탁기, 드럼세탁기, 에어컨, 전기진공청소기, 가정용가스보일러, 전열기의 에너지절약 효과비교 및 전기요금 절약 방안 제시

나) 데이터 수집 방안 및 정규화

- 분전반 전력계통 분석 및 주택 가전기기 분석

- 기기별 사용량 비교 검증을 위한 측정방안 도출 및 시스템 실험 적용

- 기기별 측정을 위한 계측기의 경우 자체 구축 시스템 내의 계측 장비 및 콘센트를 설치하고 2구 연장 콘센트를 연결하여 기기별 플러그를 접속하는 형태로 측정
- 기기별 데이터 계측 주기는 0.1초로 하고 메인분전반 계측기 WT310E(요코가와) 와 계측 시점 및 주기 동기화

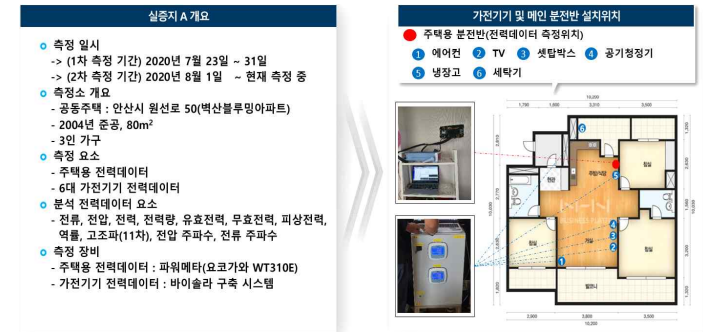


그림 9 실증지 A 설치 개요 및 계측기 설치 위치



그림 10 실증지 B 설치 개요 및 계측기 설치 위치

전력계측기(분석기) 사양에 따른 데이터 오차 범위 및 데이터 학습 범위 설정

- NILM 연구위한 MIT의 Reference Energy Disaggregation Data Set(REDD) 모델(2020.8월 기준 1,000회 인용)을 활용하여 데이터 최적 학습데이터의 계측 빈도 도출
- 데이터 계측 빈도를 0.1초 간격, 1초 간격으로 했을 경우, 각 파형 분해 정확도를 비교한 결과 계측 빈도가 상대적으로 낮은 1초 데이터에서 우수한 것으로 분석됨
- 최적 학습기간은 전체 측정시간 대비 가전기기 가동시간의 비율은 0.3(상대치)이거나 가정의 가전기기별 활용빈도를 고려하여 12시간 이상인 데이터(절대치) 누적 요구

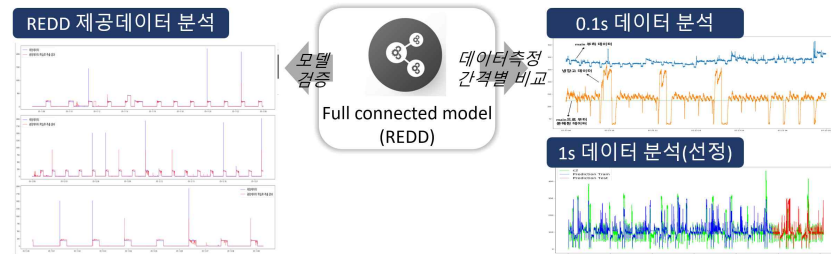


그림 11 Full Connected model(REDD) 알고리즘을 활용한 최적 학습데이터 선정

표 14 전력계측기 측정 정밀도에 따른 오차 및 데이터 학습 범위

데이터 계측 빈도	파형 분해 결과
0.1s	1초 간격 분석 결과에 비해 상대적으로 가전기기 파형 분해 정확도가 떨어짐
1s	가전기기별 파형 분해 후 전체 소비전력과 비교할 경우 오차율 8% 확보 => 1초 간격 측정데이터를 알고리즘 개발에 활용

다) 시스템 연계

- AI 시스템 연계
 - 상태분석 결과값 벤치마킹 시스템에 활용

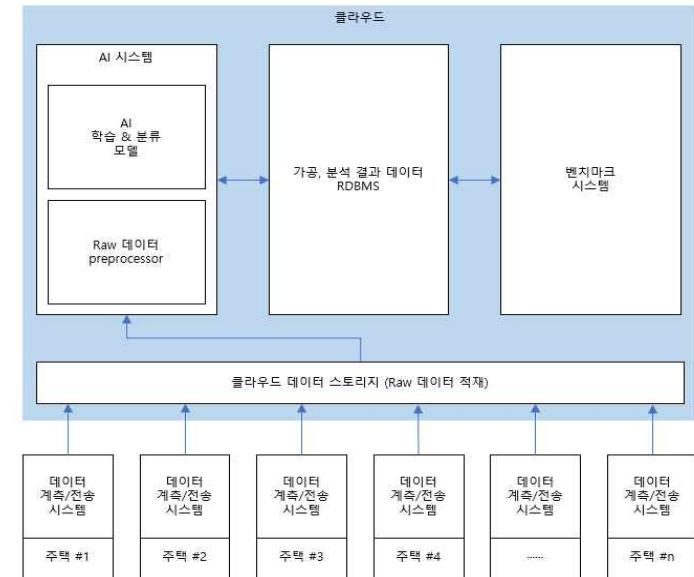


그림 12 시스템 구성 요소 및 개요

- 전력 데이터 계측 및 전송 시스템은 각각의 주택의 메인 전원으로부터 수집된 데이터를 일정한 주기로 클라우드 기반 Raw 데이터 저장소로 전송
- AI 시스템에서 데이터 pre-processor는 Raw 데이터 저장소에 적재된 원본 데이터를 정제, 가공 및 전처리하여 분석 및 학습을 위한 데이터 세트를 생성
- 딥러닝 기반 AI 학습, 분류 모델은 전처리를 거친 데이터 세트를 이용해, 학습을 수행하고 검증한 뒤 학습된 모델을 저장
- 학습 및 검증이 완료된 모델을 이용해 전력 파형 데이터를 주요 가전기기 별로 분류한 뒤 그 결과를 관계형 데이터베이스에 저장
- 벤치마킹 시스템은 관계형 데이터베이스에 저장된 데이터를 이용해 표본 데이터를 구성하고 이 표본을 이용해 대상 주택 보유 가전기기의 전력 에너지 사용량 수준을 상대적으로 비교 평가하여 그 결과를 관계형 데이터베이스에 저장
- 사용자는 해당 주택 보유 가전기기별 에너지 사용량 및 사용주이를 벤치마킹 서비스를 통해 확인 및 평가

나. AI 기반 전력 파형 분리 분석 알고리즘 개발

가) 가동 중인 전자제품의 파악을 위한 플랫폼 구축

○ 가정용 전자제품 단계별 전력 파형 분석

- 가전기기별 파형 특징 도출

- FFT(Fast Fourier Transform)를 활용하여 모든 가전기기의 전력 데이터를 시간-주파수 영역대별 분포도 시각화 작업 수행(spectrogram 활용)
- On/Off가 명확한 가전기기와 명확하지 않은 가전기기로 분류 가능



그림 13 Fourier Transform 알고리즘을 활용한 파형 분포도 시각화

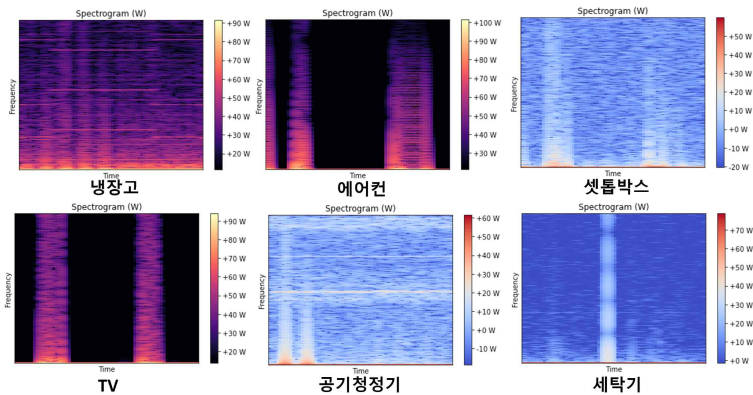


그림 14 가전기기별 주파수 영역대별 분포도(spectrogram)

표 15 가전기기별 파형 특징

가전기기 종류	파형 특징
TV	Low freq ~ High freq 넓게 분포
냉장고	
에어컨	Low freq 파형에 에너지 집중
선풍박스	On/Off 특징이 확연히 구분되지 않음
공기청정기	On/Off 특징이 확연히 구분되지 않음 Off 시 특정 주파수 대 에너지 잔류
세탁기	특정 주파수 대 에너지 분포하지 않음

○ 전력 파형 분석 학습 플랫폼 구축

- 클라우드 기반 학습 플랫폼 구축

- 클라우드 기반의 Colab*을 활용한 학습 플랫폼 구축 예정
 - * Colab : 클라우드 기반 Jupyter 개발환경으로 Colab, 드라이브, 도커, 리눅스, 클라우드의 기술 스택으로 구성
- 에너지 파형 데이터베이스 관리 및 기초 학습 데이터 생성
- 에너지 학습 엔진 적용과 학습 편향 방지를 위한 정확도 계산
- 딥러닝 네트워크 구축 (신경망 분석 수행)과 학습을 통한 알고리즘 보정
- 후처리 작업 (이상상태 감지를 위한 데이터 정상 범위 및 최대치 설정)

나) 학습된 내용을 토대로 전체 파형분석을 통한 현재 가동 중인 제품 분석

○ 전력 파형 분석 및 분해 알고리즘 개발

- LSTM 딥러닝 알고리즘 설계

- 머신러닝 구조적 한계점을 극복할 수 있는 딥러닝 알고리즘 중 RNN의 일종인 LSTM(Long-Short Term Memory) 알고리즘을 사용
- 레이어 32개와 레이어당 256개 뉴런을 사용하여 총 8192개 LSTM 신경망을 설계

표 16 전력 분류를 위한 알고리즘 선정

종류	대표 알고리즘	특징
머신러닝	- Decision Tree - FHMM(Factorial Hidden Markov Model)	- 가정에서 사용하는 가전기기가 증가하면 정확도 급격히 하락 - 단순 on/off가 아닌 작동 단계가 존재하는 제품 (드라이기, 에어프라이어 등) 분류 불가
딥러닝	- DNN(Full-connected) - RNN(LSTM) - Spectrogram based inference	- FHMM 계열의 구조적 근본 한계점을 극복할 수 있는 유일한 방안 - 소비전력의 변화폭이 작은 경우에도 높은 분류 성능을 보임 - 소비전력 뿐만 아니라 소비전력과 연관된 다른 데이터를 사용하여 고차원 분류 가능 - Data-Driven 특성상 데이터가 쌓일수록 성능이 더 향상됨

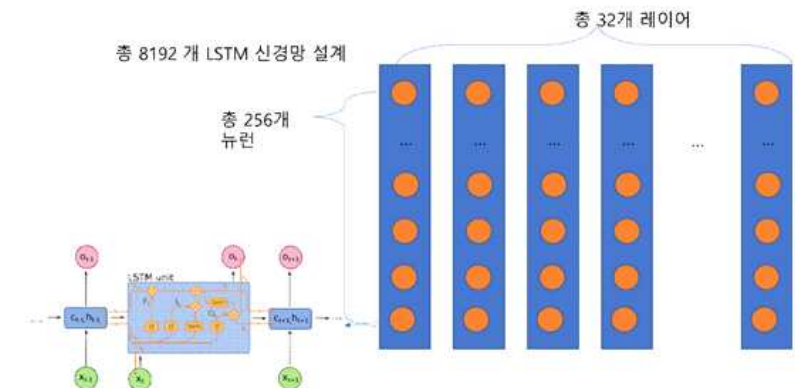


그림 15 LSTM 신경망 구성도

– 가전기기 전력 파형 분석 정확도 분석

- 전력 사용량 예측 알고리즘의 신뢰성을 평가하기 위한 지표는 가전기기의 파형과 값에 따라 유리함과 정확도에 차이가 있으므로 MAE (Mean Absolute Error), MSE (Root Mean Square Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error)를 사용
- 1초 단위 데이터 수집 간격을 기준으로 평가지표별 신뢰성 결과를 비교하고, 최적 알고리즘 구축
- 현재 정확도 분석은 평가지표 중 MAPE를 기준으로 가전기기별 파형 분석 정확도를 제시함
- 가전기기 개별 파형 분석 결과 데이터의 총합을 소비전력 측정값과 비교했을 경우 오차율 8%를 보임
- 가전기기에 따라 냉장고 27%, 인덕션 6%, TV 12%, 공기청정기 64%, 세탁기 37%의 오차율을 보임
- 공기청정기의 경우 소비전력 편차가 상대적으로 적고, 세탁기의 경우 사용빈도가 적어 추후 누적 데이터를 확보하여 모델의 강건성을 높일 필요성이 있음

표 17 가전기기별 신뢰성 평가지표

신뢰성 지표	내용
MAE (Mean Absolute Error)	- 예측값과 실제값의 절대값의 평균으로 MAPE와는 달리 예측값으로 Normalizing을 하지 않음 - 이를 통해 모델간의 잔차를 비교해 볼 수 있고 오차의 절대치를 확인 가능 - 단순히 ME (Mean Error)를 통해서 오차를 비교하는 경우, 예측 값이 실제 값보다 작은 경우에는 오차가 음수로 나타나고 이러한 경우 오차의 평균이 +, - 되어 줄어듦 - 산출식 : $MAE = \frac{1}{n} \sum \hat{y} - y$
MSE (Root Mean Square Error)	- 관측에서 나타나는 오차의 제곱합을 산술평균한 값의 제곱근으로서 관측 값들의 상호간 편차를 의미 - 표준편차를 일반화시킨 척도로서 실제값과 추정값과의 차이를 나타냄 - 더욱 정확한 오차를 구하기 위해 MSE에서는 각 오차의 값을 제곱해서 더해주고, n으로 나누어서 평균 - 산출식 : $MSE = \frac{1}{n} \sum (p_i - y_i)^2$
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	- MAPE (Mean Absolute Percentage Error) : MAPE는 오차의 비율로 모델을 비교 할 수 있기 때문에 오차 평균의 크기가 크게 차이나는 모델 비교에 유리 - 산출식 : $MAPE = \frac{100\%}{n} \sum \left \frac{A_t - F_t}{A_t} \right$

- 가전기기 개별 파형 분석 결과 데이터의 총합을 소비전력 측정값과 비교했을 경우 오차율 8%를 보임
- 가전기기에 따라 냉장고 27%, 인덕션 6%, TV 12%, 공기청정기 64%, 세탁기 37%의 오차율을 보임
- 공기청정기의 경우 소비전력 편차가 상대적으로 적고, 세탁기의 경우 사용빈도가 적어 추후 누적 데이터를 확보하여 모델의 강건성을 높일 필요성이 있음

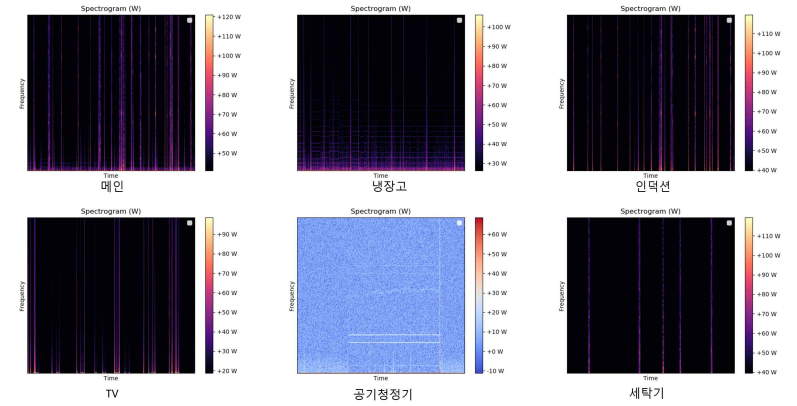


그림 16 가전기기별 파형 분포도 분석

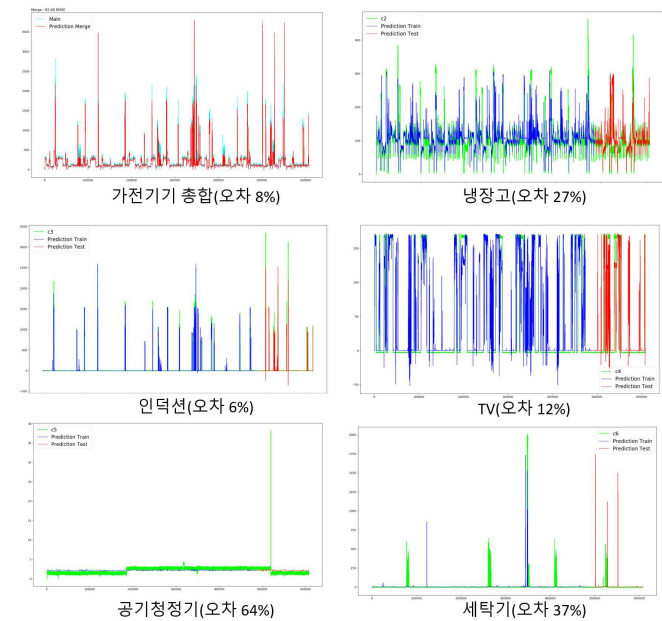


그림 17 가전기기별 파형 분해 결과

다) 이상징후 감지 및 예측 플랫폼 개발

○ 파인튜닝을 적용한 시스템 강건성 증대 여부 평가

– 이상징후 포착 알고리즘 개발

- 정상 on/off 신호 판단 및 정상 on 신호에 대한 특징 신호 선별 가능
- 이상 탐지 (Anomaly Detection)는 시계열 데이터에서 비정상적인 시점을 찾는 것과 비정상적인 변화의 패턴을 찾는 것을 목표로 하는 것에 따라 다르게 분류됨
- 과거 자료의 이상값에 대한 라벨이 이용 가능한지에 여부에 따라 지도학습과 비지도 학습으로 구분되며 본 연구에서는 결정 규칙 (Decision Rule) 기반 방법을 통해 이상 징후 예측 알고리즘이

구현됨

- 결정 규칙 기반 기법은 시스템에서 정상 자료를 판단하는 규칙들을 학습하고, 어떠한 규칙에도 해당하지 않는 개체를 이상으로 취급함
- 각각의 가전제품에 대하여 가전제품별 Maximum과 Minimum Peak 값을 정하고 해당 범위를 벗어나는 값을 이상징후로 판단하여 신호를 보낼 수 있으며 Maximum과 Minimum Peak 값을 벗어나지 않더라도 사전에 학습된 정상 파형과 다른 형태의 파형 감지 시 이상 징후로 포착하여 신호를 보낼 수 있음
- 본 연구에서는 이러한 이상징후 상황에서 알고리즘의 작동 유무를 확인하기 위하여 실제 이상이 있는 데이터를 Input으로 인공지능 알고리즘에 제공하거나 테스트를 위해 시계열 데이터를 가공하여 Input으로 전달하여 검증할 계획
- MSE(및 MAPE)로 계산 하였을 때 Train 단계에서 오차는 34.77(15.7%)로 나타났고 Validation 단계에서의 오차값은 43.79(19.3%)로 나타남
- 이상징후 탐지를 위해 일정 Threshold 범위를 벗어나는 오차율이 감지된다면 이를 가전기기의 이상징후로 판단하고 추후 조치를 취할 수 있을 것으로 보임

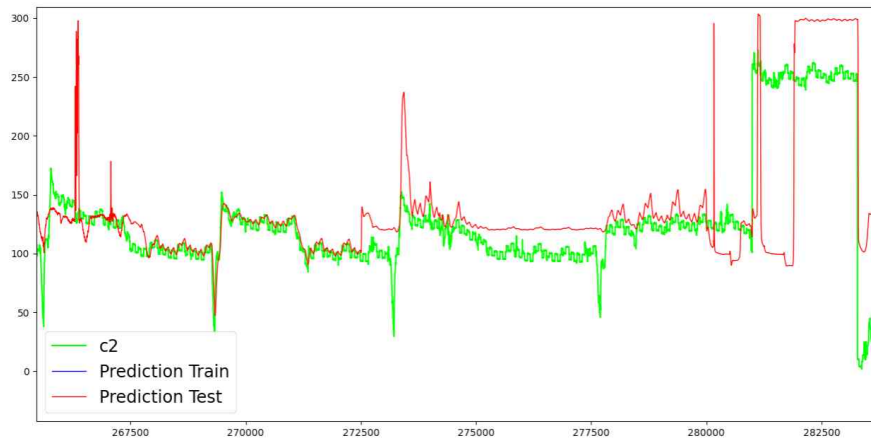


그림 18 이상징후 포착 예측 결과 비교

3) 당해 연도 개발 목표 및 결과

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
당해 연도 (2021)	리빙 전력데이터 수집 및 소비패턴 벤치마킹 시스템 개발	가전기기별 특성화 분류 분석	가전기기별 특성화 분류 분석	○ 전력 총 사용량 데이터 베이스 및 건물 유형별 건물군 분류 ○ 실증지별 가전기기 분류 및 전력 사용 량 데이터 베이스
			주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발	○ 수집데이터 분석을 위한 데이터 연계 및 1차 전력 데이터 벤치마킹 시스템 적용 ○ 사용성 및 편의성 증대를 위한 입력변 수 (Input 정보) 최소화 및 자동화 방 안 검토 ○ 벤치마킹 시스템 결과 리포트 및 소비 패턴 결과에 따른 추가 학습인자 도출 ○ 가정용 누진세 구간 등을 고려한 에너 지 효율화 운영 가이드라인 항목 도출
		가이드라인 개발	가이드라인 개발	○ 벤치마킹 시스템 매뉴얼 작성
	데이터 수집 방안 및 정규화	분전반 전력계통 분석 및 주택 가전기기 분석	분전반 전력계통 분석 및 주택 가전기기 분석	○ 전력량계 & 전력 기기별 CT 활용 전력 량 측정 ○ 자체 제작 계측기 활용 전력량 측정 ○ 실증지 주택 추가 선정 및 데이터 정규 화를 통한 시스템 안정화 ○ 불확실성 매개변수 및 이상 데이터 처 리를 위한 데이터 전처리 검증
		시스템 연계	AI 시스템 연계	○ AI 딥러닝 데이터의 최적화를 위한 측 정 데이터 영역 범위 정립
	딥러닝 기반 전력 파형 분석 알고리즘 개발	실시간성과 선형 및 비선형에 적용 가능한 퓨리에 급 수 알고리즘 개발	데이터 전처리 알고리즘 개발	○ 파형 학습을 위한 데이터 전처리 알고 리즘 개발 ○ 에너지 파형 분해 NILM 프레임워크를 위한 LSTNet를 구성하여 가전기기별 가 동상태 및 정상상태 학습 ○ 가전기기 고유 파형과 명세에 따른 전 력 특징과 파형 범위를 학습 및 정확도 도출
			노이즈 필터 개 발	○ 오류역전파 최소화를 위한 모델 정의 및 구축
	이상징후 감지 및 예측 플랫폼 개발	파인튜닝을 적용 한 시스템 강건성 증대 여부 평가	일원화된 센서를 통한 실시간 파 형 데이터 분석	○ 일원화된 센서를 통한 실시간 파형 데 이터 분석
			이상징후 포착 알고리즘 개발	○ 비정상상태 검출을 위한 정상상태 학습 의 정규화 Weight 정의 및 최적값 도출 ○ 지속적 학습을 통한 정상 및 비정상 전 력 상태 예측 시간 단축 방안 확보
		자율학습 시스템 구축	자율학습 시스템 구축	○ 자율학습 시스템 구축 방안

가. 리빙 전력데이터 수집 및 기기특성별 벤치마킹 시스템 개발

가) 주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발

○ 가전기기별 특성화 분류 분석

- 전력 총 사용량 데이터 베이스 및 건물 유형별 건물군 분류

- 실증지 6곳을 선정하여 지역, 주택 유형, 주택면적, 가구구성원 수 등 4가지 건물 유형을 고려하여 전력 총 사용량 데이터 베이스 분류
- 주요 실증지는 A(아파트), B(아파트), C(아파트), D(연립 및 다세대), E(아파트), F(아파트)를 선정하였으며 기타 건물 유형은 아래 표18와 같음

표 18 실증지 유형별 건물군 분류

	지역	주택 유형	주택면적	가구 구성원
실증지 A	경기도	아파트	24평	3인
실증지 B	경기도	아파트	60평	5인
실증지 C	서울	아파트	34평	2인
실증지 D	서울	연립 및 다세대	35평	4인
실증지 E	서울	아파트	24평	2인
실증지 F	경기도	아파트	18평	2인

- 실증지별 월평균 전력사용량 데이터 분석결과, 실증지 A 280kWh, B 324kWh, C 303kWh, D 314kWh, E 275kWh, F 287kWh로 나타나고 있고, 월별 벤치마킹 및 실증지 전력사용량 데이터 (그래프)는 아래 그림19과 같음

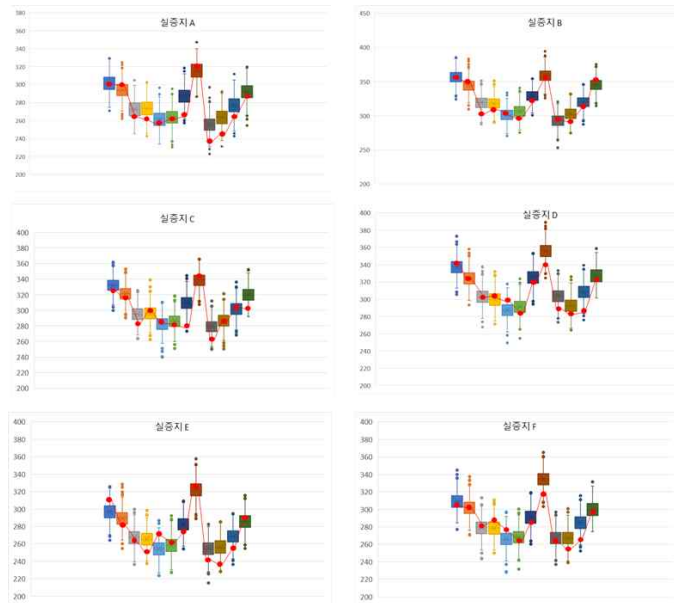


그림 19 실증지별 전력사용량 벤치마킹

- 건물 유형별 실증을 통해 월별 추이는 비슷한 경향을 보이고, 실증지별 전력 사용량 및 분포에 따른 차이가 있음을 확인

- 실증지별 가전기기 분류 및 전력 사용량 데이터 베이스

- 주요 가전기기 중 냉장고, TV는 모든 실증지에서 계속하였고, 실증지별 상황에 따라 추가적인 가전기기로 세탁기, 건조기, 공기청정기, 김치냉장고, 셋톱박스, 인덕션을 선택함. 실증지별 계속 가전기기는 아래 표19와 같음

표 19 실증지별 가전기기

	가전기기					
실증지 A	냉장고	에어컨	TV	세탁기	공기청정기	셋톱박스
실증지 B	냉장고	에어컨	TV	세탁기	공기청정기	인덕션
실증지 C	냉장고	김치냉장고	TV	건조기	-	-
실증지 D	냉장고	에어컨	TV	세탁기	-	-
실증지 E	냉장고	에어컨	TV	세탁기	공기청정기	-
실증지 F	냉장고	에어컨	TV	세탁기	공기청정기	-

- 실증지의 각 가전기기의 전력 데이터를 분석한 결과, 냉장고의 경우 전체 전력사용량의 약 13%, 에어컨 10~40%(여름철 한정), TV 약 7.4%, 세탁기 약 2.4%, 셋톱박스 약 1%, 공기청정기 약 3%, 인덕션 약 13%, 건조기 약 9%, 김치냉장고 약 6% 정도의 비중을 나타냄
- 실증지 A의 가전기기별 월평균 전력사용량의 경우, 냉장고 41kWh, 에어컨 32kWh, TV 18kWh, 세탁기 7.6kWh, 공기청정기 11kWh, 셋톱박스 6.8kWh로 나타나고 있고, 벤치마킹 및 전력사용량 데이터(그래프)는 아래 그림20과 같음

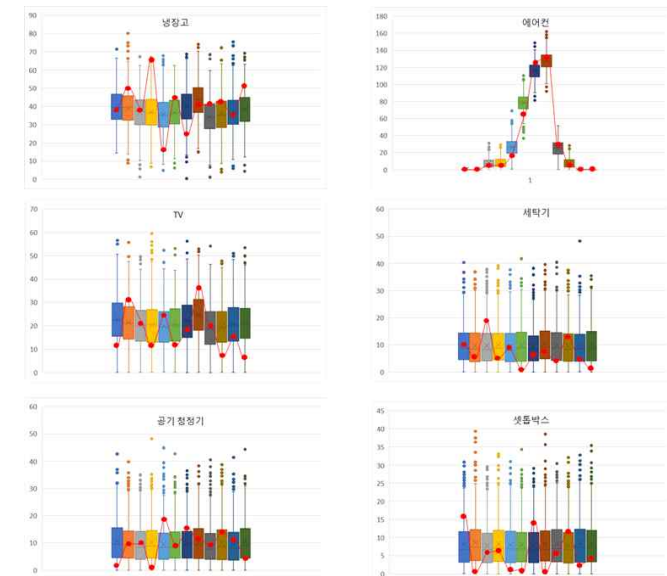


그림 20 실증지A 가전기기 전력사용량 벤치마킹

○ 벤치마킹 소프트웨어 개발

- 수집 데이터 분석을 위한 데이터 연계 및 1차 전력 데이터 벤치마킹 시스템 적용
 - 벤치마킹 소프트웨어에 적용하는 표준 프레임워크는 생산성과 편의성을 제공하고, 서비스 특성에 맞게 다양한 관점에서 검증을 수행할. 데이터 구축 및 소프트웨어 구축을 위한 벤치마킹 소프트웨어 프로세스는 아래 그림21과 같음

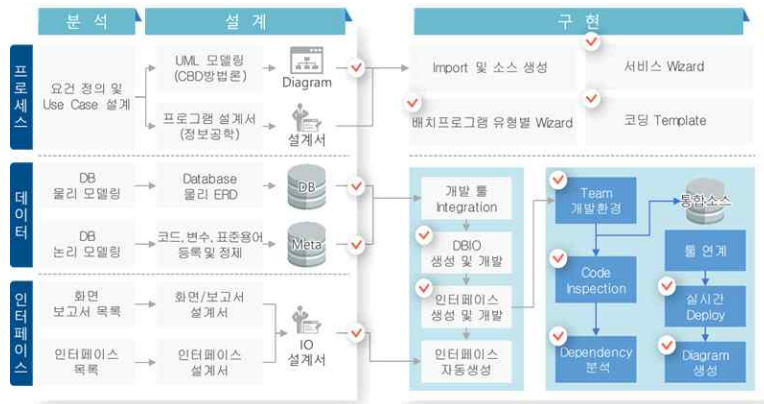


그림 21 벤치마킹 소프트웨어 개발 프로세스

- 전력데이터를 적용한 벤치마킹 시스템을 확인하기 위해 입력값으로 지역을 서울, 주택유형을 아파트, 보유가전기기로 냉장고, TV, 전기밥솥, 컴퓨터, 세탁기, 에어컨을 각 1대로 설정, 주택연면적은 84m², 가족구성원 수를 4명으로 선택하여 분석한 결과값은 아래 그림22과 같음



그림 22 전력데이터를 적용한 벤치마킹 시스템 화면

- 사용성 및 편의성 증대를 위한 입력변수(Input 정보) 최소화 및 자동화 방안 검토
 - 주소지 입력의 단순화를 위해 지번 주소검색 기능을 도입
 - 보유가전기기의 대수 선택을 위해 숫자 입력 방식이 아닌 라디오 버튼을 양방향에 배치하여 가감할 수 있는 기능 추가

- 벤치마킹 시스템 결과 리포트 및 소비패턴 결과에 따른 추가 학습 인자 도출

- 월별 전체 전력 사용량 및 기기별 전력사용량 벤치마킹 분석을 통해 필요 에너지 절감량을 산정하고 이를 달성하기 위한 추가 학습 인자로 건물 및 가전기기의 시간별 전력 사용량 및 재실 패턴 데이터를 추가 학습 인자로 도출

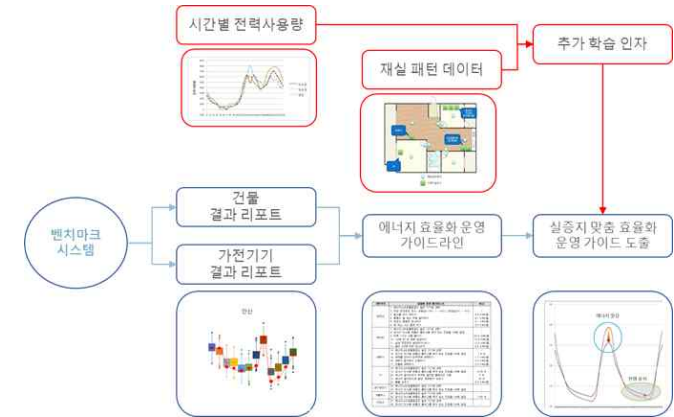


그림 23 추가 학습인자 프로세스

- 가정용 누진세 구간 등을 고려한 에너지 효율화 운영 가이드라인 항목 도출

- 기기별 소비패턴 및 절감요소 도출을 위한 문헌조사

표 20 기기별 소비패턴 및 절감요소 도출을 위한 문헌조사

문헌명	내용	비고
Energy Impacts of smart Home Technologies (American Council for an Energy-Efficient Economy)	스마트 홈 구성 요소별 에너지 비용절감 및 절약 기술과 그 효과에 대해 소개하고 기술 도입에 대한 고려사항 및 관리방법을 제시. HVAC, 스마트 가전기기, 조명, 블라인드, 온도조절기, 스마트 플러그, HEMS 등	
서울시 가정용 전력소비의 변화요인과 저감방안 (서울연구원)	가정용 전력소비를 변화시키는 요인을 살펴보고 전력수요 안정과 전력소비 저감을 위한 정책방안 제시. 가정용 전력 소비 저감을 위해 우선 적정 규모 이상의 가전기기를 중심으로 3대 에너지효율 관리제를 시행하기 위한 단계별 전략 수립	
가정용 전자기기의 대기전력 측정에 따른 에너지 절약 방안 (에너지기후환경교육학회)	일반 가정에서 사용하고 있는 전자기기의 대기전력 소비를 측정하여 대기전력 절감방안 제시. 전자기기의 유형별 분류 및 유형별 절감방안 도출	-
한국에너지공단 효율관리제도 홈페이지의 가전기기 절감 방안 (한국에너지공단)	TV, 전기세탁기, 드럼세탁기, 에어컨, 전기진공청소기, 가정용가스보일러, 전열기의 에너지절약 효과비교 및 전기요금 절약 방안 제시	-

- 기기별 소비패턴 및 벤치마킹 시스템 결과에 따른 에너지 효율화 운영 체크리스트 수립

표 21 기기별 에너지 효율화 운영 체크리스트

가전기기	효율화 운영 체크리스트	비고
냉장고	1. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	2. 적정 권장온도 준수, 냉동실(-15℃ ~ -18℃), 냉장실(3℃ ~ 4℃)	-
	3. 음식물 60% 채우기	4.5 kWh/월
	4. 통풍이 잘 되는 곳에 설치하기	4.1 kWh/월
	5. 냉장고 방열판 청소하기	4.1 kWh/월
	6. 문 여는 시간 짧게 하기	0.5 kWh/월
에어컨	7. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	8. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	-
	9. 하루 1시간 사용 줄이기	52.5 kWh/월
	10. 1년에 한 번 냉매 점검하기	15.4 kWh/월
	11. 실내 적정온도 설정하기(26℃)	12.0 kWh/월
	12. 필터 2주에 한번 청소하기	8.6 kWh/월
세탁기	13. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	14. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	1.9 W
	15. 세탁물 모아서 한꺼번에 세탁하기	1.7 kWh/월
	16. 세탁기 절약모드 이용하기	3.4 kWh/월
	17. 찬물로 세탁하기	2.9 kWh/월
	18. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
TV	19. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	4.33 W
	20. 에너지 절약마크가 부착된 절전형 텔레비전 사용	3 W
	21. 에너지 절약모드로 설정, 화면밝기 낮추기	25 W
	22. 볼륨 낮추기	0.8 kWh/월
공기청정기	23. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	24. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	-
셋톱박스	25. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	26. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	7.85 W
인덕션	27. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체	-
	28. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정	-

- 주택용 전력의 경우 저압과 고압으로 구분되고 저압의 경우는 주로 계약전력이 3kW 이하의 고객 이 대상이고 고압의 경우 고압으로 공급받는 주택용 전력에는 고압 요금 적용
- 누진 요금제의 경우 기존 6단계 11.7배에서 2017년부터 3단계 3배로 개편

표 22 주택용 저압 전력요금 누진 단계

구간	기본요금(원/호)	전력량 요금(원/kWh)
하계 (7.1 ~ 8.31)		
1 300kWh 이하 사용	910	88.3
2 301~450 kWh	1,600	182.9
3 450 kWh 초과	7,300	275.6
기타계절 (1.1 ~ 6.30, 9.1 ~ 12.31)		
1 200kWh 이하 사용	910	88.3
2 201~400 kWh	1,600	182.9
3 400 kWh 초과	7,300	275.6

표 23 주택용 고압 전력요금 누진 단계

구간	기본요금(원/호)	전력량 요금(원/kWh)
하계 (7.1 ~ 8.31)		
1 300kWh 이하 사용	730	73.3
2 301~450 kWh	1,260	142.3
3 450 kWh 초과	6,060	210.6
기타계절 (1.1 ~ 6.30, 9.1 ~ 12.31)		
1 200kWh 이하 사용	730	73.3
2 201~400 kWh	1,260	142.3
3 400 kWh 초과	6,060	210.6

- 누진 단계 경감을 위한 에너지 효율화 가이드라인 항목 도출의 경우 2단계에서 1단계 경감을 위해서는 저비용 즉각 효과를 위한 절감 가능한 리스트, 3단계에서 2단계 경감을 위해서는 기기 교체 등 가이드를 기기별 에너지 효율화 운영 체크리스트 기반으로 작성

표 24 누진구간을 고려한 에너지 효율화 운영 가이드라인(체크리스트)

누진 경감	가전기기	누진경감 가이드 도출
2단계에서 1단계 경감	냉장고	1. 적정 권장온도 준수, 냉동실(-15℃ ~ -18℃), 냉장실(3℃ ~ 4℃) 2. 음식물 60% 채우기 3. 통풍이 잘 되는 곳에 설치하기 4. 냉장고 방열판 청소하기 5. 문 여는 시간 짧게 하기
	에어컨	1. 하루 1시간 사용 줄이기 2. 1년에 한 번 냉매 점검하기 3. 실내 적정온도 설정하기(26℃) 4. 필터 2주에 한번 청소하기
	세탁기	1. 세탁물 모아서 한꺼번에 세탁하기 2. 세탁기 절약모드 이용하기 3. 찬물로 세탁하기
	TV	1. 에너지 절약모드로 설정, 화면밝기 낮추기 2. 볼륨 낮추기
	전체 가전기기	1. 에너지소비효율등급이 높은 기기로 교체 2. 장시간 미사용 제품은 플러그를 제거 또는 전원을 Off로 설정

○ 가이드라인 개발

- 벤치마킹 시스템 매뉴얼 작성

- 벤치마킹 시스템 매뉴얼 목차를 벤치마킹 시스템 소개, 벤치마킹 시스템 사용방법으로 구성

목차

1. 벤치마크 시스템 소개	3
1.1. 벤치마크 시스템 개요	3
1.2. 사용자 입력 정보 및 정보의 용도	4
2. 벤치마크 시스템 사용	5
2.1. 주택 및 가전기기 정보 입력	5
2.2. 분석 결과	6

그림 24 벤치마킹 시스템 매뉴얼 목차

- 시스템 소개 : 벤치마킹 시스템은 동일 지역, 동일 유형 주택에서 사용하는 가전기기들의 에너지 사용량을 바탕으로, 분석 대상 주택의 보유 가전기기들의 에너지 사용량을 비교, 분석, 상대적인 에너지 사용 수준 등을 평가하기 위해 다음과 같은 정보를 제공
- 표본 대비, 대상 주택 보유 가전기기들 총 에너지 사용량 수준
- 표본 대비, 대상 주택의 가전기기 별 에너지 사용량 수준
- 에너지 사용량 수준은 4분위수와 같은 기술통계를 바탕으로 평가하며, 기본적으로 박스플롯과 히스토그램을 이용해 시각화합니다. 사용자는 대상 주택의 기본적인 정보, 보유 가전기기에 대한 정보 등 간단한 정보만을 제공하고, 분석 결과는 단순하고 직관적으로 표현

가전기기 벤치마크란?

"우려점 주요 가전기기들의 에너지 소비 수준은?"

벤치마크 시스템은 수집된 가전기기들의 에너지 사용량을 유사한 주거형태의 주택 표본 데이터와 비교를 통해, 내 주택 가전기기들의 에너지 소비 수준을 비교 평가해 볼 수 있는 분석 도구입니다.

✓ 주택 주요 가전기기들의 총 전력 사용량 수준 분석 및 평가
 ✓ 주택 주요 가전기기들의 개별 에너지 사용량 수준 분석 및 평가



사용자 입력 정보 및 정보의 용도

사용자 입력 정보	용도
주택이 위치한 광역시도 정보	동일 지역의 주택 군과 비교 평가
주택 유형 (단독주택, 아파트, 연립 및 다세대, 기타) 정보	동일 유형의 주택 군과 비교 평가
주택의 연면적(m ²) 정보	단위 면적 당 에너지 사용량 분석
가구 구성원의 수	구성원의 수 대비 에너지 사용량 평가
보유 가전기기 (냉장고, TV, 전기밥솥, 컴퓨터, 세탁기, 에어컨) 정보	가전기기 별 에너지 사용량 분석

그림 25 시스템 메인 화면

- 사용자 입력정보 및 용도 : 사용자는 아래 5가지 정보만 직접 입력하며, 주택의 주소지를 기준으로 저장된 데이터를 이용해 분석 및 평가

표 25 입력정보 및 용도

사용자 입력 정보	용도
건물이 위치한 지역 (전국 광역시도 선택)	동일 지역의 건물군(Group) 비교
건물의 형태 (단독주택,아파트, 연립주택, 기타 중 선택)	건물의 용도군(Group) 비교
건물의 연면적 (분석 건물의 연면적 입력)	건물의 연면적별 비교
가족구성원 수 (가족 구성원 수 입력)	주택 거주 구성원 수별 비교
사용 가전기기 선택 (가전기기 선택)	가전기기별 비교

■ 벤치마킹 시스템 사용

벤치마크 시스템 개요 > 벤치마크 분석 > 주택/가전기기 정보 입력

벤치마크 분석

주택/가전기기 정보 입력

주택 위치 광역시도: 서울, 부산, 대구, 광주, 세종, 대전, 울산, 인천

광역시: 경기, 충남, 충북, 전남, 전북, 경남, 경북, 강원, 제주

주요지: [지역 주소 검색] 서울시 서초구 서초동 삼성아파트 102동 201호

주택 유형: 단독 (다가구), 아파트, 연립 및 다세대 (연립, 연립), 기타 (여주거용 건물 내 주택)

보유 가전기기: < 냉장고 >, < TV >, < 전기밥솥 >, < 컴퓨터 >, < 세탁기 >, < 에어컨 >

주택 연면적: 101.6 m² 가족 구성원 수: 4 명

[분석] [주거용]

그림 26 주택 및 가전기기 정보 입력 화면

- 대상 주택이 위치한 광역시·도를 선택

서울, 부산, 대구, 광주, 세종, 대전, 울산, 인천

경기, 충남, 충북, 전남, 전북, 경남, 경북, 강원, 제주

그림 27 주택이 위치한 광역시·도 선택

- [지번 주소 검색] 버튼을 클릭하고 대상 주택의 지번 주소를 검색하여 입력

주소 검색

서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 세종특별자치시, 대전광역시, 울산광역시, 인천광역시, 경기도, 충청남도, 충청북도, 전라남도, 전라북도, 경상남도, 경상북도, 강원도, 제주특별자치도

강남구, 강동구, 강북구, 강서구, 광진구, 구로구, 금천구, 노원구, 도봉구, 동대문구, 동작구, 서대문구, 서초구, 성동구, 성북구, 송파구, 양천구

공인중개소, 노고산동, 대동동, 도화동, 마포동, 상수동, 상암동, 서교동, 정선동, 신곡동, 신수동, 아현동, 연립동, 염곡동, 용문동, 용인동

서울특별시 마포구 정선동 597 동성아파트 101동 303호

[주소 입력 완료]

그림 28 주소검색

- 대상 주택의 유형을 선택

주택 유형: 단독 (다가구) 아파트 연립 및 다세대 (빌라, 연선) 기타 (비거주용 건물 내 주택)

그림 29 대상 주택 유형 선택

- 대상 주택의 연면적을 제곱미터 단위로 입력, 구성원 수 입력

주택 연면적: 101.6 m² 가족 구성원 수: 5 명

그림 30 연면적 및 구성원 수 입력

- 대상 주택의 보유 가전기기 및 대수 선택

보유 가전기기: 냉장고 1 TV 2 전기밥솥 1 컴퓨터 1 세탁기 1 에어컨 1

그림 31 가전기기 및 보유대수 선택

- 화면 하단의 [분석] 버튼을 클릭하여 분석을 시작

분석 초기화

그림 32 분석 버튼

- 분석결과 : 분석이 완료되면 화면 상단에 월 별, 가전기기 별 에너지 사용량이 표시됨. 화면 하단에는 보유 가전기기의 연간 총 에너지 소비량, 표본 내에서 대상 주택의 에너지 소비량 순위, 표본 내에서 대상 주택의 에너지 소비량 수준 표시
- 차트에서 붉은색으로 표시된 부분은 대상 주택의 소비 수준을 표현

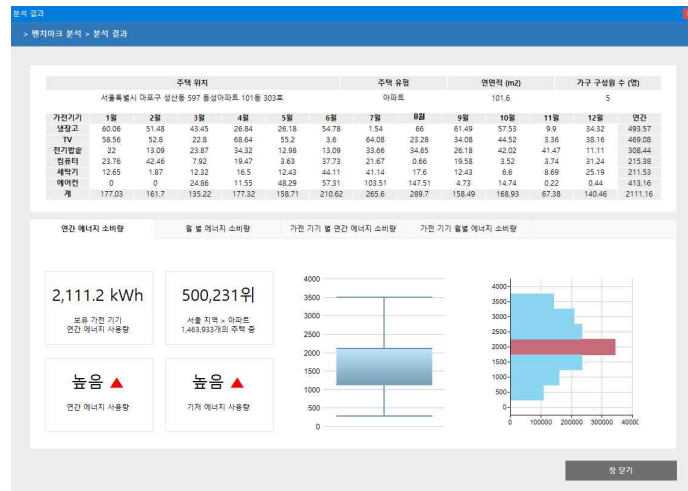


그림 33 연간 에너지 소비량 분석 결과

- [월 별 에너지 소비량] 탭을 선택하면, 보유 가전기기들의 월 별 총 에너지 소비량 수준을 시각화

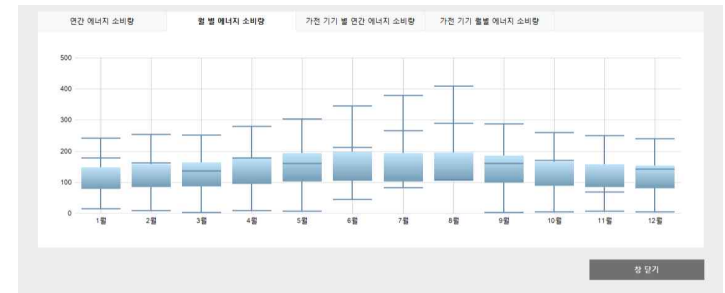


그림 34 월 별 에너지 소비량

- [가전 기기 별 연간 에너지 소비량] 탭을 선택하면 각각의 가전기기 별 연간 총 소비량 수준을 시각화



그림 35 가전기기 별 연간 에너지 소비량

- [가전 기기 월 별 에너지 소비량] 탭을 선택하면 각각의 가전기기 별, 월 별 에너지 소비량 수준을 시각화합니다. 좌측에 가전기기 탭을 이용해, 대상 가전기기의 수준을 확인

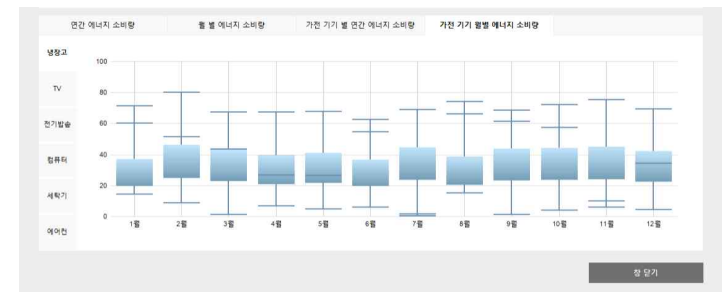


그림 36 가전 기기 월 별 에너지 소비량

나) 데이터 수집방안 및 정규화

- 분전반 전력계통 분석 및 주택 가전기기 분석
 - 전력량계 & 전력 기기별 CT 활용 전력량 측정
 - 전력 분전반 및 가전기기 계측기 사양 (실증지 C,D 적용)

표 26 주택용 전력 분전반 측정 계측기기 사양

계측기 모델명	사진	
요코가와 WT310E		
구분	사양	비고
기본 전력 확도	0.1% of drg + 0.05% of rng	-
역률영향	$\pm 0.1\%$ of S, $45\text{Hz} \leq f \leq 66\text{Hz}$	역률(λ)=0 일 경우(S:피상전력)
대역폭	DC, 0.1Hz ~ 100Hz	-
전류 입력 레인지	5mA ~ 20A	12레인지
전압/전류 유효 입력범위	2% to 260%	20A레인지만 200%
주파수 측정	전압/전류	-
데이터 갱신 주기	100m/250m/50m 1/2/5/10/20 sec, Auto	-
고조파 측정	가능	-
고조파 종합 함유율 연산 최대 차수	가능	1~50th
IEEE 통신규격	IEEE488.2	-

표 27 주택용 가전기기 전력 측정 계측기기 사양

계측기 모델명	사진	
요코가와 WT333E		
구분	사양	비고
기본 전력 확도	0.1% of drg + 0.05% of rng	-
역률영향	$\pm 0.1\%$ of S, $45\text{Hz} \leq f \leq 66\text{Hz}$	역률(λ)=0 일 경우(S:피상전력)
대역폭	DC, 0.1Hz ~ 100Hz	-
전류 입력 레인지	0.5A ~ 20A	6레인지
전압/전류 유효 입력범위	2% to 260%	20A레인지만 200%
주파수 측정	전압/전류	-
데이터 갱신 주기	100m/250m/50m 1/2/5/10/20 sec, Auto	-
고조파 측정	가능	-
고조파 종합 함유율 연산 최대 차수	가능	1~50th
IEEE 통신규격	IEEE488.2	-

- 전력량계와 별도의 CT를 활용할 경우 계측데이터의 동기화 문제가 발생하여 WT310E와 두 대의 WT333E를 활용하여 분전반과 가전기기의 계측을 수행함. 이를 위해 전력분석계 소프트웨어를 활용하였으며, 별도의 전선을 제작하여 실험환경을 구축



그림 37 실증지 C의 계측기 설치 현황

- 자체 제작 계측기 활용 전력량 측정
 - 자체 제작 계측기 사양 (실증지 E, F 적용)

표 28 가전기기 측정 계측기기 사양

계측기 모델명	사진	
BS-PQ1		
구분	사양	비고
결선방식	1P2W, 1P3W, 3P3W, 3P4W	
입력	계측주파수	50 / 60 Hz (옵션)
	전압입력	AC 10 ~ 380 (상전압)
	전류입력	AC 5A
	전압부담	0.5 VA 이하(1 Phase)
	전류부담	0.5 VA 이하(1 Phase)
	제어전원	AC/DC 85 V ~ 265 V
출력	Digital Input	AC/DC 125 V (CB-OPEN,CLOSE 포함, AC 80 V 이상)
	PO	AC/DC 350 V 이하 (30 VA 이하) Normal Open
통신	Digital Output	신호용 DRY, Normal Open, CB 제어용
	MODBUS-RTU	RS485 4800 ~ 38400 BPS
통신	WIFI	전용 manager software 사용
3-Phase Power Measurement		480 VAC, 5 A

- 실증대상 주택 추가 선정 및 데이터 정규화를 통한 시스템 안정화

■ 실증지C 사용량 비교 검증을 위한 시스템 실험 적용

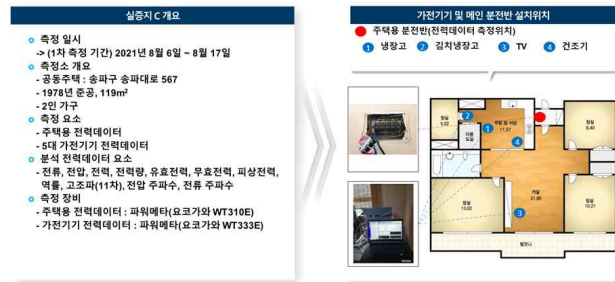


그림 38 실증지 C 설치 개요 및 계측기 설치 위치

■ 실증지D 사용량 비교 검증을 위한 시스템 실험 적용



그림 39 실증지 D 설치 개요 및 계측기 설치 위치

■ 실증지E 사용량 비교 검증을 위한 시스템 실험 적용



그림 40 실증지 E 설치 개요 및 계측기 설치 위치

■ 실증지F 사용량 비교 검증을 위한 시스템 실험 적용



그림 41 실증지 F 설치 개요 및 계측기 설치 위치

- 데이터 정규화를 통한 시스템 안정화를 위해 전력신호 분석관점에서 가전기기를 3가지 Type으로 분류
- => 단일상태(single-state, Type1): on/off 신호 명령,
 - => 다중상태(Multi-state Type2): on 신호 입력 시 두 가지 이상 state로 작동,
 - => 무한상태(Infinite-state Type3): 일정 상태 유지가 아닌 연속적으로 상태를 무한하게 제어
- 비침입 부하 모니터링(NILM, non-intrusive load monitoring) 기술의 특성상 여러 가전기기 타입을 가진 신호가 동시에 취합(Aggregate)되며, 효율적인 에너지 분해(Disaggregation) 및 NILM을 수행하기 위해 모든 가전기기의 상태를 고정하지 않고 분석을 수행해야 함. 이에 동기 작동 및 가전기기별 독립작동 시간을 구분하지 않고 데이터셋을 구성

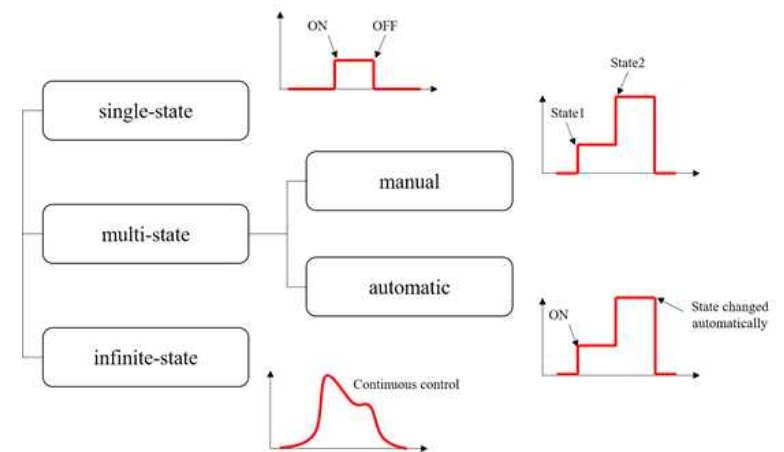


그림 42 가전기기 상태에 따른 분류

– 불확실성 매개변수 및 이상 데이터 처리를 위한 데이터 전처리 검증

- 가전기기의 전원이 종료된 상태(off state)에서도 발생하는 잔류전력과 가전기기별 품질/노후화에 따라 발생하는 노이즈는 파형 분석의 정확도를 낮출 수 있음
- 각 가전기기별 잔류전력 범위를 고려하여 최소 임계값(minimum threshold) 지정 후(Step1), 최소 임계값 미만 데이터를 제거(Step2)
- 전력 노이즈는 고주파수 영역에 분포하므로 특정 주파수 이상의 신호를 감쇠시킬 수 있는 Low-pass 필터를 적용할 필요성이 있으며, 본 연구는 Low-pass 필터 일종인 Butterworth 필터를 적용(Step3)

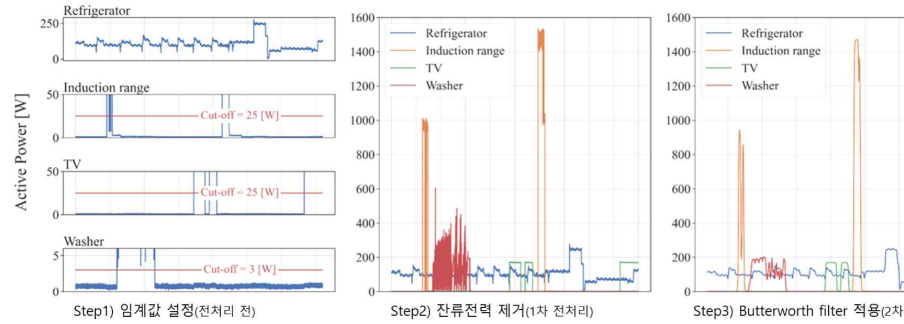


그림 43 가전기기별 소비전력 측정데이터 전처리 과정 예시

다) 시스템 연계

○ AI 시스템 연계

– AI 딥러닝 데이터의 최적화를 위한 측정 데이터 영역 범위 정립

- 기존 LSTNet 파라미터를 사용하여 샘플링 주기에 따라 4가지 케이스로 분류하여 파형을 분석함

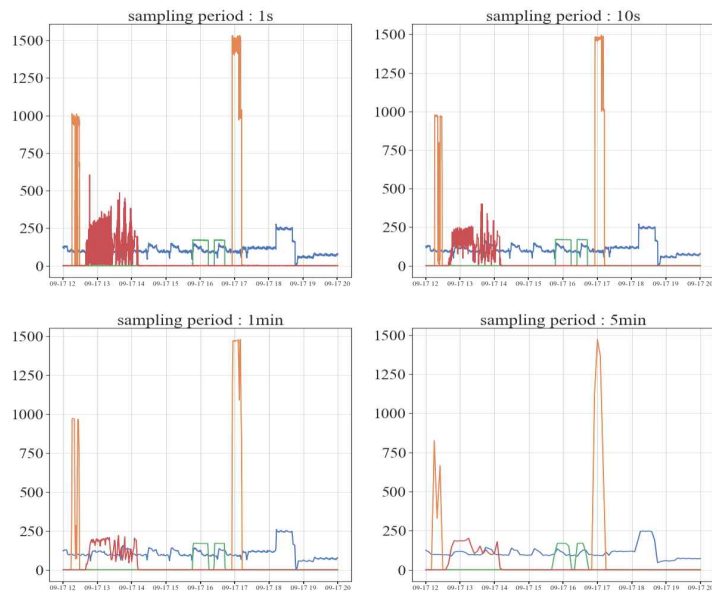


그림 44 샘플링 주기별 학습데이터 패턴 분석

- 샘플링 주기가 길면 단위 시간당 데이터와 신경망의 학습 데이터 개수가 감소하여 신경망 학습 비용(time-cost)가 확연히 줄어드는 효과를 얻을 수 있음
- 그러나, 가전 기기별 특징을 표현할 수 있는 데이터가 줄어 신경망에서 그 특징을 추출하기 어려울 수 있음을 패턴 그래프를 통해 확인함
- 1초 주기로 샘플링 했을 경우 90% 이상 정확도를 확보했으며, 샘플링 주기별 분석 결과 중 가장 높은 정확도를 보임
- 1분 주기 샘플링 결과는 약 80% 정도의 정확도를 확보 할 수 있음
- 시간 비용이 36시간에서 1시간으로 줄어든 것을 함께 고려한다면 최적 샘플링 주기가 반드시 최고 정확도를 뜻하는 것만이 아님
- 샘플링 주기가 5분 이상이면 학습 불가한 것으로 판단됨

표 29 가전기기 전력데이터 샘플링 주기별 학습 소요 시간과 분석 정확도 비교

Exp.#	Epochs	CNN	GRU	skip	period(sec)	time-cost	Train acc	Val acc
1	100	200	200	100	1	36h	92.40%	90.20%
2	100	200	200	100	10	5h	91.8	89.24%
3	100	200	200	100	60	1h	88.30%	80.33%
4	100	200	200	100	300	20min	explode	explode

나. 딥러닝 기반 전력 파형 분석 알고리즘 개발

가) 실시간성과 선형 및 비선형에 적용 가능한 퓨리에 급수 알고리즘 개발

○ 파형 학습을 위한 데이터 전처리 알고리즘 개발

- 5가지 단계에 거쳐 파형 분석 알고리즘에 활용 가능한 형식으로 데이터 편집
- 측정 중 오류, 측정항목별 시간대 매핑, 허용오차 범위 외 이상값 제거, 가전기기별 데이터 빈도수 동일화, 알고리즘 입력용 데이터 형식 균일화 작업 수행

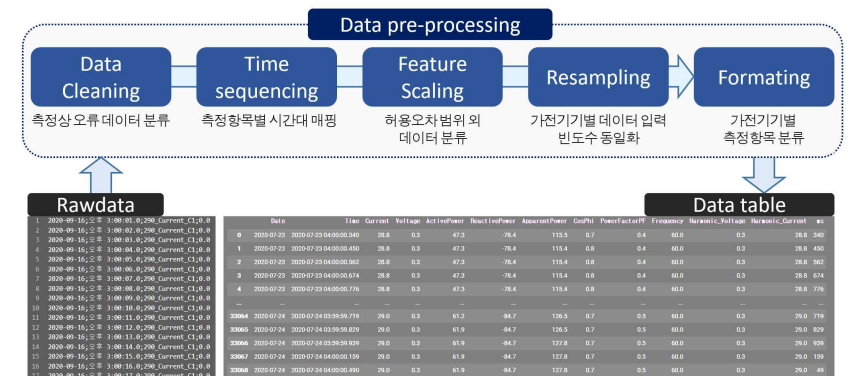


그림 45 데이터 전처리 프로세스

○ 파형 분해를 위한 퓨리에급수 최적화 알고리즘 개발

- 에너지 파형 분해 NILM 프레임워크를 위한 LSTNet를 구성하여 가전기기별 가동상태 및 정상상태 학습

- LSTNet은 다변량 시계열 예측(multivariate time series forecasting)을 위해 고안된 신경망 프레임워크이며, 3가지 레이어(CNN/RNN/Skip-RNN)로 이루어져 신경망 통과 전 자동 회귀 컴포넌트로 구성됨
- CNN 레이어(Convolutional Layer)
전력 신호의 시계열 단기 특징과 유효전력과 관계된 측정 데이터(전압, 전류, 피상전력, 무효전력, 역률 등)간 종속성을 추출함. 복잡도가 높은 상태를 가진 가전기기의 취합 전력신호를 개별 가전기기의 전력 사용 패턴과 함께 학습하여 그 특징을 효과적으로 추출
- RNN 레이어(Recurrent Layer)
STM 또는 GRU 유닛으로 구성되며, 시간 차원으로 학습을 진행하며 과거 정보를 기억하고 상대적으로 장기적인 시계열 종속성을 학습하여 미래 시계열 데이터를 예측할 수 있도록 설계
- Skip-RNN 레이어(Recurrent-skip Layer)
가전기기의 전력 데이터에서 주기적 패턴을 효과적으로 포착할 수 있음. 가전기기는 주기적으로 On/Off 신호가 반복되는데, 다중 상태인 가전기기의 경우 Off 신호를 모두 건너뛰고 On 신호를 주로 장기 기억에 활용하여 장기 상관관계 예측에 효과적임

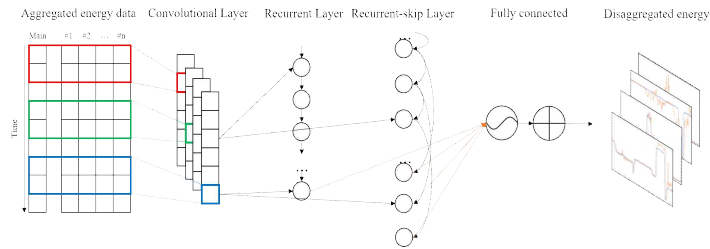


그림 46 NILM 프레임워크용 장단기 시계열 네트워크(LSTNet) 구성도

- 가전기기 고유 파형과 명세에 따른 전력 특징과 파형 범위를 학습 및 정확도 도출

- 기존 분석에 활용한 Classic LSTM은 단기간 특징 추출에 한계점으로 주파수 도메인에서 넓은 영역에 분포하여 특징 추출이 어렵고, 장기간 예측에 있어 가전기기를 사용하지 않는 경우(Off)와 전력 신호 Type에 따른 특징을 구분할 수 없는 한계점이 있음
- 이에 따라, 특징 추출의 정밀도 향상을 위해 파형 분석 알고리즘의 모델링에 필요한 파라미터들 중 3가지를 하이퍼파라미터로 선정함
=> Convolutional Layer의 필터 개수 : 스마트 미터에서 가전기기에 맞는 특징을 추출
=> Recurrent Layer의 GRU 유닛 개수 : 취합된 시계열 전력데이터의 장기 상관관계 예측에 사용
=> Recurrent-skip 레이어의 스킵유닛 개수 : 가전기기별 상태에 따른 특징을 효과적으로 추출
- 전력 분해 정확도를 측정하기 위해서는 정확도 계산 메트릭이 필수적임. 본 연구에서는 아래와 같은 지표를 사용하였으며, 이는 분해하고자 하는 단일 가전기기별로 정확도를 각각 계산하여 전체 분해 성능을 계산하는 방식임
- 가전기기가 사용되지 않는 Off 신호를 추정하여 학습 정확도가 과도하게 상승하는 것을 방지할 필요성이 있으므로, 파형 분석 정확도 평가지표는 가전기기별 정확도를 별도 계산하여 합하는 E_{acc} 를 사용함
=> 학습데이터의 현재 시간(t), 데이터의 시간 차원 총 길이(T), 분해하려는 가전기기의 인덱스(s)와 개수(S), 해당 시간 및 해당 가전기기의 유효 전력(p_s^t)

$$E_{acc} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S |\hat{p}_s^t - p_s^t|}{2 \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S |\hat{p}_s^t|}$$

- 기존의 시계열 전통 MSE(Mean-squared error)와 같은 방식과는 차별화된 방법으로 MSE의 경우에는 전체 신호의 합과, 분해된 신호의 전체 합의 오차로 계산하는 방법이며, 유효전력의 사용량 자체가 낮은 가전기기(공기청정기, 전구 등)의 분해 정확도를 고려할 수 없음
- 실증주택 중 오산에서 측정한 가전기기 전력데이터를 사용하여 하이퍼파라미터 조건에 따른 10가지 케이스의 학습 및 검증 정확도를 도출한 결과, 가장 높은 신뢰도를 가진 케이스는 학습 세트 정확도 92.4%, 검증 세트 정확도 90.2% 로 도출(조건은 아래와 같음)
=> CNN 레이어 필터 개수 200, RNN 레이어 GRU 유닛 개수 200, Skip-RNN 레이어 스킵유닛 개수 100
- 케이스별 학습시간은 약 10시간 ~ 30시간이 소요되며, 오산의 데이터로 도출한 최적 하이퍼파라미터를 참고하여 다른 실증주택의 전력데이터에 대한 파형 분석을 수행함

표 30 하이퍼파라미터 스터디 케이스별 파형 분석 알고리즘의 학습 및 검증 정확도

Location	Exp.#	Epochs	CNN	GRU	Skip	Train acc	Val acc
오산	1	100	50	50	50	76.30%	72.30%
	2	100	100	50	50	83.30%	79.40%
	3	100	50	100	50	78.30%	70.50%
	4	100	50	50	100	69.20%	62.40%
	5	100	100	100	100	87.30%	84.10%
	6	100	200	100	100	89.40%	87.00%
	7	100	200	200	100	92.40%	90.20%
	8	100	300	200	100	89.10%	89.10%
	9	100	100	100	200	87.10%	86.10%
	10	100	300	300	100	89.20%	88.04%
안양	1	100	200	200	100	83.5%	85.7%
의왕	1	100	200	200	100	85.9%	63.2%
잠실	1	100	200	200	100	94.1%	92.5%
반포	1	100	200	200	100	94.7%	52%

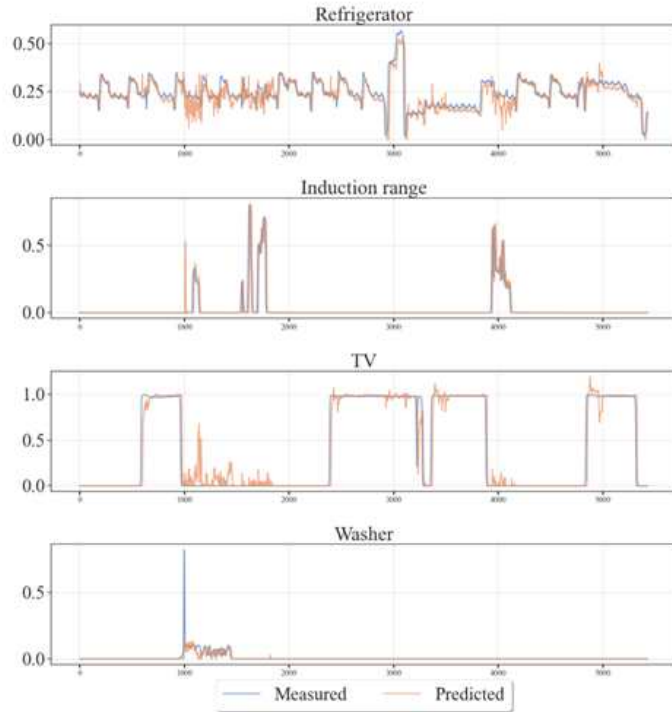


그림 47 전력 측정 장비에서 취합한 유효전력 신호 전력 분해 결과

○ 측정오차 최소화를 위한 노이즈 필터 개발

- 오류역전파 최소화를 위한 모델 정의 및 구축

- 가전기기별 제품 특성에 따라 발생하는 전력 노이즈와 가정에 설치되어 있는 배선 노후 등에 따른 전력 노이즈 제거를 위해 Low-pass 필터가 필수적이므로, 노이즈 필터 후보군 중 최적 필터 알고리즘으로 Low-pass 필터의 일종인 Butterworth 필터를 선정함
- Butterworth 필터는 통과대역이 평평하고, 차단성이 어느 정도 최적화 되어있으므로 가전기기의 전력 신호를 필터링하기에 적합함. 차단성의 경우, 실제 노이즈와 on 신호 시 급격하게 상승하는 전력신호에 대해 포용성을 확보하면서 필터링을 수행할 수 있음

표 31 노이즈 필터 분류

필터종류	특징
Butterworth	통과대역이 평평함, 스퀘트 특성(차단성)은 둔함
Chebyshev	통과대역에 만 Ripple 성분 있음, 스퀘트 특성은 날카로움
Bessel	저지대역에서 보다 완만한 롤 오프 특성(경사짐)
Elliptic	통과대역 및 저지대역 모두에 Ripple 성분(출렁임) 있음

○ 파형 분리 분석 알고리즘 상용화를 위한 알고리즘 고도화 방안

- 임의의 가전기기 인식 시스템 개발 방안

- 가전기기의 전력 소비 패턴을 통해 가전기기의 장치 이름을 인식하는 기능을 구현할 필요성이 있

으며, 이를 위해 개별 스마트 플러그의 수집데이터를 IoT 네트워크를 활용하여 서버에 전송 후 빅데이터 기반 신호 식별이 요구됨

- 장치 식별 관련 선행연구는 추가 특징을 찾기 위해 고조파, 푸리에 계수, 광대역 잡음 등을 사용했으나 가전기기별 전력 소비패턴을 분류하는 성능이 충분하지 않았으며, 복수의 분류기를 활용하여 다수결 원칙으로 가장 많이 도출된 장치 이름을 선정하는 CDM(Committe Decision Mechanism) 방법이 개발됨
- 딥러닝 기반의 Time-series Classification 알고리즘을 개발할 필요가 있으며, 분리 알고리즘 이후에 적용하여 두 가지 서로 다른 Task(분리·분석)를 수행할 수 있도록 시스템을 구축
- 여러 가지 모델의 결합을 통한 상용화 수준의 신뢰도 확보
 - 시계열 신호에서 특징 추출 및 회귀까지 모두 수행할 수 있는 모델을 여러 데이터(서로 다른 가정, 서로 다른 가전기기 측정 데이터)로 학습 후, 하나의 모델로 결합할 경우 상용화했을 때 임의의 신호가 들어오더라도 높은 신뢰도를 확보할 수 있을 것으로 보임
 - 서로 다른 모델을 결합하는 대표적인 앙상블(Ensemble) 기법을 활용하여 딥러닝 모델 기법 중 임의의 데이터에도 좋은 성능을 낼 수 있을 것으로 예상됨

다. 이상징후 감지 및 예측 플랫폼 개발

가) 파인튜닝을 적용한 시스템 강건성 증대 여부 평가

○ 일원화된 센서를 통한 실시간 파형 데이터 분석

- 일원화 센서 활용한 실시간 데이터 측정 및 모니터링 시스템 구축
- 세대 메인 전력과 6대 가전기기 전력 측정 장비 간 측정시간대 매칭이 어려운 문제 발생
- 기존 6대 가전기기 측정 장비를 활용하여 5대 가전기기의 개별 소비전력 및 가전기기 전체의 소비전력을 1초 단위로 측정할 수 있도록 장비 구성 변경



그림 48 가전기기별 실시간 소비전력 모니터링 시스템

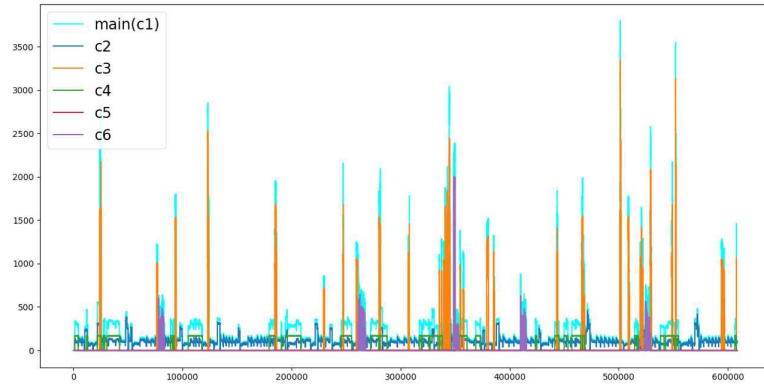


그림 49 가전기기별 실시간 데이터 분석

○ 이상징후 포착 알고리즘 개발

- 비정상상태 검출을 위한 정상상태 학습의 정규화 Weight 정의 및 최적값 도출

- 본 연구에서 수행한 학습 모델을 기반으로 하여 예측 모델과 측정 데이터간 오차를 기준으로 이상 탐지 알고리즘을 구현함
- 학습데이터 중 알고리즘 분석결과 중 큰 오차를 발생시키는 데이터 구간을 이상징후가 발생하는 범위로 선정
- 모든 시간 단위의 데이터에 대해 예측 데이터와 측정 데이터간 오차를 지표 MAE(Mean Absolute Error)로 도출함
- 냉장고의 경우 오차가 50%가 넘는 신호가 0.1% 미만이었으나, 오차 50%는 상대적으로 낮은 수치로 보이기 때문에 보수적으로 판단하여 오차 80%를 이상치로 선정함
- 인덕션의 경우 오차의 50~60% 부근을 이상치로 판단했고, 오차 60%를 이상치로 선정함
- TV의 경우 Type1에 해당하는 가전기기로 on/off 신호만 있음. 전원을 켜는 순간 또는 끄는 순간 발생하는 일부 노이즈로 인해 오차가 감지되는 것으로 보이며, 예러 95% 이상을 이상치로 선정함
- 세탁기의 경우 명확히 오차 80% 이상에서 비정상적인 스파이크를 2회 확인함
- 비정상 스파이크에 대한 포착 정확도를 기준으로 이상징후 알고리즘의 분석 정확도를 판단한다면 오차율은 0%로 도출됨

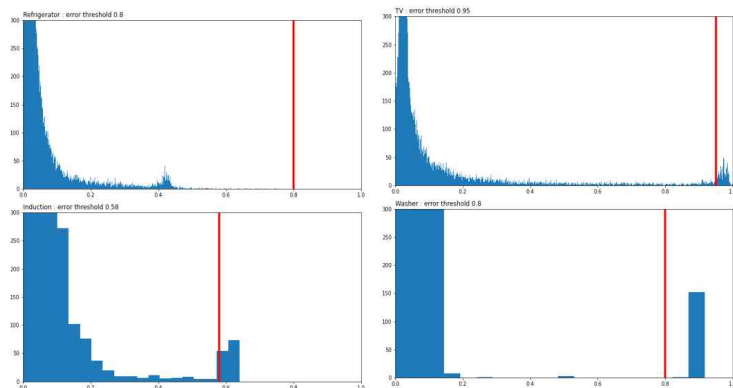


그림 50 가전기기별 예측 모델 기반 mean absolute error 히스토그램

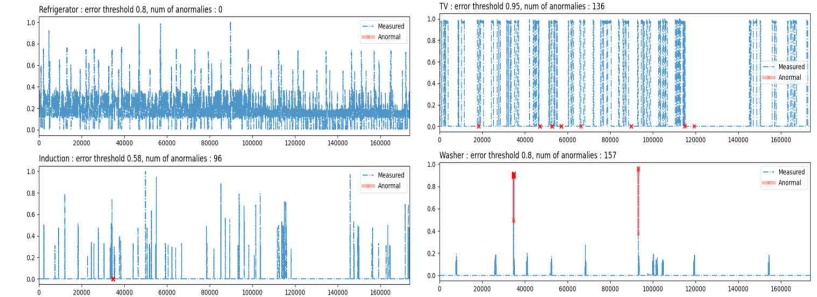


그림 51 가전기기별 이상징후 포착 알고리즘 수행 결과

- 지속적 학습을 통한 정상 및 비정상 전력 상태 예측 시간 단축 방안 확보

- 이상징후 상황에서 알고리즘의 작동 유무를 확인하기 위하여 실제 이상이 있는 데이터를 Input으로 인공지능 알고리즘에 제공하거나 테스트를 위해 시계열 데이터를 가공하여 Input으로 전달하여 검증
- 정상 on/off 신호 판단 및 정상 on 신호에 대한 특징 신호 선별 가능
- 이상 탐지 (Anomaly Detection)는 시계열 데이터에서 비정상적인 시점을 찾는 것과 비정상적인 변화의 패턴을 찾는 것을 목표로 하는 것에 따라 다르게 분류됨
- 과거 자료의 이상값에 대한 라벨이 이용 가능한지 여부에 따라 지도학습과 비지도 학습으로 구분되며 본 연구에서는 결정 규칙 (Decision Rule) 기반 방법을 통해 이상 징후 예측 알고리즘이 구현됨
- 결정 규칙 기반 기법은 시스템에서 정상 자료를 판단하는 규칙들을 학습하고, 어떠한 규칙에도 해당하지 않는 개체를 이상으로 취급함

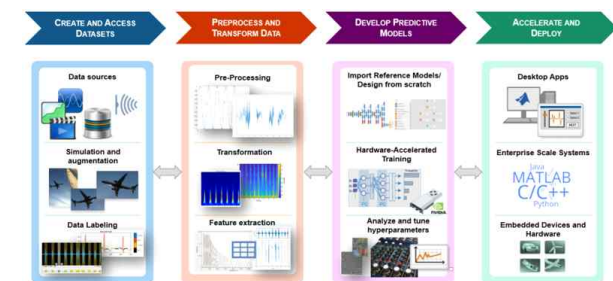


그림 52 신호처리를 위한 딥러닝 워크플로우

○ 자율학습 시스템 구축 방안

- 실시간 전력 학습 데이터 수집을 통한 자율학습 시스템은 신호 전처리부(Signal preprocessing)와 NILM 알고리즘 부(NILM Algorithm), 그리고 에너지 관리부(Energy Management)로 구성됨
- 우선 신호 전처리부와 NILM 알고리즘 부를 하나의 스마트 미터에서 독자적으로 수행할 수 있도록 구성하며, 이에 따라 임베디드 엔지니어링과 같은 기술로 소형 머신러닝 컴퓨팅 디바이스에 인공지능 모델을 탑재할 필요성이 있음
- 일정 수준 이상 지속적인 에러가 발생하면 중앙 클라우드 서버에 새로운 학습을 자동으로 요청할 수 있게 되어 자율적으로 운용하며 학습을 위한 의사결정을 수행할 수 있는 시스템을 구성

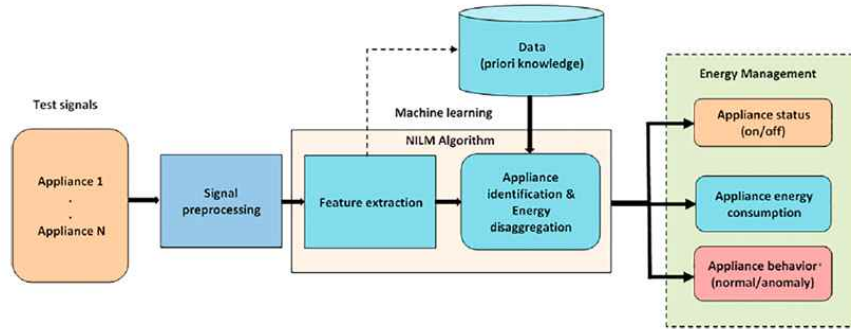


그림 53 실시간 전력 학습 데이터 수집 통한 자율학습 시스템 구성

4) 추진일정

1차년도													
일련 번호	연구내용	추진 일정										연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속기관)
		4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	가전기기별 특성화 분류분석											20	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
2	벤치마킹 소프트웨어 개발											19	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
3	사용자 운영 가이드라인											10	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
4	분전반 및 주택 실증 전력계통 분석											10	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
5	AI 시스템 연계											10	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
6	전자기기별 파형 데이터 분석											20	이주윤 ((주)바이솔라)
7	노이즈 제거를 위한 필터와 데이터 전처리 라벨링											15	이주윤 ((주)바이솔라)
8	선형 및 비선형 파형 분리 및 검증											15	이주윤 ((주)바이솔라)
9	가전기기별 정상 및 비정상 전력 파형 학습											20	이주윤 ((주)바이솔라)
10	상태분석을 위한 인공신경망 모델링											20	이주윤 ((주)바이솔라)

2차년도											
일련 번호	연구내용	추진 일정								연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속기관)
		1~3	4~6	7~9	10~12						
1	실증데이터 활용 특성화 적용									40	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
2	벤치마킹 소프트웨어 개발									40	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
3	사용자 운영 가이드라인									11	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
4	실증데이터 수집 및 분석									10	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
5	AI 시스템 연계 및 실증 검증									20	이남수 ((사)한국건물에너지기술원)
6	이상징후 검출을 위한 기기별 비정상 구간 도출									50	이주윤 ((주)바이솔라)
7	신호 분석을 통한 개별 가전기기별 파형 학습									50	이주윤 ((주)바이솔라)
8	이상징후 포착 및 검증									45	이주윤 ((주)바이솔라)
9	자율학습 시스템을 위한 파인튜닝 모델 구축									35	이주윤 ((주)바이솔라)
10	자율학습 시스템 구축을 통한 시스템 강건성 향상									30	이주윤 ((주)바이솔라)

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 실시간성과 선형 및 비선형에 적용가능한 퓨리에 급수 알고리즘 개발
 - 실증주택 대상지별 가전기기 전력데이터 파형 분석 정확도 검증
 - 실증주택 6개소를 대상으로 가전기기의 전력데이터 수집 후, 신뢰성 90% 이상을 목표로 개발된 파형 분석 알고리즘의 검증을 수행함
 - 대상지별 전력 파형 분석 알고리즘의 학습 정확도는 최대 94.7%, 최소 83.5%, 검증 정확도는 최대 92.5%, 최소 52.0%로 도출됨
- 파인튜닝을 적용한 시스템 강건성 증대 여부 평가
 - 가전기기별 이상징후 포착 알고리즘의 분석 정확도 검증
 - 가전기기 전력데이터에 대해 이상치 발견 결과에 대해 오차율 10% 미만을 목표 이상징후 포착 알고리즘을 검증함
 - 가전기기에서 발생된 비정상 스파이크를 이상치로 설정하여 포착 정확도를 판단한 결과 이상징후 포착 알고리즘의 분석 정확도는 오차율 0%로 도출됨
- 주택용 가전기기 특성별 벤치마킹 시스템 개발
 - 6대 가전 적용률 100% 적용
 - 실증주택 6개소를 대상으로 상황에 맞는 가전기기를 선정 및 적용하였고, 실증지 두 곳의 경우 가전기기 6개를 적용하여 평균 5개의 가전기기 적용
- 데이터 수집방안 및 정규화
 - 데이터 시트 6개 이상
 - 실증주택 6개소를 대상으로 계측장비 및 자체제작 계측기를 활용하여 6개소 데이터 시트 확보

(2) 정량적 연구개발성과

- 국내 특허 (출원 목표 1건 대비 2건, 등록 목표 1건 대비 0건(등록 진행 중))
 - 주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템
- 논문 (SCI 목표 1건 대비 0건, 비 SCI 논문 목표 1건 대비 3건)
 - 비 SCI 한국융합학회 논문집의 논문게재 1건 완료(게재일 : 2021년 1월)
 - 논문 제목 : 다수 가전기기 유효전력의 스펙토그램 분석 및 LSTM기반의 전력 분해 알고리즘
 - 비 SCI 한국건축친환경설비학회 논문집의 논문게재 1건 완료(게재일 : 2021년 12월)
 - 논문 제목 : 딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용
 - 비 SCI 한국태양에너지학회 논문집의 논문게재 1건 예정(게재예정일 : 2022년 2월)
 - 논문 제목 : 개인 맞춤형 에너지 소모 피드백을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해
- 소프트웨어 등록 1건
 - 주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램
- 시제품 1건
 - 가전기기 전력 계측 장치 제작
- 고용창출 2건
- 자체보고서 작성 3건
 - 6대가전 분석 데이터&실측 비교 검증 보고서
 - 벤치마킹 시제품 보고서
 - 6대가전 벤치마킹 시제품 및 분석 데이터(검증) 보고서

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	개인 맞춤형 에너지 소모 피드백을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해	한국태양에너지학회 논문집	김임규	42권1호	대한민국	한국태양에너지학회	비SCIE	2022.02.28	2508-3562	100%
2	딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용	한국건축환경설비학회 논문집	김임규	15권6호	대한민국	한국건축환경설비학회	비SCIE	2021.12.15	2586-0666	100%
3	다수 가전기기 유효전력의 스파크그래프 분석 및 LSTM기반의 전력 분해 알고리즘	한국융합학회 논문집	김임규	12권2호	대한민국	한국융합학회	비SCIE	2021.01.28	2233-4890	100%

□ 기술 요약 정보(5)

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
1	2021	가전기기 전력 분석 장치 및 방법	전력 데이터 세트 기반 가전기기별 전력 사용량 예측	전력데이터 분리 분석 90% 이상	10-2021-0176920	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-
2	2021	주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램	표본 대비 전체 및 가전기기 전력 데이터 비교 분석	가전 적용률 100%	C-2022-000054	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-
3	2021	딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용	LSTNet 기반 전력파형분해 및 주요 매개변수 도출	전력파형분해 학습 정확도 90% 이상	2586-0666	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-
4	2021	개인 맞춤형 에너지 피드백 시스템을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해	소미전력 절약용 맞춤형 피드백을 위한 NILM 프레임워크 및 딥러닝 기반 학습 방법론 도출	전력파형분해 학습 정확도 90% 이상	2508-3562	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-
5	2020	가전기기 전력 분석 장치 및 방법	전력 데이터 세트 기반 가전기기별 전력 사용량 예측	전력데이터 분리 분석 90% 이상	10-2020-0187470	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-
6	2020	다수 가전기기 유효전력의 스파크그래프 분석 및 LSTM기반의 전력 분해 알고리즘	RNN 계열 LSTM 신경망을 이용한 가전기기 전력 신호 분해 알고리즘 개발	전력파형분해 신뢰성 89%	2233-4890	기술고도화 연구 연계 활용	-	-	-

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2021	6대가전 벤치마킹 시작품 및 분석 데이터(검증) 보고서	-	-
2	2020	벤치마킹 시작품 보고서	-	-
3	2020	6대가전 분석 데이터&실측 비교 검증 보고서	-	-

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	가전기기 전력 분석 장치 및 방법	국내	(사)한국건물에너지기술원	2021.12.10	10-2021-0176920				100%	
2	특허	가전기기 전력 분석 장치 및 방법	국내	(사)한국건물에너지기술원	2020.12.30	10-2020-0187470				100%	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용 실시	통상 실시	무상 실시	매매/양도	상호 실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1										√	

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램	2021-11-29	(사)한국건물에너지 기술원	2022-01-03	C-2022-000054	(사)한국건물에너지기술원	100%

[경제적 성과]

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	리빙 전력데이터 수집 및 소비패턴 벤치마킹 시스템 개발	(사)한국건물에너지기술원	0	1	1
2	AI 기반 전류 파형 분리·분석 알고리즘 개발	(주)바이솔라	0	1	1
합계			0	2	2

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	14	
		생산인력	0	
	개발 후	연구인력	16	
		생산인력	0	

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 비 SCI 논문 2건

- 비 SCI 한국건축환경설비학회 논문집의 논문게재 1건 완료(게재일 : 2021년 12월)

▪ 논문 제목 : 딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용

- 비 SCI 한국태양에너지학회 논문집의 논문게재 1건 예정(게재예정일 : 2022년 2월)

▪ 논문 제목 : 개인 맞춤형 에너지 소모 피드백을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해

○ 특허출원 1건

- 주택 전력부하 가전기기 특성화 분류 시스템

○ 고용창출 2건

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 특허 2 건 - 특허 출원 1건 - 특허 등록 1건	○ 특허 3 건 - (출원 2건)주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템 - (등록 1건 진행 중)주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템	80
○ SW 등록 1건	○ SW 등록 1건	100
○ 국내 게재논문 1건	- 주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램	300
○ SCI 게재논문 1건	○ 국내 게재논문 3건	
○ 보고서 3건	- 다수 가전기기 유효전력의 스펙토그램 분석 및 LSTM기반의 전력 분해 알고리즘	
○ 시작품 1건	- 딥러닝 기반 비침입 부하 모니터링 프레임워크에서의 LSTNet 응용	
	- 개인 맞춤형 에너지 소모 피드백을 위한 딥러닝 기반의 다수 가전기기 유효전력 분해	0
	○ SCI 게재논문 1건	
	- 4차에 걸친 논문 투고	100
	○ 보고서 3건	
	- 6대가전 분석 데이터&실측 비교 검증 보고서	
	- 벤치마킹 시작품 보고서	
	- 6대가전 벤치마킹 시작품 및 분석 데이터(검증) 보고서	100
	○ 시작품 1건	
	- 가전기기 전력 계측 장치	
	○ 고용창출 2건(추가 달성)	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템(특허 등록 1건)
 - 현재 등록 진행 중에 있으며, 특허 출원 시 청구항 중복 회피 방안 모색으로 인한 지연
- 특허 출원 및 등록 선행문헌과의 중복성 검토
 - ① 선행문헌(발명의 명칭 : 전력 사용 데이터 수집 시스템 및 방법)과의 중복 부분 분석
 - [0029] 전력 인입점이란 예를 들어 각 가정 또는 건물의 배전반 또는 분전반 또는 멀티캡과 같이 복수의 부하기기들에 대하여 전력이 인입되는 지점
 - [0030] 보다 상세하게, 전력 사용량 측정 장치는 전압/전류 센서를 이용하여 전력 인입점을 통해 소비되는 전압 및 전류를 측정하고, 이를 이용하여 전압, 전류, 유/무효 전력 등의 각종 전력 정보를 전력 사용량 분석 서버에 전송 할 수 있음
 - [0037] 이벤트 패턴 비교부는 기기별로, 시간에 따라 발생된 패턴 데이터를 저장하고 이를 비교할 수 있음
 - [0037] 이벤트 패턴 비교부는 이러한 패턴 데이터를 하기 설명된 부하별로 재조합된 데이터와 비교하여 부하 기기별 전력 사용을 구별해 낼 수 있음
 - ▶ 상기의 중복된 부분에 방법론적으로 회피 방안에 대해서 검토 하는 부분에 있어 가전기기에 대한 데이터를 수집하는 기간이 길고 냉방시스템(에어컨) 데이터 수집은 여름에 한정적이기 때문에 대안을 찾는 데 시간적 상황 발생
- SCI 논문 게재 1건
 - SCI 논문을 4차례 투고했으나 심사 결과 리젝 판정 받음. 학술지별 제출일자는 다음과 같음
 - ① 1회 : Energies(2021.08.18, Rejected by editor)
 - ② 2회 : Sensors(2021.08.26, Rejected by editor)
 - ③ 3회 : Applied Science(2021.10.06, Rejected by editor)
 - ④ 4회 : Applied Science(2021.11.13., Rejected)
 - ⑤ 3개 학술지에서 거절한 투고 논문에 대해 투고 3회차까지 별도의 심사 의견이 없었으며, 4회차 투고 논문에 대한 심사의견은 신경망 분석 정확도에 대한 추가적인 결과와 데이터에 대한 상세 설명이 요구됨

2) 자체 보완활동

- 주택 전력부문 가전기기 특성화 분류 시스템(특허 등록 1건)
 - 우선심사로 등록중에 있으며, 중복성 검토 사항 완료로 회피 방안 해결책 완료
- 선행문헌과의 중복성 회피방안
 - 본 시스템은 전력 사용량 측정 장치(Main - Centered measuring devide)에 연결되어 있는 개별 기기들이 모두 Off 일때도 흐르는 미세 전류를 차단하고 가전기기 사용중에 발생하는 노이즈들을 제거 해준다는 새로운 특징을 지님
 - ① [0029], [0030] 회피방안
 - Min-threshold 값은 설정하여 분석을 위한 최소 전력량을 세팅 할 수 있음
 - Butterworth low pass filter를 적용하여 가구별, 지역별, 그리고 설치된 부품의 노후화에 따른 전력 노이즈를 제거 할 수 있음
 - ▶ 예를 들어, 가전제품의 사용여부에 관계 없이 0.01W~0.1W의 전류가 미세하게, 그리고 빠르게 진동하며 전류가 측정되는데, 최소값을 설정하여 대기전력 및 미세 전류를 차단해줍니다. 또한 가전제품을 적극적으로 사용하는 시간대에도 가전기기별 노이즈 특성에 따라 빠른 진동의 노이즈를 제거할 수 있습니다. 본 필터 기능은 전력 측정 장치에 함께 탑재되어 전력 측정과 함께 작동하고, 필터를 통과한 데이터가 서버에 전달됩니다. 이에 따라, 본 시스템은 선행문헌(전력 사용 데이터 수집 시스템 및 방법)인

유사특허와는 다르게 필터를 거치면, 0.1Hz(10초에 1개 데이터)를 전송해도 가전기기 전력을 분해하고, 예측하는데 큰 무리가 없습니다. 이러한 필터링 기능은 향후 거대해질 스마트 그리드 기반의 도시에서 수만 가구에서 측정되는 전력 데이터가 서버로 집중되어 분석이 이루어질텐데, 서버의 효율을 적게는 100배, 많게는 1만배 이상 올릴 수 있을 것으로 기대합니다.

② [0037] 회피방안

- 본 시스템은 사용 패턴 데이터를 저장하고 비교하여, 가전기기의 상태(On/Off, 보온작동 등)를 구별할 수 있을 뿐만 아니라, 특정 시간 N초에 대해 Regression을 수행하여 사용량을 예측할 수 있음
- Regression은 주식 데이터 예측과 같이, 전력 데이터를 초단위 또는 ms 단위의 시계열 그래프를 그려준다는데 특징을 지님. 현대 시계열 사용량을 기반으로 미래 일정 시간 동안의 사용량 그래프를 예측할 수 있음

○ SCI 논문 게재 1건

- 3개 학술지에서 거절한 투고 논문에 대해 별도의 심사 의견이 없었기 때문에, 연구기간 종료 전 학술지에 4회차 재투고

3) 연구개발 과정의 성실성

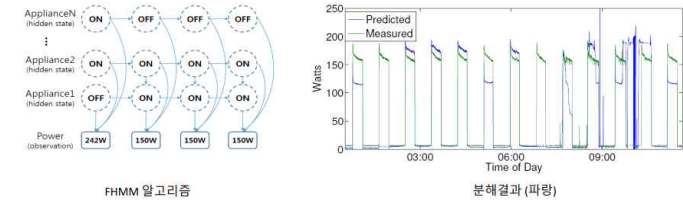
○ 수집된 데이터를 통한 방법론적 해결책 발견

(기존) 머신러닝 대표 알고리즘 활용

① Decision Tree, FHMM(Factorial Hidden Markov Model) / Classic LSTM

② 한계점 발견

- ▶ 가정에서 사용하는 가전기기가 증가하면 정확도 급격히 하락
- ▶ 단순 On/Off가 아닌 작동 단계가 존재하는 제품(드라이기, 에어프라이어 등) 분류 불가



▶ Short-term 특징을 추출하는데 큰 한계가 있음

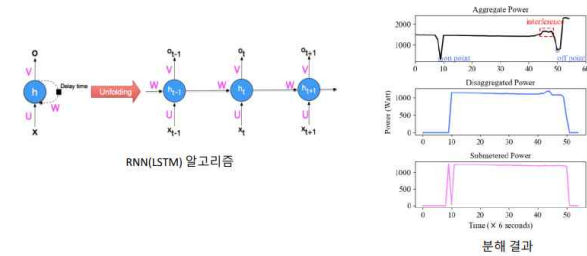
- Frequency 도메인에서 특정 영역에 분포 : 특징 추출 잘됨
- Frequency 도메인에서 넓은 영역에 분포 : 특징 추출이 잘 안됨

▶ 특징 추출 이후 Long-term prediction의 한계

- Off(사용하지 않음) 신호의 비율이 높을수록 학습을 저하
- 전력 신호 Type별 특징을 구분할 수 없는 한계

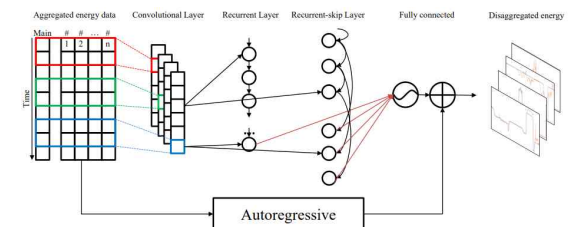
(제안 방법론) 딥러닝 알고리즘 적용

- ① FHMM계열의 구조적 근본 한계점을 극복할 수 있는 유일한 방안
- ② 소비전력의 변화폭이 작은 경우에도 높은 분류 성능을 보임
- ③ 소비전력 뿐만 아니라 소비전력과 연관된 다른 데이터를 사용하여 고차원 분류 가능
- ④ Data-Driven 특성상 데이터가 쌓일수록 성능이 더 향상됨



⑤ LSTNet의 변형 모델 적용

- CNN + RNN 하이브리드 모델 / + Skip 레이어 추가



⑥ 평가지표 개선사항

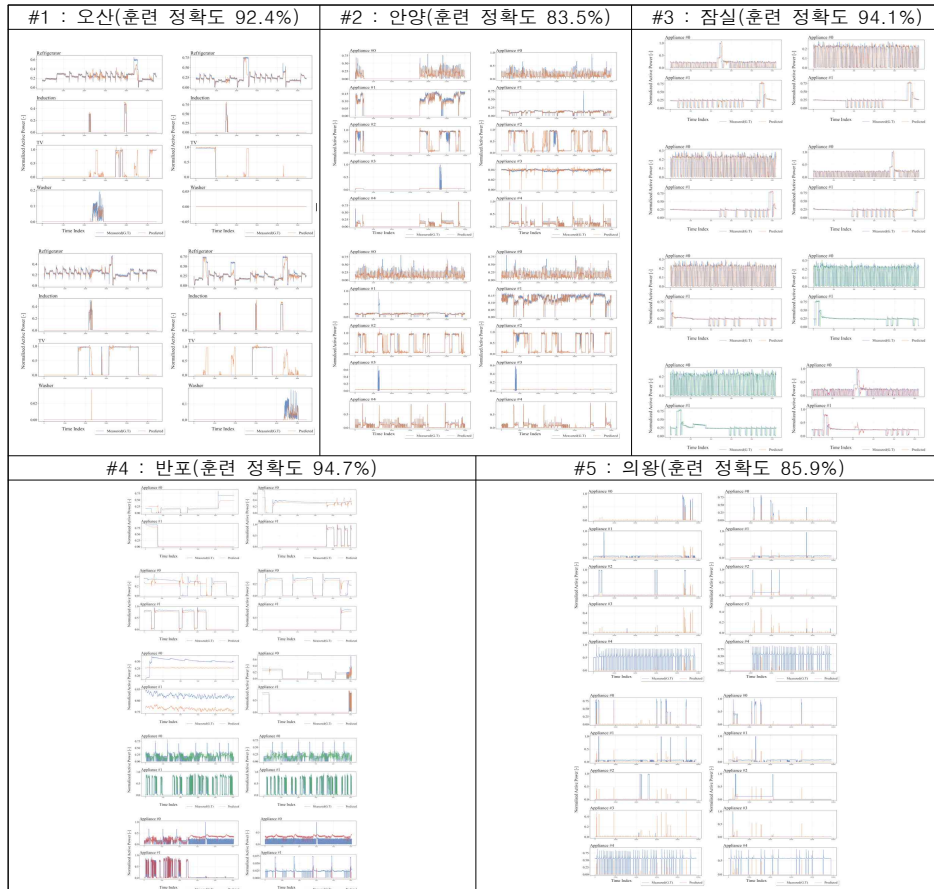
- 각 가전 제품별 정확도를 따로 계산해서 합하는 방식

- Off 신호를 잘 추정 했을 때 Accuracy 점수가 과도하게 올라가는 현상을 막음

$$E_{ACC} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M |p_m^t - \hat{p}_m^t|}{2 \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M |p_m^t|}$$

○ 기존 수집된 데이터를 새로운 방법론으로 데이터 분리 분석 자료

▶ 실증주택 전력 파형 분석 결과



○ 비 SCI 추가 논문 게재

▶ SCI 논문은 심사에 장기간 소요되어 연구기간 내 성과달성에 어려움이 있을 것으 판단하여 국내 학회지 논문집 2곳에 투고함. 1개 논문은 한국건축환경설비학회 논문집에 2021년 12월 게재, 다른 1개 논문은 한국태양에너지학회 논문집에 2022년 2월 중 게재 예정

▶ 연구기간 중 투고했던 SCI 논문에 대한 심사의견을 반영하여 SCI 논문 수정본을 추가 투고 예정

- 학술지명 : IEEE Transactions on Smart Grid, IEEE Transactions on Industrial Electronics

- 투고예정일 : 2022.04

○ 고용 창출 관련

▶ 원활한 연구 수행을 위해 2차년도 연구인력 2명을 신규채용함

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 국내 최초 기술 확보 및 해외업체와 경쟁 가능한 딥러닝 기반 전력 파형 알고리즘 핵심 기술 확보 기대
- 전력 사용패턴에 따른 기기별 벤치마킹 시스템 개발을 통해 보다 실용화, 상용화가 용이하도록 하는 통합 플랫폼의 핵심 서비스로 제공
- 가전기기별 전기에너지 사용량을 활용한 기기별 노후도 및 성능개선주기 제시 가능
- 주택부문의 기기별 전기에너지 사용량 예측 데이터를 통하여 Big Data, 딥러닝 등의 전문가들의 활용하여 주택부문 전기에너지 절감 및 수요관리에 대한 발전에 기여 가능

○ 경제적·산업적 측면

- 전기 에너지 데이터분석 분야의 전문 인력 양성 및 산업 구조개선 촉진에 기여
- 리빙데이터 통합 플랫폼 구축 시 다양한 데이터 정규화를 통한 에너지 서비스(ex : ESS 최적 수요관리 방안 등) 연계 모델 구현 가능
- 에너지 컨설팅 부문에서의 진단기술의 효율성 제고 및 전력수요관리 효율 향상을 통한 경제성 확보로 국내외 에너지 시장 활성화에 기여
- 가전기기별 에너지수요 데이터 수집을 통하여 주택부문에서 사용되는 전기에너지 및 온실가스 배출 관련 데이터 고도화
- 가전기기별 전력사용량 분해 및 분석을 활용한 기존 주택 에너지 절감효과
 - 전력사용의 실시간 확인을 통한 피크 전력감 확인 및 벤치마킹 프로그램과의 연계로 과도한 에너지 사용을 억제하고 에너지 사용 효율 극대화 가능
 - energy management using non-intrusive load monitoring techniques-state-of-the-art and future research directions 논문에 따르면 NILM(비간섭 전력부하 감시 알고리즘)의 활용을 통해 기존 사용량 대비 12% 정도의 에너지 절감효과를 기대하고 있음
 - 스마트 플러그 및 스마트 가전기기를 대체할 수 있음. 현재 스마트 가전기기의 에너지 절감효과를 보면, 식기세척기 5~9%, 세탁기 4~7%, 냉장고 2~4%, 스마트 온도조절기를 활용한 냉방 7~10%, 난방 6~8%로 연구 개발품의 알고리즘 고도화를 통해 유사한 절감효과 기대할 수 있음
 - 소비자 측면에서의 절감 : 소비자 본인들이 에너지 사용이 많은 특정 제품과 사용 시간대에 따른 에너지가 낭비되는 경우를 알게 되어 과도한 사용을 자제할 수 있게 인식 제고에 기여
 - 연구 및 개발 : 개별적인 가전제품들의 전기 사용량에 관련된 데이터를 이용하여 절전형 제품 개발에 대한 연구를 진행할 수 있고, 에너지 고효율 가전기기의 시장 활성화에 기여
 - 공익적 사업 및 정책에 관한 혜택 : 공익사업 및 정책 결정자는 시간에 따라 사용되는 에너지의 소비 패턴을 전략적으로 이용해서 개별적인 소비자 및 지역별로 구체적인 사용 시간대 권장 및 절전형 제품을 제공하는 등 정책 활성화에 기여

○ 사회적 측면

- 전력 데이터 부문 기기별 사용 및 효율화를 위한 운영 가이드라인 제시를 통한 사용자의 자발적 효율화 인식 제고
- 기존 건축물 저소득층 계층 주택 수요관리가 가능한 시스템 개발로 에너지 효율 서비스 불균형 해소
- 전력 파형 분석 IoT 설치 및 주택 부문 에너지 운영관리 분야 신규 시장 제공, 매출 및 고용 창출 효과 창출 기대

○ 비즈니스 모델 측면

- 전력데이터 기반 에너지 진단 및 서비스 모델 분야 경제성 모델 창출
- 홈 IoT 기술 분야 및 EMS 진단분야 시장점유 가능성 확보 및 신규 에너지 컨설팅 분야 시장 확대
- 가전기기에 표기되는 에너지소비효율등급의 경우 정격효율에 따른 소비효율이 표기됨으로 실제 운전되고 있는 가전기기별 소비효율에 대한 Big Data 구축 가능하며, AI 기반 에너지 효율성 및 경제성 확보를 통해 새로운 수익 모델 창출 및 국내 건축물 AI 진단 분야 보급 확산 기반 마련

기존건축물에 적용 가능한 AI(90%신뢰성 확보) 기반 주택 전력기기 분리·분석 알고리즘 및 벤치마킹 시스템 개발

기술적 측면

- 국내 최초 기술 확보 및 해외업체와 경쟁 가능한 딥러닝 기반 전류 파형 알고리즘 핵심 기술 확보 기대
- 전력 사용패턴에 따른 기기별 벤치마킹 시스템 개발을 통해 보다 실용화, 상용화가 용이하도록 하는 통합 플랫폼의 핵심 서비스로 제공, 다양한 비즈니스 서비스 모델로 시장 확대 및 산업 경쟁력 제고 기대

경제·산업적 측면

- 기존 건축물 중 주택 부문은 에너지 수요관리 부문에서 확산 잠재성이 크기 때문에 에너지 효율화를 위한 보급 확산 기반 마련에 기여 가능
- 에너지 컨설팅 부문에서의 진단기술의 효율성 제고 및 전력수요관리 효율 향상을 통한 경제성 확보로 국내외 에너지 시장 활성화에 기여
- 리빙데이터 통합 플랫폼 구축 시 다양한 데이터 정규화를 통한 에너지 서비스(ex : ESS 최적수요관리 방안 등) 모델 구현 가능

사회적 측면

- 전력 데이터 부문 기기별 사용 및 효율화를 위한 운영 가이드라인 제시를 통한 사용자의 자발적 효율화 인식 제고
- 기존 건축물 저소득층 계층 주택 수요관리가 가능한 시스템 개발로 에너지 효율 서비스 불균형 해소
- 전력 파형 분석 IoT 설치 및 주택 부문 에너지 운영관리 분야 신규 시장 제공, 매출 및 고용 창출 효과 창출 기대

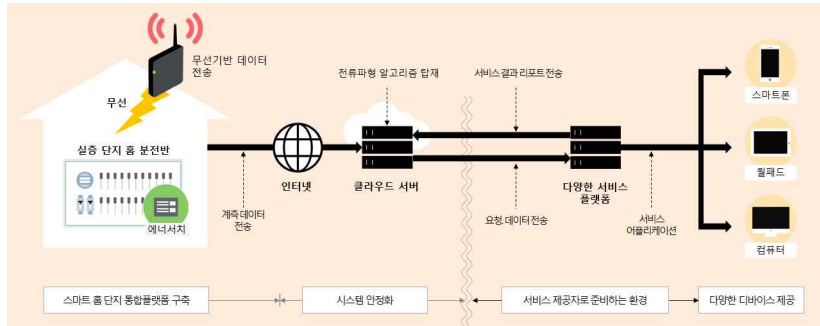
비즈니스 모델 측면

- 건축물 용도별(주택, 오피스, 공장 등) 전력데이터 기반 에너지 진단 및 서비스 모델 분야 경제성 모델 창출
- 홈 IoT 기술 분야 및 EMS 진단분야 시장점유 가능성 확보 및 신규 에너지 컨설팅 분야 시장 확대
- AI 기반 에너지 효율성 및 경제성 확보를 통해 새로운 수익 모델 창출 및 국내 건축물 AI 진단 분야 보급 확산 기반 마련

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 주택 부문 에너지 수요 관리 및 효율화 사업

- 국내 주택 부문 성능개선 시 기존 Passive요소(창호 교체, 단열재 추가, 외내부 마감 변경 등)의 개선 효율화 사업에서 Active 요소인 가전기기별 요소의 에너지 효율화 사업으로 변경 가능
- 주택 부문의 가정에서 사용되는 기기별 에너지 진단을 시중에 판매되고 있는 전력량계 측정기를 활용하여 본 개발 기술을 적용함에 따라 초기투자비용 절감 가능
- 기존 KT, LGU+, SK 등 통신 관련 기업에서 HEMS 및 IoT홈 기기와의 연계 가능성 검토
- 각 지역별 측정된 데이터를 소셜 서비스 등과 융합한 형태로 공유함으로써, 데이터보다 더욱 현실에 맞는 대기 오염 정보를 공유, 다양한 형태의 서비스, 제품 적용이 활발히 이루어질 것으로 전망
- 측정된 연차별 데이터를 활용하여 주택 부문 에너지 수요관리 연구에 기여 가능



○ 주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램 활용

- 대상 건물로 선정된 공동주택은 월패드를 통해 다양한 기능을 제공할 수 있음
- 개발된 프로그램을 월패드에 적용을 위해서는 거주자의 접근성과 이해도를 높일 수 있는 방안 필요
- 프로그램과 월패드 통합을 통해 가구 내에 위치하고 있는 가전기기 제어가 가능 할 수 있는 방법까지 반영 될 경우 스마트폰과 연동이 가능하게 되어 효과적인 제어 방법으로 활용 할 수 있을 것으로 판단
- 지속적인 DB 학습을 통해 설정 목표에 따른 장치 제어와 환기 제어 등을 구현할 경우 에너지 측면과 함께 실내공기질 등 주거 환경 전반에 걸친 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단
- 프로그램 확장성 계획 필요
 - ▶ 벤치마킹 프로그램은 주택의 메인 전원에서 수집된 계측 데이터를 활용하여 가전 기기별 전력 사용량을 수집 및 예측이 가능하도록 하고 있어 시공/설치의 편의성이 확보되어 있음
 - ▶ 다만 본 과제에서는 주택용 전력 품질데이터 확보를 목표로 하나 본 개발 시스템과 같이 전력 파형 분석 기법을 활용한 프로그램의 활용도 증대를 위하여는 가정뿐 아니라 산업용(호텔, 다중이용시설 등)으로의 확장이 가능할 수 있도록 적용 대상 확대에 대한 기반을 마련할 필요가 있음
 - ▶ 특히 이상장후 감지 및 예측 플랫폼의 경우 공동주택에서의 중앙냉방 시스템(펌프 등의 설비)이나 PV 시스템 등에 대하여 활용성이 매우 좋을 것으로 판단되며, 향후 이에 대한 적용성 검토가 필요할 것으로 판단됨

○ 타 연구에의 응용

- 현재 Google Assistant와 같이 가정용 IoT 기술이 빠른 속도로 발전하고 있는 추세이며, 최근 무선통신을 통하여 전력 사용량 감시 및 기기제어가 가능한 가전기기가 출시되고 있음
- 세대 내 콘센트 단자에 통신이 가능하여 전력 사용량의 확인 및 On/Off 제어가 가능한 콘센트 일체형 모니터링 장비도 개발된 바 있음
- 본 프로그램과 이러한 IoT 장비의 연동이 가능한다면 프로그램에서 표시하는 기기별 전력 사용량에 대한 세분화가 가능하여 정밀한 데이터 분석이 가능할 것으로 판단됨
- 또한 프로그램을 통해 전력 사용량 저감이나 재실 쾌적도 향상을 위하여 요구되는 기기의 직접 제어도

가능하기 때문에 검토가 필요한 것으로 생각됨

- 추가적으로 가정 내 전력 기구 외에 보일러나 조리기구(가스레인지)와 같은 기타 에너지 원에 대한 정보도 함께 취득이 가능한다면 더 고도화된 프로그램으로 전환이 가능할 것으로 판단됨

■ 추가연구의 필요성

- 추후 데이터 취합시 개인 정보 보호에 대한 고려가 필요함. 전력 사용량 만을 가지고 세대의 에너지 사용량 및 재실 여부를 확인 할 수 있어 개인 정보를 암호화 할 수 있는 방법이 향후 고려되어야 할 것으로 판단됨
- 공동주택에 적용되는 월패드는 현재 각 월패드 별로 인터페이스 및 구성에 차이가 존재하고 있어 이를 통일 할 수 있는 방법 도출이 필요할 것으로 판단되며, 이는 추후 활용도를 높이는데 중요한 요소로 판단됨
- [주택용 가전기기 에너지 사용량 벤치마킹 프로그램] 시각화 그래프에 대해 명확성 필요, 추후 DB를 구축하여 동일 지역 조건과 건물 형태에 따라 도출될 수 있는 평균 에너지 사용량과 비교할 수 있는 값의 제시가 될 경우 세대별로 에너지 사용 수준을 비교할 수 있을 것으로 판단됨
- 프로그램에 현재 입력되는 가전기기는 대수로 선정되어 있으며, 해당 방법은 상세한 가전기기 전력 소비량 등의 확인이 어려울 경우 활용도가 높을 수 있음. 다만, 별도의 가전기기별 소비전력에 대한 입력 방법도 함께 반영할 경우 좀 더 상세한 전력 소비량 분석이 가능할 것으로 사료됨
- 또한, 주거용 건물을 기본으로 취합하여 완성되는 측정 방법 및 데이터를 통해 상업용 건물, 산업 시설 등에 활용될 경우 국가 전력 사용량 DB를 구축할 수 있는 방법 중 하나가 될 수 있을 것으로 판단되며, 추후 고도화 및 DB구축 등의 향후 연구가 필요
- 향후 연구에서는 개발된 소프트웨어를 실제 건물에 적용하여 검증할 수 있는 Test-Bed 또는 Mock-Up 실험을 통해 적절한 데이터 취합 여부 및 검증을 수행할 연구가 필요
- 향후 연구에서는 주거용 냉난방 시스템에 대한 고려와 조명 제어도 함께 고려될 경우 월패드의 기본 기능으로 포함되고 있는 기상 데이터와의 연결을 통해 에너지 소비량을 예측할 수 있으며, 재실자에게 안내를 통한 효율적 에너지 사용이 가능할 것으로 판단됨

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘주택용 전력 품질 데이터 AI 분석을 통한 벤치마킹 시스템 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.