

스마트 시티 환경에서의 지능형 사물인터넷 기반 분산에너지 연계 전기자동차 충전플랫폼 알고리즘 연구

박상민*

한국성서대학교 AI융합학부 교수

Intelligent IoT based Distributed Energy Charging Platform for Electric Vehicle(EV) in smart city infrastructure

Sangmin Park*

Assistant Professor, School of AI Convergence, Korean Bible University

요약 탄소중립 달성과 개발도상국의 전력 부족 문제는 미래 에너지 분야의 핵심 과제로 부상하고 있다. 특히 도시의 에너지 소비와 교통 부문에서의 탄소 배출은 심각한 환경 문제로 이어지고 있으며, 이를 해결하기 위한 친환경 전력 인프라 구축에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제에 대한 대응 방안으로, 탄소중립 실현을 위한 오프그리드(Off-Grid) 기반의 지능형 사물인터넷(IoT) 친환경 미래형 분산 에너지 연계 전기자동차(EV) 충전 플랫폼을 제안한다. 오프그리드 시스템은 기존 전력망과 독립적으로 운영되며, 태양광(PV)과 에너지 저장 장치(ESS)를 통해 생산된 전력을 자급자족하는 방식이다. 본 연구에서는 이러한 오프그리드 기반의 분산형 충전 인프라를 설계하고, 고정형 모델, 카트리지 기반 이동형 모델, 이동식 버스 충전소형 모델의 세 가지 유형으로 구성하여 도시 인프라 내 에너지 및 공유 효율성을 극대화하고자 하였다. 특히, AI 기반 배터리 충전 최적화 시나리오를 통해 충전 최적화 시뮬레이션을 수행하였으며, 전기자동차 수요 예측과 태양광 발전량 공급 예측을 기반으로 충전 일정을 최적화하는 알고리즘을 개발하였다. 본 시스템은 전기차 배터리 충전 최적화 알고리즘뿐 아니라, PV 및 EV 수요 예측 메커니즘을 통해 지속 가능한 분산형 에너지 시스템 구축을 촉진함으로써 탄소중립 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : AIoT 기반 에너지 최적화, EV 충전플랫폼 알고리즘, 신재생에너지, 수요/공급 최적화, 탄소중립

Abstract Achieving carbon neutrality and addressing power shortages in developing countries have emerged as key challenges in the future energy sector. Urban energy consumption and transportation-related carbon emissions are causing serious environmental problems, highlighting the urgent need for eco-friendly power infrastructure. This paper proposes an intelligent IoT-based, off-grid, eco-friendly EV charging platform that operates independently through photovoltaic (PV) generation and energy storage systems (ESS). The infrastructure includes three models—fixed, cartridge-based mobile, and mobile bus charging stations—to enhance energy and sharing efficiency in urban areas. An AI-based charging optimization scenario was developed and simulated, with algorithms to optimize charging schedules based on EV demand and PV generation forecasts. This system integrates intelligent charging and forecasting mechanisms while promoting a sustainable distributed energy system, contributing to carbon neutrality.

Key Words : AIoT-based Energy Optimization, EV Charging Platform Algorithm, Renewable Energy, Demand/Supply Optimization, Carbon Neutrality

*교신저자 : 박상민(smpark@bible.ac.kr)

접수일 2025년 02월 21일 수정일 2025년 03월 14일 심사완료일 2025년 04월 04일

1. 서론

미래에서 에너지 분야의 가장 중요한 이슈는 첫째, 탄소중립을 달성하는 것이며, 둘째, 개발도상국의 전력 부족 문제를 해결하는 것이다.

온실효과와 같은 다양한 기후 위기 문제를 해결하기 위해 각국은 국가 또는 도시 기반의 에너지 절약 정책과 탄소중립 전략을 수립하고 있다. 탄소 배출의 주요 원인과 실행 주체인 도시에서 탄소 중립을 향한 길을 선도하는 것이 필수적이다. 도시 내 탄소 배출은 주로 1) 에너지/열, 2) 산업, 3) 건물, 4) 교통, 5) 농업/폐기물 처리 등 다양한 분야에서 발생한다. 국토교통부에 따르면, 1990년 339만 대에서 2018년 2,320만 대로 국내 자동차 수가 6.8배 증가했다. 또한, 2010년부터 2019년까지 도로 길이는 6,000킬로미터까지 확장되었고, 교통량은 약 3,000대가 증가했다. 민간 항공 부문에서도 2009년 이후 연평균 6%의 증가율을 보였으며, COVID-19의 영향이 없었다면 이보다 더 증가했을 것으로 추정된다. 2018년 기준으로, 한국의 수송 부문에서 발생한 탄소 배출량은 국가 전체 배출량의 13.7%를 차지하며, 이 중 도로 수송이 94.7%를 차지하고 있다[1]. 이는 승용차와 화물차 등 대부분의 차량이 화석 연료를 주로 사용하기 때문이다. 따라서 교통 부문에서의 초기 탄소중립 달성을 위해서는 도로 교통의 탄소 배출을 줄이기 위한 적극적인 대책과 관리가 필요하다.

두 번째로, 전력 부족 문제를 겪고 있는 국가들을 위한 대책이 필요하다. 사상 최악의 전력난을 겪는 아프리카는 인구의 40%가 전기가 없이 생활하고 있고 이집트의 경우에도 전력 인프라를 개선하기 위한 자금 투자가 어려운 상황이다. 또한 짐바브웨 60년간 전력난에 시달리며 24시간 이상 정전이 이어지기까지도 하였다. 다음 장에서는 인공지능의 중요성과 지능형 전기자동차 충전 시스템에 대해 다룬다.

1.1 AI 기반 데이터 분석의 중요성

빅데이터는 사물인터넷(IoT) 센서에서 수집된 다양한 대규모 구조화/비구조화 데이터를 처리하여 그 가치를 추출하고 분석 결과를 도출하는 기술을 의미한다[2,3]. 에너지 데이터 분석에서 인공지능의 가장 근본적이고 중요한 요소는 에너지 소비 패턴 분석과 수요-공급 예측이다[4]. 에너지 수요 예측은 본질적으로 얼마나 많은 에너지를 사용할지를 예측하는 것이며, 에너지 공급 예측은 사용자에게 얼마나 많은 에너지를 공급할 수 있을지를 예측하는 것이다.

1.2 스마트 전기자동차 충전시스템

전기자동차는 미래의 탄소중립을 위한 대안이 될 수 있다. 그러나 현재의 전기자동차는 한국 전력망에서 공급되는 전기로 충전되기 때문에 탄소중립을 달성하기 위한 완전한 해결책은 아니다. 미래에는 태양광과 풍력 등 재생 가능한 에너지원과 에너지저장시스템(ESS)을 결합하여 전기자동차가 충전되는 방식으로 변화될 수 있다. 이 경우, 신재생에너지가 전기자동차 충전의 주요 에너지원으로 자리잡게 될 수도 있다[5]. 이러한 시점에서 전 세계적으로 2050년 탄소중립을 달성하기 위해, 2030년까지 모든 신규 자동차 판매의 60%를 전기자동차와 같은 친환경 모빌리티로 채워야 한다는 제안이 있다[5]. 현재 전기자동차 인프라는 매우 부족하지만, 미래에는 전기자동차 인프라의 대규모 확장이 예상된다. 전기자동차 충전소의 공급이 확대됨에 따라, 2025년까지 12,000개의 고속 충전기와 50만 개의 저속 충전기가 설치될 것으로 보이며, 이로 인해 한국의 전기자동차 충전기 시장은 연평균 57.5% 성장할 것으로 예상된다[6].

기존의 전기자동차 충전소는 신재생에너지를 이용하는 오프그리드(Off-grid: 기존 전력망에 연결된 시스템) 기반이 아닌 기존 전력망을 연결하는 온그리드(On-grid: 전력망과 연결되지 않고 독립적으로 운영되는 시스템, 즉 신재생에너지와 같은 독립적인 에너지 공급 시스템) 방식이기 때문에 도시에서 탄소중립을 달성하기에는 역부족이다. 따라서 경제성, 연결성, 확장성을 고려하여 탄소 배출 저감을 보장하고, 친환경 분산 전력 공급 방식을 활용하는 지능형 사물인터넷 기반 전기자동차 충전 플랫폼 구축이 필요하다. 본 연구에서는 2030년 탄소중립 목표에 맞춰, 오프그리드 기반 분산 에너지를 활용한 친환경 충전 시스템의 최적화 알고리즘을 제안한다. 친환경 분산 에너지를 활용한 오프그리드 방식만으로는 에너지 절감 시스템 구현에 한계가 있으므로, 온그리드와 오프그리드를 연계한 하이브리드 방식을 제안한다. 또한, 제안 시스템은 에너지 비즈니스 모델의 확장을 지원하며, 세 가지 유형의 소형 플랫폼을 연결하여 미래 전기자동차 충전 시스템 서비스를 제공한다. 미래 전기자동차 충전시스템의 발전을 위해, 본 논문에서는 [Fig. 1]에 제시한 것과 같이 온그리드와 오프그리드 연계 기반 분산 에너지 친환경 충전 플랫폼을 제안한다[7]. 그러나 신재생 에너지를 기반으로 한 분산 에너지는 본질적으로 지리적-공간적 제약이 크므로, 오프그리드 기반 탄소중립을 실현하기 위해서는 전기자동차 충전 시스템의 에너지 효율을 극대화할 최적화 알고리즘이 필수적이다. 또한, 제한

적인 재생에너지 인프라를 극복하고 미래 전기자동차의 대규모 확산에 대응하기 위해서는 충전 과정의 에너지 관리 및 스케줄링을 최적화하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문의 목적은 완전한 제로 에너지 소비를 목표로 하는 제로에너지 사회에서 전기자동차에 에너지를 공급하기 위한 지능형 사물인터넷 기반 전기자동차 충전시스템을 위한 최적화 스케줄링 알고리즘을 개발하는 것이다.

2. 관련 연구

2.1 전기자동차 충전 플랫폼 인프라 관점

전기자동차의 보급을 확대하기 위해서는 전기차 충전소(Electric Vehicle Charging Station, EVCS) 인프라를 체계적이고 효율적으로 설계하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 충전소의 최적 입지 선정, 기술적 과제 해결, 경제적 타당성 확보 등의 요소를 종합적으로 고려해야 한다. 또한 충전소 위치 선정 시에는 교통 흐름, 전력망 부담, 이용자의 접근성과 편의성 등을 균형 있게 고려한 설계 전략에 대한 연구가 이루어지고 있다[8].

2.2 전기자동차 충전 최적화 관점

이번 장에서는 충전 최적화 관점에서 관련 연구를 제시한다. 전기차 수요에 대응한 저탄소 통합 에너지 시스템 관리 최적화 프레임워크를 제시한 연구가 있다. 본 연구는 저탄소 지역 에너지 시스템 모델을 기반으로 하여 충전 수요 반응에 수반되는 높은 경제적 비용을 감소시키고, 탄소 배출량을 효과적으로 줄이는 연구를 수행하였다[9]. 또한 태양광 에너지 활용을 최적화하기 위한 전기차 충전 최적화 스케줄링 기법도 연구되었으며 [10], 분산 발전, 에너지 저장 시스템, 전기차 충전소 등을 고려한 배전시스템 확장계획 수립을 위한 혼합정수 선형계획(MILP, Mixed-Integer Linear Programming) 모델이 제안되었다. 이 모델은 수요 및 신재생에너지 발전과 관련된 환경적 영향과 불확실성을 반영하며, 변전소, 배전 회로, 분산 에너지 자원(DER)에 대한 투자 최적화를 동시에 수행함으로써 환경 친화적인 전력망 확장 방안을 제시한다[11].

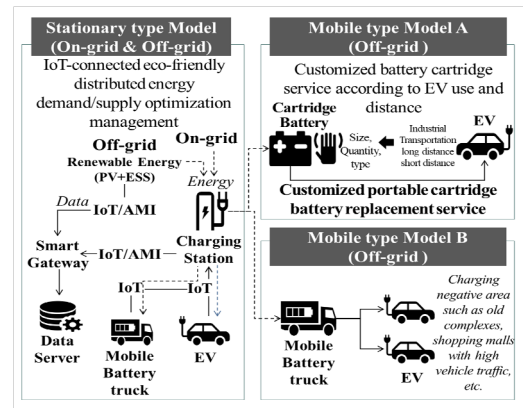
2.3 전기자동차 및 충전인프라 서비스 관점

이번 장에서는 전기차 충전 시스템의 서비스 측면에서 충전 비용과 분산 에너지 연계성 등을 중심으로 한 관련

연구들을 다룬다. JoAP(Joint Admission and Pricing) 알고리즘은 전기차 충전 제어, 요금 설정, 충전 스케줄링을 통합적으로 최적화하여 전기차 충전소의 운영 수익을 극대화하는 데 활용되었다. 해당 연구는 JoAP 알고리즘이 기존 방식 대비 더 높은 수익성을 달성함을 보였다 [12]. 한편, 전기차 충전소와 신재생에너지의 연계를 통한 서비스 향상 방안에 대한 연구도 존재한다. 이 연구는 전기차 충전이 배전망에 미치는 영향을 분석하고, 분산 에너지 자원(DERs)과의 통합을 통해 EV-DER 연계가 전력 시스템 안정성과 효율성에 어떤 영향을 주는지를 평가하였다[13]. 기존 연구 분석을 통해 전기자동차 및 충전소 보급의 확산에 따라, 탄소중립 조기 달성을 위해 친환경 분산 에너지와 연계된 충전 플랫폼 및 서비스 모델의 개발이 요구되고 있음을 분석하였다. 본 연구는 충전소 인프라의 최적 입지 선정, 충전 스케줄링 최적화, AI 기반의 미래형 전기자동차 서비스 등을 반영하여, 기존의 온그리드(on-grid) 방식이 아닌 오프그리드(off-grid) 기반의 친환경 분산 에너지 충전 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 도시 내 빌딩, 타운, 커뮤니티를 중심으로 탄소중립 조기 달성을 위한 에너지 충전 효율 최적화를 목표로 한다.

3. 시스템 구성

[Fig. 1]과 같이 제안 시스템은 온그리드와 오프그리드 연계 기반 고정형 타입, 오프그리드 기반 이동형 타입 모델 A, 그리고 오프그리드 기반 이동형 타입 모델 B로 구성된다.



[Fig. 1] Proposed System and Configuration

3.1 온그리드와 오프그리드 고정형 모델

온그리드 및 오프그리드 기반 고정형 모델(On-grid & Off-grid based Stationary Type Model, OF_STM)은 온그리드인 기존 전력망과 PV + ESS로 구성된 오프그리드 전력망이 연계 되어진 분산 에너지 기반 고정형 충전 시스템이다[7,14]. 본 모델에 대하여 간단히 말하면 아래와 같다. 첫째, [Fig. 1]에 제시한 바와 같이, 본 시스템은 온그리드와 오프그리드 전력망을 연계하여 충전 스테이션에 에너지를 저장한다. 또한, IoT 기술을 활용해 충전 정보를 비롯한 모든 전력 데이터를 수집하고, 이를 통합 데이터 플랫폼에 저장한다. 통합 데이터 플랫폼은 AI 기반 데이터 센터와 연계되어 건물 및 도시 단위의 분산 에너지 데이터를 수집 및 분석하는 핵심 역할을 수행한다[15]. 둘째, 충전 스테이션에 저장된 전력은 전기자동차에 직접 공급되며, 오프그리드 기반 이동형 모델 A, B를 위한 포터블 카트리지 배터리(Portable Cartridge Battery, PCB) 및 이동형 충전 트럭(Mobile Battery Truck, MBT)의 충전에 활용된다[16].

3.2 오프그리드 기반 이동형 타입 모델 A

오프그리드 기반 이동형 모델(Off-grid based Mobile Type Model - Off_MTM) A 모델은 고정형 충전 시스템에서 사전에 충전된 카트리지 배터리를 활용하여 충전 서비스를 제공하는 방식이다. 이 모델에서는 충전된 카트리지 배터리를 전력 공급이 어려운 지역이나 충전 인프라가 부족한 충전 음영 구역으로 전달하여, 해당 지역에서 전기차 또는 기타 전력 기반 이동 수단에 에너지를 공급할 수 있도록 한다. 또한, 이동형 충전 인프라를 확장함으로써 충전 접근성을 개선하고, 전기차의 보급 및 확대에 기여 가능한 지속 가능한 충전 솔루션을 제시한다.

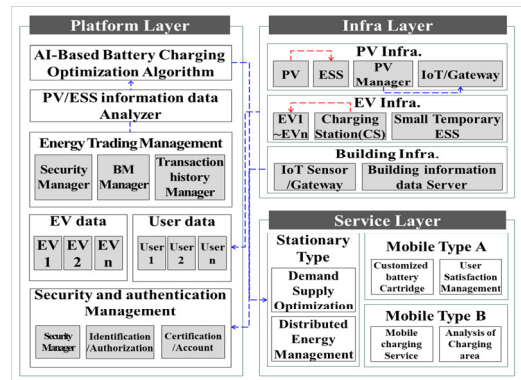
3.3 오프그리드 기반 이동형 타입 모델 B

오프그리드 기반 이동형 모델(Off-grid based Mobile Type Model - Off_MTM) B 모델은 고정형 충전소 구축이 어렵거나 전력 인프라가 부족한 지역을 대상으로 이동형 배터리 트럭을 활용한 전기자동차 충전 서비스를 제공하는 방식이다. 또한, 특정 시간대에 차량이 집중되는 도심 내 주요 거점이나 교통량이 많은 지역에서도 유연하게 운영될 수 있어, 기존 충전소의 과부하를 완화하고 충전 대기 시간을 줄이는 데 기여할 수 있다. 이를 통해 충전 인프라가 제한적인 지역에서도 안정적인 전력

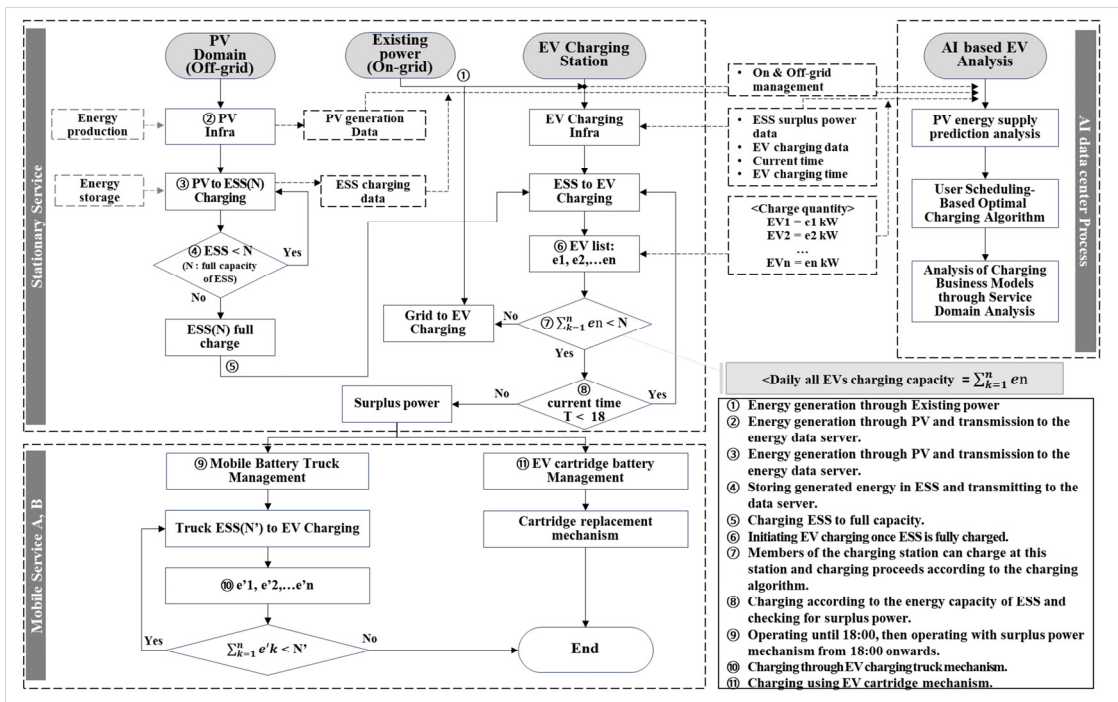
공급이 가능하며, 친환경 분산 에너지를 활용한 지속 가능한 충전 솔루션을 실현할 수 있다. 본 논문에서 제안된 세 가지 모델은 모두 분산 에너지를 주요 에너지원으로 활용하여 완전한 탈탄소화를 목표로 한다. OF_STM 모델은 대용량 태양광 인프라 구축이 용이한 비도심 지역을 중심으로 설계되지만, Off_MTM A, B 모델은 대용량 태양광 인프라 구축이 어려운 도심 지역을 대상으로 카트리지 및 충전 배터리 트럭을 활용하여 에너지를 공급하도록 설계되었다[7]. 다음 장에서는 제안된 시스템의 아키텍처를 설명한다.

3.4 시스템 아키텍처

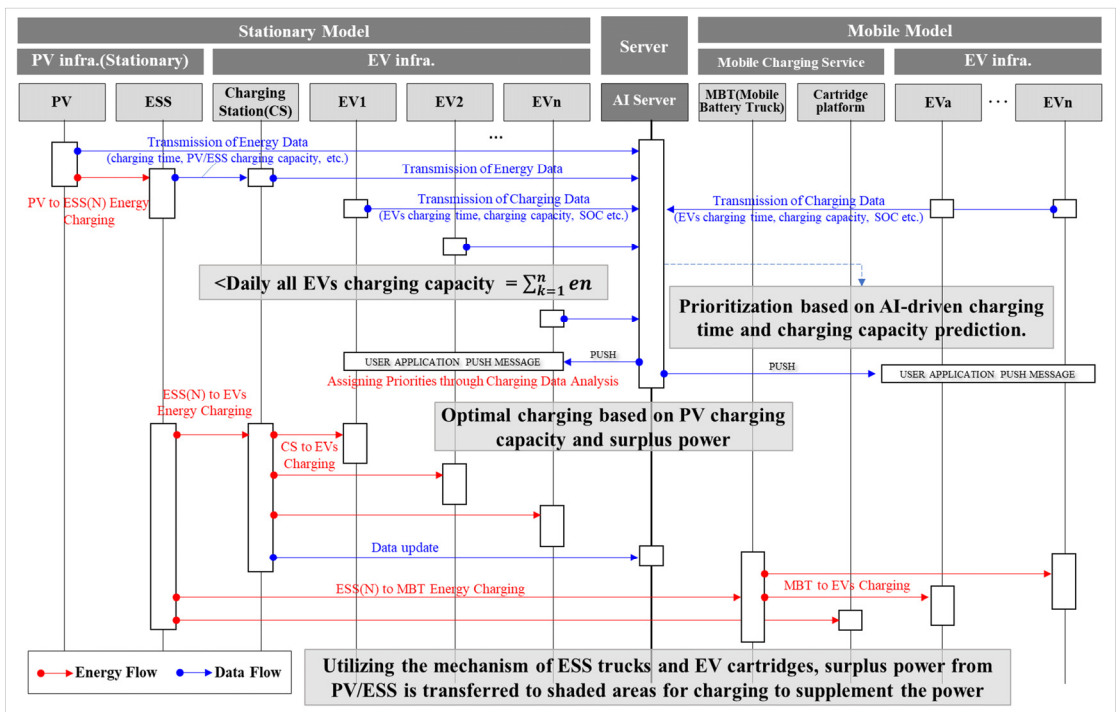
[Fig. 2]에서 제시한 것과 같이 인프라 계층(Infra. Layer)은 제안된 시스템의 물리적 장치로 구성된다. 핵심 인프라는 태양광 인프라, 전기자동차 및 충전 시스템, 건물 인프라로 구분된다. 플랫폼 계층(Platform Layer)은 인공지능 기반 서비스를 제공하는 핵심 계층이다. 태양광 및 전기자동차 데이터를 기반으로 분석을 수행하며, 최적의 전기자동차 충전 서비스를 제공한다. 이를 위해 AI 기반 최적 충전 스케줄링 알고리즘이 통합되어 전기자동차 충전을 최적화한다. 서비스 계층(Service Layer)은 앞서 소개된 세 가지 서비스에 대한 설명을 제공한다. 제안된 서비스는 크게 고정형과 이동형으로 구분되며, 이동형 서비스는 다시 카트리지형 서비스와 버스형 서비스로 나뉜다. 다음 장에서는 에너지 최적화를 위한 충전 시스템의 핵심 알고리즘과 이를 적용한 시나리오를 상세히 분석한다. 이를 통해 제안된 모델의 효율성을 검토하고, 실환경에서의 적용 가능성을 평가한다.



[Fig. 2] System Architecture



[Fig. 3] AI-Based Battery Charging System Algorithm



[Fig. 4] Stationary Model and Mobile Model Control flow in the proposed Charging System

4. 미래형 스마트 충전 메커니즘

본 논문에서는 친환경 전기자동차 충전소를 분산 전원인 태양광 발전, 에너지 저장 시스템과 연계하여 단순한 에너지 절약을 넘어 도시 기반 탄소중립을 최적화하는 것을 목표로 한다[17,18]. 또한 분산 에너지 기반 충전 최적화 전략을 분석하고, 제안된 알고리즘이 도심 환경에서 탄소중립 실현에 미치는 영향을 제시한다[19,20].

4.1 AI 기반 배터리충전 최적화 알고리즘

[Fig. 3]에서 제시한 알고리즘 적용 조건은 다음과 같다. PV로부터 발전된 전력은 ESS에 저장되며, 이를 통해 전기자동차를 충전한다. 낮 동안 완전히 충전된 ESS는 18:00까지 충전을 완료하는 것으로 가정하고 이후 남은 ESS 전력은 잉여 전력으로 간주한다. 본 시스템은 온그리드인 기존 전력망을 활용하여 전력을 충전하는 동시에, PV 발전을 통해 추가적인 에너지를 생성하고 이를 ESS에 저장한다. 또한 스마트 IoT를 통하여 관련 데이터를 수집하고 이를 통합 데이터 플랫폼으로 전송하여 지능형 데이터 분석을 진행한다. 생산된 에너지가 ESS에 저장되는 과정에서 모든 에너지 흐름이 데이터 서버로 전송되어 실시간으로 관리된다. ESS는 최대 용량까지 충전되며, 완전히 충전된 이후에는 전기자동차 충전이 시작된다. 충전소 회원은 해당 충전소에서 충전을 진행할 수 있으며, 충전 과정은 최적화된 알고리즘을 기반으로 최적화되어 운영된다. 충전은 ESS의 저장 용량을 고려하여 이루어지며, 이 과정에서 잉여 전력이 발생하는지 지속적으로 확인한다. 운영 시간은 18:00까지 일반 충전 방식으로 진행되며, 18:00 이후에는 잉여 전력을 활용한 충전 메커니즘이 적용되는 것으로 가정한다. 또한, 잉여 전력은 이동형 배터리 트럭을 활용하여 충전이 이루어질 수 있으며, 필요에 따라 EV 카트리지 배터리를 이용한 충전 방식도 함께 운영된다. 이를 통해 충전소는 안정적이고 지속 가능한 방식으로 운영되며, 에너지 효율성을 극대화하는 것이 목표이다. 아래는 [Fig. 3]의 제안 시스템 알고리즘의 각 과정을 요약하여 제시한다.

- ① 기존 전력을 통한 에너지 충전
- ② PV를 통해 에너지를 생성하고 관련 정보는 에너지 데이터 서버로 전송
- ③ 생성된 에너지를 ESS에 저장하고 관련 데이터는 서버로 전송
- ④ ESS를 최대 용량까지 충전(N: ESS 최대용량 kWh)
- ⑤ ESS가 완전히 충전되면 전기차 충전 시작

- ⑥ 충전소의 회원은 이 충전소에서 충전할 수 있으며, 충전은 충전 알고리즘에 따라 진행(e1, e2 ~ en: 충전 회원 전기자동차 리스트)
- ⑦ ESS의 에너지 용량에 따라 충전하고, 잉여 전력 여부를 확인함(전기자동차 충전 대수와 ESS 전체 용량과 비교)
- ⑧ 18:00까지는 일반 운용, 18:00 이후에는 잉여 전력 기반 운용 체제로 전환
- ⑨ 전기자동차 충전 트럭 메커니즘을 활용한 충전
- ⑩ 전기자동차 카트리지를 이용한 충전

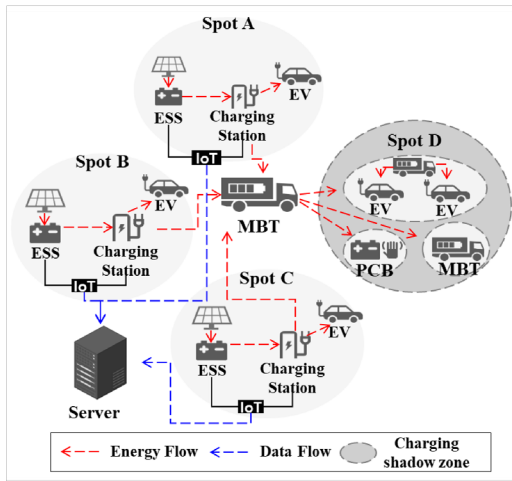
[Fig. 3]에 제시된 알고리즘의 오른쪽 상단에는 AI 기반 전기자동차 분석(AI-based EV Analysis) 모듈이 포함되어 있으며, 그 중 태양광 에너지 공급 예측(PV Energy Supply Prediction Analysis) 기능이 AI의 핵심적 기능으로 구현된다. 이 분석 모듈은 4.2.3절 AI 기반 PV 및 EV 수요 예측 메커니즘과 연계되어 더 자세히 설명되며, 3단계 에너지 수요-공급 예측 절차를 통해 AI 기반 에너지 충전 최적화가 수행된다.

[Fig. 4]는 제안된 시스템의 충전 인프라 구조와 에너지 및 데이터 흐름을 시각적으로 표현하며, ESS, PV, 충전시스템 간의 상호작용 및 데이터 연계를 보여준다. 본 구조는 신재생에너지 공급과 ESS 충전, 사용자 전기자동차(EV1 ~ EVn) 충전 제어까지의 고정형 모델 및 이동형 모델에 대한 전체 과정을 연계하여 제시한다. 이를 통해 시스템의 확장성 및 에너지 자원의 효율적 분산 관리가 가능해진다. 이러한 구조는 실시간 데이터 기반의 예측과 에너지 충전 최적화 제어를 가능하게 하며, 시스템 전체의 에너지 효율성과 사용자 만족도를 동시에 향상시킨다. 본 플로우에서 중요한 점은 충전 스케줄을 최적화하기 위해 각 전기자동차 사용자들은 배터리 잔량(SOC, State of Charge), 배터리 용량(Battery Capacity) 등의 정보를 공유하고 최적화된 충전 시간을 서버로부터 푸시받는다. 이를 통해 사용자 상황에 최적화된 에너지 분배가 가능해지며, 전체 시스템의 운영 효율성 또한 향상된다.

4.2 시나리오 기반 시뮬레이션

4.2.1 AI 기반 배터리 충전 최적화 시나리오

[Fig. 5]는 제안 연구의 시뮬레이션을 위한 시나리오를 제시하며 <Table 1>은 [Fig. 5]에서 나타낸 지역적 특성에 대한 분석을 제공한다.



[Fig. 5] Simulation of the Proposed System

<Table 1> Zone characteristics analysis

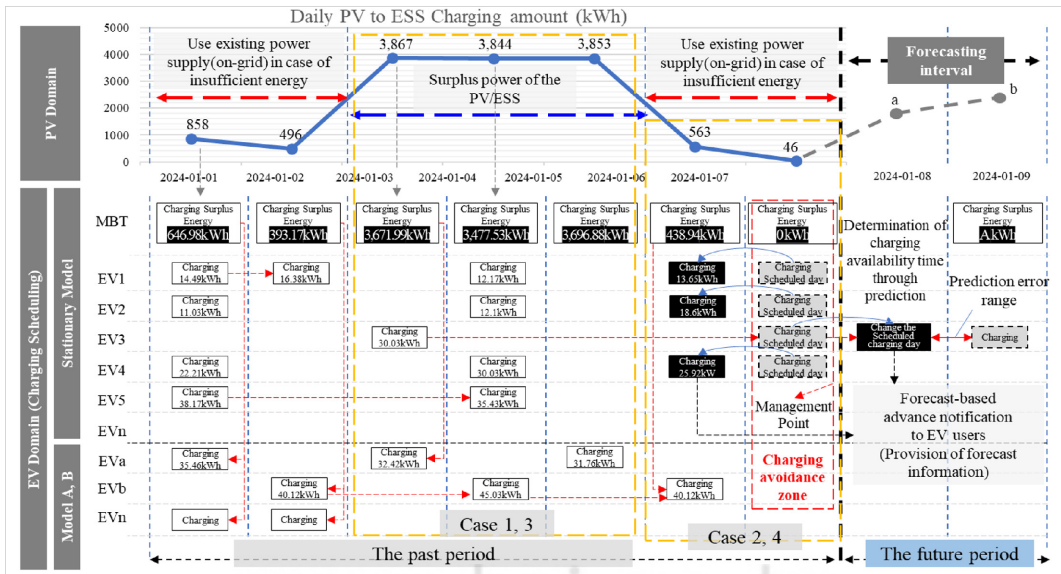
Model	Characteristics analysis	Spot
Stationary type	<ul style="list-style-type: none"> Outskirts areas Areas conducive to the establishment of large-scale PV infrastructure. 	Spot A, B, C
Mobile A type	<ul style="list-style-type: none"> Urban areas: Areas where establishing large-scale PV infrastructure is challenging. 	Spot D
Mobile B type		

고정형 타입 모델은 주로 대용량 태양광 인프라 구축이 용이한 비도시 지역을 대상으로 설계되었다. 반면, 이

동형 타입 모델은 대용량 태양광 인프라 구축이 어려운 도심 지역에서 에너지를 공급하도록 설계되었다. [Fig. 5]에서 A~C 지역은 교외 지역으로 고정형 타입 모델을 적용하고, D 지역은 도심 지역으로 이동형 모델을 적용한다. 다음 챕터에서는 제안된 시스템의 시뮬레이션 시나리오를 제시하며, 본 시뮬레이션에서 사용된 PV 데이터는 A 지역의 실제 태양광 발전 데이터를 기반으로 하지만, 시뮬레이션용으로 활용되었다. 또한, 전기자동차 충전 데이터는 임의의 값으로 설정되었다.

4.2.2 AI 기반 충전 최적화 시뮬레이션

[Fig. 6]는 4.2절에서 제시된 시나리오를 기반으로 한 충전 최적화 시뮬레이션을 나타낸다. 본 시뮬레이션은 PV 도메인과 EV 도메인으로 구성되며, PV 도메인은 국내 A섬 지역에서 실제로 구축된 태양광 발전 시스템으로부터 수집된 실측 데이터(시나리오 내 Spot A~C 지역) 이고 생산된 태양광 발전량의 합을 과거 발전 데이터 및 예측치와 함께 그래프로 시각화한다. EV 도메인은 고정형 모델과 이동형 모델로 구분되며, 당일 전기자동차 충전 스케줄링을 제시한다. 고정형 모델에서 모든 전기자동차의 충전이 완료된 후, 잉여 전력은 MBT(Mobile Battery Truck)에 저장된다. 이후 MBT는 Spot D로 이동하여, 분산전원을 활용한 충전이 어려운 충전 음영 지역(charging avoidance zone)에서 전기자동차 충전을 수행한다. [Fig. 6]의 충전 회피 구역(charging avoidance zone)은 날씨 및 환경 요



[Fig. 6] Battery Charging Optimization Simulation Scenario

<Table 2> Scenario-based simulation EV charging data analysis

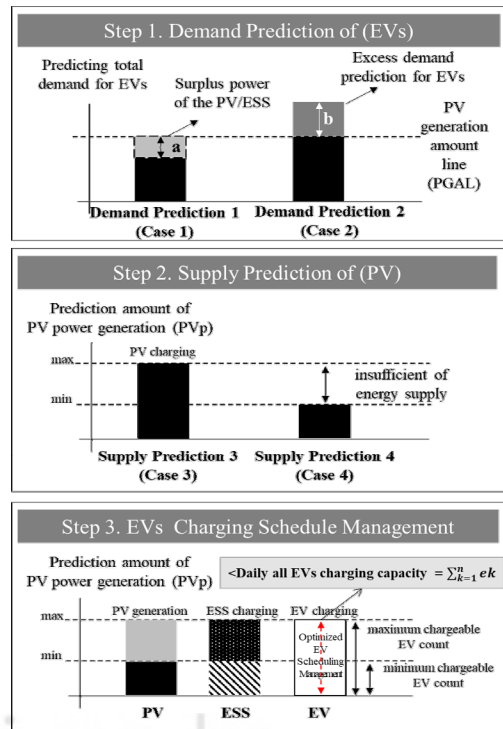
Date		Past							Future		
		01-01	01-02	01-03	01-04	01-05	01-06	01-07	01-08	01-09	
PV Genetarion(kWh)		858	496	3,867	3,844	3,853	563	46	a	b	
*ED	*SM (kWh)	*MBT	646.98	393.17	3671.99	3477.53	3694.88	438.94	0	-	-
		EV1	14.49	16.38	-	12.17	-	13.65	*SD	-	-
		EV2	11.03	-	-	12.1	-	18.6	*SD	-	-
		EV3	-	-	30.03	-	-	-	*SD	*CSD	-
		EV4	22.21	-	-	20.12	-	25.92	*SD	-	-
		EV5	38.17	-	-	35.43	-	-	-	-	-
		*EVn	125.12	86.45	164.98	286.65	158.12	65.89	46	-	-
		Sum	732.88	409.55	3,702.02	3,557.35	3,694.88	497.11	46	-	-
	*MM (kWh)	EVa	35.46	-	32.42	-	31.76	-	-	-	-
		EVb	-	40.12	-	45.03	-	40.12	*SD	-	-
		*EVn	341.16	276.98	287.09	387.06	376.34	265.16	-	-	-
		*Sum	768.34	449.67	3,734.44	3,602.38	3,726.64	537.23	0	-	-
		*Surplus	270.36	76.07	3352.48	3045.44	3286.78	133.66	0	-	-

*ED: EV Domain-Charging Scheduling, *SM: Stationary Model-Charging rate, *MM: Mobile Model A, B- Charging rate, *SD: Scheduled day(charging day), *CSD: Change the scheduled charging day, *EVn: The total energy of the other charged electric vehicles, *Surplus: The remaining energy of the MBT

인으로 인해 발생할 수 있는 PV 전력 공급 부족에 대비 하는 전략으로 볼 수 있다. [Fig. 6]는 Case 1부터 Case 4까지를 다루며, 이는 다음 챕터의 [Fig. 7]과 연계되어 설명된다. [Fig. 7]에서 Case 1과 Case 2는 전기자동차의 충전 전력 수요와 관련된 시나리오로, Case 1은 충전 전력 수요가 적을 경우 MBT의 충전량이 증가하는 상황을 나타내며, Case 2는 충전 전력 수요가 높은 경우를 의미한다. 그러나 Case 3, Case 4는 PV 전력 공급과 관련된 시나리오로, Case 3은 PV 전력 공급량이 최대일 때, Case 4는 PV 전력 공급량이 최소일 때를 가정한다.

[Fig. 7]에서 볼 수 있듯이, Case 1과 Case 3은 PV 전력 공급이 풍부하고 전기자동차의 전력 수요가 낮은 상황을 나타낸다. 이 경우, MBT는 잉여 전력을 저장한 후, 충전 회피 구역 또는 전력이 상대적으로 부족한 구역에 해당 전력을 분산·공급하는 역할을 수행한다. <Table 2>는 [Fig. 6]의 시나리오를 기반으로 실행된 PV 발전량 및 전기자동차 충전 시뮬레이션 데이터를 제시한다. 이 시스템에서 관리가 필요한 핵심일자는 1월 7일로, 이는 충전 회피 구역으로 지정된 시점이다. 해당 날짜는 PV 에너지 생산량이 극히 낮은 시기로, 전기자동차 충전을 가능한 한 억제해야 하는 구간에 해당한다. 이에 따라 각 사용자는 충전이 계획된 날짜(*SD, Scheduled Day)의 전후로 충전 일정을 조정하라는 안내 메시지를 사전에 수신하게 된다. 이 메시지는 AI 기반 PV 및 EV 수요 예측 메커니즘을 통해 자동으로 사용자에게 전달되며, 이를

받은 전기자동차 사용자는 충전 전략을 즉시 재조정하게 된다. 또한 *CSD(Change the scheduled charging day)는 예측으로 인하여 변경된 충전 스케줄을 말한다.



[Fig. 7] Demand and Supply Prediction

4.2.3 AI 기반 PV 및 EV 수요 예측 메커니즘

[Fig. 7]처럼 PV 및 EV 수요 예측 메커니즘은 크게 세 단계로 나눌 수 있다[21]. Step 1은 EV 수요 예측 단계로, 특정 시간 동안 전기자동차의 충전 요구량을 예측하는 과정이다. 이 과정에서는 과거 데이터와 현재 조건을 기반으로 예측 모델을 활용하여 충전 수요를 분석한다. 본 단계에서는 두 가지 수요 예측 사례를 제시하며, Case 1의 변수 a는 PV 전력시스템을 통해 생산된 잉여 전력을 나타내고, Case 2의 변수 b는 전기자동차의 초과 충전량을 의미한다. 즉, Case 1과 Case 2는 각각 EV 수요 예측 결과를 보여주는 사례로 활용된다. Step 2는 PV 발전 예측 단계로, 특정 시간 동안의 태양광 발전량을 예측하는 과정이다. 이 과정에서는 과거 PV 발전 데이터, 기상 조건, 일출-일몰 시간 등을 고려하여 발전량을 예측한다. 본 단계에서는 두 가지 발전 예측 사례를 제시하며, Case 3은 최대 PV 발전량을, Case 4는 최소 PV 발전량을 나타낸다. Step 3에서는 전기자동차 충전 스케줄을 최적화하기 위해 EV 수요 예측과 PV 발전 예측을 비교·분석하여 충전 시간을 조정한다. 이를 통해 에너지 활용의 효율성을 극대화할 수 있다.

이러한 세 단계는 통합 에너지 관리 시스템의 맥락에서 상호작용하며, 전기자동차 수요 예측, PV 발전 예측, 충전 일정 결정 등이 유기적으로 연결되는 과정을 보여준다[22].

5. 결론

전기자동차와 충전소의 보급이 확대됨에 따라, 탄소중립 실현을 위해 친환경 분산 에너지를 연계한 충전 플랫폼 및 서비스 모델 개발이 중요한 과제로 부각되고 있다. 본 논문에서는 도시 환경을 기반으로 분산 에너지 연계 전기자동차 충전 플랫폼의 에너지 효율성과 에너지 공유 전략을 분석하였다. 제안된 시스템은 친환경 분산 에너지를 활용한 충전 플랫폼 및 서비스 모델의 중요성을 강조하며, 이를 통해 도시 내 에너지의 효율적 활용과 공유를 가능하게 하여 탄소중립 목표의 조기 달성을 위한 전략으로 연구되었다. 현재 연구 단계에서는 시나리오 및 사례 기반 시뮬레이션을 통해 오프그리드, 온그리드, 전기자동차 연계를 중심으로 한 에너지 절약 및 공유 전략을 제시하였다. 향후 지속적인 연구를 통해 제안된 시스템이 친환경 분산 에너지 시스템 구축에 기여하는 핵심 전략으로 발전할 것으로 예상되며, 나아가 지속 가능한

미래를 위한 탄소중립 실현을 촉진하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Key Policy Measures for Carbon Neutrality in the Transport Sector: Focus on Road Transport," 2022, https://www.keei.re.kr/keei/download/focus/ef2206/ef2206_70.pdf
- [2] S.Khare, M.Totaro, "Big data in IoT," International Conference on Computing and Networking Technology (ICCNT), 2019.
- [3] M.Hossain, Z.Weng, R.S.Phan, D.Scott and B.Lau, "Application of IoT and BEMS to visualise the environmental performance of an educational building," *Energies*, Vol.13, No.15, pp.1-33, 2020.
- [4] J.Luo, W.Zhuo, S.Liu, and B Xu, "The Optimization of Carbon Emission Prediction in Low Carbon Energy Economy Under Big Data," *IEEE Access*, Vol.12, pp.14690-14702, 2024.
- [5] M.A.Nazari, V.Blazek, L.Prokop, S.Misak and N.Prabaharan, "Electric vehicle charging by use of renewable energy technologies: A comprehensive and updated review," *Computers and Electrical Engineering*, Vol.118, 2024.
- [6] ASTI Market Insight 35. 2022, https://kisti.re.kr/post/asti-insight/5557;jsessionid=b5035f5rgX1JNQqpxjTD62nLazgEHOZINX6pXOFUxMX03W8bjZVOSsh9swbFrDd.al211_servlet_engine23?t=1663545600071
- [7] H.Kang, S.Jung, M.Lee and T.Hong, "How to better share energy towards a carbon-neutral city? A review on application strategies of battery energy storage system in city," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.157, 2022.
- [8] A.Loni, S.Asadi, Data-driven equitable placement for electric vehicle charging stations, *Energy*, Vol.282, 2023.
- [9] Z.Wang, X.Li, Y.Li, T.Zhao, X.Xia, H.Zhang, An Optimization Framework for Low-Carbon Oriented Integrated Energy System Management in Commercial Building under Electric Vehicle Demand Response. *Processes*, Vol. 9 2021.
- [10] Z.Ullah, S.Wang, G.Wu, H.M.Hasanien, A.U.Rehman, R.A.Turky, M.R.Elkadeem, Optimal scheduling and techno-economic analysis of electric vehicles by implementing solar-based grid-tied charging station. *Energy*, Vol. 267 2023.
- [11] T.Lima, J.F.Franco, F.Lezama, J.Soares, A Specialized Long-Term Distribution System Expansion Planning Method With the Integration of Distributed Energy Resources. *IEEE Access*, Vol. 10, 2022.
- [12] S.Y.Wang, S.Z.Bi, Y.Zhang, J.W.Huang, *Electrical Vehicle*

Charging Station Profit Maximization: Admission, Pricing, and Online Scheduling. IEEE Trans. Sustain. Energy 2018, Vol. 9, 2018.

- [13] Panossian, N.; Muratori, M.; Palmintier, B.; Meintz, A.; Lipman, T.; Moffat, K. Challenges and opportunities of integrating electric vehicles in electricity distribution systems. Curr. Sustain. Renew. Energy Rep. 2022, 9, 27-40.
- [14] S.Jaman, B.Verbrugge, A.Zhaksylyk, T.Geury, M.E.Baghdadi and O.Hegazy, "Development of Smart Charging Scheduling and Power Management Strategy of a PV-ESS based Scalable EV Charging Station," Transportation Research Procedia, Vol.72, pp.1240-1247, 2023.
- [15] S.Park, S.Park, M.Choi, S.Lee, T.Lee, S.Kim, K.Cho and S.Park, "Reinforcement learning-based bems architecture for energy usage optimization," Sensors, Vol.20, No.17, pp.1-33, 2020.
- [16] S.Jeon and D.Choi, "Optimal Energy Management Framework for Truck-Mounted Mobile Charging Stations Considering Power Distribution System Operating Conditions," Sensors, Vol.21, No.8, pp.1-24, 2021.
- [17] S.Shahriar, A.A.Ali, A.Osman, S.Dhou and M.Nijim, "Machine Learning Approaches for EV Charging Behavior: A Review," IEEE Access, Vol.8, pp.168980-168993, 2020.
- [18] T.Mao, X.Zhang and B.Zhou, "Intelligent Energy Management Algorithms for EV-charging Scheduling with Consideration of Multiple EV Charging Modes," energies, Vol.12, pp.1-17, 2019.
- [19] Y.Zhi and X.Yang, "Scenario-based multi-objective optimization strategy for rural PV-battery systems," Applied Energy, Vol.345, 2023.
- [20] M.Amjad, A.Ahmad, M.Rehmani and T.Umer, "A review of EVs charging: From the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques," Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.62, pp.386-417, 2018.
- [21] M.Rashid, T.Elfouly and N.Chen, "A comprehensive survey of electric vehicle charging demand forecasting techniques," IEEE Open Journal of Vehicular Technology, Vol.5, pp.1348-1373, 2024.
- [22] F.Marzbani, A.Osman, M.Hassan, "Electric vehicle energy demand prediction techniques: An in-depth and critical systematic review," IEEE Access, Vol.11, pp.96242-96255, 2023.

박 상 민(Sangmin Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 중앙대학교 전자전 기공학부 임베디드소프트웨어공학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 중앙대학교 전자전 기공학부 임베디드소프트웨어공학 (공학박사)

▪ 2018년 5월 ~ 2024년 8월 : 중앙대학교 연구처 연구전담교수

▪ 2024년 9월 ~ 현재 : 한국성서대학교 AI융합학부 조교수

<관심분야>

스마트IoT, 지능형에너지, 신재생에너지, 지능형 수요/공급 최적화, 지능형화재관리, 이미지딥러닝