

Chapter

02

지능형 스마트조명 동향

성정식_한국전자통신연구원 책임연구원

이준희_한국전자통신연구원 선임연구원

이상현_한국전자통신연구원 연구원

I. 서론

원자재 가격은 오르지만 저가 경쟁이 치열한 LED조명 시장에서 조명 기업들은 새로운 성장동력을 찾기 위해 노력할 수밖에 없고, 그 대안 중 하나가 스마트조명이 될 수 있다. 스마트조명은 사물인터넷(IoT), 센서, 무선 네트워크 등 정보통신기술을 LED조명에 적용함으로써 능동적 조명 제어를 통해 사용자 편의성 증대와 에너지 절감 효과를 가져온다. 더 나아가 빅데이터 분석 및 학습 등의 인공지능(AI) 기술을 스마트조명에 접목시켜 다양한 지능형 서비스 제공을 위해 발전해 나가고 있다. Global Lighting Association(GLA)에서 발표한 보고서에 따르면 지능형 스마트조명의 발전으로 인해 미래의 조명이 인간의 삶의 질을 중시하는 인간 중심 조명으로 진화해야 한다고 촉구했다[1].

지능형 스마트조명 산업의 시장 잠재력은 매우 높으며, 현재 스마트조명 시장을 장악하고 있는 상위 기업들은 사용자 연결 및 데이터 분석을 통한 고부가가치, 새로운 부가가치를 제공하는 솔루션 기업으로 거듭나고 있다. 본 고에서는 스마트조명의 성장을 이끌고 있는 중요한 요소에 대해 스마트조명 시장과 기술을 통해 분석하고, 미래 지능형 스마트조명이 나아가야 할 바에 대해 살펴본다. 또한, 지능형 스마트조명의 AI 기술 동향과 테스트베드 연구 동향에 대해서도 살펴보고자 한다.

* 본 내용은 성정식 책임연구원(☎ 042-860-3825, jssung@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

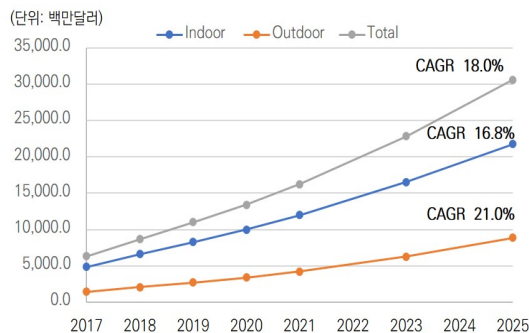
***본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(20202020800220).

II. 스마트조명 시장 및 연구개발 동향

1. 스마트조명 시장 동향

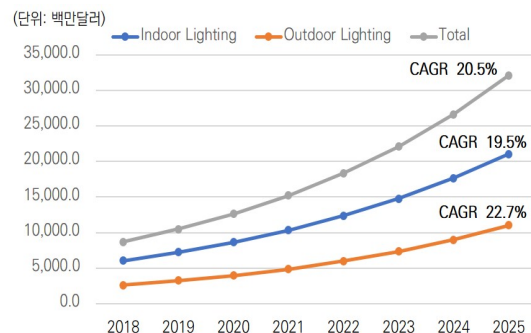
시장조사 전문기관인 MarketsandMarkets은 [그림 1(a)]와 같이 스마트조명 시장의 규모는 2019년에 110억 4,000만 달러로 추정되고, 2025년에는 305억 9,800만 달러에 이르러, 예측 기간 동안 18.0%의 연평균성장률(Compound Annual Growth Rate: CAGR)을 기록할 것으로 예상하였다[2]. 반면에 또 다른 시장조사전문기관인 Allied Market Research (AMR)는 [그림 1(b)]와 같이 스마트조명 시장의 규모가 2018년 86억 8,442만 달러에서 2025년까지 320억 9,500만 달러에 도달하여 20.5%의 CAGR을 기록할 것으로 예상하였다 [3]. 보수적으로 예측한 MarketsandMarkets과 좀 더 진취적으로 예측한 AMR, 두 기관의 예상 CAGR은 약간의 차이가 있지만, 두 기관 모두 2025년의 스마트조명 시장규모는 300억 달러가 넘을 것으로 예측하고 있다.

스마트조명 시장은 응용 유형에 따라 실내 및 실외 조명으로 나뉜다. [그림 1]은 MarketsandMarkets, AMR이 응용 유형에 따른 스마트조명 시장을 전망한 자료로, 두 기관 모두 실외 조명이 스마트시티 프로젝트에 힘입어 좀 더 높은 CAGR로 성장할 것으로 예측하고 있다. 실내 응용은 2019년 스마트조명 시장의 75%의 점유율을 차지했으며, 이 중 유럽이 약 36%



〈자료〉 MarketsandMarkets, "smart lighting market - global forecast to 2025," Jan. 2020.

(a) MarketsandMarkets



〈자료〉 Allied Market Research, "Smart Lighting Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026," Nov. 2019.

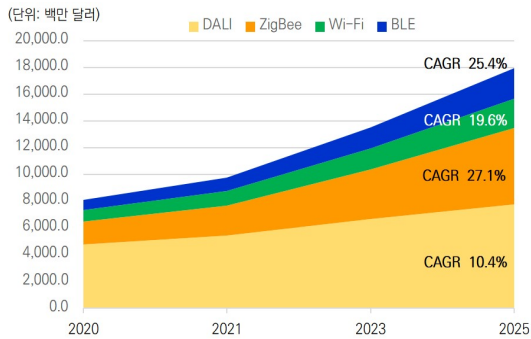
(b) Allied Market Research

[그림 1] 응용에 따른 스마트조명 세계 시장 전망

로 실내 응용 시장에서 가장 큰 점유율을 차지하였다. 실내 응용 부문에는 주거용, 상업용, 산업용과 기타로 세분화될 수 있는데, 주거용을 위한 스마트조명 솔루션은 에너지 효율적인 솔루션에 대한 인식 증가 및 정부 정책으로 인해 높은 성장률을 보일 것으로 예상되나 높은 비용은 주거용 스마트조명 시장의 성장을 저해하고 있다. 중국 및 인도와 같은 신흥 국가에서 스마트조명 솔루션에 대한 수요 증가로 인해 상업용 응용 스마트조명 시장은 예측 기간 동안 가장 높은 CAGR로 성장할 것으로 예상된다. 실외 응용에는 고속도로, 도로, 교량 및 터널용 조명, 공공장소의 조명 및 건축 조명 등이 포함된다. 고속도로 및 도로 조명 응용 부문은 스마트조명 제어 솔루션의 설치 및 사용을 장려하는 정부 지원 및 보조금으로 인해 실외 응용에서 가장 큰 시장점유율을 차지하고 있다.

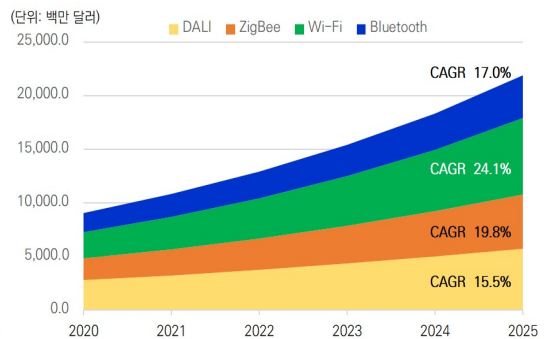
유·무선 통신 기술에 따른 스마트조명 시장은 DALI, PLC, 지그비, 와이파이, 블루투스 등으로 분류된다. 유선 통신 기술은 안정성과 성능, 향상된 제어 기능 등으로 현재 높은 점유율을 차지하고 있으나, 특히 상업 환경에서 높은 비용을 요구하는 배선 및 설치 비용으로 해당 시장이 무선 기술 시장에 비해 낮은 CAGR를 가질 것으로 예측된다.

무선 통신 기술은 아직 채택 초기 단계에 있지만 배선이 필요 없고 더 많은 모니터링 및 제어 지점을 구동할 수 있기 때문에 유선 통신 기술보다 높은 성장률을 가질 것으로 기대되고 있다. 스마트조명을 위한 가장 일반적인 무선 기술에는 지그비, 와이파이, 블루투스, 6LoWPAN, EnOcean 등이 있다. 지그비와 와이파이는 무선 통신 기술 시장에서 현재 가장



〈자료〉 MarketsandMarkets, "smart lighting market - global forecast to 2025," Jan. 2020.

(a) MarketsandMarkets



〈자료〉 Allied Market Research, "Smart Lighting Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026," Nov. 2019.

(b) Allied Market Research

[그림 2] 유·무선 통신에서의 스마트조명 세계 시장 전망

많은 점유율을 차지하고 있는 무선 네트워크 프로토콜이다. [그림 2]를 살펴보면, 전반적으로 스마트조명에 대해 크게 다르지 않게 전망하던 두 시장조사전문기관인 MarketsandMarkets와 AMR은 무선 통신 기술 시장에 대해서는 확실히 다른 전망을 보이고 있다. MarketsandMarkets는 지그비와 블루투스 통신 시장이 크게 성장할 것으로 전망한 반면 와이파이 시장은 이 두 가지 통신 시장보다 작게 성장할 것으로 예측하였다. 한편, AMR은 MarketsandMarkets와는 정반대로 와이파이 시장이 가장 크게 성장하고, 그 뒤를 지그비, 블루투스 통신이 따를 것으로 예측하였다.

스마트조명 시장의 성장을 이끄는 중요한 요인으로는 전 세계 소비자와 정부의 에너지 절약에 대한 인식 증가로 인한 에너지 효율적인 조명 시스템에 대한 요구 증가, 조명 솔루션과 스마트 장치의 통합에 필요한 무선 기술의 발전, IoT 및 AI 기술의 발전, 개발도상국의 스마트시티로의 발전 증가에 따른 지능형 가로등 시스템에 대한 수요 증가, LED의 높은 보급률 및 비용 감소 등을 들 수 있다. 반면에 스마트조명 시장의 성장을 제한하는 중요 요인으로는 높은 초기 구축 비용과 유지보수 비용, 상호운용성 등을 꼽을 수 있다. 이 외에도 연결된 스마트조명 시스템의 보안 및 개인 정보 보호 문제 등이 시장의 성장을 저해하는 요인으로 꼽을 수 있다.

2. 스마트조명 연구개발 동향

스마트조명 주요 최신 기술 동향은 크게 네트워크로 연결된 조명 제어, 무선 조명의 확대, 데이터 생성 및 분석, AI 기반 조명 제어 시스템으로 나누어 살펴 볼 수 있다. 네트워크 조명 제어를 지원하는 스마트조명 기술은 에너지 효율적이고, 비용 효율적인 고급 솔루션 제공이 가능하므로 유틸리티 및 에너지 효율성 회사는 네트워크로 연결된 조명 제어 채택에 초점을 맞추고 있으며, 미국 DOE는 네트워크로 연결된 조명 컨트롤러의 사용을 촉진하고 에너지 효율성을 보장하기 위해 여러 산업과 긴밀하게 협력하고 있다[4]. 네트워크로 연결된 조명은 이더넷, 달리(Digital Addressable Lighting Interface: DALI), 전력선통신(Power Line Communication: PLC), 지그비, 와이파이, 블루투스 등 다양한 유형의 유·무선 통신 기술 프로토콜을 사용한다. 무선 조명은 무선 기술의 도입과 기술 발전으로 유선의 사용을 최소화하여 유지 보수 비용이 절감되며 실내외 응용 분야에 편의성을 제공함에 따라 기술 채택이 증가하고 있다. 특히, 조명, 센서, 제어기가 통합된 무선 조명은 제어 패널과 같은

중양집중식 장비의 필요성을 잠재적으로 제거하면서 배선을 줄일 수 있으므로 신규 및 기존에 설치된 조명 교체에 모두 적용할 수 있는 장점을 지닌다. 네트워크로 조명이 더 많이 연결되면 등기구에 내장된 센서 또는 독립 센서를 통해 온·습도, 재실 여부 및 환경 매개변수와 관련된 기타 데이터와 같은 다양한 데이터를 수집할 수 있으며, 또한 자원과 프로세스를 최적화하고 생산성 향상을 제공하며 새로운 수익원을 창출하는 기능이 데이터 생성과 분석을 통해 가능해질 것이다. 네트워크로 연결된 스마트조명 시스템의 데이터로 이를 수 있는 서비스의 가치는 센서, 네트워크 인터페이스 및 기타 추가 구성 요소의 증가 비용을 상쇄할 수 있을 것으로 예상된다. 수집된 데이터의 분석과 AI 기술을 이용하여 현재 공간의 상황과 사용자의 패턴 인지, 예측 등을 제공하여 에너지 소비를 최적화할 수 있으며, 상황에 알맞은 조명을 사용하고 조명의 밝기와 색온도를 변화시켜 기억력, 집중력을 증가시켜 생산성을 높일 수 있는 등 조명 및 건축 환경에 대해 인간 중심 접근 방식으로 서비스를 지원할 수 있다. AI 기술이 스마트조명 시스템에 가미됨으로써 지능형 스마트 솔루션 및 서비스 개발이 가속화될 전망이다.

스마트조명 시장에서 1위를 차지하고 있는 시그니파이는 조명을 네트워크, 소프트웨어, 클라우드 컴퓨터에 연결하여 빛 이상의 가치를 전달하고 데이터를 분석하여 부가가치를 제공하는 솔루션 기업으로 거듭나고 있다. Interact라는 IoT 플랫폼을 이용하여 세계 각 곳에 설치된 조명을 연결하고, 이를 통해 새로운 부가가치를 창출하는 것이 시그니파이의 지향점이다. 2위인 프랑스의 르그랑은 전기 및 디지털 건물 인프라의 글로벌 전문가로, 다양한 응용 분야에 적합한 통합 조명 제어 시스템의 강력한 제품 포트폴리오를 갖추는 한편, 연결 장치 프로그램인 Eliot을 통해 수백만 르그랑 사용자를 연결하여 이를 통해 미래 서비스를 준비하고 있다.

국내에서는 ETRI가 ‘시스템조명 사업’을 통해 빌딩에서의 무선으로 연결된 스마트조명을 선보였으며, 2021년에는 open API를 지원하는 유·무선 스마트조명 플랫폼을 개발하여 4개 공간(주거/상업/산업/실외)에 대해 테스트베드와 리빙랩 실증을 진행 중이다. 향후 리빙랩 실증에서 발생하는 대량의 데이터를 분석하여 각 공간에 적절한 AI 모델링을 수행하여 에너지 절감 서비스를 지원할 예정이다.

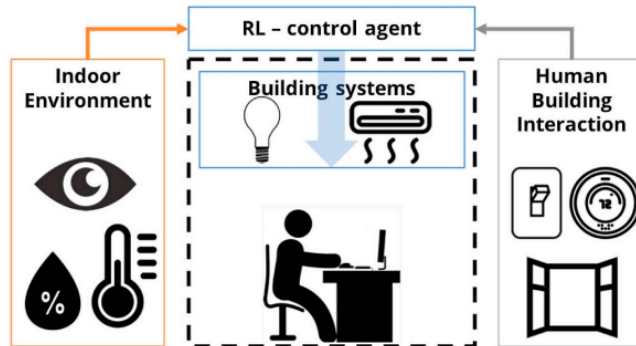
III. 지능형 스마트조명 기술 동향

1. 스마트조명 AI 기술 동향

인간 중심 조명은 일조, 시간, 날씨와 같은 환경적 요인뿐만 아니라 사용자 행동, 감정과 같은 개인적 요인도 고려해야 하며, 시각적, 감성적 측면에서 사용자에게 최적화된 조명 환경을 제공해야 한다. 그러나 사용자마다 편안함과 쾌적함을 느끼는 조명 조건이 다르기 때문에 사용자 피드백 데이터를 기반으로 맞춤형 조명 환경을 제공하는 것이 사용자 만족도를 높이는데 중요하다.

최근 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 사용자 피드백 및 센서 데이터 분석을 통한 AI 기반의 스마트조명 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 강화학습 기술은 에이전트가 스마트조명 환경과 상호작용하여 에너지 절감과 사용자 편의성을 향상시키는 방향으로 진화하여 상황에 따른 최적 조명 제어를 가능하게 한다. 일반적으로, 강화학습 에이전트는 환경 정보를 입력받아 보상 함수를 기반으로 행동을 취하는데, 스마트조명 시스템에서의 에이전트는 전술한 스마트조명의 목적에 부합하도록 조명의 온/오프를 제어하거나 밝기를 조절한다. 스마트조명 환경 정보는 센서 데이터와 사용자 데이터로 구분할 수 있다. 센서 데이터는 밝기 정도를 가늠하기 위한 조도 데이터와 재질 감지를 위한 PIR, CO2 데이터 등이 있다. 반면, 사용자 데이터로는 사용자가 느끼는 밝기 정도를 어두움, 적정함, 밝음 등으로 표현한 카테고리형 데이터, 혹은 단말을 통해 입력된 디밍 레벨 데이터 등이 있다. 이와 같은 데이터는 스마트조명이 설치된 환경의 여러 요인에 의해 동적인 특성을 지니고 있어 에이전트가 일정 시간 단위로 환경 데이터를 입력받아 지속적으로 데이터를 학습해야 하며, 누적된 데이터를 기반으로 사용자가 편안함을 느낄 수 있도록 적절한 조명 제어를 수행해야 한다.

이러한 관점에서 일부 연구들은 에너지를 절감하고 사용자 편의성을 제공하기 위해 Q-learning 알고리즘 기반 강화학습 모델을 이용한 빌딩 조명 제어 기술을 소개하였다 [5]-[7]. Q-learning 알고리즘은 행동가치 정도를 나타내는 Q-value를 기반으로 주어진 상태에서 어떤 행동을 취하는 것이 미래 보상을 가장 높여줄 것인지에 대한 정책 데이터를 지속적으로 업데이트하는 알고리즘이다. [그림 3]과 같이 재질 여부, 스위치 상태, 사용자가



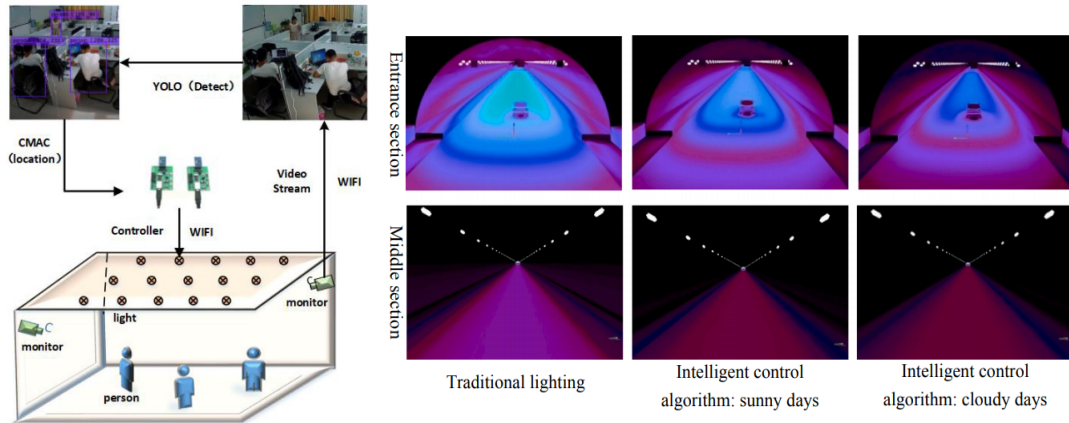
(자료) LightLearn: An adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning, Building and Environment, 2019.

[그림 3] 강화학습 기반 빌딩 조명 제어 프레임워크

느끼는 밝기 정도, 조도, 디밍 레벨, 시간 영역 데이터 등 환경 정보를 기반으로 보상 함수를 설정하고, Q-learning 알고리즘을 통해 상황에 따라 조명 온/오프 제어, 밝기 조절 기능을 지원한다.

한편, 딥러닝 기술을 이용한 객체 검출 및 시계열 데이터 분석을 통한 조명 제어에 관한 연구도 진행되고 있다. 스마트조명 분야에 적용되는 딥러닝 기술은 강화학습과는 달리 사용자 피드백 데이터 없이 이미지 데이터나 센서 데이터를 중심으로 학습을 수행한다. 따라서 사용자 만족도에 중점을 둔 서비스보다는 에너지 절감을 목적으로 갖는 서비스를 주요 타겟으로 한다. [그림 4]의 좌측 그림과 같이 객체 검출 기술을 통해 사람 이미지를 검출하여 사람이 위치한 공간에 따른 조명을 제어하거나, 사람의 행동을 인식하여 행동에 맞추는 조명 제어 기술이 연구되었다[8]-[10]. 객체 검출 기술로서 You Only Look Once(YOLO), AlexNet, CaffeRef와 같이 다른 분야에서 널리 사용되는 기술을 스마트조명 서비스에 적용하였으며, Cerebellar Model Articulation Controller(CMAC)와 같은 측위 기술과 결합한 형태의 연구도 진행되었다.

시계열 데이터 분석을 통한 조명 제어 기술은 동적인 환경 변화를 예측하여 지능형 스마트 조명 서비스에 활용된다. 딥러닝 기술을 접목한 터널 조명 제어 연구[11]에서는, 교통 흐름 및 속도, 터널 외부 휘도 등 터널 환경 데이터를 분석하여 터널 입구 및 중앙부 휘도 예측 데이터를 산출하고, 이를 기반으로 터널 조명을 제어함으로써 기존 스케줄 방식에 비해 에너지 절감 효과를 보인다[11]. [그림 4]의 우측 그림은 기존 터널 조명 제어 기술과 딥러닝



〈자료〉 Posting techniques in indoor environments based on deep learning for intelligent building lighting system, IEEE Access, 2020(좌), Intelligent control and energy saving evaluation of highway tunnel lighting: Based on three-dimensional simulation and long short-term memory optimization algorithm, Tunnel and Underground Space Technology, 2021(우).

[그림 4] 딥러닝 기반 스마트조명 제어 사례

기반 터널 조명 제어 기술을 적용했을 때 터널 입구부 및 중앙부 휘도를 시각화한 것으로서, 딥러닝 기술 적용시 휘도 값이 감소하여 에너지 절감률을 향상시킴을 나타낸다. 그 외에도, 재질 여부를 예측하여 조명 제어의 정밀도를 향상시키는 딥러닝 기술이 연구되면서 PIR 센서의 오동작을 보완한 사례도 소개되었다[12].

2. 지능형 스마트조명 테스트베드 기반 연구 동향

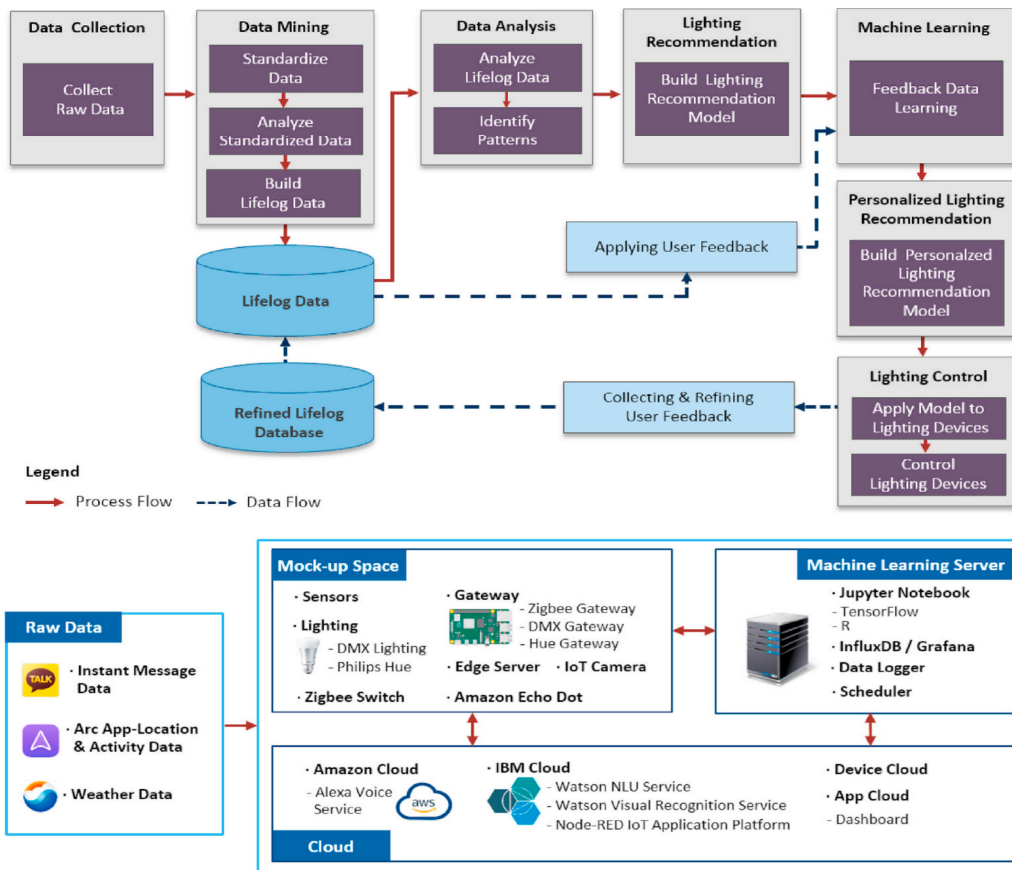
현재 스마트조명 시장에서 인공지능 기술을 활용하여 스마트조명을 제어하고 활용하는 사례는 많지 않지만, 다양한 분야에서 테스트베드 또는 실증 환경에서 검증을 진행하고 있다. 이번 절에서는 테스트베드 환경(주거, 실외, 사무실, 교실)에서 시나리오에 따라 AI 기술이 접목된 지능형 스마트조명 관련 연구 동향을 소개한다.

가. 라이프 로그 기반 스마트조명 제어 플랫폼

[그림 5]는 일상생활에서 발생하는 사용자의 라이프 로그(주변 환경, 운동량, 감정, 생체 정보 등)를 활용하여 개인별 특성에 맞는 조명 제어 시스템에 대한 플랫폼을 나타낸다[13]. 라이프 로그를 수집하여 분석하고, 라이프 로그 기반의 스마트조명 제어에 필요한 센서, 조

명 제어기, 제어 인터페이스를 테스트베드 공간에 설치하고 머신러닝 서버를 구축하였다. 또한, 기기들은 클라우드 환경에 연결되어 최적의 조명 제어 환경을 위한 플랫폼을 구축하였다.

[그림 5]의 흐름도는 전체적인 데이터의 흐름과 조명 제어의 흐름을 보여준다. 스마트폰이나 웨어러블 기기 등 다양한 센서로부터 사용자의 상황과 주변 환경에 대한 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장하고, 서로 다른 형식으로 존재하는 데이터를 표준화하여 머신러닝에 적합한 형태로 변환하고 의미 있는 데이터를 추출한다. 다음으로 실내외 환경과 생리 및 심리정보를 분류, 비교, 대조 분석하여 사용자의 행동 패턴, 감정 상태, 조명사용 패턴을 파악한다. 사용자 라이프 로그 분석 결과를 바탕으로 조명 환경 모델을 구축하고 구축된



〈자료〉 Y. Cho, J. Seo, H. Lee, S. Choi, A. Choi, M. Sung, and Y.Hur, "Platform Design for Lifelog-based Smart Lighting Control," Building and Environment, Vol.185, 2020.

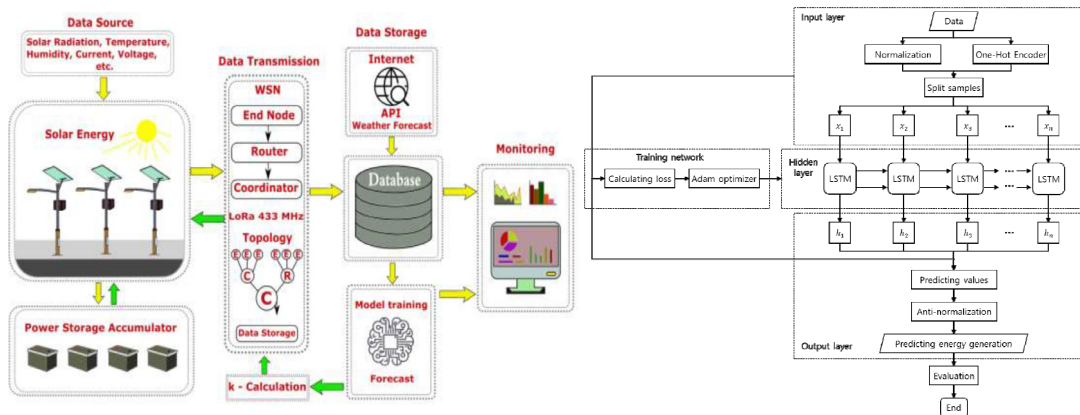
[그림 5] 라이프 로그 기반 스마트조명 제어 시스템과 플랫폼 구성도

조명 환경 모델에 대한 사용자의 반응을 수집하고 머신러닝을 적용하여 피드백 데이터를 학습한다. 머신러닝이 완료되면 그 결과를 서버에 실시간으로 저장하고, 추가로 학습된 정보를 기존 모델에 적용하여 새로운 조명 환경 추천 모델을 구축한다. 이러한 과정을 지속적으로 반복하여 조명 환경 추천 모델의 정확도를 높이고 정교한 추천 모델을 구축한다.

나. LSTM을 활용한 기상 예측을 통한 지능형 자율 가로등 시스템

[그림 6]의 왼쪽 그림은 Long Short-Term Memory(LSTM) 모델을 활용한 기상 예측을 통해 수집되는 태양광 전력량을 예측하여 가로등의 조도를 자율적으로 조절하는 스마트 가로등에 대한 구조도이다[14]. 태양광을 통해 운영되는 가로등은 기상정보를 활용하여 LSTM 모델을 통해 5일 간 태양광의 전력 생산량을 예측하여 지능적으로 가로등의 조도를 조절하는 시스템이다. [그림 6]의 오른쪽 그림은 전체적인 LSTM 기반 태양광 패널 에너지 생산량 예측 구조로서 총 11개의 특성을 시계열 데이터로 입력받아 하루 동안 생산되는 태양광 에너지를 예측한다. 실제로 태양광 패널과 센서를 설치하여 가로등의 데이터를 수집하고, 외부 API를 통한 기상청 데이터를 수집하여 태양광 에너지 생산량을 예측하였다.

해당 연구는 현재 상황에 맞는 디밍 레벨 제어 방식이 아닌 정적인 디밍 레벨 제어 방식을 사용하고, 사람이나 자동차와 같은 동작 감지를 고려하지 않고 오직 잔여 에너지량과 에너지 생산량을 기반으로 가로등의 디밍 레벨을 조절한다. 그리고, 테스트베드 환경에서 가로등과



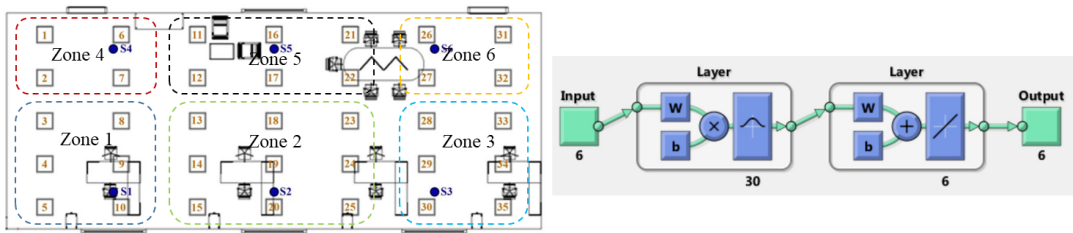
<자료> D. Tukymbekov, A. Saymbetov, M. Nurgaliyev, N. Kuttybay, G. Dosymbetova, and Y. Svanbayev, "Intelligent autonomous street lighting system based on weather forecast using LSTM," in Energy, Vol.231, No.15, 2021.

[그림 6] 지능형 가로등 구조 및 LSTM 기반 태양광 패널 에너지 생산량 예측 구조

주변 센서를 설치하여 데이터를 수집하고 제어를 수행했지만 실제 도로의 가로등 환경에서의 적용이 미흡하였다. 이러한 보완 사항들이 존재하기는 하나, 자율적인 지능형 스마트조명에 관한 연구가 초기 상태인 만큼 향후 연구하면서 참고자료로 활용될 수 있다.

다. 사무 공간의 에너지 절약을 위한 지능형 스마트조명 제어 시스템

다음은 사무 공간 환경에서 평균 조도를 유지하면서 에너지 절약을 위한 디밍 제어 시스템에 관한 연구이다[15]. 해당 연구에서는 인공신경망(Artificial Neural Networks: ANN)을 활용하여 지능적 조명 제어 시스템을 제안하였다. [그림 7]과 같이 사무 공간을 DIALux 시뮬레이터를 통해 같은 환경으로 모델링을 한 뒤 시뮬레이션을 진행하였다. 사무 공간에 총 35개의 LED 조명을 설치하고, 사무 공간을 각 존(Zone)으로 구분하여 존마다 조도 센서(S_1, \dots, S_6)를 설치하여 평균 조도를 측정했다.



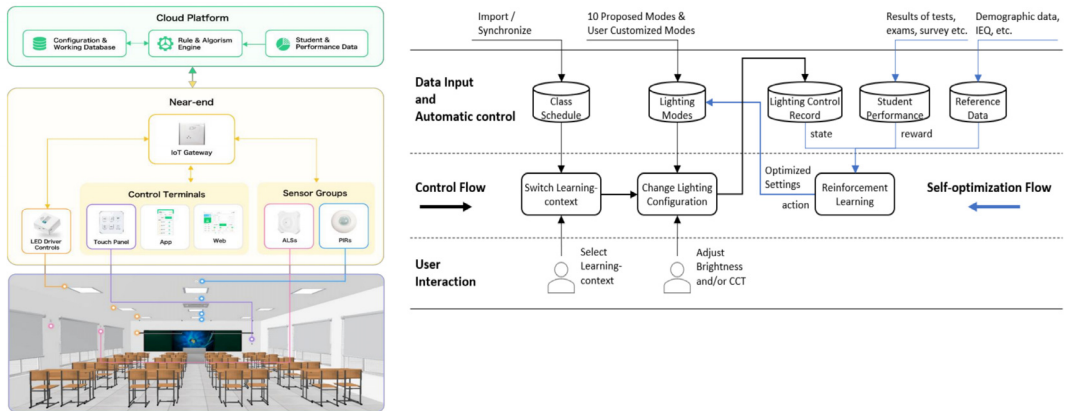
(자료) K. R. Wagiman, and M. N. Abdullah, "Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building," in Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol.11, No.1, 2018.

[그림 7] 지능형 스마트조명 제어 시스템의 오피스 공간 구조 및 인공신경망 구조

European Standard EN12464-1의 표준에 상응하는 최소한으로 요구하는 조도 레벨을 기반으로 스마트조명의 디밍 레벨을 설정하도록 인공신경망 구조를 학습한다. 제안된 인공신경망 구조는 향후 딥러닝 모델로 변환하여 더 복잡하고 다양한 환경에서 시뮬레이션을 응용하는 것이 가능하고, 다양한 제약 조건과 목적함수 변화를 통해서 에너지 효율과 사용자 만족도를 동시에 고려할 수 있는 시스템으로서 활용할 수 있다.

라. 교실학습 환경 인지 기반 스마트조명 시스템

교실의 학습 환경을 인지하여 자율적으로 조명 상태를 변화시키는 스마트조명 시스템을 개발하고 이를 실제 교실에 적용하여 검증한 사례에 대해 살펴본다[16]. [그림 8]은 학습



〈자료〉 B. Sun, Q. Zhang, and S. Cao, "Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom", International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol.17, No.4, 2020.

[그림 8] 교실학습 환경 인지를 통한 스마트조명 시스템 구조도 및 자가 최적화 순서도

환경에 따라 자가 최적화를 위한 스마트조명 구조도로서, 제어 흐름도와 자가 최적화 흐름도로 나누어진다. 수업 일정 또는 사용자가 수업 형태를 입력하게 되면 수업 환경에 따라 조명이 바뀌게 되고 일정에 따라 학습 환경이 변경되거나 사용자가 조도값과 색온도를 변경하면 교실의 조명 상태가 변경된다. 조명 트랙 레코드와 사용자 입력과 다양한 데이터들을 강화학습에 적용하여 각 학습 환경에 최적화할 수 있는 조도값과 색온도 값이 결정된다. 해당 연구는 에너지 측면보다는 사용자의 만족도를 최우선으로 끌어올리기 위한 연구이지만 향후 사용자의 만족도와 에너지를 동시에 고려한 복합적인 시스템 모델로 구성하여 자율적인 지능형 스마트조명 시스템 개발에 활용이 가능하다.

IV. 결론

본 고에서는 스마트조명 시장의 주요 동향과 스마트조명 시스템에 적용된 AI 기술 연구 동향에 대해 살펴보았다. 탄소중립 달성을 위한 주요 전략 중 하나인 에너지 소비 절감을 위한 에너지 효율적인 솔루션에 대한 수요 증가로 주거용, 상업용 응용 스마트조명 시장과 스마트시티 프로젝트에 힘입은 실외 스마트조명 시장은 높은 성장세를 보일 것이다. 초창기 시장에서는 스마트조명 제품이 LED조명보다 훨씬 높은 비용을 지불해야 하므로 시장 성장

에 장애 요소가 되겠지만 인간 중심의 지능형 서비스가 결합되어 편리하고 에너지 절감도 되는 제품을 사용자가 경험해 본다면 스마트조명 그 이전의 상황으로 돌아가는 것은 쉽지 않기 때문에 지능형 스마트조명 시장이 서서히 확대될 것으로 기대한다. 또한, 시장 확대를 좀 더 앞당기기 위해서는 스마트조명 시장의 성장을 제한하는 요소 중 하나인 상호운용성 등을 해결하기 위해 스마트조명의 표준화가 시급히 필요한 시점이다.

스마트조명 제품들은 인공지능이 접목되어 생활패턴, 주변 상황 등 사용자 환경에 맞춰 조명의 밝기와 색온도, 색상 등이 자동으로 조정되고, 에너지 절감 및 인간의 시각적 편안함 뿐만 아니라 인간의 신체 리듬을 최적화시킬 수 있는 인간중심조명 제품으로 진화할 것이다. 이를 위해서는 스마트조명의 응용 공간(주거, 상업, 산업, 실외 등)에서 수집된 빅데이터를 분석하고, 각 응용 공간 환경 및 목표에 따른 적절한 레퍼런스 학습 모델을 개발하여 이를 다양한 응용 공간의 실제 리빙랩 환경에서 실증하여 검증하는 작업이 반드시 필요하다. 이러한 실증을 통해 검증된 AI 기반 스마트조명 시스템은 다양한 부가가치가 접목된 스마트 솔루션 및 서비스 개발을 가속화하여 시장이 더욱 활성화될 것으로 기대한다.

● 참고문헌

- [1] Global Lighting Association, "Strategic roadmap of the global lighting industry," 2017.
- [2] MarketsandMarkets, "Smart lighting market - global forecast to 2025," Jan. 2020.
- [3] Allied Market Research, "Smart lighting market - global opportunity analysis and industry forecast, 2019-2026," Nov. 2019.
- [4] DOE BTO Lighting R&D Program, "2019 Lighting R&D Opportunities," Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, Jan. 2020.
- [5] J.Park, T.Dougherty, H.Fritz, Z.Nagy, "LightLearn: An adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning," Building and Environment, Vol.147, 2019, pp.397-414.
- [6] Z.Cheng, Q.Zhao, F.Wang, Y.Jiang, L.Xia, J.Ding, "Satisfaction based Q-learning for integrated lighting and blind control," Energy and Buildings, Vol.127, 2016, pp.43-55.
- [7] X.Pan, B.Lee, "An approach of reinforcement learning based lighting control for demand response," PCIM Europe, 2016, pp.558-565.
- [8] X.Lin, P.Duan, Y.Zheng, W.Cai, X.Zhang, "Posting techniques in indoor environments based on deep learning for intelligent building lighting system," IEEE Access, vol.8, 2020, pp.13674-13682.
- [9] J.Baek, Y.Choi, J.Lee, K.Lim, "Edge camera based dynamic lighting control system for smart streetlights," ICAIIC, 2020, pp.732-734.

-
- [10] A.Paulauskaite, A.Stuliene, E.Kazanavicius, "Intelligent lighting control providing semi-autonomous assistance," ELEKTRONICK IR ELEKTROTECHNIKA, Vol.23, No.2, 2017, pp.68-73.
- [11] J.Zhao, Y.Feng, C.Yang, "Intelligent control and energy saving evaluation of highway tunnel lighting: Based on three-dimensional simulation and long short-term memory optimization algorithm," Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.109, 2021, pp.1-13.
- [12] Y.Jun, D.Yan, X.Zhang, J.An, M.Han, "A data-driven model predictive control for lighting system based on historical occupancy in an office building: Methodology development," Building Simulation, Vol.14, 2021, 219-235.
- [13] Y. Cho, J. Seo, H. Lee, S. Choi, A. Choi, M. Sung, and Y.Hur, "Platform Design for Lifelog-based Smart Lighting Control," Elsevier in Building and Environment, Vol.185, 2020.
- [14] D. Tukymbekov, A. Saymbetov, M. Nurgaliyev, N. Kutybay, G. Dosymbetova, and Y. Svanbayev, "Intelligent autonomous street lighting system based on weather forecast using LSTM," Elsevier in Energy, Vol.231, No.15, 2021.
- [15] K. R. Wagiman, and M. N. Abdullah, "Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building," in Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol.11, No.1, 2018.
- [16] B. Sun, Q. Zhang, and S. Cao, "Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom", International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol.17, No.4, 2020.