

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.2.157>

JIIBC 2023-2-20

태양광발전장치의 낙뢰보호 시스템

Lightning Protection System of Solar Power Generation Device

윤용호*

Yongho Yoon*

요약 태양광발전 설비의 고장 증 서지에 의한 고장이 전체 고장률의 20% 차지하고 있으며 발전 중 수십에서 수백 [A]의 에너지 방출과 인버터, 접속반 등의 전기적 손상은 전기안전사고로 이어지고 있다. 특히 낙뢰의 경우 전기회로에 이상 전압이 유기되어 절연을 파괴할 뿐만 아니라 이때 흐르는 전류는 화재의 원인이 되고 부품의 열화를 촉진하는 요인으로 작용한다. 이러한 작용으로 도심 밖에서 주택, 아파트, 관공서 등의 도심 내부로 확산하고 있는 태양광 발전장치의 전기 안전 문제가 대두되고 있다. 낙뢰는 필드 기반 및 전도성 전기 간섭을 유발하기에 이 효과는 케이블 길이 또는 도체 루프 증가와 관련하여 증가한다. 또한 서지는 태양광 모듈, 인버터 및 모니터링장치뿐만 아니라 건물 설비의 장치도 손상하기에 최종적으로는 태양광발전시스템의 화재로 인한 운영 중단과 이에 따른 재정손실을 유발하게 시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 태양광발전시스템의 낙뢰발생으로 인한 화재 및 전기안전사고 증가로 인하여 재산피해 및 인명피해를 줄일 수 있는 목적으로 태양광발전장치의 낙뢰보호 시스템을 연구하고자 한다.

Abstract Among the failures of photovoltaic power generation facilities, failures caused by surges account for 20% of the total failure rate, and energy emissions of tens to hundreds [A] during power generation and electrical damage to inverters and connection boards lead to electrical safety accidents. In particular, in the case of lightning, an abnormal voltage is induced in an electric circuit to destroy insulation, and the current flowing at this time causes a fire and acts as a factor that accelerates the deterioration of parts. Due to this action, the problem of electrical safety of solar power generation devices spreading from outside the city center to the inside of the city center such as houses, apartments, and government offices is emerging. Since lightning strikes cause both field-based and conducted electrical interference, this effect increases with increasing cable length or conductor loops. In addition, surge damages not only solar modules, inverters and monitoring devices, but also building facilities, which can eventually cause operational shutdown due to fire of the photovoltaic power generation system and consequent financial loss. Therefore, in this paper, a lightning protection system for solar power generation devices is studied for the purpose of reducing property damage and human casualties due to the increase in fire and electrical safety accidents caused by lightning strikes in photovoltaic power generation systems.

Key Words : Photovoltaic Power Generation Facilities, Lightning Protection System, Electrical Safety Accidents

*정회원, 광주대학교 전기공학과
접수일자 2023년 3월 3일, 수정완료 2023년 3월 30일
게재확정일자 2023년 4월 7일

Received: 3 March, 2023 / Revised: 30 March, 2023 /

Accepted: 7 April, 2023

*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr

Department of Electrical Engineering, Gwangju University,
Gwangju, Korea

1. 서 론

지구 온난화에 의한 기상이변으로 소나기성 집중호우와 함께 낙뢰 발생 빈도와 이로 인한 낙뢰 피해가 그림 1과 같이 최근 10년간 증가하고 있는 추세이다¹⁾. 낙뢰의 경우 전기회로에 이상 전압이 유기되어 절연을 파괴할 뿐만 아니라 이때 흐르는 전류는 화재의 원인이 되고 부품의 열화를 촉진하는 요인으로 작용한다. 이러한 작용으로 도심 밖에서 주택, 아파트, 관공서 등의 도심 내부로 확산하고 있는 태양광 발전장치의 전기 안전 문제가 대두되고 있다²⁾.

태양광발전 설비의 고장 중 서지에 의한 고장이 전체 고장률의 20% 차지하고 있으며 발전 중 수십에서 수백 [A]의 에너지 방출과 인버터, 접속반 등의 전기적 손상은 전기안전사고로 이어지고 있다³⁾. 따라서 전기안전감시 및 낙뢰 대책 시스템을 통해, 전기안전사고 및 재산 피해 및 인명피해를 줄이며 재생에너지의 안전 불감증을 해소할 필요가 있다. 또한 태양광 및 에너지저장시스템(ESS)은 도심, 공원, 공장, 산림지역 등 인명피해로 이어질 수 있는 다양한 장소에 설치 운영되고 있어 자율적인 전기 안전 운영 시스템 도입이 필요하다.

본 논문에서는 태양광발전시스템의 낙뢰발생으로 인한 화재 및 전기안전사고 증가로 인하여 재산피해 및 인명피해를 줄일 수 있는 목적으로 태양광발전장치의 낙뢰 보호 시스템을 연구하고자 한다.



그림 1. 최근 10년간 낙뢰발생 현황 (출처 : 행정안전부)
Fig. 1. Current status of lightning strikes for the past 10 years

II. 낙뢰보호 시스템 필요성

현재 태양광발전시스템은 많은 곳에 설치되어 미래에 전기설비의 필수 부분이 될 것으로 보이지만 이러한 시

스템은 모든 기상조건에 노출되어 수십 년 동안 견뎌야 하는 환경을 가지고 있다.

특히 낙뢰는 필드 기반 및 전도성 전기 간섭을 유발하기에 이 효과는 케이블 길이 또는 도체 루프 증가와 관련하여 증가한다. 또한 서지는 태양광 모듈, 인버터 및 모니터링장치뿐만 아니라 건물 설비의 장치도 손상하기에 최종적으로는 태양광발전시스템의 화재로 인한 운영 중단과 이에 따른 재정손실을 유발하게 시킬 수 있다. 또한 독립형 태양광발전시스템은 전력망에서 멀리 떨어진 시스템에 서지가 주입되면 태양 전기로 구동되는 장비 (의료 장비, 상수도)의 작동이 중단될 수 있다.

번개 방전으로 방출되는 에너지는 화재의 가장 흔한 원인 중 하나이다. 따라서 태양광발전시스템에 직접 번개가 치는 경우 개인 및 화재 보호가 가장 중요하다. 일부 국가들의 건물 규정은 공공건물 (예 : 공공 집회 장소, 학교 및 병원)에 낙뢰 보호 시스템을 갖추도록 요구하고 있기에 태양광발전시스템 시스템의 설계 단계에서 낙뢰 보호 시스템 설치를 의무화하고 있다. 산업 또는 개인 건물의 경우 낙뢰 보호 시스템을 설치해야 하는지 여부는 위치, 건축 유형 및 활용도에 따라 다르지만 이를 위해 낙뢰가 예상되는지 또는 심각한 결과를 초래할 수 있는지를 결정해야 한다. 따라서 보호가 필요한 구조물에는 영구적으로 효과적인 낙뢰 보호 시스템이 제공되어야 한다.

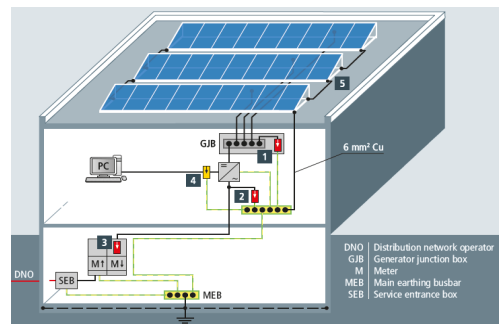


그림 2. 낙뢰보호 시스템이 없는 태양광발전시스템
Fig. 2. PV generation system without lightning protection system

그림 2는 외부 낙뢰보호 시스템이 없는 건물에 설치된 태양광발전시스템의 서지보호 개념을 보여주고 있다. 낙뢰로 인한 유도성 커플링으로 인해 태양광발전시스템에 위험한 서지가 유입되거나 전원공급시스템에서 SEB (Service Entrance Box) 입구를 통해 이동한다. 따라서 태양광인버터의 모든 DC 입력은 태양광발전시스템의 DC를 안정적으로 보호하기 위해 서지보호 장치를 설치

해야 한다. CENELEC CLC / TS 50539-12 규격에서는 태양광인버터 입력과 접속반 사이의 거리가 2m를 초과하는 경우 태양광모듈 측에 추가 DC 피뢰기를 설치하도록 규정하고 있다^[4].

그림 3은 낙뢰보호 시스템이 있고 태양광발전 시스템과 낙뢰보호 시스템 사이에 충분한 이격거리가있는 태양광발전시스템의 서지 보호 개념을 보여주고 있다. 낙뢰로 인한 인명 및 재산 피해 (건물 화재)를 방지해야 하며 이러한 맥락에서 태양광발전시스템이 낙뢰보호 시스템을 방해하지 않는 것이 중요하다. 또한 태양광발전시스템 자체는 직접적인 낙뢰로부터 보호되어야 하기 때문에 낙뢰보호 시스템의 설치가 필요하다^[5].

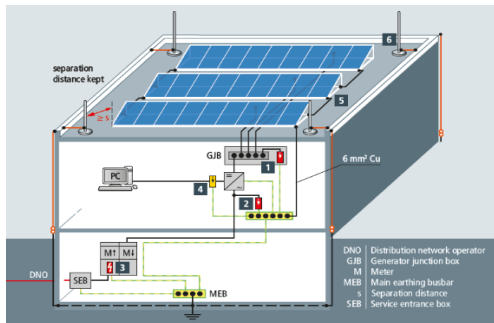


그림 3. 낙뢰보호 시스템이 있는 태양광발전시스템
 Fig. 3. PV generation system with lightning protection system

III. 해외 낙뢰보호기 동향

그림 4와 같이 외국의 여러 업체에서는 각기 다른 특성을 가진 낙뢰 감지장치를 개발해 양산·시판 중이며 다양한 가격대(\$20~\$1,500)에 따른 성능의 제품이 시장에 존재하고 있다. 미국의 EarthNetworks社は 낙뢰 경보 시스템을 개발하여 시판 중이며, 구름 사이에서 발생하는 낙뢰와 지면으로 방사되는 낙뢰를 검출하고, 기타의 신호와 구별하여 사용자에게 경고를 보내는 방식으로 그림 5에서 제품의 형상을 보여주고 있다^[6].

핀란드의 Vaisala社は Surge Protection Device와 각종 낙뢰 감지장비를 생산하며 그림 5와 같이 전 세계적 낙뢰 모니터링 데이터베이스를 구축하고 있다. 결과적으로 해외에서는 휴대할 수 있는 낙뢰 감지기부터 중대규모의 낙뢰 감지장비가 시스템에 통합되어 알람과 알람을 제공하는 서비스까지 비교적 다양한 낙뢰 관련 솔루션을 제공하고 있는 상황이다^[7].



그림 4. 해외 낙뢰 감지기 제품(시스템)
 Fig. 4. Overseas lightning detector product (system)



그림 5. EarthNetworks社의 낙뢰경보 시스템
 Fig. 5. Lightning warning system of EarthNetworks

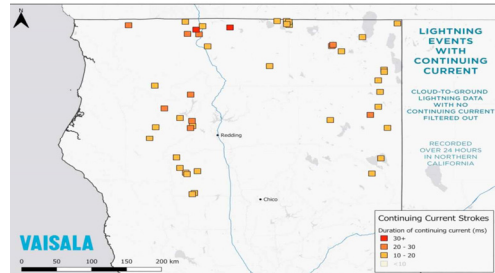


그림 6. Vaisala社의 낙뢰 모니터링 시스템
 Fig. 6. Vaisala's lightning monitoring system

IV. 낙뢰보호 시스템 설계

본 논문에서는 전기안전 감시 및 낙뢰대책 시스템을 통해 전기 안전사고 및 재산·인명피해를 줄일 수 있으며, 재생에너지의 안전 불감증을 해소할 수 있는 태양광 발전장치 낙뢰보호 시스템을 다음과 같이 설계하였다.

1. AMS社의 AS3935 Franklin 칩셋을 이용한 낙뢰센서모듈 개발

가. 500kHz ~ 2MHz 응답회로 개발

- 낙뢰 전파 감지를 위한 페라이트 500kHz ~ 2MHz 안테나를 적용한 RF LC 공진회로 최적화^[8] (그림 7)

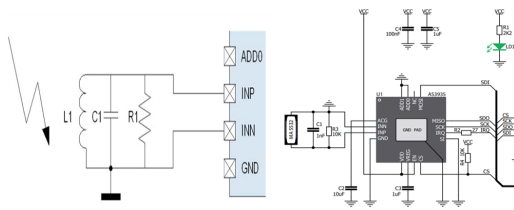


그림 7. Self Resonance on inductors 및 주변회로
Fig. 7. Self resonance on inductors and peripheral circuits

나. 노이즈 대응 전원부 및 Ground 이격 설계 및 오동작 방지를 위한 전원안정화 설계

낙뢰센서 AS3935를 이용시 전원부와 접지(ground) 이격과 노이즈로 인한 오동작 방지를 위하여 전원부의 voltage regulator를 그림 8과 같이 설계하였다^[9].

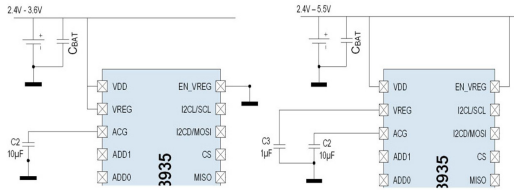


그림 8. 전원 안정화 설계
Fig. 8. Power stabilization design

나. I2C 통신 포트를 통한 상태정보 통신연계 및 낙뢰 정보 전달 프로토콜

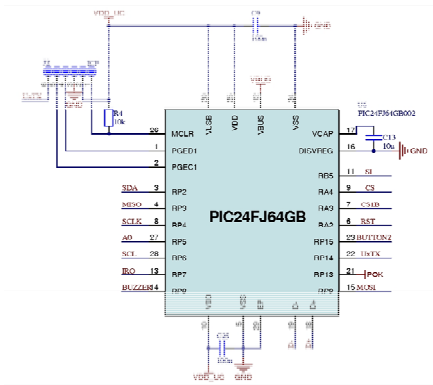


그림 9. 낙뢰 상태정보 통신연계 및 전달 프로토콜
Fig. 9. Lightning status information communication connection and transmission protocol

낙뢰센서모듈 개발과 관련하여 상위 시스템과의 통신을 통한 낙뢰정보에 대한 상태정보 전송, 데이터 저장을 통한 분석을 수행하기 위해 그림 9와 같이 PIC24FJ64GB를

이용하여 주변회로를 다음의 내용으로 설계하였다.

- 낙뢰 강도, 거리, 신뢰도 정보 전달을 위한 최적 알고리즘 구현
- RF 성분 Data를 통한 낙뢰 Tag list 분석
- I2C통신 포트 및 IRQ제어를 통한 연계
- ESP32 32bit MCU 또는 레퍼런스 라즈베리 연계

2. 전로 관리 시스템 개발

기존 건물이나 태양광발전 설비에서는 피뢰침, 서지보호장치(SPD, Surge Protection Device), 피뢰소자 설치 등으로 낙뢰 보호시스템을 구성하고 있지만 전로관리를 통한 태양광발전시스템을 보호하는 구성은 이루어지지 않고 있다. 따라서 MCCB 직접 제어 이외의 전로 관리 기법에 대한 연구 및 설계를 다음의 내용으로 정리할 수 있다.

가. ESP32기반 SPI 통신연계 전로 관리 제어기 모듈 설계

- IoT ESP32 기반 MCCB제어 메인부
- MCCB의 on, off, float 상태 감지를 위한 직렬 릴레이부 구성 및 신호 인식 구현 (그림 10)

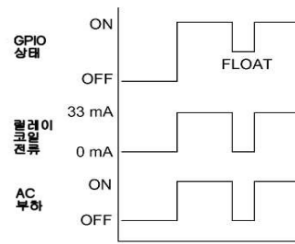


그림 10. 전로 관리를 위한 직렬 릴레이부 신호
Fig. 10. Serial relay signal for circuit management

나. 낙뢰정보를 이용한 전로관리시스템 제어알고리즘

AMS 社의 AS3935 Franklin 칩셋을 이용한 낙뢰센서모듈을 이용하여 낙뢰에 대한 발생 강도, 거리등의 정보를 감지한 낙뢰 위험도 지수화에 따른 태양광설비 전로 분리 on/off제어를 할 수 있도록 그림 11과 같이 제어알고리즘을 구성하였다.

- 낙뢰로부터 태양광발전시스템 보호를 위하여, 500ms 이내 낙뢰 신호 분석 및 제어
- 낙뢰 발생 후 1초 이내에 고 에너지 펄드가 형성됨

을 고려한 500ms 이내 낙뢰 신호 분석 및 전로 분리 제어

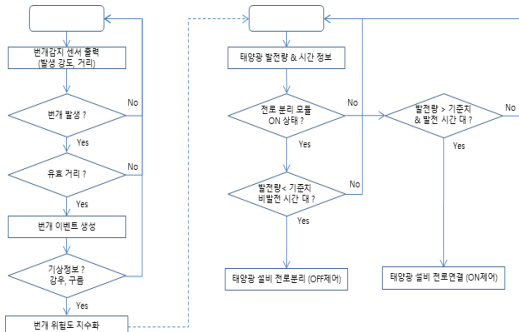


그림 11. 낙뢰 피해 예방을 위한 전로관리시스템 제어 흐름도
 Fig. 11. Control flow chart of circuit management system for lightning damage prevention

3. 낙뢰 시뮬레이터 개발

해의 낙뢰 시뮬레이터의 방전 근거리, 중거리, 장거리 신호분석을 기반으로 신호분석 및 낙뢰 감지를 평가하기 위해 낙뢰 시뮬레이터를 개발하였으며 다음의 내용으로 정리 할 수 있다.

가. ~10km 근거리 낙뢰 신호

- 메인신호 및 반송파를 포함한 5X 패턴 낙뢰 신호
- 1차 및 각차 낙뢰신호 발생시간 : 약 900us
-

나. 10~20km 중거리 낙뢰 신호

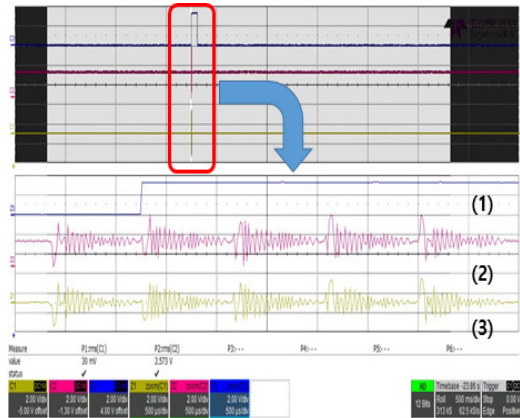
- 메인신호 및 반송파를 포함한 3X 패턴 낙뢰 신호
- 1차 및 각차 낙뢰신호 발생시간 : 약 900us

V. 실험결과

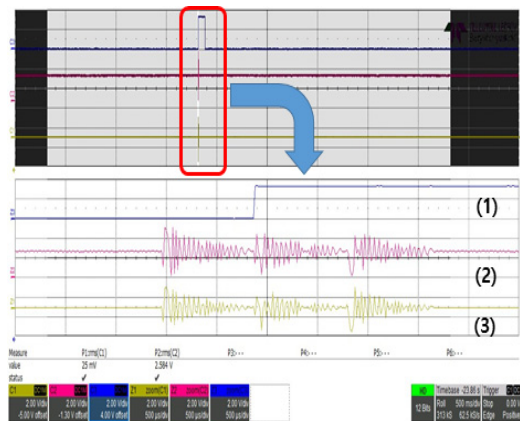
AMS 社의 AS3935 Franklin 칩셋을 이용하여 개발한 낙뢰센서모듈을 통하여 낙뢰 감지 동작특성을 그림 12에서 보여주고 있으며 낙뢰 발생거리 3km(그림 12(a)), 10km(그림 12(b))의 결과를 각각 보여주고 있다.

그림 12에서 (1) : 인터럽트신호, (2) : 안테나출력신호, (3): 낙뢰발생신호로 최초 낙뢰발생에 따른 낙뢰 발생신호를 낙뢰 감지기를 통해 감지된 안테나 출력신호를 이용하여 낙뢰발생 판독에 따른 인터럽트 신호가 발생하고 있다. 따라서 개발한 낙뢰 감지기의 안테나 회로를 통

해 발생 거리에 상관없이 낙뢰를 정확히 감지하고 있으며 시간지연이 거의 없이 신호를 출력하고 있다.



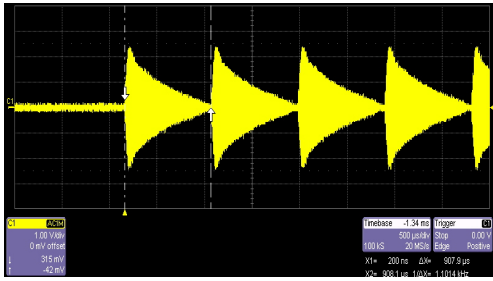
(a) 낙뢰 발생거리 3km



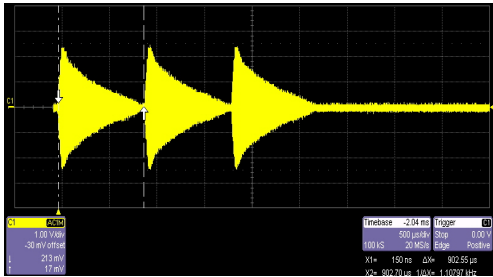
(b) 낙뢰 발생거리 10km

그림 12. 낙뢰 발생거리에 따른 낙뢰 감지기를 통한 신호
 Fig. 12. Signal through the lightning detector according to the lightning strike distance

그림 13은 개발된 낙뢰 시뮬레이터를 통해 거리별 낙뢰를 모사한 실험결과로 그림 13(a), 13(b)는 ~10km 근거리신호와 10~20km 중거리 낙뢰 신호를 각각 보여주고 있다. 따라서 그림 12의 낙뢰 발생거리에 따른 실험결과와 비교시 근거리일 경우 메인신호 및 반송파를 포함한 5X 패턴의 낙뢰 신호의 특성을 보여주고 있다. 그리고 중거리의 낙뢰신호인 경우 메인신호 및 반송파를 포함한 3X 패턴의 동일한 결과를 확인할 수 있으며 근거리 및 중거리의 낙뢰 발생에 따른 각차 낙뢰 발생시간이 약 900us(실험파형×2 값) 결과를 보여주고 있다.



(a) ~10km 근거리 낙뢰 신호



(b) 10~20km 중거리 낙뢰 신호

그림 13. 거리별 낙뢰 시뮬레이터를 통한 낙뢰신호
Fig. 13. Lightning signal through lightning simulator by distance

V. 결 론

낙뢰로 인하여 태양광 모듈, 인버터 및 모니터링장치 뿐만 아니라 건물 설비의 장치들이 손상이 되며 최종적으로는 태양광발전시스템의 화재로 인한 운영 중단과 이에 따른 재정손실을 유발하게 시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 태양광발전장치의 낙뢰보호 시스템을 연구 및 설계를 통해 다음의 내용으로 정리할 수 있다.

- 태양광발전장치뿐만 아니라 ESS 분야에서 낙뢰, 서지 등과 같은 안전성 측면에서의 기술개발 및 표준화가 촉진
- 수요의 증가에 따라 관련 기술의 경쟁력이 강조되면서 신재생에너지 분야 전기안전보호 기술의 고도화
- 태양광발전 및 ESS 시스템의 전로 분리모드 운영 보호 기술 확보
- 태양광 시스템의 모니터링 기술 확립 : 태양광 발

전시스템의 발전 효율 향상

- 육상 및 물 위에서 운영되는 해상태양광의 낙뢰 피해 감시를 통하여 전기 안전사고 예방
- 지락에 의한 설비의 파손으로 발생하는 유지보수 비용에 대한 저감

References

- [1] Ministry of Public Administration and Security Press Release, 2019.
- [2] "Renewables Global Status Report," Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, pp. 94-106, 2019.
- [3] DEHN+SÖHNE, Risk Mitigation through Lightning Protection, 2016.
- [4] CENELEC CLC/TS 50539-12, Low-Voltage Surge Protective Devices-Surge Protective Devices for Specific Application Including d.c.-Part 12: Selection and Application Principles -SPDs connected to Photovoltaic Installations, 2013.
- [5] <https://www.lsp-international.com>
- [6] <https://www.earthnetworks.com>
- [7] <https://www.vaisala.com>
- [8] RFID Transponder Coil-MA5532-AE Datasheet.
- [9] AS3935 Franklin Lightning Sensor IC Datasheet.

저 자 소개

윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과(공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생에너지

※ 이 연구는 2023년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.