

# Power System & Smart Energy Network Lab.

▶ 위치: 공대-8호관 303-3호, 404호, 404-2호

▶ 전 화: 053-950-7230

▶ E-mail: skhan@knu.ac.kr

▶ 연구실 홈페이지: <http://powerlab.knu.ac.kr>

▶ 지도교수 홈페이지: <http://arnoldhan.com>

01

## 연구실구성원

- 지도교수 : 한세경 교수
- 박사과정 : 박정주, 손현규, 김무수, 이종욱, 황영규, 금승호, 배철희, S M Shanewas Siddiquee
- 석사과정 : 신동진, 김현모, 문주영, 최지예, 이재영, 윤종대, 김민재
- 졸업생 : 손영익, 조현덕, 최정현, 박승현, 박정주, 유병구, 정중호, Moses Amoasi Acquah, Kodaira Daisuke, 조훈연, 정주연, 박진경, Kofi Afrifa Agyeman, 이정환, 양지안, 정재욱, 최치우, 허상렬, 주재현, 김진용, 김우미, 서민규, 공덕호

02

## 연구실 소개

본 연구실은 인공지능, 배터리, 전력계통(특히 EMS) 세 가지의 키워드를 복합적으로 연구하며 젊고 활기찬 교수님을 중심으로 배터리 및 에너지 분야에서 가장 활동적이고 지명도 있는 연구실 중 하나로 본 연구실에서 주로 다루는 주제는 다음과 같습니다.

### □ 데이터 과학 및 인공지능을 응용한 에너지관리시스템 (EMS)

- 최근 화두가 되는 분야입니다. 저희는 전통적인 데이터 과학뿐 아니라 신경망(딥러닝 포함) 기반의 인공지능을 활용하여 에너지 관리 시스템(EMS), 전기차 제어, 전력계통 해석, 배터리 상태 추정 등의 다양한 분야에 응용하는 일을 하고 있으며 현대자동차, 한국전력 등을 통해 제품화될 정도로 기술력을 인정받고 있습니다.

### □ 전기차동차 및 ESS용 배터리 시스템(BMS for EV & ESS)

- 저희 연구실이 강점으로 가지는 분야입니다. 배터리의 물리적 해석모델을 바탕으로 사이클에 따른 수명파악, 상태 추정, 이상 진단 등을 실용적인 Data-Driven 방식을 통해 수행하는 연구를 진행하고 있습니다. 이미 LG 전자, 한국전력공사 등 다양한 기업과 연구과제를 통해 성과를 내고 있으며, 졸업생의 관련 분야 취업도 활발하며 최근 본 연구실의 기술이 KBS 보도에도 소개되었습니다.



### □ 전력계통(스마트그리드) 및 신재생에너지 제어

- 전통적인 전력계통 해석뿐 아니라 최근 이슈가 되고 있는 스마트그리드 기반의 Vehicle-to-Grid (V2G) 나 ESS, 신재생에너지 제어와 관련된 연구를 수행하고 있습니다. 기존의 전통적이고 해석적인 방법과 함께 빅데이터 기반의 인공지능모델을 병행하여 다양한 응용 연구를 진행하고 있습니다.

본 연구실은 학생 개인이별로 융합연구를 수행하며 실무와 연구능력 두 마리 토끼를 다 잡을 수 있도록 최선을 다하고 있습니다. 또한, 최근 인력양성사업, Brain Korea, 소재부품장비 혁신 Lab 사업 등 다양한 대형 과제를 수수하여 학생들의 인건비 및 연구 지원환경이 풍부하며 한국전력공사와 공동 구축한 EMS 테스트베드(10억여원 상당)를 연구실 건물에 구축하여 연구에 직접 활용하고 있습니다.

## □ 주요 연구과제

- 계통 연계형 분산 ESS의 통합 운영 로직 및 플랫폼 기술 개발, 한국연구재단(미래창조과학부)
- 리튬 이차전지 수명 열화 핵심변수 도출 및 예측 모델 개발, 한국전력공사
- 집합주택 공동시설의 전력요금 절감을 위한 25KWh급 능동형 ESS 및 EMS 개발, 한국산업기술진흥원(산업통상자원부)
- 주파수 변동 모델에 기반한 전력계통 신뢰도지수 개발 및 응용, 한국전력공사(산업통상자원부)
- 2030 변전 운용 분야 중장기 발전전력 로드맵 수립 연구, 한국전력공사(산업통상자원부)
- 계통운영 특성을 고려한 BMS 알고리즘 개발, 한국전력공사(산업통상자원부)
- 경제성 분석 기반 배전계통 ESS 계획 기법 및 운영 알고리즘 개발, 한국전력공사(산업통상자원부)
- 국내 전력계통 연계형 분산 ESS 및 전기자동차 통합 운영 로직 및 전력시장 참여 모델 개발, 한국연구재단(과학기술정보통신부)
- 기계학습 기반 적응형 통합 건물 에너지 관리 시스템 개발, 한국연구재단(과학기술정보통신부)
- 인공지능 기반 계통연계형 Micro-grid 수요관리시스템 개발, 한국산업기술진흥원(산업통상자원부),
- 2018년 대구국가산업단지 블록형 마이크로그리드 구축사업, 지능형자동차부품진흥원(대구광역시)
- 열화모델함수 기반의 SOX 알고리즘 연구, LG 전자
- 전력중개거래 기반 플러스에너지 주택단지 설계 및 운영기술 개발, 에너지기술평가원(산업통상자원부)
- 수소타운 통합에너지 운영 알고리즘 설계 및 전력계통 안정화용 ESS 구축, 국토교통부(한국전력기술)
- V2G EV 집합차량 최적 구성 및 운영 기술, 과학기술정보통신부(한국전기연구원)
- V2G aggregator 실시간 최적 운용 기술 개발, 현대엔지비
- 배터리 화재 예방을 위한 Data-driven 이상진단 플랫폼 기술 개발, 한국연구재단(과학기술정보통신부)
- 유럽 실시간 전력시장 V2G 전력거래 알고리즘 개발, 현대엔지비

## □ 주요 논문

- "Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp 65-72, 2010 (1000회 이상 피인용)
- "Estimation of achievable power capacity from plug-in electric vehicles for V2G frequency regulation: Case studies for market participation", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp 632-641, 2011
- "A practical battery wear model for electric vehicle charging applications", *Applied Energy*, Elsevier, vol. 13, pp.1100-1108, 2014
- "Performance-Based Settlement of Frequency Regulation for Electric Vehicle Aggregators", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no.2, pp 866-878, 2018
- "A New Mileage Payment for EV Aggregators With Varying Delays in Frequency Regulation Service", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no.4, pp 2616 - 2624, 2018
- "An Automated Impedance Estimation Method in Low-Voltage Distribution Network for Coordinated Voltage Regulation", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 1012-1020, 2016
- "Impedance estimation with an enhanced particle swarm optimization for low-voltage distribution networks", *Energies*, 2019
- "Optimal Energy Storage System Operation for Peak Reduction in a Distribution Network Using a Prediction Interval", *IEEE transaction on smart grid*, vol. 11, no.3, 2020
- "Short-term electric load prediction using transfer learning with interval estimate adjustment", *ELSEVIER*, Volume 258, 1 March 2022, 111846
- "Optimal Siting and Sizing of EV Charging Station using Stochastic Power Flow Analysis for Voltage Stability", *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2023
- "Strategies for electric vehicle bidding in the German frequency containment and restoration reserves market", *Electric Power Systems Research*, 2024
- "Development of an efficient vehicle-to-grid method for massive electric vehicle aggregation", *Energy Reports*, 2024
- "A practical semi-empirical model for predicting the SoH of lithium-ion battery: A novel perspective on short-term rest", *Journal of Energy Storage*, 2024
- 상기 논문 외 다수 논문 발표

## □ 국제특허

- "배전선로의 임피던스 자동추정장치(配電線路のインピーダンスの自動推定装置)", 일본, AIST 특허 등록
- "APPARATUS AND METHOD FOR REAL-TIME BATTERY LIFE ESTIMATION" 국제 PCT 특허 출원
- "APPARATUS AND METHOD FOR REAL-TIME STATE OF HEALTH ESTIMATION BASED ON BIG DATA" 국제 PCT 특허 출원

## □ 국내특허

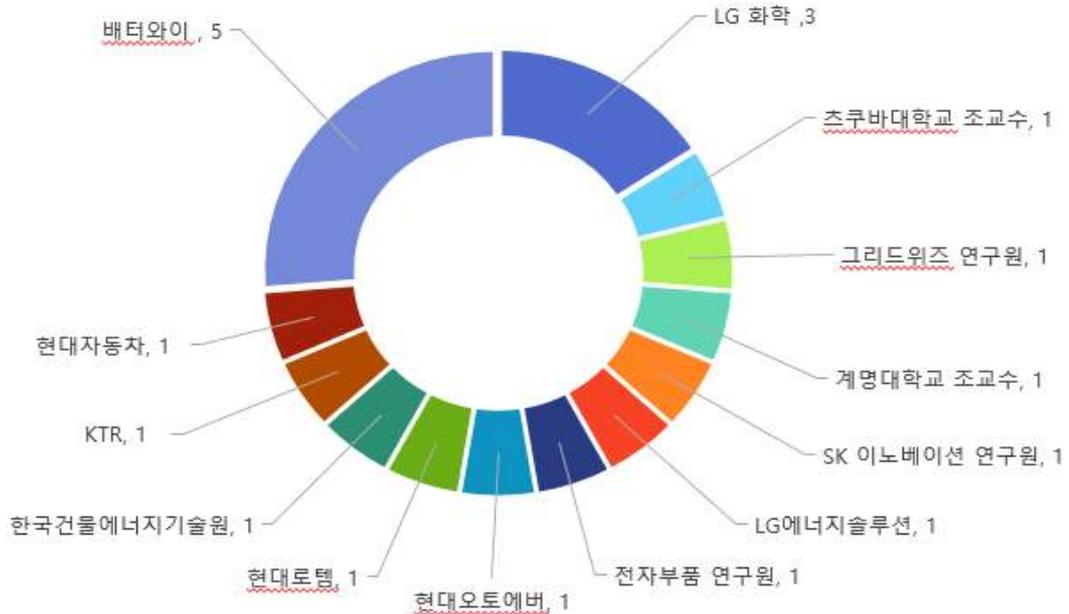
- "빅데이터 기반의 배터리 열화도 추정장치 및 방법", 2019 등록
- "배터리 수명 예측장치 및 방법", 2019 등록
- "자동 제어 방식 운동 보조 장치 및 제어 방법, 상기 방법을 수행하기 위한 기록 매체", 2020 등록
- "건물 단위 파워 모빌리티 서비스 제공방법, 이를 수행하기 위한 건물 에너지 관리장치 및 이를 포함하는 건물 단위 파워 모빌리티 시스템", 2020 등록
- "배터리의 열화 모델에 따라 배터리의 상태를 추정하는 배터리 상태 추정 장치 및 방법", 2020 등록
- "기계 학습 기반 조류 예측 시스템 및 방법", 2020 등록

- “대규모 plug-in 전기차 집합제어를 위한 방법 및 장치”, 2020 등록
- “지역 단위 파워 모빌리티 서비스 제공방법, 이를 수행하기 위한 파워 모빌리티 관리서버 및 이를 포함하는 지역 단위 파워 모빌리티 시스템”, 2020 등록
- “정상 상태에서의 배터리 전압에 따른 충전 상태 추정 장치 및 방법”, 2023 등록
- “클라우드 기반 배터리 상태 분석 시스템 및 방법”, 2023 등록
- 상기 특허 외 다수 특허 출원 및 등록

04

졸업생 진로 현황

졸업생 진로현황



05

졸업생 기고문 - 서민규 (현대자동차 남양연구소)

사랑하는 교수님 이하 선후배 여러분.

박사 과정을 마치고 이제 새로운 도전을 시작하게 되면서, 이 자리를 빌려 그동안 저에게 아낌없는 지도와 지원을 해주신 한세경 교수님과 연구실 동료들께 진심으로 감사의 인사를 드리고자 합니다. 제가 이 연구실에 처음 들어왔던 날이 생생히 기억납니다. 학부 연구생으로 첫 발을 내디뎠을 때부터 지금 졸업을 앞둔 이 순간까지, 수많은 도전과 성장이 있었습니다. 이 글을 통해 제가 느낀 점들을 공유하며, 연구실의 후배들에게 조금이나마 도움이 되길 바랍니다.

대학원 과정은 단순히 주어진 일을 수행하는 것이 아니라, 맡은 일에 대해 책임감을 가지고 끊임없이 개선하고 도전하는 자세가 필요하다는 것을 깨달았습니다. 이러한 태도는 연구뿐만 아니라 개인적인 성장에도 큰 도움이 되었으며, 끊임없이 더 나은 성과를 내기 위해 고민하고 노력하는 과정에서 저는 큰 성취감을 느꼈습니다. 또한, 연구의 성과는 단순히 책상 앞에서의 긴 시간에 의해 좌우되는 것이 아니라, 집중력을 최대한 발휘할 수 있는 시간에 따라 달라진다는 것을 배웠습니다. 규칙적인 운동과 적절한 휴식은 신체적, 정신적 건강을 유지하는 데 큰 도움을 주었고, 이를 통해 연구에 더 깊이 몰두할 수 있었습니다. 이러한 경험들은 제가 현대자동차 남양연구소에 입사하는 데에도 큰 도움이 되었습니다. 한세경 교수님께서 가르쳐 주신 학문적 깊이와 실무적 역량 덕분에 저는 꿈꾸던 직장에서의 첫 발을 내딛을 수 있었고, 지금도 연구실에서 배운 것들이 실무에서 큰 힘이 되고 있습니다. 앞으로도 교수님께서 가르쳐 주신 바를 바탕으로 더 크게 성장하고자 합니다.

마지막으로, 교수님과 동료들로부터 받은 가르침과 격려를 가슴 깊이 새기며, 어디서나 연구실의 명예를 빛낼 수 있도록 최선을 다하겠습니다. 다시 한 번 깊은 감사의 말씀을 드리며, 연구실의 무궁한 발전을 기원합니다.

서민규