

전기 자동차 충전기의 고장진단을 위한 휴대형 스마트 시험기에 관한 연구

김철수* · 백수황**

A Study on Portable Smart Tester for Fault Diagnosis of Electric Vehicle Charger

Chul-Soo Kim* · Soo-Whang Baek**

요약

오늘날 탄소 및 배기가스 저감을 위한 해결책으로 전기자동차의 개발 및 보급이 증가하고 있다. 국내에서는 환경부 주관으로 전기 자동차의 보급과 충전기의 확충이 해마다 빠른 속도로 증가하고 있다. 본 논문에서는 전기 자동차 충전기의 보급과정에서 필연적으로 나타나는 고장에 관한 문제를 해결하기 위하여 전기 자동차 및 충전기 양쪽의 충전관련 고장에 대한 신속한 점검을 가능하게 하는 휴대용 스마트 시험 기술에 대하여 연구하였다. 전기 자동차 및 충전기 간의 통신 프로토콜의 정상동작을 검증하기 위해 하드웨어 모듈과 소프트웨어를 구성하였으며, V2G 기술까지 고려된 국제 표준규격에 기반을 둔 휴대용 시험기를 개발하여 시험 평가하였다.

ABSTRACT

Recently, the development and dissemination of electric vehicles is increasing as a solution for carbon and emission reduction. In Korea, the supply of electric vehicles and the expansion of chargers are increasing rapidly every year under the supervision of the Ministry of Environment. In this paper, we study the portable smart test technology which enables quick check of charge related to faults in both electric car and charger to solve the problem of failure which is inevitable in the diffusion of electric car charger. To verify the normal operation of the communication protocol between the electric car and the charger, a hardware module and software were constructed, and a portable tester based on the international standard considering the V2G technology was developed and evaluated.

키워드

Electric Vehicle, EV Charging System, Charging Infrastructure, V2G, Charging Standard
전기 자동차, 전기 자동차 충전 시스템, 충전 인프라, 바이투지, 충전 표준

1. 서론

기후변화, 환경오염 등의 영향으로 인하여 전기 자동차의 개발 및 보급에 대한 관심이 전 세계적으로

증가하고 있다. 국내에서는 환경부의 주관으로 2011년부터 전기 자동차와 충전 인프라(충전기)를 보급하고 있으며, 기존의 공공기관 위주의 시범 보급을 시초로 하여 서울, 제주 등 전기 자동차 선도도시를 중심으로

* 호남대학교 미래자동차공학부(kimcs@honam.ac.kr)

** 교신저자 : 호남대학교 미래자동차공학부

• 접수일 : 2018. 11. 06

• 수정완료일 : 2018. 12. 26

• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Nov. 06, 2018, Revised : Dec. 26, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019

• Corresponding Author : Soo-Whang Baek

Dept. Automotive Engineering, Honam University,

Email : swbaek@honam.ac.kr

민간보급 사업도 활발하게 진행되어 전기 자동차 충전기의 숫자가 급속하게 증가하고 있다. 이와 함께 전기 자동차 운행을 위한 충전 인프라를 구축한 후에 충전기의 기능 및 동작의 정상유무를 신속히 확인하는 일은 전기 자동차의 원활한 보급 및 산업성장 측면에 있어서 가장 중요한 부분이다[1-3]. 실제로 국내 시범 보급된 급속충전 50kW급, 완속충전 7.7kW급의 전기 자동차 충전기에서 차량과 충전기 간의 적합성 및 충전기의 관리에 많은 문제점이 발생했다. 예를 들어 충전을 위해 전기 자동차와 전기 자동차 충전기를 연결한 후 충전이 제대로 안 되는 경우 어느 쪽에서 문제가 발생했는지 명확한 확인이 되지 않는 어려움이 존재했다. 이러한 경우 전기 자동차 및 전기 자동차 충전기 업체에서는 전기자동차 충전소에 긴급대응을 위한 기술자를 파견하여 전류 측정과 같은 기본적인 확인과정을 통해 문제점을 찾아 해결해왔다. 이러한 방법은 고장점점을 위한 인력관리와 비용적인 측면에서 비효율적인 단점을 갖는다. 따라서 향후 국내 전기 자동차의 안정적인 보급 확산을 위하여 전기 자동차 충전기 업체와 전기 자동차 생산업체(완성차 및 개조 전기 자동차 업체 등)는 전기 자동차 충전기의 문제 발생원인과 기능적 적합성을 명확하게 확인가능한 장치를 개발하여 공급할 필요가 있다[4-5].

국내 보급 사업에 참여하고 있는 전기 자동차 충전기 업체는 2011년 5개 규모에서 현재 15개 이상의 업체로 증가하고 있다. 또한 다양한 전기 자동차가 시장에 보급되고 다수의 전기 자동차 충전기 업체가 제품을 출시하는 상황인 가운데 전국에 개별적으로 설치된 전기 자동차 충전기를 정상동작하도록 유지 및 관리하는 일은 상당히 어려운 일이다.

전기 자동차 충전기의 수리를 위해 광역적으로 이동하는 것은 크게 비효율적이며, 정상동작을 효과적으로 확인할 방법이 없기 때문이다. 전기 자동차 사용자 입장에서는 가까운 충전소를 방문했을 때, 충전기의 고장으로 충전을 할 수 없을 경우 전기 자동차의 운행이 멈출 수 있다는 심리적인 우려를 갖게 되며, 이는 전기 자동차 보급 활성화를 저해하는 큰 원인이 될 수 있기 때문에 전기 자동차 충전기의 원활한 유지보수가 전기 자동차의 보급 활성화를 위한 가장 중요한 필요조건이다.

따라서 본 논문에서는 이러한 현장의 문제를 해결

하고 전기 자동차 충전기를 효율적으로 관리하기 위하여 전기 자동차 충전기의 고장진단을 위한 휴대형 스마트 시험기를 개발하였다. 전기 자동차 충전용 통신 규격 계열 중 PLC(전력선 통신)간의 매칭 프로토콜인 ISO/IEC15118-3 규격에 알맞은 SLAC(Signal Level Attenuation Characterization) 프로토콜과 V2G 통신용 프로토콜인 ISO/IEC15118-2, DIN70121 등의 규격[6-10]에 적합한 프로토콜인 SDP(SECC Discovery Protocol), 충전 관련 메시지 교환 프로토콜 등의 정상 동작을 판단 및 검증을 위한 소프트웨어를 개발한다. 최종적으로, V2G 기술을 고려한 휴대용 시험기를 시험 평가하여 적합성을 확인하였다.

II. 전기 자동차 충전기의 고장진단을 위한 휴대형 스마트 시험기

2.1 하드웨어 구성

전기 자동차 및 전기 자동차 충전기 상호간의 통신 프로토콜의 정상 동작 여부를 검증하기 위해 PLC 통신 기술을 적용한 전기 자동차 고장진단용 휴대형 스마트 시험기의 하드웨어 구성도를 모듈로 표현하여 그림 1에 나타냈다.

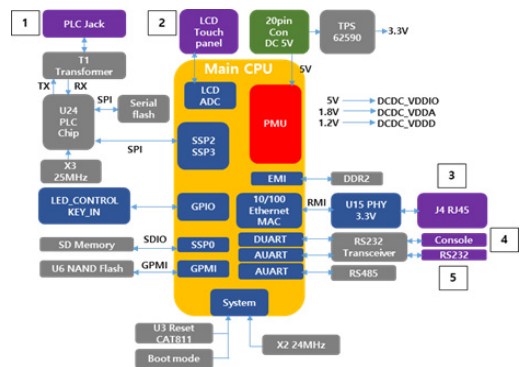


그림 1. 휴대형 스마트 시험기의 하드웨어 구성도
Fig. 1 Hardware configuration of portable smart tester

주요 하드웨어의 블록별 구성은 표 1과 같이 ISO/IEC 15118 통신용 PLC 모듈, 터치스크린, 이더넷 통신 인터페이스, 디버깅용 포트, IEC 61851-1 보드와의 통신용 인터페이스로 구성된다.

표 1. 주요 하드웨어의 구성
Table 1. Configuration of major hardware

No.	Description
1	PLC module for ISO / IEC 15118 communication
2	Touch screen TFT LCD (7.0 inch, 800x3(RGB)480)
3	Ethernet communication interface
4	Debugging port (RS232C)
5	Communication interface for IEC 61851-1 Board

2.2 소프트웨어 구성

전기 자동차 충전기 고장진단용 휴대형 스마트 시험기의 시뮬레이터는 그림 2와 같이 EV PLC 보드와 IEC61851-1 보드로 구성되어있다. 그림 2에 대한 소프트웨어의 구성은 표 2와 같으며 주요 소프트웨어에 대하여 다음과 같이 기능과 역할을 기술하였다.

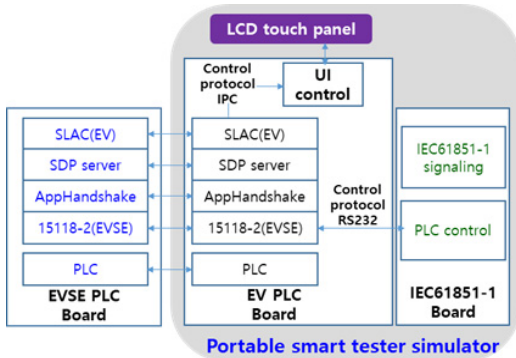


그림 2. 휴대형 스마트 시험기 시뮬레이터의 소프트웨어 구성도

Fig. 2 Software configuration diagram of portable smart tester simulator

표 2. 주요 소프트웨어의 구성
Table 2. Configuration of major software

Item	Description
EV PLC board	SLAC Protocol S/W
	SECC Discovery Protocol S/W (SDP)
	Application Protocol Handshake S/W
	V2G Communication Protocol ISO/IEC15118-2, DIN70121 S/W
	Communication Interface for IEC 61851-1 Board
	UI Control S/W
	IPC Control Protocol
IEC61851-1 board	IEC61851-1 Signaling S/W
	PLC Control S/W

2.2.1 SLAC Protocol S/W

SLAC: (Signal Level Attenuation Characterization) 은 EVCC: (Electric Vehicle Communication Controller)가 임의의 SECC: (Supply Equipment Communication Controller)로부터 발생하는 응답 중에서 가장 근접한 SECC를 선택하기 위하여 감쇄(Attenuation)를 사용하는 간단한 개념의 프로토콜이다. 즉, EVCC에서 감쇄가 생기는 송신측의 감쇄(AttnTxEV)와 수신측의 감쇄(AttnRxEV), 상대 측 SECC로의 전송조건에서 발생할 수 있는 감쇄인 케이블에 의한 감쇄, 수신조건에서 발생하는 수신 감쇄(AttnRxEVSE), 송신조건에서 발생하는 송신 감쇄(AttnTxEVSE)가 있다. 이러한 조건들로부터의 감쇄 값을 고려하여 EVCC와 SECC가 -50dBm/Hz를 기준 값으로 하여 EVCC 측에서는 최종 출력 점인 충전기의 인렛(Inlet)에서의 기준 값, SECC 측에서는 전기에너지가 케이블을 통과하는 출력단 기준의 값을 비교하여 EVCC가 특정 값 범위를 만족하는 SECC만을 근접한 SECC로 선택하는 과정이다. 최종적으로 통신 라인상의 네트워크 키를 EVSE(: Electric Vehicle Service Equipment)로부터 받아 이를 바탕으로 네트워크 키를 설정하고 전기 자동차와 EVSE 상호간의 성공적인 통신을 구현한다.

2.2.2 SDP S/W

SECC Discovery의 통신 시퀀스는 다음과 같으며 그림 3에 SDP(: SECC Discovery Protocol)의 메시지 교환 과정을 나타냈다. 먼저 충전 커플러가 연결되면 EVCC는 SLAC 절차를 통해 SECC를 탐색한다. 적합한 EVSE를 탐색하는 과정에서 전달된 충전기의 802.3 MAC 주소를 이용하여 UDP 패킷으로 멀티캐스팅을 통해 SECC를 결정한다. IPv6의 경우에는 외부로부터 글로벌 액세스가 가능한 주소를 받거나 자신의 MAC 주소를 활용하여 Link내에서만 통용되는 Link 로컬 주소를 만들어 사용할 수 있다. SECC Discovery를 통해 찾게 되면 SECC는 SECC의 IP 주소와 EVCC가 사용할 TCP 포트 번호를 EVCC에 전달하고, EVCC는 이 주소와 포트를 이용하여 SECC와 TCP 연결을 통해 V2G 통신을 시작한다.

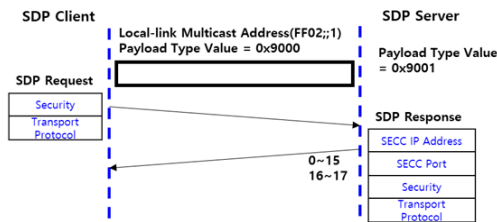


그림 3. SDP의 메시지 교환 과정
Fig. 3 Message exchange process of SDP

2.2.3 Application Protocol Handshake S/W

Application layer의 메시지 교환이 시작되기 전에 EVCC와 SECC간에 적절한 Application layer protocol이 버전과 함께 결정이 되어야 한다. EVCC와 SECC간에 사용될 프로토콜을 결정하기 위해 Application layer protocol handshake가 수행 된다. 이러한 어플리케이션 레이어의 메시지 교환 과정을 그림 4에 나타냈다. EVCC는 supportedAppProtocolReq 메시지를 SECC에 보낸다. 이 요청 메시지는 EVCC에서 제공하는 충전 프로토콜의 리스트를 제공한다. SECC는 EVCC와 SECC 간의 메시지 교환에 사용될 프로토콜을 지정하는 supportedAppProtocolRes 메시지로 응답한다.

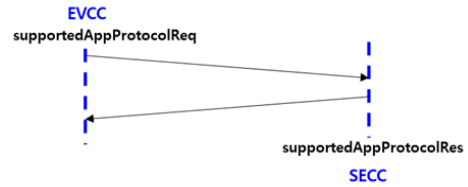


그림 4. 어플리케이션 레이어의 메시지 교환 과정
Fig. 4 Message exchange process of application layer

2.2.4 V2G 통신 Protocol S/W

그림 5는 전기 자동차의 충전을 위해 ISO/IEC15118-2의 프로토콜과 SAE-J1772[11]가 결합하여 충전준비, 절연시험 및 프리차징 (Pre-charging)을 수행하는 과정을 나타낸다.

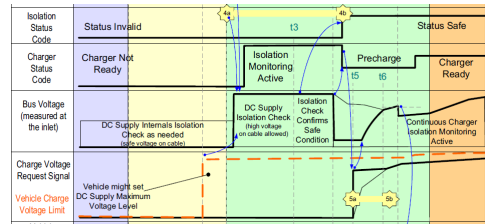


그림 5. 절연시험과 프리차징
Fig. 5 Insulation test and pre-charging

CABLECHECKREQ을 통해서 전기 자동차 충전기는 절연시험을 진행하고, PRE-CHARGERREQ에 의해 프리차징을 수행한다. 전기 자동차는 프리차징된 전압 레벨을 확인하고 누설여부를 확인한 후 이상이 없으면, 그림 6과 같이 에너지 전송요청 및 에너지 전송을 수행한다. POWERDELIVERYREQ에 의해 실제 에너지 전송요청을 시작하고, CURRENTDEMANDREQ에 의해 shutdown될 때까지 지속적인 모니터링을 수행한다.

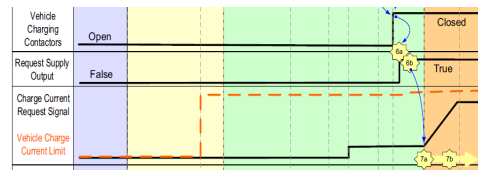


그림 6. 에너지 전송요청 및 에너지 전송
Fig. 6 Request of energy transfer request and transmission

2.2.5 PLC Control Protocol S/W

EV PLC 보드와 IEC61851-1 보드는 RS232 포트를 통해 연결되어 있다. 따라서 IEC61851-1 보드내의 PLC control S/W와 EV PLC 보드내의 충전 관련 프로그램이 RS232를 통해 통신하도록 설계하였다. EV PLC 보드와 IEC61851-1 보드간의 통신과정을 그림 7에 나타냈다. EV PLC 보드내의 충전관련 S/W는 모든 제어권한을 갖는 IEC61851-1 보드에 위치한 PLC control S/W의 제어를 받는다. PLC control S/W는 명령 메시지를 통해 충전관련 S/W 초기화, 각 단계별 진행 및 V2G 통신 메시지의 파라미터를 EV PLC 보드의 충전관련 S/W에 전송하며, 이 때 주고받는 메시지의 내용은 다음과 같다.

- 초기화 명령 / 응답
- SLAC 시작 명령 / 응답
- SDP 시작 명령 / 응답
- AppHandShake 시작 명령 / 응답
- UI 출력을 위한 IEC61851-1 관련 상태 보고 및 에러 발생 보고

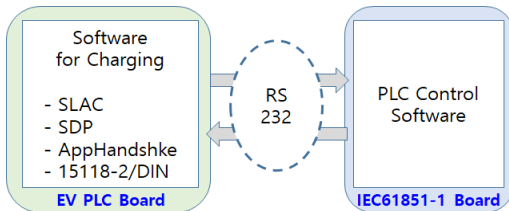


그림 7. EV PLC 보드와 IEC61851-1 보드간의 통신
Fig. 7 Communication between EV PLC board and IEC61851-1 board

2.2.6 IEC61851-1 Signaling S/W

IEC-61851-1 보드는 PWM Detect, CP(Control Pilot), Line Voltage Level Detect, Proximity Detect 기능을 통해 충전기 시험을 위한 전기 자동차의 역할을 수행한다 이에 해당하는 MCU 다이어그램을 그림 8에 나타냈다. 고장진단 기능을 통해 충전기의 기능 수행에 문제가 없는지 진단하는 역할을 한다.

- Proximity Detect 기능 : EVSE 커플러의 연결 시 매칭 되는 ADC값을 이용하여 지속적으로 커플러

의 연결 상태를 확인.

- CP Line Level Detect 기능 : CP Line의 ADC값을 통해 충전 시 Voltage Level에 매칭 되는 ADC값을 획득하여 현재 CP Line의 Voltage를 확인.

- PWM Detect 기능 : MCU의 ECCP 기능을 이용하여 PWM 신호의 듀티, 주파수를 확인.

- 충전기의 이상 유무 진단 기능 : IEC-61851-1 보드는 AC/DC 충전 시나리오에 적합하도록 충전기에서 전송되는 PWM 신호데이터, PLC 통신데이터를 검출하여 이상 유무를 진단 할 수 있도록 설계.

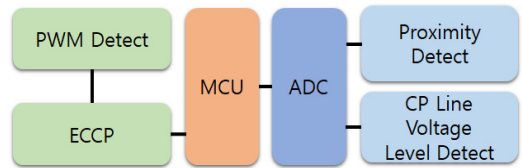


그림 8. MCU 다이어그램
Fig. 8 Diagram of MCU

III. 제작 및 시험

3.1 휴대형 스마트 시험기 제작

전기 자동차 충전기의 고장진단을 위한 휴대형 스마트 시험기를 제작하였으며 그림 9에 나타냈다.



그림 9. 전기 자동차 충전기의 고장진단을 위한 휴대형 스마트 시험기

Fig. 9 Portable smart tester for fault diagnosis of electric car charger

시험기 내의 메인보드인 EV PLC control 보드와 전기 자동차의 역할을 수행하는 IEC-61851-1 보드를 그림 10과 그림 11에 각각 나타냈다.



그림 10. EV PLC control 보드
Fig. 10 EV PLC control board

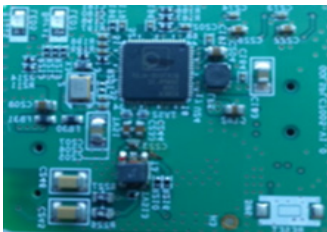


그림 11. IEC-61851-1 보드
Fig. 11 IEC-61851-1 board

3.2 성능시험

전기 자동차 충전시험 시뮬레이션을 위해 충전기의 역할을 할 수 있는 테스트베드를 구축하여 시험을 수행하였다. 본 시험기의 평가방법은 아래의 항목으로 결정하였다.

- SLAC 프로토콜에서 EV 매칭까지의 최대시간 : 0.5초 이내
- SECC Discovery 프로토콜에서 request 메시지 전송횟수 : 5회 이내
- Current Demand Request를 제외한 나머지 요청에 대한 타임아웃 시간 : 2초 이내

시험결과, SLAC Protocol에서의 EV 매칭까지의 최대시간은 0.006초로 충분히 기준을 만족함을 알 수 있었다.

SECC Discovery 프로토콜에서 request 메시지 전송횟수는 모든 시험에서 1회 만에 SDP 교환이 완료되었으며, 최대 발생횟수를 5회로 제한을 했음에도 불

구하고 모두 실패 없이 Discovery에 성공하였다.

마지막으로 Current Demand Request를 제외한 나머지 Request에 대한 타임아웃 시간도 시험결과 모든 응답들이 수십 msec내에 도달하였다.

IV. 결 론

현재 전기 자동차 시장이 본격적인 궤도에 오르고 있고 이에 따라 충전기 제작업체의 증가와 다양한 충전기들이 보급되고 있다. 이러한 다양한 충전기들을 효율적으로 관리하기 위하여 휴대형 스마트 시험기를 개발하였다. 개발된 본 시험기는 아래와 같이 기술적 활용이 가능하다.

먼저 공공장소 및 가정 내 전기 자동차 충전기의 고장 파악 및 주기적 점검을 위한 툴로 활용되며, 전기 자동차 정비센터의 시험/검사 장비, EV/EVSE용 V2G 통신 솔루션 개발 시 에뮬레이터로서 활용될 수 있다. 전기 자동차 충전기의 효율적이고 원활한 유지보수를 통해 전기 자동차의 보급 활성화에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1C1B5075525). 이 논문에 도움 주신 글로벌텍 장기수 대표님께 감사드립니다.

References

- [1] S. Baek, "A study on educational contents of hybrid electric vehicle using real time monitoring system," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 443-448.
- [2] S. Baek, "A Study on Contents for Education Using Actual Vehicle-based Electric Vehicle Diagnostic System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 3, 2018, pp. 555-560.
- [3] Y. Chai, "Design and implementation of PRA

- for a power supply of electrical vehicle," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 7, July 2016, pp. 653-658.
- [4] Z. Moghaddam, I. Ahmad, D. Habibi, and Q. Phung, "Smart charging strategy for electric vehicle charging stations," *IEEE Trans. Transportation Electrification*, vol. 4, no. 1, Mar. 2018, pp. 76-88.
- [5] H. Go, I. Cho, G. Kim, and C. Kim, "A study on EV charging scheme using load control," *J. of Electrical Engineering & Technology*, vol. 12, no. 5, 2017, pp. 1789-1797.
- [6] ISO Std. 15118-1, *Road Vehicles - Vehicle-to-Grid Communication Interface - Part 1: General Information and Use-case Definition*. ISO, Geneva, Switzerland, 2013.
- [7] ISO Std. 15118-2, *Road Vehicles - Vehicle-to-Grid Communication Interface - Part 2: Network and Application Protocol Requirements*. ISO, Geneva, Switzerland, 2014.
- [8] ISO Std. 15118-3, *Road Vehicles - Vehicle-to-Grid Communication Interface - Part 3: Physical and Data Link Layer Requirements*. ISO, Geneva, Switzerland, 2015.
- [9] IEC Std. 61851-24, *Electric Vehicle Conductive Charging System - Part 24: Digital Communication between a d.c. EV Charging Station and an Electric Vehicle for Control of d.c. Charging*, IEC, Geneva, Switzerland, 2014.
- [10] DIN SPEC 70121, *Digital Communication between a d.c. EV Charging Station and an Electric Vehicle for Control of d.c. Charging in the Combined Charging System*. DIN, Berlin, Germany, 2014.
- [11] SAE Std. J1772_201710, *Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler*. SAE International, Warrendale, PA, 2017.

저자 소개

김철수(Chul-Soo Kim)



1980년 한양대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사)

1982년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사)

1988년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사)

2010년~현재 기술표준원 전기자동차 전문위원

2016년~현재 호남대학교 미래자동차공학부 교수

※ 관심분야 : 전기자동차, 충전인프라



백수황(Soo-Whang Baek)

2005년 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업(공학사)

2012년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 석박사통합과정 졸업(공학박사)

2012년~2016년 현대케피코 기술연구소 책임연구원

2016년~현재 호남대학교 미래자동차공학부 교수

※ 관심분야 : 친환경미래자동차, 자동차전장제어, 전기기기시스템

