

ISO/IEC 15118기반 V2G 환경에서 전기자동차 유연성 검토

이상환*, 조규상*, 이상영*, 김영우**, 손성용***

EV Flexibility Availability for V2G Considering ISO/IEC 15118 Charging Protocol

Sang-Hwan Lee*, Kyu-Sang Cho*, Sang-Young Lee*, Young-Woo Kim**, Sung-Yong Son***

요약 전기자동차를 이용하여 계통에 전력을 공급하는 Vehicle to Grid(V2G)의 구현을 위한 통신표준으로 ISO/IEC 15118이 적용되고 있다. 통신 프로토콜에 기반을 두는 전기자동차의 충방전 제어 시에 필연적으로 충방전 실행까지의 시간지연이 발생하게 되는데, 이러한 시간지연은 전력 유연성 공급 측면에서 제한의 요인이 된다. 본 연구에서는 ISO/IEC 15118 기반 V2G 에뮬레이터를 구현하고 전기 자동차 충방전 제어에 따른 반응성을 확인하였다. 실험결과 시간지연은 0.12ms로 나타났으며, 이를 기반으로 현 표준 하에서 참여 가능한 전력 유연성 시장에 대하여 검토하였다.

Abstract ISO/IEC 15118 is an international communication standard for EV(electric vehicle)'s V2G implementation. In the charging/discharging control of an EV based on a communication protocol, there is inevitably a time delay when charging/discharging occurs, and the delay may limit in supplying power flexibility. In this paper, we implemented an ISO/IEC 15118-based V2G emulator and measured the charge/discharge response characteristics. As a result, the time delay appeared as 0.12ms. Accordingly, the power flexibility markets that EV can participate in under the current standard were explored.

Key Words : Electric Vehicle, Grid Flexibility, ISO/IEC 15118, Power Market, V2G

1. 서론

최근 국내에서의 충전기와 전기자동차 보급현황을 살펴보면 개인용 홈 충전기를 제외하고 충전기는 15년 대비 20년도에 약 43배 보급이 증가하였으며, 전기자동차는 15년 대비 20년도에 약 22배 정도 보급이 증가하였다[1]. 이와 같이 전기자동차와 충전기가 점진적으로 증가하게 되면서 전기자동차를 이용하여 계통의 신뢰성을 유지하기 위한 V2G (Vehicle-to-Grid) 관련 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 전기자동차를 이용한 V2G 기술의 핵심은 전기자동차의 리튬이온 배터

리를 ESS(Energy Storage System)로 활용하는 것인데, 리튬이온 배터리의 충방전 속도 향상[3]을 통하여 전력계통의 유연성 관점에서 다양한 기여가 기대된다.

V2G 기술을 충족하기 위해서는 다양한 종류의 전기자동차와 서로 다른 제조사에서 제작된 충전기가 연결되어도 안전한 동작이 보장되어 충방전을 할 수 있는 표준화된 통신 네트워크가 필수적이다. ISO (International Organization for Standardization)와 IEC (International Electrotechnical Commission)는 전기자동차 충전을 위한 국제통신표준 ISO/IEC 15118을 발표하고 있다. ISO/IEC 15118의 도입으로

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Knowledge Economy (No. 20188550000110)

*Department of Nano Science and Technology, Gachon University(qporol@gachon.ac.kr)

*Department of Nano Science and Technology, Gachon University(cksi87@gachon.ac.kr)

*Department of Nano Science and Technology, Gachon University(leo3002@gc.gachon.ac.kr)

**Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University(ywkim1587@khu.ac.kr)

***Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Gachon University(xtra@gachon.ac.kr)

Received February 05, 2021

Revised February 08, 2021

Accepted February 17, 2021

전기자동차는 V2G 뿐만이 아니라 다양한 서비스 제공이 가능하게 됨으로써 다양한 연구가 진행되고 있다.

스케줄링 제어를 통해 효율적으로 전기자동차를 운영하는 연구[4], 다른 분산자원들에 비해 지속적으로 전력을 공급하기 힘든 전기자동차를 지속적으로 전력 공급이 가능하도록 운영할 수 있는 모델을 설계한 연구[5], Pool Operator가 전기자동차의 예비력을 제공하고 재생가능 에너지 예측 오류의 오차에 대해 전력계통의 수급 안정을 유지하기 위한 전력 서비스를 실현하기 위해 ICT (Information and Communication Technology) 모델을 제시한 연구[6] 등 통신 프로토콜을 고려하여 전기자동차가 전력계통 서비스에 참가할 수 있는 방향으로 진행되는 연구 등이 이루어지고 있다.

하지만 전기자동차와 충전기가 연결되었을 때 충방전 동작이 곧바로 진행되는 것이 아니라 전기자동차와 충전소 간에 통신을 통해 상호인증하고 정보를 교환하는 과정이 존재하는데, 이 과정이 완료된 이후 충방전이 동작함으로써 시간지연이 발생하게 된다[7]. 이러한 시간지연은 충방전 변화 속도를 제한하게 되므로 전기자동차가 참여할 수 있는 유연성 시장이 제한될 수 있다. 하지만, 상호인증이 최초 완료된 경우 충방전량의 변동시 마다 재인증 과정을 생략할 수 있으므로 제어 명령에 대한 반응성이 시장참여 여부를 결정하게 된다.

본 논문에서는 캘리포니아 전력시장인 CAISO (California Independent System Operator)에서 운영되고 있는 유연성 시장을 대상으로 하였을 때 ISO/IEC 15118에 기반한 충방전 시스템을 가진 전기자동차의 V2G 서비스에 참여가능 여부에 대하여 분석하였다. 이를 위하여 ISO/IEC 15118 기반 충방전에 물레이터를 구현하고 전기자동차의 충방전 특성을 분석하였다. 2장에서는 ISO/IEC 15118과 CAISO 전력시장에 대한 표준과 운영환경을 정리하였으며, 3장에서는 실험방법을 제시하고 실험을 통한 결과를 분석하였다. 4장에서는 본 논문의 결론을 제시하였다.

2. 운영 환경

2.1 ISO/IEC 15118

전기자동차의 충방전 표준을 정의하고 있는

ISO/IEC 15118은 7개의 문서형식으로 나뉘어져 있으며 각 부분들은 전기자동차와 충전소사이의 디지털 통신에 대한 내용을 나타낸다[8]. 7개의 문서 형식 중 ISO 15118-2 (“Network and application protocol requirements”)는 프로토콜 및 OSI (Open Systems Interconnection) 계층 요구사항에 대한 내용을 정의하고 있으며 수요에 따라 지속적으로 개선되어가고 있다.

OSI 7계층 모델에서 ISO/IEC 15118의 HLC (High-Level Communication)이 이루어지기 위해서는 맨 아래에 있는 물리 계층 통신 방법인 PLC (Power Line Communication) 기술이 필수적이다.

PLC를 기반으로 시중에 사용되고 있는 전기자동차 충전기 중 J1772 규격의 5핀 플러그는 L (Line), N (Neutral), PE (Protective Earth), CP (Control Pilot), PP (Proximity Pilot)으로 구성되어 있다. 그 중 PP 선은 전기자동차가 충전기에 연결됐는지 인식하는 역할을 하며, PE는 접지선, 그리고 CP는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호의 Duty cycle 조절로 충전을 제어하는 역할을 수행한다. Control Pilot의 충전 제어는 IEC 61851-1규격을 따르며, Basic Signal이라고도 한다. EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment)에 있는 12V 구형파 발생기에 의하여 CP에 전압이 걸리게 되는데, CP에 걸리는 전압에 따라 표 1과 같이 EV와 충전기의 상태를 A부터 F까지 분류할 수 있다.

표 1. 컨트롤 파일럿 IEC 61851-1 기본 신호
Table 1. CP IEC 61851-1 Basic Signal

상태	내용	CP-PE 전압(V)
State A	연결되어 있지 않음	12
State B	충전기와 연결됨	9
State C	충전가능 함	6
State D	환기요청 및 충전가능 함	3
State E	전력망 문제 있음	0
State F	사용불가 함	-12

상태 A는 전기자동차와 충전기가 연결되어 있지 않은 상태이며 충전기의 CP에는 12V가 감지된다. 상태 B는 전기자동차의 플러그를 충전기에 꽂으면 충전기의

PP 저항에 의하여 CP에는 9V가 감지되어 연결을 감지한다. 상태 C는 전기자동차가 충전할 준비가 되었다는 것을 인지하고 충전에 의해 발생하는 열을 식히기 위해 환기요청을 진행하게 되면 상태 D가 된다. 상태 E와 상태 F인 경우에는 충전을 진행하지 않는 것을 권장한다.

상태 B에서 전기 차와 충전기가 연결되어 충전을 준비할 경우, EV 측에서 충전기와의 통신을 담당하는 EVCC (Electric Vehicle Communication Controller)에서는 서비스 요청에 관련된 역할을 수행하고, EVSE 측에서 통신을 담당하고 있는 SECC (Supply Equipment Communication Controller)는 서비스 응답에 관련된 역할을 수행한다.

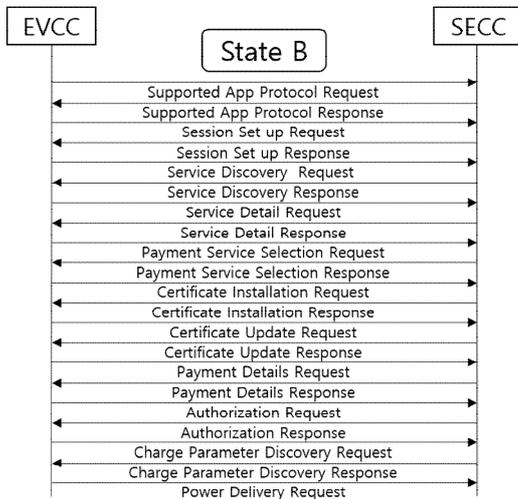


그림 1. ISO/IEC 15118 통신 흐름도
Fig. 1. ISO/IEC 15118 message sequence

ISO/IEC 15118 표준에 따라 AC 충전을 진행하게 되면 그림 1과 같은 EVCC와 SECC 간의 데이터 전송에 대한 과정이 존재하게 되는데 각 메시지에 관한 내용은 [8]에 리뷰 되어있다. 따라서 전기자동차와 충전기를 연결하고 AC 충전이 시작되기 전에 각 Entity들 간에 정보 공유가 일어난 후 EVCC가 SECC에게 전력을 요청하여 충전이 시작되게 된다.

EV와 EVSE 간의 통신 및 충전이 이루어질 때, 그림 1의 내용에 대한 Sequence로 인하여 AC 충전이 시작되는 시간 지연이 발생하게 된다.

2.2 전력계통 유연성

전력 시스템에서 유연성 (Flexibility)은 갑작스러운 생성 또는 소비 변화에 대응할 수 있는 전력 시스템의 기능으로 정의할 수 있다. CAISO는 캘리포니아주의 전력 시스템을 담당하고 있으며 영역 내에서 고전압, 장거리 전력선을 통과하는 Power Flow를 관리하고 공급과 수요를 일치시키며 주파수를 한계 내에서 실시간으로 유지한다. CAISO의 도매 에너지 시장과 보조 서비스 시장은 표 2와 같이 분류 할 수 있다.

표 2. CAISO 시장 분류
Table 2. CAISO market classification

유형	종류	상품	Response time
Energy Market	Day-ahead Market	하루 전 시장	하루 내 응답
	Real-time Market	15분전 시장	15분
		5분전 시장	5분
Ancillary Service	주파수 조정	Regulation up	4초
		Regulation down	4초
	예비력	Spinning reserve	10분
		Non-Spinning reserve	10분

에너지 시장은 뚜렷하게 Day-ahead Market과 Real-time Market으로 구성되어 있으며 Real-time Market은 15분전 시장과 5분전 시장으로 나누어진다. 또한 계통의 안정성과 신뢰성을 유지하는데 사용되는 보조서비스는 Regulation up, Regulation down, Spinning reserve 그리고 Non-Spinning reserve의 네 가지 유형으로 되어있다.

Regulation up, Regulation down 서비스는 전력 계통의 주파수를 제어를 위해 사용되며 Spinning reserve는 계통에 연결되어 있는 예비력이고 Non-Spinning reserve는 계통에 연결될 수 있는 예비력을 의미한다.

이때 Day-ahead Market과 Real-time Market에 포함되는 하루 전 시장과 15분전 시장과 5분전 시장의

참여 조건은 각각 하루, 15분, 5분 기간 내에 응답할 수 있어야 하며 Regulation과 Spinning reserve의 참여 조건은 각각 4초와 10분 내에 응답할 수 있어야 한다[9].

3. 실험 및 분석

3.1 Test System

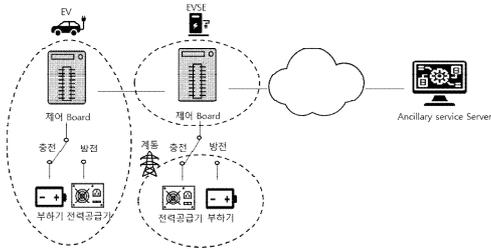


그림 2. V2G 에뮬레이터 구성도
Fig. 2. V2G emulator configuration

V2G 실험을 위하여 그림 2와 같이 ISO/IEC 15118 기반의 에뮬레이터를 개발하였다. 에뮬레이터는 EV 에뮬레이터, EVSE 에뮬레이터, AC 전력공급기, 그리고 AC 가변 부하기 2개로 구성되어 있으며 각각의 부하기가 EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터에 연결된다. EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터는 각각 충전기와 전기자동차를 의미한다. EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터에 연결되어 있는 AC 가변 부하기 들은 각각 계통과 전기자동차 배터리를 의미하며 AC 전력 공급기는 충전프로그램 실행 시에는 계통을 의미하고 방전프로그램 실행 시에는 전기자동차 배터리를 의미한다.

그림 3은 구현된 V2G 에뮬레이터를 보여준다. EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터는 제어보드와 J1772 플러그로 구성된다. 제어보드는 리눅스 임베디드 환경을 지원하며, ISO/IEC 15118 프로토콜 스택을 지원한다.

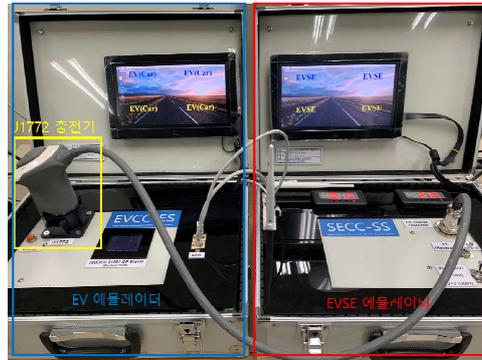


그림 3. EV 에뮬레이터 및 EVSE 에뮬레이터
Fig. 3. EV emulator and EVSE emulator

EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터는 각각 충전기와 전기자동차를 의미한다. EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터에 각각 연결된 가변 부하기는 각각 계통과 전기자동차 배터리의 역할을 한다. 전력 공급기는 충전 프로그램 실행 시에는 계통의 역할을 하며 방전프로그램 실행 시에는 전기자동차 배터리의 역할을 한다. 충전프로그램 실행 시에는 EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터 내에 있는 릴레이가 작동하여 AC 전력 공급기, EVSE, EV, AC 가변 부하기 순으로 전류가 흐르고 방전 시에도 EVSE 에뮬레이터와 EV 에뮬레이터 내에 있는 릴레이 작동으로 AC 전력 공급기, EV, EVSE, AC 가변 부하기 순으로 전류가 흐르게 유도된다.

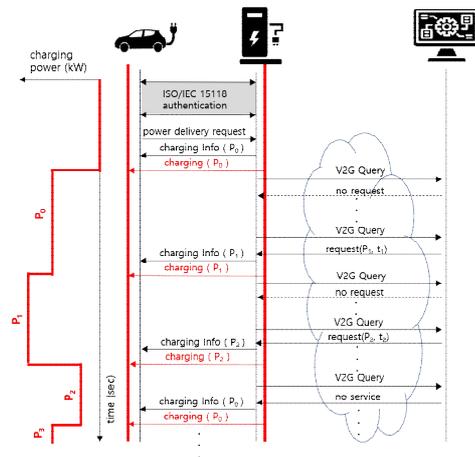


그림 4. V2G 에뮬레이터 동작 흐름도
Fig. 4. V2G emulator sequence diagram

스케줄링 제어를 진행하여 전기자동차의 충전량을 제어할 경우 그림 4와 같은 시퀀스를 따른다. 충전이 진행되고 나서 충전기는 Ancillary service 서버에게 충전 용량 변화에 대한 지시를 일정한 주기로 요구한다. 서버는 필요에 따라 충전 용량 변화에 대한 지시를 충전기에 보내면, 충전기는 서버가 지시한 충전 용량대로 충전을 진행하게 된다. 더 이상 충전량을 제어할 필요성이 없어질 경우, 서버는 충전기가 보내는 요구 cycle를 중단시키고 충전기는 초기의 충전 용량을 제공하게 된다. 그림 4의 검정 선은 통신 정보 흐름을 의미하고 붉은 선은 전력의 흐름을 의미한다.

3.2 Experiment and Results

EV의 반응성을 확인하기 위하여 에뮬레이터를 이용하여 충전-정지 주기를 10초, 5초, 2초로 변경하며 실제 충전 결과를 관찰하였다. 그림 5의 결과와 같이 최초 사이클에서는 EV와 충전기 간 상호인증 등으로 평균 6.67초 지연이 발생하였다. 하지만 그 이후 단계에서는 인증이 필요 없으므로 제어에 따른 시간지연이 0.12ms로 관찰되었다. V2G 환경에서 충방전량을 신속하게 변경하는 경우는 이미 연결된 EV를 대상으로 한다. 따라서 제어 프로토콜과 충전설비 관점에서는 보조서비스 활용에 있어서 제약요소가 없다는 것을 의미한다.

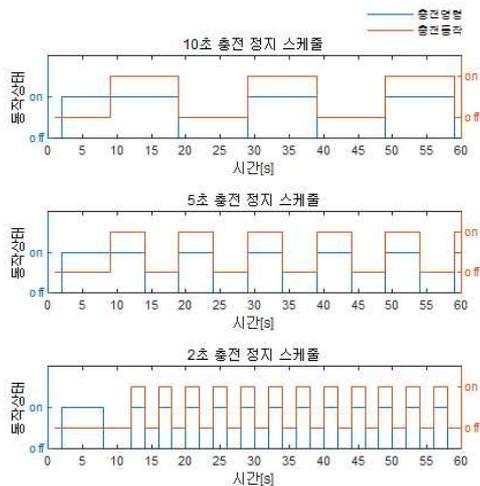


그림 5. 충전 스케줄링에 따른 결과
Fig. 5. Result according to charging schedule

3.3 Discussion

CAISO 시장에서 에너지 시장은 Day-ahead market이나 Real-time market에서 요구되는 리드 타임은 분에서부터 하루에 이르는 상대적으로 장시간으로 운영되므로 시간적 제약에 대한 고려가 필요하지 않다. 보조서비스인 Spinning reserve나 Non-Spinning reserve 시장에는 10분 이내에 반응하여야 하므로 ISO/IEC 15118 통신 프로토콜에 의한 시간적 제약에 의해서 참여가 제한되지 않는다. Regulation Up&Down에서는 4초 이내의 반응성이 요구된다. 실험에서 EV는 최초 접속 시 인증시간을 제외하고는 시간지연이 밀리세컨드 이내이므로 EV의 충방전 제어를 통하여 Regulation Up&Down에도 활용할 수 있기 때문에 기술적으로는 모든 보조서비스 시장에 참여할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만, 실제 운영 환경에서는 서버가 원격지에 존재하고 인터넷과 같은 개방형망을 사용할 가능성이 높다. 따라서 충전기와 서버 간 운영 방식에 따른 네트워크 및 운영 지연요인이 있어 원격관리 체계에 기반한 EV 충전시스템으로 Regulation Up&Down에 안정적으로 참여하는 것은 제약이 발생할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 ISO/IEC 15118 통신 프로토콜 기반의 전기자동차가 참여할 수 있는 전력 유연성 공급 서비스를 검토하였다. ISO/IEC 15118 규격에 부합되는 충방전 에뮬레이터를 구현하고 이를 이용하여 충방전 체계의 반응성을 검토하였다. 전기자동차는 충전기와 최초 접속 시 인증 등에 최초 시간지연이 발생할 수 있으나, 이후 10초, 5초, 2초 사이클의 충전 사이클에서는 유의미한 지연이 관찰되지 않았다. 이에 따라 4초 이내의 반응을 요구하는 Regulation Up&Down 보조서비스 시장을 포함한 모든 보조서비스 시장에 기술적으로 참여가 가능한 것으로 나타났다. 하지만, 실제로는 충전기와 서버 간 통신 방식이나 다양한 종류의 전기자동차와 서로 다른 제조사에서 제작된 충전기 등 운영 환경에 따라 제한이 발생할 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] KEPCO Homepage (<https://evc.kepco.co.kr:4445/service/service03.do>).
- [2] Yimin Zhou, Xiaoyun Li, "Vehicle to Grid Technology:A review," in 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), 2015, pp. 9031-9036.
- [3] Anna Tomaszewska, Zhengyu Chu, Xuning Feng, Simon O'kane, Xinhua Liu, Jingyi Chen, Chenzhen Ji, Elizabeth Endler, Ruihe Li, Lishuo Liu, Yalun Li, Siqi Zheng, Sebastian Vetterlein, Ming Gao, Jiuyu Du, Michael Parkes, Minggao Ouyang, Monica Marinescu, Gregory Offer, Billy Wu. "Lithium-ion battery fast charging: A review," eTransportation, vol. 1, August, 2019.
- [4] A. Di Giorgio, F. Liberati, and S.Canale, "IEC 61851 compliant electric vehicle charging control in Smartgrids". Proc. IEEE MED13, 21st Mediterranean Conference on Control and Automation, Chania, GR, June 2013.
- [5] Jen Schmutzler, Christian Wietfeld, "Distributed Energy Resource Management for Electric Vehicles using IEC 61850 and ISO/IEC 15118," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Seoul, Korea, Oct 9-12, 2012.
- [6] Christian Lewandowski et al., "An ICT Solution for Integration of Electric Vehicles in Grid Balancing Services," ICCVE, 2013.
- [7] Sang-Hwan Lee, Sang-Young Lee, Young-Woo Kim, Sung-Yong Son, "Study on electric vehicle charging time delay in V2G environment based on ISO/IEC 15118", KIEE an estimation conference, 242-245, 10. 2020.
- [8] Marc Multin, "ISO 15118 as the Enabler of Vehicle-to-Grid Applications," 2018 international Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive, Milan, 2018, pp. 1-6.
- [9] Demand Response and Energy Efficiency Roadmap: Maximizing preferred resources. Dec 2013. CAISO.

저자약력

이 상 환(Sang-Hwan Lee)

[개인 회원]



- 2020년 2월 : 가천대학교 전기공학(학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 나노과학기술융합학과 전기공학(석사과정)

스마트그리드, V2G, EV충전

조 규 상(Kyu-Sang Cho)

[개인 회원]

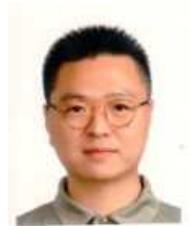


- 2012년 2월 : 가천대학교 정보통신학과(학사)
- 2015년 2월 : 가천대학교 에너지IT학과(석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전기학과(박사과정)

스마트그리드, 전력소비 데이터분석, 배전계통 시뮬레이터

이 상 영(Sang-Young Lee)

[개인 회원]



- 1997년 Univ. of Colorado at Boulder, Computer Science with Math 학사
- 2005년 동국대 석사
- 2020년 ~ 현재 : (주)인스코비 수석연구원

스마트그리드, 전력수요관리, EV충전인프라

김 영 우(Young-Woo Kim)

[개인 회원]



- 1985년 경희대 학사
- 1987년 경희대 석사
- 2006년 Helsinki Economics school MBA
- 2017년 ~ 현재 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수

스마트그리드, 스마트에너지

손 성 용(Sung-Yong Son)

[중신회원]



- 1990년 KAIST 학사
- 1992년 KAIST 석사
- 2000년 Univ. of Michigan, ANN Arbor 박사
- 2006년 ~ 현재 : 가천대학교 전 기공학과 교수

스마트그리드, 스마트홈, 스마트시티