

# 전기차 시스템을 위한 전력선 통신

박재정, 김윤현, 김진영, 서종관, 이재조

## Power Line Communication for Electronic Vehicle Systems

Jae Jung Park, Yun Hyun Kim Jin Young Kim, Jong Kwan Seo and Jae Jo Lee

### 요약

최근들어 자동차의 흐름이 점점 바뀌고 있다. 기존의 내연기관을 사용하는 자동차 대신, 온실가스를 발생시키지 않는 친환경적인 전기차를 주로 활용 하는 것이다. 전기차를 이용 하는데 있어서, 막대한 전력 소모가 예상되는 만큼, 효율적인 전력 관리 및 지능적 전력소비는 꼭 필요하다. 스마트 그리드의 한 부분인 수요반응은 이러한 효율적인 전력 소모의 한 방안이 될 수 있다. 본 논문에서는 전기차에서의 수요반응 기술응용과 쓰이는 통신 방식, 그리고 그중 이러한 수요반응 기술의 가장 기본적인 인프라인 스마트 미터기 기반의 통신 인프라 구축에 바탕이 되는 통신 방식인 PLC의 활용 방법과 이에 대한 모의실험에 대해 소개한다.

**Key Words :** Demand response, Smart Grid, AMI, PLC

### ABSTRACT

In recent years, type of the car is changing. Instead of cars that use internal combustion engines, we will use mainly eco-friendly electric vehicles. However, the utilization of electric vehicles brings enormous increase of power consumption. Thus, efficient power management and intelligent power consumption is required. Demand response can be effective measures of power consumption. In this paper, we present demand response technology applications, communication method, PLC application and simulation result.

## I. 서론

전 세계적으로 생산되는 제품에 대한 환경 규제를 강화함에 따라, 이산화탄소 같은 온실가스 배출 절감에 대한 규제도 강화되며, 에너지 위기의식이 높아지면서, 주요 선진국들은 친환경 에너지 개발 및 사용 확대를 경쟁적으로 지원하고 있는 실정이다. 국내외 적으로 지구 온난화위기를 새로운 녹색 가치로 환원하여 녹색 시장을 창출하고 녹색 기술을 바탕으로 한 신성장 동력산업으로 연계를 추진하고 있다. 이러한 신성장 동력산업 중의 하나가 바로 전기차이다. 그러나 이러한 전기차를 이용하는 데 있어서 많은 양의 전기를 충전하는데 사용하니 만큼, 사용되는 전력량 관리와 전력의 수요에 따른 경제적 부담 또한 차후 문제가 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하는데 수요반응 기술을 접목시킨 기술이 한 방안이 될 수 있다. 본 논문에서는 전기차에서의 수요반응기술 응용과 쓰이는 통신 방식, 그리고 그중 이러한 수요반응 기술의 가장 기본적인 인프라인 스마트 미터기 기반의 통신 인

프라 구축에 바탕이되는 통신 방식인 PLC의 활용 방법과 이에 대한 모의 실험에 대해 소개한다.

## II. 전기차 기술 및 시장 현황

2000년 이후 세계 산업의 급작스런 발전에 따라 이산화탄소 발생량이 큰폭으로 증가하면서, 정부는 운송부문에 대한 연비 규제를 강화하고 있으며, 연비 초과 판매분에 대한 과징금을 완성 차 업체에 부과할 예정이라고 한다. 이에따라 자동차 업체에서는 기존의 내연기관을 이용한 자동차와 더불어 전기차의 개발 및 생산의 필요성이 증가되고 있으며, 연비 규제 및 구매 보조금 지원을 통한 정부의 적극적인 전기차 확대 정책이 추진중이다. 선진국을 중심으로 새로운 성장 동력을 육성하기 위해 규제 뿐만 아니라 인센티브를 통해 전기차 확대를 독려하고 있으며, 시장 초기 수요 및 투자자 원을 통해 생산 규모 및 충전 인프라 구축을 촉진하고 이를

※ 본 연구는 지식경제부의 산업융합원천기술개발사업 (과제번호 : 10041779)으로 지원된 연구임.

\*광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (parkjjang@kw.ac.kr)

접수일자 : 2012년 7월 13일, 수정완료일자 : 2012년 7월 17일, 최종 게재확정일자 : 2012년 7월 23일

통해 자국 내 전기차 관련 육성과 이를 통한 고용 유발을 도모하고 있다. 일례로 미국은 PHEV/EV 구매 시 대당 \$2,500에서 \$7,500의 구매 보조금을 지원하고 있으며, 중국의 경우도 전기차에 대해 32,000에서 60,000위안을 지급하고 있다.

전기차는 이산화탄소 등의 온실가스를 배출하지 않는 환경적인 이득 외에도 경제적인 이득도 발생한다. 내연기관 자동차의 운행비용과 전기자동차의 운행비용을 비교해 보면, 전기자동차의 운행 비용은 내연기관 자동차 대비 1/7 이하 수준이며, 요금이 저렴한 심야 전력을 사용하는 경우, 약 1/20 수준까지 절감 가능한 것으로 파악된다. 일본에서 판매하고 있는 'i-MiEV'의 경우는 내연기관 자동차의 1/3, 하이브리드 자동차의 1/2 수준으로 발표되었으며, 위에서 언급한 심야 전력을 이용하여 운행할 경우, 내연기관 자동차의 1/9 수준까지 절감할 수 있는 것으로 발표되었다.



그림 1. 일본의 전기자동차 i-MiEV

이렇듯 우수한 장점을 많이 가지고 있는 전기차이지만 배터리의 성능 향상 및 전기자동차의 성능 확보 등의 해결해야 할 당면과제 들이 존재한다. 배터리의 경우, 최근 에너지 밀도 집적화 기술 등이 발전하고 첨단 에너지 저장 소재등의 개발을 통해 많은 상용화 연구가 진행 되고 있으며, 이에 따라 HEV(Hybrid Electric Vehicle) 차량 등의 유사 그린카 시장 창출이 가능하였다. 그러나 이러한 배터리 관련 기술의 발전에 비해 파워 트레인 시스템 부분의 발전은 약간 미비한 것이 사실이며, 이러한 파워트레인 시스템의 혁신을 통해 에너지 효율을 극대화 하는 것이 전기자동차가 해결해야 할 시급한 문제이며, 특히 구동요소의 핵심인 구동 모터와 감속기에 대한 기술개발이 요구되는 시점이다. 현재 각 나라별로 기술개발 및 양산화에 연구 역량을 집중하고 있으며, 기술의 진보에 따라 축전지의 가격이 싸지고, 수명이 길어지며, 모터에 관한 문제도 해결될 것이니 만큼, 앞으로도 전기차 시장은 꾸준히 성장할 것으로 보인다.

### III. 전기차에서의 수요반응 적용

이러한 전기차가 널리 보급되고, 많은 사람들이 전기차를 활용함에 있어 차후 문제가 될 수 있는 것은 늘어난 전력 사용량에 따른 예비전력 확보와 부하 문제 및 과도한 전기사용

누진세로 인한 전기자동차의 경제적 이득 감소 등이 될 수 있다. 또한 정확한 시스템 구축이 없이 진행되는 무분별한 전기자동차의 도입은 전송 과정에서의 왜곡으로 인한 손실과 발열로 인한 기기의 수명 감소, 그리고 고조파 성분의 증가와 같은 문제 또한 발생 할 수 있다. 따라서 이러한 부정적인 효과를 감소시키고 부하문제를 컨트롤 하기 위한 방편으로, 수요반응 시스템이 한 가지 답이 될 수 있다.

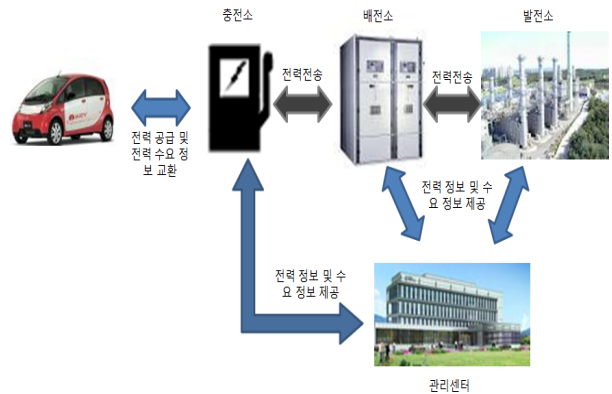


그림 2. 전기차에서의 수요반응 시스템 적용

위의 그림은 전기차에서의 수요반응 시스템 적용의 한 예이다. 이 시스템에서 가장 중요한 요소는 소비자와 공급자간의 상호간 통신을 가능하게 하는 것이다. 이렇게 상호간의 통신 인프라를 구축한 후, 전기차를 충전하는 곳에 존재하는 플러그에 스마트 미터기를 위치시켜 자동으로 전력 사용량을 파악한다. 파악된 전력량을 관리센터로 전송하고, 배전소와 발전소도 예비 전력 및 전력 공급 상황을 관리센터로 전송한다. 이렇게 전송된 정보를 바탕으로 관리센터에서 소비자에게 실시간 전기 가격 정보와 예비 전력량 등의 필요한 정보를 전송함으로써, 소비자는 전송된 정보를 바탕으로 자신의 전기 수요를 효율적으로 조절 할 수 있고, 공급자는 이러한 효율에 따라 최대 피크시간에 부하를 절감할 수 있는 것이다.

### IV. 수요반응 통신시스템

수요반응을 위한 중요한 요소중 하나는 실시간으로 정보를 주고 받을 수 있는 환경을 조성하는 것과 더불어서 스마트 미터기에 기반한 AMI(Advanced Metering Infrastructure)의 구축이 필수적이다. AMI는 실시간 정보 전송 전력서비스 인프라를 뜻한다. AMI는 기존의 전력 사용량을 자동으로 원격 검침 및 관리할 수 있는 시스템인 AMR (Automatic Meter Reading)기술과 어찌보면 동일한 개념으로 보일 수 있으나, AMI는 기존의 AMR보다 다양한 기능을 수행할 수 있다.

스마트 미터를 중심으로 양방향 통신과 오픈 프로토콜에 기반하여 예비전력 부족 같은 비상 상황 시 관리센터에서 원

격 전력 차단이 가능하다.

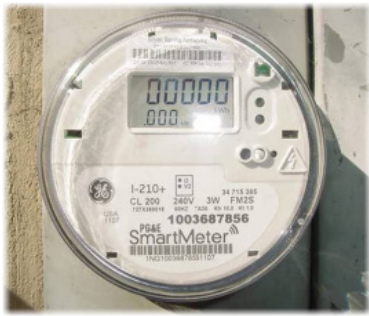


그림 3. 스마트 미터기

또한 선불형 계량의 인프라가 될수 있으며, 실시간 요금제 (RTP, Real Time Pricing), 피크 요금제(CPP, Critical Peak Pricing), TOU(Time of Use) 요금제 등 다양한 요금제의 적용도 가능하다.

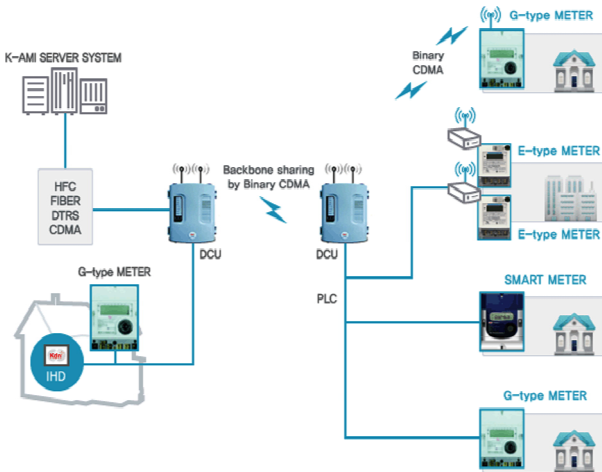


그림 4. AMI 시스템

이 시스템은 그림 3과 같이 스마트미터를 중심으로 중계기, 집중기로 구성된 통신 인프라를 통해 전력량 정보가 전력 관리 시스템에 원격으로 전송된다. 스마트미터 기반 AMI에서의 스마트미터는 양방향 정보 제공 기능, 홈 네트워크 연동 기능, 전력 제어 기능 등을 제공하여 전력 공급과 수요를 최적화 할 수 있는 기반을 제공한다. 따라서 AMI는 다양한 전력 생산자 시스템과 소비자 시스템을 유기적으로 연결하기 위 한 필수적인 요소 기술이며 실시간 모니터링, 전력 부하 제어, 에너지 소비 통계 분석, 가격 정보 수신, 시스템 통합 인터페이스 등을 위한 기능을 가지고 있어야 한다.

그러나 스마트미터 기반 AMI는 인프라가 홈 네트워크와 유사하여 중복 투자의 낭비를 초래한다. 또한 통신비가 증가하는 단점이 있으며, 홈 네트워크 간의 연동을 위해 새로운 장비 또는 인터페이스가 필요한 문제점이 있다. 그리고 스마트그리드를 위한 홈 네트워크에서의 AMI는 전력망에서 부터 스마트그리드 기기들 간에 정보들을 교환해야 한다. 또한

AMI는 홈 네트워크를 구성하는 장치 간의 인터페이스에 전송되는 정보는 암호화 되어야 하는데 그 이유는 전송되는 정보가 노출되면, 개인 정보 도용 및 사용 요금 조작 등 전력망과 인터넷망에 심각한 보안 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 이를 방지하기 위해서는 스마트그리드 상에서 적용 가능한 저 전력 암호 및 인증기술이 필요하다.

국내에서는 지난 2000년 처음으로 산업용(고압) 소비자를 대상으로 자동원격검침시스템을 도입하여 원격검침 상용화를 시작하였으며, 고압 13만 고객을 대상으로 15분 단위의 계량정보를 취득하여 관련 정보의 고객 부가서비스가 가능한 상태로 발전하였다. 또한 저압 수용가에 대한 시범사업은 초기 ZigBee 방식을 사용하여 제주도 1천 가구 구축하였고, 2005년부터 한국전력에서 고속 전력선 통신을 이용하여 원격검침 시범사업을 시작하여 2009년 약 5만 5천 가구를 대상으로 원격검침시스템이 구축된 상태이다. 또한 전력선 통신을 기반으로 무선과 연동하여 수도 및 가스 검침을 동시에 수행하는 통합 원격검침 시범사업 추진이며, 장거리 전송망으로는 HFC, CDMA 통신망을 이용하여 구축하였다. 활용하고 있는 고속전력선통신은 1Mbps정도의 유효속도를 보장하여, 멀티미디어이외의 데이터기반 부가서비스가 가능한 상태로 발전하였다.

## V. 수요반응에서의 PLC 활용

이러한 수요반응 시스템 인프라의 구축에는 유, 무선 통신 방식의 여러 가지 프로토콜이 응용되고, 여러 가지 통신 방식이 쓰인다. 그림 3에 나와 있는 구조도와 같이 중계기와 스마트 미터기 사이에 CDMA같은 무선통신을 활용 할 수도 있지만, 우리나라의 원격검침 시스템에 주로 이용되고 있는 기술은 PLC(Power Line Communication)이다. PLC는 추가적인 통신 선로 가설이 필요 없이 전력을 공급하는 전기선을 통신 매체로 이용하는 기술로써, 일반적으로 100m 내외의 통신거리에서 기술에 따라 수십kbps에서 수백 Mbps 까지의 전송 속도를 지원한다. PLC 통신은 여타의 무선기술과는 달리 전력선을 통신 매체로 이용하기 때문에 캐리어 주파수가 없이 Baseband 주파수 자체로 통신을 수행하며, 주로 근거리 통신망의 대체 통신망으로 홈 네트워크나 인터넷 중단 통신망으로 주로 활용된다. 그러나 국내 원격 검침에 이용되고 있는 전력선 통신 기술은 전파법에 의해 추가로 허용하고 있는 1.6~30MHz의 고주파대역을 이용하고 있는 24Mbps 급 광대역 전력선 통신기술이다. 전력선 통신은 DMT(Discrete Multi Tone)방식의 멀티캐리어 변복조 기술을 이용하여 통신하며, 각 서브캐리어는 PSK, QPSK, D8-PSK의 변복조 방식을 가져, 각 주파수 별로 최대 3bit의 bit loading이 가능하다. KS-4600-1로 국가표준 및 IEC12139-1 국제 표준으로 정의된 24Mbps급 전력선 통신 기술에서는 2~23MHz의 대역

폭에서 각 서브캐리어 주파수를 약 98kHz로 나누어져 512개의 FFT sample 및 256개의 서브캐리어로 구성된다. OFDM Symbol은 Cyclic Prefix를 포함하여 12.48us로 구성되며, 페이로드의 경우 16개의 단위로 묶인 Roll-off interval을 구성한다. 전력선 역시 무선과 유사하게 매체 제어를 위한 프로토콜이 필요하며, CDMA/CA를 이용한다. 다음 표는 이러한 통신 규격을 나타낸 표이다.

표 1. PLC 통신 규격

항 목	규 격
전송속도	24Mbps
대역폭	2~23MHz
변복조 방식	DMT
서브 캐리어	256
MAC	CSMA/CA
소비 전력	2W 이하

PLC의 장점으로는 기존에 설치된 전력선을 이용하므로, 추가 설치 비용 절감 등 비용적 이점이 있으나, 전력선 통신 환경이 일반적인 유,무선 통신 환경보다 잡음이 심하다는 단점이 존재한다.

## VI. 모의 실험

본 논문에서 실험할 모의실험은 이러한 수요 반응에서의 일반적인 전기차와 미터기간의 통신 외에 전기차 내부 회로에서의 전송 효율에 관련하여 실험을 하였다. 전기차 내부의 충전 회로에서도 PLC가 작동하게 되는데, 내부에서 사용하는 PLC 회로는 기존의 PLC 채널과는 또 다르게, 차량 내부에서 발생하는 잡음이 포함되어 나올 수가 있다. 여기서 발생하는 잡음을 PLC에서 발생하는 잡음중 하나인 Impulsive Noise로 가정하고 그 잡음을 더하여 실험을 하였다. 또한 PLC 채널 환경에 자동차 내에서 발생하는 복잡한 잡음과 간섭을 줄이고 효율을 높이기 위하여 간섭 완화 기법을 적용하여 모의 실험을 하였다. 먼저 전기차와 스마트 미터기와의 전송 효율에 쓰이는 파라미터는 다음과 같다.

표 2. 실험 파라미터

항 목	수 치
데이터 맵핑	BPSK
FFT 크기	1024
채널 코딩	Convolutional coding
채널 모델	PLC channel model
잡음 모델	Impulsive noise model
간섭 완화 기법	ZF, MMES, SIC, optimal ordering

이 파라미터에 따른 모의 실험 결과는 다음과 같다.

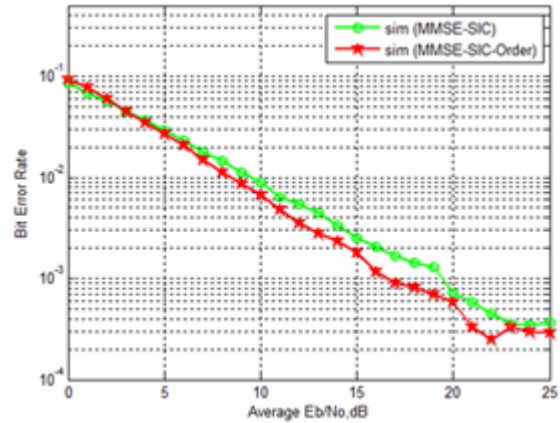


그림 5. MMSE SIC 기법을 적용하였을 때의 BER

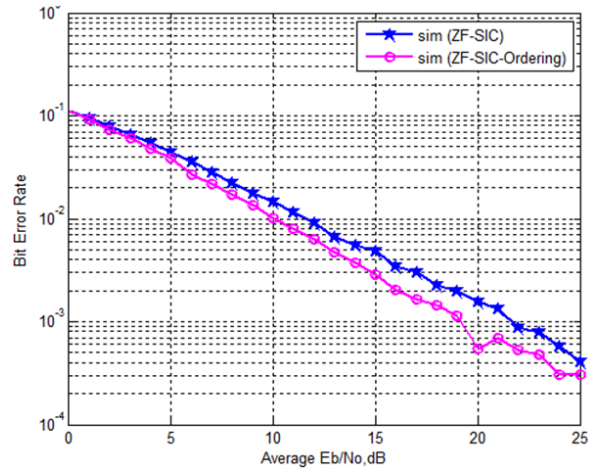


그림 6. ZF SIC 기법을 적용하였을 때의 BER

## VII. 결론

본 논문에서는 전기차의 현재 개발 현황과 시장 현황, 그리고 전기차에 적용 가능한 수요반응 시스템과 이에 따른 통신 시스템, 그리고 그중 PLC 통신 기술의 활용에 대한 이론과 이에 따른 모의 실험을 하였다. 전기차는 기존의 내연 기관 자동차에 비해 개발된 역사도 짧고, 배터리의 성능 향상 및 전기차의 성능 확보 등의 해결해야 할 당면과제들이 산재해 있지만, 기술의 진보와 더불어 해결될 문제이며, 미래의 주요 운송수단이 될 것임이 분명하다. 따라서 수요반응 시스템 및 인프라 확충은 본격적인 전기차 활용 시대에 더 효율적인 에너지 사용을 가능하게 할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

[1] S. Käbisch, A. Schmitt, M. Winter, and J. Heuer, "Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids," 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. 161-166, 2010.  
 [2] S.S. Raghavan and A. Khaligh, "Impact of plug-in hybrid

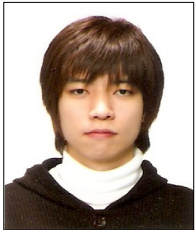


electric vehicle charging on a distribution network in a Smart Grid environment," 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 1-7, 2010.

- [3] M. Mallette and G. Venkataraman, "The role of plug-in hybrid electric vehicles in demand response and beyond," in Proc. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, New Orleans, LA, Apr. 2010.
- [4] F. Rahimi and A. Ipakchi, "Demand Response as Market Resource Under the Smart grid Paradigm," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 1, no. 1, pp. 82-88, June 2010.
- [5] S. S. Raghavan, O. C. Onar, and A. Khaligh, "Power electronic interfaces for future plug-in transportation systems," IEEE Power Electronics Society Newsletter, vol. 24, no. 3, pp. 23-26, July 2010.

## 저자

### 박 재 정(Jaejung Park)



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 스마트 그리드, PLC  
<e-mail> : parkjajang@naver.com

### 김 윤 현(Yunhyun Kim)



- 2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사 졸업
- 2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> : 디지털통신, MIMO-OFDM, VLC, 협력통신, 채널 모델링, 채널 부호화  
<e-mail> : ultrayh1873@kw.ac.kr

### 김 진 영(Jinyoung Kim)



- 1998년 : 서울대 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate.
- 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
- 2009년 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist

· 2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수  
<관심분야> : 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화  
<e-mail> : jinyoung@kw.ac.kr

### 서 종 관(JongKwan Seo)



- 2012년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 전력선통신, 스마트그리드, SEP 2.0/OpenADR 2.0, 전기자동차  
<e-mail> : yanuse723@naver.com

### 이 재 조(JaeJo Lee)



- 1992년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학 박사
- 1992년 ~ 현재 : 한국전기연구원 수석연구원

<관심분야> : PLC, 홈 네트워킹, 네트워크 관리시스템  
<e-mail> : jjlee@keri.re.kr