

# 스마트 그리드를 위한 효율적 데이터 전송

박주현\*, 박재정\*, 김진영\*, 서종관\*\*, 이재조\*\*

## Efficient Data Transmission for Smart Grid

Ju Hyun Park\*, Jae Jung Park\*, Jin Young Kim\*, Jong Kwan Seo\*\*, Jae Jo Lee\*\*

### 요약

스마트그리드는 전력망에 정보기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망이다. 본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에서 수요반응 통신시스템 중 프로토콜에 사용되는 정보 통신 모델 개념에 대하여 서술하였다.

**Key Words** : Smart Grid, Energy Interoperation, EMIX, WS-Calendar, DR

### ABSTRACT

The smart grid is a next-generation power grid to create a new value-added information technology. Power providers and consumers exchange information in real-time bi-directional, and optimize energy efficiency with using the smart grid. This paper describes the concept of demand response of the communication system used in the protocol communication model of the smart grid.

## I. 서론

최근 전 세계적으로 여러 국가들과 기업들이 과거 독점적이고 수직적인 에너지 운영체제에서 벗어나 에너지 효율을 극대화하고 수요 측의 역할이 더욱 중요해질 수 있는 차세대 수요반응 프로그램에 대한 많은 관심을 나타내고 있다.

우리나라는 낮은 전기요금 및 안정적인 전력공급위주의 정책과 더불어 많은 전력을 소비하는 산업구조의 특성상 세계에서 가장 높은 수준의 전력수요증가를 가져오고 있는 국가 중 하나이다. 이를 충족하기 위한 발전설비 건설 연료수입 등으로 전력공급 비용은 지속적으로 증가하고 있으며, 타 에너지에 비해 상대적으로 낮은 비용과 편리성 때문에 전기 에너지를 과다 소비하는 국가가 되고 있다. 또한 온실가스(CO2) 배출량이 OECD 국가 평균 대비 1.6배에 이르고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 우리나라는 2009년 G20 기후변화 정상회의를 통해 이탈리아와 함께 스마트 그리드 선도 국가로 선정되면서 2030년 세계 최초 국가단위 스마트그리드 구축을 목표로 국가 스마트그리드 로드맵을 발표하고 제주 실증단지를 통하여 세계에서 유일하게 스마트그리드 전 영역에 대한 기술실증 및 상용화 검증을 추진하고 있다.

본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에 수용반응 통신시스템 중 프로토콜 대한 소개를 하고 통신 프로토콜에 사용되는 정보 통신 모델 EI(Energy Interoperation) 1.0의 개념에 대하여 서술하였다.

## II. 본문

우리나라에서의 스마트 그리드는 현재의 중앙 집중형, 일방향인 전력계통의 비효율성을 극복하기 위한 분산전원시스템을 도입하여 전력계통이 규모에 따라 분산적이고 독립적으로 운영할 수 있는 유연한 형태를 갖추게 되며, 각 계통에, 센서, 미터들을 장착하여 소비자의 요구에 실시간으로 반응하는 지능화된 전력망을 스마트그리드의 핵심 개념으로 보고 있다. 스마트그리드는 전통적 에너지자원과 재생 가능한 에너지자원을 완전히 통합시키고, 에너지 소비를 감소시켜 탄소배출량을 감소시키기 때문에 녹색전력으로 불린다. 스마트그리드의 수용반응 프로그램으로 인해 전기를 측정할 수 있고 절약할 수 있으므로 추가적인 발전설비 및 송전선로의 건설 필요성을 감소시키며 소비자의 수요증가에 대처할

※ 본 연구는 한국 전기연구원의 스마트 홈을 위한 에너지 그리드 반응 시스템 기술개발 사업의 연구결과로 수행되었음(12-02-N1002-09)

\*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스시스템연구실 (juhyun@kw.ac.kr), \*\*한국 전기연구원

접수일자 : 2013년 5월 9일, 수정완료일자 : 2013년 6월 10일, 최종 게재확정일자 : 2013년 6월 20일

수 있을 정도로 효율적이다. 예를 들어, 미국의 전력망의 효율이 5% 향상된다면 이로 인한 에너지절약은 자동차 5,300만 대가 사용하는 연료와 온실가스 배출을 제거하는 것과 동일한 효과를 달성하게 된다. 또한 스마트그리드 시스템은 전력망에서의 문제점을 감지하고 조사하며 보고하는 기능을 갖추기 때문에 광범위한 정전 등을 감소시킬 것이며, 이로 인해 전력계통에 대한 신뢰도를 향상시킨다. 스마트그리드 시스템을 사용함으로써 소비자가 자신의 전기소비를 관리할 수 있게 해주고 또한 자신의 전기 요금을 조절할 수 있게 하는 새로운 옵션을 제공하게 하여 향후 상승될 에너지 가격에 비해 지출하는 에너지 비용 증가 궤적을 완만하게 유지할 수 있게 해줄 것이다. 그림 1은 스마트그리드의 개요를 나타낸다.

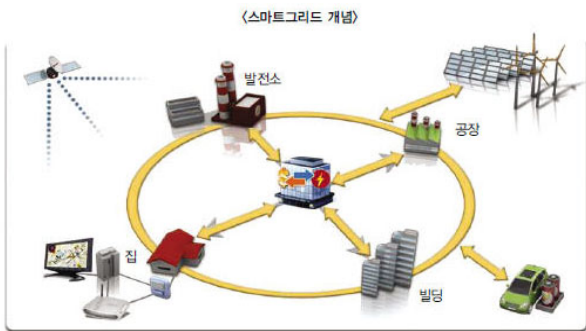


그림 1. 스마트그리드 개념

### 2.1 OPEN ADR

Open ADR은 두 개의 end point, 즉, 전기 서비스 제공자와 사용자간의 정보교환을 촉진하기 위해 책정된 통신 데이터 모델이다. 그것은 어떤 통신 프로토콜처럼 "비트 구조"를 지정하는 프로토콜은 아니며, XML 및 인터넷 프로토콜(IP) 같은 DR 신호 교환을 위한 공통어 및 프레임 워크 같은 기존 개방형 표준에 의존한다. Open ADR은 고객의 위치에서 자동DR작업을 용이하게 하는 목적으로 설계되며, 실시간 가격 등의 유동적인 지속적인 가격신호를 제공하도록 되어 있다. 가격정보 같은 자동화 클라이언트는 계속 이러한 가격들을 모니터링하고 시설 내에서 연속적인 자동 제어 및 대응 전략에 이 정보를 변환하도록 구성 할 수 있다. 궁극적으로 이런 Open ADR 규격은 산업 시설에서 DR을 자동화하는 데 사용된다 할 수 있다. 그림 2는 Open ADR의 구조도이다.

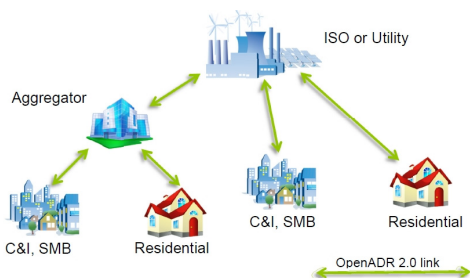


그림 2. OpenADR 구조도

### 2.2 SEP2.0(Smart Energy Profile)

SEP 2.0 프로토콜은 IP stack 상단에 위치하며, 이는 NETWORK, TRANSPORT, APPLICATION layer에 대한 기능이 정의되어 있다. 여기서는 REST(Representational State Transfer) architecture 구현, 즉 확장성 생성 언어(XML) 파일로 된 웹 페이지를 읽어 원하는 정보를 수집하는 기능을 위해 설계되어 있으며, 이에따른 GET, PUT, POST, DELETE의 4가지 핵심작업이 내장되어 있다. SEP는 기본적으로 TCP/IP 포트 80의 HTTP를 사용한다. RESTful 작업의 데이터는 대부분 XML과 EXI로 구성되어 있으며, TLS 보안이 사용되지 않을 때 사용할 수 있는 다양한 캐시 관리 메커니즘을 제공한다. 여기서 TCP는 전송보증 및 윈도우 제공 세션 관리역할을 수행한다.

### 2.3 EI

EI는 에너지 공급업체와 사용자, 시장 및 서비스 제공 업체 등의 에너지 거래 당사자 간의 에너지 사용, 공급 조정 및 보조 서비스 등을 조정하는 정보 통신 모델을 설명한다. 여기서의 정보 메시지는 가격, 신뢰성 및 긴급 상황 등의 정보이며, 아래 그림과 같은 보안 통신 인터페이스를 지원하지만, 아래의 그림 3에 국한된 것이 아닌, 확장이 가능한 시스템이다.

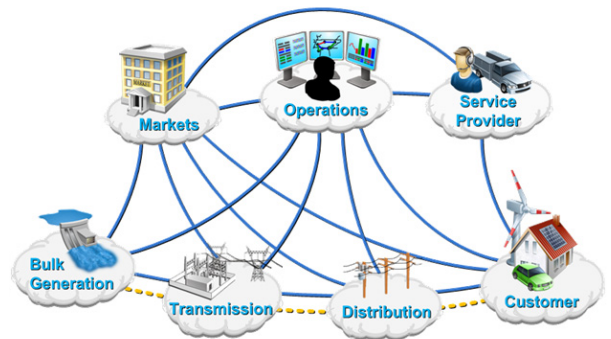


그림 3. EI 인터페이스

EI는 통신 인터페이스를 통해 가격, 신뢰성, 긴급 상황을 전달하기 위한 메시지를 정의하며, 이는 실시간 상호작용, 에너지 공급 계획, 사용량 보고와 같은 사항에 적용된다. 이는 거래유동성을 증가시키는 동시에, 에너지 수요와 공급의 시장기반 밸런스를 지원하기 위한 것이다.

EI는 거래 시간과 거래 간격의 통신을 위한 표준형식인 WS-Calendar와 에너지 가격 및 제품 정의에 대한 EMIX(Energy Market Information Exchange)에 의존한다. 이 두 사항에는 절대적으로 업체와 고객의 역할이 정해져 있지 않으며, 유사시에 이러한 역할을 반대로 수행할 수도 있음을 정의하고 있다. 이러한 모든 사항은 XML의 형식으로 작성되어 있다.

### 2.3.1 EI의 목표 및 주의사항

EI의 목표 및 주의사항은 다음과 같이 설명할 수 있다.

최소한 4개의 주요 차이점을 허용하고 그 안에 존재하는 시장유형과 신호, 가격 및 제품 표준화를 그 4개의 시장 유형에 모두 지원해야 한다. 이러한 4개의 시장 유형은 다음과 같다.

- 폐쇄적인 도매시장과 소매 경쟁시장 공존
- 순수 도매 경쟁 시장
- 순수 소매 경쟁 시장
- 개방적인 도매 및 소매 경쟁 시장

비록 공통적인 형식을 정의 하기는 하나, 도매시장에서의 수요반응 신호와 가격 및 제품 동신은 소매시장의 그것과 다른 특성을 가져야 한다.

Commercial and Industrial (C&I) 고객 중의 몇 가지 예외와 함께 대부분의 최종 사용자는 도매시장과 직접 상호작용하지 않는다. 소매 가격 모델은 규제되거나, 규제되지 않은 시장 모두 존재하는 다수의 관세 때문에 복잡하며, DR 제어 및 가격 신호를 표준화하려는 시도는 미래의 관세 또는 가격 모델에 관해서는 규제 변화 또는 시장 혁신을 저해하지 않아야 한다. 이러한 에너지 서비스 공급자 (ESP, Energy Service Providers), 수요 응답 공급자 (DRP, Demand Response Providers), 수요반응에서 애그리 게이터, 에너지 정보 서비스 제공 업체 (ESIP, Energy Information Service Providers)와 같은 새로운 신규 사업 개체는 수요반응 구현에서 증가된 역할을 할 것이며, EI는 이러한 지원과 함께 아직 명명되지 않은 새로운 중개서비스를 제공한다. DER(Distributed Energy Resources)은 수요반응에 점점 더 중요한 역할을 할 수 있으나, 관세 및 / 또는 DR의 DER의 역할을 지원하는 가격 모델의 개발은 개발의 초기 단계이다. 고객 관점의 수요반응 제어 및 가격 신호에 반응 할 수 있는 능력은 수요반응 프로그램을 지원하는 표준의 개발 과정에서 핵심적인 내용이라 할 수 있다. Energy Interoperation Technical Committee의 방침으로, 가능하다면, 고객 인터페이스 및 고객에게 에너지 정보를 표현하는 것은 이러한 사양으로 사용가능한 제품 개발자 및 시스템, 시장의 손에 남아 있어야 한다.

### 2.3.2 EI 구조

EI의 구조는 두 개 이상의 행위자 간의 상호작용의 맥락에서 일어나는 상호 운용으로 보이며, 각각의 역할들은 다양한 역할을 수행 할 수 있다. EI에서의 서비스 구조는 일반적인 통신에서의 서버와 클라이언트 같은 상하관계가 아닌 Party로 구성된다. 이러한 구조는 사업자나 사용자의 역할이 고정되지 않은 상황에서 유연하게 역할이 바뀐다는 것을 뜻한다. EI에서의 통신 구조는 크게 일반적인 거래에서의 역할 분배와 상호작용, 옵션거래에서의 역할분배와 상호작용의 2가지로 나뉜다.

그림 4는 일반거래에서의 역할 분배를 나타낸다. 기본적인

인 일반거래의 경우 각각의 구성원은 동등한 위치에 있으며, 서로 수직적인 상하관계가 아닌 수평적인 관계를 유지한다. 따라서 각 Party들은 다른 Party들에게 자유로운 거래 제시 및 입찰이 가능하다.

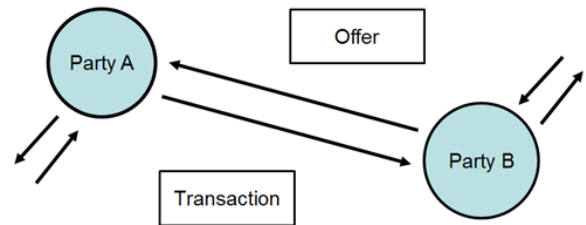


그림 4. 일반 거래에서의 역할 분배

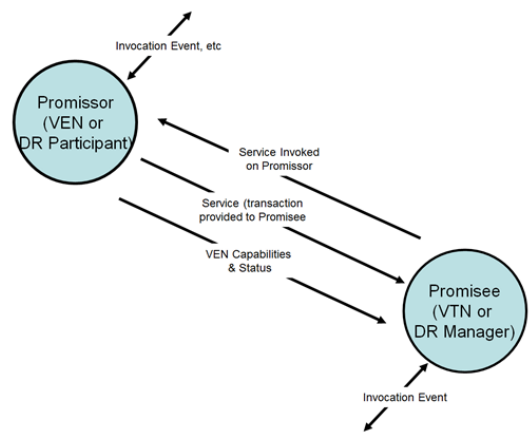


그림 5. 옵션 거래에서의 역할 분배

옵션거래의 경우, 각각의 파티들의 특정거래에 대한 부수적인 수행약속을 호출하여 실행한다. 그림 5는 옵션 거래에서의 역할 분배를 나타낸다. 이러한 옵션거래의 종류에는 수요반응, 부가 서비스, 에너지 옵션 거래 등의 형태가 있으며, 서비스를 제공하는 당사자를 Promisor, 구매자를 Promisee로 표현한다. EI 옵션거래에서의 대표적인 운용방식 중 하나인 수요반응 작용에서는 각 파티를 정보를 전송하는 VTN(Virtual Top Node)와 VEN(Virtual End Node)로 나타내며, 일반적인 거래에서와 마찬가지로 수평적인 관계를 가진다. 이는 VTN과 VEN의 역할이 고정되어 있지 않고 VTN이 VEN이 될수도 VEN이 VTN이 될 수도 있다는 것을 의미한다. 그림 6 수요반응 거래에서 나타날 수 있는 각 구성원들의 구조도이다. 이 구조도에서 각각의 역할은 표 1과 같다.

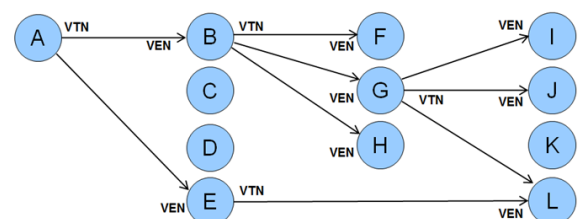


그림 6. 수요반응 상호작용 구조도

표 1. 각 Party별 역할 분배

Label	Structure Role	Possible Actor Names
A	VTN	System Operator, DR Event Initiator, Microgrid controller, landlord
B	VEN (wrt A), VTN (wrt F, G, H)	Aggregator, microgrid element, tenant, floor, building, factory
G	VEN (wrt B), VTN (wrt I, J, L)	Microgrid controller, building, floor, office suite, process controller, machine
L	VEN (wrt G and wrt E)	Microgrid element, floor, HVAC unit, machine

2.3.3 WS-Calendar

WS-Calendar는 일정에 따른 서비스제공의 변경사항에 대해 설명한다. WS-Calendar는 기업의 일정 통신 표준인 iCalendar를 기반으로 하며, iCalendar 인터벌의 필수 예약을 단순화한다. 각각의 인터벌은 다른 공간에서 아티팩트로 활용될 수 있으며, 수요반응 이벤트 또는 전원 수량과 가격 등의 전반적인 내용들은 말한다. WS-Calendar는 제품을 정의하는 EMIX에도 사용되며, WS-Calendar 또한 서비스 제공을 위한 일정을 통신할 때마다 EI의 인터페이스를 활용한다. 그림 7은 간단한 WS-Calendar를 나타낸 것이고 정보 요소가 더 복잡하고 시간이 지남에 따라 달라지는 경우 그림 8과 같이 확장 할 수 있다.

Units	KW	Start:	8:00	Duration:	1Hour	Quantity	10
-------	----	--------	------	-----------	-------	----------	----

그림 7. WS-Calendar 구조

Units	KW	Start:	8:00	Duration:	1Hour	Quantity	10
				Duration:	1Hour	Quantity	10
				Duration:	1Hour	Quantity	15
				Duration:	1Hour	Quantity	25
				Duration:	1Hour	Quantity	10

그림 8. 확장된 WS-Calendar 구조

2.3.4 EMIX

EMIX는 전략 시장 가격 및 제품 정의를 제공하며, EMIX 요소는 [CIM]에 정의된 시장 인터페이스에 가깝게 정렬된다.

EMIX는 WS-Calendar 시퀀스에 제품 설명을 적용하여 전원 옵션 및 전원 제품을 지정하는데, 여기서 제품 설명이란 시간에 따라 변화되는 정보는 각각의 인터벌로, 불변하는 정보는 글루온으로 표기된 아티팩트를 공유한다는 것이다. EMIX 리소스는 시장에 가져 올 수 있는 서비스에 대해 설명하며, 각 리소스는 응답하기 전에 지연시간을 가질 수 있다. 예를 들어 파워를 올리거나 내리거나 할 때 같은 특수한 반응들에 해당한다. 이러한 전력 증감 속도는 다음과 같은 그림 9에서 표현하는 것처럼 Ramp Rate Curve로 표현할 수 있다. 리소스는 최소 응답, 또는 최대 실행 시간, 또는 각 호출 사이에 필요한 최소 시간을 가질 수 있으며, Ramp Rate 나 기능의 관점에서 리소스를 표현함으로써, 잠재적 구매자는 리소스가 그들의 요구에 충족하는지, 구매 시나리오의 다양한 리소스입찰 관련한 정보를 확인할 수 있다.

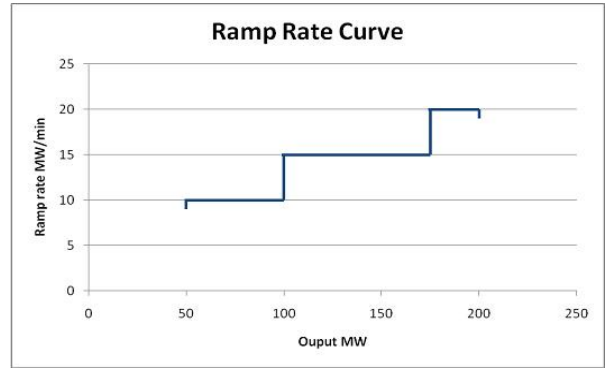


그림 9. Ramp Rate Curve

EI에서의 메시지 페이로드는 EMIX 객체의 전달로 구성 되어 있으며, EMIX와 그 기능에 익숙하지 않은 독자는 각 서비스가 제공하는 메시지를 이해하는데 어려울 수 있다. 간단한 EMIX 개체에서 글루온과 제품, 시간, 기간 등을 설명하는 제품이며, 이러한 글루온과 인터벌을 활용한 계약정의는 그림 10과 같다.

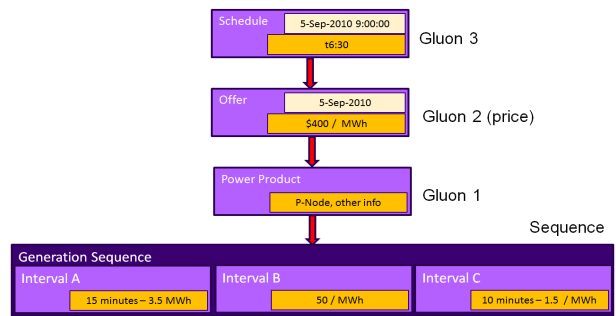


그림 10. 계약 정의 시 EMIX와 WS-Calendar의 사용

2.3.5 EI Service

EI 서비스는 크게 3가지 범주의 서비스로 구분된다. 이는 에너지 거래, 등록 및 입찰을 구현하기 위한 Transactive Services, Feedback과 Event를 구현하기 위한 Event Services, 그 외의 기능을 구현하기 위한 Support Services로 나뉜다.

Transactive Services는 중요한 계약 내부거래의 초기전적과 최종 생산으로부터의 lifecycle을 정의하고 이를 지원하는 서비스로 총 3가지 단계로 나뉜다. Register Services는 기본적인 계약의 등록에 관련한 서비스로, 미래의 상호작용을 위한 각 파티간의 식별 서비스이다. 이 서비스는 등록, 요청, 취소 등의 3가지 작동을 한다. Pre-Contract Services는 공급자와 사용자간의 승인된 제안의 결과로 인한 계약 및 계약 준비를 위한 서비스이다. 대표적으로 각 파티들의 입찰 유무에 관한 정보를 전송하는 Tender와 입찰 가격 정보에 관한 서비스인 Quote 서비스가 존재한다. 각각 생성, 요청, 동의, 전송, 취소 등의 5가지 작용과 생성, 취소, 요청, 분배 등의 4가지 작용을 한다. Contract Management Services는 실행된 계약을 관리하는 서비스로, 계약이 성립된 후의 관리

를 담당한다. 이 서비스는 생성, 변경, 취소, 요청 등의 4가지 작용을 한다.

Event Services는 계약에 따른 추가적인 정보호출을 위해 사용되며, 이 서비스 또한 총 3가지의 범주로 나뉜다. EiEvent Services는 거래 일정 및 위치 등의 정보를 제공하는 서비스이며, 생성, 변환, 취소, 요청 등의 4가지 작용이 있다. Feedback Service는 DR 이벤트 신호에 대한 응답관련 서비스로, EiEvent 서비스와는 독립적으로 작용한다. 이 서비스에는 생성, 취소, 요청응답 등의 3가지 작용을 한다. EiProgram Service는 요청된 작업에 대한 간단한 수준의 프로그램을 호출 및 배포하는 서비스로, 요청, 생성, 취소, 요청 호출, 배포 등의 5가지 작용을 한다.

Support Service는 계약 이외의 다양한 지원서비스를 위해 존재하며, 총 3가지의 서비스가 존재한다. EiConstraint Service는 VEN으로 설정하며, 이벤트를 VEN이 쉽게 수용하고 실행되지 않을 때 표시되는 서비스로, 생성, 변경, 삭제, 요청 등의 4가지 작용한다. Opt Out Services는 VEN에서 VTN에 대한 일정을 선택 해제를 생성 및 전달하는 서비스이며, 생성, 변경, 삭제, 요청 등의 4가지 작용이 있다. Status Service는 이벤트의 상태에 관련하여 통신이 되는 서비스이며, 자산이나 자원의 상태에 대한 정보를 전달한다는 점에서 Feedback service와 구분된다. 이 서비스는 1가지 정보로 작용한다.

### Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 스마트그리드 환경 하에서 수용반응 통신에 사용되는 프로토콜과 프로토콜에 사용되는 EI정보모델에 대하여 알아보았다. EI기반 통신 프로토콜들은 수요반응 시스템 등에 사용되면 더욱 효율적인 에너지 사용을 가능하게 할 것이다. 향후에는 본 논문에서 말한 프로토콜들을 연구하고 각각의 다른 프로토콜을 하나의 프로토콜로 융합하여 좀 더 효율적인 새로운 프로토콜을 개발 연구 할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] PIER, "Open Automated Demand Response Communications Specification(Ver. 1.0)," Apr.2009.  
 [2] 지식경제부, "스마트그리드 상호운용성 표준 프레임워크 및 로드맵1.0" Apr.2012.  
 [3] Korea smart grid Institute website; Available at <http://smartgrid.or.kr>  
 [4] OASIS, "Energy Interoperation Version 1.0," Dec. 2011.  
 [5] S.C. Chan, K.M. Tsui, H.C. Wu, Yunhe Hou, Yik-Chung Wu, and Felix F. Wu, "Load/Price Forecasting and managing demand response for smart grids," IEEE Signal processing magazine, vol. 29, no. 5. pp.68-85, Sep. 2012.

### 저자

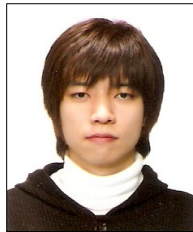
#### 박 주 현(JuHyun Park)



· 2006년 3월~현재 : 광운대학교 전과 공학과 학부생

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

#### 박 재 정(Jaejung Park)



· 2012년 2월 : 광운대학교 전과공학과 학사졸업  
 · 2012년 3월~현재 : 광운대학교 전과공학과 석사과정

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

#### 김 진 영(Jinyoung Kim)



· 1998년 2월 : 서울대 전자공학과(공학 박사)  
 · 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate.  
 · 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원

· 2009년 : 미국 M.I.T 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 전과공학과 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 공학 석사
- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학 박사
- 1992년~현재 : 한국전기연구원 수석 연구원

<관심분야> : PLC, 홈 네트워킹, 네트워크 관리시스템

<e-mail> : jjlee@keri.re.kr