

스마트 에너지 IoT를 위한 CoAP 기반 Lightweight OpenADR2.0b 프로토콜의 구현 및 분석

박헌일*, 김세영*, 강성철*, 박현진*, 김일연**, 최진식^o

Implementation and Analysis of CoAP-Based Lightweight OpenADR2.0b protocol for Smart Energy IoT Environment

Heon-Il Park*, Se-Young Kim*, Seong-Cheol Kang*, Hyun-Jin Park*,
Il-Yeon Kim**, Jin-Seek Choi^o

요약

효율적인 에너지의 사용을 위해 수요반응이라는 개념이 등장하였고 지능화 된 수요반응 서비스를 제공하기 위한 Open Automated Demand Response(OpenADR) 표준 프로토콜이 개발되었다. 최근 스마트 홈 중심의 에너지 Internet of Things (IoT) 분야에서도 사물인터넷 기술을 이용하여 다수의 스마트 홈 기기들에 수요반응 및 에너지 관리 서비스를 제공하려는 시도가 늘어나고 있다. 그러나 스마트 홈 에너지 IoT 환경에서는 많은 수의 초경량 디바이스들이 연결되기 때문에 기존의 HTTP/XML 기반의 OpenADR 수요반응 프로토콜보다 경량의 메시지를 이용한 수요반응 프로토콜이 필요하다. 본 논문에서는 Smart Energy IoT 환경에서 수요반응 서비스를 제공하기 위한 경량의 CoAP/JSON 프로토콜에 기반 한 경량화된 OpenADR 프로토콜을 제안하고 기존의 HTTP/XML 형식의 프로토콜과 성능을 비교 및 검증하였다.

Key Words : Smartgrid, IoT, OpenADR, Demand Response, CoAP

ABSTRACT

For efficient energy usage, the concept of demand response has been emerged and thereby Open Automated Demand Response(OpenADR) protocol is developed as a standard protocol to provide automated demand response. There have been emerging trends on the demand response services using the Internet of Things(IoT) for smart home energy management. In this smart home energy IoT environment, a lightweight protocol is needed rather than the existing HTTP/ XML based OpenADR protocol for demand response services since many small devices will be interconnected. In this paper, we propose a lightweight OpenADR protocol based on CoAP protocol for providing demand response service in Smart Energy IoT environment, implement the proposed CoAP-based protocol, and analyzed the performance compared to existing HTTP/ XML-based OpenADR 2.0b protocol.

* First Author : Hanyang University Department of Computer Science, heonil8@nate.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Hanyang University Department of Computer Science, jinseek@hanyang.ac.kr, 중신회원

* Hanyang University Department of Computer Science, heehouse1@gmail.com, seongck115@gmail.com, myhoue3372@naver.com

** Korea Smart Grid Association, ttiamo77@ksga.org

논문번호 : KICS2017-02-042 Received February 15, 2017 Revised April 7, 2017; Accepted April 10, 2017

I. 서 론

전 세계적으로 다양한 전력기기의 발전은 전력 사용량 증가를 야기하였다. 특히나 여름철이나 겨울철 냉난방기기 등의 사용량 급증에 따른 정전사태는 심각한 문제를 야기할 수도 있다. 뿐만 아니라 날로 치솟는 유가와 함께 지속적인 온실가스의 증가에 따른 지구 온난화 문제 역시도 심각한 수준에 도달하면서 에너지의 효율적인 사용에 대한 관심이 커지고 있다. 효율적인 에너지 사용을 안정적으로 제공하기 위해서는 전력 수요가 공급을 초과하지 않도록 전력망의 수요반응이라는 개념이 등장하게 되었다. 수요 반응은 에너지 생산량에 맞추어 소비량을 미리 설정해서 수요가 공급을 넘지 않도록 조절하는 에너지 소비의 지능화 기술이다. 이를 위해서는 생산자인 유틸리티와 소비자 간에 정보를 교환하기 위한 프로토콜로 OpenADR Alliance^[1]에서 표준화 된 Open Automated Demand Response(OpenADR)^[2]가 제안되었다. OpenADR 프로토콜은 현재 많은 Utility 회사나 공공 기관이나 빌딩에서 수요반응 프로토콜로 사용하고 있다.

에너지 사용에 대한 일반 사용자의 관심과 스마트 홈(smart home) 기술이 발전하면서 공장이나 빌딩 중심의 블랙아웃 방지를 위한 에너지 관리에 관한 연구^[3]에서 더 나아가 최근에는 스마트 홈을 중심으로 가정이나 소규모 집합건물에서 지능화된 에너지 관리를 위한 수요 반응 연구가 활발히 진행되고 있다. IEC S G25 스마트 홈 분과에서는 가정이나 소규모 빌딩, 집합 건물에서 에너지 수요 반응 관리를 위한 Energy Management Agent(EMA) 표준화가 진행되었다^[4]. 스마트 홈에서 에너지 관리를 위한 EMA 기술은 사물인터넷(Internet of Things; IoT) 기술과 결합하여 모든 사물이 시간과 장소에 구애 없이 센서 네트워크를 이용하여 연결되어 각 노드들의 전력 상태 정보를 송수신 하거나 수요를 제어할 수 있는 다중 EMA 기반의 초연결 통신환경을 제공하게 되었다. 스마트 홈에서의 초연결 통신 기술은 스마트 홈 에너지 최적화 제어에 대한 에너지 수요반응 서비스를 제공할 수 있는 에너지 IoT로 발전하게 되었다^[5].

에너지 IoT^[5]는 이처럼 초연결 사물인터넷 환경에서 에너지 수요반응 서비스를 제공하기 위한 통신 프로토콜에 대한 상호운용성을 제공하는 시스템이다. 그러나 에너지 IoT 시스템은 사물인터넷을 기반으로 기기들의 소형화에 따라 네트워크 장비 역시도 소형화 되고, 소형화 된 네트워크 장비로 인해 기존의 Utility 등에서 사용하는 Hyper Text Transfer Protocol (HTT

P)/Extensible Markup Language(XML) 기반의 OpenADR 수요반응 프로토콜로는 원활한 서비스를 제공에 한계가 드러나게 되었다. 이러한 한계점을 극복하고자 본 논문에서는 국제 인터넷 표준화 기구(Internet Engineering Task Force; IETF)는 RFC7252를 통해 소형의 네트워크 장비에서도 원활한 통신이 가능한 경량 메시지를 위한 Constrained Application Protocol (CoAP)^{[6][7]}를 이용하여 에너지 IoT 환경에 알맞은 경량의 수요반응 프로토콜을 제안하고 구현하고자 한다.

본 논문의 목적은 기존의 HTTP 프로토콜 위에 XML 방식으로 구현 되어 있는 OpenADR의 문제점을 분석하고 이를 IoT 프로토콜인 CoAP 프로토콜 방식으로 경량화 된 OpenADR 프로토콜을 제안하고자 한다. 또한 본 연구에서 개발한 경량화된 수요반응 프로토콜을 에너지 IoT 환경처럼 제한된 스마트 홈 환경에서 원활한 수요반응 서비스를 제공할 수 있는지 테스트 베드를 통해 총 세 가지 방법으로 성능을 분석한다. 각 포맷별로 일정 시간 동안의 총 데이터양을 비교하고 상태 메시지에 대한 응답 시간의 분석 및 특정 이벤트에 대한 메시지 응답 시간에 대한 분석을 통해 기존 HTTP/XML 기반의 OpenADR 프로토콜의 수백 ms에 비해 제안된 프로토콜은 수 ms 내에 수요반응 서비스를 제공할 수 있고 더 적은 양의 리소스를 이용하여 동일한 서비스를 제공할 수 있음을 증명하였다. 또한 스마트 홈들에 대하여 에너지 IoT 환경을 제공하고 실시간 수요반응 서비스의 가능성을 검증하였다. 나아가 스마트그리드 에너지관리시스템과 수요반응 서비스를 연계한 유틸리티와 스마트 홈이 결합된 통합 수요반응 솔루션을 제공할 수 있다는 것을 증명하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 수요반응, OpenADR, CoAP와 같은 본 연구의 관련연구에 대해 소개한다. III 장에서는 CoAP를 기반으로 하여 JavaScript Object Notation(JSON) 포맷을 이용하여 구현 한 OpenADR2.0b 프로토콜에 대해 소개하고 해당 프로토콜의 분석 및 검증을 위한 실험을 IV장에서 소개한다. 마지막으로 V장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

2.1 수요반응

스마트그리드는 기존의 전력 시스템에 정보통신기술(Information and Communication Technology; ICT)을 접목하여 기존의 단방향 전력망에서 소비자가 양방향으로 전력 생산 및 사용에 대한 정보를 교환함

으로써 효율적인 에너지 생산 및 사용이 가능하도록 하는 차세대 지능형 전력망을 의미한다. 에너지 IoT망에서 수요반응이란 그림 1에서 보는 바와 같이 스마트그리드와 연결된 스마트 홈 IoT 환경에서 소비자들의 최대 전기 사용량의 차이를 완화시키고, 전기 공급과 수요의 균형을 맞추기 위하여 일시적으로 전기 사용량을 축소시키기 위해 소비자의 전력 사용 패턴의 변화를 유도하는 에너지 최적 사용 기술을 말한다⁸⁾. 수요반응제도는 소비자가 지불하는 전력 가격을 시간별로 차등 적용하여 소비자가 이에 반응하여 전력 사용패턴을 변화시키는 방식인 요금 기반 수요반응과 전력 공급자 또는 전력 시스템 운영자에 의해 운영되는 전력 사용을 줄이게 하여 이에 대한 인센티브를 지급하는 인센티브 기반 수요반응으로 나누어진다.

스마트그리드와 스마트 홈 에너지 IoT에서 수요반응은 그림2 (a)에서 보이는 바와 같이 생산량 초과에 따른 최대 수요의 발생을 억제하고 그림 2(b)처럼 피크 시간대의 부하를 보다 부하가 낮은 경부하시간대로 이전하며 그림 2(c)처럼 경부하 시간대의 수요를 증대하는 데에 그 목적이 있다. 이를 위해 에너지 기기 내의 에너지 사용 정보를 얻거나 다양한 에너지 관련 기기나 시설에 대한 고유 인증절차, 에너지 사용을 제어하는 명령을 전달하기 위해 높은 수준의 보안성과 개방성이 요구된다. 따라서 다양한 전력기기가 표준화된 방법으로 쉽게 연동하고 안전하게 정보를 전달할 수 있는 표준화된 수요반응 프로토콜이 반드시

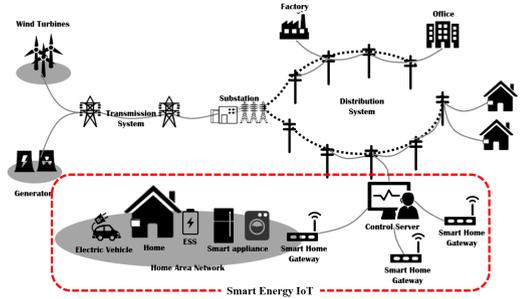


그림 1. 스마트그리드 망과 에너지 IoT의 구조
Fig. 1. Structure of Smart Grid Network and Energy IoT

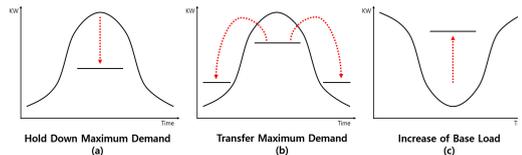


그림 2. 수요반응의 목적
Fig. 2. Purpose of Demand Response

필요하다. 또한 모든 기기를 플랫폼화 하여 공공 시설물이나 전력 기기에 부착하여 상호 연동할 수 있어야 한다.

2.2 OpenADR

OpenADR은 Open Alliance에서 배포한 지능형 수요반응에 적용되는 표준 통신 프로토콜이다¹¹⁾. 현재 OpenADR은 1.0을 거쳐서 2.0버전까지 나왔으며, 기존의 1.0버전이 제한된 수의 참여자, 인증 프로그램의 미비, 비 국제 표준으로 인한 상호 운용의 어려움 및 기본적인 수요반응 응용의 제한 등의 단점을 가지고 있었던 반면, 2012년 개발 된 2.0 버전은 다수의 벤더 수용, 인증 테스트 도구, Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) 기반 국제 표준, 대다수 수요반응 프로그램에 적용되는 유연성 등의 장점을 가진다.

OpenADR에서 수요반응 통신 참여자는 Virtual Top Node(VTN)과 Virtual End Node(VEN)으로 구분되며 VTN은 OpenADR 통신에서 수요반응에 Event를 제공해주는 역할을 하며 End Device나 중간 서버들에게 OpenADR Signal을 전송한다. VEN은 OpenADR 통신에서 일반적으로 클라이언트 역할을 하며 수요반응 Event에 반응한다. 그림 3은 OpenADR 통신의 시나리오 예시를 보여준다. 전력 설비에서 애그리게이터로 OpenADR을 이용하여 에너지 절약에 대한 DR 이벤트를 내려준다. 해당 이벤트를 받은 애그리게이터에서는 가정의 에너지를 관리할 수 있는 주택용 에너지 관리 시스템(Home Energy Management System; EMA)에게 다시 에너지 절약을 요청하는 DR 이벤트를 내려준다. 해당 이벤트 내용에 반응하여 EMA는 에너지 관리 프로토콜을 이용하여 가정 내 장비의 에너지 사용을 지능적으로 조절, 제어한다. 그 결과 에너지 절약이 이루어지고 그 절약의 양을 측정하여

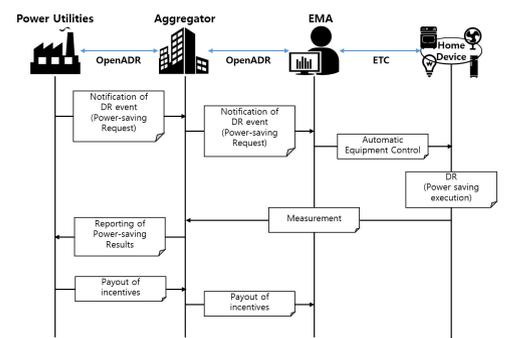


그림 3. OpenADR의 통신 흐름도
Fig. 3. OpenADR communication flow diagram

다시 애그리게이터에 보내주면 애그리게이터는 해당 내용을 전력 설비에 보고한다. 그 보고 내용을 기반으로 절약에 대한 인센티브가 각 가정으로 전달되게 된다. OpenADR은 전송 및 보안 메커니즘을 포함하는 통신 데이터 모델로서 2개의 노드, 즉 전기 서비스 제공자와 고객 사이의 정보 교환을 제공한다. 또한 DR 신호의 교환을 위하여 비트 구조를 명시하는 일부 통신 프로토콜과 달리 XML 및 IP와 같은 기존 개방 표준을 사용한다.

하지만 위와 같은 OpenADR 시스템은 전체 생산량에 따라 사용자 수요를 제한하거나 제한된 에너지의 사용량에 따라 사용자의 에너지 최적화에 제한되어 있다. 이에 따라 사용자의 수요에 따른 에너지 분배나 실시간 에너지 사용 제어에 대한 기술이 필요하며 이를 위해 다양한 방법이 연구되어 지고 있다^{9,10}.

본 연구에서 다루는 OpenADR2.0b는 그림 4(a)-(d)와 같이 총 네 가지의 서비스를 지원한다. (a) VTN과 VEN이 서로의 정보를 교환하고 ID값을 발급하여 연결을 수립하는 Registration 서비스, (b) VTN과 VEN의 보고능력을 알려주고 구독을 신청하는 Report 서비스, (c) 수요자원의 사용 패턴 변화를 유도하기 위한 신호 메시지를 보내는 Event 서비스, (d) 이벤트 스케줄에 대한 수용 가능여부를 정의하는 Opt 서비스가 있다. 그림 4는 각 서비스의 동작 과정을 보여준다. 본 논문의 실험에서는 4(a) Registration, 4(b)의 Report 등록 과정과 4(c)의 Event 서비스를 이용하여 성능을 측정한다.

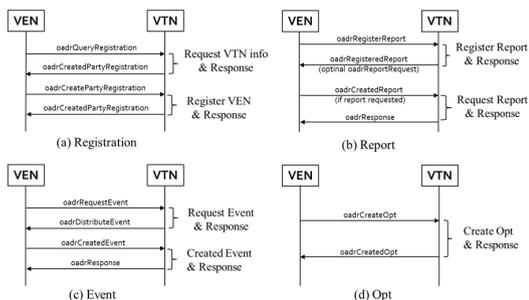


그림 4. OpenADR 2.0b 동작 과정
Fig. 4. OpenADR 2.0b Operation Process

2.3 CoAP

사물인터넷의 중요성이 증가하면서 국제 인터넷 표준화 기구인 Internet Engineering Task Force(IETF)는 경량 메시지를 위한 RFC7252 CoAP를 2014년 정의하였다. CoAP는 저 전력의 손실이 많은 즉, 제한

된 네트워크와 제한 된 노드를 위한 User datagram protocol (UDP) 기반의 경량화된 프로토콜이다. 사물인터넷에 대한 관심이 증가함에 따라 CoAP에 대한 관심 역시 증가하고 있는 추세이고 Eclipse 커뮤니티에서도 CoAP를 공개 표준으로 지원하는 등 다양한 IoT 제공 업체들과 함께 빠르고 성장하고 있다.

CoAP는 기본적으로 UDP에서 비동기식 전송을 방식을 취하여 Transmission Control Protocol(TCP)를 이용하는 다른 IoT 프로토콜에 비해 더 가볍고 부하가 적다. 반면 TCP에 비해 신뢰성이 낮지만 대신 재전송 및 타이머 관리를 옵션으로 포함하고 있고 보안을 위해 Datagram Transport Layer Security (DTLS) 계층을 사용할 수 있다. CoAP는 신뢰성 있는 통신을 위하여 메시지에 확인형(Confirmable, CON), 비확인형(non-confirmable, NON), 승인(acknowledgement, ACK), 리셋(reset, RESET)과 같이 네 가지의 메시지 타입을 정의한다. 신뢰성 있는 전달을 위해서 CON 메시지를 전송하며, CON 메시지에 포함 된 메시지 ID는 ACK 메시지에 동일하게 들어가게 된다. 만약 수신 노드가 CON 메시지에 대한 처리를 할 수 없을 경우에는 ACK 메시지 대신 RESET 메시지를 보낸다. 주기적인 데이터 수집과 같이 신뢰성이 요구되지 않는 통신에서는 NON 메시지를 전송한다. 이 경우에 메시지 ID는 중복 메시지 검출을 위한 용도로만 사용되고 수신 노드에서는 별도의 응답을 보내지 않는다. 하지만 수신 노드에서 NON 메시지에 대한 처리를 할 수 없는 경우에는 RESET 메시지를 보내어 오류를 알린다. 프로토콜의 경량화를 위하여 프로토콜의 레이어 아웃 단순화 하여 Header는 Binary 형태로 사이즈를 줄였다.

CoAP는 기본적으로 일대일(1:1) 방식을 취하지만, IPv6 위에 구축되기 때문에 일대다(1:N) 혹은 다대다(N:N) 멀티캐스트를 지원할 수 있다. 또한 CoAP는 Restful API를 사용하기 때문에 기존의 HTTP 웹 프로토콜과 상호 운용이 가능하다.

III. CoAP 기반 JSON 방식의 OpenADR2.0b

본 장에서는 기존의 HTTP/XML 기반의 OpenADR2.0b 프로토콜을 CoAP/JSON 기반 경량화된 OpenADR 프로토콜에 대하여 기술한다. XML을 이용하여 표현되었던 메시지는 JSON을 이용하여 매핑되도록 구조화 된 문서를 송수신하도록 텍스트 포맷의 형식을 사용한다. XML은 비전문가도 쉽게 해석과 작성이 가능하고 확장이 용이하다는 장점이 있으나 작성 시

표 1. CoAP와 HTTP 비교
Table 1. The Comparison between CoAP and HTTP

	CoAP	HTTP
Protocol	based on UDP	based on TCP
Network Layer	IP Layer and 6LowPan	IP Layer
Multicast Support	it supports	it does not support
Architecture Model	Client-Server & Publish-Subscribe	Client-Server
Synchronous Communication	does not need	need
Overhead	Simple	Complex
Application	Designed for resource constrained networking devices such as WSN/IoT/M2M.	Designed for internet devices where there is no issue of any resources.

불필요한 태그로 인한 용량의 증가와 배열 형식 혹은 반복구조를 나타낼 때 불필요한 데이터가 중복되어 나타나기 때문에 파싱의 속도가 느려진다는 단점을

갖는다. 그에 비해 JSON은 내용을 함축적으로 최소한의 값만을 갖기 때문에 상대적으로 용량이 적다는 것과 적은 용량으로 인해 빠른 파싱 속도를 갖는다는 장점이 있다. 또한 객체와 배열의 구조를 갖기 때문에 보다 효율적인 데이터 구성이 가능하고 구현이 간편하다는 장점을 갖는다. 하지만 함축적인 구조를 갖기 때문에 비전문가가 알아보기 쉽지 않고 대용량의 데이터 전송에 적합하지 않다는 단점을 갖는다.

CoAP는 앞선 장에서 언급했던 것과 같이 소형 네트워크에서 사용 할 수 있도록 경량화 된 프로토콜이다. 프로토콜의 경량화를 위하여 CoAP는 함축 된 Overhead를 가짐으로써 데이터의 용량을 줄여서 전송한다. 이에 반해 HTTP는 CoAP와 비교하여 상대적으로 복잡하고 용량이 큰 오버헤드를 갖기 때문에 같은 내용의 통신에서도 보다 많은 양의 데이터를 전송하게 된다. HTTP는 TCP를 기반으로 동기식 전송을 갖기 때문에 CoAP에 비해 대기시간이 길고 전력소모가 많다. 또한 HTTP는 일대일 통신을 위한 프로토콜로 멀티캐스트를 지원하지 않지만 CoAP는 일대일 통신을 기본으로 하지만 필요에 따라 멀티캐스트 통신을 지원할 수 있다. 하지만 기존의 HTTP 형식과 동일하게

표 2. XML과 JSON 포맷의 Payload
Table 2. Payload of XML and JSON format

Format	Payload	Data
XML	<pre><ns1:oadrPayload xmlns:ns1 ="http://openadr.org/oadr-2.0b/2012/07" xmlns:ns2 ="http://docs.oasis-open.org/ns/energyinterop/201110" xmlns:ns14 ="urn:un:unece:uncefact:codelist:standard:5: ISO42173A:2010-04-07"> <ns1:oadrSignedObject> <ns1:oadrResponse ns2:schemaVersion="2.0b"> <ns2:eiResponse> ----- (a) <ns2:responseCode>200</ns2:responseCode> ---- (b) <ns2:responseDescription>OK </ns2:responseDescription> <ns3:requestID></ns3:requestID> ----- (c) </ns2:eiResponse> ----- (a) <ns2:venID>cc085337</ns2:venID> ----- (d) </ns1:oadrResponse> </ns1:oadrSignedObject> </ns1:oadrPayload></pre>	499 bytes
JSON	<pre>{ "Service": "eiResponse", "responseCode": 200, "requestID": null, "venID": "cc085337" }</pre> <p>(a) (b) (c) (d)</p>	75 bytes
Data Mapping		
entity	XML	JSON
Service (a)	<ns2:eiResponse>... </ns2:eiResponse>	"Service": "eiResponse"
Response Code (b)	<ns2:responseCode>200 </ns2:responseCode>	"responseCode": 200
Request ID (c)	<ns3:requestID> </ns3:requestID>	"requestID": null
VEN ID (d)	<ns2:venID>cc085337 </ns2:venID>	"venID": "cc085337"

CoAP CON-ACK 형식으로 메시지를 신뢰성 있게 주고받는다.

본 논문에서 사용하는 OpenADR 2.0b 프로토콜은 대용량의 데이터를 이용하지 않고 제한된 네트워크에서 가볍고 빠른 통신을 목적으로 하므로 기존 프로토콜의 XML 데이터를 JSON 방식으로 매핑하여 구현하였다. XML에서 사용된 요소들은 JSON에서는 객체의 이름으로 XML의 요소 값은 JSON 객체의 값으로 매핑된다. 이 과정에서 XML의 메타데이터가 상실되며 그 결과 데이터의 스키마를 알 수 없게 되는 부작용이 발생하나 본 통신에서는 VTN과 VEN 간의 속성 값과 그 요소 값의 전달만을 통해서도 원활한 통신이 가능하다. 데이터 매핑의 예시는 표 2와 같다. 메시지의 흐름은 OpenADR2.0b 표준을 따랐다.

IV. 실험

4.1 실험 환경

본 실험을 위한 전체 스마트 에너지 IoT의 환경 구성은 그림 5와 같다. 스마트 에너지 IoT 환경에서 VTN은 Linux PC에서 실행되며 에너지 관리 시스템의 역할을 수행하여 에너지 사용 현황 모니터링 및 기기의 제어가 가능하다. 각 각의 VEN은 OpenWRT라는 유무선 공유기를 위한 임베디드 리눅스 운영체제를 갖고 있는 라우터 위에서 실행된다. 해당 라우터는 에너지 IoT 환경에서 게이트웨이의 역할을 겸하며 개별적으로 에너지 관리 에이전트의 역할을 수행하고 IoT 장비들과 IoT 프로토콜을 이용하여 직접적인 통신을 담당한다. 실험 기기의 사양은 다음의 표3과 같다. 비교를 위하여 HTTP/XML을 사용하는 OpenADR2.0b 프로토콜은 EPRI사에서 공개하고 있는 오픈 소스를 이용하여 실험하였다. 본 실험의 제한 사항으로는 OpenADR2.0b 표준에서 정의하고 있는 Pull방식(Request&Response)의 통신메카니즘만을 실험하고 비교한다.

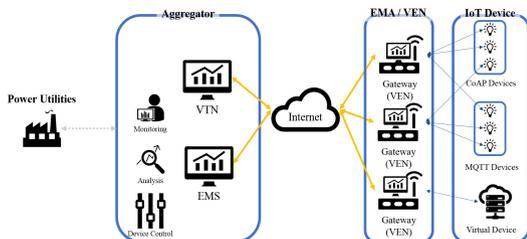


그림 5. 스마트 에너지 IoT 환경 구성도
Fig. 5. Configuration diagram of smart energy IoT environment

표 3. 실험 환경
Table 3. Experimental environment

		VTN	VEN
PC Spec	CPU	Intel Core i5-4200M 2.50GHz	Atheros AR9132 400MHz
	RAM	4GB	64MB
Operating System		Ubuntu 14.04 RTS	OpenWRT

4.2 실험 시나리오 및 결과

본 연구의 검증을 위한 실험의 시나리오는 다음과 같다. 각 프로토콜에 따른 VEN은 해당 프로토콜을 지원하는 VTN에 연결되며 VTN과 VEN의 연결은 일대다의 연결을 갖는다. 실험은 VTN에 접속하는 VEN의 개수를 1개, 3개, 9개, 20개로 늘리며 반복한다. 각 VEN은 VTN에게 접속한 뒤 초기 등록 과정 후 일종의 KEEP ALIVE 메시지로 Poll 메시지를 주기적으로 전송한다. VTN이 자신에게 연결된 VEN들과 Poll 메시지를 주고받는 도중 하나의 VEN에 대하여 사용량에 대한 이벤트를 발생하고 Distribute Event 메시지를 보낸다. 이 때 이벤트는 Pull 방식으로 이루어진다.

연구의 분석을 위해 HTTP/XML 포맷의 OpenADR2.0b 프로토콜과 CoAP/JSON 포맷의 OpenADR2.0b 프로토콜은 표 4와 같이 Data traffic, Polling response time, Event response time 세 가지 항목에서 비교 및 분석한다.

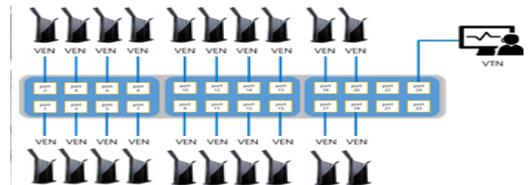


그림 6. 실험 환경 및 구성도
Fig. 6. Experimental environment and configuration

4.2.1 VEN 개수에 따른 Data Traffic 비교

본 연구에서 구현한 CoAP 기반의 JSON 형식의 OpenADR2.0b의 검증 및 기존 방식과의 비교를 위해 세 가지의 데이터를 비교 분석하였다. 첫 번째는

표 4. 측정 항목 및 측정 방법(VEN 개수에 따른)
Table 4. measurement details and methods(according to a number of VENs)

Measurement Details	Methods
Measurement details and methods Data traffic	Data analysis and comparison for approximately 40secs from the starting point of first VEN init Process among VENs (connected on VTN)
Polling Response Time	Polling - Ack average time analysis and comparison between VTN and VENs(connected on VTN)
Event Response Time	During message exchange, occurs a event to one of the VENs then check that event Response time a nalysis and comparison

VEN의 개수에 따른 Data Traffic이다. 그림 7의 구조 (a)에서와 같이 VTN 쪽에서 그림 7(b)에서 보이는 것과 같이 첫 번째 VEN이 VTN에 연결되어 Init Processing을 시작하는 순간부터 polling 과정과 event 발생을 포함한 40초 동안 패킷을 캡처 한 후 각 포맷에 따른 초당 데이터양을 측정하여 비교하였다.

그림 8은 각 VEN 개수에 따른 HTTP/XML 포맷과 CoAP/JSON 포맷의 초당 데이터양을 보여준다. 데이터양은 VEN의 개수와 정비례하여 증가함을 확인할 수 있다. 또 HTTP/XML 포맷과 CoAP/JSON 포맷

의 Data Traffic을 비교하여 보여준다. 두 포맷은 모두 비슷한 증가 양상을 보였지만 HTTP/XML 포맷의 데이터양이 VEN의 개수가 1개일 때는 평균 8340.197b yte/sec, 3개 일 때는 평균 21130.510byte/s, 9개 일 때 는 평균 50062.597byte/s, 20개 일 때는 105051.262b yte/s로 CoAP/JSON 포맷이 VEN의 개수가 1개일 때 는 평균 877.392byte/sec, 3개 일 때는 평균 2592.325 byte/s, 9개 일 때는 평균 7368.251byte/s, 20개 일 때 는 160522.44byte/s과 비교하여 약 7배 더 큰 것을 볼 수 있다. 또한 VEN 개수에 따른 증가 폭 역시도 HTTP/XML 포맷이 VEN의 개수가 3개에서 20개로 증가 함에 있어서 약 83920.751byte/s, CoAP/JSON 포맷 에서는 1340.113byte/s로 HTTP/XML 포맷이 CoAP/ JSON 포맷에 비해 약 7배 더 큰 것을 확인할 수 있 었다. 따라서 에너지 IoT 환경에서 기기의 수가 증가 하게 될 경우 기존 HTTP/XML 기반의 OpenADR 프 로토콜은 데이터의 트래픽이 급격하게 늘어날 수 있 는 반면 제안한 프로토콜은 그 증가폭이 낮고 거의 일 정하게 유지할 수 있기 때문에 대량의 기기들을 수용 할 수 있다.

4.2.2 VEN 개수에 따른 Polling Response Time 비교

두 번째 비교 항목은 VEN의 개수에 따른 Polling Response Time이다. 본 실험에서 VEN은 250ms마다 VTN에게 Polling 메시지를 보내고 VTN은 Polling 메시지에 대한 응답으로 Response 형식의 ACK를 보 낸다. 본 비교를 위해서 그림 9에서 보이는 것과 같이

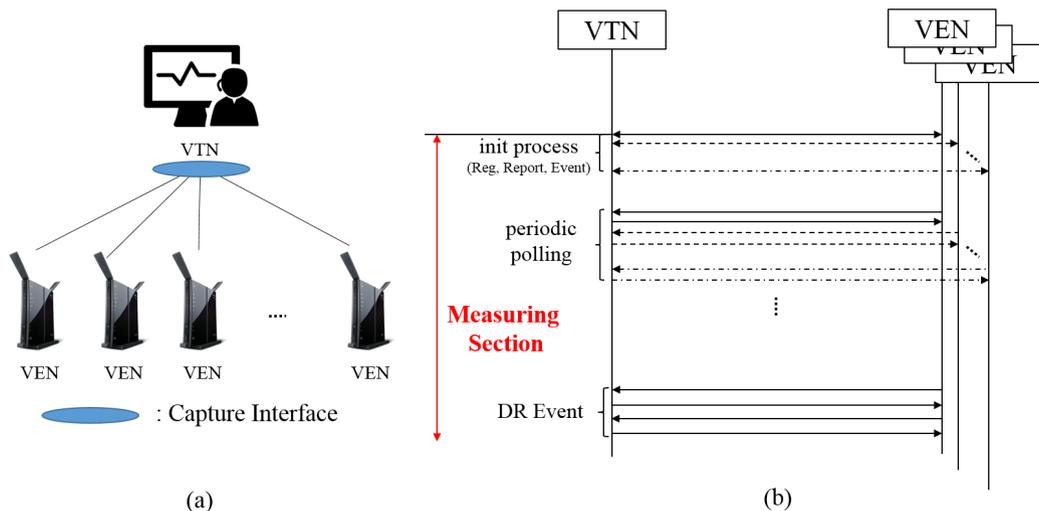


그림 7. Data Traffic 측정구간
Fig. 7. Data Traffic Measuring section

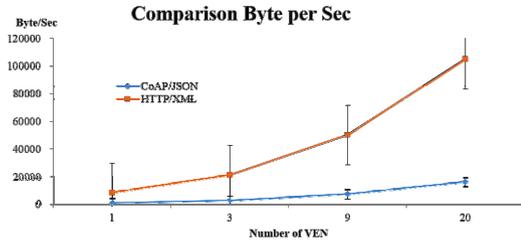


그림 8. HTTP/XML 포맷과 CoAP/JSON 포맷의 VEN 개수에 따른 Data Traffic 비교 그래프
Fig. 8. Comparison Graph of Data traffic according to V EN number of HTTP / XML format and CoAP / JSON format

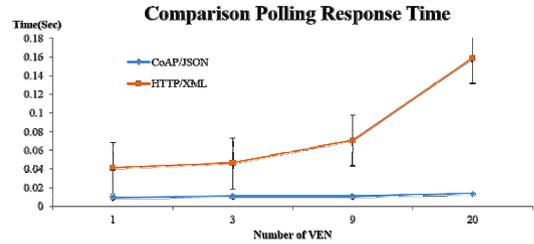


그림 10. HTTP/XML 포맷과 CoAP/JSON 포맷의 VEN 개수에 따른 Polling Response Time 비교 그래프
Fig. 10. Comparison Graph of Polling Response Time according to VEN number of HTTP / XML format and CoA P / JSON format

각 포맷별로 모든 VEN에 대한 Polling 메시지와 Polling 메시지에 대한 응답시간을 측정하고 그 평균값을 이용하여 비교하였다.

HTTP/XML 포맷은 VEN의 개수에 따라 1개 0.0410sec, 3개 0.0459sec, 9개 0.0704sec, 20개 0.1584sec로 Response Time의 증가가 눈에 띄게 보이지만 CoAP/JSON 포맷은 1개 일 때 0.0091sec, 3개 0.0099sec, 9개 0.0101sec, 20개 0.0132sec로 소폭의 증가가 있지만 그림 10에서 보이는 것과 같이 HTTP/XML 포맷과 비교해 보았을 때 큰 변화가 없음을 알 수 있다. HTTP/XML 포맷은 Response Time 자체도 CoAP/JSON 포맷에 비해 약 7배 더 큰 값을 가지고 VEN 개수에 따른 증가 폭 역시도 3개에서 20개로의 증가에서 CoAP/JSON 포맷은 0.003sec, HTTP/XML 포맷은 0.112sec로 HTTP/XML 포맷이 CoAP/JSON 포맷에 비해 약 34배 큰 것을 확인 할 수 있다. 따라서 에너지 IoT 환경에서 기기의 수가 증가하게 될 경우 기존 HTTP/XML 기반의 OpenADR 프로토콜은 수요반응 반응 속도가 급격히 늘어날 수 있는 반면 제안한 프로토콜은 그 증가폭이 낮고 거의 일정하게 유지할 수 있기 때문에 대량의 기기들을 수용할 수 있음을

확인하였다.

4.2.3 VEN 개수에 따른 Event Response Time 비교

세 번째 비교 항목은 VEN의 개수에 따른 Event Response Time이다. 본 실험에서 VTN은 VTN에게 연결된 VEN들이 주기적으로 Polling 메시지를 보내던 중간에 하나의 VEN에게 이벤트 메시지를 내려준다. 이벤트는 VEN의 Poll 메시지에 대한 ACK 메시지에 담겨서 VEN에게 전송된다. 그림 11과 같이 이벤트를 내려주기 위한 Poll 메시지부터 이벤트가 정상적으로 생성되었다는 CreatedEvent에 대한 응답메시지까지의 시간을 측정하여 비교한다.

그림 12는 두 포맷의 Event Response Time에 대한 비교를 보여준다. 두 포맷 모두 VEN의 개수에 따라 증가하는 추세를 보이지만 HTTP/XML 포맷이 VEN의 개수에 따라 1개 일 때 0.5381sec, 3개 일 때 0.5223sec, 9개 일 때 0.6556sec, 20개 일 때 0.7569sec로 CoAP/JSON 포맷의 VEN 개수에 따른 응답시간이 각각 0.0219sec, 0.0239sec, 0.0370sec, 0.0553sec에 비해 기본적인 응답시간은 약 19배로 모두 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며 VEN의 개수가 3개에서

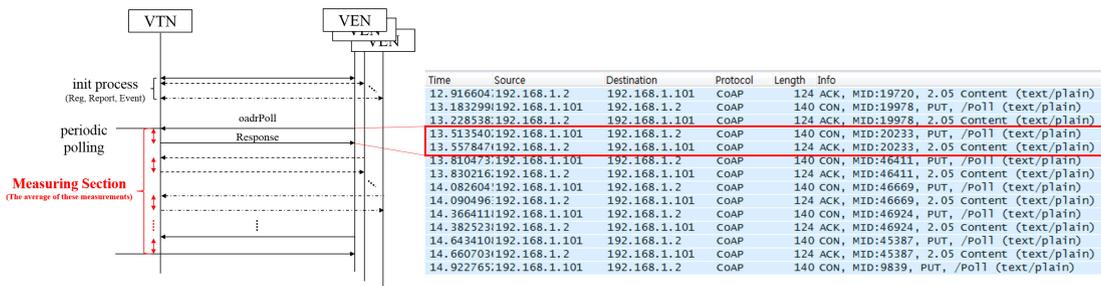


그림 9. Polling Response Time 측정 구간
Fig. 9. Measuring section of Polling Response Time

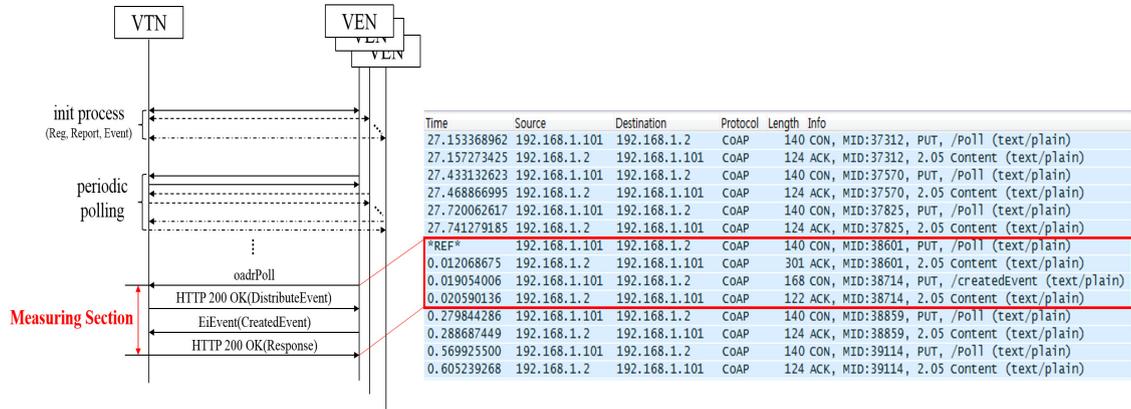


그림 11. Event Response Time 측정 구간
Fig. 11. Measuring Section of Event Response Time

20개로의 증가를 볼 때 그 증가폭이 CoAP/JSON 포맷은 0.0313sec, HTTP/XML 포맷은 0.235sec로 약 7.5배의 차이를 보임을 확인 할 수 있다. 따라서 에너지 IoT 환경에서 기기의 수가 증가하게 될 경우 기존 HTTP/XML 기반의 OpenADR 프로토콜은 수요반응 반응 속도가 급격히 늘어날 수 있는 반면 제안한 프로토콜은 그 증가폭이 낮고 거의 일정하게 유지할 수 있기 때문에 대량의 기기들을 수용할 수 있다.

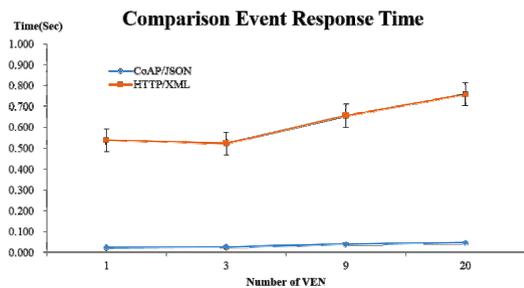


그림 12. HTTP/XML 포맷과 CoAP/JSON 포맷의 VEN 개수에 따른 Event Response Time 비교 그래프
Fig. 12. Comparison Graph of Event Response Time according to VEN number of HTTP / XML format and CoAP / JSON format

V. 결 론

본 논문에서는 에너지 IoT 환경에서 에너지의 효율적 사용 및 에너지 최적화를 위한 경량화된 수요반응 프로토콜의 개발 및 성능분석에 있다. 특히 에너지 수요반응 서비스를 제공함에 있어서 널리 이용되는 OpenADR2.0b 프로토콜을 에너지 IoT 네트워크 환경에서 원활한 통신이 가능하도록 IoT 용 CoAP 프로토

콜에 JSON 포맷으로 구현하고 기존의 HTTP/XML 기반의 OpenADR 프로토콜과 비교 분석하였다. 분석 결과 본 연구에서 제안하였던 CoAP/JSON 포맷의 OpenADR2.0b 프로토콜이 기존의 HTTP/XML 포맷의 OpenADR2.0b 프로토콜에 비해 1/7 수준의 더 적은 데이터 트래픽을 갖고 약 7배 더 빠른 응답시간을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 전력 및 에너지 환경의 소형 네트워크 기기에서 데이터 트래픽과 응답시간은 다양한 제어 서비스로 확장되어가고 있는 에너지 IoT 서비스에서 중요한 요소가 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 경량 프로토콜과 데이터 포맷을 이용하면 소형 네트워크 기기를 갖는 에너지 IoT 환경에서 원활한 수요반응 자동화 서비스가 널리 활용될 것으로 기대된다. 향후 실제 IoT 기기들과 연결하여 경량 프로토콜을 이용한 실시간 수요반응 서비스의 효율에 대한 연구가 필요 할 것으로 보인다.

References

- [1] <http://www.openadr.org/>
- [2] O. Alliance, *The OpenADR primer*, ed: Technical report, 2012.
- [3] D. Delphine, B. W. Jang, Y. S. Shin, S. T. Kang, and J. S. Choi, "Design and implementation of building energy management system with quality of experience power scheduling model to prevent the blackout in smart grid network," *16th Int. Conf. Advanced Commun. Technol.*, pp. 208-211, Pyeongchang, Feb. 2014.

- [4] Information technology - *Interconnection of information technology equipment - Home Electronic System - Application models - Part 3-3: Model of a system of interacting Energy Management Agents (EMAs) for demand response energy management*, ISO/IEC 15067-3-3: CD N1857, 2017
- [5] H. Lee, S. Oh, S. Ko, B. Lee, J. Nam, Y. Kim, and S. Lee, "Research on standard of internet of things for power and energy sectors," *J. KICS*, vol. 33, no. 12, pp. 12-21, Nov. 2016.
- [6] <http://coap.technology/>
- [7] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, *The constrained application protocol (CoAP)*, IETF, Jun. 2014.
- [8] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, "A summary of demand response in electricity markets," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 11, pp. 1989-1996, 2008.
- [9] S. C. Kang and J. S. Choi, "Design and implementation of realtime demand and response gateway in smart home based on MQTT," in *KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 60-61, Jeju Island Korea, Jun 2016.
- [10] S. Y. Kim, B. W. Jang, and J. S. Choi, "Design and implementation of real time demand response protocol based on OpenADR," *JCCI*, Sokcho, Korea, Apr 2016.

김 세 영 (Sae-Young Kim)



2014년 2월 : 상명대학교 디지털미디어학과 졸업
 2014년 3월~현재 : 한양대학교 컴퓨터소프트웨어 석사 과정
 <관심분야> Smart Grid, Energy Efficiency, ICT Convergence

강 성 철 (Seong-Cheol Kang)



2015년 8월 : 홍익대학교 전기공학부 졸업
 2015년 9월~현재 : 한양대학교 컴퓨터 소프트웨어 석사과정
 <관심분야> SDN, Future Internet, Switching & Routing

박 현 진 (Hyun-Jin Park)



2017년 2월 : 한신대학교 컴퓨터 공학부 졸업
 2017년 3월~현재 : 한양대학교 컴퓨터 소프트웨어 석사과정
 <관심분야> IoT, Smart Home, Smart Grid

박 현 일 (Heon-II Park)



2015년 2월 : 한국외국어대학교 정보통신공학과 졸업
 2016년 9월~현재 : 한양대학교 컴퓨터 소프트웨어 석사과정
 <관심분야> IoT, Smart Home, Smart Grid, Server

김 일 연 (Il-Yeon Kim)



2011년 2월 : 한국외국어대학교 디지털정보공학과 졸업
 2011년 2월~2011년 11월 : 한국전자통신연구원 인턴
 2011년 11월~현재 : 한국스마트그리드협회 선임연구원
 <관심분야> Smart Grid(DR, EMS, EV), IoT

최진식 (Jin-Seek Choi)



1985년 2월 : 서강대학교 전자
공학과 졸업

1987년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사

1995년 8월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 박사

1987년 1월 : LG전자 정보통신

1995년 9월 : 공주대학교 조교수

1998년 9월 : 미국 NIST 초빙 연구원

2001년 3월 : 한국정보통신대학교 조교수

2004년~현재 : 한양대학교 컴퓨터소프트웨어학부 교수

<관심분야> Network control and management framework, energy management framework for smart-Grid, software-defined networking, mobile IP, carrier Ethernet, switching and Routing