



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

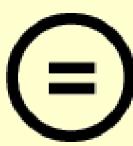
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



석 사 학 위 논 문

빌딩 스마트 그리드를 위한
BACnet-ZigBee 기반의 스마트 미터
설계 및 구현

Design and Implementation of BACnet-ZigBee
based Smart Meter for Building Smart Grid

김 형 래

한양대학교 대학원

2012년 2월

석 사 학 위 논 문

빌딩 스마트 그리드를 위한
BACnet-ZigBee 기반의 스마트 미터
설계 및 구현

Design and Implementation of
BACnet-ZigBee based Smart Meter for
Building Smart Grid

지도교수 홍승호

이 논문을 공학 석사학위논문으로
제출합니다.

2012년 2월
한양대학교 대학원
전자전기제어계측공학과
김형래

이 논문을 김형래의 석사학위 논문으로 인준함.

2012년 2월

심사위원장	임동진 (印)
심사위원	홍승호 (印)
심사위원	이성준 (印)

한양대학교 대학원

차 례

차 례	i
ABBREVIATION	v
국문요지	vi
1 서 론	1
2 연구 배경	4
2.1 스마트 그리드	4
2.2 빌딩의 스마트 그리드	5
2.3 스마트 그리드를 위한 BACnet 서비스	7
2.4 스마트 그리드를 위한 ZigBee 서비스	10
3 ZigBee Smart Energy Profile(SEP) 어플리케이션의 병합	13
3.1 Load Control and Simple Meter 병합의 필요성	13
3.2 Smart Energy Profile의 Load Control Device	13
3.3 Smart Energy Profile의 Simple Meter Device	15
3.4 Load Control 과 Metering Application의 병합	16
4 BACnet-ZigBee의 정보 변환 방법	19
4.1 속성변환(Property - Attribute Translation)	19
4.2 주소변환(Address Translation)	20
4.3 응용서비스의 변환(Application Service Translation)	21
5 Demand Reponse 테스트 모델 적용	27
5.1 BACnet-ZigBee Smart Grid Gateway	27
5.2 ZigBee Smart Energy Profile 기반 Load Control and Meter Device	28
5.3 Monitoring Server	29
6 BACnet, ZigBee 메시지 검증	30
6.1 BACnet/ZigBee 메시지 변환 검증	30
6.2 ZigBee Load Control and Metering Device 응용프로그램 병합 검증	30
7 실시간 데이터 교환 검증	35

7.1	지연시간 측정	35
7.2	지연시간 예상 결과.....	38
7.3	지연시간 측정 실험.....	39
7.4	실험 결과.....	47
8	결론.....	49
	참고문헌	50
	ABSTRACT	51
	감사의 글.....	52

표 차례

표 1 Meter Object에 포함되는 필요한 속성	8
표 2 Load Control Object의 속성	9
표 3 SEP에서 정의하는 스마트 그리드를 위한 장치	10
표 4 SEP를 위한 ZigBee Cluster	11
표 5 Load Control Device가 지원하는 Cluster	13
표 6 Demand Response and Load Control 명령 이벤트	14
표 7 Metering Device가 지원하는 Cluster	15
표 8 Simple Metering의 데이터 속성 세트	15
표 9 Smart Grid를 위한 SEP의 Cluster 목록	17
표 10 BACnet LCO와 ZigBee SEP DRLCC의 속성 변환	20
표 11 BACnet MO와 ZigBee SEP SMC의 속성 변환	20
표 12 메시지 별 예상 지연시간	38

그림 차례

그림 1 스마트 그리드가 적용된 전력망.....	4
그림 2 빌딩에서의 스마트 그리드 예상도.....	7
그림 3 Load Control Event의 구성.....	14
그림 4 Report Attribute Event의 구성.....	16
그림 5 Load Control Device와 Metering Device의 통합.....	18
그림 6 Write Property Request Service의 NPDU 예.....	22
그림 7 ZigBee Load Control Event NSDU.....	23
그림 8 Application Service(Load Control) 변환예시.....	25
그림 9 Application Service(Metering) 변환예시.....	26
그림 10 BZSGG 하드웨어 구조.....	27
그림 11 BACnet-ZigBee Gateway for Smart Grid.....	28
그림 12 Load Control and Metering Device.....	29
그림 13 변환결과 확인을 위한 시스템 구성.....	30
그림 14 Daintree를 통해 측정된 Simple Description Message.....	31
그림 15 Daintree를 통해 측정된 Simple Description Message.....	32
그림 16 Simple Description Message.....	33
그림 17 실험 데모 모델.....	36
그림 18 측정용 프로그램.....	36
그림 19 전체 시스템의 프로그램 흐름도	37
그림 20 ZigBee의 Load Control Message Sequence	40
그림 21 Load Control Event 지연시간	41
그림 22 ZigBee의 Simple Meter Message Sequence	42
그림 23 Metering Report Event 지연시간	43
그림 24 ZigBee의 Load Control Message Sequence	44
그림 25 전체 Load Control 지연시간	45
그림 26 전체 Metering Message Sequence	46
그림 27 전체 Metering 지연시간	47

ABBREVIATION

ACK	Acknowledge Character
AMI	Advanced Metering Infrastructure
APDU	Application Protocol Data Unit
APS	Application Support Sub-Layer
BACS	Building Automation and Control System
BZSGG	BACnet-ZigBee Smart Grid Gateway
CSD	Current Summation Delivered
DR	Demand Response
DRLCC	Demand Response and Load Control Cluster
ESP	Energy Service Portal
EMS	Energy Management Server
RIS	Reading Information Set
LCE	Load Control Event
LCO	Load Control Object
LCD	Load Control Device
LCMD	Load Control and Metering Device
LM	Load Management
MS/TP	Master Slave/Token Passing
MO	Metering Object
MD	Metering Device
NPDU	Network Protocol Data Unit
NSDU	Network Service Data Unit
PAN	Personal Area Network
NAN	Neighbor Area Network
HAN	Home Area Network
SEP	Smart Energy Profile
SMC	Simple Metering Cluster
SG-WG	Smart Grid Working Group
VTS	Visual Test Shell
WPRS	Write Property Request Service
ZCL	ZigBee Cluster Library

국문요지

현재 화석 에너지의 고갈로 인해 세계적인 에너지 위기를 맞게 되었고 더불어 이산화탄소 배출량의 증가로 지구 온난화 문제까지 심각해져 가고 있다. 따라서 선진국들은 지구 온난화의 주요 원인인 이산화탄소 배출량을 1990년도의 배출 수준보다 낮춰야만 한다. 이산화탄소 배출을 줄이기 위한 방법으로 각 국가별 또 각 국가에선 분야별로 이산화탄소를 배출할 수 있는 양을 정하여 배출권으로 할당하며, 해당 분야와 국가는 할당된 양의 이산화탄소만 배출 할 수 있다. 이러한 움직임으로 인해 자연스럽게 이산화탄소 배출이 적은 신재생 에너지의 사용이 새롭게 떠오르고 있다. 우리가 직면해 있는 세계적인 에너지 위기를 해결해 나가기 위해서 신재생 에너지와 기존 화석 에너지를 통해 생산되는 전기 에너지를 효율적으로 사용할 수 있어야 한다. 스마트 그리드는 앞서 이야기한 우리가 직면한 위기사항을 해결하거나 줄일 수 있는 방법들 중 가장 효율적인 방법이다.

스마트 그리드는 기존의 전력망에 IT 정보 통신 기술을 융합한 기술로 에너지공급자와 에너지소비자가 둘 사이에서 발생할 수 있는 에너지관련 정보를 실시간으로 교환하는 통신망을 구축하고, 이 정보들을 이용하여 에너지의 사용 효율을 최적화 할 수 있고, 또한 소비자들의 에너지 사용 패턴을 분석하여 2000년, 2003년 미국에서 일어난 대규모 정전사태와 같은 경제적인 막대한 손실 문제로까지 번질 수 있는 일을 사전에 예측하고 예방할 수 있다.

스마트 그리드는 현재 각 가정과 전력을 공급하는 회사에 적용하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 현재 스마트 그리드는 가정에 적용하기 위한 시스템이 많이 개발되고 있지만, 빌딩 역시 빌딩에 적합한 스마트 그리드 개발이 필요하다. 실제로 국가 전체의 전기 사용량을 놓고 보면 전체 전력 소비량 중 72%의 전력 소모량을 빌딩이 차지한다. 빌딩 스마트 그리드 시스템이 적

용이 된다면 큰 에너지의 절감의 효과를 낼 수 있으며, 이는 빌딩 소유주나 빌딩 내의 거주자에게 에너지를 사용하는데 따른 비용 절감 효과를 가져 올 수 있다. 이를 위해 스마트 그리드를 빌딩에 적용하기 위한 네트워크를 구축하고 스마트 그리드의 필수적인 연구에서 개발된 시스템의 실시간성을 검증하는 내용을 기술한다.

1 서 론

현재의 전력망은 100년 전 개발되고 설계된 기술을 기반으로 공급되고 있다. 그러나 세계적으로 전기에너지 사용량이 점점 늘어나고 있고, 개인이 사용하는 전기의 사용량도 100년 전보다 늘어남에 따라 전력의 수요가 급증하는 시대를 맞이하고 있다. 100년 전 전력망 기술을 사용함으로써 얻는 이점보다는 단점이 많다. 과거 전력망의 단점을 보완하고 새로운 전력망을 만들기 위한 노력을 세계에서 진행하고 있으며, 그 방법으로 스마트 그리드관련 기술의 개발 및 적용이 이루어지고 있다. 스마트 그리드는 기존 또는 개선된 전력망에 IT 정보 통신 기술을 융합한 기술이며, 이는 에너지를 공급하는 공급자와 에너지를 소비하는 소비자들 사이의 정보교환을 용이하게 하며, 정보교환을 함으로써 공급자가 에너지의 수요량을 예측할 수 있도록 하며, 사용자는 에너지의 사용을 관리할 수 있고, 크게는 세계적으로 문제가 되고 있는 이산화탄소 배출을 줄일 수 있도록 한다. 스마트 그리드의 도입으로 많은 이점을 얻는다는 점에서 세계적인 관심을 받고 있고 연구와 개발도 활발히 이루어지는 만큼 관련 분야에 뛰어드는 인력도 나날이 급증하고 있다.

미국의 경우 몇 차례의 대규모 정전사태를 겪으면서 노후 된 전력망의 교체와 에너지를 효과적으로 사용할 수 있는 스마트 그리드 관련 기술에 전념하고 있다. 사례로, 미국 현 대통령 버락 오바마 정권은 스마트 그리드에 35억 달러를 투자하고 47억 달러에 달하는 규모의 민간 자본을 매칭방식으로 투입할 것이라고 밝혔다. 우리나라의 경우 “저탄소 녹색성장”을 비전으로 정하고, 2030년을 목표하여 세계 최초 국가단위 스마트 그리드 시스템을 구축할 계획을 가지고 있다. 최근 정부에서 스마트 그리드 신규 사업화 모델을 마련하기 위해 6개의 추진 과제를 제시하는 등 대한민국에서의 스마트 그리드 움직임도 활발하다.

스마트 그리드를 위한 세계적인 움직임은 각 나라뿐만 아니라 각 분야에서 활발히 이루어지고 있으며, 관련 표준도 제정되고 있다. ASHRAE(미국 공조

냉동 공학회, American Society of heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)는 BACnet(Building Automation and Control Network) 기반의 빌딩에도 Smart Grid를 적용하기 위한 BACnet Object를 제정하기 위해 표준화 회의와 개발이 진행중이다. BACnet은 ISO(International Standard Organization)[1]과 ANSI(American National Standards Institute)[2] 표준이며, 국내 KS표준으로도 제정되어 있다. 또한 BACnet과 같은 유선 프로토콜을 사용하는데 발생할 수 있는 물리적인 한계와 설치 및 유지비용 절감 효과를 가져올 수 있는 방법으로 무선프로토콜과의 연동이 있다. 무선 프로토콜로는 많은 프로토콜이 존재하나 현재 Zigbee는 ZigBee Alliance에서 제정한 SEP(Smart Energy Profile)을 이용하여 에너지 관리를 할 수 있는 장점이 있으며, 기본적인 ZigBee 네트워크를 위한 클러스터와 DR(Demand Response)와 AMI(Advanced Metering Infrastructure)를 위한 다양한 클러스터가 제공되고 있다. 클러스터의 조합을 통해 다양한 스마트 그리드를 위한 장치를 만들고 무선 환경을 구축할 수 있다.

본 연구에서는 ZigBee Alliance의 ZigBee Smart Energy Profile에서 정의하는 Metering Device의 기능을 분석하고 ASHRAE의 표준 움직임에 맞추어 유선 프로토콜 BACnet과 무선 프로토콜 ZigBee의 스마트 그리드의 DR 정보를 연동하는 방법에 대해서 연구하고 논의할 것이다. 또한 연구를 통한 사실을 실제 빌딩의 사무실과 같은 환경에 적용하고 구성하여 BACnet-ZigBee 기반의 네트워크를 구축함으로써 빌딩 스마트 그리드 시스템에서의 DR의 실질적 효과를 증명하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 BACnet-ZigBee 기반의 빌딩 스마트 그리드 시스템은 BACnet과 ZigBee 프로토콜의 Metering 기능의 연동을 위해 조명 장치에서 측정 된 에너지 정보를 ZigBee 무선 프로토콜을 이용해 BACnet-ZigBee 게이트웨이로 수집시키고 수집된 데이터는 BACnet 유선 프로토콜을 이용해 에너지 관리를 위한 서버로 전달되도록 하며 이는 빌딩 전체와 각 사무실별 사용되는 전력 에너지를 관찰하고 관리할 수 있도록 할 것이다. 하지만 이러한 시스템은 실시간성이 보장되어야 하므로 실시간성에 대

한 자연시간 측정을 통해 실시간성도 증명할 것이다.

실제 BACnet과 ZigBee의 Gateway는 만들어진 사례가 있으나, Smart Grid를 위한 속성변환이 되는 Smart Grid를 위한 BACnet/ZigBee Gateway는 존재하지 않는다. 연구실의 첫 BZSGG의 연구를 통해서 Load Control Object를 통해 장치의 에너지를 관리하는 방법은 소개되었으나, Smart Grid를 위한 Demand Response의 핵심인 소모전력 측정과 소모전력 수집에 대한 내용을 포함하고 있지 않았다. 따라서 이 연구에서는 부하제어, 소모전력 측정, 수집이 모두 가능한 BZSGG를 구현하고 각 전자기기에 적용될 수 있는 장치 그리고 그 장치가 두 가지 기능을 모두 지원할 수 있도록 하는 어플리케이션을 만들기 위해 에너지 관리를 위한 부하제어 어플리케이션과 소모전력 측정 및 수집 어플리케이션의 통합도 진행한다.

본 논문은 총 8장으로 구성되어 있다. 2장에서는 빌딩 스마트 그리드의 필요성과 스마트 그리드 구현에 필요한 기본적인 BACnet과 ZigBee에 대해 설명하고, 3장에서는 2장에서 설명한 ZigBee의 Load Control Device를 위한 Application과 Meter를 위한 Application을 한 디바이스에서 사용하기 위해서 두 Application의 통합방법에 대해 설명한다. 4장에서는 BACnet-ZigBee Gateway에서 Load Control과 Metering을 위한 정보를 변환하는 방법에 대해서 설명하고 이를 토대로 5장에서는 테스트를 위해서 3, 4장에서 설명된 내용을 적용한다. 6장에서는 5장에서 구현한 테스트 환경들이 정보가 제대로 생성되고 전달되는지 메시지의 검증을 하게 된다. 스마트 그리드 시스템이라면 반드시 보장해야 할 실시간성이 보장되는지 7장에서 실험 및 검증한다. 마지막으로 8장에서는 본 연구의 결과를 종합한 내용에 대해서 고찰하고 연구가 기여하는 것이 무엇인지 그리고 향후 진행되어야 할 연구방향에 대해서 기술한다.

2 연구 배경

2.1 스마트 그리드

스마트 그리드(Smart Grid)는 기존의 전력망에 IT 정보통신 기술을 접목하여 에너지 공급자와 에너지 소비자가 상호 작용을 통해 에너지 사용의 효율성을 높일 수 있는 지능형 전력망을 일컫는다. 전력망이 지능화 되었다는 것은 개인 주택이나 주택, 상업용 빌딩에서 사용되는 전자기기 또는 각종 전력 에너지 자원을 사용하는 제품들이 지능화 된다는 것이다. 이는 결국 스마트 그리드가 단순히 전력을 공급하는 것이 아니라, 효과적인 에너지 공급과 사용을 위해 사용자와 전력 공급자가 서로에게 필요한 정보 데이터를 주고받는 시스템이라고 말할 수 있다. 다양한 전력 생산원(예 : 신재생 에너지, 화석 에너지 등)으로부터 생산되는 전력 에너지의 관리를 위한 계측 설비, 에너지의 제어를 위한 지능형 설비, 센서 시스템 등 다양한 기술이 종합되는 전력 에너지 네트워크 시스템이 바로 스마트 그리드이다.

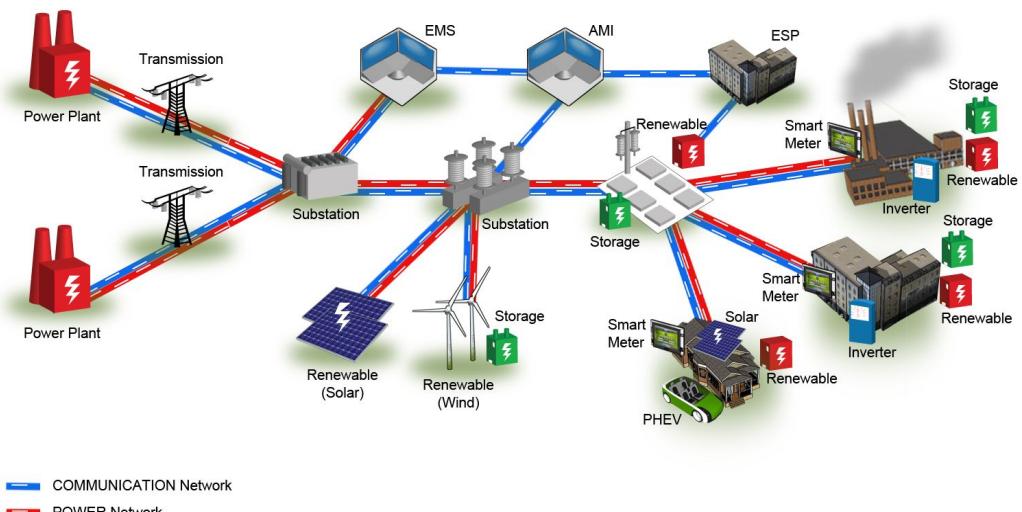


그림 1 스마트 그리드가 적용된 전력망

스마트 그리드는 스마트 미터를 중심으로 유틸리티 회사와 사용자간 AMI(Advanced Metering Infrastructure), 수요응답(DR, Demand Response), 에너지 관리 시스템(EMS, Energy Management System)이 필요하다. AMI는 실시간으로 변동되는 전기 요금 제도를 시행하고 그에 따른 수요 응답을 하기 위해 전력 공급자로부터 제공된다. DR의 경우 예전엔 호출이나 전화를 이용해서 설치된 시설의 관리자에게 현재 서비스의 에너지 사용에 대해서 조언해 주었다면 현재는 자동화 되어 다양한 레벨을 제공한다[3]. 그래서 현재의 DR은 사용자 입장에서는 불편함을 느끼지 않도록 편리하고 효율적인 전기 사용을 유도할 수 있다.

2.2 빌딩의 스마트 그리드

실제로 U.S. 2010 Buildings Energy Data Book[4]에서는 미국에서 사용되는 전력의 72%는 상업용, 주거용 빌딩에서 사용된다고 한다. 빌딩이 스마트 그리드가 적용되어야 하는 이유를 입증하는 자료이면서 에너지 관리의 필요성을 뒷받침 해주는 자료이다. 스마트 그리드가 빌딩에 적용된다면 빌딩에서 사용되는 수많은 전자기기 및 조명기기의 효과적인 사용을 유도해낼 수 있을 것이다. 빌딩 EMS는 빌딩 내에 존재하는 모든 전자기기 및 조명기기의 제어와 소모전력 측정을 통해 전력공급자에게 에너지 소모량을 제공하고 전력공급자는 에너지 사용에 따른 전기요금을 실시간으로 제공함으로써 사용되는 에너지의 전체 소모량을 분석하여 전력사용의 과부하도 예방 할 수 있다. 스마트 그리드가 필요한 또 다른 예를 보자면 2011년 9월에 한국에서 발생한 정전사태는 경제적으로 막대한 손실을 가져왔다. 이유는 날씨가 이상기온을 보이면서 냉방기 사용자가 급격히 늘었기 때문에 예측을 할 수 없었기 때문이다. 만약 실시간으로 사용하는 소모량을 분석할 수 있었고, 스마트 그리드가 적용되어 날씨예보에 따른 소모량을 예상할 수 있었더라면, 최대 전력사용량을 예상하여 발전을 함으로써 정전 사태를 방지할 수 있었을 것이다. 그렇다고 당장 빌딩에 스마트 그리드 시스템이 바로 적용될 수 있는 것은 아니다. 기존의 빌딩

에는 빌딩 자동화를 위한 유선프로토콜이 설치되어 있거나 설치되어 있지 않다. 또한 빌딩 자동화 프로토콜로 표준화 되어 있는 프로토콜을 사용하기도 하지만 자체적으로 개발한 프로토콜을 사용하는 경우도 있다. 일단 빌딩에서 사용되는 빌딩 프로토콜에 대한 이해가 먼저 필요하다. 본 연구에 사용되는 빌딩 자동화 프로토콜은 국제 표준이자 국내 표준으로 근래에 가장 많이 사용되고 각광받고 있는 프로토콜 BACnet(Building Automation Control Network)을 사용한다. BACnet은 현재 국내 KS 표준으로도 제정되어 있다. 따라서 한국에서 건설되는 공공건물에는 반드시 BACnet이 적용되어야 한다. BACnet은 빌딩 유선프로토콜이므로 각 전자기기를 제어하기 위해서는 Smart Grid가 적용된 전자기기 Smart Energy Device(SED)에 유선 환경의 네트워크를 연결하고 구축하여야 하지만 유선 환경이 가지는 물리적인 한계와 유지, 보수비용을 생각하면 무선프로토콜과의 연동을 하는 것도 방안으로 생각할 수 있다. 스마트 그리드를 위한 솔루션을 제공하는 무선프로토콜은 현재 ZigBee 가 있다. ZigBee Alliance는 ZigBee의 스마트 그리드에 필요한 어플리케이션을 만들기 위해 SEP(Smart Energy Profile)[5]를 제정하였고, 현재 활발한 표준화 활동이 이루어지고 있다. 무선 솔루션 ZigBee를 빌딩에 적용하려면 기존에 빌딩에서 사용되고 있는 BACnet 프로토콜과 ZigBee 프로토콜의 데이터를 상호 변환할 수 있는 게이트웨이가 필요하다. BACnet과 ZigBee의 연동을 통해 EMS 또는 BACnet 기반의 Monitoring 서버는 기존의 유선망을 교체하거나 추가 증설할 필요 없이 쉽게 사무실의 전자기기들을 제어할 수 있는 기반을 만들 수 있다. 그림 2 는 앞서 설명된 내용을 그림으로 표현한 것이다. EMS는 빌딩에 적용되어 있는 Backbone망과 MS/TP를 통해 BACnet 디바이스들의 부하 제어 및 실시간 소모 전력 에너지를 수집할 수 있으며, 이는 곧 BACnet-ZigBee Gateway를 통해 ZigBee 디바이스를 BACnet 디바이스로 인식하고 제어 할 수 있는 기반이 된다. 또한 EMS는 BACnet Web service를 통해 유ти리티 회사와 연결된다.

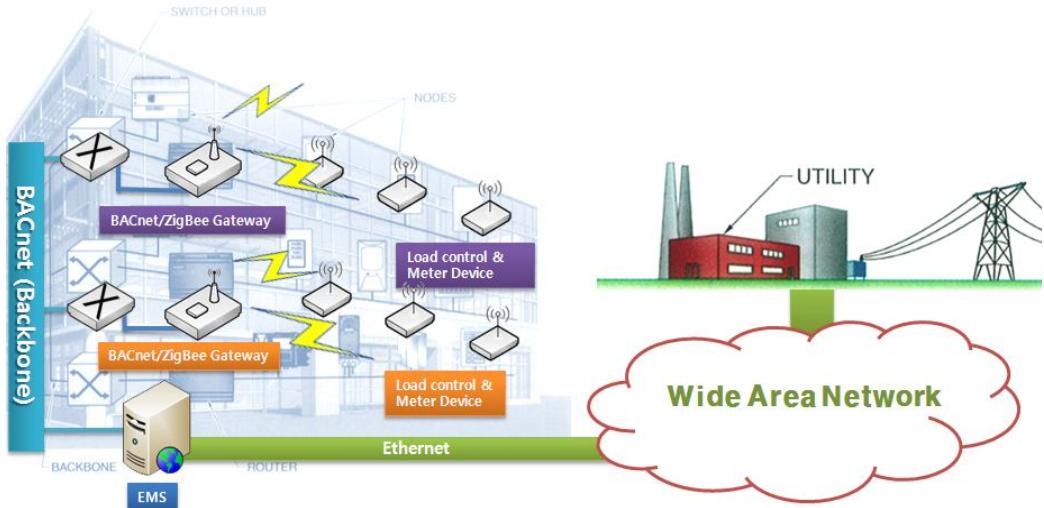


그림 2 빌딩에서의 스마트 그리드 예상도

2.3 스마트 그리드를 위한 BACnet 서비스

ASHRAE SSPC 135 위원회에서는 스마트 그리드를 위한 BACnet 오브젝트를 지속적인 회의를 통해 표준을 제정하고 연구하고 있다. DR(Demand Response)에서 가장 필요한 부분 중 하나인 Load Control Object, 즉 부하제어를 위한 오브젝트는 제정, 발간이 되었지만 미터를 위한 표준은 정확하게 규정되어 있는 것이 없다. 현재 ASHRAE SSPC 135 위원회의 Smart Grid Working Group(SG-WG)에서 미터를 위한 오브젝트를 사용하는 방법에 대해 지속적으로 표준화 활동이 이루어지고 있다. 하지만 우리가 사용하고자 하는 Meter Object는 서버와 클라이언트가 양방향으로 미터 데이터를 쓰고 읽기를 할 수 있도록 하는 것이지만 표준화 위원회에서 논의 되고 있는 사항은 단순히 계량기에서 정보를 읽어오는 형태의 논의가 이루어지고 있다. 따라서 우리의 연구에서는 추후 추가 될 수 있는 여지를 두고 BACnet Analog Input, Output 서비스의 속성들을 참조하여 미터를 위한 서비스를 간략히 제안하여 사용하고자 한다.

2.3.1 스마트 미터를 위한 BACnet 서비스

Meter Object는 BACnet 기반의 빌딩 관리 시스템에 소모전력을 측정 하고 관리할 수 있는 어플리케이션을 지원하기 위해서 필요하다. 앞서 이야기했듯이 현재 BACnet 미터링 관련 표준화 회의는 우리가 연구하고자 하는 방향과 다르게 진행되고 있으므로, 추후 미래에도 사용 될 수 있고 쉽게 다른 속성들은 오브젝트에 추가하여 클라이언트와 서버가 서로 데이터를 교환할 수 있는 형태의 Meter Object를 제안한다.

표 2 Meter Object에 포함되는 필요한 속성

식별자	데이터형
Object_Identifier	BACnetObjectIdentifier
Object_Name	CharacterString
Object_Type	BACnetObjectType
Description	CharacterString
Present_Value	BACnetShedState
Units	BACnetEngineeringUnits
Status_Flags	BACnetStatusFlags

현재 연구에서 사용하기 위해 간단하게 정의한 BACnet Metering Object는 Meter 측정된 수치표현을 위한 'Present_Value'와 수치의 단위를 나타내는 'Units'를 사용한다. Present_Value는 각 전자기기에서 측정된 소모전력을 EMS 또는 모니터링 서버로 전달하는 속성이 될 것이며 Units는 전달되는 소모전력이 어떠한 형태의 단위를 가지고 계산되어 있는지를 나타낼 것이다. 'Status_Flags'는 현재 각 전자기기의 부하제어와 소모전력 측정을 하는 디바이스의 상태정보를 알리는 속성이 된다. 이 값들은 EMS에서 종합적으로 수집되고 계산되어 BACnet Web service를 통해 유틸리티 회사로 전달될 것이다. 따라서 BACnet Web service를 구현할 때 위와 같은 오브젝트를 구현하여야 한다.

2.3.2 부하제어를 위한 BACnet 서비스

2008년 발간된 BACnet Specification에서 빌딩에서 에너지 관리를 위해 Load Control Object(LCO)가 추가되었다[2]. LCO는 부하 상태 제어와 모니터링을 위한 속성을 제공하고 있고 아래의 표 2는 LCO를 위한 속성 변수이며, Specification에도 명시되어 있는 내용이다.

표 3 Load Control Object의 속성

식별자	데이터형
Object_Identifier	BACnetObjectIdentifier
Object_Name	CharacterString
Object_Type	BACnetObjectType
Description	CharacterString
Present_Value	BACnetShedState
Status_Flags	BACnetStatusFlags
Event_State	BACnetEventState
Reliability	BACnetReliability
Requested_Shed_Level	BACnetShedLevel
Start_Time	BACnetDateTime
Shed_Duration	Unsigned
Duty_Window	Unsigned
Enable	BOOLEAN
Full_Duty_Baseline	REAL
Expected_Shed_Level	BACnetShedLevel
Acture_Shed_Level	BACnetShedLevel
Shed_Levels	BACnetARRAY[N] of Unsigned
Shed_Level_Descriptions	BACnetARRAY[N] of CharacterString
Notification_Class	Unsigned
Time_Delay	Unsigned
Event_Enable	BACnetEventTransitionBits
Acked_Transitions	BACnetEVentTransitionBits
Notify_Type	BACnetNotifyType
Event_Time_Stamps	BACnetARRAY[3] of BACnetTime Stamp
Profile_Name	CharaterString

BACnet LCO의 ‘Shed Level’, ‘Shed Duration’, ‘Start Time’은 네트워크에 조인(Join)되어 있는 각 SED의 부하를 제어하기 위한 변수이다. Level은 전력의 사용레벨, Time은 현재 전력의 사용레벨을 적용할 시점과 레벨이 지속되는 시간을 의미하는 값이다[5].

2.4 스마트 그리드를 위한 ZigBee 서비스

2.4.1 ZigBee Smart Energy Profile

최근 ZigBee Alliance에서는 스마트 그리드에서 반드시 필요한 DR(Demand Response)와 LM(Load Management)를 위해 Smart Energy Profile(SEP)[5]을 제정하였다. SEP는 다양한 어플리케이션을 규정하고 있는데, 단순히 규정된 어플리케이션들을 구현함으로써 간단하게는 주택, 나아가서는 간단한 형태의 상업용 빌딩에서도 쉽게 적용할 수 있는 형태를 가지고 있다. SEP에서 정의하고 있는 스마트 그리드를 위한 장치들은 총 8가지로 정의되어 있다.

표 4 SEP에서 정의하는 스마트 그리드를 위한 장치

Energy Service Portal
Metering Device
In-Premise Display Device
Programmable Communicating Thermostat Device
Load Control Device
Range Extender Device
Smart Appliance Device
Prepayment Terminal Device

ZigBee SEP는 Device별로 나뉘어 있지만 실제로 각 디바이스는 어떤 클러스터를 조합하여 사용했는지에 따라 디바이스가 사용되는 방법이 달라지는 것이므로 Cluster의 조합에 따라서 다르게 쓰일 수 있다. 각 클러스터는 Attribute Set을 포함하고 있으며, 각각에 필요한 Command Event를 서버측면, 클라이언트 측면으로 각각 가지고 있다. 유털리티 회사 입장인 NAN 측면

에서는 AMI Server로부터 전달받는 데이터를 Energy Service Portal(ESP)에서 다른 ESP로의 전달을 하기도 하지만 사용자 입장인 HAN에서는 표 3의 ESP를 제외한 다른 디바이스의 관리를 수행한다. Load Control Device(LCD)는 부하제어를 통해 에너지 관리를 위해 사용되고, Metering Device(MD)는 전기, 가스, 물, 난방과 같은 에너지의 소모되는 양을 측정하고 이를 제공하는 역할을 한다. 그 외에도 사용자를 위한 디스플레이 장치인 In-Premise Display나 HVAC에 적용이 가능한 PCT(Programmable Communicating Thermostat)등을 제공한다.

2.4.2 ZigBee SEP의 Cluster

2.4.1 절에서 언급되었듯이 각 장치들의 어플리케이션은 어떤 클러스터를 사용했느냐에 따라서 목적과 용도가 다르다. 그렇다면 ZigBee에서 사용 되는 기본적인 클러스터를 제외한 SEP를 위한 클러스터는 어떠한 종류가 있는지 알아야 한다. SEP를 위한 Cluster는 총 6가지로 구분되어 있다[5].

표 5 SEP를 위한 ZigBee Cluster

Demand Response and Load Control Cluster
Simple Metering Cluster
Price Cluster
Messaging Cluster
Smart Energy Tunneling Cluster
Pre-Payment Cluster

먼저 Demand Response and Load Control Cluster(DRLCC)는 부하제어를 위한 명령 이벤트와 속성을 가지고 있고 ESP와 LCD에 반드시 포함되는 Cluster이다. Simple Metering Cluster(SMC)의 경우는 소모되는 에너지를 측정한 데이터를 제공하거나 요청하는 이벤트와 데이터 속성 테이블을 포함하고 있다. 그 외에 Price는 유털리티 회사로부터 전달받은 다양한 에너지원의 가격을 송신과 수신하기 위한 명령 이벤트와 속성을 제공하고 Messaging Cluster

는 ZigBee SEP Device끼리 텍스트 메시지를 교환하기 위해서 사용된다. 각 클러스터는 각자에 필요한 이벤트 명령 세트와 속성 세트를 포함하고 있고 모든 클러스터가 표 3에 나타나있는 모든 SEP 디바이스에서 사용되는 것은 아니다. 예를 들어 Load Control Device는 Demand Response and Load Control Cluster를 갖고 있고, Simple Metering Cluster를 갖고 있지 않다. 이는 Load Control Device에서 Metering Device가 수행할 수 있는 일을 할 수 없다는 뜻이며, 이는 각각의 디바이스가 만들어져야 함을 이야기 한다. 하지만 Load Control and Metering Device라는 디바이스를 새롭게 제안하여 DRLCC 와 SMC를 동시에 사용 할 수 있는 어플리케이션을 만든다면 한 디바이스에서 부하제어와 소모전력 측정이 동시에 가능하도록 할 수 있다. 이와 관련된 내용을 다음 장에서 다루고자 한다.

3 ZigBee SEP 어플리케이션의 통합

3.1 Load Control and Simple Meter 통합의 필요성

Load Control Device와 Simple Meter Device는 서로 다른 클러스터를 가지고 있어 서로가 가지는 각각의 고유 기능을 각각의 다른 디바이스에서 사용할 수 없다. 즉, LCD에서는 SMC를 MD에서는 DRLCC를 사용할 수 없다는 뜻이다. 스마트 그리드에 부합하도록 부하제어와 소모전력을 측정하기 위해서 물리적으로 다른 두 디바이스를 사용하여야 한다는 것인데, 이렇게 두 가지 형태의 디바이스를 제작하는 것보다 한 디바이스로 제작하여 Application을 통합하는 것이 효율적이며, 추후 실제 전자기기에 적용시킬 때도 물리적인 공간적 제한도 비교적 작아지고 디바이스의 적용에 필요한 비용도 줄일 수 있다.

3.2 SEP의 Load Control Device

Smart Energy Profile에서 정의하는 Load Control Device는 부하제어가 필요한 디바이스를 제어함으로써 사용되는 에너지양을 조절할 수 있도록 하는 장치이다. 따라서 LCD는 이에 필요한 클러스터인 Demand Response and Load Control Cluster를 사용한다. 실제 SEP Specification에서 Load Control Device는 필수 요소로 DRLCC를 사용하여야 되며 선택적으로 Price Cluster를 사용할 수 있다고 명시되어 있다.

표 6 Load Control Device가 지원하는 Cluster

Mandatory
Demand Response and Load Control
Time
Optional
Price

DRLCC를 사용하는 Load Control Device에게 서버에서 3가지의 명령 이벤

트를 통해 명령을 줄 수 있다.

표 7 Demand Response and Load Control 명령 이벤트

명령 이벤트	필수/선택
Load Control Event	필수
Cancel Load Control Event	필수
Cancel All Load Control Events	필수

Load Control Event는 부하 제어를 위한 명령이고, Cancel Load Control Event와 Cancel All Load Control Events는 부하제어 명령을 취소하기 위한 명령 이벤트이다. 모든 명령 이벤트는 사용여부에 관계없이 반드시 포함되어야 하는 이벤트이다. Load Control Event의 경우는 다음과 같은 속성을 포함하는 프레임구조를 가진다.

Field Name	Event ID (M)	Device Class (M)	Utility Enrolment Group (M)	Start Time (M)	Duration In Minutes (M)	Criticality Level (M)	Cooling Temp Offset (O)
Field Name	Heating Temp Offset (O)	Cooling Temp SetPoint (O)	Heating Temp. SetPoint (O)	Average Load Adjustment Percentage (O)	Duty Cycle (O)	Event Control (M)	

그림 3 Load Control Event의 구성

그림 3에서처럼 Load Control Event는 부하제어를 위한 속성들로 구성이 되어 있다. 이 속성 중 BACnet Load Control Object와 매칭되는 부분은 ‘Start Time’, ‘Duration In Minutes’, ‘Level’ 정도가 있다. 그 외에도 냉난방기

기를 위한 속성들도 찾아볼 수 있다. LCO과 DRLCC의 연동 방법에 대해서는 이미 전 연구에서 진행 되었던 내용으로 4장에서 간략하게 설명 될 것이다.

3.3 SEP의 Simple Meter Device

SEP에서 정의하는 Simple Meter Device는 소모전력 측정이 필요한 어떤 에너지 장치에도 사용할 수 있도록 되어 있으나 LCD와는 확연히 다른 클러스터를 가진다.

표 8 Metering Device가 지원하는 Cluster

Mandatory
Simple Metering
Optional
Price
Time
Prepayment
Message

Simple Meter Device는 필수적으로 Simple Metering Cluster(SMC)를 포함하여야하고 그 외의 Price, Time, Prepayment, Message와 같은 클러스터는 선택적으로 사용할 수 있다. SMC는 DRLCC와 다르게 데이터를 측정하고 데이터를 저장하는 데이터 테이블을 가지고 있다. 클라이언트가 데이터를 요청할 시에는 요청한 데이터에 대한 응답을 해야 하는 서버로서의 역할을 수행한다. 따라서 SMC의 경우에는 명령 이벤트와 함께 수많은 데이터 속성 세트가 존재한다. 모든 데이터 속성 세트는 총 7가지로 나뉘어 정리되고 있다.

표 9 Simple Metering의 데이터 속성 세트

ID	속성 설명
0x00	Reading Information Set

0x01	TOU Information Set
0x02	Meter Status
0x03	Formatting
0x04	ESP Historical Consumption
0x05	Load Profile Configuration
0x06	Supply Limit

SMC의 경우 위와 같은 속성세트를 가진다. 실제로 각 속성세트 안에는 또 다양한 속성들로 구성되어 있다. 속성 세트 중 Reading Information Set(RIS)에는 Current Summation Delivered(0x00) 속성이 존재하는데 이 속성값을 통해 현재 소비되는 전력량을 필요로 하는 디바이스에게 제공할 수 있다. 그렇다면 이 정보를 언제 제공해야하는가에 대한 연구도 필요하다. 실제로 Metering Device가 Network에 조인되게 되면 설정된 시간에 따라 Current Summation Delivered 메시지를 주기적으로 전송하게 된다. 이 시간은 사용자가 설정할 수 있도록 되어 있다. 각 클라이언트에서 Metering Device로부터 제공받고 싶은 데이터가 있다면 DRLCC와 마찬가지로 이를 요청하고 응답하는 명령 이벤트가 존재한다. 클라이언트에서는 Get Profile Event를 통해서 요청할 수 있으며 서버인 Metering Device에서는 Get Profile Response를 통해 해당하는 정보에 대해 전송하겠다고 통보하고 해당하는 데이터를 Report Attribute Event를 이용하여 전송한다. 이를 전송하기 위한 Report Attribute Event의 Frame은 그림 4와 같다.

Field Name	Frame Control	Transaction Seq Num	Command ID	Attribute ID	Attribute Data Type	Attribute Data

그림 4 Report Attribute Event의 구성

3.4 Load Control 과 Metering Application의 통합

본 연구에서는 앞서 설명된 Load Control Device가 수행하는 기능과 Metering Device가 수행하는 기능을 동시에 사용할 수 있는 Application을 필요로 하기 때문에 Load Control and Meter Device라는 명칭을 정하고 두 어플리케이션의 통합에 대해서 설명한다. 먼저 기본적으로 ZigBee Cluster Library(ZCL)에 포함되어야 하는 기본적인 Library를 갖추도록 하고 Smart Energy Profile에 관련된 두 어플리케이션의 Cluster를 통합하게 된다. DRLCC와 SMC는 확연히 다른 Cluster ID를 갖고 있기 때문에 통합으로 인해 충돌되는 일은 없다.

표 10 Smart Grid를 위한 SEP의 Cluster 목록

Cluster ID	Cluster 이름
0x0700	Price
0x0701	Demand Response and Load Control
0x0702	Simple Metering
0x0703	Message
0x0704	Smart Energy Tunneling
0x0705	Pre-Payment

두 Cluster를 모두 사용하기 위해서 Cluster의 사용을 선언해야 하며, Cluster에 필요한 명령이벤트 속성들과 데이터 속성 세트에 필요한 함수와 변수의 선언이 필요하다. 또한 사용자가 추후 디바이스가 어떤 역할을 수행하도록 되어 있는지 정확히 알게 하도록 하기 위해서 Cluster Description 속성에도 해당 내용을 기술해야 한다. Load Control Device Application과 Metering Device Application이 통합되기 위해서 필요한 사항을 간략하게 그림 5에서 나타낸다.

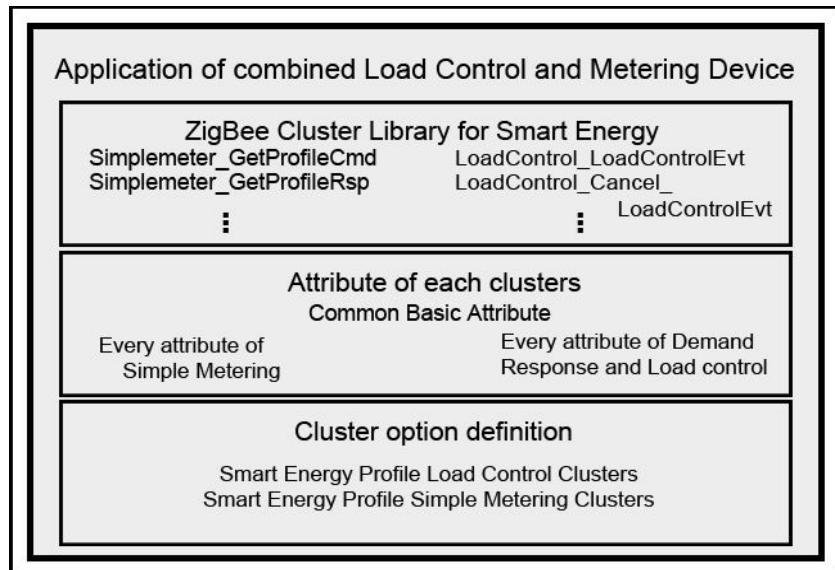


그림 5 Load Control Device와 Metering Device의 통합

4 BACnet-ZigBee의 정보 변환 방법

BACnet과 ZigBee는 앞서 설명한 바와 같이 DR Application을 위해 각각 오브젝트와 클러스터를 제공하고 있다. 이번 장에서는 Load Control Object(LCO)와 Demand Response and Load Control Cluster(DRLCC)의 기능 연동, 그리고 Metering Object(MO)와 Simple Metering Cluster(SMC)의 기능 연동을 위한 정보 변환 방법에 대해서 살펴본다. 두 프로토콜의 연동을 위한 게이트웨이는 두 프로토콜 사이의 각 데이터 요소를 서로 연동 및 변환이 가능하도록 해야 하고, 다음과 같은 부분이 고려되어야 한다. 이는 Load Control과 Metering 모두 해당되는 내용이다. 다만 둘의 서버와 클라이언트 역할이 바뀐다.

- ① 속성 변환(Property – Attribute Translation)
- ② 주소 변환(Address Translation)
- ③ 응용 서비스 변환(Application Service Translation)

4.1 속성변환(Property – Attribute Translation)

BACnet의 LCO, MO 그리고 ZigBee SEP의 DRLCC, SMC에는 공통적으로 부하를 제어하고 소모전력을 측정하기 위한 공통적인 속성들을 가지고 있다. 따라서 BACnet과 ZigBee 프로토콜 사이에서 데이터를 전달하기 위해서는 이러한 속성들의 상호 맵핑과 메시지 변환이 반드시 필요하다. 먼저 부하제어를 위한 BACnet의 LCO와 ZigBee DRLCC의 연동은 이전연구에서 이미 맵핑되었던 내용이지만 MO와 SMC의 연동과 함께 적용이 되었으며, 현재 시스템에 반드시 필요한 내용이므로 언급하기로 한다. BACnet의 LCO에는 ‘StartTime’, ‘Shed Duration’, ‘Requested Shed Level’과 같은 속성이 정의되어 있으며, ZigBee SEP의 DRLCC에는 ‘Start Time’, ‘Duration In Minutes’, ‘Level’을 정의하고 있다. 이 속성들의 맵핑 방법은 각각의 대응하는 속성에 데이터를 변환하여 넣는 방법을 사용한다. 다음으로 기존에 맵핑되었던 내용

과 다른 점은 Metering 부분이 포함되어 만들어졌다는 것이다. 이번에 개발하여 함께 적용시킨 소모전력 측정을 위한 BACnet의 MO와 ZigBee SEP의 SMC의 연동은 BACnet MO의 'Present_Value', 'Status_Flag', 'Units'와 같은 속성과 ZigBee SEP의 SMC Reading Information Set내의 'Current Summation Delivered', Meter Status Attribute Set의 'Status' 그리고 Formatting Attribute Set의 'UnitofMeasure'과 같은 이 두 속성들을 연동하게 된다. 다음 표는 간략하게 BACnet Object와 ZigBee SEP Cluster의 속성 변환을 간단하게 보여준다.

표 11 BACnet LCO와 ZigBee SEP DRLCC의 속성 변환

BACnet LCO Property	Mapping	ZigBee SEP DRLCC
Start Time	↔	Start Time
Shed Duration	↔	Duration In Minutes
Requested Shed Level	↔	Level

표 12 BACnet MO와 ZigBee SEP SMC의 속성 변환

BACnet MO Property	Mapping	ZigBee SEP SMC
Present Value	↔	Current Summation Delivered
Units	↔	Unit of Measured
Status Flag	↔	Status

4.2 주소변환(Address Translation)

BACnet과 ZigBee 디바이스 사이의 통신에서 데이터만큼 중요한 것은 데이터가 정확한 목적지를 찾아가는지 그 성공 여부이다. BACnet의 주소할당 방식과 ZigBee의 주소할당방식은 큰 차이를 보이고 있다. 이는 이전 연구를 통해서 개발된 BACnet-ZigBee Gateway Mapping Table(BZGWMT)를 사용하였다[6]. BZGWMT에는 BACnet 오브젝트의 ID와 ZigBee의 Network Address가 저장되어 있어 이를 이용해 정확한 목적디바이스로의 데이터 전달

을 성취할 수 있다. BACnet의 주소 할당 방식인 Object ID의 경우는 오브젝트의 고유 식별자와 디바이스의 Instance Number가 부여되는데 이는 오브젝트마다 순차적으로 적용되는 반면에 ZigBee의 경우 고유의 MAC Address 외 별도로 16bit의 Network Address를 무작위하게 부여받는 방식이다. 따라서 ZigBee 노드가 네트워크에 접속하게 될 때 ZigBee의 Network Address를 할당함과 동시에 BACnet Object ID를 할당받고 BZGWMT에 저장되게 된다. 저장된 주소는 어플리케이션 서비스 변환과정을 통해 변환된다.

4.3 응용서비스의 변환(Application Service Translation)

4.3.1 BACnet과 ZigBee의 응용서비스

BACnet은 ZigBee와 다른 명령 방식을 이용하게 된다. BACnet은 Load Control Object를 이용하든 Metering Object를 이용하든 상관없이 데이터를 쓰고 읽기 위해서는 'Write Property Request Service', 'Read Property Request Service'를 사용하는 반면, ZigBee는 각각의 Cluster가 스스로에게 필요한 명령 Event를 갖고 있다. 어떠한 Event가 존재하는지는 앞서 3장에서 설명되었다. 그래서 이번 장에서는 BACnet과 ZigBee SEP의 이벤트 명령이 어떻게 변환되는지를 예를 들어 설명하고자 한다.

4.3.2 BACnet Metering Object의 NPDU 프레임

BACnet은 모든 오브젝트가 공통된 서비스들을 이용하여 쓰이기도 하며 읽히기도 한다. 앞서 설명한 Write Property Request Service를 예로 들면 어떠한 Object의 데이터를 다른 장치에 쓰기 위해서는 오브젝트를 Write Property Request Service를 이용하여 전송하는 방식을 사용한다. Write Property Request Service의 NPDU는 아래와 같이 구성된다.

BACnet Version	Control Octet	PDU Type	MAX APDU	Invoke ID	Service Choice	App. Tag 1	Object ID										
0x01	0x04	0x00	0x03	0x01	0x0F	0x0C	0x07 00 00 01										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>App Tag2</th><th>Property ID</th><th>Open Tag</th><th>Data</th><th>Open Tag</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0x19</td><td>0x8E</td><td>0x3E</td><td>0x0B 15 22 00</td><td>0x3E</td></tr> </tbody> </table>								App Tag2	Property ID	Open Tag	Data	Open Tag	0x19	0x8E	0x3E	0x0B 15 22 00	0x3E
App Tag2	Property ID	Open Tag	Data	Open Tag													
0x19	0x8E	0x3E	0x0B 15 22 00	0x3E													

그림 6 Write Property Request Service의 NPDU 예

Write Property Request Service의 NPDU는 기본적인 통신 구조를 띠고 있다. Network Header와 APDU로 구성되어 있다. 하지만 한번의 Write Property Request Service마다 단 하나의 Property만 전송이 가능하기 때문에 부하제어나 소모전력 측정 데이터 모두 각각의 속성을 전송하기 위해서는 속성 개수만큼의 Write Property Request Service를 이용하여야 한다.

4.3.3 ZigBee Simple Meter Report의 프레임

ZigBee는 각각 Cluster가 명령 Event를 갖고 있다고 언급하였다. BACnet과 다르게 ZigBee는 Network Header, APS Header, ZCL로 나뉘게 된다. 여기서 ZCL이 가장 중요한 부분이며 이 부분에서 각 클러스터에서 정의되는 이벤트 속성들로 구성되어 전송되게 된다. 예를 들어 DRLCC의 Load Control Event를 보면 그림 7과 같다.

The diagram illustrates the structure of a ZigBee Load Control Event NSDU. It is composed of three Network Headers (Network Header 1, Network Header 2, Network Header 3) and a payload.

Network Header 1:

Frame Control	Dest. Addr	Src. Addr	Radius	Seq. Num	Frame Control	Dest. Endpoint	Cluster ID	Src. Endpoint	Counter
0x2100	0x15B8	0x0000	0x1E	0xAB	0x00	0x09	0x0109	0x09	0x02

Network Header 2:

EventID	Device Class	Group	Start Time	Duration	Level	Cooling Temp.	Heating Temp.	Cooling Temp. Set	Heating Temp. Set	Load Adj. Percentage	Duty	Control
0x12345678	0x0008	0x00	0x00000000	0x0011	0xFF	0x00	0x00	0x076C	0x0000	0x00	0x00	0x00

그림 7 ZigBee Load Control Event NSDU

4.3.4 Metering 서비스의 변환

BACnet LCO와 ZigBee DRLCC의 연동을 통해 명령을 변환하는 연구는 이미 진행되었으며, 진행되었던 LCO와 DRLCC의 연동방법을 참조하여 BACnet MO와 ZigBee SMC의 변환을 유도한다. 부하제어를 위한 데이터 프레임과 소모전력을 전달하기 위한 목적부터 시작해서 서버와 클라이언트 관계 그리고 데이터 프레임까지 확연한 차이를 보이기 때문에 BACnet MO와 ZigBee SMC의 변환의 방법에 대해서 설명한다. 그림 8에서는 BACnet LCO의 부하제어를 위한 3개의 속성이 ZigBee SEP DRLCC 프레임과 연동이 되는 그림을 보여주고 있고, 역으로 그림 9에서는 ZigBee SEP SMC의 데이터 프레임이 BACnet MO데이터 프레임으로 연동되는 방법을 보여주고 있다. LCO와 DRLCC가 연동되는 내용에 대해서는 이전 연구의 논문[7]에 포함되어 있으므로 이에 대해서는 생략하도록 한다.

ZigBee의 Simple Meter Cluster는 Report Attribute를 이용하여 각각의 속성 데이터를 전송하게 된다. 현재 우리가 맵핑할 ‘Current Summation Delivered’, ‘Status’, ‘Units’를 각각 따로 BACnet-ZigBee Gateway로 전송되게 되는데, 그림 8에서 나타나 있듯이 ①, ②, ③의 ZigBee Report Attribute는 ZigBee SEP Device에서 Gateway로 전달되는 Metering 정보를 포함하고 있다. Cluster ID의 경우는 DRLCC와 SMC가 다른 ID를 가지고 있다는 것을 앞서 3.4 장에서 언급했다. Cluster ID가 ’0x0702’라는 것은 Simple Meter

Cluster의 전송을 이야기한다. 그렇다면 이는 BACnet의 Write Property로 맵핑되고 역시 '0x0702'는 BACnet Object ID '0x07400001'으로 맵핑된다. 앞의 BACnet Object ID는 '0x074'까지만 해당된다. BACnet Object ID field는 앞의 10bit만이 Object ID를 위해 사용되고 나머지는 Instance Number field로 사용된다. 또한 포함되는 Instance Number는 ZigBee에서 전달되는 Source Address를 BZGW Address Table을 통해 맵핑되게 된다. ZigBee ZCL Attribute ID는 16비트로 구성되는데 이 중 앞의 8비트는 SMC의 데이터 속성 세트를 나타내기 위해 사용되고 뒤의 8비트는 선택된 데이터 속성 세트내의 속성을 지정한다. 각 ①, ②, ③의 ZigBee Message의 Property ID에서 볼 수 있듯이 '0x0000', '0x0200', '0x0300'은 표8을 참조하면 '0x00', '0x02', '0x03'가 나타내는 속성 데이터가 무엇인지 알 수 있다. 각 Attribute Data는 BACnet의 동일한 Data 프레임에 맵핑되게 된다. 각 메시지를 보내고 난 뒤 응용서비스는 종료된다.

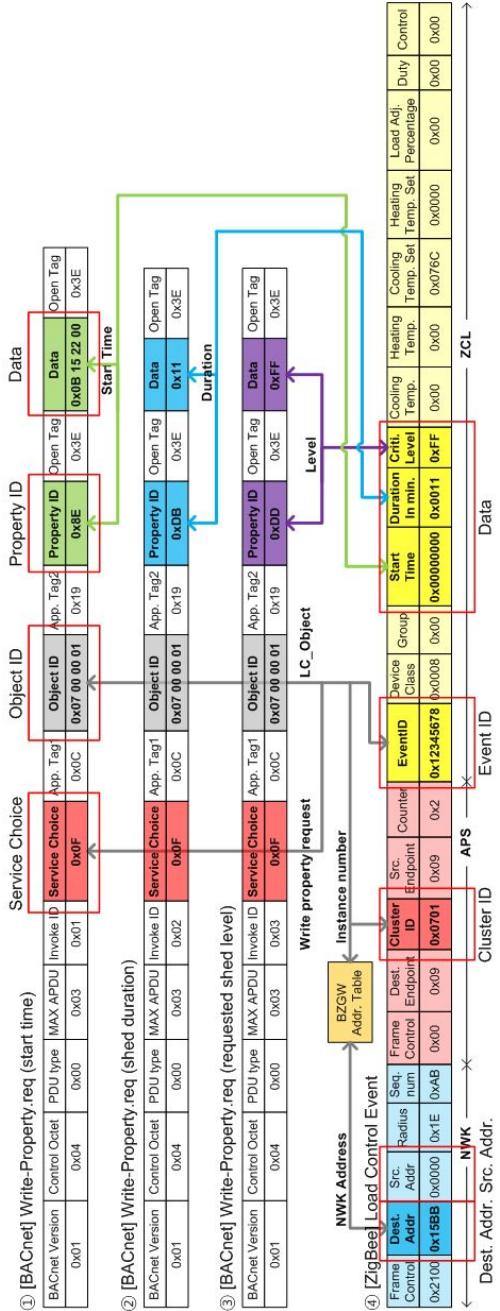


그림 8 Application Service(Load Control) 변환 예시

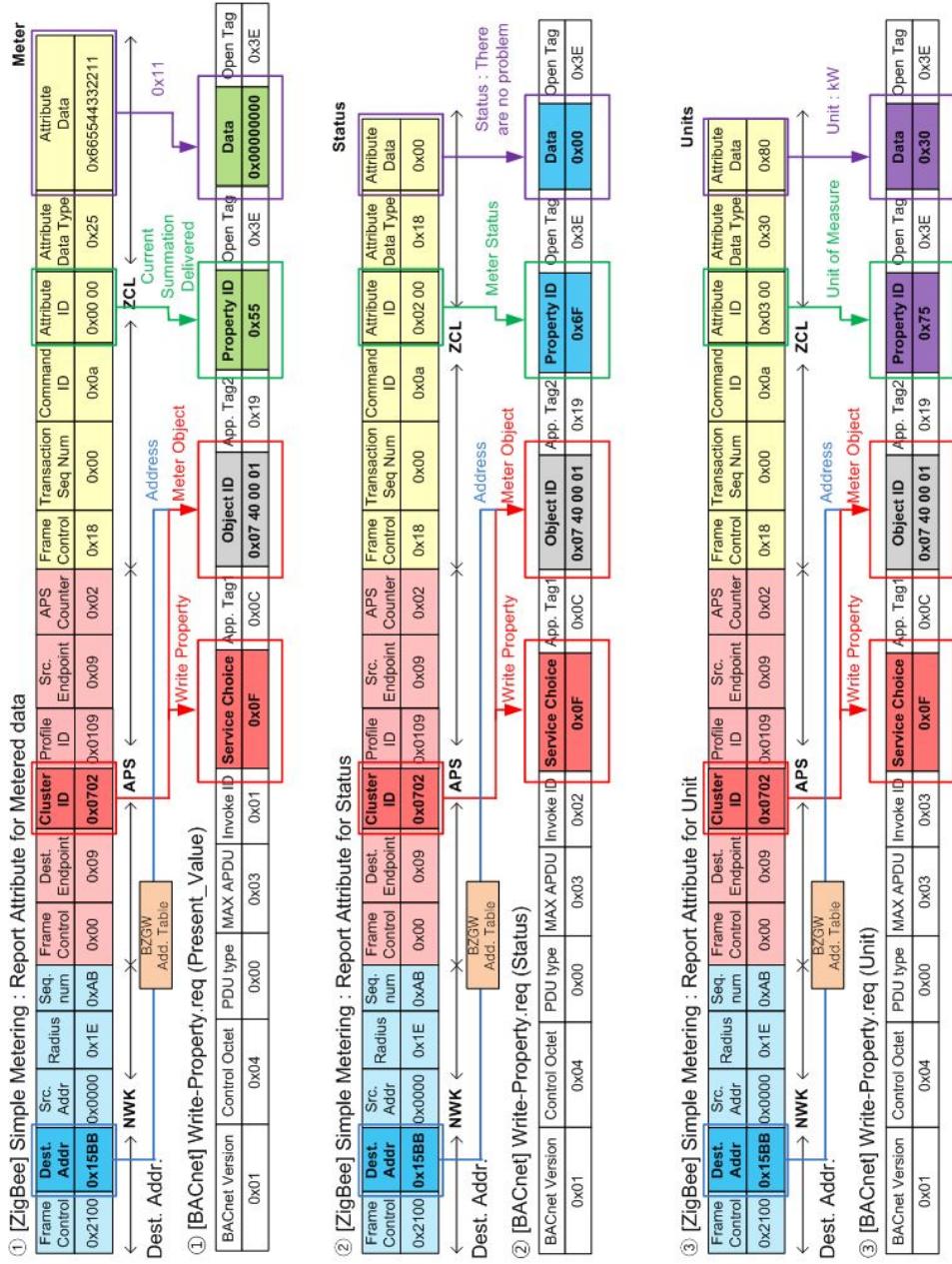


그림 9 Application Service(Metering) 변환 예시

5 Demand Reponse 테스트 모델 적용

Smart Grid를 위한 실제 데모 환경을 구축하기 위해서 2개의 디바이스가 개발되어 있다. BACnet-ZigBee Smart Grid Gateway는 BACnet-ZigBee 간의 DR을 변환하는 게이트웨이 본연의 일을 하도록 되어 있고, Load Control and Metering Device는 게이트웨이로부터 메시지를 받아 부하제어를 하고 이를 통해 얻어진 실시간 소모전력 데이터는 다시 게이트웨이를 통해 모니터링 서버로 송신하는 역할을 수행한다.

5.1 BACnet-ZigBee Smart Grid Gateway

BZSGG를 구현하기 위해서 BACnet의 Network Layer와 Application의 기능을 적용하고 구현하기 위한 BACnet 모듈과 ZigBee 네트워크의 생성과 ZigBee 노드의 제어를 위한 ZigBee 모듈이 필요하다. BZSGG는 기존에 한양대학교 유비쿼터스 네트워크 시스템 연구실에서 개발되었던 하드웨어를 사용한다. 그림 10은 BZSGG의 하드웨어 구조를 나타낸다. 그림 11은 그림 10의 실제 모델인 BZSGG다.

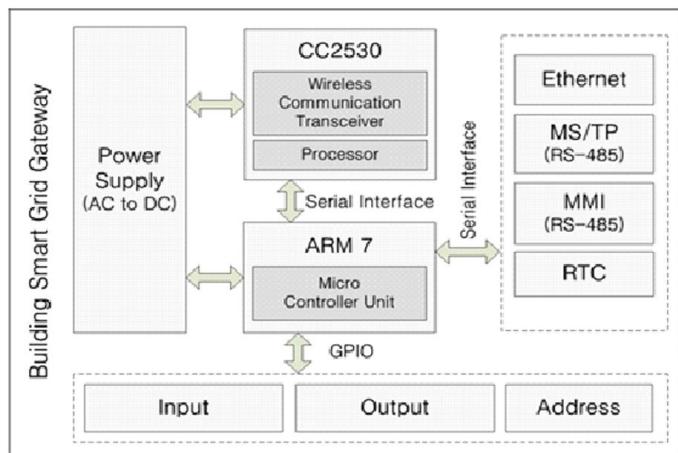


그림 10 BZSGG 하드웨어 구조

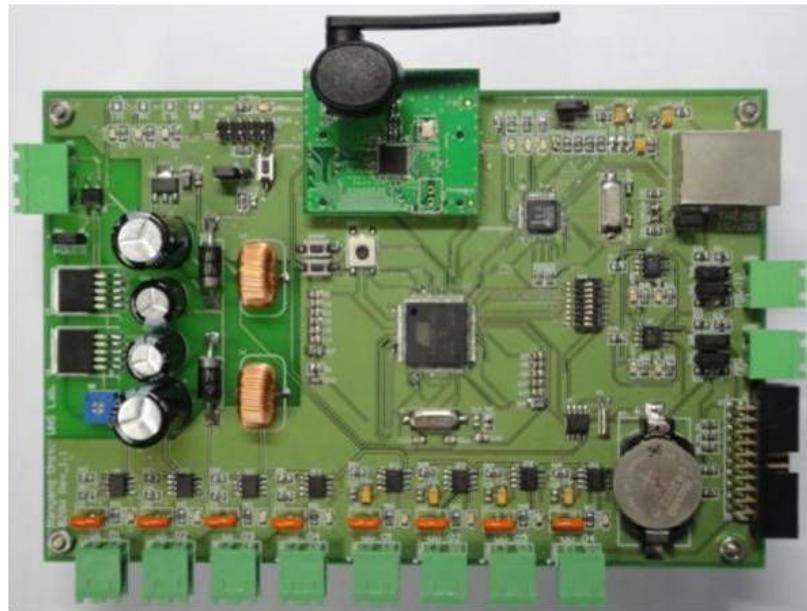


그림 11 BACnet-ZigBee Gateway for Smart Grid

그림 10에서와 같이 BZSGG는 BACnet Stack, ZigBee Stack을 기본으로 갖으며 Power Supply, I/O, Address, Ethernet, MS/TP, MMI, RTC, JTAG 등으로 구성되어 있다. ZigBee Stack은 TI사의 CC2530을 사용하여 별도의 추가 회로 없이 사용이 가능하고, 기본으로 갖고 있는 기능들은 모두 BACnet Stack을 위해 사용되는 부분이다. 실제로 BZSGG 내부에서 BACnet Stack과 ZigBee Stack은 Serial Interface를 이용해서 데이터를 교환한다.

5.2 ZigBee SEP기반 Load Control and Meter Device

ZigBee SEP에 정의된 Device는 앞서 설명되었다. 그리고 또한 ZigBee SEP에 정의된 Load Control Device와 Metering Device의 기능을 동시에 사용할 수 있도록 Load Control and Metering Device라고 새로이 정의하여 표준으로 나와 있는 클러스터들을 동시에 사용할 수 있는 환경 구축 방법을 3.4절에서 설명하였다. 이는 LCMD에서 구동되며 LCMD는 CC2530 ZigBee Pro 기반으

로 되어 있는 8051 프로세서로 구동된다. CC2530은 무선 Transceiver와 8-Bit 프로세서인 8051을 내장하고 있어 별도의 프로세서 추가 없이 LCMD의 모든 기능을 수행할 수 있다. LCMD는 Switching 기능과 Dimming 기능은 에너지의 사용을 관리할 수 있도록 해주며 Energy Metering 기능은 소모되는 전력량을 측정하는 기능을 수행하게 된다.

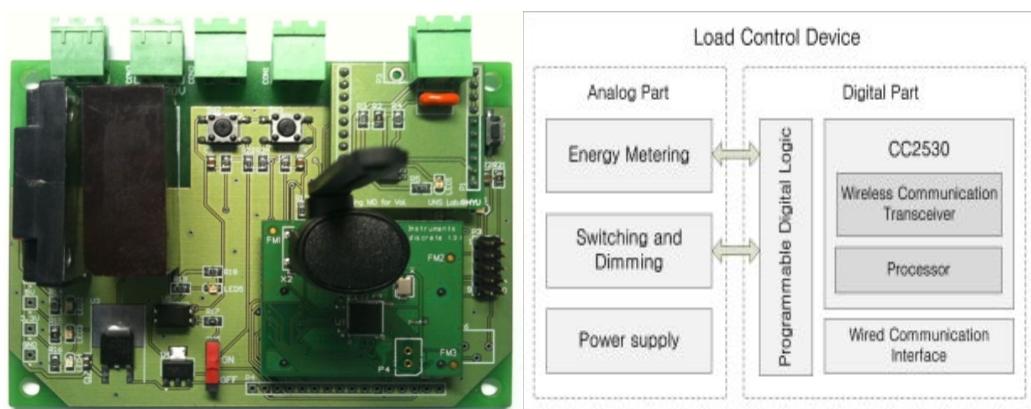


그림 12 Load Control and Metering Device

5.3 Monitoring Server

Monitoring Server 내부에는 현재 실시간으로 변하는 전기요금 가격을 임의로 생성해 놓았기에 변하는 가격정보에 따라서 BACnet NPDU Frame을 생성하여 BACnet/ZigBee Smart Grid Gateway로 보내게 된다. BZSGG는 BACnet Stack을 포함하고 있어 관련된 메시지를 수행할 수 있는 바탕이 되어 있다. 또한 소모전력 정보도 같은 방법을 사용하여 역으로 받아 모니터링 프로그램에 표시하고 사용자가 알 수 있도록 한다.

6 BACnet, ZigBee 메시지 검증

6.1 BACnet/ZigBee 메시지 변환 검증

BACnet과 ZigBee의 DR 데이터 변환 방법은 앞서 설명되었고, 변환결과 확인을 위한 시스템은 다음과 같이 구성하였다.



그림 13 변환결과 확인을 위한 시스템 구성

실제로 Load Control Object의 경우는 Metering Object와 달리 표준화 되어 있는 Object이기 때문에 VTS(Virtual Test Shell)를 이용하여 Load Control Object를 Write, Read Property 전송이 가능하고 그에 관한 메시지 확인이 가능하다. Metering Object의 연동으로 Application 구조가 바뀌었기 때문에 다시 한번 변환결과를 확인하는 시스템은 구성하여 확인하였지만, 지난 연구와 동일하기 때문에 지난 연구의 Load Control을 완성하면서 만들어졌던 논문을 참조하면 된다[7].

6.2 ZigBee LCMD 응용프로그램 병합 검증

앞서 3장에서 ZigBee SEP의 Load Control Device Application과 Metering Device Application을 통합하였다. 이를 검증하기 위해서 그림 13과 같은 방법을 이용하여 LCMD에 탑재된 Application의 정보확인을 하고 실제로 데이터가 처리되는지를 검증할 것이다. 검증을 위해서 Daintree Packet Analyzer[8]를 이용한다. BZSGG의 ZigBee Stack이 탑재된 CC2530은 ESP Application이

프로그래밍 되어 있다. LCMD가 Network에 조인될 때 ESP는 LCMD에게 Simple Description을 요구하는데 이때 LCMD는 자신의 Simple Description을 전송하게 된다.

12748	22	18:59:15.438	+00:00:00.019	0x3a8f	Broadcast (0xffff)	0x3a8f	0xffffd	ZigBee ZDP	ZDP: EndDeviceAnnce
12749	22	18:59:15.445	+00:00:00.008	0x0000	Broadcast (0xffff)	0x3a8f	0xffffd	ZigBee ZDP	ZDP: EndDeviceAnnce
12750	22	18:59:15.457	+00:00:00.012	0x0000	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	ZigBee ZDP	ZDP: SimpleDescReq
12751	22	18:59:15.459	+00:00:00.002	0x0000				IEEE 802.15.4	Acknowledgment
12752	22	18:59:15.469	+00:00:00.010	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZigBee ZDP	ZDP: SimpleDescRsp
12753	22	18:59:15.471	+00:00:00.002	0x0000				IEEE 802.15.4	Acknowledgment



그림 14 Daintree를 통해 측정된 Simple Description Message

Simple Description에 포함된 정보를 확인하면 Cluster ID가 DRLCC와 SMC가 모두 등록되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 디바이스가 DRLCC의 기능과 SMC의 기능을 모두 사용할 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 Simple Descriptor에서 나타내는 Profile도 SEP로 표기되어 있다.

12831	22	19:05:04.198	+00:00:08.086	0x0000	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	ZCL AMI	SE: Demand Response and Load Control
12832	22	19:05:04.200	+00:00:00.002					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12833	22	19:05:04.217	+00:00:00.017	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZCL AMI	SE: Demand Response and Load Control
12834	22	19:05:04.220	+00:00:00.003					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12835	22	19:05:04.223	+00:00:00.003	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZCL AMI	SE: Demand Response and Load Control
12836	22	19:05:04.226	+00:00:00.003					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12837	22	19:05:04.234	+00:00:00.008	0x0000	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	ZigBee ZCL	SE: Demand Response and Load Control
12838	22	19:05:04.236	+00:00:00.002					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12839	22	19:05:04.243	+00:00:00.007	0x0000	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	ZigBee ZCL	SE: Demand Response and Load Control
12840	22	19:05:04.245	+00:00:00.001					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12841	22	19:05:04.255	+00:00:00.011	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZigBee ZCL	SE: Simple Metering: Report At
12842	22	19:05:04.257	+00:00:00.002					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12843	22	19:05:04.260	+00:00:00.003	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZigBee ZCL	SE: Simple Metering: Report At
12844	22	19:05:04.262	+00:00:00.002					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	
12845	22	19:05:04.264	+00:00:00.002	0x3a8f	0x0000	0x3a8f	0x0000	ZigBee ZCL	SE: Simple Metering: Report At
12846	22	19:05:04.266	+00:00:00.002					IEEE 802.15.4 Acknowledgment	

그림 15 Daintree를 통해 측정된 Simple Description Message

앞서 통합된 어플리케이션을 적용해서 실제로 Load Control Message와 Metering Message를 보내어 분석된 결과는 그림 15에 나타나 있다. 실제로 모니터링 서버에서 BACnet NPDU를 생성하여 부하제어 명령을 보내게 되면 이 명령은 LCMD로 전달되어 명령 처리 시퀀스에 따라 명령이 처리되고 부하제어가 끝나면 Metering 정보 즉, 현재 소모량, 단위, 미터 상태에 대한 정보를 순차적으로 BZSGG를 통해 모니터링 서버로 보내지게 된다. 이로서 정상적으로 LCMD가 동작한다는 것을 검증하였으나 실제로 추가된 Simple Metering Report Attribute에 포함된 데이터가 제대로 동작하는지를 확인하여야 한다. 그림 15에서 확인한 Simple Metering Report Attribute 메시지를 하나하나 살펴보면 처음에는 CSD가 전달되고 다음으로 Status 그리고 최종적으로 Unit이 전달된다. CSD의 경우는 실제로 측정되는 수치를 이용하게 되면 판별이 불가능 하므로 실험을 위해 임의적으로 만들어 넣은 데이터로 테스트하였다. 그림 16과 같이 Daintree Packet Analyzer로 측정하였다.

```

[+] Frame 12841 (Length = 39 octets)
+- IEEE 802.15.4
+- ZigBee NWK
+- ZigBee APS
+- ZigBee ZCL
[- Report Attributes Frame
  [- Attribute List
    [- Attribute 1
      - Attribute Identifier: Current Summation Delivered (0x0000)
      - Attribute Data Type: Unsigned 48-bit Integer (0x25)
      - Attribute Data: 0x000066554433221e

[+] Frame 12843 (Length = 34 octets)
+- IEEE 802.15.4
+- ZigBee NWK
+- ZigBee APS
+- ZigBee ZCL
[- Report Attributes Frame
  [- Attribute List
    [- Attribute 1
      - Attribute Identifier: Status (0x0200)
      - Attribute Data Type: 8-bit Bitmap (0x18)
      + Attribute Data: 0x12

[+] Frame 12845 (Length = 34 octets)
+- IEEE 802.15.4
+- ZigBee NWK
+- ZigBee APS
+- ZigBee ZCL
[- Report Attributes Frame
  [- Attribute List
    [- Attribute 1
      - Attribute Identifier: Unit of Measure (0x0300)
      - Attribute Data Type: 8-bit Enumeration (0x30)
      - Attribute Data: kW (kilo-Watts) in BCD format (0x80)

```

그림 16 Simple Description Message

그림 16의 세 데이터는 Attribute ID를 가지고 있고 이는 위에서 설명한 바와 같이 16bit의 데이터를 가지게 된다. 그리고 속성의 데이터 타입과 함께 데이터가 전달되게 된다. Status Data 또한 실제로 0x00으로 초기화 돼서 전달

되기 때문에 0x12로 임의 설정하여 메시지가 제대로 전달되는지 확인하였다.
마지막으로 단위의 경우는 소모전력 측정된 값이 kW로 전달되기 때문에 kW
를 나타내게 된다.

7 실시간 데이터 교환 검증

지금까지의 과정을 통해서 BACnet, ZigBee의 DR 시스템 구현이 완료 되었다. 이번 장에서는 스마트 그리드에서 요구되는 DR기능의 실시간성을 검증하기 위해서 Load Control, Metering 메시지가 전달되는데 걸리는 자연시간을 측정하고 이를 분석하여, 실제 시스템에 적용되어서도 실시간성을 보장할 수 있다는 사실을 검증한다.

7.1 자연시간 측정

7.1.1 실험 환경

딜레이 측정을 위해서 실제 빌딩의 사무실 환경을 모델로 하여 가상의 빌딩 환경이 구축되어있는 데모 실험 모델을 이용하였다. 실험 모델의 무선 네트워크는 SEP Application을 기반으로 하는 ZigBee 네트워크로 구성되어있다. 스마트 그리드를 위한 SEP가 적용된 ZigBee 네트워크에서 교환되는 에너지 관리를 위한 부하제어 메시지와 각 장치별 소모전력 측정 데이터 메시지는 BACnet-ZigBee Smart Grid Gateway에서 메시지를 변환하고 BACKbone을 통해 모니터링 서버로 보내어진다. 실제로 적용된 실험 데모 모델은 아래와 같이 구성되어 있다. 모니터링 서버와 모니터링을 할 수 있는 모니터 그리고 BZSGG가 있고 방 전체에 조명장치(형광등 24개, LED 24개) 제어를 위한 LCMD는 48개가 부착되어 있다.

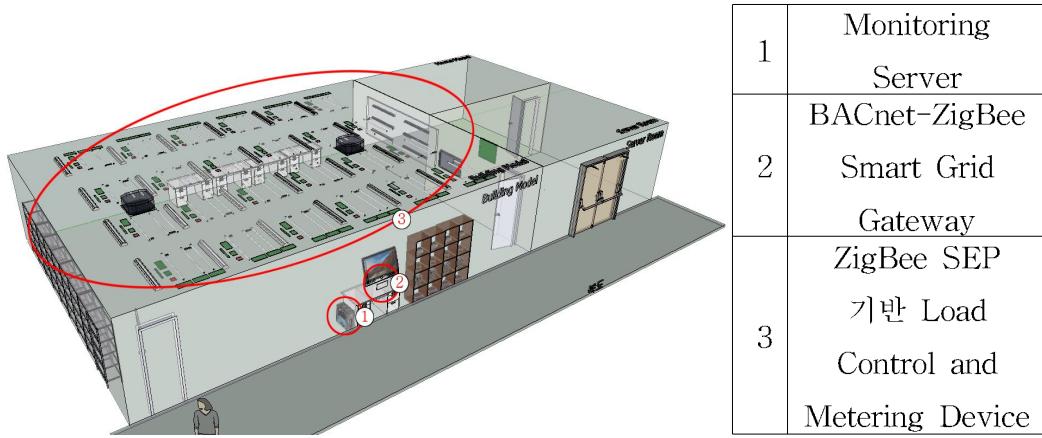


그림 17 실험 데모 모델

실험 데모 모델에서 딜레이를 측정하기 위해 실제로 Monitoring Server의 프로그램에서 최초로 명령이 시작되고 명령의 최종 ACK도 Monitoring Server에서 수신하므로 Monitoring 서버에서 BACnet NPDU가 발생하고 ACK가 돌아오는 시간과 Metering이 도달하는 시간을 측정할 수 있도록 Time 함수를 구현하여 측정하였다. 이는 시스템 전체에서 지연되는 시간을 측정할 수 있으며, ZigBee에서 차지하는 지연시간을 측정하기 위해 Daintree ZigBee Analyzer[8]를 이용하였다.

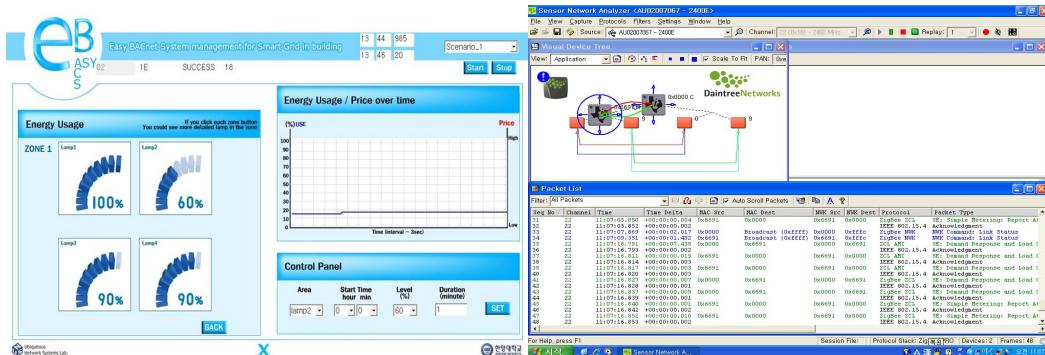


그림 18 측정용 프로그램

7.1.2 실험 방법

실험은 모니터링 서버의 모니터링 프로그램에서 BACnet Load Control Object의 속성을 담고 있는 Write Property Service의 NPDU 프레임을 생성하여 전달하게 된다. 생성된 프레임은 RS-485 통신으로 BZSGG의 BACnet Stack으로 전달되고 BACnet Stack에서 분류된 데이터는 RS-232를 통해 ZigBee Stack으로 전달한다. ZigBee Stack으로 전달된 데이터는 부하제어를 하고 부하제어를 통해 얻어지는 소모전력을 위와 반대되는 방법으로 전달하게 된다. 처음 NPDU 프레임이 발생하여 부하제어가 되고 ACK 신호가 다시 돌아오는 자연시간과 측정된 소모전력이 전달되는 자연시간을 측정하고, ZigBee에서만 자연시간을 따로 측정하여 실제로 자연시간이 어디서 발생하고 왜 발생하는지를 분석한다. 아래그림은 실험에 사용되는 전체 과정을 나타낸 그림이다.

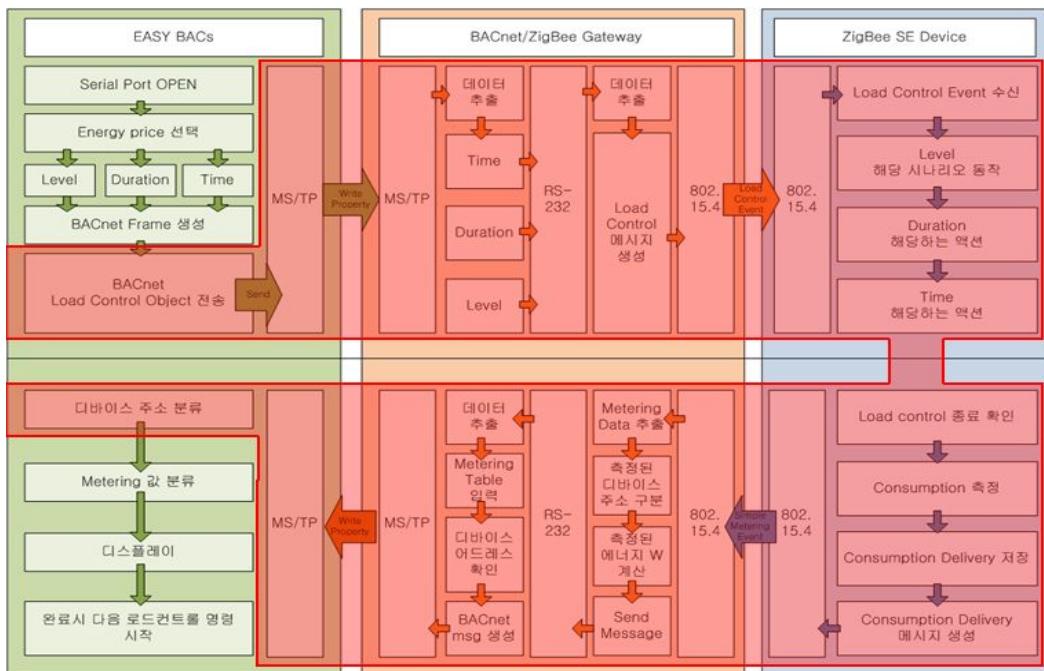


그림 19 전체 시스템의 프로그램 흐름도

실험은 EasyBACs(Monitoring Program)에서 LCMD까지 Load Control이 수행되는데 걸리는 지연시간과 그 중 ZigBee에서 차지하는 지연시간 또 같은 방법으로 Metering이 수행되는 지연시간과 ZigBee에서 차지하는 지연시간을 측정함으로써 어느 부분에서 왜 지연시간이 많이 발생되는지를 분석할 것이다. 실제 가격정보는 하루에 적으면 15분 간격으로 길면 1시간 간격으로 들어오게 되므로, 15분마다 가격정보가 갱신되고 그에 따라 Load Control, Metering이 수행된다는 가정을 토대로 총 48회의 메시지 전송실험을 하며, 메시지 간 전송시간 간격은 실제로 15분마다 할 수 없으므로 실제 Load Control과 Metering이 모두 수행되는 계산을 통해 구한 순수 통신 지연시간 138.6 ms와 예측이 불가능한 지연시간까지 고려하여 약 한 개의 디바이스를 제어하는데 200 ms의 시간이 걸린다고 가정하고 메시지 간격을 2.5초로 설정하여 측정한다.

7.2 지연시간 예상 결과

순수 통신을 하는데 지연되는 시간을 측정할 때 지연속도는 통신속도와 데이터의 양에서 가장 큰 영향을 줄 것이다. 지연시간 측정에는 프로세싱 지연 시간과 거리에 따른 지연시간이 포함되겠지만 이는 예측이 불가능한 지연시간이므로 예상 결과는 이를 배제하고 순수 통신 지연 시간만 계산하도록 할 것이다. 모니터링 서버와 BACnet/ZigBee Smart Grid Gateway에서 통신속도는 9600 bps, ZigBee는 250 kbps를 사용한다. BACnet 모니터링 서버와 BZSGG 그리고 LCMD에서 처리되는 Load Control과 Metering 메시지의 프레임을 가지고 계산한 예상 지연시간은 아래 표에 정리되어 있다.

표 13 메시지 별 예상 지연시간

Load Control	MS to GW	BS to ZS	GW to LCMD
	52.5 ms	10 ms	10.56 ms
Metering	LCMD to GW	ZS to BS	GW to MS

	3.94 ms	11.6 ms	50 ms
--	---------	---------	-------

지연시간은 앞서 언급된 것처럼 프로세싱 지연시간과 같은 예상할 수 없는 지연시간은 모두 제외한 순수 통신 지연시간이다. Load Control 과 Metering 모두 비슷한 메시지 처리 루트를 따르기 때문에 비슷한 결과를 보일 것으로 본다. Load Control을 먼저 보면 MS(Monitoring Server)에서 GW(Gateway)로 메시지가 전달되는 시간이 52.5 ms로 예상된다. 실제로 관련된 메시지를 한번에 보내는 것이 아니라 각 속성별로 Write Property를 이용하여 세 번 전송하고 그에 따른 ACK를 받기 때문에 이를 처리하는데 프로세싱 지연시간이 분명 측정될 것이다. BS(BACnet Stack)과 ZS(ZigBee Stack)은 Gateway내에 서로 다른 프로세스 유닛을 가지고 동작하고 있기 때문에 서로에게 분석된 정보를 전달하는데도 지연시간이 발생하게 된다. 그 후 GW에서 LCMD로 메시지가 보내어지는데도 지연시간이 발생하게 되고, 이도 마찬가지로 Load Control Event가 발생한 뒤 처리되는 명령들이 존재하므로 프로세싱 딜레이도 분명 발생한다. 자세한 것은 다음 파트에서 실험과 함께 설명된다. Metering 도 마찬가지로 Load Control의 역순으로 진행하면 비슷한 형태의 지연시간을 보이게 될 것이다.

7.3 지연시간 측정 실험

7.3.1 실험 1 : ZigBee Load Control 통신 지연시간

전체 시스템 중 ZigBee의 Load Control를 이용한 부하제어를 수행할 때 발생하는 순수 ZigBee 통신 지연시간을 측정한다. ZigBee 네트워크는 BZSGG의 ZigBee ESP를 통해 제어되므로 실제로 ZigBee 메시지 시퀀스의 모든 메시지는 ESP와 LMCD의 사이에서 이루어지는 메시지이며, 시퀀스는 그림 20와 같다.

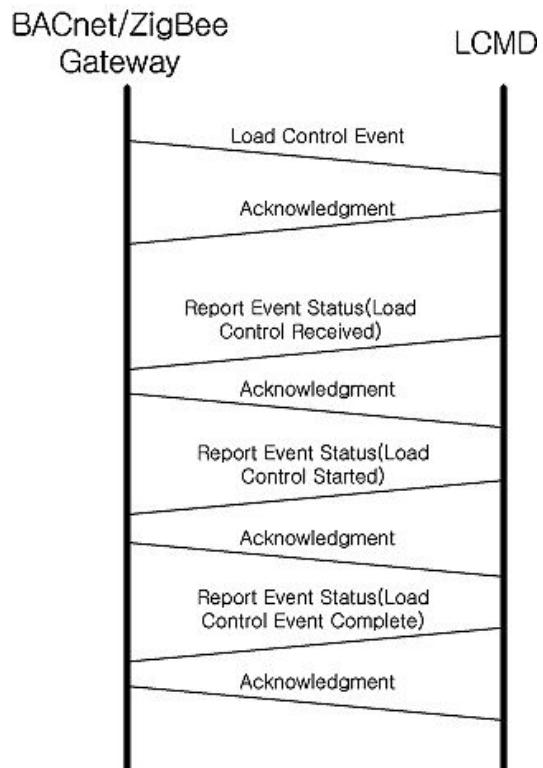


그림 20 ZigBee의 Load Control Message Sequence

그림 17에서 표시된 모든 메시지는 ESP와 LCMD의 네트워크 조인 과정을 제외하고 순수 메시지만 표시한다.

7.3.1.1 지연시간 측정 결과

Load Control Event로 부하제어를 함으로써 발생되는 지연시간은 그림 21과 같이 측정되었다.



그림 21 Load Control Event 자연시간

측정된 자연시간은 프로세싱 자연시간과 기타 발생 할 수 있는 모든 자연시간을 포함한 결과이며, 예상한 자연시간은 계산에 의해 만들어진 순수 통신 자연시간이다. 그래프를 보면 크게는 41 ms 까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 ZigBee Load Control을 하는데 자연시간이 차이가 나는 이유는 프로세싱 딜레이가 가장 큰 영향을 미친다. 실제로 그림 17의 Load Control Message Sequence를 보면 Load Control Event가 도착하고 Load Control Event의 속성에 따라서 해당 장치는 부하제어를 하기 위한 함수를 호출하게 된다. 이 부분에서 자연이 발생하게 되고 ESP로 부하제어가 시작되었다는 메시지가 전달되게 되면 ESP는 성공적으로 메시지가 전달되었다는 메시지를 보내게 되고 이 과정에서 평균 28 ms의 프로세싱 딜레이가 발생한다는 것을 Analyzer를 통해 확인할 수 있다. 따라서 예상된 통신 딜레이 10.56 ms와 평균적으로 측정되는 28 ms의 프로세싱 딜레이를 포함한다면 38.56 ms로 실험 결과와 근접한 수치를 보인다.

7.3.2 실험 2 : ZigBee Simple Meter Report 자연시간

이번 실험에서는 전체 시스템 중 ZigBee 네트워크 내에서 Metering을 수행하는데 걸리는 시간을 측정한다. Load Control Event가 모두 완료되면 디바이스는 전류를 측정하여 소모되는 전력량을 측정하고 현재 소모전력과 보내는

전력의 단위 그리고 현재의 Meter 상태를 표시하는 메시지를 보내게 된다. 이 또한 LCMD와 ESP간에 이루어지는 통신으로 예상 지연시간은 순수 통신 지연시간을 나타내고 그리고 실제 측정 딜레이는 프로세싱 지연시간을 포함한다. 그림 19는 Metering Report가 발생하는 시퀀스를 나타낸 그림이다. 각 메시지는 순차적으로 발생되며, 프로그램 상 처음 Metering Report가 끝나면 바로 다음 Metering Report를 시작하도록 설정해 놓았다.

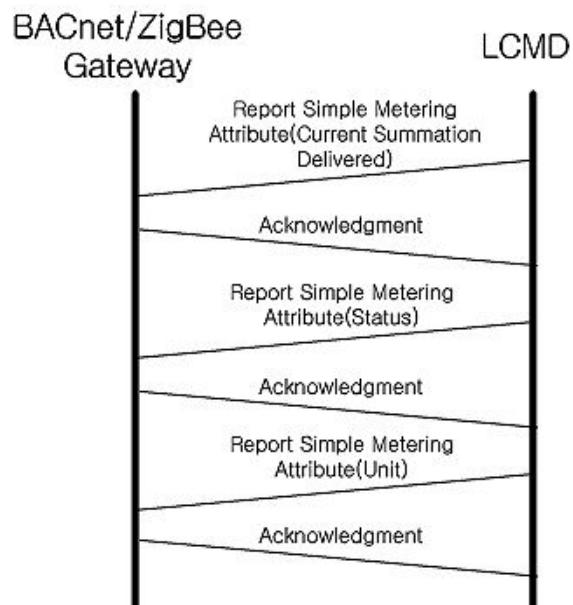


그림 22 ZigBee의 Simple Meter Message Sequence

7.3.1.1 지연시간 측정 결과

Metering을 하는데 지연되는 순수 통신 지연시간은 3.96 ms로 계산되었으나 실제로 측정을 한 지연시간은 11 ms로 모든 시간동안 같은 지연시간을 보였고 약 7.06 ms의 지연시간의 차이를 보인다. 이는 실제로 Metering Report를 수행하게 될 때 각 Report Message 사이에 3 ms정도 지연되는 프로세싱 지연시간이 존재하기 때문이다. 이는 ZigBee의 Load Control Message와 마찬

가지로 Packet Analyzer를 통해 측정된 근거를 바탕으로 검증하였다. 따라서 메시지 사이에 2번의 지연시간이 존재하므로 6 ms의 지연시간이 발생한다고 하면 실제로 9.96 ms의 지연시간과 소모전력 계측하는 프로세싱 지연시간까지 포함한다면 11 ms의 지연시간은 충분히 측정될 수 있는 시간이다.

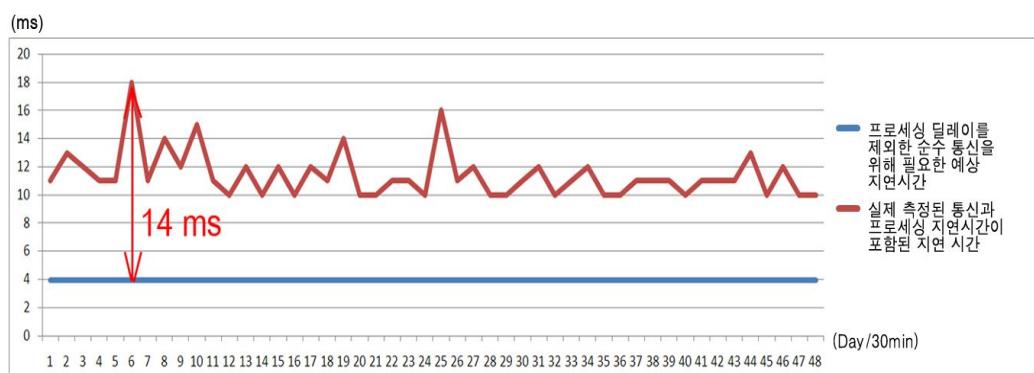


그림 23 Metering Report Event 지연시간

7.3.3 실험 3 : BZSGG-LCMD의 Load Control 수행 지연시간

그림 24에서 표현된 시퀀스는 앞서 측정되었던 ZigBee Load Control Message 수행 시퀀스와 함께 표현된 시퀀스이다. Monitoring Server에서 BACnet NPDU Frame을 생성하는 시간부터 측정을 시작하여 마지막으로 모든 부하제어가 끝나고 Load Control Complete ACK가 도달하는 지연시간을 측정한다. Write Property는 Object의 1개 속성을 쓰기 위해 사용되므로 실제로 우리가 필요한 Level, Time, Duration을 전송하기 위해서는 세 번의 Write Property Service가 수행된다. Simple ACK가 올 때까지 다음 Write Property Service는 수행되지 않기 때문에 BZSGG에서 명령을 수행하고 Simple ACK를 얼마나 빠른 시간안에 보내느냐에 따라서 지연시간이 유동적으로 변할 것으로 예측한다.

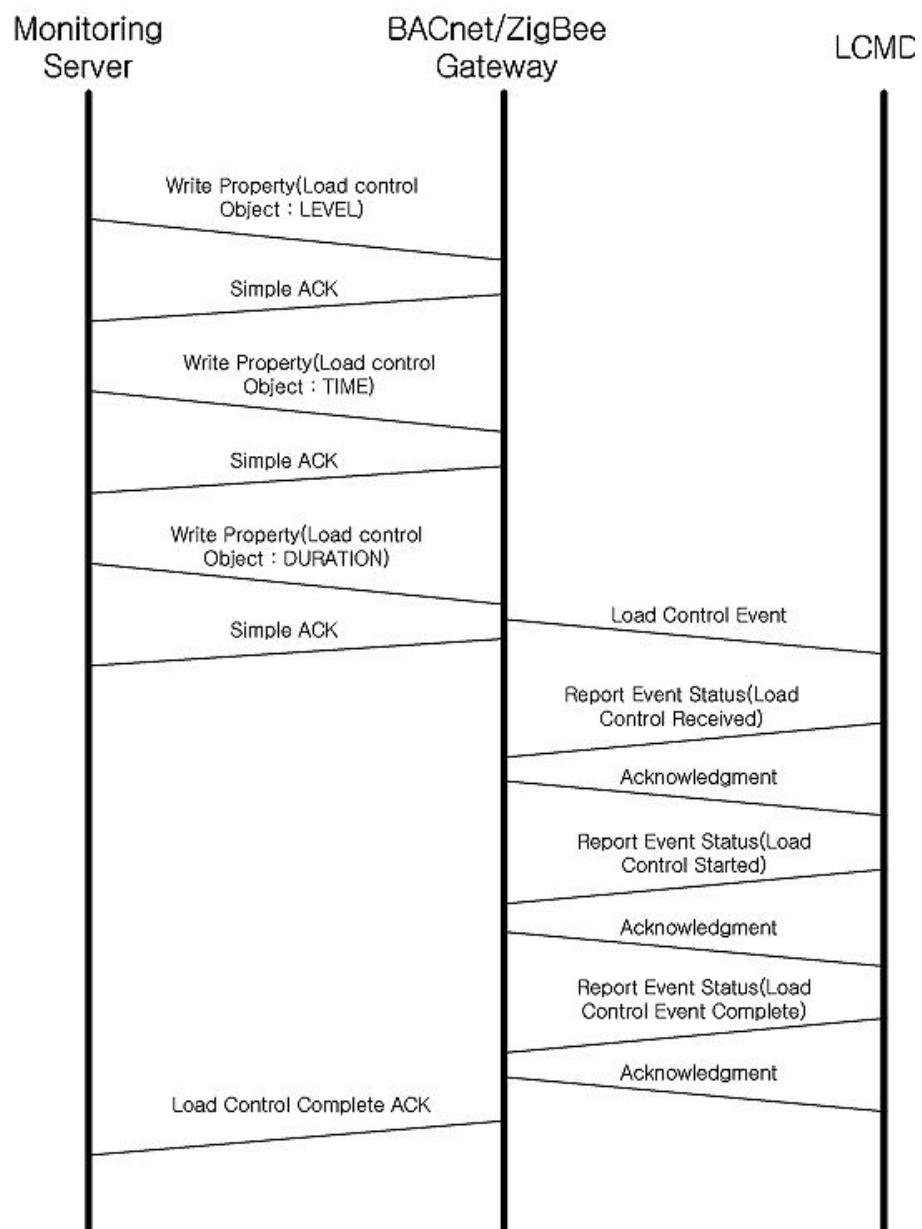


그림 24 ZigBee의 Load Control Message Sequence

7.3.1.1 지연시간 측정 결과

예상되는 순수 통신 지연시간은 73.6 ms이며, 실제로 측정된 딜레이와 최대 차이는 부분은 567 ms 까지 차이가 난다. 앞서 실험 1에서 검증한 ZigBee Load Control 부분에서 발생하는 프로세싱 지연시간을 고려한다고 해도 약 101.04 ms로 예상한다고 해도 540 ms 에 달하는 지연시간의 차이가 발생한다.

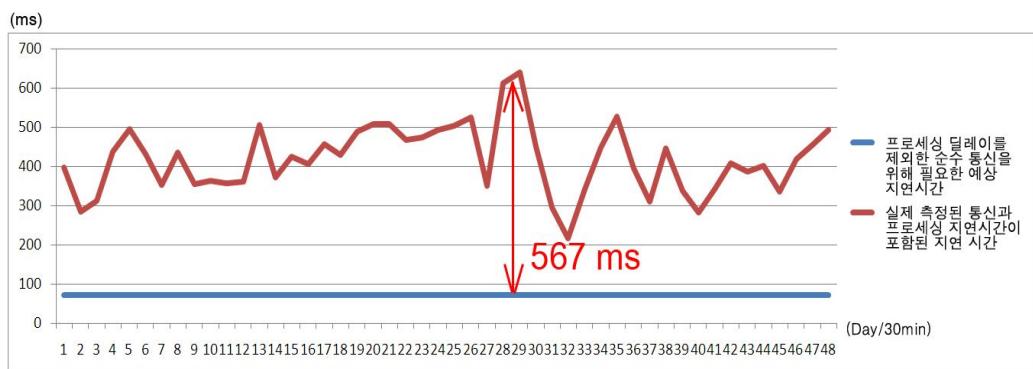


그림 25 전체 Load Control 지연시간

이렇게 측정된 지연시간이 예측할 수 없는 수치로 측정되는 이유는 BZSGG에서 발생한다. BZSGG는 SEP가 탑재된 ZigBee Stack을 프로그래밍한 8051 프로세서와 Smart Grid를 위한 Object가 탑재된 BACnet Stack이 프로그래밍된 ARM7 프로세서로 구성되어 있다. 이 둘 사이에서는 RS-232를 통해서 통신하게 되는데 BACnet으로부터 RS-232를 통해서 ZigBee 프로세서로 들어온 부하제어 명령은 바로 수행되도록 프로그래밍 되어 있지 않고 실제로 프로세서에서 동작되는 인터럽트, 타이머, I/O제어 등이 모두 완료되고 IDLE 상태가 될 때 명령을 수행하도록 프로그래밍 하였기 때문에 인터럽트나 타이머가 발생할 때는 아무리 부하제어 명령이 들어왔어도 IDLE 상태를 기다렸다 메시지를 처리하게 된다. 따라서 IDLE 상태가 언제 되느냐에 따라서 지연시간이 변하게 된다. 이 지연시간은 예상할 수 없는 지연시간이다.

7.3.4 실험 4 : BACnet-ZigBee Gateway를 통한 Metering 딜레이

실험 3과 마찬가지로 Metering 정보를 처리하는데 걸리는 지연시간의 측정이 필요하다. Metering 같은 경우에는 ZigBee Load Control and Metering Device로부터 들어오는 각각의 Report마다 모니터링 서버로 한번씩 WRPS를 이용하여 각 속성을 전달하는 메시지를 발생하게 된다.

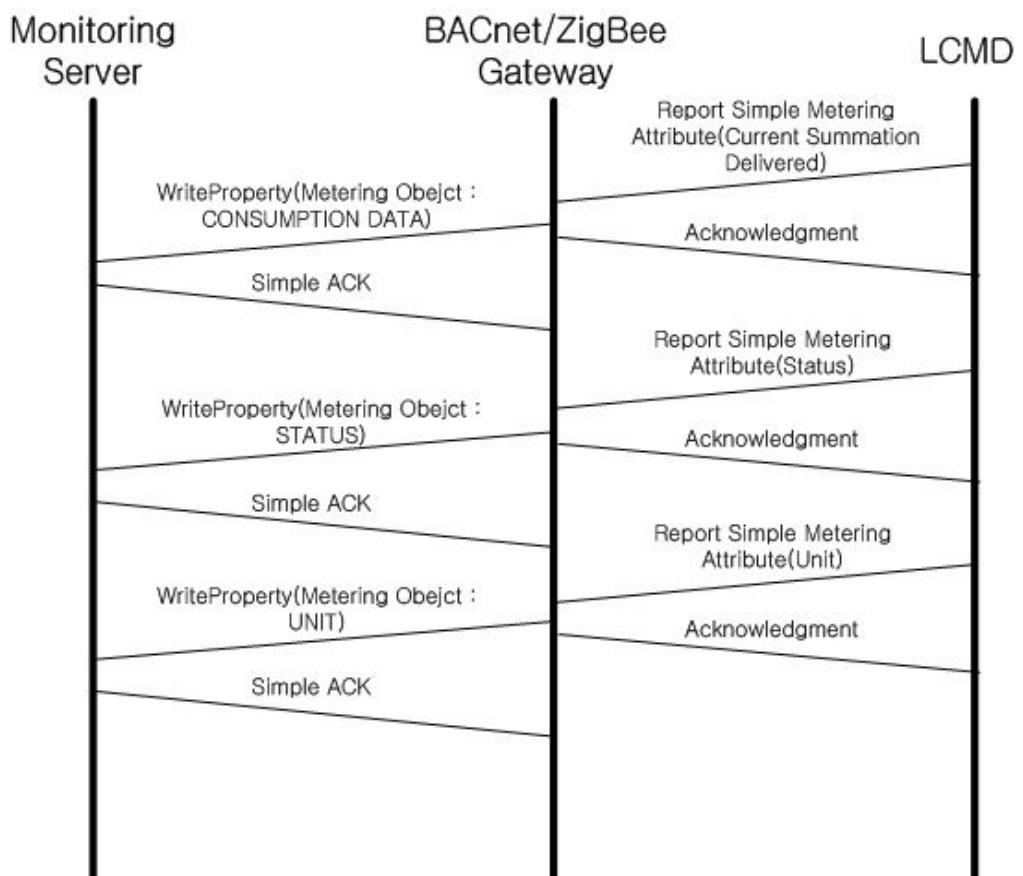


그림 26 전체 Metering Message Sequence

7.3.1.1 지연시간 측정 결과

전체적인 Metering 지연시간 측정 결과도 Load Control 결과와 마찬가지로

예측할 수 없는 자연시간의 발생으로 자연시간이 큰 차이를 보인다. 예상되는 통신 딜레이와 가장 많이 차이는 구간은 147 ms의 차이를 보이는데 실험 2에서 측정된 최대 자연시간 18ms를 생각한다고 해도 약 140 ms의 차이를 보인다. 이도 마찬가지로 BZSGG의 ZigBee 프로세서로 측정된 소모전력이 전달되고 이 전달된 소모전력 정보가 IDLE 상태를 기다렸다가 IDLE상태가 될 때 BACnet 프로세서로 관련 정보를 전송하기 때문에 발생하는 프로세싱 자연시간이다.

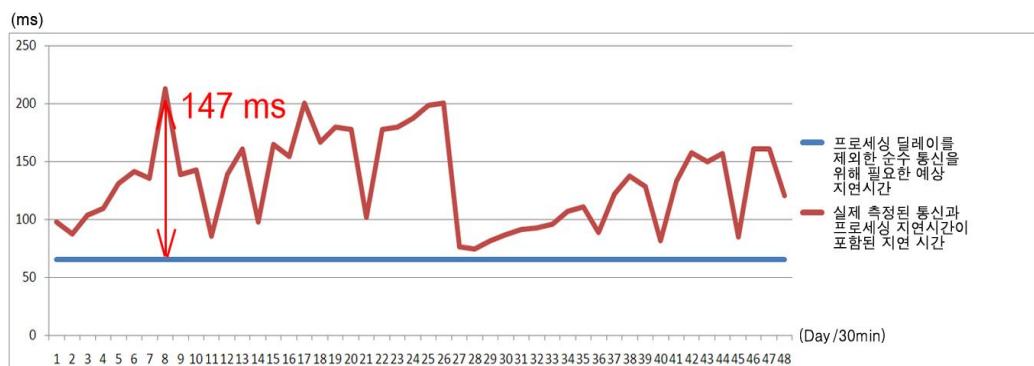


그림 27 전체 Metering 자연시간

7.4 실험 결과

실제로 시스템이 적용된다면 가격정보가 갱신되는 짧게는 15분 길게는 30분 안에 모든 장치에 대한 명령을 수행완료 하여야한다. 현재 측정에서 사용된 BZSGG의 ESP에서 발생하는 자연시간은 안정적으로 메시지를 전달하기 위해 IDLE 상태일 때 보내도록 프로그래밍 해놓았기 때문에 기기당 최소 200 ms 최대 800 ms의 자연시간을 보이므로 15분 동안 적게는 1125개의 장치를 많게는 4500개의 장치를 제어할 수 있는 시간이다. 실제로 BZSGG는 빌딩 전체의 장치를 관리하는 것이 아닌 층별 또는 사무실별로 설치되어 해당하는 구

역의 장치를 관리하도록 되어 있다. 이는 한 구역당 1125 ~ 4500 개의 기기가 있다고 해도 제어할 수 있다는 이야기가 된다. 만약 IDLE 상태가 아닌 메시지를 받는 즉시 전송하도록 한다면 더욱더 많은 디바이스를 정해진 시간동안 제어할 수 있을 것이다.

8 결론

본 연구에서는 빌딩의 스마트 그리드를 위한 DR기능을 구현하기 위해서 BACnet과 ZigBee의 스마트 그리드를 위한 속성을 맵핑하기 위한 방법을 연구하였고, 실제로 BACnet ZigBee Smart Grid Gateway(BZSGG)에 Load Control과 Metering 속성 맵핑하는 기능을 구현하고 실제로 데모 실험 공간에 적용을 하여 자연시간을 측정함으로써 빌딩에서 실제로 적용되어 수많은 장치들의 에너지의 사용을 제어하고 관리할 수 있다는 것을 확인하였다.

이 연구에서 개발된 모든 기술은 자체적으로 만들어낸 프로토콜과 표준이기 술이 아닌 국제 표준으로 표준화 되어 있는 BACnet, ZigBee Specification을 따라 개발하였고, 현재 BACnet ASHRAE에서 스마트 그리드를 위한 오브젝트 개발을 위해 진행되는 사항을 가장 빠르게 정보를 확보하고 이에 맞는 대처 방안을 세워 진행함으로써, 실제 BACnet 기반의 빌딩환경에 바로 적용하여 사용할 수 있다. BZSGG는 서로 다른 두 네트워크 프로토콜을 연동을 위해 사용된다. 현재는 BACnet의 LCO와 MO 그리고 ZigBee의 DRLCC와 SMC의 속성을 맵핑하여 구현을 하였고, 이 외에도 스마트 그리드를 위한 다양한 오브젝트와 클러스터를 구현할 수 환경을 구현해 놓았다.

BACnet ASHRAE SSPC 135의 SG-WG에서는 현재도 스마트그리드를 위한 오브젝트를 제정하기 위해서 활발한 움직임을 보이고 있고 ZigBee Alliance에서도 ZigBee SEP 1.0에서 2.0으로 제정하기 위한 활발한 움직임을 보이고 있다. 따라서 BACnet과 SEP 2.0의 스마트 그리드를 위한 표준 제정이 활발해 지는 만큼 우리 연구에서 개발된 기술이 개발되는 오브젝트가 구현이 지속적으로 이루어진다. 즉시 적용이 가능한 기술이므로 이러한 것들이 보완된다면, 새로운 스마트 그리드 시스템이 만들 수 있을 것으로 예상한다.

참고문헌

- [1] ISO 16484-5, "Building automation and control systems-Part 5 Data communication protocol", ISO, 2007.
- [2] ASHRAE STANDARD, "ANSI/SHRAE Standard 135-2008 "A Data communication protocol for building automation and control network", ASHRAE Standing Standard Project Committee 135, 2008.
- [3] NIST, U.S Department of Commerce, "NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standard", Release 1.0, Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, Jan 2010.
- [4] U.S Department of Energy, "2010 Buildings Energy Data Book", D&R International, Ltd., March 2011.
- [5] ZigBee Specification, "Smart Energy Profile Specification", Revision 15, ZigBee document 075356r15, Smart Energy Profile Task Group, December 2008.
- [6] Seok Cheol Park, Woo Suk Lee, Se Hwan Kim, Seung Ho Hong, Peter Palensky, "Implementation of a BACnet-ZigBee Gateway", INDIN 2010, PP. 40-45, 13-16 July 2010.
- [7] Gi Myung Kim, Se Hwan Kim, Seung Ho Hong, "Design of a BACnet-ZigBee Gateway for Smart Grid in Buildings". IEEE JICSIT Chongqing, August 2011.
- [8] <http://www.daintree.net/>

ABSTRACT

Design and Implementation of BACnet-ZigBee based Smart-Meter for Smart Grid in the Building

Kim, Hyung Lae

Dept. of Electronic, Electrical, Control
& Instrumentation Engineering

The Graduate School
Hanyang University

The activity to enact a standard for Smart Grid (SG) is in progress to fully utilize the benefits from the SG concept. BACnet is a registered standard in ISO, ANSI and KS(Korean Standard) for building automation and control. ASHRAE is making BACnet Object for SG to connect smart building to smart grid. we can obtain profitable results by linking together BACnet and ZigBee. As BACnet is a wired protocol, so it has many implementation & maintainence issues but a wireless protocol can easily solve this problem. ZigBee can provide a solution as it has application to implement SG system through Smart Energy Profile (SEP). This ZigBee SEP supports various clusters for AMI/DR implementation. This paper proposes a BACnet-ZigBee gateway that maps the BACnet DR applications of load control and metering to the corresponding DR applications of ZigBee. The results verify the load control and metering in real-time for our developed model.

감사의 글

2년이라는 시간이 굉장히 짧게 느껴질 정도로 바쁜 하루하루를 보냈지만, 더 열심히 하지 못했음에 후회가 남는 것은 졸업하는 사람이 가지는 공통된 마음인 듯합니다. 석사과정을 무사히 끝낼 수 있었던 것은 지도교수님이신 홍승호 교수님께서 아낌없는 지원과 독려를 해주셨기 때문이며, 진심으로 고개숙여 교수님께 감사의 인사드립니다.

연구실에 처음 와서 지금까지 너무 좋은 사람들을 만나서 열심히 일하고 즐겁게 생활했습니다. 먼저 정한이형 많은 시간 함께 하지 못했지만, 많은 부분에서 형의 도움이 정말 큰 도움이 되었습니다. 세환이형 연구실에서 가장 큰 형으로 후배들 챙겨주느라 고생 많으셨어요. 진호형 학부부터 대학원까지 좋은 감정으로 저 아껴줘서 고마워요. 윤기형 묵묵히 뒤에서 많이 챙겨줘서 너무 고마워요. 기명이형 일이 많아 많은 시간 이야기하고 지내지 못했지만 이젠 나가서는 많이 얘기도 하고 해요. 동기지만 형인 보현이형 부산 근처 놀러 가면 연락 할테니 꼭 만나서 추억씹어요. 그리고 학부부터 지금까지 함께 온 보성이 너가 있어서 연구실에서 외롭지 않고 잘 지냈던 것 같다 고맙다. Anwar, if you go back to pakistan, we may never see each other again. I'm going to miss you for a long time. 그 외에 도움주신 많은 분들 감사합니다.

그리고 지금까지 힘든 가정형편에도 묵묵히 아들 뒷바라지 하시느라 고생하신 부모님 정말 감사합니다. 어떠한 말로도 형용할 수 없는 그 사랑 잊지 않고 부모님께 잘하는 아들 되겠습니다. 그리고 할머니, 큰 이모, 둘째이모의 사랑도 잊지 않도록 하겠습니다. 가장 힘든 마지막 학기 내게 힘이 되어주었던 내 연인 새롬이에게도 너무 고맙고 사랑한다는 말은 전하고 싶고, 이유 없이 바라는 것 없이 나를 많이 도와주고 챙겨준 나의 가장 친한 친구 진표에게도 감사의 마음을 전합니다.

다시금 모든 분들께 진심을 감사의 마음과 사랑의 마음을 전합니다.

연구 윤리 서약서

본인은 한양대학교 대학원생으로서 이 학위논문 작성 과정에서 다음과
같이 연구윤리의 기본원칙을 준수하였음을 서약합니다.

첫째, 지도교수의 지도를 받아 정직하고 엄정한 연구를 수행하여 학
위논문을 작성한다.

둘째, 논문작성시 위조, 변조, 표절 등 학문적 진실성을 훼손하는
어떤 연구부정행위도 하지 않는다.

2011.11.22

학위명 : 공학석사

학과 : 전자전기제어계측공학과

지도교수 : 홍승호

성명 : 김형래



한양대학교 대학원장 귀하

Declaration of Ethical Conduct in Research

I, as a graduate student of Hanyang University, hereby declare that I have abided by the following Code of Research Ethics while writing this dissertation thesis, during my degree program.

"First, I have strived to be honest in my conduct, to produce valid and reliable research conforming with the guidance of my thesis supervisor, and I affirm that my thesis contains honest, fair and reasonable conclusions based on my own careful research under the guidance of my thesis supervisor.

Second, I have not committed any acts that may discredit or damage the credibility of my research. These include, but are not limited to: falsification, distortion of research findings or plagiarism."

2011.11.22

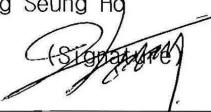
Date

Degree : MASTER OF SCIENCE

Department : ELECTRONIC,ELECTRICAL,CONTROL &

Thesis Supervisor : Professor Hong Seung Ho

Name : KIM, HYUNGLAE


(Signature)