

## Design of BACnet/Zigbee Intrated System

金世桓\* · 朴東奎\*\* · 洪承鎬†

(Se-Hwan Kim · Dong-Kyu Park · Seung-Ho hong)

**Abstract** - BACnet(Building Automation and Control Networks) is a standard data communication protocol specifically designed for building automation and control systems, BACnet provides six options for data link layer protocols and these six data link layer options can be applied with various wired transmission media. Recently wireless technology prevails in automation area. ZigBee is an IEEE 802.15.4 based standard communication protocol for low-rate wireless personal area networks. In this study, we propose a BACnet over ZigBee model that adopts ZigBee communication channel as a wireless data link layer protocol in a BACnet-based communication network system. The technology proposed in this paper can expand the BACnet application using the advantages of wired and wireless integrated network solution.

**Key Words** : BACnet, ZigBee, IEEE 802.15.4, Building, Network

### 1. 서론

지능형 빌딩 기술은 정보통신 기술과 자동화 기술의 융합을 통하여 빌딩의 냉난방, 환기, 조명, 방재 및 방범 기능을 자동화 하는 기술을 말한다. 지능형 빌딩 기술은 빌딩을 쾌적하고, 편리하며 안전하게 해주는 동시에 에너지 효율을 극대화하여 인간의 생활환경을 향상시킨다.

지능형 빌딩 시스템을 구현하기 위해서는 센서, 제어기, 구동기 등 다양한 종류의 기기(device)들이 통신망을 통하여 접속되어야 한다. 현재 지능형 빌딩 시스템에 사용되는 기기들은 다양한 제조업체에서 공급된다.

이기종 기기들 간에 상호동작성이 보장되지 않는 경우에 시스템통합을 통한 다양하고 복합적인 기능구현에 있어서 많은 제약이 따를 수밖에 없으며, 따라서 디바이스들 간에 호환성 및 상호 동작성을 보장하기 위해서는 개방형의 표준 통신망이 사용되어야 한다.

이런 문제점들을 해결하기 위해서 빌딩자동제어 분야에 특화되어 적용되도록 설계된 국제표준통신 프로토콜인 BACnet (Building Automation and Control Networks)이다. BACnet은 1995년 미국 ANSI/ASHRAE 표준으로 처음 제정된 이후 1999년에 KS 산업표준(KS X 6909)으로 제정되었다.

최근 유무선 통신 기술의 급격한 발달로 인해 유비쿼터스 컴퓨팅 및 유비쿼터스 네트워크 관련 기술의 중요성이 급증하고 있다. 특히 빌딩 및 홈오토메이션 분야에서도 유비쿼터스 관련 기술의 발달로 인해 기술 융합을 통한 유무선 통합 시스템 구축에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 추세이다.

BACnet에서는 현재 데이터 링크 계층의 프로토콜로 5가지의 유선통신망만을 채택하고 있다. BACnet 표준 규격서에는 무선 네트워크에 대한 규격이 제정되어있지 않아 유무선 통합 시스템으로의 확장에 제한이 있다. ZigBee는 저전력 네트워킹을 위한 근거리 무선 통신 프로토콜이다.

본 연구에서 제안하는 BACnet/ZigBee 프로토콜은 빌딩 자동화 및 제어 통신망을 위한 국제표준인 BACnet에 ZigBee 무선 통신기술을 부가함으로써 기존의 BACnet 상호운용성을 그대로 보장하면서도 BACnet의 활용범위를 더욱 확장시킬 수 있다.

BACnet 프로토콜의 데이터링크 계층으로 ZigBee가 무선 솔루션으로 적용되는 경우 다음과 같은 장점이 있다.

- ZigBee의 무선 네트워크의 장점으로 인해 배선구조에 독립적으로 시스템의 설치, 유지보수 및 확장이 용이해지게 된다. 또한 ZigBee의 이동성으로 인해 시스템의 변경 및 조율이 유리해진다.

- 공통된 BACnet의 응용 계층과 네트워크 계층을 사용함으로써 기존 BACnet 프로토콜과의 상호운용성을 보장한다.

- BACnet 네트워크 계층을 통한 유무선 통합시스템의 구성이 가능해짐으로써 기존 BACnet 시스템에의 활용도를 높일 수 있다.

이러한 장점들로 인해 BACnet/ZigBee에 대한 개발 필요성이 높아진다.

\* 學生會員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測學科 博士課程

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大學 電子情報시스템工學  
教授 · 工博

E-mail : shhong@hanyang.ac.kr

接受日字 : 2007年 12月 27日

最終完了 : 2008年 2月 23日

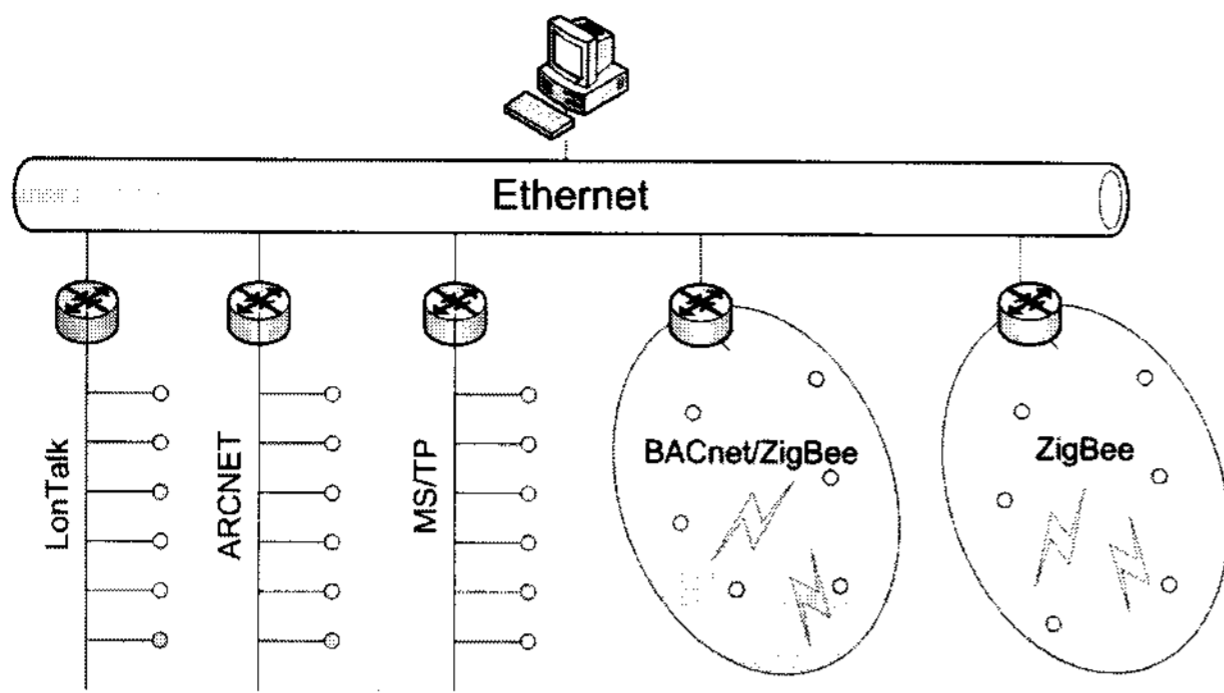


그림 1 BACnet/ZigBee 통합 시스템  
Fig. 1 BACnet/ZigBee integrated system

2. BACnet over ZigBee 프로토콜 제안

BACnet은 Ethernet, ARCNET, MS/TP, PTP, LonTalk의 5가지 옵션을 데이터링크 계층 프로토콜로 제공하고 있으나, 이러한 5가지 선택사항 중 무선을 매체로 한 데이터링크 계층은 포함되어 있지 않다. 그러나 최근 빌딩 자동화 분야에서도 무선기술을 이용한 제어시스템에 대한 연구가 시작되고 있으며 ZigBee를 BACnet의 무선 전송 매체로 활용하기 위한 기술 통합이 진행 중에 있다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 무선 통신 프로토콜인 ZigBee를 BACnet의 데이터링크 계층으로 적용하기 위한 기술적 방법을 제안하고 이를 구현한다.

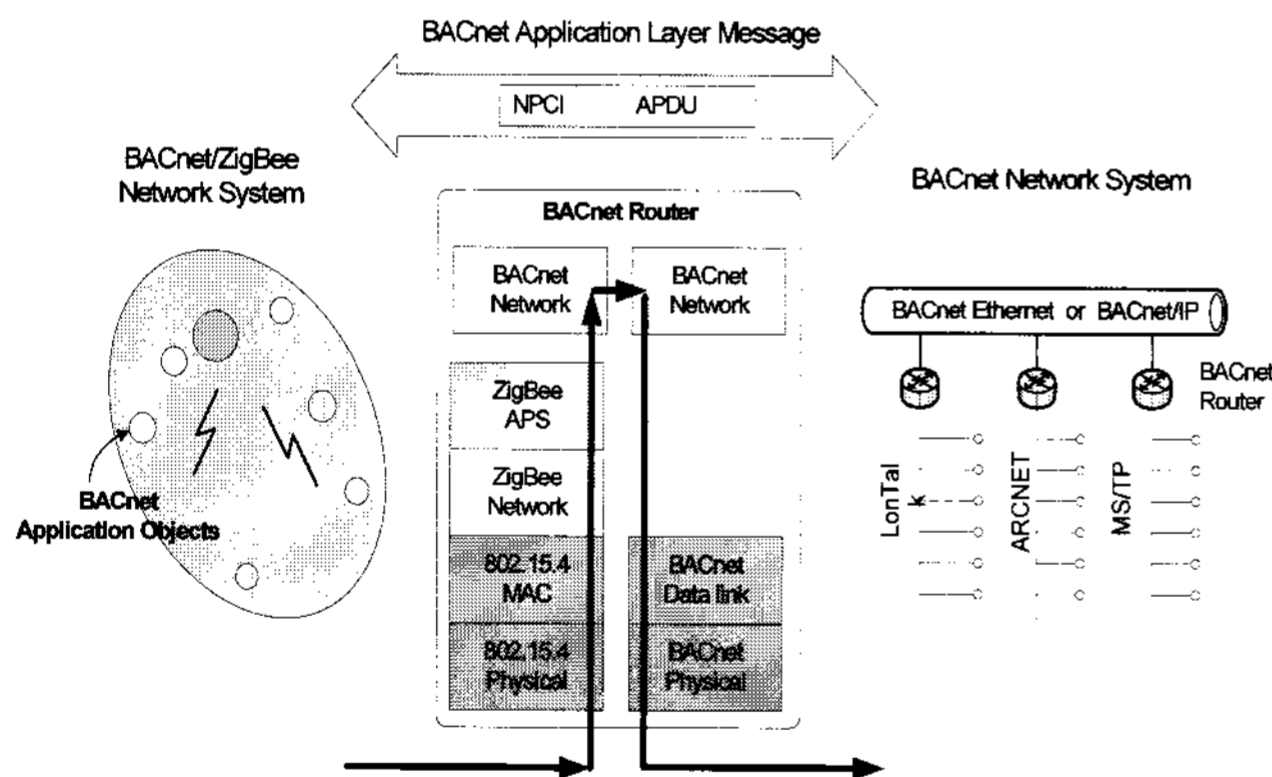


그림 2 BACnet over ZigBee 기술  
Fig. 2 BACnet over ZigBee technology

본 연구에서 제안한 BACnet/ZigBee 프로토콜은 그림 2에 보이는 바와 같이 기존의 BACnet 응용 계층과 네트워크 계층을 계속 유지하면서 ZigBee 네트워크 계층을 BACnet의 데이터 링크 계층으로 추가함으로써 기존 BACnet 시스템과의 상호 운용성을 보장하면서 동시에 ZigBee 무선 네트워크로의 확장을 가능하게 한다.

이와 같이 두 프로토콜 각각의 필요한 기능을 담당하는 계층만을 구현하여 이들 간의 인터페이스를 조정하는 방식을 구현하기 위하여 Virtual Layer를 두었다. Virtual Layer에서는 BACnet의 주소와 ZigBee의 IEEE 주소를 연결 한다.

이러한 방식은 규격 변화에 영향을 받지 않고 구현할 수 있으며 각 프로토콜의 필요한 계층만을 포함하기 때문에 개발이나 유지 보수 측면에서 효율적이다. 또한 각기 다른 네트워크의 주소를 가상 테이블로 연결하여 네트워크 특성을 그대로 보존할 수 있다.

3. BACnet over ZigBee 프로토콜 구현

3.1 BACnet 프로토콜 구현

본 연구에서 BACnet 부분을 담당하는 BACnet 필드 제어기는 원 칩 마이크로 컨트롤러를 이용해 BACnet 네트워크 계층, 응용 계층 기능 및 기본적인 응용 프로그램 기능이 구현되었다. BACnet 부분을 담당하는 MCU로는 Atmel사의 ATmega128을 적용하였다. ATmega 128은 128KB의 플래쉬 메모리를 내장하고 있으며 8비트 버스를 통해 최대 64KB까지 외부 메모리를 사용할 수 있다.

BACnet 프로토콜의 네트워크 계층, 응용 계층 및 응용 프로그램은 128KB의 내부 플래쉬와 32KB 외부 SRAM을 통해 구현되었다.

BACnet Application Layer				
BACnet Network Layer				
ISO 8802-2(IEEE802.2) Type 1	MS/TP	PTP	LonTalk	Virtual Layer
				ZigBee APS
ISO 8802-3 (IEEE 802.3)	ARCNET	EIA-485	EIA-232	ZigBee NL
				802.15.4 MAC
				802.15.4 PHY

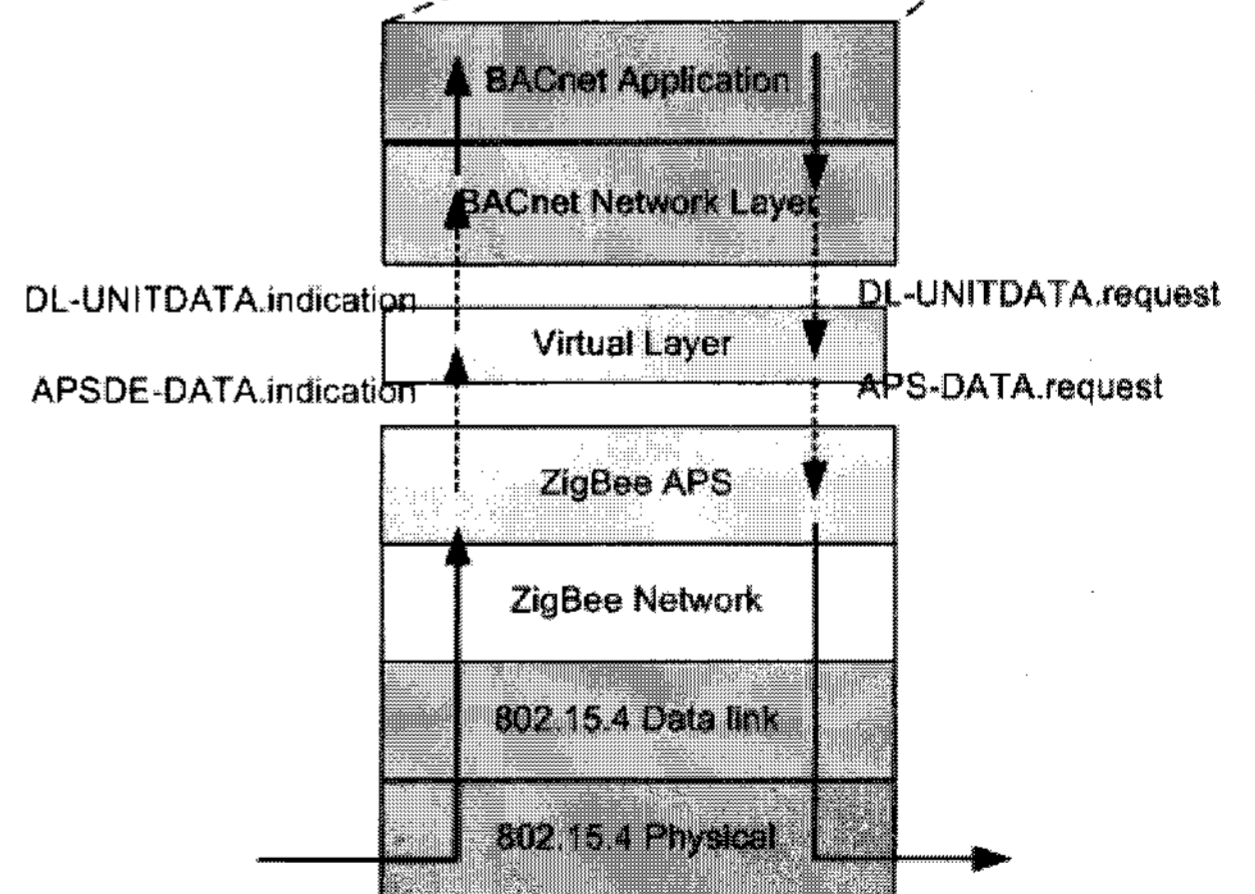


그림 3 BACnet over ZigBee 프로토콜 구조  
Fig. 3 BACnet over ZigBee protocol structure

BACnet 통신 스택은 한양대학교 UNS 연구실의 BACnet 프로토콜 스택을 사용하였다. BACnet 프로토콜 스택과 펌웨어는 개발된 코드의 이식성을 보장하기 위해 표준 ANSI-C를 이용해 구현하였으며, 별도의 운영체제 없이 펌웨어 상의 태스크 스케줄러에 의해 동작하도록 설계하였다.

프로토콜 스택과 펌웨어는 BACnet 응용 프로세스 및 프로토콜 구조를 기반으로 UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter), Data Link Layer, Network Layer, 응용 서비스 요소 (Application Service Element), 사용자 요소 (User Element) 및 Application Program의 주요 여섯 부분으로 구성되며, 각각의 기능을 모듈화 함으로써 각각의 기능들이 독립적으로 유지, 관리할 수 있도록 하였다. BACnet 프로토콜 스택은 ReadProperty 서비스와 WriteProperty 서비스를 통한 데이터 공유 기능과 Who-Is/I-Am 서비스를 통한 장비관리 기능, 그리고 시간동기화 기능 및 스케줄링 기능에 대해 클라이언트(BIBB-A) 기능과 함께 서버(BIBB-B) 기능도 동시에 지원하도록 구현하였다.

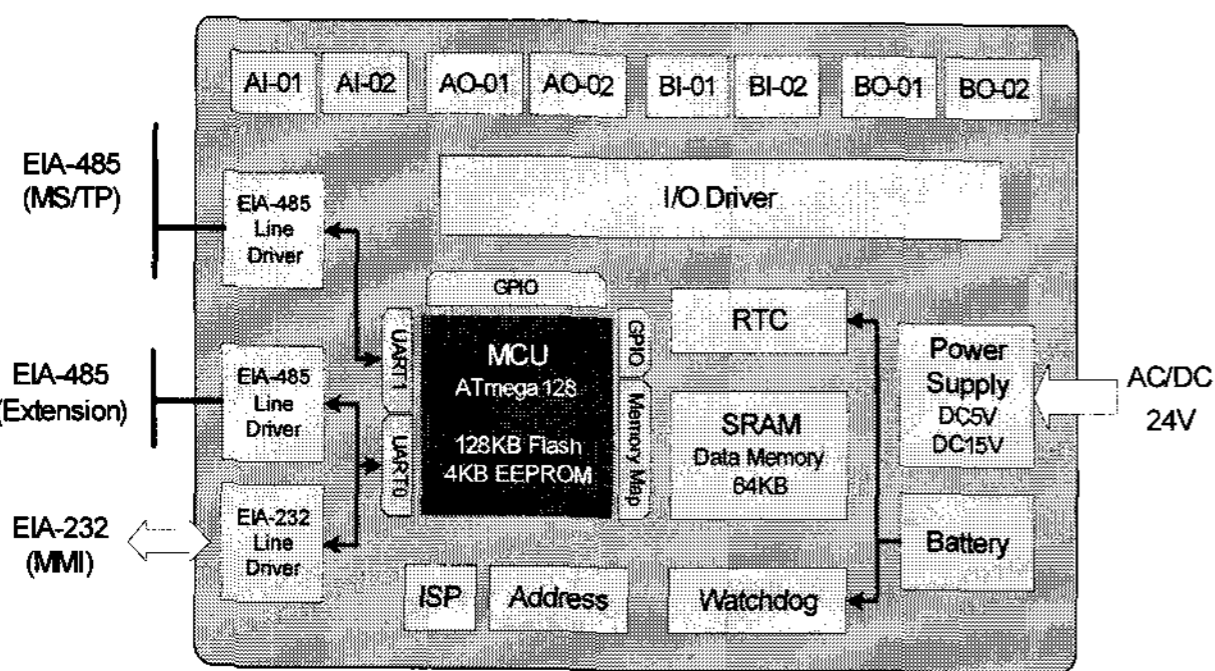


그림 4 BACnet 제어기 하드웨어 구조  
Fig. 4 BACnet network device architecture

### 3.2 ZigBee 프로토콜 구현

BACnet/Zigbee 모델을 구현하기 위한 Zigbee 무선 통신 하드웨어로는 Radiopulse 사의 MG2400 을 채택하였다.

Radio Pulse 사의 MG2400은 802.15.4를 지원하며 저 전력을 위한 설계가 되어있다. 8051 코어를 내장하고 있으며 이에 Radio Pulse 사의 zPulse 스택을 이용하여 Zigbee 통신이 가능하다. 64KB의 프로그램 메모리와 4KB의 데이터 메모리를 내장하고 있으며 Zigbee 스택을 사용할 경우 Zigbee 디바이스의 종류에 따라 19KB의 프로그램 메모리와 1KB의 데이터 메모리가 Free Space가 되며 이 공간에 유저 어플리케이션의 작성이 가능하다. 유저 어플리케이션은 펌웨어 형태의 C언어로 구현되며 Keil-C 컴파일러를 사용하여 개발되었다.

### 3.3 BACnet over ZigBee 프로토콜 구현

BACnet 의 네트워크 계층, 응용계층과 응용 프로그램을 포함하는 컨트롤러와 ZigBee의 물리계층, MAC계층, 네트워크계층, 어플리케이션 계층, 및 어플리케이션 보조 하부계층을 포함하는 ZigBee 노드는 RS-232로 연결된다. 두 네트워크의 연결 및 관리를 담당하는 Virtual Layer는 상대적으로 하드웨어 자원이 풍부한 BACnet 제어기에 포함이 된다.

BACnet 프로토콜에서는 하나의 데이터 프레임을 통해 전송할 수 있는 최대 APDU(Application Protocol Data Unit)의 길이를 50, 128, 206, 480, 1024, 1476 옥텟으로 규정

하고 있다. ZigBee의 데이터 링크 계층인 IEEE802.15.4규격에서는 저속, 저전력, 저용량의 특징을 위해 전체 데이터 프레임의 MAC Payload 부분을 102옥텟으로 정의하고 있다. ZigBee의 8옥텟 NPCI(Network Protocol Control Information) 와 BACnet의 14옥텟 NPCI를 제외하면 하나의 데이터프레임을 통해 전송 가능한 최대 APDU 크기는 80옥텟이 된다. 따라서 본 BACnet/ZigBee모델에서는 최대 APDU 길이를 BACnet의 정의에 의거한 50옥텟으로 정의하고 50 옥텟 이상의 응용 계층 메시지는 기존 BACnet에서 정의하고 있는 응용계층에서의 세그멘테이션 기능에 따라 분할 전송 되도록 하였다.

Zigbee의 Application Layer에서는 명령 패킷의 Data Payload 영역에 미리 정의한 Attribute 및 명령 형식을 이용하는 Key Value Pair(KVP) 방식과 일반 데이터 형식으로 명령어를 구성하는 Message(MSG) 방식이 있다.

KVP 프레임 타입은 Zigbee에 미리 정의된 Attribute Data Type 및 Attribute Identifier, Data를 사용해야 한다. 기존의 빌딩자동화를 위한 BACnet 장비들과의 통신을 유지하며 KVP 방식을 사용하기 위해서는 각 Attribute에 대해 BACnet Gateway를 두고 Gateway에서 BACnet 메시지와 Zigbee의 Attribute를 변환해야 한다. 이 방식을 위해서는 각 노드가 Zigbee 네트워크에 대한 정보를 보유하고 있어야 한다. 하지만 Zigbee 네트워크 정보는 Coordinator에 저장되어 있으며 End Device의 경우 네트워크의 모든 정보를 포함 하는 것이 불가능 하다. 또한 BACnet 메시지와 Zigbee 메시지의 변환이 1:1 매칭 되지 않는다. BACnet은 Object 형태의 객체화 된 메시지 형태를 갖지만 Zigbee KVP 방식의 Attribute 정보는 세분화 되어 있기 때문에 변환에 어려움이 있으며 네트워크가 변화 할 경우 이에 대한 매칭을 다시 해야 하므로 유지 및 보수가 비효율적이다.

MSG 프레임타입은 애플리케이션 프로파일에서 프레임 포맷의 구성을 마음대로 할 수 있도록 제공한다. 단, 프레임 포맷은 애플리케이션 프로파일 자체에서 정의된다. MSG 방식은 KVP구조에 쉽게 맞출 수 없는 애플리케이션도 필요에 따라서 명령을 규정할 수 있는 유연성을 제공한다. 본 연구에서는 ZigBee의 Application Support Sub-Layer(APS)에 BACnet End Point를 두고 BACnet 기능에 따른 Profile을 생성하였으며 MSG 방식을 사용하여 BACnet 메시지를 전송한다. 이와 같은 방식을 사용할 BACnet/ZigBee 디바이스가 하나의 End Point로 동작하므로 기존의 ZigBee 기기와 BACnet/ZigBee 기기가 공존이 가능하다. Virtual Layer를 위해 ZigBee MSG 방식을 사용하여 BACnet 프레임, 시작 및 목적 주소를 정의 하였다. BACnet 제어기에서 BACnet 메시지의 데이터 내용, 시작 및 목적 주소를 Virtual Layer로 보내면 Virtual Layer에서는 주소 변환 및 각 장치의 상태를 파악하여 ZigBee 디바이스에 RS-232로 전송한다. ZigBee는 이를 각 메시지 필드에 적용 후 통신을 수행한다.

Radiopulse사의 MG2400은 Zigbee Stack을 올릴 경우 유저 어플리케이션을 위한 데이터 메모리가 1KB가 채 되지 않는다. 또한 SOC 타입으로 외부 메모리 확장이 불가능한 구조로 되어 있다. 때문에 Zigbee 노드 자체에 BACnet 스택을 추가하는 것은 불가능 하다.

이를 위하여 BACnet Controller 에는 BACnet의 어플리

케이션 계층, 네트워크 계층과 Zigbee와의 연결을 위한 Virtual Layer를 구현하였으며 이를 Zigbee 노드와 RS-232 방식으로 연결하였다. 즉 두 개의 스택이 두 개의 다른 MCU 코어에서 동작하는 Co-Processor 방식으로 동작한다.

Virtual Layer가 BACnet Controller에 존재하도록 설계한 이유는 BACnet Controller의 하드웨어 시스템 사양이 높기 때문이다. Zigbee 노드는 센서네트워크의 특징상 시스템의 자원이 많지 않다. Virtual Layer에서는 BACnet의 각 Object 들과 Zigbee의 Address를 매핑하여 Table을 관리하고, 연결 상태를 Configuration 하여야 하므로 메모리 사용량이 많게 된다. 때문에 Virtual Layer가 BACnet Controller에 위치하도록 설계 하였다.

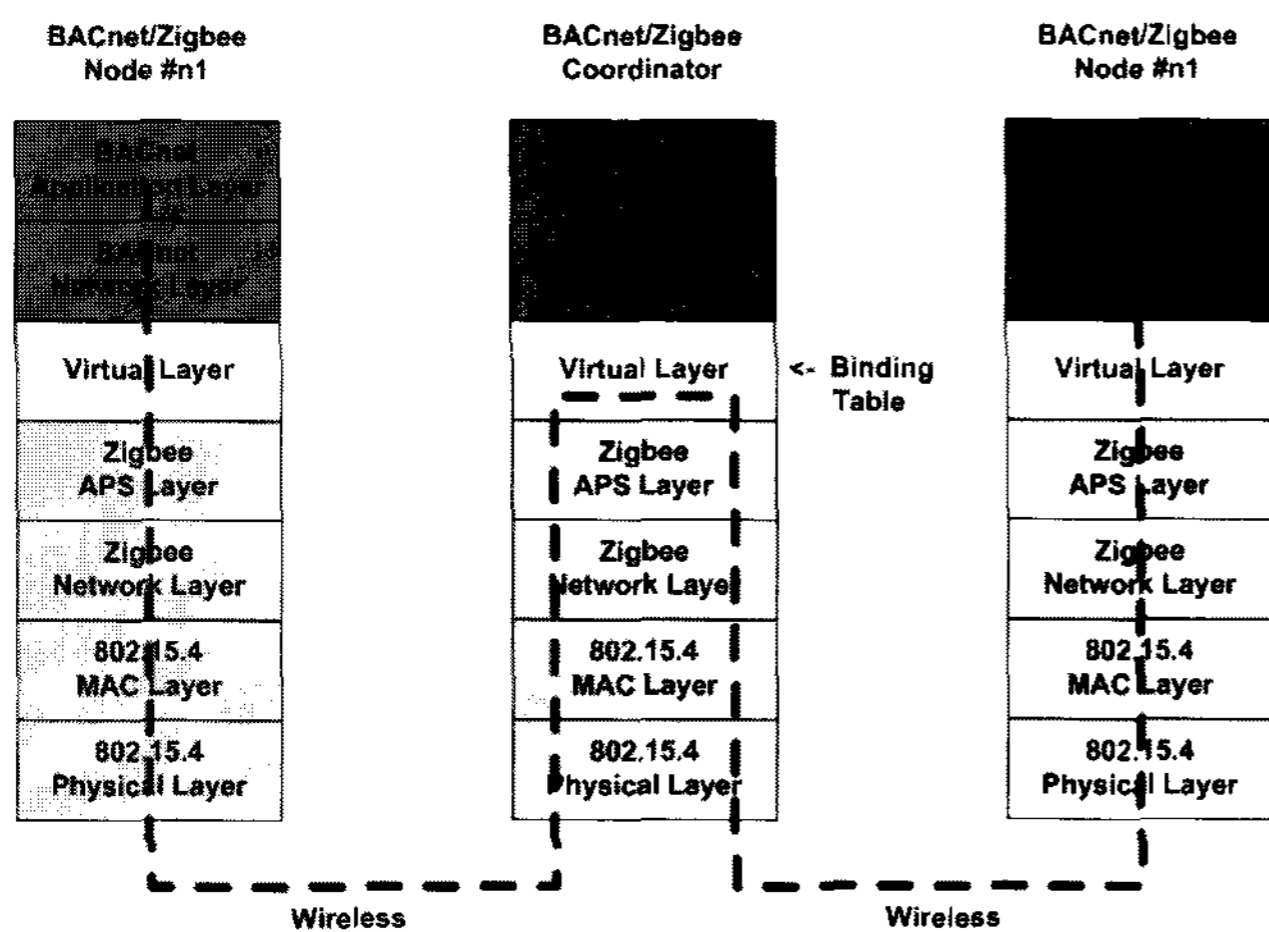


그림 5 BACnet/Zigbee의 Virtual Layer 동작  
Fig. 5 BACnet/ZigBee virtual layer architecture

위 그림은 BACnet/Zigbee의 Virtual Layer의 전송 예를 나타낸다. 코디네이터에 네트워크 형성 과정 이후 각 노드의 Device Object를 읽어와 Virtual Layer를 형성하였다. 데이터를 전송하고자 하는 노드에서 메시지를 Zigbee Network 정보(Address Table)을 포함하고 있는 노드 (Coordinator, Router)에 전송하게 되면 Virtual Layer를 참조하여 해당 Object가 존재하는 노드의 주소를 찾아낸다. 찾아낸 Destination Device의 Zigbee 주소로 메시지를 전송하고 수신측 노드에서 메시지를 수신하여 어플리케이션을 수행한다.

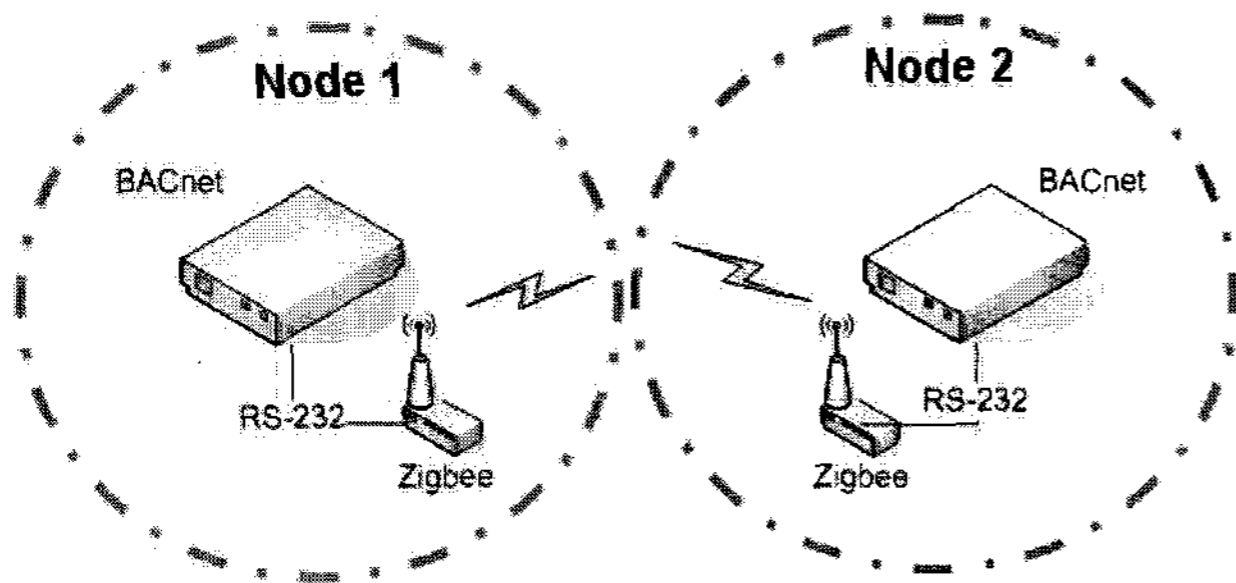


그림 6 BACnet/ZigBee 전체 시스템 구조  
Fig. 6 BACnet/ZigBee communication structure

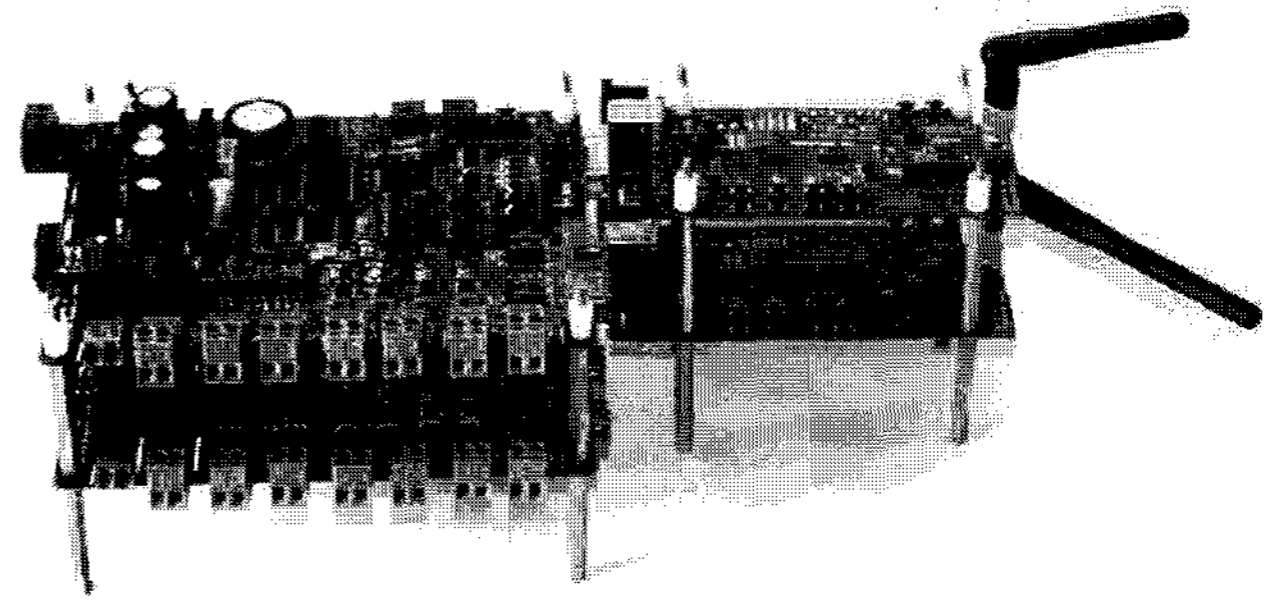


그림 7 개발된 BACnet/ZigBee 기기  
Fig. 7 Development of BACnet/ZigBee device

### 3.4 호환성 검증

BACnet VTS(Visual Test Shell)은 Win32 기반의 어플리케이션으로써 빌딩 자동화에 사용되는 다양한 기기들 간의 BACnet 기능을 테스트하기 위한 툴이다. BACnet VTS는 상세한 BACnet 메시지의 Sniffer 기능 및 각종 서비스에 대한 전송 기능 수행이 가능하다. 이를 이용해 네트워크상의 메시지를 분석함으로써 BACnet 프로토콜의 유효성 및 상호 운용성을 테스트 하였다. 개발된 BACnet/ZigBee 컨트롤러에서 두 개의 Binary Output Object에 Write Property Service를 일정시간마다 Active/Inactive 하도록 수행하는 BACnet 어플리케이션을 작성하여 각 Object의 동작 수행을 검증하였다.

그림 9는 BACnet/ZigBee의 시스템을 그림 6과 같이 실제로 구축하여서 VTS로 메시지가 들어오는 것을 캡처한 화면이다. BACnet/ZigBee의 메시지는 그림 6의 구조 중에서 BACnet/ZigBee 노드 1이 Write Property Service를 이용하여서 Binary Output의 Present\_Value 값을 Active/Inactive로 수정을 요청할 경우 다른 BACnet/ZigBee 노드 2가 받은 메시지의 내용에 따라 처리하고 응답을 한다.

그림 9의 제 1 영역에 60, 61번을 보면 Write Property Service를 이용하여서 Binary Output의 Present\_Value 값을 Active/Inactive로 변경하려는 BACnet 메시지를 볼 수 있다. 다음에 오는 62, 63번에는 앞서 보낸 메시지인 60, 61번과 같은 ID로 메시지 처리 후에 응답을 해온 것을 볼 수 있다. 제 2영역에서는 메시지의 내용을 좀더 구체적으로 볼 수 있는데 Write Property Request를 통하여서 2번째 Binary Output Object의 값을 Inactive로 변경할 것을 요청하는 메시지가 보여준다.

### 4. 결론

본 연구에서는 ZigBee를 BACnet에 적용하기 위해 BACnet의 하위 서비스로 ZigBee를 두고 각 계층과 계층 사이의 프리미티브를 활용하여 인터페이스를 제공하였으며 그 사이에 Virtual Layer를 두어 두 네트워크 사이의 주소 변환 및 네트워크 관리를 하도록 하였다. 이러한 방식을 BACnet 컨트롤러와 ZigBee 노드를 이용하여 실제 모델을 개발 하였으며 VTS를 통하여 통신의 동작을 검증하였다.

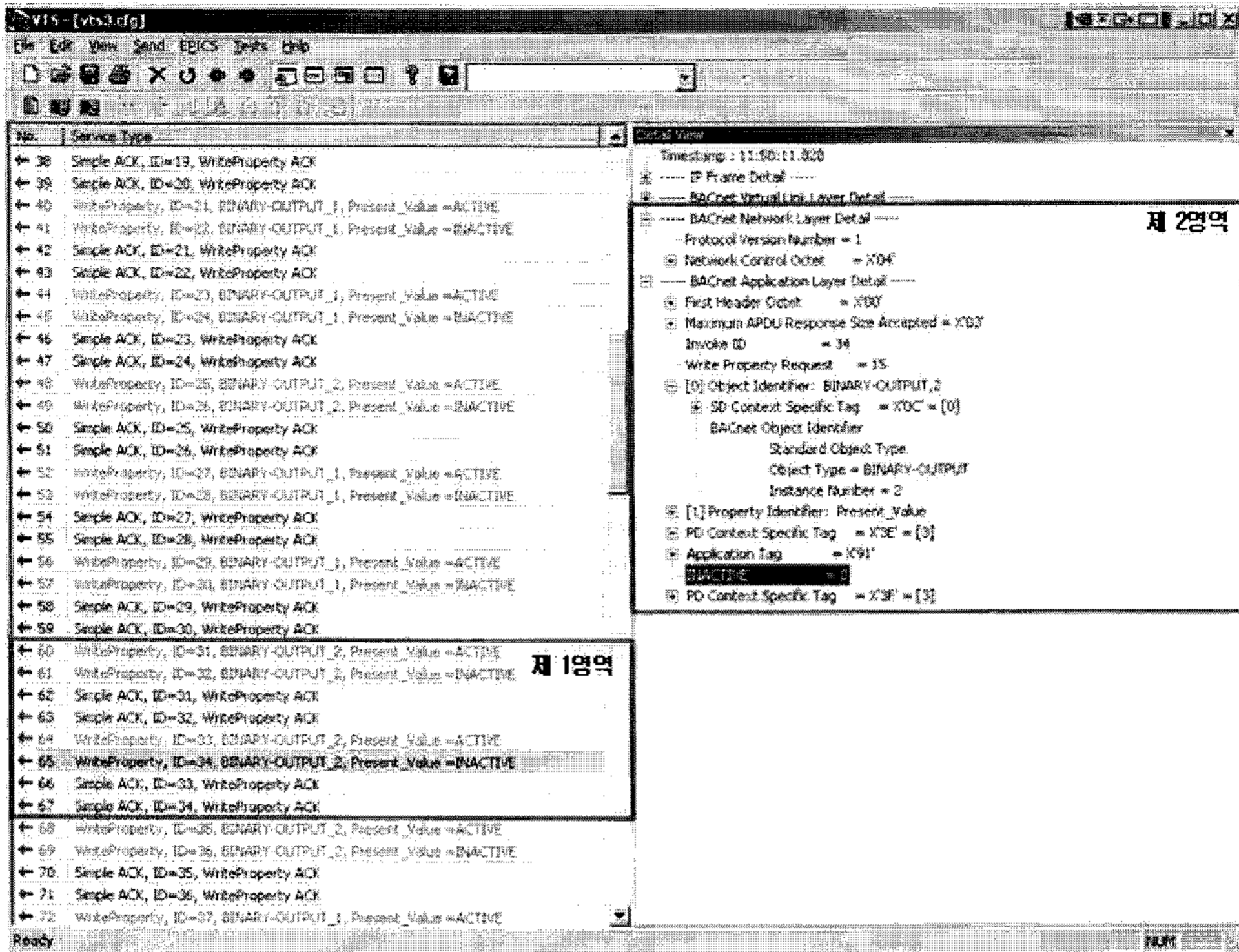


그림 8 VTS로 수신된 BACnet/ZigBee의 BACnet 메시지  
 Fig. 8 VTS received to BACnet/ZigBee of BACnet message

이와 같은 방식의 BACnet/ZigBee 프로토콜의 장점은 다음과 같다.

- 무선 네트워크의 장점으로 인해 설치가 배선에 종속되지 않음으로 시스템의 설치, 유지보수 및 확장이 용이해지게 된다.
- BACnet은 모바일 네트워크의 장점으로 인해 설치된 장치의 위치를 자유롭게 이동할 수 있게 되어 시스템의 변경 및 조율이 유리해지게 된다.
- 기존 BACnet 프로토콜과의 상호 운용성을 보장함으로써 사용자 중심의 개방형 프로토콜인 BACnet의 장점을 유지할 수 있게 되며 Virtual Layer를 두어 BACnet과 ZigBee의 네트워크 특성은 그대로 유지하며 기존 네트워크와의 공존이 가능하게 한다.

추후 ZigBee의 데이터링크, 네트워크 및 응용계층의 파라미터와 네트워크 구성 방식에 따른 BACnet/ZigBee의 네트워크 특성 변화를 보다 명확히 분석하고 이를 모델에 적용하여 검증할 필요가 있다. 각 네트워크의 형성 관리 및 상태 변화의 측정이 가능한 연결방식을 위해 두 네트워크의 논리 연결 방식에 대한 연구를 수행할 필요가 있으며 이를 빌딩 조명 제어시스템 등의 실제 실험모델에 적용하고 분석할 필요가 있다.

**감사의 글**

본 연구는 2007년도 GRRC 지원본부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 135-2004, "BACnet : A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks", American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA, 2004.
- [2] IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - specific requirements : Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs).
- [3] ZigBee Alliance Board of Directors, "ZigBee Document 053474r13", ZigBee Alliance, December. 2006.
- [4] ZigBee Alliance, "ZigBee, BACnet Create Interoperable Wireless Building Control Applications", <http://aec.ihs.com/news/ZigBee-bacnet-interoperability.htm>, May.2006.
- [5] BACnet MS/TP 프로토콜을 위한 에이전트 기반 네트워크 관리 시스템

저 자 소 개



**홍 승 호 (洪 承 鎬)**

1956년 5월 31일생. 1982년 연세대 졸업.  
1985년 Texas Tech 졸업(석사) 1989년  
Pennsylvania State 졸업(박사). 1992년~  
현재 한양대 전자컴퓨터공학부 교수

Tel : 031-400-5213

Fax : 031-406-4132

E-mail : shhong@hanyang.ac.kr



**박 동 규 (朴 東 奎)**

1982년 6월 17일생. 2006년 한양대 졸업.  
2008년 동 대학원 전자전기계측학과 졸  
업(석사). 2008년~현재 LS산전 연구원

Tel : 031-400-4084

Fax : 031-502-4084

E-mail : pdk9@paran.com



**김 세 환 (金 世 桓)**

1981년 3월 30일생. 2007년 남서울대 졸  
업. 2008년~현재 한양대 대학원 전자전  
기계측학과 석사과정

Tel : 031-400-4084

Fax : 031-502-4084

E-mail : kshcr@hanyang.ac.kr