

# BACnet/ZigBee 프로토콜 기반의 조명제어시스템

## BACnet/ZigBee-based Lighting Control System

진유진\*, 박태진\*\*, 박동규\*\*\*, 홍승호\*\*\*\*

Y. J. Chon\*, T. J. Park\*\*, D. K. Park\*\*\*, S. H. Hong\*\*\*\*

**Abstract** - BACnet(Building Automation and Control networks) is a standard data communication protocol designed specifically for building automation and control systems. BACnet provides five options for datalink layer protocols and these five datalink layer options can be applied with various transmission media. Recently wireless technology prevails in automation area. ZigBee is a standard protocol based on IEEE 802.15.4 for low-speed wireless communication network. In this study, we propose a BACnet/ZigBee model that uses ZigBee wireless technology in a BACnet communication network system as a wireless datalink layer protocol. We also applied this model to a lighting control system to evaluate the feasibility of proposed technology. The technology proposed in this paper can extend the application of BACnet not only for building automation but also for home automation by taking the advantages of ZigBee wireless communication technology in BACnet communication network systems.

**Key Words** : BACnet, ZigBee, Wireless, Lighting, Network

### 1. 서 론

최근 유무선 통신 기술의 급격한 발달로 인해 유비쿼터스 컴퓨팅 및 유비쿼터스 네트워크 관련 기술의 중요성이 급증하고 있다[1]. 특히 빌딩 및 홈오토메이션 분야에서도 유비쿼터스 관련 기술의 발달로 인해 기술 융합을 통한 유무선 통합 시스템 구축에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 추세이다 [1-5].

BACnet(Building Automation and Control Network)은 빌딩의 자동화 및 제어를 위한 ISO 국제표준 통신망 프로토콜로서, 다양한 데이터링크 계층 프로토콜을 지원한다[2]. 그러나 BACnet 표준 규격서에는 무선 네트워크에 대한 규격이 제정되어있지 않아 유무선 통합 시스템으로의 확장에 제한이 있다. ZigBee는 저전력 네트워킹을 위한 근거리 무선 통신 프로토콜이다[3-4].

본 연구에서는 최근 그 수요가 급증하고 있는 ZigBee 무선 통신 기술을 BACnet의 데이터 링크 계층으로 활용하기 위한 BACnet/ZigBee(BACnet over ZigBee) 프로토콜을 제안하고, 이를 구현하기 위한 기술을 소개한다. 또한 본 연구에서 제안한 프로토콜을 조명자동제어 실험모델에 적용함으로써 제안한 프로토콜 및 구현기술의 유효성을 검증하였다. 본 연구에서 제안하는 BACnet/ZigBee 프로토콜은 빌딩자동화 및 제어 통신망을 위한 국제표준인 BACnet에 ZigBee 무선 통신기술을 부가함으로써 기존의 BACnet 상호운용성을 그대로

로 보장하면서도 BACnet의 활용범위를 더욱 확장시킬 수 있다.

### 2. BACnet over ZigBee 프로토콜

BACnet은 Ethernet, ARCNET, MS/TP, PTP, LonTalk의 5가지 옵션을 데이터링크 계층 프로토콜로 제공하고 있으나, 이러한 5가지 선택사항 중 무선을 대체로 한 데이터링크 계층은 포함되어 있지 않다[2]. 그러나 최근 빌딩 자동화 분야에서도 무선기술을 이용한 제어시스템에 대한 연구가 시작되고 있으며 ZigBee를 BACnet의 무선 전송 매체로 활용하기 위한 기술 통합이 진행 중에 있다[5]. 본 연구에서는 다음 그림 1과 같이 무선 통신 프로토콜인 ZigBee를 BACnet의 데이터링크 계층으로 적용하기 위한 기술적 방법을 제안한다.

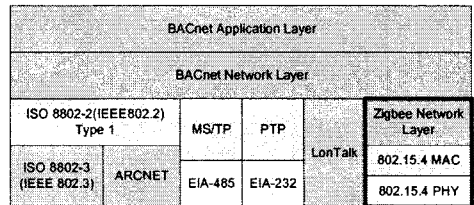


그림 1. BACnet/ZigBee 통합 계층구조

본 연구에서 제안한 BACnet/ZigBee 프로토콜은 그림 1에 보이는 바와 같이 기존의 BACnet 응용 계층과 네트워크 계층을 계속 유지하면서 ZigBee 네트워크 계층을 BACnet의 데이터 링크 계층으로 추가함으로써 기존 BACnet 시스템과의 상호운용성을 보장하면서 동시에 ZigBee 무선 네트워크로의 확장을 가능하게 한다. 다음 그림 2는 본 연구에서 제안하는 BACnet/ZigBee 프로토콜의 데이터 프레임 형태이다.

#### 저자 소개

- \* 진유진 : 한양大學 진기전자제어계측공학科, 碩士課程
- \*\* 박태진 : 한양大學 진기전자제어계측공학科, 博士課程
- \*\*\* 박동규 : 한양大學 진기전자제어계측공학科, 碩士課程
- \*\*\*\* 홍승호 : 한양大學 전자컴퓨터공학科, 教授 · 工博

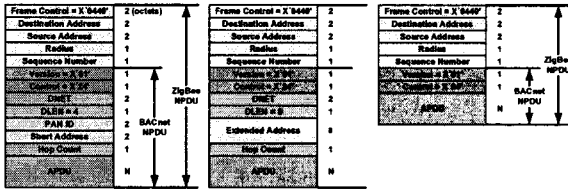


그림 2. BACnet/ZigBee 모델의 데이터 프레임 형태

BACnet 프로토콜에서는 하나의 데이터 프레임을 통해 전송할 수 있는 최대 APDU(Application Protocol Data Unit)의 길이를 50, 128, 206, 480, 1024, 1476 옥텟으로 규정하고 있다 [2]. ZigBee의 데이터링크 계층인 IEEE 802.15.4 규격은 저속, 저전력, 저용량의 특징을 위해 전체 데이터 프레임의 MAC Payload 부분을 102 옥텟으로 정의하고 있다[3]. ZigBee의 8 옥텟 NPCI(Network Protocol Control Information)와 BACnet의 14옥텟 NPCI를 제외하면 하나의 데이터 프레임의 MAC Payload 부분을 통해 전송 가능한 최대 APDU 크기는 80 옥텟이 된다. 따라서 본 BACnet/ZigBee 모델에서는 최대 APDU 길이를 50 옥텟으로 정의하고, 50옥텟 이상의 응용계층 메시지는 기존 BACnet에서 정의하고 있는 응용계층에서의 세그멘테이션 기능에 따라 분할 전송되도록 하였다.

### 3. BACnet/ZigBee 컨트롤러 개발

#### 3.1 BACnet/ZigBee 프로토콜 구현

BACnet은 네트워크를 통해 교환되어야 할 정보들을 응용계층 객체(Object) 및 속성(Property)들로 표현하며, 이러한 정보들은 응용계층 서비스를 통해 가공되고, 교환된다.

BACnet은 그 용도에 따라 23가지 응용 객체를 규정하고 있다. 본 연구에서는 아날로그 입력(AI) 객체, 아날로그 출력(AO) 객체, 바이너리 입력(BI) 객체, 바이너리 출력(BO) 객체를 TinyOS 상에서 nesC 언어로 구현하였으며, 이러한 객체에 접근하기 위한 응용 계층 서비스로는 객체의 속성값을 읽어오기 위한 ReadProperty 서비스 및 객체에 속성값을 쓰기 위한 WriteProperty 서비스를 구현하였다.

하나의 ZigBee 네트워크는 하나의 PC(PAN Coordinator)에 의해 관리된다. 만일 하나의 BACnet 네트워크 하부에 여러 개의 ZigBee 네트워크가 존재할 경우 BACnet 네트워크 계층 주소를 지정 방식으로 이를 구분할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서 제안하는 BACnet/ZigBee 프로토콜에서는 하나의 ZigBee 네트워크가 하나의 BACnet 네트워크로 연결되도록 규정함으로써 기존의 BACnet 상호운용성을 보장한다.

#### 3.2 BACnet/ZigBee 개발 언어

BACnet/ZigBee 기반의 장치들은 기본적으로 통신기능, 하드웨어 입출력 관리 및 연산기능 등 다양한 응용기능을 동시에 수행하여야 하므로 다중작업 환경이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 ZigBee의 다중작업 환경으로 저용량 태스크 스케줄러기반의 TinyOS를 채택하였다[6]. TinyOS는 태스크와 이벤트 기반의 동시성 모델로써 하드웨어 플랫폼이 변경되더라도 해당 컴포넌트만을 수정하여 사용할 수 있는 컴포넌트 기반 개발환경을 제공한다. nesC는 TinyOS에 특화된 전용 프로그래밍 언어로서, 각각의 기능들을 컴포넌트화한 모듈 파일과 컴포넌트 간 연결을 위한 인터페이스 파일로 구성된다[7]. 다음 그림 3은 nesC로 구현된 BACnet/ZigBee 프로토콜의 컴포넌트간 인터페이스 및 상관관계 다이어그램이다.

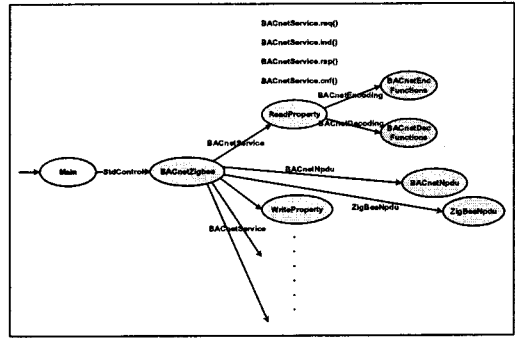


그림 3. nesC로 구현한 BACnet/ZigBee 프로토콜의 구조. 본 연구를 통해 개발된 BACnet/ZigBee 프로토콜 구현 기술은 그림 3에 보이는 바와 같이 각각의 기능별로 구현된 모듈의 조합으로 구성되며 각 모듈의 역할은 다음과 같다.

- BACnetZigBee 모듈 : 타이머 및 응용객체를 관리하고 응용 서비스를 실행시킨다.
  - ReadProperty/WriteProperty 모듈 : 각각의 서비스를 프리미티브 별로 수행한다.
  - BACnetEncFunctions/BACnetDecFunctions 모듈 : APDU의 인코딩 및 디코딩기능을 수행한다.
  - BACnetNpdu 모듈 : BACnet 네트워크계층 서비스인 N-UNITDATA 기능을 수행한다.
  - ZigBeeNpdu 모듈 : ZigBee 네트워크계층 서비스인 NLDE-DATA 기능을 수행한다.
- 그림 3에 보이는 바와 같이 각 모듈들은 인터페이스로 연결되며 각각의 인터페이스는 다음과 같은 역할을 수행한다.
- BACnetService 인터페이스 : 응용계층 서비스가 공통적으로 구현할 프리미티브를 정의한다.
  - BACnetNpdu 인터페이스 : BACnet 네트워크계층 서비스가 구현할 프리미티브를 정의한다.
  - ZigBeeNpdu 인터페이스 : ZigBee 네트워크계층 서비스가 구현할 프리미티브를 정의한다.
  - BACnetEncoding/BACnetDecoding 인터페이스 : BACnet APDU 인코딩/디코딩 함수를 정의한다.

#### 3.3 BACnet/ZigBee 개발 환경

BACnet/ZigBee 프로토콜을 구현하기 위한 ZigBee 무선 통신 하드웨어로는 ATMEL사의 ATmega128L MCU와 Chipcon사의 CC2420 RF 칩셋을 탑재한 상용제품인 MICAZ 플랫폼을 채택하였다[8-9].

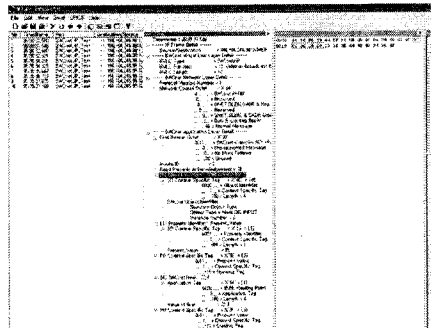


그림 4. VTS를 통한 수신된 BACnet 서비스의 출력내용 또한 BACnet VTS(Visual Test Shell)를 이용해 네트워크

상의 메시지들을 분석함으로써 BACnet/ZigBee 프로토콜의 유효성 및 상호운용성을 테스트 하였다[10]. 그림 4는 BACnet/ZigBee 네트워크상에서 수신된 ReadProperty.rsp 프 리미티브를 VTS를 통해 분석한 내용이다.

#### IV. 실험

본 연구에서는 제안한 BACnet/ZigBee 프로토콜의 유효성을 검증하기 위하여 그림 5와 같이 구성된 개루프 제어 기 반의 조명제어 시스템에 적용하였다.

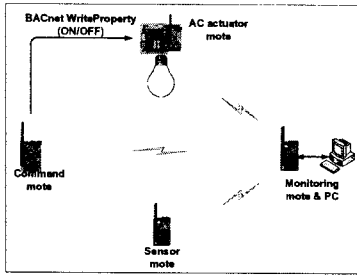


그림 5. 개루프 제어 실험 구성도

전체 개루프 제어 시스템은 1개의 커맨드 모트(CM)와 1개의 온-오프 액츄에이터 모트(AC), 1개의 조도센서 모트(SS), 그리고 각 상태를 모니터링하기 위한 모니터링 모트(MM) 및 모니터링 컴퓨터로 구성되어 있다. 조명기구는 60W 일반백열등을 사용하였다. CM은 백열등을 온-오프 제어하기 위한 BACnet WriteProperty 메시지를 보내 AC의 BO 객체의 현재값(Present\_Value) 속성을 변화시킨다. AC는 변화된 BO 객체의 속성 값에 따라 백열등을 제어한다. SS는 조도 값을 MM에 전송한다.

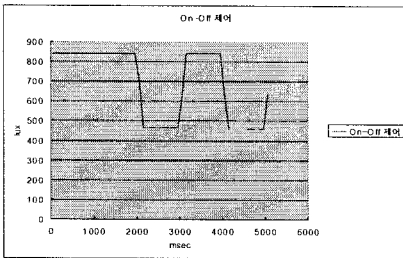


그림 6. 조도변화 역셀 그래프

네트워크 지연시간은 CM의 응용계층에서 AC에 전송하는 WriteProperty 메시지를 발생하는 시점부터 AC의 응용계층에서 이 메시지를 수신한 시간의 차이로 측정하였다. 그림 6은 매 1초마다 백열등을 온-오프할 때 발생하는 메시지의 지연시간 및 SS에서의 조도 변화 그래프이다. 위 실험을 20번 반복하여 40번 발생한 메시지의 지연시간을 분석한 결과 평균 지연시간은 2.125msec, 최대 지연시간은 5msec로 확인되었으며, 이는 조명제어 시스템의 지연시간 요구사항을 충분히 만족시키는 결과임을 알 수 있었다.

#### V. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 ZigBee 무선 네트워크를 BACnet의 데이터 링크 계층으로 활용하기 위한 BACnet/ZigBee 프로토콜을 제안하고 이를 구현하기 위한 기술적 방법에 대해 소개하였다. 이를 위해 본 연구에서는 BACnet/ZigBee 컨트롤러를 개발하

였고 이를 조명제어 실험모델에 적용함으로써 제안한 프로토콜 및 구현 기술의 유효성을 검증하였다.

본 연구에서 제안하는 BACnet/ZigBee 프로토콜의 장점은 다음과 같다. 첫 번째, 무선 네트워크의 장점으로 인해 설치가 배선에 종속되지 않음으로 시스템의 설치, 유지보수 및 확장이 용이해지게 된다. 두 번째, BACnet은 모바일 네트워크의 장점으로 인해 설치된 장치의 위치를 자유롭게 이동할 수 있게 되어 시스템의 변경 및 조율이 유리해지게 된다. 마지막으로 기존 BACnet 프로토콜과의 상호운용성을 보장함으로써 사용자 중심의 개방형 프로토콜인 BACnet의 장점을 유지할 수 있게 된다.

본 연구를 통하여 제시된 프로토콜과 구축기술 및 실험 결과는 BACnet에서 ZigBee무선 네트워크를 활용하기 위한 기술적 해결책을 제공함으로써 BACnet의 활용범위를 빌딩자동 제어 뿐만 아니라 홈오토메이션 분야 등 다양한 유무선 통합 시스템으로 확대시킬 수 있을 것으로 기대한다.

또한 후속 연구를 통해 실험모델의 노드 수를 추가하고 네트워크 트래픽을 증가시켜가며 BACnet/ZigBee 네트워크 상에 발생하는 메시지의 지연시간을 측정함으로써 본 연구를 통해 제안한 BACnet/ZigBee 프로토콜의 네트워크 성능을 분석할 계획이다.

#### 참고 문헌

- [1] 원광호, 김재호, 유준재, "[표준기술 동향] 지그비(ZigBee)", 한국정보통신기술협회(TTA) 저널, 제94호, pp. 112 - 121, 2004. 07.
- [2] 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.
- [3] 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).
- [4] ZigBee Alliance Board of Directors, "ZigBee Document 053474r06, Version 1.0", ZigBee Alliance, June. 2005.
- [5] ZigBee Alliance, "ZigBee, BACnet Create Interoperable Wireless Building Control Applications", <http://aec.ihs.com/news/zigbee-bacnet-interoperability.htm>, May.2006.
- [6] William Wong, "TinyOS Plus ZigBee Stack targets Tiny Tasks", <http://www.elecdesign.com/Articles/Index.cfm?AD=1&ArticleID=12927>, July 6, 2006
- [7] <http://nesc.sourceforge.net/>
- [8] (주)휴인스 기술연구소, "유비쿼터스 무선 센서 네트워크 구조 및 응용", (주)휴인스,
- [9] Kathy Bentaieb, "Crossbow's New ZigBee-Ready, 802.15.4 Radio-Compliant MICAz Mote an Instant Hit", [http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=5427](http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5427), Aug. 18. 2004
- [10] <http://vts.sourceforge.net>