

BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입 및 MS/TP 네트워크 감시 장치의 설계 및 구현

論 文
56-4-25

Design and Implementation of BACnet MS/TP Field Controller Prototype and MS/TP Network Monitoring System

朴 泰 鎭* · 洪 承 鎬†
(Tae-Jin Park · Seung-Ho Hong)

Abstract - BACnet is an international standard communication protocol especially designed for building automation and control systems. BACnet uses the Master-Slave/Token-Passing (MS/TP) protocol as one of its field-level networks. A BACnet MS/TP field controller prototype and MS/TP network monitoring system are developed in this study. This report introduces the design and implementation methodology of a BACnet MS/TP field controller hardware, firmware and protocol stack. This report also presents the implementation methodology of BACnet MS/TP network monitoring system using VTS (Visual Test Shell). The methodologies introduced in this report will facilitate the develop and implementation of the BACnet-based control systems in building automation area.

Key Words : BACnet, MS/TP, hardware, firmware, protocol stack

1. 서 론

최근의 사무환경 및 주거환경은 단순 거주 개념을 넘어 재실자에게 최적의 실내 환경을 제공함으로써 삶의 질을 개선하고자 하는 편의의 개념으로 변화하고 있다. 이를 위해 건물 내의 공기조화, 조명, 방범, 방재, 수송, 출입통제, 주차 시설 등의 다양한 설비들이 첨단 자동화 시스템을 통해 관리되고 있다. 디지털 기술과 통신 기술의 급속한 발전에 힘입어 최근의 빌딩자동제어 시스템에서는 다양한 설비들을 효율적으로 관리하고 장비들을 실시간으로 제어·감시하기 위해 통신망 기반의 자동제어 시스템의 보급이 일반화되고 있다. 따라서 통신망 기술은 첨단 빌딩자동제어 시스템을 구축하기 위한 핵심 기술로 인식되고 있다[1][2].

이러한 시장의 다양한 요구에 부합하는 빌딩 자동제어 시스템을 구축하기 위해 많은 업체들이 독자적인 통신망 기술들을 활용하여 빌딩 자동제어 시스템을 개발하고 공급하여 왔다. 그러나 공급자에 의존적이며 독자적이고 폐쇄적인 통신망 기술들은 빌딩 내 이종 장비들 간의 상호운용성(Interoperability)을 보장하지 않으며, 사용자로 하여금 공급 업체에 기술적으로 종속되도록 함으로써 빌딩 자동제어 시스템의 통합을 저해하는 가장 큰 장애물로 작용하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ISO에서는 빌딩의 자동화 및 제어용 통신망을 위한 국제표준으로 BACnet (Building Automation and Control Network)을 채택하였으며, BACnet은 국내에서도 빌딩자동화 및 제어통신망의 KS 표준 규격으로 채택되었다[8][9][10].

북미와 유럽의 경우 [5], [6], [7]과 같이 BACnet과 관련된 다양한 최신 제품과 신기술 및 적용사례가 소개되는 등 BACnet 관련 기술에 대한 논의와 기술 보급이 활발히 진행되고 있다. 그러나 국내의 경우 BACnet 기반의 빌딩 자동제어 시스템을 개발하기 위한 원천 기술의 확보가 부족하여 BACnet 관련 기술의 보급 및 확산이 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 특히 국내 빌딩 자동제어 관련 기업의 경우 BACnet 관련 기술을 제품화하기 위한 프로토콜 스택 및 소프트웨어의 설계 및 구현 기술을 확보하는데 많은 어려움을 겪고 있으며, 상당 부분을 해외 기술에 의존하고 있다.

본 논문에서는 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 필드제어기를 개발하기 위한 설계 및 구현 방법과 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치를 개발하기 위한 설계 및 구현 방법들을 소개한다. 이를 위해 본 연구에서는 BACnet MS/TP를 하부 통신 프로토콜로 사용하는 BACnet 필드제어기의 프로토타입과 VTS(Visual Test Shell for BACnet)를 이용해 BACnet MS/TP 통신망을 감시할 수 있는 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치를 개발하였다. 본 논문에서 소개된 설계 및 구현 방법들은 BACnet 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치 및 빌딩 자동제어 시스템을 구현하거나 개발하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 논문은 총 5장으로 구성된다. 2장에서는 BACnet과 MS/TP 프로토콜의 구조와 동작방식 대해 설명하고, 3장에서는 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입의 하드웨어, 펌웨어 및 프로토콜 스택의 설계 및 구현 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치의 시스템 구성과 하드웨어 및 소프트웨어의 설계 및 구현 방법에 대해 설명한다. 끝으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구과제에 대해 정리한다.

* 正 會 員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測工學科 博士課程

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測工學科 教授 · 工博

E-mail : shhong@hanyang.ac.kr

接受日字 : 2007年 1月 12日

最終完了 : 2007年 2月 5日

2. BACnet 및 MS/TP 프로토콜

BACnet은 그림 1에 보이는 바와 같이 물리계층, 데이터 링크계층, 네트워크계층 및 응용계층의 4계층 구조로 설계되어 있다. BACnet 응용계층은 빌딩 자동화 설비들 간에 교환되어야 할 정보들을 응용계층 객체(Object)와 속성(Property)들로 표현하며, 이러한 정보들은 응용계층 서비스를 통해 가공되고, 교환된다. BACnet 네트워크계층은 빌딩 자동제어 통신망 간의 상호 연결 구성을 위한 네트워크계층 서비스를 정의한다. 또한 BACnet은 다양한 통신기술을 수용하기 위하여 데이터링크계층 프로토콜로서 Ethernet, ARCnet, MS/TP (Master-Slave/Token-Passing), PTP (Point-To-Point), LonTalk 등의 5가지 선택사항을 정의하고 있다. PTP는 모뎀 또는 케이블 직접 연결을 통한 원격 접속에 사용되는 프로토콜로 필드 네트워크에는 적용되지 않는다.

[12]는 BACnet 기반 빌딩 자동제어 시스템에서 상호운용성을 보장하기 위한 방법들에 대해 제시하고 있다. 위 보고서에서 제시한 분석 자료를 토대로 필드 네트워크를 구성하기 위한 4가지 프로토콜을 비교하여 요약하면 표 1과 같다. 가격대비 효율성 등을 고려하여 이들 BACnet의 5가지 데이터링크계층 선택사항 중 센서, 제어기, 액추에이터, 입출력장치 등과 같은 필드 장치들을 연결하기 위한 통신망 프로토콜로는 MS/TP 프로토콜이 가장 많이 적용되고 있다.

BACnet Application Layer				
BACnet Network Layer				
ISO 8802-2 (IEEE 802.2) Type 1		MS/TP	PTP	LonTalk
ISO 8802-3 (IEEE 802.3)	ARCNET	EIA - 485	EIA - 232	

그림 1 BACnet 계층 구조
Fig. 1 BACnet architecture

표 1 BACnet 데이터링크계층 프로토콜 비교
Table 1 Comparison of BACnet datalink layer protocols

	전송속도	최대 패킷 길이	상대적 성능	상대적 비용
Ethernet	10/100 Mbps	1515 bytes	High	High
ARCnet	0.156~10 Mbps	501 bytes	Medium High	High
MS/TP	9.6~76.8 Kbps	501 bytes	Low	Low
LonTalk	4.8~1250 Kbps	228 bytes	Medium Low	Medium

BACnet MS/TP 프로토콜은 범용 비동기 송수신장치(UART, Universal Synchronous Receiver/Transmitter)를 탑재한 마이크로프로세서를 이용해 구현이 가능하다. 통신 매체로는 EIA-485 방식을 채택하고 있으며, 최대 전송 거리는 1200 미터이고, 전송속도로는 9600, 19200, 38400 및 76800 bits/sec를 지원한다. 그 이름이 의미하듯이 MS/TP 프로토콜은 EIA-485 반이중(Half-Duplex) 통신방식을 이용하여 마스터-마스터, 마스터-슬레이브 또는 이 두 가지가 혼합된 형태의 네트워크 시스템을 저렴하게 구축할 수 있다.

MS/TP 마스터 노드는 0번부터 127번까지 물리적 주소를 할당할 수 있으며, 슬레이브 노드는 128번부터 254번까지 주소를 할당할 수 있다. MS/TP 마스터 노드들은 매체에 접근하기 위하여 최하위 노드 번호부터 최상위 노드 번호까지 순차적으로 토큰을 순환시킨다. MS/TP 슬레이브 노드는 토큰을 수신하거나 전달할 수 없으며, 마스터 노드의 서비스 요청에 대해서만 응답할 수 있다. 이러한 시스템 운용상의 불편함 때문에 최근에 개발되는 MS/TP 프로토콜 기반의 장치들은 일반적으로 마스터 노드들로만 구성된다.

MS/TP 마스터 노드가 토큰을 수신하면 네트워크 상의 다른 노드들에게 $N_{max_info_frames}$ 값만큼 메시지를 전송할 수 있으며, 더 이상 전송할 메시지가 없으면 토큰을 다음 마스터 노드에게 전달한다. 상대방 노드로부터 Request를 수신한 마스터 노드는 즉시 응답을 전송할 수도 있고, Reply_Postponed 프레임을 통해 응답을 연기한 후 자신에게 토큰이 도착하였을 때 응답을 보낼 수도 있다.

2004년에 개정된 BACnet 규격에서는 MS/TP 프로토콜에서의 응답 방식에 대해 프로토콜 개발자가 선택적으로 적용하여 구현 수 있도록 규정하고 있다[8]. 그러나 일반적으로 데이터링크계층에서의 데이터 전송 효율을 높이기 위해 대부분의 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 시스템에서는 Reply_Postponed 방식을 채택하고 있다. 다음 그림 2는 MS/TP 노드에서 프레임 수신하기 위한 MS/TP receive frame state machine이며, 그림 3은 MS/TP 마스터 노드의 동작을 규정한 MS/TP master node state machine이다. 각 state machine의 상태(state)와 천이(transition)에 대한 자세한 설명은 [8]과 [10]에 규정되어 있다.

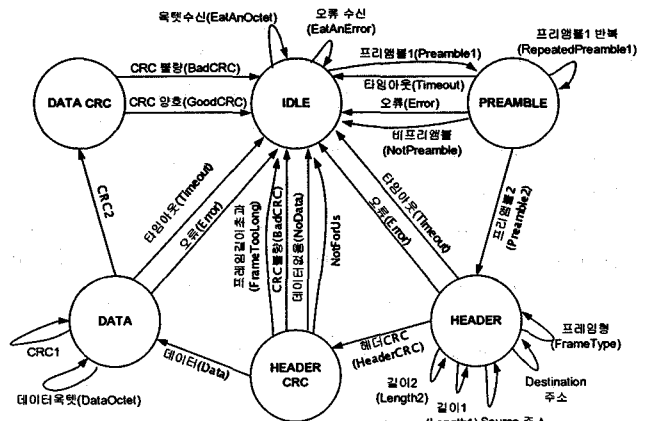


그림 2 MS/TP receive frame state machine
Fig. 2 MS/TP receive frame state machine

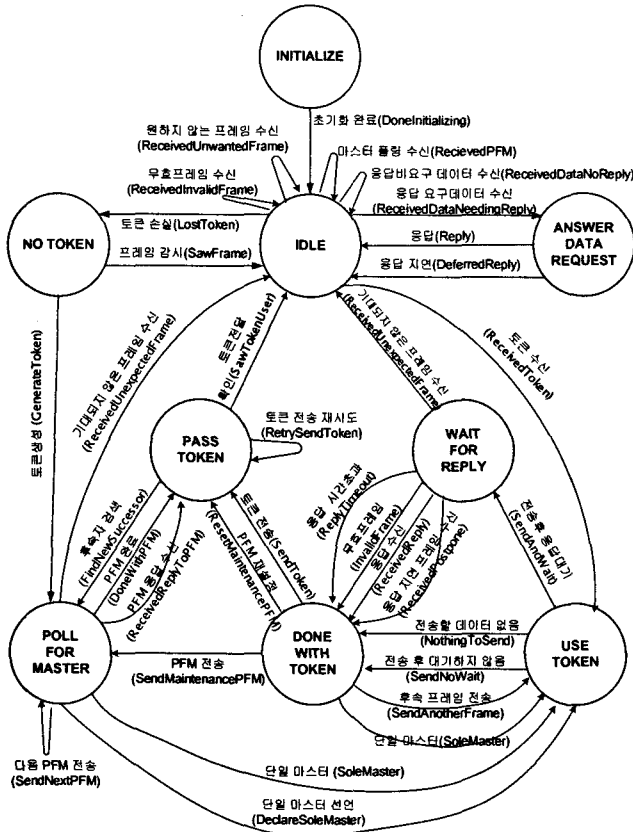


그림 3 MS/TP master node state machine
Fig. 3 MS/TP master node state machine

BACnet 응용 프로세스 모델은 그림 4와 같이 표현된다. BACnet ASE(Application Service Entity)는 응용계층 서비스와 이에 따른 기능의 집합을 의미하며, 이러한 기능들은 각각의 함수로 구현된다. 응용계층 서비스는 NSAP(Network Service Access Point)을 통해 네트워크계층으로 전달된다. BACnet User Element는 상위 응용프로그램과 정보를 교환하기 위한 내부 API(Application Programming Interface)를 지원하고, 응용계층 서비스의 처리 및 트랜잭션 관리에 필요한 정보들을 유지하고 관리하는 기능을 담당한다. 또한 BACnet User Element는 장치의 동작을 BACnet 응용계층 객체를 통해 표현하고 관리하는 기능을 담당한다.

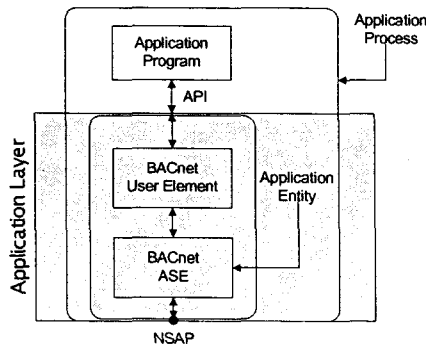


그림 4 BACnet 응용 프로세스 모델
Fig. 4 Model of BACnet application process

그림 5는 BACnet 프로토콜 스택의 구조와 데이터 전달을 표현한 것이다. 응용 프로그램은 내부 API를 통해 응용계층 서비스와 관련 정보들을 BACnet 응용 계층에 전달한다. 이러한 서비스 관련 정보 중 인터페이스와 관련된 정보들은 PCI(Protocol Control Information)를 이용해 전달되며, 데이터에 관련된 정보들은 SDU(Service Data Unit)를 이용해 전달된다. PCI와 SDU는 그림 5에 보이는 바와 같이 각 계층간 서비스 프리미티브들을 통해 교환된다. 그림 5는 BACnet 장치에서 서비스 요청을 전송하는 경우에 대해 표현한 것이며, BACnet 장치가 서비스 요청을 수신하는 경우 프로토콜 스택의 동작 및 데이터의 전달은 그림 5의 역순으로 처리된다. 자세한 프로토콜 스택 및 데이터의 전달에 대해서는 3.2절의 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입의 프로토콜 스택 및 펌웨어 구현을 통해 기술한다.

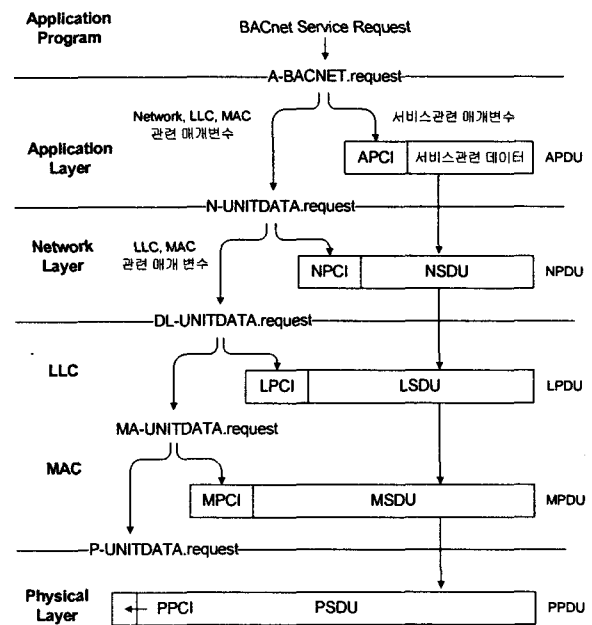


그림 5 BACnet 프로토콜 스택 및 데이터 전달
Fig. 5 BACnet protocol stack and data flow

3. BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입

본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입은 [11]에 정의된 ASC(Application Specific Controller)를 구현하기 위한 평가보드(Evaluation Board)의 형태로 설계 및 구현되었다. 따라서 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입에는 MS/TP 프로토콜과 BACnet 네트워크계층 기능, 응용계층 기능 및 기본적인 응용 프로그램 기능이 구현되어 있으며, 특정 응용프로그램을 추가적으로 구현하여 탑재할 수 있도록 설계하였다.

3.1 필드제어기 프로토타입의 하드웨어 구성

BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입은 싱글 칩 마이크로컨트롤러를 이용해 BACnet MS/TP 통신 기능과 함께 응용 프로그램 기능을 수행한다. 그림 6은 본 연구를 통해

개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입의 사진이며, 그림 7은 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입의 하드웨어 구조이다.

BACnet MS/TP 필드제어기의 MCU(Micro-Controller Unit)로는 ATMEL사의 ATmega128을 적용하였다. ATmega128은 ROM 데이터를 저장하기 위한 128KB의 플래쉬 메모리를 내장하고 있으며, 16비트 어드레스 버스를 통해 최대 64KB까지 외부 메모리를 장착할 수 있다. BACnet MS/TP 프로토콜과 네트워크계층 기능, 응용계층 기능 및 응용 프로그램은 MCU의 128KB 내부 플래쉬와 64KB 외부 SRAM을 통해 구현되었다. 또한 필드제어기의 설정 파라미터와 네트워크 설정 파라미터들은 MCU의 4KB 내부 EEPROM에 저장되어 유지되도록 설계하였다.

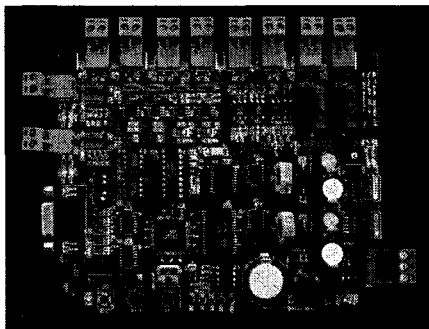


그림 6 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입 사진
Fig. 6 Photograph of the BACnet MS/TP field controller

4.5V 이하로 낮아지면 Watchdog 회로는 RTC 및 SRAM에 공급되는 전원을 배터리 전원으로 교체하고, 나머지 회로에 공급되는 DC 5V 전원을 차단한다. 또한 Watchdog 회로는 MCU가 200ms 이상 반응하지 않을 경우 MCU를 강제 리셋하여 필드제어기를 재기동시킨다.

전원 공급부는 AC/DC 24V로부터 내부 소자를 구동하기 위한 DC 5V와 하드웨어 입출력 드라이버 회로를 구동하기 위한 DC 15V를 공급한다. RTC 및 Watchdog 회로의 동작을 위한 배터리로는 1F의 슈퍼커패시터(Super-Condenser)를 적용하여 정전 시에도 24시간 이상 RTC 및 SRAM의 데이터가 유지되도록 설계하였다.

BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입에는 표 2와 같이 빌딩 자동제어 시스템에서 보편적으로 많이 사용되는 아날로그 입력과 출력 및 디지털 입력과 출력 회로를 각각 2채널씩 탑재하였다. 이들 하드웨어 입출력 회로는 MCU의 내부 10비트 ADC(Analog-to-Digital Converter)와 10비트 PWM(Pulse Width Modulation) 회로를 통해 구동되며, BACnet 응용계층 객체를 통해 관리된다. 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입은 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 필드제어기를 개발하고 기능을 검증하기 위한 평가용 하드웨어로 설계되었기 때문에 표 2에 정리된 바와 같이 간단한 형태의 하드웨어 입출력만을 탑재하였다. 본 필드제어기 프로토타입은 향후 I/O Driver 부분을 확장하거나 UART0의 확장 포트를 활용하여 다양한 하드웨어 입출력을 탑재한 ASC를 개발하는데 활용될 것이다.

표 2 하드웨어 입력 및 출력
Table 2 Hardware inputs and outputs

Type	채널	사양	BACnet 응용객체
아날로그 입력	2채널, 10비트	0~10V	AnalogInput 객체 (AI-01, AI-02)
아날로그 출력	2채널, 10비트	0~10V	AnalogOutput 객체 (AO-01, AO-02)
디지털 입력	2채널	무전압 점접 (Dry Contact)	BinaryInput 객체 (BI-01, BI-02)
디지털 출력	2채널, 릴레이 출력	1A점접 (SPST)	BinaryOutput 객체 (BO-01, BO-02)

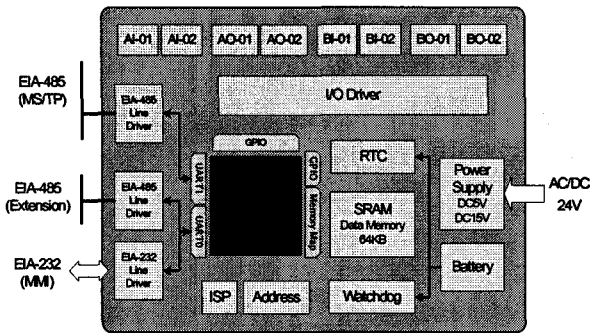


그림 7 BACnet MS/TP 필드제어기의 하드웨어 구조
Fig. 7 Hardware structure of BACnet MS/TP field controller

UART1은 EIA-485 통신방식을 사용하는 MS/TP 통신포트로 사용하였으며, UART0은 EIA-485를 사용하는 추가 확장 포트 사용하거나, EIA-232를 사용하는 HMI (Human-Machine Interface) 통신 포트 사용하도록 설계하였다. 또한 외부 RTC(Real-Time Clock)를 사용하여 보다 정밀한 시간정보를 유지하도록 하였다. RTC는 MCU의 GPIO(General Purpose Inputs and Outputs)를 통해 제어되며, 매 1초마다 하드웨어 인터럽트를 통해 필드제어기의 내부 시간 정보를 갱신한다. 외부 Watchdog 회로는 입력전원과 MCU의 동작상태를 감시한다. DC 5V 입력 전원이

3.2 프로토콜 스택 및 펌웨어 구조

그림 8은 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기의 프로토콜 스택 및 펌웨어의 구조이다. 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 그림 4와 그림 5에 제시된 BACnet 응용 프로세스 및 프로토콜 구조를 기반으로 UART, DL, NL, ASE, User Element 및 Application Program의 주요 여섯 부분으로 구성되며, 각각의 기능을 모듈화 함으로써 각각의 기능을 독립적으로 유지, 관리할 수 있도록 하였다.

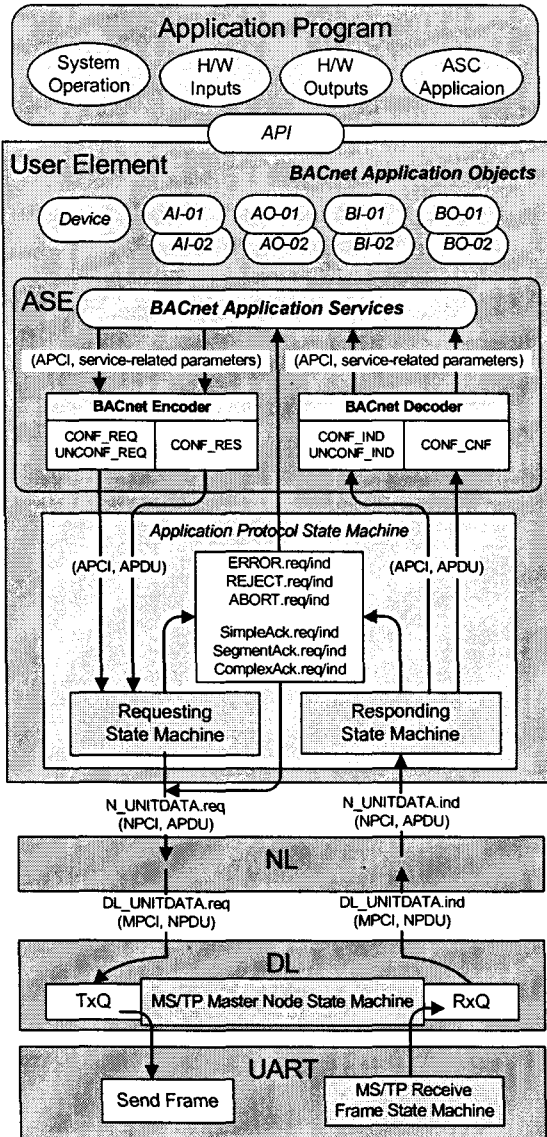


그림 8 BACnet 프로토콜 스택 및 펌웨어 구조
 Fig. 8 BACnet protocol stack and firmware structure

3.2.1 UART 및 MS/TP 데이터링크 계층

UART부는 MS/TP 프레임 송신하거나 수신하는 역할을 수행한다. MS/TP 프레임을 수신하기 위해 사용되는 그림 2의 MS/TP Receive Frame State Machine은 UART1의 수신 인터럽트 서비스 루틴을 통해 동작되며, UART1을 통해 수신된 옥텟 열을 분석하여 MS/TP 프레임으로 구성한다. MS/TP Receive Frame State Machine을 통해 완전한 MS/TP 프레임이 수신되면, MS/TP Master Node State Machine은 수신된 MS/TP 프레임을 수신큐(RxQ)에 저장한다. 또한 마스터 노드가 토큰을 수신하면 MS/TP Master State Machine은 SendFrame 함수를 통해 송신큐(TxQ)에 저장되어 있는 프레임을 네트워크로 전송하는 역할을 수행한다.

DL부는 MS/TP Master Node State Machine을 유지하고, BACnet 데이터링크계층 기능을 수행한다. DL은 DL_UNIT DATA.request 프리미티브 함수를 통해 네트워크

계층으로부터 MPCPI(MAC Protocol Control Information)와 NPDU (Network Protocol Data Unit)를 수신하고, 수신된 MPCPI와 NPDU를 이용해 MS/TP 프레임을 생성하여 TxQ에 저장한다. 또한 DL은 RxQ에 새로 수신된 MS/TP 프레임이 존재하는지 확인한다. RxQ에 수신된 프레임이 존재하면 DL은 수신된 프레임으로부터 MPCPI와 NPDU를 추출하여 DL_UNIT DATA.indication 프리미티브 함수를 통해 네트워크 계층(NL)에 전달한다.

BACnet MS/TP는 BACnet 통신을 위해 특별히 설계된 프로토콜로, 하나의 통신망을 통해 하나의 LSAP(Link Service Access Point)만을 제공한다. 따라서 BACnet MS/TP 전용의 제어기에서는 그림 5의 LPCI(Link PCI)와 LSDU(Link SDU)를 사용되지 않으므로 본 BACnet MS/TP 필드제어의 프로토콜 스택에서는 LPCI와 LSDU를 제외하였다.

3.2.2 네트워크 계층

NL부는 BACnet 네트워크계층 기능을 담당한다. BACnet 네트워크 계층은 크게 BACnet 라우터 기능과 통신 계층 간 인터페이스 기능을 규정하고 있다. 일반적으로 BACnet 라우터 기능은 상위 통신망과 하위 통신망에 동시에 연결되어 통신 중계기능과 함께 제어기능을 수행하는 BC(Building Controller) 또는 AASC(Advanced Application Specific Controller)의 경우에만 사용되고, 특정 응용기능을 수행하기 위한 ASC에서는 라우터 기능이 사용되지 않는다. 따라서 본 BACnet MS/TP 필드제어를 통해 구현된 프로토콜 스택에서는 BACnet 라우터 기능을 제외한 통신 계층 간 인터페이스 기능만을 구현하였다.

NL부는 응용 계층의 Requesting State Machine으로부터 N_UNITDATA.request 프리미티브 함수를 통해 NPCI (Network PCI)와 APDU(Application PDU)을 수신한다. NL은 수신된 NPCI와 APDU를 이용해 MPCPI와 NPDU를 생성하고, 생성된 MPCPI와 NPDU를 DL_UNITDATA.request 프리미티브 함수를 통해 데이터링크계층(DL)에 전달한다. 또한 NL은 DL로부터 DL_UNITDATA.indication 프리미티브 함수를 통해 MPCPI와 NPDU를 수신하고, 수신된 MPCPI와 NPDU로부터 NPCI와 APDU를 추출하여 N_UNITDATA.indication 프리미티브 함수를 이용해 응용계층의 Responding State Machine에 전달한다.

3.2.3 응용 계층

BACnet 응용계층 기능은 그림 4에 표현된 BACnet 응용 프로세스 모델과 같이 User Element 부분과 ASE (Application Service Element)부분으로 구현하였다. BACnet 장치의 동작과 정보를 표현하기 위한 BACnet Device 객체와 표 2의 하드웨어 입출력 관련 객체들이 User Element로 구현되었으며, 이들 BACnet 응용 객체들은 내부 API를 통해 응용 프로그램과 정보를 교환한다.

그림 9는 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입에 구현된 BACnet Device 객체의 구현 예제이다. 그림 9에 나타난 바와 같이 BACnet 객체는 정보를 표현하는 프로퍼티의 집합으로 구성된다. 각각의 프로퍼티는

표현하고자 하는 프로퍼티의 ID, 데이터의 형태, 접근권한, 데이터 저장 공간, 데이터 크기, 배열일 경우 배열의 크기를 표현할 수 있도록 구조체의 형태로 구현하였다.

```

//----- UINT32 Property Type Definition -----
typedef struct(
    EMU_PROPERTY_ID      prepid;
    EMU_APL_DTYPE        datatype;
    ACC_CODE             access;
    UINT32               ui32_value;
    UINT16               size;
    UINT16               array;
) T_PROPERTY_UINT32;

//----- BACnet Device Object Modeling -----
typedef struct(
    T_PROPERTY_UINT32    object_id;
    T_PROPERTY_CHARSTR  object_name;
    T_PROPERTY_ENUM      object_type;
    T_PROPERTY_ENUM      system_status;
    T_PROPERTY_CHARSTR  vendor_name;
    T_PROPERTY_UINT16    vendor_id;
    T_PROPERTY_CHARSTR  model_name;
    T_PROPERTY_CHARSTR  firmware_revision;
    T_PROPERTY_CHARSTR  apl_sw_revision;
    T_PROPERTY_CHARSTR  protocol_version;
    T_PROPERTY_UCHAR     protocol_revision;
    T_PROPERTY_BITSTR    service_supported;
    T_PROPERTY_BITSTR    obj_type_supported;
    T_PROPERTY_OBJLIST   object_list;
    T_PROPERTY_UINT16    max_apdu_length_accepted;
    T_PROPERTY_ENUM      segmentation_supported;
    T_PROPERTY_UINT16    max_segment_accepted;
    T_PROPERTY_TIME      local_time;
    T_PROPERTY_DATE      local_date;
    T_PROPERTY_UINT16    apdu_segment_timeout;
    T_PROPERTY_UINT32    apdu_time_out;
    T_PROPERTY_UCHAR     num_of_apdu_retries;
    T_PROPERTY_UCHAR     max_master;
    T_PROPERTY_UINT16    max_info_frames;
    T_PROPERTY_ADDR_BIND device_addr_binding;
    T_PROPERTY_UCHAR     database_revision;
) T_BACNET_DEVICE_OBJECT;
    
```

그림 9 BACnet device 객체의 구현 예제
 Fig. 9 An implementation example of BACnet device object

BACnet은 서버-클라이언트 통신모델과 피어-피어(Peer-to-Peer) 통신모델로 동작한다. 따라서 BACnet MS/TP 필드제어기는 서버(Responding BACnet-user)인 동시에 클라이언트(Requesting BACnet-user)로 동작할 수 있어야 한다. 또한 발생된 서비스 요청과 수신된 서비스 요청에 대해 TSM(Transaction State Machine)을 각각 관리할 수 있어야 한다. 본 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입에서는 그림 8에 표현된 바와 같이 Application Protocol State Machine으로 Requesting State Machine과 Responding State Machine을 각각 구현함으로써 요청한 TSM과 수신된 TSM을 각각 동시에 관리할 수 있도록 설계 및 구현하였다.

ASE(Application Service Entity)부에는 BACnet 응용계층 서비스 중 Who-Is, I-Am, ReadProperty, WriteProperty 서비스와 BACnet APDU 인코딩 및 디코딩 기능이 기본적인 응용계층 통신 기능과 함께 구현되어있다. BACnet 응용계층 서비스는 그림 8에 표현된 바와 같이 Confirmed 서비스(CONF_SERV)의 4가지 프리미티브 함수와 Unconfirmed 서비스(UNCONF_SERV)의 2가지 프리미티브 함수를 통해 처리된다.

BACnet 응용계층 서비스의 요청과 응답을 전송하기 위한 CONF_SERV.request, CONF_SERV.response 및 UN

CONF_SERV.request 프리미티브 함수는 BACnet 인코더 기능을 이용하여 APDU를 생성하고, APCI와 APDU를 Requesting State Machine에 전달한다. Requesting State Machine은 새로운 TSM을 생성하고, 수신된 APCI로부터 NPCI를 추출하여 APDU와 함께 N_UNITDATA.request 프리미티브 함수를 통해 네트워크 계층에 전달한다.

BACnet 응용계층 서비스의 요청과 응답을 수신하여 처리하기 위한 CONF_SERV.indication, CONF_SERV.confirm 및 UNCONF_SERV.indication 프리미티브 함수는 Responding State Machine으로부터 APCI와 APDU를 전달 받는다. 이들 수신과 관련된 프리미티브 함수들은 BACnet 디코더 기능을 이용하여 수신된 APDU로부터 서비스 관련 정보를 추출하고 이를 APCI와 함께 해당 응용계층 서비스에 전달한다.

그림 10은 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드 제어기에 구현된 BACnet ReadProperty 서비스의 4가지 프리미티브 함수의 구현 예제이다. ReadProperty 서비스는 Confirmed 서비스이므로 그림 10과 같이 request, indication, response, confirm 서비스 프리미티브를 각각의 함수로 구현하였다. 그림 10에 나타난 바와 같이 ReadProperty.request 프리미티브와 response 프리미티브는 PCI 정보와 대상 객체와 프로퍼티의 ID를 매개변수로 사용하며, APDU를 수신하여 처리하는 indication 프리미티브와 confirm 프리미티브는 PCI와 함께 APDU를 매개변수로 사용하도록 설계 및 구현하였다.

```

//----- ReadProperty Service Primitives -----
void ReadProperty_Req(T_PCI* tx_pci,
                    UINT32 obj_id,
                    UINT32 prop_id);

void ReadProperty_Ind(T_PCI* rx_pci,
                    UCHAR* apdu,
                    UINT16 apdu_length);

void ReadProperty_Rsp(T_PCI* tx_pci,
                    UINT32 obj_id,
                    UINT32 prop_id);

void ReadProperty_Cnf(T_PCI* rx_pci,
                    UCHAR* apdu,
                    UINT16 apdu_length);
    
```

그림 10 BACnet ReadProperty 서비스의 구현 예제
 Fig. 10 An implementation example of BACnet ReadProperty service

그림 11은 본 연구를 통해 개발된 BACnet 응용계층 인코더 및 디코더의 구현 예제이다. 앞서 설명한 바와 같이 BACnet은 응용계층 객체와 프로퍼티를 이용해 정보를 객체 지향적으로 표현한다. 따라서 그림 9의 객체 구현 예제에 표현된 것과 같이 각각의 프로퍼티에 따라 데이터의 형태나 크기 및 접근 권한 등이 서로 다르게 표현된다. T_BACNET_DATA는 이렇게 다양한 형태의 응용계층 객체의 프로퍼티들에 대해 하나의 매개변수를 통해 접근하기 위해 사용되는 데이터 형이다. 따라서 BACnet 인코더 함수는 T_BACNET_DATA를 사용하여 모든 객체의 모든 프로퍼티에 대해 일관된 형태로 접근할 수 있다.

또한 BACnet 디코더를 통해 APDU를 디코드하는 경우 해당 항목의 응용 태그(Application Tag)를 분석한 결과에

따라서 수신된 데이터의 형태와 길이 등이 변하게 된다. T_DEC_DATA는 BACnet 디코더를 통해 분석된 어떤 형태의 반환 값이라도 하나의 매개변수를 통해 전달받기 위해 사용되는 공통 인터페이스 데이터 형이다. 따라서 응용 프로그램은 T_DEC_DATA를 통해 데이터 형에 상관없이 디코딩된 데이터 값을 반환 받을 수 있다.

```

//---- Interface Structure for Property Access ----
typedef struct{
    UCHAR      data_type;
    ACC_CODE   access;           // Access right
    UINT16     size;             // Unit Data Size
    UINT16     array;            // Array Count
    void*      pValue;           // pointer to the value
} T_BACNET_DATA;

//---- Common Data Structure for Decoding ----
typedef struct{
    UCHAR      data_type;
    BOOL       bool_value;
    SINT32     si_value;
    UINT32     ui_value;
    ULONG32    ul_value;
    FLOAT32    float_value;
    DBL64     double_value;
    UCHAR      date[4];
    UCHAR      time[4];
    UCHAR      str_size;         // size in bytes
    UCHAR      str[SIZE_MAX];   // data in bytes
} T_DEC_DATA;

//---- Application Data Encoding ----
BOOL bacnet_app_encoder(UCHAR* buffer,
                       UINT16* index,
                       T_BACNET_DATA* data);

//---- Application Data Decoding ----
BOOL bacnet_app_decoder(T_PCI* tx_pci,
                       UCHAR* buffer,
                       UINT16* index,
                       T_DEC_DATA* ret_val);
    
```

그림 11 BACnet 엔코더와 디코더의 구현 예제
 Fig. 11 An implementation example of BACnet encoder and decoder

본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입의 응용 프로그램으로는 HMI (Human Machine Interface) 통신 및 LED 제어와 같이 시스템 운용에 필요한 기능들과 하드웨어 입출력 함수 및 ASC 응용프로그램 등이 BACnet 프로토콜 스택 상에서 API를 통해 동작하도록 구현하였다. 또한 추가 응용프로그램의 확장은 펌웨어 상에서 동작하는 API의 형태로 추가될 수 있도록 설계하였다.

3.2.4 태스크 스케줄러

BACnet 프로토콜 스택과 응용 프로그램은 별도의 운영 체제 없이 펌웨어 내에 구현된 태스크 스케줄러에 의해 주기적으로 실행된다. 그림 12는 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입에 구현된 태스크 스케줄러의 동작 방식이다. 태스크 스케줄러는 크게 수신 프로세스(Responding Process)와 응용 프로세스(Application Process) 및 전송 프로세스(Requesting Process)를 순차적으로 실행하며, 만일 수신된 메시지나 전송할 메시지가 존재하지 않을 경우 수신 프로세스와 전송 프로세스를 제외한 응용 프로세스만이 태스크 스케줄러에 의해 실행된다.

수신 프로세스는 MS/TP 프로토콜을 포함하는 데이터링

크 계층 기능(DL), 네트워크 계층 기능(NL)을 통해 수신된 프레임에 대해 응답 TSM(RES TSM)과 디코딩 기능(DEC) 및 ASE 기능을 통해 처리된다. 송신 프로세스는 수신 프로세스의 역순으로 ASE에 의해 발생된 APDU를 인코딩 기능(ENC) 및 요청 TSM(REQ TSM)을 통해 가공하고, 네트워크 계층 기능(NL) 및 데이터링크 계층 기능(DL)을 통해 전송한다.

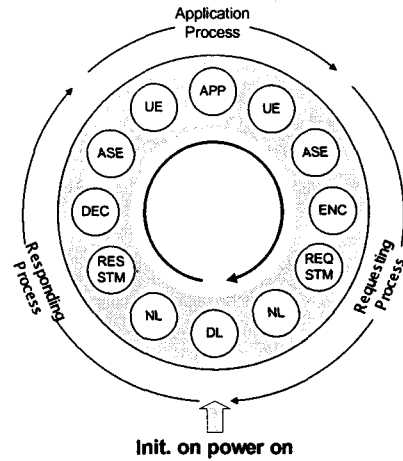


그림 12 BACnet MS/TP 필드제어기의 태스크 스케줄러
 Fig. 12 Task scheduler of the BACnet MS/TP field controller

본 연구에서 제시한 BACnet MS/TP 필드제어기의 하드웨어, 펌웨어 및 프로토콜 스택의 설계 및 구현 방법은 실제 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치를 개발하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통해 국내 BACnet 관련 기술의 보급과 확산에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

4. VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치

VTS(Visual Test Shell for BACnet)는 BACnet 생산자 협회(BMA, BACnet Manufacturer Association)에서 개발하여 무상으로 제공하는 범용 BACnet 통신시험 및 분석용 소프트웨어이다[13]. VTS는 마이크로 소프트 윈도우즈 운영체제에서 동작하는 윈도우즈 응용 프로그램으로, BACnet 메시지를 수신하여 분석하거나 원하는 특정 메시지를 발생하여 전송할 수 있는 기능을 제공한다. 그러나 VTS는 MS/TP 마스터 노드 통신 기능을 제공하지 않기 때문에 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 네트워크 시스템에 활용하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 EIA-232 시리얼 통신과 BACnet/IP 통신을 활용하여 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치를 개발하였으며, 본 논문을 통해 이를 설계하고 구현하기 위한 방법들을 소개한다. 본 논문을 통해 제시된 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치의 설계 및 구현 방법은 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 시스템의 개발 시 간단하게 VTS를 활용할 수 있게 함으로써 개발에 필요한 시간과 노력을 획기적으로 절약해 줄 수 있을 것이다.

4.1 통신망 분석 장치의 구성

본 연구를 통해 개발된 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치는 그림 13과 같이 MS/TP 모니터링 노드, 모니터링 컴퓨터 및 VTS로 구성된다. MS/TP 모니터링 노드는 MS/TP 마스터 노드로 동작하며, 네트워크 상의 모든 MS/TP 데이터 프레임 분석하여 모니터링 컴퓨터에 전달한다. 모니터링 컴퓨터에 구현된 MS/TP 모니터링 프로그램은 모니터링 노드로부터 수신된 MS/TP 프레임 정보를 BACnet/IP 프로토콜로 변환하여 VTS에 전송함으로써 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 기능이 수행되도록 한다. 또한 MS/TP 모니터링 프로그램은 VTS로부터 BACnet/IP 메시지를 수신하여 이를 MS/TP 모니터링 노드에 전달함으로써 수신된 메시지가 MS/TP 모니터링 노드를 통해 네트워크로 전송되도록 한다. 이를 위해 MS/TP 모니터링 노드와 모니터링 컴퓨터는 전이중 데이터 전송(Full Duplex)이 가능한 EIA-232 통신을 통해 데이터를 교환한다. BACnet/IP 프로토콜은 범용 인터넷 환경에서 UDP(User Datagram Protocol) 소켓 통신을 이용해 BACnet 메시지를 전송하는 방식으로 주로 인터넷을 통한 원격 접속에 사용되며, 일반 윈도우 운영체제 상에서 UDP 소켓 통신 프로그래밍을 통해 쉽게 구현될 수 있다. BACnet/IP 프로토콜에 대한 자세한 설명은 BACnet 규격서의 Annex J에 기술되어 있다[8].

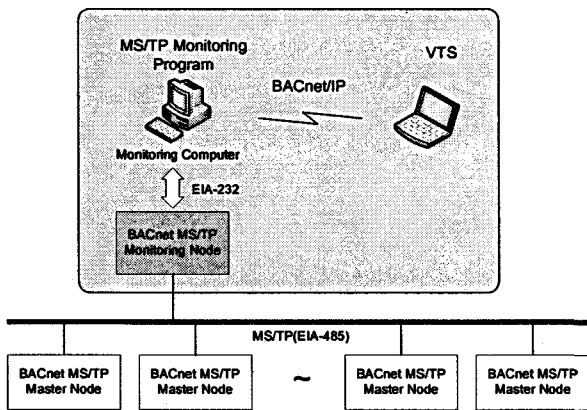


그림 13 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치의 구성
Fig. 13 System configuration of BACnet MS/TP network monitor

4.2 통신망 분석 장치의 설계 및 구현

BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치의 개발 시 가장 큰 애로사항은 MS/TP 통신망을 통해 전달되는 다양한 서비스들이 정상적으로 수행되는지 확인하거나 시험하기가 힘들다는 점이다. 특히 BACnet 응용계층의 서비스와 오브젝트, 프로퍼티 및 서비스 파라미터에 따라 인코딩 방식이 변하기 때문에 개발자가 각각의 프레임을 획득하여 일일이 확인하는 작업은 매우 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 본 절에서는 그림 13과 같이 시리얼 통신과 BACnet/IP 통신을 응용하여 간단하게 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치를 구성하고, 각각의 기능

을 구현하기 위한 방법들을 소개 한다. 그림 14는 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치의 각 구성요소별 동작 방식과 데이터의 전달방식을 표현한 것이다.

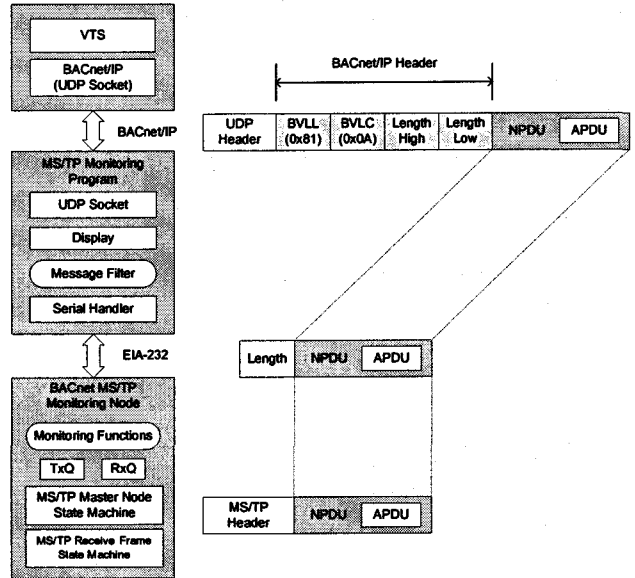


그림 14 통신망 분석 장치의 동작 및 데이터 흐름
Fig. 14 Data flow of BACnet MS/TP network monitor

4.2.1 MS/TP 모니터링 노드

BACnet MS/TP 모니터링 노드는 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입과 동일한 하드웨어를 이용하여 구현하였다. MS/TP 모니터링 노드는 MS/TP 네트워크 상의 모든 프레임을 수신하여 분석하고, VTS로부터 수신된 메시지를 MS/TP 네트워크로 전송하는 기능을 수행한다. 이와 같이 수신 및 송신 기능을 모두 지원하기 위하여 모니터링 노드는 MS/TP 네트워크 상에서 마스터 노드로 동작할 수 있어야 하므로 MS/TP Receive Frame State Machine과 MS/TP Master Node State Machine이 탑재되어 있다. 따라서 MS/TP 모니터링 노드는 BACnet의 MS/TP 데이터링크계층 위에 EIA-232 통신기능을 이용한 간단한 형태의 모니터링 기능이 추가된 형태라 할 수 있다.

BACnet 응용계층 메시지는 MS/TP 프로토콜 중 BACnet Data Expecting Reply 프레임과 BACnet Data Not Expecting Reply 프레임을 통해 전송된다. MS/TP 모니터링 노드는 MS/TP 네트워크를 통해 전송되는 모든 BACnet Data Expecting Reply 프레임과 BACnet Data Not Expecting Reply 프레임을 분석하여 APDU를 포함한 NPDU를 추출한다. 이렇게 획득된 NPDU는 MS/TP Master Node State Machine에 의해 수신큐(RxQ)에 저장된다. 모니터링 함수는 RxQ에 수신된 NPDU가 존재하면 그림 14와 같이 수신된 NPDU와 NPDU의 길이를 EIA-232 포트를 통해 모니터링 컴퓨터에 전송한다. 또한 모니터링 함수는 EIA-232 포트를 통해 모니터링 컴퓨터로부터 수신된 NPDU를 송신큐(TxQ)에 저장하고, 수신된 NPDU는 MS/TP Master Node State Machine을 통해 MS/TP 헤더 부분이 추가 되어 네트워크로 전송된다.

4.2.2 MS/TP 모니터링 프로그램

MS/TP 모니터링 프로그램은 모니터링 컴퓨터의 윈도우즈 운영체제 상에서 동작하는 윈도우즈 응용 프로그램으로 구현하였다. 그림 15는 본 연구를 통해 구현된 MS/TP 모니터링 프로그램의 사용자 인터페이스 화면과 메시지 필터 대화상자 화면이다. MS/TP 모니터링 프로그램은 윈도우즈 기반의 시리얼 통신 프로그램과 UDP 소켓 통신 프로그램을 응용한 일종의 프로토콜 변환 프로그램이다.

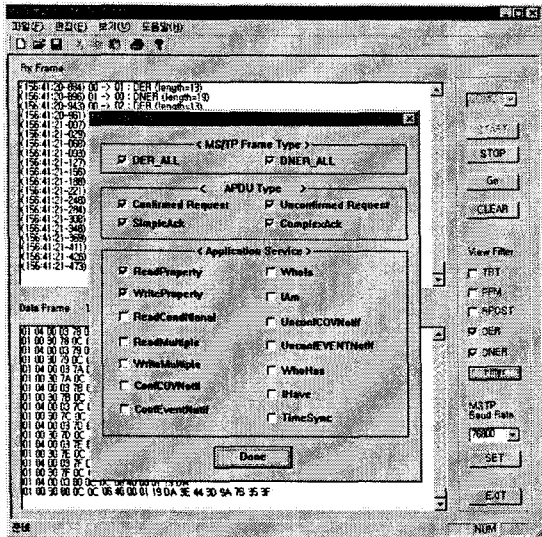


그림 15 MS/TP 모니터링 프로그램의 동작화면
Fig. 15 Screen capture of MS/TP monitoring program

MS/TP 모니터링 프로그램은 모니터링 노드로부터 시리얼포트를 통해 NPDU를 수신한다. 모니터링 프로그램은 NPDU 및 APDU를 분석하여 메시지 필터 기능을 수행하고, 수신된 NPDU의 내용을 화면에 출력한다. 모니터링 노드로부터 수신된 NPDU는 그림 14에 표현된 것과 같이 BACnet/IP 헤더가 추가되어 UDP 소켓을 통해 VTS에 전송된다.

BACnet/IP 헤더 중 첫 번째 바이트인 BVLL(BACnet Virtual Link Layer)은 BACnet 네트워크 계층과 BACnet/IP 프로토콜간의 인터페이스를 의미하며, X'81'로 고정된다. 두 번째 바이트인 BVLC(BACnet Virtual Link Control)는 BACnet/IP 프로토콜을 동작시키기 위해 사용되는 제어 명령을 의미하며 본 MS/TP 모니터링 프로그램에서는 BVLC 명령 중 Original-Unicast-NPDU(X '0A') 명령을 사용하여 수신된 NPDU를 VTS가 설치된 컴퓨터로 전송하도록 하였다. Original-Unicast-NPDU 명령은 2바이트의 NPDU 길이(Length High, Length Low)와 MS/TP 모니터링 노드로부터 수신한 NPDU로 구성된다. 또한 MS/TP 모니터링 프로그램은 VTS로부터 Original-Unicast-NPDU 명령을 수신하여 MS/TP 모니터링 노드로 전달함으로써 VTS를 통해 생성된 임의의 BACnet 응용계층 메시지를 MS/TP 네트워크 상에 발생시킬 수도 있다.

그림 16은 본 연구를 통해 개발된 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치와 VTS를 이용해 MS/TP 네트워크를 감시한 예제 화면으로, 아날로그 입력 객체의 프로퍼티 값을 읽기

위한 ReadProperty.response 메시지를 분석한 것이다. 그림 16의 Detail View에 표현된 것과 같이 VTS는 모니터링 프로그램으로부터 수신한 BACnet/IP 메시지에 대해 BACnet/IP BVLL과 네트워크계층 및 응용계층 정보를 분석하여 표현한다. Detail View에 표현된 정보 중 BACnet Virtual Link Layer Detail은 MS/TP 모니터링 컴퓨터에 의해 추가된 BACnet/IP 헤더 부분을 의미하며, BACnet Network Layer Detail 및 BACnet Application Layer Detail은 BACnet 필드제어기에 의해 작성된 NPDU 및 APDU를 의미한다.

본 연구를 통해 개발된 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치는 BACnet 프로토콜의 복잡한 APDU 인코딩 및 디코딩 기능을 VTS를 통해 쉽게 검증할 수 있어 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치의 개발 시 개발 시간과 노력을 단축하여 줌으로써 매우 편리하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

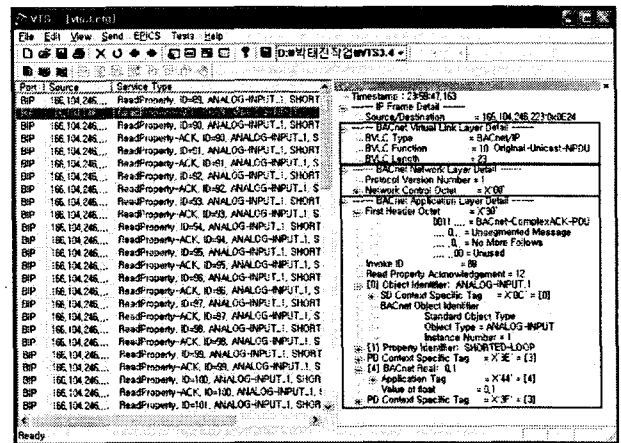


그림 16 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 네트워크 감시화면
Fig. 16 Screen capture of VTS monitoring BACnet MS/TP network

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 BACnet 필드제어기 프로토타입과 VTS를 이용한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치를 개발하였다. BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입은 추후 다양한 형태의 빌딩 자동제어 장치의 개발에 활용하기 위한 평가 보드의 형태로 개발하였으며, 별도의 실시간 운영체제를 적용하지 않고 싱글 칩 마이크로컨트롤러를 사용하여 BACnet MS/TP 통신기능과 네트워크계층 기능, 응용계층 기능 및 응용 프로그램을 동시에 수행할 수 있도록 프로토콜 스택과 펌웨어 및 태스크 스케줄러를 설계하고 구현하였다. 본 연구에서 제시한 BACnet MS/TP 필드제어기의 설계 및 구현 방법은 실제 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치를 개발하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통해 국내 BACnet 관련 기술의 보급과 확산에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

또한 본 논문에서는 VTS를 이용한 MS/TP 통신망 분석

장치를 개발하기 위한 구성 방법과 MS/TP 모니터링 노드 및 MS/TP 모니터링 프로그램의 설계 방법 및 구현 방법을 소개하였다. 본 연구에서 제시한 BACnet MS/TP 통신망 분석 장치는 시리얼 통신과 UDP 소켓 통신을 이용해 간단히 구현될 수 있으며, VTS를 이용하여 BACnet MS/TP 통신망을 분석하고 시험할 수 있게 함으로써 개발자로 하여금 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 빌딩 자동제어 장치를 개발하는데 있어 많은 시간과 노력을 절약하는데 도움이 될 것이다.

향후 연구 과제로서는 본 연구를 통해 개발된 필드제어기 프로토타입의 기능을 확장하여 공기조화용 제어기(AHU Controller), 가변풍량 제어기(VAV Controller), 조명제어기(Lighting Controller) 등 각각의 응용 기능에 적합한 빌딩 자동제어 장치를 개발하기 위한 응용 기술의 설계 및 구현 방법에 대한 연구가 필요하며, BACnet 라우터 기능과 함께 다양한 부가기능을 수행할 수 있는 BACnet 기반의 BC(Building Controller)를 개발하기 위한 설계 및 구현 기술에 대한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

[1] H.M. Newman, Direct Digital Control of Building Systems: Theory and Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.

[2] V. Boed, Networking and Integration of Facilities Automation Systems, CRC Press, Boca Raton, 2000.

[3] S.T. Bushby, "BACnetTM: a standard communication infrastructure for intelligent buildings", Automation in Construction, vol. 6, no. 56, pp. 529-540, 1999.

[4] S.T. Bushby and H.M. Newman, "BACnet today", Supplement to ASHRAE Journal, vol. 44, no.10, pp. 10-18, 2002.

[5] BACnet Europe Journal, vol. 5, 2006. (<http://www.big-eu.org/eng/service/journal.php>)

[6] T. Toyoda, "BACnet in Tokyo", Supplement to ASHRAE Journal, vol. 48, no.11, pp. B33-36, 2006.

[7] A. Golovin, "BACnet in Russia", Supplement to ASHRAE Journal, vol. 48, no.11, pp. B37-40, 2006.

[8] 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.

[9] ISO 16484-5, Building Automation and Control

Systems-Part 5. Data Communication Protocol, ISO, Washington, DC, 2003.

[10] KS X 6909, 빌딩 자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.

[11] ASHRAE Guideline 13-2000, Specifying Direct Digital Control Systems, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2000.

[12] S.T. Bushby, H.M. Newman, M.A. Applebaum, NISTIR 6392, GSA Guide to Specifying Interoperable Building Automation and Control Systems Using ANSI/ASHRAE Standard 135-1995, BACnet, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2000.

[13] <http://vts.sourceforge.net>

저 자 소 개



박 태 진 (朴 泰 鎭)

1997년 한양대 제어계측공학과 졸업.
 1999년 동대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(공학석사). (주)나라컨트롤 기술연구소, Siemens Building Technologies Korea 기술연구소, (주)화신 기술연구소, 현재 동대학원 전자전기제어계측 공학과 박사과정
 Tel : 031-400-4084
 Fax : 031-406-4132
 E-mail : tj0809@hanyang.ac.kr



홍 승 호 (洪 承 鎭)

1982년 : 연세대 졸업(공학사). 1985년 : Texas Tech University (공학석사). 1989년 : Pennsylvania State University (공학박사) 1992년~현재 한양대 전자컴퓨터공학부 교수
 Tel : 031-400-5213
 Fax : 031-406-4132
 E-mail : shhong@hanyang.ac.kr