

## Design and Implementation of Network Management System for BACnet

박 태 진\*  
(Tae-Jin Park)

**Abstract** - BACnet is an international standard communication protocol especially designed for building automation and control systems. In this paper, a reference model of network management system for BACnet is proposed and its implementation method is introduced. In order to evaluate the feasibility and validity of proposed network management system, it is applied to a real experimental model of BACnet network system. Proposed network management system complies with standard BACnet protocol and its functions are implemented in software without hardware dependencies so that it can be applied not only to newly installed BACnet system but also to already installed BACnet system by software upgrade. The network management system and its implementation method introduced in this paper will help BACnet-based automation system to be managed efficiently and they can be practically applied in real BACnet-based automation systems.

**Key Words** : BACnet, Network Management System, Network Traffic, Performance Measurement

### 1. 서 론

사무환경 및 주거환경이 단순 거주 개념을 넘어 편의의 개념으로 발전함에 따라 사용자들의 다양한 요구사항들을 만족시키기 위하여 공기조화, 냉난방, 방범, 방재, 출입통제, 수송, 주차, 통신 등의 설비들을 자동으로 관리하기 위한 첨단 빌딩 자동제어 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구사항의 증가로 인하여 마이크로프로세서 기반의 디지털 분산제어 시스템이 널리 보급되고 있으며, 많은 업체들이 다양한 네트워크 기술들을 이용해 독자적인 빌딩 자동화 시스템을 개발, 공급하고 있다.

그러나 기존의 빌딩 자동제어 시스템의 경우 각 업체마다 적용하는 통신망 기술이 서로 달라 상호운용성(Interoperability)이 보장되지 않고 있으며, 이로 인해 사용자로부터 공급업체에 기술적으로 종속되도록 하고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 빌딩 자동화 시스템을 사용자 중심의 기술로 발전시키기 위해 1980년대 중반부터 빌딩 자동화 네트워크 통신 프로토콜의 표준 제정에 대한 필요성이 제기되었으며, 2001년 ISO(International Standard Organization)는 빌딩 자동화 및 제어용 통신망 프로토콜에 대한 국제표준으로서 BACnet(Building Automation and Control network)[1]을 채택하였다[2]. BACnet은 국내에서는 1999년 빌딩자동화 네트워크의 KS 표준규격으로 채택되었다[3].

네트워크 기반의 자동제어 시스템에서 네트워크 시스템의

성능은 전체 제어 시스템의 성능에 직접적으로 영향을 미치며 네트워크를 통해 연결되는 각 장비의 운용 상태와 제어기에 탑재된 응용 프로그램의 동작 상태에 따라 시시각각 변하게 된다. 따라서 시스템 운영자가 전체 자동제어 시스템을 효율적으로 관리하기 위해서는 시시각각 변하는 네트워크의 상태를 감시하고 관리할 수 있는 네트워크 관리 시스템 또는 네트워크 관리 기능이 요구되어 진다.

BACnet은 다양한 통신매체를 수용하기 위하여 데이터링크계층 프로토콜로서 Ethernet, ARCnet, PTP, MS/TP, LonTalk, BACnet/IP 등 다양한 선택사항을 채택함으로써 네트워크의 확장성 및 유연성을 보장하고 있다. 그러나 이렇게 다양한 네트워크 구성에 따라 네트워크 성능을 관리하기 위한 네트워크 관리 계층(Management Layer) 또는 네트워크 관리 기능을 별도로 규정하고 있지 않고 있어 시스템 운영자 또는 네트워크 사용자 하위급 네트워크 시스템의 상태를 실시간으로 감시하거나 분석하여 관리할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 BACnet 기반 네트워크 시스템의 성능을 감시하고 관리하기 위한 네트워크 관리 시스템 모델과 이를 구현하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 네트워크 관리 시스템 모델은 기존의 BACnet 프로토콜과의 호환성을 유지하도록 BACnet의 객체지향(Object-Oriented) 구현방식을 따라 설계하였으며 제안하는 구현 방법 또한 하드웨어에 의존적이지 않고 소프트웨어적으로 구현될 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템은 새로 개발되는 BACnet 기반의 자동제어 시스템뿐만 아니라 기존의 시스템에도 적용되어 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문은 총 5장으로 구성된다. 2장에서는 BACnet의 구

\* 정 회 원 : 삼성중공업 산업기술연구소 메카트로닉스센터  
E-mail : tj0809@nate.com

접수일자 : 2009년 8월 10일

최종완료 : 2009년 9월 24일

조와 최근 연구결과들에 대해 고찰한다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 BACnet을 의한 네트워크 관리시스템의 설계 개념을 설명하고 4장에서는 이를 구현하기 위한 구현방법 및 실험모델을 통한 검증에 대해 설명한다. 끝으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구과제에 대해 정리한다.

## 2. BACnet 및 관련연구

BACnet은 그림 1에 보이는 바와 같이 물리계층, 데이터 링크계층, 네트워크계층 및 응용계층의 4계층 구조를 지닌다. BACnet 응용계층에서는 서로 다른 네트워크 장비간의 상호운용성을 보장하기 위하여 빌딩 자동화 설비들 간에 교환되어야 할 다양한 정보들을 객체(Object)와 프로퍼티(Property)들로 표현하며, 이러한 객체와 프로퍼티들로 표현되는 정보들을 처리하기 위해 요구되는 다양한 기능들을 응용 계층 서비스를 정의하고 있다. BACnet 응용 객체는 단순히 빌딩 자동화 시스템에서 사용되는 입출력 정보뿐만 아니라 자동제어를 수행하기 위한 제어 알고리즘과 원격 감시를 위한 이벤트 알고리즘 등을 포함한다. 이와 더불어 BACnet 응용계층에서는 여러 범주의 표준 응용 계층 서비스를 정의하고 있다. BACnet 표준 응용 계층 서비스는 네트워크상에 존재하는 다양한 객체들로부터 정보를 얻고, 그 값을 조작하여 전체 빌딩 자동화 및 제어 시스템을 운용하기 위한 기능들의 조합이라 할 수 있다.

이와 같이 BACnet은 표준 응용 객체를 사용하여 네트워크상의 모든 장비와 장비 내부의 정보를 표현하고 이들 응용 객체를 조작, 가공하기 위한 표준 응용계층 서비스를 정의함으로써 서로 다른 제조업체를 통해 공급된 장비들이라 할지라도 그 내부 동작 방식에 관계없이 동일하게 정보를 교환할 수 있도록 하고 있으며 이를 통해 BACnet 기반의 빌딩 자동제어 시스템에서의 상호운용성을 보장하고 있다. 또한 이러한 상호운용성을 보장하면서 동시에 빌딩 자동제어 시스템에서 요구되는 다양한 기능 요구사항들을 충족시키기 위하여 BACnet 협회에서는 여러 워킹그룹(Working Group)활동을 통해 규격을 계속 보완, 확장해 나가고 있다 [19].

BACnet 기반 빌딩 자동제어 시스템에서 Ethernet은 대용량의 정보를 고속의 통신 속도로 전송할 수 있어 주로 여러 필드레벨 네트워크를 상호 연결하기 위한 백본(Backbone) 네트워크에 적용된다. ARCnet[6]은 정시성(Time-Deterministic)이 요구되는 메시지 처리에 장점이 있으며 주로 주기적인 서비스를 처리하는 화재감시 및 방재 시스템에 많이 적용되어왔다. EIA-485 직렬 통신을 이용하는 MS/TP 프로토콜은 BACnet을 위해 전용으로 개발된 데이터 링크 계층 프로토콜로서 다른 데이터 링크 계층 프로토콜들에 비해 저렴한 비용으로 비교적 용이하게 구현할 수 있어 센서, 구동기, 필드제어기 등을 연결하기 위한 필드레벨 네트워크로 가장 많이 적용되고 있다. EIA-232 직렬 통신을 이용하는 PTP 프로토콜은 주로 EIA-232 직렬통신 케이블 연결 또는 PSTN (Personal Service Telephone Network) 전화선을 이용한 일대일 원격 통신에 사용된다. LonTalk 프로토콜[7]은 LonWorks 시스템에서의 데이터 전송을 위해 개발된 프로토콜로서, LonWorks 솔루션 자체는 다양한 자동화 시스템에 적용되고 있으나 LonTalk을 데이터링크계층 프로토콜로 채택한 BACnet 기반의 자동제어 시스템은 아직 보편화되지 않고 있다. BACnet/IP 프로토콜은 최근 인터넷을 이용한 통신에 대한 요구가 증가함에 따라 2001년 개정된 BACnet 규격에 추가되었다. BACnet/IP 프로토콜은 IP(Internet Protocol) 프로토콜을 이용하는 인터넷을 통한 BACnet 인터넷 구성이 가능하여 주로 인터넷을 통한 원격접속 또는 통합 군관리 시스템에 적용된다. 또한 최근에는 [8] 및 [9]에서 제안하는 바와 같이 ZigBee, KNX[10], WLAN 등을 BACnet에 통합하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있으며 최근 2008년에 개정된 BACnet 규격에는 BACnet/ZigBee 방식이 추가되기도 하였다[10].

이렇듯 BACnet은 다양하게 네트워크 시스템을 구성할 수 있도록 데이터링크계층 프로토콜을 규정하고 있으나 반면 이렇게 다양한 네트워크 구성과 성능을 관리하기 위한 네트워크 관리 계층 또는 네트워크 관리 기능을 별도로 규정하고 있지 않고 있다. 따라서 시스템 운영자 또는 네트워크 사용자로 하여금 현재 네트워크 시스템의 상태를 감시하거나 분석하여 관리할 수 없는 한계점을 가지고 있다.

[4] 및 [5]는 BACnet 기반 빌딩 자동제어 시스템에서 상호운용성을 보장하기 위한 방법들을 제시하고 있으며 [12] 및 [13]은 위 보고서에서 제시한 분석 자료를 토대로 BACnet의 6가지 데이터 링크 계층 프로토콜의 특징을 시뮬레이션 모델을 이용하여 분석하여 제시하고 있다. 그러나 이와 같은 시뮬레이션 모델을 통한 성능분석 방법은 주로 네트워크 시스템을 설계하기 전에 가정을 통해 네트워크 시스템의 성능을 미리 예측하기 위하여 주로 사용되며 실제 네트워크 시스템에서의 실시간 네트워크 성능분석에 활용되기에는 한계가 있다. [14] 및 [15]는 BACnet 실험모델을 이용하여 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 성능과 이를 이용한 실내 조명제어 시스템의 성능에 대한 실험적 분석결과를 제시하고 있다. 그러나 이 경우 시스템의 성능을 관측하기 위한 별도의 모니터링 시스템이 필요하므로 실제 빌딩 자동제어 시스템에 적용하기에는 추가적인 장치와 비용이 발생하므로 그 실효성에 한계가 있다. 이밖에도 큐잉 모델 및 확률 모델을 이용한 통신망 성능예측 등의 방법들도 가능하나

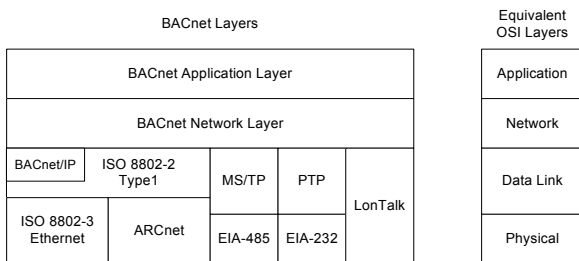


그림 1 BACnet 계층 구조  
Fig. 1 BACnet architecture

BACnet은 그림 1의 프로토콜 구조에서 보이는 바와 같이 다양한 통신 기술과 통신 매체를 지원하기 위하여 데이터 링크 계층 프로토콜로서 Ethernet, ARCnet, MS/TP(Master-Slave/Token-Passing), PTP(Point-To-Point), LonTalk 외에 BACnet/IP를 포함하는 6가지 선택사항을 제공하고 있다.

이러한 방법들 역시 가정에 근거한 성능예측 방법으로 주로 시스템 설계단계에서 활용되며 실제 시스템에 적용되어 실시간 변화하는 네트워크 시스템을 모니터링하고 관리하기에는 한계가 있다.

또한 이전 BACnet 규격뿐만 아니라 최근에 계정된 BACnet 규격[1]에도 시스템 관리 기능이 표준화되어 있지 않기 때문에 실제 상용 제품의 경우 각 공급사마다 별도의 네트워크 관리 기능을 개발하여 제공하거나 또는 네트워크 관리 기능 없이 개발되어 공급되고 있는 실정이다. 이는 결국 멀티벤더(Multi-Vendor) 제품들로 구성되는 빌딩 자동제어 장치들 간의 상호운용은 가능하나 통합 관리(Integrated Management)는 불가능하게 하는 기술적 한계점으로 작용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 멀티벤더 제품들로 구성되는 BACnet 기반 빌딩 자동제어 시스템에서 통합 네트워크 관리기능을 보장하기 위한 네트워크 관리 시스템의 참조모델을 제시하고 이를 실제 실험 모델에 적용하여 그 유효성을 검증하고자 한다.

### 3. BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템

1980년대 이후 데이터 통신 기술이 급격히 발전함에 따라 네트워크 시스템이 점차 복잡해지고, 네트워크 시스템에서 사용되는 통신기술 또한 다양화됨에 따라 네트워크 시스템을 효율적으로 관리하기 위한 방법이 필요하게 되었다. 이를 위해 개방형 시스템 간 상호연결에 대해 규정하고 있는 [16]은 일반적인 네트워크 관리 시스템에서 요구되는 사항들을 정리하여 OSI 참조 모델을 위한 네트워크 관리 시스템의 기본 모델[17]을 제시하였다. 다음 그림 2는 [17]에서 제시한 OSI 참조 모델을 위한 네트워크 관리 시스템의 기본모델에 대한 구조이다.

그림 2에 보이는 바와 같이 네트워크 관리 시스템의 기본 구조는 관리 개체(Managing Entity), 피관리 장치(Managed Device), 네트워크 관리 프로토콜(Network Management Protocol)의 세 가지 주요 구성 요소로 이루어진다.

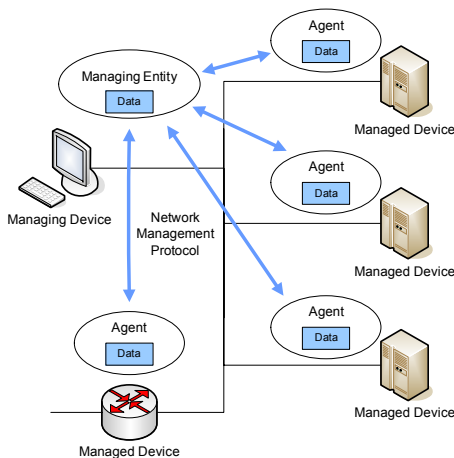


그림 2 OSI 네트워크 관리 시스템 기본 구조  
Fig. 2 OSI Reference model of network management system

네트워크 관리 개체(Managing Entity)는 네트워크 관리 장치(Managing Device)에서 동작하는 응용 프로그램 또는 응용 장치로서 네트워크 관리 정보에 대한 수집, 처리, 분석 및 표시를 제어한다. 피관리 장치(Managed Device)는 네트워크상에 존재하는 관리의 대상이 되는 네트워크 장치를 의미한다. 네트워크 관리를 위해 필요한 피관리 장치의 내부 정보들은 MIB(Management Information Base)로 관리되며, 이러한 정보들은 수집하고 가공하여 유지하면서 네트워크 관리 개체와의 통신 기능을 통해 네트워크 관리 정보를 전달하는 기능을 수행하는 응용 프로세스를 네트워크 관리에 이전트라 한다. 네트워크 관리 프로토콜은 네트워크 관리 개체가 피관리 장치의 상태를 확인하고, 간접적으로 에이전트를 통해 피관리 장치의 정보를 획득하기 위해 사용되는 통신 프로토콜을 의미한다. 또한 OSI 참조 모델 기반의 네트워크 관리 시스템 규격에서는 네트워크 관리 시스템에 필요한 주요 특징을 관리 기능(Management Functions), 관리 프로토콜(Management Protocol), 관리 정보의 모델링(Information Modeling)의 3가지 주요 요소로 구분하여 정의하고 있으며 위 세 가지 주요 요소 중 네트워크의 관리 기능을 성능관리(Performance Management), 장애관리(Fault Management), 구성관리(Configuration Management), 계정관리(Accounting Management), 보안 관리(Security Management)의 5가지 영역으로 구분하여 정의하고 있다.

BACnet의 경우 다음 표 1과 같이 네트워크 구성관리에 대해 네트워크 계층 메시지와 함께 Who-Is-I-Am 응용 계층 서비스 및 BACnet Device 객체와 Device 객체의 Object\_List 프로퍼티를 통해 지원된다. 또한 장애관리의 경우 Device 객체의 System\_Status 프로퍼티를 통해 장치의 상태를 관리하고, 네트워크 계정관리 및 보안관리에 대해서는 56-bit DES(Data Encryption Standard) 암호화를 이용해 보안키를 분배하는 방식에 대해서만 규정하고 있으며, 그 외의 사용자 관리 및 자원에 대한 접근 제한 등에 대해서는 시스템 공급자가 독자적인 방식을 이용하여 기능을 구현할 수 있도록 규정하고 있다. 그러나 BACnet 규격에는 각 네트워크의 자원을 효율적으로 관리하고 제어하기 위한 네트워크 성능 관리에 대한 기능이 규정되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 BACnet 네트워크 시스템을 위한 성능관리가 가능하도록 시스템을 설계하였다.

표 1 기존 BACnet에서 제공하는 네트워크 관리 기능  
Table 1 Legacy BACnet Network Management Function

관리기능	BACnet에서 지원하는 방식
성능관리	지원하지 않음.
구성관리	네트워크 계층 메시지, Who-Is-I-Am 서비스 및 Device 객체와 Device 객체의 Object_List 프로퍼티
장애관리	Device 객체의 System_Status 프로퍼티와 EventNotification 서비스
보안관리	56bit DES 암호화 알고리즘 사용과 키 분배에 대해서만 규정. 그 외 보안 기능은 시스템 공급자가 독자적으로 적용할 수 있음.
계정관리	시스템 공급자가 독자적으로 적용할 수 있도록 규정.

일반적으로 네트워크 시스템의 성능은 데이터 링크 계층에서의 매체 접근 방식과 데이터 전송 방식에 의해 영향을 받는다. 그리고 네트워크 시스템에서의 시간지연은 대부분 데이터 링크 계층의 송신 큐에서의 전송 대기시간에 의해 가장 크게 영향을 받는다. 따라서 네트워크 시스템의 성능을 효율적으로 관리하기 위해서는 각각의 노드에서 발생하는 네트워크 트래픽의 인가 상태와 이렇게 발생된 메시지들이 송신 큐를 통해 어떻게 효율적으로 처리되고 있는지를 실시간으로 감시할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 정보들은 각 통신 노드의 자체 동작을 통해 발생하는 내부 변수 값들로서 네트워크를 통해 바로 획득될 수 없다. 따라서 본 연구에서는 [17]에서 제시한 네트워크 관리 시스템의 기본 모델을 참조하여 BACnet을 위한 에이전트 기반의 네트워크 관리 시스템을 제안하고자 한다.

4.1 네트워크 관리 시스템의 설계

본 연구를 통해 제안하고자 하는 BACnet 프로토콜을 위한 네트워크 관리 시스템은 기본적으로 [17]에서 제시하는 네트워크 관리 모델을 기반으로 설계되었다. 그러나 이를 BACnet 시스템에 적용하기 위해서는 몇 가지 전체 조건과 요구사항이 따른다. 우선 기존 BACnet 시스템과의 상호운용성이 보장되어야 하며, 만일 규격에 추가되어야 하는 부분이 있다면 이는 최소화되어야 한다. 그리고 추후 확장을 고려하여 이후 새로이 추가되는 네트워크 프로파일에도 적용될 수 있는 일반적인 구조로 설계되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 BACnet에서 규정하고 있는 응용 프로세스 모델에 따라 네트워크 시스템과 각각의 개체(Entity)를 설계하고 구현하였다.

BACnet은 빌딩 자동화 설비들 간에 교환되어야 할 정보들을 표준 응용 객체와 프로퍼티를 이용해 객체 지향적으로 표현한다. 따라서 본 연구에서는 기존 BACnet 시스템과의 상호운용성을 보장하기 위해 별도의 관리 계층 또는 관리 계층 서비스를 추가하지 않고, 기본 BACnet 응용 계층 모델 기반의 BACnet 응용 객체로 모델링되는 **네트워크 관리자 개체(Network Manager Entity)**와 **네트워크 관리 에이전트 개체(Network Management Agent Entity)**를 새로이 추가하고, 이들 개체가 관리하여야 할 정보를 BACnet 응용 객체로 모델링하여 이를 기존 BACnet 규격에서 정의하고 있는 표준 BACnet 응용 계층 서비스를 통해 관리함으로써 BACnet 규격에 부합하는 네트워크 관리 시스템을 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템의 구성은 다음 그림 3과 같다.

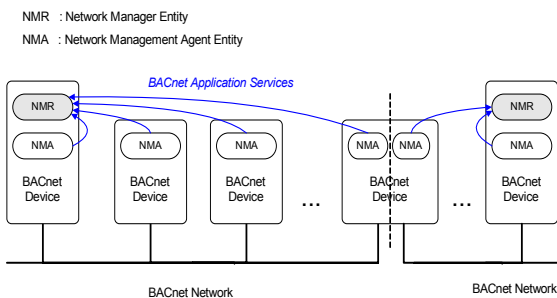


그림 3 제안하는 네트워크 관리 시스템의 구성  
Fig. 3 Concept of proposed network management system

그림 3에 보이는 바와 같이 본 연구에서 제안하고자 하는 BACnet 프로토콜을 위한 네트워크 관리 시스템은 네트워크 관리자 개체(NMR Entity, Network Manager Entity)와 네트워크 관리 에이전트 개체(NMA Entity, Network Management Agent Entity)로 구성된다. NMA 개체는 각 노드의 내부 네트워크 관리 정보를 수집, 분석하여 네트워크 관리 에이전트 객체(NMA object)에 저장한다. 만일 해당 BACnet 장치가 여러 개의 데이터 링크 접속을 지원하는 장비라면 NMA 개체 역시 데이터 링크 접속 개수만큼 생성되어 각각의 데이터 링크 접속에 대한 네트워크 관리 정보를 독립적으로 관리하게 된다. NMR 개체는 해당 네트워크상의 모든 NMA 개체로부터 네트워크 관리 정보를 수집하여 네트워크 관리자 객체(NMR object)로 관리한다. 따라서 NMR 개체는 하나의 네트워크상에서 오직 하나만 존재하여야 한다. 또한 본 연구에서는 NMR 개체와 NMA 개체간의 관리 정보를 교환하기 위한 네트워크 관리 프로토콜을 별도로 추가 정의하지 않고, 기존 BACnet 규격에서 정의하고 있는 BACnet 응용 계층 서비스를 사용함으로써 기존 BACnet 시스템과의 호환성 및 상호운용성을 보장하도록 하였다.

4.2 네트워크 관리 에이전트 개체

네트워크 관리 에이전트(NMA, Network Management Agent) 개체는 BACnet 장치 내에서 응용 프로그램으로 동작하며, 하나의 NMA 개체를 통해 하나의 데이터 링크 계층 프로파일을 관리하도록 설계하였다. 따라서 예를 들어 2개의 데이터 링크 접속을 지원하는 제어기인 경우 각각의 데이터 링크 접속이 각각의 NMA 개체에 의해 독립적으로 관리된다. NMA 개체는 해당 데이터링크 프로파일에서 발생하는 네트워크 관리 정보를 BACnet NMA 응용 객체를 통해 관리하며, 이러한 정보들은 표준 BACnet 응용 계층 서비스를 통해 처리된다. NMA 객체의 각각의 프로퍼티 정보는 표준 BACnet 응용 객체 모델링 방식에 따라 다음 표 2와 같이 설계하였으며 그림 4는 NMA 객체의 구현 예시를 보여준다. 표 2의 Code에서 R은 필수 속성을 의미하며, O는 선택 속성을, W는 명령가능 속성을 의미한다.

NMA 객체는 표 2에서 제안한 바와 같이 다양한 프로퍼티들로 구성된다. 이들 프로퍼티들에 대한 자세한 설명은 지면 상 생략하기로 하며, 본 연구에서는 네트워크 시스템의 성능을 관측하기 위한 Local\_Traffic\_Load 프로퍼티에 대해 자세히 설명하고자 한다.

Local\_Traffic\_Load 프로퍼티는 [12], [14], [15] 등에서 제시한 트래픽로드(G)와 유사한 개념으로 다음 식 (1)과 같이 상위계층에서 발생되어 데이터링크의 송신 큐에 쌓이는 단위 시간당 내부 트래픽의 양을 퍼센트(%)단위의 실수형 값으로 표현한다. 이때 1바이트의 비트타임을 계산하기 위하여 Start Bit와 End Bit를 포함하여 10비트타임으로 계산되도록 하였다. Local\_Traffic\_Load 프로퍼티의 값은 데이터 링크 프레임이 송신 큐에 추가될 때 계산된다.

$$Local\_Traffic\_Load = \frac{100 \times Avg\_Frame\_Length \times 10}{(Baud\_Rate \times Avg\_Frame\_Interval \div 1000)} \quad (1)$$

### 4.3 네트워크 관리자 객체

네트워크 관리자(NMR, Network Manager) 객체는 BACnet 네트워크상에서 통신 노드로 동작하는 임의의 BACnet 장치에 응용 프로그램으로 탑재되어 동작하며, 하나의 NMR 객체를 통해 하나의 BACnet 네트워크 시스템이 관리되도록 설계하였다. 따라서 만일 리피터 등을 통해 네트워크 세그먼트가 확장되는 경우에는 추가적인 NMR 객체가 필요하지 않으나 만일 네트워크가 라우터 또는 게이트웨이를 통해 분리될 경우 각 네트워크 마다 NMR 객체가 하나씩 할당되어 동작하여야 한다.

표 2 네트워크 관리 에이전트 객체

Table 2 Network Management Agent Object

Property Identifier	Data type	Code
Object_Identifier	BACnetObjectIdentifier	R
Object_Name	CharacterString	R
Object_Type	BACnetObjectType	R
Description	CharacterString	O
Reset_Time_Stamp	BACnetDateTime	W
APPL_Conf_Req_Count	Unsigned	R
APPL_Conf_Res_Count	Unsigned	R
APPL_Unconf_Req_Count	Unsigned	R
APDU_Timeout_Count	Unsigned	R
Max_Confirmed_Delay	Unsigned	R
Avg_Confirmed_Delay	Unsigned	R
DL_Profile	BACnetDLProfile	R
Baud_Rate	Unsigned	R
Frame_Generate_Count	Unsigned	R
Frame_Transmit_Count	Unsigned	R
Frame_Receive_Count	Unsigned	R
TxQ_Overflow_Count	Unsigned	R
TxQ_Overflow_Date_Time	BACnetDateTime	R
Max_Queueing_Delay	Unsigned	R
Avg_Queueing_Delay	Real	R
Avg_Frame_Interval	Real	R
Avg_Frame_Length	Real	R
Local_Traffic_Load	Real	R

```

//----- BACnet Network Management Agent Object Modeling -----
typedef struct{
    T_PROPERTY_UINT32    object_id;
    T_PROPERTY_CHARSTR  object_name;
    T_PROPERTY_ENUM     object_type;
    T_PROPERTY_CHARSTR  description;
    T_PROPERTY_DATETIME reset_datetime;
    T_PROPERTY_UINT32  appl_conf_req_count;
    T_PROPERTY_UINT32  appl_conf_res_count;
    T_PROPERTY_UINT32  appl_unconf_req_count;
    T_PROPERTY_UINT32  apdu_timeout_count;
    T_PROPERTY_UINT32  max_conf_delay;
    T_PROPERTY_UINT32  avg_conf_delay;
    T_PROPERTY_ENUM    dl_profile;
    T_PROPERTY_UINT32  baud_rate;
    T_PROPERTY_UINT32  frame_gen_count;
    T_PROPERTY_UINT32  frame_tx_count;
    T_PROPERTY_UINT32  frame_rx_count;
    T_PROPERTY_UINT32  txq_overflow_count;
    T_PROPERTY_DATETIME txq_overflow_datetime;
    T_PROPERTY_UINT32  max_qing_delay;
    T_PROPERTY_REAL   avg_qing_delay;
    T_PROPERTY_REAL   avg_frame_interval;
    T_PROPERTY_REAL   avg_frame_length;
    T_PROPERTY_REAL   local_traffic_load;
    T_PROPERTY_REAL   local_throughput;
} T_BACNET_NMA_OBJECT;
    
```

그림 4 NMA 객체 구현 예시  
Fig. 4 Implementation example of NMA object

NMR 객체는 네트워크상의 NMA 객체로부터 네트워크 관리 정보를 수집하여 BACnet NMR 응용 객체를 통해 관리하며, 이러한 정보들은 표준 BACnet 응용 계층 서비스를 통해 처리된다. NMR 객체의 각각의 프로퍼티 정보는 표준 BACnet 응용 객체 모델링 방식에 따라 다음 표 3과 같이 설계하였으며 그림 5는 NMR 객체의 구현 예시를 보여준다.

NMR 객체 역시 표 3에서 제안한 바와 같이 다양한 프로퍼티들로 구성된다. 이들 프로퍼티들에 대한 자세한 설명은 지면 상 생략하기로 하며, 본 연구에서는 네트워크 시스템의 성능을 관측하기 위한 Network\_Traffic\_Load, Network\_Traffic\_Summary 및 Round\_Trip\_Time 프로퍼티에 대해 자세히 설명하고자 한다.

Network\_Traffic\_Load 프로퍼티는 표준 실수형으로 표현되며, NMR 객체가 관리하는 네트워크의 전체 트래픽 로드를 퍼센트(%) 단위로 표현한다. 이 속성 값은 NMA 객체로부터 수신된 Local\_Traffic\_Load의 합으로 계산된다.

표 3 네트워크 관리자 객체

Table 3 Network Manager Object

Property Identifier	Data type	Code
Object_Identifier	BACnetObjectIdentifier	R
Object_Name	CharacterString	R
Object_Type	BACnetObjectType	R
Description	CharacterString	O
Reset_Date_Time	BACnetDateTime	W
DL_Profile	BACnetDLProfile	R
Baud_Rate	Unsigned	R
Update_Interval	Unsigned	R
Update_Date_Time	BACnetDateTime	W
Network_Traffic_Load	Real	R
Network_Traffic_Summary	BACnetARRAY[N]	R
Round_Trip_Time	BACnetARRAY[N]	R
Token_Count	Unsigned	O <sup>1</sup>
Max_TRT	Unsigned	O <sup>1</sup>
Avg_TRT	Real	O <sup>1</sup>

O<sup>1</sup>: 관리하고자 하는 대상 네트워크 시스템이 MS/TP 네트워크일 경우

```

//----- BACnet Network Manager Object Modeling -----
typedef struct{
    T_PROPERTY_UINT32    object_id;
    T_PROPERTY_CHARSTR  object_name;
    T_PROPERTY_ENUM     object_type;
    T_PROPERTY_CHARSTR  description;
    T_PROPERTY_DATETIME reset_datetime;
    T_PROPERTY_ENUM     dl_profile;
    T_PROPERTY_UINT32  baud_rate;
    T_PROPERTY_UINT32  update_interval;
    T_PROPERTY_DATETIME update_datetime;
    T_PROPERTY_REAL   network_traffic_load;
    T_PROPERTY_REAL   network_throughput;
    T_PROPERTY_NM_SUMMARY traffic_summary;
    T_PROPERTY_NM_SUMMARY throughput_summary;
    T_PROPERTY_UINT32  token_count;
    T_PROPERTY_UINT32  max_TRT;
    T_PROPERTY_REAL   avg_TRT;
} T_BACNET_NMR_OBJECT;
    
```

그림 5 NMR 객체 구현 예시  
Fig. 5 Implementation example of NMR object

Network\_Traffic\_Summary 프로퍼티는 표준 BACnet ARRAY[N]형으로 표현되며, NMR 개체가 수집한 각각의 NMA 개체의 DeviceObjectIdentifier와 Local\_Traffic\_Load 값의 배열로 표현된다.

Round\_Trip\_Time 프로퍼티는 표준 BACnetARRAY[N]형으로 표현되며, 각각의 NMA 개체의 DeviceObject Identifier와 NMR 개체가 각각의 NMA 개체에 하나의 BACnet Confirmed Service를 요청하여 그에 대한 응답을 수신하기까지의 소요시간을 msec단위 배열로 표현한다. 단 이때 모든 제어기에 대해 Round\_Trip\_Time 값을 공정하게 측정하기 위하여 다음 그림 6과 같이 네트워크 관리자 노드에서 발생하는 송신 큐에서의 메시지 지연시간은 제외된다. 따라서 Round\_Trip\_Time은 BACnet Confirmed 메시지가 네트워크 관리자 노드의 송신 큐를 떠나는 순간부터 상대방 노드에 의한 응답이 네트워크 관리자의 수신 큐에 도착하는 시간까지 소요된 시간을 msec 단위로 기록된다.

이상 기술한 바와 같이 본 연구에서 제안하는 BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템은 각각의 기능과 정보를 소프트웨어적으로 구현되는 NMR 개체와 NMR 객체 및 NMA 개체와 NMA 객체로 모델링함으로써 기존 BACnet 규격과의 상호운용성을 최대한 보장한다.

4.4 실험모델을 이용한 유효성 검증

본 연구에서 제안하는 네트워크 관리시스템의 유효성을 검증하기 위하여 실제 실험모델에 적용하여 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 성능을 분석하였다. 본 연구에 사용된 실험모델은 다음 그림 7과 같이 구성되며, 이를 구성하기 위해 사용된 하드웨어 및 소프트웨어는 [18]에서 제시한 하드웨어 프로토타입과 네트워크 프로토콜 및 펌웨어에 네트워크 관리 시스템 기능을 추가로 구현하여 적용하였다.

본 연구에서 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 성능은 네트워크 트래픽 로드 에 따른 TRT(Token Rotation Time)와 RTT(Round Trip Time)를 통해 분석하였다. TRT는 MS/TP 토큰이 네트워크에 연결된 모든 MS/TP 통신노드를 순환하는데 소요되는 시간을 의미한다. 본 실험에서는 NMR 개체가 탑재되는 네트워크 관리자 노드(Node 0)가 토큰을 수신할 때 마다 TRT값을 측정하도록 하였다. RTT는 네트워크 관리자 노드(Node 0)가 각각의 필드제어기로부터 속성 값을 읽기 위해 사용되는 BACnet ConfirmedReadProperty 서비스 트랜잭션을 완료하기 위해 소요되는 시간으로 측정된다. 본 실험에서 네트워크 관리자(NMR) 개체는 매 5초마다 ReadProperty 서비스를 이용해 각 필드제어기의 NMA 객체의 Local\_Traffic\_Load 속성 값을 요청하며, 이로 인해 0.8%의 네트워크 트래픽이 추가 발생하게 된다. 그러나 이는 전체 네트워크 트래픽에 비해 차지하는 비율이 매우 낮으므로 전체 네트워크 시스템의 동작에 크게 영향을 미치지 않는다. 이때 네트워크 트래픽로드, TRT 및 RTT는 별도의 모니터링 장치가 아닌 각 노드에 탑재된 NMA 개체 및 NMR 개체를 통해 실시간으로 모니터링 된다. 그림 8은 네트워크 관리시스템을 통한 실시간 모니터링 화면을 보여준다.

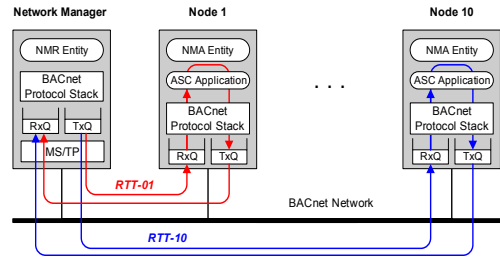


그림 6 Round Trip Time의 측정  
Fig. 6 Round Trip Time measurement

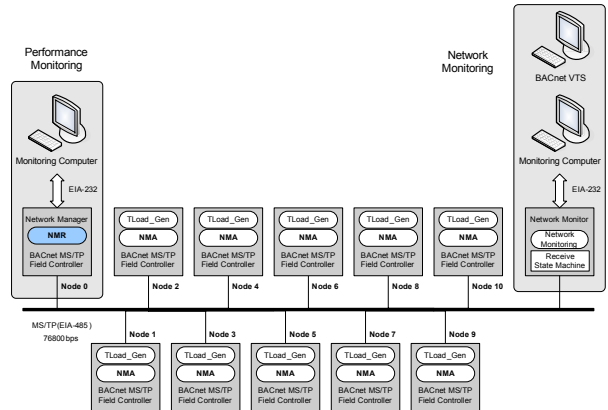


그림 7 실험모델 구성  
Fig. 7 Configuration of experimental model

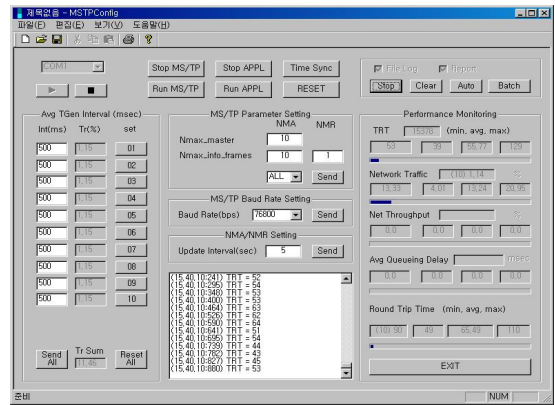


그림 8 실시간 온라인 모니터링 화면  
Fig. 8 Screen capture of real-time online monitoring

그림 9는 네트워크 트래픽 로드와 MS/TP 프로토콜의 네트워크 설정 파라미터인 N\_max\_info\_frames 값의 변화에 따른 평균 TRT의 변화를 측정한 결과이다. 실험 결과에서 X축은 %단위의 전체 네트워크 트래픽을 의미하고, Y축은 msec 단위의 측정 시간을 의미한다. N\_max\_info\_frames 값은 MS/TP 노드가 토큰을 수신하였을 때 전송할 수 있는 최대 프레임의 수를 제한한다. 그래프에서 보이는 바와 같이 N\_max\_info\_frames 값이 작은 값으로 설정되면, 각각의 노드는 높은 네트워크 트래픽 상황에서도 N\_max\_info\_frames 값까지만 메시지를 전송할 수 있도록 제한된다. 따라서 네트워크 트래픽이 증가하더라도 노드가 N\_max\_info\_frames 설정값 이상 전송할 수 없으므로 전

송되지 못한 메시지들은 전송 큐에 쌓이게 되고, 평균 TRT 값이 특정 값에 머무르게 된다. 그러나  $N_{max\_info\_frames}$  값이 큰 값으로 설정되면, 각각의 노드들이 토큰을 수신하여 최대  $N_{max\_info\_frames}$  설정값까지 메시지를 전송할 수 있으므로 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 평균 TRT가 지수적으로 증가하게 된다. 특히 전체 네트워크 트래픽이 50%를 넘으면 TRT가 급격히 증가하여 네트워크의 안정적인 동작을 보장할 수 없음을 알 수 있다. 이는 [12] 및 [13]에서 제시한 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 보이며, [14] 및 [15]의 실험 결과와 유사한 형태로 관측됨을 알 수 있다.

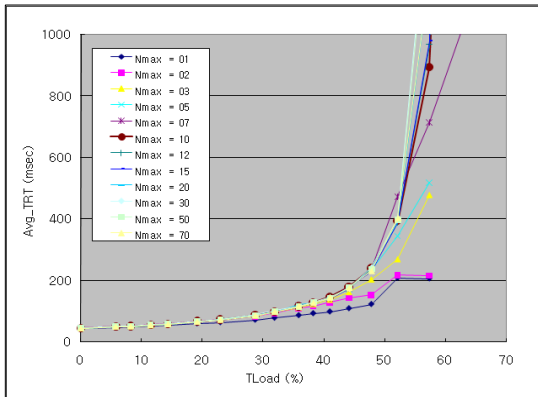


그림 9 평균 Token Rotation Time  
Fig. 9 Average token rotation time

그림 10은  $N_{max\_info\_frames}$  값을 [14] 및 [15]의 실험결과를 토대로 10으로 설정한 상태에서 네트워크 트래픽 변화에 따른 평균 RTT의 변화를 측정된 결과이다. 실험 결과에서 X축은 %단위의 전체 네트워크 트래픽을 의미하고, Y축은 msec 단위의 측정 시간을 의미하며, RTT는 그림 6에서 정의한 바와 같이 각각의 필드제어기별로 측정된 msec 단위의 Round Trip Time을 의미한다. 따라서 RTT-01은 네트워크 관리자 노드가 필드제어기 1번 노드에 대해 측정된 Round Trip Time을 의미하며, RTT-10은 필드제어기 10번 노드에 대해 측정된 Round Trip Time을 의미한다.

그림 10에 보이는 바와 같이 네트워크 관리자 노드에서 측정된 평균 및 최대 RTT값은 MS/TP의 노드 주소에 영향을 받는다. 동일한 네트워크 트래픽 환경에서 낮은 노드 주소의 RTT값이 높은 노드 주소의 RTT값보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 MS/TP 프로토콜에서 토큰이 낮은 주소로부터 높은 주소로 순환하기 때문이며, 높은 노드 주소의 필드제어기는 토큰이 이전 노드들에 의해 사용된 후 자신에게 전달될 때까지 기다려야 하므로 높은 노드 주소의 RTT가 더 큰 값으로 측정되는 것이다. 또한 본 연구에서는 네트워크 관리자 노드를 0번 노드 주소로 할당하였기 때문에 RTT-01이 가장 작고 RTT-10이 가장 큰 값으로 측정되었지만, 일반적인 경우라면 NMR 개체가 탑재된 네트워크 관리자 노드의 주소에 후속하는 순서대로 RTT값이 증가하게 된다. 따라서 BACnet MS/TP 네트워크 기반의 제어시스템을 설계하거나 설치할 때 시스템의 구성을 고려하여 각 장치의 MS/TP 노드 주소를 적절히 할당하여야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

또한 네트워크 트래픽이 증가할수록 각 노드들이 토큰을 소유하고 있는 동안 더 많은 메시지를 전송하게 되고, 이에 따라 네트워크 트래픽이 증가할수록 각 노드의 RTT간 차이도 함께 증가함을 알 수 있다. 평균 RTT 및 최대 RTT역시 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 지수적으로 증가함을 알 수 있으며, TRT의 경우와 마찬가지로 전체 네트워크 트래픽이 50%를 넘으면 RTT가 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이는 해당 노드가 네트워크를 통해 전송할 수 있는 능력에 비해 더 많은 네트워크 트래픽이 발생하여 전송되지 못한 메시지들이 송신 큐에 쌓이게 됨에 따라 송신 큐에서의 메시지 지연시간이 증가하기 때문이다.

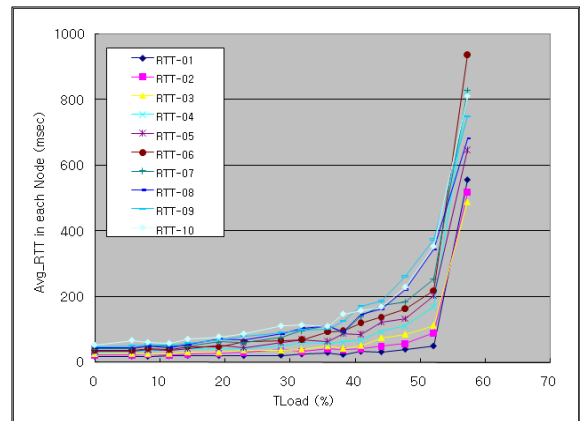


그림 10 평균 Round Trip Time  
Fig. 10 Average Round Trip Time

### 5. 결 론

본 연구에서는 BACnet 기반 네트워크 시스템의 성능을 감시하고 관리하기 위한 네트워크 관리 시스템의 참조모델을 제안하고 이를 구현하기 위한 방법을 소개하였으며 이를 실제 BACnet MS/TP 프로토콜 기반의 실험모델에 적용하여 그 유효성을 검증하였다.

본 연구에서 제안하는 네트워크 관리 시스템 모델은 기존의 BACnet 프로토콜과의 호환성을 유지하도록 BACnet의 객체지향 방식을 따라 설계하였으며 제안하는 구현 방법 또한 하드웨어에 의존적이지 않고 소프트웨어적으로 구현될 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템은 새로 개발되는 BACnet 기반의 자동제어 시스템뿐만 아니라 기존의 시스템에도 적용되어 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

향후 연구 과제로는 본 연구를 통해 개발된 네트워크 관리시스템을 BACnet MS/TP 프로토콜뿐만 아니라 BACnet Ethernet, BACnet/IP 및 BACnet/ZigBee 등의 다양한 데이터링크 프로토콜들로 구성되는 통합 네트워크 시스템 실험 모델에 적용하여 네트워크 시스템의 성능을 실증적으로 분석할 필요가 있으며, 시시각각 변화하는 네트워크 성능에 따라 네트워크 시스템의 자원을 동적으로 관리하기 위한 동적 네트워크 자원관리 알고리즘 및 동적 스케줄링 알고리즘 등에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 135-2008, BACnet: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. (ASHRAE), Atlanta, GA, 2008.
- [2] ISO 16484-5, Building Automation and Control Systems-Part 5. Data Communication Protocol, ISO, Washington, DC, 2003.
- [3] KS X 6909, 빌딩 자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.
- [4] ASHRAE Guideline 13-2000, Specifying Direct Digital Control Systems, ANSI/ASHRAE, Atlanta, GA, 2000.
- [5] 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, ANSI/ASHRAE, Atlanta, GA, 2000.
- [6] ANSI/ATA 878.1, Local Area Network: Token Bus (2.5Mbps), ARCnet Trade Association, 1992.
- [7] ANSI/EIA 709.1-A standard, The LonTalk Protocol Specification, Echelon Corporation, 1999.
- [8] TJ Park, YJ Chon, DK Park, SH Hong, "BACnet over ZigBee-A new approach to the wireless datalink channel for BACnet", IEEE/INDIN'07, pp33-38, Vienna, June 2007.
- [9] Reinisch, C. Kastner, W. Neugschwandtner, G. Granzer, W., "Wireless Technologies in Home and Building Automation", IEEE/INDIN'07, pp93-98, Vienna, June 2007.
- [10] KNX Specification, Version 1.1, Konnex Association, Diegen, 2004.
- [11] ANSI/ASHRAE Addendum q to ANSI/ASHRAE Standard 135-2008: Annex X, BACnet over ZigBee as a Datalink layer, ANSI/ASHRAE, Atlanta, GA, 2000.
- [12] W. S. Song, S. H. Hong and S. Bushby, "NISTIR 7038: A Simulation Analysis of the BACnet LANs", National Institute of Standard and Technology (NIST), August 2003.
- [13] Won Seok Song, Seung Ho Hong and Steven T Bushby, "A Performance Analysis of BACnet Local Area Networks", HVAC & R Research, Vol. 14, Issue 2, March 2008.
- [14] TaeJin Park, Won Seok Song and Seung Ho Hong "Experimental Performance Evaluation of BACnet MS/TP Protocol", International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 7, no. 5, pp.584-593, October 2007.
- [15] Tae-Jin Park, Seung Ho Hong, "Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System", IEEE Trans. on Automation Science and Engineering, vol. 6, no. 2, APRIL 2009.
- [16] ISO 7498, Information processing systems - Open Systems Interconnection-Basic Reference Model.
- [17] ISO/IEC 7498-4, Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model-Part4: Management Framework, 1989.
- [18] 박태진, 홍승호, "BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입 및 MS/TP 네트워크 감시 장치의 설계 및 구현", 전기학회논문지 제56D권, 제4호, pp. 799-808, 2007. 4.
- [19] <http://www.bacnet.org/WG/index.html>

저 자 소 개



박 태 진 (朴 泰 鎭)

1997년 한양대 제어계측공학과 졸업.  
 1999년, 2007년 동대학원 전자전기제어계  
 측공학과 졸업(공학석사, 공학박사).  
 (주)나라컨트롤 기술연구소, Siemens  
 Building Technologies Korea 기술연구  
 소, (주)화신 기술연구소, 현재 삼성중공  
 업 산업기술연구소 메카트로닉스센터 책  
 임연구원  
 Tel : 042-865-4713  
 Fax : 055-630-7673  
 E-mail : tj0809@nate.com