

네트워크 관리 시스템을 이용한 BACnet MS/TP 프로토콜의 실험적 성능해석

Experimental Performance Evaluation of BACnet MS/TP Protocol Using Network Management System

박 태 진*
(Taejin Park)

Abstract - In network-based control system, measurement and control information is delivered by the network messages. Therefore, the performance of control system is directly affected by the performance of network system. System engineers need to evaluate the performance of network system to maintain the entire system in stable condition. BACnet is an international standard data communication protocol especially designed for building automation and control systems. In this study, experimental performance evaluation methodologies of BACnet MS/TP protocol and their practical evaluation results are presented.

Key Words : BACnet MS/TP protocol, Network management, Experimental performance evaluation

1. 서 론

1980년대 이후 전자기술과 IT기술 및 통신기술의 눈부신 발전에 힘입어 제어 및 자동화 분야에서 네트워크 기반 제어시스템의 보급 및 적용이 활발히 이루어져 왔다. 중앙제어장치와 입출력 장치 간의 아날로그 신호 연결에 기반을 둔 중앙집중식 제어 시스템과 다르게 네트워크 기반의 분산 제어 시스템에서 모든 정보들은 네트워크 시스템에 연결된 장치들 간에 주고받는 메시지에 의해 전달된다. 따라서 네트워크 기반 제어시스템에서 상위 제어 시스템의 성능은 하부 네트워크 시스템의 성능에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 따라서 시스템 엔지니어가 상위 제어 시스템의 성능을 안정적으로 유지하기 위해서는 하부 네트워크 시스템의 성능을 분석하여 안정적으로 유지할 필요가 있다.

BACnet(Building Automation And Control Network)은 빌딩 자동화 및 제어 시스템에서 장치들 간의 데이터 통신을 규정하기 위해 개발된 빌딩 자동 제어 전용 데이터 통신 프로토콜이다[1]. BACnet은 1995년 미국의 냉난방공조학회인 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)에 의해 최초로 규격이 발표되었으며, 같은 해에 미국 ANSI 표준으로 등록되었다. 국내에서는 1999년 빌딩자동화 네트워크의 KS 표준 규격(KS X 6909)으로 채택되었고[2], 2003년에는 빌딩자동화 및 제어 시스템에 대한 전반적인 요구사항을 규정하고 있는 국제 규격인 ISO 16484의 빌딩 자동화 및 제어 시스템의 표준 통신 프로토콜로 채택되었다[3]. BACnet의 자세한 기술적 내용에 대한 설명은 [2], [3], [4], [6], [7], [10]을 참조하기 바란다.

본 연구에서는 선행연구인 [10]에서 제시한 네트워크 관리시스템(Network Management System, NMS)을 이용하여 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 성능을 실험적으로 해석하는 방법과 그 결과들을 제시한다. 본 연구의 결과는 실제 실험모델을 이용하여 분석한 실증적 데이터들로서 국내 BACnet 기반 빌딩 자동 제어 시스템의 개발 및 성능평가에 활용될 수 있다.

2. BACnet 성능해석 관련 선행연구

BACnet은 다양한 통신매체를 수용하기 위하여 Ethernet, ARCnet, PTP(Point-To-Point), MS/TP(Master-Slave/Token-Passing), LonTalk, BACnet/IP, ZigBee[4], KNX[5] 등 다양한 데이터 링크 계층 프로토콜을 선택사항으로 채택함으로써 네트워크의 확장성 및 유연성을 보장하고 있다. 그러나 이렇게 다양한 네트워크의 구성과 성능을 관리하기 위한 네트워크 관리 계층 또는 네트워크 관리 기능을 규정하고 있지 않고 있어 시스템 운영자 또는 엔지니어가 하부 네트워크 시스템의 상태를 분석하여 관리할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 특히 빌딩 자동제어 시스템의 경우 제어기에 탑재되는 응용 프로그램의 동작, 스케줄, 계절, 날씨, 이벤트, 알람 등 시스템의 운용 조건에 따라 그 동작이 달라지며 이에 따라 하부 네트워크 시스템의 동작과 성능도 시시각각 변하게 된다. 따라서 시스템 엔지니어가 일일이 수작업으로 시스템의 성능을 분석하여 관리한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 [10]에서는 기존 BACnet 규격을 준수하면서 별도의 부가 장치 없이 BACnet 네트워크 시스템의 성능을 관리할 수 있는 네트워크 관리 시스템(NMS)의 개념과 그 구현방법에 대해 소개하였다.

BACnet MS/TP 프로토콜은 RS-485 통신방식을 이용하는 토큰-패싱 프로토콜로 BACnet의 데이터링크 선택사항 중 필드레벨 네트워크로 주로 사용된다. 본 연구의 선행연구인 [8]과 [9] 역시 실험모델을 이용하여 BACnet MS/TP

* 정 회 원 : 대덕대학교 전자자동화과

E-mail : tj0809@ieee.org

접수일자 : 2012년 7월 27일

최종완료 : 2012년 10월 17일

네트워크 시스템의 성능과 실내 조명 제어 시스템의 성능에 대한 실험적 분석결과를 제시하고 있다. 그러나 [8]과 [9]는 시스템의 성능을 관측하기 위해 [7]에서 제안하고 있는 네트워크 감시 장치와 함께 각 제어기로부터 정보를 수집하여 분석하기 위한 별도의 데이터 수집 장치가 필요하므로 연구용으로는 적합하나 실제 빌딩 자동제어 시스템에 적용하여 사용하기에는 그 실효성에 한계가 있다. 반면 [10]에서 제시하고 있는 NMS 모델은 별도의 관측 장비 및 하드웨어 교체 없이 기존 필드제어기의 프로토콜 스택과 소프트웨어를 업그레이드 하여 네트워크의 성능을 측정하고 분석할 수 있다. 본 연구에서는 [10]에서 제안하고 있는 NMS 모델을 채택하여 실험모델을 구축하고, 실험을 통해 BACnet MS/TP 프로토콜의 성능을 분석한다.

3. 실험적 성능해석 방법

실험모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석은 실험모델의 구성과 실험조건 및 실험방법에 따라 그 결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 [6]에서 제시하고 있는 BACnet 기반 빌딩 자동 제어 시스템의 구성에 대한 가이드라인에 따라 그림 1과 같이 하나의 BACnet MS/TP 네트워크 세그먼트에 대한 실험모델을 구축하고 [11]에서 제시한 실험방법과 전제조건 및 유의사항 들을 반영하여 실험을 수행한다.

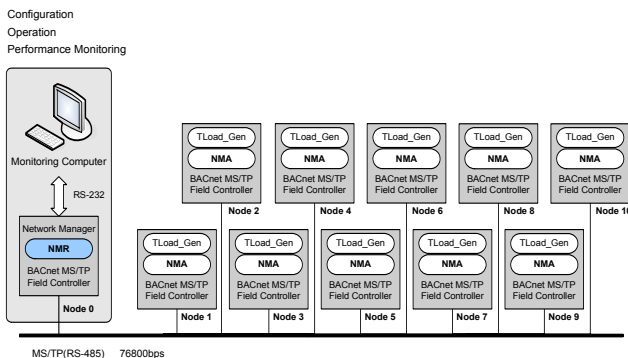


그림 1 실험모델 구성

Fig. 1 Configuration of experimental model

실험모델은 총 11개의 노드로 구성되며 모든 노드들은 [7]에서 제시한 필드제어기 하드웨어에 [10]에서 제시한 BACnet MS/TP 프로토콜 스택 및 NMS를 적용하여 구성된다. 0번 노드(Node 0)에는 네트워크 관리자 개체(NMR Entity)가 탑재되고 1번부터 10번까지의 노드들(Node 1~Node 10)에는 네트워크 관리 에이전트 개체(NMA Entity)가 탑재된다. 1번 노드에서 10번 노드에는 가상의 네트워크 트래픽을 발생하기 위한 트래픽 발생기(TLoad_Gen)가 응용 프로그램으로 탑재되어 실험 설정에 따라 지수분포를 갖는 메시지를 발생시킨다.

본 연구에서 BACnet MS/TP 프로토콜의 성능은 네트워크 트래픽 로드(Network Traffic Load)와 로컬 트래픽 로드(Local Traffic Load) 및 토큰 순환 시간(Token Rotation Time, TRT)과 메시지 순환 시간(Round Trip Time, RTT)으로 분석한다. 모든 노드들은 BACnet MS/TP 마스터 노드들로 구성되며, 마스터 노드가 토큰을 수신하였을 때 송신할 수 있는 최대 프레임의 개수를 지정하는 $N_{max_info_frames}$ 파라미터는 [8]과 [9]의 결과에 따라 10으로 설정된다.

3.1 트래픽 로드(Traffic Load)

[10]에서 제시한 바와 같이 각 노드에서의 로컬 트래픽 로드(Local_Traffic_Load)는 다음 식 (1)과 같이 정의된다. Avg_Frame_Length는 바이트 단위의 평균 프레임 길이를 의미하며, 이를 비트 전송시간으로 변경하기 위해서는 RS-485 통신방식에 따라 Start Bit와 End Bit를 고려하여 10비트로 계산한다. Baud_Rate는 초당 데이터 전송률로 본 실험에서는 78600bps로 고정하였다. Avg_Frame_Interval은 밀리초(ms) 단위의 평균 프레임 발생 간격을 의미한다. 따라서 Local_Traffic_Load는 데이터 전송률 대비 각 노드의 데이터 링크 송신 큐에 쌓이는 단위 시간 당 내부 트래픽의 양을 퍼센트(%) 단위로 표현하는 것으로 이해할 수 있다. Local_Traffic_Load 값은 데이터 링크 프레임이 송신 큐에 추가될 때 계산된다.

$$Local_Traffic_Load = \frac{100 \times Avg_Frame_Length \times 10}{(Baud_Rate \times Avg_Frame_Interval \div 1000)} \quad (1)$$

1번 노드부터 10번 노드의 NMA 개체는 위 식을 이용하여 자신의 노드에서 발생하는 로컬 트래픽 로드(Local_Traffic_Load)를 계산한다. NMR 개체는 NMA 개체로부터 Local_Traffic_Load를 수집하여 전체 Network_Traffic_Load를 계산한다.

3.2 토큰 순환 시간(Token Rotation Time, TRT)

RS-485 통신방식을 사용하는 BACnet MS/TP 프로토콜은 BACnet을 위해 특별히 고안된 일종의 토큰버스 프로토콜이다. 토큰은 낮은 주소에서 높은 주소로 순차적으로 전달되어 순환한다. BACnet MS/TP 프로토콜의 동작 및 구현 방법은 [7]에서 제시하였다. 본 연구에서 TRT는 NMR 개체가 탑재된 노드 0번이 매 번 토큰을 수신할 때마다 이전 토큰을 수신한 시간과의 차이를 밀리초(ms) 단위로 계산한다.

3.3 메시지 순환 시간(Round Trip Time, RTT)

일반적으로 네트워크 기반 제어 시스템에서 메시지 순환 시간은 서비스 요청 노드의 응용 계층에서 메시지가 발생한 순간부터 상대방 노드에 의한 응답이 서비스 요청 노드의 응용 계층에 도착하는 순간까지의 소요시간으로 정의된다. 그리고 네트워크 장치에서 대부분의 메시지 시간 지연은 송신 큐에서의 메시지 전송 대기시간에 의해 발생한다. 따라서 하나의 메시지 트랜잭션(Transaction)에서 발생하는 대부분의 시간 지연은 서비스를 요청하는 노드의 전송 큐에서의 메시지 전송 대기 시간과 서비스에 응답하는 노드의 전송 큐에서의 메시지 전송 대기 시간에 의해 크게 영향을 받는다. [10]에서 제안한 NMS에서는 네트워크 관리의 관점에서 네트워크 관리자 노드에 의한 시간 지연을 제외하고 네트워크 시스템과 상대방 노드들에 의해 발생하는 시간 지연을 측정하기 위하여 다음 그림 2와 같이 RTT를 정의하였다. RTT는 [10]의 경우와 동일하게 메시지가 네트워크 관리자 노드의 송신 큐를 떠나는 순간부터 상대방 노드에 의한 응답이 네트워크 관리자의 수신 큐에 도착하는 순간까지의 소요 시간으로 정의된다.

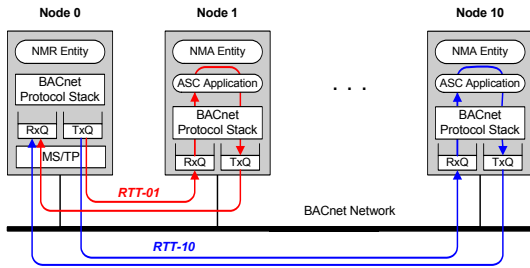


그림 2 RTT의 정의
Fig. 2 Definition of Round Trip Time

3.4 트래픽 로드 설정

앞서 언급한 바와 같이 네트워크 기반 빌딩 자동 제어 시스템에서 발생하는 네트워크 트래픽은 각 제어기에 탑재된 응용 프로그램의 동작, 계절, 온도, 시간, 날씨, 이벤트, 알람, 사용자 명령 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 예를 들어 사무용 건물의 경우 출근 시간대에는 조명, 냉난방, 출입통제 등 네트워크 상의 모든 노드들에서 메시지 발생 빈도가 함께 증가한다. 그러나 여름철 최대 전력 수요 제어를 수행하는 경우 전력제어와 관련된 특정 장치에서의 메시지 발생 빈도가 증가하게 된다. 이러한 트래픽 로드 환경을 고려하여 본 연구에서는 (1)모든 노드들이 동일한 트래픽 로드를 가지고 증가하는 대칭형 트래픽 로드 환경과 (2)특정 노드의 트래픽이 다른 노드들에 비해 집중되는 집중형 트래픽 로드 환경 및 (3)특정 노드에서의 트래픽 로드만 급격히 증가하는 단독 트래픽 로드 환경으로 나누어 성능을 측정한다.

4. 성능해석 결과 및 분석

4.1 대칭형 트래픽 로드 환경

대칭형 트래픽 로드 환경은 모든 네트워크 장치에서 유사하게 네트워크 트래픽을 발생하는 경우를 가정한 것으로 다음 그림 3과 같이 네트워크 관리자 노드를 제외한 노드 1번부터 노드 10번까지 각 노드들의 트래픽 발생기(TLoad_Gen)의 평균 메시지 발생 빈도를 동일하게 설정하여 증가시키면서 네트워크 시스템의 성능을 측정한다.

그림 4는 대칭형 트래픽 로드 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 각 노드에서의 평균 Local_Traffic_Load를 측정한 결과이다. 그림 4에서 X축은 전체 네트워크의 트래픽 로드 설정 값을 의미하며 Y축은 각 노드에서 측정된 평균 Local_Traffic_Load 값을 의미한다.

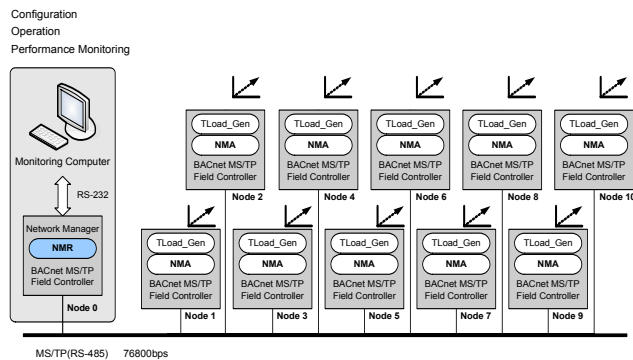


그림 3 대칭형 트래픽 로드 환경
Fig. 3 Symmetric Traffic Load Condition

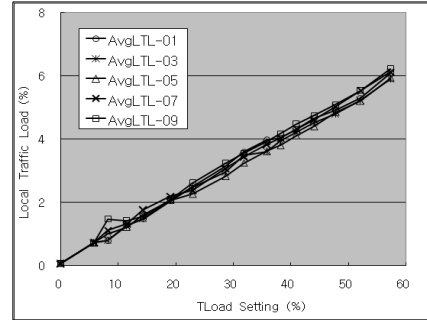


그림 4 대칭 환경에서 평균 Local_Traffic_Load 측정 결과
Fig. 4 Average Local_Traffic_Load in Symmetric Condition

그림 4에 보이는 바와 같이 전체 네트워크의 트래픽 로드의 설정 값이 증가함에 따라 각 노드에서 측정되는 평균 Local_Traffic_Load 값이 모든 노드들에서 유사한 형태로 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 시스템 엔지니어는 NMS를 통해 각 노드에 내부에서 발생하는 Local_Traffic_Load를 측정하여 감시할 수 있다.

그림 5는 대칭 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 전체 네트워크의 평균 및 최대 Network_Traffic_Load를 측정한 결과이다.

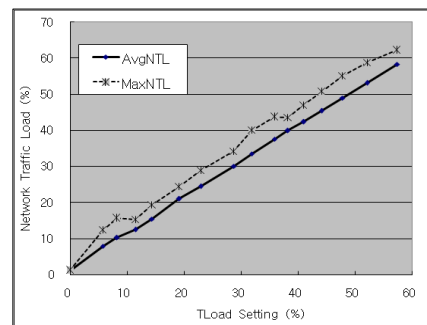


그림 5 대칭 환경에서 평균 및 최대 Network_Traffic_Load
Fig. 5 Average and Maximum Network_Traffic_Load in Symmetric Condition

그림 5에 보이는 바와 같이 전체 네트워크의 트래픽 로드의 설정 값이 증가함에 따라 NMS를 통해 전체 네트워크의 평균 및 최대 트래픽 로드가 정상적으로 측정됨을 알 수 있다. 즉 그림 4와 그림 5의 결과는 시스템 엔지니어가 NMS를 통해 별도의 부가장치 없이 전체 네트워크의 트래픽뿐만 아니라 각 장치의 내부에서 발생하는 평균 및 최대 트래픽 로드를 온라인 상에서 실시간으로 관측하여 관리할 수 있음을 보여준다. 시스템 엔지니어는 NMS를 통해 전체 네트워크 트래픽 로드 및 로컬 트래픽 로드를 관측하고 분석하여 이상 현상에 대해 수정, 보완 및 예방 조치를 취함으로써 네트워크 시스템의 성능을 안정적으로 유지할 수 있다.

그림 6은 대칭 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 평균 및 최대 TRT를 측정한 결과이다. 그림 6에서 X축은 전체 네트워크의 트래픽 로드 설정 값을 의미하며 Y축은 네트워크 관리 노드에서 측정된 밀리세컨드(ms) 단위의 TRT 값을 의미한다.

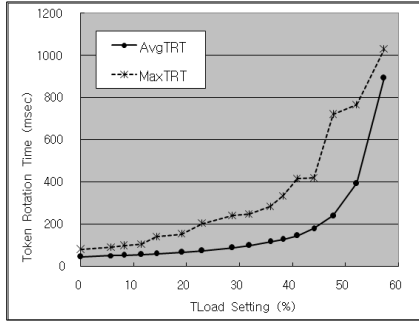


그림 6 대칭 환경에서 평균 및 최대 Token Rotation Time
Fig. 6 Average and Maximum TRT in Symmetric Condition

그림 6에 보이는 바와 같이 전체 네트워크의 트래픽 로드 설정 값이 증가함에 따라 평균 및 최대 TRT 값이 지속적으로 증가한다. 이는 [6]에서 제시한 시뮬레이션 결과 및 [8], [9]에서 제시한 실험 결과와 유사한 결과를 보여준다. 그러나 그림 6의 측정 결과는 별도의 데이터 수집 장치 없이 NMS만을 이용하여 온라인 상에서 MS/TP 네트워크의 토큰 순환 시간을 실시간으로 측정된 결과라는 점에서 차이가 있다.

다음 그림 7은 대칭 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 각 노드에 대한 평균 RTT를 측정된 결과이다. 그림 7에서 X축은 전체 네트워크의 트래픽 로드 설정 값을 의미하며 Y축은 네트워크 관리 노드에서 측정된 밀리세컨드(ms) 단위의 RTT 값을 의미한다. 즉 RTT-01은 1번 노드에 대한 RTT 측정값이며, RTT-09는 9번 노드에 대한 RTT 측정값을 의미한다.

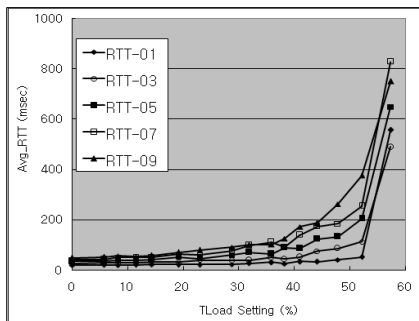


그림 7 대칭 환경에서 평균 Round Trip Time
Fig. 7 Average RTT in Symmetric Condition

그림 7에 보이는 바와 같이 네트워크 관리자 노드에서 측정된 RTT 값은 MS/TP 프로토콜의 노드 주소에 의해 영향을 받는다. 즉 낮은 주소의 메시지 응답이 높은 주소의 메시지 응답보다 빠르다. 이는 MS/TP 프로토콜의 규약 상 토큰이 낮은 주소로부터 높은 주소로 순환하기 때문이며, 높은 주소의 노드는 토큰이 이전 노드들 거쳐 자신에게 전달될 때까지 기다려야 하므로 높은 주소의 RTT가 더 큰 값을 갖는 것이다. 또한 본 실험에서 네트워크 관리자 노드의 주소를 0번으로 할당하였기 때문에 RTT-01이 가장 작고 RTT-10이 가장 큰 값으로 측정되었지만, 일반적인 경우라면 NMR 개체가 탑재된 네트워크 관리자 노드의 주소에 다음 주소의 노드에서 RTT 값이 가장 작고 네트워크 관리자

노드 직전의 주소로 할당된 노드에서의 RTT 값이 가장 크게 된다. 따라서 BACnet MS/TP 네트워크 기반의 제어 시스템을 설계하거나 설치할 때 시스템의 구성을 고려하여 각 장치의 MS/TP 노드 주소를 적절히 할당하여야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

4.2 집중형 트래픽 로드 환경

일반적으로 빌딩 자동제어 시스템은 제어 프로그램이 탑재되는 하나의 빌딩 제어기에 여러 대의 필드제어기가 연결되어 구성된다. 이 경우 네트워크 트래픽은 제어 프로그램이 탑재되는 빌딩 제어기에 집중된다. 집중형 트래픽 로드 환경은 이와 같이 특정 노드에 네트워크 트래픽이 집중되는 환경을 가정한 것으로 그림 8과 같이 필드제어기로 동작하는 2번 노드부터 10번 노드에서는 트래픽 로드가 0에서 3%로 동일하게 증가하는 동안 빌딩 제어기를 가정한 1번 노드에서는 0에서 30%로 10배의 트래픽 로드가 발생하도록 설정한다.

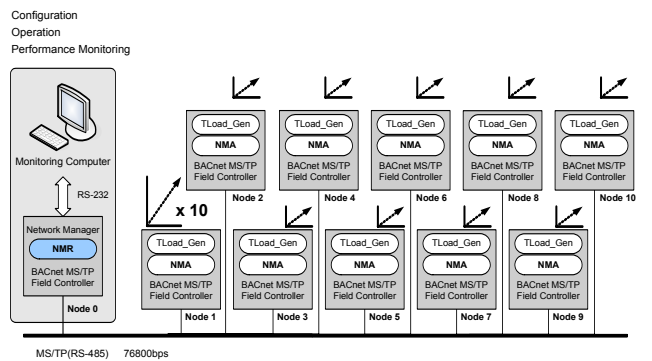


그림 8 집중형 트래픽 로드 환경
Fig. 8 Centralized Traffic Load Condition

그림 9는 집중형 트래픽 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 각 노드에서의 평균 Local_Traffic_Load를 측정된 결과이다. 그림 9에 보이는 바와 같이 집중형 환경의 실험 설정대로 Local_Traffic_Load가 2번 노드부터 10번 노드에는 0에서 3%까지 서서히 증가하는 동안 노드 1번에는 0에서 27%까지 약 10배의 트래픽 로드가 발생하고 있으며 이러한 데이터들이 별도의 데이터 수집 장치 없이 NMS를 통해 온라인 상에서 실시간으로 측정되고 있음을 알 수 있다. 따라서 시스템 엔지니어는 NMS를 통해 특정 노드에

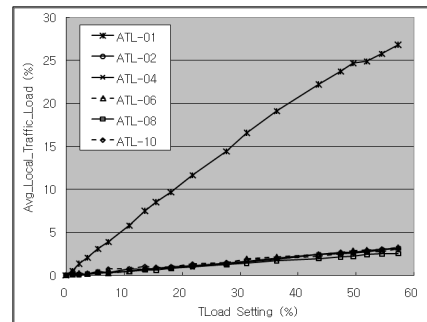


그림 9 집중형 환경에서 평균 Local_Traffic_Load
Fig. 9 Average Local_Traffic_Load in Centralized Condition

트래픽 로드가 집중되는 현상과 그 변화추이를 실시간으로 모니터링하면서 적절한 조치를 취함으로써 시스템의 성능을 안정적으로 유지할 수 있다.

그림 10은 집중형 트래픽 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 평균 및 최대 TRT를 측정된 결과이다. 집중형 환경에서의 TRT의 변화 추이는 그림 6의 대칭형 환경에서의 TRT의 변화 추이와 유사하게 전체 트래픽 로드가 50%를 넘으면서 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 1번 노드에서 트래픽이 집중되어 증가함에 따라 1번 노드에서의 토큰 점유시간이 증가하고 이에 따라 전체 토큰 순환 시간이 지속적으로 증가하기 때문이다. 이 결과를 통해 비록 나머지 노드들에서 로컬 트래픽이 상대적으로 적게 발생하더라도 특정 노드의 로컬 트래픽이 증가하여 전체 네트워크 트래픽이 50%를 넘으면 전체 네트워크의 토큰 순환 시간이 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 네트워크 관리자는 비대칭 환경에서도 전체 트래픽 로드가 50%를 넘지 않도록 관리할 필요가 있음을 알 수 있다.

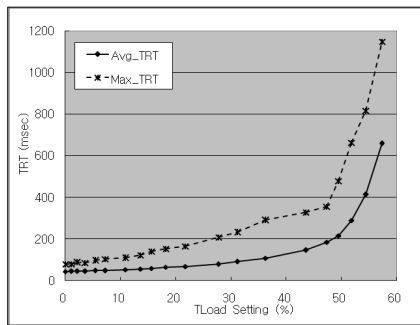


그림 10 집중형 환경에서 평균 및 최대 TRT
Fig. 10 Average and Maximum TRT in Centralized Condition

그림 11은 집중형 환경에서 네트워크 관리자 노드에서 측정된 각 노드에 대한 평균 RTT를 측정된 결과이다.

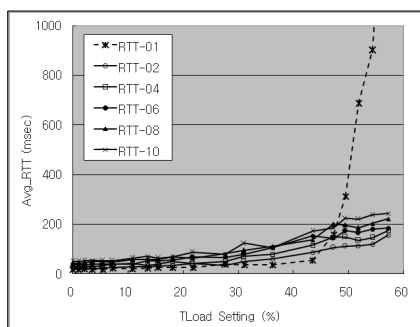


그림 11 집중형 환경에서 평균 RTT
Fig. 11 Average RTT in Centralized Condition

그림 11의 측정결과는 그림 7의 대칭형 환경에서의 결과와 다르게 전체 네트워크 트래픽이 채 50%가 되기 전에 1번 노드의 평균 RTT(RTT-01)가 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 1번 노드에서 발생하는 로컬 트래픽에 비해 $N_{max_info_frames}$ 파라미터의 설정 값이 10으로 제한됨에 따라 전송되지 못한 메시지들이 송신 큐에 쌓임으로써 메시지 전송 대기시간이 증가하기 때문이다. 그러나 이 경우 송신 큐

에서의 메시지 대기 시간의 증가나 RTT의 증가보다도 더욱 문제가 되는 것은 지속적으로 과도하게 발생하는 메시지들로 인해 전송되지 못한 메시지들이 송신 큐에서 폐기(discard)되거나 새로운 메시지들로 덮여(overwrite)질 수 있다는 것이다. 또한 위 실험 결과에서 주목할 만 한 점은 1번 노드에 10배의 트래픽이 집중되는 환경에서도 네트워크 트래픽이 45%를 넘지 않으면 1번 노드에서의 평균 RTT(RTT-01) 값이 다른 노드들의 평균 RTT값 보다 작게 유지된다는 것이다. 즉 집중형 트래픽 로드 환경에서도 전체 네트워크의 트래픽을 45% 이하로 유지하여야 시스템의 안정적인 동작을 보장할 수 있음을 알 수 있다.

4.3 단독 트래픽 로드 환경

단독 트래픽 로드 환경은 네트워크 상의 특정 노드에서 트래픽이 증가함에 따라 전체 네트워크 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위하여 그림 12와 같이 노드 2번부터 노드 10번까지는 로컬 트래픽 로드가 2.86%로 고정된 상태에서 노드 1번의 트래픽이 2.86에서 30.15%로 점차 증가하도록 설정된다.

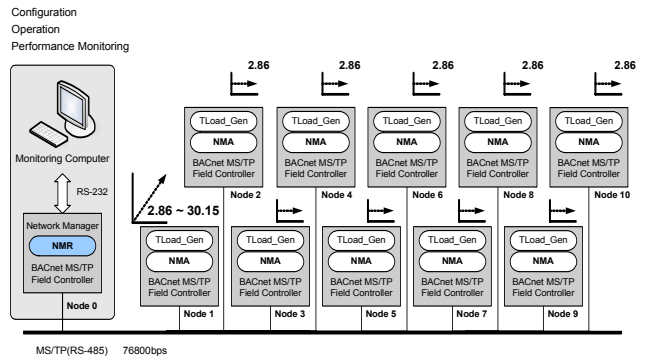


그림 12 단독 트래픽 로드 환경
Fig. 12 Unit Traffic Load Condition

그림 13은 단독 트래픽 로드 환경에서 전체 네트워크 트래픽의 증가에 따른 평균 및 최대 TRT 값을 측정된 결과이다. 그림 12의 설정에 따라 전체 네트워크 트래픽이 28.6에서 60%까지 증가함에 따라 평균 및 최대 TRT가 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 그림 6의 대칭형 환경에서의 측정 결과 및 그림 10의 집중형 환경에서의 결과와 유사하며 이를 통해 전체 네트워크 트래픽의 분포 형태가 토큰 순환 시간에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

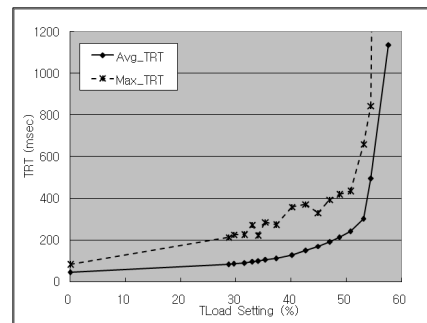


그림 13 단독 트래픽 로드 환경에서 평균 및 최대 TRT
Fig. 13 Average and Maximum TRT in Unit Load Condition

그림 14는 단독 트래픽 로드 환경에서 네트워크 관리자 노드에서 각 노드에 대한 평균 RTT 값을 측정된 결과이다. 전체 네트워크 트래픽이 28.6에서 60%까지 증가함에 따라 로컬 트래픽이 고정된 노드 2번부터 노드 10번에 대한 RTT 값이 조금씩 증가하는 반면 전체 네트워크 트래픽이 47%를 넘으면서 노드 1번의 RTT(RTT-01) 값이 급격히 증가한다. 이는 그림 11의 집중형 환경에서의 RTT 측정 결과와 유사함을 알 수 있다. 즉 그림 11과 그림 14의 결과를 통해 네트워크 트래픽 로드가 특정 노드에 집중되어 증가하거나 특정 노드에서의 로컬 트래픽 로드가 급격히 증가하더라도 다른 노드들에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 오히려 특정 노드에서 전송되지 못한 메시지들이 쌓여 넘치는 메시지 오버플로우(Message Overflow)현상이 발생하게 되므로 시스템 엔지니어가 전체 네트워크 트래픽 로드가 50%를 넘지 않도록 유지하는 것과 함께 각 노드에서 발생 되는 로컬 트래픽 로드를 모니터링 하여 관리하는 것이 중요하다 것을 알 수 있다.

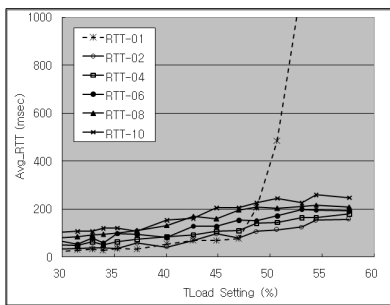


그림 14 단독 트래픽 로드 환경에서 평균 및 최대 TRT
Fig. 14 Average and Maximum TRT in Unit Load Condition

5. 결 론

본 연구에서는 BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템(NMS)을 이용한 실험적 성능해석 방법과 BACnet MS/TP 실험모델을 통한 성능 해석 결과들을 제시하였다. 본 실험 결과 시스템의 안정적인 동작을 보장하기 위해 시스템 엔지니어는 전체 네트워크의 트래픽 로드뿐만 아니라 각 노드의 로컬 트래픽 로드도 관측하여 관리할 필요가 있으며, 본 연구에서 제시한 NMS 및 성능 해석 방법들을 이용할 경우 별도의 부가장치 없이 온라인 상에서 실시간으로 네트워크의 성능을 분석할 수 있음을 보였다. 본 연구에서 제시된 실험적 성능해석 방법과 실험 결과들은 BACnet MS/TP 기반의 빌딩 자동제어 시스템의 개발 및 성능평가에 활용될 수 있다.

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] KS X 6909, 빌딩 자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.
 [3] ISO 16484-5, Building Automation and Control Systems-Part 5. Data Communication Protocol, ISO, Washington, DC, 2003.
 [4] ANSI/ASHRAE Addendum q to ANSI/ASHRAE Standard 135-2008: Annex X, BACnet over ZigBee as a Datalink layer, ANSI/ASHRAE, Atlanta, GA, 2000.
 [5] KNX Specification, Version 1.1, Konnex Association, Diegem, 2004.
 [6] 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.
 [7] 박태진, 홍승호, "BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입 및 MS/TP 네트워크 감시 장치의 설계 및 구현", 전기학회논문지 제56D권, 제4호, pp. 799-808, 2007. 4.
 [8] 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.
 [9] 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.
 [10] 박태진 "BACnet을 위한 네트워크 관리 시스템의 설계 및 구현", 전기학회논문지 제58권, 제11호, pp. 2253-2260, 2009. 11.
 [11] 박태진 "BACnet MS/TP 프로토콜의 실험적 성능해석 방법에 관한 연구", 2011 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1744-1745, 2011. 11.

저 자 소 개



박 태 진 (朴 泰 鎭)

1997년 한양대 제어계측공학과(공학사), 1999년, 2007년 동대학원 전자전기제어계측공학과(공학석사, 공학박사).
 (주)나라컨트롤 기술연구소, Siemens Building Technologies 기술연구소, 삼성중공업 산업기술연구소 책임연구원, 현재 대덕대학교 전자자동화과 전임강사
 Tel : 042-866-0387
 Fax : 042-866-0368
 E-mail : tj0809@ieee.org