

Study on the Performance Analysis of Building Automation Network

洪承鎬* · 宋沅錫**
(Seung-Ho Hong · Won-Seok Song)

Abstract - BACnet is a standard data communication protocol for building automation and control systems. MS/TP is most widely used LAN protocol for data communication among field devices in the BACnet-based building automation. In this study, the performance of MS/TP protocol is investigated using a simulation model. This study evaluates the delay characteristics of MS/TP being used to deliver a BACnet application service. Analysis of the simulation results was used to identify the network parameters that influence the performance of BACnet application service and to develop recommendations that should be considered when designing and operating BACnet systems.

Key Words : BACnet, MS/TP, Simulation, Performance, Evaluation

1. 서 론

네트워크 기반의 빌딩자동화 시스템에서는 공조, 조명, 방범, 방재, 수송 등을 포함하는 건물 설비의 모니터링, 제어 및 관리와 관련된 데이터들이 네트워크를 통하여 전달된다 [1,2]. 이러한 환경에서 네트워킹으로 인한 데이터 지연시간이 미리 지정된 한계치를 초과하는 경우에는 실시간 동작을 요구하는 빌딩자동화 시스템의 성능 요구사항이 충족되지 못할 수 있다. 따라서 네트워킹을 기반으로 하는 빌딩자동화 시스템을 구축하는 경우 시스템 설계자는 해당 네트워크의 성능에 대한 특성을 충분히 파악하고 있어야 한다.

BACnet(Building Automation and Control network)[3]은 빌딩의 자동화 및 제어를 위하여 개발된 ISO 국제표준 통신망 프로토콜로서[4], 국내에서도 빌딩자동화 및 제어통신망의 KS 표준 규격으로 제정되었다[5]. BACnet은 데이터링크 계층의 LAN 프로토콜로 Ethernet, ARCNET, MS/TP, LonTalk 등을 채택하고 있으나, 필드에 설치된 센서, 제어기, 구동기 등의 제어 장비들간의 실시간 통신으로는 MS/TP 프로토콜이 가장 널리 사용되고 있다. MS/TP 프로토콜에서 데이터 지연시간에 대한 성능을 해석한 연구 결과는 그러나 아직 국내의적으로 발표되지 않았다. 본 연구에서는 MS/TP를 하부통신 프로토콜로 채택한 BACnet 시스템의 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 이를 통하여 MS/TP 프로토콜이 BACnet의 응용계층에서 요구하는 통신 서비스를 수행하는데 있어서 데이터 지연시간 특성을 분석하였다. 또한, MS/TP의 프로토콜 파라미터들이 데이터 지연시간의

성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구를 통하여 제시된 데이터 지연시간 성능 분석의 결과는 MS/TP를 기반으로 하는 BACnet 통신망의 설계 및 운용에 직접 활용될 수 있다.

2. BACnet 개요

2.1 BACnet 구조

기존의 빌딩자동화 시스템에서는 개방화되지않은 통신망들이 사용되었다. 이러한 폐쇄형 통신망에서는 서로 다른 공급업체에서 제공된 장비들간의 통신에 있어서 호환성을 제공하지 못하는 문제점을 가지고 있었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 미국의 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)에서는 빌딩자동화 및 제어용 통신망 프로토콜의 표준 규격인 BACnet을 제정하였다[6,7].

BACnet 프로토콜의 구조는 물리계층, 데이터링크계층, 네트워크계층 및 응용계층의 네 계층으로 구성된다. 응용계층은 23개의 표준화된 객체(object)를 정의하며, 응용계층의 통신서비스는 크게 5개의 클래스로 구분된다. 정의된 표준 객체들은 빌딩자동화 및 제어시스템에서 일반적으로 요구되는 기능들을 반영하고 있으며, 통신서비스는 빌딩자동화 장비들간에 교환되는 다양한 종류의 메시지들을 정의한다. BACnet의 데이터링크계층은 Ethernet, ARCNET, MS/TP, PTP(Point-To-Point), LonTalk의 다섯가지 LAN을 매체접속제어 프로토콜로 채택하고 있다. BACnet은 빌딩의 규모, 자동화시스템의 기능 및 성능 요구사항, 시스템 구축 비용 등을 고려하여 사용자가 최적의 LAN을 선택하도록 하고 있다. 사용자는 이러한 다섯가지 프로토콜의 조합을 통하여 다양한 형태의 네트워크 시스템을 구성할 수 있다. BACnet의 네트워크 계층은 이러한 다양한 하부계층 LAN

* 正 會 員 : 漢陽大 工大 전자컴퓨터공학부 敎授 · 工博

** 準 會 員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測學科 博士課程

接受日字 : 2003年 3月 17日

最終完了 : 2003年 5月 1日

들간의 상호 연결을 위한 라우팅 기능을 제공한다. 참고문헌 [8]에는 BACnet 통신망의 계층구조와 각 계층에서 지원하는 통신서비스 등의 BACnet에 대한 전반적인 기술의 개요가 제시되어 있다.

2.2 MS/TP 프로토콜

본 절에서는 MS/TP(Master-Slave/Token-Passing) 프로토콜에 대하여 간략히 기술한다. MS/TP는 전송 매체로 꼬임쌍선을 사용하며, EIA-485 시그널링을 사용함으로써 저렴한 가격으로 필드 장비들 간에 BACnet의 LAN 통신을 구현할 수 있도록 하였다. MS/TP는 마스터/슬레이브와 토큰-패싱의 두가지 전송 방식을 동시에 지원한다. MS/TP는 9.6, 19.2, 38.4 및 76.8 Kbps의 전송 속도를 지원하며, 대부분의 상용제품들은 76.8 Kbps로 동작된다.

MS/TP의 마스터 노드는 매체 접속을 위하여 토큰 프레임임을 사용한다. 토큰은 노드주소에 의하여 미리 정해진 순서에 따라 마스터 노드들을 순환한다. 토큰을 수신한 마스터 노드는 마스터 또는 슬레이브 노드로 최대 $N_{max_info_frames}$ (이하 N_{max} 로 표기)개까지의 메시지를 전송한 후 다음 마스터 노드로 토큰을 넘긴다. 여기서 N_{max} 는 사용자가 지정할 수 있는 통신망 파라미터이다. 마스터 노드는 50번의 토큰을 수신한 후 *Poll_For_Master* 프레임을 전송함으로써 새로운 마스터 노드가 토큰링에 가입할 수 있도록 한다.

슬레이브 노드는 토큰을 갖지 못하며, 마스터 노드의 요구(request) 프레임에 대한 응답(reply) 프레임만을 전송할 수 있다. 마스터 노드는 또한 다른 마스터 노드에게도 요구 프레임을 전송할 수 있다. 요구 프레임을 수신한 마스터 노드는 응답이 준비된 경우에는 즉시 응답 프레임을 전송하고, 그렇지 않은 경우에는 일단 *Reply_Postponed* 프레임을 보낸 후 응답이 준비된 다음에 토큰을 받으면 응답 프레임을 보낸다.

표 1은 MS/TP 네트워크의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 주요 네트워크 파라미터들 및 규격에서 제시하는 파라미터의 제한값을 보여준다. BACnet 규격서에는 이러한 파라미터들의 제한값만이 제시되어 있을 뿐이며, 실제 통신망 구축 시 이러한 파라미터들이 통신망의 성능에 미치는 영향과 이들을 어떻게 설정하여야 할 것인가에 대하여서는 언급하지 않고 있다.

표 1 주요 MS/TP 네트워크 파라미터

Table 1 Most important network parameters of MS/TP protocol

파라미터	설 명	규격 제한값
N_{max}	토큰을 수신한 마스터 노드가 토큰을 전달하기 이전에 보낼 수 있는 프레임의 최대 개수.	사용자 정의 (사용자 지정이 불가능한 경우는 1)
$T_{turnaround}$	노드가 수신 프레임의 마지막 옥텟을 수신한 후 EIA-485드라이버를 활성화 시키는데 소요되는 시간의 최소 허용값	40 bit times
T_{usage_delay}	노드가 토큰 또는 <i>Poll_For_Master</i> 프레임을 수신한 후 프레임의 첫번째 옥텟을 전송하는데 소요되는 시간의 최대 허용값.	15 msec
T_{reply_delay}	노드가 응답을 요구하는 프레임을 수신한 후 응답 프레임의 첫번째 옥텟 또는 <i>Reply_Postponed</i> 프레임을 전송하는데 소요되는 시간의 최대 허용값	250 msec

3. BACnet 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 MS/TP 프로토콜을 하부계층 LAN 프로토콜로 채택하는 BACnet 시스템의 성능을 시뮬레이션 모델을 통하여 분석한다. 통신망 시스템은 이산사건시스템(Discrete-Event Dynamic System)으로 분류된다. 이산사건 시스템에서는 사건(event)이 발생할 때마다 시스템의 상태가 변화하며, 이러한 사건들은 일반적으로 불규칙하게 발생한다[9]. 본 연구에서는 BACnet 통신망의 시뮬레이션 모델을 ARENA[10]를 이용하여 개발하였다. ARENA는 통신망을 포함하는 모든 이산사건시스템을 시뮬레이션 모델링하는데 사용되는 범용 개발 도구이다.

ARENA는 이산사건시스템의 모델링에 필요한 기본적인 템플릿을 제공하며, 본 연구에서는 이러한 기본적인 템플릿을 사용하여 BACnet 모델링에 필요한 새로운 템플릿들을 개발하였다. 그림 1에는 본 연구를 통하여 개발된 시뮬레이션 모델의 구조가 제시되었다. 그림에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 모델은 공통 모듈, 응용계층 모듈 및 MS/TP 프로토콜 모듈의 독립적으로 동작되는 세 개의 모듈로 구성된다.

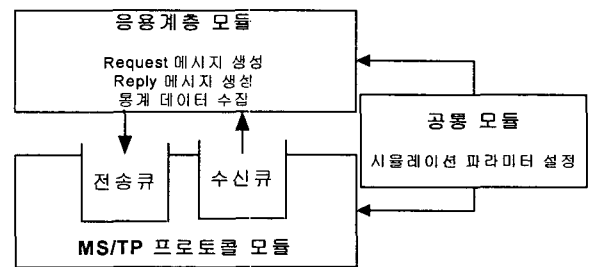


그림 1 BACnet 시뮬레이션 모델 구조
Fig. 1 Structure of BACnet simulation model.

그림 2는 본 연구를 통하여 개발된 시뮬레이션 모델의 샘플 윈도우를 보여준다. 그림에서 좌측 상단부에는 시뮬레이션 시간과 반복 회수 등을 설정하고 MS/TP 네트워크 파라미터를 설정하는 모듈을 보여주며, 좌측 하단부에는 MS/TP 프로토콜 모듈과 응용계층 모듈로 구성된 MS/TP 노드 5개로 구성된 간단한 MS/TP 시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 보여준다. MS/TP 네트워크 파라미터는 그림의 우측에 보이는 것과 같은 대화창을 사용하여 설정할 수 있다.

4. MS/TP 기반의 BACnet 성능 해석

본 장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 MS/TP를 LAN 프로토콜로 채택한 BACnet의 성능을 분석한다. 본 연구에서 네트워크의 트래픽 부하는 다음과 같이 G 로 정량화한다.

$$G = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{T_i}$$

여기서 B 는 미디어의 데이터 전송속도(bits/sec), N 은 미디어 내에 접속된 노드의 개수, T_i 는 노드 i 에서 생성되는 메시지의 평균 발생 주기(sec), L_i 는 노드 i 에서 생성되는 메시지의 평균 길이(bits)를 나타낸다. G 는 0과 1사이에서 결정되며, 1에 접근할수록 트래픽 부하는 증가된다.

본 연구에서는 BACnet의 성능을 MS/TP 통신망에서 가장 빈번히 사용되는 *Read Property* 서비스의 서비스 지연 시간을 통하여 분석하였다. *Read Property* 서비스는 빌딩 자동화 장비에 관한 정보와 기능 및 동작을 표현하는 객체(object)가 가지는 속성(property)을 읽어오는 통신서비스로서, 실제 자동화 시스템에서 필드장비의 변수 값을 읽어오는데 주로 사용되는 서비스이다. 여기서 서비스 지연시간은 하나의 *Read Property* 서비스를 수행하는데 소요되는 시간을 말한다. *Read Property* 서비스는 확인(confirmed) 서비스로 처리되며, 서비스 지연시간은 클라이언트에서 요구 메시지가 전송큐에 도착한 시간부터 그에 대한 서버의 응답 메시지가 클라이언트의 수신큐에 도착한 시간으로 정의된다.

본 연구에서는 빌딩의 제어에 사용되는 변수가 실수 값을 가지는 것으로 가정하여 *Read Property* 서비스의 요구/응답 메시지의 길이를 각각 23 bytes/29 bytes로 설정하였다. 네트워크의 속도는 $B = 76.8$ Kbps를 사용하였으며, 메시지

의 생성은 불규칙한 생성주기의 포와송 분포를 갖는 것을 가정하였다. 트래픽 부하는 메시지 생성 주기를 변화시킴으로써 조절하였다.

4.1 단일마스터 시스템의 성능 해석

본 절에서는 MS/TP 프로토콜이 단일 마스터 시스템으로 동작되는 폴링 방식에서의 성능을 해석한다. 단일 마스터 시스템은 하나의 마스터와 여러 개의 슬레이브들로 구성되며, 마스터 노드는 슬레이브 노드들을 순차적으로 폴링 함으로써 데이터 통신이 이루어진다. 본 절에서 슬레이브 노드의 개수는 31개로 가정하였다.

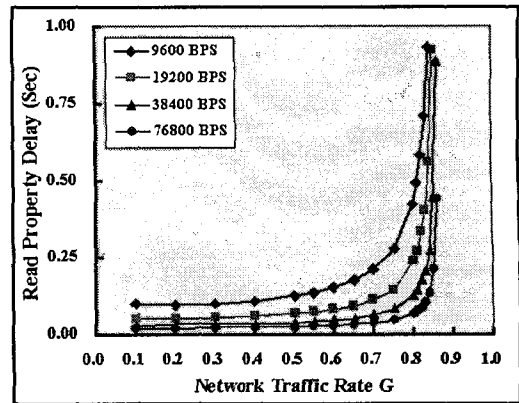


그림 3 단일마스터 시스템에서 *ReadProperty* 서비스의 평균 지연시간

Fig. 3 Average service delay of *ReadProperty* in single-master system

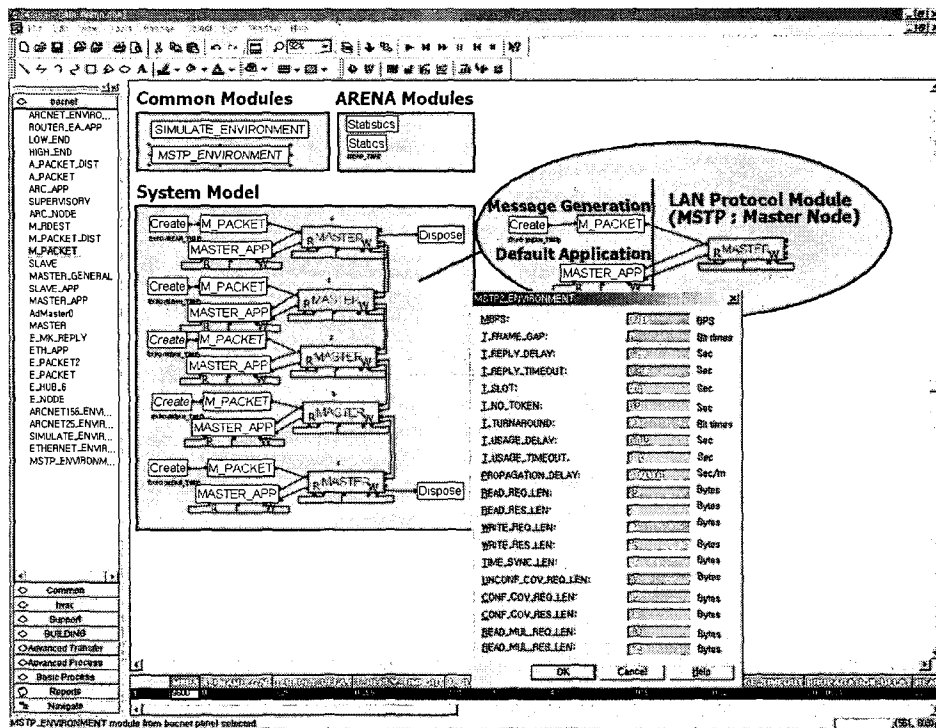


그림 2 BACnet 시뮬레이션 모델의 샘플 윈도우

Fig. 2 Sample window of BACnet simulation model

그림 3에는 단일마스터 MS/TP 네트워크에서 전송 속도 변화에 대한 Read Property 서비스의 평균 지연시간이 나타나 있다. 본 시뮬레이션의 결과에서 알 수 있듯이, 서비스 지연시간은 트래픽 부하가 0.87을 초과하면서 크게 증가한다. 따라서 단일마스터 MS/TP 네트워크의 설계자는 트래픽 부하가 0.8을 초과하지 않도록 통신망 시스템을 설계하는 것이 바람직하다.

4.2 멀티마스터 시스템의 성능해석

본 절에서는 MS/TP 네트워크에서 마스터 노드의 개수가 증가하는 경우에 Read Property 서비스의 평균 지연시간을 분석한다. 멀티마스터 시스템에서 마스터 노드들간의 통신은 토큰-패싱 방식으로 이루어진다. 본 시뮬레이션에서 마스터 노드의 개수는 1개에서 31개까지 증가되었다. 본 시뮬레이션 분석에서 N_{max} 는 120으로 설정하였다. T_{usage_delay} 는 규격에서 최대 허용값을 15 msec로 제한하고 있다(표 1 참조). T_{usage_delay} 는 그러나 $T_{turnaround}$ 보다는 커야 하므로 본 시뮬레이션 분석에서는 T_{usage_delay} 를 40 bit times(76.8 Kbps에서 0.5308 msec)으로 설정하였다.

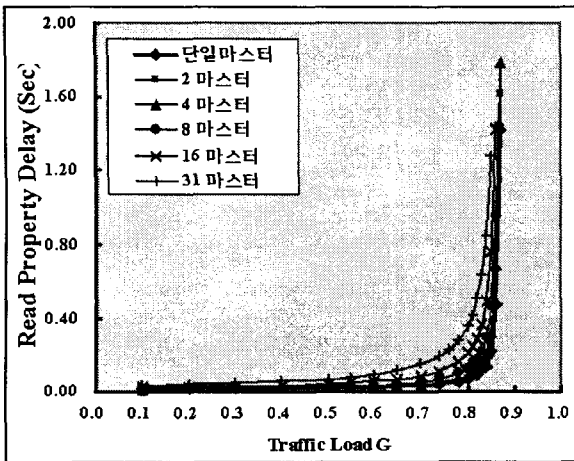


그림 4 멀티마스터 시스템에서 ReadProperty 서비스의 평균 지연시간
Fig. 4 Average service delay of ReadProperty in multi-master system

그림 4의 시뮬레이션 결과는 마스터 노드 개수의 증가에 따라 MS/TP 시스템에서 Read Property 서비스의 평균 지연시간이 어떻게 변하는가에 대한 정량화된 결과를 보여준다. 그림4에서 보는 바와 같이 마스터 노드 수의 증가는 서비스 지연시간의 증가를 야기한다. 이는 마스터 노드의 개수가 증가함에 따라 T_{usage_delay} 의 오버헤드에 의하여 지연시간이 증가하기 때문이다.

그림 4의 결과에서 서비스 지연시간의 측면만을 고려한다면 단일마스터 시스템의 성능이 멀티마스터 시스템의 성능에 비하여 우수하다. 그러나 단일마스터 시스템은 제한된 응용서비스만을 지원하는 반면에 멀티마스터 시스템에서는 모든 마스터 노드가 자체적으로 메시지를 전송할 수 있는 능력을 가지므로 COV(Change_Of_Value) Notification, Who-Is와 I-Am, Who-Has와 I-Have 서비스와 같은 다양

한 응용서비스의 구현이 가능해진다. 따라서 빌딩자동화 시스템에 MS/TP 프로토콜을 도입하는 경우 자체 데이터 전송 기능을 필요로 하는 노드는 마스터 노드로 설치하고, 그렇지 않은 노드들은 슬레이브 노드로 설치하는 마스터-슬레이브 혼합 시스템으로 구현하는 것이 바람직하다.

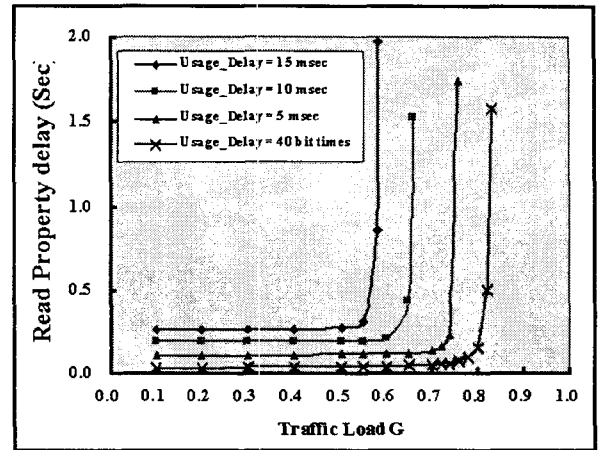


그림 5 T_{usage_delay} 파라미터가 서비스 지연시간에 미치는 영향
Fig. 5 Effects of T_{usage_delay} on average service delay

그림 5에는 모든 노드들이 마스터 노드로 구성된 경우에 T_{usage_delay} 파라미터의 오버헤드가 서비스 지연시간에 미치는 영향이 주어져 있다. 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 MS/TP 프로토콜은 T_{usage_delay} 의 값이 가능하면 작은 값을 갖도록 구현되어야 한다. 또한, 네트워크 시스템 설계자는 MS/TP 장비에서 지원되는 T_{usage_delay} 의 값에 따라 네트워크의 트래픽 부하를 적절히 제한할 필요가 있다

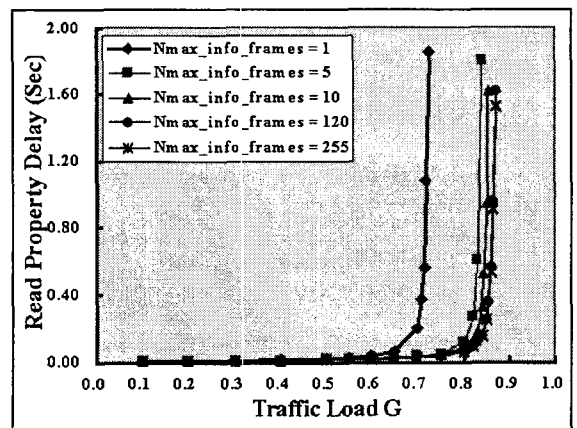


그림 6 $N_{max_info_frames}$ 의 변화에 대한 ReadProperty 서비스의 평균 지연시간
Fig. 6 Average service delay of ReadProperty with respect to $N_{max_info_frames}$

그림 6은 N_{max} 가 서비스 지연시간에 미치는 영향을 보여준다. N_{max} 가 작아짐에 따라 마스터 노드들간의 토큰 교환은 더 빈번히 발생하며, 이것이 토큰-패싱 오버헤드의 증가를 야기한다. N_{max} 가 5보다 커진 이후에는 N_{max} 의 변화에

대한 네트워크 성능 변화의 차이가 점차 감소한다. N_{max} 는 사용자가 지정할 수 있는 값이며, 따라서 네트워크의 처리량을 증가시키기 위하여서는 N_{max} 값을 충분히 크게 설정해줄 필요가 있다. 그러나 N_{max} 값을 너무 크게 설정하는 경우에는 마스터 노드가 여러 개의 메시지를 전송하는 동안 알람과 같은 긴급을 요하는 메시지의 지연시간이 증가할 수 있으므로 적절한 선택이 요구된다.

4.3 응용계층 처리시간의 영향분석

대부분의 BACnet 통신 서비스는 클라이언트/서버 통신 모델을 통한 확인(confirmed) 서비스로 처리되며, 이러한 확인서비스에서는 응용 프로세스에서의 서비스 처리시간이 서비스 지연시간의 성능에 영향을 주는 중요한 요소로 작용한다. 본 절에서는 요구/응답 메커니즘으로 동작되는 MS/TP에서 응용계층의 처리시간이 서비스 지연시간에 미치는 영향을 분석한다. 시뮬레이션 모델에는 응용계층에서 BACnet 응용 프로세스의 처리 시간이 추가되었다. 본 시뮬레이션 해석에서 MS/TP의 네트워크 파라미터는 각각 $N_{max}=120$, $T_{usage_delay}=40$ bit times으로 선정하였다. 응용 프로세스의 처리시간은(i) 0 msec (처리시간이 무시된 경우), (ii) 1-20 msec (빠른 처리시간), (iii) 100-200 msec (중간 처리시간), (iv) 200-300 msec(느린 처리시간)의 네가지 경우를 고려하였다. 처리시간은 주어진 범위 내에서 균등(uniform) 분포를 갖는 것으로 가정하였다..

MS/TP의 규격서에는 T_{reply_delay} 의 최대값을 250 msec로 제한하고 있다. T_{reply_delay} 역시 $T_{turnaround}$ 의 최소 제한값인 40 bit times 보다는 커야 한다. 그림 7은 T_{reply_delay} 이 40 bit time(76.8 Kbps에서 0.5308 msec)으로 설정된 경우에 Read Property 서비스에서 트래픽부하와 처리시간의 변화에 대한 평균 서비스 지연시간의 시뮬레이션 결과이다.

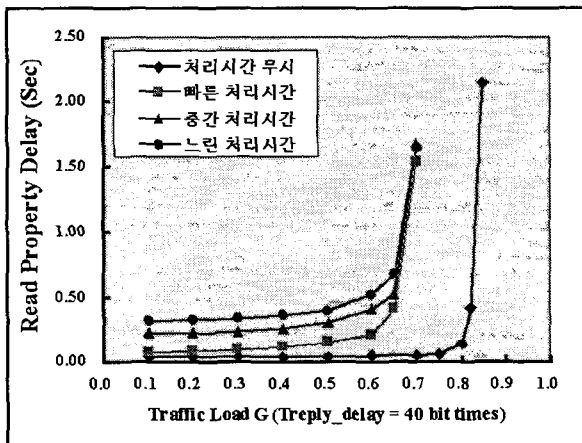


그림 7 처리시간 변화에 대한 서비스 지연시간 변화 ($T_{reply_Delay} = 40$ bit times)

Fig. 7 average service delay with respect to processing time ($T_{reply_delay} = 40$ bit times)

그림에서 보는바와 같이 응용계층의 처리시간이 증가함에 따라 서비스 지연시간은 증가한다. 본 시뮬레이션 결과는 T_{reply_delay} 가 빠른 처리시간 구간의 최소 처리시간 (1 msec)

보다도 작게 설정된 경우이다. 이 경우 요구메시지를 수신한 수신 노드는 T_{reply_delay} 시간(0.5308 msec)이 경과된 이후에 Reply Postponed 프레임으로 요구메시지를 전송한 노드에 전송함으로써, 응답메시지의 생성이 지연되고 있음을 알린다. 실제 응답 메시지는 응용 프로세스에서 응답 메시지가 생성된 후, 응답 노드가 토큰을 수신하였을 때 전송된다. 따라서 서비스지연시간은 프로세싱 시간의 증가에 대하여 선형으로 증가한다.

T_{reply_delay} 파라미터가 서비스 지연시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음에는 T_{reply_delay} 를 25 msec로 증가시킨 후 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 그림 8은 이에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

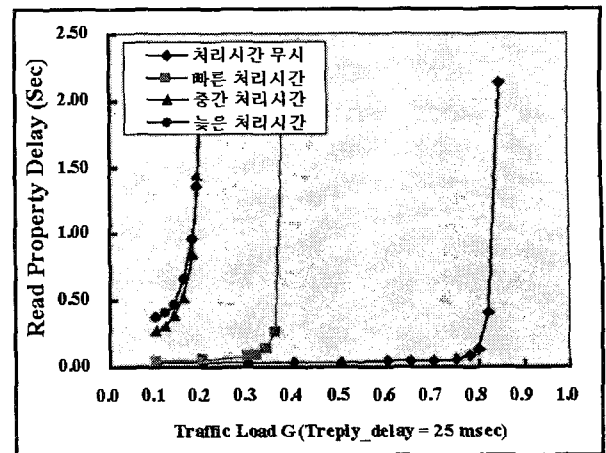


그림 8 처리시간 변화에 대한 서비스 지연시간 변화 ($T_{reply_Delay} = 40$ bit times)

Fig. 8 Average service delay with respect to processing time ($T_{reply_delay} = 25$ msec)

그림 8에서 보는 바와 같이 T_{reply_delay} 의 증가는 서비스 지연시간의 성능을 크게 저하시킨다. 특히, 처리시간이 $T_{reply_delay}=25$ msec를 초과하는 중간 처리시간과 느린 처리시간의 경우에 성능은 크게 저하된다. 이것은 MS/TP 통신망이 요구/응답 메커니즘으로 동작되기 때문이다. 응답을 필요로 하는 MS/TP 노드는 요구 메시지를 전송한 후 응답 프레임 또는 Reply Postponed 프레임이 도착할 때까지 토큰을 다음 노드로 전송하지 않는다. 따라서 T_{reply_delay} 설정값과 응용 프로세스에서의 처리 시간이 증가할수록 응답은 늦어지게 되어 해당 노드는 토큰을 더 오래 소유하게 되며, 이는 토큰 순환 시간의 증가를 야기한다. 토큰 순환 시간이 증가되면 MS/TP 노드들의 전송큐에 더 많은 메시지들이 적체될 것이며, 이것이 큐잉 지연시간을 지속적으로 증가시키는 요인으로 작용한다. 이러한 시뮬레이션 결과에서 보듯이 시스템 설계자는 MS/TP 네트워크 설계시 T_{reply_delay} 파라미터의 설정값을 가능한한 작게 설정할 필요가 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 MS/TP 프로토콜의 성능에 직접적인 영향을 미치는 파라미터들을 파악하고, 이들이 통신망 성능에 미

치는 영향을 분석하였다. MS/TP 네트워크에서 마스터 노드 개수의 증가는 T_{usage_delay} 오버헤드의 증가를 야기하여 네트워크 이용도가 감소한다. N_{max} 파라미터가 작은값으로 설정된 경우에는 토큰-패싱에 의한 오버헤드가 증가하므로 서비스 지연시간을 감소시키기 위하여서는 N_{max} 값을 충분히 크게 설정해주어야 한다. 서비스 지연시간에 대한 성능만을 고려한다면 단일마스터 MS/TP가 멀티마스터 MS/TP에 비하여 우수하다. 그러나 단일마스터 시스템은 제한된 기능의 응용서비스만을 지원한다. 따라서 자체 데이터 전송 기능을 필요로하는 노드는 마스터 노드로 지정하고, 나머지 노드들은 슬레이브 노드로 지정하여 네트워크 시스템을 구성하는 것이 바람직하다. BACnet 응용계층의 처리시간이 증가하면 MS/TP 프로토콜의 서비스 지연시간이 증가한다. 응용계층 처리시간과 T_{reply_delay} 는 서비스 지연시간에 크게 영향을 미치므로 통신망 설계자는 BACnet 설계시 T_{reply_delay} 를 가능한 한 작은 값으로 설정하는 것이 바람직하다.

대부분의 BACnet 응용서비스는 클라이언트/서버 통신 모델을 채택하고 있으며, MS/TP 프로토콜에서 지원하는 요구/응답 메커니즘은 이러한 서비스를 처리하는데 적합한 구조를 가지고 있다. 빌딩 자동화시스템은 다른 자동화시스템에 비하여 비교적 응답시간이 느리며, 따라서 MS/TP 프로토콜은 고속의 통신을 지원하지는 않으나 BACnet의 응용서비스를 처리하는데는 효과적이다.

본 연구를 통하여 제시하는 시뮬레이션 결과는 MS/TP 통신망에서 가장 빈번히 사용되는 *Read Property* 서비스의 평균 지연시간을 트래픽 부하의 변화에 대하여 정량화하여 제시함으로써 통신망 설계의 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다. 본 연구를 통하여 개발한 시뮬레이션 모델은 빌딩 자동화 시스템 설계 단계에서 BACnet 통신망의 성능을 예측하는데 있어서 매우 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구에서는 BACnet 응용계층의 *Read Property* 서비스에 대한 성능을 분석하였으나, 추후 후속 연구에서는 *Read Property Multiple*, *Confirmed COV notification* 및 *Unconfirmed COV notification*을 포함하여 MS/TP 통신망 환경에서 사용되는 다양한 BACnet 응용계층 통신 서비스들에 대한 지연시간을 트래픽 부하의 변화에 대하여 정량화하여 제시함으로써, MS/TP 통신망 설계의 기초 자료로 활용할 수 있도록 할 필요가 있다.

감사의 글

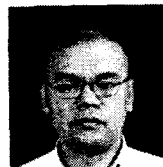
본 연구는 1999년 한양대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

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

[2] Boed, V., Networking and Integration of Facilities Automation Systems, CRC Press, Washington, D.C., 2000.
 [3] ANSI/ASHRAE Standard 135-2001, BACnet: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA.
 [4] ISO 16484-5, Building automation and control systems Part 5 Data communication protocol, ISO.
 [5] KS X 6909 빌딩자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.
 [6] Bushby, S.T., "New Tools for Specifying BACnet" ASHRAE Journal. Vol 44, No. 3, pp.33-37, March 2002.
 [7] <http://www.bacnet.org/>
 [8] 홍승호, "설비제어를 위한 표준 통신 프로토콜", 설비저널, pp.61-68, 2000. 4.
 [9] Casandras, C. G. and Lafortune, S., Introduction to Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999.
 [10] Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A., Simulation with ARENA, McGraw Hill College Div, July 2001.

저 자 소 개



홍 승 호 (洪 承 鎭)

1956년 5월 31일생. 1982년 연세대 기계공학과 졸업. 1989년 Pennsylvania State Univ. 졸업(공학). 1992년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수.
 Tel : 031-400-5213, Fax : 031-406-4132
 E-mail : shhong@hanyang.ac.kr



송 원 석 (宋 沅 錫)

1975년 11월 27일생. 1998년 한양대학교 제어계측공학과 졸업. 1998년~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정.
 Tel : 031-400-4084, Fax : 031-406-4132
 E-mail : BACnet@korea.com