

# MS/TP 프로토콜에서 대역폭할당기법 구현 및 실험적 평가

## Implementation and Experimental Evaluation of Bandwidth Allocation Scheme on MS/TP Protocol

권영찬, 홍승호\*

(Young Chan Kwon and Seung Ho Hong)

**Abstract** : Digital communication networks have become a core technology in advanced building automation systems. BACnet (Building Automation and Control networks) is a standard data communication protocol designed specifically for building automation and control systems. BACnet adopts Master-Slave/Token-Passing (MS/TP) protocol as one of its field level networks. In this study, we introduce a method of implementing a bandwidth allocation scheme in the MS/TP protocol. The bandwidth allocation scheme improves the capability of real-time communication of the original MS/TP protocol. The bandwidth allocation scheme introduced in this paper can be easily implemented in the existing MS/TP protocol with a slight modification. In this study, we actually developed the hardware and firmware of the modified MS/TP communication module in which the bandwidth allocation scheme is implemented. Using the modified MS/TP communication module, we developed an experimental model in order to examine the validity of the bandwidth allocation scheme in the MS/TP protocol. Experimental results show that the modified MS/TP protocol satisfies the requirements of real time communication for periodic and urgent messages of BACnet communication services.

**Keywords** : BACnet, MS/TP, bandwidth allocation, real-time communication, experiment

### I. 서론

빌딩을 효율적으로 운영 및 관리하기 위해서는 빌딩 설비를 실시간으로 감시하고 제어하기 위한 최첨단 자동화 시스템이 필요하다. 첨단 빌딩 시스템에서 빌딩 관련 정보들은 네트워크를 통하여 수집, 분석, 처리 및 저장된다[1-3]. BACnet(Building Automation and Control network)[4]은 빌딩자동화 설비에서 서로 다른 제조업체의 장비들 사이에 통신이 되지 않아 발생하는 많은 문제들을 해결하기 위하여 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)에서 개발된 통신 프로토콜로서, 현재 빌딩자동화 통신망을 위한 ISO 국제 표준 규격[5,6] 및 한국의 KS 산업 표준 규격[7]으로 채택되었다.

MS/TP(Master-Slave/Token-Passing)는 빌딩 제어를 위하여 특별히 고안된 프로토콜로서 빌딩의 필드 레벨에서 요구하는 다양한 제어 기능과 어플리케이션의 동작을 수행하도록 설계되었으며, 현재 BACnet의 LAN 통신망으로 가장 널리 사용되는 프로토콜이다[8,9]. 본 연구진은 선행 연구에서 MS/TP 프로토콜의 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 이를 통하여 다양한 트래픽 부하조건에서 MS/TP 통신망 파라미터 변화에 대한 성능을 분석하였다[10]. 선행연구의 결과에 의하면 MS/TP 통신망에서 트래픽 부하가 일정 한계값을 초과하게 되면 데이터의 전송지연시간이 급격히 증가하는 현상을 보였으며, 이를 통하여 MS/TP 통신망이 실시간 통신 요구사항을 만족시키는 데에는 한계가 있는 것으로 파악되었다. 즉, 실시간 데이터가 이러한 과부하 트래픽 조건에서 발생하는 경우 MS/TP 프로토콜은 실시간 전송의 요구사항을 만족할

수 없다. MS/TP 프로토콜의 이러한 약점을 극복하기 위하여 후속 선행 연구에서는 MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기법을 적용하여 기존의 MS/TP 프로토콜의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였고, 이에 대한 타당성을 시뮬레이션 모델을 통하여 검증하였다 [11]. 본 연구에서는 선행 연구[11]에서 제안된 대역폭 할당 기법을 MS/TP의 통신 모듈에 실제로 적용하여 구현하였고, 이를 이용하여 개선된 MS/TP 프로토콜의 타당성을 실험적으로 검증하였다.

이전의 연구들[12-16]에서 대역폭할당기법은 다양한 종류의 산업용 통신망에 적용될 수 있음을 보였다. 그러나 BACnet 에서는 다른 산업통신망들과 달리 응용계층에서 클라이언트-서버 방식의 통신모델을 사용하도록 요구하고 있다. 하부의 데이터 링크 계층 프로토콜인 MS/TP 역시 클라이언트-서버 통신모델을 지원하도록 설계되어 있으며, 따라서 본 연구에서는 MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기법을 적용하기 위하여 클라이언트-서버 통신모델을 지원하는 방안이 고려되었다. 개선된MS/TP 프로토콜에서는 기존의 MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기능을 추가하여 실시간 BACnet 서비스의 요구사항을 만족시키는 동시에 MS/TP 프로토콜의 대역폭을 충분히 활용할 수 있도록 한다. 본 연구에서 구현된 개선된 MS/TP 프로토콜은 기존의 MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기능의 추가를 위한 최소한의 수정을 더함으로써 기존의 MS/TP 프로토콜과 호환성이 보장될 수 있도록 하였다.

본 논문의 II장에서는 BACnet과 MS/TP 프로토콜에 대하여 간략히 기술하였다. III장에서는 MS/TP프로토콜에 대역폭 할당 기법을 적용하는 방안에 대하여 기술하였다. IV장에서는 대역폭 할당 기법을 실제로 적용하기 위하여 기존의 MS/TP 프로토콜이 어떻게 변형되어야 하는가를 기술하였다. V장에서는 개선된 MS/TP 통신 모듈의 구현 및 이를 이용한 실험 모델의 개발에 대하여 설명하였으며, VI장에서는 실험 결과를 통하여 본 연구의 타당성을 검증하였다. VII장에서는 기존

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 2. 23., 채택확정 : 2006. 7. 4.

권영찬 : LS산전㈜ 중앙연구소(yckwon@sis.biz)

홍승호 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부(shhong@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00046-0) 지원으로 수행되었음.

MS/TP 와 개선된 MS/TP 의 비교 분석 및 호환성 시험 등 본 논문에서 제시한 MS/TP 대역폭 할당 기법의 전반적인 실험 결과를 분석하였다. 마지막으로 VIII장에 본 연구의 결론을 기술하였다.

## II. BACnet 및 MS/TP 프로토콜

빌딩자동화 시스템에서 폐쇄적인 통신망은 빌딩 내의 다양한 설비들을 통합하는데 있어서 빌딩 소유주들이 원하는 유연성, 확장성 및 상호 호환성을 지원하지 못하는 결정적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers)는 빌딩 자동화와 제어를 위하여 특별히 고안된 BACnet이라는 국제 표준 통신 프로토콜을 개발하였다.

BACnet은 응용계층, 네트워크계층, 데이터링크계층 및 물리계층의 네 개의 계층구조로 구성된다. BACnet의 응용계층에서는 빌딩 자동화 시스템에서 사용되는 다양한 정보를 객체를 사용하여 표준화한다. 이러한 객체는 단순히 빌딩 자동화 시스템에서 사용되는 입·출력 정보뿐만 아니라, 자동제어를 수행하기 위한 제어 알고리즘과 원격 감시를 위한 이벤트 알고리즘 등을 포함하고 있다. 객체화된 정보는 BACnet의 응용계층에서 제공하는 다양한 표준 통신 서비스를 통하여 전달된다. 네트워크 계층은 또한 IP 프로토콜을 이용하여 외부 통신망과 원격 통신 기능을 지원한다. BACnet의 데이터링크 계층은 네 가지 LAN 기술과 점-대-점 통신을 옵션으로 제공한다. 네 가지 LAN 기술에는 Ethernet, ARCNET, MS/TP 그리고 LonTalk이 있다. BACnet의 네트워크 계층은 하부의 데이터링크계층에서 사용되는 다양한 LAN들을 통합하는 인터네트워킹 기능을 제공한다.

MS/TP는 BACnet의 여러 LAN 옵션들 가운데 현재 BACnet을 채택하고 있는 빌딩의 필드 레벨에서 디바이스들간의 통신을 제공하는 데 있어서 가장 일반적으로 사용되는 데이터링크계층 프로토콜이다. MS/TP 프로토콜은 일반적인 비동기 송/수신을 하는 원칩 마이크로프로세서에서 구현할 수 있도록 설계되었다. MS/TP 프로토콜은 twisted-pair를 사용하는 EIA-485 시그널링을 통해 통신을 한다. MS/TP 프로토콜은 이름에서 알 수 있듯이 마스터/슬레이브와 토큰 패싱의 두 가지 방식을 지원한다. MS/TP는 마스터 노드와 슬레이브 노드로 구성된다. 마스터 노드는 메시지를 전송할 권한을 부여하는 토큰이라는 특별한 프레임을 수신하고 전달할 수 있는 노드를 의미한다. 마스터 노드는 토큰을 수신하면 최대  $N_{\max\_info\_frames}$  개의 메시지를 전송할 수 있으며, 전송 가능한 최대 개수의 메시지를 전송할 경우 다음 마스터 노드로 토큰을 전달한다. 토큰을 50번 수신한 마스터 노드는 *Poll For Master*라는 프레임을 전송하여 새로 네트워크에 추가된 마스터 노드의 존재 여부를 검사한다. 슬레이브 노드는 토큰을 수신할 수 없는 노드를 의미한다. 따라서 슬레이브 노드는 마스터 노드로부터 서비스 요구를 받아 이에 대한 응답 메시지를 전송하는 역할만을 수행한다.

## III. MS/TP 프로토콜에서 대역폭 할당 기법

MS/TP 프로토콜의 성능은 “서비스 지연시간”으로 평가된

다. 서비스 지연시간은 하나의 BACnet 서비스가 완전히 처리되기까지의 경과 시간으로 정의한다. BACnet의 확인(confirmed) 서비스에서 서비스 지연시간은 클라이언트 노드에서 요구(request) 메시지가 생성된 시점부터, 이 메시지가 서버 노드에 전송된 후, 다시 응답(reply) 메시지가 클라이언트 노드로 도달하는 시점까지 소요된 총 지연시간으로 정의한다. BACnet의 비확인(unconfirmed) 서비스의 지연시간은 클라이언트 노드에서 발생한 요구 메시지가 서버 노드에 도달할 때까지의 소요 시간을 의미한다. 대부분의 BACnet 서비스들은 확인서비스로 이루어지므로 본 연구에서 제시하는 대역폭 할당 기법은 확인서비스의 서비스 지연시간을 만족하도록 설계되었다.

MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기법을 적용하기 위하여 빌딩 제어 시스템에서 사용되는 서비스 메시지를 그 특성에 따라 다음의 네 가지로 구분한다.

- (1) 긴급 메시지 (life safety message)
- (2) 주기적 메시지 (cyclic request message)
- (3) 주기적 응답 메시지 (reply message to cyclic request message)
- (4) 일반 메시지 (normal message)

긴급 메시지란 인명에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 정보를 전달하는 서비스 메시지를 의미하며, 화재 경보 메시지 등이 이에 해당한다. 주기적 메시지란 주기적으로 발생하는 서비스 요구 메시지를 의미하며, 피드백 제어를 수행하기 위하여 제어기에서 주기적으로 발생하는 샘플링 메시지나 주기적으로 실시간 모니터링을 위해 발생하는 메시지 등이 이에 해당한다. 주기적 응답 메시지란 클라이언트 노드에서 주기적으로 생성되는 서비스 요구 메시지에 대하여 서버 노드가 전송하는 응답 메시지를 의미한다. 일반 메시지란 앞서 기술된 종류에 해당하지 않는 메시지를 의미하며, 서비스 지연시간에 별다른 제한을 받지 않는 서비스 메시지를 의미한다.

기존의 MS/TP 프로토콜에서 실시간 통신에 대한 문제점을 해결하기 위하여 개선되는 MS/TP 프로토콜은 다음의 요구사항들을 만족하여야 한다.

R1: 긴급 서비스 메시지는 최대한 빨리 전송되어야 한다.

R2: 주기적으로 생성되는 메시지는 메시지 생성 주기 제한시간 내에 처리되어야 한다.

R3: 개선된 MS/TP 프로토콜은 기존의 MS/TP 프로토콜과 호환성이 유지되어야 한다.

그림 1은 MS/TP 프로토콜에서 대역폭할당기법에 관한 기본적인 개념에 대해 보여준다. 대역폭 할당 기법에서 MS/TP 대역폭은  $T_0$  의 시분할 구간으로 나뉘어진다. 개선된 MS/TP 프로토콜에서  $T_0$  의 시분할 구간은 다시 ‘주기적 요청’, ‘주기적 응답’ 그리고 ‘일반’ 구간으로 분할된다. BACnet의 응용계층에서 요구하는 클라이언트-서버 통신 방식을 지원하기 위하여 주기적 메시지가 전송되는 구간은 클라이언트 노드에서 생성되는 요청메시지와 서버에서 생성되는 응답메시지가 처리되는 구간으로 분리하였다. 일반 메시지는 일반 메시지 구간을 통해서만 전송될 수 있다. 긴급 메시지는 구간에 상관없이 전송 기회가 부여되는 경우 가장 높은 우선순위로 전송된다.

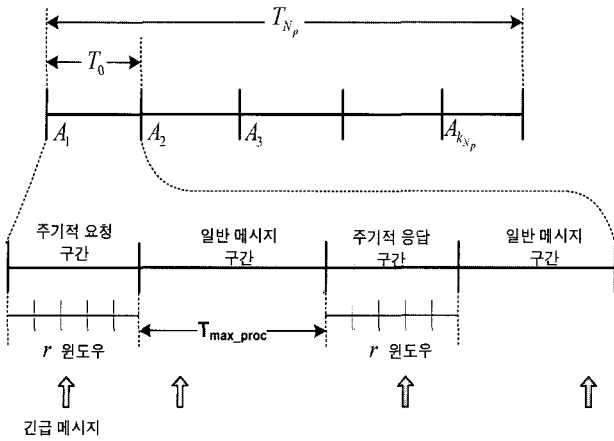


그림 1. MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법.  
Fig. 1. Bandwidth allocation scheme in the MS/TP protocol.

주기적 요청 메시지는 다중 시분할 전송방식으로 주기적 요청 대역폭 구간을 통해 전송된다. 서버 노드는 주기적 요청 메시지를 수신한 후 즉시 주기적 응답 메시지를 생성한다. 그러나, 서버의 주기적 응답 메시지는 생성 즉시 전송되지는 않으며, 서버 노드가 메시지를 전송할 기회를 부여 받았을 때 주기적 응답 구간을 통해 전송된다. 주기적 응답 구간은 주기적 요청 구간이 완료된 시점에서  $T_{max\_proc}$ 가 경과한 순간부터 시작한다.  $T_{max\_proc}$ 는 개선된 MS/TP 프로토콜에서 대역폭할당기법의 적용을 위하여 새롭게 정의한 네트워크 파라미터로서, 클라이언트 노드에서 주기적 요청 메시지 전송 시간과 서버 노드에서 주기적 응답 메시지를 생성하기 위해 필요한 프로세싱 시간을 포함한 프로세싱 지연시간의 최대값으로 결정되며, 시스템 설계자는 해당 시스템의 특성 및 성능을 고려하여 적절한 값을 설정하여야 한다.

MS/TP 프로토콜에 대역폭 할당 기법을 적용하기 위하여 주기적 메시지를 생성하는 노드와 그렇지 않은 노드간에 주소를 부여하는 방법을 달리한다. 즉, 주기적 메시지를 생성하는 노드들에 대하여 0번지부터  $N_p$  번지까지 주소를 부여하고, 그렇지 않은 노드들의 주소는  $N_p$  번지 이후의 주소를 부여한다. 이는 일반메시지 구간에서 주기적 구간 또는 주기적 응답 구간으로 천이되는 오버헤드에 의한 대역폭 손실을 최소화하기 위함이다. 노드 번호 0번지부터  $N_p$  번지까지 각각의 노드에서 주기적 메시지의 최대 허용 지연시간은 다음의 벡터  $\Phi$ 로 주어진다.

$$\Phi = [\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_{N_p} | \phi_i \leq \phi_{i+1}] \quad (1)$$

대역폭 할당의 기본 개념은 그림 1에 나타난  $T_0$ 의 시분할 구간 동안 생성되는 주기적 메시지의 개수를  $r$  개로 제한하는 것이다. 즉  $(N_p + 1)$ 개의 주기적 메시지 생성 노드가  $r$ 개의 윈도우를 동적으로 공유할 수 있도록 각 노드에서 메시지 생성 순서를 스케줄링하는 것이다. 대역폭 할당을 위하여 시스템 설계자가 결정하여야 할 메시지 발생 주기 벡터  $T$ 와 최초 메시지 발생 시점 벡터  $t$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$T = [T_0, T_1, T_2, \dots, T_{N_p} | T_i \leq T_{i+1}] \quad (2)$$

$$t = [t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N_p} | t_i \leq t_{i+1}] \quad (3)$$

주기적 메시지를 생성하는 노드에서 주기적 메시지의 최대 허용 지연시간에 대한 요구사항  $R2$ 를 만족시키기 위하여서는 노드  $i$ 에서 생성되는 주기적 메시지는 발생 주기  $T_i$  이내에 반드시 전송되어야 하고, 발생 주기  $T_i$ 는 반드시  $\phi_i$ 를 넘지 않아야 한다. 선행연구[12-16]의 결과로부터 각 노드에서 주기적 메시지의 생성 주기  $T_i$  ( $i=0$ 에서  $N_p$ )는 다음과 같은 조건을 만족하도록 결정된다.

$$T_0 = \phi_0, \quad T_i = k_i T_0, \quad k_i = 2^{\lfloor \log_2 \frac{\phi_i}{T_i} \rfloor}, \quad \forall i = 1 \text{ to } N_p \quad (4)$$

(4)로부터 결정된  $T_i$ 는 최대허용지연시간  $\phi_i$ 를 초과하지 않으면서 서로 정수배의 관계를 갖는다.

최소 메시지 생성주기인  $T_0$  동안 생성되는 주기적 메시지의 개수  $r$ 은 같은 주기 동안 생성되는 주기적 메시지의 평균값으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$r = \left\lceil \sum_{i=0}^{N_p} \frac{1}{k_i} \right\rceil \quad (5)$$

대역폭 할당 기법에서는 그림 1의 주기적 구간에서 생성되는 메시지의 개수가 어느 구간에서든지  $r$ 개를 초과하지 않아야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위하여 각 노드에서 주기적 메시지의 최초 발생 시점인  $t_i$  ( $i=0$ 에서  $N_p$ )는 선행연구로부터 다음과 같이 결정된다.

$$t_i = \inf [A_l \geq A_{l-1} : u^n(A_l) \leq r], \quad i = 0 \text{ to } N_p, \quad l = 1 \text{ to } k_{N_p} \quad (6)$$

여기서  $A_l$ 은 그림 1에서 보는 바와 같이  $T_{N_p}$ 개의 주기적 구간 중  $l$ -번째  $T_0$ 구간의 시작 시점이며,  $u^n(A_l)$ 은 노드 주소 0부터  $n$ 까지의 노드들 가운데  $A_l$ 시점에서 주기적 메시지를 발생한 노드의 개수이다.

그림 1의 주기적 구간에서는 주기적 메시지뿐만이 아니라 긴급메시지도 전송된다. 따라서 주기적 구간의 최대값  $\tau_p^{\max}$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\tau_p^{\max} = \frac{r(L_p + L_h + T_{turnaround}) + N_p(L_h + T_{turnaround})}{1 - \lambda_u^{\max}(L_u + T_{turnaround})} \quad (7)$$

(7)에서 분모항은  $T_0$ 구간에서 긴급 메시지의 전송을 위한 대역폭을 제외하고 주기적 메시지 전송이 최대한 차질할 수 있는 비율이며, 분자 항은 토큰 및 reply\_postponed 프레임 을 포함하여 주기적 메시지를 전송하는데 소요되는 시간이다. 여기서,  $N_p, N_m, N_h$ 는 각각 주기적 요구 메시지의 길이, 긴

급 메시지의 길이, 그리고 토큰 또는 reply\_postponed 메시지의 길이이다.  $\lambda_u^{\max}$  는 네트워크 내의 모든 노드에서 산발적으로 발생하는 긴급 메시지 가운데 최대 발생 빈도이다.  $T_{turnaround}$  는 MS/TP 프로토콜 파라미터로서 하나의 노드가 프레임을 수신한 후 EIA-485 구동기를 활성화시키기 전까지의 최소시간이다. 만일 (5)의  $r$  를 통하여 결정된 (7)의  $\tau_p^{\max}$  가  $T_0$  내에서 주기적 트래픽에 할당될 수 있는 대역폭을 초과한다면, 이는 제한된 대역폭에 너무 많은 주기적 트래픽이 부과된 경우이므로 시스템 설계자는 해당 MS/TP 통신망에서 주기적 메시지를 생성하는 노드의 개수 또는 긴급메시지의 트래픽 부하를 조정하여야 한다. 필드 레벨의 로컬 네트워크에서 긴급 메시지를 발생시키는 노드나 감시 포인트의 개수는 이미 시스템 설계 단계에서 결정되므로  $\lambda_u^{\max}$  등은 설계 단계에서 충분히 예측하고 조정하는 것이 가능하다.

그림 1에서 보는 바와 같이  $T_0$  의 주기 동안  $r$  개의 주기적 메시지를 비롯하여 이에 대한 주기적 응답 메시지와 긴급 메시지 및 일반 메시지가 전송된다. 대역폭 할당을 적용하는 경우  $T_0$  의 시분할 대역폭에서 주기적 메시지와 긴급메시지를 제외한 일반 메시지에 할당 되는 대역폭  $B_n$  은 다음과 같이 결정된다.

$$B_n = T_0 \left[ 1 - \lambda_u^{\max} (T_{turnaround} + L_u) \right] - \left[ r(L_p + L_r + L_h + 2T_{turnaround}) + 2N_p(T_{turnaround} + L_t) \right] \quad (8)$$

이는  $T_0$  구간 가운데 긴급 메시지의 대역폭 할당  $\lambda_u^{\max} (T_{turnaround} + L_u)$  을 제외한 구간에서 주기적 메시지의 대역폭  $r(L_p + L_r + L_h + 2T_{turnaround})$  과 긴급 메시지 및 주기적 메시지를 전송하기 위한 토큰 또는 reply\_postponed 메시지  $2N_p(T_{turnaround} + L_t)$  의 대역폭을 제외한 나머지 대역폭이 일반 메시지를 전송하기 위한 대역폭으로 할당됨을 나타낸다.

**IV. 기존 MS/TP 프로토콜의 변형**

본 논문에서 제안하는 MS/TP 프로토콜의 대역폭 할당 기법에서는 전송할 메시지를 우선순위화하여 전송 순서를 결정한다. 그림 2는 MS/TP 프로토콜 규격에 정의된 MS/TP 프레임의 구조를 보여준다. 그림 2에서 음영으로 표시된 부분은 MS/TP 프로토콜에서 해석하는 영역을 나타내며, 음영으로 표시되지 않은 부분은 MS/TP 프로토콜에서 상위계층의 데이터로 인식하는 부분을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이, MS/TP 프로토콜에서 해석하는 영역에는 메시지의 우선순위를 지정할 수 있는 필드가 존재하지 않는다.

본 연구에서는 개선된 MS/TP 프로토콜이 기존의 MS/TP 프로토콜과 통신 호환성을 유지하면서 메시지의 우선순위를 지정할 수 있도록 하기 위하여 네트워크 계층 헤더의 Network Priority 필드(이하 NP로 표기)를 재정의하여 사용한

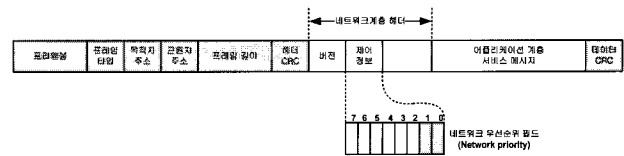


그림 2. MS/TP 프로토콜에서 사용되는 메시지 구조. Fig. 2. Frame structure of MS/TP protocol.

표 1. BACnet 메시지 우선순위 정의.

Table 1. Definition of BACnet message priority.

메시지 우선순위	필드 값
긴급 메시지	B'11'
주기적 메시지	B'10'
주기적 응답 메시지	B'01'
일반 메시지	B'00'

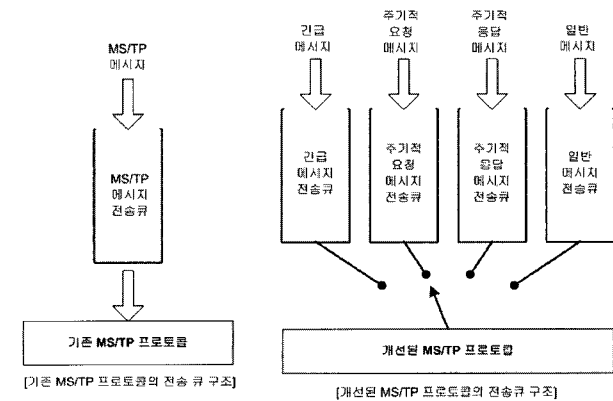


그림 3. 기존 MS/TP 프로토콜의 전송 큐 구조와 개선된 MS/TP 프로토콜의 전송 큐 구조. Fig. 3. Structure of transmitter queue in the original and modified MS/TP protocol.

다. NP 필드는 네트워크 계층 헤더의 두 번째 옥텟에 존재하는 최하위 2비트이며, 각각 normal (B'00'), urgent(B'01'), critical equipment(B'10'), life safety(B'11')로 정의되어 있다. 그러나 BACnet 규격서에서는 그 사용 방법에 대하여 특별히 정의하고 있지 않다. NP 필드는 기존의 MS/TP에서는 언제나 무시되어야 하는 필드이며, 따라서 MS/TP 프로토콜의 대역폭 할당 기법에서는 사용되지 않는 이 두 비트를 다음과 같이 새로이 정의하여 사용한다.

개선된 MS/TP 프로토콜에서는 메시지의 우선순위에 따라 별도의 큐를 정의할 필요가 있다. 다음의 그림 3은 MS/TP 대역폭 할당 기법을 적용하기 위하여 개선된 MS/TP 프로토콜이 사용하는 전송 큐의 구조를 보여준다. 전송되는 메시지는 우선순위에 따라 별도의 전송 큐에 저장된다.

그림 3에서 알 수 있듯이 기존 MS/TP 프로토콜은 메시지의 종류 및 우선순위가 구분되어 있지 않아 하나의 전송 큐에 모든 메시지가 들어가게 된다. 개선된 MS/TP 프로토콜은 표 1에서와 같이 기존 MS/TP의 메시지를 그 종류에 따라 4 가지 형태로 나누고, 각 형태에 해당하는 전송큐에 메시지를 저장하게 된다. 개선된 MS/TP 프로토콜은 현재 네트워크의

상태에 따라 그에 맞는 전송큐에서 메시지를 꺼내와 전송하게 된다.

대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 다음과 같은 파라미터들이 추가로 정의된다. 아래의 파라미터들은 기존 MS/TP 프로토콜의 알고리즘을 그대로 적용하면서, 추가로 대역폭 할당 기법을 적용할 수 있도록 하는 프로그램 내부에서 사용하는 변수들이다.

(1)  $N_{mode}$ : 현재 MS/TP 네트워크가 대역폭의 어떤 구간을 사용하고 있는가를 나타내는 노드 변수로 다음과 같은 값을 가진다.

- NORMAL: 일반 메시지 전송이 가능한 초기화 상태. 일반 메시지는 개선된 MS/TP 프로토콜에서 우선순위가 가장 낮은 메시지로, 긴급 메시지와 주기적 메시지가 전달된 후, 남은 대역폭을 이용해 전달되는 메시지이다. 이러한 일반 메시지가 전송 가능한 상태가 NORMAL 상태이다.
- CYCLIC REQ: 주기적 구간이 시작된 상태. 주기적 메시지를 보낼 수 있는 상태로, 주기적 메시지 큐에 보낼 메시지가 있으면 메시지를 전송하고, 그렇지 않으면 다음 노드로 토큰을 전송한다. 주기적 메시지는 긴급 메시지 다음으로 우선순위를 갖는다.
- CYCLIC REPLY: 주기적 응답 메시지 구간이 시작된 상태. 주기적 메시지를 받은 노드는 주기적 응답 메시지를 생성한다. 생성된 주기적 응답 메시지는 "주기적 응답 메시지 큐"에 저장되며, CYCLIC REPLY" 구간에 전송된다.
- ENFORCE CYCLIC: 주기적 요청 구간이 시작되어야 하는 것으로 판단되는 상태. 제한 시간 내에 주기적 메시지를 보내기 위해 준비 작업을 하는 단계로, 주기적 구간을 시작하기 위해 토큰을 다음 노드가 아닌, 주기적 메시지의 시작 노드로 토큰을 강제로 보내는 상태이다.

(2)  $N_{cycle\_start}$ : 주기적 요청 또는 주기적 응답 구간을 시작한 노드의 주소를 저장하는 노드 변수이다. 모든 노드는 이 변수를 통해 어떤 노드가 주기적 구간을 시작 했는지 알 수 있으며, 어느 시점에 주기적 구간을 끝내야 하는지 알 수 있다.

(3)  $N_{cycle\_max}$ : 주기적 메시지를 생성하는 노드의 주소 중 가장 높은 주소를 지정하는 네트워크 변수이다.

(4)  $NS_{cycle}$ : 개선된 MS/TP 프로토콜에서 새로이 정의한 PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태에서 다음에 토큰을 전달할 대상 노드의 주소를 지정하는 변수이다.  $N_{mode}$ 가 ENFORCE CYCLIC 상태이면  $NS_{cycle}$ 는 0으로 설정된다.

(5)  $T_{max\_proc}$ : 노드에서 BACnet 서비스 메시지를 처리하는데 소요되는 프로세싱 지연시간의 최대값을 나타내는 네트워크 변수이다. BACnet 메시지를 처리하기 위해서는 기본적으로 메시지를 받아들이기 위한 인터럽트 서비스 처리 루틴과, 메시지를 해석하기 위한 Interpret 루틴, 그리고 전송할 메시지를 생성하기 위한 Message Generate 루틴을 수행하는 시간의 최대 값의 합으로 나타난다.

(6)  $T_{no\_cycle}$ : 일반 메시지의 전송에 의해 주기적 요청 구간이

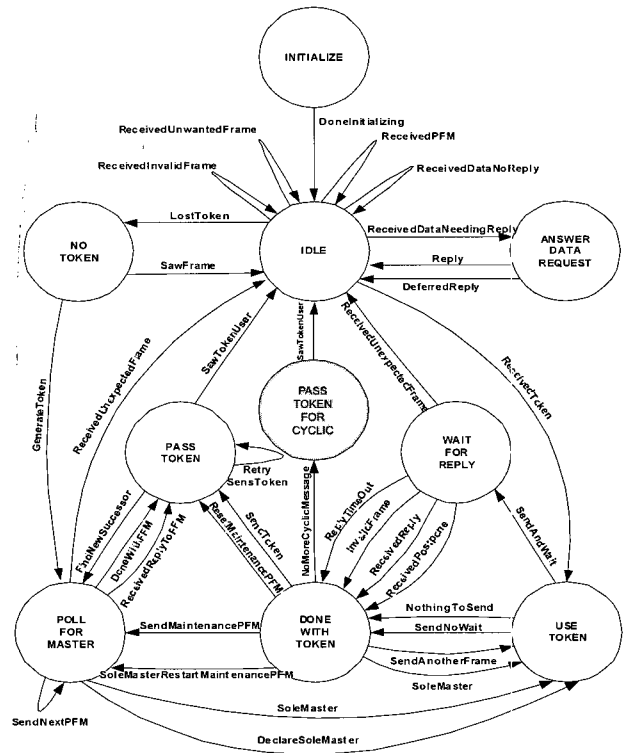


그림 4. 개선된 MS/TP 대역폭 할당 기법의 상태 천이도.  
Fig. 4. State transition diagram of the modified MS/TP protocol.

시작되지 못하는 현상을 방지하기 위한 타이머 값으로,  $T_{no\_cycle}$  타이머가 만료되면 노드는  $N_{mode}$ 를 무조건 ENFORCE CYCLIC으로 전환한다. 이는 제한 시간 이내에 주기적 구간을 시작할 수 있도록 하기 위함이며, 모든 노드가 동일한 타이머 값을 가지고 있어 모든 노드가 동시에  $T_{no\_cycle}$  타이머가 동시에 만료됨을 알 수 있다. 그러므로 이 타이머가 만료 되었을 때 토큰을 가지고 있는 노드가 주기적 구간을 시작할 수 있기 때문에 주기적 구간 시작의 지연 시간을 줄일 수 있다.  $T_{no\_cycle}$ 은 다음과 같은 조건을 만족하도록 설정되어야 한다.

$$T_{no\_cycle} = T_0 - \tau_p^{max} \tag{9}$$

그림 4는 개선된 MS/TP 프로토콜의 상태 천이도를 보여준다. 본 논문에서 제안하는 MS/TP 대역폭 할당 기법 알고리즘에서는 기존의 MS/TP 프로토콜의 상태 천이도에 PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태 만이 새로이 추가되었다. 이와 함께 IDLE, USE TOKEN, DONE WITH TOKEN, PASS TOKEN 상태의 동작 알고리즘 일부가 변형되었다. 다음의 각 항목은 새로 추가된 상태와 변경된 상태에 대한 동작 알고리즘을 흐름도 형태로 보여준다.

1) IDLE 상태

기존의 IDLE 상태와 동일한 동작 알고리즘을 수행하나, 다만 네트워크상에 연결된 다른 MS/TP 노드로부터 전달되는 메시지를 분석하여 주기적 요청 및 응답 구간의 시작과 종료 시점을 감지하기 위한 알고리즘이 추가되었다.

2) USE TOKEN 상태

개선된 MS/TP 프로토콜에서는 메시지의 종류를 우선순위에 따라 네 가지로 구분하고 각각 별도의 전송 큐에 저장한다. 따라서 토큰을 수신한 후 노드의 현재 동작 모드( $N_{mode}$ )에 따라 적절하게 전송 큐를 선택하는 알고리즘을 추가하였다. 노드의 동작 모드에 관계 없이 언제나 긴급 메시지 전송 큐는 가장 먼저 검사된다.

3) DONE WITH TOKEN 상태

개선된 MS/TP 프로토콜에서는 노드의  $N_{mode}$ 와 파라미터 설정에 따라 원래 MS/TP 프로토콜에 정의된 DONE WITH TOKEN 상태로 천이하거나, 새로 정의된 PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태로 천이하여 토큰을 강제로 다음 노드로 전달하도록 하는 것을 결정하는 동작 알고리즘을 추가하였다.

4) PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태

개선된 MS/TP 프로토콜에 새로이 추가된 상태로써, 현재 노드의  $N_{mode}$ 와 노드 번호, 그리고  $T_{no\_cycle}$  타이머의 값 등에 따라 토큰을 기존의 MS/TP 프로토콜에서 지정된 다음 노드인 NS(Next Station)로 전송하거나, 새로 정의된 노드 변수인  $NS_{cycle}$  노드로 토큰을 전달하는 것을 결정하는 상태이다.

5) PASS TOKEN 상태

개선된 MS/TP 프로토콜에서 노드의  $N_{mode}$ 가 CYCLIC REPLY 모드에서 PASS TOKEN 상태로 천이되면 토큰을 전달한 후 노드의  $N_{mode}$ 를 NORMAL로 변경하여 주기적 응답 구간을 종료하는 기능이 추가되며, 그 외의 모든 동작은 원래 MS/TP 프로토콜의 PASS TOKEN 상태에서 수행되는 알고리즘과 동일하다.

앞서 기술된 바와 같이 대역폭 할당 기법이 적용된 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 대역폭을 주기적 구간과 비주기적 구간으로 나누어 메시지를 처리하며, 이를 위하여 각 노드는 대역폭의 구간을 구분하기 위하여 내부적으로  $T_{max\_proc}$ 와  $T_{no\_cycle}$  타이머를 사용한다. 이러한 타이머들은 그러나 노드 타이머로서 노드들 간에 서로 동기화되지 않을 수도 있다. MS/TP 프로토콜의 대역폭 할당 기법에서는 또한 주기적으로 발생하는 서비스 메시지를 동일한 시점마다 발생되도록 하고 이를 한번의 토큰 순환 과정에 모두 처리하도록 하고 있다. 따라서 노드들 간의 시간 동기화는 대역폭 할당 기법 구현을 위하여 매우 중요한 문제로 대두된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 자체적으로 인터벌 타이머를 동기화하기 위한 간단한 알고리즘을 추가하였다.

MS/TP 프로토콜에서 특정 노드가 토큰을 수신한 시점에 시간 동기화를 위한 메시지를 생성하여 곧바로 모든 노드로 브로드캐스트 전송할 수만 있다면, 노드간의 시간 동기화 문제는 매우 쉽게 해결될 수 있다. 이러한 점에 착안하여, 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 주기적 구간을 처음 시작하는 노드가 다른 메시지보다 우선하여 시간 동기화를 위한 메시지를 먼저 전송하도록 설계하였다. 또한, 다른 메시지보다 우선적으로 전송하기 위하여 시간 동기화 메시지의 우선순위를 긴급 메시지로 설정하도록 설계하였다. 다음 그림 5는 MS/TP 대역폭 할당 기법 알고리즘에서 시간 동기화 메시지를 전송하는 시점을 보여준다.

그림 5에서 보는 바와 같이, 주기적 구간이 시작 되면 주

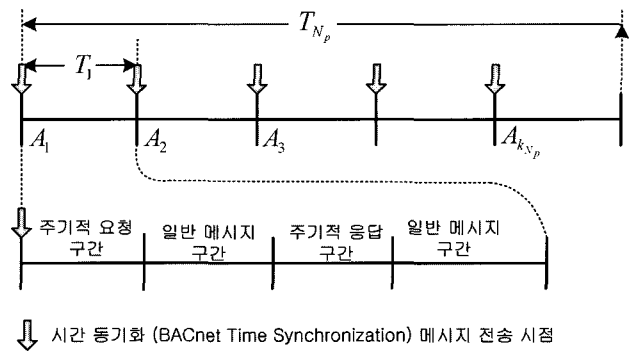


그림 5. 시간 동기화 메시지의 전송 시점.

Fig. 5. Transmission of synchronization message.

기적 구간을 시작하는 노드는 주기적 메시지를 보내기 전, 긴급 메시지를 생성하여 긴급 메시지 큐에 저장한다. 그러면 주기적 구간이 시작되더라도 긴급 메시지가 있기 때문에 긴급 메시지 큐에 있는 시간 동기화 메시지를 전송한 후 주기적 메시지를 전달하게 된다. 그러므로 모든 노드는 주기적 구간이 시작되기 전에 시간 동기 메시지를 받을 수 있게 된다.

이와 같은 방법으로 노드간의 시간 동기화를 수행하면, 주기적 구간의 최소 발생 주기인  $T_1$  구간마다 한번씩 모든 노드간의 시간 동기화가 이루어지므로, 특정 노드가 일시적으로 시간 동기화 메시지를 수신하지 못하더라도, 곧 이어 다음 번 주기적 구간에서 동기화를 수행할 수 있게 된다. 또한 노드가 토큰을 소유한 시점에 시간 동기화 메시지를 전송하게 되므로, 토큰 획득을 위한 네트워크 지연시간이 시간 동기화에 영향을 미치지 않게 되어, 복잡한 보정 알고리즘 없이 노드간의 시간 동기화가 가능하게 된다. 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 시간 동기화 메시지로 BACnet에서 이미 정의하고 있는 BACnet Time Synchronization 메시지를 사용하기 때문에 기존의 MS/TP 프로토콜을 사용하는 노드와의 통신 호환성 확보를 위한 요구사항 R3을 만족시킨다. 아울러, 주기적 구간의 최소 주기인  $T_1$  이 500 msec 정도로 매우 적은 경우라도, 시간 동기화를 위해 소비하는 대역폭은 전체 대역폭의 1% 미만으로 계산된다. 이러한 대역폭 소비량은 별도로 시간 동기화 알고리즘을 사용하여 노드간 시간을 동기화시키는 방식에 비하여 특별히 높지 않은 수준이다. 따라서 이 논문에서 제안하는 MS/TP 노드간의 시간 동기화 기법은 매우 간단하면서도 효율적인 알고리즘이라 할 수 있다.

V. 실험 모델 구현

본 연구에는 먼저 대역폭 할당 기법이 적용된 MS/TP 프로토콜을 탑재한 MS/TP 통신 모듈을 개발하였다. MS/TP 통신 모듈은 전체 BACnet 프로토콜 스택 가운데 데이터링크계층까지의 통신 기능을 처리한다. MS/TP 모듈은 daughter board 형식으로 개발하였으며, BACnet의 네트워크계층과 어플리케이션계층의 프로토콜이 탑재된 BACnet 보드에 장착할 수 있도록 하였다. 그림 6은 본 연구에서 개발한 MS/TP 통신 모듈의 내부 구조를 보여준다. MS/TP 모듈은 CPU, RAM, DPRAM(Dual Port RAM)등으로 구성되어 있다. MS/TP 통신 모듈은 3개의 커넥터로 BACnet 보드와 인터페이스 할 수 있

으며, 프로그램 다운로드를 위한 다운로드 커넥터와 DPRAM 접근을 위한 커넥터로 구성되어 있다. BACnet 보드에서는 커넥터를 통해 DPRAM의 특정 번지에 접근하여 MS/TP 통신 모듈을 제어할 수 있다. 그림 7은 본 연구에서 개발한 MS/TP 모듈의 사진이다.

그림 8은 MS/TP 통신 모듈에 탑재된 펌웨어의 구조를 보여준다. MS/TP 펌웨어는 MS/TP 프로토콜, 시리얼 통신, DPRAM 인터페이스 그리고 타이머 제어 함수 등으로 구성되어 있다. 시리얼 통신 함수는 EIA-485 인터페이스로부터 수신한 메시지를 MS/TP 프로토콜 함수에 전달해주며 또한, EIA-485를 통해 메시지를 전송한다. DPRAM 인터페이스 함수는 MS/TP 프로토콜 함수와 BACnet 보드에 있는 상위 계층의 프로토콜 스택과 메시지를 교환하는 역할을 한다. 대량의 메시지를 고속으로 교환하기 위해 두 개의 CPU가 개별적으로 데이터를 주고 받을 수 있는 DPRAM을 사용하였으며, DPRAM은 논리적으로 여러 개의 영역으로 구분된다. DPRAM의 영역은 메시지 수신/메시지 송신/인터럽트 송신/인터럽트 수신/레지스터 설정 영역으로 나누어진다.

BACnet 보드는 MS/TP 통신 모듈을 탑재하여 BACnet MS/TP 통신 기능을 수행하며, BACnet의 네트워크계층과 응용계층 프로토콜을 비롯하여 대역폭 할당 기법 알고리즘을 검증하기 위한 어플리케이션 프로그램이 탑재된다. BACnet 보드는 전원 공급부와 MS/TP 통신 모듈을 탑재하기 위한 인터페이스, BACnet 어플리케이션을 구현하기 위한 CPU Module 및 하드웨어 입출력 포트로 구성된다. BACnet 보드의 CPU 모듈은 내부 128K Bytes 프로그램 메모리 영역과, 32K Bytes의 외부 SRAM을 적용하였으며, 나머지 메모리 영역을 통해 RTC(Real Time Clock)을 제어한다. BACnet 보드의 RTC는 대역폭할당기법 구현 시 필요한 시간 동기화를 위해 일정한 클럭을 제공하는 역할을 하며, 비휘발성 메모리를 탑재하고 있으므로 필요한 정보의 백업용으로 사용된다. 다음 그림 9는 실제 구현된 BACnet 보드의 사진이다.

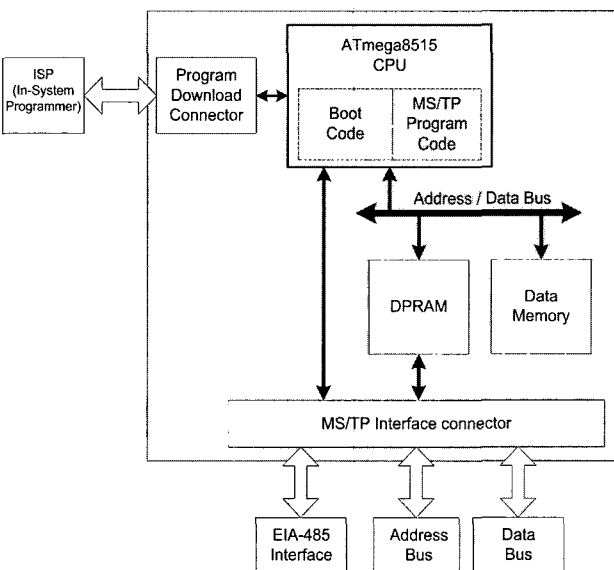


그림 6. MS/TP 통신 모듈의 구조.  
Fig. 6. Structure of MS/TP communication module.

MS/TP 모듈은 독립적으로 동작할 수 없으며, MS/TP 모듈의 확장 커넥터를 이용하여 BACnet 보드에 탑재된다. 탑재된 MS/TP 모듈은 전체 BACnet 프로토콜 중 DLL 계층만을 담당하기 때문에, 실험을 위한 메시지 생성과 모니터링 등은 모두 BACnet 보드에서 담당하게 된다.

MS/TP 프로토콜에서 대역폭 할당 기법 알고리즘의 성능과 유효성을 검증하기 위하여 그림 10과 같은 MS/TP 통신망의 실험 모델을 구성하였다. 그림에서 보는 바와 같이 실험 모델은 BACnet 보드에 MS/TP 통신 모듈이 탑재된 10개의 MS/TP 노드로 구성되어 있다. 모니터링 PC는 MS/TP 통신망을 통하여 전달되는 모든 프레임을 모니터링 하여 지연시간 분석을 위한 데이터를 수집하고, 이를 분석하여 실험 결과를 출력한다. 그림 11은 실제 실험에 사용한 실험 모델의 사진이다.

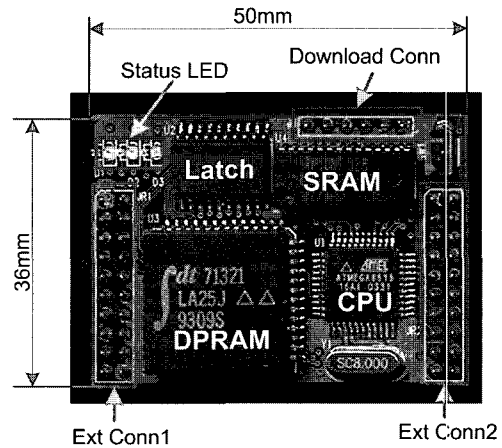


그림 7. MS/TP 통신 모듈 하드웨어 사진.  
Fig. 7. Picture of MS/TP communication module hardware.

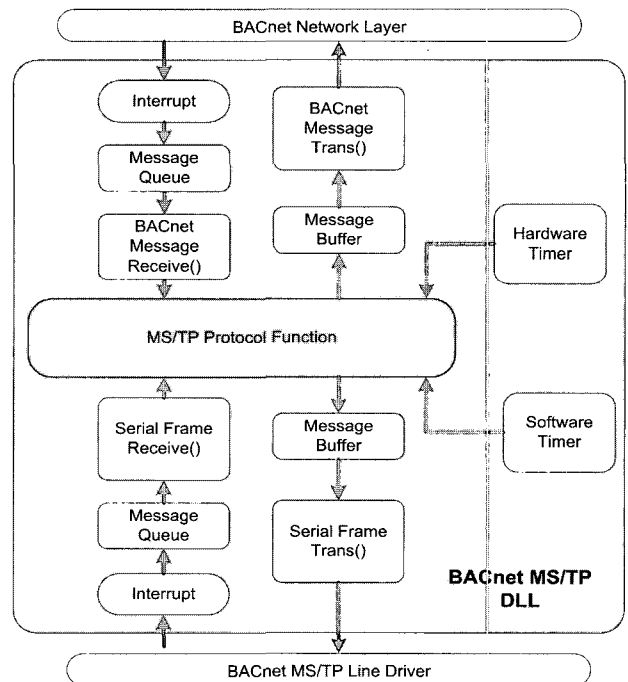


그림 8. MS/TP 통신 모듈의 펌웨어 구조.  
Fig. 8. Structure of MS/TP communication module firmware.

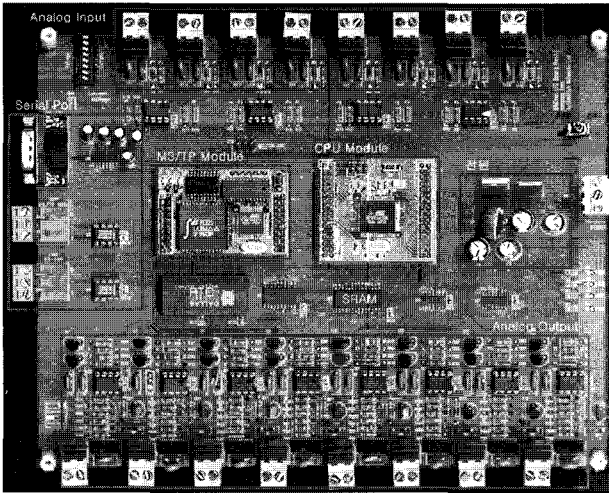


그림 9. BACnet 보드 사진.  
Fig. 9. Picture of BACnet board.

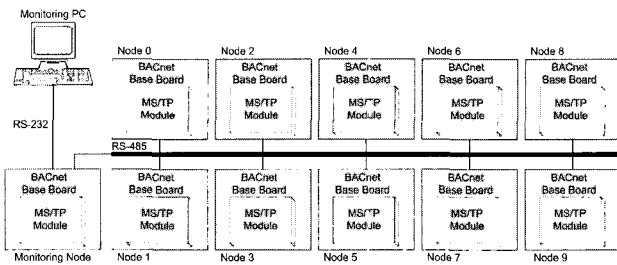


그림 10. MS/TP 통신망의 실험 모델 구성.  
Fig. 10. Configuration of the experimental model of MS/TP network.

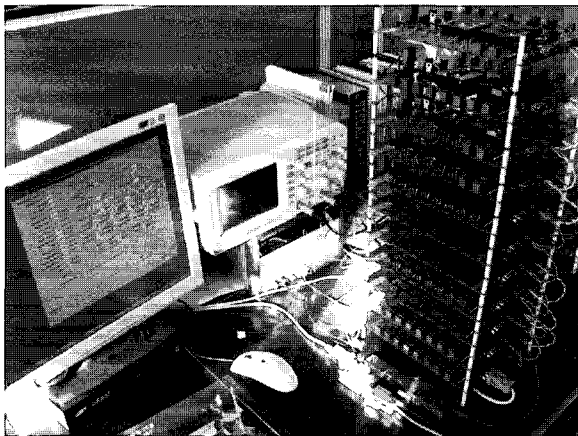


그림 11. MS/TP 통신망 실험 모델 사진.  
Fig. 11. Picture of the experimental model of MS/TP network.

**VI. MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법 타당성 검증**

이 장에서는 실험 모델을 통하여 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜의 실시간 데이터 전송 성능에 대한 타당성을 분석한다. 실험에서 MS/TP 통신망의 전송 속도는 76.8 Kbps로 설정하였다. 이는 BACnet MS/TP 스펙에서 표준으로 제시하는 통신 속도 중 가장 빠른 통신 속도이다. 본 실험에서 MS/TP 프로토콜 관련 파라미터는 표 2와 같이 주

표 2. MS/TP 네트워크 파라미터 값.

Table 2. The Value of MS/TP network parameters.

$N_{cycle\_max}$	$T_{max\_proc}$	$T_{no\_cycle}$	$T_{reply\_delay}$	$T_{usage\_delay}$
4	40 ms	520 ms	40 bit times	40 bit times

표 3. 실험 모델에서 메시지 발생 조건.

Table 3. Message generation condition in the experimental model.

BACnet 메시지	길이 (요구/응답)	평균 발생주기	트래픽 부하	우선순위
<i>Unconfirmed Event Notification</i>	76 bytes	10 s	0.0317	긴급
<i>Read Property</i>	23/29 bytes	$T_i$	0.0592	주기적
<i>Confirmed COV Notification</i>	48/15 bytes	2.4060 ~ 0.3702 s	0.1091 ~ 0.7091	일반

어졌다. 이 파라미터는 실험의 종류와 실험 환경에 따라 적절한 값으로 변경한다. 표 3은 본 실험에서 사용된 BACnet 메시지의 종류와 발생 주기 등을 비교하여 보여준다.

표 2에서 *Unconfirmed Event Notification* 서비스는 화재나 긴급 상황 또는 오퍼레이터가 반드시 빠른 시간 내에 확인하여야 하는 경우 발생하는 메시지를 전송하는 서비스로서 긴급 메시지로 분류된다. 실험모델에서는 긴급 메시지는 모든 노드에서 평균 10초마다 한 번씩 발생하는 것으로 가정하였으며, 포아송 분포를 따르는 것으로 가정하였다. 주기적 메시지는 BACnet의 가장 기본적인 서비스인 *Read Property* 서비스를 선정하였다. 대부분의 시스템에서는 주기적으로 특정 노드의 값을 읽어 들여 최신의 정보를 유지하는 방식으로 동작하기 때문에, *Read Property* 서비스 메시지가 주기적 메시지로 가장 적합하다. *Read Property* 서비스 메시지는 반드시 응답을 필요로 하는 서비스 메시지이며, *Read Property* 서비스 메시지에 대한 응답 메시지가 주기적 응답 메시지가 된다. 이 실험에서는 *Read Property* 서비스 메시지는 MS/TP 프로토콜의 대역폭 할당 기법에 의해 결정된  $T_i$ 의 시간 간격을 두고, 노드  $i$ 에서 주기적으로 발생하는 것으로 가정하였다. BACnet에서 사용되는 주요 서비스 메시지들은 대부분 응답을 필요로 하는 확인 서비스이기 때문에, 일반 메시지로 *Confirmed COV Notification* 서비스 메시지를 선정하였다. 일반 메시지는 전체 네트워크 트래픽 부하에 따라 각 노드에서 발생하는 평균 발생 주기를 조정하였으며, 역시 포아송 분포를 따라 발생하는 것으로 가정하였다.

본 실험에서는 모든 노드에서 주기적 메시지를 발생하며, 주기적 서비스 메시지의 최대 허용가능 지연시간을 다음과 같이 설정하였다.

$$\Phi = [600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 2800] \text{ms}$$

3절로부터 노드 0에서 9까지에서 주기적 메시지 발생 주기  $T_i$ 는 다음과 같이 결정된다.



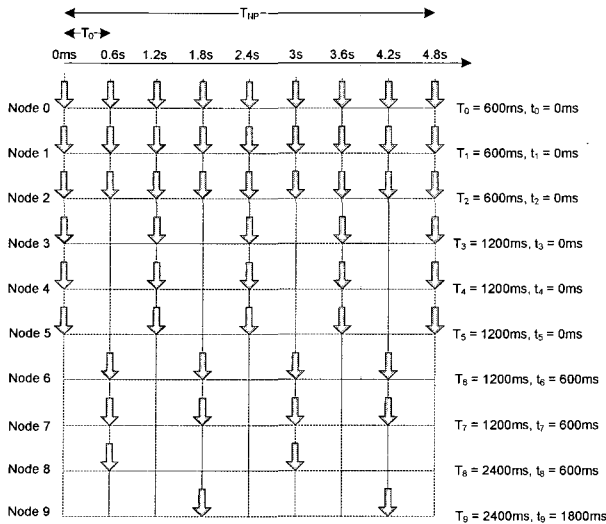


그림 12. 주기적 메시지 발생 패턴.  
Fig. 12. Message generation pattern of periodic data.

$$T = [600, 600, 600, 1200, 1200, 1200, 1200, 1200, 2400, 2400] \text{ ms}$$

또한,  $T_0$  구간 내의 윈도우 크기는  $r = 6$  로 결정된다. 각 노드에서 주기적 메시지의 최초 발생 시점인  $t_i$  는 다음과 같이 결정된다.

$$t = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 600, 600, 600, 1800] \text{ ms}$$

그림 12는 10개의 노드에서 주기적 메시지를 발생하는 패턴을 보여준다. 그림 12에서 보는 바와 같이 모든  $T_0$  구간에서 생성되는 주기적 메시지의 개수는  $r = 6$  개를 초과하지 않는다.

그림 12에서 보는 바와 같이 개선된 MS/TP 프로토콜은 모든 노드에서 한 시점에 발생하는 주기적 메시지의 수를 결정하여 제한된 시간 내에 주기적 메시지가 모두 전송될 수 있도록 한다. 또한, 긴급 메시지는 최대한 빠른 시간 내에 처리할 수 있도록 하였으며, 긴급 메시지와 주기적 메시지를 전송하고 난 이의의 대역폭에 일반 메시지를 전송할 수 있도록 할당하였다. 이는 일반 메시지가 주기적 메시지와 긴급 메시지에 비해 전송될 수 있는 양이 제한되는 것이기는 하나, 기존 MS/TP 프로토콜의 관점에서 보면 모든 메시지는 일반 메시지이며, 한정된 대역폭에 전송되는 메시지의 종류만 달라지는 것이므로 전체적으로 비교하여 보았을 때 기존 MS/TP 프로토콜과 개선된 MS/TP 프로토콜의 전체 대역폭은 변함이 없다.

그림 12의 주기적 메시지 발생 패턴은 그림 9에 나와 있는 BACnet 보드에서 발생하며, MS/TP 모듈은 BACnet 보드에서 발생한 메시지를 DPRAM을 통해 메시지 전송 큐에 메시지를 저장하고, 주기적 구간이 되었을 때 큐에 있는 메시지를 전송하게 된다. 각 노드는 주기적 메시지 발생 패턴에 따라 메시지를 생성하게 되는데, 노드 번호가 작을수록 주기적 메시지를 많이 생성하게 된다. 그림 12에서 보면 주기적 메시지의 생성 그룹은 4개로 나눌 수 있으며, 주기적 메시지를

많이 생성하는 노드일수록 낮은 노드 번호를 부여하며, 주기적 메시지를 적게 생성하는 노드일수록 높은 노드 번호를 부여하게 된다.

VII장에서는 개선된 MS/TP 프로토콜의 성능을 알아보기 위해 기존 MS/TP와의 비교를 하였을 뿐만 아니라, 각 파라미터의 값에 따라 미치는 영향을 알아보기 위해 파라미터 별로 각기 다른 값을 적용하여 실험을 하였다. 각 실험에서 측정하고자 하는 파라미터 이외에 모든 파라미터는 동일한 값을 적용 하였으며, 모니터링을 위해 각 노드에 별도의 부하를 주지 않기 위해 네트워크에 전송되는 메시지를 직접 수신할 수 있는 별도의 모니터링 노드를 통해 모니터링 하게 된다. 모니터링 노드는 별도의 메시지를 생성하지 않으며, 단지 메시지의 종류에 따라 메시지의 발생 시점과 송/수신 시점, 발생 메시지 수 등을 취합하여 저장 및 분석하는 역할을 한다.

### VII. 실험 결과 분석

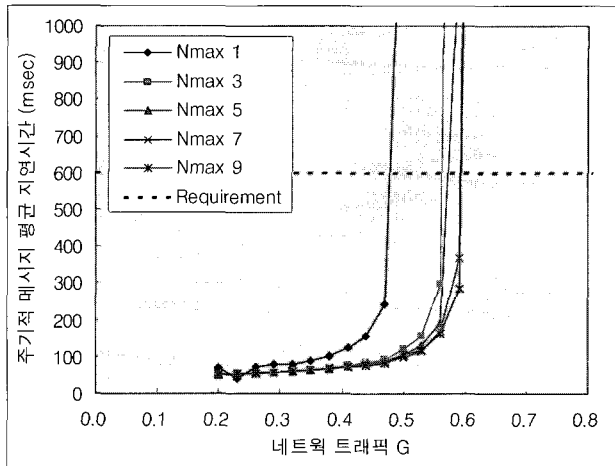
본 절에서는 실험 결과를 통하여 대역폭 할당 기법이 적용된 개선된 MS/TP 프로토콜의 타당성을 검증한다. 본 연구에서 네트워크의 트래픽 부하는  $G$  로 정량화한다. 트래픽 부하  $G$  의 물리적 의미는 단위시간당 프로토콜 자체의 오버헤드를 제외한 순수 메시지를 전송하는데 소요된 시간의 비율을 나타내며, 이는 다음과 같이 표현된다

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

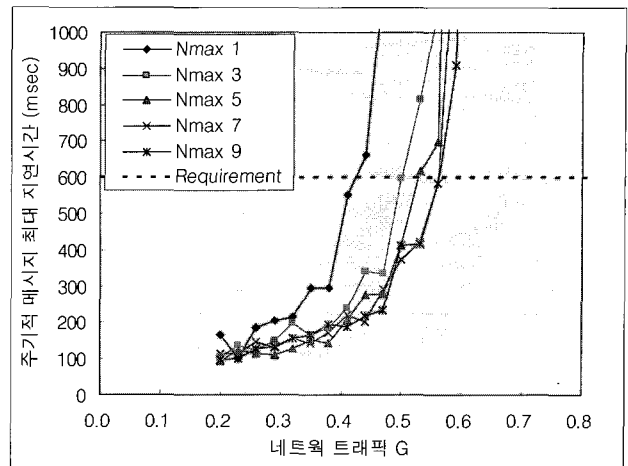
여기서  $B$  는 미디어의 데이터 전송속도(bits/sec),  $N$  은 미디어 내에 접속된 노드의 개수,  $T_i$  는 노드  $i$  에서 생성되는 메시지의 평균 발생 주기(sec),  $L_i$  는 노드  $i$  에서 생성되는 메시지의 평균 길이(bits)를 나타낸다.  $G$  는 0과 1사이에서 결정되며, 1에 접근할수록 트래픽 부하는 증가된다.

이 절에서는 실험 모델을 통하여 기존의 MS/TP 프로토콜과 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜의 전송지연시간을 측정하였다. 전송지연시간은 트래픽 부하의 증가와 MS/TP 프로토콜의 중요한 파라미터인  $N_{\max\_info\_frames}$  (그림에서  $N_{\max}$ 로 표기)의 변화에 대하여 측정하였다. 그림 13에서는 기존 MS/TP와 대역폭 할당 기법을 적용한 MS/TP에서 주기적 메시지의 평균 서비스 지연시간을 비교하여 보여 주고 있다. 대역폭 할당기법이 적용되지 않는 기존의 MS/TP 프로토콜에서는 메시지를 우선순위별로 처리하는 기능이 없으며, 긴급메시지, 주기적 메시지 및 일반 메시지가 하나의 전송큐를 공유하여 전송된다. 따라서, 그림 13에서 보는 바와 같이 서비스 지연시간은 트래픽 부하의 증가에 따라 지수함수의 곡선 패턴과 유사한 패턴으로 증가할 수 밖에 없다. 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP에서는 네트워크 트래픽이 증가하고  $N_{\max\_info\_frames}$  파라미터 값이 변화하더라도 주기적 메시지의 평균 서비스 지연시간이 일정한 시간 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다.

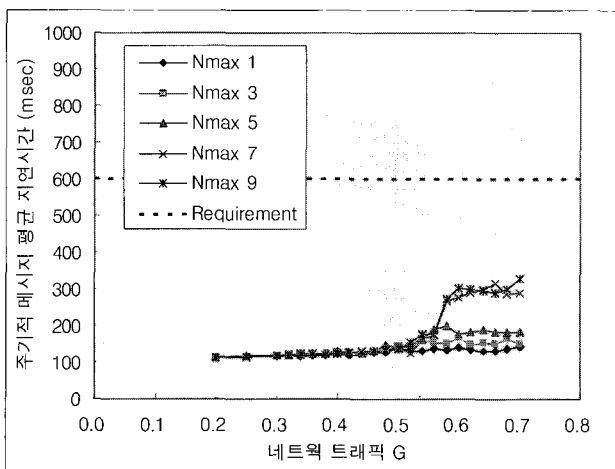
그림 14에서는 기존 MS/TP와 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP에서 주기적 메시지의 최대 서비스 지연시간을 비교하여 보여준다. 노드 0에서 주기적 메시지의 최대허용



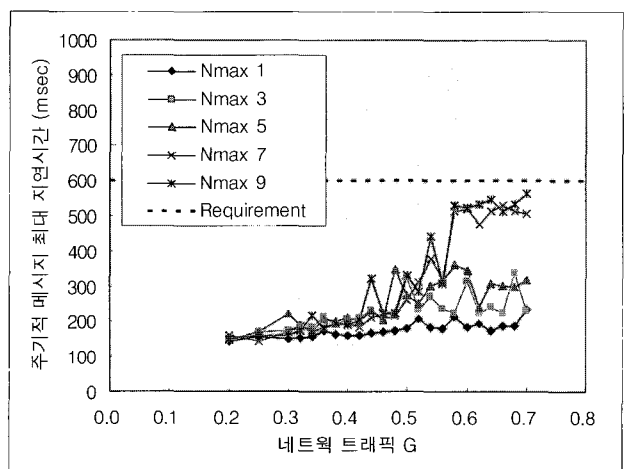
(a) 기존 MS/TP



(a) 기존 MS/TP



(b) 대역폭 할당 기법을 적용한 MS/TP



(b) 대역폭 할당 기법을 적용한 MS/TP

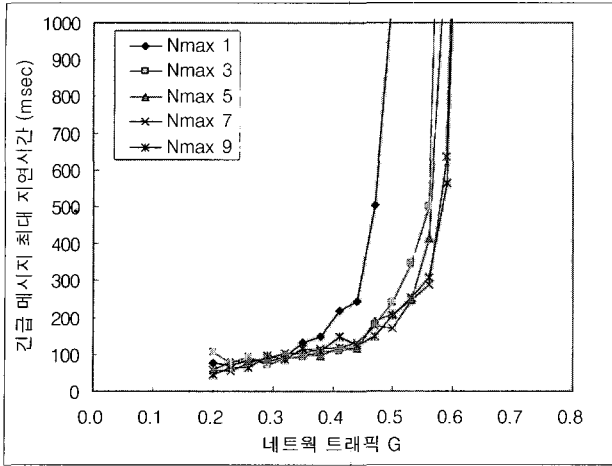
그림 13. 주기적 메시지의 평균 서비스 지연시간 비교.  
Fig. 13. Comparison of the average service delay of periodic message.

그림 14. 주기적 메시지의 최대 서비스 지연시간 비교.  
Fig. 14. Comparison of the maximum service delay of periodic message.

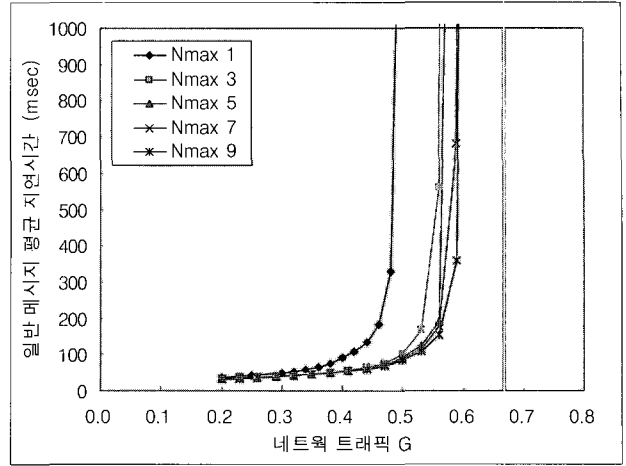
지연시간은  $\phi_0 = 600 \text{ ms}$ 로 제한되어 있다. 기존의 MS/TP에서의 주기적 메시지의 지연시간은 일반 메시지와 같이 트래픽 부하의 증가에 따라 지수함수로 증가하여 결국 모든 노드에서 최대허용 지연시간을 초과한다. 그러나 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜에서는 모든 노드에서 트래픽 부하가 증가하고  $N_{\max\_info\_frames}$  파라미터 값이 BACnet 스펙에서 제시한 범위 내의 어떠한 값이 가지더라도 주기적 메시지의 최대 서비스 지연시간이  $\phi_0 = 600 \text{ ms}$ 를 초과하지 않아 실시간 통신의 요구사항을 만족하고 있음을 보여준다.

그림 15는 기존 MS/TP와 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP에서 긴급 메시지의 최대 서비스 지연시간을 비교하여 보여준다. 기존의 MS/TP에서 긴급 메시지의 지연시간은 일반 메시지와 마찬가지로 트래픽 부하의 증가에 따라 지수함수의 패턴과 유사한 패턴으로 증가한다. 그러나 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP에서는 트래픽 부하가 증가하고  $N_{\max\_info\_frames}$  파라미터 값이 변화하더라도 모든 노드에서 긴급 메시지 지연시간이 일정 시간 이하로 제한되어 실시간 통신의 요구사항을 만족하고 있음을 보여준다.

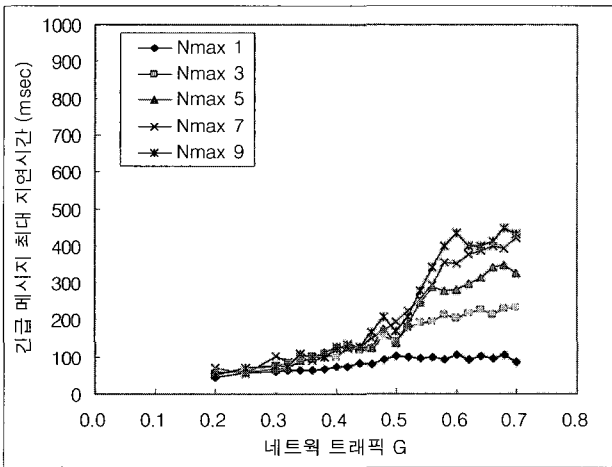
그림 16에서는 기존의 MS/TP와 대역폭 할당 기법이 적용된 개선된 MS/TP에서 일반 메시지 평균 지연시간에 대한 차이를 보여준다. 일반 메시지의 지연시간은 기존의 MS/TP와 개선된 MS/TP에서 모두 트래픽 부하의 증가에 대하여 지수함수로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 개선된 MS/TP의 경우 기존 MS/TP에 비하여 보다 약간 낮은 트래픽 부하에서 대역폭이 포화상태에 도달한다. 즉, 동일한 트래픽 부하에서 일반메시지의 서비스 지연시간은 기존의 MS/TP가 개선된 MS/TP에 비하여 약간 우수하다. 본 실험 결과로부터 개선된 MS/TP 프로토콜에서 주기적 메시지와 긴급메시지가 실시간 통신의 요구사항을 만족하는 것은 일반 메시지의 서비스 지연시간에 대한 희생을 통하여 얻어진 것임을 알 수 있다. 그러나 일반 메시지는 통신망 설계시 서비스 지연시간에 크게 영향을 받지 않는 메시지로 분류되며, 그림 16에서 보는 바와 같이 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜에서 일반메시지 서비스 지연시간의 증가는 기존의 MS/TP에 비하여 차이가 크지 않음을 알 수 있다.



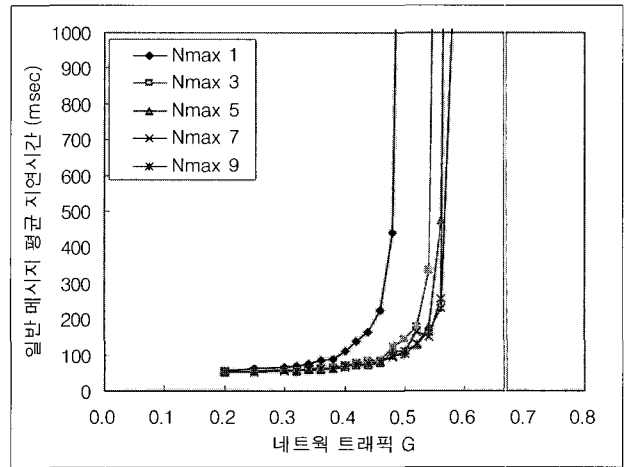
(a) 기존 MS/TP



(a) 기존 MS/TP



(b) 대역폭할당기법을 적용한 MS/TP



(b) 대역폭할당기법을 적용한 MS/TP

그림 15. 긴급 메시지의 최대 지연시간 비교.

Fig. 15. Comparison of the maximum delay of life safety message.

대역폭 할당 기법이 구현된 개선된 MS/TP와 기존의 MS/TP 간에 호환성에 대한 요구사항 R3이 보장되는 것을 알아보기 위하여 다음 실험에서는 대역폭 할당 기법이 구현된 MS/TP 노드 5개와 기존 MS/TP 노드 5개를 하나의 통신망에 같이 설치하였다. 그림 17은 대역폭 할당 기법이 구현된 MS/TP의 호환성을 실험한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 호환성 실험에는 아무런 문제가 없었으며, 기존의 MS/TP와 개선된 MS/TP 간에 원활한 통신이 이루어짐을 알 수 있었다.

본 실험에서  $N_{max\_info\_frames}$  파라미터 값을 10으로 설정 하였으며,  $T_{no\_cycle}$  값을 600 msec로 설정하였다. 대역폭 할당 기법이 구현된 MS/TP 노드와 기존 MS/TP 노드를 같이 사용할 경우, 그림에서 보는 바와 같이 실시간 통신의 성능 요구 사항을 만족시키지 못할 수 있다. 이는 기존 MS/TP 노드가 개선된 MS/TP 프로토콜에서 정의한  $T_{no\_cycle}$  파라미터의 영향을 받지 않아 강제로 토큰을 주기적 메시지가 발생하는 노드로 전송하는 기능을 수행하지 못하기 때문이다. 따라서 주기적 구간이  $T_0$ 의 주기로 반복되지 않아 주기적 메시지의 성능 요구 사항을 만족시키지 못하지만, 기본적인 통신 호환

그림 16. 일반 메시지의 평균 서비스 지연시간 비교.

Fig. 16. Comparison of the average service delay of normal message.

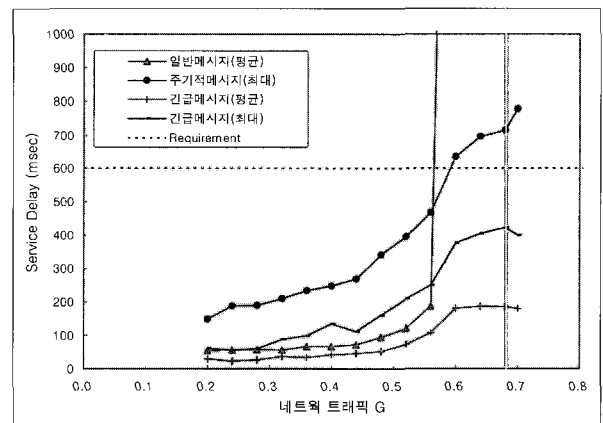


그림 17. 호환성 실험 결과.

Fig. 17. Results of Interoperability test.

성에는 아무런 문제가 없으며 이를 실험 결과를 통해 확인하였다. 그림 17에서 나타나는 일반 메시지의 평균 전송 지연시간의 급격한 변화는 기존 MS/TP 프로토콜에서도 나타나는

현상으로, 대역폭 할당 기법을 적용하였을 때 전송 지연 시간이 급격하게 변하는 시점에서 약간의 차이만 있을 뿐 대역폭 할당 기법을 적용하여서 나타나는 현상으로 볼 수 없다.

### VIII. 결론

본 논문에서는 MS/TP 프로토콜의 실시간 통신 성능을 개선하기 위한 대역폭 할당 기법 알고리즘을 제안하였다. 제안된 대역폭 할당 기법 알고리즘은 MS/TP 프로토콜의 주요 동작 알고리즘에 최소한의 알고리즘만을 추가하여, 주기적으로 발생하는 BACnet 서비스 메시지의 서비스 지연시간을 제한할 수 있도록 한다. 또한 트래픽 부하가 크게 증가되는 상황에서도 긴급 메시지의 지연시간이 일정 시간을 초과하지 않도록 한다. 대역폭 할당 기법을 적용한 개선된 MS/TP 프로토콜은 기존의 MS/TP 프로토콜과의 통신 호환성을 유지하도록 하였으며, 대역폭 할당 기법 알고리즘을 적용하기 위하여 변경해야 하는 부분을 최소화하였다. 대역폭 할당 기법이 구현된 개선된 MS/TP와 기존의 MS/TP노드를 하나의 통신망에 설치하여 사용하더라도 통신상의 호환성에는 아무런 문제가 없다.

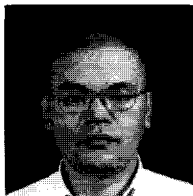
실험 결과 본 논문에서 제안하는 MS/TP 프로토콜의 대역폭 할당 기법 알고리즘은 통신망 시스템 설계자가 기존의  $N_{\max\_info\_frames}$  파라미터와 새로 정의한  $T_{no\_cycle}$  타이머의 값을 적절히 조정함으로써, 제한된 시간 내에 처리가 완료되어야 하는 주기적 메시지와 가능한 빠른 시간 내에 처리되어야 하는 긴급 메시지, 그리고 일반 서비스 메시지를 효과적으로 구분하여 처리할 수 있도록 한다.

### 참고문헌

- [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, Washington, D.C., 2000.
- [3] ASHRAE Guideline 13-2000, *Specifying Direct Digital Control Systems*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2000.
- [4] ANSI/ASHRAE Standard 135-2001, *BACnet: A Data*

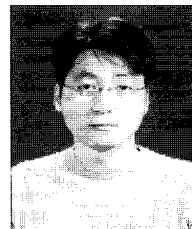
*Communication Protocol for Building Automation and Control Networks*, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA.

- [5] ISO 16484-5 *Building automation and control systems - Part 5 Data communication protocol*, ISO, 2003.
- [6] ISO 16484-6 *Building automation and control systems - Part 6 Protocol Conformance Testing*, ISO, 2004.
- [7] KS X 6909 빌딩자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.
- [8] S. T. Bushby and H. M. Newman, "BACnet Today" "BACnet Today" *Supplement to ASHRAE Journal*. pp. 10-18, October 2002.
- [9] S. T. Bushby, "New tools for specifying BACnet" *ASHRAE Journal*. vol. 44, no. 3, pp. 33-37, March 2002.
- [10] W. S. Song, S. H. Hong and S. Bushby, *A Simulation Analysis of the BACnet LANs*, NISTIR 7038, National Institute of Standards and Technology, October 2003.
- [11] 송원석, 홍승호, "MS/TP 프로토콜에서 실시간 통신을 위한 대역폭 할당 기법," 대한전기학회논문지, 제54D권, 제11호, pp. 660-668, 2005. 11.
- [12] S. H. Hong, "Scheduling Algorithm of Data Sampling Times in the Integrated Communication and Control Systems," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 3, pp. 225-230, 6. 1995.
- [13] S. H. Hong, "Bandwidth allocation scheme in the cyclic-service fieldbus networks," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 6, pp. 197-204, June 2001.
- [14] S. H. Hong, Y.C. Kim "Implementation of a bandwidth allocation scheme in a token-passing fieldbus network," *IEEE Trans. on Instrument and Measurement*, vol. 51, no. 2, pp. 246-251, 4. 2002.
- [15] S. H. Hong, W. H. Kim, "Bandwidth allocation scheme in the CAN protocol," *IEE Proceedings-Control Theory and Applications*, vol. 147, pp. 37-44, Jan. 2000.
- [16] S. H. Hong, I. H. Choi "Experimental evaluation of a bandwidth allocation scheme for foundation fieldbus," *IEEE Trans on Instrument and Measurement*, vol. 52, no. 12, pp. 1787-1791, 12. 2003.



홍 승 호

1982년 연세대학교 졸업(공학사). 1985년 Texas Tech University(공학석사). 1989년 Pennsylvania State University(공학박사). 1992년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수.



권 영 찬

2003년 한양대학교 졸업(공학사). 2005년 한양대학교 대학원 졸업(공학석사). 2005년~현재 LS산전(주) 중앙연구소 연구원.