

# FDDI 기간 통신망의 MAC 프로토콜과 브릿지의 성능 분석

正會員 趙 龍 九\* 正會員 李 在 昊\* 正會員 吳 英 煥\*

## Performance Analysis of Bridges and MAC Protocols for FDDI Backbone Networks

Yong Gu CHO\*, Jae Ho LEE\*, Young Hwan OH\* *Regular Members*

**要 約** 본 논문은 FDDI 기간 통신망(backbone)과 LAN을 상호 연결하는 브릿지의 성능 및 통신망의 매체 액세스 제어 프로토콜에 대한 성능을 분석하였다. 이 시스템에서의 평균대기시간 해석은 전처리 방식을 적용하였으며, 성능분석은 LAN상에서 발생될 수 있는 세가지 원천모형을 사용하였다. 그리고 이 연구에서 제안한 해석법을 사용해서 브릿지의 처리속도, 기간 통신망의 총 부하량, 기간 통신망의 길이,  $T_{\text{avg}}$  값 및 Station latency 변화에 따르는 평균 대기시간을 분석 하였다. 이 분석 결과 시스템의 처리지연은 주로 브릿지 지연에 의해 이루어지고, 브릿지의 처리속도가 증가할수록 기간 통신망의 매체액세스 제어 프로토콜에 의해 이루어 진다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 기간 통신망의 고속성을 활용하기 위해서는 브릿지의 처리속도가 높아야 함을 알 수 있었다.

**ABSTRACT** In this paper, the performance of bridges used to interconnect LANs to FDDI backbone networks as well as the performance of MAC protocols for FDDI backbone networks were thoroughly analyzed.

The exhaustive service discipline and three source models were applied to analyze the mean waiting time of the system. The performance is evaluated in terms of the service rate of bridge, total load of backbone, medium length of backbone, value of  $T_{\text{avg}}$ , and station latency.

The results of analysis show that in general, processing delay of the system is mainly determined by bridge delays. But when processing time of bridge increases, processing delays of the system are primarily determined by MAC protocols. Therefore, speed-up of processing time of bridge is necessary to efficiently use the high speed backbone networks.

### I. 서 론

1978년 D.D.Clark이 처음으로 LAN(local area network)이라는 용어를 사용한 이후 이에 대한 특별한 관심을 갖게된 것은 1976년 이더넷(ethernet)가 발표되면서 부터이다. 그후 LAN은 비교적 넓은 범위의 사무 자동화(office automation : OA) 기기와 데이터통신 기기를 전용의 국부 네트워크로 결합하여 기업의 사무나 공장의 경영 등을 자동화하는 광대역의 정보통신망으로 발전 되었다. 특히 IEEE 802.3/ethernet

과 IEEE 802.5/token ring은 워크스테이션과 호스트간의 통신방법으로 폭넓게 수용되어 왔으며, 전송속도는 4Mbits/s~16Mbits/s 정도이다. 그러나, 성능, LAN의 크기 및 전송속도 그리고 신뢰성 및 안전성 등의 제한으로 인해 다양한 실제적인 응용에서 문제가 되어 왔다.

FDDI(fiber distributed data interface)기법은 이런 문제점들을 극복 하였으며 기간통신망(backbone network)에 대한 좋은 선택이 되었다. 광 화이버를 기초로 한 HSLAN(high speed LAN)에서 첫 표준안으로 FDDI가 채택되었으며, FDDI 표준안은 ANSI(american national standard institute)X3T9.5 위원회에서 제기되어 ISO(international standards organization)에 의해 채택되었다. FDDI는 100Mbits/s의 고속전송을

\*光云大學校 電子通信工學科  
Dept. of Electronic Communication Engineering  
Kwangwoon University.  
論文番號 : 91-51(接受1991. 3. 14)

지원하며 시한 토큰 순환 기법(timed token rotation mechanism)을 사용한다. 기존의 토큰링이 프리토큰(free token)을 잡고 패킷을 전송한 후 자기 패킷을 받은 다음 토큰을 놓아주는데, 이 방법은 고속전송이나 전송로가 긴 경우에 있어서 대기시간이 길어지게 되는 원인을 갖게 한다. 그러나 FDDI 프로토콜에서는 패킷을 전송하고 즉시 프리토큰을 놓아주는 시한제어 토큰 프로토콜(timed controlled token protocol)이 사용되므로 패킷 길이의 영향을 결정적으로 줄일 수 있다. 이와 같은 MAC(media access control) 프로토콜을 갖는 FDDI는 초당 전송할 수 있는 패킷 수 대신 전송속도에 의해 주로 특성 지워진다<sup>12)</sup>. FDDI에서 제공되는 서비스는 최대 지연이 존재하는 동기 트래픽(synchronous traffic)과 지연이 보장되지 않아도 되는 비동기 트래픽(asynchronous traffic)으로 나눌 수 있다. 일반적으로 LAN에서는 주로 비동기 트래픽이 전송되기 때문에, 본 논문에서는 LAN에서 동기전송을 지원하지 않는다고 가정하였으며, 트래픽에 대한 8개의 우선도와 MAC 표준안에 의해 선택적으로 제공되는 제한된 토큰 액세스(restricted token access)도 고려하지 않았다. 또한, 기간 통신망은 올바르게 작동한다고 가정한다. 이것은 오류 회복 절차가 고려되지 않음을 말한다.

LAN을 기간 통신망에 연결하는 디바이스는 OSI(open system interconnection) 참조 모델의 임의의 계층(layer)에서 작동될 수 있으나, 데이터 링크층으로 제한되는 디바이스를 브릿지라고 한다. LAN에서 데이터링크층은 MAC부 계층과 LLC(logical link control)부 계층(sublayer)으로 나뉘어진다. 브릿지는 LLC프로토콜을 포함하지 않으며 다만 MAC내에서 프레임 전달 기능을 제공한다. 브릿지에 연결된 LAN들은 경쟁 할당 방식이나 요구 할당 방식과 같은 자신의 MAC 프로토콜을 갖는다. 본 논문에서는 브릿지에 연결된 LAN이 기존 가장 보편적으로 사용되어지고 있는 이더네트라고 가정하며, 브릿지의 처리속도는 결정적(deterministic)이라고 가정한다. 기존의 브릿지는 초당 수천 패킷정도만 통과

시킬 수 있어 100Mbps/s인 FDDI와는 속도 차이가 많음을 알 수 있다. 또한, 기간 통신망에는 제한된 숫자의 브릿지만이 연결 될 수 있으며, 브릿지는 FDDI와는 달리 패킷 수에 매우 민감하다<sup>13)</sup>.

본 논문에서는 인터넷 트래픽인 화일 전송과 대화식 트래픽 그리고 혼합트래픽을 원천모델로 고려하여 기존의 브릿지와 FDDI 기간통신망에서의 지연을 비교하였다. 토큰링 프로토콜에서 패킷의 평균지연은 다중큐 단일서버 순회큐(multiqueue single server cyclic service queue) 모델을 사용해 해석되어지며, 각각의 큐는 M/G/1으로 모델되었다. 해석 방식으로는 선차리(exhaustive service)방식을 채택하여, 선차리 방식의 해석 결과와 SIMSCRIPT II.5를 사용하여 얻은 시뮬레이션 결과의 비교를 통해 제안된 해석 방법을 검증하였다.

## II. 브릿지 및 FDDI 특성

### (1) 브릿지 특성

브릿지는 OSI 참조 모델의 데이터 링크층에서 LAN들을 상호 연결한다. 브릿지가 데이터 링크층의 MAC부 계층에서 작동하기 때문에 MAC 계층 브릿지라고도 한다. OSI 참조모델의 물리층(physical layer)에서 작동하는 것을 리피터(repeater)라고 하고 네트워크층(networklayer)에서 작동하는 것을 라우터(router)라고 한다. 게이트웨이(gateway)는 그 이상의 계층에서 작동할 수 있다. 상위 계층으로 올라가면 갈수록 처리절차가 복잡하기 때문에 처리율은 떨어지며, 따라서 기존 대부분의 브릿지는 라우터나 게이트웨이보다 처리율이 높다. 그림 1은 하나의 MAC와 두개의 PHY+PMD모듈을 갖는 브릿지 내부블럭도 이다. 이와 같은 브릿지는 여과기능과 전송기능(forwarding) 그리고 학습기능(learning)과 스패닝 트리 알고리즘(spanning tree algorithm) 등 기본적인 기능을 수행한다. 브릿지는 기간 통신망과 LAN으로부터 프레임은

송, 수신하며, 데이터베이스(data base)는 각 포트에 수신된 프레임의 송신처 주소를 관찰하기 위해 유지된다. 브릿지는 수신된 프레임의 수신처 주소를 데이터 베이스에 포함된 송신처 주소가 데이터베이스에 없을 경우는 그 주소에 관한 정보를 수록하는 기능(학습기능)이 있다. 또한, 부가적으로 망의 구성에 관한 정보가 브릿지간에서 교환된다. 이 정보를 통해 어떠한 루프(loop)도 망의 구성에서 지속되지 않게 각각의 브릿지는 분산된 알고리즘을 이용하여 루프 형성을 방지한다. 이 알고리즘을 스페닝 트리 알고리즘이라고 한다<sup>(3,5)</sup>.

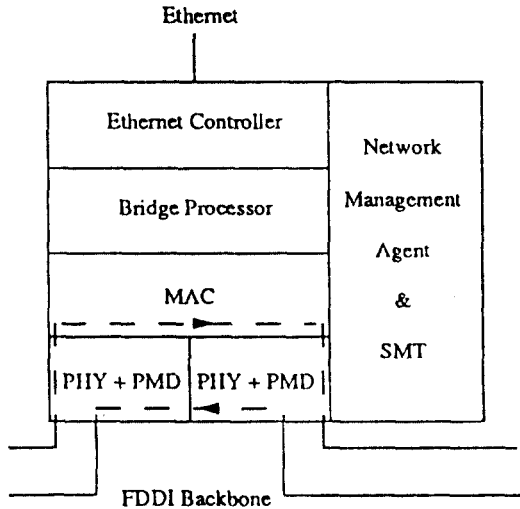


그림 1. 브릿지의 내부 블록도  
Fig. 1. Internal Block Diagram of Bridges

(2) FDDI 특성

FDDI는 802.3 LAN의 10Mbits/s나 802.5 LAN의 16Mbits/s를 초과하는 유일한 표준으로 ANSI에서 제기되어 ISO에 의해 채택되었다. 데이터 코딩(coding)방식은 4B/5B 방식을 사용하며 125M baud로 데이터를 전송한다. 링의 구성은 이중으로 되어 있으며 스테이션사이의 간격은 최대 2Km까지 가능하며, 500개의 스테이션을 연결 할 수 있고, 화이버(fiber)의 최대

길이는 200Km이다. FDDI는 두가지 서비스 등급을 갖는다. 첫째 최대 지연이 보장되는 동기 서비스와 지연이 보장되지 않는 비동기서비스이다. FDDI MAC 프로토콜은 효율의 손실없이 모든 스테이션이 공정하게 매체를 사용할 수 있는 시한 제어 토큰 프로토콜을 사용한다. MAC 프로토콜인 시한 제어 토큰 프로토콜은 TRT(token rotation timer), THT(token holding timer, VTX(valid transmission timer) 등 3개의 타이머와  $T_{OPR, late_{ct}}$  등 2개의 파라메타로 구성된다. TTRT(target token rotation time)값은 링의 초기화 과정 중에 최소의 값으로 얻어지며  $T_{OPR}$  값은 TTRT값을 저장하는 파라메타이다. TRT는 토큰을 놓아주는 순간부터 다음 토큰을 받을 때 까지의 토큰 회전 시간을 측정하는 타이머로 처음에는  $T_{OPR}$  값으로 초기화 된다. THT는 토큰이 정상적으로 도착한 경우, 즉  $late_{ct} = 0$ 일때 TRT의 잔류값이 THT에 놓여지면서 동기 트래픽 전송중에는 그 값이 유지되어 있다가 비동기 트래픽 전송시 감소 된다. 이때 TRT는  $T_{OPR}$  값으로 놓여진다. VTX는 올바른 프레임간의 시간을 측정하며 임계값 이상이면 링에 오류가 발생한 것으로 판단하며 링 회복절차를

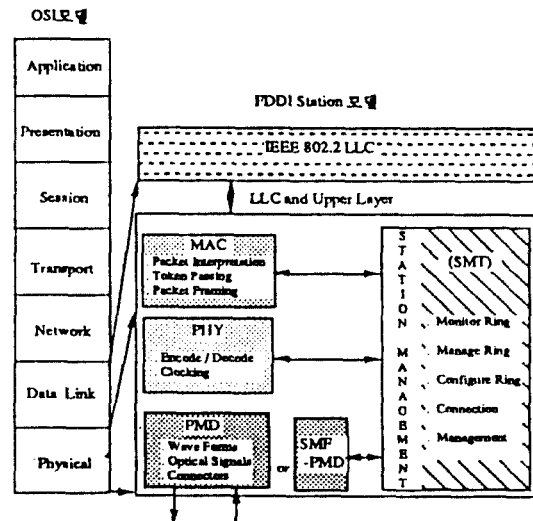


그림 1. FDDI 계층과 OSI 계층과의 관계  
Fig. 2. FDDI and ISO Layer Diagram

수행한다. 이 값은 비 제한된 토큰이 수신되거나 올바른 프레임이 수신될때마다 재설정 된다.  $late_{(i)}$ 에는 토큰 획득후 TRT의 값이 소멸된 횟수가 기록된다. 토큰이 늦게 도착한 경우 즉,  $late_{(i)} \neq 0$ 인 경우  $late_{(i)}$ 는 삭제되고 TRT는  $T_{(max)}$  값으로 다시 놓이지 않는다. 이때는 단지 동기 트래픽만이 전송될 수 있다. FDDI에서 처리되는 트래픽은 동기와 비동기 트래픽이며, 비동기 트래픽은 제한된 토큰모드와 비 제한된 토큰모드로 나뉘고 후자는 비동기 트래픽을 1~8로 분류된 우선도를 갖는 트래픽으로 나뉜다. 그림 2는 FDDI 스테이션의 구성 및 각 계층의 특징에 대한 요약을 나타낸다[10].

### III. 성능분석

#### (1) 모델링

본장에서는 원시모델(source model) 및 브릿지 모델 그리고 FDDI 기간 통신망에 대한 모델을 설정하고, 성능분석을 위해 각각의 모델에 대한 몇가지 가정사항을 기술한다. 또한, 브릿지의 성능분석을 위하여 브릿지 지연과 기간 통신망의 MAC 지연을 분석하는 방안을 제시한다.

#### 가. 원시모델

LAN으로 부터의 통신망간 트래픽은 화일전송(file transfer)과 대화식 트래픽(interactive traffic) 그리고 혼합 트래픽(mixed traffic)으로 나타낼 수 있다. 각각의 원시 트래픽은 상호 독립적이며, 통계적으로 동일한 방법으로 작동되고, 또한 브릿지의 평균 데이터 액세스 율(mean access data rate)은 2Mbits/s로 가정한다.

본 논문에서는 LAN상에서의 패킷 전송시 TCP/IP를 사용하며 IP 패킷이 전송하는 동안 문제점이 발생한 경우 그 원인이 되는 패킷을 수신한 스테이션이 그 패킷을 전송한 스테이션에게 오류에 관한 정보값 보낼 수 있는 ICMP(internet control message protocol) 패킷을 포함한다. 따라서 본 논문에서 사용하는 통신망간

오버헤드는 IP 오버헤드 27bytes와 ICMP 오버헤드 8bytes를 포함하여 총 35bytes이다. 화일 전송 동안 고정된 길이의 패킷이 연속적으로 전송된다. 이와 같은 연속적인 화일은 화일 상호간의 간격(interfile gap)에 의해 분리되며 이 화일 상호간의 간격은 2Mbits/s 데이터 액세스 율에 따르는 평균 값을 갖는 지수분포(exponentially distributed)라고 가정한다. 또한 화일의 목적지는 균등분포(uniformly distributed)이고 각각 전송 전에 독립적으로 선택된다고 가정한다. 패킷은 최소 9.6 $\mu$ s의 패킷 상호간 간격(interpacket gap)을 가지며, 10Mbits/s의 데이터 속도를 갖고 LAN에서 전송된다. 패킷은 1024bytes의 고정된 길이의 정보 필드와 35bytes의 통신망간 오버헤드를 포함한다. 대화식 트래픽은 지수분포된 패킷상호간 시간과 패킷 전송시간으로 구성되어 있다. 패킷길이의 분포는 40.9bytes의 평균 정보필드 길이로 부터 유도된다. 화일 전송과 마찬가지로 통신망간 오버헤드는 35bytes이다. 화일전송과 대화식 트래픽은 서로 독립적으로 발생하며 LAN은 10Mbits/s로 작동하고 목적지는 균등분포라고 가정한다[11].

LAN으로 부터 도착되는 패킷을 화일전송이나 대화식 트래픽으로만 모델링하는 것은 적당하지 못하다. 일반적인 LAN 환경에서 발생하는 트래픽을 연구하기 위해서는 화일전송과 대화식 트래픽이 통합된 트래픽인 혼합 트래픽을 분석해야 한다. 화일전송과 대화식 트래픽에 의해 발생된 패킷을 통합하는 것은 각각의 도착하는 모듈들을 조합한 모듈로 나타낼 수 있다. 통합된 모듈의 출력이 브릿지에 대한 원시트래픽으로 고려된다. 화일 전송과 대화식 트래픽은 LAN에서 혼합된다고 가정하며 이 두 트래픽 등급을 갖는 패킷들은 서로 독립적으로 발생되며 선입선출(first in, first out : FIFO)절차에 따르는 LAN에 의해 제공된다고 가정한다. 이와같이 두 트래픽이 서로 다른 트래픽 등급에 속해 있다고 해도 패킷이 브릿지에 동시에 도착하지는 않을 것이다. LAN의 서비스 시간은 10Mbits/s로 가정된 데이터 속도와 패킷길이, 그리고 9.6 $\mu$ s로 가정된

패킷상호간 간격으로 제어한다. LAN 상에서 발생된 부하의 90%가 화일 전송이라고 가정하면 주어진 두 원시 등급의 평균 패킷 길이를 가지고 혼합 트래픽의 평균 패킷 길이를 조건부 기대값(conditional expectations)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다<sup>6)</sup>. 대화식 트래픽과 화일 전송의 확률변수를 각각  $X_0$ ,  $X_1$ 이라고 하고, 대화식 트래픽과 화일 전송이 각각 0과 1값을 갖는 이산 확률변수  $Y$ 에 의해 패킷형이 주어진다면, 혼합패킷길이  $X_p$ 는  $Y=i$ 일때  $X_i$  ( $i \in \{0, 1\}$ )로 구할 수 있다. 그 결과  $E[X_p|Y=i]=E[X_i]$ 이다. 그러므로, 혼합트래픽의 평균 패킷길이  $L_{p,\Sigma}$ 는 다음과 같다.

$$L_{p,\Sigma} = E(X_p) = E(X_0) \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} + E(X_1) \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (1)$$

여기서,  $\lambda_0 (=329.4)$ 와  $\lambda_1 (=212.5)$ 은 대화식 트래픽과 화일 전송 각각의 패킷 발생율이다. 식(1)을 사용하여 혼합 트래픽의 평균 패킷길이를 구하면 3691 bits가 나온다.

#### 나. 브릿지 모델

기존의 MAC 계층에서 작동하는 브릿지는 주소 테이블을 가지고 있어 어과기능, 전송기능, 학습기능, 그리고 스페닝 트리 알고리즘 기능을 수행한다. 이와 같은 브릿지내에서의 처리시간은 결정적이지 않다. 그림 3과 같이 LAN에서 발생한 패킷은 브릿지의 수신큐(receive queue : RQ)에 저장된 후 브릿지 서버에 도착하게 된다. 브릿지내에서 FDDI기간 통신망으로 출력하는 버퍼를 나타낸 전송큐(transmit queue : TQ)는 기간 통신망에서 사용하는 MAC 프로토콜에 따라 기간 통신망의 데이터 속도로 데이터를 전송시킨다. 본 논문에서 브릿지의 처리시간은 결정적이고 또한, 브릿지의 서비스율( $\mu_b$ )를 1500packets/s, 5000packets/s 그리고 10000 packets/s라고 가정하였다. 여기서, 브릿지의 처리시간이 결정적이라고 가정하였으므로 브릿지

내에서의 지연은 수신큐에서의 대기시간과 브릿지내에서의 처리시간을 합한 값이며, 그 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B_d = \frac{\xi \cdot \rho}{2(1-\rho)} + \xi = \frac{\xi \cdot (2-\rho)}{2(1-\rho)} \quad (2)$$

여기서,  $\xi$ 는 브릿지내에서의 처리시간이며  $\rho$ 는 서버 이용율이다.

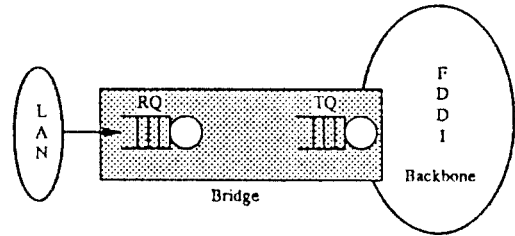


그림 3. 처리시간이 있는 브릿지 모델  
Fig. 3. Model Including Processing Times

#### 다. 수학적 해석

토큰링 네트워크에서 패킷의 평균대기 시간을 해석하기 위해서는 그림 4와 같은 다중큐 단일서버 순환 큐(multiqueue single server cyclic service queue) 모델이 사용된다. 순환서버는 토큰링 프로토콜에 의해 통제되며  $n$ 개의 큐간을 회전한다. 큐잉 용어에 있어서 토큰은 서버이며 패킷은 고객(customer)이고 브릿지는 큐로 대응된다. 또한, 서버가 어느 한 큐를 출발하여 다음번 큐에 도착할 때 까지 시간을 워킹타임(walking time)이라고 한다. 그림 4에서 각 큐는  $M/G/1$ 로 모델이며 각각의 큐에서 도착율, 서비스 형태 그리고 워킹 타임 분포가 동일한 대칭적 다중 큐(symmetric multiqueue) 모델을 나타낸다. 이  $M/G/1$  모델에서 평균 대기시간은 큐잉시간과 서비스 시간으로 해석할 수 있으며, 패킷은 각각의 큐에서 독립적인 포아송 분포(poisson distribution)로 발생된다<sup>6)</sup>.

본 장에서 사용하는 파라메타를 설명하면 다음

과 같다.

- n : 큐의 수
- $\lambda$  : 시스템에 총 도착률
- $H(\cdot)$  : 서비스타임 분포함수
- $C(\cdot)$  : 워킹타임 분포함수
- $h, h^{(2)}$  :  $H(\cdot)$ 의 1, 2차 모멘트
- $c, c^{(2)}$  :  $C(\cdot)$ 의 1, 2차 모멘트
- $H'(\cdot), C'(\cdot)$  :  $H(\cdot)$ 와  $C(\cdot)$  각각의 Laplace Stieltjes
- $\rho$  : 총 서버 이용률
- $\Psi(\cdot)$  : 임의의 시간에서 시스템에 있는 고객 수에 대한 p.g.f.(Probability generating function)
- $\zeta(\cdot)$  : 서버가 워킹을 시작할 때 시스템에 있는 고객 수에 대한 p.g.f.
- $\alpha(\cdot)$  : 워킹동안 도착하는 고객들의 총 수에 대한 p.g.f.
- $\pi(\cdot)$  : 임의의 시간에서  $\lambda$ 와  $H(\cdot)$ 을 갖는 M/G/1 큐에 있는 고객 수에 대한 p.g.f.
- m : 서버가 하나의 큐를 출발한 뒤 그 큐에 남아 있는 고객들의 평균수

본 장에서는 수학적 해석을 위해 전처리 서비스(exhaustive service)규칙을 적용하였다. 이 규칙을 적용하므로써 브릿지는 프리토큰을 잡고 전송 큐가 비워질 때 까지 전송할 수 있다. 이와 같은 방법이 본 논문에서 무한한 토큰 보유 시간을 갖는 FDDI 모델에 적용되었다. 전처리 서비스 개념은 처리량 관점에서 보면 최소한의 토큰 회전으로 인해 오버헤드가 감소 되므로 적당한 토큰회당 알고리즘으로 간주될 수 있다. 그러나 스테이션이 FDDI의 데이터 처리속도로 패킷을 발생시킬 수 있다면 고 부하 하에서 기간 통신망을 독점할 수 있다. 하지만, 기간 통신망에 연결된 각 LAN들의 데이터 처리속도가 FDDI의 데이터 처리속도의 10%이기 때문에 임의의 서비스 시간된 전송큐는 항상 비워져 있을 것이다.

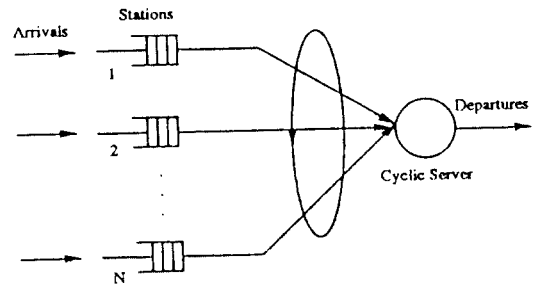


그림 4. 다중큐 단일서버 순환 큐 모델  
Fig. 4. Multiqueue System with single Cyclic Server

표준 M/G/1 큐 모델에서 대기시간  $W_0$ 은 다음과 같다.

$$E(W_0) = \frac{\lambda \cdot h^{(2)}}{2(1-\rho)} + h \quad (3)$$

Fuhrmann과 Cooper의 제안 2로부터  $\Psi(z)$ 은 다음과 같다.<sup>10)</sup>

$$\Psi(z) = \zeta(z) \cdot \frac{1-\alpha(z)}{\alpha'(1) \cdot (1-z)} \cdot \pi(z) \quad (4)$$

여기서, 함수  $\alpha(\cdot)$ 와  $\pi(\cdot)$ 는 대칭적 순환 큐잉(symmetric cyclic queueing) 모델에서 모두 같은 값을 갖는 다음과 같다.

$$\alpha(z) = C(\lambda - \lambda \cdot z) \quad (5)$$

또한, Pollachek Khinchin 공식에 의해  $\pi(z)$ 은 다음과 같다.

$$\pi(z) = \frac{(1-\rho)(z-1)H'(\lambda - \lambda \cdot z)}{z - H'(\lambda - \lambda \cdot z)} \quad (6)$$

식(4)의 우변은 다음과 같이 다시 쓸 수 있으며

$$\text{우변} = \frac{1-\alpha(z)}{\alpha'(1)(1-z)} = \frac{1-C'(\lambda - \lambda \cdot z)}{\lambda c(1-z)} \quad (7)$$

그 평균값을 구하면 다음과 같다.

$$\Psi(1) = \zeta(1) + \frac{\lambda \cdot c^{(2)}}{2c} + \pi'(1) \quad (8)$$

여기서, Little's Law에 의해  $\pi'(1)$ 을 구하면 다음과 같다.

$$\pi'(1) = \lambda \cdot E(W_0) \quad (9)$$

대칭적 순환 큐잉모델에서  $\Psi'(1)$ 을 구하는 문제는  $\zeta'(1)$ 을 구하는 문제와 같다. 서버가 임의의 큐에 방문하는 시간 간격인 순환 시간(cycle time : T)의 평균값을 다음과 같다.

$$E(T) = \frac{n \cdot c}{1 - \rho} \quad (10)$$

앞에서 설명한 m은 서버에 의한 출발을 의미하는데, 여기서 m과  $\zeta'(1)$ 간의 관계를 살펴보면 다음과 같다. 서버가 큐 n에서 출발한다고 가정하면 서버가 큐 n-1에서 출발한 시간과 큐 n에서 출발한 시간 사이의 평균 시간은  $E(T)/n$ 이다. 이와 같이 서버가 큐 n을 출발했을 때 큐 n-1에 있는 커스터머의 평균 수는 다음과 같다.

$$m + \frac{\lambda \cdot E(T)}{n^2} \quad (11)$$

식(11)을 모든 큐로 확장하여 그 값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \zeta'(1) &= \sum_{i=1}^n \left\{ m + \frac{i \cdot \lambda \cdot E(T)}{n^2} \right\} \\ &= n \cdot m + \frac{(n-1) \cdot \lambda \cdot E(T)}{2n} \quad (12) \end{aligned}$$

전처리 서비스인 경우  $m=0$ 가 되므로 식(12)는 다음과 같다.

$$\zeta'(1) = \frac{(n-1) \cdot \lambda \cdot E(T)}{2n} \quad (13)$$

여기서, 식(13)을 식(8)에 대입하면 다음과 같다.

$$\Psi'(1) = \frac{(n-1) \cdot \lambda \cdot E(T)}{2n} + \frac{\lambda \cdot c^{(2)}}{2c} + \pi'(1) \quad (14)$$

식(14)에 Little's Law에 의해 전처리 서비스에 서 평균 대기시간을 구하면 다음과 같다.

$$E(W_E) = \frac{\Psi'(1)}{\lambda} \quad (15)$$

그러므로, 식(9), (15)를 식(14)에 대입하여 정리하면 네트워크에서의 총 평균대기시간  $E(W_E)$ 이 다음과 같이 산출된다.

$$E(W_E) = \frac{(n-1) \cdot c}{2(1-\rho)} + \frac{c^{(2)}}{2c} + E(W_0) \quad (16)$$

#### IV. 시뮬레이션 및 고찰

실제적인 네트워크 모델에서 물론 메모리 용량의 제한으로 인해 각각의 큐의 버퍼 크기(buffer size)가 제한된다. 버퍼 오버 플로우로 인해 발생하는 패킷 손실에 대한 재전송 절차나 흐름제어 기법은 고려하지 않는다. 기간 통신망과 브릿지 모델은 그림 3의 모델에 따른다. 시뮬레이션이 수행될 때  $10^5 \sim 3 \cdot 10^6$  패킷이 발생되며 수행된 결과의 평균값을 시뮬레이션 값으로 하였다. 시뮬레이션은 33MHz의 Compaq / 386에서 실행하였다.

##### (1) 입력 파라메타

본 논문의 시뮬레이션에서는 표 1에 나타나 있는 입력 파라메타 중 브릿지의 처리속도( $\mu b$ ), 기간 통신망의 총 부하량, 기간 통신망의 길이 (medium length),  $T_{over}$  값 및 station latency 등을 변화시켜 각각의 파라메타에 대한 성능을 분석하였다.

표 1. 입력 파라메타

Table 1. Input Parameter

medium length [Km]	5, 15, 25
signal velocity [m/s]	2.10 <sup>8</sup>
station latency [bit]	1, 50, 100
FDDI data rate [Mbps]	100
simulation length [sec]	20
mean access data rate [Mbps]	2
offered backbone load [Mbps]	5, 20, 40, 60, 80, 98
bridge service rate [pps]	1500, 5000, 10000
mean packet length [bits]	8472, 6072, 3691
T <sub>opr</sub>	2, 5, 10, 50, (∞)

(2) 화일 전송

시스템에서 평균대기 시간을 구하기 위해 각각의 지연을 구분해 보면 표 2와 같다. 그림 5와 그림 6은 기간 통신망 부하의 증가에 따르는 화일 전송시 MAC 지연과 브릿지 지연을 보여준다. 그림 5는 M/G/1 큐모델에서 전처리 서비스에 대한 해석값이고 그림 6은 가정에 따른 시뮬레이션 결과이다. 이들 그림에서 가로축의 단위는 Mb<sub>ps</sub>이고 세로축의 단위는 ms이다. 그림 5에서 MAC 지연은 식(16)에 따르며 브릿지 지연은 식(2)에 따른다. 그림에서 수평선은 가장한 브릿지의 서비스율에 따르는 브릿지 지연을 나타낸다. 물론, 브릿지에서의 처리시간을 결정짓는 브릿지 지연은 기간 통신망에 연결된 LAN 들과는 독립적이다. 시뮬레이션 결과, 가장한 브릿지의 처리 속도에 대한 MAC 지연은 값이 같음을 알 수 있다(브릿지 처리속도가 1500, 5000, 10000 일때 MAC 값은 각각 mac1, mac2, mac3). 그림 5와 그림 6은 입력 파라메타

중 매체 길이는 25km, station latency는 100bits 그리고 T<sub>opr</sub> 값은 50ms 일때의 결과이다. 그림에서 보면 일터네트 지연은 브릿지 처리속도가 1500pps일때, 기간 통신망에서 부하가 매우 높은 경우를 제외하고는 주로 브릿지 지연에 의해 이루어지며, 브릿지 처리속도가 5000pps인 경우는, 브릿지 지연의 영향이 줄어들고, 브릿지 처리속도가 10000pps인 경우는 MAC지연에 의해 주로 이루어진다. 기간 통신망 지연의 감소는 그림에서와 같이 브릿지 처리속도의 증가에 따라 얻을 수 있으며, 즉 브릿지 처리속도가 1500pps에서 5000pps로 증가할 때가 5000pps에서 10000pps로 증가할 때 보다 기간 통신망 지연의 감소폭이 크다는 것을 알 수 있다. 그림 7, 그림 8 그리고 그림 9는 브릿지 처리속도가 10000pps이고 매체 길이(5km, 10km, 25km)와 station latency(1bit, 50bits, 100bits) 그리고 T<sub>opr</sub> 값(2ms, 5ms, 10ms, 50ms, (∞))을 변화시켰을 때의 MAC 지연을 보여준다. 그림 7에서 매체 길이 변화에 따른 일터네트 지연을 보면, 25km, 일때와는 달리 5km 일때 MAC 지연은 기간 통신망의 부하가 약 40Mbps(20개 브릿지) 일때까지 브릿지 지연보다 작은 값을 갖는다. 그림 8을 보면, FDDI 모뎀 순환 시간이 정상적으로 모뎀이 도착할 때 전송되는 패킷수와 T<sub>opr</sub> 값에 의해 주로 결정되기 때문에 station latency 에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그림 9를 보면 T<sub>opr</sub> 값이 ∞일때(즉, 전처리)의 값은 50ms일때의 값과 거의 같으며, FDDI는 40개 브릿지까지 전처리 서비스와 거의 같은 값을 갖고 단지, 보다 큰 기간 통신망의 부하(>40개 브릿지)에서 각각의 T<sub>opr</sub> 값에 따라 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

표 2. 시스템 대기시간의 구분

Table 2. Types of System Waiting Time

bridge delay	RQ에서의 대기시간 + 브릿지 지연시간
MAC delay	TQ에서의 대기시간 + 기간 통신망의 지연시간 (일터네트 지연 + 전송 지연)
internet delay	bridge delay + MAC delay

(3) 대화식 트래픽과 혼합 트래픽

본 절에서는 대화식 트래픽과 혼합 트래픽에 대한 평균 지연을 보여준다. 그림 10에는 대화식 트래픽에 대한 브릿지 지연과 MAC 지연이 나타나 있고, 그림 11에는 혼합 트래픽에 대한 브릿지 지연과 MAC 지연이 나타나 있다. 이 두 트래



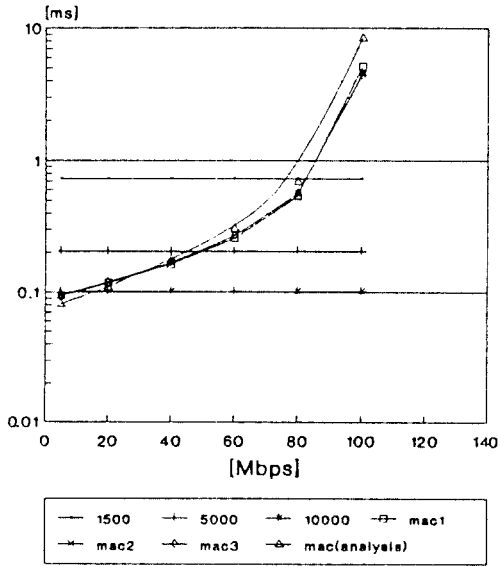


그림 5. 파일 전송에 따른 브릿지 지연과 MAC 지연 분석값  
Fig. 5. Analysis Results of Bridge and MAC Delay for File Transfer

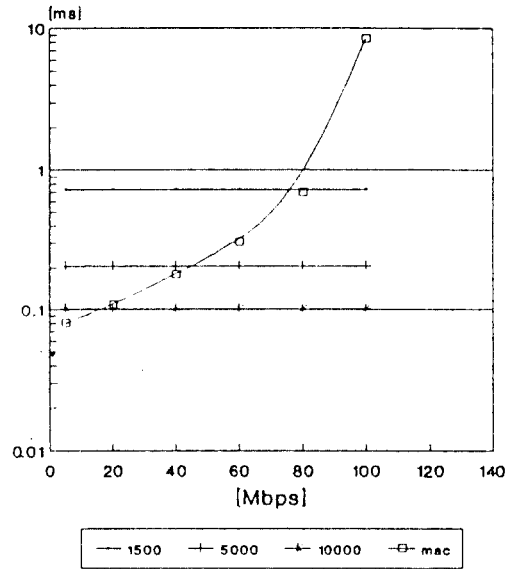


그림 6. 파일 전송에 따른 브릿지 지연과 MAC 지연  
Fig. 6. Bridge and MAC Delay for File Transfer

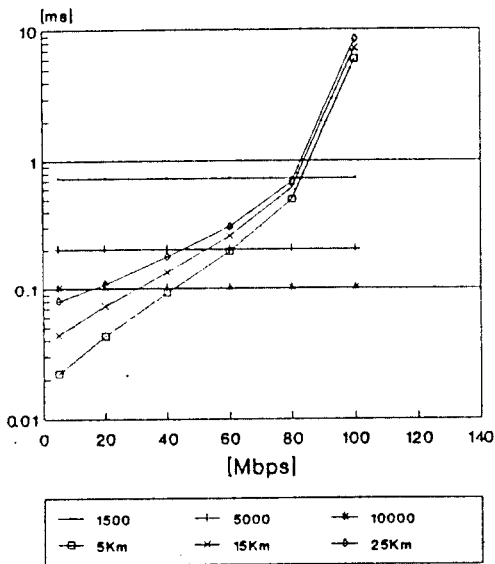


그림 7. 매체길이 변화에 따른 MAC 지연  
Fig. 7. MAC Delay for Varying Medium Length

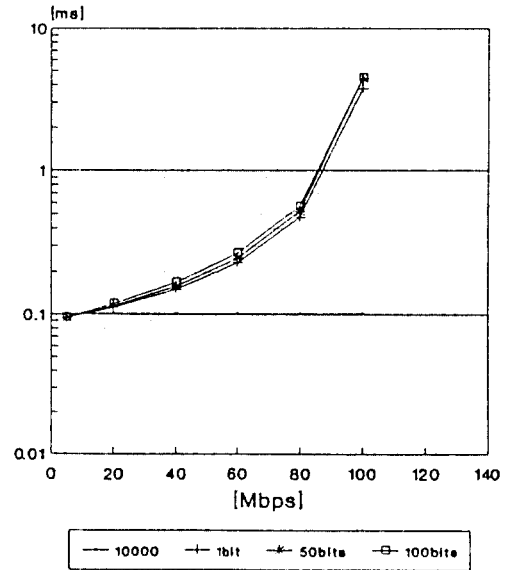


그림 8. station latency 변화에 따른 MAC 지연  
Fig. 8. MAC Delay for Varying Station Latency

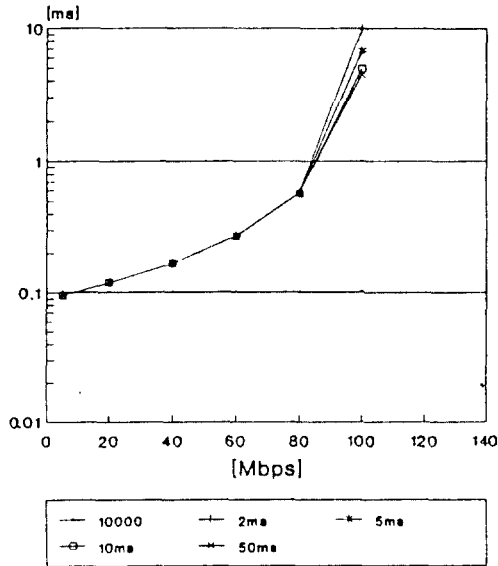


그림 9.  $T_{mac}$  값 변화에 따른 MAC 지연  
Fig. 9. MAC Delay for Varying  $T_{mac}$

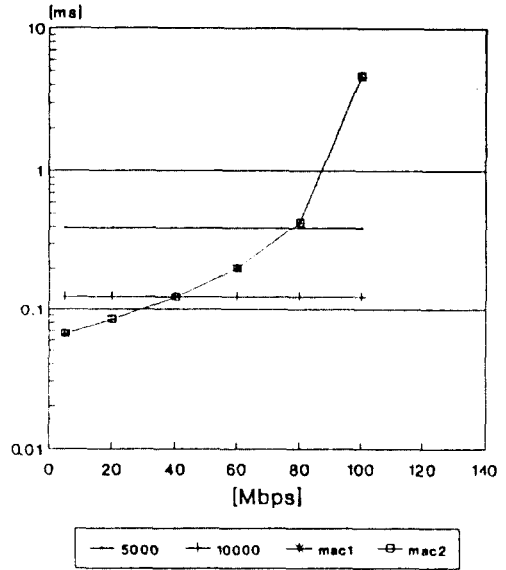


그림 10. 대화식 트래픽에 따른 브릿지 지연과 MAC 지연  
Fig. 10. Bridge and MAC Delay for Interactive Traffic

픽에 대한 그림들을 보면 화일 전송시 보다 브릿지 지연은 큰 값을 가지며, MAC 지연은 작은 값을 갖는다. 이것은 이 두 트래픽이 화일 전송에 비해 평균 패킷길이가 짧고, 평균 패킷 발생율이 높기 때문이다. 그림 5 8에서는 대화식 트래픽의 평균패킷 발생율이 약 3300pps이므로 브릿지의 처리속도를 5000pps와 10000pps인 경우만 고려했다.

큐 모델이 M/G/1 인 지수확률분포 일 경우, 본 논문에서는 브릿지의 처리시간을 고려하였고 또한, 화일전송, 혼합트래픽, 대화식트래픽의 평균패킷 길이(bits)가 각각 8472, 3691, 607.2 이고 변동계수가 20.51, 0.6423, 1.541<sup>(9)</sup>이기 때문에 대화식트래픽, 혼합트래픽, 화일전송 순으로 오차율이 커진다.

### V. 결 론

본 논문에서는 LAN과 기간 통신망을 상호

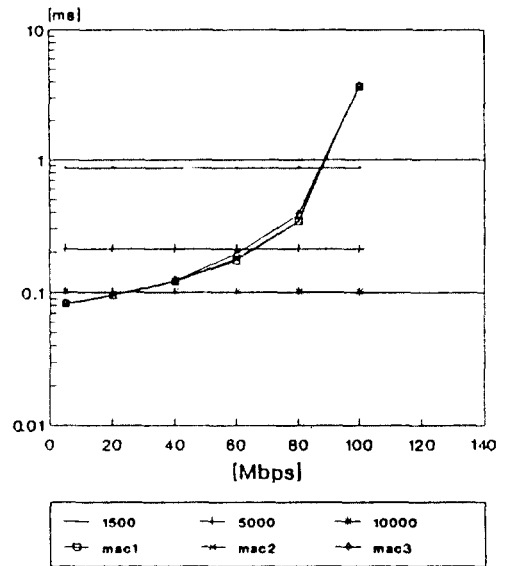


그림 11. 혼합 트래픽에 따른 브릿지 지연과 MAC 지연  
Fig. 11. Bridge and MAC Delay for Mixed Traffic

연결하는 디바이스인 브릿지의 성능 및 기간 통신망의 MAC 프로토콜 성능을 분석 하였다.

그 결과 인터넷 지연은 기존 초당 수천 패킷 정도를 처리할 수 있는 브릿지에 의해 주로 이루어짐을 알 수 있었다. 이것은 브릿지 처리속도가 10000pps 이상이면 긴 전송로( $\geq 25\text{Km}$ )를 갖는 기간 통신망의 고속성을 충분히 활용할 수 있음을 말한다.

성능 분석을 위해 가정한 세가지 원천 모델에 대해서 동일한 결과를 얻었다. 즉, 브릿지의 처리속도가 높으면 높을수록 고속의 기간 통신망의 장점을 활용할 수 있다.  $T_{\text{prop}}$  값이 크면( $\geq 5\text{ms}$ ), 본 논문에서 가정한 전처리 방식을 적용한 해석값에 접근하게 된다. 여기서 적용한 전처리 방식은 동기전송을 적용하지 않았으며, 비동기 트래픽의 8개 우선도와 제한된 토큰도 고려하지 않았다. 해석값과 시뮬레이션값을 비교하면 화일 전송에 대해서는 평균 오차율이  $\pm 11.5\%$ , 혼합 트래픽에 대해서는  $\pm 14.4\%$ 이다. 하지만, 대화식 트래픽인 경우는 패킷 평균길이가 매우 짧고, 패킷 발생율이 매우 높으며, 변동계수가 낮기 때문에(0.6423) 해석값과 시뮬레이션값의 오차가 매우 크다.

본 논문에서는 브릿지 처리시간을 고려하였으므로 가정한 세가지 원천 모델에 대한 해석값과 시뮬레이션 값과의 오차율을 줄이기 위해서는 가정한 M/G/1 큐 모델 보다는 더 일반적인 큐 모델이 적당하다고 생각된다. 이것에 대한 해석 방법은 추 후 연구과제로 남겨둔다. 완전한 방송용 브릿지를 사용할 경우 브릿지의 처리시간이 결정적에 가깝게 되지만, 그러나 방송용 브릿지는 통신망간의 트래픽을 분류할 수 있는 기능이 없기때문에 오늘날 대부분의 브릿지는 여과기능과 학습기능 그리고 스페닝 트리 알고리즘 등의 기능을 가지고 있어 브릿지의 처리시간이 결정적이지 않다.

앞으로, 비결정적(nondeterministic)인 브릿지의 성능분석에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각되며, 고속의 브릿지 및 게이트웨이를

구현하기 위해 다중 프로세서를 이용한 구조(architecture)와 과잉밀집 현상을 조절하기 위한 프로토콜에 관한 연구가 병행되어야 할 것으로 생각한다.

### 참 고 문 헌

1. "FDDI-Token Ring Media Access Control(MAC), "Draft Proposed American National Standard X3T9.5, ANSI, 1987.
2. P.Martini, O.Spansiol, Th.Welzel, "File Transfer in High Speed Token Ring Networks : Performance Evaluation by Approximate Analysis and Simulation," IEEE Journal on Selected Areas in Comm., Vol.6, No.6, July, 1988, pp. 987 - 996.
3. W.M.Seifert, "Bridge and Router," IEEE Network, Vol.2, No.1, Jan., 1988.
4. F.Backes, "Transparent Bridges for Interconnection of IEEE 802 LANs," IEEE Network, Vol.2, No.1, Jan., 1988.
5. Pitt.D., and Dixon, R., "Addressing, Bridging, and Source Routing," IEEE Network, Vol.2, No.1, Jan., 1988.
6. F.E.Ross, "An Overview of FDDI : the Fiber Distributed Data Interface," IEEE Journal on Selected Areas in Comm., Vol.7, No.7, Sept., 1989.
7. M.J.Johnson, "Reliability Mechanisms of the FDDI High Bandwidth Token Ring Protocol," Computer Networks and ISDN System 11, Elsevier Science Publishers B.V., North Holland, 1986, pp. 121 - 131.
8. G.Kimura, Y.Takahashi, "Diffusion Approximation for a Token Ring System With Nonexhaustive Service," IEEE JASC, Vol.SAC-4, No.6, pp. 794 - 801, Sept., 1986.
9. S.W.Fuhrmann, R.B.Copper, "Stochastic Decompositions in the M/G/1 Queue with Generalized Vacations,"Forthcoming in Operations Research.
10. S.W.Fuhrmann, "A Note on the M/G/1 Queue with Server Vacations," Operation Research 32, pp. 1368 - 1373, 1984.



조 용 구(Young Gu JO)      正會員  
• 광운대 전자통신공학과 졸업(공학석사)  
• 한국중앙연구원 재직  
• 광운대 전자통신공학과 박사과정  
※ 관심분야 : computer network, distributed computing systems, network interconnection



李 在 昊(Jae Ho LEE)      正會員  
1934年 5月 26日生  
1968年 2月 : 光云大學通信工學科 卒業  
1978年 2月 : 檀國大學校大學院 電子工學科 (工學碩士)  
1970年 ~ 現在 : 光云大學校 電子通信工學科 教授 本學會理事



吳 英 煥(Young Hwan OH)      正會員  
1947年 12月 28日生  
1975年 2月 : 仁荷大學校電子工學科卒業  
1977年 2月 : 仁荷大學校大學院 碩士課程 卒業  
1983年 2月 : 仁荷大學校 大學院 博士課程 修了  
1980年 3月 ~ 現在 : 光云大學校 電子通信工學科 副教授