

## ATM망에서 버스트 레벨 대역폭 할당을 위한 고속 예약 프로토콜의 성능 분석

正會員 金東男\*, 趙有濟\*

### Performance Evaluation of Fast Reservation Protocols for Burst-Level Bandwidth Allocation in ATM Networks

Dong Ho Kim\*, You Ze Cho\* Regular Members

본 논문은 1994년도 한국학술진흥재단 자유공모 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### 要 約

본 논문에서는 ATM망에서 버스트 레벨 대역폭 예약을 위한 고속 예약 프로토콜(fast reservation protocol: FRP)들의 성능을 분석하였다. 고속 예약 프로토콜은 예약 절차에 따라 DT(delayed transmission) 방식과 IT(immediate transmission) 방식으로 나눌 수 있으며, 버스트 블러킹시 NAK 셀을 발생시키는 지점에 따라 블러킹 노드가 NAK를 전송하는 방식(BNAK)과 목적지 노드가 NAK를 전송하는 방식(DNAK)으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이들 각 방식에 대해 평균 버스트 지연과 버스트 블러킹 확률, 그리고 버스트 수율 등의 성능 파라미터를 Erlang loss formula를 이용하여 해석적인 방법을 통해 분석하였다. 또한, 전파 지연과 흡수에 따른 성능 파라미터의 의존도를 분석하였다.

분석 결과, 고속 예약 프로토콜은 LAN과 같이 비교적 전파 지연이 짧고 적은 수의 흡으로 구성되는 환경에서 더 나은 성능을 나타낼 수 있었다. 또한, FRP/DT 방식은 REQ/ACK 사이클 동안의 할당된 대역폭을 고속 예약 모드 트래픽이 사용할 수 없으므로 인해 얻을 수 있는 수율이 제한되므로 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 상대적으로 큰 경우에는 FRP/IT 방식을 사용하는 것이 더 바람직함을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, we investigate the performance of Fast Reservation Protocols(FRP) for burst-level bandwidth allocation in ATM networks. FRP schemes can be classified into delayed transmission(DT) and immediate transmission(IT) methods according to reservation procedure, or into blocking node NAK(BNAK) and destination node NAK(DNAK) schemes according to NAK cell

\* 慶北大學校 電子電氣工學部  
論文番號 : 95293-0828  
接受日字 : 1995年 8月 28日

generations when burst blocking occurs. We derive an analytical model based on the Erlang loss formula for the mean burst delay, burst blocking probability and throughput. We then discuss the dependence of these performance parameters on propagation delay and the number of hops.

As results, we show that fast reservation schemes are more desirable in LAN environments with small number of hops. For higher propagation delay-to-burst duration ratio, the FRP/IT method gives better performance than the FRP/DT method, since the FRP/DT scheme has a limited achievable throughput for fast reservation traffic due to the unused bandwidth during REQ/ACK cycle.

## I. 서 론

최근에 분산 컴퓨팅, 멀티미디어 정보 검색, 고속 화일 전송 및 LAN간 접속 등의 고속 데이터 서비스에 대한 수요가 증대됨에 따라 ATM망을 통한 이들의 효율적인 서비스에 대한 많은 관심이 집중되고 있다. 특히, 고속 LAN간의 데이터 트래픽은 매우 버스티하여 최대 전송률이 높고 예측할 수 없는 변화 특성을 가지기 때문에 연결 수락 제어나 사용 파라미터 제어 등의 예방적인 트래픽 제어만으로는 효과적인 폭주제어가 어렵다. 이러한 전송률이 높고 매우 버스티한 트래픽에 대해서 어느 정도의 버퍼를 가지고 호 레벨에서 행해지는 대역폭 관리로는 통계적 다중화 이득을 기대하기란 사실상 불가능하다. 그러므로 이와 같은 매우 버스티한 트래픽에 대해 통계적 다중화 이득을 얻기 위해서는 버스트 레벨에서 동적인 대역폭 할당이 보다 바람직하다.

버스트 레벨의 대역폭 할당 방법으로 ITU-T에서 고속 예약 프로토콜(fast reservation protocol: FRP)이 제안되고 있다<sup>(1), (2)</sup>. 최근에는 FRP의 변형된 형태인 ABT(ATM block transfer) 방식에 대해 표준화를 진행하고 있다<sup>(3)</sup>. ABT는 버스트 단위가 아니라 블럭 단위로 대역폭을 할당하는 방식으로, 하나의 블럭은 여러개의 버스트로 구성될 수 있으며 또한 하나의 버스트가 여러개의 블럭으로 나누어질 수도 있다. 기존의 버스트 단위의 대역폭 할당 방식인 FRP 방식의 표준화에 대해서도 현재 연구가 진행중이다. FRP는 원래 B-ISDN에서 버스티한 트래픽에 대한 효과적인 대역폭 관리를 위해 제안되었으나, 전파 지연이 비교적 짧은 ATM LAN 환경에 더 적합한 것으로 알려져 왔다. 지금까지 여러 가지의 서로 다른 FRP 방식이 제안되었으며 주로 단일 노드 환경에서 분석이 이루어지고 있다<sup>(4)-(10)</sup>.

본 논문에서는 대역폭 예약 방법에 따른 두 가지의 고

속 예약 프로토콜의 성능을 다중 노드 환경에서 해석적 방법으로 분석한다. 먼저, FRP/DT(FRP with delayed transmission)는 REQ/ACK(request/acknowledgement) 예약 방법을 이용한다. REQ/ACK 예약 방법은 예약 요구 셀에 의해 연결 경로에 있는 모든 링크에서 대역폭을 예약한 후에 버스트를 전달하는 방법이다. 반면, FRP/IT(FRP with immediate transmission)는 예약 요구 셀을 전송한 직후에 바로 해당 버스트 전송을 하는 on-the-fly 예약 방법을 이용한다.

본 논문에서는 고속 예약 프로토콜의 버스트 기간과 전파 지연에 대한 의존도를 알아보기 위해 서로 다른 버스트 기간과 전파 지연에 대해 두 가지 예약 방법의 성능을 비교한다. 또한 버스트 블럭킹이 발생한 경우, NAK(negative acknowledgement) 셀을 블럭킹 노드에서 발생시키는 BNAK(blocking node NAK) 방법과 목적지 노드에서 발생시키는 DNAK(destination NAK) 방법을 비교한다. 성능 분석 기준으로 총 버스트 수율, 평균 버스트 전달 지연, 버스트 블럭킹 확률, 예약과 블럭킹 의한 대역폭의 낭비 정도, 흡수에 대한 버스트 수율의 변화를 이용한다.

본 논문에서는 먼저, II장에서 지금까지 제안되었거나 앞으로 고려될 수 있는 다양한 방식의 고속 예약 프로토콜을 간략히 소개하고, III장에서는 두 가지의 서로 다른 FRP 방식을 다중 노드 환경에서 수학적 해석을 한다. 그리고 IV장에서는 III장에서의 해석을 바탕으로 각 방식의 성능을 여러 관점으로 분석하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 고속 예약 프로토콜의 구현 방식

FRP는 ATM망에서 버스티 트래픽에 대한 효과적인

대역폭 관리를 위해 제안된 프로토콜로 예약 방법, 대역폭 할당, NAK 셀에 대한 응답 방법, NAK 셀 발생 지점 등에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다<sup>[6]</sup>.

표 1. 고속 예약 프로토콜의 구현 방법에 따른 분류  
Table 1. Classification of FRP schemes.

분류 기준	구현 방안
예약 방법	REQ/ACK 예약 방법
	On-the-fly 예약 방법
대역폭 할당	피크 대역폭
	협상된 대역폭
	동적인 대역폭
NAK 셀에 대한 응답	랜덤 backoff 방법
	재전송 시도하지 않음
NAK 셀 발생 지점	블러킹 발생 노드
	목적지 노드

첫 번째는 예약 방법에 따른 분류로써 먼저 REQ/ACK 예약 방법은 연결 경로 상에 링크의 대역폭을 예약한 후에 버스트를 전송하는 방식이다. 반면, on-the-fly 예약 방법은 예약 요구 셀을 전송한 직후에 바로 해당 버스트를 전송하는 방식이다. On-the-fly 경우에 할당해 줄 대역폭이 없다면 버스트는 블러킹되어지고 이를 알리기 위해 NAK 셀을 소스측으로 보낸다. 이때 NAK 셀을 받은 소스는 즉시 버스트 전송을 중단한다. 따라서, on-the-fly 방법에서는 NAK 셀을 받기 전까지 사용된 전송 대역폭이 낭비되어진다. 그러나 예약 모드 트래픽 관점에서 보면 NAK 셀을 받기 전까지 예약되거나 버스트에 의해 점유된 대역폭을 예약 모드 트래픽이 사용할 수 없으므로 REQ/ACK와 on-the-fly 방식 모두 전송 대역폭을 낭비하는 결과가 된다.

두 번째는 대역폭 할당 방법 대한 분류로써, 먼저 피크 대역폭 방법은 각 노드가 할당해 줄 대역폭이 있으면 버스트가 요구하는 피크 대역폭을 할당해 주고 그렇지 않으면 예약 요구를 거절한다. 협상을 기반으로 대역폭을 할당하는 방법에서는 버스트 전송을 위한 대역폭이 소스와 망 사이에서 협상되어지고 버스트 기간 동안 협상된 대역폭이 유지된다. 이를 위해서 소스는 버스트 전송을 위해 요구되는 최대 대역폭과 최소 대역폭의 정보

를 실은 예약 요구 셀을 망으로 전송하게 되며, 망은 소스가 요구하는 대역폭의 범위 내에서 링크의 상태에 따라 협상하게 된다. 동적 대역폭을 할당하는 방법에서는 망이 전송 대역폭의 공평한 분배를 위해 요구한 대역폭 범위 내에서 링크의 상황에 따라 이미 할당된 대역폭을 동적으로 조절하게 된다.

세 번째 분류는 소스가 NAK 셀을 받을 경우에 대한 응답 형태으로써, 먼저 랜덤 backoff 방법은 블러킹이 발생할 경우 랜덤한 시간 후에 버스트의 재전송을 시도하게 된다. 따라서, 이 경우 버스트 블러킹은 버스트 지연을 초래하게 된다. 반면에 재전송 시도를 하지 않는 방법에서 버스트 블러킹은 곧 버스트 손실을 의미한다.

마지막 분류는 NAK 셀의 발생 지점에 따라 분류한 것으로 소스측으로 NAK 셀을 보낼 때, 블러킹이 발생한 노드에서 NAK 셀을 전송하는 방법과 목적지 노드에서 NAK 셀을 전송하는 방법으로 나눌 수 있다.

### III. 고속 예약 프로토콜의 성능 해석

REQ/ACK 예약 방법을 사용하는 FRP/DT와 on-the-fly 예약 방법을 사용하는 FRP/IT 방식의 대역폭 예약 절차를 각각 그림 1과 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. FRP/DT와 FRP/IT 방식 모두 NAK 셀을 받으면 랜덤 backoff 시간 후에 대역폭 예약을 재시도한다고 가정하였다. 그림에서는 흡수가 3인 경우에 대하여 첫 번째 예약 시도는 실패하고 두 번째 예약 시도에서 대역폭 예약이 성공적으로 이루어진다고 가정하여 나타내었다. 그리고, 실선은 대역폭 예약이나 해제를 위한 관리 셀의 흐름을 나타내고, 점선은 버스트에 속하는 데이터 셀의 흐름을 나타내고 있다.

그림 1의 (a)와 (b)는 FRP/DT 방식에 대해 각각 BNAK와 DNAK 방법을 사용한 경우의 대역폭 예약 절차를 나타내고 있다. 버스트 블러킹이 발생한 경우 DNAK 방법은 목적지에서 발생시키는 NAK 셀을 받기 전까지는 예약된 전송 대역폭을 다른 트래픽이 사용할 수 없으므로 낭비 대역폭의 양이 BNAK 방법보다 많다. 마찬가지로 그림 2의 (a)와 (b)는 FRP/IT 방식에 대해 각각 BNAK과 DNAK 방법을 이용한 경우 대역폭 예약 절차를 나타낸 것이다. FRP/IT는 on-the-fly 예약 방법을 사용하므로 버스트 전송은 대역폭 예약 요구 셀을 보냄과 동시에 행해진다.

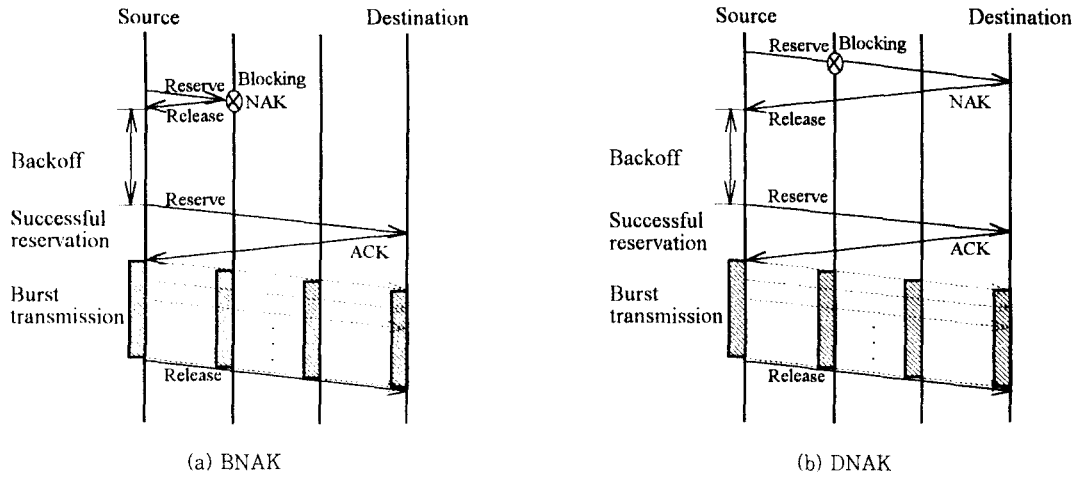


그림 1. 다중 홉에서 FRP/DT의 대역폭 예약 절차  
 Fig. 1. Bandwidth reservation procedure of the FRP/DT for multi-hop case.

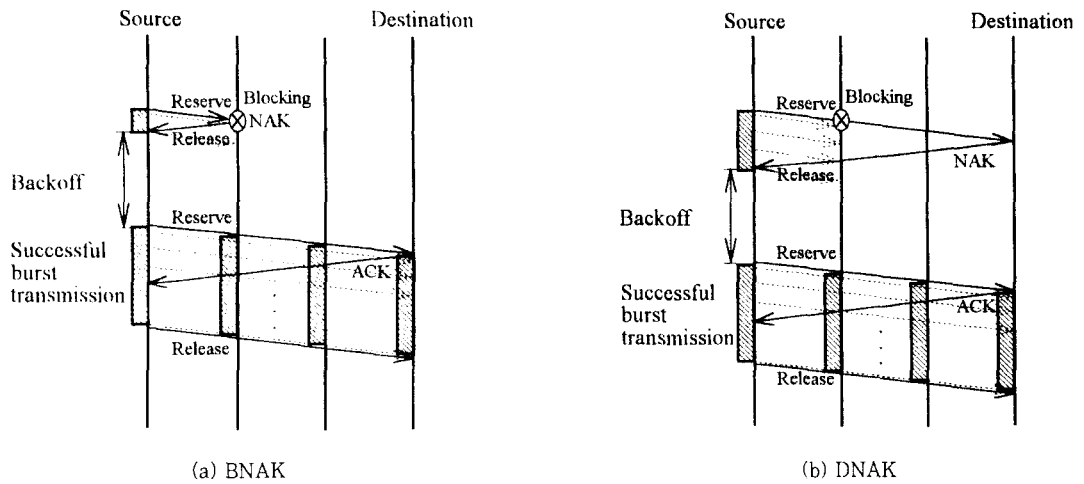


그림 2. 다중 홉에서 FRP/IT의 대역폭 예약 절차  
 Fig. 2. Bandwidth reservation procedure of the FRP/IT for multi-hop case.

1. 망 모델 및 파라미터

본 논문에서는 그림 3에 나타낸 것과 같이 모든 버스트는  $H$ 개의 링크와  $H+1$ 개의 노드로 구성된  $H$ 개의 홉을 거쳐 전송된다고 가정한다. 각 소스는 ON/OFF 형태를 가지며 ON 기간과 OFF 기간은 지수 분포를 따르며 각각의 평균은  $T_{ON}$ 과  $T_{OFF}$ 로 가정한다. 또한,

ON/OFF 트래픽원의 개수가 충분히 많아 전체 버스트의 도착을 포아송 과정으로 근사화할 수 있다고 가정한다.

그리고, 해석의 편의를 위해 망 모델에서 다음과 같은 몇 가지 추가적인 가정을 한다.

- 망 내의 모든 링크는 동일 부하를 가진다.

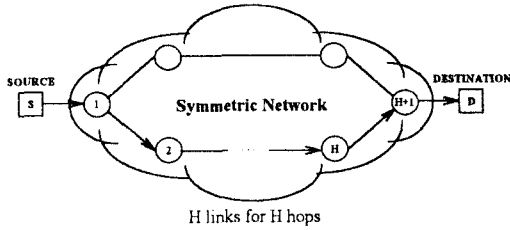


그림 3. H 개의 홵을 가지는 소스-목적지 쌍  
Fig. 3. A source-destination pair with H hops.

- 인접한 노드간의 거리는 모두 동일하다.
- 소스와 전송 노드간 그리고 출력 노드와 목적지까지의 거리는 매우 짧아 전파 지연을 무시할 수 있고 그 사이의 링크 대역폭은 항상 이용 가능하다.
- 모든 트래픽원은 동일 특성을 가지며 모든 링크는 동일 용량을 가지는 것으로 가정한다.

먼저 본 논문에서 해석을 위해 사용한 파라미터들에 대하여 정의를 하면 다음과 같다<sup>(9)</sup>.

- C : 출력 링크 용량 (bits/sec)
- R<sub>p</sub> : 각 ON/OFF 소스의 피크 비트율 (bits/sec)
- τ<sub>b</sub> : 각 버스트 블러킹시 평균 backoff 시간
- τ<sub>p</sub> : 노드간의 단방향 전파 지연 시간
- P<sub>link</sub> : 각 노드에서 링크 블러킹 확률
- P<sub>path</sub> : 경로 블러킹 확률, 즉 연결 경로상에서 하나 이상의 링크 블러킹이 발생할 확률
- M : 피크 비트율로 서비스해 줄 수 있는 최대 채널 수 (= ⌊ $\frac{C}{R_p}$ ⌋)
- S : 임의의 한 링크를 지나는 모든 소스-목적지 쌍들로부터 도착하는 새로운 버스트의 도착률
- G : 임의의 한 링크를 지나는 모든 소스-목적지 쌍들로부터 발생하는 새로운 버스트와 예약 재시도 트래픽의 총 도착률
- W : 평균 예약 지연, 즉 버스트 생성부터 대역폭이 성공적으로 예약될 때까지의 시간
- D : 평균 버스트 전달 지연, 즉 버스트 생성부터 성공적으로 전송을 마칠 때까지의 시간

## 2. 고속 예약 프로토콜의 해석

### 2.1 버스트 블러킹 확률의 계산

출력 링크는 M 개의 채널로 구성되며 각 채널의 용량

은 해당 소스가 요구하는 피크 대역폭과 동일한 것으로 간주할 수 있다. 따라서 M 개의 채널로 구성되는 링크에 대해 Erlang loss formula를 이용하면 링크 블러킹 확률은 아래와 같다.

$$P_{link} = B(M, a) \equiv \frac{a^M / M!}{\sum_{j=0}^M a^j / j!} \quad (1)$$

여기서, a는 한 링크에 대한 제공 부하(offered load)를 의미한다.

그리고, 해석의 편의상 소스와 목적지간의 H 개의 모든 링크에서 링크 블러킹 확률이 서로 독립이라고 가정하면, 임의의 한 연결 경로에 대한 경로 블러킹 확률은 아래와 같다.

$$P_{path} = 1 - (1 - P_{link})^H \quad (2)$$

그리고, 위의 식 (2)의 경로 블러킹 확률을 이용하면 S와 G의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = G(1 - P_{path}) \quad (3)$$

이때, 앞의 망 모델에서 가정한 바와 같이 모든 링크에서 각 S는 동일하고 각 G도 동일하다.

또한, 임의의 연결 경로상의 i 번째 홵에서 처음으로 대역폭 예약이 블러킹될 확률 P<sub>i</sub>는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$P_i = (1 - P_{link})^{i-1} P_{link} \quad (4)$$

식 (1)을 사용하여 링크 블러킹 확률을 구하기 위해서는 링크에 인가되는 총 제공 부하 a를 알아야 한다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 각 링크의 총 제공 부하 a는 a<sub>i</sub>(i=1, ..., H)의 총합으로 구할 수 있으며, a<sub>i</sub>는 해당 링크를 통과하는 모든 소스-목적지 쌍들로부터 i(=1, 2, ..., H) 번째 홵에 해당하는 링크에 제공되는 부하를 나타낸다. 임의의 소스-목적지 쌍들로부터 제공된 부하는 각 노드에서 링크 블러킹으로 인해 노드를 경유함에 따라 점차 감소하게 된다. 이러한 현상으로 인해 제공 부하를 직접 계산하기는 매우 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 총 전달 부하를 먼저 구하고 이로부터 제공 부하를 구하는 간접적인 방법을 사용한다. 총 전달 부하 a'로부터 임의의 한 링크에서의 총 제공 부하 a는 a' = a(1 - B(M, a))의 관계를 이용하여 구할 수 있다.

임의의 한 링크에서 볼 때, 해당 링크를 통과하는 모

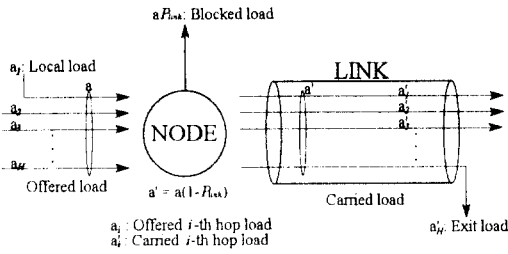


그림 4. 임의의 링크에서 제공 부하와 전달 부하의 관계  
Fig. 4. Offered and carried load for a particular link in the subnetwork.

든 소스-목적지 쌍들로부터  $i$  번째 홉에 해당하는 링크에서의 전달 부하(carried load)  $a_i'$ 는 연결 경로상의 모든 노드에서 성공적으로 전송이 되는 버스트와  $i$  번째 홉까지는 성공적으로 전달되고 그 이후의 노드에서 블러킹이 발생하는 버스트를 포함하게 된다. 연결 경로 상의  $i$  번째 홉에서 처음으로 예약이 블러킹되는 확률  $P_i$ 와 임의의 한 링크가 어느 소스-목적지 쌍의  $i$  번째 홉에 해당될 확률이  $1/H$ 인 것을 이용하면, 한 링크를 거치는 모든 소스-목적지 쌍으로부터  $i$  번째 홉의 전달 부하를 구해낼 수 있다. 이러한 전달 부하는 예약 방식과 NAK 셀을 보내는 지점에 따라 달라지게 된다.

(1) FRP/DT 방식에 대한 해석

FRP/DT 방식에서 블러킹이 발생한 경우 각 노드는 NAK 셀을 받고 나서야 예약된 대역폭을 해제시키기 때문에, 성공적으로 전송되지 못한 버스트에 의해 대역폭이 점유되는 시간은 경로상의 링크 위치에 의해 결정된다. BNAK인 경우는 블러킹된 버스트에 의한 대역폭 점유 시간은 블러킹이 발생한 노드로부터 해당 노드까지 거리에 의존하는 반면, DNAK인 경우는 목적지 노드로부터 해당 노드까지 거리에 의존한다. 따라서, FRP/DT에 대한  $i$  번째 홉의 전달 부하는 다음과 같이 계산된다<sup>19)</sup>.

$$a_i = \begin{cases} \frac{G}{H} \left[ (1 - P_{blk})^H U_s + \sum_{j=i+1}^H 2\tau_p(j-i) \cdot P_j \right] & \text{for the BNAK} \\ \frac{G}{H} \left[ (1 - P_{blk})^H U_s + 2\tau_p(H-i+1) \sum_{j=i+1}^H P_j \right] & \text{for the DNAK} \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $U_s$ 는 성공적으로 버스트가 전송되는 경우의 대역폭 점유시간을 나타내는데 예약에 의한 종단간 왕복 전파 지연과 버스트 기간의 합으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_s = 2H\tau_p + T_{ON}. \quad (6)$$

(2) FRP/IT 방식에 대한 해석

FRP/IT 방식은 대역폭 예약 요구 셀을 보냄과 동시에 해당 버스트를 바로 전송하므로 FRP/DT 방식과는 달리 버스트 블러킹으로 인한 전달 부하는 블러킹된 링크의 위치와 버스트 기간에 영향을 받는다. 만약 버스트 기간이 NAK 셀이  $i$  번째 홉에 도착하는 데까지 걸리는 시간보다 짧으면 버스트 기간 동안만큼만 대역폭이 점유된다. 따라서, FRP/IT 방식에서 NAK 셀 전송 방식에 따른  $i$  번째 홉의 전달 부하는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i = \begin{cases} \frac{G}{H} \left[ (1 - P_{blk})^H U_s + \sum_{j=i+1}^H \min\{2\tau_p(j-i), T_{ON}\} P_j \right] & \text{for the BNAK} \\ \frac{G}{H} \left[ (1 - P_{blk})^H U_s + \min\{2\tau_p(H-i+1), T_{ON}\} \sum_{j=i+1}^H P_j \right] & \text{for the DNAK} \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $U_s$ 는 성공적으로 버스트가 전송되는 경우의 대역폭 점유시간을 나타내는데, FRP/DT 방식과는 달리 예약을 위한 오버헤드가 없으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_s = T_{ON}. \quad (8)$$

FRP/DT 방식과 FRP/IT 방식 모두 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 커지면 예약이나 블러킹으로 인한 대역폭 낭비의 정도가 커지므로 총 버스트 수율이 떨어진다. 그러나 FRP/IT 방식은 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 어느 이상이 되면 전파 지연에 대한 의존도는 현저히 떨어지게 된다. 식 (7)의 두 번째 항으로부터 연결 경로상의  $j$  번째 홉에서 블러킹이 발생한 경우  $i$  번째 홉의 전달 부하를 고려해 볼 때, 버스트 기간과 전파 지연에 대한 관계가 아래와 같은 조건을 만족하면 FRP/IT 방식의 성능은 버스트 기간에만 의존하며 전파 지연에 무관한 것을 알 수 있다.

$$\begin{cases} T_{ON} \leq 2\tau_p(j-i), & j=i+1, \dots, H \text{ for the BNAK} \\ T_{ON} \leq 2\tau_p(H-i+1) & \text{for the DNAK.} \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)의 전파 지연과 버스트 기간의 관계에서, BNAK 경우는 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 최소한  $1/2(j-i)$  이상이 되면 전파 지연에 무관한 성능 결과를 나타냄을 알 수 있다. 블러킹이 발생된 노드와 전달 부하를 구하고자 하는 모든 노드간의 거리에 대해서 식 (9)를 항상 만족시키려면 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간 비가  $1/2$  이상이 되어야 한다.

반면에 DNAK 경우는 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간 비가  $1/2(H-i+1)$  이상이 되어야 전파 지연에 영향을 받지 않는다. BNAK와 마찬가지로 식 (9)를 항상 만족시키려면 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간 비가 최소한  $1/2$  이상이 되어야 한다. 따라서, FRP/IT 방식의 성능은 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간의 비가  $1/2$  이상이 되면 전파 지연에는 무관하고 버스트 기간에 의해서만 결정됨을 알 수 있다.

2.2 지연 및 링크 이용 효율의 계산

$(G-S)/S$ 는 버스트의 평균 재전송 횟수를 나타내는데 이를 이용하면, 버스트 생성으로부터 대역폭이 성공적으

로 예약되기까지의 평균 예약 지연  $W$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W = \begin{cases} \frac{G-S}{S} \left( \sum_{j=1}^H 2\tau_p(j-1)P_j/P_{path} + \tau_b \right) & \text{for the BNAK} \\ \frac{G-S}{S} (2H\tau_p + \tau_b) & \text{for the DNAK.} \end{cases} \quad (10)$$

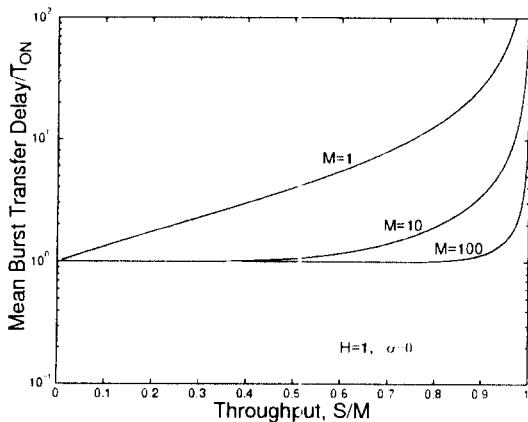
그리고, 식 (6), (8), (10)을 이용하면 버스트 생성에서부터 성공적으로 전송을 마칠 때까지의 평균 버스트 전달 지연  $D$ 는 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$D = W + U_s = \begin{cases} W + 2H\tau_p + T_{ON} & \text{for the FRP/DT} \\ W + T_{ON} & \text{for the FRP/IT.} \end{cases} \quad (11)$$

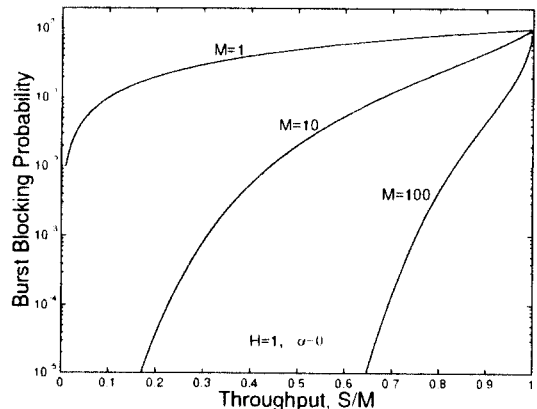
대역폭 예약이 성공한 경우와 실패한 경우를 모두 포함한 링크 효율은  $\rho = a/M$ 이고, 대역폭 예약이 성공한 경우만을 고려한 링크 이용 효율은 링크 용량에 의해 정규화된 버스트 수율과 동일한  $\rho_0 = S/M$ 이다. 따라서, 대역폭 예약 재시도 등을 포함한 예약 오버헤드로 인한 링크 낭비율은  $\rho_w = \rho - \rho_0$ 와 같은 관계로부터 얻을 수 있다.

IV. 수치 결과 분석

고속 예약 프로토콜의 성능 분석을 위한 파라미터로 평균 버스트 전달 지연, 버스트 블러킹 확률, 총 버스트



(a) 평균 버스트 전달 지연



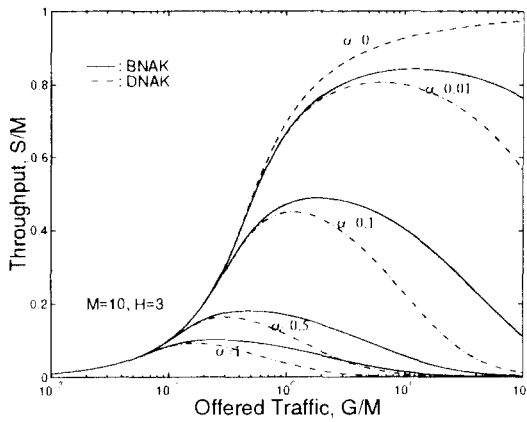
(b) 버스트 블러킹 확률

그림 5. 피크율 변화에 따른 평균 버스트 전달 지연과 버스트 블러킹 확률  
Fig. 5. The impact of peak rates on the mean burst transfer delay and the burst blocking probability.

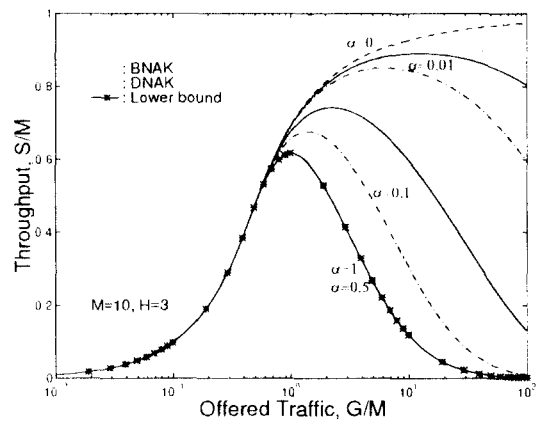
수율과 링크 이용 효율 등을 고려하였다. 여기서 사용되는 모든 성능 분석 파라미터들은 버스트 기간으로 정규화된 값들이다. 그리고 편의상 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간의 비를  $\alpha$ 로 두었다. 즉,  $\alpha = \tau_p / T_{ON}$ 이 된다. 또한 모든 결과는 출력 링크 용량  $C$ 를 100 Mb/s로, 평균 backoff 시간  $\tau_b$ 는 평균 버스트 기간의 3배로 가정하였다.

먼저, 그림 5에는 전파 지연을 무시한 경우에 대해

피크율 변화에 따른 평균 버스트 지연과 블러킹 확률을 나타내었다. 전파 지연을 무시한 경우 FRP/DT 방식과 FRP/IT 방식은 동일한 결과를 가진다. 여기서는 세 가지의 서로 다른 피크율  $R_p = 1, 10, 100$  Mb/s를 고려하였으며 이는 채널 수로 환산하였을 때  $M$ 이 각각 100, 10, 1에 해당한다. 그림에서 볼 수 있듯이 피크율이 낮은 트래픽일수록 평균 버스트 전달 지연이 짧고 낮은 블러킹 확률을 가지며 높은 링크 이용 효율로 다중화

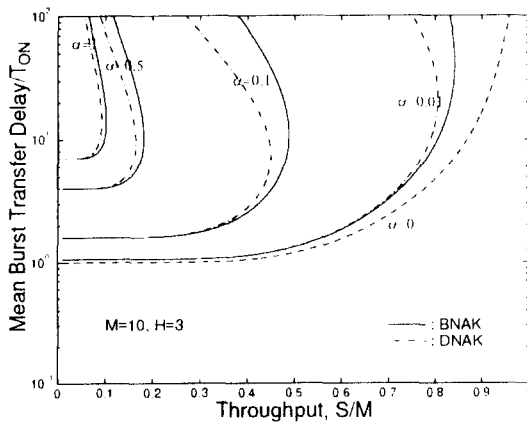


(a) FRP/DT

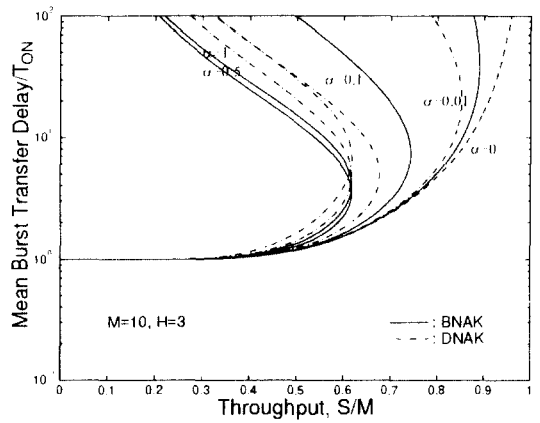


(b) FRP/IT

그림 6. 버스트 수율과 제공 부하 관계  
Fig. 6. Offered load vs. throughput



(a) FRP/DT



(b) FRP/IT

그림 7. 버스트 수율과 평균 버스트 전달 지연 관계  
Fig. 7. Mean burst transfer delay vs. throughput.

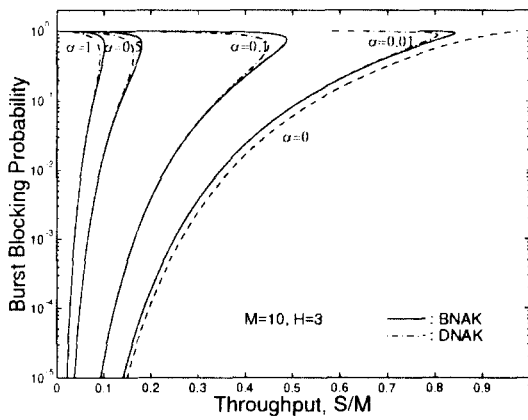


가 가능함을 보이고 있다. 그러나,  $M=1$ 에 해당하는 높은 피크율을 가지는 트래픽은 얻을 수 있는 링크 이용 효율이 매우 낮음에도 불구하고 매우 긴 버스트 전달 지연과 높은 버스트 블러킹 확률을 나타낸다. 이러한 결과로부터 FRP 방식의 성능은 소스의 피크율 대 출력 링크 속도의 비에 매우 민감함을 알 수 있다.

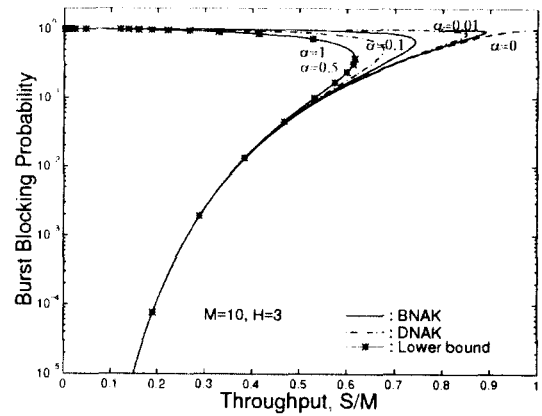
그림 6에서 9까지는 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간의 비  $\alpha$ 가 0, 0.01, 0.1, 0.5, 1인 경우에

대해 고속 예약 프로토콜의 성능을 나타내고 있다. 그림 6에는 제공 부하에 따른 버스트 수율을 나타내고 있으며, 그림 7에서 9까지는 버스트 수율에 따른 평균 버스트 전달 지연, 버스트 블러킹 확률, 그리고 낭비되는 전송 대역폭의 정도를 나타내고 있다. 여기서 고려된 모델은 흡수가  $H=3$ 이고 소스의 피크율은 10 Mb/s로 링크의 채널의 수가  $M=10$ 이다.

그림 6에서 9까지의 결과로부터  $\alpha$ 가 동일한 경우, 모

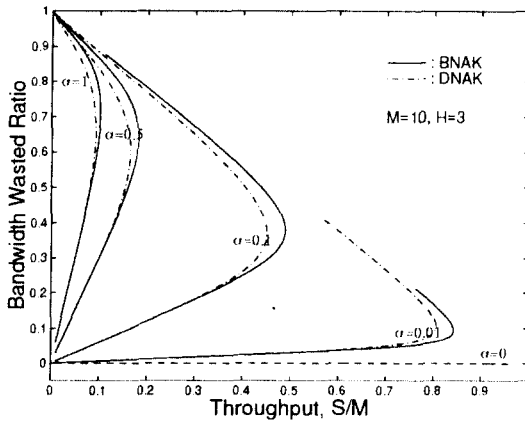


(a) FRP/DT

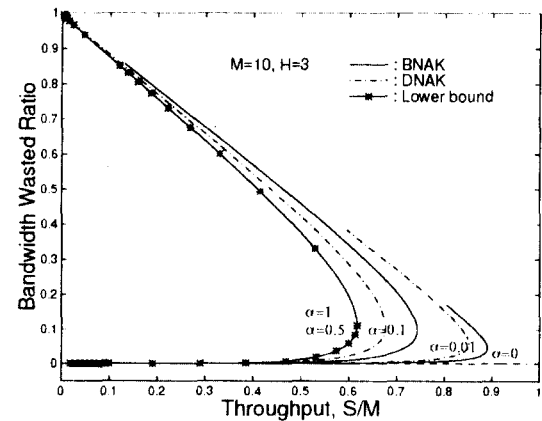


(b) FRP/IT

그림 8. 버스트 수율과 버스트 블러킹 확률 관계  
Fig. 8. Burst blocking probability vs. throughput.



(a) FRP/DT



(b) FRP/IT

그림 9. 버스트 수율과 낭비된 대역폭 관계  
Fig. 9. Normalized bandwidth wasted vs. throughput.

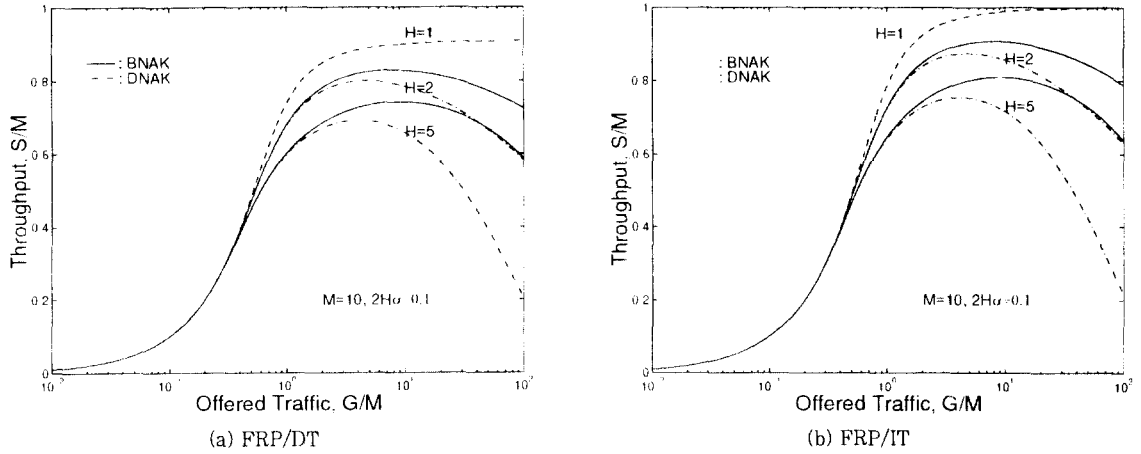


그림 10. 종단간 전파 지연이 동일한 경우 홉 수의 변화에 따른 버스트 수용  
 Fig. 10. The impact of the number of hops on throughput for the same end-to-end round trip delay.

표 2. 링크 길이와 버스트 크기의 변화에 따른 최대 링크 이용 효율 (BNAK, M=10, H=3)  
 Table 2. Maximum effective link utilization according to the end-to-end propagation time and the mean burst length.

종단간 링크 길이		버스트 크기( $T_{ON}$ )				
		1 kbytes (890.4 $\mu$ s)	10 kbytes (8.862 ms)	100 kbytes (88.36 ms)	1 Mbytes (883.4 ms)	
LAN / MAN	10 km (50 $\mu$ s)	DT	7.78e-1	9.33e-1	9.75e-1	9.89e-1
		IT	8.60e-1	9.43e-1	9.76e-1	9.90e-1
	100 km (0.5 ms)	DT	3.55e-1	7.78e-1	9.33e-1	9.75e-1
		IT	6.86e-1	8.60e-1	9.43e-1	9.76e-1
WAN	1000 km (5 ms)	DT	5.76e-2	3.54e-1	7.77e-1	9.33e-1
		IT	6.17e-1	6.86e-1	8.60e-1	9.43e-1
	5000 km (25 ms)	DT	1.22e-2	1.07e-1	5.00e-1	8.47e-1
		IT	6.17e-1	6.17e-1	7.48e-1	8.93e-1

은 성능면에서 BNAK 방법이 DNAK 보다 더 나은 성능을 가지며 FRP/IT 방식이 FRP/DT 방식보다 더 나은 성능을 가짐을 알 수 있다. FRP/DT 방식은 대역폭 예약을 위한 REQ/ACK 사이클 동안 전송 대역폭을 점유하기 때문에, 전파 지연이 증가함에 따라 FRP/DT는 FRP/IT 방식보다 얻을 수 있는 최대 버스트 수용이 더 빨리 감소함을 알 수 있다. 반면, FRP/IT 방식에서는 노드간의 단방향 전파 지연이 버스트 기간의 반 이상이 되면 전파 지연에 무관한 성능을 보임을 알 수 있다. 그

리고, 전파 지연이 매우 짧아 무시하거나 단일 노드 환경에서는 BNAK 방법과 DNAK 방법이 동일한 결과를 가짐을 알 수 있다.

그림 9에는 각 방식의 오버헤드로 인한 대역폭 낭비 정도를 나타내고 있으며, 수용이 동일한 경우 FRP/IT 방식을 사용하는 것이 FRP/DT 방식에 비해 대역폭 낭비가 훨씬 작음을 알 수 있다. 그러나, FRP/DT 방식에서 낭비되는 전송 대역폭은 예약 모드의 트래픽은 사용할 수 없지만 best-effort 서비스와 같이 대역폭을

예약하지 않는 트래픽이 사용할 수 있는데 반하여, FRP/IT 방식에서 낭비되는 대역폭은 블럭킹된 버스트에 의한 실제 망 자원의 낭비를 의미하며 어떠한 트래픽 전송을 위해서도 사용될 수 없다.

그림 10에는 종단간 전파 지연이 동일한 경우에 대해 흡수에 따른 고속 예약 프로토콜의 수율을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 FRP/IT 방식이 FRP/DT 방식에 비해 더 나은 성능을 가짐을 알 수 있고, FRP/DT와 FRP/IT 방식 모두 흡수가 증가함에 따라 얻을 수 있는 최대 수율이 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 FRP 방식을 이용하여 다중화 이득을 높이기 위해서는 경로 설정 단계에서 해당 연결이 거쳐야 하는 홉의 수가 최소가 되도록 경로 설정을 하는 것이 더 바람직함을 알 수 있다.

표 2에는 종단간 링크 길이와 버스트 크기에 따른 최대 링크 이용 효율을 나타내고 있다. 이 표를 통해 알 수 있듯이 종단간 링크 길이가 고정된 경우 버스트 크기가 커질수록 고속 예약 프로토콜의 최대 링크 이용 효율이 향상됨을 알 수 있다. 그리고 이 경우 버스트 크기가 작아짐에 따라 FRP/DT 방식의 성능이 FRP/IT 방식에 비해 급격히 저하됨을 알 수 있다.

또한, 버스트 크기가 고정된 경우 종단간 거리가 길어질수록 성능이 나빠지며, 특히 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 상대적으로 큰 환경에서는 FRP/DT 방식의 성능이 FRP/IT 방식에 비해 급격히 감소함을 알 수 있다. 예를 들어 버스트 크기가 1 kbytes인 경우 종단간 링크 길이가 10 km에서 5000 km로 길어지는 경우 FRP/DT 방식과 FRP/IT 방식의 최대 링크 이용 효율이 각각 0.78, 0.86에서 0.01, 0.62로 감소되어 FRP/DT 방식의 링크 이용 효율이 급격히 낮아짐을 볼 수 있다. 이러한 이유는 FRP/DT 방식의 성능은 전파 지연 대 버스트 기간의 비에 매우 의존하는 반면, FRP/IT 방식은 노드간의 단방향 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 1/2일 때 최대 링크 이용 효율의 하한치를 가짐으로써 전파 지연에 무관하게 항상 어느 정도의 링크 이용 효율을 보장하기 때문이다.

이상의 결과들로부터 예약 모드 트래픽의 관점에서는 FRP/IT 방식을 사용하는 것이 링크를 더 효율적으로 사용할 수 있으며, 두 방식 모두 전파 지연이 짧은 LAN 환경에 더 적합함을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 ATM망에서 버스트 레벨 대역폭 할당을 위한 고속 예약 프로토콜의 성능을 분석하였다. 고속 예약 프로토콜은 예약 절차에 따라 FRP/DT 방식과 FRP/IT 방식으로 나눌 수 있으며, 버스트 블럭킹시 NAK 셀을 발생시키는 장소에 따라 BNAK과 DNAK 방식으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 이들 각 방식에 대해 평균 버스트 지연과 버스트 블럭킹 확률 그리고 버스트 수율을 Erlang loss formula를 이용하여 해석적인 방법을 통해 성능을 분석하였다. 또한 전파 지연과 흡수에 따른 성능 파라미터의 의존도를 분석하였다.

분석 결과, FRP/DT가 전파 지연에 더 민감한 변화를 보였고 FRP/IT는 전파 지연이 증가하더라도 최소 수율은 보장함을 알 수 있었다. 전파 지연이 버스트 기간에 비해 클수록 FRP/IT가 FRP/DT보다 더 나은 성능 결과를 가짐을 알 수 있었다. 버스트 수율 관점에서 흡수 증가의 변화를 보았는데, 전파 지연이 동일한 경우 흡수가 적을수록 더 높은 수율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 그리고, BNAK와 DNAK 방법을 버스트 수율, 평균 전송 지연, 버스트 블럭킹 확률, 대역폭 이용 효율 관점에서 비교하여 보았는데, 흡수가 많아질수록 BNAK 방법이 DNAK에 비해 보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

결론적으로, 고속 예약 프로토콜은 WAN보다는 LAN과 같이 전파 지연이 짧고 비교적 적은 수의 홉으로 구성되는 환경에서 더 나은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 그리고, FRP/DT 방식은 REQ/ACK 사이클 동안 예약된 대역폭을 예약 모드 트래픽이 사용할 수 없으므로 인해 얻을 수 있는 수율이 제한되므로, 전파 지연 대 버스트 기간의 비가 상대적으로 큰 경우에는 FRP/IT 방식을 사용하는 것이 보다 바람직함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. CCITT Contribution D.1463, D.1464, June 1991, Geneva.
2. Pierre E. Boyer and Didier P. Tranchier, "A reservation principle with application to the

ATM traffic control," Computer Networks and ISDN Systems 24, pp.321-334, 1992.

3. ITU-T Recommendation I.371 1995, Geneva.
4. Didier P. Tranchier, Pierre E. Boyer, Yvon M. Rouaud, and Jean-Yves Mazeas, "Fast bandwidth allocation in ATM networks," ISS '92, pp.7-11, 1992.
5. Jonathan S. Turner, "Managing bandwidth in ATM networks with bursty traffic," IEEE Network, pp.50-58, Sept. 1992.
6. Greg M. Bernstein and Derrick H. Nguyen, "Blocking reduction in fast reservation protocols," IEEE INFOCOM '94, pp.1208-1215, 1994.
7. Naoki Wakamiya, Ken-ichi Masayuki and Hideo Miyahara, "Performance analysis of traffic control methods in multimedia ATM LAN," ICC '95, pp.1027-1036, 1995.
8. You-Ze Cho and Alberto Leon-Garcia, "Performance of burst-level bandwidth reservation in ATM LANs," IEEE INFOCOM '94, pp.812-820, 1994.
9. You-Ze Cho, "Performance of fast bandwidth reservation protocols in ATM networks," JCNSS '94, pp.31-36, 1994.
10. Chinatsu Ikeda and Hiroshi Suzuki, "Adaptive congestion control schemes for ATM LANs," IEEE INFOCOM '94, pp.829-838, 1994.



金東勇(Dong Ho Kim) 정희원

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정

※주관심 분야 : 초고속 정보통신망, ATM 트래픽 제어



趙有濟(You Ze Cho) 정희원

1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1983년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
 1988년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1989년 3월~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 부교수  
 1992년 8월~1994년 1월 : Univ. of Toronto, 객원교수  
 ※주관심 분야 : 초고속 정보통신망, ATM 트래픽 제어, 멀티미디어 통신