

# CATV/LAN 전송망에서 우선권 문제를 추가한 MAC 프로토콜의 성능해석에 관한 연구

정희원 우 상 철\*, 윤 종 호\*

## Performance Analysis of the prioritized MAC protocol under the CATV/LAN network

Sang Choel Woo\*, Jong Ho Yoon\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 CATV/LAN 전송망에서 우선권 문제에 주안을 두어서 해석한다. CATV/LAN 전송망에서 주요 해석의 대상인 상향 채널은 단방향 채널 특성과 단말의 위치에 따라서 우선적으로 접속되는 특성이 발생한다. 그리고, 트래픽(traffic)에 대한 우선권문제(priority)가 대두된다. 이런 공정성 문제와 우선권 문제를 해결하기 위하여 전송할 데이터가 발생하며  $P$  확률로 데이터를 전송하는 CSMA-CD/U/P-P(Unslotted prioritized  $P$ -persistent CSMA-CD) 프로토콜을 제안한다. 우선권 문제는 2-Class(high, low)로 가정하였다. 성능해석과 시뮬레이션 결과 우선권 문제가 주어진 환경하에서의 2개의 시나리오(scenario)를 가정하여 데이터 전송 확률값인  $P$ 를 구하였으며, 전송망의 공정성이 이루어 졌을 때 평균 지연 시간을 비교하였다. 또한, 지연시간의 분산값을 구하였으며 버퍼큐(buffer queue)에서의 큐길이(queue length) 분포도 구하였다. 특히 헤드엔드 시스템에 가까운 단말이 포함될수록 평균 지연 시간이 길어지는 특징을 나타내고 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyzed the performance for CATV/LAN added priority problem. Upstream channel which analyzed very deeply for CATV/LAN network have the preferential access property depending upon that position and unidirectional property. To solve that fairness problem and priority, we propose the CSMA-CD/U/P-P protocol that transmit as  $P$  probability if data packets happen. We assumed 2-Class priority(high, low). As the analytic result and simulation, we obtained  $P$  value and its average delay time under priority problem assumed two scenarios. Also, we get its variance value and queue length. Especially, the mean delay time increases nearer than position from H/E

### I. 서 론

초고속 정보통신망의 기반 기술로는 기간 망 부분은 광케이블과 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 중심으로 전개되고 있다. 그러나 가입자망

의 구축은 가입자까지 광케이블을 가설하는 광 가입자망(Fiber To The Home : FTTH)을 목표로 기술 개발이 진행되어 왔으나 막대한 비용과 시간의 투입이 예상되어 최근에는 이런 대안 기술로 가입자망의 일부만을 광케이블로 구축하고 가입자까지 연결되는 종단은 동축케이블 또는 기존의 통신 인

\* 한국항공대학교 항공통신정보공학과  
논문번호: 99200-0517, 접수일자: 1999년 5월 17일

프라를 이용하는 기술이 연구되고 있다. 이런 가입자망의 기술로는 기존의 전화선을 이용하는 디지털 가입자 회선(xDSL : x Digital Subscriber Line)과 광·동축 혼합망(HFC : Hybrid Fiber Coaxial)방식이 대표적인 방안으로 부각되고 있으며, 특히 기존에 가설되어 있는 케이블 TV 전송망에서 케이블 모뎀을 이용하여 인터넷과 같은 양방향 데이터 전송을 실현하는 HFC 전송망 기술이 활발히 연구되고 있다.

HFC망은 기존의 케이블 TV망의 트렁크 부분을 광 케이블화한 것으로 전형적인 수지형태(tree & branch)의 망구조를 이루고 있다. 또한, HFC망은 크게 헤드엔드(headend)에서 단말로 데이터를 전송하는 방송형 채널 형태로 전송 대역폭이 50-750MHz 인 하향채널(downstream channel)과 단말에서 헤드엔드로 데이터를 전송하는 전송 대역폭이 5-42MHz 인 상향채널(upstream channel)로 구성되어지며, 헤드엔드를 거쳐 외부의 근거리 통신망(Local Area Network)등 여러 망과의 연동이 가능함으로 기존의 케이블 TV망 개념을 확장하여 이하 본 연구 보고서에서는 CATV/LAN망이라 명한다. 문제점으로는 상향 채널 구조에 있어서 데이터는 단방향 전송 특성을 가짐으로서 각 단말들이 동시에 데이터를 전송시 데이터의 충돌이 일어날 수 있다. 이를 문제를 해결하기 위하여 가입자 단말들의 상향채널 구조에 대한 적절한 매체 접속 제어 (MAC : Medium Access Control)프로토콜이 필요하다.

현재 IEEE802.14초안을 기초로 하여 발표되고 있는 CATV/LAN망용 MAC프로토콜은 슬롯방식과 예약방식이 주류를 이루며 상당히 많은 연구가 진행중이나 아직 표준안이 확정되지는 않고 있는 실정이다. 그러나 슬롯방식은 그 특성상 수많은 단말들과 헤드엔드가 공존시간을 유지해야 함으로 특수한 동기과정(ranging)이 필수적이며 이로 인한 하드웨어의 고가 및 대형화가 야기된다.

또한 ATM망과의 연동기능에도 문제가 발생하며 다양한 데이터 트래픽에 따른 QOS문제, 대역폭의 동적 할당 문제 및 단기간에 망 전개가 어려운 단점들이 발생한다.

본 논문에서는 우선권 문제를 추가하여(2-Class (high,low) CATV/LAN 전송망에서 중요한 문제점으로 대두되는 데이터 충돌 문제를 해결하기 위한 슬롯방식이 아닌 새로운 CSMA-CD/U/P-P(Unslotted prioritized Pi-persistent CSMA/CD)프로토콜을 제안한다. 이 방식은 각 단말들마다 전송망으로 보

내고자 하는 데이터가 있을 때, 단말들마다 고유의 데이터 전송 확률값을 가짐으로서 단말간의 데이터 충돌을 방지하고 전송망의 공정성을 도모한 프로토콜이다.

제1장 서론에 이어 제2장에서는 본 논문에서 제안한 CSMA-CD/U/P-P 프로토콜에 대해서 수식적 전개를 통해 성능 해석을 수행하고 제3장에서는 본 논문에 대한 성능해석 결과를 분석하였다. 마지막으로 제4장에서는 결론을 맺는다.

## II. Unslotted Prioritized $P_i$ -Persistent CSMA-CD PROTOCOL

### 2.1. 시스템 모델링(Modeling)

본 절에서는 제안된 프로토콜 방식에서 우선권 문제를 추가하여 해석하고자 한다. 근거리 통신망을 비롯한 모든 일반적인 전송망 구조에서는 다양한 종류의 데이터 트래픽이 상존하게 되며,이런 다양한 형태의 데이터 트래픽들은 그들마다 다양한 서비스의 질(QOS)을 요구하게 된다. 따라서 이들을 전송망에서 효과적으로 전송하기 위해서는 우선권 문제를 검토하여야 한다. 본 절에서 검토하는 CATV/LAN 전송망의 Unslotted Prioritized  $P_i$ -Persistent CSMA-CD PROTOCOL은 이하 CSMA-CD/U/P-P라 명하고, 기본적으로 CSMA-CD/U/P과 유사한 메카니즘으로 동작한다.

CSMA-CD/U/P-P 프로토콜의 전송망 시스템에서는 2-Priority를 가지는 단말들로 구성된다고 가정한다. 즉, 전송망에 데이터를 전송하는 모든 단말들은 크게 high, low priority등의 두 종류의 데이터를 생성하여 전송한다. 전송망의 시스템 모델은 그림 1에 도시되어 있다. 제안된 프로토콜의 구조를 따르는 CATV/LAN 전송망에서의 모든 M개의 단말들은 모두 무한버퍼를 가진다고 가정하며, 데이터 패킷들은 각 단말에 도착률  $\lambda$  의 비율을 가지는 Poisson 프로세스로 가정한다. 또한, 버퍼큐에서의 패킷 서비스 시간은 평균  $T_T$  를 가진다고 가정한다. 전송망에서는 각 단말들의 위치에 따라서 고유한 단말번호  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, M$ )를 가지며, 헤드엔드에서 제일 가까이 위치한 단말의 번호를 M이라 가정한다. 여기서 높은 우선권(HP:High Priority)을 가지는 단말 중에서 헤드엔드 시스템과 가장 가깝게 위치한 단말을  $M_h$ 라 하고, 마찬가지로 낮은 우선권(LP: Low Priority)을 가지는 단말 중에서 헤드엔드 시스

템과 가장 근접하게 위치하는 단말을  $M_i$  이라 한다. 그리고 높은 우선권을 가지는 단말들 중에 임의의 한 단말을  $i_h$  라 하고, 낮은 우선권을 가지는 단말들 중에 임의의 한 단말을  $i_l$  이라 한다. 또한, 각  $i_h$  단말들의 버퍼큐에 도착하는 데이터 패킷들은 평균  $\lambda_{ih}$  의 도착률을 가지는 Poisson 프로세스로 가정하며,  $i_l$  단말들의 버퍼큐에 도착하는 데이터 패킷들은 평균 도착률  $\lambda_{il}$  을 따르는 Poisson 프로세스로 가정한다.

우선권 문제가 고려된 CATV/LAN 전송망구조에서 망의 공정성문제를 해결하기 위해서는 HP 데이터 패킷을 발생하는 단말들은 같은 단말들끼리 동일한 데이터 지연시간을 가지도록 하여야 하며, LP 데이터 패킷을 발생하는 단말들은 같은 단말들끼리 또한 동일한 데이터 패킷 지연 시간을 가져야 한다. 이러한 같은 우선권을 가지는 단말들간에 동일한 지연시간을 이루기 위해서는 그에 맞는 적절한 데이터 전송 확률값을 구하여야 한다.

CATV/LAN 전송망에서 HP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 누적된 데이터 패킷 도착률을  $\Lambda_{ih}$  라 하고, 마찬가지로 LP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 누적된 데이터 패킷 도착률을  $\Lambda_{il}$  이라 하며 다음 식 (1)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \Lambda_{ih} &= \sum_{j=1, j \neq h}^M \lambda_j, & \Lambda_{il} &= \sum_{j=1, j \neq i}^M \lambda_j \\ \Lambda_{ih} &= \sum_{j=1, j \neq h}^M \lambda_j, & \Lambda_{il} &= \sum_{j=1, j \neq i}^M \lambda_j \\ \Lambda_{i..} &= \sum_{j=1}^M \{ \Lambda_{ih}(j \in h), \Lambda_{il}(j \in l) \} \end{aligned} \quad (1)$$

단, 여기서  $i, j$ 는 전송망에서 임의의 단말이다.

또한, CATV/LAN 전송망에서 HP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 누적된 처리률(throughput)을

$\rho_{ih}$  라 하고, 마찬가지로 LP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 누적된 처리률을  $\rho_{il}$  이라 하며 다음 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \rho_{ih} &= \sum_{j=1, j \neq h}^M \rho_j, & \rho_{il} &= \sum_{j=1, j \neq i}^M \rho_j \\ \rho_{ih} &= \sum_{j=1, j \neq h}^M \rho_j, & \rho_{il} &= \sum_{j=1, j \neq i}^M \rho_j \end{aligned} \quad (2)$$

단, 여기서  $i, j$ 는 전송망에서 임의의 단말을 의미하며,  $\rho_j(j \in h)$  와  $\rho_j(j \in l)$ 은 각각 high, low priority 단말의 처리율이다. 마찬가지로  $\rho_{ih}$  와  $\rho_{il}$  의 합은 "1"로서 전송망에서 유한하다. 제안된 전송망의 구조를 해석하기 위해서는 두 개의 우선권을 가지는 단말을 각각 해석하여야 한다. 직관적으로 HP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 해석은 쉬워 보이나 LP 데이터 패킷을 발생시키는 단말들의 해석은 복잡한 양상을 띄게됨을 알 수 있다. HP 단말에서의 데이터 패킷 서비스 과정을 그림 2에 나타내었다.

먼저 HP 단말에서는 데이터 패킷이 버퍼큐에 도착하면  $J_i$  지연과정 후에 전송망이 비어 있다면 첫 번째 데이터 패킷은  $(1-\rho_h)$ 의 확률로 즉시 전송한다. 여기서  $(1-\rho_h)$ 는 HP 단말들의 상향 채널 처리율이다. 반면에 상향채널에서 데이터패킷이 전송 중 이라면 상향채널이 비어있게(idle)될 때까지 단말  $i_h$  의 residual breakdown 시간  $B_{R_{i_h}}$  동안 기다려야 한다.  $B_{R_{i_h}}$ 는 임의의 단말  $i_h$ 가 상위채널의 데이터 패킷으로 인해 지연과정을 시작하여 전송망이 휴지(idle)하게 되어 모든 지연절차물 중단하기까지 걸리는 시간이라 정의한다. Renewal theory<sup>[5]</sup>로부터,  $B_{R_{i_h}}$  의 제 1,2차 모멘트를 각각 보면 다음의 식과 같이 구해질 수 있다.

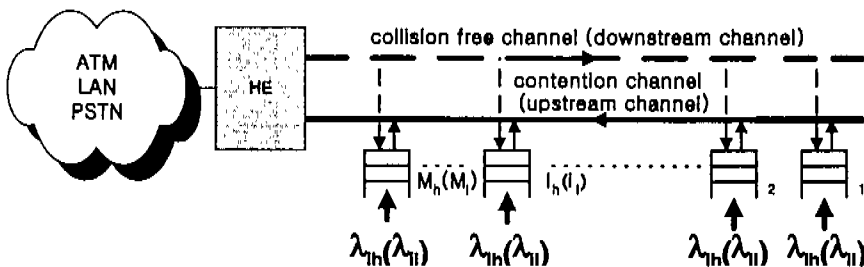


그림 1. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서의 시스템 모델링

$$E[B_{R_i}] = E[T_{B_i}^2]/2E[T_{B_i}],$$

$$E[B_{R_i}^2] = E[T_{B_i}^3]/3E[T_{B_i}], \quad (3)$$

첫 번째 데이터패킷이 비어있는 임의의 HP단말  $i_k$ 에 도착하여 전송을 시작할 순간까지의 경과한 전체 지연시간,  $F_{i_k}$ 는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$F_{i_k} = \sum_{n=0}^{i_k} \tau^{(n)} + \rho_{k-1} B_{R_{i_k}}. \quad (4)$$

CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서는 비어 있는 임의의 HP단말  $i_k$ 에 데이터패킷이 도착하더라도  $F_{i_k}$  지연시간 후에 전송하게 된다. 또한, 우선권이 고려된 CATV/LAN 전송망에서 임의의 HP단말  $i_k$ 에서의 idle period의 Laplace transform을 구해보면 식 (5)과 같다.

$$\bar{I}_{i_k}^*(s) = I_{i_k}^*(s) \cdot F_{i_k}^*(s) \quad (5)$$

CATV/LAN 전송망에서는 임의의 HP단말  $i_k$ 에 도착하는 데이터패킷이  $\lambda_{i_k}$ 의 비율을 가지는 Poisson 프로세스를 따르기 때문에  $\bar{I}_{i_k}$ 의 평균은  $E[\bar{I}_{i_k}] = 1/\lambda_{i_k} + E[F_{i_k}]$ 로 주어진다.

CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서는 임의의 HP 단말  $i_k$ 의 busy period는 비어있는 단말에 도착하는 데이터패킷에 의해 그 즉시 시작되지는 않고 시

간간격  $F_{i_k}$  후에 시작된다.  $N_0$ 를  $F_{i_k}$  시간 간격동안에 도착된 데이터패킷의 갯수(number)라 하자. 또한, busy period는 initial delay  $F_{i_k}$ 를 가지는 delayed busy period와 동일하다는 사실로부터 busy period의 conditional Laplace transform을 구할 수 있다.

$$E[e^{-sB_{i_k}} | F_{i_k} = t, N_0 = n] = [Y_{i_k}^*(s)]^{n+1} \quad (6)$$

단, 여기서  $Y_{i_k}^*(s)$ 는  $F_{i_k}$  동안에 도착하는 각각의 데이터 패킷에 의해 발생하는 sub-busy period의 Laplace transform이며,  $Y_{i_k}^* = R_{i_k}^*(s + \lambda_{i_k} - sY_{i_k}^*(s))$ 이다. 여기서,  $B_{i_k}^*(s)$ 의 제1,2차 모멘트(moment)를 구해보면 다음과 같다.

$$E[B_{i_k}] = E[Y_{i_k}] + \frac{\lambda_{i_k} E[R_{i_k}] E[F_{i_k}]}{1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}]} \quad (7)$$

$$E[B_{i_k}^2] = E[Y_{i_k}^2] + 2E[Y_{i_k}] \frac{\lambda_{i_k} E[R_{i_k}] E[F_{i_k}]}{1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}]} + \frac{\lambda_{i_k} E[R_{i_k}^2] E[F_{i_k}]}{(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])^2} + \frac{(E[R_{i_k}] \lambda_{i_k})^2 E[F_{i_k}^2]}{(1 - E[R_{i_k}] \lambda_{i_k})^2} \quad (8)$$

임의의 HP단말  $i+1$ 의 Breakdown Time,  $T_{B_{i+1}}$ 의 Laplace transform을 구해보면 다음의 식 (9)와 같다.

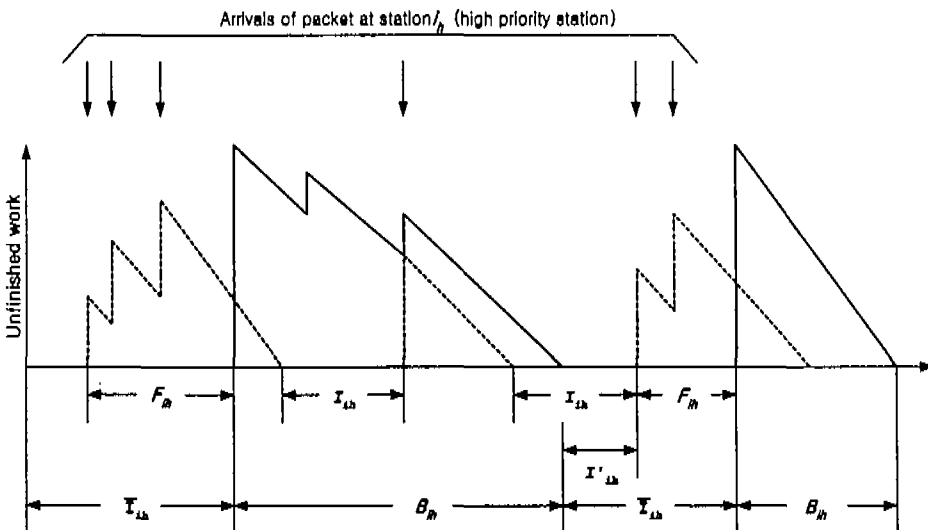


그림 2. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서의 HP단말의 데이터패킷 서비스 과정

$$T_{B_{i-1}}^*(s) = \frac{\bar{\lambda}_{i-1}}{\lambda_{i-1} + \lambda_{i-1}} B_{i-1}^*(s) + \frac{\bar{\lambda}_{i-1}}{\lambda_{i-1} + \lambda_{i-1}} T_{B_{i-1}}^*(s + \lambda_{i-1} - \lambda_{i-1} Y_{i-1}^*(s)) \quad (9)$$

추가적으로, 임의의 HP단말  $i_k$ 의 버퍼큐내에 데이터패킷이 기다리는 대기시간(waiting time)과 관계된 Laplace transform 을 구할 수 있다.  $W_{A_{i_k}}$ 를 initial delay ( $F_{i_k} + R_{i_k}$ )를 가지는 delay cycle동안 활성화된 HP단말  $i_k$ 에 도착하는 데이터패킷의 대기시간이라고 하자. 여기서  $W_{A_{i_k}}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W_{A_{i_k}}(s) = \frac{(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])(1 - F_{i_k}^*(s) R_{i_k}^*(s))}{(E[F_{i_k}] + E[R_{i_k}])(s - \lambda_{i_k} + \lambda_{i_k} R_{i_k}^*(s))} \quad (10)$$

또한,  $\Pi_{E_{i_k}}$ 와  $\Pi_{A_{i_k}}$ 를 임의의 HP단말  $i_k$ 에서 각각 empty와 active상태의 정상상태 확률이라고 할 때, 임의의 HP단말  $i_k$ 에서 대기시간의 Laplace transform과 대기 시간의 평균을 구해 보면 다음과 같다.

$$W_{i_k}(s) = \Pi_{E_{i_k}} F_{i_k}^*(s) + \Pi_{A_{i_k}} W_{A_{i_k}}(s) = \frac{(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])(\lambda_{i_k} + s F_{i_k}^*(s) - \lambda_{i_k} F_{i_k}^*(s))}{(1 + \lambda_{i_k} E[F_{i_k}])(s - \lambda_{i_k} + \lambda_{i_k} R_{i_k}^*(s))} \quad (11)$$

$$E[W_{i_k}] = \frac{(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])}{(1 + \lambda_{i_k} E[F_{i_k}])} \cdot \left\{ \frac{(2E[F_{i_k}] + \lambda_{i_k} E[F_{i_k}^2])}{2(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])} + \frac{(1 + \lambda_{i_k} E[F_{i_k}]) \lambda_{i_k} E[R_{i_k}^2]}{2(1 - \lambda_{i_k} E[R_{i_k}])^2} \right\} \quad (12)$$

여기서 우선권이 고려된 CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서 CATV/LAN 전송망의 최대 처리율을 얻기 위하여 헤드엔드 시스템과 가장 근접하게 위치한 HP 단말의 데이터 패킷 전송 확률값을  $P_M = 1$ 로 한다면, 전송망의 공정성을 기하기 위하여  $E[D_{i_k}] = E[D_M]$ ,  $1 \leq i_k \leq M$ 을 만족시키는 확률  $P_i$ 를 구할 수 있다. 임의의 HP단말  $i_k$ 에서의 큐길이는  $Q_{i_k}(z) = B_{i_k}^*(\lambda_{i_k}(1-z))$ 로 구해진다.

다음으로 LP단말에서의 데이터 패킷 전송시 버퍼

큐의 해석을 한다. LP단말에서의 해석은 HP단말의 해석보다 상당히 복잡한 양상을 이루게 된다. LP단말에서 전송망의 공정성을 이루기 위해서는 먼저 HP단말의 전체 처리율이 커져 LP단말에서 전송되는 데이터 패킷들이 모두 선매되는 경우가 발생하지 않도록 조심하여야 한다. 즉, HP단말에서 최대의 처리율을 얻을 수 있으며, 동시에 LP단말에서의 적절한 지연시간을 유지할 수 있도록 처리율을 제어하는 것이 필요하다. 또한, 앞절에서의 해석과는 달리 임의의 LP단말  $i_k$ 간에 동일한 지연시간을 이루기 위해서는 전송망에서 HP 단말들의 데이터 패킷 뿐만 아니라  $i_k$ 보다 상위에 있는 LP 단말의 데이터 패킷들도 함께 고려하여야 한다. 즉, CATV/LAN 전송망에서 임의의 LP 단말  $i_k$ 에서 데이터 패킷이 전송 중이더라도 HP단말이 데이터 전송을 개시하거나  $i_k$ 보다 상위에 있는 LP 단말에서 데이터 패킷이 전송된다면  $i_k$ 에서 전송 중인 모든 데이터 패킷들은 선매(preemption)되어 진다. LP 단말에서의 데이터 패킷 서비스 과정을 그림 3에 나타내었다.

먼저 LP 단말에서는 데이터 패킷이 버퍼큐에 도착하면  $J_i$  지연과정 후에 전송망이 비어 있다면 첫 번째 데이터 패킷은  $(1 - \rho_{i-1} - \rho_{i_k} + \rho_{i_k} \cdot \rho_{i-1})$ 의 확률로 즉시 전송한다.

여기서  $\rho_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j$ 이다. 반면에 전송망 채널에서 해석하고자 하는 임의의 LP단말보다 상위에 위치하거나 HP 단말의 데이터패킷이 전송 된다면 전송망이 비어있지(idle)될 때까지 단말  $i_k$ 는 residual breakdown 시간  $B_{R_{i_k}}$  동안 기다려야 한다. 앞절과 마찬가지로  $B_{R_{i_k}}$ 의 제 1,2차 모멘트를 각각 보면 다음의 식과 같이 구해질 수 있다.

$$E[B_{R_{i_k}}] = E[T_{B_{i_k}}^2]/2E[T_{B_{i_k}}],$$

$$E[B_{R_{i_k}}^2] = E[T_{B_{i_k}}^3]/3E[T_{B_{i_k}}], \quad (13)$$

전송망에서 첫 번째 데이터패킷이 비어있는 임의의 LP단말  $i_k$ 에 도착하여 데이터 패킷을 전송하기 시작할 순간까지의 경과한 전체 지연시간,  $F_{i_k}$ 는 다음과 같다.

$$F_{i_k} = \sum_{n=0}^{J_{i_k}} \tau^{(n)} + (\rho_{i-1} + \rho_{i_k} - \rho_{i_k} \cdot \rho_{i-1}) B_{R_{i_k}}, \quad (14)$$

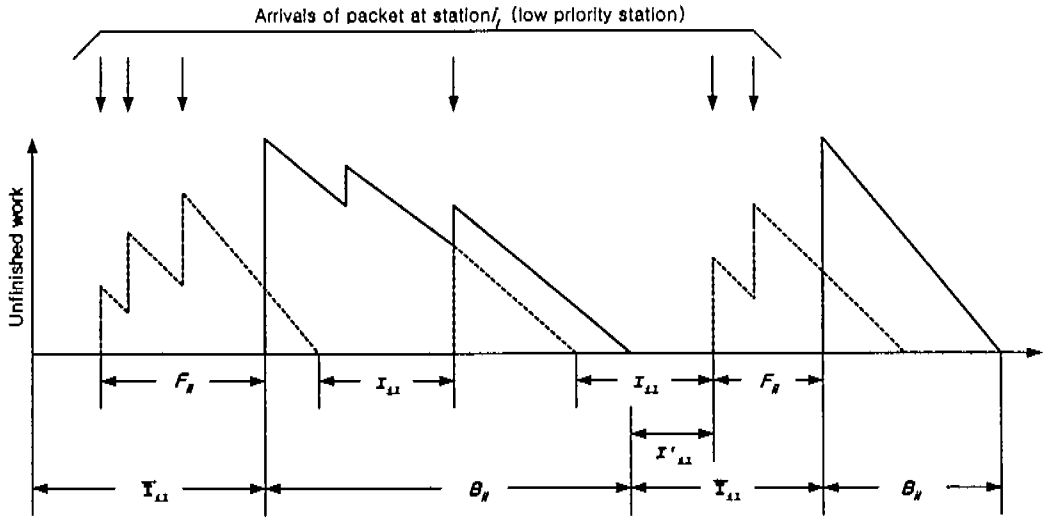


그림 3. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서의 LP단말의 데이터패킷 서비스 과정

CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서는 비어 있는 임의의 LP단말  $i$ 에 데이터패킷이 도착하더라도 HP와 마찬가지로  $F_i$  지연시간 후에 데이터 패킷을 전송하게 된다. 또한, 우선권이 고려된 CATV/LAN 전송망에서 임의의 LP단말  $i$ 에서의 idle period의 Laplace transform을 구해보면 식 (15)과 같다.

$$\bar{I}_i^*(s) = I_i^*(s) \cdot F_i^*(s) \tag{15}$$

또한, CATV/LAN 전송망에서는 임의의 LP단말  $i$ 에 도착하는 데이터패킷이  $\lambda_u$ 의 비율을 가지는 Poisson 프로세스를 따르기 때문에  $\bar{I}_i$ 의 평균은 마찬가지로 형태로  $E[\bar{I}_i] = 1/\lambda_u + E[F_i]$ 로 주어진다. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서는 임의의 LP단말  $i$ 의 busy period는 비어있는 단말에 도착하는 데이터패킷에 의해 그 즉시 시작되지는 않고 시간간격  $F_i$  후에 시작된다.  $N_0$ 를  $F_i$  시간 간격동안에 도착된 데이터패킷의 갯수(number)라 하고, busy period는 initial delay  $F_i$ 를 가지는 delayed busy period와 동일하다는 사실로부터 busy period의 conditional Laplace transform을 구할 수 있다.

$$E[e^{B_i^*} | F_i = t, N_0 = n] = [Y_i^*(s)]^{n+1} \tag{16}$$

단, 여기서  $Y_i^*(s)$ 는  $F_i$  동안에 도착하는 각각의 데이터 패킷에 의해 발생하는 sub-busy period의 Laplace transform이며,  $Y_i^* = R_i^*(s + \lambda_u - sY_i^*(s))$

이다. 여기서,  $B_i^*(s)$ 의 제 1,2차 모멘트(moment)를 구해보면 다음과 같다.

$$E[B_i] = E[Y_i] + \frac{\lambda_u E[R_i] E[F_i]}{1 - \lambda_u E[R_i]} \tag{17}$$

$$E[B_i^2] = E[Y_i^2] + 2E[Y_i] \frac{\lambda_u E[R_i] E[F_i]}{1 - \lambda_u E[R_i]} + \frac{\lambda_u E[R_i^2] E[F_i]}{(1 - \lambda_u E[R_i])^3} + \frac{(E[R_i] \lambda_u)^2 E[F_i^2]}{(1 - E[R_i] \lambda_u)^2} \tag{18}$$

임의의 LP단말  $i+1$ 의 Breakdown Time,  $T_{B_{i+1}}$ 의 Laplace transform을 구해보면 다음의 식 (19)와 같다.

$$T_{B_{i+1}}^*(s) = \frac{\bar{\lambda}_u}{\Lambda_{i_u-1} + \lambda_u} B_i^*(s) + \frac{\bar{\Lambda}_{i_u-1}}{\Lambda_{i_u-1} + \lambda_u} T_{B_i}^*(s + \lambda_u - \lambda_u Y_i^*(s)) \tag{19}$$

추가적으로, 임의의 LP단말  $i$ 의 버퍼큐내에 데이터패킷이 기다리는 대기시간(waiting time)과 관계된 Laplace transform을 구할 수 있다.  $W_{A_i}$ 를 initial delay ( $F_i + R_i$ )를 가지는 delay cycle 동안 활성화된 LP단말  $i$ 에 도착하는 데이터패킷의 대기 시간이라고 하자. 여기서  $W_{A_i}$ 는 다음과 같이 구할

수 있다.

$$W_{A_i}(s) = \frac{(1-\lambda_{ii}E[R_{ii}]) (1-F_{ii}^*(s)R_{ii}^*(s))}{(E[F_{ii}] + E[R_{ii}]) (s-\lambda_{ii} + \lambda_{ii}R_{ii}^*(s))} \quad (20)$$

또한,  $\Pi_{E_i}$ 와  $\Pi_{A_i}$ 를 임의의 LP단말  $i$ 에서 각각 empty와 active상태의 정상상태 확률이라고 할때, 임의의 LP단말  $i$ 에서 대기시간의 Laplace transform과 대기 시간의 평균을 구해 보면 다음과 같다.

$$W_{i_i}(s) = \Pi_{E_i}F_{ii}^*(s) + \Pi_{A_i}W_{A_i}(s) = \frac{(1-\lambda_{ii}E[R_{ii}]) (\lambda_{ii} + sF_{ii}^*(s) - \lambda_{ii}F_{ii}^*(s)R_{ii}^*(s))}{(1+\lambda_{ii}E[F_{ii}]) (s-\lambda_{ii} + \lambda_{ii}R_{ii}^*(s))} \quad (21)$$

$$E[W_{i_i}] = \frac{(1-\lambda_{ii}E[R_{ii}])}{(1+\lambda_{ii}E[F_{ii}])} \cdot \left\{ \frac{(2E[F_{ii}] + \lambda_{ii}E[F_{ii}^2])}{2(1-\lambda_{ii}E[R_{ii}])} + \frac{(1+\lambda_{ii}E[F_{ii}])\lambda_{ii}E[R_{ii}^2]}{2(1-\lambda_{ii}E[R_{ii}])^2} \right\} \quad (22)$$

여기서 우선권이 고려된 CSMA-CD/U/P-P 프로토콜 하에서 전송망의 공정성을 기하기 위하여 LP 단말들간에도 동일한 지연시간을 가지도록 하여야 한다. 즉,  $E[D_{i_i}] = E[D_{M_i}]$ ,  $1 \leq i_i \leq M$ 을 만족시키는 확률  $P_i$ 를 구할 수 있다. LP단말  $i$ 에서의 큐 길이는  $Q_{i_i}(z) = W_{i_i}(\lambda_{ii}(1-z))$ 로 구해진다.

### III. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜의 성능해석 결과

본절에서는 CATV/LAN 전송망에서 2-Class(high, low)의 우선권(priority)문제를 추가한 CSMA-CD/U/P-P 프로토콜의 성능해석을 수행한다. CATV/LAN 전송망에서 우선권문제를 모든 단말에 적용할 수는 없으므로 크게 두 가지의 경우(scenario)로 나누어서 해석하고자 한다. 전송망에서 가용할 수 있는 전체 단말의 수  $M=10$ 으로 하고, 먼저 Scenario 1 은 전송망에서 HP단말의 위치를 2, 5, 7로 가정하였으며, Scenario 2 는 HP단말의 위치를 6, 7, 8로 가정하였다. 그리고 나머지에 위치한 단말들은 LP단말들로 가정한다. 그림 4에서는 CATV/LAN 전송망에서

의 상향채널에 접속되어 있는 단말의 수 즉,  $M=10$ 으로 가정하고 전송망에서 동일한 지연시간(delay time)을 보일 때, 즉 전송망에서의 공정성이 이루어졌을 때의 Scenario 1 일 경우의 각 단말들의 데이터 패킷 전송 확률값,  $P_i$ 를 도시하였다. 그림 5에서는 Scenario 2 의 경우에 각 단말들의 데이터 패킷 전송 확률값,  $P_i$ 를 도시하였다. 해석결과에서 보는 바와 같이 Scenario 1 과 Scenario 2 모두는 전송망에서의 부하(throughput)가 커질수록,  $P_i$ 값은 더욱 작아지게 된다. 또한 상향채널에 접속되어 있는 단말의 수가 증가할수록  $P_i$ 값은 커지게 된다. 추가적으로 단말이 헤드엔드 시스템과 가까워 질수록  $P_i$ 값은 증가하게 된다. 그리고 전송망의 부하가 작을수록  $P_i$ 값은 작으나, 전송망의 부하가 점점 커질수록  $P_i$ 값은 큰 변동폭을 가진다.

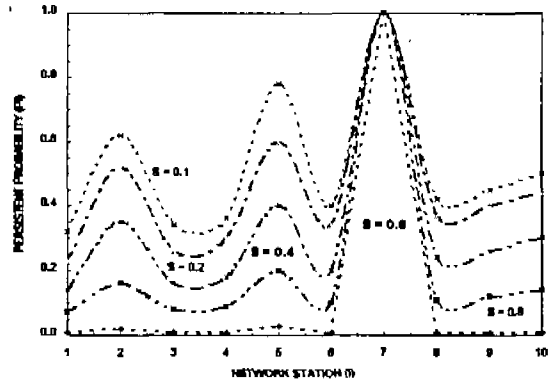


그림 4. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서 Scenario 1 의  $P_i$ 값 분포

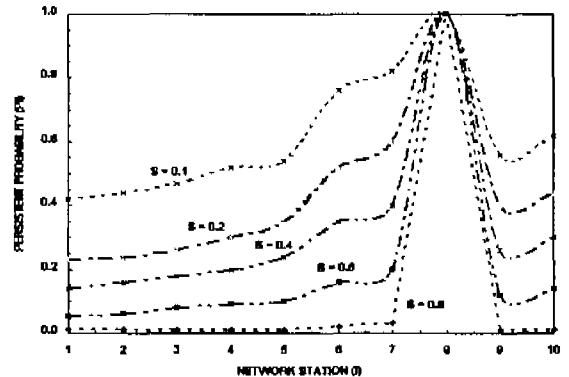


그림 5. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서 Scenario 2 의  $P_i$ 값 분포

그림 6에서는 전송망에서의 전체적인 부하가 주어졌을 때 평균 전송 지연 시간을 도시하였다. 전체

적으로는 전송망에서의 부하가 증가할수록 각 HP 단말과 LP 단말 모두 평균 전송 지연 시간은 증가하는 양상을 나타낸다. HP(high priority) 단말의 평균 지연 시간이 Scenario 2 의 경우가 Scenario 1 의 경우보다 조금 상승함을 알 수 있다. 또한 HP 단말의 평균 지연 시간이 증가한다면 반대로 LP 단말에서의 평균 지연 시간은 감소함을 알 수 있다. 특히 전송망에서의 평균 지연 시간은 HP 단말의  $M_h$  가 어디에 위치하는가와 망 부하에 직접적인 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 전송망에서의 LP 단말에서 최소한의 처리율과 HP 단말에서의 최상의 평균 전송 지연 시간과의 관계는 항상 상호 배타적임으로 이에 따른 선택점(tradeoff)이 필요하다. 그림 7에서는 CATV/LAN 전송망에서 전체적인 부하(load)가 주어질 때, Scenario 1 의 경우와 Scenario 2 의 경우에 데이터 패킷의 평균 전송 지연 시간에 대한 분산값을 도시하였다. 전송망에서 부하가 증가할수록 각 단말에서의 분산값은 증가함을 알 수 있다. 또한, 부하가 작아질수록 분산값은 작아진다.

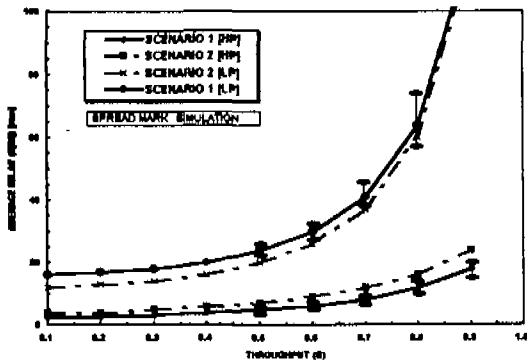


그림 6. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서 Scenario 1, Scenario 2 의 평균지연시간

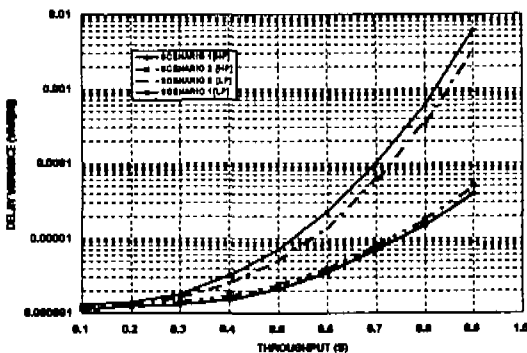


그림 7. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서 Scenario 1, Scenario 2 의 분산값

마지막으로 그림 8에서는 전송망의 부하에 따른 Scenario 1 과 Scenario 2 의 평균 큐길이를 나타내었다. 평균 큐길이가 분포는 평균 지연시간과 같은 양상을 나타낸다. 전송망에서 부하가 커질수록 각 단말에서의 큐길이는 길어지게 된다.

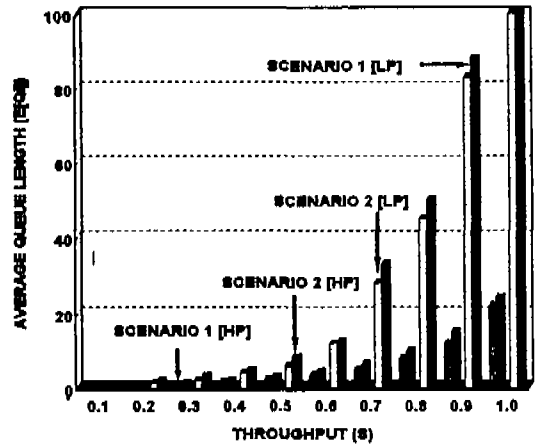


그림 8. CSMA-CD/U/P-P 프로토콜하에서 Scenario 1, Scenario 2 의 큐길이가 분포

#### IV. 결론

CATV/LAN 전송망은 하향채널과 상향채널의 이원화된 구조와 전형적인 수지형태의 망 구조를 가지고 있으며, 특히 많은 가입자가 헤드엔드 시스템으로 데이터를 동시에 전송할 때 데이터의 충돌이 일어날 수 있는 상향채널에 대해 전송망의 공정성과 우선권 문제에 주안을 둔 새로운 CSMA-CD/U/P-P 프로토콜을 제안하였다. 2-Class(high,low)의 우선권이 주어진 상황을 가정하였다. 상향채널의 단방향 특성으로 인해 각 단말마다 매체 접근의 기회가 달라지게 되는 데, 이를 보완해 단말의 매체 접근에 우선권이 고려된 가정하에 공정성을 보장하기 위해 각 단말마다 동일한 지연시간을 보일 수 있는 데이터 전송확률 값인  $P$  값을 구했다. 추가적으로 각 단말의 지연시간과 지연시간의 분산(variance) 값을 구하였다. 그리고 각 단말에서의 평균 큐길이를 구하였다. 각 단말의 큐 길이는 전송망의 부하가 커질수록 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한, 동일한 부하에서는 단말의 수가 많수록, 큐길이가 커짐을 알 수 있었다. 각 단말에 대칭적으로 입력되도록 가정하였다. 입력 트래픽이 증가할수록 단말의 부하는



커짐을 알 수 있다. 앞으로 본 연구에서 제안한 MAC프로토콜을 사용하는 setup box를 구현하고, 지금까지는 전송망에서 고정된(fixed)부하만을 가정 하였으나 실제의 망 환경은 부하가 동적으로 변화 함으로 이에따른 해석과 광범위한 시뮬레이션이 수행 되어야 할 것이다.

윤 종 호(Jong Ho Yoon)

한국통신학회지 제22권 9호 참조

현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수

### 참 고 문 헌

- [1] Eldering et al., CATV return path characterization for reliable communications, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no.8, pp.62-69, Aug. 1995,
- [2] W.Xu and G.Campbell, "A Distributed Queueing Random Access Protocol for a Broadcast Channel" ACM SIGCOMM'93, pp. 270-278
- [3] D.Sala and J.O.Limb, "A Protocol for Efficient Transfer of Data over Fiber/Cable Systems", Proc. INFOCOMM'96, pp.904-911, San Francisco, March 24-28,1996
- [4] C.Grobicki and J.M.Ulm "UniLINK as a Media Access Protocol for Community Cable TV" Proc.1995 2nd International Workshop on Community Networking, pp.41-48, June 20-21,1995
- [5] L.Kleinrock, Queueing system vol. I, New York: John Wiley and Sons,1975

우 상 칠(Sang Choel Woo)



1986년 3월~1992년 2월 :

한국항공대학교  
항공전자공학과 졸업  
(공학사)

1992년 6월~1994년 8월 :

한국항공대학교 대학원  
항공전자공학과 졸업  
(공학석사)

1994년 6월~1994년 8월 : LG전자 TV연구소 연구원 재직

1994년 9월~현재 : 호서대학교 부설 호서전산전문 학교 정보통신과 전임강사

1996년 3월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정 재학중