

광 가입자망에서 트래픽 다중화에 의한 링크 용량 산출

학생회원 정승욱*, 정회원 정수환**, 권순철***, 길계태****

A Estimation of Transmission Link Capacity using Statistical Multiplexing Model on Optical Access Networks

SungWook Jung*, Souhwan Jung**, SunCheol Gweon***, GyeTae Kihl****

Regular Members

요 약

본 논문에서는 광 가입자망에서 잠재적인 병목현상을 고찰하고 가입자 망 설계시 적절한 전송 대역폭을 구하기 위하여, 사용자당 하나의 VC를 사용한다고 가정하고, 각 트래픽 소스를 MMPP로 모델링하여 통계적 다중화시 사용자수와 전송 대역폭의 관계를 분석하였다.

각 트래픽 소스를 2-state MMPP로 모델링하고 각 모델 파라미터의 변화에 따른 전송 대역폭 산출의 변화를 분석하였다. 또한 유효 대역폭에 영향을 미치는 파라미터와 셀 손실율과의 관계를 통해 한계 손실율에 따른 가입자 용량을 산출하였다.

ABSTRACT

This study investigates the problem of potential bottleneck on FTTC access networks. The link capacity for multiplexed stream using the 2-state MMPP source model is estimated on the assumption of a single VC per user.

An analytic from between the cell loss rate and the effective bandwidth has been used to estimate an appropriate link bandwidth varying the fraction of active users.

I. 서 론

광대역 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공하고 기존의 서비스를 고품질화하기 위해서는, 가입자망(access network)에서 매체, 망 구조, 전송기술, 그리고 새로운 유형의 시스템 등이 필요하다. 이러한 환경의 변화로 사용자에게 초고속/광대역 서비스를 제공할 수 있는 통신망이 출현하였으며, 고품질의 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공하기 위하

여 망의 체증을 최소화할 수 있는 경제적 망 구조 설계가 요구되고 있다.

가입자망은 고속 인터넷 서비스를 제공하기 위하여 기존의 망 접속시, 선로의 광 선로화, 서비스의 ATM화 방향으로 진화해가고 있다. ATM은 통계적 다중화(Statistical Multiplexing)를 하여 전송하는 방식으로 소요 대역폭이나 요구되는 서비스 품질(Quality of Service:QoS)이 다른 다양한 호들이 망 자원들을 공유하여야 하므로 효과적인 망 관리가 필요하다. 또한 ATM망에서는 고속의 셀 전송특성으로 망 내에서 폭주가 발생할 수 있고, 예측할 수

* 송실대학교 정보통신전자공학부 초고속통신 연구실(swjung@ifcom.soongsil.ac.kr)

** 송실대학교 정보통신전자공학부(souhwanj@saint.soongsil.ac.kr)

*** 한국통신 가입자망연구실(scgweon@kt.co.kr)

**** 한국통신 연구개발본부(gategil@kt.co.k)

논문번호:99073-0225, 접수일자:1999년 2월 25일

* 본 연구는 한국통신 가입자망 연구소의 지원하에 수행된 연구과제의 결과물임.

없는 트래픽의 변화로 인하여 셀의 전송지연 및 손실을 초래할 수 있으므로 사용자가 요구하는 서비스 품질을 만족시키고 망 내의 자원을 효율적으로 공유하기 위한 다양한 트래픽 제어 방법이 제시되고 있다¹⁾.

본 연구에서는 다양한 트래픽 특성을 가진 MMPP(Markov Modulated Poisson Process) 소스에 대하여 통계적 다중화를 통한 이득을 분석하고 이를 바탕으로 병목현상이 발생할 수 있는 요소를 근본적으로 제거하기 위하여 망 구성시 가입자 수에 따른 적절한 링크 용량을 예측하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 트래픽 소스 및 통계적 다중화 모델을 분석하고, III장에서는 다중화 이득에 영향을 주는 파라미터의 변화를 통하여 사용자 수와 전송 대역의 관계를 알아보고 IV장에서 결과를 정리한다.

II. 트래픽 소스 및 통계적 다중화

2.1 트래픽 소스

가입자망은 그림 1과 같이 백본망(BackBone network)과 ATM 스위치를 통해 호를 전기적 신호로 상호 변환할 수 있는 장비를 통하여 연결된다.

본 연구에서는 가입자 측에서 ATM 스위치 방향으로(upstream) 발생하는 트래픽의 양은 ATM 스위치로부터 가입자 측으로(downstream) 발생하는 트래픽의 양에 비해서 상대적으로 적게 발생하기 때문에 선로의 용량을 결정하기 위해서 downstream만을 고려한다.

ATM 스위치에 MUX/ONU를 통하여 연결된 사용자의 총 수를 N명이라고 하고, 한 사용자당 하나의 VC만 사용한다고 가정하면 ATM 스위치당 최대 N명이 사용할 수 있다.

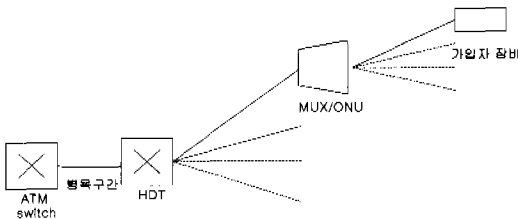


그림 1. 시스템 모델

각 사용자당 데이터 채널의 downstream 방향의 트래픽은 data뿐만 아니라 음성과 동영상을 포함한

멀티미디어 트래픽으로, correlation과 burstiness를 가진 traffic이 한 망에서 혼재함을 의미한다. 따라서 이러한 시스템을 분석하기 위해 각 트래픽 소스를 그림 2와 같이 two-state MMPP로 모델링 하였다²⁾. 이러한 MMPP모델은 각 트래픽의 특성을 transition rate matrix Q와 rate Matrix A로 나타낼 수 있다.

$$Q = \begin{pmatrix} -p & p \\ q & -q \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} \lambda_H & 0 \\ 0 & \lambda_L \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 λ_H, λ_L 는 각각 H 상태와 L 상태에서 평균 입력 rate이며, p는 H상태에서 L상태로 전이할 transition rate이며 q는 L상태에서 H상태로 전이할 transition rate이다 ^{[3][4]}.

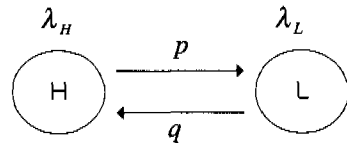


그림 2. MMPP model

2.2 유효 대역폭과 셀 손실율

한 VC당 소스로부터 발생한 트래픽의 평균 비트율 λ 은 식 (2)로서 나타낼 수 있으며 유효 대역폭 (effective bandwidth) λ^* 은 식(3)과 같이 정의하였다.

$$\lambda = \frac{q\lambda_H + p\lambda_L}{p+q} \quad (2)$$

$$\lambda^* = \lambda \times [1 + (\frac{\lambda_{peak}}{\lambda} - 1) \times \gamma] \quad (3)$$

γ 가 1일 때 유효대역폭을 최대 비트율 λ_{peak} 만큼 할당하였음을 나타내며 γ 가 0일 때는 평균 비트율만큼 할당하였음을 나타낸다. 즉 γ 의 의미는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \frac{\lambda^* - \lambda}{\lambda_{peak} - \lambda} \quad (4)$$

여기서 γ 는 VC 연결 시 평균 비트율보다 얼마만큼 더 큰 대역폭을 할당해야 하는 지를 나타내는 파라미터로서 셀 손실율과의 관계로부터 구할 수 있다.

유효 대역폭 혹은 할당된 대역폭에서 셀 손실율을 구하는 문제는 유효대역폭 근사화나 three-term approximation [5]등 다각도로 연구되어지고 있다. 여기서는 Hybrid Model를 사용하여 셀 손실율을 구하였다^[6].

Hybrid Model을 사용한 셀 손실율은 크게 그림 3과 같이 버퍼의 크기에 따라 두 가지 구간으로 나누어 생각할 수 있다. 버퍼의 크기가 작은 구간에서는 셀 손실의 주요 원인이 트래픽의 가변성에 의해 발생하며 이러한 구간을 cell region이라고 한다. 버퍼의 크기가 큰 구간에서는 셀의 가변성이 소멸되며 셀 손실의 주요 원인은 트래픽의 입력이 유효대역폭보다 큰 overload 상태에 의해서 발생하며 burst region이라고 한다.

버퍼의 크기가 N으로 주어졌을 때의 셀 구간의 손실율은 식 (5)와 같다.

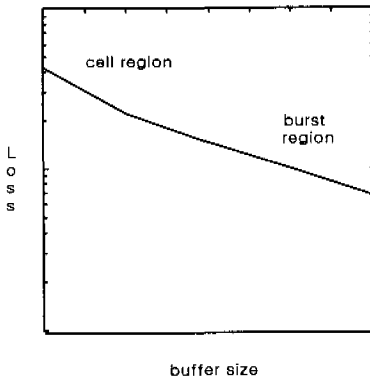


그림 3. cell and burst region

$$P_{L_{cell}}(N) = \frac{1}{\lambda} (P_{L_H}(N) \frac{\lambda_H q}{p+q} + P_{L_L}(N) \frac{\lambda_L q}{p+q}) \quad (5)$$

여기서 P_{L_H} 와 P_{L_L} 는 H상태와 L상태에서의 셀 손실 확률이며 식 (6)과 같다. 여기서 $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\lambda}$ 이며 이는 H 상태나 L 상태를 나타내며 유효대역폭과 셀 손실의 관계를 나타내고 있다. 또한 burst region에

서의 셀 손실율은 식 (7)과 같다.

$$P_{L_{burst}}(N) = P_{L_{cell}}(N_0) e^{\gamma(N - N_0)} \quad (7)$$

여기서 γ 는 $Q(\lambda - \mu)^{-1}$ 행렬의 가장 작은 음의 고유치이며 N_0 는 cell region과 burst region의 접점이며 $\log[P_{L_{cell}}(N)] - \log[P_{L_{cell}}(N-1)] \geq -\delta$ 가 되는 가장 큰 N의 값이다.

2.3 통계적 다중화

MMPP의 특징은 다중화된 MMPP 소스 트래픽은 독립적인 MMPP 소스들이 중첩(superposition)되어 하나의 MMPP가 되는 특징을 가지고 있다. 따라서 n개의 "bursty"한 특성을 가진 독립적인 MMPP 소스를 중첩하면 2^n개의 state를 가지고 식 (8)과 식 (9)로 특징지워지는 MMPP가 된다.

$$Q = Q_1 \oplus Q_2 \oplus \dots \oplus Q_n \quad (8)$$

$$A = A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n \quad (9)$$

여기서 \oplus 로 표시되는 Kronecker-sum은 식 (10)의 연산을 나타내며, \otimes 로 표시되는 Kronecker-product는 식(11)의 연산을 나타낸다.

$$A \oplus B = (A \otimes I_B) + (I_A \otimes B) \quad (10)$$

$$C \otimes D = \begin{bmatrix} C_{11}D & C_{12}D & \dots & C_{1m}D \\ C_{21}D & C_{22}D & \dots & C_{2m}D \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1}D & C_{n2}D & \dots & C_{nm}D \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서 I_A 와 I_B 는 A 행렬, B 행렬과 크기가 동일한 단위행렬이며 C는 (n x m)이며 D는 (n x m)이다.

중첩된 MMPP의 정상 상태 확률 (steady state probability) 벡터 θ 는 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$\theta Q = 0, \quad \theta e = 1 \quad (12)$$

$$P_{L_i} = \begin{cases} \frac{\rho_i}{1 + \rho_i} & \text{if } N=1 \\ 1 - (1 + \rho_i) \left(\sum_{k=1}^{N-1} \frac{(-1)^{-1-k+N} e^{k\rho_i} (k\rho_i) - 1 - k + N}{(-1 - k + N)!} \right)^{-1} & \text{if } N > 1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^{-1}$ 이다. 또 중첩된 MMPP의 평균 비트율은 [4][7]로부터 식(13)과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda = \theta \Delta e \tag{13}$$

식 (13)으로부터 식 (14)와 같이 중첩된 MMPP의 평균 비트율은 n개의 독립적인 MMPP의 평균 비트율의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \tag{14}$$

n개의 VC가 동시에 연결되어 있을 때 할당되어야 하는 총 대역폭은 식 (14)와 식 (3)으로부터 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다^[8].

$$\lambda_i = \lambda_1^* + \lambda_2^* + \dots + \lambda_n^* \tag{15}$$

총 사용자 N명중 동시 사용자의 비율을 β 라고 할 때 동시 사용자의 수는 $N\beta$ 이다. 한 사용자당 하나의 VC만 사용한다고 가정할 경우 각 사용자가 사용하는 트래픽의 특성이 서로 다를 것이므로 식 (15)와 같이 식 (14)의 VC 수를 $N\beta$ 로 하여 구한 총 트래픽의 전송 대역폭보다는 선로의 용량이 커야 병목 현상을 피할 수 있을 것이다.

$$\lambda_1^* + \lambda_2^* + \dots + \lambda_{N\beta}^* \leq C \tag{16}$$

비슷한 트래픽의 특성을 가진 VC를 그룹화 할 수 있을 것이며 그룹의 수를 K개라고 가정하고 그룹의 전체 VC중 i번째 그룹이 차지하는 비율을 δ_i 라고 하면 식 (16)을 식 (17)과 같이 변형할 수 있을 것이다.

$$N\beta(\delta_1\lambda_1^* + \delta_2\lambda_2^* + \dots + \delta_K\lambda_K^*) \leq C \tag{17}$$

여기서 $\sum_{i=1}^K \delta_i = 1$ 이다.

III. 실험 및 토의

3.1 γ 의 변화에 의한 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

유효 대역폭을 결정하는 요인은 트래픽 특성과 γ 가 있으며 유효 대역폭에 의해 동시 수용가능 사용자 수가 결정될 것이다. 이 실험에서는 유효 대역폭을 결정하는 파라미터 중 하나인 γ 를 식(5), (7)를

이용하여 구하였다고 가정하고 이를 변화시키면서 최대 동시 사용자와 전송 대역폭과의 관계를 조사하였다. 식(17)를 전체 VC 중 한 MMPP 트래픽의 비율 δ 을 1이라고 할 경우 γ 에 대하여 정리하면 식 (18)과 같이 될 것이다.

$$C \geq N\beta\lambda + N\beta(\lambda_{peak} - \lambda)\gamma \tag{18}$$

실험에서 사용하는 트래픽 특성은 표 1과 같으며 이는 Ethernet 소스와 MPEG 소스의 sample를 two-state MMPP로 모델화한 것이다. 또한 트래픽 묘사자로 사용될 수 있는 파라미터로서 최대 비트율과 평균 피트율이 있다. Ethernet 소스의 최대 비트율과 평균 비트율은 각각 0.61Mbps, 0.16Mbps이며 MPEG 소스의 최대 비트율과 평균 비트율은 각각 6.77Mbps, 1.145Mbps이다.

그림 4(a)와 (b)는 표 1에서 주어진 Ethernet 소스와 MPEG 소스의 버퍼의 크기와 셀 손실율의 관계를 식(5)와 (6)을 이용하여 구한 그림이다. 그리고 실질적인 γ 값은 트래픽의 특성, 버퍼의 크기 그리고 요구되는 셀 손실율로부터 구할 수 있다.

표 1. Ethernet 소스와 MPEG 소스의 MMPP parameter 의 예

	파라미터	값
Ethernet	λ_H	0.31 (Mbps)
	λ_L	0.01 (Mbps)
	p	9.81
	q	9.85
MPEG	λ_H	2.209 (Mbps)
	λ_L	0.610 (Mbps)
	p	29.71
	q	14.97

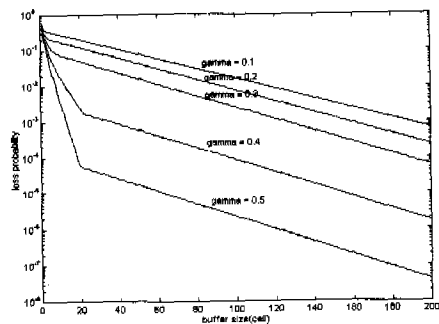


그림 4. (a)Ethernet 트래픽의 버퍼의 크기와 셀 손실율의 관계

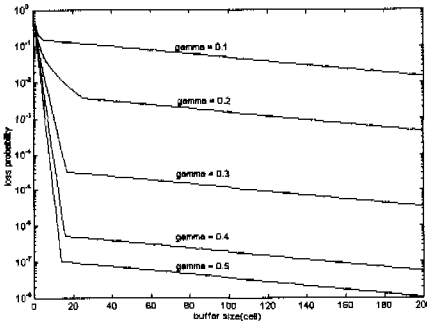


그림 4. (b) MPEG 트래픽의 버퍼의 크기와 셀 손실율과의 관계

그림 5에서는 동일한 트래픽에 대해서 식(18)로부터 γ 에 대해서 동시에 사용자의 수 N_S 에 비례하여 최소 전송 대역폭이 증가하는 것을 알 수 있다. Ethernet 트래픽보다는 MPEG 트래픽의 최소 전송 대역폭이 큰 것을 알 수 있으며 동일한 N_S 에 대하여 트래픽의 특성이 다른 경우 평균 비트율에 비례한 bias를 가지고 최대 비트율과 평균 비트율의 차에 비례하여 γ 에 대한 최소 전송 대역폭의 증가율이 증가하는 것을 식 (18)로부터 알 수 있다.

그림 5의 Ethernet 트래픽만 사용하는 사용자들과 MPEG 트래픽만 사용하는 사용자만 있고 한 사용자당 하나의 VC만 사용한다고 가정하면 총 200명의 사용자를 수용하기 위한 최소 전송 대역폭은 Ethernet 트래픽의 전체 트래픽의 비율 δ_E 를 1부터 0으로 감소함에 따라 그림 5의 Ethernet 그래프로부터 MPEG 트래픽의 그래프로 이동할 것이라는 것을 쉽게 알 수 있다. 그림 5의 통계적 다중화는 δ_E 를 0.5로 하여 구한 것이다.

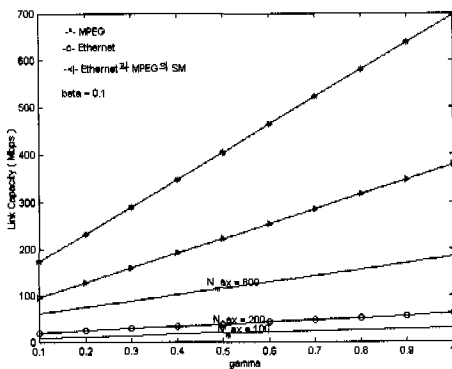


그림 5. γ 의 변화에 의한 최대 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

3.2의 변화에 따른 선로 대역폭과 가입자 수와의 관계

Data뿐만 아니라 패킷화된 음성과 동영상, 즉 멀티미디어 특성을 가지는 트래픽은 매우 "bursty"한 특성을 갖는다. loss를 고려하지 않은 경우 "Bursty"한 특성을 갖는 트래픽을 통계적 다중화하면 다중화 이득이 CBR(Constant Bit Rate)과 같은 트래픽보다 높다^[9]. 따라서 "bursty"한 특성이 높을수록 동일한 전송 대역폭을 더 많은 사용자가 동시에 사용할 수 있게 된다. Burstiness 척도로 사용되는 파라미터는 여러 가지 있으나 첫 번째 실험에서는 PAR (Peak to Average Ratio)와 닮은 개념으로 평균 비트율을 고정시켜 놓고 a 를 변화시키면서 사용자와 선로의 전송 용량과의 관계를 고려해 보았다.

a 의 변화에 의한 λ_L 는 식 (2)로부터 식(19)과 같이 구할 수 있으며 λ_H 는 식 (20)으로부터 구할 수 있다.

$$\lambda_L = \frac{\lambda(p+q)}{qa+p} \tag{19}$$

$$\lambda_H / \lambda_L = a \tag{20}$$

이 실험에서 최대 동시 사용자의 비 β 는 0.1이라고 가정하였다. 셀 손실율은 10^{-4} 와 10^{-6} 의 두 가지를 고려하였으며 버퍼의 크기는 유효 대역폭의 영향에 의한 셀 손실을 고려하기 위해 셀 손실의 주요 원인이 overload가 되는 burst region이 되도록 하였으며 이 실험에서는 각 VC당 버퍼의 크기를 200(cell)이라고 가정하였다. 사용한 MMPP 트래픽의 최대 비트율, 평균 비트율, p 와 q 는 Ethernet 트래픽과 동일하다.

그림 6(a)와 (b)은 셀 손실율을 각각 10^{-6} 과 10^{-4} 으로 하여 전체 사용자 수와 a 와의 관계를 나타내는 것이다. 그림 6(a)와 (b)로부터 허용 셀 손실율이 클수록 동일한 전송용량에서 많은 사용자를 수용할 수 있음을 알 수 있다. 또 그림 6은 a 가 증가함에 따라 최대 수용 가능 사용자 수가 감소함을 보여주고 있다. 즉 트래픽이 "bursty"할수록 λ_H 가 커질 것이므로 overload에 의한 셀 손실이 증가하게 될 것이며 따라서 동일한 버퍼의 크기에서 허용 셀 손실율보다 작게 되는 γ 값은 커지게 될 것이다. γ 값이 커질수록 유효 대역폭의 크기는 증가하므로 다중화의 이득이 감소하게 될 것이다.

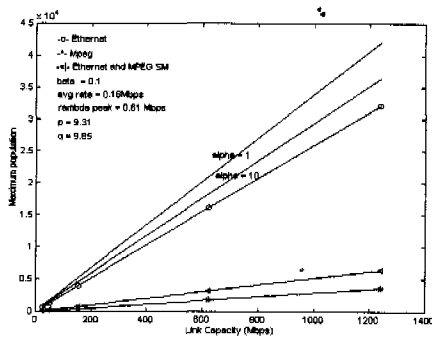


그림 6. (a) 셀 손실율이 10^{-6} 인 경우 α 의 변화에 의한 전송 대역폭과 최대 사용자 수의 관계

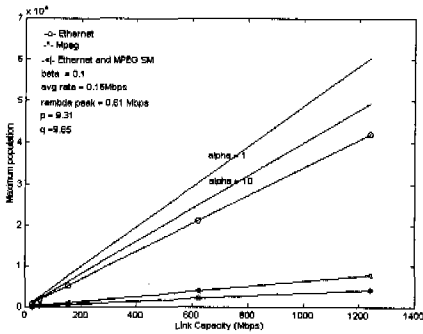


그림 6. (b) 셀 손실율이 10^{-4} 인 경우 α 의 변화에 의한 전송 대역폭과 최대 사용자 수의 관계

MPEG은 최대 비트율과 평균 비트율이 Ethernet 보다 크다. 따라서 식 (3)으로부터 유효 대역폭이 Ethernet 보다 클 것이므로 최대 수용 가능 사용자 수는 적을 것이다. 따라서 Ethernet의 최대 비트율과 평균 비트율이 증가하면 그림 6의 Ethernet 직선이 MPEG 직선으로 이동할 것이다. 또한 식 (17)로부터 Ethernet과 MPEG만 사용자들이 사용하고 있다고 가정하고 전체 VC중 Ethernet의 비율 δ_E 가 1부터 0으로 감소함에 따라서 동일한 전송 용량에 대하여 수용가능한 최대 사용자 수는 그림 6(a)와 (b)의 Ethernet의 직선에서 MPEG의 직선으로 이동하게 될 것이다.

표 2는 실험에서 사용된 γ 값을 식(5)와 (7)으로부터 구하였으며 정밀도는 소숫점 첫 번째 자리까지이다.

3.3 p와 q의 변화에 의한 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

이번 실험에서는 트래픽의 “bursty”한 특성에 관계되는 트래픽 파라미터로서 상태 변화의 빈도수에 관계되는 p, q와 사용자 수와 전송 대역폭의 관계를 알아본다. p, q와 평균 비트율과의 관계를 알아보기 위해서 식(2)의 분자와 분모를 $1/q$ 로 나누어 식(21)과 같이 변형하면 평균 비트율은 p와 q의 크기에 무관하고 p/q의 변화에만 관계한다는 사실을 알 수 있다.

표 2 실험에서 사용된 α 와 셀 손실 율에 따른 γ 값

	셀 손실율 10^{-4}	셀 손실율 10^{-6}
$\alpha=1$	0.1	0.3
$\alpha=10$	0.2	0.4
Ethernet	0.3	0.5
MPEG	0.3	0.4

$$\lambda = \frac{\lambda_H + p/q\lambda_L}{p/q + 1} \quad (21)$$

또한 p와 q의 변화에 의해 주어진 셀 손실율과 버퍼의 크기에 대해 γ 도 달라지게 될 것이다. p와 q의 크기가 증가하면 상태의 변화가 자주 일어나므로 burst region에서 셀 손실율은 감소하게 될 것이다⁽⁴⁾. 또한 p/q가 증가하면 L상태에 있는 시간이 증가함에 따라 burst region에서 셀 손실율은 감소하게 될 것이다.

3.2.1 p/q의 변화에 의한 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

실험에서 p/q를 변화시키면서 최대 수용 가능 사용자 수와 전송 대역폭의 관계를 살펴본다. 사용한 MMPP 트래픽은 p값만 Ethernet과 달리하였으며 셀 손실율은 10^{-6} 으로 하였고 버퍼의 크기는 VC당 200(cell)으로 하였다. 그리고 β 는 0.1로 하였다.

그림 7에서는 p/q가 증가함에 따라서 동일한 전송 대역폭에서 더 많은 동시 사용자를 수용할 수 있음을 보여 준다. 이는 p/q가 증가하면 평균적으로 L상태에 있는 시간이 길어지므로 소스로부터 들어오는 트래픽의 평균 입력율이 작아지게 되며 또한 동일한 버퍼의 크기에 대하여 burst region에서 셀 손실율이 감소하고 따라서 γ 값도 감소하여 유효 대역폭이 감소하기 때문이다. MMPP 트래픽의 H 상태 평균 비트율과 최대 비트율이 증가함에 따라서 MMPP 트래픽이 MPEG 트래픽 방향으로 이동

할 것이라는 것을 알 수 있다.

그림 7의 Ethernet 트래픽과 MPEG-I 트래픽을 통계적 다중화하면 VC중 Ethernet 트래픽의 VC수의 비율에 따라 Ethernet 트래픽의 직선과 MPEG 트래픽의 직선 사이에 있을 것이다. Ethernet과 MPEG의 통계적 다중화는 식 (17)에서 총 VC중 δ_E 를 0.5로 하여 구한 것이다.

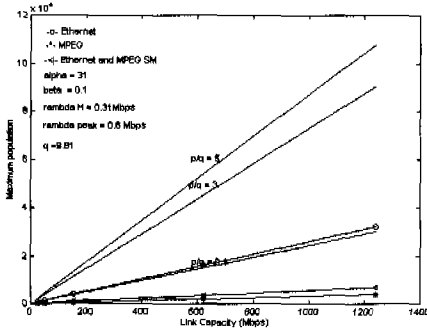


그림 7. p/q의 변화에 의한 전송 대역폭과 최대 사용자 수의 관계

3.2.2 p와 q의 크기에 의한 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

이 실험에서 버퍼의 크기는 VC당 200(cell)로 하고 셀 손실율은 10^{-6} 으로 하였고 β 는 0.1로 하였다. p와 q의 비율 고정하고 p와 q의 크기를 같이 변화시키면 평균 비트율은 식(21)에서 알 수 있듯이 변화하지 않을 것이다. 그러나 트래픽의 특성의 변화에 의한 γ 값은 변화하게 될 것이다.

앞에서 언급한 것과 같이 p와 q의 크기가 증가하면 burst region에서 셀 손실율이 줄어들 것이다. 따라서 동일한 셀 손실율과 버퍼의 크기에 대하여 p와 q의 값이 증가하면 γ 값도 줄어들 것이다. 따라서 유효대역폭이 감소하여 동일한 전송 대역폭에 대하여 더 많이 사용자를 수용할 수 있음을 알 수 있다.

3.2.3 β 의 변화에 의한 사용자 수와 전송 대역폭의 관계

β 는 최대 사용자 중 동시 사용자의 비율을 나타낸 것으로 식(17)을 전체 VC 중 MMPP 트래픽의 비율 δ 를 1이라고 할 경우 β 에 대하여 정리하면 식(22)과 같이 될 것이다.

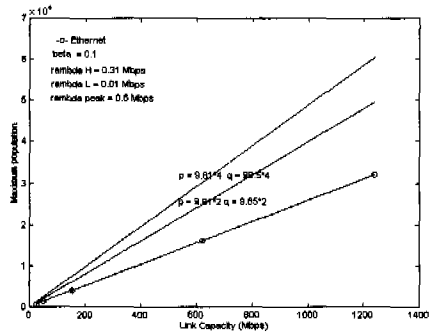


그림 8. p와 q의 크기의 변화에 의한 사용지수와 전송 대역폭의 관계

$$C \geq N\beta [\lambda \cdot (1 - \gamma) + \lambda_{peak} \cdot \gamma] \quad (22)$$

식 (22)를 이용하여 구한 그림 9는 MMPP 트래픽을 Ethernet 트래픽 특성과 동일하게 놓고 실험한 것이다. 나머지 파라미터는 3.2.2의 실험과 동일하게 하였으며, Ethernet 트래픽과 MPEG 트래픽은 최대 사용자의 수를 200명으로 하였다. 그리고 셀 손실율은 10^{-6} , 버퍼의 크기는 VC당 200(cell)로 하였다.

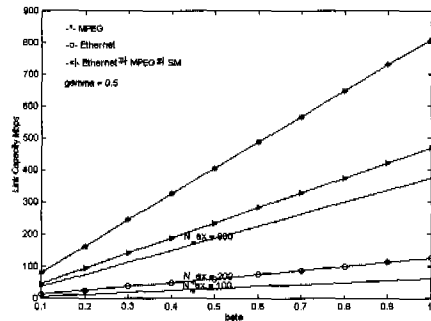


그림 9. β 의 변화에 따른 최대 사용자수와 전송 대역폭의 관계

그림 9는 동일한 최대 사용자에 대하여 β 가 증가함에 따라 필요한 전송 대역폭이 증가함을 나타내고 있다. 그리고 최대 사용자수가 다른 경우 β 에 대한 전송 대역폭의 증가율이 다른 것을 알 수 있다. 이는 동일한 트래픽 특성을 가지고 있는 MMPP 트래픽으로 실험하였기 때문에 식 (22)에서 알 수 있듯이 전송 대역폭의 증가율이 N 에 비례하여 증가하기 때문이다.

