

# 초고속인터넷 가입자망의 대역설계

준회원 이 태준\*, 종신회원 이 훈\*\*

## Bandwidth Dimensioning for High-Speed Internet Access Networks

Tae-Joon Lee\* Associate Member, Hoon Lee\*\* A life Member

### 요 약

최근 통신사업자들은 통신설비의 효율화 및 새로운 수익창출을 위해 하나의 공통된 IP 네트워크에서 기존의 초고속인터넷서비스에 음성서비스와 비디오서비스를 동시에 서비스하는 Triple Play Service를 제공하기 시작했다. 본 연구에서는 최근 이러한 통신서비스의 변화를 고려해 IP 네트워크에서 TPS 제공을 위한 가입자망의 대역설계 방법에 대해 몇 가지 대안을 제시하고, 제시하는 각 방법의 특성을 수치실험을 통해 비교 분석하여 가입자망의 실용적인 설계방안을 제시한다. 이를 위해 우선 연결레벨에서 초고속인터넷서비스와 프리미엄서비스를 위한 대역설계 방법을 제시하고, 두 서비스가 대역을 공유하는 TPS 환경에서 각 서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해 가입자 수용장치의 대역을 논리적으로 분리하여 대역을 설계하는 방법을 제안한다. 그리고 제안된 방법을 바탕으로 ns-2를 이용해 가입자의 규모에 따른 설계대역량을 제시한다. 또한 프리미엄서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해 앞서 산출한 연결레벨의 설계대역량을 이용해 패킷레벨에서 DiffServ 기반의 엄격한 우선순위스케줄링 방식을 통한 차별화된 서비스 제공방안을 가정해 기존의 FIFO 방식과 성능실험을 통해 비교 분석한다.

**Key Words :** Triple Play Service; Quality of Service; Bandwidth dimensioning; Network design; ns-2.

### ABSTRACT

Recently, Internet service providers are offering triple play service which combines voice and video services with the existing high speed Internet service under the common network infrastructure of IP protocol, so that they can create more benefit from operating a single network architecture. In line with this movement in the convergence of network and services, in this work we propose a bandwidth dimensioning method for the subscriber network of the IP network at flow level. To that purpose, let us propose a series of bandwidth dimensioning methods: bandwidth for best effort service only, bandwidth dimensioning for premium services, and bandwidth dimensioning schemes for the premium Internet services as well as the best effort service which comprise the TPS. Our link dimensioning method is based on the flow level that incorporates the flow blocking probability as a measure of grade of services(GoS), and investigates the characteristics of the proposed methods via extensive numerical experiments. After that, let us carry out a simulation experiment concerning the delay and loss performance of the packet scheduling for the premium services in TPS using the bandwidth designed by our proposed method, via which the packet level quality of service (QoS) for the proposed link dimensioning method can be observed.

### I. 서 론

초고속인터넷서비스의 보급이 확산되면서 누구나

인터넷에 접속해 콘텐츠를 제작하고 배포할 수 있는 인터넷의 특성으로 인해 다양한 서비스가 생겨나게 되었고, 최근 정보통신시장의 경쟁심화로 인해

\* 창원대학교 정보통신공학과 네트워크 연구실 (tjlee021@changwon.ac.kr)

\*\* 창원대학교 정보통신공학과 네트워크 연구실 부교수 (hoony@changwon.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-06-288, 접수일자 : 2006년 6월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 29일

통신사업자들은 통신설비의 효율화 및 새로운 수익의 창출을 위해 하나의 공통된 IP 네트워크 프레임워크상에서 기존의 초고속인터넷서비스(이하 Best Effort(BE) 서비스)에 음성서비스와 비디오서비스를 더하여 하나의 패키지로 서비스하는 Triple Play Service(TPS)를 제공하기 시작했다<sup>11)</sup>. 하지만 현재의 인터넷 아키텍처는 IP 패킷 교환에 기반을 둔 Best Effort형의 서비스망으로 설계되어 있어 사용자가 요구하는 다양한 서비스를 제공하는데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 현재 다양한 분야에서 서비스의 특성에 맞는 차별화된 서비스를 제공하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있지만<sup>12,13)</sup>, 한편으로 TPS 제공을 위한 가입자망의 대역설계에 관한 연구는 상대적으로 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 이러한 통신서비스의 변화를 고려하여 기존의 BE서비스에 음성서비스의 발전된 형태인 비디오폰서비스와 IPTV, X on Demand(XoD)와 같은 비디오서비스가 하나의 물리적 링크에 혼합되어 전송되는 가입자망 환경에서 TPS 제공을 위한 대역설계 방법에 대하여 실현 가능한 몇 가지 대안을 제시하고, 제시하는 각 방법의 특성을 수치실험을 통해 비교 분석하여 가입자망의 설계에 실용적인 방안이 무엇인지를 제시한다. 이를 위하여 우선 연결레벨에서 기존의 BE서비스와 비디오폰, IPTV, XoD와 같은 프리미엄서비스를 위한 대역설계 방법을 제시하고, 두 서비스가 대역을 공유하는 TPS 환경에서 각 서비스의 서비스 품질(Quality of Service, QoS)을 보장하기 위해 가입자 수용장치의 사용 가능한 대역을 기존의 BE서비스를 위한 대역과 프리미엄서비스를 위한 대역으로 논리적으로 분리하여 대역을 설계하는 방법을 제안한다. 그리고 제안된 방법을 바탕으로 ns-2 시뮬레이터를 이용해 가입자의 규모에 따른 설계대역량을 제시한다. 또한 BE서비스에 비해 엄격한 서비스 품질을 요구하는 프리미엄서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해 앞서 산출한 연결레벨에서의 대역설계 결과를 이용하여 패킷레벨에서 DiffServ(Differentiated Service) 기반의 엄격한 우선순위(Strict Priority, SP) 스케줄링 방식을 통한 차별화된 서비스 제공방안을 가정하여 기존의 서비스 차별화 기능이 없는 First-In First-Out(FIFO) 방식과 성능실험을 통해 두 가지 방식의 성능의 차이를 비교 분석한다.

본 연구의 내용은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 대역용량 설계방법에 대해 기술하고 3장에서는 우선 연결레벨에서 BE트래픽과 비디오폰, IPTV,

XoD와 같은 프리미엄트래픽을 위한 대역설계 방법을 기술하고, 두 트래픽모델이 하나의 물리적 링크에 혼합되어 전송되는 TPS 환경에서 각 서비스별로 서비스 품질을 보장하기 위해 가입자 수용장치의 사용 가능한 대역을 기존의 BE서비스를 위한 대역과 프리미엄서비스를 위한 대역으로 논리적으로 분리하여 대역을 설계하는 방법을 제안하고, 실제 가입자망과 유사한 환경을 ns-2 시뮬레이터에 구축한 후 제안된 설계방법을 이용해 가입자 규모에 따른 설계대역량을 제시한다. 그리고 4장에서는 BE서비스에 비해 엄격한 서비스 품질을 요구하는 프리미엄서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해 패킷레벨에서 DiffServ 기반의 SP 스케줄링 방식을 이용한 서비스 차별화 방안에 대해 기술하고, 앞서 산출한 연결레벨에서의 대역설계 결과를 이용한 성능실험을 통해 SP 방식과 FIFO 방식의 성능차이를 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 계획을 기술한다.

## II. 대역용량 설계방법

IP 네트워크에서 대역용량 설계방법은 크게 플로우별로 고정적으로 대역을 할당하는 방법과 클래스별로 통계적으로 대역을 할당하는 방법으로 나뉜다. 전자는 IETF의 Integrated Service (IntServ) 아키텍처를 따르는 방법으로 각 플로우에 대해 QoS를 절대적으로 보장할 수 있는 방법으로 음성, 비디오폰 등과 같은 실시간 서비스를 제공하기 위해 제안되었으나, 대규모 네트워크에서는 관리해야 할 플로우의 수가 많기 때문에 확장성 문제가 발생한다. 한편, 후자는 이러한 문제를 해결하기 위해 같은 QoS 요구를 가지는 여러 플로우를 단일 클래스로 묶어 몇 개의 클래스로 나누고 클래스별로 대역을 할당하는 방식으로 IETF의 DiffServ 아키텍처로 널리 알려져 있다.

플로우별 고정대역 할당방법은 특정한 플로우가 다른 플로우들의 간섭으로 인하여 서비스 품질에 영향을 받지 않도록 하기 위해 개별 플로우별로 필요한 대역을 예측하여 할당하는 방식으로 링크가 필요로 하는 대역용량은 개별 플로우의 대역을 모두 합산한 값으로 정의될 수 있다. 그리고 클래스별 대역 할당방법은 개별 가입자 단위가 아니라 몇 개의 클래스별로 대역을 할당하고 개별 가입자는 클래스별로 중첩된 트래픽으로 간주되어서 다른 가입자와 공유된 링크를 통해 서비스를 받는 방법을 말

한다. 이에 대한 대표적인 방법으로는 IETF에서 제안된 Universal Link Model(ULM)이 있다<sup>4)</sup>. ULM은 IP 트래픽을 크게 음성전화, 비디오폰, 음악파일, 비디오파일 등의 실시간성이 존재하는 Streaming 트래픽과 웹브라우저, 이메일, 파일 다운로드 등의 비실시간성을 가지는 Elastic 트래픽으로 나누어 가입자 트래픽에 대해 Streaming 트래픽과 Elastic 트래픽이 요구하는 대역을 사전에 예측하여 이를 각각  $BW_s$ ,  $BW_e$ 로 가정하고, 각 클래스의 트래픽에 대해 논리적으로 대역을 분리함으로써 클래스간의 간섭 없이 각 서비스가 요구하는 QoS를 보장하려는 목적을 가지고 있다<sup>4,5)</sup>. 그림 1은 ULM의 개념을 나타낸 것이다.

우선, Streaming 트래픽의 경우에는 서비스의 세션이 시작해서 끝날 때까지 데이터의 양이 비교적 균일하고 지속적으로 전송되는 경우로 플로우 레벨에서 일정한 대역을 제공해야 한다. 이 때 네트워크에서 실시간으로 CAC(Call Admission Control)를 고려하지 않는 정상상태에서의 트래픽을 예측할 경우에는 일반적으로 Erlang-B 공식을 이용하여 산출할 수 있고, 동적으로 CAC를 고려하는 경우에는 순간적으로 변화하는 트래픽의 변동을 고려할 수 있는 Multi-rate loss system의 해석 방법을 이용한다<sup>5)</sup>. 단, 그림 1에서 Streaming 트래픽에 대한 CAC는 ISP(Internet Service Provider)의 선택사항이다.

한편, Elastic 트래픽의 경우에 대해서는 개별 플로우가 대역제한장치를 통하여 네트워크에 접속될 때 플로우들의 집합(Aggregate) 트래픽을 수용하는 스위치나 교환기의 링크 설계법으로 가장 적절한 대기행렬 모델로서 M/G/R-PS(Processor Sharing)가 있다<sup>6)</sup>. 이 모델은 개별 플로우의 트래픽 특성이 균일하다고 가정을 하여 각 플로우에 대하여 균등한 서비스를 제공하는 것을 기조로 사용되는 모형이다. 이 방법의 장점 중의 하나는 개별 플로우의 도착률이나 파일의 크기 등 플로우에 대한 자세한 정보가 없어도 대상 링크로 유입되는 총 트래픽량에 대한 정보만 있으면 링크의 지연성능을 쉽게 예측할 수 있다는 것이다.

한편, 음성과 데이터 트래픽이 혼재된 IP 네트워크에서는 음성패킷에 대해서 데이터트래픽의 랜덤한 변화에 영향을 받지 않고 균일한 지연성능을 보장하기 위해 액세스라우터의 입력단에서 음성패킷과 데이터패킷을 분류하여 각각의 버퍼에 분리 수용한 후 음성패킷에 대해 우선적 서비스를 제공하는 방안을 고려하여야 한다. 이를 구현하는 방안으로는

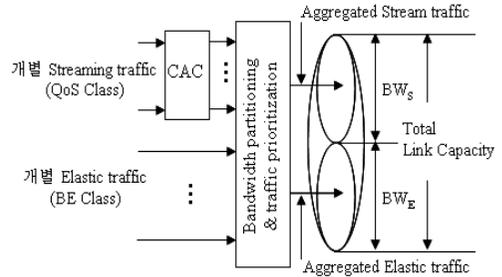


그림 1. Universal Link Model

크게 엄격한 우선순위 스케줄링 방식과 가중공평 스케줄링(Weighted Fair Queuing, WFQ) 방식으로 나눌 수 있다. 그 중에서 WFQ 방식은 음성서비스 및 데이터서비스에 대하여 서비스간 트래픽의 구성 비율에 무관하게 비교적 공평한 서비스를 제공한다는 점에서 이론적 관심을 많이 받아온 것이 사실이지만, 네트워크로 들어오는 트래픽의 양이나 서비스 구성에 따라 달라지는 트래픽 특성 등 성능 설계시 고려해야 하는 매개변수가 많고 또 시시각각 변화는 네트워크 트래픽에 대하여 최적의 가중치(Weight)를 구하는 문제가 간단치 않은 관계로 현장에서 구현하는데 많은 장애가 있었다.

한편, SP 방식은 알고리즘의 간단성과 높은 우선순위에 속하는 음성패킷에 대해서는 아주 유리한 스케줄링 방식임은 의심할 여지가 없으나 음성트래픽의 비율이 큰 경우에 낮은 우선순위의 데이터패킷이 서비스를 받을 기회가 줄어들어서 기존의 데이터계열 서비스의 품질이 떨어질 것이라는 우려가 강해 이 방식 또한 비판을 받아왔다. 그러나 최근 네트워크 장비의 발달로 링크속도가 수백 Mbps에서 수 Gbps급으로 증대됨에 따라 데이터계열 서비스의 지연이 노드당 수 ms 이하의 단위로 줄어들게 되어서 지연에 대한 우려가 거의 해소되었다<sup>6)</sup>. 그리고 경제적인 측면에서 SP 방식이 통신사업자에게 가장 많은 수입(Revenue)을 보장한다는 연구결과도 있다<sup>7)</sup>.

한편, SP 방식의 지연성능에 관한 해석에 대해서, [8]에서는 음성과 데이터가 혼재된 IP 네트워크에 대한 가입자망 링크설계의 수학적 모형으로서 SP 방식을 가정하고, 패킷의 도착과정을 포아송으로, 그리고 서비스과정을 일반분포로 가정해 M/G/1 대기행렬모형을 이용하여 음성서비스 품질의 요구조건으로 패킷 지연을 가정해 음성트래픽과 데이터트래픽의 입력부하의 상한치를 얻을 수 있음을 보였다.

본 연구에서도 프리미엄서비스에 대한 서비스 차별화 방안으로서 SP 방식을 가정해 연결레벨에서 구한 설계대역 결과를 바탕으로 패킷레벨에서 지연성을 예측하도록 한다.

### III. 초고속인터넷 가입자망의 대역설계

현재 대부분의 가입자망은 경제성 및 우리나라의 특이한 밀집주거형태에 의해 그림 2와 같은 Hub and Spoke 방식의 접속구조를 취하고 있다. 이를 바탕으로 기존의 BE서비스에 음성서비스의 발전된 형태인 비디오폰서비스와 IPTV, XoD와 같은 비디오서비스를 동시에 제공하는 초고속인터넷 가입자망의 구조는 그림 2와 같이 가정한다<sup>5)</sup>.

그림 2에서는 기존의 BE서비스를 위한 단말과 비디오폰, IPTV, XoD와 같은 프리미엄서비스를 위한 단말과 같은 가입자측의 단말에서 발생된 트래픽이 홈게이트웨이를 통해 L2스위치로 전달되고 L2스위치에서는 이들 가입자트래픽을 중첩하도록 구성되어 있다. 여기서 홈게이트웨이가 하는 중요한 역할은 네트워크로 연결되는 가입자트래픽을 중단하는 점이며, 또한 가입자트래픽에 대해 서비스차별화 정책을 수행할지의 여부를 결정할 수 있다는 점이다.

#### 3.1 초고속인터넷트래픽을 위한 대역설계

이메일, 파일 다운로드, 웹브라우징과 같은 서비스를 동시에 제공하는 기존의 BE서비스의 경우, 서비스별로 새로운 서비스 연결의 시작과 끝이 모호하고, 서비스 연결의 생성과 소멸이 랜덤할 뿐만 아니라 연결의 상태 변화도 자주 발생하기 때문에 기존의 음성전화와 같이 트래픽 특성을 뚜렷하게 모형화하기 힘들다. 또한 현재 BE서비스의 서비스 품질에 대한 명시적인 규정이 없기 때문에 패킷 레벨에서 지연과 손실 등을 측정하는 것은 의미가 없다. 따라서 기존의 BE서비스의 경우에 한해서는 BE트래픽의 성능지표로서 플로우 단위의 지속 가능한 초당 비트율(bit per second)로 표현하는 것이 가장 적절하다고 할 수 있다.

이러한 이유로 BE서비스만을 수용하는 가입자망의 대역설계에서는 개별 플로우가 대역제한장치를 통해 스위치나 교환기에 수용될 때 복수의 가입자에 대하여 공정한 서비스를 제공하는 것으로 가정을 하여 M/G/R-PS 모델을 이용하면 적절한 대역을 제공할 수 있는 이론적 해를 구하는 것이 가능하다. 이 때 BE트래픽의 버스트한 특성으로 인하여 순간

적으로 발생하는 패킷손실을 예방하기 위해 링크상

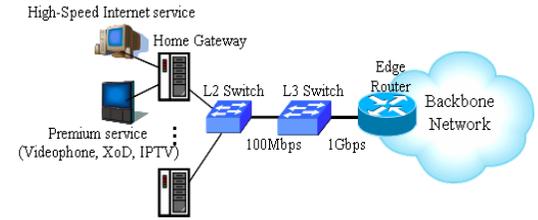


그림 2. 초고속인터넷 가입자망의 구조

을 흐르는 플로우집합을 서비스하는데 필요한 대역 용량( $C_{REQ}$ )이 설계치( $C_{PLAN}$ )와 용량 여유치( $\chi$ )를 합한 양을 초과할 확률이 품질을 보장하는 값( $\epsilon$ )을 초과하지 않도록 네트워크를 설계할 필요가 있으므로 성능 목표함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Pr\{C_{REQ} > C_{PLAN} + \chi\} < \epsilon. \quad (1)$$

위의 식에서 대역용량의 여유치를 구하기 위하여 대상 서비스의 사전테스트 또는 운용 중인 망에서 측정된 데이터를 기반으로  $C_{REQ}$ 의 평균 ( $\mu$ )과 분산 ( $\sigma^2$ ) 및 분포함수를 계산한다. 여기서는 대규모 가입자수용네트워크에서 충분히 많은 가입자를 가정하여 중심극한정리를 적용해 가입자가 발생시키는 트래픽의 양이 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 그러면 식 (1)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q\left(\frac{C_{PLAN} + \chi - \mu}{\sigma}\right) \leq \epsilon. \quad (2)$$

여기서  $Q(x)$ 는 Q-function으로 알려진 가우시안 에러함수(Gaussian error integral)이다. 그리고  $\Phi(x)$ 를  $Q(x) = 1 - \Phi(x)$ 을 만족하는 함수로 바꾸면 식 (2)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi(x) \geq 1 - \epsilon. \quad (3)$$

단, 식 (3)에서  $x$ 는 아래의 식을 만족한다.

$$x = \frac{C_{PLAN} + \chi - \mu}{\sigma}. \quad (4)$$

따라서 최종적으로 용량 여유치( $\chi$ )는 다음과 같다.

$$\chi = \mu + \sigma x - C_{PLAN}. \quad (5)$$

한편, ns-2 시뮬레이터를 이용한 대역설계를 위하여 인터넷에서 가입자의 형태를 분석한 결과를 보면 가입자의 사고시간(Thinking time)이 상당히 가

변적이고 긴꼬리 분포를 따른다고 알려져 있다<sup>9)</sup>. 그리고 긴꼬리 분포함수는 여러 가지가 있으나 여기서는 해석의 편의를 위하여 파라미터  $k$ 와  $a$ 를 가진 파레토 분포로 가정한다. 파레토 분포는 다음과 같은 확률밀도함수와 확률분포함수를 가진다<sup>10)</sup>.

$$f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha+1}, F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha}, x > k, \alpha > 0. \quad (6)$$

여기서 Tail Index  $a$ 는 랜덤변수의 평균과 분산을 결정하는 파라미터로서  $a$ 의 값이 작을수록 꼬리가 크고 길게 나타나는 특징을 가지고 있다. 그리고  $k$ 는 확률 변수  $x$ 가 취할 수 있는 가장 작은 값을 나타낸다.

그림 3은 ns-2 시뮬레이터에 구현되어 있는 On/Off 시간이 파레토 분포를 따르는 랜덤한 On/Off 소스의 파라미터를 나타낸 것으로 여기서 packetSize\_는 평균 패킷 크기를 나타내고, burst\_time\_와 idle\_time\_은 각각 평균 On, Off 시간을 나타내고, rate\_는 On 시간에 전송 가능한 최대 전송률을 나타낸다. 마지막으로 shape\_는 파레토 분포의 Tail index  $a$ 를 나타낸다<sup>11)</sup>. 이를 이용해 가입자 규모에 따른 적절한 설계대역량을 얻기 위해서는 시뮬레이션 파라미터 값을 적절하게 설정할 필요가 있다. 이를 위해 우선 BE트래픽의 최대전송률은 가입자가 가입한 서비스에 따라 다르므로 대역설계를 위한 파라미터 값을 추출하기 위해 가입자가 가입한 접속속도별로 개별적으로 실험하여야 한다. 그리고 운용 중인 망에서 측정된 데이터를 기반으로 얻은 서비스별 평균전송율을 ns-2 시뮬레이터에 적용하기 위해 필요한 평균 On/Off 시간은 식 (7)과 식 (8)을 이용해 구할 수 있다.

$$R_{Mean} = R_{Peak} \times \frac{On_{Mean}}{On_{Mean} + Off_{Mean}}. \quad (7)$$

$$On_{Mean} + Off_{Mean} = 1. \quad (8)$$

식 (7)에서  $R_{Mean}$ ,  $R_{Peak}$ ,  $On_{Mean}$ ,  $Off_{Mean}$ 는 각각 평균전송률, 최대전송률, 평균 On 시간, 평균 Off 시간을 나타내고, 식 (8)은 평균 On/Off 시간의 합이 단위시간(1s)으로 가정함을 나타낸다. 그리고 평균패킷크기와 파레토 분포의  $a$  값을 각각 565Byte,

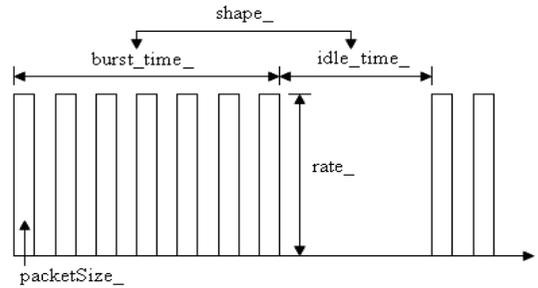


그림 3. ns-2 시뮬레이터에 구현되어 있는 On/Off 시간이 파레토 분포를 따르는 랜덤한 On/Off 소스의 파라미터

1.5로 가정하면, BE서비스의 대역설계를 위한 서비스 표 1. 초고속인터넷 트래픽의 시뮬레이션 파라미터

서비스 접속속도	10Mbps	20Mbps	50Mbps
평균 전송률	386Kbps	484Kbps	773Kbps
평균 On 시간	38.6ms	24.2ms	15.46ms
평균 Off 시간	961.4ms	975.8ms	984.54ms
평균 패킷 크기	565Byte	565Byte	565Byte
파레토 분포 $a$ 값	1.5	1.5	1.5

스 접속속도별 시뮬레이션 파라미터를 표 1과 같이 얻을 수 있다<sup>5)</sup>. 표 1의 파라미터를 이용하여 ns-2 시뮬레이터에서 최번시(Busy Hour)의 동시 가입자의 수를 4에서 24까지 변화시키면서 트래픽의 평균과 표준편차를 산출한 후, 각 가입자가 필요로 하는 대역을 100% 보장하는 것을 가정하여 식 (5)에서  $\sigma$ 를 3.87로 두고 가입자 규모에 대한 설계대역을 산출하면 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.

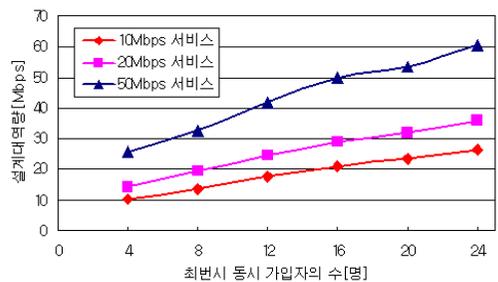


그림 4. 서비스별 최번시 동시가입자수에 따른 설계대역량

### 3.2 프리미엄트래픽을 위한 대역설계

비디오폰, IPTV, XoD 서비스로부터 발생된 프리미엄트래픽은 음성 및 비디오 패킷의 전달간격에 대하여 실시간성을 가지고 있어서 요구하는 QoS, 특히 지연 및 지연 변이(지터)가 BE트래픽에 비하여

1) 사고시간이란 가입자가 웹페이지를 열어 놓고 내용을 읽거나 생각하는 시간을 말한다.

이주 엄격하다. 따라서 이와 같은 프리미엄트래픽을 네트워크로 유입시키는 가입자당에서는 설계 단계에서부터 QoS의 보장을 위한 조치를 취해야 한다.

최근 서비스 및 플로우를 단위로 대역을 보장하는 방안에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있는데<sup>[12-14]</sup>, 본 연구에서도 서비스 혹은 플로우를 인식할 수 있는 대역설계 방법을 제안한다.

우선 프리미엄트래픽을 대역설계에 반영하는 방안에 대하여 아래와 같은 4가지 경우로 나누어 고려한다.

**방안 ①** : 비디오폰, IPTV, XoD 단말기로부터 발생하는 프리미엄트래픽을 서비스별로 분리한 후 연결브리킹확률을 Grade of Service (GoS)로 가정하여 Erlang-B 공식을 이용해 가입자의 규모에 대한 서비스별 설계대역을 산출한 후 이를 산술적으로 더하는 방법

**방안 ②** : 비디오폰, IPTV, XoD 단말기로부터 발생하는 프리미엄트래픽이 홈게이트웨이와 같은 가입자장치에 의해 사전에 하나로 통합되어서 액세스 네트워크로 유입될 때, 이들 트래픽의 혼합트래픽을 하나의 단일 트래픽소스로 가정하여 연결브리킹확률을 GoS로 가정하여 Erlang-B 공식을 이용하여 가입자의 규모에 대한 설계대역을 산출하는 방법

**방안 ③** : IPTV 서비스를 위한 대역을 전용(예: 4Mbps)으로 할당하고 나머지 서비스 즉 비디오폰, XoD를 서비스별로 분리한 후 연결브리킹확률을 GoS로 가정하여 Erlang-B 공식을 이용해 가입자의 규모에 대한 서비스별 설계대역을 산출한 후 이를 산술적으로 더하는 방법(IPTV는 현재 개념적으로 명확하게 표준화된 것은 없지만 IP를 이용한 TV 서비스라는 기본 개념을 공통적으로 수용하고 있기 때문에 최번시 사용율이 높다고 가정하고 IPTV 서비스를 위한 대역을 전용으로 할당한다<sup>[15]</sup>.)

**방안 ④** : IPTV 서비스를 위한 대역을 전용(예: 4Mbps)으로 할당하고 나머지 서비스를 하나의 단일 트래픽소스로 가정하여 연결브리킹확률을 GoS로 가정하여 Erlang-B 공식을 이용하여 가입자 규모에 대한 대역을 산출하는 방법

표 2. 서비스의 트래픽 프로파일 및 최번시 트래픽량

서비스	최번시 사용률	평균호지속시간[초]	트래픽[얼랑]
IPTV	0.4	3600	0.4
XoD	0.1	5400	0.15
비디오폰	0.1	180	0.005

현재 각 서비스의 트래픽 프로파일에 대한 구체적인 자료가 미비한 관계로 임의적으로 표 2와 같이 가정하면 서비스당 트래픽(단위: 얼랑)은 식 (9)에 의하여 표 2의 맨 우측과 같이 구할 수 있다.

$$\text{트래픽} = \frac{\text{최번시호시도건수} \times \text{평균호지속시간}}{3600} \quad (9)$$

먼저 트래픽 모델별로 회선수를 산출하기 위해 부과되는 트래픽( $\rho$ )과 동시에 제공 가능한 회선수 ( $C$ )가 주어졌을 때 모든 회선이 점유됨으로 인하여 새로운 연결이 거부될 확률을 나타내는 Erlang-B 공식을 식 (10)에 나타냈다.

$$E(C, \rho) = \frac{\frac{\rho^C}{C!}}{\sum_{i=0}^C \frac{\rho^i}{i!}} \quad (10)$$

이 때 GoS 목표치, 즉 신규로 연결을 요청하는 가입자의 연결브리킹확률( $\phi$ ) 요구조건이 1% 미만이라고 가정을 하면, 일정한 규모의 가입자에게 제공해 주어야 할 회선의 수는 식 (11)을 만족하는  $C$ 의 값을 산출함으로써 얻을 수 있다.

$$E(C, \rho) < \phi \quad (11)$$

한편, 가입자에게 대역을 제공하는 방법은 피크치 할당법, 평균치 할당법, 최소치 할당법 등 다양한 방법이 존재하는데, 이 중에서 어떤 방법을 선택할 것인지의 기준은 가입자와의 패킷레벨의 서비스 수준규약(Service level agreement, 이하 SLA)을 통하여 결정할 수 있고 이 때 SLA는 서비스요금과 밀접한 관계를 가진다. 그러나 본 연구에서는 가입자의 패킷레벨의 SLA(특히 패킷손실 및 지연)를 고려하지 않기 때문에 각 가입자가 가입한 각 서비스에 대하여 요구하는 대역폭을 최대대역폭이라고 가정해, 비디오폰, IPTV, XoD에 대하여 각각 2Mbps, 4Mbps, 4Mbps를 제공하는 것으로 가정한다. 그리고 보통 가입자를 수용하는 스위치의 포트당 가입자 수용 규모가 그렇게 크지 않기 때문에 가입자 수를 4에서 24까지 변화시키는 것을 가정하여 가입자의 규모에 대한 설계대역을 표 3, 표 4와 같이 얻을 수 있다.

표 3은 방안 ①과 방안 ②의 트래픽 모델에 대한 가입자 규모에 따른 설계대역을 나타낸 것으로 방안 ①은 먼저 서비스별로 얼랑을 산출한 후, Erlang-B 공식을 이용해 얻은 서비스별 회선수에 서비스별 요

구대역을 곱한 후 이를 산술적으로 더하여 얻을 수 있고, 방안 ②는 모든 서비스를 하나의 트래픽소스로 가정해 알량을 산출한 후, Erlang-B 공식을 이용해 얻은 회선수에 회선당 요구대역을 곱하여 얻을 수 있다. 이 때 한 가입자가 비디오폰, IPTV, XoD 서비스를 동시에 요청할 수 있는 최악의 상황을 고려해 회선당 요구대역은 10Mbps(=2Mbps+4Mbps+4Mbps)로 가정하였다.

표 4는 방안 ③과 방안 ④의 트래픽 모델에 대한 가입자 규모에 따른 설계대역을 나타낸 것으로 IPTV는 최번시 사용률이 다른 서비스에 비해 높기 때문에 전용으로 대역을 할당하고 나머지 서비스에 대해서는 방안 ③의 경우 서비스별로 알량을 산출한 후, Erlang-B 공식을 이용해 얻은 서비스별 회선수에 서비스별 요구대역을 곱한 후 이를 산술적으로 더하여 얻을 수 있고, 방안 ④는 비디오폰과 XoD를 하나의 트래픽소스로 가정해 알량을 구한 후, Erlang-B 공식을 이용해 얻은 회선수에 회선당 요구대역을 곱함으로써 얻을 수 있다. 여기서도 한 가입자가 비디오폰, XoD 서비스를 동시에 요청할 수 있는 최악의 상황을 고려해 회선당 요구대역은 6Mbps(=2Mbps+4Mbps)로 가정하였다.

위에서 구한 네 가지 방안에 대하여 설계대역의 규모를 비교하기 위하여 가입자의 수에 대한 설계대역의 변화를 그림 5에 나타냈다. 그림 5에서 보는 바와 같이 대상으로 하는 모든 가입자의 수에 대하여 대역을 가장 많이 필요로 하는 설계방법은 방안 ②이고 대역을 가장 적게 필요로 하는 설계방법은 방안 ①이다. 방안 ②가 가장 큰 대역을 필요로 하는 이유는 방안 ②가 가지고 있는 특징에서 볼 수 있듯이 한 가입자가 비디오폰, IPTV, XoD 서비스를 동시에 요청할 수 있는 최악의 상황을 고려해 가입자가 어느 순간 동시에 요구하는 요구대역을 각 서비스의 최대 요구대역의 합인 10Mbps로 가정하였는데 그 이유가 있음을 알 수 있다. 그러나 가입자의 측면에서 볼 때는 방안 ②가 최번시에 모든 서비스를 동시에 사용한다는 가정하에 설계를 하였으므로 최악의 경우라도 서비스 품질은 가장 확실하게 보장된다는 장점을 가지고 있다.

한편, 방안 ③과 방안 ④는 방안 ①과 방안 ④ 사이의 중간값을 취하며 두 방법은 거의 비슷한 양의 대역을 필요로 하고 있다. 여기서 한 가지 발견되는 특징으로서 방안 ①과 방안 ③은 가입자의 규모에 따라 설계대역의 크기에 Cross over가 발생하여 가입자의 수가 10명 이하에서는 방안 ③이 대역

표 3. 방안 ①과 방안 ②의 가입자 규모별 설계대역

가입자수(명)	4	8	12	16	20	24
IPTV(회선수)	6	9	11	13	15	17
XoD(회선수)	4	5	6	7	8	9
비디오폰(회선수)	2	2	2	2	2	2
방안①의 설계대역(Mbps)	44	60	72	84	96	108
(IPTV+XoD+비디오폰)(회선수)	7	10	14	17	19	22
방안②의 설계대역(Mbps)	70	100	140	170	190	220

표 4. 방안 ③과 방안 ④의 가입자 규모별 설계대역

가입자수(명)	4	8	12	16	20	24
XoD(회선수)	4	5	6	7	8	9
비디오폰(회선수)	2	2	2	2	2	2
IPTV(회선수)	4	8	12	16	20	24
방안③의 설계대역(Mbps)	36	56	76	96	116	136
(XoD+비디오폰)(회선수)	4	5	6	7	8	9
IPTV(회선수)	4	8	12	16	20	24
방안④의 설계대역(Mbps)	40	62	84	106	128	150

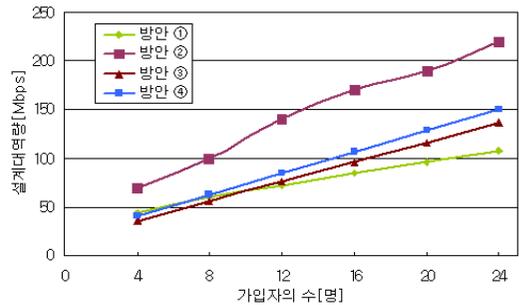


그림 5. 방안별 설계대역의 비교

을 더 적게 필요로 하며 가입자의 수가 10명 이상에서는 방안 ①이 더 적은 대역을 필요로 한다.

결론적으로 네트워크의 설계시 가장 경제적인 방안은 방안 ①이라고 할 수 있으며 그 대신 가입자 단에서 서비스별로 트래픽을 분리할 수 있는 기능을 홈페이지트웨이 등과 같은 가입자 장치에 장착해야 하는 제약을 가지고 있다. 방안 ③도 IPTV에 대하여 대역을 전용으로 할당하고 나머지 서비스에 대하여 서비스별로 분리를 하여야 하므로 서비스의 구현시 방안 ①과 거의 같은 기능을 갖추어야 할 필요가 있다.

마지막으로 방안 ④의 설계대역은 방안 ③보다 조금 크지만 IPTV를 제외한 나머지 서비스들은 모두 중첩하여 하나의 트래픽으로 간주하여 처리할

수 있으므로 방안 ①과 방안 ③보다는 구현이 훨씬 간단하므로 방안 ④도 유력한 설계 대안이 될 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 초고속인터넷서비스와 프리미엄서비스가 혼합된 경우의 대역설계

프리미엄서비스는 데이터를 구성하는 패킷간의 전달간격에 있어 실시간성을 가지고 있어서 기존의 BE서비스에 비해 특히 지연과 지연변이에서 엄격한 서비스 품질을 요구하기 때문에 대역설계 단계에서 대역을 보장할 필요가 있고, BE서비스는 BE트래픽의 버스트한 특성으로 발생할 수 있는 패킷손실을 예방하기 위해 대역의 여유분을 고려해 대역을 설계할 필요가 있다. 그리고 일반적으로 UDP를 기반으로 하는 프리미엄서비스와 TCP를 기반으로 하는 BE서비스가 단일링크 상에서 서비스될 때, BE트래픽의 버스트한 특성으로 인하여 순간적으로 링크에 혼잡이 발생할 경우 TCP는 혼잡제어기능을 통해 서비스율을 줄이는 반면, UDP는 혼잡제어기능이 없어서 네트워크가 혼잡한 경우에도 계속해서 패킷을 전송하기 때문에 네트워크의 혼잡도를 더욱 악화시킨다. 이로 인해 BE서비스는 서비스율이 현저히 떨어지게 되고, 프리미엄서비스 또한 패킷손실이 많이 발생해 서비스 품질에 영향을 줄 수 있다. 따라서 프리미엄서비스와 기존의 BE서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해서는 ULM 방식과 같이 가입자를 수용하는 장치의 사용 가능한 대역을 프리미엄서비스를 위한 대역과 BE서비스를 위한 대역으로 논리적으로 분리해 서비스간에 영향을 받지 않도록 대역을 설계하고, 각 서비스에 대해서는 앞서 기술한 두 트래픽 모델의 대역설계법과 같이 충분한 대역을 할당할 필요가 있다.

한편, 일반적으로 스위치나 라우터는 적정 운용률(0.5~0.7)을 정의하여 운용을 하는데, 본 연구에서는 가입자를 수용하는 L2스위치의 링크운용률을 0.7로 가정하고 대역설계를 하도록 한다. 이를 위해 L2스위치의 링크운용률 0.7 중 BE서비스의 설계대역을 뺀 나머지 대역에 프리미엄서비스를 제공한다고 가정하면, 앞서 산출한 프리미엄서비스와 BE서비스별 가입자 수에 따른 설계대역량을 이용해 BE서비스별 가입자 수에 대해 L2스위치의 링크운용률이 0.7을 넘지 않는 범위에서 프리미엄서비스를 이용할 수 있는 최대 가입자 수를 산출할 수 있다. 그리고 ns-2 시뮬레이터를 이용해 프리미엄서비스 제공을 위한 대역설계시에 호 도착과정이 포아송과정

표 5. L2스위치의 링크운용률 0.7을 고려해 수용할 수 있는 20Mbps 초고속인터넷서비스 가입자 수와 프리미엄서비스 가입자 수와의 관계

가입자수	20Mbps	방안①	방안②	방안③	방안④
4	14.2M	6명(52M)	2명(50M)	7명(52M)	6명(54M)
8	19.4M	5명(48M)	2명(50M)	6명(48M)	5명(44M)
12	24.3M	4명(44M)	1명(40M)	5명(40M)	5명(44M)
16	28.9M	3명(36M)	1명(40M)	5명(40M)	4명(40M)
20	31.6M	3명(36M)	-	4명(36M)	3명(36M)
24	35.8M	2명(30M)	-	3명(28M)	2명(26M)

으로 동작하고, 호지속시간이 각기 다른 프리미엄서비스에 대해 적절한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 충분히 긴 시간 동안 실험을 할 필요가 있는데, 프리미엄트래픽의 양이 많기 때문에 실험을 하는데 많은 제약이 있다<sup>[16,17]</sup>. 따라서 오프라인 상에서 Erlang-B 공식을 이용하여 가입자 규모에 대한 설계대역을 산출한 후, 이 산출된 설계대역을 최면시 트래픽량으로 간주하고, 이 값을 바탕으로 시뮬레이터에서 호를 발생시킴으로써 Scalability의 한계를 어느 정도 극복할 수 있다. 그리고 일반적으로 프리미엄트래픽의 발생모형은 서비스의 코덱에 따라 달라지는데 본 연구에서는 일정한 크기의 패킷을 일정한 간격으로 계속 발생시키는 CBR 모형을 이용하도록 한다.

표 5는 L2스위치의 링크용량을 100Mbps로 가정하고, 링크의 운용률 0.7을 고려해 최면시에 20Mbps BE서비스를 제공받는 동시 가입자 수에 대해 최대 수용할 수 있는 프리미엄서비스의 가입자 수와 그 때의 설계대역을 나타낸 것이다.

## IV. BE트래픽과 프리미엄트래픽의 성능 실험

프리미엄트래픽과 BE트래픽이 하나의 물리적 링크에 혼합되어 전송되는 경우에 앞에서 언급한 바와 같이 논리적으로는 대역을 분리하지만 물리적으로는 대역을 공유하고 있으므로 두 가지 트래픽 유형에 대하여 서비스차별화 정책을 쓰지 않으면 두 종류의 트래픽 사이에 상호 간섭이 일어나서 각 유형의 트래픽이 필요로 하는 대역을 제대로 서비스하지 못하는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 가능한 대안은 각 트래픽을 각기 다른 버퍼로 분리하여 수용한 후 서비스차별화 정책을 사용하는 방법으로 현재 이와 관련해 많은 연구가 행해지고 있는데, 본 연구에서는 실시간성을 요구하는 프리미엄 패킷에 대하여 지연과 지연변이와 같은 품질요

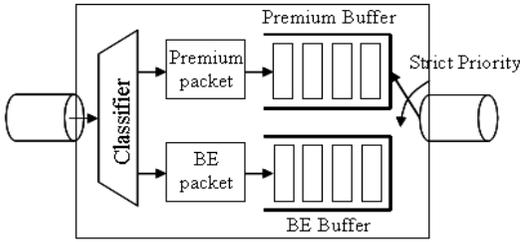


그림 6. DiffServ 기반의 Strict Priority 스케줄링

구조조건을 보장하기 위해 그림 6과 같이 가입자로부터 발생된 BE트래픽과 프리미엄트래픽이 가입자 수용장치의 입력단의 패킷 분류기에서 각각의 버퍼에 분리 수용한 후 프리미엄 패킷에 대해 SP 스케줄링 방식을 이용해 차별화된 서비스를 제공하는 방식을 사용하도록 한다.

한편, 서비스 클래스별 성능실험을 위해 표 5에서 나온 결과를 이용해 서비스별 가입자 수에 따라 BE트래픽 모형과 프리미엄트래픽 모형을 발생시켜 SP 방식과 FIFO 방식<sup>2)</sup>을 개별적으로 실험해 그 결과를 비교 분석한다. 그리고 지연, 지터 또는 손실과 같은 성능 파라미터는 링크 대역폭과 패킷 버퍼의 크기에 따라 성능실험 결과가 상당히 다르게 나오므로 신중히 고려해야 한다. 본 연구에서는 가입자 수용장치의 링크 대역폭을 100Mbps로 가정하고, 버퍼 크기는 패킷의 지연성능을 관찰하는 것이 주된 목적이므로 10,000패킷으로 충분히 크게 설정해 실험을 하였으며, 가입자 수용장치에서의 지연, 지터, 손실에 대한 성능실험 결과는 표 6과 같다.

표 6으로부터 프리미엄 패킷의 평균큐잉지연과 지터의 평균은 수  $\mu$ s ~ 수십  $\mu$ s로서 상당히 작은 값을 가지는 것을 알 수 있고, 이 값은 ITU-T에서

표 6. FIFO 방식과 SP 방식에서 지연, 지터, 손실에 대한 최소값과 최대값 비교

트래픽 구분 및 서비스 방식		평균 큐잉 지연		평균 지터		패킷 손실률(%)	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
프리미엄 서비스	FIFO	7 $\mu$ s	53 $\mu$ s	6 $\mu$ s	33 $\mu$ s	0	0.001
	SP	4 $\mu$ s	9 $\mu$ s	1 $\mu$ s	10 $\mu$ s	0	0
초고속인터넷 서비스	FIFO	96 $\mu$ s	21ms	X	X	0	0.002
	SP	187 $\mu$ s	82ms	X	X	0	1.633

2) FIFO방식에서는 가입자로부터 발생된 프리미엄트래픽과 BE트래픽이 가입자 수용장치의 입력단의 단일 버퍼에 패킷의 분류없이 순서대로 수용한 후 도착순서에 따라 서비스함.

규정하고 있는 액세스 노드당 목표지연치인 10ms의 값보다 아주 작은 값을 알 수 있다<sup>18)</sup>. 따라서 현재 대부분의 가입자망에서 노드의 링크용량이 100Mbps 이상인 점을 감안한다면 프리미엄 패킷의 평균큐잉지연과 지터의 평균은 우려할 필요가 없음을 알 수 있다. 이에 대한 보다 더 자세한 분석은 [6]에서 다루고 있다.

한편, 상대적으로 BE 패킷에 대한 평균큐잉지연은 수백  $\mu$ s~수십 ms로 프리미엄 패킷에 비하여 상당히 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 SP 스케줄링 방식이 프리미엄 패킷을 우선적으로 서비스하는 특성 때문에 프리미엄 패킷의 평균큐잉지연과 지터의 평균값이 FIFO 방식에 비해 상당히 줄어든 반면, 프리미엄 버퍼에 패킷이 없을 때에만 BE 패킷이 서비스되므로 BE 패킷의 평균큐잉지연이 상당히 증가한 것으로 해석할 수 있다. 그러나 BE 패킷의 지연성능은 어디까지나 프리미엄 패킷의 지연성능과 비교해 상대적으로 크게 나온 것이지, 인터넷 패킷의 지연허용치가 정해지지 않은 현재의 상황에서는 성능이 나쁘다고 말할 수는 없다.

그리고 음성트래픽과 데이터트래픽의 적정비율에 관한 연구는 네트워크의 트래픽 측면만을 고려해 단순하게 결정되기보다는 가입자의 서비스 침투율이나 마케팅 전략 등에 의하여 결정되는 과금정책 등 다양한 파라미터에 의하여 결정되는 문제이다. 따라서 이에 대한 문제분석은 보다 더 면밀한 연구가 진행되어야 하겠지만, SP 스케줄링 방식에서 높은 우선순위 패킷에 의해 낮은 우선순위 패킷에 지연의 영향을 줄이기 위해 일반적으로 프리미엄서비스의 트래픽로드가 전체 트래픽로드 비율의 10~25% 이하로 제한되어야 한다는 연구결과가 있으며<sup>19)</sup>, 과금과 연계된 음성트래픽과 데이터트래픽의 적정비율에 대한 연구는 [20]을 참조한다.

본 연구에서는 L2스위치의 링크운용률을 0.7로 고려할 때 프리미엄서비스의 트래픽로드가 전체 트래픽로드 비율의 20~86%를 차지하므로 결국 프리미엄서비스의 유효비율은 총 대역용량의 14~60% 정도까지 가정해서 실험을 한 결과이므로 BE트래픽의 지연 및 손실이 더욱 악화된 것으로 볼 수 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 기존의 초고속인터넷서비스와 같은 BE서비스에 비디오폰, IPTV, XoD와 같은 프리미엄서비스를 동시에 제공하기 위한 초고속인터넷

가입자망의 링크용량을 연결레벨에서 설계하는 방법을 몇 가지 가능한 방안으로 고려하여 기술하고 수치실험을 통하여 각 방안의 특성과 장단점을 비교하였다. 그리고 BE트래픽과 프리미엄트래픽이 하나의 물리적 링크에 혼합되어 전송될 경우, 엄격한 서비스 품질을 요구하는 프리미엄서비스의 서비스 품질을 보장하기 위해 패킷레벨에서 DiffServ 기반의 SP 스케줄링 방식을 이용한 서비스 차별화 방안에 대해 기술하고, 연결레벨에서의 대역설계 결과를 이용한 성능실험을 통해 FIFO 방식과 비교 분석하였다. 성능분석 결과로부터 DiffServ 기반의 SP 스케줄링 방식은 지연과 지터에 민감한 프리미엄서비스를 제공하는데 효율적이지만 전체 트래픽로드 중 프리미엄서비스의 트래픽로드 비율이 높을 경우 BE 트래픽의 지연과 손실이 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 프리미엄트래픽의 비율이 일정수준 이하로 유지되는 경우에는 지연 및 손실이 크게 우려되는 상황이 아님을 확인할 수 있었다. 그러나 망운용상에 부득이하게 프리미엄트래픽의 비율을 크게 유지하여야만 할 때, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 프리미엄 서비스에 대하여 일정한 수의 연결만 받아들이는 CAC와 같은 기술을 이용해 프리미엄트래픽의 양을 제어함으로써 BE트래픽의 지연과 손실이 증가하는 문제는 완화시킬 수 있을 것이다.

한편, 본 연구에서는 연결레벨에서 연결브러킹확률을 고려한 대역설계를 하였으나 최근 네트워크 지연을 고려한 가입자의 서비스 품질에 대한 관심이 점점 높아짐에 따라, 가입자의 연결레벨에서의 지연을 서비스 품질 파라미터로 하는 가입자망 대역설계법과 관련해서는 별도의 연구를 통하여 다음 기회에 다루기로 한다.

마지막으로 향후 TPS가 더욱 활성화되면 각 서비스의 트래픽 프로파일을 분석하여 트래픽 파라미터를 보다 더 정확하게 예측을 하고, 또 서비스에 대해서도 유사한 특성을 가진 트래픽을 중첩시키거나 서로 다른 특성의 서비스에 대해서는 클래스를 더욱 세분화하는 방안을 고려하여 보다 더 효율적이고 정교한 스케줄링 알고리즘의 개발을 통한 대역설계 방안도 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[ 1 ] M. Sif and L. Newell, "Optimizing Broadband Aggregation Networks for Triple Play Services," *Alcatel Telecommunications*

*Review*, 4<sup>th</sup> Quarter 2004.  
 [ 2 ] Z. Wang, *Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service*, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.  
 [ 3 ] 김영탁 외, 차세대통합네트워크(NGeN)에서의 통신망 트래픽 관리를 위한 기술정책 연구, 한국전산원 최종보고서, 2003년 12월.  
 [ 4 ] A. Riedl, T. Baushert and J. Frings, "A framework for multi-service IP network planning," <http://citeseer.ist.psu.edu/558092.html>.  
 [ 5 ] 이훈 외, 트래픽 모델 개발 및 접속망 Link 운용기준 정립, 창원대학교 네트워크연구소 기술보고서, 2005년 8월.  
 [ 6 ] Hoon Lee, "Anatomy of delay performance for the strict priority scheduling scheme in multi-service Internet," *Computer Communications*, vol.29, Issue 1, pp.69-76, Dec. 2005.  
 [ 7 ] Y. Hayel et al., Less-than-best-effort services: Pricing and scheduling, *Proc. of IEEE INFOCOM 2004*.  
 [ 8 ] Hoon Lee, "Delay performance of multi-service network with strict priority scheduling scheme," *Journal of KICS*, vol.30, no.2, Feb. 2005.  
 [ 9 ] M. E. Crovella and A. Bestavros, "Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol.5, no.6, pp.835-840, Dec. 1997.  
 [10] W. Stallings, *High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall, Nov. 2001.  
 [11] Mini-Howto: Pareto On/Off Traffic Generator, [http://nile.wpi.edu/NS/Howto/app\\_pareto\\_on\\_off.html](http://nile.wpi.edu/NS/Howto/app_pareto_on_off.html).  
 [12] G. V. Hoey et al., "Dimensioning of NGN transport networks for real-time voice applications," *Alcatel Telecommunications Review*, 2<sup>nd</sup> Quarter 2001.  
 [13] Y. K. Kim, H. Lee and K. H. Lee, "Dimensioning Next Generation Networks for Guaranteed Voice Services," *Journal of IEEK*, vol.40, TC-no.12, Dec. 2003.

- [14] H. Lee and M. T. Hwang, "Link Dimensioning Rules for Videophone Services," *Journal of the Research Institute of Industrial Technology*, vol.19, pp.93~104, May 2001.
- [15] 김민정, 박영준, 고순주, "IPTV 서비스 추진 동향 및 전망," *전자통신동향분석*, 제21권 제 2호, 2006년 4월.
- [16] K. Fall, *The ns Manual*, The VINT Project, July 2003.
- [17] ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [18] ITU-T Rec. Y.1541, Network performance objectives for IP-based services, May 2002.
- [19] 이훈 외, 패킷기반 End-to-End QoS 보장방안에 관한 연구, 한국전산원 최종보고서, 2003년 12월.
- [20] Hoon Lee, Analysis of packet price for Internet service, 투고 준비중.

이 태 준 (Tae-Joon Lee)

준회원



2004년 8월 창원대학교 정보통신공학과 졸업  
 2005년 3월~현재 창원대학교 대학원 정보통신공학과석사과정  
 <관심분야> 네트워크 설계, 트래픽 엔지니어링, 초고속 유무선망 QoS/SLA 제공

이 훈 (Hoon Lee)

중신회원



1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업  
 1986년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 석사  
 1996년 3월 일본 토호쿠(東北)대학교 박사  
 1986년 2월~2001년 2월 KT 연

구개발본부 선임연구원

2001년 3월~현재 창원대학교 정보통신공학과 교수  
 2005년 3월~2006년 8월 미국 Missouri 대학 방문연구원  
 <관심분야> 트래픽엔지니어링, 네트워크 설계 및 제어, 통신망 성능 분석, 초고속 유무선망 QoS/SLA 제공 및 과금정책