

# 선도시험망에서 트래픽 측정을 통한 차등화 서비스의 성능 평가에 대한 연구

김기환\*, 석우진\*, 곽재승\*, 변옥환\*, 진용욱\*\*

E-mail:(leon74, wjseok, jskwak, ohbyeon)@kisti.re.kr\*, chin3p@chollian.net\*\*

## A Performance Measurement of Premium Service in Differentiated Service Testbed on KOREN

Ki-Hwan Kim\*, Woo-Jin Seok\*, Jai-Seung Kwak\*, Ok-Hwan Byeon\*, Yong-Ohk Chin\*\*  
Dept. of High Performance Research Network  
Korea Institute of Science & Technology Information (KISTI)\*  
Graduate School of Information and Communication of Kyung Hee University\*\*

### 요 약

본 논문에서는 WAN 환경에서의 선도시험망 기반 QoS 테스트베드를 구성하고 차등화 서비스에 의한 QoS의 성능을 측정하였다. 전송율, RTT, 패킷 손실, FTP 소요시간을 대상으로 QoS 보장 서비스와 베스트-에포트 서비스에 대한 성능을 비교 분석하였다. 모든 측정대상에 대하여 QoS 보장 트래픽이 좋은 성능을 보여주었으며, 특히 멀티미디어 어플리케이션의 비디오 트래픽에 대해서도 QoS 보장 서비스에 의한 전송서비스가 고품질의 영상을 제공하였다.

### 1. 서론

인터넷은 기본적으로 베스트-에포트 서비스(Best-effort service :BS)를 제공한다. BS를 기본으로 한 인터넷은 확장성이 용이하기 때문에 사용자가 급격히 증가해 왔다. BS는 네트워크의 사용 가능한 대역폭 이상의 사용 요구에 대해서도 연결을 수락하는 특성을 가지고 있다. 이는 사용자가 많아질수록 네트워크의 품질을 떨어뜨리는 요인이 된다. 비록 높은 전송 지연시간과 패킷 손실 등과 같은 네트워크의 품질 저하가 메일 서비스, 파일 전송 서비스, 웹 서비스 등에는 큰 영향을 미치지 않지만, 실시간 전송을 요구하는 멀티미디어 서비스, 양방향 인터넷 전화 서비스 등과 같은 영역에서는 큰 영향을 미친다 [1]. 대역폭의 증가가 이러한 실시간 응용 어플리케이션을 수용하는 한 방법이 될 수 있지만, 계속적으로 증가하는 대역폭의 요구를 항상 만족시켜줄 수 없으며, 또한 충분한 대역폭상에서 트래픽의 폭주로 발생하는 순간폭주 현상은 극복할 수 없다. 그래서 기존의 BS를 제공하는 IP 서비스에 실시간 서비스 등을 요구하는 특정 트래픽에 대해서 저지연, 저손실, 고전송율을 보장하는 서비스가 요구된다. QoS 프로토콜은 이러한 요구를 만족시켜줄 수 있도록 설계 및 제안되었

다[1][2].

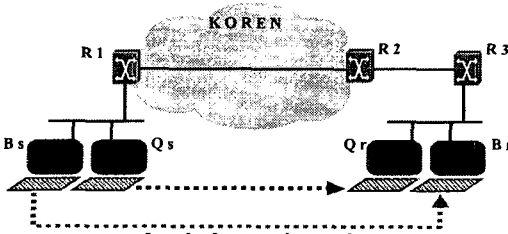
본 논문에서는, 지리적으로 떨어져 있는 두 도시사이의 WAN 환경으로 연결되어 있는 망을 이용하여 DiffServ 테스트베드를 구성하였다. 구성된 테스트베드상에서 DiffServ의 프리미엄 서비스의 QoS가 가능하도록 라우터를 설정하여, 특정 트래픽에 대하여 QoS가 보장되도록 하였다. QoS가 보장된 트래픽과 일반 인터넷 트래픽, 즉 베스트-에포트 트래픽의 전송율, 패킷손실, RTT 등의 측면에서 그 성능을 측정 및 분석하였다. 그리고 실시간특성을 요구하는 비디오 트래픽을 발생시켰을 경우 QoS 보장성을 동영상상을 통하여 살펴보았다.

### 2. 차등화 서비스의 성능 측정

#### 2.1 QoS 테스트베드 구성

QoS 보장을 위한 실험을 위하여 테스트베드를 서울-대전간의 선도시험망상에 구성하였다. 선도시험망은 ATM 기반 국가 R&D 망이다. 라우터 R1과 라우터 R2 사이에 ATM PVC 채널 1개를 할당하고, 그 채널을 통해 선도시험망의 ATM 스위치를 거쳐 상호 통신한다. 테스트베드를 구성하기 위해서 3개의 라우터 R1, R2, R3가 사용되었으며, 구축된 테스트베드는 다음 [그림

1)과 같다.



[그림 1] QoS 테스트베드

R1은 서울의 숭실대학교에 위치한 라우터이고, R2와 R3는 대전 한국과학기술정보연구원내의 라우터이다. R1과 R2는 선도시험망을 통해서 ATM PVC 연결을 통하여 155Mbps로 연결되어 있고, R2와 R3는 기가이더넷 인터페이스로 연결되어 있다. 각 노드에 사용된 라우터의 기종과 IOS는 [표 1]과 같다.

[표 1] 각 노드별 라우터의 기종 및 IOS

라우터	기종	IOS
R1	Cisco 7206	12.0.5T
R2	Cisco 7513	12.1.3T
R3	Cisco 7206	12.0.5T

R1에서는 고의의 패킷손실을 유발시키기 위해 대역폭을 25Mbps로 제한하였다. 특정 트래픽에 대한 QoS 설정을 위하여 패킷 구분(classification), 마킹(marking), 폴리싱(policing), 스케줄링(scheduling) 기능이 사용되었다. 본 논문에서는 QoS 보장을 받는 트래픽을 QoS 보장 트래픽이라고 정의하였다. 패킷 구분, 마킹, 폴리싱을 위해서 시스코 라우터의 access-list, rate-limit 명령을 사용하였다. 스케줄링을 위해서는 시스코 라우터의 policy-map, service-policy 명령을 사용한 CB-WFQ(Class-Based Weighted Fair Queuing)으로 설정하였다. R1과 R2에는 트래픽 발생 및 측정을 위하여 내부적으로 100Mbps 이더넷을 각각 구성하고 있다. 각 이더넷에는 2개의 호스트가 연결되어 있으며, 각 호스트는 리눅스나 유닉스 기반 OS를 사용하였다. 호스트들은 백그라운드 트래픽, QoS 보장 트래픽을 생성 및 측정할 목적으로 사용되었다.

### 2.2 측정 메트릭과 측정 방법

본 논문에서 WAN 상에서 QoS 보장 트래픽의 성능을 측정하기 위해서 4가지 측정 메트릭, 즉 RTT, 패킷손실, 전송율, FTP 소요시간 등을 정의하였다. 이들은 엄격한 QoS를 요구하는 어플리케이션을 위한 중요한 파라미터들이다. 각 메트릭의 정의는 IETF의 IPPM 워킹그룹에서 사용된 정의를 인용하였다 [3].

1)RTT는 RFC2681에 정의되어 있다. RTT는 특정 노드에서의 패킷의 송신시 첫번째 비트의 송신시간과 같은 노드에서의 같은 패킷의 수신시 마지막 비트의 수신시간의 차이를 측정하는 것이다 [4].

2)패킷 손실에 대해서는 본 논문에서 일방향 패킷손실율과 양방향 패킷손실율로 나누어서 정의 및 측정하였다. 일방향 패킷손실율은 RFC2680에 정의되어 있다. 이는 송신자에서는 송신되었으나 수신자에서는 수신받지 못한 패킷들의 개수이다. 양방향 패킷손실

율은 본 논문에서 정의한 것으로, 송신측에서 PING 프로그램에 의하여 올바르게 전송된 패킷에 대한 송신측에서의 수신율이다 [5].

3)전송율은 본 논문에서 정의한 것으로 시간당 일방향 전송된 비트 수를 의미한다.

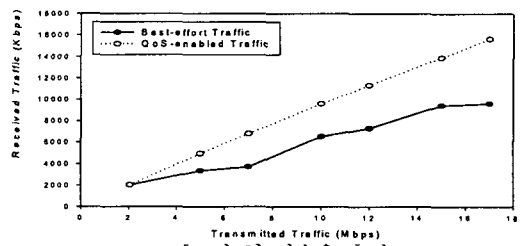
4)FTP 소요시간은 본 논문에서 정의한 것으로 952,320 바이트 크기를 가진 파일에 대한 FTP 프로그램에 의한 일방향 전송시 소요되는 시간을 의미한다.

백그라운드 트래픽은 Bs 노드에서 Br 노드로 전송되며, 측정대상 트래픽, 즉 QoS 보장 트래픽과 베스트-에포트 트래픽은 Qs 노드에서 Qr 노드로 전송된다. 백그라운드 트래픽은 테스트베드 네트워크에서 트래픽 부하를 증가시키는 역할을 한다. 측정대상 트래픽-QoS 보장 트래픽, 베스트-에포트 트래픽-은 상호 성능 비교를 위해서 측정된다. 백그라운드 트래픽은 MGEN 툴에 의해서 생성되며, 측정대상 트래픽은 각 측정 메트릭에 대하여 MGEN 툴, PING 프로그램, FTP 프로그램에 의해서 생성된다. MGEN에 의해서 생성되는 패킷은 UDP 패킷으로써 크기는 512 바이트로 고정되어 있으며, 포아송 분포를 따른다. 멀티미디어 트래픽의 분석을 위해서 영상 트래픽의 전송 품질을 측정하기 위해서 인텔의 픽처텔(PictureTel) 시스템을 사용하였다. Bs와 Qs 노드에서 생성된 트래픽은 R1, R2, R3 라우터를 통하여 Br와 Qr 노드에 도착한다. 각 라우터들은 생성된 트래픽으로 인하여 혼잡도가 증가하게 되며, 증가된 혼잡도에 의해 패킷 손실이 발생하거나 전송지연시간이 길어지게 된다. 본 논문에서는 이러한 환경에서 QoS 보장 트래픽과 베스트-에포트 트래픽에 대하여 그 성능을 측정하고 상호 비교 분석하였다.

### 3. 측정 결과

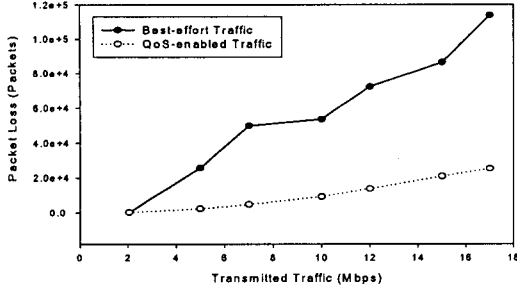
본 논문에서 정의된 메트릭에 대하여 선도시험망 기반 QoS 테스트베드상에서 QoS 보장 트래픽 성능을 베스트-에포트 트래픽 성능과 비교 분석하였다.

먼저 전송율에 대해서 결과를 보면 [그림 2]에서 보듯이 QoS 보장 트래픽의 전송율이 베스트-에포트 트래픽의 전송율보다 높게 나타났다. 특히 백그라운드의 전송 트래픽이 증가할수록 전송율 차이는 비례적으로 증가한다. 이는 전송 트래픽양이 많아질수록 혼잡도가 높아지고, 혼잡도가 높은 네트워크 환경에서 베스트-에포트 트래픽의 패킷손실이 QoS 보장 트래픽에 비해 훨씬 많기 때문이다. QoS 보장 트래픽은 혼잡이 발생하였더라도



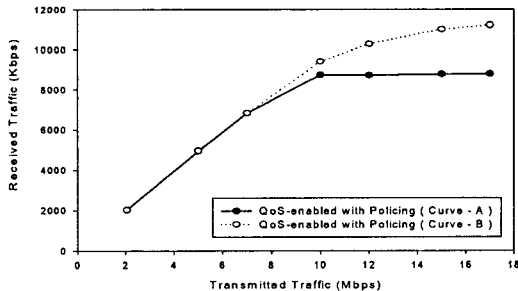
[그림 2] 전송율 측정

버퍼에서 출력될 때 높은 우선순위로 인하여 버퍼에서 손실될 확률이 베스트-에포트 트래픽에 비해 낮기 때문에 상대적으로 좋은 성능을 보여준다.



[그림 3] 일방향 패킷 손실 측정

[그림 3]은 백그라운드 트래픽을 17Mbps로 일정하게 전송하였을 때 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽의 일방향 패킷 손실을 나타낸 그래프이다. 측정 대상인 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽은 2Mbps에서부터 서서히 그 전송량을 증가시켰다. [그림 3]에서 보듯이 QoS 보장 트래픽의 손실량이 베스트-에포트 트래픽의 손실량보다 훨씬 낮게 나타났다. 특히 전송량이 증가할수록, 즉 트래픽의 부하가 높아질수록 그 차이는 점점 더 크게 나타났다.

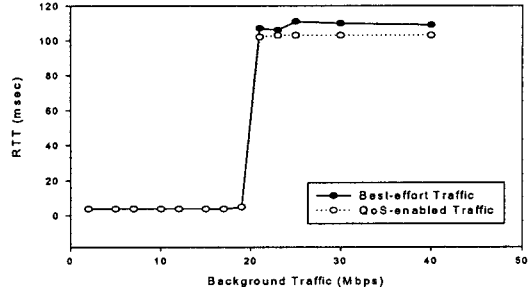


[그림 4] 폴리싱 설정시의 전송률 측정

[그림 4]는 QoS 보장 트래픽에 대해 폴리싱 메커니즘을 적용하였을 경우의 전송율을 측정된 그래프이다. Curve A는 일정전송량 이상에 대한 전송에 대해서 모두 폐기하는 폴리싱에 대하여 보여준다. 9Mbps 이하의 전송에 대해서는 선형적으로 증가하다가 9Mbps 이상의 입력트래픽에 대해서는 전송율이 더 이상 증가하지 않았다. 이는 9Mbps를 초과하는 전송 트래픽에 대해서는 모두 폐기되기 때문이다. Curve B는 일정전송량 이상에 대한 전송에 대해서는 마킹비트를 제거함으로써 QoS를 보장하지 못하도록 하였다. 이러한 폴리싱은 QoS 보장을 해주는 호스트나 네트워크가 SLA(Service Level Agreement)를 위배할 경우에 그 조치로써 행해질 수 있어 네트워크 자원이 일부 호스트나 네트워크에 과다 편중되는 현상을 방지하기 위함이다.

[그림 5]에서 보듯이, 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽 모두 백그라운드 트래픽량이 20Mbps에서 전송지연시간의 급격한 증가를 보여준다. 시스코 라

우터에서 QoS 적용을 위하여 대역폭 할당시 전체가 용한 대역폭의 75%에 한하여 사용할 수 있다. 전체 대역폭이 25Mbps 일 때는 75%인 20Mbps의 대역폭을 실제로 사용할 수 있게 된 것이다.



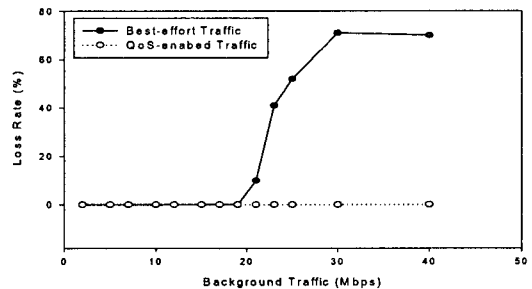
[그림 5] PING 프로그램에 의한 RTT 측정

그래서 20Mbps의 백그라운드 트래픽이 전송될 때 라우터 R1에서의 트래픽 부하가 1이 되게 된다. 트래픽 부하가 1일 경우에 RTT의 급격한 증가는 다음에 의해서 설명되어 질 수 있다.

입력트래픽의 분포가 포아송이고 실험의 모델을 M/G/1이라고 가정할 때, 대기열 대기시간은 아래 (식 1)과 같이 구해진다. 식에서 보듯이 트래픽 부하,  $\lambda \times E[x]$ ,  $\rho$ 가 1이 되면 분포가 0이 되므로 대기시간은 무한으로 발산하게 된다. 그래서 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽 모두 20Mbps에서 급격한 대기열 대기시간의 증가로 인하여 RTT의 급격한 증가를 야기시킨다.

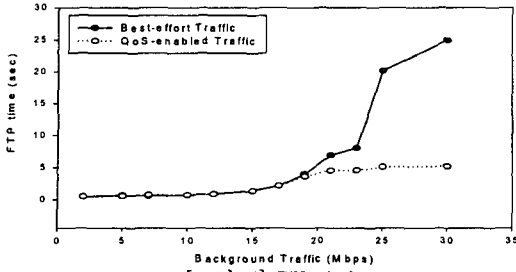
$$\text{대기열 대기시간, } W = \frac{\lambda E[x^2]}{2(1 - \lambda E[x])} \quad (\text{식 1})$$

[그림 5]에서 보듯이 QoS 보장 트래픽은 혼합 상태에서 RTT가 베스트-에포트보다 약 10% 작음을 보여준다. 하지만 앞의 결과에 비하면 큰 차이가 없음을 의미한다. 이는 RTT의 계산이 전송시 손실되지 않은 패킷들에 대한 평균 지연시간을 측정했기 때문이며, 즉 중간에 손실된 패킷은 계산에서 제외되었기 때문이다.



[그림 6] PING에 의한 양방향 패킷 손실률 측정

[그림 6]은 [그림 5]에서 수행했던 실험과 동일한 환경에서 전송된 트래픽의 패킷 손실율을 측정된 것이다. 백그라운드 트래픽이 20Mbps를 넘지 않았을 경우에는 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽 모두 트래픽 손실이 거의 발생하지 않았다. 백그라운드 트래픽이 20Mbps를 넘어서면서 베스트-에포트 트래픽은 급격한 트래픽 손실율을 보여준다.



[그림 7] FTP 소요

[그림 7]에서는 TCP 트래픽에 대한 전송지연을 살펴보기 위하여 FTP를 이용한 소요시간을 측정하였다. 백그라운드 트래픽을 2Mbps에서부터 서서히 증가시키면서 전송하였을 때, 측정대상 트래픽의 FTP 소요시간을 살펴보았다. 백그라운드 트래픽이 증가할수록 베스트-에포트 트래픽과 QoS 보장 트래픽 모두의 FTP 소요시간이 증가함을 알 수 있다. 이는 혼잡의 증가로 인하여 라우터내의 패킷의 대기열 대기시간이 증가하기 때문이다. TCP 상에서 패킷 손실에 대한 FTP 소요시간은 다음 (식 4)에 의해서 분석되어 질 수 있다.

재전송 메커니즘은 go-back N 방식이고, 입력되는 트래픽이 입력을  $\lambda$  값을 가지는 포아송 분포를 따른다고 가정할 때, 전송대상 패킷의 전송소요시간은 확률값  $(1-p)p^k$ 를 가지는  $1+kn$  단위시간이 소요된다. 여기서  $p$ 는 패킷 손실 확률이다. 전송노드에서의 전송상의 소요시간분포는 다음 (식 2)와 같다 [6].

$$P(X=1+kn) = (1-p)p^k, k=0,1,\dots \quad (\text{식 } 2)$$

그러므로 평균 소요시간은 다음과 같이 구해진다.

$$E[x] = \sum_{k=0}^{\infty} (1+kn)(1-p)p^k$$

$$= (1-p)(\sum_{k=0}^{\infty} p^k + n \sum_{k=0}^{\infty} kp^k) \quad (\text{식 } 3)$$

그런데,

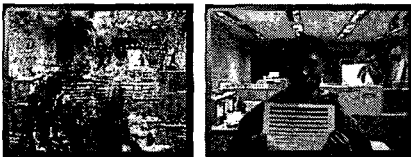
$$\sum_{k=0}^{\infty} p^k = \frac{1}{1-p} \text{ 이고,}$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} kp^k = \frac{p}{(1-p)^2} \text{ 이므로}$$

$$E[x] = (1-p) \left( \frac{1}{1-p} + n \frac{p}{(1-p)^2} \right)$$

$$= 1 + \frac{np}{1-p}, 0 \leq p < 1 \quad (\text{식 } 4)$$

(식 4)에서 보듯이 패킷 손실확률이 증가할수록 평균 서비스시간은 더 큰 증가치로 증가함을 보여준다.



[그림 8] 비디오 트래픽의 비교

백그라운드 트래픽을 20Mbps 만큼 전송시켜서 트래

픽 부하가 1 일 경우에 비디오 트래픽을 전송시켜서 그 전송품질을 QoS 보장 트래픽일 경우와 QoS 보장이 되지 않을 경우에 살펴보았다. 백그라운드 트래픽은 Bs 노드에서 Br 노드로 20Mbps의 양으로 전송시켰으며, 비디오 트래픽은 Qs 노드에서 Qr 노드로 PictureTel 시스템을 사용하여 전송하였다. QoS 보장을 위하여 라우터 R1에 QoS 보장을 설정해 주었으며, Qs 노드에서 Qr 노드로 전송되는 비디오 트래픽에 대하여 보장 해주었다. [그림 8]은 Qr 노드에서 전송받은 비디오 영상을 보여준다. QoS 보장을 해주지 않은 상태에서 백그라운드 트래픽과 함께 전송시켰을 경우에는 화면의 영상 품질이 상당히 나빠서 영상의 내용을 파악하기 어렵다. 반면, QoS를 보장한 상태에서 백그라운드 트래픽과 함께 전송하면 영상의 전송품질 저하가 거의 발생하지 않았다. QoS 보장이 될 경우에 비디오 트래픽 전송에 있어 영상품질에 대해 보장할 수 있음을 보여준다.

#### 4. 결론

QoS 보장 트래픽과 그렇지 못한 트래픽을 WAN 환경에서 폴리싱, 패킷구분, 마킹, CB-WFQ 스케줄링 등의 요소기술을 사용하여 QoS 테스트베드를 구성하여 RTT, 전송율, 패킷 손실, FTP 소요시간 측면에서 살펴보았다. 트래픽 혼잡시에 베스트-에포트 트래픽의 경우 손실이 많이 발생하여 전송율이 낮아지는 현상을 보였다. QoS 보장 트래픽은 라우터의 혼잡 버퍼에서 높은 우선순위를 가지므로 손실이 거의 발생하지 않고 높은 전송율을 보여주었다. PING 프로그램에 의해 측정된 RTT는 베스트-에포트와 QoS 보장 트래픽에 경우에서 큰 차이를 보이지 않았지만 패킷 손실 측면에서는 큰 성능 차이를 나타냈다. 이러한 패킷 손실은 TCP 프로토콜상의 FTP 프로그램의 전송 소요시간에는 중요한 요소로 작용하였다. QoS 보장 트래픽은 FTP 소요시간 측면에서도 우수한 성능을 보여주었다. 또한 트래픽의 혼잡시 멀티미디어 어플리케이션에 의한 비디오 트래픽 전송 시험에서 QoS 보장 트래픽이 훨씬 더 좋은 영상 품질을 제공하였다. QoS 보장 트래픽은 네트워크의 혼잡 시에도 전송율, RTT, 패킷 손실, FTP 소요시간 측면에서 만족할 만한 성능이 보장되었으며, 실제 어플리케이션에도 적용 가능함을 보여주었다.

#### 참고문헌

- [1] Fred halsall, "Data Communications, Computer Networks and Open Systems," Addison-Wesley, 1992.
- [2] V.Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," *Proc ACM SIGCOMM '88*, pp.314-329, 1988.
- [3] G.Almes et al, "A Round-trip Delay Metric for IPPM," *IETF RFC 2681*, Sep. 1999.
- [4] G.Almes et al, "A One-way Packet Loss Metric for IPPM," *IETF RFC 2680*, Sep. 1999.
- [5] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, "Data Networks," pp.190-192, Prentice-Hall, 1992.
- [6] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, "Data Networks," pp.190-192, Prentice-Hall, 1992.