

## 동기식 이더넷에서 트래픽 전송 방법

최용도<sup>○\*</sup> 김민준\* 엄종훈\*\* 권용식\*\* 류상률\*\*\* 김승호\*

\* 경북대학교 컴퓨터공학과, \*\* KT 미래기술 연구소 \*\*\* 청운대학교 컴퓨터학과

{ydchoi, ysjang}@mmlab.knu.ac.kr, {jheom, yongsik}@kt.co.kr,  
rsr@chungwoon.ac.kr, shkim@knu.ac.kr

### A Traffic Transmission Method in the Synchronous Ethernet

Yongdo Choi<sup>○\*</sup> Minjun Kim\* Jonghoon Eom\*\* Yongsik Kwon\*\* Sangryul Ryu\*\*\* Sungho Kim\*

\* Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

\*\* Advanced Technology Laboratory, KT

\*\*\* Dept. of Computer Science, Chungwoon University

#### 요 약

시간에 민감한 트래픽 서비스가 늘어감에 따라 LAN 내에서 디지털 미디어 장치들간의 저지연성을 보장해 줄 수 있는 기술의 필요성이 증대되었다. 이더넷에 기반을 둔 디지털 미디어 장치들의 시간 동기 및 저지연성을 보장해 주기 위한 연구가 IEEE 802.1 AVB TG에서 진행되고 있다. IEEE 802.1 AVB TG에서 진행중인 시간동기화 방법, 대역폭 예약 방법, 트래픽 전송 방법 중에서, 본 논문은 트래픽 전송 방법에 대해 해결방안을 제시한다. 본 논문에서는 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해 처리하는 VQ와 시간에 민감한 또는 민감하지 않은 트래픽에 대해 처리하는 FS를 이용하여 시간에 민감한 트래픽의 저지연성을 보장함과 동시에 시간에 민감하지 않은 트래픽 전송의 공정성을 제공해 줄 수 있는 방법을 제안한다. OPNET을 이용한 시뮬레이션을 통해 제안된 방법이 다른 방법들에 비해 우수함을 확인하였다.

#### 1. 서 론

오늘날 시간에 민감한 트래픽을 다루는 디지털 TV, 디지털 오디오 장치 등과 같은 디지털 미디어 장치들이 기하급수적으로 증가하고 있다. 그리고 이를 기반으로 지터에 민감한 VoIP(Voice over Internet Protocol), 지연에 민감한 IPTV(Internet Protocol TeleVision) 서비스 등이 개발됨에 따라서 LAN(Local Area Network) 내에서 지터 및 저지연성을 보장해 줄 수 있는 기술이 필요하게 되었다.

이더넷에 기반을 둔 디지털 미디어 장치들의 실시간성을 보장해 주기 위한 연구를 현재 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.1 AVB TG(Audio/Video Bridging Task Group)에서 진행 중이다. IEEE 802.1 AVB TG에서는 총 3가지의 주요 논의과제를 두고 연구 중에 있다. 첫째로 LAN내의 각 디지털 미디어 장치간의 시간 동기를 맞추는 방법과, 둘째로 동기가 맞추어진 장치들 간에 시간에 민감한 트래픽을 전송하기 위한 대역폭의 예약 방법, 마지막으로 예약된 대역폭을 통해 트래픽을 전송하는 방법이 주요 논의 과제이다 [1]. 이 중 시간 동기화와 대역폭 예약 방법은 표준화동이 활발히 진행되고 있으나, 트래픽 전송방법은 대역폭 예약 방법에 따라서 표준 작업이 이루어지고 있어 확정된 기술이 존재하지 않는다.

현재 트래픽 전송 방법은 IEEE 802.1Q의 방식을 기반으로 표준화 방향을 잡아가고 있다. 하지만 IEEE 802.1Q 방식의 트래픽 전송방법은 시간에 민감한 트래픽 및 시간에 민감하지 않은 트래픽 간의 공정성을 제공하기 힘들다.

이에 본 논문에서는 시간에 민감한 트래픽의 저지연성과 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해 공정성을 제공해 줄 수 있는 전송 방법을 제시한다. 2장에서는 앞서 언급한 AVB TG의 연구를 소개 하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 프레임 전송 방법에 대해 소개한다. 제안된 프레임 전송 방법의 성능에 대한 OPNET 시뮬레이션 결과를 4장에서 제시하며, 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 과제를 다룬다.

#### 2. AVB 관련연구 소개

기존의 시간 동기화 기술에는 인터넷상에서 시간 동기를 맞추기 위한 NTP(Network Time Protocol)가 있다. NTP는 세계 타임 서버로부터 기준 시각을 계층적으로 분포하고 있는 중간 타임 서버들로 전달해 준다. 중간 타임 서버들은 우선 각 개별 장치가 속한 서브넷 상에서 시간 동기를 형성한 후, 다음 개별 장치로의 로컬 시간을 조정한다[2]. 하지만 NTP는 타임 서버와 타임 클라이언트 사이에 있는 스위치 등의 중간 장치와 전송

선로상의 지연시간에 대한 보상이 없으므로 정확한 시간 동기를 이룰 수 없다.

NTP의 문제점을 보완하기 위해 IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol) 기술이 등장하였다. IEEE 1588 PTP는 시간서버와 클라이언트 사이에서 발생한 지터와 원더의 영향을 P2P(Peer-to-Peer)로 전달 지연 시간을 계산하여 동기를 맞춰 정확한 동기화가 가능하다[3]. 현재 IEEE 1588 PTP를 기반으로 AVB TG에서 시간동기에 해당하는 표준화가 진행 중이다[4].

대역폭 예약을 위한 기존의 기술로는 IntServ (Integrated Service)방식인 전송계층에서 동작하는 RSVP(Resource Reservation Protocol)가 있다. RSVP는 사용자 별 QoS(Quality of Service)를 지정할 수 있지만, 대역폭 예약의 송신지부터 수신지사이의 모든 패스상에 존재하는 기기들이 RSVP를 내장하고 있어야 하며, 터미널간의 흐름마다 대역폭 예약 상황을 모든 기기들이 기억하고 있어야 한다[5]. 따라서 패킷이 통과하는 패스가 일정하지 못한 인터넷 환경에서의 실현에는 상당한 어려움이 따를 수 있다. 이러한 이유로 표준화가 끝난 지금까지도 RSVP를 내장하여 서비스되고 있는 예가 거의 없다.

RSVP방식의 문제점을 해결하기 위해 트래픽들의 우선순위에 따라 적절한 QoS를 제공하는 방식인 DiffServ (Differentiated Service)형태의 대역폭 예약 기술들이 등장하였다. DiffServ형태의 기술 중 하나인 데이터링크 계층에서 동작하는 IEEE 802.1p는 이더넷 상에서 프레임의 등급에 따라 우선순위를 부여하는 방식이다. 하지만 프레임의 우선순위에 근거하여 전송하는 방식이므로 시간에 민감하지 않은 트래픽들에 대해 공평성을 제공해주지 못하며, 프레임의 우선순위에 기준을 두기 때문에 전송 흡 수가 증가할수록 다른 트래픽의 유입으로 인해 시간에 민감한 트래픽의 지연시간이 늘어날 수 있다.

DiffServ방식의 QoS 보장이 잘 이루어지지 않아서 나온 것이 현재 AVB TG에서 자원 예약 방법으로 연구중인 SRP(Stream Reservation Protocol) 기술이다. SRP는 이더넷 상에서 사용되며, 망 내에서 특정 트래픽에 대한 서브 스팅 트리를 생성함으로써 동작한다[6]. SRP는 이더넷 상에서 대역폭을 예약하므로 경로가 일정하게 유지된다. 그리고 SRP는 각 트래픽마다 자원을 예약하는 IntServ방식이기 때문에 IEEE 802.1p에서처럼 다른 트래픽에 의한 지연이 발생하지 않는다는 장점이 있다.

### 3. 제안된 트래픽 전송 방법

본 논문에서는 QoS 보장이 제공되는 IntServ방식으로 트래픽을 처리한다. 시간에 민감한 트래픽은 SRP로 대역폭을 예약한 뒤 전송이 시작된다. 시간에 민감한 트래픽과 시간에 민감하지 않은 트래픽을 처리해주기 위해 VQ(Virtual Queue)와 FS(Frame Scheduler)를 사용하였다. VQ는 시간에 민감하지 않은 트래픽들에 대해서, 트래픽의 유입량에 따라 전송기회를 달리 주며, FS는 시간에 민감한 트래픽과 시간에 민감하지 않은 트래픽의 전송량을 조절하여 시간에 민감한 트래픽의 저지연성을 보장해주는 동시에, 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해서도 공평성을 제공해준다. 그림 1은 본 논문에서 제안된 방법으로 시간에 민감한 트래픽과 시간에 민감하지 않은 트래픽을 처리하는 구조를 나타낸 것이다.

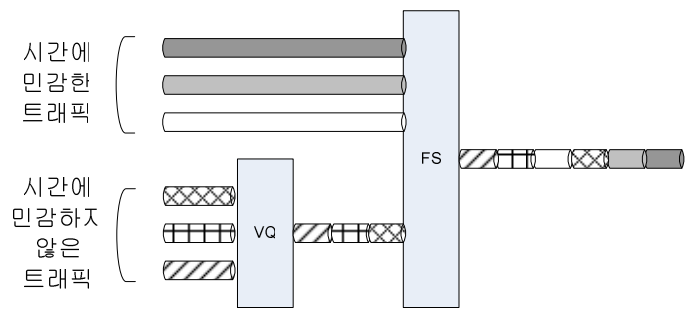


그림 1. 제안된 방법에서의 트래픽 처리 구조

#### 3.1 시간에 민감하지 않은 트래픽의 공평성 제공 방법

VQ는 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해서, 트래픽량에 비례하여 전송기회를 부여한다. 각 트래픽량에 따라 전송기회를 부여하기 때문에, IEEE 802.1p와 비교하여 우선순위가 높은 트래픽과 우선순위가 낮은 트래픽 사이의 공평성이 제공된다. 이 알고리즘을 구현하기 위해서, 각 트래픽마다 단위시간당 유입되는 프레임 개수를 측정하는 AR(Average transmission Rate)을 구한다.

구한 AR을 이용하여 각 트래픽에 대해  $1/AR$ 만큼의 시간 간격으로 전송한다. 단위시간당 VQ로 유입되는 트래픽의 프레임 개수가 많을수록  $1/AR$ 의 값이 작아지게 되고, 같은시간에 전송되는 프레임 수도 많아지게 된다. 현재 프레임의 전송시간을  $fTime_{cur}$ , 다음 프레임의 전송시간을  $fTime_{next}$ 라고 했을 때, 식(1)과 같은 관계가 성립한다.

$$fTime_{next} = fTime_{cur} + 1/AR \quad (1)$$

트래픽이 자기유사성의 성질을 가지므로 AR을 단위시간마다 측정하여, 다음 단위시간 동안 들어오는 프레임들에 대해 적용한다[7]. 즉  $i$ 번째 단위시간에 측정된  $AR_i$ 는  $i+1$ 의 단위시간동안 들어오는 프레임들에 대해 적용되며,  $i+1$ 번째 단위시간에 측정된  $AR_{i+1}$ 은  $i+2$ 번째 단위시간에 적용된다. 전송되는 시점에서 서로 다른 트래픽의 전송시간이 겹치는 경우에는 각 프레임의 우선순위에 따라 결정한다.

그림 2는 우선순위가 높은 트래픽1과, 우선순위가 낮은 트래픽2에서 유입되는 프레임이 VQ를 거쳐 전송될 때의 모습을 나타낸다. 트래픽1과 트래픽2가 각각의 AR에 맞게 재정렬 되어 전송된다. 그림 2에서는 6~8초 구간에서 트래픽1의 8번 프레임과 트래픽2의 4번 프레임, 8~10초 구간에서는 트래픽1의 9번 프레임과 트래픽2의 5번 프레임의 전송시간이 겹친다. 이 때는 우선순위가 높은 트래픽1번의 프레임이 전송된 후, 트래픽2의 프레임이 전송된다.

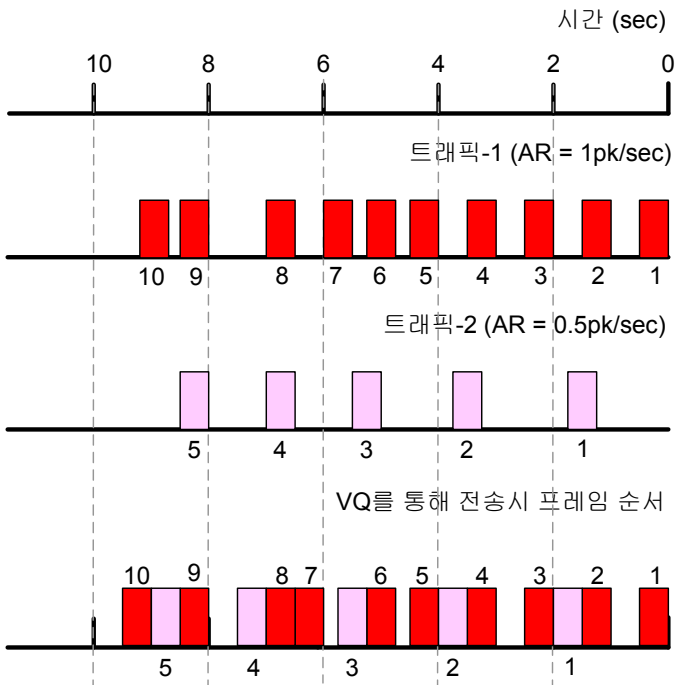


그림 2. 각 트래픽이 VQ를 거쳐 재정렬 된 모습

### 3.2 트래픽의 저지연성 및 공평성 제공 방법

FS는 시간에 민감한 트래픽과 이미 VQ를 거친 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해서, 시간에 민감한 트래

픽의 저지연성과, 시간에 민감하지 않은 트래픽의 공평성을 제공해 주기 위해 고안되었다. 이를 위해 FS는 망의 전체 대역폭 중, 75%를 시간에 민감한 트래픽에 할당 하고, 나머지 25%를 시간에 민감하지 않은 트래픽에 할당한다.

FS는 큐에 전송해야 할 프레임이 있을 때, 큐는 설정된 시간마다 보낼 수 있는 전송량을 적립하면서 프레임의 길이와 적립된 전송량을 비교한다. 적립된 전송량이 프레임의 길이보다 클 때 프레임을 전송하고, 적립된 전송량에서 프레임의 길이만큼을 차감한다. 보내야 할 프레임이 큐에 아직 남아 있다면, 프레임 길이와 남은 적립량을 비교해서 위 과정을 다시 수행한다. 만약 큐 내의 모든 프레임이 전송되어 큐가 비었을 경우에는 남은 적립량을 0으로 초기화 한다.

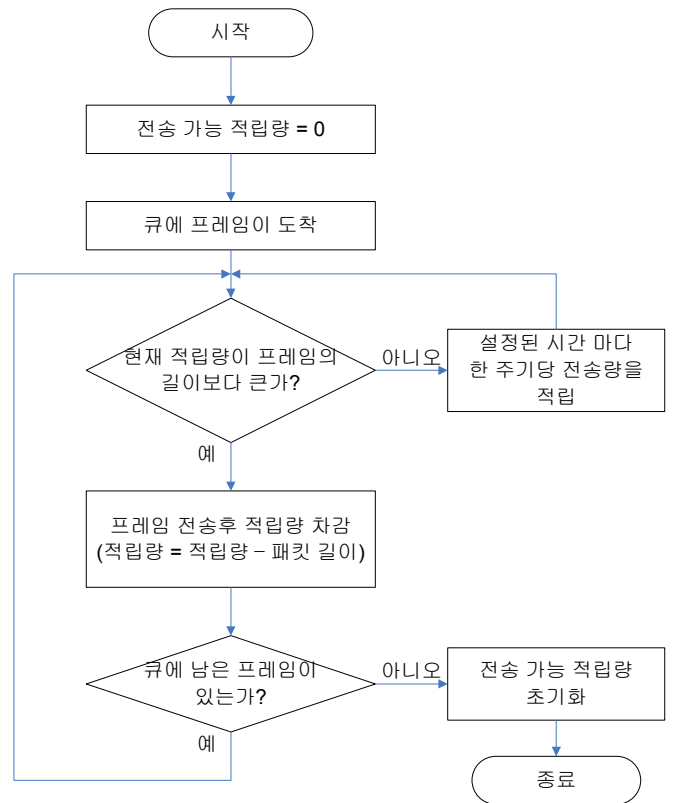


그림 3. FS의 프레임 전송 방식

본 논문에서는 망의 대역폭이 1Gb/s인 환경에서 시간에 민감한 트래픽을 관리하는 큐의 적립주기는 12.5μs, 시간에 민감하지 않은 트래픽을 관리하는 큐의 적립주기는 37.5μs로 설정했다. 주기가 크게 되면 지연에 민감한 음성 트래픽의 경우 적립주기로 인한 지연이 발생 할 수 있기 때문이다. 그리고 한번의 적립주기에 쌓

이는 적립량은 9300bit로 설정하여 큐들의 전체 전송량이 초당 1Gb/s가 되도록 설정하였다. 그림 3은 FS에서의 프레임 전송 방식을 순서도로 나타낸 것이다.

4. 제안된 트래픽 전송방법의 성능평가

본 논문에서 제안된 트래픽 전송방법을 실험하기 위해, 네트워크 시뮬레이터인 OPNET을 이용하였다. 실험을 통해 각 부하율에서 시간에 민감한 및 시간에 민감하지 않은 트래픽의 단대단 지연이 얼마나 걸리는가를 측정함으로써 제안된 프레임 전송방법의 성능을 분석한다. OPNET의 시뮬레이션 환경은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경설정

파라미터	값
시간에 민감한 트래픽 수	1개
시간에 민감하지 않은 트래픽 수	4개
시간에 민감한 트래픽량 : 시간에 민감하지 않은 트래픽량	1 : 1
채널 속도	1 Gb/s

본 논문에서는 망의 혼잡상황에서 제안된 프레임 전송 방법이 어느 정도의 성능을 나타내는지 측정하기 위해 각 트래픽을 시뮬레이션 시작 후, 종료될 때까지 트래픽을 생성하였다. 시간에 민감하지 않은 트래픽의 경우 VQ의 성능을 알아보기 위해 다른 우선순위를 갖는 4가지의 트래픽을 두었다. 트래픽의 우선순위는 우선순위0~3까지 있으며 숫자가 낮을수록 우선순위가 높다. 각 트래픽의 특성은 표 2와 같다.

표 2. 각 트래픽 특성

트래픽 종류		프레임크기 (byte)	초당 생성비
시간에 민감한 트래픽		1500	1
시간에 민감하지 않은 트래픽	우선순위0	46~1500사이 랜덤 선택	0.54(≒8/15)
	우선순위1		0.26(≒4/15)
	우선순위2		0.14(≒2/15)
	우선순위3		0.06(≒1/15)

제안된 프레임 전송 방법과의 성능비교 평가를 위해, IEEE 802.1p를 사용한 시나리오(802.1p), 시간에 민감

하지 않은 트래픽을 처리하는 VQ대신 PQ(Priority Queue)를 사용한 시나리오(PQ, FS), 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해 아무런 처리를 하지 않는 시나리오(FS)를 구성하여 실험하였다. 시나리오 모두 그림 4의 환경에서 실험 하였다. Node0,1,2,3에서 트래픽을 생성하며, node4에서 각 트래픽의 단대단 지연을 측정한다. 트래픽 전송은 송신측에서 수신측까지 최대 7홉이 되도록 5개의 브리지를 사용하였다.

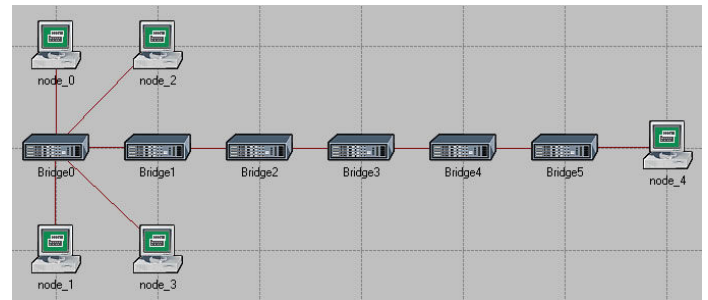


그림 4. OPNET에서의 실험환경

그림 5, 6은 시간에 민감한 트래픽의 단대단 지연을 보여주고 있다. 이 그림에서 보면 FS를 이용하는 것이 802.1p를 이용하는 것보다 단대단 지연시간이 적을 것을 알 수 있다. 그 중에서도 본 논문에서 제안된 방법인 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해 VQ로 처리하고, VQ로 처리한 것과 시간에 민감한 트래픽을 FS를 이용해 전송하는 방식(VQ, FS)이 가장 지연시간이 적다는 것을 그림 6을 통해 알 수 있다.

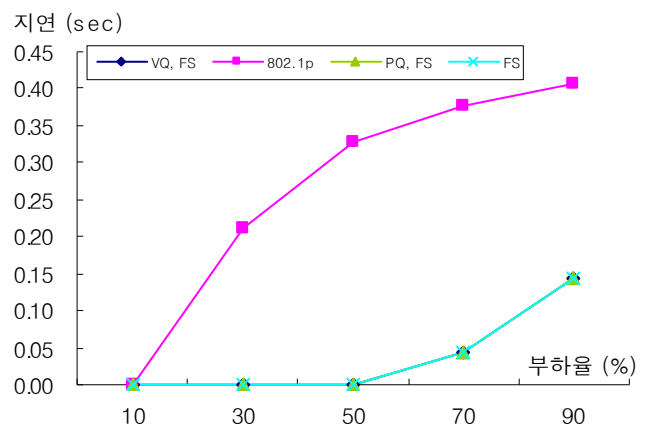


그림 5. 시간에 민감한 트래픽의 단대단 지연 시간

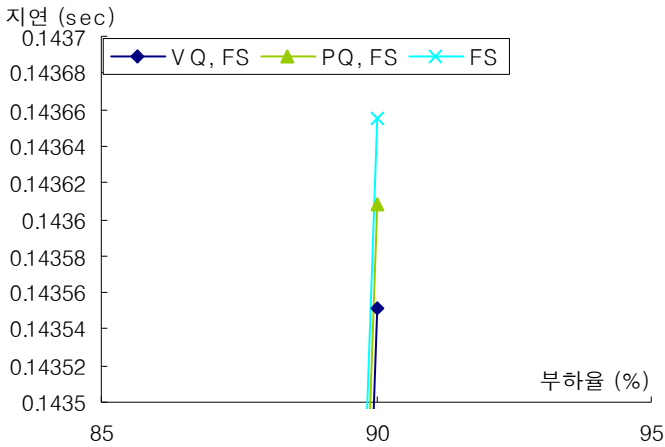


그림 6. 시간에 민감한 트래픽의 단대단 지연 시간(확대)

시간에 민감하지 않은 트래픽의 평균 단대단 지연은 그림 7에서 알 수 있다. 시간에 민감하지 않은 트래픽의 경우도 망 내의 트래픽이 혼잡할수록 802.1p의 지연 시간이 크게 나타난다. 이는 이미 브리지에 도착한 시간에 민감한 트래픽으로 인해 발생하는 지연이다. 제안된 VQ와 FS에서는 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해서도 어느 정도의 공평성을 제공해 주고 있으므로, 802.1p보다 지연시간이 적게 나타나는 것을 알 수 있다.

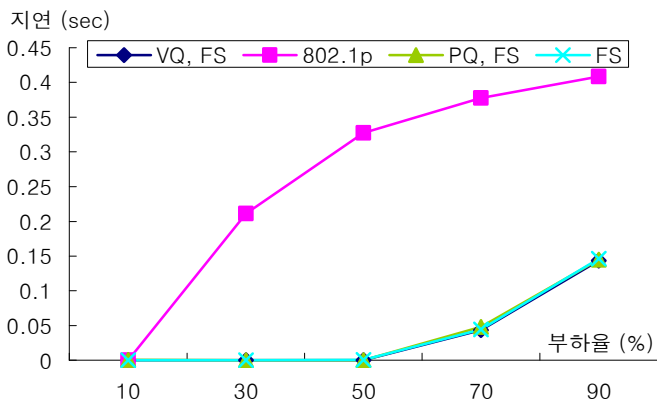


그림 7. 시간에 민감하지 않은 트래픽의 평균 단대단 지연 시간

그림 8은 시간에 민감하지 않은 트래픽 우선순위0의 단대단 지연 시간을, 그림 9는 시간에 민감하지 않은 트래픽 우선순위3의 단대단 지연 시간을 보여준다. 실험상에서 시간에 민감하지 않은 트래픽 4개 중에서도 가장 많은 지연이 일어나는 것은 우선순위3의 트래픽이

다. 그림 8, 9에서 시간에 민감하지 않은 트래픽 우선순위0과 비교해보면, 우선순위0일 때는 제안된 프레임 전송 방법 시나리오와 다른 시나리오와의 차이가 크지 않지만, 우선순위3일 때는 제안된 프레임 전송 방법 시나리오가 다른 시나리오보다 더 지연시간이 적다는 것을 알 수 있다.

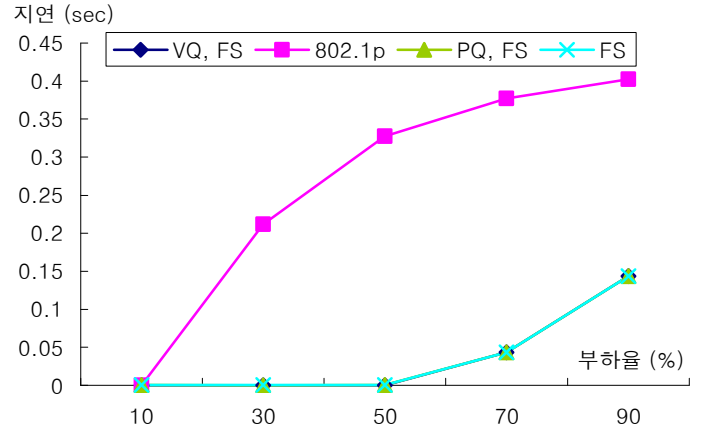


그림 8. 시간에 민감하지 않은 트래픽 우선순위0의 단대단 지연시간

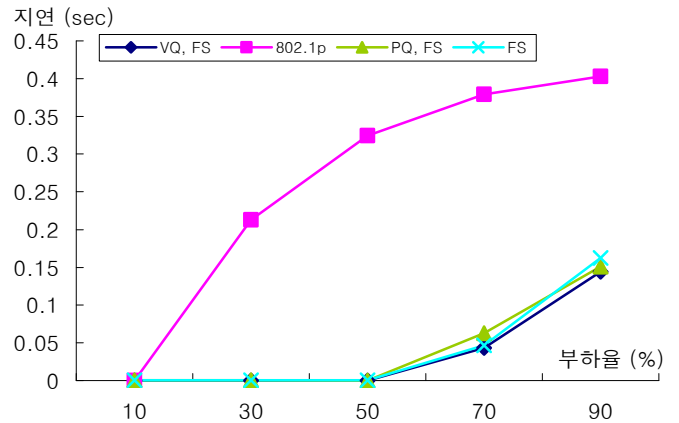


그림 9. 시간에 민감하지 않은 트래픽 우선순위3의 단대단 지연시간

표 2에서 각 시간에 민감하지 않은 트래픽의 생성을 특징을 살펴보면, 우선순위가 높은 트래픽이 생성량도 많고, 우선순위가 낮은 트래픽의 생성량이 상대적으로 적게 설정되어 있다. 이 경우 트래픽을 우선순위 방식으로 처리하는 IEEE 802.1p는 우선순위가 높은 트래픽으로 인해 우선순위가 낮은 트래픽의 전송지연이 길어

지게 된다. 따라서 시간에 민감하지 않은 트래픽 간에도 지연시간의 차이는 크게 나타날 것이다. 반면에 VQ를 사용할 경우에는 시간에 민감하지 않은 트래픽들 간에 비슷한 정도의 전송지연을 보여줄 것이다. 그림 10에서는 시간에 민감하지 않은 트래픽의 지연시간의 분산 정도를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제안된 방법이 가장 분산 정도가 작게 나타나고 있다.

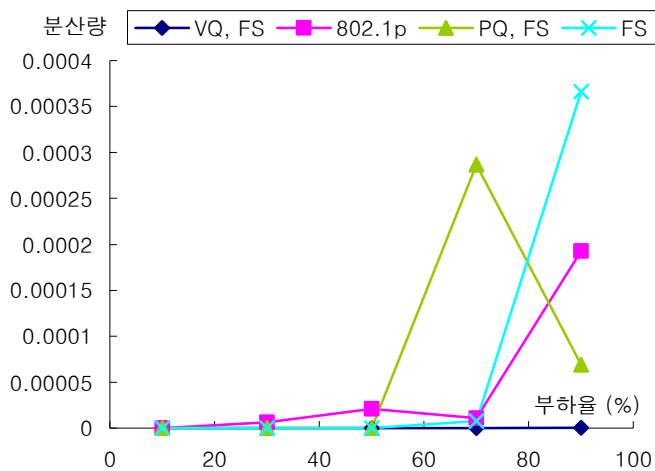


그림 10. 시간에 민감하지 않은 트래픽들의 단대단 지연시간의 분산

## 5. 결 론

오늘날 시간에 민감한 트래픽을 생성하고 재생하는 디지털 미디어 디바이스들이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이러한 장치들을 이용하는 서비스들은 지연에 민감하기 때문에 LAN내에서 저지연성을 보장해 줄 수 있는 기술이 요구된다. 이더넷에 기반을 둔 디지털 미디어 장치들간에 실시간성을 보장해 주기 위한 기술을 IEEE 802.1 AVB에서 표준화가 진행 중이다. AVB에서는 크게 시간 동기화, 자원 예약, 트래픽 전송 방법의 3가지를 논의과제로 진행 중이다. 이 논문은 AVB에서 논의 과제 중 하나인 트래픽 전송 방법을 제안하고 있다.

제안된 방법은 시간에 민감한 트래픽에 대해 저지연성을 보장하면서, 시간에 민감하지 않은 트래픽에 대해 어느 정도의 공평성을 제공한다. VQ로 인해 트래픽량에 관계없이 비슷한 정도의 지연시간을 보여주며, FS에서는 대역폭을 고정적으로 나눠 쓰기 때문에 시간에 민감

하지 않은 트래픽에 대해서도 어느 정도 보장이 되고, 시간에 민감한 트래픽이 시간에 민감하지 않은 트래픽으로 인해 지연되는 일도 없다. 이는 OPNET 실험을 통해서 제안된 프레임 전송방법의 시간에 민감한 및 시간에 민감하지 않은 트래픽이 다른 방법들 보다 지연시간이 적다는 것으로 알 수 있었다.

앞으로의 연구를 통해 망의 혼잡 상태에 따라 유동적으로 시간에 민감한 및 시간에 민감하지 않은 트래픽의 대역폭 할당량을 조절하여 브리지의 처리량을 높일 수 있는 방안이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group Home Page, Mar 2008, <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>.
- [2] David L. Mills, "Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol," IEEE Transactions on communications, Vol.39, No.10, Oct 1991.
- [3] Vallat Andre, Schneuwly, Dominik, "Clock Synchronization in Telecommunications via PTP (IEEE 1588)," IEEE International Frequency Control Symposium, pp334-341, May 2007.
- [4] Geoffrey M. Garner, "Timing and Synchronization for Time - Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks - Draft 2.0," IEEE Computer Society, Feb 2008.
- [5] Lixia Zhang, Steve Deering, Deborah Estrin, Scott Shenker, Daniel Zappala, "RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol," IEEE Network, Vol.7, pp.8-18, Sep 1993.
- [6] Craig Gunther, "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 9: Stream Reservation Protocol(SRP) - Draft 1.1," IEEE Computer Society, Jan 2008.
- [7] Seog-Ku Lim, "Bandwidth Allocation for Self-Similar Data traffic Characteristics," The Korea Contents Society, Vol.5, pp.175-181, June. 2006.