

# 셀 손실 QoS 향상을 위한 셀 스케줄링에 관한 연구

## A Study about the Cell Scheduling for the Cell Loss QoS Improvement

이영교  
 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

Young-Gyo Lee  
 Ph.D course Student, School of Information & Communications, Sung-Kyun-Kwan University

이영숙  
 성균관대학교 정보보호학과 석사과정

Young-Sook Lee  
 Master course Student, Dept. of Information Security Sung-Kyun-Kwan University

중심어 : ATM 트래픽 제어, 셀 스케줄링, 셀 손실률 QoS

### 요약

본 논문에서는 고속 ATM 스위치에 적합한 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다. 제안한 셀 스케줄링 방식은 기존의 FRR(Fixed weight Round Robin:고정 가중치 라운드 로빈) 방식과 QLT(Queue Length Threshold) 변형방식을 결합한 가변 가중치 라운드 로빈(VRR:Variable weight Round Robin) 셀 스케줄링 방식이다. FRR 방식은 각 버퍼별로 고정 가중치를 부여하여 고정 라운드 로빈 방식에 의해 셀 스케줄링을 수행하므로 고속 스위치의 구현 관점에서는 매우 큰 장점을 지니고 있지만 ATM 서비스 클래스들이 요구하는 QoS를 만족시키거나 네트워크 상황에 융통성 있게 대처할 수는 없으므로 VRR 방식은 FRR 방식을 기반으로 고정 가중치를 수행하고 버퍼 상황에 따라 가변 가중치로 확장하는 방식을 적용하여 셀 손실 QoS를 향상시키면서 셀 지연률 QoS를 만족시킬 수 있는 방식임을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

### Abstract

This paper proposes the cell scheduling algorithm proper to high-speed ATM switch. The proposed algorithm is the VRR(Variable weight Round Robin) combined the FRR to variant QLT. The FRR performs the cell service of the fixed weight by each buffer. So, FRR don't support the QoS of ATM service classes although it is easy to implement a high speed switch. VRR uses the method expanded to variable weight according to buffer state as well as schedules the cell according the Fixed weight based FRR. The simulation to evaluate the proposed algorithm was done by AweSim and Visual C++. The result graphs show that the proposed algorithm is excellent, especially in the aspect of cell loss. This area is engaged by English Abstract.

## 1. 서론

광대역 종합 통신망의 전송을 담당하는 ATM 계층에서는 다양한 서비스 품질을 요구하는 트래픽 셀 전송을 담당하는데, 이런 특성을 만족시키기 위해서는 효율적인 트래픽 관리가 필요하다. ATM망에서의 원활한 셀전송을 위해서 반드시 구현되어야 하는 트래픽 제어 기능으로 CAC (Call Admission Control), UPC (Usage Parameter Control), 우선 순위 제어 (Priority Control), 혼잡 제어 (Congestion Control) 등과 같은 기능들을 ATM Forum에서 정의하고 있다[1]. 일반적으로 전송 셀은 지연시간의 민감도에 따라, 실

시간형 데이터와 비실시간형 데이터로 대별할 수 있다. 음성이나 영상 정보 등의 실시간형 데이터는 어느 정도의 셀 손실은 감수할 수 있지만 정해진 시간 내에 서비스를 받지 못하면 무의미해진다. 이러한 트래픽의 서비스 품질을 높이기 위해서는 시간 우선 순위의 서비스 방법을 필요로 하게 된다. 반면에, 비실시간형 데이터는 약간의 셀 지연은 허용되지만, 셀 손실에는 매우 민감하기 때문에 낮은 셀 손실률을 요구하는 손실 우선 순위의 서비스 방법이 필요하게 된다. 그러므로 실시간 데이터와 비실시간 데이터의 전송 처리는 전체 서비스 측면에서 trade-off 관계를 형성한다. 셀이 ATM 망을 통과할 때, 많은 사용자들의 과도한 트래

픽 부하로 불가피한 전송지연과 망 노드에서의 처리지연으로 셀들을 잠시 저장할 수 있도록 하기 위해 큐를 내재한 스위치를 사용한다. 큐에 버퍼링된 셀은 처리될 때까지 대기하며, 이런 셀들은 각각의 QoS(Quality Of Service)에 따라 셀들의 우선순위를 부여하는 트래픽 제어가 필요하다. 셀 레벨의 우선순위 제어방법에는 시간과 공간 관점에서 나눌 수 있다. 먼저 공간 관점은 큐가 과잉상태일 경우 CLP(Cell Loss Priority)비트를 참조하여 폐기함으로써 손실에 민감한 트래픽의 QoS를 만족시켜 주는데 밀어내기(PUSHOUT), 부분 버퍼공유(PBS), 경로분리(RS) 기법 등이 있다. 시간 관점은 큐의 과잉상태 전에 미리 정해진 우선순위 기법에 따라 제어하는 방법이다. 미연에 과잉상태를 피하는 기법으로 고정과 동적 우선순위 기법으로 분류한다[2][3]. 고정 우선순위 제어기법은 항상 지연에 민감한 서비스에 높은 우선순위를 부여하며, 서비스에 있어서 지연에 민감한 트래픽이 손실에 민감한 트래픽 보다 항상 먼저 서비스 받는다. 대표적인 기법으로 HOL(Head Of Line) 등이 있다. 동적 우선순위 제어기법은 고정 기법의 단점인 낮은 우선순위 셀들의 QoS 저하를 막는데 있다. MLT (Minimum Laxity Threshold)[4]기법은 실시간 트래픽의 최소 이완성을 이용하여 서비스 받는 우선순위를 정하며, QLT(Queue Length Threshold) 기법은 비실시간 트래픽에 들어 있는 셀의 개수가 큐의 임계값보다 크면 비실시간, 그렇지 않으면 실시간 트래픽에 우선순위를 부여하는 방식이다. 분리큐 구조에서 사용하는 FRR(Fixed Round Robin) 방식은 우선순위를 갖는 각 서비스 대기행렬의 트래픽에 대한 QoS 보장을 위해 미리 결정된 스케줄링에 의해 대기행렬을 서비스한다. 스위치의 스케줄러는 주기적으로 모든 대기행렬에 고정적인 서비스 시간을 보장해주는 주기적인 라운드 로빈 서비스를 제공한다. 이 방식은 서비스 대상의 대기행렬이 비어있을 경우에도 고정적으로 할당된 시간을 그 대기 행렬에 제공하여 셀 서비스 기회를 낭비하는 문제점을 갖고 있다. 고정 셀 스케줄링 알고리즘은 매우 단순하여 스위치 구현에 상당히 유리한 반면 대기행렬의 상황을 반영하지 못하므로 각 셀들의 QoS를 만족시킬 수 없게 된다.

본 논문에서는 ATM과 같은 고속망 스위치에서의 다양한 트래픽 서비스를 지원하는 VQS4 구조[5]에 적합한 셀 스케줄링 기법을 제안하고 기존 알고리즘 HOL, FRR을 적용한 경우와 제안 알고리즘 VRR을 적용한 경우를 시뮬레이션하여 비교 분석하였다.

## II. 제안 셀 스케줄링 알고리즘

본 논문은 [5]에서 제안한 VQS큐 구조에 적합한 셀 스케줄링을 위해 고정 가중치 라운드 로빈(FRR)방식과 QLT방식을 결합한 VRR 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다. 기본 고정 가중치 값을 설정하여 각 버퍼는 한 사이클 타임 동안 적어도 기본 가중치만큼의 서비스를 통해 우선 순위별 공정성을 보장받을 수 있다. 그리고 각 버퍼의 상황에 따라 가중치를 동적으로 확장시켜 네트워크의 상황을 반영 시킴으로써 융통성 있는 셀 스케줄링을 지원할 수 있도록 하였다. 각 버퍼의 가변 가중치 확장 기준을 위해 각 서비스 클래스의 QoS를 만족시킬 수 있는 적절한 임계값을 그림 1과 같이 설정하였다. 임계값 결정의 기준은 실시간 트래픽의 경우, 지연 민감성 QoS를 만족시킬 수 있는 임계값(TH<sub>br</sub>, TH<sub>vr</sub>)을 설정하고, 비실시간 트래픽의 경우, 손실 민감성 QoS를 만족시킬 수 있는 범위의 임계값(TH<sub>vn</sub>, TH<sub>abr</sub>)을 설정한다. 셀간의 최대 지연시간 변이를 고려하여 한 사이클 시간은 1ms 이하이어야 하며 따라서 각 버퍼별로 할당되는 가중치의 합은 1ms 내에 처리될 수 있어야 한다. 만약 155.52Mbps의 출력 링크 속도(OC-3으로 가정, 149.76Mbps)를 가정한다면 한 사이클 타임 동안 최대 서비스 가능한 셀 개수는 353 셀이 된다. 각 버퍼별로 최대 가변 가중치만큼 스케줄링될 경우 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$(W_{wbr} + W_{wvr} + W_{wvn} + W_{wab}) \times cellTime \leq 1ms$$

in case of 155.52Mbps link

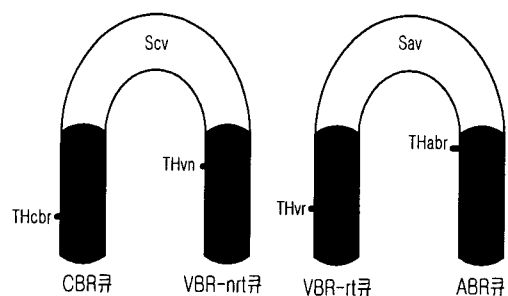


그림 1. VRRVQS 요소

VRRVQS 셀 스케줄링 알고리즘은 그림 2와 같다. 버퍼별 서비스 순서는 CBR, VBR-rt, VBR-nrt, ABR 순서로 수

행된다. 현재 서비스되는 버퍼가 CBR인 경우, CBR 버퍼의 기본 가중치만큼 서비스 후 그림 2의 2c)에서와 같이 CBR의 버퍼길이가 임계값 TH<sub>cb</sub>보다 작거나 CBR과 VBR-nrt큐와의 공간인 Scv가 임계값 STH보다 작으면서 서비스된 횟수가 최대 가변 가중치인 VW<sub>cb</sub>보다 작으면 추가 서비스가 된다. 서비스 기회가 VBR-rt 버퍼로 넘어갈 경우 CBR 버퍼가 사용하고 남은 셀 슬롯 타임(rest#)이 있다면 VBR-rt로 넘어간다.

STH:Space Threshold  
 VW:Variable Weight  
 CQL:CBR Queue Length  
 VrQL:VBRrt QL  
 VnQL:VBRnrt QL  
 AQL:ABR QL  
 기본가중치: C Vr Vn A  
 최대가변가중치: VWc VWr VWn WwA

```
switch(servicedQueue)
{
case CBR큐:
1c. if empty then goto VBR-rt큐;
   if (c++ < C)
       then Service CBR cell, break;
2c. if((CQL<THcb)||((Scv<STH))and(c<VWcb))
       Service CBR cell, c++, break;
   else servicedQueue = VBR-rt큐,
       rest# = VWcb-c, c=0;
case VBR-rt큐:
1r. if empty then goto VBR-nrt큐;
   if (vr++ < Vr)
       then Service VBR-rt cell, break;
2r.if((VrQL<THvr)||((Sav<STH))and(vr<VWvr+rest#))
       Service VBR-rt cell, vr++, break;
   else servicedQueue = VBR-nrt큐, vr=0;
case VBR-nrt큐:
1n. if empty then goto ABR큐;
   if(vn++<Vn) then Service VBR-nrt cell, break;
2n. if ((VnQL<THvn)||((Sav<STH))and(vn<VWvn))
       Service VBR-nrt cell, vn++, break;
   else servicedQueue = ABR큐,
       rest# =VWvn-vn, vn=0;
case ABR큐:
1a. if empty then CBR큐;
   if (a++ < A) then Service ABR cell, break;
2a. if ((AQL<THa)||((Sav<STH))and(a<VWw+rest#))
       Service ABR cell, a++, break;
   else servicedQueue = CBR큐, a=0;
}
```

\*Scv:Space of CBR&VBR-nrt  
 Sav:Space of ABR&VBR-rt

그림 2. VRRVQS 셀 스케줄링 알고리즘

VBR-rt도 CBR과 같은 방식으로 서비스되며 추가로 VBR-rt는 “VW<sub>vr</sub>+rest#”만큼 가변 가중치를 쓸 수 있게된다. VBR-nrt와 ABR 버퍼 서비스 방식은 CBR과 VBR-rt의 셀 스케줄링 방식과 동일한 방식으로 스케줄링 된다. 이 방식에서 가장 중요한 요소는 라운드 로빈 가중치이다. VRR 셀 스케줄링 알고리즘에 의해 가변 가중치가 최대 확장에 한 사이클의 크기는 “VW<sub>cb</sub> + VW<sub>vr</sub> + VW<sub>vn</sub> + VW<sub>abr</sub>” 이 된다. 전혀 확장이 일어나지 않을 경우 한 사이클의 크기는 c+vr+vn+a(실제 서비스된 카운트 변수)가 된다.

$$c+vr+vn+a \leq CycleSize \leq VW_{cb} + VW_{vr} + VW_{vn} + VW_{abr}$$

가변 확장 기준값인 TH<sub>cb</sub>, TH<sub>vr</sub> 임계값은 실시간 트래픽의 셀 지연 QoS에 많은 영향을 주게 된다. 그러므로 실시간 셀의 스위치 지연 시간인 250μs를 만족시킬 수 있는 적정 임계값을 설정해야 한다.

VBR-nrt의 TH<sub>vn</sub>는 오버플로우 및 최대 지연시간 보장을 위해 버퍼 크기에 따라 적절한 값을 설정해야 한다. ABR은 폭주제어 알고리즘에 의해 제어되므로 한 사이클 타임에서 1ms이내에 서비스를 받을 수 있으면 된다.

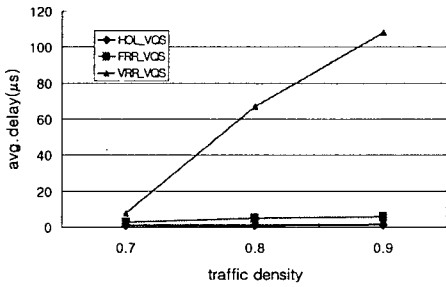
### III. 시뮬레이션 결과

VQS 버퍼에 적합한 셀 스케줄링 알고리즘으로 제안된 VRR(가변 가중치 라운드 로빈)의 성능 평가를 위하여 VQS 버퍼 구조에 HOL, FRR, VRR 각각의 스케줄링 기법을 적용한 결과를 그림 3과 4에서 보여주고 있다. 시뮬레이션은 트래픽 액티비티 0.3, 버퍼크기 500(셀 단위)각 서비스 클래스 혼합비율은 1:1:1:1, 고정가중치는 10:8:5:1, 최대확

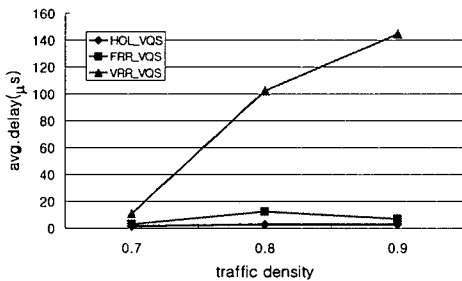
장가능 가변가중치는 250:50:50:3으로 하여 VQS에 다른 스케줄링 방식을 적용하였을 때 트래픽 밀도별 성능과 버퍼 크기별 성능을 각각 비교하였다. 제안 알고리즘의 시뮬레이터는 AweSim(Visual Slam)과 Visual C++을 이용하여 작성하였다.

**1. 트래픽 밀도별 성능 분석**

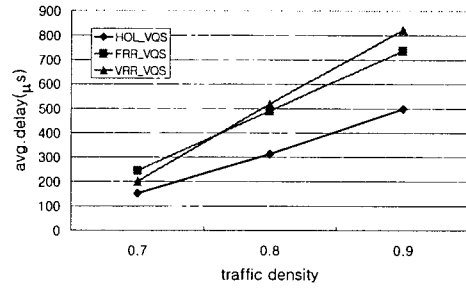
평균 셀 지연시간에서 보면 CBR, VBR-rt와 같은 실시간을 요구하는 트래픽에서는 HOL 기법을 적용한 경우 가장 좋은 성능을 보여주고 있고 제안 방식인 VRR의 지연 성능이 가장 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 실시간 트래픽의 스위치 지연시간은 250 $\mu$ s이내이면 되므로 VRR 방식은 지연 QoS를 만족시키고 있으므로 트래픽 제어에 영향을 주지 않는다. 반면에 다른 방식과 비교하여 비실시간 트래픽인 VBR-rt와 ABR 트래픽의 지연 성능은 (c), (d)에서 보는 바와 같이 더 우수하다. HOL 방식은 높은 우선순위의 버퍼가 빈 경우에만 그 다음 버퍼를 처리하므로 (e) VBR-rt 셀 손실률의 경우 다른 방식과 비교하여 HOL을 적용하였을 때 더 좋은 성능을 얻을 수 있다. 반면에 (f) ABR 셀 손실률의 경우 HOL을 적용한 경우 가장 성능이 떨어지고 있다. VRR의 경우 더 좋은 성능을 보여주고 있다.



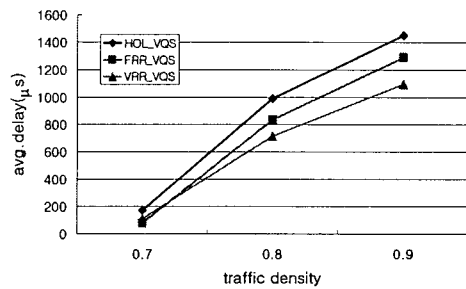
a) CBR 평균 셀 지연시간



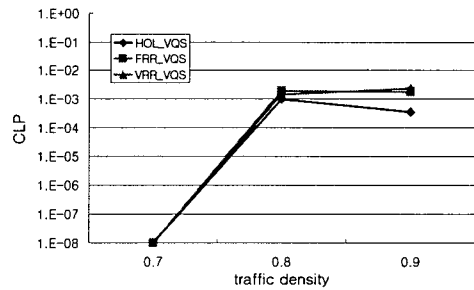
(b) VBR-rt 평균 셀 지연시간



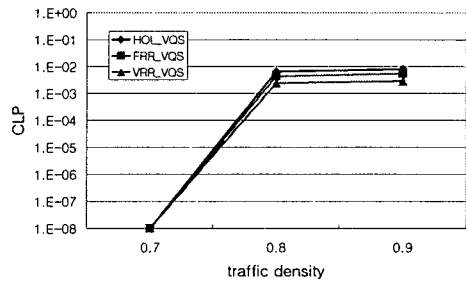
(c) VBR-rt 평균 셀 지연시간



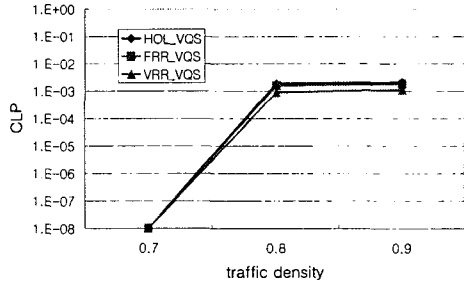
(d) ABR 평균 셀 지연시간



(e) VBR-rt 셀 손실률



(f) ABR 셀 손실률

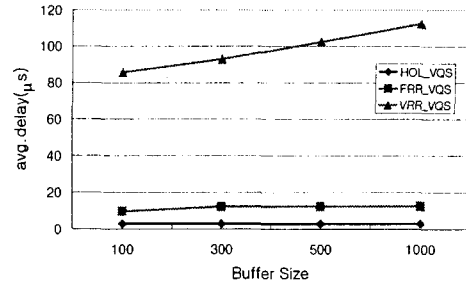


(g) 총 셀 손실률

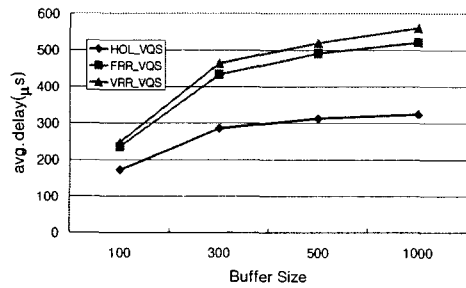
그림 3. 트래픽 밀도별 성능 비교

## 2. 버퍼 크기별 성능 비교

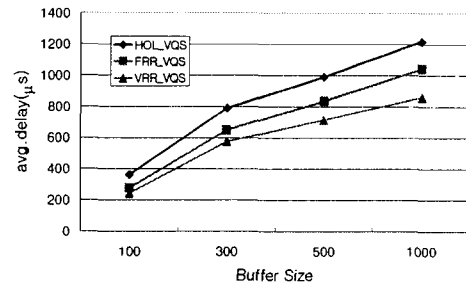
버퍼 크기별 실험결과는 그림 4와 같다. (a),(b),(c),(d)는 평균 셀 지연시간을 버퍼 크기별로 보여주고 있다. FRR, HOL의 경우, 우선순위가 고정되어 있어 버퍼 크기에 관계 없이 비슷한 지연시간을 보여주고 있다. 반면에 VRR 방식의 경우, 버퍼 크기가 커짐에 따라 지연시간이 길어지고 있지만 지연 QoS는 만족시키고 있다. 즉, 버퍼 크기가 커지면서 얻을 수 있는 가변공간을 활용하여 우선 순위가 높은 버퍼의 QoS를 저하시키지 않는 범위에서 다른 버퍼에게 더 많은 셀 스케줄링 기회를 제공할 수 있는 버퍼 상황을 반영한 융통성 있는 셀 스케줄링 정책에 의해 얻을 수 있는 결과이다. 셀 손실률 측면에도 다른 스케줄링 방식과 비교하여 더 우수한 성능을 보여주고 있다. 특히, 버퍼 크기가 1000인 경우, 제안 방식인 VRR의 경우 셀 손실률이 발생되지 않았다. 그림 5.7의 (h) 그래프에서 보듯이 총 셀 손실률을 보면 동일한 트래픽 밀도에서 버퍼 크기별 비교 결과, 가용 버퍼 공간이 커지면서 버퍼 상황을 반영한 스케줄링을 수행했을 경우 향상된 CLP 성능을 얻을 수 있었다.



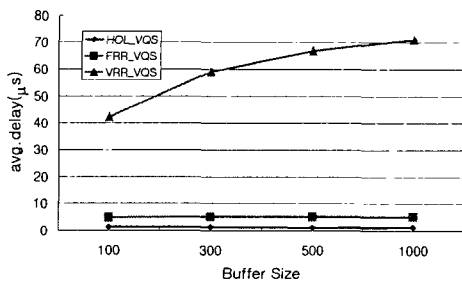
(b) VBR-rt 평균 셀 지연시간



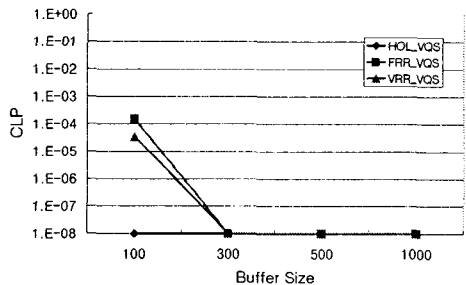
(c) VBR-rt 평균 셀 지연시간



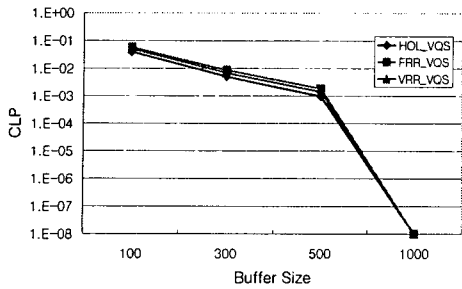
(d) ABR 평균 셀 지연시간



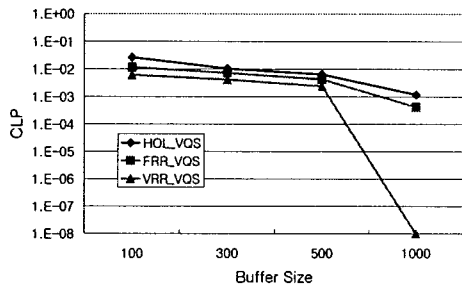
(a) CBR 평균 셀 지연시간



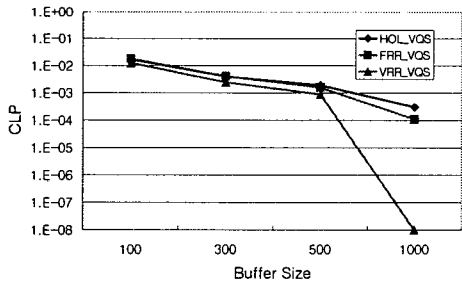
(e) VBR-rt 셀 손실률



(f) VBR-rt 셀 손실률



(g) ABR 셀 손실률



(h) 총 셀 손실률

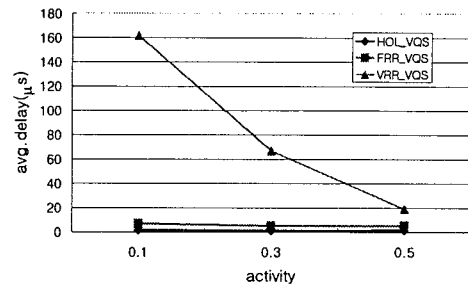
그림 4. 버퍼크기별 성능 비교

### 3. 액티비티별 성능 비교

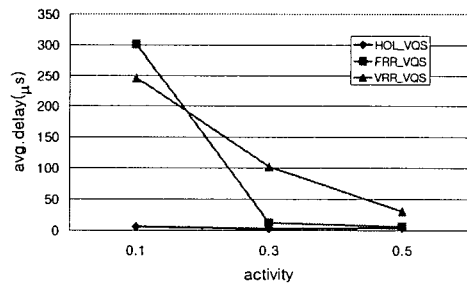
트래픽 밀도 0.8, 버퍼 크기 500이면서, VBR 트래픽의 액티비티가 0.1, 0.3, 0.5인 경우, 기법별 성능 비교 결과를 그림 5.8에서 보여주고 있다.

액티비티별 실험결과는 그림 5와 같다. (a)에서 (d)까지는 트래픽별 평균 셀 지연시간 그래프이다. 동일한 VQS 구조이지만 셀 스케줄링 방식의 차이에 의한 결과가 상이하게 다음을 알 수 있다. VRR 방식의 경우, 앞에서도 언급했듯

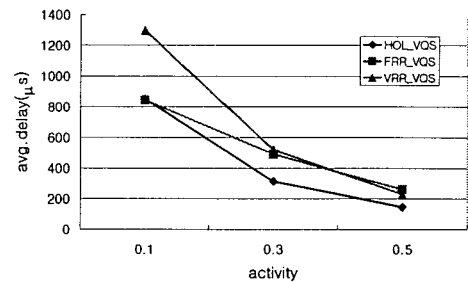
이, 각 버퍼의 상황을 최대한 반영하여 QoS가 저하되지 않는 범위에서 다른 버퍼에 셀 스케줄링 기회를 부여함으로써 버퍼간의 우선순위를 기반으로 공정성을 보장해주고 손실 QoS도 향상되었다. (e),(f),(g),(h)는 손실 QoS의 실험 결과를 보여주고 있다. 트래픽 밀도가 모두 동일하므로 큰 차이는 없지만 전체적으로 VRRVQS 기법을 사용하여 좀 더 좋은 셀 손실 QoS 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



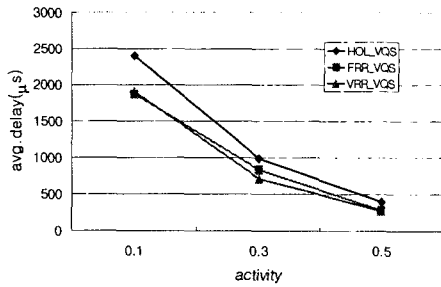
(a) CBR 평균 셀 지연시간



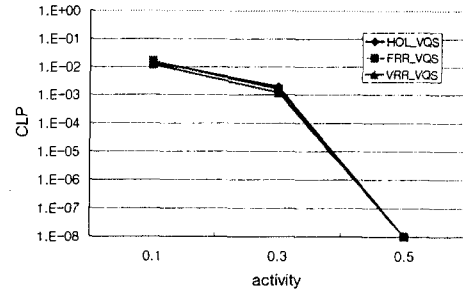
(b) VBR-rt 평균 셀 지연시간



(c) VBR-nt 평균 셀 지연시간

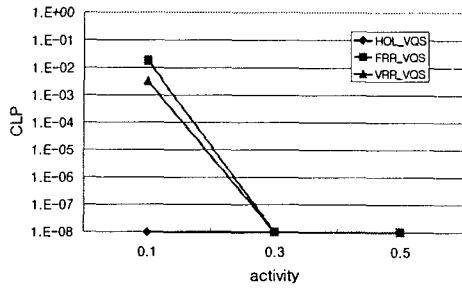


(d) ABR 평균 셀 지연시간

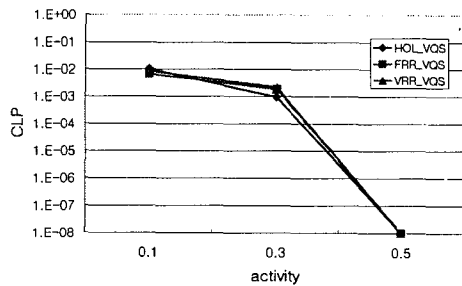


(h) 총 셀 손실률

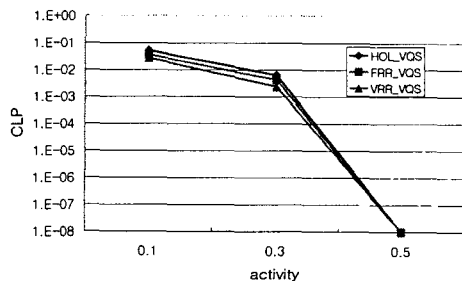
그림 5. 액티비티별 성능 비교



(e) VBR-rt 셀 손실률



(f) VBR-nrt 셀 손실률



(g) ABR 셀 손실률

#### IV. 결론

셀 스케줄링 기법은 고속 ATM 스위치 환경에 적용될 때 최대한 단순하면서 각 트래픽이 요구하는 QoS를 만족시켜 줄 수 있어야 한다. 이 논문에서 제안한 VQS를 이용한 VRR 기법은 고속 ATM 스위치 환경에 적용할 수 있도록 하기 위해 HOL이나 FRR의 장점인 구현의 용이성을 최대한 유지하면서 VQS의 특성을 이용하여 각 트래픽의 QoS를 만족시킬 수 있는 셀 스케줄링을 제공하였다. 트래픽 밀도 0.9, 버퍼 크기 500인 경우 VQS 버퍼에 각각의 스케줄링 기법을 적용한 결과, HOL은 0.002125, FRR은 0.001835, VRR은 0.001148의 CLP 성능을 얻었다. 스케줄링의 차이에 의해 VRR 기법을 적용한 결과 약 2배의 CLP 성능 향상을 확인할 수 있었다. 특히, 다른 기법과 비교하여 셀 손실 QoS 성능을 모든 트래픽에 대하여 공평하게 향상시켰다.

#### 참고 문헌

- [1] The ATM Forum Technical Committee, "Traffic Management Specification Version 4.0," ATM Forum, Apr. 1996.
- [2] Hans Kroner, "Priority Management in ATM Switching Node," IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol.9, No.3, pp.418-427, Apr. 1991.
- [3] ITU-T Recommendation I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN," Mar. 1994.
- [4] J. M. Hyman, et al., "Real-Time Scheduling with

Quality of Service Constraints," IEEE JSAC, Vol.9, No.7, pp.1052-1063, Sep. 1991.

- [5] 이영교, 안정희, "셀 손실 QoS 향상을 위한 큐 구조에 관한 연구", 한국컴퓨터산업교육학회 논문지, 2001. 12.
- [6] C. Koo, J. Lee, K. Park, "An Output Cell Scheduling of ATM Switch with Deterministic VCs," IFIP 97ATM Workshop, Performance of Computer Networks and Communication Network, Part1 pp.39/1-9, Jul. 1997.

이 영 교(Young-Gyo Lee)

정회원



1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과  
졸업(공학사)

1991년 6월 : 한양대학교 전자공학과  
일반대학원 졸업(공학석사)

2002년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교  
정보통신공학부(박사과정)

1993년 3월 ~ 1998년 9월 : 대우통신

종합연구소 선임연구원

1999년 2월 ~ 2001년 6월 : LG 전자 중앙연구소

선임연구원

2002년 3월 ~ 현재 : 인하공업대학 정보통신과 강의전담  
교수

<관심분야> : 트래픽 제어, 정보통신보안, 암호알고리즘

이 영 숙(Young-Sook Lee)

정회원



1987년 2월 : 성균관대학교  
정보공학과 졸업(공학사)

2002년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교  
정보통신대학원 정보보호학과  
(석사과정)

2002년 7월 ~ 현재 : 케이티아이에스  
기술연구소 선임연구원

<관심분야> : 정보통신보안, 암호알고리즘, 트래픽 제어