

# GFR 서비스의 성능 향상을 위한 새로운 스케줄링 알고리즘

조 해 성<sup>†</sup> · 김 관 웅<sup>††</sup> · 배 성 환<sup>†††</sup>

## 요 약

GFR 서비스는 가장 최근에 제안된 ATM 서비스 범주의 하나이다. GFR 서비스는 ATM 네트워크에서 TCP/IP 트래픽을 효율적으로 지원하기 위해 ATM 포럼에 의해 최근 제안되었다. GFR 스위치 구현시, 효율적인 스케줄링 알고리즘은 최소 전송률 보장과 공정성 향상이 중요하다. 본 논문에서는 GFR 서비스를 위한 새로운 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안된 스케줄링 알고리즘은 VC에 우선 순위를 제공한다. 버퍼에 태깅이 안된 셀 수가 적은 VC에 높은 우선 순위를 주어 낮은 우선 순위의 VC보다 우선적으로 서비스를 제공하여 VC의 MCR을 보장하고 공정성을 향상한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 TCP 수율과 공정성 지표에서 기존 스케줄링 방식보다 성능이 우수함을 보여주었다.

## A New Scheduling Algorithm for Performance Improvement of GFR Service

Hae-Seong Cho<sup>†</sup> · Kwan-Woong Kim<sup>††</sup> · Sung-Hwan Bae<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

Guaranteed Frame Rate (GFR) service category is one of the most recent ATM service categories. The GFR specification was recently finalized by the ATM Forum and is expected to become an important service category which can efficiently support TCP/IP traffic in ATM network. In GFR switch implementation, it is important to guarantee MCR (minimum cell rate) and improve fairness. In this paper, we propose a new scheduling algorithm for the GFR service. Proposed algorithm provides priority to VC (virtual circuit)s and high priority given to a VC which has fewer untagged cells in buffer. High priority VCs are serviced before low priority VCs. Proposed algorithm can guarantee MCR and improve fair sharing of the remaining bandwidth between GFR VCs. From computer simulation results, we demonstrate the proposed scheduling algorithm provide much better performance in TCP goodput and fairness than previous schemes.

**키워드 :** GFR(Guaranteed Frame Rate), TCP/IP, 공정성(Fairness), 스케줄링(Scheduling)

### 1. 서 론

ATM 망에 의해 인터넷 서비스를 원활히 제공하기 위하여 ATM 포럼에서는 최근 GFR이라는 새로운 서비스 범주를 정의하였고 이는 ATM 망에서 인터넷 서비스를 제공하기에 적합한 서비스로 인식되어 활발한 연구가 진행되고 있다[1].

GFR 서비스는 프레임 기반의 비 실시간 어플리케이션을 위해 제안되었으며, 응용계층으로부터 전달받은 프레임 데이터에 대하여, 프레임이 최대 프레임 크기(MFS : Maximum Frame Size)와 최대 버스트 크기(MBS : Maximum Burst Size)를 넘지 않을 경우 MCR(Minimum Cell Rate)을 보장해 주어야 한다. MCR, MFS, MBS를 초과하여 전달된 프레임에 대해서는 MCR만을 보장하며, 초과된 트래픽에 대해서는 가용 자원이 있을 경우 각 사용자에게 공평히 나

누어 전송하도록 정의하고 있다. GFR의 데이터 트래픽은 AAL5 계층에 기초하고, 네트워크 스위치는 AAL5 프레임의 경계를 인식하도록 규정되어 폭주상황이 발생하면, 단일 셀을 폐기하지 않고 프레임에 속한 전체 셀들을 폐기한다. 즉, 연결 설정시 MFS, MBS, MCR을 협상하여 MCR에 대해서는 손실없이 전송한다.

GFR 서비스가 UBR(Unspecified Bit Rate) 서비스와 가장 다른 특징은 MCR을 보장하는데 있다. GFR 서비스를 지원하기 위해서는 크게 태깅(Tagging), 버퍼 관리, 스케줄링의 세 구성 요소가 필요하다. 태깅은 MCR을 보장하기 위해 프레임 단위로 순응검사를 수행하여, 프레임들을 MCR에 적합한 프레임과 부적합한 프레임으로 분류한다. 기존에 GFR 서비스를 제공하기 위해 제안된 버퍼 관리 방식은 주로 FIFO(First In First Out) 버퍼를 이용하는데[2], 버퍼에 최대 이용과 최소 이용에 대한 두 개의 임계치를 적용하고 EPD(Early Packet Discard) 방식이나 PPD(Partial Packet Discard), RED(Random Early Packet Discard) 등의 패킷

† 정 회 원 : 건양대학교 IT학부 교수

†† 준 회 원 : 한국표준과학연구원 인간정보그룹 Post. Doc.

††† 정 회 원 : 한려대학교 멀티미디어정보통신공학과 교수

논문접수 : 2002년 5월 4일, 심사완료 : 2002년 10월 23일

폐기 방식을 통해 VC별로 프레임 폐기함으로써 각 VC별 최소 전송률과 잉여 대역 사용에 대한 공평성을 보장해 준다[3, 4]. 대표적인 방식으로는 Double-EPD 방식이나 DFBA (Differential Fair Buffer Allocation) 방식이 있다[5].

스케줄링은 연결된 VC들의 버퍼에 저장된 셀들의 전송 순서를 결정하여 순서에 따라 셀들을 전송하는 것으로 이를 담당하는 스케줄러는 버퍼에 저장된 데이터의 스케줄링을 담당하며, GFR 서비스를 위해서는 모든 연결된 VC들에 대해 MCR과 공평성을 제공해야 한다. 기존에 GFR 서비스를 위해 제안된 스케줄링 알고리즘으로 WRR(Weighted Round Robin) 방식과 WFQ(Weight Fair Queuing) 방식이 있다[6].

기존의 GFR 서비스 방식에서는 셀 스케줄링 시, 셀의 CLP (Cell Loss Priority)를 고려하지 않고 CLP = 1인 프레임에 대해서도 MCR을 제공하므로, CLP = 0인 프레임에 대하여 MCR를 제공할 수 없는 상황이 발생한다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해, GFR 서비스 제공시 CLP 0인 프레임에 대하여 MCR을 보장하고, 공평성을 향상함으로써 TCP의 Goodput을 향상시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 2장에서 GFR 서비스를 위해 기존에 제안된 스케줄링 알고리즘을 살펴보고 3장에서는 제안된 스케줄링 알고리즘을 설명하며 4장에서는 모의 실험을 수행하기 위한 환경을 설정하여 다른 스케줄링 알고리즘과 성능을 객관적으로 비교 평가할 수 있도록 하였다. 5장에서는 모의 실험 결과를 분석하여 성능을 평가하였고 마지막으로 6장 결론에서는 제안한 알고리즘의 성능을 다른 알고리즘과 비교 정리하였다.

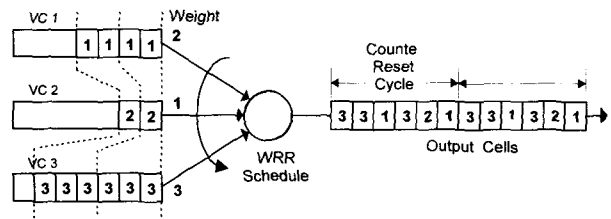
**2. GFR 서비스를 위한 스케줄링 알고리즘**

GFR 서비스에서 각 연결당 최소 전송률을 제공하기 위해서는 태깅, 버퍼관리, 스케줄링의 세가지 구성요소가 필요하다[2]. 태깅은 ATM 셀이 망에 진입하기 전에, QoS(Quality of Service)에 적합한 셀과 부적합한 셀을 구분하기 위해 부적합한 셀에 태깅을 하는 방법으로, 부적합한 셀 헤더의 CLP 비트를 0에서 1로 변환한다. 태깅 방법은 망에 폭주가 발생하면 부적합한 프레임을 먼저 폐기함으로써 폭주상황을 회피하고, 가용 대역할당에 있어서 공평성을 향상시키는데 사용될 수 있다. 버퍼 관리는 네트워크 스위치의 버퍼에 프레임들을 저장하는 것을 제어하는 것으로 다양한 서비스의 셀 손실율을 보장하고 효율적으로 버퍼를 사용하도록 하기 위한 방법이다. 따라서 버퍼 관리는 스위치에 전송된 프레임들을 저장할지 아니면 폐기할지를 결정하며 폭주상황에서 태깅된 셀은 우선적으로 폐기된다.

태깅과 버퍼 관리는 네트워크로 입력되는 프레임들을 제어하는 반면, 스케줄링은 다음 노드로 프레임들을 전달하는 순서를 제어하는 기법으로 스케줄링은 버퍼 구현 방식과 밀접한

관계가 있다. 버퍼 구현이 공유 버퍼방식인 경우, FIFO 큐에서는 프레임내의 셀들이 입력되는 순서대로 전송되므로, 여러 VC 연결들 사이에서 프레임을 분리할 수 없다. 반면에 per-VC 큐잉 방식은 버퍼의 각 VC 연결 당 큐를 논리적으로 분할함으로써 서비스 품질을 제공하기 쉽다. per-VC 큐잉 스케줄링 알고리즘으로는 WRR과 WFQ가 구현되었다.

WRR 방식은 각 VC 연결 당 MCR에 따른 가중치를 설정하고, 스케줄러가 연결의 가중치 크기에 따라 셀을 서비스하는 방식으로 (그림 1)은 WRR 스케줄링 알고리즘의 동작을 보여주고 있다[6]. 스위치의 버퍼 점유율이 LBO(Low Buffer Occupancy) 이하 일때는 각 VC의 가중치에 따라 대역폭을 할당하여 서비스하며, 스위치의 버퍼 점유율이 LBO 이상이고 HBO(High Buffer Occupancy) 이하이면, 각 연결에 입력되는 태깅된 셀은 모두 폐기되므로, MCR을 보장할 수 있다. 그러나 WRR은 스케줄링시 셀의 CLP를 고려하지 않으므로, CLP = 0인 프레임에 대해 MCR을 보장하기가 어려우며 공평성 면에서 개선할 부분이 있다.



(그림 1) WRR 기법의 구조

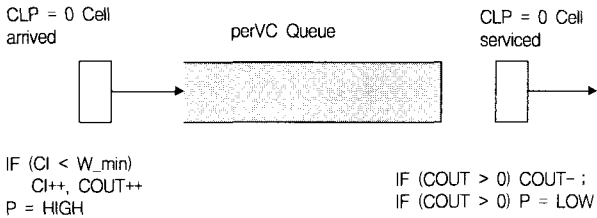
**3. 제안된 스케줄링 알고리즘**

GFR 서비스 클래스는 CLP가 0인 프레임에 대해 최소 전송율을 보장해야 한다. 초과된 CLP = 0인 프레임이나 CLP = 1인 프레임은 공평성(fair share)에 따라 서비스하고, 폭주상황이 발생되면 스위치는 CLP = 1인 프레임을 우선적으로 폐기한다. 따라서 셀 서비스시 CLP = 0인 셀과 CLP = 1인 셀을 구별하여 서비스할 필요가 있다.

GFR 서비스를 위한 기존의 스케줄링 방식은 프레임 서비스시 VC의 가중치에만 의존하여 동작하므로, CLP = 0인 프레임의 최소 전송률을 보장하지 못하는 단점이 있다. 따라서, 제안하는 알고리즘은 CLP가 0인 셀의 최소 전송률을 보장하기 위하여 우선 순위를 사용한다. 우선 순위는 "High"와 "Low" 두 상태를 이용하며, 스케줄링 주기 동안 CLP = 0인 셀의 서비스율이 MCR 이하인 VC는 높은 우선 순위인 "High"를 가지고, MCR 이상인 VC는 낮은 우선 순위인 "Low"를 가지게 하여, 스케줄러가 셀을 서비스할 때 우선 순위가 "High"인 VC를 먼저 서비스함으로써, CLP = 0인 프레임에 대하여 MCR을 보장 할 수 있다.

제안된 스케줄링 알고리즘 기법은 CLP = 0인 셀의 서비스

율을 측정하기 위해, 먼저 각 VC에 입력되는 CLP=0인 셀의 카운터 CI와 CLP=0인 셀이 서비스 될 때 사용되는 COUT 카운터 변수를 사용한다. ATM 스위치는 스케줄링 주기의 시작시에 입력 카운터 CI를 0으로 초기화하고 CLP=0인 셀이 도착할 때 CI가 MCR의 가중치(W\_min) 보다 작으면 CI를 증가시키고, CLP=0인 셀의 서비스 카운터 COUT도 또한 증가시킨다.



(그림 2) 제안된 스케줄링 알고리즘 동작

```

// Declaration
W : Weight of a VC
W_min : MCR weight of a VC
CI : counter of arriving cells which have CLP=0 during
      scheduling period
COUT : counter of departing cells which have CLP=0
       when cell depart
P : priority of a VC, if COUT>0, P is High, else P is Low

// Initialize phase or start new scheduling period
for (i=0 ; i<N ; i++)
{
    vc[i].W is "MCR+equalshare" or "MAX-MIN share" ;
    vc[i].CI=0 ;
    vc[i].P=Low ;
}

// When cell is arrived in VC[i]
if (cell_has_CLP0) {
    if (VC[i].CI < VC[i].W_min) {
        VC[i].CI++;
        VC[i].COUT++;
        VC[i].P=High ;
    }
}

// When cell serviced
// Service for High Priority VC
if (VC[i].P=High) {
    VC[i] is served ;
    VC[i].W-- ;
    if (cell has CLP0) {
        VC[i].COUT-- ;
    }
    if (VC[i].COUT=0) {
        VC[i].P=Low ;
    }
}

// When none of VC has High Priority
if (VC[i].W > 0) {
    VC[i] is served ;
    VC[i].W-- ;
}
    
```

(그림 3) 제안된 스케줄링 알고리즘의 의사코드

만약 COUT이 0보다 크다면, VC 큐에 CLP=0인 셀이 존재함을 의미하므로 VC의 우선 순위는 "High"가 되고 스케줄러는 우선 순위가 "High"인 VC를 먼저 서비스한다. 우선 순위가 "High"인 VC의 CLP=0인 셀이 서비스되면, COUT이 감소하게 되고, 감소한 COUT이 0이되면 해당 VC의 우선 순위는 "Low"로 바뀐다. 우선 순위가 "Low"인 VC들은 우선 순위가 높은 VC가 서비스된 후에 서비스를 받는다. 우선 순위가 "Low"인 VC에 새로운 CLP=0인 셀이 도착하면 우선 순위가 "High"로 되어 높은 우선 순위를 가지게 된다. (그림 2)는 제안된 알고리즘 동작을 개략적으로 표시하였다.

(그림 3)은 제안된 스케줄링 알고리즘의 의사코드이다.

제한한 알고리즘은 사용될 변수 선언과 초기화 과정, 셀이 도착할 때, 우선 순위가 높은 셀을 서비스할 때, 우선 순위가 높은 셀이 없을 때로 크게 네 부분으로 나누어진다. 선언에서는 알고리즘에 사용될 변수들을 선언하고 초기화 과정은 사용될 각 VC별 변수를 초기화 한다. 그리고 셀이 도착했을 경우에는 셀의 CLP 값과 버퍼 사용량에 따라 셀이 속한 VC의 각 변수들을 세팅한다. 셀이 서비스 될 때는 서비스되는 셀의 우선 순위와 CLP 값에 따라 각 VC의 변수들을 세팅한다.

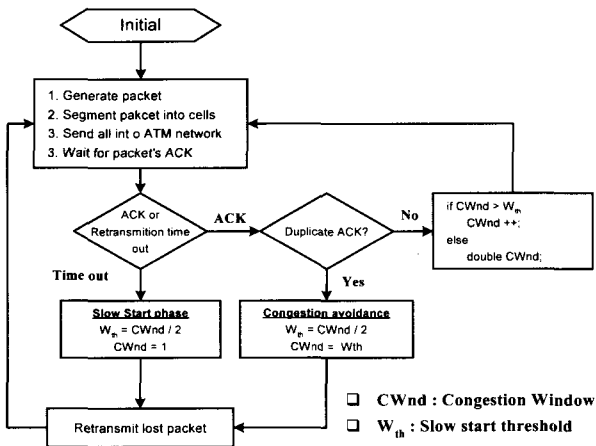
#### 4. 모의실험 환경

제안된 스케줄링 알고리즘의 성능평가를 위해, 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 C++로 작성했으며 이벤트 기반 구조로 구현되었다. GFR 서비스를 지원하기 위해서는 크게 태깅, 버퍼 관리, 스케줄링의 세가지 구성 요소가 필요하며 모의실험에 사용된 태깅 방식은 F-GCRA 알고리즘을[7] 이용하였고, 버퍼 관리에서는 버퍼 구현 방식과 프레임 폐기방식으로 per-VC 큐잉방식과 EPD 방식을 이용하였으며 스케줄링 방식은 제안된 알고리즘을 적용하였다.

프레임 기반인 TCP/IP 트래픽을 GFR을 통하여 서비스하는 경우, GFR은 흐름제어 메커니즘을 지원하지 않고, 흐름제어는 TCP 계층에서 이루어진다. 모의실험에 사용된 TCP/IP 트래픽의 성능 평가를 위해서는 TCP의 흐름제어 메커니즘이 구현되어야 한다. TCP의 흐름제어는 Slow-start와 Congestion avoidance의 두 방식을 사용하여 제어되는데 TCP 연결이 설정되면, 흐름제어를 위해 두 변수 Congestion 윈도우(Cwnd)와 Slow-start 임계치(Wth)가 사용된다.

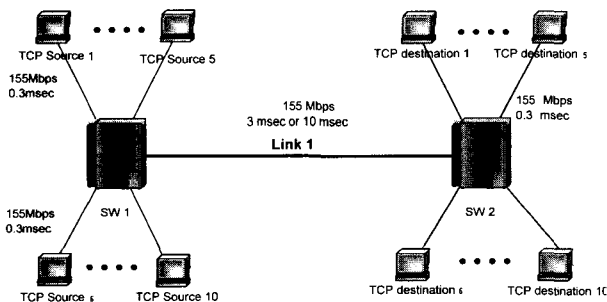
TCP 송신 측에서는 최초 세그먼트 전송시, Cwnd의 크기를 1 세그먼트로 설정하며, 수신 측으로부터 ACK 세그먼트를 받을 때마다, 윈도우 크기를 두 배로 증가시킨다. 중복된 ACK 신호를 받거나 재전송 타이머가 만료되면 폭주상황이 발생한 것으로 간주하여 Cwnd를 반으로 줄여서 전송

를 감소시킨다. 중복된 ACK 세그먼트를 받는 경우는 전송된 세그먼트의 일부분이 손실된 것으로, 심각한 폭주상태는 아니므로 Congestion avoidance를 수행한다. 재전송 타이머가 만료된 경우는 전송된 모든 세그먼트가 유실되거나, 수신에서 전송한 ACK 세그먼트가 유실된 경우로, 이는 폭주상황이 심각하다고 판단하고 slow-start를 수행한다. CWnd가 Wth에 도달하면 Congestion avoidance를 수행한다[8, 9]. (그림 4)는 TCP의 폭주제어 알고리즘 흐름도이다. 시뮬레이션에 구현된 TCP계층은 Slow-start와 Congestion avoidance가 포함되어 있다.



(그림 4) TCP 폭주제어 알고리즘 흐름도

모의 실험에 사용된 네트워크 환경은 (그림 5)에서 보는바와 같이 10개의 TCP 송신원과 대응하는 10개의 TCP 수신원이 있으며, 각 TCP 단말은 ATM 스위치와 링크로 연결되어 있다. 링크는 OC-3(155.5 Mbps) 링크이며 지연시간은 0.3 msec이고 스위치와 스위치간의 지연시간은 3 msec와 10 msec로 큐잉 지연이 없다면, RTT(Round Trip Time)는 7.2 msec와 21.2 msec가 된다.



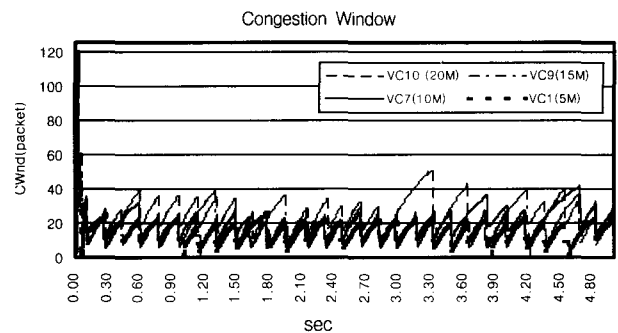
(그림 5) 모의실험 네트워크 모델

TCP의 환경변수는 <표 1>과 같다. 송신원은 무한 크기의 파일을 TCP 세그먼트로 윈도우 크기 만큼 전송하고, 수신원은 ACK 신호만을 전송한다. 재전송 방식은 Go-Back-N을 사용하였고, 폭주제어는 Slow-start와 Congestion avoid-

ance 알고리즘을 사용한다. (그림 6)은 VC의 MCR에 따른 TCP의 CWnd 크기의 변화를 보여 준다. (그림 6)에서 TCP 패킷의 폭주가 발생하여 전송이 지연되면 윈도우 크기가 작아지게 되고 폭주를 해결하여 패킷 전송이 순조롭게 진행된다면 윈도우 크기가 커지는 과정이 반복되어 네트워크의 상황에 따라 윈도우 크기가 적절하게 조절됨을 알 수 있다.

<표 1> TCP 환경변수

Maximum segment size	960 bytes
Max. Window size	115,200 bytes
Retransmission Timer	2×RTT
File size	Infinite



(그림 6) MCR에 따른 TCP의 폭주 윈도우 크기

TCP 계층에서 생성된 TCP 세그먼트는 AAL5 계층에서 PDU(Protocol Data Unit)로 변환되고, PDU는 ATM 계층으로 전달된다. ATM 계층에서는 수신된 패킷을 48바이트로 쪼개어, 5바이트 헤더를 추가하여 ATM 셀로 변환한다. <표 2>는 ATM 스위치와 GFR VC의 환경 변수를 나타낸다.

<표 2> 스위치와 GFR 환경 변수

parameters	value
LBO	2,000 cells
HBO	6,000 cells
QMAX	8,000 cells
AAL5 PDU size	960 bytes
MFS	960 bytes
MBS	2×MFS

전체 MCR을 100Mbps로 설정하여 최대 MCR에 따른 성능을 측정하였다. 각 VC가 셀을 전송하면 UNI(User Network Interface)에서 F-GCRA 테스트를 거쳐 순응검사를 수행한다. 즉, MCR 이하의 프레임은 CLP = 0으로, MCR 이상인 프레임은 CLP = 1로 변환되어 링크로 전송된다.

### 5. 모의실험 결과

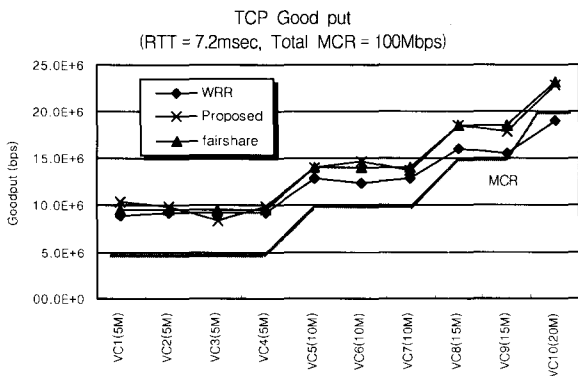
GFR에서 TCP/IP 트래픽 서비스에 대한 중요한 성능 평가

의 기준은 TCP의 수율과 공평성 지표를 들 수 있다. TCP의 수율은 TCP 계층에서 수신한 패킷을 전송물로 환산한 측정값을 나타내며 공평성 지표는 각 VC들 사이에 잉여 대역을 공평하게 사용하는 정도를 나타낸다. 잉여 대역을 나누는 방법에는 각 VC의 MCR에 비례해서 나누는 방법(Allocation proportional to MCR), 모든 VC에 똑같이 나누는 방법(MCR+equalshare)[1, 10] 등이 있고, 공평성 정도를 나타내기 위해 식 (1)과 같은 공평성 지표를 사용한다.

$$fairness\ index = \frac{(\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{f_i})^2}{N \times \sum_{i=1}^N (\frac{x_i}{f_i})^2} \quad (1)$$

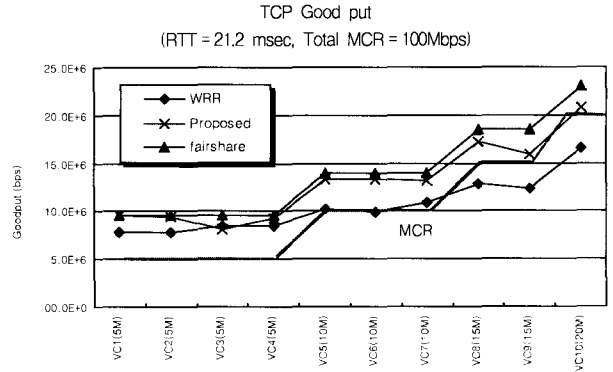
(여기서  $x_i$ 는  $VC_i$ 의 수율이며,  $f_i$ 는  $VC_i$ 의 공평 할당량이다.)

(그림 7)은 전체 MCR의 총합이 100Mbps이고 RTT가 7.2msec 일때 제안한 스케줄링 방식과 기존의 WRR 방식을 적용했을 때의 TCP의 Goodput이다. 공평할당량(fair-share)은 MCR+equalshare 방식으로 할당한 대역이고, 그래프를 가로지르는 선은 각 VC의 MCR 크기이다. 그림에서 MCR이 낮을 수록 Goodput이 좋으며, 높을수록 공평 할당량을 받지 못함을 나타낸다. 제안한 알고리즘의 경우 모든 VC들이 MCR 이상으로 서비스 받았으나, WRR 방식의 경우 MCR이 20Mbps인 VC10은 MCR 미만으로 서비스 받게된다. 한편, 전체 지연이 작기 때문에 대부분의 VC들이 MCR 대역을 보장받고 있음을 보여준다.



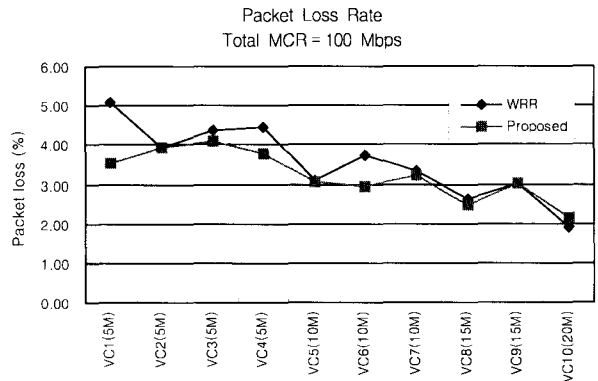
(그림 7) TCP의 Goodput(RTT = 7.2 msec, Total MCR = 100 Mbps)

(그림 8)은 RTT가 21.2 msec이고 전체 MCR이 100 Mbps일 때, TCP의 Goodput을 보여준다. WRR 방식의 경우에는 MCR이 15 Mbps 이상인 연결들은 MCR 이하로 서비스 받는 반면, 제안한 방식의 경우는 MCR이 20 Mbps와 30 Mbps인 연결들만 MCR 이하로 서비스 받는다. 또한, 지연이 크기 때문에 전체적으로 대역 보장이 어려워 MCR 이하로 서비스 받는 VC들이 지연이 작은 경우보다 많음을 확인할 수 있다.



(그림 8) TCP의 Goodput(RTT = 21.2 msec, Total MCR = 100 Mbps)

(그림 9)는 전체 MCR이 100 Mbps일 때, 각 VC별 패킷 손실율을 보여주는 것으로 제안한 알고리즘의 경우 모든 MCR에 대해 WRR 방식보다 낮은 패킷 손실율을 보여준다.



(그림 9) 패킷 손실율

<표 3>은 전체 Goodput과 공평성 지표를 보여주는 것으로 전체 Goodput은 모든 연결의 Goodput을 합한 것으로, ATM 스위치의 대역 사용율을 나타낸다. 제안한 방식이 WRR 방식보다 전체 Goodput에서 MCR의 총합이 100 Mbps이고 RTT가 7.2 msec일때 약 15Mbps의 성능향상이 있고, 공평성에서도 앞섬을 보여준다. RTT가 21.2 msec일 때, WRR 방식은 19 Mbps정도 Goodput이 감소되나, 제안한 방식의 경우 Goodput이 10 Mbps 정도 감소하여 상대적으로 Goodput이 25 Mbps 정도 향상됨을 알 수 있다. 컴퓨터 모의실험 결과, RTT값이 커질수록 공평성 지표와 전체 Goodput 성능이 WRR에 비해 제안한 방식이 우수함을 알 수 있다.

<표 3> 스케줄링 알고리즘에 따른 성능

Scheduling scheme	Total MCR = 100 Mbps RTT = 7.2 msec		Total MCR = 100 Mbps RTT = 21.2 msec	
	WRR	Proposed	WRR	Proposed
Total Goodput	124.9 Mbps	139.7 Mbps	105.4 Mbps	130.0 Mbps
Fairness Index	0.9969404	0.9969572	0.9898694	0.9972667

### 6. 결 론

본 논문에서는 ATM 계층 서비스로 새로이 제안된 GFR 서비스를 지원하기 위한 스케줄링 방식을 제안하고 그 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. GFR 서비스 클래스는 CLP가 0인 프레임에 대해 최소 전송율을 제공하고 공평성을 제공하여야 한다. 제안한 알고리즘은 버퍼에 대기중인 CLP=0 인 셀이 MCR이하인 VC에 높은 우선 순위를 주어 낮은 우선 순위의 VC보다 먼저 서비스하여 CLP=0인 프레임의 MCR을 보장하였다.

컴퓨터 모의 실험을 통하여, 제안한 알고리즘이 WRR 방식보다 전체 Goodput에서 RTT가 7.2 msec이고 MCR의 총합이 100 Mbps 일때 약 15% 정도 성능향상이 있고, 공평성에서도 앞섬을 보여준다. RTT가 21.2 msec일 경우, WRR은 RTT가 7.2 msec 경우 보다 19 Mbps정도 Goodput이 감소되고 제안한 알고리즘의 경우 10Mbps의 감소되나 상대적으로 Goodput이 25Mbps 정도 향상되어 20% 정도 전체 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다. 총 지연이 증가함에 따라 제안한 알고리즘은 WRR에 비해 공평성을 잘 유지하고 있다. 전체적으로 총 지연이 증가함에 따라 제안한 알고리즘이 WRR 방식보다 TCP 수율에서 20%이상 향상되었고 공평성에서도 성능이 향상됨을 모의 실험을 통해 입증하였다. 그러므로 제안한 알고리즘은 링크의 지연이 높은 경우, WRR 스케줄링 알고리즘 보다 효율적으로 서비스할 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] R. Guerin and J. Heinanen, "UBR+ Service Category Definition," ATM Forum ATM96-1598, Dec., 1996.

[2] I. Andrikopoulos, A. Liakopoulos, et. "Providing Rate Guarantees for Internet Application Traffic across ATM networks," *IEEE Communications surveys*, Vol.2, No.3, 1999.

[3] S. Floyd, A. Romanov, "Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.13, No.4, pp.633-641, 1995.

[4] S. Floyd, V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.1, No.4, pp.397-413, 1993.

[5] D. Basak and S. K. Pappu, "GFR Implementation Alternatives with Fair Buffer Allocation Schemes," *ATM Forum/97-0528*, 1997.

[6] 문홍진, 조해성, "WRR 구현을 위한 개선된 이진 스케줄링

바퀴 구조", 정보처리학회논문지C, 제8-C권 제2호, pp.134-140, April, 2001.

[7] The ATM Forum Technical Committee, Draft TM 4.1 Traffic Management Specification, ATM Forum/BTD-TM-02.02, Dec., 1998.

[8] Uyles Black, "TCP/IP & Related Protocols," McGraw-Hill. 1994.

[9] S. Pappu and D. Basak, "TCP over GFR Implementation with Different Service Category : A Simulation Study," ATM Forum ContributionATM97-0310, April, 1997.

[10] The ATM Forum Technical Committee, "ATM Forum Traffic Management Specification, Version 4.0," ATM Forum/AF-TM-0056.000, April, 1996.



### 조 해 성

e-mail : hscho@konyang.ac.kr  
 1994년 전북대학교 전자공학과(공학사)  
 1996년 전북대학교 전자공학과 석사  
 (공학석사)  
 2001년 전북대학교 전자공학과 박사  
 (공학박사)

2001년 표준과학연구원 Post-Doc.

2001년~현재 건양대학교 IT학부 전임강사

관심분야 : 트래픽 제어, 셀 스케줄링, ATM 스위치 설계, 멀티미디어 통신



### 김 관 응

e-mail : watchbear@hotmail.com  
 1996년 전북대학교 전자공학과 학사  
 1998년 전북대학교 대학원 전자공학과 석사  
 2002년 전북대학교 대학원 전자공학과 박사  
 2002년~현재 한국표준과학연구원 인간정보  
 그룹 Post. Doc.

관심분야 : ATM, 라우팅, WATM MAC 프로토콜



### 배 성 환

e-mail : shbae@hlu.hanlyo.ac.kr  
 1993년 전북대학교 전자공학과 학사  
 1995년 전북대학교 대학원 전자공학과 석사  
 2000년 전북대학교 대학원 전자공학과 박사  
 2000년~현재 한려대학교 멀티미디어정보  
 통신공학과 교수

관심분야 : 통신 시스템 설계, ASIC 테스트, 저전력 디지털 시스템 설계