

# TCP/IP 성능개선을 위한 ABR 서비스제어 알고리즘: 시뮬레이션 평가

박 희 대<sup>†</sup> · 육 동 철<sup>†</sup> · 박 승 섭<sup>††</sup>

## 요 약

초고속통신의 실현과 QoS 특성을 향상시키기 위한 ATM방식은 TCP/IP통신의 기본적인 전송 메카니즘으로 사용되고 있다. TCP가 ATM 망의 ABR서비스를 사용할 때, ABR의 율 기반 제어와 TCP 흐름제어 사이에 상호 작용이 없는 한, TCP/IP 트래픽성능을 향상시키기 위해서는 ABR서비스 제어가 특히 중요시되어 진다. 이런 환경하에서 ATM 망의 ABR 서비스를 좀더 효율적으로 제어하기 위해서는 EFCI-ER 스위치 방식의 상호혼용 운영이 불가피하다.

본 논문에서는 이러한 상호혼용을 위하여 EFCI-ER 스위치의 혼용망을 모델로 사용하여, 여러 가지 ER 스위치 알고리즘을 이용하여 대역할당의 공정성, 셀 손실을 그리고 처리율을 구하였다. 시뮬레이션 결과로써 여러 가지 ER 스위치 알고리즘 중에서 망의 형태에 영향을 덜 받으면서 VC에 공정하게 대역폭을 할당할 수 있는 하나의 알고리즘을 나타내었다.

## ABR Service Control Algorithms For Improving Performance of TCP/IP: Simulation Evaluation

Hee-Dae Park<sup>†</sup> · Dong-Cheol Yuk<sup>†</sup> · Seung-Seob Park<sup>††</sup>

## ABSTRACT

To achieve high-speed communication and to improve QoS characteristics, ATM is now being used as underlying transfer mechanism of Internet protocols, or TCP/IP. When TCP uses the ABR service in ATM networks, the ABR service control is important to improve the performance of TCP/IP traffic as long as there is no interaction between ABR rate control and TCP flow control. In such environment, the interoperability of EFCI and ER switches becomes unavoidable in order to more effectively control ABR traffic in ATM network.

In this paper, we use the model of mixed EFCI-ER environment and discuss the performance issues, e.g., the fairness of bandwidth allocation, drop rate, throughput by using various ER switch algorithms. Among various ER Switch algorithms, we present one algorithm that have a less influence on network topology and allocate the fair share of VC bandwidth by simulation results.

### 1. 서 론

TCP/IP 프로토콜을 사용하는 컴퓨터통신시스템이 널리 확산되어져 있고 많은 운용시스템은 인터넷 프로토콜을 기반으로 개발되고 있으며, 초고속통신의 실현

과 멀티미디어 서비스의 다양한 QoS를 제공하기 위한 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 방식은 인터넷 프로토콜의 기본 전송방식으로 사용되어 지고 있다.

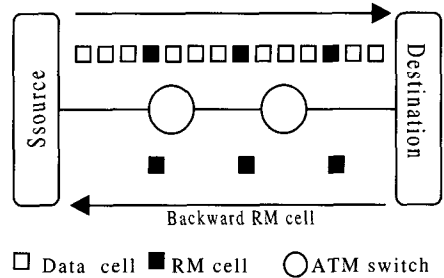
그래픽, 음성, 비디오, 영상 등과 같은 멀티미디어 통신을 가능하게 하는 ATM은 하나의 물리적 링크를 통하여 다양한 특성을 갖는 트래픽을 처리하게 된다. ATM 포럼에서는 이러한 다양한 특성을 갖는 트래픽을

<sup>†</sup> 준 회 원 : 부경대학교 대학원 전자계산학과  
<sup>††</sup> 정 회 원 : 부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 교수  
논문접수: 1999년 9월 18일, 심사완료: 1999년 11월 12일

효율적으로 처리하기 위하여 CBR(Constant Bit Rate), rt-VBR(real time-VBR), nrt-VBR(non real time-VBR), ABR(available bit rate), UBR(unspecified bit rate)의 5가지 서비스 클래스로 분류하고 있다[1]. 그 중에서 CBR과 rt-VBR은 주로 음성이나 영상 등의 실시간 서비스에 응용되어 지며, nrt-VBR, ABR, UBR 서비스는 비실시간 서비스에 응용되어 진다. CBR은 연결 설정 후에는 일정한 양의 대역이 할당되어 안정된 서비스가 보장되며, 지연에 민감한 음성, 영상 등의 서비스에 응용된다. VBR은 가변 비트율을 갖는 트래픽 서비스로 CBR과 같이 연결이 종료될 때 까지 서비스가 보장된다. 특히 ABR과 UBR 서비스는 비연결성 서비스에 주로 사용이 된다. rt-VBR의 대표적인 응용 예가 되는 MPEG에 의한 압축 동영상은 최대 셀 전송률이 높고, 버스티(bursty)하며 이로 인해 호를 설정할 때 높은 PCR(Peak Cell Rate)값과 낮은 MCR(Minimum Cell Rate)값을 갖는 넓은 범위의 대역폭 차지하며 ABR 서비스 보다 우선 순위가 높다. 따라서 ABR은 CBR이나 VBR같은 보장형 서비스가 사용하고 여분의 링크 가용 대역폭을 최대한 활용하여 전송하기 위한 서비스이다. 이에 대한 연구가 ATM 포럼을 중심으로 활발히 수행되고 ABR 트래픽 제어를 위한 여러 가지 우수한 알고리즘이 제안되어져 왔다.

그러나 여러 가지 망의 형태, 네트워크 특성에 따른 서로 다른 성능을 보여 경제성과 네트워크 환경에 맞는 ATM 스위치 알고리즘이 필요하다. 이러한 알고리즘은 울 기반(rate-based) 흐름 제어로 기본적으로 종단간으로 수행되며 스위치의 현재 상황에 따라 송신원의 전송률을 직접제어 하는 방식이다. 그래서 ATM 포럼에서는 트래픽 관리 규격 4.0에서 ABR 흐름제어를 위한 송신원과 수신원의 동작에 관한 규격을 확정하였다[1]. 종단간 울 기반 흐름제어 알고리즘은 송신원에서 초기 ICR(Initial Cell Rate) 대역폭 만큼 전송하며, (그림 1)과 같이 목적지에 데이터 셀과 함께 RM(Resource Management)셀을 보낸다. 그리고 수신원으로부터 되돌아오는 역방향 RM셀이 신고 오는 정보에 따라 송신원은 자신의 전송률인 ACR(Allowed Cell Rate)을 조정한다[10].

지금까지 제안된 대표적인 전송률 기반의 ABR 스위치로는 크게 EFCI(Explicit Forward Congestion Indication)스위치와 ER(Explicit Rate) 스위치로 나눌



(그림 1) ABR 트래픽 제어를 위한 RM셀의 동작

수 있다[2, 3, 6]. EFCI 스위치는 데이터셀의 EFCI 비트를 이용하여 스위치가 폭주 상태 여부를 구분하는 두 가지 상태만을 수신원에 알리게 된다. 수신원은 해당 순방향 RM셀을 수신하게 되면 직전에 수신한 데이터 셀의 EFCI의 상태에 따라 역방향 RM셀의 CI(Congestion Indication) 비트를 설정함으로써 송신원에게 폭주 발생과 해제를 알린다. 반면에 ER 스위치는 VC(Virtual Channel)간의 링크 전송률의 공평한 몫인 공정성(fairness)을 계산하여 역방향 RM셀의 ER 필드에 실어 송신원에 알리게 된다.

그러나, EFCI 스위치는 구현은 비교적 간단하지만 Beat-down현상으로 인해 VC간에 대역폭 사용면에서 공정성을 보장할 수 없는 문제점이 있다. 그 대신에 ER 스위치는 VC별로 망 내에서 제공 가능한 공정한 전송률을 각 송신원에 전달함으로써 VC간의 공정성이 보장되고, 링크 이용률과 큐 길이 등의 전반적인 성능이 향상되지만 스위치 구현이 복잡해지는 문제점이 있다.

현재 ATM 포럼에서는 ABR 서비스를 위해 스위치를 EFCI나 ER방식 중 선택적으로 구현할 수 있도록 규정하고 있으며, 그 동안 EFCI 스위치나 ER 스위치 각각에 대한 성능 분석과 혼용에 대한 연구가 많이 수행되어 왔다. 공정성과 효율적 ABR 트래픽 제어를 위해 EFCI 스위치와 ER 스위치 혼용 망에서 병목구간 스위치에서만 ER 스위치를 사용해도 전체 스위치가 EFCI 보다 성능이 우수한 모두 ER 스위치를 사용한 것과 같은 결과를 보여왔다[4, 5].

그러나 ER 스위치 제어 알고리즘의 종류나 망의 형태에 의해 ABR를 위한 서비스 결과가 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 TCP가 ATM망의 ABR 서비스를 사용할 때 ABR의 울 기반 제어와 TCP 흐름제어 사이에 상호 작용이 없는 한, TCP/IP 트래픽

성능을 향상시키기 위해 ABR서비스 제어가 중요시되어 진다[9].

ATM 망의 ABR 서비스의 효율적인 제어를 위해서 EFCI-ER 스위치 방식의 상호혼용하고, 여러 개의 VC에 공정하게 대역폭을 할당할 수 있고 망 형태에 영향을 덜 받는 하나의 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어, 2장에서는 EFCI와 ER 스위치의 여러 ABR 트래픽 제어 알고리즘에 대해 간단히 서술하고, 3장은 시뮬레이션 망 구성 모델에 대한 설명과 ATM 트래픽 파라미터 설정에 대해서 기술하며, 4장에서는 3장의 망 모델을 토대로 시뮬레이션하여 대역할당의 공정성, 셀 손실율, 처리율을 분석 하였으며, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 나타내었다.

## 2. ABR 트래픽 제어 알고리즘

ABR 서비스를 지원하기 위해서 ATM 스위치는 폭주 제어를 수행함과 동시에 모든 연결에 공정하게 자원을 할당해야 한다. 이 두 가지 기능을 수행하는 알고리즘들은 크게 RM셀의 EFCI, CI, NI(No Increase) 필드들을 사용하는 이진 피드백 메카니즘인 EFCI 방식과 RM셀의 ER 필드를 사용하는 ER 피드백 방식으로 분류된다.

ATM 포럼에서 다양한 트래픽 제어 알고리즘들이 제안되었고, 이들은 폭주 감시 기준 및 채택된 피드백 알고리즘에 따라서 분류될 수 있다. 다음 절에서는 대표적인 ABR 트래픽 제어 알고리즘들을 설명한다.

### 2.1 EFCI 방식

모든 셀 헤드에 EFCI 필드가 있어 데이터 셀 전송시 폭주가 발생하면 데이터 셀 헤더에 있는 EFCI비트를 표시하는 것이다. 이 알고리즘에서는 스위치에 있는 모든 가상 채널은 공동의 선입선출 큐를 공유하고 큐의 길이가 감시된다[8]. 만약 큐의 길이가 폭주라고 설정된 임계치를 넘으면 그 스위치를 지나는 셀들은 셀 헤더에 있는 EFCI 비트를 세팅한다. 만약 큐의 길이가 임계치 이하로 떨어지면 스위치를 지나는 셀들은 EFCI 비트를 세팅하지 않는다. 그래서 송신원은 피드백하는 데이터 셀 헤더에 있는 EFCI 비트가 세팅이 되어 있는지를 확인해서 자신의 전송속도를 조절한다. EFCI 비트 설정 여부에 따라 송신원은 자신의 전송

속도를 순차적으로 증가시키고 급격하게 감소시킨다.

그러나 이진 피드백 알고리즘에서는 모든 VC가 버퍼를 공유하므로써 망구성 형태와 종단시스템 형태에 따라 대역폭의 불공정성 문제가 발생되며, 가상 채널 노드와 노드사이의 길이가 길 경우에 셀들이 보내지면 그 셀들은 자신의 EFCI비트가 세팅될 확률이 높고 자신의 전송률을 높일 기회는 줄어든다. 다중 홉일 경우 공정하게 대역폭을 할당받지 못하는 beat down 문제가 발생 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 가지의 ER 스위치 알고리즘 방식이 제안되었다.

### 2.2 ER 피드백 방식

ER 피드백 방식은 EFCI제어 방식에 비해 더 빠르고 beat down문제를 해결할 수 있다. 모든 방식은 공통적으로 다음과 같은 기능을 수행해야 한다. VC당 할당할 수 있는 공정한 대역폭 크기를 계산하고, 현재 트래픽 양 혹은 폭주 정도를 결정하며 연결에 대해 ER을 계산하고 송신원에게 계산된 ER을 보낸다. 세부적으로는 송신원이 주기적으로 Nrm(Non-RM cell)셀 개의 데이터 셀마다 하나의 RM셀을 만들어서 순방향으로 보낸다. 이렇게 보내어진 RM셀은 수신 단말을 통해서 송신원에게로 피드백을 형성한다. RM셀에는 DIR과 CI 필드를 두어서 중점간의 폭주 정보를 가진다. RM셀 필드의 중요한 필드는 다음과 같다.

- DIR(Direction) : RM셀이 순방향 또는 역방향을 나타낸다.
- CI : 폭주가 발생 여부를 표시하고, CI=0이면 폭주가 아닌 것을 나타내고 CI=1이면 폭주가 발생한 것을 나타낸다.
- ER(Explicit Rate) : 명시적 전송률(초기에는 PCR로 설정)
- ACR : 송신원의 전송률이 허용될 수 있는 최대값

ER 값은 송신원의 트래픽 양이 감소하기를 원하는 중간 노드에 의해 값이 감소될 수 있다. ACR 필드는 정보를 제공할 목적으로 사용되고, 송신원이 RM셀을 받으면 ER과 ACR 필드를 검사해서 ER이 ACR보다 적으면 송신원은 ACR을 ER까지 감소시킨다. 대표적인 알고리즘으로는 다음과 같다.

#### 2.2.1 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 알고리즘

이 알고리즘은 모든 컨넥션이 두 개의 임계값인 QT

(Queue Threshold), DQT(Damage Queue Threshold)를 가진 공동 큐를 사용한다고 가정한다. 매 전송되는 전방향 RM 셀을 수신시에는 스위치는 지수분포를 사용해서 MACR(Mean Allowed Cell Rate)을 계산한다. 다음에 보이는 식은 MACR을 계산한 식이다[2].

$$MACR = (1 - a) * MACR + a * CCR$$

여기서,  $a$ 는 지수 평균 요소이고, CCR(Current Cell Rate)은 현재의 셀 율이며 일반적으로  $a$ 는 1/16으로 한다. 공정한 대역폭을 위한 계산식은 다음과 같다.

$$FairShare = DPF * MACR$$

DPF(Down Pressure Factor)는 1 보다 적은 압력계수를 의미한다. 스위치는 큐의 길이가 임계점 이상을 넘어가면 되돌아오는 RM셀의 CI 비트를 세팅한다. 이때 송신원은 계속해서  $ACR = ACR * RDF$ (Rate Decrease Factor)만큼 자신의 전송률을 감소시킨다[9]. 송신원이 되돌아오는 RM셀을 받을 때 폭주가 해제되어 전송률의 증가가 허락되어진다면 AIR(Additive Increase Rate) 양만큼 전송률을 증가시킨다. 만약 CI=0이면 새로운 ACR은  $ACR = MIN(ACR + AIR, ER, PCR)$ 로 값이 바뀐다.

### 2.2.2 ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance) 알고리즘

이 알고리즘은 VCshare와 fair share를 계산한다. ERICA는 스위치의 로드상태를 나타내는 load factor를 사용한다. 그 정의는 다음과 같다.

$$z = \frac{Input\ Rate}{Target\ Rate}$$

스위치의 목표 용량(target capacity)은 전체 대역폭의 90~95%정도로 높게 설정한다. 스위치가 계산하는 fair share는 다음 식과 같다.

$$Fair\ share = \frac{Target\ capacity}{Number\ of\ active\ VCs}$$

송신원이 사용할 수 있는 여분의 용량은 다음 식으로 표현된다.

$$VCshare = \frac{CCR}{Load\ Factor\ z}$$

이 식에서 계산된 값은 역방향 RM셀의 ER필드에 fair share와 VCshare를 갱신하며, ERICA알고리즘은 폭주 회피 단계에서 사용된다.

### 2.2.3 NIST(National Institute of Standards and Technology ER Algorithm) 알고리즘

이 알고리즘은 입력율과 목표율을 사용해서 load factor를 계산하고 각 순방향 RM셀에서 ACR값을 읽어서 각 VC의 ACR에 대해 지수 분포적인 가중치를 부여한다[3]. 이는 MACR를 계산하기 위한 것으로 다음의 식으로 표현된다.

$$MACR = (1 - AVF) * MACR + AVF * ACR$$

여기에서, AVF(Average Factor)는 가중치 값이고 1/16로 설정되었고 이 수식은 단지 오버로드나 언더로드될 때 사용되고 다시 대역폭 할당은 MAIR(Mean Additive Increase Rate)로 다시 재조정된다.

$$MACR = MACR + MAIR$$

여기에서 스위치는 역방향 RM셀에 ER값을 계산해서 되돌려 보내는데 폭주 상태일 때  $ER = MACR * MRF$ (MACR Reduction Factor = 0.95)로 계산되고, 폭주가 발생되지 않았을 때  $ER = MACR$ 로 계산되어 진다.

모든 접속이 MCR이 0이라 가정할 때 fair share는

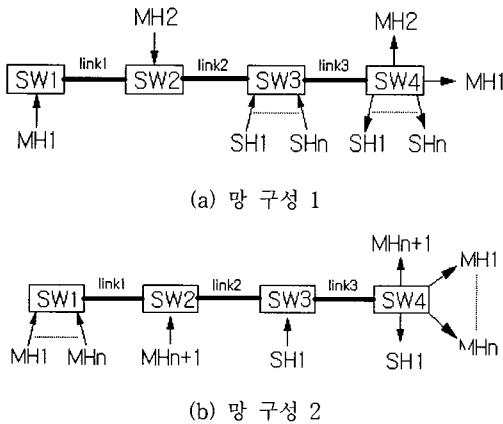
$$Fairshare = \frac{Available\ Bandwidth}{All\ Active\ Connections}$$

이다.

## 3. 시뮬레이션 환경

이 장에서는 NIST ATM 망 시뮬레이터[7]를 사용하여 병목 구간에서 기존의 여러 가지 ER 알고리즘에 따른 성능비교를 위한 시뮬레이션 망 모델을 설명한다. 현재까지도 ABR 서비스를 위해 EFCI와 ER스위치의 혼용 성능비교가 연구 대상이다. ER 스위치 알고리즘 종류와 망 모델에 의해서도 ABR 서비스의 성능은 영향을 받게 된다. 이 시뮬레이션 망 모델은 경제성과 상호 운용성을 고려해 병목 구간에서만 ER스위치를 사용해도 문제가 없음을 보인 시뮬레이션 망 모델을 기초로 하고 있다[5, 11].

시뮬레이션 모델은 단일 홉(SH: Single Hop)과 다중 홉(MH: Multi Hop) VC들로 구성된 (그림 2)의 (a) 망 구성 1, (b) 망 구성 2와 같은 두 가지의 망 구성 형태로 모든 송신원들(sources)은 시뮬레이션의 시작과 동시에 셀을 전송하고, 송신원에 허락된 최대 셀율로 항상 셀을 망으로 전송하는 일정한 모델로 가정한다. 모든 VC가 SW3의 출력 링크를 경유하기 때문에 SW3만이 폭주스위치가 된다. 망 구성1은 병목 스위치에 단말기 수를 n개 증가시킨 모델이고 그래서 비병목 스위치 보다는 SW3이 VC수가 많고, 망 구성 2는 비병목 스위치에 n개 단말기를 증가시켜 병목 스위치에 비해 SW1이 VC가 많은 모델로 가정하여 ABR 트래픽 제어 알고리즘의 성능 비교 분석한다.



(그림 2) 시뮬레이션 망 모델

NIST ATM망 시뮬레이터를 사용한 ABR 트래픽 제어 파라미터는 <표 1>와 같다. 모든 망 구성은 각 단말기와 스위치 사이의 링크 길이는 1km로, 스위치간의 링크길이는 30km로 MAN(Metropolitan Area Network) 환경으로, 링크 속도는 155Mbps로 가정하였다. 목표율(Target Rate)은 95%로 정의했다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

이 장에서는 성능 평가 변수로 송신원의 ACR 변화율, 셀 손실률, 처리율로 선정하였고, 병목 스위치 구간과 비병목 스위치 구간에서의 VC 수 증가에 따른 대역폭 공평성과 효율성을 비교해서 ER 스위치의 서로 다른 알고리즘에 따른 성능을 비교 분석하였다.

<표 1> ABR 서비스 트래픽 파라미터

파라미터	정의	값
PCR	Peak Cell Rate	155 Mbps
MCR	Minimum Cell Rate	1.49 Mbps
ICR	Initial Cell Rate	7.49 Mbps
RDF	Rate Decrease Factor	1/16
RIF	Rate Increase Factor	1/16
Qhigh	High Threshold	600 cells
Qlow	Low Threshold	400 cells

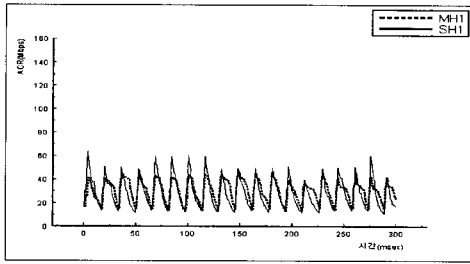
#### 4.1 망 구성 1과 망 구성 2간의 ACR 변화율

(그림 3)은 (그림 2)의 망 구성 1과 망 구성 2간의 VC 수의 증가에 따른 ACR변화율을 보여준다. VC는 병목 스위치나 비병목 스위치에 각 VC가 5개 증가를 가정하고, 20개의 VC와 40개의 종단 시스템을 사용하여도 근사한 결과가 도출되어 이를 단순화시켜 시뮬레이션 수행한 결과이다. 각각의 VC가 할당받을 수 있는 대역폭은 22Mbps가 이상적인 할당값 이다.

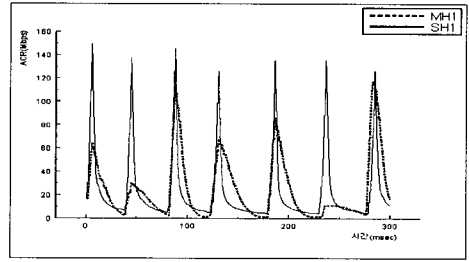
(그림 3)에서의 초기의 돌출된 부분은 병목구간을 기준으로 가장 먼 곳에서 데이터의 전송이 시작되어 병목구간을 통과할 시점이 되면, 그 곳에서의 대역폭 할당이 공평하지 않으므로 대역폭 할당의 공평성을 유지하기 위해서, 데이터 전송 상승구간에서 약간의 하향 곡선을 그린다. 약간의 하향곡선 후에 안정적이고, 공평한 대역폭까지 도달하게 되면 특히 (그림 3)의 (g), (h)에서는 일정한 값(여기서는 약 22Mbps정도)을 지속적으로 유지하여 대역폭의 공평성을 유지하게 된다.

(그림 3)의 (a), (b)는 모두 EFCI스위치 알고리즘을 사용했을 때의 결과 값으로 각 VC에 대해서 공정한 대역폭의 할당하지 못하고 있다. (그림 3)의 (c), (d), (e), (f), (g)는 SW3이 각각 EPRCA, NIST, ERICA 스위치로 병목 구간이나 비 병목 구간에서의 VC 수 증가에 따른 ACR 대역폭 할당에서 (그림 3)의 (c), (d)는 약간의 변화가 있고 (그림 3)의 (g), (h)는 거의 변화가 없다. NIST, ERICA 두 알고리즘은 효율성과 공평성을 보장하는 동시에 부하가 적은 가상채널은 망의 형태와 상관없이 fair share 만큼 송신원의 전송률을 접근시켰다. NIST 알고리즘을 사용한 (그림 3)의 (c), (d)는 약간의 진동이 있음을 알 수 있고, ERICA를 사용한 (그림 3)의 (g), (h)는 전송률의 수렴 속도가 빠르고 진동이 거의 없다.

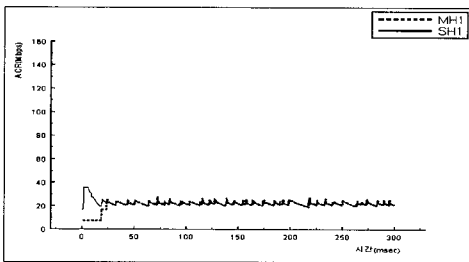
그러나, EFCI의 단점보완을 위한 ER 스위치 알고리



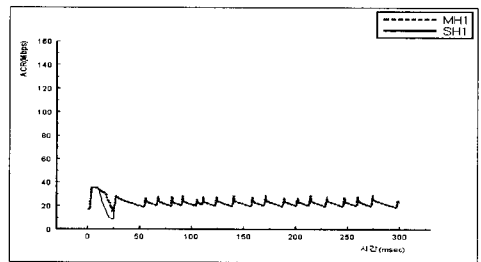
(a) EFCI일 때 망 구성 1의 ACR변화율



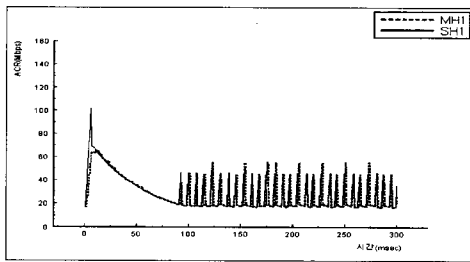
(b) EFCI일 때 망 구성 2의 ACR변화율



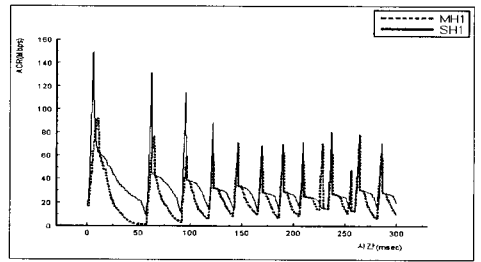
(c) NIST일 때 망 구성 1의 ACR변화율



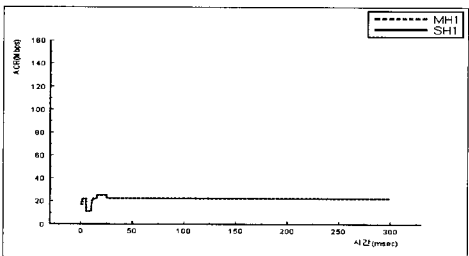
(d) NIST일 때 망 구성 2의 ACR변화율



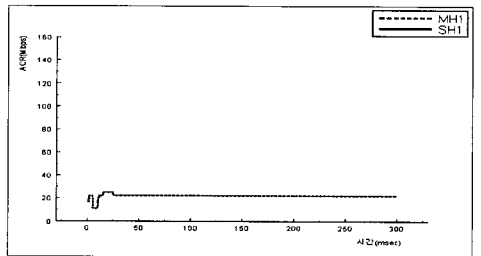
(e) EPRCA일 때 망 구성 1의 ACR변화율



(f) EPRCA일 때 망 구성 2의 ACR변화율



(g) ERICA일 때 망 구성 1의 ACR변화율



(h) ERICA일 때 망 구성 2의 ACR변화율

(그림 3) 망 구성에 따른 ACR 변화율

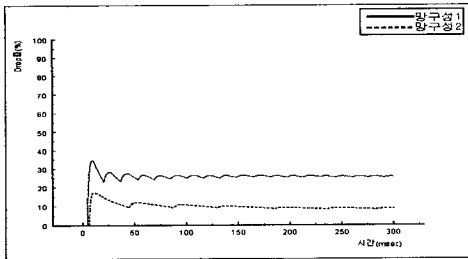
증인 EPRCA를 사용한 (그림 3)의 (e), (f)는 망 구성 1과 망 구성 2에서의 차이점이 분명히 나타나고 있다. 이러한 문제점은 스위치가 폭주를 감지할 때 큐의 길이에 의존함을 알 수 있다. 큐의 길이가 일정한 범위(QT)를 넘어가면 폭주 상태라고 정의하고, 큐의 길이가 이보다 더 높은 임계점(DQT)을 초과하면 심한 폭주 상태로 간주할 수 있다.

이러한 문제점 때문에 폭주가 일어난 다음에 폭주에 대한 각 송신원에 통보가 늦고 역방향 RM셀의 CI=1 설정된 값을 빈번하게 받기 때문에 원거리의 모든 송신원에게 자원을 공정하게 분배하는데 문제점을 가지는데, (그림 2)의 망 구성 1과 같이 다중 흡이 VC 수가 많을수록 송신원은 공정성이 떨어진다.

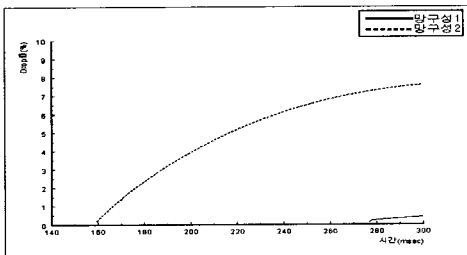
4.2 망 구성 1과 망 구성 2간의 셀 손실율

(그림 4)에서는 각 망 구성 형태에 따라 각각의 트래픽 제어 알고리즘을 적용했을 때 병목 구간에서의 셀 손실율(drop rate)을 보여준다.

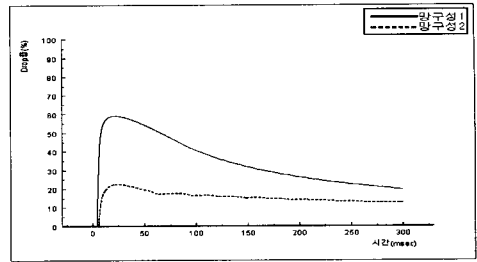
<표 2>에서 나타낸 것과 같이 EFCI와 EPRCA 알고리즘은 높은 셀 손실율을 나타내고 있으며, ER 스위치의 한 종류인 ERICA 알고리즘은 망구성 형태가 바뀌어도 1% 미만의 낮은 셀 손실율을 보여주고 있다.



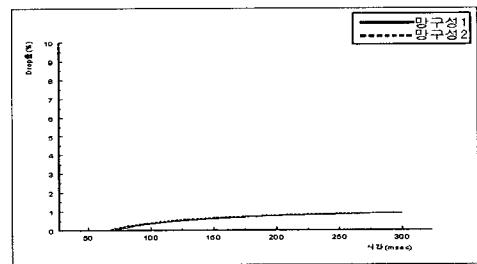
(a) EFCI일 때 셀 손실율



(b) NIST일 때 셀 손실율



(c) EPRCA일 때 셀 손실율



(d) ERICA일 때 셀 손실율

(그림 4) 망 구성에 따른 셀 손실율

NIST 알고리즘은 낮은 손실율을 보여주고 있으나 망 구성 형태에 따라 셀 손실율 차이를 나타내고 있다.

<표 2> 망구성에 따른 셀 손실율

알고리즘 \ 구분	망구성 1	망구성 2
EFCI	25~34%	9~17%
NIST	0.2~0.4%	0.2~7.6%
EPRCA	19~59%	13~23%
ERICA	0.1~0.9%	0.1~0.9%

4.3 비병목 스위치와 병목 스위치간의 VC 수의 증가에 따른 처리율

<표 3>은 각 스위치 알고리즘의 처리율을 보여주고 있다. 여기서 기대값은 100(22Mbps)으로 설정하였고 이 기대값을 넘는 경우는 대역폭을 공정하게 분배받지 않았을 때, 이런 현상이 발생한다.

<표 3>에 나타낸 것과 같이 EFCI, NIST, EPRCA 알고리즘은 중단시스템의 위치 및 망의 구성 형태에 따라 처리율에 차이가 있고, ERICA는 중단시스템의

〈표 3〉 각 ABR 제어 알고리즘에 따른 처리율

알고리즘	구분	망구성 1		망구성 2	
		Multi Hop	Single Hop	Multi Hop	Single Hop
EFCI		92	99	92	98
NIST		94	97	94	98
EPRCA		95	97	90	135
ERICA		95	95	95	95

\* 각 망구성에 있어서 기대값은 100이다.

위치 및 망의 구성 형태에 따라서는 영향을 받지 않고 처리율이 일정하게 나왔다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 두 종류의 망구성 형태에서 병목 현상이 발생하는 스위치에 기존의 여러 가지 ER 스위치 알고리즘을 이용하여 셀 손실율, 처리율 및 ACR의 변화율을 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) (그림 3)의 결과로 EPRCA 알고리즘은 망 구성 형태에 따라 ACR의 변화율이 다른 결과 값을 나타내었고, NIST 알고리즘은 ACR 변화율이 기대값(22Mbps)에 비슷한 결과가 나왔지만 약간의 진동이 있으며, ERICA 알고리즘은 망의 구성 형태가 바뀌어도 거의 일정한 결과를 보임을 알 수 있다.

2) (그림 4)와 <표 2>에서 나타낸 것과 같이 ERICA 알고리즘은 다른 알고리즘과 달리 망의 구성 형태와 무관하게 1% 미만의 낮은 셀 손실율을 나타내므로 안정적임을 알 수 있다.

3) <표 3>에서 나타낸 것과 같이 EFCI, NIST, EPRCA 알고리즘은 중단시스템의 위치 및 망의 구성 형태에 따라 처리율에 차이가 있고, ERICA 알고리즘은 중단시스템의 위치 및 망의 구성 형태와 무관하게 공정한 처리율을 보였다.

4) 경제성과 QoS를 보장하기 위해서는 EFCI-ER 스위치 혼용에 있어서 병목 구간에 ERICA 스위치 알고리즘 사용이 바람직함을 알 수 있다.

결론적으로 본 논문에서는 여러 가지 ER스위치 알고리즘 중, 망의 형태에 영향을 덜 받으며 여러 개의

VC에 공정하게 대역폭을 할당할 수 있어서 높은 성능개선을 가져올 수 있는 하나의 알고리즘을 나타내 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0" ATMForum af-tm-0056 Apr. 1996.
- [2] L. Roberts, "Enhanced PRCA(Proportional Rate Control Algorithm)" ATM Forum/94-0735R1, August. 1994.
- [3] N. Golmie, Y. Chang and D. Su "The NIST ER Switch Mechanism" ATM Forum/95-0695, June 1995.
- [4] 이 철효, 조 유제 "ATM망에서 ABR 서비스를 위한 EFCI 스위치와 ER 스위치 간의 상호 운용성 분석" 정보과학회 논문지(A) 제24권 제6호 1997.
- [5] Yuan-Cheng Lai, Ying-Dar Lin, Nai-Bin Hsu "Interoperability of EFCI and ER Switches for ABR Services in ATM Network" Proc. of ISCC '98, pp.166-170, June 1998.
- [6] R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy and R. Viswanathan "The ERICA Switch Algorithm : A complete Description" ATM Forum 96-1172, Aug. 1996.
- [7] N. Golmie, A. Koenig, and D. Su, "The NIST ATM Network Simulator Operation and Programming," Technical Report NISTIR 5703, NIST, Aug. 1995.
- [8] A. Charny, D. Clark, and R. Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication," Proc. of ICC '95, Vol.3, pp.1954-1963, June 1995.
- [9] M. Kawarasaki, M. Ishizuka, A. Kioke, "Dynamics of TCP flow control over high-speed ATM networks," Proc. ICC Vol.3, No.1, pp.606-611, 1998.
- [10] R. Jain et al, "Source Behavior for ATM ABR Traffic Management : An Explanation," IEEE Communication Magazine, Vol.34, No.11, pp.50-57, Nov. 1996.
- [11] 육동철, 박희대, 박승섭, "ATM 네트워크 환경에서의 EFCI와 ER스위치 알고리즘의 ABR트래픽 성능 분석", 한국멀티미디어학회 '99년 춘계학술발표논문집, 제2권 1호, pp.305-310, 1999. 5.





**박희대**

e-mail : hdpark@dolphin.pknu.ac.kr  
1998년 부경대학교 전자계산학과 석사과정 재학중  
1985년~현재 부경대학교 전자계산소 교육연구지원 계장  
관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, 무선ATM



**박승섭**

e-mail : parkss@dolphin.pknu.ac.kr  
1982년 경북대학교 공과대학 전자계산전공(공학사)  
1984년 일본 일본대학 이공학연구과(공학석사)  
1993년 일본 동북대학(Tohoku Univ.) (공학박사)



**육동철**

e-mail : net607@unicom.pknu.ac.kr  
1998년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)  
1999년~현재 부경대학교 전자계산학과 석사과정 재학중  
관심분야 : 초고속 통신망, 인터넷, 무선 ATM

1984년~1986년 한국통신 연구원  
1989년~1990년 일본동북대학 객원 교수  
1998년 Philippine Ateneo de davao university, visiting prof.  
1986년~현재 국립 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 교수  
1999년~현재 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부장  
관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, ATM교환시스템, 무선 ATM망