

碩士學位論文

# ATM망에서 가용대역 트래픽 전송의 성능 개선



濟州大學校 大學院

제주대학교 중앙도서관  
情報工學科  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

申 詠 嫵

1999年 12月

# ATM망에서 가용대역 트래픽 전송의 성능 개선

指導教授 安基中

申詠婁

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



1999年12月  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

申詠婁의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

곽 호 영

委 員

안 기 중

委 員

송 왕 철



濟州大學校 大學院

1999年 12月

# **A Performance Enhancement of Available Bandwidth Traffic Transmission in ATM Networks**

**Young-Mi Shin**

**(Supervised by professor Khi-Jung Ahn)**



**제주대학교 중앙도서관**  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**1999. 12.**

# 목 차

Summary .....	i
I. 서 론 .....	1
II. 전송률 기반 ABR 흐름제어 .....	4
1. 전송률 기반 ABR 흐름제어의 개요 .....	4
2. 스위치 알고리즘의 요구사항 및 파라미터 .....	7
3. 스위치 알고리즘의 구현방식 .....	15
III. ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 알고리즘 .....	25
1. 기본 메카니즘 .....	25
2. 송신 알고리즘 .....	27
3. 스위치 알고리즘 .....	28
IV. 시뮬레이션 및 성능분석 .....	31
1. 시뮬레이션 환경 .....	31
2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석 .....	34
V. 결 론 .....	44
참고문헌 .....	46
부 록 .....	52

## Summary

This thesis is a new ABR congestion control approach, which is a kind of ER-based traffic control algorithm, to offer ABR services efficiently in ATM networks. The mediation algorithm of a transmission rate of a VC unit is required and proposed in order to apply a VC link efficiently for users' QoS requirements.

Because of the statistical utilization of unused network resources, the ABR services have some difficulties in predicting the bandwidth and buffer requirements. The major issue in the design of ABR rate control schemes is to compute the FS of available bandwidth for each ABR connection accurately, while maximizing link utilization and controlling the common queue length.

The proposed method is to calculate FS depending on PCR for each VC according to the available bandwidth of networks and to get ER value based on the FS. The performance of the proposed method is compared with the ERICA algorithm using the simulation. It has been known that the ERICA algorithm exhibits a fast transient response and achieves high utilization and short delays, in addition to adapting to high variance in the capacity and demand.

This study shows that the proposed algorithm has a better performance than the ERICA algorithm with the simulation results in view of allotting suitable bandwidth to traffic feature and link usage. Also, the proposed algorithm can control the cell emission rate of a source rapidly for increasing the number of active VCs, and is less sensitive to the change of control parameters than the ERICA. Therefore, this proposed algorithm is one of the efficient ABR congestion control algorithm in ATM networks.

# I. 서론

미래 초고속 정보통신망의 기간전송방식으로 53 옥텟의 고정길이 셀에 정보를 전달하는 ATM은 사용자가 요구하는 전송대역을 자유롭게 할당할 수 있고, 버스트한 속성을 갖는 트래픽을 수용할 뿐만 아니라, 비대칭형 대역할당이 가능하다. 또한 통계적 다중화를 통한 자원의 효율적 사용과 여러 종류의 트래픽 특성에 따라 서비스 품질을 보장할 수 있으므로 광대역 종합정보통신망이 추구하는 동일한 네트워크에서의 통합된 서비스를 제공할 수 있다.

현재 ATM 포럼에서는 다양한 트래픽을 적절하게 수용하기 위해서 트래픽의 특성과 QoS(Quality of Service)에 따라 ATM 서비스 등급을 CBR(Constant Bit Rate), rt-VBR(real-time Variable Bit Rate), nrt-VBR(non real-time Variable Bit Rate), ABR(Available Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate) 등의 5가지 등급으로 분류하고 있다(ATM Forum, 1996).

CBR 및 VBR 서비스는 처리율, 지연 및 지연변동에 대해 정확히 정의된 요구사항을 갖는 회선 애플리케이션, 음성 및 동영상 같은 서비스를 말한다. ABR 서비스는 처리율과 지연에 낮은 요구사항을 갖는 데이터 서비스를 말하며, CBR이나 VBR 서비스가 사용하고 남은 가용 링크 대역폭을 최대한 활용하여 트래픽을 전송하는 서비스이다. 또한 전송 지연에는 민감하지 않으나, 셀 손실에는 매우 민감한 특성을 갖고 있어 LAN간의 고속 접속, 고속 파일 전송 등에 응용된다. Best-Effort 트래픽 클래스라고 하는 UBR 서비스는 어떤 성능 보장도 요구하지 않는 응용을 위해 정의된 서비스이다.(ATM Forum, 1996),(Kalyanaraman, 1997)

이러한 다양한 트래픽들을 ATM망에서 투명하게 수용하기 위해서는 각 미디어의 트래픽 특성에 따라 망 자원을 적절히 할당해야 한다. CBR 및 VBR 트래픽은 호 설정 단계에서 전송 대역폭이 정의되지만,

ABR 트래픽은 CBR 및 VBR 트래픽이 사용하고 남은 여분의 대역폭을 이용하여 데이터를 전송하기 때문에 호 설정 단계에서의 정적 대역폭 할당은 비효율적이다. 따라서 ATM 망 자원의 이용 효율을 높이고 망 상태의 변화에 대처하기 위해 호 설정 단계 이후 데이터 전송 단계에서 망 상태 변화에 따라 ABR 트래픽에 할당되는 대역폭을 가변적으로 조절하는 ABR 트래픽 제어 방법이 요구된다.

ABR 서비스는 최소 셀 전송률(MCR : Minimum Cell Rate)에 대한 보장만 하고, 망의 폭주상태에 따라 최대 셀 전송률 (PCR : Peak Cell Rate)까지 동적으로 가용 링크 대역폭을 활용하여 트래픽을 전송하는 방식이므로, 셀 손실을 줄이기 위해서는 피드백에 의한 흐름제어가 필수적으로 요구된다(Vandalore 등 1998). ATM 포럼에서는 그동안 ABR 폭주 제어 방식에 대한 많은 논의를 거쳐 최종 표준안으로 전송률 기반의 폭주 제어 방식을 채택하였다. 전송률 기반 폭주제어 기법은 전송노드와 목적지 노드 사이에 이미 연결된 데이터 경로를 따라서 네트워크의 상황에 대한 정보를 담은 제어셀인 RM(Resource Management)셀을 주고받는 피드백 루프를 구성함으로써 이루어진다. 1996년 4월 ATM 포럼 TM 4.0 규격이 발표되면서 ABR 서비스 파라미터, RM(Resource Management) 셀 구조, 교환기·소스 단말 시스템(Source End System)·목적지 단말 시스템(Destination End System)의 동작 등에 관련된 내용을 확정하였다(ATM Forum, 1996). ITU-T에서도 권고안 I.371에 ABR 서비스에 대한 정의, 기능, 요구사항, RM셀 구조 등을 권고하기 위한 작업을 진행중에 있다. 그러나 교환기 동작에 대해서는 ABR 서비스를 제공하는 소스 단말 시스템과 목적지 단말 시스템과는 달리 다양한 회사 제품들의 상호 운용을 위한 기본적인 요구 사항만을 규정하고 있고, 구체적인 구현 방법은 개발자가 선택하도록 하고 있다.

ABR 서비스를 제공하기 위한 교환기는 크게 이진 피드백(Binary Feedback) 교환기와 ER(Explicit Rate) 피드백 교환기로 나눌 수 있으며, 필요에 따라 다양한 형태로의 구현이 가능하다. ABR 서비스를

제공하기 위한 전송률 제어 메커니즘의 설계에서 주요 관심사는 링크 이용률을 최대화하고 큐 길이를 제어하면서 각 ABR 연결에 대해 목표 전송률의 공평 분배량(fair share)을 정확하게 계산하는 것이다. 그리고, 효율적인 ABR 서비스 제공을 위해서는 망의 부하가 안정적이어야 하며, ABR 서비스를 통한 망 자원 활용, 그리고 공정한 대역폭 할당이 고려되어야 한다(Lee 등 1998).

본 논문에서는 링크를 효율적으로 이용하고 공정하게 대역폭을 할당하기 위해 PCR 비율에 따라 FS(Fair Share)를 구하는 전송률 기반 폭주제어 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 II장에서 전송률 기반 ABR 흐름제어의 개요 및 기존 스위치 알고리즘의 구현 방식을 살펴보고, III장에서는 제안하는 알고리즘의 제어방법에 대해서 자세하게 살펴보고, IV장에서 제안한 방법의 시뮬레이션 모델 설정과 시뮬레이션 결과를 통한 성능분석 및 평가를 한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 맺고자 한다.





## II. 전송률 기반 ABR 흐름제어

전송률 기반 폭주제어 방식은 송신원에서 전송되는 데이터의 속도를 종단간에서 직접 제어할 수 있기 때문에 고속 통신망 환경에 적합한 흐름제어 방식으로, ATM 포럼에서는 전송률 기반의 흐름제어 방식을 단일안으로 채택하였다(ATM Forum, 1996). 본 장에서는 표준화된 전송률 기반 ABR 흐름제어의 개요, ABR 흐름제어 스위치 알고리즘의 요구사항 및 ABR 파라미터와 제어셀인 RM셀에 대해서 설명하고, 기존 스위치의 구현방식들을 살펴본다.

### 1. 전송률 기반 ABR 흐름제어의 개요

ABR 서비스는 다른 종류의 트래픽과는 달리 ABR 소스와 목적지가 현재 망 상태에 대한 정보를 주고 받는 패킷 루프 방식을 사용한다. 이는 현재 유용한 망 자원의 양에 따라 각 ABR 연결에 할당하는 대역폭을 탄력적으로 변경하기 위함이다. 전송률에 기반한 ABR 트래픽 제어는 ABR 소스에게 망 자원의 상태를 알리기 위해 피드백 흐름제어를 사용한다.

전송률 기반 폭주 제어 방식은 송신원에서 전송되는 데이터의 속도를 종단간에서 직접 제어할 수 있는 방식으로 빠른 데이터 전송이나 버스트성이 큰 데이터 전송에 적합하다. 종단간 직접 제어를 위하여 RM 셀을 이용하고 있으며, 효과적인 ABR 트래픽 제어를 위해서 각 스위치에서는 현재의 네트워크 상태를 신속히 파악하여 정확한 정보를 RM 셀에 실어보내야 한다(이은봉 등 1999).

전송률 기반 흐름제어는 Fig. 1과 같이 전송노드와 목적지 노드간의 피드백 제어 루프로 구성된다. 송신원은 초기전송률 ICR(Initial Cell

Rate)로 전송을 시작하며 최초의 데이터 셀을 전송하기에 앞서 먼저 순방향 RM 셀(FRM셀)을 전송한다. 그리고,  $N_{rm}$  개의 셀마다 하나의 FRM 셀을 전송한다. 망상에 있는 스위치들은 망 상황을 고려하여 각 가상경로의 할당 대역폭인 FS를 계산하고, 이를 토대로 허용최대전송률인 ER(Explicit Rate)값을 구해서 RM 셀의 ER(Explicit Rate) 필드에 실어 자신의 정보를 다른 노드들로 전달하게 된다. FRM셀은 수신원에 도착하면 RM셀의 DIR 필드를 '1'로 설정해서 BRM셀로 바뀌어 송신원측으로 재전송된다. 송신원에서는 이러한 RM셀의 정보를 바탕으로 허용전송률인 ACR(Allowed Cell Rate)을 구하고 그 ACR 속도로 데이터 셀을 전송함으로써 피드백 흐름제어가 이루어진다.

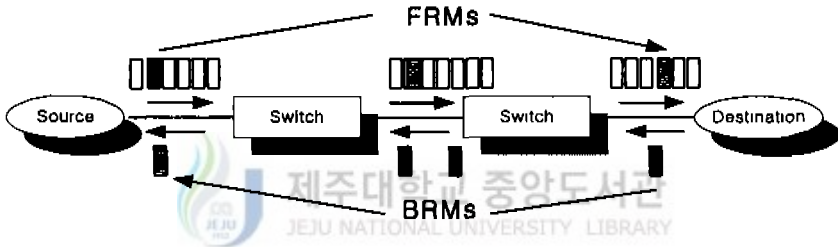


Fig. 1. Basic operation of ABR flow control

송신원에서는 망 상황을 반영하여 소스측에서의 허용전송률인 ACR(Allowed Cell Rate)을 조정하게 되는데, ACR이 조정되는 경우는 다음의 세가지 경우이다.

1) BRM셀을 수신한 경우

송신원이 BRM셀(역방향 RM셀)을 수신하면 RM셀의 CI(Congestion Indication) 비트, NI(No Increase) 비트, ER 필드의 정보를 바탕으로 망의 상태를 반영하여 ACR을 Table 2와 같이 조정하게 된다.

Table 2. ACR adjustment when receiving BRM cell

CI	NI	ACR adjustment
0	0	$ACR = \text{Max}(MCR, \text{Min}(ER, ACR + RIF * PCR, PCR))$
0	1	$ACR = \text{Max}(MCR, \text{Min}(ER, ACR))$
1	0	$ACR = \text{Max}(MCR, \text{Min}(ER, ACR - RDF * ACR))$
1	1	$ACR = \text{Max}(MCR, \text{Min}(ER, ACR - RDF * ACR))$

2) RM return failure가 발생한 경우

송신원이 CRM개 이상의 순방향 RM셀을 전송하고도 BRM 셀을 받지 못하면 역방향 경로의 폭주나 에러로 인하여 RM 셀이 손실된 것으로 판단하고 ACR을 다음과 같이 감소시킨다.

$$ACR = ACR * (1 - CDF) \tag{1}$$

그리고, (CRM+k)개의 FRM셀을 전송하고도 BRM셀을 받지 못하면 다음과 같이 감소시킨다(Fahmy 등 1999b).

$$ACR = ACR * (1 - CDF)^{k+1} \tag{2}$$

3) 송신원이 idle해지는 경우

송신원의 실제 전송률이 송신원 측의 폭주 등으로 인하여 ACR 보다 작을 경우가 발생한다. 이 경우에 송신원의 ACR이 ICR이상이고 FRM 셀 전송 사이의 시간이 ADTF(ACR Decrease Time Factor)보다 크면 ACR을 ICR로 낮추도록 정하고 있다. 만약, 휴지상태후 송신원 ACR이 ICR 이하로 떨어져 있는 경우는 ACR을 ICR로 증가시키지 않는다(Fahmy 등 1999b).

## 2. 스위치 알고리즘의 요구사항 및 파라미터

본 절에서는 ABR 스위치 알고리즘의 요구사항 및 ABR 흐름제어를 구현하기 위해 사용되는 파라미터들과 망의 상황을 송신원에 전달하기 위해 사용되는 RM 셀의 형식에 대하여 알아본다.

### 1) ABR 스위치 알고리즘의 요구사항

ABR 서비스를 제공하기 위한 스위치 알고리즘의 구현시 모든 요구사항을 만족시키기는 어렵지만, 고려해야 할 요구사항은 다음과 같다 (Jain 등 1996),(Jain 등 1997b),(박기훈 등 1998).

#### (1) 효율성 (efficiency)

트래픽 제어 알고리즘에서 가장 중요하게 요구되고 있는 사항은 효율성이다. 효율성은 망 내의 데이터에 대한 처리율(throughput)로 표현될 수 있다. 자원을 공유하는 망 내에서 여러 송신원들은 망 자원을 차지하기 위하여 경쟁하게 된다. 망 자원 중에 가장 대표적인 것은 대역폭이다. 즉, 망 내의 여러 송신원들은 대역폭을 많이 얻기 위하여 경쟁하게 되는데, 우수한 트래픽 제어 알고리즘은 전체 송신원들에게 할당하는 대역폭의 총합이 망내에서 제공할 수 있는 대역폭에 최대한 가깝게 설계된 알고리즘이다. 동시에 반드시 전송하고자 하는 모든 송신원들의 최소 QoS(Quality of Service)를 만족시켜야 한다.

#### (2) 공평성 (fairness)

모든 연결들에 대역의 공평한 할당을 하는 것은 ABR 트래픽 제어의 목적 중 하나이다. 트래픽 제어 알고리즘은 자원의 할당을 요구하는 송신원에게 자원을 공평하게 분배하여야 한다. 즉 어느 한 송신원이 망의 자원을 독점하도록 해서는 안된다(Pisanpattanakul 등 1998),(Yamamoto 등 1998). 공평성을 향상시키기 위한 대표적인 것으로 max-min 할당이라는 대역폭 할당 알고리즘이 있다. 이 알고리즘

은 모든 경쟁하는 송신원 중에서 가장 작은 대역폭을 할당받는 송신원의 대역폭의 크기를 최대로 하는 알고리즘이다(Hou 등 1997),(Vandalore 등 1998). max-min 할당은 이론적인 값으로 여러 가지 원인에 의하여 실제 알고리즘에서는 구현되기 힘들다. 따라서 실제 알고리즘에서는 불공정성이 나타나며 이를 정량적으로 표현한 것이 공평성 인자(fairness index)이다. 1부터 n까지의 송신원이 이론적인 max-min 알고리즘에 의하여 할당받은 대역폭을 벡터로 표시한  $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$ 과 실제 구현된 알고리즘에 의하여 할당된 대역폭을 벡터로 표시한  $\{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$ 에 의하여 공평성 인자를 다음의 식에 의하여 구할 수 있다.

$$fairness\ index = \frac{[\sum_i x_i]^2}{n \sum_i x_i^2} \quad (3)$$

여기에서  $x_i = y_i / z_i$  이다(Fahmy 등 1998a),(Jain과 Babic 등 1996),(Lai 등 1998),(Nabeshima 등 1999).

### (3) 낮은 부하(low load)

트래픽 제어 알고리즘을 위한 제어 신호는 가능한 낮은 부하를 가져야 한다. 즉 제어 신호 자체가 망내에서 부하가 될 수 있으므로 이를 최소화하여야 한다. 제어 신호가 너무 많으면 대역폭이 제어 신호에 의하여 낭비되며 제어 신호가 망의 체중을 유발시킬 수 있다.

### (4) 반응성(responsiveness)

트래픽 제어 알고리즘은 망 내의 목표 전송률과 연결된 송신원의 수가 지속적으로 변할 때, 이에 따라 사용 가능한 자원을 동적으로 할당하여야 한다.

### (5) 신속성(fastness)

트래픽 제어 알고리즘은 망 내의 부하에 따라 신속하게 변화하여야 한다. 즉 망 내의 가용대역폭이 발생한 경우 이를 즉각적으로 감지하여 송신측에 제어신호를 보냄으로써 이를 사용할 수 있도록 하여야 한다. 어떤 알고리즘이 같은 효율성과 공평성을 가지고 있다면 보다 신

속하게 반응하는 알고리즘이 우수한 알고리즘이다. 트래픽 제어 신호가 너무 늦으면 망의 상태 변화에 제대로 대처하지 못하여 체증을 유발시킬 수 있다.

#### (6) 강건성(robustness)

트래픽 제어 알고리즘은 제어 신호의 일부가 손실되더라도 급격하게 망의 성능을 저하시켜서는 안된다. 즉, 전송시의 오류, 데드락(deadlock), 제어 신호의 손실 등이 발생한 경우에도 망의 성능을 잘 유지시켜야 한다. 그리고 손실된 제어 신호 이후에 정상적으로 전송된 제어 신호는 신속하게 망의 상태를 원상 복구시킬 수 있어야 한다.

#### 2) ABR 트래픽 파라미터

ABR 트래픽 파라미터는 ATM 포럼 TM 4.0 규격에 정의되어 있고, Table 3과 같다(ATM Forum, 1996),(Fahmy 등 1999b). 다음에서 각각의 ABR 파라미터에 대하여 기술한다.

- PCR : 송신원이 망으로 초과 전송할 수 없는 최대 전송률을 의미한다. PCR은 연결 설정시 단말기와 망 사이에서 협상되는데, 송신 단말기는 자신이 원하는 PCR을 요구하게 되며 망은 일반적으로 경로상의 최소 링크 속도로 PCR을 낮추게 된다.
- MCR : 송신원이 망으로 항상 전송할 수 있는 최소 전송률을 의미한다. 망의 각 스위치는 송신원에게 MCR 만큼의 전송을 보장하게 된다. 만약 망이 연결 설정시 송신원이 MCR을 수용할 수 없으면 연결 설정을 거부한다.
- ICR : 송신원이 연결 설정 후나 휴지 상태 후 다시 전송을 시작할 때 전송하는 초기 전송률을 의미한다. 이 파라미터는  $ICR * FRTT \leq TBE$  를 만족해야 한다(Fahmy 등 1999b).
- RIF : 송신원이 CI 비트가 0인 BRM 셀을 받았을 때와 같이 ACR을 증가시킬 경우 증가분을 계산하는데 사용된다. ERICA는 RIF 파라미터에 민감하지 않으며, RIF=1에서 잘 동작한다(Fahmy 등 1999b).

**Table 3. ABR parameter descriptions**

Naming	Units	Default Value	Description
PCR (Peak Cell Rate)	cells/sec	mandatory	최대 전송률
MCR (Minimum Cell Rate)	cells/sec	0	최소 전송률
ICR (Initial Cell Rate)	cells/sec	PCR	송신원이 휴지 상태에서 다시 전송 할 때의 초기 전송률
RIF (Rate Increase Factor)	-	1/16	ACR을 증가시킬 때 증가분을 계산하는데 사용
Nrm (Maximum Number of Cell)		32	순방향 RM 셀 사이의 최대 셀 수
Mrm (Minimum number of cells)		2	순방향 RM 셀 사이의 최소 셀 수
RDF (Rate Decrease Factor)	-	1/16	CI 비트가 설정될 때 사용
ACR (Allowed Cell Rate)	cells/sec	-	현재 허용된 전송률
CRM (Missing RM-cell Count)	-	[TBE/Nrm]	역방향 RM셀을 받지 않고 보낼 수 있는 순방향 RM셀수
ADTF (ACR Decrease Time Factor)	seconds	0.5	전송률이 ICR로 감소되기 전까지 RM셀을 보낼 수 있는 시간
Trm (Inter-RM Time Interval)	msec	100	순방향 RM셀을 보내는 시간 사이의 최대시간
FRTT (Fixed Round Trip Time)	μsec	-	전송노드와 목적지간의 전송지연시간
TBE (Transient Buffer Exposure)	cells	16,777,215	전송노드가 처음 RM셀을 받기 전까지 보낼 수 있는 셀수
CDF (Cutoff Decrease Factor)	-	1/16	CRM과 관련된 ACR 감소율 조절
TCR (Tagged Cell Rate)	cells/sec	10	out-of-rate로 전송할 수 있는 순방향 RM 셀 수를 제한

- Nrm : 순방향 RM 셀 사이에 전송할 수 있는 최대 데이터 셀 수를 나타낸다. 즉, 송신원은 (Nrm -1)개의 데이터 셀 다음에 반드시 하나의 순방향 RM 셀을 전송하여야 한다. Nrm은 연결 설정시에 망측에 의해 제공되는 값으로 망의 상태를 최적화할 수 있는 값으로 결정된다. Nrm 값이 작을수록 신속한 폭주제어가 가능하지만 RM

셀의 오버 헤드가 커지게 된다.

- M<sub>rm</sub> : 순방향 RM 셀 사이에 전송하여야 할 최소 셀 수를 나타낸다. 송신원은 순방향 RM 셀을 전송한 후 M<sub>rm</sub> 개 이상의 데이터 셀을 전송하면 순방향 RM 셀을 다시 전송할 수 있다. M<sub>rm</sub> 파라미터는 N<sub>rm</sub> 파라미터와 함께 RM 셀에 의한 오버헤드를 제어하는데 사용된다.
- RDF : 송신원이 CI 비트가 1인 역방향 RM 셀을 받았을 때와 같이 ACR을 감소시킬 경우 감소분을 계산하는데 사용된다. ER 피드백 스위치는 RDF 파라미터를 사용할 필요가 거의 없다(Fahmy 등 1999b).
- ACR : 망에서 송신원에 허용한 전송률을 나타낸다.
- CRM : 송신원이 BRM셀의 수신없이 보낼 수 있는 FRM셀의 최대 개수이다. 만약 송신원이 BRM셀의 수신없이 CRM개 이상의 순방향 RM 셀을 전송한 경우에는 오류 혹은 폭주로 간주하고 소스의 ACR을 감소시키게 된다.
- ADTF : ACR이 ICR로 줄어드는 RM셀간의 최대 시간간격을 나타낸다. 불필요한 속도 감소를 막기 위해서, 이 파라미터는 ADTF > RTT을 만족해야 한다(Fahmy 등 1999b).
- T<sub>rm</sub> : 순방향 RM 셀의 전송 간격을 제어하기 위해 사용되며, 송신원은 적어도 T<sub>rm</sub> 시간마다 하나의 FRM 셀을 전송하여야 한다.
- FRTT : 송신원에서 수신원까지의 왕복시간을 의미하는데, 왕복 경로상에서 전파지연과 대기지연을 합한 시간이다.
- TBE : 송신측이 휴지상태에서 다시 전송을 시작하여 망으로부터 BRM셀을 받기전까지 망이 수용할 수 있는 데이터 셀수를 나타낸다. TBE 파라미터는 연결설정시 망과 협상되어 CRM과 ICR을 설정하는데 사용된다.
- CDF : 오류 혹은 폭주 조건에서 ACR의 감소량을 계산하는데 사용되는 값이다.
- TCR : TCR 파라미터는 out-of-rate로 전송할 수 있는 순방향 RM셀수를 제한한다. 현재 10cells/sec로 정해져 있다.



### 3) RM셀 형식

95년 4월 ATM 포럼 회의에서는 ABR 서비스를 위한 RM(Resource Management) 셀의 형식에 대해서 다소 논란이 있었으나, 95년 3월에 ITU-T에서 결정된 포맷을 그대로 받아들이기로 결정하였다. 현재의 RM 셀 포맷은 Table. 4 (ATM Forum, 1996)와 같으며 아래에서 각 필드가 갖는 의미를 간략히 설명한다.

- Header : RM 셀의 처음 5 바이트는 표준 ATM 셀 헤더로서, RM 셀임을 표시하기 위해 PTI(Payload Type Identifier) 필드가 '110'으로 설정된다. 그리고, 추가적으로 VPC를 위해서는 VCI가 6으로 설정된다. CLP 비트는 RM 셀이 in-rate 로 전송되면 0이고, out-of-rate 로 전송되면 1이다.
- ID : RM 셀의 기능에 대한 식별자로서, 현재 ITU-T에서는 ABR을 1로 설정하고 있다.
- DIR : 이 비트는 RM 셀이 어느 방향의 데이터 셀의 흐름과 관련이 있는지를 나타낸다. DIR=0 으로 설정되는 순방향 RM 셀(FRM셀)은 같은 방향으로 흐르는 데이터 셀과 관련이 있다. DIR=1 으로 설정되는 역방향 RM 셀(BRM셀)은 반대 방향으로 흐르는 데이터 셀과 관련이 있다. RM 셀이 수신원에서 돌아올 경우에는 DIR이 0 에서 1로 변환된다.
- BN : 이 비트는 RM 셀이 BECN(Backward Explicit Congestion Notification) 셀인지의 여부를 알려준다. BN=1 이면 RM 셀이 스위치나 수신 단말에 의해 생성되었음을 나타내는 반면에, BN=0 이면 RM 셀이 송신원에 의해서 생성되었음을 나타낸다.
- CI : 이 비트는 망 구성 요소가 망에 폭주가 발생했음을 알릴 수 있도록 한다. 송신원은 CI=1 인 BRM 셀을 수신하면 ACR을 감소시킨다. 수신원은 순방향 RM 셀을 돌려줄 때, 이전에 수신된 데이터 셀의 EFCI 상태가 설정되었음을 알리기 위해서 CI=1 로 설정한다.

Table. 4. Fields and their position in RM-cells

FIELD	OCTET	BIT (s)	DESCRIPTION	Initial Value	
				if source-generated	if switch-generated or destination-generated
Header	0~5	all	ATM Header	RM-VPC : VCI=6 and PTI=110 RM-VCC : PTI=110	
ID	6	all	Protocol Identifier	1	
DIR	7	8	Direction	0	1
BN	7	7	BECN Cell	0	1
CI	7	6	Congestion Indication		either CI=1 or NI=1 or both
NI	7	5	No Increase	0 or 1	
RA	7	4	Request/Acknowledge	0 or set in accordance with I.371-draft	
Reserved	7	3~1	Reserved	0	
ER	8~9	all	Explicit Cell Rate	not greater than PCR parameter	any rate value
CCR	10~11	all	Current Cell Rate	ACR parameter	0
MCR	12~13	all	Minimum Cell Rate	MCR parameter	0
QL	14~17	all	Queue Length	0 or set in accordance with I.371-draft	
SN	18~21	all	Sequence Number	0 or set in accordance with I.371-draft	
Reserved	22~51	all	Reserved	6A(hex) for each octet	
Reserved	52	8~3	Reserved	0	
CRC-10	52	2~1	CRC-10		
	53	all			

- NI : 이 비트는 송신원이 ACR을 증가시키는 것을 방지하기 위해서 사용한다. 송신원이 NI=1 인 역방향 RM 셀을 수신하면 송신원은 ACR을 증가시킬 수 없다.
- ER : 망에서 해당 VC에 대해 허용할 수 있는 최대 전송률을 나타낸다. ER 필드는 송신원에 의해 초기에 PCR로 설정된다.

CCR : CCR 필드는 송신원에 의해서 현재의 ACR로 설정된다. 이 필드는 망 내에서는 스위치가 새로운 ER을 계산하는 데 사용될 수 있다. BECN 셀인 경우에는 CCR=0 이다.

MCR : 망에 의해서 송신원에게 보장되는 최소의 전송률을 나타낸다. BECN 셀인 경우에는 MCR=0 이다.

RA, QL, SN : ATM 포럼에서는 현재까지 ABR 흐름제어를 위해 사용하지 않고 있으며, ITU-T에 의해 ABT(ATM Block Transfer)(이우섭 등 1997)를 위해 정의된 필드들이다.

CRC (Cyclic Redundancy Check) : RM 셀의 CRC는 모든 OAM 셀에 사용되는 것과 동일한 10비트 CRC를 사용한다. 이것은 CRC 필드를 제외한 RM 셀 유료 부하의 내용을  $x^{10}$ 과 곱한 값(374비트)을 생성 다항식을 이용하여 나눗셈 (modulo 2)을 수행한 나머지로 계산된다. 유료 부하의 각 비트는 첫 번째 비트를 가장 높은 차수의 계수로 사용하는 373차 다항식의 계수(modulo 2)가 된다. CRC-10 생성 다항식은  $1+x+x^4+x^5+x^9+x^{10}$  이다. CRC 연산의 결과는 LSB(Least Significant Bit)가 CRC 비트의 오른쪽에 위치하도록 설정한다.

전송률 필드의 표현 형식 : RM셀에 있는 전송률 필드는 16 비트의 부동소수점 형식으로 표현되는데, Fig. 2에서 나타낸 것처럼 5비트 지수, 9비트 가수과 0을 나타내기 위한 1비트로 구성된다. 이때 nz값이 1이면 전송률을 다음 식과 같이 계산하고 nz값이 0이면 전송률은 0이 된다.

$$R = \left[ 2^e \left( 1 + \frac{m}{512} \right) \right] * nz \quad \text{cells/sec} \quad (4)$$

1 bit	1 bit	5 bits	9 bits
reserved	nz	exponent (e)	mantissa (m)
bits 16	15	14-10	9-1

Fig. 2. Rate format used in RM-cells

### 3. 스위치 알고리즘의 구현방식

ATM 포럼에서는 스위치의 동작 방식을 망에서 송신원으로 피드백이 이루어지는 방식에 따라 이진 피드백(binary feedback) 스위치 방식과 ER 피드백 스위치 방식으로 구분하고 있다. ER 피드백 스위치는 FS와 이를 이용한 ER 계산 알고리즘에 따라 다양하게 구현될 수 있다. 현재까지 ATM 포럼을 통해 제안된 대표적인 ER 기반 스위치의 예에는, 비폭주 회피 방식의 EPRCA 스위치와, 폭주 회피 기술을 사용하는 ERICA 스위치, CAPC 스위치, 그리고 NIST 스위치 알고리즘 등이 있다(ATM Forum, 1996).

#### 1) 이진 피드백 스위치

이진 피드백 스위치는 EFCI 스위치라고도 하는데, 데이터 셀의 헤더에 있는 EFCI 비트를 이용하여 망의 폭주여부를 구분하는 두가지 상태만을 수신원에 알리게 된다. 이진 피드백 정보를 사용하는 가장 간단한 예가 양단간 전송률 기반 방식으로 제안된 DECbit 방식이다(Kalyanaraman, 1997).

스위치는 모든 가상연결들에 대해 공통의 출력 큐를 두고 큐의 크기를 감시하며 큐의 크기가 임계치(threshold)를 넘으면 폭주발생으로 인식하여 전송되는 데이터 셀의 EFCI 비트를 마킹하여 폭주가 발생하였음을 수신원에 알린다. 수신원은 EFCI 비트가 설정된 데이터 셀을 받게 되면 전송할 역방향 RM 셀의 CI 비트를 1로 설정함으로써 망에 폭주가 발생하였음을 송신원에 알리어 전송률을 감소하도록 한다. 송신원에서 CI=1인 RM셀을 받으면 ACR을  $\text{Max}(\text{ACR} \cdot \text{RDF}, \text{MCR})$  값으로 감소시킨다. 그리고, 버퍼의 수위가 다시 임계값 아래로 내려가면 폭주가 해제되었다고 판단하고 EFCI 비트에 표시없이 셀들을 전송한다.(Chew 등 1997),(Lai 등 1998)

대부분의 이진 피드백 스위치는 하나의 임계치를 사용할 때 발생할

수 있는 잦은 폭주 통지와 해제를 방지하기 위해 두 개의 임계치를 도입하고 있다. 즉, 폭주발생을 선언하는 임계치  $Q_H$ 와 폭주해제를 결정하는 임계치  $Q_L$ 를 사용하여 버퍼의 수위가  $Q_L$ 를 지나  $Q_H$ 를 넘으면 폭주를 선언하고 버퍼가 줄기 시작해도  $Q_L$ 보다 낮지 않으면 폭주상태를 해제하지 않는다. 이 방식은 모든 VC가 공통의 버퍼를 공유하기 때문에 VC간의 불공평성이 발생할 수 있다. 즉, 여러 흐름을 경유할수록 VC가 폭주를 경험할 확률이 높아지기 때문에 데이터 셀들이 EFCI 비트에 폭주 표시를 당할 가능성이 크다. 따라서, 여러 흐름을 경유하는 VC는 전송률을 증가시킬 기회가 상대적으로 작게 되고 짧은 흐름의 VC에 비해 전송률이 매우 낮아지는 "beat-down" 문제가 발생한다(Jain, 1996),(Lai, 1998).

이러한 불공평성 문제점은 몇가지 개선책에 의해 해소될 수 있다. 먼저 각 VC에 분리된 버퍼를 제공하여 공평성을 보장하는 방법을 들 수 있다. 다른 개선책으로는 선택적인 피드백을 통한 지능적인 폭주제어 방법이 있다. 선택적인 피드백 방법은 먼저 스위치가 FS를 계산하고 만약 폭주상태이면 현재 전송률이 FS보다 큰 VC에 대해서만 폭주를 표시하는 방법이다. 그러나 분리된 버퍼나 FS 계산을 위해서는 스위치에 부가적인 기능이 필요하며 이진 피드백 스위치가 ER 피드백 스위치에 비해 가지는 구현상의 용이함과 같은 이점을 얻기가 어렵게 된다.

## 2) ER 피드백 스위치

ER 피드백 스위치는 VC간의 공평한 대역분배인 FS(FairShare)와 입력 부하의 정도에 따라 망에서 허용할 수 있는 전송률인 ER 값을 계산하여 ER 필드에 실어 송신원에게 알리게 된다. ER 스위치 방식이 이진 스위치 방식에 비해 구현은 어렵지만, 공평성(fairness), congestion oscillation, 강건성(robustness) 면에서 이진 스위치보다 더 나은 성능을 보인다(Jojada, 1998). 다음에서 ATM 포럼에 제안된 대표적인 ER 기반 스위치의 구현방식에 대해서 살펴본다.

### (1) EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)

ATM System의 Roberts가 중심이 되어 1994년 9월 ATM 포럼에 소개된 전송률 기반 흐름제어 방법으로, 소스의 데이터 전송률을 조정하기 위해 ABR 소스에 대한 지능적인 표시를 한다. 즉, 스위치에 폭주 상태가 발생하면 모든 소스에 대해 폭주를 통지하는 것이 아니라 선택적으로 선별하여 일부 소스에 대해서만 폭주를 통지하는 방식이다 (Chen 등 1998).

EPRCA 스위치는 FS를 계산하기 위해 먼저 RM 셀의 CCR 값에서 지수 가중 평균(Exponential Weighted Averging) 계산 방법을 이용하여 MACR(Mean Allowed Cell Rate)를 구하고, FS는 구해진 MACR를 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$\text{MACR} = (1 - \alpha)\text{MACR} + \alpha \cdot \text{CCR} \quad (5)$$

$$\text{FS} = \text{SW\_DPF} * \text{MACR} \quad (6)$$

단,  $\alpha$  : 지수 가중 평균치를 위한 계수(1/16),

SW\_DPF : 스위치의 상황에 따라 1보다 작은 값으로 설정

EPRCA 스위치 알고리즘은 FS의 계산을 위해 FRM 셀의 CCR 필드 값을 사용하여, 스위치가 현재 폭주 상태이면 송신원 중 CCR이 MACR보다 낮은 VC에 대해 식 (5)를 사용하여 MACR을 갱신한다 (Lai 등 1998).

스위치는 위와 같이 구해진 MACR을 이용하여 FS를 계산하고 필요에 따라 BRM 셀의 ER 필드값을 FS에 근거하여 줄인다. 이때 폭주 상태가 아니면 ER 필드값은 제한되지 않고, 폭주 상태로 판단할 경우에만 ER 필드 값을 FS로 제한하게 된다. ER 스위치는 경미한 폭주 상태와 심각한 폭주 상태를 나타내는 두 개의 임계값을 가지고 있다. 먼저 심각한 폭주 상태이면 모든 VC에 대하여 ER을  $(1/4)*\text{MACR}$  이하로 감소시키고, 경미한 폭주상태이면 CCR이 MACR의  $7/8$ 보다 큰 VC에 대해서만 선택적으로 ER을  $(15/16)*\text{MACR}$  이하로 감소시킨다.

EPRCA 스위치는 송신원의 전송률 변화시 링크의 가용대역을 적응적으로 제어하기 보다는 가법적, 승적으로 일정량을 늘리고 줄이는 제어

를 하기 때문에 가용대역을 충분히 활용하지 못하는 단점을 가진다. 그리고, EPRCA 스위치의 주된 문제점은 폭주 상태를 판단하는 방법이 단순히 버퍼 수위의 임계값 초과 여부만을 사용한다는 것이다. 즉, 버퍼의 수위가 어떤 임계값을 초과하면 경미한 폭주 상태로 판단하고 더 높은 임계값을 초과하면 심각한 폭주 상태로 판단한다. 이러한 폭주 상태 판별 방법은 늦게 전송을 시작한 송신원이 일찍 전송을 개시한 송신원보다 낮은 처리율(throughput)을 가지는 불공평성을 유발한다(Chang 등 1994).

(2) CAPC (Congestion Avoidance using Proporional Control)

CAPC 스위치 알고리즘은 Hughes System의 Barnhart 등이 제안한 방법으로 실측에 의한 입력률과 목표 대역 이용률을 사용하여 부하지수를 계산한다. 이때 목표 대역 이용률을 1보다 좀 작게 설정하여 스위치의 버퍼 수위를 낮게 유지하게 한다. 또 망내에 여러 곳에서 폭주 현상이 발생할 때 각 VC간의 대역폭 할당의 공평성 보장을 위해 지능적인 폭주 표시 방법을 사용한다.

먼저 실제 측정된 스위치의 입력률과 링크의 목표 전송률(Target capacity)을 가지고 부하지수  $z$ 를 구한 후 이를 이용하여 스위치의 FS를 구하는데,  $z$ 값의 범위에 따라 다음과 같이 FS를 계산하는 방법을 달리한다(Lai 등 1998).

①  $z$ 가 1보다 작은 경우 (저부하 상태)

$$FS = FS * \text{Min}(ERU, 1+(1-z)*Rup) \tag{7}$$

단,  $Rup : 0.025 \sim 0.1$

ERU : FS의 최대 증가량을 결정하는 값(1.5)

②  $z$ 가 1보다 큰 경우 (과부하 상태)

$$FS = FS * \text{Max}(ERF, 1-(1-z)*Rdn) \tag{8}$$

단,  $Rdn : 0.2 \sim 0.8$

ERF : FS의 최소 감소량을 결정하는 값(0.5)

이렇게 계산된 FS는 스위치가 각 VC에 허용할 수 있는 최대 전송률로서 모든 송신원들이 이 FS값으로 전송하면 스위치의 이용률은 목표 이용률에 접근하지만 폭주는 발생하지 않는다.

CAPC 스위치 알고리즘은 평형 상태에서 송신원의 ACR 진동이 없는 특징이 있다. 즉, ACR의 진동 주파수는  $(1-z)$ 의 함수로 표시되는데 일단 망이 평형 상태에 도달하면  $z$ 값은 1이 되기 때문에 진동 주파수가 0이 되어 전송률의 진동이 없게 된다(Tsang 등 1996).

Barnhart는 1995년 2월에 CAPC 스위치 알고리즘을 개선한 CAPC2(Congestion Avoidance with Proportional Control Level 2)를 제안하였는데, CAPC2에서는 스위치에 도착한 셀 수와 경과 시간을 동시에 고려하여 측정기간을 결정한다. 전송률은 스위치가 일정한 측정기간마다 계산한 FS값에 의해 제어되지만, 스위치에 트래픽의 과도한 입력이 있을 때 MACR을 이용하여 빠른 폭주 해소를 수행한다(Kalyanaraman, 1997).

### (3) NIST

NIST 스위치 알고리즘은 NIST의 Chang 등이 최근에 제안한 폭주 회피 기술을 사용하는 스위치 알고리즘이다. 그리고 Chang 등은 다양한 망환경에서 시뮬레이션을 통해 NIST 스위치 알고리즘의 성능을 검증하여 제시하였다(Golmie 등 1995).

NIST 스위치 알고리즘에서는 측정기간 동안 큐길이의 변화율을 이용한 조기 폭주 감지(early congestion detection)방법을 사용한다. 즉, 큐길이의 변화율이 양이면 폭주상태로 판단하고, 큐길이가 정해진 임계치보다 낮게 되면 폭주해제로 판단한다(ATM Forum, 1996),(Golmie 등 1995). 또 스위치는 측정된 실제 입력률과 목표 전송률의 비인 부하지수(load factor)  $z$ 를 계산한다. 그리고, 각 VC에 대한 ACR의 평균을 나타내는 MACR은 FRM 셀의 CCR 필드를 이용하여 가중치를 주어서 다음과 같이 계산한다.

$$MACR = MACR + (ACR - MACR) * AVF \quad (9)$$

단, AVF : 지수 가중치(1/16)



만약  $z$ 가 1보다 작으면 스위치는 저부하 상태이므로 잉여 대역폭을 아래와 같이 재할당하게 된다.

$$MACR = MACR + MAIR \quad (10)$$

단, MAIR : MACR 가산 증가률(0.5Mbps)

만약 스위치의 큐 길이가 임계치를 넘고 변화율이 양이면 폭주 상태를 의미하므로, 이때는 ER 값이 다음과 같이 설정된다.

$$ER = MACR * MRF \quad (11)$$

단, MRF : MACR을 감소시키는데 사용되는 1보다 작은 상수  
스위치가 폭주 상태가 아니면 ER 값은 아래와 같다.

$$ER = MACR \quad (12)$$

송신원 ACR의 감소시에 스위치의 과부하 정도에 관계없이 고정된 상수인 MRF를 MACR에 곱하여 감소시키기 때문에 다른 스위치에 비해 감소 시간이 크게 나타난다. 이는 링크 이용 효율면에서 성능의 개선을 가져올 수 있으나, 스위치의 큐길이가 지나치게 커질 수 있다. 그리고, 큐 길이가 증가할 때 폭주로 판단하는 조기 폭주 검출 방식을 사용하여 목표 이용률을 1로 설정한 경우에는 **평형 상태에서도 ACR을 감소시키는 경우가 발생하여 ACR의 진동이 크게 나타난다(김병철 등 1999).**

#### (4) ERICA (Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance)

ERICA 스위치는 Jain 등에 의해 1995년 2월에 ATM 포럼에 제안되었고, OSU(Ohio State University) 스위치에서 발전한 폭주 회피형 스위치 알고리즘으로 출력포트에서 동작한다(Jain 등 1997).

ERICA는 정해진 측정 간격 동안에 각 링크에 대한 부하를 감시해서 부하지수(load factor), FS, 가용용량(Available Bandwidth), 현재 활성화된 가상 연결의 수(Number of active connections) 등을 측정한다. 그리고 BRM셀이 도착하면 각 가상연결은 공평하게 할당된 용량을 모두 사용하지 않기 때문에 남아있는 용량을 제한되지 않은 가상연결에 재할당하기 위하여 VS(VCshare)를 계산한다.

다음은 교환기에서 측정되는 파라미터에 대한 정의와 계산 방법을 기

술한 것이다(Fahmy 등 1999a),(Goyal 등 1998),(Jain 등 1997),(Kalyanaraman, 1997),(Lai 등 1998).

① load factor ( $z$ ) : 링크의 폭주 정도를 나타내는 것으로 입력률과 가용용량(Available Bandwidth)의 비로써 계산한다. 이때 입력률은 일정한 시간동안 교환기내로 유입된 셀 수를 측정 한 것이고, 가용용량( $B_a$ )은 전체 대역폭에 목표대역이용률 ( $\mu_T$ )를 곱해서 얻은 값이다.

$$\text{load factor } (z) = \frac{\text{ABR input rate}}{\text{Available Bandwidth}} \quad (13)$$

② FS : 모든 활성화된 가상 연결에 공평하게 할당할 수 있는 최소한의 대역폭으로서 현재 활성화된 가상연결수와 가용용량의 비로 계산한다.

$$FS = \frac{\text{Available Bandwidth}}{\text{Number of active connections}} \quad (14)$$

③ VS (VCshare) : 현재 셀 전송률과  $z$ 의 비로 계산한다. 이때 CCR 은 각 스위치에서 측정해서 구해진 값이다.

$$VS = \frac{CCR}{z} \quad (15)$$

ERICA는 안정된 상태에서 최적으로 동작하기 위하여 ER값으로 FS 와 VS의 최대값을 계산한다. 이때 VS가 FS보다 크면 소스의 전송률을 VS로 설정해서 남아있는 링크 용량을 효율적으로 이용할 수 있기 때문에 최대-최소 전송률을 만족할 수 있다. 또한 병목 지점의 ER을 소스에 반영하고 계산된 ER이 가용용량을 넘지 않도록 계산된 ER, 가용용량, 수신된 RM셀에 있는 ER 중에서 최소값을 계산한다.

$$ER = \text{Max}(FS, VS) \quad (16)$$

$$ER_{in\_RM} = \text{Min}(ER_{in\_RM}, ER, \text{Available Bandwidth}) \quad (17)$$

ERICA 스위치 알고리즘은 폭주의 회피성, max-min 최적성, 빠른 응답성, 파라미터 설정의 용이성 등의 특징을 만족하게 설계되었다 (Jain 등 1997b),(Kalyanaraman 등 1996),(Pisanpattanakul 등 1998).

ERICA 스위치는 VC 단위로 CCR을 저장하여 ER값의 계산에 이용

하기 때문에 MACR을 이용하는 NIST 스위치를 사용할 경우에 비해 목표 전송률 변화에 따른 송신원의 ACR 변화가 빠르게 조정된다. 그러나, VC 수가 늘어남에 따라 구현상의 복잡성이 증가하게 되는 문제점이 있다(김병철 등 1999).

이후 ERICA 스위치 알고리즘은 성능의 개선을 위하여 알고리즘이 대폭 수정되어 ERICA+ 알고리즘으로 제안되었다. 특히 폭주 회피 방식에서 문제점으로 지적되는 링크 이용효율의 저하를 개선하고, 망에 과도한 트래픽의 유입으로 급격하게 버퍼의 수위가 높아지는 경우 버퍼수위를 신속하게 낮추지 못하여 셀 손실이 발생할 수 있는 문제점을 개선하기 위해 스위치에서 셀의 큐잉 지연을 계산하고 이를 일정하게 유지하기 위해 목표 이용률을 조정하는 알고리즘이 첨가되었다(Jain 등 1995c). 그러나, ERICA+ 스위치에서는 입력되는 셀의 큐잉 지연을 계산하는 등의 스위치 구현 복잡도가 증가하는 문제점이 발생한다.

#### (5) ER 피드백 스위치의 비교

위에서 살펴본 각각의 ER 피드백 스위치 알고리즘들을 CCR/MACR 사용 유무, 스위치에서의 망 상태의 판단기준 및 부하지수를 이용할 경우 목표 대역 이용률의 선택 방법 등의 기준에 따라 비교해 보면 Table 5와 같다.

Table 5. Comparison of the ER-based feedback algorithms

Switch algorithm	port/VC unit ( MACR/CCR )	detection of congestion	target utilization
EPRCA	port unit ( MACR )	queue length	-
CAPC (CAPC2)	port unit ( MACR )	queue length load factor	static
NIST	port unit ( MACR )	queue length, increase rate load factor	static
ERICA (ERICA+)	VC unit ( CCR )	load factor	static (dynamic)

VC 단위로 전송률을 고려하기 위해 CCR을 사용하는 ERICA 스위치 알

고리즘을 제외한 대부분의 스위치 알고리즘에서는 출력포트 단위(port unit)로 송신원 전송률의 평균값인 MACR을 계산하여 ER 값의 계산에 이용한다. ERICA 스위치는 VC 단위로 CCR을 구해서 ER값의 계산에 이용하기 때문에 MACR을 이용하는 스위치를 사용할 경우에 비해 가용대역폭 변화에 따른 송신원의 ACR 변화가 빠르게 조정된다(김병철 등 1999). 그러나, VC 수가 늘어남에 따라 구현상의 복잡성이 증가하게 되는 문제점이 있다.

망의 폭주상황을 판단하기 위하여 비폭주회피 방식의 EPRCA 스위치 알고리즘은 큐길이(queue length)만을 이용하고, 폭주회피 스위치인 CAPC, NIST, ERICA 알고리즘들은 부하지수(load factor)를 이용한다. 또한 추가적으로 CAPC 스위치 알고리즘의 경우에는 큐길이를 사용하며, NIST 스위치 알고리즘의 경우에는 큐길이와 함께 큐길이의 증가율(increase rate)을 반영한다. 큐길이만을 기반으로 혼잡을 판단하는 EPRCA 스위치 알고리즘은 송신원에서 수신원에 이르는 거리가 비교적 짧거나 동거리에 있는 VC가 많은 경우, 혼잡판단을 일괄적으로 수행하게 되어, 비슷한 혼잡상황정보가 송신원에 도착하여 ACR 값이 동시에 증가감소를 하게 된다. 이 결과, 큐길이 변동이 심해져 버퍼의 크기에 따라 셀이 폐기되는 현상이 쉽게 발생한다. 또한 ABR 파라미터(RIF, MRF, ERF 등) 값의 변화에 따라 알고리즘이 민감한 특성을 나타낸다(이은봉 등 1999).

폭주 회피 스위치들의 경우 폭주회피에 이용되는 파라미터인 목표 대역 이용률(target utilization)을 결정하여야 하는데, 목표 대역 이용률을 높게 설정할수록 링크이용률 측면에서는 유리하지만, 버퍼범람의 가능성이 커지고, 목표 대역 이용률을 낮게 설정할수록 순간적인 트래픽의 변동에 의한 폭주를 신속하게 해소할 수 있지만, 평형상태에서 링크이용률이 낮아지게 된다. ERICA+ 스위치만이 스위치에서의 목표 대역 이용률을 동적으로 조정하고, 나머지 다른 스위치 알고리즘들은 미리 정해진 정적인 값을 사용한다. ERICA+ 스위치 알고리즘의 경우 스위치에서의 큐잉 지연을 일정하게 유지하기 위해서 동적 목표 이용률 조정이 이루어지고, 따라서, 가용대역폭의 변화에 따라 유지하여야 할 목표 큐길이가 비례하여 동적으로 설정된다. 그러

나, 입력되는 셀의 큐잉 지연을 계산하는 등의 스위치 구현 복잡도가 증가하는 문제점이 발생한다.



### Ⅲ. ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 알고리즘

본 논문에서는 가용대역내에서 ABR 서비스 트래픽 제어 알고리즘이 각각의 가상연결에 대해서 어떻게 대역을 할당하여 링크효율을 높일 수 있는지를 분석하여 보다 개선된 전송률 기반 ABR 트래픽 제어 알고리즘을 제안한다. 먼저 제안 알고리즘의 기본 메카니즘에 대해서 설명하고, 제안 방법의 대역폭 분배 과정을 송신측과 스위치측으로 나누어 살펴보고자 한다.

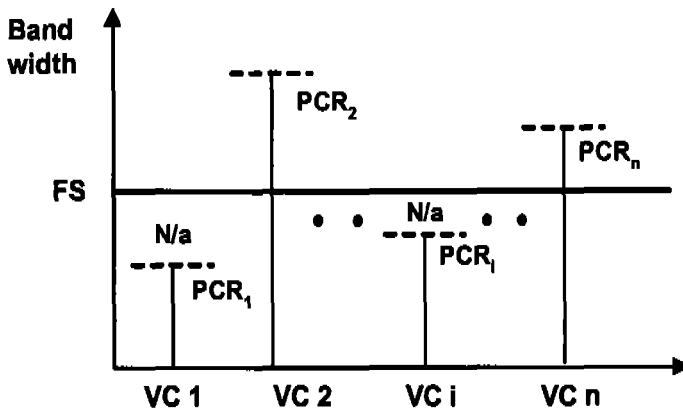
#### 1. 기본 메카니즘

기존 ERICA는 공평할당을 위한 인자인 FS를 동적으로 변하는 ABR 트래픽의 부하를 감안하지 않고 모든 VC에게 같은 값으로 구하고 있다(Pisanapattanakul, 1998),(Tsang 등 1996),(Tzeng 등 1997). ERICA 알고리즘에서의 FS 계산식은 다음과 같다(Jain 등 1997),(Kalyanaraman, 1997),(Lai 등 1998).

$$FS = \frac{\text{Available Bandwidth}}{\text{Number of active connections}} \quad (18)$$

따라서, PCR이 FS보다 작은 값을 갖는 VC의 경우는 그 초과되는 대역을 낭비하는 결과를 초래한다. ERICA 알고리즘에서 각각의 VC에 대해 할당된 FS를 PCR과 비교해 보면 Fig. 3과 같다.

그림에서 보면, VC의 PCR값이 FS보다 작은 경우의 VC(Fig. 3의 VC1과 VCi)에서는 FS-PCR만큼의 할당되지 못하는 대역이 발생하고 있다. 이와 같은 잉여 대역은 이후의 ER 계산시 오실레이션 현상의 심화를 가져오게 된다.



( N/a : not allocated)

Fig. 3. FS(FairShare) and PCR in ERICA algorithm

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 FS값을 각 VC마다 초기 접속 협약시 설정된 PCR을 기준으로 비율적 배분을 함으로써, 회선 대역폭을 좀더 효율적으로 사용해 보고자 한다.

FS 값은 가용대역에 각각의 가상연결마다 PCR의 총합에 대한 비율을 곱하여 구하게 되며, 그 계산식은 다음과 같다.

$$FS_i = Ba * \frac{PCR_i}{\sum_{i=1}^N PCR_i} \quad (19)$$

$$Ba = B_{Link} * \mu_T - B_{CBR} - B_{VBR} \quad (20)$$

단, Ba : Available Bandwidth

FS<sub>i</sub> : VC<sub>i</sub>에 해당하는 FS값

PCR<sub>i</sub> : VC<sub>i</sub>에 해당하는 PCR값

N : 전체 가상연결수

$\sum_{i=1}^N PCR_i$  : 모든 VC의 PCR값의 합

B<sub>Link</sub> : switch에서 나가는 회선의 대역폭

B<sub>CBR</sub> : CBR 트래픽에 할당된 대역폭

B<sub>VBR</sub> : VBR 트래픽에 할당된 대역폭

$\mu_T$  : 목표대역이용률

제안 알고리즘에서 할당된 FS와 PCR의 관계는 Fig. 4에서 볼 수 있다. 제안 알고리즘의 FS값은 활성 VC들의 PCR의 총합에 대하여 비례적으로 산출되며, 그림에서 보듯이 PCR을 초과하지 않는 값으로 구해지게 된다. 따라서, ERICA에서 낭비되던 대역폭이 없어지게 되어 높은 대역폭 효율을 올릴 수 있게 된다.

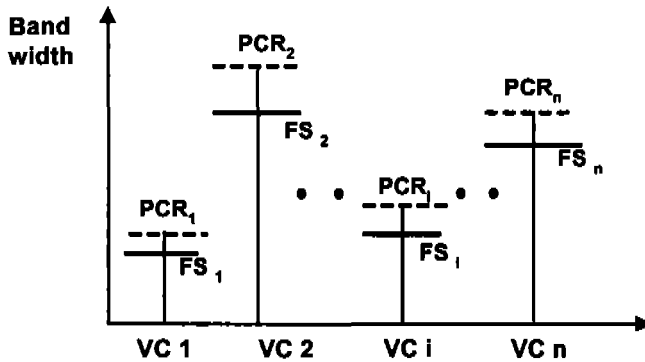


Fig. 4. FS and PCR in proposed algorithm

제안하는 알고리즘의 전체적인 흐름은 다음과 같다. 송신측에서 목적지로 데이터를 전송하고, 스위치에서는 그때의 망 상황에 따라 가상경로의 최대허용전송률을 구하고 그 정보를 RM 셀의 ER 필드에 실어 목적지로 보낸다. RM 셀을 받은 목적지에서는 RM 셀의 DIR 비트를 1로 set하여 다시 역방향으로 보내게 되는데, 이 RM 셀을 받은 송신측에서는 RM 셀의 정보를 바탕으로 허용전송률 ACR을 계산하여 그 ACR 속도로 데이터를 보냄으로써 트래픽 제어를 하게 된다.

## 2. 송신 알고리즘

송신측에서의 알고리즘을 살펴보면 Fig. 5와 같다.

초기전송률(ICR)을 PCR로 하고, 맨먼저 RM 셀을 전송하는데, RM



셀의 CCR 필드에 ACR 값을 넣어 스위치 측으로 전송한다. 계속 데이터 셀을 보내면서, 그 수를 카운트하여, 매 (Nrm-1)개의 데이터셀을 보낼 때마다 RM 셀을 전송한다. 그리고, 소스측에서 BRM 셀을 받을 때마다 RM 셀의 ER 값과 그 VC의 MCR값 중 큰 값으로 허용전송률인 ACR을 구하고, 구해진 ACR 속도로 셀들을 전송하게 된다.

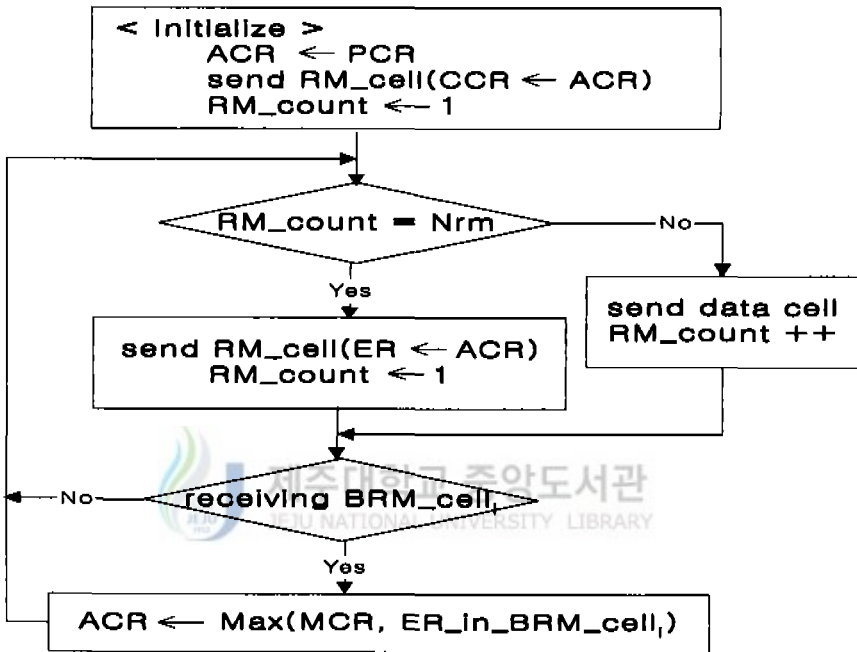


Fig. 5. Source algorithm

### 3. 스위치 알고리즘

N개의 VC에 대해서,  $CCR_i$ ,  $PCR_i$ ,  $ER_i$ ,  $FS_i$ ,  $Flag_i$ ,  $VS_i$ ,  $ER\_in\_RM\_Cell_i$ 은  $VC_i$ 에 해당하는 Current Cell Rate, Peak Cell

Rate, Explicit Rate, Fair Share, Flag, VCshare, RM Cell내 ER 필드값을 나타낸다.

각 가상연결마다의 기본적인 FS 계산식은 식 (19)와 같다. 만일, 소스 측에서의 고의적 또는 오동작으로 인해서, 스위치에서 측정된 현재전송률인 CCR값이 소스에서 허용가능한 속도를 내지 못하는 경우 즉, 스위치에서의 측정 CCR값이 허용 오차 범위내에 있지 않는 경우  $(CCR_i(t) - ER\_in\_RM\_cell_i \leq -\epsilon)$ 가 발생시, Flag를 1로 set하고, 그때의 CCR값을 ER값으로 정한다. 이때의 남은 대역을 나머지 연결들을 위해서 사용하기 위해 새롭게 FS값을 구하게 되는데, 그 계산식은 다음과 같다.

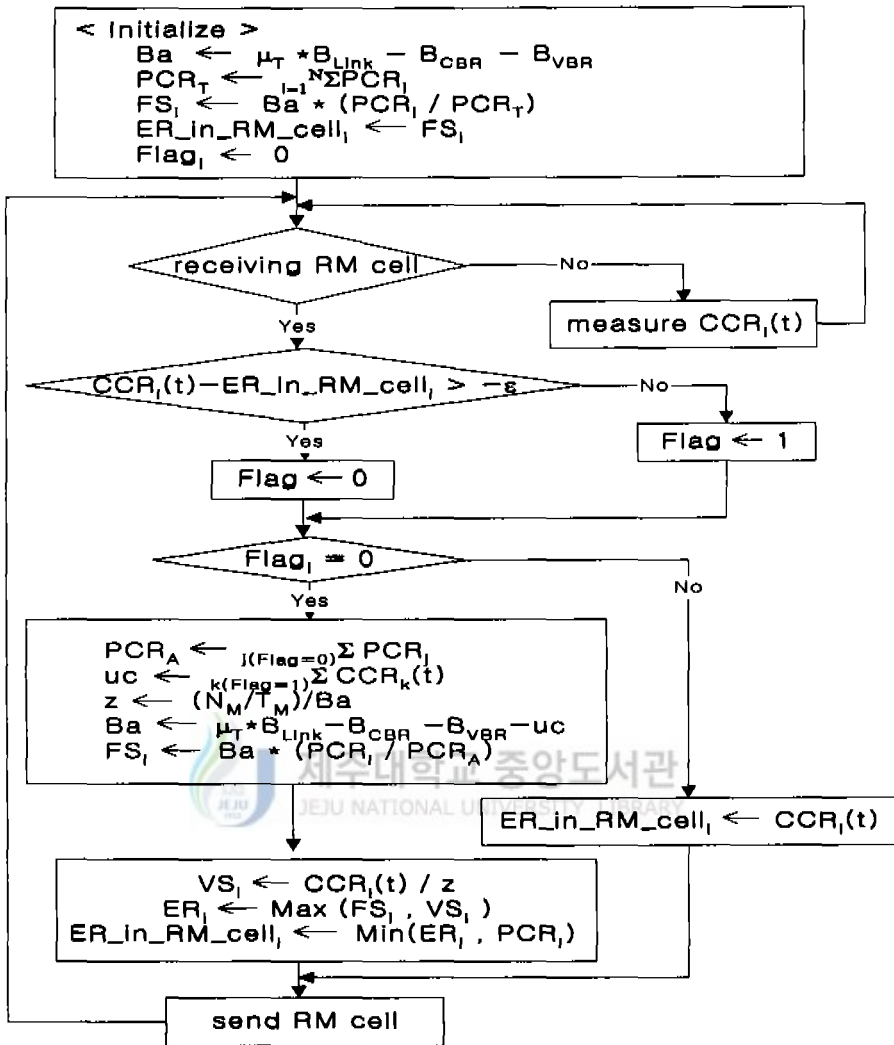
$$FS_{i(Flag \neq 1)} = \frac{PCR_i}{PCR_T} * (Ba - \sum_{Flag=1인 k} CCR_k(t)) \quad (21)$$

단,  $PCR_T$  : Flag가 1로 set되지 않은 VC들의 PCR값의 합

이것은 허용된 전송률인 ER보다 적게 사용하는 VC의 남은 대역폭을 나머지 다른 VC에서 사용하기 위해, 새롭게 FS를 계산함으로써 링크 효율을 높이게 된다.

스위치에서의 알고리즘은 Fig. 6과 같다.





- Ba** : Available bandwidth  
 **$\mu_T$**  : Target utilization  
 **$B_{Link}$**  : switch output link capacity  
 **$B_{CBR}$**  : CBR usage  
 **$B_{VBR}$**  : VBR usage  
**N** : Number of active connections  
**z** : load factor  
 **$N_M$**  : Number of input cells per measurement interval  
 **$T_M$**  : Measurement interval

Fig. 6. Switch algorithm

## IV. 시뮬레이션 및 성능분석

본 장에서는 ABR 흐름제어를 위한 스위치 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 먼저 시뮬레이션에 사용된 모델 및 파라미터 등을 기술한 후, 시뮬레이션 결과 및 그에 대한 성능을 분석하고자 한다.

### 1. 시뮬레이션 환경

본 논문의 시뮬레이션은 SLAM II (Simulation Language for Alternative Modeling) 언어를 사용하여 시뮬레이션하였다.

시뮬레이션 모델은 peer-to-peer 형태로 N개의 SES(Source End System)와 ATM Switch, N개의 DES(Destination End System)로 구성되어 있고, Fig. 7과 같다.

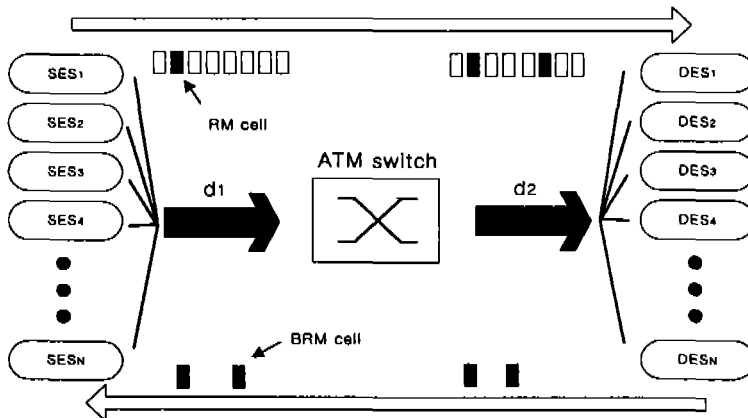


Fig. 7. Simulation model

각각의 SES와 교환기간의 거리를  $d_1$ , 교환기와 DES사이의 거리를  $d_2$ , 각각의 거리는 같다고 보고, 스위치에서 DES를 잇는 링크의 회선 대역폭을 30Mbps로 본다. 스위치는 공용출력버퍼(SOB, Shared Output Buffer)로 선입선출(FIFO, First In First Out)의 무한버퍼를 사용한다고 가정하였다.

또한, 모든 송신원은 최악의 트래픽 발생 모델(WCTP, Worst Case Traffic Pattern)을 사용하여, 시뮬레이션과 동시에 전송을 시작하고 항상 주어진 ACR로 전송할 데이터 셀을 가진다고 가정하였다. 시뮬레이션에 이용된 소스트래픽의 전송률은 Table 6과 같다. 시뮬레이션시 MCR 값을 따로 설정해 주지 않았고, 따라서 모두 기본값인 0로 사용되었다.

Table 6. source traffic rate used in the simulation

	traffic type	PCR (Mbps)
VC 1	ABR	2
VC 2	ABR	8
VC 3	ABR	20
VC 4	ABR	5
VC 5	ABR	15
VC 6	ABR	10
VC 7	ABR	10

본 논문은 제안알고리즘의 성능에 영향을 줄 수 있는 인자를 고려하여 모두 6가지 서로 다른 경우에 대해서 시뮬레이션하였으며, Table 7에서 시뮬레이션에 사용된 파라미터값을 보여주고 있다.

Table 7. Parameter values used in the simulation

condition parameter	condition 1	condition 2	condition 3	condition 4	condition 5	condition 6
Distance ( $d_1 = d_2$ )	10 Km	100 Km	10 Km	10 Km	10 Km	10 Km
Number of active VCs	5	5	5, 7, 3	5	5	5
Measurement interval ( $T_M$ )	1 msec	1 msec	1 msec	10 msec	1 msec	1 msec
Target utilization ( $\mu_T$ )	0.99	0.99	0.99	0.99	0.9	0.99
Nrm	16	16	16	16	16	32

조건 1의 경우는 LAN 환경을 고려하여 송수신원과 ATM 스위치간의 거리를 10km로 하였고, 활성중인 가상연결수를 5개로 하고, 1 msec마다 입력셀율을 측정하고, 폭주회피를 위해 사용되는 파라미터인 목표 대역 이용률(target utilization)을 0.99로 하였으며, 그리고 제어정보를 실어나르는 RM 셀 간격(Nrm)을 16으로 설정하였다.

조건 2의 경우는 송수신원과 ATM 스위치간의 거리를 달리하였을 때 성능의 변화가 있는지를 보기 위해 조건 1의 경우에서 송수신원과 스위치사이의 거리를 10km에서 100km로 변화시켜 설정하였다. 조건 3의 경우는 ATM 망에서 활성 연결수의 변동에 따른 과부하나 상태 변화에 대한 제어가 빠르게 이루어지는지를 보기 위해 활성화된 VC수를 5개로 고정하지 않고, 5에서 7 그리고 3으로 변화시켜 보았다. 조건 4의 경우는 ERICA에서 성능변화에 크게 영향을 미치는 입력셀율의 측정간격을 보통 사용되는 1 msec에서 10 msec로 변화시킨 경우로, 제안알고리즘에서는 성능변화에 영향이 있는지를 보기 위한 경우이다. 조건 5의 경우는 폭주회피 방식에서 폭주회피를 위해 쓰이는 파라미터인 목표 대역 이용률(target utilization)을 0.99에서 보통 수준의 0.9로 감소시켰을 때의 결과를 보고자 한다. 조건 6의 경우는 제어정보를 실

어나르는 RM 셀 간격인  $N_{rm}$  값을 16에서 32로 변화시켰을 때의 성능을 비교하기 위한 경우이다.

## 2. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

본 절에서는 기존의 ERICA 알고리즘과 제안한 알고리즘에 대한 성능을 시뮬레이션 결과를 통해 비교 분석해 보았다. 각 스위치의 성능을 CCR 변화, 큐길이의 변화, 링크 이용률 측면에서 분석하였다.

ERICA의 경우, VC1은 PCR값이 FS보다 작은 경우의 가상연결이고, VC2와 VC3은 PCR값이 FS보다 큰 경우의 가상연결을 나타낸다. 그림에서 보여지는 CCR은 스위치에서 측정된 VC1, VC2, VC3의 현재 셀 전송률을 의미한다.

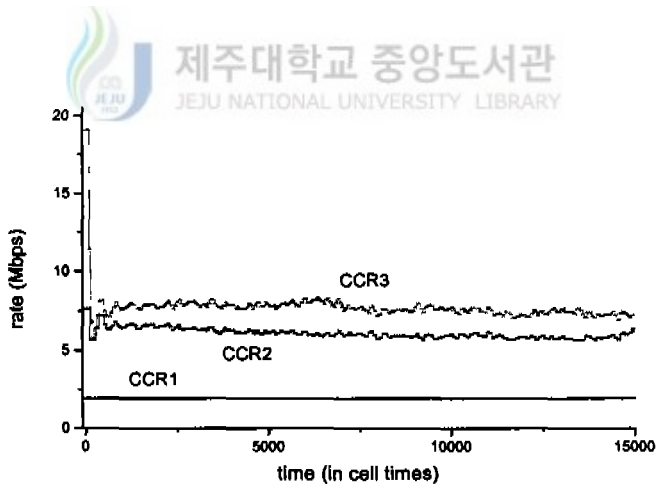


Fig. 8. CCR under the condition 1 of ERICA

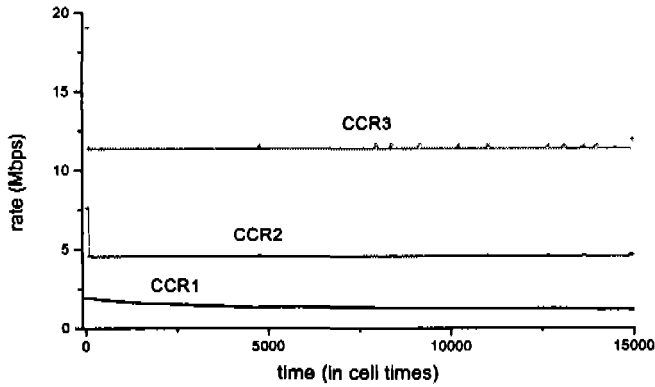


Fig. 9. CCR under the condition 1 of proposed algorithm

Fig. 8과 Fig. 9는 조건 1에서 ERICA와 제안알고리즘의 CCR 변화를 보여준다. 조건 1은 소스와 ATM 스위치, ATM 스위치와 목적지간의 거리를 10km, 활성 가상접속수를 5, 입력셀들의 측정간격을 1msec, 목표대역이용률을 0.99, 그리고, Nrm값을 16으로 하였을 경우이다. ERICA에서 낮은 PCR을 갖는 VC의 CCR(CCR1)인 경우, 변동없이 일정하고, 나머지 VC의 CCR(CCR2, CCR3)은 Fig. 9의 제안알고리즘에 비해 변화가 크다. 이는 ERICA의 경우 FS가 VC1의 PCR값보다 큰 값으로 설정되어 VC1의 가상 연결에서의 임여 대역폭이 생기기 때문이다. 반면 Fig. 9의 제안알고리즘은 모든 CCR값이 거의 일정한 값을 보여 안정적이다.



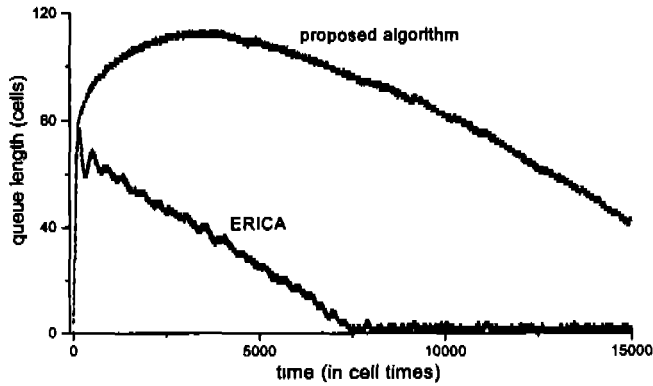


Fig. 10. Queue length under the condition 1

Fig. 10은 조건 1에서 ERICA와 제안알고리즘의 큐길이(queue length)의 변동을 보여준다. 조건 1에서의 큐길이를 비교해 보면, ERICA의 경우 큐길이가 급격히 떨어지는데 반해, 제안알고리즘은 아주 서서히 떨어지고 있다. 이것은 ERICA가 낮은 PCR을 갖는 VC들에 의하여 발생된 잉여 대역폭을 이용하여 추가의 셀들을 큐로부터 방출시키기 때문이다.

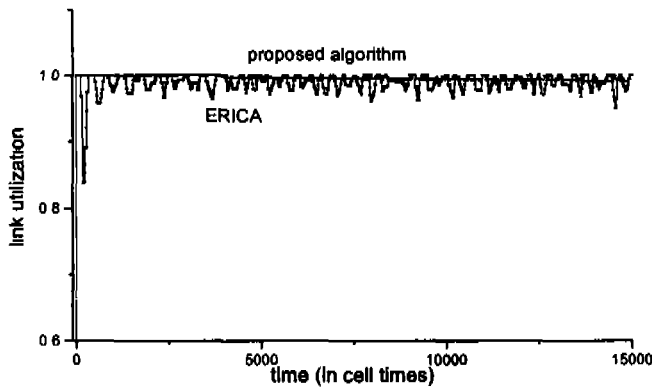


Fig. 11. Link utilization under the condition 1

Fig. 11은 조건 1에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용률(link utilization)을 보여준다. 조건 1에서의 회선이용률을 비교해 보면, 둘다 높

은 회선이용률을 보이지만, 제안알고리즘이 ERICA에 비해 더 높은 회선이용률을 보이고 있으며, 나아가 짧은 과도현상과 전체적인 시간 영역에서 안정화되어 있음을 알 수 있다.

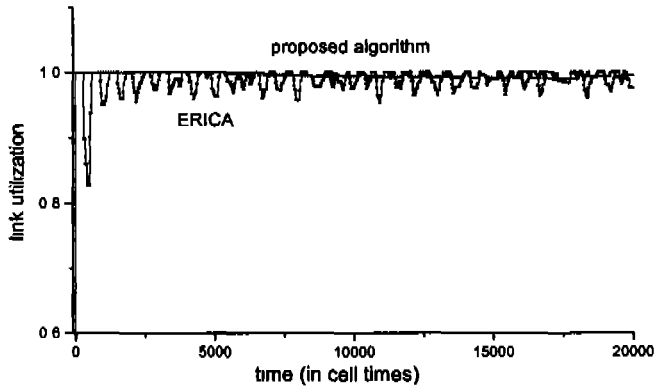


Fig. 12. Link utilization under the condition 2

Fig. 12는 조건 2에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용률(link utilization)을 보여준다. 조건 2는 조건 1에서 소스와 ATM 스위치, ATM 스위치와 목적지간의 거리를 10km에서 100km로 10배 증가시킨 경우로, ERICA의 경우 조건 1에 비해 회선이용률이 조금 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 거리 증가로 인하여 RM 셀의 전파지연이 커지게 됨에 따라 셀을 제어의 응답성이 떨어지기 때문이다. 하지만, 제안알고리즘의 경우는 적은 셀을 변동으로 인하여 전체적으로 일정한 회선이용률을 보이고 있다.

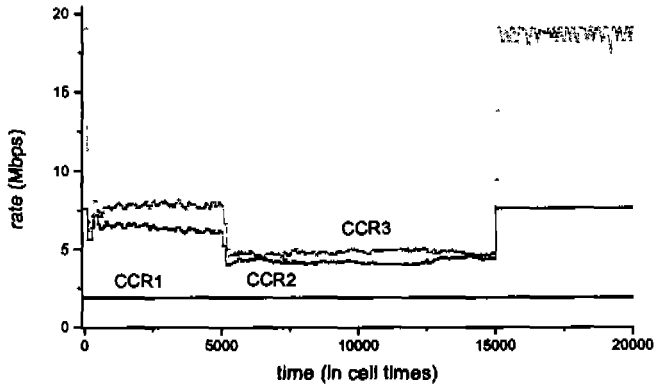


Fig. 13. CCR under the condition 3 of ERICA

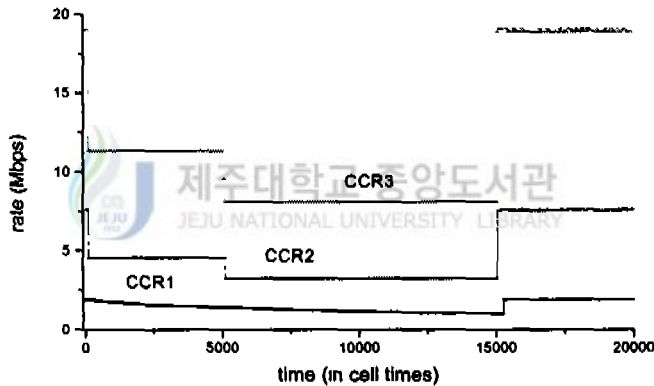


Fig. 14. CCR under the condition 3 of proposed algorithm

Fig. 13과 Fig. 14는 조건 3에서의 ERICA와 제안알고리즘의 CCR 변화를 보여준다. 조건 3은 조건 1에서 활성화중인 가상접속수를 5에서 7, 그리고 3으로 변화시킨 경우로, 이때의 CCR값을 비교해 보면, ERICA에서 VC1에 대한 CCR은 변동없는 일정한 값을 갖고, VC2와 VC3의 CCR 값은 활성화상연결수에 따라 급격한 변화를 보이고 있다. 한편, 활성화상연결수가 일정한 값으로 유지될 때는 높은 PCR을 갖는 VC의 CCR은 심한 변동현상을 나타내고 있다. 이는 FS이하의 PCR을 갖는 VC의 잉여 대역폭의

재배정으로 인한 오실레이션 현상이다. 한편, Fig. 14의 제안알고리즘의 경우에는 각 VC에 대한 비례적 FS로 인하여 잉여 대역폭이 발생하지 않게 됨에 따라 전체적으로 CCR값이 큰 변동없이 안정화되어 있음을 알 수 있다.

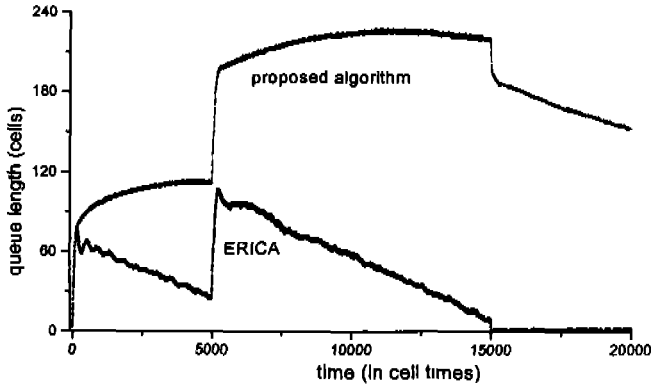


Fig. 15. Queue length under the condition 3

Fig. 15는 조건 3에서 ERICA와 제안알고리즘의 큐길이 변화를 보여준다. 제안알고리즘과 ERICA의 경우 모두 조건 1의 경우에 비해 갑자기 큐길이가 급격히 커지는 부분이 생기고 있는데, 이는 연결수가 5에서 7로 증가하여 과부하 현상이 나타나는 것이다. ERICA의 경우는 여전히 큐길이가 빠른 속도로 줄어들고 있는데 이는 FS 이하의 PCR을 갖는 VC의 잉여대역폭에 기인하고 있다.

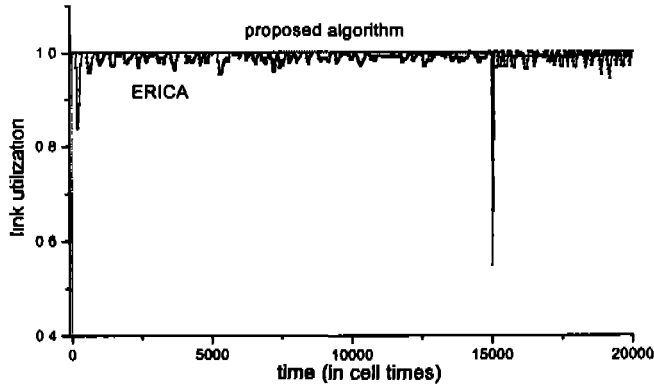


Fig. 16. Link utilization under the condition 3

Fig. 16은 조건 3에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용률을 보여준다. 조건 3에서의 회선이용률을 비교해 보면, 조건 1의 경우와 비슷하나, ERICA의 경우 큐길이가 매우 낮은 상태에서 활성화상연결수가 급격히 줄어들면 전체적인 저부하 상태로 들어가게 되며 이와 동시에 일부 VC 중에서 FS보다 낮은 PCR로 인하여 순간적으로 회선이용률이 급격히 감소하는 부분이 생기고 있다. 이에 반해 제안알고리즘은 연결수가 변하더라도 그리 영향을 받지 않고 높은 회선이용률을 보이고 있다.

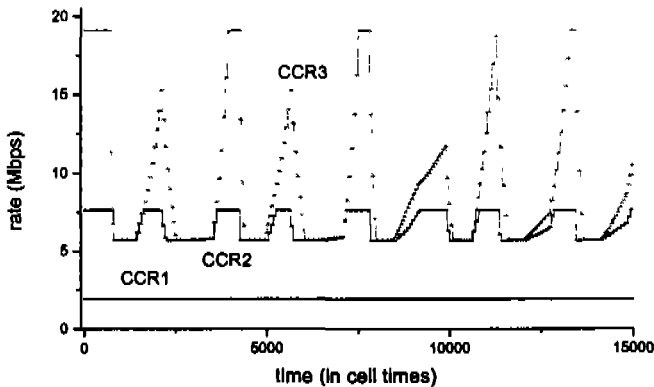


Fig. 17. CCR under the condition 4 of ERICA

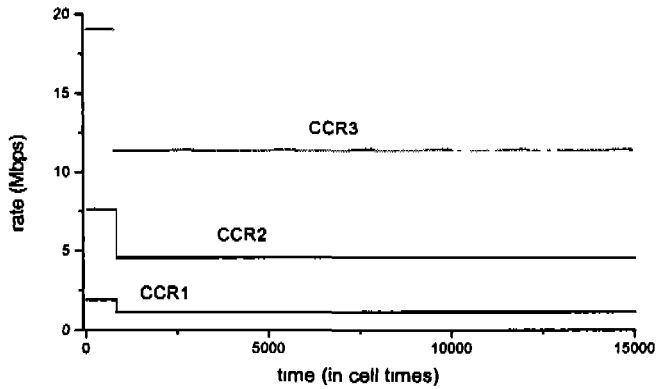


Fig. 18. CCR under the condition 4 of proposed algorithm

Fig. 17은 조건 4에서의 ERICA의 CCR 변화를 보여준다. 조건 4는 입력 셀율의 측정간격(measurement interval)을 1msec에서 10msec로 10배 증가시킨 경우로, ERICA의 경우 그 CCR값이 VC1의 경우 FS이하의 PCR로 인하여 PCR값으로 일정하게 되지만, VC2와 VC3의 경우는 측정간격의 증가로 제어 응답성이 크게 저하되게 되며 이로 인한 CCR의 변동이 급격히 일어나고 있다. 반면, Fig. 18의 제안알고리즘은 이런 경우에도 안정적인 CCR 변화를 보여주고 있다.

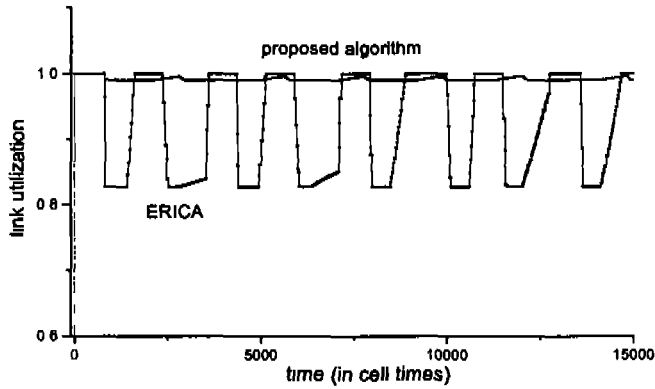


Fig. 19. Link utilization under the condition 4

Fig. 19는 조건 4에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용률을 보여준다. ERICA의 경우에는 Fig. 17에서와 같이 제어 응답성의 저하로 인하여 급격한 CCR의 변동이 발생하고 이로 인하여 회선이용률이 크게 저하되고 있다. 반면에 제안알고리즘에서는 회선이용률의 변동이 비교적 적고 전체적으로 안정화되어 있으므로 제어 응답성이 뛰어남을 알 수 있다.

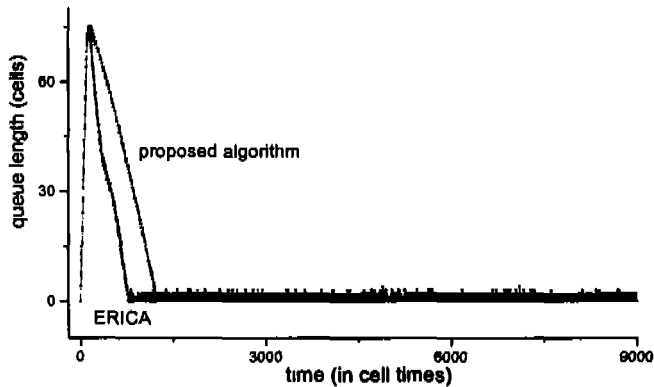


Fig. 20. Queue length under the condition 5

Fig. 20은 조건 5에서 ERICA와 제안알고리즘의 큐길이의 변화를 보여준

다. 조건 5는 목표대역 이용률을 0.99에서 0.9로 감소시킨 경우로, 이로 인해 큐에 여유가 생겨 두 알고리즘 모두 큐길이가 급격히 감소함을 볼 수 있다. 제안알고리즘의 경우 목표대역 이용률을 0.99로 했을 때는 ERICA에 비해 큐길이의 변화가 느렸지만, 목표대역이용률을 0.9로 감소한 결과 ERICA와 비슷한 큐길이의 변화를 보였다.

조건 6에서는 조건 1에서의 비슷한 결과를 보였다.

위의 6가지 환경하에서의 큐길이의와 회선 이용률의 평균값을 구해보면 Table 8과 같다.

Table 8. Average queue length and average link utilization

	Queue length (cells)		Link utilization	
	ERICA	proposed algorithm	ERICA	proposed algorithm
condition 1	13.168	84.688	0.988	0.996
condition 2	25.864	127.023	0.987	0.996
condition 3	37.080	174.920	0.987	0.997
condition 4	948.243	413.921	0.928	0.992
condition 5	1.751	2 770	0.900	0.911
condition 6	15.704	181.522	0.989	0.999

위의 전체적인 결과에서 보면, 제안알고리즘이 ERICA에 비해 CCR값이 안정적이고, 회선이용률면에서 성능이 매우 뛰어남을 볼 수 있고, 거리의 영향이나 측정간격값의 영향을 별로 안받고 있다. 그리고, 연결수의 변화가 있어도 CCR값이 안정적이고, 그 제어 응답성이 뛰어나며, 높은 회선이용률을 보이고 있다. 반면, 큐길이면에서는 ERICA에 비해 전체적으로 완만한 변화를 보여주고 있다. 그러나 이 경우에도 목표대역 이용률을 0.9로 줄여준 결과 아주 좋은 성능을 보이게 되었다.



## V. 결 론

ATM 망의 다양한 서비스 전송에서는 얼마나 링크를 효율적으로 이용하고 공정하게 대역폭을 할당하며 서비스하느냐가 관건이 된다. 본 논문에서는 ATM 망의 효율성을 높이고 공정하게 대역폭을 할당하기 위해 링크상의 가용 공간을 활용하는 ABR 서비스의 트래픽 제어 알고리즘으로 각각의 연결에서의 ABR 트래픽의 PCR값을 토대로 FS를 구하고, 그 FS에 기반한 트래픽 제어 알고리즘을 제안했다.

제안된 방법은 각각의 연결마다 각 ABR 트래픽의 PCR값에 따라서 FS를 다르게 구하기 때문에 각 가상연결에서의 CCR의 변화가 안정적임을 볼 수 있었다. 이는 제안알고리즘이 ABR 트래픽 특성을 고려하여 대역폭을 적합하게 할당하고 있음을 보여준다. 그리고, ERICA보다도 더 높은 회선이용률을 보이고 있으며, 거리의 영향이나 RM셀 간격인  $N_{rm}$ 값의 영향을 별로 안받고 있다. 연결수의 변화에도 CCR의 변화가 안정적이고 높은 회선이용률을 보이고 있는 것으로 보아, ATM 망의 예측할 수 없는 트래픽 발생을 잘 수용하고 있음을 보여준다. 그리고, 입력셀을 측정간격의 변화에 있어서 ERICA는 심하게 성능 변동이 생기는 반면에, 제안 알고리즘은 거의 안정적이며 성능저하가 크지 않음을 보여주고 있다. 반면, 큐길이면에서는 ERICA에 비해 아주 서서히 감소했지만, 목표대역 이용률을 보통 수준인 0.9로 낮춰주었을 때는 ERICA와 비슷한 속도로 큐길이가 안정화되어 성능이 향상됨을 보여주었다.

따라서, 제안 알고리즘이 ATM 망의 효율성을 높이면서, 다양한 성격의 ABR 서비스들을 적절하게 수용하기 위한 트래픽 제어 알고리즘으로 보여진다.

앞으로 좀더 다양한 환경에서의 시뮬레이션을 통한 여러 스위치들과의 성능분석이 필요하며, 다양한 망 상황에서의 스위치 파라미터가 성

능에 미치는 영향을 분석하여 파라미터의 최적 설정에 대한 연구가 요구된다.



## 참고문헌

ATM Forum/af-tm-0056.000, 1996. April, ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0.

Chang, Y., N. Golmie, L. Benmohamed and D. Siu, 1994, Sept., Simulation study of the new rate based EPRCA traffic management mechanism, ATM Forum/94-0809.

Chen, Y. C., C. T. Chan and S. C. Hu, 1998, On the Effective Traffic Control of ABR Services in ATM Networks, IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E81 B.NO.2. pp.417-430.

Chew, J. P., A. K. Gupta and M. T. Yap, 1997, Performance of ABR Flow Control in ATM Networks, IEEE.

Fahmy, S., R. Jain, B. Vandalore and R. Goyal, 1999a, July, A Framework for Virtual Channel onto Virtual Path Multiplexing in ATM-ABR, ATM Forum/99-0403.

Fahmy, S., R. Jain, R. Goyal and B. Vandalore, 1999b, Feb., ABR Engineering: Roles and Guidelines for Setting ABR Parameters, Journal of Computer Networks.

Fahmy, S., R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal and B. Vandalore, 1998a, Feb., Determining the number of active ABR sources in switch algorithm, ATM Forum/98-0154.

Fahmy, S., R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal and B. Vandalore, 1998b, On Determining the Fair Bandwidth Share for ABR Connections in ATM Networks, Proceedings of the IEEE International Conference on Communications(ICC).

Golmie, N., Y. Chang and D. Su, 1995, NIST ER Switch Mechanism ATM Forum/95-0695.

Golmie, N., Y. Saintillan and D. Su, 1998, ABR Switch Mechanism: Design Issues and Performance Evaluation, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland 20899.

Goyal, R., S. Fahmy, R. Jain, B. Vandalore and S. Narayanaswamy, 1998, Feb., Effect of RM cell interval on ABR feedback: A simulation study using OPNET, ATM Forum/98-0807.

Hou, Y. T., H. H. Tzeng, S. S. Panwar and V. P. Kumar, 1997, Fair Network Bandwidth Allocation with Minimum Rate Guarantee and Its ABR Implementations, IEEE.

Jain, R., 1994, Sept., Fairness: How to Measure Quantitatively?, ATM Forum/94-0881.

Jain, R., 1996, Aug., Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and A Survey, Department of Computer and Information Science The Ohio State University Columbus, OH 43210.

Jain, R., G. Babic, B. Nagendra and C. C. Lam, 1996, Aug., Fairness, Call Establishment Latency and Other Performance Metrics, ATM-Forum/96-1173.

Jain, R., S. Kalyanaraman, R. Viswanathan and R. Goyal, 1995a, Feb., A Sample Switch Algorithm, ATM Forum/95-0178R1.

Jain, R., S. Kalyanaraman and R. Goyal, 1995b, Jun., Examples of Switch Mechanisms - Corrected Text for the Appendix, ATM Forum/95-0809.

Jain, R., S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy and F. Lu, 1995c, Oct., ERICA+: Extensions to the ERICA Switch Algorithm, ATM Forum/95-1346.



Jain, R., S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy and R. Viswanathan, 1996, Aug., ERICA Switch Algorithm: A Complete Description, ATM Forum/96-1172.

Jain, R., S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy and R. Viswanathan, 1997a, The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks, Part I: Description, IEEE/ACM Transactions on Networking

Jain, R., S. Fahmy, S. Kalyanaraman and R. Goyal, 1997b, The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks, Part II: Requirements and Performance Evaluation, IEEE/ACM Transactions on Networking

Jain, R., S. Fahmy, S. Kalyanaraman and R. Goyal, 1996, Oct., ABR Switch Algorithm Testing: A Case Study with ERICA, ATM Forum/96-1267.

Jain, R., S. Kalyanaraman and R. Viswanathan, 1994, Sept., The OSU scheme for congestion avoidance using explicit rate indication, ATM Forum/94-0883.

Jojada, J., 1998, The BEMO Fair Rate Allocation Algorithm for ABR Service in ATM Networks, APCC/ICCS'98, pp.276-280.

Kalyanaraman, S., B.Tech, M.S., 1997, Traffic Management for the Available Bit Rate(ABR) Service in Asynchronous Transfer Mode(ATM) Networks, The Ohio State University.

Kalyanaraman, S., R. Jain, J. Jiang, R. Goyal and S. Fahmy, 1996, Dec., Virtual Source/Virtual Destination(VS/VD) : Design Considerations, ATM Forum/96-1759.

김운하, 박성근, 조용환, 1997, ATM망에서 ABR 서비스를 위한 ER 스위치 폭주 제어 알고리즘의 성능 개선, 한국통신학회논문지 제 22권 제 9호, pp.1890-1906.

김병철, 김동호, 조유제, 1999, ABR 흐름 제어를 위한 효율적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘, 한국통신학회논문지 제 24권 제 9A호, pp.1359-1371.

Lai, Y. C. and Y. D. Lin, 1998, Interoperability of EFCI and ER Switches for ABR Services in ATM Networks, IEEE.

Lee, K. K., B. S. Lee and C. W. Tan, 1998, Algorithms for Scheduling Mono-Rate Traffic in an ATM Switch, APCC/ICCS'98, pp.640-643.

Nabeshima, M. and N. Yamanaka, 1999, Jan., New Scheduling Mechanisms for Achieving Fairness Criteria (MCR Plus Equal Share, Maximum of MCR or Max-Min Share), IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E82-B, NO.6, pp.962-966.

오윤탁, 박성한, 1999, ATM망에서 효율적인 ABR 서비스를 위한 전송을 비율에 기반한 동적 대역폭 할당 방법, 한국통신학회논문지 제 24권 4B호, pp.615-624.

이우섭, 안운영, 김화숙, 박홍식, 1997, ATM 공중망에서 ABR/ABT Capability 상호 운용 메카니즘 연구, 한국통신학회논문지 제 22권 제 5호, pp.1018-1025.

이은봉, 이재용, 1999, ATM망에서 랜덤 혼잡검출 방식을 이용한 효율적 ABR 트래픽 제어 알고리즘, 한국통신학회논문지 제 24권 제 11A호, pp.1751-1762.

박기훈, 김승천, 김동윤, 이재용, 이상배, 1998, ATM 망에서 전파 지연을 고려한 ABR 흐름 제어, 전자공학회논문지 제 35권 제 5호, pp.651-659.

Pisanpattanakul, S., M. Yamamoto and H. Ikeda, 1998, ABR Traffic Control Scheme for Bursty Traffic Considering the Number of Hops, IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E81-B, NO.11. pp.2056-2063.

신영미, 안기중. 1999. ATM망에서 비율적 대역할당을 이용한 혼잡제어 알고리즘. 제주대학교 산업기술연구소 논문지 제 10권 1호. pp.125-136.

신영미, 안기중. 1999. ATM망에서 효율적인 ABR 서비스를 위한 PCR 기반 트래픽 제어 알고리즘. 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집. pp.343-346.

Tsang, D. H. K. and W. K. F. Wong, 1996, A New Rate-Based Switch Algorithm for ABR Traffic to Achieve Max-Min Fairness with Analytical Approximation and Delay Adjustment, IEEE.

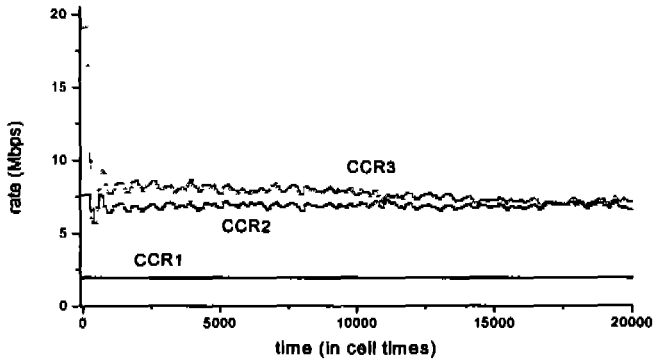
Tzeng, H. Y. and K. Y. Siu, 1997, On Max-Min Fair Congestion Control for Multicast ABR Service in ATM, IEEE.

Vandalore, B., S. Fahmy, R. Jain, R. Goyal and M. Goyal, 1998, General Weighted Fairness and its Support in Explicit Rate Switch Algorithms, ICNP'98.

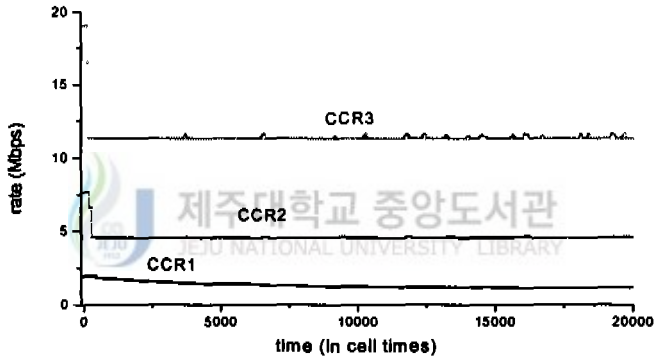
Yamamoto, M., S. Pisanpattanakul and H. Ikeda, 1998, ABR Traffic Control for Bursty Traffic Considering the Number of Hops, APCC/ICCS'98, pp.4-8.



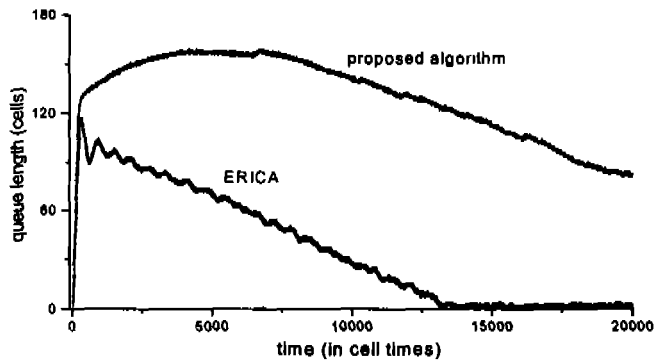
## 부 록



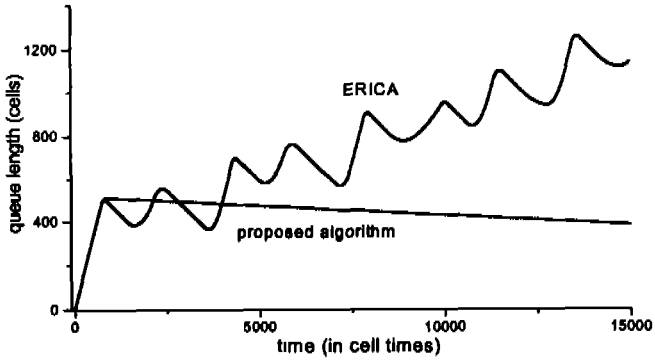
< CCR under the condition 2 of ERICA >



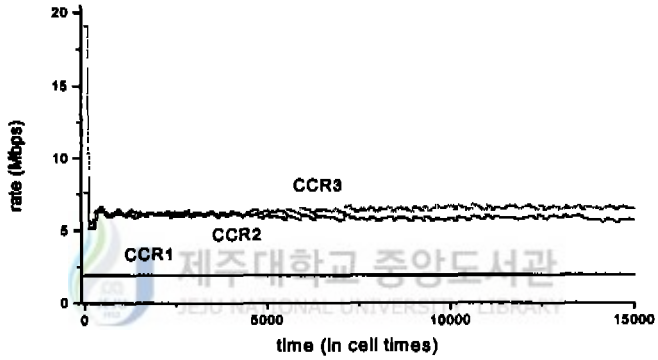
< CCR under the condition 2 of proposed algorithm >



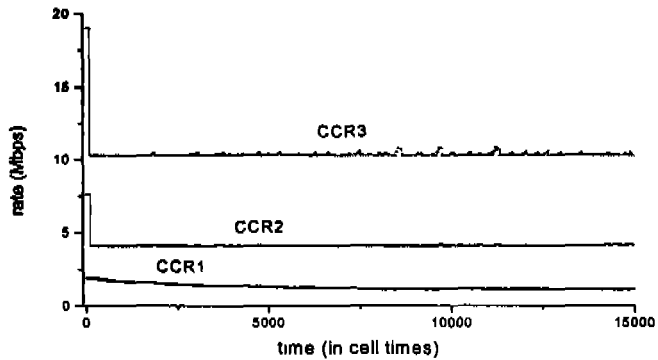
< Queue length under the condition 2 >



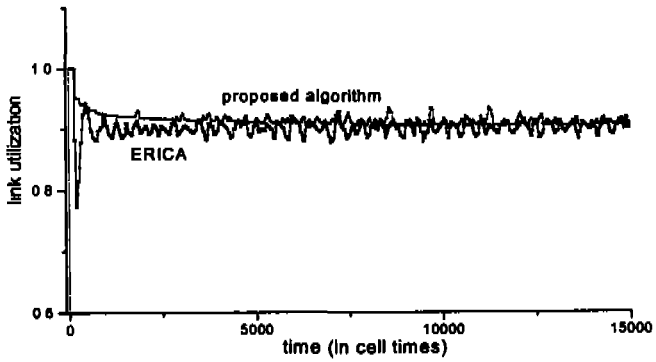
< Queue length under the condition 4 >



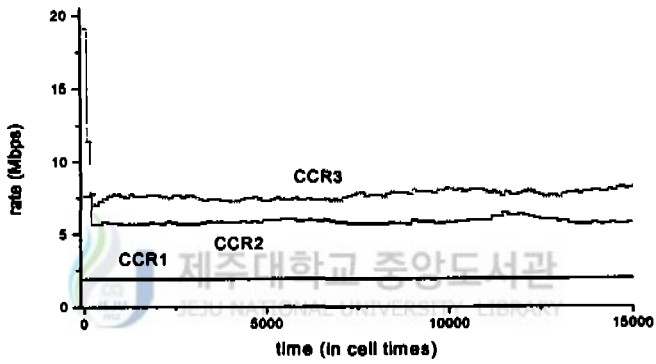
< CCR under the condition 5 of ERICA >



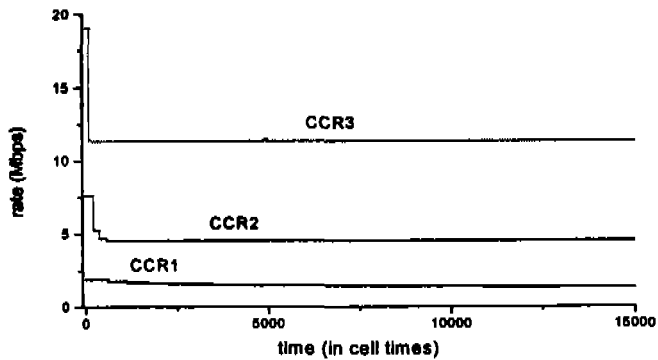
< CCR under the condition 5 of proposed algorithm >



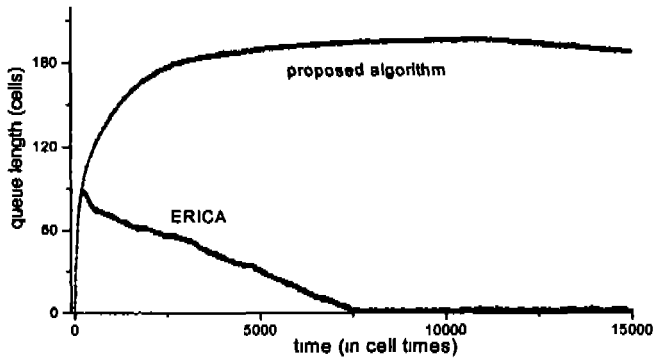
< Link utilization under the condition 5 >



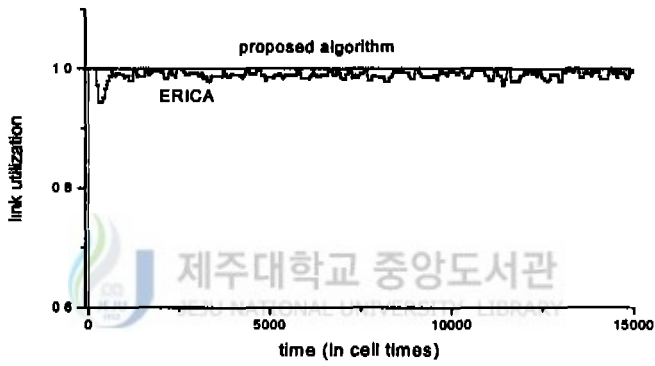
< CCR under the condition 6 ERICA >



< CCR under the condition 6 of proposed algorithm >



< Queue length under the condition 6 >



< Link utilization under the condition 6 >

## 감사의 글

어느덧 대학원 시절을 마무리할 때가 왔습니다. 그동안 저에게 많은 도움을 주신 분들께 이 지면을 빌어 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

먼저 미흡한 저를 조그마한 것에서부터 차근차근 가르쳐주시고 지금의 이 자리에까지 올 수 있게 지도하여 주신 안기종 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고, 본 논문이 완성되기까지 부족한 점을 지적해 주시고 많은 가르침을 주신 김장형 교수님, 곽호영 교수님, 변상용 교수님, 이상준 교수님, 송왕철 교수님, 이동희 교수님께 감사드립니다.

대학원 생활동안 곁에서 많이 도와주고 격려해 준 동기인 양훈, 김정철씨, 한경복씨에게 고마움을 전하고, 늦게나마 논문을 쓰면서 밤늦은 시간까지 같이 밤을 지낸 경숙언니에게도 고마움을 전합니다. 그리고, 바쁜 중에도 많은 관심을 쏟아준 강경호 선생님, 유경언니, 무영선배, 재민과 언재나 마음으로의 응원을 아끼지 않았던 세근이와 민경이, 영대, 현의에게도 고마움을 전합니다.

이 자리를 빌어 그동안의 내게 힘이 되어주고 도와준 현정언니, 민숙, 영화에게 고마움을 전하고, 바쁘다는 핑계로 소홀했지만 늘 깊은 관심과 격려를 보내준 나의 '처음부터 끝까지'의 친구들 영심, 청선, 은재, 복경, 명숙과 컴퓨터 동아리 선배, 동기, 후배들께도 감사할 드립니다. 이외에도 대학원 생활동안 제게 보이지 않는 용기와 격려를 보내준 여러 선배님들, 친구들, 후배들도 감사합니다.

그동안 나를 이해해주고 믿어준 가족들에게 감사의 말을 전하며, 내가 하고자 하는 일에 끝없는 사랑으로 큰 힘이 되어주신 부모님께 사랑한다는 말과 함께 이 작은 결실을 드립니다.