

# ATM망에서 비율적 대역할당을 이용한 혼잡제어 알고리즘

신 영 미\* · 안 기 중\*\*

## Congestion Control Algorithm using Proportional FairShare in ATM Networks

Young-Mi Shin\* and Khi-Jung Ahn\*\*

### ABSTRACT

In this paper, ER-based traffic control algorithm is proposed to offer ABR service efficiently according to the request of ABR traffic service in ATM Networks. It is necessary to add function mediating a transmission rate of VC unit in order to efficiently apply VC link for users' QoS requirements. Accordingly, a proposed method means to calculate bandwidth with the FairShare value based on PCR of each ABR VC according to the available bandwidth of networks, and to regulate traffic. It is shown that the algorithm proposed with the simulation results is more excellent than an established ERICA algorithm in view of allotting suitable bandwidth to traffic feature, and link usage.

Key words : ABR, FS(FairShare), switch algorithm, PCR, CCR, link utilization, queue length

### 1. 서 론

현재 ATM 포럼에서는 다양한 트래픽을 적절하게 수용하기 위해서 트래픽의 특성과 요구되는 서비스 품질(Quality of Service, QoS)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)로 구분하고 있다. 각 서비스 클래스에 대해 고려되는 트래픽 파라미터에 대한 특성은 Table 1<sup>1)</sup>과 같다.

ABR 서비스는 CBR이나 VBR 서비스와 같이 연결 설정시에 요구한 대역 할당을 보장받는 것이 아니라, CBR이나 VBR의 서비스가 사용하고 남은 가용 링크 대역폭을 최대한 활용하여 트래픽을 전송하는 방식이다. 더욱이, 트래픽의 버스트가 크고 가변적이므로 입력 트래픽을 예측하기 어렵고 전송 지연에는

\* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주대학교 정보공학과, 산업기술연구소

Dept. of Information Eng., Res. Insti. of Ind. Tech.,  
Cheju Nat'l Univ.

민감하지 않으나, 셀 손실에는 매우 민감한 특성을 갖고 있어 LAN간의 고속 접속, 고속 파일 전송 등에 응용된다.<sup>1-2)</sup>

Table 1 ATM Service Category Attribute  
( n/a : not applicable )

| Attribute | ATM Service Category |             |         |             |             |
|-----------|----------------------|-------------|---------|-------------|-------------|
|           | CBR                  | rt-VBR      | nrt-VBR | ABR         | UBR         |
| PCR, CDVT | specified            |             |         | specified   | specified   |
| SCR, MBS  | n/a                  | specified   |         | n/a         |             |
| MCR       | n/a                  |             |         | specified   | n/a         |
| CDV       | specified            | unspecified |         | unspecified |             |
| CTD       | specified            | unspecified |         | unspecified |             |
| CLR       | specified            |             |         | specified   | unspecified |
| Feedback  | unspecified          |             |         | specified   | unspecified |

이와 같은 ABR 서비스는 셀 지연에 대한 보장은 없으나 셀 손실률을 보장하며, 망으로부터 피드백 정보를 사용하여 최소 셀률(MCR)에 대한 보장을 받고, 망의 폭주상태에 따라 최대 셀률(PCR)까지 동적으로 가용 링크 대역폭을 활용하여 트래픽을 전송한다.

1996년 4월 ATM 포럼 TM 4.0이 확정되면서 점대점 연결에 대한 송수신의 동작, 스위치 동작 및 트래픽 파라미터 등이 최종 결정되었다. ATM 포럼에서는 피드백정보를 위해 RM셀이라는 특별한 제어 셀을 사용하는데, RM셀은 망 상태에 따라 소스측의 데이터 전송율을 제어하기 위한 제어 필드를 포함하고 있고, 그 내용은 Table 2<sup>1)</sup>와 같다.

ITU-T에서도 권고안 I.371에 ABR 서비스에 대한 정의, 기능, 요구사항, RM 셀 구조 등을 권고하기 위한 작업을 진행중에 있다.

한편, 효율적인 ABR 서비스 제공을 위해서는 망의 부하가 안정적이어야 하며, ABR 서비스를 통한 망 자원 활용, 그리고 공정한 대역폭 할당이 고려되어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위한 ABR 트래픽 폭주제어 기법들이 많이 제안되고 있는데, 이들

Table 2 RM Cell Format and Contents

| Field    | Octet | Bit(s) | Description          |
|----------|-------|--------|----------------------|
| Header   | 1-5   | all    | ATM Header           |
| ID       | 6     | all    | Protocol Identifier  |
| DIR      | 7     | 8      | Direction            |
| BN       | 7     | 7      | BECN Indicator       |
| CI       | 7     | 6      | Congestion Indicator |
| NI       | 7     | 5      | No Increase          |
| RA       | 7     | 4      | Request/Acknowledge  |
| Reserved | 7     | 3-1    | Reserved             |
| ER       | 8-9   | all    | Explicit Rate        |
| CCR      | 10-11 | all    | Current Cell Rate    |
| MCR      | 12-13 | all    | Minimum Cell Rate    |
| QL       | 14-17 | all    | Queue Length         |
| SN       | 18-21 | all    | Sequence Number      |
| Reserved | 22-51 | all    | Reserved             |
| CRC-10   | 52    | 8-3    | Reserved             |
|          | 52    | 2-1    | CRC-10               |
|          | 53    | all    |                      |

중 ER 기반 피드백 제어방식의 스위치 알고리즘에 대해서 II장에서 살펴보고, III장에서는 제안하는 알고리즘의 제어방법에 대해서 자세히 살펴보고, IV장에서 제안한 방법의 시뮬레이션 모델 설정과 시뮬레이션 결과를 통한 성능분석 및 평가를 한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 맺고자 한다.

## II. ER 피드백 스위치 방식

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 피드백 스위치는 FS와 이를 이용한 ER 계산 알고리즘에 따라 다양하게 구현될 수 있다.

현재까지 ATM 포럼을 통해 제안된 대표적인 ER 기반의 스위치 알고리즘에는 EPRCA의 비폭주회피

방식과 폭주회피 방식의 ERICA 스위치, CAPC 스위치 및 NIST 스위치 알고리즘으로 구분할 수 있다.<sup>1)</sup>

비폭주회피 방식은 망에서의 트래픽 폭주상태를 판단하는 방법이 단순히 스위치 버퍼의 수위와 임계치 초과 여부만을 사용하는 것이다. 따라서 늦게 전송을 시작한 송신원이 일찍 전송을 개시한 송신원보다 낮은 처리율(throughput)을 가지는 불공평성을 유발한다고 평가되고 있다.

폭주회피 방식은 스위치로 들어오는 셀 입력률을 측정하여 망에서의 폭주발생을 보다 정확하고 빠르게 예측함으로써 요구되는 버퍼의 크기를 줄일 수 있고, 또한 유휴 대역폭의 발생을 예측하여 보다 적절한 대응을 할 수 있다.

## 2.1. EPRCA 스위치 알고리즘

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

EPRCA 스위치의 주된 문제점으로 지적된 것은 폭주 상태를 판단하는 방법이 단순히 버퍼 수위의 임계값 초과 여부만을 사용하는 것이다. 즉, 버퍼의 수위가 어떤 임계값을 초과하면 경미한 폭주상태로 판단하고 만약 더 높은 임계값을 초과하면 심각한 폭주상태로 판단한다. 이러한 폭주상태 판별 방법은 늦게 전송을 시작한 송신원이 일찍 전송을 개시한 송신원보다 낮은 처리율을 가지는 불공평성을 유발한다고 알려지고 있다.<sup>1-3)</sup>

## 2.2. ERICA 스위치 알고리즘

ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance) 스위치는 원래 OSU(Ohio State University)의 Jain 등에 의해 제안된 전송률 기반 흐름제어 방식의 하나인 OSU 스위치에서 발전한 폭주 회피형 스위치 알고리즘이다.

일반적으로 목표 전송률은 가용 링크 대역폭의 85%에서 95% 정도로 설정되는데, 목표전송률을 측

정기간동안 실제 전송을 한 송신원 수로 나누어 FS를 구한 뒤 FS보다 높은 전송률로 전송을 한 송신원에 대해서는 전송률을 줄이도록 요구하고, FS보다 낮은 전송률로 보내는 송신원에 대해서는 전송률을 올리도록 한다.<sup>1-10)</sup>

ERICA 스위치 알고리즘은 폭주의 회피성, max-min 최적성, 빠른 응답성, 파라미터 설정의 용이성 등의 특징을 만족하게 설계되었다.<sup>2, 4-8)</sup>

## 2.3. CAPC 스위치 알고리즘

CAPC(Congestion Avoidance using Proportional Control) 스위치 알고리즘은 Hughes System의 Barnhart 등이 제안한 방법으로 ERICA와 마찬가지로 실측에 의한 입력률과 목표 링크 이용률을 사용하여 부하지수를 계산한다. 이때 목표 링크 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.

CAPC 스위치 알고리즘은 평형 상태에서 송신원의 ACR 진동이 적은 특징이 있다.<sup>1,9)</sup>

## 2.4. NIST 스위치 알고리즘

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.

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.<sup>1,10-11)</sup>

## III. ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 제안 알고리즘

본 논문에서는 가용대역에 대해서 ABR 서비스 트래픽 제어 알고리즘이 각각의 송신원에 대해서 당

구성에 따라 어떻게 대역을 할당하여 링크효율을 높일 수 있는지를 분석하였다.

기존 ERICA 알고리즘에서의 FS(FairShare)는

$$FS = \frac{\text{Available Bandwidth}}{\text{Number of Active Connections}}$$

으로 각 VC마다 같은 값을 갖는다.<sup>2-9)</sup>

따라서 PCR을 초과하는 FS값을 갖는 VC의 경우, 그 초과되는 대역을 낭비하는 결과를 초래한다.

ERICA 알고리즘에서 각각의 VC에 대해 할당된 FS를 보면 Fig. 1과 같다.

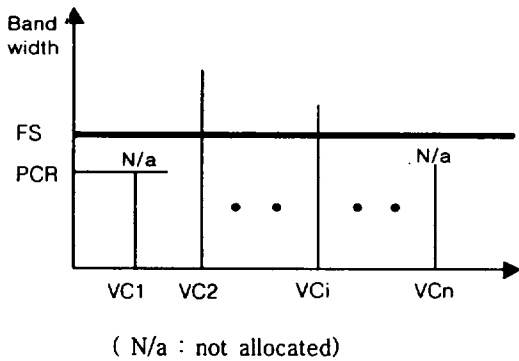


Fig. 1 FS(FairShare) and PCR in ERICA algorithm

그림에서 보면 알 수 있듯이 VC의 PCR을 초과하는 FS를 갖는 VC에서는 FS-PCR만큼의 대역폭이 사용되지 못하고 있다. 이와 같은 잉여 대역은 이후의 ER 계산시 오실레이션 현상의 심화를 가져오게 된다.

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 Ba에 각각의 connection마다 PCR의 총합에 대한 비율을 곱하여 구하게 되며, 그 계산식은 다음과 같다.

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

$$Ba = \mu_T * B_{Link} - B_{CBR} - B_{VBR} \quad (2)$$

Ba : Available Bandwidth

FS<sub>i</sub> : i connection에 해당하는 FS값

PCR<sub>i</sub> : i connection에 해당하는 PCR값

N : 전체 connection 수

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

B<sub>Link</sub> : switch output link capacity

B<sub>CBR</sub> : CBR 트래픽에 할당된 대역폭

B<sub>VBR</sub> : VBR 트래픽에 할당된 대역폭

μ<sub>T</sub> : 목표대역이용율

제안 알고리즘에서 할당된 FS는 Fig. 2에서 볼 수 있다. 그림에서 보듯이 FS값은 활성 VC들의 PCR의 총합에 대하여 비례적으로 산출되며 PCR을 초과하지 않는 값으로 구해지게 된다. 따라서, ERICA에서 낭비되던 대역폭이 없어지게 되어 높은 대역폭 효율을 올릴 수 있게 된다.

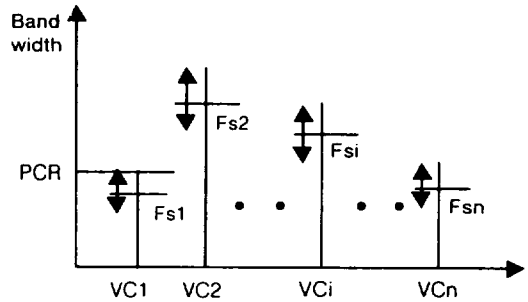


Fig. 2 FS and PCR in proposed algorithm

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 대역폭 분배를 소스측과 스위치측 알고리즘으로 나누어 살펴보고자 한다.

### 3.1. 소스측 알고리즘

소스에서 연결설정시 협약된 MCR, PCR, 그리고, 전송이 허가된 전송율 ACR을 계산하여 RM 셀을 통해 중간 스위치로 전달하고, 중간 스위치는 그 정보에 따라 대역폭을 분배하는 방식을 사용한다.

소스측에서 망측으로 현재의 소스 상태를 알리기 위해 소스는 매 (N<sub>RM</sub>-1)개의 데이터셀을 보낼 때마다 RM 셀을 전송한다. 여기서 N<sub>RM</sub>은 연결 설정시에

망측에 의해 제공되는 값으로 망의 상태를 최적화할 수 있는 값으로 결정된다.

소스측에서의 알고리즘을 살펴보면 Fig. 3과 같다. 여기서는 모든 가상접속들에 대해 고려한 것이므로 각 가상접속을 알려주는 인자(예, PCR<sub>i</sub>, ACR<sub>i</sub> 등에서의 i)를 표시하지 않았다.

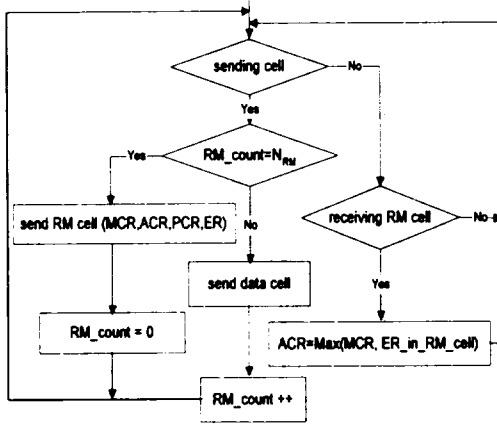


Fig. 3 Source algorithm

3.2. 스위치측 알고리즘

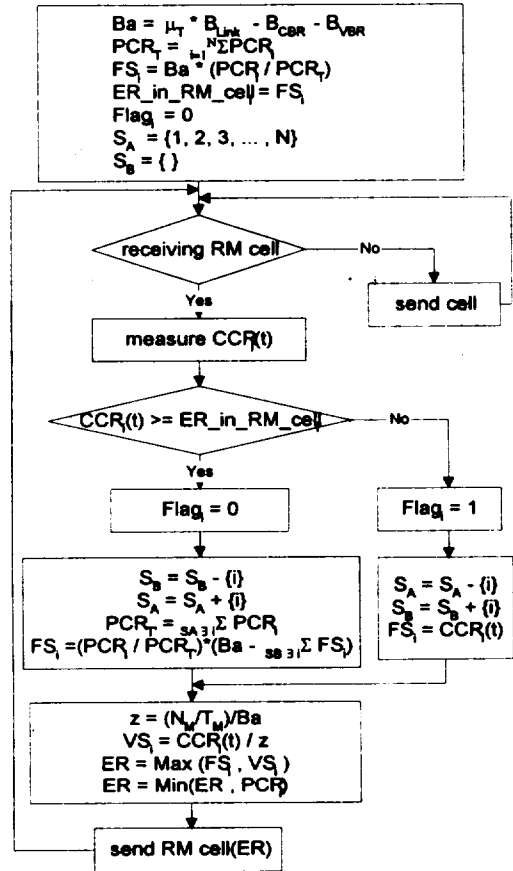
N개의 connection에 대해서, Ba는 Available Bandwidth, FS는 FairShare를 의미하고, CCR<sub>i</sub>, PCR<sub>i</sub>, ER<sub>i</sub>, FS<sub>i</sub>, Flag<sub>i</sub>, VS<sub>i</sub>, ER<sub>in\_RM\_Cell<sub>i</sub></sub>은 각각의 가상접속(i connection)에 해당하는 CCR, PCR, ER, FS, Flag, VS(VCSHare), ER<sub>in\_RM\_Cell</sub>을 나타낸다.

각 가상접속마다의 기본적인 FS 계산식은 식 (1)과 같다. 만일, 소스측에서의 고의적 또는 오동작으로 인해서, 스위치에서 측정된 현재전송율인 CCR값이 소스에서 허용가능한 ACR(ER<sub>in\_RM\_cell</sub>) 속도를 내지 못하는 경우가 발생시, Flag를 1로 set하고, 그때의 CCR값을 FS값으로 정한다. 이때의 남은 대역을 나머지 연결들을 위해서 사용하기 위해 새롭게 FS값을 구하게 되는데, 그 계산식은 다음과 같다.

$$FS_{(Flag=1)} = \frac{PCR_i}{PCR_T} * (Ba - \sum_{Flag=1인 i} FS_i) \quad (3)$$

(PCR<sub>T</sub> : Flag가 set되지 않은 connection들의 PCR값의 합)

이것은 허용된 전송율인 ER보다 적게 사용하는 connection의 남은 대역폭을 나머지 다른 connection에서 사용하기 위해, 새롭게 FS를 계산함으로써 링크 효율을 높일 수 있다.



- Ba : Available bandwidth
- $\mu_T$  : Target utilization
- B<sub>Link</sub> : switch output link capacity
- B<sub>CBR</sub> : CBR usage
- B<sub>VBR</sub> : VBR usage
- S<sub>A</sub> = { i | Flag<sub>i</sub>=0 }
- S<sub>B</sub> = { i | Flag<sub>i</sub>=1 }
- N : Number of active connections
- z : load factor
- N<sub>M</sub> : Number of input cells per measurement interval
- T<sub>M</sub> : Measurement interval

Fig. 4 Switch algorithm

여기서는 각각의 가상연결들에 따라 다른 FS를 사용하므로 어느 가상연결에 속하는지 알려주는 인자(예, PCR<sub>i</sub>, FS<sub>i</sub> 등에서의 i)를 표시하고 있다.

스위치에서의 알고리즘은 Fig. 4와 같다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능분석

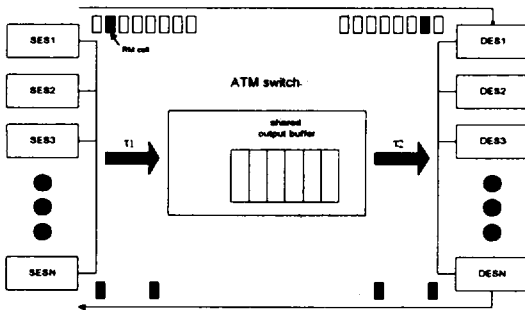


Fig. 5 Simulation model

시뮬레이션 모델은 N개의 SES(source end system)와 ATM Switch, N개의 DES(destination end system)로 구성되어 있고, Fig 5와 같다.

각각의 SES와 교환기간의 거리를  $d_1$ , 이때의 전파지연을  $\tau_1$ , 교환기와 DES사이의 거리를  $d_2$ , 이때의 전파지연을  $\tau_2$ , 각각의 거리는 같다고 보고, 스위치에서 DES를 잇는 링크의 회선대역폭을 30Mbps로 본다. 스위치는 SOB(Shared Output Buffer)로 FIFO의 무한버퍼를 사용한다고 가정하였다.

모두 6가지 조건에 대해서 시뮬레이션 하였으며, 조건 1은 소스와 ATM 스위치, ATM 스위치와 목적지간의 거리(distance)를 10km, 활성화된 가상접속수를 5, 입력셀율의 측정간격(measurement interval)을 1msec, 대역폭이용율을 99%( $\mu_T=0.99$ ), 그리고 RM cell간격( $N_{RM}$ )을 16으로 하였을 경우이며, 조건 2는 조건 1에서 Distance를 10km에서 100km로 달리하였고, 조건 3은 활성화된 가상접속수를 5로 고정하지 않고, 5에서 7 그리고 3으로 변화시킨 경우이다. 조건 4는 입력셀율 측정간격을 1msec에서 10msec로 변화시켰고, 조건 5는 목표대역 이용율(target utilization)를 0.99에서 0.9로 달리하였으

며, 조건 6는  $N_{RM}$ 값을 16에서 32로 변화시켰다. Table 3에서 시뮬레이션에 사용된 파라미터값을 보여주고 있다.

Table 3 Parameter values used in the simulation

| condition parameter            | condition1 | condition2 | condition3 | condition4 | condition5 | condition6 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 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       |
| $N_{RM}$                       | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         | 32         |

시뮬레이션에 이용된 소스트래픽의 전송율은 Table 4와 같다.

Table 4 source traffic rate used in the simulation

|      | source traffic | 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        |

Fig. 6과 Fig. 7은 조건 1에서 ERICA와 제안 알고리즘의 CCR 변화를 보여준다. ERICA에서 낮은 PCR을 갖는 VC의 CCR(CCR1)인 경우, 변동없이 일정하고, 나머지 VC의 CCR(CCR2, CCR3)는 Fig 7의 제안알고리즘에 비해 변화가 크다. 이는 ERICA의 경우 FS가 VC1의 PCR값보다 큰 값으로 설정되어 VC1의 가상연결에서의 잉여 대역폭이 생기기 때문이다. 반면 Fig 7의 제안알고리즘은 모든 CCR값이 거의 일정한 값을 보여 안정적이다.

망측에 의해 제공되는 값으로 망의 상태를 최적화할 수 있는 값으로 결정된다.

소스측에서의 알고리즘을 살펴보면 Fig. 3과 같다. 여기서는 모든 가상접속들에 대해 고려한 것이므로 각 가상접속을 알려주는 인자(예,  $PCR_i$ ,  $ACR_i$  등에서의  $i$ )를 표시하지 않았다.

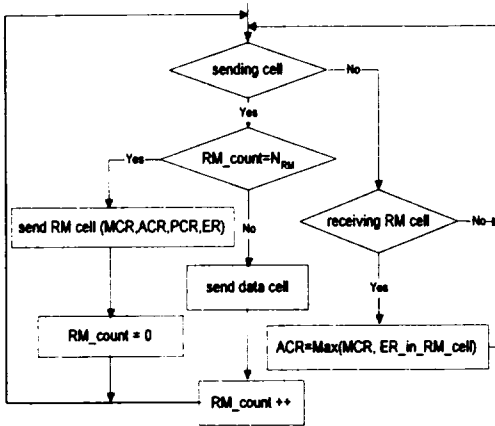


Fig. 3 Source algorithm

### 3.2. 스위치측 알고리즘

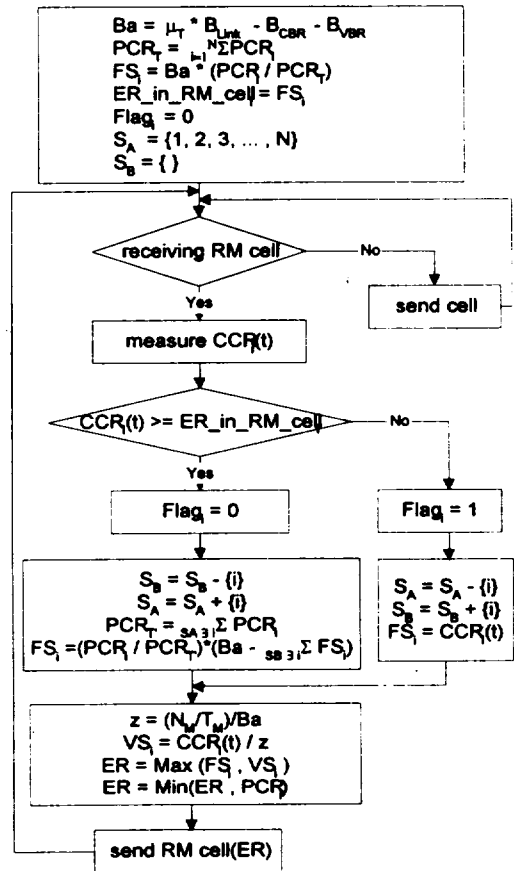
$N$ 개의 connection에 대해서,  $B_a$ 는 Available Bandwidth,  $FS$ 는 FairShare를 의미하고,  $CCR_i$ ,  $PCR_i$ ,  $ER_i$ ,  $FS_i$ ,  $Flag_i$ ,  $VS_i$ ,  $ER_{in\_RM\_Cell}$ 은 각각의 가상접속( $i$  connection)에 해당하는  $CCR$ ,  $PCR$ ,  $ER$ ,  $FS$ ,  $Flag$ ,  $VS(VCSHare)$ ,  $ER_{in\_RM\_Cell}$ 을 나타낸다.

각 가상접속마다의 기본적인  $FS$  계산식은 식 (1)과 같다. 만일, 소스측에서의 고의적 또는 오동작으로 인해서, 스위치에서 측정된 현재전송율인  $CCR$ 값이 소스에서 허용가능한  $ACR(ER_{in\_RM\_cell})$  속도를 내지 못하는 경우가 발생시,  $Flag$ 를 1로 set하고, 그때의  $CCR$ 값을  $FS$ 값으로 정한다. 이때의 남은 대역을 나머지 연결들을 위해서 사용하기 위해 새롭게  $FS$ 값을 구하게 되는데, 그 계산식은 다음과 같다.

$$FS_{(Flag=1)} = \frac{PCR_i}{PCR_T} * (Ba - \sum_{Flag=1인 i} FS_i) \quad (3)$$

( $PCR_T$ :  $Flag$ 가 set되지 않은 connection들의  $PCR$ 값의 합)

이것은 허용된 전송율인  $ER$ 보다 적게 사용하는 connection의 남은 대역폭을 나머지 다른 connection에서 사용하기 위해, 새롭게  $FS$ 를 계산함으로써 링크 효율을 높일 수 있다.



- $B_a$  : Available bandwidth
- $\mu_T$  : Target utilization
- $B_{Link}$  : switch output link capacity
- $B_{CBR}$  : CBR usage
- $B_{VBR}$  : VBR usage
- $S_A = \{ i \mid Flag_i=0 \}$
- $S_B = \{ i \mid Flag_i=1 \}$
- $N$  : Number of active connections
- $z$  : load factor
- $N_M$  : Number of input cells per measurement interval
- $T_M$  : Measurement interval

Fig. 4 Switch algorithm

여기서는 각각의 가상연결들에 따라 다른 FS를 사용하므로 어느 가상연결에 속하는지 알려주는 인자(예, PCR<sub>i</sub>, FS<sub>i</sub> 등에서의 i)를 표시하고 있다.

스위치에서의 알고리즘은 Fig. 4와 같다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능분석

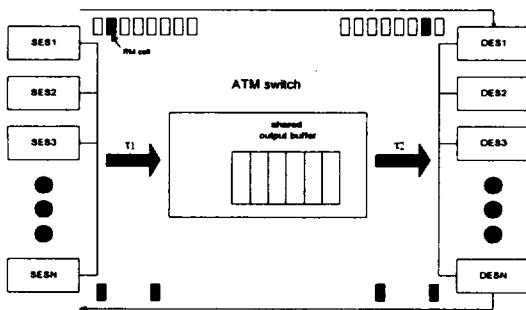


Fig. 5 Simulation model

시뮬레이션 모델은 N개의 SES(source end system)와 ATM Switch, N개의 DES(destination end system)로 구성되어 있고, Fig 5와 같다.

각각의 SES와 교환기간의 거리를  $d_1$ , 이때의 전파지연을  $\tau_1$ , 교환기와 DES사이의 거리를  $d_2$ , 이때의 전파지연을  $\tau_2$ , 각각의 거리는 같다고 보고, 스위치에서 DES를 잇는 링크의 회선대역폭을 30Mbps로 본다. 스위치는 SOB(Shared Output Buffer)로 FIFO의 무한버퍼를 사용한다고 가정하였다.

모두 6가지 조건에 대해서 시뮬레이션 하였으며, 조건 1은 소스와 ATM 스위치, ATM 스위치와 목적지간의 거리(distance)를 10km, 활성화된 가상접속수를 5, 입력셀들의 측정간격(masurement interval)을 1msec, 대역폭이용율을 99% ( $\mu_T=0.99$ ), 그리고 RM cell간격( $N_{RM}$ )을 16으로 하였을 경우이며, 조건 2는 조건 1에서 Distance를 10km에서 100km로 달리하였고, 조건 3은 활성화된 가상접속수를 5로 고정하지 않고, 5에서 7 그리고 3으로 변화시킨 경우이다. 조건 4는 입력셀들 측정간격을 1msec에서 10msec로 변화시켰고, 조건 5는 목표대역 이용율(target utilization)를 0.99에서 0.9로 달리하였으

며, 조건 6는  $N_{RM}$ 값을 16에서 32로 변화시켰다. Table 3에서 시뮬레이션에 사용된 파라미터값을 보여주고 있다.

Table 3 Parameter values used in the simulation

| condition parameter            | condition1 | condition2 | condition3 | condition4 | condition5 | condition6 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 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       |
| $N_{RM}$                       | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         | 32         |

시뮬레이션에 이용된 소스트래픽의 전송율은 Table 4와 같다.

Table 4 source traffic rate used in the simulation

|      | source traffic | 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        |

Fig. 6과 Fig. 7은 조건 1에서 ERICA와 제안 알고리즘의 CCR 변화를 보여준다. ERICA에서 낮은 PCR을 갖는 VC의 CCR(CCR1)인 경우, 변동없이 일정하고, 나머지 VC의 CCR(CCR2, CCR3)는 Fig 7의 제안알고리즘에 비해 변화가 크다. 이는 ERICA의 경우 FS가 VC1의 PCR값보다 큰 값으로 설정되어 VC1의 가상연결에서의 잉여 대역폭이 생기기 때문이다. 반면 Fig 7의 제안알고리즘은 모든 CCR값이 거의 일정한 값을 보여 안정적이다.



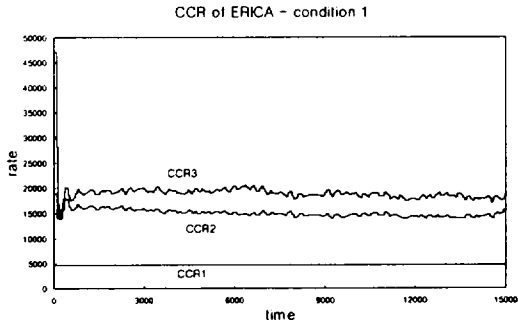


Fig. 6 CCR under the condition 1 of ERICA

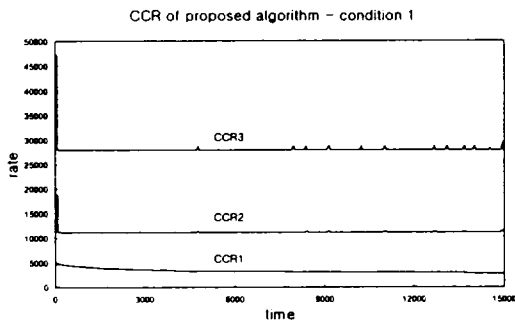


Fig. 7 CCR under the condition 1 of proposed algorithm

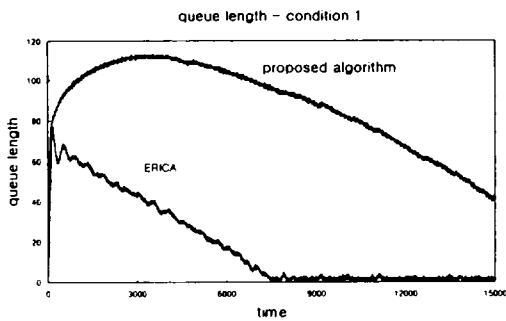


Fig. 8 Queue length under the condition 1

Fig. 8은 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.

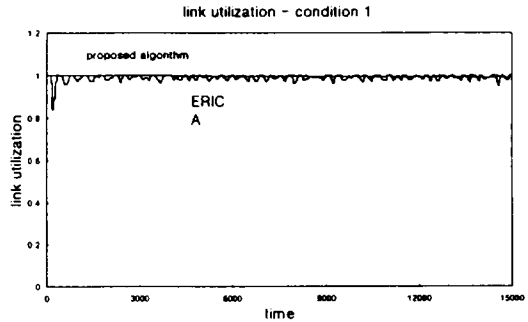


Fig. 9 Link utilization under the condition 1

Fig. 9은 조건 1에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용율(link utilization)을 보여준다. 조건 1에서의 회선이용율을 비교해 보면, 둘다 높은 회선이용율을 보이지만, 제안알고리즘이 ERICA에 비해 더 높은 회선이용율을 보이고 있으며, 더나아가 짧은 과도 현상과 전체적인 시간 영역에서 안정화되어 있음을 알 수 있다.

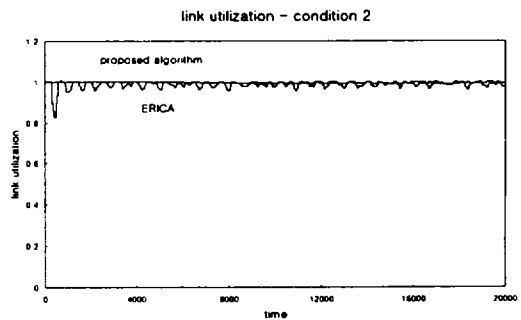


Fig. 10 Link utilization under the condition 2

Fig. 10은 조건 2에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용율(link utilization)을 보여준다. 조건 2는 조건1에서 소스와 ATM 스위치, ATM 스위치와 목적지간의 거리(distance)를 10km에서 100km로 10배 증가시킨 경우로, ERICA의 경우 조건 1에 비해 회선이용율이 조금 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 거리 증가로 인하여 RM셀들의 전파지연이 커지게 됨에

따라 셀을 제어의 응답성이 떨어지기 때문이다. 하지만, 제안알고리즘의 경우는 적은 셀을 변동으로 인하여 전체적으로 일정한 회선이용율을 보이고 있다.

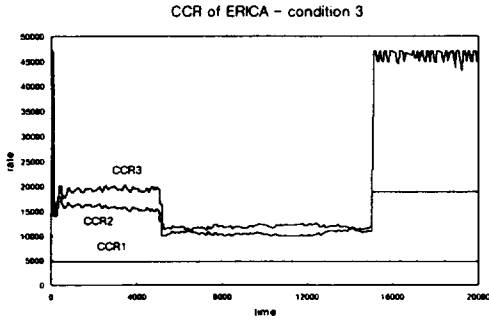


Fig. 11 CCR under the condition 3 of ERICA

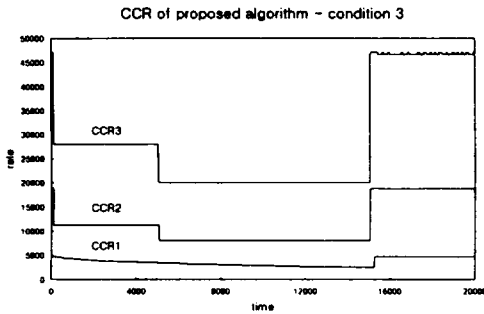


Fig. 12 CCR under the condition 3 of proposed algorithm

Fig. 11과 Fig. 12는 조건 3에서의 ERICA와 제안알고리즘의 CCR 변동을 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 활성화접속수에 따라 급격한 변화를 보이고 있다. 한편, 활성화 가상접속수가 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 12의 제안알고리즘의 경우에는 각 VC에 대한 비례적 FS로 인하여 잉여 대역폭이 발생하지 않게 됨에 따라

전체적으로 CCR값이 큰 변동없이 안정화되어 있음을 알 수 있다.

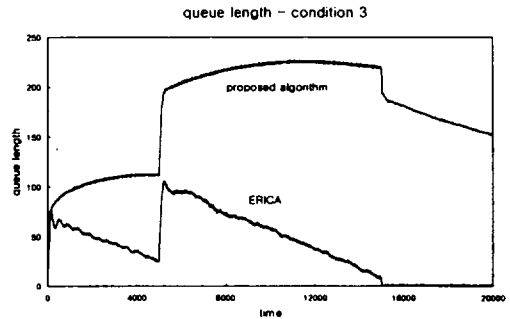


Fig. 13 Queue length under the condition 3

Fig. 13은 조건 3에서 ERICA와 제안알고리즘의 큐길이(queue length) 변화를 보여준다. 제안알고리즘과 ERICA의 경우 모두 조건 1의 경우에 비해 갑자기 큐길이 급격히 커지는 부분이 생기고 있는데, 이는 연결수가 5에서 7로 증가하여 과부하 현상이 나타나는 것이다. ERICA의 경우는 여전히 큐길이 빠른 속도로 줄어들고 있는데 이는 FS 이하의 PCR을 갖는 VC의 잉여대역폭에 기인하고 있다.

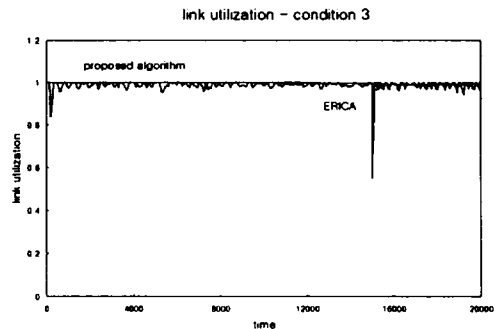


Fig. 14 Link utilization under the condition 3

Fig. 14는 조건 3에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용율(link utilization)을 보여준다. 조건 3에서의 회선이용율을 비교해 보면, 조건 1의 경우와 비슷하나, ERICA의 경우 큐길이가 매우 낮은 상태에서 활성화접속수가 급격히 줄어들면 전체적인 저부하

상태로 들어가게 되며 이와 동시에 일부 VC 중에서 FS보다 낮은 PCR로 인하여 순간적으로 회선이용율이 급격히 감소하는 부분이 생기고 있다. 이에 반해 제안알고리즘은 연결수가 변하더라도 그리 영향을 받지 않고 높은 회선이용율을 보이고 있다.

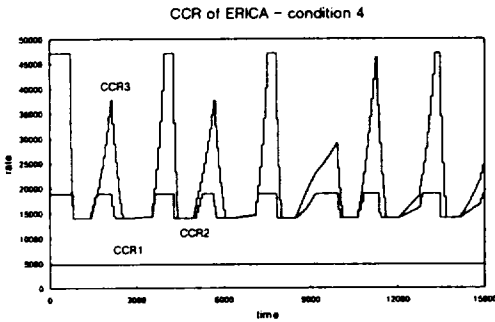


Fig. 15 CCR under the condition 4 of ERICA

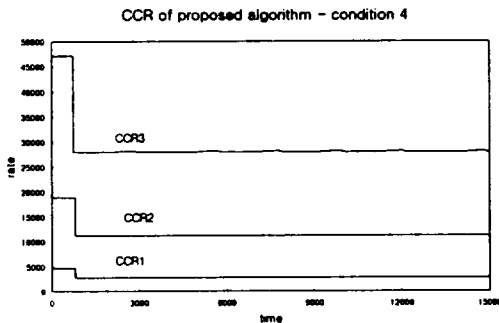


Fig. 16 CCR under the condition 4 of proposed algorithm

Fig. 15는 조건 4에서의 ERICA의 CCR 변화를 보여준다. 조건 4는 입력셀율의 측정간격(measurement interval)을 10배로 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. 16의 제안알고리즘은 이런 경우에도 안정적인 CCR 변화를 보여주고 있다.

Fig. 17은 조건 4에서 ERICA와 제안알고리즘의 회선이용율(link utilization)을 보여준다. ERICA의 경우에는 Fig. 15에서와 같이 제어 응답성의 저하로 인하여 급격한 CCR의 변동이 발생하고 이로 인하여 회선이용율이 크게 저하되고 있다. 반면에 제안알고리즘에서는 회선이용율의 변동이 비교적 적고 전체적으로 안정화되어 있으므로 제어 응답성이 뛰어난을 알 수 있다.

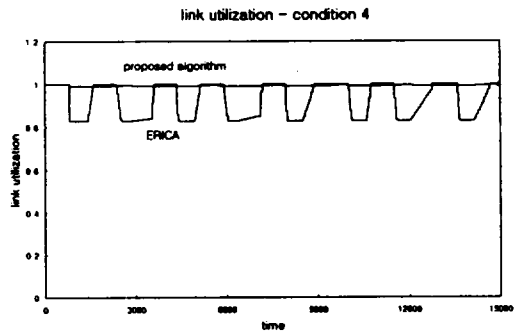


Fig. 17 Link utilization under the condition 4

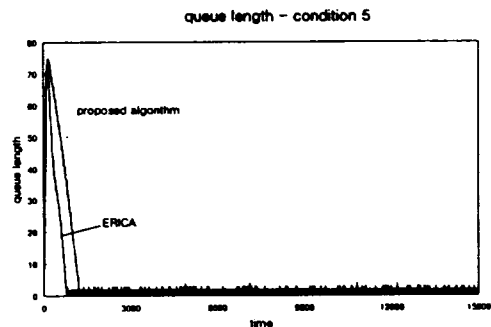


Fig. 18 Queue length under the condition 5

Fig. 18은 조건 5에서 ERICA와 제안알고리즘의 큐길이(queue length)의 변화를 보여준다. 목표대역 이용율을 0.99에서 0.9로 감소시킨 경우(조건 5)에는, 이로 인해 Queue에 여유가 생겨 두 알고리즘 모두 큐길이가 급격히 감소함을 볼 수 있다. 제안알고리즘의 경우 목표대역 이용율을 0.99로 했을 때는 ERICA에 비해 큐길이의 변화가 느렸지만, 목표대역 이용율을 0.9로 감소한 결과 ERICA와 비슷한 큐길

이의 변화를 보였다.

조건 6에서는 조건 1에서와 비슷한 결과를 보였다.

위의 6가지 조건에서의 Queue length와 Link utilization의 평균값은 Table 5와 같다.

Table 5 Average queue length and average link utilization

|             | Queue length |                    | 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, 회선이용율면에서 성능이 매우 뛰어나함을 볼 수 있고, 거리의 영향이나 측정간격값의 영향을 별로 안받고 있다. 그리고, 연결수의 변화가 있어도 CCR값이 안정적이고, 그 제어 응답성이 뛰어나며, 높은 회선이용율을 보이고 있다. 반면, 큐길이면에서는 ERICA에 비해 전체적으로 완만한 변화를 보여주고 있다. 그러나 이 경우에도 목표대역 이용율을 0.9로 줄여준 결과 아주 좋은 성능을 보이게 되었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 ATM 망에서 효율적인 ABR 트래픽을 제어하기 위해 각각의 연결에서의 ABR 트래픽의 PCR값을 토대로 FairShare(FS)를 구하고, 그 FS에 기반한 트래픽제어 알고리즘을 제안했다.

제안된 방법은 각각의 연결에 대해서 FS값을 다르게 구하기 때문에 각 가상연결에서의 모든 CCR값의 변화가 안정적이고, 따라서 각 트래픽 특성에 맞

는 대역폭을 할당하기에 적합한 알고리즘으로 보인다. 그리고, ERICA에 비해 더 높은 회선이용율을 보이고 있는데, 거의 모든 대역을 다 활용하고 있다. 반면, 큐길이면에서는 ERICA에 비해 아주 서서히 감소했지만, 목표대역 이용율을 낮춰준 결과 아주 빨리 감소하여 ERICA와 비슷한 속도로 큐길이가 안정화되었다.

따라서, 회선이용율을 높이면서, 다양한 성격의 ABR 서비스들을 적절하게 수용하기 위해서 이 제안 알고리즘을 사용한다면 아주 효과가 클 것으로 보여진다.

## 참고문헌

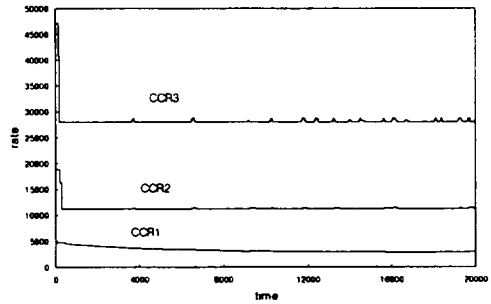
- 1) ATM Forum/af-tm-0056.000 ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0 April, 1996.
- 2) Shivkumar Kalyanaraman, B.Tech, M.S. Traffic Management for the Available Bit Rate(ABR) Service in Asynchronous Transfer Mode(ATM) Networks The Ohio State University 1997.
- 3) Yuan-Cheng Lai and Ying-Dar Lin Interoperability of EFCI and ER Switches for ABR Services in ATM Networks IEEE 1998.
- 4) Shivkumar Kalyanaraman, Raj Jain, Sonia Fahmy, Rohit Goyal and Bobby Vandalore The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks The Ohio State University, Department of CIS Columbus, OH 43210-1277
- 5) Raj Jain, Shivkumar Kalyanaraman, Rohit Goyal, Sonia Fahmy, and Ram Viswanathan The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks, Part I: Description The Ohio State University, Department of CIS Columbus, OH 43210-1277
- 6) Raj Jain, Sonia Fahmy, Shivkumar

Kalyanaraman, and Rohit Goyal The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks, Part II: Requirements and Performance Evaluation The Ohio State University, Department of CIS Columbus, OH 43210-1277

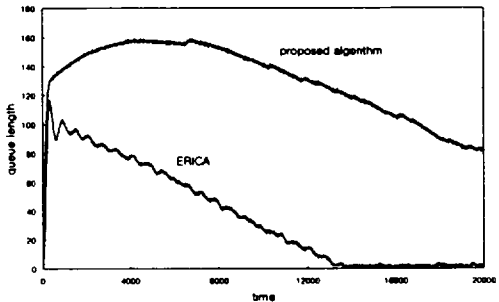
- 7) Sonia Fahmy, Raj jain, Shivkumar Kalyanaraman, Rohit Goyal and Bobby Vandalore On Determining the Fair Bandwidth Share for ABR Connections in ATM Networks
- 8) Hong-Yi Tzeng, Kai-Yeung Siu On Max-Min Fair Congestion Control for Multicast ABR Service in ATM 1997 IEEE
- 9) Danny H. K. Tsang and Wales Kin Fai Wong A New Rate-Based Switch Algorithm for ABR Traffic to Achieve Max-Min Fairness with Analytical Approximation and Delay Adjustment IEEE 1996.
- 10) N. Golmie, Y. Saintillan, and D. Su ABR Switch Mechanism: Design Issues and Performance Evaluation National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland 20899
- 11) N. Golmie, Y. Chang and D. Su NIST ER Switch Mechanism ATM Forum/95-0695

부 록

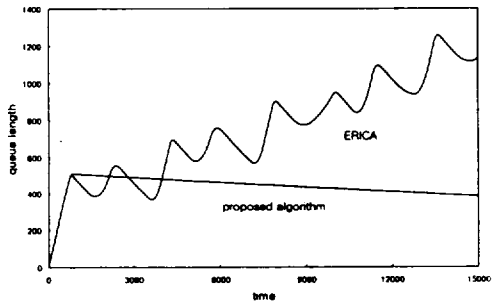
CCR of proposed algorithm - condition 2



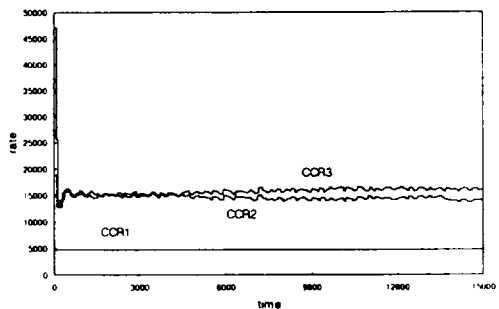
queue length - condition 2



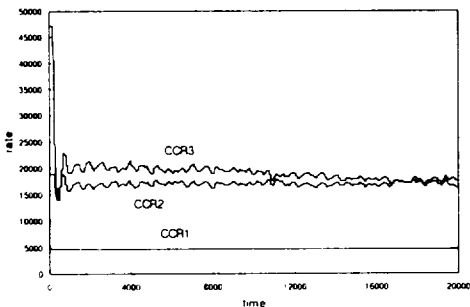
queue length - condition 4



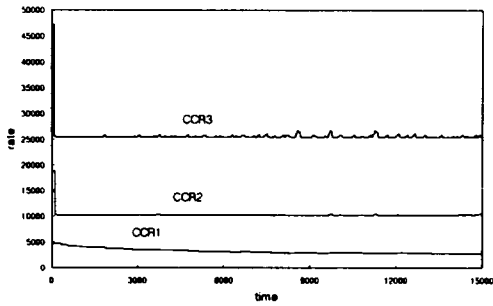
CCR of ERICA - condition 5



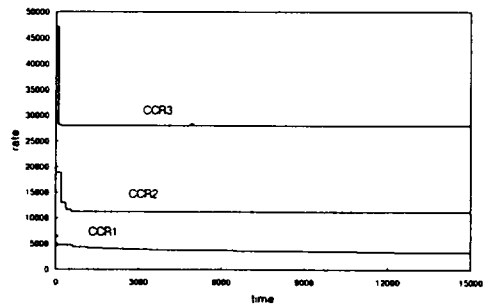
CCR of ERICA - condition 2



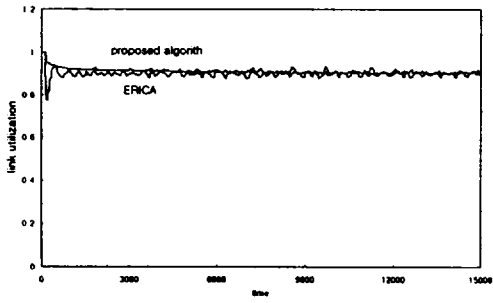
CCR of proposed algorithm - condition 5



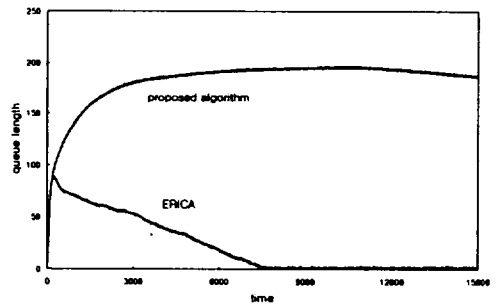
CCR of proposed algorithm - condition 6



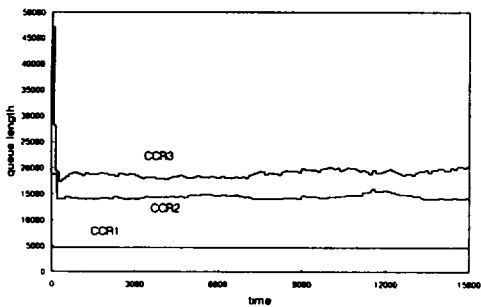
link utilization - condition 5



queue length - condition 6



CCR of ERICA - condition 6



link utilization - condition 6

