

# ATM 망에서 ABR 트래픽의 폭주제어 방법

채 기 준<sup>†</sup> 도 인 실<sup>††</sup>

## 요 약

ATM 포럼에서는 버스트 특성이 높고 그 크기를 예측하기 힘든 트래픽 특성을 가진 ABR 트래픽을 새로이 정의하였다. 이 트래픽은 지연보다 손실에 더 민감한 특성을 가지므로 셀의 손실을 최소화하여 패킷을 재전송하는 경우를 최소화하는 것이 바람직하다. ATM 포럼에서는 ABR 트래픽 제어를 위해 율기반(rate-based) 제어 방식인 EPRCA 알고리즘을 채택하였다. 본 논문에서는 이 EPRCA 알고리즘과 BECN, BP 등과 같은 피드백 제어 방법을 조합한 형태의 제어 방식을 제안한다. 이러한 조합형태의 제어 방식은 ABR 트래픽을 좀더 효율적으로 제어할 수 있고 파라미터 값을 적절히 제어함으로써 효율성을 더욱 높일 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 보인다.

## Congestion Control of ABR Traffic in ATM Network

Ki Joon Chae<sup>†</sup> In Shil Doh<sup>††</sup>

## ABSTRACT

ATM Forum has defined a new service class for data applications called Available Bit Rate(ABR) Service, which has highly bursty traffic and unpredictable burst size. It is desirable that we reduce the probability of retransmission of packets by minimizing the loss of cells because the traffic is much more sensitive to loss than delay. The Forum has also selected the Rate-Based Control for the ABR service and proposed EPRCA as the control mechanism for the service. This paper proposes the combination of EPRCA and the other feedback control mechanisms such as BECN and BP. The combined control mechanism controls ABR traffic more efficiently and the simulation results show that the network performance can be improved by choosing the appropriate parameters.

### 1. 서 론

ABR(Available Bit Rate) 서비스는 ATM 포럼에 의해 새롭게 정의된 서비스 클래스로 이미 지나 문서, 화일 전송 등 버스트 특성이 높은 데이터 트래픽을 말한다[1]. 이러한 ABR 서비스가 현재의 LAN 기술에 의해 지원되는 다른 트래픽 서비스와 같은 정도의 효율성을 보장받기 위해서는 적절한 트래픽 제어 기술의 적용이 필

수적이다. 또한 단순한 VBR(Variable Bit Rate) 서비스와는 달리 원하는 대역폭을 처음부터 할당할 수 없더라도 호(Call)를 수락하여 서비스를 제공하는 ABR 서비스는 적절하게 전송률을 제어함으로써 더 많은 사용자에게 좀더 나은 서비스 품질을 제공할 수 있다는 점에서 매우 중요하며 반드시 연구되어야 하는 분야이다. ATM 포럼은 현재 몇 가지 제어 방식을 개발 중에 있으며 특히 1994년 10월을 기반 흐름 제어 방식을 채택하고 이의 대표적 알고리즘으로 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)를 제시하였다[1, 9]. 그러나 아직까

† 정 회 원 : 이화여자대학교 전자계산학과 조교수

†† 정 회 원 : 삼성데이터시스템

논문접수 : 1995년8월7일, 심사완료 : 1995년10월20일

지도 이에 대한 심층적인 연구나 성능 분석 작업은 미흡한 단계이며 다각적 측면에서 이 알고리즘의 제한점을 보완할 수 있는 방법들이 제시되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 좀더 효율적으로 ABR 트래픽을 조절하기 위한 방안으로 EPRCA 알고리즘만을 적용했을 때와 그 밖의 다른 피이드백 제어 방법을 조합했을 경우의 시뮬레이션을 통해서 알고리즘의 성능을 분석하고 좀더 효율적인 ABR 트래픽 제어 방법을 논하고자 한다. 그럼으로써 망의 환경에 따라 어떤 파라미터를 사용했을 때 가장 좋은 성능을 얻을 수 있는지, 그리고 EPRCA 알고리즘을 다양하게 변형함으로써 얼마나 성능을 향상시킬 수 있는지를 분석하여 더욱 좋은 알고리즘을 개발하는데 도움을 주고 질 좋은 서비스를 제공할 수 있게 하며 나아가서 미래의 광대역 종합 통신망으로의 전환과 발전에 기여할 수 있도록 하는 것이 본 논문 연구의 목적이다.

본 논문에서의 시뮬레이션에 적용된 조합형태의 제어 방식은 다음과 같다.

- (1) EPRCA
- (2) EPRCA + BECN(Backward Explicit Congestion Notification)
- (3) EPRCA + BP(Backpressure)
- (4) EPRCA + BECN + BP

본 논문의 구성은 2장에서 트래픽과 폭주 제어에 관한 대략적인 개념 및 현재의 연구 동향을 서술하고 ABR 트래픽과 EPRCA 알고리즘을 소개하며 3장에서는 본 논문에서 제안하는 ABR 트래픽 제어 방법을 서술하고 4장에서 시뮬레이션을 위해 구축한 모델을 설명한 다음 5장에서 시뮬레이션 결과를 분석하고 마지막으로 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 트래픽의 분류 및 특성

ATM 교환기에서는 다양한 종류의 여러 트래픽을 서비스하기 때문에 전송 속도가 서로 다른 여러 트래픽을 제어하는 기술이 중요한 쟁점이

되는데 ATM 포럼에서는 기존에 크게 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽과 VBR 트래픽으로 구분하던 것을 CBR, 실시간 VBR, 비실시간 VBR, ABR, UBR(Unspecified Bit Rate)의 다섯 가지로 세분화하여 각각의 특성을 정의하였다[2].

### 2.2 트래픽 / 폭주 제어

망 내의 트래픽은 망 성능의 만족스러운 서비스를 제공하면서 망 능력의 효율적인 사용을 허용하도록 적절히 제어되어야 한다. 폭주란 망이 예상치 못한 트래픽의 흐름이나 망 내의 오류발생으로 인해 협정된 성능치를 사용자에게 제공할 수 없는 상태를 말하며 망 내에 폭주가 발생하는 경우 이러한 서비스를 제대로 제공할 수 없게 된다.

이러한 트래픽 제어 방법에는 자원 관리, 연결 수락 제어, UPC/NPC(Usage Parameter Control / Network Parameter Control), 트래픽 셰이핑, 우선 순위 제어 방법, 피이드백 제어방법 등이 있다. 피이드백 제어는 반응적 제어의 대표적인 방법으로 버퍼의 임계값(Threshold)에 기초한 제어 방법이다. 이는 망의 상황을 특정 제어 방법이나 OAM(Operation Administration Management) 셀 혹은 RM(Resource Management) 셀을 통해 그 전 스위치 또는 근원지 시스템에게 알려서 이에 따른 적절한 행동을 취하도록 하는 방식이다[3, 10]. 피이드백 제어의 대표적인 방법으로 FECN(Forward Explicit Congestion Notification)과 BECN, 그리고 BP 등의 방법이 있다[4, 5, 6].

### 2.3 ABR 트래픽

#### 2.3.1 트래픽 특성

ABR 트래픽은 버스트 특성이 매우 높은 트래픽으로 다양하고 예측이 불가능한 버스트 크기를 갖는다[7]. 또한 대부분의 트래픽이 근거리 지역에 한정되며 이에 대한 응용 분야는 이미지나 문서 전송, CBR이 아닌 수퍼 컴퓨터 통신, 근거리 망 상호 연결, 상호 데이터 전송, 화일 전송 등

을 들 수 있다. 이 서비스는 지연보다는 손실에 훨씬 민감한 트래픽으로 다른 트래픽보다 상대적으로 낮은 우선 순위를 갖는다.

### 2.3.2 EPRCA 알고리즘

#### 2.3.2.1 RM 셀

EPRCA 알고리즘은 망의 상태를 피이드백 정보에 의해 파악하여 폭주 여부에 따라 근원지 시스템에서의 전송률을 줄이는 방식으로 이루어지므로 이 정보를 전달하는 RM 셀이 매우 중요한 역할을 한다. 이 RM 셀에는 방향성, 폭주 정보 등이 포함되어 있다[8].

#### 2.3.2.2 EPRCA 알고리즘의 파라미터

EPRCA 알고리즘에는 많은 파라미터가 존재한다. 이러한 파라미터 값을 다르게 줌으로써 전체적인 망의 성능에 큰 차이가 있을 수 있으며 각 파라미터 값을 조절할 때는 언제나 고려해야 하는 장단점이 존재한다. 그러므로 적절한 파라미터 값을 선정하는 것이 매우 중요한데 이 값들은 아직 표준화되어 있지 않으며 여러 가지 연구에 사용된 값을 ATM 포럼에서 제시하고 있는 상황이다. 본 논문에서는 ATM 포럼에 제시된 값을 기준으로 하여 시뮬레이션을 수행하였고 몇 가지 파라미터들을 변화시켜 가면서 그에 따른 시뮬레이션 결과를 살펴보고 성능을 평가해 본다. EPRCA 알고리즘에서 사용되는 파라미터를 요약하면 <표 1>과 같다[8].

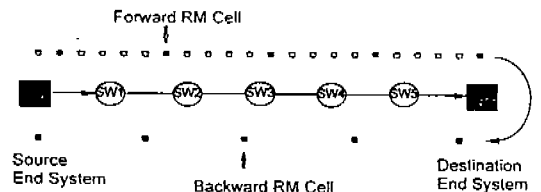
#### 2.3.2.3 EPRCA 알고리즘의 작동 원리

근원지 시스템에서는 데이터 셀을 내보낼 때

다 데이터 셀 내의 EFCI(Explicit Flow Control Indication) 비트를 0으로 세트하여 내보내고 Nrm(Number of RM)개의 셀을 보낼 때마다 RM 셀을 생성시켜 망에 투입한다. 각 데이터 셀이 통과하는 스위치에서 폭주가 발생하면 데이터 셀의 EFCI 비트가 1로 세트되어 목적지 시스템까지 전송되는데 목적지 시스템에서는 RM 셀이 도착할 때까지 기다렸다가 RM 셀을 받으면 그 전에 받았던 마지막 셀의 EFCI 비트가 1인 경우 RM 셀의 CI(Congestion Indication) 비트를 1로 세트하고 그렇지 않은 경우는 0인 상태로 두고 다시 근원지 시스템으로 보낸다. 이 방식에 의한 셀 흐름도는 (그림 1)과 같다.

이 RM 셀을 받은 근원지 시스템은 RM 셀 내의 CI 비트에 의해서 전송률을 다시 조절하게 되는데 CI 비트 값이 0인 경우 즉, 폭주가 발생하지 않은 경우는 RDF(Reductive Decrease Factor) 값에 의해 데이터 셀을 보낼 때마다 감소시켰던 전송률을 원래의 상태로 복원하고 여기에 폭주가 없을 때 추가로 증가되는 전송률 만큼을 더한 값으로 전송률을 증가시킨다.

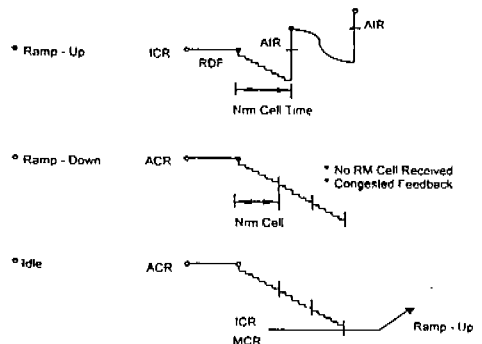
목적지로부터 돌아온 RM 셀의 CI 비트 값이 1



(그림 1) EPRCA 알고리즘의 셀 흐름도  
(Fig. 1) Cell Flow in EPRCA

<표 1> EPRCA 알고리즘의 파라미터  
(Table 1) Parameters of EPRCA

NAME	FLELD LENGTH	UNITS	FULL NAME	Comments
PCR	16bits*	cells/sec	Peak Cell Rate	Mazimum Rate to be used
MCR	16bits*	cells/sec	Minimum Cell Rate	Will be guaranteed by network
ICR	16bits*	cells/sec	Initial Cell Rate	Start up rate after source being idle
AIR	16bits*	cells/sec	Additive Increase Rate	Rate increase permitted Set by network
Nrm	16bits*	cells	Number of cells/RM	$Nrm = 2^n$ , (Nrm-1) data cells between RM cells
RDF	16bits*	none	Rate Decrease Factor	$RDF = 2^{m0}$ Used when EFCI bit set or RMs delayed



(그림 2) EPRCA 알고리즘의율 기반 제어 방식  
(Fig. 2) Rate based control mechanism of EPRCA

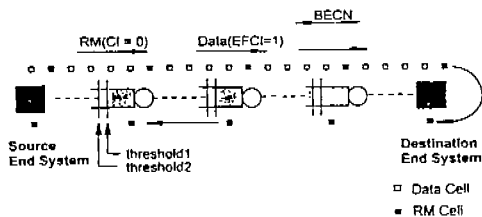
로 세트되어 있거나 일정 시간 동안 RM 셀이 돌아오지 않으면 폭주가 발생한 경우이므로 전송률을 원래의 감소 비율로 계속 감소시키되 MCR (Minimum Cell Rate) 값까지 감소되면 그 이후로는 감소시키지 않는다.

MCR로 전송되던 데이터 셀은 CI 비트가 0인 RM 셀이 돌아오면 폭주가 풀린 것으로 간주하고 다시 전송률을 단계적으로 복원한다. (그림 2)는 이러한 방식을 그림으로 나타낸 것이다.

### 3. 제안된 ABR 트래픽 제어 방법

ABR 트래픽 서비스를 위해 본 논문에서는 EPRCA 알고리즘을 근간으로 하여 몇 가지 피이드백 제어방식을 조합하여 시뮬레이션을 수행하였다.

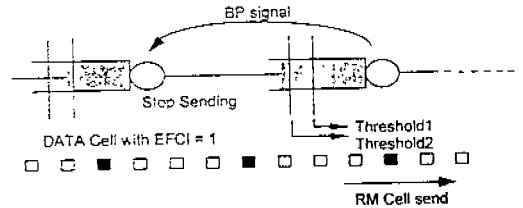
먼저 BECN 제어 방법의 기본 개념을 EPRCA 알고리즘과 조합한다. 이 개념은 현재 ATM 프롬에서 제시되고 있는 방법인데 EPRCA 알고리즘만 적용하면 RM 셀이 무조건 도착지까지 전달 되었다가 다시 근원지로 돌아오므로 폭주가 심한 경우 신속하게 대처할 수 없다는 단점을 보완하기 위한 것이다. BECN 방식은 이미 논한 바와 같이 스위치에서 폭주가 발생하면 근원지 노드에 폭주를 알리는 비트 정보를 보내 전송률을 낮추는 방식인데 여기에서는 각 스위치의 버퍼 임계치를 두 개로 설정하여 작은 값의 임계치를 초과하면 원래의 EPRCA 방식으로 폭주 정보를 전달하고 더 큰 값의 임계치를 초과할 때는 목적지에 폭주 정보를 전달할 뿐 아니라 폭주 상태가 심하므로 신속히 이에 대응하기 위해 근원지 시스템에 BECN 비트를 전달하여 폭주를 알리는 RM 셀이 도착했을 때 전송률을 낮추는 것과 동일한 동작을 취하게 한다(그림 3 참조).



(그림 3) EPRCA + BECN 폭주 제어 방식  
(Fig. 3) EPRCA + BECN Congestion control mechanism

원래 BECN 방식에서는 일정기간 BECN 정보가 도착하지 않으면 전송률을복원하는 방식으로 전송률을 재개하지만 EPRCA 알고리즘에 의해 당의 상태를 정기적으로 알리는 RM 셀에 의해 전송률이 다시 복원될 수 있으므로 복원을 위한 별도의 매카니즘을 넣지 않는다.

다음으로는 EPRCA 알고리즘과 BP 방식을 조합한 개념으로 스위치의 버퍼가 낮은 값의 임계치를 초과하면 앞에서와 마찬가지로 EPRCA의 폭주 정보 전달만이 일어나고 그보다 더 높은 임계치를 초과하면 바로 전 스위치에 BP 신호를 보내어 전송을 일시적으로 중단하도록 한다. 다음 스위치로 데이터 셀을 보낼 수 없는 스위치에서는 들어오는 셀만이 계속 큐에 쌓이게 되는데 그함으로써 이 스위치의 버퍼 길이가 다시 큰 값의 임계치를 초과하게 되면 또 다시 그 전 스위치에 BP 신호를 전달하는 식으로 계속 정보가 전달되어 근원지 시스템까지 전달될 수 있다(그림 4 참조).



(그림 4) EPRCA + BP 폭주 제어 방식  
(Fig. 4) EPRCA + BP Congestion control mechanism

원래의 BP 방식에서는 전송 재개(Clear to Send) 신호를 보낼 수 있는 임계치는 폭주 상태가 풀릴 수 있도록 높은 값의 임계치보다 훨씬 작은 값으로 설정하지만 여기서는 EPRCA 알고리즘에 의해 근원지 시스템에서 계속 전송률을 줄여 가는 방식으로 폭주 상태를 훨씬 빨리 풀 수 있으므로 조금 높게 설정하였다. 전송률을 복구하는 과정은 앞서의 방법과 마찬가지로 RM 셀에 의한 복귀로 대신한다.

마지막으로 EPRCA 알고리즘과 BECN 방식, BP 방식을 모두 혼합하여 제어하는데 폭주가 심한 경우 RM에 의한 제어 뿐 아니라 BECN에 의해 근원지 시스템으로 폭주 정보를 전달하고 동시에 BP 신호를 앞 스위치에 전달하여 바로

전 스위치로부터의 전송을 일시적으로 중단한다. 이를 그림으로 나타내면 (그림 5)와 같다.

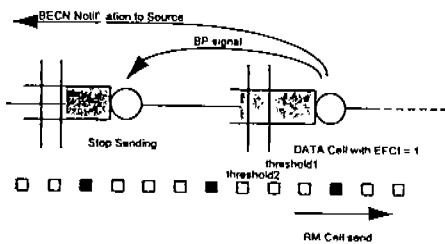
### 4. 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 C 언어를 이용하여 UNIX 워크스테이션 상에서 근원지, 스위치, 목적지 각각에서 발생하는 사건들에 대하여 이산 사건 스케줄링 방식을 이용하여 시뮬레이션하였다.

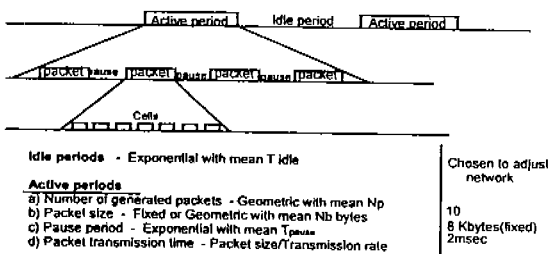
#### 4.1 근원지 시스템 모델

각 터미날은 세 가지 상태 모델에 기초한 트래픽을 생성시킨다(그림 6 참조).

근원지 노드는 Active 상태, 혹은 Idle 상태를 가지며 Idle 상태에서는 트래픽이 생성되지 않고 Active 상태에서만 생성된다. 근원지 시스템은 평균 10의 기하 분포값을 갖고 패킷을 생성시키며 각 패킷은 휴지기(pause)에 의해 전송이 구분된다. 각 패킷은 8 Kbytes로 고정된 것으로 가정하였고 패킷과 패킷을 구분하는 휴지기의 길이는 2 msec를 평균으로 지수 분포를 이룬다고 가정한다. Idle 기간도 역시 임의의 평균값을 갖



(그림 5) EPRCA + BECN + BP. 폭주 제어 방식 (Fig.5) EPRCA + BECN + BP Congestion control mechanism

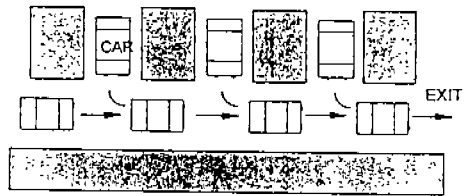


(그림 6) 근원지 시스템 모델 (Fig. 6) Source End System Model

는 지수 분포를 이룬다.

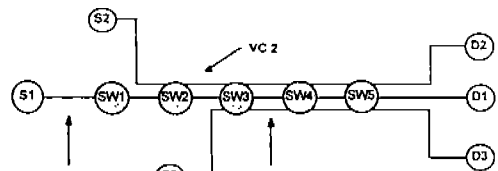
#### 4.2 망 시뮬레이션 모델

망을 간략하게 모델링하기 위해 주차장(Parking Lot) 모델을 설정하였다. 주차장 모델은 공정성(Fairness) 문제의 연구에 관한 분야에서 가장 많이 사용되는 모델로 극장의 주차장과 비슷하다해서 붙여진 이름이다. 즉, (그림 7)과 같이 단일 출구를 통해 연결된 몇 개의 주차 공간으로 이루어져 있는 주차장에서 공연이 끝나고 나면 각 주차 공간으로부터 나온 차들이 단일 출구로 나가는 대열에 합류하려하기 때문에 폭주가 발생하게 된다.



(그림 7) 주차장 모델 (Fig. 7) Parking Lot Model

본 논문에서는 이 주차장 모델을 기본으로 가정하고 각각의 스위치는 입력 버퍼를 갖는 것으로 모델링 하였다. 세 개의 근원지를 갖는 이 모델은 각각 스위치 1, 스위치 2, 스위치 3에 연결되어 있으며 이 세 개의 가상 채널이 Active 상태에서 트래픽을 독립적으로 생성한다. 이미 언급한 바와 같이 목적지에서 근원지로 재전송되는 RM 셀을 이용하여 근원지에서 전송률을 재조정하는 EPRCA 알고리즘을 근간으로 하므로 각 목적지 D1, D2, D3에서 각각의 가상채널을 통해 근원지로 폭주 정보를 전송하여 전송률을 조절한다(그림 8 참조).



(그림 8) 망 시뮬레이션 모델 (Fig. 8) Network Simulation Model

각 스위치의 버퍼 크기는 무한대로 가정하고 버퍼의 임계치를 두어 근원지의 전송량을 조절하여 일정 수준의 버퍼 크기를 유지하도록 한다. 이러한 시뮬레이션을 통해 실제의 망 내 스위치의 버퍼 크기를 결정할 때 셀 손실률을 일정 수준으로 보장할 수 있도록 버퍼크기를 조절할 수 있다. ABR 트래픽의 경우 셀 손실률을 보장할 수 있어야 하므로 최소한 VBR 트래픽에서 손실에 민감한 데이터의 서비스 품질인 10-9이하의 셀 손실률을 보장할 수 있어야 한다.

### 4.3 시뮬레이션 파라미터

EPRCA 알고리즘 및 그 외의 피이드백 제어 알고리즘을 시뮬레이션할 때 사용된 시스템 파라미터 값은 아직 확정되지 않은 상태이므로 ATM 포럼 자료를 기본으로 하였고 그 중 일부의 값을 변화시켜가며 최적의 값을 찾을 수 있도록 시뮬레이션하였다. 이 값들은 <표 2>와 같다.

<표 2> 시뮬레이션에 사용된 매개 변수  
<Table 2> Parameter values used in simulation

파라미터	ATM포럼 참조값	시뮬레이션 변수
Mean idle time	2.0	0.5,1.0,2.0,2.5,3.0
ICR	7.75 Mbps	7.75Mbps
PCR	155Mbps	155Mbps
MCR	PCR/1000	PCR/800, PCR/900, PCR/1000, PCR/1100, PCR/1200
MDF	2 <sup>s</sup>	2 <sup>s</sup>
AIR	0.22Mbps	0.22Mbps
Nrm	2 <sup>s</sup>	2 <sup>s</sup> ,2 <sup>s</sup> ,2 <sup>s</sup> ,2 <sup>s</sup>
Threshold (Th1/Th2)	600/800	400/600, 500/700, 600/800, 700/900, 800/1000

### 5. 시뮬레이션 결과 분석

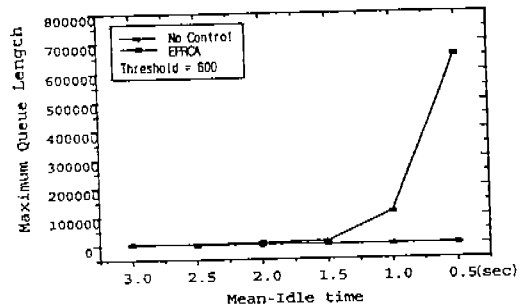
본 논문에서의 성능 평가 변수로는 크게 최대 큐 길이(Maximum Queue Length)와 셀 전송 지연(Cell Delay), 그리고 처리량(Throughput)으로 선정하였다. 각 스위치는 입력 버퍼를 갖는데 일단 무한대로 가정하고 각 제어 방법에 따라

어느 정도로 큐의 길이가 증가하는지를 체크한다. 실제 망을 구축할 때는 당연히 큐의 길이가 일정 수준으로 제한되어야 하므로 특히 손실에 민감한 트래픽의 경우 큐의 길이는 매우 중요한 요소로 작용하게 된다.

셀 전송 지연은 셀이 망에 유입되어 목적지까지 도달하는 동안 겪게 되는 지연이고 처리량은 초당 목적지에 도달하는 셀의 수로 산정하였다. 셀 전송 지연과 처리량은 본 논문에서 다루는 ABR 트래픽의 경우 CBR이나 VBR 트래픽보다는 덜 중요한 요소이지만 지나치게 지연이 길어지거나 처리량이 낮아지면 역시 사용자의 서비스 품질을 만족시킬 수 없다. 그러므로 같은 조건 하에서는 가능하면 지연을 줄이고 처리량을 높이는 것이 바람직하므로 성능 평가의 변수로 설정하였다.

(그림 9)는 ABR 트래픽을 제어없이 망에 유입했을 때와 EPRCA 알고리즘을 적용했을 때의 최대 큐 길이를 비교한 그래프이다. 평균 Idle 시간이 짧아질수록 즉, 버스트 데이터가 좀더 자주 발생될수록 제어를 하지 않은 경우 큐의 길이가 기하급수적으로 증가됨을 알 수 있다. 이러한 큐 길이의 차이는 EPRCA 알고리즘의 경우 망에서 처리할 수 있는 데이터량 이상을 받아들이지 않는 반면 제어를 하지 않는 경우는 무조건 망에 셀이 유입되기 때문이다. 이러한 큐 길이의 증가는 결과적으로 많은 데이터 셀의 손실을 초래하게 된다.

(그림 10)의 경우 제어 없이 셀을 전송하는 경우와 EPRCA 알고리즘을 적용했을 경우 망



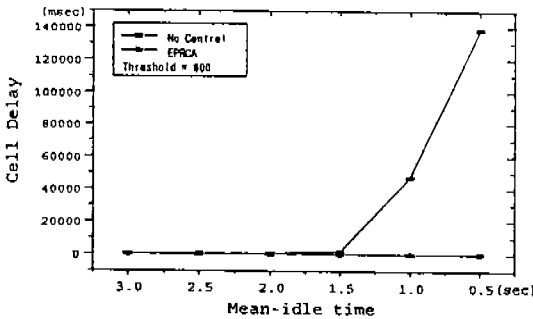
(그림 9) EPRCA 알고리즘과 제어를 하지 않은 경우 최대 큐 길이 비교  
(Fig. 9) Maximum Queue length of EPRCA / No control

내에 유입된 셀들이 겪게 되는 지연을 나타낸다. 역시 제어를 하지 않은 경우 셀이 무조건 유입되므로 전체적으로 셀 지연이 기하 급수적으로 증가되는 반면 EPRCA 알고리즘을 사용하면 망에 유입되는 셀의 수를 적절히 조절하여 목적지까지 전달될 동안 겪는 지연을 일정 수준으로 유지할 수 있다.

(그림 11)은 순수한 EPRCA 알고리즘만을 썼을 때와 이에 BECN, BP, 그리고 BECN과 BP를 모두 조합했을 때 각각의 경우에 처리량이 증가함에 따라 큐의 길이가 증가하는 모습을 보인 그래프이다. 처리량이 증가할수록 EPRCA만을 쓴 경우는 큐의 길이가 점차 증가하고 여기에 BECN을 조합한 경우는 일정 수준을 유지하지만 BP와의 조합이나 BECN, BP와의 조합보다는 전체적으로 큐 길이가 긴 결과를 보이고 있다. 특히, BECN과 BP를 모두 조합한 경우는 거의

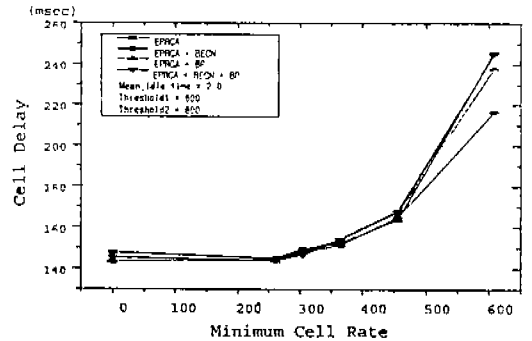
큐의 임계값으로 지정된 800 정도의 수준을 벗어나지 않음을 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있듯이 EPRCA만을 썼을 때보다는 이에 BECN을 조합한 경우 큐의 길이를 줄일 수 있지만 두 경우 모두 처리량이 증가할수록 자주 발생하는 폭주를 제어하기 위해서 근원지 시스템에 이 정보를 전달해서 유입되는 정보량이 줄어들 때까지 기다려야 하는 반면 BP를 조합한 경우 이 정보를 전달하는 동시에 바로 전 스위치로 하여금 전송을 일시적으로 중지하도록 하므로 최대 큐의 길이를 훨씬 효과적으로 제어할 수 있다.

(그림 12, 13)은 EPRCA 알고리즘의 파라미터 중 MCR 즉, 최소 전송률을 변화시킴에 따라 셀의 지연과 큐의 길이 변화 모습을 나타낸다. MCR은 다른 파라미터 값들과 마찬가지로 연결 수락 제어 시에 협상하게 되는 값인데 최소 어느 값 이상으로 전송할 것인지 사용자에게 의해 제시



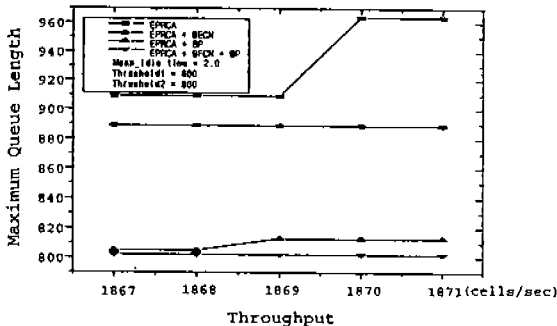
(그림 10) EPRCA 알고리즘과 제어를 하지 않은 경우 셀 지연 비교

(Fig. 10) Cell Delay of EPRCA / No control

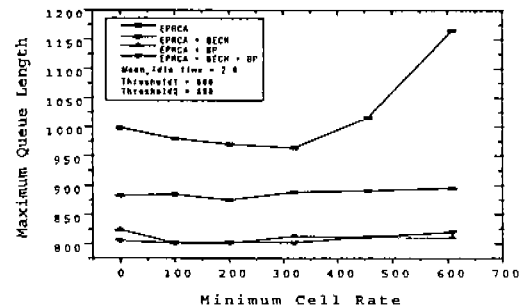


(그림 12) 각 제어 방법의 MCR과 셀 지연 비교

(Fig. 12) MCR vs. Cell Delay of each control mechanism

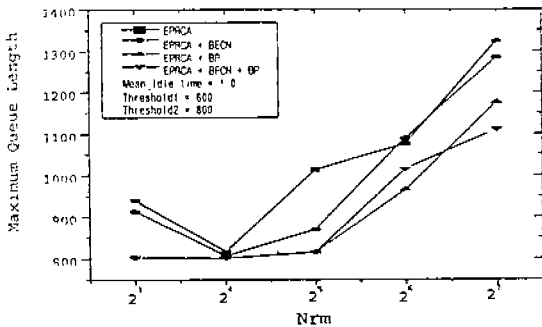


(그림 11) 각 제어 방법의 처리량과 최대 큐 길이 비교  
(Fig. 11) Throughput vs. Maximum queue length of each control mechanism



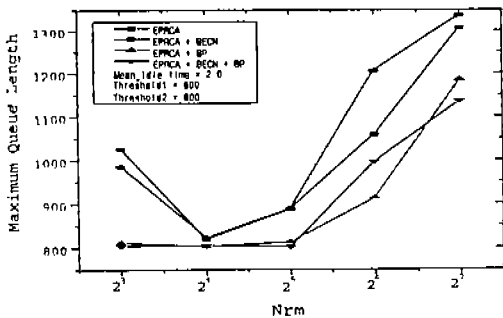
(그림 13) 각 제어 방법의 MCR과 최대 큐 길이 비교  
(Fig. 13) MCR vs. Maximum queue length of each control mechanism

되는 값이다. ATM 포럼에서는 주로 0.155 Mbps 즉, 365 cells/sec의 값을 사용하고 있는데 본 논문에서 설정한 시뮬레이션 모델의 경우 약 400 cells/sec 정도까지는 전체적인 셀 지연이 크지 않으나 그 이후는 급격히 증가함을 보이고 있다. 그리고 지연의 경우 각 방법에 있어서의 큰 차이는 보이지 않는다. 그러나 큐의 길이에 있어서는 다른 양상이 나타나는데 지연이 각 방법간의 차이를 나타내지 않음에 반해 큐 길이는 EPRCA만을 쓴 것보다는 BECN을 이에 조합한 것이, 이보다는 BP를 조합한 경우나 BECN과 BP 모두를 조합한 경우 그 길이를 훨씬 줄일 수 있음을 보인다. 특히, BECN과 BP를 모두 조합한 경우는 MCR 값에 크게 영향 받지 않고 일제 값 800 정도에서 큐의 길이를 유지할 수 있게 된다. 큐의 길이에 있어서 이렇게 분명한 차이를



(그림 14) 각 제어 방법의 Nrm과 최대 큐 길이 비교 (평균 Idle 시간:1.0)

(Fig. 14) Nrm vs. Maximum queue length of each control mechanism(Mean idle time:1.0)



(그림 15) 각 제어 방법의 Nrm과 최대 큐 길이 비교 (평균 Idle 시간:2.0)

(Fig. 15) Nrm vs. Maximum queue length of each control mechanism(Mean idle time:2.0)

보이는 이유는 앞의 경우와 마찬가지로 다른 방식의 경우 폭주 발생시 근원지 시스템에 의해 전송률이 낮아질 때까지 계속 유입되는 셀에 의해 큐가 증가하는 반면 BP 방식은 폭주 발생시 직접적으로 각 스위치 별로 큐 길이를 제어하기 때문에 큐의 길이를 억제하는 데는 더욱 효과적이기 때문이다.

(그림 14, 15)는 Nrm 즉, RM 셀을 발생시키는 간격을 조절하면서 각 방법에 있어서 큐의 길이가 얼마나 증가하는지를 조사한 그래프이다. 평균 Idle 시간이 달라짐에 따라 각 방법이 어떠한 차이를 보이는지를 보기 위해 1.0일 때와 2.0일 때 각각에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과 평균 Idle시간이 1.0인 경우 각 방법이 공히 Nrm이 2<sup>4</sup>일 때 최소의 큐 길이를 나타낸다. 이는 현재 ATM 포럼에서 주로 Nrm 값으로 2<sup>4</sup>을 쓰고 있는 상황과 약간 차이를 보이는데 본 논문에서 설정한 시뮬레이션 모델의 경우 평균 Idle 시간이 1.0이타면 Nrm 값으로 2<sup>4</sup>을 쓰는 것이 큐의 길이 면에서 좋은 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다. RM 셀 간격이 지나치게 좁을 때는 RM 셀로 인해 오히려 스위치의 큐 길이가 길어지고 적절한 RM 셀 간격을 유지할 때 가장 짧은 큐 길이를 나타낸다. 그러나 RM 셀 간격이 커질수록 망의 폭주 상황에 신속하게 대처할 수 없으므로 큐의 길이가 기하 급수적으로 증가함을 볼 수 있다. 한편, (그림15)에서와 같이 평균 Idle 시간이 2.0인 경우에는 약간의 차이를 보이는데 EPRCA만을 썼을 때나 EPRCA와 BECN만을 조합했을 때는 앞의 경우처럼 Nrm이 2<sup>4</sup>일 때 가장 짧은 큐 길이를 보였음에 반해 BP와의 조합이나 BP와 BECN을 모두 조합한 경우에는 Nrm이 2<sup>3</sup>일 때가 가장 짧은 큐 길이를 나타낸다. 이는 데이터가 좀더 긴 시간 간격을 두고 망에 유입되는 경우 RM 셀 발생 간격이 약간 길어져도 BP 방식을 조합한 경우에는 큐의 길이가 직접적으로 제어되므로 큐의 길이가 쉽게 증가하지 않기 때문으로 분석된다. 특히, RM 셀은 원하는 수준의 제어가 이루어지는 선에서는 가능하면 그 수를 줄이는 것이 상대적인 데이터 셀의 양을 늘릴 수 있으므로 처리량 면에서도 훨씬 바람직하다. 그러나 앞의 경우와 마찬가지로 RM 셀 간격

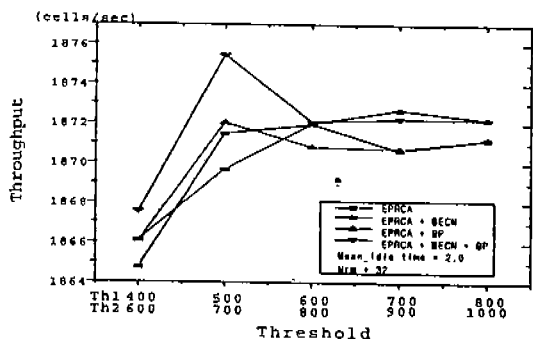


이 지나치게 커지면 큐의 길이가 기하 급수적으로 증가하므로 적절한 RM 셀 간격을 유지하는 것이 매우 중요하다.

마지막으로 (그림 16)에서와 같이 임계값을 변화시켜 가면서 각 경우에 따른 처리량을 보면, EPRCA만을 썼을 때나 이에 BECN을 조합한 경우 임계값 1을 600으로, 임계값 2를 800으로 설정한 경우 가장 높은 처리량을 보이는데, 이는 ATM 포럼 자료에서 주로 사용하는 값과 일치한다. 반면에 본 논문에서 제안한 BP와의 조합이나 BECN과 BP를 모두 조합한 경우는 임계값 1을 500으로, 임계값 2를 700으로 설정한 경우 최고의 처리량을 보이며 이는 순수 EPRCA나 BECN과의 조합의 경우보다 높은 값을 나타내므로 EPRCA와 BECN, BP를 모두 조합하여 제어하는 방식을 쓰되 500/700 정도의 임계값을 선택한다면 훨씬 효율적으로 트래픽을 처리할 수 있음을 보이고 있다.

이와 같은 시뮬레이션 결과를 통해 ABR 트래픽의 경우, EPRCA 알고리즘만을 쓰는 것보다는 EPRCA에 BECN 방식을 조합함으로써 폭주 정보를 근원지 시스템에 신속하게 전달하여 이에 대응함으로써 큐의 길이를 줄이고 처리량을 더 증가시킬 수 있었으며, EPRCA에 BP 방식을 조합하면 BECN을 조합한 경우보다 큐의 길이 면에서나 처리량 면에서 좀더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

특히 EPRCA 알고리즘에 BECN과 BP 두 가지 방식을 모두 조합한 경우, 적절한 파라미터 값을 지정해 줌으로써 큐의 길이를 거의 임계값



(그림 16) 각 제어 방법의 임계값과 처리량의 비교  
(Fig. 16) Threshold vs. Throughput of each control mechanism

수준으로 유지할 수 있고 처리량도 더 증가되는 결과를 얻을 수 있었다.

## 6. 결론

ATM을 이용한 B-ISDN 망에서 가장 중요한 요소는 고속으로 전송되는 다양한 데이터를 어떻게 효과적으로 관리하느냐 하는 점이다. 이를 위해 트래픽을 분류하고 각 트래픽을 효율적으로 제어하기 위한 다양한 ATM 망 제어 방법들이 연구되고 있는데 본문에서는 특히 피이드백 제어 방식을 중심으로 최근 ATM 포럼에 의해 새롭게 정의된 ABR 트래픽의 제어 방법에 대해 논하였다. ABR 트래픽은 버스트 특성이 매우 높고 버스트 길이를 예측하기 힘들며 지연보다는 손실에 훨씬 민감한 특성을 갖는다. ATM 포럼은 이러한 ABR 서비스의 제어 방법으로 1994년 11월, 울 기반 제어 방식을 최종적으로 확정하고 그 대표적 방법으로 EPRCA 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 EPRCA 알고리즘이 갖는 한계를 보완하기 위해 BECN과 BP 방식을 조합하여 시뮬레이션을 수행한 결과 EPRCA 알고리즘만을 썼을 때보다는 BECN을 조합한 경우, 그리고 그보다는 BP를 조합한 경우나 둘 다를 조합한 경우 큐의 길이나 전체적인 처리량 면에서 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 특히, 큐의 길이 면에서 BECN과 BP 둘 다를 조합함으로써 지정된 임계값을 크게 벗어나지 않는 결과를 얻을 수 있었고 이는 망의 자원을 절약한다는 측면이나 망의 길이의 증가 정도를 예상할 수 있다는 측면에서 망을 구축할 때 훨씬 유용할 것으로 생각된다. 또한 EPRCA 알고리즘에서 사용되는 다양한 파라미터 값들을 조절해 봄으로써 망의 성능을 높일 수 있는 최적의 값을 제시하였다.

본 논문에서는 가상 채널의 수와 스위치의 수를 고정하여 시뮬레이션하였지만 이들을 유동적으로 조절하여 수행하면 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있겠으나, 본 논문의 목적이 ABR 트래픽에 대하여 EPRCA 방식 뿐 아니라 BECN이나 BP 등의 피이드백 제어 방법을 조합하여 적용했

을 때의 효과를 분석하기 위한 것이므로 우선 고정된 수의 채널이나 스위치만을 사용하여 모델링하여도 그 효과를 분석할 수 있었다. 향후에 가상 채널이나 스위치의 수를 다양하게 변화시킬 수 있고, 트래픽의 종류도 ABR로만 한정하지 않고 실제의 망 상황과 유사하게 CBR이나 VBR 등 다른 트래픽을 포함하는 시뮬레이터를 개발하여 망 성능을 전체적으로 분석한다면 더욱 정확한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

본 논문에서는 가상 채널의 수와 스위치 수를 고정하여 시뮬레이션 하였으나 이들을 다양화하고 트래픽의 종류도 ABR로만 한정하지 않고 실제의 망 상황과 유사하게 CBR이나 VBR 등 다른 트래픽과 함께 시뮬레이션하여 망 성능을 전체적으로 분석한다면 더욱 정확한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

특히, EPRCA 알고리즘의 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 공평성(Fairness) 문제와 멀티캐스팅(Multi-casting) 문제는 앞으로 더욱 많은 논란이 예상되는 분야이며 이에 대한 심층적인 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

[ 1 ] ATM Forum Technical Committee, "Traffic Management," November, 1994.  
 [ 2 ] L. Wojnaroshi, "Baseline text for Traffic Management Sub-Working Group," ATM Forum Technical Meeting 94-0394R4, September, 1994.  
 [ 3 ] ITU-T, Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN," Geneva, 1993.  
 [ 4 ] B. A. Makrucki, "Explicit Forward Congestion Notification in ATM Networks," Proc. of Tricom. '92, The Fifth Triangle Conference on Computer Communication, February, 1992.  
 [ 5 ] Peter Newman, "Backward Explicit Congestion Notification for ATM Local Area Networks," GLOBECOM'93, pp 719-723, 1993.

[ 6 ] Aleksandar Kolarov and G. Ramamurthy, "Comparison of Congestion Control Schemes for ABR Service in ATM Local Area Networks," GLOBECOM'94, pp.913-918, 1994.  
 [ 7 ] ATM Forum, Baseline text for Traffic Management Group, Specification of the ABR Service, 1994.  
 [ 8 ] Sathaye, FORE Systems, "Traffic Management," ATM Forum Technical Meeting 95-0013, February, 1995.  
 [ 9 ] L. Roberts, "Enhanced PRCA (Proportional Rate-Control Algorithm)," ATM Forum Technical Meeting 94-0735R1, August, 1994.  
 [10] Rainer Handel, Manfred N. Huber, Stefan Schroder, "ATM Networks," 1994.  
 [11] J. S. Turner, "New Directions in Communications (or Which Way to the Information Age?)," IEEE Commun. Mag., Vol. 24. No. 10, pp. 8-15, October, 1986.

채 기 준



1982년 연세 대학교 수학과 학사  
 1984년 미국 Syracuse Univ. 전자계산학과 석사  
 1990년 미국 North Carolina State Univ. 컴퓨터공학과 박사  
 1990년~92년 미국 해군사관학교 전자계산학과 조교수

1992년~현재 이화여자대학교 전자계산학과 조교수  
 관심분야: 컴퓨터 통신 및 네트워크, 고속통신망, 성능평가

도 인 실



1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사  
 1993년~95년 이화여자대학교 전자계산학과 석사 졸업  
 1995년~현재 삼성태이시스템 관심분야: 컴퓨터 통신 및 네트워크