

# 신호 전송을 위한 ATM 망에서의 ABR 체증제어

정희원 정 준 영\*, 양 현 석\*\*, 계 영 철\*\*\*, 고 인 선\*\*\*\*

## ABR Congestion Control for Signal Transmissions in ATM Networks

Joon-Young Jung\*, Hyun-Suk Yang\*\*, Young-Chul Kay\*\*\*, In-Seon Koh\*\*\*\* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 음성신호 전송을 위한 ATM 서비스 중 ABR에 대한 새로운 체증제어 알고리즘을 제시한다. 제시하는 알고리즘에서는 기존의 방법들과는 달리 네트워크의 혼잡 정도를 측정하기 위하여 스위치의 버퍼레벨뿐만 아니라 버퍼레벨의 변화율을 측정하여 보다 유연하게 네트워크의 상황에 대처하도록 하였다. 또한, 음성신호 송신원의 셀 전송속도가 다른 음성신호 송신원에 비해 상대적으로 작아지거나 커지는 불평등을 해소하기 위하여 Loading Factor를 도입하여 전송속도의 증감을 조정하였다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 기존의 다른 방법에 비해 우수하다는 것을 입증하기 위하여 7개의 음성 신호 송신원과 4개의 스위치를 갖는 네트워크 모델을 제시하여 모의실험 하였다. 네트워크 모델은 페트리 넷을 통해 구현하였으며 모의실험 도구로는 ExSpect가 사용되었다. 모의실험 결과 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 사용하면 기존의 방법에 비해 네트워크의 효율과 음성신호 송신원들의 불평등이 많이 개선됨을 알 수 있다.

**key Words** : Congestion control, Available Bit Rate, Loading Factor, Petri nets

### ABSTRACT

In this paper, an ABR (Available Bit Rate) congestion control algorithm for voice transmission in ATM networks was proposed. To deal with the network congestion problem, not only the buffer level of a switch but also the variation of the buffer level were considered. Also, to resolve the unfairness among sources where the bit transfer rates vary, a loading factor that is used to adjust the bit rate was introduced. To show the superiority of this paper over others, simulation was done with a network of 7 voice sources and 4 switches, which was represented by Petri net model. ExSpect was used for simulation. The simulation results showed that there was improvement in network utilization and that unfairness among sources were resolved a lot.

### I. 서 론

컴퓨터와 정보통신의 급속한 발전으로 전자우편을 통한 파일 전송, 인터넷 회화를 통한 음성 데이터의 전송, 화상회의 시 음성 및 영상 데이터의 전송과 같이 다양한 종류의 데이터 전송이 가능하게 되었다. 이러한 데이터들은 표준화된 셀로 나뉘어

져 ATM 스위치를 통해 전송되는데 데이터의 종류에 따라 전송 방법이 다르게 된다. 예를 들어 파일과 같은 단순 데이터의 경우는 셀 손실 없이 수신원에 전송되지만 하면 되므로 네트워크의 가용 대역폭에 따라 셀을 전송하면 되고 음성과 같은 데이터는 일정한 속도로 셀을 전송하여야만 음성의 끊김이 없으므로 셀을 일정한 속도로 전송해야 하며

\* 삼성전자, \*\* 홍익대학교 전자공학과 지능제어 연구실(hsynag@wow.hongik.ac.kr),

\*\*\*홍익대학교 전자공학과 통신 연구실(yckay@wow.hongik.ac.kr), \*\*\*\* 홍익대학교 전자공학과 지능제어 연구실(inseon@wow.hongik.ac.kr)

논문번호 : 020381-0903, 접수일자 : 2002년 8월 27일

영상과 같은 데이터는 압축 기법에 따라 시간에 따른 셀의 수가 달라지는데 영상의 끊김을 방지하기 위해서는 전송 속도를 달리하여 해당 시간의 셀을 모두 보내는 방법을 선택해야 한다. 따라서 ATM 스위치는 각 셀에 포함되어 있는 데이터의 종류에 대한 정보를 근거로 전송 속도를 설정하게 된다.

전송 속도에 대한 ATM 서비스로는 일정 비트 속도(CBR: Constant Bit Rate), 가변 비트 속도(VBR: Variable Bit Rate), 비설정 비트 속도(UBR: Unspecified Bit Rate) 그리고 가능 비트 속도(ABR: Available Bit Rate) 등이 있다. CBR은 서킷 접속의 기간 동안 고정 대역폭을 공급하여 일정한 속도로 정보가 전달되도록 하는 방법으로 전화나 텔레비전의 정보 전송에 사용되고 있다. VBR은 실시간 일정한 품질이 요구되는 비디오의 전송을 위한 서비스이다[7]. UBR은 CBR, VBR, ABR 트래픽이 사용하고 남은 네트워크의 대역폭을 사용하여 데이터를 전송하고 자 제안된 서비스이다. 일반적으로 가용 대역폭을 예측할 수 없기 때문에 셀 지연이나 셀 손실에 대한 서비스 품질을 보장할 수 없게 된다. 따라서 전자우편이나 파일전송과 같은 서비스에 응용되고 있다. ABR은 최소 셀 전송률을 보장하면서 링크의 가용 대역폭을 최대로 활용하여 고속의 데이터를 전송하기 위한 방식이다. 이 방식은 다른 서비스와는 달리 수신 쪽에서 링크의 폭주 상태에 대한 정보를 전달받아 데이터의 전송 속도를 조절하게 할 수 있는 피드백 메커니즘이 있다. 다시 말하면 ABR에서는 RM 셀이라는 특정한 제어 셀이 존재하여 대역폭의 가용도, 체증 상태와 같은 망의 정보를 송신원에게 전달하게 된다.

본 논문에서는 ATM 망의 특성을 기반으로 ABR 서비스에서 사용자나 트래픽 양의 증가로 인하여 체증이 발생하였을 경우 각 송신원의 형평성을 고려하여 전송 속도를 조정함으로써 전체적인 네트워크의 성능향상을 이루기 위한 알고리즘을 연구하였다. 먼저 기본적인 피드백 체증 제어 알고리즘인 BECN(Backward Explicit Congestion Notification[1])과 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm), EPRCAM(Modified Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)[2,5] 등의 방법을 검토하였고 이러한 기본 모델을 바탕으로 좀더 향상된 성능을 제공하는 알고리즘을 제시한다. 본 논문에서는 Explicit rate control algorithm의 하나인 EPRCA와 EPRCAM에서의 체증제어 알고리즘과 체증 측정 알고리즘을

수정하여 각 송신원간의 형평성을 꾀하고 자 한다. 즉, 현재 ATM 스위치의 체증 여부를 단순한 버퍼 레벨만으로 가늠하는 것이 아닌, 현재 버퍼 레벨의 증감여부를 일정 시간 간격마다 체크하여 현재의 버퍼 레벨과 이의 증감율을 이용하여 체증 상태를 정의한다. 이렇게 정의된 체증 상태에 따라 RIF(Rate Increment Factor)나 RDF(Rate Decrement Factor)가 결정되고 이 값은 다시 Loading Factor라는 조정변수에 의해 조정되어 최종적인 ER(Explicit Rate)이 결정되게 된다. 결정되어진 ER은 송신원으로 보내져 셀 전송 속도를 결정하게 된다.

본 논문은 아래와 같이 구성되었다. 2장에서 대표적인 Explicit Rate 제어 방법인 EPRCA와 EPRCA를 개선한 모델인 EPRCAM의 기본 알고리즘에 대해 다루고 3장에서 새로운 알고리즘을 제시하였고 4장에서 모의 실험을 통한 결과를 분석하고 5장에서 결론을 맺는다. 모의실험은 페트리 넷 모의실험 도구인 ExSpect를 사용하여 진행되었다.

## II. 체증 제어의 기존 방법

ATM Forum에서 규정한 기본적인 체증제어는 일정한 데이터 셀 간격마다, 또는 일정한 시간 간격마다 송신원에서 발생하는 Resource Management (RM) 셀을 이용한다. RM 셀은 송신원에서 수신원으로 이동하면서 네트워크의 체증상태에 대한 정보를 수집하여 송신원으로 되돌아가게 된다. 이때 수신원 방향으로 진행하는 RM 셀을 FRM(Forward RM) 셀, 송신원으로 되돌아가는 RM 셀을 BRM(Backward RM) 셀이라 한다. 스위치는 FRM/BRM 셀 내에 포함되어 있는 Explicit Rate (ER)를 해당 송신원이 허용할 수 있는 속도로 조절할 수 있다. 또한 스위치는 체증상태를 나타내는 Congestion Indication( CI) 비트를 설정할 수도 있다. 즉 스위치는 RM 셀 내에 있는 체증에 관련된 항목을 조정할 수 있고 이렇게 조정된 RM 셀은 송신원으로 보내지게 되고 송신원은 RM 셀에 수록된 체증 정보를 이용하여 셀 전송 속도를 조절하게 된다.

ATM Forum에서 추천하는 ER 제어 방법인 EPRCA와 이를 개선한 EPRCAM은 다음과 같다. 우선 EPRCA 알고리즘에서 스위치는 현재의 버퍼 레벨을 high threshold(HTH), low thresh-

old(LTH)의 두 기준 값을 이용하여 No Congestion(NCONG), Low Congestion(LCONG), High Congestion(HCONG)의 세 가지 체증 상태로 정의하였다. 즉 버퍼 레벨이 HTH이상이면 HCONG를, HTH와 LTH 사이이면 LCONG를, 그리고 LTH이하이면 NCONG를 선택하게 된다[2,3]. 스위치는 FRM 셀로부터 CCR(current cell rate)의 정보를 읽어 exponential average를 유지하는데, 이 값을 MACR(Mean of Allowed Cell Rate)라고 한다. MACR은 다음 식에 의해 계산된다.

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

ATM forum에서 추천하는 a의 값은 1/16 이다. 스위치에서는 이 값과 체증상태를 나타내는 HCONG, LCONG, NCONG에 따라 ER의 값을 조정하게 된다. 송신원에서는 BRM 셀이 도착하면 ER과 CI의 값을 이용하여 전송속도를 결정하게 된다. EPRCA 경우에 고 체증상태 시 송신원은 전송 속도를 줄이게 되는데 과다 체증으로 인하여 BRM 셀을 받지 못한 송신원의 경우 전송속도를 줄이지 않게 되고 체증이 풀리게 될 때 다시 전송속도를 증가시키게 되면 다른 송신원에 비해 훨씬 높은 전송속도를 기준으로 증가시키게 되어 송신원끼리 불평등이 발생하게 된다. 또한 EPRCA의 경우 체증이 없는 경우에는 각 송신원의 PCR(Peak Cell Rate)을 근거로 전송속도를 증가시키는데 이 경우 다른 송신원에 비해 큰 PCR을 갖고 있는 송신원의 전송속도가 훨씬 빠르게 되는 불평등이 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 제시된 알고리즘이 EPRCAM이다.

EPRCAM 알고리즘의 경우에는 무 체증 상태에서 송신원의 전송속도를 송신원이 아닌 각 스위치에서 결정할 수 있도록 하였다. 이렇게 함으로써 EPRCA 경우처럼 무 체증 상태에서 PCR 만을 근거로 송신원이 전송속도를 조정하여 발생하는 불평등을 해소할 수 있으며 일반적으로 과다 체증이 무 체증 상태 직후에 발생하는 것을 감안할 때 무 체증 상태의 불평등이 해소 됨으로써 고체증시 발생하는 불평등이 해소될 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 EPRCAM을 보다 개선하기 위하여 스위치 버퍼의 변동율과 불평등한 송신원에 보상을 해주는 방식을 이용하여 송신원의 전송속도를 조절하여 송신원의 불평등을 해소하고 네트워크의 이용도를 높이기 위한 알고리즘을 제시하고 자 한다. 이를 위하여 버퍼 레벨과 이의 변동율을 측정하여

네트워크 체증상태 및 변화를 감지하여 이를 전송속도 조절에 이용한다. 또한 상대적으로 다른 송신원에 비해 불평등한 송신원의 경우 전송속도를 보상해 줌으로써 송신원의 불평등을 해소하고자 한다.

### III. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 망의 체증 상태를 판단하기 위하여 버퍼 레벨의 증감치를 도입한다. 이를 도입하는 이유는 버퍼 레벨이 증가한다는 것은 망의 체증이 심화되어 원하는 만큼의 셀을 전송하지 못함을 의미하므로 셀의 전송률을 낮출 필요성이 있음을 의미하고 버퍼 레벨이 감소하고 있음은 이와 반대로 망의 체증이 해소되고 있음을 의미하므로 송신원에서 셀의 전송률을 높일 수 있는 여지가 있음을 말해주기 때문이다. 따라서 단순히 버퍼 레벨만으로 체증 상태를 결정하면 트래픽의 변화를 반영할 수 없다는 단점을 버퍼 레벨의 변화율을 도입하면 이러한 단점을 개선할 수 있게 된다.

#### 3.1. Buffer Level 의 변동율 감시

스위치는 RM 셀이 도착하면 당시의 버퍼 레벨을 저장하고 다시 RM 셀이 도착하면 저장된 버퍼 레벨과 비교하여 버퍼 레벨의 변화를 측정한다. 버퍼 레벨의 변화치는 현재의 버퍼 레벨과 함께 망의 체증 상태를 나타내는 변수를 결정할 뿐만 아니라 셀 전송률을 조정할 조정변수를 결정할 때 사용된다. 망의 체증 상태는 버퍼 레벨은 HTH(High Threshold), LTH(Low Threshold)를 기준으로 세 단계, 버퍼 레벨의 증가/감소는 증가(IB, Increasing Buffer), 안정(SB, Steady Buffer), 감소(DB, Decreasing Buffer)를 기준으로 네 단계로 나뉘어 표 1과 같이 보다 세분화된다. 전송률의 증가/감소분을 결정하는 조정변수 RIF/RDF(Rate Increasing Factor/Rate Decreasing Factor)는 소(S), 중(M), 대(L)로 결정된다. 본 논문에서 RIF/RDF를 S, M, L의 구분 없이 사용하기로 한다.

송신원에서는 조정변수 RIF나 RDF를 이용하여 전송률을 조정하게 되는데 조정변수 결정시 각 송신원의 특성을 고려하지 않는 단점이 있다. 다시 말하면 각 송신원들은 기본적인 서비스의 품질을 위해 서로 다른 목표 전송률이 있는데 이러한 점을 고려하지 않고 일률적인 규칙으로 조정변수를 설정함으로써 서비스의 품질 면에서 상대적으로 나빠지는 호가 발생할 수 있게된다. 이러한 단점은 현재

의 전송률과 목표 전송률을 비교하여 그 차이가 큰 경우의 호에 대한 조정변수에 새로운 변수 LF>Loading Factor)를 곱하여 다른 호에 비해 그 차이를 적게 만든다면 해소될 수 있을 것이다. 이를 다음 장에서 자세히 살펴보기로 한다.

표 1. 전송률 조정변수  
Table 1. Variable adjustment for transmission rate

	$\Delta B < DB$	$DB \leq \Delta B < SB$	$SB \leq \Delta B < IB$	$IB \leq \Delta B$
$HTH \leq B_{LV}$	SRIF	SRDF	MRDF	LRDF
$LTH \leq B_{LV} \leq HTH$	MRIF	SRIF	SRDF	MRDF
$B_{LV} < LTH$	LRIF	MRIF	SRIF	SRDF

### 3.2. Loading Factor(LF)의 설정

네트워크에서 체증이 일어나는 경우 각 송신원은 전송 속도를 줄이게 되는데 기존의 방법은 각 송신원의 현재 전송 속도를 고려하지 않고 일률적인 규칙으로 속도를 줄임으로써 불평등이 발생하는 경우가 있었다. 또한 체증이 해소된 경우 전송속도를 증가시키는데 이 경우에도 상대적으로 현재 전송속도가 느린 송신원을 고려하지 않기 때문에 상대적으로 전송속도가 빨랐던 송신원의 속도 회복이 빠르게 되는 불평등이 발생하였다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위하여 체증이 발생한 경우 상대적으로 기대 전송속도에 못 미치는 송신원에 대해서는 속도 감소율을 작게 하고 이와 반대로 체증이 해소되었을 때는 전송 속도 증가율을 크게 함으로써 모든 송신원의 기대 전송 속도 비율을 일치시키고 자 하는 알고리즘을 제시한다. 이를 위하여 PCR(Peak Cell Rate)과 유사한 개념으로 Target Rate(TR)를 정의하고 OSU scheme[5]에서 사용된 Loading Factor 대신 TR에 대한 현 전송 속도 CCR(Current Cell Tate)의 비율을 Loading Factor(LF)로 정의한다. PCR과 TR의 차이점은 EPRCA에서 ACR(Allowable Cell Rate)는 PCR을 넘어설 수 없지만, 본 논문에서 제안한 알고리즘에서 ACR은 네트워크가 허용한다면 TR을 초과하여 네트워크의 이용도를 개선할 수 있다는 것이다. LF는 다음과 같이 결정한다.

$$LF = \frac{(Current\ Cell\ Rate)}{(Target\ Rate)}$$

LF의 값이 작을수록 현재의 전송 속도가 원하는 전송속도에 못 미침을 의미한다. 일반적으로 각 송신원의 LF 값이 비슷하다는 것이 송신원간의 불평등이 없음을 의미하므로 송신원에서 전송속도를 줄여야 하는 체증 상태 시 LF의 값이 작을수록 다른 송신원에 비해 전송 속도 감소율을 작게 하고 송신원에서 전송속도를 증가시키는 무 체증 상태 시 전송 속도 증가율은 크게 하면 송신원간의 불평등을 해소할 수 있게 된다. 이와 같은 이유를 근거로 전송속도 변화 요청 량을 다음과 같이 제시한다.

$$\text{전송속도 감소시: } RDF \times \min(1, LF)$$

$$\text{전송속도 증가시: } RIF \times \max(\alpha, (1 - LF))$$

여기서  $\alpha$ 는 0에 가까운 양의 값으로 현재의 전송 속도 CCR이 원하는 속도 TR에 근접하더라도 만약 네트워크에 체증이 없는 경우 TR 이상의 속도로 증가시킬 수 있기 위해 도입된 값이다. 예를 들어  $RDF = 0.1(10\%)$ 라 하고 TR이  $100(\text{cell/msec})$ 인 송신원 1이 현재  $50(\text{cell/msec})$ 의 속도로 네트워크를 이용하고 있고, TR이  $100(\text{cell/msec})$ 인 송신원 2가  $80(\text{cell/msec})$ 의 속도로 네트워크를 이용하고 있다고 가정하자. 만약 현재 네트워크의 상태가 체증상태이고, 각 송신원에 대하여 전송속도를 줄여줄 것을 요청하고 있다면, 전송속도의 변화 요청 량은 다음과 같게 된다.

$$\text{변화요청량(Source 1)} = 0.1 \times (0.5) = 5\%$$

$$\text{변화요청량(Source 2)} = 0.1 \times (0.8) = 8\%$$

가 된다. 반대로  $RIF = 10\%$ 이고 송신원의 전송속도를 늘려줘야 하는 상황이었다면 각 변화 요청 량은 다음과 같다.

$$\text{변화요청량(Source1)} = 0.1 \times (0.5) = 5\%$$

$$\text{변화요청량(Source2)} = 0.1 \times (0.2) = 2\%$$

즉, 각 송신원의 LF 값을 근접시킴으로써 송신원간의 불평등을 해소할 수 있다.

### 3.3. Switch Behavior

스위치에서는 다음과 같은 과정이 이루어진다.

STEP 1: Loading Factor LF를 계산

STEP 2: 변화 요청량 RAF(Rate Adjustment Factor)를 결정

STEP 3: Explicit Rate ER을 다음과 같이 결정  
 $ER = \text{Min}(ER, CCR \times (1 + RAF))$

여기에서 RAF는 RDF에 대해서는 음의 값을 갖게

되고 RIF에 대해서는 양의 값을 갖게 된다.

### 3.4. Source Behavior

송신원은 스위치에서 피드백 되어진 ER을 기준으로 CCR을 다음과 같이 조정한다.

$$ACR(\text{Allowable Cell Rate}) = \min(ER, PCR)$$

ER과 PCR의 최소 값을 택한 이유는 ACR은 PCR보다 클 수는 없기 때문이다.

## IV. 모의 실험

본 논문에서는 그림 1과 같이 4개의 스위치와 7개의 송신원을 가진 모델을 대상으로 모의실험 하였다. 스위치의 버퍼 구조는 공통 버퍼형을 기준으로 모델링 하였다. Link capacity는 155.52 Mbps 이고 버퍼의 Threshold들은 Low는 20cells, High는 100cells로써 ATM Forum의 권장치를 기준으로 정하였다.

### 4.1. 모의 실험 모델

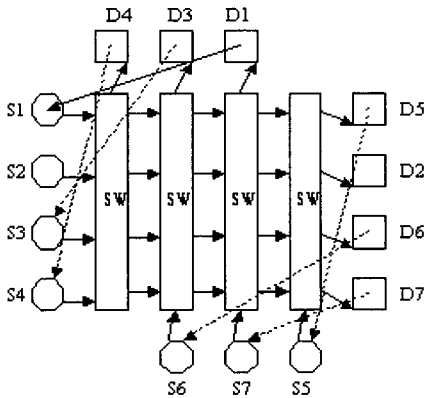


그림 1. 네트워크 모델  
Fig. 1. Network model

송신원 S1~S7에서 발생된 트래픽은 ATM 스위치를 통과하여 다음과 같이 각각의 수신원 D1~D7로 가게 된다.

- Source 1 (S1) : 3-hop traffic (S1 -> D1)
- Source 2 (S2) : end-to-end traffic (S2 -> D2)
- Source 3 (S3) : 2-hop traffic (S3 -> D3)
- Source 4 (S4) : 1-hop traffic (S4 -> D4)
- Source 5 (S5) : 1-hop traffic (S5 -> D5)
- Source 6 (S6) : 3-hop traffic (S6 -> D6)
- Source 7 (S7) : 2-hop traffic (S7 -> D7)

각 송신원에서 스위치, 스위치에서 다른 스위치까지의 지연시간은 평균 5ms의 정규분포를 갖는다고 가정하며 그 외의 파라미터는 ATM Forum의 제안을 수용하였다. 그림 1과 같은 네트워크 모델을 바탕으로 수학적으로 분석이 가능한 페트리 네트를 이용하여 모의실험 모델을 구성하였고, ExSpect 6.41 Tool을 사용하여 모의실험 하였다.

모의실험은 EPRCAM을 적용한 경우, EPRCAM에 LF만을 고려하는 경우(모델 1), 그리고 마지막으로 EPRCAM에 LF와 버퍼레벨의 변화율을 고려하는 경우(모델 2)의 3가지 모델을 대상으로 진행하였다. 이들의 결과를 비교함으로써 본 논문에서 제시하는 혼잡 검출 알고리즘의 성능향상을 검증하였다.

### 4.2. EPRCAM을 이용한 모의 실험 결과

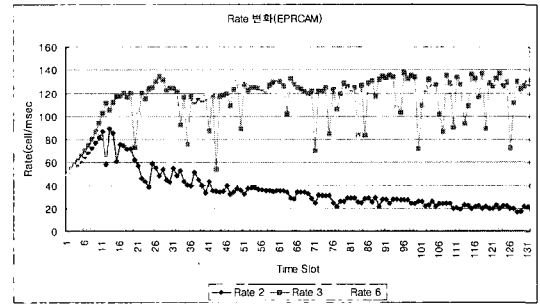


그림 2. Rate 변화 (EPRCAM) (PCR = 150 cells/msec)  
Fig. 2. Change of rate(EPRCAM) (PCR = 150 cells/msec)

표 2. 평균 Cell rate(EPRCAM)  
Table 2. Average cell rate (EPRCAM)

	Average Rate (cell/msec)
Source 1	111.9711
Source 2	30.2088
Source 3	116.8843
Source 4	128.7494
Source 5	130.8679
Source 6	112.6737
Source 7	116.4924

그림 2과 표 2에서 알 수 있듯이 송신원 2의 속도는 다른 송신원들에 비해 매우 작은 값으로서 심각한 불평등을 보이고 있다.

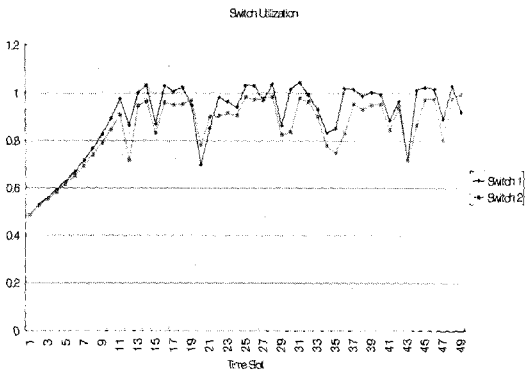


그림 3. 스위치 효율 (EPRCAM)  
Fig. 3. Switch utilization (EPRCAM)

표 3. 평균 효율 (EPRCAM)  
Table 3. Average utilization(EPRCAM)

	Average Utilization
Switch 1	0.940154
Switch 2	0.901183
Switch 3	0.900233
Switch 4	0.946043

그림 3에서는 EPRCAM 경우의 스위치 1과 스위치 2에서의 효율을 나타내었고 표 3에서는 각 스위치의 평균 효율 값을 보여준다.

4.3. Buffer Level과 Loading Factor를 이용한 제어: 모델 1

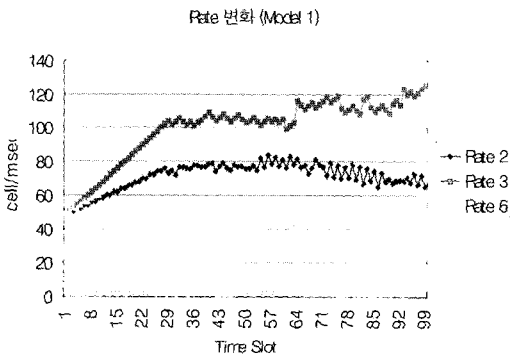


그림 4. 송신원 전송속도의 변화 (모델 1)  
Fig. 4. Changes of transmission rates of sources (Model 1)

표 4. 송신원의 평균 전송속도(모델 1)  
Table 4. The average transmission rate of source (Model 1)

	Average Rate (cell/msec)
Source 1	98.2135
Source 2	69.2362
Source 3	108.2845
Source 4	119.3384
Source 5	119.4934
Source 6	97.4423
Source 7	105.2607

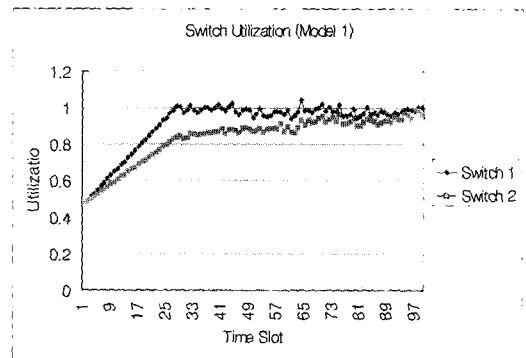


그림 5. 스위치 효율(모델 1)  
Fig. 5. Switch utilization(Model 1)

표 5. 스위치 평균 효율(모델 1)  
Table 5. Switch average utilization(Model 1)

	Average Utilization
Switch 1	0.957752
Switch 2	0.904671
Switch 3	0.89734
Switch 4	0.948928

그림 4는 버퍼레벨을 High Threshold와 Low Threshold로 체증 상태를 제어하는 경우(모델 1)의 각 송신원의 전송속도를 비교한 것이다. 그림 5는 각 스위치의 효율을 보여준다. 앞서 정의된 Loading Factor를 사용하였고 파라미터는 다음과 같다.

- High Threshold : 100
- Low Threshold : 20
- LRDF(Large Rate Decrement Factor) : 5%
- RDF(Rate Decrement Factor) : 2%
- RIF(Rate Increment Factor) : 2%

Controller에서 사용된 알고리즘은 다음과 같다.

```

if buffer_input > th_1 then
  CRF=1.0 - ( LRDF * loading_factor)
else if buffer_input > th_2 then
  CRF = 1.0 - ( RDF * loading_factor)
else
  CRF = 1.0 + ( RIF / loading_factor )
  
```

모델 1의 경우 EPRCAM 경우에 비해 송신원 2의 전송속도가 증가하여 송신원간의 불평등이 많이 해소되었음을 알 수 있다. 또한 스위치 3을 제외한 나머지 스위치의 효율이 향상되었음을 알 수 있다.

4.4. Buffer Level의 변화량과 Loading Factor를 이용한 제어: 모델 2

모델 2에서는 버퍼레벨과 함께 이의 변화량을 이용하여 체증상태를 판단한다. 각 상태에 따른 Decrement/Increment Factor는 다음과 같이 결정하였다.

- LRDF: 10 %    MRDF: 5 %    SRDF: 2 %
- LRIF: 10 %    MRIF: 5 %    SRIF: 2 %

네트워크의 체증 변화율을 판단하는 근거인 표 1의 IB와 DB의 값은 각각 10,-10으로 정하였다.

그림 6과 표6은 제시된 알고리즘을 사용하였을 때 송신원의 전송속도 변화를 보여준다. 버퍼레벨만으로 속도를 조절할 때 보다 안정된 속도에 이르는 시간이 짧아진 것을 볼 수 있으며 End-to-end Traffic인 송신원 2의 경우 좀 더 높은 전송속도로 수렴함을 알 수 있고 평균 전송속도 역시 증가하여 송신원간의 불평등이 많이 해소되었음을 알 수 있다. 그림 7은 스위치 1과 스위치 2의 효율을 보여주고 표 7은 각 스위치의 평균 효율을 나타내고 있다. 이전의 방법에 비해 모든 것이 향상되었음을 알 수 있다.

4.5. 모의실험 결과 분석

표 8에서 각 알고리즘에 대한 송신원의 평균 전송속도를 비교하였다. EPRCAM에서 송신원 2는 낮은 셀 전송률을 보이는데 이는 여러 스위치를 통과하면서 낮은 ER을 택하는 EPRCAM의 특성 때문이다. LF>Loading Factor)를 적용한 두 번째 알고리즘에서 송신원 2의 전송률이 상당히 개선되었는데 이는 TR>Target Rate)에 비해 낮은 전송속도를 가진 송신원에게 더 큰 Increment Factor를 또는 더 작은 Decrement Factor를 부여함으로써 다른 송신원과의 차이를 줄였기 때문이다. 세 번째

알고리즘에서는 현재 버퍼의 상태와 변화율을 고려하여 네트워크의 상태를 미리 예측하여 전송속도를 조절할 수 있도록 적절한 Increment/Decrement Factor를 부여하였다. 표8에서 볼 수 있듯이 송신원간의 불평등이 많이 해소되었다.

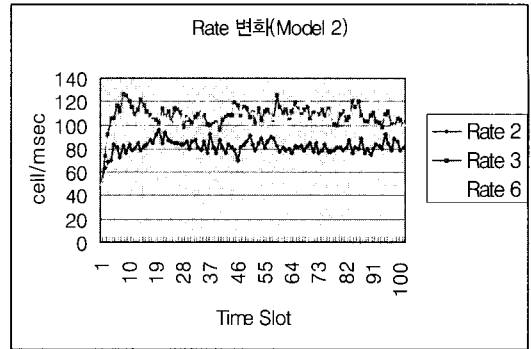


그림 6. 송신원 전송속도의 변화 (모델 2)  
Fig. 6. Changes of transmission rates of sources (Model 2)

표 6. 송신원 평균 전송속도(모델 2)  
Table 6. The average transmission rate of source (Model 2)

	Average Rate (cell/msec)
Source 1	105.1978
Source 2	81.8778
Source 3	108.6832
Source 4	115.8259
Source 5	114.8402
Source 6	106.5545
Source 7	108.8256

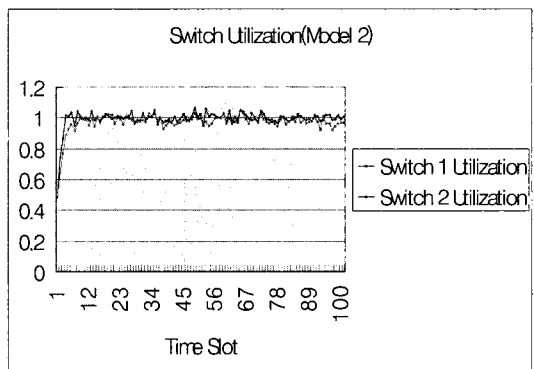


그림 7. 스위치 효율(모델 2)  
Fig. 7. Switch utilization(Model 2)

표 7. 스위치 평균 효율(모델 2)  
Table 7. Switch average utilization(Model 2)

	Average Utilization
Switch 1	0.99778
Switch 2	0.97530
Switch 3	0.97564
Switch 4	0.99902

표 8. 모델들의 평균 전송 속도  
Table 8. Average transmission rates of models

	Average Rate (cell/msec)		
	EPRCAM	Model 1	Model 2
Source 1	111.9711	98.2135	105.1978
Source 2	30.2088	69.2362	81.87788
Source 3	116.8843	108.2845	108.6832
Source 4	128.7494	119.3384	115.8259
Source 5	130.8679	119.4934	114.8402
Source 6	112.6737	97.4423	106.5545
Source 7	116.4924	105.2607	108.8256

각 알고리즘에 대한 효율 결과는 표 9에서 요약되었다. 모델2의 경우 EPRCAM에 비해 5.3~7.5%, 모델1에 비해 약 4.1~7.8% 정도 향상된 효율을 보여주고 있다.

표 9. 모델들의 평균 link 효율  
Table 9. Average link utilization of models

	Average Link Utilization		
	EPRCAM	Model 1	Model 2
Switch 1	0.940154	0.957752	0.99778
Switch 2	0.901183	0.904671	0.97530
Switch 3	0.900233	0.89734	0.97564
Switch 4	0.946043	0.948928	0.99902

### V. 결론

본 논문에서는 ATM 서비스 중 음성신호 전달을 위한 ABR(Available Bit Rate)에 대한 새로운 피드백 알고리즘을 제시하였다. 가장 대표적인

Explicit Rate Control Algorithm인 EPRCA와 이를 수정한 EPRCAM이 버퍼 레벨만으로 체증 상태를 결정하는 것과는 달리 버퍼레벨의 변화율을 고려하여 네트워크의 체증 상태를 결정함으로써 체증에 보다 유연하게 대처하도록 하였다. 또한 송신원의 전송속도에 대한 불평등을 해소하기 위하여 현재의 전송속도와 원하는 전송속도의 비를 도입한 loading factor를 고려하여 상대적으로 전송속도가 기대치에 미치지 않는 송신원에 대해 증감비율을 달리하여 불평등을 해소하였다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 성능을 입증하기 위하여 공통입력 버퍼형 4x4 ATM Switch 4개로 이루어진 네트워크 모델을 만들고 이를 ExSpect 6.41 모의실험 도구를 이용한 페트리 넷 모델에서 모의실험 하였다. 모의실험은 EPRCAM 방식, EPRCAM에 Loading Factor를 혼합한 알고리즘(모델 1), 그리고 Loading Factor뿐만 아니라 유연한 혼잡제어를 위해 버퍼 레벨 및 버퍼레벨의 변화율을 고려하는 알고리즘(모델 2)에 대해 수행되었다.

송신원간의 불평등을 나타내는 가장 낮은 전송속도를 보이는 송신원의 경우 모델 2의 알고리즘은 EPRCAM에 비해 약 170%, 모델 1의 알고리즘에 비해서 18%의 향상을 보여 주었다. 전체적인 스위치의 효율은 모델 2의 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 약 5~7.5% 정도의 향상을 보여주었다.

### 참고 문헌

- [1] S. Kamolphiwong, A. E. Karbowiak, and H. Mehrpour. "Flow Control in ATM Networks : A survey," Computer Communications, pp. 952-967, March, 1998.
- [2] M.Hashmani and K.Kawahara, "ABR Congestion Control and Proposal of EPRCAM," IEICE TRANS. COMMUN., Vol. E81-B, No. 11, November, 1998.
- [3] Raj Jain, "Congestion control and traffic management in ATM networks : Recent advances and survey," Computer Networks and ISDN Systems, pp. 1723-1738, 1996.
- [4] K. K. Ramakrishnan, "Issues with backward explicit congestion notification based congestion control," AF-TM 93-870,



September, 1993

- [5] R. Jain, S. Kalyanaraman, and R. Viswanathan, "The OSU scheme for congestion avoidance using explicit rate indication," AF-TM 94-0883, September, 1994.
- [6] R. Jain, S. Kalyanaraman, and R. Viswanathan, "The EPRCA+ scheme," AF-TM 94-0988, October, 1994.
- [7] Philip Branch and Mohammed Atiquzzaman, "Congestion Control For Interactive Video-on-Demand over ATM", Real-Time Imaging, pp. 315-328, 1999.

정 준 영(Joon-Young, Jung) 정회원  
 1999년 2월 : 홍익대학교 전자 전기공학부 졸업  
 2001년 2월 : 홍익대학교 전자 공학과 석사  
 2001년 3월~현재 : 삼성전자 연구원

<주관심분야> 통신 시스템, 휴대전화 개발

양 현 석(Hyun-Suk Yang) 정회원  
 1984년 2월 : Purdue University 졸업  
 1991년 12월 : Univ. of California, Berkeley 박사  
 1992년 3월~현재 : 홍익대학교 전자공학과 교수



<주관심분야> 통신 시스템 제어, 최적제어, 최적화 기법, 선형 및 비선형 제어이론

계 영 철(Young-Chul Kay) 정회원  
 1980년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 졸업  
 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1991년 12월 : Univ. of S. California, Electrical. Eng. 박사



1991년 9월~현재 : 홍익대학교 전자공학과 교수

<주관심분야> 디지털 신호처리, 음성 및 영상 인식, 로봇 비전.

고 인 선(In-Seon Koh) 정회원  
 1979년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 졸업  
 1989년 5월 : Marquette University 석사  
 1991년 12월 : Rensselaer Polytechnic Institute 박사  
 1992년 3월~현재 : 홍익대학교 전자공학과 교수



<주관심분야> 멀티미디어 전송 및 동기, Network Analysis, 페트리 넷, Discrete Event System, 지능제어 시스템.