

# ABR 서비스에서의 퍼지 트래픽 제어 방식

유 재 택<sup>†</sup> · 김 용 우<sup>††</sup> · 이 진 이<sup>†††</sup> · 이 광 형<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 ATM 링크의 이용을 향상을 위해 ABR 서비스에서의 퍼지 트래픽 제어 방식을 제안한다. 제안된 방식은 ABR 서비스에서 전송률 제어 방식인 EPRCA를 개선한 것으로써 송신원의 전송률 제어값을 스위치단의 버퍼량과 버퍼 변화율로 퍼지 추론을 실시하여 얻는 방식이다. 본 논문에서는 ATM 트래픽 제어에 적용된 퍼지, 신경망의 경우와 ATM의 ABR 서비스 제어 방식인 EPRCA 방식을 알아본 후, 퍼지 트래픽 제어 방식의 모형과 알고리즘, 퍼지 트래픽 제어기 등을 설계한다. 퍼지 트래픽 제어기에서는 사용 소속함수, 퍼지 제어 규칙, max-min 추론 방법 등을 설계한다. 본 논문에서 제안된 방식은 모의 실험을 통해 기존의 EPRCA 방식과 퍼지 트래픽 제어방식의 링크 이용율을 비교·분석함으로써 그 우수성을 검증한다. 모의 실험 결과 퍼지 트래픽 제어 방식이 EPRCA 방식보다 송신원의 정규 분포 모델의 경우 2.3%, MMPP 모델의 경우 2.7%의 링크 이용률 개선을 얻었다.

## The Fuzzy Traffic Control Method for ABR Service

Jae-Taek Yoo<sup>†</sup> · Yong-Woo Kim<sup>††</sup> · Jin-Yi Lee<sup>†††</sup> · Kwang-Hyung Lee<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose the fuzzy traffic control method in ABR service for the effective use of ATM link. This method, a modified version of EPRCA which is one of rate control methods in ABR service, controls the values of the transmission rates of source by using the fuzzy traffic inference based on switch buffer size and buffer variate rate. For this method, we developed a model and algorithm of the fuzzy traffic control method and a fuzzy traffic controller, after studying fuzzy and neural networks which applied to ATM traffic control and EPRCA. For the fuzzy traffic controller, we also designed a membership function, fuzzy control rules and a max-min inferencing method. We conducted a simulation and compared the link utilization of the fuzzy traffic control method with that of the EPRCA method. The results of the simulation indicated that, compared to EPRCA, the fuzzy traffic control method improves the link utilization by 2.3% in a normal distribution model and by 2.7% in the MMPP model of the source.

### 1. 서 론

ATM은 다양한 특성의 트래픽을 통계적 다중화를

통해서 효과적으로 정보를 송수신할 수 있는 정보 전달 방법이다. 그러나 일시적인 트래픽의 과부하로 셀 손실 및 셀 지연이 발생할 수 있다. 따라서 사용자 관점에서의 서비스 품질(QOS: quality of service) 보장과 망 관점에서의 이용 효율의 극대화라는 상충되는 조건을 위해서 효과적인 트래픽 제어와 망 관리가 요구된다. 트래픽 제어는 폭주(congestion) 상태를 예방하기

† 정 회 원: 한국교육개발원  
†† 정 회 원: 숭실대학교 전자공학과  
††† 정 회 원: 충남산업대학교 전자공학과  
논문접수: 1996년 4월 3일, 심사완료: 1996년 11월 2일

위하여 망이 취하는 일련의 조치들을 말하며 이들 종류로는 연결 수락 제어(connection admission control), 사용/망 파라미터 제어(usage/network parameter control), 우선 순위 제어(priority control), 트래픽 셰이핑(traffic shaping), 폭주 제어(congestion control) 등이 있다. ATM 망에서의 트래픽 제어의 목적은 망과 사용자를 보호하고 망 자원 사용의 최적화를 이루는데 있다. 본 논문에서는 위의 트래픽 제어 중 폭주제어에 관한 내용을 중심으로 효율적인 링크의 효율화 방안을 다룬다.

AMT의 통신 링크(link)는 가변 비트율(VBR: variable bit rate), 고정 비트율(CBR: constant bit rate) 등 다양한 특성의 서비스가 통계적 다중화를 이루며 이용되고 있다. ATM 서비스는 크게 CBR, rt-VBR(real time-VBR), nrt-VBR(non real time-VBR), ABR(available bit rate), UBR(unspecified bit rate)의 5가지 서비스로 분류된다. 그 중 CBR과 rt-VBR은 주로 오디오나 비디오 등의 실시간 서비스에 응용되어 지며 nrt-VBR, ABR, UBR 서비스는 비 실시간성 서비스에 응용되어 진다. 특히 ABR과 UBR 서비스는 비연결성 서비스에 주로 사용이 된다. VBR은 통계적 다중화를 통해 링크를 효율적으로 이용할 수 있는 장점을 가지지만 VBR 서비스의 전송 품질을 보장하면서 링크 이용도를 극대화할 수 있는 효율적인 대역폭 할당이 중요 요인으로 작용한다. 특히 rt-VBR의 대표적인 응용예가 되는 MPEG(moving picture expert group)에 의한 압축 동영상은 최대 셀 전송률이 높고 군집성(bursty)이 있으며 안정적이지 못한 특성을 갖는다. 이로 인해 호 설정시 높은 PCR(peak cell rate) 값과 낮은 MCR(minimum cell rate) 값을 가져 넓은 범위의 대역폭을 차지하게 되고 실제 여러 호가 다중화되기 때문에 링크는 상당 부분 가용대역이 생겨나게 된다. 이와 같은 VBR 서비스에서 발생하는 가용 대역을 ABR이나 UBR 트래픽으로 채워 보내게 되면 경제적 링크 이용이 가능하다.

ATM 포럼에서는 ATM 통신 링크의 효율적인 이용을 위해 ABR과 UBR 서비스에 관한 표준화를 추진 중에 있다[1]. ABR 서비스는 접속 호의 최소 셀(세포로도 사용) 전송률에 대한 보장만하고 링크의 가용 대역을 활용하여 트래픽을 전송하는 방식이다. 이 때 셀 손실률을 줄이기 위해서는 피드백에 의한 폭주 제

어가 필수적이다. ATM 포럼에서는 링크의 효율적인 이용을 위해 ABR 서비스의 트래픽 제어 방법으로 향상된 비례 제어 방식(EPRCA: Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)을 표준으로 채택하였다. EPRCA 방식은 VBR 서비스의 통계적 다중화에 의해 생기는 가용 대역을 다른 서비스에 이용한다는 측면에서는 장점을 가진다. 그러나 이 방식은 송신원의 전송률 변화시 링크의 가용 대역을 적응적으로 제어하기 보다는 가법적, 승적으로 일정양을 늘리고 줄이는 제어를 하기 때문에 가용대역을 충분히 활용하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이는 가용 대역에 따라 송신원에서 적응적으로 제어만 가능하다면 좀더 전송 효율을 높일 수 있음을 의미한다.

ATM 트래픽 제어에 신경망을 사용한 연구로 크게 호 수락 제어와 링크 용량 제어가 많이 제안되었다[3, 19]. 신경망을 이용한 트래픽 제어는 네트워크 트래픽 특성에 의해 주어진 학습 데이터와 적응적인 학습 알고리즘을 사용하여 호 수락/거절로 링크를 제어한다. 이러한 신경망 제어는 본 논문의 초점인 군집성 있는 ABR 서비스의 적용보다는 CBR과 VBR 등의 연결성 서비스에 주로 적용이 된다. 퍼지 추론을 이용한 트래픽 제어는 스위치에 셀 손실이 일어나지 않도록 트래픽을 제어하고 ATM 네트워크의 처리율이 저하되지 않도록 패킷 재전송 시간의 소비를 줄이는 부분에 관한 연구가 제안되었다. Y. Ahmet Sekercioglu etc.[8]와 Qingyang[9]은 퍼지 제어에 근거한 흐름 제어 스킴을 제시하여 스위치 큐에서의 셀 손실을 피하고 네트워크의 처리율을 높이는 연구를 진행하였다. 이 연구의 시뮬레이션은 기존 연구와의 비교는 이뤄지지 못했고 퍼지 폭주 제어의 처리율에 따른 지연을 스위치 3단의 경우와 1단의 경우를 설정하여 성능을 비교하였다. M. Andronico는 MPEG 비디오 트래픽 제어를 위해 퍼지 논리에 기반을 둔 새로운 감시자의 성능을 평가했다[10]. 이 연구는 퍼지 감시자가 UPC로 인한 셀 손실을 줄이는 것을 설명하고 있다. V. Catania etc.는 ATM 네트워크에서 감시를 위한 퍼지 전문가 시스템을 소개했다[11].

본 연구의 퍼지 트래픽 제어 방식은 VBR, CBR 서비스 등 연결성 서비스 보다는 비연결성 서비스인 ABR 서비스에 대해 퍼지 추론을 통해 링크의 가용 대역 발생분을 최대한 이용하여 전송 효율을 높이는 방식

이다. 제안된 방식은 현재 ATM 포럼의 ABR 제어 방식인 EPRCA 방식과 성능을 비교하였다. 제안 방식은 스위치단 버퍼량과 버퍼 변화율로 퍼지 추론을 실시하여 송신원의 전송률을 제어한다. 송신원의 전송률이 퍼지 추론값에 의해 곧바로 생성되어 가용 전송률을 제시하므로 접속 호를 늘리고 줄이는 역할로 연결이 될 수 있다. 본 논문에서는 여러 호가 접속되어 있을 경우 가용 대역을 어떻게 분배하여 제어할 것이냐는 다루지 않고 해당 스위치에서 이용 가능한 전체 대역폭을 제시하고 있다. 대역폭의 상태에 따라 새로운 호를 접속하여 서비스 할 수도 있고 호를 대기 시킬 수도 있게 된다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 ABR에서 표준 방식으로 채택한 EPRCA 방식과 이 방식의 퍼드백 제어 신호, 제어 파라미터를 알아본다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 퍼지 트래픽 제어 방식과 퍼지 트래픽 제어 모형의 퍼지 추론기, 퍼지 제어 규칙, 추론 방법 등을 설계한다. 그리고 제 4장에서는 제안 방식의 검증을 위해 기존 방식과 제안 방식의 링크 이용 대역을 비교한다. 5장에서는 모의 실험 결과를 분석하고 향후 연구 방향에 관하여 논한다.

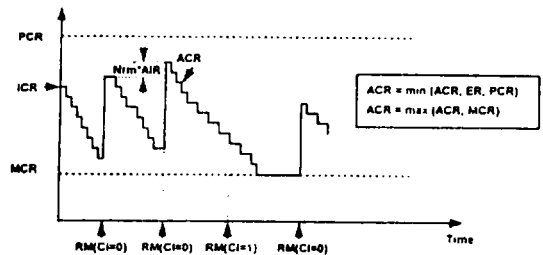
## 2. ABR 트래픽 제어 방식

ABR 서비스는 CBR 및 VBR 서비스들이 사용하지 않는 링크의 가용 대역폭을 활용하여 링크를 효율적으로 사용하고자 하는 서비스이다. ABR 서비스는 비실시간적인 영상자료 검색, 고속파일 전송 및 LAN 간 서비스 등에 사용된다. 이러한 서비스는 어느 정도의 지연은 상관없으나 하나의 셀 손실은 많은 셀의 재 전송을 실시하여야 하므로 폭주가 발생하면 퍼드백 제어를 통해 셀 손실을 방지하여야 한다. ATM 포럼에서는 이러한 폭주제어를 위해 레이트 기반의 제어 방식인 EPRCA를 현재 채택하여 이후의 표준화를 진행하고 있다[4].

### 2.1 EPRCA

EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)는 퍼드백 기반 비율(rate) 제어이다. EPRCA는 송신원에서 데이터 전송시 RM 셀을 일정 구간에 삽입·전송시켜 망의 상태 정보가 이 RM 셀에 저장하

도록 한 후 이 정보에 의해 송신원의 전송률을 제어하는 방식이다. 이 방식에서 송신원은 n개의 셀을 전송할 때마다 하나의 RM 셀을 보내며, 수신원에서는 스위치를 거쳐 온 RM 셀을 받아서 폭주 상태에 따라 RM 셀의 내부 파라미터를 바꾸어 송신원으로 역방향 RM 셀을 보낸다. ABR 서비스 연결 상의 중간 노드 스위치에서는 폭주 상태를 판단하여 순방향/역방향 RM 셀의 혼잡표시기(CI: congestion indication), NI(no increase), ER(explicit rate) 값을 바꾸어 주거나 스위치 노드 자체에서 역방향 RM 셀을 만들어 송신원으로 보낼 수 있다. RM 셀은 전송 방향에 따라 순방향 RM 셀과 역방향 RM 셀로 구분되어 진다. 송신원은 셀 전송 시마다 계속 ACR(Allowed Cell Rate)을 감소시켜 나가며, CI=0인 RM 셀을 받을 경우만 ACR을 증가시키게 된다[2]. 그림 2-1은 EPRCA의 이러한 ACR 전송률의 변화 과정을 나타내었다[5].



(그림 2-1) EPRCA의 ACR 전송률의 변화 과정  
(Fig. 2-1) The variation trace of the ACR transmission rate in EPRCA

그림 2-1의 알고리즘은 ATM 포럼의 TM(Traffic Management) 규격 3.0에 제시된 것이다. ATM 포럼 TM 규격 4.0(96년 4월 발표)에서는 아래의 식에 의해 ACR 전송률을 증가시키고 감소시킨다. TM 규격 4.0의 ABR 서비스 제어에 사용되는 파라미터는 일부 갱신된 것이 있다.

$$CI=0, NI=0 \text{ 이면, } ACR = ACR + RIF * PCR \quad (1)$$

$$CI=1 \text{ 이면, } ACR = ACR - ACR * RDF \quad (2)$$

$$NI=1 \text{ 이면, } ACR \text{ 유지} \quad (3)$$

여기에서 RIF는 가법적인 증가 비율이고 RDF는 감소 인자이다. 송신원은 매 Nrm 셀을 보낸 후 마지

막 수신한 RM 셀이 CI=0이면 (1)식에 의해 현재의 전송률 ACR을 증가하고 CI=1이면 (2)식에 의해 현재의 전송률 ACR을 감소시킨다. 전송률 변경은 RM 셀 발생 주기에 이뤄지게 된다[12].

2.2 ABR 파라미터

ABR 서비스 트래픽 제어를 위해서는 호 설정시에 많은 파라미터들이 설정되어야 한다. <표 2-1>은 ATM 포럼의 TM(Traffic Management) 규격 4.0에 제시된 ABR 파라미터들이다[1].

3. 퍼지 트래픽 제어 방식

ATM에서 트래픽은 CBR, rt-VBR, nrt-VBR, UBR, ABR의 5가지 서비스 등급으로 분류된다. 전송망의 링크에는 CBR, rt-VBR, nrt-VBR 서비스들이 다중적으로 사용되고 남은 대역폭은 ABR 서비스로 이용된다. CBR과 rt-VBR 서비스는 실시간적으로 전송함을 기본으로 한다. ABR 서비스는 셀 손실율(CLR)을 줄이기 위해 피드백 제어에 의해 송신원의 전송률을 제어한다. ATM 포럼에서 ABR 제어의 표준 방식으로 '94

<표 2-1> ABR 파라미터 설명  
(Table 2-1) The description of the ABR parameter

이름	설명	단위 및 범위
PCR(Peak Cell Rate)	PCR은 송신원이 초과할 수 없는 셀율(레이트)이다.	셀/초
MCR(Minimum Cell Rate)	MCR은 송신원이 항상 보낼 수 있는 레이트이다.	셀/초
ICR(Initial Cell Rate)	ICR은 송신원이 처음과 idle 기간 후에 보내야만 하는 레이트이다.	셀/초
RIF(Rate Increase Factor)	RIF는 RM 셀을 받자마자 셀 전송률이 증가될 수 있는 양을 제어한다.	2의 자승. 범위: 1/32768~1
Nrm (Number of cells per RM)	Nrm은 송신원이 각 순방향 RM 셀에 대해 보내는 셀의 최대 개수이다.	2의 자승. 범위: 2~256
Mrm(Minimum Number of cells per RM)	Mrm은 순방향, 역방향 RM 셀과 데이터 셀 사이에 대역의 할당을 제어한다.	상수 2로 고정
RDF(Rate Decrease Factor)	RDF는 셀 전송율의 감소를 제어한다.	2의 자승 범위: 1/32768~1
ACR(Allowed Cell Rate)	ACR은 송신원이 송신할 수 있는 현재 레이트이다.	단위: 셀/초
CRM (Missing RM cell count)	CRM은 수신된 역방향 RM-Cell들이 없는 상태에서 보내지는 순방향 RM 셀의 수를 제한한다.	정수 크기는 특별히 구현
ADTF(ACR Decrease Time Factor)	ADTF는 레이트가 ICR로 줄어들기 전에 송신하는 RM 셀 사이에 허락된 시간이다.	단위: 초 ADTF 범위: 0.01에서 10.23초까지
Trm(Inter-RM time interval)	Trm은 활성화된 송신원에 대해 순방향 RM 셀들 사이에 시간에서의 상한 경계를 제공한다.	단위: millisecond 범위: $100 * 10^{-7} \sim 100 * 2^0$
FRTT (Fixed Round Trip Time)	FRTT는 송신원으로부터 수신원에 도착하고 되돌아 오는 동안 고정된 그리고 전파 지연의 합이다.	단위: 1 microsecond 범위: 0~16.7초
TBE (Transient Buffer Exposure)	TBE는 첫번째 RM 셀이 돌아오기 전에, 망이 시발(startup) 기간 동안 송신할 소스를 제한하고 싶은 협상된 셀의 수이다.	단위: 셀 범위: 0-16,777,215
CDF (Cutoff Decrease Factor)	CDF는 CRM과 관련된 ACR에서 감소를 제어한다.	0 또는 1/64~1 범위에서 2의 자승
TCR(Tagged Cell Rate)	TCR은 송신원이 out-of-rate 순방향 RM 셀을 보내는 레이트를 제한한다.	상수 10 셀/초

년 9월 결정한 향상된 비례 전송을 제어 방식(EPRCA)은 수신원에서 송신원으로 보내는 RM 셀의 혼잡표시기(CI), 증가 없음 표시기(NI)에 의해 ABR 서비스의 전송률을 제어 한다[2]. 그러나 EPRCA는 링크의 상당량이 잔여 대역으로 항상 존재하는 문제가 발생하므로 이러한 대역폭의 낭비 부분을 최소화하여 링크의 대역을 최대한 이용할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 개선하기 위한 방식으로 퍼지 트래픽 제어 방식을 제안한다.

3.1 퍼지 트래픽 제어 모형

퍼지 트래픽 제어 모형은 그림 3-1과 같다. 송신원과 수신원 사이에 페 루프가 형성되어 RM 셀에 의해 제어를 받는 모형이다. 이 때의 송신원과 수신원은 여러 노드를 거쳐야 하는 VC일 경우 가상의 송신원과 수신원이 될 수 있다. ATM망의 교환기에서는 버퍼 상태를 관찰하여 수신원으로 전달하고 수신원에서는 버퍼 상태값을 RM 셀에 셋팅하여 송신원으로 전송한다. 송신원은 셀을 저장하는 버퍼, 퍼지 규칙에 의해 추론이 실행되는 퍼지 추론기, 버퍼 상태 검출기, 셀 레이트를 조정하는 대역폭 조정기로 구성된다. 수신원은 셀을 저장하는 버퍼, 데이터 셀과 RM 셀을 분리하는 수신 셀 처리기로 구성된다. 퍼지 트래픽 추론기는 버퍼 상태 검출기로부터 버퍼 적재 셀수(n), 도착 셀 변화율( $\Delta n$ )을 입력 받아 max-min 퍼지 추론

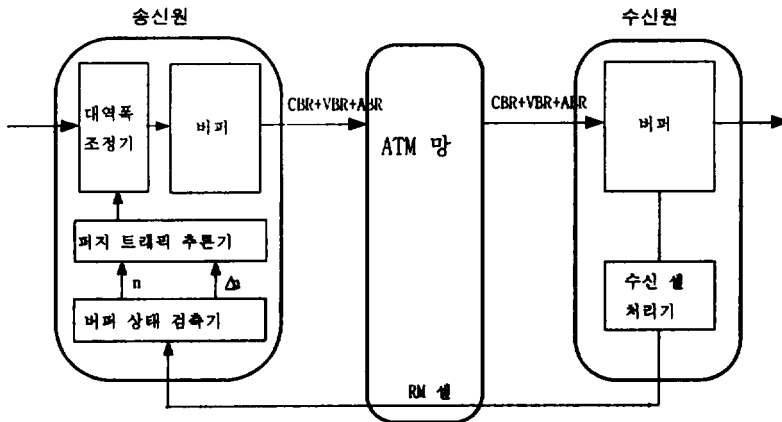
을 실시한다. 퍼지 결과는 곧바로 대역폭 조정기로 보내져 셀 레이트를 조정하여 링크를 효율적으로 이용할 수 있도록 한다.

3.1.1 구성 요소 장치 기능

퍼지 폭주 제어 모형은 EPRCA 방식의 경우와 같이 송신원에서 주요 동작이 이뤄진다. 퍼지 트래픽 추론기의 입력 변수를 알아내고 새로 조정되어야 할 전송률을 추론한다. 수신원은 기존 방식의 EFCI 비트에 의해 망의 상태를 전달 받아 송신원으로 이 상황을 알려 주는 역할을 한다. RM 셀은 기존의 RM 셀 형식을 준용한다. 퍼지 트래픽 제어 모형의 구성 장치 기능을 설명하면 다음과 같다.

(송신원)

- 대역폭 조정기: 새로운 ACR을 조정한다.
- 퍼지 트래픽 추론기: 수신원으로 부터 전달받은 RM 셀로부터 수신원 버퍼 점유 상태를 얻어내고, 또 이전에 얻어진 버퍼상태와의 변화분을 계산하여 변화율을 얻어낸다. 이 두 값을 퍼지 트래픽 추론기의 입력변수로하여 추론을 실시한다. 이 때 출력 변수 값은 곧바로 ACR로 전환된다.
- 버퍼 상태 검출기: RM셀 당 수신원의 버퍼 변화 상태를 검출한다.
- 버퍼: 데이터 셀과 RM셀을 임시 저장한 후 다음 단으로 전송한다.



(그림 3-1) 퍼지 트래픽 제어 모형  
(Fig. 3-1) The model of the fuzzy traffic control

<스위치>

- 공통 버퍼: 적재된 셀수를 관측한다. 관측된 값은 RM 셀에 적재된다.

<수신원>

- 수신셀 처리기: 데이터 셀과 RM 셀을 분리한다. 스위치단의 버퍼 상태(버퍼 셀 수)가 적재된 RM 셀을 송신원으로 전송한다.
- 버퍼: 송신원으로부터 오는 셀들을 저장한다.

### 3.2 퍼지 트래픽 제어 방식

퍼지 폭주 제어 알고리즘은 EPRCA 방식과는 달리 그 알고리즘이 간단하다. EPRCA는 각종 파라메터 값과 CI 비트와 NI 비트의 설정값으로 송신원의 레이트를 제어 한다. 그러나 퍼지 폭주 제어 방식은 퍼지 트래픽 추론기에서 추론되는 값에 의해 곧바로 송신 레이트가 제어되므로 알고리즘이 간단한 장점이 있다. 제안하는 퍼지 제어방식은 기존의 EPRCA 메카니즘을 기반으로 하고 있다. 따라서 EPRCA에서와 같이 Nrm주기로 RM 셀을 전송시켜 주거나 일정 시간이 경과되었을 경우 RM 셀을 전송시켜 주는 방식을 준용 하였다. 제안하는 부분은 ACR을 계산해 내는데 있어서 EPRCA의 계단적인 계산량을 산출하는 것이 아닌 퍼지 추론의 출력을 조정값으로 하여 전송률을 출력해 내는 것이다. 각 노드(송신원, 스위치, 수신원)별로의 동작 상태를 정리하면 다음과 같다.

<송신원>

- 송신원은 데이터 셀이 Nrm 개씩 전송될 때마다 RM 셀을 보내고 낮은 전송 속도의 데이터 셀 전송 중에는 적어도 100ms에 한번씩 RM 셀을 보낸다.
- 초기의 ACR은 PCR로 한다.
- 수신원으로부터 역방향 RM 셀을 받으면 수신원 버퍼 적재 상태를 얻어내며 다음 차례의 추론을 위해 그 값을 보관한다.
- 수신원 버퍼의 변화율은 (4)식에 의해 구해 진다.

$$\Delta n = (\text{current no} - \text{past no}) / \text{BufferSize} * 100 \quad (4)$$

current no: 현재의 RM 셀로부터 받은 수신원 버퍼의 적재량

past no :이전의 RM 셀로부터 받아 보관하였

### 단 버퍼의 적재량

- n과 Δn을 퍼지 트래픽 추론기의 입력 변수로 하여 출력변수로 ACR을 얻어 낸다.
- 퍼지 출력변수 값은 다음의 관계식에 의해 최종적으로 ACR을 결정한다.  

$$ACR = \text{MIN}(PCR, ACR)$$

$$ACR = \text{MAX}(MCR, ACR)$$

<수신원>

- 수신원에서 순방향 RM 셀을 받으면 송신원으로 역방향 RM 셀을 전송한다. 이 때 RM 셀 내의 전송방향을 나타내는 DIR 비트를 순방향에서 역방향으로 바꾸어 준다.
- 스위치 단에서 관측된 스위치 버퍼 상태 값을 RM 셀의 예약 필드에 실어 송신원으로 전송한다.
- 목적지에서 EFCI = 1인 데이터 셀을 받으면 역방향으로 바뀐 RM 셀의 CI를 1로 설정하여 준다.

<스위치>

- 하나의 공통 버퍼를 사용한다.
- 버퍼의 셀에 적재량을 관찰하여 순방향 RM 셀에 그 관찰값을 실어 보낸다.

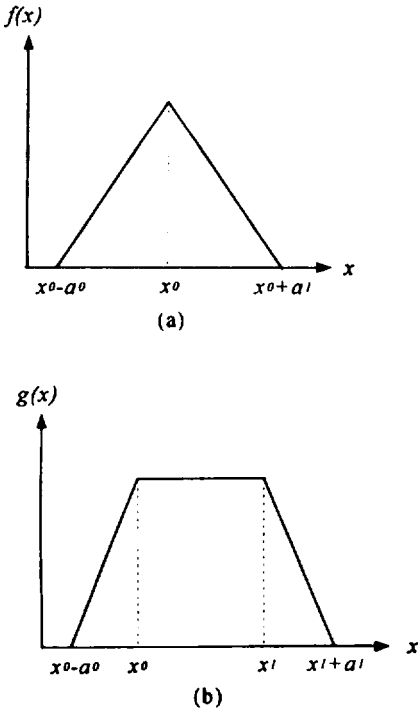
### 3.3 퍼지 트래픽 추론기

수신원의 퍼지 트래픽 추론기는 수신원으로 부터 버퍼의 셀수와 수신원 버퍼 변화율을 통해 송신원에서 보낼 전송률을 결정할 수 있도록 한다. 버퍼 관찰은 수신원에서 하며 퍼지 추론기는 퍼지 입력 변수로 n, Δn을 사용하여 퍼지 추론을 실시한다. 퍼지 추론은 MAX-MIN 연산을 하게 된다. 여기에서 나온 추론 결과는 대역폭 조정기로 보내져 ACR을 조정하게 된다. 퍼지 트래픽 추론기는 트래픽 제어량을 추론하는 퍼지 제어 논리기이다. 제어 조작 y는 전송률 조정값으로서 언어 변수 집합(n, Δn), 퍼지 제어 규칙에 따라 추론에 의해 결정된다. 제어 규칙은 트래픽 제어 전략을 기초로 생성한다.

#### 3.3.1 퍼지 트래픽 추론기의 설계

퍼지 트래픽 추론기에서 사용하는 언어 변수의 용어 집합은 제어되는 시스템의 성능에 따라 결정한다. 용어집합의 언어변수 수는 자세한 성능을 필요로 할 때에는 많게 한다. 퍼지 트래픽 추론기에서 버퍼 적재량 n이 Δn보다 더 많은 정보를 갖기 때문에 더 많

은 언어변수를 할당하였다.  $n$ 과  $\Delta n$ 의 용어 집합은 다음과 같다.  $T(n) = \{\text{적은, 중간, 많은}\} = \{S, M, L\}$ ,  $T(\Delta n) = \{\text{음, 양}\} = \{N, P\}$ 로 한다. 각 용어집합에 대한 소속 함수 모양은 대부분의 응용 시스템에서 삼각형과 사다리꼴 함수 모양이 많이 사용된다[6]. 삼각형과 사다리꼴 함수 모양에 대해 두개의 함수  $f(x, x_0, a_0, a_1)$ 와  $g(x, x_0, x_1, a_0, a_1)$ 는 그림 3-2와 같이 정의된다.



(그림 3-2)  $f(\cdot)$ 와  $g(\cdot)$  함수의 정의  
(Fig. 3-2) The definition of the  $f(\cdot)$  and  $g(\cdot)$  function

여기에서  $x_i$ 는 삼각형 함수의 중심( $i=0$ )이거나 또는 사다리꼴 함수의 오른쪽/왼쪽 끝이다. 그리고  $a_j$ 는 삼각형이나 사다리꼴 함수( $j=0/1$ )의 단조(모노토닉) 부분의 오른쪽/왼쪽 폭이다.  $n$ 과  $\Delta n$ 의 각 용어집합에 대한 삼각형이나 사다리꼴 함수의 폭과 중심(또는 끝)은 시스템 특성에 따라 결정되어 진다.  $n$ 과  $T(n) = \{S, M, L\}$ 의 용어집합에서 언어변수 항들과 관련된 소속 함수의 집합  $\mu(n) = \{\mu_S, \mu_M, \mu_L\}$ 에 의해 명명되고 여기에서  $\mu_S, \mu_M, \mu_L$ 은 각각 S, M, L에 대한 소속 함수이다. 각 소속 함수는 그림 3-3과 같이 표현된다.

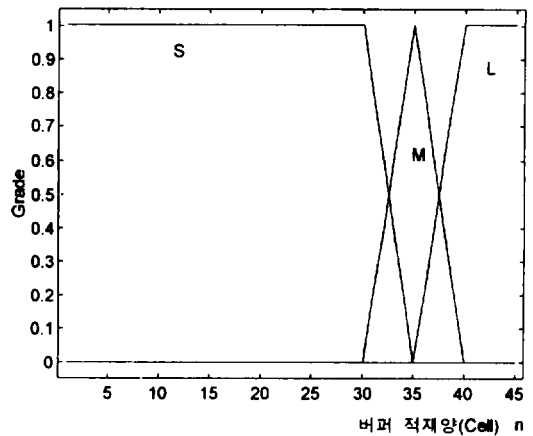
$$\begin{aligned} \mu_S(n) &= g(n, 0, Se, 0, Sw) = g(n, 0, 30, 0, 5) \\ \mu_M(n) &= f(n, Mc, Mw0, Mw1) = f(n, 35, 5, 5) \\ \mu_L(n) &= g(n, Le, Kl, Lw, 0) = g(n, 40, 45, 5, 0) \end{aligned}$$

여기에서  $Se(Sw)$ 는 “적은”에 대한 소속 함수의 오른쪽 끝과 오른쪽 폭이다.  $Mc(Mwj, j=0/1)$ 는 “중간”에 대한 소속 함수의 중앙과 왼쪽 폭, 오른쪽 폭을 나타낸다. 그리고  $Le(Lw)$ 는 “큰”에 대한 소속 함수의 왼쪽 끝과 오른쪽 폭을 나타낸다(그림 3-3(a) 참조).

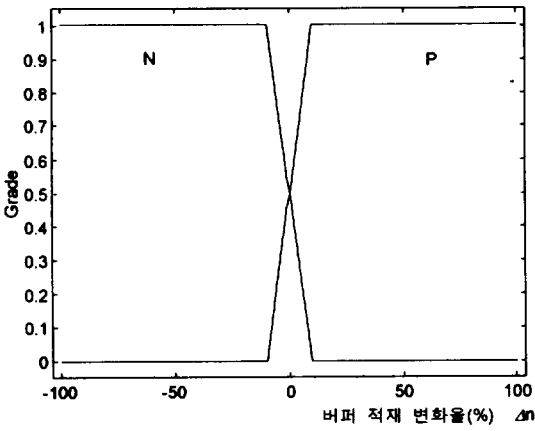
이와 같은 방법으로  $\mu(\Delta n) = \{\mu_n, \mu_p\}$ 는  $\Delta n$ 과  $T(\Delta n) = \{N, P\}$  용어집합에 대한 소속 함수이고  $\mu_n, \mu_p$ 는 다음과 같이 주어 진다(그림 3-3(b) 참조).

$$\begin{aligned} \mu_n(\Delta n) &= g(\Delta n, -Kl, Ne, 0, Nw) = g(\Delta n, 0, -10, 0, 20) \\ \mu_p(\Delta n) &= g(\Delta n, Pe, Kl, Pw, 0) = g(\Delta n, 10, 100, 20, 0) \end{aligned}$$

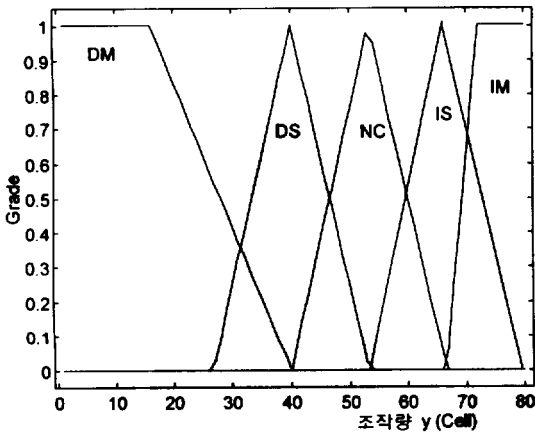
$Ne(Nw)$ 는 “음”에 대한 소속 함수의 오른쪽 끝과 오른쪽 폭이다. 그리고  $Pe(Pw)$ 는 “양”에 대한 소속 함수의 왼쪽 끝과 폭이다. 또한 제어량  $y$ 의 용어 집합  $T(y) = \{\text{더욱더 줄임, 약간 줄임, 유지함, 약간 늘림, 더욱더 늘림}\} = \{DM, DS, NC, IS, IM\}$ 으로 정의한다.  $T(y)$ 에 관계 되어진 소속 함수의 집합은  $\Delta(y) = \{\mu_{DM}, \mu_{DS}, \mu_{NC}, \mu_{IS}, \mu_{IM}\}$ 에 의해 나타내어 지며 각각의 소속 함수는 다음과 같다. 아래에서 첨자  $c$ 는 소속 함수  $NCc, DS_c$ 의 중심을 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

(그림 3-3) 용어 집합들의 소속 함수  
(a)  $T(n)$ , (b)  $T(\Delta n)$ , (c)  $T(y)$

(Fig. 3-3) The membership function of the term sets  
(a)  $T(n)$ , (b)  $T(\Delta n)$ , (c)  $T(y)$

$$\begin{aligned} \mu_{DM}(y) &= g(y, 0, DM_R, 0, DR_w) = g(y, 0, 15, 0, 23) \\ \mu_{DS}(y) &= f(y, DS_c, DS_E, DS_w) = f(y, 40, 15, 15) \\ \mu_{NC}(y) &= f(y, NC_c, NC_E, NC_w) = f(y, 43, 13, 13) \\ \mu_{IS}(y) &= g(y, IS_L, IS_R, IS_E, 0) = g(y, 67, 80, 13, 0) \\ \mu_{IM}(y) &= g(y, IM_L, IM_R, IM_E, 0) = g(y, 73, 80, 13, 0) \end{aligned}$$

3.3.2 퍼지 제어 규칙 생성

입력 변수의 언어적인 표현으로 퍼지 제어규칙을 생성한다. 퍼지 논리 제어기의 언어적 규칙을 얻는

방법은 여러가지가 있다. 이 규칙들은 인간의 전문성에 의해 표현될 수 있거나 시스템의 식별 기술에 의하여 결정될 수 있다. 이 언어적 규칙의 집합은 퍼지 논리 제어기의 규칙에 기반을 이룬다. 퍼지 집합이론에 의하여, 퍼지 입력변수는  $|T(n)| \times |T(\Delta n)|$ 과 같이 2차원의 배열로 형성된다( $|T(x)|$ 는  $T(x)$ 의 언어변수항들의 수이다). 따라서 퍼지 트래픽 추론기의 퍼지 입력변수를 사용하여 총 6개의 규칙을 만들 수 있다. 퍼지 제어 규칙은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 퍼지 제어 규칙  
<Table 3-1> The fuzzy control rule

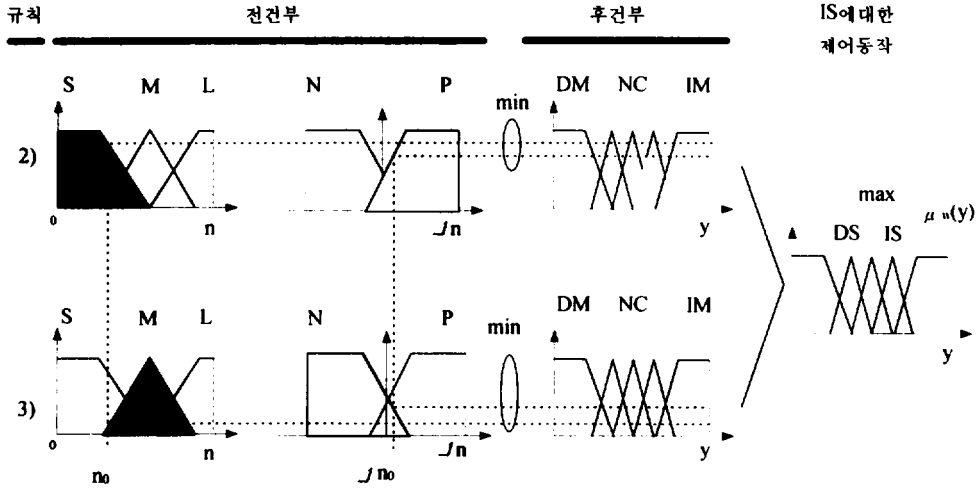
규 칙	n	$\Delta n$	y
1	S	N	IM
2	S	P	IS
3	M	N	IS
4	M	P	DS
5	L	N	NC
6	L	P	DM

- 규칙 1: 버퍼 적재량이 적고 셀 변화율이 음방향이면 전송률을 많이 늘려라
- 규칙 2: 버퍼 적재량이 적고 셀 변화율이 양방향이면 전송률을 약간 늘려라
- 규칙 3: 버퍼 적재량이 중간이고 셀 변화율이 음방향이면 전송률을 약간 늘려라
- 규칙 4: 버퍼 적재량이 중간이고 셀 변화율이 양방향이면 전송률을 약간 줄여라
- 규칙 5: 버퍼 적재량이 많고 셀 변화율이 음방향이면 전송률을 유지하라
- 규칙 6: 버퍼 적재량이 많고 셀 변화율이 양방향이면 전송률을 많이 줄여라

3.3.3 퍼지 추론 방법의 예

퍼지 추론방법의 한 예를 그림 3-4에 보았다. 규칙 1은 “많이 늘려라”라는 출력 조작량을 갖는다.  $\mu_{IM}(y)$ 에 대한 출력 소속 함수의 높이는 각각의  $\mu_n(n_0)$ ,  $\mu_{\Delta n}(\Delta n_0)$ 에 대해 최대-최소 방법을 이용하여 구한다. 비퍼지화 전략은 무게 중심법을 이용한다. 비퍼지화 동작 결과는 대역폭 조정기로 보낼 전송률 조정값이다.





(그림 3-4) 최대-최소(MAX-MIN) 추론 방법  
(Fig. 3-4) The max-min inference method

4. 모의실험

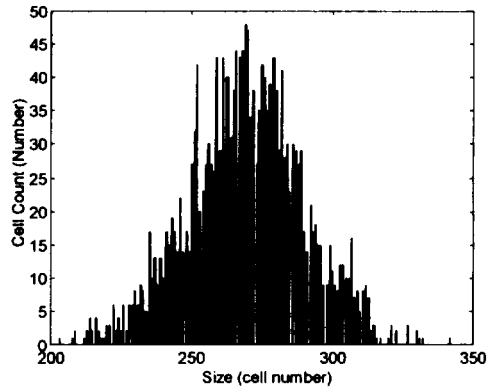
본 논문에서 제안한 퍼지 트래픽 제어 방식의 성능 검증에 위해 모의 실험을 실시하였다. 실제의 링크의 트래픽을 발생시키기 위해 정규 분포 모델과 MMPP 모델을 사용하였다. 제안 방식의 성능을 검증하기 위해 기존의 EPRCA 방식에서의 링크 대역 이용 상황을 모의 실험하였으며 이를 기준으로 입력 모델에 따른 퍼지 트래픽 제어시의 대역 이용 상황과 비교하였다.

4.1 트래픽 특성

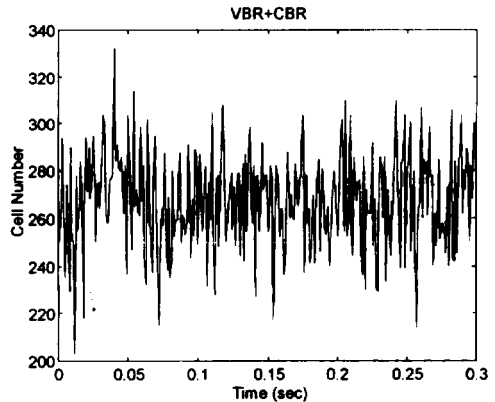
본 모의 실험에서 트래픽 발생은 CBR은 일정한 대역을 할당하고 VBR은 정규분포와 MMPP 모델을 이용하였다. 그림 4-1은 정규 분포 모델의 트래픽 발생 상태를 나타낸 히스토그램이고 그림 4-2는 이를 랜덤하게 분포시킨 것이다. 그림 4-3은 MMPP 모델을 시간대별로 랜덤하게 분포시킨 트래픽 발생 상태를 보인다.

4.2 모의 실험 환경

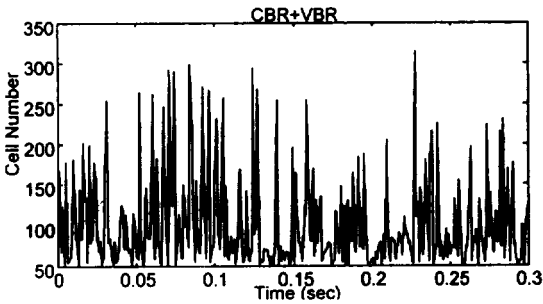
본 모의 실험에서 퍼지 트래픽 추론 부분은 퍼지 시스템 tool box를 사용하였고 통신 링크의 대역 이용을 실험은 윈도우에서 c++을 이용하여 실험하였다. 통신 링크의 실험에 사용한 각 서비스의 대역폭 설정값은 다음과 같다.



(그림 4-1) VBR의 히스토그램  
(Fig. 4-1) The histogram of the VBR



(그림 4-2) VBR 트래픽 발생 상태  
(Fig. 4-2) The generation trace of the VBR traffic



(그림 4-3) MMPP 트래픽 발생 상태  
(Fig. 4-3) The generation trace of the MMPP traffic

- 링크 전체 대역폭(전송속도): 155Mbps
- CBR + VBR 서비스: 정규분포와 MMPP로 모델링 함.
- ABR 서비스: 본 모의 실험의 ABR 서비스에서는 전체 접속 호의 PCR을 사용함
  - PCR : 33.8Mbps
  - MCR : 4.30Mbps

또한 모의 실험을 위해서는 ABR의 각 파라미터 값을 설정해야 하는데 본 모의 실험의 파라미터 설정값은 다음과 같다[2].

- TOF : 2
- Trm : 100 ms
- TCR : 10 셀/sec
- Mrm : 2
- Nrm : 32
- AIR : PCR/Nrm
- RDF : 512
- ICR : PCR

4.3 모의 실험 방법

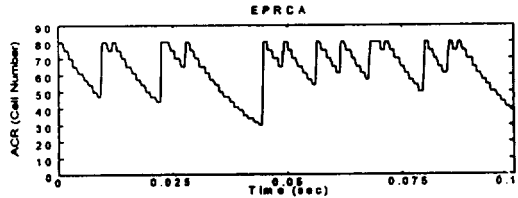
ATM 망의 교환기에서의 폭주 상황은 교환기 버퍼의 70%를 기준으로 셀 적재가 이 값을 접근하면 교환기에서 EFCI비트를 설정하도록 하였다. ATM 데이터 셀 헤더의 PTI 필드에 설정되어 수신원으로 보내진 후 수신원에서는 RM 셀에 CI 비트를 설정하여 송신원으로 보낸다. 퍼지 트래픽 제어는 버퍼의 셀 수와 적재 변화율을 관찰하여 이를 입력 변수로 추론을 실시하였다. 이 때의 퍼지 추론은 MATLAB 상에

서 운영되는 퍼지 시스템 TOOL BOX를 사용하였다[7].

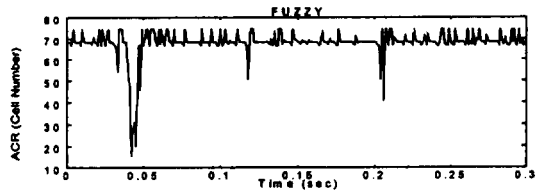
4.4 모의 실험 결과

4.4.1 정규 분포 모델을 사용한 경우

트래픽 입력 모델로 정규 분포를 사용하여 모의 실험을 한 결과 EPRCA의 경우 초당 324,112 셀을 이용



(그림 4-4) EPRCA방식의 링크 이용 상태  
(Fig. 4-4) The link usage of the EPRCA method



(그림 4-5) 퍼지 트래픽 제어 방식의 링크 이용 상태  
(Fig. 4-5) The link usage of the fuzzy traffic control method

<표 4-1> EPRCA 방식과 퍼지 트래픽 제어 방식의 시간대별 이용 상황비교

<Table 4-1> The comparison of usage situation by time on the EPRCA method and the fuzzy traffic control method

구분(ms)	EPRCA 방식		퍼지 트래픽 제어 방식	
	Cell 수	%	Cell 수	%
1~ 50	16,760	93.11	16,653	92.52
50~100	16,413	91.18	16,660	92.56
100~150	15,982	88.79	16,852	93.62
150~200	16,616	92.31	16,639	92.49
200~250	16,706	92.81	16,789	93.27
250~300	16,479	91.55	16,885	93.87
Total	98,956	91.63	100,480	93.09

하였으나 퍼지 트래픽 제어 방식의 경우 초당 331, 540 셀을 이용하여 2.3%의 개선을 보였다. 그림 4-4는 EPRCA 방식의 링크 이용 상태를 나타낸 그림이며 그림 4-5는 퍼지 트래픽 제어 방식의 링크 이용 상태를 나타낸다. <표 4-1>은 두 방식의 시간대별 셀수와 이 때의 링크 이용율을 정리한 표이다.

4.4.2 MMPP 모델을 사용한 경우

MMPP(Markov-Modulated Poisson Process)는 음성, 영상 등의 트래픽 모델의 연구에 사용되어왔다. MMPP 모델은 일반적으로 처리 과정을 가진 n 상태를 갖고, 상태 종속 레이트 파라미터(도착율  $\lambda_i$ )를 가진 포아송 처리를 하는 것으로 정의된다[14]. 상태 사이의 천이율은 연속 시간 마코프 체인에 의해 제공된다. ATM 통계 다중화를 행하는 입력 트래픽의 발생에 MMPP 모델이 사용된다. 본 모의실험에서는 2상태 MMPP의 4개 파라미터를 사용한다[13]. 트래픽을 모델링 하기 위해서 트래픽이 폭주하는 구간과 트래픽의 발생이 비교적 적은 두가지 구간을 가정한다. 그림 4-6은 MMPP 모델과 상태 천이를 보인다. 여기에서 도착율 함수  $\lambda(t)$ 가 2 상태들로 이루어진 마르코프 체인이며, 셀들은 도착율  $\lambda_1, \lambda_2$ 의 포아송 프로세스에 의해 발생한다. 상태 천이율  $\gamma_1$ 과  $\gamma_2$ 는 지수 분포를 갖는다. ATM 트래픽의 경우 군집(버스티) 구간과 비군집 구간의 길이는  $\gamma_1 < \gamma_2$ 인 관계가 있다. MMPP의 4가지 파라미터는 다음과 같다.

- 상태 1의 지속시간: 평균  $1/\gamma_1$ 의 지수 분포
- 상태 1의 셀 도착 : 평균  $\lambda_1$ 의 포아송 분포
- 상태 2의 지속시간: 평균  $1/\gamma_2$ 의 지수 분포
- 상태 2의 셀 도착 : 평균  $\lambda_2$ 의 포아송 분포

ATM 트래픽의 발생 모델인 MMPP에서 파라메타 값 천이율  $\gamma$ 와 도착율  $\lambda$ 는 <표 4-2>로 각각 설정하여 모의 실험을 수행하였다.

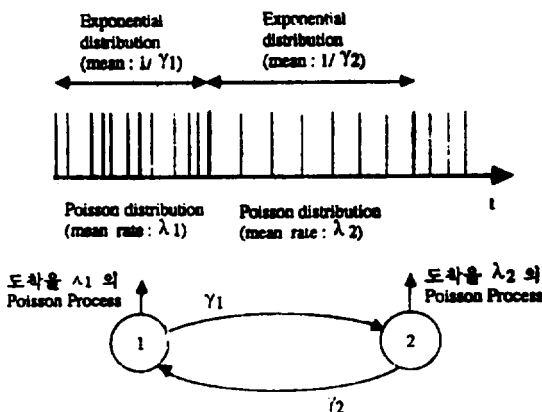
<표 4-2> 모의 실험 적용 파라메타 값  
<Table 4-2> The usage parameter values in simulation

$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$
0.5	1.0	0.1	0.35

<표 4-2>의 MMPP 모델의 파라메타를 사용하여 실험을 한 결과 <표 4-3>과 같은 링크의 시간대별 이용된 셀 수가 산출되었다. 이 실험 결과 퍼지 트래픽 제어 방식이 EPRCA 방식보다 링크 이용률이 약 2.7% 개선되었다. 정규 분포 모델의 2.3%보다는 0.4% 더 개선됨을 보였다.

<표 4-3> 시간대별 링크 이용률 비교  
<Table 4-3> The comparison of the link usage rate by time

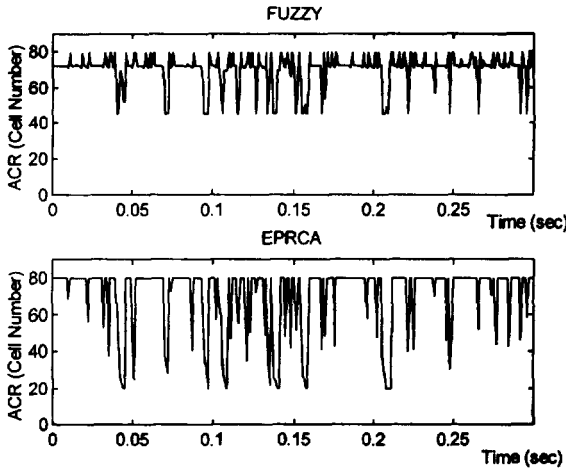
시간(msec)	퍼지 폭주 제어 방식(cell 수)	EPRCA 방식(cell 수)
1-50	3,561	3,620
51-100	3,486	3,535
101-150	3,657	3,086
151-200	3,525	3,561
201-250	3,589	3,403
251-300	3,786	3,820
계(1-300)	21,604	21,026



(그림 4-6) MMPP의 모델 및 상태 천이도  
(Fig. 4-6) The model and state transition diagram of the MMPP

그림 4-7은 MMPP 모델의 파라메타 값을 입력하여 퍼지 트래픽 제어 방식과 EPRCA 방식의 시간대별 링크 이용 상태를 셀로 나타낸 실험 결과이다. 그림 4-7은 그림 4-4 보다는 PCR로 오랜 시간 전송하고 있음을 보여주고 있으며, 폭주정보를 RM 셀에서 수령하면, 그림 4-4에서는 계단형으로 전송율을 감소시키

나, 그림 4-7에서는 급격히 전송율을 낮추게 되어, 전체적인 링크대역은 그림 4-7이 그림 4-4보다 개선되어 있음을 알 수 있다.



(그림 4-7) 시간대별 링크 이용 상태(MMPP 모델)  
(Fig. 4-7) The link usage situation by time(MMPP model)

### 5. 결 론

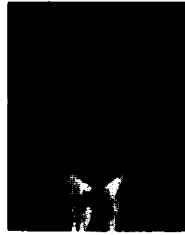
ATM의 다양한 서비스 전송에서는 얼마나 링크를 효율적으로 이용하며 서비스를 하느냐가 중요 관건이 된다. 제공하는 서비스마다 제어 방식이 다르고 QoS도 서비스 마다 다르다. 본 논문에서는 링크의 가용 대역을 좀더 효율적으로 이용하기 위해 퍼지 트래픽 제어 방식을 제안하였고 이를 실험을 통하여 개선점을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 퍼지 트래픽 제어 방식이 EPRCA 방식보다 가용 대역을 좀더 효율적으로 사용함을 알 수 있었다. 입력 트래픽이 정규 분포 모델인 경우 2.3%, MMPP 모델인 경우 2.7%의 링크 이용률 개선 결과를 얻었다. MMPP 모델인 경우가 정규 분포 모델의 경우 보다 0.4% 링크 이용률이 개선되었다. 이러한 링크 이용률 증가는 ABR 서비스의 접속 호 수를 늘일 수 있거나 접속된 호에 대해 요구된 품질을 보장하면서 안정된 서비스를 할 수 있음을 의미한다. 향후 퍼지 트래픽 제어 방식에 관한 하드웨어 및 소프트웨어 설계, 트래픽 예측을 통한 연결 수락 제어와의 연계 등의 연구가 요망된다.

### 참 고 문 헌

- [1] ATM Forum, ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0, AF-TM 0056.000, Apr. 1996.
- [2] ATM Forum, ATM Forum Traffic Management Specification Version 3.0, AF-TM 95-0013R4, Jun. 1995.
- [3] B. Yuhas & N. Ansari(Eds.), Neural Networks in Telecommunications, Kluwer Academic Publisher, 1994.
- [4] F. Bonomi and K. W. Fendick, "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service," IEEE Network, pp. 25-29, Mar.-Apr., 1995.
- [5] 조유제, "ABR서비스를 위한 폭주제어 기술 동향," 텔레콤 제 11권 제 1호, pp. 23-34, 1995. 6.
- [6] S. Yansunobu and S. Miyamoto, "Automatic Train Operation by Predictive Fuzzy Control," Industrial Applications of Fuzzy Control, North-Holland, Amsterdam, pp. 1-18, 1985.
- [7] Mark H. Beale and Hpeard B. Demuth, Fuzzy System Tool Box For Use With MATLAB, PWS Publishing Company, 1995.
- [8] Y. Ahmet Sekercioglu, Andreas Pitsillides, "Fuzzy Congestion Control in Asynchronous Transfer Mode(ATM) Network," International Conference on Telecommunications, pp. 299-302, Apr. 1995.
- [9] Qingyang Hu, David W. Petr, "Self-tuning Fuzzy Traffic Rate Control for ATM Networks," 1996 IEEE International Conference on Communications, pp. 424-427, Jun. 1996.
- [10] M. Andronico, V. Catania, G. Ficili, S. Palazzo, D. Panno, "Performance Evaluation of a Fuzzy Policier for MPEG Video Traffic Control," 1996 IEEE International Conference on Communications, pp. 439-443, Jun. 1996.
- [11] V. Catania, G. Ficili, S. Palazzo, D. Panno, "A Fuzzy Expert System for Usage Parameter Control in ATM Network," IEEE 1995 Global Telecommunications Conference Vol. 2, pp. 1338-

1346, Nov. 1995.

- [12] G.Ramamurthy and Qiang Ren, "Analysis of the Adaptive Rate Control for ABR Service in ATM Network," IEEE 1995 Global Telecommunications Conference, vol. 2, pp. 1083-1088, Nov. 1995.
- [13] Hehhes H. and Lucantoni D.M., "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance," IEEE Trans. Communications, SAC-4.6, pp. 856-868, 1986.
- [14] Mischa Schwartz, Broadband Intergrated Networks, New Jersey:Prentice Hall PTR, pp. 124-127, 1996.
- [15] Borko Furht, Milan Milenkovic, A Guided Tour of Multimedia Systems and Applications, IEEE Computer Society Press, 1995.
- [16] Raj Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks:Recent Advances and A Survey," AF-TM 95-177, Feb. 1995.
- [17] M. Ritter, "Network Buffer Requirements of the Rate-Based Control Mechanism for ABR Services," IEEE INFOCOM '96, pp. 1190-1197, 1996.
- [18] Jean-Piere Leduc, Digital Moving Pictures Coding and Transmission on ATM Networks, Elsevier Science B.V, 1994.
- [19] A. Hiramatsu, "ATM Communications Network Control by Neural Networks," IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 1, pp. 122-130, 1990.
- [20] M. Hluchyj et. al., "Closed-Loop Rate-Based Traffic Management," AF-TM 94-0211R3, Apr. 1994.
- [21] 유재택, 이진이, 이광형, "퍼지 신경망을 이용한 VQ 코드북의 설계," 인공지능 신경망 및 퍼지 시스템 춘계 종합 학술대회 논문집, 대한전자공학회, pp. 153-157, 1994. 5.
- [22] J.T. Yoo, J.Y.Lee, K.H.Lee, "A Study on the Fuzzy Vector Quantizer Mapping in Speech Synthesis for Speaker Adaptation," ISPACS(Intelligent Signal Processing and Communication System) '94 Proceedings, IEEE Communications Society, pp. 190-197, Oct. 1994.



**유 재 택**

1986년 숭실대학교 전자공학과 졸업.  
 1988년 숭실대학교 전자공학과 석사.  
 1989년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정 재학 중.

1986년~1989년 동아컴퓨터(주) 시스템 엔지니어 근무.  
 1989년~현재 한국교육개발원 전산운영팀 팀장으로 재직 중.

관심분야: ATM 트래픽 제어, 통신 프로토콜, 퍼지 신경망 신호처리, 멀티미디어 DB임.



**김 용 우**

1995년 숭실대학교 전자공학과 졸업.  
 1995년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정 재학 중.

1991년~1994년 헨디소프트 연구원 근무.

관심분야: 퍼지 신경망, 멀티미디어 통신, 프로그래밍 언어임.



**이 진 이**

1985년 숭실대학교 전자공학과 졸업.  
 1988년 숭실대학교 전자공학과 석사.  
 1994년 숭실대학교 전자공학과 박사.

1995년~현재 충남산업대학교 전자공학과 전임강사로 재직 중.

관심분야: 지능 신호처리, 음성 정보처리, ATM, 퍼지 신경망 응용임.



**이 광 형**

1968년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업.  
 1972년 서울대학교 전자공학과 석사.  
 1987년 중앙대학교 전자공학과 박사.

1973년~1982년 일본 동경대학 전자공학과 연구원.

1993년~1995년 대한전자공학회 인공지능, 신경망, 퍼지시스템 연구회 위원장.

1994년~현재 국제 전기전자학회(IEEE Korea Council) 학술이사(Conference Committee).

1994년~1995년 대한 퍼지 및 지능 시스템 학회 국제 담당이사.

1982년~현재 숭실대학교 전자공학과 교수로 재직 중.

관심분야: 지능 신호처리, 퍼지 신경망 음성인식 및 합성, 웨이브렛, 프랙탈 영상 부호화, 멀티미디어 통신처리, ATM 네트워크임.