
ATM 라우터와 스위치로 구성되는 ATM-LAN에서의 ABR 서비스 제공

이 승 희*, 이 준 원**

ABR Service Provision in ATM-LAN Consisting of ATM Routers and Switches

Soong-Hee Lee*, Joon Won Lee**

요 약

ATM 라우터와 ATM 스위치로 구성되는 ATM-LAN에서의 ABR 서비스 제공을 위한 각 구성 시스템에서의 구현 방안을 제안한다. ATM 라우터에서는 ABR 기능을 갖는 ATM 접속 카드를 기존의 ATM 접속 카드 대신에 실장하여 ATM 망의 종단 시스템으로 동작되게 하고, ATM 스위치에서는 ABR 서비스의 제공을 위해 스위치에서 가져야 하는 가장 기본적인 기능인 EFCI 기능의 구현 구조를 제시하였다. 또한 기능을 구현한 후에 실제 동작 여부를 확인하기 위한 단계별 시험 방안도 제시하였다.

Abstract

We propose a structure for implementation to provide ABR service in ATM-LAN consisting of ATM routers and ATM switches. ATM routers are constructed by installing ATM interface block with ABR capability for this purpose. The structure for EFCI, the basic function in ATM switches to support ABR service, is also proposed. Finally the testing procedure after implementation is provided to verify the conformity of the implemented systems.

* 인제대학교 정보통신공학과, 정회원

** 안동대학교 전자정보산업학부, 정회원

접수일자 : 1998년 2월 13일

I. 서 론

현재의 상황에서 ATM(asynchronous transfer mode) 망에서 제공해줄 수 있는 가장 일반적인 서비스는 ATM 망을 컴퓨터간의 데이터 전달을 위한 LAN 등의 백본으로 활용하여 원활한 데이터 전달 경로를 제공하는 것이다. 특히 망에서의 폭주 상태를 고려하여 송수신단 간에 흐름 제어를 수행함으로써 링크 상에서 가용한 대역폭을 최대한 확보해 줄 수 있는 ABR(available bit rate) 서비스를 제공할 수 있게 되면 이러한 전달 경로로서의 역할을 더 효율적으로 수행해 줄 수 있게 되고 더 나아가 사용자에게는 더 많은 ATM 망 액세스의 기회를 부여하고 망 관리자에게는 훨씬 증대된 망 이용률을 제공한다[1].

ATM 망에서의 ABR 서비스의 제공을 위하여 많은 연구가 진행되어 왔고 ATM 포럼의 표준화 노력에 의해 그 윤곽이 거의 확정된 상태이다. 그러나 실제 ATM 망을 구성하는 장치들에 대한 보다 구체적인 ABR 서비스 기능의 구현 방안에 대한 소개는 거의 되지 않고 있다. 국내에서도 '96년도에 ATM-LAN의 외곽에 위치하여 ATM 사용자와 이더넷 사용자에게 ATM 망 액세스를 제공하는 ATM 라우터와 ATM 망의 망 노드간 접속 기능을 지원하는 ATM 스위치를 개발하였으며 특히 ATM 라우터의 경우에는 ABR 서비스를 위해 ATM 망의 종단 시스템으로서 기능할 수 있도록 기능 보드의 개발을 시작하였다. 그러나 ABR 서비스를 위하여 필요한 조건인 ATM 망 스위치에서의 폭주 제어 기능의 구현이 국내에서 개발된 ATM 스위치에는 아직 이루어지지 않은 상태에 있다[2].

본 논문에서는 ATM 라우터와 ATM 스위치를 이용하여 구성되는 ATM-LAN에서 ABR 서비스를 제공할 수 있는 방안을 모색한다. 이렇게 함으로써 ATM 라우터와 ATM 스위치가 추후 상용화 및 출시되었을 때 경쟁력을 가진 제품이 될 수 있도록 함과 동시에 ABR 서비스를 수용하는 여타 시스템들과의 호환성 문제 해결 및 ABR 서비스 제공을 통한 망 성능의 향상을 기대할 수 있다.

II. 기능적 요구사항

1. ATM 라우터의 요구사항

ATM 라우터는 ATM 망에 이더넷 등의 기존 LAN 사용자 및 ATM 사용자들을 ATM 망에 수용하는 시스템으로서 ATM 망에서 ABR 서비스를 수용하는 경우 ATM 종단시스템(end system; SES, DES)으로 동작해야 한다[2]. 그러나 일반적인 ATM NIC(network interface card)의 경우와 달리 많은 갯수의 ABR 서비스를 수용하는 가상연결들을 동시에 처리해주어야 하므로 구현 측면에서 일반적인 종단 시스템보다는 가상종단시스템(virtual end system; VS, VD) 쪽에 더 가깝다[2].

그 동안의 연구에 의하면 ABR 서비스를 위한 VS/VD 기능의 구현은 일반적인 종단시스템 기능의 경우보다 훨씬 더 복잡한 것으로 알려져 있다. 다시 말해서 VS/VD 기능을 갖는 스위치는 가상연결별 버퍼를 가져야 하고 공평성(fairness)을 보장할 수 있도록 개별 FIFO 구조가 아닌 공유 버퍼 구조로 구현되는 것이 일반적이다. ATM 라우터에 내장되는 ABR 서비스를 위한 기능도 상기의 VS/VD 기능의 경우와 거의 동일한 구조, 즉 공유 버퍼 구조의 각 가상연결별 셀 저장 수단이 필요하다.

2. ATM 스위치의 요구사항

ATM 스위치는 ATM 망의 백본을 구성하여 P-NNI(private network node interface)를 관장하는 스위치 시스템으로서 ATM 망에서 ABR 서비스를 수용하는 경우 스위치 시스템에서 가져야 할 기본 기능을 가져야만 한다.

일반적으로 대부분의 ATM 스위치 시스템들이 binary feedback 방법인 EFCI (explicit forward congestion indication) 기능을 내장하고 있으며 일부 제품에서는 ATM Forum을 중심으로 활발하게 제시되고 있는 ER(explicit rate) 기능을 가지고 있다[1].

EFCI 방법은 여러 개의 가상연결들이 하나의 자원(버퍼)을 공유하는 경우 그 자원에서 폭주가 발생 시 소속된 모든 가상연결들이 이를 인지하도록 되

어 있어서 폭주 원인을 제공하지 않는 가상연결들이 상대적으로 불리해지는 fairness 문제를 가지고 있지만 가상연결별로 폭주 표시(marking)를 하는 지능적 표시(intelligent marking)등을 이용하여 어느 정도 극복할 수 있다[3]. 이러한 문제점에도 불구하고 EFCI는 ER 방식보다 구현 구조가 단순하여 구현 비용이 저렴해질 수 있는 이점이 있다. 지능적 표시를 하기 위해서는 각 가상연결별로 공평한 몫(fair share)을 계산해 내어야 하는데 이는 ER 방식에서도 요구되는 기능으로서 구현이 너무 복잡해진다[4].

ER 방식은 EFCI 방식보다 구현하기가 까다롭지만 ABR 서비스를 더욱 효율적으로 제공할 수 있게 해주는 스위치 측의 메카니즘으로서 ATM Forum에서 여러 구조들(EPRCA, ERICA, congestion avoidance, CAPC, ER based on bandwidth demand estimate algorithm)이 제시되고 있다[4]~[7]. 이 모든 방법들이 각 가상연결별로 공평한 몫을 계산하여 각 가상연결들에게 적당한 ER(explicit rate)을 알려줌으로써 EFCI에서 문제가 되었던 공평성 등의 문제가 없고 더욱 효율적인 ABR 서비스를 제공할 수 있게 된다. 그러나 이 경우 각 가상연결별로 적당한 대역폭 값을 계속 계산 및 갱신하기 위한 구현 비용이 매우 크다.

상기의 두 가지 방식 중에서 구조의 단순함과 비용 등을 고려하여 EFCI 방식을 택할 경우 ATM 스위치에서 가져야 하는 최소한의 요구사항은 아래와 같다.

- 각 포트 또는 가상연결별 폭주 상태의 판단이 가능해야 한다.
- 각 포트 또는 가상연결별로 EFCI 비트 값을 가변시킬 수 있어야 한다.

Ⅲ. 시스템별 기능 구현 방안

1. ATM 라우터

ATM 라우터에서 ABR 서비스를 제공하기 위한 종단시스템 기능을 구현하기 위해서는 이더넷 접속 등을 거쳐 스위칭된 셀들이 ATM 접속을 거쳐 다른 망 측 시스템(ATM 스위치)으로 출력되기 전에 망

측의 상태를 수신된 RM 셀의 정보를 참조하여 조절할 수 있어야 한다. 이를 가능하게 하기 위해서는 현재 ATM 라우터에 구현되어 있는 ATM 접속 카드를 그대로 사용하고 스위칭 보드 쪽에 기능을 추가하거나 스위치 보드는 그대로 두고 ATM 접속 카드에 기능을 추가하는 방안이 있을 수 있다. 그러나 현재 구현되어 있는 셀 스위칭 보드는 많은 수의 입출력선 접속을 위해 보드의 층 수가 매우 많아질 가능성이 있어서 이러한 기능의 추가가 용이하지 않다. 따라서 ATM 접속 카드에 ABR 서비스 제공 기능을 추가하여 ABR 서비스를 제공하기 위한 전용 접속 보드로 사용하는 방법을 선택한다.

상기에 설명한 대로 ABR 서비스 제공 기능을 갖는 ATM 접속 카드를 그림 1에 나타낸 바와 같이 출력 셀 간격 제어 기능을 추가하여 ABR 서비스가 가능하도록 ATM 라우터를 구성하였다. 이때 기존의 ATM 접속 카드에서 ABR 서비스를 위한 제어부와 셀 버퍼 등이 추가로 포함된다. 이 ATM 접속 카드에 내장되는 ABR 서비스 기능은 앞에서 요구사항으로 제시되었던 대로 각 포트 또는 가상연결별 폭주 상태의 판단이 가능해야 하지만 실제 구현 측면에서 많이 고려되고 있는 링크별 출력 버퍼 구조를 가정한다.

이때 ABR 서비스를 제공받기를 원하는 이더넷 사용자의 정보만을 ABR 서비스로 처리될 수 있도록 해당 사용자의 정보가 소속되는 가상연결의 셀들만을 ABR 기능을 갖는 ATM 접속 카드로 스위칭 시켜주어야 한다.

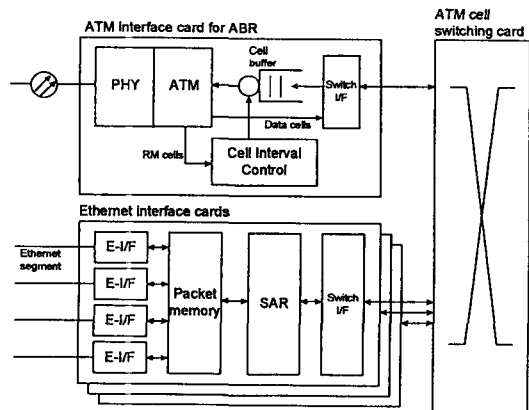


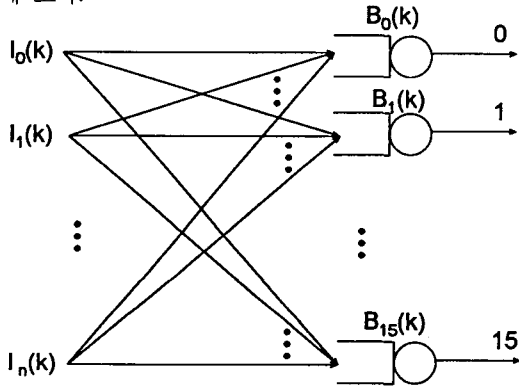
그림 1. ATM 라우터에서의 ABR 서비스 제공 방안

2. ATM 스위치

ATM 라우터와 ATM 스위치로 구축된 ATM 망에서 ABR 서비스를 제공하기 위해서는 ATM 라우터 외에 ATM 스위치도 일정한 역할을 담당해야 한다. 즉, ATM 망에서 ABR 서비스를 제공하기 위해 스위치에서 가져야 할 기본 기능인 EFCI 또는 ER 기능을 가져야 하는데 본 논문에서는 이중 EFCI 기능을 ATM 스위치에서 구현하기 위한 방안을 마련하고자 한다.

ATM 스위치는 ATM 망의 백본을 구축하기 위해 16 개의 155 Mbps 포트들을 스위칭 시켜줄 수 있도록 되어 있다고 가정한다. 여기에서 EFCI를 구현하기 위한 기본 요구 사항인 폭주 상태 판단 방안을 고려해야 한다. 통상 버퍼를 중심으로 스위치가 구성되는 경우에는 각 출력 포트 또는 가상연결의 해당되는 버퍼의 임계치를 넘어서는지를 감시하여 폭주 상태를 판단하게 된다. 그러나 ATM 스위치는 반드시 버퍼의 상태를 관측할 수 있는 스위칭 구조라는 보장이 없으므로 버퍼 넘침으로 인한 셀 손실을 스위치 칩 외부에서 알아볼 수가 없도록 되어 있는 경우에는 다른 방안을 제시해야만 한다.

우선 ATM 스위치의 입출력 구조를 그림 2에서와 같은 큐잉 모델로 단순화시켜 이 문제를 고려해 보자.



k: no. of time units [slots]
n: no. of virtual connections

그림 2. ATM 스위치의 큐잉 모델

여기서 각 출력 포트 전단의 큐들은 스위치 보드의 출력 버퍼를 나타내고 있다. 즉, 각 큐에서

셀이 가득 쌓여진 상태에서 다시 셀이 그 큐로 입력되게 되면 버퍼 넘침으로 인한 셀 손실이 발생되게 되고 이 손실은 스위치 칩 외부에서 알아볼 수가 없도록 되어 있다고 가정한다. 이때 각 가상연결별로 입력되는 셀 트래픽의 상태를 종합적으로 판단하여 확률적으로 스위치 출력단에 위치한 버퍼의 넘침을 예측할 수 있다면 각 포트 출력단별로 EFCI 가 가능해질 수 있다.

k번째 슬롯에서의 각 출력 버퍼의 레벨을 $B_i(k)$ 라고 하고 셀 입력단으로부터 각 스위치 출력 버퍼까지의 전달 경로에서 지연이 없다고 가정하면

$$B_i(k) = B_i(k-1) + \sum_{j=0}^n I_j(k) \dots\dots\dots (1)$$

로 된다. 여기에서 k번째 슬롯에서 각 가상연결별 셀 입력상태를 나타내는 $I_j(k)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$I_j(k) = \begin{cases} 1, & \text{when a cell exists on the slot } k \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

k번째 슬롯에서 버퍼가 넘쳐 셀이 손실되게 되는 조건은 출력 버퍼의 크기가 B_T 라고 할 때

$$B_i(k) > B_T \dots\dots\dots (3)$$

이다. 여기서, 만일 $B_i(k) \leq B_T$ 가 되도록 B_T 를 설정하여 $B_i(k) = B_T$ 로 되는 경우 버퍼 넘침에 의한 셀 손실이 임박하였음을 포트 i의 출력 셀의 EFCI를 이용하여 인접 노드로 알려줄 수 있다.

이제 문제는 각 슬롯 시간에서의 $B_i(k)$ 를 어떻게 알아내는가 하는 것이다. (1)에서 각 슬롯의 바로 이전 슬롯 k-1에서 $I_j(k)$ 를 미리 예측할 수 있다면 현재 슬롯 시간에서의 $B_i(k)$ 를 구할 수 있고 상기의 $B_i(k) = B_T$ 조건을 이용하여 가상연결별로 EFCI 기능을 구현해 줄 수 있을 것이다.

현재 슬롯의 직전 슬롯인 (k-1)에서 현재 슬롯 k에서의 $I_j(k)$ 는 그림 3의 구조로 추출이 가능하다.

그림 3에서 THR_i 은 각 VC 별로 할당된 일정시간 T 동안의 적정 셀 통과 갯수이다. 이 THR_i 은 각 VC 별로 할당된 대역폭으로부터 계산이 된다. 따라서 CPU 에서 CAC를 수행 후 각 VC의 THR_i 을

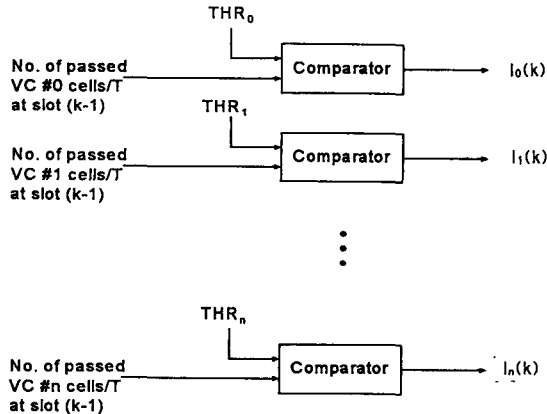


그림 3. 가상연결별 셀 입력 상태 추출 구조

계산하여 레지스터 액세스 등을 통해 간단히 입력시킬 수 있다. 또한 비교기에서는 그 전단의 VC 별 UPC 기능으로부터 입력되는 각 VC 별 T 시간당 셀 입력 갯수가 상기의 THR_i 보다 크거나 같으면 그 출력인 $I_i(k)$ 를 '1'로, 아니면 '0'으로 출력한다.

상기의 구조로부터 얻어진 각 VC의 셀 입력 상태만으로는 각 출력 버퍼의 현재 셀 저장 갯수를 예측할 수 없으며 이를 계산하기 위해서는 각 출력 포트의 버퍼로 루팅되는 VC 들을 알고 있어야 한다. 이 과정은 매 슬롯 시간마다 입력되는 스위칭 정보 등을 이용하거나 현재 입력되는 VPI/VCI 정보와 해당 포트에서 받아들여야만 하는 VC의 VPI/VCI 값을 비교하는 두 가지 방안 중 하나를 택일하여 구현한다. 그 결과로 나오는 출력 신호를 '유효(Valid)'라고 정의한다. 이 신호가 1일 때만 해당 VC의 셀 입력 상태가 전달되도록 하면 각 출력 버퍼로 입력될 셀 개수를 정확하게 예측할 수 있다.

위의 모든 내용을 종합하면 각 출력 버퍼의 상태를 고려한 EFCI 기능을 그림 4에 나타난 형태로 구성할 수 있다. 그림 4에서 B_T 는 각 출력 버퍼의 용량과 같거나 더 작게 설정한다. 또한 각 출력 포트에서는 그림 4의 구조에서 출력되는 Set EFCI 신호가 '1' 이면 그 포트에서 출력되는 셀들의 EFCI 비트를 1로 하여 출력하고 '0' 이면 0로 하여 출력시킨다. 따라서 출력 포트에 접속되는 다른

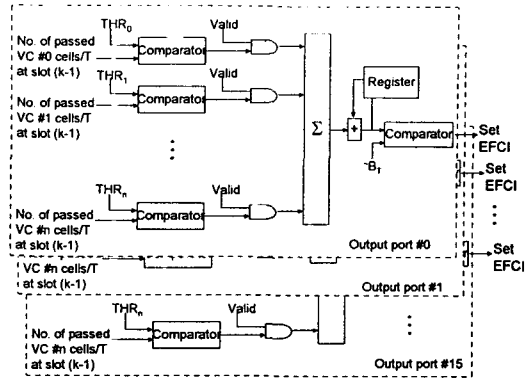


그림 4. 출력 포트별 버퍼의 상태를 고려한 EFCI 구현 구조

망 노드 장치 또는 망 종단 장치에서 이 EFCI 비트를 감시하여 적절한 폭주 제어 절차가 이루어지도록 할 수 있다.

IV. ABR 서비스 시험 방안

ATM 라우터와 ATM 스위치로 구성되는 ATM-LAN에서의 ABR 서비스 제공을 위한 각 구성 시스템에서의 기능 구현에 못지않게 중요한 것이 구현된 기능의 정상적 동작 여부를 알기 위한 시험이다. 더우기 ABR 서비스를 추가시켜 실제로 망 관리자나 사용자에게 어떠한 혜택이 돌아가는지를 통상의 운용 상태에서 증명하기는 매우 곤란하므로 이러한 시험을 통하여 그 효과를 제시하는 것도 의미가 있다.

1. ATM 라우터의 ABR 시험 방안

우선 ATM 라우터의 ATM 접속 카드에 내장된 ABR 서비스 제공 기능의 시험 방안을 제시한다. ATM 라우터에서의 ABR 기능 시험은 아래와 같이 단계별로 수행하여 상승(Bottom-Up)의 방식으로 진행한다.

제1단계: 보드의 기본 기능 시험(셀 전달 시험, CPU 액세스 시험)

- 제2단계: 보드간 신호 전달 확인 시험
- 제3단계: ATM 분석기 연결 시험
- 제4단계: 점대점으로 두 보드를 연결하여 DES 측에 임의사건발생(Random Event Generator) 소프트웨어를 이용하여 폭주 상황을 발생시켜 SES 측의 송출 속도 제어 여부를 확인

상기의 시험을 위해 준비해야 하는 요소는 아래와 같다.

- i) ABR 기능 보드: 2 장을 두 대의 ATM 라우터의 슬롯에 각각 장착한다.
- ii) ATM 라우터: 이더넷 단말 접속 및 ABR 기능 보드를 모두 접속한다.
- iii) ATM 분석기: 1. ATM 스위치 에뮬레이터로 사용한다.
2. 링크 상의 셀 속도를 측정하여 ACR 준수 여부를 확인한다.

ATM 라우터에서 시험시 예상되는 문제점으로서 EFCI 또는 ER이 구현된 ATM 스위치가 없는 상황에서 시험을 수행해야 한다. 따라서 DES 측에서 소프트웨어를 이용하여 가상적인 폭주 상황을 발생시키거나 ATM 분석기(ATM analyzer)를 ATM 스위치 에뮬레이터로 사용하여 기초적인 EFCI 기능을 부여하여 시험한다. 그러나 실제 폭주 상황과 동일한 상황에서의 시험은 불가능하다. 그 대신 DES에서 가상적인 폭주 상태를 발생시키는 방법으로 프로그램을 이용한 포아송 등의 분포로 발생시킨 폭주 사건 발생을 이용할 수 있다.

2. ATM 스위치의 EFCI 시험 방안

ATM 스위치에 내장된 EFCI 기능의 시험 방안을 제시한다. 의도적인 폭주 상태를 발생시켜야 EFCI 기능의 동작 여부를 확인할 수 있으므로 스위치의 경로 할당 기능이 감당할 수 없는 크기의 입력 셀 트래픽을 하나의 출력 포트에 집중되도록 스

위치의 루팅 테이블을 설정해야 한다. 이후 입력 측에 ATM 분석기 등을 이용하여 셀 입력을 인가시켜 의도적인 폭주 상황을 발생시킨다. 이때 폭주가 발생했을 포트에서 출력되는 셀들의 EFCI 비트 값 세팅 여부를 ATM 분석기의 수신부에서 확인한다.

3. ATM 라우터, ATM 스위치로 구성된 ATM-LAN의 ABR 시험 방안

IV.2와 IV.3 절에 제시한 각 시스템별 시험이 완료된 후 ATM 라우터와 ATM 스위치로 구성된 ATM-LAN 시험망을 구축하여 의도한대로 ABR 서비스가 제공되는지를 확인하는 시험 방안을 제시한다. 그림 5에 제시한 바와 같이 ATM 라우터의 입력단에 ATM 분석기를 접속하고 입력 셀 트래픽을 폭주가 발생되도록 과도하게 인가한 후 ATM 라우터의 ABR 출력단에서 ATM 분석기로 입력되는 셀 대역폭이 ABR 흐름제어에 의해 허용된 셀 전달속도에 부합하는지 계속 감시한다. 이때 과도한 셀 트래픽을 인가하였을 때에 ABR 출력단에서 셀 대역폭이 점차 감소하는지 여부를 확인한다. 또한 이후에 과도하게 인가하였던 셀 입력을 정상 수준으로 감소시켜 감소되었던 셀 송출 대역폭이 다시 증가하면서 회복되는지 확인한다. 최종적으로 이 두 가지의 시험을 계속 반복 수행하여 시스템의 동작이 안정되어 있는지를 확인한다.

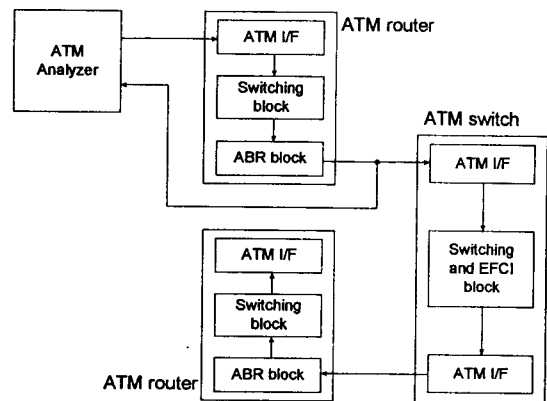


그림 5. ATM 라우터와 스위치로 구성된 ATM-LAN에서 ABR 서비스 시험 구조

V. 결 언

ATM 라우터와 ATM 스위치로 구성되는 ATM-LAN에서의 ABR 서비스 제공을 위한 각 구성 시스템에서의 기능 추가 또는 변경 사항 등의 구현 방안에 대해 살펴 보았다. ATM 라우터에서는 ABR 기능을 갖는 ATM 접속 카드를 기존의 ATM 접속 카드 대신에 실장하여 ATM 망의 종단 시스템으로 동작되게 하고, ATM 스위치에서는 ABR 서비스의 제공을 위해 스위치에서 가져야 하는 가장 기본적인 기능인 EFCI 기능의 구현 구조를 제시하였다. 또한 기능을 구현한 후에 실제 동작 여부를 확인하기 위한 단계별 시험 방안도 제시하였다.

추후 과제로서 ATM 라우터와 ATM 스위치가 ATM-LAN을 구성하는 스위칭 시스템으로서 자리매김을 하기 위해서는 본 논문에서 제시한 EFCI 등의 기본적인 수단 이외에 ATM 포럼 등에서 제시되고 있는 ER 등의 최근의 규격들을 면밀히 검토하여 더욱 진보된 ABR 서비스 제공 수단에 대한 연구와 구현 방안 제시가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] S. S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0," *ATM Forum/af-tm-0056.000*, Anchorage, Apr. 1996.
 [2] S. Lee, H. Kang, "Design of Flow Control Function for ABR Service in ATM Networks," *Submitted to KICS Journal*, May 1997.
 [3] K. Siu and H. Tzeng, "Intelligent congestion control for ABR service in ATM networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Jul. 1994
 [4] R. Jain, "Congestion control and traffic management in ATM networks: Recent advances and a survey," *Computer Networks and ISDN Systems*, Feb. 1995.
 [5] C. Ikeda, H. Suzuki, and M. Murata, "Transient state Analysis and Maximum Buffer Requirements for Enhanced PRCA,"

ATM Forum/94-910, Ottawa, Sep. 25. 1994.

[6] L. Roberts, "Enhanced PRCA(Proportional Rate-Control Algorithm)," *ATM Forum/94-0735R1*, Aug. 1994.
 [7] R. Walthall and M. Clement, "Simulation and analysis of the performance of EPRCA in a wide area ATM network consisting of both ER and EFCI switch mechanisms," *Proc. International Conference on Telecommunications Systems, Modeling and Analysis*, Mar. 1996.



이 승 희(Lee, Soong Hee)

1961년 12월 8일생
 1987년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학석사)
 1995년 2월: 경북대학교 전자

공학과(공학박사)

1987년~1997년: 한국전자통신연구원 선임연구원
 1997년 3월~현재: 인제대학교 정보통신공학과
 * 주관심 분야: ATM/B-ISDN, 통신시스템.

이 준 원(Lee, Joon Won)

1953년 8월 15일생
 1976년: 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1992년: 충북대학교 전산과(이학석사)
 1997년: 충북대학교 전산과(이학박사)
 1977년~1979년: 삼성전기 근무
 1980년~1998년: 한국전자통신연구원 초고속망연구실장 역임
 1998년3월~현재: 안동대학교 전자정보산업학부
 * 주관심분야: 초고속정보통신망, 통신프로토콜, 소프트웨어 엔지니어링.