

## ATM 망에서 다중 경로를 이용한 비연결형 트래픽의 분산 기법

正會員 徐完碩\*\*, 吳榮烈\*, 金錫圭\*, 李載用\*, 李相培\*

### A Traffic Distribution Scheme for Connectionless Data Service using Multi-Path in ATM Networks

Wan-Seok Seo\*\*, Young-Yul Oh\*, Seogyu Kim\*, Jai-Yong Lee\*, Sang-Bae Lee\* Regular Members

#### 要 約

본 논문에서는 ATM 망에서 비연결형 데이터 서비스를 효율적으로 제공하기 위해 다중 경로를 이용한 트래픽 분산 기법을 제안, 분석한다. 제안된 방안에서는 직접 제공 방식에 기초하여 Interworking Unit(IWU)-Connectionless Server(CLS), CLS-CLS 연결간에 최단 경로를 가지는 주경로와 ATM 망의 PVC(Permanent Virtual Connection) 관리부에 의해 설정 가능한 여러 선택 경로를 다중 경로로 설정하여 IWU/CLS의 폭주성 비연결형 트래픽을 분산시켜 수용한다. 제안 방안에서는 IWU/CLS로 입력되는 트래픽 양과 연결 경로상의 망 상태를 고려하여 트래픽을 분산함으로써 버퍼 오버플로우로 인한 패킷 손실 감소와 망 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 CLS, CLS-CLS 간의 분할된 페루프 전송을 제어 방법을 적용하고 트래픽 분산 기법을 위한 IWU/CLS의 기능 구조를 설계한다.

#### ABSTRACT

With the advent of B-ISDN based on ATM technology, there are increasing needs for the interconnection of existing LAN/MAN's through ATM networks. ATM networks, therefore, must provide connectionless service. In this paper, the traffic distribution scheme using multi-path is proposed to support efficient connectionless service in ATM networks. Because the proposed scheme distributes the bursty traffic arrived in the interworking unit(IWU) and the connectionless server(CLS) from LAN-terminals, it alleviates the packet loss ratio caused by buffer overflow at IWU/CLS and is able to use network resources efficiently according to the network conditions and the amount of the traffic arrived at IWU/CLS. This paper presents the distribution algorithm and the IWU/CLS functional architecture, and employs the segmented IWU-CLS, CLS-CLS closed-loop rate control scheme.

\*연세대학교 전자공학과

\*\*삼성전자 통신사업부 네트워크그룹

論文番號 : 95296-0830

接受日字 : 1995年 8月 30日

본 연구중 일부는 한국과학재단의 지원으로 이루어 졌습니다.

## I. 서 론

정보 통신망의 발전과 더불어 통신 사용자의 다양한 서비스 요구를 만족시킬 수 있는 비동기식 전송모드(Asynchronous Transfer Mode, ATM)를 근간으로 광대역 전송 및 교환기능의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 ATM 기술을 기반으로한 광대역 종합 통신망(B-ISDN)에서 LAN/MAN 상호 연결과 같은 비연결형 고속 데이터 통신 서비스의 수용은 초기에 가장 매력 있는 응용 서비스의 하나가 될 전망이다<sup>[1]</sup>.

기본적으로 연결형 서비스를 제공하는 B-ISDN에서는 서로 떨어진 LAN/MAN 상호 연결을 위한 비연결형 서비스의 제공 방안으로 간접 제공 방식과 직접 제공 방식 2가지가 권고되어 있다. 간접 제공 방식은 ATM 망 초기 발전 단계에서 망은 단지 전송망 역할만 하고 통신 사용자(LAN/MAN) 양단간의 연동장치(Interworking Unit, IWU)에서 가상연결을 설정하여 실질적인 비연결형 기능을 망 외부에서 실행하므로 비연결형 서비스를 간접적으로 제공하는 방법이다.

직접 제공 방식은 ATM 스위치에 비연결형 서버(ConnectionLess Server, CLS)를 두어 중첩된 가상 비연결형 망(Virtual Overlaid Connectionless Network)을 형성하여 비연결형 서비스를 제공하는 방법이다. 비연결형 트래픽은 중첩된 망의 CLS를 통해 연결 설정, 경로 결정, 트래픽 제어 기능을 제공받는다. 이에 비해 간접 제공 방식은 ATM 망내에서 비연결형 서비스를 제공하지 않기 때문에 망의 부하가 감소된다. 그러나 대역폭의 낭비가 발생하고 연결설정 지연시간 및 시그널링 부하가 커지는 단점이 있다<sup>[6]</sup>. 망진화 형태, 서비스 사용자의 증가, 연결 설정, 시그널링 부하, 전송 지연 등을 성능 평가 요소로 고려할 때, ATM 망에서 비연결형 서비스를 직접 제공 방식으로 수용하는 것이 바람직하다[1].

ATM 망의 연결형 서비스를 제공하는 과정은 사용자의 서비스 품질 파라메타에 기초하여 망의 유용 가능한 자원을 할당함으로써 성립된다. 그러나 비연결형 서비스에서는 예측 불허한 사용자 트래픽의 특성에 대한 정보를 얻을 수 없으므로 연결 설정과 자원 할당 방법과 같은 효율적인 트래픽 제어가 요구된다<sup>[11]</sup>.

비연결형 서비스를 위한 기존의 트래픽 제어 기술로는 대역폭 관리측면에서 대역폭 재협상법(Bandwidth

Renegotiation Scheme), 대역폭공시메카니즘(Bandwidth Advertising Mechanism, BA)과 가용대역폭에 기초한 ABR(Available Bit Rate) 서비스 제어를 위한 페루프 전송율 제어(Closed-Loop Rate Control) 기법이 있다<sup>[3][4][5][8][10]</sup>. 기존의 방법인 대역폭 재협상법에서는 재협상 과정에서 발생하는 시그널링 부하때문에 효율적인 트래픽 전송을 기대할 수 없다<sup>[6]</sup>. 이러한 측면에서 BA방법은 망내에서 할당되지 않은 가용 대역폭을 사용하여 비연결형 트래픽을 전송하므로 버스트한 LAN 트래픽을 ATM에 수용하는데 효율적이다. 그러나 연결형 트래픽 변화에 따른 가용 대역폭의 변화가 IWU를 통해 망으로 유입되는 트래픽 양을 수용하지 못할 경우, IWU에서 버퍼 오버플로우가 발생하여 데이터 손실이 일어난다. 또한 여러 비연결형 사용자가 한 링크를 공유할 경우, 가용 대역폭 공유에 의해서 ATM 스위치의 버퍼 용량이 초과되어 데이터 손실이 야기된다.

본 논문에서는 위와 같은 기존 방안의 문제점을 해결하기 위해 IWU-CLS, CLS-CLS간 다중경로를 사용하여 망 상태에 따라 버스트한 LAN 트래픽을 효율적으로 분산시킴으로써 데이터 손실율과 전송 지연 측면에서 성능이 우수하고 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 트래픽 분산 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ATM망에서 직접제공방식에서 비연결형 서비스를 수용하는 방안과 기존의 트래픽 제어 기술을 살펴본다. 3장에서는 기존 방안의 문제점들을 고찰하고 제안된 분산 기법의 구체적 내용과 기능설계에 대해 논의한 후 4장에서 모의 실험을 통한 성능 비교, 분석을 보여주며 5장의 결론부로 이어진다.

## II. ATM 망에서 비연결형 서비스 제공 방안

### 1. 직접 제공 방식의 프로토콜 스택과 셀 변환

앞 절에서 서술하였듯이 비연결형 서비스 제공 방안 2 가지 중 다음과 같은 사항을 고려해 볼 때, 자원 이용 효율성과 망 진화 측면에서 직접 제공 방식으로 수용하는 것이 바람직하다. 직접 제공 방식은 그림 1처럼 ATM 망 내부에 비연결형 서버(ConnectionLess Server, CLS)를 두어 중첩된 가상 비연결형 망(Virtual Overlaid Connection Network)을 형성하여 CLS

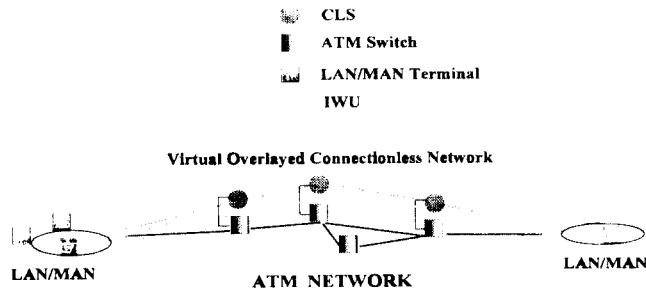


그림 1. 비연결형 서비스의 직접 제공 방식

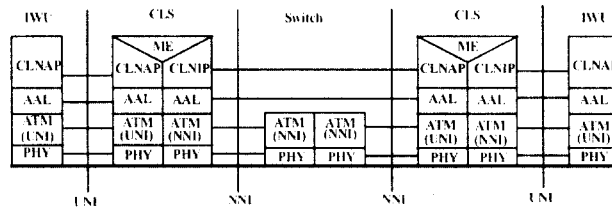


그림 2. 직접 제공 방식의 프로토콜 설계

를 통해서 비연결형 서비스 기능을 직접적으로 망이 제공한다<sup>[6][7][8]</sup>.

직접 제공 방식의 프로토콜(Protocol) 설계는 그림 2와 같이 하며 IWU의 비연결형 망 접근 프로토콜(ConnectionLess Network Access Protocol, CLNAP)은 비연결형 데이터를 ATM 적응 계층(ATM Adaptation Layer)에서 다루기 위해 이를 캡슐화(encapsulation)한다. 망 노드 인터페이스는 CLNAP 프레임에 4 바이트의 헤더(header)를 더하여 비연결형 망 인터페이스 프로토콜(ConnectionLess Network Interface Protocol) 데이터 형태로 캡슐화된다<sup>[8]</sup>. CLNAP의 프레임 형식은 ITU-T에서 권고한다. LAN과 같은 비연결형 트래픽은 그림 3에서 소스, 목적지 주소를 포함하는 CLNAP\_PDU 형태로 전환되고 다시 AAL 3/4, 궁극적으로 LAN의 소스, 목적지 주소를 가지는 BOM(Begin Of Message) 셀과 사용자 정보를 가지는 다수의 COM(Continue Of Message), EOM(End Of Message)의 ATM 셀 형태로 분할되어 망에 유입된다. 이때 CLNAP\_PDU에서 분할된 ATM 셀들은 같은 VPI(Virtual Path

Identifier)/VCI(Virtual Channel Identifier)/MID(Message Identifier) 값이 부여되므로 하나의 ATM 연결에 대하여 여러 AAL 사용자의 트래픽을 다중화시킬 수 있다.

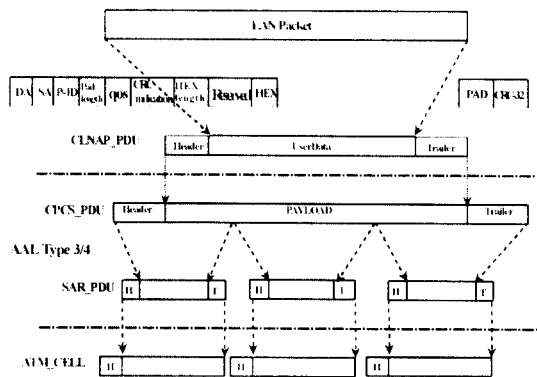


그림 3. CLNAP\_PDU의 ATM 셀 형태 분할 방법

2. 비연결형 트래픽 제어 기술

1) 대역폭 제한방법

요구된 대역폭의 변동이 없는 고정 비트율(Constant Bit Rate, CBR)이나 버스트성이 약한 트래픽에 대해서는 고정 대역폭 할당 방법이 타당하다. 그러나 연결 시간이 길고 트래픽 특성이 동적으로 변화하며 연결 수락시 사용자 파라메타의 예측이 어려울 때, 할당된 대역폭을 망과 재협상하는 대역폭 재협상법이 유용하다. 이 방법은 양 종단간 시스템(IWU, ATM 터미널) 버퍼의 상한 임계치와 하한 임계치에 따른 트래픽 부하를 고려하여 대역폭을 망과 재협상하는 방법으로 대역폭 관측(Bandwidth Tracking) 기법을 사용하여 구현된다 [5]. 연결의 출력 버퍼 상한 임계치를 초과하는 트래픽 부하가 발생하면 시그널링(Signaling) 채널을 사용하여 목적지까지의 대역폭 증가분을 망에 더 요구하고 하한 임계치에 미달할 경우 같은 시그널링 진행과정을 통해 대역폭을 망에게 반환한다.

2) BA(Bandwidth Advertising)

BA방법은 간접 제공 방식과 직접 제공 방식에서 LAN/MAN들을 PVC로 상호 연결하여 연결 수락시 각 가상 경로 연결들에게 소량의 대역폭을 할당한다<sup>[3][4]</sup>. 이후에 할당되지 않은 가용 대역폭(AVBW)을 사용하여 버스트 발생시 재협상에 따른 버퍼 저장이 필요없이 ATM망으로 트래픽을 전송한다. 그림 4는 가용 대역폭 사용 상황을 나타내는데 연결 경로상 각 링크의 가용한 대역폭 중 최소값을 이용하여 전송측에서 트래픽의 버퍼링이 필요없이 전송할 수 있다.

$$AVBW = link\ Capacity - allocated\ Bandwidth$$

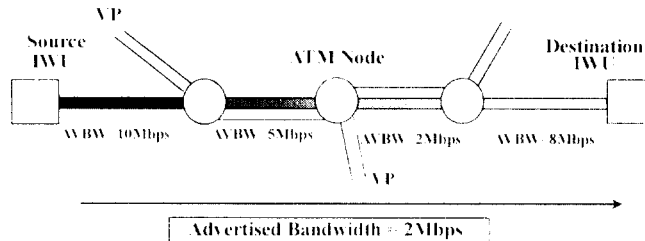


그림 4. BA방법에서 가용 대역폭 사용 상황

가상 경로 연결상의 가용 대역폭이 존재하면 트래픽의 CLP 비트를 1로 하여 망으로 전송하고 망 혼잡의 경우 ATM 스위치에서 우선적으로 폐기시킬 수 있게 한다.

BA방법은 트래픽 모니터링과 ATM 망에서 대역폭 광고(Bandwidth Advertising) 기능이 제공되어야 한다. 대역폭 광고는 대역폭 조사(Bandwidth Probing)와 대역폭 브로드캐스트(Bandwidth Broadcast) 방법이 있다. 전자는 목적지에서 소스측으로 조사셀(Probe Cell)을 주기적으로 전송하여 가상 경로상의 가용 대역폭 정보를 얻는 방법이고 후자는 ATM 스위치에서 각 가상 경로 연결을 모니터링하여 그들 연결들에 대해 가용 대역폭 정보를 전송한다. 제공받은 가용 대역폭 정보와 가상 경로 연결에 할당된 대역폭으로 리키 버킷(Leaky Bucket)과 같은 최대 전송율 제어기를 두단계로 구성하여 폴리싱(Policing)을 행한다. BA방법은 효율적인 대역폭 이용율과 재협상에 따른 버퍼 저장 필요성을 줄이고 이에 따른 셀 전송 지연을 줄일 수 있는 방법이다.

3) ABR 서비스를 위한 페루프 전송율 제어

ATM-FORUM과 ITU-T에서 활발히 연구가 진행되고 있는 ABR 서비스는 할당되지 않은 망 가용 자원을 이용하며 종단 시스템간 페루프를 사용하여 망 상태 정보를 얻게된다<sup>[10]</sup>. 이에 소스 시스템이 흐름 제어에 따른 전송율 제어를 망 요구에 부합하도록 수행하면 셀 손실을 보장받는다.

ABR 서비스의 특징은 다음과 같다.

- ▷ 사용자가 망의 전송율 제어 요구에 순응하면 셀 손실을 보장한다.
- ▷ 셀 전송 지연과 셀 전송 지연 변이를 보장하지

않는다.

▷ ABR 트래픽은 버스트성을 가진다.

망의 가용 자원을 이용하는 ABR 서비스는 망과 사용자 종단 시스템에서 흐름제어를 수행하여 혼잡이 발생하였을 때에 셀 손실을 최소한으로 줄여야 한다. 이를 위해 ATM-FORUM에서는 페루프 전송을 제어 기법을 표준안으로 인준하였다. 일정한 데이터 셀 전송후 망의 혼잡상태나 노드에서 제공할 수 있는 전송율 정보를 저장하기 위한 RM(Resource Management) 셀을 삽입하여 소스와 목적지간에 페루프를 형성하여 소스측에서 전송을 제어할 망 상태 정보를 되돌림 받아 흐름을 제어하게 된다. 이에 망은 망의 요구 사항에 순응하는 사용자들에게는 셀 손실을 보장할 수 있다. 제안된 알고리즘으로 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)가 있다<sup>[10]</sup>. 표 1에 연결 설정시 알고리즘을 위한 협약되는 파라메타를 나타내었다.

페루프 전송을 제어는 소스, 목적지, ATM 스위치에서의 동작은 다음과 같다.

● 소스

소스는 매 Nrm(Number of Cells/RM) 데이터 셀마다 RM 셀을 삽입하여 목적지로 전송한다.

RM 셀 필드는 다음과 같다.

초기 상태에서 소스는 ACR을 ICR로 전송한다. 소스는 ACR을 PCR(Peak Cell Rate)이상, MCR(Minimum Cell Rate)이하로 전송하지 않는다. 소스는 Nrm/ACR의 간격으로 전송율을 ACR/RDF(Rate Decrease Factor)로 감소시키고 최종적으로 MCR까지 감소시켜 나간다. 소스는 CI(Congestion Indication) 비트가 0인 RM 셀을 받을 때만 ACR을 연결 설정시 협약된 AIR(Additive Increase Rate)만큼 증가시킨다. RM 셀이 소스측에 도착할 때마다 ACR과 RM 셀의 ER(Explicit Rate)값과의 최소값을 ACR로 한다.

● 목적지

목적지는 도착되는 모든 RM 셀을 소스측으로 돌려보낸다. 만약 이전 데이터 셀의 EFCI(Explicit Forward Congestion Indication) 비트가 1이면 목적지는 소스 전송율을 줄이기 위한 ER 값을 기입하거나 CI 비트를 1로하여 RM 셀을 소스측으로 전송한다.

● ATM 스위치

EFCI를 기초로 한 동작과 ER을 기초로 한 동작 2가지가 있다.

ATM 가상 경로 연결상에 각 스위치의 버퍼 임계치를 두어 혼잡을 예측할 수 있도록 한다. EFCI를 기초로 한 동작은 버퍼 임계치를 초과할 경우 ATM 셀 헤

DIR	Direction of the RM cell(forward or return)		
CI	Congestion indicator (0=no congestion, 1=congestion)		
BS	Block Start bit(1 for start of new block after idle, else 0)		
CCR	Current cell rate, in effect when forward RM cell is generated)		
MCR	Minimum cell rate		
ER	Explicit rate, initially set to PCR, and possibly modified downward by intermediate network along the path		

표 1. ABR 연결설정예 사용되는 파라메타

Name	Length	Full Name	Comments
PCR	16 bits*	Peak Cell Rate	
MCR	16 bits*	Minimum Cell Rate	Guarated Net
ICR	16 bits*	Initial Cell Rate	start up rate after idle
AIR	16 bits*	Additive Increase Rate	Nrm=2n
Nrm	16 bits	# of cells/RM	RDF=2rd
RDF	16 bits	Rate Decrease Factor	

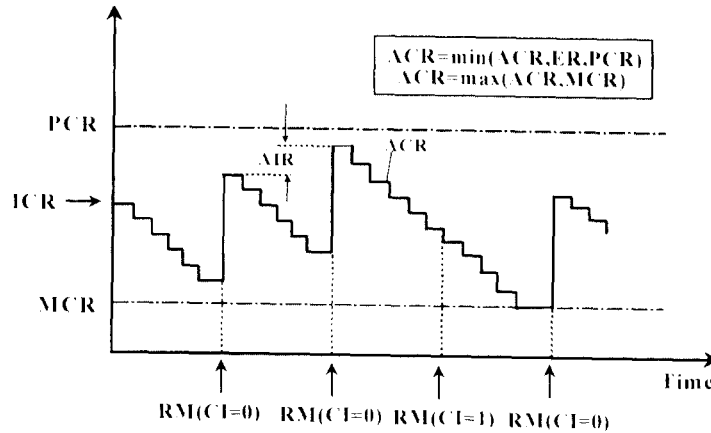


그림 5. EPRCA의 전송율 제어

더에 EFCI 비트를 사용하여 소스측 전송율 억제를 위해 목적지 시스템으로 전송한다. ER을 기초로 한 동작은 혼잡발생에 따른 각 스위치에서 지원할 수 있는 ER 값을 기입하여 소스 전송율을 감소시킨다.

그림 5에서 소스, 목적지, ATM 스위치의 동작에 의한 전송율 제어를 나타낸다.

### Ⅲ. 다중 경로를 이용한 분산 기법

#### 1. 기존방안의 문제점

대역폭 재협상방법에서는 IWU가 버스트한 트래픽을 수용하기 위해 큰 버퍼 용량이 필요하고 대역폭 재협상에 따른 시그널링 부하와 전송 지연이 발생된다. 또한 대역폭 재협상 과정에서 대역폭 낭비가 생기며 통계적 다중화 이득을 기대할 수 없다는 점에서 할당된 대역폭이 효율적으로 사용되지 못한다. 버퍼 임계치와 대역폭 증가분을 적절하게 선택하는 것이 트래픽 특성에 좌우되므로 알고리즘의 파라메타값을 특정 환경과 응용에 따라서 변화시켜야 한다.<sup>31)2)</sup> 특히 버퍼의 상한 임계치와 하한 임계치 사이값에 따라 부정확한 트래픽 측정과 그에 따른 성능 저하를 가져올 수 있다.

BA방법은 대역폭 재협상법과 가용 대역폭을 사용한다는 점에서 보다 효율적인 대역폭 관리 방법이 될 수 있다<sup>4)</sup>. 그러나 가용 대역폭 정보를 사용자들에게 전달하기 위한 부가적인 트래픽이 발생되며 대역폭 광고 기능이 망내에서 구현되어야 한다<sup>2)</sup>. 소스와 목적지 연결

경로상에 한 링크라도 연결형 트래픽의 부하가 증가하면 상대적으로 IWU에 연결된 LAN/MAN 사용자가 사용할 수 있는 가용 대역폭이 감소하기 때문에 IWU에서 버퍼 오버플로우로 인한 데이터 손실이 발생할 가능성이 크다. 또한 여러 IWU가 인접한 CLS까지 같은 경로로 연결될 경우 다수의 LAN/MAN 사용자가 연결상의 가용 대역폭을 공유하게 된다. 이때 버스트 트래픽이 발생한 서로 다른 IWU가 동시에 가용 대역폭을 사용하여 트래픽을 전송하게 되면 ATM 스위치에서 버퍼용량을 초과하여 데이터 손실이 발생된다. 이 손실율은 같은 경로상의 가용 대역폭을 사용하는 연결의 수가 증가할수록 높아진다.

ABR 서비스를 위한 페루프 전송율 제어 방법은 망의 할당되지 않은 가용 대역폭을 이용하여 흐름 제어를 통해 사용자들에게 효율적으로 ABR 서비스를 제공한다. 그러나 고속 전송율을 가지며, 소스와 목적지간의 거리가 매우 큰 광역망에서는 망 상태 정보에 순응하여 흐름 제어를 수행하기 이전에 링크를 통해 전송해야 하는 트래픽 양이 매우 커진다<sup>7)</sup>. 이 트래픽들이 전송율 제어 메커니즘의 영향을 받지 않고 망으로 유입되면 혼잡을 유발하거나 가중시킬 수 있다. 또한 광역망같이 왕복 시간이 긴 경우, 망 상태를 반영하는 제어 정보가 제시간에 전달될 수 없으므로 효율적인 가용 대역폭 활용과 셀 손실 보장을 기대할 수 없다. 그리고 페루프 전송율 제어 방법은 ATM 망내에서 셀 손실을 보장하는 반면에 망 사용자들에게 전송율 감소로 인한 중단 시스템에서의 셀

손실 보장은 고려하지 않는다. 이것은 비연결형 서비스가 전송율 제어 방법을 IWU에서 행하므로 IWU의 사용자인 LAN/MAN 터미널에서는 전송율 제어를 수행하지 않고 IWU로 비연결형 트래픽을 증가시킨다. 그러므로 IWU의 전송율 감소로 인한 셀 손실을 더 심화시킬 가능성을 충분히 내재하고 있다.

2. 제안 방안

앞 절에서 서술한 문제점을 해결하고 보다 효율적인 비연결형 데이터 서비스 제공을 위해 본 논문에서는 다중 경로를 이용한 트래픽 분산 기법을 제안한다. 기존 방법에서는 IWU-CLS, CLS-CLS 연결을 단일 경로를 이용하므로 그 연결 경로상의 트래픽 상태에 따라 전송되는 트래픽이 영향을 받는다. 그러므로 전송 경로상에 연결형 트래픽의 증가에 따른 가용 대역폭 감소와 혼잡 상태로 인한 셀 손실이 발생할 가능성이 크다. 제안 방안에서는 연결을 다중화하여 제한된 망 자원을 망 상태에 따라 보다 효율적으로 사용할 수 있고 버스트한 LAN 트래픽을 분산시키므로 IWU, CLS 출력 버퍼 오버플로우로 인한 셀 손실을 줄이고 망의 혼잡 상태를 미연에 방지할 수 있다.

1) 연결 관리

제안된 기법은 비연결형 서비스를 직접 제공 방식으로 채택 하고 IWU-CLS, CLS-CLS 연결은 PVC(Permanent Virtual Connection)로 한다. 연

결 관리는 그림 6에서와 같이 망 초기 연결 설정시 망의 PVC 연결 관리부에서 IWU-IWU, CLS-CLS 연결간에 최단 경로를 가지는 MPVC(Main PVC)와 망 PVC 관리부에 의해 설정될 수 있는 여러 APVC(Alternative PVC)로 다중 경로를 설정한다. 이때 MPVC에 망과 협상을 통해 최소한의 대역폭을 할당하고 할당된 최소 대역폭과 BA방법과 같이 광고된 가용 대역폭을 이용하여 전송한다. MPVC는 입력되는 트래픽의 도착율을 무빙 윈도우 방식으로 측정하여 현재 할당된 대역폭과 비교해서 연결 수락 제어부를 통해 망에 대역폭을 재협상할 수 있게 한다. 이에 반해 APVC는 망에서 광고된 대역폭만을 사용하고 대역폭은 할당하지 않으므로 APVC에 의해서 망의 유용 가능한 대역폭이 감소하지 않는다. 따라서 다중 경로수가 증가할수록 사용자 입장에서 트래픽 버스트를 전송할 수 있는 연결수가 증가하는 것이므로 목적지까지 성공적인 트래픽 전송 보장율이 높아진다. 그리고 혼잡한 경로를 피해서 망 상태에 유동적으로 대처하여 혼잡에 따른 망 부하를 줄일 수 있다.

2) 트래픽 분산 알고리즘

일정량의 데이터 전송후 삽입하는 RM 셀에 의해 얻는 망 상태 정보와 IWU, CLS 각각의 MPVC 출력 버퍼 임계치에 따라 다중 경로를 이용하여 비연결형 트래픽을 분산시킨다. 트래픽 분산 알고리즘을 위한 흐름도는 그림 7와 같다.

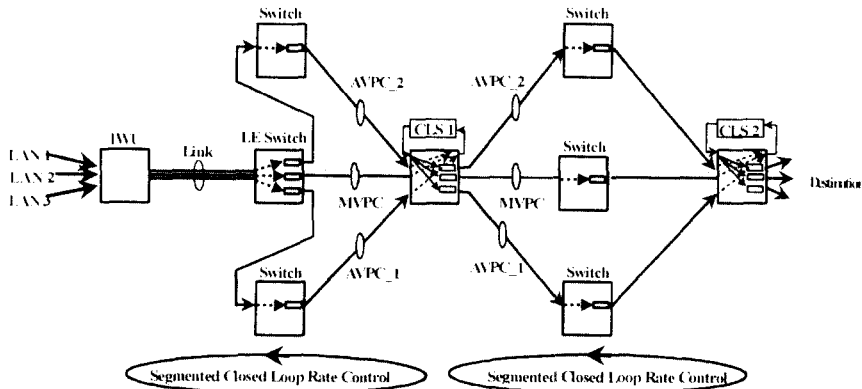


그림 6. 다중 경로를 이용한 분산 기법에서의 망 개괄도

흐름도에서 보는바와같이 MPVC 출력 버퍼의 상한 임계치와 하한 임계치를 설정한다. 입력되는 LAN/MAN 패킷이 버스트하게 도착함으로 인해 버퍼 용량이 상한 임계치를 초과하게 되면 트래픽을 MPVC와 여러 APVC중 연결 경로상의 혼잡 상태, 망에서 광고된 가용 대역폭, 각 ATM 노드에서 RM 셀에 표기한 공유 대역폭, 최단거리 경로 등의 정보를 활용하여 트래픽을 분산한다. 패킷이 도착하면 이전 패킷들에 의해 버퍼 용량이 상한 임계치를 초과한 버퍼 과부하 상태인지를 확인하고 과부하 상태이면 버퍼용량이 하한 임계치 이하로 감소될 때까지 트래픽 분산을 이행한다. 패킷 도

착시 버퍼 과부하 상태가 아닐 경우, 상한 임계치를 초과할 경우에 트래픽을 분산한다. 그리고 버퍼 상태와 상관없이 MPVC의 목적지로부터 되돌아온 RM 셀에 의해 망이 혼잡 상태로 판단되면 트래픽을 분산시킨다. 분산시킬 경로 결정은 우선적으로 혼잡하지 않은 경로를 선택하고 그 다음으로 모든 경로가 혼잡 상태가 아닌 경우 광고된 가용 대역폭이 가장 큰 경로를 선택하고, 모든 경로가 혼잡 상태인 경우 각 PVC의 광고된 가용 대역폭과 RM 셀에 의해 알려진 공유 대역폭의 최소값중 가장 큰 값을 가지는 경로를 선택한다. 혼잡 상태나 전송율이 같을 경우 최단거리 경로를 선택한다. 분산 알고

표 2. 트래픽 분산을 위한 Lookup Table

Path	VPI	VCI	MID	CI	ABW (Advertised Available Bandwidth)	SBW(ER) (Shared Available Bandwidth)	Shortest Path
MPVC							
APVC_1							
APVC_2							

DISTRIBUTION ALGORITHM

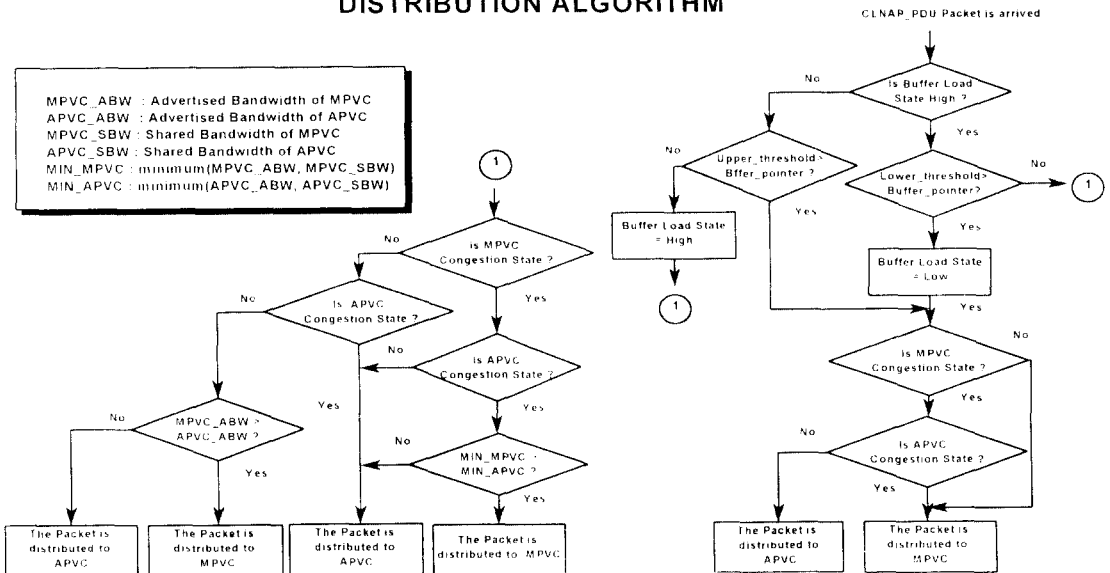


그림 7. 다중 경로를 이용한 분산 알고리즘 흐름도



리즘의 모든 동작은 CLNAP\_PDU 프레임에 대하여 같은 라우팅 정보(VPI/VCI/ MID)를 갖는 패킷에 대하여서는 동일한 경로를 설정하므로 셀의 순차적인 전송을 보장해 준다. 트래픽 분산을 수행하는 소스측의 분산 기능부는 표 2와 같은 Lookup Table을 구성하여 트래픽 분산 기법을 수행한다.

3) 분산 기법에 적용된 페루프 전송률 제어

페루프 전송률 제어 방법인 EPRCA는 목적지로부터 되돌림 받은 RM 셀을 이용해서 일정량의 감소분과 증가분에 의해 세심한 전송률 제어를 행한다. 이에 반해 비연결형 서비스에 적용된 전송률 제어는 IWU-CLS, CLS-CLS간의 분할된 페루프 전송률 제어를 사용한다. 따라서 광역망과 같이 소스, 목적지간에 왕복시간이 클에 따른 반응 시간이 느린 비효과적인 제어를 방지하고 링크간 BECN(Backward Explicit Congestion Indication)을 이용한 전송률 제어를 수행하기 때문에 생기는 하드웨어 부하를 줄일 수 있다.

소스측은 그림 8과 같은 전송률 제어를 행한다. RM 셀의 CI 필드가 0일 경우 자원 관리부로부터 할당된 대역폭과 광고된 가용 대역폭을 최대 전송율로 하여 트래픽을 전송한다. RM 셀의 CI가 1일 경우, 망 혼잡 상태로 판단하여 ATM 노드에서 사용자들이 가용 대역폭

을 공정하게 공유하기위해 지원할 수 있는 전송율인 ER값과 소스의 현재 전송율의 감소분 중 최소값을 선택하여 전송한다. RM 셀의 CI 필드가 0일 때까지 계속해서 위와 같은 동작을 수행한다.

4) 제안된 방안의 IWU와 CLS 기능 구조

기본적인 IWU, CLS의 기능 수행과 트래픽 분산 알고리즘을 위한 기능 구조를 설계한다. 우선 IWU에서는 LAN 트래픽의 패킷 형태를 ATM 셀 형태로 전환하는 기능과 목적지의 IWU 주소를 ATM 주소로 변환하는 역할을 수행한다. 자원 관리부에서는 도착을 모니터링부에서 MPVC로 입력되는 트래픽 양을 모니터링한 정보를 통해 대역폭 할당을 요구하고 망으로부터 광고된 가용 대역폭 정보를 분산 기능부와 전송률 제어부로 전달한다. 이에 분산 기능부는 광고된 가용 대역폭 정보와 RM 셀에 의한 연결 경로의 혼잡 상태, 가용 대역폭의 공정한 공유를 위한 공유 대역폭(ER)을 이용하여 MPVC와 APVC들 중에서 경로를 결정하여 ATM 셀 헤더에 결정된 경로의 VPI/VCI/MID 값을 부여한다. 이때 같은 CLNAP\_PDU에 속하는 ATM 셀들은 동일한 VPI/VCI/MID 값을 가지며 역다중화기에서 검사되어 같은 경로로 전송될 수 있도록 해당 VPC 출력 버퍼로 데이터 스트림을 분리한다. RM 셀 발생기는 출력

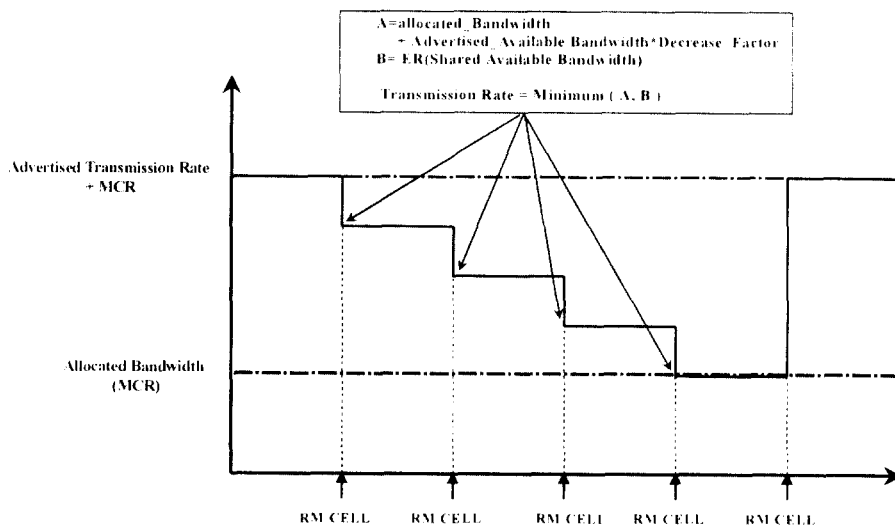


그림 8. 분산 기법에서의 전송률 제어

버퍼에서 망으로 전송되는 트래픽을 셀 단위로 카운트하여 일정량의 데이터가 전송될 때마다 RM 셀을 데이터 스트림에 삽입하게 된다.

전송율 제어부는 RM셀을 수신하여 내포하고 있는 망

상태 정보와 대역폭 정보를 자원 관리부와 함께 공유하므로 망 상황에 따른 유동적인 전송을 제어를 수행한다.

다중화기는 전송을 제어부로부터 각 PVC의 전송을 정보를 얻어 출력 버퍼에서 전송 링크로 스케줄링

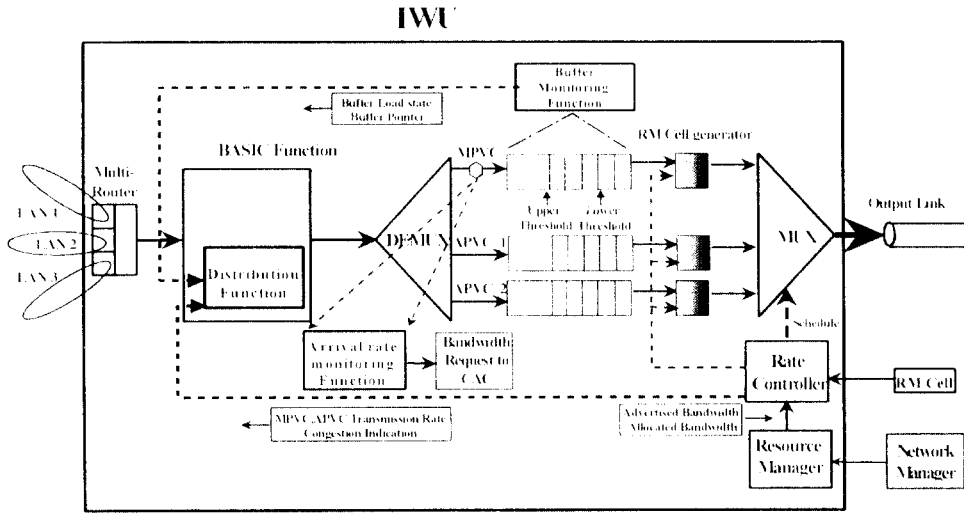


그림 9. 분산 기법을 위한 IWU의 기능 구조 설계

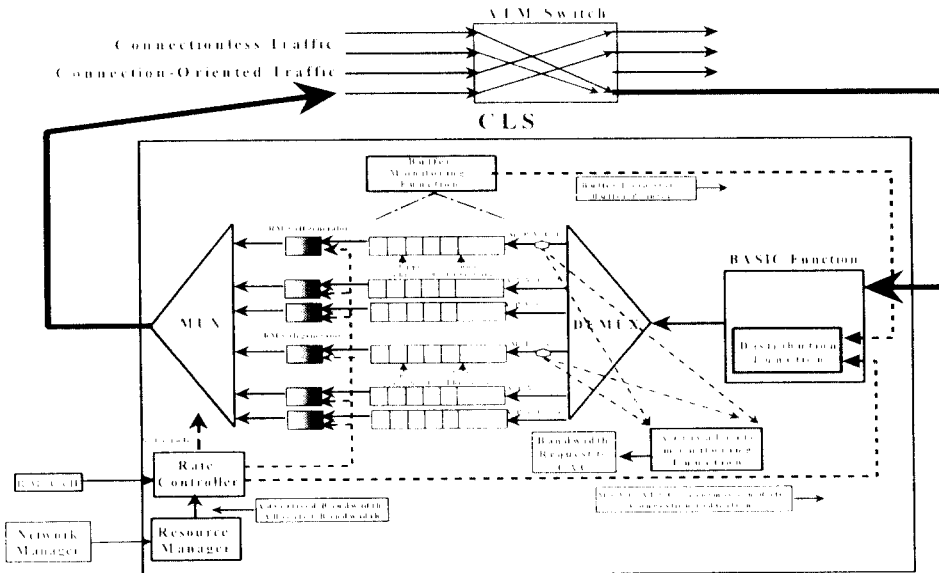


그림 10. 분산 기법을 위한 CLS 구조 설계

(Scheduling)을 통해 트래픽을 전송한다. 그림 9에서 IWU의 기능 구조를 나타낸다. 가장 중첩된 비연결형 망의 ATM 스위치에 연결된 CLS 구조의 설계 부분은 기본 기능부의 역할에 차이가 있을 뿐 IWU의 기능 구조와 유사하다. 기본 기능부에서는 ATM BOM셀의 목적지 LAN 주소에 따른 경로 설정과 셀 프로세싱을 행한다. 트래픽 분산을 위한 CLS 구조는 IWU-CLS 연결과 비교하여 보다 많은 다중 경로가 존재하기 때문에 연결 관리 부하가 증가할 수 있다. 그림 10에 CLS의 기능 구조를 나타냈다.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

##### 1. 실험에 사용된 모델

제안된 방안의 성능을 평가하기 위해 그림 11과 같은 모의 실험 모델을 설정하였으며 SLAM과 FORTRAN을 이용하여 구현하였다.

IWU, CLS의 셀 손실이 적고 가용 대역폭이 효율이 좋은 BA방법과 비교한다. 그림 11에서 LAN/MAN의 터미널에서 발생한 셀은 IWU로 입력되고 중간 ATM 스위치와 CLS까지 전송되는 모델 구간을 설정하였다. 실험 모델에서 보듯이 연결형 트래픽은 중간 ATM 스위치와 CLS의 내부에 위치하는 ATM 스위치로 입력된다. LAN/MAN의 터미널에서 발생하는 비연결형 트래픽과 연결형 트래픽은 IBP(Interrupted Bernouli Process) 모델을 이용한다.

실험에서 사용되는 LAN/MAN의 한 터미널에서 발생되어 IWU로 입력되는 비연결형 트래픽의 특성은 다

음과 같다.

최대 전송율  $B_p = 10$  [Mb/s]

버스트 길이  $L = 100$  [cells]

버스트성  $b = 20$

ATM 스위치로 다중화되는 연결형 트래픽의 경우는 다음과 같다.

최대 전송율  $B_p = 5$  [Mb/s]

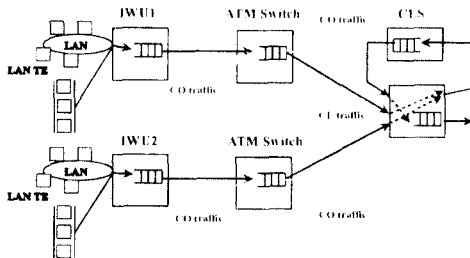
버스트 길이  $L = 100$  [cells]

버스트성  $b = 10$

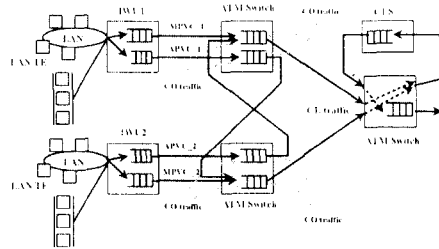
각 ATM 스위치에 입력되는 연결형 트래픽에 할당되는 등가 대역폭은 가우시안 근사화를 이용하여 근사값을 구한다<sup>9)</sup>. 그림 11에서 하나의 LAN/MAN의 여러 터미널에서 발생된 트래픽은 IWU를 통해 CLS까지의 가상 경로 연결상으로 다중화된다. 각 부분의 실험 환경과 가정은 다음과 같다.

##### 1) 소스 IWU

BA방법은 IWU-CLS 사이 가상 경로 연결에 소량의 최대 전송율이 고정 할당된다. IWU에서는 IWU-CLS 사이 ATM 노드의 가용 대역폭과 할당된 대역폭을 최대 전송율로 하여 셀을 전송한다. 가용 대역폭을 사용하는 셀들에 대해 CLP 비트를 1로 하여 ATM 노드에서 혼잡이 발생하면 버퍼 관리 방식에 따라 버려진다. 또한 입력 트래픽의 증가에 따라 망의 자원이 허용하면 대역폭을 대역폭 재협상에 따라 재 할당받는다. IWU로 입력되는 셀의 도착율을 측정하는데 무빙 윈도우를 사용한다. 윈도우 크기는  $W$ (cell time)이며 측정되는 트래픽의 도착율은 현재로부터  $N$ 개의 윈도우 동안의 도착율의



(a) BA방법의 망 구성도



(b) 제안 방안의 망 구성도

그림 11. 모의 실험 모델의 망 구성도

평균값으로 하여 이 값이 할당된 대역폭을 넘어서는 구간이  $n(W)$ 이 되면 그 때 측정된 도착율로 대역폭 증가를 요구한다. 대역폭 증가를 요구하여 수락된 새로운 대역폭을 IWU에서 사용할 수 있을 때까지의 재협상 지연시간이 존재한다.

제안 방안에서는 BA와 마찬가지로 환경을 설정하고 더불어 페루프 전송을 제어 방법을 위해 일정량( $N_{rm}-1$ )의 데이터 전송후 RM 셀을 삽입하고 알고리즘에 의해 전송을 제어를 수행한다. IWU의 다중 경로는 그림 11 b)와 같이 MPVC와 하나의 APVC로 설정한다.

2) CLS

BA 방법과 제안 방안에서 150Mbps의 링크 용량을 최대로 하여 CLS에 위치한 ATM 스위치 출력 버퍼로 전송한다. CLS에서 셀 처리 지연은 고려하지 않는다.

3) ATM 스위치

실험에서 가정되는 ATM 스위치는 출력 버퍼링 방식이며 ATM 스위치에서의 셀 처리 지연시간은 고려하지 않는다. 버퍼 관리는 임계값을 두어 출력 버퍼내의 셀 수가 임계값을 넘으면 연결형 트래픽의 셀과 비연결형 트래픽중 할당된 대역폭을 초과하는 최대 전송율로 전송되는 셀로 표시되지 않은 셀만 받아들여진다. 제안된 방안에서는 출력 버퍼의 혼잡 표시를 위해 셀 임계값인 20을 초과하면 셀의 CI 비트를 1로 하여 ATM 스위치의 혼잡 상태를 페루프를 통해 알린다.

위에서 언급되어진 실험에 사용되는 파라메타값들은

다음과 같다.

도착율 측정을 위한 윈도우 크기 (W) : 100 [cell time]

트래픽 측정 구간 N : 10 [W]

재협상 요구 카운터 : 5

RM 셀을 발생 주기 : 50 [cells]

재협상 지연시간 : 400 [cell time]

초기 대역폭 할당량 : 5 [Mb/s]

버퍼의 크기 : IWU - MPVC : 500 [cells]

APVC : 50 [cells]

CLS - 500 [cells]

ATM 스위치 - 50 [cells]

IWU에서 트래픽 분산을 위한 임계치 : 상한 임계치 - 250 [cells]

하한 임계치 - 200 [cells]

ATM 우선 순위 폐기를 위한 버퍼 관리에서의 임계값 : 40 [cells]

ATM 혼잡 표기를 위한 임계값 : 20 [cells]

연결형 트래픽에 보장된 셀 손실율 :  $10^{-5}$

링크의 전송 속도 : 150 [Mb/s]

2. 실험 결과 및 분석

본 절에서는 앞에서 언급한 실험 모델을 기초로 제안 방안에 대한 성능 분석을 행하였다. 이를 위해서 동일한 트래픽 부하상에서 BA방법과 비교하였다. 비교되어지는 성능 평가 요소는 다음과 같다.

(a) IWU-CLS간 셀 전송 지연

(b) 비연결형 트래픽에 대한 패킷 손실율

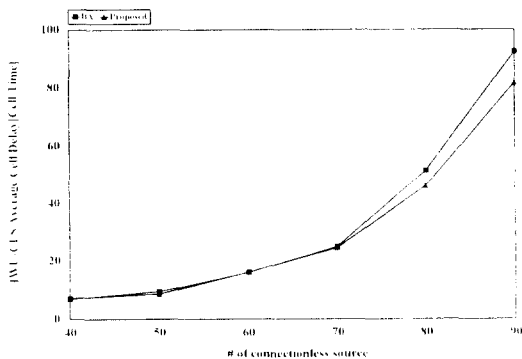


그림 12. 연결형 트래픽 저부하시 IWU-CLS간 평균 셀 전송 지연

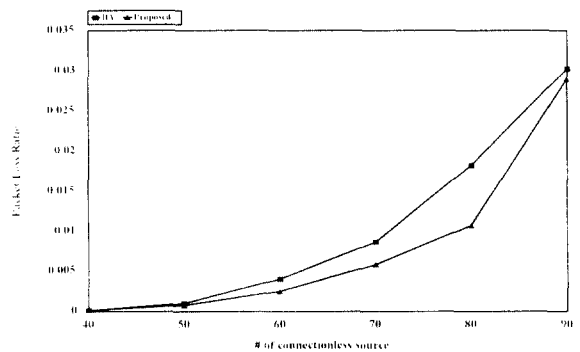


그림 13. 연결형 트래픽 저부하시 망의 패킷 손실율

(a)의 IWU-CLS간 셀 전송 지연은 소스 IWU로 셀이 입력되는 순간부터 CLS에 붙어있는 ATM 스위치로 출력될 때까지 셀이 전송되는데 걸리는 시간으로 정의한다. 실험에서는 비연결형 트래픽과 연결형 트래픽의 부하량을 변화시키면서 위의 성능 평가 요소를 측정하였다.

1) 연결형 트래픽이 저부하인 경우(부하량=55.6%)

이 경우는 전송 경로상의 링크 용량중 ATM 스위치에서 다중화되는 연결형 트래픽에 할당되어지고 남은 가용 대역폭이 많은 경우이다. 각 ATM 스위치로 입력되는 연결형 트래픽은 소스 60개가 다중화되어 만들어진 다. 연결형 트래픽이 전송 경로상 전체 대역폭의 55.6%가 할당되고 비연결형 트래픽을 위한 가용대역폭은 44.4%가 남는다. 그림 12는 IWU-CLS 평균 셀 전송 지연을 나타낸다. 전송 지연 관점에서 제안 방안이 BA방법과 비교하여 IWU로 입력되는 비연결형 트래픽의 증가에 따라 성능이 향상됨을 볼 수 있다. 입력 트래픽이 가용 대역폭을 사용하여 수용할 수 있을 경우 제안 방안에서는 트래픽 분산을 시키지 않으므로 성능면에서 BA 방법과 같은 결과값을 얻을 수 있다. 실험 결과에서 비연결형 트래픽의 소스 개수가 80,90일 경우에 10%내외의 성능 향상을 얻을 수 있다. 제안 방안은 다중 경로를 이용하므로 트래픽 전송 기회를 BA방법보다 좀 더 많이 가진다. 그림 13의 패킷 손실을 측면에서도 비연결형 트래픽의 고부하 상태에서 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 실험치에서 비연결형 소스의 개수가

80일 때, 35%의 성능향상을 나타낸다. 그림 14의 IWU에서의 평균 버퍼 길이를 볼 때 BA 방법보다 제안 방안이 짧은 버퍼 길이를 가짐을 볼 수 있다. 그리고 입력된 비연결형 트래픽의 증가에 따라 APVC 평균 버퍼 길이가 더 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 트래픽 분산 기법에 의해 버스트한 트래픽을 분산시키므로 패킷 손실과 셀 전송 지연을 줄일 수 있다는 것을 설명한다. 그림 15에서 BA방법이나 제안 방안은 IWU-CLS 간에 할당된 대역폭을 비교해 볼 때 제안 방안은 APVC로 분산되는 트래픽의 도착율은 측정하지 않고 MPVC로 전송되는 도착율만을 측정하기 때문에 망에 재협상하여 할당받는 대역폭이 적다. 이로 인해 망의 할당되지 않은 가용 대역폭을 활용하므로 대역폭 이용 효율성이 BA방법보다 좋다는 것을 나타낸다.

2) 연결형 트래픽이 고부하인 경우(부하량=73.6)

연결형 트래픽 고부하시에는 연결형 소스 90개를 다중화하여 전체 링크 대역폭중 연결형 트래픽에 73.6%의 대역폭을 할당하고 비연결형 트래픽을 위한 가용 대역폭은 26.4%가 된다. 이 경우에도 그림 16와 그림 17의 전송 지연과 패킷 손실율에서 제안 방안이 BA 방법보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 연결형 트래픽이 저부하인 경우에서 보다는 성능이 더 향상됨을 보인다. 실험 결과에서 비연결형 소스의 개수가 80개가 다중화될 때, 평균 셀 전송 지연과 패킷 손실을 측면 각각에 대하여 32.8%, 41%의 성능 향상을 보인다. 이것은 그림 18의 IWU의 평균 버퍼 길이 관측에서 APVC

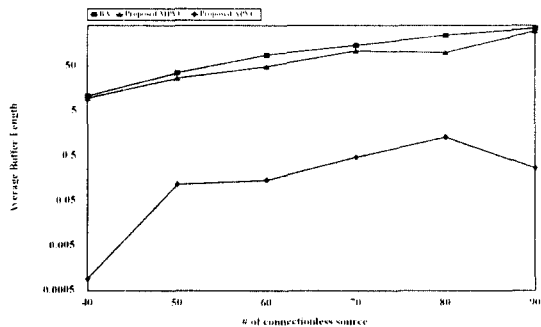


그림 14. 연결형 트래픽의 저부하시 IWU 출력 버퍼에서의 평균 길이

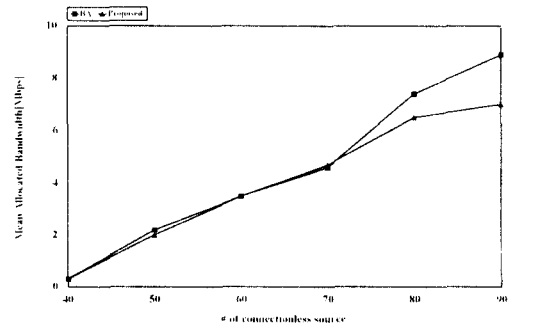


그림 15. 연결형 트래픽의 저부하시 IWU-CLS간 연결의 평균 대역폭

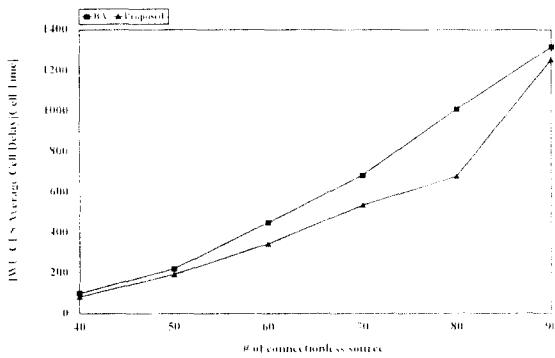


그림 16. 연결형 트래픽 고부하시 IWU-CLS간 평균 셀 전송 지연

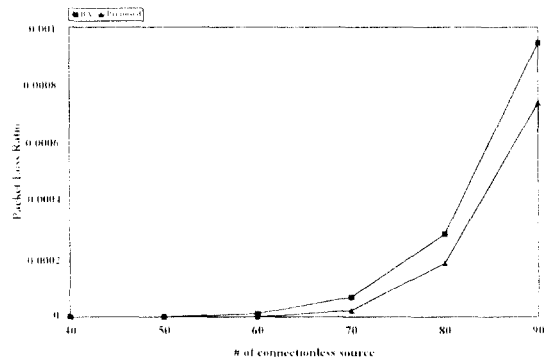


그림 17. 연결형 트래픽 고부하시 망의 패킷 손실율

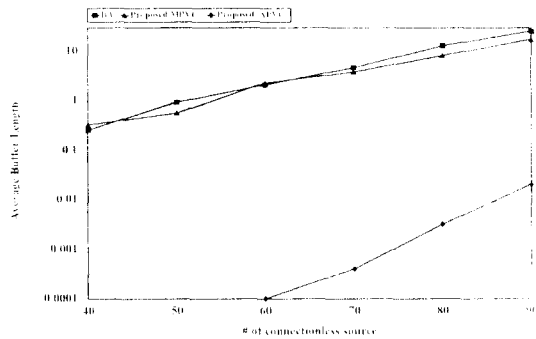


그림 18. 연결형 트래픽의 고부하시 IWU 출력 버퍼에서의 평균 길이

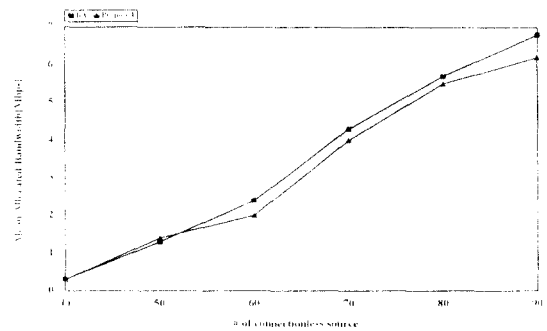


그림 19. 연결형 트래픽의 고부하시 IWU-CLS간 연결의 평균 대역폭

의 버퍼 길이가 증가함에 따라 트래픽 분산이 저부하의 경우보다 더 자주 일어나기 때문이라는 사실을 알 수 있다. 연결형 트래픽의 고부하일 때 제안 방안이 성능 향상이 두드러지는 이유는 BA방법에서 비연결형 트래픽이 고부하일 때는 IWU로 입력되는 트래픽을 측정할 도착율이 가용 대역폭보다 클 경우 대역폭 증가가 수락되지 않는다. 따라서 그림 19에서 볼 수 있듯이 IWU-CLS 간의 가상 경로 연결에 할당되는 대역폭이 연결형 트래픽이 저부하인 경우보다 작고 이로 인해 전송 지연과 패킷 손실율이 증가함을 알 수 있다. 이는 망으로부터 할당되는 대역폭과 가용 대역폭이 감소하므로 IWU의 출력 버퍼 오버플로우로 인해 패킷 손실 발생 확률이 높아지며 IWU의 출력 버퍼에서의 큐잉 지연으로 인해 셀 전송 지연 시간도 늘어나기 때문이다

### V. 결 론

ATM 기술을 근간으로 한 광대역 망의 발전과 더불어 망 진화 초기 단계에서 기존의 LAN/MAN 사용자들의 통신 수요가 급증하므로써 LAN/MAN 상호 연결 서비스를 위해 ATM 망에서 비연결형 서비스를 제공해야 한다. 이에 본 논문에서는 비연결형 서비스를 직접 제공 방식에 기초하여 IWU-CLS, CLS-CLS간 연결을 다중 경로로 설정하여 버스트한 LAN 트래픽을 효율적으로 분산시키는 알고리즘과 제안 방안에 적용된 페루프 전송율 제어 방법, IWU와 CLS의 기능 구조를 제안한다. 제안된 기법은 기존 방안에서 유발될 수 있는 문제점들을 개선하는 해결 방안으로 다중 경로를 이용한 트래픽 분산 기법을 수행한다. 제안 기법의 트래픽 분산 과정에서 CLNAP\_PDU 프레임에 대하여서는 동일한

경로를 유지하여 셀의 순차적인 전송을 보장하지만 CLNAP 상위 계층인 수송계층 사용자에서 대하여서는 사용자 패킷의 순차적 전송을 보장하지 못한다. 그러나 비순차적인 전송은 소스측의 비스트한 트래픽의 발생할 경우에 한해서이고 목적지에 도착된 비순차적인 패킷들에 대하여서는 CLNAP 상위 계층 프로토콜인 TCP(Transmission Control Protocol)에서 처리가 가능하다. 그러므로 기존의 방안은 소스측의 버퍼 오버플로우로 인한 셀 손실 때문에 재전송 트래픽이 증가하여 망의 대역폭 효율을 감소시키고 불필요한 재전송으로 소스의 부하가 가중되는데 반해 제안 방안은 트래픽을 분산하므로 트래픽의 성공적인 전송 확률이 커지고 재전송량이 감소되어 기존 방안의 단점을 해결하게 된다.

제안되는 방안의 성능 분석을 위해 셀 전송 지연, 패킷 손실율을 성능 비교 파라메타로 설정하여 BA 방법과 비교한다. 비연결형 트래픽과 연결형 트래픽의 부하량에 따라 실험한 결과, 셀 전송 지연, 패킷 손실율 측면에서 BA 방법보다 우수한 성능을 보이고 특히 연결 경로상의 연결형 트래픽의 증가로 인해 가용 대역폭이 감소된 상황에서 성능 향상이 두드러짐을 볼 수 있다. 이것은 기존 방안과 달리 제안 방안이 다중 경로를 사용하므로 소스 트래픽을 전송시킬 수 있는 자원의 활용 기회를 보다 더 많이 가지기 때문이다.

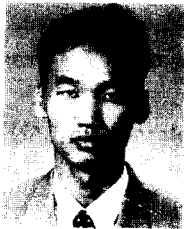
그러나 제안된 방안은 BA 방법과 같이 ATM 망에서 가용 대역폭 정보 광고기능의 제공과 EPRCA와 같은 ATM 노드내 페루프 전송을 제어 기법에 필요한 하드웨어적 구현 문제를 같이 가지고 있다. 또한 IWU/CLS에서 분산 기법으로 인한 프로세싱 오버헤드가 증가한다.

추후 연구 과제는 트래픽 분산을 행하기 위한 버퍼 모니터링부에서 임계치 값에 따라 성능이 크게 좌우될 수 있으므로, 효율적인 임계치 값을 위한 파라메타 설정 알고리즘의 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. W. Fischer, "The Evolution form LAN/MAN to Broadband ISDN". ICC'91, pp.1251-1257. 1991
2. Brett J. Vicker, "Congestion Control Resource

- Management in Diverse ATM environments", Univ. of California, anonymous ftp from ics.uci.edu.
3. M. Gerla, G. Gallassi, "Internetting LAN's and MAN's to B-ISDN's for Connectionless Traffic Support", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREA IN COMMUNICATIONS, vol. 11, no. 8, pp.1145-1159, 1993.
4. M. Gerla, G. Gallasi, "Bandwidth Advertising for MAN/ATM Connectionless Internetting", ICC, pp.1145-1153, 1991.
5. Luca Mongiovi, "A proposal for interconnecting FDDI networks through B-ISDN", IEEE INFOCOM 91, pp.1160-1167, 1991.
6. Duke P. Hong, "The Interworking of Connectionless Data Networks over Public ATM : Connectionless Server Design and Performance", Univ. of California, anonymous ftp from ics.usi.edu.
7. W. Fischer, "Data Communications Using ATM : Architectures, Protocols, and Resource Management" IEEE Communications Magazin, pp.24-33, August, 1994.
8. J. vickers, "Connectionless Service for Public ATM Networks", Univ. of California, anonymous ftp from ics.uni.edu.
9. A. E. Eskberg, "B-ISDN/ATM Traffic and Congestion Control", IEEE Network Magazine, pp.28-33, September 1992.
10. Shriish S. Sathaye, "DRAFT ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0", ATM-FORUM/94-0013.
11. H. Jonathan Chao, Dipak Ghosal, "IP on ATM Local Area Networks", IEEE Communication Magazine, pp.52-59, August 1994.
12. Peter Newman, "Traffic Management for ATM Local Area Networks", IEEE Communication Magazine, pp.44-50, August 1994.



徐 完 碩

徐 完 碩(Wan-Seok Seo) 정회원

1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)

1995년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)

현재 : 삼성전자 통신사업부 네트워크 그룹



吳 榮 烈

吳 榮 烈(Young-Yul Oh) 정회원

1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과(학사)

1995년 8월 : 연세대학교 전자공학과(석사)

현재 : 연세대학교 전자공학과(박사과정)



金 錫 圭

金 錫 圭(Seogyu Kim) 정회원

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)

1992년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)

현재 : 연세대학교 전자공학과(박사과정)



李 載 用

李 載 用(Jai-Yong Lee) 정회원

1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과(학사)

1984년 5월 : IOWA 주립 대학교 (석사)

1987년 5월 : IOWA 주립 대학교 (박사)

현재 : 연세대학교 전자공학과 부교수

※주관심 분야 : 고속통신프로토콜, 망관리, 적합성시험 등.



李 相 培

李 相 培(Sang-Bae Lee) 정회원

1961년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)

1964년 2월 : Stanford 대학교 전자공학(석사)

1975년 2월 : Newcastle 대학교 전자공학(박사)

현재 : 연세대학교 전자공학과 교수

※주관심 분야 : 고속통신망, 멀티미디어 통신 등.