

# 위성 ATM 망에서 TCP/IP 트래픽의 전송성능 및 품질평가

김 내 수<sup>†</sup> · 송 정 길<sup>††</sup>

## 요 약

위성 ATM 망에서 TCP/IP 기반의 응용 서비스를 제공하기 위해서는 위성의 긴 전송지연과 위성 채널의 버스트 오류 특성에 따른 정확한 전송 성능의 영향과 분석이 요구되며, 아울러 성능 목표치가 제시되어야 한다. 본 논문은 2Mbps급 KOREASAT 위성을 이용한 위성망과 지상망이 상호 연동된 실제 위성/지상 ATM LANE(LAN Emulation)을 구현하고, 위성 채널의 Eb/No와 TCP 소켓 버퍼 크기, 그리고 전송 메시지 크기를 바꾸어 가면서 그때의 TCP/IP 트래픽과 FTP의 전송성능을 비교 분석하였다. 아울러 IPoA(IP over ATM) 기반의 영상회의 서비스에 대한 전송 품질 및 메시지 전달 특성 등을 분석하였다. 연구결과 TCP 소켓 버퍼 크기가 증가할 때 TCP의 전체 성능이 증가함을 알 수 있으나 제한된 최대 윈도우 크기 64kbytes와 위성채널의 오류 특성으로 인해 실제 최대 전송속도는 이론상의 목표치를 달성하지 못함을 보여 주었다. 또한 2Mbps 위성링크에서 Eb/No가 6dB 이하에서는 실제적으로 제공할 수 있는 최대 전송성능의 50%이하로 떨어져 TCP/IP over ATM 서비스가 거의 불가능함을 보여주었다. FTP의 경우, 파일 크기가 작으면 최대 전송속도에 도달하기 전에 파일 전송이 완료되어 대역폭 이용의 효율성 측면에서 TCP/IP의 slow start 메커니즘이 적절하지 않음을 보여주었다. 아울러 IPoA 영상회의 서비스에서도 Eb/No가 약 6.5dB 이하에서는 영상이 거의 정지되고, 메시지 전달시간도 ITU에서 권고하는 목표를 훨씬 상회하여 서비스가 거의 불가능함을 보였다.

## Performance and Quality Evaluation of TCP/IP Traffic over Satellite ATM Networks

Nae-Soo Kim<sup>†</sup> · Jung-Gil Song<sup>††</sup>

### ABSTRACT

In order to provide the TCP/IP based applications over satellite ATM network, more detailed affects and analysis for the transmission performance according to the long propagation delay and burst error characteristics of satellite link are required. And its performance objectives should be proposed. In this paper, we implemented the real terrestrial/satellite ATM LANE(LAN Emulation) using 2Mbps KOREASAT link, and analyzed and evaluated the affects of transmission performance of TCP/IP traffic and FTP with changing the Eb/No of satellite channel, TCP socket buffer size and the sending message size. In addition we performed the analysis of transmission quality and the transfer message characteristics for IPoA(IP over ATM) videoconference service. From this study, we can see that TCP total performance is also increased when TCP socket buffer size is increased, but the real maximum transmission rate can not reach to a theoretical object value because of the limited maximum window size and the error characteristic of satellite channel. Also TCP/IP over ATM services are almost impossible because the maximum transmission performance is dropped to 50% below at Eb/No=6dB over 2Mbps satellite link. In case of FTP with the small size of file, we can also see that the slow start mechanism of TCP/IP is not proper in point of the efficiency of bandwidth utilization because file transfer is completed before to reach at the maximum transmission rate. Furthermore we can see that the video image of IPoA videoconference service is almost frozen at Eb/No=6.5dB below, and the mean message transfer time is exceeded to the required ITU objectives, which is impossible to provide the service.

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 초고속위성통신연구팀장  
 †† 종신회원 : 한남대학교 컴퓨터공학과 교수  
 논문접수 : 2000년 6월 24일, 심사완료 : 2000년 7월 26일

## 1. 서 론

21세기는 통신과 방송의 융합, 광대역화, 고속화, 개인화가 요구되는 초고속 정보화 시대가 될 것이며, B-ISDN은 이러한 요구를 충족할 수 있는 기반 망이 될 것으로 예측된다. B-ISDN의 전송기반은 53 byte의 셀이라 불리는 고정된 크기의 데이터 단위를 사용하는 비동기 전송 모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)로서 광케이블을 기반으로 설계되었다. 한편 폭발적인 사용 증가를 보이고 있는 인터넷은 신뢰성 있는 데이터 수송을 위해 TCP/IP 프로토콜을 사용한다. TCP/IP는 기존 인터넷과 World Wide Web(WWW), File Transfer Protocol(FTP), Telnet과 같은 대부분 어플리케이션에서 가장 광범위하게 사용되는 프로토콜이다.

위성은 동보성, 광역성, 회선설정의 신속성 등의 위성 고유의 특징을 가지고 있어 고속 인터넷 접속 서비스, 영상회의 서비스, 원격교육 서비스, 뉴스 및 데이터 방송 서비스, 영상 분배 서비스 등 다양한 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공할 수 있다. 한편 위성 ATM 기술은 초기에 초고속통신 서비스 제공, 원격지 ATM 망 연동, 대용량 ATM backbone의 백업, 국제간 인터넷 망 연동 등 향후 21세기 통신 인프라 구축에 있어 중요한 역할을 수행할 것으로 예측된다.

위성의 긴 전송지연은 높은 delay-bandwidth product를 가지며, 결국 TCP/IP의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 기존의 TCP의 윈도우 크기와 Slow start의 혼잡제어 기법은 전송지연에 의한 성능저하의 요인이 된다. 또한 위성링크는 지상망에 비해 높은 BER 특성을 가지며, 이는 TCP/IP의 재전송을 유발하고 또한 혼잡을 야기하여 성능저하를 가져온다. 따라서 음성 및 영상회의 서비스와 같은 실시간 서비스들은 심각한 영향을 미칠 수 있다[1].

현재 연구 및 전송실험이 진행 중인 TCP/IP의 경우, 지상망 분야는 높은 대역폭 링크에서의 TCP 문제를 해결하려는 데 연구의 초점을 두고 있으며, 무선망 분야는 제한된 대역폭과 오류 특성에 관련된 TCP 성능을 개선하려는 데 연구의 초점을 두고 있다. 이에 반해 위성 분야의 경우 긴 전송지연과 오류특성에 관련된 TCP 효율 문제를 해결하려는 데 연구의 초점을 두고 있다.

위성 ATM 망에서 인터넷 트래픽의 수송은 향후 위성통신 분야에서 고려해야 할 중요한 응용 서비스 중의 하나이다. 따라서 위성 ATM 망에서 요구되는 서비스 품질로 TCP/IP 트래픽을 제공하기 위해서는 보

다 정확한 전송성능과 영향 등이 분석 평가되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 ATM 기반의 위성망과 지상망이 연동된 실제 환경을 구축하고 TCP 소켓 버퍼 크기와 위성링크의 Eb/No, 그리고 전송 메시지 크기를 바꾸어 가면서 위성/지상 ATM 망에서 TCP/IP 프로토콜과 FTP의 전송성능을 측정 분석하여 그 결과를 제시하였다. 아울러 실제 ATM 기반의 응용 서비스가 위성 ATM 망에서 미치는 영향을 분석하고 성능 목표치의 하나의 기준을 제시하기 위해 IPoA 기반의 영상회의 시스템을 이용한 전송품질 및 메시지 전달 특성을 측정 분석하였다.

## 2. 주요 ATM 및 TCP 성능 파라미터

### 2.1 위성 ATM 성능 파라미터

현재 ITU-T I.356에서 권고된 ATM 계층 성능 파라미터 중 위성링크와 관련이 깊은 파라미터로는 CLR(Cell Loss Ratio), CER(Cell Error Ratio)로 위성링크의 오류 특성에 주로 관계된 것으로 지면에 비교적 영향을 받지 않지만, 위성의 경우 버스트 오류 특성으로 가장 영향을 받는 가장 중요한 파라미터이다. CMR(Cell Misinsertion Ratio)은 오류 또는 스위치 등에서 ATM셀의 주소를 잘못 라우팅하여 발생하는 문제로서 VPI/VCI가 많이 할당되는 복잡한 전송망에서는 중요한 성능 측정 파라미터이지만, 단일 위성 구간의 링크간 전송 성능에 있어서는 중요한 파라미터는 아니다. 한편 CTD(Cell Transfer Delay), CDV(Cell Delay Variation)는 위성 전송 지연에 관련된 파라미터로서 실시간 서비스들에서는 매우 중요한 파라미터가 될 수 있다[2].

현재 ITU에서 권고한 Class-1 서비스에 대한 ATM 성능 목표치는 <표 1>과 같다. 위성 ATM 망에서 보다 정확한 ATM 전송성능을 권고하기 위해 ITU-R WP-4B 등에서는 여러 전송실험으로부터 도출된 결과를 바탕으로 위성 ATM 망에서 전송성능에 대한 권고안을 작성 중에 있다[3].

<표 1> ATM 성능 목표치(Class-1 서비스)

Parameters	ITU Objectives (End-to-end)	ITU Objectives (Satellite)
CLR	3 x E-7	7.5 x E-8
CTD	400 msec	320 msec(max)
CDV	3 msec	4.2 msec(end-to-end)
CER	4 x E-6	1.4 x E-6
CMR	1 per day	For further study
SECBR	1 x E-4	3.0 x E-5

## 2.2 위성 TCP 성능 파라미터

한편 위성링크에서의 TCP 성능에 영향을 주는 주요 요인들은 다음과 같다[4].

### 2.2.1 High delay-bandwidth 링크

고속의 위성링크에서 긴 전송지연은 기존의 TCP를 이용할 경우 두 가지 throughput 제한 요인을 갖는다.

첫째, 윈도우 크기에 의한 제한이다. 원래의 TCP 표준은 TCP 수신 윈도우를 65,535 바이트로 제한한다. TCP의 수신 윈도우 크기는 TCP 연결의 최대 throughput이 round trip 시간에 의해서 제한되는 위성 환경에서는 특히 중요하다. 즉, 최대 throughput은 RTT(round trip time)에 반비례하며 수신 윈도우 크기에 의한 수신 버퍼 크기에 비례한다.

$$Throughput_{max} = \text{수신버퍼 크기} / \text{round trip 시간}$$

위 식에 따라 기존 윈도우 크기에서 일반적인 정지 위성에서의 TCP 연결의 throughput은 다음과 같이 제한된다.

$$\begin{aligned} Throughput_{max(satellite)} &= 64 \text{ kbytes} / 550 \text{ ms} \\ &\approx 119,000 \text{ bytes} / \text{second} \\ &\approx 953,000 \text{ bits} / \text{second} \end{aligned}$$

위의 결과로부터 TCP throughput은 채널의 대역폭과 무관함을 알 수 있다. 즉, 2Mbps의 대역폭을 갖는 링크를 사용하더라도 기존의 TCP에서는 953kbps 이상의 throughput을 얻을 수 없다.

둘째, slow-start 모드에서 최대 throughput까지 도달하는데 걸리는 시간에 의한 제한이다. 기존의 짧은 지연 환경에서는 slow-start 모드로도 짧은 시간 안에 최대 throughput에 도달할 수 있었다. 그러나, 위성망에서는 긴 지연 시간으로 인해 slow-start 모드에서의 낮은 전송율은 짧은 데이터 전송의 경우 최대 throughput에 도달하지 못하게 하여 중요한 성능 저해 요인이 된다.

### 2.2.2 손실 링크

위성링크는 지상망에 비해 높은 BER(bit error rate)을 갖는다. 경우에 따라서 BER이  $10^{-5}$ 보다 높을 수도 있다. 높은 오류율은 두 가지 이유로 중요하다. 첫째, 데이터그램에서 손실을 발생시켜 재전송을 유발시킨다. 둘째, TCP는 이러한 손실을 혼잡으로 해석하여 전송을

을 낮춘다. 따라서, TCP에서 수용할 수 있는 오류율로 낮추거나, 전송 오류가 혼잡때문에 발생한 것이 아님을 TCP가 알도록 하는 메커니즘이 필요하다.

### 2.2.3 비대칭 대역폭

위성망을 비대칭으로 구성할 경우 고속의 다운링크에 비해 업 링크가 저속인 경우, 데이터 패킷에 대한 업 링크에서의 ACK 패킷이 지연되거나 손실될 때 성능이 저하될 수 있다. TCP에서는 일반적으로 1개의 데이터 패킷당 1개의 ACK를 사용하므로 비대칭 위성망에서의 업 링크의 포화가 쉽게 예측된다. 이것은 결과적으로 다음의 세 가지 이유로 TCP의 성능을 제한하게 된다. 첫째, 기존의 TCP 송신단은 실제 ACK된 CWND(Congestion Window)의 증가율을 낮게 한다. 둘째, ACK의 손실은 데이터 패킷의 손실이 발생했을 때 fast retransmission 알고리즘을 붕괴시킬 수 있다. 수신단에서는 이미 필요한 중복 ACK를 보냈지만 송신단에 전달되지 않을 수 있다. 셋째, ACK의 손실은 송신단이 ACK를 기다리는 동안 idle 상태를 유지하기 때문에 링크 효율을 저하시킨다.

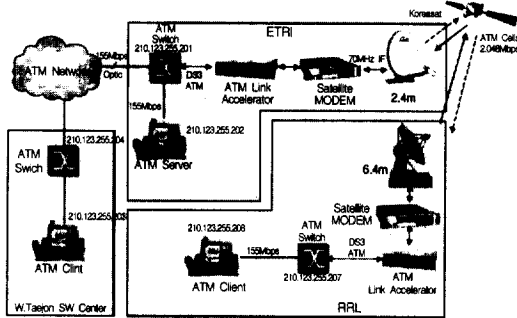
현재 TCP의 이러한 문제점들을 해결하기 위한 많은 연구와 전송실험이 수행되고 있다. 현재 IETF에서는 몇 가지 해를 제시하고 있는 데 그것은 RFC-1323의 window size를 확장하는 것과 RFC-2018에서 제시한 선택적 재전송(Selective Acknowledge) 메커니즘, 그리고 RFC-2001에서 제시한 Slow Start 알고리즘을 사용하는 것이다[5-8]. 그러나 구체적으로 실제 고속의 위성망에서의 전송성능 분석은 많이 수행되지 못하고 있다.

## 3. 지상/위성 ATM 망 구현

### 3.1 지상/위성 ATM LANE 구현

본 논문에서는 위성 ATM 망에서 TCP/IP 트래픽의 전송성능을 측정하기 위해 위성 ATM LANE(LAN Emulation)을 구축하여 전송실험을 수행하였다. 이를 위해 두 지점에 위성통신 지구국을 각각 설치하고 위성링크로 연결하였다. 또한 한쪽의 지구국은 155Mbps 급 광케이블을 통해 지상 ATM 망에 연결하였다. (그림 1)은 위성 ATM LANE에 의한 2Mbps급 위성/지상 ATM 망의 구성도를 보인 것이다.

여기서 위성링크는 Ku 대역 Koreasat 중계기를 사용하였으며, 양방향 통신을 위하여 두 개의 2Mbps 전



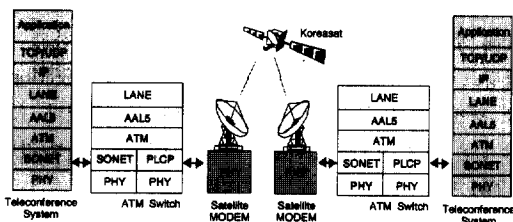
(그림 1) 2Mbps급 위성/지상 ATM 망 구조도

송 대역이 각각 할당되었다. 아울러 위성 모뎀과 ATM 스위치 사이에는 ATM Link Accelerator를 두어 ATM 링크의 성능을 향상시킬 수 있도록 하였다[9]. 본 연구에서는 가용한 장비, 환경 및 위성 가용 시간 등을 고려하여 아래의 범위로 한정하여 실시되었다.

- 사용위성 : Ku 대역 Koreasat
- 전송속도 : 2.048 Mbps
- 변복조 방식 : QPSK
- 변복조 코딩 방식 : K=7, 3/4 길쌈부호 및 비터비 디코딩
- Eb/No(혹은 BER) 값의 변화에 따른 ATM 계층 전송 성능 측정(QoS)
- 주요 측정 파라미터 : Eb/No, BER, CER, CLR

본 연구에 사용된 ATM 클라이언트와 서버는 Microsoft Windows NT 4.0을 탑재한 Pentium PC이며 각각 PCI ATM Adapter Card를 사용하여 155Mbps Multimode 광케이블로 ForeRunner ASX-200BX ATM 스위치에 접속하였다. ATM 스위치의 45Mbps 포트는 위성 모뎀에 접속되며, 각각의 ATM 스위치와 ATM Adapter Card에는 고유의 IP Address를 할당하였다.

(그림 2)는 LANE의 프로토콜 스택을 보인 것으로



(그림 2) 위성 ATM LANE protocol stack

TCP/IP 패킷은 LAN Emulation 된 후 AAL type 5 PDU로 변환된 후 ATM 망을 통해 전송된다.

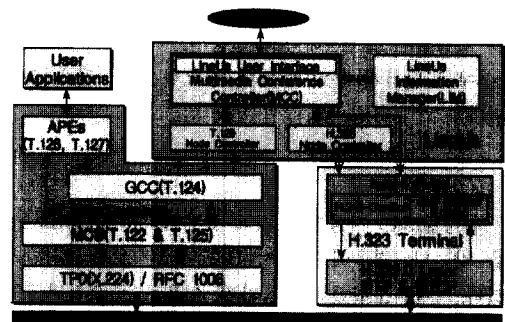
한편 사용된 플랫폼의 Windows NT 4.0에서는 RFC 1323과 RFC 2018을 지원하지 않으며, 최대 소켓 버퍼 크기가 64kbyte로 제한되어 있어 Windows NT에서의 TCP 성능에 대한 다양한 실험을 수행하는 데에는 약간의 제약사항이 존재한다. 주요 TCP 성능 관련 사항은 <표 2>와 같다.

<표 2> Windows NT 3.5/4.0의 TCP 지원 파라미터

RFC1191 Path MTU Discovery	RFC1323 Support	Default Maximum socket buffer size	Default TCP socket buffer size	RFC2018 SACK Support
Yes	No	64kB	Max(~8kB, min(4*MSS, 64kB))	No

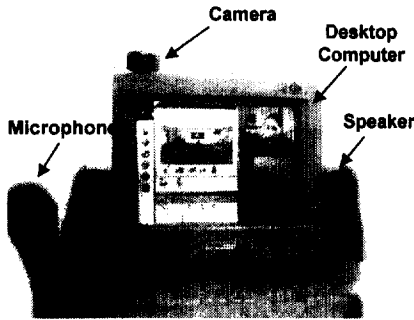
### 3.2 IPoA 기반 영상회의 시스템

위성 ATM 망에서 영상회의 서비스의 전송 품질을 분석하기 위해 본 연구에서 사용된 IPoA(IP over ATM) 기반의 영상회의 시스템은 여러 사람이 한 회의에 참여하여 실시간으로 오디오, 비디오 신호를 송수신하여 영상회의를 할 수 있도록 하여 주는 H.323 표준 단말 블록과 영상 회의 도중에 중요한 파일 전달 및 전자 칠판, 응용 프로그램 공유와 같은 데이터 회의를 위한 T.120 표준 단말 블록, 그리고 T.120 데이터 회의의 기능 및 H.323 영상 단말 기능을 하나로 제어하여 실 시간에 오디오, 비디오, 데이터의 회의를 가능하게 하여 주며, 또한 영상 회의에 대한 정보, 즉, 호출 가능한 사용자 정보, 회의 서버 정보, 회의 명 등을 관리하여 주는 LineUs 블록으로 구성된다. (그림 3)은 본 영상회의 시스템의 기능 블록을 간략히 보인 것이다.



(그림 3) 영상회의 시스템 기능 블록도

또한 본 연구에 사용되는 영상회의 시스템은 멀티미디어 통신을 위해 ITU-T에서 표준으로 권고한 H.245를 영상회의의 제어 프로토콜로서 사용하고 있으며, 상대방에게 제어 메시지를 전달하는 경우에 TCP/IP를 이용하며, 오디오, 비디오 데이터의 전송은 RTP/RTCP를 통하여 전달할 수 있다. (그림 4)는 IPoA 기반 영상회의 시스템의 구성을 보인 것이다.



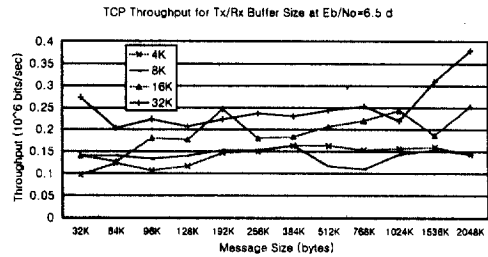
(그림 4) IPoA 기반 영상회의 시스템

#### 4. 전송 성능 분석 및 품질 평가

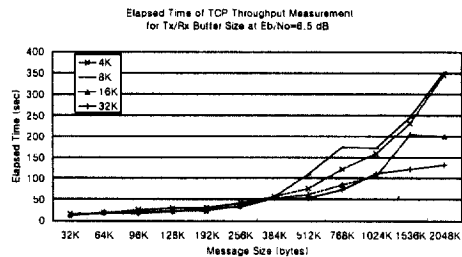
본 논문에서는 위성 ATM 링크의 상태와 송수신 소켓 버퍼 크기, 그리고 송신 메시지 크기에 따른 TCP/IP 프로토콜과 FTP의 전송성능, 그리고 IPoA 기반 영상회의 서비스의 전송품질을 측정분석 하였다. 여기서 제시한 값들은 측정된 데이터의 신뢰성을 보장하기 위해 각각의 항목을 세 번씩 측정하여 평균치를 보인 것이다. 본 연구에서 사용한 프로그램은 NetPerf 응용 소프트웨어로서, NetPerf는 네트워크 성능의 여러 관점을 측정할 수 있는 Benchmark로써 TCP 또는 UDP와 Berkeley Sockets interface를 사용하는 bulk data transfer와 request/response 성능을 주 목적으로 하고 있다.

##### 4.1 소켓 버퍼 크기에 따른 TCP 성능

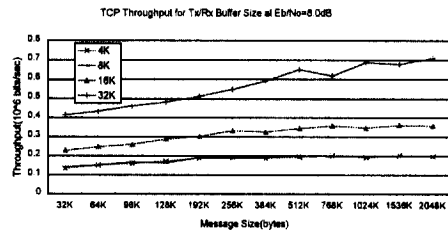
(그림 5)와 (그림 6)은 위성링크의  $E_b/N_0$ 가 6.5dB 일 때 송수신 소켓 버퍼 크기를 4kbytes에서 32kbytes 까지 변화할 때의 메시지 크기에 따른 TCP Stream의 Throughput과 그때 소요된 Elapsed Time을 각각 보인 것이다. 여기서 알 수 있듯이 송수신 소켓 버퍼 크기가 증가하면 TCP stream의 Throughput은 증가하고 아울러 Elapsed time은 감소함을 알 수 있다.



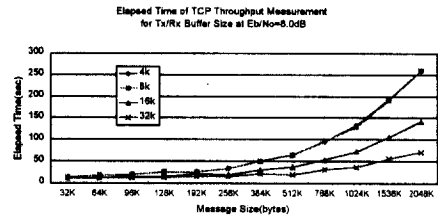
(그림 5) 위성 ATM 링크( $E_b/N_0=6.5$ dB)에서의 TCP Stream Throughput



(그림 6) 위성 ATM 링크( $E_b/N_0=6.5$ dB)에서의 TCP Stream Throughput의 Elapsed Time



(그림 7) 위성 ATM 링크( $E_b/N_0=8.0$ dB)에서의 TCP Stream Throughput

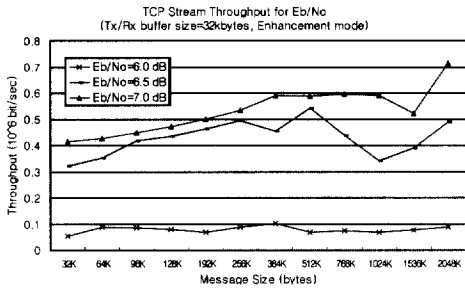


(그림 8) 위성 ATM 링크( $E_b/N_0=8.0$ dB)에서의 TCP Stream Throughput의 Elapsed Time

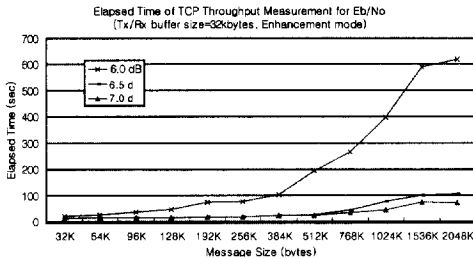
한편 (그림 7)과 (그림 8)은 위성링크의  $E_b/N_0$ 가 8.0dB일 때의 TCP stream의 throughput과 그때 소요된 Elapsed time을 각각 보인 것으로 위성링크의  $E_b/N_0=6.5$ 일 때 보다 TCP Stream Throughput이 훨씬 증가하고 Throughput 증가 변화폭이 훨씬 안정되어 있음을 알 수 있다.

4.2 Eb/No에 따른 TCP 성능

(그림 9)와 (그림 10)은 송수신 소켓 버퍼 크기를 32kbytes로 고정했을 경우 각 Eb/No에 따른 TCP stream의 Throughput과 Elapsed time을 보인 것으로 앞에서와 마찬가지로 위성 링크 특성이 좋을 경우 Throughput 또한 증가함을 알 수 있다. 또한 위성링크의 특성이 동일한 경우라도, 즉 동일한 Eb/No 환경에서 ATM Link Accelerator와 같은 장치를 이용하여 ATM Link를 성능향상 시킬 경우 Throughput이 훨씬 증가함을 알 수 있다. 그러나 여기서도 Eb/No가 6.0dB 인 경우에 Throughput이 저하되고 Elapsed time 또한 급격히 증가함을 볼 수 있다.



(그림 9) 위성 ATM 링크의 Eb/No에 따른 TCP Stream Throughput

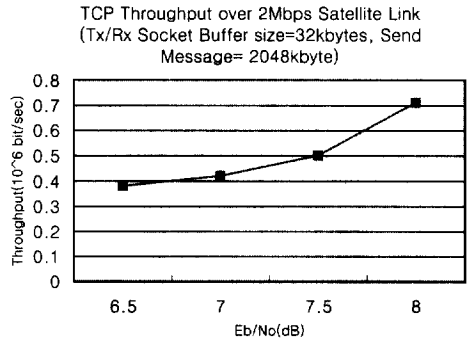


(그림 10) 위성 ATM 링크의 Eb/No에 따른 TCP Stream Throughput의 Elapsed Time

(그림 11)은 TCP 소켓 버퍼 크기가 32kbytes, 송신 메시지는 2,048kbytes 일 때 2Mbps급 Koreasat 링크에서의 Eb/No에 따른 TCP stream의 Throughput을 보인 것이다.

(그림 11)에서 Eb/No = 8.0dB 일 때 전송성능은 710 kbps로서 이는 앞에서 언급했듯이 64kbyte 윈도우 크기의 제한으로 인해 정지제도 위성에서의 TCP 전송률은 RTT(Round Trip Time)가 550ms일 때 953kbps로 제한된다. 즉, 2Mbps 대역폭을 갖는 위성 ATM 링크

를 사용하였다 할지라도 기존의 TCP에서는 953kbps를 넘지 못한다. 여기서 Eb/No = 8.0dB 일 때 전송속도가 실제 이론치에 도달하지 못하고 710kbps 밖에 되지 않는 것은 제한된 윈도우 크기 외에 위성 ATM 링크의 전송오류에 따른 패킷 손실 등이 전체 성능에 영향을 주었기 때문이다.



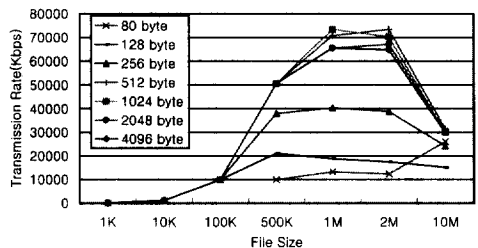
(그림 11) 2Mbps급 위성ATM 링크에서의 TCP Throughput

4.3 지상/위성 ATM 망 구간에서의FTP 전송 성능

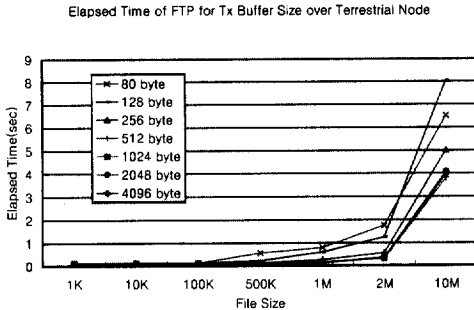
File Transfer Protocol(FTP)은 TCP/IP 계층 위의 Application 계층에서 동작하는 프로토콜 중의 하나로 인터넷에서 파일 전송을 지원하는 기본 사양이다. 즉, FTP는 인터넷의 어떤 호스트에서 다른 호스트로 파일을 복사하는 서비스를 제공한다. 본 연구에서는 ATM 기반의 위성망과 지상망이 연동된 구간에서 FTP에 대한 전송성능을 측정 분석하였다. 본 연구를 위해 일반적으로 사용자들이 가장 많이 사용하는 WS\_FTP 응용 프로그램을 이용하였다.

(그림 12)와 (그림 13)은 155Mbps급의 광케이블로 접속된 구간에서의 파일 전송에 대한 FTP 전송성능을 보인 것으로 버퍼 크기를 증가함에 따라 최대 74Mbps

FTP Performance for Tx Buffer Size over Terrestrial Node



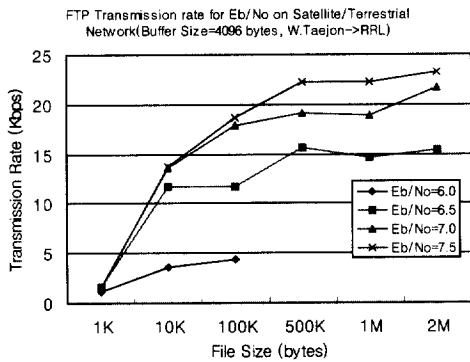
(그림 12) 지상 ATM 망 구간에서의 FTP 전송 속도



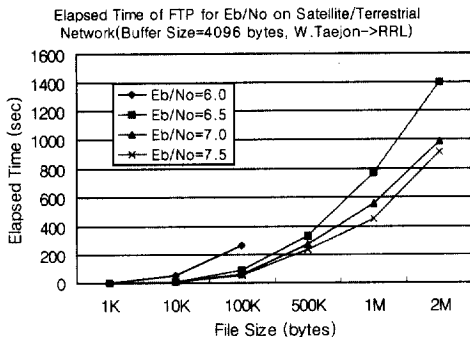
(그림 13) 지상 ATM 망 구간에서 FTP 전송소요시간

까지 전송성능은 증가하나 파일 크기가 1Mbyte에서 2Mbyte 근처에서부터 급격히 감소함을 볼 수 있다.

(그림 14)와 (그림 15)는 ATM 기반의 위성/지상망 연동된 구간에서 파일을 다운로드할 때의 FTP의 성능을 보인 것이다. 여기서 수신 버퍼 크기는 4,096 bytes로 고정시키고 파일 크기를 변화해 가면서 전송성능을



(그림 14) 지상/위성 ATM 망 연동 구간에서의 FTP 전송속도



(그림 15) 지상/위성 ATM 망 구간에서의 FTP 전송 소요시간

측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 위성링크 채널 특성이 좋을수록 FTP 전송성능이 좋아짐을 알 수 있다. 그러나  $E_b/N_0=7.5\text{dB}$ 에서 2Mbyte의 파일을 다운로드할 경우 전송속도는 평균 23kbps로 상당히 낮고 Elapsed time 또한 평균 917 sec로 매우 긴 것을 알 수 있다. 이는 위성망과 지상망의 전송속도 차이, 위성채널 특성, 그리고 위성의 긴 전송지연으로 인해 연동지점에서 트래픽 병목현상이 발생하여 일어난 것으로 향후 망 연동시 충분히 고려해야 한다.

#### 4.4 IPoA 기반 영상회의의 서비스 전송품질

위성 ATM 망에서 TCP/IP 기반의 응용 서비스에 대한 전송 품질을 제시하기 위해 2Mbps급 KOREASAT 위성링크에서 IPoA 기반의 영상회의의 시스템을 구축하고 위성링크의  $E_b/N_0$  변화 시 비디오와 오디오 품질을 주관적으로 평가하였다. 또한 오디오와 비디오 메시지의 위성 구간에서의 전달 특성을 측정하기 위해 전송 메시지에는 Sequence 번호, 송신 및 수신 Time stamp 필드를 두었다.

<표 3>과 (그림 16)은 2Mbps급 위성링크에서의 IPoA 기반의 영상회의의 서비스 전송품질의 측정 결과와 화면 상태를 각각 보인 것으로, 여기서는 UDP 프로토콜을 사용하였다. IPoA영상회의의 서비스는 위성링크의  $E_b/N_0=7.5\text{dB}$ 부터 품질이 저하되기 시작하여  $E_b/N_0=6.5\text{dB}$ 이하에서는 영상이 거의 정지하였다. 즉 위성 ATM 망에서 영상회의의 서비스를 제공하기 위해서는

<표 3> IPoA 기반 영상회의의 서비스 품질

$E_b/N_0$ (dB)	BER'	CLR	VIDEO	AUDIO
8.4	1.0E-08	8.7E-7	양호	양호
8.0	2.5E-08	2.7E-6	양호	양호
7.6	1.0E-07	6.9E-6	양호, 가끔 떨림	양호
7.3	3.7E-07	1.5E-5	양호, 가끔 떨림	양호
7.0	7.5E-07	2.6E-5	양호, 가끔 떨림	양호
6.7	1.4E-06	5.4E-5	화면 일시정지	떨림 현상 발생
6.5	4.2E-06	7.4E-5	화면 일시정지	가끔씩 떨림 현상 발생
6.3	7.1E-06	1.0E-4	화면 일시정지	가끔씩 떨림 현상 발생
6.0	1.2E-05	2.7E-4	화면 일시정지	가끔씩 떨림 현상 발생
5.8	5.0E-05	3.4E-4	화면 일시정지	가끔씩 떨림 현상 발생

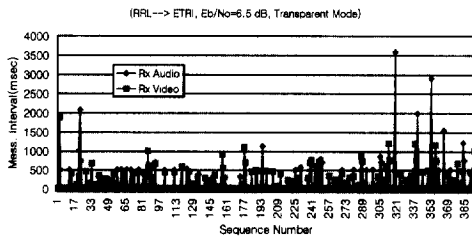
주) BER은 위성 모델에서 측정된 Corrected BER임.



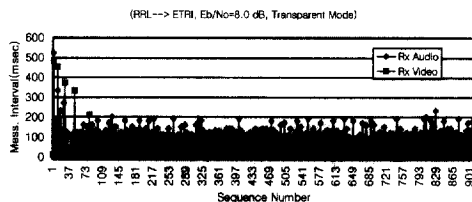
(그림 16) Eb/No에 따른 영상회의 화면(좌측부터 Eb/No=7.0dB, 6.5dB, 6.0dB, 5.5dB)

CLR이 최소 6.9E-6이상은 되어야 함을 보여 주고 있다.

(그림 17)과 (그림 18)은 위성 ATM 구간에서의 영상회의의 비디오와 오디오 패킷에 대한 수신측에서의 메시지 평균 도착간격을 보인 것이다. 여기서 TCP 소켓 버퍼 크기는 32kbytes이다.



(그림 17) Eb/No=6.5dB의 위성구간에서의 TCP 메시지 도착 간격



(그림 18) Eb/No=8.0dB의 위성구간에서의 TCP 메시지 도착 간격

위에서 알 수 있듯이 위성링크의 전송특성이 좋을수록 TCP 패킷의 손실이 적어져 그만큼 수신측에 메시지 도착 시간이 감소함을 알 수 있다. 메시지 도착 시간이 평균치 이상으로 높은 경우는 송신측이 보낸 메시지가 손실 또는 오류가 발생하였거나 수신측으로

부터 ACK 메시지가 전송 도중 손실되었거나 오류가 발생된 경우라고 볼 수 있다. <표 4>는 위성링크의 Eb/No에 따른 TCP 메시지간의 평균 도착 간격을 보인 것이다.

<표 4> 위성구간에서의 TCP 프로토콜에 대한 메시지간 평균 도착 간격

Eb/No Message	6.5dB	7.0dB	7.5dB	8.0dB
Video	109.4ms	21.39ms	19.07ms	15.15ms
Audio	99.66ms	46.53ms	46.41ms	46.58ms

여기서 알 수 있듯이 TCP/IP over ATM 기반 영상회의 서비스의 메시지 전달 시간은 위성링크 Eb/No=6.5dB에서 위성전송 지연 250ms를 포함할 경우 약 360ms가 걸려 ITU에서 요구하는 목표치 320ms를 훨씬 상회하여 서비스가 불가능함을 보여주고 있다. 참고로 광케이블의 지상망에서는 평균 도착시간이 약 14ms로 거의 동일함을 보여 주었다. TCP 프로토콜에서 메시지 간격이 일정하지 않은 것은 그만큼 품질이 저하됨을 보이고 있는 것으로 위성링크 전송 품질이 나쁠 경우 화면이 깨지는 현상보다는 화면이 불규칙적으로 수신되거나 지연되어 수신되는 현상을 발견할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 위성의 긴 전송지연에 따른 영향과 위성채널의 오류특성에 따른 영향을 비교 분석하기 위하여 실제 2Mbps급 KoreaSat 위성을 이용하여 위성망과 지상망이 상호 연동된 위성/지상 ATM LANE을 구축하고 위성/지상 ATM 망에서의 TCP/IP트래픽과 FTP의 전송성능, 그리고 IPoA 기반 영상회의 서비스의 전송품질과 메시지 전달 특성을 측정 분석하였다.

성능 측정결과 TCP 소켓 버퍼 크기가 증가할 때 TCP의 전체 성능이 증가함을 알 수 있으나 제한된 최대 윈도우 크기 64kbyte와 위성채널의 오류 특성으로 인해 최대 전송속도는 이론치에 도달하지 못함을 보여 주었다. 또한 2Mbps 위성링크에서 Eb/No=6dB이하에서는 TCP/IP over ATM 서비스가 거의 불가능함을 보여 주었으며, FTP의 경우에는 작은 파일 크기의 경우 최대 전송속도에 도달하기 전에 파일 전송이 완료되어 대역폭 이용의 효율성 측면에서 TCP/IP의 slow start 메커니즘이 적절하지 않음을 보여주고 있다. 전송속도가 다른 위성망과 지상망이 상호 연동될 경우에



는 위성채널의 오류특성과 전송지연으로 인해 연동지점에서 예상보다 훨씬 많은 트래픽 병목현상이 발생되어 전송성능이 급격히 저하됨을 알 수 있다. 아울러 IPoA 기반 영상회의 서비스는 위성링크의 Eb/No=7.5dB부터 품질이 저하되기 시작하여 Eb/No=6.5dB이하에서는 영상이 거의 정지하였으며, 영상회의 서비스의 메시지 전달 시간은 ITU에서 요구하는 목표치를 훨씬 상회하여 서비스가 불가능함을 보여 주었다.

따라서 ATM 기반의 위성/지상망에서 TCP/IP 트래픽을 제공하기 위해서는 위성링크의 전송오류를 획기적으로 개선할 수 있는 위성 ATM 링크 성능개선 방안과 긴 전송지연에 따른 영향을 최소화할 수 있는 새로운 알고리즘을 사용하는 것이 요구된다. 아울러 전송속도가 다른 위성망과 지상망이 연동될 경우에는 망연동장치 등에 전송속도의 차이를 흡수할 수 있는 적절한 버퍼링 또는 혼잡제어 기법 등이 채용되어야 할 것이다. 또한 ATM이 제공하는 능력과 TCP/IP의 신뢰성이 있는 메시지 전송 특성을 최대한 활용하기 위해서는 사용되는 서버와 클라이언트의 운영체제 선택에도 세심한 주의가 요구된다고 할 수 있다.

향후 본 연구를 바탕으로 45Mbps 및 155Mbps의 초고속 위성 ATM 망에서 다양한 ATM 기반 응용 서비스와 TCP/IP over ATM 등의 전송성능을 측정하여 비교 분석하고, 위성 ATM 응용 서비스 제공을 위한 전송성능 목표치를 제시할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] D. M. Chidre, et al, "Asynchronous Transfer Mode(ATM) Operation via Satellite : Issues, Challenges and Resolutions," International Journal of Satellite Communications, Vol.12, pp.211-222, 1994.

[2] Ian F. Akyildiz and "Seong-Ho Jeong, Satellite ATM Networks : A Survey," IEEE Communication Magazine, Jul. 1997.

[3] ITU-R Study Group, Doc. 4/29-E, Draft New Recommendation ITU-R S.[4B/XC](S.ATM), Performance for B-ISDN Asynchronous Transfer Mode(ATM) via Satellite, May 1998.

[4] Nasir Ghani and Sudhir Dixit, "TCP/IP Enhancements for Satellite Networks," IEEE Communication Magazine, July 1999.

[5] J. Postel, "Transmission Control Protocol : RFC 793," Sep. 1981.

[6] V. Jacobson, R. Braden, and D. Borman, "TCP Extensions for High Performance : RFC 1323," May 1992.

[7] Matthew Mathis, Jamshid Mahdavi, Sally Floyd, and Allyn Romanow, "TCP Selective Acknowledgement Options : RFC 2018," Oct. 1996.

[8] W. Stevens, "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms : RFC 2001," Jan. 1997.

[9] Nae-Soo Kim, Dong-Joon Choi, and Deock-Gil Oh, "Performance of Satellite ATM Networks interconnected with Terrestrial Networks using KOREASAT," The 4th CDMA International Conference & Exhibition(CIC 99), Vol.II, pp.471-475, Seoul, Korea, Sep., 8-11, 1999.



### 김 내 수

e-mail : nskim@etri.re.kr

1985년 한남대학교 수학과(학사)  
1989년 한남대학교 대학원 수학과(석사)  
1996년~현재 한남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료

1976년~1990년 국방과학연구소 근무  
1990년~현재 한국전자통신연구원 초고속위성통신연구팀장  
관심분야 : 위성통신, ATM, 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜



### 송 정 길

e-mail : jksong@adam.hannam.ac.kr

1966년 한남대학교 수학과(학사)  
1982년 홍익대학교 대학원 전산학과(석사)  
1988년 중앙대학교 대학원 전산학과(박사)  
1987년 한남대학교 전자계산소 소장

1991년 Univ. of Illinois 전산과(Urbana Champaign) 객원교수  
1993년 한남대학교 산업기술연구소 소장  
1993년~현재 한남대학교 컴퓨터공학과 교수, 한남대학교 공과대학 학장  
관심분야 : 분산시스템, 전자상거래, Computer Telephony Integration