

IMT-2000 망에서 AAL-2 구조의 트래픽 제어 및 시스템 성능

유병한¹ · 안지환¹ · 백장현²

¹한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 / ²전북대학교 산업공학과·정보통신연구소

System Performance and Traffic Control for the AAL Type 2 Traffic in IMT-2000 Networks

Byung-Han Ryu¹ · Jee-Hwan Ahn¹ · Jang-Hyun Baek²

In this paper, we investigate the system performance when the voice traffic is constructed as the ATM Adaptation Layer type 2(AAL-2) and then it is transmitted to the Base Station Controller(BSC) from the Base Station Transceiver Subsystem(BTS) through E1 link in International Mobile Telecommunication-2000 (IMT-2000) network. For this purpose, we first briefly describe the architecture of the BTS and the BSC, and then model it as a queueing network. By simulation study, we present the required processing time at traffic control blocks and the timeout time which should be set for multiplexing the user packets in the LIU(Line Interface Unit). Further, we evaluate the performance of physical links and the timeout probability that user packets can not be multiplexed within the established timeout time, and the multiplexing gain. Finally, we present the number of voice users who can be simultaneously admitted on one E1 link and 99.9% value of the transmission delay from the Radio Channel Element(RCE) to the Selector & Transcoder Subsystem(STS).

1. 서론

차세대 이동통신시스템으로 ITU-T에서 제안하고 있는 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) 망은 저속의 음성 서비스뿐만 아니라 고속의 이동 멀티미디어 서비스에 이르는 다양한 형태의 서비스 제공을 고려하고 있다. 이러한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 트래픽 소스의 다양성에 기인하는 보다 효율적인 트래픽 제어가 요구되고 있다(Nakamura, 1995).

IMT-2000 망의 설계시에 고려하여야 할 것 중의 하나가 기지국(Base Station Transceiver Subsystem; BTS)과 제어국(Base Station Controller; BSC)간의 mobile trunking 방식의 도입으로, 이는 액세스 망의 전송비용을 줄이는 하나의 방법이 된다. IMT-2000 액세스 망의 구축 기술 중의 하나가 ATM 기반의 계층셀 구조에 의한 것으로 AAL-2(ATM Adaptation Layer type 2) 구조를 사용하는 방법이 제안되고 있다. 이 방식은 기존의 이동통신시스템에서 사용하고 있는 압축된 음성 트래픽과 같이 사용자 패킷의 길이가 짧고, 가변적인 데이터 스트림을 하나의 ATM 가상회선연결 (Virtual Channel Connection; VCC)상에서 다

중화하여 전송하는 방식으로 AAL-CU(AAL-Composite User)로 잘 알려져 있다(Saito, 1996; Kitamura, 1996; Mcloughlin, 1997; International Telecommunication Union, 1997). 최근에, AAL-2 구조 사용시에 예상되는 패킷 손실 확률, 지연시간의 변동, ATM 다중화기의 성능 등의 분석에 대한 연구가 이루어져 왔다 (Sriram1, 1999; Sriram2, 1999). 이들은 음성 트래픽이 AAL-2 구조로 구성될 때 10^{-3} 의 패킷 손실을 허용할 때의 수용할 수 있는 음성호의 수 및 다중화를 위한 패킷 대기시간의 할당, 그리고 ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)의 부호화 방식을 사용할 때의 AAL-2 다중화기의 처리 능력 및 호 제어 방법을 제시하고 있다.

본 연구는 문헌(유병한¹, 1999)의 결과를 확장한 것으로, IMT-2000 표준모델로 개발되고 있는 시스템의 유선 부분(wired part)의 성능에 초점을 맞춘다. 무선단말에서 전송되는 음성 트래픽은 기지국의 LIU(Line Interface Unit)에서 AAL-2 구조로 ATM 셀 페이로드에 다중화된 후, E1 전송로를 통하여 제어국의 BIS(BTS Interface Subsystem)로 전송하게 된다. AAL-2 구조를 사용하는 경우, 기지국으로 입력되는 사용자 패킷은 3 byte의 패킷 헤드를 추가하여 미니셀(Common Part Sublayer-패킷: CPS-패킷)을 구성한 후, CPS-PDU(CPS-Protocol Data Unit)에 다중화

된다. 전송시에는 도착하는 사용자 패킷의 길이와 도착 특성에 따라 ATM 셀 페이로드를 전부 채워서 전송할 수도 있고 (overlapping 방식), 부분적으로 채워서 전송할 수도 있는데(non-overlapping 방식), 전송로의 사용효율 관점에서는 overlapping 방식이 non-overlapping 방식보다는 효율적이다.

본 연구는 IMT-2000 이동통신시스템의 액세스망에서 전송에 대한 패킷 길이의 분포, overlapping 방식의 다중화 기법, 그리고 프레임 staggering(유병한², 1999)의 패킷 전송방식을 적용할 때의 음성 트래픽에 대한 성능을 제시하는 것을 목적으로 한다. SLAM II(Alan, 1986)를 사용하여 시뮬레이션을 수행하여 트래픽 처리와 관련된 블럭인 LIU, BIS, STS(Selector / Transcoder Subsystem)에서 목표치의 트래픽을 처리하기 위해 요구되는 처리시간의 설계치 및 전송로인 기지국 내부 패킷버스, E1 링크, TP25 링크의 전송능력을 제시한다. 또한, 다중화를 위하여 LIU에서 사용자 패킷의 도착을 기다리는 시간인 타임아웃 시간을 제시하고, 설정된 타임아웃 시간 내에서 다중화되지 못할 비율인 타임아웃 확률 및 AAL-2 구조를 사용할 때의 다중화 이득(multiplexing gain)을 제시한다. 마지막으로, 하나의 E1 링크에 동시에 수용할 수 있는 가입자의 수 및 필요한 E1 링크 개수, 그리고 기지국의 채널 엘리먼트(Radio Channel Element; RCE)에서 제어국의 STS까지 트래픽 데이터를 전송하는 데 소요되는 전송시간의 99.9% 값을 제시한다. 이러한 분석결과는 IMT-2000 시스템의 구현시 기초자료로 이용될 수 있다.

2. 압축된 음성 트래픽과 ATM

음성부호기는 음성활동계수(voice activity) 및 잠음상태에 따라서 8 kbps(full rate), 4 kbps(half rate), 1 kbps(eighth rate)의 세 가지의 다양한 전송률로 동작한다. 이러한 전송률에 의존하여 음성부호기는 20 ms 또는 10 ms의 프레임 주기(frame interval; f) 동안에 축적된 PCM(Pulse Coded Modulation: 펄스부호변조) 형태의 샘플로부터 가변길이의 패킷을 생성하고, 기지국의 무선 채널 엘리먼트는 각 채널별로 매 프레임 주기마다 사용자 패킷을 제어국으로 송신하게 된다. <표 1>은 전송률과 프레임 주기에 대한 안정상태에서의 사용자 패킷 길이의 분포를 보여 준다(Gerlich, 1998; 박영욱, 1999).

ITU-T에서 규정한 AAL-2 셀 구조는 <그림 1>과 같다. CPS 상에서의 패킷은 3 byte의 CPS 패킷 헤드(CPS-PH)와 44 byte 이하의 CPS 패킷 페이로드로 구성된다. CPS-PH에는 AAL-2 구조

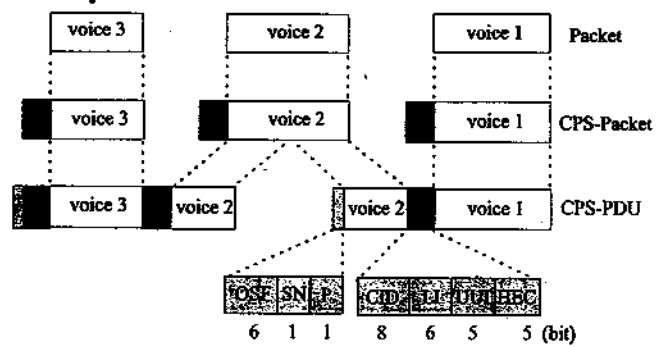


그림 1. AAL-2 구조

의 사용자를 식별하는 1 byte의 채널 식별자(CID) 필드, 사용자 간 정보에 대한 예약비트를 나타내는 사용자간 표시(User-to-User-Indication; UUI) 필드, 그리고 CPS 패킷 헤드의 오류검출을 위한 헤드 에러 제어(Head Error Control; HEC) 필드가 포함되어 있다. 또한 CPS 패킷의 길이가 가변이고 가변 비트율을 제공하기 때문에, CPS 패킷의 길이를 표시하는 길이 지시자(Length Indicator; LI)가 포함되어 있다.

송신기는 CPS 패킷을 47 byte의 CPS-PDU로 다중화하여 ATM 셀 페이로드의 형태로 ATM 계층으로 전달하게 된다. 만일 하나의 CPS-PDU가 CPS 패킷을 수용할 수 있는 충분한 공간이 없는 경우, CPS 패킷은 2개의 CPS-PDU로 분할된다. 이때 두 번째 CPS-PDU는 CPS-PH가 포함되지 않기 때문에, 만일 처음 CPS-PDU를 전송하는 ATM 셀이 유실되면, 수신기는 두 번째 CPS-PDU에서 CPS-PH를 찾을 수 없게 된다. 그러므로, 1 byte의 CPS-PDU 시작 필드(Start Field; STF)가 각 CPS-PDU에 삽입된다. CPS-PDU 시작 필드는 첫번째 CPS-PH의 위치를 나타내는 오프셋 필드(Offset Field; OSF)와 CPS-PDU의 스트림 번호(module 2)를 나타내는 시퀀스 번호(Sequence Number; SN)와 수신기에서 STF의 에러 검출을 위해 사용되는 패리티(Parity; P) 비트로 구성된다.

한편, 하나의 사용자 패킷에는 제어국 내부에서의 프레임 제어, 전력제어 등을 위하여 8 byte의 오버헤드가 추가로 요구된다. 그러므로 하나의 미니셀의 평균 길이는 <표 1>에 주어진 음성 패킷의 길이에 8 byte의 제어 오버헤드와 3 byte의 CPS-PH 길이의 합이 된다.

3. 기지국과 제어국의 구조

<그림 2>는 기지국(BTS)과 제어국(BSC)의 구조를 간략히 보여준다. 기지국 내의 LIU는 BIS와 접속하며, CID 단위로 하나의 VPI/VCI 채널로 경로가 구성된다. 이때 사용자 패킷은 LIU에서 AAL-2 구조로 변환되어 ATM 셀 페이로드에 다중된 후, E1 전송로를 경유하여 BIS로 전송되고, BIS로부터 입력되는 AAL-2 구조의 ATM 셀은 LIU에서 역다중화하여 사용자 패킷으로 변환된다.

표 1. 사용자 패킷의 평균 길이(byte) 및 분포

전송률(kbps)	$f=20$	$f=10$	확률(p)
8 (full)	22	11	0.291
4 (half)	10	5	0.111
1 (eighth)	2	1	0.598

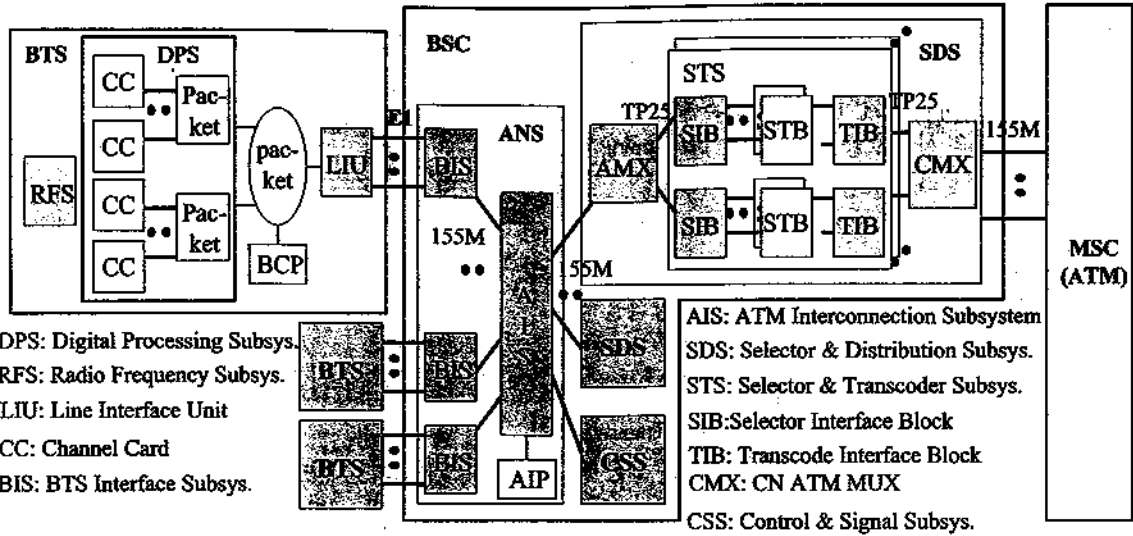


그림 2. 기지국 및 제어국의 구조

제어국 내의 ANS(Access Network Subsystem)는 ATM 스위치를 통하여 제어국 내부 트래픽 및 신호, 그리고 제어 링크를 구성하고, 기지국과는 E1 링크를 통하여 접속하며, SDS와는 155 Mbps 전송속도의 ATM 링크를 통하여 접속한다. BIS는 기지국으로 전송하는 트래픽 데이터를 AAL-2 구조로 변환하여 ATM 셀 페이로드에 다중화하고, 기지국으로부터 입력되는 AAL-2 구조의 트래픽에 대해서는 역다중화 기능을 수행하여 AAL-2 구조의 ATM 셀로 만들어 ATM 스위치(ATM Interconnection Subsystem; AIS)로 전송한다. 여기서 AAL-2 구조의 ATM 셀은 하나의 ATM 셀 페이로드에 하나의 사용자 패킷과 사용자 패킷에 대한 CPS-PH만이 포함된 구조를 의미한다.

SDS 내의 AMX(ATM MultipleXer)는 25.6 Mbps 전송속도의 TP25 링크를 통하여 STS로 트래픽 데이터를 전송하고, 155 Mbps의 ATM 링크를 통하여 트래픽 데이터를 ANS로 전송한다. STS는 트래픽 및 신호 프레임의 전송을 위한 링크를 접속하고, 핸드오버시에는 트래픽 및 신호 프레임을 선택하는 기능, 그리고 음성 트래픽에 대하여 트랜스코딩 기능을 수행한다. STS 내의 셀렉터/트랜스코드는 입력된 AAL-2 구조의 음성 트래픽을 PCM 스트림으로 변환한 후, 155 Mbps 전송속도의 ATM 링크를 통하여 이동교환기(Mobile Switching Center; MSC)로 전송한다.

한편, 하나의 기지국에는 최대 1,024 무선채널이 연결가능하고, BIS는 최대 2,048 채널로부터의 입력 트래픽을 처리하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, SDS 서브시스템 내의 하나의 STS는 256 채널로부터의 트래픽을 처리하여야 하고, 하나의 SDS는 6개의 STS 그룹으로 구성된다. 그러므로, 하나의 SDS에는 총 1,536(= 256 * 6) 채널이 존재하게 된다. 또한 소프트 핸드오프를 요구하는 비율을 약 25% 정도로 가정하여 512 채널(= 2,048 채널 - 1,536 채널)의 여유를 두고 있다. 트래픽 처리와 관련된 각 블럭에서 목표로 하고 있는 처리 용량은 <표 2>와 같다.

표 2. 트래픽 처리 용량

블럭 또는 링크	회선 용량
내부 패킷버스	1024 채널
LIU	256 채널
BIS (AMX)	2048 채널
TP 링크 (STS)	256 채널

4. 시뮬레이션 모델

LIU 및 BIS에서의 트래픽 처리과정은 다중화 및 역다중화 등의 과정을 거쳐야 하므로, 처리과정이 대단히 복잡하다. 또한, 본 연구에서는 프레임 staggering 개념 및 타임아웃 시간을 고려해야 하고, 트래픽 데이터의 전송지연시간을 평가해야 하므로 해석적인 방법으로 분석하기가 대단히 어렵다. 큐잉 네트워크를 해석적으로 분석할 수 있는 QNA(Queuing Network Analyzer) (Whitt¹, 1983; Whitt², 1983) 등을 이용하여 대상으로 하는 시스템을 해석적인 분석이 가능하도록 단순화하여 근사적인 값을 구할 수도 있지만, 직접 개발에 이용될 결과를 얻고자 하는 경우에는 액세스 망에 대한 정확한 분석 결과를 필요로 하므로 본 연구에서는 SLAM II를 이용한 시뮬레이션 방법을 사용한다.

<그림 3>은 기지국과 제어국간의 큐잉 네트워크 모델을 보여 준다. 기지국 내부 패킷버스에는 m (최대 1,024) 가입자로부터의 트래픽이 입력되어 처리된 후, 4개의 LIU 블럭(하나의 LIU는 최대 256 가입자로부터의 트래픽을 처리)으로 전송된다. 그러나, 각 LIU는 동일한 기능을 수행하기 때문에 시뮬레이션 수행시간을 단축시키기 위해서는 4개의 LIU를 모두 분석할 필요가 없다. 그러므로 입력된 트래픽 중에서 3개의 LIU 블럭으로 입력되는 0.75 m 의 트래픽은 진행을 종료시킨다. 즉, 하나의 LIU에는 0.25 m 의 트래픽이 입력되어 AAL-2 구조로 다중

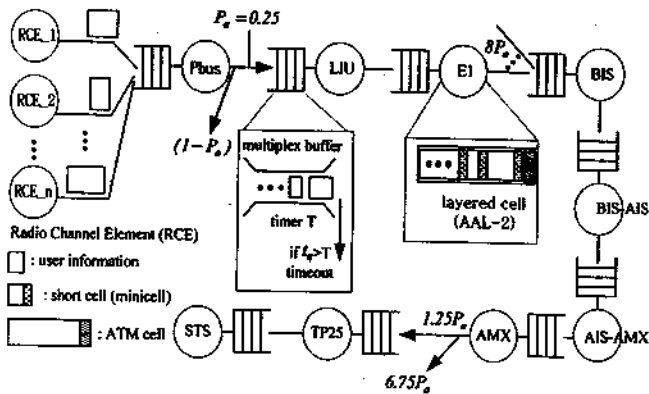


그림 3. 기지국과 제어국의 큐잉 네트워크 모델.

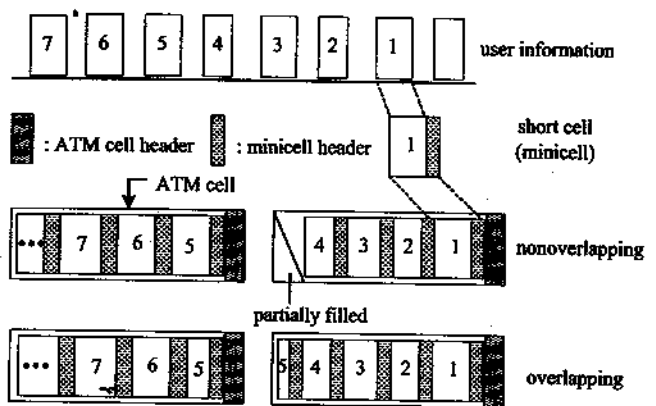


그림 5. 미니셀의 다중화 방식.

화된 후, E1 전송로를 경유하여 제어국의 BIS로 전송된다. 또한, <표 2>에서처럼 BIS는 최대 2,048 가입자로부터의 트래픽을 처리해야 하므로, 하나의 LIU에서 입력되는 트래픽의 8배에 해당하는 트래픽이 부가되도록 한다. BIS에서 ATM 셀을 처리한 후, ATM 링크 및 ATM 스위치를 경유하여 AMX로 전송된다. AMX에서 이들 트래픽을 처리하게 되면, 입력된 트래픽을 6개의 TP25 링크로 전송하게 되는데, 하나의 TP25 링크에는 $1.25 P_s$ ($P_s = 256$ 일 때 최대 320) 가입자로부터의 트래픽이 입력되어 처리된 후, STS 입력큐로 전송된다.

한편, 호가 이루어지면, 매 프레임 주기마다 기지국에서 제어국으로 패킷이 전달되는데, RCE에서 STS까지 사용자 패킷의 전송지연시간의 변동을 줄이기 위하여 <그림 4>의 (b)와 같이 프레임 staggering 개념을 적용하여 가입자들간에 1.25 ms씩 시간간격을 두고 패킷을 전송한다. 20(10) ms 프레임 주기의 경우에는 16(8) 채널 단위로 일정한 시간간격을 두고 패킷을 전송하는 방식으로 패킷이 랜덤하게 도착하는 현상을 줄일 수 있기 때문에 전송지연시간의 변동은 <그림 4>의 (a)와 같이 프레임 non-staggering 개념을 적용한 경우보다 감소할 것으로 기대된다. 따라서, 20 ms 프레임 주기의 경우, 현재 통화중인 가입자가 16명이면 각 가입자는 모두 다른 시작점을 갖게 되고, 만약 32명이면 두 사람씩 같은 시작점을 갖게 된다.

주어진 큐잉 네트워크 모델을 분석하기 위한 기본적인 가정 사항은 다음과 같다.

- 기지국에서 제어국으로의 단방향의 트래픽을 고려한다.

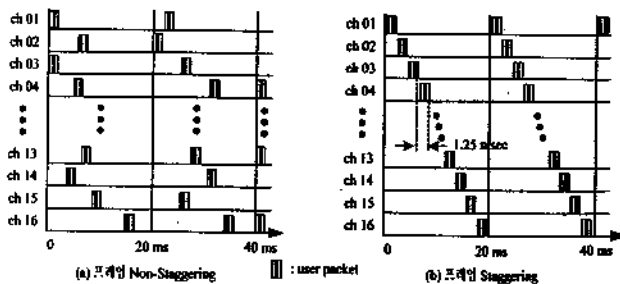


그림 4. 사용자 패킷의 전송 방식(20 ms 프레임 주기).

- LIU에서의 사용자 패킷의 처리시간은 패킷의 길이와는 관계없이 일정하다.
- AIS 내에서의 처리시간은 무시한다. 또한, BIS-AIS 및 AIS-AMX는 155 Mbps의 고속 ATM 링크이기 때문에 입력큐에서의 대기시간은 무시하고 전송시간만을 고려한다.
- 트래픽 처리 관련 블럭 및 전송로는 기준부하 A(점유율이 70%) 또는 기준부하 B(점유율이 80%)가 될 때까지 트래픽을 처리하는 것으로 한다.
- 호의 통화시간(단위; 초)은 U(70,110)인 일양분포(uniform distribution)로 한다. 호의 통화시간은 지수분포로 가정하는 것이 일반적이지만, 프레임 주기 및 프레임 staggering 개념을 사용함으로써 사용자 패킷은 호원(source)에서 일정한 간격으로 발생되고, 또한, 동시에 수용할 수 있는 가입자의 수 및 이때의 성능 분석을 목적으로 하고 있기 때문에 통화시간의 분포를 일양분포로 가정한다.
- 다중화 방식으로는 <그림 5>와 같이 overlapping 방식을 고려한다.

본 연구에서는 트래픽 처리와 관련된 블럭에서 트래픽 데이터를 처리하는데 요구되는 처리시간의 설계값을 제시하는 것을 하나의 목적으로 하고 있다. 그러나 AAL-2 구조를 사용함으로써 복수개의 미니셀이 하나의 ATM 셀 페이로드에 다중화되고, 다중화되는 미니셀의 수는 부가되는 트래픽 양에 따라 일정하지 않기 때문에 처리시간을 산술적으로 정확하게 계산하는 것이 불가능하다. 그러므로, 다음과 같은 방법으로 임시적인 처리시간을 구하여 시뮬레이션 수행시의 입력 데이터로 사용하고 점유율이 80% 이내에서 <표 2>에 제시된 용량의 트래픽을 처리할 수 있는지를 조사한다. 먼저, 프레임 주기를 f 로 나타내고 트래픽 처리와 관련된 블럭은 점유율이 80% 될 때까지 트래픽을 처리하며, 하나의 ATM 셀 페이로드에는 x 개의 미니셀이 적재되는 것으로 가정하여 x 의 값을 변화시키면서 처리시간을 구한다. 먼저, BIS 및 AMX에서의 ATM 셀 처리시간(t)은 식 (1)과 같이 계산한다.

$$t(\text{ms/ATM 셀}) = \frac{f}{2048 \times x} \times 0.8 \quad (1)$$

STS는 256 가입자로부터의 트래픽 및 25%의 소프트 핸드오프에 고려한 트래픽을 처리하여야 하기 때문에, STS에서의 ATM 셀 처리시간은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$t(\text{ms/ATM 셀}) = \frac{f}{256 \times (1 + 0.25) \times x} \times 0.8 \quad (2)$$

5. 성능분석 및 평가

5.1 트래픽 처리 블럭에서의 처리시간

5.1.1 LIU

<그림 6>은 LIU에서의 사용자 패킷의 처리시간(t) 및 부가되는 트래픽(동시에 통화중인 가입자 수로 '얼랑(erlang)'으로 표현한다)에 대한 LIU의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간을 보여주고 있다. 그림의 범례에서 o 는 점유율(occupancy rate)을 나타내고, w 는 입력큐에서의 평균대기시간(mean waiting time)을 의미한다.

프레임 주기가 20 ms이고 사용자 패킷의 처리시간이 0.05 ms 및 0.06 ms인 경우, LIU는 기준부하 A(B)에서 각각 224(256) 및 190(212) 얼랑의 음성 트래픽을 처리할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 프레임 간격이 10 ms이고, 사용자 패킷의 처리시간이 0.025 ms 및 0.03 ms인 경우에는 기준부하 A(B)에서 각각 230(260) 및 184(210) 얼랑을 처리할 수 있다. LIU에서의 패킷 처리시간은 패킷 길이와는 무관하고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 20 ms의 경우보다 2배의 트래픽이 입력되므로, 20 ms 프레임 주기에 처리시간을 각각 0.05 ms 및 0.06 ms로 한 경우와 10 ms 프레임 주기에 처리시간을 각각 0.025 ms 및 0.03 ms로 한 경우는 결과는 거의 같게 된다.

그러므로, 20 ms 프레임 주기의 경우에는 패킷 처리시간을 약 0.05 ms로 설정하고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 패킷 처리시간을 약 0.025 ms로 설정하면, 기준부하 B까지 트래픽이 부가되어도 입력큐에서의 평균대기시간은 급격하게 증가하지 않기 때문에 LIU 입력큐에서의 평균대기시간이 트래픽 데이터의 전송지연시간에 영향을 미치지 않을 것으로 보인다.

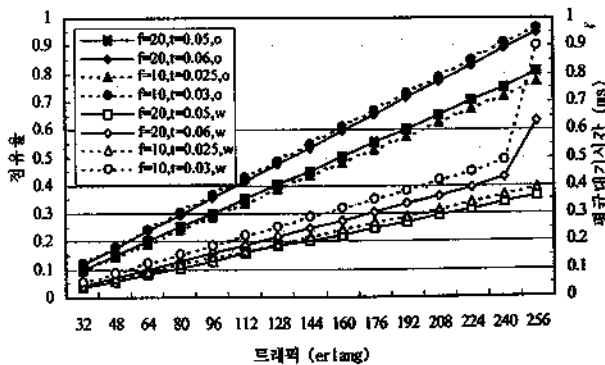


그림 6. LIU의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간.

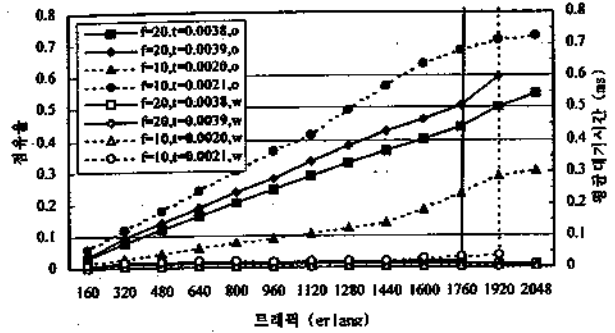


그림 7. BIS의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간.

5.1.2 BIS

<그림 7>은 타임아웃 시간을 3 ms ($T = 3$)로 설정하였을 때, 부가되는 트래픽에 대한 BIS의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간을 보여준다. 20 ms 프레임 주기의 경우는 BIS에서의 ATM 셀 처리시간을 0.0038 ms로 설정하고, 목표치인 2,048 얼랑의 트래픽을 부가하게 되면, 점유율은 54.48%로 기준부하 A 이하가 되고, 입력큐에서의 평균대기시간도 0.0099 ms 정도가 된다. 그러나, ATM 셀 처리시간을 0.0039 ms로 설정하면, 1,920 얼랑의 트래픽이 입력되어도 입력큐에서의 평균대기시간은 7.6693 ms로 급격하게 증가하게 된다. 그러므로 20 ms 프레임 주기의 경우에는 처리시간을 0.0038 ms 이내로 설계해야 함을 알 수 있다.

10 ms 프레임 주기의 경우는 ATM 셀 처리시간을 0.0020 ms로 설정하고, 2,048 얼랑의 트래픽이 부가되면, 점유율은 30.18% 정도가 되고, 이때의 입력큐에서의 평균대기시간은 0.0044 ms로 대단히 작게 된다. 그러나, ATM 셀 처리시간을 0.0021 ms로 설정하고 2,048 얼랑의 트래픽이 입력되면, 점유율은 72.74%로 기준부하 B 이하가 되지만, 입력큐에서의 평균대기시간은 159.237 ms로 급격하게 증가되어 트래픽 데이터의 전송지연시간에 크게 영향을 미치게됨을 알 수 있다. 그러므로, 10 ms 프레임 주기의 경우, 목표치인 2,048 얼랑의 트래픽을 처리하기 위해서는 BIS에서의 ATM 셀 처리시간을 0.0020 ms 이하로 설계하여야 한다.

5.1.3 STS

<그림 8>은 타임아웃 시간을 3 ms ($T = 3$)로 설정하였을 때, 부가되는 트래픽에 대한 STS의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간을 보여준다. 또한, 25% 정도의 소프트 핸드오프를 고려하고 있기 때문에 STS에 부가되는 실제의 트래픽 양은 X축의 통화중인 가입자 수에 25%를 추가한 값이 된다.

20 ms 프레임 주기의 경우에 ATM 셀 처리시간을 0.0357 ms로 설계하면, 256 얼랑의 트래픽이 부가될 때 점유율은 79.3%로 기준부하 B 정도가 되고, 입력큐에서의 평균대기시간은 0.0448 ms로 크지 않음을 알 수 있다. 또한, ATM 셀 처리시간을 0.0370 ms로 설계한 경우는 256 가입자로부터의 트래픽이 입력되면, 점유율은 87.22% 정도로 기준부하 B 이상이 되고, 이

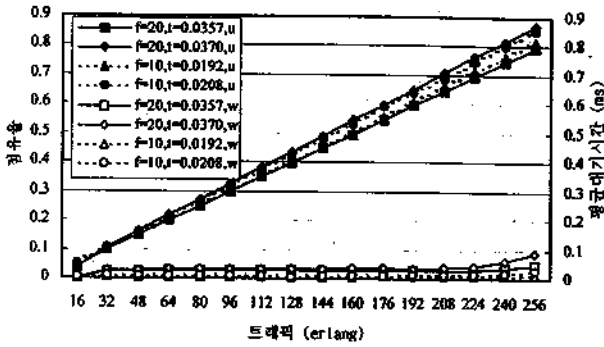


그림 8. STS의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간.

때의 입력큐에서의 평균대기시간은 0.0872 ms 정도가 된다. 기준부하 B까지의 입력 트래픽을 처리를 처리한다고 가정하고 있기 때문에, ATM 셀 처리시간은 0.0357 ms 이내가 되어야 한다.

10 ms 프레임 주기의 경우는 처리시간을 0.0192 ms로 설계하게 되면, 256 일량의 트래픽이 추가되었을 때, 점유율은 81.7%가 되고, 입력큐에서의 평균대기시간은 0.013 ms 정도가 된다. 그러나, 처리시간을 0.0208 ms로 한 경우는 256 일량이 추가될 때 점유율은 85.2%가 되어, 기준부하 B까지 트래픽을 처리한다고 가정하면, ATM 셀 처리시간은 0.0192 ms 이내가 되어야 함을 알 수 있다.

5.2 물리링크의 전송능력

5.2.1 기지국 내부 패킷버스

<그림 9>는 추가되는 트래픽에 대한 기지국 내부 패킷버스의 전송 능력을 보여준다. 기지국 내부 패킷버스에는 <표 1>에 주어진 패킷 길이에 8 byte의 제어용 오버헤드가 추가된 길이의 패킷이 전송되기 때문에, 10 ms 프레임 주기($f=10$)의 경우가 20 ms 프레임 주기($f=20$)의 경우보다 단위 시간당 추가되는 패킷 길이가 크게 된다. 또한, 프레임 staggering 전송방식을 사용하고 있으므로 같은 전송시점을 갖는 가입자의 수가 10 ms 프레임 주기의 경우가 20 ms 프레임 주기의 경우보다 많게 된다. 그러므로, 10 ms 프레임 주기의 경우는 기지국 내부 패킷버스의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간이 20 ms 프레임 주기의 경우보다 크게 된다.

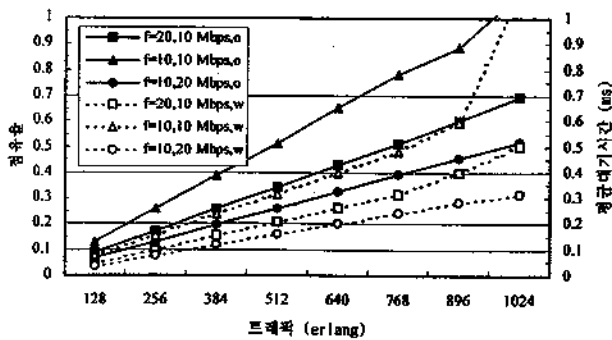


그림 9. 기지국 내부 패킷버스의 전송능력.

20 ms 프레임 주기의 경우는 기지국 내부 패킷 버스의 전송 속도가 10 Mbps가 되어도 기준부하 A에서 목표치인 1,024 일량을 충분히 처리할 수 있고, 이 때의 입력큐에서의 평균대기시간은 0.5 ms로 그리 크지 않게 된다. 그러나, 10 ms 프레임 주기의 경우에는 전송속도가 10 Mbps이면, 기준부하 B에서 약 790 일량 정도만 처리할 수 있고, 약 900 일량 이상의 트래픽이 추가되면 입력큐에서의 평균대기시간이 급격히 증가하게 된다. 그러므로, 10 ms 프레임 주기의 경우는 기준부하 A 또는 B에서 1,024 일량을 처리하기 위해서 기지국 내부 패킷버스의 전송속도를 높여야 함을 알 수 있다. 전송속도를 20 Mbps로 하게 되면, 기준부하 A 이하에서 약 1,024 일량을 처리할 수 있고, 이때의 입력큐에서의 평균대기시간도 0.32 ms 정도로 크지 않게 됨을 알 수 있다.

5.2.2 E1 링크

<그림 10>과 <그림 11>은 프레임 주기 (f)와 LIU에 설정한 타임아웃 시간 (T)이 주어질 때, 추가되는 트래픽에 대한 E1 링크의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간을 보여준다. 그림으로부터 타임아웃 시간은 어느 정도 길게 설정할수록 E1 링크를 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 타임아웃 시간을 짧게 설정하면, 타임아웃 시간 내에 미시셀이 다중화될 확률은 낮아지기 때문에, E1 링크로 전송되는 ATM 셀의 수가 증가되어 E1 링크의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간은 증가된다. 그러나, 추가되는 트래픽이 어느 정도 증가되면 (예를 들어, 20 ms 프레임 주기의 경우는 48 일량 이상의 트래픽이

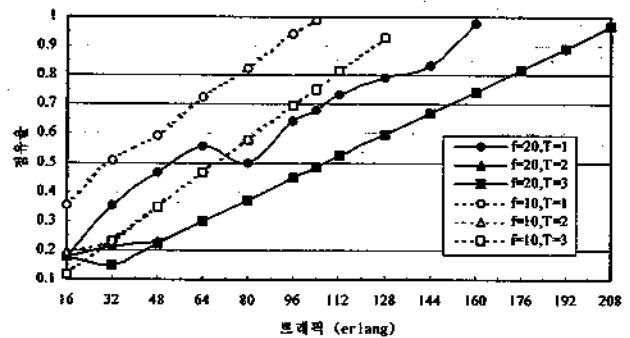


그림 10. E1 링크의 점유율.

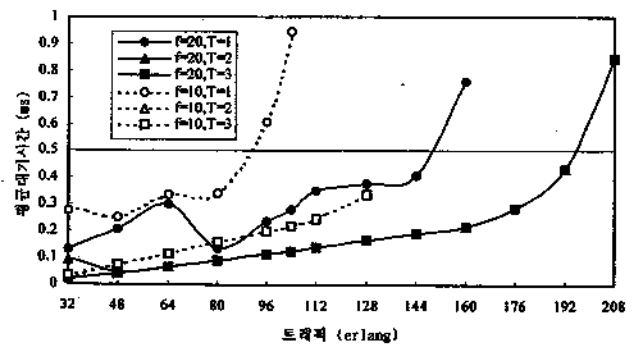


그림 11. E1 링크 입력큐에서의 평균대기시간.

부가되고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 32 일량 이상의 트래픽이 부가되면, 타임아웃 시간을 2 ms 또는 3 ms 이상으로 설정한 경우의 E1 링크의 점유율 및 입력큐에서의 평균대기시간은 같게 된다. 이는 어느 정도 이상의 가입자가 통화중이고, 타임아웃 시간을 2 ms 또는 3 ms 정도로만 설정하여도 주어진 타임아웃 시간 내에서 다중화 어득은 충분히 반영되어, 타임아웃 시간을 더 이상 길게 설정하여도 E1 링크의 전송효율에는 영향을 미치지 않기 때문이다. 또한, 단위시간 동안에 입력되는 총 미니셀의 길이는 20 ms 프레임 주기의 경우가 10 ms 프레임 주기의 경우보다 짧으므로 20 ms 프레임 주기의 경우가 E1 링크를 효율적으로 이용하게 된다.

한편, 하나의 E1 링크에 수용할 수 있는 통화중인 가입자 수를 산술적으로 계산하면 다음과 같다. E1 링크에서의 ATM 셀당 소요되는 서비스 시간(t_s)은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$t_s = \frac{L_{ATM}}{C_{E1}} = \frac{424(\text{bit})}{2(\text{Mbps})} = 0.212(\text{ms}) \quad (3)$$

여기서, L_{ATM} 은 ATM 셀의 길이로 53 byte이고, C_{E1} 은 E1 링크의 전송속도를 나타낸다. 초당 전송할 수 있는 ATM 셀의 개수(n_{cell}) 및 미니셀의 개수(n_{mcell})는 각각 식 (4) 및 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$n_{cell} = \frac{1(\text{sec})}{0.212(\text{ms})} = 4716.981(\text{cell/sec}) \quad (4)$$

$$n_{mcell} = \begin{cases} n_{cell} \times n_{gain} = 4716.981 \times n_{gain}, & \text{if } f=20 \\ n_{cell} \times n_{gain} = 4716.981 \times n_{gain}, & \text{if } f=10 \end{cases} \quad (5)$$

그러면, 프레임 주기 동안에 동시에 통화할 수 있는 가입자 수(N_s)는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$N_s = \begin{cases} f \times n_{mcell} = 0.02 \times 4716.981 \times n_{gain}, & \text{if } f=20 \\ f \times n_{mcell} = 0.01 \times 4716.981 \times n_{gain}, & \text{if } f=10 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, 5.4절에서 구한 식 (8)의 값을 식 (6)의 n_{gain} 에 대입하면, 동시에 통화 가능한 가입자 수는 다음과 같이 된다.

$$N_s \approx \begin{cases} 224.981, & \text{if } f=20 \\ 144.392, & \text{if } f=10 \end{cases}$$

또한, 기준부하 B에서의 통화가능한 가입자 수($N_{S(\text{기준부하B})}$)는 아래와 같고, <그림 10>에서 타임아웃시간이 2 ms 또는 3 ms 인 경우의 시뮬레이션 결과와 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

$$N_{S(\text{기준부하B})} \approx \begin{cases} 224.981 \times 0.8 = 179.985, & \text{if } f=20 \\ 144.392 \times 0.8 = 115.514, & \text{if } f=10 \end{cases}$$

기준부하 B까지 트래픽을 처리한다면 산술적인 방법 및 시뮬레이션 결과로부터 20 ms 프레임 주기의 경우는 약 180 가입자를 수용하므로, 6개의 E1 링크로 1024 가입자 수용할 수 있고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 약 115 가입자를 수용하므로, 9개의 E1 링크로 1024 가입자를 수용할 수 있다.

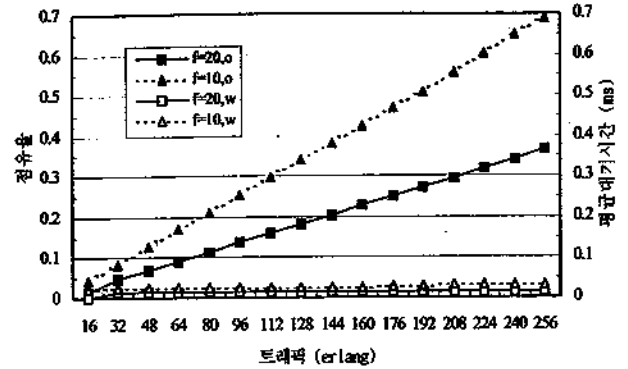


그림 12. TP25 링크의 전송능력.

5.2.3 TP25 링크

<그림 12>는 타임아웃 시간을 3 ms ($T=3$)로 설정하였을 때, 부가되는 트래픽에 대한 TP25 링크의 전송능력을 보여준다. STS의 경우와 마찬가지로 TP25 링크에 부가되는 실제의 트래픽 양은 X축의 통화중인 가입자 수에 25%를 추가한 값이 된다.

전송속도가 25.6 Mbps인 TP25 링크는 목표치인 256 일량의 트래픽이 입력되어도 프레임 주기에 관계없이 기준부하 A 이하의 점유율을 보이고 있으므로, 설계치인 25.6 Mbps의 전송속도는 충분하다고 할 수 있다. 또한, 목표치의 트래픽이 부가되어도 입력큐에서의 평균대기시간은 0.05 ms 이하가 되므로, 트래픽 데이터의 전송지연시간에는 영향을 미치지 않을 것으로 보인다.

5.3 다중화 지연시간 및 타임아웃 확률

<그림 13>과 <그림 14>는 각각 부가되는 트래픽에 대하여 미니셀의 다중화를 위해서 기다리는 평균 다중화 지연시간 및 미니셀이 설정된 타임아웃 시간(T) 내에 다중화되지 못할 비율인 타임아웃 확률을 보여준다. 여기서 LIU에서의 처리시간은 20 ms 프레임 주기의 경우는 0.05 ms로 가정하고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 0.025 ms로 가정하고 있다.

<그림 13>으로부터 타임아웃 시간을 길게 설정한 경우가 짧게 설정한 경우보다 평균 다중화 지연시간이 당연히 크게

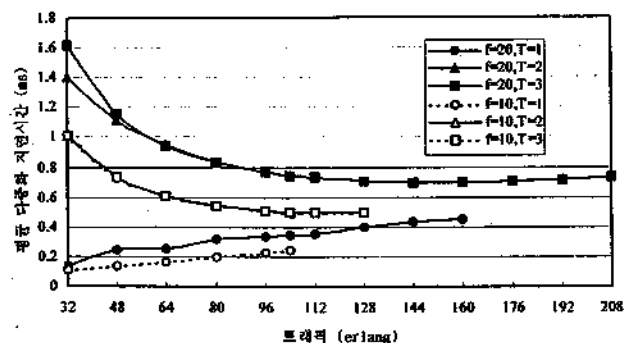


그림 13. 부하에 대한 평균 다중화 지연시간.

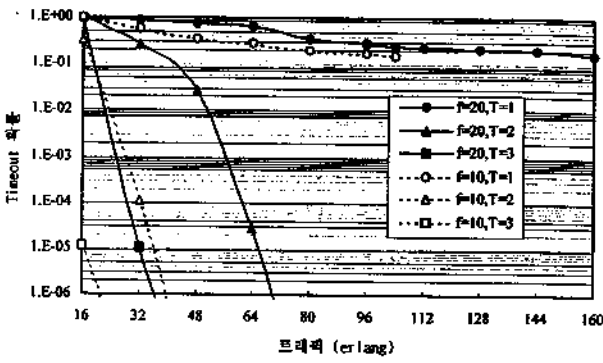


그림 14. 부하에 대한 사용자 패킷의 타임아웃 확률.

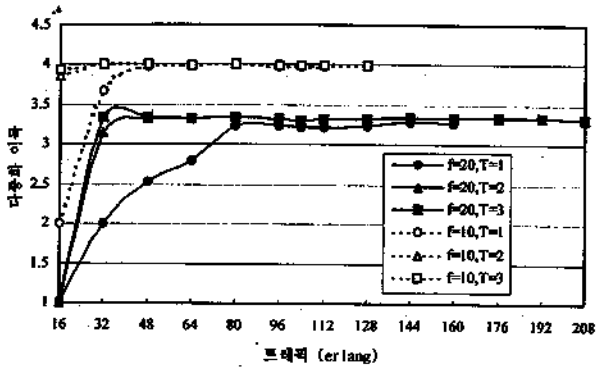


그림 15. 다중화 이득.

됨을 알 수 있다. 타임아웃 시간을 길게 설정한 경우는 타임아웃 시간 내에 많은 사용자 패킷이 도착되므로 다중화 확률은 높아지게 되고, 결과적으로 평균 다중화 지연시간은 감소하게 된다. 그러나 타임아웃 시간을 짧게 설정하게 되면, 타임아웃 시간 내에 도착하는 사용자 패킷의 수가 타임아웃 시간을 길게 설정한 경우보다 작게 되어 다중화 확률은 낮아지게 되고, 평균 다중화 지연시간은 증가하게 된다. 또한, 10 ms 프레임 주기의 경우가 20 ms 프레임 주기의 경우보다 패킷의 도착간격이 짧기 때문에, 주어진 타임아웃 시간 내에서 다중화를 위하여 기다리는 평균 다중화 지연시간은 짧게 됨을 알 수 있다.

한편, 타임아웃 확률의 권고값을 10^{-3} 이하로 가정하면, <그림 14>로부터 타임아웃 시간을 1 ms 정도로 짧게 설정한 경우 부가되는 트래픽이 증가하여도 프레임 간격과 관계없이 타임아웃 확률은 권고값을 만족시키지 못하게 된다. 그러나, 타임아웃 시간을 2(3) ms로 설정하면, 20 ms 프레임 주기의 경우는 약 56(24) Erlang의 트래픽이 입력되면 99.9% 이상의 사용자 패킷이 ATM 셀 페이로드에 다중화되어 전송되고, 10 ms 프레임 주기의 경우는 약 32(16) Erlang의 트래픽이 입력되면, 99.9% 이상의 사용자 패킷이 ATM 셀 페이로드에 다중화되어 전송될 수 있음을 알 수 있다.

5.4 AAL-2 구조 사용시의 다중화 이득

정상상태에서의 미니셀의 평균길이 및 다중화 이득을 산술적으로 계산하면 다음과 같다. 먼저, 사용자 패킷의 평균길이 (L_{pkt})는 <표 1>을 이용하여 구하면 식 (7)과 같이 얻는다.

$$L_{pkt} = \begin{cases} P_{full} \times 22 + P_{half} \times 10 + P_{eighth} \times 2 = 8.708, & \text{if } f=20 \\ P_{full} \times 11 + P_{half} \times 5 + P_{eighth} \times 5 = 4.354, & \text{if } f=10 \end{cases} \quad (7)$$

또한, 3 byte의 CPS-패킷헤드 및 8 byte의 오버헤드를 추가하면, 20 ms 및 10 ms 프레임 주기의 미니셀의 평균길이 (L_{msell})는 각각 19.708 byte 및 15.354 byte가 된다. 그러면, 하나의 ATM 셀에 다중화될 수 있는 미니셀의 수, 즉, 셀당 다중화 이득 (n_{gain})은 식 (8)과 같이 계산된다. 여기서, 타임아웃 시간은

∞ 로(즉, 타임아웃 시간은 무시) 가정하고 있다.

$$n_{gain} = \begin{cases} \frac{53 - 5(\text{ATM 셀 헤드}) - 1(\text{시작 필드})}{19.708} \approx 2.3848, & \text{if } f=20 \\ \frac{53 - 5(\text{ATM 셀 헤드}) - 1(\text{시작 필드})}{15.354} \approx 3.0611, & \text{if } f=10 \end{cases} \quad (8)$$

정수값을 취하면, 식 (9)와 같이 다중화 이득이 구해진다.

$$n_{gain} = \begin{cases} \lceil 2.3848 \rceil = 3, & \text{if } f=20 \\ \lceil 3.0611 \rceil = 4, & \text{if } f=10 \end{cases} \quad (9)$$

여기서, $\lceil X \rceil$ 는 X와 같거나 큰 정수값 중에서 최소값을 의미한다.

<그림 15>는 20 ms 및 10 ms 프레임 간격과 타임아웃 시간을 고려할 때, 다중화 이득에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 부가되는 트래픽이 증가하게 되면, 다중화 이득은 일정하게 됨을 알 수 있고, 식 (9)의 계산값과 $T=2$ 또는 $T=3$ 의 경우의 시뮬레이션 결과가 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 여기서, 시뮬레이션의 경우의 다중화 이득 평균 ($\overline{n_{gain}}$)은 ATM 셀 내의 다중화 이득에 대한 정수값을 먼저 취한 후, 이들에 대한 평균을 취하고 있으므로, 산술적으로 계산한 결과보다는 약간 높게 된다. 즉, $\overline{n_{gain}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lceil n'_{gain} \rceil$ 로 n'_{gain} 은 각 ATM 셀 내의 다중화 이득을 의미한다.

5.5 트래픽 데이터의 전송지연시간

제어국 내의 트랜스코더와 셀렉터 사이의 데이터 전달은 정확한 데이터 전달 타이밍을 정의함으로써 이루어진다. 이를 위하여 호가 설정될 때 각 호마다 해당 트랜스코더 채널에 대하여 OFFSET 값을 정의하게 된다. 또한, 트래픽 데이터의 전달은 OFFSET 값에 의해 결정된 시각이 되면 버퍼에서 데이터를 읽어 가는 방식으로 설계되어 있다. 결정된 시간이 경과한 후에 도착한 데이터는 유실되고 프레임 오류가 발생된다. 그러므로, OFFSET 값을 결정하기 위해서는 RCE에서 송신한 트래

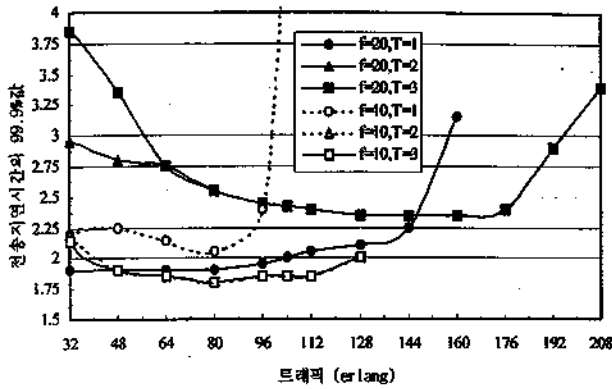


그림 16. 트래픽 데이터의 전송지연시간의 99.9% 값.

픽 데이터가 STS에 도착하는 데 소요되는 전송지연시간을 정확히 산출하여야 하는데, 본 연구에서는 음성 트래픽을 대상으로 하기 때문에 10^{-3} 의 프레임 오류는 허용하는 것으로 가정한다.

<그림 16>은 E1 링크에 부가되는 트래픽에 대한 전송지연시간의 99.9% 값을 보여준다. 본 연구에서는 최악의 경우의 전송지연시간을 평가하기 위하여 트래픽 처리와 관련된 블록 및 물리링크에는 목표치의 트래픽을 부가하고 있다. 즉, <그림 3>의 큐잉 네트워크 모델에서 μ 값은 1,024로 고정시키고, BIS 및 STS에는 총 부가된 트래픽이 2,048 일량 및 256 일량이 되도록 하고, E1 링크에 16, 32, ..., 208 일량의 트래픽을 부가한다. 또한, 트래픽 처리 관련 블록인 LIU, BIS, STS에서의 트래픽 데이터의 처리시간은 20 ms 프레임 주기의 경우는 각각 0.05 ms, 0.0038 ms, 0.0357 ms로, 10 ms 프레임 주기의 경우는 각각 0.025 ms, 0.0020 ms, 0.0192 ms로 가정하고 있다.

타입아웃 시간을 2 ms 또는 3 ms 설정한 경우는 부가되는 트래픽이 증가되면, 타입아웃 확률이 감소되기 때문에 전송지연시간의 99.9% 값도 감소된다. 그러나, 기준부하 A 또는 B 이상의 트래픽이 입력되면, E1 링크 입력큐에서의 평균대기시간의 증가로 인하여 전송지연시간의 99.9% 값도 증가함을 알 수 있다. 그러므로 기준부하 B까지 입력 트래픽을 전송한다고 가정하면, 전송지연시간의 99.9%를 20(10) ms 프레임 주기의 경우는 약 2.75(2.0) ms로 설정하고, 입력 트래픽이 64(32) 일량 이하의 경우에 대해서는 타입아웃 시간을 설정하지 않고 LIU 블록에서 입력된 패킷을 처리한 후 E1 링크로 전송하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 타입아웃 시간을 설정하지 않는 경우의 E1 링크의 성능은 추후 평가해야 하지만, 입력되는 트래픽이 작은 경우는 5.2.2절에서 보여 주는 것처럼 타입아웃 시간을 1 ms로 설정한 경우와 큰 차이가 없을 것으로 보이기 때문이다.

한편, 타입아웃 시간을 1 ms 정도로 짧게 설정한 경우는 전송지연시간의 99.9% 값은 타입아웃 시간을 길게 설정한 경우보다 작게 되지만, 하나의 E1 링크에 수용할 수 있는 가입자의 수가 감소하기 때문에 효율적이지 못하다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 IMT-2000 망에서 압축된 음성 트래픽을 AAL-2 구조로 만든 후, 기지국에서 제어국의 셀래터/트랜스코더 서브시스템으로 전송할 때의 성능을 제시하기 위하여 이를 큐잉 네트워크로 모델링하였다. 주어진 큐잉 네트워크 모델에 대하여 8 kbps 음성부호기를 사용할 때의 패킷 길이의 분포, overlapping 방식의 다중화 기법, 20 ms 및 10 ms의 프레임 주기, 그리고 프레임 staggering 개념을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 후, ATM 셀 페이로드에 미니셀이 채워져서 전송되기 위하여 LIU에 설정하여야 할 타입아웃 시간, 트래픽 처리와 관련된 블록에서의 처리시간의 설계값, 전송로의 전송효율, 트래픽 데이터의 전송에 소요되는 전송지연시간의 99.9% 값을 제시하였고, 20 ms 프레임 주기의 경우가 10 ms 프레임 주기보다 효율적으로 액세스 망의 자원을 이용할 수 있음을 보였다. 또한, 하나의 E1 링크에 수용할 수 있는 통화중인 가입자 수 및 다중화 이득을 시뮬레이션 및 산술적인 방법을 이용하여 제시하였다.

본 연구에서 제시한 각 블록에서의 처리시간의 설계값은 트래픽 데이터의 처리만을 고려하였고, 트래픽 처리를 위한 스케줄링, 인터럽트 처리 등은 고려하지 않았기 때문에 실제 구현시에는 보다 정확한 분석이 요구된다. 또한, AAL-2 구조를 갖는 음성 트래픽만을 고려하였기 때문에, AAL-5 구조를 갖는 트래픽이 혼재하는 경우의 성능을 분석하여야 한다. 추후 이러한 경우까지 고려한 IMT-2000 망에서의 트래픽 제어 및 성능 분석에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- 박영욱, 유병한, 백장현 (1999), IMT-2000 망에서 음성 트래픽에 대한 전송로의 성능분석, IE'99 추계공동학술대회, 906-910.
- 유병한¹, 임순용, 백장현 (1999), IMT-2000 시스템에서 음성 트래픽에 대한 성능분석, JCC'99, 455-459.
- 유병한², 안지환, 임덕빈, 백장현 (1999), CDMA 이동통신 시스템에서 발신이동호의 호처리용량 평가, 한국통신학회논문지, 24(5A), 683-691.
- Alan, A. and Pritsker, B., (1986), *Introduction to Simulation and SLAM II*, System Publishing Corporation.
- Gerlich, N. and Menth, M. (1998), The performance of AAL-2 carrying CDMA voice traffic, *Proc. of 11-th ITC Specialist Seminar*, 17-24.
- International Telecommunication Union (1997), B-ISDN ATM Adaptation Layer Type 2 Specification, *ITU-T Recommendation I.363.2*, 74-127.
- Kitamura, Y., Nagota, K., Yuosuda, S., and Toriyama, T. (1997), Implementation of AAL-2 for low bit-rate voice over ATM, *Proc. of ISS'97*, 271-276.
- McLoughlin, M. and Mumford, K. (1997), A management briefing on adapting voice for ATM networks; a comparison of AAL-1 versus AAL-2, *General DataComm.*, 1-10.
- Nakamura, H., Onuki, M., and Nakajima, A. (1995), Using ATM to carry very low bit rate mobile voice signals, *Proc. of ICUPC'95*, 863-867.
- Saito, Y., Onuki, M., Nakamura, H., and Nakajima, A. (1996), Layered cell

structure for mobile ATM network, *Proc. of ICG'96*, 1254-1257.

Sriram,¹ K., Lyons, T.G., and Wang, Y.T. (1999), Anomalies due to delay and loss in AAL-2 packet voice systems: performance models and methods of mitigation, *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, 17(1), 4-17.

Sriram,² K. and Wang, Y. T. (1999), Voice over ATM using AAL-2 and bit dropping: performance and call admission control, *IEEE J. Select. Areas in*

Commun., 17(1), 18-28.

Whitt,¹ W. (1983), The queuing network analyzer, *The Bell System Technical Journal*, 62(9), 2789-2815.

Whitt,² W. (1983), The performance of queuing network analyzer, *The Bell System Technical Journal*, 62(9), 2817-2843.

유병한

한양대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

Osaka University 정보공학과 박사

현재: 한국전자통신연구원 무선·방송기술
연구소 기지국기술연구부 책임연구원

관심분야: 통신망 설계, 유·무선통신, 트래픽 엔지니어링, 시스템 성능평가

백장현

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

서울대학교 산업공학과 박사

현재: 전북대학교 산업공학과 조교수

관심분야: 통신망 설계, 유·무선통신, 트래픽 엔지니어링, 시스템 성능평가

안지환

충남대학교 전자공학과 학사

서울대학교 전자공학과 석사

현재: 한국전자통신연구원 무선·방송기술
연구소 기지국기술연구부장 책임연구원

관심분야: 유·무선통신, 제어국 개발, 트래픽 엔지니어링