

論文99-36S-10-4

# ATM-프레임 릴레이 망 연동장치의 셀 수신 버퍼 용량 분석

## (Cell Buffer Analysis for ATM-to-Frame Relay Interworking)

李聖昌\*, 南允錫\*\*, 金廷式\*\*

(Sung-Chang Lee, Yoon-Seok Nam, and Jeong-Sik Kim)

### 요 약

본 논문에서는 ATM 망과 FR(Frame Relay) 망간의 연동장치(IWU)에서 ATM 망으로부터 프레임 셀들을 수신하여 프레임으로 복원한 후 FR 망으로 전송하는 프레임 셀 수신 버퍼의 소요량을 분석하였다. 이 프레임 셀 수신 버퍼에는 ATM 망을 통하여 다수의 다른 FR 망들로부터의 프레임 셀들이 다중화되어 입력된다. 수신되는 셀들은 VPI/VCI별로 동시에 프레임으로 조립되고, 프레임이 완성되면 각 연결의 설정에 따라 여러 개의 FR 망 전송 링크들 중 하나로 전송용량에 따라 순차적으로 전송된다. 따라서, IWU의 셀 수신부에는 다중화된 프레임 셀들을 VPI/VCI별로 동시에 프레임으로 조립하기 위한, 또한, 조립이 완성된 프레임에 대해서는 FR 링크로 전송되기까지 대기할 충분한 버퍼가 필요하다. 본 논문에서는 프레임 셀 수신 버퍼에 입력되는 트래픽 및 버퍼를 모델링하고 입력되는 트래픽의 파라미터들, 다중화 FR 연결의 수 및 FR 출력 링크의 수 및 전송능력 등의 향으로 프레임 손실 확률을 유도하였다. 이 손실 확률에 따라 주어진 손실 확률을 만족하는 소요 버퍼량을 여러 가지 연동 환경을 가정하여 분석하고 제시하였다. 또한, FR 연결의 다중화 수, 출력 링크의 수에 따른 손실율 및 버퍼 소요량의 변화 등을 분석하여 제시하였다.

### Abstract

In this paper, the size of IWU frame cell buffer is analyzed that receives FR frame cells from other FR networks through ATM backbone network. The frame cell buffer receives multiplexed ATM cells from other IWUs that provide interworking with ATM network for other FR networks. A receiving IWU reassembles frames from multiplexed ATM cells by identifying the VPI/VCIs. The reassembled frames are transmitted on FR network links according to their destination. Therefore, IWU needs sufficient amount of buffers for the assembly of the frames and for providing the assembled frames with the queue to wait until the frame is transmitted by FR network link. In this paper, the probability of frame loss at the frame cell buffer is derived in terms of traffic parameters, the number of multiplexed FR connections, the number of FR links and the transmission capacity. By applying the derived results, we analyzed the required buffer size for a given probability of frame loss. Also, it is presented that how the probability and the required size are effected by the number of multiplexed FR connections and FR transmission links.

\* 正會員, 韓國航空大學校 通信情報工學科  
(Department of Telecommunications, Hankuk Aviation  
University)

(Electronics and Telecommunications Research  
Institute)

接受日字: 1998年10月20日, 수정완료일: 1999年9月7日

\*\* 正會員, 韓國電子通信研究院 交換傳送研究所

### I. 서론

저속으로부터 광대역에 이르기까지, 그리고, 모든 형태의 통신을 하나의 통일된 망에 의해 서비스한다는 개념하에서 B-ISDN(Broadband-Integrated Services Digital Network)이 탄생하였다. 그리고, B-ISDN의 구축을 위한 기술적인 기반으로서 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 기술이 채용되어 이미 실용 단계에 이르렀다. 그러나, 통신망 진화의 미래는 방향을 예측하기 어려울 뿐만 아니라, B-ISDN의 실현이 온다고 해도 상당한 시간이 소요될 것이므로 현재 도입되고 있는 ATM 망은 오랜 기간 기존의 망들과 공존해야 할 것이다. 따라서, 현재 공중망 혹은 LAN(Local Area Network)의 중추망(Backbone)망으로 주로 도입되고 있는 ATM 망이 기존의 통신망들과 연동(Interworking)되어야 함은 필수적이다.

프레임릴레이(Frame Relay : FR)는 ITU-T와 ANSI에 규정된 fast packet 기술로서, 등장 초기부터 많은 선진국에서 각광을 받았다. ATM이 실용화된 현재에도 ATM 망으로의 진화 전단계 망으로서 그 수요는 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 맥락에서 현재 WAN(Wide Area Network) 등의 분야에서 사실 데이터 망들의 접속에 많이 활용되고 있는 프레임릴레이(Frame Relay) 망과 도입 단계에서 공중망의 중추망 역할이 주목 받는 ATM망과의 연동은 특히 필수적이라 하겠다. 프레임릴레이 망과 ATM 망과의 연동에 관해서는 ITU-T 권고안 I.555과<sup>[1]</sup> Frame Relay Forum Implementation Agreement(IA)(FRF.5, FRF.8)<sup>[2,3]</sup> 그리고 ATM Forum B-ICI Specification<sup>[4]</sup> 등에 기술되어 있다.

ATM망과 FR망간의 연동을 위해서는 두 망 사이에는 연동기능(IWF)을 수행하는 장치가 필요하며, 이것이 연동장치(Interworking Unit : IWU)이다. 본 논문에서는 IWU에서 ATM 망으로부터 FR망으로의 연동 처리에 소요되는 버퍼의 양을 분석하였다. FR 망에서 ATM쪽으로 송신하는 경우에는, FR 링크로부터 물리적 전송용량에 의해 한정된 트래픽이 유입되므로 버퍼량의 산출이 쉽고 ATM으로의 전송 처리 능력이 입력 링크의 용량에 맞게 할당되면 프레임 손실의 우려는 없다. 반면에, ATM망으로부터 프레임 셀을 수신하는 경우에는 다수의 FR망으로부터 다중화된 트래픽이 유

입되므로, 다른 FR망으로부터의 프레임 셀들을 동시에 조립해야 하며 또한 FR망으로의 대기열도 다수가 될 수 있으므로 손실율 및 버퍼량의 산출이 용이하지 않다. 즉, 버퍼의 IWU의 셀 수신측에서는 다수의 FR망들로부터 ATM망을 통해 다중화되어 입력되는 셀들을 VPI/VCI 및 채널별로 수신하여 조립하기 위한 버퍼가 필요하며, 또한, 처리가 끝난 프레임은 다시 다수의 FR망으로의 링크로 전송될 때까지 대기해야 한다. FR망으로의 출력 링크의 전송능력은 일정하므로, IWU에 유입되는 프레임 셀 트래픽과 IWU의 버퍼량에 따라 프레임의 손실이 발생할 수 있으며, 프레임의 손실을 막기 위해서는 충분한 양의 버퍼가 필요하다.

제II장에서는 버퍼량의 분석을 위해 우선 ATM망과 FR 망의 연동 환경을 기술하였다. 제III장에서는 주어진 연동환경에서 분석 대상인 IWU 수신부의 트래픽 및 버퍼를 모델링하고, 제IV장에서 입력 트래픽 파라미터들의 향으로 버퍼에서의 프레임의 손실 확률을 유도하였다. 제V장에서는 제IV장에서 유도된 관계식들을 이용하여 주어진 손실 확률을 보장하기 위한 소요 버퍼량을 여러 가지 측면에서 분석하며, 제VI장에서 결론을 맺었다.

### II. ATM-FR 연동환경

그림 1에 ATM망과 FR망간의 연동환경을 보였다. 여러 개의 FR망들은 ATM 백본(backbone)망을 통해서 서로 연결된다. 각 FR망으로부터 다른 FR망으로 전송되는 FR 프레임들의 경우에는 IWU에서 AAL 5 PDU로 만들어져 ATM 셀로 변환된 후 ATM망을 통해 전달된다. ATM망으로부터 IWU에 수신된 프레임 셀들은 다시 프레임으로 조립되어 FR망으로 전송된다.

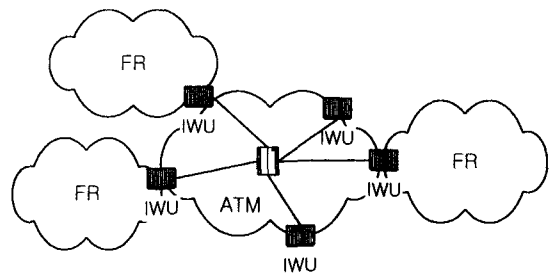
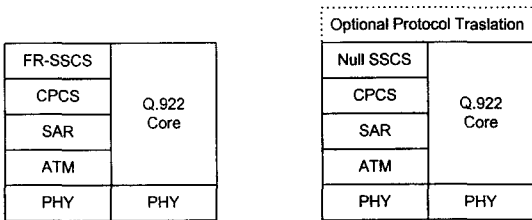


그림 1. ATM 망과 FR망의 연동  
Fig. 1. ATM-FR Interworking.

ITU-T I.555 및 Frame Relay Forum IA에는 B-ISDN과 FR 망간의 연동으로 망 연동(Network Interworking)과 서비스연동(Service Interworking)의 두 가지로 나누어 기술하고 있다. 그림 2에 망 연동 및 서비스 연동에 있어서의 연동기능(Interworking Function : IWF)의 프로토콜 스택을 보였다. 망 연동에서는 FR 프레임이 FR-SSCS PDU를 사용해 ATM 망 상에서 전달된다. 따라서, ATM망 양단의 IWF 혹은 B-CPE에서는 FR-SSCS 처리를 해야 하며, 상호 운용이 가능하도록 미리 구성이 되어야 한다. FR-SSCS PDU는 Q.922 core 포맷에서 CRC-16, Flag, zero bit insertion을 제거한 것으로 프레임의 처리는 간단하다. 한편, 서비스 연동에서는 ATM 서비스 사용자는 FR 특정의 기능을 수행하지 않으며, 마찬가지로, FR 서비스 사용자는 ATM 특정의 기능을 수행하지 않는다. 즉, ATM망 양단에서는 FR-SSCS 처리를 하지 않고 모든 연동은 IWF에서 수행되므로, B-CPE는 상대방 단말이 FR 망에 접속이 되어 있는 지를 알아야 할 필요가 없다.



(a) Network Interworking (b) Service Interworking

그림 2. IWF의 프로토콜 스택  
Fig. 2. IWF Protocol Stack

그림 1에서, FR 망으로부터 IWU에는 일반적으로 다수의 링크가 유입된다. 실제 구현에서, 각 링크는 대개 T1/E1 혹은 T3 링크이며, 링크 전체를 하나로 사용할 수도 있고 다수의 채널들이 다중화된 형태로 (Channelized) 운용할 수도 있다. IWU으로 입력된 각 프레임들은 필요한 연동 처리를 거쳐 AAL 5 CPCS(Common Part Convergence Sublayer) PDU에 담긴 후 셀로 만들어져 ATM 망으로 다중화되어 전송된다. 한편, IWU의 셀 수신부에서는 다수의 FR망으로부터의 FR 프레임 셀들이 ATM 망에서 다중화된 채로 수신된다. 따라서, 수신 IWU는 다중화되어 입력되는 FR 프레임 셀들을 VPI/VCI 별로 수집하여야 하며(일대일 매핑의 경우), 경우에 따라서는 다시 FR-SSCS의

DLCI(Data Link Connection Identifier)별로 나누어 수집해야 한다(Network Interworking의 다대일 매핑의 경우). 이 때, 각 FR망으로부터의 프레임들은 셀로 다중화되어 있으므로 동시에 조립되어야 한다. 따라서, IWU의 셀 수신부에서는 수집된 셀들을 FR 프레임으로 동시에 조립, 복원할 수 있는 충분한 크기의 버퍼가 필요하다. 조립이 끝나면 AAL 5 CPCS처리와 필요한 경우 FR-SSCS 처리를 하여 순서대로 FR 망으로 전송한다. 셀로부터 복원된 프레임들은 FR 망으로의 전송 링크의 용량에 따라 순차적으로 FR망으로 전송될 때까지 대기하여야 하므로 도착 프레임 셀들의 손실을 막기 위해서는 적절한 크기의 버퍼가 필요하게 된다.

### III. 수신 버퍼 및 트래픽의 모델링

ATM망으로부터 다중화된 FR 프레임들의 셀을 수신하는 셀 수신버퍼의 메모리 할당방식으로는 “프레임 단위 버퍼 할당 방식”과 “셀 단위 버퍼 할당 방식”의 두 가지가 있다. 프레임 단위 버퍼 할당 방식에서는 어떤 새로운 프레임의 첫번째 셀이 조립버퍼에 도착하면 항상 미리 결정되어 있는 일정 버퍼량, 즉, FR망에서 허용된 최대 프레임 크기를 수용할 수 있는 버퍼량 (Maximum Frame Size: MFS)이 그 프레임의 수신을 위해 할당된다. 그 프레임에 속하는 후속 셀들은 첫 셀의 도착시에 할당된 버퍼에 차례로 저장되어 마지막 셀이 도착되면 연동 프로토콜의 처리가 수행된다. 각 도착 프레임은 마지막 셀이 도착되어 프레임이 조립 및 처리되고 전송되어 버퍼가 반납될 때까지 할당된 버퍼량을 독점적으로 점유하게 된다.

셀 단위 버퍼 할당 방식은 각 프레임의 매 셀이 도착할 때마다 셀 크기 단위의 버퍼를 각 프레임에 추가적으로 할당하는 방식을 말한다. 셀 단위 버퍼 할당 방식은 버퍼의 사용효율이 높아 총 소요 버퍼량이 적어지는 장점이 있지만, 추가적으로 할당되는 셀 단위 버퍼들의 연결고리를 관리해야 하는 등, 버퍼의 제어 및 관리가 복잡해지는 단점이 있다. 즉, 각 프레임은 그것에 속한 셀이 도착할 때마다 셀 단위로 버퍼를 할당받아 linked list 형태로 버퍼 내에 저장되므로 프레임의 셀 수 만큼의 버퍼량만 사용하게 된다. 그러나, 버퍼를 셀 단위로 관리해야 하며, 여러 프레임들이 셀로 다중화되어 입력되므로 동시에 조립되고 있는 다수의 프레임들의 셀 단위 버퍼 할당을 동시에 관리해야 한다.

한편, 프레임 단위 버퍼 할당 방식은 버퍼의 사용효율이 다소 낮아지지만 버퍼의 제어와 관리가 간편하다. 즉, 각 프레임의 첫 셀이 도착하면 그 프레임에 대해 최대 프레임 길이를 수용할 수 있는 일정량을 할당하므로 마지막 셀이 도착할 때까지 추가적 버퍼 할당 관리가 필요 없다. 이와같은 두 가지 방식간의 선택에는 구현 및 운용의 복잡도와 버퍼량 효율간의 저울질이 필요하다. 하지만, 메모리 사용 효율에 따른 메모리 경비의 차이가 현저하지 않는 한 일반적으로 일정 버퍼량 할당 방식을 선호한다. 본 논문에서도 일정 버퍼량 할당 방식을 가정한다.

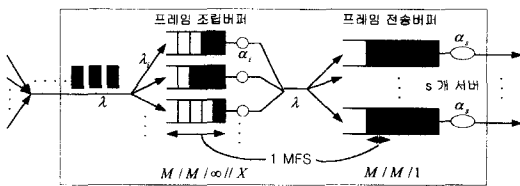


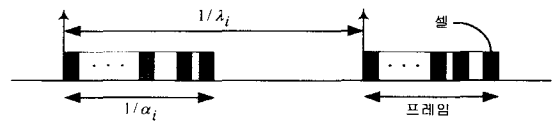
그림 3. FR 프레임 셀 수신 버퍼의 트래픽 모델링  
Fig. 3. Traffic Modeling of FR Frame Cell Receiver Buffer.

프레임 단위 버퍼 할당 방식을 사용한 FR 프레임 셀 수신 버퍼는 그림 3와 같이 모델링 할 수 있다. 셀 수신버퍼는 그림 3에서와 같이 논리적으로 셀들이 프레임으로 복원되는 "(프레임) 조립버퍼"와 조립이 끝난 프레임이 다시 착신측 FR망으로 전송되기까지 대기하는 "(프레임) 전송버퍼"로 모델링 한다. 각 프레임은 그 프레임의 첫 셀이 도착할 때 일정량 버퍼(MFS)를 할당 받고 마지막 셀이 도착하면 논리적으로 조립버퍼를 떠나 전송버퍼로 입력된다. 그러나, 이 조립버퍼에서 전송버퍼로의 입력은 논리적인 이동이며 물리적으로는 이동되지 않는다. 즉, 조립이 끝난 프레임은 착신측 FR망으로의 전송 대상이 되며 DLCI 값에 따라 각 전송 링크의 논리적인 전송 대기행렬에 조립을 마친 순서에 따라 입력이 된다는 의미이다.

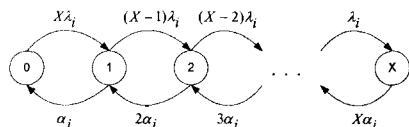
조립버퍼에 입력되는 프레임 단위의 도착은 일반적으로 포아송 도착(Poisson arrival)으로 가정할 수 있다. 또한, 각 도착 프레임의 조립버퍼에서의 서비스 시간은 프레임의 첫 셀 도착에서부터 마지막 셀 도착까지의 시간이 된다. 프레임의 조립이 끝난 뒤에는 ATM과 FR 간의 PDU 연동 처리가 필요하며, 이 처리 시간은 프레임의 길이에 상관없이 일정하다. 따라서, 아주 세밀하게는 조립버퍼와 전송버퍼사이에 연동처리 버퍼가

있으며, 이것은 M/D/1으로 모델링 된다. 그러나, 실제 구현의 사례에서 연동 처리기를 EPLD 하드웨어로 구현한 경우, 연동처리 시간은 64 Kbps channelized의 150byte 프레임 수신시간(즉, 조립버퍼의 서비스 시간)의 약 0.1% 정도로 매우 짧았다. 그러므로, 연동처리에 의한 버퍼량 점유는 전체 버퍼량의 분석에 큰 영향을 미치지 못하며, 본 논문의 분석에서는 분석의 간단화를 위해 이 연동처리를 무시한다.

조립버퍼에서의 서비스 시간은 FR 프레임 길이에 해당하는 셀 버스트의 길이에 비례한다. 조립버퍼에는 ATM망에 접속된 다수의 다른 FR망들로부터의 프레임이 도착된다. 이 프레임들의 길이 분포는 각 송신 FR망 트래픽 원들의 특성에 따라 달라지므로 특정한 하나의 분포로 나타낼 수 없다. 따라서, 공중망 ATM-FR 연동장치에서의 소요 용량 등의 개략적 산출을 위해서 보편적인 하나의 분포를 도입하기로 한다. 본 논문에서는 프레임의 길이 분포로서 공중 패킷망의 분석 등에 흔히 사용되는 지수분포(exponential distribution)로 가정하였다.



(a) 각 FR 연결의 트래픽



(b) 다중화된 X개의 FR 연결들에 의한 임의시각 조립중인 프레임의 수

그림 4. 조립버퍼에서의 수신 프레임 조립  
Fig. 4. Frame reassembly at the Frame Cell Receiver Buffer.

또한, 송신측 IWU에서 FR 링크로부터의 프레임 유입속도와 같은 전송률로 ATM 망으로 전달한다면 수신측 IWU에서의 조립 버퍼의 서비스 시간은 역시 지수분포를 갖게 된다. 물론, ATM망 내에서의 셀 지연 변동(Cell Delay Variation)의 영향이 있을 수 있다. 그러나, FR 프레임의 속도가 대부분 64kbps~2Mbps급인 것에 비해 ATM 망의 전달속도는 155Mbps, 622Mbps 혹은 그 이상 Gbps 급이며, 프레임임을 이루는 셀 버스

트 길이의 변동은 첫 셀 및 마지막 셀의 CDV에 따라 변동하며 이 CDV의 크기는 전체 프레임 길이에 비교할 때 상대적으로 미소하여 무시될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 망 운용 상황을 가정하고, 이에 따라, 조립버퍼는 포아송 도착, 지수분포 서비스 시간을 가진다고 가정하였다. 또한, 조립버퍼는 버퍼의 여유가 있는 한 도착 프레임은 즉시 모두 서비스 받을 수 있으므로, M/M//X으로 모델링 할 수 있다.<sup>[5]</sup> 여기서, X는 customer의 population으로서, 다중화되어 연결되어 있는 FR의 총 연결 수가 된다.

그림 4(a)에 조립버퍼에서 수신되는 다중화된 셀 중에서 임의의 한 FR 연결에 대한 프레임 트래픽의 모델링을 보였다. 그림에서와 같이 다중화된 임의의 한 연결에 대한 프레임의 평균 도착율을  $\lambda_i$ , 프레임의 평균 길이를  $1/\alpha_i$  (시간단위의 길이)라 하면, M/M//X의 상태천이도는 그림 4(b)와 같이 되고 조립버퍼의 평형 상태 버퍼 점유 확률분포는

$$P_k = \binom{X}{k} \cdot \left(\frac{\lambda_i}{\alpha_i}\right)^k \cdot \left(1 + \frac{\lambda_i}{\alpha_i}\right)^{-X} \quad (1)$$

로 구해진다.<sup>[5]</sup> 여기서,

$$\binom{X}{k} = \frac{X!}{(X-k)!k!}$$

이다.

한편, 전송버퍼의 프레임들은 조립이 완성되어 전송의 대상이 되는 프레임들이다. 따라서, 물리적인 프레임의 이동은 없지만, 조립버퍼에서 완성된 프레임은 논리적으로 프레임 전체가 한번에 전송버퍼에 입력되는 것과 같다. 그리고, 전송버퍼내의 프레임들은 FIFO식으로 처리되고, 전송이 모두 끝난 프레임의 버퍼는 한꺼번에 사용 해제가 되어 재사용이 가능해진다. 즉, 조립버퍼와 전송버퍼에서의 서비스 시간은 지수분포로 주어지지만, 각 프레임은 전송버퍼를 완전히 떠날 때까지는 프레임의 길이에 관계없이 일정량의 버퍼량(MFS)을 점유하게 된다. 조립버퍼의 프레임 도착을 Poisson 도착으로 가정하였으므로 Burke's theorem에 의해 전송버퍼의 프레임 도착도 Poisson arrival이 된다.<sup>[6]</sup> 또한, 전송 서비스 시간은 프레임의 길이(바이트 수)에 비례하며 프레임의 바이트 수는 지수분포로 가정하였으므로

로, 임의의 각 전송버퍼는 M/M/1으로 모델링 된다.<sup>[7]</sup> S개 전송버퍼 중 임의의 한 전송버퍼로의 평균 도착율을  $\lambda_s$ , 평균 전송율을  $\alpha_s$ 라 하면, M/M/1 큐의 평형상태 확률분포에 따라 전송버퍼의 점유 확률분포는

$$P_k = (1 - \frac{\lambda_s}{\alpha_s}) \cdot \frac{\lambda_s}{\alpha_s} \cdot \rho_s^k \quad (\text{여기서, } \rho_s = \frac{\lambda_s}{\alpha_s}) \quad (2)$$

로 나타내어진다.

#### IV. 버퍼량과 프레임 손실 확률

앞서 기술한 바와 같이 조립버퍼와 전송버퍼는 논리적인 구별이며 물리적으로는 하나의 메모리를 공유하고 있다. 즉, 조립버퍼에서 전송버퍼로의 입력은 논리적으로 이루어지며, 실제로의 이동은 없다. 각 프레임은 조립버퍼에 입력될 때 이미 버퍼를 할당 받았으며, 조립버퍼에서 전송버퍼로는 논리적으로 입력되므로 프레임은 전혀 손실이 생기지 않는다. 그러나, 처음 프레임이 조립버퍼에 도착할 때에는 버퍼 내에 할당할 수 있는 여유 버퍼가 더 이상 없으면 그 프레임은 손실되게 된다. 본 장에서는 이러한 공유 버퍼에서의 프레임 손실 확률을 버퍼 점유 확률분포의 tail distribution 추정에 의해 산출함으로써 버퍼량과 프레임의 손실확률과의 관계를 도출한다.

제III장에서 기술한 바와 같이 조립버퍼를 M/M/X로 모델링할 경우,  $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\alpha_i}$ 라 하고, 조립버퍼의 점유량에 대한 확률발생함수(probability generating function(p.g.f.))를 구하면,

$$\begin{aligned} g_A(z) &= \sum_{j=0}^{\infty} z^j \cdot P_j = \sum_{j=0}^{\infty} z^j \cdot \binom{X}{j} \cdot \rho_i^j \cdot (1 + \rho_i)^{-X} \\ &= (1 + \rho_i)^{-X} \sum_{j=0}^{\infty} \binom{X}{j} \cdot (\rho_i \cdot z)^j \\ &= (1 + \rho_i)^{-X} \cdot (1 + \rho_i \cdot z)^X \end{aligned} \quad (3)$$

와 같이 유도된다. 한편, 전송버퍼는 M/M/1으로 모델링 하였으므로, 전송버퍼의 점유량에 대한 p.g.f.는

$$g_S(z) = \sum_{j=0}^{\infty} z^j \cdot P_j = \frac{1 - \rho_s}{1 - \rho_s \cdot z} \quad (4)$$

이 된다.<sup>[7]</sup>

그림 3에서와 같이 조립버퍼의 입력 트래픽을 포아송 분포로 가정하였으므로, 전송버퍼의 입력 트래픽도 포아송 분포가 된다. 또한, 각 조립버퍼의 점유량과 각 전송버퍼의 점유량은 서로 독립적이므로 총 버퍼 점유량은 이러한 버퍼 점유량들의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서, 총 버퍼 점유량에 대한 p.g.f.는 각 p.g.f.들의 곱이 된다. 따라서, 그림 3에서와 같이 X개의 다중화된 연결과 S개의 전송서버 및 버퍼가 있는 경우에 p.g.f.는

$$g(z) = [g_A(z)] \cdot [g_S(z)]^S = \frac{(1-\rho_s)^S}{(1-\rho_s \cdot z)^S} \cdot (1+\rho_i)^{-X} \cdot (1+\rho_i \cdot z)^X \quad (5)$$

가 된다. p.g.f.와 전체 총 버퍼 점유량에 대한 확률분포는

$$P_n = \frac{1}{n!} \cdot g^{(n)}(0) \quad (6)$$

의 관계를 가진다.  $g^{(n)}(z)$ 는

$$g^{(n)}(z) = \frac{(1-\rho_s)^S}{(1+\rho_i)^X} \cdot \sum_{k=(n-X)^+}^n \binom{n}{k} \cdot \frac{(1+\rho_i \cdot z)^{X-k}}{(1-\rho_s \cdot z)^{S+k}} \cdot \frac{X!}{(X-n+k)!} \cdot \rho_i^{n-k} \cdot \rho_s^k \cdot \frac{(S+k-1)!}{(S-1)!} \quad (7)$$

와 같이 유도된다. 여기서,

$$(n-X)^+ = \begin{cases} n-X & \text{if } n \geq X \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이다. 그러므로,  $g^{(n)}(0)$ 는

$$g^{(n)}(0) = \frac{(1-\rho_s)^S}{(1+\rho_i)^X} \cdot \sum_{k=(n-X)^+}^n \binom{n}{k} \cdot \frac{X!}{(X-n+k)!} \cdot \rho_i^{n-k} \cdot \rho_s^k \cdot \frac{(S+k-1)!}{(S-1)!} \quad (8)$$

가 되고, 총 버퍼 점유량의 확률분포,  $P_n$ 은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$P_n = \frac{(1-\rho_s)^S}{(1+\rho_i)^X} \cdot \sum_{k=(n-X)^+}^n \binom{X}{n-k} \cdot \binom{S+k-1}{k} \cdot \rho_i^{n-k} \cdot \rho_s^k \quad (9)$$

이 총 버퍼 점유량 확률 분포에 의해  $P[N > n]$ , 즉, 버퍼 점유가  $n$ 을 초과할 확률은

$$P[N > n] = 1 - \sum_{k=0}^n P_k \quad (10)$$

로 구해진다.  $P[N > n]$ 의 식은 Survivor Function이라 불리며, 일반적으로 충분히 큰  $n$  값에 대해 손실확률의 척도로 쓰인다. 즉, 주어진 손실확률에 대한 버퍼 소요량을 구하는 데 자주 쓰인다.<sup>[5, 8, 9]</sup> 또한, Survivor Function은 많은 트래픽 제어에서도 CAC(Call Admission Control)를 위한 손실율의 척도의 개념으로 적용된다.<sup>[7, 8, 9]</sup> 본 논문에서도 총 버퍼 점유량의 tail distribution에 의한 Survivor Function에 의해 프레임의 손실 확률과 버퍼 소요량의 관계를 분석한다.

그러나, 식(1)에서 식(10)까지 유도된 Survivor Function은 다중화된 연결의 수 X와 전송 서버의 수 S가 커지면  $n$ 의 값이 커짐에 따라  $P[N > n]$ 을 구하기 위한 계산량은 급격히 증가하게 된다. 또한, 닫힌 형태의 수식으로 나타낼 수 없는 여러 가지 응용에 활용하기 곤란한 단점이 있다. 이에 비해, tail distribution에 의한 프레임의 손실율 추정을 닫힌 형태의 수식으로 구할 수 있는 대안으로는 Chernoff bound를 사용할 수 있다.<sup>[5, 13, 12]</sup> 즉, Markov Inequality로부터 유도된 Chernoff bound의 관계식

$$P[N > n] \leq \exp(-t^* \cdot n + \psi(t^*)) \quad (11)$$

을 이용하여 전체 버퍼에서의 대기열 길이의 합의 tail distribution을 추정할 수 있다. 여기서

$$\psi(t) = \log \Psi(t) \quad (12)$$

이고,  $\psi(t)$ 는 moment generating function이다. 또한, 식(11)의  $t^*$ 는  $n = \psi'(t)$ 의 관계를 만족하는 의 값이 된다. 전체 버퍼의 대기열 길이의 합에 대한 moment generating function은 조립버퍼 및 전송버퍼를 각각 M/M//X 및 M/M/1으로 모델링 하였으므로,

$$\Psi(t) = \left( \frac{1+\rho_i \cdot e^t}{1+\rho_i} \right)^X \cdot \left( \frac{1-\rho_s}{1-\rho_s \cdot e^t} \right)^S \quad (13)$$

가 되고, 식(12)로부터

$$\psi(t) = X \cdot \ln(1+\rho_i \cdot e^t) - S \cdot \ln(1-\rho_s \cdot e^t) + \ln \frac{(1-\rho_s)^S}{(1+\rho_i)^X} \quad (14)$$

$$\psi'(t) = \frac{S \cdot \rho_s \cdot e^t}{1-\rho_s \cdot e^t} + \frac{X \cdot \rho_i \cdot e^t}{1+\rho_i \cdot e^t} \quad (15)$$

가 된다. 따라서, 식(11)의  $t^*$ 는  $n - \psi\pi e(t^*) = 0$ 의 관계식으로부터

$$t^* = \ln \left[ \frac{1}{2 \cdot \frac{(n\rho_i\rho_s + S\rho_s\rho_i - X\rho_i\rho_s)}{(\rho_i(n-X) - \rho_s(n+S))} + \sqrt{[(\rho_i + \rho_s)n + (X\rho_i + S\rho_s)]^2 - 4(\rho_i + \rho_s)X\rho_i n}} \right] \quad (16)$$

와 같이 구해진다.

Chernoff bound에 의한 프레임 손실율의 추정은 계산이 비교적으로 간편한 이점이 있지만 그 한계치가 너무 느슨한 단점이 있다. Chernoff bound에 의한 상한치에 비해 보다 근접한 Tail distribution의 근사치를 구하는 방법으로 Improved Large Deviation에 의한 근사가 있다.<sup>[13, 14]</sup> 이 경우에 Survivor Function의 근사는

$$P[N > n] \approx \frac{1}{t^* \sqrt{2\pi\psi''(t^*)}} \cdot e^{-(t^*n - \psi(t^*))} \quad (17)$$

로 주어지며, 여기서  $\psi''(t)$ 는

$$\psi''(t) = \frac{X\rho_i \cdot e^{-t}}{1 + \rho_i \cdot e^{-t}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_i \cdot e^{-t}}{1 + \rho_i \cdot e^{-t}}\right) + \frac{S\rho_s \cdot e^{-t}}{1 - \rho_s \cdot e^{-t}} \cdot \left(1 - \frac{\rho_s \cdot e^{-t}}{1 - \rho_s \cdot e^{-t}}\right) \quad (18)$$

와 같이 유도된다. 또한,  $t^*$ 의 값은 Chernoff bound의 경우와 마찬가지로 식(16)에 의해 구해진다.

## V. 수신 버퍼의 크기 분석

본 장에서는 앞장에서의 유도된 각 식에 의해 여러 환경에서의 수신 버퍼의 크기를 분석한다. 그림 5에 어떤 주어진 연동 상황에서의 전체 버퍼 크기에 따른 버퍼의 범람(overflow) 확률을 보였다. 여기서, 수신되는 다중화 FR 연결의 수,  $X = 124$ 이며(2.048M 링크 당 31 채널 x 4 링크 경우를 가상), 이 연결들은 64Kbps channelized 연결로 가정하였다. 한편, 수신 및 조립 후 전송하는 서버의 수(FR망쪽의 출력 링크의 수),  $S = 2$ 이며, 전송 링크 속도는 2.048Mbps unchannelized (서비스는 32 채널 중 31 채널을 사용)의 경우를 가정하였다. 그리고, 부하는 각 2Mbps unchannelized 서버 (31 채널) 하나를 기준으로 한 부하를 말하며, 입력 트

래픽 및 출력 트래픽은 균일하게 배분된다고 가정하였다. 따라서, 부하 0.9의 경우에 전체 부하는 하나의 전송 서버의 서비스율을 기준으로 한 0.9에 해당하는 부하의 2배가 되며, 이 전체 부하가 X개의 FR연결들로부터 균일하게 나누어져 입력된다. 그리고, 그림상에 표기된 u값은 조립버퍼의 서비스율에 대한 전송버퍼의 서비스율의 비를 표시한다. 한편, 버퍼량은 최대 프레임 크기를 수용할 수 있도록 정해진 일정량의 크기(Maximum Frame Size: MFS)를 단위로 한 수량을 말한다.

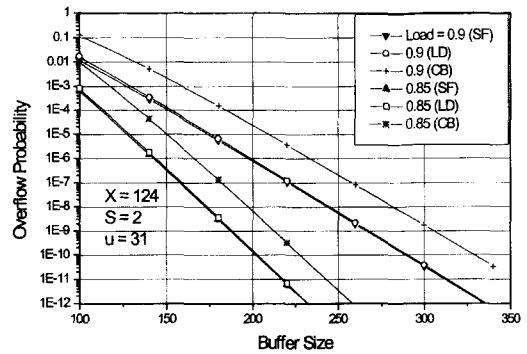


그림 5. 버퍼 크기에 따른 Overflow 확률(64K-2M)  
Fig. 5. Probability of Overflow and Buffer Size(64K-2M).

그림에는, 0.9 및 0.854부하에 대해 IV장에서 유도한 버퍼 점유 확률분포에 의한 Survivor Function(SF)와 Chernoff Bound(CB) 및 Improved Large Deviation Approximation(LD) 방법에 의한 범람 확률을 각각 보였다. 그림에 보인 바와 같이 Chernoff bound에 의한 범람확률의 상한치는 상당히 느슨함을 볼 수 있다. 반면에, Improved Large Deviation 근사에 의한 결과 수치는 실제 Survivor Function에 의한 수치를 상당히 가깝게 근사하고 있음을 볼 수 있다. 따라서, 상당한 계산량이 필요한 Survivor Function 대신에 Improved Large Deviation 근사를 효과적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 6에는 입력 트래픽이 124개의 다중화된 channelized 64Kbps 채널이며, 전송버퍼의 서버 또한 64Kbps channelized이며 62개(2 2M 링크 X 31 채널/링크 가정) 채널로 동시에 서비스되는 경우에 대한 결과를 보였다. 이 경우에는 각 조립버퍼에 입력되는 각 프레임의 서비스 속도(즉, 도착 속도)와 각 전송버퍼에서의 서비스 시간(전송속도)의 비율, u가 1이 된다. 여

기에서도 Improved Large Deviation 근사에 의한 버퍼 크기의 산출이 Survivor Function에 의한 버퍼 크기 산출을 상당히 가깝게 근사하고 있음을 볼 수 있다. 그림 5와 그림 6의 두 경우에 모두 IWU의 총 출력 서비스 능력은 2M 링크가 두개로서 같고, 입력도 2M 링크 4개로부터 channelized 형태로 124 채널이 입력되며 유입되는 트래픽의 총량도 같다. 그러나, 두개의 2M unchannelized로 서비스하는 경우에 비해 62개의 독립된 채널들로 서비스하게 되는 경우가 같은 프레임 손실율을 보장하기 위해 훨씬 많은 양의 버퍼를 필요로 함을 볼 수 있다.

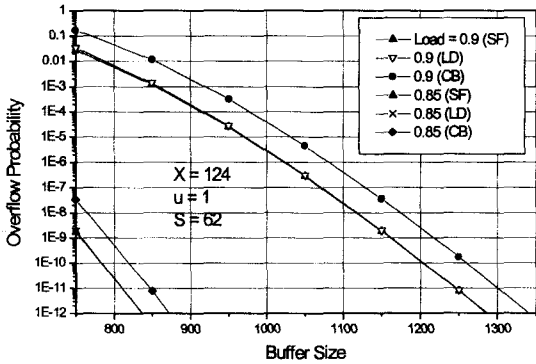


그림 6. 버퍼 크기에 따른 Overflow 확률(64K-64K)  
Fig. 6. Probability of Overflow and Buffer Size(64K-64K).

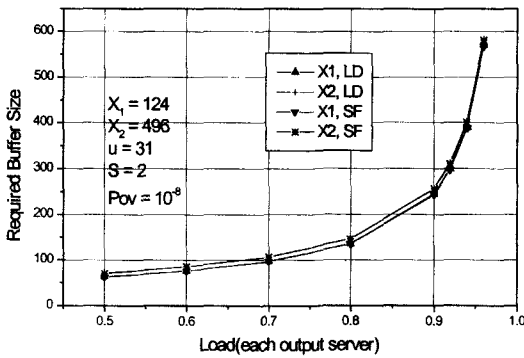


그림 7. 부하에 따른 소요 버퍼량(64K-2M)  
Fig. 7. Required Buffer Size and Traffic Load(64K-2M).

그림 7에는  $10^{-8}$ 의 Survivor 확률을 보장하기 위한 부하의 변화에 따른 소요 버퍼량을 보였다. 여기서, 입력은 124개의 64K 채널이며 출력은 2개의 2M 링크이다. 부하는 각 전송버퍼의 서버에 부과되는 부하를 말하며, S=2, 라는 것은 두 서버에 각각 0.9의 부하가 부

과된다는 것이다. 따라서, 전체 부하는 각 전송 서버의 서버율을 기준으로 한 0.9 부하의 2배가 되며, 이 부하가 X개의 FR 연결 트래픽 원으로부터 균일하게 입력된다. 그림 7의 결과에 의해 부하가 0.5 정도 이상만 되면 다중화 연결의 수 X값에 큰 상관없이 Survivor Function의 값은 전체 트래픽의 합에만 의존한다는 것을 알 수 있다.

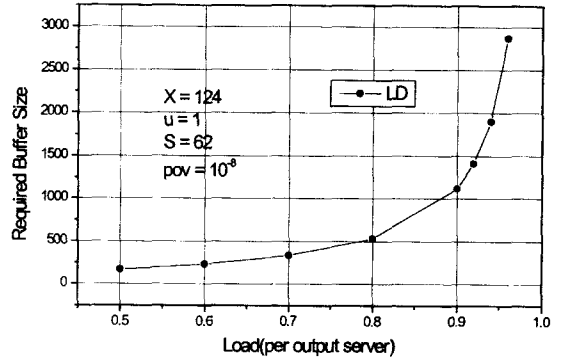


그림 8. 부하에 따른 소요 버퍼량(64K-64K)  
Fig. 8. Required Buffer Size and Traffic Load (64K-64K).

한편, 그림 8에는 X=124, u=1, S=62의 경우에 범람확률  $10^{-8}$ 에 해당하는 소요 버퍼량을 나타내었다. 출력 서버의 총 서비스 능력은 그림 7의 경우와 같지만 채널별로 서비스할 때가 훨씬 많은 양의 버퍼량이 필요함을 볼 수 있다.

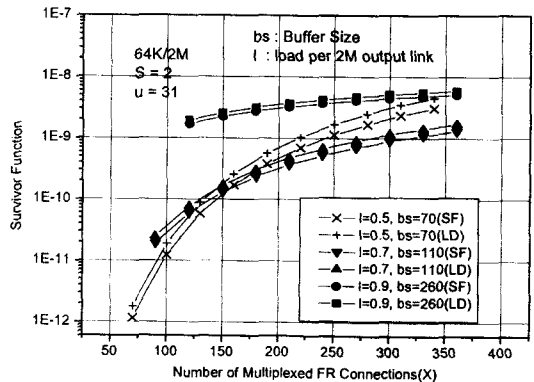


그림 9. FR 연결의 다중화 수에 따른 소요 버퍼량 (64K-2M)  
Fig. 9. Required Buffer Size and Number of FR connections(64K-2M).

그림 9에는 주어진 부하 및 버퍼 크기에 대해 다중화된 FR 연결의 수, X가 증가함에 따라 주어진 부하는



일정하므로  $X$ 가 증가하면 각 FR 연결의 부하는 감소) 프레임 손실율의 변화 추이를 보였다. 입력은 64Kbps 채널이  $X$ 개, 출력은 2Mbps 링크가 2개( $S=2$ )인 경우의 결과를 보였다. 이 결과를 통해 부하가 낮은 영역에서는 같은 총 부하에 대해서  $X$ 가 증가하면 손실율이 증가하고 결과적으로 소요 버퍼량이 증가함을 볼 수 있었다. 그러나, 부하가 커질수록 소요 버퍼량에 대한  $X$  값의 영향은 줄어들고 소요 버퍼량은 주로 전체 총 부하에 의존한다는 사실을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 ATM망과 FR망과의 연동장치(IWU)에 있어서 ATM망으로부터 프레임 셀들을 수신하여 연동 처리한 후 FR망으로 전송하는 프레임 셀 수신 버퍼의 소요량을 분석하였다. IWU으로는 다수의 FR망으로부터의 프레임 셀들이 ATM망을 통해 다중화되어 수신되고, 복원된 프레임은 여러 개의 링크를 통해 FR망으로 전송되는 실제 IWU의 연동 환경을 가정하였다. 이러한 가정에서 프레임 셀 수신 버퍼를 논리적으로 조립 버퍼 및 전송버퍼로 나눈 모델링을 제시하였으며, 이를 통해 버퍼에서의 프레임 손실 확률을 트래픽 파라미터들과 버퍼의 크기로 유도하였다. 또한, 근사방법을 통해 계산량이 적은 닫힌 수식 형태의 손실 확률식을 유도하였다. 이러한 손실 확률식들은 IWU의 설계 및 여러 가지 응용에 활용될 수 있으며, 본 고에서는 실제적 여러 상황을 가정하여 버퍼 크기에 따른 프레임 손실 확률, 주어진 손실 확률을 만족하는 트래픽 부하에 따른 소요 버퍼량, 그리고 다중화된 FR 연결의 수에 따른 버퍼 소요량의 분석을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation I.555, Frame Relay Bearer Service Interworking, Nov. 1993.
- [2] The Frame Relay Forum Document Number FRF.5, Frame Relay/ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement, Dec. 1994.
- [3] The Frame Relay Forum Document Number FRF.8, Frame Relay/ATM PVC Service Interworking Implementation Agreement, Apr. 1995.
- [4] ATM Forum B-ICI Specification, V2.0, Appendix A, Dec. 1995.
- [5] Leonard Kleinrock, *Queueing Systems*, John Wiley & Sons, 1976.
- [6] John N. Dagle, *Queueing Theory for Telecommunications*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [7] Donald Gross, Carl M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, John Wiley & Sons, 1985.
- [8] Mischa Schwartz, *Broadband Integrated Networks*, Chapter 3, Prentice Hall PTR, 1996.
- [9] H. Kuwahara, N. Endo, M. Ogino, T. Kozaki, "A Shared Buffer Memory Switch for an ATM Exchange," ICC '89, pp. 118-122, June 1989.
- [10] F. P. Kelly, "Tariffs and Effective Bandwidths in Multiservice Networks," in *Proc. 14<sup>th</sup> Int. Teletraffic Cong.-ITC 14*, pp. 401-410, June 1994.
- [11] Khosrow Sohraby, "On the Theory of General On-Off Sources with Applications in High-Speed Networks," in *Proc. INFOCOM '93*, pp. 401-410, 1993.
- [12] Joseph Y. Hui, "Resource Allocation for Broadband Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 6, pp. 1598-1608, 1988.
- [13] Joseph Y. Hui, *Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*, Chapter 7, Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [14] R.Griffiths, Peter Key, "Adaptive Call Admission Control in ATM Networks," in *Proc. 14<sup>th</sup> Int. Teletraffic Cong.-ITC 14*, pp. 1089-1098, June 1994.

## 저 자 소 개



李 聖 昌(正會員)

1976년~1983년 경북대학교 공과대학 전자공학과 (학사). 1983년~1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사). 1987년~1991년 Texas A&M University, Dept. E.E (박사). 1985년~1987년 한국과학기술원 시스템공학센터. 1992년~1993년 한국전자통신연구원 선임연구원. 1993년~현재 한국항공대학교 통신정보공학과 부교수.



金 廷 式(正會員)

1980년 경북대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1989년 청주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1980~현재 한국전자통신연구원/교환전송기술연구소 책임연구원, 네트워크정합팀장. 관심분야 : 교환, 망 연동, ISDN, 초고속통신망



南 允 錫(正會員)

1984년 경북대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1987년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987~현재 한국전자통신연구원/교환전송기술연구소 책임연구원. 관심분야 : 트래픽 제어, ISDN, 망 연동, 초고속통신망