

# ON-OFF 입력을 갖는 유한 크기 ATM 다중화기의 큐잉분석

正會員 金 承 煥\* 正會員 朴 鎮 秀\*\*

## Queueing Analysis of the Finite Capacity ATM Multiplexer with the ON-OFF Input

Seung Hwan Kim\*, Jin Soo Park\*\* *Regular Members*

### 要 約

ATM은 음성, 비디오, 벌크 데이터등과 같은 다양한 형태의 버스트 트래픽을 수용할 수 있다. ATM망에서 트래픽 소오스를 효과적으로 처리하거나 가능한한 대역폭 사용율을 증가시키기 위해서는 통계적 다중화 구조가 채택되어야 한다.

본 논문은 독립적인 입력 소오스를 갖고 유한개의 버퍼 크기를 갖는 큐잉 시스템에서 큐 상태분포를 계산하기 위한 효과적인 계산 절차를 논의하고, 이러한 반복적인 계산방법을 통해 셀 손실율을 정확하게 계산한다. 또한 동질의 ON-OFF 소오스를 갖는 ATM 다중화기에 대해 몇가지의 수치계산 예를 통해 셀 손실율의 특성을 조사해 본다.

### ABSTRACT

Asynchronous Transfer Mode (ATM) provides the means to transport different types of bursty traffic such as voice, video, and bulk data. To handle more efficiently the traffic sources and to increase the bandwidth utilization as much as possible, flexible statistical multiplexing schemes must be adopted for the ATM networks.

This paper presents an efficient computational procedure to calculate the queue state distribution in a finite buffer queueing system with a number of independent input sources, and the cell loss probability is exactly calculated with the use of this recursion computation method. The cell loss probability related to a ATM multiplexer with a homogeneous ON-OFF source is also investigated through numerical examples.

### I. 서 론

\* 忠清實業專門大學 通信科

\*\* 清州大學校 電子工學科  
論文番號 : 93-90

광대역 서비스의 특징은 정보의 대역폭이 다양하며, 서비스의 종류에 따라 고정 비트속도를 갖거나

또는 가변 비트속도를 가지게 되어 서로 다른 서비스 품질(QOS: Quality of Service)을 요구하게 된다. ATM 기술은 기존의 회선교환이나 패킷교환 기술에 비해 광대역 서비스의 수용시 이에 대한 융통성과 회선사용이 효율성 및 고속정보의 처리능력 면에서 많은 잇점을 갖고 있어 ATM 기술을 광대역 종합통신망(B-ISDN) 구축을 위한 최적 기술로 정하여 ATM에 관한 연구 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

ATM은 정보의 흐름이 동일 형식의 고정 길이의 셀을 통하여 이루어지며, 셀 전송을 위한 시간 슬롯들이 사용자들의 트래픽 요구량에 따라 비동기식으로 할당되므로 실제로 정보가 흐름 경우에만 대역폭을 할당해 주므로서 버스트 특성(Burstiness)을 갖는 다중 매체(Multi-media) 서비스의 트래픽 환경에서 통계적 다중화를 통해서 효율적으로 대역폭을 이용할 수가 있다. 따라서 ATM 망에서는 여러 종류의 서비스를 혼합하여 경제적으로 수용할 수 있는 다중화기를 사용하고 있다.

ATM 트래픽의 통계적 다중화기에 대한 평가는 그 동안 많은 연구가 진행되어 오고 있는데<sup>(1-13)</sup>, M/D/1/k, Geo/D/1/k, MMPP/D/1/k 등의 큐잉 시스템 분석<sup>(5-7)</sup>과 유체 흐름(Fluid Flow) 근사법<sup>(8,9)</sup>, 정규(Gaussian) 근사법<sup>(10)</sup> 등의 근사적인 큐잉분석 외에 시뮬레이션에 의한 접근법<sup>(11,12)</sup> 등이 행해졌다. 본 논문에서는 위에서 언급한 것과는 달리 유한개의 동일 종류의 ON-OFF 입력 호원을 갖는 ATM 다중화기를 이산 시간 큐잉 모델로 분석하여 셀 도착에 따른 큐의 정상상태(Steady State) 확율을 반복적(Recursive) 형태의 계산식을 통하여 셀손실율을 좀더 쉽고 정확하게 계산할 수 있도록 유도하고 이러한 계산식을 이용해서 몇가지의 수치계산 예를 통해 ATM 다중화기에 관련된 셀 손실율의 특성을 알아 본다.

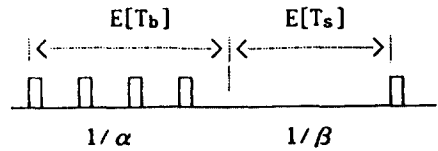
## II. 모델링 및 큐잉 분석

ATM 다중화기는 그림 1과 같이 N개의 동일한 종류의 ON-OFF 형태의 호원이 입력에 가해지며 버퍼는 출력버퍼로서 크기를 S로 하여 FIFO로서 동작한다. 최대 출력용량(C)는 입력 트래픽에 대한 셀전송 시간( $\tau_i$ )과 출력측의 셀전송시간( $\tau_o$ )에 의해  $\tau_o/\tau_i$ 로 결정되며(여기서 C는 정수를 취함), ATM 다중화기가  $\tau_o$ 의 슬롯타임 단위로 셀을 처리한다면 한 슬롯타임 동안에 입력원으로부터 하나의 셀을 전송할 수

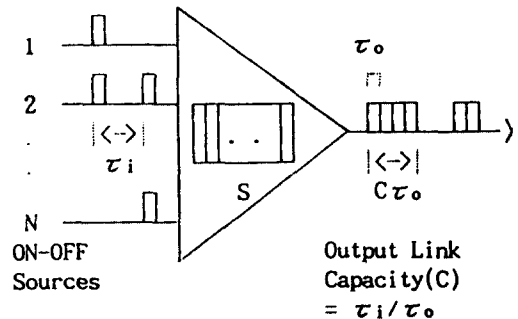
있어 ATM 다중화기는 이산 시간 단일 버퍼 큐잉 시스템으로 모델링할 수 있으며, 다중화기의 시스템 상태는  $\tau_o$ 를 기본단위(basis)로 한 시간 배수로서 동작한다<sup>(1,2)</sup>.

ON 상태의 계속 시간은 평균  $E[T_b]=1/\alpha$ 로 지수 분포하고 OFF 상태의 계속 시간도 평균  $E[T_s]=1/\beta$ 의 지수분포를 갖는다. 또한, ON 상태에서의 셀 도착은 일정한 주기로 도착한다. 회선 활용 계수(Line activity factor)를  $\phi$ 라 정의하면 다음과 같다.

$$\phi = E[T_b]/(E[T_b]+E[T_s]) = \beta/(\alpha + \beta) \quad (1)$$



(a)Source Model



(b)Queueing Model

그림 1. ATM 다중화기 모델  
Fig. 1. ATM Multiplexer Model

출력 회선의 한 슬롯동안 하나의 셀이 전송되는데 필요한 시간은  $\tau_o$ 이며,  $\tau_i$ 시간 동안에는 최대 C개의 출력 슬롯이 존재하게 된다. 또한, 하나의 출력 슬롯에 입력호원으로 부터 가해질 수 있는 셀의 수는 최대 N개가 되며, 도착된 셀들은 출력 슬롯이 비어 있을때 전송될 수 있으며 빈 슬롯이 없으면 버퍼에 저장되며 최대 버퍼용량 S를 초과하면 도착된 셀은 폐기된다. 셀 손실율을 계산하기 위해 우선 먼저 입력과정

서  $\tau_0$  동안 K개의 호원이 고정되어서 셀을 생성한다고 가정하면  $\tau_0$ 의 시간으로 나누어진 출력의 상태 과정(State process)을 살펴 본다면 C를 주기로 해서 이 주기내의 한 슬롯의 끝나는 시점에서 버퍼에 있는 셀의 수에 의해 다중화기의 상태가 정해진다<sup>(1)</sup>. 출력의 어떤 주기내에 있는 i번째의 슬롯이 시작하는 시점에서 도착된 셀의 수를  $k_i$ 라고 표현하면 입력 호원의 주기성에 의해  $j \geq 1$ 에 대해  $k_i = k_{i+jC}$ 가 되며,  $m \geq 1$ 에 대해  $i=m$ 에서  $i=m+C-1$ 까지  $k_i$ 를 합하면 K가 된다. 각 호원은 C-1개의 다른 호원과 독립적이고 첫 C슬롯중 하나에 첫번째 셀을 전송한다. 이러한 전송 확률은 C슬롯에 걸쳐 균등하게 분포되며, 출력 회선의 C개의 연속적인 슬롯 대신에 정상 상태(Steady state)에 있는 한 슬롯만을 생각함에 의해 정상 상태 확율을 계산할 수 있다. 따라서 K개의 셀중 j개의 셀이 이산적인 C개의 슬롯중 어느 하나에 도착될 확율 A(j)는 이항분포를 갖게 되며<sup>(1,3)</sup>, 다음과 같이 계산된다.

$$A(j) = \binom{K}{j} \cdot \left(\frac{1}{C}\right)^j \cdot \left(1 - \frac{1}{C}\right)^{K-j} \quad (2)$$

셀 도착 확율은 앞에서 주어졌으며, 출력 회선에서 만약 슬롯 i의 시작 시점에서 m개의 셀이 도착한다면 한개의 셀은 전송되고 m-1개의 셀은 버퍼에 저장될 것이며 버퍼의 여러 상태 사이의 천이 확율을 나타내는 식은 아래와 같이 쓸 수 있는데 슬롯 i와 슬롯 i+1에서 여러 상태 사이의 천이 확율은 셀 도착 확율에 의해 정해진다. 타임 슬롯 i+1에서 큐에 r개의 셀이 있을 확율  $Q(r, i+1)$ 는 타임 슬롯 i에서의 버퍼의 여러 상태 확율에 대해 확율 A(n, i)에 따른 관계로 정해진다. 여기서, A(n)을 A(n, i)로 표현한 것은 타임 슬롯의 변환을 나타내기 위해 사용하였다. 큐잉 시스템에 있는 셀의 수에 의해 정의되는 큐의 상태는 변수(Parameter) C, K, S와 경계 조건에 따라 다음의 식으로 평가 될 수 있다.

i)  $S \geq K$  인 경우

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^i Q(j, i) \sum_{n=0}^{i-j} A(n, i), r=0 \quad (3)$$

$$Q(r, 1) = \sum_{j=0}^{r-1} Q(r+1-j, i) A(j, i), 1 \leq r < K-1 \quad (4)$$

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^K Q(r+1-j, i) A(j, i), K-1 \leq r < S-1 \quad (5)$$

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^{K-1} Q(r-j, i) \sum_{n=j+1}^K A(n, i), r=S \quad (6)$$

ii)  $S \leq K$  인 경우

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^i Q(j, i) \sum_{n=0}^{i-j} A(n, i), r=0 \quad (7)$$

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^{r+1} Q(r+1-j, i) A(j, i), 1 \leq r < S-1 \quad (8)$$

$$Q(r, i+1) = \sum_{j=0}^i Q(r-j, i) \sum_{n=j+1}^K A(n, i), r=S \quad (9)$$

관계되는 몇가지 경계조건중 첫번째는 다음과 같다.

$$Q(r, i) = 0, \quad \left( \begin{matrix} r < 0 \\ r > S \end{matrix} \right) \forall i \quad (10)$$

두번째로  $Q(r, i)$ 의 초기 상태로서 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q(0, 0) &= 1 \\ Q(r, 0) &= 0, \quad r \neq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

(11)식은 초기의 큐는 비어 있음을 뜻한다.

시스템이 평형 상태 또는 정상 상태에 도달한다면 초기 조건과 독립적인 상태가 되어 버퍼 상태확율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q(r, i+1) = Q(r, i) = Q(r) \quad (12)$$

즉, 정상 상태에서는 식 (3)-(9)에서  $Q(r, i+1)$ 와  $Q(r, i)$  대신에  $Q(r)$ 로 쓰고, A(j, i) 대신에 A(j)로 쓸 수 있다. 따라서 평형 상태에서  $Q(0), Q(2), \dots, Q(S)$ 을 얻을 수 있고 다음과 같다.

$$\sum_{r=0}^S Q(r) = 1 \quad (13)$$

$Q(0), Q(1), \dots, Q(S)$ 를 구하기 위해서는  $Q(0)' = 1$ 로 초기화 하여 식 (3)-(9)으로부터  $Q(1)', Q(2)', \dots, Q(S)'$ 를 구한 후 정규화(Normalization)로 부터 최종값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q(r) = Q(r)' / \sum_{r=0}^S Q(r)' \quad (14)$$

시스템에서 최대 큐의 길이를 S로 하여 K개의 호원이 셀을 생성하고 있을때 버퍼에서 셀의 손실 또는 폐기될 확률  $Q_f(K)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_f(K) = \sum_{r=0}^S Q(S-r) \sum_{j=r+2}^K A(j) \quad (15)$$

K개의 호원에서 계속 셀을 생성하는 경우의 셀 손실율을 구한 (15)식을 가지고 N개의 ON-OFF 소오스(Source)를 갖는 모델에 적용해 보자. 셀 생성 구간인  $T_b$ 과 비생성 구간인  $T_s$ 가 기하학적으로(Geometrically) 분포하기 때문에 변조 과정은 상호 독립적인(Memoryless) 성질을 갖게 되며 변조 과정의 상태 확률 즉, N개의 ON-OFF 소오스 중 k개의 소오스가 셀을 생성하고 있을 확률  $B(k)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$B(k) = \binom{N}{k} \cdot (\varphi)^k \cdot (1-\varphi)^{N-k} \quad (16)$$

따라서 (15), (16) 식에 의해 ON-OFF 소오스 모델에서의 셀 손실율  $B_{los}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$B_{los} = \frac{1}{N\varphi} \sum_{k=0}^N k \cdot B(k) \cdot Q_f(k) \quad (17)$$

여기서  $\varphi$ 는 식 (1)에 의해서 정의되어 있다.

### III. 계산결과 및 고찰

본 장에서는 앞장에서 유도한 계산식을 사용하여 몇가지 변수에 따른 셀 손실율을 계산하여 보았다. 우선 한 예로서 변수의 값을  $S=12, C=48$ 로 하고 셀을 생성하고 있는 소오스 수를 K로 하여 K와 버퍼에서의 셀 손실율( $Q_f(K)$ ) 사이의 관계를 M/D/1-S 근사<sup>(1,15)</sup>에 의한 계산값과 앞장에서 제시한 계산식으로 구한 값 및 시뮬레이션에 의한 값을 비교해 보면 그림2와 같다. 여기에서 M/D/1-S 근사에 의한 셀 손실율이 상위 범위(Upper bound)에 있게 됨을 볼 수 있는데 이러한 것은 참고문헌[3,14]에서도 살펴볼 수 있다. 또한 SLAM을 사용하여 시뮬레이션한 셀 손실율을 살펴보면 가해진 트래픽양( $\rho=K/C$ )이 큰 값(0.9이상)일 경우에는 M/D/1-S 근사에 의한 계산값으로 접근해서 나타남을 볼 수 있으나 작은 값을 가질때는 본 논문에서 제시한 계산값으로 접근해서

나타남을 살펴볼 수 있다.

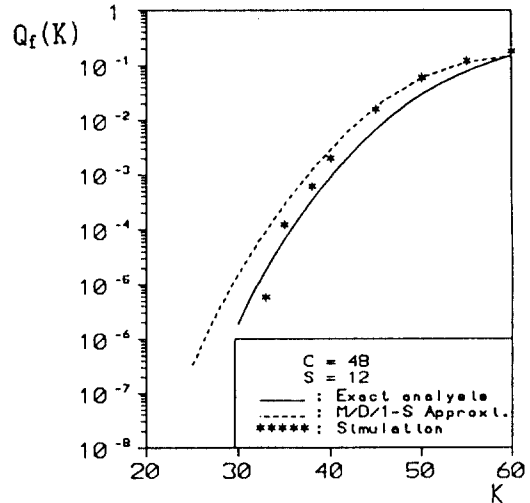


그림 2. K의 변화에 대한 버퍼크기에 따른 셀 손실율  
Fig. 2. Cell Loss Probability versus Buffer Size for Varying K

그림 3은  $C=48$ 에서 버퍼의 크기(S)의 변화에 대해 K값에 따른 셀 손실율을 나타낸것인데 버퍼의 크기가 작은 범위(그림의 A부분)에서는 가해진 트래픽

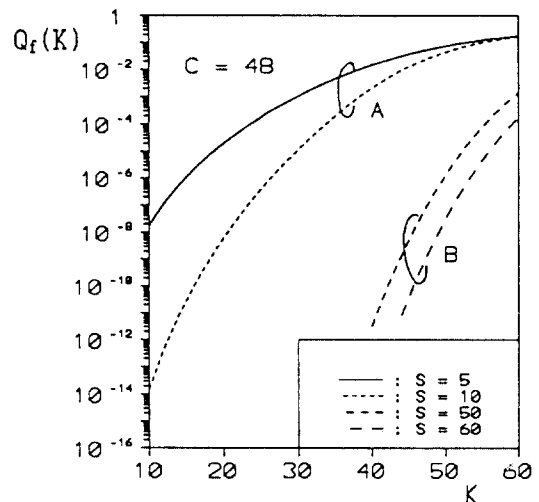


그림 3. S의 변화에 대한 버퍼크기에 따른 셀 손실율  
Fig. 3. Cell Loss Probability versus Buffer Size for Varying S

양이 작은 부분에서는 버퍼의 크기가 변하면 셀 손실율이 크게 변하나 가해진 트래픽양이 큰 부분에서는 버퍼의 크기가 변해도 셀 손실율이 거의 변함이 없고, 버퍼의 크기가 비교적 큰 범위(그림의 B부분)에서는 버퍼 크기가 변하면 가해진 트래픽양이 작은 부분과 큰 부분에서 거의 일정하게 셀 손실율이 변하는 것을 살펴볼 수 있다.

그림 4에서는  $C=50$ 에서 트래픽양( $\rho=K/C$ )의 변화에 대해 버퍼의 크기(S)에 따른 셀 손실율을 나타낸 것인데 가해진 트래픽양이 작은 경우에는 버퍼의 크기가 커질수록 셀 손실이 급격히 저하되어 버퍼의 크기를 조금만 크게 해 주어도 높은 서비스 품질의 셀 손실율(예를 들면  $10^{-9}$ )을 만족하게 할 수 있으나, 가해진 트래픽양이 매우 클 경우에는 주어진 셀 손실율을 만족시키기 위해서는 버퍼의 크기를 매우 크게 해주어야 하는 것을 살펴볼 수 있다. 또한, 출력 회선

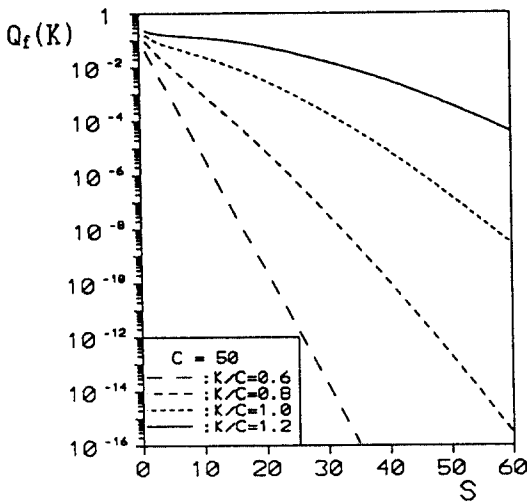


그림 4.  $\rho$ 의 변화에 대한 버퍼크기에 따른 셀 손실율  
Fig. 4. Cell Loss Probability versus Buffer Size for Varying  $\rho$

의 비트 속도를 150 Mb/s로 하고 입력의 최대(Peak) 비트 속도를 34 Mb/s로 하는 경우( $C=4$ ), 입력 트래픽 소오스의 수(N)를 8로하여 입력 소오스의 수와 출력 회선의 용량을 고정시켜서 각 버스트 지수(BU)에 대해 버퍼 크기(S)에 따른 셀 손실율( $B_{los}$ )을 계산한 것이 그림 5에 나타나 있는데 버스트 지수가 작을 수록 트래픽 부하(Load)가 증가되기 때

문에 셀 손실율이 더 크게 나타남을 관찰할 수 있으며, 또한 버스트 지수가 작은 경우( $BU=2$ )에는 버퍼 크기에 따른 셀 손실율의 변화가 비교적 작게 나타나지만 버스트 지수가 커질수록 버퍼크기에 따른 셀 손실율의 변화가 크게 나타남을 볼 수 있다.

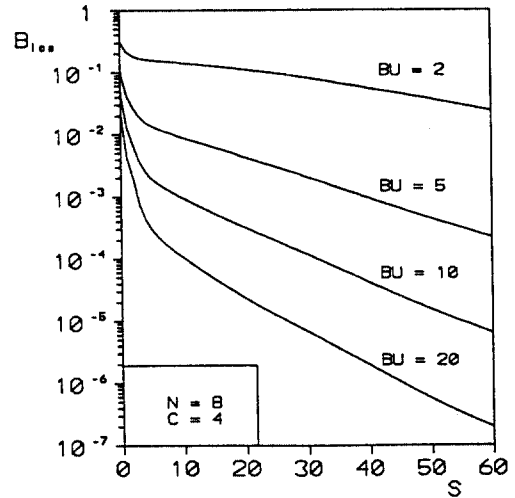


그림 5. BU의 변화에 대한 버퍼크기에 따른 셀 손실율  
Fig. 5. Cell Loss Probability versus Buffer Size for Varying BU

#### IV. 결 론

본 논문에서는 유한개의 ON-OFF 입력 소오스와 유한개의 버퍼 용량을 갖는 ATM 다중화기의 셀 손실율을 계산하기 위해 이산시간 단일 서버 큐잉 시스템으로 모델링하여 몇가지의 트래픽 변수에 따른 셀 손실율을 계산해 보았다. 셀 손실을 계산하기 위하여 반복적인 형태의 새로운 계산식을 제시하였는데 쉽고 간단하게 셀 손실율을 계산할 수 있었다. 또한 이러한 계산식을 버스트 트래픽의 통계적 다중화에 적용하여 몇가지 예로서 ATM 다중화기의 셀 손실에 대한 성능을 평가하여 보았다. 기존의 ATM 다중화기에 대한 연구논문들의 유도된 계산식은 매우 복잡하고 계산하기가 어려운 반면, 본 논문에서 유도한 계산식은 간단하기 때문에 ATM 다중화기를 설계할 때 쉽고 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. F. Hübner, P. Tran-gia, "Quasi-Stationary Analysis of a Finite Capacity Asynchronous Multiplexer with Modulated Deterministic Input," 13th ITC-Semina, pp.723-729, 1991.
2. Hans Kröner, "Statistical Multiplexing of Sporadic Sources-Exact and Approximate Performance Analysis," 13th ITC-Semina, pp.787-793, 1991.
3. F. Hübner, "Analysis of a Finite Capacity Asynchronous Multiplexer with Deterministic Traffic Sources," 7th ITC Specialist Semina, Morristown, paper 11.2, 1990.
4. H. Saito, M. Kawarasaki, H. Yamada, "An Analysis of Statistical Multiplexing in an ATM Transport Network," IEEE J SAC, Vol.9, No.3, pp.359-367, April 1991.
5. D. Gross, C.M. Harris, *Foundamentals of Queuing Theory*, J. Wiley and Sons Inc., New York, 2nd Edition, 1985.
6. A. Gravey, J.R. Louvion, and P. Boyer, "On the Geo/D/1 and Geo/D/n Queues," Performance Evaluation, 11, pp.117-125, 1990.
7. H. Heffes and D.M. Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance," IEEE J SAC, Vol.4, No.6, pp.856-868, 1986.
8. D. Anick, D. Mitra, M.M. Sondhi, "Stochastic Theory of a Data-handling System with Multiple Sources," BSTJ, Vol.61, No.8, pp.1871-1894, 1982.
9. R.C.F. Tucker, "Accurate Method for Analysis of a Packet-speech Multiplexer with Limited Delay," IEEE Trans. on Comm., Vol.COM-36, No.4, pp.479-483, 1988.
10. W. Verbiest, L. Pinnoo, and B. Voeten, "The Impact of the ATM Concept on Video Coding," IEEE J SAC, Vol.6, No.9, 1988.
11. M. Decina, T. Toniatti, "On Bandwith Allocation to Bursty Virtual Con"
12. M. Decina, T. Toniatti, L. Verri, "Bandwith Assinment and Virtual Call Blocking in ATM Networks," INFOCOM '90.
13. A. Baiocchi, N. Blèfari Melazzi, M. Listanti, A. Roveri, "Buffer Dimensioning Criteria for an ATM Multiplexer Loaded with Homogeneous ON-OFF Sources," 13th ITC-Semina, pp.13-18, 1991.
14. A. E. Eckberg, "The Single Server Queue with Periodic Arrival Process and Deterministic Service Times," IEEE Trans. on Comm., Vol.COM-27, No.3, pp.556-562, March 1979.
15. D. P. Heyman, M. J. Sobel, *Stochastic Models in Operations Research*, Vol.1, Stochastic Processes and Operating Characteristics, McGraw-Hill Book Co., 1982.



金承煥(Seung Hwan Kim)正會員  
 1959年 8月 19日生  
 1983年: 忠南大學校 工科大學 電子工學科(學士)  
 1988年: 忠南大學校 大學院 電子工學科(工學碩士)  
 1990年~現在: 清州大學校 大學院 電子工學科(博士課程)

1987年~1989年 6月: 忠南大學校 工科大學 電子工學科 助教  
 1989年 7月~1990年 2月: 韓國電子通信 研究所 研究員  
 1990年 3月~現在: 忠清實業專門大學 通信科 助教授



朴鎭秀(Jin Soo Park) 正會員  
 1948年 8月 30日生  
 1975年 2月: 漢陽大學校 電子工學科(學士)  
 1977年 2月: 漢陽大學校 大學院 電子通信工學科(碩士)  
 1985年 2月: 漢陽大學校 大學院 電子通信工學科(博士)

1987年 2月~1988年 2月: Univ. of Colorado at Cololado Spring(Post Doc.)  
 1987年 2月~現在: 清州大學校 電子工學科 教授  
 1988年 2月~現在: 清州大學校 產業科學研究所 所長