

# 이질적 ON/OFF 원을 입력으로 한 다중화 장치의 셀 손실률 계산을 위한 하이브리드 방법\*

홍정식<sup>1</sup> · 김상백<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울산업대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>한국통신 통신망 연구소

## Hybrid Method to Compute the Cell Loss Probability in a Multiplexer with the Superposition of Heterogeneous ON/OFF Sources

Jung-Sik Hong<sup>1</sup> · Sang-Baik Kim<sup>2</sup>

This paper considers the cell loss probability(CLP) in a multiplexer with the superposition of heterogeneous ON/OFF sources. The input traffic is composed of k classes. Traffic of class i is the superposition of  $M_i$  ON/OFF sources. Recently, the method based on the Markov modulated deterministic process(MMDP) is presented. Basically, it is the discretized model of stochastic fluid flow process(SFFP) and gives the CLP very fast, but under-estimates the CLP especially when the value of estimated CLP is very low. This paper develops the discretized model of Markov modulated Poisson process(MMPP). It is a special type of switched batch Bernoulli process(SBBP). Combining the transition probability matrix of MMDP and SBBP according to the state which is characterized by the arrival rate, this paper presents hybrid algorithm. The hybrid algorithm gives better estimate of CLP than that of MMDP and faster than SBBP.

### 1. 서론

음성과 데이터 그리고 비디오를 통합해서 전송하고자 제시된 광대역 종합정보통신망(Broadband-Integrated Services Digital Network)은 전송모드로써 비동기 전송방식(Asynchronous Transfer Mode : ATM)을 택하고 있다. ATM 방식은 다중화 장치에 연결된 트래픽이 셀의 형태로 도착되며, 하나의 가상경로(Virtual Path)로 묶인 트래픽 간에는 대역폭을 공유하도록 설계되어 있다. 이러한 가상경로는 하나의 다중화 장치로 설정될 수 있으며, 이 경우 다중화 장치의 성능 분석은 호 수락 제어기능(Call Admission Control)이나 망의 링크 용량을 산정하는 작업의 토대가 된다. 따라서 90년 초반부터 다중화 장치의 성능 분석을 위한 많은 연구가 이루어져 왔다(Baiocchi *et al.*, 1991; Elwalid and Mitra, 1993; Guerin and Gun, 1992).

다중화 장치의 성능 척도는 크게 셀 손실률과 셀 지연으로 이루어진다. 그런데 실제 다중화 장치의 버퍼를 구현하는 과정에서 최대 셀 지연이 제한되므로, 셀 손실률 계산이 성능 분석의 주된 작업이 된다. 본 논문에서 고려되는 다중화 장치의

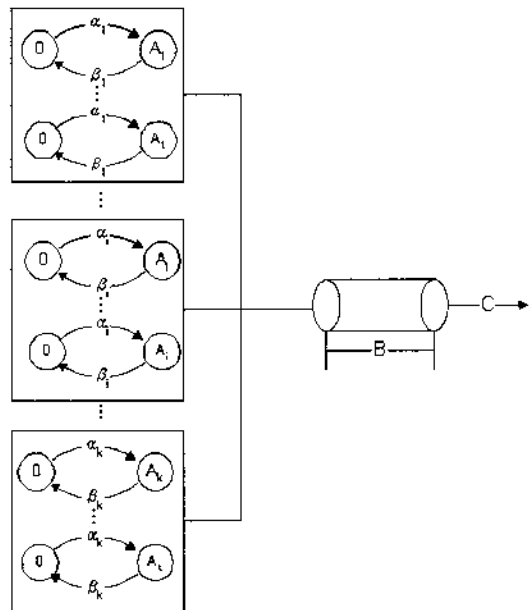


그림 1. 다중화 장치의 셀 손실률 계산문제의 도식.

\* 이 연구는 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의해 이루어졌음.

셀 손실률 계산 문제는 <그림 1>과 같이 도시된다.

<그림 1>에서와 같이 입력 트래픽은  $k$ 개의 클래스로 이루어지며, 각각의 클래스는  $M_i$ 개의 ON/OFF 원으로 구성된다.  $i$  클래스의 ON/OFF 원은  $(\alpha_i, \beta_i, A_i)$ 로 표현되며  $\alpha_i$ 는 ON 상태에서 OFF 상태로의 전이율이고,  $\beta_i$ 는 OFF 상태에서 ON 상태로의 전이율이다.  $A_i$ 는 ON 상태에서의 셀 도착률이다. 이때 셀 도착 과정이 입력 트래픽의 또 하나의 모형이 되는데, 본 논문에서는 포아송 도착을 가정한다.  $B$ 는 버퍼의 크기를 나타내고  $C$ 는 다중화 장치의 전송속도를 나타낸다. 이러한 입력 파라미터가 주어진 상태에서 구하고자 하는 해는 각 트래픽 클래스의 셀 손실률이다.

이질적 ON/OFF 원을 입력으로 한 경우, 다중화 장치의 셀 손실률을 계산하는 방법은 크게 4가지 경우로 대별된다. 해의 정확성을 기준으로 기술하면, 첫째 가장 정확한 해를 산출하는 방법으로, Markov Modulated Poisson Process(MMPP)로 입력과정을 모형화한 뒤, MMPP/D/1/B 대기 문제를 풀고자 하는 것이다 (Baiocchi et al., 1991). 그러나 이 방법은 해결 가능한 문제의 크기가 매우 제한되는 단점을 지니고 있다. 둘째는 입력 트래픽을 하나의 흐름으로 모형화하여, 미분 방정식의 해결을 통해 해를 얻는 Stochastic Fluid Flow Process(SFFP) 방법이 있다(Elwalid and Mitra, 1993). 이 방법은 매우 빠르게 해를 산출하나 셀 도착 과정의 변동을 무시하는 단점을 가지고 있다. 셋째로 합쳐진 트래픽을 하나의 프로세스(주로 가우시안 프로세스)로 모형화하여 해를 구하는 방법이 있다(Guerin and Gun, 1992). 이 방법은 주로 버퍼크기를 0으로 가정하므로 일정한 한계점을 지니고 있다. 마지막으로 네번째는 버퍼 초과확률(overflow probability)을 일정한 함수형태로 가정하고 셀 손실률을 계산하는 방법이 있다(Shroff and Schwartz, 1996; Sohraby, 1992). 이 방법은 함수의 계수를 구하는 작업이 여전히 해결 과제로 남아 있으나, 하나의 함수형태로 도출되므로 등가대역폭 산정에 활용되고 있다. 자세한 내용은 정성진 외(1996)를 참조하라.

본 논문에서는 셀 손실률을 계산하는 데 있어 해의 정확도와 계산시간 간의 상충(trade-off)을 가능케 하는 하이브리드 방법을 제시하고자 한다. 하이브리드 방법을 대상으로 한 논문은 주로 분석적 방법과 시뮬레이션의 결합을 다루고 있고(김지수 외, 1996; Shanthikumar and Sargent, 1983), 2개의 분석적 방법을 결합한 하이브리드 모형은 거의 다루어지지 못한 실정이다. 본 논문에서는 서로 다른 해의 정확도와 계산시간을 요구하는 2개의 분석방법을 결합한 하이브리드 방법을 다룬다. 즉, SFFP 방법의 이산모형인 Markov Modulated Deterministic Process(MMDP) 모형에 의한 셀 손실률 계산방법이 최근 제시되었으므로, 가장 정확한 계산방법의 모형인 MMPP 모형의 이산모형을 제시하고, 이 둘을 토대로 한 하이브리드 방법을 제시한다. 우선 2절에서는 MMPP의 이산모형이 제시되고, 3절에서는 MMDP 모형의 간략한 서베이가 기술되며, 이를 토대로 하이브리드 방법이 제시된다. 4절에서는 본 논문에서 개발된 하이브리드 방법의 효율성을 예제를 통하여 고찰하고, 마지막으로 5

절에 결론이 제시된다.

## 2. Switched Batch Bernoulli Process(SBBP) 모형을 이용한 MMPP 모형의 이산모형

### 2.1 Markov Modulated Bernoulli Process(MMBP)와 SBBP 모형

일반적인 MMBP 모형은 한 슬롯 동안 하나의 소스가 셀을 다중화 장치에 보낼 확률에 따라, 소스의 상태가  $r$ 개로 구성된다. 그리고 각각의 상태 간의 마코프 전이확률이 주어지는 모형이다. 본 논문에서 다루어지는 ON/OFF 소스는  $r = 2$ 인 경우, 즉 셀을 보내는 상태와 안 보내는 상태만으로 이루어진다. ON 상태에서 한 슬롯 동안 셀을 보낼 확률은  $i$  클래스의 경우  $P_i = A_i/C$ 가 된다. 따라서 하나의 소스는  $(\alpha_i, \beta_i, P_i)$ 로 특징지어지며 이러한 베르누이 소스가 다중화될 경우, 이는 SBBP 모형이 된다. 일반적인 SBBP 모형은 단일한 MMBP 모형이 합쳐진 경우만 대상으로 하고 있으나 (Onvural, 1995), 본 논문의 경우는 트래픽 클래스별로 MMBP가 합쳐진 SBBP 모형이 되므로, 결과적으로  $k$ 개 클래스의 SBBP가 합쳐진 상태가 입력 트래픽의 모형이 된다. 이를  $\sum_i SBBP_i$ 라 표현하자.

### 2.2 $\sum_i SBBP_i$ 모형의 전이확률행렬

(i) 한 슬롯 이후 도착률의 변화확률

우선 모형의 상태를 정의하자.  $i$  클래스의 ON 상태에 있는 소스의 개수를  $x_i$ 라 하고, 버퍼에 있는 셀의 수를  $b$ 라 하자. 각 클래스별 ON 상태 소스의 개수가 정해지면 한 슬롯당 들어오는 셀 개수의 분포가 정해지므로, 모형의 상태는  $(x, b)$ 로 정해진다. 여기서,  $x$ 는  $(x_1, \dots, x_k)$ 이다. 우선 도착률을 지배하는 ON 상태 소스의 개수의 변화를 고찰하자. 클래스  $i$ 에 있어서,  $x_i$ 에서  $(x_i + 1)$ 로의 전이율은  $(M_i - x_i)\alpha_i$ 이고  $x_i$ 에서  $(x_i - 1)$ 로의 전이율은  $x_i\beta_i$ 이다. ON과 OFF 상태에 머무른 시간은 지수 분포이므로 한 슬롯  $(1/C)$  동안  $x$ 에서 이웃 상태로 전이가 일어날 확률은 다음과 같다.

$$f_{x, x_i} = 1 - e^{-\frac{(M_i - x_i)\alpha_i}{C}}$$

$$f_{x, x_i^-} = 1 - e^{-\frac{x_i\beta_i}{C}}$$

$$f_{x, x} = 1 - \sum_{i=1}^k f_{x, x_i} + f_{x, x_i^-}$$

이 모형에서는 한 슬롯 동안 2개 클래스 이상에서 동시에 ON 상태 소스 개수가 변화를 일으킬 확률은 무시되었다. 실제로 ATM망에서 한 슬롯시간은 매우 작으므로 이 확률은 무시되어도 무방하다(Lindberger, 1994).

(ii) 한 슬롯 이후 전이확률행렬

$D(i)$ 를 한 슬롯 동안 도착하는 셀이  $i$ 개일 확률로 정의하자. 클래스  $i$ 의 ON 상태 소스의 개수가  $x_i$ 이면, 한 슬롯 동안 클래스  $i$ 로부터 도착되는 셀 개수는 이항분포  $B(x_i, p_i)$ 를 따름을 알 수 있다. 따라서, 도착률의 상태가  $x = (x_1, \dots, x_k)$ 로 정의될 때, 한 슬롯 동안 도착되는 셀 수의 분포는 이항분포,  $B(x_i, p_i), B(x_2, p_2), \dots, B(x_k, p_k)$ 의  $k$ 차 중합(k-fold convolution)이 된다.  $D_x$ 를 ON 상태 개수가  $x$ 로 주어질 때 버퍼의 상태전이확률의 행렬이라 하자. 그러면,  $D_x$ 는 다음과 같이 주어짐을 쉽게 알 수 있다.

$$D_x = \begin{matrix} & 0 & 1 & 2 & \dots & B \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ B \end{matrix} & \begin{bmatrix} D(0) & D(1) & D(2) & & \sum_{i=0}^y D(i) \\ D(0) & D(1) & D(2) & & \sum_{i=0}^y D(i) \\ & D(0) & D(1) & & \sum_{i=B-1}^y D(i) \\ & & D(0) & & \sum_{i=B-2}^y D(i) \\ & & & & \vdots \\ & & & & \sum_{i=1}^y D(i) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

여기서,  $y = \sum_{i=1}^k x_i$ 이다.

이제  $\sum_i SBBP_i$  모형의 상태전이확률의 행렬은 다음과 같다.

$$T = \begin{matrix} & (x_i^+, b) & (x_i^-, b) & (x, b) \\ (x, b) & \begin{bmatrix} f_{x, x_i^+} D_x & f_{x, x_i^-} D_x & f_{x, x} D_x \end{bmatrix} \end{matrix}$$

여기서,  $b = (0, 1, 2, \dots, B)$ 를 나타낸다.

3. 하이브리드 방법

3.1 MMDP 모형의 서베이

본 논문 내용이 자족적인 내용이 되기 위해 MMDP 모형을 간략히 기술한다. 자세한 내용은 Chan and Tsang(1994)과 Yang and Tsang(1992)를 참조하라. MMDP 모형에서는 합쳐진 트래픽의 셀 도착과정이 하나의 흐름으로 모형화되므로, 셀 도착과정의 변동이 무시된다. 따라서 도착률의 변동시점이 버퍼의 셀 변화율을 변경시키는 유일한 요소가 된다. 그러므로 MMDP 모형에서는 매 슬롯마다 버퍼의 상태를 관찰할 필요가 없으며, 도착률의 변화시점마다 상태의 전이확률이 계산된다.

(i) 도착률의 전이확률

ON/OFF 원이 합쳐진 경우,  $i$  트래픽의 경우 도착률의 전이율은 <그림 2>와 같다.

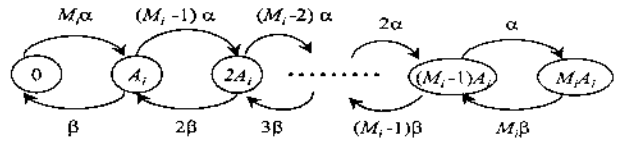


그림 2. 트래픽 클래스  $i$ 의 도착률 상태전이도.

따라서, 전이율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_{x, x_i^+} &= \frac{(M_i - x_i) \alpha_i}{\gamma_x} \\ f_{x, x_i^-} &= \frac{x_i \beta_i}{\gamma_x} \\ \gamma_x &= \sum_{i=1}^k (M_i - x_i) \alpha_i + x_i \beta_i \end{aligned}$$

(ii) 도착률 전이시점에서의 버퍼 상태의 변화확률

ON 상태의 개수가  $x = (x_1, \dots, x_k)$ 로 주어져 있다. 이러한 도착률 상태가 변화될 때까지 버퍼의 상태는  $\sum_i A_i x_i$ 가  $C$ 보다 작을 경우 지수시간 동안  $(C - \sum_i A_i x_i)$ 율로 줄어들며,  $\sum_i A_i x_i$ 가  $C$ 보다 클 경우 지수시간 동안  $(\sum_i A_i x_i - C)$ 율로 늘어난다. 따라서 첫째,  $\sum_i A_i x_i$ 가  $C$ 보다 작은 경우, 버퍼상태의 전이확률은 다음과 같은 행렬로 주어진다.

$$D_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ e_x & 1 - e_x & \dots & \dots \\ e_x^2 & e_x(1 - e_x) & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_x^B & e_x^{B-1}(1 - e_x) & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

이는 지수시간 분포의 “망각성질(memoryless property)”을 기억하면 쉽게 유도된다. 마찬가지로,  $\sum_i A_i x_i$ 가  $C$ 보다 클 경우, 버퍼상태의 전이확률은 다음과 같은 요소를 갖는 행렬로 표현된다.

$$a_{jk}^x = \begin{cases} e_x^{B-j} & k=B \\ e_x^{B-j}(1 - e_x) & j \leq k < B \\ 0 & k < j \end{cases}$$

그러면, 도착률의 전이율과  $D'_x$ 를 토대로 MMDP 모형의 전이확률행렬은 다음과 같다.

$$T = \begin{pmatrix} (x_i^+, b) & (x_i^-, b) \\ (x, b) \end{pmatrix} \begin{bmatrix} f'_{x, x_i^+} D'_x & f'_{x, x_i^-} D'_x \\ f_{x, x_i^+} D_x & f_{x, x_i^-} D_x \end{bmatrix}$$

3.2 하이브리드 방법

하이브리드 방법의 요체는 첫째, 해의 정확도와 계산시간이 다른 두 가지 방법의 결합 가능한 구축이며, 둘째로, 이들의 상태별 결합을 적용하기 위한 상태의 분류작업에 있다. 우선 결합을 가능케 하기 위해, 기존 MMDP에 더하여 MMPP 모형의 이산모형인  $\sum SBBP_i$  모형의 파라미터들을 도출하였으므로, 이제 상태의 분류에 대해 고찰해 보자.

김지수 등(1996)에서는 ATM 스위치의 셀손실률 계산을 위해 시뮬레이션과 분석적 방법을 동시 활용하기 위한 하이브리드 기법이 제시되어, 상태를 손실 위기 상태와 손실 발견 가능 상태 및 그 외의 상태로 나누었다.

본 논문에서는 MMDP 모형과  $\sum SBBP_i$  모형의 나름의 장점을 결합한 하이브리드 모형 구축이 목적이므로, 상태의 분류 또한 특정하게 규정하는 대신에, 상태 분류에 동원되는 요소만 기술하고, 상태의 구체적인 분류는 문제에 따라 결정하는 유연한 기준을 제시한다.

우선, MMDP 모형의 단점을 고찰해 보자. 이 모형은 셀 손실률을 매우 빠르게 계산하지만, 합쳐진 트래픽의 셀 도착의 변동을 무시함으로써 실제 셀 손실률을 과소 추정한다. 따라서 이 방법에서 무시된 셀 수준 변동이 셀 손실률에 영향을 끼칠 만한 상태를 규정하여 매우 제한적으로 이러한 상태에서만, 시간이 많이 걸리나 정확한  $\sum SBBP_i$  모형을 적용하는 것이다. 셀 수준 변동이 셀 손실률에 영향을 끼치게 되는 상태는 바로 도착률이 1보다 작지만 1에 근접하고 버퍼 상태가 딱 차게 되는 순간이라고 할 수 있다. 즉, 예를 들면 버퍼가 딱 차 있는 상태에서 셀의 도착률이 다중화 장치의 전송능력의 95% ( $\sum A\alpha_i = 0.95C$ )일 때, MMDP 모형에서는 버퍼의 크기는 지속적으로 줄어들게 되며, 셀 손실률은 발생하지 않는다. 그러나 이 경우 평균 도착률은 전송능력보다 작아도, 셀 도착과정의 변동이 존재하므로 실제적으로는 셀 손실이 발생할 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 따라서,  $\sum SBBP_i$  모형의 방법이 적용되는 상태를 위기상태로 하고, MMDP 모형의 방법이 적용되는 상태를 비위기상태로 정의할 때, 위기상태는 버퍼의 셀 수가  $zB$  이상이고 ( $0 < z < 1$ ), 도착률이  $[w_1C, w_2C)$  ( $0 < w_1 < w_2$ )인

경우로 정의할 수 있다.  $z$ 와  $w_1$  그리고  $w_2$ 값은 계산의 정확도와 계산시간을 고려하여 문제에 따라 결정된다. 즉,  $z$ 값이 클수록 그리고  $(w_1-w_2)$ 값이 작을수록 위기상태의 크기는 작아지며, 따라서  $\sum SBBP_i$  모형의 적용 기회가 줄어들고, 이는 셀 계산시간은 줄이고 정확도는 덜 보전하는 결과를 도출한다.  $z$ 의 값이 작고  $(w_1-w_2)$ 값이 클수록 역이 성립된다. 이제 이렇게 정의되는 위기상태와 비위기상태에 따라 달리 적용되는 MMDP 및  $\sum SBBP_i$  모형의 전이확률행렬을 토대로 하이브리드 방법의 상태전이확률의 행렬은 다음과 같다.

$$T_H = \begin{matrix} \text{비위기상태} & \begin{bmatrix} f'_{x, x_i^+} D'_x & f'_{x, x_i^-} D'_x \\ \text{-----} & \text{-----} & \text{-----} \\ f_{x, x_i^+} D_x & f_{x, x_i^-} D_x & f_{x, x} D_x \end{bmatrix} \\ \text{위기상태} & \end{matrix}$$

4. 예제

본 논문에서 제시된 하이브리드 방법의 효율성을 고찰하기 위해 구체적인 예제를 풀어보자.

우선, 두 가지 클래스로 이루어진 트래픽을 고려해 보자. 입력력 파라미터는 다음과 같다.

$$(\alpha_1 = 2.5, \beta_1 = 12.5, A_1 = 100, M_1 = 5)$$

$$(\alpha_2 = 0.02, \beta_2 = 0.1, A_2 = 100, M_2 = 5)$$

위기상태는 우선 간단히 도착률에 의해서만 정의하도록 하자. 하이브리드 A는 도착률이 전송능력의 50%를 넘는 경우 위기상태로 보고  $\sum SBBP_i$  모형이 적용되었고, 하이브리드 B는 도착률이 전송능력의 100%를 넘는 경우 위기상태로 보고  $\sum SBBP_i$  모형이 적용되었다.

<표 1>은 위기상태의 크기를 늘릴수록 셀 손실률 계산의 정확도는 향상되면서 계산시간은 늘어남을 보여준다. <그림 3>에 다중화 장치의 용량에 따른 각 방법의 셀 손실률의 로그 변환치가 도시되어 있다. 다중화 장치의 용량이 클수록 MMDP 방법에 의한 셀 손실률의 오차가 커짐을 볼 수 있다. 하이브리드 A에 의한 셀 손실률은  $\sum SBBP_i$ 에 의한 셀 손실률과 거의 같음을 볼 수 있다. <그림 4>는 다중화 장치 용량에 따른 각 방법의 계산시간을 보여주고 있다. 3절에서 논의된 바와 같이  $\sum SBBP_i$  모형을 사용하는 빈도가 높을수록 계산시간이 증가함을 볼 수 있다. <표 2>는  $\alpha$ 와  $\beta$  및  $A_i$ 의 수치를 바꾸고 마찬가지로 방식으로 위기상태를 정의하면, <표 1>과 같은 결과를 보여준다. <표 1>과 <표 2>로부터 우리는 하이브리드 방

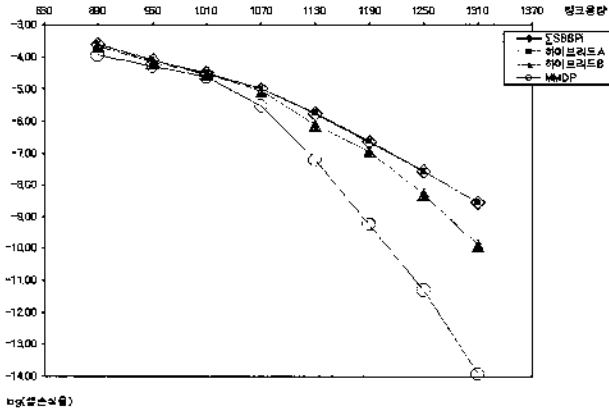


그림 3. 두 가지 위기상태 정의하에서의 셀 손실률의 비교.

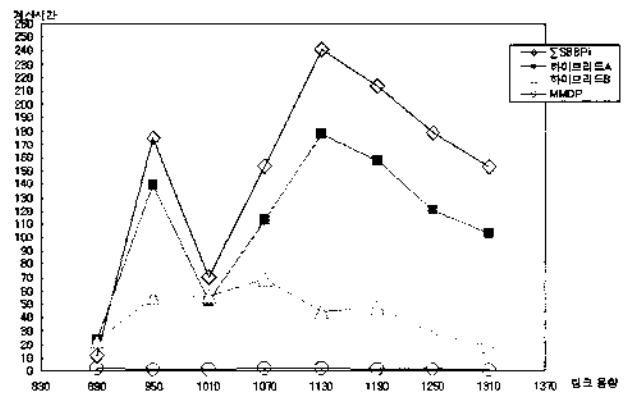


그림 4. 두 가지 위기상태 정의하에서의 계산시간 비교.

표 1. 두 가지 위기상태의 정의 하에서의 셀 손실률과 계산시간의 비교

다중화 장치용량	ΣSBBP			하이브리드 A			하이브리드 B			MMDP		
	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime
1310	2.80715e-09	1152	152.802	2.83033e-09	1152	103.132	1.27414e-10	465	18.8462	1.21936e-14	29	1.04396
1290	5.93040e-09	1210	160.44	5.98007e-09	1210	108.297	1.58986e-09	659	30.1099	9.76957e-14	30	1.04396
1270	1.24476e-08	1276	169.231	1.25534e-08	1276	114.231	2.87691e-09	641	29.2857	7.35890e-13	31	1.09890
1250	2.59584e-08	1350	179.011	2.61826e-08	1349	120.769	5.14471e-09	620	28.3516	4.93072e-12	34	1.20879
1230	5.37794e-08	1431	189.78	5.42511e-08	1430	128.022	9.11365e-09	597	27.3077	2.86836e-11	37	1.31868
1210	1.10643e-07	1519	201.429	1.11629e-07	1518	135.879	1.57934e-08	570	26.044	1.44126e-10	41	1.42857
1190	2.25830e-07	1612	213.791	2.28107e-07	1620	157.637	1.10424e-07	939	47.7473	5.56496e-10	43	1.53846
1170	4.56354e-07	1703	225.824	4.61005e-07	1712	166.648	2.07298e-07	932	47.4176	2.58823e-09	49	1.70330
1150	9.09489e-07	1779	235.934	9.18861e-07	1789	174.066	3.93131e-07	918	46.6484	1.24765e-08	56	1.97802
1130	1.77551e-06	1819	241.264	1.79403e-06	1830	178.077	7.62605e-07	885	45.0000	5.98881e-08	66	2.36264
1110	3.35970e-06	1786	236.868	3.39525e-06	1798	174.945	1.50009e-06	808	41.0989	2.70557e-07	76	2.69231
1090	6.07564e-06	1623	215.275	6.14113e-06	1635	159.066	5.01622e-06	1113	65.2198	8.15012e-07	79	2.80220
1070	1.03444e-05	1158	153.571	1.04591e-05	1164	113.297	8.84298e-06	1170	68.6264	2.99930e-06	68	2.41758
1050	1.61129e-05	538	71.3187	1.62889e-05	539	52.4725	1.47230e-05	1325	77.6923	8.19028e-06	53	1.86813
1030	2.35288e-05	483	64.0659	2.37868e-05	485	47.1978	2.24165e-05	1181	69.2308	1.58447e-05	30	1.09890
1010	3.32665e-05	534	70.8242	3.36411e-05	535	52.033	3.10978e-05	957	56.1538	2.46423e-05	33	1.20879
990	4.52001e-05	869	115.22	4.56524e-05	876	92.0879	4.31128e-05	1168	77.4725	3.23769e-05	32	1.09890
970	5.94469e-05	1181	156.648	6.00486e-05	1188	124.835	5.49729e-05	1004	66.5934	4.23673e-05	34	1.20879
950	7.87448e-05	1319	174.945	7.95519e-05	1328	139.56	6.93626e-05	831	55.1099	5.30562e-05	40	1.42857
930	0.000107708	1421	188.462	0.000108828	1431	150.385	8.87992e-05	577	38.2418	6.52606e-05	50	1.75824
910	0.000187845	130	17.2527	0.000189819	133	14.011	0.000118823	418	27.6923	8.27382e-05	62	2.19780
890	0.000248131	92	12.1978	0.000258375	224	23.5165	0.000218496	312	23.0769	0.000109902	69	2.41758

법이 셀 손실률 정확도와 계산시간상의 제약조건이 주어질 때, 이 둘을 만족하는 방식의 해법을 위기상태 정의를 통해 제시해 줄 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서 우리는 기존의 MMDP 모형에 의한 셀 손실률 계

산의 부정확함을 개선시키기 위해 MMPP 모형의 이산화 모형을 제시하였고, 적절한 오차와 계산시간 만족을 위해 이 둘을 결합하여 셀 손실률을 추정하는 하이브리드 방법을 제시하였다.

본 논문에서 주어진 예제의 결과는, 위기 상태의 크기가 셀 손실률의 정확도와 계산시간을 결정함을 보여 주었다. 즉, 계산시간상의 제약조건이 덜한 링크 용량산정 문제에 있어서는 위기상태의 크기를 늘려서 해의 정확도를 기하고 빠른 계산

표 2. 입력 트래픽의 변경 후, 두 가지 하이브리드 방법과 기존 방법 간의 셀 손실률의 비교  
 (( $\alpha_1=0.02, \beta_1=0.1, A_1=100, M_1=5$ ), ( $\alpha_2=2.5, \beta_2=12.5, A_2=200, M_2=5$ ))

다중화 장치용량	$\Sigma SBBP$			하이브리드A			하이브리드B			MMDP		
	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime	CLP	Iteration	RunTime
1370	1.11556e-11	610	78.3516	1.12604e-11	614	55.0549	2.37029e-12	413	16.7582	3.92228e-17	18	0.659341
1350	2.06063e-11	611	78.4615	2.08028e-11	615	55.1099	4.04485e-12	402	16.2637	4.25190e-16	18	0.659341
1330	3.76941e-11	612	78.6264	3.80481e-11	616	55.1648	6.78835e-12	390	15.7692	2.87876e-15	18	0.659341
1310	6.82643e-11	614	78.8462	6.89067e-11	617	55.2747	1.11781e-11	377	15.2747	1.38797e-14	18	0.659341
1290	1.22455e-10	615	79.0110	1.23600e-10	618	55.3846	4.95623e-11	457	20.8791	5.86220e-14	18	0.659341
1270	2.17596e-10	617	79.2857	2.19637e-10	619	55.4945	8.09650e-11	443	20.2747	2.27259e-13	18	0.659341
1250	3.83152e-10	619	79.5055	3.86749e-10	620	55.5495	1.30398e-10	428	19.6154	7.48954e-13	18	0.659341
1230	6.68716e-10	621	79.7802	6.74979e-10	622	55.7143	2.07024e-10	412	18.8462	2.17558e-12	19	0.714286
1210	1.15709e-09	623	80.0549	1.16789e-09	623	55.8242	3.23531e-10	396	18.0769	5.71254e-12	19	0.659341
1190	1.98540e-09	625	80.3297	2.00668e-09	630	61.3736	1.04497e-09	427	21.7582	1.39797e-11	19	0.659341
1170	3.37899e-09	628	80.6593	3.41544e-09	632	61.5385	1.66338e-09	414	21.0989	3.27726e-11	19	0.714286
1150	5.70540e-09	631	81.0989	5.76734e-09	634	61.7033	2.61230e-09	400	20.3846	7.36392e-11	20	0.714286
1130	9.55975e-09	634	81.4835	9.66408e-09	637	62.0330	4.04668e-09	384	19.5604	1.59351e-10	20	0.714286
1110	1.58987e-08	637	81.8132	1.60731e-08	640	62.3077	6.16981e-09	368	18.7363	3.32652e-10	20	0.714286
1090	2.62498e-08	640	82.1978	2.65389e-08	643	62.6374	1.63647e-08	445	26.0989	6.96369e-10	21	0.714286
1070	4.30352e-08	644	82.7473	4.35112e-08	646	62.9121	2.53683e-08	429	25.2198	1.45265e-09	21	0.769231
1050	7.00718e-08	648	83.2418	7.08496e-08	649	63.1868	3.88640e-08	412	24.2308	2.91310e-09	22	0.769231
1030	1.13336e-07	652	83.7912	1.14596e-07	653	63.5714	5.88192e-08	393	23.0769	5.64125e-09	22	0.769231
1010	1.82129e-07	657	84.4505	1.84155e-07	656	63.9011	8.77003e-08	374	21.9780	1.05840e-08	23	0.824176
990	2.90841e-07	661	84.9451	2.93886e-07	665	69.9451	2.07210e-07	424	28.1868	1.99213e-08	23	0.824176
970	4.61601e-07	666	85.5495	4.66483e-07	670	70.4396	3.14195e-07	408	27.0879	3.76543e-08	24	0.824176
950	7.28264e-07	671	86.2088	7.36042e-07	675	70.9890	4.71521e-07	392	25.9890	6.92566e-08	24	0.879121
930	1.14231e-06	677	86.9780	1.15465e-06	680	71.5385	7.00081e-07	374	24.8352	1.24121e-07	25	0.934066
910	1.78168e-06	682	87.6374	1.80109e-06	686	72.0879	1.02503e-06	356	23.6264	2.17038e-07	25	0.934066
890	2.76361e-06	688	88.3516	2.79404e-06	691	72.6923	2.17052e-06	446	33.0220	3.81421e-07	26	0.934066
870	4.26376e-06	694	89.1758	4.31120e-06	696	73.1868	3.23109e-06	427	31.5934	6.73753e-07	27	0.989011
850	6.54387e-06	700	89.9451	6.61739e-06	701	73.7363	4.76845e-06	406	30.0549	1.16372e-06	27	0.934066
830	9.99216e-06	705	90.5495	1.01054e-05	705	74.1209	6.97331e-06	383	28.3516	1.96772e-06	28	1.043960
810	1.51813e-05	711	91.3187	1.53550e-05	709	74.5604	1.00664e-05	360	26.6484	3.26112e-06	29	1.043960

시간을 요구하는 호수라 제어 문제에 있어서는 위기상태의 크기를 가능한 한 작게 함으로써 문제 해결에 기여할 수 있다. 또한, 예제 문제의 결과를 통해  $\Sigma SBBP$ , 모형의 전이시점과 MMDP 모형의 전이시점상의 차이가 아무런 문제를 야기시키지 않음을 알 수 있었다. 전이시점을 MMDP 모형과 일치시키려면,  $\Sigma SBBP$ , 모형에서 제시된 전이행렬의 곱을 통해 해결할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시된 방법은 그 활용범위가 매우 크리라고 기대된다.

본 논문에서 제시된 아이디어는 다른 대기시스템의 근사 분석에도 비슷한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이는 추후 연구내용이 될 것이다.

### 참고문헌

김지수, 최우용, 전치혁 (1996), ATM 스위치의 셀 손실률 추정을 위한 Hybrid 시뮬레이션 기법, *한국경영과학회지*, 21(3), 47-62.  
 정성진 외 (1996), B-ISDN 설계 및 계획기법에 관한 연구, *한국통신 통신망연구소 보고서*, 2장.  
 Baiocchi, A., Melazzi, N. B. and Listani, M. (1991), Loss performance analysis of an ATM multiplexer loaded with high-speed on-off source, *IEEE J.S.A.C.*, 9(3), 388-393.  
 Chan, J. H. S. and Tasng, D. H. K. (1994), Bandwidth allocation of multiple QOS classes in ATM environment, *IEEE INFOCOM*, 360-367.  
 Elwalid, A. I. and Mitra, D. (1993), Effective bandwidth of general markovian traffic sources and admission control of high speed networks, *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 1(3), 329-343.

- Guerin, R. and Gun, L. (1992), A unified approach to bandwidth allocation and access control in fast packet-switched networks, *IEEE INFOCOM*, 1-12.
- Lindberger, K. (1994), Dimensioning and design method for integrated ATM networks, *ITC 14*, 897-906.
- Onvural, R. O. (1995), *Asynchronous transfer mode networks: Performance issues*, 464-476, Artech House.
- Shanthikumar, J. G. and Sargent, R. G. (1983), A unifying view of hybrid/analytic models and modeling, *Operations Research*, 31(6), 1030-1052.
- Shroff, N. and Schwartz, M. (1996), Improved loss calculations at an ATM multiplexer, *IEEE INFOCOM*, 561-568.
- Sohraby, K. (1992), On the asymptotic behavior of heterogeneous statistical multiplexer with applications, *IEEE INFOCOM*, 839-847.
- Yang, T. and Tsang, D. H. K. (1992), A novel approach to estimating cell loss probability in an ATM multiplexer loaded with homogeneous bursty sources, *Proc. GLOBECOM*, 511-517.



### 홍정식

서울대학교 산업공학과에서 학사('82), 석사('85) 및 박사학위('88)를 취득하였다.

현재: 서울산업대학교 산업공학과 교수

관심 분야: 시스템 신뢰성 모형 및 분석, 통신망 성능분석, 품질공학



### 김상백

1982년 서울대학교 산업공학과 학사

1984년 서울대학교 산업공학과 석사

1992년 서울대학교 산업공학과 박사

현재: 한국통신 통신망연구소 선임연구원

관심 분야: 초고속 정보통신망 설계, 통신망 최적화 이론, Stochastic Process 및 Queueing Theory