

# NTT/BT 프로토콜의 성능 분석<sup>†</sup>

이창훈\* · 백상엽\* · 이동주\*\*

## Performance Analysis of NTT/BT Protocol

Chang Hoon Lie\* · Sang Yeop Baek\* · Dong Joo Lee\*\*

### Abstract

Performance analysis of NTT/BT protocol is investigated, which is a GFC(Generic Flow Control) protocol in ATM(Asynchronous Transfer Mode) network and is based on cyclic reset mechanism.

The mean cell delay time is proposed as a performance measure of NTT/BT protocol. The mean cell delay time is defined as the duration from the instant the cell arrives at the transmission buffer until the cell is fully transmitted. The process of cell transmission can be described as a single server queueing model with two dependent services.

By utilizing this model, mean cell delay time is obtained and sensitivity of the factors such as window size and reset period is also analysed.

## 1. 서론

광대역 종합 정보 통신망(Broadband-Integrated Service Digital Network : 이하 B-ISDN)은 광범위하고 다양한 서비스를 통신망 사용자들에게 경제적이고 유연하게 제공하기 위해 통합적인 망의 접속을 제공하는 디지털 통신망이다[20].

이러한 B-ISDN은 음성, 데이터, 비디오 등의 다양한 서비스를 제공하며, 차세대 통신망으로서 많은 관심의 대상이 되어왔다.

B-ISDN의 전송방식은 일반적으로 비동기식 전송방식(Asynchronous Transfer Mode : 이하 ATM)을 사용하게 된다. 이를 사용자 입장에서 보면 여러 가입자의 단말은 하나의 가입자 대내망(Customer Premises Network: 이하 CPN)을

\* 서울대학교 산업공학과(Dept. of Industrial Eng. Seoul National Univ.)

\*\* LG 전자

† 본 연구는 한국과학재단 핵심 전문 연구비(951-1010-016-1) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

구성하여 공통된 링크를 통해 ATM망에 접속하게 된다. 즉, 여러가지 특성의 서비스를 요구하는 여러 대의 단말기가 다양한 구조를 갖는 CPN을 구성하고, 이러한 CPN은 단일경로를 통해 전체 망에 접속된다고 할 수 있다. 이때 여러 대의 단말기에서 생성되는 다양한 서비스들의 흐름은 하나의 흐름으로 모여져 전체망에 접속된다. 이러한 과정에서 발생할 수 있는 단말간의 과부하 상태를 해소하고 대역할당에 있어 단말기간의 공정성을 보장하기 위한 흐름제어가 필요하게 된다. 이러한 흐름제어를 위해 사용되는 것이 GFC(Generic Flow Control)이다. GFC를 위해 ATM셀 헤더에는 4비트의 GFC필드가 할당되어 있다.

현재, GFC 프로토콜의 표준화를 위해 CCITT에서 활발한 논의가 진행되고 있다. 1991년 12월 회의에서 CCITT는 호주, 스위스에서 제안한 DQDB(Distributed Queue Dual Bus)방식에 기초한 프로토콜과 Cyclic reset mechanism에 기초한 NTT/BT 프로토콜을 GFC 프로토콜로 제시하고 있다. 일반적으로 통신망의 구성 및 프로토콜의 결정에 있어, 고려하고자 하는 프로토콜에 대한 성능평가가 선행되어야 한다. 이러한 성능평가를 통해서 구성하고자 하는 통신망의 적정 성능수준을 보장하는 프로토콜의 선택 및 구현이 가능하게 된다. 기존에 제안된 GFC 프로토콜에서 DQDB 방식에 대한 성능평가는 [1], [13], [16], [17], [18] 등의 연구가 제시되어 있다. 그러나 NTT/BT 프로토콜에 대한 성능분석은 모의실험 분석에 의존한 연구 [6], [7]을 제외하고는 분석이 수행되지 않았다. 또한 기존의 NTT/BT 프로토콜에 대한 성능평가는 모의 실험을 통해 수행된 셀의 지연시간 분석에 국한되어 있다[6][7].

NTT/BT 프로토콜은 기본적으로 Cyclic reset

메카니즘에 기본을 두고 있으며, 트래픽의 특성에 따라 H 트래픽, L 트래픽으로 구분하고 H 트래픽에는 우선순위(priority)를 두고 있다. 이러한 특성때문에 해석적 방법에 의한 성능분석은 기존의 연구가 거의 진행되지 않은 상태이다.

본 논문의 목적은 NTT/BT 프로토콜에 대한 모형화 및 성능분석이다. 즉, 본 논문에서는 NTT/BT 프로토콜에 대한 확률적 모형화 및 셀의 평균 지연시간을 성능 평가 척도로 하여 성능 분석을 수행하였다. 이때 평가 척도인 셀의 평균 지연 시간이란 도착한 시점에서부터 전송 버퍼에 도달하는 데까지 걸리는 시간의 기대값이다.

NTT/BT 프로토콜에서는 하나의 호가 접속을 요구하여 수락되면 트래픽의 전송을 위해 필요한 Window Size가 할당된다. 이때 Window Size는 셀의 지연에 관한 요구 조건을 만족하도록 결정되어야 한다. 본 논문에서는 Window Size와 셀의 지연 시간 사이의 관계를 파악함으로써 Window Size를 할당하기 위한 설계 정보를 제공하였다. 또한 NTT/BT 프로토콜의 주요 모수인 reset 주기, 입력 트래픽에 따른 민감도 분석을 수행하여 NTT/BT 프로토콜에 대한 서비스 수준(Grade-of-Service) 제시 및 설계 기준을 제시하였다.

본 연구의 결과를 이용하면, 기존의 DQDB방식 프로토콜에 대한 성능 분석 연구와 비교하여 프로토콜간의 성능비교가 가능하며, NTT/BT 프로토콜에 대해 망의 환경에 따른 적정 서비스 수준 제시 및 Window Size 및 reset 주기의 설계에 대한 기준을 제시해 줄 것으로 기대된다.

논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 NTT/BT 프로토콜 및 그 작동 방식을 설명하였으며, 3장에서는 분석을 위한 확률 모형화에 대해 정리하였다. 4장에서는 확률 모형을 이용하여

성능 평가 척도를 유도하였으며, 5장은 모의 실험 결과와의 비교를 통해 연구 결과에 대한 검증을 수행하였고 다양한 예제에 대해 Window Size 및 reset 주기와 평균 셀 지연 시간과의 관계를 규명하였다. 마지막으로 6장에서는 결과를 정리하였다.

## 2. NTT/BT 프로토콜

[그림 1]에서는 Cyclic Reset 방식을 설명하고 있다. 그림에서 호가 접속된 단말(Terminal Equipment : 이하 TE)에는 Window Size(WS)가 할당된다. Window Size는 연속된 Reset 셀 사이에 TE가 보낼 수 있는 셀의 최대 개수를 나타낸다. 각 TE에는 Window Counter(이하 CTR-W)가 있어 그 TE의 Window Size와 같은 값으로 초기치가 할당된 뒤, 셀이 하나 전송될 때마다 1씩 감소하게 된다. CTR-W가 0이 되면 셀을 전송하지 않고 있다가 Reset 셀이 도착하면 CTR-W를 Window Size로 재설정하고 다시 셀을 전송하게 된다. 이상과 같이 Cyclic Reset 방식은 Window Size와 Reset 셀을 이용하여 매체 접속을 제어하는 방식이다.

Cyclic Reset 메카니즘을 이용한 GFC 프로토콜로는 NTT에서 제안한 ATMR (Asynchronous Transfer Mode Ring) 프로토콜과 BT에서 제안한 MSFC (Multi-Server Flow Control) 프로토콜이 있으나, CPN이 단거리(TE 사이의 거리가 약 6Km 이하)인 경우에는 ATMR이 우수하고 장거리(약 6Km 이상)인 경우에는 MSFC 프로토콜이 우수함을 인정하고 1991년 12월의 회의에서 두 프로토콜간의 장점만을 취한 NTT/BT 프로토콜을 제안하였다.

NTT/BT 프로토콜은 링형, 버스형, 그리고 성형 구조에서도 사용할 수 있으며, ATM 망에서 들어오는 트래픽에 대해서는 GFC를 수행하지 않는다.

다음은 NTT/BT 프로토콜의 매체 접속 제어(Media Access Control) 메카니즘인 Reset Scheme에 대해 정리하였다. NTT/BT 프로토콜은 Window Size와 Reset Scheme을 이용하여 접속을 제어하는 프로토콜이다. Reset Scheme을 설명하기 위해 먼저 다음의 용어들을 정의하였다.

NTT/BT 프로토콜에서 각 TE는 active 또는 inactive의 두 가지 상태(state)를 갖는다.

- active state : 전송할 셀이 존재하고  $CTR-W > 0$ 인 경우.
- inactive state : TE의 버퍼에 전송할 셀이 없거나  $CTR-W = 0$ 인 경우.

즉, active state는 empty 슬롯이 도착하면 즉시 셀을 전송할 수 있는 상태를, inactive state는 나머지 경우를 의미한다. 또한, NTT/BT 프로토콜에서 트래픽은 다음의 두 가지 범주로 분류된다.

- H 트래픽 : 엄격한 대역폭 보장, 음성, 비디오 처럼 지연에 민감하고 망으로 향하는 트래픽.
- L 트래픽 : 대략적인 대역폭 보장, 지연에 민감하지 않은 트래픽.

H 트래픽과 L 트래픽 각각에 대해 Window Size가 할당되며, 셀 전송을 체크하기 위한 CTR-W가 또한 각각에 대해 존재한다. NTT/BT 프로토콜은 다음 두 가지의 셀 전송 상태(state of cell transmission)를 갖는다.

- H 상태 : H 트래픽만이 전송될 수 있다. TE의 상태는 H 트래픽의 조건에 의해서만 결정된다. 즉, H 트래픽의 CTR-W가 0보다 크고 H 트래픽의 셀이 대기에 존재하면 TE

는 active한 상태이다.

- H+L 상태 : H 와 L 트래픽이 모두 전송될 수 있다. TE의 상태는 L 트래픽의 조건에 의해서만 결정된다.

Reset은 C-TE(controlling TE)가 Reset 셀을 발생시킴으로써 이루어지는데, Reset Scheme에는 다음 네 가지의 Reset이 있다.

- Short term UPC flag (Rs) : 주기적으로 발생하며 H 트래픽의 CTR-W를 초기치로 재설정하고 전송상태를 H 상태로 변화시킨다.
- Long term UPC flag (Rl) : Rs 주기의 정수배마다 발생하며 역할은 Rs와 동일하다.
- State transition signal (Rx) : 비주기적으로 발생하며 셀 전송 상태를 H 상태에서 H+L 상태로 변화시킨다.
- Low class reset (Ry) : 비주기적으로 발생하며 셀 전송 상태는 변화시키지않고 L 트래픽의 CTR-W를 초기치로 재설정한다.

[그림 2]와 [그림 3]은 셀 전송 상태도와 전송 상태의 전이도를 보여준다. Rs와 Rl은 하나의 C-TE에 의해 주기적으로 발생하며, H 트래픽의 CTR-W를 재설정하고 모든 TE의 전송 상태를 H 상태로 변화시킨다. H 상태에 있을 때 각 TE의 상태는 H 트래픽에 의해 결정되며, 모든 TE가 inactive하게 되면 C-TE가 이를 감지하여(자세한 방법은 뒤에 설명한다) Rx를 발생시키고 전송 상태를 H+L 상태로 바꾼다. H+L 상태에 있는 동안 각 TE의 상태는 L 트래픽에 의해 결정되며 모든 TE가 inactive하게 되면 C-TE가 이를 감지하여 Ry를 발생시켜 L 트래픽의 CTR-W를 재설정하고 H+L 상태를 반복한다. 이후에 Rs나 Rl이 발생하면 다시 H 상태로 변화하게 된다. H 트래픽은 CTR-W가 0이 아닌 H+L 상태에서도 전송될 수 있다.

위의 Reset Scheme은 H 트래픽에 대해서는 최대 대역폭을 할당하고 협상된 대역폭을 초과하여 사용할 수 없도록 CTR-W로 제어하며, L 트래픽에 대해서는 최소 대역폭을 보장해주며 여분의 대역을 공유하도록 한다.

TE에는 Simple-TE(이하 S-TE)와 Controlling-TE(이하 C-TE)의 두 가지가 있다. 각각의 기능을 설명하면 다음과 같다.

- S-TE는 active 상태에 있을 때는 TE를 지나가는 GFC field의 'Trial'을 'Null'로 바꾼다.
- inactive 상태에서 C-TE로부터 Reset 셀을 받으면 S-TE는 active 상태로 변한다.

C-TE의 수는 많아야 2개이며 기능은 다음과 같다.

- GFC field에 'Trial'을 기입한다.
- GFC field에 'Reset'을 기입하여 Reset 셀을 발생시킨다.

C-TE는 모든 TE들이 inactive하다는 것을 감지하여 Reset 셀을 발생시키는데, 그 구체적 과정은 다음과 같다. C-TE는 셀의 GFC field에 항상 'Trial'을 기입하고, active한 S-TE는 'Trial'을 'Null'로 변화시킨다. 따라서, active한 TE가 존재하면 GFC field는 'Trial'에서 'Null'로 바뀌므로 C-TE는 GFC field에서 'Null'만을 보게 된다. 그러나, 만약 모두 inactive하다면 GFC field에는 'Trial'이 표시된다. 따라서, C-TE는 도착하는 셀의 GFC field에 의해 다른 TE의 상태를 파악할 수 있으며, 이를 통해 Reset 셀을 발생시킨다. 이 과정이 [그림 4]에 나타나 있다.

### 3. 확률 모형화

본 장에서는 NTT/BT 프로토콜의 분석을 위

한 성능 평가 척도를 제시하고 해석적 접근을 위한 모형화를 수행하였다.

NTT/BT 프로토콜에서 트래픽은 셀 단위로 TE에 도착하게 된다. 도착한 셀은 TE의 버퍼에 저장되어 있다가 먼저 도착한 셀들이 전송되고 난 후에 비로소 전송된다. 전송 매체를 통해 셀이 전송되는데 소요되는 시간은 매체의 전송 속도에 의해 결정되며 고정적이다. 따라서, 가변적이고 확률적인 특성을 갖는 부분은 셀이 버퍼에 도착한 시점에서부터 전송 매체에 접속하는 데까지 소요되는 시간이다. 본 논문에서는 이 시간을 셀의 지연시간이라 정의하고, 셀의 평균 지연 시간을 성능 평가 척도로 삼아 분석을 수행하고자 한다.

NTT/BT 프로토콜에서 트래픽은 H 트래픽과 L 트래픽의 두 가지가 있으나, L 트래픽은 지역적이고 지연에 민감하지 않으므로, 지연 시간과 관련된 서비스의 수준(Quality of Service)이 중요한 의미를 갖는 것은 H 트래픽이다. 따라서, 본 논문에서는 H 트래픽을 대상으로 평균 지연 시간 분석을 수행한다. 또한 TE들간의 상호 작용이 복잡하여 전체 네트워크 관점에서의 분석은 매우 어려우므로, 본 논문에서는 특정한 TE의 관점에서 셀의 평균 지연 시간을 분석하도록 하였다. 특정한 TE의 관점에서 볼 때 셀의 지연에 영향을 미치는 인자들로는 TE에 도착하는 셀의 도착 과정(arrival process), TE에 도착하는 슬롯의 상태, TE에 할당된 Window Size, reset 주기 등이다. TE에 도착하는 슬롯의 상태는 busy일 수도 empty일 수도 있다. 특정한 TE의 관점에서는 슬롯의 busy 상태 여부가 매우 중요하다.

본 논문에서 사용되는 가정은 다음과 같다.

(1) 셀의 도착과 전송은 각 슬롯의 끝에서 발생하며, 도착한 셀은 적어도 한 슬롯 이후

에 전송 될 수 있다.

(2) 셀의 도착은 확률  $\lambda$ 인 베르누이 프로세스(bernoulli process)를 따른다.

(3) 도착한 각 슬롯이 empty일 확률은  $\beta$ 이다. 즉, empty 슬롯의 도착은 확률  $\beta$ 인 베르누이 프로세스를 따른다.

(4) TE의 버퍼 용량은 무한대이다.

(5) Reset에 소요되는 시간은 0이다.

(6) 이 시스템은 안정 상태(steady state)이다.

[그림 5]는 본 연구에서 분석하고자 하는 시스템을 개략적으로 나타내고 있다.

도착한 셀은 버퍼에서 대기하고 있다가 FCFS(First Come First Service) 규칙에 의해 전송된다. 셀이 전송 버퍼에 도착했을 때,  $CTR-W > 0$  이면 empty 슬롯이 도착하자마자 전송이 되고,  $CTR-W = 0$  이면 Reset이 될 때까지 기다렸다가 Reset이 된 후에 empty 슬롯이 도착하면 전송된다. 위 시스템을 대기 모형으로 모형화하기 위해 다음을 정의하였다.

- 셀의 대기 지연 시간 (queue waiting time) : 셀이 시스템에 도착 시점에서부터 전송 버퍼에 도달하는 데까지 소요되는 시간

- 셀의 서비스 시간 : 전송 버퍼에 도달한 시점에서부터 전송될 때까지 소요되는 시간

위 정의에 의해, 셀의 지연 시간은 대기 지연 시간과 서비스 시간의 합으로 표시되며, 이 시스템을 대기 모형으로 나타내면 [그림 6]과 같다.

$CTR-W > 0$  이면 서비스 시간은 첫번째 empty 슬롯이 도착하는데 소요되는 시간이므로  $\beta$ 를 모수로 갖는 기하 분포(geometric distribution)를 따르게 되고,  $CTR-W = 0$  이면 서비스 시간은 Reset이 되는데 소요되는 시간과 empty 슬롯이 도착하는데 소요되는 시간의 합으로 구성되므로 기하 분포를 따르지 않게 된다.

따라서, 두 가지 종류의 서비스 분포를 갖는

대기 모형이 되는데, 이 때 각 셀의 서비스 시간은 상호 종속적(dependent)이다. 예를 들어 어떤 셀에 대해  $CTR-W=0$ 이었다면, 그 다음에 전송되는 셀에 대해서는  $CTR-W>0$ 이 된다. 결국 한 TE의 관점에서 본 프로토콜의 작동 과정은 종속적인 두 가지 종류의 서비스를 갖는 단일 봉사자 대기 모형으로 모형화할 수 있다.

### 4. 평균 지연 시간 분석

#### 4.1 셀의 평균 지연 시간

앞서 살펴 본 바와 같이, NTT/BT 프로토콜의 대기 모형에서 셀은  $CTR-W$ 의 값에 따라 두 가지 종류의 서비스를 갖게 된다. 먼저, 다음을 정의한다.

type 1 셀 : 전송 버퍼에 도착했을 때  $CTR-W=0$ 을 보는 셀

type 2 셀 : 전송 버퍼에 도착했을 때  $CTR-W>0$ 을 보는 셀

$N_i(t)$  : 시점 t까지 서비스 받은 type i 셀의 수

$W_i^j$  : type i 셀 중에서 j번째 서비스 받은 셀의 지연 시간

$p_1$  : type 1 셀의 장기 비율 (long-run proportion)

$EW_i$  : type i 셀의 평균 지연 시간  
 임의의 셀의 평균 지연 시간( $EW$ )은

$$EW = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^{N_1(t)} W_1^j + \sum_{j=1}^{N_2(t)} W_2^j}{N_1(t) + N_2(t)} \quad (1)$$

이며, 위의 정의에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$EW = p_1 \cdot EW_1 + (1 - p_1) \cdot EW_2 \quad (2)$$

type i 셀의 평균 대기 지연 시간을  $EW_i^Q$ , 평균 서비스 시간을  $ES_i$  라 하면,

$$EW_i = EW_i^Q + ES_i \quad (3)$$

가 된다. 그런데, 셀의 (평균)대기 지연 시간은 셀이 도착한 시점에 존재하는 시스템내의 (평균)작업량(work)과 동일하다. 셀의 도착은 베르누이 프로세스를 따르므로 BASTA(Bernoulli Arrival Sees Time Average) 성질에 의해, 셀 도착 시점의 평균 작업량은 시스템의 평균 작업량과 일치하고 셀의 type 과는 무관하다. 따라서, (3)식은 다음 식 (4)와 같이 유도된다.

$$EW_i = EW^Q + ES_i \quad (4)$$

여기서  $EW^Q$ 는 시스템의 평균 작업량  $EV$ 와 동일하다.

시스템의 작업량은 크게 두 가지로 구성되는데, 첫째는 서비스 중인 셀의 잔여 서비스 시간이고, 둘째는 대기 중인 셀의 서비스 시간이다.

$S^r$  : 서비스 중인 셀의 잔여 서비스 시간

$L_i^Q$  : 버퍼에 대기 중인 type i 셀의 평균 갯수

$p_1^Q$  : 대기 지연 시간 > 0 인 셀 중 type 1 셀의 장기 비율

이라 하면,

$$EV = ES^r + L_1^Q ES_1 + L_2^Q ES_2 \quad (5)$$

가 되고, Little의 식에 의해

$$EV = ES^r + p_1^Q \lambda EW^Q ES_1 + (1 - p_1^Q) \lambda EW^Q ES_2 \quad (6)$$

와 같이 표현되며, 따라서

$$EW^Q = \frac{ES^r}{1 - p_1^Q \lambda ES_1 - (1 - p_1^Q) \lambda ES_2} \quad (7)$$

가 된다. 여기서  $ES^r$  은 서비스 중인 셀의 type에 조건을 주면,

$$ES^r = p_1 \lambda \frac{ES_1^2 - ES_1}{2} + (1 - p_1) \lambda \frac{ES_2^2 - ES_2}{2} \quad (8)$$

와 같이 구해진다.

식(1)-식(8)에 의해, 셀의 평균 지연 시간은  $ES_1, ES_1^2, ES_2, ES_2^2, p_1, p_1^Q$  의 함수로 표시된다. 이들 각각을 구하기 위해, 먼저 다음의 임베디드 마코프 체인을 정의하자.

NTT/BT 프로토콜에서 Reset은 주기 T마다 발생하며, Reset이 발생한 직후 시점들에서의 시스템 내에 있는 셀의 갯수는 마코프 체인을 형성한다. [그림 7]은 이러한 상황을 설명하고 있다.  $t_{n+1}$ 에서의 셀의 수는  $t_n$ 에서의 셀의 수, T동안의 셀의 도착 프로세스, 그리고 T동안의 empty 슬롯의 프로세스에 의존한다. 그런데, 셀과 슬롯의 프로세스는 베르누이 프로세스이므로  $t_n$  시점 이전과는 무관하며, 각 주기 T마다 동일(identical)하다. 따라서,  $t_{n+1}$ 에서의 셀의 수는  $t_n$  시점 이전과는 무관하며,  $t_n$ 에서의 셀의 수에만 의존하는 마코프 특성(Markov Property)을 갖는다.

$t_n$ 에서의 셀의 수를  $X_n$ , Window Size를 w라 하면, 이 마코프 체인의 전이 확률

$P_w^T(i, j) = Pr(X_{n+1} = j | X_n = i)$ 는 다음과 같이 구해진다.

(1)  $i \geq w$  인 경우

$t_n$  부터  $t_{n+1}$ 까지의 시간축을 슬롯 단위로 나누어 각각 1, 2, ..., T라 하고, 다음을 정의하자.

$E_i$  : i번째 empty 슬롯의 도착 시점

$A_i$  : i번째 셀의 도착 시점

$E^t$  : (1, t) 사이에 도착한 empty 슬롯의 갯수

$A^t$  : (1, t) 사이에 도착한 셀의 갯수

$S^t$  : (1, t) 동안 전송된 셀의 갯수

$j = i + A^T - S^T$  이므로

$$P_w^T(i, j) = \sum_k Pr_w^T(S^T = k, A^T = k + j - i | X_n = i) \quad (9)$$

가 되고 우변 항을 분해하면 다음과 같이 표현된다.

$$P_w^T(i, j) = \sum_k Pr(S^T = k | X_n = i) Pr(A^T = k + j - i) \quad (10)$$

가 되며, k의 범위는  $\max(0, i - j) \leq k \leq \min(w, T - j + i)$ 이다. 여기서

$$Pr(A^T = k) = \binom{T}{k} \lambda^k (1 - \lambda)^{T-k}$$

$$Pr(S^T = k | X_n = i) = Pr(E^T = k) = \binom{T}{k} \beta^k (1 - \beta)^{T-k}, k < w \quad (11)$$

$$Pr(S^T = w | X_n = i) = Pr(E^T \geq w) = 1 - \sum_{j=0}^{w-1} \binom{T}{j} \beta^j (1 - \beta)^{T-j}$$

(2)  $0 < i < w$  인 경우

이 때 j가 취할 수 있는 값의 범위는 0에서  $i + T$  까지이다.

①  $T \leq j \leq i + T$  인 경우

$$P_w^T(i, j) = \sum_{k=0}^{i+T-j} Pr_w^T(S^T = k, A^T = k + j - i | X_n = i) \quad (12)$$

$$= \sum_{k=0}^{i+T-j} Pr(S^T = k | X_n = i) Pr(A^T = k + j - i)$$

여기서,  $Pr(A^T=k), Pr(S^T=k | X_n=i)$  는 식(11)에서와 동일하다.

②  $0 \leq j \leq T-1$  인 경우

위의 경우에서는  $S^T$ 가  $E^T$ 에 의해 결정되었지만, 이 경우에는 그렇지가 못하다. 예를 들면,  $T$  동안 전송된 셀의 갯수가 2개일지라도  $T$  동안 도착한 empty 슬롯의 갯수는 2개 일수도, 3개 일수도 또는 그 이상일 수도 있는 것이다.

$$P_w^T(i, j) = \sum_{k=\max(0, i-j)}^{\min(w, T-j+i)} Pr_w^T(S^T=k, A^T=k+j-i | X_n=i) \tag{13}$$

$k \leq i-1$  이거나  $k \geq T-j+1$ 인 경우에는  $S^T$ 가  $E^T$ 에 의해서 결정되므로 위의 경우와 마찬가지로,  $i \leq k \leq T-j$ 인 경우는  $i$ 번째 empty 슬롯의 도착 시점과 그때까지 도착한 셀의 갯수에 조건을 주어 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Pr_w^T(S^T=k, A^T=k+j-i | X_n=i) = \sum_{t=0}^{T-i} \left\{ \sum_{\bar{i}} Pr_w^{T-t}(S^{T-t}=k-i, A^{T-t}=k+j-i-\bar{i} | X_n=\bar{i}) Pr(A^t=\bar{i}) \right\} Pr(E_i=i) \tag{14}$$

마지막 식의  $Pr_w^{T-t}(\cdot)$ 는 식 (14)를 반복 적용하여 구할 수 있다.

(3)  $i = 0$  인 경우

첫 번째 empty 슬롯의 도착 시점  $A_1$ 에 조건을 주면,

$$P_w^T(0, j) = \sum_{t=1}^{T-j+1} Pr(X_{n+1}=j | X_n=0, A_1=t) Pr(A_1=t) \tag{15}$$

가 되고, 이 식은 다시

$$P_w^T(0, j) = \sum_{t=1}^{T-j+1} P_w^{T-t}(1, j) Pr(A_1=t) \tag{16}$$

와 같이 표현된다.

이상과 같이 임베디드 마코프 체인의 전이 확률이 구해지며, 이를 이용하여 극한 확률 분포  $\lim_{n \rightarrow \infty} Pr[X_n = i]$  즉  $\pi_i$ 를 구할 수 있다.

4.2  $p_1$  (type 1 셀의 장기 비율)의 계산

위 마코프 체인에서  $X_n=0$ 인 시점들은 재생점(renewal point)들을 형성한다.

$M_1$  : 하나의 재생 주기(renewal cycle)동안

서비스 받은 type 1 셀의 갯수

$M$  : 하나의 재생 주기(renewal cycle)동안 서비스 받은 셀의 갯수

라고 정의하면,

$$p_1 = \frac{EM_1}{EM} \tag{17}$$

이고, 재생 주기의 평균은  $\pi_0^{-1}T$ 이므로  $EM = \lambda\pi_0^{-1}T$ 가 된다.

$EM_1$ 을 계산하기 위해 다음 확률 변수를 정의하자.

$I_n = 1$ ,  $n$ 번째 reset 주기 동안에 type 1 셀이 발생

0, 기타

한 reset 주기 동안 발생할 수 있는 type 1 셀은 많아야 1개이므로  $I_n$ 의 값은  $n$ 번째 reset 주기에 발생한 type 1 셀의 갯수와 동일하다.

$$R_1^T(i, j, 1) = Pr(I_n=1, X_{n+1}=j | X_n=i)$$



$$S1_w^T(i, j, 1) = Pr(I_n = 1 \mid X_n = i, X_{n+1} = j)$$

$f_i$ 를  $X_m = i$ 에서 최초로  $X_{m+i} = 0$ 이 될 때까지 발생한,  $I_n = 1$ 인 reset 주기의 평균 갯수라 정의하면,  $EM_1 = f_0$ 이 된다.  $f_0$ 을 구하기 위해 첫 번째 전이 후의 상태에 조건을 주면,

$$\begin{aligned} f_0 &= \sum_{i=0}^{\infty} P_w^T(0, i) \cdot (S1_w^T(0, i, 1) + f_i) \\ f_i &= \sum_{j=0}^{\infty} P_w^T(i, j) \cdot (S1_w^T(i, j, 1) + f_j) \end{aligned} \quad (18)$$

와 같은 1차 연립 방정식을 얻을 수 있다. 이 방정식을 풀면  $EM_1$ 을 구할 수 있다. 이 때,

$$S1_w^T(i, j, 1) = \frac{Pr(X_n = i, I_n = 1, X_{n+1} = j)}{Pr(X_n = i, X_{n+1} = j)} \quad (19)$$

와 같이 표현되며, 위의 정의에 의해 다음과 같이 나타내어 진다.

$$S1_w^T(i, j, 1) = \frac{R1_w^T(i, j, 1)}{P_w^T(i, j)} \quad (20)$$

여기서,  $R1_w^T(i, j, 1)$ 의 계산 절차는 부록을 참조하기 바란다.

### 4.3 $p_1^Q$ (대기 지연을 겪는 셀 중 type 1 셀의 장기 비율)의 계산

$M_1^D$  : 하나의 재생 주기(renewal cycle)동안 서비스 받은, 대기 지연 시간이 0인 type 1 셀의 갯수

$M$  : 하나의 재생 주기(renewal cycle)동안 서비스 받은 셀의 갯수

라고 정의하면,

$$p_1^Q = \frac{p_1 - \frac{EM_1^D}{EM}}{\rho} \quad (21)$$

가 된다. (단,  $\rho = \lambda p_1 \cdot ES_1 + \lambda p_2 \cdot ES_2$ )  $EM_1^D$ 을 계산하기 위해 다음 확률 변수를 정의하자.

$I_n^D = 1$ , n번째 reset 주기에 대기 지연이 0인 type 1 셀이 발생

0, 기타

$p_1$ 의 계산에서와 유사하게,

$$R2_w^T(i, j, 1) = Pr(I_n^D = 1, X_{n+1} = j \mid X_n = i)$$

$$S2_w^T(i, j, 1) = Pr(I_n^D = 1 \mid X_n = i, X_{n+1} = j)$$

$f_i$ :  $X_m = i$ 에서 최초로  $X_{m+i} = 0$ 이 될 때까지 발생한,  $I_n^D = 1$ 인 reset 주기의 평균 갯수라 두면,  $EM_1^D = f_0$ 가 된다.  $f_0$ 을 구하기 위해 첫 번째 전이 후의 상태에 조건을 주면,

$$\begin{aligned} f_0 &= \sum_{i=0}^{\infty} P_w^T(0, i) \cdot (S2_w^T(0, i, 1) + f_i) \\ f_i &= \sum_{j=0}^{\infty} P_w^T(i, j) \cdot (S2_w^T(i, j, 1) + f_j) \end{aligned} \quad (22)$$

와 같은 1차 연립 방정식을 얻을 수 있다. 이 방정식을 풀면  $EM_1^D$ 을 구할 수 있다. 이 때,

$$S2_w^T(i, j, 1) = \frac{Pr(X_n = i, I_n^D = 1, X_{n+1} = j)}{Pr(X_n = i, X_{n+1} = j)} \quad (23)$$

와 같이 표현되며, 위의 정의에 의해 다음과 같이 나타내어 진다.

$$S2_w^T(i, j, 1) = \frac{R2_w^T(i, j, 1)}{P_w^T(i, j)} \quad (24)$$

여기서,  $R2_w^T(i, j, 1)$ 은  $R1_w^T(i, j, 1)$ 와 유사한 방식으로 구해진다.(부록 참조)

4.4 서비스 시간의 모멘트 계산

나와 있다.

$S$  : 서비스 시간

$T_1$  : 서비스 시간 중  $CTR - W = 0$  인 기간

$T_2$  : 서비스 시간 중  $CTR - W > 0$  인 기간

이라 하면,  $S = T_1 + T_2$  가 되고,

$$ES_1 = E[S | T_1 > 0]$$

$$= E[T_1 | T_1 > 0] + E[T_2]$$

$$ES_1^2 = E[S^2 | T_1 > 0] = E[T_1^2 | T_1 > 0]$$

$$+ 2E[T_1 | T_1 > 0] E[T_2] + E[T_2^2]$$

$$ES_2 = E[S | T_1 = 0] = E[T_2]$$

$$ES_2^2 = E[S^2 | T_1 = 0] = E[T_2^2]$$

와 같이 구해진다.  $T_2$  는 empty 슬롯이 도착할 때까지 걸리는 시간이므로 기하 분포를 따른다.

따라서,  $E[T_2] = \frac{1}{\beta}$ ,  $E[T_2^2] = \frac{2-\beta}{\beta^2}$  이다.

$E[T_1 | T_1 > 0]$ ,  $E[T_1^2 | T_1 > 0]$ 을 계산하기 위해,  $P\{T_1 = t | T_1 > 0\}$  을 구해보자. reset 주기의 시작 시점에서의 시스템내의 셀의 수  $X$ 에 조건을 주면,

$$P\{T_1 = t | T_1 > 0\} = \sum_j P\{T_1 = t | X = i, T_1 > 0\} P\{X = j | T_1 > 0\} \quad (26)$$

가 된다. 여기서  $X$ 는 극한 확률 분포  $\pi_i$ 를 따른다. 위 식의 우변항들은 각각

$$P\{X = i | T_1 > 0\} = \frac{P\{T_1 > 0 | X = i\} P\{X = i\}}{\sum_j P\{T_1 > 0 | X = j\} P\{X = j\}} \quad (27)$$

$$P\{T_1 = t | X = i, T_1 > 0\} = \frac{P\{T_1 = t | X = i\}}{P\{T_1 > 0 | X = i\}} \quad (28)$$

가 되며,  $P\{T_1 = t | X = i\}$ 의 계산은 부록에

5. 분석 예제

본 장에서는 예제를 통하여 성능분석 결과에 대한 검증 및 모수와 성능 평가 척도와의 관계를 설명하였다. 성능분석 결과에서 Mean Cell Delay와 주기  $T$ 의 단위는 slot time이다. 성능 분석에 있어 대기 시스템이 안정되기 위해서는 단말에 도착하는 셀의 비율보다 빈 슬롯의 비율이 높아야하며, reset 주기 동안 도착하는 평균 셀의 수보다 큰 Window Size가 할당되어야한다. 따라서 다음의 식이 만족되어야한다.

$$\lambda < \beta, \lambda T < w \quad (29)$$

[그림 8], [그림 9]는 주어진 모수들의 값에 대해  $\beta$ 를 변화시키면서 논문에서 제시한 분석 방법을 통해 구한 결과와 시뮬레이션을 이용해 구한 결과를 비교함으로써 분석 결과에 대한 타당성검증을 수행하였다. 비교 결과, 단말로 들어오는 부하량  $(1-\beta)$ 가 작을 때에는 시뮬레이션 값이 상대적으로 크고,  $(1-\beta)$ 가 클 때에는 시뮬레이션 값이 작은 것을 알 수 있다. 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 본 논문에서는 빈 슬롯의 흐름을 베르누이 프로세스로 가정하였는데, 이 가정은 전체 단말들의 수가 많고 부하량이 적정 수준일때  $(1-\beta)$ 가 대략 0.5에서 0.6) 사용되는

가정이다. 그러나, 부하량이 커지게 되면 위 가

정으로 인해, reset 주기동안 Window Size 만큼의 빈 슬롯이 도착하지 않는 경우가 종종 발생할 수 있다. 그러나, 실제 경우에는 Window Size 만큼의 빈 슬롯이 반드시 도착하게 된다. 따라서, 부하량이 큰 경우에 있어 베르누이 가정은 대기 시간을 과대 평가하는 경향을 유발하게 된다. [표 1], [표 2]에서 error는 모의실험 결과와 해석적 분석 결과와의 상대적 차이를 의미한다.

[표 3], [표 4], [표 5]에서는 Window Size의 크기를 변화시키면서 이에 대한 평균 지연 시간의 변화를 분석하였다. 이를 그래프로 나타낸 것이 [그림 10], [그림 11], [그림 12]이다. 그림에서 볼 수 있듯이, Window Size가 증가함에 따라 평균 지연 시간은 감소하며, Window Size가 어느 수준을 넘게 되면 Window Size의 증가는 셀의 지연에 거의 영향을 미치지 않게 된다. 이러한 상호 관계와 비용분석을 통하여 단말에 필요한 적정 Window Size를 정해줄 수 있다.

[표 6], [표 7] 과 [그림 13], [그림 14]에서는  $(\lambda T)/w$ , 즉 도착하는 셀에 대한 Window Size의 비율을 고정시키고  $w$ 와  $T$  값을 변화시키면서 이에 따른 평균 지연 시간의 변화를 고찰하였다.  $w$ 와  $T$ 가 증가함에 따라 평균 지연 시간이 감소하는 것은  $w$ 와  $T$ 의 증가가 셀의 전송에 유연성을 부여하기 때문이다. 즉, 동일한 부하량하에서 6슬롯 동안 1개 셀의 전송이 허가되는 경우보다는 12슬롯 동안 2개 셀의 전송이 허가되는 경우가 셀의 전송에 보다 유리하게 때문이다. 실제 프로토콜의 운영에 있어서 reset 주기  $T$ 를 어떻게 정해줄 것인가 하는 것이 문제가 되는데, 셀의 평균 지연 시간의 측면에서는 예제에서 보는 바와 같이 주기  $T$ 를 증가시킬수록 좋다. 그러나, 주기  $T$ 가 증가하면 셀 지연 시간의 분산이 증가하게 되어 jitter의 측면에

서 볼 때 부정적인 결과를 초래할 것이다. 따라서, 양자를 함께 고려하여 적절한 주기  $T$ 를 정해야 할 것이다. 또한 결과에서 알 수 있는 바와 같이  $w$ 와  $T$ 의 값이 증가함에 따라 평균 지연 시간값이 점차 수렴한다는 점이다. 이는  $w$ 와  $T$  값이 어느 수준 이상이 되면 앞서 말한 '유연성의 증가'가 더 이상 셀 전송에 영향을 미치지 않게 되기 때문이다. 큰  $T$ 값에 대해 분석을 수행하고자 할 때에는 많은 시간이 소요되는데, 이러한 특성을 이용하면 수렴된 평균 지연 시간값으로 대체할 수 있으므로 빠른 시간내에 계산을 수행할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 ATM 망의 GFC 프로토콜로 제안된 NTT/BT 프로토콜의 성능 평가 척도를 제시하고 이를 이용하여 성능 분석을 수행하였다. 그 동안 제안된 GFC 프로토콜은 DQDB 방식과 NTT/BT 방식이 있는데 DQDB 방식에 대해서는 분석에 대한 여러 연구가 수행된 반면에 NTT/BT 방식에 대해서는 이원적 트래픽의 존재 및 이에 따른 서비스의 종속성과 우선 순위의 존재로 인하여 해석적 분석이 거의 수행되지 않고 있다. 본 논문에서는 NTT/BT 프로토콜에서의 셀 평균 지연 시간을 성능 평가 척도로 제시하여, 시스템을 종속적인 두 가지 종류의 서비스를 갖는 단일 봉사자 대기 모형으로 근사화하여 분석하였다. 또한 예제를 통하여 분석에 대한 타당성 검증 및 Window Size, Reset 주기 등의 요소에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

따라서 본 논문의 결과를 이용하면, 기존의 DQDB방식 프로토콜에 대한 성능 분석 연구와

비교하여 프로토콜간의 성능비교가 가능하며, NTT/BT 프로토콜에 대해 망의 환경에 따른 적정 서비스 수준 제시 및 Window Size 및 reset 주기의 설계에 대한 기준을 제시해 줄 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bisdikian,C., "Waiting Time Analysis in a Single Buffer DQDB(802.6) Network", *IEEE J. on Selected Areas in Commun.*, Vol.8, No.8, pp.1565-1573, 1990
- [2] J.J.Bae, T.Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", *Proceedings of the IEEE*, vol.79, pp.170-189, 1991
- [3] CCITT SGXVIII No.D1259, "A GFC Protocol for B-ISDN", June, 1991
- [4] CCITT SGXVIII No.D1358, "Use of the GFC Field", June, 1991
- [5] CCITT SGXVIII No.D1434, "Proposal for GFC Protocol", June, 1991
- [6] CCITT SGXVIII No.D1441, "A Candidate GFC Protocol: A Description & an Analysis of Some First Results", June, 1991
- [7] CCITT SGXVIII No.D1530, "Overview & Simulation Results for the MSFC Protocol Proposed for GFC", June, 1991
- [8] CCITT SGXVIII No.D1860, "Proposal for Enhanced GFC Protocol", Dec., 1991
- [9] CCITT SGXVIII No.D1861, "Answers to GFC Questions", Dec., 1991
- [10] CCITT SGXVIII No.D1958, "BT/NTT Protocol Proposed for GFC", Dec.,1991
- [11] K.Imai, T.Honda, H.Kasahana, T.Ito, "ATMR: Ring Architecture for Broadband Networks", *GLOBECOM'90*, pp.1734-1738, 1990
- [12] Japanese National Body, "Specification of the ATMR Protocol", 1992
- [13] Jing, W. and M. Paterakis, "Message Delay Analysis of the DQDB(IEEE 802.6) Network", *IEEE NFOCOM'92*, pp.527-535, 1992
- [14] Kleinrock, *Queueing Systems vol.1,2*, A Wiley-Interscience Publication, 1975
- [15] N.Morita, H.Ohnishi, S.Suzuki, "ATM Ring Protocol and Performance", *ICC'89*, pp.394-398, 1989
- [16] Mukherjee,B. and S.Banerjee, "Alternative Strategies for Improving the Fairness in and an Analytical Model of DQDB Networks", *IEEE INFOCOM* pp.879-888, 1991
- [17] Noh,S.J., "Performance Evaluation of the Distributed Queue Dual Bus Metropolitan Area Networks", Ph.D.Thesis, Industrial and Operations Engineering in the University of Michigan, 1992
- [18] Potter,P.G. and M.Zukerman, "Analysis of Discrete Multipriority Queueing System Involving a Central Shared Processor Serving Many Local Queues", *IEEE J. on Selected Areas in Common.*, Vol.9, No.2, pp.194-202, 1991
- [19] 최 송인, 박 홍석, "B-ISDN UNI 에서의

GFC에 관한 고찰”, 1992

- [20] 한국 전자 통신 연구소, *광대역 종합 정보 통신망 핵심기술 연구*, 1991
- [21] 한국 전자 통신 연구소, *ATM 망에서의 트래픽 제어에 관한 연구*, 1992

## 부 록 1. $R1_w^T(i, j, 1) = Pr(I_n=1, X_{n+1}=j | X_n=i)$ 의 계산

①  $i > w$  인 경우

$$\begin{aligned} R1_w^T(i, j, 1) &= Pr(E^{T-1} \geq w, A^T = j + w - i) \\ &= Pr(E^{T-1} \geq w) \cdot Pr(A^T = j + w - i) \end{aligned} \quad (a.1)$$

②  $i = w$  인 경우

$$\begin{aligned} R1_w^T(w, j, 1) &= Pr(E^{T-1} \geq w, A^T = j + w - i, A^{T-1} > 0) \\ &= Pr(E^{T-1} \geq w) \cdot Pr(A^T = j + w - i, A^{T-1} > 0) \end{aligned} \quad (a.2)$$

③  $0 < i < w$  인 경우

$$\begin{aligned} R1_w^T(i, j, 1) &= \sum_{t=i}^w Pr(I_n=1, X_{n+1}=j | X_n=i, E_i=t) Pr(E_i=t) \\ &= \sum_{t=i}^w \left\{ \sum_k R1_{w-i}^{T-t}(k, j, 1) Pr(A^t=k) \right\} Pr(E_i=t) \end{aligned} \quad (a.3)$$

④  $i = 0$  인 경우

$$\begin{aligned} R1_w^T(0, j, 1) &= \sum_t Pr(I_n=1, X_{n+1}=j | X_n=0, A_1=t) \cdot Pr(A_1=t) \\ &= \sum_t R1_w^{T-t}(1, j, 1) \cdot Pr(A_1=t) \end{aligned} \quad (a.4)$$

## 부록 2. $R2_w^T(i, j, 1) = Pr(I_n^D=1, X_{n+1}=j | X_n=i)$ 의 계산

①  $i > w$  인 경우

$$R2_w^T(i, j, 1) = 0 \quad (a.5)$$

②  $i = w$  인 경우

$$\begin{aligned} R2_w^T(w, j, 1) &= \sum_{t=w}^{T-i+1} Pr(I_n^D=1, X_{n+1}=j | X_n=i, E_w=t) Pr(E_w=t) \\ &= \sum_{t=w}^{T-i+1} Pr(A^{t-1}=0, A^{T-1} > 0, A^T=j) Pr(E_w=t) \end{aligned} \quad (a.6)$$

③  $0 < i < w$  인 경우

$$\begin{aligned} R2_w^T(i, j, 1) &= \sum_t Pr(I_n^D=1, X_{n+1}=j | X_n=i, E_i=t) Pr(E_i=t) \\ &= \sum_t \left\{ \sum_k R2_{w-i}^{T-t}(k, j, 1) Pr(A^t=k) \right\} Pr(E_i=t) \end{aligned} \tag{a.7}$$

④  $i=0$  인 경우

$$\begin{aligned} R2_w^T(0, j, 1) &= \sum_t Pr(I_n^D=1, X_{n+1}=j | X_n=0, A_1=t) \cdot Pr(A_1=t) \\ &= \sum_t R2_w^{T-t}(1, j, 1) \cdot Pr(A_1=t) \end{aligned} \tag{a.8}$$

### 부록 3. $Pr(T_1=t | X=i)$ 의 계산

①  $i > w$  인 경우

$$\begin{aligned} Pr(T_1=t | X=i) &= Pr(w\text{번째 empty슬롯의 도착 시점} = t) \\ &= \binom{T-t-1}{w-1} \beta^w (1-\beta)^{T-t-w}, t = 1, \dots, T-w \end{aligned} \tag{a.9}$$

②  $i=w$  인 경우

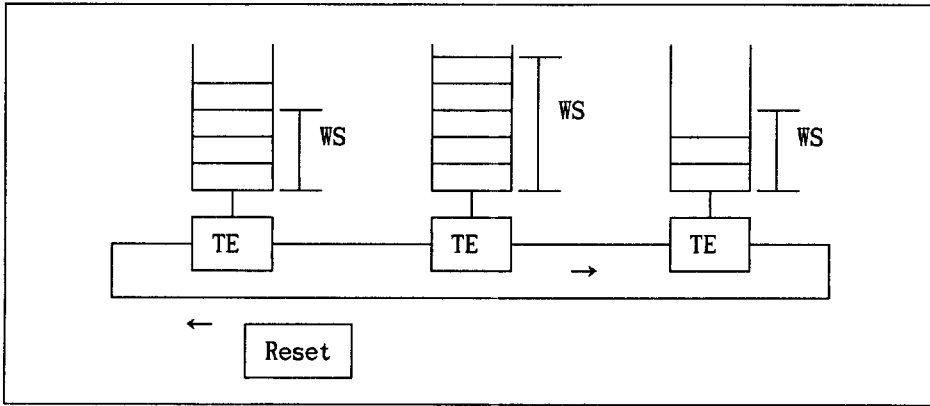
$$\begin{aligned} Pr(T_1=t | X=w) &= \sum_{j=1}^{T-t} Pr(T_1=t | X=w, A_1=j) Pr(A_1=j | X=w) \\ &= \sum_{j=1}^{T-t-1} Pr(E_w=T-t) Pr(A_1=j) \\ &\quad + \sum_{k=w}^{T-t} Pr(E_w=k) Pr(A_1=T-t) \end{aligned} \tag{a.10}$$

③  $0 < i < w$  인 경우

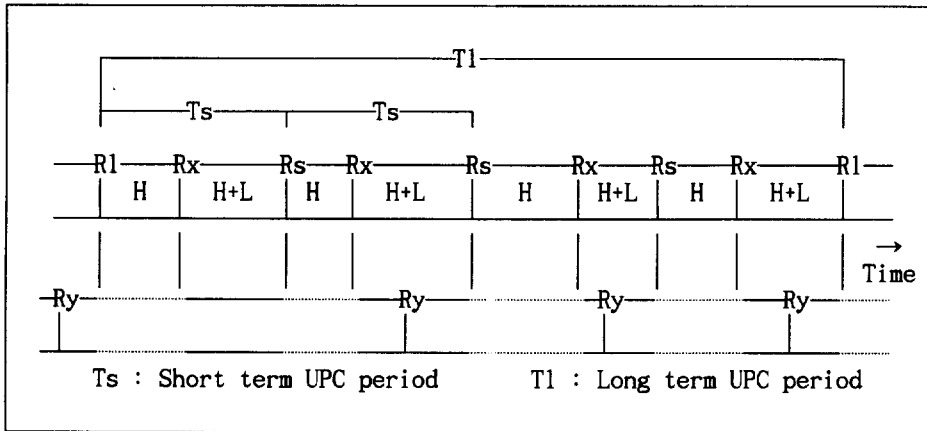
$$\begin{aligned} Pr(T_1=t | X=i) &= \sum_{k=i}^{T-t-(w-i)} Pr(T_1=t | X=i, E_i=k) Pr(E_i=k) \\ &= \sum_{k=i}^{T-t-(w-i)} \left\{ \sum_{j=0}^k Pr_{w-i}^{T-k}(T_1=t | X=j) Pr(A^k=j) \right\} Pr(E_i=k) \end{aligned} \tag{a.11}$$

④  $i=0$  경우

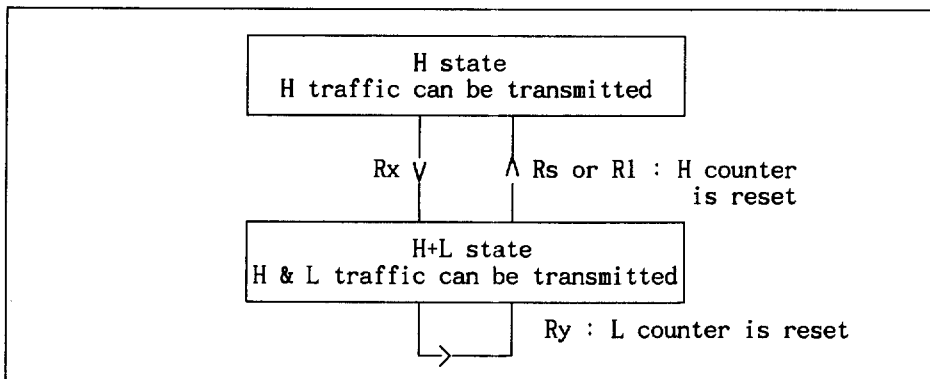
$$\begin{aligned} Pr(T_1=t | X=0) &= \sum_{k=1}^{T-t-w} Pr(T_1=t | X=0, A_1=k) Pr(A_1=k | X=0) \\ &= \sum_{k=1}^{T-t-w} Pr_w^{T-k}(T_1=t | X=1) Pr(A_1=k) \end{aligned} \tag{a.12}$$



[그림 1] Cyclic Reset 메카니즘

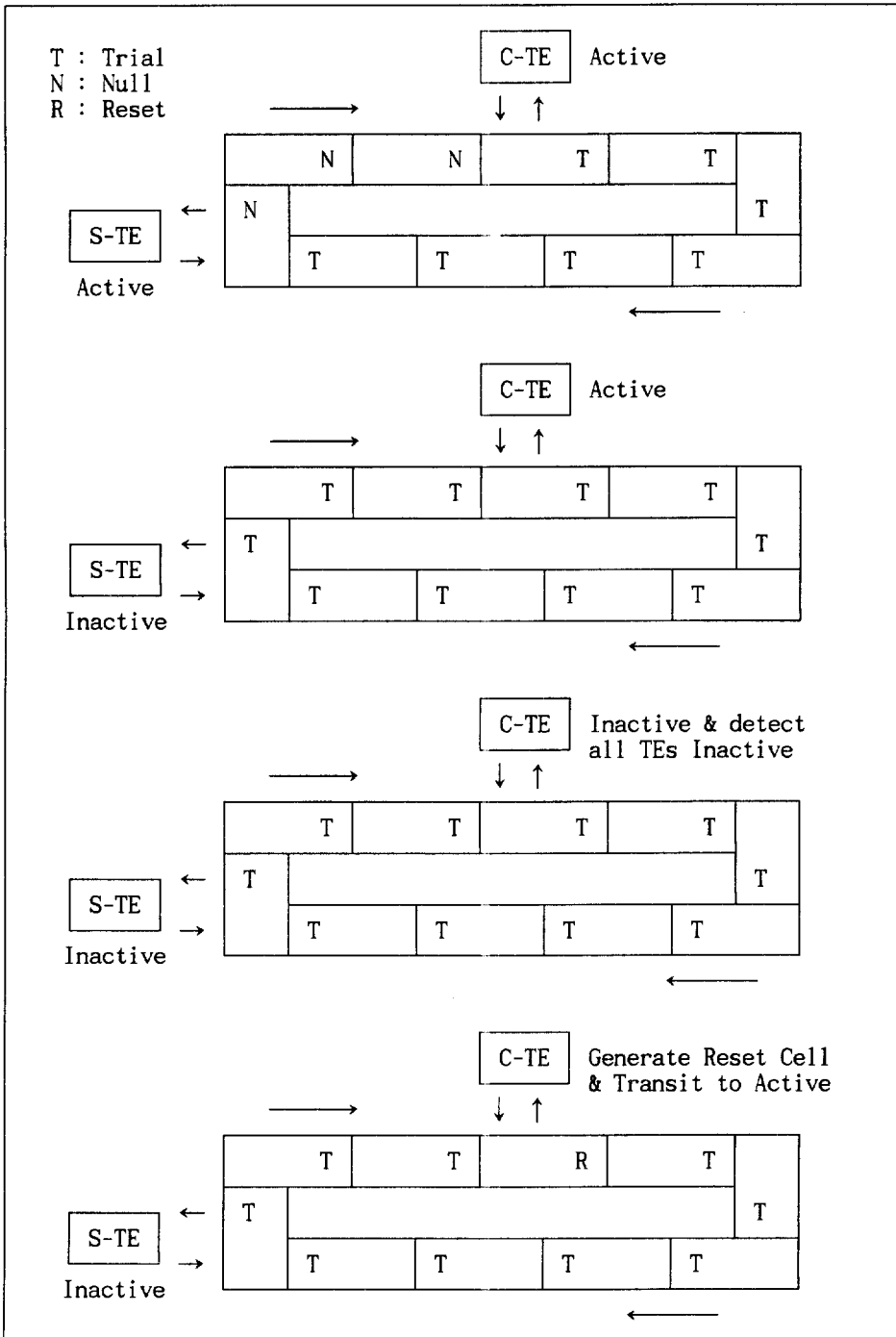


[그림 2] 셀 전송 상태도

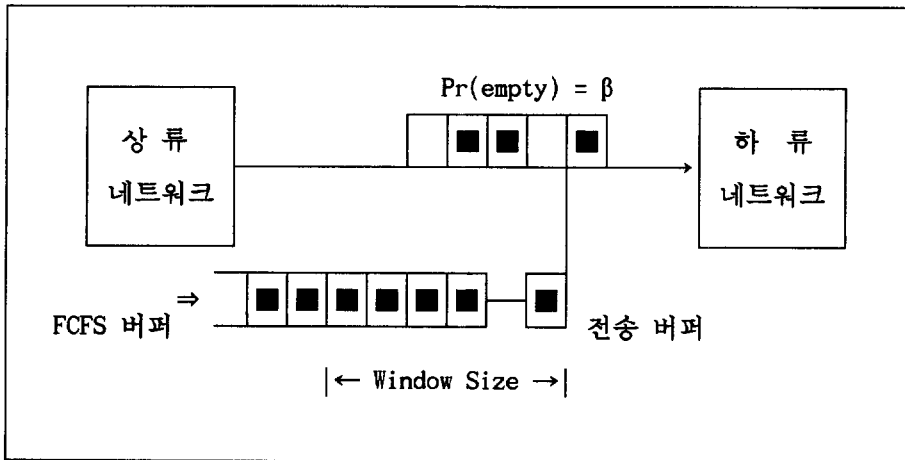


[그림 3] 셀 전송 상태 전이도

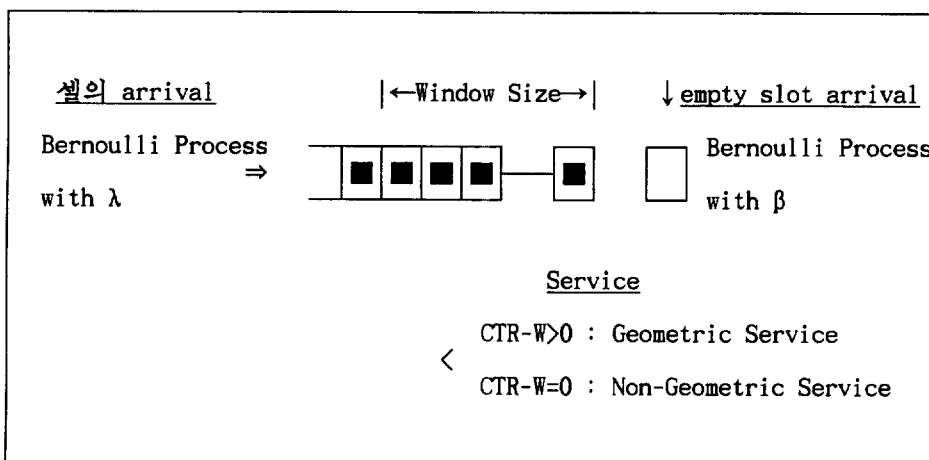




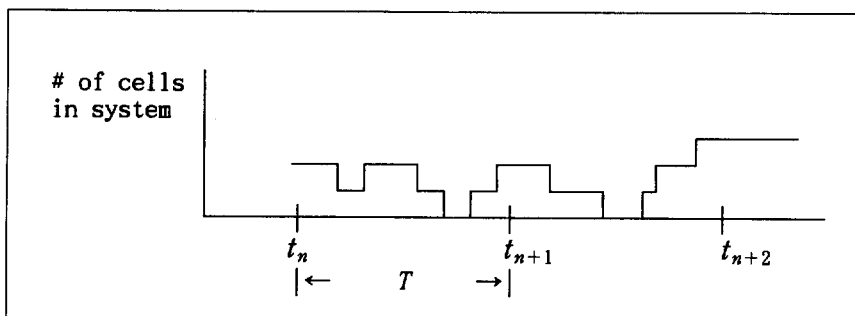
[그림 4] Reset 셀의 발생



[그림 5] 한 TE의 관점에서 본 NTT/BT 네트워크



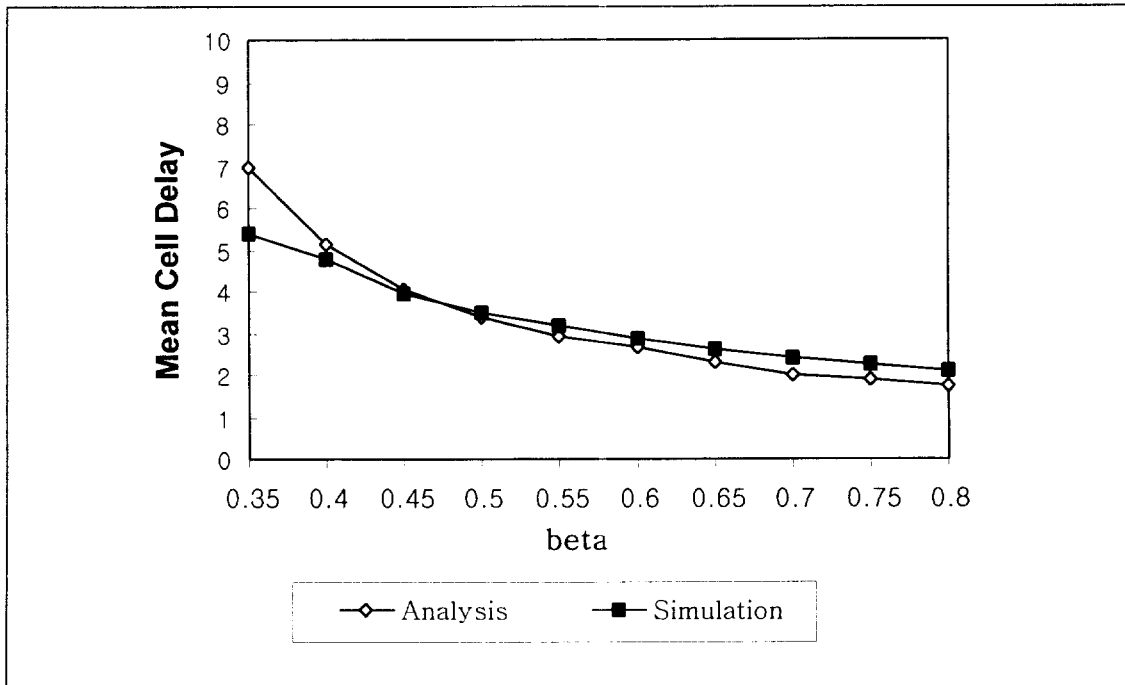
[그림 6] NTT/BT 프로토콜의 대기모형



[그림 7] 시스템내의 셀의 수의 전이도

[표 1]  $\beta$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 비교  
( $\lambda=0.2, w=3, T=10$  인 경우)

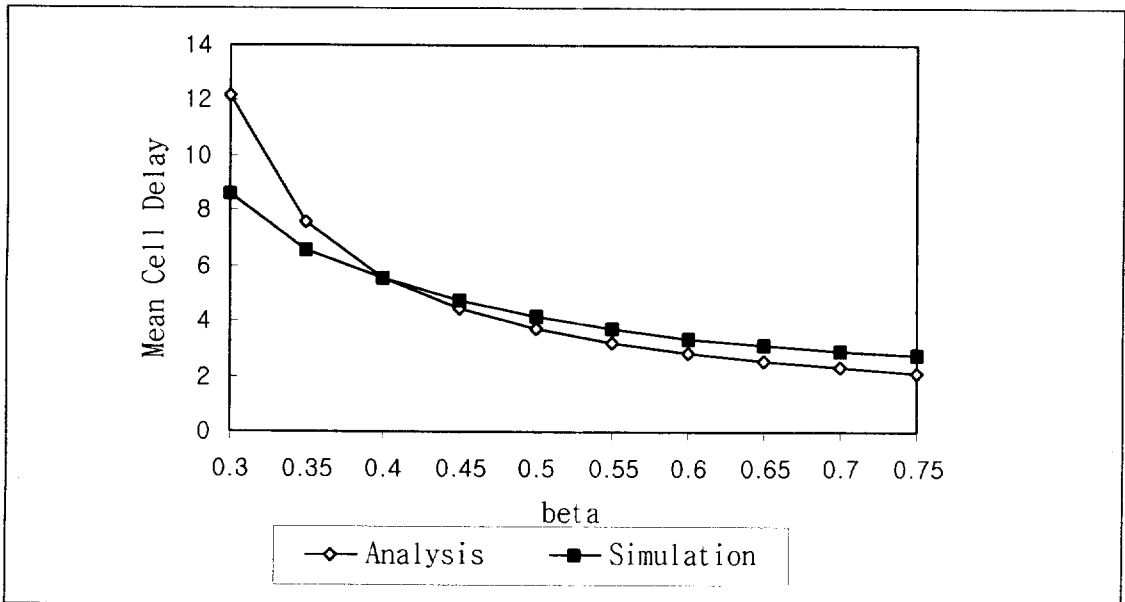
$\beta$	Analysis	Simulation	Error	$\beta$	Analysis	Simulation	Error
0.35	6.98	5.41	0.29	0.60	2.56	2.88	0.11
0.40	5.12	4.78	0.07	0.65	2.29	2.64	0.13
0.45	4.07	3.95	0.03	0.70	2.01	2.42	0.17
0.50	3.39	3.51	0.03	0.75	1.91	2.27	0.16
0.55	2.91	3.17	0.08	0.80	1.76	2.09	0.16



[그림 8]  $\beta$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 비교  
( $\lambda=0.2, w=3, T=10$  인 경우)

[표 2]  $\beta$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 비교  
( $\lambda=0.2, w=4, T=15$  인 경우)

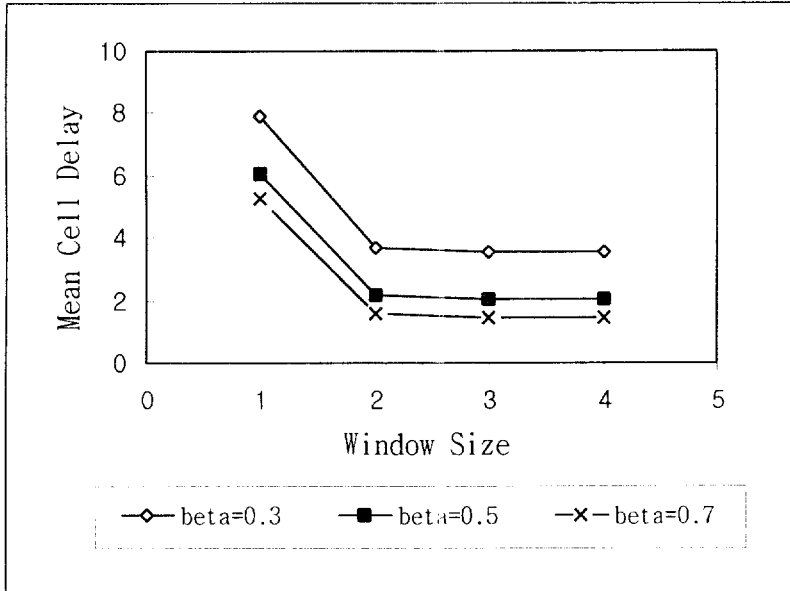
$\beta$	Analysis	Simulation	Error	$\beta$	Analysis	Simulation	Error
0.30	12.15	8.64	0.41	0.55	3.20	3.69	0.13
0.35	7.56	6.58	0.15	0.60	2.83	3.35	0.16
0.40	5.56	5.53	0.01	0.65	2.54	3.10	0.18
0.45	4.43	4.71	0.06	0.70	2.31	2.90	0.20
0.50	3.70	4.12	0.10	0.75	2.13	2.80	0.24



[그림 9]  $\beta$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 비교  
( $\lambda=0.2, w=4, T=15$  인 경우)

[표 3]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.025$ ,  $T=18$  인 경우)

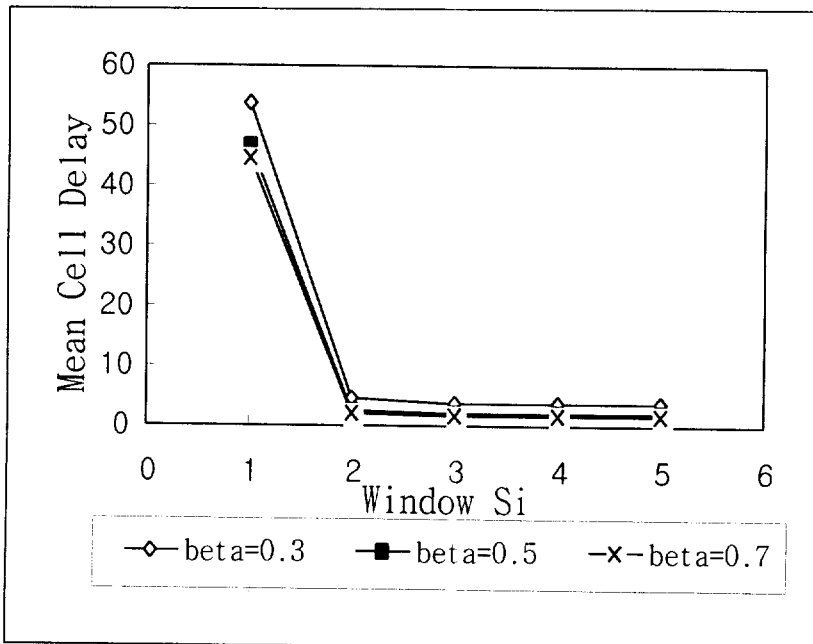
w	$\beta = 0.3$	$\beta = 0.5$	$\beta = 0.7$
1	7.92	6.02	5.25
2	3.71	2.19	1.56
3	3.56	2.06	1.45
4	3.55	2.05	1.45



[그림 10]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.025$ ,  $T=18$  인 경우)

[표 4]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.05$ ,  $T=18$  인 경우)

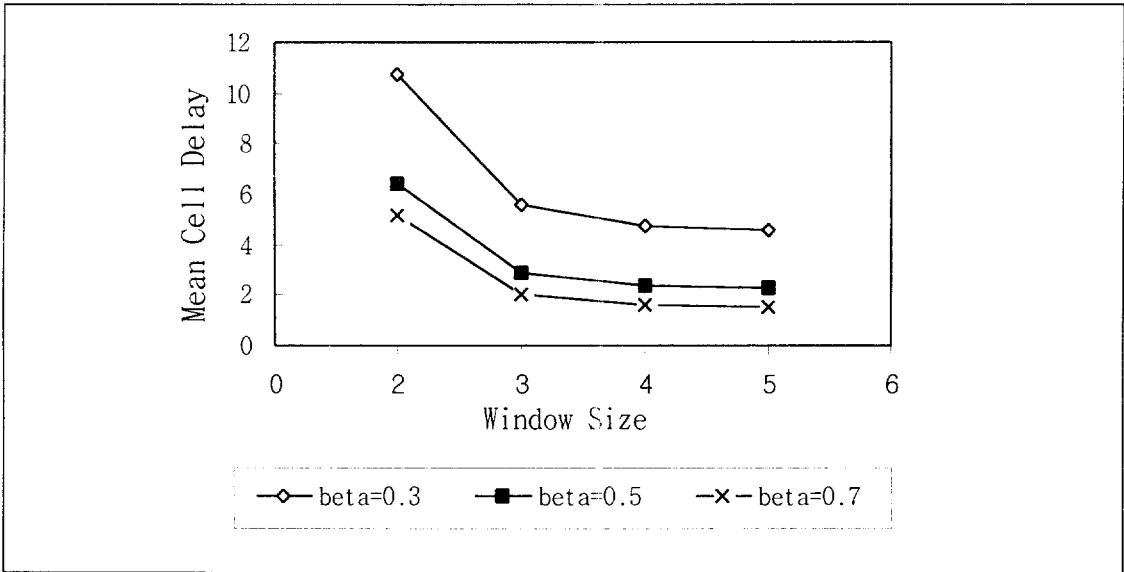
w	$\beta = 0.3$	$\beta = 0.5$	$\beta = 0.7$
1	53.55	46.79	44.64
2	4.55	2.69	1.98
3	3.92	2.19	1.53
4	3.82	2.12	1.47
5	3.80	2.11	1.46



[그림 11]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.05$ ,  $T=18$  인 경우)

[표 5]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.10$ ,  $T=18$  인 경우)

w	$\beta = 0.3$	$\beta = 0.5$	$\beta = 0.7$
2	10.76	6.43	5.16
3	5.54	2.91	2.05
4	4.74	2.39	1.61
5	4.55	2.28	1.52

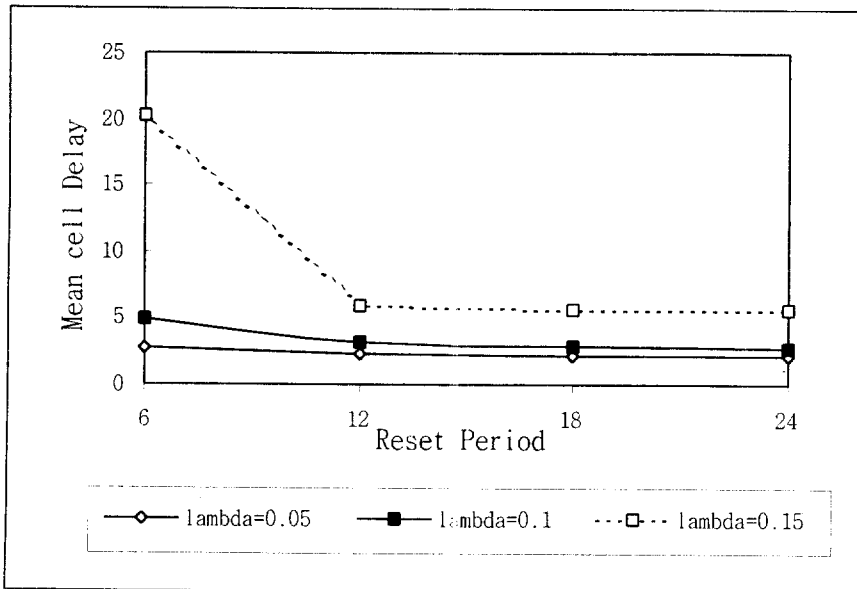


[그림 12]  $\beta$ ,  $w$  값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산  
( $\lambda=0.10$ ,  $T=18$  인 경우)

[표 6] w, T 값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산

( $\beta=0.50$ ,  $\frac{\lambda T}{w}$  가 고정된 경우)

$\lambda$	w=1 T=6	w=2 T=12	w=3 T=18	w=4 T=24
0.05	2.81	2.29	2.19	2.15
0.10	4.97	3.12	2.91	2.78
0.15	20.27	5.98	5.70	5.63



[그림 13] w, T 값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산

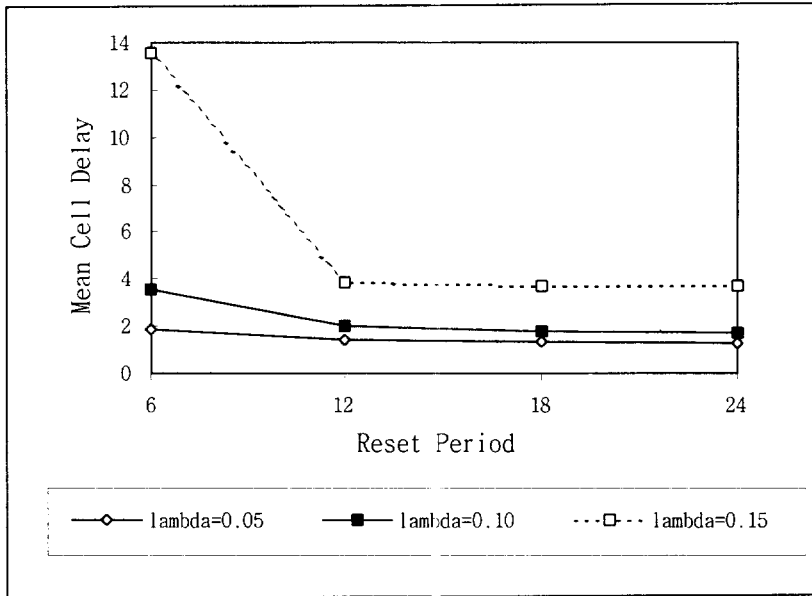
( $\beta=0.50$ ,  $\frac{\lambda T}{w}$  가 고정된 경우)



[표 7] w, T 값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산

( $\beta=0.80$ ,  $\frac{\lambda T}{w}$  가 고정된 경우)

$\lambda$	w=1 T=6	w=2 T=12	w=3 T=18	w=4 T=24
0.05	1.83	1.41	1.33	1.30
0.10	3.54	1.98	1.81	1.71
0.15	13.58	3.87	3.75	3.72



[그림 14] w, T 값의 변화에 따른 평균 지연 시간의 계산

( $\beta=0.80$ ,  $\frac{\lambda T}{w}$  가 고정된 경우)