

## 시뮬레이터를 이용한 B-NT 시스템 성능분석

正會員 이규호\*, 기장근\*\*, 노승환\*\*\*, 최진규\*\*\*\*, 김재근\*

### Performance Analysis of the B-NT System Using Simulator

Kyuo Ho Lee\*, Jang Geun Ki\*\*, Soong Hwan Ro\*\*\*,  
Jin Kyu Choe\*\*\*\*, and Jae Geun Kim\* *Regular Members*

\* 본 논문은 한국전자통신연구원의 지원으로 수행되었음.

#### 요 약

본 논문에서는 B-ISDN 액세스 망의 핵심 구성요소인 B-NT 시스템의 성능분석을 위해, 다양한 B-NT 시스템들의 성능분석 모델과 광대역 서비스 특성을 반영한 입력 트래픽 모델을 개발하였으며, 이들을 토대로 망 구성 토폴로지 및 입력 트래픽 변화에 따른 성능 분석을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 B-NT 시스템 시뮬레이터는 크게 GUI 인터페이스 모듈(Tcl/Tk 언어로 구현), 시뮬레이션 프로그램 자동 생성기(C 언어로 구현) 모듈, B-NT 시스템 모델 라이브러리(SLAM II 언어 및 FORTRAN 언어 사용) 모듈 등으로 구성되어 있다. 시뮬레이터를 이용한 성능 분석 결과로 망 구성 토폴로지 및 입력 트래픽 변화에 따른 단대단 셀전송지연시간 변화, 각 시스템에서의 큐잉 지연 시간 변화, 헤드노드 스위치에서의 셀 손실률 등을 제시하였다. 본 논문에서 개발된 시뮬레이터는 B-NT 시스템의 망 구성 토폴로지를 결정할 때 활용될 수 있다.

#### ABSTRACT

This paper is related to a performance analysis of B-NT system, which is essential compositional equipment of B-ISDN access network. A simulator enabling performance analysis according to the change of network configuration topology and the change of user traffic is developed in this study. The developed B-NT system simulator consists of graphic user interface module, simulation program automatic generator module, and B-NT system model library module. As examples of the results of performance analysis using the simulator, end-to-end user cell transmission delay time, queueing delay time in each system, and cell loss rate in the head node switch are presented. The simulator developed in this paper can be utilized in determining the network topology of B-NT system.

\* 한국전자통신연구원  
\*\* 공주대학교 전자공학과  
\*\*\* 공주대학교 정보통신공학과  
\*\*\*\* 한남대학교 전자공학과  
論文番號 : 98040-0130  
接受日字 : 1998年 1月 30日

## I. 서 론

B-ISDN 액세스 망에서 B-NT(Broadband Network Termination) 시스템은 기존의 서비스뿐만 아니라 최근에 수요가 급증하고 있는 멀티미디어 서비스 방송 및 분배서비스를 지원하기 위해 다중 연결 기능, 다자간 통화 기능 및 분배 제어 기능 등을 수행하는 핵심 구성 장치이다.[1-4] 이와 같은 B-NT 시스템은 가입자에게 다양한 접속 방법을 제공하고 광선로의 효율적인 이용을 도모하며, 가입자의 지리적인 분포 및 트래픽 특성 등에 따른 효율적인 서비스 제공을 위해 집중형 B-NT 시스템, 분산형 B-NT 시스템, 주거형 B-NT 시스템 등으로 구분할 수 있다. 그런데 현재 예측되고 있는 바와 같이 B-ISDN 서비스들은 다양한 트래픽 특성을 가질 것이며, 또한 경제적인 다양한 형태의 망 접속 구조가 요구될 것이다. 따라서 B-NT 시스템에 의해 구성되는 액세스 망이 경제적이고 효율적으로 구축되기 위해서는 각 B-NT 시스템들의 구성 토폴로지 및 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 트래픽 변화에 따른 성능 분석을 통한 효율적인 운용방안에 대한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 먼저 각각의 B-NT 시스템에 대한 구조 및 기능 분석을 토대로 하여 성능분석 모델을 개발하였고, 또한 다양한 광대역 서비스의 특성을 반영한 입력 트래픽 모델을 개발하였으며, 이들을 이용한 다양한 성능 분석을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고 이를 이용한 성능 분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 본 논문의 연구대상인 B-NT 시스템의 구조 및 기능과 개발된 성능 분석 모델에 관한 연구내용을 기술하였고 3장에서는 이를 토대로 구현된 B-NT 시스템 성능분석 시뮬레이터의 구조 및 동작에 대해 기술하였으며, 4장에서 성능분석 결과를 제시하였고, 5장에서 결론을 맺었다.

## II. B-NT 시스템 성능분석 모델링

일반적으로 B-NT 시스템을 이용한 가입자 접속 구조 토폴로지는 그림1에 나타난 것과 같이 가입자의 지리적인 분포 및 트래픽 특성 등에 따라 분산형, 집중형,

주거형 등 다양한 구조를 가질 수 있다.

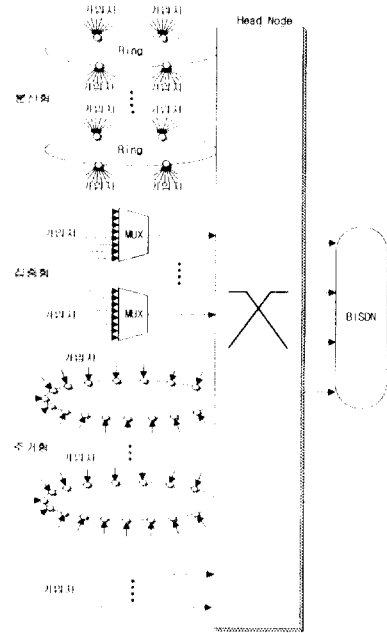


그림 1. B-NT 시스템 구성  
Fig.1. B-NT system architecture

분산형 B-NT 시스템은 가입자들의 상방향 트래픽에 대한 집선 기능과 망으로부터의 하방향 트래픽에 대한 라우팅 기능을 수행하며, 각 기능은 헤드노드와 링노드에 분산되어 수용된다. 즉, 지역적으로 분산된 가입자들의 경제적인 수용을 위하여 가입자들은 링노드에 접속되고, 이들 링노드들은 링 네트워크를 통하여 헤드노드에 접속된다. 하나의 링에는 최대 4개의 링노드 접속이 가능하며, 각 링노드에는 8회선의 선로가 접속된다. 분산형 B-NT 시스템의 인터페이스는 망측과는  $V_{R2}$  인터페이스로 접속되며, 링노드의 가입자측과는  $S_R$  기준점, 헤드노드에 직접 접속되는 가입자측과는  $V_{B1}$  인터페이스로 접속된다. 또한 대용량의 트래픽을 요구하는 가입자들을 수용하기 위하여 헤드노드에 직접 가입자측 선로를 접속할 수도 있다.

집중형 B-NT 시스템은 ITU-T에서 제시하는 B-ISDN 표준구성에서 SB 기준점과 TB 기준점 사이에서 B-NT2의 기능을 갖는 가입자 대내망장치를 말하며, 가

입자 단말장치와 광대역 통신망 사이에서 호 연결 서비스를 포함한 광대역 통신 서비스를 제공하기 위한 광대역 가입자 액세스망 장치로 동작한다. 또한 8회선의 선로를 수용하며, 가입자 접속은 ITU-T에서 권고하는 155Mbps STM-1 접속기능뿐만 아니라 ATM Forum에서 정의하는 100Mbps TAXI 및 25.6Mbps UTP 접속 기능을 제공하고 또한 ATM 모드의 DS3/E1 선로 접속 기능도 포함한다. 본 장치는 다중화 및 역다중화 기능을 제공하며 사용 용도에 따라 가입자간의 내부 라우팅 기능도 제공할 수 있다. 집중형 B-NT 시스템의 운용 및 관리기능은 SNMP(Simple Network Management Protocol) 망관리 프로토콜을 기반으로 한다.

주거형 B-NT 시스템은 일반가입자용 B-NT 용도에 맞도록 가격 경쟁력을 가지고 대내망 구성이 용이하게 하도록 가입자 선로 1회선, 망선로 1회선을 수용하며, 가입자 접속의 SS<sub>0</sub> 인터페이스를 멀티액세스 링형으로 구성하고 공유매체방식을 이용하여 최대 8회선의 가입자 단말을 단일 선로로 수용할 수 있다. 주거형 B-NT 시스템은 전송매체로 155Mbps급 광선로 또는 UTP를 적용하며 주요 기능으로 다양한 매체 적용 및 변환기능, 공유매체 제어기능 및 구성관리 기능, 메타신호 처리기능, 트래픽 및 호처리기능, I.610에 따른 F1, F2, F3 OAM 기능을 가진다.

이와 같이 다양한 B-NT 시스템으로 구성되는 액세스망에 대한 성능 분석을 수행하기 위해서 개발된 각 B-NT 시스템의 성능분석 모델들은 다음과 같다.

### 1. 헤드 노드 모델링

분산형 B-NT 시스템의 헤드 노드는 16×16 ATM 스위치를 기반으로 구성되어 있어 최대 16개의 입력포트를 가지며 이 입력포트에 링 네트워크가 연결되거나 집중형 B-NT 시스템이나 주거형 시스템의 접속이 가능하며, 대용량 트래픽을 발생하는 단말의 경우 직접 헤드 노드에 접속할 수도 있는 구조를 가진다.[5] 그러나 헤드 노드의 ATM 스위치는 실제로 64×64 ATM 스위치로 구성되어 있으며 입력포트 64개중 16개만이 실질적인 외부로부터의 입력포트 역할을 수행하고 나머지 48개의 입력포트는 내부적으로 충돌이 발생한 셀들을 순환시켜 다음 타임슬롯에 스위칭되도록

하는 기능을 한다. 64개의 입력포트중 우선 순위는 내부 입력포트가 더 높으며 따라서 한번 충돌이 발생하여 내부 입력포트로 순환된 셀들은 다음 타임슬롯에서는 외부 입력포트로 인가된 셀들에 비해 우선적으로 처리된다.

이와 같이 동작하는 헤드 노드 스위치에 대한 큐잉(queueing) 모델을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 입력포트 16개를 통해 입력되는 ATM 셀들은 각자의 목적지에 따라 해당 출력포트로 내보내지게 되는데, 만일 2개 이상의 입력포트에 목적지가 동일한 셀들이 입력될 경우 충돌이 발생하게 된다. 충돌이 발생하면 정해진 우선순위에 따라 한 셀을 먼저 출력포트로 내보내고 나머지 충돌이 발생한 셀들은 내부 공통버퍼에 셀을 저장하고 다음 스위칭 타임슬롯에 우선적으로 출력포트로 내보내지게 모델링 되었다. 이 모델에서 내부 공통버퍼의 크기는 48 셀로, 이는 실제 64×64 ATM 스

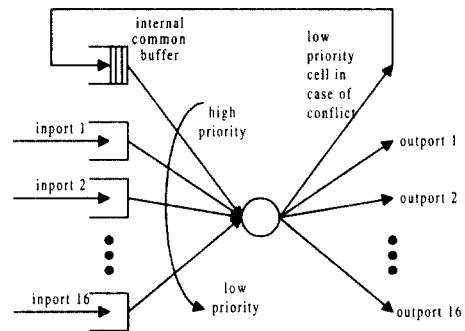


그림 2. 헤드 노드 스위치 큐잉 모델  
Fig2. Queueing model of the head node switch

위치의 내부 입력포트 48개에 해당한다.

### 2. 링 네트워크 모델링

분산형 B-NT 시스템의 링 네트워크에는 최대 4개의 링 노드(RN : Ring Node) 접속이 가능하며, 각 링 노드에는 최대 가입자 선로 8회선이 접속 가능한 구조를 갖는다. 링 노드는 ATM 스위치를 기반으로 구성되는

데 이 스위치는 동작 특성상 그림 3에 나타난 것과 같이 정해진 우선순위 방식으로 서비스를 수행하도록 모

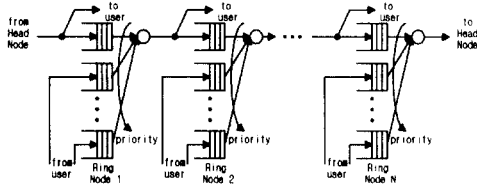


그림 3. 링 네트워크 큐잉 모델  
Fig.3. Queueing model of the ring network

델링 되었다.

### 3. 집중형 시스템 모델링

집중형 B-NT 시스템은 집중된 지역에서 가입자 단말의 집선 기능을 수행하는 스타(star) 형태의 구조를 가지며, 8회선의 가입자 선로 및 1회선의 망 선로를 수용하여 트래픽 다중화 및 역다중화 기능을 수행한다. 가입자 트래픽의 다중화 기능은 그림 4에 나타난 큐잉 모델과 같이 2단 형태로 구성되었으며, 다중화 방식

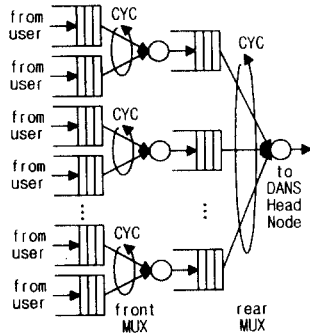


그림 4. 집중형 시스템 큐잉 모델  
Fig.4. Queueing model of the centralized system

은 주기적(cyclic) 서비스 방식을 사용한다. 반대로 역다중화 기능은 하나의 망선로를 통해 입력된 트래픽이 망 선로와 동일한 속도를 갖는 다수의 가입자 선로로 역다중화 되므로 성능 측면에서 병목요소가

발생할 확률이 거의 없게 되고 따라서 본 논문에서는 역다중화에 대한 모델은 도입하지 않았다.

### 4. 주거형 시스템 모델링

일반 가입자 및 소규모 사업자에게 적합한 주거형 B-NT 시스템은 대내망을 보다 저렴한 가격에 ATM 서비스를 가입자에게 제공하기 위해 가입자 선로 1회선, 망 선로 1회선을 수용하며, 가입자 접속의 SS<sub>B</sub> 인터페이스를 멀티액세스 링형으로 구성하고 최대 16회선의 가입자 단말을 단일 선로로 수용할 수 있는 구조를 가진다. 또한 주거형 시스템의 각 노드들은 자신의 가입자로부터의 트래픽과 전(前) 노드로부터의 망 트래픽 중 망 트래픽을 우선적으로 처리하는 우선순위 스킴이 적용된다. 따라서 주거형 시스템에 대한 큐잉

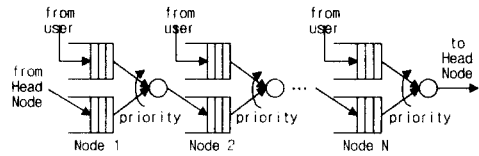
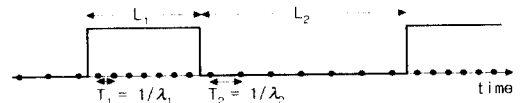


그림 5. 주거형 시스템 큐잉 모델  
Fig.5. Queueing model of the home system

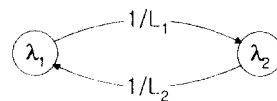
모델은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

### 5. 입력 트래픽 모델링

B-NT 시스템 성능 분석을 위해 사용된 ATM 입력 트



(a) MMPP의 도착 프로세스



(b) MMPP의 상태변환

그림 6. 입력 트래픽의 2-상태 MMPP 모델  
Fig.6. 2-state MMPP model of the input traffic

래픽 모델을 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 2-상태 MMPP(Markov Modulated Poisson Process)[2,6-8]트래픽 모델에서 각 상태의 길이는 평균이 각각  $L_1, L_2$ 인 지수분포이고, 각 상태에서의 셀 발생시간 간격은 평균이 각각  $T_1, T_2$ 인 지수분포라고 가정하였다.

트래픽 모델에서 1개 이상의 트래픽이 존재할 때,  $M_i(i)$ 를 도착 프로세스가 각각의 파라미터 평균, 분산, 3차 모멘트 및 시정수인  $m_i, v_i, \mu_{3i}$ 와  $\tau_{ci}(i=1, \dots, N)$ 를 갖는 서로 독립적인 카운터 프로세스라고 하면 중첩된 프로세스의 파라미터는 다음 식에 의하여 근사화할 수 있다.[9]

$$m = \sum_{i=1}^N m_i, \quad V = \sum_{i=1}^N v_i$$

$$\mu_3 = \sum_{i=1}^N \mu_{3i}, \quad \tau_c = \sum_{i=1}^N \frac{v_i}{V} \tau_{ci}$$

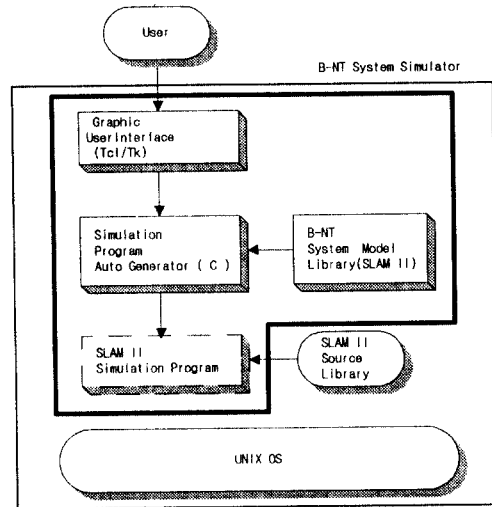
그러므로 MMPP 트래픽 모델의 파라미터는 Maglaris의 AR(Auto-Regressive) 프로세스 과정[10]과 Heffes 근사화 프로세스[9]에 의해 구해진다. AR 프로세스는 autocorrelation을 고려한 모델로서 간단하지만 매우 정확하다는 특징을 가지고 있다.

### III. B-NT 시스템 성능분석 시뮬레이터

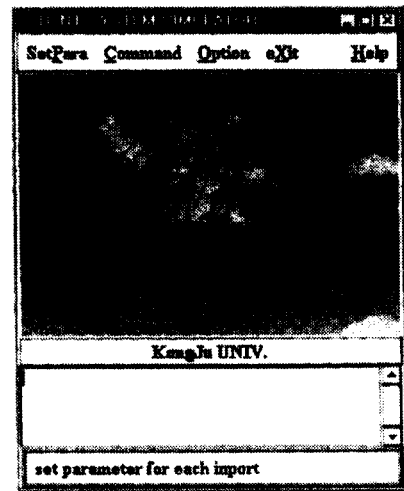
2장에서 기술한 B-NT 시스템 및 ATM 입력 트래픽에 대한 큐잉 모델을 토대로 B-NT 시스템들의 다양한 구성 토폴로지 및 ATM 트래픽 변화에 따른 성능 분석을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 헤드노드 스위치를 중심으로 각 입력포트에 링 네트워크 또는 집중형 시스템 또는 주거형 시스템 또는 단말이 직접 접속되는 형태 및 이들이 다양하게 혼합되어 접속되는 형태에 대한 시뮬레이션이 가능하며, ATM 입력 트래픽의 특성 및 트래픽 양 등을 변화시킬 수 있도록 구성되었다.

그림 7에 본 논문에서 개발된 B-NT 시스템 시뮬레이터의 전체적인 구조 및 실행 초기화면을 나타내었다. 시뮬레이터 구조에서 굵은 선안의 블록들은 본 논문에서 직접 개발된 기능 블록들로, GUI(Graphic User Interface) 블록(Tcl/Tk[11-13] 언어로 구현), 시뮬레이션

프로그램 자동 생성기 블록(C언어로 구현), B-NT 시스템 모델 라이브러리 블록(SLAM II[14-15] 언어로 구현) 등으로 구성되어 있다. 시뮬레이터의 주요 기능으로는 망 구성 토폴로지의 변경 기능, ATM 트래픽 특성 파라미터 설정기능, 시뮬레이션 시간 지정 및 헤드노드 스위치의 출력포트 수 변경 기능 등이 있으며, 망 구성 토폴로지 변화와 입력 트래픽 변화 등에 따른 시



(a) 시뮬레이터 구조

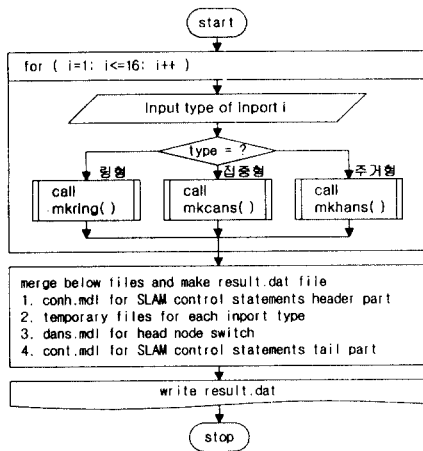


(b) 시뮬레이터 실행 초기화면

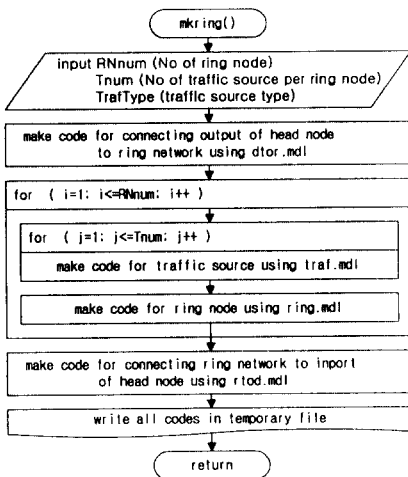
그림 7. B-NT 시스템 시뮬레이터 구조 및 실행 초기화면  
Fig.7. B-NT simulator architecture and initial window

물레이션을 통해 가입자간 ATM셀 전송 지연시간, 각 시스템의 평균 큐 길이 및 큐잉 지연시간, 셀 손실률 등을 자동으로 구해준다.

B-NT 시스템 시뮬레이터의 개략적인 동작은 다음과 같다. 먼저 사용자는 B-NT 시스템 시뮬레이터의 GUI 모듈을 통해 성능분석을 수행하고자 하는 구성에 관한 파라미터 및 트래픽 특성 파라미터들의 값을 입력한다.



(a) 시뮬레이션 프로그램 자동생성기 흐름도



(b) 링형 코드 생성 서브루틴

그림 8. 시뮬레이션 프로그램 자동생성기 흐름도  
Fig.8. Flow chart for simulation program automatic generator

입력이 완료된 후 시뮬레이션을 수행하라는 명령을 선택하면 GUI 블록은 입력 파라미터들을 시뮬레이션 프로그램 자동생성기에게 넘겨주어 설정한 파라미터 값들에 적합한 SLAM II 시뮬레이션 프로그램을 작성하도록 한다. 시뮬레이션 프로그램 자동 생성기는 그림 8 (a)에 나타난 흐름도에서와 같이 헤드노드의 각 입력 포트 타입에 따른 서브루틴들을 호출하여 B-NT 시스템 모델 라이브러리에 있는 적절한 B-NT 시스템 구성 요소 모델 파일들을 이용, SLAM II 언어로 작성된 시뮬레이션 프로그램을 자동으로 생성하게 된다. 그림 8 (b)에는 입력포트 타입에 따른 여러 서브루틴들중 대표적인 예로 링형에 대한 서브루틴의 흐름도를 나타내었다. 이와 같이 생성된 SLAM II 시뮬레이션 프로그램은 SLAM II 라이브러리와 링크되어 UNIX 운영체제하에서 수행되며, 시뮬레이션 결과 리포트를 출력한다.

그림 9에 트래픽 소스에 대한 특성 파라미터와 시뮬레이션 시간 그리고 헤드노드의 출력포트 개수 등을 설정할 수 있는 윈도우를 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 트래픽 종류로는 총 9가지를 규정할 수 있는데 타입 1은 AUDIO 소스를 의미하며, 타입 2 부터 타입 7까지는 VIDEO 소스를, 타입 8과 9는 DATA 소스를 나타낸다. 트래픽 타입1은 실제적으로 ON/OFF 모델[2,6] 특성 파라미터를 값으로 갖게 된다. 즉, on 구간 평균 길이, off 구간 평균 길이, on 구간에서의 셀 발생간격, off 구간에서의 셀 발생 간격을 지정해 주도록 되어있다. 타입 2-7 그룹의 4가지 특성 파라미터는 평균 셀 발생률, 표준편차, 타우, 그리고 스케일을 나타내며, 이 4가지 파라미터를 이용하여 내부적으로 MMPP 모델의 4가지 파라미터(상태 1, 2의 평균 길이, 상태 1, 2에서의 평균 셀발생시간 간격)를 자동으로 계산하도록 프로그램 되어있다. 타입 8,9 그룹의 4가지 특성 파라미터는 2상태 MMPP 모델에서 각각 상태 1의 평균 길이, 상태 2의 평균 길이, 상태 1에서의 평균 셀 발생 시간 간격, 상태 2에서의 평균 셀 발생 시간 간격을 의미하며, 단위는 모두 초(second)이다. 여기서 타입 1과 타입 8,9의 차이점은 타입 1의 경우 on, off 구간에서의 셀 발생간격이 일정하고 타입 8,9의 경우는 S1Dur 구간(타입 1의 on 구간에 해당)과 S2Dur 구간(타입 1의 off 구간에 해당)에서 셀 발생간격이 지수분포를 갖는다는 점이다.

시뮬레이션 시간은 초 단위로 숫자를 입력하면 되며, 지수형태(예, 1.0E+2 등)의 입력도 가능하다. "No. of Head Node output" 항은 헤드노드 스위치의 출력포트

### IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

앞장에서 개발된 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 결과 예를 다음에 기술하였다.

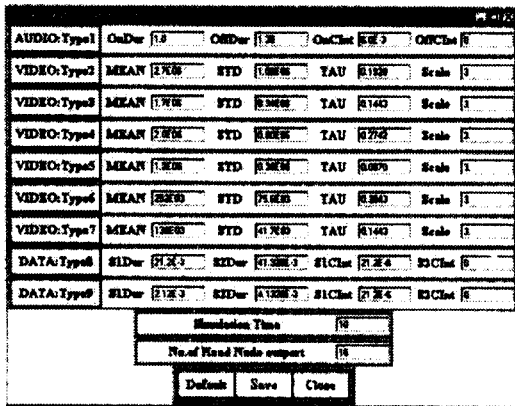


그림 9. 트래픽 파라미터 설정 윈도우  
Fig.9. Traffic parameter setup window

수를 지정하는 곳이다.

그림 10에는 헤드노드 스위치의 각 입력포트에 대한 구성 토폴로지 파라미터를 입력하기 위한 윈도우를 나타내었다. 이 윈도우에서 파라미터를 입력하는 기본 원리는 입력 칸에 마우스 포인터를 위치시킨 후 마우스를 클릭하면 아래쪽 도움말 창에 파라미터에 대한 도움말이 나타나고, 이 도움말을 참조하여 키보드를 이용해 파라미터 값을 입력시킨 후 엔터(Enter) 키를 누르면 된다. 엔터키가 입력되면 서브파라미터의 입력이 필요할 경우 윈도우가 우측으로 확장되며 적절한 다음 파라미터의 입력을 요구하게 된다. 이와 같은 과정을 반복함으로써 헤드노드의 입력포트에 대한 파라미터 입력을 수행할 수 있다.

#### 1. 단일 종류로 구성된 경우

성능 분석을 위해 먼저 헤드노드 스위치의 입력포트 접속 토폴로지가 링 네트워크로만 구성되거나, 집중형 또는 주거형 시스템으로만 구성된 경우를 각각 시뮬레이션 하였다. 개발된 B-NT 시스템 성능분석 시뮬레이터는 링 네트워크, 집중형, 주거형 시스템 자체의 구성을 여러 가지 경우로 할 수 있으나 여기서는 표 1에 나타난 것과 같이 전체 트래픽 소스의 수를 동일하게 하여 입력포트 접속 토폴로지에 따른 성능 결과를 비교하였다. 또한 입력 파라미터로 각 ATM 스위치의 셀 스위칭 시간은 2.7us로 가정하였고, 가입자 트래픽 소스는 트래픽이 발생할 때 평균 20 Mbps의 속도로 트래픽을 발생시키며, 일단 트래픽이 발생되기 시작하면 평균 100개 또는 1000개의 ATM 셀을 발생시킨다고 가정되었다. 트래픽을 발생시키는 상태를 트래픽 소스의 상태1(state1)이라 하고, 트래픽을 발생시키지 않는 상태를 상태2(state2)라고 하면, 상태1에서 평균 셀 발생 시간간격  $T_1$ 은 다음 식과 같이 계산된다.

$$T_1 = \frac{53octet \times 8bits}{20Mbps} = 21.2us/cell$$

또한 상태1의 평균 길이  $L_1$ 은 다음 식과 같이 계산된다.

$$L_1 = T_1 \times 100cell (or 1000cell) = 2.12ms (or 21.2ms)$$

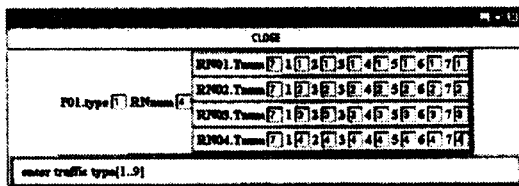


그림 10. 입력포트 구성 윈도우  
Fig.10. Input port configuration window

표 1. 헤드 노드 입력포트 기본 구성

Table.1. Basic configuration of the head node input port

| 종류     | 입력포트 구성                                | 입력포트별 트래픽 소스 수 |
|--------|--|----------------|
| 링 네트워크 | 링별 노드 수=4<br>노드별 트래픽 소스 수=4            | 16             |
| 집중형    | 앞단 MUX 다중화율 = 4×1<br>뒷단 MUX 다중화율 = 4×1 | 16             |
| 주거형    | 노드 수=16                                | 16             |

시뮬레이션 결과로 입력 트래픽 양의 변화에 따른 단대단(end-to-end) 셀 전송지연시간과 각 큐의 평균 길이 및 헤드 노드 스위치에서의 셀 손실률 등을 구하였다.

그림 11에는 입력 트래픽 양의 변화에 따른 단대단 셀 전송지연 시간의 변화를 나타내었다. 그림에서 실선은 상태1에서 평균 100개의 셀을 발생시키는 트래픽 소스에 대한 결과이고, 점선은 평균 1000개의 셀을 발생시키는 소스에 대한 결과이다.

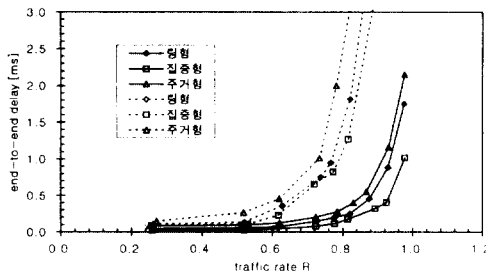


그림 11. 단대단 셀 전송지연시간 변화(1)  
Fig.11. End-to-end cell transmission delay(1)

그림 11에서 y축은 단대단(end-to-end) 셀 전송지연 시간을 나타낸다. 즉 발신지에서 셀이 발생한 시점부터, 셀이 헤드노드 스위치의 입력포트 접속구조(링 네트워크, 집중형, 주거형 등)에 따라 전송되어 헤드 노드에 입력되고 스위칭되어 출력포트를 통해 다시 접속 구조에 따라 전송되어 최종 수신측에 도착할 때까지 걸리는 시간을 뜻한다. 또한 그림에서 x축의 트래픽률(traffic rate) R은 헤드노드 스위치의 입력포트당 트래픽 양을 나타내며 아래 식과 같이 계산된다.

$$R = \sum_{n=1}^N \lambda_i / c$$

N = 트래픽 소스 수

$\lambda_i$  = 트래픽 소스당 셀 발생률

C = 155 Mbps 링크의 셀 전송률

위 식에서 모든 트래픽 소스가 동일하다고 가정하고

또한 트래픽 소스의 특성 파라미터로 상태1 평균길이는  $L_1$ , 상태2 평균 길이는  $L_2$ , 상태1에서의 평균 셀 발생률은  $\lambda_1$ , 상태2에서의 평균 셀 발생률은  $\lambda_2=0$  라고 하면 입력포트당 전체 트래픽률 R은 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$R = \frac{\lambda_1 \times L_1 / (L_1 + L_2) \times N}{C}$$

$\lambda_1$  = 상태1 구간에서의 평균 셀 발생률

$L_1$  = 상태1 구간 평균 길이

$L_2$  = 상태2 구간 평균 길이

따라서 위 식의 값 R=1이라면 이는 평균적인 의미로 볼 때 헤드노드 스위치의 한 입력포트에 연결된 모든 트래픽 소스들이 발생시킨 셀들의 총합이 헤드노드 스위치 입력포트에 접속된 링크의 최대속도인 155 Mbps와 같아짐을 나타낸다.

그림 11에서 알 수 있듯이 헤드 노드의 입력포트 접속 구조중 가장 큰 단대단 전송지연을 야기하는 구조는 주거형 시스템 이고 가장 작은 지연을 야기하는 구조는 집중형 시스템임을 알 수 있으며, 또한 상태1에서 평균 1000개의 셀을 발생시키는 트래픽 소스(점선)가 평균 100개의 셀을 발생시키는 소스(실선)에 비해 단대단 지연이 커짐을 알 수 있으며, 입력 트래픽률 R이 0.8 정도 이하에서는 비교적 일정한 지연시간을 가지 되 0.8 이상이 되면 전송지연시간이 급격히 증가함을 볼 수 있다.

그림 12에는 입력 트래픽률 R의 변화에 따른 각 접속구조의 평균 큐 길이의 변화를 나타내었다. 여기서 평균 큐 길이는 링 네트워크의 경우 링 노드 스위치 모델에서 모든 링 노드의 출력링크 큐 길이를 평균하여 나타내었고 집중형의 경우 앞단 MUX와 뒷단 MUX에 대한 큐 중 뒷단 MUX의 큐가 병목요소를 감안하여 뒷단 큐의 평균 길이를 나타내었고, 주거형의 경우 자기 노드로부터 발생한 트래픽이 저장되는 큐와 전 노드로부터 넘겨받은 망 트래픽이 저장되는 큐중 자기 노드로부터 발생한 트래픽이 저장되는 큐가 병목요소임으로 이 큐에 대한 평균 길이를 나타내었다.

그림 13은 입력 트래픽률 변화에 따른 헤드노드 스위치에서의 셀 손실률을 나타낸 그래프로써, 링 노드,



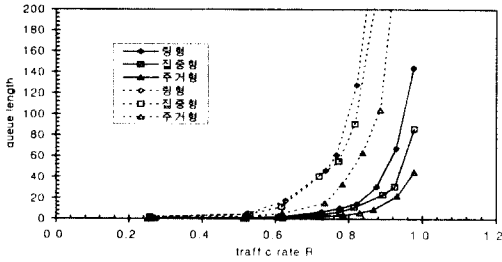


그림 12. 입력 트래픽을 변화에 따른 큐 길이 변화  
Fig.12. Input traffic rate vs. queue length

집중형, 주거형 시스템에 대한 시뮬레이션 모델 부분에서는 큐의 용량을 무한대로 하고 단지 헤드노드 스위치의 공통버퍼 큐만 크기를 48로 제한한 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 헤드 노드 스위치에서의 셀 손실률은 주거형이 가장 작고, 집중형이 가장 큰 것을 볼 수 있다.

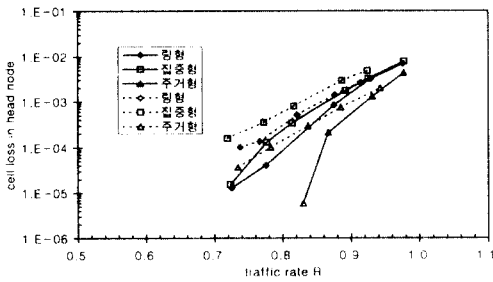


그림 13. 헤드노드 스위치의 셀 손실률  
Fig.13. Cell loss rate in head node switch

## 2. 혼합 경우

헤드 노드의 입력포트들은 링 네트워크 형태, 집중형 시스템이 접속된 형태, 주거형 시스템이 접속된 형태, 또는 이들이 혼합되어 구성되는 형태가 있을 수 있다. 여기서는 입력포트들의 접속 형태가 표 2에 나타난 것과 같이 혼합되어 있는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 사용된 입력 파라미터 값들은 입력포트의 구성 토폴로지가 변화된 것 이외에는 앞에서 모든 입력포트가 동일한 타입으로 구성된 경우에서와 같

은 값들이 사용되었다.

표 2. 헤드 노드 입력포트 혼합 구성

Table.2. Mixed configuration of the head node input port

| 입력포트  | 구성     |
|-------|--------|
| 1-8   | 링 네트워크 |
| 5-8   | 집중형시스템 |
| 9-12  | 주거형시스템 |
| 13-16 | none   |

그림 14에는 입력 트래픽을 변화에 따른 단대단 지연을 나타내었다. 그림에서 예를 들어 “집중형-링형” 결과를 나타내는 선은 집중형 시스템에 연결된 사용자가 링 네트워크의 노드에 연결된 사용자에게 셀을 전송하는데 걸리는 지연시간을 뜻한다. 그림14로부터 집중형 시스템 사용자간 셀 전송지연이 가장 작고, 주거형 시스템 사용자간 셀 전송지연이 가장 큼을 볼 수 있다.

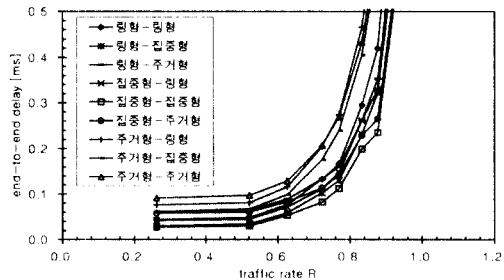


그림 14. 단대단 셀 전송지연시간 변화(II)

Fig.14. End-to-end cell transmission delay(II)

또한 그림 15는 혼합 구성의 경우 각 입력포트에 인가된 셀이 목적지에 도착한 셀전달률, 즉 각 헤드노드 스위치에서 입력포트별로 인가된 셀의 (1-셀손실률)을 나타낸 그래프로 트래픽 양이 많아질수록 입력포트 12번이 가장 셀 전달률이 작아짐을 알 수 있다. 이는 헤드노드 스위치의 셀 처리 방식이 입력포트 1번, 2번 등

의 순서로 처리되는 우선순위를 갖기 때문이다.

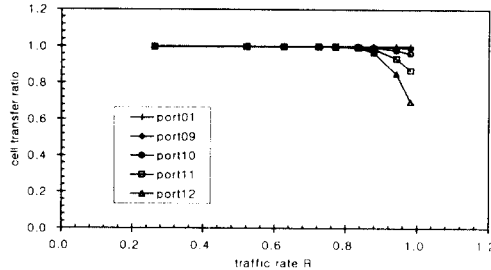


그림 15. 헤드노드의 입력포트별 셀 전달률  
Fig.15. Cell transmission rate in each input port of head node

### V. 결론

본 연구는 B-ISDN 액세스 망의 핵심 구성 장치인 B-NT 시스템의 효율적인 운용 방안 마련을 위한 성능 분석 연구 일환으로, 분산형 B-NT 시스템의 헤드 노드를 중심으로 헤드 노드 스위치의 각 입력포트 구성 토폴로지(링 네트워크, 집중형, 주거형 시스템) 변화와 사용자 트래픽 변화에 따른 성능 분석을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였고, 이를 이용한 성능 분석을 수행하였다.

개발된 B-NT 시스템 시뮬레이터는 크게 GUI(Graphic User Interface) 인터페이스 모듈(Tcl/Tk 언어로 구현), 시뮬레이션 프로그램 자동 생성기(C 언어로 구현) 모듈, B-NT 시스템 모델 라이브러리(SLAM II 언어 및 FORTRAN 언어 사용) 모듈 등으로 구성되어 있으며, 운용 환경으로는 UNIX 운영체제를 기반으로 Tcl/Tk와 SLAM II 소프트웨어 패키지와 C 및 FORTRAN 컴파일러가 사용된다.

개발된 시뮬레이터를 이용한 성능 분석 결과 예로는 분산형 B-NT 시스템 헤드노드의 입력포트에 모두 링 네트워크만 연결된 경우, 집중형 시스템만 연결된 경우, 주거형 시스템만 연결되는 경우 및 이들이 혼합되어 연결된 경우 등에 대해 단대단 전송지연시간, 각 시스템에서의 큐잉 지연 시간, 헤드노드 스위치에서의 셀 손실률 등을 제시하였다.

본 연구를 통해 개발된 B-NT 시스템 성능분석 시뮬

레이터와 성능 분석 결과들은 앞으로 다양한 B-NT 시스템을 이용한 최적의 B-ISDN 액세스 망 구축시 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

1. ITU-T Recommendation I.371, Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN, 1996.
2. Raif O. Onvural, Asynchronous Transfer Mode Networks - Performance Issues, Artech House, Inc., pp.7-9, 1995.
3. 김재근, 최준균, "B-NT 개발", 한국통신학회지 정보통신 12권 4호, pp.63-72, 1995.
4. 최준균, 최문기, "B-NT 기술", 전자공학회지, 20권 12호, pp.64-71, 1993.
5. Paul S. Min, Final Report on Intelligent Router for Broadband Local Access Network, Washington University, 1996.6.
6. Wolfgang Fischer, "The Markov-modulated Poisson process(MMPP) cookbook," Performance Evaluation 18, pp. 149-171, 1992.
7. Hiroshi Saito, Teletraffic Technologies in ATM Networks, Artech House, Inc., 1994.
8. M. Nomura, T. Fujii and N. Ohta, " Basic Characteristics of Variable Rate Video Coding in ATM Environment," IEEE JSAC, Vol. 7, No. 5, pp.753-760, June 1989.
9. H. Heffes, "A Class of Data Traffic Processes- Covariance Function Characterization and Related Queuing Results," BSTJ, Vol. 59, No. 6, pp.897-929, July-August, 1980.
10. Basil Maglaris, Dimitris Anastassiou, Prodip Sen, Gunnar Karlsson and John D. Robbins, "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications," IEEE Trans. on Comm. Vol. 36, NO. 7, pp.834-844, July 1988.
11. Eric F. Johnson, Graphical Applications with Tcl & Tk, M&T Books, 1996.
12. Brent B. Welch, Practical Programming in Tcl and Tk, Prentice Hall, 1995.

13. John K. Ousterhout, Tcl and the Tk Toolkit, Addison-Wesley, 1994.

14. A. Alan B. Pritsker, Introduction to Simulation and SLAM II, John Wiley & Sons, 1995.

15. A. Alan B. Pritsker, C. Elliott Sigal, R. D. Jack Hammesfahr, SLAM II Network Models for Decision Support, Prentice-Hall, Inc., 1989.

이 규 호((Kyou Ho Lee) 정회원  
1980년:경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1982년:경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
1992년~1993년:Research Student, The University of Gent, Belgium

1986년~1988년:미국 AIT Inc, 연구원  
1983년~현재:한국전자통신연구원 책임연구원

\*주관심분야 :ATM-based Network, High Speed Protocol Processing Architecture, Parallel Processing Architecture, Advanced System Modelling and Analysis Methodology.

기 장 근(Jang Geun Ki) 정회원  
1961년 7월 15일생

1986년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1988년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 3월~현재:공주대학교 전자공학과 부교수  
\*주관심분야 : 컴퓨터 통신 및 프로토콜, ATM 교환시스템

노 승 환(Soong Hwan Ro) 정회원  
1962년 8월 19일생

1987년 8월:고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1989년 8월:고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 8월:고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1994년 3월~현재:공주대학교 정보통신공학과 조교수

\*주관심분야 :컴퓨터 구조, ATM 교환시스템

최 진 규(Jin Kyu Choe) 정회원  
한국통신학회논문지 제21권 제4호 참조  
현재:한남대학교 공과대학 전자공학과 부교수

김 재 근(Jae Geun Kim) 정회원  
1980년 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1983년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
1990년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1980년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원, 광대역전송연구부장

\*주관심분야 : ATM-based Broadband Telecommunication Systems, Access Network Architecture, Digital Transmission System