

# Hybrid 시뮬레이션을 이용한 대용량 통신처리시스템의 정합장치에 대한 성능분석

Performance Analysis of the Network Access Subsystem in AICPS Using  
Hybrid Simulation

김지수\*, 류지현\*, 전치혁\*, 전경표\*\*

Jisoo Kim, Jihyun Ryu, Chi-Hyuck Jun, KyungPyo Jun

## Abstract

Advanced information communication processing system mainly consists of network access subsystems and a switching system. This paper provides performance analysis of a typical network access subsystem. The network access subsystem is modeled as a queueing network including a server providing polling services. The arrival process of messages to an input buffer is regarded as a Poisson process. Performance measures such as mean input buffer length and mean waiting time of messages are obtained through simulation, for it is impossible to calculate the performance measures using an analytical method. Hybrid simulation is used to reduce the variance of estimators. The variance reduction effect on the mean waiting time is reported.

\* 본 연구는 공정산업의 지능자동화연구센터(ARC)를 통한 한국과학재단의 지원에 의하여 수행되었음.

\*\* 포항공과대학교

\*\*\* 한국전자통신연구원

## 1. 서론

최근 정보유통 서비스에 대한 수요가 급증함에 따라 이들을 원활히 유통시킬 수 있는 망 환경의 구축과 다양한 서비스 자원의 확보가 중요한 현안문제로 대두되고 있으며, 이에 호응하여 기존의 통신처리시스템(ICPS: Information Communication Processing System)이 가지는 기능 및 확장성에 있어서의 한계를 극복하려는 노력이 진행되고 있다. 대용량 통신처리시스템(AICPS: Advanced Information Communication Processing System)은 통신처리시스템의 고속화, 대용량화, 개방화, 복수 VAN 사업자 접속, 이중 통신망의 관리 및 상호연동 등의 기능수용을 목표로 개발되고 있으며, 성공적으로 구축될 경우 014XY 번호체계를 기반으로 전화망-패킷망, 전화망-인터넷, ISDN-패킷망, ISDN-인터넷 등의 다양한 망 접속과 관련 서비스를 제공하는 정보통신 플랫폼으로써의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다[3].

대용량 통신처리시스템의 주된 구성요소로는 이기종 통신망과 연동망간의 인터페이스를 담당하는 통신망 정합장치와 연동망의 핵심을 이루는 스위칭 시스템의 두 가지를 들 수 있다. 다양한 망을 통하여 전달되는 가입자들의 각기 다른 서비스 요구조건을 충족시키고 적절한 정도의 서비스품질(QoS: Quality of Service)을 보장하기 위해서는 시스템의 처리용량 산정과 시스템 운용 최적화 방안의 도출이 필수적이며, 그 선행작업으로써 전체 시스템 및 그 구성요소에 대한 모델링과 성능분석 방법에 대한 연구가 이루어져야 한다. 본 논문은 통신망 정합장치의 주요 성능지표인 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간 및 평균 큐 길이 등을 분석한다.

Kim과 Cho[1]는 통신망 정합장치를 각 가입자 큐로의 메시지 도착과정을 중첩한 M/M/1 시스템으로 모델링하여 분석하였는데, 이 연구에서는 가입자 큐에 있는 메시지만 처리하는 서버를 고려하고 있다. 그러나 실제 분석대상의 프로세서는 통신사업자로부터의 메시지도 처리하므로 이를 반영할 수 있는 모델이 필요하다. 또한 통신사업자로부터의 메시지 도착은 복잡한 서비스 과정을 거친 후 이루어지므로 포아송 과정(Poisson Process)으로 보기엔 무리가

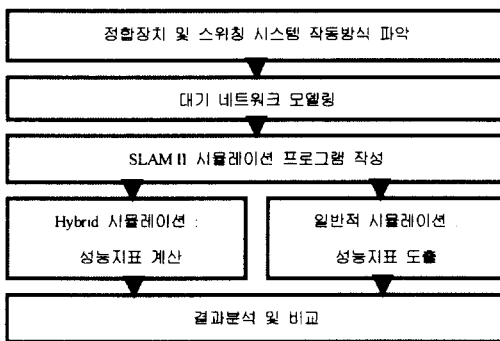
있다. 분석대상의 프로세서는 가입자 큐들과 통신사업자로부터 정보를 수신하기 위한 하나의 큐를 polling 방식으로 번갈아 처리하므로 큐들로의 도착과정을 중첩하는 모델은 시스템을 정확하게 나타내지 못한다. 본 연구에서는 통신사업자로부터의 정보 도착과정을 고려할 수 있는 대기네트워크와, 가입자 큐와 정보 수신용 큐를 서비스하는 polling 방식의 서버를 이용하여 모델을 수립하였다. 가입자 큐 및 정보 수신용 큐의 크기 제한은 없고 각 가입자 큐로의 메시지 도착과정은 포아송 과정으로 가정하였다. Polling 시스템에 대한 대부분의 기존연구에서는 각 station으로의 메시지 도착과정을 포아송 과정으로 가정하고 있으며, 특히 무한 크기를 갖는 station 및 포아송 도착과정을 가정하는 polling 시스템의 경우에는 exhaustive scheme, gated scheme, 그리고 limited scheme 등의 각종 polling 정책하에서의 많은 분석 결과들이 도출되었다[6,7,10].

본 연구에서 고려하는 시스템의 경우 대기모형 및 메시지 도착과정의 복잡성 때문에 주요 성능지표를 해석적 기법으로 정확하게 계산하기란 불가능하므로 시뮬레이션을 통하여 각종 성능지표를 추정하였으며, 도출되는 추정치의 분산을 축소시키기 위하여 Hybrid 시뮬레이션 기법을 적용하였다. Hybrid 시뮬레이션이란 임의의 값을 추정함에 있어 전적으로 시뮬레이션에 의존하는 것이 아니라, 추정되어야 할 값에 대한 분석을 통하여 해석적으로 해결 가능한 부분과 그렇지 않은 부분으로 구분하고, 해석적 기법의 적용이 불가능한 부분에 대해서만 시뮬레이션을 적용시킴으로써 전체적인 추정치의 분산을 축소시키고자 하는 개념이다. 성능지표 추정치의 분산이 크면 시스템의 서비스 품질 추정치에 대한 정확도 또는 정밀도가 떨어져 이를 높히는데 추가의 시뮬레이션 노력이 필요하며, 낮거나 높은 추정치가 도출될 확률이 높아진다. 본 연구에서 고려하고 있는 메시지 평균 대기시간의 경우, 실제 값보다 낮은 추정치는 서비스 품질을 실제보다 높게 평가하여 시스템 사용자가 요구하는 서비스 품질 수준을 만족시키지 못하게 하며, 실제 값보다 높은 추정치는 서비스 품질을 낮게 평가하여 시스템 사업자로 하여금 필요 없는 성능개선을 하도록 한다. 본 연구의

Hybrid 시뮬레이션은 이미 알려진 해석적 결과를 이용하므로, 다른 분산축소기법을 사용하였을 때 발생하는 시뮬레이션 절차 혹은 계산상의 작업 없이 분산축소 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 한편, Shanthikumar와 Sargent[9]는 Hybrid 시뮬레이션을 유형별로 분류하고 분산축소 효과를 높이기 위한 모형을 제시하였다. 또한, Ani와 Halsall[4]의 연구와 Kim[2]의 연구에서는 각각 이산시간 및 연속시간 대기모형으로 모델링된 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 다중화기에서의 셀 손실확률을 도출하기 위한 Hybrid 시뮬레이션 기법을 제안하였다.

본 연구는 크게 시스템 모델링과 시뮬레이션 분석의 두 부분으로 나뉜다. 시스템 모델링에서는 정합장치 및 스위칭 시스템의 작동 방식을 파악하고 이를 대기네트워크로 모델링하였다. 시뮬레이션 분석은 SLAM II[8] 프로그램 작성, 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 결과 분석 등의 순서로 수행되었다. [그림 1]에 분석절차를 간단히 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 통신망 정합장치의 구조 및 대기모형을 제시하였다. 3절에서는 다양한 파라미터에 대하여 SLAM II 패키지를 이용하여 수행된 시뮬레이션 결과를 정리하고, 이들이 시스템의 주요 성능지표에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 4절에서는 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간 도출에 Hybrid 시뮬레이션 기법을 적용시켜 분산축소 효과를 살펴보고, 마지막으로 5절에 결론을 제시하였다.



[그림 1] 분석절차

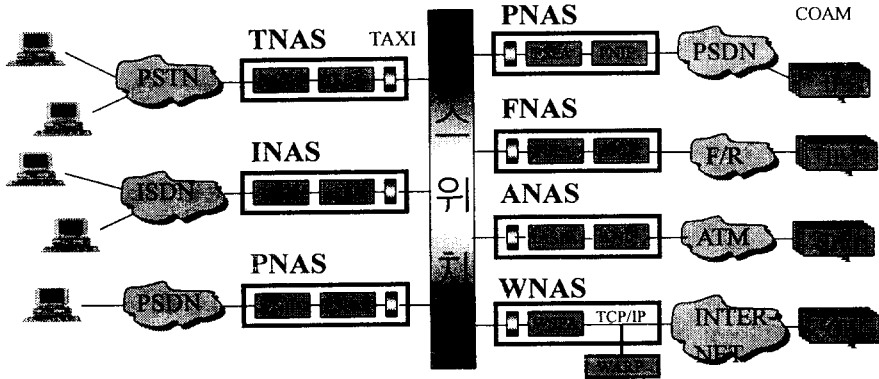
## 2. 통신망 정합장치의 구조 및 대기모형

본 절에서는 정보통신 플랫폼이라 할 수 있는 대용량 통신처리시스템의 구조 및 통신망 정합장치의 구조, 그리고 통신망 정합장치의 성능분석을 위한 대기모형을 나타내고자 한다.

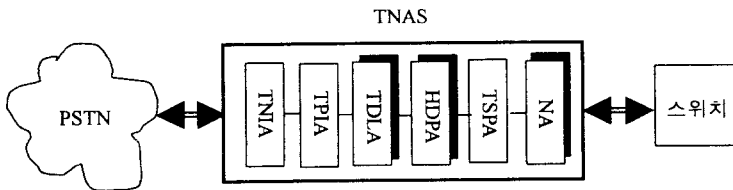
[그림 2]에는 대용량 통신처리시스템의 구조를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 대용량 통신처리시스템은 전화망(PSTN: Public Switched Telephone Network)-패킷망(PSDN: Packet Switched Data Network), 전화망-인터넷, ISDN(Integrated Services Digital Network)-패킷망, ISDN-인터넷 등의 다양한 망 접속과 관련 서비스의 제공을 목적으로 하고 있다. [그림 2]에서 각각의 통신망과 스위칭 시스템으로 구성된 연동망간의 인터페이스를 담당하는 부분이 통신망 정합장치로, [그림 3]에 전화망 정합장치(TNAS: Telephone Network Access Subsystem)의 구조를 나타내었다 [1,3].

TNIA(Telephone Network Interface board Assembly)를 통하여 전화망 정합장치에 접속된 가입자들의 정보는 TSPA(Text data Service Processing board Assembly)로 송신되며, 수신이 확인되면 스위칭 시스템을 경유하여 패킷망과 같은 통신사업자측 통신망에 전달된다. 가입자가 요구한 서비스에 대응하는 정보는 통신사업자측의 통신망 정합장치로부터 스위칭 시스템으로 보내진 후, 다시 전화망 정합장치의 TSPA를 거쳐 서비스를 요구한 해당 가입자에게 전달된다. TSPA 내부에 존재하는 서버(프로세서)는 복수 가입자 큐에 대하여 polling 방식으로 서비스를 제공하여 통신사업자측으로 정보를 송신하며(Send task), 미리 정해진 정책에 따라 이 작업이 종료된 후에는 통신사업자측으로부터 정보를 수신하여 해당 가입자에게 전달한다(Recv task). 또한, 수신용 큐에 대한 서비스를 마치면 다시 각 가입자 큐에 대하여 순차적으로 서비스를 제공한다[1].

모든 가입자의 메시지는 기본적으로 대화형 메시지로 가정하고 가입자 큐  $i$ 로의 메시지 도착과정은 도착률  $\lambda_i$ 의 포아송 과정을 따른다고 가정한다.



[그림 2] 대용량 통신처리시스템의 구조

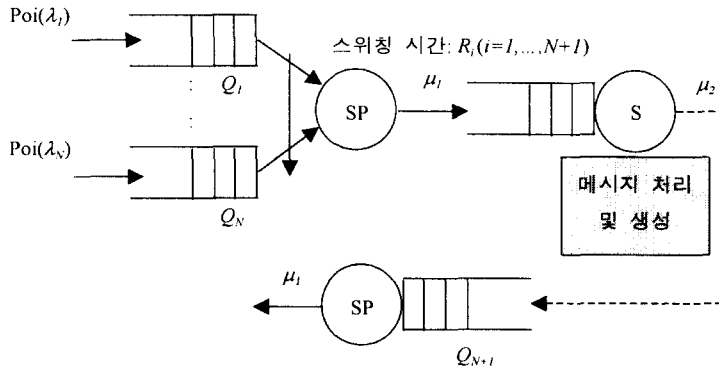


[그림 3] 전화망 정합장치의 구조

가입자가 메시지를 송신할 경우 통신사업자는 두 가지 다른 타입의 서비스를 제공할 수 있다. 하나는 대화형 메시지이고, 다른 하나는 다운로드 (downloading) 메시지이다. 다운로드 메시지를 전송할 때에는 대화형 메시지의 경우에 비해 단위시간당 많은 양의 데이터가 전송된다. 가입자측으로부터 메시지가 전송되었을 때 통신사업자측에서 대화형 메시지를 전송할 확률을  $P_1$ , 다운로드 메시지를 전송할 확률을  $P_2$ 로 나타내기로 한다( $P_1+P_2=1$ ).

TSPA 내부에 존재하는 서버를 SP라 할 때, SP의 메시지 서비스 시간 분포는  $\text{Exp}(\mu_1)$ 을 따르고,  $N$ 개의 가입자 큐 및 통신사업자측으로부터의 정보 수신에 이용되는 하나의 수신용 큐에 대하여 polling 방식으로 서비스를 제공하는 것으로 가정한다. 임의의 한 가입자 큐  $Q_i(i=1, \dots, N)$ 에 대한 서비스가 끝난 후 다음 차례의 큐  $Q_{i+1}$ 에 대하여 서비스를 제공하기까지의 시간, 즉  $Q_i$ 에서  $Q_{i+1}$ 로의 스위칭 시간을 나타내는 확률변수  $R_i(i=1, \dots, N)$ 는 동일한 상수 값을 가

지는 것으로 가정한다. 한편,  $Q_{N+1}$ 은 수신용 큐를 나타내는데 서버 SP가  $Q_{N+1}$ 에 대한 서비스를 마친 후 가입자 큐  $Q_i$ 에 대하여 서비스를 제공하기까지의 시간을 나타내는 확률변수  $R_{N+1}$ 도 역시  $R_i(i=1, \dots, N)$ 와 같은 상수 값을 가지는 것으로 가정한다. 또한, 스위칭 시스템에서의 데이터 교환 및 통신사업자측의 서비스 처리 등을 담당하는 서버를 S라 할 때, 서버 S의 메시지 서비스 시간 분포는  $\text{Exp}(\mu_2)$ 를 따르는 것으로 가정한다. 대기시스템에 존재하는 모든 버퍼가 무한 크기를 가진다고 가정하면 분석대상 시스템은 다음 [그림 4]와 같은 대기네트워크로 모델링 될 수 있다. 여기서 두 개의 SP 서버는 별개의 서버가 아닌 논리적으로 연결된 하나의 서버로, (...복수 가입자 큐 - 수신용 큐 - 복수 가입자 큐 ...)의 순으로 순차적 서비스를 제공하며 임의의 한 순간에 두 서버가 동시에 서비스를 제공할 수는 없다. 또한, 서버 S가 처리한 메시지가 그대로 서버 SP로 전달되는 것은 아니다. 즉, 서버 S가 메시지를 처리



[그림 4] 통신망 정합장치의 대기네트워크 모델링

할 때에는 각각의 확률  $P_1$ 과  $P_2$ 로 대화형 메시지, 혹은 다운로드 메시지로 변형시켜 서버 SP로 보낸다. [그림 4]의 점선으로 표현된 부분은 위에서 설명한 의미를 나타내기 위한 것이다.

### 3. 시뮬레이션 수행 및 결과

본 절에서는 각 가입자 큐에서의 도착과정 및 서비스 프로세스의 특성을 나타내는 각 파라미터의 변화가 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행된 시뮬레이션 결과를 정리하였다. 주된 성능지표는 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간과 평균 큐 길이이다.  $MWT(Q_i)$ 는  $i$ 번째 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간을, 그리고  $MQL(Q_i)$ 는  $i$ 번째 가입자 큐에서의 평균 큐 길이를 나타낸다.

본 분석에서, SP 서버가 다루는 총 가입자 큐의 수( $N$ )는 4로 지정하였으며, exhaustive polling scheme을 가정한다. 각 가입자 큐로의 메시지 도착률은 0.01로 하였고 ( $\lambda_i=0.01, i=1,2,3,4$ ), SP와 S의 서비스율은 각각 1과 0.5로 설정하였다 ( $\mu_1=1, \mu_2=0.5$ ). 각 큐에서의 스위칭 시간  $R_i(i=1, \dots, N+1)$ 는 0.02이며, 대화형 메시지와 다운로드 메시지의 전송확률은 각각  $P_1=0.9, P_2=0.1$ 이다. 그러나 이러한 파라미터 값들은 필요에 따라 변경시켜 가면서 성능비교를 수행한다.

SLAM II의 네트워크 모델링 요소들을 사용하여

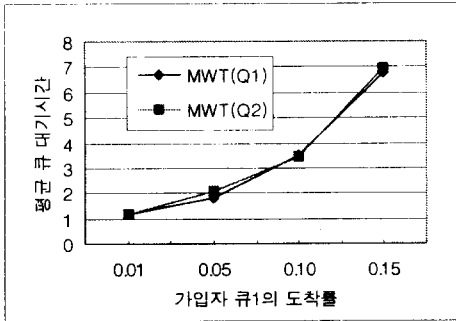
본 대기네트워크 모델을 시뮬레이션 프로그램화 하였으며, SP의 polling 방식 서비스는 SLAM II가 기본적으로 지원하지 않으므로 포트란 프로그래밍 언어를 사용하여 exhaustive polling을 구현하는 큐 선택 모듈을 별도로 작성하였다. 한 번의 시뮬레이션 반복은 SLAM II의 기본 시간단위로 500000동안 수행되었으며, 평형상태까지 이르는 시간을 고려하여 처음 200000동안은 시뮬레이션 결과를 수집하지 않았다.

가입자 큐 1로의 메시지 도착률  $\lambda_1$ 을 변화시키며 시뮬레이션을 수행시킨 결과는 [표 1]과 같다.

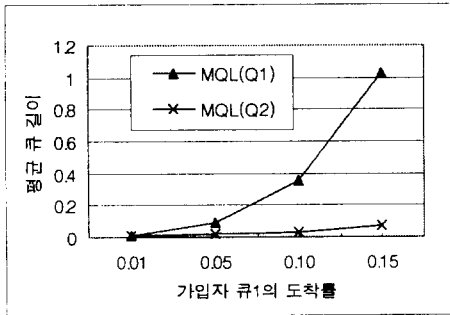
[표 1]  $\lambda_1$ 의 변화에 대한 주요 성능지표 값

$\lambda_1$	0.01	0.05	0.10	0.15
$MWT(Q_1)$	1.1472	1.8523	3.542	6.7826
$MWT(Q_2)$	1.1703	2.0566	3.4689	6.9356
$MQL(Q_1)$	0.013	0.0869	0.353	1.0282
$MQL(Q_2)$	0.0124	0.0201	0.0333	0.0744

$\lambda_1$ 의 증가에 따른 메시지 평균 대기시간과 평균 큐 길이의 변화는 [그림 5], [그림 6]과 같다.



[그림 5] 메시지 평균 대기시간의 변화



[그림 6] 평균 큐 길이의 변화

[그림 5]에서 가입자 큐 1로의 메시지 도착률이 증가함에 따라 모든 가입자 큐의 메시지 평균 대기 시간이 비슷한 수준으로 증가함을 알 수 있다. 이는 특정 큐의 트래픽 증가가 다른 큐의 대기시간을 증가시키는 exhaustive polling 시스템의 특성을 반영한 것이다. [그림 6]은 가입자 큐 1로의 메시지 도착률 증가에 따른 평균 큐 길이의 증가를 보인다. 가입자 큐 1의 평균 큐 길이의 증가량이 다른 큐에 비해 큰 것을 알 수 있다.

가입자 큐로부터 전송된 메시지가 통신사업자측에 대화형 메시지, 혹은 다운로드 메시지를 요구할 확률  $P_1$ 과  $P_2$ 를 변화시키며 시뮬레이션을 수행시킨 결과는 [표 2]와 [표 3]에 나타내었다. [표 2]는 모든 가입자 큐로의 트래픽이 적은 경우(LT), 그리고 [표 3]는 특정 큐에 로딩되는 메시지 양이 많은 경우를 나타낸다(HT).

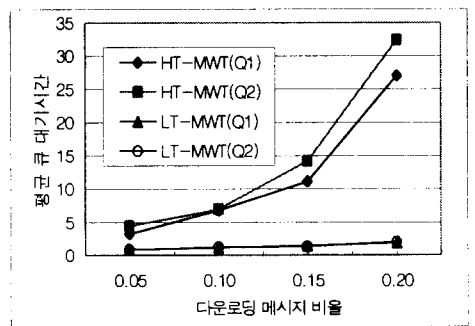
[표 2]  $P_1$ 과  $P_2$ 에 대한 주요 성능지표 값 ( $\lambda_1 = 0.01; LT$ )

$P_1$	$P_2$	MWT( $Q_1$ )	MWT( $Q_2$ )	MQL( $Q_1$ )	MQL( $Q_2$ )
0.95	0.05	0.8163	0.8117	0.008	0.0077
0.90	0.10	1.1472	1.1703	0.013	0.0124
0.85	0.15	1.4258	1.323	0.0147	0.0138
0.80	0.20	1.8432	1.9771	0.0186	0.02

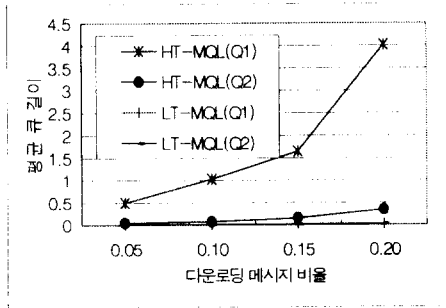
[표 3]  $P_1$ 과  $P_2$ 에 대한 주요 성능지표 값 ( $\lambda_1 = 0.15; HT$ )

$P_1$	$P_2$	MWT( $Q_1$ )	MWT( $Q_2$ )	MQL( $Q_1$ )	MQL( $Q_2$ )
0.95	0.05	3.2613	4.436	0.495	0.0452
0.90	0.10	6.7826	6.9356	1.0282	0.0744
0.85	0.15	11.1393	14.1655	1.6471	0.1478
0.80	0.20	27.0079	32.3891	4.0134	0.3476

[그림 7]과 [그림 8]에는 1번 큐의 로딩 메시지 양이 적은 경우(LT)와 많은 경우(HT)에 대하여 다운로드 메시지 송신 확률이 커짐에 따른 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간과 평균 큐 길이의 변화를 각각 나타내었다.



[그림 7] 메시지 평균 대기시간의 변화



[그림 8] 평균 큐 길이의 변화

그림에서 보듯이 가입자 큐1의 로딩 메시지 양이 많을 경우에는  $P_2$ 의 변화에 따른 각 가입자 큐에서의 성능지표가 민감하게 변화하지만, 로딩 메시지 양이 적을 경우에는 그 변화량이 상대적으로 작게 나타남을 알 수 있다. [그림 8]은 트래픽이 많은 가입자의 평균 큐 길이 증가량이 다른 가입자의 큐 길이 증가량보다 큼을 보인다.

한편, SP 서버의 서비스율  $\mu_1$ 의 변화에 따른 각종 성능지표 값의 변화는 [표 4]와 [표 5]에 나타내었다. [표 4]는 모든 가입자 큐로의 트래픽이 적은 경우, 그리고 [표 5]는 특정 큐에 로딩되는 메시지 양이 많은 경우를 나타낸다.

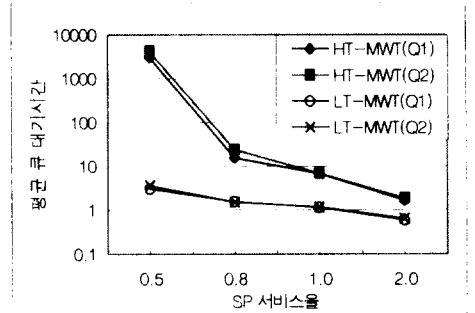
[표 4] 서버 SP의 서비스율( $\mu_1$ )에 대한 주요 성능 지표 값 ( $\lambda_1 = 0.01; LT$ )

$\mu_1$	MWT(Q <sub>1</sub> )	MWT(Q <sub>2</sub> )	MQL(Q <sub>1</sub> )	MQL(Q <sub>2</sub> )
0.5	3.0458	3.6187	0.0302	0.0355
0.8	1.5489	1.5157	0.0173	0.0144
1.0	1.1472	1.1703	0.013	0.0124
2.0	0.5967	0.6416	0.0058	0.0065

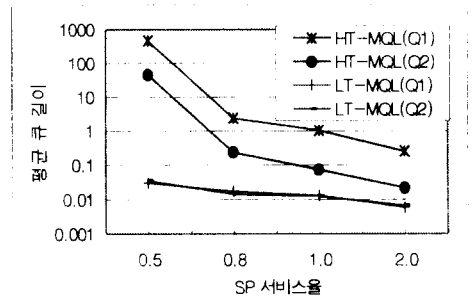
[표 5] 서버 SP의 서비스율( $\mu_1$ )에 대한 주요 성능 지표 값 ( $\lambda_1 = 0.15; HT$ )

$\mu_1$	MWT(Q <sub>1</sub> )	MWT(Q <sub>2</sub> )	MQL(Q <sub>1</sub> )	MQL(Q <sub>2</sub> )
0.5	3023.7695	4154.8784	468.5835	45.7037
0.8	15.6855	23.7262	2.3879	0.2412
1.0	6.7826	6.9356	1.0282	0.0744
2.0	1.6775	1.8748	0.2545	0.0215

$\mu_1$ 의 증가에 따른 평균 큐 대기시간과 평균 큐 길이의 변화는 [그림 9], [그림 10]과 같다.



[그림 9] 메시지 평균 대기시간의 변화



[그림 10] 평균 큐 길이의 변화

그림에서 polling 시스템 서버의 서비스율 증가에 따라 성능지표가 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다. 특정 큐에 로딩되는 메시지 양이 많을 때 성능지표는 민감하게 반응하였으며, 성능 지표의 감소 폭은 가입자 큐마다 비슷함을 알 수 있다.

#### 4. Hybrid 시뮬레이션 및 분산축소 효과

일반적으로 polling 시스템에 대한 분석 시 가장 중요한 성능지표 중 하나로 많이 고려되는 것이 각 station에서의 메시지 평균 대기시간이다. 본 연구에서도 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간은 통신망 정합장치의 성능을 대표하는 통신처리 서비

스의 지연시간 분석과 직접적으로 관련된 추정치이므로 정확하게 구해져야 한다. 시뮬레이션을 통한 성능지표의 추정 시 피할 수 없는 문제점 중 하나는 추정치에 대한 분산이 존재한다는 점이다. 추정치의 분산을 축소시키기 위하여 시뮬레이션 수행 횟수를 증가시키는데에는 한계가 있고, 또한 시간에 따른 비용이 막대하다. 본 절에서는 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간을 Hybrid 시뮬레이션 기법을 이용하여 추정함으로써 추정치에 대한 분산축소 효과를 거두고자 한다.

[그림 4]의 대기네트워크 모델에서, 임의의 한 polling 사이클 동안 통신사업자측으로부터의 정보 수신에 이용되는 수신용 큐  $Q_{N+1}$ 에 대하여 SP 서버가 서비스를 제공하는 시간을 확률변수  $T$ 로 정의한다. 즉  $T$ 는 SP가  $Q_{N+1}$ 에 대한 서비스를 시작하는 순간부터 exhaustive polling scheme에 의해  $Q_{N+1}$ 의 서비스를 끝내는 순간까지의 시간이다. 본 모델에서  $T$ 와  $Q_{N+1}$ 에 대한 스위칭 시간  $R_{N+1}$ 을 가입자 큐 중에서 마지막으로 서비스를 제공받는  $Q_N$ 의 스위칭 시간에 포함시킴으로써 [그림 11]에 나타난 것과 같은  $N$  개의 station을 가지는 polling 시스템 모델로 변형시킬 수 있다. 변형된 polling 시스템은 원래의 대기네트워크와 다른 성능특성을 가지는 모델이지만 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간 분포만을 고려한다면, 원래의 대기네트워크 모델에서의 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간 분포와 동일한 분포를 가질 것으로 기대할 수 있다.

한편, polling 시스템을 구성하는 각 station으로의 메시지 도착과정을 포아송 과정으로 가정한 기존 연구 결과를 살펴보면, station  $i$ 에서의 메시지 평균 대기시간은 식 (1)과 같이 유도됨을 알 수 있다[10].

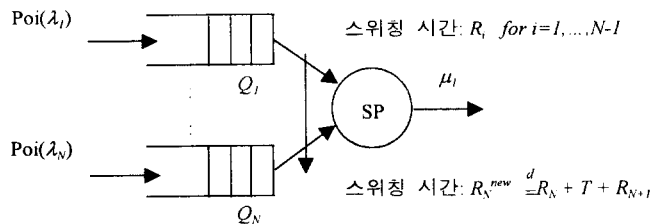
- $W_i$ : station  $i$ 에 도착한 임의의 한 메시지의 대기시간을 나타내는 확률변수
- $I_i$ : station  $i$ 에 대한 방문시간간격(intervisit time)을 나타내는 확률변수
- $B_i$ : station  $i$ 에 도착한 임의의 한 메시지의 서비스 시간을 나타내는 확률변수
- $\lambda_i$ : station  $i$ 로의 메시지 도착률
- $b_i = E[B_i], b_i^{(2)} = E[B_i^2]$

$$E[W_i] = \frac{E[I_i^2]}{2E[I_i]} + \frac{b_i^{(2)}\lambda_i}{2(1-b_i\lambda_i)}, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

위에서 제시된 식 (1)을 살펴보면 등식 오른쪽의 두 번째 항은 계산이 가능하나, 첫번째 항은 해석적 기법으로는 도출이 불가능함을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션을 이용하여 가입자 큐  $i$ 에 대한 방문 시간간격을 나타내는 확률변수  $I_i$ 의 1차 모멘트  $E[I_i]$ 와 2차 모멘트  $E[I_i^2]$ 을 추정하면, 위의 식 (1)을 이용하여 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간을 유도할 수 있다. 식 (1)을 이용하여 본 연구에서의 가입자 큐  $i$ 에서의 메시지 평균 대기시간을 식 (2)와 같이 유도할 수 있다.

$$E[\hat{W}_i] = \frac{E[\hat{I}_i^2]}{2E[\hat{I}_i]} + \frac{\lambda_i / \mu_i^2}{1 - \lambda_i / \mu_i}, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (2)$$

즉, Hybrid 시뮬레이션에서는  $E[W_i]$ 의 추정에 있어 전적으로 시뮬레이션에 의존하는 것이 아니라 해석적으로 도출이 불가능한  $E[I_i]$ 과  $E[I_i^2]$ 만 시뮬레이션으로 추정하게 된다.



[그림 11] 통신망 정합장치의 Polling 시스템 모델링



$$Var(E[\hat{W}_i]) = \frac{1}{4} \left( \frac{E[I_i^2]}{E[I_i]} \right)^2 \left( \frac{Var[E[I_i]]}{(E[I_i])^2} + \frac{Var[E[I_i^2]]}{(E[I_i^2])^2} - 2 \frac{Cov(E[I_i], E[I_i^2])}{E[I_i]E[I_i^2]} \right), \text{for } i=1, \dots, N \quad (3)$$

$$\text{분산축소비율} = \frac{\text{일반적인 시뮬레이션을 통하여 도출된 추정치의 분산}}{\text{Hybrid 시뮬레이션을 통하여 계산된 추정치의 분산}} \quad (4)$$

한편 식 (2)의 우변 첫 번째 항의 추정치는 ratio 추정치이므로 그 분산은 식 (3)과 같이 구해진다[5]. 식 (2)의 우변 두 번째 항은 계산에 의하여 도출되는 값이므로 Hybrid 시뮬레이션에 의한 추정치의 분산으로 식 (3)을 사용한다.

[표 6]에는 서로 다른 파라미터를 가지는 통신망 정합장치 대기네트워크 모형에서 가입자 큐 1에서의 메시지 평균 대기시간을 일반적인 시뮬레이션을 이용하여 도출한 결과와 Hybrid 시뮬레이션을 통하여 계산된 결과를 나타내었다. 여기서 분산축소비율은 (4)의 식을 통하여 얻어진 것이다.

[표 6]의 결과를 토대로 Hybrid 시뮬레이션을 이용함으로써 성능 추정치의 분산을 축소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 식 (2)에 나타난 등식의 오른쪽 두 번째 항의 값은 해석적 기법으로 정확히 얻고, 첫 번째 항의 값을 시뮬레이션을 통해 도출하여 전체적인 추정치의 변동량을 축소시킴으로써 얻어질 수 있었던 것으로 보인다. 분산의 축소는 일반적인 시뮬레이션에서의 반복횟수를 분산축소비율 배 만큼으로 늘리는 효과를 제공한다. 즉 분산축소비율이 10임은 시뮬레이션의 반복횟수를 10배로 늘리는 효과를 의미하며, 결과적으로 Hybrid 시뮬레이션을 이용함으로써 일반적인 시뮬레이션의 경우에서보다 적은 횟수의 시뮬레이션 반복으로 적정 분산수준에 도달할 수 있다. 예를 들어 본 분석의 추정치에 대하여 95% 신뢰도의 신뢰구간 길이를 0.5로 하고자 할 때, 요구되는 분산의 수준은 0.04055이다 (시뮬레이션 반복은 5회). [표 6]에서 MWT(Q<sub>1</sub>)가 6.31738일 때와 3.36310일 때 각각의 분산은 요구되는 분산수준보다 크므로 0.04055의 분산수준을 만족

시키기 위해선 적어도 20회 이상의 시뮬레이션 반복이 필요하다. 반면 Hybrid 시뮬레이션을 이용하였을 때 추정치의 분산은 요구되는 분산수준 이하이다. 한 번의 시뮬레이션 반복 실행시간이 10분 가량인 것을 감안할 때 20회 이상의 시뮬레이션 반복에 소요되는 시간은 5회 반복일 때보다 훨씬 크다. 즉 Hybrid 시뮬레이션을 이용함으로써 시뮬레이션의 반복횟수를 늘림으로 발생하는 시간낭비 없이 원하는 분산수준을 만족시킬 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션 기법을 이용하여 통신망 정합장치의 주요 성능지표를 도출하고, 도착과 정 및 서비스 시간에 관련된 각종 파라미터의 변화가 시스템 성능에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 분석의 결과는 통신망 정합장치 서버의 처리용량 산출 및 시스템 운용 최적화 등에 이용될 수 있을 것이다. 한편, 분석대상 시스템에 대한 대기네트워크 모델을 일반적인 polling 시스템 모델로 변형시킨 후, 각 가입자 큐에서의 메시지 평균 대기시간을 Hybrid 시뮬레이션을 이용하여 도출하였다. 도출된 성능지표의 추정치는 일반적인 시뮬레이션을 통하여 얻어진 추정치보다 작은 분산을 갖는다는 사실을 발견하였다. 이러한 분석방법은 서비스 시간으로 일 반분포를 가지는 서버를 포함하는 동일 시스템 혹은 gated polling 정책을 사용하는 시스템에 대해서도 적용될 수 있다. 그리고 각 station으로의 도착과정이 IPP(Interrupted Poisson Process)인 polling 시스템의 해석적인 결과가 도출된다면 본 연구의 방법을 이용하여 통신망의 트래픽 특성을 보다 실질적으

[표 6] 일반적인 시뮬레이션과 Hybrid 시뮬레이션의 비교

시뮬레이션 파라미터	일반적인 시뮬레이션			Hybrid 시뮬레이션			분산축소 비율
	MWT(Q <sub>i</sub> )	Var[MWT(Q <sub>i</sub> )]	변동계수	MWT(Q <sub>i</sub> )	Var[MWT(Q <sub>i</sub> )]	변동계수	
$\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=0.01, P_f=0.9,$ $P_f=0.1, \mu_1=1, \mu_2=0.5$	1.27778	0.01154	0.08408	1.21313	0.00026	0.01326	44.58
$\lambda_1=0.15, \lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=0.01,$ $P_f=0.9, P_f=0.1, \mu_1=1, \mu_2=0.5$	6.31738	0.13140	0.05738	6.29610	0.01533	0.01967	8.57
$\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=0.01, P_f=0.8,$ $P_f=0.2, \mu_1=1, \mu_2=0.5$	1.72960	0.00603	0.04489	1.81851	0.00040	0.01103	14.98
$\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=0.01, P_f=0.9,$ $P_f=0.1, \mu_1=0.5, \mu_2=0.5$	3.36310	0.18670	0.12848	3.45299	0.01137	0.03088	16.41

로 고려한 시스템의 성능지표를 얻을 수 있을 것이다. 시스템의 성능에 결정적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 성능지표의 경우, 해석적 기법을 통하여 정확한 값을 산출할 수 없을지라도, 본 논문에서 제

시된 것과 같은 Hybrid 시뮬레이션 등의 도입을 통하여 보다 신뢰할 수 있는 추정치를 얻으려는 노력이 이루어져야 한다.

참고문헌

[1] 김건석, 조평동, 대용량 통신처리시스템의 전화망 정합장치의 통신 서비스 모듈 구현 및 성능분석, 전자공학회 논문지, 제34권, 제7호, 1997, pp. 675-684.

[2] 김지수, ATM 스위치의 쉘 손실 확률 추정을 위한 Hybrid 시뮬레이션 기법, 석사학위논문, 포항공과대학교, 1996.

[3] 한국전자통신연구원, 개방형 대용량 통신처리시스템 개발, 연구보고서, 1997.

[4] Ani C.I. and F. Halsall, Simulation Technique for Evaluating Cell-Loss Rate in ATM Networks, *Simulation*, vol.64, No.5, 1995, pp.320-331.

[5] Casella G. and R.L. Berger, *Statistical Inference*, Wadsworth Inc. , Belmont, 1990.

[6] Choudhury G.L. and W. Whitt, Computing Distributions and Moments in Polling Models by Numerical Transform Inversion, *Performance Evaluation*, vol.25, 1996, pp.267-292.

[7] Kim K., T. Han, P. Cho, Performance Analysis of ISDN Access Subsystem in Advanced Communication Processing, *ICCS97*, 1997, pp. 290-297.

[8] Pritsker A. Alan B., *Introduction to Simulation and SLAM II*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1986.

[9] Shanthikumar J.G. and R.G. Sargent, A Unifying View of Hybrid Simulation/Analytic Models and Modeling, *Operations Research*, vol.31, no.6, 1983, pp.1030-1052.

[10] Takagi H., *Analysis of Polling Systems*, The MIT Press, Massachusetts, 1986.

## ● 저자소개 ●



김지수

1994년 포항공과대학교 산업공학 학사

1996년 포항공과대학교 산업공학 석사

현재 포항공과대학교 산업공학과 박사과정

관심 분야 : ATM스위치 및 고속통신망에서의 성능분석 및 트래픽 제어



류지현

1998년 포항공과대학교 산업공학 학사

현재 포항공과대학교 산업공학과 석사과정

관심 분야 : Queueing Theory, 통신시스템 성능분석



전치혁

1977년 서울대학교 자원공학 학사

1979년 한국과학기술원 산업공학 석사

1986년 미국 University of California, Berkeley 산업공학 박사

1987년~현재 포항공과대학교 산업공학과 조교수/부교수

관심 분야 : Stochastic Processes, 신뢰성 이론, 시뮬레이션



전경표

1976년 서울대학교 산업공학 학사

1979년 한국과학기술원 산업공학 석사

1988년 미국 North Carolina State University, Operations Research 박사

1979년~현재 한국전자통신연구소 책임연구원;

현 교환. 전송기술연구소 통신시스템연구부 부장