

## 전자상거래 시스템의 사용자 수 예측에 관한 연구

김정수\*, 서상구\*\*

### A Study on Estimating the Number of Users in e-Commerce Systems

Jeong-Su Kim\*, Sang-Koo Seo\*\*

#### 요약

본 논문은 전자상거래 시스템의 수용 가능한 사용자 수를 예측하는 방법론을 제안한다. 폐쇄된 LAN상의 시스템에서 수용 가능한 사용자 수에 대해서는 이전문헌에 다양한 연구가 있었으나 실제 인터넷 망을 대상으로 전자상거래 시스템의 사용자 수 예측에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 중단간 초고속 인터넷 서비스 품질 측정 결과를 토대로 Hybrid Simulation에 적용하여 LAN과 WAN, 네트워크 장비, 통신 대역폭 등에 대한 다양한 실험을 수행하였다. 구축한 전자상거래 시스템을 대상으로 한 실험 결과, 초고속 인터넷 서비스 매체의 응답 시간은 연속적인 트랜잭션 깊이와 비트랜잭션 대 트랜잭션 비율에 따라 달라진다는 사실을 관찰하였다. 즉, 망과 애플리케이션이 많은 일을 수행하고 있다면 수용 가능한 사용자 수는 감소되며, 반대의 경우는 수용 가능한 사용자 수가 증가하는 것을 실험을 통해 검증하였다. 또한 Cache Server, L4 Switch 등을 실험 모형에 추가한 실험을 통하여 수용 가능한 사용자 수 증가와 클라이언트 응답 시간의 감소 정도를 파악하였다.

#### Abstract

In this paper, we propose a methodology to estimate the number of users in e-Commerce systems. There have been a lot of previous work under the closed-LAN system environment. But the study on the number of acceptable users in real network environment is hard to find in the literature. Our research applies a Hybrid Simulation by using QoS results for end-to-end high-speed Internet service, and experiments are performed with regard to LAN and WAN, network equipments, and various network bandwidth. As result of the experiments we observed that the response time of high-speed Internet service media(Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL) depends heavily on the sequence and depth of transactions and on the ratio of transactional and non-transactional interactions. That is, as the network and application get more loads, the number of acceptable users decreases. By adding a cache server and an L4 switch to the simulation model, we analysed the changes in the number of users and client response time.

▶ Keyword : 사용자 수 예측, 전자상거래 시스템, Hybrid Simulation.

• 제1저자 : 김정수

• 접수일 : 2005.07.07, 심사완료일 : 2005.09.05

\* 광운대학교 경영정보학과 경영정보학박사, \*\* 광운대학교 경영정보학과 부교수

※ 본 연구는 2004년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

## I. 서론

1990년대 이후 초고속 인터넷 망의 고도화로 인한 e-비즈니스 서비스가 급속히 확산되고 있다. 이로 인해 기업들은 e-비즈니스의 대표적인 형태라 할 수 있는 전자상거래의 구축 및 운영에 관심과 투자를 기울이고 있다. 전자상거래 시스템에 대한 종단간(End-to-End) 얼마만큼의 고객을 수용하면 원활한 서비스가 제공될까? 기존보다 많은 고객을 수용하기 위해 네트워크 대역폭, 네트워크 장비 등 얼마만큼 증설되어야 하나? 이러한 질문에 대한 답을 전자상거래 사업자가 시스템 운용 이전 혹은 운용 중 미리 예측할 수 있다면 전자상거래 사업자는 보다 효과적으로 시스템을 운영할 수 있을 것이다. 폐쇄된 LAN 환경에서 이러한 물음을 위한 연구는 많이 소개된 바 있다[1][2][3]. 그러나 실제망 환경에서 사용자 관점의 연속적인 비즈니스 트랜잭션(이하 연속적인 트랜잭션)에 대한 수용 가능한 사용자 수 예측 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 연구 동기로 본 연구는 전자상거래 시스템에 대한 수용 가능한 사용자 수 예측 방법론을 제시한다. 그리고 측정 툴을 이용하여 종단간 연속적인 트랜잭션에 대한 응답 시간을 다양한 환경에서 측정하고 그 결과를 비교 분석하였다. 본 연구를 통하여 첫째, 예제로 구축한 제한한 전자상거래 시스템에서 몇 명의 사용자를 수용하면 적절한 서비스가 가능한지 확인하였다. 둘째, 제시한 모형을 토대로 사용자 수를 점차 증가했을 때 시스템의 수용성을 파악할 수 있었다. 셋째, 수용 가능한 사용자 수 증가와 클라이언트 응답 시간을 줄이기 위한 대안을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 종단간 서비스 품질 측정과 예측 사례를 소개한다. 3장은 전자상거래 QoS (Quality of Service) 측정과 파라미터를 정의한다. 4장에서는 전자상거래 QoS 예측 분석으로 수용 가능한 사용자 수를 예측하는 방법론을 제시하고 다양한 모형에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 종단간 서비스 품질 측정과 예측 사례

최근 서비스 제공자의 네트워크 대역폭, 애플리케이션 서버 용량 설계, 사용자에게 자원 설계 등이 가능한 QoS 측정과 예측은 매우 흥미있는 연구로 대두되고 있다. 대표적인 대규모 프로젝트 사례로 INTERMON을 들 수 있다. INTERMON은 유럽 IST 프로젝트로 개발된 프레임워크로서, Inter-domain QoS 분석을 위한 진보된 아키텍처를 말한다. 종단간 호스트에 CM Toolset<sup>1)</sup>을 설치한 후 종단간 자원 제어, 라우터간 트래픽 제어, 허용 제어 등을 측정한다. 특히 라우터간 트래픽 제어는 프로토콜 유형 감지와 패턴 행동을 분석할 수 있는 장점이 있다[4][5][6]. 뿐만 아니라 통합 INTERMON Toolkit User Interface & Policy Based Control Tool Interaction으로 측정 데이터베이스를 접근한 후 Inter-domain QoS 모니터링 및 분석 기능을 제공한다. 이는 Topology Discovery, Monitoring, Modeling, Simulation, Visual Data Mining 등으로 분류할 수 있다. 이와 같은 INTERMON Toolkit<sup>2)</sup>에 대한 아키텍처와 Inter-domain 환경내의 종단간 QoS 측정 구성도를 살펴보면 (그림 1)과 같다[7][8].

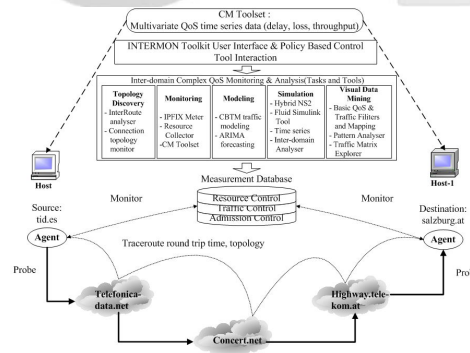


그림 1. Inter-domain 환경내의 종단간 QoS 측정 구성도  
Fig. 1 End-to-End QoS Measurement Configuration in Inter-domain Environment

- 1) 에이전트 기반으로 애플리케이션 플로우에 대한 QoS 모니터링 툴 지원
- 2) 세부 설명은 참고문헌 후미에 기술

또 다른 연구로 WAN의 데이터 전송 성능에 대한 예측 연구 사례를 들 수 있다[9]. 데이터 Grid는 향후 보편화 될 것이며 Grid를 통한 분산된 많은 사이트들로부터 어떻게 하면 효율적인 데이터 접근이 가능한지에 대한 방법을 제시한다. WAN으로부터 수집된 로그 데이터 분석과 예측에 관한 성능을 평가하기 위하여 과거 전송된 종단간 성능에 대한 정보를 수집하고 향후 데이터 전송에 대한 측정을 예측할 수 있도록 제공하며 데이터 전송 인프라로부터 로우 데이터와 예측된 데이터 결과값을 사용자에게 전달할 수 있도록 예측 프레임워크를 구성하였다.

이상의 사례에서 예측 기능이 존재하나 종단간 수용 가능한 사용자 수에 대한 예측 기능은 찾을 수가 없었다. 따라서 본 연구는 실제 망에서 응답시간 중심의 전자상거래 QoS를 측정하고 정의된 QoS 파라미터를 이용한 시뮬레이션을 통하여 수용 가능한 사용자 수를 파악하는 방법을 제안한다.

### III. 전자상거래 QoS 측정과 파라미터

#### 3.1 종단간 서비스 품질 측정

종단간 서비스 품질 측정은 Krishnamurthy(1998)가 연구한 내용을 참조했다[10]. 이 연구는 다운로드 시간의 효율성을 서버 사이클 시간이 오래 걸려도 구매자의 추가적인 요구를 수용할 수 있어야 한다는 전제하에 네트워크 대역폭이 아닌 쇼핑물 서버에 초점을 맞추었다. 정의된 LQM (Layered Queueing Model)<sup>3)</sup> 모델 기반 하에 서버 응답 시간, 서버 CPU 이용률, 서버 노드 CPU 이용률, 대·소형 쇼핑물의 서버 접속 사용자 수 등을 폐쇄된 LAN 환경에서 시뮬레이션을 통하여 조사하였다. 고객이 전자상거래 사이트 접속 시작부터 결제까지 전체 수행 과정을 연속적인 트랜잭션<sup>4)</sup>으로 정의했다.

3) 분산 애플리케이션 시스템을 위한 성능 모델을 일컫는다. 즉, 웹 서버 용량과 네트워크 토폴로지로 서버와 클라이언트 응답 시간을 예측하기 위한 모델

4) 정보의 교환이나 데이터베이스 갱신 등 연관된 작업들에 대한 일련의 연속적인 작업을 의미함. 예를 들어, 현금 출금을 하나의 트랜잭션으로 보았다면 출금하는 각각의 단계들이 모두 성공적으로 이루어지며 출금 내용이 은행의 데이터베이스에 실제로 반영된 때를 트랜잭션이 성공적으로 끝났다고 할 수 있음

본 연구에서는 실험 대상 전자상거래 시스템으로 쇼핑물 시스템과 티켓 예매 시스템을 구축하고 이에 대한 연속적인 트랜잭션을 다음과 같은 순서로 처리하도록 하였다. 즉, 쇼핑물은 웹 페이지 접속, 상품 검색, 상품 선택, 장바구니에 상품 추가, 장바구니에 상품 삭제, 장바구니에 또 다른 상품 추가, 주문서 작성, 지불처리(결제) 등으로 측정하였다. 쇼핑물의 비트랜잭션(Browser URL)과 트랜잭션 비율은 20:80으로 설정하였다. 비트랜잭션이란 이미지와 텍스트 기반의 페이지 접근을 의미한다. 트랜잭션은 데이터베이스를 통해 단지 정보만 제공받는 페이지 접근을 말한다. 예를 들면 고객이 원하는 상품을 장바구니에 넣기 위해 고객 id/password 입력하는 페이지를 들 수 있다. 이 비율 설정은 전자상거래 시스템의 특성에 따라 달리 설정될 수 있을 것이다.

한편 예매는 웹 페이지 접속, 영화 검색, 영화 예매, 일정 선택, 티켓 종류 및 결제 수단 선택, 예매할 내역 및 수지 사항 확인, 예매 완료 등으로 정의하고 예매의 비트랜잭션과 트랜잭션 비율은 50:40으로 설정하였다. 이러한 연속적인 트랜잭션은 다음 두가지를 가정하였다. 첫째, 클라이언트 Think Time은 임의로 지정하였다. 즉, 클라이언트가 원하는 물건을 랜덤하게 선정, 혹은 영화도 클라이언트가 보고자 하는 영화를 랜덤하게 선정하여 연속적인 처리가 가능하도록 시나리오를 반영하였다. 둘째, 전자지불 서버 인증 기관과 은행/카드사 시스템 연동이 실험 환경에서는 구현하기가 여의치 않으므로 구축한 두 사이트의 결제 처리는 온라인상에서 오류없이 연속적인 트랜잭션 처리가 모두 완료됐을 때 자체 데이터베이스의 결과값으로 저장 처리토록 하였다. 보다 세부적인 상거래 시스템 구축 내용은 지면 관계상 생략한다.

측정 툴은 종단간 서비스 품질 측정과 시뮬레이션이 가능한 OPNET사의 IT Guru(사용된 모듈: ACE, ACE Decode Module) 버전 10.5로 선정하였다[11][12][13][14]. OPNET은 네트워크 및 애플리케이션 서버 설계가 가능하며 다양한 응용분야에서 연구되고 있다[15]. 실험은 초고속 인터넷 서비스 상품(Wireless LAN(11Mbps), ADSL, Cable, VDSL 등)이 설치된 가입자 맥내로부터 실제 망 환경에서의 원격 서버까지 종단간 연속적인 측정을 10번 측정하여 그 평균값을 취하였다.

#### 3.2 전자상거래 QoS 파라미터

상거래 QoS 파라미터란 사용자들이 받고 있는 서비스가 일정 수준 이상으로 QoS를 보장하고 있는지의 여부를 사용자가 알기 쉬운 용어로 제공하는 기준을 의미한다[16]. 상

거래 QoS 파라미터는 서비스에 따라서 또는 서비스를 제공하는 업체나 사용자에게 따라서 달라질 수 있다. 상거래 사업자가 원활한 서비스를 제공하기 위한 QoS 파라미터로서 본 연구에서는 클라이언트, 망, 서버 모두를 고려한 중단간 상거래 QoS 파라미터로 분류했고 <표 1>과 같이 정의하였다.

표 1. 상거래 QoS 파라미터  
Table. 1 QoS Parameter for Electronic Commerce

항목	파라미터	정의
서버	CPU Utilization	서버 CPU 이용률
클라이언트	Response Time	소스에서 목적지까지의 전체 응답시간
	CPU Utilization	클라이언트 CPU 이용률
	LAN Delay	네트워크 상의 LAN에 대한 총 지연시간으로 전송 지연
	Inbound Traffic	LAN내에 생성된 트래픽의 총 양
Outbound Traffic		
망	Traffic Sent	초당 보내는 바이트 양
	Traffic Received	초당 받는 바이트 양
	Queueing Delay	각 구간별 Queueing Delay Ratio
	Packet Loss Rate	소스에서 목적지까지의 양방향 패킷 손실률
공통	Throughput	주어진 시간동안 각 구간별로 옮겨진 데이터의 양

정의한 상거래 QoS 파라미터에 대하여 각각의 초고속 인터넷 매체 환경에서 실제 측정된 결과를 설계한 모형에 적용한다. 적정서비스 수준을 만족하기 위한 수용 가능한 사용자 수 예측을 위하여 시뮬레이션 실험의 입력변수는 트랜잭션 유형, 사용자 수, 시스템 스펙, 점대점 대역폭, LAN 백그라운드 이용률, CPU 백그라운드 이용률, 링크 백그라운드 이용률, Traffic Flow(Bi-directional), 장치 제어 등이다.

종속 변수로서 CPU Utilization(Server, Client), Throughput, 클라이언트 응답 시간, LAN Delay, LAN Inbound/Outbound Traffic, Traffic Sent/Traffic Received, Queueing Delay, Packet Loss Ratio 등의 값이 산출된다.

## IV. 전자상거래 QoS 예측 분석

### 4.1 수용 가능한 사용자 수 예측 방법론

앞서 정의한 QoS 상거래 파라미터를 이용한 전자상거래 시스템의 수용 가능한 사용자 수 예측은 다음과 같은 순서의 방법으로 진행한다.

#### [Step 1] 유형별 상거래 단일 트랜잭션 정의

- 쇼핑몰, 예매 등으로 8, 7번의 단일 트랜잭션 정리

#### [Step 2] 중단간으로부터 트랜잭션을 10번 반복 측정

- 대상 서버 필터링

#### [Step 3] 측정된 평균 응답 시간 산출

#### [Step 4] Hybrid Simulation

- 워크로드 파라미터 설정
- 인터넷 서비스 선택(Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL)
- 선택한 인터넷 서비스를 대상으로 측정된 트랜잭션을 가져 오기
- 입력값 지정(3.2절의 입력변수임)
- 시뮬레이션 시간 설정(분/시간/일/주 등으로 설정)

#### [Step 5] 측정된 평균 응답 시간을 기준으로 구축한 전자상거래 시스템에 대한 자원 적절성 판단

- 시뮬레이션 결과, 평균 응답 시간이 기준 범위 내에 포함되면 적절한 자원으로 판단되나 그렇지 않을 경우 자원 증설을 고려
- 자원 증설을 고려할 경우 입력값 재설정

#### [Step 6] 수용 가능한 사용자 수 예측

- 클라이언트 응답 시간이 평균 응답 시간 기준 범위 내에 포함되면 적절한 사용자 수
- 클라이언트 응답 시간이 평균 응답 시간 기준 범위 내에 포함되지 않으면 입력값 재설정

#### [Step 7] 클라이언트 응답 시간이 기준 범위 내에 만족하면 종료

기준값인 평균 응답 시간은 사용자의 만족도에 가장 큰 영향을 미치는 성능 매트릭스로서 서비스 수준의 중요한 척도가 된다[17].

### 4.2 Hybrid Simulation

Hybrid Simulation은 Explicit Traffic과 Background Traffic을 병합한 것으로 실제 망의 양방향 트래픽 전송을 마치 클라이언트/애플리케이션 서버가 운용하는 것처럼 가장 흡사하게 구성하여 시뮬레이션을 수행하는 것이다.

Explicit Traffic은 Discrete-Event Simulation을 사용하여 모델링 할 수 있다. 이는 크게 두가지로 분류 가능하다. 첫째, 수작업으로 Device/Node/Link/Traffic Flow 등 이 모두를 수작업으로 구성하는 방법과 둘째, ACE로부터 측정된 백데이터를 기반으로 구성할 수 있다. 본 연구는 각 초고속 인터넷 상품별로 수용 가능한 사용자 수를 분석해야 하므로 후자를 선택하였다. Background Traffic은 Device, Link 등에 대한 총체적인 트래픽을 말하며 토폴로지의 Device/Link로 Background Load를 수작업으로 설정하였고, 그 종류는 라우터, 서버, 워크스테이션, LAN(클라이언트 군집을 일컫음) 등이며 단, 스위치는 포함되지 않는다. 그리고 Traffic Flow는 양방향 트래픽으로 이 또한 수작업으로 설정하였다.

Background Traffic에 대한 수작업 설정은 <표 2>와 같이 가정한다.

표 2. Background Traffic 설정  
Table. 2 Background Traffic Setting

Client LAN (LAN BU)		Web Server & DB Server CPU BU		Cache Server CPU BU	
Time (sec)	BU(%)	Time (sec)	BU(%)	Time (sec)	BU(%)
10	10	10	10	10	90
20	20	20	20	20	80
30	30	30	30	30	80
40	40	40	40	40	70
50	50	50	50	50	80
60	60	60	60	60	90

Link Load, Background Load(Intensity(bps)), 공통				TF(BI-directional)	
Direction: →		Direction: ←			
Sec	Bits/Sec	Sec	Bits/Sec	Sec	Bits/Sec
0.0	1,503,154.15	0.0	1,803,200.15	0.0	703,154.15
301	1,599,968.36	301	1,879,999.36	301	599,968.36
601	1,603,522.895	601	1,903,522.895	601	703,522.895
900	1,605,554.015	900	1,345,554.015	900	605,554.015

1,201	1,589,141.84	1,201	1,672,141.84	1,201	589,141.84
1,501	1,603,397.965	1,501	1,777,397.965	1,501	603,397.965
1,801	1,601,679.17	1,801	1,967,679.17	1,801	901,679.17
2,101	1,602,894.215	2,101	1,883,894.215	2,101	902,894.215
2,400	1,602,658.46	2,400	1,652,658.46	2,400	602,658.46
2,701	1,599,714.545	2,701	1,643,714.545	2,701	799,714.545
3,001	1,602,708.835	3,001	1,656,708.835	3,001	802,708.835
3,301	1,582,708.2	3,301	1,999,708.2	3,301	992,708.20

(BU: Background Utilization, TF: Traffic Flow)

Explicit Traffic과 Background Traffic의 수작업 설정이 끝나면 시뮬레이션을 수행한 후 중단간 수행된 결과를 분석한다. 분석된 결과를 바탕으로 설계자가 토폴로지 재모형을 하고자 할 경우 Device/Node/Link 구성 요소 재배치와 특성을 결정한다. 그리고 다시 시뮬레이션을 수행한 후 분석된 결과가 제안한 QoS 기준치를 만족하면 그 결과값이 수용 가능한 사용자 수이며 만족하지 않을 경우 입력값을 재설정한 후 QoS 기준치를 만족할 때까지 시뮬레이션을 계속 수행한다. 워크로드 파라미터는 <표 3>과 같이 설정하였다.

표 3. 워크로드 파라미터  
Table. 3 Workload Parameter

카테고리	파라미터
Packet Loss Rate/Latency	0
사용자 수	25 ~ 5100
클라이언트 위치	리모트
시뮬레이션 시간	1시간
랜덤 수 생성	128
통계값	100
업데이트 간격	500,000
시뮬레이션 커널	최적화 모드

### 4.3 LAN의 QoS 측정망 모형

LAN의 QoS 측정망 모형은 (그림 2)와 같이 구성하였다. 측정 QoS 파라미터 설명과 Background Traffic에 대한 세부적인 지표 항목의 위치를 도식화한 것이다.

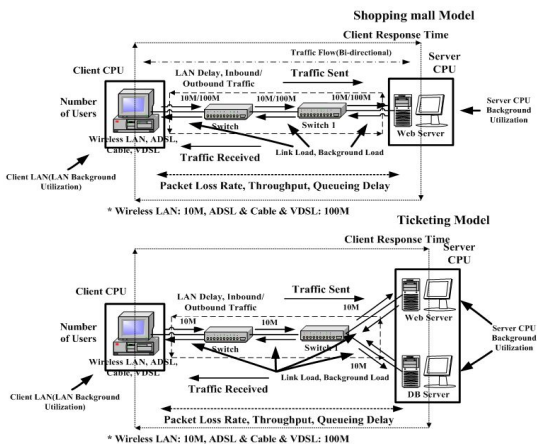


그림 2. LAN의 QoS 측정망 모형  
Fig. 2 QoS of LAN Measurement Model

LAN에서의 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 등으로 쇼핑몰의 대역폭을 10/100M, 예매는 10M 대역폭에 대한 실험 결과값은 별첨의 <표 4>와 같다.

■ 클라이언트 응답 시간 분석

쇼핑몰의 경우 클라이언트 응답 시간의 부하가 많은 것으로 분석되었다. 10M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰인 경우 ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN, 예매의 경우 Wireless LAN>Cable>VDSL>ADSL로 분석되었다. 1000명의 예매인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 등 기준치인 87초 이내의 모두 포함된 것으로 분석, 따라서 이후 예매에 대한 100M 시뮬레이션 결과값 산출은 생략한다. 다음으로 100M 대역폭일 때, 10M 대역폭의 쇼핑몰 결과값과 동일한 순서인 ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN으로 파악되었다. 사용자가 점차 증가할수록 10M 대역폭인 쇼핑몰의 클라이언트 응답 시간 결과와 비교할 때 현저한 감소를 보였다.

■ Queueing Delay 분석

쇼핑몰의 경우 Queueing Delay가 크게 발생한 것으로 분석되었다. 10M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 Wireless LAN, Cable, VDSL은 웹 서버 → 스위치1, ADSL의 경우 스위치1 → 스위치로 지연되었다. 1000명의 예매일 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL로 모두 웹 서버 → 스위치1에서 지연되었다. 100M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable은 웹 서버 → 스위치1,

VDSL의 경우 스위치1 → 웹 서버로 지연되었다. 공통적으로 웹 서버 ↔ 스위치1인 서버구간에서 지연이 발생한 것을 확인하였다.

■ LAN Delay 분석

쇼핑몰의 경우 LAN Delay가 활발한 것으로 분석되었다. 10M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN으로 확인하였다. 1000명의 예매일 경우 VDSL>Cable>ADSL>Wireless LAN으로 파악되었다. 100M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 10M 대역폭의 LAN Delay와 동일한 순서를 보였다. 공통적으로 LAN Delay는 Wireless LAN이 가장 적은 것으로 분석되었다.

■ Throughput 분석

쇼핑몰일 때 Throughput이 많다는 것을 분석할 수 있다. 10M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable은 스위치1 → 스위치, VDSL은 스위치 → 클라이언트로 가장 많은 Throughput을 보였다. 1000명의 예매일 경우 Wireless LAN은 웹 서버 → 스위치1, ADSL과 VDSL은 스위치 → 클라이언트, Cable은 스위치1 → 스위치로 가장 많은 Throughput을 보였다. 100M 대역폭일 때, 1000명의 쇼핑몰일 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 스위치1 → 스위치로 가장 많은 Throughput을 보였다.

그 외의 CPU Utilization, Traffic Sent/Traffic Received, LAN Inbound/Outbound Traffic 측정 파라메타도 모두 쇼핑몰일 때 활발한 것으로 분석되었다. 즉, 연속적인 트랜잭션 깊이와 트랜잭션 비율이 큰 쇼핑몰일 때 사용자 수를 점차 증가할수록 망과 애플리케이션 서버 이용률이 많으므로 수용 가능한 사용자 수가 감소한다는 의미이다. 전자상거래 시스템에 대한 수용 가능한 사용자 수를 분석한 결과는 별첨의 <표 5>와 같다.

10M 대역폭의 수용 가능한 사용자 수를 살펴보면 쇼핑몰의 경우 Wireless LAN을 제외한 ADSL>VDSL>Cable로 각각 950명, 580명, 500명으로 분석되었으며 한편 예매의 경우 Cable>VDSL>ADSL>Wireless LAN으로 각각 2900명, 2800명, 2300명, 1800명으로 분석되었다. 100M 대역폭인 쇼핑몰의 경우 10M 대역폭 보다 월등히 많은 사용자를 수용할 수 있었다. 즉, ADSL>Cable>VDSL로 각각 5000명, 3000명, 2600명으로 분석되었다.

#### 4.4 LAN 재모형

##### 4.4.1 Cache Server

수용 가능한 사용자 수 증가와 클라이언트 응답 시간을 줄이기 위한 첫 번째 대안으로 Cache Server를 도입 후 비교 분석하였다. Cache Server는 인터넷에서 사용자들이 자주 요청하는 웹 페이지나 FTP 및 다른 파일들을 주된 서버 외 장소에 저장한 후 해당 페이지를 요구할 때 주 서버에서 찾지 않고 Cache Server에 내용이 있는 경우 이를 사용자에게 보여줌으로써 접속 속도를 빠르게 하고 트래픽을 줄여주기 위한 서버이다. 이와 같이 Cache Server를 사용하는 이유는 네트워크 대역폭의 효과적인 절약과 서버측 부하 감소, 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있기 때문이다[18].

이와 같은 실험 구성도는 LAN 구성으로부터 쇼핑몰을 재모형 한 것으로 (그림 3)과 같다. 스위치 뒷단에 Cache Server 1대를 추가한 후 대역폭이 10M와 100M 두가지로 분류하여 실험을 진행하였다. LAN과 Cache Server 재모형에 대한 비교 결과는 별첨의 <표 6>과 같다.

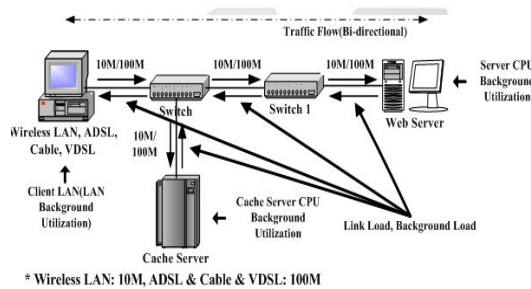


그림 3 Cache Server 재모형  
Fig. 3 New Model for Cache Server

대역폭이 10M인 경우 Wireless LAN은 두배 정도의 클라이언트 응답 시간 감소와 대역폭이 100M면서 1000명일때 300초 이상의 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. ADSL은 대역폭이 10M면서 1000명 일때 60초 이상 감소와 100M면서 1000명 일때 3초 정도의 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. Cable 역시 대역폭이 10M면서 1000명 일 때 601초 클라이언트 응답 시간 감소와 100M면서 1000명 일 때 9초 이상의 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. 마지막으로 VDSL은 대역폭이 10M면서 1000명 일때 417초의 클라이언트 응답 시간 감소와 100M면서 1000명 일때 7초 정도의 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. 그리고 지연 시간은 ADSL>VDSL>Cable>Wireless

LAN으로 모두 동일하였다. <표 6>의 중간은 지연구간에 대한 지연율로 다음과 같다. 첫째, LAN 10M인 경우 Wireless LAN, Cable, VDSL은 웹 서버 → 스위치1인 반면, ADSL은 스위치1 → 스위치 지연구간으로 분석되었다. 둘째, Cache Server 10M인 경우 모두 스위치 → 클라이언트로 분석되었다. 셋째, LAN 100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable은 웹 서버 → 스위치1인 반면, VDSL은 스위치1 → 웹 서버 지연구간으로 분석되었다. 넷째, Cache Server 100M인 경우 Wireless LAN은 스위치 → 클라이언트 지연구간으로 분석되었다. <표 6>의 아래는 Throughput으로 다음과 같다. 첫째, LAN 10M/100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 스위치 → 클라이언트 또는 스위치1 → 스위치로 분석되었다. LAN 10M은 VDSL 1000명일 때, LAN 100M은 Cable 1000명일 때 가장 많은 Throughput을 보였다. 둘째, Cache Server 10M/100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 스위치 → 클라이언트로 분석되었다. Cache Server 10M/100M은 Cable 1000명일 때 가장 많은 Throughput을 보였다.

분석 결과 흥미있는 사실 두가지를 발견할 수 있었다. 첫째, 대역폭이 10M면서 사용자가 점차 증가 할수록 클라이언트 응답 시간 감소는 큰 폭으로 줄어들었으나 대역폭이 100M인 경우는 대역폭의 증가로 인하여 사용자가 증가되어도 큰 폭의 클라이언트 응답 시간이 감소되지 않은 사실을 확인하였다. 둘째, LAN의 Queuing Delay는 LAN 10M의 ADSL과 LAN 100M의 VDSL을 제외한 모든 구간이 웹 서버와 스위치1인 반면, Cache Server를 도입한 후 분석 결과, Cache Server 10M인 경우 모두 스위치와 클라이언트의 지연구간으로 분석되었다. 그리고 Cache Server 100M인 경우 Wireless LAN을 제외한 모든 구간이 Cache Server와 스위치로 분석되었다. 이 같은 결과로 Cache Server를 도입함으로써 웹 서버의 부하 감소 및 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있다는 것으로 조사되었다.

Cache Server 도입 후 수용 가능한 사용자 수는 별첨 <표 7>과 같이 분석되었다. <표 7>의 Wireless LAN이 없는 이유는 대역폭이 10M와 100M일 때 사용자 수 1명으로 실험한 결과 각각 93.549초, 92.916초로 모두 수용 가능한 기준치를 벗어났기 때문이다.

4.4.2 L4 Switch

L4 Switch란 네트워크 트래픽의 패킷들로부터 애플리케이션별 포트 번호를 해석하여 애플리케이션별 트래픽 부하 분배 및 우선순위를 관리자가 결정하고 통제, 처리할 수 있도록 전체 시스템의 성능과 속도를 향상시키는 네트워크 장비를 말한다. L4 Switch의 장점은 서버/웹 로드 발란싱, 네트워크 부하 분산, 접근 제어, QoS 향상, 효율적인 관리 등을 들 수 있다[19]. 실험 구성도는 LAN 구성으로부터 쇼팽물을 재모형 한 것으로 아래 (그림 4)와 같다. 같은 사양의 웹 서버 1대 추가와 스위치1을 L4 Switch로 대체한다.

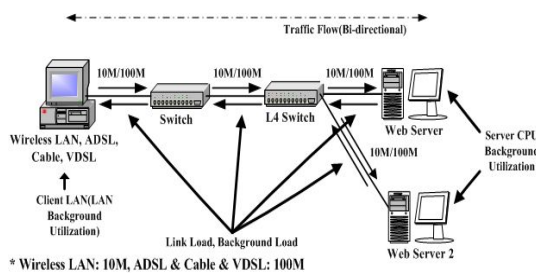


그림 4. L4 Switch 재모형  
Fig. 4 New Model for L4 Switch

실험은 대역폭이 10M와 100M 두가지로 분류한 후 진행하였다. LAN과 L4 Switch 재모형에 대한 비교 결과는 별첨 <표 8>과 같다. 대역폭이 10M인 경우 Wireless LAN은 두배가량 클라이언트 응답 시간이 감소되었고 대역폭이 100M면서 1000명 일때 190초 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. 대역폭이 10M면서 1000명 일때 VDSL은 79초, Cable은 65초, ADSL은 40초로 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있었다. 반면, 대역폭이 100M면서 1000명 일때 ADSL, Cable, VDSL은 대역폭이 100M인 LAN 결과와 흡사한 것으로 분석되었다. 즉, 대역폭이 10M인 경우 사용자가 점차 증가될수록 클라이언트 응답 시간은 현저하게 감소되었지만 대역폭이 100M인 경우 LAN의 결과값과 유사함을 검증하였다. 그리고 지연 시간은 ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN으로 모두 동일하였다. <표 8>의 중간은 지연구간에 대한 지연율로 다음과 같다. 첫째, LAN 10M인 경우 Wireless LAN, Cable, VDSL은 웹 서버 → 스위치1인 반면, ADSL은 스위치1 → 스위치 지연구간으로 분석되었다. 둘째, L4 Switch 10M인 경우 Wireless LAN, ADSL, VDSL은 L4 Switch →

스위치인 반면, Cable은 스위치 → 클라이언트 지연구간으로 분석되었다. 셋째, LAN 100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable은 웹 서버 → 스위치1인 반면, VDSL은 스위치1 → 웹 서버 지연구간으로 분석되었다. 넷째, L4 Switch 100M은 모두 L4 Switch → 스위치로 분석되었다. <표 8>의 아래는 Throughput으로 다음과 같다. 첫째, LAN 10M/100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 스위치 → 클라이언트 또는 스위치1 → 스위치로 분석되었다. LAN 10M은 VDSL 1000명일 때, LAN 100M은 Cable 1000명일 때 가장 많은 Throughput을 보였다. 둘째, L4 Switch 10M/100M인 경우 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 스위치 → 클라이언트 또는 L4 Switch → 스위치로 분석되었다. L4 Switch 10M은 VDSL 1000명일 때, L4 Switch 100M은 Cable 1000명일 때 가장 많은 Throughput으로 분석되었다. 한가지 더 재미있는 사실도 확인하였다. LAN의 Queueing Delay는 LAN 10M의 ADSL과 LAN 100M의 VDSL을 제외한 모든 구간이 웹 서버와 스위치 1인 반면, L4 Switch를 도입한 후 분석 결과, L4 Switch 100M 모두 스위치와 L4 Switch 지연구간으로 분석되었으며 L4 Switch 10M인 경우 Cable을 제외한 모든 구간도 스위치와 L4 Switch로 분석되었다. 이러한 원인 해석은 L4 Switch를 도입함으로써 L4 Switch의 트래픽 부담과 부하 감소로 클라이언트 응답 시간을 줄일 수 있다는 것으로 조사되었다.

L4 Switch 도입 후 수용 가능한 사용자 수는 별첨의 <표 9>로 분석되었다. <표 9>에 Wireless LAN도 Cache Server와 마찬가지로 대역폭이 10M와 100M일때 사용자 수 1명으로 실험한 결과 각각 105.88초, 104.78초로 모두 수용 가능한 기준치 이상을 보였다.

종합적으로 Cache Server와 L4 Switch를 도입한 후 실험 결과, LAN에서의 결과값과 비교할 때 사용자 수가 점차 증가할수록 클라이언트 응답 시간은 감소되었다. 뿐만 아니라 웹 서버 부하와 트래픽 부담으로 인한 지연을 줄임으로 보다 많은 사용자 수용과 빠른 서비스를 제공 받을 수 있었다.

4.5 WAN 재모형

마지막 실험으로 중단간 트랜잭션 측정 결과값을 <표 2>에서 정의한 Background Traffic과 <표 3>에 워크로드 파라미터로 설정한다. 설정 완료 후 WAN 결과값과 Cache Server 및 L4 Switch 도입하여 결과값을 분석하였다. 실

험 구성도는 쇼핑몰로 (그림 5)에 도식화하였다. WAN 제 모형은 크게 세가지 사례로 분류한 후 실험을 진행하였다. 첫 번째 사례로 WAN에서 Hybrid Simulation 적용과 두 번째 사례로 기존 WAN에 Cache Server를 도입한다. 끝으로 기존 WAN에 L4 Switch를 도입한 후 결과를 분석한다. 이들 세가지 사례 모두 전 구간 대역폭은 10M로 가정한다.

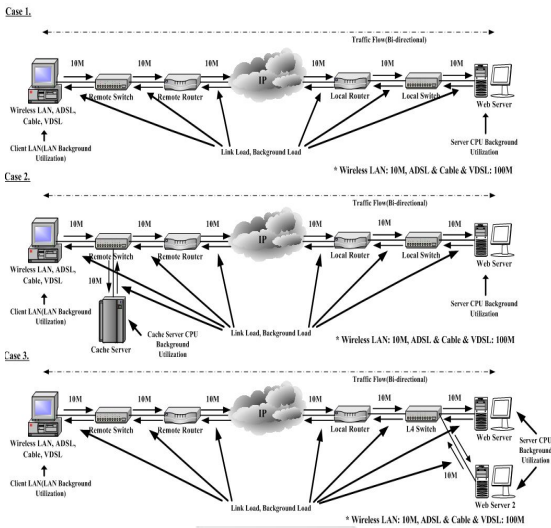


그림 5. WAN 재모형  
Fig. 5 New Model for WAN

세가지 사례에 대한 수용 가능한 사용자 수는 별첨의 <표 10>과 같이 분석되었다. 첫 번째 사례로 수용 가능한 사용자 수는 ADSL>VDSL=Cable>Wireless LAN으로 900명, 400명, 400명, 50명을 수용할 수 있었다. ADSL, Cable, VDSL의 지연구간은 로컬 스위치 → 로컬 라우터인 반면, Wireless LAN은 웹 서버 → 로컬 스위치 지연구간으로 분석되었다. 그리고 Wireless LAN과 VDSL은 로컬 스위치 → 로컬 라우터, ADSL은 리모트 라우터 → 리모트 스위치, Cable은 리모트 스위치 → 클라이언트로 가장 많은 Throughput을 보였다. 두 번째 사례로 Cache Server 도입 후 실험한 결과는 ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN으로 950명, 600명, 520명, 150명을 각각 수용할 수 있었다. ADSL, Cable, VDSL의 지연구간은 리모트 스위치 → 클라이언트인 반면, Wireless LAN은 Cache Server → 리모트 스위치 지연구간인 것으로 확인하였다. 한편 Wireless LAN, ADSL, Cable, VDSL 모두 리모트 스위치 → 클라

이언트로 가장 많은 Throughput을 보였다. 세 번째 사례인 L4 Switch를 도입 후 실험한 결과도 Cache Server와 같은 인터넷 서비스 상품 순서로 분석되었다. 즉, ADSL>VDSL>Cable>Wireless LAN으로 950명, 510명, 450명, 70명을 수용 가능했다. ADSL, Cable, VDSL의 지연구간은 L4 Switch → 로컬 라우터인 반면, Wireless LAN은 웹 서버 → L4 Switch 지연구간으로 확인하였다. Wireless LAN은 리모트 스위치 → 클라이언트, ADSL과 VDSL은 L4 Switch → 로컬 라우터, Cable은 리모트 라우터 → 리모트 스위치로 가장 많은 Throughput을 보였다.

#### 4.6 실험 요약

실험 결과 다섯 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 쇼핑몰은 사용자가 점점 증가할수록 제한한 QoS 파라미터 모두 활발한 것으로 분석되었다. 이는 연속적인 트랜잭션 깊이와 트랜잭션 비율이 큰 쇼핑몰일 때 사용자 수를 점차 증가할수록 망과 애플리케이션 서버 이용률이 많으므로 수용 가능한 사용자 수가 감소한다는 의미이다. 둘째, LAN과 WAN을 비교한 결과 LAN이 WAN보다 구간이 짧으므로 보다 빠른 응답 시간을 보였다. 아울러 Wireless LAN을 제외한 나머지 서비스 상품은 일반적으로 LAN에서 보다 많은 사용자를 수용 가능했다. 셋째, WAN의 지연구간은 다음과 같다. Wireless LAN은 웹 서버 → 로컬 스위치, Cache Server → 리모트 스위치, 웹 서버 → L4 Switch인 반면, ADSL, Cable, VDSL은 로컬 스위치(혹은 L4 Switch) → 로컬 라우터, 리모트 스위치 → 클라이언트로 애플리케이션의 부하 및 트래픽은 분담되었으나 로컬 스위치(혹은 L4 Switch), 클라이언트 앞단의 증설 요구가 필요할 것으로 분석되었다. 그리고 대부분의 지연구간인 리모트 스위치 → 클라이언트에서 가장 많은 Throughput을 보였다. 넷째, (그림 6)처럼 LAN과 WAN의 수용 가능한 사용자 수 비교 결과, ADSL, VDSL, Cable은 LAN이 WAN보다 많은 사용자를 수용할 수 있었으나 Wireless LAN만은 WAN이 LAN보다 많은 사용자를 수용할 수 있었다. 또한 Cache Server와 L4 Switch도 동일한 결과로 분석되었다. 즉, 수용 가능한 사용자 수에 대한 인터넷 서비스 상품은 ADSL, VDSL, Cable, Wireless LAN 순서로 같았다. 이와 같은 이유는 종단간 측정했을 때 로드된 패킷 크기에 의존되기 때문이다. 만약 시뮬레이션 결과에 따른 통계값으로 측정 당시 망과 애플리케이션이 많은 일을 수행하고 있다면 수용 가능한 사용자 수는 감소될 것이며, 반대의 경우는 수용 가능한 사용자 수가 증가될 것이다. 끝으로 Cache Server와 L4 Switch를 추가한 후 실험 결과, 수

용 가능한 사용자 수는 증가되었고 클라이언트 응답 시간은 상당히 감소된 것을 확인하였다.

## V. 결론

전자상거래 시스템은 ISP 사업자의 망을 임대하여 고객에게 신속하고 안정적인 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다. 그러나 실제 망 환경에서 서비스 품질에 대한 다양한 측정과 분석은 여러 가지 요인으로 인하여 쉽게 제공하지 않기 때문에 이에 대한 연구 또한 미흡하였다. 이에 본 연구에서는 전자상거래 시스템을 실제 구축하여 실제 망 환경에서 종단간 서비스 품질을 측정하고 예측하는 과정과 그 결과를 소개하였다. 그리고 구축된 전자상거래 시스템의 모델링을 변형한 LAN과 WAN에 대한 수용 가능한 사용자 수를 분석하였다. 아울러 시스템 사용자 수용성을 개선하기 위한 재모형 방안을 다양한 유형으로 실험하였다.

구축한 전자상거래 시스템을 대상으로 한 실험 결과, 초고속 인터넷 서비스 매체의 응답 시간은 연속적인 트랜잭션 깊이와 비트랜잭션 대 트랜잭션 비율에 크게 의존함을 관찰하였다. 즉, 망과 애플리케이션이 많은 일을 수행할 경우 수용 가능한 사용자 수가 감소하였고 반대의 경우는 수용 가능한 사용자 수가 증가하는 것을 검증하였다. Cache Server, L4 Switch 등 추가후 실험 결과, 수용 가능한 사용자 수 증가와 클라이언트 응답 시간을 상당히 감소된 것을 파악할 수 있었다.

향후 연구로서 초고속 인터넷 서비스 대상으로 측정된 결과를 가져오는 방식이 아닌 Discrete-Event Simulation 방식의 HTTP 유형에 대한 자기 유사 트래픽 실험이 필요하다. 특히, 지수분포와 Pareto 분포에 대한 트래픽 특성별 패턴, 발생하는 트래픽량의 변화, Hurst 파라미터 값의 변화에 따른 결과 비교, 사용자 수 증가에 따른 평균응답시간 비교 등의 연구가 필요할 것이다.

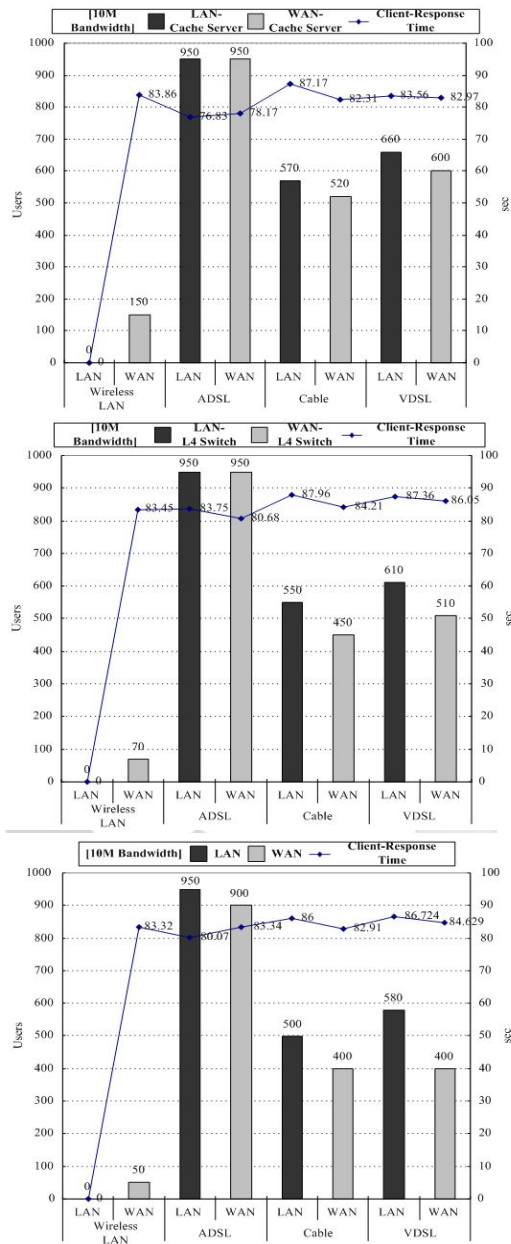
## 참고문헌

- [1] Mogule, J., "The Case for Persistent-connection HTTP", Technical Report WRL 95/4, DEC Western Research Laboratory, Palo Alto, CA, 1995.
- [2] Padmanabhan, V., Mogule, J., "Improving HTTP Latency", Computer Networks and ISDN Systems, pp.25-35, December 1995.
- [3] Rolia, J., Lin, B., "Consistency Issue in Distributed Application Performance Metrics", Proceedings of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research, October 1994.
- [4] AQUILA Consortium, "Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture", AQUILA, 2002.
- [5] Hofmann, U., Miloucheva, I., Pfeiffenberger, T., Strohmeier, F., "Evaluation of Architectures for QoS Analysis of Applications in Internet Environment", The 10th International Conference on Telecommunication Systems Modeling and Analysis Monterey, CA, USA, 2002.
- [6] Hofmann, U., Miloucheva, I., Pfeiffenberger, T., "INTERMON Complex QoS/SLA Analysis in Large Internet Environment", Proceedings of the Winter International Symposium on Information and Communication Technologies, 2004.
- [7] Baumgartner, F., Scheidegger, M., Braun, T., "Enhancing Discrete Event Network Simulators with Analytical Network Cloud Models", IPS 2003, Salzburg, Austria, pp.21-30, 2003.
- [8] Miloucheva, I., Müller, E., Anzaloni, A., "A Practical Approach to Forecast Quality of Service Parameters Considering Outliers", IPS 2003.
- [9] Vazhkudai, S., Schopf, J.M. Foster, L., "Prediction the Performance of Wide Area Data Transfer", In 16th International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2002.

- [10] D. Krishnamurthy, J. Rolia, "The Internet vs e-Commerce Servers: When will Server Performance Matter?", Proceedings of the 1998 Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research, November 1998.
- [11] OPNET, <http://www.opnet.com/>.
- [12] OPNET, "Methodologies and Case Studies", IT Guru Product Documentation Release 10.5.
- [13] OPNET, "IT Guru User Guide", IT Guru Product Documentation Release 10.5.
- [14] OPNET, "ACE User Guide", IT Guru Product Documentation Release 10.5.
- [15] 박정연, "인터넷 기반의 원격으로 서비스를 위한 네트워크 QoS 관리에 대한 연구", 컴퓨터정보학회논문지, 제7권, 제4호, 2002.
- [16] 이효진, "SLA 모니터링을 위한 QoS 파라미터와 네트워크 퍼포먼스 매트릭간의 매핑", 포항공과대학교, 석사논문, 2003.
- [17] 김용수, "2-계층과 3-계층 C/S 시스템의 응답시간 시뮬레이션", 컴퓨터정보학회논문지, 제9권, 제3호, 2004.
- [18] PIOLINK, "Cache Server Load Balancer(PnkBox10- 1016)", <http://www.piolink.com/>.
- [19] Telco System, "Layer 4 Switching", White Paper, Revision 1.0, January 2003.

INTERMON Toolkit은 시뮬레이션과 예측 기능이 존재한다. 전자의 시뮬레이션 기능은 에이전트를 통한 트래픽 소스와 링크 등에 대한 정보 수집 후 라우터를 주축으로 한 인터넷 패킷을 시뮬레이션 할 수 있다. 후자는 ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) 모델로 단기·중기·장기 예측을 목적으로 통신 네트워크 내의 QoS 파라미터와 트래픽을 예측하기 위해 사용되었다. 트래픽 예측이란 Inter-domain 망 영역에 대한 트래픽 예측으로, 잘못된 트래픽(예, 경로 실패, 오동작, 프로토콜 변형, DoS 공격, 구성 오류 등)의 과거 QoS 행동 패턴을 분석하여 향후 트래픽 QoS를 예측한다.

그림 6 수용 가능한 사용자 수  
Fig. 6 Result for Possible Capacity Users



<별첨>

표 4. 시뮬레이션 결과값  
Table 4 Simulation Result

Shopping mall(10M)																	
Category	Number of Users	CPU Utilization				Client Response Time		Throughput						Traffic Sent (bytes/sec)		Traffic Received (bytes/sec)	
		Clients		Web Server		Avg. (sec)	Max. (sec)	Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Web Server		Clients	Web server	Clients	Web server
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)			Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)						
Wireless-LAN	200	93.036	79.982	207.75	207.75	1,694,660	4,182,473	1,696,923	4,173,293	1,866,941	4,008,908	3,829	288,156	288,156	3,829		
	1000	87.832	95.240	3,321.9	3,321.9	1,757,886	5,659,522	1,757,206	5,661,336	1,921,749	5,493,464	3,089	918,904	206,994	3,088		
ADSL	200	94.055	71.558	64.512	69.476	1,702,060	3,339,613	1,704,970	3,344,164	1,870,502	3,183,038	6,774	187,634	187,634	6,774		
	1000	96.950	92.653	159.71	328.39	2,134,905	9,519,857	2,135,268	9,525,078	2,297,916	9,355,862	33,209	923,494	921,646	33,209		
Cable	200	93.460	76.162	77.405	88.423	1,711,502	4,093,462	1,717,266	4,087,044	1,880,934	3,921,268	5,814	278,001	276,753	5,814		
	1000	96.701	94.006	1,228.6	2,402.4	1,948,762	9,706,450	1,952,559	9,710,028	2,113,155	9,551,206	12,481	1,331,457	657,958	12,481		
VDSL	200	94.316	71.048	80.836	87.312	1,703,042	3,690,833	1,701,893	3,687,042	1,871,266	3,524,995	5,774	229,133	229,133	5,774		
	1000	99.098	88.607	800.1	1,486.2	2,047,713	9,747,498	2,048,372	9,746,233	2,047,354	9,744,676	22,330	1,015,209	890,201	22,330		

Shopping mall(10M)																
Category	Number of Users	Queueing Delay				Throughput						LAN Inbound Traffic		LAN Outbound Traffic		Packet Loss Rate
		Clients → Switch		Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Switch		Switch1 → Web Server		Web Server → Switch1		Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)					
Wireless-LAN	200	0.0001307	0.0013435	-	0.0013765	0.0001361	0.0014045	0.049965	0.049965	6.9217	5,331,031	1,611,330	0			
	1000	0.0001557	0.0016625	-	0.0018708	0.0001526	0.0023792	6.9217	5,331,031	1,611,330	0					
ADSL	200	0.0001890	0.0027838	-	0.0029444	0.0001719	0.0028691	0.010352	16,177,376	14,640,924	0					
	1000	0.0002600	0.0763500	-	0.1156800	0.0001800	0.0217580	22,298,022	15,076,362	0						
Cable	200	0.0001591	0.0033858	-	0.0035417	0.0001506	0.0028948	0.0111350	16,852,082	14,689,997	0					
	1000	0.0003000	0.6401000	-	1.8058000	0.0002000	0.1826000	22,480,607	14,897,467	0						
VDSL	200	0.0001649	0.0028925	-	0.0029976	0.0001571	0.0026513	0.0099285	16,510,958	14,657,434	0					
	1000	0.0003300	0.5064800	0.0001700	0.1525500	-	0.7427600	1.4097000	22,522,462	14,988,876	0					

Ticketing(10M)																				
Category	Number of Users	CPU Utilization				Client Response Time		Throughput						Traffic Sent (bytes/sec)		Traffic Received (bytes/sec)				
		Clients		Web Server		Avg. (sec)	Max. (sec)	Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Web Server		Clients	Web Server	Clients	Web Server			
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)			Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)									
W-LAN	200	94.630	65.078	62.880	57.619	59.359	1,653,162	2,176,782	1,646,633	2,174,858	1,659,011	2,183,019	1,608,298	1,764,556	4,020	49,147	156	48,838	4,167	300
	1000	96.960	81.483	74.346	58.752	67.397	1,859,466	3,820,332	1,857,301	3,819,216	1,870,244	3,844,460	1,612,043	1,780,116	20,101	244,280	778	242,769	20,852	1,494
ADSL	200	95.002	64.162	95.002	72.160	73.487	1,676,011	2,348,300	1,851,326	2,188,404	1,853,198	2,190,383	1,783,471	1,601,144	6,503	69,494	291	69,108	6,788	392
	1000	96.958	77.490	78.078	72.834	74.869	1,981,708	4,556,748	2,147,913	4,389,962	2,168,625	4,418,744	1,789,506	1,623,641	30,966	330,855	1,385	329,013	32,325	1,868
Cable	200	92.912	64.948	62.892	59.726	60.662	1,665,159	2,306,339	1,676,747	2,296,249	1,839,320	2,136,300	1,778,900	1,603,602	5,952	63,102	210	62,745	6,162	356
	1000	96.939	80.687	74.065	60.161	61.898	1,979,779	4,479,010	1,978,388	4,482,387	2,165,214	4,341,114	1,792,945	1,620,940	30,391	321,573	1,070	319,724	31,460	1,812
VDSL	200	93.552	61.887	62.807	68.303	69.563	1,673,160	2,307,378	1,670,908	2,298,455	1,840,677	2,143,960	1,764,684	1,612,014	6,006	63,764	255	63,405	6,248	360
	1000	96.956	70.747	74.084	68.993	71.802	1,986,158	4,531,754	1,983,582	4,530,465	2,172,909	4,394,411	1,790,549	1,622,890	30,978	327,963	1,316	326,102	32,245	1,955

Ticketing(10M)																
Category	Number of Users	Queueing Delay				Throughput						LAN Inbound Traffic		LAN Outbound Traffic		Packet Loss Rate
		Clients → Switch		Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Switch		Switch1 → Web Server		Web Server → Switch1		Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)					
W-LAN	200	0.0002055	0.0012270	0.0002013	0.0012792	-	0.0013169	0.015147	1,854,592	1,492,827	0					
	1000	0.0002111	0.0013114	0.0002072	0.0013894	-	0.0015849	0.036816	3,507,993	1,709,591	0					
ADSL	200	0.0002599	0.0021971	0.0002269	0.0020865	-	0.0035748	0.012356	15,136,459	14,587,234	0					
	1000	0.0002910	0.0032329	0.0002361	0.0028645	-	0.0060996	0.018795	17,335,955	14,934,088	0					
Cable	200	0.0002629	0.0017861	-	0.0020647	0.0002199	0.0023964	0.0092734	15,071,703	15,022,696	0					
	1000	0.0002964	0.0023831	-	0.0030148	0.0002275	0.0041880	0.0141550	17,252,895	14,930,053	0					
VDSL	200	0.0002527	0.0017235	-	0.0019307	0.0002177	0.0022278	0.0086751	15,019,580	14,544,909	0					
	1000	0.0002877	0.0022478	-	0.0028723	0.0002265	0.0038111	0.013153	17,316,857	14,923,702	0					

Shopping mall(100M)																	
Category	Number of Users	CPU Utilization				Client Response Time		Throughput						Traffic Sent (bytes/sec)		Traffic Received (bytes/sec)	
		Clients		Web Server		Avg. (sec)	Max. (sec)	Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Web Server		Clients	Web Server	Clients	Web Server
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)			Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Max. (bits/sec)						
Wireless-LAN	200	95.934	80.676	118.75	152.97	1,699,947	4,223,309	1,696,620	4,219,856	1,699,382	4,222,356	3,927	293,221	293,220	3,927		
	1000	86.279	93.495	1,273.7	2,105.0	1,742,042	5,489,489	1,740,692	5,492,221	1,738,937	5,490,544	3,127	917,168	205,880	3,126		
ADSL	200	95.349	71.756	61.451	61.760	1,710,343	3,408,680	1,708,509	3,404,352	1,711,980	1,708,509	7,057	195,404	195,404	7,057		
	1000	96.950	91.281	61.482	62.465	2,110,578	9,252,351	2,111,143	9,253,729	2,110,837	9,252,731	32,091	890,576	890,573	32,001		
Cable	200	92.518	76.702	71.349	72.476	1,720,551	4,206,992	1,714,469	4,205,493	1,720,647	4,204,646	6,084	291,073	291,073	6,084		
	1000	96.884	96.179	71.625	74.338	2,208,948	14,084,820	2,207,929	14,087,041	2,208,975	14,084,898	30,751	1,468,587	30,751	1,468,562		
VDSL	200	94.311	69.871	75.843	76.163	1,688,430	3,491,971	1,688,358	3,484,680	1,693,022	3,490,265	5,155	205,151	205,151	5,155		
	1000	96.929	91.479	76.140	78.489	2,125,196	11,395,457	2,124,295	11,400,492	2,124,424	11,400,394	28,834	1,147,363	1,147,357	28,834		

Shopping mall(100M)																
Category	Number of Users	Queueing Delay				Throughput						LAN Inbound Traffic		LAN Outbound Traffic		Packet Loss Rate
		Clients → Switch		Switch → Clients		Switch → Switch1		Switch1 → Switch		Switch1 → Web Server		Web Server → Switch1		Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	
		Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)	Avg. (%)	Max. (%)					
Wireless-LAN	200	0.0000870	0.00011772	-	0.00011774	0.00000869	0.00011781	0.039521	3,913,892	1,557,865	0					
	1000	0.0000746	0.00012013	0.00000745	0.00012034	-	0.00012069	3.473900	5,155,603	1,548,959	0					
ADSL	200	0.00001199	0.00011111	-	0.00011123	0.00001190	0.00011130	0.0014174	16,182,596	14,687,499	0					
	1000	0.0001210	0.0001134	0.00001192	0.00011147	-	0.00011163	0.0017684	22,041,449	15,044,523	0					
Cable	200	0.00001005	0.00011591	0.00000998	0.00011599	-	0.00011606	0.0015729	16,994,399	14,741,245	0					
	1000	0.00001015	0.00011616	0.00001002	0.00011624	-	0.00011638	0.0022555	26,853,026	15,145,896	0					
VDSL	200	0.00001061	0.00011434	-	0.00011438	0.00001057	0.00011451	0.0014736	16,286,725	14,675,965	0					
	1000	0.00001071	0.00011449	-	0.00011458	0.000011473	0.00001059	0.0020583	24,162,808	15,066,872	0					

표 5. 수용 가능한 사용자 수  
Table 5 The Number of Maximum Limit on Capacity Users

Shopping mall																				
Band-width	Category	Number of Users	CPU Utilization			Client Response Time		Throughput							Traffic Sent (bytes/sec)			Traffic Received (bytes/sec)		
			Clients Avg. (%)	Web Server Avg. (%)	DB Server Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Clients → Switch Avg. (bits/sec)	Switch → Clients Avg. (bits/sec)	Switch1 → Switch Avg. (bits/sec)	Switch → Switch1 Avg. (bits/sec)	Web Server → Switch1 Avg. (bits/sec)	Switch1 → Web Server Avg. (bits/sec)	Web Server → Switch1 Avg. (bits/sec)	Clients	Web Server	DB Server	Clients	Web Server	DB Server
10M	ADSL	950	94.238	88.779	80.07	124.73	2,019,791	7,873,338	2,023,460	7,864,891	2,142,167	7,747,732	26,323	732,745	728,837	26,323				
	Cable	500	93.742	86.392	86.00	122.00	1,873,282	7,259,701	1,874,798	7,267,262	1,874,798	7,256,906	13,415	661,339	656,338	13,415				
	VDSL	580	96.589	84.820	86.724	99.912	1,905,377	7,364,357	1,908,081	7,363,548	1,905,886	7,365,611	16,753	666,868	666,851	16,753				
100M	ADSL	5000	94.329	96.415	71.609	97.247	4,035,054	37,660,033	4,035,371	37,655,372	4,035,526	37,657,057	153,886	4,273,908	4,272,745	153,886				
	Cable	3000	94.189	96.492	81.85	112.10	3,281,935	36,032,064	3,284,700	36,026,895	3,289,003	36,032,889	84,497	4,091,237	4,086,177	84,497				
	VDSL	2600	44.005	95.846	77.064	81.370	2,845,485	24,594,439	2,848,853	24,598,736	2,847,193	24,598,624	68,266	2,724,006	2,723,890	68,266				

Shopping mall														
Band-width	Category	Number of Users	Queueing Delay					LAN			Packet Loss Rate			
			Clients → Switch Avg. (%)	Switch → Clients Avg. (%)	Switch1 → Switch Avg. (%)	Switch → Switch1 Avg. (%)	Web Server → Switch1 Avg. (%)	Delay Avg. (sec)	Inbound Traffic Avg. (bits/sec)	Outbound Traffic Avg. (bits/sec)				
10M	ADSL	950	0.000216	0.012941	0.012175	0.000178	0.010417	0.038785	20,273,134	14,560,736	0			
	Cable	500	0.000167	0.008785	0.008654	0.000146	0.010964	0.030195	19,636,032	14,384,329	0			
	VDSL	580	0.0001752	0.0060294	0.0061826	0.0001534	0.0081762	0.022481	20,123,585	14,808,979	0			
100M	ADSL	5000	0.00001250	0.00011242	0.00011265	0.00001204	0.00011306	0.030067	50,076,722	16,582,599	0			
	Cable	3000	0.00001028	0.00011670	0.00011684	0.00001002	0.00011706	0.019771	48,441,792	15,823,441	0			
	VDSL	2600	0.00001084	0.00011489	0.00011503	0.00001062	0.00011523	0.0041242	36,983,342	15,352,985	0			

Ticketing																				
Category	Number of Users	CPU Utilization			Client Response Time		Throughput							Traffic Sent (bytes/sec)			Traffic Received (bytes/sec)			
		Clients Avg. (%)	Web Server Avg. (%)	DB Server Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Clients → Switch Avg. (bits/sec)	Switch → Clients Avg. (bits/sec)	Switch1 → Switch Avg. (bits/sec)	Switch → Switch1 Avg. (bits/sec)	Web Server → Switch1 Avg. (bits/sec)	Switch1 → Web Server Avg. (bits/sec)	Web Server → Switch1 Avg. (bits/sec)	Clients	Web Server	DB Server	Clients	Web Server	DB Server	
W-LAN	1800	93.994	91.018	80.165	73.08	106.63	2,036,223	5,193,861	5,193,001	2,066,796	5,223,924	1,635,150	1,749,550	1,749,550	33,659	411,355	1,298	408,705	34,945	2,491
ADSL	2300	94.252	83.946	83.318	80.519	91.711	2,378,540	7,348,616	7,354,449	2,423,116	7,409,127	1,654,725	1,775,040	1,775,040	62,551	666,006	2,572	662,221	65,069	3,782
Cable	2900	97.084	95.014	87.420	78.08	120.36	2,666,723	9,302,150	2,671,675	2,886,536	9,210,134	1,842,386	1,656,171	1,656,171	84,436	893,537	2,975	888,397	87,409	5,039
VDSL	2800	94.142	81.504	84.545	78.569	98.253	2,536,844	8,439,978	2,537,386	2,720,096	8,381,351	1,793,459	1,654,875	1,654,875	74,689	796,072	3,147	791,384	77,812	4,454

Ticketing											
Category	Number of Users	Queueing Delay					LAN			Packet Loss Rate	
		Clients → Switch Avg. (%)	Switch → Clients Avg. (%)	Switch1 → Switch Avg. (%)	Switch → Switch1 Avg. (%)	Web Server → Switch1 Avg. (%)	Delay Avg. (sec)	Inbound Traffic Avg. (bits/sec)	Outbound Traffic Avg. (bits/sec)		
W-LAN	1800	0.0002198	0.0014083	0.0002129	0.0015210	-	0.0018806	0.195620	4,871,327	1,847,714	0
ADSL	2300	0.0003710	0.0051160	0.0002440	0.0061800	-	0.0217440	0.044906	19,766,316	14,937,985	0
Cable	2900	0.0004600	0.0234490	-	0.0649430	0.000257	0.0584950	0.159450	22,113,339	15,630,744	0
VDSL	2800	0.0004280	0.0120510	-	0.0190820	0.000247	0.0223300	0.064161	20,841,853	15,061,779	0

표 6. LAN과 Cache Server 제모형 비교 결과값  
Table 6 Comparative Results for the LAN and Cache Server

Category	Number of Users	Client Response Time(Avg.)				LAN Delay(Avg.)			
		10M (LAN)	10M (CS)	100M (LAN)	100M (CS)	10M (LAN)	10M (CS)	100M (LAN)	100M (CS)
Wireless LAN	200	207.75	104.98	118.75	105.53	0.049965	0.035206	0.039521	0.042057
ADSL	1000	3321.9	1710.6	1273.7	967.8	6.9217	7.3732	3.4739	3.4227
	200	64.512	61.033	61.451	57.634	0.010352	0.010395	0.0014174	0.0014815
Cable	1000	159.71	93.02	61.482	58.058	0.21758	0.082613	0.0017684	0.0019863
	200	77.405	68.955	71.349	62.344	0.011135	0.010408	0.0015729	0.001631
VDSL	1000	1228.6	627.9	71.625	62.225	2.6375	1.1011	0.0022555	0.0023118
	200	80.836	75.41	75.843	68.956	0.0099285	0.010015	0.0014736	0.001505
	1000	800.1	383.53	76.14	69.159	1.4097	0.60051	0.0020583	0.0020669

Category	Number of Users	Delay Zone		Queueing Delay(Avg.)		Delay Zone		Queueing Delay(Avg.)	
		10M (LAN)	10M (CS)	10M (LAN)	10M (CS)	100M (LAN)	100M (CS)	100M (LAN)	100M (CS)
Wireless LAN	1000	WS → SI	S → C	0.0023792	0.0024827	WS → SI	S → C	0.00012069	0.00012058
ADSL	1000	SI → S	S → C	0.11568	0.072497	WS → SI	CS → S	0.00011163	0.00011207
Cable	1000	WS → SI	S → C	0.1826	1.0865	WS → SI	CS → S	0.00011638	0.00011674
VDSL	1000	WS → SI	S → C	0.74276	0.59081	SI → WS	CS → S	0.00011473	0.00011511

Category	Number of Users	Throughput(Avg.)			
		10M (LAN)	10M (CS)	100M (LAN)	100M (CS)
Wireless LAN	200	S → C, 4,182,473	S → C, 3,935,194	S → C, 4,223,309	S → C, 4,117,763
ADSL	1000	SI → S, 5,661,336	S → C, 5,682,966	SI → S, 5,492,221	S → C, 5,517,637
	200	S → C, 3,339,613	S → C, 3,189,867	S → C, 3,408,680	S → C, 3,181,262
Cable	1000	SI → S, 9,525,078	S → C, 9,102,755	SI → S, 9,253,729	S → C, 9,409,767
	200	S → C, 4,093,462	S → C, 3,902,854	S → C, 4,206,992	S → C, 3,950,984
VDSL	1000	SI → S, 9,710,028	S → C, 9,487,022	SI → S, 14,087,041	S → C, 14,194,676
	200	S → C, 3,690,833	S → C, 3,538,271	S → C, 3,491,971	S → C, 3,637,808
	1000	S → C, 9,747,498	S → C, 9,512,267	SI → S, 11,400,492	S → C, 11,519,957

C: Client, WS: Web Server, S: Switch, SI: Switch1, CS: Cache Server

표 7. Cache Server 도입 후 수용 가능한 수  
Table. 7 The Number of Capacity Users after Adding a Cache Server

Category	Band-Width	Number of Users	CPU Utilization			Client Response Time		Throughput								Traffic Sent (bytes/sec)			Traffic Received (bytes/sec)		
			Clients	Web Server	Cache Server	Avg. (sec)	Max. (sec)	Clients → Switch	Switch → Clients	Switch → Switch	Switch → Web Server	Web Server → Switch	Switch → Cache Server	Cache Server → Switch	Clients	Web Server	Cache Server	Clients	Web Server	Cache Server	
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)
ADSL	10M	950	96.990	68.846	90.042	76.83	140.99	2,066,231	8,571,791	1,681,282	2,896,215	1,845,830	2,732,446	1,987,322	7,441,901	29,108	134,384	675,623	808,513	4,839	24,269
	100M	5000	97.102	89.498	91.782	70.22	103.18	4,094,682	38,540,843	2,021,701	7,933,536	2,021,404	7,931,417	3,676,463	32,380,950	157,601	733,267	3,643,184	4,373,572	26,418	131,183
Cable	10M	570	96.874	66.754	90.027	87.17	173.74	1,925,923	8,363,942	1,642,690	2,615,147	1,644,936	2,617,010	1,884,248	7,514,237	16,273	102,551	685,752	780,806	2,088	14,184
	100M	3100	97.000	89.534	91.707	76.37	133.25	3,403,371	38,314,208	1,904,830	7,904,189	1,900,284	7,901,290	3,100,276	32,180,537	90,518	735,996	3,656,823	4,330,303	15,155	75,363
VDSL	10M	660	96.955	65.874	89.922	83.56	110.67	1,910,860	7,505,519	1,652,519	2,727,415	1,820,163	2,566,841	1,862,253	6,541,205	17,179	114,854	569,186	683,151	2,858	14,321
	100M	3200	97.052	83.699	90.998	73.182	90.997	3,234,901	31,748,241	1,898,075	7,224,818	1,899,721	7,223,209	2,961,842	26,797,856	89,927	650,075	2,921,665	3,571,721	16,370	73,557

표 8. LAN과 L4 Switch 재모형 비교 결과값  
Table. 8 Comparative Results for the LAN and L4 Switch

Category	Number of Users	Client Response Time(Avg.)								LAN Delay(Avg.)			
		10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)	10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)	10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)
		Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)
Wireless LAN	200	207.75	117.35	118.75	120.84	0.049965	0.037286	0.039521	0.044926				
	1000	3321.9	1806.5	1273.7	1083.7	6.9217	6.9893	3.4739	3.3646				
ADSL	200	64.512	64.474	61.451	61.458	0.010352	0.010125	0.0014174	0.0014327				
	1000	159.71	118.82	61.482	61.487	0.21758	0.13565	0.0017684	0.001848				
Cable	200	77.405	77.173	71.349	71.355	0.011135	0.010628	0.0015729	0.0016062				
	1000	1228.6	1163.6	71.625	71.641	2.6375	2.4361	0.0022555	0.0022474				
VDSL	200	80.836	80.947	75.843	75.872	0.0099285	0.010177	0.0014736	0.0015275				
	1000	800.1	720.3	76.14	76.13	1.4097	1.2282	0.0020583	0.0020165				

Category	Number of Users	Delay Zone				Queuing Delay(Avg.)			
		10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)	10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)
		Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)
Wireless LAN	1000	WS → S1	L4 → S	0.0023792	0.0022711	WS → S1	L4 → S	0.00012069	0.00012093
ADSL	1000	S1 → S	L4 → S	0.11568	0.081576	WS → S1	L4 → S	0.00011163	0.00011148
Cable	1000	WS → S1	S → C	0.1826	2.252	WS → S1	L4 → S	0.00011638	0.00011625
VDSL	1000	WS → S1	L4 → S	0.74276	0.93216	S1 → WS	L4 → S	0.00011473	0.00011459

Category	Number of Users	Throughput(Avg.)							
		10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)	10M (LAN)	10M (L4)	100M (LAN)	100M (L4)
		Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)
Wireless LAN	200	S → C, 4,182,473	S → C, 4,175,085	S → C, 4,223,309	L4 → S, 4,334,626				
	1000	S1 → S, 5,661,336	S → C, 5,661,780	S1 → S, 5,492,221	S → C, 5,488,630				
ADSL	200	S → C, 3,339,613	S → C, 3,360,746	S → C, 3,408,680	L4 → S, 3,409,075				
	1000	S1 → S, 9,525,078	S → C, 9,409,259	S1 → S, 9,253,729	S → C, 9,332,023				
Cable	200	S → C, 4,093,462	S → C, 4,282,187	S → C, 4,206,992	L4 → S, 4,149,734				
	1000	S1 → S, 9,710,028	S → C, 9,712,430	S1 → S, 14,087,041	S → C, 13,710,224				
VDSL	200	S → C, 3,690,833	L4 → S, 3,719,238	S → C, 3,491,971	L4 → S, 3,766,125				
	1000	S → C, 9,747,498	S → C, 9,731,785	S1 → S, 11,400,492	L4 → S, 11,207,412				

C: Client, WS: Web Server, S: Switch, S1: Switch1, L4: L4 Switch

표 9. L4 Switch 도입 후 수용 가능한 수  
Table. 9 The Number of Capacity Users after Adding a L4 Switch

Category	Band-Width	Number of Users	CPU Utilization			Client Response Time		Throughput								Traffic Sent (bytes/sec)			Traffic Received (bytes/sec)		
			Clients	Web Server	Web Server2	Avg. (sec)	Max. (sec)	Clients → Switch	Switch → Clients	Switch → L4	L4 → Switch	L4 → Web Server	Web Server → L4	L4 → Web Server2	Web Server2 → L4	Clients	Web Server	Web Server2	Clients	Web Server	Web Server2
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)
ADSL	10M	950	96.964	82.004	82.335	83.75	163.70	2,080,287	8,818,653	2,082,639	8,817,830	1,839,540	5,259,448	1,846,827	5,320,893	30,162	416,556	424,118	837,054	14,960	15,202
	100M	5100	97.162	97.792	97.775	76.49	108.06	4,174,275	39,681,335	4,175,482	39,683,414	2,896,853	20,812,352	2,882,223	20,638,794	162,518	2,265,525	2,244,831	4,508,386	81,650	80,867
Cable	10M	550	93.081	77.734	78.808	87.96	136.45	1,882,374	7,406,798	2,010,586	7,276,707	1,734,472	4,445,399	1,746,489	4,699,650	13,972	326,487	355,654	672,149	6,664	7,308
	100M	2900	97.043	97.602	97.256	82.17	145.25	3,268,570	35,531,524	3,272,775	35,530,318	2,471,130	19,349,045	2,402,188	17,946,432	84,307	2,095,792	1,929,394	4,025,185	43,886	40,421
VDSL	10M	610	93.600	72.725	73.178	87.36	124.08	1,865,691	6,626,326	1,866,990	6,625,908	1,732,357	4,113,002	1,739,101	4,237,706	14,659	284,439	299,711	581,595	7,169	7,489
	100M	3000	96.971	95.110	95.216	78.096	87.291	3,164,448	30,482,601	3,167,891	30,481,982	2,378,675	16,067,528	2,384,376	16,181,859	86,019	1,703,370	1,717,187	3,420,540	42,783	43,236

표 10. WAN 재모형 결과값  
Table. 10 Result of New Model for WAN

Shopping mall [Case 1.]																								
Category	Bandwidth	Number of Users	CPU Utilization					Client Response Time		Throughput														
			C	WS	RR	LR	LR	Avg. (sec)	Max. (sec)	C → RS	RS → C	CD → LR	LR → CD	RR → CD	CD → RR	RS → RR	RR → RS	WS → LS	LS → WS	LS → LR	LR → LS			
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)		
W-LAN	10M	50	65.089	62.507	0.192	0.192	83.320	98.062	1,630,118	2,468,542	1,627,636	2,454,337	1,785,020	2,287,038	1,638,228	2,466,229	2,306,942	1,795,107	2,471,284	1,631,482	2,070,461			
ADSL		900	99.463	91.468	2.080	2.080	83.34	127.21	2,067,414	8,639,264	1,970,350	8,510,514	2,131,517	8,344,761	2,070,476	8,640,771	8,475,247	2,237,413	8,636,487	2,070,461				
Cable		400	96.824	86.109	1.293	1.293	82.91	116.69	1,827,641	6,408,776	1,771,439	6,319,401	1,935,634	6,154,771	1,827,609	6,407,232	6,241,898	1,994,689	6,407,214	1,831,175				
VDSL		400	97.051	78.721	1.056	1.056	84.629	98.738	1,801,719	5,465,622	1,753,890	5,398,497	1,915,659	5,230,932	1,798,794	5,464,965	5,304,307	1,970,420	5,471,688	1,803,522				

Shopping mall [Case 1.]																		
Category	Bandwidth	Number of Users	Traffic Sent (bytes/sec)				Traffic Received (bytes/sec)			Queueing Delay					LAN			Packet Loss Rate
			C	WS	C	WS	RS → C	LR → CD	RR → RS	LS → LR	WS → LS	Delay	Inbound Traffic	Outbound Traffic				
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)				
W-LAN	10M	50	1,425	83,544	83,544	1,425	0.0012723	0.0012838	0.0012808	0.0013268	0.0013518	0.012911	2,145,873	1,433,829	0			
ADSL		900	29,470	817,528	817,412	29,470	0.011816	0.003794	0.013381	0.015370	0.010211	0.025601	21,595,180	15,045,146	0			
Cable		400	11,530	553,171	553,159	11,530	0.0039105	0.0024800	0.0040803	0.0044258	0.0030716	0.0083155	19,367,230	14,811,377	0			
VDSL		400	11,065	442,296	440,355	11,065	0.0028377	0.0021478	0.0027336	0.0032714	0.0027897	0.0058983	18,427,827	14,771,484	0			

Shopping mall [Case 2.]																								
Category	Bandwidth	Number of Users	CPU Utilization					Client Response Time		Throughput														
			C	CS	LR	RR	WS	Avg. (sec)	Max. (sec)	C → RS	RS → C	RS → RR	RR → RS	RR → CD	CD → RR	CD → LR	LR → CD	LR → LS	LS → LR	WS → LS	RS → CS	CS → RS		
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	
W-LAN	10M	150	89.704	89.709	0.085	0.085	59.500	83.86	128.40	1,681,798	3,556,096	1,611,340	2,079,127	1,784,290	1,910,968	1,608,526	2,069,233	1,616,026	2,068,547	1,790,953	1,913,911	1,671,391	3,243,722	
ADSL		950	97.027	90.104	0.360	0.360	0.360	78.17	155.96	2,078,583	8,802,159	1,684,187	2,957,248	1,833,021	2,770,983	1,666,557	2,933,213	1,680,077	2,952,443	1,851,260	2,792,520	2,001,838	7,611,926	
Cable		520	96.942	89.938	0.346	0.346	0.346	82.31	182.98	1,885,910	7,572,216	1,660,031	3,004,090	1,808,886	2,815,158	1,646,076	2,982,828	1,658,202	3,000,846	1,823,013	2,839,381	1,826,748	6,328,955	
VDSL		600	96.695	89.914	0.274	0.274	0.274	82.97	117.66	1,913,726	7,506,414	1,661,446	2,725,656	1,807,137	2,541,509	1,643,574	2,706,688	1,658,197	2,731,855	1,810,072	2,536,649	1,864,907	6,544,566	

Shopping mall [Case 2.]																		
Category	Bandwidth	Number of Users	Traffic Sent (bytes/sec)				Traffic Received (bytes/sec)			Queueing Delay					LAN			Packet Loss Rate
			C	WS	CS	C	WS	CS	RS → C	LS → LR	WS → LS	CS → RS	RR → RS	LR → CD	Delay	Inbound Traffic	Outbound Traffic	
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	
W-LAN	10M	150	3,618	37,070	176,752	213,822	618	3,000	0.0013727	0.0013136	0.0013341	0.0014175	-	0.0012698	0.027312	3,256,873	1,529,850	0
ADSL		950	30,131	141,764	697,168	836,138	5,094	25,037	0.045948	0.001377	0.001435	0.006878	-	0.001312	0.054964	21,738,423	15,027,896	0
Cable		520	14,459	147,705	544,499	692,171	3,092	11,367	0.028167	0.001423	0.001479	0.004555	0.001368	-	0.033757	20,544,063	14,863,097	0
VDSL		600	17,199	114,526	569,578	683,216	2,877	14,322	0.015424	0.001386	0.001409	0.006033	-	0.001329	0.022654	20,426,691	14,849,424	0

Shopping mall [Case 3.]																								
Category	Bandwidth	Number of Users	CPU Utilization					Client Response Time		Throughput														
			C	WS	WS2	RR	LR	Avg. (sec)	Max. (sec)	C → RS	RS → C	CD → LR	LR → CD	RR → CD	CD → RR	RS → RR	RR → RS	L4 → LR	LR → L4	L4 → WS	WS → L4	L4 → WS2	WS2 → L4	
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Max. (sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)	Avg. (bits/sec)
W-LAN	10M	70	62.720	61.056	61.215	0.212	0.212	83.45	101.30	1,631,371	2,537,847	1,614,510	2,521,585	1,779,515	2,362,677	1,642,570	2,531,541	2,536,084	1,637,737	1,611,429	2,154,103	1,615,626	2,154,282	
ADSL		950	97.148	81.151	81.453	2.018	2.018	80.68	123.91	2,058,085	8,431,916	1,960,459	8,303,712	2,120,799	8,139,820	2,054,558	8,430,130	8,435,501	2,057,282	1,824,815	5,051,933	1,829,714	5,145,041	
Cable		450	96.834	76.634	77.381	1.385	1.385	84.21	111.72	1,847,409	6,732,851	1,784,816	6,645,911	1,946,686	6,474,050	1,846,572	6,735,968	6,734,640	1,842,296	1,721,432	4,143,140	1,728,611	4,352,405	
VDSL		510	96.749	73.694	72.611	1.343	1.343	86.05	105.16	1,857,249	6,471,274	1,795,698	6,386,196	1,960,445	6,223,572	1,855,851	6,471,225	6,475,210	1,857,208	1,734,571	4,236,832	1,722,124	4,002,432	

Shopping mall [Case 3.]																			
Category	Bandwidth	Number of Users	Traffic Sent (bytes/sec)				Traffic Received (bytes/sec)			Queueing Delay					LAN			Packet Loss Rate	
			C	WS	WS2	C	WS	WS2	RS → C	LR → CD	CD → RR	RR → RS	L4 → LR	WS → L4	WS2 → L4	Delay	Inbound Traffic		Outbound Traffic
			Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (%)	Avg. (sec)	Avg. (bits/sec)		Avg. (bits/sec)
W-LAN	10M	70	1,560	46,043	46,100	92,142	775	784	-	0.0012907	-	0.0012883	0.0013404	0.0013712	0.0013670	0.013365	2,233,835	1,467,495	0
ADSL		950	28,586	390,774	402,566	792,825	14,084	14,502	0.010668	0.003789	0.008085	0.008834	0.016262	-	-	0.019904	21,382,977	15,026,055	0
Cable		450	12,384	283,890	308,420	592,307	5,943	6,441	0.0051157	0.0028878	0.0020617	0.0050238	0.0060804	-	-	0.010470	19,698,561	14,798,120	0
VDSL		510	14,098	293,996	266,689	560,444	7,384	6,714	0.0035961	0.0025452	0.0020563	0.0037013	0.0051838	-	-	0.0076488	19,405,202	14,811,973	0

C: Clients, CD: Cloud, LR: Local Router, LS: Local Switch, RR: Remote Router, RS: Remote Switch, WS: Web Server, WS2: Web Server2, CS: Cache Server, L4: L4 Switch

## 저 자 소개



### 김 정 수

2001년~2005년 광운대학교 경영  
정보학과 (경영정보학박사)

2005년~현재 이라리온(주) New  
Project Team

<관심분야> 분산처리시스템과 응용 기  
술 분야, 시뮬레이션 분석,  
NMS etc.



### 서 상 구

1995년 KAIST 전산과 (공학박사)

1995년~1999년 현대전자 정보시스  
템 사업본부

1999년~현재 광운대학교 경영정보  
학과 부교수

<관심분야> 데이터베이스 시스템, 웹  
서비스, QoS etc.

K C I