

지능형 교통 시스템을 위한 수도권 지역에 대한 DSRC 통신망 시뮬레이션 연구*

A Simulation Study on ITS/DSRC Communication Networks
for Metropolitan Seoul area.

이희상^{***}, 김윤배^{**}, 박진수^{**}, 이성룡^{***}, 최경일^{***}

Heesang Lee, Yun Bae Kim, Jinsoo Park,
Soung Ryong Lee, Kyungil Choe

Abstract

ITS(Intelligent Transportation System) is an advanced system which can effectively handle the current transportation problems. DSRC(Dedicated Short Range Communication) is considered as a promising technology since it has the capability of two-way communication and can serves to implement various ITS services. In this paper, we study DSRC based ITS telecommunication traffic analysis and suggest an architecture and network design of telecommunication network for DSRC services. We also perform a simulation study to validate the proposed network architecture and design for Metropolitan Seoul Area with various network alternatives. In this simulation, we use actual traffic data and road characteristics from Seoul area and use our DSRC service configuration.

Key words: ITS, DSRC, Network Architecture and Design, Simulation

* 본 연구는 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

** 성균관대학교 시스템경영공학부,

*** 한국외국어대학교 산업정보시스템공학부

1. 서론

지능형 교통 시스템(Intelligent Traffic System, ITS)는 기존의 교통체계에 첨단 정보통신기술을 접목시킴으로써 교통체계의 효율성과 안정성을 재고하기 위한 새로운 교통체계이다. 이는 최근 세계 각국이 처한 교통문제를 해결할 수 있는 유력한 대안으로 떠오르고 있으며, 정부에서도 1996년에 ITS 추진 기본계획을 확정하여 추진 중에 있다[1].

현재 정부에서 추진중인 ITS 구축은 아래와 같은 5개의 대과제와 14개의 중과제로 분류하여 단계적으로 추진하고 있다[1].

<표 1> 현재 추진중인 ITS 구축과제

대과제	중과제
첨단 교통관리 분야 (Advanced Traffic Management System, ATMS)	- 실시간 교통제어 - 돌발상황 관리 - 자동교통 단속 - 자동요금 징수 - 중 차량 관리
첨단 교통정보 분야 (Advanced Travel Information System, ATIS)	- 교통정보 제공 - 종합 여행 안내 - 최적 경로 안내
첨단 대중교통 분야 (Advanced Public Transportation System, APT)	- 대중교통 서비스 - 대중교통 관리
첨단 화물운송 분야 (Commercial Vehicle Operations, CVO)	- 화물 및 화물차량 관리 - 위험물 차량 관리
첨단 차량 및 도로 분야	- 교통사고 예방 - 도로 용량 증대

ITS를 위해서 기존의 통신 기술인 무선방송(wireless broadcast), 셀룰러 통신(cellular technology), 혹은 유선 통신(land-line communications)를 이용할 수 있으나, 이러한 방법들은 위의 서비스 모두를 충족시키기에는 각기 취약점을 갖고 있다[10, 12, 14]. 예를 들어 셀룰러 방식의 CDPD(Cellular Digital Packet Data) 등은 일대일 통신에 대한 수요와 함께 방송형 통신 수요

및 제어형 통신 서비스가 혼재한 ITS 통신 서비스의 특성에 대해 유연하지 못하며, 특히 핸드 오버(hand over) 처리 등으로 고가의 단말기나 망 설비가 필요한 등의 약점이 제기되어 왔다.

한편 RDS(Radio Data System)는 기존 FM 주파수와 통신 기술을 통해 가능하고 기존의 설비를 이용할 수 있는 장점이 있어 한동안 유력한 ITS 통신기술로 인식되어 왔으나 방송국간의 간섭 현상이 있고 무엇보다도 단방향 통신이라는 문제점이 있다. 특히 RDS 등이 사용하는 방송형 기술을 이용한 통신 방법은 일반적으로 광범위한 지역에 걸친 일반적인 정보를 전달하는데 목적이 있으므로 지역적이거나 빠르게 변화하는 상황에서는 ITS 관련 정보를 전달하기에는 부적합하다.

따라서 단거리 전용통신(DSRC: Dedicated Short Range Communication)이 ITS를 위한 많은 서비스에 새로운 통신 대안으로 떠오르고 있다[8, 9]. 1세대 DSRC 통신은 Bosch, Combitec, Cegelec 등의 통신 단말기 회사에서 차량 장착용 전파송수신기(transponder)와 전용 노변 전파 발수신기(beacon) 사이에 적외선 또는 902 - 928 MHz 주파수대를 주로 사용한 근거리 통신으로 출발하여 초기에는 AVI (자동 차량 인식 시스템), ETC (통행요금 자동 징수 시스템)에 널리 쓰여왔다. 이에 비교하여, 차세대 DSRC는 (채널의 효율적 재사용을 위해) 주파수 전달거리를 매우 작게 하고 빨리 사라지는 5GHz대의 마이크로파의 주파수 특성을 사용하여 작은 전력으로 짧은 지역(가시 거리상 100미터 이내)에 전송 가능하면서 모든 기후 조건에 같은 성능을 내는 것을 목표로 개발이 진행되고 있다[9]. 따라서 차세대 DSRC는 최근의 ITS 통신의 다양한 기능을 위해 광대역 서비스의 수용이 가능하고 향후 ITS 이동단말-기지국 간의 중요한 통신 인프라가 될 전망이다[8, 9, 11].

DSRC는 다른 통신 방식에 비교하여, 상대적으로 한정된 지역에서 빠르게 교환되어야만 하는 시간에 민감한 정보를 전달하기에 적합한 통신 방법이다. 예를 들어 DSRC는 고속으로 주행 중인 차량에게 도로면의 조건이라든가 도로에서 발

생한 위험상황 등 특정 지역에 국한된 정보를 노변 기지국을 통해 신속하게 전달함으로써 운전자의 안전을 도모한다. 이러한 DSRC는 기존의 ITS 용 단방향 통신 방법과는 달리 양방향 통신이 가능하므로 도로 이용자에게 필요한 각종 정보를 실시간으로 수집하고 처리하여 이용자에게 적절히 제공할 수 있다. 또한 저출력의 무선통신이므로 DSRC는 단말기의 가격이 저가인 장점을 갖는다. 따라서 DSRC는 ITS의 서비스 중 대부분의 서비스에 다양하게 적용될 수 있는 방법으로 각광 받고 있으며[3, 9, 13], 효과적인 ITS의 구축과 빠른 확산을 위해 필수적인 기술로 간주되고 있다.

본 연구는 ITS의 관련기술 중 핵심기술인 단거리 전용통신 망을 통한 ITS 서비스 제공을 위해 수도권 지역에 대한 노변기지국과 지역서버간, 지역서버와 광역서버간의 망구조를 설계하고, 설계한 망구조에 대한 서비스별 트래픽을 산출하여 이를 기초로 시뮬레이션을 수행하여 설계에 대한 검증을 수행하고자 한다.

2. DSRC ITS 서비스 및 트래픽 분석

ITS 서비스는 서비스 방식에 따라 방송형, 수집형, 인증형으로 나누어지고 트래픽의 발생간격에 따라 버스트형과 주기형으로 분류된다. 통신 트래픽의 발생은 수집형 서비스는 차량에 탑재한 단말기의 통신 인터페이스인 OBU(On Board Unit)에서 서비스 트래픽을 발생시키며 방송형 서비스들은 지역(광역)서버에서 서비스 트래픽을 발생시킨다. 인증형 서비스의 경우 OBU에서 서비스 트래픽을 발생시키고 서버에서 응답하는 트래픽이 발생된다.

버스트형 서비스들은 인증형인 경우 지역의 실제 차량 트래픽에 따른 차량의 도착율과 서비스 가입율, 각 서비스들의 요청확률에 따라 각 서비스 트래픽의 도착간격이 결정된다. 주기형 서비스는 보통 확률적이 아닌 일정한 시간간격마다 서비스 트래픽이 발생된다.

본 연구에서는 우리 나라가 추진 중인 1차

ITS 사업 서비스 중 DSRC에 적합한 서비스들의 서비스 방식과 특징을 다음처럼 정리하였다.

<표 2> 예상 ITS 서비스와 특성

	서비스	서비스 방식	발생간격	광역서버
ATMS	사고정보	수집/방송	주기	경유 없음
	전자번호판	수집	버스트	경유
	교통정보 수집	수집	주기	경유
	터널정보 안내	방송	주기	경유 없음
	우회도로 안내	방송	주기	경유 없음
	범죄차량 검지	수집	버스트	경유
ATIS	교통정보 제공	인증/방송	주기	부분 경유
	여행정보 제공	인증	버스트	부분 경유
	경로안내	인증	버스트	부분 경유
	운전자 정보	인증	버스트	부분 경유
APT	버스 정보	방송	주기	경유 없음
CVO	운행 기록 송신	수집	버스트	부분 경유

[3]에서 98년에 수행한 ITS 사업타당성 분석에 따르면 설문조사 결과 14.8%가 DSRC 단말기를 구입하여 서비스에 가입하겠다고 응답하였고, 57.1%가 고려해 보겠다는 응답을 하였다. 이것을 기초로 시뮬레이션을 수행하기 위해 고려중인 소비자의 실제 구입비율을 감안하여 전체 실제 가입율을 추정하면 다음과 같다. 우선 DSRC 단말기 구입을 고려하겠다고 한 응답자들 중 25%가 단말기를 구입한다면 DSRC 기반의 ITS 서비스에 대한 소비자 가입율은 $14.8 + 57.1 \times 0.25 = 29.1\%$ 가 된다. 따라서 이 경우 전체 차량 중 DSRC 가입확률을 0.291로 가정한다. 다음 <표 3>은 DSRC 단말기의 구입을 고려중인 응답자의 실제 구입비율에 따른 소비자 전체 가입율이다.

<표 3> 응답자 가입비율에 따른 소비자 가입율

구입비율	25%	50%	75%	100%
가입율	0.291	0.434	0.576	0.719

<표 2>의 서비스 중에서 DSRC 기반의 ITS 서비스의 일반 가입자 모두에게 기본으로 제공되는 서비스는 ATMS 서비스 전체, ATIS 중 교통 정보 제공, APT 중 버스정보 등이다. [3]의 ITS 사업타당성 시장 조사 자료로 부터 가입자 중 부가 서비스별 가입율을 추정하면 경로안내 서비스가 0.927, 여행정보 서비스가 0.313, 운전자 정보 서비스가 0.834 등이다. 이러한 서비스별 가입율은 시물레이션에서 각 서비스별 트래픽 발생에 사용된다.

3. DSRC 네트워크 구조

3.1 구조 설계 방법론

일반적인 통신망의 구조 정립과 설계에는 시스템 설계 방법론 중 보통 탑-다운(top down) 방식을 사용하는 것이 일반적이다. 이는 1) 사용자 및 서비스 정의와 이를 통한 사업 목적, 기술 목표를 설계하고, 2) 이의 달성을 위해 논리적 네트워크를 먼저 구조 정립 또는 설계한 후, 3) 구체적인 물리적 네트워크를 구조 정립 또는 설계하는 방법론이다. 통신망의 정성적인 구조 정립이 아닌 구체적인 설계를 추가하기 위해서는 4) 네트워크의 실험 설계, 시물레이션 및 최적화의 단계가 추가된다. 따라서 본 연구도 이와 같은 방법론을 따라 연구 절차를 단계적으로 수행하였다. 그러나 본 논문의 중심 주제가 시물레이션이므로 본 논문의 3, 4절에서는 이같은 방법론의 적용 결과 중 시물레이션의 이해를 위해 필요한 부분을 중심으로 간략히 서술하기로 한다.

3.2 ITS DSRC 망 구조 요소

(1) 시스템 요구 사항

DSRC 기반 ITS 사업의 시스템 요구 사항은 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> DSRC 기반 ITS 시스템 요구 사항

시스템 요소	기능 요구 사항
단말기	<ul style="list-style-type: none"> - 노변기지국과 양방향 다중 통신(최대 1Mbps 속도) - 음성 인식 및 text to speech 기능: 선택 사양 - 앞 유리 투영 기능: 선택 사양 - 전자 나침반 기능
차내 접속 장치 (OBU)	<ul style="list-style-type: none"> - 차체 탈착 불가 - 다양한 차량 단말과 통신 I/F - DSRC 셀 진입시 고유 ID 송신 기능 - 차량 단말과 서버 사이 투명하게 연결 - 다수의 기지국 접속 기능 (허브 기능) - 유선망(모뎀/ADSL/T1) 정합 기능 - 실시간 대규모 컴퓨터 망 연동 기능 - 기지국 운용 현황 모니터 기능 - 인터넷 망 접속 기능
노변 기지국 (RSU)	<ul style="list-style-type: none"> - 5.8GHz 대역 송수신 장치 - 무게 및 크기: 가로등에 부착 가능 - 모듈라 구조: 향후 system upgrade 용이 - LOS에서 최대 100m 통신 거리 (BER<10⁻⁵) - 통신을 지원하는 차량 최고 속도 : 150km/h - 교통 정보 반복 전송을 위한 메모리 내장 - 자가 진단 및 보고 기능 - 유선망(모뎀/ADSL/T1) 정합 기능
서버	<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 서비스 제공 기능 - 다수의 기지국 접속 기능 (허브 기능) - 유선망(ADSL/T1/ATM) 정합 가능 - 실시간 대규모 컴퓨터 망 연동 기능 - 기지국 운용 현황 모니터 기능 - 인터넷 망 접속 기능

(2) 연구 대상의 기능 구조

한국의 ITS 기본추진계획은 전국을 5대 권역으로 구분하여 권역별 ITS 시스템을 구축하는 기본 골격으로 하고 있다[1]. 따라서 DSRC 기반의 ITS 시스템 또한 권역별 구축계획에 대응하도록 추진되어야 한다. 본 연구의 대상인 1단계 사업은 수도권으로 그 지역 범위가 제한되므로 광역 ITS 서버가 5개 중 하나만 필요하므로 광역서버로 한정되며 복수개의 광역서버 상호간 네트워크는 고려할 필요가 없다고 가정하였다. 한편 ITS 전반의 계층적 구조 아래에서 한 사업자의 서비스 및 네트워크 구조는 사업권 획득이나 사업 전략 또는 통신 인프라 제공 전략에 따라 큰 차이를 보일 것이다. 본 연구의 대상인 통신망은 가장 포괄적인 OBU-노변기지국-지역서버-광역서버를 모두 관장하는 통신망을 가정하였다.

(3) 기존 서비스 및 네트워크 활용

ITS 망의 논리적 구조 설계시 기존 교통 정보 네트워크, 기존 국내의 네트워크와의 호환성 및 연동성을 고려하여야 한다. 기존 교통 정보 시스템에 관련한 통신 네트워크는 700 전화 및 이동 통신을 사용한 교통정보망과 신호등 등의 제어 통신이 있다. 그러나 이 중 700 전화 및 이동 통신 교통정보 제공 서비스는 DSRC 기반 ITS 서비스와는 경쟁 및 대체적인 성격의 서비스이지만 현재 국내 서비스의 보급 정도와 DSRC 서비스 제공시 경쟁력 열세 등을 고려하면 미국의 CVO 중심의 1세대 DSRC 서비스(915MHz)이나 일본의 VICS 등의 교통정보서비스와는 달리 후향적(backward) 호환이나 연동을 크게 고려하지 않아도 될 것이다. 기존의 통신호 제어 서비스 등은 현재 전용회선을 이용하는 경우가 일반적이지만 1단계 DSRC 서비스 제공 범위에는 포함되지 않아, 본 연구의 수도권 ITS 통신망 구조 정립에는 포함되지 않았다. 향후 2단계 서비스 분야로 고려될 때는 ITS 분야 중 첨단교통관리 분야(교통제어 시스템, 돌발관리 시스템, 요금자동징수 시스템, 중차량관리 시스템, 자동단속 시스템)에 같이 수용될 계획이다.

(4) 논리적 계층 구조 및 topology 설계

앞서 살펴본 서비스 분석과 시스템 구조를 살펴보면 DSRC 기반의 ITS 통신망은 크게 무선 가입자망과 유선 전달망으로 구분할 수 있다. 무선 가입자망은 OBU에서 5.8GHz대 DSRC 무선을 통한 DSRC 노변기지국까지의 무선망이며 유선 전달망은 노변기지국에서 지역서버를 거쳐 광역 서버까지의 유선 통신망으로 구성된다. 유선 전달망 중 노변기지국에서 지역서버까지를 access 전달망, 지역서버에서 광역서버까지를 distribution 전달망으로 구분하였으며 이 두 계층의 전달망에 사용하는 통신 방식이나 프로토콜은 다를 수 있으므로 시뮬레이션에서도 서로 다른 통신망 대안도 검토하였다.

3.3 무선 가입자망

무선 가입자망은 단거리 전용 통신을 사용 노변 통신 장치가 정지 또는 주행 중인 차량의 OBU에 대해 정보의 수집과 전송을 제공한다. 무선 가입자망은 복수 개의 OBU에서 하나의 노변기지국(Road Side Unit, RSU)로 전파를 송수신하는 스타형 토폴로지를 갖는다. 무선 가입자망의 논리적, 물리적 설계시 DSRC의 특수한 환경, 즉 도로변과 차간 통신에 있어서 셀의 크기가 반경 100미터 이내로 짧으며 대부분의 경우 가시선(LOS: Line Of Sight) 링크인 것을 고려하여 가입자망을 설계하여야 한다. ITS 노변기지국-차량단말기 간의 프로토콜 표준화 현황은 노변기지국에서 단거리에 있는 자동차의 차량단말기와의 무선 직접 연결이므로 OSI 중간 layer를 갖지 않고 layers 1, 2, 7만을 표준화하고 있다[10, 13]. 무선 가입자망은 DSRC의 무선 물리적 규격에 따라 달라지므로 본 연구의 시뮬레이션은 국내 DSRC 무선 표준 후보 중 하나인 [5]의 DSRC 규격을 고려하였다.

전체적인 ITS 프로토콜 개발 방향이 기능의 많은 부분을 노변기지국에 할당하여 차량단말기의 저렴화를 유도하여 많은 가입자를 유치하고자 하고 있다. 따라서 DSRC 기반 ITS 통신망에서 서버와-노변기지국의 통신 부하가(단말기가 기능이 많은 경우 보다) 상대적으로 많은 통신 트래픽을 발생시킨다. 본 연구에서는 시뮬레이션시 노변기지국에서의 트래픽 발생에 [5]의 구체적인 무선 프로토콜 규격을 참조하여 이를 충분히 고려하였다.

3.4 유선 전달망

유선 전달망을 이루는 구성 네트워크는 접속(access) 전달망과 분배(distribution) 전달망의 전형적인 2계층 망이고 각 계층의 논리적 구성은 각각 허브-스타, 허브-스타의 구조이다. 한편 노변기지국-서버간의 전달망인 access 전달망의 논리적 설계에 개개의 서비스 종류를 위해 모든 서비스가 전용 채널을 할당받기보다는 채널 grouping

을 적절히 사용하여 채널의 효율적 사용이 가능하도록 통신망 구조가 설계될 수 있다[8]. 그러나 본 연구의 구조 설계와 시뮬레이션을 통한 성능 분석에 이를 포함하기에는 국내 무선 프로토콜 및 OBU와 DSRC 노변기지국간의 무선 구조 설계와 서비스 시나리오가 아직 완성되지 않았으므로 이는 향후 네트워크 엔지니어링 과제로 남겨두고 시뮬레이션에서는 모든 서비스가 채널 grouping이 없다고 가정하였다.

3.5 DSRC 유선 전달망 물리적 대안

ITS의 유선통신망 부분에 사용 가능하여 시뮬레이션에서 검토되는 대안은 다음과 같다.

(1) 모델

현재 저속 데이터 통신에 널리 이용되는 56Kbps 모델을 이용하며 노변기지국과 지역서버 사이의 통신망으로 적합하다. 문자위주의 서비스에 적합하며 현재 국내의 공중망을 그대로 활용할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 이때 모델은 디지털-아날로그 변환 등은 수행하지만 dial-up 기능은 필요 없이 항상 연결 되어있는 것으로 가정한다.

(2) ADSL

이 방식은 최대 8MB의 하향속도와 2MB의 상향속도를 가지는 ADSL을 이용하는 방식으로 현재 각 통신 사업자들이 초고속 인터넷 가입자망으로 구축중인 ADSL망을 이용하는 장점이 있으며 교환모드로 ATM25나 ATM/PPP를 이용하게 된다. 그러나 이 방식은 교환기(전화국)에서 일정거리 이상이 되면 속도의 보장이 힘들다는 단점을 가지고 있다. 또한 실제 복수 가입자 서비스에서 이론적인 속도가 아닌 평균 56Kbps의 상향속도와 25kbps의 하향속도를 보이므로 이를 시뮬레이션에서 반영하였다.

(3) T1 전용선

T1은 1.544Mbps급의 전용 통신방법이다. 이는 비용상 노변기지국과 지역서버 사이의 통신망

보다는 지역서버와 광역서버, 광역서버와 광역서버 사이의 통신망으로 적합할 것으로 예상된다.

(4) ATM

ATM은 53byte의 작고 고정된 크기의 셀을 이용하는 비동기식 전달방식이다. ATM은 다양한 통신서비스와 멀티미디어 응용의 증대에 대비하여 가장 포괄적이고 통합적인 망구조로 제안되었으며 Virtual Path(VP), Virtual Channel(VC)을 사용하여 효율적인 네트워크 구성을 도모하고 있다. 특히 52Mbps~2.5Gbps 범위 내에서는 물리적 전송속도의 제한만 받는 사용자 대역을 제공할 수 있으므로 대역폭 측면에서는 ITS 통신망의 구성에서 현재 구상중인 대부분의 서비스를 수용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 52Mbps 물리적 전송속도의 ATM 영구(permanent) VC접속을 가정하였다.

4. 수도권지역 DSRC망 구조 설계

4.1 필요 노변 기지국 수 산정

DSRC를 이용한 ITS 전용통신망은 도로를 따라 노변기지국을 일정한 간격으로 설치하여 구축하므로 설치대상지역 도로의 총연장 길이와 노변기지국의 수 사이에 밀접한 관련이 있다. ITS 통신망의 교통정보 수집과 분배는 최대 4분간 교통정보를 수집하고 1분간의 처리시간을 거쳐 5분 간격으로 교통정보가 갱신된다[4]. 이러한 목적을

<표 5> 노변기지국 배치 기준

구분	노변기지국 간격	정보수집간격
도시지역	교차점(평균700m) 및 400m간격	126초 (700m ÷ 20km/h)
서울통과 외곽도로	2km간격	180초 (2km ÷ 40km/h)
서울통과 일반국도	3km간격	180초 (3km ÷ 60km/h)
서울통과 고속도로	5km간격	225초 (5km ÷ 80km/h)

만족시키기 위한 우리가 제안하는 노변기지국의 배치기준은 <표 5>와 같다.

이를 사용하여 서울시내와 서울에 인접한 주요 도시들에 대한 필요 기지국 수를 산정하면 다음 <표 6>과 같다.

<표 6> 수도권 기지국 수 산정

구분	도로거리	소요기지국 수
서울	4차선 이상 (방사선도로, 순환도로, 강변도로) : 420km 자동차전용도로 : 200km	1550개 시경계 : 150개
과천	4차선 이상 일반시도 19km	40개
남양주	고속도로 : 1.7km 국도 : 85.8	30개
광명	고속도로 : 6km 주요시도 : 39km	80~100개
군포	고속도로 : 8km 일반도로 : 10km 주요시도 : 100km	50개
부천	주요도로 : 50km	30개
기타	그 밖의 중소도시	850~1250개
계		2800~3200개

4.2 광역서버와 지역서버 기능분담 및 구성요소

DSRC-ITS망의 효율적인 구성을 위하여 광역서버와 지역서버의 역할이 확실하게 결정되어야 한다. 광역서버와 지역서버가 담당하는 서비스는 <표 2>에 나타난 바 있다. 광역서버가 담당하는 서비스는 ATMS의 교통정보 수집, 전자번호판, 범죄차량 검지 등이다. ATIS의 모든 서비스는 인증형 서비스로 일부는 광역서버로 전송되고 일부는 지역서버에서 처리가 가능하다. 또한 차량이 노변기지국의 서비스 가능 영역에 진입한 시점에서 발생하는 가입자인지를 확인하는 인증패킷은 모두 서버로 전송되어 진짜 가입되어 있는지를 확인하는 인증을 받아야 하기 때문에 광역서버(또는 지역서버)의 기능에 가입자 인증 확인 기능이 포함되어야 한다.

CVO의 운행자 기록 송신 서비스를 비롯한 수집형 서비스는 일부 광역서버로 전송되어야 하는 것이 존재하지만 대부분 지역서버에서 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 지역서버의 정보를 수정하거나 제어해 줄 필요가 있는 경우 광역서버가 버스트적 또는 주기적으로 지역서버에 데이터를 전송해 주어야 하며 광역서버의 데이터베이스를 업데이트하기 위하여 주기적으로 지역서버에서 광역서버로 데이터를 전송해야 하는 경우가 있다. 이 경우는 서버간의 주기적인 유지보수 통신으로 처리가 가능하며, 이는 혼잡시간대가 아닌 시간대에 수행되므로 혼잡시간대를 분석하는 본 연구의 시뮬레이션에는 포함하지 않는다.

5. DSRC망 구조 설계 시뮬레이션

DSRC망의 유선 통신망 구성 후보로는 모뎀, ADSL, T1, ATM 등을 고려하였다. 기존의 연구 [4]에서는 노변기지국-지역서버, 서버-서버간의 통신방식으로 동일한 방식을 이용하였으며, N-ISDN, T1, ATM만을 고려하였고, 한 가지 크기의 패킷만으로 망의 성능을 분석하였다. [4]는 특히 randomness 가 결여된 확정적 이벤트를 발생시키는 시뮬레이션 방법을 사용하였다는 점이 문제점으로 분석된다. 본 연구에서는 노변기지국-지역서버간 통신방식과 서버-서버간 통신망 구성이 다른 경우도 포함하고, 다양한 크기의 패킷들이 혼합되어 들어오는 망에 대해 확률적 이벤트 시뮬레이션을 통한 성능분석 및 검증은 수행하였다.

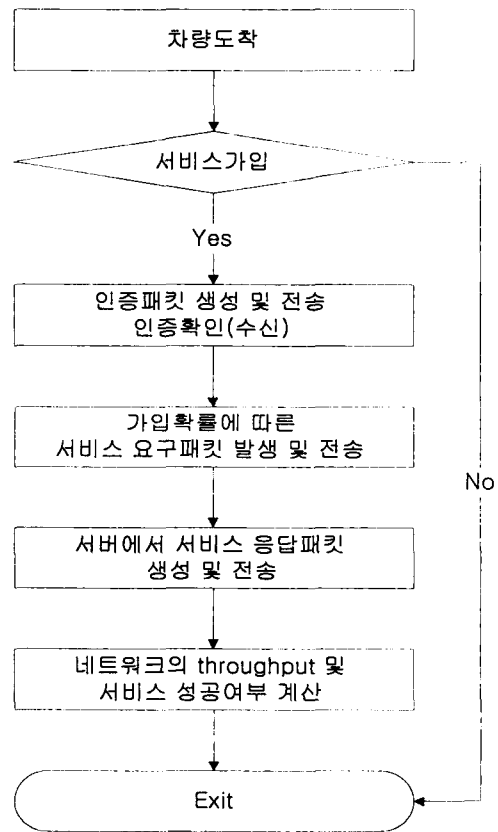
5.1 시뮬레이션 모델링

본 연구에서는 시뮬레이션 도구로 OPNET MODELER를 이용하였다. OPNET MODELER는 통신망 시뮬레이션을 위한 전용 도구로서, 현재 각 중요 통신 시뮬레이션에서 이용하고 있다. 또한 계층적인 모델링 방법을 사용하기 때문에 본 연구를 위한 시뮬레이션을 수행하는 데 있어 아주 적합한 MODELER라 할 수 있다.

시물레이션에서 수도권 3000개의 노변기지국 지역 전체를 시물레이션 하는 것은 불가능하므로 하나의 지역서버가 관장하는 범위를 시물레이션의 노변기지국 범위로 한다. 시물레이션에서 광역서버는 지역서버와 1대 1로 접속되어 있고 시물레이션 모델에는 지역서버가 하나만 표현되어 있지만, 광역서버의 서버 처리 속도와 통신 속도는 시분할을 통해 광역서버 하나를 복수의 지역서버가 공유하고 있는 현실을 반영하였다. 서울 및 수도권 지역의 ITS 서비스를 제공하기 위하여 노변기지국이 필요한 3,000여개 모든 지역의 트래픽을 수집하는 것은 불가능하므로 몇 개의 중요 지점의 실제 트래픽을 수집하고 이보다 많은 지역의 트래픽이 필요하다면 같은 확률 분포를 사용하였다.

시물레이션 모델에서 실제로 트래픽을 발생시키는 소스는 서비스에 가입한 차량에 장착된 OBU이다. 따라서 시물레이션 모델의 개체(entity)로 차량의 OBU를 고려한다. 차량의 도착을 나타내는 패킷이 하나 도착하면 가입확률 p 로 가입자 인증패킷을 발생시키고 $1-p$ 로 교차로의 노변기지국 영역에 단순히 대기하게 된다(노변기지국 영역내에 들어올 수 있는 차량의 수는 한정되어 있기 때문에 서비스에 가입하지 않은 차들도 도착간격에 영향을 미치게 된다). 차량이 발생시킨 가입자 인증패킷은 OBU-노변기지국-지역-서버-광역서버-지역서버-노변기지국-OBU의 경로를 거치게 된다. 이러한 가입자 인증패킷이 OBU로 도착하면 차량의 OBU는 다시 서비스 요청 패킷을 발생시킨다. <표 2>의 서비스 중 기본 서비스에 해당하는 1개의 서비스 요청패킷과 3개의 수집형 패킷을 기본적으로 발생시키고 나머지 3개의 부가서비스인 인증형 서비스(경로안내, 여행정보, 운전자정보)는 각각의 가입확률 p_1, p_2, p_3 에 따라 발생(정보량을 고려하여 40 byte로 설정)시킨다. 이렇게 발생된 패킷은 서비스의 특성에 따라 "OBU-노변기지국-지역서버"의 경로로 전송되거나 "OBU-노변기지국-지역서버-광역서버"의 경로로 전송된다. 서버에서는 전송받은 패킷들을 패킷 큐에 쌓아놓고 선입선출

(FCFS: First Come First Served)로 서비스하게 된다. 서버가 전송받은 패킷의 서비스를 끝내면 받은 패킷은 없어지고 다시 이 패킷에 대한 서비스 응답패킷이 발생하게 된다. 서비스 응답패킷은 정보량의 크기에 따라 10~100kbyte의 크기로 발생하고 "지역서버-노변기지국-OBU"나 "광역서버-지역서버-노변기지국-OBU"의 경로로 전송된다. 이 과정을 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 시물레이션 수행과정

(1) 개체 모델

시물레이션 모델에 있어서 개체(entity)는 차에 대응하는 개체와, 통신용 패킷에 대응하는 개체로 분류하였다.

차 개체는 크기가 없는 패킷으로 모델링한다.

이 패킷을 car packet이라 정의하자. 이 패킷은 발생시간, 자신이 발생한 지점, 서비스 가입여부, 시스템에 머무는 시간 등의 정보를 포함한다. car packet의 발생시간은 서비스가 성공적으로 완료되었는가를 조사하기 위한 것이며 발생 지점은 처리된 서비스를 되돌려 받기 위해 필요하다.

DSRC 통신용 패킷은 data packet이라 정의하고, 발생 지점, 광역서버 경유, 서비스 유형(인증, 수집, 방송) 등의 정보를 포함한다. car packet에 의해 발생한 data packet은 car packet으로부터 발생시간, 발생지점 등을 전수 받는다. 그리고 서비스별로 주어진 확률로 광역서버 경유 유무를 판정한다.

car packet은 OPNET에서 구현한 시뮬레이션 모델내의 노변기지국 모듈에서 생성되며, data packet은 노변기지국 모듈, 지역서버 모듈, 광역서버 모듈에서 발생한다.

(2) car packet 발생 및 노변기지국 모듈

실제적으로 entity인 차의 발생을 car packet 발생으로 모델링 하였으므로 car packet 발생과 노변기지국 모듈은 하나의 모듈로 묶여진다. 이 모듈 내부에 각 차 패킷의 발생과 무선 회선 점유 그리고 지역서버 모듈로의 연결 등이 구현되어 있다.

차의 발생에 있어서 각 4거리의 좌회전, 우회전, 직진에 대한 발생을 분리하여 모델링하였다. 발생된 car packet에 대하여 먼저 DSRC 서비스 가입 여부를 조사하게 된다. DSRC ITS 서비스에 가입하였다면 광역서버에 인증 data packet을 발생시켜 인증을 요구한다. 광역서버에서 인증 data packet이 돌아오면, 이 때 시스템에 대응하는 car packet이 머물러 있는지를 확인한 후, 아직 시스템에 머물러 있다면 이로부터 서비스 요청 data packet을 발생시키며 시스템을 떠난 경우에는 요청한 서비스의 실패로 간주하게 된다. 서비스 요청 data packet 발생 후 처리된 data packet이 되돌아오면 역시 대응하는 car packet이 시스템에 아직 존재하는지를 조사한다. car packet이 시스템을 떠났다면 요청한 서비스는 실패한 것이

고 아직 머물러 있다면 성공한 것이다.

(3) 서버 모듈

지역서버는 data packet을 받으면 이 패킷이 어떤 서비스 유형이며, 서비스를 받아야할 서버가 지역서버인지 광역서버인지를 판단하여 광역서버로 가는 것은 바로 광역서버로 보내게 되며, 지역서버의 서비스를 요청하는 것은 서비스를 실행한 후 요청한 지점으로 처리된 data packet을 되돌려 보낸다.

광역서버는 요청 data packet이 도달하면 이를 처리한 후, 처리된 data packet을 지역서버를 거쳐 요청한 지점으로 되돌려 보낸다.

(4) 링크 모듈

실제 시스템에서 고려해야하는 네트워크 링크는 모뎀, ADSL, T1, ATM로 구분된다. OPNET 모델에서는 ATM 링크 모듈만 기본으로 지원하지만 실제 필요한 것은 패킷의 전송속도와 단방향인지 양방향인지에 관한 것이므로 본 시뮬레이션 모델에서는 "its_link"라는 단·양방향을 지원하는 새로운 링크 모듈을 생성하여 이용하였다. 시뮬레이션을 수행할 때 방향성을 고려하고, 전송속도를 정하면 위의 네 가지 링크 모듈을 모두 생성시킬 수 있다. 링크 별 방향성과 전송속도는 <표 7>에 정의된다.

<표 7> 각 링크의 특성과 링크속도

	ADSL	ATM	ISDN	T1
방향성	단방향	양방향	양방향	양방향
전송속도	4 Mbps	52 Mbps	128 Kbps	1.544 Mbps

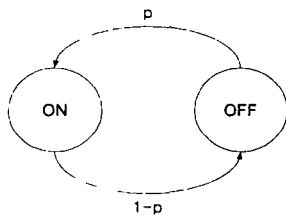
5.2 시뮬레이션 대상 시스템의 환경

본 연구에서는 DSRC망 통신방식의 성능을 검증하기 위하여 수도권 중 가장 DSRC 수요가 크고 교통 혼잡도가 클 서울의 강남구 지역을 대상으로 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 이 지역

은 대상지역인 수도권 중에서도 교통량이 가장 많은 지역이며 시간으로는 가장 혼잡한 퇴근시간(17:30~19:30)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 차량의 도착은 우회전차량, 직진차량, 좌회전차량(좌회전신호 존재시)을 각각 생성하였으며 입력값에 따라 각각의 도착차량이 발생한다.

DSRC망 설계/검증 및 성능분석을 위한 시뮬레이션 모델의 입력값은 ①차량의 도착간격 분포, ②서비스 가입율, ③노변기지국 영역에 진입 가능한 최대 차량의 수, ④차량이 노변기지국 영역에 들어와서 빠져나가는 데 까지 걸리는 시간, ⑤각 서비스별 발생확률, ⑥패킷의 크기, ⑦서비스 성공을 결정하는 기준시간 등이다.

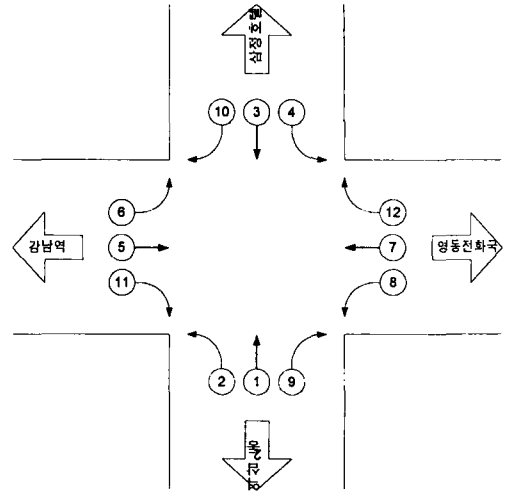
차량의 도착간격은 본 연구에서는 일정시간 간격(15분)내에서는 지수분포를 이용하였다. 교통량이 시뮬레이션 대상 시간대 전체로 일정한 것이 아니기 때문에 본 연구에서는 도착율이 15분마다 변화되는 비정상 포아송 과정(NHPP: Non-Homogeneous Poisson Process)을 이용하여 노변기지국 서비스 영역으로의 차량도착 과정을 모델링하였다. 이렇게 비정상 포아송 과정으로 도착한 차량은 서비스 가입율(p)에 따라 가입자 인증패킷을 발생시키게 되며 따라서 차량 하나 하나가 베르누이 과정(Bernoulli process)을 생성하게 된다<그림 2>.



<그림 2> 차량도착에 의한 베르누이 과정

시뮬레이션 대상시스템에 대한 차량의 실제 도착율(대/초)은 98년 7월 27일 경찰청의 자료 [2]를 사용하였고 측정 지역은 다음과 같다.

① 역삼역 사거리: 역삼역 사거리의 진행방향은 <그림 3>과 같고, <그림 3>의 퇴근시간대 진행방향 번호별 도착율은 <표 8>과 같다.



<그림 3> 역삼역 사거리의 진행방향

<표 8> 퇴근시간대 역삼역 사거리 차량 도착율

	1	3	5	7	9	10	11	12
1	2.99	2.11	1.34	1.56	14.06	13.04	11.39	9.38
2	2.63	2.39	1.44	1.88	13.43	12.00	9.78	6.92
3	4.37	2.09	1.29	1.85	11.84	12.16	12.50	13.43
4	2.70	2.00	1.45	1.53	14.29	13.24	14.52	12.00
5	2.61	2.17	1.32	1.60	12.16	16.36	12.00	6.98
6	2.62	2.21	1.49	1.61	14.75	20.45	16.98	10.11
7	2.92	2.17	1.50	1.63	13.43	15.25	12.50	8.33
8	2.88	2.33	1.37	1.61	12.50	18.00	13.85	9.38

② 강남역 사거리: 강남역 사거리의 진행방향은 좌회전이 4방향 모두 가능하며 8개의 시간대 도착율이 사용되었다.

③ 삼성호텔 사거리: 삼성호텔 사거리의 진행방향은 남행 및 북행에서의 좌회전이 금지되며 8개의 시간대 도착율이 사용되었다.

④ 영동전화국 사거리: 영동전화국 사거리의 진행방향은 동행 및 서행에서의 좌회전이 금지되며 8개의 시간대 도착율이 사용되었다.

차량의 서비스 가입율은 <표 3>에서 계산한 가입율을 이용하며 노변기지국 영역에 들어갈 수 있는 최대 차량의 수는 차선의 수와 차량의 평균

길이에 의하여 산술적으로 계산된다. 또한 차량이 노변기지국 영역에 들어와서 빠져나갈 때까지 걸리는 시간은 신호를 받기 위한 대기시간과 교차로를 통과하는 시간의 합으로 시뮬레이션 모델 상에서는 신호를 기다리는 큐잉 지연시간과 교차로를 통과하는데 걸리는 시간, 교차로를 통과하여 노변기지국 영역을 빠져나갈 때까지 걸린 시간의 합으로 주어진다. 이는 확정적인 값이 아닌 확률적인 값으로 특히 교차로를 통과하는 속도가 차량마다 틀리며, 서비스에 가입하지 않은 차에 의해서도 영향을 받고, 전후 좌우 차량 뿐 아니라 인접교차로에서 대기하는 차량에 의해서도 영향을 받는다.

서비스 요청에 응답하는 패킷(실제 정보를 담고 있는 패킷, OBU에서 생성된 서비스 요청 패킷에 의하여 지역서버나 광역서버에서 생성됨)의 크기는 일양분포 [10,100] byte 크기를 사용하였다. 서비스 성공을 가늠할 수 있는 기준시간은 차량의 소통이 원활한 시간대(0:00~2:00)는 차량이 평균속도로 노변기지국 영역을 통과하는데 소요되는 시간을 이용하였으며, 이 경우 차량의 평균 속도는 70km이다. 차량의 소통이 원활하지 못한 퇴근 시간대(17:30~19:30)는 노변기지국의 영역을 빠져나갈 때까지 소요되는 이 보다 늦게 차량이 이동하며 역시 기준시간 동안 서비스가 완료되지 못하면 서비스를 실패한 것으로 판단한다.

고려 대상자중 75%가 가입(서비스 가입확률 0.576)하고 서비스 성공의 기준을 혼잡시간대 16-18초의 일양 분포일 때 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 대상 모델은 1개의 지역서버에 4개의 노변기지국이 연결되어 있는 경우, 8개의 노변기지국이 연결되어 있는 경우, 그리고 16개의 노변기지국이 연결되어 있는 경우에 대한 모델이다. 1개의 지역서버에 대해 1개의 광역서버가 1대 1로 연결되며 광역서버의 자원은 지역서버가 시분할해 부분적으로 점유한다. 지역서버와 광역 서버 모두 workstation 급 CPU (SPARKS 1000MHz급) 사용을 가정하였고 이 경우 패킷 처리를 위한 성능은 10,000 TPM (transactions per minutes)을 가정하였다. 8개, 16개의 노변 기지국

의 경우의 차량 도착율은 4개의 기지국의 경우에 사용된 강남 지역의 실제 측정 트래픽과 같은 확률 분포로 다른 노변 기지국에서도 발생하는 것을 가정하였다.

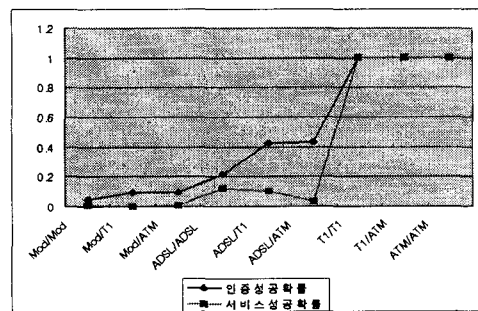
5.3 시뮬레이션 결과

다음은 가장 혼잡한 시간대인 퇴근시간대에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 여기서 인증 성공 확률은 차량이 도착하여 인증요구를 하고 이에 대한 응답을 받았을 경우의 확률이고, 서비스 성공 확률은 인증을 받은 차량이 서비스를 요청하였을 경우에 대한 성공 확률이다. Throughput은 단위시간당 서비스가 완료된 총 패킷의 양을 시뮬레이션 수행시간으로 나눈 값이다. 그림에서 통신망의 구성은 노변기지국-지역서버/지역서버-광역서버로 표현된다. 즉, 예를 들어 ADSL/T1의 경우는 노변 기지국-지역서버를 ADSL로 지역서버-광역서버를 T1으로 연결한 것을 나타낸다.

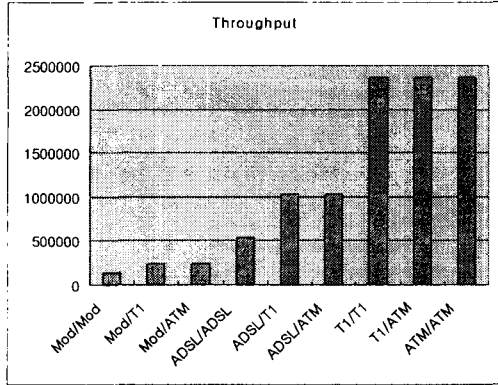
(1) 광역서버 인증

먼저 모든 인증 기능을 원래의 통신망 구조 설계 대안대로 광역서버에서 갖고 있는 경우를 시뮬레이션 하였다.

▶ 1개의 지역서버가 4개의 노변기지국 관할

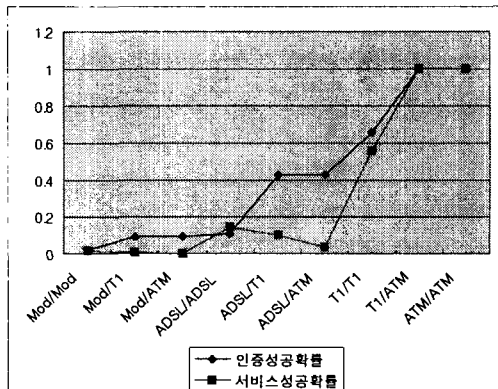


<그림 4> 성공 확률(4 RSU, 중앙인증)

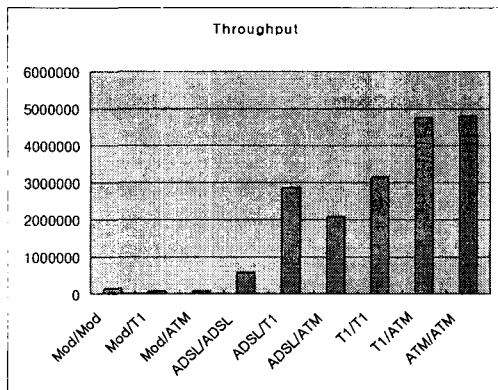


<그림 5> Throughput(4 RSU, 중앙인증)

▶ 1개의 지역서버가 8개의 노변기지국 관할

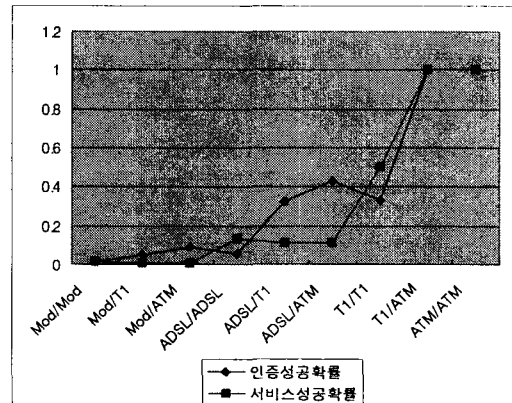


<그림 6> 성공 확률 (8 RSU, 중앙인증)

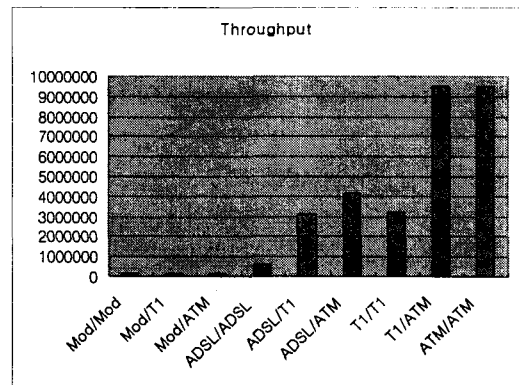


<그림 7> Throughput (8 RSU, 중앙인증)

▶ 1개의 지역서버가 16개의 노변기지국 관할



<그림 8> 성공 확률 (16 RSU, 중앙인증)



<그림 9> Throughput (16 RSU, 중앙인증)

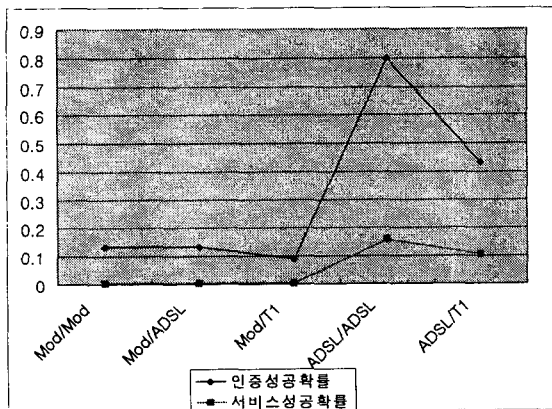
인증의 기능을 모두 광역서버가 갖고 있는 경우 노변기지국과 지역서버간을 모뎀이나 ADSL로 연결한 경우 4개의 노변기지국만 연결한 경우도 전송 속도가 느려서 차량 도착이 많을 때의 발생 패킷을 제대로 전송하지 못함을 알 수 있다. 이 경우 1개의 지역서버에 연결한 노변기지국의 수가 늘어나면 지역서버-광역서버간에 흘러다니는 패킷이 증가하여 더욱 빠른 전송률의 회선이 요구되었다. 4개의 노변기지국 관할의 경우 노변기지국-지역서버간, 지역서버-광역서버간 공히 T1 라인으로 충분히 패킷 전송을 할 수 있었지만, 8개 이상의 노변기지국이 한 지역서버에

뭉치게 되면, 광역서버와 지역서버간에는 ATM의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

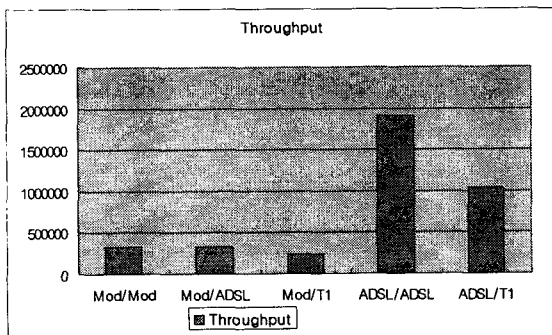
(2) 지역서버 인증

DSRC 통신망 구축에 있어서 T1/ATM, ATM/ATM은 고속이지만 고비용의 통신망 구축이다. 따라서 DSRC의 시스템별 기능 중 광역서버가 아닌 지역서버가 인증 처리 기능을 갖춘 경우에 대해서는 저속의 통신망 구성이 가능한지를 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 이 경우 통신망 대안은 저속의 통신망 대안 5가지만 실험하였다.

▶ 1개의 지역서버가 4개의 노변기지국 관할

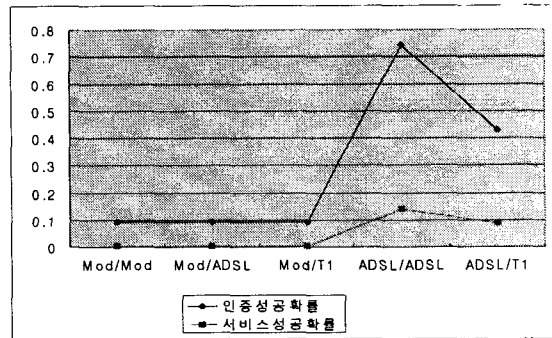


<그림 10> 성공확률 (4 RSU, 지역인증)

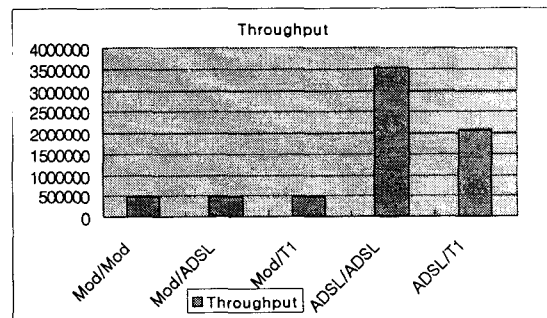


<그림 11> Throughput (4 RSU, 지역인증)

▶ 1개의 지역서버가 8개의 노변기지국 관할

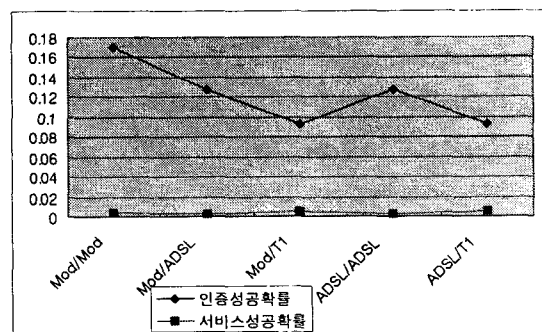


<그림 12> 성공 확률(8 RSU, 지역인증)

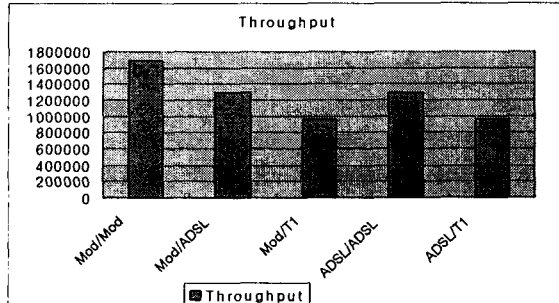


<그림 13> Throughput (8 RSU, 지역인증)

▶ 1개의 지역서버가 16개의 노변기지국 관할



<그림 14> 성공 확률 (16 RSU, 지역인증)



<그림 15> Throughput (16 RSU, 지역인증)

실험결과를 살펴보면 인증 패킷을 지역서버에서 처리함에도 불구하고 광역서버에서 인증 패킷을 처리했을 때와 비교하여 인증 성공 확률이 크게 개선되지는 않는 것을 볼 수 있다. 이는 서버별 대기행렬에서의 패킷 종류별 평균크기를 관찰한 결과, 인증 패킷이 광역서버가 아닌 지역서버까지만 왕복하면 되므로 인증 성공률은 증가하기도 하지만, 인증에 성공한 패킷들이 다시 서비스 요청 패킷을 요구하게 되므로 데이터 패킷의 양이 증가하게 되고 증가된 데이터 패킷이 인증 패킷과 경쟁을 하면 시스템 요구 용량보다 저속인 회선이 이를 처리하지 못하는 결과가 생겨나기 때문이 주된 원인이다. 또한 지역인증의 경우 지역서버-광역서버 간의 회선 속도가 빨라져도 성공확률이 개선이 안되고 오히려 줄어드는 경우가 발생하는데, 이는 서버별 패킷의 큐잉지연을 살펴 본 결과, 인증기능을 담당하는 지역서버에 처리해야 할 패킷이 몰려 지역서버에 과부하가 걸리기 때문임을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 시물레이션 수행을 통해 ITS 서비스의 구조 정립을 위한 효율적인 망 구성에 대한 분석을 행하였다. 노변기지국과의 인터페이스로서는 무선망, 그리고 서비스 처리 시스템에서는 지역서버와 광역서버 사이의 동질적 또는 이질적인 종류의 유선망으로 이루어진 ITS 서비스 망 구조를 모델로 삼아 ITS 서비스 분류와 데이터 용량에 따른 트래픽 형태와 각 망 종류의 처리 능력에 대해서 각각 분석하였다.

시물레이션 결과 현재의 서버성능으로는 16개까지의 노변기지국을 하나의 지역서버를 담당하고 16개의 지역서버들을 광역서버가 감당하는 2계층 star hub 구조에서는 서울의 가장 혼잡한 도로망 상의 가장 혼잡한 시간대에서 수집한 실제 교통 트래픽과 예상되는 가입률 하에서는 노변기지국-지역서버간에는 T1, 지역서버-광역서버간에는 52Mbps ATM으로만 만족할 만한 성능을 보여주었다. 또 가입자 인증의 기능을 지역서버로 분산시킨 환경에 대해서도 T1/ATM이하의 저속의 통신망 구성은 효과적이지는 않았다. 만일 좀 더 저속의 통신망 구성이 경제성을 위해 필수적이라면 서버의 성능을 개선시키거나 서비스별 그룹핑에 의한 채널 공유 등의 다른 대안이 가능할 수 있다고 판단된다. 따라서 추후 연구과제는 이와 같은 대안에 대한 시물레이션 연구 등이 유망하다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, 「지능형 교통시스템 기본계획」, 1997.
- [2] 서울지방경찰청, 도로교통안전협회, 「서울특별시 '98 전자교통 신호체계 운영구간 교통량 조사자료」, 1999.
- [3] 한국통신, 연세대학교 도시·교통과학연구소, 「ITS 사업타당성 검토 및 사업추진 전략 연구」, 1998.
- [4] 한국통신, 연세대학교 신호처리 연구센터, 「ITS 통신망 구조 정립」, 1998.
- [5] 한국통신 무선통신연구소, 「ITS 고속 모델 및 무선 프로토콜 규격 연구」, 1998.
- [6] <http://www.moct.go.kr>, "7대도시 교통 현황", 건설교통부, 1999.
- [7] <http://www.koti.re.kr/stat/TranStat/Document/road104.htm>, "도로등급별 일평균 교통량", 교통개발연구원, 1999.
- [8] Houser, P. 「DSRC Concept of operations and ISO layer implementation summary」, IEEE SCC32 DSRC Group, 1998.
- [9] ITS America, 「DSRC Status Report」, 1997.
- [10] Patel, R and E. Rowe, "An overview of its standards and protocols", <http://www.ite.org/ITS-stdp.htm>, 1999.
- [11] Shladover, S. E., "Automatic Vehicular control developments in the PATH program", IEEE Trans. Vehicular Technology, pp.114-130, Feb. 1991.
- [12] US 「Department of Transportation, ITS Standard Program: 1996 Status Report」, 1996.
- [13] Utamaphethai, N. and S. Ghosh, "Dicaf: A distributed architecture for intelligent transportation", IEEE Computer, pp.78-84, 1998.
- [14] Yoshikai, N., "Reliable communication network for ITS", DRCN 98 workshop, IL5, pp. 1-5, 1998.

● 저자소개 ●



이희상

1983년 서울대학교 산업공학과 공학사

1985년 서울대학교 산업공학과 공학석사

1991년 Georgia Institute of Technology 공학박사

현재 한국외대 산업공학과 부교수

관심분야: 정수계획법 및 통신 네트워크 설계 및 계획

● 저자소개 ●



김윤배

1982년 성균관대학교 산업공학과 학사

1986년 University of Florida, Industrial and Systems Engineering 공학석사

1992년 Rensselaer Polytechnic Institute Decision Science and Engineering Systems Ph. D.

1995-1998 성균관대학교 산업공학과 조교수

1998-현재 성균관대학교 시스템경영공학부 부교수

관심분야: Simulation Output Analysis, Internet Traffic Analysis, Telecom Network Performance Analysis



박진수

1998년 성균관대학교 산업공학과 공학사

2000년 성균관대학교 산업공학과 공학석사

2000-현재 성균관대학교 산업공학과 박사과정

관심분야: 병렬시물레이션, SCM, Web Performance



이성룡

1982년 서울대학교 산업공학과 공학사

1984년 한국과학기술원 산업공학과 공학석사

1993년 Georgia Institute of Technology 공학박사

1994-현재 한국외대 산업정보시스템공학부 부교수

관심분야: B2B EC, SCM, 생산정보시스템, 교통정보시스템



최경일

1980년 서울대학교 산업공학과 공학사

1982년 한국과학기술원 산업공학과 공학석사

1990년 Georgia Institute of Technology 공학박사

1990-1996년 미국 물류연구소 연구원, 삼성 SDS 수석 연구원 근무

1997-현재 한국외대 산업정보시스템공학부 부교수

관심분야: 물류정보시스템, 물류시스템 설계, ERP, e-Business, 정보전략