

# OPNET Modeler Wireless Suite를 이용한 종단간 패킷 통계 분석

김 정 수<sup>†</sup>

요 약

이 논문의 목적은 시뮬레이션 소프트웨어인 OPNET Modeler Wireless Suite를 이용하여 WiFi (IEEE 802.11g)와 WiMAX (IEEE 802.16e)를 가상 무선망으로 모델링 후 종단간 패킷 통계를 시뮬레이션하여 그 특성을 분석한 연구이다. 국내외 무선망에 대한 시뮬레이션이 가능한 툴인 Remcom's Wireless InSite Real Time (RT) 모듈, WinProp: W-LAN, Fixed WiMAX, Mobile WiMAX, SMI 시스템은 무선 전파 신호 세기 분석에 비중을 두었고 이러한 무선 전파 신호 세기로 데이터 전송률을 고려할 수 있도록 설계되었다. 그러나 우리는 이들 시뮬레이션 툴(들)의 특성과 달리 다른 관점으로 본 연구를 접근하였다. 즉, 무선 전파 신호 세기 분석이 아닌 유무선 통합망을 기반으로 한 종단간 가상망 모델링이 가능하고 각 구간(예: 무선사용자, 기지국 또는 AP, HTTP 서버)마다 얼마만큼의 패킷이 전달되었는지를 시각적으로 분석할 수 있는 OPNET Modeler Wireless Suite를 활용한 연구로 접근하였다. 왜냐하면 패킷 통계는 무선서비스 성능 매트릭 중 하나의 지표로 종단간 중요한 QoS 분석 척도가 되기 때문이다. 특히나 WiMAX와 같이 QoS를 보장하는 무선사용자에게 패킷 통계 지표는 더더욱 필수적인 항목임에 틀림이 없다. OPNET Modeler Wireless Suite로 가상 무선망을 실제에 가깝게 모델링 후 시뮬레이션 결과를 통해 우리는 흥미로운 결과를 찾아낼 수 있었고 그 실험/관측결과를 효율적이고 다각적으로 보여줄 수 있었다.

키워드 : 패킷 통계, 가상 무선망 환경, 시뮬레이션

## End-to-end Packet Statistics Analysis using OPNET Modeler Wireless Suite

Jeong-Su Kim<sup>†</sup>

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze and characterize end-to-end packet statistics after modeling and simulation of WiFi (IEEE 802.11g) and WiMAX (IEEE 802.16e) of a virtual wireless network using OPNET Modeler Wireless Suite. Wireless internal and external network simulators such as Remcom's Wireless InSite Real Time (RT) module, WinProp: W-LAN/Fixed WiMAX/Mobile WiMAX, and SMI system, are designed to consider data transfer rate based on wireless propagation signal strength. However, we approached our research in a different perspective without support for characteristic of these wireless network simulators. That is, we will discuss the purpose of a visual analysis for these packets, how to receive each point packets (e.g., wireless user, base station or access point, and http server) through end-to-end virtual network modeling based on integrated wired and wireless network without wireless propagation signal strength. Measuring packet statistics is important in QoS metric analysis among wireless network performance metrics. Clear packet statistics is an especially essential metric in guaranteeing QoS for WiMAX users. We have found some interesting results through modeling and simulation for virtual wireless network using OPNET Modeler Wireless Suite. We are also able to analyze multi-view efficiency through experiment/observation result.

Keywords : Packet Statistics, Virtual Wireless Network Environment, Simulation

### 1. 서 론

최근 통신 시장은 유선망에서 무선망으로 빠르게 이동하고 있다. 모바일 장치(예 : 노트북, PDA, 스마트폰)는 값싼 비용으로 대중들에게 폭넓게 사용되고 있으며 고속 휴대가 가능하고 이를 통해 인터넷 접근 서비스를 제공 받을 수 있

<sup>†</sup> 정 회 원 : 광운대학교 경영정보학과 경영정보학 박사  
논문접수 : 2011년 3월 31일  
수 정 일 : 1차 2011년 5월 3일  
심사완료 : 2011년 5월 10일

는 이동환경으로 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 모바일 장치를 통해 인터넷에 접근할 수 있는 서비스인 WiFi(Wireless Fidelity)와 WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access, 국내에서는 WiBro(Wireless Broadband)라 불림)는 MAN(Metropolitan Area Network)과 LAN(Local Area Network)의 마지막 세대를 위한 브로드밴드 접근 솔루션이다. 이들 무선서비스는 인터넷 상에 다중 분산된 WiFi 핫스팟(hotspot)을 연결하기 위한 백홀(backhaul) 서비스로서 WiMAX를 사용할 수 있게 되었다. 무선랜(IEEE 802.11 시리즈)은 빠른 데이터 접근율을 제공한 반면 이동성에 대한 결핍성과 커버리지(converge)의 한계를 가진다. 반면 WiMAX는 이동성과 핸드오버(handover), IEEE 802.16에 대한 물리적인 계층기술서와 MAC(Medium Access Control) 신호 프로토콜 표준으로 각기 다른 QoS(Quality of Service)를 무선사용자에게 제공할 수 있게 되었다.

2.2절에 언급할 국내외 무선망에 대한 시뮬레이션(simulation)이 가능한 상용 제품인 Remcom's Wireless InSite Real Time (RT) 모듈, WinProp: W-LAN, Fixed WiMAX, Mobile WiMAX, 국내 전파연구소에서 개발 완료한 SMI 시스템은 무선 전파 신호 세기 분석에 비중을 두었고 이러한 무선 전파 신호 세기로 데이터 전송률을 고려할 수 있도록 설계되었다. 그러나 무선 전파 신호 세기 이외의 WiMAX와 같이 QoS를 보장하는 무선사용자에게 얼마만큼의 수신된 패킷을 전송 받았는지에 대한 시각적인 결과 제시와 종단간 가상 무선망 기반의 패킷 통계는 아쉽게도 지원하지 않는 기능이다. 패킷 통계는 무선서비스 성능 매트릭(metric) 중 하나의 지표로 종단간 중요한 QoS 분석 척도가 된다. 만약 무선사업자의 주파수 허가 업무심의 및 기술심의 뿐만 아니라 무선가입자부터 해당 애플리케이션까지 수신 받을 수 있는 패킷 통계 분석이 가능했다면 무선사업자, 무선사용자, 해당 애플리케이션 서비스 제공자에게 무선 프로토콜 특성에 맞는 최적화 설계 및 이동 네트워크 배치 설계가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 우리는 가상 무선망에 대한 종단간 패킷 통계 분석이 가능한 OPNET Modeler Wireless Suite를 소개하고 이 툴을 이용하여 무선서비스인 WiFi (IEEE 802.11g)와 WiMAX (IEEE 802.16e)에 대한 종단간 가상 무선망을 구성하였다. 무선사용자 수 증가에 따른 종단간 가상 무선망 환경을 구성한 후 무선사용자별, AP(Access Point) 또는 기지국(Base Station), HTTP 서버에서 수신받은 패킷 통계를 분석해 보았다. 추가적으로 무선사용자 수 증가를 각 지역별로 분류한 후 무선사용자 수 증가에 따른 무선사용자의 수신받은 패킷 행동(行動) 관찰과 각 지역별 패킷 순위를 분석하였다. 본 연구의 기여점은 OPNET Modeler Wireless Suite를 활용하여 WiFi와 WiMAX의 무선망을 실제에 가깝게 모델링(modeling) 후 종단간 패킷 통계를 시뮬레이션하여 그 특성을 분석하였으며 그 결과를 통해 흥미(興味)로운 결과를 찾아낼 수 있었다. 또한 다양한 무선통신 환경을 고려하여 시뮬레이션 하였으며 그 실험/관측결과를 효율적이고 다각적으로 보여줄 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련연구는 두가지로 분류하여 정리하였다. 첫째, 무선서비스인 WiFi와 WiMAX에 대한 이론적인 고찰 연구, 둘째, 국내외 구축된 무선망 시스템 사례 분석 위주인 실무적인 고찰을 토론했다. 3장은 가상 네트워크 모형으로 실험 툴 조사, 선택한 시뮬레이터 툴인 OPNET Modeler Wireless Suite 소개, 이 툴을 이용한 종단간 수신된 패킷 통계 분석, 실험요약 순서로 기술하였다. 마지막 4장에서 결론으로 본 연구를 진행 중 한계점과 향후 연구로 본 연구를 종결(終結)한다.

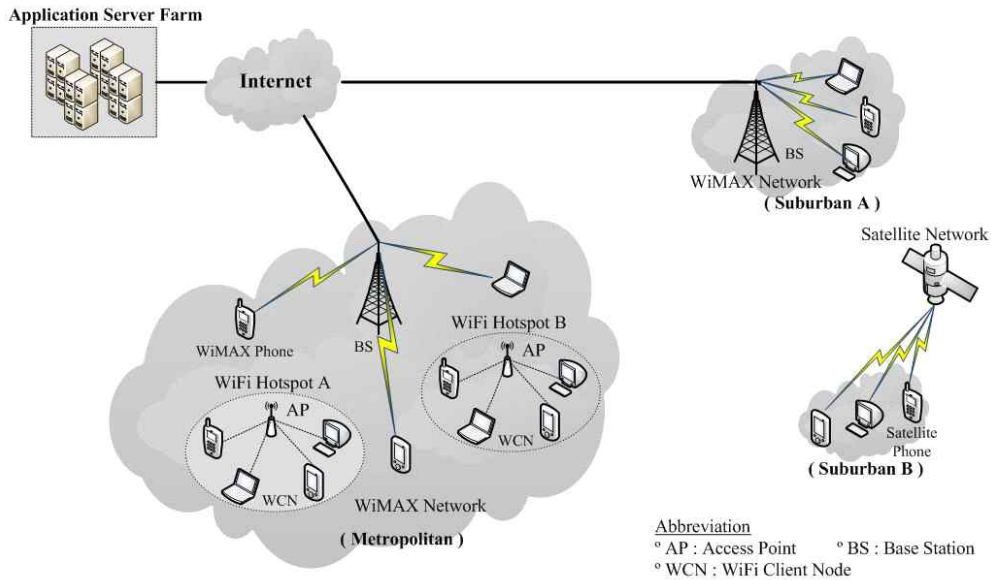
## 2. 관련 연구

### 2.1 이론적인 고찰

WiFi와 WiMAX 무선서비스 환경 중 WiFi 핫스팟은 무선서비스 영역이 적은 반면 WiMAX 무선서비스가 제공되는 서비스 영역은 넓다. 아울러 커버되는 영역이 넓은 대신 WiFi보다 제공되는 데이터 전송률은 낮지만 이동성, 핸드오버, 경제성은 WiFi보다 더 좋은 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 WiMAX는 WiFi 핫스팟 지역도 서비스 영역 내에 포함되어야 하며 QoS 보장이 되어야 한다. WiFi 핫스팟과 WiMAX 기지국은 유선망으로 연결되어 있고 무선사용자가 원하는 콘텐츠 서비스를 제공받으려 할 경우 해당 애플리케이션 서버와 연결하여 다시 무선사용자 단말기로 서비스를 제공해 준다. 만약 무선사용자가 대도시가 아닌 도시 외곽 지역(예: 시골)에서 무선서비스를 제공 받으려 한다면 대부분 한적한 시골인 몇 명의 무선가입자를 위해 유선 선로를 설치한 후 WiFi 핫스팟을 제공한다고 가정해 보자. 이처럼 도시 외곽 지역의 소수 무선사용자를 위해 무선사업자는 유선 선로 구축과 구축된 설비를 토대로 WiFi 핫스팟을 제공할 수도 있지만 비용 경제성을 고려해 볼 때 적절하지 않은 구축일 것이다. 이러한 이유로 무선사업자는 도시 외곽 지역 무선사용자에게는 WiMAX 서비스를 제공해 주는 것이 현명(賢命)할 것으로 생각된다. 추가적으로 유선 선로 구축도 어려운 도시 외곽 지역(예: 외딴섬, 사막)의 무선사용자는 위성 통신서비스를 이용하는 것이 보다 바람직할 것으로 보인다. 이와 같이 설명한 내용에 대한 WiFi와 WiMAX 무선서비스 환경은 (그림 1)과 같다.

무선망 서비스인 WiFi와 WiMAX에 대한 관련연구는 비교적 최근 연구 주제로 무선 네트워크 연구자들에 의해 활발히 연구 중이다. 우리는 WiFi와 WiMAX 연구 문헌을 분류하여 정리하였다. 그 첫 번째로 WiFi의 대표적인 연구 문헌을 살펴보면 Houssein Hallani et. al (2011)은 “네트워크 내의 중앙 집중 인프라스트럭처 부족, 노드간 신뢰성 있는 설정과 평가는 쉬운 작업이 아니다.”라고 주장했다. 이러한 어려운 작업을 극복하기 위하여 노드의 과거 행동 이용률을 기반으로 한 새로운 접근을 제안하기 위한 동기로 시작한 연구이다. 이 연구의 목적은 Ad-hoc 네트워크<sup>1)</sup> 성능과 연

1) Ad-hoc 네트워크: 모바일 노드들의 모임임. 즉, 임의의 중앙 집중 관리 인프라스트럭처 없이 배치할 수 있는 장점을 가지고 있음



(그림 1) WiFi와 WiMAX 무선서비스 환경

관된 자유로운 노드와 악성 노드 효과를 시뮬레이션 소프트웨어인 OPNET을 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 존재한 자유로운 노드 또는 악성 노드 내의 무선 Ad-hoc 네트워크 신뢰성 및 성능이 향상된 것을 분석할 수 있었다는 점이 본 연구의 기여도이다[1]. Hui-Tang Lin et. al (2009)은 “최근 몇몇 연구자들은 통합된 WiMAX/WiFi 시스템을 위한 QoS 프로비전 메커니즘(mechanism)을 제안했으나 WiMAX와 WiFi 제어 프로토콜은 QoS 요구사항 (예: 대역폭 할당, 스케줄링(scheduling), 허용 제어 등)은 만족할 만큼 고려되지 않았다.”라는 동기로 연구를 시작하게 되었다. 본 연구를 위해 WiMAX와 WiFi 기술을 보다 효율적으로 통합하기 위한 새로운 W2-AP(WiMAX/WiFi Access Point)의 통합된 아키텍처를 제안하여 WiFi 네트워크가 WiMAX 시스템과 유사한 유형의 QoS와 연결 지향형 전송 제공이 가능했다. 아울러 QualNet<sup>2)</sup> 시뮬레이터를 이용한 수학적 결과로 제안된 아키텍처 능력과 효율성 모듈을 확인할 수 있었다[2]. 3G 셀룰러 네트워크와 WLAN 통합이 가능한지에 대한 이슈 제기과 이를 다양한 관점의 접근과 토론으로 과거 문헌에 제안된 상호동작 메커니즘을 기술했다. 3G/WLAN 상호동작 네트워크 내의 QoS 프로비저닝, 이동 관리와 사용자 인증 등에 대한 두가지 이질적인 무선 통신을 IP 기술로 관찰한 점, 그리고 본 연구를 토대로 유비쿼터스(ubiquitous) 인터넷을 위한 보다 강력한 컨버전스(convergence) 유형으로 접근 가능할 수 있을 것이라는 점이 본 연구의 기여도이다[3]. Michael Bredel et. al (2009)은 “최근 무선 네트워크 연구자들은 대부분 시뮬레이션 기반으로 연구하며 시뮬레이션 결과는 실제의 복잡성을 제어하

기 위하여 시뮬레이션 모델로 소개되지만 가정 및 단일화로 인하여 시뮬레이션 정확성에 대한 결핍이 발생한다. 시뮬레이션 틀은 모델 실행 검증을 제공하지만 몇몇 모델 검증을 놓쳐서 관련 연구자들이 이 연구 커뮤니티를 떠난다고 하였다.”라고 하였다. 따라서 시뮬레이터 802.11 무선 프로토콜 실행에 대한 정확성을 검증하기 위한 방안으로 OMNeT++<sup>3)</sup> 시뮬레이션과 IEEE 802.11g 네트워크 측정 결과를 비교하여 표현했다. 시뮬레이션 측정 결과를 비교하기 위하여 패킷 내부 전송, 처리율과 같은 측정 매트릭 실험 결과, 측정 결과와 유사한 결과로 산출되어 시뮬레이션 정확성을 본 연구를 통해 검증할 수 있었다[4]. 이 문헌 내용 중 시뮬레이션 결과에 정확성 결핍에 대한 의미를 본 저자가 추가 설명하면, 시뮬레이션은 결과값 검증용으로 사용되며 실제와 아주 유사한 모델링이 가능한 소프트웨어 툴로 시뮬레이션 코어 내부 로직에는 이러한 실제를 가상으로 표현할 수 있도록 복잡한 수학적 알고리즘으로 구성되었다. 이러한 수학적 알고리즘은 무선망 설계자가 지정한 파라미터로 계산되어진다. 따라서 모델링된 결과값이 잘못 산출되었다고 판단되면 1) 모델링된 구성 환경에 대한 적절성 여부와 2) 파라미터 지정 부분을 검토하여 시뮬레이션 결과값을 재분석해보면 알 수 있을 것이다. 추가적으로 시뮬레이션의 산출된 결과값 검증을 위하여 실제 무선망을 측정된 결과값과 비교하여 검증하는 방법도 있지만 또 다른 대안으로 1) 수식과 시뮬레이션 결과를 비교하여 검증하는 방법과 2) 다른 연구자가 연구한 과거 문헌의 시뮬레이션 결과와 이미 국제 표준으로 기술된 결과값과 비교하는 방법 등을 들 수 있다.

끝으로, WiMAX의 대표적인 연구 문헌을 살펴보면 Hua

2) QualNet : 유/무선, 혼합된 플랫폼 네트워크와 네트워크 장치 성능을 평가하기 위한 소프트웨어 시뮬레이션

3) OMNeT++ : 1992년에 Budapest 공과대학에서 개발한 객체 지향 이벤트 기반 시뮬레이션 엔진의 통신 프로토콜, 컴퓨터 네트워크, 멀티프로세서, 분산 시스템 등 다양한 형태의 시뮬레이션을 위해 사용할 수 있음

Wang et. al (2010)은 “IEEE 802.16에 대한 물리적인 계층과 MAC 신호 프로토콜은 표준으로 정의되었으나 라디오 자원 관리, 스케줄링, 콜 허용 제어는 여전히 오픈 이슈로 남아 있다.”라고 주장했다. 왜냐하면 이 오픈 이슈는 다른 종류의 서비스를 위한 QoS 프로비전에 중요한 역할 중 하나이기 때문이다. 따라서 WiMAX 시스템을 기반으로 한 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) QoS 스케줄링에 대한 다운링크 자원 관리 프레임워크를 제안했다. 이 프레임워크는 두 개의 레벨 계층 스케줄러인 DRA(Dynamic Resource Allocation) 모듈과 각기 다른 클래스의 서비스 차별성을 제공하는 CAC(Connection Admission Control) 모듈을 소개했다. 본 연구의 기여도는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 제안한 프레임워크가 적합한 작업으로 적은 불가능 확률과 스펙트럼 시스템 성능을 향상하는데 보다 효율적임을 실험을 통해 알 수 있었다[5]. Y. Ahmet Sekercioglu et. al (2009)은 “무선 네트워크 기반의 WiMAX MAC 하부 계층 내에 QoS 메커니즘 제안, 허용 제어 기술과 신호 메커니즘에 대한 다양한 QoS 구조 토론, WiMAX 장단점 정리와 평가, 각각에 대한 동작 등을 요약했다. 사용자와 서비스 사이에 공유된 무선 링크를 사용 가능한 로우 데이터 전송량의 이용률과 할당에 대한 최적 방안을 소개했다. 특히, 데이터 전송 요구는 필수적인 QoS로 사용 가능한 전송량 배치는 가입자에 의해 요구된 서비스 종류에 의존한다.”고 주장했다. 본 연구의 기여점은 첫째, “패킷 스케줄링과 허용 제어”라는 첫 번째 카테고리 사용자 품질과 네트워크 효율성을 향상시키기 위한 QoS 실행 방법을 제안했다. 둘째, “신호와 통합”이라는 두 번째 카테고리 WiMAX 네트워크는 다양한 요구사항을 대면하기 위하여 다른 네트워크 간의 상호작용을 어떻게 할 수 있는지에 대한 초점으로 맞추었다. 셋째, “WiMAX 매쉬(mesh) 네트워크상의 QoS”라는 세 번째 카테고리 WiMAX 네트워크에 대한 다양한 매쉬 QoS의 차별성 있는 스케줄링과 신호 분산 방안 연구를 제안했다. 넷째, 향후 WiMAX 표준 진화에 대한 차별성 있는 QoS 서비스 프로비전을 이슈화하여 시험한 점과, 끝으로, 네트워크에 중요한 연구 분야인 향후 연구와 각 문헌에 대한 제약점과 잠재성 분석으로 다양한 연구를 상호간 비교하여 제공한 점을 들 수 있다[6].

## 2.2 실무적인 고찰(국내외 구축된 무선망 시스템 사례 분석)

본 절은 국내외 무선망 시스템 구축에 대한 사례 분석을 기술한다. 국외의 경우 RT 모듈은 도시 환경 내의 매우 빠른 전파 예측 수용량 계산이 가능하며 이전 모델(들)은 경험적 또는 정확하지 않은 결과를 계산하여 제공하는 시뮬레이션이라고 주장했다. 이 시스템의 기능으로 Ray 추적, 제밍(jamming) 예측과 정확한 통신, LoS(Line of Sight), 반사, 회절에 대한 계산 모델을 결정해 주며 이전 모델의 안테나 높이(송신기와 수신기), 주파수 범위(최대와 최소)의 한계를 극복했고 이동사용자의 빠른 위치 변경과 건물 지형을 비교적 정확한 계산으로 제공할 수 있다. 타시스템과의 차별성은 1) 도시 환경내의 예측 RF 전파 결정을 빨리 제공할 수

있고 2) 도시 지형의 통계적인 분석을 기반으로 한 휴리스틱(heuristic) 기법을 채택한 점을 들 수 있다[7]. 또 다른 국외 상용 제품으로 WinProp: W-LAN, Fixed WiMAX, Mobile WiMAX 제품군들이 존재한다. 먼저 WinProp: W-LAN은 적절한 AP 위치 선정이 가능하며 벡터 데이터 베이스(빌딩을 표시하기 위한 정보)와 지형학, 경험적 및 Ray-Optical 전파 모델 제공, 패스 손실/전달된 파워/필드 세기 등의 기능이 제공된다. WinProp: Fixed WiMAX은 전파 패스와 NLoS(Non Line of Sight)와 LoS 간섭 예측, 신호 레벨 예측 제공으로 기지국 위치 선정에 도움을 준다. 셀간/셀내 간섭, 멀티패스 간섭, 안테나 최적화(방위각, 경사(각), 높이 등), 지연 스프레드(spread), SNIR(Signal-to-Noise-and-Interference Ratio) 등의 기능이 제공된다. 끝으로, WinProp: Mobile WiMAX은 다이나믹 이동 무선 채널에 최적화되도록 설계되었으며 다중 패스 전파에 의한 간섭, 3D 공간 채널 임펄스 응답 계산이 가능하다. 다중 기지국에 대한 커버리지 영역, 셀간/셀내 간섭, SNIR 등의 기능이 제공된다[8]. 국내의 대표 사례로 전파연구소와 KT에서 구축한 무선망 시스템으로 분류할 수 있다. 전파연구소의 SMI는 3년 국책사업으로 무선국 허가 신청 관련한 업무심의 및 기술심의 업무지원 기능을 바탕으로 고정망 분석 기능, 망간 간섭분석 기능, 이동망 영역 분석 및 간섭기능을 지원한다. 아울러 전파방송관리통합시스템과의 연계를 통한 실시간 데이터 활용 및 분석 기능을 지원하는 시뮬레이션 기반의 구축시스템이다. 이 시스템은 방송망, 지상망, 위성망으로 분리되며 시스템 기능으로 검색(무선국 검색, 안테나 패턴 검색, 지형정보 검색 등), 도구(전파경로 분석 등), 지상망 분석(점대점 분석, 점대영역 분석, 주파수 검토 등), 정보관리(알고리즘관리(자유공간손실, Modified HATA(이동통신 전파모델), P.1546(지상망 서비스에 대한 점대영역 예측방법) 등), 무선링크관리, 장비재원관리, 혼신보호비관리 등), 지도관리로 구성되었다. 대한민국 지도를 세부적으로 표현할 수 있고 본 연구에서 사용한 OPNET Modeler Wireless Suite로 3차원 안테나 패턴을 표현할 수 있지만 무선안테나 종류별(예: dipole antenna, ring antenna, V antenna, yagi antenna, monopole antenna 등) 방향성 의존 무선 전파 게인(gain) 계산은 없는 기능인 반면 SMI는 이를 계산하여 3차원 안테나 패턴에 대한 방향성 의존 무선 전파 게인 분석이 가능한 시스템이다[9][10][11][12]. KT의 WiBro 서비스 고장관리 시스템은 급증하는 WiBro 서비스망과 고객센터를 효율적으로 운영관리하기 위한 운영관리시스템으로 GIS(Geographic Information System) 기반의 서비스 고장관리 시스템이다. 이 시스템의 기능은 통합접수, 시험, 고장관리, 관리, 통계, 연동을 제공하며 TT(Trouble Ticket) 유형별 처리, 네트워크 토폴로지(topology) 및 시험이 가능하다. 타시스템과의 차별성은 1) TT 성격 및 처리우선순위 등을 등급별로 분류하여 비즈니스 프로세스를 관리 가능하다는 점과 2) GIS 도입을 통한 고객의 이동성 및 국사 내외부에 분포된 다양한 망장비의 접근성 및 가시성을 높일 수 있었다. 3) 중단간 망구성도 제공과 시험기능을 GUI(Graphic

User Interface)로 쉽게 제공할 수 있다는 점을 들 수 있다[13]. KT의 휴대인터넷 단말 관리 시스템은 WiBro 관리 요소들을 바탕으로 한 OMA DM 기반의 WiBro 단말 관리 시스템으로 무선 단말 관리를 위해 이동성 지원과 무선 구간에서의 보안 기능을 강화한 OMA DM(Device Management) 프로토콜이 2/3G 무선 단말 관리 프로토콜로 채택되어 WiBro 단말 관리에도 이 프로토콜이 적합하다고 주장했다. OMA DM을 이용함으로써 SNMP(Simple Network Management Protocol) 및 TR-069 보다 안정적이고 관리 세션에 대한 높은 보안 관리 기능 수행과 멀티 모드를 지원하는 WiBro 단말들에 대한 연속적인 관리 기능을 제공할 수 있다. UICC(Universal IC Card) 카드 정보 관리로 USIM(Universal Subscriber Identity Module) 카드 개방에 따른 빈번한 사용자의 단말 교체에도 수정 없이 시스템 단말 관리가 가능한 차별성을 가지고 있다. 이 시스템은 고객이 사용하는 서비스 및 단말 정보와 상태 조회, 현재 단말기 개통 및 서비스, 장애 현황 조회, 관리 조직 및 권한, 단말의 이벤트 및 성능에 대한 품질 정보, 통계 정보 제공 기능을 가지고 있다[14]. WiBro 서비스 고장관리 시스템과 휴대인터넷 단말 관리 시스템 이들 모두는 시뮬레이션과 연관된 시스템은 아니지만 자사 WiBro 가입자에게 보다 좋은 서비스 품질을 제공하기 위한 독립적인 시스템으로 이해하면 될 것이다.

### 3. 가상 네트워크 모형

#### 3.1 실험 틀

최근 몇 년 동안 시뮬레이션은 무선 센서 네트워크, 유선과 무선(모바일 Ad-hoc 네트워크)의 행동을 연구하고 개발하기 위하여 폭넓게 사용되었다. 세계적으로 많은 네트워크 연구자들이 연구 목적으로 사용되는 대표적인 툴로 NS2, OPNET 등은 연구 커뮤니티(community) 사이에 대중화가 되었다. 이 외의 다른 시뮬레이션 툴도 존재하지만 본 연구에서는 OPNET을 사용하였다. OPNET을 사용한 목적은 첫째, 값비싼 네트워크 장비를 필요로 하는 실험실을 구축하지 않아도 관련 네트워크 장비를 구성할 수 있고 모든 네트워크 이벤트를 전체적으로 볼 수 있는 장점을 가지고 있다. 둘째, 종단간 가상 네트워크 환경 구성과 성능 분석, 네트워크 모델링을 보다 편리하게 구성할 수 있는 장점과 구성 노드는 각 통신제조사사의 표준 스펙을 준수하여 개발된 모듈이기 때문이다. 끝으로, 가상 네트워크 환경 구성을 최대한 실제 망과 유사하게 구성할 수 있고 엔드유저 애플리케이션, 프로토콜, 트래픽, 새로운 서비스 런칭, 이전 네트워크와 QoS 구성을 평가할 수 있어 OPNET사의 Modeler(버전 14.5)로 선정하였다.

Modeler는 네트워크 설계자 또는 QoS 전문가들이 애용(愛用)하는 상용 제품으로 연구 목적인 대학교 및 연구소에서 사용되며 한국정보보호진흥원의 정보보호 예보 알고리즘 및 모델 개발에서도 이를 이용하였다[15]. 아울러 기업을 위

한 네트워크 컨설팅(network consulting) 업체에서도 이를 주로 사용하고 있다. Modeler는 여러 개의 모듈로 구성되어 있고 각 모듈마다 기능이 다르므로 연구자는 필요한 모듈만 가지고 사용하면 된다. 본 연구에서 사용된 모듈은 OPNET Modeler Wireless Suite로 이에 대한 특성은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- WiMAX QoS 정책 기반의 최적 애플리케이션 성능 분석, 송수신기 파이프라인이라 불리는 오픈 프레임워크와 Modeler를 이용한 무선 링크 시뮬레이션이 가능(전송과 전파 지연, 링크 단절, 지향성 안테나 개인, 변조 효과, 페이딩(fading)<sup>4)</sup>을 포함한 전파 모델링 커스터마이징(customizing)이 가능)
- 무선 전송 모델링과 애플리케이션, 하이 레이어 프로토콜(high layer protocol), 라우팅(routing), MAC을 포함한 프로토콜 스택(protocol stack) 모델링 제공
- RF 전파, 간섭, 노드 이동성과 핸드오버, 지형(terrain)에 따른 이동 네트워크 배치 설계가 가능
- 유선 전송 네트워크와 상호연결, 산업체의 융통성과 광범위한 무선 네트워크 모델링 환경 제공
- 무선네트워크 설계자, 아키텍트(architect), 운영전문가의 수익 창출 네트워크 서비스를 평가 성장 시나리오와 네트워크 성능, 종단간 행동 분석이 가능

OPNET Modeler Wireless Suite 모듈에 대한 시뮬레이션 유형은 DES(Discrete Event Simulation)로 이벤트의 순차적인 발생을 표현할 수 있고 각 이벤트는 시스템 내의 상태 변화 표시와 해당 시간에 즉각적인 발생이 가능한 방식으로 대표적인 특성은 아래와 같다.

- 세부적인 시뮬레이션 환경 제공과 다이나믹 네트워크 행동에 대한 실험으로 빈번히 사용
- 프로토콜 메시지와 패킷들을 시뮬레이션 할 수 있도록 전개
- 서로 다른 네트워크 조건으로 프로토콜 행동을 세부적으로 학습할 수 있도록 제공

보다 세부적인 OPNET Modeler Wireless Suite 정의 및 기능은 다음 절에서 기술하기로 한다.

#### 3.2 OPNET Modeler Wireless Suite

Wireless 기능은 다른 솔루션을 위한 추가적인 기능들로 OPNET Modeler Wireless Suite와 OPNET Modeler Wireless Suite for Defense를 포함하고 있다. 이들 두가지 모듈은 서로 분리된 모듈로 <표 1>과 같이 제품군 모듈을 분류하여 사용할 수 있다. 본 연구에 적용된 모듈은 OPNET Modeler Wireless Suite만을 사용하였다. 이러한 Wireless 기능은 전형적인 다른 현대 통신 매체와 무선 랜, 셀룰러 전화기(Cellular Telephone) 네트워크, 위성 등을 수용하기 위한 시뮬레이션 능력을 확장한 것이다.

4) 페이딩 : 전파의 강도가 시간적으로 변동하는 현상을 의미함

<표 1> OPNET Modeler Wireless Suite와 OPNET Modeler Wireless Suite for Defense 비교

분류	세부적인 제품군 모듈 설명
OPNET Modeler Wireless Suite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TMM(Terrain Modeling Module)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무선 네트워크 시뮬레이션 환경에 지형지물을 고려한 신호 손실까지 계산해 낼 수 있는 모듈로 정확한 시뮬레이션을 제공</li> <li>- “자유 공간(Free Space)<sup>5)</sup>”와 “롱글리 라이스(Longley Rice)<sup>6)</sup>” 전파모델을 지원하고 사용자가 직접 전파 모델(Modulation Curve Editor<sup>7)</sup>, Antenna Pattern Editor<sup>8)</sup>, Wireless Domain Editor<sup>9)</sup>)을 생성하여 시뮬레이션을 적용시킬 수 있음</li> </ul> </li> <li>• Wireless                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통합적인 무선 환경을 지원하는 모듈로 개체의 이동성 및 무선 네트워크 통신을 시뮬레이션 할 수 있는 기능을 제공</li> </ul> </li> </ul>
OPNET Modeler Wireless Suite for Defense	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3DNV(3D Network Visualization Module)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무선 이동 통신 환경-지형지물 및 성능 통계를 자동으로 3D화하여 보여줌</li> <li>- 상이한 목적으로 개발된 개별 시뮬레이션들을 하나의 커다란 시뮬레이션으로 결합시켜주는 HLA(High Level Architecture)도 선택적으로 이용하여 3DNV 애니메이션 효과를 더욱 높일 수 있음</li> </ul> </li> <li>• ODK(OPNET Development Kit)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modeler 기반 인터페이스를 사용자가 원하는 인터페이스로 변경, 특정 응용 프로그램 제작, 타 소프트웨어 제품과 통합하는 기능을 제공하는 모듈</li> <li>- Modeler 자체가 보여주는 다이얼로그 박스나 속성 창 등 사용자 GUI 인터페이스를 사용자의 기호에 맞는 형식으로 수정하는데 활용</li> </ul> </li> <li>• SITL(System-In-The-Loop)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상용의 하드웨어나 응용 소프트웨어 프로그램 트래픽을 시뮬레이션과 연동하여 테스트할 수 있는 기능을 제공</li> <li>- 실제 환경을 구축하지 않고도 실제 장비를 시뮬레이션과 연동하여 테스트하는 것을 가능하도록 제공</li> </ul> </li> <li>• TMM(Terrain Modeling Module) : OPNET Modeler Wireless Suite와 상동(相同)</li> <li>• Wireless : OPNET Modeler Wireless Suite와 상동</li> </ul>

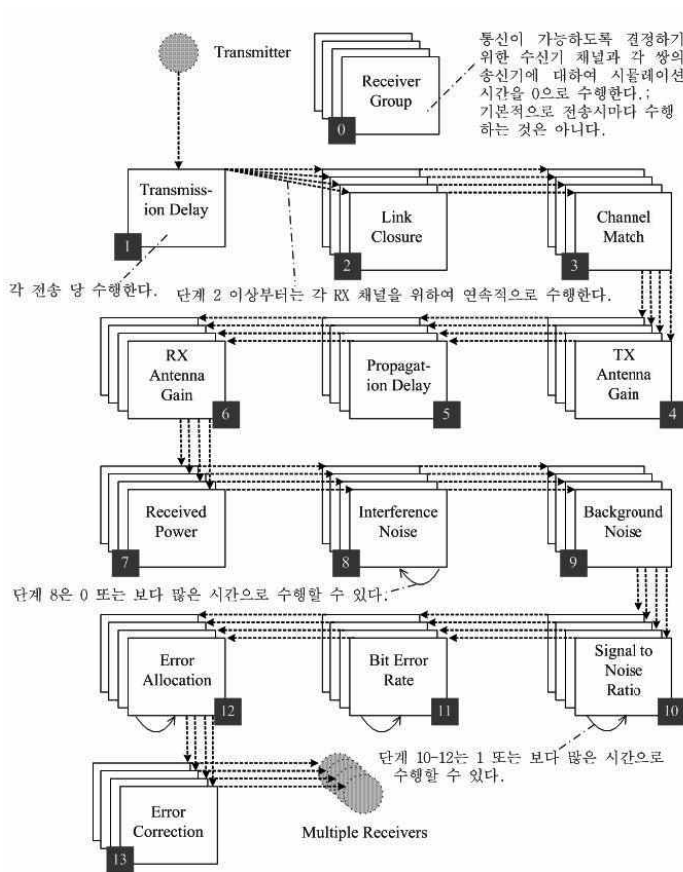
Wireless 모델링은 다음과 같은 요소를 포함한다.

- 이동 사이트 : 무선 기능들은 두가지 새로운 이동 사이트 종류로 모바일(Mobile)와 위성(Satellite)을 제공한다. 위성은 이동의 움직임을 표현하기 위하여 할당된 궤도로 주어지며 이러한 위성은 두가지 유형으로 만들 수 있다. 첫째, Modeler 자체 내에서 상각 궤도를 만들 수 있다. 둘째, 궤도는 외부 Modeler(AGI사의 STK(Satellite Tool Kit))로 импорт(import)하여 만들 수 있다.
- 라디오 링크(Radio Links) : 무선 모델링, 고정/이동, 위성은 각각의 라디오 링크와 통신한다. 이들 링크 가용성과 특성은 시간 요소로 주어진다. 예를 들면 통신사이트 이동, 송신기와 수신기 변경, 동시 전송으로부터 간섭 등을 들 수 있다. 추가적인 지형 모델링 모듈, 지형과 대기 효과 또한 라디오 링크 성능에 영향을 준다.
- 시뮬레이션 특징 : 무선도메인은 파이프라인 단계 계산 결과를 공유하고 그룹핑 노드에 의해 시뮬레이션 시간을 줄일 수 있다. 이러한 무선 기능을 이동 애니메이션으로 캡처(capture)할 수 있다.

- Modeler 사용자를 위한 특징 : 무선 통신 특성을 평가하기 위하여 시뮬레이션 커널에 의해 사용되어진 14단계 전달 파이프라인을 제공한다. Modeler 사용자는 일반적인 전달 파이프라인을 사용하거나 또는 무선 통신을 수행하기 위한 코드를 포함할 수 있다. 아울러 Modeler 사용자는 무선 도메인 모델, 안테나 패턴, 일반적인 변조 곡선을 정의할 수 있다.

기본 무선 통신은 무선 링크 이슈와 접속가능성으로 분류할 수 있다. 전자의 경우 시뮬레이션을 하기 위한 주요 파라미터로 주파수 밴드, 변조 종류, 송신기 파워, 이동 오브젝트 거리, 안테나 방향 등이 일반적인 요소로 분류할 수 있다. 특히 라디오 링크 효과는 패킷이 충돌할 때 결정되는 패킷 전파 지연, 패킷 신호의 특별한 노이즈(noise) 발생으로 인한 간섭, 전달된 파워 레벨을 계산하기 위하여 노드들 간의 거리로 주로 사용된다. 특히 간섭과 신호 세기는 라디오 링크 품질에 영향을 주는 주요 파라미터이다. 후자의 경우 유선과 달리 무선은 다이내믹하게 변화할 수 있는 파라미터를 브로드캐스터 기술에 적용할 수 있어야 하고 각 전송에 대한 모든 수신기 채널과 송신기 채널 사이에 가능한 연결을 평가할 수 있도록 송수신기 파이프라인을 적용했다. 또한 출발지 노드에서 목적지 노드까지 직접적인 LoS인지 아닌지에 대한 사이트 위치와 라디오 송신기에 의해 패킷을 전달한 후 라디오 수신기로 패킷을 수신받는 처리 즉, 이와 같은 처리 매체인 안테나로 결정되며 안테나를 통해 라디오 신호 세기가 결정된다. 안테나 모듈 속성은 송신기 또는 수신기로 기술되고 타겟(target) 대상과 안테나 방향 계인 패턴에 의해 좌우된다.

5) Free Space Model : 환경에 영향을 받지 않는 오픈 공간을 통해 신호 전파를 표현하기 위한 방법임  
 6) Longley Rice Model : 무선 전파 모델의 하나임. 20MHz ~ 20GHz 주파수 범위 내에 있는 통신 링크에 대한 무선 신호 세기를 예측하기 위한 방법임  
 7) Modulation Curve Editor : 효율적인 SNR(Signal to Noise Ratio) 기능으로 정보 신호 BER(Bit Error Rate) 지점을 곡선으로 표현한 것으로 다양한 변조곡선을 Modulation Curve Editor로 수용 및 생성/수정이 가능함  
 8) Antenna Pattern Editor : 안테나 특성인 방향성-이론 계인을 모델링하기 위하여 사용함  
 9) Wireless Domain Editor : 무선 도메인 모델을 정의하거나 또는 존재한 모델을 수정하기 위하여 사용함



분류	단계별 세부 설명
Stage 0 (Receiver Group)	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 송신기 채널을 위한 초기 수신기 그룹을 만들기 위한 단계</li> <li>시뮬레이션 커널은 모든 가능한 송신기-수신기 채널 쌍으로 체크되고 각 송신기 채널에 대한 수신기 그룹으로 생성</li> </ul>
Stage 1 (Transmission Delay)	<ul style="list-style-type: none"> <li>패킷을 시작 전송하는 단계</li> <li>단일 수행에 대한 결과값은 파이프라인으로 제공하도록 수행</li> </ul>
Stage 2 (Link Closure)	<ul style="list-style-type: none"> <li>특별한 수신기 채널 전송에 대한 영향 여부를 결정하는 단계</li> </ul>
Stage 3 (Channel Match)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stage 2 단계 기준을 만족하는 각 수신기 채널을 호출</li> <li>수신기 채널에 관련된 전송을 분류하는 작업</li> </ul>
Stage 4 (TX Antenna Gain)	<ul style="list-style-type: none"> <li>송신기에서 수신기까지 향하는 지향성 벡터를 기반으로 하며 송신기에 조합된 안테나를 제공된 계인으로 계산하기 위한 단계</li> </ul>
Stage 5 (Propagation Delay)	<ul style="list-style-type: none"> <li>라디오 송신기에서 라디오 수신기까지 순환된 패킷 신호에 대한 요구된 시간에 양을 계산하는 단계(전파 지연 = 마지막 패킷 전송 완료 시간 - 패킷 시작 전송 시간)</li> </ul>
Stage 6 (RX Antenna Gain)	<ul style="list-style-type: none"> <li>송신기에서 수신기까지 향하는 벡터 방향 기반으로 조합된 안테나 수신기로 제공되는 계인으로 계산하는 단계</li> </ul>
Stage 7 (Received Power)	<ul style="list-style-type: none"> <li>도착한 패킷 신호(Watt)에 전달된 파워로 계산하는 단계</li> </ul>
Stage 8 (Interference Noise)	<ul style="list-style-type: none"> <li>전송간의 상호동작을 기술하는 단계</li> </ul>
Stage 9 (Background Noise)	<ul style="list-style-type: none"> <li>동시 도착한 전송 패킷을 제외한 모든 노이즈 근원지에 대한 영향력을 기술하는 단계</li> </ul>
Stage 10 (Signal to Noise Ratio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>도착 패킷에 대한 현재 평균 파워 SNR 결과를 계산하는 단계</li> <li>전달된 패킷이 올바른지를 수신기 능력으로 결정하여 제공</li> </ul>
Stage 11 (Bit Error Rate)	<ul style="list-style-type: none"> <li>과거 상수 SNR에 비트 에러 확률을 얻기 위한 단계</li> <li>전송된 신호에 대한 사용된 변조 타입 함수</li> </ul>
Stage 12 (Error Allocation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>패킷 세그먼트 내의 비트 에러 수를 측정하기 위한 단계</li> </ul>
Stage 13 (Error Correction)	<ul style="list-style-type: none"> <li>목적지 노드의 출력 스트림과 대응된 채널을 포워딩(forwarding)하고 도착한 패킷의 존재여부(與否)에 따라 패킷 채택을 결정하는 단계</li> </ul>

(그림 2) 하나의 패킷 전송을 위한 라디오 송수신기 파이프라인 수행 단계

<표 2> WiFi (IEEE 802.11g)와 WiMAX (IEEE 802.16e) 기술 규격

분류	기술 규격 설명
WiFi (IEEE 802.11g)	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.11 시리즈인 네 번째 등장한 802.11g규격은 IEEE 802.11a 규격과 전송 속도(최고 54Mbps)가 같지만 2.4GHz대역 전파를 사용한다는 점만 다르다.</li> <li>널리 사용되고 있는 IEEE 802.11b규격과 쉽게 호환되어 현재 널리 쓰이고 있는 무선서비스이다.</li> </ul>
WiMAX (IEEE 802.16e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>동시 송수신을 위해 TDD(Time Division Duplex)를 다중 접속을 위해 OFDMA를 채택했으며 사용화 초기에는 한 채널에 8.75MHz 대역너비를 가졌다.</li> <li>CDMA(Code Division Multiple Access) 기반의 휴대 전화가 데이터 속도에 제한을 받는 것을 극복하기 위해 고안되었다.</li> <li>무선랜 접속은 AP 장치를 일정한 반경에 인터넷을 접속할 수 있게 하였으나 AP 장치는 핸드오버를 지원하지 못하기 때문에 일정 범위를 벗어나면 연결이 끊길 수밖에 없다. 이와 달리 WiMAX는 OFDMA 및 셀룰러 기술을 응용하여 서비스 셀(cell)을 구성하고 핸드오버를 구현하여 이동하면서 인터넷 접속이 가능하다.</li> <li>IEEE 802.16e, 2.3GHz 주파수 대역, 시간당 60 킬로미터 이상 속도 제공, 최대 전송 거리 1킬로미터 이상, 최고 전송 속도 약 25Mbps, 광대역 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식 등을 제공한다.</li> </ul>

라디오 송수신기 파이프라인(Radio Transceiver Pipeline)은 14단계로 구성된다. 이에 대한 각 단계별 설명과 유형은 위 (그림 2)와 같다. (그림 2) 라디오 송수신기 파이프라인은 패킷 무선 전송 모델로 어떤 단계에 의해 라디오 송수신기 파이프라인이 동작되는지와 각 단계별 전반적인 설명을 도식화한 것이다[16].

### 3.3 종단간 수신된 패킷 통계 분석

본 절에서는 OPNET Modeler Wireless Suite을 이용하여 무선서비스인 WiFi (IEEE 802.11g)와 WiMAX (IEEE 802.16e) 가상 무선망을 모델링하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 이전 제안한 무선서비스에 대한 기술 규격을 살펴보면 <표 2>와 같이 정리할 수 있다.



이와 같은 무선서비스에 대한 패킷 통계 분석의 목적은 이전 2.2절에서 설명한 SMI, WinProp: W-LAN, Fixed WiMAX, Mobile WiMAX, RT 모듈은 첫째, 이들은 무선 전파 신호 세기 분석에 비중을 두었다는 점과 둘째, 무선사업자를 위한 주파수 허가 업무상의 및 기술심의 이외의 WiMAX와 같은 QoS를 보장하는 엔드 유저(end user)가 무선 전파 신호 세기 이외의 얼마만큼의 패킷을 받을 수 있는지를 시각화하여 분석할 수 있다는 점, 끝으로, OPNET Modeler Wireless Suite를 이용하여 유무선 통합망을 기반으로 한 중단간 가상망 모델링 후 이에 대한 시뮬레이션 결과값으로 패킷에 대한 통계를 분석할 수 있었기 때문이다. 따라서 무선서비스를 시뮬레이션으로 수행한 후 가상 무선망내의 모델링된 무선사용자, AP 또는 기지국, HTTP 서버에서 수신된 패킷 통계를 분석한다. 다음 절에서는 이와 같은 실험을 위하여 가상 무선망 환경 구성 방법(안)과 가상 무선망 환경을 구성한 후 시뮬레이션 결과에 대한 WiFi와 WiMAX 패킷 통계량 분석을 언급한다.

### 3.3.1 가상 무선망 환경 구성 방법(안)

가상 무선망 환경은 WiFi와 WiMAX로 분류한 후 무선사용자 수를 7명, 35명, 140명, 280명으로 점차 증가시킨다. WiFi는 IEEE 802.11g Ad-hoc 방식을 적용하였고 WiMAX는 이동성 무선사용자로 이들 사용자 QoS를 실버(Silver)형과 브론즈(Bronze)형으로 적용하였다. 그리고 공통 항목으로 WiFi와 WiMAX 무선사용자는 HTTP 서버와 연결하고 무선지역서비스를 서울, 대전, 광주, 부산, 성남, 아산, 대구, 울산 8개 지역으로 선정하여 시나리오에 반영토록 구성하였다.

가상 무선망 환경을 구성하기 위해서는 다음과 같은 순서로 구성해야 한다. 첫째, 프로젝트 유형을 생성할 때 WiFi와 WiMAX 7명, 35명은 네트워크 규모(Network Scale)를 World로 선택하고 그 외 140명, 280명에 대한 맵(Map)은 대한민국(South\_Korea)으로 선택한다. 둘째, 선택한 지역이 생성되면 토폴로지의 무선 네트워크 배치(Deploy Wireless Network)을 선택한다. 선택한 후 다음과 같은 6단계로 수행한다.

- Step 1 : 네트워크 생성(Network Creation)
- Step 2 : {지역(Location) : WiFi와 WiMAX 모든 사용자 유형별 공통 설정}
  - 7명과 35명 무선사용자 : 위도와 경도가 0.00, 0.00으로 설정
  - 140명과 280명 무선사용자 : 위도와 경도가 127.780674, 35.855961으로 설정
- Step 3 : 기술(Technology)
  - WiFi : WLAN (Ad-hoc), 운영 모드(Operational Mode)를 802.11g, 데이터율(Data Rate)을 54Mbps로 설정(모든 무선사용자 유형별 공통 설정)
  - WiMAX : WiMAX 선택, 패스손실과 다중패스 모델

(Pathloss and Multipath Model)을 차량(Vehicular)으로 설정(모든 무선사용자 유형별 공통 설정)

- Step 4 : 토폴로지
  - WiFi : 이동 노드(Mobile Node)를 7명, 35명, 140명, 280명 무선사용자 유형별로 설정
  - WiMAX : 셀 수(Number of Cells)를 1, 셀 반경(Cell Radius (km))을 2.00, 가입자 위치(Subscriber Station)을 7명, 35명, 140명, 280명 무선사용자 유형별로 설정
- Step 5 : 노드 이동(Node Mobility)
  - WiFi : 속도(Speed (m/s))를 5.00으로 설정(모든 무선사용자 유형별 공통 설정)
  - WiMAX : 속도를 60.00, 이동 영역(Area of Movement)을 셀 내(Within Cell)로 설정(모든 무선사용자 유형별 공통 설정)
- Step 6 : 구성 요약(Configuration Summary)

위와 같이 6단계로 진행하면 가상 무선망이 도식화된다. 셋째, 가상 무선망의 형상이 그려지면 WiFi와 WiMAX 세부적인 구성 설정은 수작업으로 진행해야 한다. WiFi의 경우, 애플리케이션 구성(Application Config)과 애플리케이션을 정의하는 프로파일 구성(Profile Config) 설정과 HTTP 서버를 가상 무선망에 추가한다. 지역을 선정한 140명과 280명 무선사용자는 각 지역별 AP를 추가하고 추가된 AP를 백본망으로 지정한다. HTTP 서버는 서울 지역 내에 존재하고 그 이외 지역들은 서울 내에 있는 이 HTTP 서버를 호출토록 구성한다. 추가된 AP는 각 지역에 존재한 무선사용자가 설정된 IEEE 802.11g, 54Mbps로 설정을 변경하도록 한다. WiMAX의 경우, 애플리케이션 구성(Application Config)과 애플리케이션을 정의하는 프로파일 구성(Profile Config) 설정, 그리고 서비스 클래스를 정의하는 WiMAX 구성(WiMAX Config)한 후 HTTP 서버를 가상 무선망에 추가한다. 한가지 더 추가해야 할 작업은 무선사용자 클래스를 실버와 브론즈로 모든 WiMAX 무선사용자에게 적용해야 하며 기지국 또한 이들 무선사용자 클래스를 수용할 수 있도록 분류자 정의(Classifier Definitions)를 실버와 브론즈로 선택해야 한다. 끝으로, 총 8개의 가상 무선망에 대한 시뮬레이션 시간을 180초로 설정한 후 DES를 수행하면 중단간 무선망 패킷 통계 값이 산출된다.

(그림 3)는 WiFi와 WiMAX로 무선사용자 수 증가에 따른 가상 무선망 환경을 구성한 형상이다. (그림 3)는 총 8개의 가상망 환경으로 각각에 대한 무선사용자 수, AP 또는 기지국 수, 셀 수, 서브넷<sup>10)</sup>(Subnet) 수로 <표 3>와 같다. 서울, 대전, 광주, 부산, 성남, 아산, 대구, 울산 8개 지역 내의 서브넷 내에는 무선사용자와 AP 또는 기지국, HTTP 서버가 포함되어 있다. 더불어 WiMAX는 셀 수를 1로 설정하였으므로 셀간 핸드오버는 고려하지 않았다.

10) Subnet : 지역 내에 있는 무선사용자, HTTP 서버, 기지국 등이 포함되어 있는 것을 의미함



<표 3> 그림 2 내의 가상 무선망 환경 설정

Classification	WiFi	WiMAX
Case 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 7</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 7</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>기지국 수 : 1</li> <li>셀 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 1</li> </ul>
Case 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 35</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 35</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>기지국 수 : 1</li> <li>셀 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 1</li> </ul>
Case 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 140</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>AP 수 : 4</li> <li>Subnet 수 : 4 (서울, 대전, 광주, 부산)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 140</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>기지국 수 : 4</li> <li>셀 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 4 (서울, 대전, 광주, 부산)</li> </ul>
Case 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 280</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>AP 수 : 8</li> <li>Subnet 수 : 8 (서울, 대전, 광주, 부산, 성남, 아산, 대구, 울산)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선사용자 수 : 280</li> <li>HTTP 서버 수 : 1</li> <li>기지국 수 : 8</li> <li>셀 수 : 1</li> <li>Subnet 수 : 8 (서울, 대전, 광주, 부산, 성남, 아산, 대구, 울산)</li> </ul>

3.3.2 WiFi와 WiMAX 종단간 패킷 통계량 분석 결과

시뮬레이션 분석 결과, WiFi와 WiMAX를 두가지 패킷 통계량으로 1) 무선사용자별 수신 패킷 통계 결과와 2) AP 또는 기지국별 수신 패킷 통계 결과로 분류하여 분석하였다. 이에 대한 패킷 통계 결과는 (그림 4), (그림 5)와 같다. (그림 4)인 WiFi와 WiMAX 무선사용자별 수신 패킷 통계 결과, WiFi는 부산에 있는 무선사용자 120을 제외한 모든 수신된 패킷이 일정한 패턴 행동 결과를 보였다. 수신된 최대 패킷은 75,685 패킷이고 최소 패킷은 42 패킷임을 알 수 있었다. 반면 WiMAX는 무선사용자별 패킷이 랜덤(random)한 패턴 행동 결과를 보였다. 수신된 최대 패킷은 511 패킷이고 최소 패킷은 0임을 알 수 있었다. WiFi와 WiMAX 무선사용자별 수신 패킷 통계 실험결과 흥미있는 점은 모든 무선사용자별 수신된 패킷 결과가 WiFi가 더 컸다는 점을 알 수 있었다. 즉, WiFi IEEE 802.11g 최고 전송 속도가 54Mbps인 점을 가만해본다면 무선사용자 역시 WiMAX보다 수신된 패킷 통계량이 더 많다는 점을 (그림 4)을 통해 인지(認知)할 수 있었다. WiFi의 지역별 패킷 순위를 살펴보면 140명 무선사용자 설정인 경우 부산, 광주, 대전, 서울 순위이며 280명 무선사용자 설정인 경우 대구, 광주, 부산, 아산, 울산, 대전, 성남, 서울 순위로 분석되었다. WiMAX의 지역별 패킷 순위를 살펴보면 140명 무선사용자 설정인 경우 대전, 광주, 서울, 부산 순위이며 280명 무선사용자 설정인 경우 성남, 대구, 부산, 아산, 대전, 광주, 서울, 울산 순위로 분석되었다.

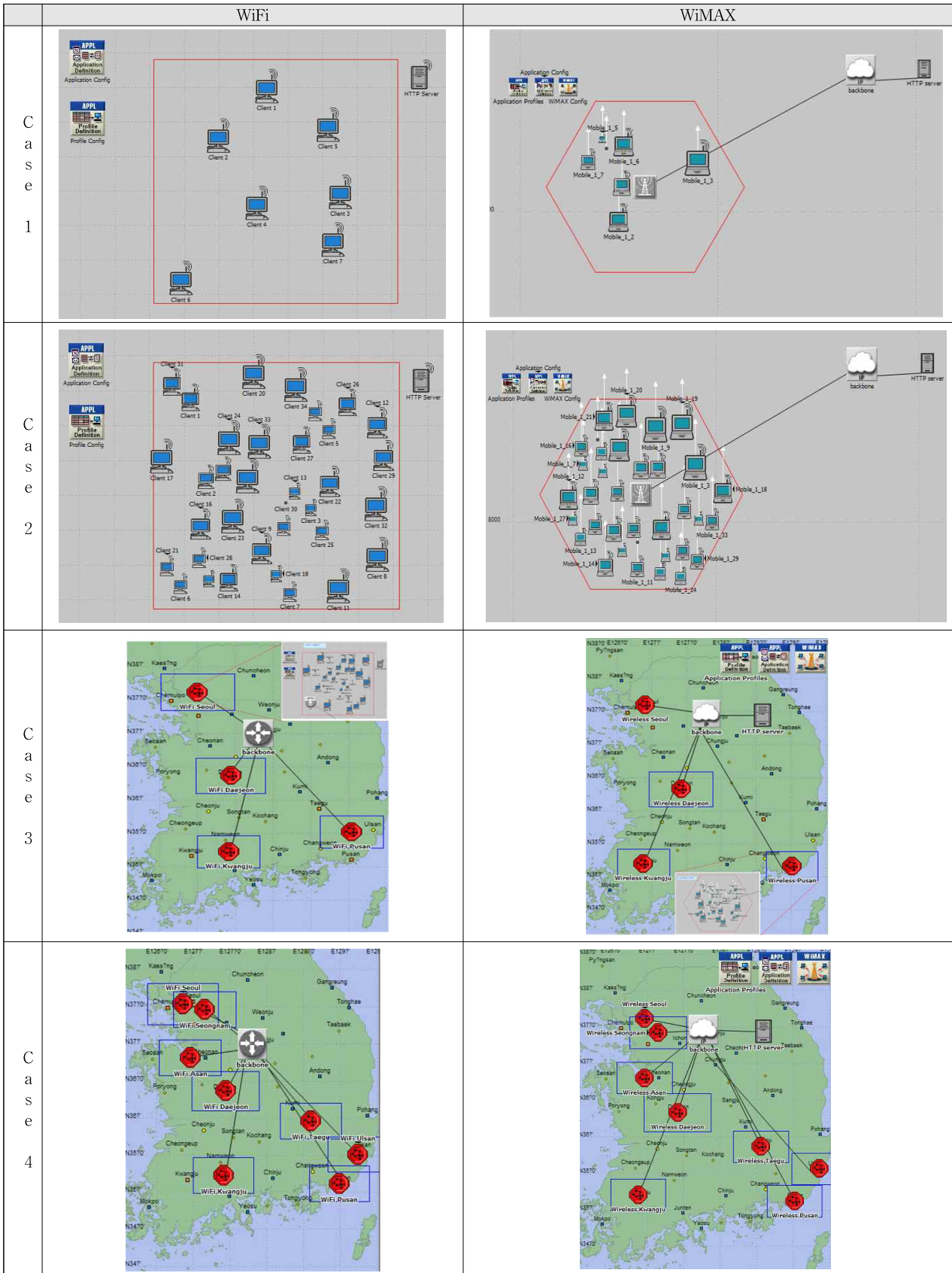
(그림 5)인 WiFi와 WiMAX AP 또는 기지국별 수신 패킷 통계 결과, WiFi는 지역별 AP로 수신된 패킷이 랜덤한 패턴 행동 결과를 보였다. AP로 수신된 지역별 패킷 순위를 살펴보면 140명 무선사용자 설정인 경우 대전, 부산, 광주, 서울 순위이며 280명 무선사용자 설정인 경우 대구, 아산, 대전, 성남, 울산, 부산, 광주 서울 순위로 서울에서 수용된 AP 패킷이 제일 작음을 알 수 있었다. WiMAX는 지역별 기지국 수신된 패킷이 일정한 패턴 행동 결과를 보였다. 기지국으로 수신된 지역별 패킷 순위를 살펴보면 140명 무선사용자 설정인 경우 대전, 광주, 서울, 부산 순위이며 280명

무선사용자 설정인 경우 성남, 대구, 부산, 아산, 대전, 광주, 서울, 울산 순위를 알 수 있었다. 이 실험결과 흥미있는 점은 WiMAX가 WiFi보다 무선 이동 단말기 최고 전송 속도 25Mbps로 낮음에도 불구하고 WiMAX 기지국 패킷 수신 통계량이 더 컸다는 점을 알 수 있었다. 이처럼 수신 패킷 결과값으로 나온 이유는 1) 제한된 셀 내에서 차량으로 동적(dynamic) 이동하는 무선사용자를 위하여 제공되는 기지국 주파수 범위가 넓고 2) 한 지역 내에 있는 동시 접속 무선사용자 수를 기준으로 수신된 패킷이 WiFi AP보다 WiMAX 기지국이 더 많이 수용할 수 있었기 때문이다. (그림 4)와 (그림 5)의 지역별 수신 패킷 통계 순위를 보면 WiFi는 순위가 달랐으나 WiMAX는 순위가 일치하였다. 즉, QoS가 보장되지 않는 WiFi 패킷 수신 처리는 무선사용자와 AP간의 순위가 랜덤했으나 QoS가 보장된 WiMAX는 무선사용자와 기지국간의 순위가 일치함을 알 수 있었다.

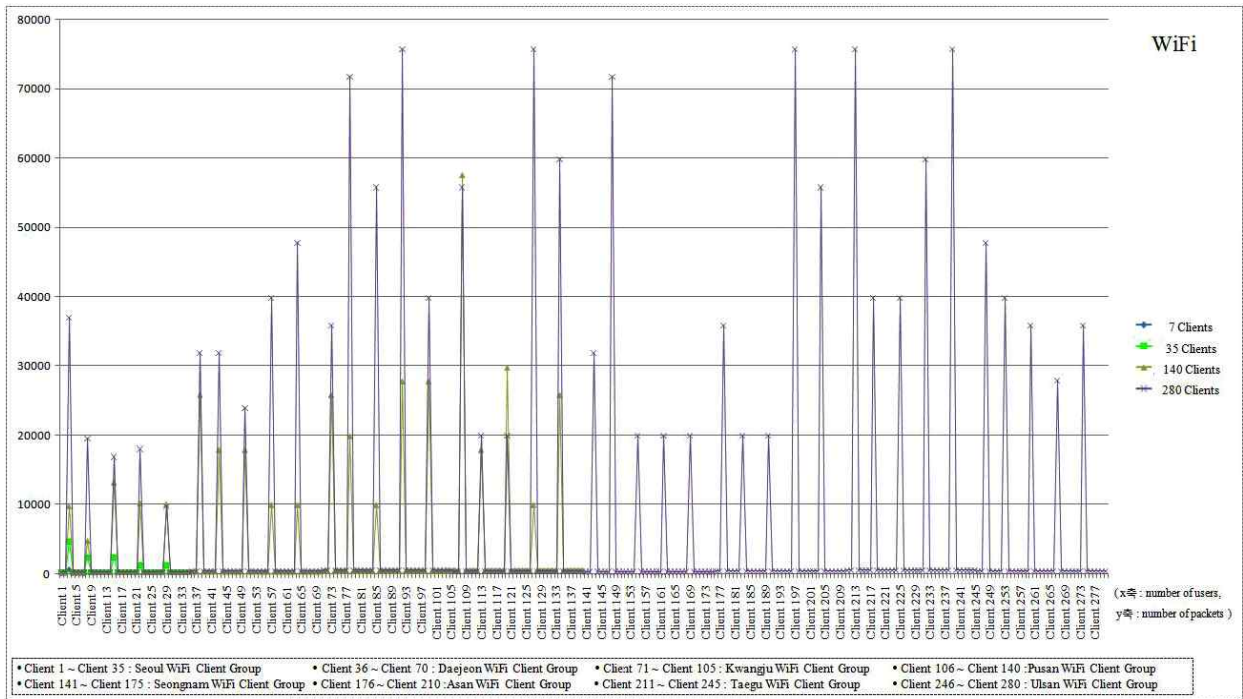
마지막으로 HTTP 서버에서 수신 받은 패킷 결과를 살펴보면 WiFi의 7명 무선사용자를 제외한 모든 무선사용자가 WiMAX보다 많은 패킷을 수신 받음을 (그림 6)의 HTTP 서버 통계 결과로 알 수 있었다. WiMAX에서 수용된 기지국 패킷이 많음에도 불구하고 무선사용자 패킷을 많이 수용한 WiFi의 HTTP 서버가 보다 많은 패킷을 수용함을 시뮬레이션으로 알 수 있었다. 따라서 종단간 가상 무선망 환경에서 수신된 패킷의 총 누적양, 즉, 각 무선사용자 유형별과 AP 또는 기지국, HTTP 서버 이들 모두의 수신된 패킷 누적 총 누적양은 WiMAX 기지국으로부터 수신된 패킷이 많음으로 인하여 WiMAX가 WiFi보다 더 많은 패킷 수신을 받았다는 점을 (그림 6)으로 알 수 있었다.

3.4 실험요약

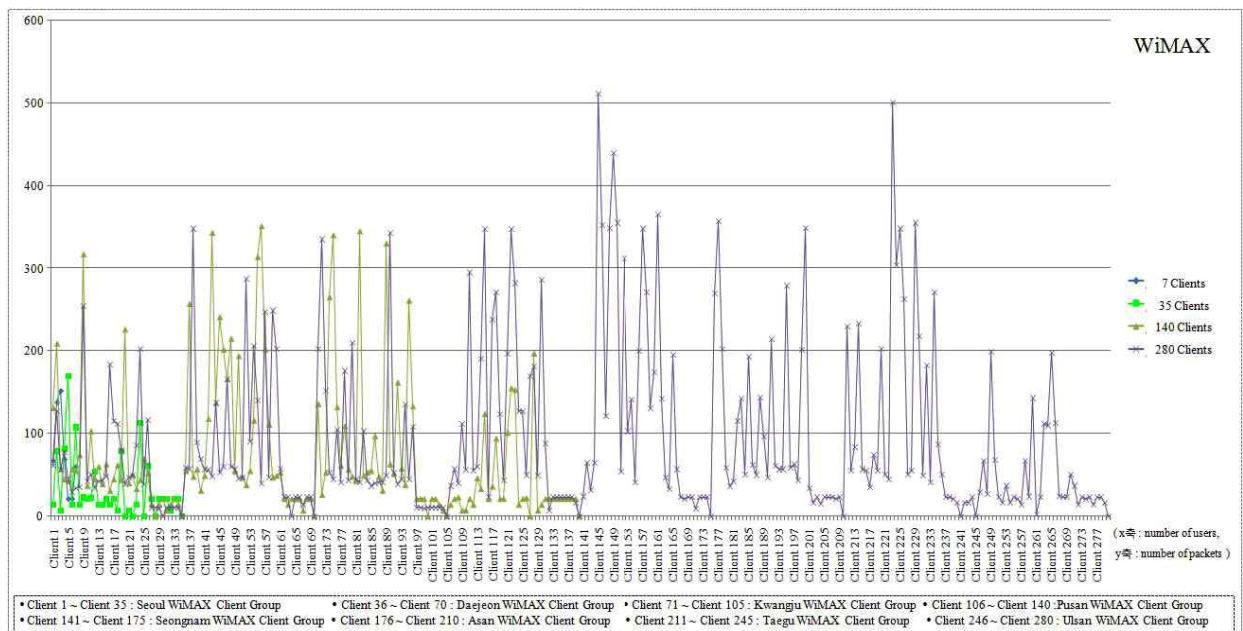
무선 랜, 셀룰러 전화기 네트워크 등에 사용되는 무선 링크는 다양성과 예측하기 어려운 특성 때문에 유선망보다 어려운 구성일 수밖에 없다. 유선망과 달리 무선망은 어떻게 동적인 무선사용자를 셀 내에 표현할 수 있을까?, 어떻게 하면 무선서비스를 유선망에 있는 해당 애플리케이션 서버와 연결을 할 수 있을까?, 무선사용자 서비스 클래스별 구



(그림 3) 무선사용자 수에 따른 가상 무선망 환경 스냅샷(snapshot)

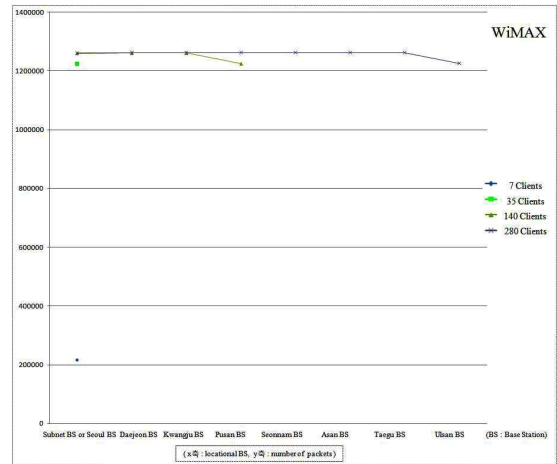
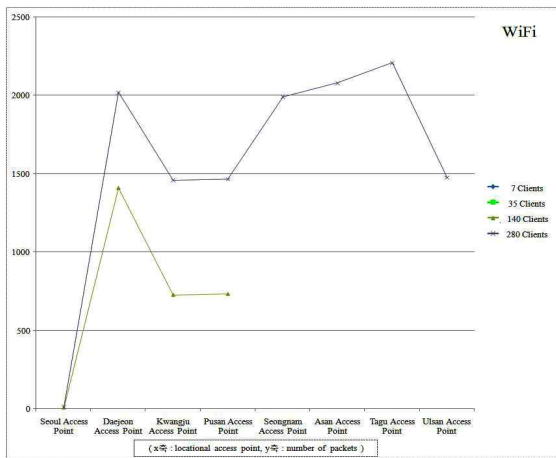


	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8
WiFi	140 Clients	Pusan	Kwangu	Daejeon	Seoul	-	-	-	-
	280 Clients	Taegu	Kwangu	Pusan	Asan	Ulsan	Daejeon	Seongnam	Seoul



	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8
WiMAX	140 Clients	Daejeon	Kwangu	Seoul	Pusan	-	-	-	-
	280 Clients	Seongnam	Taegu	Pusan	Asan	Daejeon	Kwangu	Seoul	Ulsan

(그림 4) WiFi와 WiMAX 무선사용자별 수신 패킷 통계 결과



Ranking	AP Packet Statistics	
	140 Clients	280 Clients
1	Daejeon	Tagu
2	Pusan	Asan
3	Kwangju	Daejeon
4	Seoul	Seongnam
5	-	Ulsan
6	-	Pusan
7	-	Kwangju
8	-	Seoul

Ranking	Base Station Packet Statistics	
	140 Clients	280 Clients
1	Daejeon	Seongnam
2	Kwangju	Taegu
3	Seoul	Pusan
4	Pusan	Asan
5	-	Daejeon
6	-	Kwangju
7	-	Seoul
8	-	Ulsan

(그림 5) WiFi와 WiMAX AP 또는 기지국별 수신 패킷 통계 결과

성은 어떻게 하면 될까?, 이와 같은 의문에 대한 해답을 줄 수 있는 소프트웨어 시뮬레이션 툴인 OPNET Modeler Wireless Suite로 중단간 수신 받은 패킷 통계 분석을 본 연구에서 수행하였다. 가상 무선망인 WiFi와 WiMAX은 물리적인 계층보다 무선사용자 증가에 따른 지역별 무선사용자, AP 또는 기지국, HTTP 서버에 대한 수신 패킷 행동과 통계를 분석할 수 있었다.

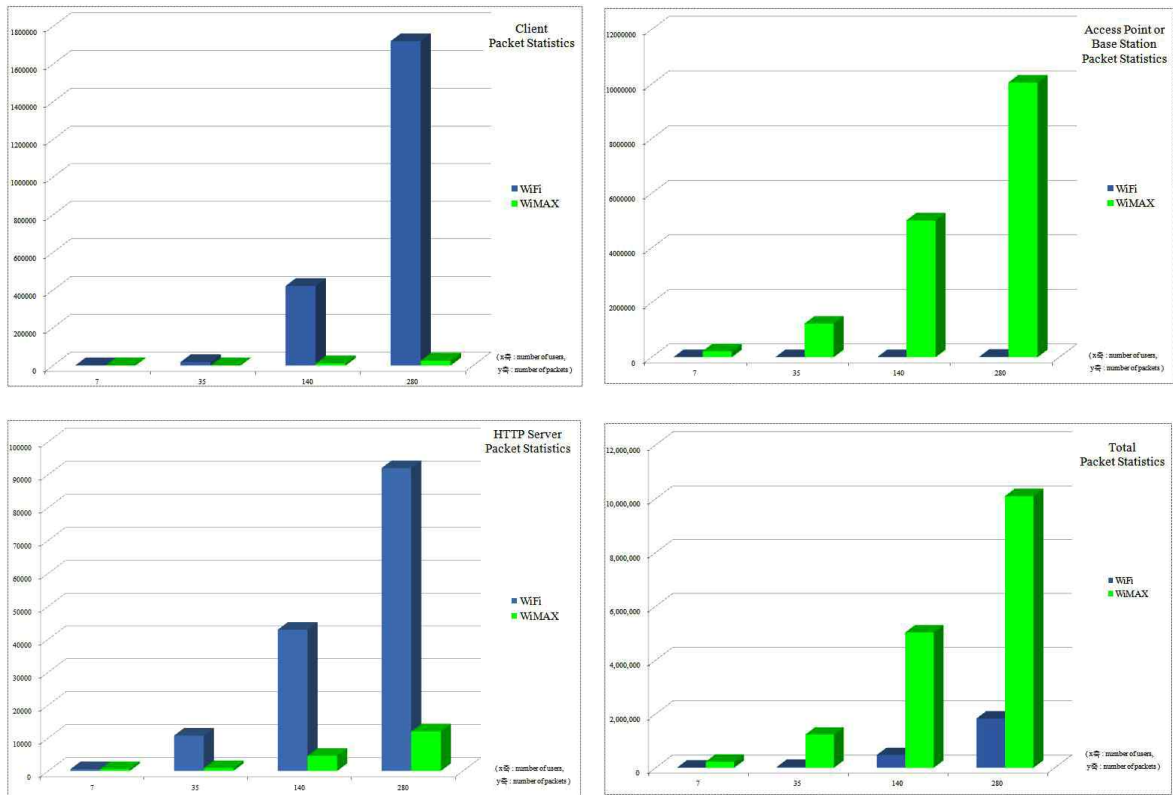
가상 무선망 내에서 패킷 통계를 분석하기 위한 방안으로 다양한 가상 무선망을 구성하였다. OPNET Modeler Wireless Suite 실험을 위하여 HTTP 서버, AP 또는 기지국으로 구성된 후 중단간에 무선 단말 장치와 링크를 무선사용자 수만큼 별도로 구성하였다. 구성 완료 후 WiFi와 WiMAX로 가상 패킷을 생성하여 무선사용자, AP 또는 기지국, HTTP 서버에서 수신 받은 패킷을 산출하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 첫째, 무선사용자별 수신 패킷 통계 결과는 WiFi IEEE 802.11g 최고 전송속도 54Mbps인 무선사용자가 보다 많은 수신된 패킷을 받았다. 둘째, WiFi의 7명 무선사용자를 제외한 HTTP 서버 역시 WiMAX보다 많은 패킷을 수신 받음을 알 수 있었다. 이는 WiFi 사용자 유형별 수신된 패킷이 WiMAX보다 많으므로 그만큼 HTTP 서버에서 수신 받은 패킷이 많음을 알 수 있었다. 끝으로, AP 또는 기지국별 수신 패킷 통계 결과, WiFi보다 적은 무선 이동 단말기 최고 전송 속도 25Mbps

인 WiMAX 기지국 패킷 수신 통계가 월등히 컸다는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 이유는 가상 무선망으로 설정된 셀 내에서 차량으로 동적 이동하는 무선사용자를 위하여 제공되는 기지국 주파수 범위가 넓고 한 지역 내에 있는 동시 접속 무선사용자 수를 기준으로 수신된 패킷이 WiFi AP보다 WiMAX 기지국이 더 많이 수용할 수 있었기 때문이다. 또한 지역 내에 있는 무선사용자와 기지국간의 순위가 일치함에 있어 수신된 패킷 처리에 대한 QoS 보장이 가능했다는 점을 실험으로 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

최근 무선사업자 서비스 중 높은 데이터 전송률을 자랑하는 WiFi 서비스, WiFi 보다 데이터 전송률은 적지만 WiFi 한계점을 극복한 이동성, 핸드오버, QoS 보장, 경제성 등이 장점인 WiMAX 서비스는 무선사용자에게 매력적인 서비스임에 틀림없다. 만약 중단간 가상 무선망을 전체적으로 관찰할 수 있고 시뮬레이션 가능한 툴이 있다면 무선 네트워크 연구자에게 분명 관심(關心)을 가질 것이다. 여기 이러한 중단간 가상 무선망 구성이 가능한 OPNET Modeler Wireless Suite를 소개하고 이 툴을 이용하여 WiFi와 WiMAX에 대한 무선사용자 증가에 따른 실험을 수행하였다. 실험 결과, 무선사용자별 수신 패킷 통계와 HTTP 서버





Classification	Number of Users	Packet Statistics			
		Client Group	Access Point or Base Station	HTTP Server	Total
WiFi	7	828	0	546	1,374
	35	17,728	0	10,748	28,476
	140	421,934	2,872	42,905	467,711
	280	1,721,823	12,704	91,972	1,826,499
WiMAX	7	528	216,344	547	217,419
	35	1,106	1,224,670	846	1,226,622
	140	10,379	5,007,469	4,573	5,022,421
	280	26,211	10,053,673	11,980	10,091,864

(그림 6) WiFi와 WiMAX 무선사용자, AP 또는 기지국, HTTP 서버, 전체 수신 패킷 통계 결과

는 최고 전송 속도가 더 빠른 WiFi가 WiMAX보다 더 많은 패킷을 수신 받을 수 있었으나 AP 또는 기지국별 수신 패킷 통계 결과 WiMAX 기지국이 보다 많은 패킷을 수신 받음을 시뮬레이션 결과로 알 수 있었다. 즉, WiMAX의 가상 무선망은 제한된 셀 내에 차량으로 동적 이동하는 무선사용자를 위하여 제공되는 기지국 주파수 범위가 넓고 한 지역 내에 있는 동시 접속 무선사용자 수를 기준으로 수신된 패킷이 WiFi AP보다 WiMAX 기지국이 더 많이 수용할 수 있었기 때문이다. 이러한 산출 결과를 토대로 종단간 가상 무선 망 내에 있는 무선사용자, AP 또는 기지국, HTTP 서버에 대한 수신 패킷 행동과 통계를 분석함으로써 무선사업자는 무선 프로토콜 특성에 맞는 최적화 설계 및 이동 네트워크 배치 설계가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구 진행 중 한계는 다음과 같이 요약할 수 있었다. 140명과 280명 무선사용자에 대한 지역별 가상 무선망 설계를 함에 있어 지역간 지형은 설정하였으나 각 지역 내의 세부적인 지형(예 : 산, 건물 등)은 설정할 수 없었다. 해당 지역에 대한 상세한 지형 정보는 무선 링크에 중요한 성능파라미터 중 하나이지만 OPNET Modeler Wireless Suite에 대한 다양한 예제를 찾을 수 없어 지형 설정 응용(應用)을 할 수 없었다. 만약 상세한 세부 지형 정보를 OPNET Modeler Wireless Suite에 적용할 수 있었다면 실제 지형에 맞는 종단간 가상 무선 망 패킷 통계 결과가 났을 것으로 추정(推定)된다.

향후 연구는 다음과 같다. 세부 지형 설정을 고려할 수 있는 OPNET Modeler Wireless Suite for Defense에 대한

가상 무선망 연구를 할 계획이다. 아울러 모바일 음성과 데이터 네트워크를 위한 4G 브로드밴드 무선 기술인 LTE(Long Term Evolution) 연구도 함께 할 예정이다. OPNET의 LTE Specialized Model로 LTE 기반과 무선사용자 스테이션(station)을 위한 고객 스케줄링 알고리즘 평가, 핸드오버를 고려한 다양한 이동성에 대한 네트워크 성능 예측, LTE 접근 네트워크와 IP 백본을 통한 전체적인 네트워크 행동 검증 등은 연구 가치가 있을 것으로 보인다. 마지막으로 실제 무선 환경을 구축하지 않고도 실제 장비를 시뮬레이션과 연동하여 테스트 가능한 SITL은 보다 신뢰성 있는 시뮬레이션 연구가 될 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] Houssein Hallani, Seyed Shahrestani, "Improving the Performance of Wireless Ad-hoc Networks: Accounting for the Behavior of Selfish Nodes," Communications of the IBIMA, Vol.2011, 2011.

[2] Hui-Tang Lin, Ying-You Lin et. al "An Integrated WiMAX/WiFi Architecture with QoS Consistency over Broadband Wireless Networks," Proceedings of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking Conference, 2009.

[3] Wei Song, Weihua Zhuang, "Interworking of 3G cellular networks and wireless LANs," Int. J. Wireless and Mobile Computing, Vol.2, No.4, 2007.

[4] Michael Bredel, Martin Bergner, "On The Accuracy of IEEE 802.11g Wireless LAN Simulations Using OMNeT++," Simutools '09 Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, 2009.

[5] Hua Wang, Lars Dittmann, "Downlink resource management for QoS scheduling in IEEE 802.16 WiMAX networks," Elsevier, computer communications, 2010.

[6] Y. Ahmet Sekercioglu, Milosh Lvanovich, Alper Ylper Yegin, "A survey of MAC based QoS implementations for WiMAX networks," Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol.53, Issue 14, 2009.

[7] Ronald Eichenlaub, Clark Valentine et. al "Fidelity High Speed: Wireless InSite® Real Time Module™," <http://www.agi.com>, 2009.

[8] AWE-Communications, "WinProp: W-LAN, Fixed WiMAX and Mobile WiMAX," <http://www.awe-communications.com/>.

[9] G. J. Burke, A. J. Poggio, "Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moments, Part I: Program Description Theory," Jan., 1981.

[10] G. J. Burke, A. J. Poggio, "Numerical Electromagnetics Code (NEC) Method of Moments, Part II: Program Description Code," Jan., 1981.

[11] NEC2 site, "NEC User's Guide," Retrieved 26 March 2003 from <http://www.nec2.org/other/nec2prt3.pdf>.

[12] KT컨소시엄, "SMI Manual," 전파연구소, 2008.

[13] 광은주, 옥기상, 홍원규, 정병덕, "WiBro 서비스 고장관리 체계 연구," KNOM Review, Vol.11, No.1, 2008.

[14] 이지은, 석승학, 정병덕, "OMA DM 기반의 휴대인터넷 단말 관리 시스템," KNOM Review, Vol.10, No.2, 2007.

[15] 서울여자대학교, "정보보호 예보 알고리즘 및 모델 개발," 한국정보보호진흥원, 2009.

[16] OPNET, "Wireless," Modeler Product Documentation Release 14.5.



### 김 정 수

e-mail : kim\_jeongsu@yahoo.com

1996년 군산대학교 컴퓨터과학과(학사)

1998년 군산대학교 컴퓨터과학과  
(이학석사)

2005년 광운대학교 경영정보학과  
(경영정보학박사)

1997년~2000년 (주)필컴 시스템사업부 사원(병역특례)

2000년~2001년 (주)KTI 초고속사업팀 대리

2002년~2004년 TTA 유선망시험팀 전임연구원

2005년~2006년 아라리온(주) New Project Team 과장

2006년~2008년 (주)웨어플러스 무선네트워크팀 차장

관심분야: QoS, 시뮬레이션 분석, NMS 등