

고속도로상 무선 인프라 적용을 위한 성능측정 및 분석

송필용

(한국도로공사 구조물관리팀장)

송상규

(한국도로공사 정보계획팀장)

김홍철

(한국도로공사 지식정보차장)

I 장 개 요

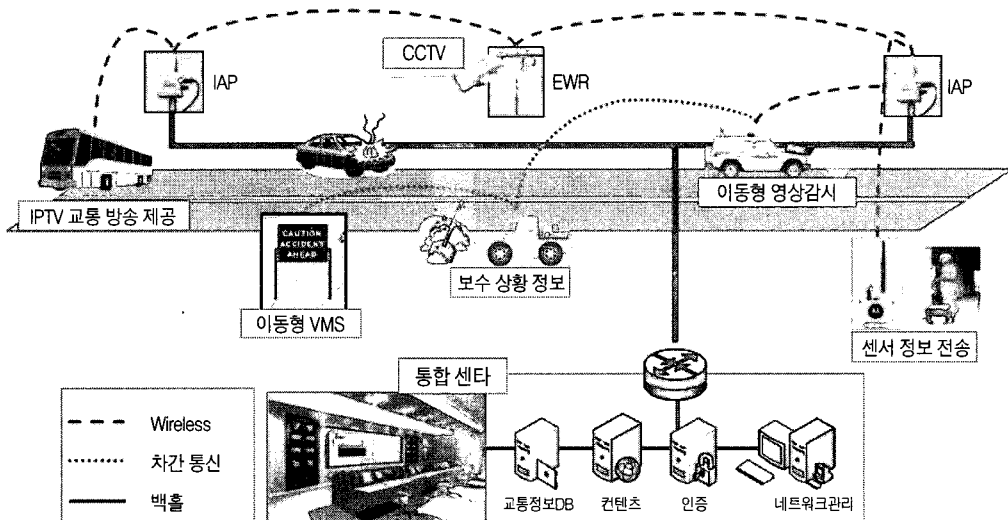
1. 배경 및 필요성

한국도로공사의 u-하이웨이 무선인프라 구축은 경제성과 신뢰성 있는 최적화된 데이터 전송설비의 무선망 설계가 수반되어야 하며, 이에 따라 해당 네트워크의 통신품질을 좌우하는 성능측정 검토 및 분석이 요구된다. 더욱이 고속도로 환경에서 요구되는 고속주행 이동성 조건(시속 150Km 이상 주행 차량)을 만족시키며 동시에 실시간 양방향 무선네트워크를 가능하게 하는 것을 기본전제로 하는 무

선인프라는 앞으로 도로공사에서 추진하는 유비쿼터스 기반의 첨단 고속도로 실현을 위해 도입하고자 하는 단위시스템으로서 요구되는 바, 그 기능 및 역할과 적합성 여부를 판단하고 파급효과를 파악하기 위하여 본 성능 측정 검토를 실시하였다.

2. 목 적

무선인프라 성능측정은 유비쿼터스 기술 적용 타당성 검토를 위한 사항이며 고속도로의 다양한 환경에 따른 통신신뢰성 확보를 위한 테스트를 진행한다.



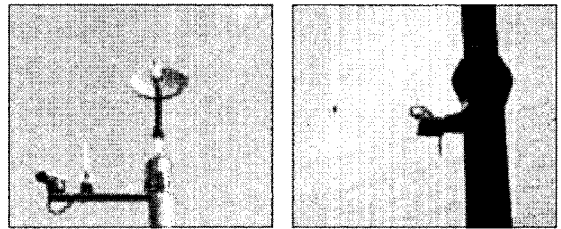
〈그림 1〉 u-하이웨이 무선 인프라 개념도

* 본 연구는 교통체계 효율화 사업 “u-Transportation 기반 기술 개발”의 지원으로 수행하였습니다.

- ISM밴드(2.4GHz/5GHz)의 국내 무선 고시기준에 적합한 무선통신장비이어야 한다.
- 무선인프라 성능측정은 교통 대상 사물에 무선 단말을 장착하고 무선 단말을 장착한 노드와 기지국간 150Km 이상의 고속 주행에 대한 끊임없는 실시간 통신이 가능해야 한다.
- 이동차량에 대한 각 기지국과 기지국간 거리는 고속 주행을 고려하여 1Km 이상의 거리와 신뢰할 수 있는 전파전송이 필요하다.
- 도로환경(평지, 오르막도로, 대형차량)에 의한 전파전송의 신뢰도는 안정적인 통신확보에 필요한 구축방안이 마련되어야 한다.
- 무선인프라의 교통정보수집은 실시간 음성, 영상, 데이터 등의 송수신이 가능하여야 하며 구성 노드간의 ad-hoc 네트워크를 구성하여 상호 실시간 정보교환이 가능하여야 한다.

2006.11.01~10 : MESH & Canopy 무선인프라 시연
 2006.11.14~12.05 : MESH & Canopy 장비 성능 측정

2) 경부고속도로 현장테스트



<그림 2> 캐노피 및 기지국 설치 모습

II 장. 무선통신 이론적 고찰

1. 무선 메쉬네트워크(Wireless Mesh Network)기술

1) 모바일 메쉬네트워크 기술

- 무선상의 고정 또는 이동성 노드로 구성되며 기 정의된 토폴로지에 의해 무선 브로드밴드 네트워킹을 수행하며, 각 디바이스/노드는 프로세싱 파워와 메모리를 제공하여 라우팅 정보가 공유되어 멀티호핑(Multi-Hopping)이 가능하다.
- 무선 메쉬 네트워크가 가능한 현재의 네트워크 기술은 기존 무선랜 기술을 기반으로 IEEE802.11a/b/g 기술이 가능하며, 현재의 기술을 바탕으로 향후에는 실시간서비스(Qos), Selfhealing, 설치 편의성, 확장성, 보안문제등 보완된 보다 진보된 802.11s, 802.11n의 무선 메쉬네트워크 기술이 개발될 것으로 예상된다.
- 802.11s는 유선 백본으로부터 자유로운 메쉬(mesh)네트워크를 구성하며 자동 설치, 자가 치료(Self healing)기능이 가능하며, 액세스포인트(AP)간 케이블링을 필요로 하지 않다. 메쉬 네트워크라 불리는

<표 1> u-하이웨이 무선 인프라 핵심 요소

구분	내역
범용성	ISM 밴드 2.4GHz
이동성	시속 150Km이상의 고속 이동성(400km/h 지원) 휴대폰 방식의 소프트웨어모드 프 로밍
경제성	반경 1Km이상의 넓은 통신 커버리지 확보
신뢰성	전파환경 분석툴을 이용한 최적의 기지국 위치 선정
안정성	ad-hoc Multi hopping을 통한 커버리지 및 안정성

3. 측정 범위

본 성능측정은 Mesh Network 장비와 무선네트워크 전 송장비인 Canopy를 대상으로 수행되었다.

4. 측정 과정

1) 설치 및 측정

2006.09.25~10.13 : 경부고속도로 사전현장 테스트
 2006.10.24~26 : 분사 란공사
 2006.10.30~31 : MESH & Canopy 장비설치

802.11s는 AP로 구성되는 전통적인 무선랜을 설치하기 쉽지 않은 지역에 매우 적합하다.

- 802.11n은 차세대이동통신망 구축기술로서 유선백본으로부터 자유로운 메쉬 네트워크를 구성하며 자동설치, 자가치료 기능을 갖으며, 802.11n은 802.11a와 호환성을 갖는 5GHz 대역을 사용하며 반경 100m 내외 지역에서 200Mbps 이상의 전송속도를 제공한다.

〈표 2〉 주요 무선 네트워크 기술 소개

항목	802.11a/b/g	802.11s	802.11n
표준화	완료	진행 중 (2008년 예정)	진행 중
동작주파수	2.4 ~ 2.485GHz		2.4GHz or
대역	5.725~5.825GHz (ISM band)	ISM Band	5GHz Area
전송속도	11Mbps~54Mb/s	~54Mbps	100Mbps
변조방식	DBPSK,DQPSK, CCK/OFDM	OFDM	MIMO-OFDM
셀 반경	200m이내	~2Km이내	100m
이동성	No	Yes	No

2) Ad-hoc 통신기술

- Ad-hoc 기술은 차량과 차량간에 정보전달을 위한 최적기술로 운행중인 차량간에 메시지통신을 통해 긴급 상황에 사고를 줄이거나 예방하는데 그 목적을 두고 있다. 이를 위해 IEEE 802.11p에서는 최소 200Km/h의 속도에서 반경 1,000m를 커버하며, 운송수단(자동차 등)과 길거리의 장치 또는 운송수단 간에 5GHz의 주파수 대역을 사용하여 통신을 지원하는 "Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE)" 기술로 발전하고 있다.
- 차량간 충돌방지를 위한 긴급서비스나 혼잡체증을 회피하기 위하여 V2V통신에 적용된 Ad-hoc 통신기술은 WAVE(IEEE 802.11p) IETF 내 WG인 MANET에서 Ad-hoc 네트워킹 관련 표준에 대한 연

구를 진행하고 있으며 특히 이동 가능한 메쉬 표준인 DSR(Dynamic Source Routing), AOD(Ad hoc On-Demand Distance Vector), OLSR(Optimized Link State Routing)등의 프로토콜에 대한 표준화를 진행하고 있다.

〈표 3〉 Mesh Network 기술 요약

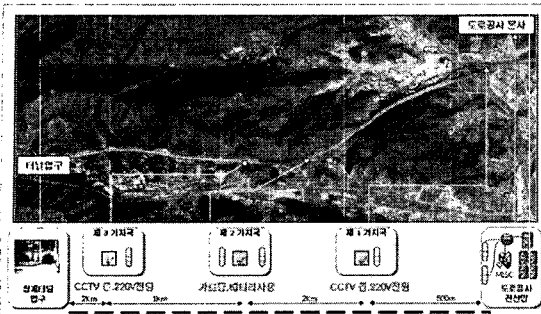
구분	내 용
기반 기술	메쉬 네트워킹/애드혹 P-P 멀티 호핑®
사용 주파수	2.4GHz 비 면허 주파수 대역
주파수 채널	3개 데이터 채널/1개 콘트롤 채널
전송 속도	Burst : 6 Mbps/Throughput : 1.6 Mbps
핸드오프	끊김 없는 소프트 핸드오프 (휴대폰방식의 로밍 지원)
이동속도	약 시속 400Km
출 력	16 ~ 23 dBm (40 ~ 200mW)
안테나 이득	정통부 기준 6 dBi 적용

III 장. 성능 측정 방법론

1. 성능 측정 개요

한국도로공사 본사 옥상 센터를 기반으로 각 가지국간 광대역 무선연결이 가능하도록 안정적인 전파 및 데이터 전송속도를 고려하여 설치 위치를 결정한다.

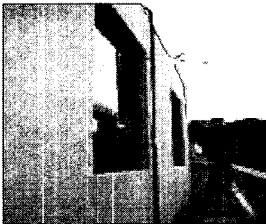
- 공간적 범위
 - 공간적 범위는 판교JC - 청계터널구간 약 5.6Km 임
- 시간적 범위
 - 2006년 11월 14일 ~ 12월 15일
- 무선 인프라 설치 위치도



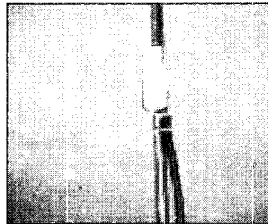
〈그림 2〉 판교JC-청계터널 내 무선인프라 구간 위성사진

2. 장비설치 내역

- 한국도로공사 옥상 : 높이-지상 30m



〈전산실과 랜연계〉



〈Canopy(AP)〉

- 제 1 기지국 - CCTV : 높이-지상 14m



〈전원분기 및 합체〉

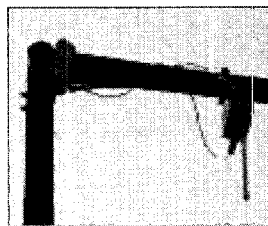


〈AP 및 Canopy(SM)〉

- 제 2 기지국 - 가로등 : 높이-지상 12m

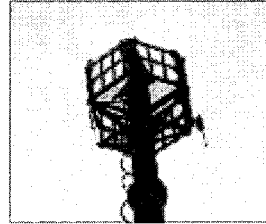


〈배터리 연결〉



〈AP 및 Canopy(AP,SM)〉

- 제 3 기지국 - CCTV : 높이-지상 14m

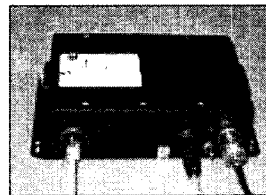


〈전원분기 및 합체설치〉

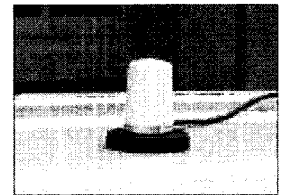


〈IAP 및 Canopy(SM) 설치〉

- 이동차량 : 카니발 안테나 높이-1.8m, EF소나타 안테나 높이 -1.4M



〈VMM〉



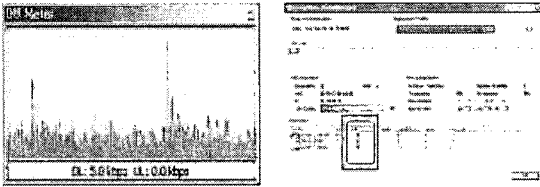
〈차량안테나〉

3. 성능 측정항목

- 고속 이동중인 차량과 센터간의 데이터 통신 측정
- 기지국과 이동중인 차량의 통신 거리와 통신 대역폭 측정
- 도로 환경(평지, 오르막도로, 내리막도로, 대형차량) 별 수신감도 측정
- 차량간 ad-hoc 통신 대역폭 측정

4. 성능 측정 방법

- 대역폭 측정 도구인 Hagel Technologies사의 Dumeter을 사용
- 전파감도 측정은 Motorola사의 "Location Analyzer" 를 사용



〈그림 3〉 Dumeter 및 Location Analyzer

- 테스트 측정은 총3회를 진행하여 수치를 기입하고 평균값 도출
- 차량간 ad-hoc통신은
 - 카니발에 VMM(차량전용 무선통신장비)을 장착하고 Ethernet Port에서 노트북을 연결
 - EF소나타의 노트북에 WMC(Wireless Modem Card)를 장착
 - 3기지국 통신거리 밖인 청계 톨게이트를 지나서 테스트를 진행 함
- 노트북에 PCMCIA카드를 장착하여 기지국과 통신
- 이동차량의 노트북에서 센터 관리 서버에서 공유폴더를 지정하여 파일 다운로드

5. 성능 측정 일시

- 고속 이동성 성능측정
11월 27일 오전 07시30~10시
- 기지국과 이동차량간의 거리별 측정
11월 28일,29일 오후 08시~9시30분
- 대형차량의 간섭에 따른 데이터통신 성능측정(평지 및 오르막 도로)
11월29일 오후 02시~05시
11월30일 오후 02시~05시
12월04일 오후 02시~04시
- 차량간 ad-hoc 통신 테스트
11월24일 오후 6시~7시30분

IV 장. 성능 측정 결과

1. 결과 요약

각 테스트 항목에 대한 도로환경(평지, 오르막도로, 내리막도로, 대형차량)에 비교하여 전파감도 및 데이터 전송속도를 측정하였으며 테스트는 각 3회씩 진행하여 평균 수치를 기록하였다.

• 고속이동성 테스트

- 고속도로 속도제한으로 시속 약 30Km~130Km로 주행 테스트 진행
- 평지의 속도에 대한 데이터 전송속도는 1Mbps 이상으로 이동속도에 의한 차이는 다소 미미함.
- 오르막과 내리막도로에 대한 데이터 전송속도는 평지보다 약 30% 감소

• 도로환경에 의한 전파감쇠 테스트

- 대형차량에 의한 전파감쇠 및 데이터 전송속도를 평지와 오르막도로/내리막도로를 비교하여 측정
- 평지에서 대형차량에 의한 전파감쇠는 정지상태와 이동상태에 따라 차이가 미미하며 데이터 전송속도 또한 1Mbps 이상 유지
- 오르막도로와 내리막도로에서 대형차량에 의한 전파감쇠는 정지상태 및 이동상태에 따라 차이가 크며 이동중 대형차량에 의한 음영보다 정지상태의 대형차량에 의한 음영으로 전파감쇠 차이가 큼
- 오르막도로와 내리막도로에서 대형차량의 근접함으로 발생한 음영보다 기지국에 대한 가시거리 미확보로 인한 전파감쇠가 중요요소임

• 전송거리 테스트

- 각 기지국간 거리별 테스트를 진행
- 제 1 기지국과 제 2 기지국간은 오르막과 내리막도로
- 제 2 기지국과 제 3 기지국간은 평지도로

- 평지의 평균 데이터 전송속도는 약 900Kbps
- 오르막과 내리막도로의 평균 데이터 전송속도는 약 700Kbps

• 차량간 ad hoc 통신 대역폭 테스트

- 차량간 거리가 약 300m 이후로는 대형 차량에 의하여 통신 대역폭이 급격히 감소됨
- 200m 거리이내에서 약 1Mbps정도의 안정적인 통신이 가능함

2. 상세 결과

• 고속 이동성 성능측정

- 대형 차량등 환경에 의한 영향을 최소화하기 위해서 저녁시간에 측정
- 평지 : 2~3 기지국에서 데이터를 수신 함
- 오르막,내리막 : 1~2기지국간에서 데이터를 수신 함

〈표 4〉 고속 이동성 측정 결과

(단위 : Mbps)

속도	30Km	50Km	80Km	100Km	120Km	130Km
1차(평지)	1.46	1.43	1.31	1.31	1.29	1.25
(-) dBm	40	43	34	42	47	34
2차(오르막)	0.988	0.863	0.745	0.674	0.554	0.423
(-) dBm	47	57	68	77	84	86
3차(내리막)	0.976	0.832	0.779	0.639	0.543	0.470
(-) dBm	49	56	68	80	82	65
평균	1.218	1.131	1.045	0.975	0.917	0.860

- 대형차량의 간섭에 따른 데이터통신 성능측정

〈표 5〉 대형차량 간섭시 측정 결과

(단위 : Mbps)

구분	평 지			오르막		
	1대	2대	3대이상	1대	2대	3대이상
1차	1.15	1.35	1.30	0.816	0.626	0.469
(-) dBm	48	49	50	68	80	84
2차	1.14	1.29	1.29	0.846	0.639	0.486
(-) dBm	51	50	51	68	77	84
3차	1.16	1.08	1.01	0.722	0.510	0.374
(-) dBm	63	65	65	70	73	80
평균	1.155	1.215	1.155	0.784	0.575	0.430

- 화물 수송이 많은 대형차량 운행시간대인 오후 2시부터 측정을 진행
- 고속도로 특성 상 안전을 위하여 대형차량과의 차간거리는 약 6m~10m정도의 간격을 두고 운행

- 기지국과 이동차량간의 거리별 성능측정

〈표 5〉 거리별 측정 결과

(단위 : Mbps)

거리	50m	100m	300m	500m	1Km	1.5Km
1차(평지)	1.29	1.17	0.932	0.716	0.666	0.542
(-) dBm	51	56	58	62	70	80
2차(오르막)	0.905	0.823	0.724	0.674	0.554	0.212
(-) dBm	62	65	72	73	77	80
3차(내리막)	1.29	0.982	0.863	0.653	0.510	0.470
(-) dBm	56	61	65	68	70	78
평균	1.098	0.997	0.828	0.635	0.592	0.377

- 차량간 ad-hoc 통신 대역폭 측정

〈표 6〉 차량간 통신 측정 결과

(단위 : Mbps)

거리	30m	50m	100m	200m	300m	500m
평균	1.52	1.40	1.16	0.899	0.735	0.432

- 출퇴근 시간의 차량에 의한 통신 품질측정을 위하여 정체시간에 측정
- 이동속도는 60Km/h~80Km/h
- 차간 통신 측정 시 다수의 대형차량에 의한 감쇠부분은 제외함

V 장. 결 론

금번 적용한 무선인프라에 대한 성능측정 결과, 도로환경(평균, 오르막도로, 대형차량 등)에 따른 무선통신 품질 측정 데이터를 비교 분석할 때, 평지에서의 고속주행 시 또는 대형차량에 의한 음영발생 등으로 인한 전파감쇠 및 데이터 전송 손실이 유의할 만한 수준이 아닌 미미한 것으로 나타나고 있어 최대성능 대비 우려할 만한 편차를 보이지 않고 있다.

상대적으로 고속도로 환경 상 오르막 경사에서의 경우, 품질 측정 데이터가 최대성능(1.5Mbps) 대비 평균 30% 감소되는 것으로 분석되었는데, 이는 오르막 경사가 심한 구간에서 3대 이상의 중복된 트레일러 등 대형차량에 의한 음영발생으로써, 안정적인 성능치인 경우(1Mbps이상)에서 허용되는 대용량 영상데이터 전송에 일시적인 장애요소로 작용한다는 것이 확인되는 바, 특히 적재함 및 차상이 높은 대형차량 및 화물수송차량의 전용 오르막 차로 구간에서의 해당 노변기지국(IAP)의 설치 시에는 상기의 전파감쇠 대응을 위한 별도의 다중화 및 이중화 설계/시공으로 해소될 것으로 분석되고 있다.

상기의 시험 측정 결과를 살펴볼 때, 최적화된 네트워크 구성 및 설계를 통하여 체계적인 무선망을 구축할 수 있는 통신망 품질을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

또한 첨단고속도로 실현 및 이에 따른 고속도로 업무에 대한 유비쿼터스 기술 연계 확장에 적합한 것으로 전망되는 바, 향후 실시간 개별차량 기반 정보수집체계구축(통행정보 및 경로 습득 가능)이나 교통정보 수집 전달기능을 동시에 수행할 수 있는 무선인프라로서, 기존의 유선망과의 연계 및 Application 개발 및 적용에 따라 다양한 기대효과가 예상된다.

아울러, 현재 표준화가 완료된 802.11a/b/g 무선랜 AP와의 비교 테스트는 동 비교대상 무선랜의 통신 특성(저속의 이동성/30Km이내와 짧은 통신반경/100m이내)으로 인하여 비교 테스트가 불가능하여 제외하였다.

참고문헌

1. 이민호, Mesh Network 기술동향 및 Applications, 전파지 제125호(2005, 7~8월호)
2. 송형규, 유비쿼터스 근거리 무선통신 기술동향, 전자부품연구원 전자정보센터(EIC), 2005. 12
3. 박광로, 유비쿼터스 무선네트워크 전망, ETRI, 2006. 4
4. 임남주, 무선LAN기술의 개요 및 시장동향, 전자부품연구원 전자정보센터(EIC), 2003. 6
5. 강연수, 오철 김범일, "유비쿼터스 환경에서의 교통부문 여건변화 분석 및 대응전략개발 연구", 2005. 11