

스마트하웨이 테스트베드 모니터링 및 활용 최종보고서

2016. 8.

주관연구기관 / 한국도로공사
공동연구기관 / 한국지능형교통체계협회
/ 전자부품연구원
/ (주)이씨스
/ 메타빌드(주)
/ (주)휴앤에스
/ (주)아이티텔레콤
/ (주)유브릿지

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

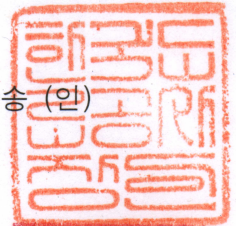
국토교통부장관 귀하

‘스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용’(연구개발 기간 : 2014.12.29 ~ 2016.6.28)
과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016. 8. 31.

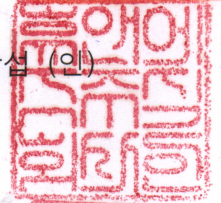
주관연구기관명 : 한국도로공사

(대표자) 김학송 (인)



공동연구기관명 : 휴앤에스

(대표자) 김광섭 (인)



이씨스

(대표자) 김용범 (인)



전자부품연구원

(대표자) 박청원 (인)



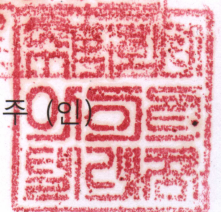
유브릿지

(대표자) 이병주 (인)



아이티텔레콤

(대표자) 최광주 (인)



메타빌드

(대표자) 조풍연 (인)



한국지능형교통체계협회

(대표자) 김학술 (인)



주관연구기관명 : 한국도로공사
주관연구기관책임자: 김석태
공동연구기관명 : 휴앤에스
공동연구기관책임자: 김광섭
공동연구기관명 : 이씨스
공동연구기관책임자: 김용건
공동연구기관명 : 전자부품연구원
공동연구기관책임자: 정한균
공동연구기관명 : 유브릿지
공동연구기관책임자: 이관수
공동연구기관명 : 아이티텔레콤
공동연구기관책임자: 최광주
공동연구기관명 : 메타빌드
공동연구기관책임자: 이재균
공동연구기관명 : 한국지능형교통체계협회
공동연구기관책임자: 조순기

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	14TLRP-C090745-01	해당 단계 연구 기간	2014.12.29 ~ 2016.6.28	단계구분	(1)/ (1)
연구사업명	중사업명	교통물류연구사업			
	세부사업명	교통물류연구사업			
연구과제명	대과제명	스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용			
	세부과제명	스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용			
연구책임자	김 석 태	총 연구기간 참여 연구원 수	총: 37명 내부: 37명 외부: 명	총 연구개발비	정부:600,000천원 기업:200,000천원 정부 외: 천원 계:800,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국도로공사 스마트하이웨이사업단			참여기업명 한국도로공사, 한국지능형교통체계협회, 메타빌드(주), 휴앤에스(주), 이씨스(주), (주)아이티텔레콤, 유브릿지(주)	
국제공동연구	해당 없음			해당 없음	
위탁연구	해당 없음			해당 없음	
요약				보고서 면수 : 228	

본 과제는 스마트하이웨이 사업에서 개발한 주요 기술이 적용된 경부고속도로 등 다양한 도로환경의 테스트베드에서 기술을 검증하고, 운영함으로써 스마트하이웨이사업 연구개발성과의 활용을 목적으로 하고 있으며 주요 성과는 다음과 같음

- o 스마트하이웨이 테스트베드 상시 운영체계 유지
 - 운영센터 및 네트워크 운영
 - 시스템 장애 및 돌발상황 발생 대응
 - 시범도로 시스템 기술수준 검증(WAVE 통신시스템, 자동돌발검지 시스템)
- o 스마트하이웨이 테스트베드 기술시연
 - 48회, 512명 대상 기술시연 시행(월 평균 2.7회)
 - 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 및 체험자 설문(만족도)조사
 - 스마트하이웨이 기술시연 서비스 추가 개발
- o 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 데이터 축적
 - 테스트베드 WAVE 통신 성능 모니터링 및 결과 분석
 - 테스트베드 돌발상황 자동검지 시스템 성능 모니터링 및 결과 분석
 - 테스트베드 WAVE 통신 및 돌발상황 자동검지 시스템 데이터 축적 관리
- o 스마트하이웨이 연구성과물 활용·지원을 위한 현황조사 및 추적관리
 - 스마트하이웨이 연구성과물 수요현황 조사 및 홍보
 - 스마트하이웨이 연구성과물 사업화 실적 관리
 - 스마트하이웨이 테스트베드 연구성과 관리

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	스마트하이웨이 테스트베드를 개발기술이 집약된 인프라로써의 대내·외적 가치가 유지될 수 있도록 운영·점검·유지보수를 추진하고 스마트하이웨이사업 연구개발성과의 활용을 목적으로 함 ○ 스마트하이웨이 테스트베드 상시 운영체계 유지 ○ 스마트하이웨이 테스트베드 기술시연 ○ 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 데이터 축적 ○ 스마트하이웨이 연구성과물 활용·지원을 위한 현황조사 및 추적관리				
연구개발성과	○ 스마트하이웨이 테스트베드 상시 운영체계 유지 - 운영센터 및 네트워크 운영 - 시스템 장애 및 돌발상황 발생 대응 - 시범도로 시스템 기술수준 검증(WAVE 통신시스템, 돌발상황 자동검지 시스템) ○ 스마트하이웨이 테스트베드 기술시연 - 48회, 512명 대상 기술시연 시행(월 평균 2.7회) - 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 및 체험자 설문(만족도)조사 - 스마트하이웨이 기술시연 서비스 추가 개발 ○ 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 데이터 축적 - 테스트베드 WAVE 통신 성능 모니터링 및 결과 분석 - 테스트베드 돌발상황 자동검지 시스템 성능 모니터링 및 결과 분석 - 테스트베드 WAVE 통신 및 돌발상황 자동검지 시스템 데이터 축적 관리 ○ 스마트하이웨이 연구성과물 활용·지원을 위한 현황조사 및 추적관리 - 스마트하이웨이 연구성과물 수요현황 조사 및 홍보 - 스마트하이웨이 연구성과물 사업화 실적 관리 - 스마트하이웨이 테스트베드 연구성과 관리				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 첨단도로 기술의 고부가가치 창출은 물론, 선진국 수준의 도로기술력으로 미래도로 시장에 대한 경쟁력 강화 ○ 차세대 도로기술을 국내·외 시장에 파급하고 관련기술 수준의 상승효과 도모 ○ 돌발상황 자동검지 시스템은 운전자에게 전방의 도로정보(낙하물 등) 및 차량 위험 정보를 WAVE 통신 시스템을 통해 실시간으로 제공하여 스마트하이웨이에서의 사고를 방지하고 안전하고 편리한 주행환경 제공				
핵심어 (5개 이내)	스마트하이웨이	WAVE 통신	V2X 서비스	자동돌발검지 시스템	기술시연

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

Purpose & Contents	Management of SMART Highway Test Bed as the infrastructure built with the development technologies and prevention of technologies-interruption. o Preservation of SMART Highway Test Bed operating system o SMART Highway Test bed technical demonstration o Monitoring and data accumulation of SMART Highway Test Bed o Management of work of SMART Highway R&D for the promotion				
Results	o Preservation of SMART Highway Test Bed operating system - Operating the management center and network - Handling the system failure and incident - Verification of SMART Highway Test Bed technologies(WAVE communication system, incident detection system) o SMART Highway Test bed technical demonstration - 48times, 512 people(monthly average 2.7times) - SMART Highway Test bed technical demonstration and survey about experience satisfaction at 25th World Road Congress, Seoul 2015 - Additive SMART Highway technologies demonstration service development o Monitoring and data accumulation of SMART Highway Test Bed - Monitoring and result analysis of WAVE communication system performance in Test Bed - Monitoring and result analysis of incident detection system performance in Test Bed - Management of data accumulation(WAVE communication system, incident detection system) o Management of the SMART Highway R&D product for the promotion - Research on the SMART Highway R&D product Demands - Research on the work of SMART Highway R&D Demands - Management of the SMART Highway R&D product commercialization - Management of SMART Highway Test Bed research result				
Expected Contribution	o A high value creation of the state-of-the-art road technologies and strength the competition at the future road market through the road technologies level of advanced countries o the state-of-the-art road technologies spreading at domestic and foreign market and planing of relating technologies development o The Incident detection system gives drivers in front of information of the road(obstacles, etc.) and vehicle dangerousness through WAVE communication system. The incident detection system will be used in SMART Highway, since the system is expected to prevent vehicle accidents and support safe and comfort driving environments.				
Keywords	SMART Highway	WAVE communication	V2X services	Automatic Incident detection System	technical demonstration

< CONTENTS >

1. Summary of the R&D	1
1. Necessity of the R&D	1
2. Importance the R&D	2
3. Step of the R&D	2
2. Domestic and Overseas Technologies state of Relative Field	4
1. Connected Vehicle and Cooperative ITS	4
2. WAVE Communication System	14
3. Incident Detection System	19
3. Implementation and Results	21
1. Major Results	21
2. WAVE Communication System	24
3. Incident Detection System	99
4. Operation Results Analysis of the Support System	127
5. Technologies Demonstration	137
6. Field Test of the Technologies	154
7. SMART Highway Test Bed Result Management	178
4. Performance Achievement and Contribution of Relative Field	203
1. Performance Achievement	204
2. Contribution of Relative Field	214
5. Application Plan of R&D Results	217
1. WAVE Communication System	217
2. Incident Detection System	219
3. Technologies Demonstration	222
4. Field Test of the Technologies	223
6. Overseas Scientific and Technical Information during R&D	224
7. Security Level of the R&D Results	224
8. R&D Facility and Equipment on NTIS	224
9. Safety Measure Record of the Laboratory	224
10. Main Results of the R&D	225
11. The Others	226
12. Reference	227

< 목 차 >

제1장 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발의 필요성	1
2. 연구개발의 중요성	2
3. 연구개발 단계(TRL을 중심으로)	2
제2장 국내외 기술 개발 현황	4
1. Connected Vehicle 및 Cooperative ITS	4
2. WAVE 통신시스템	14
3. 돌발상황 자동검지 시스템	19
제3장 연구 수행 내용 및 성과	21
1. 주요 수행내용	21
2. WAVE 통신시스템	24
3. 돌발상황 자동검지 시스템	99
4. 지원 시스템 운영결과 분석	127
5. 기술시연	137
6. 요소기술 실 도로 현장시험	154
7. 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리	178
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	203
1. 목표 달성도	204
2. 관련분야 기여도	214
제5장 연구개발성과의 활용 계획	217
1. WAVE 통신 시스템	217
2. 돌발상황 자동검지 시스템	219
3. 기술시연	222
4. 요소기술 실 도로 현장시험	223
제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	224
제7장 연구개발성과의 보안등급	224
제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	224
제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	224
제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	225
제11장 기타 사항	226
제12장 참고 문헌	227

〈 표 목차 〉

[표 1] 테스트베드 현황	1
[표 2] 연구개발 단계 별 TRL	3
[표 3] C-ITS 또는 Connected Vehicle 정의	4
[표 4] 미국의 C-ITS 관련 프로젝트 추진현황	7
[표 5] 미국의 ITS Strategic Plan 2015-2019 주요 내용	8
[표 6] 유럽의 C-ITS 관련 프로젝트 추진현황	10
[표 7] 국외 e-Call 관련 서비스	11
[표 8] 미국 지역별 CV Pilot 지역 별 진행 현황	17
[표 9] 유럽 2016년도 C-ITS Plugtest USE CASE 별 현황	18
[표 10] VDS와 AID 시스템 비교	19
[표 11] 국내 · 외 레이더 검지시스템 성능비교	20
[표 12] 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 연구의 주요 연구내용 및 담당기관	22
[표 13] 연구수행 일정계획	23
[표 14] WAVE 노변기지국의 운영 기능 지원 항목	28
[표 15] WAVE 기지국 로컬 로그 유형	30
[표 16] WAVE 기지국 로컬 로그 레벨	30
[표 17] 로컬 로그 저장 형식	30
[표 18] 스마트하이웨이 서비스 제공 기능	31
[표 19] WAVE 노기지국 신뢰성 요구사항	32
[표 20] WAVE기지국 세부 위치 및 역할	32
[표 21] 안테나 기능 사양(단품 기준)	33
[표 22] 케이블 기능 사양(단품 기준)	33
[표 23] 분배기 기능 사양(단품 기준)	33
[표 24] WAVE 노변기지국 케이블 지원 사양	34
[표 25] WAVE기지국 세부 위치 및 역할	35
[표 26] 시범도로 제공 WAVE 관련 서비스	38
[표 27] 정보량 및 전송형태에 따른 시뮬레이션 결과	41
[표 28] 시험용 메시지 통신 프로파일	47
[표 29] 시험도로에서의 전송속도별 시험 결과 요약	48
[표 30] 다수차량 통신시험 I2V 결과 요약 (최종 시험 결과)	51
[표 31] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약 (최종 시험 결과)	52
[표 32] 시험용 메시지 통신 프로파일	53
[표 33] 통신프로파일별 시험 결과 요약	53
[표 34] 시험용 메시지 통신 프로파일	58
[표 35] 대형차량 통신시험 결과 요약	59
[표 36] 다수차량시험 필요 사항	61
[표 37] 시험용 메시지 통신 프로파일	61
[표 38] 다수차량 통신시험 I2V 결과 요약	62
[표 39] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약	63
[표 40] 조건별 충돌회피거리확보성공률	76
[표 41] 각 로그 저장 형식	85

[표 42]	통신영역 성능 시험 시 통신 파라미터	86
[표 43]	통신영역 성능 시험 결과 (기준 PAR(%), $PAR(\%)=100-PER(\%)$)	87
[표 44]	로그 분석 결과 (기준 PAR(%), $PAR(\%)=100-PER(\%)$)	88
[표 45]	로그 분석 결과와 통신영역 성능 시험결과 오차율 (기준 PAR(%))	88
[표 46]	운영 기간 월 별 최고 기온 및 최저 기온, 가동률	92
[표 47]	기지국 별 최고온도 및 최저 온도	93
[표 48]	복합기지국 운영기간동안의 가동시간 및 가동률	93
[표 49]	복합기지국 월간 가동시간 및 가동률 분석 결과	94
[표 50]	복합기지국 신뢰성 시험조건	94
[표 51]	도로정보검지용 레이더의 정량적 성과목표 및 기준	100
[표 52]	도로정보검지용 레이더 시스템 구축 현황	100
[표 53]	도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 가동률	101
[표 54]	도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 가동률(%)	101
[표 55]	도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 가동률(%)	101
[표 56]	도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 오경보율	102
[표 57]	도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 오경보율	103
[표 58]	도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 오경보율	104
[표 59]	도로정보검지용 레이더 검지시간 측정 자료 분석결과	104
[표 60]	도로정보검지용 레이더 경부고속도로 시연결과	105
[표 61]	서해대교 시연결과	106
[표 62]	도로정보검지용 레이더 월별 시스템 보완내역	108
[표 63]	도로정보검지용 레이더 검지율 · 날씨 상관관계 분석	113
[표 64]	SMART-I 정량적 DATA (안정화 이전)	116
[표 65]	SMART-I 정량적 DATA (안정화 이후)	117
[표 66]	SMART-I 정량적 DATA (전체)	117
[표 67]	SMART-I 시범도로 안정화 이전 오경보율(%)	117
[표 68]	SMART-I 시범도로 안정화 이후 오경보율(%)	117
[표 69]	SMART-I 2015년 상반기 죽전/오산 오경보율 분석	118
[표 70]	SMART-I 운영데이터 검지시간 분석결과	119
[표 71]	SMART-I 운영데이터 검지시간 상세(죽전BS)	120
[표 72]	SMART-I 운영데이터 검지시간 상세(오산IC)	121
[표 73]	SMART-I 모니터링 검지시간 안정화 이전 가동률(%)	122
[표 74]	SMART-I 모니터링 검지시간 안정화 이후 가동률(%)	122
[표 75]	SMART-I 기상에 따른 오경보율 분석(%)	123
[표 76]	SMART-I 기상조건에 따른 오경보율 분석 (%)	124
[표 77]	SMART-I 교통량 및 속도별 돌발정보 분석(%)	125
[표 78]	속도 구간별 돌발이벤트 비율(%)	126
[표 79]	SMART-I 시스템 안정화 연구내용	126
[표 80]	SMART-I 가동률	128
[표 81]	SMART-IDS 설치 지점별 가동률(%)	129
[표 82]	복합기지국 월간 가동률 분석 결과	130
[표 83]	네트워크 장비 월간 가동률 분석 결과	131
[표 84]	네트워크 장비 월간 가동률(전체기 예정된 작업)	131
[표 85]	교통센터 서버장비 월간 가동률 분석 결과	132

[표 86] 교통센터 서버장비 장애발생 내역	132
[표 87] SMART-IDS(도로정보 레이더) 고장발생 조치사항	133
[표 88] SMART-I 고장발생 조치사항	134
[표 89] WAVE 통신 기지국 고장발생 조치사항	135
[표 90] 돌발상황 검지 후 보고 조치사항	135
[표 91] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연 참관자 내역	137
[표 92] 제25호 서울 세계도로대회 기술시찰(TV-4)	137
[표 93] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연 내역	138
[표 94] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연을 위한 서비스 List	139
[표 95] 제25회 세계도로대회 개요	140
[표 96] 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 프로그램	141
[표 97] 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 서비스 설명	142
[표 98] 세계도로대회 기술시연 참여 응답자 국적 분포	144
[표 99] 기술시연 서비스별 만족도 상위(OECD 회원국)	146
[표 100] 기술시연 서비스별 실 도로 우선적용 대상 설문(OECD 회원국)	147
[표 101] 기술시연 제공 서비스	147
[표 102] 기술시연(리허설 포함) 일자 별 기후	151
[표 103] 스마트하이웨이/테스트베드 모니터링 서비스 비교	153
[표 104] 요소기술 시험대상 및 평가항목	154
[표 105] WAVE 통신시험 항목 및 목표수준	156
[표 106] WAVE 통신시험을 위한 시나리오 및 연관 서비스	156
[표 107] WAVE 통신시험을 위한 기관별 역할 분담	157
[표 108] 자동돌발검지 시스템 실 도로 현장시험 항목	158
[표 109] 자동돌발검지 시스템의 시범도내 설치지점 현황	158
[표 110] 자동돌발검지 시스템 시험방법 종류	159
[표 111] 자동돌발검지 시스템 시험방법론 비교 검토	160
[표 112] 자동돌발검지 시스템 현장시험 기록지	163
[표 113] 자동돌발검지 시스템 현장시험을 위한 도로차단신고	164
[표 114] 자동돌발검지 시스템 시험추진 일정 및 수행내역	165
[표 115] 요소기술 현장시험을 위한 추진일정	166
[표 116] I2V 실 도로 주행시험 RSE 지점별 분석결과(전체 차량)	167
[표 117] I2V 실 도로 주행시험 RSE 지점별 PER 분석결과(SUV 차량 제외)	168
[표 118] V2V(정지차량-이동차량간) 실 도로 주행시험 결과	171
[표 119] V2V(이동차량간) 실 도로 주행시험 결과	172
[표 120] V2V(이동차량간 추월주행) 실 도로 주행시험 결과	172
[표 121] 자동돌발검지 시스템 현장시험 중 이벤트 발생내역	173
[표 122] 자동돌발검지 시스템 실 도로 현장시험 Sample 검토	174
[표 123] SMART-IDS 실 도로 현장시험 결과	175
[표 124] SMART-I 운영데이터 검지시간 분석결과	176
[표 125] 연구 성과물 수요조사 실적	178
[표 126] 도로기술 적용 세부 추진사항	179
[표 127] 돌발상황검지시스템 적용 세부 추진사항	180
[표 128] 안개소산장치 적용 세부 추진사항	180
[표 129] 스마트하이웨이 연구성과물 사업화 실적 현황	181

[표 130] 고성능 중앙분리대 사업화 실적	181
[표 131] 집광식 조명 표지판 사업화 실적	182
[표 132] 도로지열응설 시스템 사업화 실적	184
[표 133] 소형풍력 발전장치 사업화 실적	184
[표 134] 안개소산장치 사업화 실적	184
[표 135] 안개시정거리 측정 장치 사업화 실적	185
[표 136] 응설액 자동분사 장치 사업화 실적	185
[표 137] 도로정보검지 레이더 사업화 실적	186
[표 138] 스마트톨링 사업화 실적	186
[표 139] 복합기지국 사업화 실적	187
[표 140] 터널자연채광 시스템 사업화 실적	187
[표 141] 단말기 배포 현황(재배치 이전)	190
[표 142] 1~5월 단말기 이용현황	191
[표 143] 단말기 이용자 불편사항 설문 결과	194
[표 144] 단말기 이용자 설문 상세 결과	194
[표 145] 단말기 사용의사	197
[표 146] 단말기 회수·재배치 추진 일정	197
[표 147] 단말기 재배치 대상	198
[표 148] 단말기 재배치처 검토	198
[표 149] 단말기 재배치를 위한 노선버스 선정	198
[표 150] 노선버스 단말기 설치	199
[표 151] 단말기 재배포 추진경과	199
[표 152] 버스 단말기 재배포 이후 월별 통신횟수	200
[표 153] 세계도로대회 기술시연 서비스	201
[표 154] 세계도로대회 스마트하이웨이 언론보도 현황	202
[표 155] WAVE 통신 시스템 검증 정량적 성과목표	204
[표 156] 다수차량 통신시험 V2I 결과 요약 (최종 시험 결과)	205
[표 157] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약 (최종 시험 결과)	205
[표 158] WAVE 통신 복합기지국 정량적 성과목표	205
[표 159] 스마트 단말기 정량적 성과목표	206
[표 160] 정량적 성과목표	206
[표 161] 정량적 성과목표	207
[표 162] 시범도로 기술시연의 정량적 성과목표	207
[표 163] 돌발상황 검지 후 보고 조치사항	208
[표 164] WAVE 통신시험을 위한 기관별 역할 분담	210
[표 165] 시범도로 기술시연의 정량적 성과목표	211
[표 166] 기술시연 지원 및 S/W개선 정량적 성과목표	212
[표 167] 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리 정량적 성과목표	212
[표 168] 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 노변기지국 설치내역	218
[표 169] 국내·외 레이더 검지시스템 설치내역	220

〈 그림 목차 〉

<그림 1> 미국 교통부의 추진 체계	7
<그림 2> 유럽의 C-ITS 추진단계별 프로젝트(ERTICO 제공)	9
<그림 3> 미국, 유럽, 일본의 C-ITS 추진동향	12
<그림 4> C-ITS 추진을 위한 EU-US 협력 체계	13
<그림 5> C-ITS 시범사업 제공 서비스	14
<그림 6> 주요 선진국의 C-ITS 프로젝트 추진 현황	15
<그림 7> Ann Arbor 테스트 사이트	16
<그림 8> Connected Vehicle Pilot Deployment Program	17
<그림 9> 검지시스템 변화추세	19
<그림 10> 스마트하이웨이 돌발상황 검지시스템 구성	20
<그림 11> 시범도로 WAVE 통신시스템 구성	24
<그림 12> WAVE노변기지국 설치 예	25
<그림 13> 복합기지국용 WAVE통신장치가 적용된 네트워크 시스템 구성 요소	26
<그림 14> 복합기지국용 WAVE통신장치가 적용된 네트워크 시스템 구성 요소	27
<그림 15> WAVE 노변기지국 네트워크 기능 구성	27
<그림 16> WAVE 노변기지국 하드웨어 구성	31
<그림 17> 지향성 안테나의 설치 예(3방향, 노변)	33
<그림 18> 무지향성 안테나의 설치(서울영업소)	33
<그림 19> WAVE 노변기지국 원격감시 체계	34
<그림 20> WAVE 기지국 설치 지점	35
<그림 21> 보급형 WAVE 단말기 HW 구성도	35
<그림 22> WAVE 단말기 보드	36
<그림 23> WAVE 단말장치 MPC5125 Block Diagram	36
<그림 24> 보급형 WAVE 단말기 모듈 구성도	37
<그림 25> 보급형 WAVE 단말기 WAVE SW 구성도	37
<그림 26> 보급형 WAVE 단말기 S/W 데이터 흐름도	38
<그림 27> 로그 수집 시스템 구성	39
<그림 28> 데이터길이 100B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)	42
<그림 29> 데이터길이 200B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)	42
<그림 30> 데이터길이 500B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)	43
<그림 31> 데이터길이 1000B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)	43
<그림 32> 데이터길이 1400B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)	43
<그림 33> 성능시험 송신 패킷 구조	44
<그림 34> 구간별PER 슬라이딩 윈도우 기법 계산	46
<그림 35> 전송속도별 12V 최대통신범위/평균PER 성능 그래프	48
<그림 36> 전송속도별 V2V 최대통신범위/평균PER 성능 그래프	48
<그림 37> 전송속도 3~9Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	49
<그림 38> 전송속도 12~27Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	50
<그림 39> 거리별 수신세기 그래프	50
<그림 40> 메시지길이/전송 속도별 12V 최대통신거리 성능 그래프	54
<그림 41> 메시지길이/전송 속도별 12V 평균통신지연 성능 그래프	54
<그림 42> 메시지길이/전송 속도별 12V 평균PER 성능 그래프	54

<그림 43> 메시지길이/전송 속도별 V2V 최대통신거리 성능 그래프	54
<그림 44> 메시지길이/전송 속도별 V2V 평균통신지연 성능 그래프	55
<그림 45> 메시지길이/전송 속도별 V2V 평균PER 성능 그래프	55
<그림 46> 전송속도 3Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	56
<그림 47> 전송속도 6Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	56
<그림 48> 전송속도 12Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	57
<그림 49> 전송속도 27Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프	57
<그림 50> 대형버스 기존 안테나 장착 방안	57
<그림 51> 대형차량에서의 전파 차단 및 신호 감쇠 현상	58
<그림 52> 대형버스 이중 안테나 설치 변경	58
<그림 53> 12V 메시지에 대한 거리별 수신세기 / PER 성능	59
<그림 54> V2V 메시지에 대한 거리별 수신세기 / PER 성능	60
<그림 55> 시범도로 다수차량시험 장면	61
<그림 56> 시험차량 안테나 장착 모습	64
<그림 57> 개별 안테나별 12V 최대통신거리 및 평균 PER	64
<그림 58> 안테나 종류별 12V 최대통신거리 및 평균 PER	64
<그림 59> 안테나 종류별 전구간 V2V 평균PER	64
<그림 60> 안테나 종류별 12V 통신거리 대비 수신세기 및 구간PER 성능	65
<그림 61> 다이폴1 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능	66
<그림 62> 다이폴2 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능	66
<그림 63> 샤크 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능	66
<그림 64> 12V 메시지에 대한 차량속도별 구간PER 성능	67
<그림 65> V2V 메시지에 대한 차량속도별 구간PER 성능 및 통신거리	67
<그림 66> 채널운영방식 별 평균PER 성능	68
<그림 67> 차량 주행방면에 따른 평균PER 성능	69
<그림 68> 교통량 대비 평균PER 성능	70
<그림 69> 기온/강수량 대비 평균PER 성능	71
<그림 70> 체험도로-시범도로 거리별 PER성능 비교(좌: 3M/1000B, 우: 6M/1000B)	72
<그림 71> 체험도로-시범도로 거리별 PER성능 비교(좌: 12M/1000B, 우: 27M/1000B)	72
<그림 72> 운전자별 인지반응시간 분포	74
<그림 73> 운전자/차종별 감속능력 분포도	74
<그림 74> 상대속도에 따른 충돌거리 그래프	75
<그림 75> 충돌거리 및 이벤트 최초통지거리 그래프	76
<그림 76> 기온에 따른 충돌회피거리확보성공률	77
<그림 77> 기상상태 별 충돌회피거리확보성공률	77
<그림 78> 강수량에 따른 충돌회피거리확보성공률	77
<그림 79> 구간 교통량에 따른 충돌회피거리확보성공률	78
<그림 80> 통신성능 분석 툴 실행 화면	79
<그림 81> 통신영역 툴 메뉴영역	80
<그림 82> 통신성능 분석 툴 통신파라미터 설정 화면	80
<그림 83> 통신성능 분석 툴 로그 표시 화면	81
<그림 84> 통신성능 분석 툴 차트 영역	82
<그림 85> 통신영역 분석 툴 지도 영역	83
<그림 86> 통신영역 분석 툴 지도 설정	83
<그림 87> 오프라인/온라인 지도	83

<그림 88> 통신성능 분석 툴 시범도로 구간 복합기지국 위치	84
<그림 89> 통신성능 분석 툴 복합기지국 별 PAR 차트	84
<그림 90> 통신영역 분석 툴 불러오기	84
<그림 91> 통신성능 측정 구조도	86
<그림 92> 도로환경 통신영역 성능 시험 시나리오	86
<그림 93> 통신영역 성능 시험 측정 화면	87
<그림 94> 복합기지국 설치 환경	89
<그림 95> 복합기지국 1~2번 설치 지점 지형도	90
<그림 96> 복합기지국 1~2번 실제 도로 환경	90
<그림 97> 복합기지국 1~2번 사이 지형 변화 구간	91
<그림 98> 복합기지국 안테나 설치 환경	91
<그림 99> 스마트카드 리더기와 호스트 컨트롤러 간의 인터페이스 블록도	95
<그림 100> WAVE 톨링 단말기 내부	95
<그림 101> WAVE 톨링 단말기 외부	96
<그림 102> ALPAR 프레임 구조	96
<그림 103> WAVE 톨링 LAB 테스트	97
<그림 104> WAVE 톨링 필드 테스트	97
<그림 105> 단말기별 과금 통신 성공률	98
<그림 106> 돌발상황 자동검지 시스템 개요	99
<그림 107> 도로정보검지용 레이더 시범도로 검지사례	105
<그림 108> 도로정보검지용 레이더 운영 SW 레이더 설정	106
<그림 109> 운영 SW 돌발판단 파라메타 설정	107
<그림 110> 도로정보검지용 레이더 운영 SW 기능보완	107
<그림 111> 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 가동률	109
<그림 112> 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 가동률	109
<그림 113> 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 가동률	110
<그림 114> 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 오경보율	110
<그림 115> 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 오경보율	111
<그림 116> 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 오경보율	111
<그림 117> 도로정보검지용 레이더 평균 검지시간	112
<그림 118> 도로정보검지용 레이더 설치구간 검토	113
<그림 119> 도로정보검지용 레이더 기상조건(악천후)	113
<그림 120> 도로정보검지용 레이더 설치방식	114
<그림 121> SMART-I 시스템 구성	115
<그림 122> SMART-I 검지시간 분석영상	116
<그림 123> SMART-I 시범도로 운영데이터 오경보율(%)	118
<그림 124> 통계프로그램 R을 사용한 가설검증	119
<그림 125> SMART-I 시범도로 운영데이터 가동률(%)	122
<그림 126> SMART-I 기상정보별 죽전BS 오경보율(%)	123
<그림 127> SMART-I 기상정보별 죽전BS 오경보율(%)	124
<그림 128> SMART-I 교통량 및 속도별 돌발정보 분석(%)	125
<그림 129> 속도 구간별 돌발이벤트 비율(%)	126
<그림 130> 스마트하이웨이 사업 경부선 시범도로 시스템 구성 현황	127
<그림 131> SMART-I 월별 가동률 현황	128
<그림 132> SMART-IDS 월별 가동률 현황	129

<그림 133> 복합기지국 지점별 가동률	130
<그림 134> 세계도로대회 기술시연 시나리오	142
<그림 135> 세계도로대회 기술시연 참여자의 V2X 경험 여부	144
<그림 136> 기술시연 만족도 및 기술적 수준 응답결과(5점 척도 100점 환산결과)	145
<그림 137> 기술시연 서비스별 만족도 (서비스별 5점 척도 응답의 100점 만점 환산결과)	145
<그림 138> 서비스별 우선적용 대상 (상위 5개 서비스 선정 응답결과)	146
<그림 139> 스마트 단말기 구성도	149
<그림 140> 영상 미러링 시스템 구성도	149
<그림 141> WAVE 톨링 구성도	149
<그림 142> 시연버스 구성도	150
<그림 143> 카니발 설치모습 및 내부 시연환경	150
<그림 144> 시연버스 외부 설치모습 및 내부 시연환경	150
<그림 145> 시연 및 리허설 시 기후조건	152
<그림 146> 기술시연 단말기 운영 결과	153
<그림 147> 시범도로 현장장비 시험평가 모습	155
<그림 148> WAVE 통신 시범도로 현장시험 모습	157
<그림 149> SMART-IDS 경부선 실 도로로 현장시험 검지 화면(양상 캡처)	159
<그림 150> 자동돌발검지 시스템 현장시험 시험차량 주행 시나리오	163
<그림 151> I2V 통신환경에서의 차종별 회차별 방향별 PDR(%), PER=1-PDR) 측정결과	168
<그림 152> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 PER(%) 측정결과	169
<그림 153> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 평균통신지연시간(msec) 측정결과	170
<그림 154> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 통신거리(m) 측정결과	170
<그림 155> SMART-IDS 실 도로 현장시험 검지시간 분포	175
<그림 156> SMART-IDS 운영데이터(4개 지점) 오경보율 발생현황	176
<그림 157> SMART-I 운영데이터(2개 지점)의 검지시간 분포	177
<그림 158> SMART-I 운영데이터(2개 지점) 오경보율 발생현황	177
<그림 159> 터널 자연채광시스템 구성	179
<그림 160> 터널 자연채광시스템 설치전경	179
<그림 161> 도로정보검지 레이더 테스트 시나리오(경부선)	188
<그림 162> 도로정보검지 레이더 테스트 시나리오(서해대교)	189
<그림 163> 월별 일평균 이용횟수 현황	191
<그림 164> 월별 개인 이용횟수 현황	194
<그림 165> 단말기 이용 불편 유형	196
<그림 166> 단말기 이용률 제고 대책	197
<그림 167> 스마트 단말기 재배치 방향	198
<그림 168> 단말기 재 배포 후 통신횟수 변화	200
<그림 169> 자동돌발검지 시스템 현장시험 시험차량 주행 시나리오	210
<그림 170> 기술시연 만족도 및 기술적 수준 응답결과(5점 척도 100점 환산결과)	211
<그림 171> 국내 최초의 레이더 기반 AID 시스템 개발	214
<그림 172> 검지시스템 간 검지영역 비교	215
<그림 173> 레이더시스템의 유지관리 효율성 강화	215
<그림 174> 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 구간	218
<그림 175> 강남순환도로 신림터널 내 돌발상황 자동검지 시스템 설치	219
<그림 176> 대전~세종 C-ITS 시범설치 구역	220

제1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

- 미래의 급격한 환경변화 속에서 도로분야 관련 산업이 지속적으로 발전하기 위해서는 무엇보다도 미래도로의 장기비전과 세부전략을 마련하고 이를 일관성 있게 추진하는 것이 반드시 필요함. 해외의 경우 미국의 Safety Pilot Program, 일본의 ITS Safety 2010, 유럽의 Drive C2X, FOTsis등 미래 도로교통기술 연구 추진과 관련하여 2~4년간의 기간 동안 테스트베드를 운영하고 있음.
- 국내에서는 스마트하이웨이 테스트베드가 개발기술의 검증 및 체험을 위해 일정 도로구간(중부내륙고속도로, 경부고속도로, 기타 공용도로 일부구간 등)에 연구 성과를 집약 설치하여 연구 성과의 고도화 달성을 목적으로 운영되고 있으며, 본 과제는 이러한 스마트하이웨이 테스트베드에 대한 운영·유지관리와 연구개발 결과 활용촉진을 지원하는 연구 과제임.

□ 연구개발 과제의 설명

- 스마트하이웨이사업(2007~2014)를 통해 개발된 연구 성과들이 체험도로와 시범도로에 구축되고 이를 통하여 개발기술들의 실증 시험과 기술시연 체험을 제공하고 있음. 하지만 스마트하이웨이사업이 2014. 12월 종료 되어 충분한 데이터 수집 및 검증이 어려움.
- 본 연구는 스마트하이웨이 테스트베드를 기술이 집약된 인프라로서의 대내외적 가치가 유지될 수 있도록 운영·점검·유지보수를 추진하는 것으로, 해외사례를 고려, 일정기간(1년 이상) 모니터링을 통한 데이터 축적 및 분석 시행으로 기술수요자에 대한 신뢰도를 제고하고, 스마트하이웨이 기술개발 민간기업의 성능 시험장소로 활용하게 됨. 뿐만 아니라 국내 도로기술의 대표적인 reference site로 국내외 유관기관 전문가들을 대상으로 첨단 도로기술 견학 및 기술시연을 지원함.

[표 1] 테스트베드 현황

체험도로(중부내륙선)	시범도로(경부선)	기타 공용도로
· 복합기지국 5식 · SMART-I 1식 · 스마트톨링 1식 · 레이더시스템 1식 · 자동차량제어시스템 · 운영센터설비 1식	· 복합기지국 9식 · WAVE톨링시스템 4식 · 레이더시스템 4식 · SMART-I 2식 · 스마트단말기 100대 · 자동차량제어시스템 · 운영센터설비 1식	· 스마트톨링 1식 (서울외곽선 구리) · 레이더시스템 1식 (서해대교)

2. 연구개발의 중요성

- 스마트하이웨이 테스트베드는 체험도로 및 시범도로로 구분할 수 있으며, 체험도로는 차단된 도로에서의 자유로운 현장시험을 지원하고, 시범도로는 공용도로로 체험도로에서 검증된 기술을 적용하여 기술의 최상위 단계의 안정화 수준을 점검하는 것으로 기술의 실용화 및 안정화 측면에서 매우 중요한 과정임.
- 기 구축된 체험도로 및 시범도로의 기능유지와 지속적 기술시연은 향후 스마트하이웨이가 전국적으로 확대 될 기반을 마련하는 것으로 연구개발의 연속성, 지속성 측면에서도 반드시 필요함.
- 고속도로는 모든 국민을 대상으로 하는 기간시설로서 교통안전서비스 역시 모든 국민이 이용할 수 있도록 하기 위해서는 국가적 차원의 지원이 반드시 수반되어야 할 것이며, 전국적 규모의 사업 추진을 위한 기본 모델이 될 수 있음.
- 자동차 기술의 발달에 비해 도로환경의 적응성은 갈수록 저하되고 있으며, 이를 극복하기 위한 체계적인 후속 R&D 추진이 필요함. 자동차 기술의 발달로 첨단고속주행을 위한 시설물 개량 및 차량간 또는 도로-차량간 통신환경 구축이 중요함.
- 따라서, 세계 최상위 수준의 우리나라 IT기술력을 바탕으로 차세대 도로시장을 대비한 전략적인 기술개발이 필요한 시점이며, 향후 스마트하이웨이 구축으로 고속도로 교통사고 감소효과와 지·정체 개선에 따른 혼잡비용이 절감 가능할 것으로 기대되는바 스마트하이웨이 사업의 연구개발성과를 활용하는 것이 중요함.
- 스마트하이웨이 테스트베드의 활용을 통해 이동성 및 안전성 향상 기술 개발에 따른 도로 기술력을 확보함으로써 첨단도로 기술의 고부가가치 창출은 물론, 선진국 수준의 도로기술력으로 미래도로 시장에 대한 경쟁력을 강화하고자 함.
- 또한, 도로 이용자 서비스 향상, 도로의 가치 확대를 통한 도로 운영관점에서의 비용절감 및 효율화를 도모하고자 함.

3. 연구개발 단계(TRL에 근거하여)

- 테스트베드의 효율적인 활용과 정기, 상시시연을 위하여 설치된 스마트하이웨이 연구 성과물이 최종년도 수준을 만족할 수 있도록 유지관리
- 스마트하이웨이 연구 성과물에 대한 실용성을 검증하고, 실제 운영을 통하여 종합적인 성과를 분석

[표 2] 연구개발 단계 별 TRL

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☒	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

라. 타 산업 연계 및 국제협력 가능성

- o 도로와 ICT간 연계를 통해 새로운 IT 서비스 사업을 창출시키게 되며, 이를 통해 유관 산업을 활성화시킴으로써 광대역적인 동반 성장이 기대됨. 즉 스마트 차량 증가, 정보제공관련사업의 활성화, 모바일 시장의 확대 등 타 산업의 발전에 큰 기여를 하게 되며, 궁극적으로 고용 창출 및 경제 활성화에 새로운 활력소가 될 것임.
- o 스마트하이웨이 연구 사업은 세계 ITS 시장의 약90%를 차지하는 유럽, 미국, 일본에서는 교통안전 증진을 위해서 차세대 ITS인 차량-도로 협력시스템(Cooperative system, C-ITS)도입을 위한 연구개발 및 검증을 지속적으로 수행하는 것과 맥락을 같이 함.
- o 도로기술과 연계된 자동차 산업기술의 동반성장으로 자동차 산업을 포함하여 우리나라 전반에 걸쳐 국가 경쟁력이 강화될 것임.
- o 국제적인 네트워크 체계를 강화하여 기반 기술의 세계적 표준화를 선도할 수 있는 준비 체계를 마련하고, 과제 종료 후 구축된 연구 인프라를 지속적으로 유지 관리할 수 있는 기틀을 마련할 필요가 있음.

제2장 국내외 기술 개발 현황

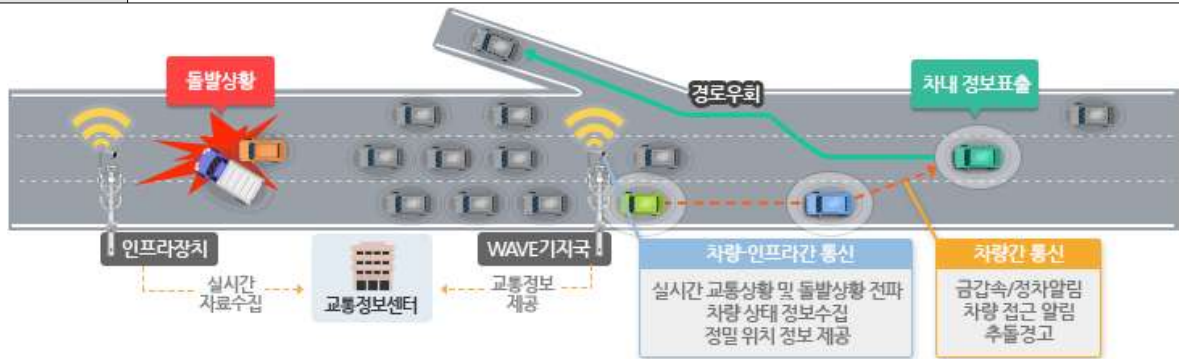
1. Connected Vehicle 및 Cooperative ITS

가. Connected Vehicle 및 C-ITS의 정의

- 1990년대 말, 미국에서 차량과 차량, 차량과 인프라, 차량과 사람이 직접 대화를 할 수 있는 새로운 기술의 필요성이 마침내 V2X 통신과 새로운 ITS 서비스가 탄생하게 되었음. 미국은 Connected Vehicle(CV)이란 용어로, 유럽은 Cooperative ITS(C-ITS), 일본에서는 ITS Spot, ETC 2.0이라고도 표현함.

[표 3] C-ITS 또는 Connected Vehicle 정의

C-ITS, Connected Vehicle	안전성, 이동성, 지속성(친환경, 효율성)을 목표로 차량과 차량(Vehicle to Vehicle), 차량과 인프라간(Vehicle to Infrastructure) 양방향 통신으로 교통정보를 교환 및 공유하는 오픈 플랫폼으로 구성되는 차세대 지능형교통체계(ITS)를 말함 Cooperative ITS: is a subset of overall ITS that communicates and shares information between ITS-stations to give advice or facilitate actions with the objective of improving safety, sustainability, efficiency and comfort beyond the scope of stand-alone systems.
ITS	ITS(Intelligent Transport Systems, 지능형교통체계) 도로·차량·화물 등 교통의 구성요소에 통신기술을 적용하여 교통정보를 수집·관리·제공함으로써, 교통시설의 이용효율을 극대화하고, 통행자에게 유용한 정보를 제공하여 이용 편의와 교통안전을 제고하는 환경친화적 교통체계



자료 : <http://www.c-its.kr/introduction/>



- 국내에서는 2013년 국토교통부에서 C-ITS 도입방안 연구를 시작하면서 Cooperative ITS (이하 C-ITS)란 용어를 많이 사용하고 기존 ITS에서 발전된 차세대 ITS로 표현함.
- 2020년 이전에 C-ITS를 준비해온 국가들은 본 사업추진이 전망이고 미국은 차량내 통신장치를 신차에 장착할 수 있는 관련 법규를 준비하고 있음. C-ITS 나아가 차량제어기술과 접목하여 자율주행으로 이어질 준비를 하고 있음

나. 미국의 Connected Vehicle 추진 동향

- 미국은 1990년대 말에 V2X 서비스의 필요성을 인식하고 전용 통신주파수를 확보(FCC, 1999년)하는 선제적인 노력을 해왔음. 이어 위험성이 존재하지만 미래기술에 대한 장기적인 R&D 투자가 진행되면서 AHS(1997년) → IVI(1998년) →CICAS(2006~2012), VII(2003~2008)¹⁾ → IntelliDrive(2009~2010)²⁾ → Connected Vehicle(2011~2013)³⁾ 프로젝트들을 추진
- 특히 VII 연구성과를 기반으로 DSRC 메시지 셋(SAE J2735)과 WAVE 통신규격(IEEE 802.11p, IEEE 1609.x)을 표준으로 개발하였고, 미국 전역에 테스트 사이트를 운영하는 Connected Vehicle 프로젝트를 통해 서비스 개발 및 실 도로 검증, 표준화, 프로토타입 인증 마련 등을 병행 추진

1) ISTEA(1991, 1992~1997)

- 국가 ITS 아키텍처를 1996년에 발행하고 1997년에는 Automated Highway System(이하 AHS) 프로젝트를 통해 차량과 인프라간 협력 가능성을 시연함.

2) TEA-21(1998, 1998~2005)

- 1998년 지능형 차량 개발을 착수하고 연방통신위원회(FCC)는 ITS America가 신청한 DSRC를 위한 5.9GHz를 승인하여 V2X 무선통신 서비스의 개발을 촉진함
- 2003년 미국 교통성의 RITA(연구개발혁신청)은 DSRC 인프라의 보급과 차내 통신장치의 신차 장착을 위한 VII 프로젝트를 시작함. 이후 차량간 통신을 위한 기본안전메시지와 WAVE 통신 표준이 개발되고 유럽과의 조화를 위한 노력이 추진되었음

3) SAFETEA-LU(2005, 2005~2009)

- VII 프로젝트를 IntelliDrive로 개칭하고 실용화를 위한 연구계획이 추진되어 이후 Connected Vehicle 프로젝트의 기반을 마련함

4) MAP-21(2012, 2012~2022)

- Connected Vehicle 프로그램이 시작되었고 V2V 및 V2I 확산을 위한 예산지원 등이 추진됨. 최근에는 CV Pilot의 전국 확산을 위한 FHWA를 이용한 지원과 자율주행을 위한 연구지원을 시작

5) ITS Strategic Plan

1) VII (Vehicle Infrastructure Integration) : V2V 및 V2I 통신 환경 구축 프로젝트(2003~2008)

2) IntelliDrive : 5.9GHz 대역에서 V2X 통신을 모두 지원하는 WAVE 기술 개발 프로젝트(2009~2010)

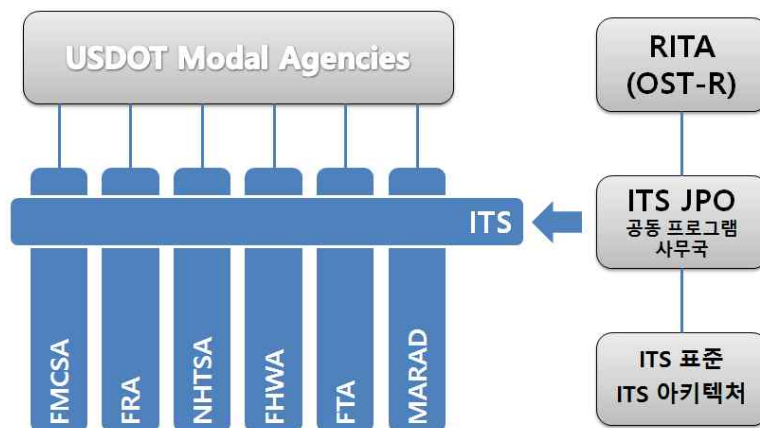
3) Connected Vehicle : V2X 서비스를 통한 교통사고 감소 미 교통부(DOT) 프로젝트(2011~2013)

- o 2012년에 발표한 ITS Strategic Research Plan, 2010 - 2014(Progress Update, 2012)에서는 V2X 서비스를 위한 실 도로 대규모 테스트인 Safety Pilot 프로그램 계획을 마련하여 미시건 앤하버시에서 수행함. 2014년 2월에는 이의 연구 및 실 도로 운전자 효과분석 결과에 따라 차량내 V2X 통신 단말장치의 신차 장착관련 법제화를 진행 중
- o 이어 2014년에 발표한 'ITS Strategic Plan 2015-2019'에서는 Connected Vehicle의 구현과 차량 자동화기술(Automation) 고도화인 Automated Vehicle 연구를 우선정책으로 정하고 2020년까지 CV(Connected Vehicle) Pilot Deployment 프로젝트를 통해 전국에 확산하는 정책을 진행하고 있음
- o 미국의 C-ITS 관련 정책동향은 상기의 제도적 배경과 함께 관련 산업에 다음과 같은 특징을 가지고 발전하고 있음.
 - 1990년대 후반부터 V2X 서비스 필요성 인식하고 WAVE 전용 주파수 대역 확보(5.9GHz 대역)
 - 차량간 서비스(V2V 서비스)를 우선적으로 검토
 - V2X 서비스에 대한 효용성은 많은 단말보급이 필요한데 차량내 통신장치를 안전벨트와 같은 안전장치로 분류하여 신차에 가산점을 부여(NCAP 적용)하는 법제화 추진 중
 - 최근 안전성 증대뿐만 아니라 이동성 향상과 환경오염 억제 등 다양한 교통문제를 해결하는 여러 서비스로 확대 적용
 - V2X 서비스는 자동차 산업의 활성화를 기대할 수 있으므로 산업정책과 연계하고 있음
 - 초기 V2V 서비스에서 출발하여 현재는 인프라와 연계를 위한 공급방안을 마련 중이고 스마트폰 등 다양한 단말장치와의 결합을 검토하고 있음
 - Connected Vehicle은 차량의 첨단화인 ADAS와 협력하여 자율주행을 위한 기반을 마련할 수 있으므로 최우선 정책으로 추진
- o 미국에서 수행된 C-ITS 관련 프로젝트들은 크게 DOT가 추진한 공공 프로젝트와 CAMP라는 자동차 컨소시엄을 주도한 VSC 프로젝트로 구분할 수 있음.
- o GM 등 자동차 제조사들은 CAMP 컨소시엄을 구성하여 V2V 서비스에 대한 연구를 수행해 왔고 정부주도의 연구 프로젝트에도 적극적으로 참여하여 공공 정책과 민간 기술이 융합되는 모습들을 보여줌. 대표적인 사례로는 2011년부터 시작된 Connected Vehicle Program으로 미시건주 Ann Arbor에서 진행된 Safety Pilot model deployment 프로젝트에서 공동의 대규모 실 도로 검증을 거쳐 미국 내 차량용 통신장치의 의무장착을 위한 미 교통부(US, DOT)의 긍정적인 정책추진을 이끌어 냄.
- o 초기 단계인 콘셉트 검증 프로젝트로는 VII, IntelliDrive에서 진행됨. CICAS 프로젝트는 가장 많은 사고가 발생하는 교차로에서의 협력형 경고 서비스를 개발함. 이 단계에서는 우선추진 서비스가 발굴되고 차량 단말장치의 의무장착이 검토되었으며 차량간에 서로 주고받는 메시지 표준화 작업들이 진행되었음. 또한 소규모로 현장에서의 시험들이 병행되었음.
- o 이후 우선추진 서비스를 대상으로 대규모 실 도로 검증을 위한 Safety Pilot model deployment 프로젝트를 통해 운전자 반응을 조사하고 일반운전자의 서비스 경험을 통해 서비스 검증과 의무장착을 위한 정책 추진의 근거를 확보함.
- o 2014년부터는 CV Pilot Deployment 프로젝트가 2단계로 나누어 추진되고 있으며 주정부에서의 대규모 사업추진을 연방정부에서 지원하고 있음.

[표 4] 미국의 C-ITS 관련 프로젝트 추진현황

프로젝트	성격	시행시기	특징
VII, IntelliDrive CICAS	컨셉트 검증, 정책방향 수립	'03년~'10년	- 차량충돌사고 분석 및 회피를 위한 V2V 및 V2I 서비스 발굴과 우선추진이 서비스 후보 발굴(8가지 어플리케이션) - 차량 단말보급을 위한 의무장착 추진 정책 검토 - CICAS(2006~2012) : 교차로에서의 협력형 경고 서비스 중심
Connected Vehicle Safety Pilot	대규모 실증단지	'11년~'13년	- 운전자 클리닉 : 100명 운전자, 전국 6개 사이트, V2X 서비스 운전자 반응 및 악영향 분석, 70% 운전자 효용성 확인 - Model Deployment(실 도로 실증) : 미시건 앤하버시 총연장 117km 실도로 구간, 단말 2,836대, 노변장치 29개소
VSC VSC-A VSC3	CAMP 중심의 서비스 개발 (컨셉검증→실증)	'02년~'14년	- V2X 무선통신과 GPS 정보를 이용한 차량중심 서비스 개발 - VSC(2002~2004) : CAMP 7개 OEM사의 컨셉 검증, 메시지 규격 마련, 서비스 발굴 - VSC-A(2006~2011) : CAMP 7개 OEM사의 7개 주요 Application 개발 및 시연(2008년 뉴욕) - VSC3(2010~2014) : Safety Pilot과 병행
CV Pilot project	사업화 준비 (Pilot)	'14년~'20년	2단계로 나누어 사업화 방안 및 자원 도시의 사업화 추진 1단계 : 2015년~2017년 2단계 : 2017년~2020년 - FHWA 등 인프라 담당기관 등 사업화를 위한 확산 작업 - 대중교통, 에너지 절감, 이동성 향상 등 다양한 서비스 개발

- o 미국의 C-ITS 정책은 교통부 산하의 여러 청과 주정부를 아우르는 ITS JPO(Joint Program Office)가 중심 역할을 수행하고 있음. 또한 ITS JPO는 국제간 협력, 표준화 마련, 국제표준과 조화활동 등의 국가간 협력의 역할도 수행



<그림 1> 미국 교통부의 추진 체계

- o 2015년부터 2단계로 나누어 자원 도시의 사업화 추진을 CV Pilot 프로젝트를 통해 진행 중(1단계 : 2015년~2017년, 2단계 : 2017년~2020년)
- FHWA(연방도로국) 등 인프라 담당기관 등 사업화를 위한 확산 작업추진
 - 대중교통, 에너지 절감, 이동성 향상 등 다양한 서비스 개발 추진 예정
 - OmniAir 컨소시엄 및 OCS와 연계하여 WAVE 단말기 인증업무 수행 예정

- 최근 미국 교통부에서는 2020년까지의 계획을 발표함. ‘ITS Strategic Plan 2015-2019’ 발표(2014년 5월)에서는 도로 및 차량안전 증대, 이동성 향상, 환경오염 억제, 기술혁신 촉진, 교통정보 공유 지원의 5가지 전략 테마로 정책 우선순위를 반영하고 Connected Vehicle 구현과 차량 자동화기술 고도화 등 최우선 순위로 다루고 있음.

[표 5] 미국의 ITS Strategic Plan 2015-2019 주요 내용

6대 프로그램	주요내용 및 특징
Connected Vehicles(CV)	향후 CV시스템 구축에 주력 예상, 2016년 계획된 NHTSA ⁴⁾ 의 V2V 안전메시징이 포함된 CV 연구개발 등 추진
Automation	도로교통 기반 차량 시스템 자동화 기술개발에 주력, 이동성 및 안전성 향상
Emerging Capabilities	차세대 교통시스템에 초점, CV 도입 확대 및 자동화 기술 고도화로 신사업기회 발굴과 개인정보 보호이슈 등 검토 추진
Enterprise Data	V2X 기반의 연결성 증대로 빅 데이터 관리 및 운영 개선, CV, 휴대단말, 인프라 등에서 수집되는 정보 운용과 개인정보 보호 등 추진
Interoperability	기기와 시스템 간 상호 운용 능력, 연계 효율화 추진
Accelerating Deployment	새로운 ITS 기술과 시스템의 채택 및 구축, 지원방향을 R&D 위주에서 운영 위주로 변화 추진. 성공적인 구축에 주력

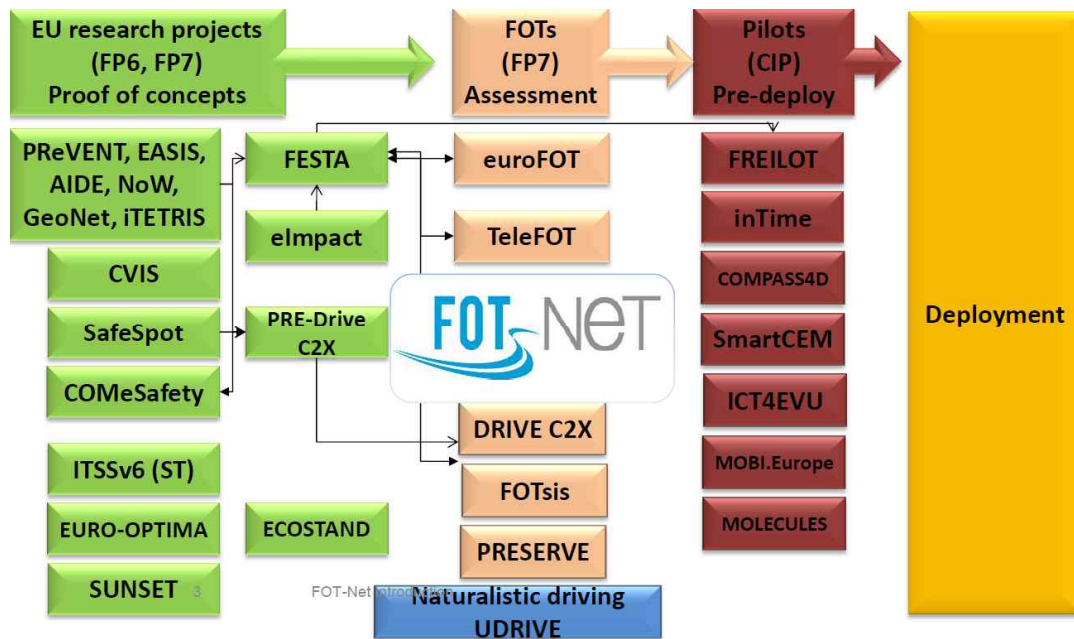
다. 유럽의 C-ITS 추진 동향

- Cooperative ITS란 용어는 유럽에서 사용하기 시작함. 유럽 ITS의 가장 큰 특징은 하나의 유럽을 지향하는 것으로 상호운영성과 끊임 없는 서비스를 목표로 하고 있음. 유럽연합(EU)의 Framework Programmes(이하 FP) 6단계에 기존 ITS에서 운용 호환성과 안전을 강화하는 방향으로 협력형 시스템(Cooperative system)이 구상되고 C-ITS로 개명하였음. 즉, 핵심기술개발과 함께 관련 법, 계획의 마련, 표준화 추진, ITS 전용 주파수 배정 등이 마련됨.
- 이어 FP7 단계에서는 현장 운영시험(Field Operational Tests, 이하 FOT)을 기반으로 평가 프로그램 시행되었고 현재는 2014년부터 시작한 Horizon 2020(2011년 발표)에서 대규모 시범사업이 추진되고 있음.
- 유럽은 또 하나의 특징인 여러 국가들간의 협력이 중요하였고, EU, 회원국, 다양한 분야의 표준화 등 많은 이해관계자들의 의견수렴과 협력이 필요하여 이를 조정하는 별도의 포럼을 만들고 표준화 등 공통의 업무를 수행하는 프로젝트들을 진행함.
 - 2006년 FP6 연구개발 프로그램 단계에 본격적인 V2X 프로젝트들이 시작되었음
 - 유럽의 여러 국가들을 하나의 유럽으로 만들기 위한 협력의 중요성이 보다 높은 곳임
 - 연구개발은 FP6⇒FP7⇒Horizon 2020 으로 전개되고 있음
 - Pilot, 현장운영시험(FOT), 표준화, 사용자 인식제고, 규제, 국제협력 등 다양한 방면에서 관련 프로젝트들이 추진되고 있음
 - 현재 iMobility 포럼을 통해 이해당사자들의 작업을 조정하고 지원하고 있음
- 유럽은 C-ITS 관련 콘셉트 검증을 2006년부터 시작한 CVIS(핵심기술), SAFESPOT(도

4) 미국 도로교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration)

로안전), COOPERS(도로운영 중심) 프로젝트들에서 진행되었고, 2009년에 마치면서 ITS 전용 주파수의 배정과 표준화 작업들이 진행됨.

- 이후 FP7 기반의 현장실증시험(FOT) 단계로 Sim TD, Tele FOT, Drive C2X, FOTsis 등의 현장실증 프로젝트들이 서비스 실증을 수행함.
- 2013년부터 시작된 Compass4D, SCOOP@F 등 프로젝트들은 시범사업(Pilot)에 해당하고, 사업화 단계에 해당하는 C-ITS Corridor 프로젝트들(Amsterdam Group 등)이 각국에서 추진·검토
- 유럽과 미국이 동일한 점이 있다면 유럽에도 차량제조사 컨소시엄이 존재하며 C2C-CC가 그 역할을 하고 있음. 한편 유럽은 유럽연합의 표준개발과 국가간 연구협력을 지원하는 프로젝트가 별도로 존재하며 COMeSafety가 이를 담당
- 한편 유럽의 C-ITS는 Research(연구개발) ⇒ FOTs(대규모 현장 실증) ⇒ Pilot(시범사업) ⇒ Deployment(사업화)의 구분되는 4단계를 가지고 있으며 유럽의 주요 프로젝트를 구분하고 있음



<그림 2> 유럽의 C-ITS 추진단계별 프로젝트(ERTICO 제공)

○ 유럽의 C-ITS 프로젝트의 특징

- Research(연구개발) ⇒ FOTs(대규모 현장 실증) ⇒ Pilot(시범사업) ⇒ Deployment(사업화) 4단계로 구분되며 현재 사업화 직전에 도달
- 현장 실증의 경우 유럽의 도시에서 분산되어 추진이 되나 후속과제의 다음 단계로 이어지는 연속성을 부여하고 있음
- 연구 프로젝트의 관계를 조율 및 조정하고 주파수 규정, 표준화, 법, 이해당사자 관계 대응과 국제교류 및 협력을 담당하는 별도의 프로젝트를 운영하고 있음
- C-ITS 초기 검토부터 표준화, 어플리케이션 개발, 조정역할, 법제도 검토, 국제협력 등 세부적인 당면과제별로 프로젝트를 추진하였고 이를 통합·관리하는 방향으로 진행하고 있음

[표 6] 유럽의 C-ITS 관련 프로젝트 추진현황

프로젝트	성격	시행시기	특징
CVIS	컨셉 검증, 정책방향 수립	'06년~'10년	• Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems • V2V, V2I를 위한 표준기반 통신, 측위, 플랫폼 제정 • ERTICO 주관 60개 기관 참여, 7개국에서 시험 실시
COOPERS			• (CO-OP)erative Syst(E)ms for Intelligent (R)oad (S)afety • V2I 무선통신환경을 위한 통합 교통운영환경 실현 목적 • 14개국 37개 기관 참여, Austriatech 주관
SAFESPOT			• 도로에서 위험 상황을 탐지하는 연계시스템 개발 • EUCAR 주관 12개국, 51개 기관 참여 • 차량 및 인프라기반의 어플리케이션 발굴 • 6개 테스트 사이트 운영(4개는 CVIS와 통합 공동 진행)
COMeSafety	EU 표준개발, 국가간 연구협력 지원	'06년~'09년	• C-ITS 연구 프로젝트 관계 조율 및 조정 • 주파수 규정, 표준화, 법, 이해당사자 관계 대응 • 미국과 국제교류 및 협력방안 마련
TeleFOT	대규모 실증단지	'08년~'12년	• AM 시장의 차량장치에 대한 어플리케이션(5개) 현장시험 • 23개 기관 참여 : 연구(11개), 제조(9개), 도로관리자(3개) • 14.44백만 유로, 8개 국가(도시), 일반 운전자 3,000명 대상
DRIVE C2X		'11년~'14년	• DRIVIng Implementation and Evaluation of Car to X • 다양한 도로환경 및 차량에 대한 대규모 실증 프로젝트 • 차량제조사, 공급업체 등 44개 기관 참여, Daimler 주관 • 18.92백만 유로, 안전 11개, 효율 2개, 정보관리 5개 서비스 • 독일, 이탈리아, 네덜란드, 스웨덴, 프랑스, 핀란드 6개 사이트
FOTsis		'11년~'14년	• I2V/V2I의 실용화 효과 및 확대 가능성 상세평가 실증단지 • 25개 기관 : 도로관리(4개), 컨설팅(7개), 통신(2개), 대학, 연구 • 13.83백만 유로, 7개 어플리케이션 평가 • 4개 실증 사이트 : 스페인, 포르투갈, 독일, 그리스
Sim TD		'08년~'12년	• DRIVE C2X에 협조하는 독일의 프로젝트, V2V/V2I 서비스 • 17개 기관 참여, 53백만 유로, 프랑크푸르트, 400대 차량
Compass4D	Pre- Deployment (시범사업, Pilot)	'13년~'15년	• ERTICO 주관, 33개 기관 참여, 프랑스(보르도), 덴마크(코펜하겐), 네덜란드(헬몬트), 그리스(테살로니카) 등 7개 Sites • 9.996백만 유로(50% 민간), WAVE/3G/LTE 활용 • 3개 어플리케이션(RHW, RLVW, EEIS) • 334대 차량(트럭, 승용차, 버스, 긴급차량, 택시), 574명 운전자
SCOOP@F		'14년~'18년	• Système Coopératif Pilote @ France (French Pilot) • 14년 이후 C-ITS도입 목표로 프랑스 정부사업(2016년 구축) • 5개 도시, 4개 도로관리청, 2개 차량제조사 등 참여 • 280개 노변장치, 2,400대 단말, 1,500km 도로연장(도시간, 고속도로, 시가지 도로), WAVE 통신 및 셀룰러 통신 활용 • 13.2백만 유로(약 180억원), 신호위반 경고 등 10개 서비스
C-ITS Corridor	도로축 사업 또는 각국의 시범사업	예정	• C-ITS Corridor Austria - Germany - The Netherlands From 2015 • French corridor pilot project Paris - Strasbourg From 2015

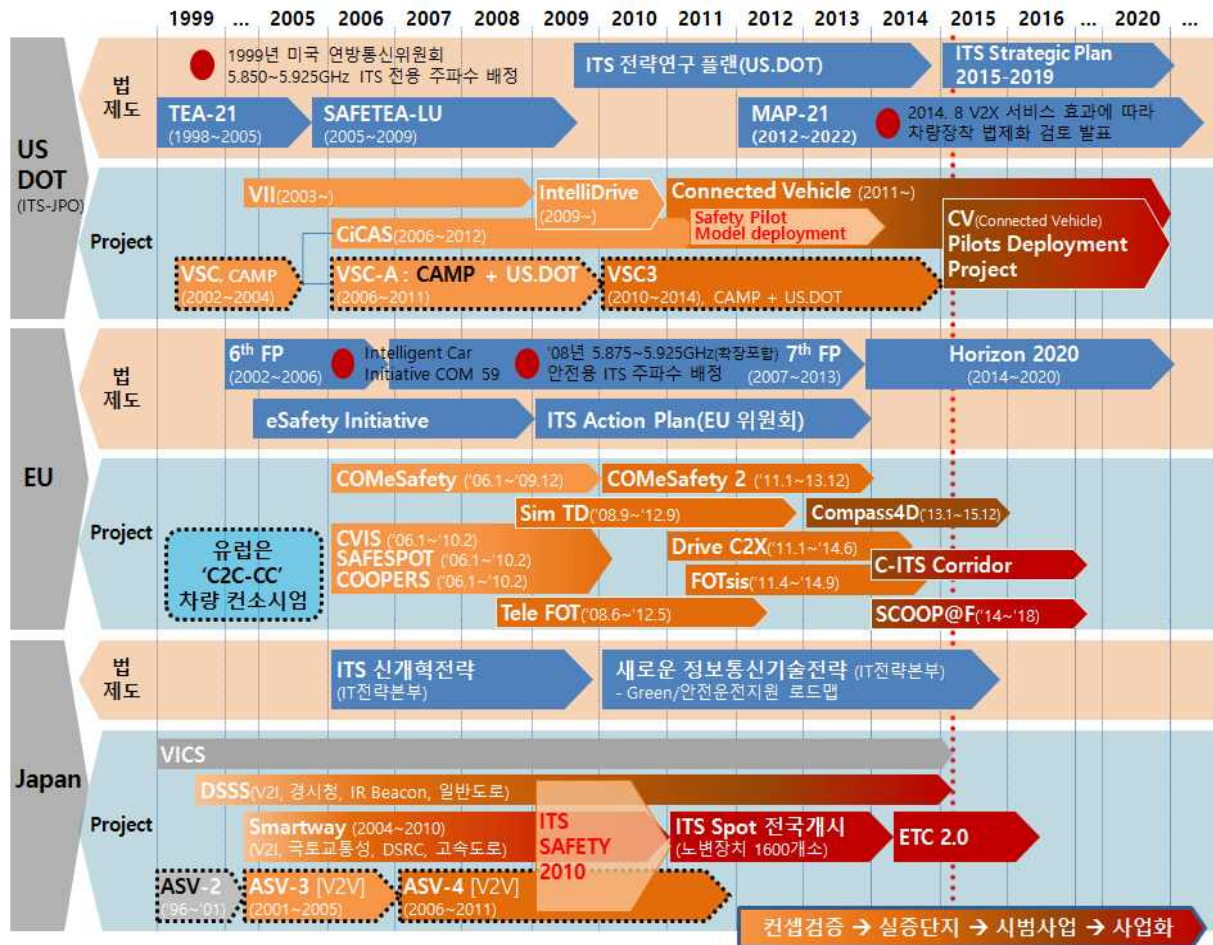
- o 한편 유럽은 e-Call에 대한 의무장착을 추진한바 있으며 2018년 3월부터 판매되는 신차에는 e-Call 서비스가 가능해짐. 유럽연합과 러시아는 긴급대응체계 서비스 구현을 위해 e-Call 단말기 의무장착을 통한 제도적 기반을 마련하고, 시범사업 등을 통해 e-Call 도입을 가시화 하고 있으나 주로 통신방식, 통신성공률 등에 대한 연구를 주로 추진하고 있음.
- o 이 외에도 미국, 일본 등은 교통사고 긴급구난체계의 필요성을 인지하고, 교통사고 대응을 위한 유사 서비스를 제공 중이며, 브라질 등은 차량도난 방지를 목적으로 국가차원의 긴급대응체계 구성을 추진 중

[표 7] 국외 e-Call 관련 서비스

구분		주요 내용
유럽	eCall (HeERO 프로젝트)	• Time Saved=Lives Saved 라는 슬로건으로 2015년 상용화하여 유럽연합 전역 충돌사고 발생 시 긴급구조를 목표로 추진 중 • 자동 eCall 서비스와 수동 eCall 서비스로 구분 : 교통사고 발생 시 GPS 신호데이터, 에어백 전개, 충돌센서 정보 등을 자동으로 센터로 정보전송 또는 SOS 버튼 작동을 통해 정보전송 • 전송정보 : 시간, 위치, 차량진행 방향, 차량 ID 등
러시아	ERA-GLONASS	• 유럽연합 e-Call 시스템과 유사한 러시아의 독자적인 자동차 긴급구조 서비스로 2013년 12월 상용화를 목표로 추진하였고, 2015년 1월 위원회가 발족됨 • 차량용 위성항법장치(GLONASS)를 법적으로 의무 장착하여 차량관리, 교통사고 등 긴급구조에 대한 효율적인 대응가능
미국	ComCARE Alliance	• 간호사, 의사, 응급구조사, 911, 비상 관리자, 교통관리, 운송회사, 공공안전, 보건 당국, 사법부, 자동차 회사, 소비자 단체, 텔레매틱스 공급업체 등을 대표하는 100여개의 조직으로 이루어져 있는 광범위한 비영리 국가 연합 • ACN(차량충돌자동감지), EMS(응급의료시스템), Next Generation 911 등과 유기적인 연계를 통해 사고대응 효율성을 증대하고자 함
일본	HELPNET	• 정보 통신 기기, 시스템을 매개로 하여 경찰 소방 등의 연결 서비스 및 업무 대행 서비스를 제공하고, 교통·재해 등 정보 통신 센터의 운영관리 수행 • 자동차 차량용 정보 통신 기기, 자동차 부품, 컴퓨터 시스템 통신 시스템의 설계, 개발, 구축 등을 제공하는 일본의 긴급서비스 업체
브라질	SIMLAV	• SIMLAV는 Stolen Vehicle Tracking(SVT)을 이용한 도난방지 및 회수를 위한 위치 확인 시스템으로 주요 텔레매틱스 기능 중 하나라 할 수 있으며, eCall에 적용되는 차량위치 추적/보안 기술과 밀접한 관련이 있음 • 브라질에서 빈번한 차량 도난을 방지하고, 검거하기 위해 2013년부터 모든 신규 차량에 도난차량추적 시스템 장착을 의무화(2013. 1. 31.)하였으나 정책적/기술적 문제로 2016년까지 장착 의무화가 연기될 것으로 예상됨

라. 일본의 C-ITS 추진 동향

- 일본 역시 오래전부터 ITS를 추진하여 왔고 유럽, 미국과 차이가 있는 독자방식으로 V2X 서비스를 진행하고 있음. 특히 통신 플랫폼을 자국만의 DSRC 방식으로 진행하면서 경시청의 DSSS 프로젝트, 국토교통성의 Smart way(2004~2010) → ITS Spot(2011~) → ETC2.0(2014~) 프로젝트가 대표적인 사례임.



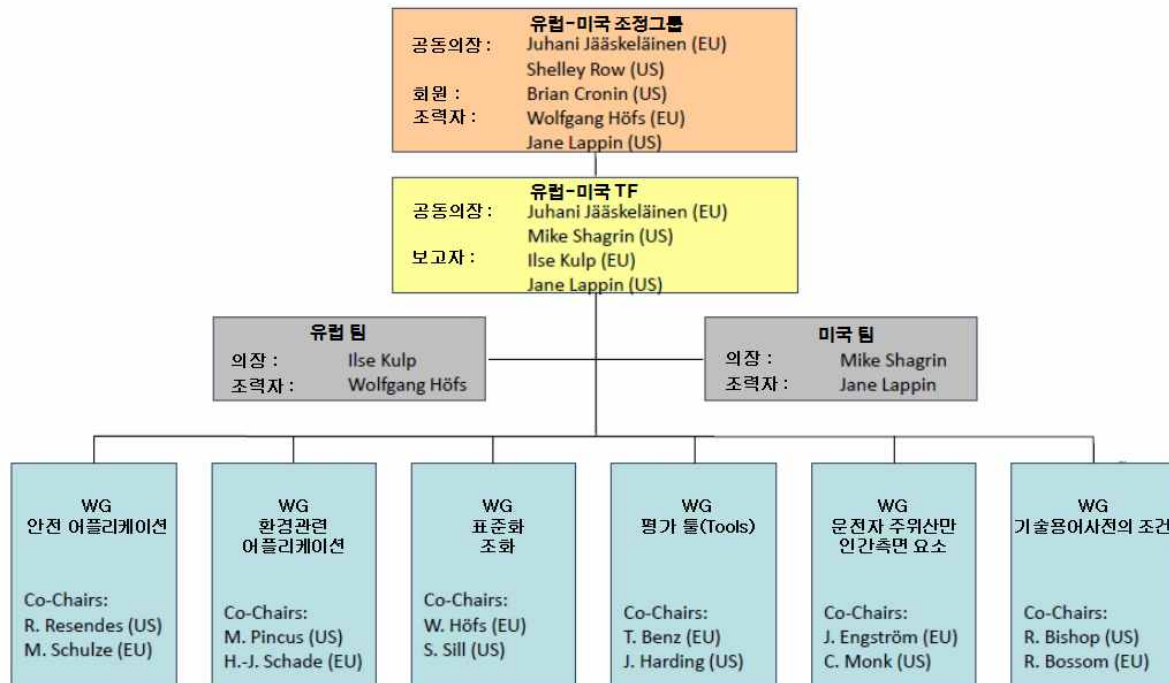
<그림 3> 미국, 유럽, 일본의 C-ITS 추진동향

마. 표준화와 국제조화 노력

- C-ITS를 준비하고 있는 미국, 유럽, 일본은 각국의 표준화 기구에서 준비하고 있는 표준에 대해서 전 세계 단일표준화 또는 표준간의 호환성 확보를 위한 노력을 진행하고 있음. 미국은 IEEE, SAE에서 통신과 메시지에 대한 표준을 마련하였고 유럽은 ETSI, CEN을 통해 통신 등 유럽표준을 마련하였고 일본은 ARIB를 통해 진행하고 있음. ISO에서는 각국의 표준화 노력을 기술위원회(TC204)에서 진행
- 이와 연계하여 유럽, 미국은 별도로 세부적인 사항에 대한 국제간 조화를 위한 활동을 2009년부터 진행해오고 있음. 한국은 미국의 RITA와 2012년 MoU를 체결하고 양국간 C-ITS 협력을 진행

• 2009년 1월 US. DOT RITA - EC DG_INFISO

- 2010년 10월 US. DOT RITA - 일본 국토교통성(MLIT) 도로국
 - 2011년 6월 EC DG_INFOS - 일본 국토교통성(MLIT) 도로국
 - 2012년 7월 US. DOT RITA - 한국 국토교통부(MOLIT) 도로국
- o 미국-유럽의 협력 체계는 다음과 같으며, 안전 및 환경 어플리케이션, 표준화, 평가 Tool, 운전자 Clinic, 기술용어 사전 부문에서 활동을 하고 있음.



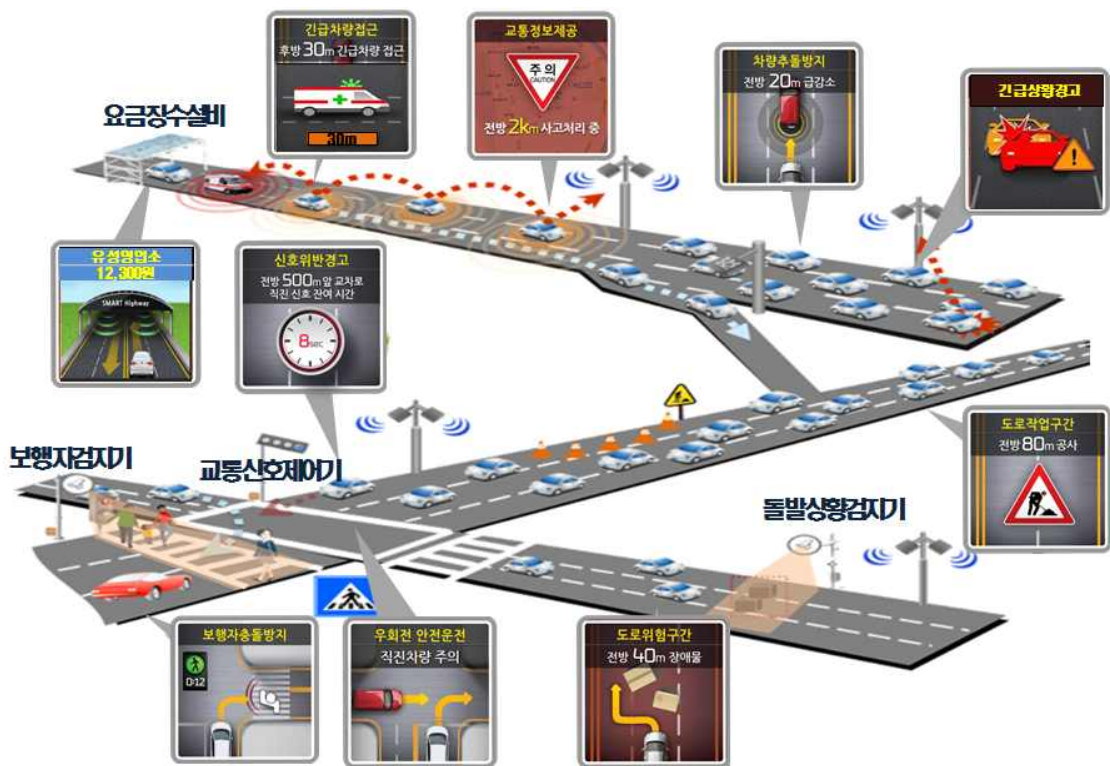
<그림 4> C-ITS 추진을 위한 EU-US 협력 체계

- o 한국-미국은 2013년에 TOR(Term of Reference)를 교환하고 Safety Application, Standards, Pilot Project의 세 개 Working Group을 운영하면서 미국의 CV Pilot 프로젝트와 한국의 C-ITS 시범사업의 추진사항을 공유하고 3개 부문에서의 국가 정책추진을 위한 공동 논의를 진행함.

2. WAVE 통신 시스템

가. 국내 기술 개발 현황

- 국내의 WAVE통신기술 개발은 KETI(전자부품연구원) 및 ETRI(한국전자통신연구원)에서 국가R&D사업을 통해 수행해 왔으며, 현재는 스마트하이웨이사업에서 기술력이 검증된 KETI의 WAVE 통신기술이 시범사업 등과 연계되어 기술 축적 및 성능 검증이 진행되고 있음.
- 스마트하이웨이 시범도로에서는 경부고속도로 서울TG~수원IC 구간에 기지국 설치 및 단말기 배포를 통해 낙하물검지정보 제공, 전방차량 급정거 알림, 2차 추돌사고 예방, 도로작업 알림, 고장차량 알림, 차량 내 전광판 및 스마트톨링 등의 서비스를 시험적으로 제공하고 있음.
- 스마트하이웨이사업의 개발기술을 실 도로에 시범 적용하는 C-ITS 시범사업은 교통사고 감축을 위한 15가지의 안전서비스를 대전-세종 구간의 약 87.8km 구간에 기지국 79대, 단말기 3,000여대로 제공하는 사업이며 현재 진행 중에 있음.



<그림 5> C-ITS 시범사업 제공 서비스

- 현재 우리나라도 외국처럼 정부의 주도로 자율주행자동차 핵심기술인 V2X 통신기술에 대한 개발 및 상용화에 박차를 가하고 있음.

- 국내에서 개발된 WAVE 통신기술은 글로벌 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해 단말기 제조원가 절감이 가능한 WAVE 통신 칩 상용화 개발을 추진 중에 있음.
 - 스마트하이웨이사업 WAVE통신기술 이전 기업 및 기타 ITS 관련 기업에서는 향후 WAVE통신 기반 해외사업 등을 위해서 WAVE 통신 칩 개발 및 기술 지원을 희망하고 있어, 현재 KETI에서는 국산 WAVE 통신 칩 상용화 개발을 위한 노력을 수행하고 있음.
- 국내외 V2X 통신기술 기반 차세대 C-ITS 사업
 - 한국을 포함하여 주요 선진국들은 차세대 ITS의 조기 도입을 위해 C-ITS 프로젝트를 적극적으로 추진하고 있으며, 콘셉트 및 기술 검증, 실 도로 시험, 시험구축, 그리고 사업화 단계 순으로 추진하고 있음.
 - 미국과 유럽에서는 향후 생산/판매되는 차량에 WAVE 단말의 의무장착을 하도록 하는 방안을 추진 중에 있으며, 특히 미국의 경우 차량용 단말기 의무장착을 위한 행정절차를 진행 중에 있음.
 - 미국, 유럽 등 선진국들은 WAVE 통신 기반 안전서비스 제공 시범사업(미국 Safety Pilot Model Deployment, 유럽 ITS Corridor 등) 후 의무 장착 등 본 사업 준비 중에 있음.

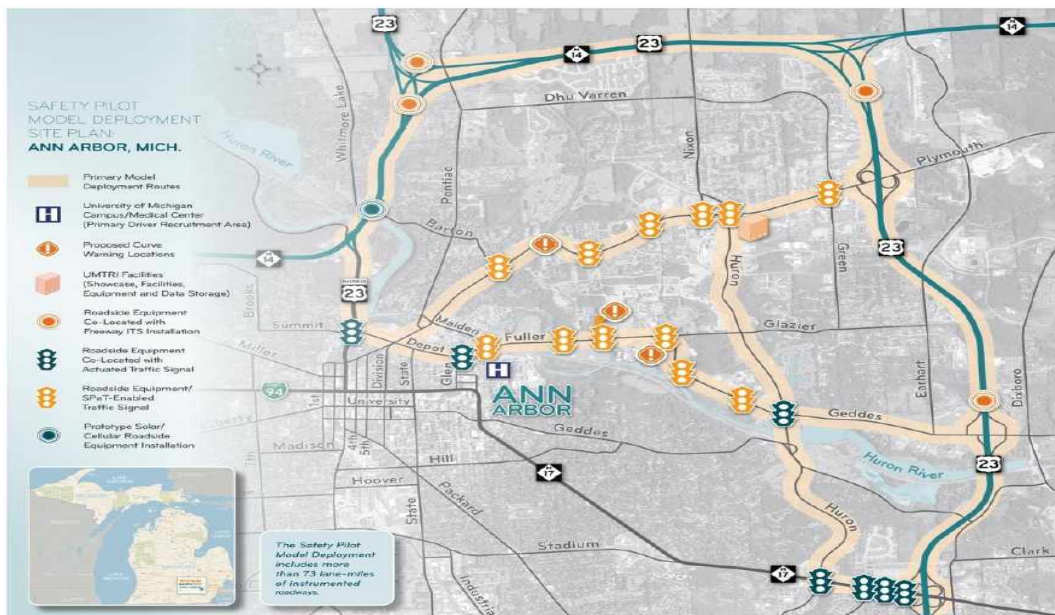


<그림 6> 주요 선진국의 C-ITS 프로젝트 추진 현황

- 주요 선진국들은 IT, 자동차, 통신 기술 등을 융합하여 무인 운전과 같은 첨단 주행 기술을 실제로 구현해 내고 있으며, 자동차의 지능화, V2X 통신기술 확보 및 통합, 시스템 차원의 통합·표준화 등과 같은 연구도 병행하여 추진하고 있음.
- 특히, 미국 교통부(US DOT, U.S. Department of Transportation) 산하 RITA(Research

and Innovative Technology Administration)에서는 ‘Connected Vehicle Research’ 프로젝트를 통해 V2X 관련 사업을 추진하고 있음.

- 이 프로젝트는 기술(technology), 애플리케이션(application), 정책 및 관련 조직(policy & institution)등 세 항목으로 나누어 진행되는데, V2X 통신과 관련된 연구는 애플리케이션 항목 중 안정성(safety) 부분에 해당됨
- 지난 2012년에 미시건주에서 Safety Pilot Model Deployment를 수행함으로써 C-ITS 서비스에 관련된 다양한 결과 데이터를 도출하였으며, 이를 기반으로 신규차량 의무 장착 법제화를 진행 중에 있음 (해당 사이트에서는 약 2,800대의 단말을 이용하여 테스트를 진행했으며, Arada, Kapsch, ITRI, Cohda wireless, Savari, DENSO 등의 WAVE장치 제조업체가 통신장비를 제공하였음)



<그림 7> Ann Arbor 테스트 사이트

- o 또한 Connected Vehicle Pilot Deployment Program을 뉴욕시, Wyoming 및 Tampa에서 수행하고 있으며, 뉴욕시에는 10,000대의 단말기로 교통 밀집지역에서의 안전서비스를 제공할 계획임.
- DOT의 후원으로 Connected Vehicle Pilot Deployment Program이 시작되었으며, 이를 통해 그간 수행되어온 다양한 pilot program들의 기술적 집약 및 확산, 그리고 핵심이슈 해결을 통해 connected vehicle environment의 전국적인 구축을 목표로 진행되고 있음.



<그림 8> Connected Vehicle Pilot Deployment Program

[표 8] 미국 지역별 CV Pilot 지역 별 진행 현황

지역	목표	V2X 통신 기술	서비스
New York City	Pedestrian safety and travel improvement	V2V, V2I	- Pedestrian safety - Red light warning - Freight-specific travel demand
Tampa, Florida	고속도로 및 도심지역 교통혼잡 경감	V2V, V2I	- Curve speed warning - Intelligent signals - Intersection movement assist - pedestrian safety - transit signal priority
Wyoming	402마일의 주간 고속도로 구간의 기상정보 정보제공	V2V, V2I	- Road weather advisory - Variable speed limit - Situational awareness
프로그램 일정	Connected Vehicle Pilot Deployment (up to 50 months) PHASE 1 (up to 12 months): Concept Dev. PHASE 2 (up to 20 months): Design/Deploy/Test PHASE 3 (minimum 18 months): Maintain/Operate Pilot Routine Operations (ongoing): Post-Pilot Operations Progress Gate, Transition, In Progress, Follow-On Cooperative Agreement		

- o 유럽은 각 나라별로 C-ITS 서비스를 제공하는 연구를 수행해 왔으며, 지난 2014년부터 “오스트리아 비엔나 ~ 네덜란드 로테르담” 구간에 WAVE 통신 시스템을 구축하여 대규모 검증 실험을 수행하는 C-ITS Corridor Joint Deployment를 진행 중임.
- o ETSI는 2016년 11월 이탈리아 Livorno에서 CNIT 주관으로 플러그테스트를 기획하고 있으며, 5가지 I2V 서비스의 USE CASE에 대한 개발을 진행 중임.

- 플러그테스트(Plugtest): 다양한 국가 및 개발사에서 개발한 장치 간의 호환성을 테스트하는 이벤트이며, 유럽의 ETSI 표준을 기반으로 함.

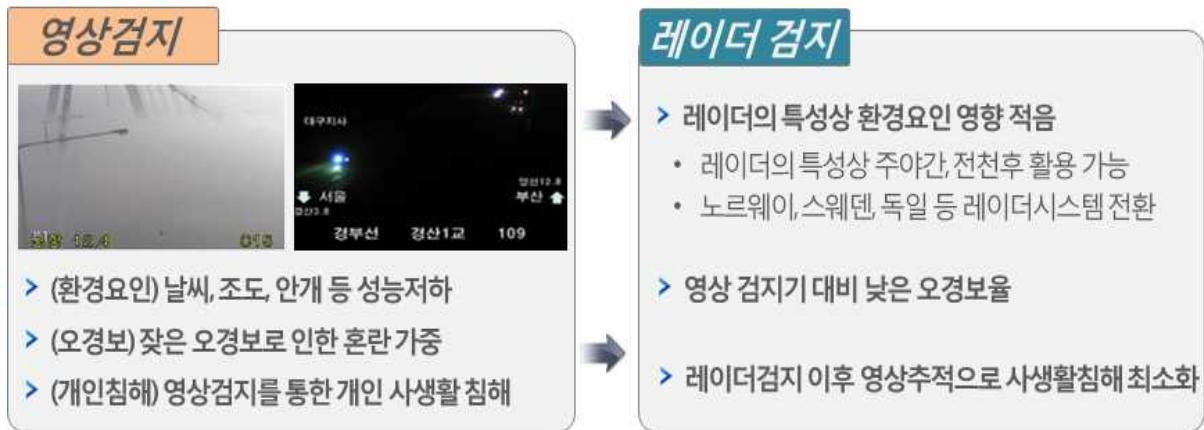
[표 9] 유럽 2016년도 C-ITS Plugtest USE CASE 별 현황

Use Case	목표	V2X 통신 기술	서비스 개요
1	- Hazard Warning - Road works safety trailer	I2V	
2	- Intersection Assistance	I2V	
3	- Public Transport Prioritization	I2V	
4	- Virtual Traffic Loop (Data Aggregation)	I2V	
5	- Distribution of locally detected Hazard Warning	I2V	
프로그램 일정			

3. 돌발상황 자동검지 시스템

가. 국내·외 도로상황 검지기술 조사·분석

- o 최근 도로상황 검지를 위해 영상기반의 검지시스템을 많이 활용
- o 하지만, 영상은 환경변화에 따른 성능저하, 잦은 오경보, 영상을 통한 개인의 사생활 침해 등 다양한 한계성이 나타나며, 레이더 기반의 도로검지 시스템의 개발이 이루어짐



<그림 9> 검지시스템 변화추세

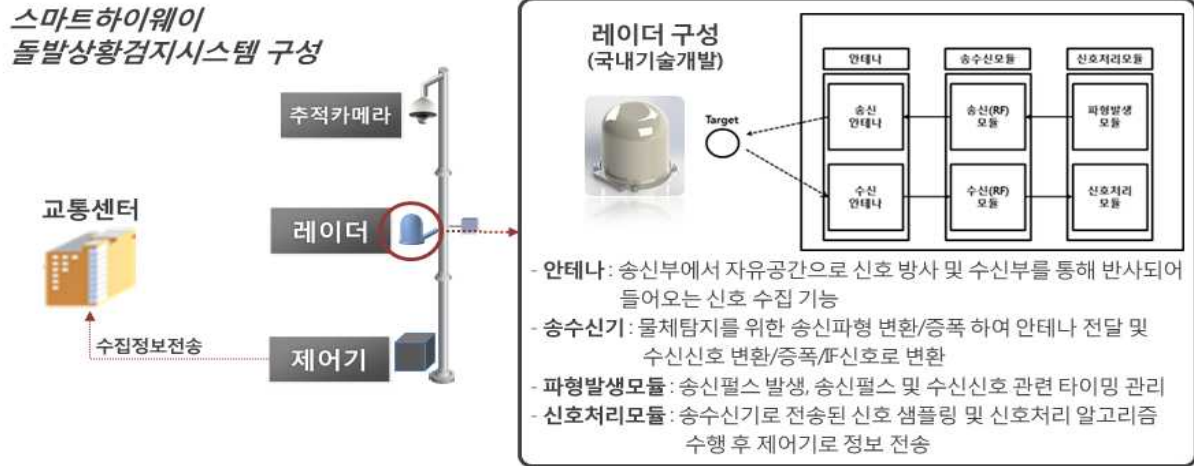
[표 10] VDS와 AID 시스템 비교

구분	AID	
업체	Navtech	Metabuild
제품 사진		
용도	돌발상황검지	돌발상황검지
주파수	76.5GHz	34GHz
검지 범위	700m 내외	1,000m
검지 정보	돌발상황	돌발상황

- o 이처럼 우리나라 뿐 아니라 해외에서도 레이더 기반의 ‘돌발상황 자동검지 시스템’에 대한 기술개발을 수행함.

나. 국내·외 레이더 검지기술 성능비교

- o 국내에서도 스마트하이웨이 사업을 통해 국내기술을 활용한 AID 기술 개발



<그림 10> 스마트하이웨이 돌발상황 검지시스템 구성

- o 해외 AID 제품과 국내기술의 레이더 검지시스템 성능은 아래의 표와 같음

[표 11] 국내·외 레이더 검지시스템 성능비교

구분	스마트하이웨이	해외기술수준
검지거리	1,000m 	차량 1,000m/보행자 700m 
검지폭	5차로	5차로
검지시간	1분이내	1분이내
검지해상도	2m	0.25m
정보갱신주기	200ms	1000ms
동시검지수	128	64
주파수	34GHz	77GHz

- o 스마트하이웨이 사업을 통해 개발된 시스템은 고정식 레이더로 1km, 5차로를 검지할 수 있으며, 34GHz 주파수대역을 활용
- o 해외기술은 회전모터를 활용한 회전식 검지시스템으로 차량의 경우 1km검지가 가능하고, 77GHz 주파수 대역을 활용
- o 이처럼 국내·외 모두 레이더 기반의 돌발상황 검지시스템이 개발되고 있는 추세이며, 유럽을 비롯한 국내에서도 점차 AID 시장이 확대되는 것으로 판단

제3장 연구 수행 내용 및 성과

- “스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용” 과제를 통해 스마트하이웨이 사업에서 구축된 시범도로, 체험도로 등 Test Bed에 설치된 개발 기술들을 실 도로환경의 다양한 기상조건에서 운영하여 기술의 신뢰성과 안정성을 향상시키고, 기술시연을 통해 개발 기술들의 저변을 확대하는 것에 그 목적이 있는 연구 과제임

1. 주요 수행내용

가. 연구의 목적

- 스마트하이웨이 시범도로는 개발된 기술들이 연계, 통합되어 하나의 시스템으로 구현되는 Site로 2014년 6월 구축되어 스마트하이웨이 사업이 종료된 2014년 12월까지 약 6개월간 개발기술들의 실증시험 및 기술시연 체험을 제공함.
- 하지만 실 공용도로상에서의 6개월간의 테스트는 혹서·혹한·강우·강설 등의 기상영향에 따른 기술의 내구성, 안전성과 거친 도로 환경에 적용해야하는 기술들의 가용성을 충분히 검증할 수 없었음.
- 본 과제를 통하여 1년 6개월간 충분한 데이터를 수집하고 검증하며, 실 도로환경에서 기술들의 내구성을 검토하고 개선하는 연구를 진행하였으며 그 성과들을 국내외 관계자, 기관들에 소개하고 홍보토록 함.
- 스마트하이웨이 사업 연구 성과들은 유기적으로 연계·통합되어 시범도로에서 하나의 시스템으로 여러 서비스를 구현하는 것으로 본 과제에 참여하는 8개 연구기관들은 각자 또는 협력하여 개발한 기술들의 안정성, 신뢰성 향상을 위한 데이터 수집, 분석, 성능 안정화 작업 및 개선 연구를 수행하였음.

나. 과제의 운영단계 설정

- 본 연구는 18개월의 연구기간을 3단계로 설정하여 준비단계, 이후 중점 성능개선 추진, 이후 전체 시스템의 안정적인 운영결과 도출과 판단을 하는 시간으로 설정하였음. 그러나 시스템 개선 일정에 따라 통일하여 적용하지는 않음
 - 1단계(준비단계) : 기 연구결과 한계점 진단, 연구목표 달성방안 도출
 - 2단계(성능개선) : 중간점검, 장비별 성능 향상, 대처 및 조치 사항 등
 - 3단계 : 시스템 운영유지, 최종 운영결과 리포트
- 특히 8개월이 경과한 시점인 2015년 8월에는 전체 연구의 진행사항을 점검하기 위하여 중간점검을 실시한 바 있으며 이를 통해 최종 연구 성과 달성의 여부와 상태를 중간 점검하였음.

다. 연구의 내용 및 담당기관

- 본 연구에서는 경부선 서울영업소에서 수원IC 구간에 설치된 시스템을 유지하고 기술시연을 통해 향후 실 도로에서 구현 될 서비스 사례들을 홍보함.

- 이에 연구결과는 시스템측면에서 전체 서비스의 근간인 V2X 통신을 담당하는 WAVE 통신부문, SMART-I와 SMART-IDS의 자동 돌발검지 부문 그리고 현장시스템과 서비스 구현을 지원하는 센터 설비, Network 등의 운영결과를 정리하였고 많은 홍보 사례를 남긴 기술기연과 전체 성과관리는 별도로 정리하였음
- 연구의 대상 및 성과지표는 최초 연구개발계획서에 근거하여 다음과 같이 정리할 수 있으며 담당기관은 다음과 같음

[표 12] 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 연구의 주요 연구내용 및 담당기관

구 분		내 용		담당
성과관리		모니터링 연구과제의 유무형적 성과관리		한국도로공사
기술시연		월 1회 이상의 기술시연 (연구 참여기관이 모두 역할을 담당한 시연 프로그램 운영)		ITS Korea 유브릿지 등
돌발상황검지 (SMART-I)	기술	• 돌발상황 검지 및 정보 수집	휴엔에스	
	기준	• 검지거리(1km), 사고다발 및 교통정체 구간		
	위치	• 경부선 죽전 BS(서울방향), 경부선 오산 인근(서울방향)		
도로정보 검지레이더	기술	• 돌발상황 검지 및 정보 수집(악천후에도 검지 가능)	메타빌드	
	기준	• 검지거리(1km), 사고다발 및 교통정체 구간		
	위치	• 경부선 시범도로 서울방향 3개소, 부산방향 1개소		
WAVE 기지국	기술	• 차량-인프라 통신과 인프라-센터간 정보 송수신	전자부품연구원 이씨스	
	기준	• 통신거리(1km) 및 시범도로 연장 고려		
	위치	• 경부선 시범도로 본선 7개소 : 상시운영 • 경부선 서울영업소, 수원IC : 기술시연시 활용, 비정기 운영		
스마트 단말기	안전	-	• 차량안전 전용 단말기 (V2V, V2I/I2V 통신 지원)	전자부품연구원 ITT, 유브릿지
	안전+과금	-	• 차량안전 및 WAVE 톨링 통합 단말기	
WAVE Tolling		-	• WAVE 통신기술 기반 단차로 요금설비 설치 (서울, 수원요금소 입출구 각 1개 차로)	ITT
스마트하이웨이 센터		-	• 운영 및 유지관리의 효율성, 연구성과 홍보용이성 등 고려, 한국도로공사 교통정보 센터 내에 설치	한국도로공사, ITS Korea 외

- 본 연구의 테스트베드는 경부선 서울영업소에서 수원IC 간 11km로 이 구간에 현장장비는 자동 돌발상황 검지시스템 6식과 WAVE 기지국 7식(상시운영), 톨링시스템이 운영되었고 현장장비의 데이터 집합, 운영상태 모니터링은 교통센터내 간이 서버를 두고 운영하였음.

라. 연구일정

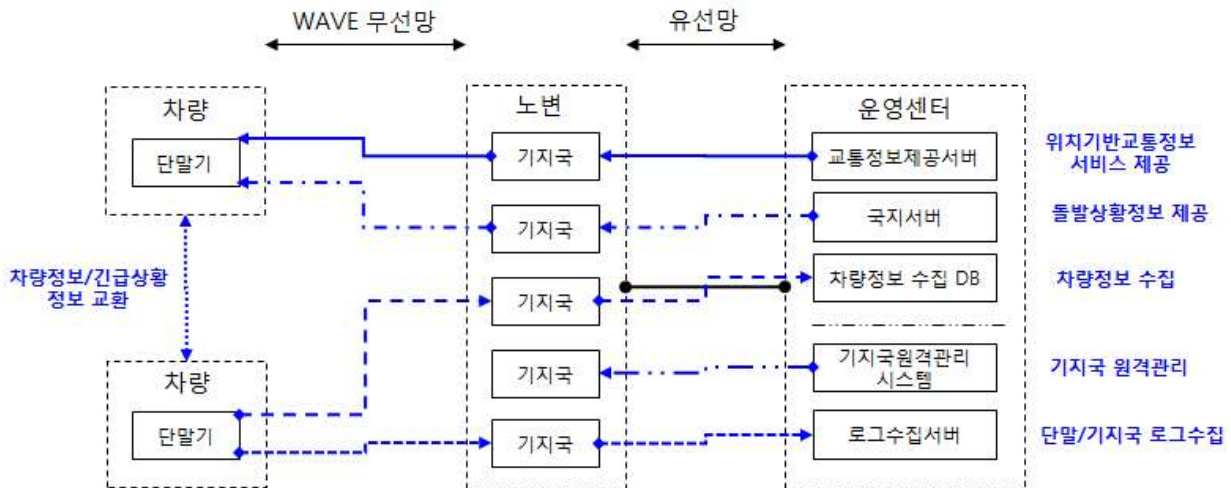
[표 13] 연구수행 일정계획

구분	연구과제명	세부추진내용	2015					2016	
			1/4	2/4	3/4	점검	4/4	1/4	2/4
주관	스마트하이웨이 테스트베드 성과관리 및 활용 (한국도로공사)	연구 성과물 수요현황조사							
		연구 성과물 사업화 실적조사							
		Test Bed 연구성과관리							
		데이터 수집관리							
공동	스마트하이웨이 테스트베드 상시운영체계 유지 (한국지능형교통체계협회)	네트워크 가동률 모니터링							
		서버 가동률 모니터링 및 정기 점검							
		돌발상황보고 모니터링							
		고장발생상황 모니터링							
		WAVE 통신시험							
		자동돌발검지 시스템 시험							
	스마트하이웨이 기술시연 (한국지능형교통체계협회)	기술시연							
공동	SMART-I 테스트베드 모니터링 및 활용 (휴엔에스)	모니터링 및 활용 효율화 체계 구상							
		모니터링 및 활용 항목 도출							
		다양한 환경에서 시스템 점검/ 보완							
		돌발상황 데이터 축적							
		시스템 로그 저장							
		축적된 데이터 활용방안 수립							
		시스템 피드백							
		장애대처 매뉴얼 작성							
공동	WAVE 통신시스템 검증(전자부품연구원)	통신범위, 통신지연, PER 현장시험							
		가동률 모니터링							
		다수차량 현장시험 수행							
		현장시험 수행							
공동	복합기지국 테스트베드 모니터링 및 활용(이씨스)	통신범위, 통신지연, PER 현장시험							
		가동률 모니터링							
		다수차량 현장시험 수행							
		현장시험 수행							
공동	스마트단말기 테스트베드 모니터링 및 활용(아이티텔레콤)	시스템 모니터링 및 유지관리							
		유리관리 및 톨링시연을 위한 단말기 추가 제작							
		기술시연 지원							
공동	기술시연 단말기 테스트베드 모니터링 및 활용(유브릿지)	기술시연							
		시연 S/W 개선							
공동	도로정보검지용 레이더 테스트베드 모니터링 및 활용 (메타빌드)	시스템 운영 및 유지관리							
		모니터링 및 데이터 축적							

2. WAVE 통신시스템

가. 테스트베드 WAVE통신시스템 구성

- 스마트하이웨이 테스트베드 구간에는 총 9식의 WAVE기지국이 설치되어 있으며, 100대의 WAVE단말기가 배포되어 운영 중에 있음. WAVE 통신시스템의 구성은 다음과 같음.



<그림 11> 시범도로 WAVE 통신시스템 구성

- 차량에는 WAVE단말기가 설치되며, 대상 차량은 테스트베드 구간인 서울TG~수원IC를 자주 이용하는 광역버스, 한국도로공사의 도로관리 유지차량 등으로 구성
 - WAVE 단말기
 - 기지국 및 타 차량 단말기로부터 각종 서비스 메시지(TIM, RSA, BSM)를 수신하여 UI 단말을 통해 운전자에게 정보를 제공(TIM, RSA, BSM 등은 미국의 V2X 표준 메시지 셋인 SAE J2735 규격에 정의된 메시지이며, 해당 메시지에 부가 정보를 추가하여 테스트베드에 일부 수정하여 적용)
 - TIM(Traveler Information Message): 교통정보(Virtual VMS) 제공
 - RSA(Road-Side Alert): 노변장치가 도로 상의 돌발상황정보를 제공
 - BSM(Basic Safety Message): 차량이 자신의 기본적인 차량정보 및 발생 이벤트를 주기적으로 주위에 전파
 - 자신의 차량정보(BSM)를 주기적으로 송출
- 노변 WAVE기지국 설치
 - WAVE기지국
 - 운영센터의 교통정보제공서버로부터 교통정보서비스 메시지를 수신하고 이를 주기적으로 방송하여, 통신범위 내에 진입한 단말들이 수신하여 서비스를 제공받음.
 - 운영센터의 국지서버로부터 도로 상 돌발상황정보 메시지를 수신하고 이를 방송하여, 통신범위 내에 진입한 단말들이 수신하여 서비스를 제공받음.

- 단말기로부터 수신된 차량정보를 운영센터의 차량정보 수집DB로 전달하여 저장
 - 운영센터의 기지국원격관리시스템에 자신의 상태(전원, 온도 등)를 주기적으로 보고하고, 제어 명령 수신시에 이를 처리
 - 단말기로부터 수신된 로그 정보와 자신의 로그 정보를 운영센터 로그 수집서버로 전달
- o 운영센터에는 서비스 제공 및 차량정보 수집을 수행하는 서비스 관련 시스템과 기지국 원격관리 및 통신 로그 수집을 수행하는 관리 관련 시스템이 설치
- 교통정보제공서버: 센터운영자의 입력에 따른 교통정보 메시지(Virtual VMS)를 기지국을 통해 단말기로 전달하여 운전자에게 교통정보서비스를 제공
 - 국지서버: 노변에 설치된 레이더를 통해 감지된 각종 돌발상황정보를 기지국을 통해 단말기로 전달하여 운전자에게 도로 상 돌발상황알림 서비스를 제공
 - 차량정보 수집 DB: 각 차량의 단말기가 주기적으로 전송하는 차량정보 메시지(BSM)를 수신한 기지국으로부터 해당 차량정보를 수신하여 DB에 수집/저장
 - 기지국원격관리시스템: 각 기지국의 동작 상태를 지속적으로 모니터링하고 제어
 - 로그수집서버: 각 단말기와 기지국에 저장된 통신 관련 로그를 수신하여 저장. 저장된 로그를 이용하여 통신 이벤트를 분석

(1) WAVE 통신 노변장치 (RSU)

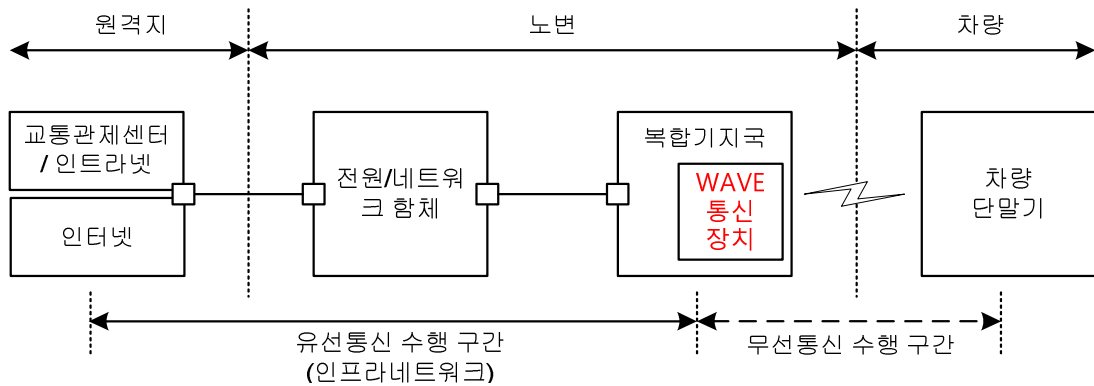
(가) 시스템 구성

- o WAVE 노변기지국은 노변에 설치된 복합기지국에 결합되거나 또는 독립적으로 노변에 설치되며, 차량에 설치된 단말기와 무선 통신을 수행함으로써 차량 운전자에게 각종 서비스를 제공하거나 차량으로부터 정보를 수집하는 등 다양한 데이터 교환 기능을 제공
- o WAVE 노변기지국은 운영자의 편의에 따라, 복합기지국에 결합되는 형태(이하 복합기지국용 WAVE통신장치)로 구현될 수도 있고, 독립적으로 동작하는 형태(이하 독립형 WAVE노변기지국)로 구현될 수도 있음. 기지국 요소 기능이 단일 기지국에 동시에 적용될 경우 WAVE노변기지국으로 표현되며, 별도로 적용될 경우에는 각각 복합기지국용 WAVE통신장치와 독립형 WAVE 노변기지국으로 별도 표기
- o WAVE 노변기지국은 노변의 지상 혹은 복합기지국을 포함한 노변에 설치된 각종 구조물 상에 설치될 수 있으며, 설치 위치 및 방법은 운영의 효율성 등 다양한 요소를 고려하여 결정



<그림 12> WAVE노변기지국 설치 예

o 복합기지국용 WAVE통신장치가 적용되는 시스템 구성



<그림 13> 복합기지국용 WAVE통신장치가 적용된 네트워크 시스템 구성 요소

- WAVE 노변기지국

- 복합기지국과 결합되거나 또는 독립적으로 설치되며 차량단말기와의 무선 통신을 통해 데이터를 교환하는 역할을 수행. 차량단말기에게 인프라네트워크에 대한 네트워크 접속 기능을 제공함으로써 차량단말기가 각종 서비스를 제공받을 수 있도록 지원. 또한 차량단말기로부터 수집된 차량정보를 센터로 전달하여 교통정보 등의 생성이 가능토록 함.

- 전원/네트워크 합체

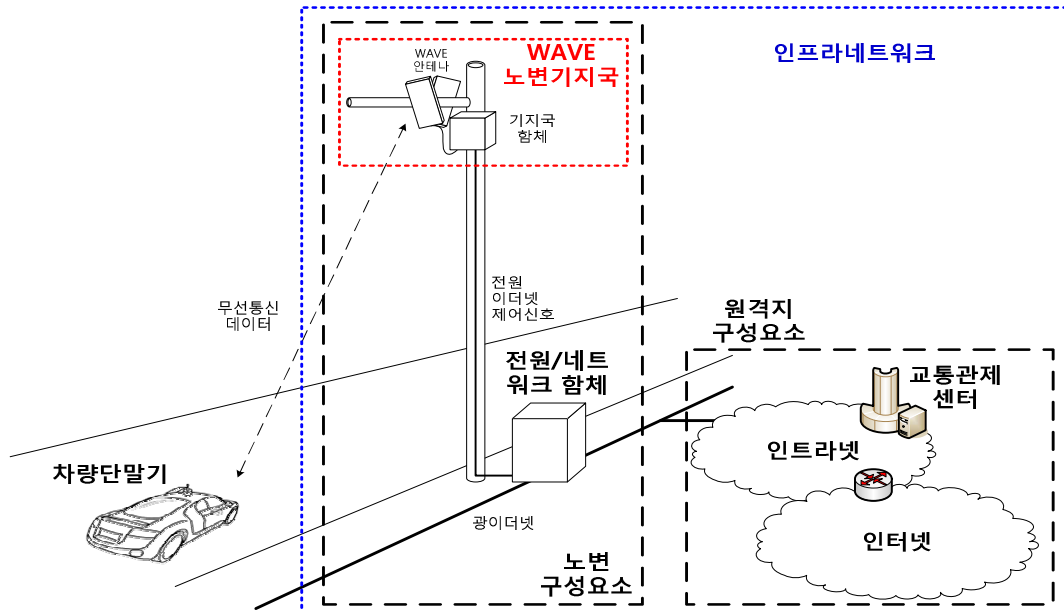
- 노변에 설치되어 WAVE 노변기지국이 인프라네트워크 내 타 구성 요소와 유선 통신이 가능하도록 네트워크 기능을 제공하고, WAVE 노변기지국에게 전원을 공급함.

- 원격지 구성 요소

- 원격지 구성요소는 교통관제센터, 사업자 인트라넷 및 인터넷 등 도로 상에 존재하지 않고 원격지에 존재하는 논리적 구성요소임. 차량단말기에 서비스를 제공하는 각종 서비스 개체를 포함하고 있음.

- 인프라 네트워크 (유선통신 수행 구간)

- 인프라 네트워크는 노변에 설치되어 운영되는 네트워크를 의미하며, WAVE 노변기지국(복합기지국) 및 교통관제센터, 사업자 인트라넷, 크게는 인터넷까지를 포함. 인프라 네트워크 내에 존재하는 구성 요소들은 모두 서비스 개체를 포함할 수 있음. 차량단말기는 WAVE 노변기지국에 접속하여 무선 통신을 수행함으로써 인프라네트워크 내에 존재하는 다양한 서비스를 제공 받을 수 있음.



<그림 14> 복합기지국용 WAVE통신장치가 적용된 네트워크 시스템 구성 요소

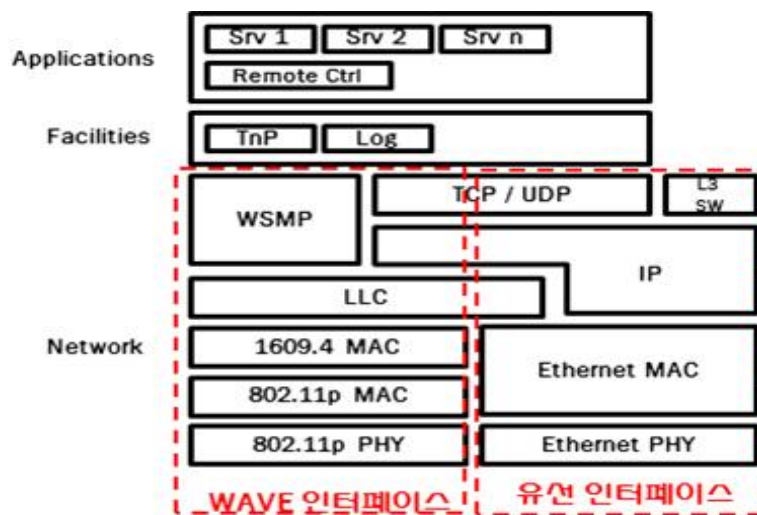
(나) 기능규격

o WAVE 노변기지국은 다음과 같은 기능을 지원

- WAVE 통신 기능, 유선 통신 기능, 시각 동기화 기능, 위치 획득 기능
- 시스템 로그 기능, 원격 감시 및 제어 기능
- 스마트하이웨이 서비스 제공 기능

o WAVE 통신 기능

- WAVE 노변기지국은 WAVE 통신을 수행하기 위하여 다음 규격을 준용
 - IEEE 802.11p
 - IEEE 1609.0
 - IEEE 1609.3
 - IEEE 1609.4
- WAVE 노변기지국의 네트워크 구성은 다음과 같음.



<그림 15> WAVE 노변기지국 네트워크 기능 구성

- WAVE 노변기지국은 다음 표와 같은 운영 관련 기능을 지원

[표 14] WAVE 노변기지국의 운영 기능 지원 항목

항목	내용	부가 설명
동작주파수	5.850~5.925GHz	-채널 별 중심주파수는 5.855GHz부터 10MHz 단위로 구성
채널대역폭	10MHz	-채널 당 10MHz의 대역폭을 사용
공중선전력	20dBm	-채널 당 공중선전력은 20dBm(10mW/MHz) 이하(ISM 밴드 기준)
복사전력	33dBm	-채널 당 전송파워는 EIRP 기준 33dBm 이하(ISM 밴드 기준).
동작채널	172, 174, 176, 178, 180, 182, 184	-노변기지국은 7개의 주파수 채널을 지원해야 하며, 각 채널의 설정은 공급자 서비스 등록에 따른 동적 설정 및 운영자에 의한 수동 설정이 가능해야 함
공급자 서비스	공급자 서비스 역할 수행	-노변기지국은 IEEE 1609.3 표준에 정의된 공급자 서비스 역할을 지원해야 함
데이터 통신	WSM, WSA, IP	-노변기지국은 WSM을 이용한 서비스 메시지의 송/수신 기능을 지원해야 함 -노변기지국은 WSA를 이용하여 공급 중인 서비스를 광고할 수 있어야 하며, WSA의 구성 및 전송은 공급자 서비스 등록에 따라 동적으로 가능해야 함 -노변기지국은 IP 패킷을 이용한 서비스 메시지의 송/수신 기능을 지원해야 하며, IP 패킷의 송수신은 공급자 서비스 등록에 따라 자동적으로 가능해야 함
채널 접속	단일채널접속 교차채널접속	-노변 기지국은 공급자 서비스 등록을 통한 자동채널접속 및 운영자 설정에 의한 수동채널접속 방식을 통해 채널접속 방식의 선택이 가능해야 함 -채널접속은 CCH 또는 특정 SCH를 지속적으로 접속하는 단일 채널접속 방식과 CCH와 SCH를 교차로 접속하는 교차채널접속 방식을 지원해야 함
채널 스위칭 인터벌	50ms 이상	-운영자 설정에 의한 채널 변경 파라미터의 수동 설정이 가능 -CCH interval, SCH interval, Sync tolerance, Max channel switching time
채널 통신	CCH: WSM, WSA 전송 SCH: WSM, IP 전송	-노변기지국은 CCH를 통한 WSM/WSA의 전송 및 SCH를 통한 WSM/IP의 전송을 지원해야 함
WSM 전송 주기	최소 10ms 이상	-노변기지국은 최소 10ms 이상의 WSM 전송 주기를 지원
WSA 전송 주기	최소 100ms 이상	-노변기지국은 최소 100ms 이상의 WSA 전송 주기를 지원
PSID 기반 다중서비스 지원	2 이상	-노변 기지국은 2개 이상의 프로세스가 동일한 PSID를 사용하여 서비스를 제공할 수 있어야 함 -노변기지국에 수신된 WSM은 동일한 PSID를 등록한 모든 서비스 프로세스로 전달되어야 함

- Network 계층
 - WAVE 프로토콜 표준에 정의된 네트워크 프로토콜 스택을 지원
 - Facilities 계층
 - TnP(Time & Position) 프로세스: 동기화된 시각과 위치 좌표 정보를 획득. 획득된 시각과 좌표 정보는 Facilities 계층 내 타 엔티티 및 서비스 어플리케이션에서 사용될 수 있어야 함.
 - 로그 프로세스 : 서비스 이벤트 및 동작 상황에 대한 로그를 저장
 - Application 계층
 - 스마트하이웨이 서비스를 제공하기 위한 서비스 어플리케이션으로 구성
 - 서비스 어플리케이션은 TnP프로세스를 통해 시각 및 좌표 정보를 획득하고, 로그 프로세스를 통해 발생한 이벤트에 대한 로그를 저장
- o 유선 통신 기능
- WAVE 노변기지국은 복합기지국의 제어부 또는 운영센터, 노변센서들과의 유선통신 기능을 지원해야 하며, 최소 100Mbps이상의 전송 속도를 지원
- o 시각 동기화 기능
- WAVE 노변기지국은 시각을 획득하는 기능을 지원해야 하며, 밀리 초 단위로 UTC 시각에 동기화되어야 함. 획득된 시간은 노변기지국 내 모든 프로세스에서 사용이 가능해야 함
- o 위치 획득 기능
- WAVE 노변기지국은 자신의 위치 좌표를 획득하는 기능을 지원해야 하며, 좌표는 경도 및 위도를 도초 단위로 표현한 값을 사용함. 획득된 좌표는 노변기지국 내 모든 프로세스에서 사용이 가능해야 함
- o 로그 기능
- WAVE 노변기지국은 서비스 동작 및 기지국 상태에 대한 로그를 저장함. 로그 저장 프로세스는 WAVE 노변기지국에서 로그 저장을 수행하는 프로세스이며, 서비스 어플리케이션 프로세스 및 접속 프로세스, 상태 제어 프로세스와는 별도로 독립적인 프로세스로 동작
 - 로그 저장 프로세스는 타 프로세스들로부터 로그 정보를 수신하여 로컬에 저장하거나 원격 로그 서버로 전송
 - 로컬 로그 저장 기능
 - 로컬 로그 저장 프로세스는 타 프로세스들로부터 수신되는 로그를 로컬에 저장하는 프로세스임. 장치 내에서 발생하는 로그는 다음과 같은 유형으로 분류되어 저장. 각 프로세스에서 발생하는 로그는 유형별 하나의 로그 파일에 저장되거나, 프로세스 별로 별도의 로그 파일에 저장

[표 15] WAVE 기지국 로컬 로그 유형

로그 유형	내용	저장 위치
서비스 동작	서비스 접속, 동작 등의 이벤트를 저장	서비스 로그 저장소(/log_serv/)
시스템 상태	시스템의 리셋, 온도 등에 대한 상태를 저장	상태 로그 저장소(/log_stat/)
로그 동작	원격 로그 동작을 저장	로그동작 로그 저장소(/log_log/)
에러	에러 이벤트 저장	에러 로그 저장소(/log_err/)

- 장치 내에서 발생하는 로그 정보는 중요도 및 우선순위에 따라 다음과 같이 분류되며, 각 프로세스 별로 로그 레벨 별 로그의 저장 여부를 설정할 수 있음

[표 16] WAVE 기지국 로컬 로그 레벨

로그 레벨	내용
ERR	에러 관련 로그
CONFIG	운영 및 설정 관련 로그
PKT_TRX	WAVE 및 유선망을 통해 교환되는 패킷 관련 로그
MSG_TRX	장치 내 프로세스 간에 교환되는 정보 관련 로그
FRAME_DUMP	WAVE 및 유선망을 통해 교환되는 패킷 세부 내용 로그

- ERR 레벨의 로그는 프로세스에 무관하게 모두 에러 로그 저장소에 저장되며, 그 외 레벨의 로그는 프로세스 유형에 따라 각각 서비스 로그 저장소, 상태 로그 저장소, 로그동작 로그 저장소에 저장됨
- 에러 로그 저장소는 WAVE 노변기지국의 동작 상태를 사후 분석할 수 있도록 비휘발성 메모리에 위치하여야 함. 장치 및 서비스의 오류 상황, 초기 실행 등에 대한 정보는 에러 로그 저장소에 저장되어 운영자가 사후에도 파악할 수 있어야 함.
- 서비스 로그 저장소 및 상태 로그 저장소, 로그동작 로그 저장소는 시스템의 구성에 따라 휘발성 메모리 또는 비휘발성 메모리에 위치할 수 있음. 운영자는 해당 로그들의 발생량에 따라 시스템에 악영향을 주지 않는 범위 내에서 적절한 위치를 선택할 수 있음
- 로그 정보는 운영자가 쉽고 빠르게 접근할 수 있도록 인지 가능한 문자열 형태의 파일로 저장되어야 함. 로그 정보는 다음과 같이 구성됨

[표 17] 로컬 로그 저장 형식

항목	값(예시)	내용
기지국식별자	RSEXXX	XXX: 기지국 번호
서비스분류	VVMS, RADAR, BSM 등	서비스 분류 (프로세스가 관여된 서비스)
프로세스명	BSMF, SCF 등	로그 정보를 발생시킨 프로세스의 이름
시각	yyyymmdd.hhmmss.mmm	로그 정보 발생 시각 (밀리 초 단위까지 표시)
동작분류	INIT PROC P_TX / P_RX M_TX / M_RX	로그 정보가 어떤 동작에 관련된 것인지 나타냄 INIT: 프로세스 초기화 관련 로그 PROC: 프로세스 동작 관련 로그 P_TX/P_RX: 패킷 송/수신 관련 로그 M_TX/M_RX: 프로세스 간 정보 교환 관련 로그
유형분류	INFO ERR	로그 정보가 어떤 유형인지 나타냄 INFO: 일반 정보 로그 ERR: 에러 로그
로그 정보	Sending BSM packets	문자열 형태의 로그 상세 정보

- 원격 로그 저장 기능

- 원격 로그 프로세스는 타 프로세스들로부터 로그 정보를 수신하여 유선망을 통해 원격지의 로그수집서버로 전달하며, 원격 로그 프로세스는 또한 자신이 발생시키는 로그 정보를 로컬 로그 프로세스로 전달하여 저장

- 원격감시 및 제어 기능

- WAVE 노변기지국은 원격지 시스템에서 감시 및 제어가 가능하도록 원격감시 및 제어 기능을 지원해야 함

- 스마트하이웨이 서비스 제공 기능

- WAVE 노변기지국은 스마트하이웨이 서비스에 관련하여 다음의 기능을 제공해야 함

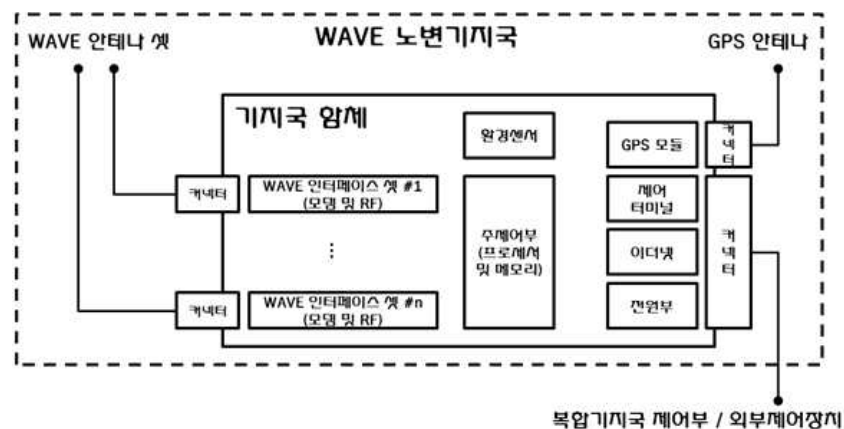
[표 18] 스마트하이웨이 서비스 제공 기능

순번	서비스	지원 기능
1	연쇄사고 예방	차량으로부터 수신된 연쇄사고 예방 정보를 유선망을 통해 센터 내 서버로 전달
2	낙하물 검지 및 정보제공	노변 센서로부터 유선망을 통해 수신된 낙하물 및 돌발상황정보를 WAVE를 통해 차량 단말들에게 방송
3	긴급차량 접근 알림	차량으로부터 수신된 긴급차량 정보를 유선망을 통해 센터 내 서버로 전달
4	차량이상 알림(SOS)	차량으로부터 수신된 차량이상 정보를 유선망을 통해 센터 내 서버로 전달
5	Virtual VMS	센터 내 교통서버로부터 수신된 교통정보를 WAVE를 통해 차량 단말들에게 주기적으로 방송
6	기본교통정보 수집	차량으로부터 수신된 차량기본정보를 유선망을 통해 센터 내 서버로 전달
7	도로작업 알림	차량으로부터 수신된 도로작업정보를 유선망을 통해 센터 내 서버로 전달

(다) 물리적 규격

- 하드웨어 구성

- WAVE 노변기지국 하드웨어는 다음과 같이 구성



<그림 16> WAVE 노변기지국 하드웨어 구성

- WAVE 노변기지국의 하드웨어 요소는 기능 및 형태에 따라 다음과 같이 분류됨
 - 합체 : WAVE 노변기지국을 보호하는 물리적인 합체
 - 통신장치 : WAVE 통신 및 기지국 기능을 수행하는 장치
 - 안테나 : WAVE 전파 통신을 수행하기 위한 공중선
 - 케이블 : 복합기지국 제어부 또는 기타 제어장치와의 연결을 위한 전선류

o 합체

- WAVE노변기지국의 합체는 통신장치를 내부적으로 보호하는 형태로 구성되어야 하며, 합체에 부착된 커넥터들을 통해 안테나 및 외부 제어장치와의 연결이 가능해야 함
- WAVE 노변기지국의 경우, 다음과 같은 내환경성 항목을 만족하여야 함

[표 19] WAVE 노기지국 신뢰성 요구사항

대분류	중분류	소분류	조건/기준	시험 규격
신뢰성	기후 환경	방우/방진	IP-66 등급	IEC 60529
		염수 분무	온도 35℃, 염농도 5% Ncal, pH 6.5~7.2	KS D 9502
		온도	-40℃ ~ 55℃	-
	내구 환경	진동	(5~200)Hz, 가속도 0.5G, 1oct/min	-
		충격	충격가속도 10G, 지속시간 6ms, 3축	-

o 통신장치

- WAVE 노변기지국의 통신장치는 기지국 기능을 수행하기 위해 다음을 포함
 - 주제어부: WAVE프로토콜 동작 및 스마트하이웨이 서비스의 구동을 위한 프로세서
 - WAVE인터페이스 셋: WAVE 통신을 위한 모뎀장치 및 RF 회로
 - 안테나 커넥터: WAVE안테나와의 연결을 위한 커넥터
 - 유선통신기능부 (네트워크 인터페이스): 복합기지국 제어부 또는 인프라네트워크와의 유선 통신을 위한 네트워크 장치
 - 제어터미널: WAVE 노변기지국의 제어 및 감시를 위한 터미널장치(예: RS-232)
 - 전원부: 외부로부터 전원을 공급받아 통신장치 내 각 구성요소로 필요 전원을 분배
 - 환경센서: 장치 오 동작 감시 및 제어를 위한 환경센서
 - 유선 커넥터: 복합기지국 제어부 또는 외부 제어장치와의 케이블 연결을 위한 커넥터
 - GPS장치: 동기화된 시각 및 좌표 획득을 위한 GPS 장치. 복합기지국용 WAVE통신장치의 경우 복합기지국 제어부로부터 GPS 신호를 수신하므로 별도의 GPS장치가 필요하지 않으며, 독립형 WAVE노변기지국의 경우에는 GPS장치를 별도로 포함해야 함.

[표 20] WAVE기지국 세부 위치 및 역할

항 목	세부규격	비고
중앙처리장치	32-bit Embedded Processor 800MIPS 이상	
주기억장치	DDR2 128MB 이상	
보조기억장치	비휘발성 저장장치 4GB 이상	
운영체제	Linux-2.6.29 이상	
유선통신	Ethernet 100Mbps 이상, RS-232 또는 RS-422	

o 안테나

- 안테나는 설치 목적 및 위치, 지형 등에 따라 지향성 또는 무지향성 안테나를 설치할 수 있으며, 케이블 단에서의 신호 손실을 최소화하기 위해 안테나 케이블은 되도록 짧게 연결되어야 함. 지향성 안테나를 사용하여 여러 방향으로 통신을 수행할 경우, 신호분배기를 안테나와 통신장치 사이에 설치하거나 또는 통신장치 내에 내장해야 함.

[표 21] 안테나 기능 사양(단품 기준)

항목			내용
동작 주파수			5.850 ~ 5.925 [GHz]
전압 정재파비			2 : 1
이득@MA X	무 지향성		7 [dBi]
	지향성	반전력빔폭 @ 30°	12 [dBi]
		반전력빔폭 @ 50°	8 [dBi]
편 파			선형 편파
임피던스			50±5% [Ω]
커넥터 유형			N 타입 또는 SMA 타입

[표 22] 케이블 기능 사양(단품 기준)

항목	내용
Loss @ [6GHz]	-1.0 이하 [dB]
케이블 길이	2 [M]
임피던스	50±5%
커넥터 유형	N 타입 또는 SMA 타입

[표 23] 분배기 기능 사양(단품 기준)

항목		내용
Loss @ [6GHz]	2 WAY	-4.0 이하 [dB]
	3 WAY	-6.0 이하 [dB]
전압 정재파비		2.5 : 1 [dB]
임피던스		50±5%



<그림 17> 지향성 안테나의 설치 예(3방향, 노변) <그림 18> 무지향성 안테나의 설치(서울영업소)

o 케이블

- WAVE노변기지국과 복합기지국 제어부 또는 기타 제어장치와의 연결을 위한 전선으로써 아래 표의 사양을 지원해야 함.

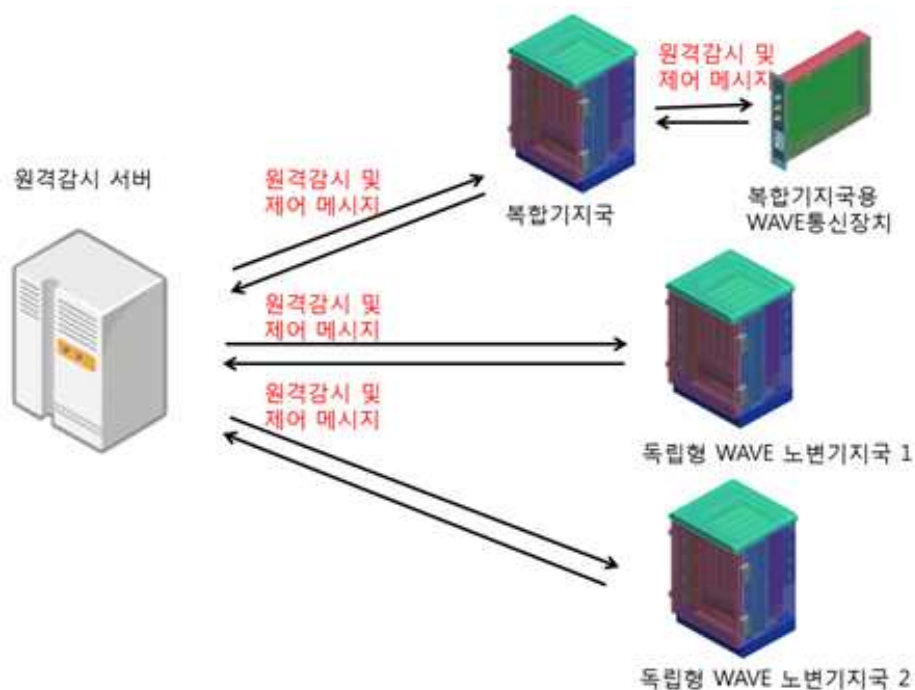
[표 24] WAVE 노변기지국 케이블 지원 사양

항목	내용
전원	WAVE 노변기지국에 공급되는 전원 선
네트워크 인터페이스	WAVE 노변기지국이 인프라네트워크와의 유선 통신을 수행할 수 있도록 하는 네트워크 선로
제어 터미널	'현장에서 WAVE 노변기지국을 제어할 수 있는 제어 터미널용 신호 선(예: RS-232 또는 RS-422)

- WAVE 노변기지국은 노변에 설치되므로 케이블 및 관련 커넥터는 방수 및 방진 기능을 지원해야 하며, 자동적인 탈락이 되지 않는 형태로 구성되어야 함.

(라) 원격감시 및 제어 규격

- o WAVE 노변기지국은 운영센터에서의 원격감시 및 제어를 지원해야 함
- o 복합기지국용 WAVE통신장치의 경우 감시 및 제어 주체는 복합기지국 제어부이며, 독립형 WAVE 노변기지국의 경우에는 인프라네트워크 내에 위치한 특정 제어장치(원격제어 서버 등)



<그림 19> WAVE 노변기지국 원격감시 체계

○ 테스트베드 상에서 WAVE기지국의 설치 지점과 세부 위치 및 역할은 다음과 같음



기지국 번호	위치 (이정)	위치(GPS좌표)		이정 방면	역할
		경도(Long)	위도(Lati)		
RSE01	노변(402.1)	127.103563	37.356305	서울 방향	- 도로장애물 알림 - Virtual VMS - 교통정보 수집 - 돌발상황정보 수집 연쇄사고, 긴급차량, 차량이상
RSE02	노변(401.1)	127.103566	37.346341		
RSE03	노변(400.1)	127.103826	37.336269		
RSE04	노변(399.3)	127.103587	37.32743		
RSE05	노변(398.1)	127.103541	37.31625		
RSE06	노변(397.1)	127.103524	37.30732		
RSE07	노변(396.15)	127.104072	37.277239		
RSE08	서울TG 캐노피	127.102241	37.369509	-	- 시범도로 서울TG 지점 안내
RSE09	수원영업소 옥상	127.047079	37.298637	-	- 시범도로 수원IC 지점 안내

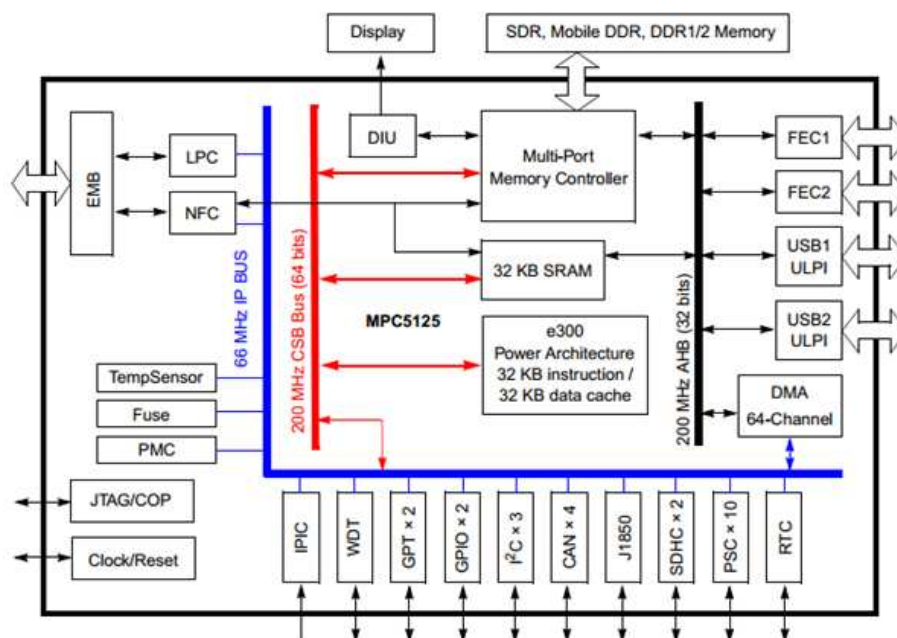
(가) 단말기 H/W



- 차량에 탑재되는 보급형 WAVE 단말기의 하드웨어는 성능향상 및 호환성 등을 탄력적으로 대처할 수 있는 모듈화 구조로 개발되어 있으며, 각 모듈 별로 지속적으로 기능을 향상시킬 수 있도록 하여 설계되었음. 보급형 WAVE 단말기 하드웨어는 로직보드부, 통신장치부, RF부로 구성 됨. 로직제어부는 정보수집 및 메시지 송수신을 위한 핵심 구성요소로 CPU와 메모리, 직류전원 공급 장치, 그리고 GPS 모듈과 통신모뎀들의 구성 됨. 통신장치부는 AD/DA 컨버터로 구성되며 디지털 신호를 아날로그 신호로 바꾸어 RF부로 전달하거나 RF부로부터 들어오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 로직보드부로 전달하는 기능을 담당함. RF부는 해당 주파수의 신호로 변환하여 safety 또는 서비스 메시지를 무선 송수신 하는 기능을 담당함
- 차량의 주행정보를 실시간으로 수집가공하여 차량의 안전주행을 돕는 정보를 제공하기 위한 통신모듈의 두뇌 역할을 담당하는 프로세서로 프리스케일 MPC5125를 선정하여 CPU 모듈을 개발하였음



<그림 22> WAVE 단말기 보드



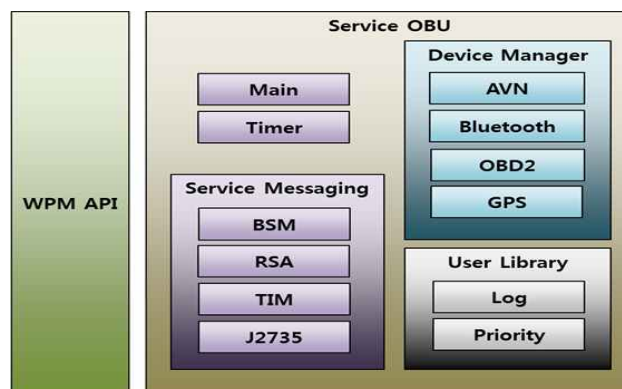
<그림 23> WAVE 단말장치 MPC5125 Block Diagram

(나) 단말기 인터페이스

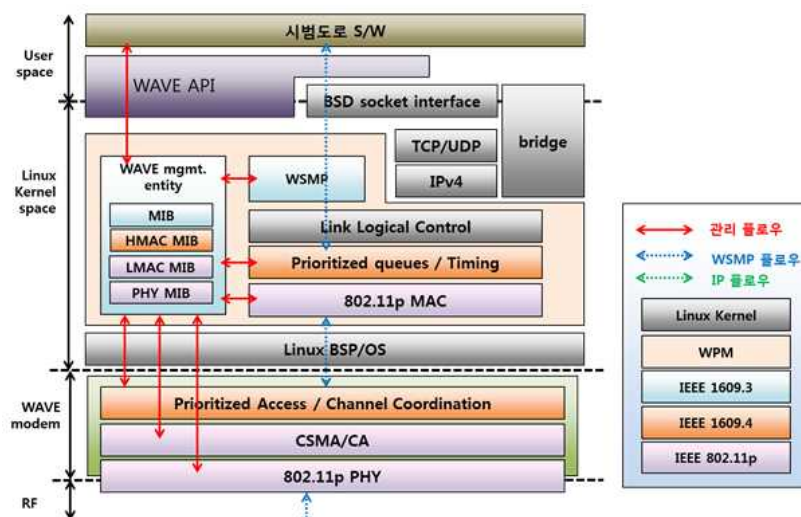
- o 이더넷 : RJ45 케이블을 통하여 인터넷 인터페이스를 제공
- o GPS : GPS를 위한 serial 인터페이스를 제공
- o 블루투스 인터페이스: Bluetooth 인터페이스를 제공하며, Bluetooth 외장 ANT는 2.4GHz를 사용하는 무선 공유기 ANT를 사용함. Bluetooth 인터페이스를 통하여 운전자 Android 스마트폰과 연동하여 스마트폰 화면에 안전등 서비스 메시지가 표출
- o AVN 인터페이스 : 차량에 설치된 AVN 화면에 안전등 WAVE 서비스 메시지가 UART 인터페이스를 통하여 제공
- o OBD2 인터페이스 : 차량의 속도, 브레이크 작동 여부 등의 차량 상태 정보가 UART 인터페이스를 통하여 수집
- o 전원 : 차량 전원 DC12V(승용차), DC24V(버스)에 맞게 설계됨

(다) 단말기 S/W 개발

- o 시범도로에 적용된 단말기의 모듈과 S/W 프로그램 구성은 다음과 같음



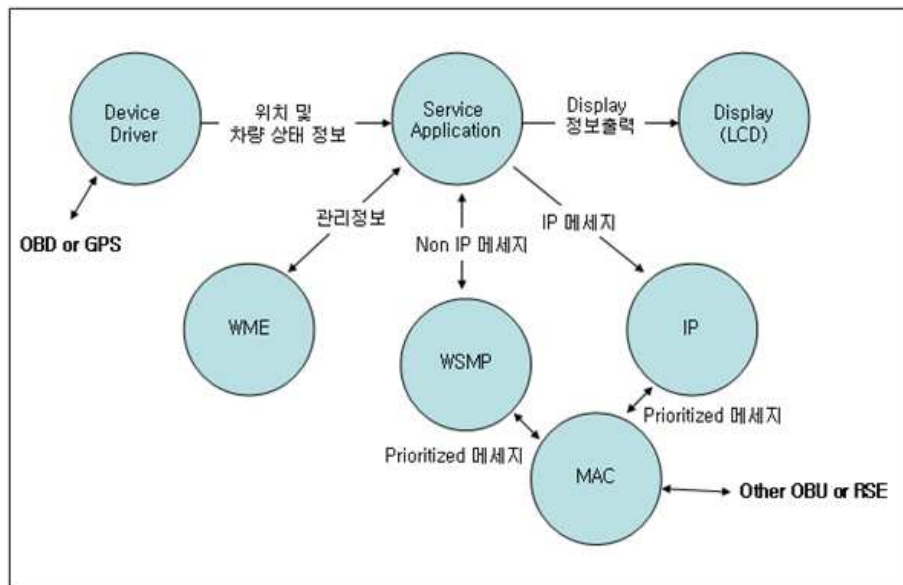
<그림 24> 보급형 WAVE 단말기 모듈 구성도



<그림 25> 보급형 WAVE 단말기 WAVE SW 구성도

(라) 단말기 S/W 데이터 흐름도

o 단말기 S/W 통신모듈은 차량 간 통신(V2V) 및 차량 노변 간 통신(V2I)을 수행하는 차량에 설치되는 WAVE 방식 통신모듈임. 이 S/W 모듈은 단말에서 발생한 메시지를 다른 WAVE 통신모듈 또는 기지국으로 전송하거나, 단말기 통신 S/W 모듈을 통해 수신된 메시지를 단말 어플리케이션에 전달하는 기능을 수행. 그리고 WAVE 통신 S/W 모듈은 IP 기반의 어플리케이션 데이터뿐 아니라 안전메시지 전송에 사용되는 WSM (WAVE Short Message)에 대한 송수신 기능을 제공함. 다음은 WAVE 단말기의 S/W data 흐름도임



<그림 26> 보급형 WAVE 단말기 S/W 데이터 흐름도

(3) 시범도로 WAVE 통신환경의 수집 및 제공 데이터

o 시범도로 (기술시연) 서비스를 제공하기 위한 서비스 데이터의 종류 및 형식과 로그 수집을 위한 로그 데이터의 종류 및 형식

(가) 시범도로 서비스 데이터

o 시범도로에서 제공되는 WAVE 관련 서비스

[표 26] 시범도로 제공 WAVE 관련 서비스

구분	서비스	분류
안전운행 도로	도로장애물 감지 및 정보제공(돌발상황알림) 서비스	I2V
	도로작업(공사)알림 서비스	V2V
긴급상황 지원	긴급차량 접근알림 서비스	V2V
	차량이상 구난요청 서비스	V2V
교통정보 제공	위치기반 교통정보제공 서비스	I2V
	차량정보 수집 서비스	V2I
안전운전 차량	연쇄사고 예방 서비스	V2V

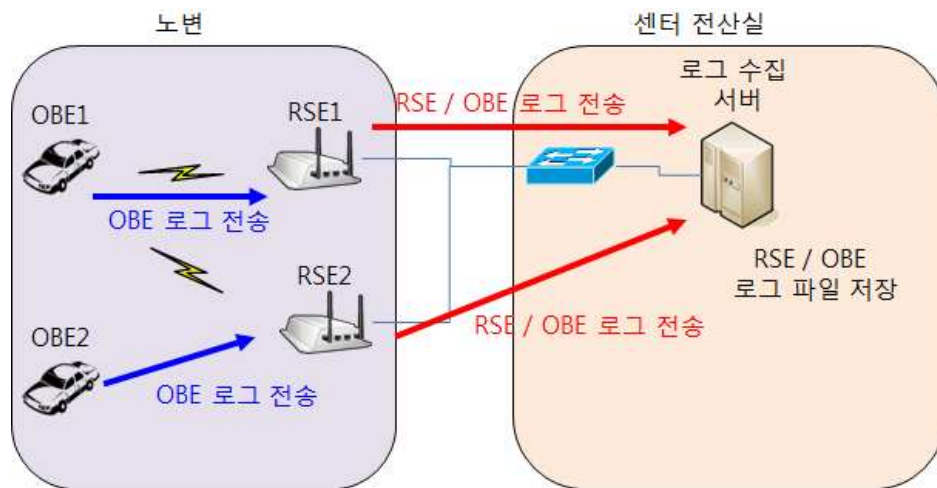
- o 이러한 서비스를 제공하기 위하여 차량-기지국간 및 차량간 서비스 메시지를 정의하였으며, 이는 미국 SAE J2735 표준에 명시된 BSM(V2V 공통), TIM(교통정보제공서비스), RSA(돌발상황알림) 메시지를 기반으로 하여 로그분석을 위한 추가 영역을 추가하는 형태로 정의되었음

※ 차량-기지국간 서비스 메시지의 세부 형식은 “스마트하이웨이 시범도로 서비스 메시지 규격” 참조

※ 기지국-센터간 서비스 메시지의 세부 형식은 “스마트하이웨이 인터페이스 정의서(시범도로 센터)” 참조

(나) 통신 로그 데이터

- o 시범도로 상에서 단말기 및 기지국의 통신 관련 로그 수집을 위한 시스템 구성



<그림 27> 로그 수집 시스템 구성

- OBE: 저장되어 있는 로그를 RSE로 전송
 - RSE: 발생하는 로그 및 OBE로부터 수신한 로그를 센터 내 로그수집서버로 전송
 - 로그수집서버: RSE로부터 수신되는 로그를 파일로 저장
- o 단말기 및 기지국에 저장된 로그는 주기적으로(기지국) 또는 시범도로 진입 시에(단말기) 기지국을 통해 로그수집서버로 업로드 되며, 서버 상에 파일 형태로 저장
- ※ 로그 시스템의 세부 내용 및 형식은 “시범도로 WAVE로그 수집방안” 참조

나. WAVE 통신 시스템 검증

- o 본 연구에서는 스마트하이웨이 연구에서 개발된 WAVE 기지국 및 단말기 시스템의 통신 성능을 확인하였으며, 다음과 같이 수행
- WAVE 통신용량 시뮬레이션
 - 성능시험 규격 개발
 - 체험도로(시험도로)에서의 통신성능 시험 및 결과 분석
 - 시범도로(공용도로)에서의 통신성능 시험 및 결과 분석
 - 통신프로파일(메시지 길이, 전송속도) 별 통신성능 시험 및 결과 분석

- 대형차량(버스)에서의 통신성능 시험 및 결과 분석
 - 다수차량 통신성능 시험 및 결과 분석
 - 환경 요인(통신운영, 교통량, 기후환경 등) 별 통신성능 분석 (시험결과 및 로그 활용)
 - 체험도로(시험도로)와 시범도로(공용도로) 간 통신 성능 비교
 - V2X 통신 기반 안전서비스 제공을 통한 충돌회피확률 분석
- 기존 스마트하이웨이 연구에서는 WAVE 통신시스템을 설계하고 시제품을 제작하여 여주 체험도로에서 성능 평가를 수행하고 공용도로인 시범도로에 설치를 완료하였으나, 공용도로 상에서의 WAVE 통신 성능에 대한 면밀한 분석은 수행되지 않았으며, 시험도로와 공용도로 간의 성능 비교 역시 수행되지 않았음
- 본 연구에서는 위에서 제시된 것과 같은 성능 분석을 통해 향후 C-ITS 서비스에 적용될 V2X 통신이 실제 환경에서 어느 정도의 성능과 신뢰성을 보여줄 수 있을지를 파악함

(1) WAVE 통신용량 시뮬레이션

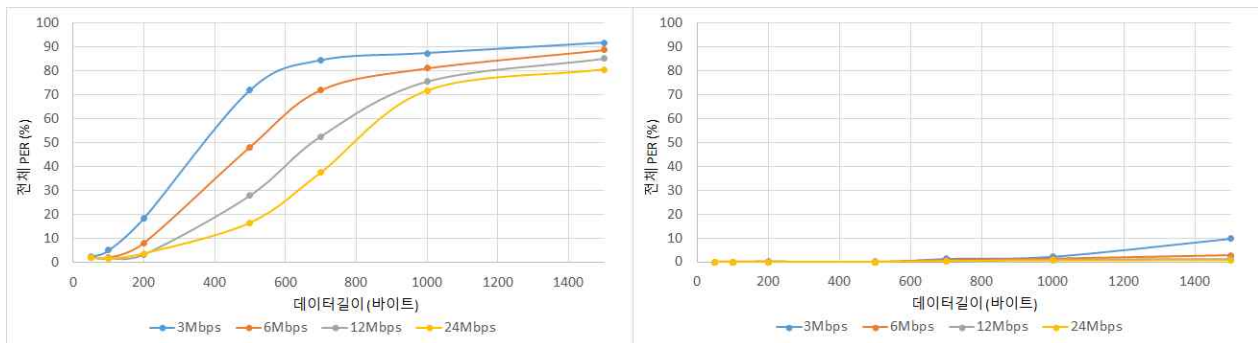
- WAVE통신장치의 정보량(장치 수, 데이터 크기, 전송주기) 및 전송형태(전송속도) 등에 따른 통신품질을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였음.
- 정보량 및 전송형태에 따라 필요한 통신용량과 시스템에서 실제 제공 가능한 통신용량의 차이로 인해 발생하는 패킷에러비율(PER)을 분석함. (이는 패킷손실(Packet Loss)과 패킷에러(Packet Error)를 모두 포함하는 개념임)
- 해당 결과를 통해 WAVE통신시스템에서 동시에 지원 가능한 정보량(차량대수, 통신범위, 전송 주기, 전송속도, 데이터 크기)을 알 수 있으며, 원활한 서비스를 위한 기준을 확인할 수 있음. 또한 통신 혼잡 상황을 완화하기 위한 혼잡제어 메커니즘 적용 시(전송주기 조정을 통한 정보량 감소, 전송출력을 통한 통신범위(=충돌 도메인) 축소 등), 제공 가능한 품질 수준을 확인할 수 있음.
- 시뮬레이션 환경은 다음과 같음.
 - 시뮬레이션 툴 : NS-2 (Network Simulator - 2)
 - 시뮬레이션 모델 : 802.11p Protocol in NS-2
 - 802.11Ext/WirelessPhyExt Model
 - Mercedes-Benz Research and Development North America
 - University of Karlsruhe
 - 시뮬레이션 시나리오 환경
 - 패킷 전송 주기: 0.1초, 1초
 - 패킷 사이즈(헤더 포함): 100, 200, 500, 1000, 1400바이트
 - WAVE장치대수: 50, 100, 200, 500, 700, 1000, 1500대
 - 채널대역폭 : 10MHz
 - 전송속도 : 3, 6, 12, 24Mbps

- 패킷 전송형태: 브로드캐스트
- 시뮬레이션 시나리오 환경
- o 시뮬레이션 결과는 다음과 같음.

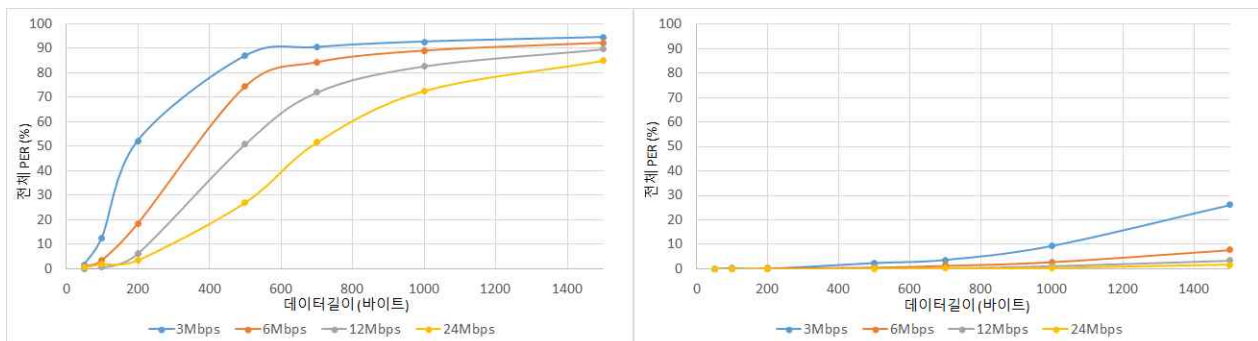
[표 27] 정보량 및 전송형태에 따른 시뮬레이션 결과

데이터 길이	전송주기	차량대수	차량대수	전송속도			
				3Mbps	6Mbps	12Mbps	24Mbps
100	0.1	50	50	2.4	2.2	2	2.01
		100	100	5.1	1.9	1.8	1.6
		200	200	18.44	8	3.3	3.65
		500	500	71.87	48.12	27.93	16.49
		700	700	84.4	71.89	52.57	37.45
		1000	1000	87.38	81	75.45	71.7
		1500	1500	91.72	88.65	85	80.53
	1	50	50	0	0	0	0
		100	100	0	0	0	0
		200	200	0.4	0	0	0
		500	500	0	0	0.08	0
		700	700	1.43	0.74	0.17	0.37
		1000	1000	2.38	1.32	1.04	0.56
		1500	1500	9.75	2.75	1.34	0.77
200	0.1	50	50	1.61	0.8	0	0.8
		100	100	12.72	3.39	0.6	2
		200	200	52.25	18.3	6.29	3.61
		500	500	86.95	74.32	50.92	27.12
		700	700	90.49	84.29	72.04	51.61
		1000	1000	92.72	89.03	82.77	72.7
		1500	1500	94.58	92.24	89.74	85.04
	1	50	50	0	0	0	0
		100	100	0.2	0	0	0
		200	200	0	0.3	0	0
		500	500	2.32	0.68	0.32	0.16
		700	700	3.66	1.37	0.37	0.23
		1000	1000	9.42	2.86	1.24	0.52
		1500	1500	26.1	7.68	3.41	1.59
500	0.1	50	50	6.4	0.8	0.4	0.8
		100	100	51.5	18	5.6	2
		200	200	84.7	62.65	21.6	6.69
		500	500	93.66	90.77	80.3	57.38
		700	700	95.14	92.71	87.95	76.74
		1000	1000	96.56	94.43	92.02	85.77
		1500	1500	97.69	96.23	94.79	91.36
	1	50	50	0	0	0	0
		100	100	0.6	0.4	0	0
		200	200	1.8	0.4	0	0
		500	500	13.27	3.28	1.08	0
		700	700	24.4	6.26	1.54	0.37
		1000	1000	48.98	14.26	3.66	1.78
		1500	1500	71.97	36.81	11.4	4.28
1000	0.1	50	50	45.79	12.05	0	0.8
		100	100	84.77	53.4	17.23	1.8

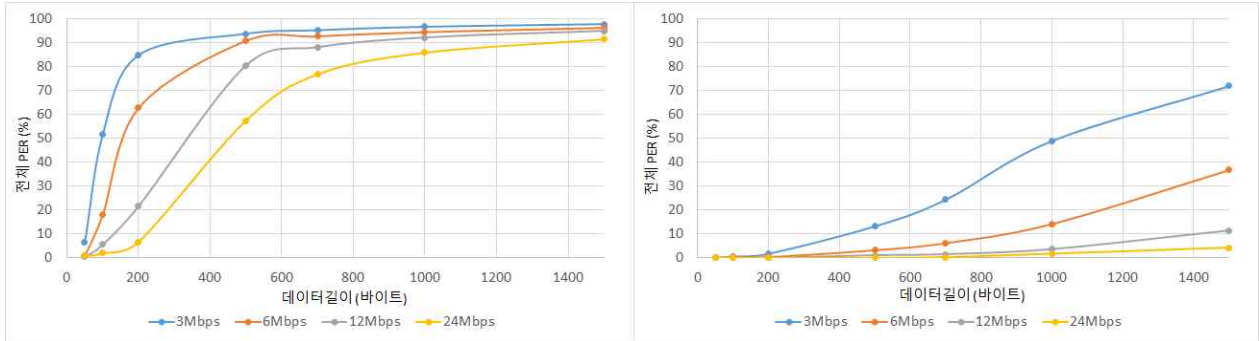
		200	200	92.08	86.04	62.64	19.2
		500	500	96.44	94.32	90.47	80.79
		700	700	97.94	95.86	93.22	88.58
		1000	1000	98.6	97.32	95.25	91.36
		1500	1500	98.97	98.05	97.05	95.33
	1	50	50	0	0	0	0
		100	100	1.2	0.2	0	0
		200	200	4.2	1.9	0.2	0
		500	500	47.34	12.12	3.32	1.04
		700	700	67.79	26.12	4.77	1.86
		1000	1000	80.28	50.76	15.12	4
		1500	1500	88.23	74.51	37.86	8.63
1400	0.1	50	50	65.86	26.29	4	1.2
		100	100	88.2	73.45	28.4	8.43
		200	200	94.21	91	78.04	35.8
		500	500	97.52	95.76	93.84	85.92
		700	700	98.69	97.2	95.23	90.39
		1000	1000	99.14	97.94	96.72	93.37
		1500	1500	99.37	98.77	97.96	96.72
	1	50	50	0	0	0	0
		100	100	1	0.4	0	0
		200	200	11.4	1.3	1	0
		500	500	69.96	23.21	6.56	0.56
		700	700	80.45	48.46	11.83	3.69
		1000	1000	87.36	71.29	32.08	7.18
		1500	1500	91.55	84.5	60.7	19.59



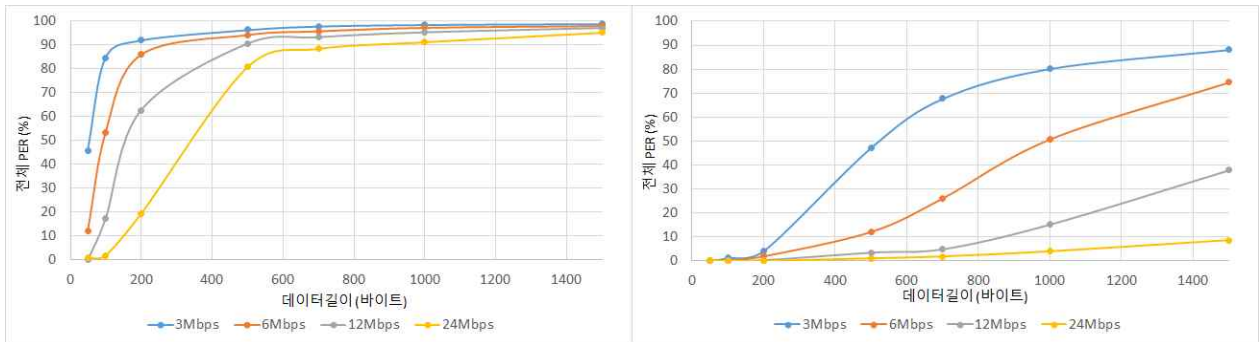
<그림 28> 데이터길이 100B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)



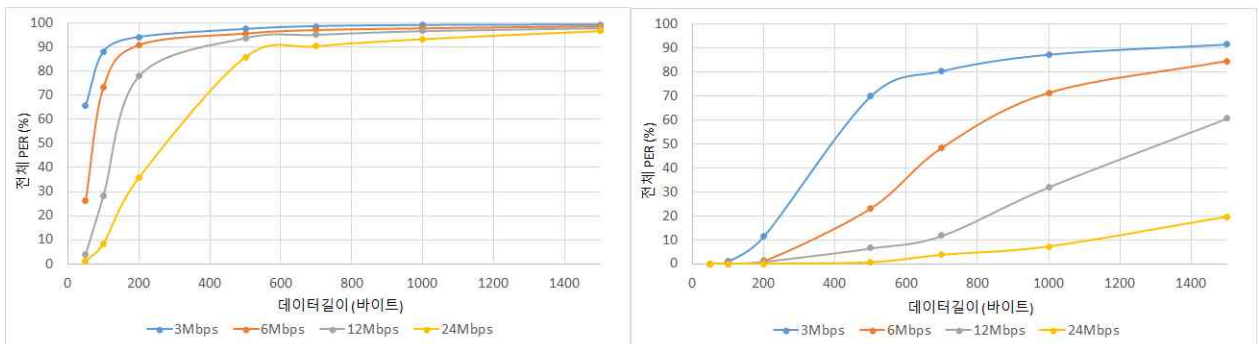
<그림 29> 데이터길이 200B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)



<그림 30> 데이터길이 500B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)



<그림 31> 데이터길이 1000B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)



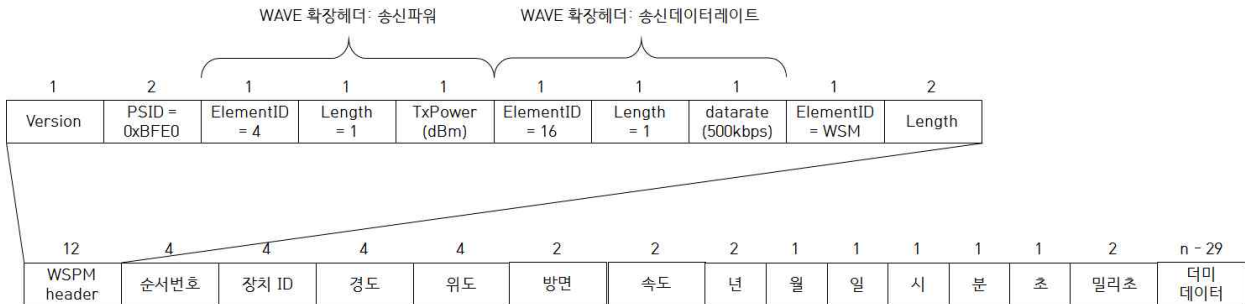
<그림 32> 데이터길이 1400B일 때의 전체PER (좌: 전송주기 0.1초, 우: 전송주기 1초)

- o 시뮬레이션 결과에 따르면, 동일 충돌도메인 내의 차량대수가 증가할수록 PER성능이 감소하며, 메시지길이가 길어질수록 급격히 감소함. 또한 전송속도가 증가할수록 동일크기의 데이터를 전송하는 데 소요되는 시간이 짧으므로, 충돌확률이 감소하여 PER성능은 증가함.
- o 시범도로에서 실제 서비스 중인 V2V 서비스 메시지(패킷길이 120바이트, 전송주기 0.1초, 전송속도 6Mbps)의 경우에는 동일한 충돌도메인 내에서 약 200대의 차량 정도까지 PER 10%의 성능을 보이는 것을 알 수 있음.
- o 동일 충돌도메인 내의 차량대수가 증가하여 혼잡제어메커니즘(전송주기 증가, 전송출력 감소를 통한 충돌도메인 범위 축소) 중 전송주기를 1초로 조정한다고 가정할 경우, 약 1500대까지도 지원이 가능함을 알 수 있음.

(2) 성능시험 규격 개발

o 체험도로 및 시범도로 등 실제 도로에서의 성능시험을 수행하기 위해 성능시험 규격을 정의하였으며, 해당 규격에는 다음과 같은 내용이 기술됨.

- 시험시나리오
 - 채널운영 시나리오, 주행 시나리오, 통신 프로파일
- 주행시험 지원기능
 - 좌표 획득 및 시간 동기화, 송/수신 및 로그 저장 기능



<그림 33> 성능시험 송신 패킷 구조

- 로그 분석 방법
 - 최대통신거리, 평균통신지연, 평균PER, 구간PER 성능 분석 방법
- o 규격에 정의된 시나리오를 기반으로 차량 주행 및 메시지 통신을 수행하며 발생된 로그를 각 시스템에 저장함. 이후 저장된 로그를 규격에 정의된 분석방법에 따라 분석하여 각 성능지표에 관련된 결과 값을 도출함
- ※ 성능시험규격의 자세한 내용은 “스마트하이웨이 테스트베드 WAVE통신성능 시험규격” 참조
- o 본 연구에서 분석하는 성능지표는 최대통신거리, 평균통신지연, 평균PER, 구간PER이며, 최대통신거리, 평균통신지연, 평균PER은 통신시스템에 대한 대표적 성능을 파악하는 데 사용되며, 구간PER은 통신에 관련된 세부적인 경향을 파악하는 데 사용됨
- 최대통신거리
 - I2V: 차량이 주행 중 기지국을 추월하면서, 기지국으로부터 수신된 메시지들에 대한 전방최대거리(기지국이 전방에 있을 때 수신된 최초의 메시지의 통신거리)와 후방최대거리(기지국이 후방에 있을 때 수신된 최후의 메시지의 통신거리)의 합으로 계산
 - V2V: 차량이 주행 중 상대 차량을 추월하면서, 상대 차량으로부터 수신된 메시지들에 대한 전방최대거리
 - 거리는 미터 단위로 표시
 - 전방최대거리 및 후방최대거리는 다음과 같이 산정됨

$$MaxDist_i = MAX(D_i(Msg_k)) \quad 1 \leq k \leq RxMsgNum_i$$

$$D_i(Msg_k) = acos(a \times b + c \times d \times e) \times 6371 \times 1000$$

$$a = \cos(radian(90 - \frac{Lati_{Rx}}{10^7}))$$

$$b = \cos(radian(90 - \frac{Lati_i}{10^7}))$$

$$c = \sin(radian(90 - \frac{Lati_{Rx}}{10^7}))$$

$$d = \sin(radian(90 - \frac{Lati_i}{10^7}))$$

$$e = \cos(radian(\frac{Long_{Rx}}{10^7} - \frac{Long_i}{10^7}))$$

- $MaxDist_i$: 장치 i 로부터 수신된 메시지들 중 가장 긴 통신거리
- $D_i(Msg_k)$: 장치 i 로부터 수신된 k 번째 메시지의 통신거리
- $RxMsgNum_i$: 장치 i 로부터 수신된 메시지 수
- $Lati_{Rx}/Long_{Rx}$: 수신장치의 위도 및 경도
- $Lati_i/Long_i$: 장치 i 의 위도 및 경도
- 평균통신지연
 - 수신된 메시지들의 통신지연들의 평균이며, 밀리초 단위로 표시
 - 다음과 같이 계산됨.

$$AvgDelay_i = \frac{\sum_{k=1}^{RxMsgNum_i} D_i(Msg_k)}{RxMsgNum_i}$$

- $AvgDelay_i$: 시험구간 내에서 장치 i 로부터 수신된 메시지들에 대한 평균통신지연
- $D_i(Msg_k)$: 장치 i 로부터 수신된 k 번째 메시지의 통신지연
- $RxMsgNum_i$: 장치 i 로부터 수신된 메시지의 수
- 평균PER
 - 유효통신범위(I2V: 양방향 1km, V2V: 단방향 500m) 내에서 수신된 모든 메시지들에 대한 평균PER이며 % 단위로 표시됨
 - PER(Packet Error Rate): 기대되는 수신 패킷 수 대비 실제 수신 패킷 수
 - 본 연구에서 측정되는 PER의 “실제수신패킷수” 변수는 패킷손실(Packet Loss)과 패킷에러(Packet Error)를 모두 포함하는 개념임. (본 연구의 목적은 서비스/제품 단위의 성능을 실제 도로 상에서 확인하는 것이며, 서비스/제품 입장에서 패킷손실과 패킷에러는 서비스데이터 전달 측면에서 볼 때 결과적으로 동일한 의미를 가지므로 통합하여 측정함)

$$AvgPER_i(R_v) = 100 - \frac{RxMsgNum_i(R_v)}{ExMsgNum_i(R_v)} \times 100$$

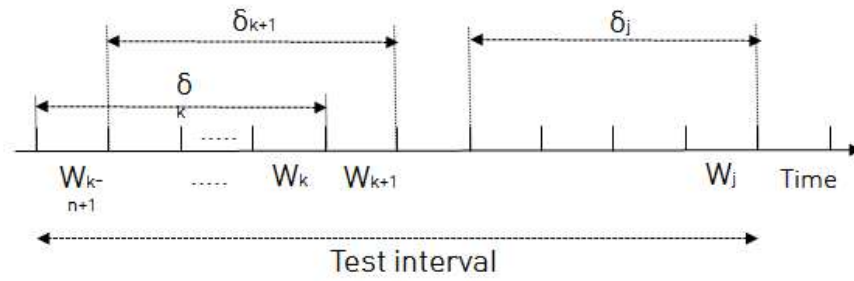
$$ExMsgNum_i = MsgSeq_i(R_v, last) - MsgSeq_i(R_v, first) + 1$$

- $AvgPER_i(R_v)$: 전체 유효통신구간(R_v) 내에서 장치 i 로부터 수신된 메시지들에 대한 평균 PER

- $RxMsgNum_i(R_v)$: R_v 내에서 장치 i 로부터 수신된 메시지들의 수
- $ExMsgNum_i(R_v)$: R_v 내에서 장치 i 가 송신한 메시지들의 수
- $MsgSeq_i(R_v, last)$: R_v 내에서 장치 i 로부터 마지막으로 수신된 메시지의 순서번호
- $MsgSeq_i(R_v, first)$: R_v 내에서 장치 i 로부터 처음으로 수신된 메시지의 순서번호

• 구간PER

- 총 메시지 수신 구간을 다수의 소규모 구간으로 나누어 각 구간 내에서 수신된 메시지들에 대한 평균PER을 계산하며 % 단위로 표시됨.
- 구간PER은 다음과 같이 계산되며, 이는 미국 자동차공업협회의 규격인 SAE J2945-1의 내용 중 PER 계산 부분을 준용함.
- 본 연구에서 측정되는 PER의 “실제수신패킷수” 변수는 패킷손실(Packet Loss)과 패킷에러(Packet Error)를 모두 포함하는 개념임. (본 연구의 목적은 서비스/제품 단위의 성능을 실제 도로 상에서 확인하는 것이며, 서비스/제품 입장에서 패킷손실과 패킷에러는 서비스데이터 전달 측면에서 볼 때 결과적으로 동일한 의미를 가지므로 통합하여 측정함)



- $\delta_k, \delta_{k+1}, \dots, \delta_j$: Interval that each interval PER is calculated(=PERInterval)
- $W_{k-n+1}, W_k, \dots, W_j$: Sliding window slot consisting of PERInterval(=PERSubInterval)

<그림 34> 구간별PER 슬라이딩 윈도우 기법 계산

$$PER_i(k) = 100 - \frac{RxMsgNum_i(W_{k-n+1}, W_k)}{ExMsgNum_i(W_{k-n+1}, W_k)} \times 100$$

$$ExMsgNum_i = MsgSeq_i(W_{k-n+1}, W_k, last) - MsgSeq_i(W_{k-n+1}, W_k, first) + 1$$

- $PER_i(k)$: 각 구간 (k) 내에서 장치 i 로부터 수신된 메시지들에 대한 PER
- $RxMsgNum_i(W_{k-n+1}, W_k)$: ($W_{k-n+1} \sim W_k$)구간에서 장치 i 로부터 수신된 메시지 수
- $ExMsgNum_i(W_{k-n+1}, W_k)$: ($W_{k-n+1} \sim W_k$)구간에서 장치 i 가 송신한 메시지 수
- $MsgSeq_i(W_{k-n+1}, W_k, last)$: ($W_{k-n+1} \sim W_k$)구간에서 장치 i 로부터 마지막으로 수신된 메시지의 순서번호
- $MsgSeq_i(W_{k-n+1}, W_k, first)$: ($W_{k-n+1} \sim W_k$)구간에서 장치 i 로부터 처음으로 수신된 메시지의 순서번호

(3) 여주체험도로(시험도로) 통신성능 분석

- o 시험도로 상에서의 전송속도 별 통신성능을 확인하기 위한 성능시험 및 분석을 여주체험도로에서 수행함
- o 시험도로는 시험차량을 제외한 다른 차량이 진입하지 못하므로, 외부환경의 영향이 최소화된 최적의 환경에서 통신성능을 분석할 수 있음

- 시험도로는 통신시스템의 성능에 직간접적으로 영향을 주는 외부요인이 많지 않으므로 개발된 통신시스템 본연의 성능을 평가하기 적합하며, 해외에서는 동일한 시험 환경에서의 정확한 비교 평가를 위해 통신시스템에 대한 인증은 시험전용도로 상에서 수행 (공용도로 시험은 통신시스템 본연의 성능 외에도 도로 시설물이나 주변 차량에 의한 간섭이 통신성능 결과에 큰 영향을 주므로, 인증과 같은 비교 평가는 수행하기 어려움.)
- o 성능시험 및 분석은 “스마트하이웨이 테스트베드 WAVE통신성능 시험 규격”에 따라 수행 되었으나, 주행 시나리오는 여주체험도로에 맞게 변경하여 수행
 - I2V 시험의 경우, 2번 기지국의 통신영역을 반복하여 왕복 주행
 - V2V 시험의 경우, 시험도로 상 특정 위치에 송신차량을 정차하고 해당 차량의 통신 영역을 반복하여 왕복 주행
 - 주행차량은 약 100~120km/h의 속도로 주행
- o 시험을 위한 메시지 통신 프로파일은 다음과 같이 설정

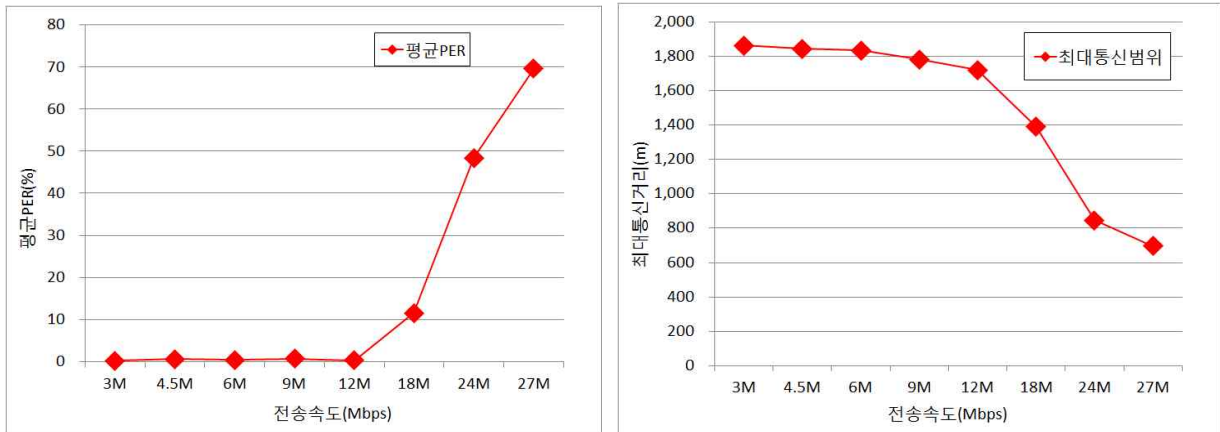
[표 28] 시험용 메시지 통신 프로파일

항목	값
메시지 송수신 채널번호	178
전송속도	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27Mbps
송신출력	20dBm
송신 메시지 길이	1000B
메시지 송신 주기	10ms
기지국	2번 기지국

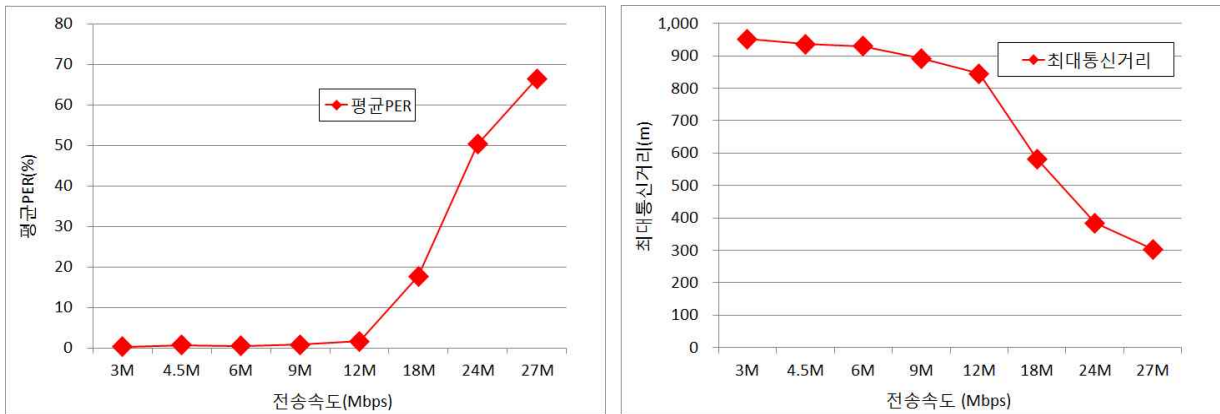
- o 송신용 차량과 기지국은 1,000바이트 길이의 메시지를 전송속도 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27Mbps를 실시간으로 변경하면서 전송
 - WAVE의 물리계층 표준인 IEEE 802.11p는 위와 같은 총 8가지의 전송속도를 정의하고 있으며, 본 시험에서는 표준에 정의된 모든 전송속도에 따른 성능을 확인
 - 시험 메시지의 길이는 IEEE 802.11p 표준에서 WAVE 성능분석 시 사용되는 1,000 바이트로 선정
- o 동일 {메시지 길이, 전송속도} 쌍을 갖는 메시지는 8번의 메시지 전송 시마다 반복되므로, 충분한 모수 확보를 위해 각 메시지를 10ms의 짧은 주기로 전송
- o 시험메시지는 재전송이 없는 브로드캐스트 메시지이므로, 메시지의 통신지연은 시험도로와 공용도로 등 도로 차이에 의한 영향을 거의 받지 않음. 따라서 본 시험에서는 평균통신지연은 분석하지 않았음
- o 각 시험회차 및 왕복회차, 주행차량들에 대한 시험 결과를 통합하여 분석하였으며, 아래의 표 및 그래프는 전송속도별 최대통신범위 및 평균PER 성능을 나타냄

[표 29] 시험도로에서의 전송속도별 시험 결과 요약

분류	성능지표	3M	4.5M	6M	9M	12M	18M	24M	27M
I2V	최대통신거리(m)	1,863	1,846	1,836	1,782	1,721	1,391	847	696
	평균PER(%)	0.22	0.57	0.39	0.70	0.31	11.56	48.38	69.62
V2V	최대통신거리(m)	952	937	930	891	844	582	384	303
	평균PER(%)	0.25	0.73	0.51	0.85	1.62	17.66	50.38	66.57



<그림 35> 전송속도별 I2V 최대통신범위/평균PER 성능 그래프



<그림 36> 전송속도별 V2V 최대통신범위/평균PER 성능 그래프

o 분석 결과, 최대통신범위와 평균 PER은 전송속도에 영향을 받으며, 전송속도 12Mbps까지는 영향을 작게 받다가 전송속도 18Mbps부터는 영향을 많이 받음

- 최대통신거리

- I2V: 전송속도 3~12Mbps에서 양방향 1,500~2,000미터, 전송속도 18Mbps에서 양방향 1,000~1,500미터, 27Mbps에서는 양방향 1,000미터 이하의 최대통신범위
- V2V: 전송속도 3~18Mbps에서 단방향 500~1,000미터, 전송속도 24Mbps 이상에서 단방향 500미터 이하의 최대통신거리

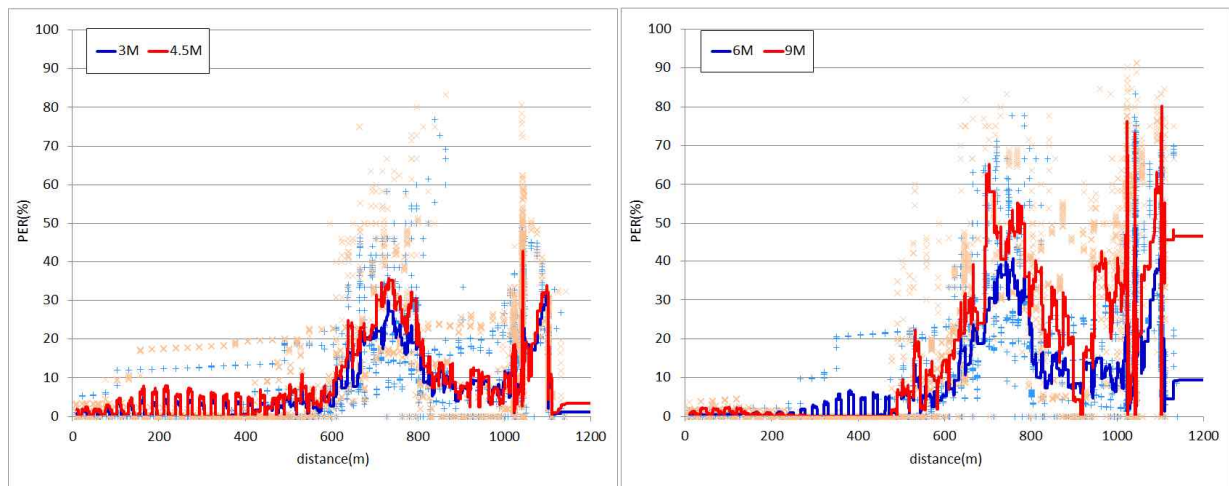
- 평균PER

- 전송속도가 증가할수록 PER 성능은 감소함. 이는 전송속도가 높을수록 동일 신호에 보다 많은 데이터를 실기 때문에 전송 신호가 전파되면서 장애물 등에 의해 왜곡되는 경우, 데이

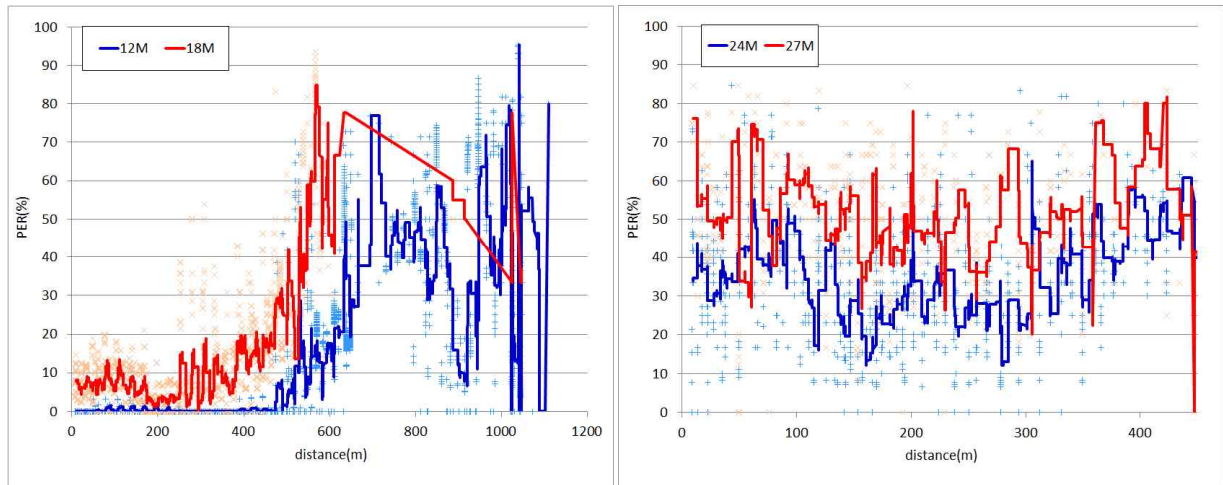
터 간의 경계가 좁아 왜곡 신호를 정확히 복원하는 데 어려움을 겪기 때문임.

- 전송속도 12Mbps까지는 약 1% 정도의 매우 우수한 PER 성능을 보이며, 전송속도 18Mbps 부터는 PER 성능이 가파르게 감소하고 있음

- o 다음 그래프들은 I2V/V2V 메시지에 대한 전송속도별 구간PER 성능을 보임. 이를 통해 통신거리에 따른 PER 성능의 변화를 확인할 수 있음. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 구간 PER값이며, 실선은 각 구간 PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 함.
 - I2V의 유효통신범위는 기지국을 중심으로 반경 500미터씩 총 1,000미터이며, 아래 그래프의 X축인 통신거리는 기지국으로부터의 거리를 나타내므로, 그래프 상으로는 유효통신범위를 500미터로 한정하여 분석
 - V2V의 유효통신범위는 그대로 500미터로 한정하여 분석
- o 전송속도가 증가하고 통신거리가 멀어질수록 PER성능은 감소함. 전송속도 12Mbps까지는 메시지 길이에 상관없이 유효통신거리 내에서 매우 우수한 성능을 보이지만, 전송속도 18Mbps에서는 원거리에서 약한 성능감소가 발생하며, 전송속도 24Mbps 이상에서는 모든 구간에서 PER성능이 현저히 감소함
- o 특이할 점은 전송속도에 상관없이 약 500미터 이후 지점부터 PER성능의 급격한 감소 현상이 발생하는 데, 이는 여주체험도로의 2번 기지국의 상류부 통신영역이 도로의 굴곡으로 인해 약 500미터 정도 밖에 되지 않기 때문임. 따라서 통신성능의 정확한 분석을 위해서는 약 500미터 정도까지만 고려

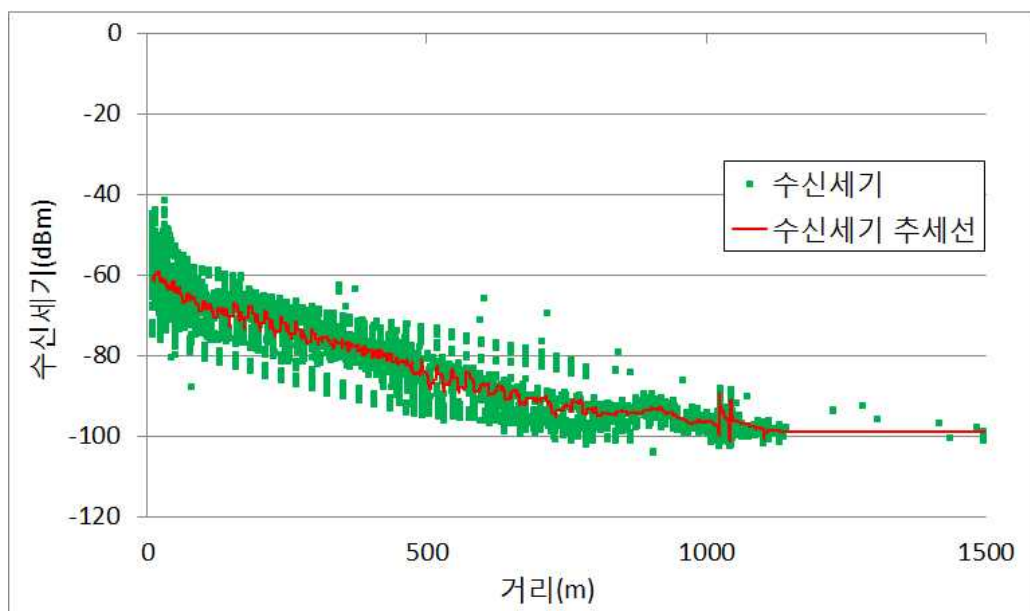


<그림 37> 전송속도 3~9Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프



<그림 38> 전송속도 12~27Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프

- o 이와 같이 시험도로 상에서의 성능시험을 통해 전송속도별 I2V, V2V에 대한 최대통신 거리, 평균PER 성능을 분석하였으며, 거리에 따른 구간별PER도 분석하였음. 12Mbps까지는 매우 우수한 PER 성능을 보임을 확인할 수 있음
 - 미국의 C-ITS 공용도로 검증사업인 Safety Pilot의 시스템 인증 규격에서는 통신시스템 성능인증 기준으로 장애물이 없고 시험차량 외 주행차량이 없는 시험도로 환경에서 전송속도 6Mbps 및 메시지길이 약 300바이트로 단방향 300미터 구간 내에서 PER 10%를 제시
 - 여주체험도로에서의 시험 결과로 스마트하이웨이 통신시스템의 성능이 해외의 인증 수준을 충분히 만족하는 수준임을 확인
- o 다음 그림은 수신된 메시지들에 대한 통신거리별 수신세기를 나타낸 그래프임. 통신거리가 길어짐에 따라 수신세기도 감소하고 있으며, 이에 따라 PER 성능도 연계되어 감소함



<그림 39> 거리별 수신세기 그래프

(4) 시범도로(공용도로) 통신성능 분석

- o 공용도로 상에서의 WAVE통신시스템의 성능을 분석하기 위하여 연구기간 동안 지속적으로 다수의 차량을 이용하여 시범도로 구간에서 100회 이상의 왕복 주행시험을 수행하였으며, 성능 시험 시나리오 및 분석 방법론을 지속적으로 업데이트하여 완성함
- o 차량단말기 및 안테나에 대한 점검 및 최적화를 수행하여 WAVE통신시스템의 성능에 대한 안정화 작업을 진행하였으며, 최종적으로 기지국 7식과 차량 12대를 이용한 다수차량시험을 수행하여 최종 성능 분석 결과를 도출
- o 아래의 표는 다수차량시험의 통신시험 결과를 요약한 표로써, 자세한 내용은 “다수차량 통신성능 분석” 절에서 기술
- o 시험 결과, 공용도로 상에서의 V2I/V2V 별 최대통신거리, 평균통신지연, 평균PER에 대한 연구 목표를 달성
 - 최대통신범위 - I2V: 1km, V2V: 500m 달성
 - 평균통신지연 - 100msec 이내 달성
 - 평균PER - 유효통신구간(I2V: 양방향 1km, V2V: 단방향 500m) 내에서 평균 10% 이내 달성

[표 30] 다수차량 통신시험 I2V 결과 요약 (최종 시험 결과)

채널	성능지표	기지국 번호							평균
		RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
싱글 채널	최대통신거리 (m)	1391	1628	2605	2518	2310	1968	1887	2044
	평균통신지연 (msec)	0.84	0.59	0.85	3.53	0.69	0.88	0.61	1.14
	평균 PER (%)	8.93	6.07	4.34	9.40	4.49	6.07	5.18	6.35
멀티 채널	최대통신거리 (m)	1194	1670	2532	2571	2134	1888	1957	1992
	평균통신지연 (msec)	25.08	9.70	6.76	5.79	7.35	35.49	23.68	16.26
	평균 PER (%)	12.25	5.79	6.11	8.26	6.63	5.11	6.93	7.30
전체	최대통신거리 (m)	1323	1642	2580	2536	2249	1941	1911	2026
	평균통신지연 (msec)	9.20	3.74	2.89	4.31	2.98	12.82	8.57	6.36
	평균 PER (%)	10.07	5.97	4.95	9.01	5.22	5.74	5.78	6.68

※ 결과에 대한 자세한 내용은 “다수차량 통신성능 분석” 절 참조

[표 31] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약 (최종 시험 결과)

채널 운용	성능지표	고정식			이동식			전구간	평균
		전방	후방	평균	전방	후방	평균		
싱글 채널	최대통신거리 (m)	1083	1090	1086	-	-	-	-	1086
	평균통신지연 (msec)	0.86	1.08	0.97	0.65	0.82	0.74	0.86	0.86
	평균 PER (%)	9.41	9.71	9.56	0.56	0.74	0.65	4.07	4.90
멀티 채널	최대통신거리 (m)	822	839	831	-	-	-	-	831
	평균통신지연 (msec)	11.75	39.56	25.66	16.96	25.06	21.01	26.11	23.89
	평균 PER (%)	9.90	5.16	7.53	4.83	4.94	4.88	4.71	5.91
전체	최대통신거리 (m)	1014	1027	<u>1021</u>	-	-	-	-	<u>1021</u>
	평균통신지연 (msec)	3.73	10.70	<u>7.22</u>	6.30	8.90	<u>7.60</u>	<u>9.57</u>	<u>7.84</u>
	평균 PER (%)	9.54	8.58	<u>9.06</u>	2.04	2.14	<u>2.09</u>	<u>4.29</u>	<u>5.32</u>

※ 결과에 대한 자세한 내용은 “다수차량 통신성능 분석” 절 참조

- 또한, 기본 성능시험 분석 외에 다양한 시나리오에 기반을 둔 성능 분석을 진행하였음
 - 통신프로파일 별 통신성능 분석 - 전송속도와 메시지 길이별 통신성능 분석
 - 대형차량 통신성능 분석 - 대형차량에서의 통신성능 분석
 - 다수차량 환경에서의 통신성능 분석 - 10대 이상의 다수차량 주행환경에서의 통신성능 분석
 - 다양한 환경요인에 따른 통신성능 분석 - 기후환경 및 교통량 등에 따른 통신성능 분석
 - V2X 통신 기반 안전서비스 제공을 통한 충돌회피확률 분석 - 서비스레벨 성능분석

(가) 통신프로파일별 통신성능 분석

- 공용도로 상에서 통신프로파일(메시지 길이, 전송속도) 별 통신성능을 분석하기 위한 성능시험 및 분석을 수행함
 - 시험일시: 2015.05.28., 2015.06.11., 2016.04.19.
 - 시험장소: 시범도로 구간 (경부고속도로 서울TG ~ 수원IC)
 - 기상상태: 일반 및 강우(미약), 기온: 상온
- 본 시험의 목적은 향후 도입될 다양한 C-ITS 서비스에 있어, 각 서비스의 유형 및 목적에 따라 서로 다른 데이터 량 및 전송속도를 적용하고자 할 때, 본 실험을 통해 측정된 실제 도로 상에서의 통신 성능의 수준과 한계를 고려하여 서비스 통신사양 및 요구사항, 시나리오를 정의할 수 있도록 함. 따라서 실제 시범도로에서 제공되고 있는 서비스의 기본 통신 프로파일(150바이트, 6Mbps) 외에도 다양한 통신 프로파일을 적용하여 시험을 진행함
- 성능시험 및 분석은 “스마트하이웨이 테스트베드 WAVE통신성능 시험 규격”에 따라 수행되었으나, 메시지 길이 및 전송속도는 다음과 같이 변경하여 사용함
- 시험 시 사용된 통신프로파일은 다음과 같음

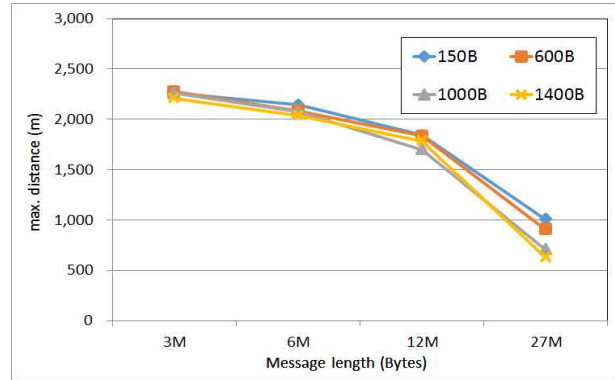
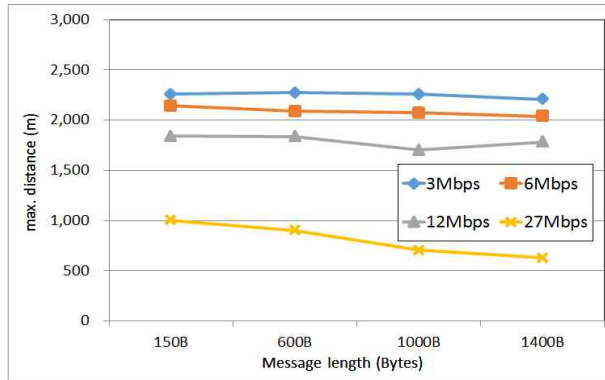
[표 32] 시험용 메시지 통신 프로파일

항목	값
메시지 송수신 채널번호	178
전송속도	3, 6, 12, 27Mbps
송신출력	20dBm
송신 메시지 길이	150, 600, 1000, 1400B
메시지 송신 주기	10ms

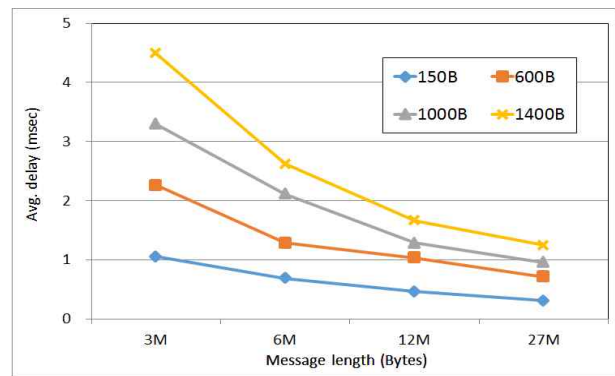
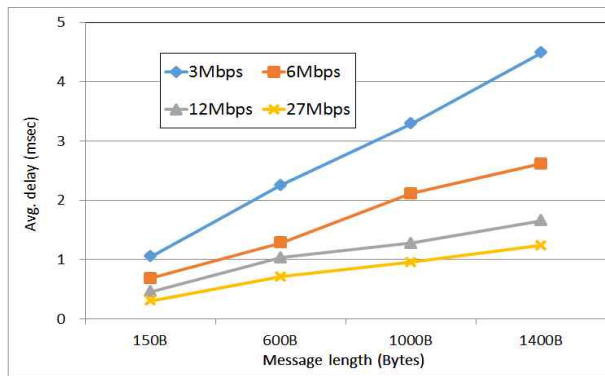
- o 각 차량과 기지국은 전송 메시지의 길이를 150, 600, 1000, 1400바이트로 실시간 변경하여 전송하며, 전송속도는 각 변조기술별 속도인 3, 6, 12, 27Mbps로 실시간 변경하여 전송
 - WAVE의 물리계층 규격인 IEEE 802.11p는 4가지의 변조기술(BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM)을 정의하고 있으며, 위 4가지 전송속도는 각 변조기술에 속하는 전송속도임
 - 시험에 사용된 메시지의 길이는 시범도로 기본 메시지 BSM의 길이인 150바이트와 표준에서 WAVE 성능분석 시 사용되는 1000바이트, WAVE단문메시지의 기본 최대전송길이인 1400바이트, 그리고 추가로 150바이트와 1000바이트의 중간정도 길이인 600바이트를 선정함
- o 동일 {메시지 길이, 전송속도} 쌍을 갖는 메시지는 16번의 메시지 전송 시마다 반복되므로, 충분한 모수 확보를 위해 각 메시지를 10ms의 짧은 주기로 전송함
- o 짧은 전송 주기로 인해 기지국 간의 전파 영역 중첩 구간에서 물리적인 메시지 손실 현상이 불가피하므로(IEEE 802.11 - Hidden Node Problem), 기지국은 서로 간 전파 중첩 영역이 존재하지 않는 두 개의 기지국을 선별하여 시험을 진행함. 전송차량 역시 전송 기지국과 전파 영역이 중첩되지 않는 곳에 위치하여 시험을 진행함
- o 각 시험회차 및 왕복회차, 주행차량들에 대한 시험 결과를 통합하여 분석하였으며, 아래 표는 각 성능지표 별 평균값을 나타냄

[표 33] 통신프로파일별 시험 결과 요약

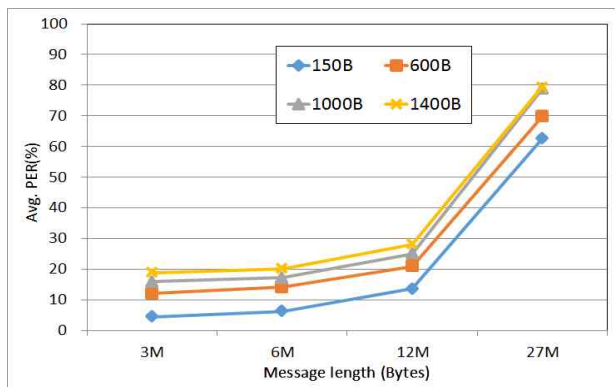
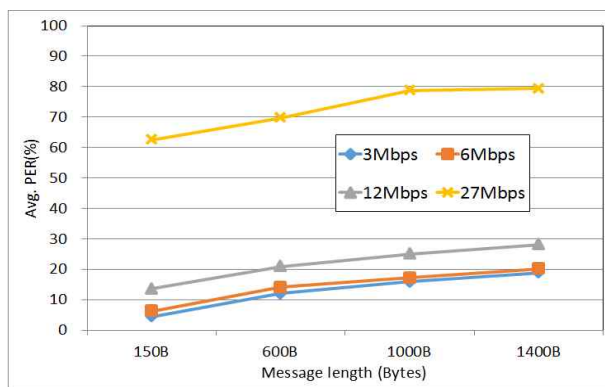
분류	성능지표	3M				6M				12M				27M			
		150B	600B	1000B	1400B	150B	600B	1000B	1400B	150B	600B	1000B	1400B	150B	600B	1000B	1400B
I2V	최대통신거리 (m)	2256	2273	2259	2208	2143	2086	2074	2039	1840	1835	1700	1782	1005	904	705	627
	평균통신지연 (msec)	1.05	2.26	3.30	4.49	0.69	1.28	2.11	2.62	0.46	1.03	1.28	1.66	0.31	0.71	0.96	1.24
	평균PER (%)	4.45	11.97	15.90	18.89	6.19	14.03	17.22	20.13	13.51	20.91	25.04	28.14	62.57	69.77	78.69	79.35
V2V	최대통신거리 (m)	1285	1296	1285	1285	1285	1253	1253	1242	809	809	765	1017	393	403	367	328
	평균통신지연 (msec)	1.00	2.00	3.03	4.32	0.71	1.01	2.00	2.47	0.09	1.00	1.00	1.44	0.00	0.66	1.00	1.00
	평균PER (%)	2.33	5.50	8.69	13.69	2.31	6.14	9.06	14.80	6.55	12.50	17.47	25.54	47.84	64.08	62.41	66.12



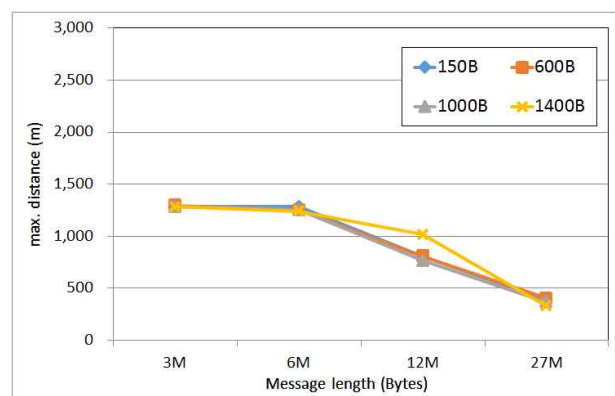
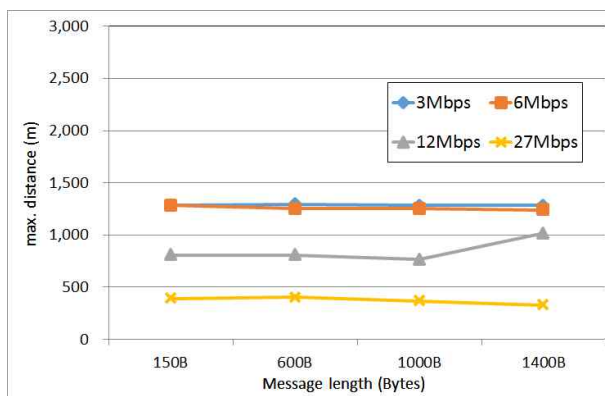
<그림 40> 메시지길이/전송 속도별 I2V 최대통신거리 성능 그래프



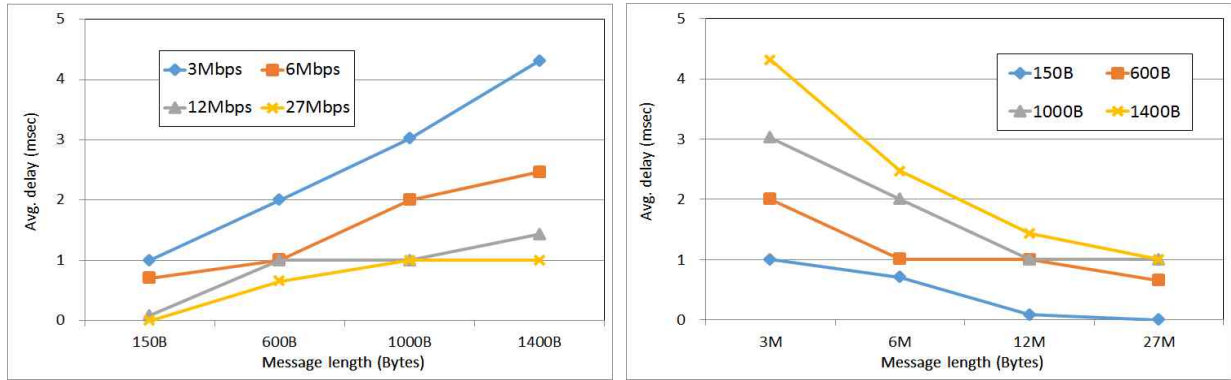
<그림 41> 메시지길이/전송 속도별 I2V 평균통신지연 성능 그래프



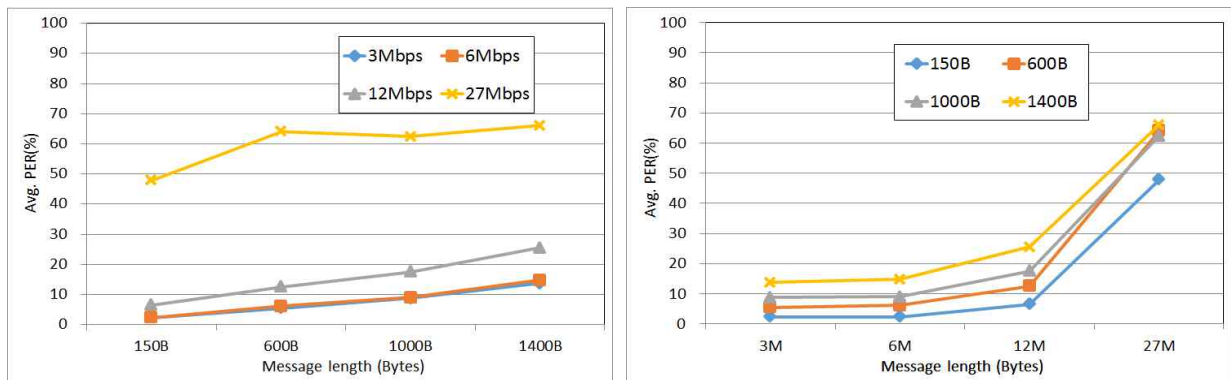
<그림 42> 메시지길이/전송 속도별 I2V 평균PER 성능 그래프



<그림 43> 메시지길이/전송 속도별 V2V 최대통신거리 성능 그래프



<그림 44> 메시지길이/전송 속도별 V2V 평균통신지연 성능 그래프



<그림 45> 메시지길이/전송 속도별 V2V 평균PER 성능 그래프

o 결과에서 각 성능지표는 메시지 길이 및 전송속도에 따라 크거나 작은 영향을 받음

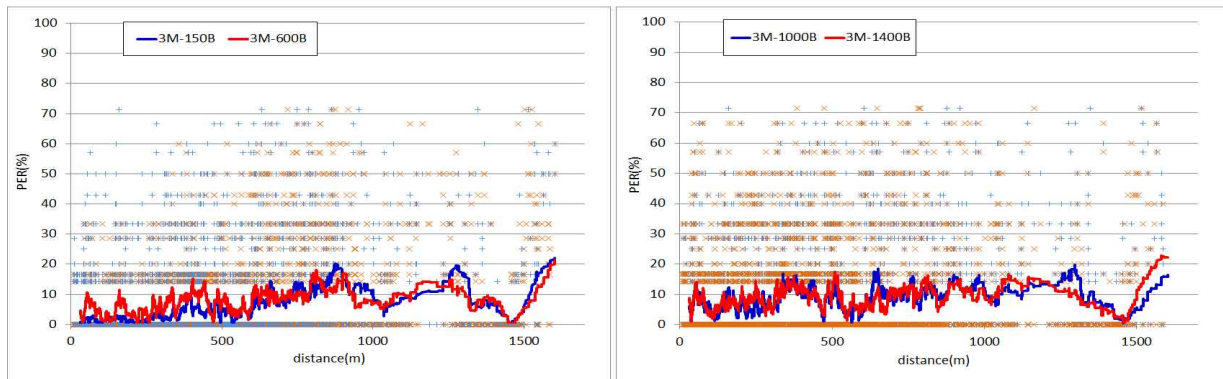
- 최대통신거리
 - I2V: 전송속도 3, 6, 12Mbps에서 양방향 1,500 이상의 최대통신거리를 가지며, 전송속도 27Mbps에서는 양방향 500~1,000미터 사이의 최대통신거리를 보임
 - V2V: 전송속도 3, 6Mbps에서 단방향 1,000~1,500미터 사이, 전송속도 12Mbps에서 500~1,000미터 사이, 전송속도 27Mbps에서 500미터 이하의 최대통신거리.
 - 메시지의 길이보다는 전송속도가 최대통신거리 성능에 영향을 더 주는 것으로 확인됨
- 평균통신지연
 - 메시지 길이 및 전송속도에 직접적인 영향을 받으며, 메시지 길이가 증가할수록, 전송속도가 낮을수록 통신지연은 증가. 이는 재전송이 없는 브로드캐스트 환경에서 통신지연은 메시지 길이와 전송속도에 관련되어 계산되기 때문임.
 - 최고통신지연 조합인 {3Mbps, 1400바이트}에서는 약 4~5밀리초의 지연을 가지며, 최저통신지연 조합인 {27Mbps, 150바이트}에서는 1밀리초 이하의 지연을 가짐.
- 평균PER
 - 메시지 길이 및 전송속도가 증가할수록 PER 성능은 감소함
 - 이는 메시지 길이가 길수록 무선채널의 시변 특성에 오래 노출되어 신호 왜곡을 겪을 확률이 높아지며, 전송속도가 높을수록 동일 신호에 보다 많은 데이터를 실기 때문에 전송 신호가 전파되면서 장애물 등에 의해 왜곡되는 경우, 데이터 간의 경계가 좁아 왜곡 신호를 정확히 복원하는 데 어려움을 겪기 때문임
 - 메시지의 길이보다는 전송속도가 평균PER 성능에 영향을 더 주는 것을 알 수 있음

- I2V의 경우, 3~6Mbps의 낮은 전송속도와 150바이트 정도의 단문 메시지 정도가 유효통신 범위 내에서 PER 10% 미만의 성능을 만족하는 것을 알 수 있음
- V2V의 경우, 경우에 따라 메시지 길이 1000바이트 및 전송속도 12Mbps까지도 PER 10% 미만의 성능을 만족하는 결과가 나타남. 단, V2V는 I2V에 비해 주변장애물들에 의한 영향이 많이 받아 성능 결과의 편차는 큼
- PER은 단순히 메시지 길이와 전송속도 뿐 아니라, 주변 장애물(도로구조물, 주변차량 등)에 의해서도 크게 영향을 받기 때문에, 공용도로 상에서는 주행 상황에 따라 다양한 편차를 보임

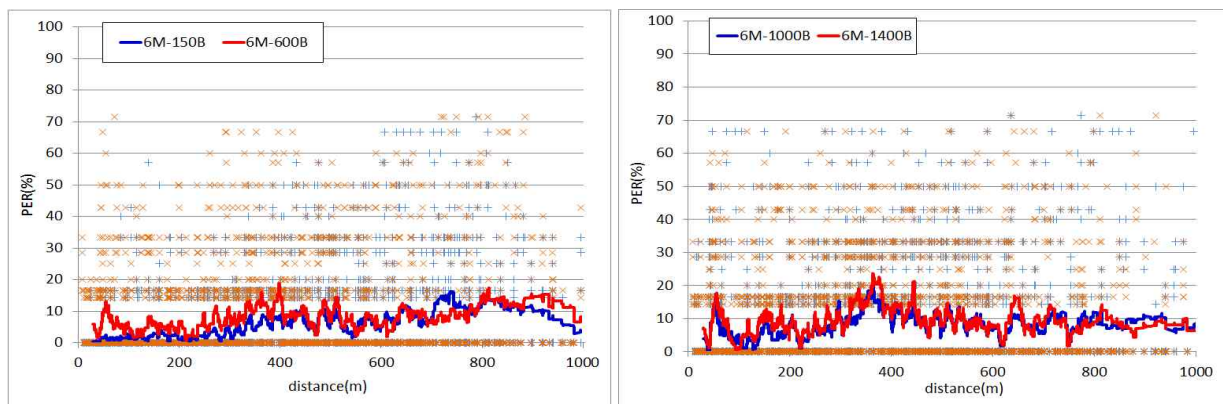
o 다음 그래프들은 I2V 메시지에 대한 전송속도별 구간 PER 성능을 보임. 이를 통해 통신 거리에 따른 PER 성능의 변화를 확인할 수 있음. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 구간 PER값이며, 실선은 각 구간PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 함

- I2V의 유효통신범위는 기지국을 중심으로 반경 500미터씩 총 1,000미터이며, 아래 그래프의 X축인 통신거리는 기지국으로부터의 거리를 나타내므로, 그래프 상으로는 유효통신범위를 500미터로 한정하여 분석하여야 함

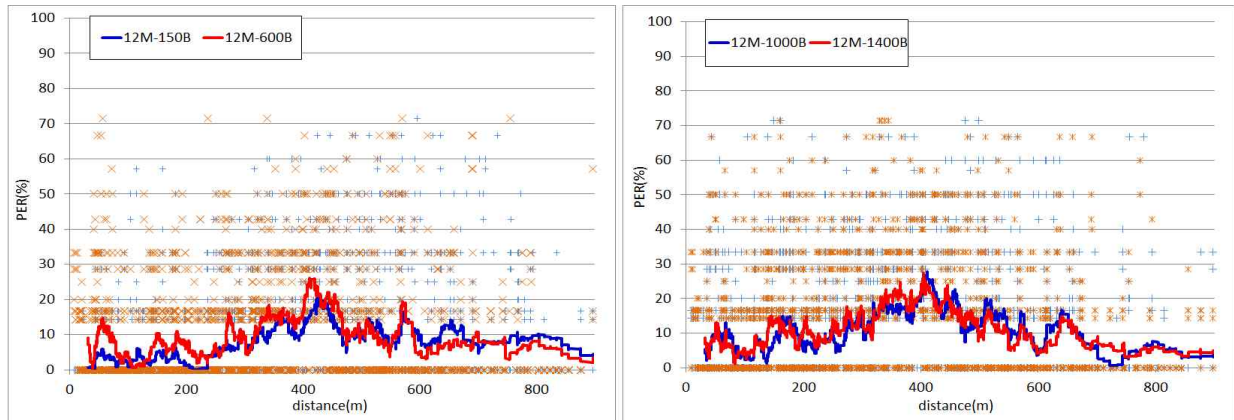
o 전송속도 및 메시지길이가 증가하고 통신거리가 멀어질수록 PER성능은 감소함. 전송속도 3~6Mbps에서는 메시지 길이에 상관없이 유효 통신거리 내에서 양호한 성능을 보이지만, 전송속도 12Mbps에서는 원거리에서 약한 성능감소가 발생하며, 전송속도 27Mbps에서는 모든 구간에서 PER성능의 현저한 감소 현상이 발생함



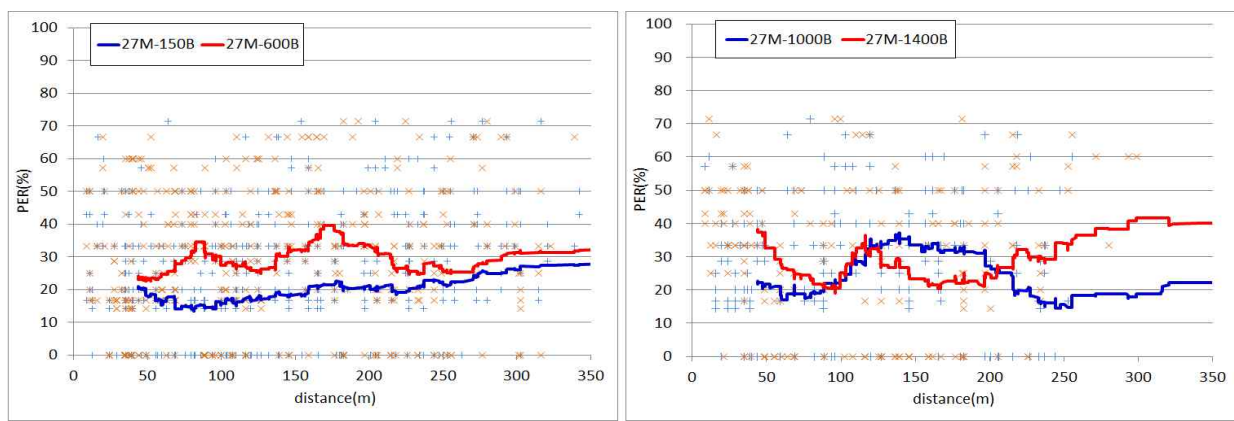
<그림 46> 전송속도 3Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프



<그림 47> 전송속도 6Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프



<그림 48> 전송속도 12Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프

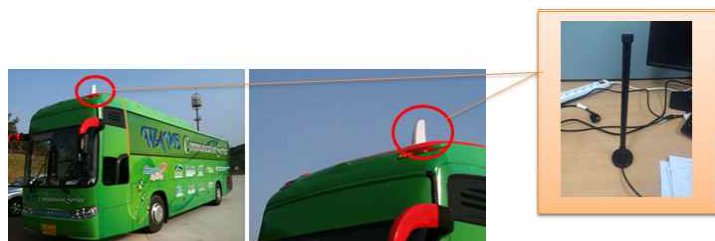


<그림 49> 전송속도 27Mbps에서의 거리별 구간PER 성능 그래프

- 공용도로 상에서의 성능시험을 통해 메시지길이 및 전송속도별 최대통신거리, 평균통신지연, 평균PER을 분석하였으며, 거리에 따른 PER의 변화 추세도 분석하였음. 향후 통신시스템 및 서비스 관련된 성능 요구사항을 설계할 때, 이 결과를 바탕으로 실제 환경에서의 통신성능 수준과 한계를 파악하여 서비스를 위한 통신규격을 도출할 수 있을 것으로 기대

(나) 대형차량 통신성능 분석

- 버스의 경우, 차량 루프 위의 형상이 매우 다양하고 굴곡이 심하며, 에어컨 및 방송 안테나 등 다양한 장비가 구성되어 있음. 따라서 야크 안테나와 같은 소형안테나를 장착할 경우, 루프의 구조물이나 장비 등에 의해 기지국 및 타 차량과의 통신 LOS(Line Of Sight)가 거의 확보되지 않아 성능이 매우 감소되는 현상을 보임
 - 시험 시 안테나는 차량 루프 전방에 단일 폴 타입 무지향성 안테나로 설치



<그림 50> 대형버스 기존 안테나 장착 방안

- 차량의 차체 높이 및 크기 등에 따른 전파 경로 차단 및 통신 음영지역이 발생하여 통신성능이 감소하는 현상 발생

전파 차단 및 신호 감쇠 현상 발생



<그림 51> 대형차량에서의 전파 차단 및 신호 감쇠 현상

- o 위와 같은 현상을 방지하기 위하여 차량 루프 전방 단일 안테나 설치에서 양쪽 각 사이드미러 부근에 이중 안테나를 장착하는 방안 적용
 - 안테나 위치를 변경함으로써 기지국 및 차량으로부터의 전파경로 차단 현상을 최소화
 - 이중 안테나를 적용함으로써, 차체에 의해 가려지는 통신 음영지역을 최소화



<그림 52> 대형버스 이중 안테나 설치 변경

- o 이중 안테나 적용 후 시범도로에서의 주행시험을 통해 통신성능을 확인
 - 시험일시: 2015.05.06., 2015.05.28., 2015.06.11., 2016.04.18.
 - 시험장소: 시범도로 구간 (경부고속도로 서울TG ~ 수원IC)
 - 기상상태: 일반 및 강우(미약), 기온: 상온
- o 성능시험 및 분석은 “스마트하이웨이 테스트베드 WAVE통신성능 시험 규격”에 따라 수행

[표 34] 시험용 메시지 통신 프로파일

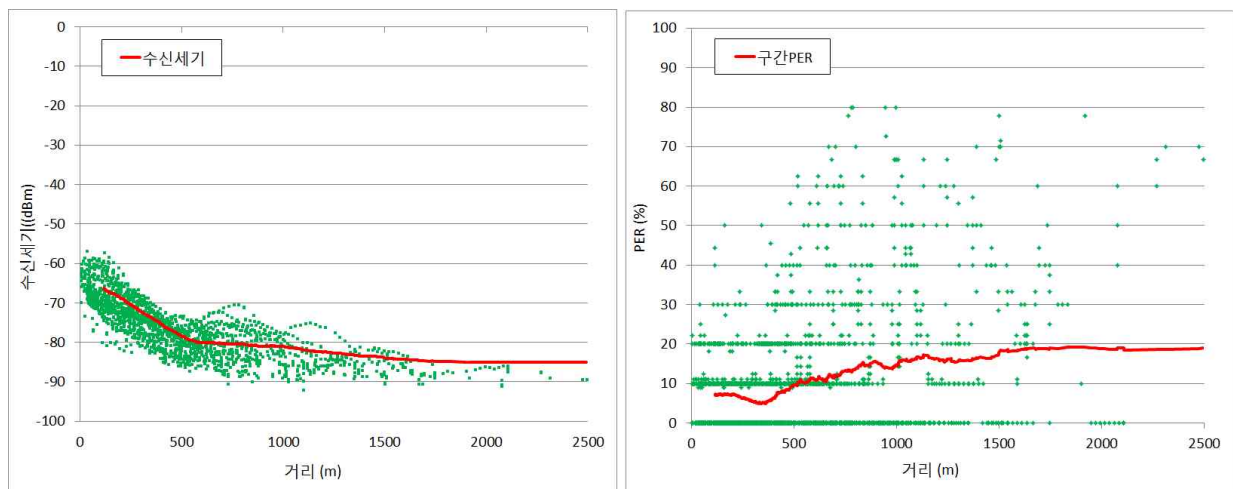
항목	값
메시지 송수신 채널번호	178
전송속도	6Mbps
송신출력	20dBm
송신 메시지 길이	I2V: 200B, V2V: 150
메시지 송신 주기	차량: 100ms, 기지국: 1s

- 각 시험회차 및 왕복회차에 대한 시험 결과를 통합하여 분석하였으며, 아래 표는 각 성능지표 별 평균값을 나타냄

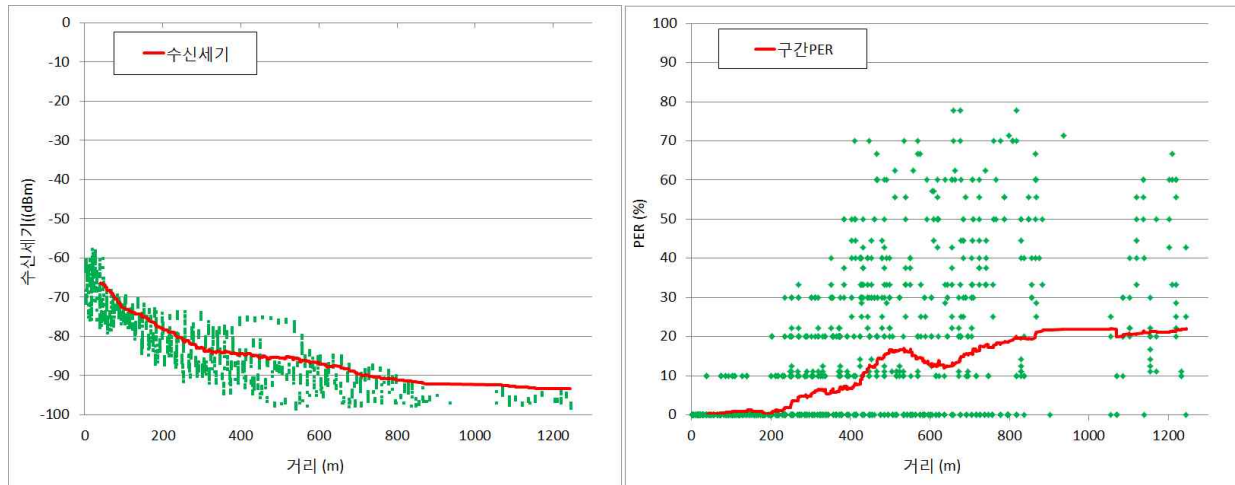
[표 35] 대형차량 통신시험 결과 요약

성능지표	I2V								V2V				
	기지국 번호							평균	죽전 BS	서울 TG	죽전 SA	하이패스센터	평균
	RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7						
최대통신거리 (m)	1429	1833	3453	2984	2831	2408	1848	2398	744	1246	895	1116	977
평균통신지연 (msec)	2.66	3.13	3.58	3.08	3.04	3.33	3.16	3.14	1.00	0.68	0.98	0.95	0.93
평균PER (%)	10.61	10.77	6.56	5.55	9.84	5.91	8.09	8.19	13.05	3.00	0.38	9.72	8.15

- 다음과 같은 양호한 통신성능 확인
 - 최대통신거리: I2V는 평균 2398미터, V2V는 평균 977미터의 최대통신거리
 - 평균통신지연: I2V는 평균 3.14밀리초, V2V 평균 0.93밀리초의 평균통신지연
 - 평균 PER: I2V는 유효 통신범위(전후방 1000미터) 내에서 평균 8.19%, V2V는 유효 통신범위(전방 500미터) 내에서 평균 8.15%의 평균 PER
- 다음 그래프들은 I2V/V2V 메시지에 대한 수신세기 및 구간PER 성능을 보임. 이를 통해 통신거리에 따른 수신세기 및 PER 성능의 변화를 확인할 수 있음. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 수신세기 및 구간PER값이며, 실선은 각 수신세기 및 구간PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 수신세기 및 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 함.
 - I2V의 유효통신범위는 기지국을 중심으로 반경 500미터씩 총 1,000미터이며, 아래 그래프의 X축인 통신거리는 기지국으로부터의 거리를 나타내므로, 그래프 상으로는 유효통신범위를 500미터로 산정하여 분석함



<그림 53> I2V 메시지에 대한 거리별 수신세기 / PER 성능



<그림 54> V2V 메시지에 대한 거리별 수신세기 / PER 성능

- 통신거리가 멀어질수록 수신차량에서의 신호 수신세기 및 PER성능은 함께 감소함
 - I2V의 경우, 약 500미터 지점에서 수신세기가 약 -80dBm 정도로 나타나며, 평균 구간 PER이 10%를 초과하기 시작
 - V2V의 경우, 약 450미터 지점에서 수신세기가 약 -85dBm 정도로 나타나며, 평균 구간 PER이 10%를 초과하기 시작
 - 동일한 거리에서 I2V와 V2V의 수신세기가 차이나는 이유는 차량과 기지국에 쓰이는 안테나의 이득과 안테나 케이블의 손실 성능이 다르기 때문인 것으로 판단됨
 - PER 성능은 단순히 거리에 따른 수신세기에만 영향을 받지 않고 주변장애물에 의한 다중경로 페이딩 현상에도 영향을 크게 받으므로, 거리가 멀어질수록 단거리에 비해 수신세기 값이 더 충분히 커져야 수신 성능이 확보
 - 또한 도로의 고저차 및 경사 등 도로기하구조에 의한 영향 때문에 통신거리가 멀어지면, 전파의 수신세기가 수신하기에 충분할 것으로 예상되는 구간이더라도 메시지가 수신되지 않는 현상이 많이 발생함.

(다) 다수차량 통신성능 분석

- 공용도로 상에서 10대 이상의 차량이 주행하면서 서로 간 통신 수행 시 통신성능을 분석하기 위한 성능시험 및 분석을 수행함
 - 시험일시: 2016.05.26.
 - 시험장소: 시범도로 구간 (경부고속도로 서울TG ~ 수원IC)
 - 기상상태: 일반 (강우: 없음, 기온: 상온)
- 성능시험 및 분석은 “스마트하이웨이 테스트베드 WAVE통신성능 시험 규격”을 준용하여 수행되었으며, 주행 차량 및 업무 분장 등 시험에 필요한 사항은 다음과 같이 진행

[표 36] 다수차량시험 필요 사항

장비	일련번호		세부사양	비교
차량	주행 차량	TC #1-1	경차	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(I2V, V2V)에 대한 로그 저장 (번호순 => 주행순서)
		TC #1-2	세단	
		TC #1-3	세단	
		TC #1-4	SUV	
		TC #1-5	승합	
		TC #2-1	세단	
		TC #2-2	경차	
		TC #2-3	세단	
		TC #2-4	SUV	
		TC #2-5	세단	
	정지 차량	TC #5(상행)	세단	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(V2V)에 대한 로그 저장
		TC #6(하행)	SUV	
기지국	RSU #1 ~ #7			I2V 메시지 송출
단말기	OBU #1 ~ #12			V2V 메시지 송출 및 수신 메시지 로그 저장

[표 37] 시험용 메시지 통신 프로파일

항목	값
메시지 송수신 채널번호	178
데이터레이트	6Mbps
송신출력	20dBm
송신 메시지 길이	V2V: 150B, I2V: 200B
채널스위칭주기 (멀티채널환경)	50ms
채널스위칭 guard interval (멀티채널환경)	4ms
서비스채널번호 (멀티채널환경)	172
메시지 송신 주기	차량: 100ms, 기지국: 1s

- o 본 시험에서는 안테나별 성능 차이를 분석하기 위하여 총 3종의 안테나(다이폴#1, 다이폴#2, 야크)를 각 차량에 번갈아가며 설치하여 주행시험을 수행하였음.



<그림 55> 시범도로 다수차량시험 장면

- o 다수차량시험 이전에 수행한 성능시험에서는 차량 4대 중 1대의 안테나가 접속이 불량하여 양호한 성능을 보이지 못함. 이러한 현상의 재발을 방지하기 위하여, 시험 전 다음과 같은 항목에 대해 전수검사를 수행하였음.
 - 단말기 단품성능 측정: 최소수신감도, 송신품질(스펙트럼, EVM, 성상도 등) 확인
 - 안테나 단품성능 측정: 빔패턴, 이득(손실), 케이블 손실, 케이블 연결 상태 확인
 - 실내시험: 단말/안테나 간 송수신 PER 확인
 - 필드시험 사전확인
 - 기본수신세기 확인: 단말기가 부착된 차량 2대를 최대한 가까이 위치하여 패킷 송수신 시, 수신세기가 약 -25dBm이 되는지를 확인. (이 수준의 수신세기가 측정되면 단말기 송수신 및 안테나의 상태가 양호한 것으로 판단)
 - 또한 안테나/단말기의 이상 발생 시 이를 파악하기 위하여, 시험 회차마다 안테나/단말기의 조합을 변경하여 시험을 진행하였음.
- o 시험 결과를 통합하여 분석하였으며, 아래와 같은 각 성능지표 별 평균값을 확인함

[표 38] 다수차량 통신시험 I2V 결과 요약

채널	성능지표	기지국 번호							평균
		RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
싱글 채널	최대통신거리 (m)	1391	1628	2605	2518	2310	1968	1887	2044
	평균통신지연 (msec)	0.84	0.59	0.85	3.53	0.69	0.88	0.61	1.14
	평균PER (%)	8.93	6.07	4.34	9.40	4.49	6.07	5.18	6.35
멀티 채널	최대통신거리 (m)	1194	1670	2532	2571	2134	1888	1957	1992
	평균통신지연 (msec)	25.08	9.70	6.76	5.79	7.35	35.49	23.68	16.26
	평균PER (%)	12.25	5.79	6.11	8.26	6.63	5.11	6.93	7.30
전체	최대통신거리 (m)	1323	1642	2580	2536	2249	1941	1911	2026
	평균통신지연 (msec)	9.20	3.74	2.89	4.31	2.98	12.82	8.57	6.36
	평균PER (%)	10.07	5.97	4.95	9.01	5.22	5.74	5.78	6.68

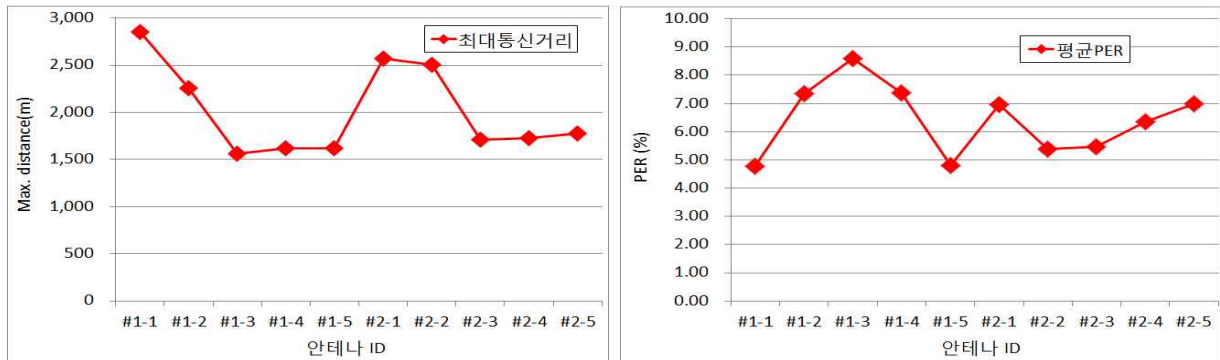
[표 39] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약

채널 운용	성능지표	고정식			이동식			전구간	평균
		전방	후방	평균	전방	후방	평균		
싱글 채널	최대통신거리 (m)	1083	1090	1086	-	-	-	-	1086
	평균통신지연 (msec)	0.86	1.08	0.97	0.65	0.82	0.74	0.86	0.86
	평균PER (%)	9.41	9.71	9.56	0.56	0.74	0.65	4.07	4.90
멀티 채널	최대통신거리 (m)	822	839	831	-	-	-	-	831
	평균통신지연 (msec)	11.75	39.56	25.66	16.96	25.06	21.01	26.11	23.89
	평균PER (%)	9.90	5.16	7.53	4.83	4.94	4.88	4.71	5.91
전체	최대통신거리 (m)	1014	1027	1021	-	-	-	-	1021
	평균통신지연 (msec)	3.73	10.70	7.22	6.30	8.90	7.60	9.57	7.84
	평균PER (%)	9.54	8.58	9.06	2.04	2.14	2.09	4.29	5.32

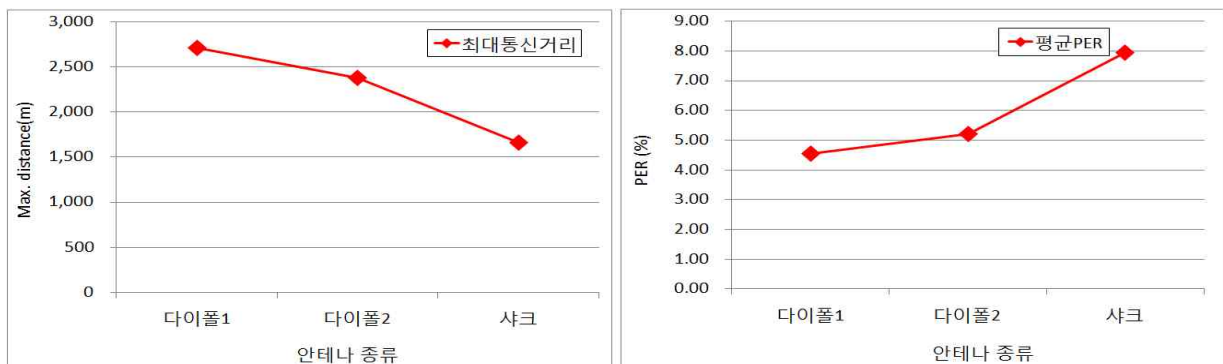
- o I2V의 경우 최대통신거리 2,026미터, 평균통신지연 6.36밀리초, 평균PER 6.68%로 양호한 성능을 보였으며, V2V 역시 최대통신거리 1,021미터, 평균통신지연 7.84밀리초, 평균PER 5.32%로 양호한 성능을 보임
 - I2V의 경우, RSE1의 최대통신거리 및 평균PER은 다른 RSE에 비해 다소 낮게 측정되었음. 이는 RSE1이 설치된 구간의 지형적 특성으로 인한 것으로 판단됨.(RSE1의 통신범위 내에 도로 경사 구간이 존재하며, 해당 구간에서 기지국-차량 간 LOS확보가 어려운 음영지역이 일부 발생하여 통신거리가 짧아지고 PER성능에 영향을 주고 있음)
 - 향후 실제 통신 인프라를 구성할 때 이러한 사항까지 고려하여 기지국을 설치한다면 보다 우수한 성능을 확보할 수 있을 것으로 보임.(시범도로 테스트베드는 기지국 설치 시 기존의 LCS관련 시설물만을 활용하여 설치한 관계로 모든 구간에 대해 통신에 관련된 최대성능을 확보하지는 못하였으며, 위와 같은 특이점에는 별도의 구조물 설치나 기타 시설물의 활용을 통해 최대성능의 확보가 가능할 것으로 판단됨)
- o 아래는 각 주행차량의 최대통신거리 및 평균PER 성능을 안테나별로 분류하여 비교한 결과임
 - 1회차 시험에서 시험차량 #1-1 및 #2-1의 안테나는 다이폴1, 시험차량 #1-2 및 #2-2의 안테나는 다이폴2 안테나이며 나머지는 샤크 안테나임.
 - 시험회차마다 각 차량간에 안테나를 교체하여 각 안테나에 대한 시험 결과가 단일 차량에 의존적이지 않도록 시험을 수행하였음.
 - 다이폴안테나는 샤크 안테나에 비해 크기가 크고 이득이 높아 샤크 안테나에 비해 좀 더 약한 신호를 수신할 수 있고 상대방과의 LOS 확보가 용이하여, 최대통신거리 및 평균PER 성능이 향상되는 효과가 있음.
- o 안테나는 물리적으로 클수록 좋은 성능을 확보할 수 있지만, 차량에 장착되는 장착성을 고려할 때, 큰 안테나를 장착은 곤란함. 본 시험에서 사용된 다이폴안테나는 스마트하이웨이 과제가 아닌 타사 제품을 적용하여 시험을 수행하였으며, 이는 성능 비교의 목적임



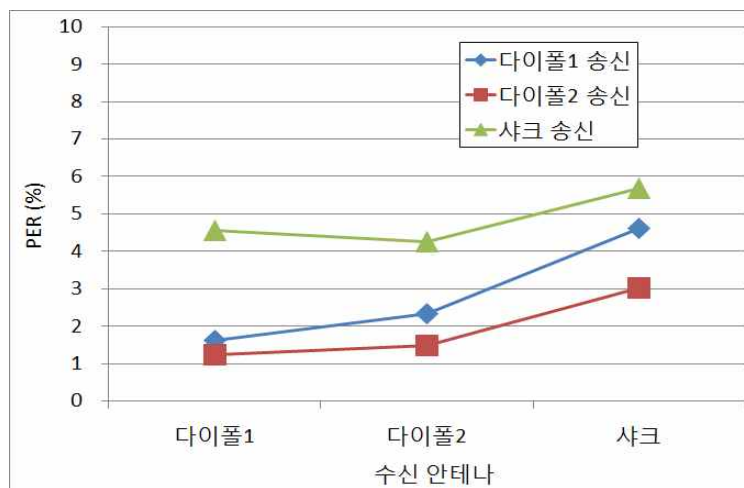
<그림 56> 시험차량 안테나 장착 모습



<그림 57> 개별 안테나별 I2V 최대통신거리 및 평균 PER

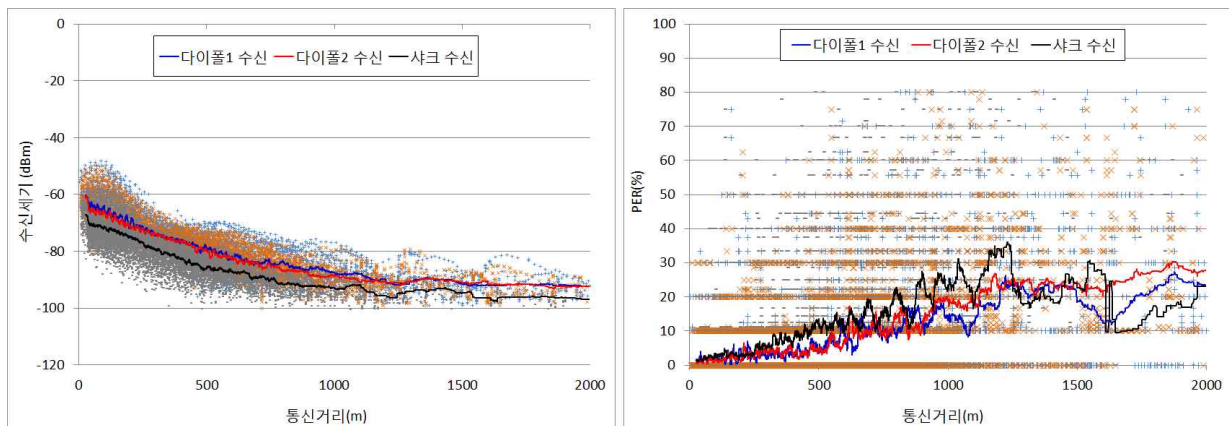


<그림 58> 안테나 종류별 I2V 최대통신거리 및 평균 PER



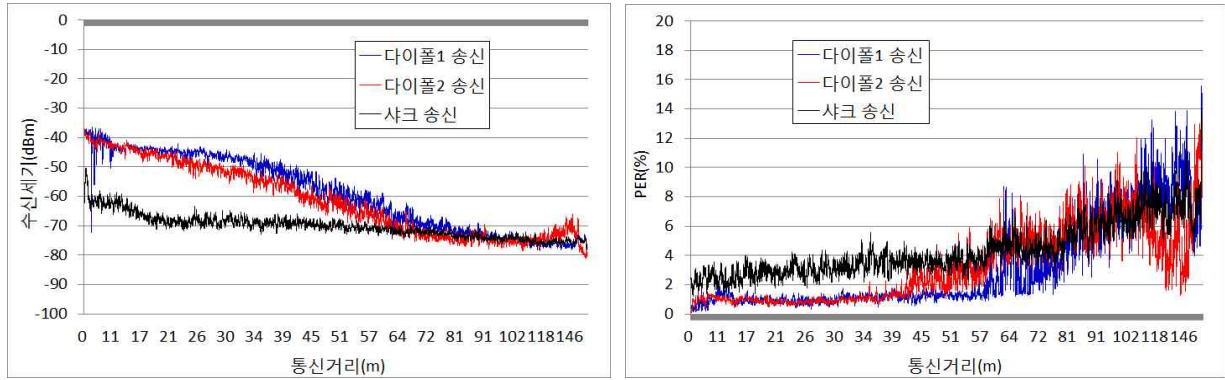
<그림 59> 안테나 종류별 전구간 V2V 평균PER

- 위 결과 그래프들에 따르면, 샤크안테나에 비해 다이폴안테나의 최대통신거리 및 평균 PER 성능이 우수하긴 하지만, 샤크안테나 역시 양호한 성능을 보임
- 아래 그래프들은 I2V 메시지에 대해 각 안테나 종류별로 측정된 통신거리에 따른 수신세기 및 구간PER 성능을 나타냄. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 수신세기 및 구간PER값이며, 실선은 각 수신세기 및 구간PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 수신세기 및 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 하였음
 - I2V의 유효통신범위는 기지국을 중심으로 반경 500미터씩 총 1,000미터이며, 아래 그래프의 X축인 통신거리는 기지국으로부터의 거리를 나타내므로, 그래프 상으로는 유효통신범위를 500미터로 한정하여 분석
 - 수신세기 그래프에서 샤크안테나는 다이폴안테나에 비해 동일거리에서 수신세기가 좀 더 약한 것으로 나타남. 이에 따른 결과로 약 400미터 정도의 통신거리부터 PER 성능 감소율에 격차가 발생하기 시작
 - 실제로 다이폴안테나와 샤크안테나의 이득은 각각 약 9dBm과 5dB로 약 4dB의 차이가 있으며 이러한 차이가 수신 성능에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있음

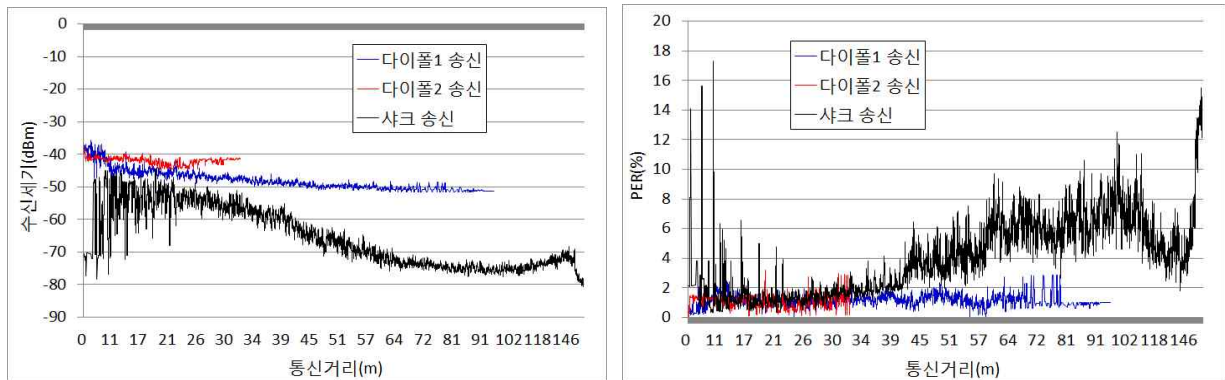


<그림 60> 안테나 종류별 I2V 통신거리 대비 수신세기 및 구간PER 성능

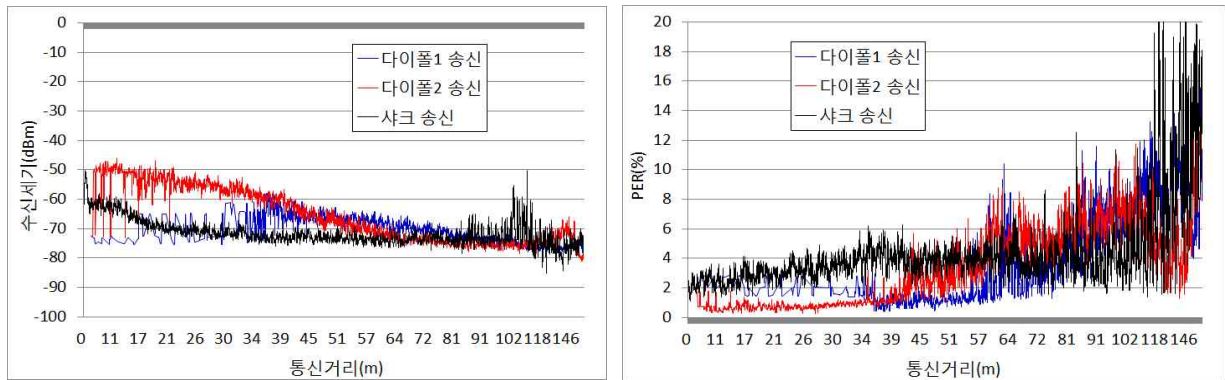
- 다음 그래프는 V2V 메시지에 대해 각 안테나 종류별 통신거리에 따른 수신세기 및 구간PER 성능을 나타냄. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 수신세기 및 구간PER값이며, 실선은 각 수신세기 및 구간PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 수신세기 및 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 함
 - V2V 환경 역시 샤크 안테나에 비해 다이폴안테나가 좋은 성능을 보임



<그림 61> 다이폴1 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능



<그림 62> 다이폴2 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능

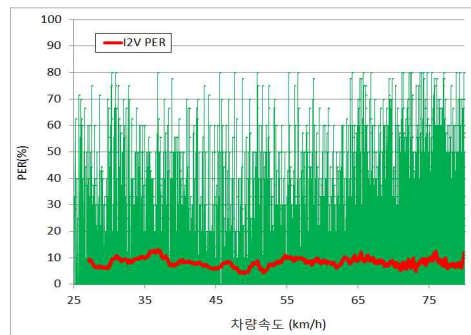


<그림 63> 샤크 안테나의 V2V 메시지 수신세기 및 구간PER 성능

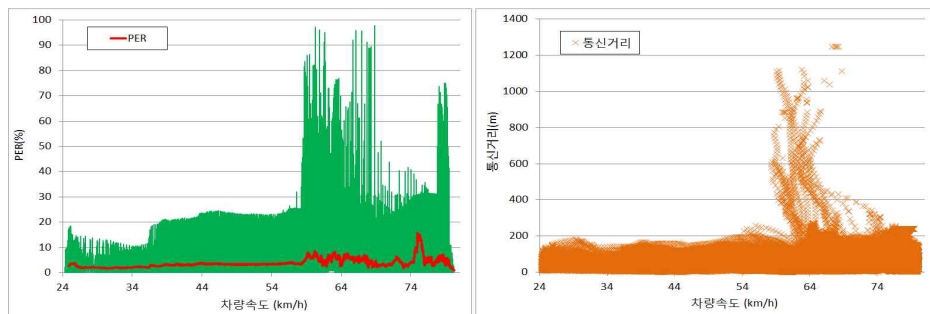
- o 앞서 기술한 바와 같이, 다이폴안테나는 샤크 안테나에 비해 좋은 성능을 가지지만 물리적 크기로 인해서 차량에 장착하기는 어려움. 안테나 성능 비교 결과에서 상대적으로 샤크 안테나의 성능이 떨어지는 것으로 분석되었으나, 샤크 안테나 역시 양호한 통신성능을 보임
- o 다음 그래프는 각 차량의 속도에 따른 구간 PER 성능을 나타낸 그래프임. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 구간 PER값이며, 실선은 각 구간 PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있음
 - I2V의 경우, PER 성능은 차량속도의 변화와는 크게 상관없이 고르게 나타나는 것을

확인할 수 있음

- V2V의 경우, 좌측 그래프 상으로는 차량속도가 커짐에 따라 PER 성능이 감소되는 것처럼 보임. 하지만 우측의 그래프를 살펴보면 PER 성능이 감소된 영역(차량속도 60km/h 이상)에서 통신거리도 함께 증가했음을 알 수 있음. 일반적으로 도로 주행 시 차량속도가 높아지면 차간 거리가 길어지게 되며, 이에 따라 통신거리도 증가함. 시험 결과는 I2V 결과를 고려해 볼 때, PER성능의 감소는 차량속도가 아닌 통신거리의 증가에 의해 발생한 것으로 판단됨
- WAVE통신시스템의 모뎀은 시뮬레이션 상으로도 차량속도 200km/h 까지는 통신 성능에 큰 영향을 미치지 않도록 설계되어 있으며, 이러한 점이 실제 성능 시험에서도 나타남



<그림 64> I2V 메시지에 대한
차량속도별 구간PER 성능



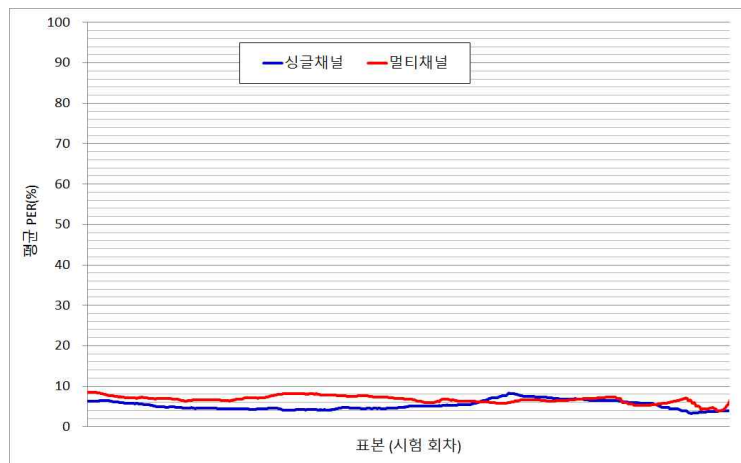
<그림 65> V2V 메시지에 대한 차량속도별 구간PER 성능 및 통신거리

(라) 외부 환경요인에 따른 통신성능 분석

- o 공용도로 상에서 수행된 통신에 대하여 특정 환경요인에 통신성능에 영향을 미치는 정도를 분석함. 다음과 같은 항목에 대해 비교 분석함.
 - 채널운용방식: 싱글채널, 멀티채널
 - 주행방면: 상행, 하행
 - 교통량
 - 기온, 강수량(강우/강설)
- o 다음 그래프는 채널운용방식에 따른 통신성능 분석 결과임. 특정 순서 없이 나열된 평균 PER값들의 변화 추이를 그린 것임. 결론적으로 싱글채널인 경우와 멀티채널의 경우 사

이에는 성능의 차이가 발견되지 않았음

- 멀티채널과 싱글채널 환경에서 성능의 차이가 발생한다면 이는 크게 다음과 같은 두 가지 원인으로 인해 발생할 수 있음
 - 시간동기 문제 : 멀티채널 동작 시, 기지국-단말기 간 채널스위칭의 동기가 맞지 않아, 특정 시점에 서로 같지 않은 채널에 접속한 상태에서 통신을 수행함으로써 데이터의 손실이 발생할 수 있음. (각 장치는 서로 접속한 채널이 다르면 서로 간에 통신을 수행할 수 없으며 따라서 정확히 동기화된 시간을 기반으로 동일한 시점에 동시에 채널을 변경해야 함)
 - 채널용량 문제 : 멀티채널 동작 시, 싱글채널에 비해 동일한 시간 구간을 두 개의 채널이 번갈아가면서 사용하므로, 하나의 채널에 대해서 채널용량은 50% 이하로 감소함. 채널에 대량의 통신 데이터가 발생할 경우, 부족한 채널용량으로 인해 데이터의 손실이 발생할 수 있음.
- (시간동기 문제) 스마트하이웨이 WAVE통신시스템은 상용GPS 모듈의 PPS(Pulse Per Second) 신호를 모뎀 상에 직접적으로 입력해서 채널스위칭을 수행하는 기준 신호로 사용하고 있음. 일반적인 상용GPS모듈은 수 나노초 단위의 PPS 신호 오차 성능을 보장하고 있으며, 이 신호를 하드웨어적으로 바로 활용하는 스마트하이웨이 통신시스템의 특성 상 채널스위칭의 동기 오차는 발생할 확률이 거의 없음. 또한 다수의 실내시험 및 현장시험을 통해 장치 간 채널스위칭 동기는 정확하다는 것이 확인된 바 있음
- (채널용량 문제) 현재 시범도로에서 제공하는 서비스가 발생시키는 데이터량을 기준으로 했을 때에는 최소 300~400대 이상의 단말기가 한 곳에 모여 있는 수준이 되어야 채널용량이 부족한 현상이 발생할 수 있음. 따라서 현 시범도로 단말기 보급 상황으로는 이러한 현상이 발생할 수 없음



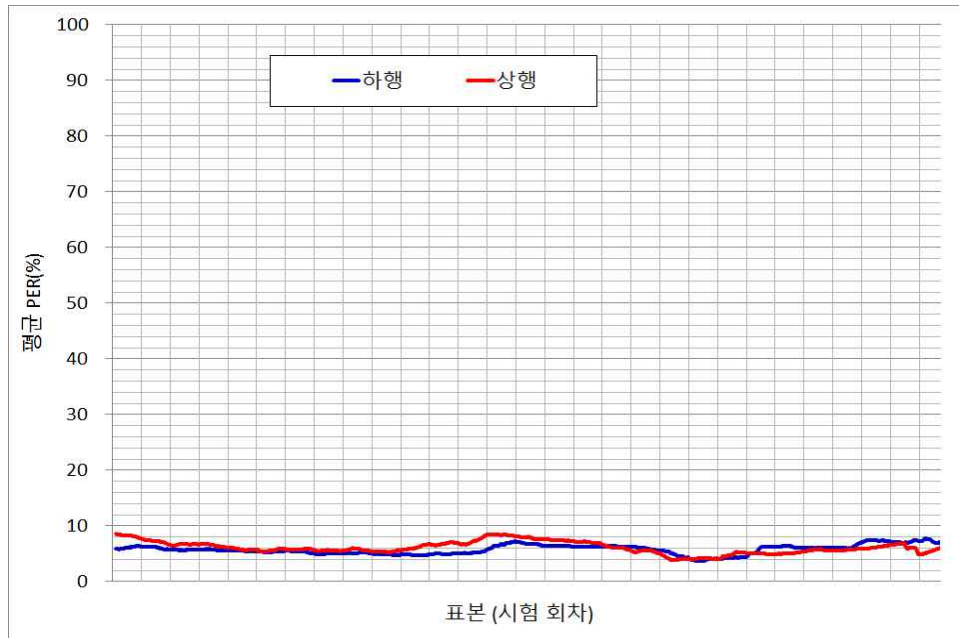
<그림 66> 채널운영방식 별 평균PER 성능

o 다음 그래프는 차량의 주행방면(상행, 하행)에 따른 통신성능 분석 결과임. 특정 순서 없이 나열된 평균PER값들의 변화 추이를 그린 것임. 결론적으로 주행방면에 따른 성능 차이는 발견되지 않았음

- 스마트하이웨이 테스트베드는 도로의 기하구조가 매우 단순하고, 상/하행 방면에 따라 도로 상 특이할 만한 차이점이 존재하지 않기 때문에, 차량의 주행방면에 따라 통신

성능에 영향을 줄 만한 요인이 존재하지 않음

- 다만, I2V의 경우, 모든 기지국이 상행방면의 노변에 설치되어 있고 무지향성 안테나가 아닌 3패치의 지향성 안테나가 설치되어 있어, 지향성 안테나의 빔패턴 특성(좁은 영역으로 강하게 신호를 방사하는) 상 상행방면 도로의 최 우측 차선(4~5차선) 주행 시에는 하행방면 주행 시에 비해 성능의 감소현상이 일부 발생할 수 있음



<그림 67> 차량 주행방면에 따른 평균PER 성능

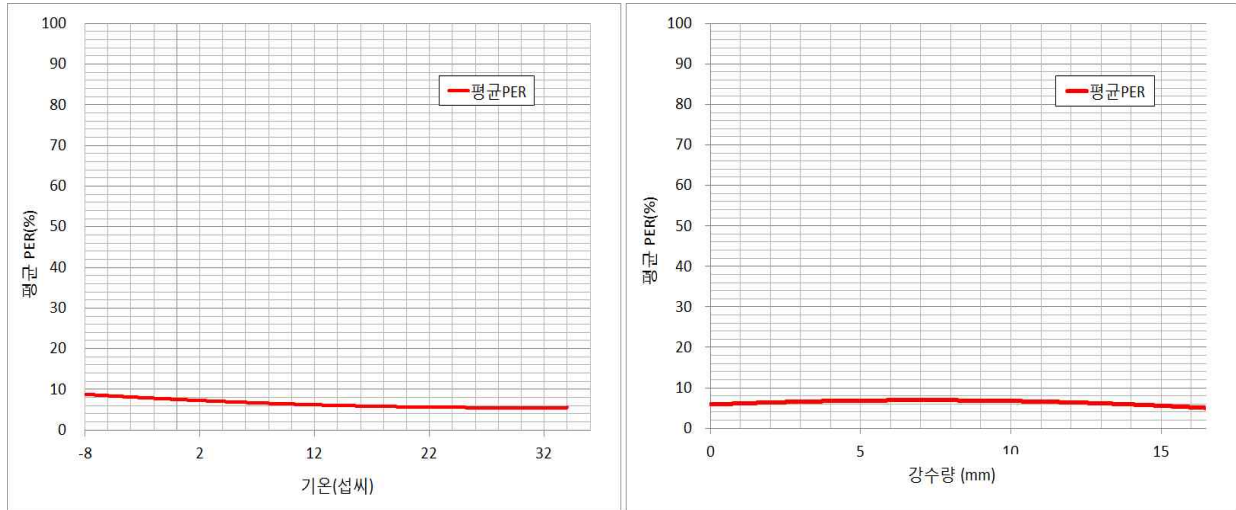
- 다음 그래프는 시범도로 구간의 교통량에 따른 통신성능 분석 결과를 나타냄. 교통량에 따른 평균PER값의 변화 추이를 도시한 것임
 - 교통량과 WAVE 통신성능은 모든 차량 또는 대부분의 차량에 WAVE 단말기가 장착된 경우에 직접적인 상관관계를 가짐. 특정 지역 범위 내에 교통량이 증가하면 차량 및 차량단말기의 수도 증가하기 때문에 발생하는 데이터의 양도 비례적으로 증가함. 총 데이터 양이 채널용량을 초과하면 데이터의 손실이 발생함
 - 스마트하이웨이 테스트베드에서는 보급된 단말기의 수량이 많지 않아 교통량과 WAVE통신성능 사이에 직접적인 상관관계는 없음. 다만 주행 중 교통량이 많아 도로 상태가 혼잡한 경우에는 차량 주위에 장애물로 작용(예: 통신차량 간 또는 기지국-차량간 LOS 경로 차단)할 수 있는 다른 차량들이 지속적으로 존재할 수 있으며, 이러한 상황이 통신 성능에 영향을 줄 수 있음
 - 본 분석에서 사용되는 교통량은 한국도로공사에서 제공되는 통계 정보이며, 한 시간 동안 시범도로 구간을 운행한 차량 대수를 나타냄. 공간 및 시간적으로 범위가 매우 넓은 값이기 때문에, 실제로 통신이 수행된 시점의 주변 상황을 판단하기 위한 실시간성이 부족한 한계가 있음
 - 분석 결과, 교통량과 통신성능 간의 뚜렷한 연관 관계는 나타나지 않음. 교통량에 관

련된 분석은 보다 다수의 단말이 보급된 상황에서 의미가 있음



<그림 68> 교통량 대비 평균PER 성능

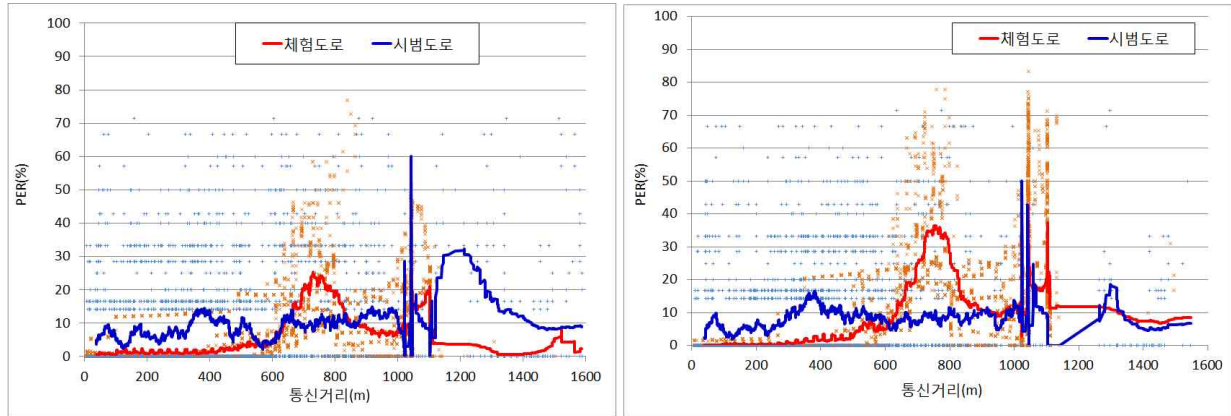
- o 다음 그래프는 기후 환경(기온 및 강수량)에 따른 통신성능 분석 결과를 나타냄. 각 기온 및 강수량 별로 측정된 평균PER값의 변화 추이를 도시한 것임
 - 기온: 기온은 보통 연간 약 영하 10도에서 영상 35도 사이의 분포를 보임. 통신시스템은 통신 수행 시 장치 자체에서 열이 발생하므로, 기온이 높으면 장치 내부에서 발생한 열이 계속 누적되어, 시스템에 문제가 발생할 수 있음. 영상 30도 이상의 혹서 기후에서, 기지국 내부는 약 40~50도의 온도를 유지함. 영하의 혹한 기온에서는 오히려 발열로 인해 장치 자체의 내부 온도는 기온보다 높을 수 있음
 - 시스템 설계 시 이러한 온도 범위 내에서도 동작할 수 있도록 방열/내열을 고려한 설계를 수행해야 함.
 - 스마트하이웨이 WAVE통신시스템은 각 부품부터 합체까지 해당 온도범위에서도 문제없이 동작하도록 개발되었으며, 내구성 환경시험을 통해 이를 확인함.
 - 강수량: WAVE 통신 전파 자체는 물리학적 관점에서 시스템이 물에 잠기지 않는 이상 수분에 치명적인 영향을 받지 않음. 강수량이 많은 경우, 기지국 시스템의 누수 등으로 인해 통신성능에 영향을 주거나 시스템에 고장이 발생할 수는 있음.
 - 시스템 설계 시 누수가 발생하지 않도록 방수를 고려한 설계를 수행
 - 복합기지국은 IP-66 등급을 만족하도록 설계하여 강수량이 많은 환경에서도 시스템에 영향을 주지 않도록 개발되었으며, 내구성 환경시험을 통해 이를 확인
 - 본 분석은 WAVE 통신성능 본연에 대한 검증보다는 기지국 및 단말기 시스템의 내구성 및 강건성에 대한 검증이며, 분석 결과 기온 및 강수량에 따른 통신성능의 큰 변화가 없어, 시스템의 안정성이 확보되었을 확인할 수 있음



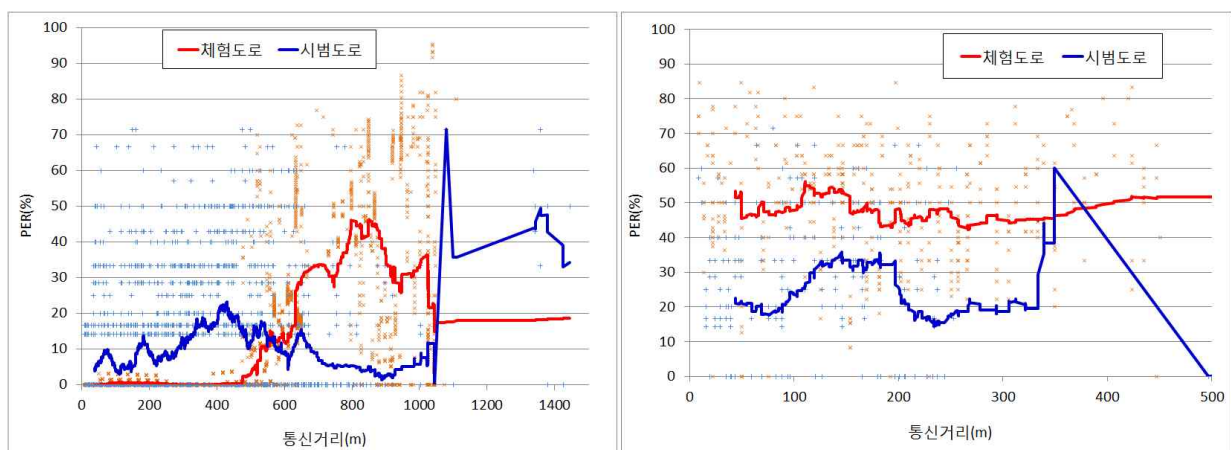
<그림 69> 기온/강수량 대비 평균PER 성능

(마) 체험도로-시험도로 간 통신성능 비교

- 본 절에서는 주변장애물이 최소화된 시험도로(여주체험도로)에서의 성능 결과와 실제 환경인 공용도로(시험도로)에서의 성능 결과를 비교함.
- 다음 그래프들은 체험도로 및 시험도로에서의 전송속도별 구간PER 성능을 보임. 이를 통해 통신거리에 따른 PER 성능의 변화 및 차이를 확인할 수 있음. 그래프 상에 표시된 점은 각 거리에서 계산된 구간PER값이며, 실선은 각 구간PER들의 평균값의 추세를 표시함으로써 환경에 따라 편차가 발생하는 및 PER 값의 변화 추이를 쉽게 파악할 수 있도록 함
 - 그래프의 결과에 따르면, 유효통신범위인 500미터 통신거리 내(앞서 기술한 바와 같이, 도로구조 상 체험도로의 기지국의 통신반경은 500미터로 산정하여 분석해야 한다)에서, 체험도로의 경우 매우 안정적으로 변화 없는 성능을 보임. PER의 추세선은 고르게 표현되며 각 개별 PER성능 값 역시 추세선 근처에 분포되어 있음
 - 시험도로에서는 전체적으로는 양호한 PER 성능의 추세를 보이고 있으나, 다양한 외부환경요인으로 인하여 각 PER 값들의 편차가 매우 심하게 나타남. PER의 추세선은 체험도로에 비해 전체적으로 높은 PER값을 나타내고 있으며 선의 굴곡도 심함. 각 개별 PER성능 값 역시 넓은 범위에 걸쳐 나타나고 있음
 - 공용도로 상에서는 주행 중 주변차량이나 도로시설물 등 장애물에 의한 LOS 미확보 등으로 인하여 WAVE 전송 신호에 대한 신호 세기의 감쇄가 더욱 심해지고, 다중경로로 인한 페이딩 현상에 의해 통신 성능에 많은 영향을 받음
 - 전송속도 27Mbps에서는 두 경우 모두 통신성능이 현저히 낮아지므로, 비교에 큰 의미는 없음
- 이 결과에 따라, 통신 시스템 구현 시 시험전용도로에서의 통신성능을 확인하더라도 실제 도로 상에서는 이와 같은 성능의 차이 및 편차가 발생할 수 있음



<그림 70> 체험도로-시범도로 거리별 PER성능 비교(좌: 3M/1000B, 우: 6M/1000B)



<그림 71> 체험도로-시범도로 거리별 PER성능 비교(좌: 12M/1000B, 우: 27M/1000B)

(바) V2X 통신 기반 안전서비스 제공을 통한 충돌회피확률 분석

- 시범도로 운영기간 동안 발생한 V2X 이벤트들에 대한 로그를 분석함으로써, 도로 상 돌발 상황 등 안전 관련 이벤트 발생 시, V2X 통신 기반 이벤트 통지 기술을 통해 어느 정도의 사고를 회피할 수 있는지를 분석함
- 도로 상에 낙하물이나 고장차량 등의 돌발상황 이벤트가 발생하였을 때, 이러한 이벤트의 발생 사실은 후방 운전자가 충분히 대응할 수 있을 만큼 빠르게 전달되어야 함.
 - 운전자가 전방의 이벤트 발생 사실을 인지하고 이에 대해 반응하여(예: 감속 페달을 밟음) 감속이 완료되기까지에는 어느 정도의 시간이 필요한데, 이러한 충분한 대응 시간이 확보되기 전에 차량이 이미 이벤트 발생 지점에 도달하면 충돌을 회피할 수 없음.
 - 즉, 이벤트 발생 시에 후행 차량의 운전자가 충분히 반응할 수 있을 만큼 빠르게 정보가 전달되지 않으면, 2차 사고의 위험이 있다고 볼 수 있음.
- 이와 같은 충돌회피 가능 여부는 차량의 속도와 거리의 함수로 나타남
 - 주행차량이 고속으로 이동 중에는 이벤트 발생 지점으로부터 충분히 먼 거리에서 이벤트 사실을 통보받아야 하며(감속하여 충돌하지 않을 만큼 충분한 거리가 확보되어

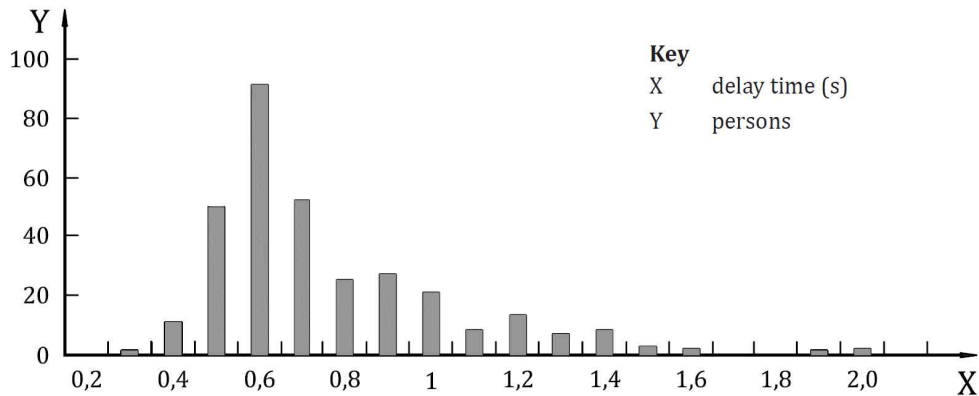
야 함), 저속일 경우에는 고속보다는 좀 더 가까운 거리에서 이벤트 사실을 통보 받아도 이벤트 발생 지점 도달 전에 충분히 감속할 수 있음

- o C-ITS 전방충돌경고서비스의 성능 요구사항을 명시하고 있는 국제표준인 “ISO 15623 - Intelligent transport systems - Forward vehicle collision warning system - Performance requirements and test procedures”에 따르면, 충돌거리는 다음과 같이 계산

$$D = V_1 \times T + \left(\frac{V_1^2}{2a_1} - \frac{V_2^2}{2a_2} \right)$$

- D: 충돌거리
- V_1 : 메시지 수신차량(후행 차량)의 속도
- V_2 : 이벤트개체(메시지 전송차량 또는 돌발상황개체)의 속도
- T: 운전자의 인지반응시간 (운전자가 이벤트를 인지했을 때부터 브레이크를 밟을 때까지 소요되는 시간)
- a_1 : 메시지 수신차량의 감속도(=감속능력)
- a_2 : 이벤트(메시지 전송차량 또는 돌발상황개체)의 감속도(=감속능력)
- o 위 식을 통해 계산된 D는 현재 차량의 속도를 기준으로 했을 때 충돌이 발생할 수 있는 거리이며, 따라서 이벤트 메시지는 이벤트 개체와 후행차량 사이의 거리가 D 미만이 되기 전에 후행차량으로 전달되어야 함
- o 시범도로에서 제공되고 있는 서비스 중 위와 같이 충돌거리 이전에 이벤트가 통보되어야만 의미가 있는 서비스는 다음과 같으며, 따라서 다음 서비스들에 대해 수집된 로그를 분석하여 각 이벤트 별로 충돌회피가 가능했는지를 분석
 - V2I : 낙하물경고서비스
 - V2V : 연쇄사고예방서비스, 고장차량알림서비스, 도로작업알림서비스, 긴급차량접근알림서비스
- o 로그서버에 저장된 각 이벤트별 로그를 분석하여, 위 식을 이용한 D값을 계산하고 이 충돌거리 값을 실제로 이벤트 메시지를 처음 전달 받은 시점의 거리와 비교하여 충돌회피가 가능했는지를 분석함. 분석을 위해 다음과 같은 파라미터가 사용됨
 - 충돌거리 계산식 파라미터
 - V_1 : 이벤트 로그에 저장된 수신차량의 속도를 대입
 - V_2 : 이벤트 로그에 저장된 송신차량의 속도 또는 0(낙하물인 경우)을 대입
 - T: 아래 설명 참조
 - a_1, a_2 : 아래 설명 참조
 - 첫 메시지 수신 거리: 이벤트 로그로부터 추출(송신좌표 - 수신좌표)
 - 이벤트 발생 시 외부환경(기온, 기후, 강우량, 교통량): 이벤트 로그로부터 추출
- o 충돌거리 계산식에서 T는 다음과 같이 적용

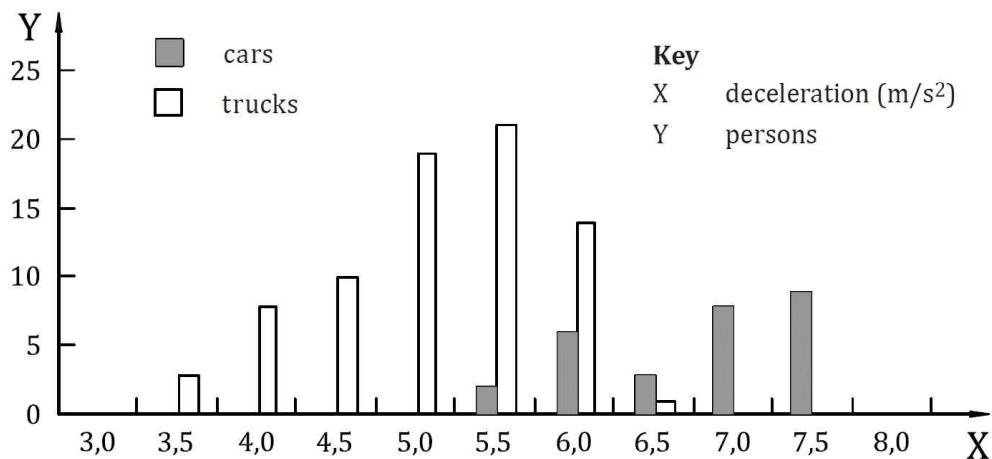
- 위 ISO 표준에서는 T 값을 1971년 수행된 “Driver’s Brake Reaction Times” 연구 결과에 따라 적용하고 있음. 해당 연구에 따르면 운전자의 인지반응시간 T는 0.3~2.0초의 값을 갖으며, 평균 0.66초의 값을 가짐. 또한 98%의 운전자가 1.5초 이내의 T값을 가짐



<그림 72> 운전자별 인지반응시간 분포

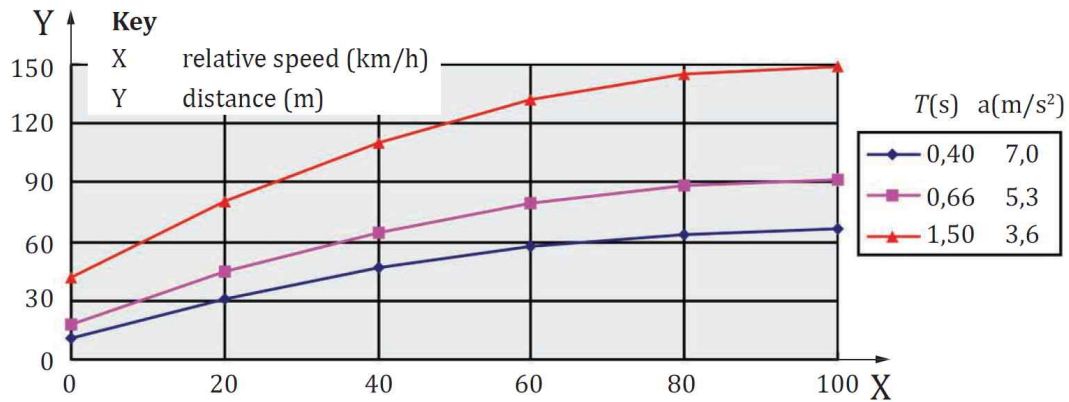
o 충돌거리 계산식에서 a는 다음과 같이 적용됨

- 위 ISO 표준의 Annex에 통계에 근거한 차량감속능력이 명시되어 있음. 전체적인 범위는 $3.6 \sim 7.9 \text{ m/s}^2$ 의 값을 가지며, 승용차의 경우 평균 7.0 m/s^2 , 상용차의 경우, 평균 5.3 m/s^2 의 값을 가짐
- 분석 시에 a_1 과 a_2 는 동일한 값을 사용



<그림 73> 운전자/차종별 감속능력 분포도

o 위 ISO 표준에서는 이러한 파라미터를 이용하여 다음과 같이 속도에 따른 충돌거리에 대한 레퍼런스 결과를 제공. 상대속도가 증가할수록 충돌회피를 위한 거리가 많이 필요함을 알 수 있음. 또한 인지반응시간이 느리고 감속능력이 떨어질수록 충돌회피를 위한 거리가 많이 필요함을 알 수 있음

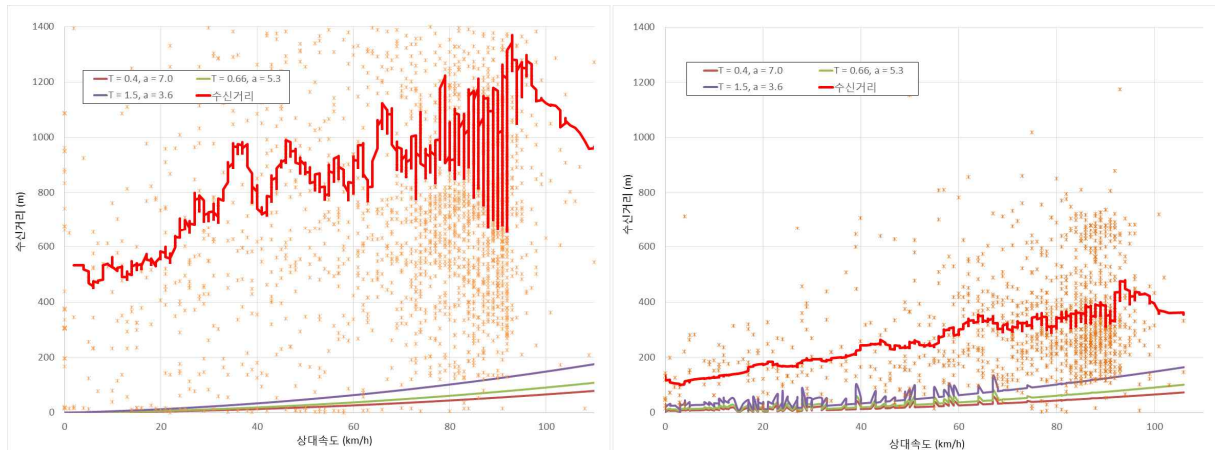


<그림 74> 상대속도에 따른 충돌거리 그래프

- o 위와 같은 방법으로 도출된 각 파라미터를 이용하여 시범도로에서 발생한 각 이벤트 별로 이벤트가 최초 통지된 거리가 계산된 충돌거리보다 큰 값을 가지는지를 분석. 측정된 최초 통지거리가 충돌거리보다 작을 경우에는 사고가 발생할 확률이 있다고 간주됨
 - 단, 이벤트발생위치와 후행차량이 이미 충돌거리보다 가까운 거리에 있는 상황에서 이벤트가 새롭게 발생하는 경우에는 성능 분석에 포함시키지 않음. (최초 통지거리가 충돌거리보다 가까운 경우, 처음으로 수신된 이벤트 메시지가 해당 이벤트에 관련된 최초 메시지이면(순서번호가 0) 분석에서 제외함)
- o 시범도로 운영기간 동안 로그서버에 수집된 이벤트 중 분석 대상이 되는 이벤트 건수는 다음과 같음
 - I2V 낙하물경고 서비스: 2,668건
 - V2V 서비스: 1,270건
 - 연쇄사고예방서비스: 97건
 - 고장차량알림서비스: 365건
 - 도로작업알림서비스: 769건
 - 긴급차량접근알림서비스: 39건
 - 위 이벤트들 중 앞서 설명했던 이미 충돌거리 안에 있는 상황에서 이벤트가 발생한 경우인 I2V 41건, V2V 19건을 제외한 이벤트들에 대해 분석을 수행함.
- o 다음 그래프는 계산된 충돌거리와 이벤트의 최초통지 시점의 거리를 나타냄. 좌측 그래프는 I2V에 관련된 그래프이며, 우측 그래프는 V2V에 관련된 그래프임. 그래프 하단의 3 종류의 실선은 ISO 표준에서 제시한 레퍼런스와 동일하게 각각 ① {T=0.4, a=7.0}, ② {T=0.66, a=5.3}, ③ {T=1.5, a=3.6}일 경우의 충돌거리를 나타냄. ①이 나타내는 충돌거리는 운전자의 인지반응시간이 가장 빠르고 차량의 감속능력도 가장 좋은 경우에 대한 충돌거리이며, ②는 평균, ③은 가장 보수적인 시각의 충돌거리임. 그 외에 점으로 표시된 항목은 각 이벤트 별로 측정된 최초통지거리(=최초메시지 수신 시점의 거리)이며, 붉은색 실선은 각 최초통지거리의 평균값을 표시함으로써 변화 추이를 쉽게 파악할

수 있도록 함

- 그래프의 결과에 따르면, 거의 모든 이벤트에 대해 충돌거리보다 먼 거리에서 이벤트 사실을 통보 받았음을 알 수 있음



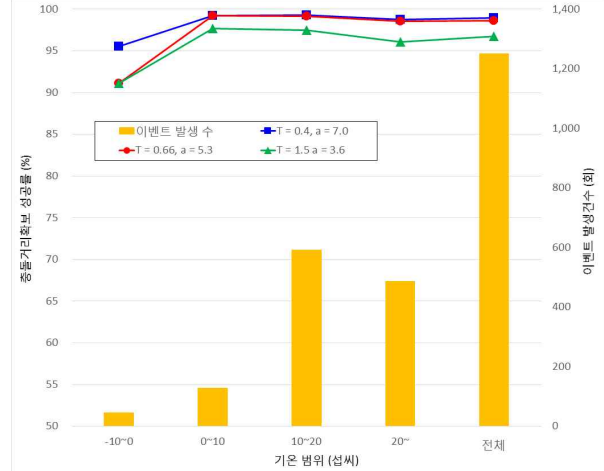
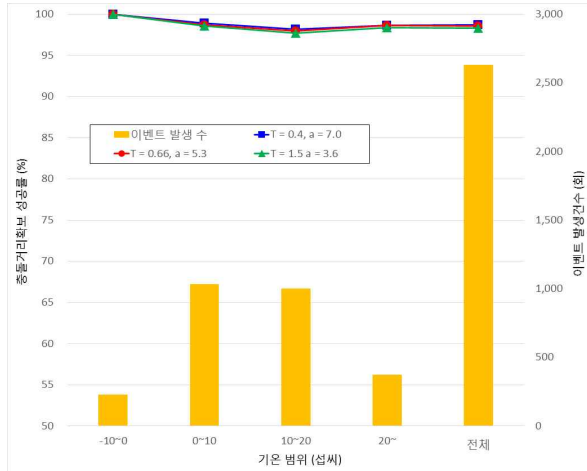
<그림 75> 충돌거리 및 이벤트 최초통지거리 그래프

- o 아래 표는 모든 이벤트들에 대해서, 각 조건별 충돌거리에 대한 충돌회피거리 확보 성공률(= 충돌회피 성공 확률)

[표 40] 조건별 충돌회피거리확보성공률

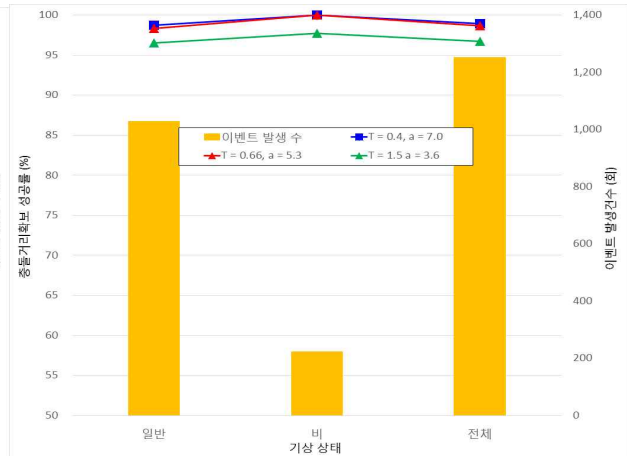
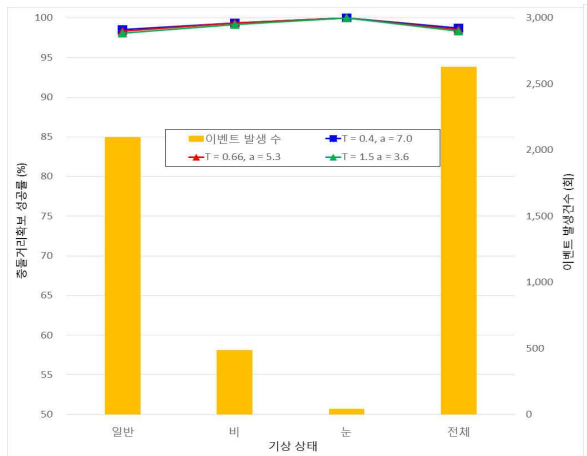
조건	T=0.4, a=7.0	T=0.66, a=5.3	T=1.5, a=3.6
I2V 충돌거리확보성공률	98.71%	98.55%	98.33%
V2V 충돌거리확보성공률	98.96%	98.56%	96.72%

- o 위 결과에 따르면, 도로 상 안전에 관련된 이벤트 발생 시에 이러한 사실을 V2X 통신 시스템을 이용하여 전파할 경우 약 98% 이상의 확률로 충돌회피거리의 확보가 가능함을 알 수 있음
- o 다음 그래프들은 외부환경(기온, 기후상태, 강수량, 교통량)에 따른 충돌회피거리 확보 성공률을 나타냄. 각 외부환경에 관련된 분석의 의미는 앞서 “외부 환경요인에 따른 통신 성능 분석” 절에서 기술한 내용과 동일함
 - 다음 그래프는 기온에 따른 충돌회피거리확보성공률을 나타냄. 좌측 그래프는 I2V 서비스에 관련된 결과이며, 우측 그래프는 V2V 서비스에 관련된 결과임. 그래프에서 볼 수 있듯이, 기온과 충돌회피거리확보성공률 간의 뚜렷한 상관관계는 나타나지 않음. V2V의 경우, -10~0도 구간에서의 성공률이 다른 구간보다 낮은 것으로 측정되었지만, 해당 구간은 다른 구간에 비해 분석 이벤트 건수가 매우 부족하여 그 값이 대표성을 가진다고 판단할 수는 없어 보임

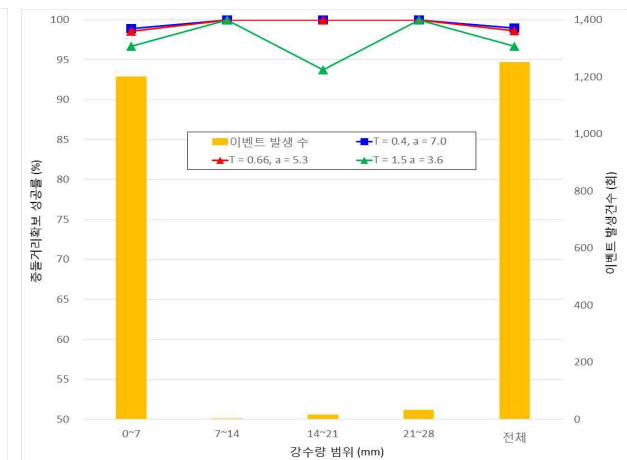
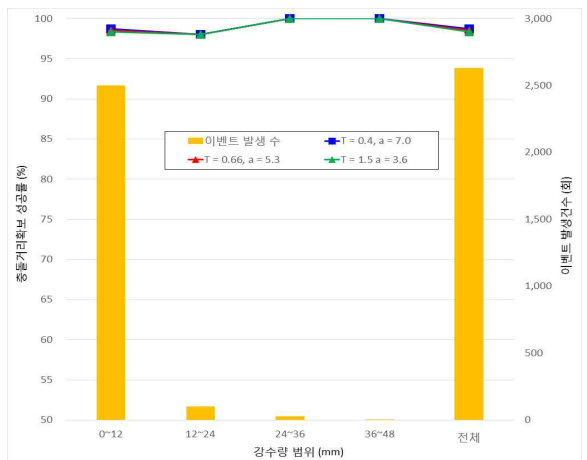


<그림 76> 기온에 따른 충돌회피거리확보성공률

- 다음 그래프는 기상상태 및 강수량에 따른 충돌회피거리확보성공률을 나타냄. 좌측 그래프는 I2V 서비스에 관련된 결과이며, 우측 그래프는 V2V 서비스에 관련된 결과. 그래프에서 볼 수 있듯이, 기상상태/강수량과 성능 사이의 뚜렷한 상관관계는 보이지 않음.

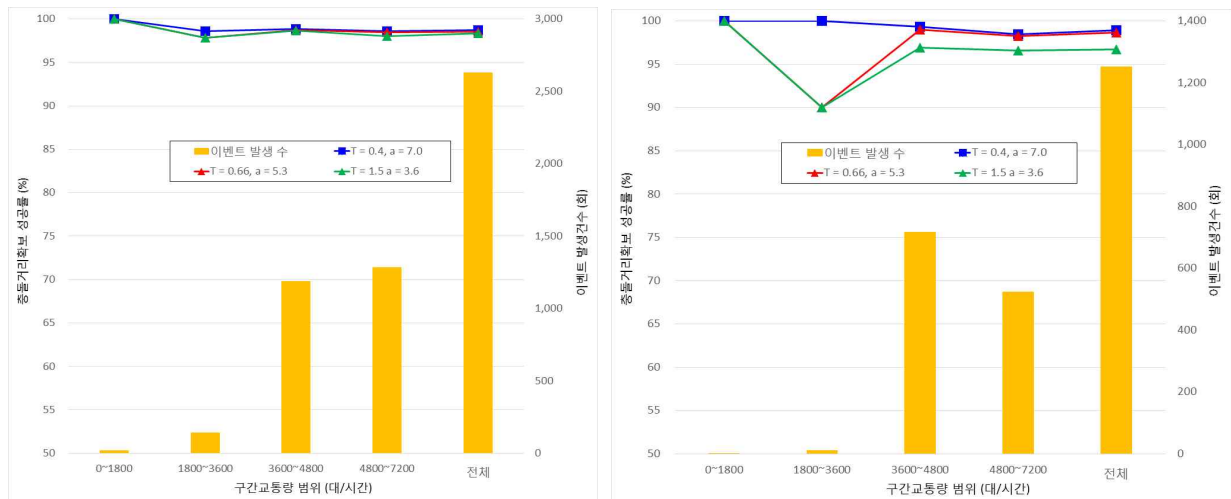


<그림 77> 기상상태 별 충돌회피거리확보성공률



<그림 78> 강수량에 따른 충돌회피거리확보성공률

- 다음은 구간교통량에 따른 충돌회피거리확보성공률에 대한 그래프임. 좌측 그래프는 I2V 서비스에 관련된 결과이며, 우측 그래프는 V2V 서비스에 관련된 결과임. 그래프에서 볼 수 있듯이, 구간교통량과 성능 사이의 뚜렷한 상관관계는 보이지 않음



<그림 79> 구간 교통량에 따른 충돌회피거리확보성공률

- o 전체적으로 충돌회피거리확보성공률이 특별히 낮게 관측된 구간은 모두 분석 대상이 되는 이벤트의 건수가 매우 적은 것을 알 수 있음. 이는 모수가 적은 상황에서 일부 성능이 낮게 측정된 몇몇 결과가 전체 결과에 큰 영향을 주기 때문으로 추측됨

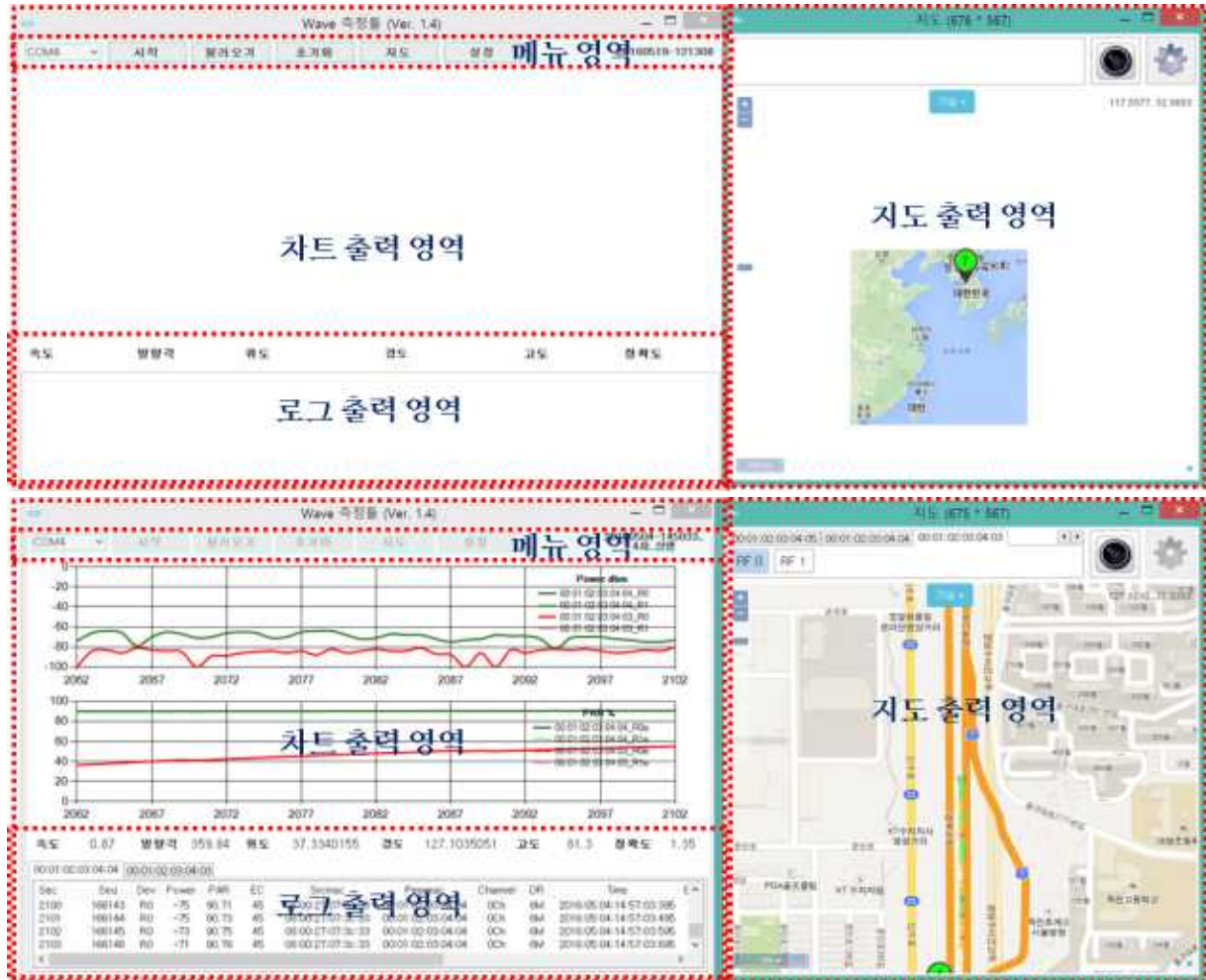
다. 복합기지국의 도로환경에 대한 통신성능 측정 및 분석

(1) 도로환경에 대한 통신영역 분석 툴 제작

- o 복합기지국의 오르막/내리막 및 장애물 구간 등 도로환경에 대한 통신영역의 분석을 하기 위한 통신성능 분석 툴을 제작하고 운영 매뉴얼을 제작하였음
- o 복합기지국의 통신성능을 통신성능 분석 툴을 통해 확인할 수 있으며, 통신성능 측정 후 저장된 로그를 통해 통신성능 분석이 가능함
- o 제작된 통신성능 분석 툴을 통해 시범도로 복합기지국의 통신성능을 측정하고 이를 분석

(가) 통신성능 분석 툴 구성도

- o 통신영역 분석 툴은 크게 4가지 영역으로 나누어짐.
 - 메뉴 영역 : 통신영역 분석을 시작하고, 저장된 로그 불러오기, 설정 등의 기능을 실행
 - 차트 출력 영역 : 수신한 패킷의 Power와 PAR를 꺾은선 그래프로 표시
 - 로그 출력 영역 : 수신한 패킷의 로그를 표시
 - 지도 출력 영역 : 단말기 위치를 수신한 패킷의 수신 파워 범위에 따라서 다른 색상으로 지도에 표시



<그림 80> 통신성능 분석 툴 실행 화면

(나). 통신성능 분석 툴 메뉴

o 통신영역 분석 툴에서 사용하는 메뉴는 8가지임

- 시리얼 포트 선택 : PC에 연결된 시리얼 포트 리스트가 보이며, PC와 연결된 포트가 없을 경우에는 리스트가 보이지 않음. 통신 분석을 실행할 시리얼 포트를 선택하여 통신 분석을 시작
- 시작 : 통신성능 분석을 시작함. 시작을 누르면 해당 버튼은 종료로 바뀌며 다른 버튼은 비 활성화됨. 종료 시 진행한 분석은 로그로 저장
- 불러오기 : 저장되어 있는 통신성능 분석 로그를 불러와 실행
- 초기화 : 현재 화면을 초기화
- 지도 : 지도 영역이 종료되어있는 경우 지도영역을 실행
- 설정 : 통신 분석 시 사용할 파라미터 값을 설정
- 지도 화면 저장 : 지도 영역에 표시된 화면을 이미지로 저장함. 이미지는 log 폴더에 PNG 형식으로 저장
- 지도 설정 : 오프라인과 온라인 지도를 설정하며, 단말 위치를 표시할 이미지의 수신 파워 범위를 설정



<그림 81> 통신영역 툴 메뉴영역

(다) 통신성능 분석 툴 통신파라미터 설정



<그림 82> 통신성능 분석 툴 통신파라미터 설정 화면

o 통신영역 분석을 진행할 통신파라미터를 설정

- 수신모드 및 송신모드 설정 : 통신성능 분석을 패킷 수신모드로 실행할 지, 패킷 송신모드로 실행할 지에 대해 설정하고, 통신성능 분석 툴의 2개의 RF에 대한 송/수신 명령어를 설정
- 명령어 텍스트모드/입력 모드 설정 : 통신성능 분석을 진행 할 명령어를 설정함. 명령어는 직접 텍스트로 입력하는 모드와 툴 설정화면에서 입력 값을 입력하는 모드 2가지로 나뉘어지며, 명령어 설정에 따라 수신 명령어와 송신 명령어 영역에 활성화 되는 부분이 달라짐.
- 수신 명령어 설정 : 통신성능 분석 시 수신할 명령어에 대해 설정, 각 RF들의 수신 여부와 채널을 설정
- 송신 명령어 설정 : 통신성능 분석 시 송신할 명령어에 대해 설정, 각 RF들의 송신 여부와 송신 채널, 송신 파워, 송신 데이터 전송속도, 송신할 패킷 길이들을 설정
- 이외에 분석 진행 시 차트 표시 여부와 Interval, Alive Sec등을 설정

(라). 통신성능 분석 툴 로그 영역



<그림 83> 통신성능 분석 툴 로그 표시 화면

o 분석 툴의 하단에는 수신한 패킷을 보여주며, 표시되는 로그는 다음과 같음.

- Sec : 일련번호로 통신영역 분석 툴에서 패킷 수신시 부여되는 번호
- Seq : 기지국에서 송신한 일련번호
- Dev : 단말기에서 패킷을 수신한 장치번호
- Power : 수신한 파워의 세기
- PAR : 성공률 (Per Access Rate, PER(Per Error Rate) = 100 - PAR)
- EC : 에러카운트, Error Count
- Srcmac : 수신한 MAC 주소
- Peermac : 송신한 MAC 주소
- Channel : 수신 채널
- DR : 데이터 전송 속도 (Data Rate)
- Time : 수신 시간
- Bytes : 수신 데이터 길이
- Latitude : 수신한 위치 - 위도
- Longitude : 수신한 위치 - 경도
- Elevation : 수신한 위치 - 고도
- Speed : 수신 시 차량 속도
- Heading : 수신 시 차량 방향
- HDOP : Horizontal Dilution of Precision
- sync : 에러 싱크

(마). 통신성능 분석 툴 차트 영역

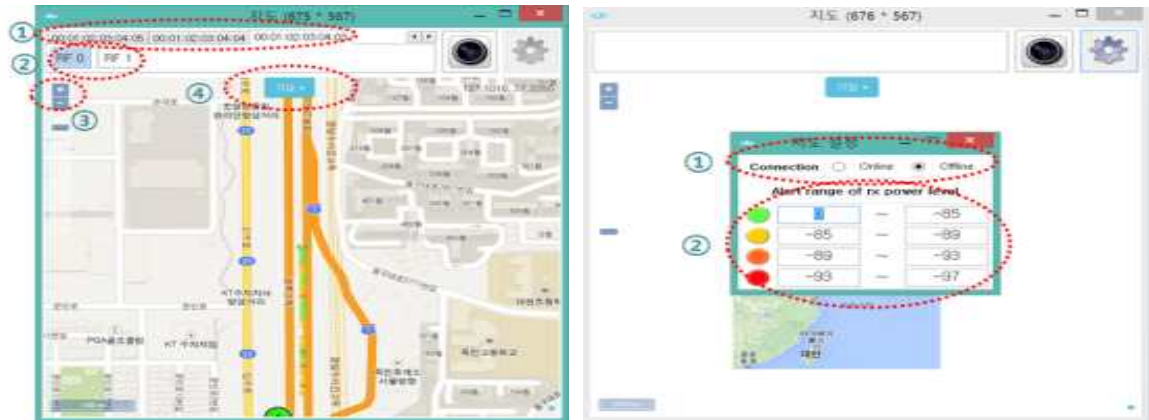


<그림 84> 통신성능 분석 툴 차트 영역

- o 분석 툴의 차트 영역은 통신성능 분석 진행 중인 상태를 표시
- o 현재 수신되는 패킷의 수신 파워와 PAR을 꺾은선 그래프로 표시
 - 수신한 기지국 별 Power와 PAR을 꺾은선 그래프로 표시
 - 수신한 패킷에서 송신 MAC 주소에 따라 로그 탭으로 표시
 - Power 차트의 X축은 로그의 Seq가 되며, Y축은 수신 파워가 되며 수신 파워의 범위는 0에서 -100임.
 - PAR 차트의 X축은 로그의 Seq가 되며, Y축은 PAR이 되며 범위는 0에서 100임.
 - 송신MAC 주소의 수신 순서에 따라 차트에 표시되는 선 색깔이 달라지며, 수신 디바이스에 따라 차트의 선 색깔이 달라짐.

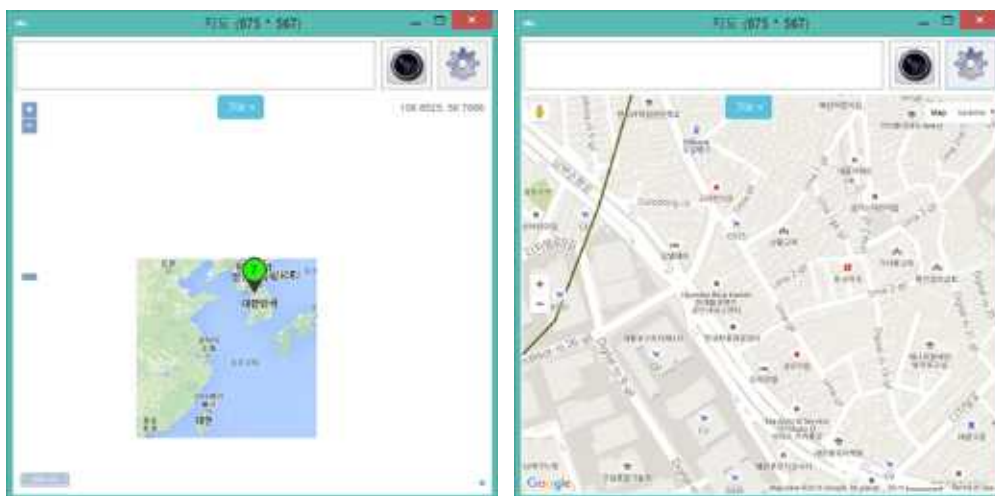
(바). 통신성능 분석 툴 지도영역

- o 통신영역 분석 툴의 지도영역에서는 수신 파워에 따라 단말기 위치에 다른 이미지가 표시
 - 수신한 MAC주소에 따른 단말기 위치를 표시
 - 수신한 RF에 따른 단말기 위치를 표시
 - 지도 확대/축소 : 지도 화면을 확대하거나 축소할 수 있으며 +/- 버튼 이외에도 마우스 휠을 이용하여 확대/축소를 할 수 있음.
 - 지도 기능 : 좌표 선택, 면적 및 거리 측정, 특정 범위 자르기 등의 기능이 있음. 온라인 지도 사용 시에는 거리 측정과 범위 자르기 기능만 사용 할 수 있음.



<그림 85> 통신영역 분석 툴 지도 영역 <그림 86> 통신영역 분석 툴 지도 설정

- o 지도 설정 영역에서는 오프라인 지도와 온라인 지도를 설정하며, 단말기 위치를 표시할 이미지의 수신 파워 범위를 설정
- o 지도 설정은 통신성능 분석과 불러오기 실행 중에는 설정을 변경 할 수 없음



<그림 87> 오프라인/온라인 지도

- o 통신성능 분석 툴에서는 지도를 오프라인/온라인 2가지 모드 중 하나를 선택하여 사용
- o 오프라인 지도를 사용하고자 할 때에는 미리 PC에 원하는 부분의 지도영역이 저장되어 있어야 정상적으로 지도가 표시
- o 온라인 지도는 인터넷과 연결되어 있어야 정상적으로 지도가 표시되며, 본 통신성능 분석 툴에서는 구글 지도를 사용함
- o 통신성능 분석 툴을 영리적 목적으로 사용 할 시에는 구글 지도를 구입하여야 함. 본 과정은 R&D용으로 구글 지도를 사용함



<그림 88> 통신성능 분석 툴 시범도로 구간 복합기지국 위치

- o 분석 툴에서는 시범도로 구간의 복합기지국 위치를 지도에 표시
- o 불러오기 기능 시 각 복합기지국 위치의 이미지를 클릭 시 복합기지국 별 PAR를 확인



<그림 89> 통신성능 분석 툴 복합기지국 별 PAR 차트

- o 복합기지국의 반경 500m의 평균 PAR과 수신한 패킷의 Power, PAR을 꺾은선 그래프로 표시
- (사) 통신성능 분석 툴 불러오기 기능



<그림 90> 통신영역 분석 툴 불러오기

- o 저장된 통신 분석 로그를 불러와 실행
- o 불러온 로그는 분석 실행 화면과 동일하게 진행
- o 로드 플레이어의 기능
 - 파일 이름 : 불러온 파일의 이름을 표시
 - 재생 : 불러 오기한 로그를 재생
 - 일시정지 : 로그 재생을 일시 정지
 - 정지 : 로그를 정지
 - 되감기 : 로그 재생 속도를 줄이며, 최소 재생 속도는 1배속임.
 - 빨리 감기 : 로그 재생 속도를 높이며, 최대 재생 속도는 8배속임.
 - 재생속도 : 현재 로그 재생 속도를 표시
 - 재생시간 : 현재까지 재생된 로그 시간을 표시

(아) 통신성능 분석 툴 로그 저장

- o 분석 툴의 통신성능 분석 시 진행한 분석을 로그 파일로 저장
- o 분석 시 마다 새로운 디렉터리 파일을 생성하며, 해당 디렉터리 파일에 로그를 저장
 - 디렉터리 파일은 yyyyymmdd-hhmmss 형식으로 생성
 - 디렉터리에 저장되는 로그는 통신성능 로그와 RAW데이터로 구분
 - 각 로그는 송신한 MAC주소에 따라 별도의 로그가 저장
 - 저장되는 형식은 다음과 같음.

[표 41] 각 로그 저장 형식

로그 파일	저장 형식
통신성능 로그	yyyyymmdd-hhmmss.csv
raw 데이터 로그	raw_yyyymmdd-hhmmss.csv
MAC주소별 통신성능 로그	yyyyymmdd-hhmmss_MAC주소.csv
MAC주소별 raw 데이터 로그	raw_yyyymmdd-hhmmss_MAC주소.csv

(2) 통신영역 분석 툴을 이용한 복합기지국 통신성능 측정

- o 서울TG~수원영업소 간 시범도로 도로환경에 대한 복합기지국의 통신성능을 측정하기 위한 통신영역 분석 툴을 제작하였고 시범도로 성능시험을 통해 복합기지국의 통신성능 분석 및 본 과제를 통해 제작된 통신성능 분석 툴의 검증을 진행함
- o 복합기지국에 대한 본 연구과제의 정량적 목표는 성능시험 8회 이상으로 담당기관은 이씨스를 중심으로 수행하였음

(가) 통신영역 성능 시험 관련 통신 파라미터 설정

- o 복합기지국의 통신성능 측정 시 통신 파라미터는 패킷 길이 1000Bytes, 송신 데이터 전송속도(data rate)는 6Mbps, 송신파워 20dBm으로 설정함

- 채널은 싱글 채널로 각 기지국 및 차량은 178번 채널(CCH : 제어채널)로 접속하며, 해당 채널을 통해 메시지를 송수신함

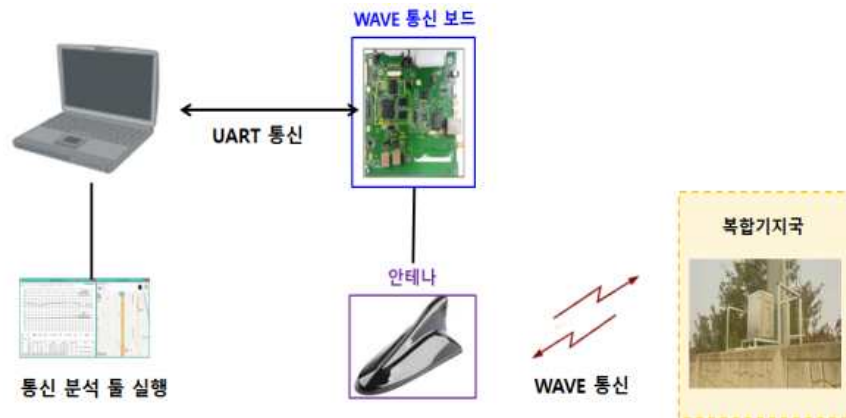
[표 42] 통신영역 성능 시험 시 통신 파라미터

통신 파라미터	검증
패킷 길이	1000Bytes
송신 데이터레이트	6Mbps
송신 파워(포트출력)	20dBm
송신 채널	178
송신 주기	100ms

(나) 통신영역 성능 시험 측정 구성

○ 통신영역 성능 측정 구성

- 차량에 단말기 안테나를 설치하고 WAVE 단말기와 연결
- WAVE단말기는 PC는 UART 통신으로 연결하고, PC에서 통신영역 성능분석 툴 실행



<그림 91> 통신성능 측정 구조도

(다) 통신영역 성능 시험 시나리오

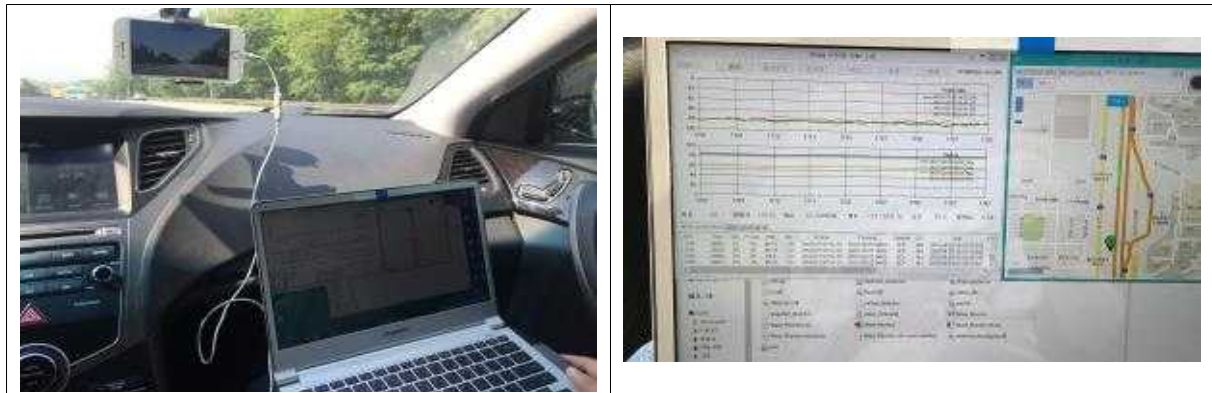
○ 통신영역 성능 시험 시나리오

- 1~7번 기지국은 100ms 주기로 WSM 메시지를 송신
- 통신성능 시험 측정 시 단말기 안테나는 차량 루프 중간에 설치
- 차량은 시범도로 구간을 왕복하며, 차량은 패킷을 송신하지 않음.
- 차량은 기지국으로부터 패킷 수신시마다 통신성능 분석 툴로 결과를 저장
- 통신성능 분석 툴의 결과를 분석하여 성능 도출



<그림 92> 도로환경 통신영역 성능 시험 시나리오

- 통신성능 측정 결과는 로그 분석 결과와 비교하여 분석



<그림 93> 통신영역 성능 시험 측정 화면

(라) 통신성능 시험 결과

- 통신성능 시험 6회와 타 기관과 공동 추가 2회를 시행하여 총 8회의 시험을 수행.
- 실제 로그데이터와 통신성능 분석 툴의 오차율은 1% 이내
- 공용도로 상에서는 주행 상황에 따라 통신성능에 편차를 보임

[표 43] 통신영역 성능 시험 결과 (기준 PAR(%), $PAR(\%)=100-PER(\%)$)

횟수	날짜	방향	기지국 번호						
			RSE 1	RSE 2	RSE 3	RSE 4	RSE 5	RSE 6	RSE 7
1	16.04.15	하행 평균	96.64	94.96	98.10	99.19	98.38	94.90	97.01
		상행 평균	92.46	95.75	98.42	98.17	96.77	97.02	97.85
	기지국 평균		94.55	95.36	98.26	98.68	97.57	95.96	97.43
2	16.04.25	하행 평균	98.48	98.69	99.53	99.79	98.60	97.43	97.73
		상행 평균	92.41	95.94	98.64	98.45	92.30	98.15	96.85
	기지국 평균		95.45	97.32	99.08	99.12	95.45	97.79	97.29
3	16.04.26	하행 평균	91.03	98.00	99.47	99.50	96.85	98.86	96.52
		상행 평균	95.69	99.27	98.78	98.60	99.33	98.88	99.77
	기지국 평균		93.36	98.63	99.13	99.05	98.09	98.87	98.14
4	16.04.29	하행 평균	95.66	94.22	97.92	96.05	97.81	97.05	98.21
		상행 평균	95.27	96.47	99.11	98.71	97.98	98.15	98.01
	기지국 평균		95.46	95.35	98.52	97.38	97.90	97.60	98.11
5	16.05.02	하행 평균	94.52	96.11	96.40	98.81	97.33	94.04	97.52
		상행 평균	91.80	92.34	97.88	97.54	97.92	98.10	93.09
	기지국 평균		93.16	94.22	97.14	98.18	97.62	96.07	95.30
6	16.05.04	하행 평균	94.06	96.81	96.97	98.10	95.75	95.39	98.40
		상행 평균	91.91	92.33	96.11	97.38	93.38	96.77	98.49
	기지국 평균		92.98	94.57	96.54	97.74	94.57	96.08	98.45
전체 평균			93.26	95.35	98.16	98.14	96.28	97.84	97.34

[표 44] 로그 분석 결과 (기준 PAR(%), PAR(%)=100-PER(%))

횟수	날짜	방향	기지국 번호						
			RSE 1	RSE 2	RSE 3	RSE 4	RSE 5	RSE 6	RSE 7
1	16.04.15	하행 평균	95.27	95.15	98.34	99.18	98.25	95.06	96.18
		상행 평균	91.71	95.48	98.26	97.93	96.70	98.00	97.79
	기지국 평균		93.49	95.32	98.30	98.56	97.48	96.53	96.98
2	16.04.25	하행 평균	98.19	98.38	99.55	99.61	98.66	97.39	97.61
		상행 평균	94.06	96.08	98.63	98.44	93.09	98.86	96.56
	기지국 평균		96.13	97.23	99.09	99.02	95.87	98.13	97.08
3	16.04.26	하행 평균	91.71	98.18	99.47	99.50	96.86	99.46	96.54
		상행 평균	94.49	99.45	99.64	98.60	99.56	99.77	99.32
	기지국 평균		93.10	98.82	99.56	99.05	98.21	99.62	97.93
4	16.04.29	하행 평균	95.01	94.71	98.14	96.18	97.93	97.82	98.18
		상행 평균	94.94	96.71	99.29	98.69	98.04	97.92	97.27
	기지국 평균		94.98	95.71	98.72	97.44	97.98	97.87	97.73
5	16.05.02	하행 평균	94.05	95.12	96.59	98.78	97.73	94.12	98.16
		상행 평균	93.83	94.26	97.14	97.56	97.55	95.34	92.14
	기지국 평균		93.94	94.69	96.87	98.17	97.64	94.73	95.15
6	16.05.04	하행 평균	94.07	96.93	97.95	98.09	96.61	96.70	98.70
		상행 평균	92.20	93.27	95.71	97.38	93.87	97.00	98.44
	기지국 평균		93.14	95.10	96.83	97.74	95.24	96.85	98.57
전체 평균			89.01	90.97	93.01	93.12	92.06	92.24	92.15

[표 45] 로그 분석 결과와 통신영역 성능 시험결과 오차율 (기준 PAR(%))

구 분	기지국 번호						
	RSE 1	RSE 2	RSE 3	RSE 4	RSE 5	RSE 6	RSE 7
로그 분석 결과	94.13	96.14	98.23	98.33	97.07	97.29	97.24
통신성능 분석 틀	94.16	95.91	98.11	98.36	96.87	97.06	97.45
오차율	0.03	0.23	0.12	0.03	0.2	0.23	0.21

(3) 도로환경에 따른 안테나, RF 감도 조절을 통한 최적화 통신영역 튜닝

- o 시범도로 구간의 선형/구배/구조물 등 다양한 도로환경에 따른 무선통신 성능을 분석하였으며, 일부 성능저하 지점에서는 안테나 방사영역 재설정, RF 감도 조정으로 최적화를 진행하였음



1번 기지국



2번 기지국



3번 기지국



4번 기지국



5번 기지국



6번 기지국

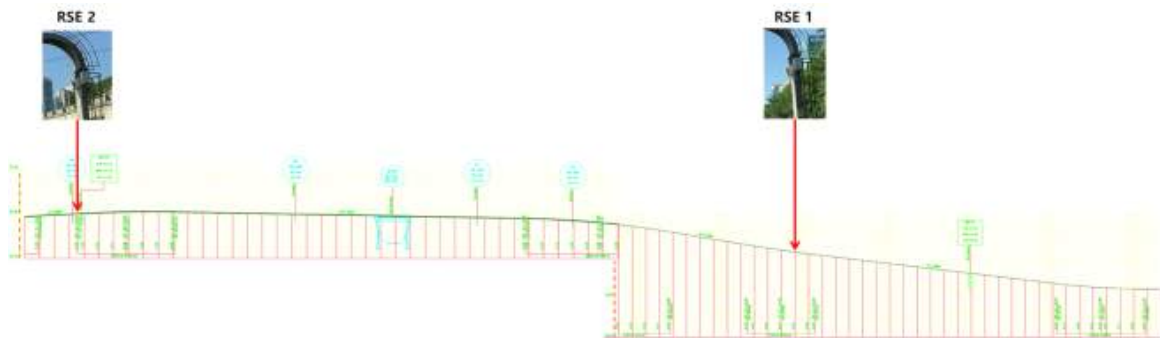


7번 기지국

<그림 94> 복합기지국 설치 환경

(가) 복합기지국 1~2번 도로환경 분석

- 복합기지국은 경부고속도로 상행방면 부산기점 402.1km에 1번 기지국이 설치되어 있으며 401.1km에 2번 기지국이 설치되어 있음
- 서울요금소 방향으로 2번 기지국은 오르막길에 설치되어 있으며, 1번 기지국은 내리막길에 설치되어 있음. 복합기지국 1번과 2번의 설치 지점 지형이 2번 지점이 오르막길이며 2번 지점 통과 후 서울요금소 부근까지 내리막길로 형성되어 있음

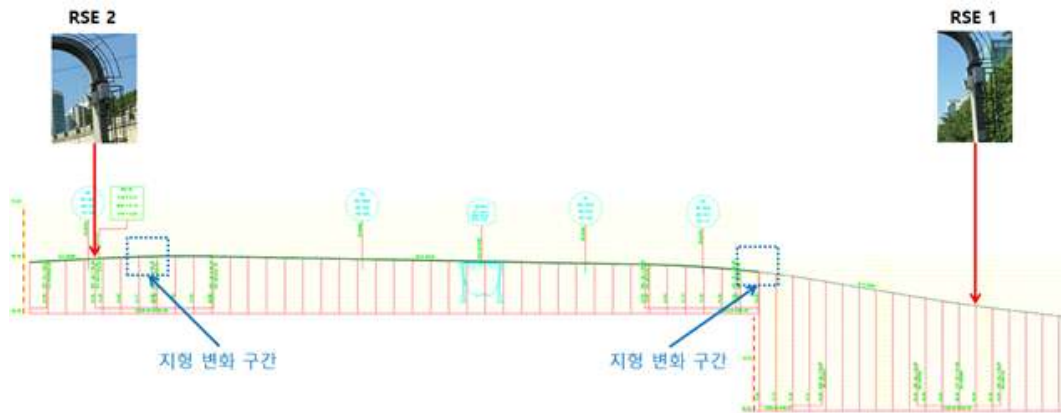


<그림 95> 복합기지국 1~2번 설치 지점 지형도



<그림 96> 복합기지국 1~2번 실제 도로 환경

- 복합기지국 1번과 2번 사이에 지형이 변화하는 구간이 있으며 평지 기준 두 지형이 변하는 구간의 아래쪽에 복합기지국이 설치되어 있음. 이에 지형 변화구간 사이에서는 안테나에서 방사되는 패턴에 의해 통신성능이 PER이 우수한 다른 복합기지국과 비교하여 대략 4%정도 저하됨. 하지만 통신성능 측정 결과 요구되는 통신성능인 PER 10% 이내를 만족함

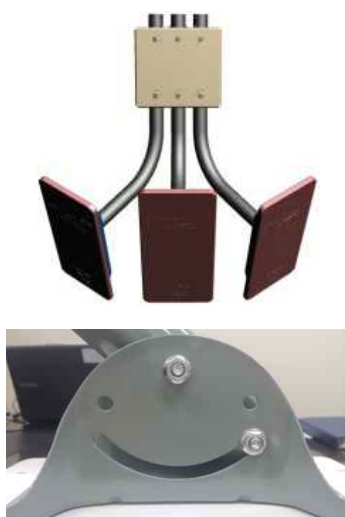


<그림 97> 복합기지국 1~2번 사이 지형 변화 구간

(4) 시범사업 및 상용화 대비 도로환경에 대한 복합기지국 설치 시방서 기준 데이터 수립

(가) 안테나 설치 환경

- 복합기지국은 요구되는 통신성능을 만족하기 위해 안테나 좌/우는 15도, 안테나 중앙은 30도의 각도로 설치되어 있음. 실제로 시범도로에 설치된 안테나 환경은 아래 그림과 같음.
- 안테나 설치 환경으로 통신성능 분석 툴을 통한 복합기지국 성능시험 결과 요구되는 PER을 만족함을 확인할 수 있었으며 복합기지국 안테나를 좌/우 안테나는 15도, 중앙 안테나는 30도의 각도로 설치하였을 때 최적의 통신 성능이 나오게 됨. 다만, 복합기지국의 안테나 설치 각도는 기본 설치된 각도이외에 설치 지점의 도로환경에 따라서 현장에서 안테나 각도를 조절할 수 있도록 제작되어 있음.
- 따라서 상기 테스트베드 복합기지국 안테나 설치 기본 사양을 통해 향후 시범사업 및 상용화 시 복합기지국 설치 시방서의 안테나 설치 사양 기준 데이터로 활용 가능함.



기지국 안테나 각도 조절부



<그림 98> 복합기지국 안테나 설치 환경

(나) 복합기지국 패치 안테나 Gain

- o 복합기지국 패치안테나의 좌/우 안테나 Gain은 12dBi이고, 중앙 안테나 Gain은 8dBi
- o 상기 조건의 안테나 사양으로 통신성능 분석 틀을 통한 복합기지국 성능시험 결과 요구되는 PER을 만족함을 확인할 수 있었으며, 향후 시범사업 및 상용화 시 복합기지국 설치 시방서의 안테나 기본 사양 데이터로 활용 가능함

라. 환경변화에 따른 복합기지국 모니터링

(1) 원격 모니터링 프로그램을 통한 강설, 폭한, 폭서 대비 복합기지국 온도변화 프로파일 분석

- o 복합기지국은 연중 정상적으로 동작하여야하며 연구목표를 가동률 95% 이상로 설정하였음

(가) 월 별 온도 분석 및 가동률 분석

- o 노변의 다양한 기후 환경에 대한 복합기지국의 신뢰성을 확인하기 위해 테스트베드 운영 기간 동안 월별 최고 기온과 최저 기온을 분석하였고, 이에 해당하는 날의 복합기지국과 WAVE 통신 모듈의 최고 기온 및 최저 기온 그리고 가동률을 분석
 - 복합기지국은 가동률 100%로 정상적으로 동작하여 성과목표인 가동률 95%이상을 만족
 - 폭서기, 폭한기, 강설 등의 날씨에도 복합기지국의 가동률은 95%이상을 만족

[표 46] 운영 기간 월 별 최고 기온 및 최저 기온, 가동률

일자		날씨				복합기지국		WAVE 통신모듈		해당 일 가동률	
		날짜	최고기온	날짜	최저 기온	최고기온	최저기온	최고기온	최저기온	최고	최저
2015년	01월	5	9.3℃	8	-10.2℃	24.0℃	2.9℃	17.7℃	0.0℃	100%	100%
	02월	15	12.9℃	9	-11.7℃	29.0℃	0.1℃	22.5℃	0.0℃	100%	100%
	03월	20	21.8℃	10	-6.0℃	37.2℃	5.6℃	31.5℃	1.0℃	100%	100%
	04월	30	27.4℃	10	3.0℃	40.2℃	13.6℃	36.6℃	10.8℃	100%	100%
	05월	28	31.8℃	5	7.3℃	45.8℃	17.4℃	38.3℃	19.5℃	100%	100%
	06월	10	33.6℃	1	13.9℃	48.9℃	22.7℃	43.9℃	20.7℃	100%	100%
	07월	11	35.0℃	4	16.8℃	49.9℃	24.3℃	44.5℃	23.5℃	100%	100%
	08월	7	35.3℃	28	18.2℃	-	28.2℃	-	27.9℃	100% ⁵⁾	100%
	09월	1	30.8℃	27	12.8℃	45.7℃	21.9℃	40.0℃	19.8℃	100%	100%
	10월	17	26.7℃	31	-0.1℃	42.0℃	10.1℃	36.2℃	7.9℃	100%	100%
	11월	6	20.7℃	27	-4.8℃	33.3℃	5.7℃	29.9℃	2.0℃	100%	100%
	12월	11	13.4℃	29	-9.3℃	28.1℃	2.4℃	23.3℃	0.0℃	100%	100%
2016년	01월	3	10.7℃	24	-16.2℃	25.2℃	0.0℃	19.7℃	0.0℃	100%	100%
	02월	13	16.6℃	2	-10.5℃	31.0℃	1.4℃	24.7℃	0.0℃	100%	100%
	03월	31	22.2℃	1	-7.0℃	37.0℃	4.7℃	32.0℃	1.0℃	100%	100%
	04월	26	29.7℃	5	4.1℃	44.8℃	16.0℃	39.0℃	2.2℃	100%	100%
	05월	19	31.8℃	5	8.1℃	46.6℃	20.4℃	41.5℃	16.8℃	100%	100%
	06월	23	31.4℃	5	15.3℃	45.7℃	24.3℃	40.2℃	23.9℃	100%	100%

5) 2015. 08. 07에는 복합기지국은 정상 작동하였으나, 원격 모니터링 프로그램의 온도 수신 이상으로 온도가 측정되지 않았다. 이후 프로그램을 개선하여 정상 작동 중이다.

(나) 기지국 별 온도 분석

- 다양한 기후 환경에 대한 복합기지국의 신뢰성을 확인하기 위한 테스트베드 운영기간 동안의 각 기지국 별 복합기지국과 WAVE 통신모듈을 최고 온도 및 최저 온도를 분석
 - 복합기지국의 최고 온도 평균은 48.6℃이고 WAVE 통신 모듈의 최고 온도 평균은 43.7℃
 - 복합기지국의 최고 온도는 49.9℃로 측정되었고, 최저 기온은 0℃를 유지
 - WAVE통신모듈의 최고 온도는 44.5℃이며, 최저 기온은 0℃로 측정

[표 47] 기지국 별 최고온도 및 최저 온도

기지국별 최고/최저 온도						
기지국 번호	날씨(℃)		복합 기지국(℃)		WAVE 통신모듈(℃)	
	최고 온도	최저 온도	최고 온도	최저 온도	최고 온도	최저 온도
RSE1	35.3℃	-16.2℃	48.6℃	0.0℃	43.6℃	0.0℃
RSE2			48.7℃	0.0℃	44.2℃	0.0℃
RSE3			49.9℃	0.0℃	43.7℃	0.0℃
RSE4			48.0℃	0.0℃	43.4℃	0.0℃
RSE5			48.0℃	0.0℃	43.4℃	0.0℃
RSE6			48.5℃	0.0℃	43.2℃	0.0℃
RSE7			47.9℃	0.0℃	43.2℃	0.0℃

(2) 시범사업 및 상용화 대비 환경변화에 따른 복합기지국 제작 기준 데이터 수립

- 복합기지국은 외부의 환경변화에도 가동률 95%이상을 만족하여야 함
- 총 9개의 복합기지국 중 1~7번 복합기지국은 WAVE 서비스가 상시 운영되고 있으며, 8~9번 복합기지국은 서울요금소 및 수원영업소에 설치되어 시연 시나리오에 따라 비상시적으로 운영되는 복합기지국임. 이에 상시 운영되는 1~7번 복합기지국의 가동시간을 측정
 - 시범기간동안 운영된 복합기지국의 가동시간은 총 13,027시간이며, 각 복합기지국의 가동률은 99%로 성과목표인 가동률 95%이상을 만족함
 - 복합기지국의 전체 가동률은 99.87%이며 13,027시간 중 13,011시간을 가동함.

[표 48] 복합기지국 운영기간동안의 가동시간 및 가동률

기지국 번호	일시	운영 기간	가동 시간	가동률
RSE1	2015.01.01. ~ 2016.06.28. (545일)	2015.01.02. ~ 2016.06.28. (544일)	13,012/13,027시간	99.88%
RSE2			13,009/13,027시간	99.86%
RSE3			13,012/13,027시간	99.88%
RSE4			13,012/13,027시간	99.88%
RSE5	2016.06.28. (545일)	2016.06.28. (544일)	13,012/13,027시간	99.88%
RSE6			13,009/13,027시간	99.86%
RSE7			13,009/13,027시간	99.86%
평균			13,011/13,027시간	99.87%

[표 49] 복합기지국 월간 가동시간 및 가동률 분석 결과

월	기간	기지국 번호							가동률
		RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
1월	'15.01.02~'15.01.31	708	708	708	708	708	708	708	100
2월	'15.02.01~'15.02.28	672	672	672	672	672	672	669	99.94
3월	'15.03.01~'15.03.29	698	698	698	698	698	698	698	100
4월	'15.03.30~'15.04.28	720	720	720	720	720	720	720	100
5월	'15.04.29~'15.05.25	672	672	672	672	672	672	672	100
6월	'15.05.26~'15.06.25	733	730	733	733	733	733	733	98.46
7월	'15.06.26~'15.07.25	716	716	716	716	716	716	716	99.44
8월	'15.07.26~'15.08.25	725	725	725	725	725	725	725	100
9월	'15.08.26~'15.09.25	696	696	696	696	696	696	696	100
10월	'15.09.26~'15.10.25	744	744	744	744	744	744	744	100
11월	'15.10.26~'15.11.25	744	744	744	744	744	744	744	100
12월	'15.11.26~'15.12.25	720	720	720	720	720	717	720	99.94
1월	'15.12.26~'16.01.25	744	744	744	744	744	744	744	100
2월	'16.01.26~'16.02.25	744	744	744	744	744	744	744	100
3월	'16.02.26~'16.03.25	696	696	696	696	696	696	696	100
4월	'16.03.26~'16.04.25	744	744	744	744	744	744	744	100
5월	'16.04.26~'16.05.25	744	744	744	744	744	744	744	100
6월	'16.05.26~'16.06.28	792	792	792	792	792	792	792	100
총 시간		13,012	13,009	13,012	13,012	13,012	13,009	13,009	99.87

- o 복합기지국 가동률 분석 결과 외부 환경변화에 대한 장애가 발생하지 않음을 확인할 수 있음. 복합기지국은 시범도로 구축 이전에 아래 표의 조건에 따라 기후 환경(방우/방진, 염수 분무, 온도) 및 내구 환경(진동, 충격)에 대한 신뢰성 시험을 진행하였으며 이에 시범사업 및 상용화에 대비하여 아래 표의 신뢰성 시험 조건에 따라 시험을 진행하고 시험 성적서를 취득할 경우 가동률에 문제가 없을 것으로 판단됨

[표 50] 복합기지국 신뢰성 시험조건

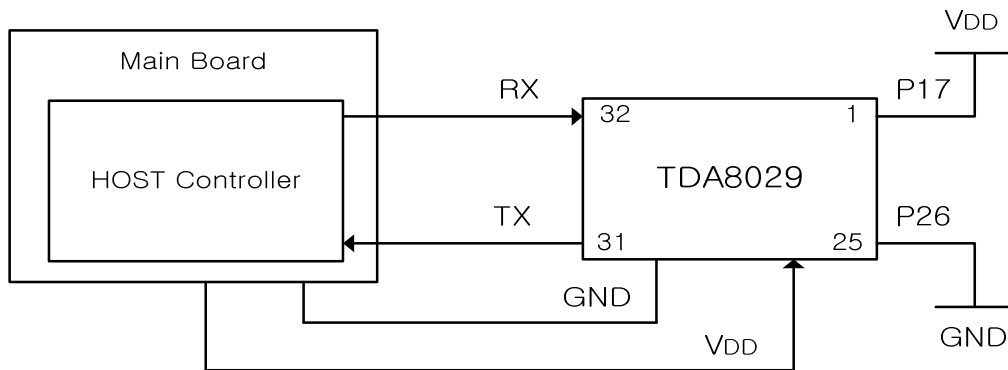
대분류	중분류	소분류	조건/기준	시험 규격
신뢰성	기후 환경	방우/방진	IP-66 등급	IEC 60529
		염수 분무	온도 35℃, 염농도 5% Ncal, pH 6.5~7.2	KS D 9502
		온도	-40℃ ~ 55℃	-
	내구 환경	진동	(5~200)Hz, 가속도 0.5G, 1oct/min	-
		충격	충격가속도 10G, 지속시간 6ms, 3축	-

마. 시연용 WAVE 톨링 단말기

(1) 단말기 H/W 규격

(가) 단말기 H/W 구성

- TDA8029는 저전력 싱글 스마트카드 리더로서 ISO7816 및 E.M.V 표준을 지원. TDA8029는 호스트 컨트롤러와 UART (혹은 RS232) 방식으로 인터페이스되며, 상호 데이터 교환을 위한 “ALPAR” 프로토콜을 별도로 제공함. 현재 보드 구성은 P17=VDD로 세팅하여 UART (혹은 RS232) 방식을 사용하며, P26=GND로 파워 세이빙 모드를 (ESM OFF) 적용하고 있지 않음.

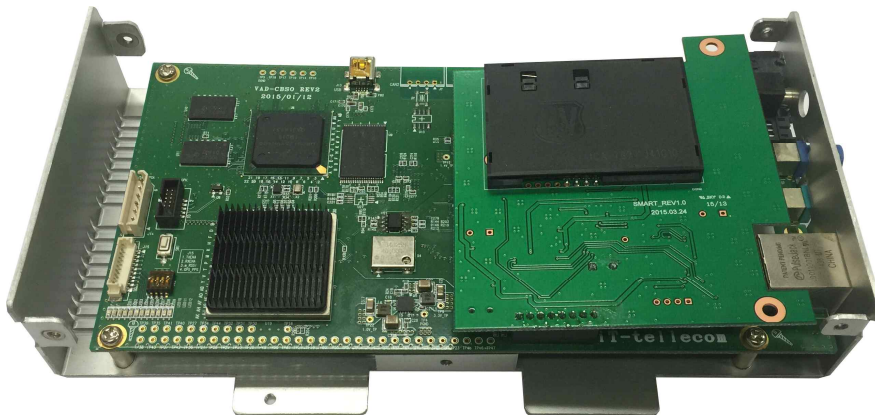


<그림 99> 스마트카드 리더기와 호스트 컨트롤러 간의 인터페이스 블록도

(나) 단말기 스마트카드칩 명세

- 저전력, 저단가의 싱글 카드리더 기능 제공
- 16kB ROM, 256byte RAM 그리고 512byte XRAM을 탑재한 80C51 코어 포함
- T=0 및 T=1 프로토콜 지원
- ISO7816 및 E.M.V 표준 호환
- DC-DC converter (입력전원 2.7~6V) 기능

(다) 단말기 외관



<그림 100> WAVE 톨링 단말기 내부



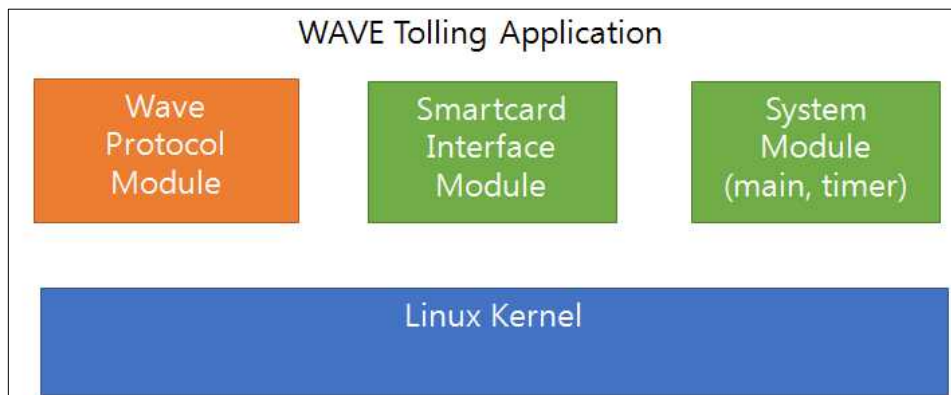
<그림 101> WAVE 톨링 단말기 외부

(2) 단말기 S/W 규격

(가) 단말기 S/W 구성

① S/W 모듈 구성도

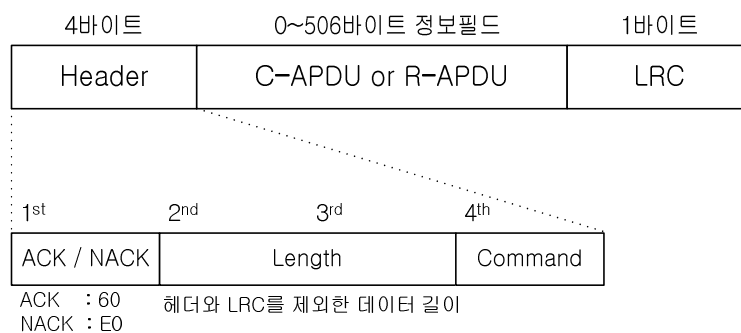
- o 톨링 단말 S/W는 Embedded Linux Kernel을 기반으로 WAVE protocol module, Smartcard interface module, System module(timer, wdt, rtc) 등의 모듈로 구성되며, 가장 상위에 WAVE tolling Application 이 올라감



<그림 101> WAVE 톨링용 단말장치 S/W 구조

② 스마트카드 인터페이스

- o TDA8029 “ALPAR” 프로토콜



<그림 102> ALPAR 프레임 구조

(3) WAVE 톨링 단말기 시작품 테스트 및 기지국 유지보수



<그림 103> WAVE 톨링 LAB 테스트

- o 위 그림은 톨링단말에 카드를 삽입했을 때, 시연단말을 통해 “카드삽입”이란 메시지가 LCD를 통해 정상적으로 표출되는 것을 보여주고 있음



<그림 104> WAVE 톨링 필드 테스트

- o 위 그림은 실제 필드테스트를 진행한 화면이며, 톨게이트를 통과할 때 “지불결과:정상”이라는 문구를 표출하고 있음
- o 아래는 단말기별 과금 통신성공률 이력을 정리한 것임
- o 서울TG 및 수원IC에 구축된 톨링용 단말기에 대해 수행한 관리내역
 - 매월 1회 서울, 수원영업소 4개 WAVE차로 정기 점검 실시
 - WAVE 통신보드 오류 내력 모니터링 (0건, 가동률 100%)
 - 서울, 수원 영업소 4개 WAVE 차로 WAVE 통신 로그 수집 및 분석
 - WAVE 톨링 통행 내역 조사

No	단말기번호	성공	실패	합계	성공률	비고
1	9901000008	9	0	9	100%	
2	9901000022	19	1	20	95.00%	
3	9901000020	8	0	8	100%	
4	9901000018	44	0	44	100%	
5	9901000025	74	0	74	100%	
6	9901000003	5	0	5	100%	
7	9901000021	1	0	1	100%	
8	9901000020	54	0	54	100%	
9	9901000032	10	0	10	100%	
10	9901000030	20	0	20	100%	
11	9901000009	12	0	12	100%	
12	9901000002	25	4	29	87.00%	
13	9901000023	10	0	10	100%	
14	9901000019	8	0	8	100%	
15	9901000017	4	0	4	100%	
16	9901000007	3	0	3	100%	
17	9901000012	11	0	11	100%	
18	9901000001	2	0	2	100%	
	합계	319	5	324	99.00%	

<그림 105> 단말기별 과금 통신 성공률

3. 돌발상황 자동검지 시스템

가. 도로정보검지 레이더

- o Smart-IDS는 검지거리 1km 내 본선(최대 5차로)의 정지차량, 역주행차량, 사고, 낙하물(30cm 급) 등 도로상의 돌발정보를 실시간으로 검지·추출하여 이벤트 정보를 생성 및 발생위치를 카메라로 자동추적 하는 등, 전천후 주야간 상시 운영이 가능



<그림 106> 돌발상황 자동검지 시스템 개요

- o 본 시스템은 교통사고 취약구간인 교통량 과다 구간, 안개, 악천후, 사고다발구간 등 사고가 발생하는 구간에 우선적으로 설치되어 정보를 수집·제공하여 사고발생 시 신속한 조치 및 운전자 정보제공으로 2차사고 예방지원 목적
- o 또한, 도로에 기 설치되어 있는 갠트리, 지주, 멀티폴 등 기존 구조물을 이용한 설치가 가능하며, 부수적인 차로 및 차량 차단 등을 최소한으로 하여 차량의 이동을 방해하지 않는 범위 내에서 설치가 용이
- o 본 과제를 통해 약 18개월 간 경부고속도로, 서해대교에 설치를 통해 시스템의 운영 안정성 및 성능 등을 검증하고, 지속적인 기술보완을 통해 상용화 수준의 시스템 성능을 검증하는 것이 목적

(1) 정량적 성과목표

- o 본 과제에서 제시하는 정량적 목표는 장비의 내구성 및 운영 안정성을 확인할 수 있도록, 가동률, 검지 정확도와 직결되는 오경보율, 2차사고 예방을 위한 신속한 검지시간 등을 설정

[표 51] 도로정보검지용 레이더의 정량적 성과목표 및 기준

구 분	정량적 성과목표	담당기관
도로정보검지용 레이더 (Smart-IDS)	- 가동률 : 95% 이상 - 오경보율 : 10% 미만 - 검지시간 : 10초 이내	메타빌드

- 가동률(%) = 정상가동 시간(H) / 전체 운영 시간(H) × 100
※ 1~5월까지의 일 단위 산출(6월 이후 시간 단위 산출 적용)
- 오경보율(%) = 오경보수 / (정상 경보수+오경보수) × 100
- 검지시간(sec) = 돌발발생시간 - 시스템검지시간

(2) 시스템 구축·운영 현황 및 운영결과 분석

(가) 시스템구성 및 설치현황

- o 돌발상황 자동검지 시스템은 현재 경부고속도로 4기, 서해안고속도로 1기로 총 5기가 구축되어 운영중인 단계
- o 정확한 오검지율, 검지시간을 확인하기 위해 본 연구진은 모니터링 영상을 돌발상황 이벤트 발생 전·후 총 30초를 자동으로 저장하도록 개발하여 운영
- o 경부고속도로 설치 시스템의 경우 궁내동 ‘한국도로공사 교통센터’에서 실시간 정보를 확인할 수 있도록 연계하여 운영중이며, 서해대교 시스템은 서해대교 안전센터에서 정보 확인 가능

[표 52] 도로정보검지용 레이더 시스템 구축 현황

구분	설치지점	현장설치사진	시스템 구성도
1	경부고속도로 (서울 402.1K)		수집 데이터 분석 및 돌발판단 SW <pre> graph TD A[레이더 수집 데이터 처리 모듈] --> B[수집 정보 분석 모듈] B --> C[돌발 상황 판단 모듈] C --> D[외부 시스템 연계 모듈] C --> E[운영 관제용 SW 연동 모듈] C --> F[추적 카메라 제어 모듈] C --> G[돌발 영상 저장 모듈] C --> H[돌발 정보 수집 모듈] F --> I[(File System)] G --> J[(Database)] H --> J </pre> 운영 관제용 SW <pre> graph LR K[검지 데이터 수신 모듈] --> L[레이더 검지 물체 표출 모듈] K --> M[돌발 정보 표출 모듈] K --> N[돌발 목록 관리 모듈] O[추적 카메라 영상 수신 모듈] --> P[추적 카메라 영상 표출 모듈] Q[레이더 목록 관리 모듈] R[시스템 환경 관리 모듈] S[사용자 인증 모듈] </pre>
2	경부고속도로 (서울 398.6K)		
3	경부고속도로 (서울 397.6K)		
4	경부고속도로 (부산 396.2K)		
5	서해안고속도로 (서해대교)		

(나) 가동률(95% 이상)

① 2015년 상반기 시스템 성능 분석(2015. 1 ~ 2015. 6)

- o 6개월간 지속적인 시스템 운영을 통한 기초 성능 분석 단계
- o 연구 목표인 가동률 95%에 미치지 못하는 결과 (평균 92.5%)
- o 국지서버 자가진단기능을 구현하여 지속적인 모니터링을 통해 시스템 성능 분석 수행

[표 53] 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 가동률

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
서울TG	90.6	93.2	100.0	94.5	98.1	95.1	95.3
죽전BS	90.6	93.2	100.0	94.5	98.1	97.0	95.6
죽전BS-1	90.6	93.2	100.0	94.5	98.1	98.8	95.9
신갈JC	90.6	93.2	99.4	32.0	98.1	87.4	83.5
전체	90.6	93.2	99.9	78.9	98.1	94.6	92.5

② 시스템 안정화 및 내구성 보완 (2015. 7 ~2015. 12)

- o 2015년 상반기 분석결과를 바탕으로 가동률 향상을 위한 시스템 안정화 단계
- o 국지서버 및 레이더 제어기 내부 모듈의 상태 확인 기능 구현, 기상 및 온도 등의 환경변화에 따른 장비운영 상태 모니터링 및 분석, 레이더 제어기 자원 사용률 확인 기능 구현

[표 54] 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 가동률(%)

구 분	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
서울TG	98.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7
죽전BS	96.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.5
죽전BS-1	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7
신갈JC	98.2	100.0	96.8	100.0	100.0	100.0	99.2
서해대교	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
전체	98.3	100.0	99.4	100.0	100.0	100.0	99.6

③ 시스템 운영 안정화 완성 단계 (2016. 1 ~2016. 6)

- o 2015년 상·하반기 운영·보완을 통한 시스템 안정화 완성단계
- o 시스템의 운영자 편의성 보완을 통한 운영자 활용성 확대
- o 지속적인 환경변화에 따른 장비운영 상태 모니터링 및 분석 수행

[표 55] 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 가동률(%)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
서울TG	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
죽전BS	100.0	100.0	100.0	91.8	68.8	100.0	93.4
죽전BS-1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
신갈JC	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	100.0	99.9
서해대교	67.7	100.0	100.0	53.3	100.0	100.0	94.6
전체	93.5	100.0	100.0	89.0	93.6	100.0	97.6

(다) 오경보율(10% 미만)

① 2015년 상반기 시스템 성능 분석(2015. 1 ~ 2015. 6)

- o 시스템 안정화 및 오경보율 감소를 위한 데이터 수집 및 분석 단계
- o 연구 목표인 오경보율 10% 미만보다 다소 높은 수치
- o 검지 데이터 분석을 통해 각 돌발상황의 오검지 유형을 파악
- o 돌발 판단 알고리즘 개선 및 파라미터 변경시험 수행

[표 56] 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 오경보율

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
서울TG	총검지	106 건	142 건	106 건	152 건	47 건	112 건	665 건
	정상검지	96 건	131 건	101 건	139 건	44 건	101 건	612 건
	오검지	10 건	11 건	5 건	13 건	3 건	11 건	53 건
	오경보율	9.4%	7.7%	4.7%	8.6%	6.4%	9.8%	8.0%
죽전BS	총검지	23 건	18 건	48 건	72 건	32 건	51 건	244 건
	정상검지	20 건	15 건	40 건	59 건	28 건	42 건	204 건
	오검지	3 건	3 건	8 건	13 건	4 건	9 건	40 건
	오경보율	13.0%	16.7%	16.7%	18.1%	12.5%	17.6%	16.4%
죽전BS-1	총검지	42 건	44 건	44 건	143 건	70 건	114 건	457 건
	정상검지	40 건	39 건	37 건	120 건	57 건	104 건	397 건
	오검지	2 건	5 건	7 건	23 건	13 건	10 건	60 건
	오경보율	4.8%	11.4%	15.9%	16.1%	18.6%	8.8%	13.1%
신갈JC	총검지	138 건	101 건	101 건	23 건	132 건	130 건	625 건
	정상검지	123 건	90 건	88 건	19 건	109 건	111 건	540 건
	오검지	15 건	11 건	13 건	4 건	23 건	19 건	85 건
	오경보율	10.9%	10.9%	12.9%	17.4%	17.4%	14.6%	13.6%
전체	총검지	309 건	305 건	299 건	390 건	281 건	407 건	1,991 건
	정상검지	279 건	275 건	266 건	337 건	238 건	358 건	1,753 건
	오검지	30 건	30 건	33 건	53 건	43 건	49 건	238 건
	오경보율	9.7%	9.8%	11.0%	13.6%	15.3%	12.0%	12.0%

▶ 오경보율 원인분석

- (2015. 8) 오경보 전수검사 수행 결과 구조물에 의한 가림현상으로 비상주차대 인근 발생
- 돌발상황을 검지하기 위해 Tracking 알고리즘을 보완하여 구조물에 의한 오경보율 감소

② 돌발 판단 알고리즘 개선(2015. 7 ~ 2015. 12)

- o 오경보율 감소를 위해 오검지 유형에 따라 돌발 판단 알고리즘을 수정 및 테스트
- o 2015. 10월 이후 오경보율이 10% 미만으로 감소
- o 오검지 유형

- 도로표지판, 겐트리, 지주대 등의 큰 반사체로부터 수신되는 신호에 의한 오검지
- 지정체 판단 직전 다수의 정지차량에 의한 오검지
- 대형 트럭, 버스 등이 근거리에서 주행할 경우 신호에 의한 오검지

o 오검지 유형 돌발 판단 알고리즘 개선

- CFAR 알고리즘의 Sub-window 사이즈를 조절
- Tracking 알고리즘 개선을 통해 구조물로부터 수신되는 신호 억제
- 지정체 판단 속도 및 차량 개수 조절을 통한 오검지 감소
- STC와 캘리브레이션을 통한 근거리 신호 레벨과 원거리 신호 레벨을 근사하게 하여 오검지 감소

[표 57] 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 오경보율

구 분		7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
서울TG	총검지	38 건	137 건	130 건	131 건	230 건	262 건	928 건
	정상검지	36 건	124 건	121 건	120 건	216 건	247 건	864 건
	오검지	2 건	13 건	9 건	11 건	14 건	15 건	64 건
	오경보율	5.3%	9.5%	6.9%	8.4%	6.1%	5.7%	6.9%
죽전BS	총검지	28 건	45 건	56 건	19 건	68 건	38 건	254 건
	정상검지	23 건	38 건	47 건	18 건	60 건	33 건	219 건
	오검지	5 건	7 건	9 건	1 건	8 건	5 건	35 건
	오경보율	17.9%	15.6%	16.1%	5.3%	11.8%	13.2%	13.8%
죽전BS-1	총검지	116 건	172 건	127 건	118 건	168 건	184 건	885 건
	정상검지	99 건	154 건	108 건	110 건	147 건	172 건	790 건
	오검지	17 건	18 건	19 건	8 건	21 건	12 건	95 건
	오경보율	14.7%	10.5%	15.0%	6.8%	12.5%	6.5%	10.7%
신갈JC	총검지	147 건	197 건	175 건	170 건	127 건	192 건	1,008 건
	정상검지	131 건	172 건	152 건	146 건	113 건	171 건	885 건
	오검지	16 건	25 건	23 건	24 건	14 건	21 건	123 건
	오경보율	10.9%	12.7%	13.1%	14.1%	11.0%	10.9%	12.2%
서해대교	총검지	317 건	685 건	686 건	403 건	236 건	134 건	2,461 건
	정상검지	287 건	638 건	628 건	374 건	226 건	128 건	2,281 건
	오검지	30 건	47 건	58 건	29 건	10 건	6 건	180 건
	오경보율	9.5%	6.9 %	8.5%	7.2%	4.2%	4.5%	7.3%
전체	총검지	646 건	1,236 건	1,174 건	841 건	829 건	810 건	5,536 건
	정상검지	576 건	1,126 건	1,056 건	768 건	762 건	751 건	5,039 건
	오검지	70 건	110 건	118 건	73 건	67 건	59 건	497 건
	오경보율	10.8%	8.9%	10.1%	8.7%	8.1%	7.3%	9.0%

③ 돌발 판단 파라미터 최적화 (2016. 1 ~ 2016. 6)

- o 각 돌발 검지 파라미터를 조절하여 테스트하는 과정
- o 각 알고리즘 별 파라미터 최적화 작업 수행
- o 파라미터 및 알고리즘 개선을 통한 성능안전화 단계

[표 58] 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 오경보율

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	합계
서울TG	총검지	383 건	289 건	316 건	364 건	229 건	97 건	1,678 건
	정상검지	365 건	274 건	297 건	343 건	217 건	94 건	1,590 건
	오검지	18 건	15 건	19 건	21 건	12 건	3 건	88 건
	오경보율	4.7%	5.2%	6.0%	5.8%	5.2%	3.1%	5.2%
죽전BS	총검지	70 건	58 건	46 건	48 건	29 건	8 건	259 건
	정상검지	66 건	54 건	43 건	45 건	27 건	8 건	243 건
	오검지	4 건	4 건	3 건	3 건	2 건	0 건	16 건
	오경보율	5.7%	6.9%	6.5%	6.3%	6.9%	0.0%	6.2%
죽전BS-1	총검지	127 건	139 건	131 건	184 건	146 건	58 건	785 건
	정상검지	123 건	130 건	126 건	179 건	140 건	56 건	754 건
	오검지	4 건	9 건	5 건	5 건	6 건	2 건	31 건
	오경보율	3.1%	6.5%	3.8%	2.7%	4.1%	3.4%	3.9%
신갈JC	총검지	493 건	361 건	310 건	337 건	213 건	61 건	1,775 건
	정상검지	452 건	330 건	279 건	302 건	193 건	58 건	1,614 건
	오검지	41 건	31 건	31 건	35 건	20 건	3 건	161 건
	오경보율	8.3%	8.6%	10.0%	10.4%	9.4%	4.9%	9.1%
서해대교	총검지	185 건	345 건	483 건	247 건	64 건	21 건	1,345 건
	정상검지	183 건	340 건	468 건	243 건	62 건	21 건	1,317 건
	오검지	2 건	5 건	15 건	4 건	2 건	0 건	28 건
	오경보율	1.1%	1.4%	3.1%	1.6%	3.1 %	0.0%	2.1%
전체	총검지	1,258 건	1,192 건	1,286 건	1,180 건	681 건	245 건	5,842 건
	정상검지	1,189 건	1,128 건	1,213 건	1,112 건	639 건	237 건	5,518 건
	오검지	69 건	64 건	73 건	68 건	42 건	8 건	324 건
	오경보율	5.5%	5.4%	5.7%	5.8%	6.2%	3.3%	5.5%

(라) 검지시간(10초 이내)

- o 일시 : 2015년 06월 18일
- o 장소 : 경부고속도로

[표 59] 도로정보검지용 레이더 검지시간 측정 자료 분석결과

구분	서울TG	죽전BS	죽전BS-1	신갈JC	평 균
검지건수	12 건	25 건	23 건	11 건	71 건
검지시간	3.17 초	6.56 초	2.43 초	5.36 초	4.46 초

※ 본 시험은 한국도로공사 스마트하이웨이 사업단 주관 경부고속도로에서 실시한 시험 결과임(2015.6.18.일)

	
시범도로 검지사례 #1(주간)	시범도로 검지사례 #2(야간)

<그림 107> 도로정보검지용 레이더 시범도로 검지사례

(마) 돌발상황검지 시스템 성능 점검 결과

① 2016년 5월 12일 경부고속도로 시연

o 시연 방법 : 각 지점별 2회씩, 차량 2대 정차

[표 60] 도로정보검지용 레이더 경부고속도로 시연결과

설치지점	일자	이벤트 발생장소	정차횟수 횟수*차량	검지횟수	검지여부	비고
서울TG	1일차	1차로	2	0	6/8 (75.0%)	
			2	2		
	2일차	갓길	2	2		
			2	2		
죽전BS	1일차	1차로	4	4	16/16 (100.0%)	
			4	4		
	2일차	갓길	4	4		
			4	4		
죽전BS-1	1일차	1차로	3	3	13/13 (100.0%)	
			2	2		
	2일차	갓길	4	4		
			4	4		
신갈JC	1일차	1차로	4	4	14/14 (100.0%)	
			4	4		
	2일차	갓길	2	2		
			2	2		
			2	2		
계			51	49	96.1%	

o 결과에 대한 자세한 내용은 6. 요소기술 실도로 현장시험 결과 참조

② 2015년 7월 15일 서해안고속도로 시연

- o 시험 방법 : 각 지점별 1, 2, 3 차로 1회 실시(미검차로 1회 추가), 갓길 시험은 200m 간격으로 2회 실시, 차량 1대 정차

[표 61] 서해대교 시연결과

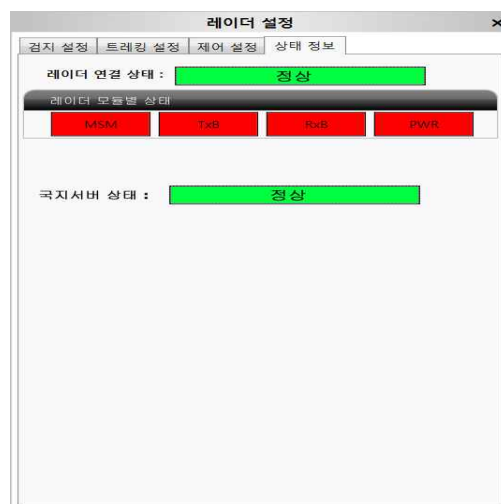
구분		계	서해안고속도로(387.4) (하행, 서울방향)		비고
			이벤트 발생	이벤트 검지	
본선		75%	4	3	
갓길	200m	100%	2	2	
	400m	100%	2	2	
	600m	100%	2	2	
	800m	100%	2	2	
	900m	-	-	-	음영지역
	1000m	-	-	-	
계		91.67%	12	11	

(바) 운영 중 개선사항 및 적용

① 시스템 운영 및 유지관리 관련 성능개선

- o 기상, 온도 변화에 따른 장비 운영상태 점검 기능 개선

- 운영자 관리 용이성 확보를 위해 시스템 통제기 기반 레이더 및 국지서버 상태 점검 기능 개발



<그림 108> 도로정보검지용 레이더 운영 SW 레이더 설정

- 기상 및 온도 등의 환경변화에 따른 장비운영 상태 모니터링
 - 레이더 모듈 별 체크 리스트 작성 및 장애 대응 매뉴얼 작성
- o 사용자 중심의 모니터링 기능 강화
- 장애 발생시 신속한 대응을 위한 알람기능 구현
 - 도로정보검지 레이더 시스템의 운영프로그램에 운영자의 활용 편리성을 위한 장애
돌발 판단 파라미터 설정 UI 적용

<그림 109> 운영 SW 돌발판단 파라메타 설정

- 시스템 운영결과 분석을 위한 돌발 상황별 통계 소프트웨어 기능 보완

레이더 검지 이벤트 통계

DB 선택: 172.18.14.174 검색 조건: 2014-09-16 [15] 검색

모든 작업이 성공하였습니다.

레이더	정지자량	역주행	사람 출현	지정체	계
1	0	0	0	0	0
2	0	0	3	0	3
3	13	0	0	6	19
4	2	0	8	0	10

상세 내역

검지시간	물체ID	돌발 종류	거리	레이더
9/16/2014 10:51:29 AM	95	사람 출현	52	2
9/16/2014 8:29:48 AM	164	사람 출현	52	2
9/16/2014 1:38:25 PM	167	사람 출현	50	2
9/16/2014 2:59:36 PM	0	정지자량	422	3
9/16/2014 3:39:01 PM	31	정지자량	418	3
9/16/2014 10:04:45 AM	41	정지자량	416	3
9/16/2014 12:14:51 PM	64	정지자량	414	3
9/16/2014 1:40:32 PM	87	정지자량	416	3
9/16/2014 8:28:49 AM	91	정지자량	422	3
9/16/2014 1:52:15 PM	94	정지자량	412	3
9/16/2014 9:43:43 AM	115	정지자량	412	3
9/16/2014 10:33:40 AM	124	정지자량	414	3
9/16/2014 4:17:15 PM	152	정지자량	418	3

<그림 110> 도로정보검지용 레이더 운영 SW
기능보완

(사) 월별 시스템 운영 개선사항 및 성능보완 내역

o 지속적인 시스템 점검 및 개선을 통한 시스템 안정화 작업 수행

[표 62] 도로정보검지용 레이더 월별 시스템 보완내역

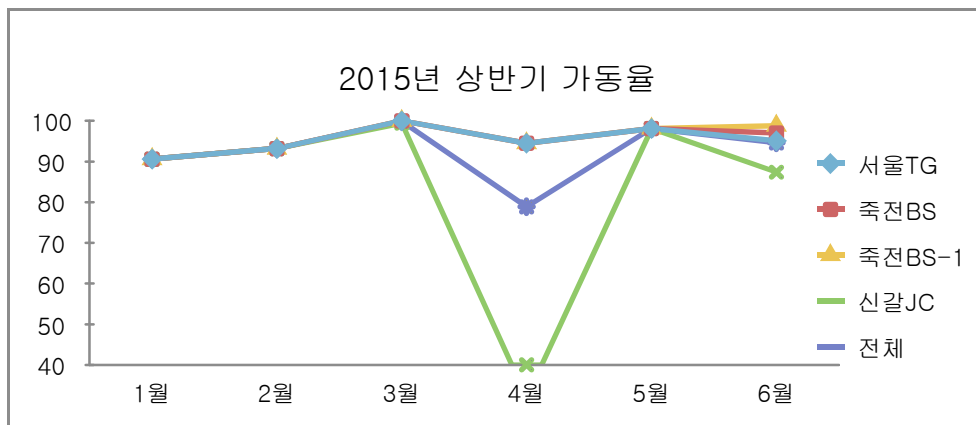
구분	추진실적	
	시스템 운영 및 유지관리	데이터 수집 및 분석
15년 1월	▶ 매달 1회 이상 현장 점검	▶ 매달 운영결과 보고서 작성
15년 2월	▶ 지속적인 운영을 통한 시스템 검증	▶ 기후 환경에 따른 데이터 수집
15년 3월	▶ 지정체 판단 알고리즘 개선 ▶ 정지 판단 알고리즘 개선	▶ 시간별 교통상황 변화에 따른 데이터 수집 및 분석
15년 4월	▶ 국지서버 자가진단기능 구현 ▶ 통계 소프트웨어 개발	▶ 교통상황에 따른 돌발 상황 발생 데이터 수집 및 분석
15년 5월	▶ Tracking 알고리즘 시뮬레이션 ▶ 서해대교 레이더 검지 시스템 구축	▶ 레이더 검지 영역 실측 ▶ 여주체험도로 야외 테스트
15년 6월	▶ 이벤트 캡처 및 영상 저장 기능 구현 ▶ 통계기 자가진단기능 개발 완료	▶ 현장설치 장비 점검 ▶ 성능 검증 평가
15년 7월	▶ 기상 및 온도 변화에 따른 장비운영 상태 모니터링 및 분석 ▶ 이벤트 영상 저장 기능 디버깅	▶ 사계절 기후 변화에 따른 레이더 성능 비교/분석
15년 8월	▶ 내부 모듈 상태 확인 기능 구현 ▶ 장애상황 발생 시 알람 기능 구현	▶ 시범도로 테스트 데이터 관리 및 분석
15년 9월	▶ 레이더 제어기 자원 사용률 정보 제공 ▶ 시스템 안정화 및 내구성 보완	▶ 운영보고서 분석을 통한 오검지 발생원인 파악
15년 10월	▶ 가동률 성능 확보를 위한 기후에 따른 내부 모듈 상태 변화 모니터링	▶ 돌발 유형 정확도 개선
15년 11월	▶ 통계 소프트웨어 기능 개선	▶ 운영보고서 분석을 통한 성능 보완
15년 12월	▶ 환경 변화에 따른 내부 모듈 상태 모니터링	▶ 사계절 기후 변화에 따른 레이더 성능 비교/분석
16년 1월	▶ 급정지 알고리즘 분석 및 보완	▶ 돌발 상황에 따른 데이터 수집 및 분석 ▶ 설치 환경에 따른 검지 성능 분석
16년 2월	▶ 시스템 안정화 및 내구성 보완	▶ 설치 환경에 따른 검지 성능 분석
16년 3월	▶ 환경 변화에 따른 장비 운영상태 점검 기능 보완	▶ 축적 데이터 분석 및 시스템 로그 분석
16년 4월	▶ 지·정체 판단 파라미터 최적화	▶ 지정체 발생 가능 상황 분석
16년 5월	▶ 돌발상황 별 파라미터 최적화	▶ 다수 돌발상황에 따른 데이터 수집 및 분석
16년 6월	▶ 완료	▶ 완료

(3) 시스템 운영 결과

(가) 가동률(성과목표 : 95% 이상)

① 시스템 성능 분석

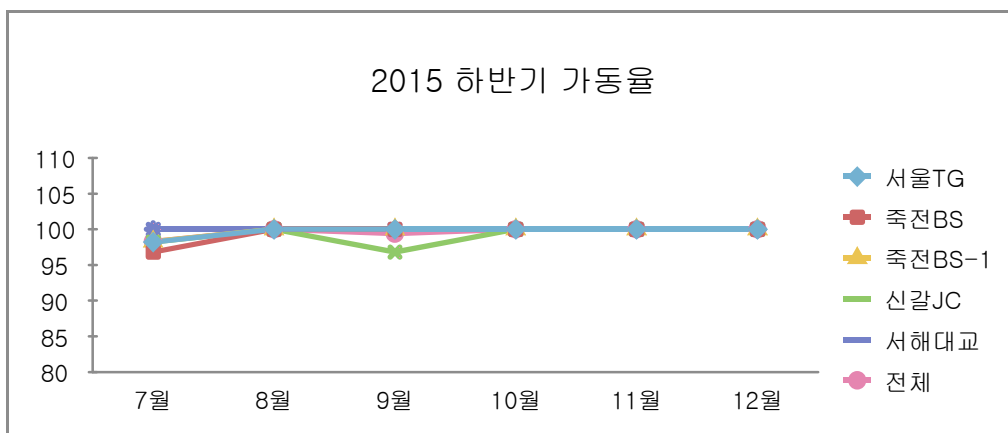
- o 가동률 95% 목표 달성을 위한 성능 분석
- o 지속적인 모니터링을 통해 시스템 오동작 원인 분석
- o 4월 신갈 지점은 제어기 내부 모듈 오동작으로 부품 교체 및 테스트 수행, 이에 따른 가동률 감소
- o 6월 거리측정 및 야외테스트에 따른 가동률 감소
- o 2015년 상반기 가동률 : 92.5%



<그림 111> 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 가동률

② 시스템 안정화 및 내구성 보완

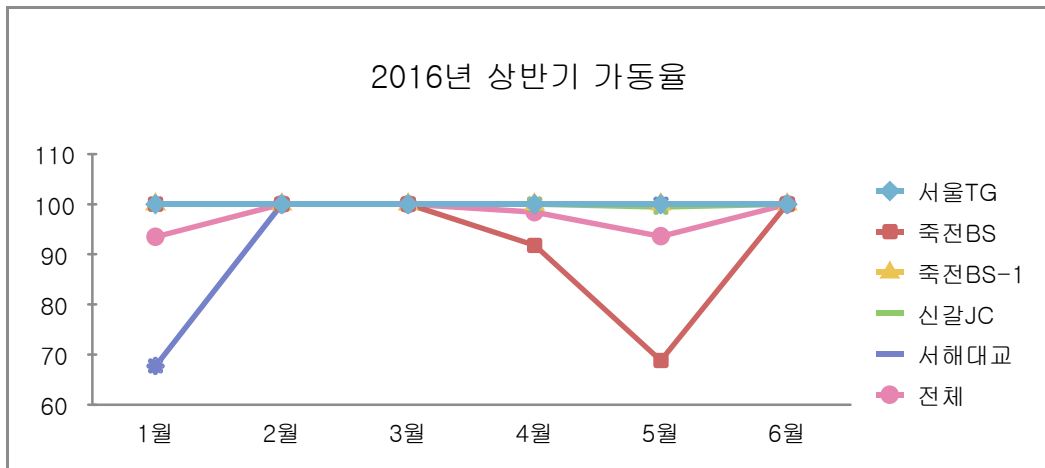
- o 시스템 성능 분석 결과를 이용한 시스템 안정화 수행
- o 제어기 내부 모듈 상태 및 자원 사용률 확인 기능을 통한 지속적인 모니터링으로 가동률 향상
- o 4월 신갈JC(#4) 지점의 경우 제어기 내부 모듈 오동작으로 부품 교체 및 테스트 수행, 이에 따른 가동률 감소
- o 6월 거리측정 및 야외테스트에 따른 가동률 감소
- o 2015년 하반기 가동률 : 99.6%



<그림 112> 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 가동률

③ 시스템 운영 안정화 완성

- o 시스템 운영자의 편의성을 위한 기능 개선 및 환경변화에 따른 시스템 상태 모니터링
- o 1월 07일~16일 서해대교의 경우 돌발 로그 및 영상 손실에 의해 가동여부 판단 불가
- o 5월 죽전BS(#2) 지점의 경우 제어기 내부 케이블 오동작으로 케이블 교체 및 테스트 수행, 이에 따른 가동률 감소
- o 2016년 상반기 가동률 : 97.6%

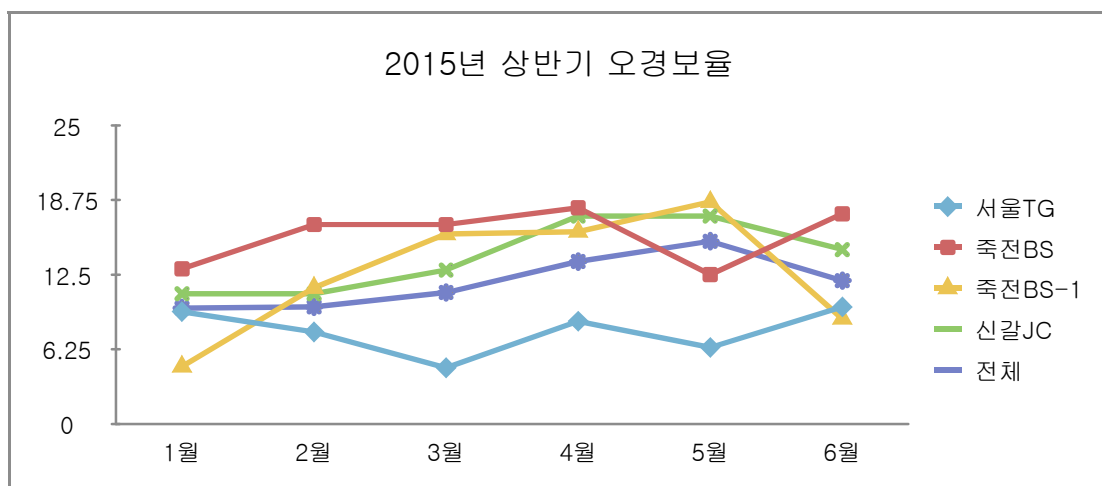


<그림 113> 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 가동률

(나) 오경보율(성과 목표 : 10% 미만)

① 시스템 성능 분석

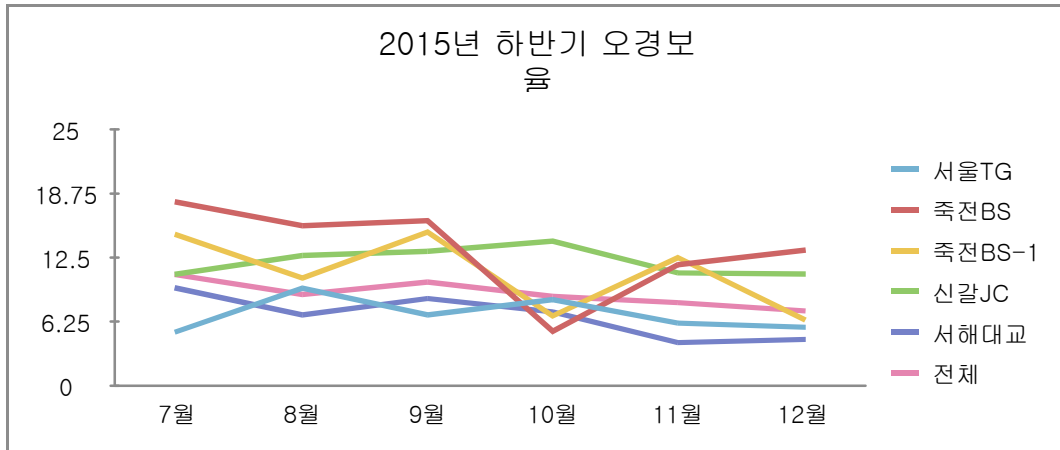
- o 데이터 수집을 통한 성능 분석
- o 데이터 분석 및 오검지 유형 파악을 위한 테스트에 의해 오경보율이 연구 목표보다 높게 측정
- o 2015년 상반기 오경보율 : 12.0%



<그림 114> 도로정보검지용 레이더 2015년 상반기 오경보율

② 돌발 판단 알고리즘 개선

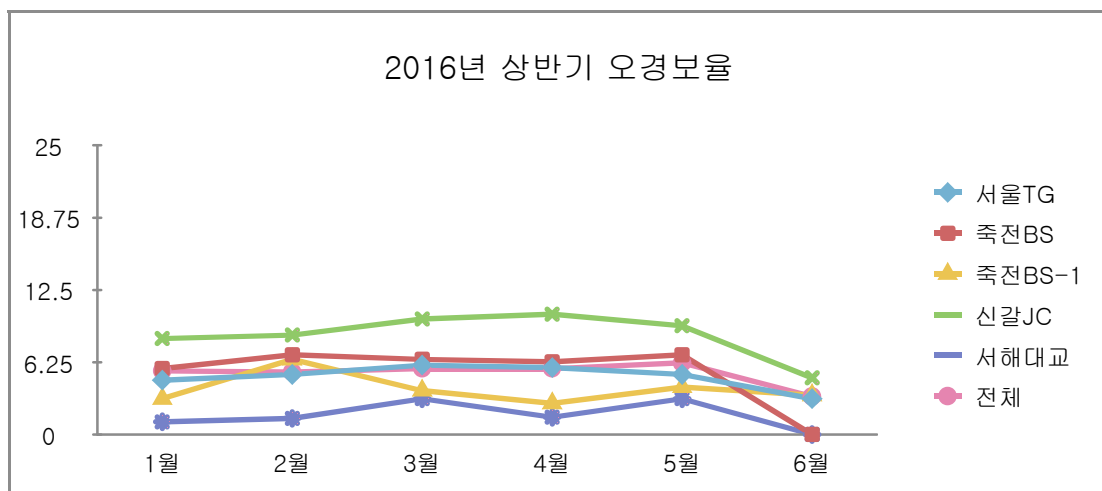
- 오검지 유형에 따른 돌발 판단 알고리즘 수정 및 테스트
- 정지물체 억제 알고리즘 개선 이후 도로표지판 등의 물체에 의해 발생하는 오검지 감소
- CFAR 알고리즘 수정을 통한 검지 정확도 향상
- 2015년 하반기 오경보율 : 9.0%



<그림 115> 도로정보검지용 레이더 2015년 하반기 오경보율

③ 돌발 판단 파라미터 최적화

- 알고리즘 별 파라미터 최적화 및 테스트 수행
- 지속적인 모니터링과 테스트를 통해 각 돌발 상황마다 오검지 감소
- 신갈JC(#4)의 경우 다른 지점에 비해 교통량이 많아 오경보율이 높지만 목표 성과인 10% 미만에는 만족(9.1%)
- 2016년 상반기 오경보율 : 5.5%

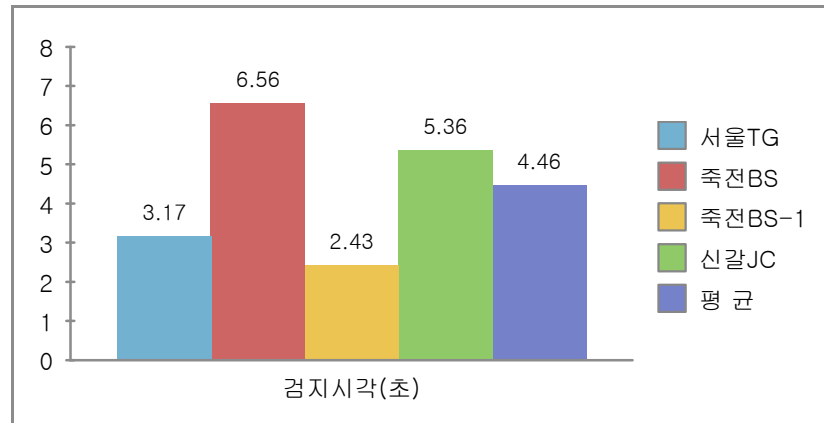


<그림 116> 도로정보검지용 레이더 2016년 상반기 오경보율

(다) 검지시간

※ 성과 목표 : 10초 이내

- o 각 지점별 돌발 발생 시 검지시간 테스트
- o 평균 검지시간 : 4.46 초



<그림 117> 도로정보검지용 레이더 평균 검지시간

(라) 사용자 운영매뉴얼 및 장애대처 매뉴얼

※ 매뉴얼 별첨 첨부

(4) 환경조건 분석 및 권장 설치 방법

- o 기존의 유고검지시스템은 환경요인 변화에 따른 성능저하, 인식불가 등 환경에 따른 영향을 받아 설치시 고려해야 함
- o 레이더 기반의 Smart-IDS도 금번 과제를 통해 도로기하구조, 기상 등과 관련된 조건에서의 성능여부를 검토하고, 향후 검지기의 성능을 극대화하여 활용하기 위한 기초자료로 활용할 계획

(가) 도로 기하구조

- o Smart-IDS는 전파의 반사파를 이용해 차량의 위치(좌표), 추적 등을 수행할 수 있도록 설계
- o 전파의 특성상 직선도로에 적합하게 설계가 되어 있으며, 곡선부도로나 시거를 방해하는 장애물이 존재하는 구간의 경우 오정보를 수집·제공할 수 있는 가능성이 있음
- o 이에, 본 시스템의 도로기하구조적 최적 설치구간은 종·횡단구배가 없는 직선부 구간인 것으로 판단



<직선주행 도로 (최적)>



<구배로 인한 설치 제한 구간>

<그림 118> 도로정보검지용 레이더 설치구간 검토

(나) 기상조건

- o 기존의 영상기반 검지시스템은 눈, 안개, 비 등 악천후나 야간 등 환경의 변화에 따른 가시거리 감소, 인지불가 등 한계 발생
- o 이는, 사고의 위험이 높아지는 시기에 시스템의 성능이 낮아져, 실시간 검지, 신속한 대응이 필요한 시점에 적극 활용되지 못하는 단점 보유



<안개 시 CCTV 영상>



<폭설시 CCTV 영상>

<그림 119> 도로정보검지용 레이더 기상조건(악천후)

- o 레이더기반의 Smart-IDS는 기상이나 주변 환경 변화에 영향을 적게 받는 전파를 활용한 시스템으로 모든 기상조건에서 활용이 가능한 전천후 시스템임
- o 아래의 표는 본 과제 수행기간 동안 수집된 기상데이터와 검지율 간 상관관계를 분석한 자료임
- o 기상이 악화된 날(비, 눈)과 그렇지 않은 날의 자료를 비교하였으며, 그 결과 유의확률이 21.7%로 날씨, 가시거리 등과 상관없이 높은 검지율을 확보한 시스템으로 분석

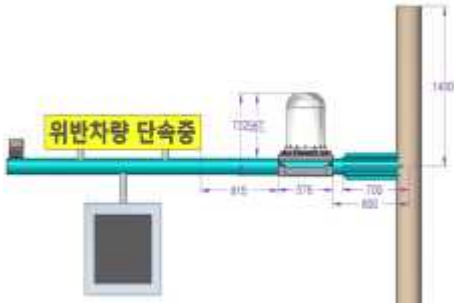
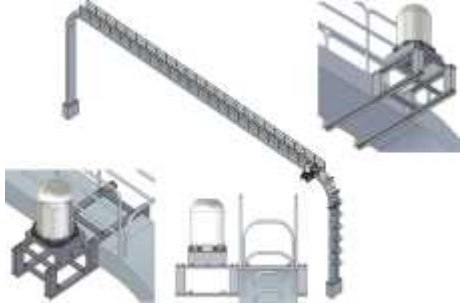
[표 63] 도로정보검지용 레이더 검지율·날씨 상관관계 분석

구 분		날씨	검지율
날씨	Pearson 상관계수	1	-0.069
	유의확률		0.217
	N	320	320
검지율	Pearson 상관계수	-0.069	1
	유의확률	0.217	
	N	320	320

- 본 기술은 기상, 주야간, 조도 등 환경변화와 무관하게 일정수준의 검지성능을 보유하고 있는 것으로 판단되어, 향후 수집정보의 다양화, 개별 도로환경에 적합한 설치 등 다방면에서 활용도가 높은 것으로 보임
- 결론적으로, 설치지점의 기상, 가시거리 저하 등과 상관없이 제 기능을 충분히 발휘할 수 있는 시스템임

(다) 권장설치 방안

- 본 시스템은 설치여건(구배, 시거 등)이 맞지 않을 경우, 설치 간격 조정을 수행하여 적절한 검지범위가 설정될 수 있도록 설치
- 기존 구조물인 내민식 및 문형식 지주를 활용하여 설치할 수 있으며, 6~8m 의 높이를 권장하여 설치하도록 함

	
내민식 지주 설치	문형식 지주 설치
기존 구조물인 내민식 지주의 경우 내민식 지주 위에 브라켓과 철 구조물을 이용하여 고정	문형식 폴의 경우 지주 위에 지지대를 설치 후 그 위에 브라켓으로 고정

<그림 120> 도로정보검지용 레이더 설치방식

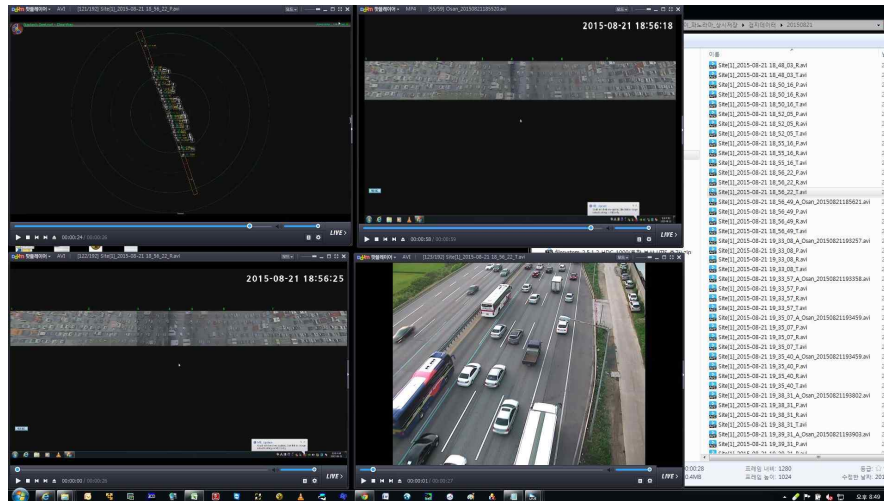
나. SMART-I

- o SMART-I는 영상검지를 하는 카메라부와 레이더 검지기로 구성되며 영상 및 레이더 검지정보를 퓨전알고리즘을 통하여 영상검지기 및 레이더검지기의 장점을 부각시키고 단점을 보완하는 형태로 구성



<그림 121> SMART-I 시스템 구성

- o 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용방안 연구를 통하여 수집된 DB중 기상조건이 검지에 미치는 영상분석하고, 검지모듈(어레이 카메라, 레이더) 검지성능 및 안정성을 개선하기 위한 연구를 수행하였으며, 시범도로(실도로)에서 발생하는 오경보율을 최소화하기 위한 연구를 수행함.
- o 레이더의 검지객체 트래킹 과정에서 검지 파라미터 설정 오류로 생기는 것으로 판단하고 객체검지 관련 맵작업 및 파라미터 재조정 실시함
- o 기존의 검지 섹션의 설정이 검지영역별 트래킹정보에서 신규개발을 실시하여 레이더 및 영상의 정보의 발생(돌발상황발생 객체)으로 정확히 포커싱하여 센터운영자에게 정보제공을 실시함. 이로 인해 음영의 섹션으로 발생하는 문제를 해결하고 더욱더 정확한 돌발정보의 표출이 가능해짐
- o 기존의 교통정보는 실시간 교통 상황에 대한 대응이 불가하여 정체, 연쇄추돌사고 등 2차사고 발생을 수동적으로 대처하였으나 SMART-I는 도로상황을 실시간 모니터링 하여 교통 상황 및 사고정보를 미리 알려주어 운전자가 우회하도록 하거나 2차 사고를 미연에 방지하는 인프라 기술임. 따라서 돌발상황 발생 지점에 관한 영상 정보와 레이더 정보를 센터로 제공하고, 돌발상황 발생지점을 자동추적 촬영하여 상황의 심각성에 대한 판단 자료를 제공하여 실시간 대처가 가능하도록 하여 상습 지·정체 및 사고 발생 구간, 상습 낙하물 발생 구간 등에 적용이 가능함
- o 기존 기술수준은 시험상황에서 측정한 데이터를 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용과제에서 시범도로에서 정상검지된 파노라마영상 로그를 활용하여 평균검지시간 측정 가능함. 상시녹화 된 파노라마 영상과 돌발상황으로 저장된 파노라마 영상에서 객체의 유고정보를 활용하여 돌발상황의 검지시간을 비교함



<그림 122> SMART-I 검지시간 분석영상

- o 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용 과제를 통하여 시범도로에서 발생한 돌발 상황 Data 및 로그를 지속적으로 수집하고 있으며 검지시간은 10초 이내를 목표로 함
- o 테스트베드에 설치된 SMART-I(죽전BS지점, 오산IC지점)의 스마트하이웨이사업의 기술이 집약된 인프라로서 대내외적 가치가 유지될 수 있도록 운영·점검·유지보수를 추진하였으며 일정기간(1년 이상) 모니터링을 통한 데이터 축적 및 분석 시행으로 기술 수요자에게 대한 신뢰도를 제공하고, 개발기술의 완성도를 도모함.
- o 현재 시범도로 테스트베드에 설치한 SMART-I는 검증된 기술을 설치, 운영하여 기술의 최상위 단계의 안정화 수준을 점검하는 것으로 기술 실용화 및 안정화 측면에서 모니터링 및 추가 안정화 개발을 진행함.
- o 스마트하이웨이 모니터링 및 활용과제에서 다양한 기상 조건에서의 시스템 운영 및 결과분석, 장애복구 응답시간 최소화를 위한 체계 개발을 진행하였으며, 가동률, 오경보율, 검지시간의 정량적 성과 목표를 진행하고, 최종적으로 SMART-I의 장애대처 매뉴얼을 개발함.
- o 운영데이터는 2015년 1월부터 2016년 6월까지 데이터를 정리한 것으로 안정화 이전과 안정화 이후로 구분하여 정리하였으며, 결과는 다음과 같음

[표 64] SMART-I 정량적 DATA (안정화 이전)

구 분		2015년							15년1월 ~'15년7월
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	
죽 전	오 경 보 율	10.7	0.0	0.0	0.2	14.3	점검	67.7	15.5
	가 동 률	100.0	100.0	83.0	100.0	82.7		98.9	94.1
오 산	오 경 보 율	21.0	22.1	14.4	15.9	24.7	점검	25.9	20.7
	가 동 률	100.0	100.0	87.1	100.0	82.7		98.9	94.8
총 관	오 경 보 율	17.4	16.5	11.9	5.6	24.2	점검	55.7	18.1
	가 동 률	100.0	100.0	85.1	100.0	82.7		98.9	94.5

[표 65] SMART-I 정량적 DATA (안정화 이후)

구 분		2015년					2016년						15년8월 ~'16년6월
		8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	
죽 전	오경보율	5.6	19.5	8.7	11.5	9.0	5.6	1.7	4.7	4.2	29.5	9.8	10.0
	가동률	86.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7
오 산	오경보율	7.7	13.5	5.6	10.8	4.8	2.0	3.2	0.0	1.4	0.0	0.0	4.5
	가동률	95.8	97.9	94.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9
전 체	오경보율	6.9	16.3	8.0	11.3	7.4	3.8	2.5	1.4	3.2	24.2	7.0	8.4
	가동률	91.3	99.0	97.3	100.0	100.0	100.0	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8

[표 66] SMART-I 정량적 DATA (전체)

구 분		15년 1월~'15년 7월	15년 8월~'16년 6월	전 체 기 간
죽 전	오경보율	15.5	10.0	11.9
	가동률	94.1	98.7	97.1
오 산	오경보율	20.7	4.5	10.2
	가동률	94.8	98.9	97.5
총 괄	오경보율	18.1	8.4	11.0
	가동률	94.5	98.8	97.3

(1) 오경보율

- o SMART-I 시스템에서 돌발상황을 검지하는 신호에 포함된 잡음으로 파라미터의 변동에도 불구하고 허위 표적으로 탐지되는 빈도수의 비율을 말함

$$\text{오경보율}(\%) = \text{오경보수} / (\text{오경보} + \text{정상경보}) * 100$$

* 오경보수: 이벤트가 없는 상황에서 발생한 경보

- o 오경보율의 연구과제 기간 동안 운영결과는 다음과 같음

[표 67] SMART-I 시범도로 안정화 이전 오경보율(%)

구분	2015년							15년1월 ~'15년7월
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	
죽전	10.7	0.0	0.0	0.2	14.3	0.0	67.7	15.5
오산	21.0	22.1	14.4	15.9	24.7	0.0	25.9	20.7
총괄	17.4	16.5	11.9	5.6	24.2	0.0	55.7	18.1

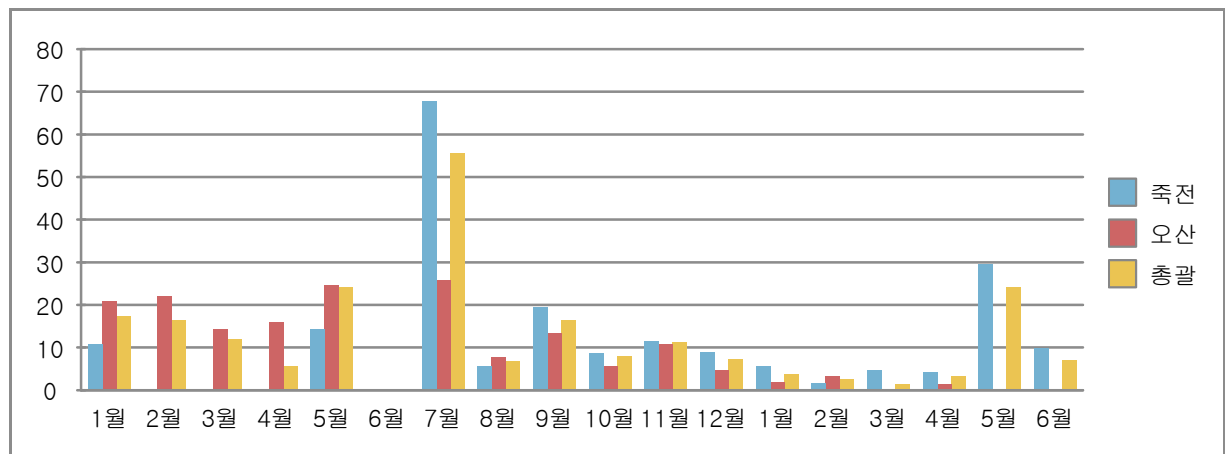
[표 68] SMART-I 시범도로 안정화 이후 오경보율(%)

구분	2015년					2016년						15년8월 ~'16년6월
	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	
죽전	5.6	19.5	8.7	11.5	9.0	5.6	1.7	4.7	4.2	29.5	9.8	10.0
오산	7.7	13.5	5.6	10.8	4.8	2.0	3.2	0.0	1.4	0.0	0.0	4.5
총괄	6.9	16.3	8.0	11.3	7.4	3.8	2.5	1.4	3.2	24.2	7.0	8.4

- o 2015년 상반기의 기간 동안에 돌발 발생한 데이터에서 죽전/오산간 오경보율을 분석해 보면 오산에 설치한 스마트-I 장비가 오경보율이 많이 발생함. 이 기간 동안은 상대적으로 오산보다는 죽전에 설치한 장비가 검지건수가 적어 이에 따른 오경보율이 적은 것으로 판단됨
- o 이 기간 동안 죽전에 설치한 장비에 대한 H/W 점검 및 교체가 빈번하게 이루어져 상대적으로 총 검지건수가 적은 상황임

[표 69] SMART-I 2015년 상반기 죽전/오산 오경보율 분석

구 분	죽전			오산		
	총경보	오경보	오경보율(%)	총경보	오경보	오경보율(%)
1월	56	6	10.7	105	22	21.0
2월	1	0	0.0	86	19	22.1
3월	16	0	0.0	243	35	14.4
4월	550	1	0.2	289	45	15.9
5월	14	2	14.3	271	67	24.7



<그림 123> SMART-I 시범도로 운영데이터 오경보율(%)

- o 2015년 1월부터 7월까지의 검지데이터는 장비의 하드웨어 및 소프트웨어의 업그레이드 및 내구성을 높이기 위한 방안을 조치함에 있어서 검지 및 성능의 이슈보다 이후 장비의 신뢰도를 높이기 위한 방안을 강구하였음
- o 오경보율은 센터관리자가 시스템을 신뢰하기 위한 수치이며 6월의 점검이후에 안정화를 위하여 7월에 필터링을 위한 시스템 정보의 알람을 표출하였음
- o 시스템의 안정화 조치 이후에 2015년 8월부터 10개월간의 평균 오경보율은 현재 10%이내 수준을 유지하고 있음.
- o 2016년 5월에 죽전지점의 높은 오경보율은 자체평가 대비 점점 과정에서 현장 소프트웨어의 물체 검지 및 돌발판단 설정 값이 초기화 되었으며, 복구 과정에서 오경보 건수가

다수 발생함. 이후 2016년 6월에는 오경보율이 10%이하로 낮아짐

- o 파노라마 영상의 경우에는 NTSC 카메라를 사용하여, 원본 영상을 warping 영상알고리즘을 이용하여, 영상 변환 후 돌발검지를 하였음. 카메라 및 하드웨어 기술이 발달함에 따라 고해상도(2M) 카메라를 사용한다면, 영상처리 해상도가 향상되므로 오경보율 및 검지율을 높일 수 있을 것으로 예상함.
- o 레이더검지기는 가드레일, 나무, 표지판 등 주변 환경적인 요인으로 인해 오검지가 발생할 가능성이 있으므로, 설치지점 선정시 고려가 되어야 할것으로 판단됨.

(2) 검지시간

- o 돌발상황검지시스템의 동작과 관련한 시간으로 돌발상황이 발생한 시간으로부터 센터운영자에게 알람 및 로그가 저장되는 시스템 시간을 말함

검지시간(초) = 돌발상황검지시간 - 돌발발생시간

* 돌발상황검지시간: 돌발상황알람 및 로그저장 시간

* 돌발발생시간: 현장에서 실제 돌발상황이 발생한 시간

- o 검지시간은 실제 돌발상황이 발생한 시간과 돌발상황알람 및 로그저장시간의 차이를 계산하여 산정되며 현재 운영결과는 다음과 같음

[표 70] SMART-I 운영데이터 검지시간 분석결과

구분	총 검지건수	분석대상	평균 검지시간	최소 검지시간	최대 검지시간	표준편차
죽전	38건	32건	5.1 초	0:00:02	0:00:09	1.77
오산	51건	37건	4.3 초	0:00:02	0:00:09	2.01

- o 정상검지 데이터를 바탕으로(죽전32건, 오산37건)으로 검지시간을 분석하고 검지시간이 전체 데이터를 대변하는지 여부를 확인하기 위해 통계프로그램 R을 사용하여 가설검증을 실시함

```
> data<-c(8,9,3,4,5,2,3,5,7,9,4,2,5,5,7,4,4,5,4,4,4,5,5,4,5,8,4,8,4,5,4,6,
+ 7,8,8,6,4,3,6,8,5,7,4,3,4,4,5,4,5,4,7,6,2,3,3,2,2,3,3,2,3,3,2,3,2,4,8)
> data # 죽전 32건 + 오산 37건
[1] 8 9 3 4 5 2 3 5 7 9 4 2 5 5 7 4 4 5 4 4 4 5 5 4 5 8 4 8 4 5 4 6
[50] 4 7 6 2 3 3 3 2 2 3 3 2 3 3 2 3 2 4 9
>
> # 정규성검정
> # H0 : 정규분포를 따른다
> # H1 : 정규분포를 따르지 않는다
> hist(data)
> shapiro.test(data)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  data
W = 0.90891, p-value = 9.941e-05

> # F값이 0.05보다 작기 때문에 H0를 기각한다
> # 즉, 유의수준 5% 하에서 data는 정규분포를 따르지 않는다
>
> # data가 정규분포를 따르지 않기 때문에 비모수검정을 실시한다
>
> # 윌콕슨부호순위검정
> # H0 : 검지시간은 10초와 같거나 크다
> # H1 : 검지시간은 10초보다 작다
> wilcox.test(data,mu=10,conf.level=0.99,alter="less")

      Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  data
V = 0, p-value = 2.12e-13
alternative hypothesis: true location is less than 10

> # F값이 0.01보다 작기 때문에 H0를 기각한다
> # 즉, 유의수준 1% 하에서 검지시간은 10초보다 작다고 말할 수 있다
```

<그림 124> 통계프로그램 R을 사용한 가설검증

- o 데이터의 정규성 검정을 통하여 데이터의 취득이 정규분포를 따르지 않고 비모수검정을 통해 데이터의 검지시간은 유의수준 1% 하에서 10초보다 짧다고 할 수 있음.

[표 71] SMART-I 운영데이터 검지시간 상세(죽전BS)

순번	시간	유형	실제유형	확인	돌발발생시간	검지시간(초)	비고
1	2015-08-21 17:12	정지차량	정지차량	일치	17:12:04	8	
2	2015-08-21 21:08	갓길정차	갓길정차	일치	21:08:02	9	
3	2015-08-22 4:12	정지차량	정지차량	일치	4:12:40	3	
4	2015-08-22 5:41	갓길정차	갓길정차	일치	5:41:41	4	
5	2015-08-22 5:43	갓길정차	갓길정차	일치	-		상기와 동일차량
6	2015-08-22 10:27	갓길정차	갓길정차	일치	10:27:33	5	
7	2015-08-22 21:28	갓길정차	갓길정차	일치	-		육안확인불가
8	2015-08-22 22:11	서행차량	-	오보	-		분석대상 제외
9	2015-08-22 22:19	갓길정차	갓길정차	일치	-		육안확인불가
10	2015-08-23 5:18	정지차량	-	오보	-		분석대상 제외
11	2015-08-25 16:09	갓길정차	갓길정차	일치	16:09:21	2	
12	2015-08-25 23:37	갓길정차	갓길정차	일치	23:37:31	3	
13	2015-08-25 2:32	정지차량	-	오보	2:32:31	-	분석대상 제외
14	2015-08-26 2:51	갓길정차	갓길정차	일치	2:51:49	5	
15	2015-08-26 3:28	갓길정차	갓길정차	일치	3:28:44	7	
16	2015-08-27 12:56	갓길정차	갓길정차	일치	12:56:33	9	
17	2015-08-27 14:07	갓길정차	갓길정차	일치	14:07:52	4	
18	2015-08-27 14:29	갓길정차	갓길정차	일치	14:29:47	8	
19	2015-08-27 15:55	정지차량	정지차량	일치	15:55:01	5	
20	2015-08-27 16:00	정지차량	정지차량	일치	16:00:01	5	
21	2015-08-27 16:09	갓길정차	갓길정차	일치	16:09:47	7	
22	2015-08-27 16:18	갓길정차	갓길정차	일치	16:18:55	4	
23	2015-08-27 16:50	갓길정차	갓길정차	일치	16:50:00	4	
24	2015-08-27 17:15	갓길정차	갓길정차	일치	17:15:06	5	
25	2015-08-27 17:33	갓길정차	갓길정차	일치	17:33:10	4	
26	2015-08-27 17:40	갓길정차	갓길정차	일치	17:40:03	4	
27	2015-08-27 17:50	갓길정차	갓길정차	일치	17:49:56	4	
28	2015-08-27 18:03	갓길정차	갓길정차	일치	18:03:08	5	
29	2015-08-27 18:08	갓길정차	갓길정차	일치	18:08:34	5	
30	2015-08-27 20:09	갓길정차	갓길정차	일치	20:08:57	4	
31	2015-08-27 20:40	갓길정차	갓길정차	일치	20:40:22	5	
32	2015-08-27 21:16	갓길정차	갓길정차	일치	21:16:36	4	
33	2015-08-27 21:22	갓길정차	갓길정차	일치	21:22:20	4	
34	2015-08-27 21:41	갓길정차	갓길정차	일치	21:41:02	8	
35	2015-08-27 21:52	갓길정차	갓길정차	일치	21:52:37	4	
36	2015-08-27 22:12	갓길정차	갓길정차	일치	22:12:32	5	
37	2015-08-27 22:34	갓길정차	갓길정차	일치	22:34:08	4	
38	2015-08-27 22:36	갓길정차	갓길정차	일치	22:36:46	6	

[표 72] SMART-I 운영데이터 검지시간 상세(오산IC)

순번	시간	유형	실제유형	확인	돌발발생시간	검지시간(초)	비고
1	2015-08-21 18:11:20	정지차량	정지차량	일치	18:11:13	0:00:07	
2	2015-08-21 18:11:40	정지차량	정지차량	일치	18:11:32	0:00:08	
3	2015-08-21 18:14:16	정지차량	정지차량	일치	18:14:08	0:00:08	
4	2015-08-21 18:19:53	정지차량	정지차량	일치	-	-	진입시간 육안확인 불가
5	2015-08-21 18:20:17	정지차량	서행	오인식	-	-	진입시간 육안확인 불가
6	2015-08-21 18:21:08	정지차량	정지차량	일치	18:21:02	0:00:06	
7	2015-08-21 18:21:40	정지차량	정지차량	일치	18:21:36	0:00:04	
8	2015-08-21 18:23:14	정지차량	정지차량	일치	18:23:11	0:00:03	
9	2015-08-21 18:24:49	정지차량	정지차량	일치	18:24:43	0:00:06	
10	2015-08-21 18:25:52	정지차량	정지차량	일치	18:25:44	0:00:08	
11	2015-08-21 18:28:02	정지차량	정지차량	일치	18:27:57	0:00:05	
12	2015-08-21 18:39:16	정지차량	정지차량	일치	18:39:09	0:00:07	
13	2015-08-21 18:40:13	정지차량	정지차량	일치	18:40:09	0:00:04	
14	2015-08-21 18:41:16	정지차량	정지차량	일치	18:41:13	0:00:03	
15	2015-08-21 18:42:23	정지차량	정지차량	일치	18:42:19	0:00:04	
16	2015-08-21 18:43:05	정지차량	정지차량	일치	18:43:01	0:00:04	
17	2015-08-21 18:45:52	정지차량	정지차량	일치	18:45:47	0:00:05	
18	2015-08-21 18:46:42	정지차량	정지차량	일치	18:46:38	0:00:04	
19	2015-08-21 18:48:03	정지차량	정지차량	일치	18:47:58	0:00:05	
20	2015-08-21 18:50:16	정지차량	정지차량	일치	18:50:12	0:00:04	
21	2015-08-21 18:52:06	정지차량	정지차량	일치	18:51:59	0:00:07	
22	2015-08-21 18:55:17	정지차량	정지차량	일치	-	-	진입시간 육안확인 불가
23	2015-08-21 18:56:22	정지차량	정지차량	일치	18:56:16	0:00:06	
24	2015-08-21 18:56:50	정지차량	정지차량	일치	18:56:48	0:00:02	
25	2015-08-21 19:33:09	정지차량	서행	오인식	19:33:06	0:00:03	
26	2015-08-21 19:33:58	정지차량	정지차량	일치	19:33:55	0:00:03	
27	2015-08-21 19:35:07	정지차량	정지차량	일치	19:35:04	0:00:03	
28	2015-08-21 19:35:41	정지차량	정지차량	일치	19:35:39	0:00:02	
29	2015-08-21 19:38:31	정지차량	정지차량	일치	19:38:29	0:00:02	
30	2015-08-21 19:39:31	정지차량	정지차량	일치	19:39:28	0:00:03	
31	2015-08-21 19:41:37	정지차량	정지차량	일치	19:41:34	0:00:03	
32	2015-08-21 19:42:46	정지차량	정지차량	일치	19:42:44	0:00:02	
33	2015-08-21 19:43:40	정지차량	정지차량	일치	19:43:37	0:00:03	
34	2015-08-21 19:45:13	정지차량	정지차량	일치	19:45:10	0:00:03	
35	2015-08-21 19:46:08	정지차량	서행	오인식	-	-	정체
36	2015-08-21 21:02:37	갓길정차	갓길정차	일치	21:02:34	0:00:03	
37	2015-08-21 21:27:47	갓길정차	갓길정차	일치	21:27:45	0:00:02	
38	2015-08-21 22:02:00	정지차량	정지차량	일치	-	-	상기와 동일차량
39	2015-08-21 22:06:45	정지차량	역주행	오인식	-	-	상기와 동일차량
40	2015-08-21 22:07:49	정지차량	역주행	오인식	-	-	상기와 동일차량
41	2015-08-21 22:12:36	갓길정차	갓길정차	일치	-	-	상기와 동일차량
42	2015-08-22 13:33:03	갓길정차	갓길정차	일치	-	-	육안확인불가
43	2015-08-22 13:36:09	갓길정차	갓길정차	일치	-	-	육안확인불가
44	2015-08-22 23:23:50	갓길정차	갓길정차	일치	-	-	육안확인불가
45	2015-08-23 02:53:09	정지차량	-	오보	-	-	분석대상 제외
46	2015-08-23 09:43:57	갓길정차	갓길정차	일치	9:43:54	0:00:03	
47	2015-08-23 13:11:39	갓길정차	갓길정차	일치	13:11:37	0:00:02	
48	2015-08-23 15:22:57	정지차량	-	오보	-	-	분석대상 제외
49	2015-08-23 15:39:58	갓길정차	갓길정차	일치	15:38:35	-	진입시간 육안확인 불가
50	2015-08-23 16:55:56	갓길정차	갓길정차	일치	16:55:52	0:00:04	
51	2015-08-23 17:58:06	갓길정차	갓길정차	일치	17:57:57	0:00:09	

(3) 가동률

- 시범도로 테스트베드에 설치된 SMART-I(죽전BS지점/오산IC지점)의 센터 운영자 운영 일지를 기반으로 하여 시스템 가동률을 산정함

$$\text{가동률(\%)} = (\text{가동시간} / \text{총시간}) * 100$$

* 가동시간: 점검을 제외한 운행시간(3시간 단위)

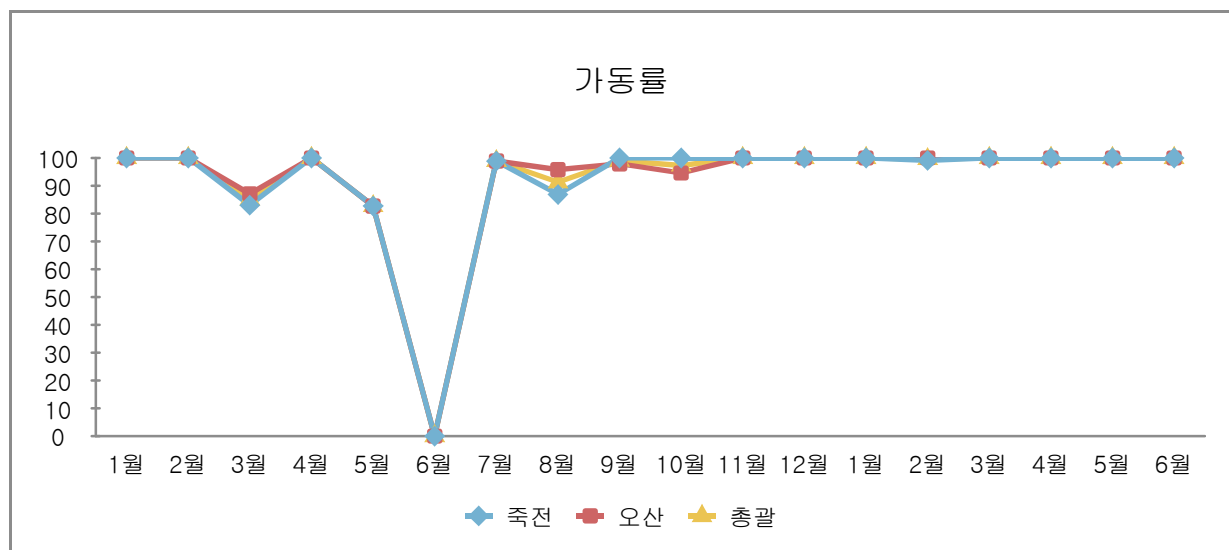
- 가동률은 센터 운영자가 3시간 단위로 운행상황을 기록한 가동시간을 총시간으로 나누어 계산되며 점검을 위한 시간은 제외되며 현재 운영결과는 다음과 같음

[표 73] SMART-I 모니터링 검지시간 안정화 이전 가동률(%)

구분	2015년							15년1월 ~'15년7월
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	
죽전	100.0	100.0	83.0	100.0	82.7	0.0	98.9	94.1
오산	100.0	100.0	87.1	100.0	82.7	0.0	98.9	94.8
총괄	100.0	100.0	85.1	100.0	82.7	0.0	98.9	94.5

[표 74] SMART-I 모니터링 검지시간 안정화 이후 가동률(%)

구분	2015년					2016년						15년8월 ~'16년6월
	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	
죽전	86.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7
오산	95.8	97.9	94.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8
총괄	91.3	99.0	97.3	100.0	100.0	100.0	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8



<그림 125> SMART-I 시범도로 운영데이터 가동률(%)

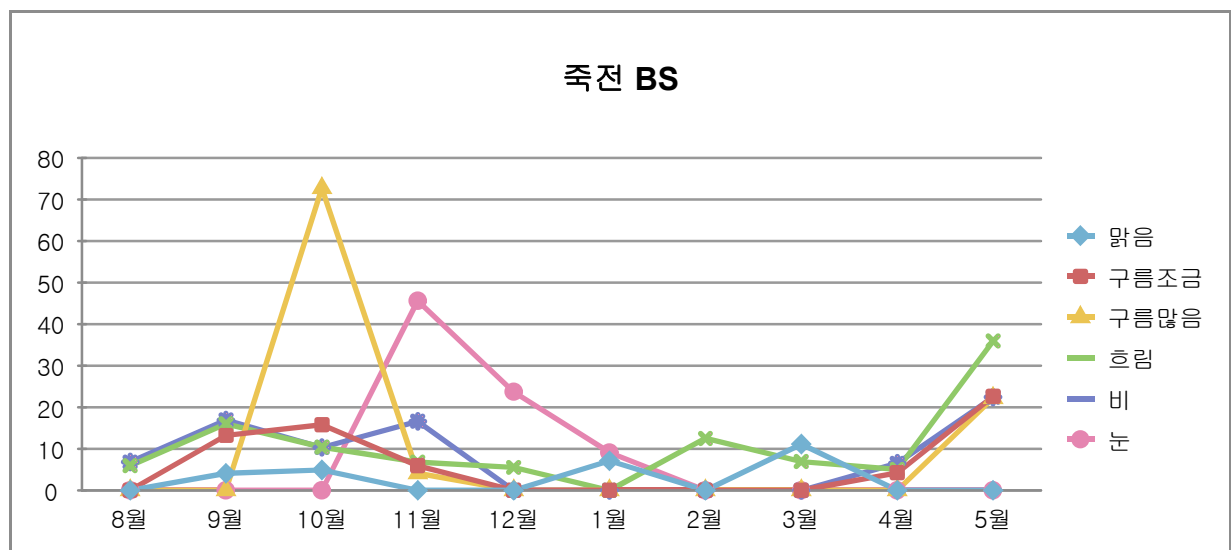
- 현재 2015년 1월부터 7월까지의 검지데이터는 장비의 하드웨어 및 소프트웨어의 업그레이드 및 내구성을 높이기 위한 방안을 조치함에 있어서 검지 및 성능의 이슈보다 이후 장비의 신뢰도를 높이기 위한 방안을 강구하였음
- 시스템 안정화 및 하드웨어 개선 등의 작업 이후인 8월 이후부터는 95%이상의 가동률을 유지하고 있음.

(4) 기상 조건별 운영데이터 DB 구축

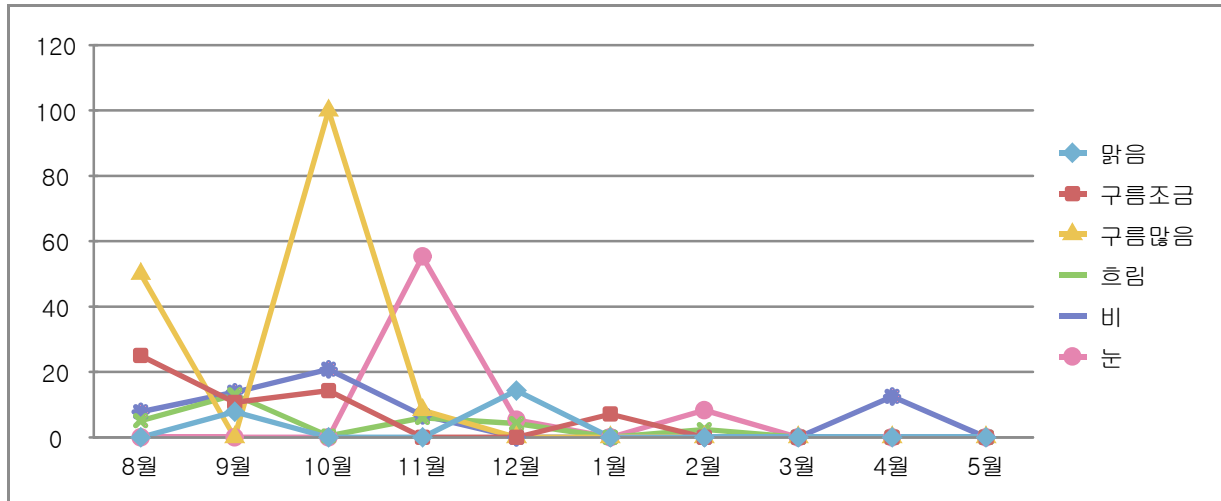
- 기상상태가 검지의 미치는 영향을 연구하기 위해 안정화 작업이후 2015년 8월부터 2016년 5월까지 돌발정보를 DB하였고, 2015년 11~12월 눈이 내린 날에 오경보율이 상승함을 볼수 있으며, 12월 파라미터 변경으로 인해 오경보율이 안정화 되었음. 10월 오경보율이 높은 이유는 현장장비 점검으로 인한 일부 특정일 오경보율이 높이 발생하였으며, 이후 오경보율은 안정화되었음

[표 75] SMART-I 기상에 따른 오경보율 분석(%)

구분	날 씨	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
죽 전	맑음	0.0	4.1	4.9	0.0	0.0	7.1	0.0	11.1	0.0	0.0
	구름조금	0.0	13.2	15.8	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	22.6
	구름많음	0.0	0.0	72.7	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2
	흐림	5.9	16.0	10.4	6.8	5.5	0.0	12.5	6.9	5.0	35.9
	비	6.8	16.9	10.3	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	22.4
	눈	0.0	0.0	0.0	45.6	23.7	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0
오 산	맑음	0.0	7.8	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	구름조금	25.0	10.7	14.3	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	구름많음	50.0	0.0	100.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	흐림	5.1	13.0	0.4	6.0	4.2	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0
	비	7.8	13.8	20.8	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
	눈	0.0	0.0	0.0	55.3	5.3	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0



<그림 126> SMART-I 기상정보별 죽전BS 오경보율(%)



<그림 127> SMART-I 기상정보별 죽전BS 오경보율(%)

- o 연구과제 수행기간동안에 다른 기간보다 10월과 11월에 각각 구름 많음과 강설에 대해서 오경보율이 높게 발생하는 현상이 나타났음

[표 76] SMART-I 기상조건에 따른 오경보율 분석 (%)

구분	날 씨	10월				11월			
		일수 (건)	총경보 (건)	오경보 (건)	오경보율 (%)	일수 (건)	총경보 (건)	오경보 (건)	오경보율 (%)
죽전	맑음	8	679	33	4.9	0	0	0	0.0
	구름조금	2	19	3	15.8	1	51	3	5.9
	구름많음	1	11	8	72.7	1	197	8	4.1
	흐림	13	587	61	10.4	8	621	42	6.8
	비	7	435	45	10.3	16	458	76	16.6
	눈	0	0	0	0.0	4	68	31	45.6
오산	맑음	8	166	0	0.0	0	0	0	0.0
	구름조금	2	14	2	14.3	1	33	0	0.0
	구름많음	1	5	5	100.0	1	12	1	8.3
	흐림	13	234	1	0.4	8	84	5	6.0
	비	7	101	21	20.8	16	315	21	6.7
	눈	0	0	0	0.0	4	47	26	55.3

- o 세부 검지이력을 분석해 보면, 흐린 날씨는 10월 4일 2개 지점의 장비의 오경보율이 높게 발생함. 이는 2015년 7월까지 1차 오경보율 안정화작업을 진행한 이후, 9월에 다소 오경보율이 높게 발생하여, 10월과 11월에 레이더검지기의 파라미터를 전면 재설정하는 작업을 진행하였고, 2015년 12월 이후에는 오경보율이 많이 개선됨. 돌발검지 이벤트를 판단하기 위한 여러 가지 조건들을 재설정하는 작업을 진행함.
- o 10월에 구름이 많은 날씨는 1일이며, 이는 표본수로는 부족하여 날씨에 영향이 있다고 판단하기에는 힘들며, 이후 구름 많은 날씨에도 오경보율은 낮음.
- o 11월에 강설이 날씨에 대해서도 오경보율 안정화 작업이후인 12월부터는 오경보율이 낮음

(5) 교통량에 따른 운영데이터 DB 구축

(가) 개요

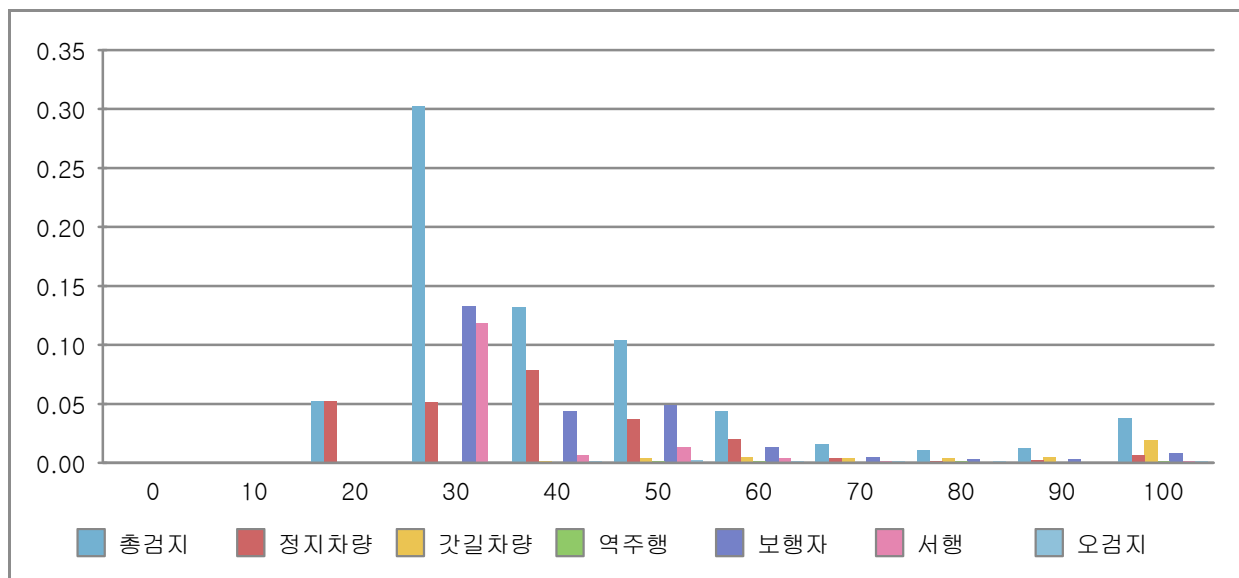
- 2015년 9월 1일부터 2016년 6월 15일까지 경부고속도로 서울방향(죽전부근) 교통량 및 속도데이터와 돌발상황정보를 DB화하여 비교 분석함.
- 교통정보는 시간단위의 교통량 및 속도정보를 이용함.

(나) 전체 교통량 대비 분석

- 전체 교통량 대비 돌발검지건수를 분석해 보면 저속 20~60km/h 구간에서 고속속도보다 많이 발생함.
- 저속 평균속도에서 이벤트 종류로는 정지차량 및 서행 이벤트가 많이 발생함.

[표 77] SMART-I 교통량 및 속도별 돌발정보 분석(%)

속도 (km/h)	0 ~10	10 ~20	20 ~30	30 ~40	40 ~50	50 ~60	60 ~70	70 ~80	80 ~90	90 ~100	100 이상	돌발 발생률 (%)
총검지	0.000	0.000	0.052	0.302	0.132	0.104	0.044	0.016	0.011	0.012	0.038	0.018
정지차량	0.000	0.000	0.052	0.051	0.078	0.037	0.020	0.004	0.001	0.002	0.006	0.004
갓길차량	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.019	0.007
역주행	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001
보행자	0.000	0.000	0.000	0.133	0.044	0.049	0.013	0.005	0.003	0.003	0.008	0.005
서행	0.000	0.000	0.000	0.118	0.006	0.013	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
오검지	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001



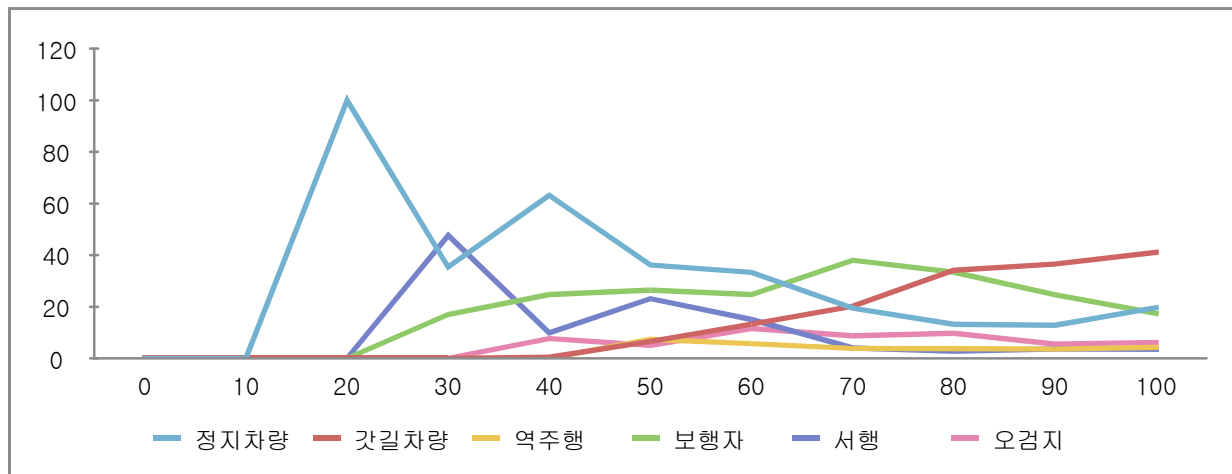
<그림 128> SMART-I 교통량 및 속도별 돌발정보 분석(%)

(다) 돌발이벤트 대비 분석

- 주행평균속도가 저속일 경우에는 정지차량 및 서행차량 돌발비중 많음.
- 주행평균속도가 고속일 경우에는 갓길 차량에 대한 돌발 비중이 많음.
- 돌발발생 비율은 갓길차량, 보행자 및 정지차량이 대부분을 차지함.

[표 78] 속도 구간별 돌발이벤트 비율(%)

속도 (km/h)	0 ~10	10 ~20	20 ~30	30 ~40	40 ~50	50 ~60	60 ~70	70 ~80	80 ~90	90 ~100	100 이상	돌발 발생률 (%)
정지차량	0.0	0.0	100.0	35.37	63.17	36.18	33.32	19.49	13.22	12.86	19.63	17.74
갓길차량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.45	6.55	13.28	20.20	34.17	36.54	41.05	31.56
역주행	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.41	5.71	3.87	3.76	3.61	4.31	4.02
보행자	0.0	0.0	0.0	17.01	24.73	26.46	24.73	38.02	33.37	24.69	17.46	27.62
서행	0.0	0.0	0.0	47.62	9.88	23.15	15.06	4.05	2.74	3.69	3.50	5.00
오검지	0.0	0.0	0.0	0.0	7.69	5.00	11.56	8.76	9.71	5.56	6.19	7.69



<그림 129> 속도 구간별 돌발이벤트 비율(%)

(6) 시스템 안정화

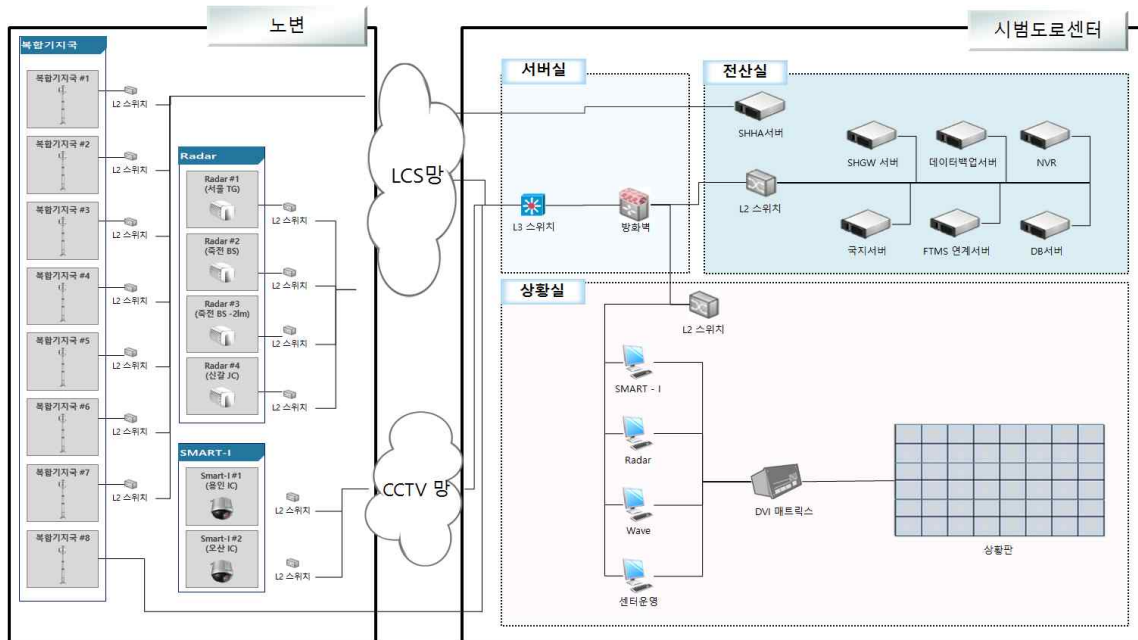
[표 79] SMART-I 시스템 안정화 연구내용

연구 내용	날 짜	개 선 효 과
로컬 프로그램 개선 - Runtime 오류 수정 - 추적카메라 알고리즘 개선	2015년. 5~7	- 현장 프로그램 안정화 - 추적카메라 알고리즘 개선을 통하여 정밀한 카메라 추적이 가능해짐.
센터 프로그램 개선 - 로컬/센터 프로토콜 보완	2015. 5~7	- 센터 프로그램 안정화 - 현장 센터간 통신 안정화
합체 온도 안정화 - 합체내 Fan 설치	2015. 7~8	- 높은 발열로 인한 장비 손상방지
죽전BS 검지 민감도 조정	2015. 8	- 민감도 조정을 통해 오경보 발생 확률 줄임
누전차단기 변경 - 자동누전차단기로 교체	2015. 8	- 자동누전차단기로 변경하여 낙뢰 등 전원 누전시 자동 전원 복구 가능(누전차단기 동작을 위한 현장조치 미발생)
죽전BS/오산IC 돌발검지 관련 전면 개선	2015. 10~11	- 파노라마, 레이더검지기 전면 재설정 및 튜닝을 통하여 검지 성공율을 높이며 동시에 오경보 발생 확률을 줄임

4. 지원 시스템 운영결과 분석

가. 센터 및 네트워크 운영

- 경부선 서울영업소~수원IC간 11km 구간의 시범도로 운영을 위해서 교통센터내 별도의 서버를 구성하고 현장에 설치된 장비들과 Network을 다음 같이 구성하여 운영하고 있음



<그림 130> 스마트하이웨이 사업 경부선 시범도로 시스템 구성 현황

- 센터에서는 각 장비에 대한 가동상태와 서버 및 Network 장비의 상태를 일단위로 확인하고 있으며 장비의 이상상황이 발생하면 즉시 장비관리 기관(업체)에 통보하고 기록
- 본 연구에서는 장비의 운영 상태를 일 단위로 확인하고 이의 결과를 월 단위로 가동률을 확인함. 이에 가동률에 대한 정의와 점검과 관련한 고려사항을 다음과 같이 정하고 상태를 확인함
 - 가동률(또는 운영률)의 정의 : $\text{정상 가동(또는 운영)일수} / \text{총 운영일수} * 100$
 - 정상 가동(또는 운영)일수 : 계획된 점검일수를 제외한 고장일수
 - 고장은 09:00~18:00(상황실 담당 근무시간) 기준으로 작성하되 단 1회라도 고장이라면 고장일수에 포함
 - 계획된 점검일수는 총 운영일수에서 제외
- 그리고 2015년 5월부터는 연구진의 의견을 반영하여 센터에서 상황근무자가 고장 등 이상이 발생할 경우 확인 또는 발생시간을 기록한 후 해당기관에 전달하고 고장 조치가 완료된 시간을 기록하여 장비의 고장(발생)에서부터 연락-도착-조치(복구)의 일련의 과정이 진행되는 고장조치 시간을 별도로 기록하여 이상조치 대응시간을 확인

1) SMART-I 가동률

- 시범도로 테스트베드에 설치된 SMART-I(죽전BS지점/오산IC지점)의 센터 운영자 운영

일지를 기반으로 하여 시스템 가동률을 산정함

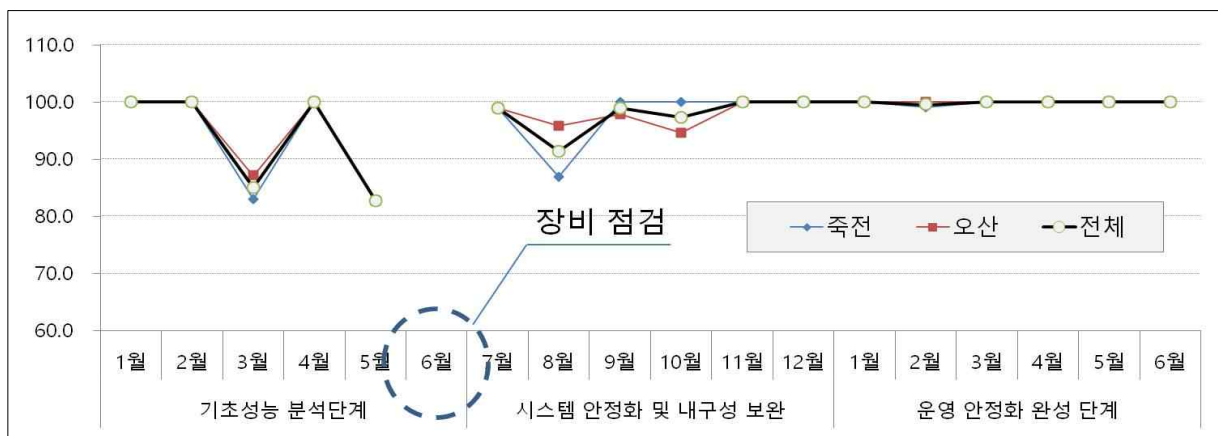
$$\text{가동률(\%)} = (\text{가동시간} / \text{총시간}) * 100$$

- 가동시간 = 점검을 제외한 운행시간(3시간 단위)

- o 가동률은 센터 운영자가 3시간 단위로 운행상황을 기록한 가동시간을 총시간으로 나누어 계산되며 점검을 위한 시간은 제외되며 현재 운영결과는 다음과 같이 18개월간 가동률은 97.3%로 확인

[표 80] SMART-I 가동률

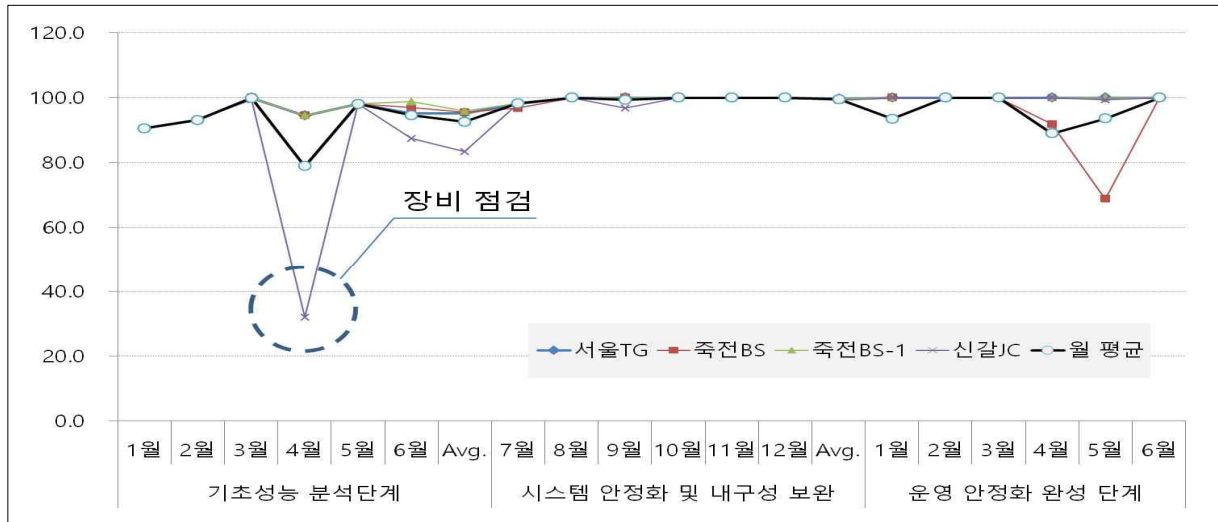
구 분		죽전	오산	월평균	비고
안정화 이전	1월	100.0	100.0	100.0	-
	2월	100.0	100.0	100.0	-
	3월	83.0	87.1	85.1	-
	4월	100.0	100.0	100.0	-
	5월	82.7	82.7	82.7	-
	6월	점검	점검	-	1개월 점검 미운영
	7월	98.9	98.9	98.9	-
안정화 이후	8월	86.9	95.8	91.4	-
	9월	100.0	97.9	99.0	-
	10월	100.0	94.6	97.3	-
	11월	100.0	100.0	100.0	-
	12월	100.0	100.0	100.0	-
	1월	100.0	100.0	100.0	-
	2월	99.1	100.0	99.6	-
	3월	100.0	100.0	100.0	-
	4월	100.0	100.0	100.0	-
	5월	100.0	100.0	100.0	-
	6월	100.0	100.0	100.0	-
전체 평균		97.1	97.5	97.3	-



<그림 131> SMART-I 월별 가동률 현황

2) SMART-IDS 가동률

- o SMART-IDS 가동률을 살펴보면 초기에 가동률이 낮았으나, 정기점검(월 1회), 성능보완 등 지속적인 모니터링을 통하여 가동률 향상을 보였고, 이후 안정적인 가동률을 보임



<그림 132> SMART-IDS 월별 가동률 현황

- o 연구 초기 기초 성능분석 단계를 거쳐 국지서버의 모니터링으로 시스템 성능분석을 수행하였고(메타빌드) 이후 6개월과 과업종료 전 6개월은 안정적인 운영 상태를 보임

[표 81] SMART-IDS 설치 지점별 가동률(%)

구 분		서울TG	죽전BS	죽전BS-1	신갈JC	월 평균	비 고
기초 성능 분석 단계	1월	90.6	90.6	90.6	90.6	90.6	-
	2월	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	-
	3월	100.0	100.0	100.0	99.4	99.9	-
	4월	94.5	94.5	94.5	32.0	78.9	신갈 ICT 지점 레이더 부품 교체작업(4월 11일 ~ 27일)
	5월	98.1	98.1	98.1	98.1	98.1	-
	6월	95.1	97.0	98.8	87.4	94.6	-
	Avg.	95.3	95.6	95.9	83.5	92.5	-
시스템 안정화 및 내구성 보완	7월	98.2	96.8	98.3	98.2	98.3	-
	8월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	9월	100.0	100.0	100.0	96.8	99.4	-
	10월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	11월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	12월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	Avg.	99.7	99.5	99.7	99.2	99.5	-
운영 안정화 완성 단계	1월	100.0	100.0	100.0	100.0	93.5	-
	2월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	3월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	4월	100.0	91.8	100.0	100.0	89.0	-
	5월	100.0	68.8	100.0	99.4	93.6	죽전BS(#2) 케이블 교체 및 테스트
	6월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
	Avg.	100.0	93.4	100.0	99.9	98.3	-
전체 평균		98.2	96.3	98.5	93.9	96.1	-

※ 신갈JC 지점의 경우 테스트 진행 과정에서 레이더 부품 교체작업(4월 11일 ~ 27일)으로 가동률 일시 낮음, 서해대교 설치지점 제외 내용임(서해대교 결과는 SMART-IDS 운영결과에서 확인)

3) WAVE 통신 기지국(RSU)

- 시범도로에 구축하여 운영되고 있는 복합기지국(#1~#7, 상시 운영한 본선용 7개 RSE 분석결과)의 가동률은 목표로 한 가동률 95% 이상을 유지하고 있으며 연구기간 동안의 평균 가동률은 99.87%

[표 82] 복합기지국 월간 가동률 분석 결과

기지국 번호	일 시	운영 기간	가동 시간	가동률(%)
RSE #1	2015.01.01. ~ 2016.06.28. (545일)	2015.01.02. ~ 2016.06.28. (544일)	13,012 / 13,027 시간	99.88
RSE #2			13,009 / 13,027 시간	99.86
RSE #3			13,012 / 13,027 시간	99.88
RSE #4			13,012 / 13,027 시간	99.88
RSE #5			13,012 / 13,027 시간	99.88
RSE #6			13,009 / 13,027 시간	99.86
RSE #7			13,009 / 13,027 시간	99.86
평 균			91,075 / 91,189 시간	99.87

- 결과는 총 18개월간의 자료이고 혹한기/혹서기 환경에서의 기지국의 가동률 성과목표인 95% 이상을 만족하고 있는 것으로 확인됨.



<그림 133> 복합기지국 지점별 가동률

4) 네트워크 가동률(%)

- 시범도로의 Network 정비는 예고된 Network 공사(예정된 점검은 미가동시간에서 제외)를 제외한 미가동일은 없어서 가동률 100%를 유지

[표 83] 네트워크 장비 월간 가동률 분석 결과

년	월	일	가동일	운영일수	가동률	비고
2015년	1월	31	26	26/26	100%	1월 5일까지 예정된 망공사 진행
	2월	28	28	28/28	100%	-
	3월	31	31	31/31	100%	-
	4월	30	30	30/30	100%	-
	5월	31	31	31/31	100%	-
	6월	30	30	30/30	100%	-
	7월	31	31	31/31	100%	-
	8월	31	31	31/31	100%	-
	9월	30	30	30/30	100%	-
	10월	31	31	31/31	100%	-
	11월	30	30	30/30	100%	-
	12월	31	31	31/31	100%	-
2016년	1월	31	31	31/31	100%	-
	2월	29	29	29/29	100%	-
	3월	31	31	31/31	100%	-
	4월	30	30	30/30	100%	-
	5월	26	26	26/26	100%	-
합계				507/507	100%	-

※ 2014년 12월 말 망공사로 인한 가동 안 된 일수 가동률에 적용 안함

※ 1월 1일부터 5일까지 망공사로 인한 가동 안 된 일수 가동률에 적용 안함, 1월 5일 12시 이후 정상 가동됨

※ 2016년 5월 대보의 현장 유지보수 작업 이후 네트워크 연결 안 된 일수 가동률에 적용 안함

[표 84] 네트워크 장비 월간 가동률(전체기 예정된 작업)

날짜	사유	비고
15년 1/1~1/5	14년 12월 30일 망공사로 인하여 가동 안 됨	12시 이후 정상 가동
16년 5/12	15시 대보 작업 이후 3번 기지국 네트워크 연결 안 됨 (12일 15시 ~ 16일 17시)	-
	15시 30분 대보 작업 이후 네트워크 연결 안 됨 (12일 15시 30분 ~ 16일 10시 30분)	-

5) 교통센터 서버 운영(%)

- 센터의 서버의 운영은 다음과 같으며 7월 24일 발생한 국지서버의 재부팅 1건을 제외한 모든 시간동안 가동되어 18개월 동안 가동률은 99.8%임

[표 85] 교통센터 서버장비 월간 가동률 분석 결과

년	월	일	가동일	작동일수	가동률	비고
2015년	1월	31	31	31/31	100%	-
	2월	28	28	28/28	100%	-
	3월	31	31	31/31	100%	-
	4월	30	30	30/30	100%	4/2 서버점검(UT정보)
	5월	31	31	31/31	100%	-
	6월	30	30	30/30	100%	6/18 서버점검(UT정보)
	7월	31	30	30/31	96.8%	7/24 퇴근이후 국지 서버 재부팅
	8월	31	31	31/31	100%	-
	9월	30	28	28/28	100%	9/22 센터 정전
	10월	31	31	31/31	100%	-
	11월	30	30	30/30	100%	-
	12월	31	29	29/29	100%	-
2016년	1월	31	31	31/31	100%	-
	2월	29	28	28/28	100%	-
	3월	31	31	31/31	100%	3/14 UT정보 서버점검 방문
	4월	30	30	30/30	100%	-
	5월	31	31	31/31	100%	5/31까지 정리한 데이터
합계				511/512	99.8%	-

※ 7월 24일 퇴근이후 국지서버 PC의 재부팅 발생

[표 86] 교통센터 서버장비 장애발생 내역

날짜	사유	비고
15년 7/24	퇴근 이후 국지서버PC 재부팅	-
15년 9/22	교통센터 정전이후 데이터 수집 안 됨	22일 10시 34분~23일 10시
15년 12/22	교통센터 전기공사로 인하여 서버 작동 안 됨	22일 18시 ~ 23일 09시
16년 2/23	교통센터 전기시설점검으로 인한 정전	23일 10시 37분

※ 정전, 전기공사, 전기시설점검 등 예정된 외부요인에 의한 사항은 가동률에서 제외

나. 목적시스템 장애 및 돌발상황 발생 대응

- 스마트하이웨이 사업의 유형적 결과물인 시스템의 안정적인 운영을 위해서 장애발생의 최소화과 발생시 신속한 조치로 서비스의 연속성을 확보할 필요가 있음. 이에 연구에서는 현장에 설치된 시스템의 장애발생 내역을 기록하고 예상치 못했던 원인의 파악과 대응을 통해 최소화 방안을 도출
- 돌발상황 검지시스템은 검지된 돌발상황에 대한 운영자 측면에서의 신속한 대응으로 돌발상황으로 인한 정체, 2차사고 등을 줄이는 역할이 중요함. 이에 본 연구에서는 돌발상황의 검지내역을 기록하고 교통센터에서 즉시 교통관리에 활용될 수 있도록 상황관리자 등에게 전달하는 역할을 수행

1) 고장발생 보고

① SMART-IDS(도로정보 레이더)

[표 87] SMART-IDS(도로정보 레이더) 고장발생 조치사항

월	일	지점	시간	보고방법	내용
2월	10일	레이더	09시	무선전화(기관 담당)	글로벌 맵 도로상황 표시 안 됨, 이벤트 검지 안 됨.
3월	30일	죽전BS, 신갈JC	15시	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨
4월	1일	신갈JC	16시	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨(16시 ~ 18시)
	2일	신갈JC	13시 이후	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨(13시 ~ 18시)
	9일	신갈JC	13시	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨
5월	13일	서울TG	13시 이후	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨(13시 ~ 15시)
6월	1일	서울TG, 죽전BS 죽전BS-1, 신갈JC	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(5/31 10시 36분 ~ 6/1 09시)
	2일	죽전BS	13시 이후	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨(20시 ~ 3일 14시)
	9일	서울TG	09시	무선전화(기관 담당)	카메라 위치 돌아감, 레이더 작동 안 됨 (09시 ~ 17시 30분)
		신갈JC	11시 30분		레이더 작동 안 됨(11시 30분 ~ 13시 30분)
	10일	서울TG	13시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(12시 30분 ~ 11일 17시)
		신갈JC			레이더 작동 안 됨(12시 30분 ~ 17시 30분)
		죽전BS-1			레이더 작동 안 됨(12시 30분 ~ 17시 30분)
	12일	신갈JC	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(12일 09시 ~ 15일 10시)
7월	1일	서울TG, 죽전BS 죽전BS-1, 신갈JC	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(7/1 22시 ~ 2일 09시 30분)
	27일	죽전BS	13시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(27일 12시 ~ 29일 18시)
	28일	서울TG	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(28일 3시 ~ 29일 9시)
		신갈JC			레이더 작동 안 됨(28일 ~ 29일 16시 30분)
	29일	죽전BS-1	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(29일 ~ 29일 17시 30분)
4월	28일	죽전BS	13시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨 (28일 13시 ~ 5월 10일 16시)
5월	18일	신갈JC	14시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(14시 ~ 18시 15분)

※ 7월 27일 ~ 29일 오류의 경우 HDD 저장용량 초과로 인한 문제 발생

② SMART-I

[표 88] SMART-I 고장발생 조치사항

월	일	지점	시간	보고방법	내용
1월	9일	상황실	09시	무선전화(기관 담당)	컴퓨터 본체 그래픽 카드 이상으로 인하여 수리
	13일	죽전BS			죽전BS 확인 및 점검
	14일	오산IC			서울, 부산 방향 표시 잘못된 부분 수정
		죽전BS			죽전BS 카메라 오작동 조치 완료
	15일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	죽전BS 로컬프로그램(런타임 에러 발생)
	19일	죽전BS			죽전BS 로컬(파노라마), 죽전BS 로컬 프로그램(레이더) 런타임 에러, 죽전BS 이벤트 미검지, 센터 프로그램 점검
2월	21일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	죽전BS 로컬프로그램(파노라마 에러 발생)
	4일		09시	무선전화(기관 담당)	실제와 결과 유형이 일치일 경우 카메라 추적 정확하지 않음
3월	12일	상황실			컴퓨터 그래픽 문제로 인하여 본체 수거
	2일	오산IC	09시	무선전화(기관 담당)	지정체 상황이지만 이벤트 검지 안됨.
	4일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	카메라 이동 안 됨. 점검 필요
	6일	상황실			프로그램 점검
	13일	죽전BS			프로그램 현장 점검
	16일	죽전 BS	09시		죽전BS 시스템 이상으로 인한 현장 점검
	23일	상황실			센터PC 점검
	26일	죽전BS			죽전BS 점검
	30일		09시	무선전화(기관 담당)	돌발영상 분석 중 카메라추적 안 되는 현상 발생
4월	27일	상황실			센터 스마트I PC본체 교체
5월	7일	상황실			센터 스마트I PC본체 교체
	15일	오산IC	09시	무선전화(기관 담당)	파노라마, 레이더 영상 저장 안 됨
	18일	상황실			상황실 스마트I PC본체 교체, 오산IC 검지기 펌웨어 교체 및 튜닝작업 시작(18일 16시 30분 ~)
6월	2일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	검지 상황인데 검지 안 됨. 점검 필요
7월	22일	죽전BS, 오산IC	09시	무선전화(기관 담당)	죽전BS, 오산IC 에러 발생
	23일	상황실			프로그램 점검
	29일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨
		오산IC	09시		오산IC 전원 공급 안 됨
8월	30일	죽전BS, 오산IC			죽전BS, 오산IC 점검
	4일	죽전BS			시스템 점검(14시 ~ 18시)
		오산IC	14시	무선전화(기관 담당)	제어PC 고장(4일 14시 ~ 5일 14시)
	11일	죽전BS			파노라마 점검(11시 ~ 14시)
9월	14일	죽전BS	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 동작 안 됨(14일 09시 ~ 17일 10시)
	21일	오산IC			파노라마 부품교체(21일 17시 ~ 23일 12시)
10월	30일	오산IC	09시	무선전화(기관 담당)	레이더 에러(09시 ~ 10월 1일 15시 30분)
	27일	죽전BS			파노라마 복구 작업(13시 ~ 14시 30분)
11월	29일	오산IC	09시	무선전화(기관 담당)	오산IC 에러 발생(29일 20:30~30일 18:30)
	12일	죽전BS	17시	무선전화(기관 담당)	레이더 작동 안 됨(12일 17시~13일 10시)
1월	26일	죽전BS	17시		파노라마, 레이더 작동 안 됨(12일 17시~13일 10시)
	26일	죽전BS			죽전BS 파노라마 작업
2월	1일	오산IC	12시	무선전화(기관 담당)	오산IC 인코더 작동 안 됨(1일 12:00~2일 12:30)

※ 스마트I의 경우 시간, 보고방법이 적혀있지 않은 부분은 휴엔에스 자체적으로 점검한 부분임

③ WAVE 기지국

[표 89] WAVE 통신 기지국 고장발생 조치사항

월	일	지점	시간	보고방법	내용
2월	13일	7번	09시	무선전화(기관 담당)	7번 기지국 예러 발생(06시 52분 ~ 09시 04분)
3월	31일	7번	09시	무선전화(기관 담당)	7번 기지국 네트워크 불안정
4월	16일	6번	09시	무선전화(기관 담당)	4월 15일 업무일지 작성 중, 6번 기지국 네트워크 문제 발생
5월	6일	7번	09시	무선전화(기관 담당)	5월 3일 업무일지 작성 중, 7번 기지국 네트워크 문제 발생
6월	15일	2번	13시	무선전화(기관 담당)	2번 기지국 예러 발생(12시 ~ 15시 30분)

2) 돌발상황보고

- o SMART-IDS와 SMART-I의 돌발상황 검지에 따른 상황실 담당인 경부선 운영자에게 이벤트 발생을 전달한 내역은 다음과 같고 평균 전달시간은 상황의 오보여부 검토를 확인하고 약 2분(최대 6분) 이내에 전파되었음

[표 90] 돌발상황 검지 후 보고 조치사항

월	일	발견시간	보고시간	소요시간	내용
1월	28일	11시 21분	11시 24분	3분	낙하물체(2~3m가량의 텐트천)으로 서행차량 발견
2월	12일	09시 59분	10시 02분	3분	신갈분기점 5차로 승용차 관련 사고처리중
	13일	14시 58분	14시 59분	1분	서울TG부분 사고 발견
4월	2일	13시 37분	13시 39분	2분	죽전BS 고장차 발견
	10일	16시 03분	16시 06분	3분	서울TG 2차로 승용차 관련 접촉사고
	13일	11시 03분	11시 05분	2분	죽전BS-1 5차로 트럭 승용차 사고
	29일	13시 34분	13시 35분	1분	신갈JC 5차로 승용차 관련 접촉사고
		13시 34분	13시 36분	2분	서울TG 2차로 승용차 관련 접촉사고
5월	26일	16시 45분	16시 46분	1분	죽전BS-1 5차로 화물차 고장차 발견
6월	3일	14시 50분	14시 51분	1분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	24일	15시 15분	15시 16분	1분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	26일	16시 08분	16시 08분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
7월	3일	13시 18분	초기	-	죽전BS-1 사고 발견
	5일	02시 51분	인지시간	-	신갈JC 사고 발견
	6일	11시 07분	비교를	-	신갈JC 사고 발견
	15일	13시 28분	위해	-	서울TG 사고 발견
	18일	07시 38분	미보고	-	신갈JC 사고 발견
8월	10일	08시 01분	미전달	-	신갈JC 사고 발견
	11일	17시 19분	17시 21분	2분	서울TG 사고 발견
	17일	13시 02분	13시 08분	6분	서울TG 사고 발견
	24일	11시 58분	11시 58분	0분	신갈JC 사고 발견
		13시 09분	13시 13분	4분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	27일	15시 14분	15시 15분	1분	서울TG 사고 발견

- 7월 중 돌발상황 인지시간 비교를 위해 경부선 담당자에게 보고 안 함(초기 대응시간 비교)

<표 계속>

월	일	발견시간	보고시간	소요시간	내용
9월	9일	13시 21분	13시 24분	3분	죽전BS 5차로 고장차 발견
	15일	15시 15분	15시 16분	1분	서울TG 1,2차로 승용차 사고 발견
		16시 58분	16시 58분	0분	죽전BS 5차로 고장차 발견
	16일	11시 42분	11시 42분	0분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	25일	11시 30분	11시 30분	0분	신갈JC 5차로 승용차 사고
	30일	13시 50분	13시 50분	0분	죽전BS 1,2차로 사고 발견
10월	6일	13시 42분	13시 42분	0분	신갈JC 2차로 승용차 3대 관련 사고 발견
		15시 06분	15시 06분	0분	죽전BS 2차로 고장차 발견
	8일	15시 17분	15시 17분	0분	죽전BS 1차로 사고 발견
	15일	11시 32분	11시 32분	0분	죽전BS 5차로 고장차 발견
11월	5일	13시 24분	13시 24분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
	16일	13시 18분	13시 18분	0분	죽전BS 사고 발견
	24일	10시 54분	10시 54분	0분	서울TG 1,2차로 사고 발견
12월	4일	11시 17분	11시 17분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
	4일	14시 56분	14시 56분	0분	오산IC 4차로 고장차 발견
	17일	15시 48분	15시 51분	3분	서울TG 2차로 사고 발견
1월	7일	10시 10분	10시 14분	4분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
		13시 11분	13시 12분	1분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
		14시 27분	14시 29분	2분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
	19일	15시 30분	15시 30분	0분	서울TG 2,3차로 승용차 사고 발견
	26일	13시 23분	13시 24분	1분	서울TG 2,3차로 승용차 사고 발견
	27일	10시 40분	10시 40분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
2월	18일	09시 38분	09시 38분	0분	죽전BS-1 사고 발견
	24일	10시 07분	10시 08분	1분	서울TG 승용차 사고 발견
		14시 08분	14시 10분	2분	죽전BS 5차로 승용차 고장 발견
	25일	10시 07분	10시 08분	1분	서울TG 승용차 사고 발견
3월	31일	10시 20분	10시 23분	3분	서울TG 1차로 버스 고장 발견
4월	4일	13시 16분	13시 17분	1분	죽전BS 2차로 승용차 사고 발견
		15시 48분	15시 49분	1분	서울TG 3차로 승용차 사고 발견
	15일	13시 07분	13시 07분	0분	죽전BS 2차로 사고 발견
		14시 31분	14시 33분	2분	서울TG 2차로 고장차 발견
	18일	12시 41분	12시 45분	4분	서울TG 2차로 사고 발견
	26일	13시 16분	13시 17분	1분	서울TG 2차로 사고 발견
		13시 31분	13시 32분	1분	서울TG 2차로 사고 발견
	27일	13시 56분	13시 56분	0분	신갈JC 3,4차로 사고 발견
	28일	15시 12분	15시 14분	2분	죽전BS-1 2차로 사고 발견
	29일	15시 33분	15시 33분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
5월	4일	13시 16분	13시 20분	4분	서울TG 2차로 고장차 발견
	25일	16시 05분	16시 07분	2분	서울TG 2차로 승용차 사고 발생

5. 기술시연

가. 기술시연 실적

- o 스마트하이웨이 테스트베드 기술시연은 18개월 동안 총 48회가 실시되었고, UN ESCAP 교통국장, 베트남, 콜롬비아 등 국외 ITS 관계자, 세계도로대회 기술시찰 (Technical Visit) 프로그램, 국내 신임 국토부장관 등 512명이 방문하여 스마트하이웨이 연구결과 소개와 V2X 서비스를 경부선 시범도로에서 직접 체험
- o 시연 참관자의 44.1%(226명)는 한국을 방문한 외국인 이였고, 전체의 43.7%(224명)는 정부기관 관계자로 국내외 관련 정책 수립과 결정에 역할을 할 것으로 기대
- o 1회당 기술시연을 체험한 평균 인원수는 약 10.2명이고, 월 평균 2.7회 시연이 진행되어 매월 5일 동안은 사전준비 및 리허설, 기술시연 과정을 반복함

[표 91] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연 참관자 내역

참관자 소속		참여인원 (명)		비율 (%)	
내국인	정부기관	105	286	20.6	55.9
	대학교	58		11.3	
	산업계	36		7.0	
	기타 (언론사 등)	87		17.0	
외국인	정부기관	119	226	23.2	44.1
	대학교	1		0.2	
	국제대회	93		18.2	
	기타기관	13		2.5	
합 계		512		100.0	

- o 특히 2015년 11월 서울에서 개최된 제25회 세계도로대회의 기술시찰 프로그램을 통해 29개국 관계자에게 스마트하이웨이 연구결과를 홍보

[표 92] 제25호 서울 세계도로대회 기술시찰(TV-4)

기술시찰 주제	TV-4. Smart Highway - Future-oriented Traffic Information Center, Smart Highway Experience
프로그램	교통센터 및 스마트하이웨이 브리핑, 전시관/상황실/방송실 견학, 시범도로 기술시찰
기술시찰 규모	• 세계도로대회 기술시연 기간 : 2015. 11. 2(월) ~ 11. 5(목) 총 7회 (당초 6회) • 참관자 93명 (4개국 장·차관 포함) - 영어권 58명, 스페인어권 18명, 불어권 18명 ※ 사전예약 후 미참석 인원 발생, 각국 장·차관 대상으로 VIP 프로그램 별도 운영

[표 93] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연 내역

순번	일자	구분	국내	국외	방문자(명)
1	2015. 1. 20	국내 기타기관	5		스마트하이웨이사업최종평가위원
2	2015. 1. 30	정부기관	5		국토교통부 도로국 신입 사무원 등
3	2015. 2. 6	국내 기타기관	3		평창 동계올림픽 조직위
4	2015. 3. 11	국외 정부기관		15	미얀마 공공사업 건설부 공무원
5	2015. 3. 18	정부기관	25		국토교통부 도로정책심의위원회 위원 등
6	2015. 3. 25	국외 기타기관		4	UN ESCAP 교통국장 등
7	2015. 3. 25	정부기관	7		국토교통과학기술진흥원 신입 연구원 등
8	2015. 3. 26	국외 정부기관		5	베트남 도시건설투자청장 등 ITS 공무원
9	2015. 4. 10	국외 대학교		1	싱가폴 대학교(기후환경 세계총회)
10	2015. 4. 30	정부기관	5		미래창조과학부국장등
11	2015. 5. 14	국내 대학교	40		금오공대 사회인프라공학과 학생 등
12	2015. 5. 15	국내 대학교	18		서울대 교통연구실 학생 등
13	2015. 5. 18	국내 산업계	10		한국도로공사 도로교통연구원 신입연구원 등
14	2015. 5. 18	국외 정부기관		12	콜롬비아 ITS 관계자
15	2015. 7. 2	정부기관	13		국토교통부-산하기관 홍보 협의회의
16	2015. 7. 14	국외 기타기관		4	글로벌 인턴쉽
17	2015. 7. 14	정부기관	14		미래창조과학부 융합보안 전문가
18	2015. 7. 18	정부기관	7		국토교통부 장관 등
19	2015. 8. 27	국내 산업계	20		제25회 서울 세계도로대회 후원사
20	2015. 10. 7	국외 정부기관		4	쿠웨이트 공공사업부 대표단(차관 등)
21-27	2015. 11. 2.~5	국제대회		93	제25회 세계도로대회(4개국 장관관 등), 7회
28	2015. 11. 27	국외 기타기관	5		연합뉴스 TV
29	2015. 12. 22	국내 기타기관	20		KAIA 및 자율협력주행 연구단
30	2016. 1. 19	정부기관	4		기획재정부및국토교통부
31	2016. 3. 9	정부기관	2		국토교통부제2차관등
32	2016. 3. 15	정부기관	5		국토교통과학기술진흥원장 등
33	2016. 3. 16	국내 산업계	2		한국도로공사 상임감사위원 등
34	2016. 3. 17	국외 정부기관		15	코트디부아르 공무원 등
35	2016. 3. 24	국내 기타기관	3		YTN 사이언스
36	2016. 3. 24	국내 기타기관	2		KDI (한국개발원)
37	2016. 4. 5	국내 기타기관	3		KBS 울산방송국 취재
38	2016. 4. 6	국외 정부기관		8	핀란드 국회 교통통신위원회
39	2016. 4. 8	정부기관	3		기획재정부 국토교통예산과장 등
40	2016. 4. 21	국내 기타기관	22		한국교통장애인협회
41	2016. 4. 21	국외 정부기관		11	아프리카 7개국(가나, 케냐 등) 공무원
42	2016. 4. 22	국내 산업계	4		한국도로공사 도로교통연구원 신입연구원
43	2016. 4. 22	정부기관	15		도로교통협회
44	2016. 4. 27	국외 정부기관		19	베트남 도로분야 대표단
45	2016. 5. 25	국외 정부기관		15	튀니지 공무원
46	2016. 5. 31	국내 기타기관	24		'지능형 자동차 기술혁신 매치 메이킹'
47	2016. 6. 9	국외 기타기관		5	UN ESCAP 교통국
48	2016. 6. 9	국외 정부기관		15	콜롬비아 교통 및 ITS 관계자

나. 기술시연 서비스 정의 개발

- o 기술시연에 사용된 서비스는 스마트하이웨이 사업에서 기술시연에 사용한 내용을 그대로 운영하였고, 이후 11월 세계도로대회를 대비하여 8월부터 기존 8개 서비스에 1개 서비스의 개선과 3개 서비스를 추가 개발함.
- o 신규 서비스로 검토 중인 보행자 알림 등 3개 서비스는 9월초 현장시험을 통해 서비스 구현 가능성, 기술시연의 적정성을 검토하였고 보행자 알림과 합류부 주의운전 경고를 포함
- o 서비스 정의는 별도의 서비스 정의서를 마련하여 시연을 위한 시나리오 작성에 반영하였고 추가 서비스는 V2X 통신을 이용한 사례를 보여주는 것으로 기술적 완성도를 전제로 하지는 못함

[표 94] 스마트하이웨이 시범도로 기술시연을 위한 서비스 List

구분	No.	서비스	서비스 내용
기존	1	연쇄사고 예방	차량의 돌발상황을 차내 단말기가 수집하여 위험상황을 접근하는 차량과 주변 기지국에 즉각 자동으로 통보
	2	낙하물 검지 및 정보제공	도로장애물센서, CCTV 카메라, 제보 지점 등에서 검지된 도로 장애물 위험정보를 기지국을 통해 해당지점으로 접근하는 모든 차량에게 경고음과 메시지 제공, 또한, 돌발상황 검지 상황을 파악할 수 있는 영상 제공
개선	3	긴급차량 접근 알림	구난구조를 목적으로 출동한 긴급차량이 도로상에서 자신의 존재를 적극적으로 주변의 모든 차량과 노변장치를 통해 제공
기존	4	차량이상 알림(SOS)	운전자가 차내의 비상버튼을 동작시켰을 때, 위험을 해당지점으로 접근하는 모든 차량과 주변 기지국에 즉각적으로 제공
	5	Virtual VMS	도로상에 설치되어 있는 도로전광표지(VMS) 등에서 제공되고 있는 도로교통정보를 운전자 차내단말기를 통해 제공
	6	도로작업 알림	공사, 청소, 재난재로 등 도로작업이 있는 위치로부터 해당지점으로 접근하는 모든 차량에게 경고음과 메시지를 차량단말기를 통해 제공
	7	스마트 톨링	WAVE 통신방식의 하이패스 서비스
신규	8	보행자 알림	보행자 존재를 차량에 전달하여 차량 운전자에게 경고 정보 제공
	9	합류부 주의운전 경고	본선 진입차량의 위치, 속도, 진행방향을 이용하여 진입차로 주행차량에 차량합류 경고와 본선차량에 차량진입 경고정보 제공
	10	과속운전차량 접근 알림	도로상 검지기가 과속·난폭운전 차량을 검지하여 선행차량 차내 단말 장치에 정보를 제공하여 난폭운전 차량의 접근경고 정보 제공 ※ 기술시연 가능성 확인 후 미 채택

다. 제25회 서울 세계도로대회 기술시연

1) 개요

- 1908년 제1회 파리 대회 이후 100년 이상을 비정부기구인 세계도로협회(PIARC)의 전 세계 회원국을 순회하며 4년 주기로 개최되어 온 세계도로대회가 2015년 서울 코엑스에서 개최

[표 95] 제25회 세계도로대회 개요

	세계도로협회(World Road Association; PIARC)는 비정치적, 비영리 단체이며, 도로 및 도로교통 분야에서 발전을 도모하고 국제협력을 증진하기 위하여 1908년 제1차 파리 세계도로대회를 계기로 1909년에 창립되어 도로분야에서는 가장 오랜 역사를 보유하고 있는 지식 교류 국제포럼이다 현재 세계도로협회는 118개 정부가 가입되어 있으며, 142개국의 공공 및 민간분야 단체 및 개인회원으로 구성되어 있다. 또한, 국가차원의 지식교류 포럼 역할을 담당하고 세계도로협회의 지식 자료들을 확대 보급하는 세계도로협회 국가위원회가 37개국에서 활동하고 있다.
	

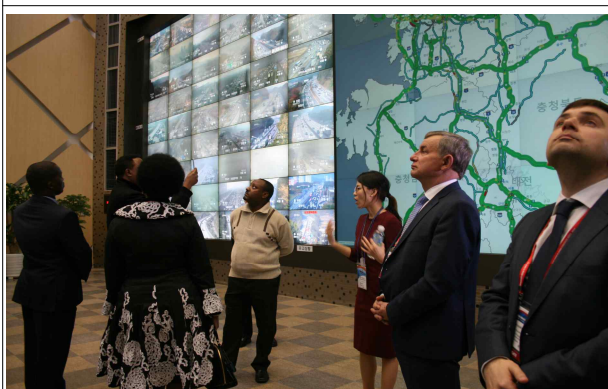
- 지금까지 도로의 핵심 가치는 사람과 물자를 신속하고 안전하게 수송하는 물리적 기능에 집중되어 왔다면, 오늘날 도로의 가치는 환경 및 정보통신기술 등 신기술과 접목되고 주변 공간과 조화를 이루며, 사회적 기능을 중시하는 방향으로 변화하고 있음. 따라서 미래의 도로는 신공간의 창출, 에너지의 생산, 새로운 삶과 사회적 기능을 창출해 나갈 것으로 전망하고 있음. 이러한 취지에서 제25회 서울 세계도로대회는 현재의 시대변화상을 반영하여 ‘도로와 이동성 - 도로교통 분야의 新 가치 창출(Roads and Mobility - Creating New Value from Transport)’ 주제로 개최
- 이번 대회에서는 한국의 도로교통기술을 소개하는 자리이기도 하였고 스마트하이웨이 모니터링 및 활용방안 연구에서는 기술시찰(Technical Visit)을 통해 연구 성과들을 소개

- 스마트하이웨이 기술시찰은 대회 유치가 결정된 이후, 한국의 도로교통 관련 기술을 소개하기 위한 대표적인 프로그램으로 자리를 잡았고 이에 스마트하이웨이 사업의 본 연구가 마무리 된 이후에도 연구결과물들이 현장에 구축된 경부선 시범도로 구간을 유지하고 관리하는 본 연구과제에서 진행
- 서울 세계도로대회 Technical Visit(현장시찰)의 공식 프로그램에서는 'TV4. 스마트하이웨이 - 미래지향 커뮤니케이션'6)로 소개되었고 이미 대회개최 이전에 6회 시찰, 120명 정원이 모두 예약되는 모습을 보여 많은 이들의 주요 관심대상이 되었음

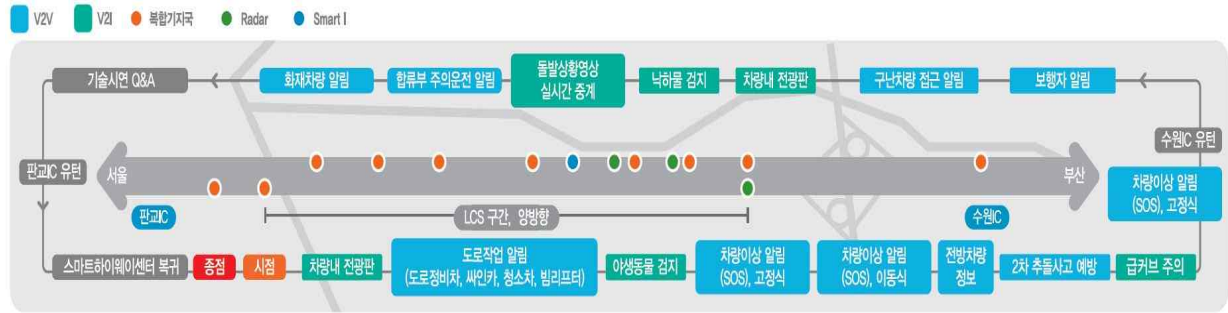
2) 기술시연 프로그램 및 서비스

- 기술시찰의 전체 프로그램은 한국도로공사 교통센터 및 스마트하이웨이사업 브리핑, 전시관 소개, 교통센터 상황실 및 방송실 견학, 마지막으로 스마트하이웨이 기술시연 체험으로 구성되었고 약 100분에 걸쳐 진행

[표 96] 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 프로그램

	
① 교통센터 및 스마트하이웨이 브리핑(약 20분)	② 전시관 설명(약 10분)
	
③ 상황실, 방송실 견학(약 20분)	④ 버스 기술시연(약 45분)

6) Technical Visit - 4 Smart Highway - Future-oriented Traffic Information Center, Smart Highway Experience

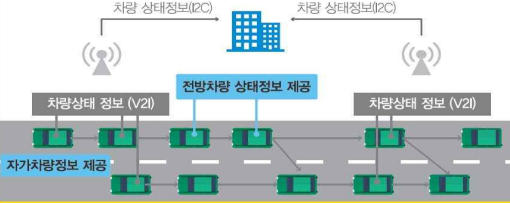
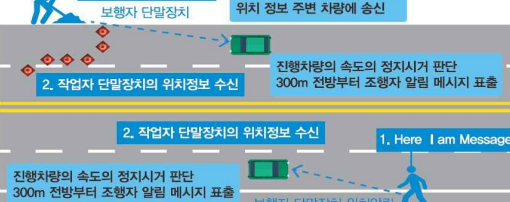
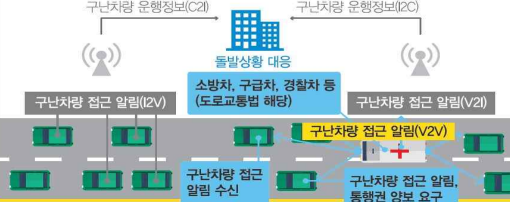
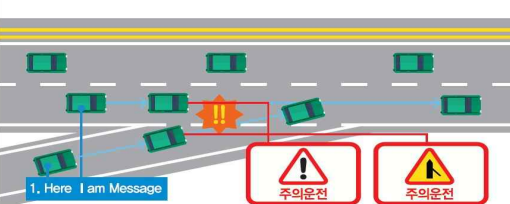


<그림 134> 세계도로대회 기술시연 시나리오

- o 시연 시나리오는 총 17개 서비스들을 체험하는 것으로 다음과 같은 9개 주요 서비스(설문에서는 급커브구간 알림 서비스를 별도로 조사함)를 대상으로 시행하였고, 일부 서비스는 현 수준에서 상용화 단계는 아니지만 향후 기술개발에 따라 구현이 가능한 서비스들을 이번 시연에 포함하여 소개됨

[표 97] 제25회 서울 세계도로대회 기술시연 서비스 설명

1. 차량 내 전광판 서비스(In Vehicle Signage) 차량 내 전광판 서비스는 WAVE 통신과 차내장치를 통해 한국도로공사 교통센터에서 제공되고 있는 각종 도로교통정보 및 주행안전정보를 현재 위치 및 차량 이동 방향 기준으로 차량 내 스마트 단말기에 제공하는 서비스 (급커브구간 알림 포함)	· 주행방향 기준으로 교통정보 제공 도로전광표지 표출 정보(C2) 기타국별 교통 및 도로운영 정보 제공(C2) 도로전광표지 표출 정보제공(I2V) 기타국별 교통 및 도로운영 정보 제공(I2V) 가변 차로 운영 변경에 따른 차로 변경 차내단말기에 도로전광표지정보 실시간 표출 차내단말기에 가변 차로 운영정보 실시간 표출
2. 도로작업 알림 서비스(Work-zone warning) 도로 작업 알림서비스는 도로 작업(공사, 청소 등)으로 인하여 발생할 수 있는 사고를 예방하는 서비스로 도로작업이 있는 위치로 접근하는 차량에게 주의운전 및 감속 유도 경고음과 메시지를 차량내 스마트 단말기를 통해 제공	· 도로작업(공사, 청소 등) 구간 정보 제공 공사구간 정보관리 공사 정보(C2) 공사구간 위치 정보(V2V) 공사구간 및 주의운전 정보(I2V) 전방 공사구간 정보 알림 전방 공사구간 정보 알림
3. 돌발상황감지 및 정보 제공 서비스 돌발상황감지 및 정보제공 서비스는 도로 장애물(낙하물, 정지차량, 야생동물) 등으로 인하여 발생할 수 있는 사고를 예방하는 서비스로 도로 장애물이 있을 경우, 감속 유도 경고음과 함께 메시지를 차량내 스마트 단말기를 통해 제공	· 도로 상 돌발상황(낙하물, 정지차량, 야생동물, 보행자 등) 정보 제공 장애물 정보(C2) 장애물 감지 정보 분석 전방 장애물 위치, 주의운전 정보 표출 장애물 위치 정보(I2V) 장애물 위치 및 교통정보(I2V) 도로 장애물 발생 전방 장애물 출현(위치) 정보알림
4. 차량이상 알림 서비스 차량이상 알림 서비스는 도로상에서 고장, 화재 등으로 구난을 요청하는 차량으로 인한 사고를 예방하기 위한 것으로 운전자가 차내의 비상버튼을 동작시켰을 때 그 위험을 해당 지점으로 접근하는 차량과 주변 기지국에 알리는 서비스	· 차량의 비상상황 발생 시 그 위험정보 제공 돌발상황 제보(C2) 돌발상황 발생정보(C2) 차량 긴급상황 알림(V2V) 돌발상황 대응 차량 긴급상황 알림(V2V) 차량 긴급상황 알림(V2V) 구난요청(SOS) 차량 차내 비상버튼, 차내 단말기 비상버튼 조작 차량

5. 전방차량정보 안내 서비스 전방차량정보 안내 서비스([그림10])는 도로를 주행하는 차량의 실시간 차량상태 정보(브레이크, 속도 등 각종 센서정보)를 수집하여 후방차량 및 주변 기지국을 통해 교통센터에 제공함으로써 도로 안전운전을 지원하는 서비스	· 전방 차량의 상태(속도, 브레이크 등)정보 제공 
6. 2차 추돌사고 예방 서비스 2차 추돌사고 예방 서비스는 도로상에서 갑자기 돌발상황에 처한 차량으로 인한 사고를 예방하는 서비스로 급정거, 급감속 등의 정보를 차내 단말기가 실시간으로 수집하고 그 위험정보를 해당 지점으로 접근하는 차량내 스마트 단말기와 주변 기지국에 제공하는 서비스	· 전방 차량의 급감속, 급정거 정보 제공 
7. 보행자 알림 서비스 보행자 알림 서비스는 도로상의 작업 등으로 인한 작업원, 보행자의 단말장치를 통해 자신의 위치를 해당 지점으로 접근하는 차량내 스마트 단말기와 주변 기지국에 제공하여 운전자의 주의를 환기시키고 주의운전과 서행운전을 유도하여 보행자 사고를 예방하는 서비스	· 도로 상 작업원, 보행자 등의 위치 정보 알림 
8. 구난차량 접근 알림 서비스 구난차량 접근 알림 서비스는 구난차량이 구난구조에 개입하는데 걸리는 시간을 단축하기 위한 서비스로 구난구조를 목적으로 출동한 구난차량이 도로상에서의 이동상황을 적극적으로 스마트 단말기 부착 차량과 주변 기지국에 알리는 서비스	· 구난차량(구급차, 경찰차, 소방차 등) 접근 정보 제공 
9. 합류부 주의운전 알림 서비스 합류부 주의운전 알림 서비스는 도로의 합류부에서 합류차량의 안전한 본선진입을 위하여 본선 합류부 부근 차로를 주행중인 차량에게 합류하는 차량의 정보 제공을 통하여 합류부에서의 안전성 확보를 목적으로 제공하는 서비스	· 도로 합류부에서 본선 주행차량에게 합류차량의 진입 정보 제공 

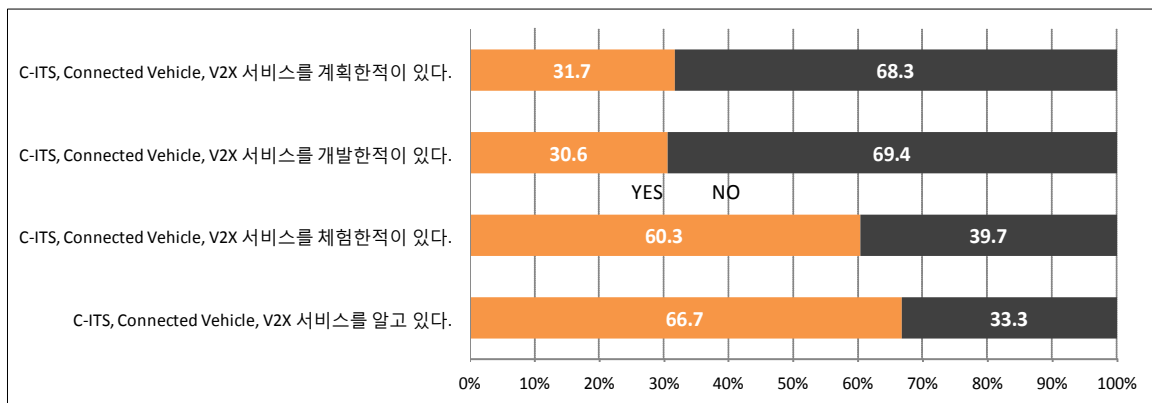


3) 세계도로대회 기술시연 결과(체험자 설문조사)

- 총 7회의 기술시연을 시행하면서 결과분석을 위한 체험자 설문조사를 병행. 설문문의 주요 내용은 시연에 대한 전체적 및 기술적인 만족도, 주요 시연 서비스의 완성도와 실제 도로에 우선적으로 적용하고자 하는 서비스의 선택 등을 확인

① 응답자 특성

- 총 94명이 기술시연에 참여하였고 그 중 65명이 설문에 응답해 주었음.(응답률 69.1%) 응답자의 약 60%는 이미 Cooperative-ITS, Connected Vehicle, V2X⁷⁾ 서비스 시연을 체험한 적이 있었고, 심지어 응답자의 약 30%는 이러한 서비스들을 계획하거나 개발한 경험이 있다고 답하였음.



<그림 135> 세계도로대회 기술시연 참여자의 V2X 경험 여부

- 세계도로대회의 성격을 반영하듯, 응답자들의 72.3%는 정부관계자 또는 엔지니어들이었고 프랑스, 멕시코 등 총 29개국에 참여하였으며 응답자중 55%는 OECD 회원국에 해당함.

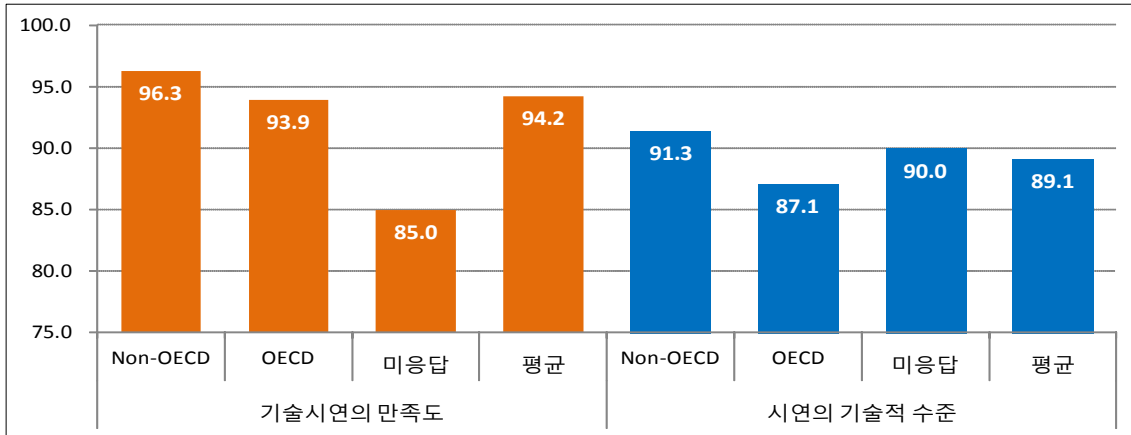
[표 98] 세계도로대회 기술시연 참여 응답자 국적 분포

국가	명	국가	명	국가	명
체코공화국	1	스페인	2	세네갈	1
네덜란드	1	슬로베니아	1	스와질랜드	2
니카라과아	2	앙골라	1	스웨덴	1
덴마크	1	에티오피아	1	스위스	1
독일	1	영국	1	일본	4
루마니아	5	오스트레일리아	2	콜롬비아	2
말리	1	오스트리아	2	프랑스	6
멕시코	5	이란	1	필리핀	2
모로코	5	인도	1	한국	1
벨기에	3	부르키나파소	3	진한 글자 OECD 회원국	

7) Vehicle to Vehicle(V2V), Vehicle to Infrastructure(V2I) 통신을 이용한 다양한 서비스를 의미함

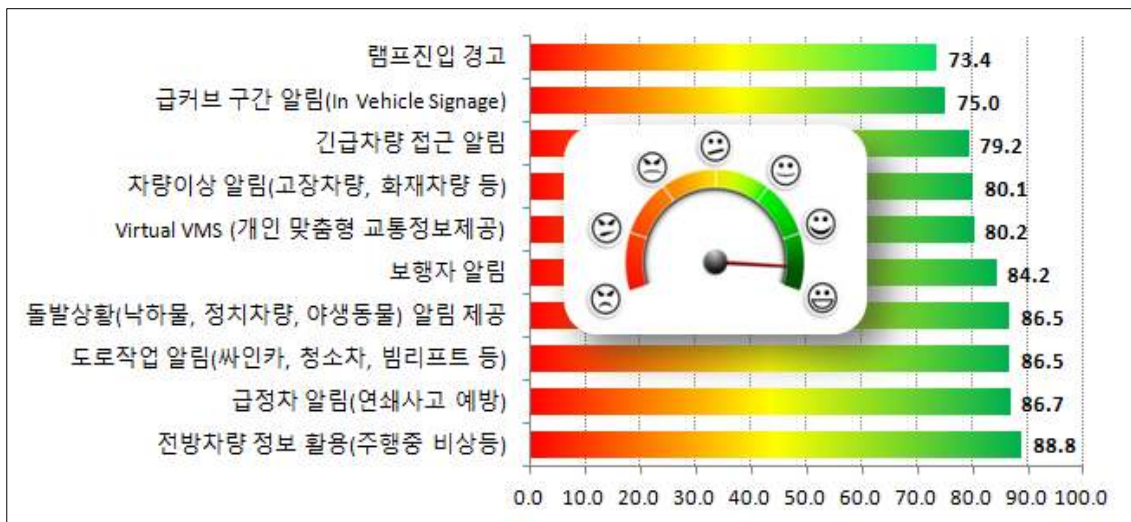
② 응답자 설문조사 결과

- 기술시연의 전반적인 만족도와 체험한 서비스의 기술적 수준에 대해서는 100점 만점 환산결과(5점 척도 응답의 100점 만점 환산결과) 각각 94.2점, 89.1점으로 나타남. 한국과 관련 기술적 수준이 유사하거나 높은 OECD 회원국의 경우를 보더라도 각각 93.9점, 87.1점으로 양호한 결과를 얻을 수 있었음



<그림 136> 기술시연 만족도 및 기술적 수준 응답결과(5점 척도 100점 환산결과)

- 서비스별 만족도는 73~89점으로 고른 분포를 보임. 전방차량의 정보를 이용하는 차량간(V2V, Vehicle to Vehicle) 서비스로 대표적인 주행중 비상등 경고와 급정차 알림(연쇄사고 예방), 도로작업구간 알림 서비스가 최상위 만족도로 나타났고 돌발상황 자동검지와 알림 서비스가 그 다음 순위로 높은 만족도를 보여줌



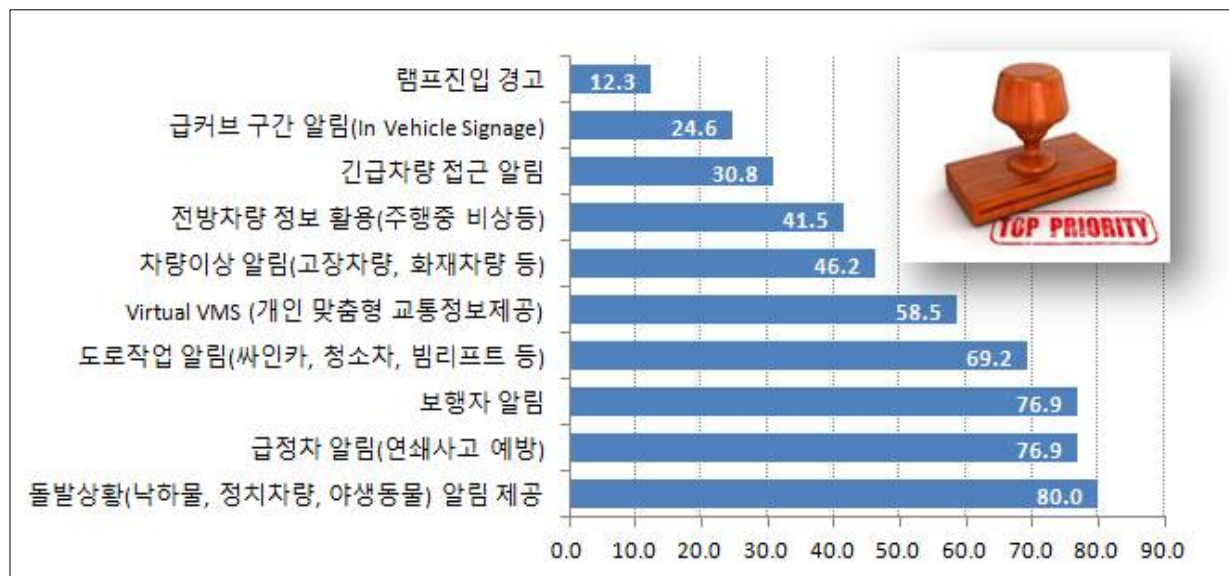
<그림 137> 기술시연 서비스별 만족도 (서비스별 5점 척도 응답의 100점 만점 환산결과)

- OECD 회원국들의 우선순위에서는 전방차량정보 활용과 도로작업구간 경고(Work zone Warning) 서비스가 높은 만족도를 보여줌. OECD 비회원국에서는 긴급차량의 접근알림 서비스의 만족도가 높아서 경제적, 기술적 수준에 따른 서비스 만족도가 차이를 확인함

[표 99] 기술시연 서비스별 만족도 상위(OECD 회원국)

OECD 회원국	우선순위	OECD 비회원국
전방 차량정보 활용	1	급정차 알림
도로작업 알림	2	돌발상황 자동검지 및 알림
돌발상황 자동검지 및 알림	3	전방차량정보 활용/보행자 경고
급정차 알림	4	긴급차량 접근 알림
In Vehicle Signage/보행자 경고	5	도로작업 알림

- o 체험한 10가지 서비스 중에서 실 도로에 우선적으로 도입이 필요한 또는 가능한 서비스를 선택하는 질문에서는 돌발상황의 자동검지 및 알림, 급정차 경고서비스(연쇄사고 예방), 보행자 작업알림, 도로작업구간 경고(Work zone Warning)가 상위 4가지로 선정
- o 특히 기술시연 과정에서도 인프라의 레이더나 영상장비가 도로상의 정지차량, 낙하물 등을 자동으로 찾아주고 이를 차량에 전달해 주는 서비스에 많은 흥미와 관심을 보여주었음. 이는 앞서 서비스 만족도와는 달리 실 도로에서의 효용성에 대한 질문이었으므로 스마트하이웨이 기술개발 결과물의 효용성과 보급 가능성을 확인해 볼 수 있었음.
- o 많은 도로교통 관계자들은 지역에 상관없이 도로에서 발생하는 각종 이벤트 상황에 대한 신속하고 효율적인 대응을 고민해 오고 있으며 이는 교통사고를 줄이고 교통사고로 인한 피해 규모를 줄이는데 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.
- o OECD 회원국과 비회원국으로 나누어진 응답분석에서는 순서의 차이만 보일 뿐 동일한 서비스의 실 도로 우선 적용을 고려하는 것으로 나타남.



<그림 138> 서비스별 우선적용 대상 (상위 5개 서비스 선정 응답결과)

[표 100] 기술시연 서비스별 실 도로 우선적용 대상 설문(OECD 회원국)

OECD 회원국	우선순위	OECD 비회원국
돌발상황 자동검지 및 알림	1	보행자 경고
급정차 알림	2	돌발상황 자동검지 및 알림
도로작업 알림	3	급정차 알림
보행자 경고	4	도로작업 알림
In Vehicle Signage(교통정보)	5	In Vehicle Signage(교통정보)

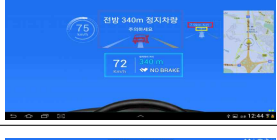
- o 설문 추가의견으로는 대체로 긍정적이고 새로운 기술에 대한 환영의 내용이었으나 운전자에 주어지는 메시지가 가중되어 오히려 운전자 부하를 올리는 것, 안전한 도로 서비스로 오히려 통행속도 상승효과로 인한 문제점 발생, 과도한 알람으로 운전자 사고를 유발할 수 있다는 등의 우려하는 의견들도 있었음.
- o V2X 서비스는 유럽, 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 Cooperative ITS 또는 Connected Vehicle로 명명되면서 확산을 준비하고 있음. 현재 수준은 기술개발이 속제가 아니라 개발 기술들을 실 도로에 적용하기 위한 운전자 반응을 확인하고 운전자들이 시스템과 서비스를 수용할 수 있는 방안의 개발에 집중을 하여야 할 것임. 각국들은 이에 대한 노력들에 집중하고 있는바 우리도 이러한 우려들을 해소할 수 있는 연구개발이나 시범사업 등이 필요해 보임.
- o 본 연구의 기술시연 의견청취는 세계도로대회를 통해 진행되어 국내 많은 시연 참여자들을 대상으로 수행되지는 못하였음. 향후 시연에서는 모든 참여자들을 대상으로 의견을 청취할 수 있도록 예산 등이 지원된다면 다양한 의견이 반영되어 기술구현의 완성도를 높일 수 있을 것으로 예상됨.

라. 기술시연 지원 단말기

- o 테스트베드에 복합적으로 설치되어 있는 시스템의 특성 및 위치적 특성을 고려하여 각각의 위치별로 아래와 같이 12종의 서비스를 기술시연에 활용하고 국외 체험자들도 기술시연을 참여 할 수 있도록 서비스들을 영문화 작업을 실시

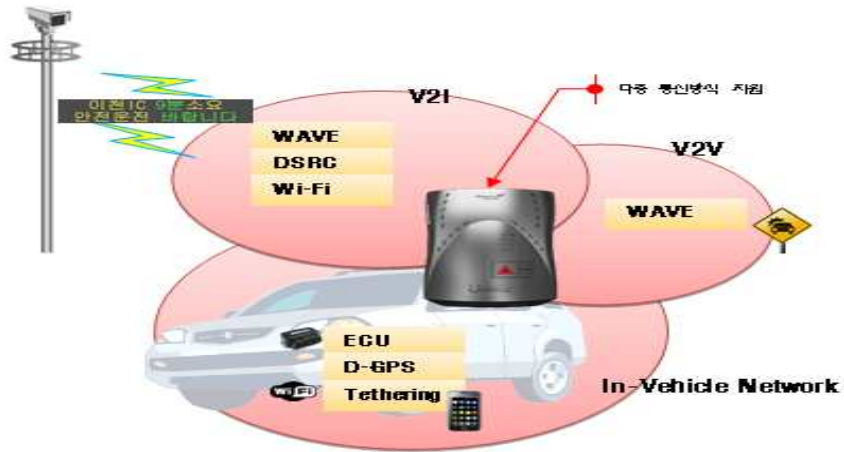
[표 101] 기술시연 제공 서비스

구분	기술명	서비스 내용	
1	도로작업 알림 서비스	도로상 공사 위치를 알림으로써 안전운전을 지원하는 서비스	
2	도로청소 알림 서비스	도로상 청소 위치를 알림으로써 안전운전을 지원하는 서비스	

구분	기술명	서비스 내용	
3	구난차량 접근 알림 서비스	돌발상황 발생 시 해당지점으로 구난차량이 접근하는 동안 주변 기지국 및 구난차량 전방 차량에게 적극적으로 위치를 알리는 서비스	
4	낙하물 감지 및 정보제공 서비스	도로상에 갑작스럽게 발생하는 장애물을 노변센서가 감지하여 도로위의 차량 및 센터 운영자에게 위험 정보를 제공하는 서비스	
5	보행자 감지 및 정보제공 서비스	도로상의 보행자를 노변센서가 감지하여 도로위의 차량 및 센터 운영자에게 위험 정보를 제공하는 서비스	
6	야생동물 감지 및 정보제공 서비스	도로상의 야생동물을 노변센서가 감지하여 도로위의 차량 및 센터 운영자에게 위험 정보를 제공하는 서비스	
7	차량이상 알림(SOS) 서비스	차량의 운전자가 차내 비상버튼을 작동시켜 위험을 해당지점으로 접근하는 차량과 주변 기지국에 즉각적으로 통보하는 서비스	
8	차량내 전광판	도로위의 VMS 장치가 없더라도 개별 차량에게 현재 위치 및 차량진행방향을 기준으로 교통정보를 제공하는 서비스	
9	합류부 서비스	도로상에 전방에서 합류하는 자동차의 위치를 알림으로서 안전운전을 지원하는 서비스	
10	연쇄사고 예방 서비스	차량의 ECU정보를 수집하여 해당 차량이 급감속 시 후방차량 및 주변기지국에 급감속 메시지를 제공하는 서비스	
11	급회전 안내 서비스	도로를 주행하는 차량의 실시간 위치를 확인하여 전방에 급회전 구간을 알려주는 서비스	
12	WAVE 톨링 서비스	WAVE 통신 기반 무정차, 단차로 자동요금징수 서비스	

(1) 기술시연 단말기 지원 시스템 구성

- o 스마트 단말기는 차량 위치/속도에 대한 정보 송출과 교통/안전정보를 기지국 및 차량간 통신을 통해 실시간으로 전달함으로써 기존 하이패스 및 내비게이션 단말에서 제공하지 못하는 안전기능 및 실시간 정보기반의 운전자 편의제공



<그림 139> 스마트 단말기 구성도

- o 스마트 단말기의 WI-FI 테더링 기능을 이용하여 전방에 설치된 스마트 카메라 영상을 실시간으로 디스플레이 장치에 보여줌으로써 체험자가 도로 영상 및 돌발상황을 더 효과적으로 인식하도록 하였음.



<그림 140> 영상 미러링 시스템 구성도

- o AVN 기기가 도로과금 정보를 얻어와 스마트 단말기에 전달 디스플레이 장치로 과금정보를 표출함.



<그림 141> WAVE 톨링 구성도

- o OPERATOR가 스마트 하이웨이 서비스 화면 및 노트북의 관련 이미지, 동영상 등을 HDMI SWITCHER를 조작하여 해당 시연 시나리오에 맞는 화면을 대형 스크린에 표출함.



<그림 142> 시연버스 구성도

① 카니발

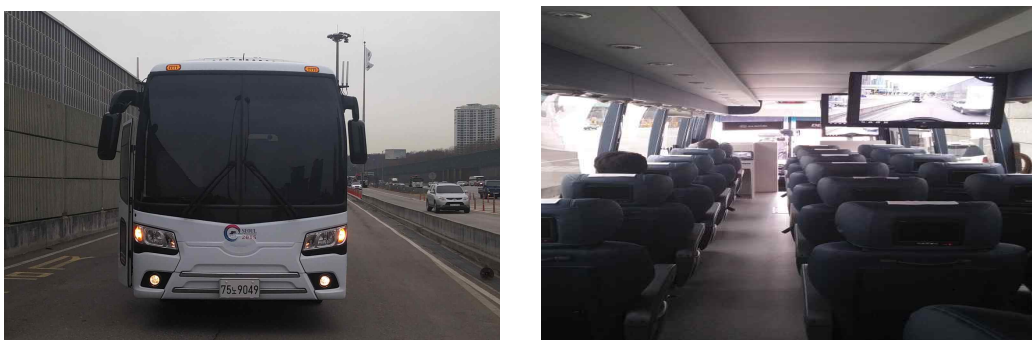
- o 술 시연 체험자들이 테스트베드에서 실제 차량 주행 환경에서 스마트 하이웨이 서비스를 확인 할 수 있는 기회 제공



<그림 143> 카니발 설치모습 및 내부 시연환경

② 시연버스

- o 디스플레이장치와 노트북을 TV등의 대형스크린에 연결하여 HUD 기반의 UI 및 SMART-I, 시연관련 정보 동영상, 사진 등을 볼 수 있어 시연효과를 극대화



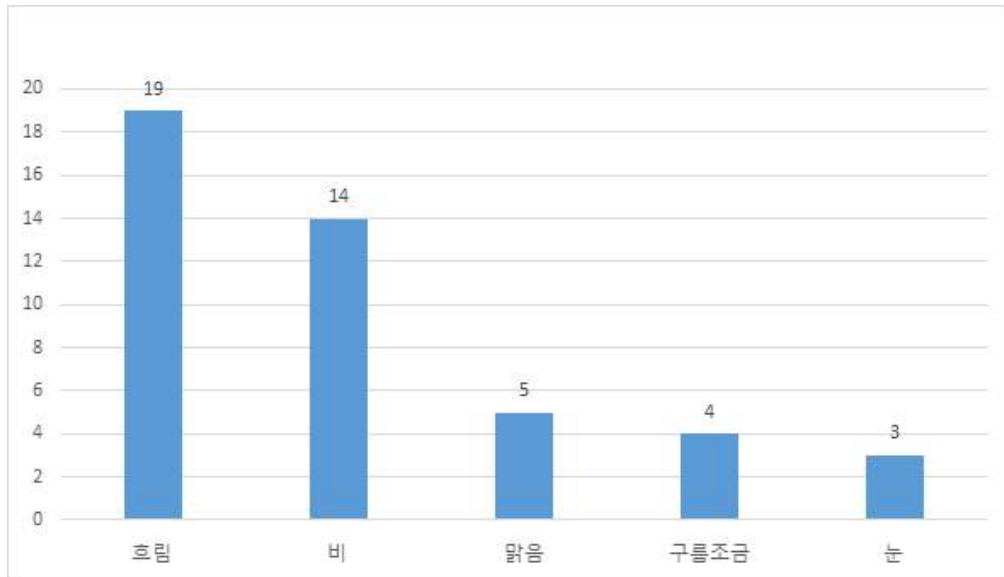
<그림 144> 시연버스 외부 설치모습 및 내부 시연환경

(2) 기후 및 교통량 조건에 따른 서비스 표출 결과

[표 102] 기술시연(리허설 포함) 일자 별 기후

날짜	시연타입	기후	온도(℃ ,최고온도)
2015.03.16	리허설	흐림	19
2015.03.17	리허설	비	18
2015.03.18	기술시연	비	14
2015.03.24	리허설	맑음	12
2015.03.25	기술시연	맑음	14
2015.03.26	기술시연	흐림	15
2015.04.15	리허설	비	18
2015.04.16	기술시연	비	16
2015.04.29	리허설	비	18
2015.04.30	기술시연	흐림	27
2015.05.13	리허설	흐림	25
2015.05.14	기술시연	흐림	27
2015.05.15	기술시연	흐림	22
2015.05.18	기술시연	흐림	23
2015.07.01	리허설	흐림	28
2015.07.02	기술시연	흐림	30
2015.07.13	리허설	비	25
2015.07.14	기술시연	흐림	31
2015.07.17	리허설	구름조금	30
2015.07.18	기술시연	비	27
2015.08.21	기술검증	비	29
2015.08.25	기술검증	비	25
2015.08.26	리허설	비	27
2015.08.27	기술시연	비	30
2016.10.07	기술시연	맑음	27
2016.11.26	리허설	눈	2
2016.11.27	기술시연	눈	3
2016.12.18	기술시연	구름조금	2
2016.12.22	기술시연	흐림	9
2016.01.18	리허설	눈	2
2016.01.19	기술시연	맑음	-7
2016.03.08	리허설	흐림	7
2016.03.09	기술시연	구름조금	7
2016.03.15	기술시연	구름조금	13
2016.03.16	기술시연	흐림	15
2016.03.17	기술시연	흐림	16
2016.04.05	기술시연	맑음	19
2016.04.06	기술시연	비	24
2016.04.08	기술시연	흐림	21
2016.04.21	기술시연	비	19
2016.04.22	기술시연	흐림	24

날짜	시연타입	기후	온도(℃ ,최고온도)
2016.04.27	기술시연	비	22
2016.05.25	기술시연	흐림	24
2016.05.31	기술시연	흐림	28
2016.06.09	기술시연	흐림	30



<그림 145> 시연 및 리허설 시 기후조건

- 스마트 단말기 동작 및 디스플레이 장치의 서비스 안정성은 기술 시연시 안정적으로 나오고 리허설 때에는 기술 시연 시보다 시나리오대로 서비스가 표출 안 되는 상황이 간헐적으로 발생함 , 원인은 발신단말기에서 설정이나 사용자 동작 오류로 시연 단말기로 WAVE DATA를 미발신하여 발생
- 기후에 따라(강우/비) 서비스 표출거리가 감소하는 영향은 있지만 서비스는 안정적으로 표출
- 교통량에 따라 서비스 안정성에 영향을 미치지 않지만 트럭이나 버스 등 큰 차량이 시연 차량의 WAVE 통신 진행방향을 막고 있을 경우 WAVE 통신이 원활히 진행되지 않아 표출 거리 감소
- 시연버스차량이 카니발 차량보다 서비스 표출 거리가 좋음
- 서비스 표출거리는 WAVE 안테나 성능에 따라 다르지만 WAVE 통신이 이루어질 경우 S/W오류가 거의 없고 안정적인

(3) 기술 시연 서비스 추가

- 보행자 알림 서비스 : 도로상의 보행자를 노변센서가 감지하여 도로위의 차량 및 운영자에게 위험 정보를 제공하는 서비스 개발
- 합류부 알림 서비스 : 도로상에서 전방에서 합류하는 자동차의 위치를 알림으로

서 안전운전을 지원하는 서비스 개발

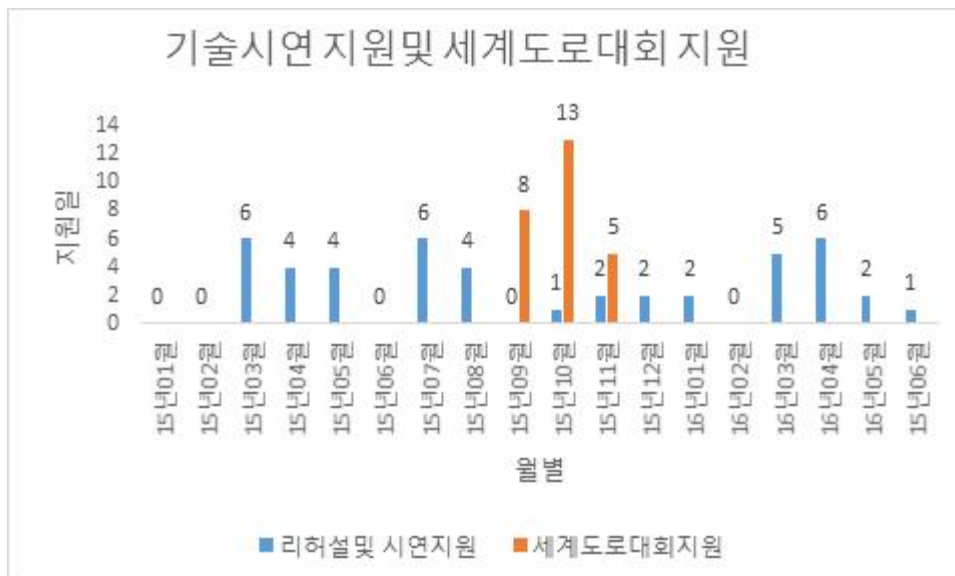
- 시연 서비스 영문화 : 시연 S/W에서 표출되는 이미지 및 음성 등이 기존에는 한국어만 지원하였지만 세계도로 대회 및 다양한 나라의 국외 시연참여자를 위하여 영문화를 진행

[표 103] 스마트하이웨이/테스트베드 모니터링 서비스 비교

과제 분류	서비스	지원언어
스마트하이웨이	10종	한국어
테스트베드 모니터링	12종	한국어/영어

(4) 시연 단말기 운영 결과

- 기술시연 성과 : 기술 시연은 총 30일 지원 , 리허설은 총 15일 지원함
- 세계도로대회 : 2015.11.2(화)~ 2016.11.6(금)까지 진행된 세계도로대회에서 기술 시연 및 총 26일 지원



<그림 146> 기술시연 단말기 운영 결과

- 기능 추가 : 합류부 알림 서비스, 보행자 알림 서비스 추가 및 서비스 영문화
- S/W 개선 : 지속적인 시연 시나리오 대비 및 총 4회 S/W 개선
 - 2015년 3월 12일 : 전시용 데모 지속적으로 플레이 되도록 개선
 - 2015년 4월 27일 : 수집용 로그를 위해 이벤트 식별자 추가
 - 2016년 1월 15일 : 낙하물 경보음 화면과 sync 되도록 수정
 - 2016년 4월 27일 : 안드로이드 기기언어에 따라 시연 S/W 언어 변경되도록 셋팅
- H/W 보수 및 교체 : 스마트 단말기 2회 교체
- 매뉴얼 작성 : 버스, 카니발, 전시용 운영자 매뉴얼 작성

6. 요소기술 실 도로 현장시험

가. 배경 및 개요

- 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용연구의 연구개발계획의 연구내용 중 요소기술별 검증평가를 통해 연구 성과 확인과 그 동안 시범도로의 운영 및 유지관리 결과와 시스템 성능향상 등을 반영한 요소기술의 객관적인 검증평가 수행 및 결과 도출코자 하였음
- 검증평가의 대상은 WAVE 통신기술과 자동돌발상황검지 시스템

[표 104] 요소기술 시험대상 및 평가항목

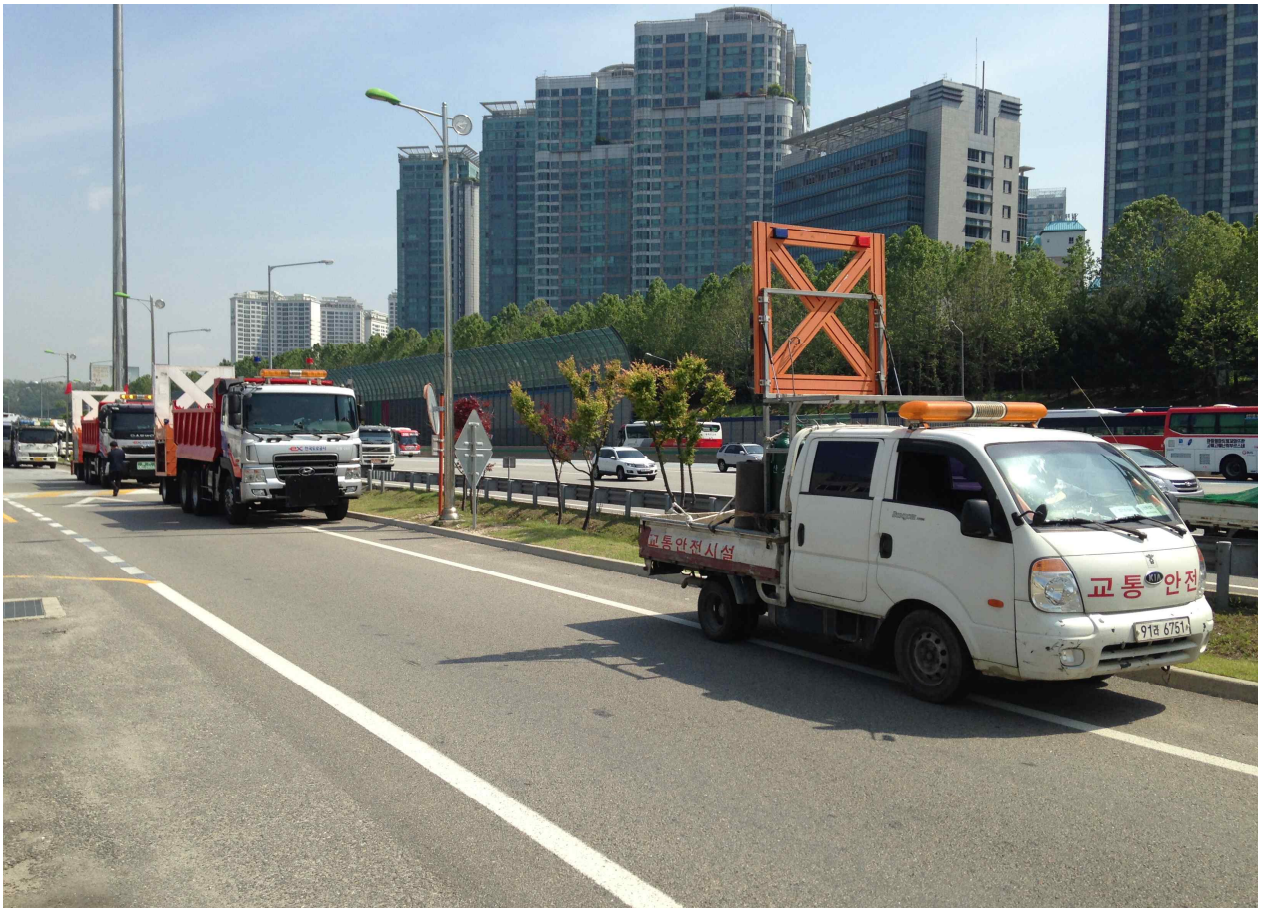
구 분	WAVE 통신기술	자동돌발상황검지 시스템
시험 대상	차량단말장치(OBU), 노변장치(RSU)	SMART-I, SMART-IDS
평가 항목	통신범위(반경, km), 통신지연(msec), 통신전송실패율(PER, %)	오경보율(%), 검지시간(초) 검지율(%), 선택사항)
기 타	V2I / I2V, V2V 시범서비스 공용도로(경부선 시범도로)	공용도로(경부선 시범도로) 시험으로 안전이 담보되는 항목 선정

- 시험장소 : 경부선 시범도로(공용도로, 시스템 설치 및 운영구간)
- 시험주관 : 한국도로공사 스마트하이웨이 사업단, 한국지능형교통체계협회

나. 현장시험의 사전 고려사항

- 금회 시험은 제한된 도로 공간이나 전용 시험장소가 아닌 국내에서 통행량이 가장 많은 경부선 공용도로에서 진행되어 시험에 필요한 모든 시나리오를 적용하기 어려움 등이 존재. 이에 시험 준비과정에 주의사항 및 고려사항을 상호 공유하고 시험을 추진함
- 실 도로 현장시험은 정해진 시험 장소에서 다양한 시나리오에 의한 시험방법과 동일하게 적용할 수 없으므로 도로관리주체, 시험대상 시스템 공급기관, 시험주관 기관의 논의와 합의 과정을 가짐
- 본 연구과제의 연구개발계획서에서 제시된 검증평가 대상, 항목, 시험방법, 목표달성 여부 등을 근거로 진행하되 필요시 연구착수 이후에 새로운 시험방안의 확정, 현장시험의 안전성 확보 등을 고려하여 여건변화가 필요한 경우 해당 연구진 전체의 합의를 통해 조정하였음. 이의 과정에서는 현장시험의 특성상 안전한 시험환경의 확보와 보다 합리적이고 효과적인 시험방법을 찾고자 하였음
- 본 연구는 매우 제한된 연구예산으로 진행되었으며 많은 체험도로 기술시연으로 시험비용을 절감하여 당초 계획된 시험을 수행코자 하였음. 또한 시험기간은 시험비용에 가장 큰 영향요인이 발생하므로 기상조건(기상악화시 돌발상황과 정체 발생이 높아질 수 있음), 교통조건(경부선 공용도로는 주말, 오전오후 첨두시간대 정체현상이 빈번하게 발생함) 기타 환경(대규모 도로보수 공사 등) 등을 고려한 시험일정을 결정.

- 또한 실 도로 현장시험은 짧은 기간에 집중적으로 시험을 진행하므로 다수의 인력이 소요되는바 기관별 시험예산과 인력을 집중 동원하여 효과적인 시험환경 구성이 가능하도록 하였음. 특히, 통신시험은 시험차량의 확보와 각 시험차량 마다 데이터 수집과 모니터링이 필요하므로 이러한 합동시험으로 진행함
- 요소기술별 시험방법은 연구개발 계획서를 최대한 준용하되 최근에 발표되거나 준비되고 있는 관련 표준 등을 감안하고, 실 도로 현장시험의 안전성 여부, 시험관련 투입 예산규모 등을 종합적으로 검토하여 요소기술별로 평가방법 선정함
- 연구개발계획서에 제시되었던 시험 대상 및 항목 이상을 검증평가 대상으로 하되 추가 사항의 시험은 요소기술 담당기관과 협의 후 진행함



<그림 147> 시범도로 현장장비 시험평가 모습

다. 현장시험 방법

- 시험방법은 기존 스마트하이웨이 사업에서 사용되었던 방식에서 연구개발 계획서에 제시하였던 방법, 이후 타 연구 등에서 새롭게 작성된 방법이 있을 경우 이를 참조하여 실 도로 현장시험에 적합한 방안을 도출
- 시험방법의 결정에서 주요 고려한 사항
 - 실 도로 시험으로 진행하여 안전한 시험환경을 확보
 - 예상될 수 있는 돌발상황의 최소화 실시
 - 사전에 경부선 시범도로 운영주체인 수원지사 및 교통센터와 협의 추진

- 차단, 정차 등 시나리오가 필요한 경우는 관할 고속도로순찰대에 신고 후 진행
- 시험방법 수행에 집행 가능한 예산규모 이내로 시험방법의 마련
- 시험방법은 표준 등 시험규격이 정해진 것이 없으면 참여기관의 검토와 논의를 통해 확정

1) WAVE 통신 기술

- o WAVE 통신에 대한 시험개요는 다음과 같이 3가지 항목에 대해서 실시하고 연구개발 계획서에서 설정한 목표수준의 도달여부와 실 시험을 통해 얻은 노하우를 연구의 성과로 작성

[표 105] WAVE 통신시험 항목 및 목표수준

현장시험 항목		목표수준 (연구개발계획서)	시험조건
통신범위	Coverage	1km(반경 500m)	• 실 도로 : 인접차로 이동류 속도 • 통신방식 : V2I/I2V, V2V • 서비스 적용 : 공용도로 기술시연에 사용된 패킷 규모 적용 • 시험차량 : 4대(주행), 2대(정지)
통신지연	Avg. Latency	100msec	
전송실패율	PER (Packet error rate)	10% 이내	

- o 시험 장소는 경부선 시범도로 전 구간으로 총 9개의 노변기지국 중에서 본선에 설치된 7개소(서울영업소, 수원영업소 제외)를 이용
- o 시험방법은 전자부품연구원에서 제시한 방법으로 시행하였음. 적용된 시험 시나리오는 다음과 같이 하행(수원방향), 상행(서울방향)에서 각 3개씩 서비스 관련 차량간 통신 환경을 활용
- o V2I 환경은 상/하행 모든 구간에서 7개 노변기지국과 차량간 I2V 서비스의 통신로그로 기록된 기록으로 확인

[표 106] WAVE 통신시험을 위한 시나리오 및 연관 서비스

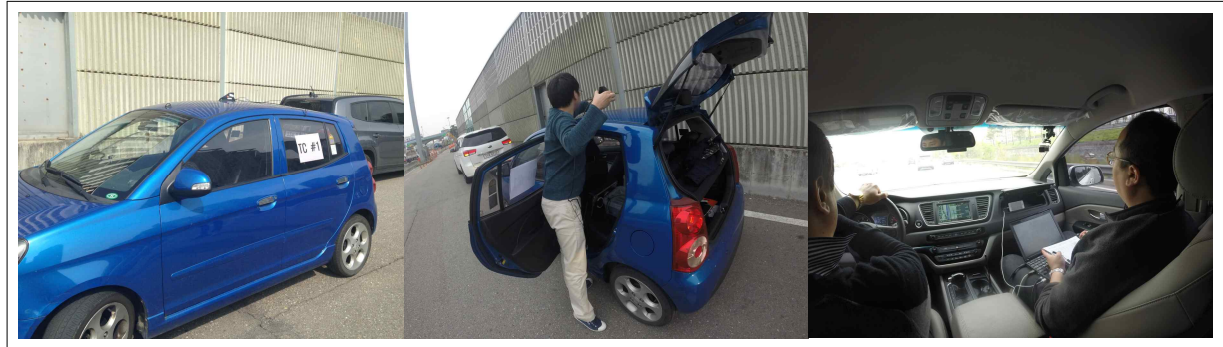
구분	SN_No	연관 서비스	구 간
I2V	#1	Virtual VMS	RSU #1~#7 전구간
	#2	돌발정보 제공 서비스	
V2V	#3	전방 상황경고 서비스(고정식)	하행 : 죽전 BS
	#4	후방 상황경고 서비스(고정식)	상행 : 서울TG 광장 비주대
	#5	전방 상황경고 서비스(이동식)	차량(VAN)이 다른 3대 추월 상/하행 일정구간
	#6	후방 상황경고 서비스(이동식)	

- o 시험환경 구성은 6대의 시험차량(주행 4대, 고정 2대)가 운영되었고 각 차량에는 운전자와 기록 및 조작원이 참여하였음. 통신환경은 싱글채널(178), 멀티채널(CCH 178, SCH 172)으로 별도 시험을 하고 통신속도는 6Mbps, 메시지 송신주기는 100ms(기지국 1s)를 설정

[표 107] WAVE 통신시험을 위한 기관별 역할 분담

장비	일련번호		차종	공급/점검	운영(운전/조작)	비 고
차량	주행 차량	TC #1	경차	KETI	KETI	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(I2V, V2V)에 대한 로그 저장 (번호순⇒주행순서)
		TC #2	세단	ITSK(임차)	운전기사 / ITT	
		TC #3	SUV	ITSK(임차)	운전기사 / 이씨스	
		TC #4	VAN	ITSK(임차)	운전기사 / ITT	
	정지 차량	TC #5	세단	이씨스	이씨스	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(V2V) 로그 저장
		TC #6	SUV	KETI	KETI	
RSU	RSU #1~#7			이씨스	- / 이씨스	운영자 1명 모니터링 I2V 메시지 송출
OBU	RSU #1~#6, 여유 로그 기록장치			KETI	-	단말 + 안테나 6식
				ITT	-	SMA-파크라젠더 6EA
녹화 저장	별도 녹화장비			ITSK	ITSK	시험장면 기록
	저장장치			ITSK	ITSK	시험데이터 백업

- o 시험은 사전시험 2일(4월 18일~19일), 본 시험(4월 20일~21일)으로 진행하였음. 모두 5개 기관 14명이 참여(본 시험의 경우, 사전시험은 준비기관)



<그림 148> WAVE 통신 시범도로 현장시험 모습

2) 자동돌발상황검지 시스템

- o 자동돌발상황검지 시스템의 모니터링은 본 연구사업(스마트하이웨이 사업, 2008~2014) 이후 실 도로에서 시스템을 운영·유지하면서 시스템 성능개선 등 튜닝의 결과를 확인하는 과정임
- o 자동돌발상황검지 시스템의 시험방안은 2016년 4월 기준으로 국토교통부의 ‘돌발상황검지시스템 성능평가 기법 개발 및 시험장 구축 연구용역’이 완료되지 않아 표준안으로 검토 중인 ‘돌발상황 검지시스템(AIDS) 표준 Part 4. 성능시험방법(안) (15004-4)’을 사례로 검토하여 경부선 시범도로에서 적합한 방안을 마련하여 시험을 실시함

- 특히 기존 시험방법들을 재검토하여 실 도로에서 운영중인 시스템을 시험하는 관계로 안전한 시험환경을 확보하고 효과적인 시험결과를 도출하는데 중점을 두고 검토함
- 시험대상은 SMART-I와 SMART-IDS이며 세부 시험 항목과 연구개발 계획서에서 제시되었던 목표수준은 다음과 같음. 한편 경부선 시범도로에는 각각 1개 4개 장비가 운영중
- 돌발상황검지시스템의 검지율은 당초 연구개발계획서 검증 항목에 없었으나 시험방법에 따라 임의적 시나리오 발생이 가능할 경우 검지율 시험을 수행하기로 함 [검지율 (Detection Rate)은 실제 이벤트 발생 건수 대비 시스템이 이벤트로 검지한 건수 비율로 이벤트의 임의발생 시험이 아닐 경우 측정이 매우 어려움. 즉 공용도로에서는 해당 검지영역을 100% 녹화하고 이를 확인하는 별도의 수작업이 필요]

[표 108] 자동돌발검지 시스템 실 도로 현장시험 항목

검증평가 항목		목표수준	시험환경
오경보율	False Detection Rate	10% 미만	5개소 : SMART-I(1), SMART-IDS(4) - 검지영역 : 1km 구간 - 일부지점 Ramp부, 영업소 진입부
검지시간	Detection Time	10초 이내	
검지율	Detection Rate	-	

[표 109] 자동돌발검지 시스템의 시범도내 설치지점 현황

구분	방향	검지영역(편도 5차로)		특징 (시험환경)
		이정(km)	구간길이	
SMART-I	서울방향	398.5~399.5	1km	죽전BS~죽전SA 연결로 약 360m
SMART-IDS	부산방향	396.1~395.1	1km	신갈분기점 분류부 약 500m
	서울방향	396.6~397.6	1km	
		397.6~398.6	1km	
		401.1~402.1	1km	서울영업소 진입 광장부 약 400m

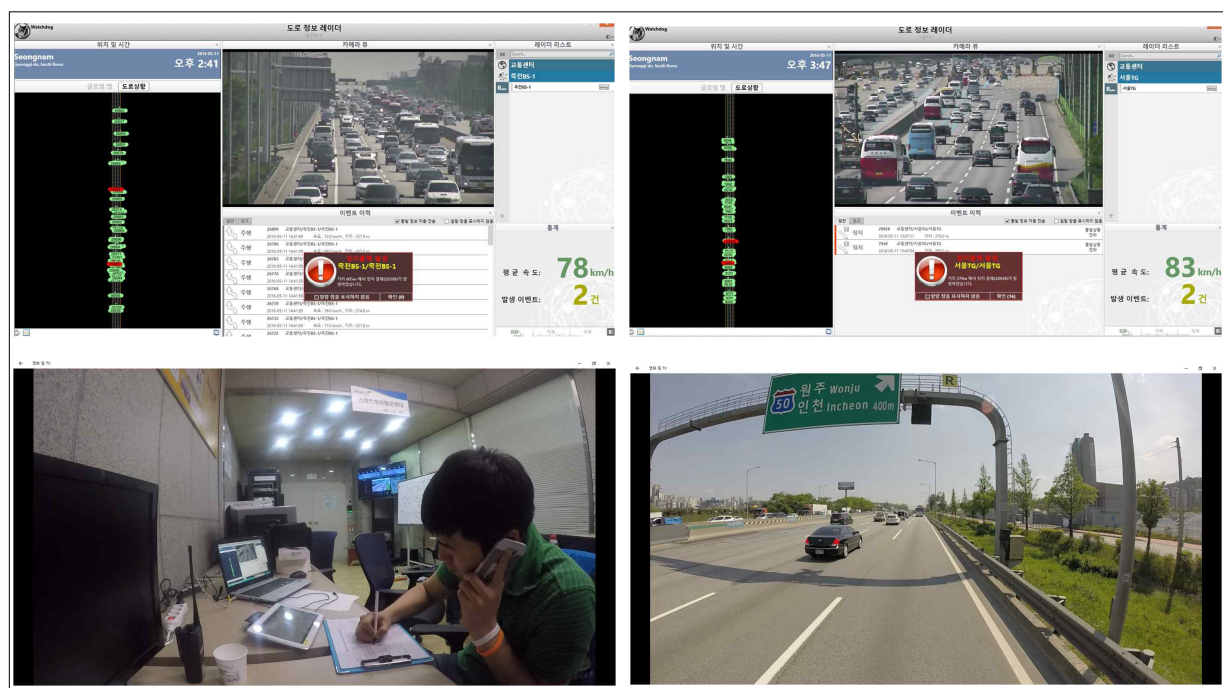
- 시험일정은 기상상황, 도로공사 등 도로차단이 없는 기간, 정체발생이 적은 시간대, 도로차단 또는 차량정차 시험을 위한 싸인카 지원이 가능한 일정 등을 고려하여 도로공사 관할 지사 및 고속도로 순찰대 1지구대의 협조를 득하면서 5월 10일(화)부터 5월 12일(목)까지 3일간 진행하였음. 처음 1일은 시스템의 최종 확인 현장 시험을 위한 차량 및 검지영역의 표시, 최종 시험방안 확인회의 등을 진행하고 이후 2일간을 시험횟수 등을 고려하여 본 시험일로 선정함
- 경부선 시범도로의 돌발상황검지시스템의 세부적인 성능은 다음과 같으며 이에 대한 시험방법은 2016년 4월 현재까지 4가지가 연관성을 가지고 있음
 - 시험장소 : 공용도로(SMART-I, SMART-IDS 설치장소가 공용도로임)
 - 검지영역 : 왕복4차로 편방향 검지(갓길 포함 5차로), 최대 1km
 - 검지항목 : 정지차량, 역주행, 보행자, 낙하물(30*30*30 이상), 이동물체
 - 시스템 구성 : 현장 4기(SMART-IDS), 1기(SMART-I)와 센터 상황 확인

- 한편 검지항목은 현재 표준으로 만들어가고 있는 돌발상황 검지시스템(AIDS) 표준 Part 4. 성능시험방법(안) (15004-4)에서는 다음과 같이 정의하고 있음
 - 정지차량 : 5km/h이하 서행 혹은 정지차량
 - 역주행차량 : 역방향으로 주행하는 차량(30~40km/h)
 - 낙하물 : 크기(size 30×30×30cm) 이상인 물체, 재질을 고려하여야 함
 - 보행자 : 성인 50kg/160cm 이상인 자로 도로상에서 무작위로 보행(1~3m/s)하는 자
- 시험방법은 기존 사례 등 4가지 방안을 대상으로 시험을 수행하였으며 시험 대상 장비가 설치된 공용도로에서 안전한 시험이 가능한 방안은 여러 연구진과의 논의 및 한국도로공사의 지원 사항(도로차단, 싸인카 제공 등)을 고려하여 결정함

[표 110] 자동돌발검지 시스템 시험방법 종류

유사 시험방안	주요 내용
① 기존 SH 연구의 돌발상황 검지시스템 현장시험 방법	③의 표준 성능 시험방법에 반영되었음
② SH 모니터링 과제 수행시 본선 주행차로 일시 정차시험 실시 사례	도로공사 주관으로 경부선('15. 6), 서해대교('15. 12)에서 싸인카 지원으로 본선 정차시험을 한 사례
③ 돌발상황 검지시스템(AIDS) 표준 Part 4. 성능시험방법(안)(15004-4)	①, ②, ④의 시험 사례를 종합한 내용이나 단체표준으로 완료가 되지 않은 상태임
④ 터널영상 돌발상황검지시스템 성능시험 표준(ITSK-00012, 2011)	① 기존 SH 연구와 ③의 표준 성능 시험방법에 반영되었음

- 돌발상황검지 시스템의 시험방법 3월부터 총 5회의 시험방법 선정을 위한 협의를 통해, 현장적용 사례가 있고, 안전성 확보가 가능하며, 가용 예산범위를 초과하지 않고, 만들고 있는 성능시험 표준을 최대한 반영하는 방안으로 선정함.



<그림 149> SMART-IDS 경부선 실 도로로 현장시험 검지 화면(양상 캡처)

[표 111] 자동돌발검지 시스템 시험방법론 비교 검토

구 분				기존 연구 시험방법		본선 일시정차(경부선)		단체표준 시험방법(안)		
시험 방법	설 명			● 시험도로와 공용도로에서 시험을 실시 ● 이 방법은 단체표준 시험방법으로 발전함		● 본선 주행 중 검지영역에 임의정차 ● 정지차량의 검지유무를 확인하는 방법		● 시험도로(사전), 공용도로(설치 후), 장시간 모니터링(설치 후) 3가지 방법론 ● 단체표준으로 진행중		
	장 소			시험도로(차로별)	공용도로(갓길, 3대)	공용도로(본선 1차로)	공용도로(갓길)	시험도로(차로별)	공용도로(갓길차단)	모니터링(운영)
	실제 시험시 시험간격, 회수 등			100m 간격	20회 다수	1회 시도	거리별 약4회	-	-	-
검지 항목	단독 시험	본 선	정지차량	○		○		○	△	
			역주행	○				○	×	
			보행자	○				○	×	
			낙하물	○				○	×	
		갓 길	정지차량	○	○		○	○	○	
			역주행	○				○	△	
			보행자	○				○	△	
			낙하물	○				○	×	
	복합 시험	본선	정자보행					○	×	
		갓길	정자보행					○	○	
시험 항목	검지율(DR)			○	○	○	○	○	○	-
	오검지율(FDR)			○	△	△	△	○	○	○
	다른 유형 검지율(DTDR)							○	-	-
	과검지율(ODR)							○	-	-
	검지시간 (시간 동기화)			○	△	△	△			-
	검지위치 (영역, 일정간격)			○	임의지점	△	△	○	△	△
대안 검토	특 징			● 가장 간단한 방법 ● 가장 작은 비용 소요 ● 시험방법 전문성 미흡		● 본선 차로별 정지차량에 대한 시험 가능 ● 교통안전 가장 불리		● 다양한 의견수렴(자문과 공청회) 결과로 권고사항임 ● 도로차단 등 협조 필요		
	시험비용			-	보통	저비용	저비용	-	고비용	-
	안전한 시험환경			-	조금 위험	많이 위험	조금 위험	-	가장 안전	-
	다양한 시험조건			-	△	○ (검지차로, 위치)		-	○ (위치,항목)	-
검토 및 논의결과				● 검토대안 중에서 공용도로 본선 또는 갓길에서의 시험 사례 및 방안을 검토 ● 검토(안)에서 세부 시험방안은 사례들을 장점을 조합하여 채택 ● 연구기간 동안 확인된 운영 모니터링 결과(오검지율) 활용 ● 검토결과, 한국도로공사에서 실시한 경험이 있고 한국도로공사에서 다수의 싸인카 지원으로 안전한 시험환경을 확보하여 차로별 시험이 가능한 시험방안으로 선정하였음. 다만, 다수 차량의 정차에 따른 판단 등 세부적인 시험방안을 각 방법론의 장점을 선택하여 결정토록 하였음						

o 선정된 시험방법을 감안한 시험조건을 다음과 같이 설정

① 시험차로 : 본선 및 LCS차로, 차로는 균등하게 시험주관에서 결정

- 다양한 차로의 시험을 반영하되 시험횟수를 줄여 안전성, 저비용 추구

② 돌발상황 : 정지차량(15초 정차)만 시행, 다른 이벤트는 사고발생 위험성 높음

- 2015년 경부선 시범도로 및 서해대교 현장시험(본선 정차) 사례를 참고

- 갓길(LCS 차로) 역시 별도 차단시설 설치하지 않아서 정지차량만 시험

- 정지의 정의는 15초 이내로 단체표준(안) 내용을 수용

③ 검지(정차시험)위치 : 0~500m, 500m~1000m 영역으로 구분하여 각각 정차

- 시스템간 검지영역 중복여부 없음 확인, 검지영역 시작/중간/종점 이점 확인

• 1차로 시험은 0~1000m 이내에 2회 임의 정차(이정확인 어려움)

- 다음 3개 지점은 차량정차시 사고발생 위험성이 높아서 미시행

※ 사전시험(2일차 사전시험)후 결정사항임

• SMART-IDS 부산방향 신갈JCT : 0~650m 검지영역만 활용, 분류부 위험

• SMART-IDS 서울방향 서울TG : 0~600m 검지영역만 활용, 영업소 인접

• SMART-I 서울방향 죽전BS : 죽전BS~죽전SA(휴게소) 진출입 위빙구간

※ 필요시 검지영역 시작/중간/종점 위치를 별도 갓발 표시(백색, 적색, 흑색)

④ 시험횟수 : 지점별 10개 이상의 Sample 확보

- 주행 5회 * 영역 2곳(장비별) * 이벤트 2건(싸인카 1대, 시험차량 1대)

※ 최후방 싸인카는 안전을 위해 서행 운행으로 정지차량 이벤트에서 제외

- 검지율, 오정보율 20건, 검지시간 10건(시험차량만 측정)

⑤ 시험차량 및 주행방법 : 시험차량(경광등), 싸인카 2대(시험차량 후방)

- 모두 싸인카로 경광등이 설치되고 공사 또는 시험차량으로 시인성 확보

※ 일반 승용차 시험은 임차업체에서 본선 정차시험시 안전문제로 거부

- 싸인카 : 4.5ton 화물, 경광등, 차로 유도, 충격완화장치, 수원지사 작업차량

- 시험차량 : 1.5ton 소형트럭, 차로유도, 경광등, 랜탈 차량

- 싸인카-시험차량-싸인카 주행순서, 안전을 위해 시험차량-싸인카 2대로 변경

※ 사전시험(2일차 사전시험)후 주행순서 조정된 사항임

⑥ 시험시간 : 1회 약 1.5시간, 09:30~12:00, 13:00~17:00 시간대에만 시험 실시

- 출퇴근 침두시간대의 정체상황에서는 시험 불가능

⑦ 시험일정

- 사전시험 : 2회 주행(5/10, 기록, 미공개, 문제점 확인, 동일 시험조건 적용)

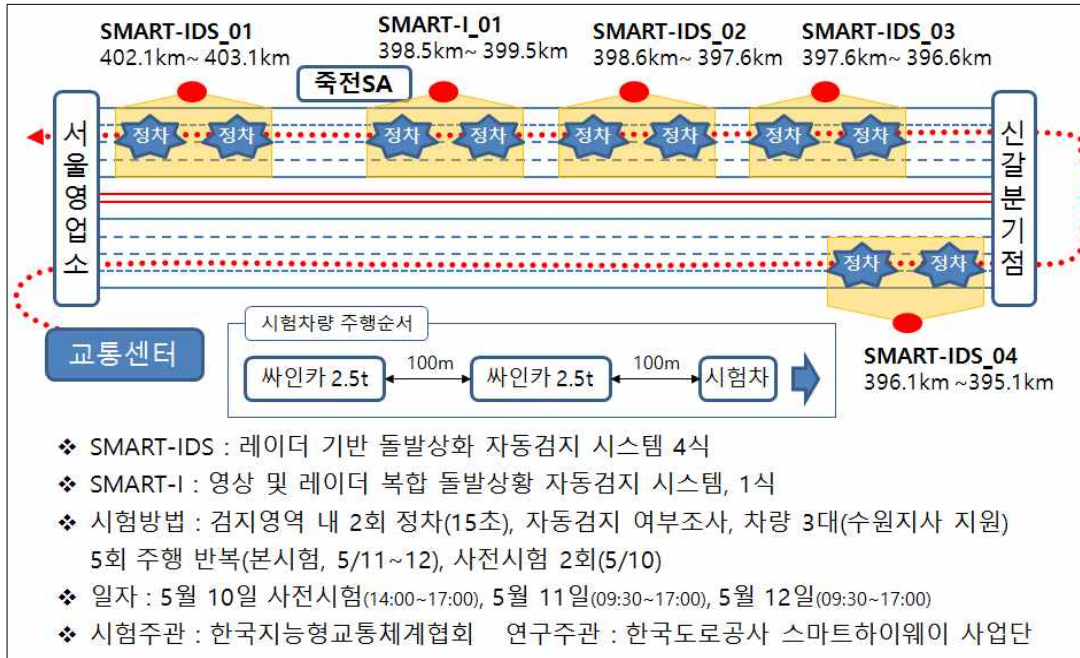
- 본 시험 : 5회 주행(5/11(수)~5/12(목))

⑧ 기타

- 시험 중 사고 등 예상치 못한 상황이 발생하면 그 상황을 기록으로 남기고 사한에 따라 시험의 계속진행 여부를 판단하며 안전문제 등 심각한 경우에는 시험을 중지토록 함. 이때 현장시험 결과는 운영 모니터링 결과로 대체토록 함

o 그리고 세부적인 시험절차를 명시하는 시나리오는 다음과 같으며 최종 방안마련 이후 본 시험이전에 사전시험을 통해 안전상의 문제점 등을 보완한 시나리오를 최종 시험시나리오로 확정함

1. 시험차량과 시험차량 후방 싸인카 2대는 주행순서에 맞추어 출발지점에서 대기 → 시험차량 주행순서 변경(시험차량 - 싸인카 2대, 사전시험 후)
2. 시험책임자는 센터내 모니터 요원 시계, 시험차량내 시계, 시스템 시간을 일치시키거나 상대시간을 기록하여 시간동기화를 확인하고 기록
3. 시험책임자는 시험차량내 내부와 시험차량 후방의 첫 번째 싸인카의 전면을 녹화하는 카메라를 장착하여 시험상황을 녹화토록 함
4. 시험책임자는 시험대상 시스템의 운영상태 “이상 없음”을 센터 모니터 요원으로부터 확인하고 시험시작 신호를 차량운전자들에게 지시. 이때 시험 회차, 주행 및 정차차로를 지시하여야 함
※ SH 사업단 등 협의결과 안전한 시험을 위하여 본선 1차로(버스전용차로)와 LCS차로(미운영시 갓길)를 각각 2회, 3회 정차하는 시나리오를 운영함
5. 시험차량과 싸인카 2대는 시험책임자로부터 지시받은 차로를 다음과 같은 순서로 주변 교통류와 동일한 속도로 첫 시험대상 검지영역으로 주행 이동
운행순서 : 후방 싸인카→(약 100m)→전방 싸인카→(약 100m)→시험차량
6. 시험차량 진행자는 첫 시험대상 검지영역 전방 500m 인근에서 감속유도를 지시하고, 지시받은 운전자들은 차량경광등을 켜고, 30~40km/h 속도로 감속 운행하여 주변차량에게 메시지가 전달 되도록 함. 이때 감속유도 메시지는 모든 차량과 센터 모니터 요원에게도 전달이 되어야 함
7. 시험차량 진행자는 시험대상 장비의 첫 번째 검지영역 진입 후 첫 검지영역에 임의정차를 지시하고, 차량 운전자들은 안전하게 서서히 감속하여 차량을 정차시킴, 이때 임의정차 지시와 차량정차 시점의 내용은 센터 모니터 요원에게도 전달이 되어야 함
8. 시험차량 진행자는 차량정차(속도 “0”)의 시점의 시각을 시/분/초 단위로 기록하고 15초 정차 유지를 확인하고 운전자에게 출발신호를 지시, 이때 차량출발 지시 내용은 센터 모니터 요원에게도 전달이 되어야 함
9. 센터 모니터 요원은 차량정차 시각과 출발시각을 시/분/초 단위로 기록하고 2대 차량의 차량정차 이벤트 발생여부를 확인하고 기록함
10. 시험차량 진행자는 시험대상 장비의 두 번째 검지영역 진입 후 검지영역에 임의정차를 지시하고, 차량 운전자들은 안전하게 서서히 감속하여 차량을 정차시킴, 이때 임의정차 지시와 차량정차 시점의 내용은 센터 모니터 요원에게도 전달이 되어야 함
11. 시험차량 진행자는 차량정차(속도 “0”)의 시점의 시각을 시/분/초 단위로 기록하고 15초 정차 유지를 확인하고 운전자에게 출발신호를 지시, 이때 차량출발 지시 내용은 센터 모니터 요원에게도 전달이 되어야 함
12. 센터 모니터 요원은 차량정차 시각과 출발시각을 시/분/초 단위로 기록하고 2대 차량의 차량정차 이벤트 발생여부를 확인하고 기록함
13. 이후에 4개의 시험대상 구간에서 상기의 7~12의 내용을 반복 수행함
14. 시험책임자는 1회 주행시험 이후 시험기록 상태를 확인하고 다음 회차의 시험을 위한 시험구간의 소통상태 확인 및 주행 시험차로를 지정하고 시험 출발을 지시
15. 시험책임자는 총 5회의 시험이 완료되면 기록지를 확인하고 각종 데이터는 별도의 저장장치에 백업받고 시험을 종료함.
16. 시험책임자는 시험 중에 돌발상황이 발생하면 즉시 시험을 중단하고 안전조치 등 적정한 후속 조치를 시행함.



<그림 150> 자동돌발검지 시스템 현장시험 시험차량 주행 시나리오

[표 112] 자동돌발검지 시스템 현장시험 기록지

돌발상황 검지시스템 성능시험 기록지(센터 모니터용)									
() page / () page									
시험일자	____년 ____월 ____일			시험시작시간		____시 ____분			
시험 회차	____회차 / 총 ____회			시험 주행차로		____차로/ 전체 ____차로			
날씨				특이 사항(소통상황 등)					
기록자 소속/이름	/			시험 참관자 소속/이름		/			
입력 번호	이벤트 검지 대상 장비 입력번호(ID 등)	이벤트 검지 시험 차로 (차로)	시험차량 이벤트			후속차량		비 고	
			발생시간	검지시간	이벤트 종류	검지시간	이벤트 종류		
001	SMART-IDS-4	1차로	hh:mm:ss	hh:mm:ss	정지차량	hh:mm:ss	정지차량		
001	SMART-IDS-04		:	:		:	:		
002	SMART-IDS-03		:	:		:	:		
003	SMART-IDS-02		:	:		:	:		
004	SMART-I-01		:	:		:	:		
005	SMART-IDS-01		:	:		:	:		

돌발상황 검지시스템 성능시험 기록지(시험차량용)									
() page / () page									
시험일자	____년 ____월 ____일			시험시작시간		____시 ____분			
시험 회차	____회차 / 총 ____회			시험 주행차로		____차로/ 전체 ____차로			
날씨				특이 사항 (소통상황 등)					
기록자 소속/이름	/			시험 참관자 소속/이름		/			
입력 번호	이벤트 발생 대상 장비 입력번호(ID 등)	이벤트 발생 시험 차로 (차로)	1번 이벤트		2번 이벤트		이벤트 발생 종류	비 고	
			발생지점 (계약 이점)	발생시간 (시:분)	발생지점 (계약 이점)	발생시간 (시:분)			
000	SMART-IDS-4	1차로	000.OK	hh:mm	000.OK	hh:mm	정지차량		
001	SMART-IDS-04		K	:	K	:	정지차량	396.1~395.5 (600m)	
002	SMART-IDS-03		K	:	K	:	정지차량	396.6~397.6 (1000m)	
003	SMART-IDS-02		K	:	K	:	정지차량	397.6~398.6 (1000m)	
004	SMART-I-01		K	:	K	:	정지차량	398.4~399.4 (1000m)	
005	SMART-IDS-01		K	:	K	:	정지차량	402.1~402.7 (600m)	

- 돌방상황검지 시스템 현장시험을 위한 시험환경 구성은 경부선 시범도로인 서울영업소 ~수원IC구간 1차로와 갓길(LCS차로)에서 3대의 차량이 임의 정차를 시행하는 관계로 관할 고속도로순찰대(제1지구대)에 도로차단공사와 동일한 신고를 함

[표 113] 자동돌발검지 시스템 현장시험을 위한 도로차단신고

통행등의 금지 (제한) 협의서		도 로 공 사 신 고 서			
1. 작 업 명 : 스마트하이웨이 돌발상황 검지시스템 성능 테스트 경부선 서울방향 402.1km~ 403.1km 398.5km~ 399.5km 2. 차단구간 또는 제한구간 : 398.6km~ 397.6km 397.6km~ 396.6km 경부선 부산방향 396.1km ~395.1km 3. 차단 또는 제한기간 : 2016. 05. 10(14:00 ~ 17:00) 2016. 05. 11(09:30 ~ 17:00) 2016. 05. 12(09:30 ~ 17:00) 4. 이 유 : 스마트하이웨이 돌발상황 검지시스템 성능 테스트 5. 소 통 방 법 : 본선 및 갓길 이동차단 (각 차로별 15초 정차 후 소통) 6. 작 업 자 : 한국지능형교통체계협회 (한국도로공사 보유 차인카 2대 및 안전순찰차 1대 활용) 7. 기 타 참 고 : 안전관리 계획서 첨부 도로교통법 제 70조 제 1항의 규정에 의하여 위와 같이 협의하고자 합니다. 2016. 04. 29. 공사 시행부서장 : 한국지능형교통체계협회 표준관리부장 조순기 고속도로순찰대 제1지구대장 귀 하 첨 부 : 1. 교통통제계획 2. 안전관리계획서 3. 작업계획서		신 고 인 (공사시행자) 성 명 : 한국지능형 교통체계협회 주 소 : 경기도 안산시 상록구 성호로 31 ITS 인증평가센터 처리기간 즉 시			
		신 고 구 분 : 사 전 공 사 시 형 : 일 시 : 2016. 05. 10(14:00 ~ 17:00) 2016. 05. 11(09:30 ~ 17:00) 2016. 05. 12(09:30 ~ 17:00) 장 소 : 경부선 서울방향 402.1km~ 403.1km 398.5km~ 399.5km 398.6km~ 397.6km 397.6km~ 396.6km 경부선 부산방향 396.1km ~395.1km 공 사 기 간 : 2016. 05. 10(14:00 ~ 17:00) 2016. 05. 11(09:30 ~ 17:00) 2016. 05. 12(09:30 ~ 17:00) 공 사 시 행 방 법 : 공사 시행 장소를 이동/정차 하며, 돌발상황의 검지여부를 성능 테스트를 진행함 (본선 차로 및 갓길차로) 기 타 사 항 : 교통통제계획 첨부			
도로교통법 제 69조의 규정에 의하여 위와 같이 신고합니다. 2015. 04. 29. 신 청 인 : 한국지능형교통체계협회 주 소 : 경기도 안산시 상록구 성호로 31 ITS 인증평가센터 기술표준센터장 : 조 용 성 (인) 고속도로순찰대 제1지구대장 귀하		구비서류 : 없음 수수료 : 없음			

교 통 통 제 계 획		도로공사 신고 확인서			
1. 공사구간 : 경부선 서울방향 402.1km~ 403.1km, 398.5km~ 399.5km, 398.6km~ 397.6km, 397.6km~ 396.6km, 부산방향 396.1km ~395.1km 2. 안전원 근무 및 안전장구 설치 가. 안전원 근무요령 1) 안전관리 차량 3대 : 안전 관리 차량은 시험구간 전 각 차량 당 100m의 거리를 두고, 이동 하며 각 차량은 LED 싸인판을 통해 신호를 주어 확실하게 감속 및 차선 변경을 유도 한다. (2.5톤 싸인카 2대) 2) 시험 차량(작업자) : 시험 차량은 시험 구간을 절대 벗어나서는 안되며, 항상 주행차량에 대한 자기 안전에 주의 하여야 한다. (안전순찰차 1대) 3) 안전요원(안전관리 차량 탑승원, 작업원 포함)은 반드시 소정의 복장을 착용하고 작업에 임하여 안전관리 책임자의 지시에 따라야 한다. 4) 안전요원은 경위치를 무단이탈하여서는 안 된다. 3. 교통차단 계획보고 : 주관부서 및 관할경찰서에 사전 보고 4. 교통제한 : 시험구간 이동 차단 5. 차단기간 : 2016. 05. 10(14:00 ~ 17:00) 2016. 05. 11(09:30 ~ 17:00) 2016. 05. 12(09:30 ~ 17:00)		접수일자 : 2016.04.29 접수번호 : 1340-2016-000351 공사명 : 스마트하이웨이 돌발상황 검지시스템 성능 테스트 시공사 : 한국지능형교통체계협회 장소 : 경부고속도로 기간 : 2016.05.10~2016.05.12 (09:30~17:00,~) 교통통제 : 1,2,3,4,5차로로 1차로차단 및 갓길차단 ☐ 교통정보센터 비고 : ※ 작업시간, 공사 시간을 명시하시기 바랍니다. 1. 지시표시등 (0) 개 5. 발광싸인보드 (2) 개 야간시 2. 공사안내 (2) 개 6. 드림 (0) 개 3. 교통 안내판 (2) 개 7. 경광등 (3) 개 야간시 4. 안전헬스, 라바콘 (0) 개 8. 신호수 (0) 명 기타 : 로보트호수 2개, 야간판 1개, 주의구간 2.0km이상, 작업자 안전교육 철저, 장비 점검 철저, 라바콘 및 안내판 등등 확충 공사구간 60km 야간작업시 항공포기 착용 ※ 모든 공사는 교통관리계획 및 안전시설 설치 지침에 의거 공사를 진행한다. ※ 교통환경의 변화나 민원발생시 즉시 공사를 중단하고 제반 공사방법을 재확인, 재신고하는 등 경찰관의 지시를 따라야 한다. ※ 위의 내용을 준수하지 않을 경우 도로교통법 제69조,제154조에 의하여 처벌을 받을 수 있습니다. 교통센터 : 031-262-3949 이관 : 031-262-3949 사 설 번 : 031-262-0464 FAX : 031-262-3083 당 당 자 : 경사 방은주 031-688-2354 2016.04.29 1 지구대장			

- 시험일정은 장비의 사전점검 및 시험환경 구성, 사전시험, 본 시험으로 진행함

[표 114] 자동돌발검지 시스템 시험추진 일정 및 수행내역

시험 순서	일정	내용
사전 준비	5월 9일(월) ~ 5월 10일(화)	• 시스템 및 장비의 점검 • 검지영역의 시작, 중간, 종료 지점 깃발 표시 • 시험차량, 싸인카 준비, 시험장비 점검 
사전 시험	5월 11일(화) 오전	• 계획한 시험시나리오의 사전 리허설 ➔ 차량 주행순서 변경(끼어드는 차량 많음) ➔ 검지영역과 Ramp, 광장, 위빙 중복구간에서의 시험은 안전상 미시행 결정 ➔ 주행차량간 간격의 임의 조정 
본 시험	5월 11일(화) 오후 ~ 5월 12일(수) 오후	• 5회 주행시험 : 1차로 정차시험 2회, 갓길 정차시험 3회 

라. 현장시험 추진 경과

- 현장시험은 2월말부터 시험방안과 개략적 시험계획을 준비하면서 시작되었고 3월부터는 관련 연구진과의 구체적인 시험방안에 대한 논의가 진행됨. 두 시스템이 모두 기존 연구 등을 통해 시험사례를 가지고 있어서 이를 기반으로 시험방안을 마련하였으나 본 연구에서는 정부선 시범도로라는 실 도로 제약조건과 제한된 시험을 위한 예산 등을 종합적으로 고려하여 방안을 마련
- 특히 자동돌발검지 시스템의 시험방안은 실 도로에서 돌발상황을 재연하는 시나리오 시험의 어려움을 극복하는 과정이었고 가장 중요한 안전한 시험환경을 마련하는 방안을 선정코자 하였음

[표 115] 요소기술 현장시험을 위한 추진일정

회의	일시	장소	참석	회의내용
-	2월말	-	-	요소기술별 검증평가 계획 초안 작성
1차	3월 16일	교통센터	ITSK 등 7명	- 요소기술별 검증평가 계획 초안 발제 - 검증평가 원칙, 제약사항, 시험일정, 시험방법
2차	3월 30일	도로교통연구원	ITSK, 도공 등 12명	- 요소기술별 검증평가 계획(Ver 0.81) 발제 - 시험일정 : 초안 계획대로 진행 - WAVE 통신시험 방법에 대한 기본사항 합의 - 돌발검지 시험은 시험방법 추가 검토
3차	4월 8일	KETI 회의실	ITSK, 도공 등 5명	- WAVE 통신시험방법 일부변경 공유 및 확인 - WAVE 통신시험 일정 확정 및 공유 - 결과 분석시 통계분석 병행 - 돌발검지 시스템 : 시험방법 비교자료 공유 - 본선에서의 정차시험 방법 제안(도로공사)
4차	4월 14일	ITSK 회의실	ITSK, 도공 등 7명	- 돌발검지 시험방법 비교검토 자료 발제 - 갓길 차단시험 제안(ITSK), 시험 안전성 - 시험방법에 대한 추가 논의 실시 - 시험일정 결정
-	18일 ~ 20일	정부선 시범도로, 센터	ITSK, KETI, 이씨스, ITT, 도로공사 등	- WAVE 통신시험 실시 - 사전 준비 2일, 본 시험 1일
5차	4월 22일	ITSK 회의실	ITSK 등 3명	- 돌발검지 세부 시험방법 논의 - 본선 정차 시험방안 협의 : 기존 사례 분석
6차	4월 27일	도로교통연구원	ITSK, 도로공사 6명	- 돌발검지 시험방안 최종 협의 - 도로차단신고, 싸인카 지원 등 도로공사 협조 요청사항 확인 및 업무분장
-	4월 29일	-	-	돌발검지 시험을 위한 교통제한신고(고순대 1지구대) 및 관련 연구기관, 도로공사(SH 사업단) 시험관련 협조 요청
7차	5월 10일	교통센터	ITSK, 도공 등 7명	- 돌발검지 시험을 위한 사전조사 결과 설명 - 현장조사에 따른 세부 시험 시나리오 수정
-	10일 ~ 12일	정부선 시범도로, 센터	ITSK, 메타빌드 휴엔에스, 도로공사	- 정부선 실 도로 돌발검지 시험 실시 - 사전 준비 1일, 본 시험 2일

마. 현장시험 결과분석

1) WAVE 통신 기술

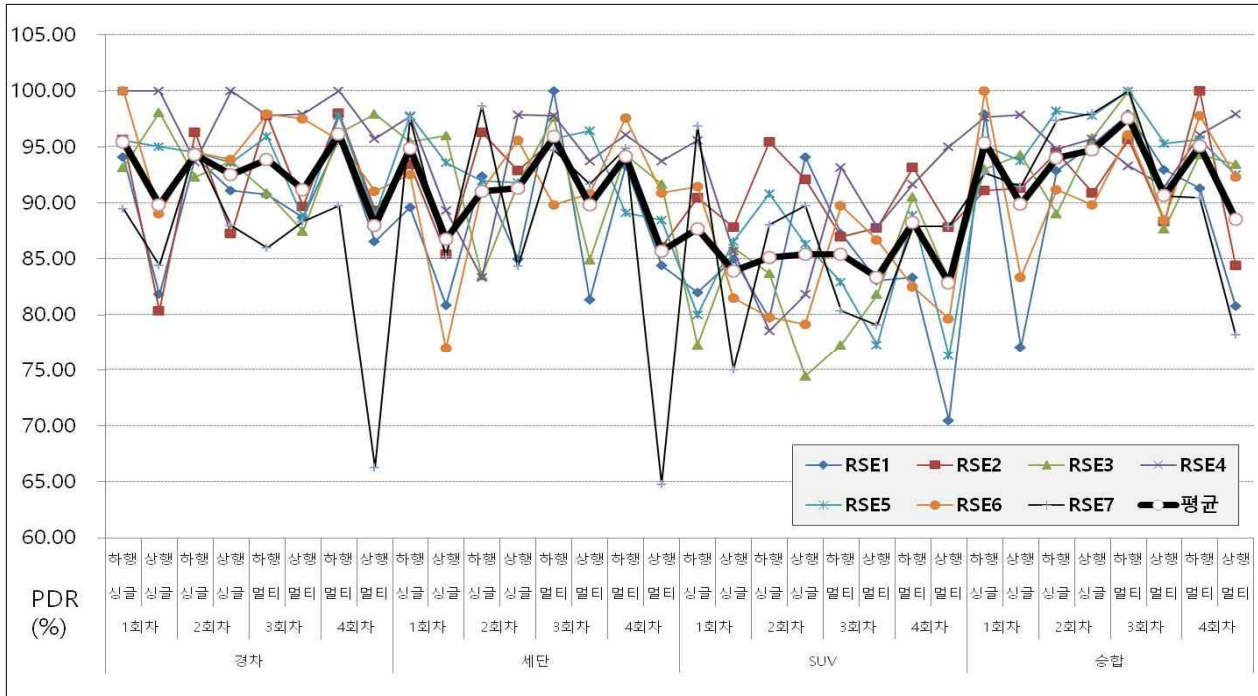
□ I2V 통신환경 시험결과

o WAVE 통신의 I2V 환경에서의 시험결과 : PER, Latency, 통신거리를 확인한 결과

[표 116] I2V 실 도로 주행시험 RSE 지점별 분석결과(전체 차량)

구분	채널	방향	기지국 번호							Avg.
			RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
PER (%)	싱글 채널	하행	9.7	5.8	11.6	7.3	7.0	7.4	5.6	7.8
		상행	13.7	11.5	8.7	6.5	7.7	13.8	13.0	10.7
		Avg.	11.7	8.7	10.2	6.9	7.3	10.6	9.3	9.2
	멀티 채널	하행	7.5	4.9	7.3	4.3	6.7	6.6	9.5	6.7
		상행	16.5	12.1	11.5	5.8	12.0	10.3	19.2	12.5
		Avg.	12.0	8.5	9.4	5.0	9.4	8.5	14.3	9.6
	Avg.	하행	8.6	5.3	9.5	5.8	6.9	7.0	7.5	7.2
		상행	15.1	11.8	10.1	6.1	9.8	12.1	16.1	11.6
		Avg.	11.8	8.6	9.8	6.0	8.4	9.6	11.8	9.4
통신 지연 (msec)	싱글 채널	하행	0.8	0.6	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
		상행	0.8	0.5	0.7	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8
		Avg.	0.8	0.5	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8
	멀티 채널	하행	23.3	48.9	29.2	3.2	11.9	46.0	24.4	26.7
		상행	25.4	47.2	11.6	3.0	17.9	50.9	28.2	26.3
		Avg.	24.3	48.1	20.4	3.1	14.9	48.5	26.3	26.5
	Avg.	하행	12.1	24.8	15.1	2.0	6.4	23.4	12.6	13.8
		상행	13.1	23.9	6.2	2.0	9.4	25.8	14.5	13.6
		Avg.	12.6	24.3	10.6	2.0	7.9	24.6	13.6	13.7
최대 통신 거리 (m)	싱글 채널	하행	1,377	1,667	2,293	2,350	2,120	1,957	1,925	1,955
		상행	919	1,133	2,048	1,808	1,495	1,298	1,230	1,419
		Avg.	1,148	1,400	2,170	2,079	1,807	1,628	1,577	1,687
	멀티 채널	하행	1,431	1,687	2,299	2,520	2,101	2,019	1,872	1,990
		상행	893	1,257	2,136	1,754	1,452	1,232	1,279	1,429
		Avg.	1,162	1,472	2,218	2,137	1,777	1,626	1,575	1,709
	Avg.	하행	1,404	1,677	2,296	2,435	2,111	1,988	1,898	1,973
		상행	906	1,195	2,092	1,781	1,474	1,265	1,254	1,424
		Avg.	1,155	1,436	2,194	2,108	1,792	1,627	1,576	1,698

o I2V 통신시험에는 총 4대의 차량(경차, 세단, SUV, 승합차)과 노변의 7개 통신기지국이 활용되었고 4회의 주행시험 결과를 확보하였음. 보다 세부적인 PDR(Packet Data rate, PER=1-PDR) 시험결과는 다음과 같음



<그림 151> I2V 통신환경에서의 차종별 회차별 방향별 PDR(% , PER=1-PDR) 측정결과

- o 상기 결과를 살펴보면, SUV 차량의 PDR이 낮은 현상을 보이고 있음을 확인. SUV 차량은 시험이후 안테나 장비의 점검 결과 불량이 확인되었음
- o SUV 차량 안테나에 대한 불량이 확인되어 이를 제외한 데이터 분석의 결과는 다음과 같이 PER이 전체 평균 7.6%으로 확인

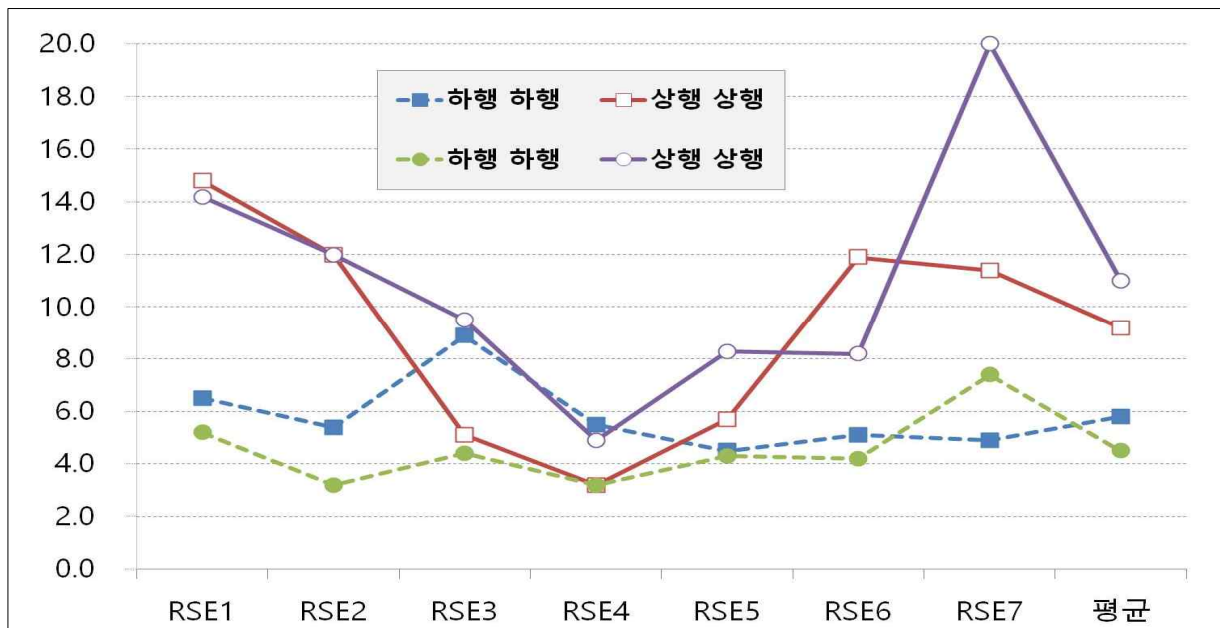
[표 117] I2V 실 도로 주행시험 RSE 지점별 PER 분석결과(SUV 차량 제외)

구분	채널	방향	기지국 번호							Avg.
			RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
PER (%)	싱글 채널	하행	6.5	5.4	8.9	5.5	4.5	5.1	4.9	5.8
		상행	14.8	12.0	5.1	3.2	5.7	11.9	11.4	9.2
		Avg.	10.7	8.7	7.0	4.3	5.1	8.5	8.2	7.5
	멀티 채널	하행	5.2	3.2	4.4	3.2	4.3	4.2	7.4	4.5
		상행	14.2	12.0	9.5	4.9	8.3	8.2	20.0	11.0
		Avg.	9.7	7.6	6.9	4.0	6.3	6.2	13.7	7.8
	Avg.	하행	5.8	4.3	6.7	4.3	4.4	4.7	6.1	5.2
		상행	14.5	12.0	7.3	4.1	7.0	10.0	15.7	10.1
		Avg.	10.2	8.2	7.0	4.2	5.7	7.3	10.9	7.6

- o 먼저 채널별 방향별 I2V통신의 PER은 상하행의 방향별 특성이 나타났으며, RSE의 설치지점은 모두 상행선 우측 노변에 설치되어 있어 반대편 차량통행시 통신여건이 우수한 것으로 나타남
- o 각 RSE 별로 측정된 평균PER성능은 각 RSE간에 다소 차이를 보이고 있음. 이는 비교적 LOS가 잘 확보된 경부선구간이지만 각 지점별(Location) 통신여건이 차이가 있음을 보여

주고 있으며, 현장에 RSE 설치 시(Installation) 이러한 세부적인 통신여건을 설치 전에 확인할 필요가 있음

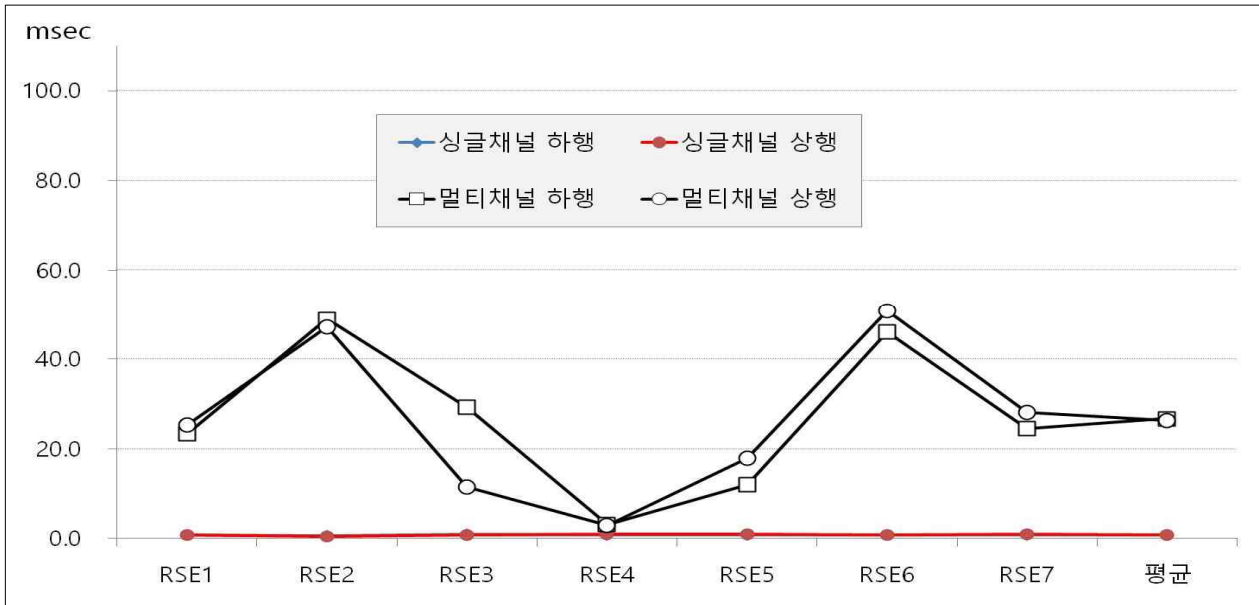
- RSE1의 경우, 통신범위 내에 존재하는 도로 경사 구간으로 인해 일부 구간에서 LOS확보가 어려운 음영지역이 생겨 성능이 다소 낮게 나타나는 것으로 판단
- RSE7의 경우, 영동선에서 경부선 서울방면으로 본선에 합류하는 구간이 존재하며 경부선 합류부에서 버스전용차로 진입을 위한 대형 버스의 1차로 이동 및 경부선 본선 진입을 위한 대형 차량 등의 차로 이동으로 인해 일부 구간에서 본선 주행 차량의 LOS 확보가 어려운 음영지역이 생겨 성능이 다소 낮게 나타나는 것으로 판단
- 향후 실제 통신 인프라를 구성할 때 이러한 사항까지 고려하여 기지국을 설치한다면 보다 우수한 성능을 확보할 수 있을 것으로 보임. (시범도로 테스트베드는 기지국 설치 시 기존의 LCS관련 시설물만을 활용하여 설치한 관계로 모든 구간에 대해 통신에 관련된 최대성능을 확보하지는 못하였으며, 위와 같은 특이점에는 별도의 구조물 설치나 기타 시설물의 활용을 통해 최대성능의 확보가 가능할 것으로 판단)



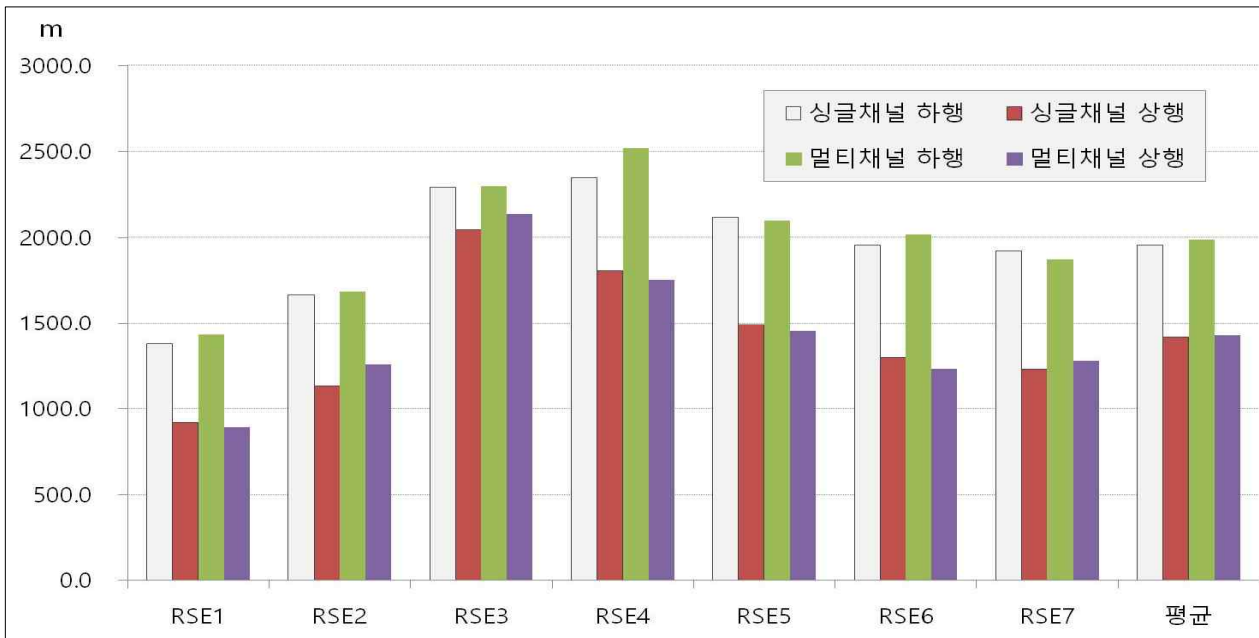
<그림 152> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 PER(%) 측정결과

- o I2V 통신환경에서의 평균통신지연시간(Latency)는 싱글채널, 멀티채널 모두 100msec 이내로 측정이 되었고 방형별 특이점은 발견되지 않았음
- o 멀티채널의 경우, 싱글채널에 비해 높은 통신지연시간이 측정되었는데, 이는 시분할 채널스위칭으로 인한 장치 내부의 지연이 기본적인 통신지연(싱글채널과 유사한 수준)에 더해져서 측정되었기 때문임
 - 멀티채널의 경우, 50ms 주기로 제어채널과 서비스채널을 번갈아가며 시분할 접속하며, 시험에서 사용된 메시지는 제어채널로 전송 되므로 서비스채널 접속 구간에서 발생한 메시지는 채널이 제어채널로 변경될 때까지 내부 버퍼에 대기하게 되며, 이 때 버퍼링 지연을 겪게 됨
 - 따라서 멀티채널 환경에서 측정된 통신지연은 실제 통신지연과 내부 버퍼링 지연이 합산되어 측정된 값이며, 실제 통신지연 자체는 싱글채널과 큰 차이가 없음

- o I2V 통신거리는 대부분 1km이상의 통신거리를 보여 매우 양호한 결과를 보였으며 경부선 시범도로는 타 지역에 비해 LOS(Line Of Sight)가 확보된 구간이라 긴 통신거리가 확인
- o 통신거리는 주변 환경에 따라 많은 차이가 있을 수 있으며 건물의 가림, 대형차량의 존재 및 비율, RSE와 인접한 도로표지판 등에 영향을 받을 수 있음. 따라서 설치지점 선정과 시공시 장애물, 구조물 등의 확인이 필요함.



<그림 153> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 평균통신지연시간(msec) 측정결과



<그림 154> 경부선 시범도로 I2V 통신환경에서의 통신거리(m) 측정결과

- o I2V 통신환경에 대한 실 도로 시험결과 전체평균은 PER, 평균통신지연시간, 최대 통신거리 항목에서 PER 10%이하, 통신지연시간 100msec 이하, 통신거리 500m 이상의 성능을 확인할 수 있었음. 그러나 시험결과에서 설치지점 환경에 따른 영향을 확인할 수 있었듯이 지점별 설치 및 운영시 해당 지점별 통신성능을 최대로 유지하는 노력이 필요함.

□ V2V 통신환경(정지차량-이동차량) 시험결과

- V2V 통신시험은 경부선 시범도로 실 도로를 주행하면서 정지차량, 다른 주행차량과 전방상황경고 및 후방상황경고 메시지를 주고받은 상황을 연출하였음. 그리고 이때 차량간 통신에서 PER과 통신지연을 측정함
- 먼저 정지차량과 주행차량간의 시험결과로 평균 PER, 평균통신지연(msec), 최대통신거리(정지차량~주행차량)를 확인하였음

[표 118] V2V(정지차량-이동차량) 실 도로 주행시험 결과

채널운용			전방상황경고			후방상황경고			평균
			하행#1	상행	하행#2	하행#1	상행	하행#2	
4대 주행 차량 (SUV 포함)	PER (%)	싱글채널	14.9	12.1	10.0	16.2	13.6	10.7	12.9
		멀티채널	16.4	12.0	10.3	26.3	13.1	11.1	14.9
		Avg.	15.6	12.0	10.2	21.3	13.3	10.9	13.9
	통신지연 (msec)	싱글채널	1.0	0.7	1.0	0.9	0.8	1.0	0.9
		멀티채널	3.2	7.3	9.8	18.8	11.1	16.2	11.0
		Avg.	2.1	4.0	5.4	9.8	6.0	8.6	6.0
	최대 통신거리 (m)	싱글채널	637	1118	1108	608	1090	951	919
		멀티채널	673	903	1075	633	957	1089	888
		Avg.	655	1010	1091	621	1023	1020	903
3대 주행 차량 (SUV 제외)	PER (%)	싱글채널	7.1	4.8	3.1	9.4	5.4	3.5	5.6
		멀티채널	7.1	4.6	4.5	22.7	5.3	4.7	8.2
		Avg.	7.1	4.7	3.8	16.1	5.4	4.1	6.9
	통신지연 (msec)	싱글채널	1.0	0.7	1.0	0.8	0.8	1.1	0.9
		멀티채널	3.2	7.2	9.9	11.0	14.0	19.8	10.9
		Avg.	2.1	3.9	5.5	5.9	7.4	10.4	5.9
	최대 통신거리 (m)	싱글채널	730	1180	1250	705	1153	1050	1011
		멀티채널	766	1006	1203	732	989	1246	990
		Avg.	748	1093	1227	719	1071	1148	1001

- 정지차량-이동차량간 통신에서 PER은 정지차량 위치(죽전휴게소, 서울TG), 서비스 형태(전방상황경고, 후방 상황경고), 회차(총 4회)에 관계없이 일정한 결과를 얻음. 그러나 SUV 차량 안테나 불량으로 관련 PER 평균값은 35%이었고 이를 제외한 평균치는 6.9% 수준
- 평균지연시간은 싱글채널과 멀티채널에서 차이를 보임.(싱글채널 평균 0.89msec, 멀티채널 평균 11.0msec) 그러나 지연시간은 모두 30msec 수준임
 - 멀티채널과 싱글채널의 평균지연시간 차이는 앞서 I2V 시험결과의 설명과 동일함
- 한편 통신거리는 안테나 불량 SUV 차량을 제외하면 모두 500m 이상의 거리를 확인

□ V2V 통신환경(이동차량간) 시험결과

- 4대의 주행차량은 경부선 시범도로 구간을 4회 주행을 하였고 이때 이동 차량간의 V2V 통신기록을 분석해 보았음. 이 이동차량간 통신에서는 인접한 거리에서 운행을 하였고 평균 PER과 평균 통신지연시간 로그를 사용
- 이동차량간 통신에서는 비교적 가까운 거리(차량간 50~100m로 일렬주행)에서 주행하였기에 측정치의 특이점을 발견 할 수 없었음. SUV 차량의 안테나 불량은 작은 영향을 주었고 싱글채널과 멀티채널에 따라 지연시간의 차이를 확인할 수 있었음

[표 119] V2V(이동차량간) 실 도로 주행시험 결과

채널 운영	전체 차량간(4대)		SUV 제외 차량간(3대)	
	PER(%)	지연시간(msec)	PER(%)	지연시간(msec)
싱글 채널	3.3	1.3	2.6	1.3
멀티 채널	3.7	17.8	3.1	18.8
Avg.	3.5	9.5	2.8	10.1

- 이동차량간 통신의 PDR 값을 살펴보면, SUV 차량과 연관된 통신에서만 상대적으로 낮은 데이터 전송율(PDR)을 확인

□ V2V 통신환경(이동차량간 추월주행) 시험결과

- 가까운 거리의 이동차량간 추월주행을 하면서 차량간 통신기록을 분석해보았으며 이때 주고받은 메시지는 전방상황경고와 후방상황경고로 시험 수행
- 앞서 이동차량간 시험 결과와 유사한 결과를 보임. 멀티채널에서의 통신지연이 조금 더 길었고 안테나 문제가 있었던 SUV 영향은 매우 가까운 거리에서 추월하여 영향이 없었음

[표 120] V2V(이동차량간 추월주행) 실 도로 주행시험 결과

채널운용			전방상황경고		후방상황경고		평균
			하행	상행	하행	상행	
전체 (SUV 포함)	PER (%)	싱글 채널	0.9	0.2	1.8	0.7	0.9
		멀티 채널	1.3	1.8	3.6	2.8	2.4
		Avg.	1.1	1.0	2.7	1.8	1.6
	통신지연 (msec)	싱글 채널	1.2	0.8	0.6	0.7	0.8
		멀티 채널	26.4	12.7	3.1	6.6	12.2
		Avg.	13.8	6.8	1.8	3.7	6.5
3대 차량 (SUV 제외)	PER (%)	싱글 채널	0.8	0.3	1.9	1.0	1.0
		멀티 채널	1.5	2.6	3.6	3.3	2.8
		Avg.	1.2	1.4	2.8	2.2	1.9
	통신지연 (msec)	싱글 채널	1.1	0.9	0.6	0.6	0.8
		멀티 채널	18.7	17.8	3.1	6.7	11.6
		Avg.	9.9	9.3	1.8	3.7	6.2

2) 자동돌발상황검지 시스템

- o 본 시험은 현장에 설치된 돌발상황검지 시스템의 모니터링의 일환으로 경부선 시범도로 구간에서 안전을 전제로 한 시험방법을 마련하고 연구결과를 도출하기 위한 것으로 특정 시스템의 공인된 시험 결과는 아님. 또한 본 시험은 연구 참여기관인 한국지능형교통체계 협회의 연구범위에 한해서 진행되었으며, 시험과정에서 세부 시험 시나리오의 조정 및 변경, 시험과정 돌발상황 발생에 대한 의사판단 등은 참여 연구진 전체 협의를 통해 결정하였음
- o 본 시험은 사전에 본선 차량정차가 있는 도로차단신고 등이 선행된 2일 동안 진행됨. 따라서 도로차단신고 기간, 관할도로관리 기관(수원지사)와의 현장시험 사전협의, 시험에 동원된 싸인카의 지원 일수의 제약조건하 2일 동안 사전 시험을 제외한 총 6회의 시험을 실시 할 수 있었음.
- o 시험과정에서는 예기치 못했던 특정구간의 교통정체, 장비의 작동정지, 타 시설물의 유지보수에 따른 시험대상 장비의 장애발생 등이 발생하였고 이에 대해 참여기관들의 협의를 거쳐 다음과 같이 정리하였음.

[표 121] 자동돌발검지 시스템 현장시험 중 이벤트 발생내역

일자	회차	시험중 돌발상황 발생 내역	시험 반영결과
공통	공통 사항	• SMART-IDS-01 검지영역 중 약 400m 구간이 서울영업소 광장부에 포함되어 장차시 위험성 높음	• 해당 구간에서 1차로, 갓길 시험 제외, 잔여구간 1회 정차로 시험으로 변경 실시
		• SMART-IDS-04 검지영역 중 최 우측 차로 약 400m 구간이 신갈분기점 분류부에 포함되어 정차시 위험성 높음 • SMART-I-01 검지영역 중 최 우측차로 약 500m 구간이 신갈BS와 신갈SA의 분합류 엇갈림 구간으로 위험성 높음	• 해당 구간에서 갓길 시험 제외, 잔여구간 1회 정차 시험으로 변경 실시
1일차	1회차	• 시험차량의 SMART-IDS-03 검지영역 밖 1대 정차 확인 • SMART-IDS-03 첫 번째 정차시 센터 수작업 미기록(시간기록 못함)	• 총 정차횟수 3대로 결과정리 • 시스템 로그로 정차기록 확인하여 검지여부로 처리
	2회차	• 두 번째 정차시 모든 차량 검지영역 밖 정차	• 총 정차횟수 2대로 결과정리
2일차	3회차	• SMART-IDS-04 검지영역 정체 발생 • SMART-IDS-02 장비작동 정지 • SMART-I-01 장비오류여부 확인	• 오전 시간대 시험구간내 정체발생, 장비상태 미점검 등으로 3회차 전체 미반영
	4회차	-	-
	5회차	• SMART-IDS-02, 03 시험 직전 LCS 장비(레이더 부착지점) 점검으로 장애발생 • 두 번째 정차시 1번 시험차량 미정차	• 시험결과 미반영 • 시험결과 미반영
	6회차	• SMART-IDS-01 LCS 장비(레이더 부착지점) 점검으로 장애발생	• 시험 미실시

- SMART-I는 시험대비하여 예비점검을 진행하는 과정에서 돌발검지 파라미터 설정 값 초기화로 인하여, 검지오류가 발생하였으며, 1일차 시험 진행 후 기관과 확인하고 중지하였으며, SMART-IDS는 총 96회의 시험계획 중 51건(53.1%)의 사용가능한 데이터 Sample을 확보하였음. SMART-I는 실 도로 시험·분석이 불가하여 운영 데이터에 의한 성능분석으로 대체함
- 본 연구의 현장시험 결과, 실 도로에서 돌발상황을 연출하고 이를 확인하는 과정이므로 많은 안전조치와 시험을 위한 가정상황을 만들어야 하고 시험 진행 중에도 많은 예기치 못한 상황이 발생하여 시험결과분석에 합당한 Sample을 확보하는 데 어려움이 많았음. 주요 Sample 확보시 어려운 점은 다음과 같음.
 - 실 도로에서 정차 시험은 정확한 위치에 차량을 세우기 어려움. (4회 miss)
 - 일 단위 시험의 경우 매일 시작 전 장비상태 점검이 필요
 - 실 도로에서 정체발생시 시험 진행이 불가능
 - 예상치 못한 관련 장비유지보수(전력 및 통신망 연결) 등 발생 어려움
 - 검지영역내 교통류 변화 지점 등의 존재 여부(시나리오 시험 자체 불가)

[표 122] 자동돌발검지 시스템 실 도로 현장시험 Sample 검토

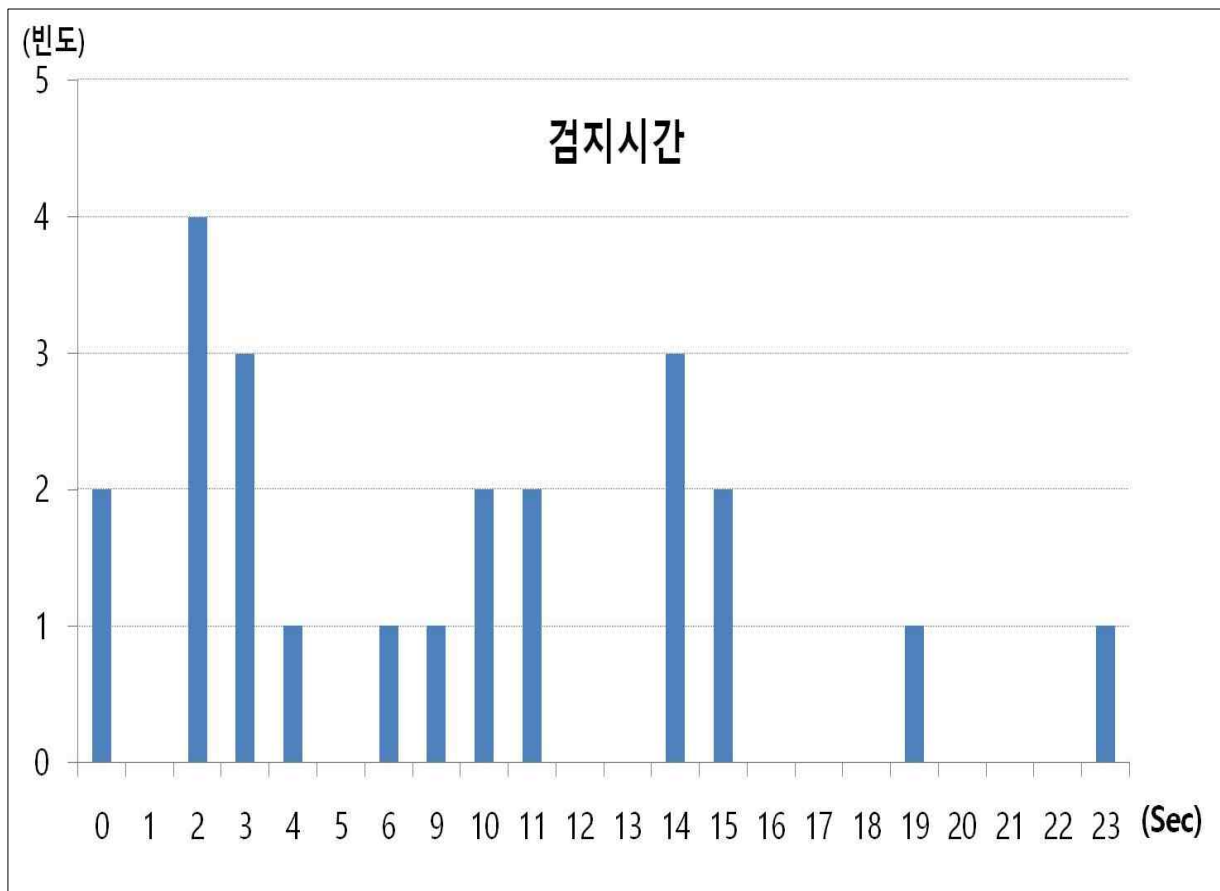
일자	회차	차로	시작 시간	IDS-04		IDS-03		IDS-02		I-01		IDS-01	
				전	후	전	후	전	후	전	후	전	후
1 일차	1 회차	1차로	14:16	2대	2대	1대	2대	2대	2대	2대	2대	2대	-
				-		1대 외부정차		-		-		-	
	2 회차	1차로	15:16	2대	2대	2대	-	2대	2대	2대	2대	2대	-
				-		2대 외부정차		-		-		-	
2 일차	3 회차	갓길 (LCS)	10:17	2대	-	2대	2대	2대	2대	2대	-	2대	-
				정체 발생		작동 정지				점검 불량			
	4 회차	갓길 (LCS)	13:14	2대	-	2대	2대	2대	2대	2대	-	2대	-
				-		-		-		점검 불량		-	
	5 회차	갓길 (LCS)	14:10	2대	-	2대	2대	2대	1대	-	-	2대	-
				-		LCS 점검		LCS 점검 1대 미정차		미시행		-	
	6 회차	갓길 (LCS)	15:06	2대	-	2대	2대	2대	2대	-	-	-	-
				-		-		-		미시행		LCS 점검	
총 가용 Sample 수 (정차여부)				14대(개)		13대(개)		16대(개)		시험 중지 (운영 분석)		8대(개)	

- SMART-IDS 4개 장비를 대상으로 한 51개 유효 Sample의 분석결과, 전체 검지율은 96.1%, 오검지율은 0.0%, 평균검지시간은 8.3초로 확인됨.
- 시험계획에서는 지점별로 최소 10개 이상의 검지여부를 확인할 수 있는 Sample을 확보하고자 하였으나 상기와 같은 시험 중 예상치 못한 상황의 발생으로 충분한 지점별 Sample을 확보하지 못하여 지점별 분석결과 분석에는 한계가 있었음.

[표 123] SMART-IDS 실 도로 현장시험 결과

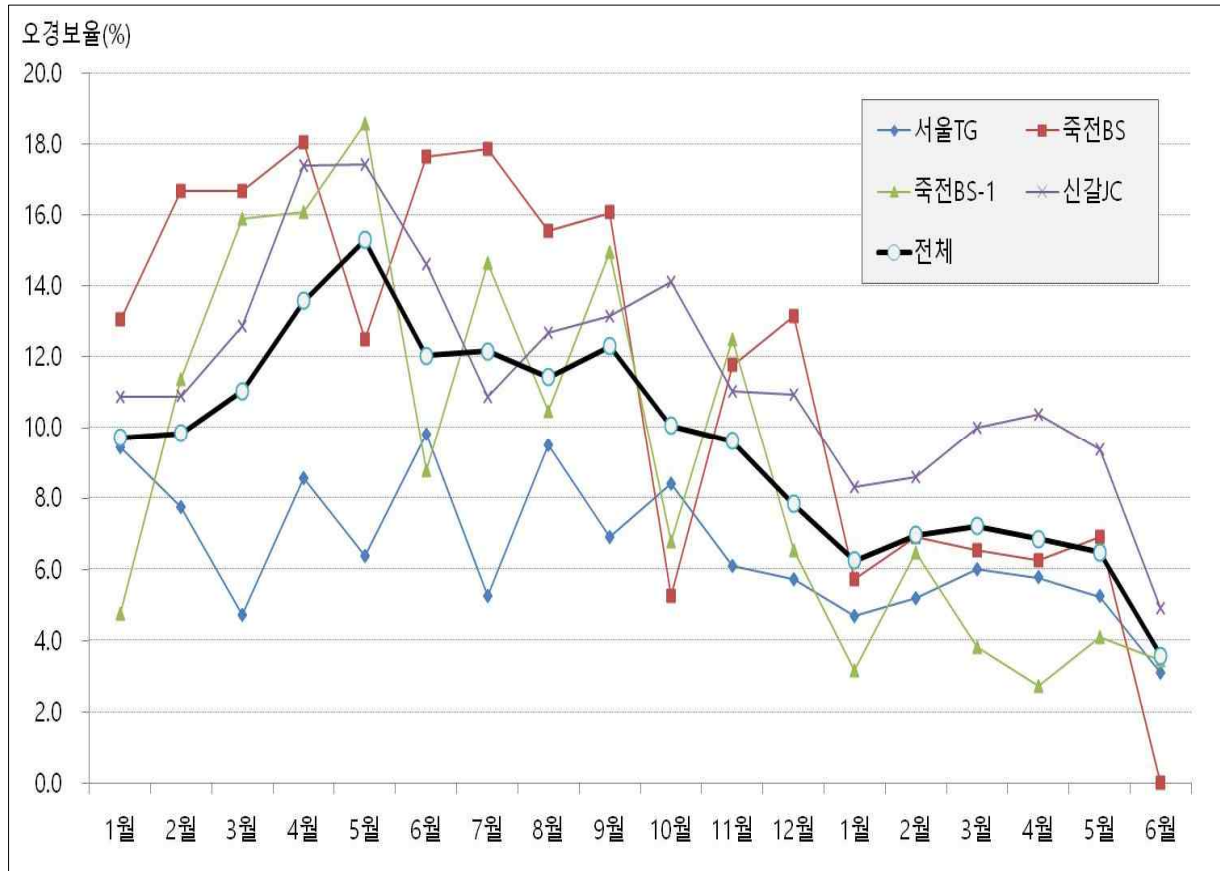
대상 장비	검지시간		(정지차량) 검지 여부				
	시간(초)	Sample	오검지	미검지	정검지	검지율(%)	오검지율(%)
SMART-IDS-01	6.3	3	0	2	6	75.0	0.0
SMART-IDS-02	13.3	7	0	0	16	100.0	0.0
SMART-IDS-03	5.8	6	0	0	13	100.0	0.0
SMART-IDS-04	6.4	7	0	0	14	100.0	0.0
전체	8.3	23	0	2	49	96.1	0.0

- o 그리고 시험방법에서 언급하였듯이 검지시간은 정차차량의 정차시작 시각부터 시스템에서 검지한 시각까지의 시간을 측정한 것으로 2대의 시험정차 차량 중 1대에서만(두 번째 차량) 측정하여 그 Sample수는 더 작은 규모로 분석하였음.



<그림 155> SMART-IDS 실 도로 현장시험 검지시간 분포

- o SMART-IDS의 경우 18개월간 오검지율 결과 다음과 같으며, 도로상의 큰 구조물에 의한 신호반사, 다수 정지차량의 오검지, 대형차량의 근거리 주행시 등에 대한 오검지 유형을 개선하는 알고리즘을 적용한 바 있음
- o 그림에서 오검지율의 감소를 확인할 수 있음. 이는 현장 설치지점별 환경특성에 대한 튜닝의 필요성을 확인할 수 있고 운영관리에 따라 시스템 성능이 달라짐을 확인함

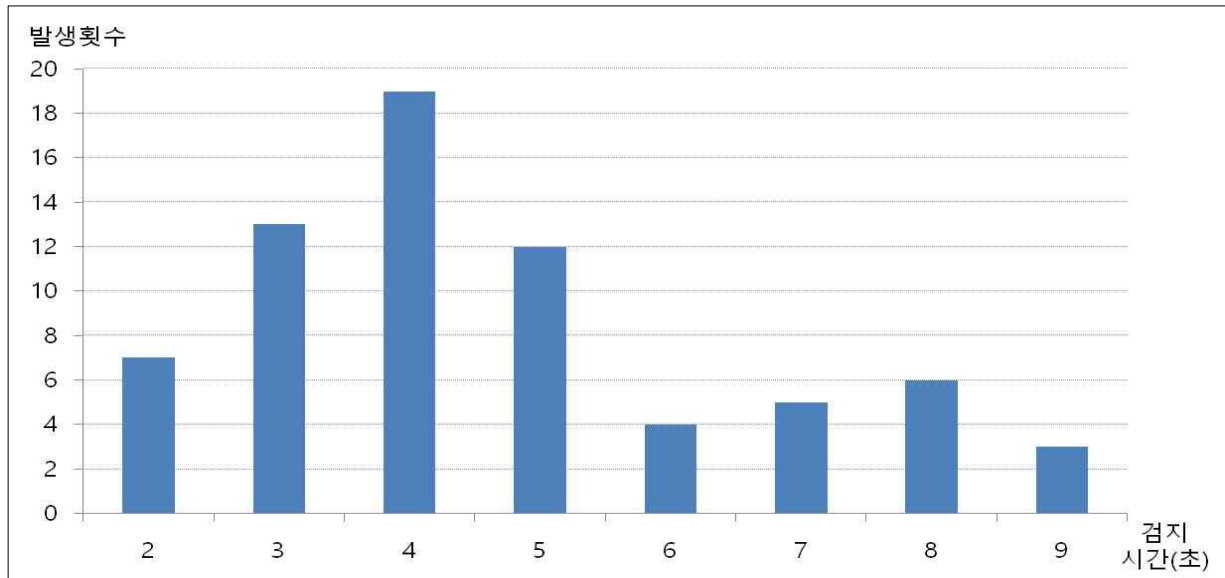


<그림 156> SMART-IDS 운영데이터(4개 지점) 오검보율 발생현황

- o SMART-I의 운영데이터 분석결과, 돌발상황에 대한 평균 검지시간은 오산 4.3초, 죽전 5.1초이고 최대 검지시간도 9초로 모두 10초 이하의 검지시간을 운영데이터 분석을 통해 확인할 수 있었음.

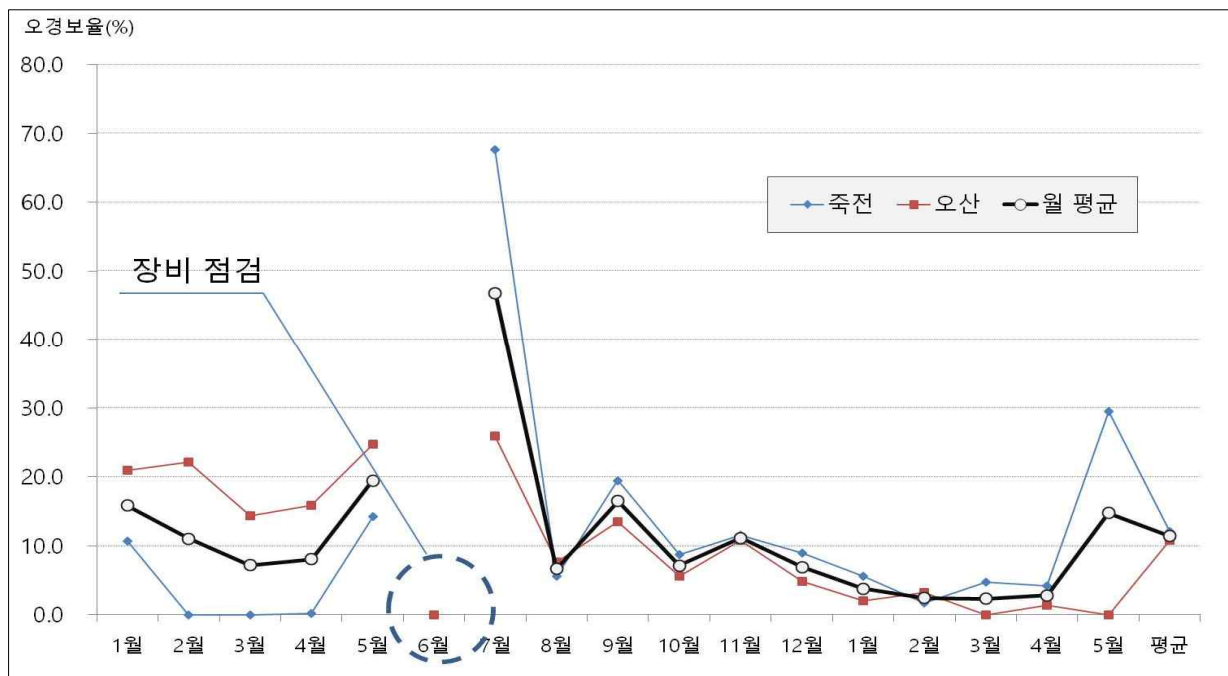
[표 124] SMART-I 운영데이터 검지시간 분석결과

구 분	평균 검지시간(초)	Sample 수(개)	최소 검지시간(초)	최대 검지시간(초)	표준편차
오 산	4.3	37	2	9	1.99
죽 전	5.1	32	2	9	1.74
합 계	4.7	69	2	9	1.91



<그림 157> SMART-I 운영데이터(2개 지점)의 검지시간 분포

- o SMART-I의 오경보율 분석결과, 월 평균 11.0%이며, 이는 2015년 6월의 전체 장비점검 이후 7월에 돌발검지 파라미터 관련 안정화 작업의 운영결과가 반영되었음. 이후 8월부터 과제 종료시까지 시스템 안정화 시기에는 약 8.4%의 오경보율을 보여주었음.



<그림 158> SMART-I 운영데이터(2개 지점) 오경보율 발생현황

7. 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리

가. 연구 성과물 수요현황 조사 및 사업화 관리

- 한국도로공사 스마트하이웨이 사업단은 2014년 12월에 종료된 스마트하이웨이사업의 총괄기관으로써 스마트하이웨이 개발기술의 활용을 위해 연구 성과물의 대내·외 홍보 및 수요현황 조사를 시행하였음.
- 평창 동계올림픽 조직위원회와 한국도로공사 실무부서를 대상으로 스마트하이웨이 개발기술의 우수성을 홍보하였으며 이를 통해 연구 성과물의 설치를 유도하여 연구 성과물의 실용화를 촉진하였음.

[표 125] 연구 성과물 수요조사 실적

순번	일자	대상	내용
1	2015년1월6일	한국도로공사 영업처, 교통처, ITS처	도로정보검지 레이더 및 SMART-I 구축 필요성 홍보
2	2015년2월10일	평창 동계올림픽 조직위원회	스마트하이웨이 개발기술 소개 및 올림픽 조직위원회에서 추진중인 ITS 기본계획에 스마트하이웨이 개발기술 반영 요청
3	2015년2월25일	한국도로공사 교통처, 재난안전처	도로정보검지 레이더, SMART-I, 안개시정거리 측정 시스템 홍보
4	2015년5월26일	한국도로공사 도로처, 교통처, 재난안전처, 시설처	스마트하이웨이 도로기술(집광 내부조명식 표지, 융설액 자동분사 시스템, 지열융설 시스템, 터널 자연채광 시스템) 홍보 및 적용 검토

(1) 스마트하이웨이 기술수요 및 적용현황

(가) 스마트하이웨이 도로기술 적용

- 스마트하이웨이 도로기술 적용은 2018년 평창 동계올림픽 대비 고속도로 안전성 향상 및 올림픽조직위원회의 스마트하이웨이 터널 자연채광시스템 및 융설액 자동분사시스템 등의 도로기술 적용 요구에 대하여 한국도로공사 도로처, 교통처, 재난안전처, 강원본부(대관령지사)의 수요 요청이 있어 스마트하이웨이 사업단이 해당 기술을 개발한 연구기관을 통해 구축을 추진하였음.

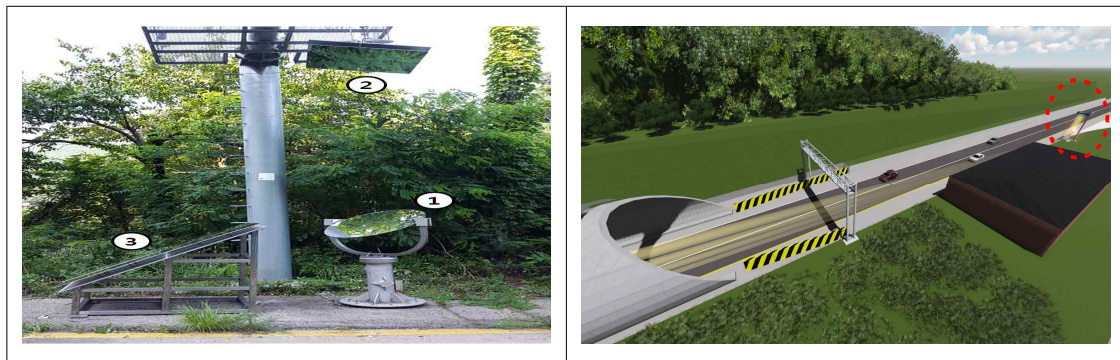
o 적용위치는 영동선 만종~강릉 구간이며 세부 추진사항은 다음과 같음.

[표 126] 도로기술 적용 세부 추진사항

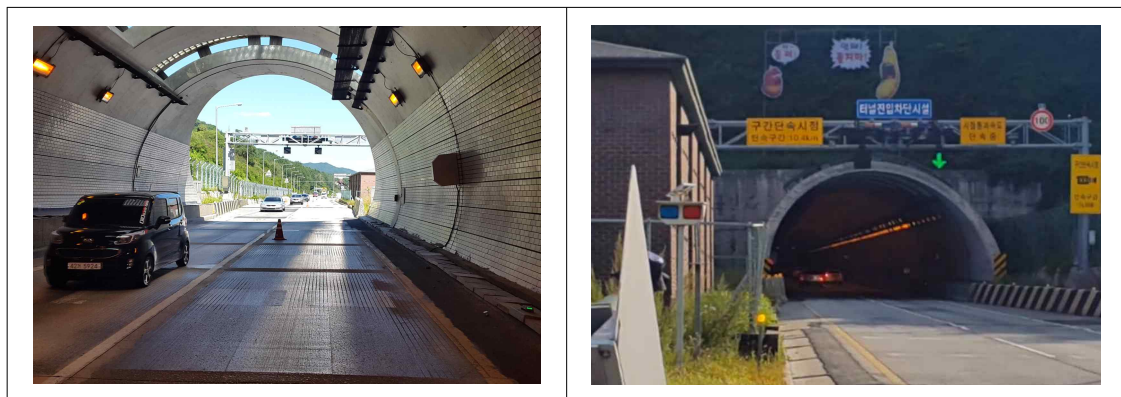
구 분	계	터널 자연채광시스템※	융설액 자동분사시스템
기술개발	-	(주)썬앤라이트	(주)리트코
개 소	2	1	1
소요예산 (백만원)	648	132	516 (공사비(설계))
설치시기 (예정)	-	‘15. 9	‘17(예정)

※ 터널 자연채광시스템

- 위치 : 영동선 172.2k(인천방향) 둔내터널 입구부 중분대측 1차로(1set)
- 공사기간 : 2015. 9. 1(화), 10(목), 11(금) * 시스템 보정작업 : 9.12~23
- 주요시설물 : 태양 추적식 1차 반사시스템, 2차 반사경, 3차 반사경



<그림 159> 터널 자연채광시스템 구성



<그림 160> 터널 자연채광시스템 설치전경

(나) 스마트하이웨이 돌발상황검지시스템 적용

- 스마트하이웨이 돌발상황검지시스템 적용은 안개로 인한 2015년 영종대교 105중 추돌사고와 2006년 서해대교 29중 추돌사고 같은 대형교통사고를 예방 할 수 있는 돌발상황검지 시스템 구축 필요에 따라 한국도로공사 건설처와 재난안전처의 도로정보검지 레이더에 대한 수요 요청이 있어 스마트하이웨이 사업단이 해당 기술 개발 연구기관을 통해 구축을 추진하였음.
- 도로정보검지 레이더는 충주~제천선(안개취약구간) 및 서해안선(서해대교)에 구축될 예정이며 세부 추진사항은 다음과 같음

[표 127] 돌발상황검지시스템 적용 세부 추진사항

구 분	계	충주-제천선(신설노선)	서해안선(서해대교)
기술개발	-	메타빌드	메타빌드
개 소	7	3	4
설치시기(예정)	-	'16 하반기	'16 하반기

(다) 스마트하이웨이 안개소산장치 적용

- 스마트하이웨이 안개소산장치 적용은 돌발상황검지시스템과 마찬가지로 안개로 인한 2015년 영종대교 105중 추돌사고와 2006년 서해대교 29중 추돌사고 같은 대형교통사고를 예방 할 수 있는 안개소산장치 구축 필요에 따라 한국도로공사 교통처와 강원본부(대관령지사)의 수요 요청이 있어 스마트하이웨이 사업단이 해당 기술 개발 연구기관을 통해 구축을 추진하였음.
- 안개소산장치는 이동형으로 한국도로공사 대관령지사 관할 구간의 안개취약구간에 구축되어 활용하고 있음. 세부 추진사항은 다음과 같음.

[표 128] 안개소산장치 적용 세부 추진사항

구 분	계	영동선(대관령지사 관할 구간 - 안개취약구간)
기술개발	-	한국유지관리
개 소	1	1
소요예산(백만원)	70	70
구축시기	-	'15. 8

(2) 연구 성과물 사업화 실적 관리

- o 스마트하이웨이 연구 성과물에 대한 사업화 실적 조사를 총 3회에 걸쳐 실시하였으며 (2015.04, 2016.01, 2016.06), 결과는 다음과 같음.

[표 129] 스마트하이웨이 연구성과물 사업화 실적 현황

기 술 명	사업화 실적		비 고
	건 수	금 액(백만원)	
계 : 11개 기술	133건	24,094	
고성능 중앙분리대	4건	1,746	냉정부산 등
집광 조명식 도로표지판	61건	6,447	호법분기점 등
지열융설 시스템	1건	200	제2외곽순환 화도-양평
소형풍력 발전장치	10건	285	중부내륙선 등
능동형 안개소산장치	19건	3,760	국도14호선 등
안개시정 측정장치	12건	169	영동선 등
융설액 자동분사 시스템	17건	10,304	인천 부안고가교 등
도로정보 검지 레이더	3건	-	강남순환도로 등
스마트톨링 시스템	1건	974	남해2지선 서부산 영업소
복합기지국	3건	-	C-ITS 시범사업 (금액 미공개)
터널자연채광 시스템	1건	132	영동선 둔내터널

- o 고성능 중앙분리대

[표 130] 고성능 중앙분리대 사업화 실적

설치일	적 요	발주처	설치금액[원]
총계	4건		1,746,607,334
2014	냉정-부산간 고속국도 건설사업 제7공구 (1.6km)	한국도로공사	156,174,400
2015	울산포항 고속도로(3.0km)	한국도로공사	115,248,763
2015	담양함양 고속도로(3.4km)	한국도로공사	130,615,265
2015	함양성산 고속도로(35.0km)	한국도로공사	1,344,568,906

○ 집광식 조명 표지판

[표 131] 집광식 조명 표지판 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	61 건		6,447,408,356
2011-12-29	동순천IC, 북남원IC 집광조명식 교통안전표지	(주)현대스틸앤씨	288,400,200
2011-12-30	전주-광양고속국도13공구집광조명식표지	(주)현대표지	29,114,402
2011-12-30	전주-광양고속국도13공구집광조명식표지	(주)현대표지	27,226,012
2012-01-02	횡단보도안전시스템 집광교통표지판	대덕구청	13,555,200
2012-02-11	집광표지판(공영주차장 표시)	광고회사 장원	6,500,000
2012-02-29	집광조명식 도로표지판(2개소)	(주)일도산업	80,300,000
2012-04-30	장흥-광양고속도로 11공구 교통표지판	(주)대우건설	63,580,550
2012-04-30	목포-광양간고속국도 건설공사 제1공구	현대산업개발(주)	104,286,600
2012-04-30	목포-장흥간 건설공사 제2공구	벽산건설(주)	114,176,700
2012-05-02	집광조명식 교통표지	(주)동진기업	41,281,350
2012-05-04	목포-장흥간 건설공사 제2공구	벽산건설(주)	12,686,300
2012-05-31	장흥-광양고속도로 11공구 교통표지판	(주)대우건설	98,518,200
2012-05-31	목포-광양 고속도로 9공구 터널내 속도제한표지	(주)삼신기업	15,737,700
2012-06-07	집광조명 교통표지판	대덕구청	550,000
2012-06-21	남수문복원공사 높이제한시설물 조명형 교통표지	(주)한건종합건설	21,450,000
2012-06-28	신갈-호법간 고속도로 확장공사 집광조명표지	(주)현대표지	170,302,000
2012-06-30	조명식 교통안내표지판	현대산업개발(주)	7,656,000
2012-06-30	조명식 표지판	한라건설(주)	137,865,750
2012-06-30	교통표지판	(주)유넵스	13,563,000
2012-07-11	목포-광양 조명식 표지판	(주)삼신기업	110,459,800
2012-08-30	요금소 아일랜드 전면부 교통안전표지	도공 순천지사	40,480,000
2012-09-20	목포-광양5공구 집광조명식 교통안전표지	(주)삼신기업	15,400,000
2012-09-25	집광조명 표지판 설치공사	지엘기술(주)	42,999,000
2012-09-28	집광조명식 표지판	삼중종합건설(주)	46,200,000
2012-10-20	정주식표지판(집광조명식)	현대건설(주)	78,443,574
2012-10-25	내민식도로표지 제작 및 설치	현대건설(주)	58,867,600
2012-10-25	속도표지판(집광식)	현대건설(주)	85,641,304
2012-10-30	집광조명식 교통표지판	삼중종합건설(주)	11,440,000

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
2012-10-31	교통표지판 설치공사	(주)동양건설산업	159,500,000
2012-10-31	교통표지판 설치공사	(주)동양건설산업	162,800,000
2012-10-31	교통표지판	(주)유넵스	33,264,000
2012-11-30	집광조명 교통표지판	(주)대우건설	129,107,000
2012-11-30	도로명표지판 제작설치	(주)삼신기업	24,156,000
2012-12-03	집광조명 교통표지판	도공 보은지사	10,230,000
2012-12-26	목포광양고속국도 9공구 집광식 조명표지판	(주)현대스틸앤씨	50,000,000
2012-12-28	광교택지 5공구 집광조명식 표지판	(주)현대표지	67,292,500
2012-12-31	집광조명 교통표지판	(주)대우건설	56,683,000
2012-12-31	교통표지판	(주)유넵스	11,880,000
2013-01-11	과속방지턱표지판(집광식)	현대건설(주)	44,711,116
2013-02-01	여주-양평간 고속도로 4공구 집광식 도로표지판	(주)성광산업개발	236,500,000
2013-03-29	목포광양고속도로 9공구 집광식조명표지판	(주)대우건설	104,808,000
2013-05-13	목포광양고속도로 9공구 집광식조명표지판	(주)현대스틸앤씨	56,509,425
2013-08-26	제3경인고속도로 집광내부조명 교통표지판	(주)미르이엠시	32,437,900
2013-09-11	전주지사 역주행 금지시설물(집광조명식)	지엘콘(주)	62,700,000
2013-12-16	속도(60)표지판(집광식)	현대건설(주)	288,434,795
2013-12-26	고속국도 제40호선 음성-충주간 제2공구 표지판	동부건설(주)	36,879,700
2013-12-31	서충주IC 하이패스차로 집광식표지판	현대산업개발(주)	31,418,200
2013-12-31	금왕.꽃동네IC 영업소 집광식표지판	울트라건설(주)	26,510,000
2014-02-25	속도(60)표지판(집광식)	현대건설(주)	31,657,478
2014-07-31	고속국도 제12호선 담양-성산간확장공사 표지판	(주)포스코건설	46,200,000
2014-04	경부선도동JCT칼라레인 집광식표지판	한국도로공사 대구지사	44,951,500
2014-05	대구지사 줄음쉼터 집광식 표지판	(주)우경이앤씨	52,140,000
2014-06	호남선 담양JCT 칼라레인 집광식 표지판	한국도로공사 구례지사	46,007,500
2014-09	경부선 영천IC 공사구간안내 집광식 표지판	남광토건(주)	56,100,000
2015-04	경부선 경주IC 공사구간안내 집광식 표지판	삼성물산(주)	111,419,000
2015-08	세종시 3-2생활권 집광식 도로명표지판	금호건설	15,840,000
2015-08	함양성산 영동옥천1공구 집광식 표지판	계룡건설	81,400,000
2015-09	금호JCT 집광식 표지판(속도감지)	(주)우경이앤씨	81,840,000
2015-10	함양성산 14공구 집광식 표지판	계룡건설	47,300,000
2015-12	울산포항고속도로 집광식 표지판	현대건설(주) 외	2,200,000,000
2015-12	진곡산업단지 진입도로 집광식 표지판	(유)한백종합건설	270,050,000

o 도로지열융설 시스템

[표 132] 도로지열융설 시스템 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	1건		200,000,000
2017년 예정	제2외곽순환 화도-양평 건설공사(설계반영)	롯데건설	200,000,000

o 소형풍력 발전장치

[표 133] 소형풍력 발전장치 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	10건		200,000,000
2013.02.04	줄음쉼터 하이브리드 가로등 시범설치(10개소)	한국도로공사	200,000,000

o 안개소산장치

[표 134] 안개소산장치 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	19 건		3,760,350,000
2014.07.30	국도17호선 여주시 소라 대포지내 안개소산장치 설치공사	익산청 순천	221,000,000
2014.09.26	국도45호선 예산군 삼교읍 안개소산장치 물품 제작 및 설치(5개소)	대전청 예산	221,000,000
2014.09.26	국도43호선 공주시 의당 중흥리내 안개소산장치 설치공사	대전청 논산	221,000,000
2014.10.07	국도34호선 안동시 풍산읍내 안개소산장치 설치공사	부산청 영주	221,000,000
2014.11.03	국도48호선 강릉시 완산 송현내 안개소산장치 설치공사	원주청 강릉	442,000,000
	국도44호선 인제군 북면내 안개소산장치 설치공사		
2014.11.03	국도35호선 제천시 수산 계란내 안개소산장치 설치공사	대전청 충주	442,000,000
	국도36호선 단양시 단성 중방내 안개소산장치 설치공사		
2014.11.17	국도33호선 구미시 비산 교아내 안개소산장치 설치공사	부산청 대구	442,000,000
	국도25호선 청도군 송읍내 안개소산장치 설치공사		
2014.12.31	대관령지사 대관령터널 첨단 안개소산시스템 구매(설치포함)	도공 대관령지사	81,450,000
2014.12.19	홍천지사 원무터널 첨단 안개소산시스템 구매(설치포함)	도공 홍천지사	81,300,000
2014.12.25	국도21호선 군산시 대야 목교내 안개소산장치 설치공사	익산청 전주	442,000,000
	국도29호선 김제시 청하 장산내		

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
	안개소산장치 설치공사		
2014.12.31	국도48호선 김포시 통진 웅정내 안개소산장치 설치공사	서울청 수원	442,000,000
	국도77호선 화성시 우정 이화내 안개소산장치 설치공사		
2014.12.31	국도01호선 목포시 죽교내 안개소산장치 설치공사	익산청 광주	221,000,000
2014.12.31	국도14호선 거제시 일운 구조리내 안개소산장치 설치공사	경남 거제시청	221,000,000
2015.12.24	이동형 안개소산장치	한국도로공사 (대관령지사)	61,600,000

o 안개시정거리 측정 장치

[표 135] 안개시정거리 측정 장치 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	12건		169,900,000
2014.10.30	영동선 3개구간 시정거리 측정시스템 적용(2개소)	대관령지사	10,000,000
	중앙선 2개구간 시정거리 측정시스템 적용(1개소)	홍천지사	5,000,000
	중부선 1개구간 시정거리 측정시스템 적용(1개소)	진천지사	5,000,000
	통영대전선 3개구간 시정거리 측정시스템 적용(2개소)	무주지사	10,000,000
	호남선 2개구간 시정거리 측정시스템 적용(1개소)	순천지사	5,000,000
	순천완주선 1개구간 시정거리 측정시스템 적용(1개소)	구례지사	5,000,000
	중부내륙선 3개구간 시정거리 측정시스템 적용(2개소)	창녕지사	10,000,000
2015.12.29	국도29호선 청하대교 및 국도21호선 공덕대교 시정거리 측정시스템(2개소)	전주국토 관리사무소	119,900,000

o 융설액 자동분사 장치

[표 136] 융설액 자동분사 장치 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	17 건		10,304,900,000
2012.09.26	LG전자 인천캠퍼스 스노우멜팅 시스템	gs건설	127,900,000
2012.11.09	장암고가교 노면결빙방지시스템 납품 설치	의정부시	740,000,000
2012.11.16	부안고가교 도로결빙방지시스템	인천시	324,000,000
2013.06.26	대전 동서대로 광로 2-10호선 결빙방지시스템	LH공사	1,050,000,000

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
2013.07.15	국도 59호선 막동-마평 도로건설공사 용설시스템 설치	원주청	400,000,000
2013.12.13	강릉옥계 일반산업단지 개설공사 중 결빙방지시스템 설치공사	강릉시	487,000,000
2014.11.03	과주적성일반산업단지 진입도로 개설공사 결빙방지시스템	과주시청	355,000,000
2015.03.13	제2여객터미널 전면지역 도로 및 교량공사(3-4공구)결빙방지시스템	인천공항공사	2,370,000,000
2015.05.11	수원역 환승센터 건립공사 중 용설시스템 설치 공사	수원시	372,000,000
2015.07.20	서상1교 도로용설시스템(신매~오월)	강원도	573,000,000
2015.08.27	충주제천5공구염수분사시설(인공지능) -평택제천선125.5k(양방향)400m	도로공사	315,000,000
2015.09.01	신매~오월간 도로확장 및 포장공사 중 결빙방지시스템	강원도	490,000,000
2015.10.22	신분당선 버스환승센터 자동분사 도로결빙방지시스템	경기철도	301,000,000
2015.11.30	신갈우회도로건설공사 중 도로결빙방지시설	서울청	550,000,000
2015.12.26	국도 59호선 막동-마평 도로건설공사 중 자재납품설치(용설시스템)	원주청	500,000,000
2016.01.22	남양주별내지구 주변도로 (구리시구간)건설공사	LH공사	1,040,000,000
2016.05.12	국도6호선 장평~간평1 도로건설공사중 결빙방지시스템	원주청	310,000,000

o 도로정보검지 레이더

[표 137] 도로정보검지 레이더 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	3 건		77,000,000
2015.11.26	돌발상황검지시스템 1식 (현장설비 및 센터운영설비 포함)	한국지능형 교통체계협회	77,000,000
2016.05.27	돌발상황검지시스템 6식 (현장설비 및 센터운영설비 포함)	강남순환도로(주)	미공개
2016.06.30	차세대 ITS 시범사업 돌발상황검지시스템 7식 (현장설비, 센터운영설비, 노면검지기 포함)	국토교통부	미공개

o 스마트톨링

[표 138] 스마트톨링 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	1 건		974,952,000
2014.10	남해2지선 서부산영업소	한국도로공사	974,952,000

o 복합기지국

[표 139] 복합기지국 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	3 건		-
2015.11	세종~대전 간 C-ITS 시범사업 WAVE 노변기지국 1차 구축	대보정보통신	미공개
2016.05	세종~대전 간 C-ITS 시범사업 WAVE 노변기지국 2차 구축	대보정보통신	미공개
2016.05	세종~대전 간 C-ITS 시범사업 WAVE 톨링기지국 3개소 구축	대보정보통신	미공개

o 터널자연채광 시스템

[표 140] 터널자연채광 시스템 사업화 실적

설치일	적요	발주처	설치금액[원]
총계	1 건		132,000,000
2015.09	영동선 둔내터널	한국도로공사	132,000,000

나. Test-bed 연구성과 관리 및 요소기술 데이터 축적 관리

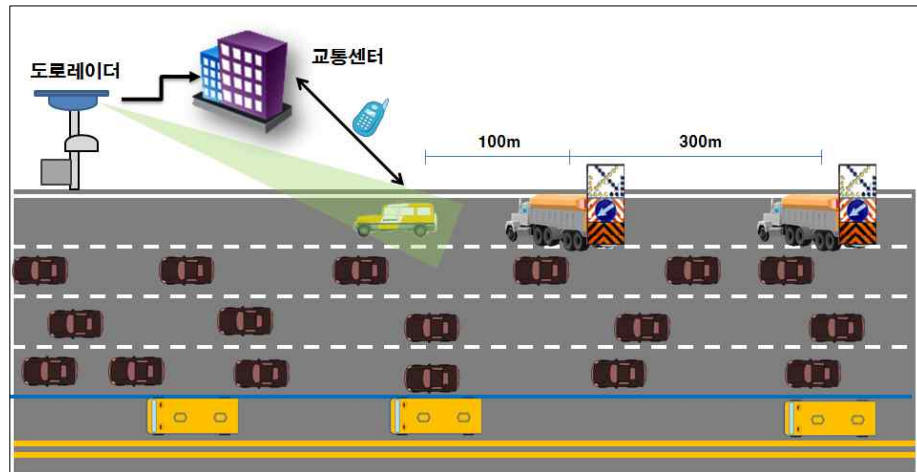
- o 스마트하이웨이 Test-bed에 설치된 연구 성과물의 객관적인 성능검증 및 연구성과 관리를 위하여 검지위치별 시나리오를 작성하여 기술 성능을 검증하고 요소기술 데이터를 매월 축적 관리하여 피드백을 시행함으로써 본 과제의 연구목표를 달성 할 수 있도록 지원함.

(1) Test-bed 연구성과 관리

- o Test-bed에 구축된 돌발상황을 검지하는 도로정보검지 레이더의 효율적이고 정확한 검지성능 도출을 수행하였음
- o 경부선 서울~수원 구간, 서해안선 서해대교 등 공용도로에서 성능검증을 수행함에 따라 도로상 주행차량 등을 고려하여 정확한 검증결과를 확보하고 안전한 검증이 가능하도록 검지 위치별 시나리오를 작성하여 레이더의 성능을 검증하였음.

(가) 경부선 서울~수원 구간 도로정보검지 레이더 성능검증

- o 2015년 6월18일에 수행하였으며 세부사항은 다음과 같음
 - 진행방식
 - 본선차로 : 각 차로별로 임의지점에서 1분간 정차 후 출발
 - 갓길차로 : 레이더 개소별(서울방향 : 3개소, 부산방향 : 1개소) 각 200m 간격으로 1분간 정차하며 테스트 진행



<그림 161> 도로정보검지 레이더 테스트 시나리오(경부선)

• 본선 테스트 시나리오

레이더 검지영역에서 **차로별 1회** 정차 후 통과(교통정체 최소화)

- (순서) 1차로→2차로→3차로→4차로(교통상황에 따라 변경 가능)

- ① 수원TG 입구부 광장 집결 및 차량상태(경광등, 싸이렌) 확인
(싸인카2대, 안전순찰차1대, 시험차량1대)
- ② 수원TG 출발
- ③ 신갈JC(394.8km)부터 1차로 진입하여 80km 감속운행후 천천히 속도를 감속하며 정차(396.58km~397.58km) 및 1분후 출발
- ④ 천천히 운행(40km이하)하며 정차(397.58km~398.58km) 및 1분후 출발
- ⑤ 천천히 운행(60km이하)하며 정차(402.15km~403.15km) 및 1분후 출발
- ⑥ 서울TG(서울방향) 통과 후 판교IC 회차, 서울TG(부산방향) 입구부 광장 집결
- ⑦ 경부선 398.16km부터 1차로 진입하여 80km 감속운행후 천천히 속도를 감속하며 정차(396.16km~397.16km) 및 1분후 출발
- ⑧ 수원TG 입구부 광장집결, 1차로 검증완료

• 갓길 테스트 시나리오

레이더 검지영역에서 **200M 간격**으로 정차 후 통과(LCS차로 차단)

- (순서) 신갈JC→죽전BS-1→죽전BS→서울TG

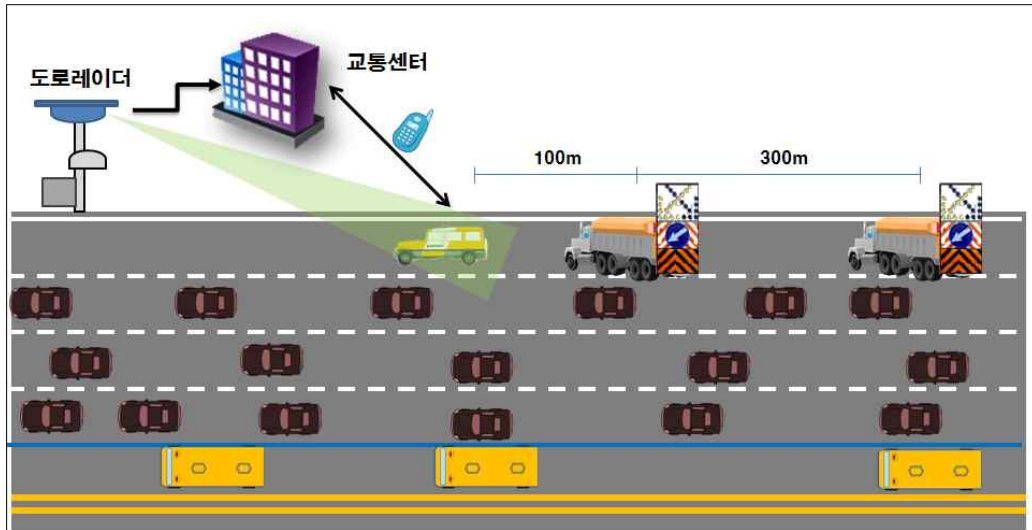
- 레이더 장거리 검지성능 확인을 위해 900m 추가 검증

- ① 수원TG 입구부 광장 집결 및 차량상태(경광등, 싸이렌) 확인
(싸인카 2대, 안전순찰차1대, 시험차량1대)
- ② 수원TG 출발
- ③ 신갈JC(394.8km)부터 4차로 진입하여 80km 감속운행 후 천천히 속도를 감속하며 갓길정차(396.58km) 및 1분후 출발
(200M간격으로 표시된 위치에 정차 후 출발, 900m 포함)
- ④ 천천히 운행(40km이하)하며 정차(397.58km) 및 1분후 출발
(200M간격으로 표시된 위치에 정차 후 출발, 900m 포함)
- ⑤ 천천히 운행(40km이하)하며 정차(402.15km) 및 1분후 출발
(200M간격으로 표시된 위치에 정차 후 출발, 3개 지점)
- ⑥ 서울TG(서울방향) 통과 후 판교IC 회차, 서울TG(부산방향) 입구부 광장 집결
- ⑦ 경부선 398.16km부터 갓길로 진입하여 천천히 속도를 감속하며 정차(396.16km) 및 1분후 출발 (200M간격으로 표시된 위치에 정차 후 출발, 900m 포함)
- ⑧ 수원TG 입구부 광장집결, 갓길 검증완료

(나) 서해안선 서해대교 도로정보검지 레이더 성능검증

○ 2015년 7월15일에 수행하였으며 세부사항은 다음과 같음.

- 진행방식
 - 본선차로 : 각 차로별로 임의지점에서 1분간 정차 후 출발
 - 갓길차로 : 각 200m 간격으로 1분간 정차하며 테스트 진행



<그림 162> 도로정보검지 레이더 테스트 시나리오(서해대교)

• 본선 테스트 시나리오

레이더 검지영역에서 **차로별 1회** 정차 후 통과(교통정체 최소화)

- (순서) 1차로→2차로→3차로(교통상황에 따라 변경 가능)

- ① 서평택TG(284.9km) 입구부 광장 집결 및 차량상태 (경광등, 사이렌) 확인 (싸인카2대, 시험차량1대)
- ② 서해대교 종점부(281.4km)부터 1차로 진입하여 80km 감속운행후 천천히 속도를 감속하며 정차(278.4km~279.4km) 및 1분후 출발
- ③ 송악IC 회차, 서평택TG 입구부광장 집결, 1차로 검증완료
- ④ 2,3차로 동일한 방법으로 진행

• 갓길 테스트 시나리오

레이더 검지영역에서 **200M 간격**으로 정차 후 통과(갓길 차단)

- (순서) 1000m→900m→800m→600m→400m→200m

- ① 서평택TG(284.9km) 입구부 광장 집결 및 차량상태 (경광등, 사이렌) 확인 (싸인카 2대, 시험차량1대)
- ② 서해대교 종점부(281.4km)부터 갓길 진입하여 80km 감속운행 후 천천히 속도를 감속하며 갓길정차(279.4km) 및 1분후 출발
- ③ 천천히 운행(40km이하)하며 정차(279.3km) 및 1분후 출발(200M간격으로 표시된 위치에 정차 후 출발, 900M 포함)
- ④ 송악IC 회차, 서평택TG 입구부광장 집결, 갓길 검증완료

(2) 요소기술 데이터 축적관리

- o Test-bed에 구축된 WAVE기지국, 도로정보검지 레이더, SMART-I로부터 수집된 데이터를 수집하여 연구 성과물들의 가동률, V2X 이벤트, 오보율 등을 관리하였으며 월별 데이터 비교를 통해 저하된 데이터는 개선될 수 있도록 해당 연구기관에 피드백을 수행하여, 연구기간 종료시까지 지속적으로 데이터 축적→피드백→개선 확인의 사이클을 수행하였음

다. WAVE 통신 분석을 위한 데이터 다량 확보

(1) 단말기 사용실적 분석 및 재배포

- o 스마트하이웨이 사업 수행 시(2014. 7월) 시범도로에 단말기 100대를 배포하여 운영중에 있었음. 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용방안 연구를 수행하면서 기 배포되어 운영 중인 단말기의 사용현황을 분석하고, 이용자를 대상으로 설문조사를 실시하여 연구 성과를 극대화 할 수 있도록 단말기 재배포를 진행하였음.

(2) 단말기 이용실적 분석

- o 조사기간 : 2014. 7 ~ 2015. 4 (8개월간)
- o 운행대수 : 88대 (시연용, 전시용 12대 제외)

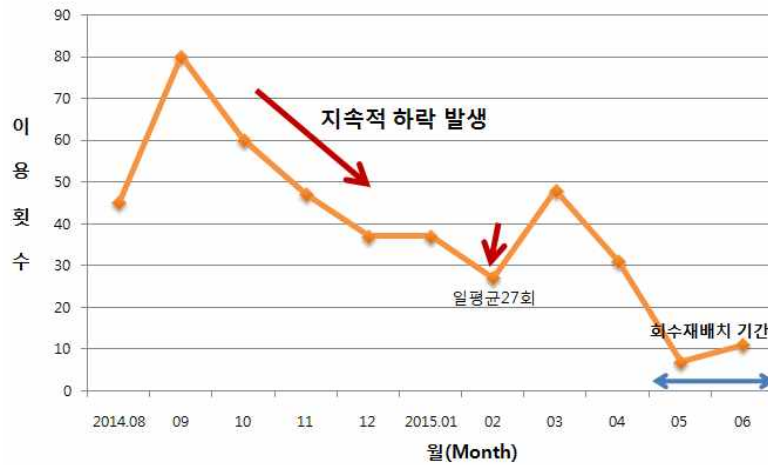
[표 141] 단말기 배포 현황(재배치 이전)

구 분	계	일반 (버스)	도공			연구 기관	기타 (전시, 시연용)
			소계	개인	유지보수차량		
단말기(대)	100	2	46	18	28	40	12

o 운행실적

• 일평균 운행실적

- 2014년 9월을 기점으로 이용률이 지속적으로 하락하여 2015년 2월에는 일평균 이용횟수가 27회(이용자수 기준 7.6명 이용)로 떨어져 운영률 매우 저조



<그림 163> 월별 일평균 이용횟수 현황

- 2014년 9월에 배포된 100대의 WAVE 통신단말에 대한 이용실태를 조사결과 단말 장치의 고장, 경부선 시범도로 운영국간의 미통행(직장 이동 등) 등의 사유로 도로이용률이 낮아지고 통신 빈도가 낮아져 이에 대한 원인을 파악하고 회수, 재배치 방안을 마련하고자 하였음

[표 142] 1~5월 단말기 이용현황

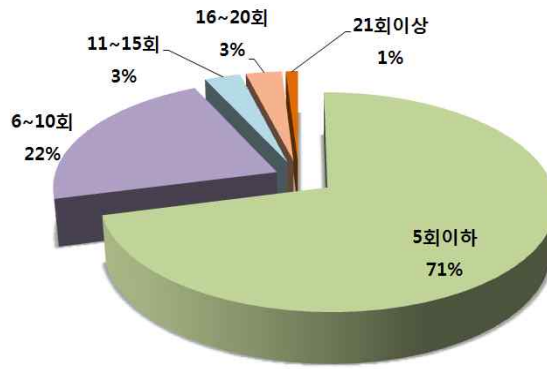
순번	기관	단말타입	차량	2015년(일별)			
				1월	2월	3월	계
1	경남여객	안전	5001번버스	0	3	29	32
2				24	5	31	60
3	도로공사(도교원)	안전	그랜버드(버스)	0	0	0	0
4		안전		0	0	0	0
5	도로공사(경기본부)	안전	대우Fx(버스)	0	0	1	1
6	도로공사 (수원지사)	안전	렉스턴	15	10	8	33
7				10	5	1	16
8				12	7	8	27
9				11	5	0	16
10				9	10	10	29
11				11	12	11	34
12				1	0	0	1
13				0	0	0	0
14				6	13	13	32
15				7	8	6	21
16				0	0	0	0
17		안전	싸인카	2	3	5	10
18				0	0	0	0
19				15	9	11	35
20		안전	싼타페	0	0	0	0
21		안전	마티즈	20	16	20	56
22	도로공사	안전	아반떼	17	15	15	47

순번	기관	단말타입	차량	2015년(일별)			
				1월	2월	3월	계
23	(도교원)	안전	투싼IX	5	1	6	12
24		안전	라세티	0	0	0	0
25		안전	NF소나타	13	9	5	27
26		안전	그랜저	0	0	0	0
27		안전	YF소나타	8	3	7	18
28		통합	아반떼	0	0	2	2
29		안전	산타페	0	0	0	0
30		통합	NF소나타	0	2	2	4
31		통합	EF소나타	4	9	11	24
32		안전	카니발	0	0	0	0
33		통합	뉴모닝	0	0	0	0
34		안전	무쏘	0	0	0	0
35		통합	쏘렌토	0	0	0	0
36		통합	카니발	4	0	2	6
37		안전		0	0	2	2
38		통합		0	0	0	0
39		통합		3	2	1	6
40		안전	테라칸	0	0	0	0
41		안전		2	0	7	9
42		통합	테라칸	0	0	0	0
43		안전	트라제	4	2	3	9
44	도로공사 (본사)	안전	아반떼	0	1	1	2
45		안전	올란도	2	0	0	2
46		안전	아반떼	5	0	0	5
47		통합	아반떼	0	0	0	0
48	포스코ICT	안전	베르나	6	9	13	28
49		안전	아반떼	19	13	16	48
50		안전	카니발	0	0	0	0
51		안전	아반떼	0	0	0	0
52	자부연	안전	그랜저	2	0	0	2
53	인팩일렉스	안전	NF소나타	0	0	0	0
54	이씨스	통합	스포티지	0	0	0	0
55		안전	엑센트	0	0	0	0
56	메타빌드	통합	산타페	0	0	0	0
57		안전	그랜저	0	0	0	0
58		통합	뉴모닝	0	0	0	0
59	만도	안전	RV	0	0	0	0
60	KETI	안전	K5	0	0	0	0
61		통합	뉴EF소나타	4	1	7	12
62		안전	SM3	0	0	0	0
63		안전	SM5	0	0	0	0
64		안전	베라크루즈	0	0	0	0

순번	기관	단말타입	차량	2015년(일별)			
				1월	2월	3월	계
65		통합	LF소나타	0	0	1	1
66		통합	NF소나타	7	11	1	19
67		통합	뉴모닝	26	17	22	65
68		통합	리오SF	0	0	0	0
69	ITT	안전	아반떼	0	0	0	0
70		통합		0	1	5	6
71		안전	SM5	5	0	1	6
72		안전	K5	1	0	0	1
73		안전	오피러스	2	4	3	9
74	ITSK	통합	뉴스포티지	0	0	0	0
75	C&C	통합	엑센트	0	0	0	0
76		통합	YF소나타	0	0	0	0
77		통합	모닝	0	0	0	0
78		통합	싼타페	0	0	0	0
79		통합	QM5	0	0	0	0
80		통합	i30	3	2	1	6
81		통합	YF소나타	0	0	0	0
82		통합	그랜저	4	5	6	15
83		통합	엑센트	1	0	0	1
84		통합	엑센트	0	0	0	0
85		통합	카니발	2	1	0	3
86		통합	투싼	0	0	0	0
87		통합	티구안	0	0	0	0
88		통합	로체	0	0	0	0
89	시연차량	안전	베라크루즈	4	0	6	10
90		안전	스타렉스	0	0	0	0
91		통합	스타렉스	0	0	0	0
92		안전	싼타페DM	0	0	0	0
93		통합		0	0	0	0
94		통합		0	0	0	0
95		통합		0	0	0	0
96		통합		0	0	0	0
97		안전	청소차	2	0	1	3
98		안전	리프트차	2	0	1	3
99	전시물품	통합					
100		안전					

• 개인별 이용횟수

- 시범도로를 월 5회 이하로 이용하고 있는 차량이 71%로 이용자의 행태 파악을 위한 개별 설문조사를 시행하여 원인분석을 통해 단말기 운영률 향상 방안 수립이 필요함.



<그림 164> 월별 개인 이용횟수 현황

(3) 단말장치 배포 경험자 설문조사 시행 및 결과

- 2014년 9월에 배포된 100대의 WAVE 통신단말에 대한 이용실태를 조사결과 단말장치의 고장, 경부선 시범도로 운영국간의 미통행(직장 이동 등) 등의 사유로 도로이용률이 낮아지고 통신 빈도가 낮아져 이에 대한 원인을 파악하고 회수, 재배치 방안을 마련하고자 하였음
- 2014년 9월에 배포된 WAVE 통신단말에 대한 이용실태를 조사하고 이의 결과에 따라 이용자 단말의 이용현황, 불편사항, 수리조치, 재배포 등을 통해 보다 효율적인 모니터링 과제 수행함
- 개 요
 - 기 간 : 2015. 3. 31(화) ~ 2015. 4. 9(목)
 - 대 상 : 61대 단말기 이용자, 대상 61명중 51명 (10명 무응답)
 - 제외대상(39대) : 유지보수업무차량(27대), 시연용(10대), 전시용(2대)
 - 조사방법 : 유무선 전화
 - 설문내용 : 이용현황, 불편사항, 지속 사용의사 등
 - 시행기관 : 한국지능형교통체계협회
- 결 과 : 단말기 총 100대중 지사차량(27대), 시연용 단말기(10개), 전시물품(2개)를 제외한 61대 단말기 대상으로 51명 설문조사 실시하고 ITT의 5대 대상은 불편사항 및 사용의사 질문 안함(단말기 담당 업체), 4월 3일 회의를 통해 모니터링 과제에 참여하지 않는 C&C 14개 단말기 회수 결정

[표 143] 단말기 이용자 불편사항 설문 결과

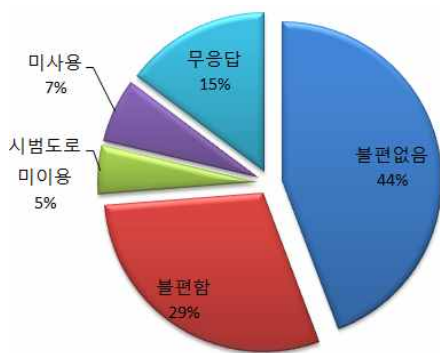
구분	계	불편 없음	불편함					시범도로 미이용	미사용	무응답
			소계	소음	단말기 사용불편	오작동	미작동			
계	61	27	18	7	7	3	1	3	4	9
경남여객	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-
도공직원	18	12	2	2	-	-	-	2	-	2
연구기관	41	15	16	5	7	3	1	1	2	7

[표 144] 단말기 이용자 설문 상세 결과

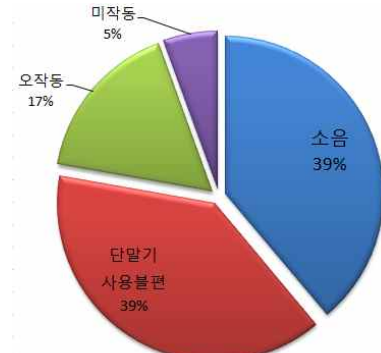
순번	기관	성명	단말 타입	불편사항	사용 의사	경험정보	효용성 (5점)	비고
집계	-	-	-	-	36	-	3.9	-
1	경남여객 (단말기 2대)	김xx	안전 안전	버스에 장비가 많아 신경을 안쓰게 됨	X	사용을 안해서 없음	1	
2	도로공사 (수원지사)	신xx	안전					번호없음
3	(단말기 2대)	정xx	안전	소음, 스마트폰 충전 불편	X	교통 정보	2	
4	도로공사 (도교원) (단말기 12대)	김xx	안전	없음	O	교통 정보 (기지국 통과할 때마다의 정보)	4	
5		김xx	안전	소음, 스마트폰 사용시 조잡	O	교통 정보	4	
6		김xx	안전	소음, 이용을 안하는 도로	X	VVMS(지정체)	3.5	
7		남xx	안전	없음	O	교통 정보	3.5	
8		단xx	안전					번호없음
9		박xx	안전 통합	없음	O	VVMS	5	
10		신xx	안전	없음	O	VVMS	5	
11		안xx	통합	없음	O	VVMS	5	
12		유xx	통합	없음	O	VVMS	5	
13		유xx	안전	없음	O	VVMS	5	
14		이xx	통합	없음	O	VVMS	5	
15	도로공사 (본사) (단말기 4대)	반xx	안전	이용을 안하는 도로	X	VVMS	5	
16		이xx	안전	없음	X			
17		이xx	안전	없음	O	VVMS	3	
18		이xx	통합	없음	O	VVMS	3	
19	포스코ICT (단말기 4대)	안xx	안전	안테나 고장	수리 요구	VVMS, 정 체	3	
20		정xx	안전 안전	없음	O	VVMS	5	
21		하xx	안전	없음	O	VVMS	4	
22	자부연	박xx	안전	없음	O	VVMS	4	
23	인팩일렉스	양xx	안전	없음	O	VVMS	4	
24	이씨스 (단말기 2대)	김xx	통합 안전	소음, 네비 업그레이드 안됨, AVN 불편	O	VVMS	2	
25	메타빌드 (단말기 3대)	김xx	통합	음악을 듣다가 끊김	X			
26		박xx	안전	없음	O	VVMS	4	
27		장xx	통합	없음	O	VVMS	4	
28	만도	박xx	안전	없음	O	VVMS	3	
29	KETI (단말기 9대)	박xx	안전	없음	O	VVMS	5	
30		신xx	통합	라디오 음질 안좋아짐	O	VVMS	5	
31		윤xx	안전	이벤트 표출방법이 불편	O	VVMS	4	
32		이xx	안전	일부구간 한정에 대한 아쉬움, 가끔 동작 멈춤	X	차량정체 (VVMS)	3	

순번	기관	성명	단말 타입	불편사항	사용 의사	경험정보	효용성 (5점)	비고
33		임xx	안전	없음	O	교통정보	5	
34		정xx	통합	소음, AVN 문제	O	VVMS	3	
			통합					
			통합					
35		진xx	통합	AVN 효용성이 없음	O	VVMS	4	
36	ITT (단말기 5대)	이xx	안전			VVMS	3	
통합								
37		이xx	안전			VVMS	4	
38		손xx	안전			VVMS	5	
39		최xx	안전			VVMS	4	
40	ITSK	김xx	통합					
41	C&C (단말기 14대)	고xx	통합	일부구간만 운영/한계	4월 3일 회의를 통해 14개 단말기 회수 결정 (C&C 오토모티브는 스마트하이웨이 사업 7차년도 까지만 참여)			
42		권xx	통합	이용 안함				
43		김xx	통합	없음				
44		김xx	통합	없음				
45		신xx	통합	현재 사용안함				
46		이xx	통합	없음				
47		신xx	통합	내비게이션을 봐야할 시점에 동시 표출				
			통합					
			통합					
48		방xx	통합	퇴사				
			통합					
49		이xx	통합	소음				
50		이xx	통합	없음				
51		정xx	통합	없음				

- 소음발생, 단말기 사용불편, 오작동 등으로 인한 불편함 호소



<단말기 사용시 불편함 여부>



<불편함 유형>

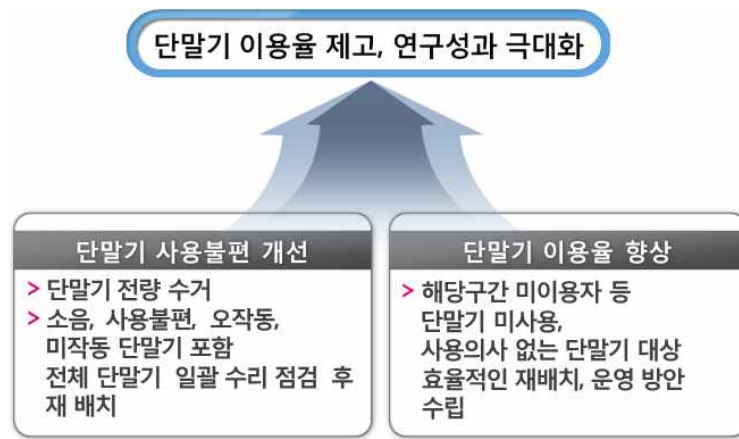
<그림 165> 단말기 이용 불편 유형

- 사용의사

[표 145] 단말기 사용의사

구분	계	지속사용	사용의사 없음	무응답
		50.8 %	37.7 %	11.5 %
계	61	31	23	7
경남여객	2	-	2	-
도공직원	18	12	4	2
연구기관	41	19	17	5

(4) 대책수립



<그림 166> 단말기 이용률 제고 대책

- 낮은 이용 빈도의 개선을 위하여 단말이용의 불편을 최소화하고 해당구간을 통행하지 않는 미 이용자의 단말을 회수하여 사용의사가 있는 대상이나 반복통행을 하는 노선버스로의 단말을 재배치 추진하였음

(가) 단말기 사용불편 개선

- 단말기 전량 회수 및 전수점검 후 재배치

[표 146] 단말기 회수·재배치 추진 일정

기 간	내 용	추진기관
4. 13 ~ 4. 30	○ 단말기 전량 회수 - 준공검사 목적시 → 모듈만 회수 - 회수 요청시 → 모듈, 케이블, 안테나 철거	IT텔레콤
~ 4. 30	○ 기존 단말기 통신로그 S/W 개선	IT텔레콤
~ 5. 30	○ 단말기 성능개선 - 단말기별 통신로그 S/W 적용, 소음 등 단말기 고장 수리	IT텔레콤
5. 15 ~ 5. 30	○ 단말기 준공검사	전자부품연구원
6. 1 ~ 6. 15	○ 단말기 재배치 (기존 사용자)	IT텔레콤

(나) 단말기 재배치 방안 수립

재배치 추진	시험용 단말 확대
> 설문조사 결과 단말기 지속 사용의사를 밝힌 31명 이외 “사용의사 없음” 단말기 23대와 무응답 7개에 대하여 사용내역을 확인하여 재배치 추진	> 시연, 전시용 단말기를 시험용으로 전환 > 실 공용도로, 다양한 환경에서의 군집 통신시험에 활용

<그림 167> 스마트 단말기 재배치 방향

[표 147] 단말기 재배치 대상

사유	계	이용의사 없음	운전자변경(이동등)	차량변경	시연용
대상(대)	35	23	2	5	5

[표 148] 단말기 재배치처 검토

구분	개인차량	노선버스
특징	- 최대 2회/일/대 이용가능 - 출퇴근경로가 유동적일 경우 이용률 저하 - 개별 관리 어려움	- 노선 정기 순환으로 고정 이용률 확보 - 한곳에 설치되어 관리 용이 - 사용 협조 어려움
추진		○

(5) 노선버스 유치

- 대 상 : 경부선 시범도로(서울TG-수원IC) 구간을 통과하는 노선버스중 20대 이상 운행하는 버스노선 선정

[표 149] 단말기 재배치를 위한 노선버스 선정

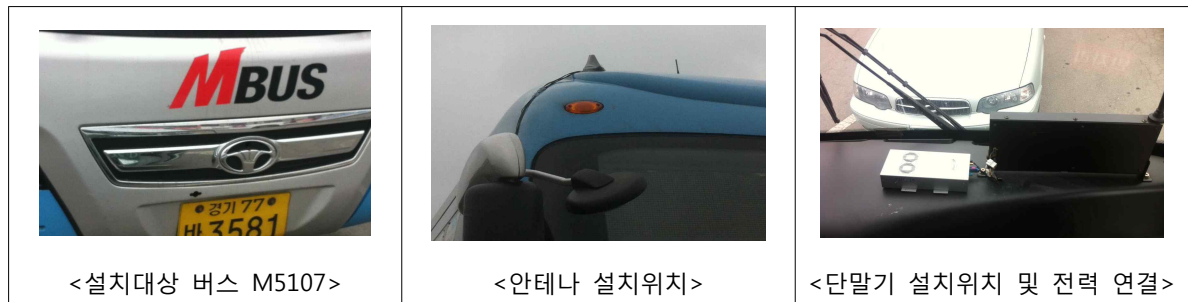
구분	대원고속(주)	용남고속(주)
노선	※ KD운송그룹 : 국내최대버스회사 (주)대원여객, (주)경기고속, (주)경기여객, (주)대원고속, (주)경기버스등 15개 계열사보유로 다수 노선 보유 M5107 : 서울역-한남IC-경부선-수원IC-경희대 M4403 : 양재동-경부선-기흥동탄IC-동탄	1550-3 : 반포-경부선-기흥동탄IC-동탄 5100번 : 반포-경부선-수원IC-경희대 5300번 : 반포-경부선-오산IC-오산
운영대수	노선당 20~30대	노선당 10~30대

○ 애로사항 및 대책

- 현재 사용중인 버스내 디지털 장비가 많아 전력공급의 불안정으로 인해 추가 장비설치 기피
- 전력공급에 문제 발생시 과금시스템에 문제 발생 우려

- ☞ 단말기 전력 소모량, 사업의 취지 및 단말기 전력 소모량이 버스내 전자기기에 문제를 일으키지 않을 것임을 해당 버스 관계자 및 정비반에 지속적으로 방문하여 설명, 설득
- 2015. 4 : 전화협의 및 방문설명 (대원고속, 용남고속)
 - 2015. 5 : 공문발송 및 방문협의 (대원고속)
 - 2015. 5 : 대원고속 버스 26대 지원 협의 타결
 - 2015. 6 : 버스내 단말기 설치를 위한 실무자 협의 현장조사(대원고속 내 경기고속)
 - 2015. 6.20~21 : 대원고속 M5107노선 26대 단말기 설치
 - 2015. 6. 28 : 운영 시작

[표 150] 노선버스 단말기 설치



- WAVE 단말은 성능개선을 위해 배포된 100대의 단말에 대해서 단말전체수거 / 단말전체 재배포를 통해 S/W 업데이트를 진행하였음. 또한 이용자의 요청에 의해 단말기 미동작, 안테나 탈거 등의 현상이 있을 때마다 A/S를 진행하였음.

[표 151] 단말기 재배포 추진경과

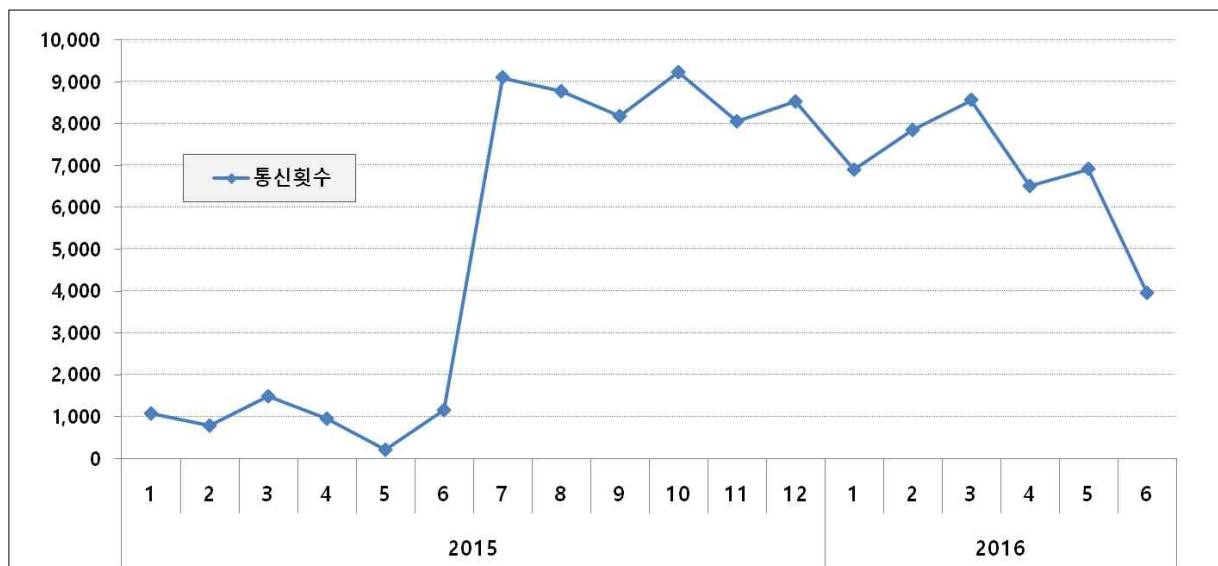
수거일자	재배포일자	대상	비고
4/20	6/8	아이티텔레콤	
4/21		C&C automotive	타기관 재배포
4/22	6/15, 6/16	한국도로공사 도로교통연구원	
4/22	6/12, 6/15	한국도로공사 수원지사	
4/22	6/12	한국도로공사 경기본부	
4/23		ITS Korea	타기관 재배포
4/23	6/9	전자부품연구원	
4/23	6/10	PoscoICT	
4/23	6/10	Mando	
4/24		메타빌드	타기관 재배포
4/24	6/11	이씨스	
4/24	6/11	인팩일렉스	
	7/16	경남여객	S/W 현장 업데이트
	7/4	KD운송그룹	신규설치

(6) 추진결과

- 단말기 재배포 이전 월 평균 통신횟수 898회에서 단말기 재배포 이후 월 평균 통신횟수 7,208회로 약 8배 증가

[표 152] 버스 단말기 재배포 이후 월별 통신횟수

년/월	2015												2016					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
통신 횟수	1,069	782	1,486	942	210	1,155	9,097	8,781	8,173	9,235	8,050	8,534	6,898	7,847	8,559	6,515	6,914	3,949



<그림 168> 단말기 재배포 후 통신횟수 변화

라. 스마트하이웨이 연구 성과물 홍보실적

(1) 연구기관과 수요기관간 효율적 업무 추진 도모

- 스마트하이웨이 개발기술의 수요기관과 연구기관 간 효율적인 업무 추진이 가능하도록 적극지원 하였으며 상기 구축 사항에 대해 한국도로공사 실무부서(수요기관)의 연구 성과물 구축 후 모니터링을 통해 추가 설치 여부 계획에 따라 모니터링을 위한 요청사항을 적극 수용하여 추가 설치를 추진하였음.

(2) 스마트하이웨이 개발기술 홍보

- 제25회 서울 세계도로대회 참가국 대상 스마트하이웨이 개발기술 홍보

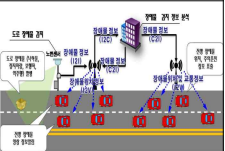
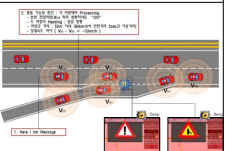
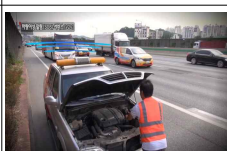
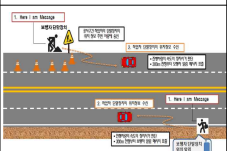
※ 제25회 서울 세계도로대회

- 4년 주기로 개최되는 도로산업 분야의 가장 권위 있는 국제포럼
- 기간/장소 : 2015. 11. 2(월)~6(금)/서울 코엑스

• 스마트하이웨이 기술시연 시행

- 일정 : 2015. 11. 2(월)~5(목), 4일간 7회
- 구간 : 스마트하이웨이 시범도로(경부선 서울~수원, 약 11km)
- 대상 : 불가리아, 에티오피아, 리투아니아, 스와질랜드 장차관 등 총 36개국 93명
- 시연기술 : 낙하물 감지 서비스 등 17개 서비스로 구성

[표 153] 세계도로대회 기술시연 서비스

①	차량내 전광판 [V2I]		⑦	차량이상 알림(SOS), 이동식[V2V]		⑬	구난차량 접근 알림 [V2V]	
②	도로작업 알림 (싸인카) [V2V]		⑧	전방차량 정보 [V2V]		⑭	낙하물 감지 [V2I]	
③	도로작업 알림 (청소차) [V2V]		⑨	2차 추돌사고 예방[V2V]		⑮	돌발상황 감지 영상 중계 [V2I]	
④	도로작업 알림 (범리프터) [V2V]		⑩	급커브 주의 [V2I]		⑯	합류부 주의 [V2V]	
⑤	야생동물 감지 [V2I]		⑪	차량이상 알림(SOS), 고정식[V2V]		⑰	차량화재 알림 [V2V]	
⑥	차량이상 알림(SOS), 고정식[V2V]		⑫	보행자 알림 [V2V]				

• 대학(원)생 프로그램 강연회 참가

- 목적 : 대학(원)생들이 도로교통 미래인재로 발돋움 할 수 있는 기회 및 국제대회 참가경험 제공
- 주제 : 도로 미래기술 - 스마트하이웨이의 미래
- 일자 : 2015.11. 4(수)
- 대상 : 대학(원)생 약 570명

• 한국의 길 공동세미나 주제 발표

- 목적 : ‘한국의 길’에 대한 발전과정, 국가 발전 영향, 한국의 최신기술 등 소개
- 주제 : 도로기술 로드맵 및 도로미래기술 - 스마트하이웨이
- 일자 : 2015.11. 4(수)
- 대상 : 국내·외 연구원 및 도로관련 전문가 200여명

- 세계도로대회 포스터세션 발표
 - 목적 : 최신 연구성과에 대하여 저자가 직접 경험한 정보와 전 세계 현장에서 도출될 실제 사례 공유
 - 제목 : Introduction of SMART Highway Test Bed and Test Results
 - 일자 : 2015.11. 4(수)
- 한국도로공사관 스마트하이웨이 홍보
 - 내용 : 스마트하이웨이 기술모형(증강현실체험) 및 스마트하이웨이 영상 홍보
 - 일정 : 2015.11. 2(월)~6(금)
 - 방문 : 약 3,000여명
- 홍보실적
 - 언론홍보 : KBS, SBS 등 11개 언론사 보도

[표 154] 세계도로대회 스마트하이웨이 언론보도 현황

일자	언론사	보도 내용
11.2(월)	뉴시스	o 미래의 고속도로는 ‘스마트하이웨이’ - 첨단 차량자동제어지원 기술 적용.... 편리하고 안전한 운행 지원
	주간무역	o 미래의 고속도로는 ‘스마트하이웨이’
	전자신문	o 미래 고속도로 ‘스마트하이웨이’ - 도공부스 현황 사진
	뉴스1 코리아	o 미래 고속도로 ‘스마트하이웨이’
	NEWSPIM	o 스마트하이웨이... “시속 100km로 하이패스 OK!” - 2일 서울코엑스에서 25회 서울 세계도로대회 열려
	세계일보	o 미래의 스마트도로 너무 신기해
11.3(화)	화이트페이퍼	o 감속없이 톨게이트 통과....‘스마트하이웨이’ 기술 대거 공개 - 제25회 서울세계도로대회에서 한국도로공사 가상 고속도로 선보여
	아시아경제	o 고속도 요금소 사라진다 - 160km 달려도 계산, 지불 시스템 개발... 도공 2020년 상용화
	YTN	o “첨단기술로 사고예방”..‘교통올림픽’ 개막 - 장애물 정보 알림 서비스 등 소개
11.5(목)	SBS 모닝와이드 (8시)	o 스마트하이웨이 모형 설명 및 기술시연 현장 취재 - 해외 장관(불가리아) 소감
11.11(수)	KBS 2 2TV 아침 (6~8시)	o 코엑스 및 시범도로 기술시연 현장 취재

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)		달성도 (%)	자체평가
스마트하이웨이 테스트베드 성과관리	- 연구성과물 수요현황 조사 : 2회 - 연구성과물 사업화 실적관리 : 2회 - Test-bed 연구성과 관리 : 1건 - 요소기술 데이터 축적 관리 : 1회/월	100	- 연구성과물 수요현황 조사 : 4회 - 연구성과물 사업화 실적관리 : 3회 - Test-bed 연구성과 관리 : 2건 - 요소기술 데이터 축적 관리 : 1회/월
스마트하이웨이 기술시연	- 회수 : 평균 월 1회 이상 - 만족도 : 90% 이상	100	- 기술시연 총 48회/18개월 실시 - 만족도 : 94.2점
스마트하이웨이 테스트베드 상시 운영체계 유지	- 네트워크 가용률 : 95% - 센터서버 가용률 : 95% - 고장발생 보고 : 1시간 내 - 돌발상황 보고 : 10분 내 - 요소기술별 검증평가 : 1회	100	- 네트워크 가용률 100% - 서버 운영률 99.8% - 고장발생 보고 즉시 - 돌발상황 보고 평균 2분 - 요소기술별 실 도로 현장 검증평가 실시
도로정보검지용 레이더	- 가동률 : 95% 이상 - 오경보율 : 10% 미만 - 검지시간 : 10초 이내	100	- 가동률 : 97.6% - 오경보율 : 5.5% - 검지시간 : 4.46초
통신시스템	- 실 고속도로 통신성능 확보 - 다수차량 성능시험 1회(10대 이상) - 통신범위 : 1km - 통신지연 : 100ms 이내 - PER: 10% 이내 - 성능시험 10회 이상 - 논문 1건	100	- 실 고속도로 통신성능 확보 - V2I: 최대통신거리 2km, 통신지연 6.36ms, 평균PER 6.68% - V2V: 최대통신거리 약 1km, 통신지연 7.84ms, 평균PER 5.32%
스마트단말기	- 실 고속도로 통신성능 확보 - 통신시스템과 동일 (통신범위, 통신지연, PER) - 다수차량 성능시험 1회(10대 이상) - 성능시험 10회 이상 - WAVE 단말기 제작 : 5EA - 시연용 톨링 단말기 제작 : 5EA	100	- 시범도로 통신 시험 및 분석 : 100회 이상 - 다수차량 주행(10대 이상) 통신성능 시험 및 결과 분석 완료 - 통신시스템 관련 논문 1건 작성
복합기지국	- 실 고속도로 통신성능 확보 - 통신시스템과 성능조건 동일 (통신범위, 통신지연, PER) - 가동률 : 95% 이상 - 성능시험 8회 이상	100	- WAVE 단말기 제작 완료 : 5EA - 시연용 톨링 단말기 제작 완료 : 5EA - 복합기지국 가동률 : 평균 99.87%
SMART-I	- 가동률 : 95% 이상 - 오경보율 : 10% 미만 - 검지시간 : 10초 이내	100	- 가동률 : 98.7% - 오경보율 : 7.2% - 검지시간 : 4.7초
기술시연 단말기	- 기술시연 회수 : 월 평균 1회 - 시연 S/W 개선 : 1건	100	- 기술시연 총 48회/18개월 대응 - 기술시연 UI 개선, 서비스 S/W 개발 3건

1. 목표 달성도

가. WAVE 통신시스템

(1) WAVE 통신 시스템 성능시험

- o WAVE 통신 시스템 성능시험 연구항목에 관련된 정량적 성과목표는 아래의 표와 같으며, 크게 시험회수에 관련된 성과목표와 WAVE 통신성능에 관련된 성과목표로 분류됨

[표 155] WAVE 통신 시스템 검증 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
WAVE 통신시스템 검증	▪ 통신범위 : 1km 이상 ▪ 통신지연 : 100ms 이내 ▪ PER : 10% 이내 ▪ 다수차량 성능시험: 1회 ▪ 성능시험: 10회 이상	100%

- o 목표 달성도 평가를 위해 시험 시나리오를 도출하고, 시범도로 구축 기지국 7식 및 배포 단말기들(최대 12대)을 이용하여 주행시험을 수행함으로써 성과목표 달성여부를 판단
- o 시험회수에 관련된 성과목표는 다음과 같이 달성함
 - 성능시험: 과제 기간 중 수시로 다양한 성능시험을 수행하였으며, 왕복회수 기준 총 104회의 주행시험을 수행함
 - 다수차량 주행 성능시험: 차량 12대를 이용한 다수차량시험을 수행함(2016.05.)
- o WAVE 통신성능에 관련된 성과목표는 다음과 같이 달성함
 - 연구기간 말기에 다수차량 통신시험을 통해 최종 WAVE 통신성능 측정 및 평가를 수행하였으며, 통신성능에 관련된 각 성과목표의 달성 여부는 다음과 같이 분석함
 - 통신범위: 해당 통신범위 내에서 평균PER이 10% 이내를 만족하는 지 확인 (성과 목표 중 PER과 연계되어 분석)
 - PER: 통신범위 내에서 평균PER이 10% 이내를 만족하는 지 확인 (성과목표 중 통신범위와 연계되어 분석)
 - 통신지연: 발생된 모든 통신 메시지에 대한 평균통신지연이 100ms 이내를 만족하는지 확인
 - 시험 결과 연구과제에서 제시한 정량적 성과목표를 모두 달성한 것으로 확인
 - 통신범위 및 PER: (V2I)통신범위 1km 내에서 평균PER 6.68% 확인. (V2V)통신거리 500m 내에서 평균 PER 5.32% 확인
 - 통신지연: 모든 통신 메시지에 대한 평균통신지연 V2I 6.36ms, V2V 7.84ms 확인

[표 156] 다수차량 통신시험 V2I 결과 요약 (최종 시험 결과)

구분	성능지표	기지국 번호							평균
		RSE1	RSE2	RSE3	RSE4	RSE5	RSE6	RSE7	
전체	최대통신거리 (m)	1323	1642	2580	2536	2249	1941	1911	<u>2026</u>
	평균통신지연 (msec)	9.20	3.74	2.89	4.31	2.98	12.82	8.57	<u>6.36</u>
	평균PER (%)	10.07	5.97	4.95	9.01	5.22	5.74	5.78	<u>6.68</u>

[표 157] 다수차량 통신시험 V2V 결과 요약 (최종 시험 결과)

구분	성능지표	고정식			이동식			전구간	평균
		전방	후방	평균	전방	후방	평균		
전체	최대통신거리 (m)	1014	1027	<u>1021</u>	-	-	-	-	<u>1021</u>
	평균통신지연 (msec)	3.73	10.70	<u>7.22</u>	6.30	8.90	<u>7.60</u>	<u>9.57</u>	<u>7.84</u>
	평균PER (%)	9.54	8.58	<u>9.06</u>	2.04	2.14	<u>2.09</u>	<u>4.29</u>	<u>5.32</u>

(2) 기지국

- o WAVE 기지국의 본 과제 정량적 성과목표는 아래의 표와 같음

[표 158] WAVE 통신 복합기지국 정량적 성과목표

구분	정량적 성과목표	달성도
복합기지국	- 가동률 : 95% 이상 - 성능시험 8회 이상	100%

- o 목표 달성도 평가를 위해 경부고속도로 시범도로구간 7기 운영을 통해 운영의 성과목표 달성여부를 판단
- o 연구과제 기간인 18개월 동안 시스템의 운영 결과 가동률, 성능시험 등 정량적 성과목표를 달성한 것으로 판단
 - 가동률 : 99.87% (2016년 6월 28일 기준)
 - 성능시험 : 8회 이상
- o 연구과제에서 제시한 정량적 성과목표를 모두 달성한 것으로 평가 대부분의 정량적 성과목표를 달성한 것으로 판단

(3) 단말기

- o ‘스마트 단말기 테스트베드 모니터링 및 활용’ 본 과제 정량적 성과목표는 아래의 표와 같음.

[표 159] 스마트 단말기 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
스마트 단말기	▪ 통신범위 : 1km(V2I), 300m(V2V) ▪ PER : 10% 이내 ▪ WAVE 단말기 제작 : 5EA ▪ 시연용 톨링 단말기 제작 : 5EA ▪ 장애유형 분석 : 95% 이상	100%

- o 통신성능 목표 달성도 평가를 위해 전자부품연구원, 이씨스와 협업하여 다수차량 주행, 통신성능시험을 진행하였고, 통신범위, 통신지연, PER 등의 목표를 모두 달성
- o 스마트하이웨이 기술시연을 위한 예비 단말기 및 톨링용 단말기 각 5EA를 제작하였으며 그 결과를 별책으로 작성함
- o 시범도로 운영을 위해 배포한 단말기에 대한 유지관리를 연구기간 내 진행하였으며, 고장단말에 대한 유형분석 및 조치를 완료하고 그 결과를 별책으로 작성함

나. 돌발상황 자동검지 시스템

(1) 도로정보검지 레이더

- o 돌발상황 자동검지 시스템의 본 과제 정량적 성과목표는 아래의 표와 같음

[표 160] 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
도로정보검지용 레이더 (Smart-IDS)	▪ 가동률 : 95% 이상 ▪ 오경보율 : 10% 미만 ▪ 검지시간 : 10초 이내	100%

- o 목표 달성도 평가를 위해 경부고속도로 4기, 서해대교 1기 구축·운영을 통해 운영의 성과목표 달성여부를 판단
- o 운영결과 표 첨부
- o 연구과제 기간인 18개월 동안 시스템의 구축·운영 결과 가동률, 오경보율, 검지시간 등 대부분의 정량적 성과목표를 달성한 것으로 판단
 - 가동률 : 97.6% (2016년 상반기 운영 결과 기준)
 - 오경보율 : 5.5% (2016년 상반기 운영 결과 기준)
 - 검지시간 : 4.46초(2015년 상반기 운영 결과 기준)
- o 연구과제에서 제시한 정량적 성과목표를 모두 달성한 것으로 평가대부분의 정량적 성과목표를 달성한 것으로 판단

(2) 스마트-I

- o 자동돌발상황 감지시스템의 본 과제 정량적 성과목표는 아래의 표와 같음

[표 161] 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
SMART-I	▪ 가동률 : 95% 이상 ▪ 오경보율 : 10% 미만 ▪ 감지시간 : 10초 이내	100%

- o 목표 달성도 평가를 위해 경부고속도로 2기를 구축·운영을 통해 운영의 성과목표 달성 여부를 판단
- o 장비노후화로 하드웨어 교체 및 개선을 진행 완료한 2015년 8월 이후 10개월 동안 시스템의 구축·운영 결과 가동률, 오경보율, 감지시간 등 대부분의 정량적 성과목표를 달성한 것으로 판단
 - 가동률 : 99.9% (2016년 상반기 운영 결과 기준)
 - 오경보율 : 7.0% (2016년 상반기 운영 결과 기준)
 - 감지시간 : 4.7초
- o 연구과제에서 제시한 정량적 성과목표를 모두 달성

다. 지원 시스템 운영결과 분석

- o 시범도로에 운영중인 시스템과 네트워크 그리고 센터에 설치된 서버는 상시 운영하고, 교통센터에 별도의 상시근무 인력을 배치하여 장애 발생 등에 대응하였음

[표 162] 시범도로 기술시연의 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
테스트베드 상시 운영체계 유지	▪ 네트워크 가용률 : 95% ▪ 센터서버 가용률 : 95% ▪ 장애발생 보고 : 1시간 내 ▪ 돌발상황 보고 : 10분 내 ▪ 요소기술별 검증평가 : 1회	100%

(1) 네트워크 가동률

- o 시범도로의 Network 정비는 예고된 Network 공사(예정된 점검은 미가동시간에서 제외)를 제외한 미가동일은 없어서 가동률 100%를 유지

※ 제3장 연구수행 내용 및 성과의 4. 지원 시스템 운영결과 분석 참고

(2) 센터 서버 가동률

- 센터의 서버의 운영은 7월 24일 발생한 국지서버 재부팅 1건을 제외한 모든 시간동안 가동되어 18개월 동안 가동률은 99.8%로 운영되었음.

※ 제3장 연구수행 내용 및 성과의 4. 지원 시스템 운영결과 분석 참고

(3) 장애발생 보고

- 총 18개월 동안 SMART-IDS는 18회, SMART-I는 41회 점검을 하였으며 WAVE 기지국은 5회 장애에 대한 점검 시행

(4) 돌발상황 보고

- SMART-I와 SMART-IDS는 각각 1개소, 4개소가 운영중이었고 상시 모니터링을 통해 검지된 돌발정보는 해당구간 고속도로 운영자에게 전달되어 교통관리 향상에 기여함
- 총 18개월 동안 62건의 돌발상황 검지상황을 전달, 평균 전달시간은 2분(최대 6분) 이내 전파

[표 163] 돌발상황 검지 후 보고 조치사항

월	일	발견시간	보고시간	소요시간	내용
1월	28일	11시 21분	11시 24분	3분	낙하물체(2~3m가량의 텐트천)으로 서행차량 발견
2월	12일	09시 59분	10시 02분	3분	신갈분기점 5차로 승용차 관련 사고처리중
	13일	14시 58분	14시 59분	1분	서울TG부분 사고 발견
4월	2일	13시 37분	13시 39분	2분	죽전BS 고장차 발견
	10일	16시 03분	16시 06분	3분	서울TG 2차로 승용차 관련 접촉사고
	13일	11시 03분	11시 05분	2분	죽전BS-1 5차로 트럭 승용차 사고
	29일	13시 34분	13시 35분	1분	신갈JC 5차로 승용차 관련 접촉사고
		13시 34분	13시 36분	2분	서울TG 2차로 승용차 관련 접촉사고
5월	26일	16시 45분	16시 46분	1분	죽전BS-1 5차로 화물차 고장차 발견
6월	3일	14시 50분	14시 51분	1분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	24일	15시 15분	15시 16분	1분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	26일	16시 08분	16시 08분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
7월	3일	13시 18분	초기 인지시간 비교를 위해 미보고	-	죽전BS-1 사고 발견
	5일	02시 51분		-	신갈JC 사고 발견
	6일	11시 07분		-	신갈JC 사고 발견
	15일	13시 28분		-	서울TG 사고 발견
	18일	07시 38분		-	신갈JC 사고 발견
8월	10일	08시 01분	미전달	-	신갈JC 사고 발견
	11일	17시 19분	17시 21분	2분	서울TG 사고 발견
	17일	13시 02분	13시 08분	6분	서울TG 사고 발견
	24일	11시 58분	11시 58분	0분	신갈JC 사고 발견
		13시 09분	13시 13분	4분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	27일	15시 14분	15시 15분	1분	서울TG 사고 발견

- 7월 중에는 돌발상황 인지시간 비교를 위해 경부선 담당자에게 보고 안 함(초기 대응시간 비교)

<표 계속>

월	일	발견시간	보고시간	소요시간	내용
9월	9일	13시 21분	13시 24분	3분	죽전BS 5차로 고장차 발견
	15일	15시 15분	15시 16분	1분	서울TG 1,2차로 승용차 사고 발견
		16시 58분	16시 58분	0분	죽전BS 5차로 고장차 발견
	16일	11시 42분	11시 42분	0분	죽전BS-1 5차로 고장차 발견
	25일	11시 30분	11시 30분	0분	신갈JC 5차로 승용차 사고
	30일	13시 50분	13시 50분	0분	죽전BS 1,2차로 사고 발견
10월	6일	13시 42분	13시 42분	0분	신갈JC 2차로 승용차 3대 관련 사고 발견
		15시 06분	15시 06분	0분	죽전BS 2차로 고장차 발견
	8일	15시 17분	15시 17분	0분	죽전BS 1차로 사고 발견
	15일	11시 32분	11시 32분	0분	죽전BS 5차로 고장차 발견
11월	5일	13시 24분	13시 24분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
	16일	13시 18분	13시 18분	0분	죽전BS 사고 발견
	24일	10시 54분	10시 54분	0분	서울TG 1,2차로 사고 발견
12월	4일	11시 17분	11시 17분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
	4일	14시 56분	14시 56분	0분	오산IC 4차로 고장차 발견
	17일	15시 48분	15시 51분	3분	서울TG 2차로 사고 발견
1월	7일	10시 10분	10시 14분	4분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
		13시 11분	13시 12분	1분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
		14시 27분	14시 29분	2분	서울TG 2차로 승용차 사고 발견
	19일	15시 30분	15시 30분	0분	서울TG 2,3차로 승용차 사고 발견
	26일	13시 23분	13시 24분	1분	서울TG 2,3차로 승용차 사고 발견
	27일	10시 40분	10시 40분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
2월	18일	09시 38분	09시 38분	0분	죽전BS-1 사고 발견
	24일	10시 07분	10시 08분	1분	서울TG 승용차 사고 발견
		14시 08분	14시 10분	2분	죽전BS 5차로 승용차 고장 발견
	25일	10시 07분	10시 08분	1분	서울TG 승용차 사고 발견
3월	31일	10시 20분	10시 23분	3분	서울TG 1차로 버스 고장 발견
4월	4일	13시 16분	13시 17분	1분	죽전BS 2차로 승용차 사고 발견
		15시 48분	15시 49분	1분	서울TG 3차로 승용차 사고 발견
	15일	13시 07분	13시 07분	0분	죽전BS 2차로 사고 발견
		14시 31분	14시 33분	2분	서울TG 2차로 고장차 발견
	18일	12시 41분	12시 45분	4분	서울TG 2차로 사고 발견
	26일	13시 16분	13시 17분	1분	서울TG 2차로 사고 발견
		13시 31분	13시 32분	1분	서울TG 2차로 사고 발견
	27일	13시 56분	13시 56분	0분	신갈JC 3,4차로 사고 발견
	28일	15시 12분	15시 14분	2분	죽전BS-1 2차로 사고 발견
	29일	15시 33분	15시 33분	0분	서울TG 2차로 사고 발견
5월	4일	13시 16분	13시 20분	4분	서울TG 2차로 고장차 발견
	25일	16시 05분	16시 07분	2분	서울TG 2차로 승용차 사고 발생

(5) 요소기술 검증평가

o WAVE 통신과 자동돌발검지 시스템에 대한 실 도로 현장시험을 2016년 4월과 5월에 실시

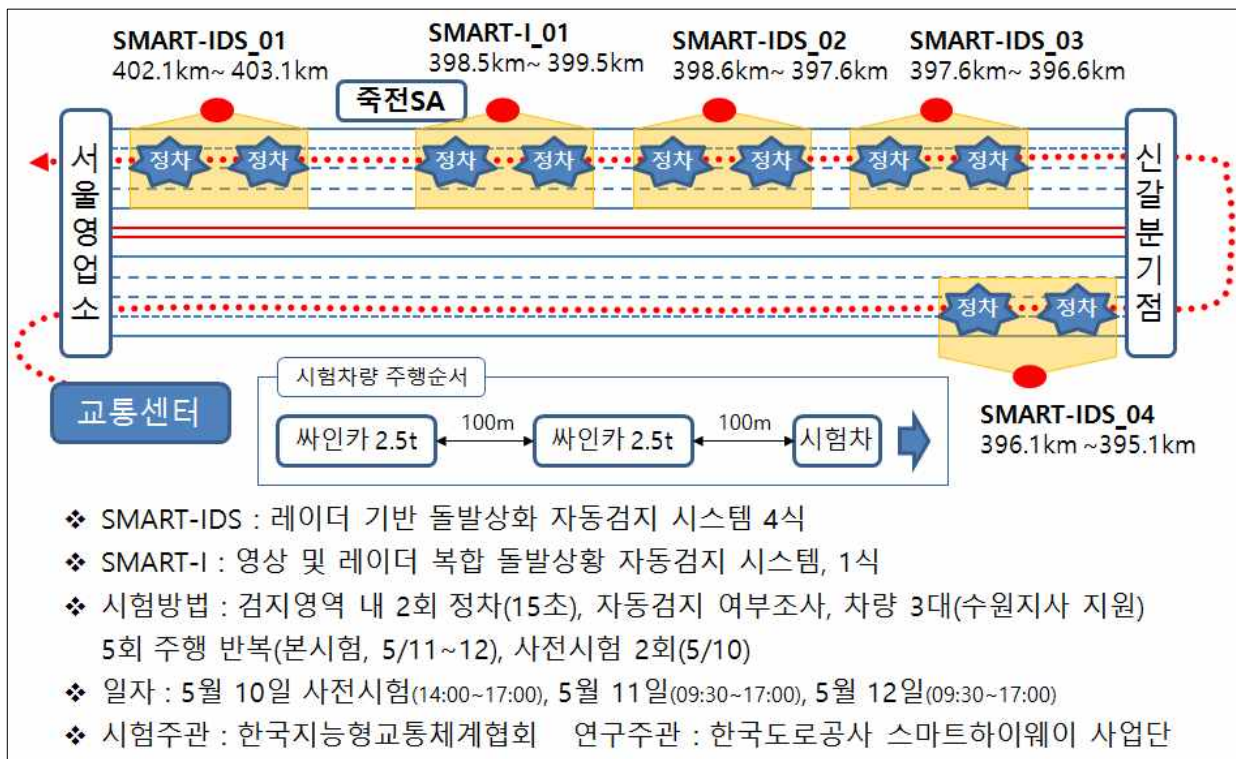
※ 제3장 연구수행 내용 및 성과의 6. 요소기술 실 도로 현장시험 참고

[표 164] WAVE 통신시험을 위한 기관별 역할 분담

장비	일련번호		차종	공급/점검	운영(운전/조작)	비 고
차량	주행 차량	TC #1	경차	KETI	KETI	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(I2V, V2V)에 대한 로그 저장 (번호순⇒주행순서)
		TC #2	세단	ITSK(임차)	운전기사 / ITT	
		TC #3	SUV	ITSK(임차)	운전기사 / 이씨스	
		TC #4	VAN	ITSK(임차)	운전기사 / ITT	
	정지 차량	TC #5	세단	이씨스	이씨스	V2V 메시지 송출 및 수신 메시지(V2V) 로그 저장
		TC #6	SUV	KETI	KETI	
RSU	RSU #1~#7			이씨스	- / 이씨스	I2V 메시지 송출

o 통신시험은 사전시험 2일(4월 18일~19일), 본 시험(4월 20일~21일)으로 진행하였음. 모두 5개 기관 14명이 참여(본 시험의 경우, 사전시험은 준비기관)하였음.

o 돌발검지시스템은 고속도로에서 안전한 현장 시험방법을 선정하여 5월 10일~12일 3일간 진행하였으며, 한국도로공사의 4.5ton 싸인카 2대를 지원받고 관할 고속도로 순찰대에 본선구간 정창시험에 따른 차단신고 후 시행하였음.



<그림 169> 자동돌발검지 시스템 현장시험 시험차량 주행 시나리오

라. 기술시연

- 경부선 시범도로에서 시행된 기술시연은 연구의 성과를 대외에 홍보하는 효과와 시연을 통해 관련기술의 실 도로환경에서의 안정화에 기여하는 하는 효과를 얻음
- 본 연구에서는 기술시연의 성과에서 시연의 횟수로 평가되는 규모, 시연의 수준에 대한 만족도, 시연 프로그램의 다양화를 위한 S/W 개선이 진행

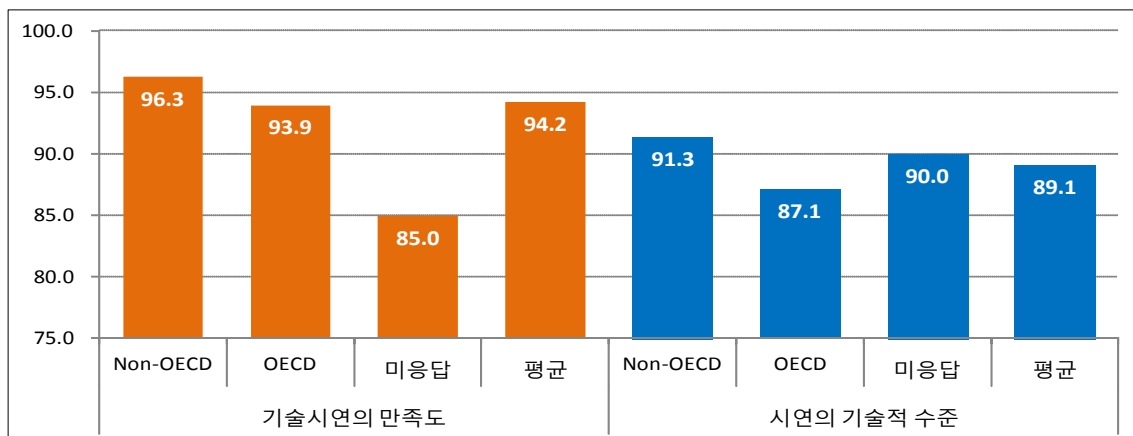
(1) 기술시연 횟수 및 만족도

- 기술시연은 과업기간 내에 월 1회 이상의 시연과 시연 만족도 90% 수준을 정량적 성과 목표로 설정하였음

[표 165] 시범도로 기술시연의 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도	추진 현황
기술시연	▪ 시연 횟수 : 평균 월 1회 이상	100%	▪ 기술시연 총 48회/18개월 실시
	▪ 만족도 : 90% 이상	100%	▪ 만족도 설문조사(세계도로대회) 실시

- 기술시연은 18개월 동안 총 48회를 실시하면서 월 평균 2.67회의 많은 기술시연 수행
 - 총 시연 횟수 : 48회/18개월 = 2.67회/월
 - 총 시연 참여인원 : 512명 (내국인 266명, 외국인 226명, 회당 평균 10.2명 참여)
 - 참여 구분 : 정부기관 43.7%, 국제대회 18.2%, 대학교 11.5%, 산업계 등 기타 26.6%
 - 대규모 기술시연 : 제25회 서울 세계도로대회 기술시찰 프로그램(TV-4), 93명/7회 시연
- 기술시연의 만족도 분석은 2015년 11월에 개최한 제25회 서울 세계도로대회를 통해 국내를 방문한 29개국 65명(총 94명 기술시연 참여, 설문 응답율 60%)의 응답결과를 통해 시행하였음. 만족도 설문조사는 기술시연의 전체적인 만족도와 기술수준에 대한 응답결과 각각 94.2점과 89.1점(5점 척도 응답의 100점 만점 환산결과)을 얻음. 따라서 기술시연에 대한 연구 성과목표인 만족도를 확인



<그림 170> 기술시연 만족도 및 기술적 수준 응답결과(5점 척도 100점 환산결과)

(2) 기술시연 지원 및 S/W 개선

o 기술시연용 단말기의 본 과제 정량적 성과목표

[표 166] 기술시연 지원 및 S/W개선 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
기술시연 단말기	- 기술시연 횟수 : 월 평균 1회 - 시연 S/W 개선 1건	100%

o 연구과제 기간인 18개월 동안 기술 시연 및 기술 시연 리허설, 세계도로대회 시연 지원

- 기술시연 횟수 : 48회/18개월 = 2.67회/월
- 세계도로대회 : 세계도로대회 준비 및 시연 총 28일 지원
- 기술시연 참여기관 : 한국도로공사, ITS Korea, 유브릿지, 메타빌드, ITT, 휴엔에스 등

o 연구 과제 기간 동안 시연 S/W 4건 개선(유브릿지, ITT, KETI)

- 전시용 S/W 반복적으로 시연상황 플레이 하게 개선
- 수집용 로그를 위해 이벤트 식별자 추가
- 낙하물 경보음 화면과 SYNC 하여 종료되게 수정
- 안드로이드 기기언어에 따라 시연 S/W 언어 자동 변경되게 수정

마. 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리

o 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리의 본 과제 정량적 성과목표

[표 167] 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리 정량적 성과목표

구 분	정량적 성과목표	달성도
스마트하이웨이 테스트베드 성과관리	- 연구 성과물 수요현황 조사 : 2회 - 연구 성과물 사업화 실적관리 : 2회 - Test-bed 연구성과 관리 : 1건 - 요소기술 데이터 축적 관리 : 1회/월	100%

o 연구 성과물 수요현황 조사

- 스마트하이웨이 개발기술의 확산을 위하여 연구 성과물의 대내·외 홍보 및 수요현황 조사를 시행하였음.
- 한국도로공사 실무부서(교통처, 재난안전처, 시설처, ITS처, 영업처 등) 및 평창 동계 올림픽 조직위원회를 대상으로 연구 성과물의 대내·외 홍보 및 수요현황 조사를 총 4회(목표 : 2회) 시행하였음(2015.01.06, 2015.02.10, 2015.02.25, 2015.05.26)

o 연구 성과물 사업화 실적관리

- 스마트하이웨이 연구 성과물의 사업화 실적관리(3회 실시, 목표 : 2회)를 통해 개발 기술의 공용도로 구축현황을 관리하였음

o Test-bed 연구성과 관리

- Test-bed를 활용한 연구성과 관리를 2건 실시하였음
- 경부선 서울~수원 구간, 서해안선 서해대교에 구축된 도로정보검지 레이더의 성능 검증을 실시하였음. 공용도로에서의 검증이 수행되므로 안전한 검증이 가능하도록 검지 위치 별 시나리오를 작성하여 레이더의 성능을 검증하였음
- 배포되어 운영중인 스마트 단말기의 사용현황을 분석하고, 이용자를 대상으로 설문 조사를 실시하여 연구성과를 극대화 할 수 있도록 단말기 재배포를 통해 월 평균 통신횟수 8배 증가를 도모하였으며, 그에 따른 다량이 WAVE 통신 데이터를 확보하였음

o 요소기술 데이터 축적 관리

- Test-bed에 구축된 WAVE 기지국, 도로정보검지 레이더, SMART-I로부터 수집된 데이터를 축적하여 가동률, 통신성공율, 오보율 관리를 통해 월별 데이터를 비교하고 저장된 데이터는 개선될 수 있도록 해당연구기관에 피드백을 수행하였음

2. 관련분야 기여도

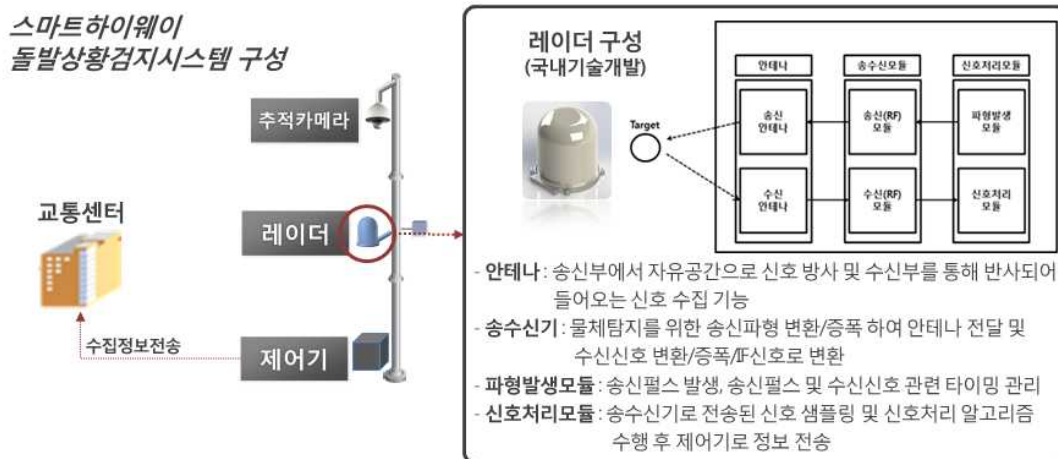
가. WAVE 통신시스템

- 실 도로 상에서의 V2X 통신시스템 성능 평가 결과 도출
 - 실 도로 상에서의 V2X 통신성능 평가가 가능한 평가 방법론 도출
 - 실 도로 상에서의 V2X 통신성능 검증 → 제품 및 시스템 상용화 가능성 확인
 - 통신프로파일(메시지 길이 및 전송속도)에 따른 실 도로 통신성능 분석 → 통신 시스템 및 서비스 설계를 위한 레퍼런스 역할 가능
 - 기후 등 환경에 의한 영향 분석 → 제품 및 시스템 상용화 가능성 확인

나. 돌발상황 자동검지 시스템

(1) 도로정보검지 레이더

- 레이더 기반 국내 최초 AID 시스템 개발
 - 순수 국내기술을 활용한 최초의 AID 시스템 개발
 - 레이더센서, 제어기, 추적카메라 연동을 통한 실시간 돌발상황정보 수집·제공



<그림 171> 국내 최초의 레이더 기반 AID 시스템 개발

- 장거리 검지기능 강화로 기존 검지체계의 한계 극복
 - 레이더검지시스템 1기 설치를 통해 1km, 5차로의 공간을 검지
 - 레이더 기반의 검지체계로 영상의 한계극복 및 다양한 디지털정보 수집

1. 검지영역 1km(장거리)

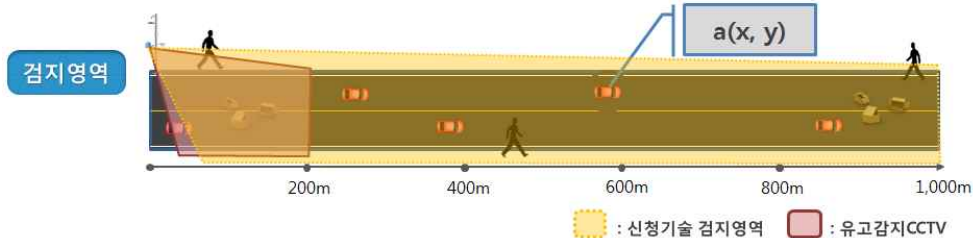
1km, 5차로 도로를 1기의 시스템으로 직접 검지

2. 레이더를 활용한 위치기반 공간 정보수집 체계

개별차량들, 장애물, 보행자 등을 직접 검지하여 위치 및 속도를 정확히 제공

3. 실시간 정보수집 체계

약 5초 이내 데이터 수집 및 판단, 정보제공까지 완료



<그림 172> 검지시스템 간 검지영역 비교

o 유지보수 비용 등 비용절감 기대

- 레이더검지시스템의 특성상 설치기수 절감을 통한 유지관리 포인트 감소
- RF 방식의 검지시스템은 정기성능평가 주기 4년(영상 2년)
- 종합적으로 유지관리비용의 감소효과 기대



<그림 173> 레이더시스템의 유지관리 효율성 강화

(2) SMART-I

o 영상과 레이더의 융합을 통한 돌발자동검지 시스템 개발

- 현재 돌발상황 검지 시스템은 정확도의 한계성 때문에 많이 사용되지 않고 있으며, 사용하고 있어도 그 효율성이 떨어져 운영이 정상적으로 이루어지고 있지 않음
- 현재 도로상에 많이 설치되고 있는 교통정보 추출용 검지체계는 대부분 교통정보만 추출할 뿐 돌발상황을 정확히 검지하지 못하고 있음

- 본 과제의 연구목표인 오경보율 10%이하, 가동률 95%이상이 성능을 만족하여 돌발 상황에 대해 운영자의 신속한 대처가 가능함

o 신기술 도입으로 경제적 효과 창출

- 정확한 교통정보 추출을 통하여 연속류/단속류 구간에서의 교통정체원인을 신속하게 판단하고 제거함으로써 운전자의 운전서비스를 만족시키며 국민의 삶의 질을 향상시킴
- 도로에서 일어날 수 있는 교통정체와 교통사고로 인하여 발생하는 인적, 물적 비용을 절감함으로써 국민경제를 도모
- ITS 관련 산업에 파급되어 신규 고용 창출 유도: ITS 서비스를 활성화하여 국내 산업을 육성하여 새로운 고용 창출을 유도
- 차세대 성장동력인 ITS 서비스 관련 핵심기술 선점이 가능하게 되며, 유관 산업으로 기술 개발의 시너지 효과 발생

다. 지원 시스템 운영결과 분석

o 스마트하이웨이 시범도로에 구축된 현장장비들을 지원하는 시스템 운영결과 다음과 같은 관련 분야에서 활용과 응용 기대

- 향후 유사 시범구간의 모니터링에 필요한 네트워크, 서버 등 장비의 유지시에 방법론을 활용할 수 있음
- 자동돌발상황 시스템의 운영데이터에 대한 분석과 평가를 시행할 경우 사례로 활용 가능
- 실 도로에서의 WAVE 통신 시험과 자동돌발검지 시스템 시험은 시험평가의 방법론 적용시 사례로 활용될 수 있으며 안정성을 전제하는 시험의 한계점 등을 확인할 수 있었음

라. 기술시연

o 스마트하이웨이 시범도로에서의 기술시연은 실 도로를 배경으로 시행하는 유사 시연에서 시연 시나리오 작성, 만족도 평가방법 등에 활용될 수 있음.

- 기술시연을 위한 시나리오, 서비스 구성방법, 시연 프로그램의 활용
- 기술시연을 통한 홍보방법의 활용
- 기술시연을 이용한 모니터링 환경의 구성방법과 장시간의 시스템 튜닝으로 활용
- 기술시연의 효과를 판단해 볼 수 있는 참여자 만족도 조사 방법 및 결과의 활용

마. 스마트하이웨이 테스트베드 성과관리

o 스마트하이웨이 개발기술의 수요현황 조사 및 홍보, 사업화 실적 관리를 통해 개발기술이 널리 확산될 수 있도록 지원하였음

- 개발기술 수요현황 조사 및 홍보 4회 시행
- 사업화 실적 관리 3회 시행
- 개발기술의 확산을 위한 연구기관 지원(수시)

제5장. 연구개발성과의 활용 계획

- 약 18개월의 스마트하이웨이 연구사업의 시범도로 운영을 통해 다양한 기상환경과 도로 환경에서 핵심기술 및 연계 시스템의 운영, 모니터링, 기술시연으로 개발 시스템의 운영 안정성 및 성능을 확보
- 연구기간 동안 개별 시스템 별 정확도, 가용성 등 기술적, 운영적 문제점과 요구사항을 보완하여 개선하였으며, 상용화 수준의 기술을 확보
- 이와 같은 운영결과를 바탕으로 개발된 시스템을 목적에 따른 다양한 환경에 적용·활용 하여 스마트하이웨이 연구과제를 통해 개발된 시스템의 활용을 기대할 수 있음
- 도로, 자동차, 정보통신 부문의 다양한 시장에서 기술선점 및 일자리 창출가능
- 또한, 다양한 도로환경(고속국도, 지방국도, 시가지도로 등)의 운전자에게 안전성, 편리성, 정시성 등의 향상된 도로기반 기술을 제공할 수 있음
- 본 연구과제를 통해 개발된 시스템을 기반으로 차세대 ITS(C-ITS)와 스마트 자율협력주행 등 장래의 도로기술의 기반기술로 활용 및 자동차-도로-ICT 간의 유기적인 연계를 통해 미래의 도로환경 구축을 앞당길 수 있음
- 개별 시스템의 활용계획은 아래와 같음

1. WAVE 통신 시스템 활용계획

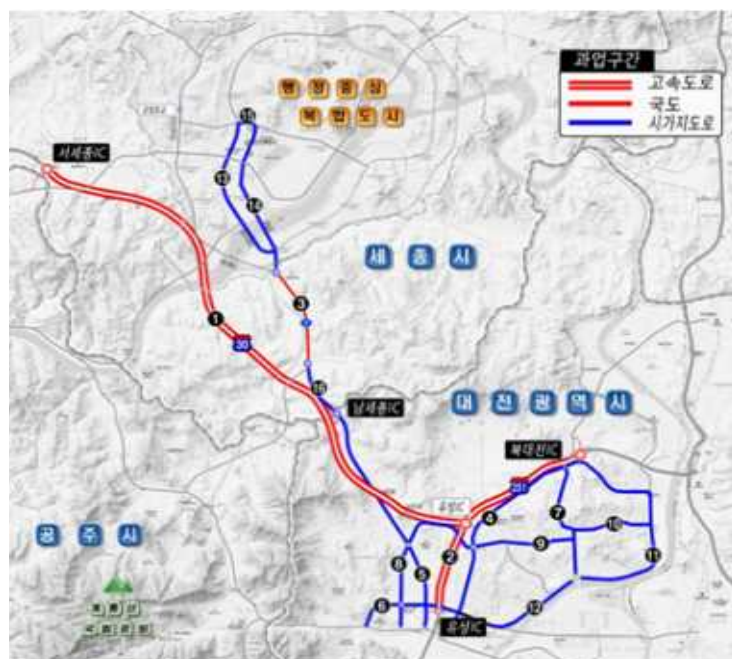
- WAVE 통신 시스템은 공용도로 상에서 다양한 시나리오를 기반으로 한 시험을 통해 통신거리의 경우 V2I: 1km(양방향), V2V: 500m(단방향), 평균통신지연 100ms 이내, 평균 PER 10% 이내의 성능을 보임을 확인하였음.
- 또한 다양한 통신프로파일(메시지 길이, 전송속도) 별 성능을 측정하여, 향후 통신 관련 시스템 및 서비스 설계 시 성능 요구사항을 도출하기 위한 레퍼런스를 제공할 수 있을 것으로 보임.
- 또한, 시범도로 상에서 관측된 수준의 강우/강설, 폭한/혹서 등 기후 환경이 통신 및 시스템 성능에는 큰 영향을 주지 않는 것을 확인하여, 내구성 및 신뢰성 측면에서도 제품 및 시스템의 상용화 적용이 가능함을 확인하였음.

가. 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 노변기지국/톨링기지국 구축

- C-ITS는 도로 기하구조, 교통정체, 기상조건 등의 요인으로 발생할 수 있는 교통사고를 전자·정보·통신 등 종합적·체계적인 첨단기술을 접목하여 차량이 주행 중 도로 및 다른

차량위험상황을 사전 대응, 예방·회피하여 교통사고를 절감할 수 있는 차세대 교통 서비스를 제공하기 위한 사업임

- o 노변기지국은 차량 및 센터와 위험정보를 실시간으로 공유하여 교통사고를 예방하는 최적의 시스템임
- o 스마트하이웨이 과제를 통해 개발된 복합기지국의 원천기술을 본 과제기간 동안 모니터링 및 운영을 통하여 신뢰성이 검증되었고 또한 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업의 노변기지국 개발에 해당기술이 적용되어 구축 완료됨
- o ‘스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용’ 과제를 통해 검증되고 ‘차세대 ITS(C-ITS) 시범사업’에 적용된 기지국 원천기술이 차세대 ITS(C-ITS) 본 사업의 기반 기술로 활용될 것으로 기대됨



<그림 174> 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 구간

[표 168] 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 노변기지국 설치내역

노변기지국 안테나부	노변기지국 제어함체부

나. 표준화

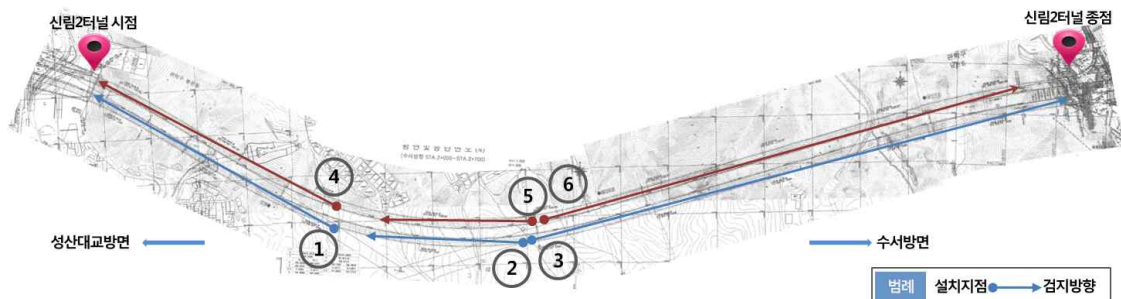
- 현재 WAVE 통신 및 C-ITS 서비스에 대한 표준화는 국토교통부 및 한국도로공사에서 진행 중인 C-ITS 시범사업과 연계되어 진행되고 있음.
 - TTA에서는 WAVE 통신의 물리계층에 대한 시험규격을 표준화하고 있음. 해당 표준은 C-ITS시범사업의 물리계층인증규격을 기반으로 하고 있으며, 본 연구에서 WAVE 통신시스템을 담당하고 있는 전자부품연구원, 이씨스, 아이티텔레콤이 해당 규격의 제정에 기여하였음.
 - 한국지능형교통체계협회에서는 WAVE 기반 C-ITS 서비스와 시험에 관련된 표준화를 진행하고 있음. 본 연구에서 WAVE통신시스템을 담당하고 있는 전자부품연구원, 이씨스, 아이티텔레콤은 해당 표준화 작업반의 구성원으로써, 표준화 작업에 지속적으로 참여하여 본 과제의 연구내용을 표준에 적용하기 위한 노력을 수행할 계획임.
- WAVE 기술기준 및 성능시험 방법에 대한 표준화 완료 후, 사업화 추진 시 공인인증기관을 통해 기능 및 성능에 대한 인증을 수행할 예정임.

2. 돌발상황 자동검지 시스템 활용계획(Smart-IDS)

- 돌발상황 자동검지 시스템(Smart-IDS)의 경우 지속적인 시스템 보완을 통해 가동률 95% 이상, 오경보율 10% 미만, 검지시간 10초 이내 등 요구하는 정량적 성과목표를 모두 달성
- 이와 같은 연구 성과 달성은 상용화 수준의 기술을 확보하였다고 판단되며, 현재 Smart-IDS는 다양한 도로환경에 적용 및 장래의 기술개발에 활용되고 있음

가. 강남순환도로

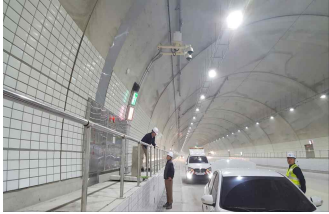
- 2016년 7월 개통예정인 총 연장 12.4km, 왕복 6~8차로 수준의 민간투자사업
- 해당구간은 금천에서 관악, 사당을 지나 선암에 이르는 구간으로 총 4개의 터널로 이루어진 터널중심의 도로환경임
- 그 중 Smart-IDS의 경우 신림터널(3.53km) 구간에 방향별 3기, 양방향 총 6기의 시스템을 설치하였으며, 개통 후 운영 예정
- 이는 총 3.53km에 이르는 양방향 터널을 약 90% 이상 검지할 수 있는 성능으로 터널에서 발생하는 다양한 돌발상황에 대한 실시간 대처능력을 향상시킴



<그림 175> 강남순환도로 신림터널 내 돌발상황 자동검지 시스템 설치

- o 터널의 경우 폐쇄된 도로환경, 긴 연장, 대피공간의 부족 등으로 사고발생 시 대형 참사로 이어질 수 있어 안전에 대한 관리가 중요
- o 현재 터널은 유고감지를 위해 대부분 영상기반의 CCTV를 활용하여 왔으나, 영상검지 시스템의 한계로 인해 해외에서는 레이더 기반의 검지시스템을 활용하고 있는 추세임

[표 169] 국내·외 레이더 검지시스템 설치내역

구분	영국	스웨덴	한국
지점	Hindhead tunnel	Sodra-Lanken tunnel	강남순환도로
현황			
			
검지 유형	돌발상황, 낙하물 등	돌발상황, 낙하물 등	돌발상황, 보행자, 낙하물, 사고, 역주행 등

- o 국내 최초의 터널 내 레이더 기반 검지시스템 도입으로 향후 운영 성능, 설치효과 등을 통해 보다 다양한 환경에서 적용될 수 있을 것으로 기대

나. 차세대 ITS(C-ITS) 시범사업 시스템 구축

- o 국내에서는 최초로 대전광역시와 세종특별자치시를 잇는 구간을 C-ITS 시범구간으로 선정하여 설치하였으며, 해당 구간 중 총 7개소에 ‘돌발상황 자동검지 시스템’이 구축완료



<그림 176> 대전~세종 C-ITS 시범설치 구역

- o C-ITS 사업을 통해 실시간 돌발상황 정보를 비롯하여, 기상, 노면, 신호현시 등 다양한 도로 정보를 수집·융합·제공을 통해 운전자에게 실시간 정보 제공을 목표로 구축·운영 준비 단계
- o 이와 같은 도로환경 구축을 위해 V2V, V2I 등 도로인프라와 차량간의 정보를 융합하는 정보통신기술, 실시간 검지기기술, 다양한 제공 서비스 생성 등 시범구축을 통해 차세대 도로환경 구축에 활용될 예정

다. 다양한 도로환경 구축을 통한 도로 안전성 확보

- o 본 과제를 위해 시범구축된 경부고속도로, 서해대교를 비롯하여 강남순환도로, 대전-세종 C-ITS 및 자율협력주행 지원을 위해 지속적인 연구개발 단계
- o 스마트하이웨이 연구 성과물을 통해 개발된 시스템에 대한 지속적인 관심과 사업화 지원을 통해 개발기술의 확산이 이루어지고 있으며, 본 모니터링 연구과제를 통해 성능검증 및 상용화에 박차를 가할 수 있을 것으로 보임
- o 이처럼, 현재 구축된 지점에 대한 관리 및 성능검증을 통해 개발 기술의 성능을 검증하고, 국내·외 다양한 도로환경에서 ‘돌발상황 자동검지 시스템’ 구축에 대한 문의가 끊이지 않고 있어, 향후 세계시장에서 AID(Automatic Incident Detection)기술을 선도할 것으로 기대

라. 표준화

- o 돌발상황 검지시스템(도로정보검지 레이더, SMART-I)은 2016년 9월 19일 ‘자동차 도로교통분야 ITS 성능평가기준’ 개정(국토교통부 고시 제2016-627호)으로 개정된 표준을 따라 사업화 추진 시 시험·검증이 이루어 질 예정임

3. 기술시연

- 스마트하이웨이 기술시연은 여러 연구개발과제에서 벤치마킹을 하고 있음. 연구개발과제들은 대개 기술개발에 주력을 하고 있음. 그러나 개발된 기술이 실 생활에서 적용이 되기까지는 실 환경에서의 오랜 기간 동안의 튜닝과 이용자들이 체험을 통해 충분한 이해와 공감대 형성이 필요함. 기술시연은 이러한 실제 적용을 위한 두 가지를 모두 충족시킬 수 있는 대안이 됨

가. 차세대 ITS 시범사업의 기술시연 등 다양한 사업과 연구의 기술시연 벤치마킹

- 국토교통부는 WAVE 통신 기술 등을 활용한 차세대 ITS 시범사업이 대전-세종 구간에 서 진행중임. 해당 사업은 약 3000명의 시민들을 대상으로 V2X 서비스를 일정기간 이상 체험하고 이를 평가하는 과정을 계획
- 즉, 연구에 그쳤던 결과물들을 실 환경에서 다수의 일반 이용자에게 소개하고 홍보하고 기술의 완성도를 끌어올리는 과정으로 스마트하이웨이 모니터링 과제의 기술시연 노하우가 활용될 전망
- 특히 기술기연에 활용된 서비스 제공방법, 일반 도로에서의 시연 시나리오, 각종 홍보물, 시연 프로그램들이 활용될 것으로 기대
- 한편 타 연구과제에서도 홍보의 중요성과 실용화 과제의 경우 실 환경에서의 모니터링 의 필요성을 본 과제를 통해 더욱 인식하는 계기를 가지고 있음

4. 요소기술 실 도로 현장시험

- 요소기술에 대한 현장시험은 장비가 설치된 실 도로에서 진행되었고 이는 제한된 시험 구간(또는 시험도로)에서 다양한 시나리오를 적용해 볼 수 있는 시험과 많은 차이점을 가진다.

가. 유사 연구과제의 실 도로 현장시험

- WAVE 통신 시험은 실 도로에서 주행중에 가능한 만큼 안전성, 경제성 측면에서 불리한 점이 적기 때문에 다양한 시험을 통해 현장의 특성에 맞는 시스템 구축으로 그 성능을 최대한 발휘하는 데 도움을 줄 수 있음
- 본 연구의 시험에서도 현장의 도로 기하구조, 노면기질국의 안테나 세팅, 도로에 설치된 구조물들의 형태와 위치, 교통류에서 대형차량의 혼입율, 차량 안테나의 성능 등 다양한 상황에 따라 다른 성능수준을 발휘할 수 있음을 확인하였음. 즉 현장여건에 따라 성능이 달라질 수 있으므로 노면기질국의 설치방법에서 연구의 결과가 활용될 수 있음

나. 자동돌발감지 시스템의 실 도로 성능평가 방법론 개발에 활용

- 자동돌발감지 시스템의 실 도로 현장시험 방법은 향후 관련 시스템 설치된 이후에 진행되는 성능평가의 방법론 개발에 활용될 것임
- 자동돌발감지 시스템의 현장시험은 안전성에 대한 고려가 매우 중요하고 다양한 시험 시나리오를 적용해보기 어려운 점, 많은 시험비용의 발생 등이 고려되어야 할 것임
- 특히 자동돌발감지 시스템은 사고발생이나 정체가 많이 발생하는 지점 등 돌발상황에 많이 발생할 것으로 예상되는 지점 또는 구간에 적용될 가능성이 높으며 이러한 지점 또는 구간에서의 시험 역시 안정조치에 취약한 곳일 될 것임
- 따라서 실 도로에서의 운영중인 자동돌발감지 시스템은 제한적인 시나리오로 진행할 경우에만 시험의 효용성이 있을 것이고 완전한 시스템의 성능수준을 파악하는 데는 한계가 있음.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당사항 없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
- 해당사항 없음 -								

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문 게재	스마트하이웨이 테스트베드에서 의 WAVE 기반 V2X 통신 성능에 대한 실험적 분석	전자 부품 연구원	주 저자	ITS학회지	-	2016.08.31	단독	비SCI
2	학술 발표	도로 상에서의 V2X 통신성능 검증	전자 부품 연구원	주 저자	2016 ITS학회 춘계학술 대회	-	2016.04.19	중복	-
3	학술 발표	가변 파워스텝구 조의 Automatic Gain Control 블록설계	전자 부품 연구원	주 저자	2016 통신학회 하계학술 대회	-	2016.06.23	단독	-
4	학술 발표	차세대ITS시스 템을 위한 듀얼채널 WAVE통신플랫 폼 구현	전자 부품 연구원	주 저자	2016 통신학회 하계학술 대회	-	2016.06.23	단독	-
5	기고	제25회 서울 세계도로대회 스마트하이웨이 기술시연	한국 지능형 교통 체계 협회	주 저자	교통 기술과 정책 WP12권 제6호	-	2015. 12	단독	-

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. SH 사업단, MART Highway 핵심 요소기술 검증결과서, 2015. 2, 최종보고서 부록 1
2. ITS-K, 돌발상황 감지시스템(AIDS) 표준 Part 4. 성능시험방법(안) (15004-4), 2016
3. 터널영상 돌발상황감지시스템 성능시험 표준(ITSK-00012), 2011
4. <http://www.piarc.org/ko/coreen-korean.htm>
5. <http://www.piarcseoul2015.org>
6. 세계도로대회조직위원회, 제25회 서울 세계도로대회, CIRCULAR No. 1, 홍보 브로셔
7. 한국지능형교통체계협회, 스마트하이웨이 테스트베드 모니터링 및 활용방안 연구, 세계도로대회 SH 시범도로 기술시연 설문조사 결과, Ver 2015-2.0, 2015. 11. 16
8. Austroads, Evaluation of the Potential Safety Benefits of Collision Avoidance Technologies Through Vehicle to Vehicle Dedicated Short Range Communications (DSRC) in Australia, AP-R375/11
9. Bringing ICT to (sustainable) transport and mobility, SATIE Workshop, Athens 26 April 2012
10. EPoSS Roadmap_Smart Systems for Automated Driving_2015_V1
11. EWGT, Wouter Schakel, 2012
12. Hitachi Europe Ltd., V2X standardization and deployment : viewpoint of a system provider, 2013. 5. 29
13. Transparency Market Research, Intelligent Transportation Systems (ITS) Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trend and Forecast, 2013 - 2019, July 10, 201, p56
14. US. DOT의 Driver Clinic(2012. 9) V2X 안전서비스를 경험한 운전자 설문결과
15. 한국교통연구원, 한국지능형교통체계협회, C-ITS 국내 도입방안 연구, 2013. 10
16. http://www.its.dot.gov/its_program/its_factsheets.htm
17. <http://fot-net.eu/>

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

비매품

