

도로 진화의 시작 - 스마트하이웨이

임기택
전자부품연구원

요약

스마트하이웨이는 기존의 도로기술에 차량간 통신 등 첨단 ITS 통신 및 지능형 차량 제어기술을 융·복합하여 교통정체 및 사고를 미연에 방지하여 인적, 물적 손실을 최소화하는 첨단 지능형 고속도로이다.

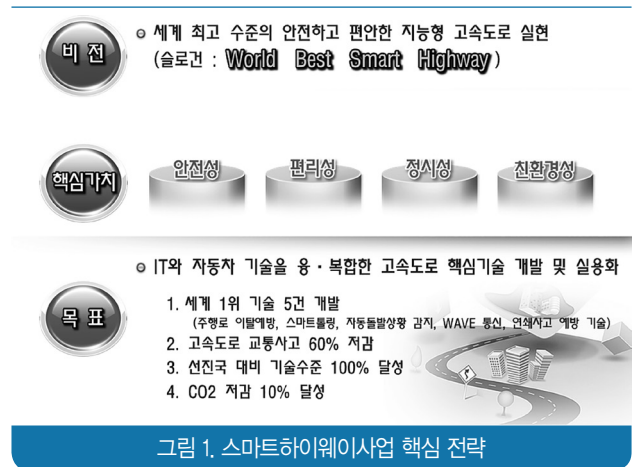
본고에서는 교통사고 발생률, 사망률 등 교통 안전도 부문에서 OECD 가입국 중 최하위권에 머물고 있는 상황을 개선하기 위하여 지난 2007년 10월부터 약 7년간 수행하고 있는 스마트하이웨이사업에 대해 살펴보고, 이 사업을 기반으로 향후 국내에서 예정되어 있는 시범사업 및 상용화 계획에 대해 알아본다.

I. 서론

스마트하이웨이사업은 국토교통부에서 수립한 “건설교통 R&D 혁신 로드맵”의 목표와 비전을 달성하기 위해 지난 2006년에 선정한 건설교통분야 가치창조 10개 사업 중 하나로 세계 최고 수준의 지능형 고속도로를 개발하기 위하여 한국도로공사 주관으로 산·학·연 51개 기관이 참여하여 지난 2007년 10월부터 약 7년간 수행하고 있는 국가 R&D 사업이다[2][3].

스마트하이웨이사업은 도로 기술, 첨단 IT 기술 및 지능형 자동차 기술을 융·복합하여 현재 도로의 문제점을 해소하고 이용차량의 안전성, 이용고객의 편리성, 언제 어디서나 예측 가능한 정시성 등을 실현할 목적으로 세계 1위 기술 5건 개발, 고속도로 교통사고 60% 저감, 선진국 대비 기술수준 100% 및 CO2 저감 10% 달성 등을 최종 목표로 세계 최고 수준의 안전하고 편안한 지능형 고속도로 개발을 비전으로 제시하고 있다[9]. (그림 1)은 스마트하이웨이사업의 핵심 전략을 나타낸다. 스마트하이웨이사업에서 개발하고자 하는 세계 1위 기술은 주행로 이탈 예방 기술, 스마트톨링 기술, 자동 돌발상황 감지 기술, WAVE 기반 V2X 통신 기술 및 연쇄사고 예방 기술을 선정하였다. 주요 연구내용으로는 친환경 및 기상재해 등 도로기반기술 개발,

무선통신기반 교통정보 제공 등 도로-IT 기반 교통운영 기술 개발, 주행로 이탈예방 등 자동차 연계기술 개발 및 연구성과 적용성 검증으로 구성되어 있다.



2015년 이후 법정속도가 110km/h 이상의 모든 도로에 의무 적용 예정인 고성능 강성 및 연성 배리어, 야간·악천후 시 최적의 시인성을 확보하는 집광 조명식 안내표지, 안개거리를 자동으로 측정하여 능동적으로 안개를 소산하는 능동형 안개소산 장치 및 태양광을 반사하여 터널의 조명을 대체하는 터널 자연 채광 시스템 등을 도로 기반기술로 개발한다[9].

도로에서 발생하는 돌발상황을 실시간으로 감지하고 추적하는 돌발상황 자동감지 시스템(SMART-I), 주행속도 감속 없이 차로를 변경하면서 요금을 지불할 수 있는 능동형 방식의 다차로 무정차 톨링 시스템, 고속 주행 중 끊임 없는 통신환경 구현 및 차량 안전 서비스를 제공하는 차세대 도로전용 WAVE 통신 시스템 및 레이더를 이용하여 도로에 발생되는 위험정보를 자동으로 감지하고 차량에 제공하는 도로정보 감지용 레이더 시스템 등을 도로-IT 기반 교통운영기술로 개발한다[9].

도로-자동차 연계 기술은 고정밀 측위기술인 DGPS를 이용하여 차선 이탈 시 운전자에게 경고를 제공하는 주행로 이탈예방 기술, 전방 고장차량, 낙하물 등 위험요소 발생 시 운전자의 조작 없이 자동으로 차량을 제어하는 차량 자동제어 기술 등을

핵심 기술로 개발한다[9].

본고에서는 스마트하이웨이사업의 핵심 기술인 도로-IT 기반 도로운영기술에 대해 집중적으로 살펴보고, 이를 기반으로 제공되는 서비스를 살펴본다. 또한, WAVE통신 기술을 기반으로 하는 향후 국내에서의 C-ITS 시범사업 등의 계획에 대해 설명하고 결론을 맺는다.

II. 도로-IT 융합 도로운영 기술

고속도로에서 낙하물이나 사고, 고장, 역주행 등의 돌발상황이 생기면 운전자가 전화로 제보하거나 교통 관리자가 뒤늦게 발견하여 후속 사고로 이어지는 경우가 많았다. 이를 개선하기 위하여 자동화된 첨단 시스템이 24시간 상시 관측해 도로에서의 돌발상황을 실시간으로 도로 관리자에게 제공하는 돌발상황 자동검지 시스템(SMART-I)을 세계 최초로 개발하고 있으며, SMART-I 시스템의 개념도는 <그림 2>에 나타나 있다[3].

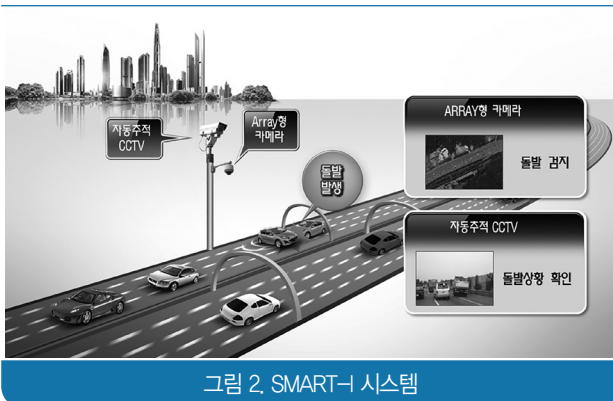


그림 2. SMART-I 시스템

SMART-I 시스템은 파노라마 영상검지가 가능한 Array 카메라와 돌발상황의 발생위치를 자동으로 추적하는 CCTV 및 레이다로 구성되어 있다[4][10].

1km의 도로 구간을 상시 관측할 수 있고, 야간, 우천시 등 기상 악조건에서 3cm이상 크기의 낙하물을 30초 이내에 95% 이상의 정확도로 검지할 수 있어 돌발상황의 신속한 대응과 후속 조치가 가능해져 교통정체 및 2차 교통사고의 예방에 크게 기여할 것으로 보인다[3].

기존 CCTV로만 돌발상황을 검지할 때와 SMART-I를 적용하여 돌발상황을 검지할 때의 차이점은 <표 1>과 같다.

기존의 CCTV 시스템의 검지영역은 200~300m로 매우 좁아 돌발상황이 자주 발생하는 지점에 검지영역 단위로 설치해야 하는 경제적 어려움이 있고, 검지 정확도 또한 낮아 도로 관리자가 다른 방법으로 관측하고 나서야 돌발상황이 발생하였음을

판단할 수 있었다[10].

하지만, SMART-I 시스템은 1km의 검지영역에서 95% 이상의 정확도를 제공하여 보다 빨리 돌발상황에 대처할 수 있게 되었다.

표 1. 돌발상황 검지기술 차이점

구분	기존 CCTV	SMART-I
검지영역	200~300m	1km
돌발상황 검지시간	30초 이내	30초 이내
돌발상황 검지정확도	85% 내외	95% 이상
돌발상황 유형	정차(사고, 고장, 주·정차 등), 역주행, 지·정체, 낙하물 등	
자동추적 정확도	-	95% 이상
자동추적	관리자의 수동조작	사고지점 자동추적

SMART-I는 현재 Array 카메라와 자동추적 CCTV 시작품을 개발하였고, 센터에서 확인할 수 있도록 센터 표출 소프트웨어가 개발되어 실내 테스트 및 이상적 환경에서의 현장 검증은 완료된 상태이며, 현재 오산IC(서울방향)와 용인IC(강릉방향) 부근에서 공용도로 검증 중에 있다.

시뮬레이션 분석 등을 통해 SMART-I 도입 전후에 대한 교통패턴 변화 분석을 통해 사고감소율을 예측하였을 때 약 20% 이상의 교통사고가 감소할 것으로 나타났으며, 향후 도입에 대한 경제성 분석을 수행하여 SMART-I 구축 로드맵을 수립하고 있다.

설날, 여름 연휴와 같이 대량의 차량이 고속도로에 집중될 경우 현재의 고속도로 톨게이트에 병목현상이 발생하여 교통정체의 주요 원인으로 작용하였으며, 이를 개선하기 위하여 1Mbps의 통신 속도를 갖는 DSRC를 기반으로 하이패스 시스템을 도입하였으며, 현재까지 약 800만대의 단말기가 판매되었다.

하지만, DSRC 통신 기반의 하이패스 시스템은 단차로 기반으로 구축되어 병목현상의 해소에는 그다지 효과가 없는 것으로 나타났으며, 이를 개선하기 위하여 요금징수를 위해 속도를 줄이거나 차선을 바꾸지 않고도 자동으로 요금을 징수하는 스마트 톨링 시스템을 개발하고 있다.

스마트 톨링 시스템은 하이패스 차로의 칸막이가 필요 없는 무정차 다차로 톨링 시스템으로써 미국이나 유럽에 적용된 수동형과 달리 세계 최초로 능동형으로 개발하였으며, 기존의 하이패스 시스템과의 비교를 <그림 3>에 나타내었다.

스마트 톨링 시스템 개발 과제의 목표는 크게 3가지로 나뉘어진다. 첫째, 고속으로 주행하는 차량을 대상으로 요금정산처리

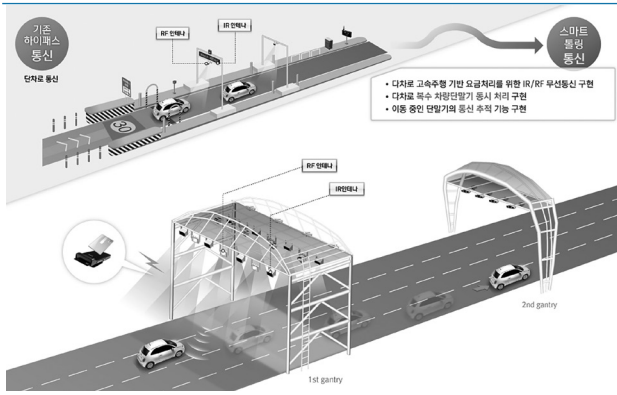


그림 3. 하이패스와 스마트 톨링 시스템 비교

를 위한 통신 및 지불처리 기술, 고속 주행환경을 유지하면서 요금수납처리를 가능하게 하는 사용자 중심의 무정차, 다차로 고속주행기반 과금처리기술을 개발하는 것이다. 둘째, 사용자의 편리성 제공을 위하여 WAVE, Wi-Fi, 3G/4G 등 다양한 통신 방식을 지원하는 Any-Media 기반 전자지불 시스템을 개발하는 것이다. 셋째, 스마트 톨링이 이루어지는 지점에서의 안전한 교통류 흐름을 확보하고, 무중단 스마트 톨링 환경의 구현을 위해 원격 유지관리, 실시간 모니터링 시스템, 유사시 대응처리 등 관리자 중심의 통합적인 운영관리시스템과 안정적인 과금 및 정산을 위한 운영시스템을 개발하는 것이다[3].

간략하게 설명한다면, 고속도로 본선을 주행하는 차량이 속도를 줄이지 않고 운전자가 보유하고 있는 다양한 통신 방식의 단말기를 사용하여 요금을 과금할 수 있도록 차종을 자동으로 분류하고, 그 차종에 맞는 요금을 징수하며, 위반하는 차량을 검지하는 신뢰성 있는 통신 시스템 및 운영시스템을 개발하는 것이며, Any-Media 전자지불 시스템 구성도는 <그림 4>에 나타나 있다[10].

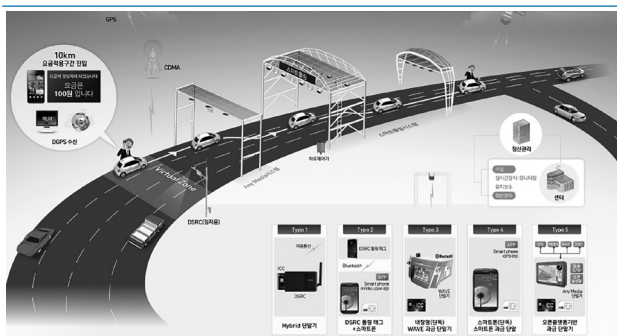


그림 4. Any-Media 전자지불 시스템 구성도

스마트하이웨이사업에서 지난 2011년에 여주체험도로에 스마트 톨링 시스템을 시범 설치한 이후로 현재의 하이패스 시스템 수준의 성능을 목표로 시스템을 검증, 개선 중에 있다. 그러나 도로정체와 돌발사고 등 실제 도로상에 발생하는 여러 환경

적 요인들을 충분히 수용하는 것은 무리가 있어 상용화 수준에서의 신뢰도 확보는 다소 미흡한 상황이다.

따라서, 스마트 톨링 시스템의 조기 상용화를 위해서는 실제 도로환경에서의 시스템 성능 검증이 필요하며, 이를 위해서 2013년 하반기부터 한국도로공사의 영업처, ITS처, 통행료 통합정산센터 등 핵심 전문가들이 기존 인력에 추가되어 스마트 톨링 시스템의 상용화 수준의 품질 확보와 대국민 홍보를 목표로 공용도로에서의 시스템 구축을 진행하고 있다.

스마트 톨링 시스템은 일일 평균 7만대의 교통량으로 정체 정도, 돌발사고 가능성 등 다양한 환경에서의 성능검증에 필요한 데이터를 충분히 확보할 수 있으며, 현장 접근이 용이한 서울외곽도로 구리 휴게소 인근에 설치를 하였으며, 2014년 8월까지 상용화가 가능한 수준으로 성능 개선을 완료하고, 이후 한국도로공사를 포함한 주요 수요기관과 스마트 톨링 시스템 추가설치에 대해 적극 협의하여 확대할 예정이다.

고속도로에서의 고속 주행환경에서는 지난 2006년 10월에 발생한 서해대교 29중 추돌사고와 같은 연쇄사고가 발생할 위험이 높기 때문에 전방차량의 사고 및 고장 등의 돌발상황에 대한 즉각적인 검지 및 이에 대한 정보를 인접차량에게 신속하게 전달하고, 제동 경고 및 우회 등의 적절한 행동을 유도할 수 있는 실시간 무선통신 기반의 능동 대응형 관리전략 및 시스템 개발이 필요하다[5].

이를 위해, 스마트하이웨이사업에서는 WAVE 통신을 활용하여 사용자 중심의 실시간 스마트 통신 시스템을 구축하였으며, 스마트 통신 시스템은 차량에 장착되어 운전자 및 탑승자에게 실시간으로 다양한 안전 및 편의서비스를 제공하는 스마트 단말기와 사용자가 보유하고 있는 다양한 무선통신 단말기로 스마트하이웨이 서비스를 받아들 수 있도록 WAVE, DSRC 및 Wi-Fi 통신을 지원하는 복합기지국으로 구성된다[1].

Wi-Fi 통신 기술은 현재 우리가 일상생활에서 가장 많이 사용하는 무선랜에 사용되며, 각 지방 자치단체의 도심지 도로에서 서비스되고 있는 UTIS(Urban Traffic Information System)의 기반이 되는 통신 방식이다. DSRC 통신 기술은 1Mbps의 통신 속도를 지원하며 현재 약 800만대의 하이패스 단말기에 사용되는 통신 방식이다[2].

WAVE 통신 기술은 고속의 차량 주행환경에서 실시간으로 안정적인 안전 서비스를 제공하기 위해 북미 중심으로 지난 2010년 표준화된 단체 표준이며, 현재 미국, 유럽 및 일본 등 선진국가에서 활발하게 추진하고 있는 C-ITS의 핵심 통신 방식이다.

스마트하이웨이사업에서 요구하는 통신 사양은 실시간으로 차량간 통신, 차량-인프라간 통신을 지원해야 하며, 인접 차량

표 2. 스마트하이웨이 통신 요구사항

항목	요구사항
통신형태	V2X(V2I, V2V)
통신방식	1:1, 1:n, Broadcasting
차량속도 지원	최대 160km/h
통신거리	최대 1km
유효 데이터 전송속도	최대 10Mbps
패킷 Latency	100msec
패킷 전송 오류율	10% 이하

에 긴급 데이터를 전송하기 위해 Broadcasting 기능을 지원하고 넓은 통신 반경(1km)과 낮은 latency(100msec)를 지원해야 한다. 또한, 10% 이하의 PER(Packet Error Rate)을 지원하고, 최대 160km/h의 차량 속도에서도 안정적인 통신을 지원해야 한다.

〈표 3〉과 같이 현재 서비스되고 있는 주요 무선통신의 특징을 비교함으로써 〈표 2〉에 나타나 있는 스마트하이웨이 통신의 요구사항을 만족하는 통신은 WAVE 통신이 유일하다는 것을 알 수 있다[7][8].

표 3. 무선통신 방식 비교

구분	WAVE	DSRC	Wi-Fi	LTE
통신망	공용망			상용망
주파수 대역	5.85~5.925GHz	5.795~5.815GHz	2.4GHz(11g) 5.4GHz(11a)	700MHz/2
이동속도	200km/h	160km/h	4km/h	350km/h
전송속도	27Mbps	1Mbps	54Mbps	300Mbps
링크 접속시간	0	100ms 이하	3~7s	3~7s
Latency	100ms 이하	100ms 이하	100ms 이하	0.1ms 이하
통신반경	1km	200m	100m	1~5km
통신방식	Broadcast Multicast Unicast	Broadcast Multicast Unicast	Broadcast Multicast Unicast	Unicast
상용화	2016년	2004년	1999년	2011년
통신형태	V2I, V2V	V2I	V2I	V2I
주요 서비스	안전서비스 교통정보제공 ETC	ETC BIS 교통정보제공	인터넷 멀티미디어	음성통화 화상통화 멀티미디어

DSRC 통신 기술은 이동속도, Latency, 통신방식 등에서 WAVE 통신기술과 유사성을 보이나, 통신 반경이 200m로 매우 좁으며, 차량간 통신을 지원하지 못하는 단점이 있다. Wi-Fi 통신 기술은 WAVE 통신 기술과 달리 링크 접속시간이 많이 걸려 V2V 기반 실시간 차량 안전서비스를 제공할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 또한 LTE는 빠른 이동속도, 높은 전송속도 등

V2I에서는 WAVE 통신 기술보다 우수하나, Broadcast 통신 방식을 지원하지 못하고, V2V 통신을 지원하지 못하는 단점을 갖고 있다.

스마트하이웨이를 구축하기에 가장 적합한 WAVE 통신을 기반으로 스마트 통신 시스템을 개발하였으며, 특히 복합기지는 WAVE, DSRC 및 Wi-Fi 통신 이외에도 향후에 표준화될 차세대 무선통신을 적용할 수 있도록 확장성을 보장하였다.

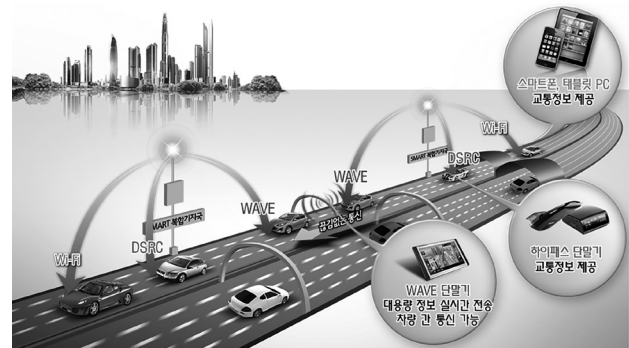


그림 5. WAVE 기반 스마트 통신 시스템 구성

〈그림 5〉에서와 같이 고속도로에 1km 간격으로 복합기지를 설치하면 사용자는 자가 보유하고 있는 단말기를 사용하여 서비스를 제공받을 수 있으며, 〈그림 6〉에 스마트하이웨이 사업에서 개발한 복합기지국 시제품과 〈그림 7〉에 복합기지국/스마트단말기용 안테나 및 WAVE 통신 모듈 시제품을 나타내었다[1].



그림 6. 복합기지국 시제품



그림 7. 스마트안테나 및 통신모듈 시제품

스마트 단말기는 Wi-Fi 테더링 기능을 지원하여 차량 내부에서 스마트폰, 스마트패드 등에서도 스마트하이웨이 서비스를 제공받을 수 있도록 개발하였으며, <그림 8>에 스마트 단말기 시제품을 나타내었다[1].

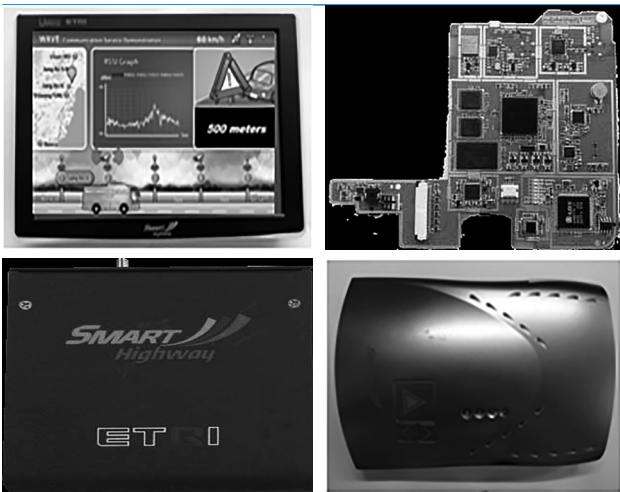


그림 8. 스마트단말기 시제품

복합기지국 및 스마트단말기를 포함하는 스마트 통신 시스템의 상용화를 위해서는 실제 고속도로에서와 같이 교통사고, 교통정체 등 급변하는 상황에 대처하는 시스템의 신뢰성과 적응성을 높이는 연구가 필요하며, 이를 위해 실제 고속도로에 스마트 통신 시스템을 구축하여 테스트할 필요가 있다. 또한 복합기지국에 접속 가능한 최대 단말을 접속시켜 실시간 차량 안전 서비스를 위한 통신 네트워크 운용시스템의 기능 개선을 도모할 필요도 있다.

스마트하이웨이사업의 남은 연구기간 동안 스마트통신 시스템

의 조기 상용화를 위한 연구개발을 진행하여 미국, 유럽 등 선진국에서의 통신 시스템 성능보다 우수하게 개발하고자 한다.

스마트통신 시스템이 전국의 고속도로 및 도심지 도로의 교차로 등에 구축이 완료되어 충돌 방지 서비스 및 교차로 운전 지원 서비스 등의 차량 안전서비스가 제공될 경우 미국 NHTSA의 보고에 따르면 약 79% 이상의 교통사고 저감 효과가 있을 것으로 예측된다.

Ⅲ. 스마트하이웨이 체험도로

스마트하이웨이사업에서 개발된 기술을 실제 공용도로에 설치하고, 도로환경 및 기타원인으로 발생할 수 있는 문제점의 사전진단 및 조치, 개발 기술간의 연계 검증 등을 통해 상용화에 보다 더 다가갈 수 있도록 중주내륙고속도로 여주시험도로 7.7km 구간에 스마트하이웨이 체험도로를 구축하였다.

스마트하이웨이 체험도로에는 6개 지점에 복합기지국, SMART-I 및 레이더 시스템이 장착되는 멀티폴을 설치하여 구간에서 WAVE 기반 V2X 통신이 가능하도록 하였고, 다른 과제의 공용인프라 및 연구 성과물을 설치하여 10개 단위기술에 대한 연계 검증·평가와 함께 9개 서비스를 구축하였으며, 이에 대한 구성도는 <그림 5>에 나타내었다.

스마트하이웨이 체험도로에서는 WAVE 통신 기반 차량간(V2V) 실시간 무선통신을 통하여 전방차량의 급정거, 사고 등 돌발상황을 후방차량에 실시간으로 전달함으로써 연쇄사고를 예방하는 연쇄사고 예방 서비스, 도로 위의 낙하물, 역주행 등을 자동 감지하여 실시간으로 정보를 제공하는 낙하물 감지/제공 서비스, 무정차, 다차로 고속주행 기반의 요금처리 서비스 등을 체험할 수 있다.



그림 9. 스마트하이웨이 체험도로 구성

- [2] 이상우, 오현서 “스마트하이웨이 통신 기술”, 한국통신학회, 2010.10
- [3] 이다원 “미래형 고속도로, 한국도로공사의 스마트하이웨이로 실현!”, 정보통신산업진흥원 웹진 42호, 2013.07
- [4] 이주안, “스마트하이웨이 개발 현황”, ITS학회, 2012.02
- [5] 이대형, 신규성 “도로교통기술의 미래를 여는 스마트하이웨이”, 대한토목학회지 제57권 제11호, 2009.11
- [6] 박상욱, 이정우 “스마트하이웨이의 현황과 향후 발전 방향”, 대한토목학회지 제60권 제8호, 2012.08
- [7] 스마트하이웨이사업단 “SMART Highway Brief”, 창간호, 2013.02
- [8] 스마트하이웨이사업단 “SMART Highway Brief”, 제4호, 2013.02
- [9] 권철 “SMART Highway Project Overview & C-ITS Progress in Korea”, 2013 ITS World Congress, 2013.10
- [10] 스마트하이웨이사업단 “스마트하이웨이사업 실용화 기술 설명”, 2013.10

약 력



임 기 택

1994년 한양대학교 공학사
1996년 한양대학교 공학석사
2013년 한양대학교 공학박사
1996년~현재 전자부품연구원 SoC플랫폼연구센터 센터장
관심분야: 무선통신 SoC, 지능형교통시스템(ITS), 지능형자동차 전장 SoC