

스마트하이웨이 구축을 위한 콘크리트 발전 방향

Development of Concrete for SMART Highway



최고일*
Ko-Il Choi



김국한**
Kook-Han Kim

1. 서 론

우리나라의 도로는 1960년대 추진된 경제개발과 함께 건설되기 시작하여 현재까지 고속도로의 총연장은 3,000km를 넘어선 상태이며, 국도와 지방도로 및 기타도로의 총연장은 100,000km를 넘어선 상태이다. 국내 여객화물 물류 수송량 중에 도로 분야가 차지하는 비중은 95% 수준이며, 이중 고속도로는 육상 운송 중 중장거리 여객 화물수송의 74%를 분담하는 국가 물류 대동맥이다.

1969년 한국도로공사가 설립되어 고속도로를 건설 관리하기 시작하면서 도로 설계·건설·유지관리 기술 측면에서 상당한 발전을 이룩하였다고 볼 수 있으나, 30여 년간 100~120km/hr로 달릴 수 있는 도로기술 수준에 머물러 있었다. 이것은 적은 국가 예산과 짧은 공사기간으로 최대의 도로를 건설해야 하는 개발 초기단계의 양적 성장에 핵심가치를 부여하였기 때문이다. 이로 인해 신기술·신공법과 같은 첨단 도로기술 적용, 도로건설로 인한 환경보호, 도로이용자의 쾌적성 제공과 같은 다양한 고객의 요구를 반영하지 못하는 기존 고속도로의 한계가 있었다. 또한, 대내적으로 고속철도 개통에 따른 고속도로의 기능과 역할에 대한 재정립이 필요하며, 세계 최고기술수준을 자랑하는 IT기술과 급속하게 발전하는 자동차 및 유비쿼터스 기술의 융복합을 통해 고속도로 교통 혼잡과 교통사고를 저감할 수 있는 기술력의 축적이 필요한 시점이다. 대외적으로는 중국을 비롯한 동북아 경제권의 급부상과 남북통일로 인한 이동거리 증대에 대비한 고속도로 기술발전에 대한 장기비전과 추진전략이 필요한 시점이다.

따라서 그동안 여러 기관별로 분산되던 연구를 실용화가 가능한 Test Bed형 사업단으로 연구를 수행하고, 타 산업 분야와의 융복합을 이루고 중장기 국가발전전략을 실현하기 위해 「스마

트하이웨이사업단」을 국토해양부산하 건설교통기술평가원의 VC-10과제로 추진하게 되었다. 이를 통해 과거 경부고속도로 개통이 우리나라 산업발전의 기반이 되었듯이 스마트하이웨이 기술 개발의 확립을 통해 차세대 국가 신성장 동력으로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

본고에서는 스마트하이웨이사업에 관한 개요를 설명하고, 차세대 고속도로인 스마트하이웨이 구축을 위해 필요한 콘크리트의 향후 발전방향을 논하도록 하겠다.

2. 스마트하이웨이사업 소개

2.1 사업의 필요성

고속도로 이용자의 요구에 부합하는 고기능 도로 개발이 필요하게 되었으며, 이들 필요성을 네가지 측면에서 기술하면 다음과 같다.

이용자 측면에서는, 첫째 언제 어디서나 지정체 없는 정시성 도로를 필요로 하며, 둘째 어떠한 환경에서도 현재 여건에 맞는 실시간 맞춤형 교통정보 제공을 원하며, 셋째 전천후주야간으로 안전하게 운전할 수 있는 도로를 원하며, 넷째 고령화 사회의 노약자와 같은 교통약자들도 안전하게 운전할 수 있는 도로시설이 필요하다.

공급자 측면에서는, 첫째 도로건설로 인한 과도한 국가예산 소요, 수도권 지역의 경우 도로이용 토지의 감소, 도로건설로 인한 환경파괴로 인한 부정적 인식 등으로 인해 단순한 기존 고속도로의 공급보다는 고효율과 친환경을 만족하는 고기능 도로가 필요하며, 둘째 동북아 경제권의 도로기술 수출을 위해서는 국내 도로 기술력의 랜드마크(landmark)화가 가능한 고기능 고속도로의 개발 필요성이 있다.

관련기술 분야 측면에서는, 첫째 하이브리드차량과 같은 친환경 자동차 기술발전으로 인해 화석연료 사용이 줄게 되고 자동차의 탄소배출량에 대한 환경적 문제를 해결할 수 있으며, 둘째 차량의 충돌을 사전에 예방하는 안전도가 높은 지능형 자동차 기술 발전으로 인해 주행안전성이 크게 향상되고 있으며, 셋째 유비쿼

* 정회원, 스마트하이웨이사업단 단장
koil@freeway.co.kr

** 정회원, 스마트하이웨이사업단 기술3팀장

터스와 같은 세계적인 IT기술을 보유하고 있어 차량내에서도 각종 정보 송수신이 가능한 기술이 개발되고 있어, 이들 관련기술을 수용할 수 있는 고기능도로의 개발이 필요하다.

선진국 대비 기술수준 측면에서는, 첫째 도로기술은 60~70% 수준이고, 둘째 도로 및 교통 운영시스템은 50~60%수준이고, 셋째 자동차 기술은 50% 정도에 머물러 있어 한단계 기술 발전을 유도할 수 있는 고속도로가 필요하다.

2.2 사업 개요

스마트하이웨이의 정의는 “첨단 IT, 자동차 및 도로기술이 상호 융합되어 실시간 쌍방향 정보통신과 non stop & gate가 구현되며 전천후, 주야간 안전 지원 기술로 최적의 교통류가 확보되는 설계속도 160 km/hr의 지능형 고속도로”이다. 사업의 비전은 “삶의 질 향상을 위한 가치창조형 미래도로 건설”이며, 사업 목표는 아래 <그림 1>과 같이 “지능형, 안전한, 신속한 도로”이다.

스마트하이웨이사업은 국토해양부산하 건설교통기술평가원의

VC-10과제로 선정되어, 2008년 3월 상세계획을 완료 후 연구 수행기관을 선정하여, 2017년까지 향후 10년간 1,880억원을 투입하여 1개의 총괄과제와 4개의 핵심과제로 아래 <그림 2>와 같은 체계로 진행되고 있다.

2.3 주요 연구과제

스마트하이웨이사업의 연구과제는 총 48건으로 분야별 주요 연구내용을 기술하면 아래 <표 1>과 <그림 3>과 같다. 이들 연구과제는 “안전성, 신속성, 기능화”의 3대 목표를 추구하기 위한 연구과제로서, 보다 자세한 내용은 “스마트하이웨이사업단 상세기획보고서”에 기술되어 있다.

3. 콘크리트 발전 방향

스마트하이웨이사업은 기존 고속도로의 도로기술의 한계점을 뛰어넘고 발전하는 자동차 및 IT기술을 접목하여 보다 안전하고,

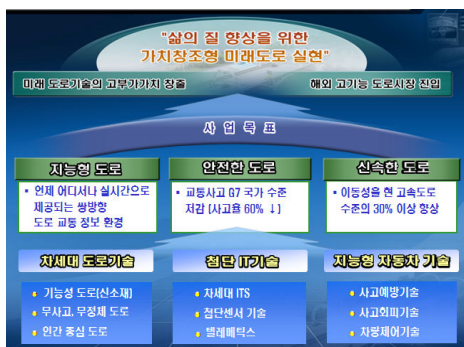


그림 1. 비전 및 목표



그림 2. 연구수행 체계도



그림 3. 주요 연구과제 체계도

표 1. 분야별 연구 내용

분야	연구 내용	기타	
차세대 도로기반 기술	<ul style="list-style-type: none"> Smart highway 안전시설 개발연구 자연에너지의 도로시설 활용방안 연구 Smart highway 포장 기능성 향상 및 유지 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 운전자 안내 및 식별기법 다양화 연구 구조물 구간의 주행성 증진방안 연구 	핵심1
무정체무사고 지향 도로관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 스마트하이웨이 교통류 해석 및 평가기술 개발 Network 기반 최적 교통류 유지 및 제어기술 개발 특수 상황시(악천후, 재해, 교통사고 등) 교통류 관리기술 개발 	순찰차량 탑재 노면정보 수집용 시스템 개발	핵심2
Seamless 쌍방향 정보통신환경 구현 기술	<ul style="list-style-type: none"> 노면 중계시스템 및 연속적 정보교환 기술 개발 Call & response 환경 콘텐츠 및 차량용 단말 시스템 개발 		핵심2
Smart tolling system 기술	<ul style="list-style-type: none"> Smart tolling을 위한 정산 및 통신 시스템 개발 Smart highway 진출입 차량 원격관리시스템 개발 규제차량(과적, 미납 차량 등) 인식 및 처리기술 개발 		핵심2
지능형 도로교통 통합관리시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> Smart highway 유지관리 시스템 개발 개해-제난 대처기법 및 특수상황시 교통관리시스템 개발 	지능형 통합관리센터 구축	핵심1
지능형 자동차 지원 및 도로 연계 기술	<ul style="list-style-type: none"> 자동차 주행로 이탈예방 및 합류부 차선변경 지원 기술 연쇄사고 예방 지원을 위한 긴급상황 전송 기술 	미래형 자동차 자율주행 및 제어지원 기술 개발	핵심3
악(惡) 기상 환경 안전주행 지원기술	<ul style="list-style-type: none"> 안개, 강풍, 강설 대비 도로시설물 개발 기능성(배수성, 소음, 미끄럼 저항) 포장 개발 배수시설 성능향상 및 debris flow(토석류) 방지기술 	레이다를 이용한 전천후 도로관제시스템 개발 안개소산, 결빙제거용 첨단차량 개발	핵심3 핵심1
Good design highway 기술	<ul style="list-style-type: none"> 조형미를 감안한 스마트 하이웨이 경과 평가와 설계 기술 운전자 심리를 고려한 터널 설계기술 		핵심1
경제적인 사업관리기법 도입	<ul style="list-style-type: none"> Smart highway VE도입 및 확대적용 방안 연구 Smart highway 사업화 및 추진전략 연구 		총괄
관련 법령 및 제도 개선	<ul style="list-style-type: none"> 지능화를 고려한 도로 구조 시설 기준 정립 도로교통법, 교통안전법, 고속국도법 등 도로관련 법령 검토 	전과법, 전기통신사업법 등 연관법령 검토	총괄
Smart highway test Bed 구현	<ul style="list-style-type: none"> Smart highway 실행방안 및 사업화 전략 연구 Smart highway Test Bed 관리 및 모니터링 기법 연구 R&D 성과의 설계적용 방안 연구 	Test Bed 통합관리센터 구축	핵심4

신속하며, 지능화된 고속도로를 만들고자 하는 연구 사업이다.

지난 30여년간 고속도로에 이용되는 콘크리트구조물로는 포장, 교량, 터널 및 옹벽과 같은 부대시설이 있다. 이들 콘크리트구조물에 대한 설계 및 시공방법은 많은 발전이 있었음에도 불구하고, 최근의 고성능화 되어가는 콘크리트 발전추세에 부응하고 있지 못한 실정이다.

연구 과제를 진행하면서 또는 스마트하이웨이 Test Bed 설계 및 시공을 통해 특성에 맞는 다양한 콘크리트의 적용 필요성이 대두되었지만, 여기에서는 향후 스마트하이웨이의 핵심가치인 “안전성, 지속가능성, 이동성, 지능성, 정시성, 미래지향성, 쾌적성”을 만족하기 위한 콘크리트의 요구 특성들에 대하여 간단히 기술토록 하겠다.

3.1 고강도 및 고내구성

현재 고속도로의 콘크리트 포장, 터널 및 교량의 강도는 <표 2>와 같다. 삼선건설에서 시공하고 있는 세계최고의 초고층 건축물 버즈 두바이에 쓰이는 콘크리트 압축강도는 150 MPa이며, 최근 고강도콘크리트에 관한 체계적인 기술개발로 70 MPa급 고강도콘크리트를 개발 완료하였고 현장에서도 용이하게 고강도 콘크리트 공사를 수행할 수 있는 고강도콘크리트 시공지침안도

표 2. 콘크리트구조물의 강도 기준

콘크리트구조물		강도 기준(MPa)	비고
포장	포장	4.5	휨강도
	터널	24	압축강도
교량	바닥판	27	압축강도
	PC빔	40	압축강도

발간된 상태이다. 따라서 고강도콘크리트의 적용이 고성능 고속도로에 도움이 된다고 판단하면 이에 대한 심도 깊은 연구와 적용이 필요한 시점이다.

스마트하이웨이사업의 “이동성, 정시성” 등의 핵심가치 구현을 만족할 수 있는 콘크리트의 요구 특성은 콘크리트의 고강도 및 고내구성이 될 것이다. 콘크리트 포장과 교량의 노출식 바닥판 콘크리트는 차량의 하중 및 염화물 등에 직접적으로 노출되는 구조물로서 내하력과 내구성을 필히 겸비하고 있어야 한다. 스마트하이웨이는 160 km를 설계속도로 하고 있으며, 악천후에도 안전하게 주행할 수 있는 도로여건을 구비하고 있어야 한다. 일반 고속도로와 달리 주행속도가 빨라지게 되면 중차량에 의한 충격이 가중되게 될 것이며, 이를 경우 콘크리트 포장 또는 교량의 내하력 증진을 위해 강도 증진 또는 두께 증가가 있어야 할 것이다. 또한 주행속도가 빨라지게 되면 미끄럼 방지를 위한 표면 그루빙의 효과도 저속인 경우보다 빨리 떨어지게 되므로, 콘크리트 포장의 표면

마모 강도를 증진을 위한 방안이 마련되어야 할 것이다.

스마트하이웨이는 눈이 오는 악천후에도 정시성을 보장하여야 하는 고급 도로이므로, 기존의 고속도로보다 더 많은 염화물을 사용하게 될 것으로 예상된다. 이로 인해 콘크리트 내구성이 증진되어야 할 것이며, 내구성 증진을 위해 고강도화에 대한 필요성이 검토되어야 할 것이다. 노출식 콘크리트 바닥판의 경우 콘크리트 포장보다 더욱 열악한 조건에 있기 때문에, 내충격 및 내염화물에 대한 조건을 만족하기 위한 검토가 반드시 필요할 것이다.

습염식 염화물의 사용으로 인해 기존 콘크리트구조물의 염화물에 의한 열화가 현재에도 문제시되고 있으므로, 향후 스마트하이웨이에서는 반드시 내염화성이 콘크리트의 적용이 중요할 것이다.

고강도 및 고내구성을 발휘하기 위한 접근방법은 시멘트량을 증가시키거나, 플라이애쉬, 고로슬래그, 실리카폼과 같은 포졸란계 혼화제를 사용하거나, 폴리머 콘크리트와 같은 특수시멘트를 사용하는 등이 있다. 최근에는 첨단 나노기술을 이용한 나노 촉매제를 넣은 슈퍼 콘크리트의 개발로 자중결함 및 동결기 공사에도 영향을 받지 않는 기술로서, 국내 양평동 선유교에도 적용된 사례가 있다. 각각의 방법에 따라 장단점이 있으므로 스마트하이웨이 구축 목적에 맞는 심도 깊은 연구가 필요할 것이다.

3.2 쾌적성 및 친환경성

스마트하이웨이사업의 “안전성, 쾌적성, 미래지향성” 등의 핵심 가치 구현을 만족할 수 있는 콘크리트의 요구 특성은 콘크리트의 고기능화가 될 것이다. 고기능 콘크리트에 대한 많은 발전이 있었으나, 환경적·구조적·미적 측면에서의 기능 개선은 아직 미흡한 실정이다.

160 km 설계속도인 초고속의 스마트하이웨이에서 운전자의 사용성(serviceability)을 만족하기 위해서는 콘크리트 포장의 평탄성, 미끄럼 및 소음도가 양호하여야 할 것이다. 아무리 기하구조가 우수하더라도 운전자의 사용성 지수를 만족하지 못하는 콘크리트 포장이라면 스마트하이웨이가 될 수 없을 것이다.

콘크리트 포장은 아스팔트 포장보다 차량 타이어와의 마찰로 인한 소음이 매우 커 콘크리트 포장의 높은 경제성에도 불구하고 이용자들의 선호도에서 밀리고 있는 실정이다. 저소음 아스팔트 포장과 같은 효과적인 콘크리트 포장공법에 대한 심도 깊은 연구가 필요한 실정이다.

스마트하이웨이는 미적으로 아름답고 친환경성을 추구하고 있으므로, 단순한 콘크리트구조물보다는 고속도로 조형경관과 상응할 수 있는 미적·환경적으로 앞서가는 콘크리트구조물 설계기술 개발이 필요하다.

이와 관련한 유사 연구내용으로는 최근 관심이 고조되고 있는 스마트 콘크리트는 자기진단과 복구 기능을 갖는 새로운 건설재

료와 광섬유, 압전센서 등의 스마트센서의 개발, 외부와 내부의 변화에 대한 감지기능, 평가기능 및 대응기능을 갖는 기술에 대한 것이다. 그 중 마이크로캡슐을 시멘트페이스트, 마감용 모르타르, 콘크리트에 혼입시켜 자기치료용 보수 기능을 갖는 기술도 개발된 상태이다. 바이오 콘크리트는 알칼리성 환경하의 박테리아를 콘크리트 배합에 이용하여 콘크리트의 재질, 공기정화 및 향균 등의 효과를 볼 수 있다.

4. 맺음말

스마트하이웨이 기술이 개발되면 기존 고속도로의 지정체 문제를 해소하고 도로기술 개발을 통한 질적 서비스 향상이라는 기본적인 목표를 달성하는 것 외에도 세계 최고수준의 IT기술을 바탕으로 도로인프라와의 발전과 병행하여 자동차기술, 정보통신기술 및 첨단소재기술 등의 경쟁력 강화를 지원하는 등 2차, 3차의 파급효과가 기대된다. 특히 최근 침체되고 있는 국내 도로산업을 활성화하고 스마트하이웨이를 패키지 상품화하여 세계 고기능 도로 시장 공략, 아세안 하이웨이 등 신규 도로시장 진출의 기회가 확대될 것으로 생각하고 있다. 이와 같은 전체산업 분야의 동반성장에 보조를 맞추기 위해서는 콘크리트 재료 및 시공기술의 발전이 필요하며, 이를 통해 운전자의 쾌적성, 안전성, 이동성을 한단계 발전시킬 수 있기를 기대한다.

스마트하이웨이사업단은 미래사회의 변화요구에 맞는 미래 도로기술 발전방향으로 체계적으로 연구와 실용화를 추진하여, 개발된 도로기술이 미래사회 성장엔진으로서의 역할을 수행할 수 있도록 열과 성을 다할 예정이며, 본 사업이 성공적으로 추진될 수 있도록 유관기관 및 도로교통 정보 통신분야 등 산·학·연·관 전문가의 적극적인 참여와 관심 부탁드립니다. □

참고문헌

1. 최고일, “스마트하이웨이 상세기획 연구보고서,” 2008.
2. 한국도로교통협회, “스마트하이웨이사업단 사전기획연구 최종보고서,” 2007.
3. 김정환, 이교일, “혼합시멘트의 필요성,” 콘크리트학회지, 20권, 3호, 2008, pp. 10~12.
4. 김화중, “고기능성 콘크리트의 개발,” 콘크리트학회지, 20권, 3호, 2008, pp. 8~9.
5. 양인환, 조대연, “국가 건설교통 R&D 추진 전략 및 전망,” 콘크리트학회지, 20권, 1호, 2008, pp. 12~16.