

1.1 과제 정의

□ 핵심1과제의 정의

- SMART Highway가 추구하는 목적(신속한 이동, 정시성 확보, 주행쾌적성, 안전성, 친환경성) 실현을 위하여 반드시 필요한 Hardware 측면의 도로 기반시설을 개발·구축하는 과제이다.
- 본 핵심1과제는 “SMART Highway 도로 기반시설 핵심기술 개발”로서 SMART Highway가 요구하고 있는 안전성과 친환경적인 도로건설, 효율적 유지관리를 감안한 도로 기반시설과 시스템 구축, 그리고 인간공학 측면에서의 운전자 주행 쾌적성까지도 확보하기 위하여 실제 적용이 가능한 최첨단 토목기술을 연구하고 개발하는 과제이다.
- 본 과제 연구를 통하여 도로를 구성하는 Hardware 측면의 도로건설 및 유지관리의 지능화 분야를 보다 진보적이고 획기적으로 개선하게 될 것이다.

1.2 비전 및 목표

1.2.1 비전

- 안전성과 쾌적성이 확보된 운전자 중심의 주행공간 실현
 - * 자동차의 이동만을 목적으로 하는 현재의 도로보다는 Humanism이 융화되어 교통약자를 비롯한 인간중심의 미래사회를 대비할 수 있는 도로기반시설 구축

1.2.2 목표

- 아름다움과 환경을 접목한 차세대 도로 설계기술 개발
- SMART Highway 안전성 향상을 위한 기술개발
- 주행 쾌적성 확보를 위한 신개념 포장과 구조물 설치기술 개발
- 도로기술과 첨단IT를 융합한 첨단관리체계 구축

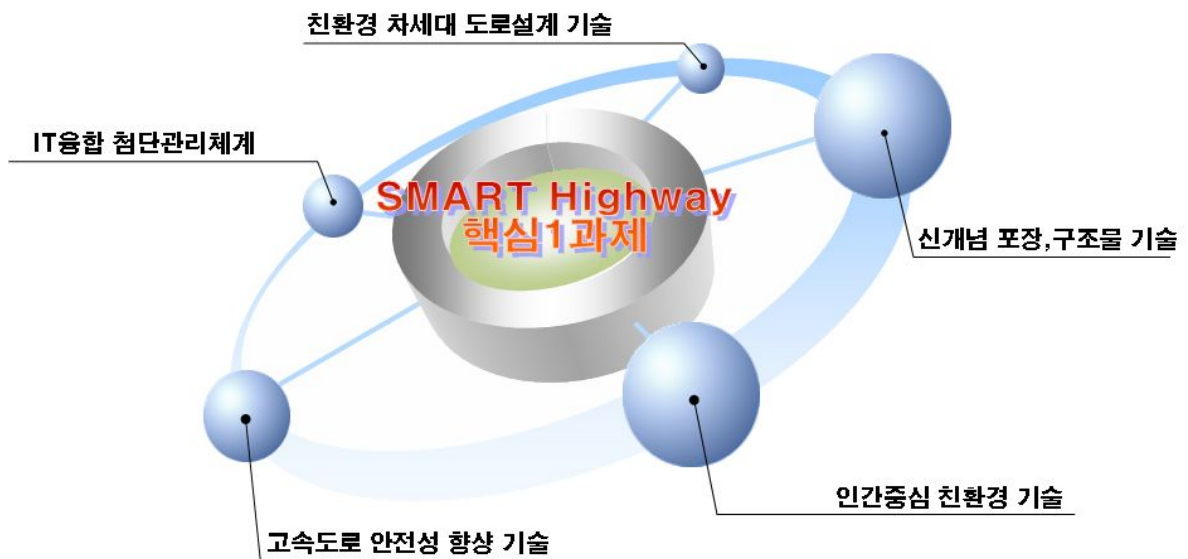


그림 1-1 핵심1과제 목표 연계성

1.3 상세기획 연구

1.3.1 상세기획위원회 구성 및 운영

사전기획과제에서 수립된 핵심과제별 세부 연구과제의 구체화와 경쟁력 있는 핵심 주관기관 선정을 위한 RFP보완 등을 위해 약 3개월간 상세기획연구를 시행하였다.

SMART Highway 핵심 1과제인 『SMART Highway 도로기반시설 핵심기술 개발』의 공정하고 합리적인 운영을 위해 2007년 11월 24명의 교통, 안전, 포장, 토질, 구조, 유지관리, IT등 관련분야 전문가들로 구성된 상세기획 위원회를 구성하였다.

상세기획 연구의 내용은 핵심과제별로 세부과제 연구내용을 구체화하기 위하여 세부과제별로 연구목표, 내용, 일정, 예산, 연구 추진체계 등을 결정하였으며, 연구기관 선정방법의 적정성 등을 검토함으로써 핵심 과제의 RFP를 작성, 연구추진체계를 검토하는 것이다. 상세기획연구의 필요성 및 목표, 내용 등은 다음과 같다.

상세기획내용	필요성	목 표	내 용
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 핵심과제별 세부과제 구체화 ▪ 사전타당성 조사 ▪ 핵심과제 RFP 작성 ▪ 연구추진체계 검토 	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심과제-세부과제 연구 내용 구체화 • 세부과제별 연구목표, 내용, 일정, 예산, 추진 방안 등의 상세 기획 • 사업 위험요인 사전제거 • 연구기관 선정 적정성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 세부과제 내용 구체화 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심과제(연구단)-세부과제- 세세부과제(연구실)- 개별과제(연구자) 도출 - 도출과제의 RFP 작성 ▪ 연구추진 목표의 명확화 	<ul style="list-style-type: none"> • 목적, 필요성, 기대효과 • 세부연구조직 • 개별과제 목표, 필요성, 내용 • 개별과제의 추진일정 • 개별과제의 기술적용 분야 • 개별과제 연구원료 성과물 • 테스트베드 적용 방법

그림 1-2 상세기획연구 필요성 및 목표

상세기획위원회는 2회의 워크샵 및 9차에 걸친 회의를 통해 세부과제에 대한 다양한 의견수렴을 통해 객관성 및 공익성 높은 세세부 연구과제를 도출하는 역할을 수행하였다. 또한 도출된 연구과제에 대한 정책 및 기술검토 등을 수행하였다.

또한, 상세기획위원회를 통해 결정된 연구내용들에 대해 타 핵심과제 상세기획위원들을 포함한 여러 전문가들과 중복성 검토 및 의견수렴 등을 실시하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 건설교통기술평가원 기획위원회와 공청회를 통해 전문가 및 일반시민의 의견을 최종적으로 조율하여 과제내용을 확정하였다.

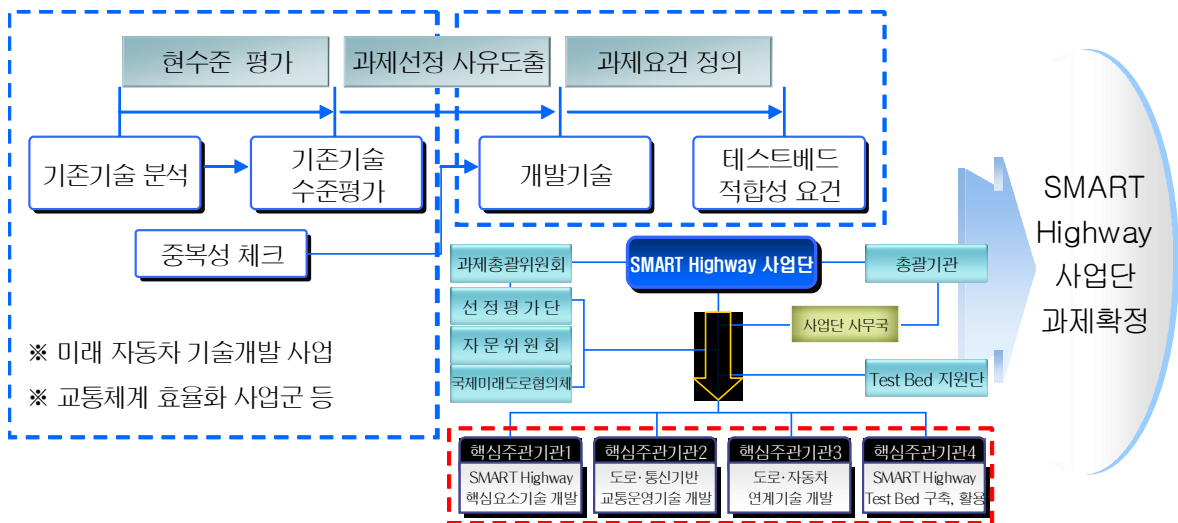


그림 1-3 상세기획연구방법

1.3.2 세부과제 도출

연구목표를 달성하기 위하여 상세기획위원회를 구성하여 사전기획 당시의 세부과제와 세세부과제를 면밀히 검토 후 SMART Highway 핵심가치와의 연계성을 파악하여 선정 및 조정과정을 거쳐 세부과제를 도출하였다.

선정된 과제들은 다음과 같은 가치사슬 방식에 의해 검증하였다.

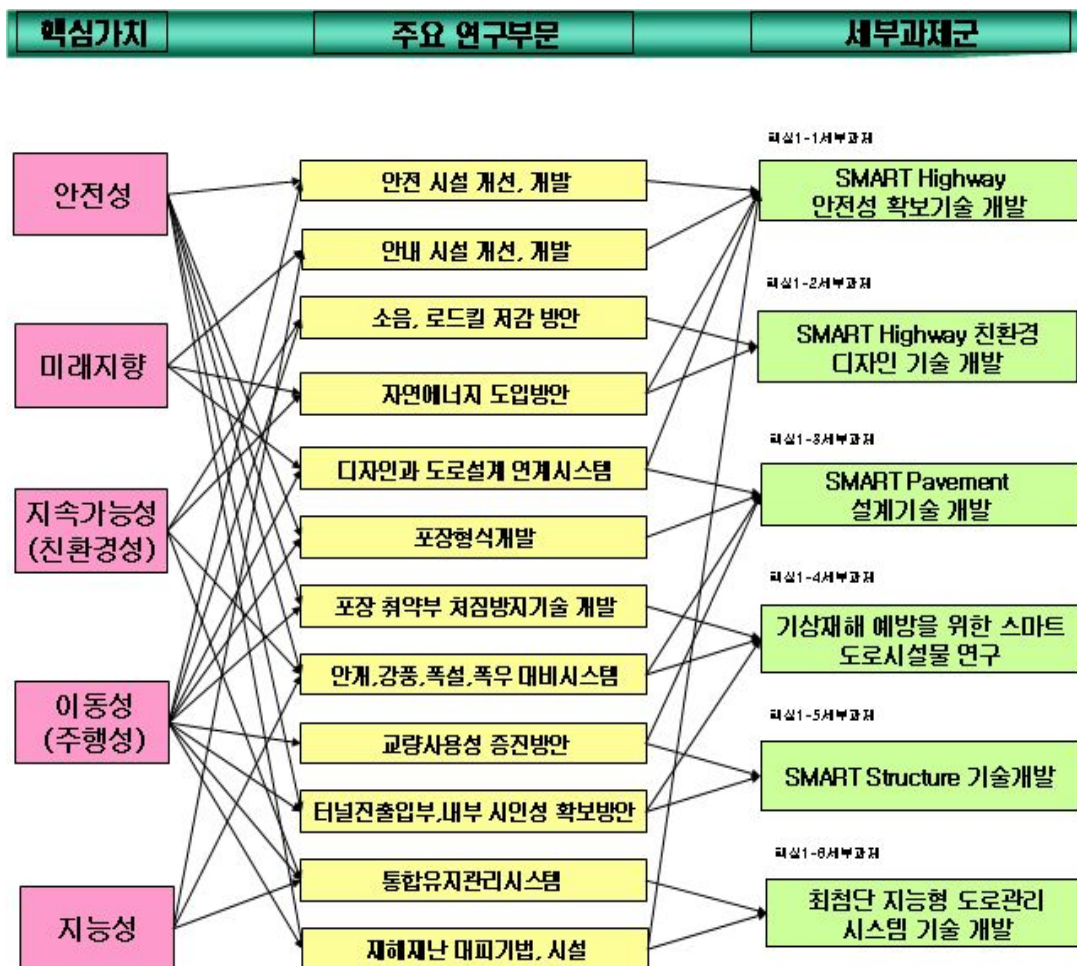


그림 1-4 가치사슬(Value Chain)에 의한 과제검증

1.3.3 과제선정 결과

상세기획을 통해 6개의 세부과제가 선정되었고 세부과제 목표를 달성할 수 있도록 세부과제별로 세세부과제 15개를 선정하였으며, 이를 정리하면 다음 표와 같다.

표 1-1 핵심1과제의 세부과제 및 세세부과제 선정결과

SMART Highway 도로기반시설 핵심기술 개발[핵심1과제]			
1-1 SMART Highway 안전성 확보기술 개발	1-1-1	스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구	
	1-1-2	스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내기법 연구	
1-2 SMART Highway 친환경 디자인 기술 개발	1-2-1	스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구	과제명 변경
	1-2-2	자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구	
	1-2-3	스마트하이웨이 디자인 기술 개발	
1-3 SMART Pavement 설계기술 개발	1-3-1	스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구	
	1-3-2	도로 구조의 내구성 확보기술 개발	
	1-3-3	스마트하이웨이 주행환경을 고려한 포장성능 평가방안 연구	
1-4 기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구	1-4-1	안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구	
	1-4-2	강우대비 도로 배수시설 성능개선방안 연구	삭제
	1-4-2	강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구	
1-5 SMART Structure 설계기술 개발	1-5-1	교량 사용성 증진을 통한 주행 쾌적성 확보기술 개발	
	1-5-2	터널 진출입부 및 내부 주행시 운전자 시인성 확보방안 연구	삭제
1-6 최첨단 지능형 도로관리 시스템 기술 개발	1-6-1	스마트하이웨이 통합유지관리 시스템 개발	
	1-6-2	재해재난 발생시 대처기법 및 대피시설 설치방안 연구	삭제

표 1-2 연구과제 조정 결과

사 전 기 획 연 구		상 세 기 획 연 구		조정사유 (세세부과제)
세부과제 (5개)	세세부과제(23개)	세부과제 (6개)	세세부과제(15개)	
주행공간 안전·쾌적화 기술 개발	고속주행에 적합한 도로안전시설 개발 【1】	스마트하이웨이 안전성 확보기술 개발	스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구	-
	고속주행 환경에 적합한 시인성 최적화기술 개발 【2】		스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내방법 연구	【2+4】 과제 통합, 추가
	고속주행 안전향상을 위한 방풍 대책 기준 개발 【3】		스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구	【6+7】 과제 통합, 추가(과제명 변경)
	초고속 환경에서의 운전자 감성인지 반응 평가 시스템 개발 【4】	SMART Highway 친환경 디자인 기술 개발	자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구	과제 추가
	터널 환경 위화감 개선기술 개발 【5】		스마트하이웨이 디자인 기술 개발	과제 추가
	유지관리를 고려한 고기능성 방음벽 기술 개발 【6】			
	로드킬 방지시설 개발 【7】			
초고속 주행환경 노면최적화 기술 개발	다기능 발열 콘크리트 포장기술 개발 【8】	SMART Pavement 설계기술 개발	스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구	【10】 과제명 변경, 추가
	다기능 차체 융설 아스팔트 포장기술 개발 【9】		도로구조의 내구성 확보기술 개발	【12+15】 과제명 변경, 추가
	특수구간 포장 기술 【10】		스마트하이웨이 주행환경을 고려한 포장성능 평가방안 연구	과제 추가
도로지반 및 사면 안정화기술 개발	한국형 말뚝기초 수평지지력 설계기준 연구 【11】	기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구	안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 개발	【3】 과제명 변경, 추가
	비압축성 뒷채움기술 개발 【12】		강우대비 도로 배수시설 성능개선방안 연구	【14】 과제명 변경 추가(삭제)
	다기능 고심도 사면보강공법 개발 【13】			
	산마루측구 대체기술 개발 【14】		강설대비 도로시설물 및 운영방안 연구	【8+9】 과제통합, 추가
도로 구조물 성능향상 기술 개발	범용성 무조인트 장경간 교량 개발 【16】	SMART Structure 설계기술 개발	교량 사용성 증진을 통한 주행쾌적성 확보기술 개발	과제 추가
	곡선을 가미한 장경간 PSC 1형 거더교량 개발 【17】			
	FRP 철근을 이용한 신(新)교량 개발 【18】			
	프리캐스트 콘크리트 접착재 개발 【19】			
	조형미를 강조한 프리캐스트 콘크리트 지중구조물 개발 【20】			
도로관리 첨단화기술 개발	시설물 공용성 극대화를 위한 예방적 유지관리공법 개발 【21】	최첨단 지능형 도로관리 시스템 기술 개발	스마트하이웨이 통합 유지관리 시스템 개발	【21+22】 과제 통합
	예방적 유지관리시스템 구축기술 개발 【22】		재해재난 발생시 대처방법 및 대피시설 설치방안 연구	【23】 과제명 변경, 추가(삭제)
	재해재난 예측관리 시스템 구축기술 개발 【23】			

1.3.4 현 도로의 문제점분석 및 연구 필요성(세부과제별)

세부과제	문제점 분석	연구 필요성
SMART Highway 안전성 확보기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 안전시설 : <ul style="list-style-type: none"> - 고속화를 추구하는 자동차 기술과 운전자 심리 미반영 - 충돌속도 60-80km/hr로 설계 안내시설(표지판) : <ul style="list-style-type: none"> - 도로 이용자 대부분 표지판에 의존 - 야간, 악천후시 효율적인 안내 불가 - 교통약자에 대한 고려 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트하이웨이 주행에 맞도록 안전시설 개량 및 개발 필요 • 현재 사용되고 있는 안전시설에 대한 성능평가 및 보강공법 개발 필요 • 표지판과 지능형시스템을 연계하는 등 효율적으로 안내할 수 있는 방안 모색 • 고령화 등 미래사회의 교통약자를 고려한 안내기법 연구 필요
SMART Highway 친환경 디자인 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 환경관련 법규에 의한 수동적인 환경요소 고려 • “도로건설=환경파괴” 이미지 • 환경문제를 해결하고자 하는 국제 Trend 경시풍조 • 경제성 및 관리자 위주의 도로설계로 인간적인 요소 미반영 	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트하이웨이 주행에 따른 소음환경피해 및 로드킬 방지기법 연구 필요 • 자연에너지를 도로시설물에 활용하는 기술 개발 필요 • 설계단계부터 환경, 경관, 조형미, 문화 등 각종 어메니티 자원을 활용할 수 있는 방안 연계 필요
Smart Pavement 설계기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 도로의 구간별(sag부, 상승결빙부, 도시인접구간 등) 특성을 감안하지 않은 획일화된 포장형식 적용->공급자 중심의 설계 • 특정구간 노면상태 불량구간 발생시 운전자 주행쾌적성 저하 및 안전성 확보 곤란 • 스마트하이웨이 주행환경에 맞고 안전을 고려할 수 있는 포장형식 결정 및 평가방법 부재 	<ul style="list-style-type: none"> • 구간별 특성을 감안한 최적의 포장공법을 적용 또는 개발하여 운전자 주행쾌적성과 안전성을 확보 필요 • 평탄성 저하구간에 대한 근본적인 대책을 마련하여 안전성 확보 필요 • 스마트하이웨이 주행 환경에 적합한 포장성능 평가기술 개발 필요
기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 최근 기상이변으로 인한 피해가 속출하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 안개 : 서해대교 참사 - 강설 : 경부고속도로 도로차단 • 예방시설에 대한 연구가 일부 이루어지고 있으나 초보적인 단계 수준임 	<ul style="list-style-type: none"> • 이상기후에 대응 가능한 시설 개발 필요 • 이상기후 발생시 체계적인 대처기법에 대한 연구 필요

세부과제	문제점 분석	연구 필요성
<p>Smart Structure 설계기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 차량 주행시 교량과 도로접속부, 상부구조 연결부 등에서 진동과 소음이 발생 <ul style="list-style-type: none"> - 운전자 : 주행쾌적성 저하 - 도로주변 : 소음으로 인한 생활환경 쾌적성 저하 - 도로관리자 : 교량 구조물의 피로누적에 따른 잦은 유지보수와 이에 따른 비용 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 사용성(진동, 소음, 처짐, 피로 등) 증진기술 개발 필요
<p>최첨단 지능형 도로관리시스템 기술개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 터널, 사면, 포장 등 유지관리시스템이 별도로 운영되고 있어 효율성 저하 <ul style="list-style-type: none"> - BMS, PMS, TMS 등 • 일반적으로 도면, 대장 활용 및 DB관리 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리시스템 통합운영 방안 마련 필요 • 관리자와 이용자 편의 증대를 위한 효율적인 관리방안 마련 필요

1.4 추진전략

1.4.1 단계별 추진전략

장기간 시행(10년)되는 사업임에도 불구하고 핵심과제의 특성상 전반기 중에 주요 핵심요소기술에 대한 개발이 이루어진 후 후반기에는 테스트를 통해 기술에 대한 검증과 평가가 이루어지는 과정을 수행하게 된다.

연구수행 단계는 4단계로 나누어, 요소기술검증(2년) → 핵심기술개발(3년) → 핵심기술 적용(3년) → 요소기술 검증(2년)을 거쳐서 SMART Highway의 도로기반의 핵심기술을 확보한다. 각 단계별 추진과정은 다음 그림과 같다.

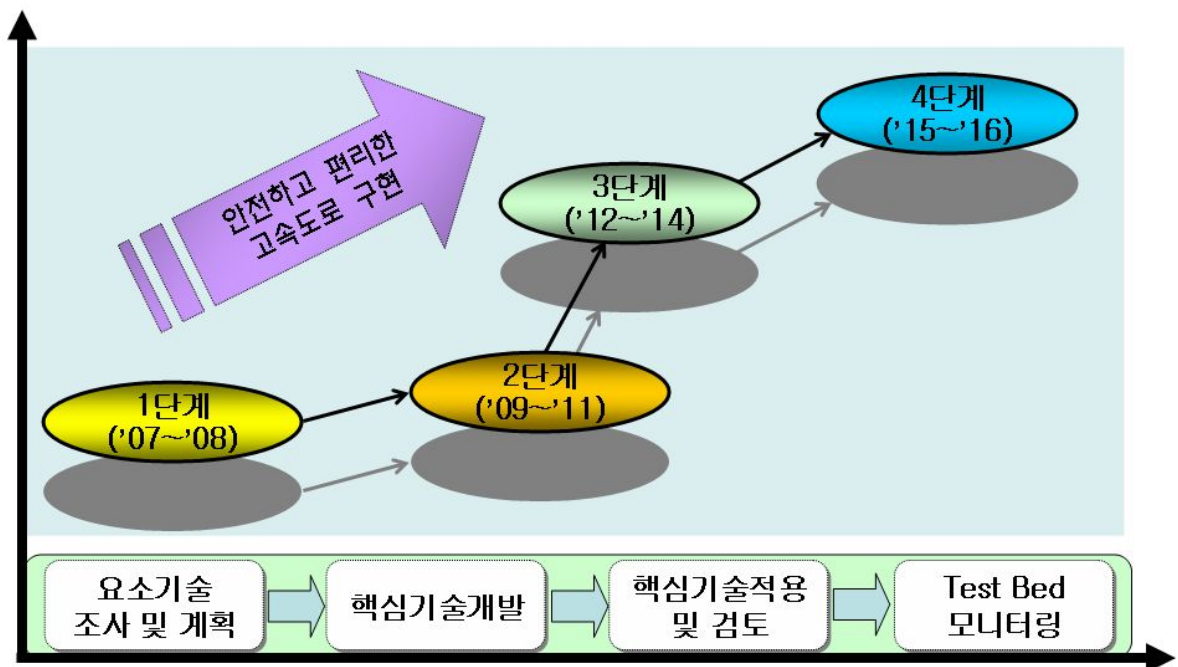


그림 1-5 핵심1과제 단계별 추진전략

1.5 국가 R&D과제와의 중복성 검토

1.5.1 과제중복성 검토

스마트하이웨이 사업이 미래 지향적이고 독창적인 연구 수행 및 실용화 사업이 될 수 있도록 국가 R&D과제와의 중복을 검토하고 분석하였다.

중복성 검토는 기 연구되거나 실용화를 위한 사업을 대상으로 하였으며 주관 기관(건교부 및 정부부처, 공공 및 연구기관)별로 스마트하이웨이사업단 연구 항목의 유사성을 비교하고 그 차별성을 분석하는 방식으로 검토를 수행하였으며 그 결과를 다음의 표로 정리하였다.

스마트하이웨이 사업이 차별성 있는 연구과제가 선정 될 수 있도록 검토하였으며 유사과제와의 검토 후 연관성이 있는 경우 개발물의 특성과 시기를 감안하여 연계 검토 및 활용 될 수 있는 경우를 고려하여 적용하였다.

스마트하이웨이 사업단 과제			유사 국가 R&D 과제		차별성
세부과제명	세세부과제명	주요내용	과제명	주요내용	
1-1 SMART Highway 안전성 확보기술 개발	1-1-1 스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구	- 스마트하이웨이 주행 환경(140km/hr이상의 설계속도)에 적합한 안전시설 개발	토목섬유를 이용한 저비용 충격흡수시설 개발 연구 (한국건설기술연구원)	- 토목섬유를 활용한 시제품 제작 및 실험차량 충돌시험 - 실험차량 충돌시험 결과에 의한 설계 보완 - 시공 및 유지관리 방안제시	- 속도상향에 따른 계반 조건을 만족할수 있는 설계조건과 신규 안전시설, 기준개발에 중점을 두고 수행하는 것이 내용상 다름
	1-1-2 스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내방법 연구	- 고속주행 환경하에서 의 스마트하이웨이 운전자의 효율적인 안내방법 연구 - 안내방법 다양화를 통한 시인성 증대방 안 연구	도로안내표지 문안규격 적정성에 관한 연구 (도로교통연구원)	- 도로 운전자의 시인성 확보를 위한 문안 크기 등 규격 확보 방안 연구	- 속도상향에 따른 운전자 주행습성을 분석하고, 신 소재 활용 등에 따른 신 규 안내시설, 기준을 개발하고 적용성을 검증 하는 것이 내용상 다름

스마트하이웨이 사업단 과제			유사 국가 R&D 과제		차별성
세부과제명	세세부과제명	주요내용	과제명	주요내용	
1-3 Smart Pavement 설계기술 개발	1-3-1 스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구	- 스마트하이웨이 이용자의 주행 쾌적성 확보는 물론, 포장의 내구성, 기능성 향상을 목적으로 포장공법 결정 및 개발을 하는 과제	장수명, 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발 (도로교통연구원)	<ul style="list-style-type: none"> - 환경친화적 고강성 포장 시스템 개발 - 고내구성 포장신재료 및 복합 응용기술 개발 - 도로포장의 첨단 시공관리 기술 개발 - 도로포장 유지관리 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 유사과제는 현재 과제가 진행 중에 있으며 앞서 연구된 과제들을 통합하여 실용화 할 수 있는 방안을 수립하고 연구하는 과제이나, 본 연구에서는 스마트 하이웨이 주행성 확보를 위하여 구간별(일반부, 교량부, 터널부, IC/Jct, Sag 부 등) 최적 포장 공법 결정 및 개발하는 것이 내용상 다름 - 적용 가능한 부분은 연계 활용할 계획임
			장수명 아스팔트 포장공법 개발 (세종대학교)	<ul style="list-style-type: none"> - 장수명 포장의 수명주기 비용 분석 - 현장시공 및 결과 분석 - 공용성 및 경제성을 고려한 장수명 포장의 최적단면 최종안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 유사과제는 아스팔트 포장 기층보강 등을 통하여 아스팔트 포장의 내구성 증진이 목적이거나, - 본 연구에서는 스마트 하이웨이 주행성 확보를 위하여 구간별 최적 포장 공법 결정 및 특수구간 포장방법을 개발하는 것이 내용상 다름
			친환경 4S 포장시스템 개발 연구 (중앙대학교)	<ul style="list-style-type: none"> - 포장구조 해석모형 정립 및 구조적 거동의 해석 - 신공법 확정 및 설계 프로세스 제안 - 장기 공용성 예측 및 설계 카테고리 단면 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 유사과제는 블록포장, 기능성 콘크리트 포장 등 기능성에 주안점을 두고 과제를 수행하였으나, - 본 연구에서는 스마트 하이웨이 주행성 확보를 위하여 구간별(일반부, 교량부, 터널부, IC/Jct, Sag 부 등) 최적 포장 공법 결정 및 개발하는 것이 내용상 다름
			아스팔트 포장의 최소단면 보수공법 (도화기술공사)	<ul style="list-style-type: none"> - 종방향 시공조인트 파손, 종방향 균열 및 러팅이 발생되어 파손된 아스팔트 포장을 기존의 절삭후 덧씌우기가 아닌 소규모 방법으로 보수할 수 있는 공법 개발 연구 	<ul style="list-style-type: none"> - 유사과제는 아스팔트 조인트부 파손부에 대한 보수공법을 연구하는 과제이나, - 본 연구에서는 포장구조체에 대한 연구가 주를 이루고 있어 내용상 다름

스마트하이웨이 사업단 과제			유사 국가 R&D 과제		차별성
세부과제명	세세부과제명	주요내용	과제명	주요내용	
1-3 Smart Pavement 설계기술 개발	1-3-1 스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구	- 스마트하이웨이 이용자의 주행 쾌적성 확보는 물론, 포장의 내구성, 기능성 향상을 목적으로 포장공법 결정 및 개발을 하는 과제	아스팔트 포장의 최소단면 보수공법 (도화기술공사)	- 중방향 시공조인트 파손, 중방향 균열 및 러팅이 발생되어 파손된 아스팔트 포장을 기존의 절삭후 덧의우기가 아닌 소규모 방법으로 보수할 수 있는 공법 개발 연구	- 유사과제는 아스팔트 조인트부 파손부에 대한 보수공법을 연구하는 과제이나, - 본 연구에서는 포장구조체에 대한 연구가 주를 이루고 있어 내용상 다름
			아스팔트 포장의 콜트조인트 균열방지 개선에 대한 연구 (인천대학교)	- 아스팔트 포장 시공중 발생하는 중방향 시공 줄눈 파손 저감을 위한 공법 연구 - 적의선 가열법, 커팅후 유제살포방법, 겹조인트 시공 등 다양한 방법을 시험시공 후 성능을 평가하여 최적의 균열방지 공법 도출	- 유사과제는 아스팔트 중방향 시공줄눈 파손저감을 위한 기술을 연구하는 과제이나, - 본 연구에서는 포장 구조체에 대한 연구가 주를 이루고 있어 내용상 다름
			콘크리트 포장의 구조적 기능적 성능개선 연구 (한맥기술)	- 콘크리트 포장의 줄눈부의 성능개선을 위하여 다웰바를 제거하고 줄눈 균열 유도장치를 개발하는 연구로서 최적 줄눈 간격과 린층과 슬래브층 사이의 마찰계수가 줄눈의 균열에 미치는 영향을 연구	- 유사과제는 콘크리트 포장의 줄눈부 성능개선을 위한 기술을 연구하는 과제이나, - 본 연구에서는 포장 구조체에 대한 연구가 주를 이루고 있어 내용상 다름
			아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발 (강원대학교)	- 기존의 배합설계를 위하여 사용하는 마찰시험방법은 소성변형에 대한 아스팔트 혼합물의 저항성을 잘 표현하지 못하므로, 공시체를 제작하는 방법과 강도시험방법을 개선하여 “변형강도화 소성변형 저항성의 상관관계를 규명하고 배합설계 방법을 개선하는 연구	- 유사과제는 아스팔트 콘크리트의 품질시험 관련한 시험방법 및 배합설계 방법을 연구하는 과제이나, - 본 연구에서는 포장 구조체에 대한 연구가 주를 이루고 있어 내용상 다름

스마트하이웨이 사업단 과제			유사 국가 R&D 과제		차별성
세부과제명	세세부과제명	주요내용	과제명	주요내용	
1-4 기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구	1-4-1 안개 및 강풍 발생에 대비 가능한 도로시설물 연구	- 안개, 강풍 등 악천 후시 대처 가능한 시 설물 연구	이상기후에 대비한 시설기준 강화 (한국건설기술연구원)	- 이상홍수 대비 수공구조 물 설계기법 및 기준 개선 - 토석류 대비 도로시설 설계 개선 - 이상기후에 대비한 시설 기준 정비	- 유사과제는 주로 이상기 후에 대비하여 기준을 정 립하는 것에 주안점을 두 고 과제를 수행하였으나, - 본 연구에서는 시설물을 개발하는 것이 내용상 다름
	1-4-2 강설대비 도로 시스템 개발 및 운영방안 연구	- 강설 대비 재해방지 시설 개발 - 강설시 효율적인 제 설시스템 연구	도로결빙 방지를 위한 에너지 절약형 신공법 ((주)경동기술공사)	- 도로결빙방지용 면상발 열체의 개발 - 전원공급 Hybrid 시스템 개발 - 고성능 면상 발열체 시 험 제작	- 유사과제는 용설기 계 작에 주안점을 두고 추진 하였으나, - 본 연구에서는 결빙감지 와 제설이 동시에 수행될 수 있는 시스템을 개발하 는 것이 내용상 다름
1-5 Smart Structure 설계기술 개발	1-5-1 교량 사용성 증진을 통한 주행쾌적성 확보기술 개발	- 고속주행 환경을 고 려하여 운전자 주행 쾌적성 확보와 - 교량의 내구성 증진을 함 께 도모할 수 있는 설계기 술 개발 - 내구성 교량 부속시설 개발 - 고속주행환경에 적합한 교량 구조형식 연구	신기술 경량골재를 이용한 고강도 경량 프리캐스트 바닥판 및 시공시스템 개발 (서울산업대학교)	- 설계 프로그램 개발과 설계 예제 작성 - 전단연결재의 수평전단강 도 평가 - 바닥판의 교면방수 및 내 구성 평가	- 기존 교량개발연구 과제 가 다수 수행되어 왔으나, - 본 연구에서는 속도상향 에 따른 교량 사용성 증 진을 통하여 운전자 주행 쾌적성을 확보하도록 하 는 것과 - 장수명 교량 부속시설을 개발하는 것이 내용상 다름

2.1 개요

2.1.1 과제 정의

세부1과제인 “SMART Highway 안전성 확보기술 개발” 과제는 스마트하이웨이 주행환경을 감안하여 충분한 안전성을 확보하고 운전약자를 포함한 모든 이용자가 안전하고 편리하게 안내를 받아 주행할 수 있는 도로관련 안전·안내시설을 연구하고 개발하고자 하는 목적으로 구성되었다. 따라서 본 과제는 스마트하이웨이에 운전자의 안전성 확보와 효율적으로 안내할 수 있는 기법을 연구하여 연구목적에 부합하는 대안을 제시한다.

- 고속충돌에 대한 구조적 안정성, 탑승자 보호성능, 경제성을 갖추고 경관과 조화를 이루면서 비상상황에서는 신속한 대응과 복구를 가능케 하는 도로안전 시설물을 개발함으로써 스마트하이웨이의 안전성 확보방안을 연구한다.
- 고속주행환경에서 시인성을 최적화 시킬 수 있는 안내시설 관련 기술을 개발함으로써 스마트하이웨이 이용 운전자를 효율적으로 안내할 수 있는 기술을 연구한다.

2.1.2 과제 목표

스마트하이웨이 주행 환경에서도 안전을 보장할 수 있는 도로안전 시설물과 스마트하이웨이 주행 환경하의 효과적인 안내기법 및 시설관련 기술 등 스마트하이웨이 주행에서의 안전성과 운전자의 심리적 안정감을 확보할 수 있는 기술을 개발한다.

- 스마트하이웨이용 안전시설 설계기준 마련
- 스마트하이웨이 주행에 적합한 도로안전시설 개발
- 스마트하이웨이 주행환경에 적합한 운전자 시인성 최적화 방안 연구

2.1.3 사업단 목표와의 연계성

사업단은 스마트하이웨이의 안전성과 이동성, 편리성 개선을 위한 첨단IT기술 등을 활용한 지능형 차세대 도로건설기술 확보를 사업목표로 하고 있다.

본 세부과제는 스마트하이웨이의 안전성, 운전자 쾌적성 확보기술을 개발하는 것을 목적으로 안전성 확보를 위한 안전시설 개선 및 효율적인 안내기법 등을 연구하여 스마트하이웨이가 차세대 지능형 도로로서의 가치를 극대화할 수 있도록 기여한다. 본 세부과제의 세부연구들은 스마트하이웨이의 안전성 강화와 직접적인 관련이 있고, 이를 통하여 이동성과 편리성이 증대되어 사업단의 궁극적인 목표인 삶의 질 향상을 위한 가치 창조형 미래도로 실현이 가능하도록 한다.



그림 2-1 1-1과제와 상위과제 목표와의 연계성

2.2 SWOT 분석 및 전략

2.2.1 SWOT 분석

(1) 스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구

표 2-1 1-1-1세세부 SWOT 분석

강점[Strengths]	약점[Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 충돌 실험장 (도로공사, 자동차 성능시험연구소 등)이 잘 갖춰져 있고 충돌실험 경험이 비교적 풍부함. · 연구의 필요성과 성과물이 비교적 명확함. · 연구 결과를 테스트 베드에 직접 설치 혹은 운 영함으로써 성능과 효율성을 검증할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 기초연구보다 지나치게 실용적인 연구가 선호 되고 제품 위주의 최종성과물에 대한 요구가 큼. · 안전시설관련 기초연구가 취약함. · 연구 인력이 제한적이어서 연구내용에 대한 객 관적 평가가 어려움. · 안내시설 연구자와 안전시설 연구자의 상이한 학문적 배경으로 실질적인 협력이 어려움.
기회요인[Opportunities]	위협요인[Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 교통안전에 대한 정부와 시민의 관심. · 환경친화적인 고속교통수단에 대한 요구증대. · 안전시설 설계 기준 및 개발에 대한 전반적인 연구가 가능함. · 새로운 아이디어의 실용화 가능성이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구내용에 대한 낮은 인지도 · 일부 연구내용은 분류가 불확실 하여 누락 될 소지가 큼. · 과다한 시설물의 설치는 도로미관을 해칠 수 있음.

(2) 스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내기법 연구

표 2-2 1-1-2세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 도로주행 시뮬레이터를 보유하고 있는 기관(한국건설기술연구원, 도로교통안전관리공단 등)이 있어, 초고속환경에서의 운전자 감성인지 반응을 평가할 수 있는 인프라가 잘 갖춰짐. · 연구 결과를 테스트 베드에 직접 설치 혹은 운 영함으로써 성능과 효율성을 검증할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 기초연구보다 지나치게 실용적인 연구가 선호되고 제품 위주의 최종성과물에 대한 요구가 큼. · 안내시설 연구자와 안전시설 연구자의 상이한 학문적 배경으로 실질적인 협력이 어려움.
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 교통안전에 대한 정부와 시민의 관심. · 환경친화적인 고속교통수단에 대한 요구증대. 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구내용에 대한 낮은 인지도 · 과도한 시설물의 설치는 도로미관을 해칠 수 있음.

2.2.2 SWOT 전략

(1) 스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구

1) SO 전략

- 스마트하이웨이 뿐만 아니라 일반 도로와 고속도로에 활용 가능한 연구를 수행하여 국내 도로전반에 대한 안전 환경을 획기적으로 개선
- 고가의 국가연구시설 활용도를 높임
- 도로안전시설에 대한 Frame을 제시하는 연구를 지향

2) ST 전략

- 연구내용간의 연계성을 최대한 활용하여 연구개발의 효율성을 극대화
- 연구내용에 대한 홍보를 강화

3) WO 전략

- 산학관연의 소통관리 체계화
- 다 학제간 연구 인력의 구성
- 기초연구와 실용연구가 유기적인 관계를 형성하도록 연구 개발계획 수립

4) WT 전략

- 연구 내용별 연계성을 강화
- 안전시설물 개발에 기초연구 강조
- 스마트하이웨이에 맞는 평가지표 개발



(2) 스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내기법 연구

1) SO 전략

- 스마트하이웨이 뿐 아니라 일반 도로와 고속도로에 활용 가능한 연구를 수행하여 국내 도로전반에 대한 안내환경 및 시인성을 획기적으로 개선
- 고가의 국가연구시설 활용도를 높임

2) ST 전략

- 연구내용간의 연계성을 최대한 활용하여 연구개발의 효율성을 극대화
- 연구내용에 대한 홍보를 강화

3) WO 전략

- 산학관연의 소통관리 체계화
- 다 학제간 연구 인력의 구성
- 기초연구와 실용연구가 유기적인 관계를 형성하도록 연구 개발계획 수립

4) WT 전략

- 연구 내용별 연계성을 강화
- 문제점을 개선하여 스마트하이웨이에 적합한 안내시설 개발



2.3 세부과제

2.3.1 스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구

(1) 목표

- 스마트하이웨이용 안전시설 설계기준 마련
- 스마트하이웨이 주행에 적합한 도로안전시설 개발

(2) 세부과제와의 연계성

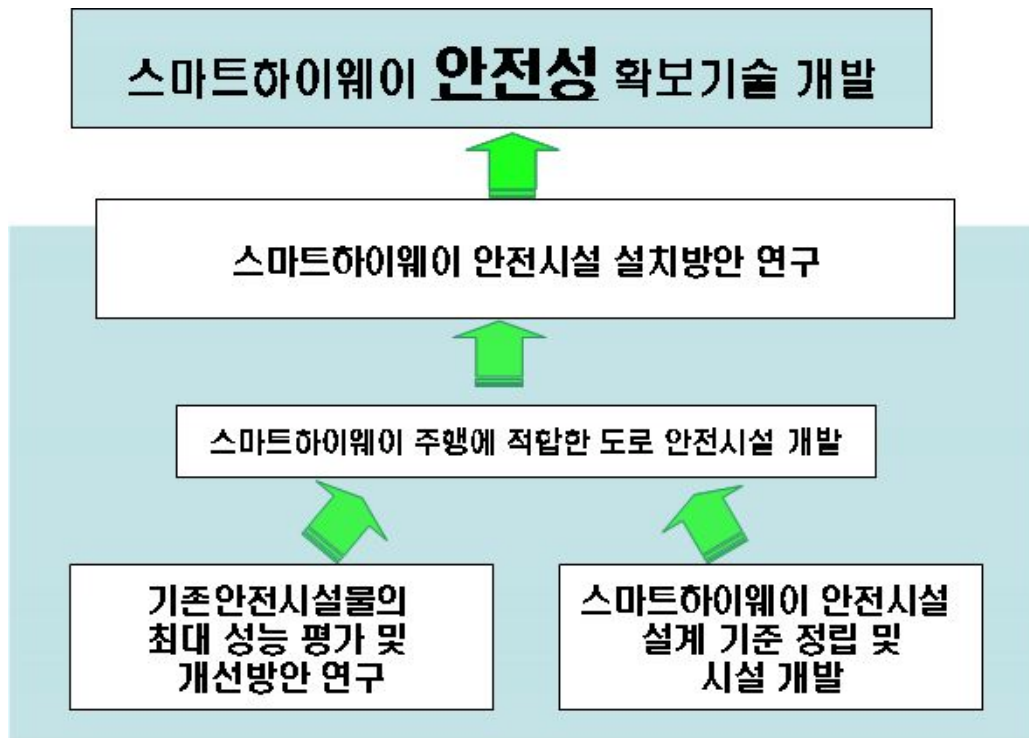


그림 2-2 연구 개발 목표

현재의 도로 안전시설은 차량이 급속도로 발전함에 따른 스마트하이웨이 주행 경향을 감안할 경우 부적합 것으로 판단된다. 따라서 스마트하이웨이와 같은 주행환경에 맞는 안전시설을 개발하기 위해서는 미래의 스마트하이웨이를 이용하는 차량을 예측하여 설계차량을 결정하고 충돌조건을 정하여야 하며, 스

마트하이웨이의 안전시설을 설치할 구간에 대한 기준 연구가 선행되어야 한다. 이를 기반으로 스마트하이웨이가 요구하는 속도의 충돌에 대응할 수 있는 안전시설을 새로운 충돌조건에 맞게 개발하여야 한다. 이러한 연구는 스마트하이웨이사업단의 세 가지 사업 목표인 안전성 강화, 이동성 강화, 편리성 강화 중 안전성 강화와 직접적인 관련이 있고 이를 통하여 이동성과 편리성이 강화되며 사업단의 궁극적인 목표인 삶의 질 향상을 위한 가치창조형 미래도로 실현이 가능케 된다.

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 국내외 기술 및 발전 동향

□ 국내기술의 발전 동향

주요 도로 안전시설은 종방향 베리어(가드레일, 중앙분리대, 교량난간), 충격흡수시설, 도로변 각종 지주의 단부장치 장치와 베리어 관련 각종 연결상태를 포함한다.

국내의 차량방호 도로안전시설 관련 연구는 건설교통부와 한국건설기술연구원을 중심으로 “방호책 설치요령(1980, 건설교통부)”의 개정 작업을 수행한 1996년부터 괄목할 만한 발전을 거듭하였다. ‘도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편(2001)’에 의거하여 차량방호 안전시설의 성능을 평가하기 위한 충돌실험장이 교통안전공단 자동차성능시험연구소와 한국도로공사 도로교통기술원에 설치되어 운영되고 있다. 이들 기관은 건설교통부로부터 차량방호 안전시설 성능시험기관으로 지정을 받았으며, 업무는 건설교통부의 ‘차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람(2001. 7)’에 따라 수행하고 있다. 이후 신기술제도의 도입과 안전시설설치에 대한 충돌실험 의무화 방침에 따라 관련 업체를 중심으로 활발한 연구개발이 이루어 졌다. 그 결과 각종 베리어, 교량난간, 충격흡수시설 등이 개발되고 광범위하게 설치 되고 있으나 기초연구의 부족, 전문인력의 부재, 시설물의 상세에 대한 연구 부족, 노변안전의 대상을 베리어, 교량난간 및 충격흡수시설로 한정시키는 일반의 편협한 인식 등이 안전시설의 체계적인 연구 개발 및 도입을 어렵게 하고 있다.

□ 외국의 기술동향

미국은 "Forgiving Road"의 개념을 처음으로 도입한 나라이다. 차선을 벗어난 차량이 쉽게 차선으로 복귀하거나 피해를 최소화 하기위한 것으로 노변안전의 기본철학이다. 이 기본개념을 구현하기 위하여 도로 안전시설에 대한 연구를 광범위하게 수행하였고 다양한 안전시설이 잘 설치 운영되고 있다. 종방향 베리어는 중분대, 교량난간과 이들 시설물의 단부장치, 트랜지션(transition), 설치구간(Length of Need)에 대한 전반을 말한다.

미국의 고속도로에 중요하게 사용되는 가드레일은 목재 혹은 철재로 된 강성지주와 W 빔으로 구성된 것으로, 중앙 분리대용으로도 많이 사용되었다. 콘크리트 뉴저지타입(safety shape) 베리어가 중분대와 교량 파라펫으로 널리 사용되었고 프리캐스트 형태로 제작되어 공사구간에 널리 활용되었다. 최근에는 단일경사면 형태의 베리어가 많이 쓰이고 있다. Thrie Beam 베리어가 가드레일 및 중앙분리대로 개발되어 많이 활용되고 있다. AASHTO가 교량난간에 대한 기준을 채택한 이후로 기존 난간을 기준에 맞게 개선하는 연구와 기준에 맞는 새로운 시스템의 개발에 대한 연구가 활발해지고 있다. 이러한 종방향 베리어 개발과 관련하여 중요한 연구 분야는 베리어의 세부사항 즉 단부장치와 트랜지션(transition)에 관련한 연구이다. 최근에는 가변 베리어가 개발되어 가변차선으로 광범위하게 사용되고 있고 사고 시 접근을 용이하게 하기위한 베리어 게이트도 개발되어 운용되고 있다.

도로변의 위험물로 인식되는 표지판용, 가로등, 비상전화용 지주, 전신주 등에 대한 충돌시 피해 저감 방안에 있어서도 60년대 후반부터 Breakaway 개념을 발전시켜 다양한 형태의 단부장치가 설치되어 충돌피해를 줄이고 있다.

유럽과 호주, 캐나다도 미국과 유사한 노변안전 개념을 실행하고 있으며 유럽의 경우는 유럽연합 회원국 사이의 기준통일을 위한 연구가 많이 진행되어 온 것이 특징이다.

전반적으로 선진외국의 경우 끊임없는 기술 개발과 현장적용 및 평가 그리고 피드백을 통한 문제해결의 단계가 유기적으로 연결되어 진행되고 있으며 유지관리 및 경제성 분석에 많은 노력을 기울이고 있는데 이는 노변안전 분야의 풍부한 전문 인력과 정부의 강력한 지원이 배경으로 이해된다.

2) 국내의 사례분석

□ 국내사례분석

국내의 안전시설물은 차량방호 안전시설 지침(2001)에 따라 충돌실험을 통과하여야 설치할 수 있는데 현재 충돌 실험 기준은 종방향 베리어, 충격흡수시설에 관한 것이 전부이다. 차량방호 안전시설 지침(2001)에 따라 새로운 시설물 및 기술들이 개발 적용되고 있으며 건설교통부 제정 신기술은 대부분 차량방호 안전시설 지침이 제시한 충돌 조건을 만족시킨 것들이 대부분이다. 신기술 지정 시설물은 저속도구간용 고밀도 폴리에틸렌 중앙분리대 설치공법, 충격 흡수형 고규격 Thrie-Beam 가드레일 시스템 개발, 회전마찰을 이용한 우레탄 롤링 베리어 차량방호 울타리 제작공법, 3단 철재 빔을 이용한 충격 완화형 교량방호울타리의 제작 및 설치공법, 충격 흡수판 및 적층타이어를 이용한 차량 충격흡수시설 설치공법, 상하로 다른 단면강성을 가지고 있는 보를 이용한 차량방호울타리(SB4급 중앙분리대) 설치기술 등이 대표적이다. Thrie-Beam을 이용한 가드레일과 중앙분리대가 국도에 널리 쓰였고 이후 상하로 다른 단면강성을 가지고 있는 보를 이용한 차량방호울타리가 널리 적용되고 있으며 철재 교량난간이 개발되어 영종대교와 광안대교 등 특수교량에 성공적으로 적용된 바 있다.



그림 2-3 국내의 교량난간과 가드레일

고속도로는 W형단면의 가드레일과 뉴저지타입(safety shape) 콘크리트 베리어가 주종을 이루고 있는 가운데 최근에는 기존의 뉴저지타입(safety shape)의 높이를 증가시켜서 차광막을 대신한 단면이 사용되고 있고 뉴저지타입(safety shape)의 프리캐스트 콘크리트 제품이 공사구간을 중심으로 널리 쓰이고 있다. 교량난간으로는 뉴저지타입(safety shape) 단면의 콘크리트 파라팻이

주종을 이루고 있다.

충격흡수시설의 개발도 활발하여 다양한 형태의 충격흡수시설이 개발되어 활용되고 있다.



그림 2-4 국내에 설치된 충격흡수장치

그 결과 각종 베리어, 교량 난간, 충격흡수시설 등이 개발되고 광범위하게 설치되었으나 기초연구의 부족, 전문 인력의 부재, 시설물의 설계 세부사항에 대한 연구 부족, 노변안전의 범위를 베리어나 교량난간의 본 구조와 충격흡수시설로 한정하는 일 등이 도로 안전시설의 체계적인 연구개발과 새로운 기술의 도입을 어렵게 하고 있다. 국도변의 표지판 혹은 가로등 지주에 대한 충돌 위험을 간과하고 있는 것 등이 그 예이다.



지주관련 사고 (2007년)



단부장치부재로 인한 충돌
(Simulated Test, 한국도로공사)

그림 2-5 지주 및 단부장치부재 사고

이상 국내사례를 통하여 스마트하이웨이를 위한 안전시설 개발에 고려해야할 점을 정리하면 다음과 같다.

국내의 안전시설 중 베리어 시스템은 기업체 주도로 연구개발 되고 충돌실험

에 합격한 시스템을 도로에 적용하는 관계로 연구비와 연구기간의 최소화를 추구하여 과다설계의 가능성이 높은 것이 현실이고 안전율이 어느 정도인지도 불명확하다. 또한 설계기준이 국내 차량 단독사고 데이터에 기반을 두어서 설정된 것이 아니고 설계속도의 80%로 단순화 되어 있으며, 설계가 베리어 본체 위주로 되어있고 트랜지션(transition)이나 연결부 등에 대한 상세설계가 전무하고 유지관리 및 도로 경관적인 요소 등을 고려하지 못하고 있다. 스마트하이웨이를 위한 베리어는 새로운 고속충돌 조건에 대응할 뿐 아니라 미래의 교통 특성을 반영하며, 기존 베리어가 갖고 있는 여러 가지 문제점을 검토 수정함으로써 안전성, 경제성, 유지관리의 수월성, 도로경관요소가 충분히 고려될 수 있게 설계되어야 한다.

충돌 속도가 커짐에 따라 교량 난간 단부에서의 스내깅(snagging) 혹은 포켓팅(pocketing)의 위험성은 훨씬 높아진다. 이것은 자동차의 안전성 문제와 콤팩트먼트의 과다한 변형의 위험도를 증대시킴을 의미하기도 한다. 현재 국내에는 충돌실험을 통과시킨 트랜지션(transition)이 없고 개념적인 디자인이 고속도로와 국도에 설치되고 있는 형편이고 설계에서 적용해야할 평가규정 혹은 설계규정도 애매하다. 스마트하이웨이의 초고속 환경에 맞는 트랜지션(transition)의 설계조건 및 평가기준의 제정과 스마트하이웨이에서 사용할 교량난간에 연결시킬 수 있으면서 고속으로 충돌하는 차량을 안전하게 차선으로 복귀시킬 수 있는 트랜지션(transition)의 개발이 필요하다.

국내 일반국도의 경우 가드레일 단부섹션(end section)이 주로 쓰이고 고속도로에서는 가드레일 빔을 꼬아서 지면에 고정시키는 방식을 취하고 있는데 전자의 경우 차량관통 위험이 크고 과다한 감속의 우려가 있고 후자의 경우 충돌 차량의 전복 혹은 승월 위험이 크기 때문에 외국에서는 쓰이지 않는 방식이다. 또한 국내에는 단부장치에 대한 설계기준이나 실험 방법조차 제시되고 있지 않다. 기본적으로 단부장치 시설은 충돌에너지를 효과적으로 흡수하고 관통의 위험이 없어야 한다. 또한 단부 처리시설은 측면 충돌시 충돌 차량을 2차 사고의 위험 없이 효과적으로 차선으로 복귀 시켜야 하기 때문에 횡방향 강성을 확보할 수 있도록 가드레일부와의 특별한 고정장치(anchoring)와 단부에서 충돌차량의 승월을 방지시키기 위한 지주의 종, 횡 방향 강도 조절이 필요하게 된다. 따라서 단부장치에 대한 연구나 지침이 전무한 국내현실을 고려하여 새롭게 설계방법과 충돌평가 기준을 제시하고 가드레일의 단부를 개발할 필요가 있다.

□ 외국의 사례분석

도로안전시설에는 가드레일, 중앙분리대, 교량난간 등의 종방향 베리어와 충격흡수장치, 베리어 트랜지션(transition), 단부장치, Breakaway Support 등이 있는데, AASHTO의 "Roadside Design Guide(2002)"는 충돌실험을 통과한 안전시설 전반에 대한 설명과 설치방법, 교량난간의 보강방법, 시스템 선택에 있어서의 비용 편익 분석 방법 등을 설명하고 있다.

○ 종방향 베리어(가드레일, 중앙분리대, 교량난간)

미국의 고속도로에 중요하게 사용되는 가드레일은 목재 혹은 철재로 된 강성 지주와 W 빔으로 구성된 것으로, 중앙 분리대용으로도 많이 사용되었다. 콘크리트 뉴저지타입(safety shape) 베리어가 중분대와 교량 파라펫으로 널리 사용되었고 프리캐스트 형태로 제작되어 공사구간에 널리 활용되었다. 최근에는 단일경사 형태의 베리어가 많이 쓰이고 있다. Thrie beam 베리어가 가드레일 및 중앙분리대로 개발되어 많이 활용되고 있다. AASHTO가 교량난간에 대한 기준을 채택한 이후로 기존 난간을 기준에 맞게 개선하는 연구와 기준에 맞는 새로운 시스템의 개발에 대한 연구가 활발해지고 있다. 이러한 종방향 베리어 개발과 관련하여 중요한 연구 분야는 베리어의 세부사항 즉 단부장치와 트랜지션(transition) 관련한 연구이다. 최근에는 가변 베리어가 개발되어 가변차선으로 광범위하게 사용되고 있고 사고시 접근을 용이하게 하기위한 베리어 게이트도 개발되어 운용되고 있다.



Safety-Shape



Single-Slope

Concrete Median Barrier



Quickchange movable barrier system



Barrier Gate



Bridge Rail



Guardrail

그림 2-6 외국의 종방향 베리어

○ 베리어 트랜지션(transition)

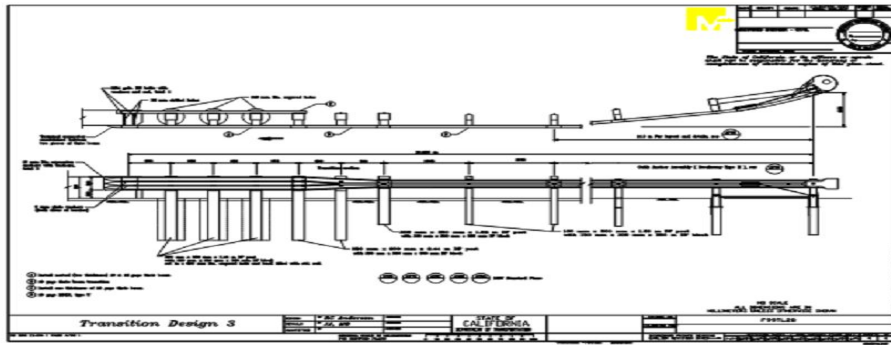
트랜지션(transition)은 일반적으로 연성 베리어가 교량의 콘크리트 파라팻이 철재난간 같은 강성 베리어와 만나는 곳의 처리 방식을 말한다. 이것은 연성 베리어에 충돌한 차량이 과도한 처짐으로 강성 베리어 단부와 간섭함으로써 생기는 스내깅(snagging)이나 포켓팅(pocketing)을 방지하기 위한 시설로 교량 난간의 형태와 가드레일의 형태에 따라서 다양한 형태가 개발되어 설치되고 있다.



트랜지션(transition) 충돌 실험(미국)



트랜지션(transition) (유럽)



트랜지션(transition) (미국)

그림 2-7 외국의 트랜지션(transition)

○ 단부장치

가드레일의 단부는 충돌차량의 과도한 감속을 줄 뿐 아니라 차체를 관통할 위험이 큰 부분이다. 미국의 경우 다양한 형태의 단부장치방법이 개발되어 있는데 대표적인 것이 TTI에서 개발된 ET2000이다. 이것은 충돌시 단부에 설치된 Extruder Terminal이 가드레일 빔 단면을 찢어서 차량진행 방향으로 분출시켜 에너지를 흡수함으로써 빔 단면이 차량 콤팩트먼트를 관통하지 않도록 하는 장치이며 유럽에서도 유사한 장치가 사용되고 있다.



단부장치 ET2000(미국)



단부장치 (유럽)

그림 2-8 외국의 단부장치

○ 충격저감을 위한 분리형 지우고정 장치(breakaway support)

모든 노변 시설물을 도로 위험거리 밖에 설치하는 것이 노변 안전에 가장 확실한 해법이 되겠으나, 표지판, 신호등, 조명주 등의 시설물은 제 기능을 하기 위해서 차선 가까이 위치해야 한다.

그러나 차선 가까이에 위치한 표지판, 가로등, 전신주 등의 각종지주들은 도로변의 안전에 심각한 위험요소들이다. 일반적으로 소형 지주는 과다한 변형으로 인한 탑승자에 대한 위험도가 높고 중대형 지주는 강성체로서 차량 충격시 충격량이 커 차량 및 탑승자에 치명적인 결과를 초래하게 된다.



지주관련 사고 (캐나다)



지주관련 사고 (유럽)



지주관련 사고 (유럽)



지주관련 사고 (유럽)

그림 2-9 외국의 지주관련 사고

이러한 어려움을 해소하기 위해서 이미 1960년대 중반부터 충격저감을 위한 분리형 지주고정 장치(breakaway sign support) 개념이 미국에서 개발되어 대부분의 도로변 표지판 지주나 조명주에 사용되고 있다. 충격저감을 위한 분리형 지주고정 장치(breakaway sign support)는 지주와 기초의 연결부를 강결 시키는 대신 풍하중에 대한 구조적 안전성은 확보하면서 충격하중 작용 시 연결부가 분리되어 소형차의 충돌에 대한 충격력, 또는 속도변화를 최소화시킴으로써 탑승자의 위험요인을 제거하는 개념으로, 여러 가지 특별한 장치가 고안되어 1975년에는 이미 AASHTO의 설계기준으로 채택되었다(AASHTO, 1975).

가로등, 신호등, 전주 같은 대형 지주와의 충돌시 피해가 특히 심각하다. 가로등과 신호등의 지주는 알루미늄 트랜스포머를 사용하는데 이는 충돌 시 알루미늄 베이스가 깨짐으로써 큰 충격 없이 지주를 분리시키며, 가로등 베이스의 경우 볼트가 이탈됨으로써 지주가 분리된다. Frangible Coupling Design과 같이 notch(Notch)의 과단으로 지주가 분리되게 한 것도 있다.



분리형 단부장치(유럽)



분리형 단부장치 (미국)

그림 2-10 외국의 분리형 단부장치

3) 국내외 연구동향

□ 국내

○ 각종 설계지침의 개발

방호책 설치요령 : 방호울타리와 관련해서는 1980년에 건설부에서 발간한 최초의 도로안전 시설관련 책자이나, 이후 관련 내용이 지침으로 작성 발간되어 현재 본 책자는 사용되지 않고 있다.

도로안전시설 설치편람 : 다양한 도로교통 안전시설과 안전과 관련된 부속시설에 관한 설치 기준을 총망라된 것으로, 정부에서 처음으로 발간한 도로안전 시설 설치에 관한 종합 책자이다. 1989년 8월에 건설부에서 발간하였다. 이 편람은 도로법과 도로교통법에 규정된 도로안전표지, 신호기, 노면표시, 방호울타리, 조명시설 그리고 그 외 도로안전 부속시설 등, 각 분야별로 분산 기재되어 있는 도로안전시설에 관한 설치 및 관리의 현행 기준을 일괄 집대성 기재하여 도로교통 관련 실무자들이 편리하게 도로시설물의 설치 및 관리에 관한 사항을 협의하고 사업을 시행할 수 있도록 한 것이다.

도로안전시설 설치 및 관리지침 : 1989년에 작성된 '도로안전시설 설치편람' 작성의 후속 작업으로 1995년 11월에 도로안전시설 장기 연구계획을 수립하고 이와 함께 각 시설별 세부적 연구를 수행하여 '도로안전시설 설치 및 관리 지침-시선유도 시설 편(1995. 12)'을 발간했으며, 방호울타리 편(1997. 2), 과속방지턱 및 미끄럼방지포장 편(1997. 8), 중앙분리대 및 충격흡수시설 편(1998. 10), 교량용 방호울타리 및 조명시설 편(1999. 9), 도로전광표지 편(1999. 11), 장애인 안전시설 편(2000. 11)과 낙석방지시설 및 도로반사경 편(2000. 11)을 발간 운용하고 있다.

도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편 : 방호울타리, 중앙분리대, 충격흡수시설 및 교량용 방호울타리 등 4종의 차량방호 안전시설에 대해 기존의 지침은 시설물의 규격 위주로 제시되었으나, 실물충돌시험을 통한 시설물 성능검증을 주요 기준으로 하는 통합본 지침으로 2001년 7월에 발간되었다. 따라서 현재 차량방호 안전시설과 관련한 지침으로는 본 지침서를 적용하고 있으며, 기존에 발간된 각 시설별 지침서는 단지 참고자료로 적용할 수 있겠다. 본 지침서 발간과 함께 시설의 성능에 대해 실물충돌시험을 할 수 있도록 실물충돌시험 업무편람이 발간되었다.

도로설계편람(안전시설 편) : 대부분의 발행된 책자들이 각 요소 기준인데 반하여 도로계획 및 설계와 관련된 제 규정 및 기준을 체계적이고 일관되게 정리하여 실무자들이 참고할 수 있도록 한 것으로 1999년 12월에 발간되었다. 도로시설 요소와 관련한 여러 편 중에 안전시설 편이 별도로 마련되었고, 여기에서는 안전시설의 종합적 설계 예시도 등이 제시되어 있다.

○ 실물 충돌실험장의 설치 운영

“도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편(2001)”에 의거하여 차량방호 안전시설의 성능을 평가하기 위한 충돌실험장이 교통안전공단 자동차성능시험연구소와 한국도로공사 도로교통기술원에 설치되어 운영되고 있다. 이들 기관은 건설교통부로부터 차량방호 안전시설 성능시험기관으로 지정을 받았으며, 업무는 건설교통부의 ‘차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람(2001. 7)’에 따라 수행하고 있다.

이러한 안전시설의 저변은 확대되고 있으나 연구 활동은 미미한 편이다. 이는 안전시설에 관련된 연구자나 엔지니어가 극히 제한되어 있는 것과 안전시설의 개발 활동이 주로 제조 및 시공 업체를 중심으로 하여 충돌실험을 통한 검증이 최종 목표이기 때문에 사전 연구 없이 반복적인 실험에 의존하는 경향이 강하고 체계적인 사전연구나 최적화의 개념이 희박하기 때문이다.

□ 외국

시설물을 설계하기 위한 기준으로는 미국의 “Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, NCHRP 350(1993)”이 있으며 이를 기반으로 한 유럽연합의 CEN기준(1998)이 있다. 두 기준은 충돌 조건(기준 차량, 충돌속도, 충돌각도)에서 차이를 보이고 있으나 안전시설 설계를 위한 기본개념과 실차 충돌실험을 통해서 탑승자의 안전도, 시설물의 구조적 적합성, 충돌 후 차량의 거동을 평가하는 절차와 기준은 유사하다고 볼 수 있다. 최근 교통류의 변화와 지속적인 노변안전평가 실험 경험을 바탕으로 NCHRP 350의 개선에 관한 연구가 NCHRP Project 22-14 (Aug.2002-Feb.2007)로 추진되었다.

중요한 변경사항은 1) 안전시설의 구조적 적합성을 평가하는 기준차량인 픽

업트릭의 경우, 무게를 2000kg에서 2270kg으로 바꾸고 바디형태를 3/4ton 에서 1ton으로 바꾸었으며 차량무게 중심을 최소 711mm로 함으로써 안전지수 기준 (Impact Severity)을 약 14% 증가시킨 점과, 2) 탑승자 안전도 체크의 기준이 되는 소형차의 충돌기준을 820kg-20deg.에서 1100kg-25deg로 높인 것이 요지이다. Kay Fitzpatrick 은 “Criteria for High Design Speed Facilities(2006)”에서 도로 설계 속도 상향 시 노변안전 Design 관련한 광범위한 연구를 수행한 바 있다.

유럽의 안전기준은 안전시설에 안전시설 실험기준 EN1317에 자세히 나와 있다. 이는 미국의 NCHRP 350을 기반으로 하고 있으나 안전지수나 허용치에 있어서 약간의 차이를 보이고 있으나 근본적인 개념은 유사하다. NCHRP350은 이 기준을 별책으로 포함하고 있으며 우리나라의 기준도 이와 흡사하다. 유럽에서 도로변의 위험물로 점(point)위험물과 분산(distributed)위험물로 나누는데 점 위험물은 도로변의 각종 지주, 나무 등을 말하고 분산 위험물은 도로면의 경사면이나 배수로 같이 연속되는 위험물을 말한다. 유럽연합은 2003년부터 3년간 Roadside Infrastructure for Safer European Roads (RISER) 프로젝트를 진행하였다. 이 프로젝트는 차선을 벗어난 차량의 사고, 즉 차량단독사고 (Single Vehicle Accident: SVA)의 사고 데이터를 수집 분석하여 도로의 기하구조 뿐 아니라 도로변의 각종 시설물들이 SVA의 사고 강도에 어떤 영향을 미쳤는지를 밝히고 향후 시설물의 개선을 위한 사고 조사 방법, 현재 안전시설물의 성능 및 개선 방향, 유지관리방법을 제시하였다. 이는 노변안전에 대한 유럽 국가들의 지침서가 될 광범위하고 통합적인 연구이다. 이 연구의 특징은 단독 차량 사고의 데이터의 분석이 강조되고 훌륭하게 이루어 졌다는 점인데 스웨덴, 영국, 프랑스 스페인, 오스트리아, 핀란드, 네덜란드 7개국의 사고 데이터와 대표적인 211개 데이터를 기반으로 PC-CRASH, FEM, MADYMO를 이용한 시뮬레이션을 실시하여 차선을 벗어난 차량의 속도 각도, 시설물과의 충돌상황을 자세히 재현하여 데이터베이스화하고 분석하였다. 또한 The Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO)의 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 도로변의 시설물이 차량운전자의반응, 즉 차량의 주행 위치와 주행속도에 어떤 영향을 미치는지를 연구하였다. 이 연구결과는 “D06:European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for roadside Infrastructure on New and Existing Roads (2005, Chalmers University of Technology)” 와 “D08:European Best Practice for Roadside Design:

Guidelines for maintenances and Operations of Roadside Infrastructure (2006, Chalmers University of Technology)" 라는 두 권의 보고서로 작성되어 노변 안전의 연구, 개발, 현장적용에 좋은 참고가 될 수 있다.

4) 선진국대비 국내기술수준

선진국과의 기술 차이를 숫자로 계량하기는 어려운 문제이다. 여기서는 도로 안전시설 관련 기술 수준을 1)연구 인프라, 2)설계(개발) 및 설치기술, 3) 유지관리 및 운영기술로 나누어 아래 표와 같이 비교해 보기로 한다. 여기서 기술 수준 A, B, C는 선진국 대비 기술 수준이 A=상, B=중, C=하를 나타낸다.

□ 연구 인프라:

- 기초연구의 활성화 정도 및 설계를 위한 Data의 축적 (C)
- 충돌 실험 및 평가 기준 (B)
- 충돌실험시설 (B)
- 총연구 인력 (C)

□ 안전시설의 설계(개발) 및 설치 기술:

- 종방향베리어(교량난간) (A)
- 종방향베리어(가드레일) (A)
- 종방향베리어 (중앙분리대) (A)
- 베리어의 단부처리 (C)
- 베리어의 Transition (C)
- 기타 베리어의 Connection Detail (C)

□ 유지관리 및 운영기술:

- Roadside Design Guide 및 유지관리 매뉴얼 (C)
- 시설물의 현장성능 평가 및 피드백충돌 실험 및 평가 기준 (C)
- 기존시설의 성능평가 및 Retrofit 기술충돌실험시설 (C)

위의 결과로부터 안전시설 관련 연구 인프라는 선진국의 50%수준, 안전시설 설계(개발) 및 설치기술은 선진국의 70%수준, 유지관리 및 운영기술은 40% 정도의 수준에 있는 것으로 보인다.

(4) 추진전략

세세부연구책임자는 단계별 목표를 수립하고, 이에 적합한 추진전략 및 일정 계획을 수립한다. 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고, 그 성과지표를 증명할 수 있는 연구, 시범사업, 테스트 베드 적용 등의 사업을 포함하도록 추진한다. 실용화 추진을 위한 테스트 베드는 사업단의 핵심4과제 테스트 베드 설계 및 시공 Test Bed 관련 조직과 유기적인 협력을 통하여 추진한다.

1) 추진체계

본 사업단은 실용화 중심의 연구개발사업으로 산학연 공동연구를 기본원칙으로 하며, 필요시 SMART Highway에서 선도적 위치에 있는 해외 주요 기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있다. 과제성격에 따라 학제간 연구진 구성이 필요하며, 법제도, 표준 및 실용화를 위한 조직체계 및 인력 투입방안 제시도 필요하다. 본 세세부과제는 기본 단위이며 세세부과제 이하의 단위로 분할할 수 없는 것을 원칙으로 한다. 단 위탁연구는 예외로 한다.

2) 테스트베드 전략

1~6차 년도를 통해서 개발되는 다음과 같은 기술을 테스트 베드에 적용한다.

- 안전시설 설계기준
- 신규 안전시설

3~5년차에 세부기술 성과를 도출하고 6년차에는 Pilot Test를 통해 Test Bed에 적용되어질 핵심요소기술을 선별한다.

2.3.2 스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내기법 연구

(1) 목표

- 스마트하이웨이 주행환경에 적합한 시인성 최적화 기술개발
- 야간 및 악천후시 시인성 확보 기술 개발

(2) 세부과제와의 연계성

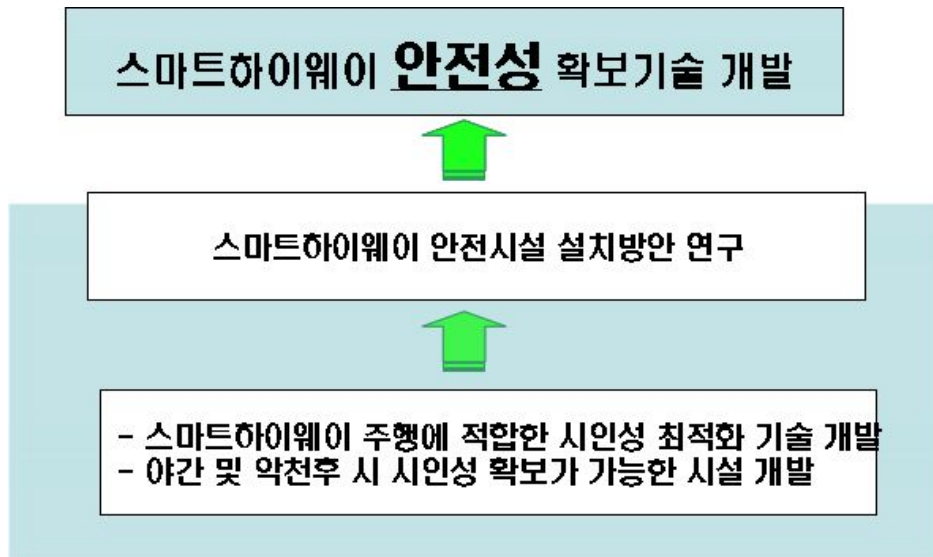


그림 2-11 연구과제의 목표

효율적으로 안내정보를 도로이용자에게 제공하기 위하여 이용자의 판단과 행동을 적절히 통제하기 위한 안내기법 연구가 필요하다. 특히 야간과 악천후 등 시야확보가 곤란한 상황을 고려한 새로운 안내시스템 연구가 절실히 필요한 실정이다. 본 연구는 스마트하이웨이 사업단의 세 가지 사업 목표인 안전성 강화, 이동성 강화, 편리성 강화 중 안전성 강화와 직접적인 관련이 있고 이를 통하여 이동성과 편리성이 강화되며 사업단의 궁극적인 목표인 삶의 질 향상을 위한 가치창조형 미래도로 실현을 가능케 한다.

(3) 국내의 기술 및 연구동향

1) 국내의 기술 및 발전 동향

교통사고는 복합적인 여러 가지 위험요인을 운전자가 효과적으로 대처하지 못하기 때문에 발생한다고 알려져 있다. 도로설계 때부터 이러한 위험요소를 제거한다면 교통사고 발생확률도 줄어들 것이다. 하지만 경제성 있고 위험요소를 완벽하게 제거한 도로를 건설하는 것은 불가능할 것이다.

효율적인 안내기법에는 도로 시스템(도로, 자동차, 인간) 중 인간요인, 즉 인간공학적 측면에서 도로를 설계하는 방법이다. 효율적인 안내기법에는 미국의 Positive Guidance기법과 유럽(독일)의 Self-Explaining Roads개념 등을 들 수 있다.

Positive Guidance(PG)기법은 “도로설계자가 도로상의 모든 위험요소를 제거하지 못한다면 도로 이용자가 이러한 장애물을 적절하게 피할 수 있도록 필요한 모든 정보를 제공해야 한다.”라는 전제에서 출발하였다. 이를 위해 분석가는 주행 중 운전자에게 필요한 정보(도로선형정보의 종류, 적절한 교통통제 시설, 시설물 위치, 시설 형태)에 대한 분석을 해야 하며, 도로의 위험요소 및 상황이 일률적이지 않기 때문에 도로의 위치 및 특성에 대한 운전자 측면, 도로 기하구조 측면, 주변 환경 측면에서 분석이 필요하다. PG기법은 이러한 대상 구간 정보 및 상황을 분석하여 운전자가 위험물을 피해 보다 안전하게 주행할 수 있게 올바른 정보를 제공하는 기법이다.

미국의 PG기법을 기본으로 1990년대 유럽(특히 독일)에서 연구되었던 Self-Explaining Roads(SER)는 “도로설계에 의해 안전한 운전행동을 유도하는 도로주행환경”을 의미한다. 안전한 운전행동과 적절한 속도선택을 지원하기 위해서는 운전자는 자신이 주행하는 도로종류를 인지할 수 있어야 하고, 도로 이용자들이 생각하는 주관적 도로 분류와 해당 도로의 기능과 이용법이 맞아야 한다.

□ 국내

도로표지는 거리와 방향, 기타 안전과 관련된 정보를 효율적으로 전달하여야 운전자를 목적지까지 안전하게 유도할 수 있다. 운전자가 운전 중에 얻는 정보

의 90% 이상은 시각에 의해서 획득되어지고 있으며 이러한 정보를 제공해 주는 것이 도로표지다. 국내의 도로표지는 도로법 제52조의 규정에 의한 도로표지규칙에 따라 설치되고 있다. 구조물의 시인성을 향상시키기 위해 설치하는 시설인 장애물표적표지와 구조물도색 및 빗금표지 등의 크기/재질/설치위치 등에 관한 기준은 도로안전시설 설치 및 관리지침에 제시되어 있으며, 야간 시인성 증진을 위한 도로안전시설 개발 연구(1995.7. 한국건설기술연구원)에서는 야간 시인성을 증진할 수 있는 안전시설 선정 및 기존의 ITS와 연계한 야간 시인성 증진을 위해 새로운 시설 개발 연구를 진행 중 이다

국내 도로조명기구는 도로 가장자리에 배치되는 등주식 가로등을 많이 사용한다. 폴의 높이, 기구간의 간격이 도로 폭을 고려하지 않은 상태에서 부적절하게 배치되어 있고 도로 형태와 주변 환경에 적합하지 않게 설치되어 있는 곳이 많다. 현재 국내의 도로조명설비의 종류와 성능은 매우 제한되어 있어 대개의 설비들이 균제도(均濟度)나 눈부심에 대한 국내의 기준을 만족시키지 못하고 있는 형편이다.

도로주행의 안전성 측면에서 기존의 등주식 가로등은 노면의 균제도가 일정하지 않고 차량 주행 중 글레어 및 명멸현상(Flicker 현상)을 유발하여 운전자의 안전과 시선유도, 장애물 인식에 있어서 가장 유리한 조명방식이 어떠한 것인지에 대하여 근본적인 연구가 필요하다.

고속주행을 하는 도로는 안전정지거리가 증가하고 운행 중 운전자의 시야가 좁아지는 현상이 발생한다. 국내의 경우 고속도로에는 일부 구간에만 등기구가 설치되어 있고 굽은 도로나 교량에 설치되어 선형유도 역할도 한다. 전조등에 의존해서 고속주행을 한다면 전방 장애물 인식과 도로 파악에 있어서 문제가 되므로 질적, 양적으로 우수한 도로조명이 이루어져야 할 것이다.

□ 외국

외국의 안내표지에 관한 편람을 보면 고속도로나 그에 준하는 간선도로 위주로 구성되어 있다. 시가지내 일반도로의 안내표지 표현방법에 대해서는 취급하지 않고 있으며, 주간선의 안내표지에서 가장 중요한 정보는 도로번호이며, 번호와 같이 표기되는 동서남북 표시가 중요하게 취급되고 있다. 그밖에 출구번호와 거리정보가 도시명(지명)과 함께 표시되고 있으며, 안내표지의 경우 차로

지정을 중요하게 취급한다. 운전자는 표지판의 아래쪽으로 향한 화살표가 지정하는 차로를 따라가기만 하기 때문에 차로 선택이 쉽게 설계되어 있다. 도로번호는 고속도로와 같은 지역간 도로에서 선개념의 가장 핵심사항이라고 할 수 있다. 도로번호는 도로명보다 시인성이 좋고 정보의 전달이 강력할 뿐만 아니라 짧은 시간에 읽혀지기 때문에 가장 효과적인 안내수단이다.

국내에서는 표준과학연구원에서 운전자 주행시 운전자 쾌적반응 지표를 개발한 바 있으며, 주로 운전차량의 종류 및 산소농도에 따른 뇌파, 심장박동율, 근전도 및 주관적 평정값을 비교하여 쾌적반응 지표를 제시하였음. 국외에서는 주로 주행 중 차량에서 경험되어지는 진동 주파수에 따른 신체의 생리적 반응 및 주관적 평가에 관련한 연구들이 진행되고 있다(예를 들면 Uchikune & Shirakawa, 200).

무인자동차의 효과적인 도로 표지판 인식 방법에 대한 연구도 활발하다. Automatic Road Sign Detection System이 갖고 있는 두 가지 문제점인 속도와 오독문제를 줄이기 위한 연구가 주로 수행되고 있다.

2) 국내의 사례 분석

국내 도로교통안전 관련 사업은 크게 기존도로를 대상으로 위험구간을 개선하는 개통 후 단계의 도로교통안전 개선사업과 신설도로를 대상으로 계획, 설계, 개통 전, 운영 중 단계로 세분화하여 위험구간을 개선하는 개통 전·후 단계의 도로안전진단사업으로 구분된다.

개통 후 단계의 도로교통안전 개선사업(이하, 개선사업)은 크게 사고 잦은 곳 개선사업, 위험도로 개량사업, 어린이 보호구역 개선사업, 병목지점 개선사업, 기타 개선사업 등으로 구분할 수 있다. 대부분 교통사고 자료 분석 및 현장조사를 통해 이루어지고 있다.

한편 개통 전후단계의 도로안전진단사업(이하 RSA : Road Safety Audit)은 도로 사업의 계획, 설계단계에서부터 실제 도로운영단계까지 사고발생 가능성을 감소시키고 안전성을 점검하는 예방적 안전성 강화 제도이다. 기존 개선사업은 후속조치의 접근방식이나 RSA는 잠재적인 사고 위험성을 미리 점검할 수 있으며, 도로사업 어느 단계에서나 선택적 도입이 가능하다. RSA의 위험구간 분석방법은 체크리스트를 통해 전문가가 문제점을 도출하고 개선안을 작성

하는 형태로 진행되며 아직 국내 도입 초기 단계임에 따라 다양한 분석방법이 적용되고 있다. 그리고 국외에서도 국내 ‘위험도로’ 또는 ‘사고 잦은 지점’과 유사한 개념으로 ‘Highway Safe Improvement Program’ 및 ‘Road Safety Black Spot Program’ 등이 시행되고 있으며 체크리스트를 활용한 전문가의 진단형태로 실시되고 있다.

국내외의 표지판 관련 규정 및 지침과 관련기술사례 중 특징적인 것들은 다음과 같다.

□ 국내

- 국내의 도로 표지판 관련 규정 및 지침은 다음과 같다.

도로표지판 관련 규정집 (건교부 2006): 표지판 및 지주의 제작, 도로표지판의 설치 (설치체계, 형식, 장소 및 위치, 조명장치), 유지관리, 도로 표지의 설계 방법을 규정

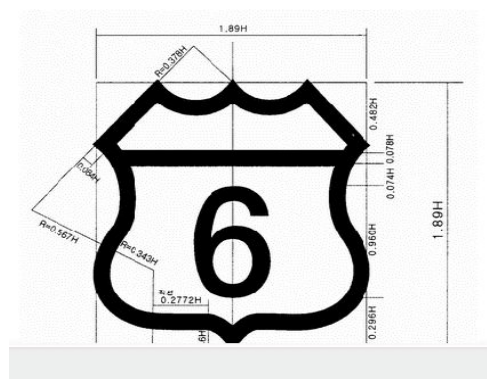


그림 2-12 국내 도로표지판 설계 예

도로표지제작, 설치 및 관리지침-도로표지의 설계(2002): 안내지명 선정방법, 노선번호 표기방법, 도안방법 등을 설명

도로표지제작, 설치 및 관리지침-시설안내표지 설치 및 관리 (2002): 도로구역 내에 설치하는 시설안내표지의 규격 설치 및 관리 등에 관하여 구체적으로 규정함으로써 시설안내표지의 난립을 방지하기 위하여 제정

표지판의 오독으로 인한 교통사고의 위험을 줄이는데 중요한 역할을 하는 표지판의 결로 방지 솔루션 기술이 다수 개발되어 평가 중에 있다.

- Self-Cleaning 결로방지 솔루션
- 나노도료차세대 하이테크 도장
- 반도체 카본 발열 필름
- Carbon Heater를 이용한 결로현상방지 및 성에서림 방지 표지판
- 발열도료를 이용한 결로 및 적설 방지 표지판
- 결로방지 LED 도로표지판 사양

□ 외국

- Manual on Uniform Traffic Control Device (MUTCD): US DOT, FHWA

미국의 sign 과 traffic control에 관한 종합 매뉴얼로 Sign : 규제표지, 경고 표지, 안내표지(일반도로), 안내표지(고속도로), 특별서비스 sign (관광지, 유적지, 공원 등), Marking, 고속도로 신호등, 각종 traffic control 방법을 다루고 있다.

- 펜실바니아 주립대와 펜실바니아교통연구소(PTI)

북미에서는 오랫동안 사용되어 온 Highway Gothic체 대신에 Clearview체를 개발하였다. 여기에는 지각심리전문가, 교통전문가, 그래픽디자이너, 안과 의사 등 의 다양한 전문가가 참여하였으며 글자체 뿐 아니라 글자의 간격이 운전자의 인지에 미치는 영향, 특히 기존 서체가 갖고 있던 야간 과반사 문제 등을 해결한 것이 특징이다. 이 서체는 야간 판독도를 16%나 증대시킨 것으로 미국과 캐나다에 쓰이고 있다.



Example of a sign near Penn State that uses the new Clearview road sign typeface based on University research.

그림 2-13 국외 도로표지판 설치 예

Michael Shneier는 무인자동차의 효과적인 도로 표지판 인식 방법에 대하여 연구하였다. 그 외에도 도로표지판 자동 인식에 관한 연구는 Estevez, L, Fleischer, K 등 다수의 전자공학자들에 의하여 수행되었다.



그림 2-14 무인자동차의 효과적인 번호판

C.Y.Fang은 “A Road Sign Recognition System Based on Dynamic Visual Model” 이란 논문에서 운전자의 피로로 표지를 인식하는데 실패할 경우 보완책으로 차량에 부착된 카메라를 통하여 표지판을 효과적으로 인식하고 인식된 정보를 운전자에게 주지시키는 Automatic Road Sign Detection System이 갖고 있는 두 가지 문제점인 속도 와 오독문제를 줄이기 위하여 인간의 시각인

지 과정을 모사한 Dynamic Visual Model (DVM)을 개발하고 그 성능을 실험하였다.

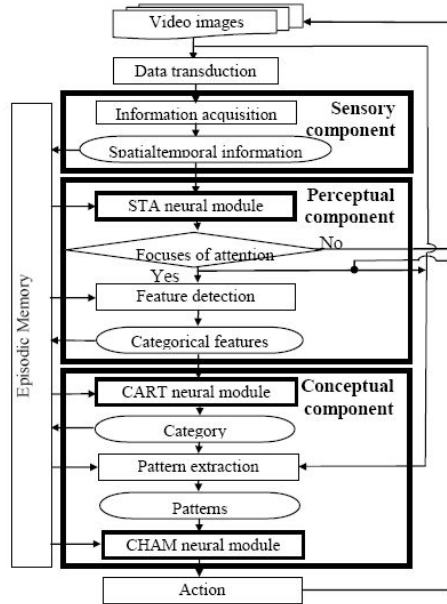


그림 2-15 DVD System

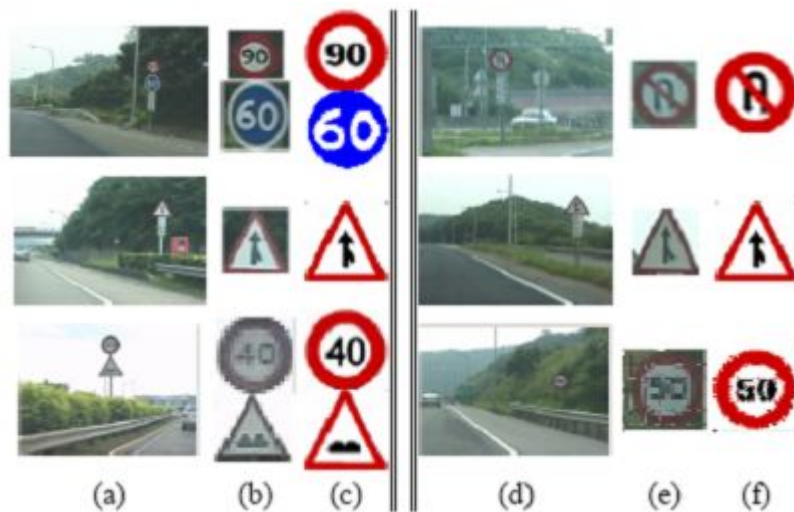


그림 2-16 도로표지판 설계 예DVD System 실험 결과 ((a),(d): Input, (b),(e):감지, (c),(f):인식

조명시설 관련해서는 국내와 해외 일부지역에 라인형태의 조명기구를 환경 친화적인 도로 구현을 위해 광해를 제거하고 도로측면의 농경지나 수풀에 제공되는 후사광의 영향을 배제하여 야생동물 서식지 보호와 농작물 피해방지를

극대화할 필요가 있다. 특히 복잡한 도로 선형에서 난립한 등주 배열과 점 조명에 의한 도로경관과 선형인식 기능이 저해되는데, 등기구 설치위치 조절 및 배광개선을 통해 양호한 경관을 창출하고 선형인식 기능을 향상시킬 수 있는 새로운 도로조명 시스템의 개발이 필요하다.

국내와 해외의 경우 일부 지역에서 라인 형태의 조명기구를 설치한 사례가 있다. 한 가지 사례를 들자면 국내의 경우 경기도 일산에 광도파관을 이용한 조명기구가 설치되어 있으나 성능에 부족한 점이 많다. 일본의 경우 형광등을 이용한 조명기구가 교량에 설치된 곳이 있다.

(3) 국내외 연구 동향

효율적인 안내기법과 관련하여 국외에서는 Positive Guidance(PG)기법을 이용한 적절한 안전시설의 설치효과에 대한 연구가 수행되었다.

Sayed(1998)는 사전 사후 분석기법과 사고예측모형을 사용하여 PG기법을 통한 사전 경고 점멸등의 안전성 개선효과를 연구하였다. 연구결과 106개 신호 교차로 중 25개소에서 안전성 향상 효과가 있었으며 이러한 지점 중 총 사고 건수가 8%~18% 감소하고 심각한 사고는 10%~14% 감소하는 것으로 나타났다.

Tignor(1993)는 U.S. 연구보고서 인용을 통해 PG기법을 통한 경고 표지 사용이 사망 29% 및 부상 14%의 사고 감소 효과가 있다고 밝혔다. 또한 평균사고건수는 곡선부 경고 표지 설치로 20%, 사전 속도제한표지 설치로 36% 감소한 것으로 나타났다.

UK County Surveyor's Society(1989)는 PG기법을 통해 평면 곡선부 사전 경고를 위한 갈매기 표지를 설치한 18개소의 조사 지점 중 9개소의 지점에서 통계적으로 현저한 사고감소 효과가 있었으며 복합적인 사고의 수가 70%까지 감소하는 것으로 밝혔다.

Pak-Poy와 Kneebone(1988)는 도로주변에 설치된 경고표지가 20%~30%가량 사고를 감소시킨다는 것을 U.S. 연구보고서를 인용하여 밝혔다.

Bissel(1983)은 Post-Mounted Delineators를 설치하여 Run-Off-The-Road의 사고가 30%까지 감소한다고 밝혔다.

Richard van der Horst & Nico Kaptein은 사진 및 네덜란드 TNO Driving

Simulator를 이용하여 Self-Explaining Roads의 분류에 대한 인식도 및 주행속도를 연구하여 SER 분류에 일치하는 도로설계는 동질의 주행속도를 유도하고 있음을 밝혔다.

반면, 국내에서는 심관보 등(2007)은 국도 마을 통과구간에 대한 안전성 향상을 위해 적은 투자로 높은 효율을 낼 수 있는 PG기법을 활용하여 사례분석을 실시하고 개선방안을 도출하였다. 분석 결과 국도 마을 통과구간에서 가장 큰 문제점은 차량의 높은 속도였으며 감속을 위한 시설 및 정보조차 절절히 제공되고 있지 않고 있으며 이에 대한 해결책으로 감속시설의 설치와 적절한 정보제공의 필요성을 밝히고 개선대안을 제시하였다.

또한 이수범 등(2007)은 PG기법의 활용방안을 제시하고 경부고속도로 일부구간에 실제로 적용하여 사례를 제시하였고, 고속도로 안전진단 시 PG기법의 활성화 방안을 제시하였다.

기타 표지판설계 및 문자인식에 관한 국내외 연구 중 특징적인 것들은 다음과 같다.

□ 국내

도로표지판 선진화 방안 연구 (2003, 권영인 외, 건교부) : 도로표지 관련 규정집의 문제점을 보완하여 도로표지의 선진화를 위한 방안으로 도로표지 사업의 시행절차, 안내지명의 선정방법 및 개선방법, 선개념 안내체계의 도입방안, 복잡한 도로의 조건별 표지의 도안 및 표지판 설치 방안, 관광 및 사설안내 표지의 개선방안, 영문표기용례 및 기준 등을 연구하였다.

도로안내표지 문안규격 적정성에 관한 연구 (2005, 정봉조 외, 한국도로공사 도로교통연구원)에서는 국내 고속도로 표지판이 갖고 있는 한정된 공간의 과도한 문안표기로 인한 불편 등 도로표지 관리상에 나타난 문제점에 대한 보완방안 연구로 국내고속도로 표지판의 문안규격(글자크기, 여백률, 표지판 제시거리), 접근속도, 조명수준, 도로표지관련 신기술 및 국내현황 평가하고 오독률, 인지반응시간을 고려하여, 여백, 문안규격을 인간공학적으로 결정하는 방법을 제시하였다. 안개, 비, 눈 등 기상변화에 대한 대응방안도 제시하였다.

최성규(1992)의 연구에서는 판독성에 관한 연구의 경우 대상, 판형, 내용 등 매우 미세한 요소에 따라서도 그 결과가 매우 상이하게 나올 수 있는 관계로

좁은 테마설정을 근거로 하여 조사 연구함이 좀 더 정확하다고 밝혔다. 판독성에 영향을 미치는 분야로 메시지의 내용이 어떻게 표현되었는가 하는 언어학 분야의 문장론과 의미론적 영향과, 메시지의 시각적 특성에 관련되는 심리학, 안과학과 미학적 영향을 들었다.

황우상 외 4인(1997)은 인간이 문자를 인식하는 데 있어 중요한 특성으로는 가시성(visibility), 가독성(legibility), 읽힘성(readability) 등이 있는데, 어떤 문자나 문장이 다른 것들과 구별될 수 있게 하는 속성을 가지는 문자의 세부적인 표현을 의미하는 가독성에 영향을 미치는 요인들로 글자체계(typography), 페이지나 판형의 크기, 인쇄면적, 여백 등 시각적 요인과 대비(contrast), 조명 등을 꼽았다. 이 요인들은 사용자가 화면상의 문자를 얼마나 쉽게 식별하고, 문장을 얼마나 쉽게 읽을 수 있는가를 결정하지만, 잘못 설계되었을 경우에는 시각적 불편을 초래할 수도 있으므로 가독성이 문자의 효과적인 표시를 위해 요구되는 최소필요조건이며, 식별력(discriminability)이라고 주장하였다.

지우석과 오은정(2003)은 55세 이상의 고령자에 대한 도로표지판 글자의 적정성 연구를 실시하였다. 연구 결과에 따르면, 남녀간 큰 차이는 없으며, 전체 응답자의 22%가 도로표지판의 글자가 작아서 인식이 어렵다고 했으며, 45%는 작아서 불편하지만 알아보는데 지장은 없다고 응답하였다. 적절하다고 응답한 사람은 전체의 31%로 나타났다. 도로표지판 글자가 매우 작아 불편하다는 응답자는 연령이 높아질수록 증가하는데 55-60세의 21% 정도에서 70세 이상에서는 32%로 증가한다. 반면, 적절한 편이라고 응답한 사람은 동일 연령층 비교 시 31%에서 20%로 감소되었다.

여인선(1998)의 “도로조명의 설계”에 관한 연구외에는 도로조명에 관련된 연구내용은 많지 않고 대부분의 연구가 조명기구, 자동조명제어 등에 관한 것이다.

□ 국외

Road sign System의 평가 관련한 연구로, Mitsuda (1984)는 안내내용을 일관성 있게 보여주는 법칙을 만들기 위하여 continuous guide network theory를 만들었다. Kurimoto (1979)는 intersection 입구에 위치한 안내 표지가 전체 도로 network에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며, Wakabayashi

(1990,1991)는 목적지 도달의 난이도를 측정하는 수학적 모델을 제안하였다.

표지판의 시각인지 관련연구로, Okura et al.(1981)은 표지판의 정보량과 인지능력에 관하여 연구하였다. Nosaku et al. (1988)은 주행환경에서 표지판의 모양과 반사 정도가 시각인지에 미치는 영향을 수치적으로 평가하는 연구를 수행하였다. Ishiwatani et al.(1997)은 시뮬레이터를 개발하여 시뮬레이터가 제공하는 안내 시스템에서의 운전과 실제 도로환경에서의 운전자 심리 차이를 연구하였다. Takamatsu et al.(1997)은 시뮬레이터와 실제 도로 주행을 통하여 설문대신 맥박수를 이용한 표지 인지반응을 연구하였으며 Kimura et al.(1997)은 도로 표지판을 읽는데 필요한 거리와 시간에 대하여 연구하였다. 그리고 Alison et al.은 토론토 지역의 운전자가 잘 인지할 수 있는 도로명판의 글자 높이에 대하여 연구하였고, Michael Shneider는 무인자동차의 효과적인 도로 표지판 인식 방법에 대하여 연구하였다. 그 외에도 도로표지판 자동 인식에 관한 연구는 Estevez, L, Fleischer, K 등 다수의 전자공학자들에 의하여 수행되었다.

Peter(1998)의 연구에서는 운전을 하는 동안 에러를 발생하는 요인에 대해서 설문조사를 실시하였는데, 설문 유형은 4가지 도로 유형(motorway, major road, minor road, in city, particular destination)의 상황에서 길 찾기의 어려움에 대한 것과 16개의 다른 종류의 문제(ex. 표지판을 놓침, 다른 곳으로 방향 전환 등)에 대해 5점 척도로 질문하였다. 연구 결과, 길 찾기를 할 때 에러를 발생하는 주요인은 운전자가 의사결정을 내릴 때 사전정보의 부족 이었다는 것이라고 했으며, 노인과 여자운전자는 다른 운전자들보다 길 찾을 때 좀 더 어려움을 느끼는 것으로 나타났다. 하지만 노인운전자는 길을 찾을 때 문제점을 경험하는 횟수가 적은 것으로 나타났다.

(4) 추진전략

1) 추진체계

본 사업단은 실용화 중심의 연구개발사업으로 산학연 공동연구를 기본원칙으로 하며, 필요시 SMART Highway에서 선도적 위치에 있는 해외 주요 기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있다.

과제성격에 따라 학제간 연구진 구성이 필요하며, 법제도, 표준 및 실용화를

위한 조직체계 및 인력 투입방안 제시 필요하다. 본 세세부과제는 기본 단위이며 세세부과제 이하의 단위로 분할할 수 없는 것을 원칙으로 한다. 단 위탁연구는 예외로 한다. 연구진은 연구책임자, 참여연구진, 참여기업, 위탁연구진으로 구성될 수 있다. 실용화 및 사업화를 목표로 연구개발사업에 참여하는 기업이 있는 경우에는 정부의 연구개발비 출연기준을 준수해야 한다.

2) 테스트베드 전략

3~7차 년도를 통해서 개발되는 기술을 테스트 베드에 적용한다.

4~6년차에 세부기술 성과를 도출하고 7년차에는 Pilot Test를 통해 Test Bed에 적용되어질 핵심요소기술을 선별한다.

2.4 활용방안 및 기대성과

2.4.1 성과물 활용방안

- 기존도로에 적용한 안전시설물을 평가하고 업그레이드하여 최대한 스마트 하이웨이에 활용 가능하도록 함
- 첨단 안전시설을 도로에 적용하여 안전사고를 예방하고 사고로 인한 피해를 최소화할 수 있는 시스템 구축
- 스마트하이웨이 주행환경에서도 고령화 등에 따른 시대변화에 대응하여 모든 운전자가 원하는 도로정보를 획득할 수 있도록 지원하는 편의 시스템을 구축
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특히, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과의 부가가치 창출을 극대화하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

2.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

2.4.3 기대효과

(1) 스마트하이웨이 안전시설 설치방안 연구

1) 경제적 기대효과

본 연구를 통하여 기대되는 경제적 효과는 우수한 방호 성능을 갖춘 최적 시설물을 개발 설치함으로써 설치비용을 최소화하고, 충돌 사고로 인한 피해를 최소화함으로써 국가 사회적인 비용을 최소화하며 유지관리의 수월성을 통하여 도로 유지관리의 비용을 최소화 등을 꼽을 수 있다.

2) 기술적 기대효과

안전시설 관련 기술은 베리어의 본 구조물, 충격흡수 시설의 설치가 주종을 이루었으며 베리어 개발단계에서의 기초적인 연구나 데이터 베이스구축 등이 전혀 이루어지지 않았고 유지관리 및 운영기술이 매우 저조한 것으로 나타나고 있다. 스마트하이웨이 주행에 적합한 도로안전시설 개발 연구는 스마트하이웨이용 안전시설 설계기준 및 베리어 설치구간 연구, 기존 안전시설물의 최대 성능평가 및 개선방안 연구, 스마트하이웨이 주행에 적합한 도로안전시설 개발의 연구내용을 포함하고 있어서, 스마트하이웨이 주행환경에 적합하고 사고 시 현장 접근을 용이하게 하면서 유지관리가 뛰어난 방호 시스템을 획득하게 되고, 우리나라 안전시설관련 기술의 취약점을 보완하여 기초연구-개발-평가 및 피드백의 이상적인 순환 사이클을 구축하는 의미가 크다.

(2) 스마트하이웨이 이용 운전자의 효율적인 안내기법 연구

시인성 증대 등 효율적인 안내를 통한 직간접적인 경제적 기대효과는 다음과 같다.

- 최적화된 안내시설은 교통체증을 완화
- 운전시간을 단축시킨다.
- 사고를 감소시킨다.
- 연료소비를 줄인다.

- 연소가스 방출을 줄일 수 있다.
- 시인성이 최적화된 표지판

2.4.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용가능한 범용기술개발을 지속적으로 추진해야 함

3.1 개요

3.1.1 과제정의

- 세부2과제인 “SMART Highway 친환경 디자인 기술 개발” 과제는 고속도로 건설시 발생하는 환경훼손 및 경관영향을 최소화하는 동시에 새로운 생태환경과 경관미를 창출하는 기법을 연구하는 과제이다. 본 과제는 스마트하이웨이를 친환경적으로 건설하기 위하여 고속주행 환경에서의 소음저감을 위한 방음시설과 생태보전을 위한 로드킬(Roadkill) 예방시스템을 개발하고, 21세기 트렌드에 맞춰 자연에너지를 도로시설물에 접목할 수 있는 기술연구, 더 나아가 조형미를 감안한 도로경관평가 및 도로설계 연계시스템을 연구하는 것이다.
- 고속도로 건설이 그동안 자연생태계를 훼손하고 환경오염을 유발하며 아름다운 자연경관을 파괴하는, 말 그대로 “도로건설=환경훼손” 이미지로 국민에게 인식되어 온 것을 먼저 불식시킬 필요가 있다. 이를 위해서는 먼저 훼손지 생태복원, 단절 생태계의 연결, 사면 녹화, 생태녹지 창출 등

고속도로 및 그 주변부의 생물다양성을 증진시켜야 한다. 아울러 건설과정에서는 물론 운영단계에서 발생하는 각종 폐기물을 재활용하며, 도로 노면 및 주변 몸체에서 유출되는 우수를 저류하여 재이용하고, 휴게소 발생 쓰레기를 재활용하는 자원순환 시스템 도입이 시급히 이루어져야 한다. 또한 에너지 자립형 도로 개발은 물론 기후변화에 대응하는 스마트하이웨이 차원에서 추진되어야 할 중요과제로 부각되고 있다. 고속도로에 사용되는 에너지를 기존의 화석연료와 같은 에너지에 의존하기 보다는, 자연에너지를 비롯한 신재생에너지(New & Renewal Energy)를 과감하게 도입할 필요가 있다. 전광판, 표지등, 가로등, 휴게소 조명 등의 전원으로 태양광 발전시스템을 이용하고, 휴게소의 냉난방에 지열이나 태양열을 도입하는 것이다. 마지막으로 미래의 스마트하이웨이는 오염이 없는 청정고속도로가 되어야 한다. 도로발생 소음진동을 최소화하며, 불가피한 소음진동은 인근 주민에게 피해를 주지 않도록 예방하는 기술이 도입되어야 하고, Roadkill에 의한 생태계 파괴 및 이로 인한 운전자의 안전을 저해시키는 요인을 근본적으로 제거할 필요가 있다.

- 스마트하이웨이는 그 구조물 및 부속공간이 주변 경관과 조화되는 동시에 내외부 조망의 심미성을 확보하여, 개성과 매력이 넘치는 아름다운 도로가 되어야 한다. 이를 위해 도로설계에 따른 주변 자연경관 및 문화경관에 미치는 영향을 객관적으로 평가하고, 그 영향을 최소화할 수 있는 경관 설계기법이 개발되어야 한다. 도로건설의 결과를 시각적 시뮬레이션을 통해, 구조물 및 부속시설의 심미성(조형미)을 평가하고 이를 도로설계 과정에 피드백 할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

3.1.2 과제 목표

- 세부2과제의 목표는 생태계 및 경관의 훼손, 생활환경의 악화 등이 유발되는 고속도로 건설사업에 있어 생태환경 및 경관계획 시스템을 도입하고 환경부하 저감 시설물의 설치를 통해 고속도로의 환경성과 심미성을 제고하는 기반기술을 개발하는 것이다.
- 스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구
- 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구
- 스마트하이웨이 디자인 기술 개발

3.1.3 사업단 목표와의 연계성

- 사업단은 도로의 안전성, 이동성, 편리성개선을 위한 첨단IT기술 등을 활용한 지능형 차세대 도로건설 기술 확보를 사업목표로 하고 있다.
- 고속도로의 ‘SMART’라 함은 이동의 신속성, 효율성, 편리성뿐만 아니라 도로 자체의 건강성과 조형성을 총칭하는 개념이므로, 본 과제는 건강성과 조형성을 통해 스마트하이웨이 목적을 달성코자 한다. 건강성이라 볼 수 있는 환경성과 조형성 측면의 심미성은 스마트하이웨이의 생태기반인 동시에 중요한 문화 콘텐츠로서 기능한다.
- 세부2과제에서는 스마트하이웨이 건설을 위한 환경성 및 심미성 확보 기술을 개발하는 것을 목적으로 도로계획시의 환경생태계획 시스템 구축, 환경성 구현 시설물의 조성, 경관평가 및 설계 시뮬레이션 등을 연구하여 스마트하이웨이가 차세대 지능형 도로로서의 가치를 극대화할 수 있도록 지원하는 것이다. 본 과제의 세세부연구들은 생태환경과 경관성을 제고하는 과제로 구성되어, 사업단의 궁극적인 목표인 삶의 질 향상을 위한 가치창조형 미래도로 실현이 가능하도록 연구체계가 설정되어 있다.

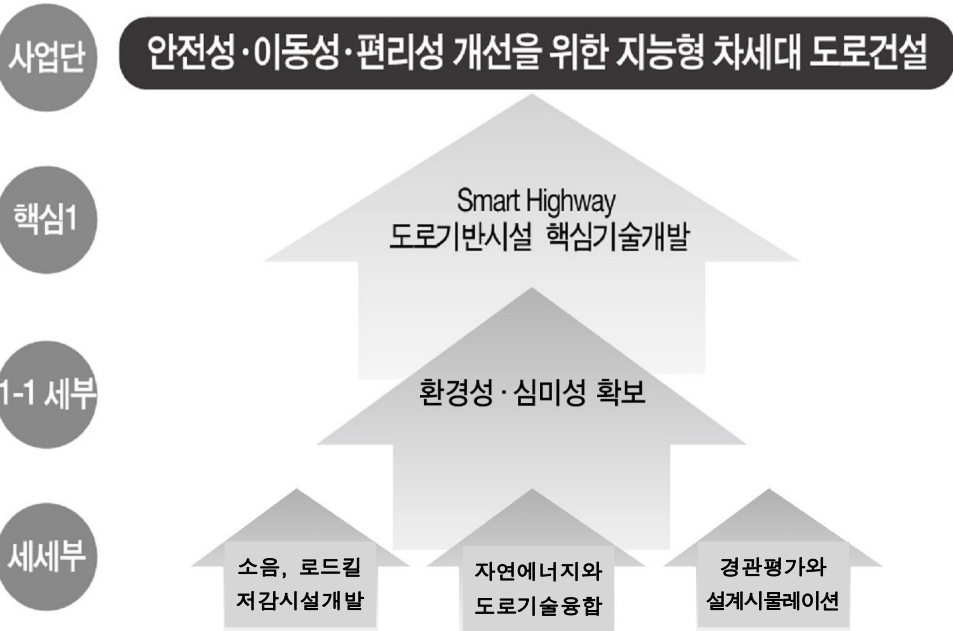


그림 3-1 세부과제와 사업단 목표와의 연계성

3.2 SWOT 분석 및 전략

3.2.1 SWOT 분석

(1) 스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구

표 3-1 1-2-1세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 로드킬 예방과 환경친화적 소음방지 기술의 선진화 · 지속가능성 달성을 위해 도로이외 환경분야 기술이 비약적으로 발전하고 있어 타분야 환경기술을 도로분야에 적용하기가 용이 · 국내 도로건설 경험이 풍부해지면서 환경적 문제점이 선명히 부각되어 도로개발 현장적용을 위한 환경계획 및 설계지표 선정이 용이한 상황 	<ul style="list-style-type: none"> · 관행적 도로사업에 익숙한 현체제에서 계획 및 설계과정상 환경을 전문적으로 검토하고 설계를 이끌어갈 수 있는 기술적 시스템 부재 · 도로분야에 체계적인 환경계획제도를 도입하기에 기초연구 및 기술개발 매우 미비 · 연구 인력이 제한적이어서 연구내용에 대한 객관적 평가가 어려움
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 전 국민의 친환경 도로개발 요구 증대 · 환경대책 요구에 대한 도로환경계획의 필요성 · 전반적으로 환경분야의 기초 및 응용기술이 상당히 선진화되어 도로계획 및 설계 적용에 용이함 · 일정 규모 이상의 개발사업에 대해 환경성평가와 연계하여 환경계획 수립을 의무화하는 제도적 추제(환경부, 2007년) 	<ul style="list-style-type: none"> · 친환경 기술적용으로 고속도로 건설비용의 상승요인으로 작용 · 환경기술이 급속도로 발달하고 있지만 아직 현장검증을 거치지 않은 것이 상당하므로, 이를 도로설계에 직접 적용할 경우 시행착오의 발생 가능성 우려

(2) 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구

표 3-2 1-2-2 세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 각종 오염원을 줄여 생물다양성의 증진 · 자원순환성 확보 · 에너지 절감 및 자립성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> · 시설 조성을 위한 초기 비용의 부담이 큼 · 국내 고속도로 적용사례 미비
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 에너지 자립 확보를 통한 관리비 절감 · 자원순환을 통한 폐기물 배출 저감과 시설비 부담 절감 	<ul style="list-style-type: none"> · 유지 관리를 위한 인력충원 고려 · 테스트베드구축전 에너지 자립 확보 관련 제반실험상의 어려움

(3) 스마트하이웨이 디자인 기술 개발

표 3-3 1-2-3세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 국내 도로건설 경험이 풍부해 경관적 문제점이 선명히 부각되어 도로개발 현장 적용을 위한 경관계획 및 설계지표 선정이 용이함 · 도로사면의 녹화기술의 선진화 · 연구의 필요성과 성과물이 비교적 명확함. · 연구 결과를 테스트 베드에 직접 설치 혹은 운영함으로써 성능과 효율성을 검증할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 생태계 및 경관의 훼손, 생활환경의 악화 등이 유발되는 고속도로 건설사업에 대해 현재 도로사면(절개지)녹화, 생태통로조성 등 단편적이고 경관영향저감 차원에 국한되어 있음. · 도로분야에 체계적인 경관계획 제도를 도입하기에 기초연구 및 기술개발 미비
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 심미성을 확보한, 개성있고 매력적인 고속도로에 대한 전국민의 요구 증대 · 전반적으로 경관분야의 기초 및 응용기술이 상당히 선진화되어 도로계획 및 설계 적용에 용이함 · 일정 규모 이상 또는 경관영향이 큰 개발사업에 대해 환경성 평가와 연계하여 경관계획 수립을 의무화 하고 있음(환경부, 2005) · 새로운 아이디어의 실용화 가능성이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> · 경관에 대한 기술적응으로 고속도로 건설비용의 상승요인으로 작용할 수 있음 · 일부 연구내용은 타분야와 긴밀한 연계가 필요하여 유기적으로 연계가 안 될시 연구진행의 어려움이 있음

3.2.2 SWOT 전략

(1) 스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구

1) SO전략

- 스마트하이웨이 뿐 아니라 일반 도로와 고속도로에 활용 가능한 연구를 수행하여 국내 도로전반에 대한 도로환경을 획기적으로 개선
- 도로건설에 환경계획 및 설계지표를 선정하여 전 국민의 친환경적 도로건설 홍보가능

2) ST전략

- 연구내용간의 연계성을 최대한 활용하여 연구개발의 효율성을 극대화
- 연구내용에 대한 홍보를 강화
- 환경훼손 문제는 새로운 기술을 개발하여 환경을 복원하고, 새로운 기술 적용에 대한 거부감은 테스트 베드 적용으로 개발된 기술을 검증하고 홍보하여 현장 적용성을 높임

3) WO전략

- 기초연구와 실용연구가 유기적인 관계를 형성하도록 연구 개발계획 수립

4) WT전략

- 연구 내용별 연계성을 강화
- 환경분야의 기초 및 응용기술을 도로분야에 접목 기술적 시스템 개발
- 스마트하이웨이에 맞는 평가지표 개발

**SO
전략**

국내 도로전반에 대한 도로환경을 개선하고 환경계획 및 설계지표를 선정하여 전국민의 친환경적 도로건설 홍보

**ST
전략**

새로운 기술을 개발하여 환경을 복원하고, 거부감은 테스트 베드 적용으로 개발된 기술을 검증하여 현장 적용성을 높임

**WO
전략**

기초연구와 실용연구가 유기적인 관계를 형성하도록 연구 개발계획 수립

**WT
전략**

환경분야의 기초 및 응용기술을 도로분야에 접목하여 기술적 시스템을 개발하고 스마트하이웨이에 맞는 평가지표 개발

(2) 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구

1) SO전략

- 기회요인을 효과적으로 활용하기 위해 강점을 살려 전략적으로 개발해야 할 기술들은 에너지 자립 확보를 통한 에너지 절감 및 자원순환성 확보기술의 개발 등 이다.

1) ST전략

- 위협요인을 수용·검토하고 강점을 최대한 이용하여 전략적으로 개발해야 할 기술들은 고속도로상 자연에너지 사용 도입을 통한 에너지 자립 확보 기술 등이다.

2) WO전략

- 내부의 약점을 보완·극복하기 위해 기회요인을 이용하여 전략적으로 폐기물 배출 저감을 통해 초기시설 설치비를 충원하여 에너지 자립 확보기술 개발 하는 방안이다.

3) WT전략

- 내부의 약점을 최소화 하고, 위협요인을 극복하기 위해 전략적으로 개발해야 할 기술은 신재생에너지 도입을 통한 에너지자립 기술 확보 등이다.



(3) 스마트하이웨이 디자인 기술 개발

1) SO 전략

- 스마트하이웨이 뿐 아니라 일반 도로와 고속도로에 활용 가능한 연구를 수행하여 국내 도로 경관평가 계획 시스템 및 지표 개발
- 고속도로 시설물의 경관개선을 위한 디자인 지침 개발

2) ST 전략

- 연구내용간의 연계성을 최대한 활용하여 연구개발의 효율성을 극대화
- 건설비용의 상승요인 발생을 최소화하는 연구를 지향
- 연구내용에 대한 홍보를 강화

3) WO 전략

- 관산학연의 소통관리 체계화
- 다 학제 간 연구 인력의 구성
- 도로분야에 체계적인 경관계획제도를 도입하기 위한 기초연구 및 기술개발

4) WT 전략

- 토목위주의 도로설계 이외에 도로경관계획을 통해 경관친화 고속도로 기술 개발
- 스마트하이웨이에 맞는 평가지표 개발



3.3 세세부과제

3.3.1. 스마트하이웨이 주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구

(1) 목표

- 스마트하이웨이 주행 환경에서 운전자 안전확보와 생태환경 보존을 위한 로드킬(Roadkill) 예방대책 연구
 - 생물다양성이 보전·증진되고 자원순환 및 청정환경이 실현된 환경적으로 건강한 고속도로 건설기술의 개발
- 스마트하이웨이 주행 여건을 감안한 소음대책 연구
 - 고속도로의 구조물 및 부속공간이 주변 생태환경과 조화되는 동시에 내외부 생태네트워크를 확보한, 환경친화적 소음대책 기술의 개발

○ 환경창출형 도로생태계획 시스템이란?

- 생태계 및 경관의 훼손, 생활환경의 악화 등이 유발되는 고속도로 건설사업에 있어 관행적인 환경오염의 처리 차원을 뛰어넘어, 생물다양성 증진, 자원 및 에너지 재창출, 경관친화성 제고 등과 보다 적극적인 환경재창출을 위해, 토목위주의 도로설계 이외에 도로환경계획 및 도로경관계획을 통해 고속도로의 환경적 기반을 구축하는 계획체계를 말함



(2) 세부과제 연계성

세세부과제 내용	세부연구내용
스마트하이웨이 주행여건을 고려한 환경시설 설치 방안 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 도로계획에서의 생태환경계획 수립 시스템 개발 - 자연공생 도로설계 시뮬레이션 - 로드킬 예방 대책 및 소음저감 시스템 개발

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 친환경 도로분야의 국내정책 및 관련기술 현황

○ 사전환경성검토제도에서의 도로노선 입지의 환경성 제고

- 도로노선 선정 초기단계에는 2000년부터 시행하는 환경부 사전환경성검토 협의과정에서 환경측면에서 노선입지의 적정성을 검토하고 최적의 노선대안을 선정하는 과정을 거치고 있음
- 환경측면에서 검토하는 주요 항목은 지형, 동식물상, 수질, 소음진동, 경관 등임
- 도로노선 입지시 평가항목별 환경영향정도를 예측하고 최적 입지대안을 선정토록 환경평가를 진행하되, 특정 구간에서 환경영향이 심대할 경우 특별한 영향저감대책을 수립토록 행정조치하고 있음
- 급경사면, 보호가치가 높은 식생의 집단군락지, 범정보호종 서식처 주변, 국립공원 등 환경보전지역, 자연경관 우수지역, 동굴·연약지반 등 특이 지형 및 지질, 대규모 집단취락지역 등에는 노선입지를 회피하여 사전에 환경을 보전토록 제도를 운영하고 있음

○ 환경영향평가를 통한 도로계획의 환경성 제고 노력

- 환경영향평가에서는 구체적 도로설계 안을 놓고 세부 환경영향을 평가하여 친환경적 설계가 되도록 유도하고 있음

- 자연생태측면에서는 절토법면 녹화, 구조물 녹화, 훼손지 생태복원, 생태통로 설계, 성토면 생태식재 유도 등이 주로 환경영향평가 과정에서 이루어지고 있음
- 생활환경 측면에서는 비점오염원처리시설(특히 하천통과 교량의 경우) 설치, 취락지 주변 방음벽 및 방음독의 소음저감 및 경관개선대책 등이 집중적으로 검토됨

○ 관련기술 현황

- 현재 국내의 도로환경 분야 기술개발 현황을 보면, 주로 훼손지 경사면 녹화, 소음 우심지 방음벽 조성, 비점오염원처리장치 등에 초점을 맞추고 있음
- 도로의 환경성평가 부분은 그동안 기술개발이 상당히 이루어졌으나 도로계획 및 설계분야의 환경기술 개발은 낙후된 상태임
- 한국도로공사(2004)에서 한국환경정책평가연구원에 의뢰하여 친환경 도로개발 방안 연구를 수행한 것이 계획분야의 전부임
- 자원순환, 신재생에너지, 생태서비스, 친환경 도로휴게소 등 생태환경분야의 종합적인 연구는 전무한 상황임

2) 한국도로공사 친환경도로 관련 기술 추진 상황

- 한국도로공사는 2015년까지 잠재된 환경문제 해소를 위해 5대 핵심분야(생활, 자연, 건설, 환경경영, 자원절약)를 선정 추진 중임
- 백두대간을 관통하는 춘천~양양 고속도로를 환경 생태도로 제1호로 지정하여 친환경 고속도로 건설의 기틀을 마련하고 있음
- 환경생태도로 조성을 위해 환경휴게소, 자연지형훼손 최소화, 로드킬 ZERO화, 비점오염원 관리, 사후모니터링 등 종합적 계획을 추진 중임
- 자연생태 측면에서는 로드킬 저감을 위한 도로 주변의 생태네트워크 구축 방안, 관리·운영 시스템 및 매뉴얼 개발, DB/GIS구축 시스템 등이 연구되고 있음
- 생활환경 측면에서는 고속도로 비점오염원처리시설 설치기준 및 유지관리

매뉴얼 작성 등 체계적인 비점오염원 관리방안이 연구되고 있음

3) 국내 친환경도로기술의 강점

- 도로사면 녹화기술이 선진화되어 있음
- 지속가능성 달성을 위해 도로이외 환경분야 기술이 비약적으로 발전하고 있어, 타분야 환경기술을 도로분야에 적용하기가 용이한 상황
- 국내 도로건설 경험이 풍부해지면서 환경적 문제점이 선명히 부각되었고, 아울러 도로개발 현장적용을 위한 환경계획 및 설계지표 선정 용이한 상황

4) 국내 친환경도로기술의 약점

- 관행적인 도로사업에 익숙한 현체제에서 계획 및 설계과정상 환경을 전문적으로 검토하고 설계를 이끌어갈 수 있는 기술적 시스템이 없음
- 도로분야에 체계적인 환경계획제도를 도입하기에는 기초연구 및 기술개발이 아주 미미한 상황

5) 국내 친환경도로기술의 기회요소

- 전국민의 친환경 도로개발에 요구사항이 증대하고 있는 상황
- 대규모 고속도로 건설시 환경대책이 선행되지 않으면 도로사업 자체를 진행할 수 없는 상황: 도로환경계획의 필요성 절실
- 전반적으로 환경분야의 기초 및 응용기술이 상당히 선진화되어 도로계획 및 설계 적용에 용이한 상황
- 일정 규모 이상의 개발사업에 대해 환경성평가와 연계하여 환경계획 수립을 의무화하는 제도적 추세(환경부, 2007년)

6) 국내 친환경도로기술의 위협요소

- 친환경 기술적용으로 고속도로 건설비용의 상승요인으로 작용
- 환경기술이 급속도 발달하고 있지만 아직 현장검증을 거치지 않은 것이 상당하므로, 이를 도로설계에 직접 적용할 경우 시행착오의 발생 가능성 우려

□ 국내 Eco-Highway 관련기술중 R&D 필요 분야 검토

Eco-Highway 기술 분야	기추진 정도	연구 필요성
1) 환경최적화 노선선정 기술 분야 ○ 환경평가에 기초한 고속도로 노선입지 대안평가 기법 ○ 생태최적화 고속도로 선형결정 기술	○ △	× △
2) 환경부하 최소화를 위한 고속도로 조성 기술 분야 ○ 소음저감을 통한 고속도로 정온화 기술 ○ 고속도로 노면 발생 비점오염원처리 기술	○ △	△ ×
3) 환경친화형 에코하이웨이 조성 기술 분야 ○ 자연 훼손지 사면녹화 및 생태복원 공법 개발 ○ 로드킬 예방을 위한 생물이동 유도 기술 ○ 자원순환형 Eco-Highway 조성 기술 ○ 에너지자립형 Eco-Highway 조성 기술	○ △ × ×	× ○ ○ ○

주: 기추진 정도 - ○ 어느정도 추진 △ 초기단계 × 추진되지 않음
 주: 연구 필요성 - ○ 높음 △ 보통 × 낮음

○ 검토 결과

- 환경성이 확보된 미래지향적인 고속도로가 조성되기 위해서는 환경친화형 에코하이웨이 분야에 대한 집중적인 R&D가 필요한 것으로 판단됨
- 특히 로드킬 예방을 위한 생물이동 유도기술에 대한 연구는 활발히 진행되지 않는 상황으로 동물생태 보전 및 로드킬로 인한 사고예방을 통한 운전자 안전확보를 위하여 반드시 수행되어야 할 연구과제로 판단됨
- 또한 소음저감을 통한 고속도로 정온화 기술은 활발히 연구되고 있으나, 스마트하이웨이와 같은 환경까지는 고려되고 있지 않은 상황으로 스마트하

이웨이에서는 별도의 소음저감 대책 및 시설연구가 필요한 것으로 판단됨.

(4) 추진전략

1) 추진체계

- 생태설계, 공간설계(생태조경, 생태건축), 토목설계, 경관/환경디자인의 협력체계 구축
- 테스트베드 적용을 전제로 도로설계 현업실무진의 연구진행 과정에서의 철저한 검증을 거치도록 함
- 도로공사 등 고속도로 건설자의 현장 요구기술을 연구의 우선순위에 설정
 - 산학연 관련분야 전문가의 인적 네트워크 구축 및 활용
- 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
- 연구 성과 확인 및 의견 수렴을 위한 발표회 개최

2) 테스트베드 전략

- 1~6차 년도를 통해서 개발되는 다음과 같은 기술을 테스트 베드에 적용한다.
 - 로드킬, 소음방지 설계기술
 - 청정환경도로 설계기술
 - 생태순환도로 설계기술
 - 어메니티도로 설계기술
- 3~6년차에 세부기술 성과를 도출하고 Test Bed에 적용되도록 한다.

3.3.2 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구

(1) 목표

- 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구의 목표
 - 자연에너지 도입을 통한 에너지 자립형 스마트하이웨이 실현
 - 우수재활용 등 자원순환 도로시설물 설치기법 개발

(2) 세부과제 연계성

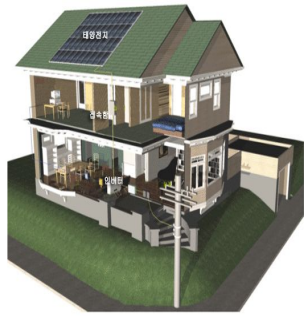
세세부과제 내용	세부연구내용
· 자연에너지의 도로 시설물 활용방안연구	- 자연에너지가 도입된 에너지자립형 고속도로 건설 기술의 개발

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 친환경 도로분야의 관련기술 현황

- 관련기술 현황
 - 현재 국내의 자연에너지 활용사례가 크게 증가하고 있으며, 특히 태양광과 지열에너지의 경우 국가제정의 보조를 받아 기술 개발 및 보급이 활발히 이루어지나 도로시설물에서의 활용정도는 미미하다.
 - 주요 실적으로는 태양열은 온수기, 태양광집진시설 활용, 제주지역 및 대관령 등에 풍력발전 시설 설치 그리고 서울, 경기, 부산, 대구 등 주요 대도시에 폐기물을 활용한 에너지 생산시설 등을 설치한 바 있다.

2) 태양광 및 지열에너지 활용 기술



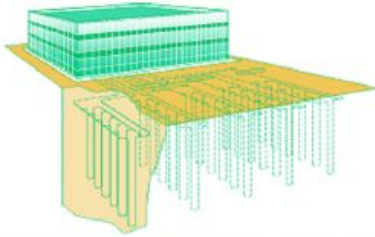
주택형(태양광)



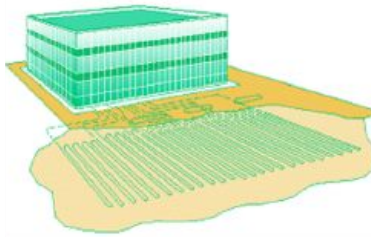
계통연계형(태양광)



독립형/Hybrid(태양광)



수직형(지열)



수평형(지열)

□ 국내 태양에너지관련 기술개발 기본계획

표 3-4 국내 태양열에너지 개발계획

구분	제 1,2단계 (- 1996)	제 3단계 (1997 - 2001)	제 4단계 (2002 - 2006)
태양열 에너지	<ul style="list-style-type: none"> · 핵심요소 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저온 집열기 제작 기술 - 축열 설계 기술 · 태양열 이용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 온수급탕용 시스템 개발 - 채광 냉난방 기술기반 확보 - 태양열 산업이용 기반기술 	<ul style="list-style-type: none"> · 건물 태양열 복합이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 요소기술 실용화(채광, 냉난방 기술 등) - 건물 최적설계기술개발 · 산업용 태양열시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고온, 고효율(50%이상)집열기 개발 및 성능 표준화 - 축열 기술 실용화 - 태양열 발전 기반기술개발 - 산업용 대규모 태양열 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> · 건물 태양열 복합이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 요소 및 시스템 상용화 - 건물 통합제어 기술개발 · 산업용 태양열시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 대규모 산업용 및 광복합 시스템 상용화 - 태양열 발전시스템 실용화(15kW급)

표 3-5 국내 태양광에너지 개발계획

구분	제 1,2단계 (- 2006)	제 3단계 (2006 - 2009)	제 4단계 (2009 - 2012)
태양광 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 주택보급형 3kW급 시스템 개발 건물, 상업용 10kW급 시스템 개발 태양전지 저가화, 고신뢰성 제품 및 양산체제 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 결정질 초박형 태양전지 기술개발 차세대 박막 태양전지 기술개발 태양전지 발전시스템 보급형 유니트화 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 결정질 초박형 태양전지 상용화 기술개발 차세대 박막 태양전지 상용화 기술개발 태양광발전시스템 보급형 패키징 상용화 기술개발

□ 국내 Eco-Highway 관련기술중 환경오염저감 시설물 R&D 필요 분야 검토

Eco-Highway 기술 분야	기추진 정도	연구 필요성
자연에너지를 활용한 고속도로 시설물 조성 분야	×	○

주 : 기추진 정도 - ○ 어느정도 추진 △ 초기단계 × 추진되지 않음

주 : 연구 필요성 - ○ 높음 △ 보통 × 낮음

○ 검토 결과

- 자연에너지 활용분야가 주택 등 일부분야에 한정되어 있으며, 도로분야에 있어서는 활용수준이 극히 미약한 실정으로 심화된 연구개발이 요망됨

(4) 추진전략

- 세세부연구책임자는 단계별 목표를 수립하고, 이에 적합한 추진전략 및 일정계획을 수립함.
- 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고, 그 성과지표를 증명할 수 있는 연구, 시범사업, 테스트 베드 적용 등의 사업을 포함하도록 추진함.
- 실용화 추진을 위한 테스트 베드는 시공, 조정, 토목팀과의 유기적인 협력을 통하여 추진함.

1) 추진체계

- 필요시 Smart Highway에서 선도적 위치에 있는 해외 주요 기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음.
- 시설물의 구축에 관하여 법제도, 표준 및 실용화를 위한 조직체계 및 인력 투입방안 제시 필요
- 본 세세부과제는 기본 단위이며 세세부과제 이하의 단위로 분할할 수 없는 것을 원칙으로 함. 단 위탁연구는 예외로 함.
- 연구진은 연구책임자, 참여연구진, 참여기업, 위탁연구진으로 구성될 수 있음.
- 실용화 및 사업화를 목표로 연구개발사업에 참여하는 기업이 있는 경우에는 정부의 연구개발비 출연기준을 준수해야 함.

2) 테스트베드 전략

- 3~6년차를 통해서 개발되는 기술을 테스트베드에 적용한다.
 - 자연에너지의 에너지 자립형 기술개발

3.3.3 스마트하이웨이 디자인 기술 개발

(1) 목표

- 경관친화 고속도로 기술개발
 - 고속도로 경관평가 및 계획을 위한 시뮬레이션 개발
 - 고속도로의 구조물 및 부속공간이 주변 경관과 조화되는 동시에 내외부 조망의 심미성을 확보한, 개성있고 매력있는 고속도로 조성기술 개발

(2) 세부과제 연계성

세부과제 내용	세부연구내용
스마트하이웨이 디자인 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 고속도로 경관친화성 제고를 위한 계획 및 설계지표 개발 - 고속도로 시설물의 경관개선을 위한 디자인 지침 도출 - 고속도로 경관평가용 VR 시스템 개발

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 친환경 도로분야의 관련기술 현황

- 자연경관영향평가를 통한 도로계획의 경관성 제고 노력
 - 현행 사전환경성검토, 환경영향평가 대상과 경관영향이 큰 일부계획이나 사업에 대하여 자연경관영향평가를 시행하고 있음
 - 자연경관영향평가에서는 구체적 도로설계 안을 놓고 세부 자연경관영향평가를 통하여 자연경관 및 역사문화경관과의 조화를 이루도록 개발에 따른 경관영향의 사전예방과 최소화가 되도록 유도하고 있음
- 최근에는 건축기본법 개정을 통하여 건축물, 도로 등에도 디자인 요소를 가미하기 위한 노력을 경주하고 있음
 - 예를 들어 청와대 직속으로 “국가건축정책위원회” 등을 구성하여 국토 환경디자인을 총괄하게끔 추진하고 있음

- 아울러 남양주시의 경우에는 도로에 대한 명품화 추진계획을 밝히고 디자인 도로 국제심포지움 등을 개최하는 등 명품경관 조성을 위한 본격적인 체계를 가동하고 있음

□ 국내 Eco-Highway 관련기술 중 R&D 필요 분야 검토

Eco-Highway 기술 분야	기추진 정도	연구 필요성
1) 환경최적화 노선선정 기술 분야 ○ 환경평가에 기초한 고속도로 노선입지 대안평가 기법 ○ 생태최적화 고속도로 선형결정 기술	○ △	× △
2) 환경부하 최소화를 위한 고속도로 조성 기술 분야 ○ 소음저감을 통한 고속도로 정온화 기술 ○ 고속도로 노면 발생 비점오염원처리 기술	○ △	△ △
3) 환경친화형 에코하이웨이 조성 기술 분야 ○ 자연 훼손지 사면녹화 및 생태복원 공법 개발 ○ 로드킬 예방을 위한 생물이동 유도 기술 ○ 자원순환형 Eco-Highway 조성 기술 ○ 에너지자립형 Eco-Highway 조성 기술 ○ 친환경 휴게소를 통한 에코서비스(Eco-Service) 구축 기술	○ △ × × ×	× △ ○ ○ ○
4) 고속도로 경관개선을 위한 계획 및 설계 기술 ○ 경관자원 보전 및 조망 개선을 위한 노선계획 기술 ○ 고속도로 구조물의 경관미 개선 기술	× ×	○ ○

주 : 기추진 정도 - ○ 어느정도 추진 △ 초기단계 × 추진되지 않음

주 : 연구 필요성 - ○ 높음 △ 보통 × 낮음

○ 검토 결과

- 환경성이 확보된 미래지향적인 고속도로가 조성되기 위해서는 ① 환경친화형 에코하이웨이 분야와 ② 고속도로 경관 분야에 대한 집중적인 R&D가 필요한 것으로 판단됨

(4) 추진 전략

- 고속도로 건설로 불가피하게 발생하는 경관영향을 최소화시키려는 소극적인 전략이 아닌, 고속도로 건설을 새로운 경관창출의 기회로 활용하는 적극적인 전략으로서, 미래지향적인 에코하이웨이 조성 기술의 개발

1) 추진체계

- 생태설계, 공간설계(생태조경, 생태건축), 토목설계, 경관/환경디자인의 협력체계 구축
- 테스트베드 적용을 전제로 도로설계 현업실무진의 연구진행 과정에서의 철저한 검증을 거치도록 함
- 도로공사 등 고속도로 건설자의 현장 요구기술을 연구의 우선순위에 설정

2) 테스트베드 전략

- 1~4년차에 개발된 VR핵심기술을 사용하여 테스트베드에 적용 전에 구축하여 미리 예측할 수 있도록 함
- 조형미를 감안한 스마트하이웨이 경관평가와 도로설계 연계시스템 개발 연구의 실용화 및 사업화를 효과적으로 추진하기 위해 반드시 적용해야 할 것을 구분하여 적용하고 적용시에는 세부일정 및 적용기술 등에 대해 구체적으로 설정
- 자체적으로 추진할 수 있는 총괄과제나 테스트베드 전담연구진과 협조나 공동으로 추진할 것인지를 설정

3.4 활용방안 및 기대성과

3.4.1 성과물 활용방안

- 친환경 시설물 설치를 통한 환경 및 생태계 피해를 최소화하고 도로구조물의 부정적 이미지를 변화시킬 수 있는 기회로 활용
- 자연에너지 활용을 통해 환경오염을 저감시키고 새로운 에너지원 발굴을 통한 에너지자립형 도로시설물을 구축
- 설계단계부터 도로시설의 자연과의 조화를 검토하고 지역의 특징을 나타낼 수 있도록 경관시스템을 활용
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특허, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치 창출로 연계하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

3.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

3.4.3 기대효과

(1) 스마트하이웨이 주행여건을 고려한 환경시설 설치방안 연구

1) 경제적 기대효과

- 로드킬, 소음 등으로 인하여 발생할 수 있는 각종 환경비용 절감효과 발생

- 도로건설시 환경피해에 따라 환경피해를 최소화

2) 기술적 기대효과

- 고속도로 건설로 불가피하게 발생하는 환경부하를 최소화시키려는 소극적인 전략이 아닌, 고속도로 건설을 새로운 환경창출의 기회로 활용하는 적극적인 전략으로서, 미래지향적인 에코하이웨이 조성
- 환경친화적이며 실효성 있는 생태통로 및 소음저감시설 조성 기법

(2) 자연에너지의 도로시설물 활용방안 연구

1) 경제적 기대효과

- 본 연구를 통하여 기대되는 경제적 효과는 기존의 화석연료 또는 순수하게 전기등을 활용하여 도로시설물을 운영하는 것에 비해 자연에너지를 활용하는 시설물로 대체함으로써 화석연료 사용에 따른 환경피해 절감 및 전기 등 부가적인 에너지를 절약함으로써 국가 사회적인 비용을 최소화하며 유지관리 비용의 최소화

2) 기술적 기대효과

- 자연에너지 활용시설에 대한 기준 및 설계지침 등의 기법 등도 제대로 이루어지지 않았고 이러한 기법들의 유지관리 및 운영기술이 매우 저조한 것으로 나타나고 있음
- 자연에너지 활용시설의 개발 및 기준과 설계지침 제정을 통해 에너지 절감 기술의 확보가 가능
- 또한 이러한 기법과 기준, 설계지침 개발은 기초연구-개발-평가 및 피드백의 이상적인 순환 사이클을 구축하는 의미가 큼

(3) 스마트하이웨이 디자인 기술 개발

1) 경제적 기대효과

- 환경, 문화, 예술 등이 조화된 도로공간 창출로 고속도로 이용 극대화를 통한 국가수입증대 및 고속도로 시설물의 어메니티 자원으로의 활용을 통

한 관광자원화 가능

- 신재생에너지 활용 등을 통한 에너지 절감
- 2) 기술적 기대효과
 - 도로경관평가 및 디자인 시뮬레이션
 - 친환경 도로시설물 경관평가용 VR 시스템 개발

3.4.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 도로경관평가를 통해 테스트베드사전 검토방법과 연계
- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용 가능한 범용 기술개발을 지속적으로 추진해야 함

4.1 개요

4.1.1 과제 정의

스마트하이웨이 주행 환경에서의 운전자 주행쾌적성과 안전성확보를 위하여 도로의 공간적, 기능적 분류에 따라 안전성, 쾌적성, 내구성, 기능성을 갖춘 포장 형식, 재료 및 시공 기술선정과 적용성에 따른 기술을 개발하는 것이다.

4.1.2. 과제 목표

본 연구에서 수행하고자 하는 과제의 목표는 다음과 같다.

- 스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구
 - 스마트하이웨이 주행환경과 미래의 도로교통 여건에 부합하는 토공부, 교량부, 터널부의 포장 형식을 선정하고, 성능 평가 기준을 수립하며, 이에 해당하는 재료, 설계 및 시공 기술들을 개발하여 테스트 베드를 거쳐 실용

화 할 수 있는 기술을 완성한다.

- 도로포장의 주행 안전성 및 평탄성을 고려한 하부구조 및 유지관리 공법 개발 연구
 - 스마트하이웨이 차량 통행에 따른 주행 안전성을 확보하기 위해 하부구조의 안정성과 단차발생부 억제 기술을 개발하며, 보수구간의 평탄성을 확보하기 위해 신속 유지보수 공법을 개발하여 완성한다.
- 스마트하이웨이 주행에 따른 포장성능 평가방안 연구
 - 스마트하이웨이 주행환경에서 포장부분에 요구되는 주행성 및 소음도 등을 평가하기 위한 방법을 개발하고 이를 근거로 평가 기준을 설정하여 고품격의 포장관리가 이루어지도록 유도한다.

4.1.3 사업단 목표와의 연계성

스마트하이웨이가 추구하는 주행환경은 기존에 포장 관련분야에서 적용하는 기술 수준에서 다양한 변화와 개선을 요구한다. 이는 단순히 포장에 적용하는 재료를 개선하거나 시공방법을 변경하는 부분에 국한되지 않는다. 스마트하이웨이 주행 환경과 주행 안전성을 충족시키기 위해서 스마트하이웨이의 포장 재료는 고내구성과 고기능성의 확보되어 필요 특성에 따라 높은 내마모성, 내화학적, 친환경성, 배수성, 내균열성, 내화성 등 다양한 조건에 적합한 재료를 제공해야한다. 또한, 스마트하이웨이 주행성 확보를 위해 도로의 하부구조에 대한 안정성과 단차발생을 최소화 하는 것이 중요하며, 보수구간에 대해서는 평탄성 확보와 신속한 유지보수가 가능한 공법이 개발되어야 한다. 스마트하이웨이 주행 환경에서는 사고의 예방이 가능하도록 미끄럼 저항성, 평탄성을 높은 수준으로 관리하는 것이 중요하다.

이와 같은 제반 기술/시스템의 개발 및 확보를 통해 차량이 초고속으로 주행하는 환경을 제공하고자 하는 본 사업단의 사업 목표와 부합하게 될 것이다.

스마트 하이웨이 완성

초고속 주행환경을 제공하는 SMART Pavement

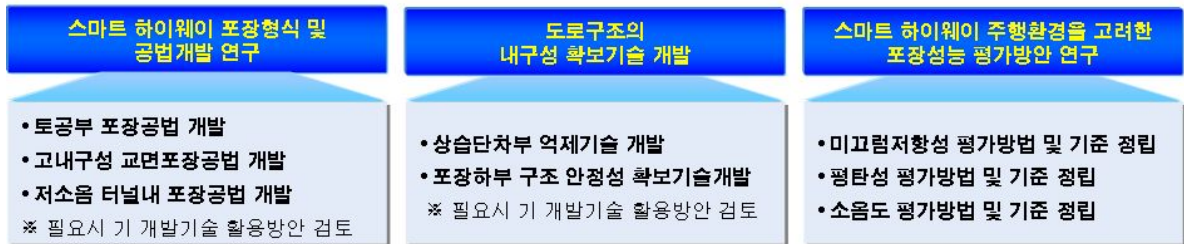


그림 4-1 1-3과제와 상위과제 목표와의 연계성

4.2 SWOT 분석 및 전략

4.2.1 SWOT 분석

SMART Pavement 설계기술 개발 연구를 효과적으로 수행하기 위해서는 포장 분야의 강점과 약점을 정확히 분석하여 강점은 극대화 시키고, 약점은 보완하여 연구를 수행하는 것이 중요하다. 또한, 본 연구과제에 대한 기대효과 및 위험요소에 대해서도 강점과 약점을 보완해 나갈 수 있는 전략적인 계획이 필요하다. 이에, 본 장에서는 스마트하이웨이에 적용할 포장공법의 개발에 있어 효과적인 전략을 구사하기 위한 SWOT분석을 실시하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

표 4-1 1-3세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 지속적인 연구 개발로 일정 수준의 관련 기술 확보 · 정부의 R&D 사업 투자 증대 · 국내 전문가 집단의 역량 충분 · 관련 기술의 첨단화 및 정보화 시도 	<ul style="list-style-type: none"> · 공법의 완성도가 선진국에 비해 미흡 · 일회성 연구로 그치는 국내 연구 현실 · 자체 기술 개발보다는 국외 기술을 모방하려는 사례도 있음 · 공법의 업그레이드를 위한 노력 미진
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 포장의 기능에 대한 국민의 요구 증가 · 스마트하이웨이 도로에서의 포장분야 중요성 입증 · 동북아 시대를 맞아 SOC 확보 필요 · 국제 협력을 통한 개발 도상국으로의 기술 이전 및 수출 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 기술만을 최고라고 생각하는 사회 분위기 · 국내 도로 건설 중 신설 구간의 비율이 줄어들고 있음 · 포장 공용 수명 확보에 대한 국민 불신

4.2.2 SWOT 전략

1) SO 전략

정부의 R&D 사업에 대한 투자 확대 방침을 발판삼아 스마트하이웨이에 적합한 도로 포장 기술을 개발하여 국민의 요구 충족과 해외 기술 수출 및 이전

을 통해 국가 위상을 함양시킨다.

2) ST 전략

국가적인 정책과 국내 관련 연구진은 국외 사례와 같이 한 공법에 대해 지속적인 투자 및 지원을 통해 하나하나의 공법을 완성하고 발전시켜가는 분위기를 배워 기존의 문제점을 해결해 나간다.

3) WO 전략

관련 기술의 약점을 있는 그대로 받아들여 현실에 안주하는 대신 사회적인 요구와 필요성을 바탕으로 기존의 연구 풍토를 바꿔나가며 도로에 대한 국민적 요구 사항을 충족시킬 수 있도록 한다.

4) WT 전략

국내 연구진의 결과가 미흡하거나 역량이 일부 부족하다 할지라도 이에 대한 반성 및 개선을 통해 관련 분야의 문제점을 극복하고 국민의 신뢰를 쌓아가며 새로운 시장을 개척할 수 있도록 한다.



4.3 세세부과제

4.3.1 스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구

(1) 목표

본 세세부 과제의 최종 목표는 스마트하이웨이에 적용하기 위한 토공부 포장, 교면포장, 터널 내 포장공법의 설계/시공/재료 기술개발이다. 현재 국내에서 적용중인 포장재료를 토대로 초고속 도로에 적용이 가능한 고내구성 재료를 개발하고 경제적이며 장기공용성을 확보할 수 있는 포장공법을 제시한다.

스마트하이웨이의 특성상 도로의 평탄성 확보와 내구성 향상을 통한 유지보수의 최소화로 원래의 목적을 달성해야 한다. 토공부 포장은 기존의 포장에 비해 고내구성의 확보가 무엇보다 중요하고 시공 중 불연속면의 최소화를 위한 품질관리 등의 기술개발이 필요하다.

교면포장은 교량의 상판과 부착되어 포설 되므로 교량구조물과 일체화된 거동을 하기 때문에 교량의 연장과 형식에 따라 국부적인 처침이 달리 발생되고 균열발생의 위험이 높다. 교면포장의 파손은 교량 바닥판의 2차 손상을 유발시키고 이로 인해 교량전체의 노화를 촉진시킨다. 특히 강재로 이루어진 교량은 강재의 부식을 촉진시키는 원인이 된다. 이와 같은 교면포장의 특성을 고려한 재료의 개발이 필요하다.

터널 내 포장은 표면 마찰소음이나 차량 자체의 소음 등이 외부로 빠져나가지 못하고 터널 내의 벽에 반사되어 증폭효과를 가져오게 된다. 그러므로 터널 내 포장은 반드시 저소음을 유도할 수 있는 재료 및 공법이 적용되어야 한다. 또한, 터널은 주로 노상이 암으로 구성되어 있어 하부 지지력은 양호하나, 용출수가 많을 경우에는 포장의 파손이 불가피 하므로 수분민감성이나 지하수의 영향을 최소화 할 수 있는 공법을 적용해야 한다.

테스트베드 검증을 통해 설계 및 시공에 대한 기준을 제시하여 향후 스마트하이웨이 건설기술에 이바지하고자 한다.

세부적인 연구목표는 다음과 같다.

- 경제성 및 장기공용성을 고려한 최적 포장 시스템 선정
- 토공부 및 교량의 고성능 고내구성 포장공법 및 재료 개발
- 시공 중 균열/불연속면을 최소화 할 수 있는 품질관리 기술 개발
- 상이 재료 층간 부착 기술 개발(필요시)
- 토공부 포장 반사균열 제어 기술 개발(필요시)
- 교면포장의 교량상판과 부착력 향상 기술 개발
- 터널 내 환경하중(소음, 온도, 용출수 등)에 대한 정량화
- 터널 내 포장의 수분 저항성을 위한 재료의 개발 및 품질기준 제시
- 현행 터널 내 포장의 동상방지층 설계방법 개선과 용출수 처리공법 개발
- 소음 최소화를 위한 터널 내 포장 시공방법 개발
- 포장 설계/시공 지침 작성
 - ※ 기존 개발기술 활용방안을 적극적으로 모색하고, 필요시 세부기술을 개발 할 수 있도록 추진

(2) 세부과제와의 연계성

스마트하이웨이에 적용할 토공부 포장, 교면포장, 터널 내 포장의 재료 및 공법은 고속 주행 환경에 맞도록 요구된다. 본 세세부 과제는 스마트하이웨이에 적용되는 포장재료 전반에 대한 재료개발 및 기술개발로서 도로포장 연구부분의 선도적인 역할을 할 것으로 기대된다. 본 세부과제와 상위과제와의 연계성은 다음과 같다.



그림 4-2 토공부 포장공법 개발 개요

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 토공부 포장

□ 국내외 기술 발전동향

○ 국내 기술 동향

국내에서 시공되는 포장형식은 기존에는 JCP(Jointed Concrete Pavement) 및 HMA(Hot Mix Asphalt) 위주로 구조적인 안정성을 확보하는데 중점을 두었다. 하지만 사용자들의 다양한 요구를 충족시키기 위해 사용재료 및 형식에 대한 다각적인 연구가 시작되었다. 그에 따른 성과로 나타난 연구가 2001년부터 시작된 "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안"으로서 국내 상황에 적합한 포장설계 방법을 도입하여 미국과 일본의 포장설계법을 답습한 기존 관행에서 벗어나고자 노력하였다. 이 연구에서는 포장설계법 이외에도 포장의 성능을 개선하여 포장의 공용수명을 늘이고 유지보수 수요를 저감할 수 있는 다양한 연구가 추진되었다.

그 성과로서 도출된 지침안 및 관련 내용들을 보면 다음의 <표 4-4>와 같다.

표 4-2 포장 성능 관련 국내 연구

제 목	시행연도	주요 내용
아스팔트 플랜트의 품질관리 요령	2003.6	<ul style="list-style-type: none"> ◦아스팔트 플랜트의 설치 계획 및 설비 구성에 대한 기준 제시 ◦아스팔트 혼합물의 제조 및 운반, 환경보전 대책, 안전 관리 등의 전반적인 사항 제시
건설폐자재 재활용 도로 포장 지침	2005.1	<ul style="list-style-type: none"> ◦폐아스팔트와 폐콘크리트의 도로분야 재활용에 대한 기준 제시 ◦재활용 재료에 대한 품질관리 기준 제시 ◦배합설계, 시공중 품질관리에 대한 기준 제시
가열 아스팔트 혼합물 배합설계 지침	2005.1	<ul style="list-style-type: none"> ◦아스팔트포장의 마찰배합설계 기준 제시 ◦배합설계에 사용하는 기구에 대한 기준 제시 ◦혼합물의 종류별 배합설계 방법과 품질관리 기준 제시
아스팔트 포장의 소성변형 저감을 위한 지침	2005.1	<ul style="list-style-type: none"> ◦아스팔트포장의 소성변형의 저감을 위한 신규 골재 입도 제시 ◦아스팔트 혼합물의 생산 및 시공중 품질관리 방법을 제시
하절기 콘크리트 포장 초기균열 방지를 위한 시공 관리 요령	2005.9	<ul style="list-style-type: none"> ◦콘크리트 포장의 초기균열 억제를 위한 방안 제시 ◦하절기 콘크리트 포장의 양생제 및 차광막 설치기준 제시
아스팔트 포장 배합설계 및 시험포장 결과분석 프로그램	2007.5	<ul style="list-style-type: none"> ◦골재입도 및 아스팔트 바인더 배합설계 기준 제시 ◦시험포장을 통한 다짐율 분석방법 제시

○ 국외 기술 동향

국외의 경우 1960년대부터 다양한 기술 개발이 이루어졌다. 고내구성 콘크리트 포장은 CRCP(Continuous Reinforced Concrete Pavement), 프리캐스트 공법, 2층포설 공법 등이 있다. CRCP는 벨기에를 중심으로 독일 등에서 사용되고 있으며, 미국의 경우 35개주 이상에서 도입되고 있다. 프리캐스트 공법은 미국 사우스 다코다 주에서 1960년대에 프리캐스트 슬래브를 이용하여 신설도로를 건설한 경험이 있으며, 오스트리아의 경우는 1990년부터 사용되었다.

2층포설 공법은 1970년대에 처음 도입되었으며, 미국과 유럽을 중심으로 개발되고 있는 실정이며, 독일의 경우 기후 조건에 따라 동결융해에 저항할 수 있는 양질의 재료를 표층에 사용하는 점이 특이한 점이다.

아스팔트 포장은 1990년대부터 장수명 개념이 도입되어 영국을 중심으로 확대되고 있는 실정이며, 포장의 단면 두께는 기존의 전단면 포장공법과 유사하나 단면의 배치와 포장재료, 설계개념 등이 상이하다.

일반적으로 공법 및 재료 선정에 있어 선진국의 경우 초기 공사비가 많이 소요되더라도 가장 내구성이 우수한 재료와 공법을 선정하여 포장을 시공하고 있으며 내구성 향상을 위한 많은 연구가 진행되어 국내에 비해 상당한 기술진보가 이루어진 상태이다.

□ 국내외 사례 분석

○ 국내 사례 분석

국내의 주요 포장은 크게 아스팔트 포장과 콘크리트 포장으로 구분되며, 일반적으로 적용되는 무근콘크리트 포장이나 일반 밀입도 포장 이외에도 기능측면이나 내구성 측면으로 성능을 개선시킨 다양한 포장이 시공되고 있다. 본 절에서는 스마트하이웨이에 적용될 가능성이 높은 고내구성 포장공법에 대해 고찰한다.

- 콘크리트 포장

① CRCP(Continuous Reinforced Concrete Pavement) 포장

CRCP는 국내 중부고속도로에 많은 연장이 시공되어 있으며, 경부고속도로, 호남고속도로, 판교-구리간 고속도로, 그리고 국도 7호선 일부에 시공이 되어왔다. 그렇지만, 대부분 포장체 표면에 균열이 많이 발생된다는 이유만으로 외면되었다. 하지만 역학적, 기능적으로 CRCP에서 균열은 자연스런 현상이나, 일부 구간에서는 Sealing으로 불필요한 유지보수를 실시한 곳도 적지 않은 실정이다. 최근에는 한국형 포장 설계법에서는 중부내륙고속도로의 시험도로구간에 철근량을 달리하여 CRCP를 시공하였으며, 이에 대한 장기거동을 분석하고 있다.

② 프리캐스트 포장 공법

프리캐스트 포장공법은 공장이나 별도의 장소에서 포장체의 슬래브를 제작하여 현장으로 이동하여 시공하는 방법으로 고품질의 재료 생산과 기계화 시공

이 가능한 공법이다. 유럽에서는 현장 타설공법보다는 공장에서 만든 다양한 형상의 프리캐스트 제품의 사용을 선호하고 있다. 부분적으로는 접합부를 일체화시켜야하는 부담감이 없지는 않지만 품질관리 및 공기단축 등의 이유로 인해 본 공법을 선호하고 있다. 국내 도로포장 분야에서의 적용 실적은 많지 않지만 최근 들어 한국도로공사에서 단면 보수용으로 현장 시험시공을 통해 그 거동을 살펴보고 있으며, 경희대 연구팀에서 관련 연구를 진행하고 있다.

③ 이층포설 콘크리트 포장

이층포설 포장에 대한 연구는 하부층 재료는 지역에서 생산되는 일반적인 재료를 사용하고 상부층 재료는 우수한 성능을 보이는 재료를 사용하여 경제성을 고려함과 동시에 기능성, 내구성 또한 증가시키기 위해 국내에 도입되었다. 표층의 기능에 따라 다양한 재료를 접목시킬 수 있는 장점이 있어 한국도로공사에서 기초 연구를 수행하였는데, 최적배합을 이용한 배합 설계와 같은 새로운 개념의 포장이 연구되었다.

- 아스팔트 포장

① 개질 아스팔트

독일이나 스웨덴 등에서 개발되어 국내에는 1990년부터 고속도로와 국도, 지방도로에 적용하기 시작했다. 해마다 기술이 향상되면서 1995년 중반부터는 대부분 국산 개질재를 사용하고 있다. 현재는 SMA, SBS, Superphalt 등의 개질 아스팔트에 대한 재료, 배합 방법, 시공 및 품질 관리에 대한 지침을 개발하여 적용하고 있다.

② 저소음 포장

저소음 포장은 아스팔트 혼합물에 사용되는 골재의 입도를 공극이 높아지도록 합성하고 다짐 이후의 공극률이 20% 이상이 되도록 배합설계를 한 포장형식이다. 이 포장은 현재 중부고속도로 진천 휴게소 부근 등 다수 지역에 시험시공이 되어 있는 상태이다. 저소음 포장은 연행공극을 통하여 포장에서 발생하는 타이어와의 접촉소음을 분산시키고, 에어펌핑 소음을 저감시키는 효과가 있다. 또한 연행공극을 통하여 강우시에는 배수를 촉진하는 효과가 있어 도로 안전에도 도움이 된다. 최근 국내에서는 저소음포장의 성능 향상을 위한 바인더 개발 연구가 진행되고 있다.

○ 국외 사례 분석

- 콘크리트 포장

① CRCP 포장

유럽에서 CRCP를 사용하는 국가는 주로 벨기를 중심으로 독일 등에서 사용되고 있다. 유럽에서 사용하는 슬래브의 두께는 주로 교통량에 따라 17, 20, 25cm 를 적용하고 있으며, 기층의 형식은 lean concrete, Asphalt Concrete 등을 사용하고 있다. 또한 CRCP에 사용하는 철근량은 0.60~0.85% 정도로 다양하게 사용하고 있는 것으로 나타났다. 벨기에, 프랑스, 스페인 등에서의 시험 포장에서는 철근량을 0.85%까지 사용하였는데, 공용성이 매우 좋다고 보고되었다. 철근의 위치를 보면 표면에서 슬래브 두께의 1/3 지점에 철근을 사용함으로써 철근으로 인한 균열의 벌어짐을 잘 잡아주는 것으로 보고되었다. 특히, 벨기에의 경우 1923년부터 CRCP를 사용해왔었는데, 1970년부터 많이 사용하기 시작했다. 1979년 전까지는 0.85%의 철근량 그리고 철근의 위치는 표면에서 1/3 위치에 설치하였다. 그 결과 좁은 균열 간격(0.6m 이하)이 발생되어 1979년부터는 철근량을 0.67%로 줄이고, 철근의 위치도 슬래브의 중앙으로 변경하였다. 하지만 두 포장 설계에 대하여 현재까지의 공용성 결과를 보면 철근량이 많은 포장이 중차량 교통량에도 불구하고 Punchout 등의 파손이 거의 없다는 것이다.

미국의 경우 최근 FHWA에서 정리한 보고서를 보게되면 적어도 35개주 이상에서 CRCP를 사용하고 있는 것으로 보고하고 있으며, 최근 들어 중차량이 많거나, 교통량이 많은 구간에서 CRCP 적용을 적극적으로 검토하고 있는 주가 늘어나는 추세이다. 대표적으로 일리노이주와 텍사스 주가 가장 많이 사용하고 있으며, 이에 대한 연구도 가장 활발하다. 미국의 각 주에서 사용하고 있는 철근량은 0.6~0.8% 정도의 범위내에서 매우 다양하게 사용하고 있으며, 슬래브 두께 역시도 110 - 300mm로 다양하다. 철근의 위치는 대표적으로 일리노이주의 경우는 슬래브 표면에서 약 1/3 위치에 설치하고, 텍사스는 슬래브의 중앙에 설치한다.



그림 4-3 CRCP 철근배근사진

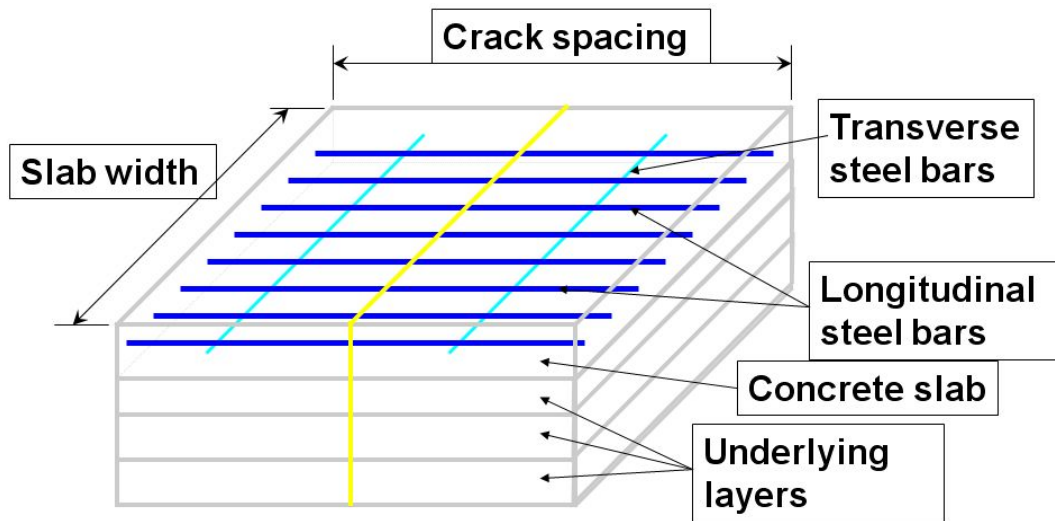


그림 4-4 CRCP 구성도

② 프리캐스트 포장 공법

일본에서는 여러 종류의 프리캐스트 도로 포장을 건설한 경험이 있다. 첫 번째 형태는 프리캐스트 슬래브를 아무 연결장치 없이 그냥 나열하는 방식으로 시공한 방법이다. 두 번째 형태는 슬래브 조인트 부분을 프리스트레싱 바를 이용하여 연결한 형태이다. 프리스트레싱 바를 사용하여 슬래브의 연속성을 확보함으로써 전단하중이 완전히 전달되는 것으로 나타났다.

Panel Assembly

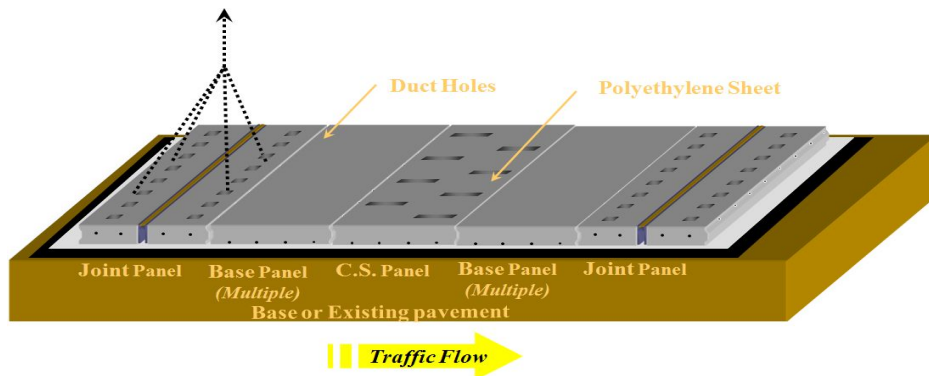


그림 4-5 프리캐스트 슬래브 조립 과정



그림 4-6 프리캐스트 시공 사진

③ 이층포설 콘크리트 포장

이층포설공법을 살펴보면 오스트리아의 2층포설 공법은 1990년부터 사용되었으며 상부층에 양질의 재료를 이용함으로써 소음 감소와 마찰력 증대의 효과를 얻을 수 있었다. 하부층에는 저급의 값싼 재료를 이용함으로써 비용을 감소시켜 경제성을 확보하였다. 대부분이 표면에 골재노출 공법을 적용하였으며 고품질의 작은 골재(최대 7~8mm의 입경)를 사용하여 차량의 도로 주행으로 인한 소음을 최소화하였다. 가능한 한 많은 양의 골재를 4~7mm나 4~8mm의 크기로 사용함으로써 소음 저감 효과를 더욱 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

독일에서의 2층포설 공법은 다른 나라와 적용한 것과 비슷하지만 기후 조건이 다름에 따라 동결융해에 저항할 수 있는 양질의 재료를 표층에 사용해야 한다는 점에서 차이를 두고 있다. 상부층 콘크리트 포장 재료는 물/시멘트 비가 0.4~0.45 정도이며 공기량은 약 5% 정도가 되도록 하고 28일 압축강도는 약 35MPa의 값을 갖도록 하였다. 하부층을 구성하는 린 콘크리트의 경우 물/시멘트 비를 약 0.8 정도, 공기량은 5%를 유지해야 한다.

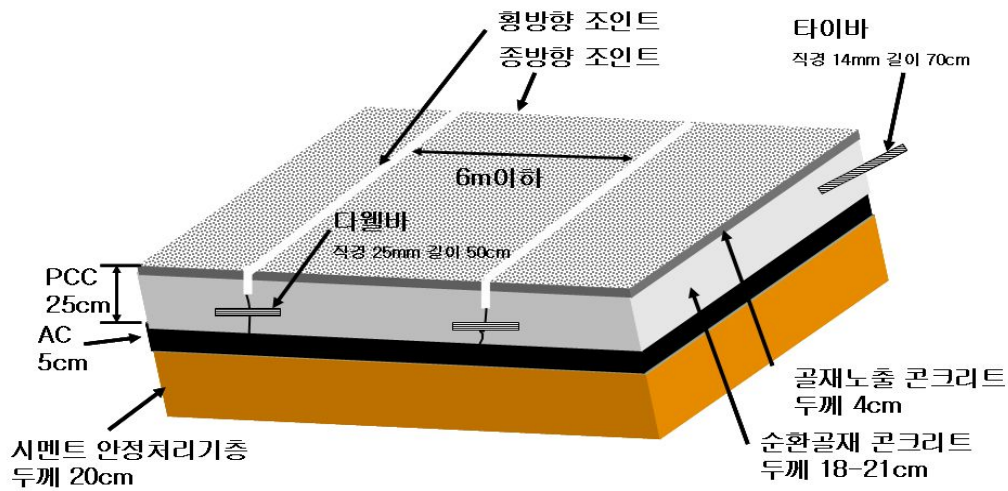


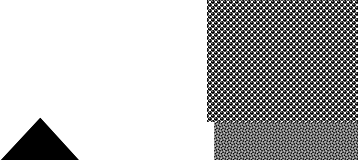
그림 4-7 오스트리아의 이중포설 단면

- 아스팔트 포장

① 장수명 아스팔트 포장

장수명 개념의 포장공법은 1997년 영국 국립도로연구소의 Nunn이 처음으로 제안하였으며, 포장의 단면 두께는 기존의 전단면 포장공법과 유사하나 단면의 배치와 포장재료, 설계개념 등이 상이하다. 현재단계에서 유럽 및 미국의 각 주에서 시험시공되는 장수명 포장을 살펴보면 사용되는 재료와 단면두께 등이 각 나라마다 다르며 추적조사 결과 양호한 공용 결과를 나타내고 있다.

표 4-3 미국의 장수명 포장 사례 조사

지 역	시공개요/연구개발현황	
California I-710	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 무근콘크리트 포장을 제거 또는 crack and seat 로 처리후 장수명 포장 시공 (2001년) • 시공전 Heavy Vehicle simulator로 실물규모 시험 실시 	 <p style="text-align: center;">포장단면도</p>
Illinois	<ul style="list-style-type: none"> • 2002년까지 장수명 포장 설계 및 시공지침 개발 완료 • 기존의 Illinois주 자체 개발한 역학적-경험적 설계법 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 표층 : 교통량에 따라 5, 10, 15cm 두께의 SMA 혼합물 사용. 폴리머 개질 아스팔트를 반드시 사용하여야 함 • 중간층 : 기존의 밀입도 혼합물로 시공 • 기층 : Superpave 배합설계적용, 공극률 2.5%에서 아스팔트 함량 결정 • 포장기초 : 30cm의 Lime stabilization 또는 30cm의 쇄석보조기층 사용
Michigan	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년도에 장수명 포장을 위한 설계용 표준 단면 개발 • 교통량(4등급)에 따른 표준단면 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 표층 : 20년간 ESAL이 20,000,000을 초과할 경우 6.5cm 두께의 SMA 혼합물 사용. 기타 Superpave 혼합물 사용 • 중간층 : 교통량에 따라 115 ~ 150mm 두께 적용 • 기층 : 교통량에 따라 두께 125 ~ 190mm 두께 적용 • 포장기초 : 동상방지층 포함 55 ~ 70cm 적용
Wisconsin	<ul style="list-style-type: none"> • 2000년도에 5구간에 대해 장수명 포장을 시험시공 • 2002년도 2개구간을 추가로 시험시공할 예정임 	<ul style="list-style-type: none"> • 5개 시험시공구간은 2개의 기존방식구간과 3개의 장수명포장 구간으로 구성 • 20년 교통량 : 75,000,000 ESAL • 장수명 포장의 아스팔트층 두께는 230mm로 동일하나 사용 아스팔트의 종류와 공극률이 다르며 일반구간은 아스팔트층 두께 180mm와 230mm 두 개의 구간으로 구성되었으며 장수명 포장에 비해 아스팔트의 강성이 높은 혼합물 적용
Texas	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년에 기존의 아스팔트 기층이 수분손상에 의해 파손발생구간을 제거후 장수명 포장 시공 	<ul style="list-style-type: none"> • 20년 교통량 : 48,000,000 ESAL • 4.6m 두께의 팽창성 점토가 존재해 공극률 2%의 아스팔트 함량이 높은 기층 혼합물 사용 • 마모층은 40mm의 투구성 혼합물 적용, 표층은 50mm의 SMA 적용, 중간층은 19mm Superpave 80mm와 25mm Superpave 250mm 두께 적용, 기층은 100mm 두께의 일반 밀입도 혼합물 적용

□ 국내외 연구 동향

2005년부터 시작된 "친환경 장수명 포장연구사업단"은 포장의 내구성 향상과 공법의 친환경성 부여를 위하여 노력하였다. 그에 따른 성과로서 콘크리트포장의 저소음화를 위한 기술개발, 고내구성 아스팔트 교면포장 등 다양한 기술 개발을 위한 노력들이 이루어지고 있다. 사업단에서 수행하고 있는 과제들의 내용은 다음 표와 같다.

표 4-4 포장 공법 연구 현황

제 목	주요 연구 내용
고내구성 블록포장 및 갈라 콘크리트 포장 공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦내구성이 우수한 BRT용 갈라 콘크리트포장 개발 ◦내구성 및 심미성을 고려한 블록포장 개발
저소음 콘크리트 포장을 위한 표면처리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦콘크리트 표면을 갈아내어 미끄럼 저항성을 향상시키고 소음은 저감하는 다이아몬드 그라인딩 공법 개발 ◦저소음 콘크리트 포장 공법인 골재노출 공법 개발
고내구성 포장 신재료 및 공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦고탄성 아스팔트 바인더를 적용한 토공부 및 교면포장용 고내구성 아스팔트 포장 시스템 개발
탄성파 및 IT 기술을 활용한 포장 시공관리 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦콘크리트 포장의 시공관리를 위하여 강도발현을 추정할 수 있는 탄성파를 이용한 비파괴 시험장비 개발
아스팔트 혼합물의 첨단 품질관리 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦현장에서 활용이 가능한 아스팔트 혼합물의 밀도 측정이 가능한 비파괴 시험장비 개발 ◦아스팔트 플렌트 인증을 비롯한 품질관리 제도 개선
조기교통개방을 위한 급속경화 콘크리트 포장보수 공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦콘크리트 포장의 신속한 보수가 가능한 공법 개발 ◦경제성을 갖춘 속경성 콘크리트 개발
덧씌우기용 중온형 아스팔트 포장 공법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦중온형 폼드 아스팔트 혼합물 개발 ◦중온형 아스팔트 혼합물용 개질재 개발
시단위 도로관리 의사결정지원 시스템개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦중소 도시용 도로관리시스템 개발 ◦전방 감시 영상카메라를 장착한 조사차량 개발

프리캐스트 공법을 이용한 국외 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. 미국 사우스 다코다 주에서는 1960년대에 프리캐스트 슬래브를 이용하여 신설도로를

건설한 경험이 있다. 프리캐스트 슬래브를 연결하여 도로를 만들고 상부에 박층의 아스팔트를 사용하였고 슬래브는 접합 장치를 이용하여 연결하였다. 최근에는 슬래브를 연결할 때 접합 장치를 이용하지 않고 있는 경우도 있다. 미국 육군 공병단은 프리캐스트 단위 매트 슬래브를 리브 형태로 경량 골재를 사용하여 제작해 8~10 명 정도가 운반이 가능하도록 하였다. 제작과정 중 슬래브의 횡방향으로 프리텐션을 가하며 슬래브 체결시 종방향으로 프리스트레스를 가하여 슬래브를 연결한다. 슬래브의 리브 형태가 프리캐스트 슬래브의 자중을 감소시키는 장점은 있지만, 슬래브 사용결과 공용성의 문제점이 나타나기도 했으며 이에 대한 해결책은 연구 중에 있다. 미국 텍사스 주에서는 2002년 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 슬래브를 이용하여 연장 1Km가 넘는 길이의 도로를 시범 신설하였다. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 연속하여 70m이상 배열한 후, 종방향으로 포스트텐션을 주어 슬래브를 연결하였으며, 횡방향으로는 슬래브를 제작할 때 프리스트레스를 주어 제작하였다.

2층포설에 대한 연구는 미국의 경우 1970년대에 아이오와, 플로리다, 북 다코타 주에서 2층포설 콘크리트 포장의 시험도로를 건설함으로써 시작되었다. 1990년대에는 캔사스와 미시간 주에서 고기능성 콘크리트 포장 프로그램의 일환으로 2층포설 공법을 시험 시공하였다. 아이오와 주의 경우 기존 포장체의 아스팔트 덧씌우기에 사용된 재생 아스팔트 재료를 2층포설 공법의 하부층에 약 40% 정도 사용함으로써 경제적으로 많은 비용 절감을 이루었다. 플로리다 주에서는 상부층을 7.6 cm(3inch), 하부층을 22.8 cm(9inch)로 시공하였으며 현재까지 별다른 유지보수 비용없이 공용 중에 있다. 또한 하부층과 상부층의 타설시간 간격을 30분 정도로 함으로써 두 층간 콘크리트 재료의 섞임을 최소화하였다. 북 다코타 지역에서는 층간의 부착력에 아무런 문제없이 동일한 배치 플랜트에서 2층포설 포장을 성공적으로 타설하였다. 미시간 주는 1994년에 시험시공을 실시하였으며 유럽의 2층포설 공법을 미국에 성공적으로 적용할 수 있음을 보여주었다.

이후 유럽에서는 CRCP 상부에 19 mm 골재 입도에 4~7 mm 골재를 20 % 추가해서 1개 층으로 포설하는 공법을 채택하여 이를 실용화하였다. 양질의 재료를 한 층에 적용하여 시공하는 것으로 특화된 이 기술은 일반적인 타이닝 공법에 비해 약 4dB 정도 소음을 낮출 수 있는 저소음 콘크리트 포장 표면을 제공하는 것으로 나타났다. 또한 1996년부터 노면 배수의 처리를 위해 배수성 콘크리트의 실용화 연구에 착수하여 상부에 최대 7 mm 골재로 배합한 포러스

콘크리트를 4시간 이내에 시공하는 습식-습식공법을 적용하였다. 이 공법의 노면배수성능은 상당히 우수한 것으로 평가되고 주행소음에 대한 저감도 포러스 아스팔트 포장과 유사한 것으로 드러났다.

아스팔트의 경우 SBS-PMA, SER-PMA, PBSC, CRM 등 다양한 개질 및 특수혼합물이 개발되어 사용되고 있으며, 일본과 미국은 폴리머 개질 아스팔트 주로 사용하고 있다. 선진국의 경우 장수명포장의 표층 혼합물로 SMA와 폴리머 개질 혼합물을 가장 널리 활용하고 있다. 중간층에 적용할 강성이 큰 아스팔트 바인더를 개발하여 공용성 극대화를 위한 배합설계 및 시공기준 개발하였다.

단면 설계에 대해서는 유럽의 경우, 역학적 개념을 활용한 설계법을 사용하고 있으며 미국은 AASHTO 2002 설계법에서 역학적 개념을 보강하였으며, 현재도 지속적인 보완 중에 있다. 프랑스도 최신 역학적-경험적 설계법을 도입하여 장수명 포장 설계가능성 검토 및 검증하려하고 있다.

□ 선진국 대비 국내기술 수준

국내의 경우 2001년부터 시작된 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안”, “친환경 장수명 포장연구사업단” 등 다양한 연구가 본격적으로 추진되면서 일부 분야에서는 선진국에 근접하는 수준까지 시공 및 설계 수준이 진전되었다. 아스팔트 분야에서는 해외에서 상용화 단계에 있는 특수 공법들이 대부분 도입되고 있다. 그러나 일부 정립된 기준이나 연구 없이 적용되어 시행착오가 발생한 경우가 발생하고 있으며, 콘크리트 포장의 특수 공법들이 아직 시험 단계로 본격적으로 활성화가 되지 않은 단계이다. 또한 국내 관련 연구가 일반 국도나 고속도로 특성이 적합하도록 개발되었기 때문에 스마트하이웨이에서 요구되는 내구성을 발휘할 수 있는 재료/설계/시공 기술은 아직 미미한 수준이다.

2) 교면포장

□ 국내외 기술 발전동향

○ 국내 기술 동향

기존의 아스팔트 포장의 경우 온도변화, 중차량에 의한 영구변형 및 균열로 인한 포장의 손상으로 지속적인 유지관리가 필요하며 이에 따른 경제적 손실이 점차 증가하고 있으며, 콘크리트 포장 역시 유지관리의 어려움과 방수성능 및 염화물 침투 등으로 인하여 장기적으로 초기투자 비용 이상의 경제적 손실이 발생하고 있는 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위한 연구로서 포장의 내구성을 향상시킨 장수명 아스팔트 포장 및 VES-LMC 등 다양한 교면포장 공법과 재료가 개발 되고 있다. 또한 포장에 침투하는 우수의 효과적인 배출을 위한 배수시스템의 구축과 적용을 위한 연구가 수행되고 있다.

최근 한국도로공사 구조물처에서는 교면포장의 파손과 그로 인해 발생한 심각한 교량 바닥판 열화현상을 극복하고자 콘크리트 계열의 교면포장 사용을 권장하고 있다. 최근 인천대교를 비롯하여 경간장이 긴 강상판 교량이 다수 건설되는 추세이고 이들 교량에는 휨 인성이 강하고 방수층의 역할을 겸할 수 있는 특수 개질 아스팔트 포장을 주로 적용 하고 있다.

콘크리트 바닥판 교량의 경우 교면포장 시스템의 부착력을 향상하기 위하여 바닥판 표면의 레이턴스를 제거하고 거친 표면을 유지하기 위해 슛블라스팅과 골과기 공정을 수행 해 왔으나 분진 발생으로 인한 환경피해를 최소화 하고자 워터젯을 이용한 표면처리 공법으로 변경되고 있다. 강바닥판 교량의 경우 유한요소해석 프로그램의 적용으로 강바닥판을 지지하는 U 리브와 다이어프래임의 간격에 따른 포장층의 처짐/응력/변형률의 발생 예측이 가능하다. 교량상판의 방수와 포장층과의 부착을 위한 방수층 재료로는 최근 도막 방수와 쉬트 방수 각각의 단점을 보완한 복합식 교면방수재료가 도입되고 있으며, 방수층과 포장층의 부착이 용이하도록 골재 또는 규사를 방수층 상부에 치핑하는 방법이 적용되고 있다.

○ 국외 기술 동향

일본, 미국, 유럽 등 선진국의 경우 교량의 구조적 특성과 환경적 조건을 반

영한 포장의 개발, 방수성능 개선과 균열 억제를 통한 교량 구조물 자체의 내구성확보를 위한 재료의 개발과 실용화를 위한 노력이 이루어지고 있다. 일본의 경우 지리적 특성으로 인해 섬을 연결하는 장대교량이 다른 나라에 비해 높은 비율을 차지하고 있으며, 이로 인해 장대교량에 적합한 교면포장의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 장대교량 중 혼슈와 시코쿠 섬을 연결하는 장대 케이블 해상교량을 건설하면서 교면포장 관련 시공 기준을 제정하고 지속적인 연구를 추진 중이다.

유럽과 일본에서는 콘크리트 바닥판 교량에서 도막과 슈트 방수의 하자 발생을 최소화하고 수분 침투시 배수를 촉진하기 위하여 드fp인 파이프, 다공성 배수층, 유리섬유 방수 보호층 등을 적용하고 있다. 미국에서는 방수층의 설치로 인한 하자 발생을 최소화하기 위하여 콘크리트 교량에 고성능콘크리트(HPC) 교면포장을 적용하는 사례가 많이 있다. 최근 독일, 영국, 스웨덴, 일본 등은 여러 나라에서는 기존의 교면포장과 방수층을 별도로 시공하는 방식에서 벗어나 방수층의 기능을 겸비하는 특수 개질 아스팔트 포장을 주로 적용하고 있다.

□ 국내외 사례 분석

스웨덴의 경우에는 지리적인 조건상 연중 온도의 차이가 크게는 70℃까지 발생하는 등 환경적으로 열악하기 때문에 특히 교면포장 연구에 많은 투자를 하고 있다. 스웨덴에서는 장대교량의 교면포장 연구에 많은 투자를 하고 있다. 스웨덴에서는 장대교량의 교면포장을 시공하기 위해서 환경적인 조건이 유사한 지역의 교량에 다양한 단면의 시험시공을 실시하여 최적의 시스템을 구성한 이후의 품질시험과 시공이후의 시험까지 실시하고 있다. 이러한 교면포장의 품질관리를 통해서 높은 공용성의 교면포장을 시공하고 유지 관리할 수 있는 것으로 보인다. 스웨덴의 교면포장은 환경적인 조건에 대해 저항성을 갖기 위해서 방수시트와 에폭시를 방수층으로 두고 있으며 아스팔트 층에서는 하부층에 폴리머 매스틱 아스팔트와 상부에 SMA를 사용하고 있다.

독일의 경우는 시공관리와 규정에 대한 일괄적인 규정을 두고 이에 따른 공정관리와 사후관리를 철저히 실시하고 있다. 독일의 교면포장은 접착층으로 프라이머나 0/2mm의 반응 수지 모르타르로 이루어진 스크래치 필러를 사용하고 그 위에 역청질 방수 시트를 시공하여 방수시스템을 구성하고 있다. 또한 기층

재료로는 구스아스팔트를 사용하고 표층으로는 필요에 따라서 구스아스팔트와 매스틱, 그리고 일반 아스팔트를 사용하고 있다. 기층의 두께는 일반적으로 3.5cm이고, 표층은 구스아스팔트의 경우 3.5cm, 쇄석 매스틱 아스팔트 및 아스팔트 콘크리트의 경우 4.0cm를 적용하고 있다. 또한, 아스팔트층의 전체 두께는 최소한 6cm 이상을 유지해야만 한다는 규정을 두고 있다.

잉글랜드와 웨일즈에서는 1950년대 후반에 장대교량을 계획하면서 교면방수를 처음 사용하였으며, 1965년 이후에는 모든 고속도로와 간선도로의 교량에 대해 의무적으로 방수를 실시하고 있다. 영국의 연구조사 결과 방수층을 시공한 교량은 방수층 시공을 하지 않은 교량보다 손상이 적게 나타난 것으로 확인되었다. 영국에 TRL에서는 효과적인 교면방수의 기준을 규정하기 위한 연구를 1965년에 시작하여 8년 이상의 기간 동안 수행하였고, 제조업자와 연구소 및 실제로 시험을 실시할 기관과의 유기적인 시스템을 구성하여 교면포장 및 방수에 대한 연구를 수행하였다. 영국에서는 일반 아스팔트를 사용하였을 때 두 개 층으로 나누어서 시공하며 각 층의 두께는 50mm를 적용한다. 영국에서 시공되는 대표적인 교면포장의 단면은 방수재료에 따라서 주로 강상판에 적용되는 매스틱 아스팔트를 사용하는 경우, 에폭시와 폴리우레탄 수지를 주성분으로 하며 일반적으로 2층으로 진공 스프레이로 뿌리는 도막계를 사용하는 경우, 역청 접착제를 사용해 프라이머로 표면처리된 상판에 시공되는 시트계를 사용하는 경우의 3가지로 분류된다. 영국의 교면포장은 재료에 따라서 정형화된 포장 단면을 가지고 있으며 현장의 환경조건에 적합한 단면을 선택하여 시공하고 있다.



그림 4-8 교면포장 시공 사례

중앙에 산악지대를 가지고 있는 섬나라인 일본의 경우에는 많은 하천과 계곡 뿐만 아니라 해안선으로 이루어진 지형을 가지고 있기 때문에 다수의 도로교가 건설 되어 왔다. 이러한 지역적인 상황에 의해서 교면포장에 대한 연구도 체계적으로 수행되어져 왔다. 일본의 교면포장 두께는 6~8cm를 주로 사용하고 있으며, 방수층은 도막식 방수계를 주로 사용하고 있다. 또한 강상판에는 주로 구스아스팔트를 시공하고 있는 추세이다. 교량형식에 따라 콘크리트 상판의 경우에는 도막계 방수와 시트계 그리고 포장계 방수층을 적용하고 있으며 포장층의 두께는 6~8cm로 시공하고 있다. 방수층의 두께는 시트계의 경우가 1.5~4.0mm이고 도막계는 0.4~1.5mm 그리고 포장계의 경우에는 15~25mm이다. 또한 강상판의 교면포장에는 따로 방수층을 시공하지 않고 하층에 방수기능이 가능하며 휨추종성이 좋은 구스아스팔트 또는 매스틱 아스팔트 혼합물을 적용하고, 상층에서는 SMA와 SBR등의 개질 아스팔트를 사용한다. 일본은 교면포장에 사용되는 포장재와 방수재 및 포장 시스템에 대한 시험법과 기준의 확립을 위해 오랜 기간 동안 연구를 수행하였으며, 이를 기초로 하여 교면포장을 위한 재료들을 선택 및 시공하고 있다.

표 4-5 각국의 강상판 교면포장 비교

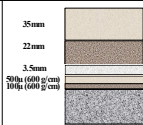
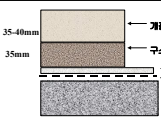
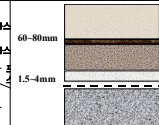
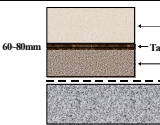
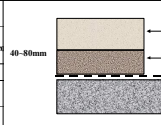
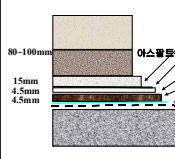
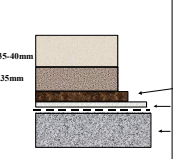
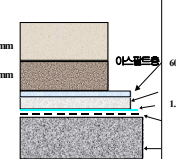
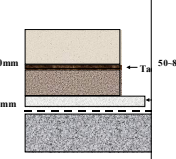
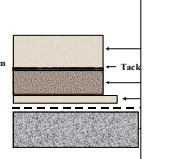
국가		스웨덴	독일	영국	일본	서울시	비교
단면 구성	강상판						
포장층의 재료 및 두께	표층	SMA (35mm)	구스 (35mm) 매스틱 (40mm)	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	구스 (30~40mm) 개질 Asp (30~40mm)	개질 Asp (40mm)	일반 Asp 적용시 -국내 : 50, 80mm -국외 : 100mm Asp층의 구성 -국내 : 단일층 및 두개층으로 구성 -국외 : 두개층으로 구성
	기층	개질 폴리머 매스틱 (22mm)	구스 (35mm)	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	구스, 매스틱 (30~40mm)	구스 (40mm)	
방수층 형식	시트식 방수	시트식 방수	시트식 방수	매스틱 Asp	-	-	방수층설치 -국내:강제규정 없음 -국외:반드시시공
특성	방수시트와 에폭시를 방수층으로 사용	고가의 방수시스템 및 교면포장재 적용	매스틱 아스팔트 위에 규사를 설치함	재료의 선택부터 시공까지 동일한 규정을 적용	유지관리 및 품질 관리가 힘들, 각종 재료선택기준이 없음	유지관리 및 품질 관리가 힘들, 각종 재료선택기준이 없음	-국내 : 특별한 강 공법없이 시공 -국외 : 방수층의 성능개선 층 시공
비교			규격화된 단면 사용	규격화된 단면 사용			-국내 : 규격화된 단면 없음 -국외 : 규격화된 단면 사용

표 4-6 각국의 콘크리트상판 교면포장 비교

국가		덴마크	독일	영국	일본	한국 (서울시)	비교
단면 구성	콘 크 리 트 상 판						
	표 층	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	개질 Asp (35mm~40mm)	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	개질 및 일반 Asp (30~40mm)		
포장 층의 재료 및 두께	기 층	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	구스 (35mm)	개질 및 일반 Asp (40~50mm)	개질 Asp (30~40mm)	개질 및 일반 Asp (총두께 50~80mm)	(일반 Asp 적용 시) -국내 : 50, 80mm -국외 : 100mm Asp층의 구성 -국내 : 단일층 및 두 개 층으로 구성 -국외: 두개층 구성
	방수층 형식	시트식 방수	시트식 도막식	시트식 도막식	도막식 시트식	도막식 시트식 방수층 없음	(방수층 설치) -국내 : 강제규정없음 -국외 : 반드시 시공
특성	방수시트위에 개립 에폭시 콘크리트로 구성된 드레인 통로 시공	고가의 방수시스템 및 교면포장재 적용	시트재 위에 유리섬유, 도막계 위에 보호층을 설치	재료의 선택부터 시공까지 동일한 규정을 적용	유지관리 및 품질 관리가 힘들, 각층의 재료선택에 있어서 선택 기준이 없음	-국내 : 특별한 보강 공법없이 시공 -국외 : 방수층의 성능개선을 위한 층을 시공	
	비교	규격화된 단면 사용	규격화된 단면 사용	규격화된 단면 사용			-국내 : 규격화된 단면 없음 -국외: 규격화된 단면 사용

□ 국내외 연구 동향

교면 포장에 대한 국외 연구 동향으로는 공법 및 재료 선정에 있어 선진국의 경우 초기 공사비가 많이 소요되더라도 가장 내구성이 우수한 재료와 공법을 선정하여 포장을 시공하고 있으며 교면포장의 내구성 향상을 위한 많은 연구가 진행되어 국내에 비해 상당한 기술진보가 이루어진 상태이다. 특히 유럽의 경우 교면포장의 종류에 따른 다양한 재료 및 설계기준이 마련되어 있으며 교통량과 환경조건을 고려한 표준화된 설계기준을 마련하여 적용하고 있고 보다 내구성이 좋은 교면포장 재료를 개발하기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며 개질 아스팔트뿐만 아니라 에폭시 및 우레탄 등을 활용한 바인더 등을 개발하여 사용하고 있다.

덴마크에서는 여러 해 동안 교면의 방수에 대한 연구를 수행하여 왔으며 이를 바탕으로 교면포장을 분류하였다. 교면포장 공법은 1950년대 이후로 계속적인 발전을 거듭해왔으며, 1970년대 초반에 두개의 역청 시트층과 보호막(Protecting membrane)을 가지며 보호막위로 아스팔트 콘크리트층을 시공하기 전에 개립 아스팔트로 구성된 배수층을 설치하는 새로운 종류의 교면시스템들이 소개되었는데 이 시스템들은 덴마크 도로 규정에 해 교통량에 따라 네 개의 방수시스템으로 분류되어있다. 덴마크는 이러한 규격화된 시스템을 정해놓고 현장조건에 따라서 선택하여 적용시키는 방법을 사용하고 있다.

□ 선진국 대비 국내기술 수준

국내의 경우 다양한 교면포장 재료 개발과 방수 시스템에 대한 다양한 연구가 본격적으로 추진되면서 일부 분야에서는 선진국에 근접하는 수준까지 시공 및 설계 수준이 진전되었다. 해외에서 상용화 단계에 있는 특수 공법들이 대부분 도입되고 있다. 그러나 방수 시스템은 교량 형식에 따라 체계화되지 않은 경우가 있어 수분 침투에 의한 방수층 파손 및 포트홀 등이 종종 발생하고 있으며, 콘크리트 포장의 교면포장 공법들이 매우 국한되어 있는 실정이다. 또한 국내 관련 연구가 일반 국도나 고속도로 특성에 적합하도록 개발되었기 때문에 스마트하이웨이에서 요구되는 내구성을 발휘할 수 있는 재료/설계/시공 기술은 아직 미미한 수준이다.

3) 터널 내 포장

□ 국내외 기술 발전동향

현재 터널내 포장에 대한 단면 설계나 기본적인 형식에 대해서는 어느 정도 연구가 진행된 상태이다. 그러나 터널 내에서는 소음이 터널 벽면에 반사되어 터널 외부에서보다 소음이 훨씬 큰 특징이 있으므로 차량 탑승자의 쾌적성을 크게 저하시키며, 특히 고속주행시에는 더 큰 소음이 발생하므로 이에 대한 대책 마련이 필요하나 아직까지 이에 관한 연구가 전무한 실정이다.

터널포장은 터널 입구부의 온도가 외부보다 오히려 낮은 특징을 가지므로 겨울철에 이 부근에서의 결빙이 크게 우려되며 이로 인한 차량의 미끄러짐으로 인한 사고가 우려된다. 또한, 터널은 산을 뚫고 건설되어 지하수위에 인접하여 포장은 물과 접하기 쉬운 조건을 갖게 되므로 수분에 민감한 포장재료 및 배합을 사용할 경우에는 이와 관련된 파손이 발생할 우려가 크므로 이로 인한 파손 또한 도로의 평탄성에 영향을 주어 주행성능을 저하할 우려가 크다. 특히, 고속주행 시에는 이러한 영향이 극대화되므로 이에 대한 대책이 필요하나 고속주행을 고려한 연구가 전무한 실정이다.

터널포장은 배수가 잘 되지 않아 수분과 접하기 쉬운 지형적 특징이 있으므로 수분과 관련된 각종 파손에 저항할 수 있는 재료와 배합을 이용하여 건설되어야 하지만 이에 관한 연구가 부족한 실정이다.

표 4-7 포장 성능 관련 국내 연구

제 목	시행연도	주요 내용
터널내 포장설계 지침	2005.9	◦터널내 포장의 단면설계를 위한 기준 제시 ◦터널내 포장에 적용하기 위한 포장재료 기준 제시

□ 국내외 사례 분석

터널 내의 소음은 1980년대 터널 포장이 아스팔트콘크리트 포장에서 시멘트 콘크리트포장으로 일부 전환함에 따라 아스팔트콘크리트포장에 비해 시멘트 콘크리트 포장의 소음이 큰 문제점으로 인하여 꾸준히 지적 되어 왔으며 아직까지 확실한 대책이 마련되지 않은 상태이다.

터널 내 고속주행시 탑승자의 쾌적성을 해치지 않는 범위까지 소음을 저감하기 위해서는 기상조건과 포장구조 및 교통여건 등을 종합적으로 고려한 포장재료 및 배합의 선정과 시공방법의 개발은 물론이고 소음발생의 주원인이 되는 타이어와 노면의 마찰저항성 간의 상관관계를 분석하여 터널 내 고속주행에 적합한 포장표면 처리공법의 개발이 필요한 실정이다.

산지를 굴착하여 건설되는 터널의 특징상 터널포장의 노상은 주로 암으로 이루어져서 지지력 측면에서는 상대적으로 우수한 성질을 갖지만 많은 양의 비가 내리게 되면 상대적으로 배수가 잘 되지 않는 단점이 있어 포장표면으로 용출수가 뿜어져 나오는 등의 문제가 발생할 우려가 있다. 이로 인하여 겨울철에 포장표면에서 결빙이 발생하거나 포장재료와 수분의 장기적인 접촉으로 인한 파손이 발생할 우려가 있고 이러한 영향은 고속주행시에 상당히 커지므로 이에 대한 연구가 시급한 실정이다.

우수의 신속한 배수를 위하여 터널포장에는 필터층을 설치하게 되는데 최적의 배수를 위한 필터층 재료 및 입도의 선정을 통하여 터널포장의 결빙을 방지하고 수분과 관련된 각종 파손을 방지하여 주행성능을 확보할 필요가 있으며 이는 고속주행시 더욱 절실히 요구된다.

배수가 잘 되지 않는 터널의 특징을 고려할 때 집중호우가 발생하면 아스팔트 터널포장에서는 포트홀 등의 파손이 발생할 우려가 있으며 콘크리트 터널포장에서는 D-균열이나 ASR 등의 재료관련 파손이 장기적으로 발생할 우려가 있다. 이러한 파손은 주행성능을 저하시키므로 고속주행시 매우 중요한 요소이며 유지보수와 관련해서도 반드시 연구가 수행되어야 한다.

□ 국내외 연구 동향

터널은 도로의 시종점 및 경유지 등을 고려하면서 산지를 굴착하여 건설되므로 터널의 입출구는 다양한 위치와 지형에 자리하게 된다. 이로 인하여 터널마다 제각기 다른 지하수위와 온도분포 등을 갖게 되므로 이를 고려한 포장단면의 설계가 이루어져야 하나 이에 관한 연구가 전무한 실정이다.

터널의 입출구 및 내부에서의 대기온도가 외부와 현저히 다르지만 터널포장의 설계에는 일반포장과 동일하게 외부온도에만 근거한 동결지수 결정방법을

따르고 있다. 따라서, 이를 고려한 동결관련 연구를 통하여 기존 터널부 동상 방지층 등의 설계를 보다 최적화할 필요가 있으므로 이에 관한 세부적인 연구가 필요한 실정이다.

터널포장은 터널 외부에서의 기상변화에 반응하는데 시간이 걸리며 이로 인하여 일반포장보다 기상변화의 영향을 적게 받으므로 터널에 적합한 환경하중을 정량화하고 이를 설계에 반영할 필요가 있으나 이와 관련한 연구가 전무한 실정이다.

동상방지층과 필터층의 재료, 입도 및 두께를 새롭게 개발할 경우, 이를 입력값으로 이용하는 새로운 포장설계가 반드시 이루어져야 한다.

터널은 사방이 개방되어 있는 일반포장과는 달리 주행방향을 제외한 측면이 폐쇄되어 접근이 용이치 않고 우회도로를 확보하기 곤란한 경우가 많으므로 파손을 보수할 경우 매우 신속하게 이를 시행할 필요가 있다.

시공시간이 짧고 조기에 강도를 발현할 수 있는 재료를 이용하여 보수를 하여야 한다. 특히 구 포장면과의 접착성능이 우수하여야 하며 안정성이 높고 유동저항성이 높은 재료를 사용하여 다짐 후의 변형이 적은 성질을 갖는 재료를 이용할 필요가 있다.

표면처리가 용이하여 기존 포장과의 단차가 없고 주행성과 소음발생 면에서도 기존포장의 수준을 유지할 수 있어야 한다. 특히 터널포장은 젖어 있기 쉬우므로 구 포장표면과 보수재료의 접착이 쉽지 않으므로 이를 극복할 수 있는 새로운 재료와 공법에 대한 연구가 필요하지만 이와 관련된 연구가 부족한 상황이다. 현재까지 타설되어 있는 터널포장은 일반 도로포장의 연장으로 보고 설계 및 시공되다가 최근에서야 약간의 차별된 설계 및 시공의 지침이 만들어졌다.

가장 최근에 만들어진 터널포장 설계 및 시공 지침의 경우에도 실험방법이 단순하고 고려사항에 한계가 있어 고속주행이 필수적인 도로의 터널포장 설계 및 시공의 지침으로 활용하기에는 큰 무리가 있는 실정이다.

최근 제시된 터널포장 설계 및 시공지침의 개발에 이용된 자료는 매우 단편적인 대기온도 자료이므로 터널의 위치와 지형 및 터널 입출구 형태 등 다양한 변수를 고려한 지침의 제안이 필요한 실정이다.

다이아몬드그라인딩 공법을 터널 및 고속도로에 시험 시공한 결과, 노면의 평탄성을 향상시켜 공용기간을 연장하고, 줄눈부에서의 차량충격이 감소하여 줄눈파손이 줄어들었으며 시공 전에 비해 3dB(A)~5dB(A)정도의 소음이 줄어들었다. 그라인딩 후의 포장표면의 마찰저항성 및 내마모성의 연구를 수행 중이며 이상의 결과를 계속하여 추적 조사하고 있다. 다만, 터널 내에서의 소음 저감 효과 등에 관한 자료는 아직 부족하므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

터널포장에서의 소음을 저감시키고 주행성을 향상 시킬 수 있는 공법으로서 골재노출 공법을 사용할 수 있다. 이 공법은 콘크리트 슬래브의 표면에 지연제를 살포하여 콘크리트의 양생을 지연시켜 일정 시간 경과 후 표면 근처에서의 모르타르를 제거하고 굵은 골재를 표면에 노출 시키는 공법으로 타이어와의 마찰저항성 및 닦음감량 시험을 수행하고 그 결과를 이용하여 최적의 배합을 찾아내고 있다. 하지만, 이상의 결과를 터널포장에 적용할 수 있을지의 여부는 아직 연구되지 않았으므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

수분과 관련된 아스팔트 포장의 포트홀 등을 방지하기 위한 포장재료 및 공법에 관련된 연구가 수차례 수행되었으나 콘크리트 포장의 D-균열이나 ASR 등에 관련된 연구는 시작 단계로서 특히 고속주행과 관련하여 터널 내에서의 수분관련 콘크리트 포장의 파손을 방지하기 위한 노력은 미흡한 실정이다.

노면결빙 등에 의해 고속주행시 발생할 수 있는 사고를 방지하기 위해서는 국내 지형 및 토질 조건에 적합한 필터층 재료와 입도의 개발을 통하여 터널 포장의 배수성능을 극대화하여야 하나 이에 대한 연구가 최근에는 이루어지지 않은 실정이다.

미국의 Texas Corridor Project에서는 용출수의 완전방지를 위해 터널 내부에 필터층의 타설을 의무화하였다. 일본 제2 도메이-메이신 고속도로에서는 터널내부 용출수의 완전방지를 위해 터널포장 전 구간에 시멘트 안정처리 필터층을 사용하였다.

□ 선진국 대비 국내기술 수준

용출수 차단을 위한 필터층 재료 및 입도 기준, 터널 위치 및 기후조건을 고

려한 동상방지층 적용 방법, 터널 시설물 특성을 고려한 포장단면 설계방법 등은 국내에서 어느 수준 진행된 상황으로 선진국에 근접해 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구를 보완하고 미진한 부분인 소음저감 및 주행성 향상 포장재료 개발, 터널 포장의 신속 유지보수 재료 및 공법 개발, 결빙 및 수분관련 파손 방지 설계 개발 등에 주안점을 맞추어 연구를 추진한다.

(4) 추진전략

(1) 추진체계

본 연구는 실용화 과제로, 연구개발이 완료된 후 현장적용성이 좋으며 엄격한 품질기준을 바탕으로 높은 품질과 공용성을 확보할 수 있어야 한다. 그러므로 과제 진행단계에서 이러한 부분들을 충분히 만족시킬 수 있도록 단계별로 체계적인 전략과 검토가 필요하다. 본 연구의 추진체계는 크게 세 단계로 나눌 수 있으며 각 단계별 추진 전략은 다음과 같다.

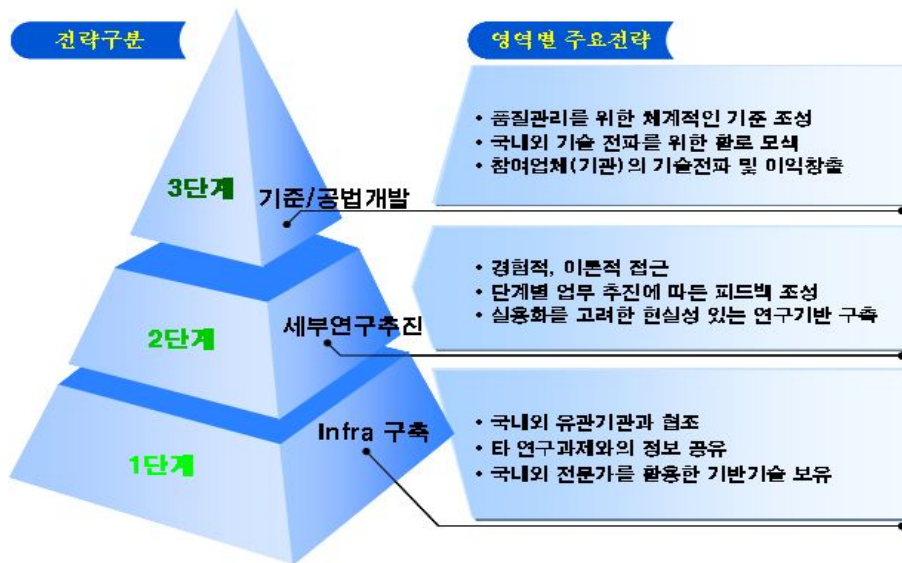


그림 4-9 영역별 주요전략

(2) 테스트베드 전략

본 과제의 완성도를 향상시키기 위한 테스트베드 전략은 다음과 같다.

- 연구 단계별로 전문가의 자문을 통해 조기 실용화가 가능하도록 유도

- 토공부 포장 시스템의 실용화 검증을 위한 시험 실시
- 환경 및 하부구조를 고려한 공법 검토
- 내구성 및 기능성을 갖춘 토공부 포장 재료의 현장 적용성 검증
- 교면포장 시스템의 실용화 검증을 위한 시험 실시
- 교량의 연장과 형식을 고려한 교면포장 공법 검토
- 내구성 및 기능성을 갖춘 방수층과 교면포장 재료의 현장 적용성 검증
- 포장 시스템의 세부 기술 조율
- 연차별 결과에 대한 피드백을 통해 연구과제의 완성도를 향상
- 산, 학, 연 체계를 구성하고 참여기업의 상용화를 위한 지원책 마련
- 타 유사 산업으로의 세부기술 전파 추진
- 실용화 및 상용화를 위한 국내 및 해외 유사시장 조사
- 관련 학회 및 업체의 워크숍 등에 참가하여 기술 홍보 실시
- 정기적인 연구진 회의를 통한 과제 수행을 관리 실시
- 유사 산업 기관과의 유대적인 관계 유지

4.3.2 도로구조의 내구성 확보기술 개발

(1) 목표

스마트하이웨이의 주행 환경에서 평탄성 저하가 유발하는 주행 안전성의 문제는 일반 고속도로 및 국도에 비하여 더욱 심각하므로 평탄성을 유지할 수 있는 재료, 설계 및 시공 기술의 개발은 반드시 필요하다. 또한 신속한 응급복구가 가능하며, 교통개방 후에도 보수 구간의 평탄성이 확보될 수 있는 재료 및 공법의 개발도 수반되어야 한다.

현재 쇄석과 양질토를 혼합하여 사용하는 교대 배면의 뒷채움부의 경우 다짐이 어렵고 지지력이 낮아 장기적으로 포장체의 내구수명에 치명적인 영향을 미친다. 이 구간에서는 공용 중에도 지속적인 처짐이 발생하여 도로의 유지관리 빈도를 높이며 교통 기회비용 증가와 쾌적한 교통환경 확보에 장애물이 되고 있다. 이와 같은 상습 단차발생 구간은 뒷채움 방법의 개선과 지속적인 관찰을 통하여 교통 안전성을 위협하기 이전에 예방적인 유지관리가 필요하다. 이를 위하여 다짐에 활용되는 재료의 개발과 시공방법의 개선과 함께 단차 발생량을 상시 측정하기 위한 기술의 개발이 필요하다. 또한 유지보수 발생 시 빠른 시간 내에 교통개방이 가능해야 한다. 세부적인 연구목표는 다음과 같다.

- 상습 단차 발생부 처짐 최소화 방안 개발
- 뒷채움부 단차 개선을 위한 기능성 뒷채움재 개발(기존 또는 유동화성 재료 등 포함)
- 노상의 안정처리를 통한 처짐 억제 방안 개발
- 원지반 장기침하 구간의 단차관리 방안 개발
- 절성경계부 등 취약 토공구간 단차 저감기술 개발
- 시공 후 평탄성 관리를 위한 세부기술 개발

(2) 세부과제와의 연계성

도로의 주행 안전성 확보는 사용자 측면에서 도로상태를 평가할 수 있는 기

본적인 척도이다. 사용자는 차량 운행 중에 평탄성이 나쁘다는 것을 직접적으로 느낄 수 있기 때문에 평탄성은 향후 민원이나 도로안전 등의 문제점을 발생시킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

이러한 측면에서 보면 본 연구과제는 상위 과제인 ‘SMART Pavement 설계 기술 개발’에서 사용자 및 유지관리 측면을 고려한 과제라 할 수 있다. 시공 및 설계분야도 중요한 사항이지만, 결과적으로 최종 도로의 사용자는 국민이기 때문에 이들이 도로에 요구하는 기본 사항들에 대해서는 최대한 서비스를 제공하는 것이 바람직하다고 판단된다. 그러므로 도로 포장분야에서 고품격의 평탄성 유지가 대 국민 서비스제공에 있어 가장 중요하다고 판단된다. 본 연구과제와의 세부과제 연계성은 다음의 그림과 같다.



그림 4-10 스마트하이웨이 만족도 향상 전략

(3) 국내의 기술 및 연구동향

1) 국내의 기술 발전동향

□ 뒷채움부 다짐공법

○ 국내 기술 동향

토목구조물의 성토는 일반적으로 양질의 흙을 이용하여 그것을 잘 다지는 것을 기본으로 하고 있다. 그러나 지중매설물 주변과 구조물의 뒷채움 등은 좁은 공간적 제약으로 충분한 다짐을 가하기 어렵다. 국내에서도 이를 극복하고자 진동롤러의 사용방법을 개선하고 구조물에 충격완화제를 부착하고 다짐을 가하는 등 몇 가지 다짐도 개선 방법을 적용하고 있다. 국내에서는 최근 고유동 콘크리트의 적용사례, 옹벽 뒷채움용 급결 유동화 콘크리트의 연구사례, 그리고 플라이애시와 폐주물사를 사용한 저강도 콘크리트에 대한 연구사례가 보고되고 있다.

뒷채움재로서 저강도 콘크리트로 분류할 수 있는 현장의 양질토를 활용한 소일시멘트에 대한 연구와 활용실적은 상당히 보고되고 있지만 유동성이 없기 때문에 충분한 다짐도를 확보하여 충전·매립 공사용으로 사용하기에는 부적합하다. 절토 사면의 경우 장기적으로 사면의 거동을 측정할 수 있는 시스템이 도입되어 있지만 도로의 단차는 IRI 측정 이외에는 시도된 적이 없어 상습 단차발생 구간에 대한 국부적인 단차 모니터링 시스템의 개발이 필요하다. 고속철도에서도 구조물 접속부 단차 억제 방안에 대한 연구가 다양하게 진행되었으나, 현재까지도 단차 해결에 만족스러운 성과는 제시되어 있지 못하다. 접속 및 완충슬래브는 콘크리트 포장 적용시 노출로, 아스팔트 포장 적용시 포장하부에 철근보강 슬래브로 설계 및 시공되고 있으며, 절성경계보강 슬래브는 현재 포장층 하부에 철근 보강 슬래브로 설계 및 시공되고 있다.

○ 국외 기술 동향

현장에서 굴착한 잔토, 플라이 애쉬, 폐주물사 등에 비교적 다량의 물과 고화제를 섞어서 교반·혼합함으로써 유동성과 자경성이 있는 안정처리토를 만드는 유동화 처리토 공법이 일본 및 미국에서 실용화 되어 뒷채움부에 적용되고 있다. 미국에서는 건설현장에서 발생하는 굴착토, 폐콘크리트, 폐아스콘, 석분,

플라이 애쉬, 슬래그 등 각종 산업 부산물들을 유동화 처리하여 CLSM (Controlled Low Strength Material)라는 이름하에 매립 및 성토용으로 고결시켜 사용하는 자원순환형 시스템을 구축함으로써 환경을 보존하고 자원의 사용을 억제하고 고품질 시공을 이룩하는 기술이 전파되고 있다.

일본은 1993년부터 터널공사에서 발생하는 흙, 콘크리트 및 건축폐자재 등을 포함하여 건설부산물의 발생억제/재이용의 촉진을 기술적인 측면에서 지원하기 위해서 급결용 유동화 처리토 이용기술에 관한 연구를 수행하였다. 이를 통하여 강도 변화가 가능하고 유동성이 높아 다짐이 필요 없는 신재료를 다양한 건설 분야에 응용하고 있다.

독일 아우토반의 경우에는 교량뒤 접속부에 접속슬래브 대신 시멘트안정처리 기층을 설치하고 그 위에 아스팔트 포장을 시공하는 형태로 관리하고 있다. 이는 단차를 허용하되 기준치 이상 발생할 경우 아스팔트 덧씌우기를 통하여 단차를 보정하는 개념이다. 미국은 접속슬래브의 길이를 6m 이상으로 적용하여 시공하고 있으며, 최근에는 균열과 단차 발생을 억제하기 위하여 프리스트레스 콘크리트 접속슬래브를 채용하기 시작했다.

□ 평탄성 관리기술

구조물 접점 부분의 단차는 도로 공용성 및 주행안정성을 저하시키고 있지만, 일반적인 도로에서 발생하는 0.5mm 이하의 단차는 이용자 측면에서 당연한 것으로 받아들이는 측면이 있으나, 고속주행을 목표로 하는 스마트하이웨이에서는 구조물 접점 부분의 단차는 이용자의 주행 안정성을 크게 위협할 수 있다. 그러나 국내에서는 단차에 대한 연구가 상대적으로 미진하다. 경제성 관점에 주안점을 둔 도로 포장에서 점차 지능화된 도로 포장이 요구되는 상황에 맞추어 도로의 주행 안전성 확보에 대한 연구는 매우 중요한 요소이다. 스마트하이웨이와 같은 고속 주행 상에서는 국소적인 파손이나 단차에 의한 평탄성 저하는 도로 선형, 형태, 운전 형태 등에 따라 사고 유발 요인으로 작용할 수 있다. 고속 주행이 요구되는 도로에서의 잦은 포장유지보수는 차량의 주행속도를 저하시키는 요인이 되며, 이는 스마트하이웨이의 목적에 부적합하고 국부적인 포장의 파손이 발생하였을 경우, 빠른 시간 내에 신속하게 보수하고 교통개방을 하는 것이 중요하며, 짧은 시간에 기존 포장과 동등한 수준의 강도 발현

이 가능하고 경제성을 갖춘 응급 보수재료가 필요한 실정이다. 따라서 기존 단순한 유지보수에서 벗어나 절성 경계부, 교량 뒤 채움재 형식, 하부 구조, 포장 형식에 따라 최적의 평탄성을 제공하여야 한다. 이를 위해 다양한 조건에 따른 신속 유지보수 공법, 단차발생 최소화를 위한 재료/시공/시공 기술이 요구된다. 본 절에서는 이에 관련된 국내외 기술 및 연구동향을 고찰한다.

2) 국내외 사례 분석

□ 뒷채움부 다짐공법

국내 현장다짐도 관리 방법은 다음 네 가지로 대별할 수 있다.

- 건조밀도로 규정하는 방식(기준이 되는 실내 다짐 시험의 최대건조밀도에 대한 백분율로 다짐 후의 건조밀도를 규정하는 방식)
- 포화도(Degree of Saturations, S_r %) 또는 공기간극율(Air Void Ratio, v_a %)로 규정하는 방법
 - ① 규정된 건조밀도로 할 수 있는 함수비보다 자연함수비가 높은 흙
 - ② 토질의 변화가 큰 현장에서 각종 흙의 혼합비가 변동할 경우
- 강도특성에서 규정하는 방법 : 안정된 재료(암괴, 호박돌, 모래, 사질토 등)에 사용한다. 강도특성으로서 지반지지력계수, K치, CBR치, cone지수, q_c 등에 사용한다.
- 다짐기준, 다짐횟수에 의하여 규정하는 방법 : 토질, 함수비가 변하지 않는 현장에서 사용되고 먼저 현장 다짐시험을 하여 기준이 되는 규정에 합격하는 다짐기준과 다짐횟수를 정해 둘 필요가 있다.

이러한 다짐도 관리를 위한 시험방법은 크게 지지력을 이용한 방법과 탄성계수를 이용한 방법으로 나누어 볼 수 있다. 지지력을 구하는 시험에는 대표적으로 현장 CBR(California Bearing Ratio) 시험과 평판재하시험이 있다. 노상, 보

조기층 등의 지지력이나 다짐도를 평가하기 위해 실시되는 전형적인 시험방법인 현장 CBR 시험과 평판재하시험은 많은 위치에서 시험이 필요하나, 현장에서의 시간적 한계로 인해 관측점의 수가 제한적일 수밖에 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 현장 다짐 노상토의 탄성계수를 측정하여 다짐도를 평가하는 시험기법으로는 등가 선형탄성계수를 결정하는 평판재하시험, 비선형 탄성계수를 직접적으로 결정하는 공내재하시험, 그리고 크로스홀시험 또는 표면파기법(SASW)과 같은 동적 시험으로부터 현장의 최대탄성계수를 결정하고 실내에서 공진주시험을 통하여 비선형을 평가하는 방법 등이 제안되고 있다. 현재까지 가장 신뢰성이 있는 결과를 얻을 수 있는 방법은 국내외 모두 크로스홀 시험과 공진주시험을 결합하여 평가하는 기법으로 판단되나, 이러한 기법은 매우 복잡하여 다짐시공 과정의 품질관리에 적용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다.

한편 자유낙하 시킨 낙하 추에 의해 발생하는 충격으로부터 하중과 처짐을 측정하여 지반의 탄성계수 또는 지지력계수를 산정하여 다짐도를 평가하는 LFWD (Light Falling Weight Deflectometer) 시험과 동적관입시험의 경우 기존의 방법에 비하여 신속하고 간편하며, 장소의 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 즉, 시험을 위한 최소한의 공간만 있으면 시험이 가능하여 차량이 접근하기 곤란한 뒷채움 지역, 시추공과 같이 큰 재하 장치가 접근하기 힘든 지역에서도 시험이 가능하다. 따라서 기존 다짐관리기법의 새로운 대안이 되고 있다. 이러한 다짐관리 시험에 대한 특징은 다음과 같으며, 국내에서 대부분 사용되어지고 있다.

- 평판재하시험(Plate Bearing Capacity Test ; PBT) : 현장에서 지반의 지지력을 측정하기 위해 실시하는 시험으로써 다짐도 검사법으로 널리 활용되고 있다. 즉, 어느 지반에 실제 구조물을 축조하였을 때 지지력이나 침하조건을 만족하는지 여부를 판단하는 시험으로서 침하에 대한 결과가 실제 현장에 비해 작은 경향이 있지만 비교적 확실한 지지력 결과를 파악할 수 있다. 또한, 평판재하시험을 통해 기초 저면, 성토 기초면 등에서 기초지반의 허용지지력 및 탄성계수를 결정할 수 있다.
- 현장 CBR 시험 : 현장에서의 노상 혹은 노반의 현재 지지력의 대소를 직접 추정하려는 것이다. 따라서 그 지점 및 시점에서의 CBR은 직접 알 수 있지만 기상변화나 장래의 악화조건에 대해서는 측정할 수가 없다. 그러나

예를 들면 교란되지 않은 공시체의 채취가 일반적으로 대단히 어려운 막자갈 재료와 같은 경우에는 실내 시험보다도 현장 시험 쪽이 합리적이며 유리한 점이 많다. 현장 CBR 시험은 아스팔트포장의 두께나 구성을 결정하기 위한 노상의 설계 CBR 결정과 노상·성토·철도노선 등의 다짐도 관리, 그리고 성토시공 중의 중기계의 주행성의 판정에 이용된다. 또한, 최근 다짐관리방법으로 수행되고 있는 시험으로는 다음과 같다.

① 동적콘관입시험(Dynamic Cone Penetrometer, 이하 DCP) : 포장 및 노상의 강도/강성을 현장에서 평가하는데 효과적임이 증명되었다. DCP는 8kg의 해머를 57.5cm의 높이에서 자유낙하 시켜 지반 속에 콘을 관입시키는 장비로서 원위치 흙의 관입 저항을 간이로 구하는 것을 목적으로 한다. 수동적인 하중 재하방식과 자동 하중 재하방식 등 여러 가지 형태로 개발되고 있으며, 장비의 형태는 다음 그림과 같다.

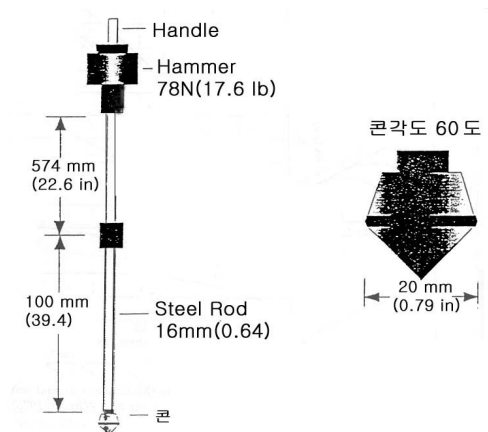


그림 4-11 동적콘관입시험기 개략도

② 지오게이지(Geogauge)시험 : 지반 표면에 직접적으로 변형에 대한 저항 강도인 지반 강성을 구하는 휴대용 장비로 노상의 반력 측정과 CBR, 그리고 흙의 밀도 평가를 대체할 수 있는 방법이다. 지반 표면에서 응력이 지반에 전달되면 시간의 함수로 표면속도의 성과를 측정하여 지반의 강성을 직접 측정한다. 다음 그림은 지오게이지를 보여주고 있다.



그림 4-12 지오게이지 장비

③ LFWD 시험(Light Falling Weight Deflectometer) : 자유낙하시킨 추로 인해 발생하는 충격하중에 의한 처짐을 측정하며, 최대 처짐과 최대하중 관계곡선에서 탄성계수를 측정하는 시험장비이다. 종래의 방법에 비하여 신속하고 간편하며, 장소의 제약을 받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 즉, 시험을 위한 최소한의 공간만 있으면 시험이 가능하여 차량이 접근하기 곤란한 뒷채움 지역, 시추공과 같이 큰 재하 장치가 접근하기 힘든 지역에서도 시험이 가능하다(Masaki Kamiura & Etsuo Abe, 2000). 다음 그림은 LFWD의 개략도를 보여주고 있다.

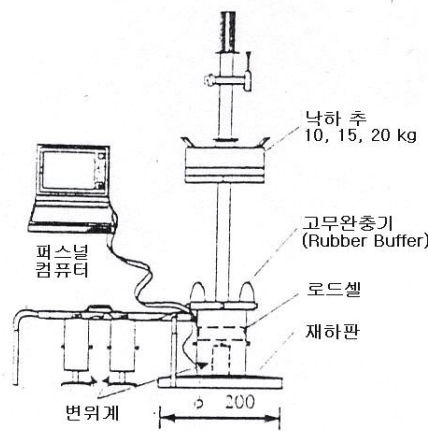


그림 4-13 LFWD의 개략도

④ SASW 시험(Spectral Analysis of Surface Wave) : 층상구조에서 분산된 표면파의 측정과 해석에 그 바탕을 두고 있다. 표면파의 분산이라는 것은 층상구조를 가지는 매질에서 파의 전파속도가 파의 주파수(또는 파장)에 따라 변한다는 것을 의미한다. 이러한 표면파의 분산특성은 깊이에 따른 매질입자의 거동분포에 기인한다. 표면파의 속도는 이러한 입자의 거동이 나타나는 깊이까지의 재료의 강성도에 의해 대표된다. 예를 들어 표층보다 짧은 파장을 가지는 파에 의한 입자의 거동은 이 층에만 국한되며 따라서 파의 속도는 표층의 강성도에만 영향을 받는다. 따라서 여러 크기를 가지는 파장에 대한 표면파 속도의 측정을 통하여 깊이에 따른 각 층의 강성도를 추정하는 것이 가능하다. <그림 4-16>은 표면파의 분산특성 측정을 위한 시험의 장비 구성을 나타낸다.

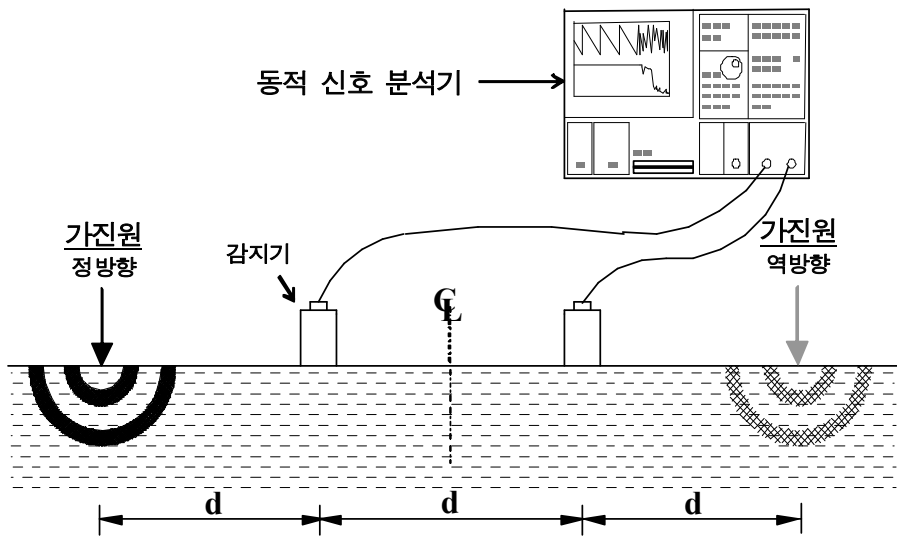


그림 4-14 SASW 시험의 장비 개요도

국내에서는 시공시 다짐도 검사는 주로 평판재하시험을 통하여 제시가 되어 있다. 이러한 이유는 평판재하시험이 널리 사용되고 있으며 측정방법 및 결과의 평가, 설계에서의 적용법 등이 거의 확립되어 있기 때문이다(건설교통부, 2006). 포장설계를 위한 평판재하시험은 반복시험과 비반복시험법으로 구분하고 있는데, "비행장 및 도로포장의 평가와 설계를 위한 흙과 가용성 포장의 반복 평판재하시험 방법(KSF F 2338)"과 "비행장 및 도로 포장의 평가와 설계를

위한 흙과 가용성 포장의 비반복평판재하시험 방법(KSF F 2339)"에서 시험법이 규정되어 있다. 이밖에도 도로의 노상, 노반에서의 지지력계수를 구하기 위한 시험법이 "도로의 평판재하시험 방법(KSF 2310)"에 별도로 규정되어 있으나 앞에서 설명한 비반복평판재하시험법과 별반 크게 차이가 나지 않는다.

다음 표는 도로설계편람(2000)에 기재되어 있는 노상 재료의 품질 기준을 나타낸 것이다. <표 4-11>에서 상부노상과 하부노상으로 구분을 하였는데, 하부노상은 노체에 해당되고, 상부노상은 일반적인 노상에 해당된다. 또한, 미국은 상하부로 구분하지 않고 95%로 정하고 있다(<http://fhwapap04.fhwa.dot.gov/>).

표 4-8 노상의 다짐 조건(건설교통부, 2000)

구분		상부노상	하부노상	비고
시공 조건	시공층 두께 ¹⁾	20cm 이하		한 층당 마무리 두께
	함수비	다짐도 및 수정 CBR 10 이상을 얻을 수 있는 함수비, 최적함수비 ±2%	다짐도 및 수정 CBR 5 이상을 얻을 수 있는 함수비	-
다짐 후의 조건 ⁴⁾	다짐도 ²⁾	95% 이상	90% 이상	각층마다 흙의 다짐시험 C, D 또는 E 방법에 의하여 정해진 최대건조밀도에 대한 다짐도
	지지력계수 ($k_{30}, \text{kg/cm}^3$)	<표 3.10>		평판재하시험을 실시한 경우
	허용 침하량 ³⁾	5mm 이하	-	타이어 롤러의 복륜하중 5톤 이상, 타이어 접지압 5.6kg /cm ² 에 의한 프루프 로울링 (proof rolling)
	마무리면의 규격	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도로 중심선에 평행 또는 직각방향으로 3m 직선자를 이용하여 평탄성을 측정할 때 최요부의 깊이가 2.5cm 이하, 고속도로의 경우 1.0cm 이하 ▪ 흙쌓기 또는 땅깍기 마무리면의 시공오차는 ±3cm 이내 		

표 4-9 평판재하 시험을 실시할 경우 노상의 지지력계수(k_{30}) 기준

구분	시멘트 콘크리트 포장	아스팔트 콘크리트 포장
침하량 (cm)	0.125	0.25
지지력계수 (k_{30} , kg/cm ³)	15 이상	20 이상

현재 도로건설의 급증에 따라 천연골재 재료의 고갈을 초래하였고 소요품질을 갖춘 골재와 소요량을 확보하는 것이 어렵게 되어 환경적인 영향에 따라 석산의 골재 사용에 많은 제한이 따르고 있는 실정이다. 따라서 도로 건설시 재료의 품질기준을 만족하기 위해 기존 재료의 개량을 통한 안정처리방법 등에 관심이 집중되고 있는 현실이다. 포장 하부구조의 강도를 증가시키고 물의 대한 취약성을 개선하기 위한 목적으로 안정처리공법이 사용된다.

포장 하부구조에 사용되고 있는 대표적인 안정처리 공법은 입도조정 안정처리, 시멘트 안정처리, 석회 안정처리, 역청제 안정처리 공법 등이 있으며 다짐도 측정방법과 마찬가지로 해외 안정처리 기술을 국내에서도 대부분 적용하고 있다.

- 입도조정 안정처리(Mechanical Stabilization) : 본 공법은 다른 흙을 혼합하여 입도를 변경시키거나, 다짐을 실시하여 흙을 조밀하게 하거나 또는 조립질 재료로 대체하는 방법 등을 말한다. 일반적으로 사용되는 방법은 연약한 노상을 견어내고 조립질 재료로 대체하는 방법이 많이 사용된다. 입도조정 안정처리 공법은 효과적인 방법이지만 입도의 조정만으로는 소성 특성, 강도, 내구성 등의 많은 문제들을 효과적으로 관리하기 어렵다. 따라서 활주로 등과 같은 주요 구조물의 포장에서와 같이 매우 높은 품질을 요구하는 경우가 아닌 저비용, 저 교통량 도로의 기층, 표층 등에 많이 사용된다. 요구되는 입도를 맞추기 위해서 흙이나 골재의 혼합은 보통 시행착오의 과정을 통하여 결정한다.
- 시멘트 안정처리(Cement Stabilization) : 1915년 미국 플로리다에서 느슨한 토사층에 포트랜드 시멘트를 배합하여 사용된 이후로 도로포장의 현장재료를 안정 처리하는 대표적인 공법으로 사용되어 오고 있다. 1950년대부터는

공향포장에도 적용되기 시작하였으며 특히 중차량의 비율이 높거나 교통량이 많이 예상되는 고속도로에서 시멘트 안정처리층이 많이 적용되고 있다.

- 석회 안정처리(Lime Stabilization) : 일반적으로 흙에 석회를 첨가하면 밀도는 감소하고 흙의 소성 특성이 변하며 흙의 강도가 증가된다. 이러한 변화는 몇 가지 반응의 결과로서 첫째로 점토광물을 둘러싼 수막의 변화이다. 두 점토 광물 사이의 결합력은 그 크기와 이온을 잡아당기는 수화작용에 달려 있는데 이러한 작용은 흙의 소성을 감소시킨다. 석회가 흙의 성질을 변화시키는 두 번째 작용은 토립자의 응집현상(flocculation)이다. 일반적으로 시공에 사용되는 석회의 양은 실제 필요한 것보다 더 큰 칼슘이온의 집중을 유발시킨다. 석회가 흙에 미치는 세 번째 작용은 석회와 흙 구성요소 사이에 새로운 화학물질을 생성하는 것이다. 석회와 반응하는 흙의 두 가지 구성요소는 알루미나(alumina)와 실리카(silicon dioxide)이다. 이 작용은 오랜 기간에 걸쳐 일어나며 석회혼합토가 한 주기 동안 양생되었다면 더 큰 강도를 얻을 것이다. 이러한 작용을 포졸란 반응(pozzolanic action)이라고 한다.

- 플라이애쉬 안정처리(Fly-ash Stabilization) : 플라이애쉬와 Bottom ash, boiler slag 등은 시멘트, 석회, bituminous 재료들과 함께 널리 사용되어지고 있다. 플라이애쉬를 사용한 안정화는 흙의 특성과 포장체의 지지 및 시공조건 등을 향상시키기 위하여 사용되며 조립토와 세립분의 최대함유량이 15~30% 인 경우에 그 효과가 매우 좋다. 한편 플라이애쉬 안정화는 흙과 골재의 안정처리지 시멘트 안정화보다 많은 장점이 있다. 플라이애쉬를 사용하는 경우 시멘트 안정처리에 비해 저렴하며 고화되는 시간도 시멘트에 비해 느려 혼합과 살포, 다짐 등의 시공시 시멘트 안정화보다 유리하다. 또한 수축현상도 작고 이에 따른 수축균열 및 반사균열도 시멘트안정화에 비해 상대적으로 작게 발생하게 된다. 플라이애쉬 안정화의 경우 초기강도와 내구성에서 문제가 발생할 수도 있으나 플라이애쉬와 시멘트를 혼합하여 사용함으로써 해결할 수 있다. 대부분 점토흙은 포졸란인 관계로 플라이애쉬 안정화가 석회 안정화의 경우보다 덜 효과적일 수 있지만 실트질 흙과 같은 점토의 함유량이 작은 경우에는 효과적으로 빈 간극을 채우는 효과와 포졸란 고화효과 때문에 조립토에 혼합할 시에는 효과가 매우 좋다.

- 역청제 안정처리(Bitumen Stabilization) : 아스팔트는 흙과 골재에 혼합시 화학적인 반응 대신에 각각의 입자를 감싸게 된다. 이러한 효과는 방수막을 형성하게 되고 입자의 점착력을 증대시키게 된다. 즉, 아스팔트 시멘트가 냉각되거나, 커트백 아스팔트의 용제가 증발되면서, 유제아스팔트에서 유제가 분해되고 수분이 증발되면서 화학적인 반응은 없지만 안정화가 이루어지게 된다. 결과적으로, 아스팔트안정화는 수분을 효과적으로 감소시키고 강도를 증가시키게 된다.
- 토목섬유 안정처리(Geotextile Stabilization) : 토목섬유 중에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 것이 Geotextile이다. 이는 직물형과 부직포형이 있으며, 노반과 기층 등의 분리 및 연약한 지반 표면에 사용되어 건설용 증장비의 하중을 견디는 지지대 역할, 기층 등의 보강재로 사용되고 있다. 2002년에 미국의 위스콘신대학에서는 Interstate Highway에 Geotextile을 이용한 연약처리공법을 적용하여 현장시험을 실시하였으며, 시공 후 1년간 지지력 및 상태조사 시험을 통해 안정한 상태를 유지하고 있음을 확인하였다.

□ 평탄성 관리기술

한국도로공사에서 아스팔트 포장의 포트홀 방지대책 및 긴급보수 방법에 대한 규정을 제정하기 위해 계획 중에 있다. 또한 국내에서 적용되고 있는 아스팔트 계열의 긴급 보수제는 상온 유화 아스팔트 혼합물, 폴리우레탄을 첨가한 상온 유화 아스팔트 혼합물, 압력 다짐용 상온 유화 아스팔트 혼합물 등이 있으며, 이들은 현장에서 바로 포설할 수 있는 장점이 있으나, 별도의 다짐이 필요하며, 보수 후 차량의 공용에 따라 침하 및 단차가 발생하여 주행 평탄성을 저하시킬 뿐만 아니라, 교통사고를 야기할 수 있다.

최근에 급속 경화용으로 유황 콘크리트가 개발되었으나, 가열 아스팔트 혼합물과 동일한 배합온도가 유지되어야 하며 혼합물도 100℃ 이상에서 타설해야 하는 단점을 가지고 있어, 긴급 보수제로는 부적합하다.

콘크리트 포장의 긴급보수로 국내에서 사용되고 있는 재료로는 에폭시 및 우레탄을 첨가한 합성수지계열의 콘크리트 보수제가 있으나, 이는 가격이 매우

고가이며, 재료관리가 어려운 단점이 있다.

미국에서 사용하는 아스팔트 계열의 긴급 보수재는 주로 폴리머가 첨가된 상온 유화 아스팔트 혼합물이며, 수분 민감성이 낮아 물이 있는 포트홀 등에도 적용이 가능하지만, 국내의 일반 상온 유화 아스팔트 혼합물과 같이 별도 다짐이 필요하고 공용 후 침하 및 단차 발생 문제를 해결할 수 없다.

일본에서 개발된 콘크리트용 긴급보수재는 강도 발현이 빠르며 Pre-Mixed 타입으로 되어 있어 현장에서 물과 혼합하여 빠르게 시공할 수 있는 장점이 있으나, 가격이 고가이며 재료에 따라서는 콘크리트 포장면에 프라이머를 도포해야하는 불편함이 있다.

미국에서 주로 사용 중인 콘크리트 계열의 긴급 보수재로는 폴리머 콘크리트 및 폴리머 시멘트 콘크리트가 있으며, 강도발현이 높고 양생시간이 짧으나 기존 콘크리트 포장과의 이질재료로 접착강도가 상대적으로 낮으며, 폴리머 계열의 결합재가 고가이기 때문에 비경제적이다.

(3) 국내의 연구 동향

□ 뒷채움부 다짐공법

다짐에 대한 초기 공학적인 고찰은 Proctor(1933)에 의하여 이루어졌으며, “전압식 어스 댐의 설계 및 시공”에 다짐 원리, 시험방법, 어스 댐에의 적용 등을 발표하였다. 현재 대부분의 나라에서 흙의 다짐시험 규격으로 Proctor가 제안한 시험방법을 다소 개량하여 사용하고 있으며, 지반의 공학적 특성이 다짐에 의하여 다음의 공학적 성질이 개선될 수 있는 것으로 알려져 있다.

- 흙의 간극을 축소하여 투수성을 저하시켜 물의 침입에 의한 지반의 연화, 팽창을 적게 하여 흙을 안정되게 한다.
- 성토의 비탈면 안정, 교통하중 지지 등 토구조물에 필요한 전단강도 및 지지력 증가 등 강도특성을 강화하게 한다.
- 지반의 상대밀도, 흙의 구조 등이 전반적으로 역학적인 면에서 균질화된다.

- 도로성토와 같은 완성 후의 노면에 악영향을 주는 성토자체의 압축침하를 적게 한다.
- 온도변화에 의한 지반내 간극수의 부피변화로 인한 동상 등의 토체의 부피변화를 억제한다.

다짐에 의한 밀도변화는 토질(입자 직경, 포화도), 가하는 다짐에너지, 함수비 등의 요인에 의해 영향을 받는다. 또한 밀도증가와 흙의 역학적 성질 및 공학적 특성 값과의 관계는 일정하지 않으므로 일반적으로 다짐특성을 실내 다짐시험으로 확인하고 있다. 대규모의 설계 시공에 있어 실내시험으로 다짐시험을 행하는 목적은 통상 다음과 같다.

- 다른 시료토에 대해 동일 다짐방법을 행하여 각각의 건조밀도-함수비의 관계를 얻어 재료선택에 활용
- 일정 시료에 대하여 예상되는 시공조건에서 (예를 들어 시료의 함수비와 다짐에너지 등의 예상시공조건을 가정) 다짐시험을 행하여 설계에 이용되는 역학적 및 공학적 성질 (예 : 강도상수, 투수계수, 변형성 등)을 구하는 공시체를 제공
- 일정 시료에 대하여 일정방법으로 (예 : 다짐에너지를 2, 3단 변화시킴) 시험을 행하여 다짐시공의 시방과 시공관리 기준(다짐에 의해 도달해야하는 건조밀도의 하한값 등)을 결정

안정처리 공법은 국내 사례에서 언급한 바 있다. <그림 4-17>은 흙의 입도 분포와 소성지수에 따른 안정처리 공법의 적용 범위를 나타내고 있다. 주로 입도의 분포와 소성지수 같이 물리적인 분류에 따라서 적합한 안정처리 공법의 적용이 고려됨을 알 수 있다.

Plasticity Index	More than 25% passing 75 μ m			Less than 25% passing 75 μ m		
	PI \leq 10	10 < PI < 20	PI \geq 20	PI \leq 6 PI x % passing 75 μ m \leq 60	PI \leq 10	PI > 10
Form of stabilization						
Cement and cementitious blend	█	▨	█	█	█	█
Lime	█	█	█	█	█	█
Bitumen	█	█	█	█	█	█
Bitumen/Cement blends	█	█	█	█	█	█
Granular	█	█	█	█	█	█
Miscellaneous chemicals*	█	█	█	█	█	█

Key: Usually suitable █ Doubtful ▨ Usually not suitable □

그림 4-15 안정처리 공법의 적용 범위(C.A.O'Flaherty, 2002)

□ 평탄성 관리기술

○ 신속 교통 개방 특수 시멘트 포장 재료 연구

미국에서는 신속 교통 개방을 위한 콘크리트 재료에 대한 연구개발이 진행되고 다양한 공용성 평가를 수행하고 있으며 폭넓게 활용되고 있다. 교통차단을 최소화하고 신속개통을 주된 목표로 하여 Fast Track과 같은 시공공법과 이 공법을 달성할 수 있는 초조강시멘트 및 섬유보강 콘크리트와 같은 신재료 개발하여 적용하고 있다. 강섬유 보강 콘크리트를 사용하여 균열의 발생을 억제하고 초고강 시멘트를 사용하여 24시간 이내에 20MPa 이상의 압축강도를 발현하는 공법으로 미국내 여러 주에서 사용되고 있다.

브라질에서는 신속 교통 개방형 재료를 개발하여 1999년 9월 29일부터 10월 11일까지 SP-280 고속도로에 시하였으며 총 연장 길이는 546m이며 약 200일 동안 교통량 측정을 병행하여 포장의 공용성을 평가하였으며 현재도 공용중에 있다.

유럽에서는 강철섬유 보강재를 첨가한 콘크리트 덧씌우기를 시공하여 5년 후 공용성 평가결과 약간의 미세 균열이 관측되었다. 줄눈부 근처에서의 비부착으로 인한 파손이 발생하였으나 전반적으로 부착상태나 포장 상태는 우수한 것으로 나타났다.

일본은 1975년경부터 신속 개방형 재료를 개발하여 포장에 적용하였으나 기술력 부족과 균열발생 등으로 일반도로 적용이 어렵다고 판단되어 중지하였다 최근 기술 축적으로 다시 연구가 시작되고 있다.

○ 반사균열 억제 공법 연구

반사균열이 발생한 파손부에서는 승차감 불량, 사용자의 불안감 조성뿐만 아니라 파손부로의 우수 침투로 인한 포장 파손의 가속화를 촉진시켜 포장 수명의 단축을 초래한다. 이러한 파손은 하부층의 조인트 및 균열 등의 결함으로 인한 역학적 불연속면이 발생되어 나타나는 응력집중 현상에 기인하는데, 이때 반사균열에 가장 많은 영향을 미치는 인자로는 환경요인과 교통하중이 있다.

국외의 균열 방지 및 억제 공법으로 줄눈 절단/실링 공법(saw & sealing)은 아스팔트 덧씌우기 후 반사균열의 발생 가능성이 높은 위치(줄눈부, 균열부 등)에 줄눈을 설치한 후 채움재로 그 틈새를 메워 미리 균열을 유도하는 방법이다. 심한 반사균열에 의한 포장의 조기파손을 막는 방법으로 사용된다.

파쇄 및 안치 공법은 기존의 콘크리트 포장을 파쇄 하는 정도에 따라 세 가지로 나뉜다. 첫째, Crack & seat 공법으로 슬래브의 하중전달 능력을 유지하면서 횡방향으로 균열을 유도하여 온도변화에 따른 슬래브의 수평적 이동을 분산시켜 반사균열을 억제하는 공법과 둘째, 통상 Break & seat 공법은 Crack & seat 공법과 유사하나 이는 철근보강 콘크리트 포장(JRCP)에 사용하는 공법, 마지막으로 완전파괴(Rubblization) 공법은 유압해머를 사용하여 기존 포장층을 잘게 파쇄 한 후 덧씌우기 하는 공법으로, 기존 슬래브의 줄눈이나 균열이 없어짐과 동시에 파쇄 된 슬래브는 골재와 같은 역할을 하게 되어 하나의 두꺼운 골재기층 역할을 한다.

응력완화 중간층 설치 공법은 콘크리트 포장의 수평/수직 방향의 상대변위를 흡수하여 덧씌우기층으로 전달되는 상대 변위량을 줄여주는 목적으로 사용되었다. 통상적으로 약 25mm 이하의 두께를 가지지만 일부 재료의 경우는 150mm까지도 사용된다. 대표적인 중간층으로는 모래 아스팔트 혼합물이 있으나, 이는 하부층의 줄눈 간격이 넓을수록 효과가 감소하며 낮은 강성으로 인하여 러팅에 취약한 문제점이 있다.

토목섬유는 반사균열 억제효과와 차수효과에 의한 포장수명의 연장을 도모하기 위하여 1960년대 말부터 아스팔트 덧씌우기 포장에 사용되었다. 현재 많이 사용되고 있는 토목섬유로는 지오그리드(geogrid)와 시트형태의 섬유가 있다. 지오그리드는 고강도 합성섬유로 만들어진 인장부재를 격자 형태로 구성한 토

목섬유 제품으로 통상 강성을 기준으로 강성 지오그리드와 연성 지오그리드로 분류되며 아스팔트 콘크리트보다 높은 강성을 가지고 있어 인장력 유발에 의한 보강효과와 응력완화효과에 의해 포장 성능을 향상시킬 수 있다.

○ 복합층 포장 공법 연구 - AC on the CTB / PCC on the AP

일본에서는 포장의 내구성 및 장수명의 효과를 위하여 기존 아스팔트 및 콘크리트포장의 Hybrid형태 공법으로 합성포장(Composite Pavements)을 시공하고 있으며 다음의 3가지의 대표적인 형식이 있다.

Type 1: 콘크리트포장 + 아스팔트 표층

Type 2: 콘크리트포장 + 블록포장

Type 3: 안정처리기층 및 노상 + 아스팔트 층+ 콘크리트포장

영국이나 덴마크에서는 도로 포장의 다양한 목적에 맞춰서 아스팔트와 고강도 콘크리트를 이용하여 복합층 개념의 포장 단면을 설계하여 현재 항구, 공항에 주로 사용되고 있으며 일반도로 적용을 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

미국과 유럽에서는 1980년대부터 아스팔트 및 시멘트 포장 도로에 시멘트 콘크리트 덧씌우기가 다양하게 적용되고 있다. 시멘트 포장위에 시공되는 덧씌우기는 접착식과 비접착식으로 구분하여 BCO (Bonded Concrete Overlay)와 UBCO (Unbonded Concrete Overlay)로 불리우고 있다. 아스팔트 포장위에 적용되는 덧씌우기는 일반적으로 화이트 토폭 (White Topping)으로 불리우고 있으며 얇은 두께일 경우는 Thin White Topping 이라한다. 다양한 시공 사례를 통하여 줄눈 간격 및 다웰바 설치 여부, 두께 등에 대한 검증이 많이 이루어진 상태이며 현재는 진보된 배합설계를 통하여 덧씌우기 공사 이후 교통개방 까지 소요되는 시간을 아스팔트 덧씌우기 선으로 줄이는 Fast Track 개념의 연구가 많이 이루어지고 있다. 미국 캘리포니아 주에서는 3일 이내에 교통개방하는 방법으로 도심지 구간의 고속도로(Interstate Highway)를 시멘트 콘크리트 덧씌우기로 유지보수하기도 하였다.

(4) 선진국 대비 국내기술 수준

□ 뒷채움부 다짐공법

국내에서는 다짐도 검사는 주로 평판재하시험을 통하여 제시가 되어있다. 이러한 이유는 측정방법 및 결과의 평가, 설계에서의 적용법 등이 거의 확립되어 있기 때문이다(건설교통부, 2006). 도로설계편람(2000)의 노상 재료의 품질 기준도 미국과 유사하다.

국내의 경우 천연골재 재료의 고갈을 초래하였고 재료의 품질기준을 만족하기 위해 기존 재료의 개량을 통한 안정처리기법 등에 관심이 집중되고 있는 현실이다. 포장 하부구조의 강도를 증가시키고 물의 대한 취약성을 개선하기 위한 목적으로 다양한 안정처리공법이 개발되었다.

현 도로설계기준의 구조물 뒷채움에 사용하는 재료는 SB-1 규격 이상으로 양질의 투수성 재료를 사용하고 있다. 이는 일반 차량 공용하중 범위에서 침하가 거의 발생하지 않는 구조물과 연이은 토공 접속부분의 장기침하로 인한 노면의 불연속성을 줄이고, 수압을 배제함으로써 구조물에 작용하는 수평응력을 저감시키기 위함이다. 또한 구조물 뒷채움부는 토공과 구조물의 접점에 있는 것으로, 접점부분의 단차를 구조적으로 줄이고자 답괴판(approach slab)을 사용하고 있으나, 고가의 입상 보조기층 재료와 답괴판을 사용함에도 불구하고, 토공부분의 침하로 인한 구조물 접속부분의 단차 문제가 계속적으로 발생하고 있는 실정이다.

구조물 접점 부분의 단차는 도로 공용성을 저하시키고 있지만, 일반적인 도로에서 구조물 접속구간에서 발생한 작은 단차는 이용자 측면에서 당연한 것으로 받아들이는 측면이 있다. 그러나 초고속주행을 목표로 하는 초고속도로에서는 구조물 접점부분의 단차는 도로 공용성 저하 뿐 아니라 이용자의 주행 안정성을 위협할 가능성이 있다. 따라서, 초고속도로에서 구조물의 접점부분의 단차 문제는 현행 설계 및 시공 방법으로 대처하기 곤란하므로, 도로의 기능에 적합한 구조물 접점 부분의 단차 관리 기준 개발과 뒷채움 재료의 기준 및 안정화 그리고 시공방법 등에 대한 새로운 기준이 필요하다.

현재 SB-1 규격 이상의 별도의 뒷채움 재료를 시용함에 따른 시공의 난이도 증가와, 이에 따른 부실 다짐시공 우려를 저감하고자 양질의 노상토 재료를 사

용한 뒷채움 시공기법이 개발되어 있다. 또한 뒷채움 재료 시공과정에서 발생하는 다짐유발토압에 의한 구조물의 손상을 최소화 하기위한 뒷채움 다짐기법이 개발되어 있다. 그러나 구조물과 토공구간의 접점에서는 필연적으로 부등의 침하가 발생하게 되고 이로 인한 구조물 접점부에서 단차가 발생하고 있으나, 단차에 대한 기준 단차의 저감방법에 대한 설계·시공 기법이 개발되어 있지 못한 실정이다.

또한, 구조물 접속부분의 단차가 도로의 전체적인 공용성을 저하시키고 있지만, 일반적인 도로에서 구조물 접속구간에서 발생한 작은 단차는 운전자 측면에서 당연한 것으로 받아들이는 측면과, 한편으로는 구조물 진입시 운전자의 주의를 환기시키는 긍정적인 측면이 함께 있는 것으로 인식하여, 현재 발생하고 있는 구조물 접속부의 단차에 대한 연구가 미비한 실정이다. 따라서 구조물 접속부분의 단차를 억제하기 위해서는 뒷채움재료의 침하를 결정하는 뒷채움 부분에서의 하중특성, 뒷채움 재료의 변형특성 평가가 매우 중요하나 이러한 부분에 대한 연구가 매우 초보적으로 이루어지고 있는 상황이다.

국외의 연구동향으로 뒷채움 재료로 사용하는 입상의 보조기층 재료에 있어서도 반복하중에 의한 침하는 물론 크리프에 의한 침하특성이 있는 것으로 보고되고 있으며, 일본을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다. 현재의 일반적인 고속도로의 설계속도 범위에서는 구조물 접점 부분의 단차에 대한 연구가 많이 진행되어 있지는 않으나, 고속철도와 같이 설계속도가 매우 빠른 경우에 구조물 접속부 단차 억제 방안에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그러나 고속주행을 대상으로 하는 구조물에서 구조물과 토공부분 사이의 접속부에서의 단차 문제는 현재까지도 만족스러운 해답이 제시되어 있지 못하며 다양한 연구가 진행되고 있다.

□ 평탄성 관리기술

국내의 경우 최근 포장의 신속 유지 보수를 위하여 VES-LMC와 같은 초속경 재료가 개발되어 고속도로를 중심으로 적용이 확대되고 있는 실정이다. 그러나 이밖에 현재 미국이나 유럽에서 적용중인 섬유보강 콘크리트, 강섬유 보강 콘크리트 등은 아직 국내에 적용되지 않고 있다.

또한 국내의 경우 포장 파손의 가속화 방지를 위한 반사균열 억제 공법 연구

는 초기 연구 단계이다. 해외에서는 줄눈 절단/실링 공법(saw & sealing), Break & seat 공법 등 반사균열 조기 발생 방지를 위해 다양한 유지보수 공법이 연구되고 있으며, 활성화 단계에 있다.

유지보수 관점에서 다양한 복합층 포장 공법 연구(AC on the CTB / PCC on the AP)도 1980년대부터 미국과 유럽을 중심으로 연구되고 있다. 국내의 경우 단순 팻칭이나 덧씌우기에 국한되어 유지보수를 수행하고 있기 때문에 다양한 환경 조건 및 포장 형식 따른 최적의 유지보수 공법을 적용하는데 어려움이 있다. 이에 따라 부적절한 공법이 적용되어 반복적인 유지보수가 행해지는 경우도 일부 발생하고 있다.

스마트하이웨이와 같이 철저한 유지관리가 요구되는 도로 포장은 포장 형식, 환경 조건 등에 따라 보다 세부적인 기준을 적용하여 신속 유지보수가 이루어져야 하기 때문에 다양한 조건에 적합한 유지보수 공법 및 기준 개발과 현재 성능보다 높은 공용성이 확보되는 긴급 보수재료 개발이 필요하다.

(5) 추진전략

1) 추진체계

본 연구과제를 진행하기 위한 추진체계는 다음과 같다.

- 전문가 활용을 위한 인적 네트워크 구성
- 해외 기술 교류를 위한 대외적 기반 확보
- 타 산업과의 연계를 통한 시너지 효과 발휘
- 실용화를 위한 경험적-이론적 연구개발 이론 정립
- 개발 기술의 해외 진출로 확보
- 추가적인 개발 기술의 연계성 모색

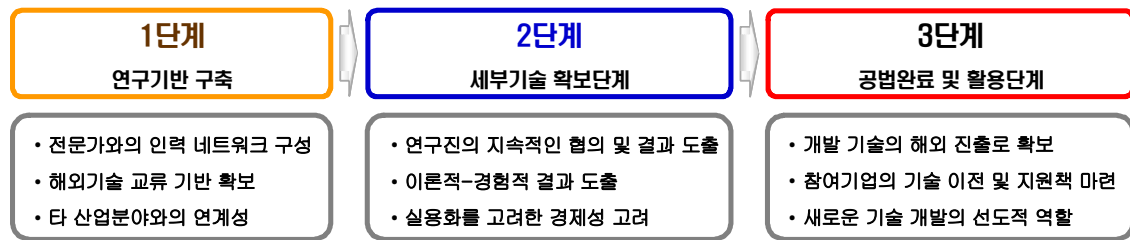


그림 4-16 단계별 추진전략

위의 추진체계를 완수하기 위한 추진전략은 다음과 같다.

- 산학연 중심의 연구과제 수행 네트워크 이용
- 대내외 전문가 인력 풀 구성
- 국내 및 해외시장 규모 파악
- 타 산업분야의 전문가 협업

2) 테스트베드 전략

본 연구과제를 완수하기 위한 테스트베드 전략은 다음과 같다.

- 단차발생구간 단차 측정방법 및 측정기준
- 접속/완충/절성경계보강 슬래브의 단차 저감 시공 기술
- 기능성 뒷채움재 용도별 표준배합설계
- 개발 재료의 현장 적용성 검증
- 현장 실무 중심의 공법개발 및 시공 검토
- 시공 후 단차 평가 방법의 적용 및 개선안 도출

4.3.3 스마트하이웨이 주행환경을 고려한 포장성능 평가방안 연구

(1) 목표

본 연구의 최종 목표는 스마트하이웨이 주행에 따른 운전자 및 탑승자의 안전과 쾌적한 운행을 위해 필요한 미끄럼 저항성능과 평탄성, 소음도의 평가 방법 및 기준의 정립이다. 노면상태가 교통안전과 이용자의 안락한 주행과 관련하여 매우 밀접한 관계가 있는 반면, 국내에서는 노면 균열조사 및 이에 대한 보수대책 등 구조적 결함에만 초점을 두고 있다. 따라서 기상조건 및 주행환경에 따른 안전한 주행이 가능하도록 미끄럼 저항성능에 대한 평가방법 및 기준과 쾌적한 주행성능 평가를 위하여 노면 평탄성 및 타이어, 포장, 주행속도 등에 따른 소음도의 평가방법 및 기준을 제시하고자 한다. 이러한 포장성능 평가방안에 대한 세부적인 연구목표는 다음과 같다.

- 스마트하이웨이 주행에 따른 미끄럼저항성 평가 방법 및 기준 개선분야
 - 스마트하이웨이 주행에 따른 도로 표면의 미끄럼 저항성 평가 방법 개발
 - SMART Pavement 미끄럼 저항성 평가 기준 개발

- 스마트하이웨이 주행에 따른 평탄성 평가 방법 개발 및 기준 정립 분야
 - 주행 쾌적성 확보를 위한 평탄성 측정 지침 개선
 - 포장의 평탄성에 따른 인체의 진동 메커니즘 규명을 통한 탑승자의 피로정도 관계식 도출
 - 탑승자 관점의 평탄성 평가 방법 및 기준 정립

- 타이어/포장 소음도 평가 방법 개발 및 평가 기준 정립 분야
 - 스마트하이웨이 주행에 따른 저소음 포장 표면 제공
 - 도로 포장의 소음 평가 방법 개발
 - 도로 포장 소음 추정 프로그램 개발

(2) 세부과제와의 연계성

주행환경을 고려한 포장성능 평가방안으로 채택한 항목은 미끄럼 저항성과 평탄성, 타이어/포장 소음도이다. 구조물의 성능과 기능을 향상하고 기상재해에 의한 피해 예방이 가능한 도로시설물이 설치되고 이러한 시설들의 유지관리가 잘 이루어진다면 안전하고 쾌적한 스마트하이웨이의 건설이 가능할 것이다. 따라서 이러한 구조물과 시설물에 대해 합리적이고 정확한 평가기법과 그에 대한 적절한 기준의 제시는 스마트하이웨이 건설에 반드시 수행되어야 할 부분이다.

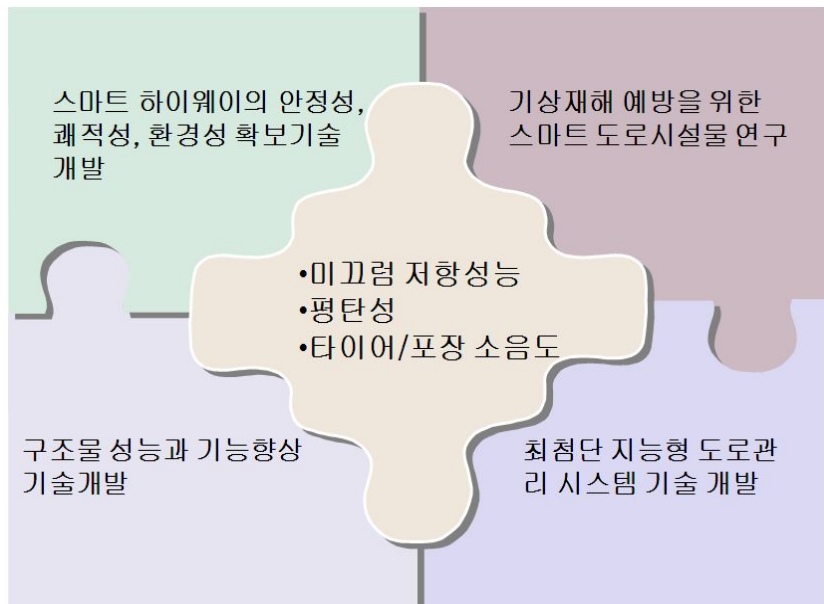


그림 4-17 포장 성능 개선 및 평가 전략

(3) 국내외 기술 및 연구동향

(1) 국내외 기술 발전동향

국민 생활수준이 높아지고 유통활동의 영역이 넓어짐에 따라 1990년대부터 포장의 내구성과 더불어 소음, 미끄럼 저항, 배수성 등의 포장 기능성이 강화되고 있다. 과거에는 포장의 파손을 최소화하기 위한 연구가 주된 관심분야였지만 환경적인 측면과 안전적인 측면이 점차 중요시 되면서 인접 지역의 소음 저감, 우천시 미끄럼 저항 확보, 쾌적한 승차감 제공에 관한 연구가 중점적으로 연구되고 있으며, 이를 효과적으로 평가하고 관리하는 기준에 관한 연구도 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 본 절에서는 이러한 국내외 연구 사례를

조사하고 스마트하이웨이에서 반드시 고려되어야 할 사항을 고찰한다.

(2) 국내외 사례 분석

□ 타이어/포장 소음도 평가 및 기준

현재 도로 상에서 발생하는 주된 소음은 타이어/포장 소음이라고 볼 수 있다. 타이어/포장 소음은 200Hz~3000Hz에 주로 분포되어 있어 인간에게 민감하게 작용하며, 다음 그림에서 타이어/포장 소음원에 대한 세부 원인을 구분하고 있다.

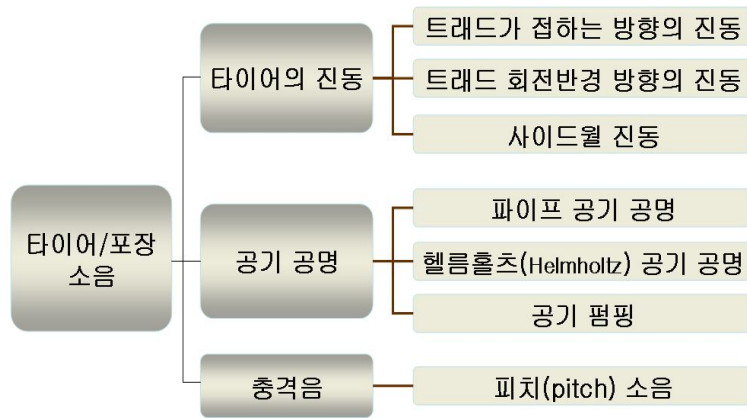


그림 4-18 타이어/포장 소음의 종류(김병삼·홍동표, 1994)

타이어의 진동에 의해 발생하는 소음은 기본적으로 자동차가 주행하면서 타이어의 트레드가 도로 표면에 접하고 떨어지는 것을 반복함으로써 발생하게 된다. 타이어의 소음 발생원은 타이어 트레드가 접하는 방향에 대한 진동(Tread Tangential Vibration), 회전반경 방향에 대한 진동(Tread Radial Vibration), 그리고 타이어의 옆면이 전체적으로 진동하게 되는 사이드월 진동(Side Wall Vibration)으로 구분할 수 있다.

- Far-field measurements : 도로변에 다소 거리를 두고 설치한 마이크로폰으로 측정
- 통계적(Statistical) Pass-by 소음 측정법(SPB): ISO(International Standards Organization) 11819-1, FHWA manual Measurement of Highway-Related Noise 참조

- 제어된(Controlled) Pass-by 소음 측정법(CPB) : 단독 차량(The single vehicle) 또는 다차량(multiple selected vehicles) Pass-by 소음 측정법
- Near-field measurements : 타이어/포장의 접촉면에 근접하여 위치한 마이크로폰에 의해 측정되며, 이 측정 절차들은 근접 소음 측정법(Close proximity method(CPX))으로써 두 가지로 분류
- Europe에서 개발되어 ISO Standard 11819-2 초안(draft)으로 규정되어 있는 측정법 : 소음도 측정을 위해 sound pressure(음압)를 측정하는 일반적인 CPX 방법
- Dr. Paul Donavon에 의해 개발된 측정법 : 소음도 측정을 위해 sound intensity를 사용하는 방법으로 General Motors에서 개발
- 기타 측정법
 - 흡음률 측정법(Sound Absorption Properties In-Situ): ISO 10534-2와 ISO 13472-1 내용 참조
 - 실내 소음 측정법(Tire/Road noise measurement inside the vehicle) : 통계적인 주행 소음 측정법인 SPB는 마이크로폰을 주행 차량으로부터 길어깨쪽으로 설치하는 방법이다. ISO에서는 주행 차로의 중앙을 기준으로 7.5m 떨어진 지점에 포장면 기준 1.2m의 높이로 마이크로폰을 설치하도록 규정하고 있다. 또한 180대의 차량(승용차 100대, dual·multi axle 트럭 80대)에 대한 속도 및 소음 특성을 조사하여 이를 바탕으로 statistical pass-by index(SPBI)를 산정한다. 다음 그림에서는 소음 측정 구간에 대한 조건을 나타내고 있다. <그림 4-22>에서 제시한 범위 내에 안전 울타리(safety barrier) 등의 시설이 없어야 한다. <그림 4-23>에서는 마이크로폰과 주행 차로 사이의 조건들을 나타낸다. 주행 차로를 기준으로 3.5m 이내의 표면은 포장 표면과 같은 조건을 유지해야 한다.

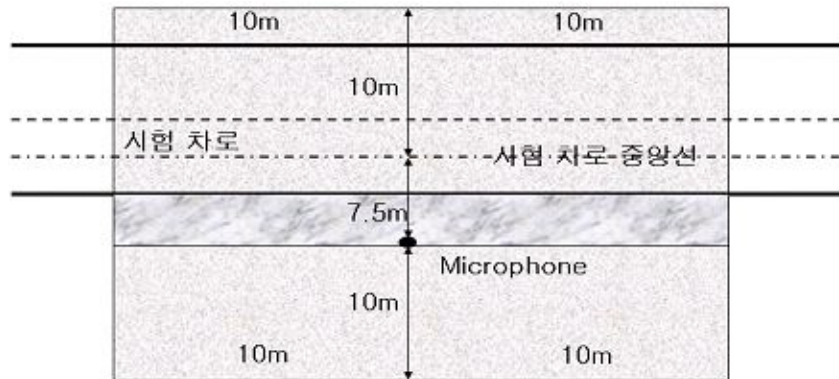


그림 4-19 SPB 소음 측정 조건-1 (ISO 11819-1, 1997)

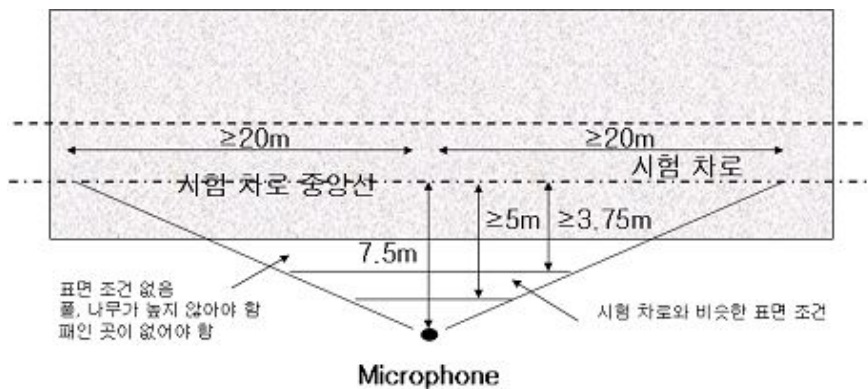


그림 4-20 SPB 소음 측정 조건-2 (ISO 11819-1, 1997)

FHWA에서 제안하는 조건은 다소 차이가 있다. 마이크로폰의 위치는 주행 차로의 중앙을 기준으로 50ft(15m) 지점, 포장면 기준 1.5m의 높이로 규정하고 있으며, 측정 구간부터 마이크로폰까지의 표면은 흡음성이 없는 단단한 특성을 지녀야 한다. 또한 차량들의 속도가 일정하게 유지되어야 한다. 그러나 이 방법에는 실험에 쓰이는 차량수가 명시되어있지 않았기 때문에 실험 차량들의 수는 임의적으로 결정되었다. 단 차량들의 속도가 51~60mph일 경우 최소 요구되는 차량수는 200대로 규정되어 있다.

- 단독 차량(The single vehicle) pass-by 소음 측정법(CPB) : 단독 차량 pass-by 소음 측정법은 시험 차량(승용차, 소형 트럭 등)에 대한 소음 측정이 측정 조건에 따라 설계된 시험 구간에서 실시되며, 도로 표면에 따른 일반적인 규정은 아직 제시된 것이 없다. 한 예로 위스콘신 도로국 (Wisconsin DOT, 2000)에서는 승용차에 대해서 속도별로 소음을 측정하

였다. 속도는 각각 60, 65, 70mph로 주행했고 두 개의 마이크로폰은 주행 차로 중앙을 기준으로 25ft 떨어진 곳에 5ft의 높이로 각각 설치했으며 두 마이크로폰의 거리는 200ft였다. <그림4-24>은 위스콘신의 시험 조건을 보이고 있다.

- ISO에서는 차량 자체의 소음 측정으로 Pass-by method를 제시하고 있다. ISO의 가속 주행 시험은 50km/h의 속도를 유지하여 엔진이 가동되는 상태에서 차량의 소음을 측정한다. 이 방법을 통해 측정되는 소음은 차량의 가속 능력과 엔진 등의 소음에 영향을 받기 때문에 타이어/포장 소음을 측정하기에는 적합하지 못한 조건으로 판단된다. 또 다른 형태의 시험은 80km/h의 속도를 유지한 상태로 엔진을 정지시켜 이 때의 소음을 측정하는 방법이다. 이 방법은 타이어의 규격에 따라 기준이 세분화되어 있고, 타이어 소음이 전체 발생 소음의 90% 이상의 비중을 차지하고 있다. <그림 4-25>에서는 두 실험에 대한 구간 조건을 나타내고 있으며, 노면에 대한 설계 및 시공 등의 관련 사항에 대해서는 ISO 10844에서 규정하고 있다. (ISO Basic template, 1997)

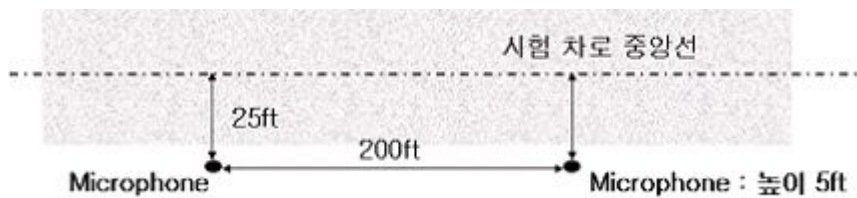


그림 4-21 위스콘신의 단독차량 pass-by method 시험 조건

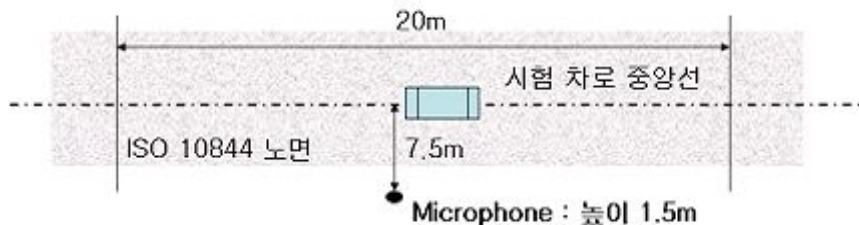


그림 4-22 단독차량 pass-by method(ISO)

소음 측정 시험의 방법은 그 목적에 따라 다르고 도로 교통 소음이나 주행 소음 등을 측정하는 기준은 각 나라마다 차이가 있지만 대부분 ISO에서 제시하는 기준에 준하여 소음 측정을 실시하고 있다. ISO 규정에 따르면 소음 측

정 시험장소는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- 시험 차로의 중앙부분으로부터 반경 50m 이내에는 건물이나 다리, 언덕 등과 같은 측정에 장애가 될 수 있는 요소가 없어야 한다.
- 시험 차로와 주변 도로 표면은 건조해야 하며 깨끗한 상태를 유지해야 한다.
- 마이크론의 주변에는 소음 측정에 영향을 줄 수 있는 장애물이 없어야 하며 발음점과 마이크론 사이에는 측정하는 사람이 있어서는 안 된다.

다음 그림은 소음 측정 장소에 대한 개략도를 나타내고 있다. 시험주로의 폭은 3m로 규정하고 있고 측정점으로부터 10m 지점으로 진입하게 되면 일정한 속도를 유지해야 한다. 검게 칠해진 면은 도로 표면으로 덮여야 하는 범위를 나타낸 것이며 측정 높이는 1.2m, 측정 거리는 중심선으로부터 7.5m이다. ISO 규정에 따르면 주행 차량의 양쪽으로 마이크론을 설치하는 것을 권장하고 있다. 두개의 마이크론이 설치되어 있을 경우에는 한방향으로 주행하여 발생한 소음도를 기록하게 된다. 한 개의 마이크론이 설치된 경우에는 차량이 양쪽 방향으로 주행하여 차량의 양쪽에서 발생하는 소음을 측정한다고 명시되어 있다. 측정시 온도는 5~40℃ 사이가 되어야 한다. 마이크론이 위치한 곳의 풍속이 5m/s 이상이면 소음 측정 실험을 수행하지 않는다. 또한 주변 압소음은 주행 차량에서부터 측정된 소음도에서 15dB(A) 정도 낮아야 하며 최소한 10dB(A) 차이가 있어야 한다.

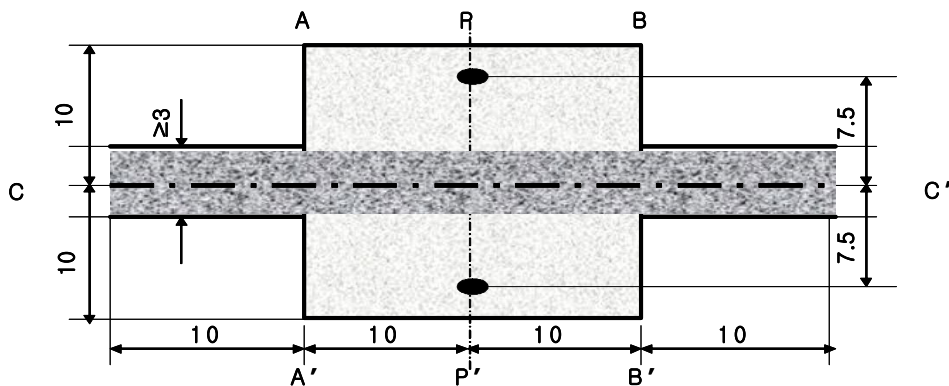


그림 4-23 가속주행소음 시험장(한국, 일본, 유럽)(ISO 362 Working Draft, 2001)

다음 표는 각 국가별 단독 차량 pass-by 소음측정시험 방법을 정리한 것이다.

표 4-10 각 국가별 소음측정 시험방법

구분	적재 조건	가속 조건				배기 소음	
		마이크로폰 위치	사용변속 기어	진입속도	가속 구간	마이크로폰 위치	엔진 회전수
한국	공차	중심선으로부터 우측 7.5m에 지상(수직) 1.2m 높이로 설치	2~4단 : 2단 5단 : 3단 보조변속기 (8단이상) : 최고 변속단의 1/2단	50km/h 또는 사용 변속단의 최고출력 시속의 3/4속도 중 작은 속도	측정점 전후 10m	배기관의 중심선으로부터 45° 사각의 0.5m 거리에서 배기관의 높이로 설치 (단 지상최소 높이 20cm)	최고출력 시 회전 속도의 3/4 회전수
일본	적차	"	"	"	"	"	"
미국	-	중심선으로부터 우측 15m에 지상(수직) 1.2m높이로 설치	최고단	최대 엔진 회전수의 2/3속도	측정점 전후 15m		
유럽 (ISO)	공차	중심선으로부터 7.5m에 지상(수직) 1.2m 높이로 설치하여 자동차의 양쪽에서 측정함	-2~4단 : 2단 -5단 이상: 2단과 3단에서 2회 이상 측정하여 평균치 사용 (ISO에서는 4회 이상측정)	한국과 동일	한국과 동일	한국과 동일	한국과 동일

□ 미끄럼저항성 평가 방법 및 기준

미끄럼 저항성은 도로의 기하구조를 설계하는 데 가장 중요하게 고려되는 변수이다. 미끄럼 저항성은 도로의 미끄럼 저항성 수준에 따라서, 설계속도, 곡률 반경, 종단경사 등이 결정된다. 미끄럼 저항성이 양호한 포장형식을 채택할 경우나 별도의 표면처리 공법을 적용한 경우 사고 위험을 줄일 수 있기 때문에 포장 형식 별, 표면 처리 상태 별 미끄럼 저항성을 비교하고 평가하는 것은 매우 중요한 요소이다.

아스팔트포장의 경우 대부분의 표층 재료가 미끄럼 저항성은 기준치를 상회하기 때문에 설계에 있어서 별다른 주의를 기울이지 않지만, 사고가 빈발할 것으로 판단되는 구간에서는 상대적으로 미끄럼 저항성이 양호한 포장형식을 선정함으로써 교통사고 발생률을 줄일 수 있다.

○ 미끄럼저항성 개요

마찰력은 정지 및 동적 마찰계수로 나뉘어 지는데, 도로의 노면에서 측정하여 미끄럼 저항성을 측정하는 마찰력은 동적 마찰계수로 정의될 수 있다. 미끄럼 저항성을 나타내는 마찰 계수는 미끄럼 저항성 측정 장비에 부착된 타이어가 80km/h 주행 중 정지된 상태에서 타이어에 발생하는 수직하중과 수평하중의 비율로서 나타낼 수 있다. 이는 Coulomb에 의하여 정의된 전통적인 마찰계수를 정의하는 방법과 동일하다. 마찰계수가 높다는 의미는 도로의 노면과 접촉하는 타이어가 미끄러지는데 상대적으로 더 많은 수평력이 필요하다는 개념으로서 여기서의 수평력은 제동하중과 동일하다. 미끄럼 저항값은 아래 식을 통하여 계산한다.

$$SN = \left(\frac{F}{W}\right) \times 100$$

여기서, SN : 미끄럼 저항값(Skid Number), F : 견인력(kgf 또는 N), W: 측정 바퀴에 재하되는 동적 수직하중(kgf 또는 N). 측정시 매 순간마다 견인력과 동적수직하중으로 SN값을 산출하는 경우는 아래 식을 통하여 계산한다.

$$SN_{ave.} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} S_n(t) dt$$

미끄럼 저항성은 그림과 같이 ASTM E 274 기준에 의하여 제작된 차량으로 견인하는 트레일러 장비로 측정하는 것이 일반적이다. 간단하게 수행할 수 있는 장비로 BPT(British Pendulum Tester)가 있지만 접촉 면적이 좁아 포장의 표면 조직이 거친 경우 정확한 측정이 어려운 단점이 있다. 트레일러식 장비는 트레일러의 차축에 트레드가 있는 타이어(ASTM E 501)와 트레드가 없는 타이어(ASTM E 524)를 동시에 적용할 수 있다. 그리고, 미끄럼 저항성 측정용 타이어 바로 앞에 살수 장치가 있어서, 측정 시험시 물을 뿌려 습윤 상태를 모

사할 수 있다. 미끄럼 저항성 측정 장비는 현재 국내에서 2대를 보유하고 있다.



그림 4-24 미끄럼 저항성 측정 장비

□ 평탄성 평가 방법 및 기준

도로 노면의 요철 평가지표(이하, 「평탄성(Roughness)」)은 「평탄성」, 「종단 프로파일」, 「종단 요철」 등 다양한 단어로 표현되고 있으며, 포장의 공용 성능을 평가하는 지표이다. 그러나, 이것을 측정하는 방법은 너무나 다양하여 그 지표 간에 호환성이 거의 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 현행 여러 평탄성 측정 장치와 관련지을 수 있는 표준적인 평탄성 지수를 설정하고, 세계 각국의 평탄성 지수를 상호 비교할 수 있도록 하기 위하여, 1986년에 세계은행이 IRI를 제안하였다. IRI란, 각국의 평탄성 지수를 중개하는 기준이 될 만한 지표라고 할 수 있다.

지금까지의 평탄성 측정은 측정기마다 측정 원리가 다르기 때문에, 측정 결과는 사용한 측정기와 관련해서만 의미를 가지지만, IRI는 도로의 종단 선형만 어떻게든 측정하면 누가 계산해도 원리적으로 동일한 값을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

이전부터 사용해 오고 있는 평탄성 측정 장치는 프로파일 방식과 레스폰스 방식 두 가지로 분류된다. 프로파일 방식은 노면 종단 방향의 요철이나 기복의 형태를 실측하는 것으로, 표척(標尺)을 이용하여 사람이 하는 수준 측량에서 일반 차량 주행 속도와 같은 정도의 속도로 측정할 수 있는 자동 계측차까지 여러 가지 장치가 있다. 또, 레스폰스 방식은 자동차가 노면으로부터 받는 동

적 반응을 주로 가속도의 형태로 측정하는 것이므로, 장치 장착차의 유형, 주행 방법, 측정 시기, 날씨 등에 따라 측정 데이터가 다른 특징이 있다.

표 4-11 IRI 지수 등급

IRI	QI	포 장 상 태	승 차 감
1~3	18	요철, 표면 파손 없음 (우수한 품질 아스팔트 포장 상태)	120 km/h 이상의 속도에서 쾌적함
4~5	46	표면 파손 다소 발생	80km/h 속도에서 흔들림이나 진동을 다소 느낌
7~8	102	국소 함몰 빈번히 발생	흔들림이나 진동을 심하게 느낌
9~10	130	국소 함몰 빈번히 발생하며 깊은 함몰 다소 발생	흔들림이나 진동이 매우 심함
11~12	158	깊은 함몰 빈번히 발생하며 침식 발생	50km 이상의 속도로 주행이 곤란함

국내에서는 시공시 IRI 지수보다 PrI(Profile Index)를 활용하고 있다. 이는 종단프로파일 값을 적용하여 산출된 평탄성 지수로 일정대역을 벗어나는 상하 이동 거리의 합으로 산출(일정대역: 국제기준 5mm, 일본기준 6mm)하며, cm/km 단위로 표현한다. 일반적으로 7.6m 프로파일 측정기로 측정하며 시멘트 콘크리트 포장은 16cm/km 이하, 대형조합장비 투입이 불가능한 경우, 종단구배 5%이상 평면곡선 반경 600m이하 구간, 터널 구간은 24cm/km 이하 기준을 적용한다. 아스팔트 콘크리트 포장은 토공부(확장 및 덧씌우기 공사) 경우 16cm/km이하, 신설: 10cm/km이하, 구조물 및 접속부, IC 및 JC램프 확장 및 덧씌우기 공사는 24cm/km이하, 단, 확장공사 구간 중 평면선형 분리구간은 신설공사를 기준으로 적용한다. 또한 교량구간은 Approach slab(또는 접속 slab) 단부에서 단부까지로 한다.



그림 4-25 7.6m 프로파일 측정기

(3) 국내외 연구 동향

□ 소음 관련 연구 동향

○ 근접 소음 측정법(Close proximity method (CPX))

- ISO Standard 11819-2에 의한 방법(sound pressure 측정에 의한 방법) 마이크로폰을 차량 타이어에 근접하여 설치하고 타이어와 포장면에서 발생하는 소음을 측정하는 방식이다. ISO에서는 CPX(Close proximity method : 근접 소음 측정) 측정법에 쓰이는 트레일러 장비를 제시하고 있다. 타이어와 포장에서 발생하는 소음에 대해서 <그림 4-29>에 나타난 트레일러에 마이크로폰을 장착하여 엔진 등의 기타 소음의 영향을 최소화할 수 있다.



그림 4-26 근접 소음 측정 트레일러

ISO에서 제시한 마이크로폰의 위치는 타이어의 중앙을 기준으로 20cm(8inch) 떨어진 거리에서 지면과의 높이는 10cm(4inch)로 앞뒤에 설치하게 되어있다. <그림 4-30>에서는 마이크로폰의 위치에 대한 조건을 설명하고 있다.

주행 차량에서 발생하는 소음은 저속일 경우, 엔진 등의 기계적인 소음이 전체 소음에서 큰 비중을 차지하며 고속으로 주행할수록 타이어/포장에서 발생하는 소음의 비중이 증가하게 된다. 따라서 CPX는 포장면에 따른 소음 발생 정도를 평가할 경우, 낮은 속도와 높은 속도를 모두 비교할 수 있는 수단으로 판단된다. <그림 4-31>는 텍사스에서 수행한 소음 측정 방법을 나타낸 것이다. 기본적으로 ISO에서 제시한 조건을 바탕으로 실험을 수행했으며 트레일러를

이용하여 바퀴에 마이크를 장착하여 근접 소음을 측정하는 방식을 취했다. 각각의 마이크에 대해 전방을 기준으로 135°와 180° 위치로 설치하도록 되어 있다. 워싱턴주에서의 근접 측정 실험은 90°와 135°의 위치를 제시했으나 측정된 결과 값에서는 큰 차이가 나타나지 않았다.(McNerney, 1998)

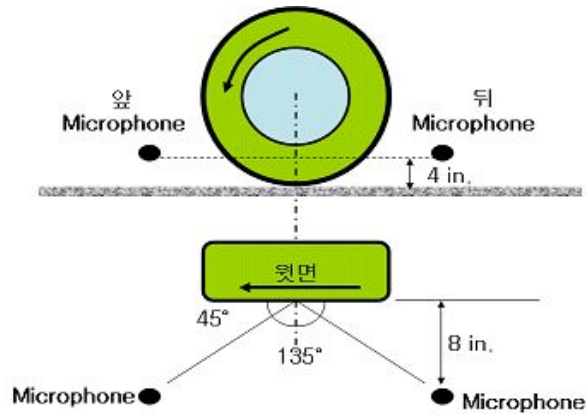


그림 4-27 근접 소음 측정법 마이크론 위치(ISO)

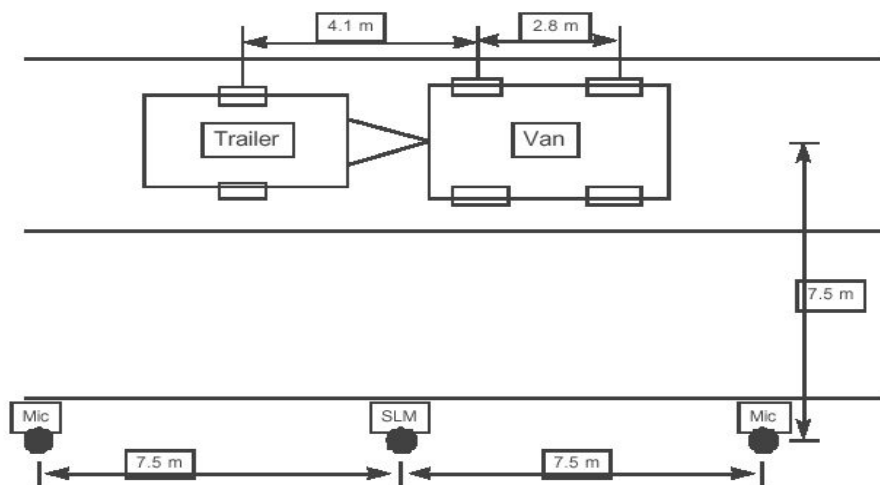


그림 4-28 트레일러를 이용한 소음 측정(McNerney, 1998)

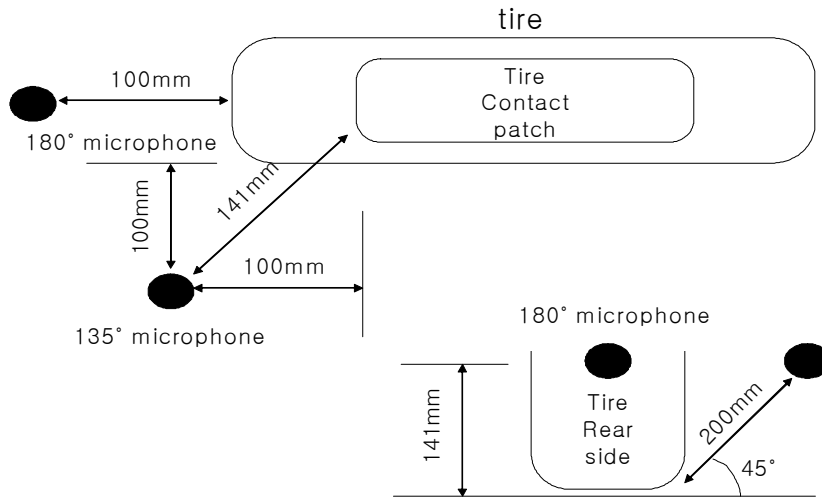


그림 4-29 텍사스 도로국의 근접 소음 측정 마이크로폰 위치(McNerney, 1998)

○ Dr. Paul Donavon에 의해 개발된 측정법

General Motors에서는 도로 소음 측정을 위해 일반적으로 행하는 음압(sound pressure)을 측정하는 것이 아닌, 음의 세기(sound intensity)를 측정하는 CPX법을 개발하였다. 음의 세기는 음원(타이어/노면 사이의 접촉면)에서 발생하는 음향에너지(acoustic energy)의 흐름을 표현하는 것으로서, 음압을 측정하는 심플한 마이크로폰들이나 소음측정기와는 달리 <그림 4-33>에서 보이는 바와 같이 탐침기(sound intensity probe)를 통해 측정하게 된다. 음의 세기 측정 방법의 경우 측정하고자 하는 음원에서 발생하는 음만을 정확하게 잡아내며, 다른 음으로부터의 상호작용을 제거하기 때문에 별도의 음향실(acoustic chamber)처리가 필요 없다는 장점이 있다.



그림 4-30 음의 세기 측정용 탐침기의 탑재 모습

○ 흡음률 측정법(Sound Absorption Properties In-Situ)

흡음률 측정법은 도로 표면의 한 지점에 대해서 발생한 소리가 반사되는 정도를 측정하는 방법이다. 주행 중인 차량에서 발생하는 타이어/포장 소음이 표면 공극을 지닌 배수성 아스팔트, 배수성 콘크리트 등의 포장에서는 흡음 효과로 인해 발생 소음이 줄어들게 된다. 따라서 표면 공극에 대한 흡음률을 측정하여 소음 저감에 대한 효과를 간접적으로 확인할 수 있다. <그림 4-34>에서는 임피던스 튜브를 사용하여 흡음 실험을 하는 장면을 보이고 있다.

본 측정법은 도로 표면의 한 지점(in-situ)에서 임피던스 튜브(impedance tube)를 이용하여 측정하며, ISO 10534-2에 제시되어 있다. 기본적으로 임피던스 튜브가 도로 표면에 밀착하여 튜브 내부가 완전히 밀봉된 상태가 되어야 한다. 크기가 비교적 큰 튜브를 사용할 경우 발생음에 대한 흡음률을 1600Hz 범위까지 측정할 수 있다. 또 다른 방법은 표면의 한 지점에서 흡음률 계수를 계산하는 방법으로 주파수 범위는 250~4000Hz이다. 이는 ISO 13472-1에 제시되어 있다. <그림 4-35>에서 보인 바와 같이 신호 발생기(signal generator)에서 음을 표면으로 향해 발생시키면 신호 발생기와 표면 사이에 위치한 마이크로폰에서 발생된 음과 표면에서 반사된 음을 받아들임으로써 흡음률 계수를 산정할 수 있다.



그림 4-31 임피던스 튜브를 이용한 포장 흡음률 측정

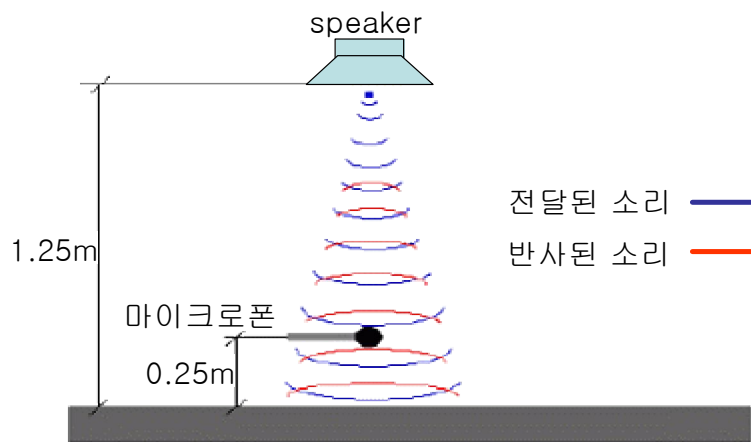


그림 4-32 흡음률 측정 원리(Garai, 1998)

○ 실내 소음 측정법(Tire/Road noise measurement inside the vehicle)

주행 중의 차량에서 발생하는 타이어/포장 소음이 차량에 탑승한 사람에게 미치는 소음의 정도를 측정한다. 실내 소음의 경우는 운전자에게 특히 심리적인 영향을 주는 요인으로 작용할 수 있기 때문이다. 규정으로 명시된 바는 현재까지 없으나 자동차 회사와 같은 경우 <그림 4-36>과 같이 모형 소음 분석 장치를 활용하여 소음 분석 및 운전자의 심리에 미치는 영향을 조사하고 있다. 기본적으로 실내에 미치는 소음 정도를 확인할 수 있을 뿐 아니라 차량 실내에 전달되는 소리의 질(sound quality)을 파악하여 이를 개선시키는 연구에 활용할 수 있다.



그림 4-33 실내 소음 측정 모습

소음 예측 프로그램의 경우 유럽에서 주로 개발이 이루어졌다. 다양한 용도로 이용되는 범용 소프트웨어는 미국을 중심으로 도입되었다. 차량의 소음, 주변 환경 조건을 반영한 도로 소음 예측용으로 국한하여 개발된 소프트웨어는 독일 Datakustic GmbH 소음예측 프로그램인 CadnaA가 가장 적용이 용이하다. 이 소프트웨어는 프랑스 TGV, 독일 아우토반, 국내 KTX 등에 적용되었으며, 지형적 조건, 도로표면형식, 차량 속도, 교통량 등을 고려하여 3D 공간상의 소음 예측(RLS90 기준)이 가능하여 인접 구간의 건물까지 거리와 높이에 따라 소음 분석이 가능하다. 또한 국제표준규격 ISO 9613-2를 따르고 있으며, Ray Tracing (RT), Angle Scanning (AS) 분석 방식으로 다양한 동적 시뮬레이션이 가능하다.

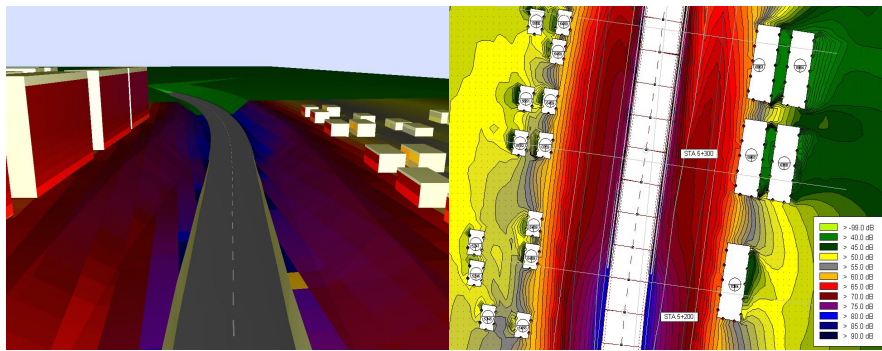


그림 4-34 소음 예측 프로그램 CadnaA

다음은 국내외 소음 예측 프로그램의 장단점을 요약한 표이다.

표 4-12 국내외 소음 예측 프로그램-1

프로그램	NW-NOISE	KHTN	ENpro	MITHRA (CadnaA 이전버전)
교통	2종 차종 구분 평균 속도 고려	4종 차종 구분	교통량 고려	시간당 통행량, 중차량 비율, 교통 흐름
포장상태	고려 안함	아스팔트/콘크리트	unknown	아스팔트/콘크리트
기상조건	고려 안함	고려	고려	고려
GIS	고려 안함	고려 안함	3차원(dxf)	3차원(dxf)
방음벽	방음독, 방음벽 2종으로 단순 구분 (재질고려안함)	유전자알고리즘 적용한 방음벽 설계	다양한 방음벽 설계 가능	다양한 방음벽 설계 가능
적용모델	Fresnel- Kirchhoff	ASJ-1998 및 ISO 9613	ASJ-1998 및 ISO 9613	ISO 9613 CRTN 파동기하학 (BEM)
지형조건	고려 안함	고려 안함	- 지형, 방음벽, 구조물 및 이들의 복합 구조물에 의 한 단일 및 다중 회절효과 - 숲, 공장, 주거 밀집지대 에서의 감쇠 효과 - 지면감쇠 효과	3차원 공간의 모든 지형조건 반영
기타	회절 감쇠 효과만을 고려하여 소음 예측	소음 실험을 통해 국내 차량 특성 보정	- 소음원의 지향성 - 기하학적 확산효과(소음 전파 거리에 따라 면음원, 유한 선소음원 및 점소음 원 전파특성자동반영) - 반사효과	다양한 모델로 분석 가능 다양한 3차원 모델링 프랑스 TGV, 한국 고속철도 소음 분석에 적용

표 4-13 국내외 소음 예측 프로그램-2

모델	일본 ASJ	ISO-9613	영국 CRTN
교통	소형차, 소형화물차 중형차, 대형차 40~140km/h 10~60km/h 0~80km/h 시간당 통행량평균 주행속도 경사, 차선주,	Image source에 대한 전파 소음 예측	소형차, 대형차 20~130 km/h 시간당 차량 통행량 전체 차량 평균 주행 속도 대형차 혼입비 차량 소음 발생 위치
포장상태	형식 고려 안함 포장시기고려	고려 안함	고려 안함
기상조건	고려	고려	고려 안함
모델	파동 음향학	기하 음향학	기하 음향학
지형조건	절토부, 성토부, 구조물부, 교차로	- 숲 지역에서의 감쇠효과 - 공장지대에서의 감쇠효과 - 건물밀집지역의 감쇠효과	- 도로 경사 - 방음벽, 지형에 의한 단일 및 다중 회절 효과 - 방음벽, 건물, 절토부 지형 등에 의한 반사 효과 - 도로와 수음점간의 각도 - 밀집 주택에 의한 감쇠
기타	- 거리 감쇠 - 공기 흡음 및 지면 감쇠 - 지형 및 방음벽의 단일 및 다중 회절 감쇠 - 방음벽 및 절토부 등의 지형 반사	- 기하학적 확산 효과 - 공기 흡음 효과 - 지면 감쇠 효과 - 회절 효과 - 반사 효과 - 바람 효과	- 거리 감쇠 - 노면 지면 감쇠 - 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 폭 방향 회절을 고려하지 않음

○ HW-NOISE

우리나라의 고속도로 소음 예측에 적용하고 있다. 일반적으로 설치되는 방음벽은 얇은 장벽과 방음독과 같은 지형은 두꺼운 장벽의 회절 감쇠 효과(Fresnel- Kirchhoff의 근사이론)를 고려하며 지면의 반사음을 고려하지 않는다.

소음 예측식은 절토부, 성토부와 같은 지형 조건의 영향을 반영하기도 하였

으나 차종 구분이 단순하고, 도로 포장 상태, 방음벽의 재질, 기상 효과 등이 고려되지 않아 정밀한 소음 예측에 적용하기는 어렵다. 또한, 프로그램 이용 시 실제 계측값을 반영할 수 없고 방음벽의 높이 산정도 시행착오 방법에 의하기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

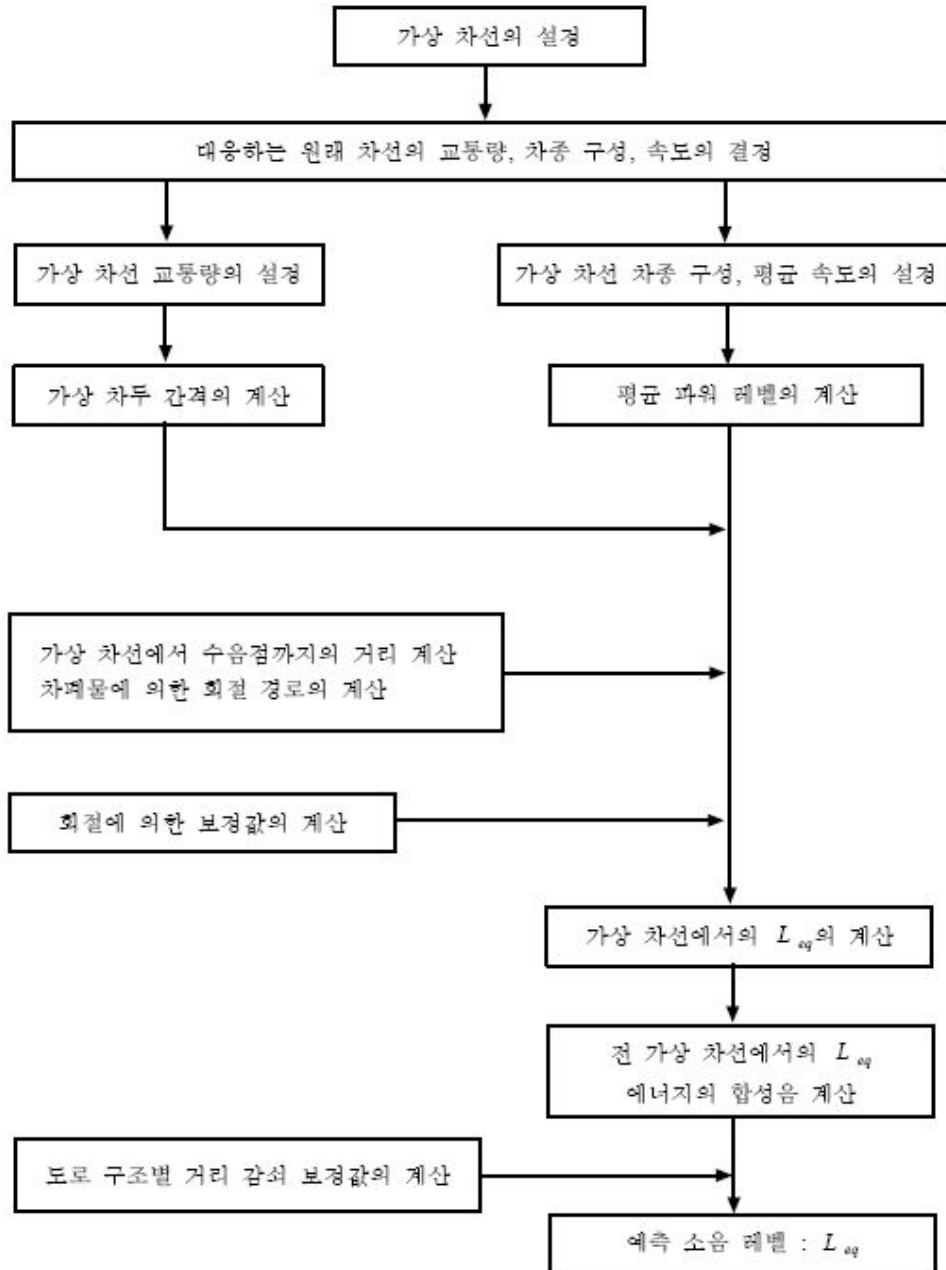


그림 4-35 HW-NOISE 예측 과정

○ ENpro

부산대에서 개발한 실내·외 환경소음 예측용 프로그램으로 일본 ASJ-1998 및 ISO 9613의 기준을 적용하였다.

소음원의 지향성, 기하학적 확산효과(소음원과 거리에 따라 면음원, 유한 선 소음원 및 점소음원 전파특성자동반영), 지면감쇠 효과, 지형, 방음벽, 구조물 및 이들의 복합 구조물에 의한 단일 및 다중 회절효과, 기후학적 효과, 반사효과, 숲, 공장, 주거 밀집지대에서의 감쇠 효과 등을 고려하며, 일본음향학회의 도로교통 소음예측방법 ASJ Model-1998에 제시된 방법에 따라 풍향·풍속의 영향도 고려하였다.

또한 ENPro는 산업기기류 및 도로교통 소음의 음향파워레벨 추정 기능과 함께 흡음률, 투과손실 등과 같이 소음예측에 필요한 자료의 관리 기능을 제공할 뿐만 아니라 실내·외 상호간의 공기전파 소음을 고려한 환경 소음해석까지 가능한 것으로 알려져 있다.

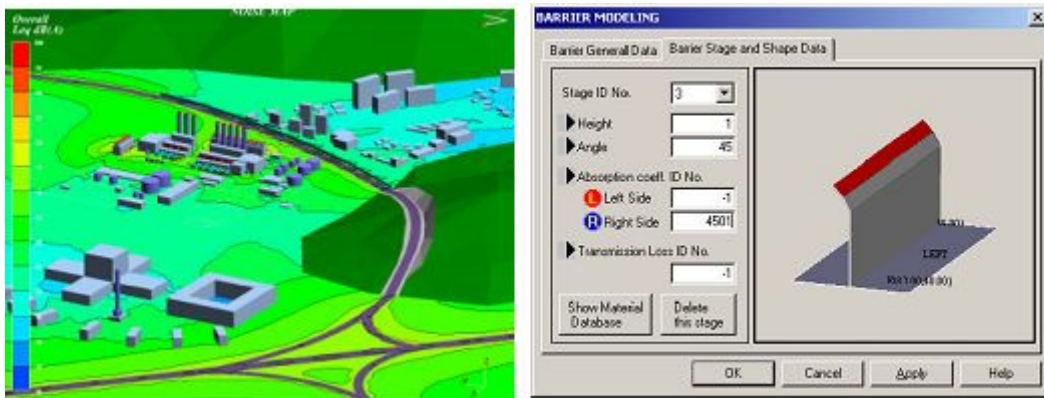


그림 4-36 ENpro 프로그램

ENPro는 소음예측에 필요한 소음원, 지형, 지면 종류, 건물, 방음벽 등을 마우스 등을 활용하여 편리하게 모델링할 수 있을 뿐만 아니라 문자, 선, 호, 원, 격자 등 다양한 CAD 기능을 제공한다.

○ KHTN-2001

ASJ-Model-1998에 의한 음향파워 산정 및 ISO 9613 방법에 의한 전달 감쇠 산정 방법을 적용한 예측 결과와 계측 결과의 비교·검토를 통해 개발되었다.

차종 분류법을 기본으로 적용하며, 포장 종류 별 음향 파워 스펙트럼(아스팔트, 콘크리트)을 시도하였다.

고속도로 교통소음을 무지향성 소음원으로 간주하고, 전달경로상의 기하학적 확산에 의한 감쇠, 공기 흡음 효과, 지면 감쇠 효과, 회절 효과 및 반사 효과를 고려하여 특정 수음점에서의 중심주파수 63 Hz부터 8 kHz까지의 옥타브밴드 별 등가 음압레벨 산출한다. 단 숲, 공장 지대, 건물 밀집 지대 등에서 발생하는 전달 감쇠는 제외하였다. 또한 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용한 직선 방음벽 최적 설계가 가능하다.

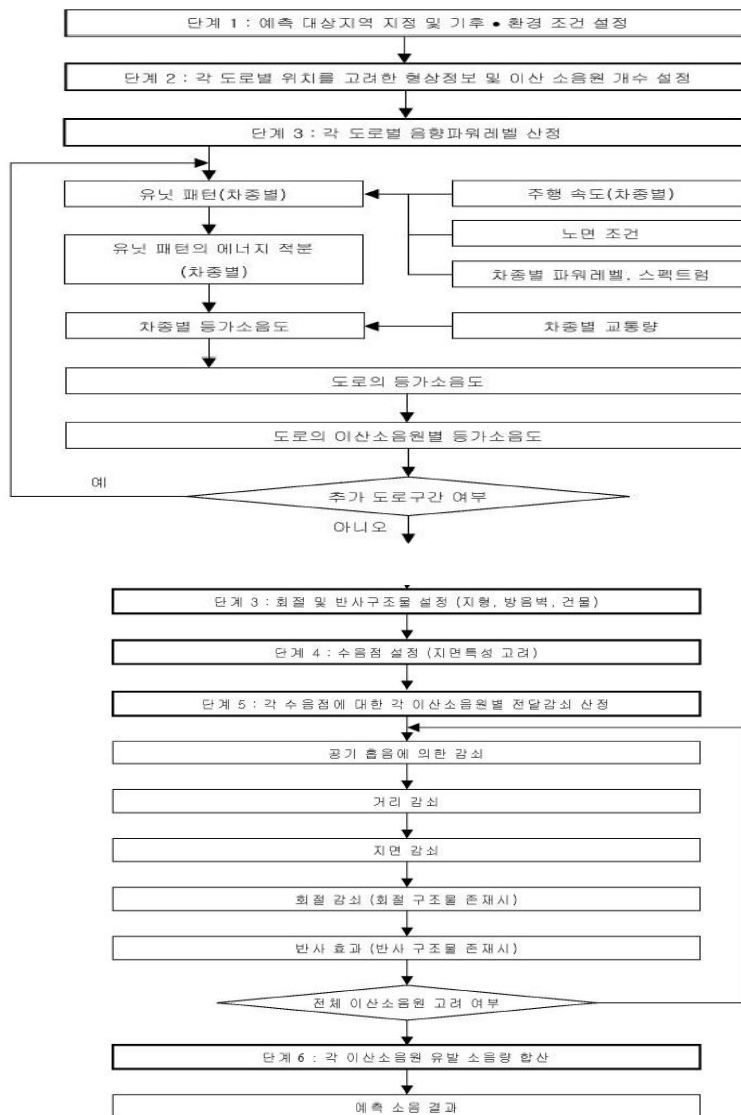


그림 4-37 KHTN-2001 소음 예측 과정

○ 일본 음향 학회의 소음 예측 모델(ASJ Model)

1974년에 도로 교통소음 조사연구위원회를 조직한 후 24년간의 연구 성과를 토대로 많은 보완을 거쳐 ASJ-1998 모델을 발표하였다. 도로 교통소음에 대한 최근 연구 결과일 뿐만 아니라 방대한 시험 결과를 토대로 차종은 물론 차량 주행 상태 등을 세분화하였으며, 도로 형태도 절토부, 성토부, 구조물부, 교차로 등 거의 모든 도로 구조에 대해서 적용할 수 있다.

계산 방법도 파동음향이론을 적용한 정밀 계산방법인 A-방법과 기하음향이론을 적용한 간이계산방법인 B-방법으로 구분하고, 주파수별 소음 예측이 필요한 경우나 소음원인 차량의 주파수 특성, 지표면과 방음벽 등의 음향 특성을 임의로 설정할 필요가 있는 경우에는 A-방법을 적용하고 간단하게 실용적인 소음 예측 계산만을 행하는 경우에는 B- 방법을 적용한다.

이는 파동음향이론을 적용한 A-방법이 정밀도는 높지만 반사, 회절 계산 등에 복소 음향 특성이 요구되어 소음 예측 과정이 복잡할 뿐만 아니라 통계적으로 산정하는 차량 소음에 대해 위상을 고려하는 파동음향학을 적용하기 어렵기 때문이다. B- 방법의 경우 자동차 주행 소음의 스펙트럼을 이용해서 상대적으로 간단하게 지면 감쇠, 회절 및 반사 효과 등을 반영할 수 있으며, 반사 및 회절 현상이 복잡하지 않은 도로에 대해서는 A-방법과 ± 1 dB 내외의 차이를 나타내어 소음 예측 정확도도 매우 높다.

그러나, 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 대한 구분이 되어 있지 않고 도로 교통소음에 대한 실용적 접근 방법인 ASJ Model- 1998의 B- 방법은 우리나라 고속도로의 상당 부분을 차지하는 절토부, 구조물부 등에서의 복잡한 반사 현상과 방음벽과 지형 또는 건물이 혼재하여 다중 회절 현상이 있는 경우에 대해서는 아직 그 정확도가 입증되지 않았다.

○ 영국 수송국의 소음 예측 방법

영국 수송국(Department of Transport)에서는 1975년에 도로 교통소음 예측 방법(Calculation of Road Traffic Noise : CRTN)을 제안한 후 1995년에 이를 개정하였다. 도로 및 지형·지물이 복잡한 경우에도 비교적 용이하게 적용할 수 있으나 차종 구분이 단순하고, 공기 흡음 효과, 기상 효과 등은 반영되지 않았다.

특히, 미국 FHWA의 소음 예측 모델과 같이 고속도로 방음 대책 수립에 있어서 가장 중요한 요소인 회절 효과 산정에 있어서 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 폭 방향 회절을 고려하지 않아 방음벽 길이 설계의 최적화를 도모하기 어려웠다.

표 4-14 영국 수송국의 소음예측 고려사항

항 목	내 용
소음 평가 물리량	총합 10% 시간을 소음레벨
차종 구분	- 소형차 : 차체 중량 1,525kg 이하 - 대형차 : 차체 중량 1,525kg 이상
적용속도 범위	20~130 km/h
기본 차량 소음 예측 인자	- 시간당 차량 통행량 - 전체 차량 평균 주행 속도 - 대형차 혼입비 - 차량 소음 발생 위치 - 도로 구배
소음 전달기구 고려 사항	- 거리 감소 - 노면 지면 감소 - 방음벽, 지형에 의한 단일 및 다중 회절 효과(최대 20dB) - 방음벽, 건물, 절토부 지형 등에 의한 반사효과 - 도로와 수음점간의 각도 - 밀집 주택에 의한 감소

○ ISO 9613-2

국제 표준화 기구(International Organization for Standardization; ISO)에서는 1993년에 옥외 전파소음에 대한 공기 흡음 효과 산정 방법인 ISO 9613-1을 제정하였으며, 1996년에는 항공기 소음과 충격음을 제외한 대부분의 옥외 환경 소음의 계산에 적용할 수 있는 ISO 9613-2(2)를 제정하였다. ISO 기준들은 세계 유수 국가들의 전문가들에 의해 다년간의 준비과정과 투표에 의해 채택되는바 대부분의 국가에서 ISO 기준을 만족하는 제품 및 기술의 품질과 결과에 대해서 공신력을 부여하였다.

전달 감쇠 효과를 음향 에너지의 기하학적 확산으로 인한 거리 감쇠는 물론 온도와 습도에 따라 달라지는 공기의 흡음 효과, 지면의 흡음 및 반사 효과 및

건물 또는 담에 의한 회절 효과와 반사 효과 및 기상 변화 효과로 구분하고 있다. 또한, 정밀 계산이 곤란한 주거 밀집지대, 숲 및 공장 지대에서의 감쇠치 산정을 위한 근사 계산 방법을 제공한다.

거리 감쇠를 제외한 모든 감쇠치를 중심주파수 63 Hz부터 8 kHz까지의 1-옥타브 밴드별로 산정하고 등가 A-가중치 음압레벨(equivalent continuous A-weighted sound pressure level)을 소음 평가 물리량으로 규정하며 도로 철도와 같은 선 소음원은 다수의 점 소음원으로 모델링한다.

표 4-15 거리에 따른 음압 차이

소음원과 수음점의 평균 높이 (h)	음원으로부터 수음점까지의 거리 d	
	$0 < d < 100 m$	$100 m < d < 1000 m$
$0 < h < 5 m$	$\pm 3 \text{ dB}$	$\pm 3 \text{ dB}$
$5 < h < 30 m$	$\pm 1 \text{ dB}$	$\pm 3 \text{ dB}$

□ 미끄럼 저항성 평가 및 기준

미 켄터키 DOT 유형별 사망 사고 요인을 참고하면 과속이나 음주와 같은 운전자 과실이 80% 이상을 차지하지만 도로 환경 요인에 의한 사망 사고도 10% 이상으로 나타났으며 도로 환경 요인 중 가장 많은 비중(47%)을 차지하는 요인으로 도로미끄럼으로 나타났다.

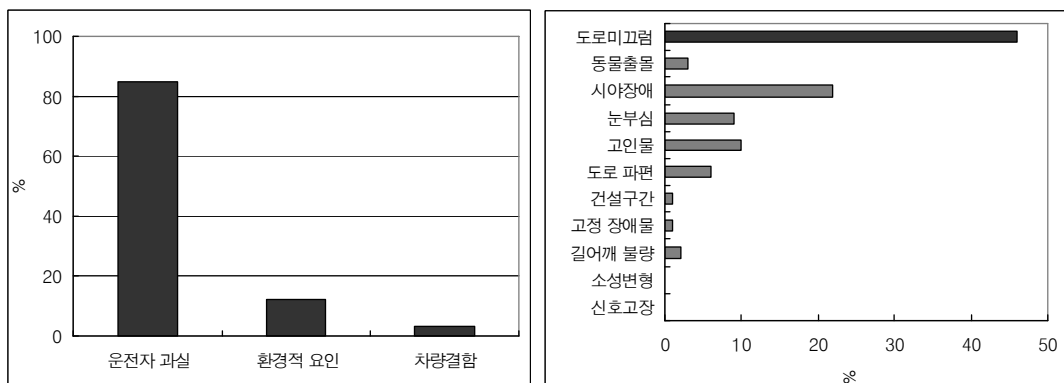


그림 4-38 교통사고의 원인별 분포

○ 미끄럼 저항성 발생 원리 및 특징

일반적으로 미끄럼 저항성은 타이어와 직접 접촉하는 포장의 표면 조직에 의하여 결정된다. 모든 포장형식에 대하여 표면 조직은 아래 그림과 같이 3가지로 나눌 수 있다. 그림에서 상부는 타이어를 하부는 포장면을 나타낸다. 포장 표면의 조직 형태에 따라서 연성을 가지는 타이어의 표면이 변형을 일으키며 접촉 상태를 유발하고 접촉 상태의 마찰력에 의하여 미끄럼 저항성이 발현된다.

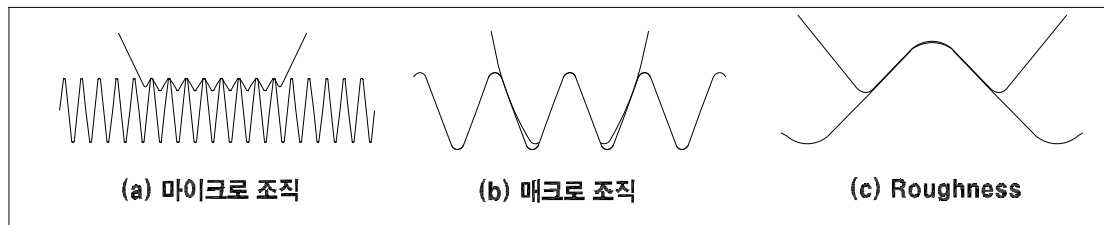


그림 4-39 미끄럼 저항성을 유발하는 포장의 표면 조직 (2003년도 포장 기능성 평가 및 미끄럼 관리기준 설정 연구)

포장의 마찰계수에 영향을 주는 표면조직은 $1\mu\text{m} \sim 0.5\text{mm}$ 파장의 마이크로 조직(Microtexture)과 $0.5\text{mm} \sim 50\text{mm}$ 파장을 갖는 매크로 조직(Macrottexture) 사이이다. Roughness는 평탄성을 저해하는 요소로서 표면 조직으로서의 의미는 있지만 마찰에 영향을 주지는 않는다. PMA는 밀입도 골재를 사용하는 형식으로 세립분의 함유량이 높아 표면이 상대적으로 매끈하지만, SMA는 개립도 골재를 사용하는 형식으로 세립분이 거의 없어 표면에 13mm 골재의 형상이 거의 그대로 나타난다. 결국 PMA는 마이크로 조직에 의한 SMA는 매크로 조직에 의한 미끄럼 저항성을 각각 추구한다.

도로는 포장 형식의 종류에 관계없이 다음 그림과 같이 신설 단계에서 높은 미끄럼 저항성을 나타내지만, 대부분의 구간에서 공용 4년 이내에 현저한 감소 현상을 보인다. 특히 중하중 교통이 많은 구간의 아스팔트 포장에서는 더욱 현저한 감소를 나타낸다. 초기 감소 현상은 교통 하중에 의한 노면의 마모와 함께 포장 표면의 재다짐이 진행되어 표면의 거친 입자(매크로 조직)가 혼합물 속으로 들어가기 때문이다. 후기 감소는 비교적 완만하게 진행되며, 표면에 노출된 골재의 편마모 등에 의한 조면 조직의 재구성으로 일시적인 증가 경향을 보일 수도 있으나 전체적인 추세에는 영향을 미치지 않는다. (2003년도 포장

기능성 평가 및 미끄럼 관리기준 설정 연구)

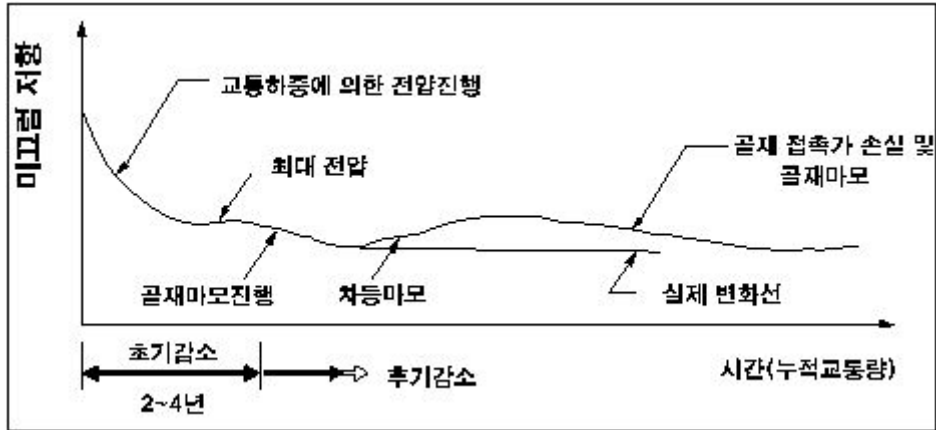


그림 4-40 시간경과에 따른 노면 미끄럼 저항 변화

마이크로나 매크로 사이에서 높은 수준의 유지관리를 한다면, 포장의 표면 조직은 습윤 및 건조 상태에서 미끄럼 저항성을 증진시킬 수 있다. 유럽의 연구에서 매크로 조직을 증가시킨 경우 습윤 및 건조한 포장에서 전체 교통사고 건수를 감소시킨다고 발표하였다.

○ 미정지시거의 결정

도로의 기하구조는 1999년 건설교통부에서 개정한 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규정”에 의해 설계되고 있다. 포장의 미끄럼과 관련되는 항목으로 종방향 미끄럼 마찰계수를 고려하여 정지시거를 산정하고 있으며, 산정식은 아래와 같다.

$$\text{정지시거 (SSD)} = 0.278 V_t + \frac{V^2}{254(f \pm G)}$$

여기서, SSD : 정지시거(m), V : 설계 속도 또는 초기 속도 km/h, t : 운전자 인지 및 반응 시간(2.5초), f : 타이어와 포장 표면 사이의 마찰, G : %경사 (+ 상향경사, - 하향경사) 이다.

설계속도 70km/h를 적용하여 마찰계수 및 경사의 변화에 따른 정지 시거의 변화를 보면 다음의 표와 같다. 종단경사가 없는 경우 마찰계수가 0.3에서 0.4로 변화할 경우 정지시거가 16m 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 하향으로

7%일 경우에는 동일한 마찰계수 변화에서 정지시거는 25m 이상 증가하는 데, 이는 현저한 변화이다. 그러므로 시공 직후부터 장기간 높은 수준으로 마찰계수를 유지할 경우 사고예방에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

표 4-16 마찰계수 및 종단경사 변화에 대한 정지시거 변화

마찰계수 / SN	종단경사						
	-7%	-5%	-3%	0%	3%	5%	7%
0.3 / 30	132.5	125.8	120.1	113.0	107.1	103.8	100.8
0.4 / 40	107.1	103.8	100.8	96.9	93.5	91.5	89.7
0.5 / 50	93.5	91.5	89.7	87.2	85.0	83.7	82.5
0.6 / 60	85.0	83.7	82.5	80.8	79.3	78.3	77.4
0.7 / 70	79.3	78.3	77.4	76.2	75.1	74.4	73.7
0.8 / 80	75.1	74.4	73.7	72.8	71.9	71.3	70.8

○ 미끄럼 저항성 시험

미끄럼 측정은 ASTM E 501 규정에 의하여 다음 그림과 같이 물분사, 브레이크 작동, 구간 평균 SN 산출 및 브레이크 풀림의 과정을 5초 동안 수행하면서 데이터를 수집하게 된다. 측정 데이터 1회 측정점은 65km/h의 속도에서 30~35cm 폭의 포장면에 대한 미끄럼 저항값이며, 평균 SN 값은 미끄럼 구간에서 얻어진 SN 값의 분포를 적분하여 산출하게 된다.

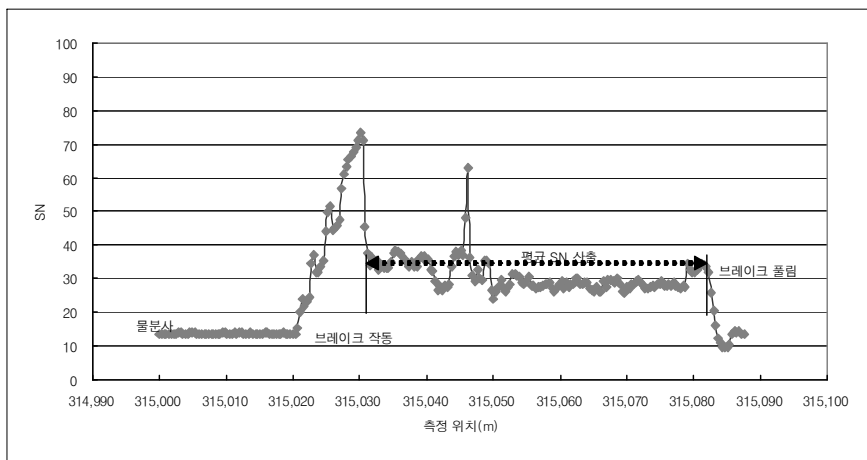


그림 4-41 미끄럼저항 측정 방식

측정은 고속도로에 500m 간격으로 설치된 이정을 보고 측정을 시작하면, 500m 구간에 대하여 처음 100m 구간을 측정하고 다음 100m는 주행하면서 브레이크에 필요한 공기압을 보충하고, 다시 세 번째 100m 구간에서 측정하고, 다음 100m 는 공기압을 보충하고, 마지막 100m 구간에서 측정하는 방법으로 자동으로 이루어진다. 즉 매 500m 구간에서 3회 측정이 자동으로 이루어지는 시험 방법이다.



그림 4-42 아스팔트포장 종방향 그루빙 상세

2003년 수행된 “포장기능성 평가 및 미끄럼 관리기준 설정 연구” 결과 그루빙에 의한 미끄럼 저항성도 위의 표에서 보는 바와 같이 상당한 차이를 보인다. 영동고속도로가 상대적으로 공용 연수가 짧아 미끄럼 저항성이 중앙고속도로 사례에 비하여 전반적으로 높게 나온다. 중앙고속도로의 경우 공용 연수가 길고 제설작업으로 노면이 갈려나가므로 미끄럼 저항성이 전반적으로 낮은 값을 나타냈다.

표 4-17 그루빙에 의한 미끄럼 저항성 증진 효과

위치	SN 값	
	그루빙 설치 구간	인접 일반 구간
영동고속도로 180km	68	53
중앙고속도로 301km	51	45

□ 평탄성 관련 연구

고속주행이 가능한 도로에서 가장 중요한 부분 중의 하나는 평탄성이다. 국내외 모두 최근의 포장장비 기술의 발전으로 아스팔트 및 콘크리트 포장 모두 PRI 기준으로 12cm/km 수준의 평탄성은 만족이 가능하다. 그러나 이는 100km/hr의 도로에서 만족감을 줄 수 있는 수준으로 스마트하이웨이에서는 주행속도 제한이 높아지는 만큼 현재 기준을 더 강화할 필요가 있다. 최근 평탄성의 관리 기준에 대해서도 해외에서는 PRI와 IRI 이외에 별도의 방법을 적용해야한다는 연구 성과도 많이 도출되고 있다. 결국 도로의 평탄성이 사람에게 실질적으로 영향을 미치는 경우에 합당하도록 개선해야한다는 연구 결과들이다.

포장의 평탄성을 측정하는 방법은 ICC(Ultrasonic), ARAN(Laser), PRORUT(Laser) 등 매우 다양하다. IRI의 문제점은 1970년대의 개발도상국의 도로상태를 통해 개발되었는데 각 나라마다 서로 측정 자료의 호환성이 다소 문제점으로 지적되었다. 이에 따라 세계은행은 1982년에 평탄성측정 기준을 개발하기 위해 브라질에서 평탄성 측정을 위한 실험을 실시하였고 수년간 수정을 통해 각 측정 방식에 대한 상관관계가 성립되는 IRI 평탄성 지수를 개발하였다. 초기 IRI 연구팀이 실시한 평탄성 지수 비교 평가 실험에서는 프로파일 방식 4종, 레스폰스 방식 5종을 이용하여 실험하였다. 또, 평탄성이 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있는 것처럼, 아스팔트 포장, 콘크리트 포장, 표면 처리, 자갈길, 흙길 등 49개 지점의 시험 구간을 설정하고, 각 평탄성 지수를 구하여, 그 결과를 정리하여 IRI를 제안하였다. 이에 따라 현재 대부분의 자동화 측정 장비에는 IRI를 산출할 수 있는 알고리즘이 포함되었다. IRI의 장점은 다른 요소보다 실제 포장상태를 파악할 수 있는 재현성이 높고, 비교적 안전적이다. 또한 소성변형, 밀링, 포트홀 등 다양한 요소가 포함된 종합적인 지수이다.

IRI 알고리즘에서는 Quarter-Car model를 이용하는데 이는 차량의 4분의 1 즉 한 개의 타이어에 대한 수치라는 점이다. Quarter-Car model은 포장 표면에 대한 차량 응답과 가장 상관관계가 높은 차량 특성을 이론적으로 적립한 것으로 특정 파장과 진폭에 대해 호환성을 갖도록 한 것이다. 상하 방향 운동만을 고려한 Quarter-Car Model로 치환하고, 승용차가 정속 주행할 때에 평탄성에 기인하는 차량의 상하 방향 변위를 시뮬레이션을 이용하여 구하고, 그것을 측정 중단 프로파일 전체 길이에 걸쳐 누적된 값을 차량의 주행 거리로 나

눈 값이 IRI이다. 이것을 수식으로 표현하면 차체와 차륜의 상대 변위 Z 는 $Z=Z_1-Z_2$ 이므로, 종단 프로파일에 관한 표본 간격마다의 Z 변화량 ΔZ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta Z = |Z_i - Z_{i+1}|$$

이것은 Quarter-Car Model의 동적 응답 특징에 따른 필터를 지난 노면 프로파일에 상당하는 것이므로, 노면의 수정 구배 RS(Rectified Slope)라 불리며, RS의 종단 프로파일 전체 길이에 대한 평균이 IRI이다.

$$IRI = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=2}^n RS_i$$

(단위: m/km 또는 mm/m)

IRI를 구할 때 사용되는 종단 프로파일의 표본 간격은 타이어의 envelope 특성을 고려하여 25cm로 하였다. 또 자동차의 반응은 차속에 따라 다르기 때문에 차속은 80km를 표준으로 하였다.

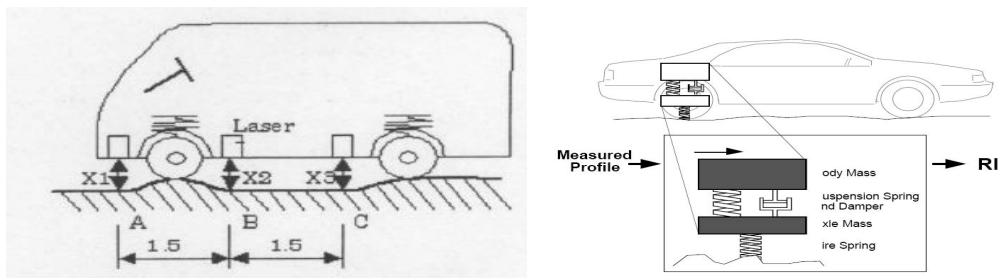


그림 4-43 평탄성 측정 방식(좌: 3점 평탄성 측정방식, 우: Quarter Car Model)

포장과 관련되어 주행속도와 차종에 따라 발생하는 평탄성의 편차를 최소화하여 현재 널리 통용중인 IRI(International Roughness Index)보다 객관화된 지수를 개발하려는 연구가 활발히 진행 중에 있다. IRI가 80km 속도만을 고려한 지수이며, 전체 차량에 대한 거동이 아니라 타이어 하나에 대한 상하 운동만을 가정하였기 때문에 한계가 있다. 따라서 스마트하이웨이와 같은 지능형 고속도로에서 적용할 경우는 승차감을 보다 정확하게 정량화하기 위해서는 알고리즘 개선 등 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 차량자체의 거동보다 운전자가 인지하는 거동을 반영하려는 연구가 해외에서는 진행 중에 있다.

(4) 선진국 대비 국내기술 수준

국내 소음 측정 방식의 경우 단독 차량(The single vehicle) pass-by 소음 측정법(CPB)이나 Pass-by 소음측정시험 방법 등 외국 기준과 대등한 수준까

지 기술력을 확보하였지만 실제 관리에서 활발히 적용되지는 못하고 있다. 이는 평가 방식에 대한 통일성이 없으며, 어떤 방식에 대해 어느 정도 소음 수준을 적정 기준으로 설정해야 하는 지에 대한 연구가 부족하기 때문이다. 따라서 기존에 연구된 소음 측정 방식에 대한 평가에 대한 연구가 필요하며, 스마트하이웨이에서는 통일된 방식으로 일정 수준까지 관리할 수 있는 시스템을 구축하는데 초점을 맞추어야 할 것으로 판단된다.

소음 예측 프로그램의 경우 현재 국내에서 많은 연구가 진행되어 일부 프로그램은 상용화 단계에 있다. 그러나 아직 해외 소음 예측 프로그램과 같은 수준의 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 소음 특성을 정확히 반영하고 있지 못하고 있다. 또한 도로 교통소음에 대한 실용적 접근 방법인 ASJ Model-1998의 B- 방법은 우리나라 고속도로의 상당 부분을 차지하는 절토부, 구조물부 등에서의 복잡한 반사 현상과 방음벽과 지형 또는 건물이 혼재하여 다중 회절 현상이 있는 경우에 대해서는 아직 그 정확도가 입증되지 않았다. 또한 미국 FHWA의 소음 예측 모델도 고속도로 방음 대책 수립에 있어서 가장 중요한 요소인 회절 효과 산정에 있어서 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 폭 방향 회절을 고려하지 않아 방음벽 길이 설계의 최적화를 도모하기 어렵다. 따라서 기존 프로그램의 알고리즘을 보완하여 국내 복합적인 지형 특성을 반영하는 연구가 필요로 하다.

국내 미끄럼 저항성 측정은 외국 ASTM E 274 기준과 유사하게 특수하게 제작된 차량으로 견인하는 트레일러 장비로 측정하는 것이 일반적이다. 그러나 특정 속도에 대한 평가만 이루어지고 있으며, 속도별 마찰 특성이나 기하구조 등을 효과적으로 반영하지 못하고 있다. 따라서 현재 진행되는 해외 연구 사례와 같이 보다 세분화된 도로 특성을 반영하여 미끄럼 측정 시스템을 구축하는 연구가 필요하다.

국내 평탄성 지수는 시공 단계에서는 PrI(Profile Index)를 활용하고 있으며, 유지관리 단계에서는 IRI(고속도로와 국도의 경우)를 적용하고 있다. 그러나 PrI 지수의 경우 거의 불량한 구간이 발생하지 않아 실효성이 거의 없으며, IRI 지수는 현재까지 가장 포장 상태를 명확히 반영하는 것으로 인정되고 있지만 80km 정속 주행 상태로 타이어 한 개에 대한 움직임을 모델링한 것으로 운전자 승차감을 정확하게 반영하기 위해서는 개선이 필요하다. 일본이나 일부 선진국에서는 이를 개선하려는 연구가 현재 진행 중에 있다.

(5) 추진전략

1) 추진체계

본 연구를 위한 추진 전략은 다음과 같다

- 해외 관련 연구결과 및 적용 사례조사 및 DB 구축
- 국내 유관기관과의 협조를 통한 연구 동향 및 자료수집을 통한 DB 구축
- 국내외 전문가들의 자문을 통한 기술 지원
- Test Bed 적용을 통한 성능 검증 및 적용성 확대
- 기술 이전 및 보급 확대

추진 전략에 따른 추진 체계는 다음과 같다.

- 각 분야 전문가를 통한 선진기술 습득 및 분석 및 활용
- 단계별 연구성과 확인 및 의견 수렴을 위한 세미나 개최
- 산학연을 통한 공동 연구 및 협력 도모

2) 테스트베드 전략

본 과제의 완성도를 향상시키기 위한 테스트베드 전략은 다음과 같다.

- 차량주행환경에 따른 표면 미끄럼 저항성능 분석
- 운전자 및 차량 탑승자의 쾌적한 주행성 확보를 위한 평탄성 검증
- 고속주행에 따른 소음 감소를 위한 공법 검증 및 소음측정
- 설계 및 시공 기준 수립을 위한 시공 실시

4.4 활용방안 및 기대성과

4.4.1 성과물 활용방안

- 초고속 주행환경에 적합한 포장형식을 선정하고 성능평가 기준을 수립하여 각 구간별 최적의 포장이 이루어질 수 있도록 함
- 도로하부구조의 단차억제와 신속유지보수 등을 통해 이용자에게 주행안전성과 쾌적성을 확보할 수 있도록 함
- 포장의 평탄성, 소음도, 미끄럼저항 등의 기준정립 및 평가방법 개발을 통해 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 함
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특허, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치 창출로 연계하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

4.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

4.4.3 기대효과

- (1) 스마트하이웨이 포장형식 및 공법개발 연구
 - 1) 경제적 기대효과
 - 포장 재료 개발의 해외 수출로 인한 기술료 획득

- 안전한 도로포장 제공에 따른 이용자의 만족도 증대
- 타 산업으로의 연계 및 파급효과로 인한 관련 산업의 육성
- 포장관련 새로운 일자리 창출
- 고기능성의 포장 재료 개발로 유지보수 비용의 절감

2) 기술적 기대효과

- 도로포장 기술의 완성도 향상
- 국내 전문가 배출로 인한 기술력 향상
- 공법의 다양성 확보를 통한 기술 선진국
- 새로운 장비 및 인력의 구성 및 확충
- 해외 기술 의존도를 낮춰 대외 기술 신인도 향상
- 유사 기술과의 경쟁력 확보를 통한 새로운 기술 개발의 활력 도모
- 타 산업과의 연계를 통한 시너지 효과 발휘

(2) 도로구조의 내구성 확보기술 개발

1) 경제적 기대효과

- 기술 수출에 따른 국제경쟁력 향상
- 단차발생구간 감소 및 보수재의 내구성 향상을 통한 유지보수비용 절감
- 보수 시간의 단축으로 사용자들의 간접비용 절감
- 주행안전성과 쾌적성 확보를 통한 이용자의 만족도 증대

2) 기술적 기대효과

- 구조물 뒷채움재의 시공기술 향상과 구조적 안전성 확보
- 단차 발생구간의 단차 측정과 관리기준 정립
- 재료 및 제작설비의 개발을 통한 기술력 향상

- 국내 전문가 배출로 인한 기술력 향상
- 타 산업으로의 연계 및 파급효과로 인한 관련 산업의 육성

(3) 스마트하이웨이 주행환경을 고려한 포장성능 평가방안 연구

1) 경제적 기대효과

- 노면의 미끄럼 저항성능으로 교통사고 감소에 따른 사회손실 비용 감소
- 저소음 포장 개발에 의한 방음시설 설치비용 절감 및 분쟁해소

2) 기술적 기대효과

- 쾌적한 주행성능을 통한 운전자 및 탑승자 피로도 감소
- 저소음 포장개발로 인한 도로이용자 및 인접 주민들의 민원 감소
- 미끄럼 저항성 평가 방법 및 기준 개선을 통한 도로표면 유지보수 기준 마련
- 소음도 평가방법 및 기준 마련을 통한 객관적 평가 가능

4.4.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 포장의 설계, 기공기술 등을 테스트베드에 적용 가능하도록 연계방법 검토
- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용 가능한 범용 기술개발을 지속적으로 추진해야 함

5.1 개요

5.1.1 과제정의

스마트하이웨이는 차량, 도로 및 운영시스템이 상호 유기적으로 연결되어 있는 최첨단 기능을 갖추고 있다. 이러한 스마트하이웨이의 성능 및 운영 효율을 감소시키는 가장 큰 요인 중의 하나가 기상재해이다. 기상재해에는 폭우, 폭설, 강풍, 안개 등이 포함되며, 최근 지구온난화로 인한 엘리뇨 및 라니뇨 등에 의해 이러한 자연현상의 발생 빈도 및 크기가 점차 증대되고 있는 실정이다. 기상재해는 그 특성상 인위적인 제어가 불가능하므로, 안정적이고 효율적인 대처 방안을 강구하는 것이 최선의 대안이다. 본 세부과제는 이러한 기상재해시 스마트하이웨이의 안정성 및 운영효율을 일정수준 이상으로 유지하기 위해 필요한 각종 도로시설물의 설계, 시공 및 운영관련 시스템을 연구하는 과제이다.

5.1.2 과제목표

본 세부 4과제인 “기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구” 과제는 각종 기상재해로 인한 스마트하이웨이의 안전성 및 운영효율 감소 효과를 최소화하기 위하여 스마트하이웨이의 각종 도로시설물의 개발, 성능개선 및 운영효율 향상을 위한 기술개발을 목표로 하며, 다음과 같은 세부 연구목표들로 구성된다.

- 안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구
- 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구

5.1.3 사업단 목표와의 연계성

사업단은 도로의 안전성, 이동성, 편리성개선을 위한 첨단IT기술 등을 활용한 지능형 차세대 도로 건설기술 확보를 사업목표로 하고 있다.

본 세부과제는 각종 기상재해시 발생하는 스마트하이웨이의 주행안전성, 운영효율 저감을 최소화 할 수 있는 도로시설물 기술을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 주요 연구내용으로는 안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구, 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구 등이 있다.

5.2 SWOT 분석 및 전략

5.2.1 SWOT 분석

(1) 안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구

표 5-1 1-4-1세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 풍동 등 연구 기반이 비교적 잘 갖춰짐. · 이용자와 언론의 관심이 높음 · 연구 결과의 적용 시 Impact가 매우 큼 · 연구 결과를 테스트 베드에 직접 설치 혹은 운 영향으로써 성능과 효율성을 검증할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 기초연구보다 지나치게 실용적인 연구가 선호됨 · 연구 인력이 제한적이어서 연구내용에 대한 객관적 평가가 어려움. · 악천후에 대한 적극적인 대책은 환경이나 미관에 약점으로 작용
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 교통안전에 대한 정부와 시민의 관심이 큼 · 안개 및 강풍으로 인한 대형 사고사례가 많이 보도됨 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구내용이 스마트하이웨이의 특성 중 하나인 고속 주행과 큰 연관이 없는 것으로 인식 될 소지가 큼. · 일부 연구내용은 분류가 불확실 하여 누락 될 소지가 큼.

(2) 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구

표 5-2 1-4-2세세부 SWOT 분석

강점 [Strengths]	약점 [Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · R&D 사업을 통한 도로시스템 기술 증대 · 사용자들의 도로안전 우선책 지원 · IT기술확보에 따른 시스템 구축 용이 	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 인프라 기반 취약 · 정책/제도적 지원 및 조직체계 미비 · 기존 실적 적용사례 미비 · 영세한 기업들의 기술 보유
기회요인 [Opportunities]	위협요인 [Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 도로기상 중요도 향상 · 타산업(화학 및 기계 등)과의 연계성 · 도로분야의 틈새기술 확보 가능 · 해외시장 개척 및 진출 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 시장 규모 적음 · 해외기술의 직접적인 도입 및 적용 · 기존 기술의 문제점 부각

5.2.2 SWOT 전략

(1) 안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구

1) SO 전략

- 스마트하이웨이 주행 안전성 및 쾌적성 향상에 적합한 안개 및 강풍 관련 기술을 개발하여 국민의 요구 충족과 해외 기술 수출 및 이전을 통해 국가 위상을 함양시킨다.

2) ST 전략

- 국가적인 정책과 국내 관련 연구진은 국외 사례와 같이 한 공범에 대해 지속적인 투자 및 지원을 통해 하나하나의 공범을 완성하고 발전시켜가는 분위기를 배워 기존의 문제점을 해결해 나간다.

3) WO 전략

- 관·산학연의 소통관리 체계화
- 친환경적인 시스템의 개발에 역점
- 기초연구와 실용연구가 유기적인 관계를 형성하도록 연구 개발계획 수립

4) WT 전략

- 연구 내용별 연계성을 강화
- 스마트하이웨이뿐 아니라 일반 도로와 기존 고속도로에 활용 가능한 시스템 개발

**SO
전략**

전략적으로 육성할 과제를 선정하여 안개, 강풍시 도로안전 향상능력 증대

**ST
전략**

위험요인을 검토하고 강점을 활용하여 전략적인 접근을 수행

**WO
전략**

약점을 극복하기 위한 연구 방법 개선 및 홍보를 통한 공감대 도출

**WT
전략**

약점을 최소화하고 문제점을 개선하기 위하여 타 연구기관 등과 공동 연구수행

(2) 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구

1) SO 전략

- 기회요인을 효과적으로 활용하기 위해 기존 IT기술과의 연계성 및 타 산업(화학 및 기계 등) 기술 접목을 통해 도로분야의 틈새기술을 발굴하고 육성하는 것으로 분석되었다.

2) ST 전략

- Smart Pavement의 강점을 활용하여 위협요인을 줄이기 위해서는 본 연구 과제와 같은 R&D 사업을 통해 기존 기술의 문제점을 개선하고, 사용자들로 하여금 인지도를 향상시켜 국내 시장규모를 넓혀 가는 것이 매우 중요하다.

3) WO 전략

- 내부의 약점을 극복하고 기회요인을 활용하기 위해서는 타 산업과의 연계를 통해 현재 기술분야의 인프라를 확충하고, 해외시장 개척을 위한 정부의 조직적인 정책 및 지원책을 이끌어 내는 것이 주요 전략이라 할 수 있다.

4) WT 전략

- 내부의 약점을 최소화하고 위협요인을 회피하기 위해 국내 기반기술력을 향상시켜 성공적인 적용사례를 제시하여 국내시장규모를 확보하는 것이 중요하며, 이를 기반으로 해외기술유입에 대항할 수 있는 능력을 보유한다.



5.3 세세부과제

5.3.1 안개 및 강풍 발생에 대응 가능한 도로시설물 연구

(1) 목표

본 과제는 최근 급증하고 있는 이상기후에 효율적으로 대처하기 위한 기술을 개발하는 과제로, 특히 안개와 강풍에 효율적으로 대처할 수 있는 시설개발과 강풍 및 돌풍으로 인한 노면 시설물 (가로등지주, 표지판지주, Glare Screen 등)의 안전성 및 충돌 시 피해 최소화 방안을 연구하기 위하여, 다음 같은 세부 연구 목표들로 구성된다.

- 안개시 시정거리 확대를 위한 기술개발
- 고속주행 안전향상을 위한 방풍대책 기술개발

(2) 세부과제와의 연계성

본 세세부과제에서는 바람으로 인한 차량 주행안정성의 저하는 교통의 원활한 흐름을 방해하고, 인접 주행 차량과의 접촉 사고, 도로 시설물의 파손 등의 피해를 야기 시키며 차량 운전자들에게 심리적인 영향을 가하여 주행 안정성에 대한 확신을 주지 못함으로써 장기적으로 고속도로의 품질에 대한 신뢰감을 저하시킨다. 따라서 쾌적하고 안전한 스마트하이웨이 환경을 위하여 방풍벽과 같은 강풍에 대한 적극적인 대응방법을 연구하여야 한다. 또한, 초고속 환경 하에서는 안개의 위험성이 크게 증대됨으로 이에 대한 효과적인 대응법을 개발 하여야 한다. 이를 통하여 스마트하이웨이 사업단의 세 가지 사업 목표 중 하나인 안전성을 향상시킬 수 있고 이는 곧 이동성과 편리성의 강화로 이어지게 된다.

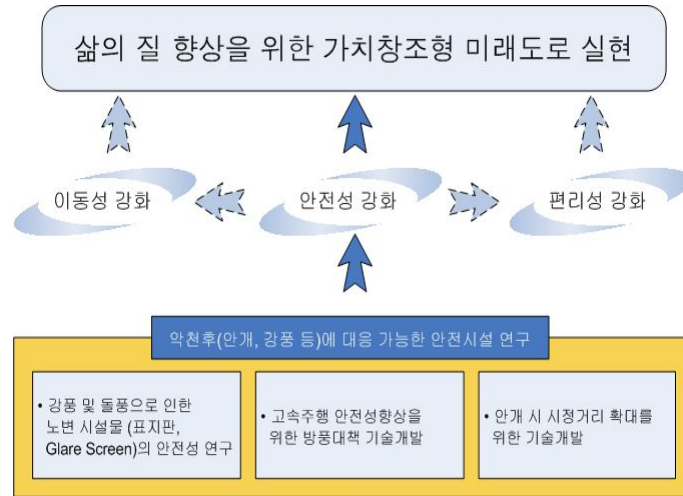


그림 5-1 상위과제 목표와의 연계성

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 국내기술 및 연구동향

현재 도로의 안전시설은 주로 일반적인 속도, 기후 및 도로환경에 맞추어져 있으며, 안전시설별 조합에 대한 입체적 특성연구, 특수 환경에서의 입체적 대처방안 등에 관한 연구 및 적용은 여전히 미흡한 상태이다.

도로안전시설에 대한 규정은 1995년도부터 연차적으로 제·개정되어 활용중이며 강우, 안개, 노면결빙 등 약천후 상황에 대한 연구는 특수 구간을 대상으로 수행되어 현재 적용중이지만, 일반국도를 대상으로 제정되었다.

한국도로공사는 영동고속도로 상습 안개발생 구간인 대관령 일대에 특수망을 설치하여 평균 시정거리가 76% 향상된 것으로 확인하였다. 그러나 안개제거 특수망은 산안개와 같은 활승안개에 효과적이지만 복사안개에 대해서는 효과가 없다. 한국건설기술연구원은 안개다발지역의 안전관리 시스템, 경보 표시장치와 지능형 도로전광표지를 개발하였으며. 최근 한국건설교통기술평가원의 R&D연구 과제인 “안전지향형 교통환경개선 기술개발”에서 안개 시 국도급 편도 1·2차로 도로에 대한 안개대응 안전시스템으로 추돌사고를 예방할 수 있는 차간거리 안내시스템을 개발 중에 있다.

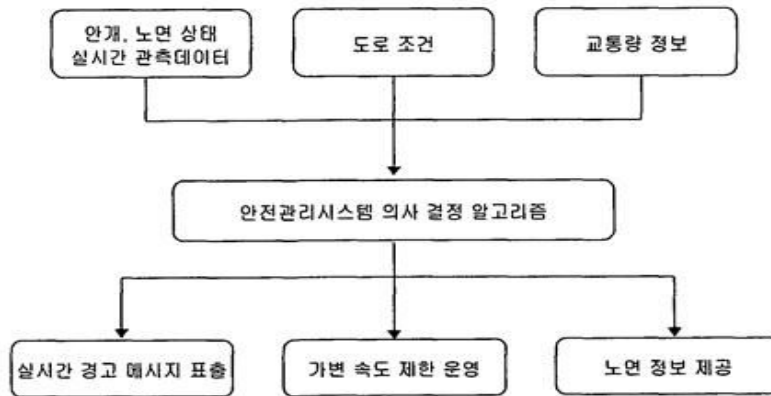


그림 5-2 안개다발지역 안전관리 시스템 개념도

친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설교통부)에서 도로표지판과 VMS에 대한 내풍 안전성 및 설계기술 개발에 대해 연구진행 중이나 Lighting Pole같이 Vortex Shedding에 민감한 지주와 Glare Screen에 대한 연구가 없고 고속 충돌에 대한 대비책이 없다. 지주 충돌과 관련한 국내 유일의 연구는 건설기술 연구원이 “도로 시인성 향상 및 안전운전 환경 확보기술”개발 사업의 일환으로 실시 중인 “충돌피해 최소화를 위한 지주 및 단부 고정 장치 개발” 연구(2007)이다. 그러나 이 연구는 충돌조건이 현재의 교통상황에 맞춰져 있고 소형 단독지주용 Breakaway장치의 개발에 국한되어 있다.

한국도로공사는 “고속도로 강풍지역 차량주행 안전성 확보방안연구(2003)”를 통하여 도로 위를 주행하는 차량의 바람에 대한 주행안정성을 확보하기 위한 종합적인 방안으로 차량통행제한기준(안)과 방풍대책설치기준을 마련하고 전산 유체역학(CFD)에 바탕을 둔 해석과 풍동실험을 통하여 다양한 공극률을 가진 팽창메탈형태의 방풍벽과 수평형 방풍벽의 효과를 검토하였다. 이를 바탕으로 강풍이 자주 부는 대관령 지역에 위치한 성산1교에 팽창메탈형태의 방풍벽을 시험시공하고 그 효과를 실측하여 62%의 풍속 저감 효과를 확인하였다.

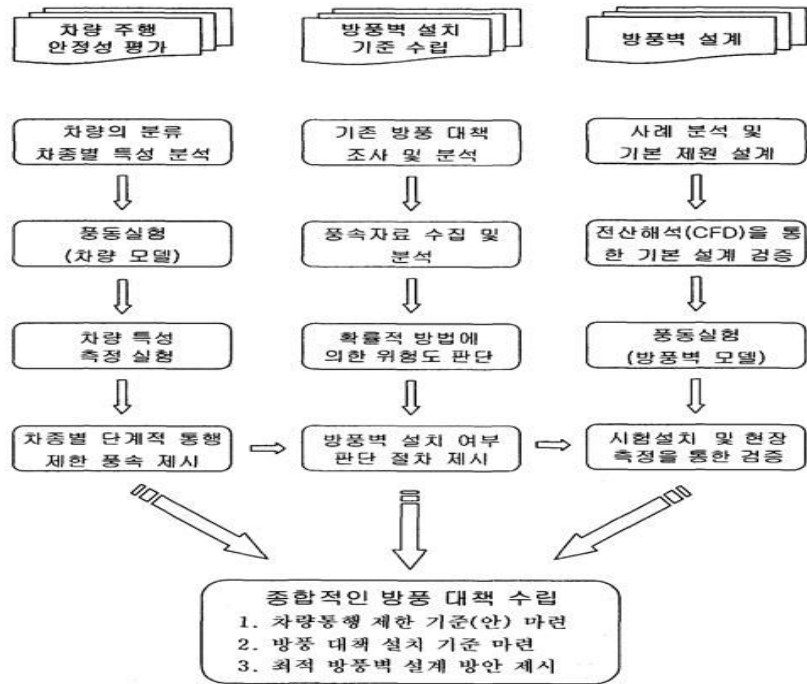


그림 5-3 종합적인 방풍 대책

2) 국외기술 및 연구동향

선진국의 경우 공항을 중심으로 안개 제거 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 그러나, 고속도로의 경우 일반적으로 비용과 환경 측면에서 직접적인 안개제거보다는 영국의 M25와 같은 안개경보 시스템을 통한 교통통제 등의 간접적인 대응이 주를 이루고 있다. Utah DOT는 불량한 시정상태에서 운전자에게 경고를 실시간으로 제공하려는 시스템을 개발하는 "ADvise Visibility Information System Evaluation" 혹은 "ADVISE" 프로젝트를 수행하였으며, 이와 별도로, 유지보수 차량에 장착된 액화이산화탄소를 트럭의 배출구로 분사하여 증발시킴으로써 주변 안개의 열을 흡수하여 안개를 제거 시키는 방법이 큰 성공을 거두었다. 이태리의 Valerio Abate 등은 음파 초음파 혹은 전자기파를 공중에 발사시켜 안개 입자가 뭉쳐서 떨어지게 하는 방법을 고안하는 등 안개 제거를 위한 다양한 연구가 시도되고 있다.

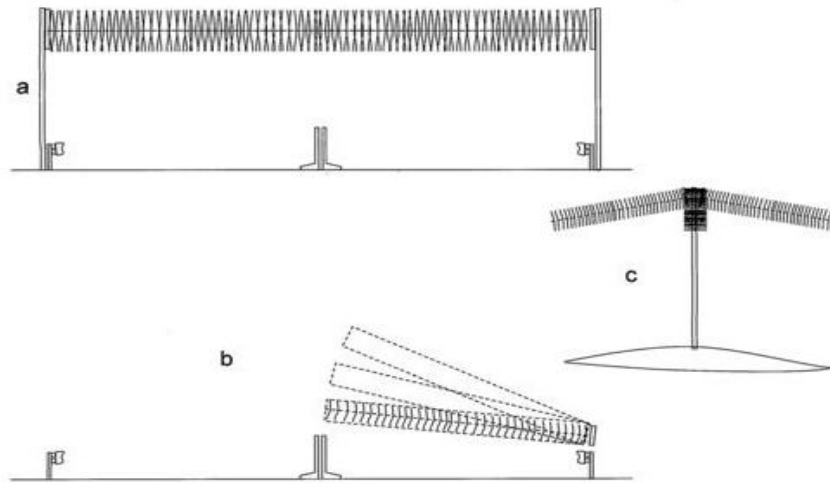


그림 5-4 음파를 이용한 안개제거 장치(Valerio Abete, Italy)

미국은 NCHRP Project “Fatigue-Resistant Design of Cantilevered Signal, Sign, and Light Supports” (NCHRP Report 412, 469)를 통하여 다양한 지주에 대한 피로 연구와 진동 저감 기술에 대하여 연구를 진행하였으며 이를 AASHTO “Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals” (AASHTO 2001)에 반영하고 있으며, 또한 AASHTO의 “Roadside Design Guide(2002)”는 각종 지주 충돌 시 피해 저감을 위한 각종 단부처리방법을 상세하게 제시하고 있다.

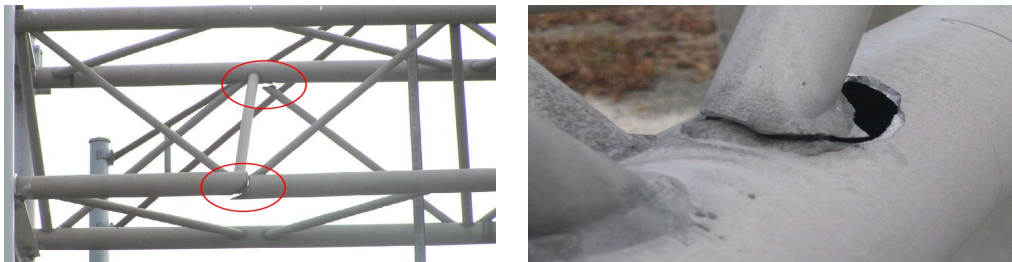


그림 5-5 Failed Sign Support Truss

선진국의 경우 풍하중에 대한 기초연구가 잘 되어 있고, C.J. Baker의 “A Simplified Analysis of Various Types of Wind Induced Vehicle Accidents(1986)”에서 볼 수 있듯이 바람에 따른 차량의 거동 관련 연구가 활

발함. 최근에는 교량과 차량의 Interaction을 고려한 차량 거동에 대한 연구가 활발함(Understand and Improve dynamic Performance of Transportation System, S.R. Chen, 2006). 풍하중으로 인한 차량의 불안정성은 ESC(Electronic Stability Control) System으로 해결하려는 노력과 풍속에 따른 속도제한이나 통행금지 같은 도로관리 기법으로 해결하려는 경향이 강하다.

(4) 추진전략

1) 추진체계

본 연구의 주요 추진전략은 다음과 같다.

- 본 연구는 안개시 시정거리 확대를 위한 기술개발, 고속주행 안전향상을 위한 방풍대책 기술개발 등 두개의 과업으로 구분되며 도로, 구조, 기상, 지반 및 지질 등 다양한 전문가와의 공동연구와 협조체계 하에 추진되어야 한다.
- 각 단계별로 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고 그 성과지표를 증명할 수 있는 연구, 실내시험, 전산해석시스템, 현장시험 및 검증 등의 사업과 연계하도록 한다.
- 해외 선진기술이나 특정 기술분야의 전문기관이나 전문가와의 기술교류를 통해 미흡한 부분을 보완한다.
- 국내의 사례조사 분석, 국내의 전문가 자문 및 공동연구, 사용자 요구분석 등을 통해 기술개발과정의 오류를 최소화 한다.
- 현장테스트 결과에 대한 피드백 체계를 갖추어 개발 기술의 현실성과 실용성을 제고한다.

주요 세부 추진체계는 다음과 같다.

- 계획, 설계, 기업, 대학, 관련연구소와의 긴밀한 협조체계를 구축한다.
- 실용화 및 사업화중심으로 각 참여기관별 성과목표와 업무분장을 설정한다.

- 국내·외 관련 유사시설 및 시스템에 대한 사례를 조사분석 한다.
- 단계별 연구성과 평가와 과제발표회를 개최한다.
- 현장적용성 시험을 통한 성과 검증 및 적용성을 확대한다.

세부과제 연구책임자는 단계별 목표를 구체적으로 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획을 수립하여야 한다. 기 수행되었거나 현재 수행중인 도로 기술개발 관련 연구결과의 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진한다. 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고, 그 성과 지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시범사업, 테스트베드 조성 등의 사업을 반드시 포함하여 추진한다. 실용화 추진을 위한 테스트베드는 사업단의 총괄과제 테스트베드 TFT추진 조직과 유기적으로 협력을 통하여 추진하여야 한다.

2) 테스트베드 추진체계

1~6차년도를 통해 개발되는 다음과 같은 기술들을 테스트베드에 적용한다.

- 안개시 시정거리 확대를 위한 기술
- 고속주행 안전향상을 위한 방풍대책 기술

5.3.2 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구

(1) 목표

본 과업에서는 폭설과 같은 이상기후 여건에서도 도로의 주행 안전성을 확보하기 위하여 도로 표면의 미끄럼 저항성 증진이 가능하도록 도로의 시스템을 개선하여 폭설에도 안정적인 주행 여건 확보하는 것이 과업의 목표로 다음과 같은 연구를 수행하고자 한다.

- 노면결빙 감지가 가능한 센서 개발
- 용설시스템 및 적용기준 개발
- 용설액별 성능 평가 및 친환경적인 용설액 개발

(2) 세부과제와의 연계성

세부 4과제에서는 각종 기상재해로 인한 스마트하이웨이의 안전성, 운영효율 감소 현상을 최소화하기 위한 것으로, 이러한 목표에 부합되도록 본 연구에서는 폭설 등 강설로 인한 도로의 성능 및 기능 저하현상을 방지하고, 스마트하이웨이의 기능 및 성능을 정상적으로 유지할 수 있는 강설대비 도로시설물을 연구한다.

(3) 국내외 기술 및 연구동향

1) 국내기술 및 연구동향

국내 도로는 최근 20여년간 고속도로, 고속국도, 및 지방도 등 도로건설이 크게 증가하였고, 또한 도로의 각종 설계 및 시공기술의 발전으로 도로 주행속도가 높아지고 있는 실정이다. 이러한 도로망 및 도로주행속도의 향상에 나쁜 영향을 주는 대표적인 것 중의 하나가 폭설 및 결빙이고, 이로 인한 커다란 안전사고가 빈번히 발생하는 등의 사회문제가 발생하고 있다. 이러한 사고의 대표적인 것이 2001년 폭설로 인한 강원도지방의 도로마비, 2003년 경부고속도로 충청권 도로망의 마비 등이 있다. 겨울철 도로의 결빙 및 폭설로 인한 교통사

고로 인해 도로이용자의 불편이 크게 증가하였고, 교통두절과 지정체로 인한 인적·물류 지연과 이로 인한 간접적인 사회적·경제적 손실이 크게 발생하였다.

폭설등과 같은 강설시 국내 도로의 중 제설작업방법은 제설기(snow remover)를 이용하여 눈을 도로변으로 밀어내고, 덤프트럭 등에 모래와 염화칼슘을 혼합적재하여 인력 또는 모래살포기를 이용하여 살포하는 방법이 주로 이용되고 있다. 최근 한국도로공사에서는 이러한 제설작업의 문제점을 개선하기 위하여 습염살포(prewetted salt spreading) 방식을 적용하고 있고, 습염 살포에 필요한 각종 제설용 혼합물의 개발 및 이를 살포할 수 있는 장비의 개발을 진행 중에 있다.

도로위의 결빙 및 서리맺힘은 도로주행 안전성을 크게 저하시켜 교통사고를 유발시키고, 교통의 지정체로 인한 사용자 비용의 증가, 물류 소통의 지연 등의 문제를 야기하므로 결빙의 위험이 높은 지역에서는 제설·용설시스템을 설치하여 도로사용자의 안전과 원활한 교통소통을 보장할 필요가 있다.

강설시 국내에서 적용되는 도로제설 방법은 적설량을 기준으로 정의되며, 적설량이 3cm 이하시 염화칼슘과 모래를 혼합하여 살포, 3cm 이상시 제설기계를 이용하여 눈을 처리한 후 염화칼슘과 모래를 혼합하여 눈을 녹이는 방법을 사용하고 있다. 이러한 제설방법은 모래의 과다 사용으로 인하여 도로변의 배수로 및 집수정 막힘현상을 유발하고, 모래에 유입되어 살포되는 자갈 등의 이물질로 인해 결빙현상의 해소후에도 미끄럼저항의 감소효과가 발생한다. 또한 동절기후에 도로변의 제설용 모래의 수거작업에 많은 인력과 비용이 소요되고 있다. 최근 도심지 도로의 소음 및 빗길 수막현상 저감을 위한 시공하는 배수성 포장의 경우 이러한 모래제설방법은 배수성 포장의 기능을 심각하게 훼손시킬 수 있다. 국내의 도로제설과 관련된 제설제의 선택, 사용방법, 강설량과 기온을 고려한 제설방법의 결정 등 국내 도로여건에 맞는 효율적인 제설방법에 대한 지침이 시급한 실정이다.

용설시스템은 설치비가 고가이고, 설치되는 장비의 종류에 따라 운영·유지관리에 소요되는 비용이 크게 소요된다. 그러나, 강설이 예상되거나 진행 중인 상황에서 즉시 대응이 가능하므로, 강설 초기에 효율적인 처리로 강설로 인해 발생 가능한 교통사고와 교통지정체를 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 용설시스템은 국내의 고속도로, 고속국도, 도심지구간 도로 등에 선별적으로

시공되고 있고, 국도의 턴키 및 대안입찰에서 결빙구간의 도로주행 안전성을 확보하기 위하여 용설시스템을 설계에 적극 반영하고 있는 추세이다.

그러나 어떤 지역에 용설시스템을 적용하여야 하는지에 대한 기준은 미비한 상황이다. 결빙되는 조건은 각 구간의 일사량, 적설량, 지역별 기온 분포 등에 따라 큰 편차를 나타내며, 시스템 구축 및 운영비용이 매우 크게 소요되기 때문에 모든 구간에 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 보다 객관적인 기준에 근거에서 사고 가능성이 높은 상습 결빙 지역에 설치하는 것이 바람직하다. 최근 국내에서는 결빙 확률을 정량화하여 위험 구간을 파악할 수 있는 프로그램들이 일부 개발되어 턴키 및 대안 설계에 활용되고 있다. 그러나 프로그램 개발 업체들마다 분석 방식이 상이하기 때문에 절대적인 기준은 없는 실정이다. 기본적으로 프로그램 산출 방식은 노선 각 구간별 3차원 모델에 대한 음영/일사 시뮬레이션 실시하고 일사량(일출에서 일몰 사이에 태양궤적에 의해 동일 구간에 태양광이 투사되는 양)에 대한 분석 결과를 일조시간 및 에너지 단위(J)로 정량하는 방법을 적용하고 있다.

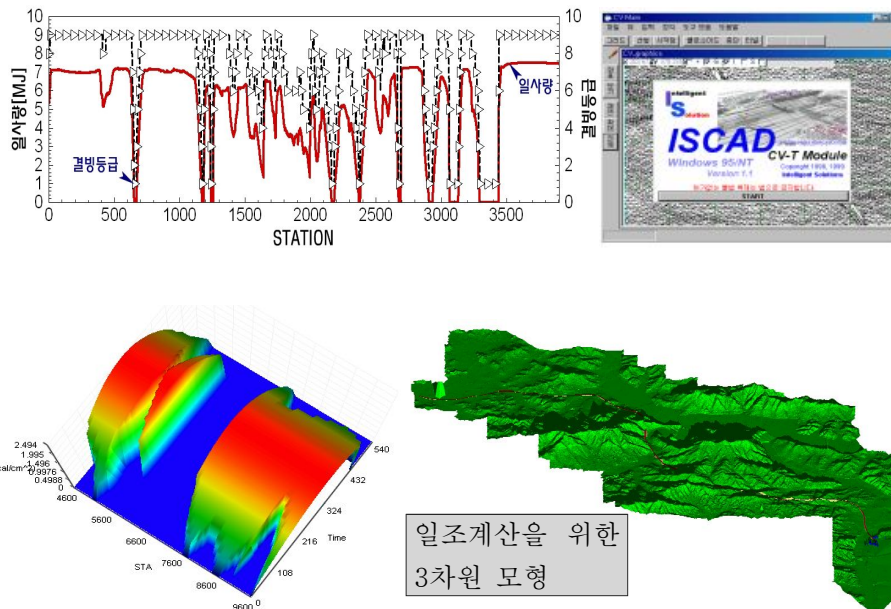


그림 5-6 일영 분석에 의한 결빙 위험 구간 산출 프로그램

일반적으로 국내 일영 분석 방법은 도로 선형 및 주변지형을 3차원 객체로 모사하고 시간대별 태양광을 광선추적법을 적용하여 각 구간별로 결빙 위험

지역을 판단할 수 있기 때문에 기존 방식에 비해 신뢰도가 높은 방법이지만 명확한 결빙 위험 구간에 대한 기준이 없어 상대적인 결빙 위험도를 제시할 수밖에 없다. 강설량이 많은 지역은 일사량이 보장되어도 결빙가능성이 높으며, 강설량이 매우 적은 지역은 일사량이 적은 구간도 따라서 보다 세부적인 기준 마련이 필요하다. 즉 도로 건설 지역의 겨울철 기온 및 강설, 일조 데이터를 근거로 결빙 확률을 객관적으로 산출하여야 한다.

최근 지구 온난화의 영향으로 국내 강설량 및 강설 회수가 크게 변화하고 있으며, 1980년대 이후 최근 20여 년 동안 전 지구적으로 기온 상승 경향이 있다는 것은 분명하다. 지구 온난화 현상은 지역에 따라서 차이가 있지만 증가할 것이다. 따라서 최근 기상 자료를 바탕으로 각 지역별의 신적설량과 강설일수의 변화 경향을 파악하여 우리나라의 적설량 변화에 따라 각 지역에 따른 적설 등급을 산출하고 이에 따른 제설 대책을 수립하는 연구가 시급하다. 이는 결빙 가능성이 희박한 지역보다 실제 결빙 위험이 높은 지역에 집중적으로 용설시스템을 설치하는 것이 경제적인 측면에서나 실효성 측면에서 유리하기 때문이다.

용설시스템의 작동 개념은 도로 하부나 측면에 설치되어있는 스프레이 노즐을 통해 용설액을 분사하여 결빙을 제거하는 방식으로 용설액을 저장하는 저장 탱크, 컨트롤 유닛, 배관, 노즐로 구성된다. 일반적으로 노즐을 노면에 매설하는 디스크형과 도로 측면에 설치하는 헤드형으로 구분되는데, 차량 하중을 받지 않는 헤드형이 보다 내구성이 우수하다. 기상 급변시 유리하며 소요동력이 Heat Cable이나, Heat Pipe 방식에 비해 상대적으로 적어 유지관리비 저렴하며 시공이 간편하고 시스템 증설 용이하다. 주로 결빙이 심한 교량의 커브나 경사 구간에 적용되는데 최근 연구에 따르면 건설비용에 비해 사고 감소 효과가 매우 높다고 보고되었다. 현재 국내에서는 독일이나 미국 시스템을 수입하여 적용하고 있는 실정이며, 국내에서는 한국건설기술연구원에서 시스템 개발 중에 있으며 영동고속도로 진부터널에 시험 적용한 사례가 있다.

표 5-3 용설시스템의 작동원리 및 구성요소

종류	개념	필요시설
고정식 용설액 분사방법	도로에 매설형 또는 입형 노즐을 통해 용설제를 분사하여 결빙을 방지	·노면온도 및 결빙 센서 ·기상관측장비 ·용설제탱크, 펌프 및 분사노즐
전열식 방법	포장체 내부에 전열선을 설치하여 전기에너지를 이용한 발열로 결빙 방지	·온도감지 센서 ·전원공급장치 및 전열선
열배관 방식	외부열원의 공급으로 작동액의 열에너지를 이용한 발열로 결빙방지	·온도감지 센서 ·열원, 작동액, 배관



그림 5-7 용설액 분사시스템

진부터널의 적용 사례를 살펴보면 터널 입·출구 각 90m로, 상·하행 총 360m의 연장에 분사 노즐이 15m 간격으로 각 용설 영역마다 7개씩 총 28개가 설치되어 있다. 초기 비용은 대략 2억 정도이며, 동절기간의 유지비용이 50만원 정도로 저렴하였다. 분사 노즐의 작동 방법은 7가지 정도 있으나, 현재는 강설시 무조건 분사, 강설시 옥외 온도가 영하일 때 분사, 강설시 대기 온도, 노면 온도가 $-2^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 일 때 분사시키는 3가지 방법 중 한 가지를 채택하여 사용하고 있고 분사 간격은 30분 간격, 1회 분사량은 1.8l~2l liter이며, 수용액 보관 탱크의 용량은 3,50l liter이다.

국내에서 적용되는 분사 방식의 용설액은 염화칼슘 수용액을 사용하고 있다. 이러한 염화물계 제설제의 과도한 사용은 토양 및 수질 오염, 철근 부식으로 인한 콘크리트 구조물 피해, 주행 차량의 내부식성 약화, 콘크리트 포장 노면의 scaling 파손 유발 등 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 염화물의 함량을 최

소화하면서 기존 제설제와 대등한 제설성을 보유한 친환경적인 제설제의 개발이 매우 시급한 실정이다. 현재 각 나라별로 염화물 함유량에 대한 규제 기준을 설정하고 있는 실정이다.

친환경적인 제설제 개발에 있어서 경제성에 대한 검토는 필수 요소이다. 최근 국내외적으로 개발된 제설제중 염화물을 최소화하면서 성능이 우수한 용설액도 개발된 사례가 있지만 생산 비용이 매우 고가이기 때문에 상용화에 실패한 사례도 있기 때문이다.

개발된 제설제의 실용화를 위해 제설제의 다양한 성능 평가 및 검증에 관한 연구도 필요하다. 제설제는 용해도 및 pH, 용빙성능, 철근 부식에 미치는 영향, 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향, 토양 및 주변 식생에 미치는 영향 등 다양한 분야에서 성능평가가 이루어져야 하는데 이 중에서도 용빙성능은 제설제로 사용되기 위해 기본적으로 갖추어야 할 요소로, 차량 안전사고시 인명 피해와 직결되기 때문에 신뢰할 수 있는 용빙성능의 평가와 검증이 반드시 필요하다.

국내에서 실시된 실내 제빙실험 결과(포장 공법별 제설특성 비교연구, 한국도로공사) 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 모두 20 여분 후 얼음 피막 형성되고 콘크리트 포장이 좀 더 빠른 시간에 결빙되며, 제설제의 경우 약 10분 이내 발열이 상당히 큰 것으로 나타났다. 반응시간 약 2시간이며, 제빙 효과는 CaCl₂ 가장 우수하였다.

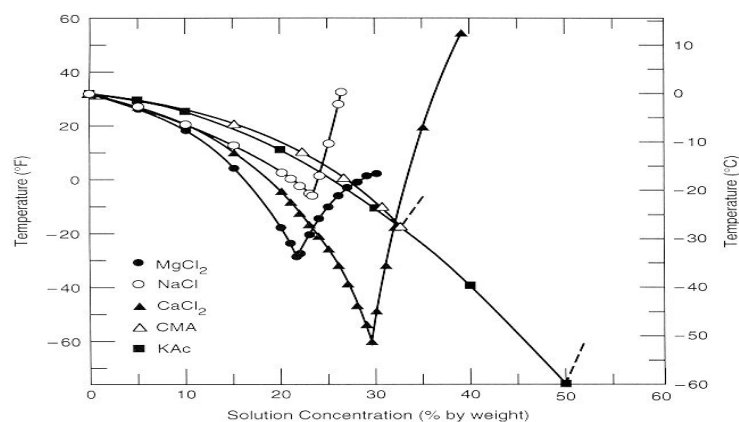


그림 5-8 제설제별 성능 평가

면상발열체는 단열층, 발열층, 전원공급층으로 구성되었으며 고분자, 탄소, 및 Bronz나 은을 기본소재로 하여 구성되어 있으며, 전기에너지를 열에너지로 전환하는 시스템으로써 실내난방용 시설에 주로 사용되고 있다. 그러나 최근에 개발된 면상발열체는 유연성과 내구성이 증가되었고 성능이 크게 향상되어서 그 용도가 특수복에 적용되는 등 다양화 되고 있다. 우리나라의 도로 특성은 사계절이 뚜렷하여 기온차가 심하고 강수량이 많아서 동결융해 및 풍화작용에 의한 도로유지 관리비가 증가하고 있으며, 특히 겨울철 도로 표면의 결빙으로 인한 각종 교통사고의 증가와 시설물의 파손은 도로의 안전성을 크게 훼손하고 있는 실정이다.

2) 국외기술 및 연구동향

외국의 융설시스템 연구사례를 살펴보면, 최근 몇 년간 미국의 Iowa, Minnesota, NYS, Nevada, Washington, Colorado, 캐나다의 온타리오, 독일의 아우토반, 하노비 도르트문트, 스위스, 덴마크 등 많은 해외 적용되어 성공 사례가 발표되었다. 기상 정보 시스템과 시공 회사에 따라 구축비용이 다양한데 시공 단가는 미네소타주에서 고속도로상의 교량에 시공된 Boschung 사의 융설액 분사 시스템이 가장 경제적이었다.

표 5-4 외국의 융설 시스템(좌: 사고감소비율, 우: 시공단가)

적용 지역	사고 감소 비율	적용 지역 (시공 업체)	시공 단가 (원/차선/m) 달러당1190원
Germany	50%	미네소타주 I-35W 교량 (Boschung)	144,754
Minnesota	68%	워싱턴 밴터지 I-90 (The QM-FAST system)	186,559
Pennsylvania	100%	켄터키 코빈 I-75 (The Odin System)	140,979 (기상 정보 시스템 불포함)
Washington	80%	캐나다 온타리오 (The Fast system)	637,245

분사 방식의 기상 정보 시스템은 2000~2001년에 걸친 시험 결과, 과거 기상 자료를 바탕으로 38회 기상 예측에 성공하여 사전에 결빙을 방지하고 기후 환

경에 따라 적절한 양의 용설액만 사용함으로써 비용이 절약되며 과다 살포로 인해 차량이나 포장체를 부식시키는 것을 방지할 수 있었다.

캐나다 온타리오에 적용된 기상 정보 시스템은 단순히 관리소에서 카메라로 관측하면서 제설 시스템을 작동 방식인데 카메라의 부정확성으로 실제 관리인이 현장 확인을 거쳐 제설 시스템을 작동하고 있으며, 이를 보완하기 위해 전화로 작동시키는 방식과 병행하여 운영하고 있는데, 시스템 개선 필요성이 제기되고 있다.

기상 정보 시스템의 도입으로 절약된 재료비, 노동비 및 User Cost를 요약한 국외의 사례이다.

표 5-5 기상정보시스템 도입사례

적용 지역	효과
메릴랜드 도로국	\$ 4,500,000 (5~7년간)
메사추세츠 고속도로 관리국	\$ 150,000 (연간)
뉴저지 도로국	제설 비용 10~20% 감소
웨스트 버지니아	\$ 200,000 (연간)



그림 5-9 기상정보시스템 도입사례

다음은 현재 주요 용설시스템의 시공 단가 및 운영 단가이다. 인력 제설 방식은 강설일수가 적은 지역에 주로 설치되는 방식이기 때문에 제외되었고 다

른 기타 방식들은 아직 적용성이 검토되지 않았기 때문에 고려하지 않았다.

표 5-6 용설시스템 시공 및 운영 단가

제설 방식 (회사명)	시공 단가(원) 달러당1190원	운영 단가(원) 달러당1190원
용설액 분사 방식 (Boschung)	144,754	10,207
전열선 방식 (Road Heat)	134,375	62,500
열배관 방식 (SETA Corporation)	1,633,421	4,500

(4) 추진전략

1) 추진체계

본 연구의 주요 추진전략은 다음과 같다.

- 본 연구는 노면결빙 감지용 센서개발, 용설시스템 기술 개발 및 이를 통합한 제설시스템 기술 개발 등 세계의 과업으로 구분되며 도로, 구조, 기상, 지반 및 지질, 수리수문 등 다양한 전문가와의 공동연구와 협조 체계하에 추진되어야 한다.
- 각 단계별로 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고 그 성과지표를 증명할 수 있는 연구, 실내시험, 전산해석시스템, 현장시험 및 검증 등의 사업과 연계하도록 한다.
- 해외 선진기술이나 특정 기술분야의 전문기관이나 전문가와의 기술교류를 통해 미흡한 부분을 보완한다.
- 국내외 사례조사 분석, 국내외 전문가 자문 및 공동연구, 사용자 요구분석 등을 통해 기술개발과정의 오류를 최소화 한다.
- 현장테스트 결과에 대한 피드백 체계를 갖추어 개발 기술의 현실성과 실용성을 제고한다.

주요 세부 추진체계는 다음과 같다

- 계획, 설계, 기업, 대학, 관련연구소와의 긴밀한 협조체계를 구축한다.
- 실용화 및 사업화중심으로 각 참여기관별 성과목표와 업무분장을 설정한다.
- 국내·외 관련 유사시설 및 시스템에 대한 사례를 조사분석 한다.
- 단계별 연구성과 평가와 과제발표회를 개최한다.
- 현장적용성 시험을 통한 성과 검증 및 적용성을 확대한다.

세부과제 연구책임자는 단계별 목표를 구체적으로 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획을 수립하여야 한다. 기 수행되었거나 현재 수행중인 도로 기술개발 관련 연구결과의 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진한다. 실용화 및 사업화 성과목표를 구체적으로 제시하고, 그 성과 지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시범사업, 테스트베드 조성 등의 사업을 반드시 포함하여 추진한다. 실용화 추진을 위한 테스트베드는 사업단의 총괄과제 테스트베드 추진기관과 유기적으로 협력을 통하여 추진하여야 한다.

2) 테스트베드 추진체계

3~6차년도를 통해 개발되는 다음과 같은 기술들을 테스트베드에 적용한다.

- 노면결빙 감지 센서 기술
- 융설시스템 및 적용기준 개발
- 친환경적 융설액 기술

5.4 활용방안 및 기대성과

5.4.1 성과물 활용방안

- 안개나 강풍 등에 의한 노면 시설물의 안전성을 향상시키고 충돌시 피해 최소화가 이루어지도록 함
- 환경친화적 용설액 개발과 노면 결빙 감시 시스템을 통해 고속도로의 상시적인 이동성을 확보 가능하도록 함
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특허, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치 창출로 연계하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

5.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

5.4.3 기대효과

(1) 안개 및 강풍발생에 대응 가능한 도로시설물 연구

1) 경제적 기대효과

- 강풍대비 노면 시설물 원천설계기술 확보 및 해외 공사 및 수출로 인한 기술료 획득
- 안전하고 쾌적한 도로주행환경 제공에 따른 이용자의 만족도 증대

2) 기술적 기대효과

- 강풍 및 안개 등 악천후 조건에서의 도로안전시설 기술의 개발
- 국내 전문가 배출로 인한 기술력 향상
- 공법의 다양성 확보를 통한 기술 선진국
- 새로운 장비 및 인력의 구성 및 확충
- 해외 기술 의존도를 낮춰 대외 기술 신인도 향상
- 유사 기술과의 경쟁력 확보를 통한 새로운 기술 개발의 활력 도모
- 타 산업과의 연계를 통한 시너지 효과 발휘

(2) 강설대비 도로시스템 개발 및 운영방안 연구

1) 경제적 측면

- 교통사고 발생 저감을 통한 인명 및 사회적 비용 절감
- 효과적인 고속주행관리를 통한 사회간접자본 확보
- 기상이변에 따른 도로 유지관리의 효율성 증대
- 시스템 유지관리의 최소비용 적용 가능
- 타 산업과의 연계를 통한 국가 경쟁력 확보
- 도로 관련 인프라 구축을 통한 해외 수출 가능
- 연구개발을 통한 국가적 기술인력 양성 및 배출

2) 기술적 측면

- 시스템 유지를 위한 IT 및 산업 설비기술 등과의 연계 가능
- 국내 도로 유지관리 기술력 증대
- 해당 기술의 해외 의존도 하락 유도
- 세부 기술의 개발을 통한 각 산업별 인프라 구축 가능

- 기존 융설시스템의 기술 성취도 향상

5.4.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 기상변화에 대응 가능하고 유지보수가 적은 도로시설물을 개발하여 테스트베드에 적용 방법을 검토
- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용 가능한 범용 기술개발을 지속적으로 추진해야 함

6.1 개요

6.1.1 과제정의

본 과제에서는 각종 신규공법 연구를 통하여 스마트하이웨이 기능을 가장 적절히 수행할 수 있을 뿐 아니라 심미성과 주행쾌적성도 고려할 수 있는 최적의 구조물 형식선정과 유지보수 최소화로 최적의 도로상태를 유지할 수 있는 기술을 연구한다.

6.1.2 과제 목표

스마트하이웨이 주행 환경에서 교량 구조물에 대한 유지관리 최소화 및 주행 쾌적성의 확보를 목적으로 구조물 성능과 기능 향상 기술개발을 목표로 한다.

이에 대한 세부목표로서 교량부문에서는 첫째로, 신축이음장치와 교좌장치 등 소모성 교량부속재료의 수명을 장수명화하는 기술을 개발한다. 둘째로, 교량 통과시에 달라진 주행 조건으로 인해 주행자가 느끼게 되는 처짐, 소음, 진동 및 충격 등의 구조적 요인에 기인하는 사용성을 증진할 수 있는 주행감 저하 방지 기술을 개발한다. 셋째로, 처짐, 소음, 진동 및 빠른 진동의 영향으로 발생하는 교량의 높은 피로도에 대한 교량 성능 향상 차원의 요소 기술과 함께 무조인트/무슈 형식의 교량구조형식을 개발함으로써 신축이음장치와 교좌장치의 사용으로 인한 기존의 교량부속시설 유지관리의 문제점 및 통과차량의 주행감 저해요인을 원천적으로 방지하는 기술을 개발한다.

이러한 내구성과 주행쾌적성 향상에 관련한 각 개발내용을 정리 요약하면 다음과 같다.

- 교량 사용성 증진을 통한 주행감 저하 방지 기술개발
- 교량 부속시설 내구성 향상 기술개발
- 무조인트/무슈 형식 교량 개발

6.1.3 사업단 목표와의 연계성

스마트하이웨이의 도로기반 시설을 구성하는 주요 요소인 교량은 스마트하이웨이가 추구하는 이동성과 안전성 그리고 쾌적성의 주행자 관점뿐만 아니라 스마트하이웨이 기술이 실용화되는 10년 이후의 미래지향적 관점에서 시간과 공간개념을 고려하는 심미성과 조형성 측면을 만족하여야 한다. 또한, 공용중인 고속도로의 스마트하이웨이화가 요구되는 경우에 충분한 사용성과 안전성을 제공할 수 있어야 한다.

6.2 SWOT 분석 및 전략

6.2.1 SWOT 분석

표 6-1 1-5세부과제의 SWOT 분석

강점(Strengths)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> · 교량부속시설의 장수명화 기술개발 · 구조물 전반에 걸친 노후도 측정 기술의 고도화 · 구조물 사용성의 증진기술 확보 · 구조물에 대한 주행쾌적성 기술의 확보 · 다학제 연구를 통한 시너지 효과 · 스마트하이웨이 주행 환경에서의 구조물 설계기술의 확보 · 연구와 현장적용의 동시 적용성 기술확보 	<ul style="list-style-type: none"> · 개발기술의 상용화 상에서의 제약조건 · 구조물 노후도에 관련한 기존법규 및 제도의 제약 · 구조물 사용성 강화로 인한 경제성의 상실 · 성능개선 기술 적용시에 적용되는 각종 규제 · 다학제 연구시의 협동관계 취약 · 경제성을 확보하지 못할 가능성 · 연구성과가 낮은 경우의 비효율성
기회요인(Opportunities)	위협요인(Threats)
<ul style="list-style-type: none"> · 노후화된 교량부대시설물 교체에 대한 중요성 인식 · 구조물 노후도 판정에 관한 관련법규의 일관성 확보 · 기존 구조물의 사용성 점검 및 개선에 적용 · 기존 노후화 구조물에 대한 성능개선 필요성 인식 · 다학제 연구수행을 통한 연구수행능력의 극대화 · 국내 건설시장의 정체성을 극복하는 계기 · 이론연구와 실용화 연구의 균형 인식 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내시장의 한정성으로 인한 경제성 확보 · 구조물 노후화 측정기술 인력의 낮은 기술력 · 사용성 증진을 위한 보수 및 보강기술의 낮은 수준 · 성능개선 설계기술의 낙후 (구조물 정보 부족) · 일부 한정적 기관으로 편중되는 다학제 구성 · 현재의 설계 및 시공기술과의 차이점 미확보 · 실용화에 치우치 연구로 인한 이론연구의 낙후

6.2.2. SWOT 전략

(1) SO 전략

기회요인을 효과적으로 활용하고 내부의 장점을 사용하여 전략적으로 개발해야 할 기술로서는 고부가가치 장수명 교량부속시설물의 개발로 분석되었다.

(2) ST 전략

스마트하이웨이의 강점을 활용하여 위협요인을 줄이기 위해 전략적으로 개발을 추진해야 할 기술은 고속주행환경에 적합한 구조물 설계/시공 원천기술, 연구개발기술의 실용화, 구조물 구성정보 자료기반구축 등으로 분석되었다.

(3) WO 전략

내부의 약점을 극복하고 기회요인을 활용하기 위해 전략적으로 개발을 추진해야 할 기술은 최적 교량형식 개발 등으로 분석되었다.

(4) WT 전략

내부의 약점을 최소화하고 위협요인을 저감하기 위해 전략적으로 개발을 추진해야 할 기술은 구조물 노후도/사용성 측정기술, 구조물 사용성 증진기술 등으로 분석되었다.



6.3 세세부과제

6.3.1 교량 사용성 증진을 통한 주행쾌적성 확보기술 개발

(1) 목표

스마트하이웨이 주행 환경 하의 교량은 유지관리가 최소화되도록 충분한 내구성과 함께 쾌적한 주행성을 보장하는 사용성 또한 제공할 수 있어야 한다. 여기서 사용성이란 부재 또는 구조물이 사용상 요구되는 기능을 발휘할 수 있는 능력을 의미하며, 구조물의 성능향상을 위해서는 기능상의 문제와 동시에 사용상의 문제가 함께 고려되어야 한다. 교량의 사용성은 평면 및 종단선형의 적합성, 운행용량의 과다, 통과환경과의 관계 및 미관에 관련한 도로계획 측면의 사용성과 교량의 처짐, 진동, 소음 및 충격에 관련한 구조적 측면의 사용성 및 교량의 보수 및 성능개선작업으로 인한 한시적 교통통제로 야기되는 비구조적 측면의 사용성으로 구분할 수 있다.

본 세세부과제는 교량의 구조적 요인으로 초래되는 주행성 저하를 방지함으로써 교량의 사용성을 향상시키는 기술의 개발을 연구목표로 한다. 이를 위해 구조적 요인의 주행감 저하 방지 기술로서 교량부속시설의 장수명화 기술과 교량의 사용성 제어 기술 및 무조인트/무슈 교량구조 형식의 개발을 주요 연구 내용으로 계획하였으며, 이에 대한 구체적 연구내용을 설명하면 다음과 같다.

□ 교량의 장수명화 기술

- 스마트하이웨이의 주행안전성 및 쾌적성의 보장을 위해서는 구조물의 보수 및 보강 등의 유지관리가 최소화가 요구되나, 교량의 소모성부품인 신축이음과 교좌장치의 경우에 현재까지 개발된 기술결과로서는 요구되는 성능기준을 만족하지 못하므로 이에 대한 큰 폭의 기술개선을 필요로 한다. 이를 위해 신축이음과 교량받침에 대한 성능평가 및 문제점분석을 통해 개선방안을 제시하고 초고속 주행 도로에 적합한 교량부대시설을 개발한다. 부가적으로, 교량부속시설의 장수명화와 함께 시공 시의 신속한 시공을 위해 부속시설을 설치하는 부위의 콘크리트에 대한 피로와 충격에

대한 저항성 향상기술을 개발한다.

□ 교량의 사용성 제어 기술

- 차량 주행으로 인해 교량의 각 요소에 전달되는 처짐, 소음, 진동 및 충격의 영향성 평가 기술 및 기준을 개발한다.
- 개발된 평가기술에 근거하여 구조물 요소의 사용성 향상을 위한 요소기술을 개발하며, 최종적으로 이러한 요소기술을 통합하는 정적·동적 통합적 사용성 제어기술을 개발한다.

□ 무조인트/무슈 교량구조 기술

- 무조인트/무슈의 교량구조형식을 개발하여 내구연한을 갖는 소모성 성격으로 인해 사용형태에 따라 잦은 교체가 요구되는 신축이음장치와 교좌장치의 사용으로 인한 사용성 저해요인을 방지하고 유지관리를 최소화함으로써 최적의 사용성을 제공한다.

본 세세부 과제에서 계획하고 있는 세 연구목표에 대하여 설정된 세부목표를 설명하면 다음과 같다.

- 처짐, 소음, 진동, 피로에 대한 교량 요소 평가 기술
- 처짐, 소음, 진동, 피로 제어기술 개발
- 신축이음의 장수명화 기술
- 교좌장치의 장수명화 기술
- 교량부속시설물의 시공에 관련한 기술
- 무조인트/무슈 교량 기술 개발
- 유지관리 최소화 기술

(2) 세부과제 연계성

구조물 성능과 기능 향상 기술 개발을 목표로 하는 5세부과제에서 정의되는 교량은 스마트하이웨이가 추구하는 이동성과 안전성 및 주행성의 주행자 관점뿐만 아니라 스마트하이웨이 기술이 실용화되는 10년 이후의 미래지향적 관점에서 시간과 공간개념을 고려하는 심미성과 조형성을 만족하여야 한다. 또한, 공용중인 고속도로의 스마트하이웨이화가 요구되는 경우에 충분한 사용성과 안전성을 제공할 수 있어야 한다. 이러한 5세부과제의 목표는 본 세세부과제의 세 주요 연구내용인 교량 부속시설물의 장수명화, 교량의 사용성 제어 기술, 무조인트/무슈 교량 기술 연구를 통해 구현되도록 계획하였다. 이와 같은 연구내용을 중심으로 상위연구와의 관계를 나타내면 다음과 같다.

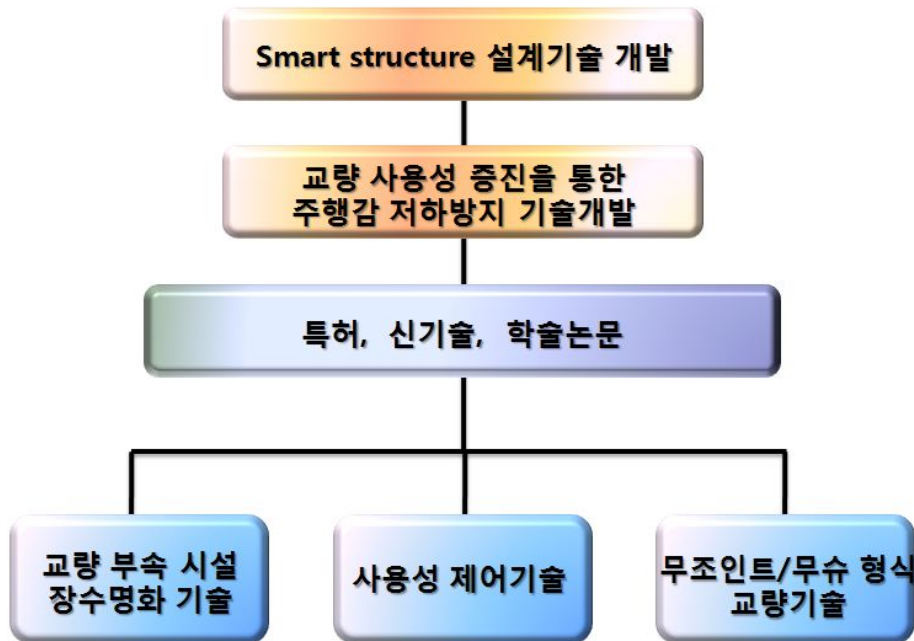


그림 6-1 세세부과제의 상위과제와의 연계성

(3) 국내의 기술 및 연구동향

교량 사용성 증진을 통한 주행감 저하 방지 기술 연구는 사용성에 관련한 주행감 저하 요인을 세 가지로 분류하고 각 요인에 대한 방지 기술개발을 목표로 하고 있음에 따라 국내의 기술 및 연구동향에 대한 검토 및 분석은 교량부속시설의 장수명화 기술과 교량의 사용성 제어 기술연구 및 무조인트/무슈 교

량 기술 연구 분야로 나누어 수행하였다. 본 세세부연구과제의 대부분 연구 내용은 국내외적으로 보고된 사례가 없고, 스마트하이웨이의 고속주행 환경을 구현하기 위해 사업단의 출범과 함께 제안되는 신규 연구 분야이다. 이러한 연구의 성격을 고려하여 기존의 적용 사례에 근거하는 일반적인 보고서 형식과는 달리 고속주행 환경에 적용목적을 갖는 교량으로서 요구되는 가능한 성질을 제시하고 각 제시된 사항을 중심으로 진행된 기술 및 연구동향을 분석하는 방법으로 작성하였다.

1) 교량부속시설물의 장수명화 기술

□ 국내의 기술 및 발전동향

○ 교량의 구조는 크게 상부구조와 하부구조로 나눌 수 있는데, 상부구조는 하중재하, 온도변화, 콘크리트 크리프, 건조수축, 자연재해, 프리스트레싱 등에 의해 움직임을 갖게 된다. 신축이음장치란 이러한 상부구조의 움직임을 위하여 개발된 것으로 구조물의 이동시스템에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 상부구조의 움직임을 나타내는 신축량은 거더의 길이와 거더의 높이, 교량의 형식 등에 따라 달라지며, 구조물의 신축량을 고려하여 신축이음장치를 설계하여야 한다. 신축이음 설계에 있어서 고려하여야 할 것들은 다음과 같다.

- 주행성이 우수하여 진동과 소음을 최대한 흡수할 수 있는가?
- 높은 강성의 구조로 우수한 내구성을 지니는가?
- 처짐변화, 신축방향 등 기능적인 면은 우수한가?
- 방수성 및 배수성은 있어 구조물 및 교좌의 보호를 할 수 있는가?
- 차량주행시 진동충격에 의한 방수고무판의 이완은 방지할 수 있는가?
- 구조가 단순하여 시공이 매우 간편하며 유지보수도 용이한가?
- 수명이 매우 길어 사용성에 있어서 경제적인 면이 있는가?
- 다양한 종류로 교량특성에 따라 적용성은 있는가?

- 하자 발생의 이력은 있는가?

- 위와 같은 검토사항 외에도 신축이음장치에 요구되는 기본적 기능은 교량이 위치하는 장소에 따라 그 중요도가 달라진다. 예를 들면, 차량이 고속으로 질주하는 고속도로는 주행성에 상대적으로 큰 비중을 두며, 교통이 혼잡한 도심 또는 협소한 고가도로는 유지보수 측면을 우선적으로 검토해야 할 것이다. 또, 고하중의 차량 통행이 빈번한 곳이나, 겨울철 체인 장착 차량이 많은 곳, 항시 교통량이 많은 곳(도심, 고속도로)에는 내구성이 강한 강재타입을 사용하여야 한다. 그러므로, 신축이음 장치를 선정할 경우는 먼저 설계 신축량과 같이 직접적으로 필요한 제반사항의 검토를 실행한 후 설치하는 장소에서 무엇을 우선으로 할 것인가를 정하고 보수이력 및 내구성 분석 작업 등을 통하여 종합적으로 판단해야 한다.
- 또한, 신축이음 장치의 선택에 있어서 교량의 형식에 따라 결정하여야 한다. 교량의 형식이란 콘크리트교, 강합성교, 강상판교 등의 재료적인 분류와 직교, 사교, 곡교 등 형태적인 분류를 의미하며, 이러한 교량의 분류에 따라서 신축이음 장치를 적용하여야 한다. 예를 들면 고무계 신축이음(T/F, NB)등의 경우 교축직각 방향 변위가 발생하는 사교의 경우 신축이음 장치에 전단변형이 추가적으로 발생되어 신축이음 장치의 내구성에 치명적인 영향을 초래할 수도 있으므로, 적용시 이에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.
- 시공기술 발달에 따른 교량의 장대화화 교통량의 폭발적인 증가에 따라 유지보수의 중요성이 크게 부각되면서 신축이음장치에 요구조건을 충족시키기 위한 개발이 끊임없이 요구되어지고 있다. 기존 고무판 형식의 신축이음 장치는 마모 및 파손으로 인한 잦은 보수교체공사의 불가피성을 내재하고 있어 유지보수측면에서 커다란 문제점으로 대두되고 있다. 이에 따라 국내 교량에 사용되고 있는 신축이음장치의 종류와 교체사례를 조사하였다.
- 신축이음 장치는 구조형식 및 재료 등에 따라 여러 가지로 구분된다. 구조형식에 따라서는 맞댐식과 지지식으로 분류되며, 시공방법 및 재료에 따라 포장형식, 맞댐 형식, 고무판 형식, 강평거형식, 레일형식, 특수형식으로 분

류한다. 각 신축이음장치에 대한 허용 신축량은 표 6-4과 같으며, 용도 및 경제성에 따라 신축이음장치가 적용된다. 그림 6-4에 보인 바와 같이 50mm 이하의 신축량을 갖는 소용량의 신축이음장치로는 Mono cell 조인트 (그림 6-4(a)), NB(ACE)조인트 (그림 6-4(b)), 스트립 실 조인트 등이 있다. NB 형식의 고무제 신축이음장치는 장기간 사용 시 고무자체의 내구성 저하로 인해 자주 파손되는 관계로 최근에는 사용이 지양되고 있으며, 100mm 이하의 신축이음장치로서는 상대적으로 파손률이 낮은 Mono cell 형식과 레일실(strip seal) 형식이 증가하고 있다. Mono cell 신축이음장치는 구조가 간단하며 내구성 및 신축과 회전에 대한 적응성이 뛰어난 것으로 평가된다. 100mm 이상의 신축이음장치나 소음이 문제가 되는 지역에서는 내구성이 좋고 소음이 적게 발생하는 강핑거 형식의 조인트가 사용된다.

표 6-2 신축이음장치별 허용신축량 (mm)

신축량 제품	100	200	300	400	500	600~1200
맹 조인트	10					
러버탑 조인트	30					
가이탑 조인트	30 60					
Mono Cell 조인트	30 70					
스트립실 조인트		100				
NB(ACE) 조인트	36	120				
Transflex 조인트	30		230			
레일 조인트		80				1200
롤러서터 조인트					400	1200
강핑거 조인트	50				500	



그림 6-2 (a) Mono cell 신축이음장치, (b) NB(ACE) 신축이음장치

- 신축이음 장치에 요구되는 사항으로는 신축이음 장치의 교체 시에 차량흐름의 통제가 요구되므로 교체시간의 최소화가 가능하여야 하며, 하중상태 및 기후조건과 열화 혹은 부식 등으로 인한 잦은 교체로 경제적 손실 및 주행성의 저하를 방지할 수 있는 큰 내구성이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족하는 신축 이음장치는 현재까지는 알려진 바 없으며, 최근 미국 등에서 빈번하게 사용되는 기존의 신축이음장치에 비해 성능이 많이 개선된 탄성콘크리트와 실리콘 충전재를 이용한 신축이음장치가 국내에 소개되어 한국도로공사 영남건설사업소에서 시공 중인 단경간 강재 박스거더교인 덕운육교에 원설계된 Mono cell 신축이음 장치를 대체하여 시공되었으며, 공용 중인 교량으로서는 transflex 조인트가 설치되어 심하게 손상된 경부고속도로 상의 오산IC에 위치한 오산IC교에 교체시공으로 적용된 사례가 있다.
- 교좌장치는 평면, 측면, 지점반력의 종류, 이동 혹은 회전방향, 고정 혹은 가동받침의 위치 등에 따라 용도에 의한 몇 가지 기능을 겸비한 구조인 것이 요구된다. 교좌장치에 필요한 기본적인 기능에 대해서는 첫 번째가 하중전달기능이다. 상부구조에 작용하는 하중은 모두 하부구조를 통하여 기초지반에 확실히 전달하여야 한다. 따라서 교좌장치는 이 상부구조에서의 하중을 확실히 지지함과 동시에 안전하고 원활하게 하부구조에 전달하는 기능을 가져야 한다. 둘째로 수직 및 수평이동 기능이다. 상부구조는 하중의 재하, 온도변화, 콘크리트의 크리프, 건조수축, 프리스트레스 힘 등 여러 종류의 요인에 의해 신축한다. 교좌장치에는 이러한 상하부 구조에 생기는 수평변위에 대해 추종할 수 있는 기능이 필요하다. 셋째는 회전기

능이다. 상부구조에 하중의 재하로 처짐을 일으키지만 이것에 의해 지점부는 회전 변위를 일으킨다. 교좌장치는 이 회전변위에 무리없이 추종할 수 있는 기능을 갖추지 않으면 안된다. 이러한 기본적 기능외에 교좌장치는 지진 등에 의한 상부구조의 과도한 이동을 방지하는 내구성 기능이 필요하다. 여기에 더하여 교좌장치의 기능이 발휘되려면 교량의 상하부에 취약부가 중요하므로 상하부 구조의 받침부 설계에 특히 신중하여야 한다. 이에 따라 교량설계에 있어서 교좌장치의 상하부 구조의 설계시 동일하게 논의되어야 하며 또한, 개개 교량형식에 따라 최적의 형식 및 배치가 선정되도록 충분한 배려가 이루어져야 한다. 도로교 시방서, 철도교 전문시방서 등을 검토해 보면 각종 요인에 의한 충분한 변위량의 확보와 지진에 의한 전도력의 흡수기능 등을 요구하고 있으나 구체적 형식별 선정기준에 대한 규정은 없다.

- 이러한 국내의 기술 및 연구동향을 고려할 때 신축이음장치와 교좌장치에 대한 기술성은 오랜 시공경험과 기술축적을 바탕으로 다양한 기술개발을 유도해 나가고 있는 선진외국에 비해 많이 뒤지고 있는 실정이며, 선진외국의 신축이음장치 또한 고속주행환경에 적용되기에는 여러 문제가 예상되므로 고속주행 환경에 적용을 목적으로 하는 신축이음장치와 교좌장치는 이러한 현재의 문제점을 개선함으로써 장수명화를 구현하는 기술개발을 필요로 한다.

□ 국외의 기술 및 연구동향

- 현재 국외에서 적용되고 있는 신축이음장치의 종류와 성능을 미국을 중심으로 살펴보고자 한다. 미국의 각 주의 도로국 (State Department of Transportation)은 AASHTO 규정을 이용해서 교량 및 신축이음장치의 등의 설계를 수행하나, 각 주마다의 특성을 갖고 구조물과 시설물을 설계고 있다.
- Caltran (California Department of Transportation)은 구조물의 신축량 등급에 따라 표 6-5와 같은 밀폐식 신축이음장치를 사용할 것을 권고하고 있다.

표 6-3 Caltran의 신축이음장치 규정

Movement Rating (MR)	Type of Seal
Less than or equal to 0.5"(12.5mm)	Type A Seal (poured sealant)
1"(25.4mm) thru 2" (50.8mm)	Type B Seal (neoprene compression seal)
2.5" (63.5mm) thru 4"(101.6mm)	Joint Seal Assembly (strip seal)
Greater than 4"(101.6mm)	Joint Seal Assembly (modular unit)

- 신축이음량이 63.5mm 보다 적은 신축이음부는 표준도면을 적용하도록 하고 있으며, 특히, 신축량이 12.5mm 이하인 신축이음에는 그림 6-5에 보여준 Type A 형식을 적용하는 것으로 규정하고 있다. Type A의 신축이음은 콘크리트와 콘크리트 사이의 홈에 polyurethane 이나 silicone sealant 을 채워 넣는 것으로 규정하고 있다.

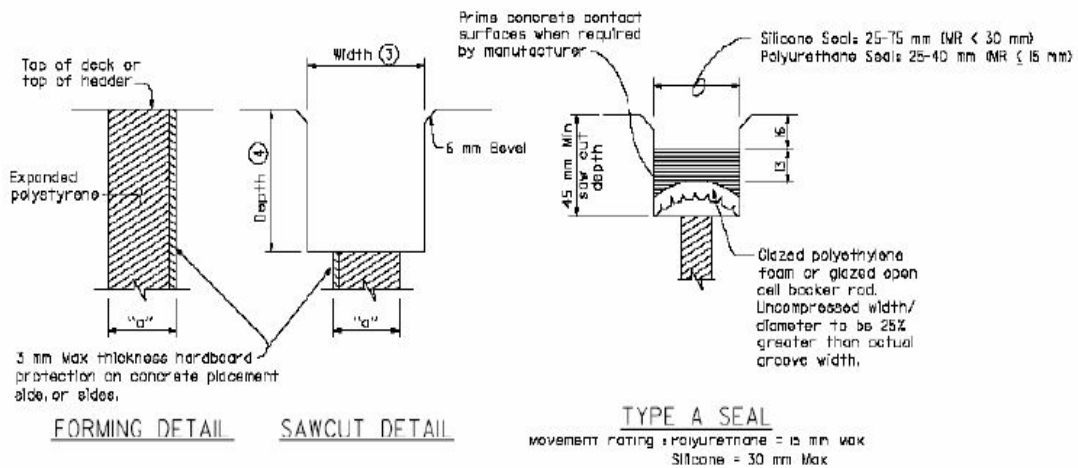


그림 6-3 Caltran의 Type A Joint 상세도

- NYS DOT (New York State Department of Transportation)는 신축이음장치와 관련된 유지관리상의 문제로 가능한 신축이음 장치의 사용을 피하고 연속교, jointless deck, 일체식 교대를 사용하는 것을 권장한다. NYS DOT에서 신축이음장치의 설치를 가능한 한 최소화하려고 하지만, 필요한

경우에는 기존의 compression seal 조인트나 strip seal 조인트보다 유지관리가 용이한 joint sealant를 갖는 Armoless joint (그림 6-6)를 신축량이 64mm 이하인 경우에 사용하도록 한다. 기존의 compression seal 과 같은 신축이음장치에서는 강제부분의 부식, 이로 인한 누수 및 콘크리트 균열 등의 문제가 발생하며 신축장치의 저면보수에 많은 어려움이 있는 것으로 보고하고 있다. 그러나 Caltran의 Type A 형식의 조인트와 유사한 Armoless joint는 레일과 같은 강재를 설치하지 않고 탄성콘크리트만으로 block-out 부분을 구성하므로 강재의 부식문제가 발생하지 않는다. Armoless joint 로는 그림 6-7과 같이 closed cell foam (Detain A) 과 pourable seal (Detain B)이 있으며 공용중에 문제가 발생하더라도 부분적 혹은 전체적으로 빠른 시간 내에 쉽게 보수가 가능하다.

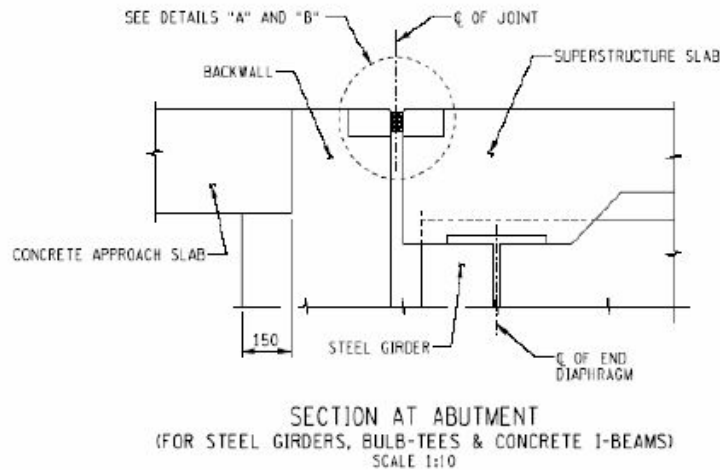


그림 6-4 Armorless joint 시스템

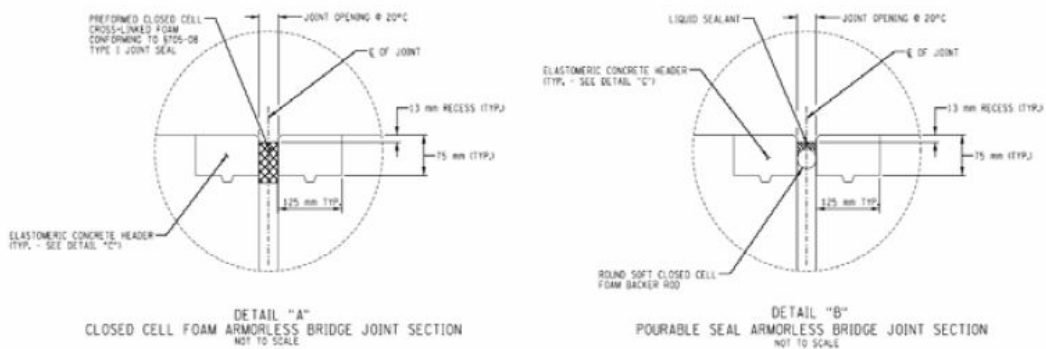


그림 6-5 Armorless joint 시스템-2

- WSDOT (Washington State DOT)의 신축이음장치는 신축량에 따라 소, 중, 대의 신축량 조인트로 구분하며, 신축량이 41mm 이하의 소형신축이음장치로서는 compression seal 조인트가 대부분 사용되고 있으며, silicone sealant joint 와 asphalt plug joint (APJ)는 최근에 교량보수 프로젝트를 중심으로 하여 적용되기 시작하였다. APJ는 그림 6-8에 보인 바와 같이 block-out에 polymer modified asphalt (PMA)를 채워 넣어 소량의 신축량을 수용하는 것을 의미한다.

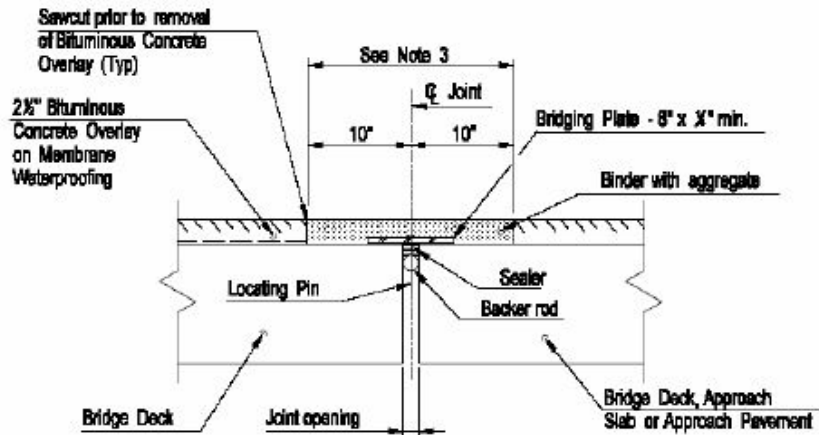


그림 6-6 Asphalt plug joint 시스템

- Silicone sealant joint는 NYS DOT 의 Detail B와 동일한 것으로서 바닥판과 교대 사이에 설치한 baker rod 위에 silicone sealant를 채워 넣는다 (그림 6-9). 여러 종류의 silicone sealant가 joint의 형상과 시공조건에 따라 적용 가능하며, 주요한 특성 차이는 점착력과 양생시간이며, Dow coring 902RCS sealnant 가 주로 사용되는 것으로 알려져 있다.

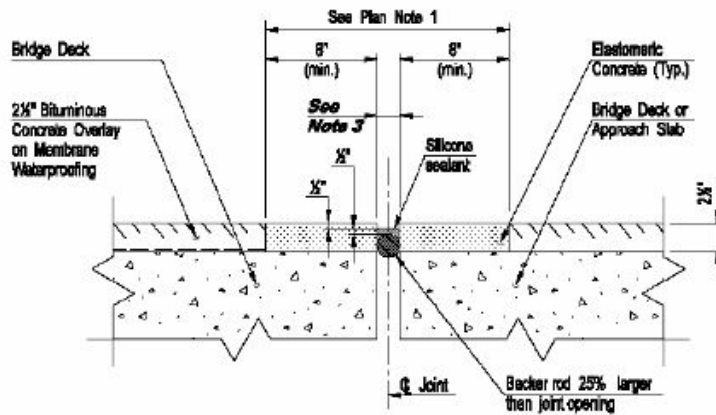


그림 6-7 Elastometric concrete with silicone sealant

- Ohio DOT는 교량설계 매뉴얼에서 표 6-6와 표 6-7에 보이는 바와 같이 교량의 상부구조 형식에 따라 적용할 수 있는 신축이음장치를 규정하고 있다. 각 교량형식에 있어 신축이음장치는 고정받침이 없는 경우에는 전체 길이를 의미하며, 받침이 있는 경우에는 고정받침으로부터의 길이를 의미한다.

표 6-4 Ohio DOT의 강교 신축장치 분류

Expansion Length(m)	Joint Required	Approach Slab Joint
0 - 10	None	AS-1-81 detail B
10 - 38	PM(1) or EXJ-6-95	AS-1-81 detail B
38 - 125	EXJ-6-95	AS-1-81 detail C
125 +	Tooth Type Expansion Device or Modular Expansion Device	

표 6-5 Ohio DOT의 PC교 신축장치 분류

Expansion Length(m)	Joint Required	Approach Slab Joint
0 - 12	None	AS-1-81 detail B
12 - 65	PM or EXJ-6-95	AS-1-81 detail C
65 - 150	EXJ-6-95	AS-1-81 detail C
150 +	Tooth Type Expansion Device or Modular Expansion Device	

표 6-6 Florida DOT의 PC교 신축장치 분류

Joint Type	Maximum Joint Width
Poured Rubber	¾-inch (19mm)
Silicone Seal	2-inch (51mm)
Strip Seal	3-inch (76mm)
Modular Joint	Unlimited
Finger Joint	Unlimited

- Florida DOT는 신축이음장치의 내구성에 대한 현장실험 결과등을 이용하여 교량설계 매뉴얼에서 중소교량의 최대 신축이음 넓이에 따라 표 6-8과 같은 신축이음장치의 사용을 규정하고 있다.
- 일본의 경우 1978년 한신지진을 겪은 후부터 이들 품목의 신뢰성에 대한 인식과 수요가 급격히 증가하였으며 일본 도로협회에서는 한신 대지진 조사결과에 기초하여 교좌장치 설계를 재평가하고 시방서 및 기준을 개정하는 등 그 신뢰도를 높이고 있다. 미국의 경우 미국도로협회에서 “Guide specifications for seismic isolation design”에서 교좌장치의 성능평가 요구사항을 규정하여 진동흡수용 장치의 성능평가 시험을 실시하고 있다. 교좌장치의 물성시험에는 물리특성, 내열성, 압축특성, 오존열화특성, 저온취성, 저온결정성, 소재접착성 등의 성능을 조사하고 있으며 시작품 시험에서는 압축 및 전단응력시험을 완제품 시험에서는 압축, 압축-전단 혼합 시험, 육안검사 등을 하여 신뢰도를 높이고 있다.

2) 교량의 사용성 제어 기술

□ 국내외 기술 및 발전 동향

- 국내의 교량 사용성 증진을 위한 연구들은 교량 상태평가에 중요도 초점을 맞추고 있어 교량 사용자 즉 고속주행 운전자의 쾌적성 상태 등급 평가 및 기술 개발은 저조하게 나타나고 있으며 복합적인 거동분석 미비로 교량 사용성 증진의 효율성이 떨어지며 처짐, 진동, 소음 등의 상호 연계를 통한 연구 및 기술 개발이 활발하게 이루어지지 않고 있다.
- 미국 FHWA(Federal Highway Administration)는 교량의 사용성 및 경제성 확보를 위하여 종합적인 사용성 평가 보고서를 매년 조사하여 발표하고 있다. 이러한 조사결과는 교량의 LRFD(Load and Resistance Factor Design) 설계기준의 토대와 당위성을 제시하고 있다.
- 일본의 경우 고규격도로인 제2 도메이-메이신 고속도로 건설을 위한 설계속도와 설계조건 수립시 구조물의 사용성 평가를 하나의 핵심고려요소로 정의하여 고속화도로를 추진하고 있다.
- 우리나라의 경우 소극적인 사용성 평가 및 설계조건 반영으로 인하여 초고속 주행을 구현하는 고규격 고품격 고속도로 실현을 위해서는 선진국의 노하우와 국내 도로여건을 고려한 연구가 필요한 실정이다.

□ 국내외 연구동향

- 현재 차량의 고속주행으로 인한 교량 진동에 대해서 그 수준을 평가할 일 관련 방법 및 기준이 국내에는 없는 실정이다. 현재 도로교 설계기준에는 교량의 진동 제한 기준을 활하중 및 충격에 대한 처짐 제한량으로 간단히 언급하고 있을 뿐이며, 이러한 규정도 진동에 대한 사용성 기준이라기 보다는 정적 사용성 및 교량의 구조적 안전성의 측면에 치우쳐 있다. 따라서 고속차량으로 인한 교량 처짐, 진동 사용성 기준의 제시가 절대적으로 필요하다.

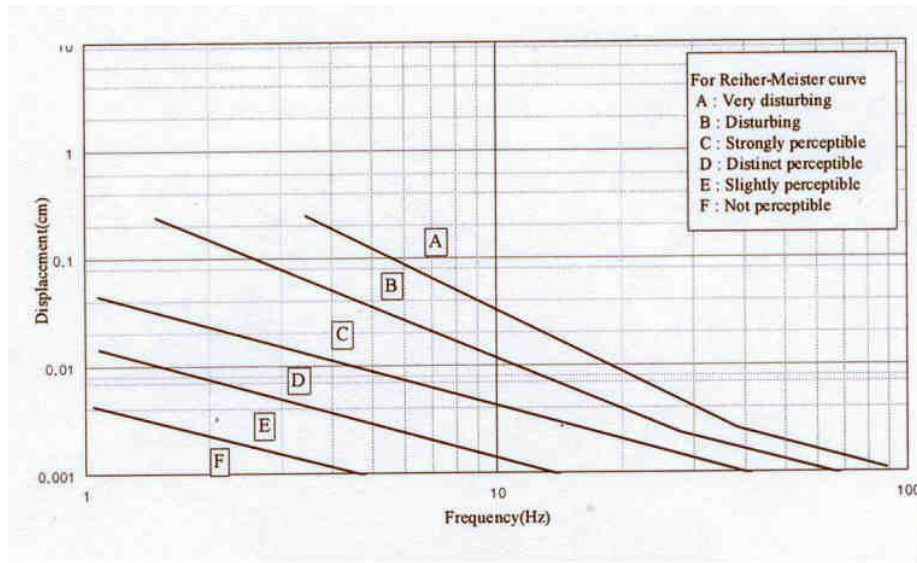


그림 6-8 Reiher-Meister 사용성 허용곡선

- 교량의 진동은 아니지만 일반적인 진동현상으로 인한 사람들이 느끼는 감각 정도를 평가하는 연구는 비교적 다양한 분야에서 수행된 바 있다. 그 대표적인 것이 Reiher-Meister¹⁾의 허용곡선이 있다. 이 기준은 철도 승객들의 진동수준을 피실험자들을 대상으로 감각을 파악·분류하여 차트를 제시하고 있다. Dieckmann²⁾은 허용도를 K-Value를 이용하여 수직, 수평진동의 영향을 정량화하였다. DIN4150/2는 주거 건물에 살고 있는 사람들이 느끼는 진동에 대해 규정하였으며 KB-Value를 통해 정의하고 있다. 또한 ISO³⁾에서는 충격과 진동에 대해서도 규정하여 건물의 진동에 대한 평가 기준 곡선을 제시한 바 있다.

1) Reiher, H. and Meister, F.J. "Human sensitivity to vibrations", Forsch.auf dem Geb. des Ingen., 2, (11), 381-386, 1931
 2) Dieckmann, D. "A study of the influence of vibrations on man", Ergonomics, 1 (4), 347-355, 1958.
 3) ISO 2631 Evaluation of human exposure to whole body vibration Part2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1to80Hz), ISO, 1989

표 6-7 Dieckmann's K Value

수직진동 (Vertical Vibration)		수평진동 (Horizontal Vibration)	
5Hz 이하	$K=0.001(d)(f^2)$	2Hz 이하	$K=0.002(d)(f^2)$
5-40 Hz	$K=0.005(d)(f)$	2-25 Hz	$K=0.004(d)(f)$
40Hz 이상	$K=0.2(d)$	25Hz 이상	$K=0.1(d)$

주: (d=displacement; μm , f=frequency; Hz)

표 6-8 Dieckmann's K Value와 사용성 인지도 기준

K Value	인지정도
0.1	lower limit of perception
1	allowable in industry for any period of time
10	allowable only for a short time
100	upper limit of strain for the average man

- 교량의 동적 사용성에 대한 연구로는 영국의 Road Research Laboratory 에서 출간한 보고서를 들 수 있다. 이 연구에서는 피실험자들을 대상으로 걷고 있는 사람의 경우와 서 있는 사람의 경우에 대해 진동을 가했을 때 불편함을 느끼는 사람이 한사람이라도 있는 경우 그것을 기준으로 범위를 설정하고 있다. 그러나 그 기준이 정성적이며 매우 보수적인 경향을 보이고 있다.
- 국내에서는 한국도로공사 도로교통기술원에서 교량 진동에 의한 사용성을 정량적으로 판단할 수 있는 기준을 제시하고자 29개의 교량에서 진동 사용성 평가를 기존 방법과 비교·분석한 바 있다. 그러나 교량 진동 사용성 평가를 위한 객관적인 기준을 제시하지 못하고 있다⁴⁾. 따라서 주행시 교량의 사용성 등급평가 및 제어기술 연구는 운전자의 쾌적성 확보를 위해 우선 개발되어야 하는 기술이다.

4) 이일근, 안상섭, 박민석, 교량의 진동 사용성 평가, 대한토목학회 정기학술대회, pp553-558, 2003

표 6-9 교량 동특성과 진동감각기준과의 비교4)

교량	교량형식	진동수	경간	진동등급	교량	교량형식	진동수	경간	진동등급
1	콘크리트 I형	9.55	15	C	16	3연속 강박스	4.18	34	C
2	콘크리트 I형	10.89	12	B	17	2연속 강박스	3.41	30	C
3	콘크리트 I형	9.4	15	B	18	3연속 강박스	4.28	32	C
4	콘크리트 I형	7.59	15	C	19	2연속 강박스	3.95	47.5	C
5	콘크리트 I형	11.94	12	A	20	5연속 강박스	2.75	60	C
6	단순 강관형	3.8	40	C	21	3연속 강박스	3.50	50	C
7	단순 강관형	4.15	30	C	22	3연속 강박스	2.00	35	C
8	단순 강관형	6.57	20	D	23	4연속 강박스	4.10	30	C
9	단순 강관형	3.63	20	D	24	단순 PSC I	3.30	30	B
10	단순 강관형	2.8	50	C	25	단순 PSC I	6.14	25	B
11	3연속 강관형	4.71	33	B	26	3연속 PSC I	5.55	30	B
12	3연속 강관형	3.7	35	B	27	2연속 PSC I	7.40	20	B
13	3연속 강관형	5.35	26	C	28	2연속 PSC I	3.79	26	C
14	단순 강박스	4.47	40	C	29	3연속 PSC I	6.59	30	C
15	단순 강박스	3.4	35	C					

- 차량이 통과하는 도로교 설계기준과 달리 기차가 통과하는 철도교에서는 차량의 주행 안전성 즉 사용성이 제일 우선시 고려되어 철도교 설계 및 시공이 실시되고 있다. 철도교의 사용성 확보를 위한 진동, 처짐, 단부회전각, 비틀림각, 가속도 등에 대한 기준은 고속주행 시 차량과 도로교의 상호작용으로 인한 교량 사용성 증진을 위해 고려되어야 할 설계요소이다.
- 급격한 차량증가와 고속화도로의 증가는 도로교통소음의 추가적인 요소로 그 심각성이 부각되고 있다. 교량에서 발생하는 여러 가지 소음원은 다음과 같이 세 가지의 주소음원으로 구분할 수 있다. 차량의 주행소음, 차량과 교량표면의 상호작용에 의한 마찰소음, 차량에 의한 교량구조물의 진동소음이며, 이들의 상호작용에 의해 전체적인 소음레벨을 구성하고 있다.

표 6-10 교량 동특성과 진동감각기준과의 비교5)

도로명	거리에 따른 소음레벨(Leq dB)				교통량 (Veh./h) light/heavy	평균속도 (km/h)
	5m	10m	20m	30m		
올림픽 도로	79.4	76.9	73.9	71.8	10704/783	62.5
	78.2	75.4	72.4	70.4	8028/710	50.0
	77.0	74.4	71.4	69.4	8038/520	45.0
	80.5	77.9	73.8	71.3	5714/782	77.1
	80.6	77.9	73.8	71.5	6040/704	82.3
	79.4	76.6	72.5	70.1	6698/437	82.7
	77.4	74.5	70.4	68.4	4277/430	83.1
강북 강변 도로	79.4	77.2	72.4	68.3	6317/237	60.4
	80.1	78.0	73.2	68.7	5814/340	63.8
	80.5	78.1	73.3	69.3	5778/278	63.7
	80.0	78.3	73.1	68.9	6087/313	68.4
동부 간선 도로	78.1	75.0	69.5	66.4	6398/201	45.2
	77.8	74.7	68.9	65.8	7469/189	41.4
	77.1	74.8	69.3	65.7	5913/134	49

- 국내에서는 주요간선도로에서 떨어진 위치에 따른 소음레벨을 측정하여 도로시설물 유지관리에 적용하고 있으며⁵⁾, 교량의 진동소음과 주행차량소음의 연성효과를 고려하여 음향방사를 고려한 연구가 김상호⁶⁾등에 의해 수행된 바 있다. 김상호 등은 교량의 진동으로부터 발생하는 음압의 주음원은 바닥판의 연진방향 진동이라 제시하고 있으며, 차량의 주행속도가 증가하면서 소음레벨의 증가효과가 있고 차량소음과 연성되어 소음이 증폭되는 것으로 판단하고 있다.
- 미국의 경우 Junger & Feit⁷⁾의 구조물과 소음과의 상관 연구결과를 토대로 고속주행 차량으로 인한 소음발생 정도를 평가하는 기법을 정립하고 있으나 고속주행 교량에 직접적으로 적용할 수 있는 설계기준은 제시하고

5) 강대준, 도로교통소음(I), 국립환경연구원 보고서, 제21권, pp149-162.

6) 김상호, 이용선, 장원석, 교량의 진동소음과 주행차량소음의 연성효과에 의한 음향방사, 대한토목학회논문집, 제23권 3A호, pp429-438, 2003

7) Junger, M.C. and Feit, D. *Sound, Structures and Their Interaction*, M.I.T. Press, 2nd.

있지 않다. 국내의 연구동향 분석을 통하여 초고속 주행 고속도로 이용자 및 시설물 설치 구간의 소음 최소화를 위해서는 소음도 측정평가 기법 개발 및 교량의 동적 진동제어 기술 확보가 무엇보다도 우선되어야 한다.

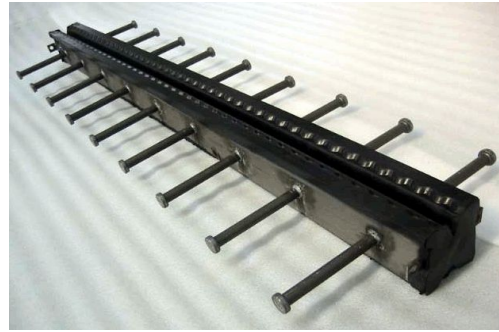


그림 6-9 NEW MONOCELL JOINT

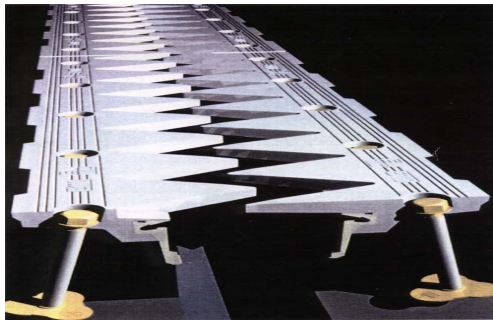


그림 6-10 NEW FINGER JOINT

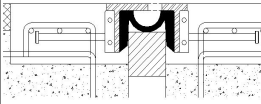
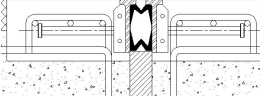
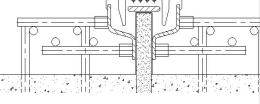
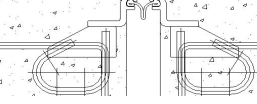


그림 6-11 MAURER(RAIL) JOINT

- 교량의 구조는 크게 상부구조와 하부구조로 나눌 수 있는데, 상부구조는

하중제하, 온도변화, 콘크리트 크리프, 건조수축, 자연재해, 프리스트레싱 등에 의해 움직임을 갖게 된다. 신축이음장치란 이러한 상부구조의 움직임을 위하여 개발된 것으로 구조물의 이동시스템에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 상부구조의 움직임을 나타내는 신축량은 거더의 길이와 거더의 높이, 교량의 형식 등에 따라 달라지며, 구조물의 신축량을 고려하여 신축이음장치를 설계하여야 한다. 교량의 사용성 증진을 위해서는 이러한 신축이음장치, 슈, 교각, 교대, 상부구조 형식 등에 대한 상세 검토 및 장치개발이 필요하다.

표 6-11 신축이음장치의 특성 비교⁸⁾

	FINGER TYPE (NEW FINGER)	MONOCELL TYPE (NEW MONOCELL)	RUBBER TYPE (ACE or NB JOINT)	RAIL TYPE (RAIL형 JOINT)
구조 형태				
주요 재료	H-BEAM+RUBBER SEAL +STUD ANCHOR	STEEL+RUBBER SEAL +STUD ANCHOR	고무속에 철판을 삽입한 형식 +앵커바	RAIL+RUBBER SEAL +CONTROL BOX
거푸집	160mm이하 : 흡음제 사용 160mm이상 : 아연도금철판	흡음제 사용	흡음제 사용	160mm이하 : 흡음제 사용 160mm이상 : 아연도금철판
신축량 범위	50 ~ 160mm	30 ~ 100mm	35mm ~ 120mm	80mm ~ 800mm
장점 · 단점	<ul style="list-style-type: none"> 강재 H-beam을 사용하여 내구성 우수 교차된 핑거로 인하여 주행성이 우수함 단위당 설치되므로 유지보수가 용이 시공이 매우 간편 이음부위에 방수커플링이 있으므로 방수성이 우수함 BLOCK OUT 깊이가 작다 연결방식이 매우 견고하다. 핑거단부에 고무가 접착되어 충격 흡수 가격이 다소 고가 	<ul style="list-style-type: none"> 상부가 강재로 되어 있어 내구성이 우수 상부를 완만한 라운드로 되어있어 주행성이 양호 단위당 설치되므로 유지보수가 용이 시공이 매우 간편 이음부위에 방수커플링이 있으므로 방수성이 우수 연결방식이 매우 견고함 간편한 프리세팅기를 내장 선택의 폭이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 상부가 고무이므로 주행성이 양호 본체가 궁형으로 CON'C 타설시 공극이 없음 본체 내부에 흡음제가 삽입 되므로 방음효과가 좋음 단위당 설치되므로 유지보수가 용이 앵커볼트가 이중으로 되어있어 견고한 고정 가능 사교나 곡교의 신축량을 흡수하지 못함 별도의 배수장치가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 상부가 강재레일로 구성되 내구성 우수 교량길이와 같이 일체식으로 제작하여 누수에 강함 신축량이 큰 장대교에 유리 구조상 BLOCK OUT을 깊게 하여야 하므로, 교량형식에 맞게 검토 해야함 사교,곡교 등 모든 교량에 사용이 가능 일부구간의 고무파손시에도 전체적인 교체를 해야함 가격이 다소 고가
제품가격 100mm 기준	₩860,000 /M	₩660,000 /M	₩740,000 /M	₩760,000 /M
적 용	<ul style="list-style-type: none"> 주행성을 요하는 고속화 도로 및 주거지역이 인접하여 민원발생이 예상되는 구간에 유리하며, 160mm이하 중소지간 교량에 유리함 	<ul style="list-style-type: none"> 내구성과 유지보수에서 용이하고, 곡이나 사가 심한 교량에도 적용가능하며, 신축량 100mm이하의 소교량에 적합함 	<ul style="list-style-type: none"> 고무의 마모 및 탈착현상으로 지속적인 유지보수가 필요하여, 지속적으로 사용이 지양되고 있음, 100mm이하에 소교량에 적합함 	<ul style="list-style-type: none"> No.100의 경우에는 내구성이 우수하고, 방수기능이 좋으므로 100mm이하의 소교량에 적용하며, 소음으로 인한 민원예상 구간은 지양함

8) 황윤국, 박기태, 이영호, 정진우, 박종섭, 장수명 합리화 바닥판 개발(복합재료 바닥판)-교량 신축이음장치 개발, 건기연 2006-086 Bridge 200 최종보고서, 2006.

- 교량의 사용성 및 공용수명의 결정에는 통행하는 차량과 교량의 형식 및 형상에 따른 상호작용과 유지보수의 정도 등이 중요한 요인으로 작용하게 되며, 이를 위해 교량을 통행하는 차량의 축 수, 축 간격, 주행 속도 및 동적 특성 등 차량 정보와 차두 간격, 중차량의 속도 및 혼입율 등의 통행 특성을 파악하는 것은 필수적인 사항이다. 이러한 새로운 차량하중과 신형식 교량 바닥판 개발을 통한 신개념 교량형식의 연구는 FRP와 같은 신재료 적용을 통하여 연구가 진행되고 있다. 신재료 신형식 교량의 사용성 극대화 방안 연구는 정적 및 동적 피로 성능 평가를 통하여 고품격 고내구성 구조물 성능 향상을 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

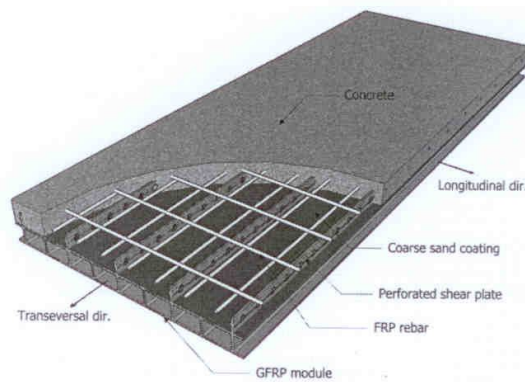


그림 6-12 FRP-콘크리트 합성 바닥판 예9)



그림 6-13 신재료 신개념 거더 재하실험 예

9) 조근희, 박성용, 조정래, 김병석, 신개념 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 구조형식 및 거동 특성, 대한토목학회논문집, 제27권, 제3A호, 2007.

3) 무조인트/무슈 교량 기술

□ 국내 기술 및 발전 동향

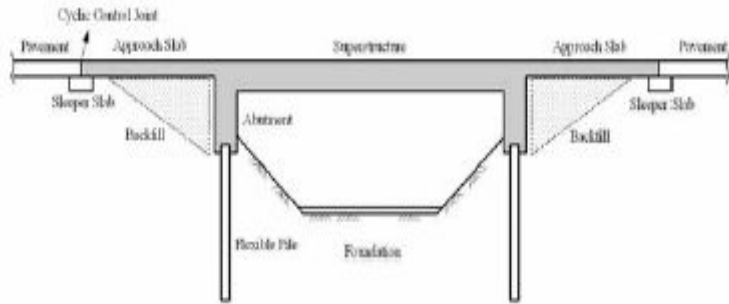
- 신축이음은 온도변화나 차량의 주행 등에 의해 생기는 상부구조의 변위를 흡수하고 노면의 평탄성이나 연속성을 유지하여 차량의 안전한 주행을 확보해주는 역할을 하는 반면에, 주행중인 차량에 의해 충격을 받고 또한 충격을 줌으로써 교량의 내구성이나 주행성을 저해하는 중요 요인으로 지적된다. 신축이음의 손상은 추가적인 소음이나 진동의 발생으로 인해 주행성의 감소를 가속화 시키며, 손상된 신축이음으로부터 교면의 물이나 겨울철에 제설 및 제빙 목적으로 사용되는 염화물질이 거더나 교좌장치 및 교대 부분으로 스며들어 교량의 부식 및 열화에 대한 주요 원인이 된다 (그림 6-16). 결과적인 신축이음의 보수 혹은 교체공사는 노면 상에서 수행되는 공사의 성격으로 인해 교통통제를 동반하게 되므로 교통체증의 원인이 되며 또한, 교통사고의 원인으로서는 많은 문제를 야기하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 신축이음 장치의 개선에 대한 많은 연구가 진행되어 현장에 적용되어 왔으나 근본적인 해결은 이루지 못하고 있는 실정이다.



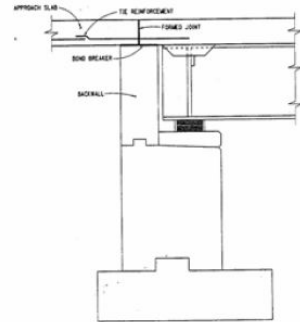
그림 6-14 신축이음 손상사례

- 이러한 문제점의 근본적인 해결은 교량을 신축이음수가 적은 구조나 신축이음이 전혀 없는 구조형식으로 가설하는 것이 최상의 방안이지만 다음을 원인으로 발생하는 교량 상부구조의 신축량을 충분히 흡수할 수 있는 구조적 시공방안이 제시되어야 한다.

- 온도변화에 의한 신장량
- 건조수축 및 크리프에 의한 길이변형
- 활하중에 의한 주형단부의 회전변형



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6-15 일체식교대 교량 : (a) 일체식교대 교량의 개념도; (b) 교대부분;
(c) 평촌1교 전경; (d) 평촌1교 교대부분

- 신축이음 장치의 문제점을 해결하기 위해 교량의 단부에서 신축이음장치를 사용하지 않고 교량 상부구조의 이동량을 포장부에서 처리하는 일체형 교량이 국내에 도입되어 한국도로공사 대전-통영간 고속도로 평촌1교에 적용하여 2001년에 완공되었다(그림 6-17). 일체식교대 교량은 상부구조와 교대를 일체로 시공함으로써 일반 조인트 교량에서 필수적으로 사용하는 교대의 신축이음장치와 교좌장치를 원천적으로 제거한 교량형식이다. 일반 조인트 교량과의 큰 차이점은 교대부의 파일기초부로서 주요 구성요소로

서는 교대높이를 최소화하여 배면의 작용토압을 최소화하는 난쟁이교대, 무다짐뒤틀채움, 전후방가동 조인트가 대표적인 요소이며, 상부구조와 교대가 일체로 연결되어 상부구조의 온도변화에 의한 신축을 일렬로 시공된 파일이 유연한 거동으로 흡수함으로써 신축변위를 조절하며 교각은 파일 기초 혹은 직접기초의 형식을 취한다. 이외의 적용사례로서는 청주-상주 간 고속도로 6공구의 수문교 및 달천1교의 설계에 반영되었으며, 안성-음성간 고속도로 6공구에서 구수교외 2개 교량에 변형된 반일체식교량이 시공중에 있다. 춘천-양양간 고속도로 상의 동홍천교가 반일체식교대 교량으로 설계에 반영되어 시공예정 중에 있는 정도로서 미국, 캐나다, 일본에서 적용된 사례에 비하면 매우 초보적인 수준이라 할 수 있다.

- 비록 제한적 범위일지라도 국내에 도입되어 적용되고 있는 일체식교대 형식의 무조인트 교량은 상부구조의 신축량을 고려할 때 교량 길이 120m 이하의 중소형 교량에 적용 가능한 형식으로서 총지간이 이 범위를 초과하는 교량의 경우에는 교각 및 교대가 큰 값의 상부구조 신장량을 흡수할 수 있도록 하기 위한 별도의 연구가 필요하게 된다. 국내에서의 무조인트 교량에 대한 연구는 이와 같이 일체식 교대 기술을 중심으로 1999년 동아건설산업과 한국도로공사에 의해 공동으로 수행된 연구를 기점 시작되었으며, 이후 적용상의 목적 때문에 제한적 범위 내에서 건설기술연구원과 몇몇 기업부설연구소에서 수행되어 왔으나, 총 연장이 이 범위를 초과하는 교량에 대한 연구는 경제성과 상부구조에 발생하는 큰 값의 신축량 흡수를 위한 기술적 문제로 인해 아직 진행되지 않고 있는 실정이다. 교좌장치를 필요로 않는 무슈형식의 교량 또한 라멘교 형식에서 찾아 볼 수 있으나, 이는 소규모의 교량에서 찾아지는 무슈 교량의 사례이며 교량의 내구성이나 주행성 향상 차원의 목적으로 교량형식에 대한 연구와 적용은 수행된 사례가 아직 보고되지 않고 있다.

□ 국외 기술 및 발전 동향

- 무조인트 교량의 가설방법은 매설형 무조인트 방식, 연결형 무조인트 방식, 중복식 아치형 무조인트 방식의 세 종류로서 미국과 일본에서 연구개발되어 왔다. 매설형 무조인트 방식은 교량본체에는 실제로 신축이음이 설

치되어 있지만 포장만이 연속으로 되어 있는 방식으로서 신축이음부에 매설 조인트라는 특수한 연결체를 설치하여 거더 단부에 발생하는 변형을 흡수 또는 분산시켜 노면의 연속성을 확보하는 기술이다.

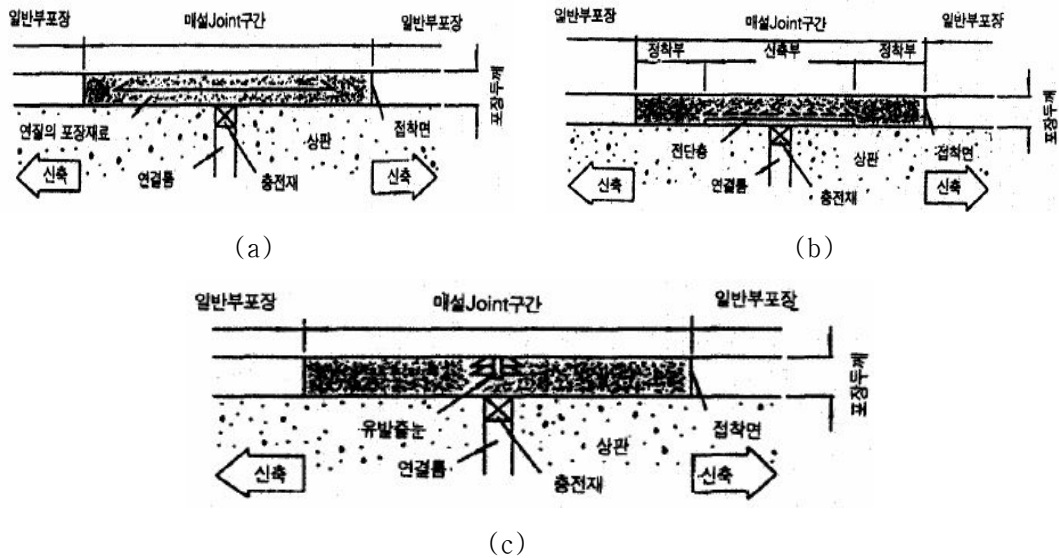


그림 6-16 매설형 무조인트 방식의 종류

(a) 신축흡수형; (b) 신축분산형; (c) 신축유도형

- 이 방식은 교량 설계시에 전혀 고려할 필요가 없으며 시공도 간편하여 가장 빈번히 적용되는 일반적인 방법으로서 거더 단부의 변형을 흡수하는 방법에 따라 신축흡수형, 신축분산형, 신축유도형으로 구분된다. 신축흡수형은 신축성이 좋은 포장재료를 신축이음부에 포설하여 포장체 전체가 변형함으로서 거더의 변형을 흡수하는 방식으로 이음부의 포장재료는 전후의 포장재료는 서로 다른 것을 사용한다. 신축분산형은 신축이음부의 포장체와 교량상판과의 사이에 전단층 시트를 설치하여 거더단부의 변형을 시트의 전단변형을 통해 매설조인트 전구간으로 폭넓게 분산시키는 방식이다. 신축유도형은 신축이음부의 포장체에 유발줄눈을 설치하여 이 줄눈부에 변형을 유도 집중시키는 방법이다. 그림 6-18은 이 세 종류의 매설형 무조인트 방식을 보여준다.
- 비교적 최근에 국내에 도입되어 한국도로공사의 일부 교량에 적용되기 시작한 일체식교대 교량이 일종의 매설형 무조인트 교량형식으로서 미국에

서는 1950-1970년대부터 적용되어 이미 상당한 수의 적용사례를 보여주고 있다. 미국과 캐나다를 포함한 북미의 교량에 적용된 일체식교대 교량의 수는 2000년을 기준으로 9,800 여건으로 조사 보고되고 있으며, 1950-1970 년대에 이론적 근거보다는 경험적 근거하에 개발되고 일반화 되어 현재는 설계의 표준화가 완료된 상태로서, 연장 120-150m 이하의 중소교량에 대해 채택할 경우 제한조건을 만족하면 우선적으로 채택하고 있다. 콘크리트 교량으로는 총 연장 358m의 프리캐스트 콘크리트 거더교에, 강교량은 총 연장 314m의 교량에 적용된 사례가 보고되고 있다.

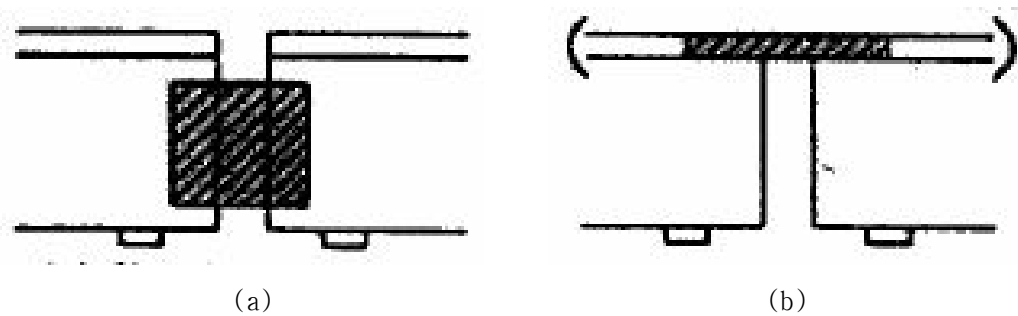


그림 6-17 연결형 무조인트 방식; (a) 휨 모멘트 전달방식, (b) 휨 모멘트 비전달방식

- 강교나 지간길이가 긴 콘크리트 교량과 같이 거더 단부의 변형이 클 경우에는 일반적으로 포장재료에서 변형을 흡수하는 것이 곤란하므로 단순보 형태의 거더와 거더를 특수한 방식으로 연결하여 거더단부에 발생하는 상대변위를 구속함으로써 마치 연속교 형식과 동일하게 거동하도록 하는 연결형 무조인트 방식이 적용된다. 이 방식은 단순거더로서 설계된 부재의 연속화로 인해 연결부 부근에 단면력의 변화가 발생하게 되므로 이미 제작된 부재에 영향을 주지 않으면서 거더를 연결하는 것이 매우 중요하게 되는데 이에 대한 방안으로서 휨모멘트 전달방식과 휨모멘트 비전달방식이 사용되고 있다. 그림 6-19에서 (a)와 같이 연결부에서 휨모멘트를 전달하도록 되어 있는 방식은 PC 강봉 등을 이용해 거더와 거더를 연결하는 방식으로 지간부에 활하중이 재하되면 연속보와 마찬가지로 연결부 부근에 부모멘트가 발생하기 때문에 이에 대한 구조적 검토가 요구된다. (b)와 같은 휨모멘트 비전달 방식은 기 제작된 부재에 관계없이 거더의 윗면에 두께 2.0~2.5cm 정도의 탄성재료를 사용한 수평채움층을 설치하고 그 위

에 철근콘크리트를 타설하여 상판을 연결시킴으로서 온도변화나 지진시의 변위에 대해서는 연속보로 거동하고 활하중에 대해서는 힌지와 같이 거동하도록 한 방식이다. 이러한 연결형 무조인트 방식은 주로 PSC 거더교에 적용되며 이론상으로 적용 가능한 교량의 길이는 30경간에 1,000m이나 교량길이가 증가할수록 수평력의 영향도 커지기 때문에 7경간마다 신축이음을 설치하도록 권고하고 있다.

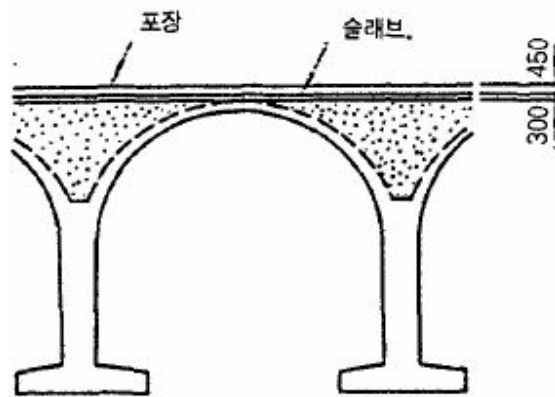


그림 6-18 중복식 아치형 무조인트 방식

- 1980년대 중반 일본에서 개발된 중복식 무조인트 방식은 그림 6-20에 보인 바와 같이 중복식 아치구조의 원리를 이용하여 온도변화에 따라 수평방향의 신축을 연직방향의 신축량으로 변환시킴으로서 신축이음을 사용하지 않는 방식이다. 중복식 아치구조는 본래 구조적으로는 연속고정아치 형식으로서 아치리브의 양측에 측벽을 설치하여 그 속에 흙을 채워 넣어 교량부와 토공부 사이를 완전히 없앤 구조이다. 이러한 구조형식은 다경간 연속고가교의 문제점인 온도변화에 의한 수평력을 연직방향으로 치환할 수 있어 수평력 전반에 대하여 유리한 구조가 되며, 받침이나 신축이음이 전혀 필요 없기 때문에 주행성과 유지관리 측면에서 유리한 구조가 된다.
- 최근에 온도변화에 의한 신축량의 변화를 레일이 직접 흡수하도록 하는 철도레일의 long rail화의 개념을 교량에 적용하여 무조인트에 의한 상부구조의 신축량을 교각과 상부구조가 직접 흡수하도록 하게 하는 새로운 개념의 무조인트화 방식이 시도되고 있으나, 장지간화에 따르는 신축량의 억제로 인해 발생하는 응력의 증가에 대한 처리방법 등을 포함한 여러 해

결되어야 할 기술적 문제로 인해 아직 실용화 되지는 않고 있다.

- 이상에서 살펴 본 바와 같이 미국과 일본을 포함한 국외의 경우에 교량의 내구성과 주행성 향상을 목적으로 신축이음장치를 포함한 무조인트 및 무슈화를 위한 여러 연구가 진행되고 있는 실정을 감안할 때 고속주행을 실현하기 위한 스마트하이웨이의 성격에 적절한 교량형식의 개발에 다각적인 검토와 연구가 수행되어야 할 것이다.

(4) 추진전략

1) 추진체계

교량 사용성 증진을 위한 주행성 저하 방지 기술 연구는 5세부과제 영역의 1세세부과제와 연계성을 갖고 있다. 선행되는 연구로서는 진동, 소음, 처짐, 충격 하에서 교량구성 핵심요소의 거동성질과 프리캐스트 구조형식을 이용한 교량구조의 일체화 기법 그리고 교량의 신축거동 특성 등을 필요로 한다. 추진 연구내용은 처짐, 소음, 진동, 충격에 대한 교량구성요소의 평가기술 및 통합적 제어기술의 개발, 신축이음과 교좌장치를 적용 않는 무조인트/무슈 교량구조의 개발, 개발되는 구조형식의 교량에 대한 내진성능 확보 기술, 유지관리 체계의 정립 등으로 구성된다. 이러한 과제의 연구성격을 고려한 연구 추진전략은 다음과 같다.

- 분야별 전문가를 활용한 선진기술의 습득 및 분석과 적용
- 해외의 각종 유사 시스템 및 적용 사례에 대한 조사
- 국내외 관련 연구센터와 긴밀한 협조체계 구축
- 단계별 기술지원과 시스템 통합을 위한 분야별 자문그룹을 통한 지원
- Test bed 적용을 통한 성능 검증 및 적용성 확대 토대 마련
- 기술 이전 및 보급 확대
- 국내외 전문가의 인적네트워크 구축 및 활용

추진전략에 따른 추진 체계는 다음과 같다.

- 교량 전문가를 활용한 선진 기술 습득 및 분석과 활용
- 단계별 연구 성과 평가 및 의견 수렴을 위한 과제 발표회 개최
- 기업, 연구소, 대학, 기타 관련 연구센터와의 긴밀한 협조 구축
- 교량 거동해석 및 설계/시공에 관련한 기업, 연구소, 대학과의 공동 연구 구축

2) 테스트베드 전략

연차별로 개발되는 다음과 같은 기술들을 테스트베드에 적용하는 것으로 한다.

- 구조물 사용 성능평가 기술
- 처짐, 진동, 소음, 피로 제어 핵심기술
- 처짐, 진동, 소음, 피로의 해석 및 설계기술
- 신축이음 장치의 장수명화 기술
- 교좌장치의 장수명화 기술
- 무조인트/무슈 중·장지간 교량구조 기술
- 지침서/시방서/설계기법

3) 해외 공동연구 및 전문가 활용방안

스마트하이웨이 주행환경에 적합한 교량구조형식 연구 과제의 해외 공동연구 및 전문가 활용방안은 다음의 표와 같다.

표 6-12 1세세부과제의 해외 공동연구 및 전문가 활용방안

연차	내 용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> · 주행에 따른 구조물 상태 평가 기법 및 개선 방안에 대한 심포지엄 · 국내외 슈퍼고속도로상 구조물 운영실태 분석 및 개선방안 도출 자문회의 및 워크숍 · 교량 상/하부구조 일체화 설계 및 시공 기술에 대한 심포지엄
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> · 구조물 핵심 기술 가이드 라인 및 개발 기술 평가 자문회의 및 전문가 워크숍 · 스마트하이웨이 주행환경 하에서 교량의 내진/내구성 증진방안 세미나 · 주행환경 개선을 위한 교량의 사용성 증진방안에 관한 세미나
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> · 스마트하이웨이 주행환경에 적용되는 교량의 해석/설계/시공 기술에 관한 심포지엄
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> · 개발기술의 실험체실험에 관한 자문
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> · 실용화 및 상용화를 위한 관계기관 자문
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> · Pilot Test 및 실용화를 위한 관계기관 자문

6.4 활용방안 및 기대성과

6.4.1 성과물 활용방안

- 교량의 장수명화와 무조인트/무슈 형식의 교량개발로 사용성 저해요인을 방지하고 유지관리 최소화를 통한 비용 및 교통 통제 최소화할 수 있도록 함
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특히, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치 창출로 연계하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

6.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

6.4.3 기대효과

(1) 경제적 기대효과

- 교량 사용성 증진으로 인한 주행자의 주행성 향상
- 교량의 내구성 향상으로 인한 유지관리비의 절감
- 신축이음장치의 장수명화 기술
- 교좌장치의 장수명화 기술
- 무조인트/무슈 교량구조의 해석/설계/시공 기술확보로 인한 경제성
- 고효율·고품질교량의 건설기술로 확보로 인한 고부가가치 창출
- 교량의 성능향상으로 인한 건설비용의 절감

(2) 기술적 기대효과

- 진동, 소음, 처짐, 피로에 대한 제어 기술
- 무조인트/무슈 교량구조 기술
- 교량의 내구성 향상 기술
- 교량의 사용성 향상 기술

6.5.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용 가능한 범용 기술개발을 지속적으로 추진해야 함

7.1 개요

7.1.1 과제정의

미래 첨단기술이 접목된 세계 최고 수준의 지능형 도로 건설에 인터넷 통신 기반의 통합유지관리 시스템의 개발과 재해 재난의 사전 예측을 통한 예방적 유지관리를 구현한다.

7.1.2 과제목표

스마트하이웨이 통합유지관리 시스템을 개발하여 기획, 설계, 시공, 운영 및 유지관리의 총 생애주기에 있어서 Information Value의 극대화를 확보하고, 재해재난의 사전 예측을 통한 예방적 관리기술을 개발하여 더 빠르고, 더 안전하고, 더 쾌적한 미래지향형 도로를 건설한다.

○ 스마트하이웨이 통합 유지관리 시스템 개발

- * 현재 분리 운영되고 있는 시설물별 유지관리시스템(BMS, TMS, SMS, PMS 등) 통합운영 할 수 있는 기술 도출

7.1.3 사업단 목표와의 연계성

(1) 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템 개발

스마트하이웨이 통합유지관리는 고속화의 실현에 부응하는 안전성, 쾌적성 및 친환경성의 확보를 위하여, 건설된 도로의 기능을 보전하고 이용차량과 주행자의 편의와 안전을 도모하고자 기존 시설물의 현재상태를 평가하고 점검계획에 따른 점검결과에 따라 일상정비 등을 통하여 시설물의 손상을 예방하고, 손상된 시설물은 원상복구하여 당초 건설된 상태 수준을 경제적으로 유지함에 그 목적을 둔다.

스마트하이웨이를 구성하는 교량(BMS), 터널(TMS), 사면(SMS) 및 포장체(PMS) 등의 시설물을 대상으로 개별적으로 제각기 수행되어 온 시설물별 유지관리 시스템은 스마트하이웨이의 경우, 각 시설물을 대상으로 계획, 설계 및 시공 중 뿐만 아니라 준공 후에 이르기까지 스마트하이웨이 관리주체 차원에서 통합적으로 운영 및 분석이 가능하도록 시스템을 구축하여야 한다. 기존의 유지관리 시스템에서 보편적으로 사용되고 있는 계측분야의 local monitoring 기술의 통합은 물론, 그 개선사항 뿐만 아니라, 향후 일정시점에서 기술적 성취가 가능하다고 예측되는 global monitoring 기술 및 시설물의 상태평가와 유지관리 시스템의 개발을 포함하여야 하며, 시설물 점검 분야에 있어서 점검지역활의 효율성을 극대화하고 점검결과의 시설물별 이력관리 등에 있어서도 기계적, 통신적 측면에서의 자동화에 주안점을 두고 스마트하이웨이 인벤토리 개념에 근간한 통합유지관리 시스템을 개발토록 하여 스마트하이웨이의 총 생애주기에 있어서 유지관리에 소요되는 예산의 최소화 방안 마련 및 효율적 집행체계를 확보하여야 한다.

7.2 SWOT 분석 및 전략

7.2.1 SWOT 분석

(1) 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템 개발

표 7-1 1-6-1 세세부 SWOT 분석

강점[Strengths]	약점[Weakness]
<ul style="list-style-type: none"> · 관리주체별, 시설물별로 독립적으로 운영되어 온 유지관리 종합정보를 스마트하이웨이를 중심으로 일관성있게 공유하여 활용 · 위험 및 이상 징후의 사전 감지 및 상황발생시 체계적인 대응조치로 대국민 서비스 향상에 기여 · IT분야 기술을 활용한 업무의 효율화 실현 · 구조물의 일부 부재 뿐만 아니라 구조물전체의 변위 판별이 용이함 · 변위 계측결과로부터 역해석에 의한 응력평가로 상태평가 가능 · GPS 또는 Photogramatry 등 변위 계측분야의 다양한 기술의 등장 	<ul style="list-style-type: none"> · 신기술 도입에 의한 기존 인력 재교육 및 적응 기간 소요 · 도입 첨단기술의 대체를 통한 비용의 증대 · 신규시스템 도입이 가능한 시설과 기존 시설간의 이중 관리체제 발생 가능 · 연구참여 기관들간의 의사소통 문제 · GPS 및 기타 사진 촬영에 의한 변위 계측방법의 원천기술이 국내에 존재 하지 않음 · 운영하중 및 기타 하중에 대한 정보 입수가 곤란함 · 기존의 계측시스템은 환경적 변화에 민감하게 반응함
기회요인[Opportunities]	위협요인[Threats]
<ul style="list-style-type: none"> · 도로유지관리 투명화 및 각종 비용 절감 효과를 기대 · 도로시설 정보의 첨단 유지관리 방법 개선에 의한 교통사고율 감소 · 첨단 유지관리 시스템의 경고상황에 대한 자료공유로 전국적 ITS 서비스 연계 효과 증대 · 신흥개발국가에 대한 기술이전 가능 · 변위 계측 방법의 다양화 및 신뢰도 상승에 힘입어 시장성 확보 가능 · 계측시스템 구축 및 운영의 경험이 풍부하며 현재 진행중인 연구과제와의 협업가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 신통합관리시스템의 오류시 첨단기술에 대한 불신 초래 · 신규 시스템에 의한 인력 감소로 인한 갈등 심화 · 신기술 개발에 대한 리스크 존재 · 유지관리 자동화 시스템의 안정화에 장시간 소요시 비용 증대 · 변위 계측기기의 신뢰도에 따라 오차 요인 발생 · 변위계측 개소의 증가에 따른 비용 증대 · 교량의 건전도를 합리적으로 평가할 수 있는 실용적 시스템의 부족

7.2.2 SWOT 전략

(1) 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템 개발

○ SO 전략

기회요인을 효과적으로 활용하기 위해 내부의 장점을 사용하여 전략적으로 개발해야 할 기술들은 시설물의 형태별, 부재별, 주기별 Management Instruction, 시설물별 관리 전산화 시스템 구축, 시설물 자동계측 시스템 및 모니터링 소프트웨어와 관련 시스템의 통합 기술, 그리고 구조물의 전체변위를 모사하는 알고리즘 구축, 구조물의 거동 및 응력상태 평가시스템 및 GPS를 이용한 장대교량의 3차원 거동측정 기술 등으로 분류되었다.

○ ST 전략

스마트하이웨이 통합유지관리 시스템의 강점을 활용하여 위협요인을 줄이기 위해 개발해야 할 기술들은 시설물 DB 모델링, 시그널 DB 모델링 및 초기치 획득을 위한 실험계획, 그리고 시설물별 정적, 동적 특성에 최적화 된 소프트웨어 개발, RTK 또는 Post-processing 방법을 이용한 고정밀 측위용 소프트웨어 개발, 기존 센서 및 트랜스듀서들의 운영환경하에서의 대체기술개발 등으로 분류되었다.

○ WO 전략

내부의 약점을 극복하고 기회요인을 활용하기 위해 전략적으로 개발해야 할 기술들은 시험운영 및 사용자 교육 계획, DB 보완 및 확장, 그리고 구조물의 상태평가를 위한 최적 계측위치 선정, 변위 계측에 의한 구조물의 응력평가 알고리즘 개발 등으로 분류되었다.

○ WT 전략

내부의 약점을 최소화하고, 위협요인을 회피하기 위해 전략적으로 개발해야 할 기술은 시설물 구성 부재의 중요도 분석, 시설물별 Inventory 체계 구축 및 통합, 보수 보강 방법별 예산할당 계획, 시설물별 상태평가 기준과 등급설정, 그리고 계측항목별 구조물 특성에 맞는 변위계측기기의 선정, 대상 기기의 현

장 모의실험 계획 등으로 분류되었다.

<p>SO 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시설물 유형별 Management Instruction • 시설물별 관리 전산화 시스템 구축 • 시설물 자동계측 시스템 및 모니터링 소프트웨어 • 관련 시스템 통합 기술 • 구조물 전체변위모서 알고리즘 구축 • 구조물 거동 및 용력상태평가시스템 개발 • GPS를 이용한 3차원 거동 측정기술 개발 	<p>ST 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시설물 DB 모델링 • 시그널 DB 모델링 및 초기치 획득을 위한 실험계획 • 시설물별 정·동적 특성 최적화 소프트웨어 개발 • 고정밀 측위용 소프트웨어 개발 • 기공센서류 대체기술 개발
<p>WO 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시험운영 및 사용자 교육 계획 • DB 보완 및 확장 • 구조물 상태 평가를 위한 최적 계측위치 선정기술 • 변위계측에 의한 구조물 용력평가 알고리즘 개발 	<p>WO 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시설물 구성 부재의 중요도 분석 • 시설물별 Inventory 체계 구축 및 통합 • 보수, 보강 방법별 예산할당 계획 • 시설물별 상태평가 기준과 등급 설정 • 구조물 특성을 고려한 변위계측기기의 선정 • 대상기기의 현장 모의 실험

7.3 세세부과제

7.3.1 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템 개발

(1) 목표

Monitoring System과 Management System의 두 분야로 대별하여 시설물별로 독립적으로 구축 운영되는 유지관리시스템(BMS, TMS, SMS, PMS 등)을 통합하며, 변위계측을 이용한 구조물 상태평가 시스템을 구축한다.

(2) 세부과제와의 연계성

세계최고 수준의 스마트하이웨이의 시설물 건전성 평가를 위한 과학적 방법의 도입과 점검 및 유지관리 분야의 IT 기술의 접목으로 차세대 기술의 선도적 역할을 수행한다.

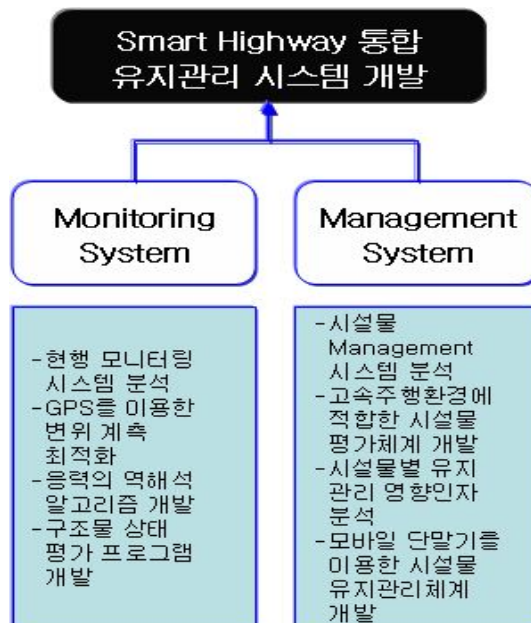


그림 7-1 세부과제와의 연계성

(3) 국내의 기술 및 연구동향

시설물을 대상으로 하는 통합유지관리 시스템이라 함은 시설물의 상태평가를 위한 계측관리시스템(Structural Monitoring System)과 유지관리 소요 자원의 효율적 배분과 집행을 위한 유지관리 시스템(Road Management System)의 두 분야에서의 통합으로 대별할 수 있다.

계측관리 시스템이 체계적으로 건설 시장에 도입이 된 시점은 서울시 제2기 지하철 건설공사가 한창이던 1980년대 후반기로서, 도심지 굴착공사의 안전 확보 차원에서 최초로 도입이 되어 굴착에 따른 지반의 거동이 야기하는 외력에 대한 가설 구조물 등의 응답을 정량적인 물리량으로 환산하여 붕괴 가능성의 사전 감지 등, 안전성의 판단에 이용하기 시작하였다. 그 이후 1994년의 성수대교 붕괴 등 일련의 대형 사고를 거치면서 본 시설물 자체의 상태평가를 위한 계측관리 시스템의 중요성이 대두되어 1995년에 “시설물 안전관리에 관한 특별법”의 제정과 더불어 특수 교량이나 1종 시설물 등을 대상으로 하는 계측관리의 도입을 위한 발판이 마련되어 1996년의 돌산대교, 진도대교 및 남해대교의 계측관리 시스템 구축을 효시로 첨부의 “교량형식별 계측관리 시스템 설치 비교” 표에서와 같이 2000년대의 서해대교 및 영종대교 등에 이르기까지 전자 및 정보통신 분야의 발달에 힘입어 괄목할 만한 발전을 이루어 왔다.

이러한 계측관리 시스템은 최근까지 관리주체별로 또 교량, 터널, 지반, 포장 등 시설물별로 독립적으로 계획 시행되어 오던 중에 2006년도부터 한국시설안전기술공단의 주관하에 “국가 주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발 연구”가 시작되어 진행 중에 있다. 이 연구의 범위에는 교량, 터널 및 사면을 대상으로 하여 계측관리를 포함한 네트워크의 구축 및 운영에 관한 연구를 진행 중에 있다. 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템에서는 한국시설안전기술공단 주관하의 연구 범위인 교량, 터널 과 사면 분야에 있어서의 협업 및 연구결과의 공유뿐만 아니라 포장 및 기타의 시설물을 대상으로 하는 계측관리 시스템의 통합을 위하여 계측관리 및 통신 분야의 표준화를 정립하도록 한다. 즉, 스마트하이웨이의 건설에 있어서는 준공 후 관리주체 차원에서 지금까지의 시설물별 독립적 계측관리 시스템의 전송 시그널이나 소프트웨어 및 하드웨어적 속성들을 분석한 결과를 토대로 스마트하이웨이 인벤토리의 분류와 인벤토리별 DB를 활용한 차세대 통합유지관리 시스템을 구축하여야 한다.

유지관리 시스템 (Road Management System)은 한국도로공사와 한국건설기술연구원이 공동으로 1987년부터 3년에 걸쳐 처음으로 교량을 대상으로 하는 유지관리시스템으로 개발을 시작하였으나, 여러 가지 이유로 활성화 되지는 못하였고, 이후 1990년부터 5년에 걸쳐 한국건설기술연구원이 건설교통부의 지원하에 KOBMS라는 시스템을 완료하여 시험 운용 중에 있으며, 현재 성능개선 작업이 이루어지고 있다. 또한 한국도로공사에서는 2000년도에 서해대교 유지관리 기본체계 구축 용역을 통하여 독자적인 Bridge Management System을 최초로 구축하여 계측관리 시스템과 함께 서해대교 유지관리 사무소에서 사용 중에 있으나 2000년 이후 컴퓨터, 전자 및 통신분야의 발달을 감안할 때 유지관리 시스템 연구 및 개발에서는 도로분야의 전문성을 살려 교량이나 터널 등의 시설물 과 포장, 사면 및 배수시설 등 다양한 시설물의 일상적 유지관리와 재난관리를 한곳에서 통합하여 운영할 수 있는 시스템을 구축하여 다양한 유지관리 업무의 효율화를 추구할 필요가 있다. 이는 스마트하이웨이가 처음 시도되는 도로의 등급으로서 별도의 유지관리 체계를 채택할 수 있는 충분한 사유가 있기 때문에 기존의 분리된 유지관리 체계를 통합 개선하여 보다 새로운 통합 시스템(Road Management System)을 구축하도록 연구를 수행할 필요가 있다.

이러한 Road Management System 개발의 범위 안에는 교량을 대상으로 개발된 BMS와 포장을 대상으로 하는 PMS(Pavement Management System) 뿐만 아니라 그 이외의 사면, 터널 등 스마트하이웨이를 구성하는 전 시설물을 대상으로, 위치정보를 내재한 Full 3D model을 기반으로 유지관리 이력의 추적 및 검색이 용이하도록 DB 시스템을 구축하여 스마트하이웨이의 총 생애주기에 있어서 유지관리에 소요되는 예산의 최소화 방안 마련 및 효율적 집행 체계를 확보하는 것을 포함하도록 하며 그 표준 규범으로서 스마트하이웨이 Management Instruction을 개발 구축한다.

최근 우리나라의 도로관련 예산은 건설에서 유지관리로 축이 옮겨가고 있는 실정이다. 신규 도로 건설에 투입되는 예산은 2001년을 정점으로 해서 점차 감소하고 있다. 이는 7x9라는 국가의 기간교통망에서 중요 노선의 건설이 점차 마무리되어 가고 있는 추세와 복지예산이 참여정부 들어서 가파르게 증가하고 있는 추이와 상당한 관련이 있다. 반면, 기존 도로망의 유지관리에 소요되는 예산은 도로의 연장과 국내 차량 등록대수의 증가와 맞물려 가파르게 늘어나고 이는 추세이다.

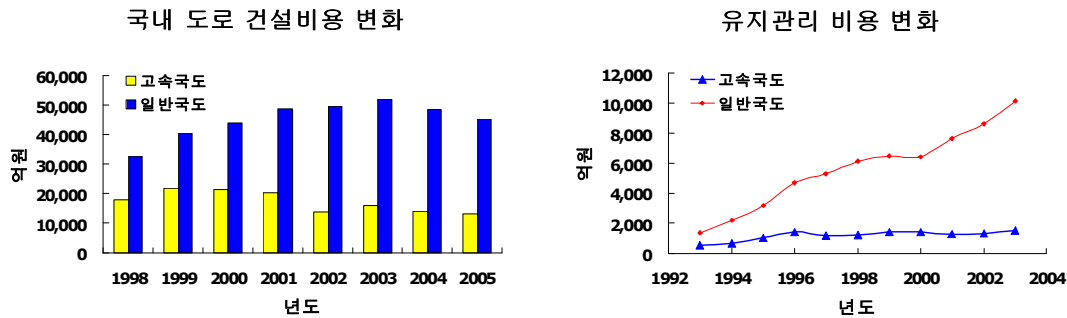


그림 7-2 국내 신규 도로건설 예산과 유지관리 예산의 증감

현재 국내의 도로 유지관리 체계는 포장 및 구조물을 대상으로 적용하는 일상적 유지관리와 홍수, 태풍 등 재난에 대비하여 절토사면과 구조물에 적용되는 재난관리가 서로 분리되어 운영되고 있는 실정이다. 또한, 일상적 유지관리의 경우에는 보수이력의 기록과 보수 공법 및 시기 등 다양한 보수 자료가 각기 다른 도로 관리주체 별로 또한 대상 시설물별로 별도의 데이터베이스에 기록되고 있으며, 다양한 유지관리 데이터베이스는 통합이 아직 이루어지지 않은 상황이다. 이는 도로 관리주체 마다 별도의 시스템을 대상 시설물별로 각기 다른 시기에 구축하여 운영하고 있기 때문이다. 또한 각 관리 대상 시설물 별로 관리 방법이 표준화되지 않은 것도 이유이다. 도로포장의 경우에는 도로 시점부터 거리를 나타내는 이정을 기준으로 관리하지만, 교량과 터널 같은 구조물은 명칭과 노선을 기준으로 관리하고 각 구조물 내에서는 별도의 연장 개념을 통하여 관리한다. 교통표지판은 일련번호를 사용하여 노선별로 관리하고 있고 교통안전표지는 대부분의 도로 관리주체에서 별도로 관리하지 않는 경우가 많다. 그러므로 통합된 관리기준을 제시하여 유지관리 데이터베이스를 통합하면 다양한 도로 시설물의 유지보수시기의 조정이 가능하고, 인접 시설물에 대한 보수를 통합하여 운영한다면 예산의 절감이 가능하다.

본 스마트하이웨이 연구에서 필요로 하는 통합유지관리 시스템에서는 도로분야의 전문성을 살려 교량이나 터널 등의 구조물, 포장, 절토사면, 배수시설 등 다양한 시설물의 일상적 유지관리와 재난관리를 한곳에서 통합하여 운영할 수 있는 시스템을 구축하여 다양한 유지관리 업무의 효율화를 추구할 필요가 있다.

건설교통부에서 매년 발간하는 도로유지보수비대장을 참고하면 그림-3에서와 같이 유지관리에 소요되는 예산의 절반가량이 포장 부분의 유지보수에 투입되

고 있는 실정이다. 이와 같은 상황을 극복하고 유지보수 예산을 효율적으로 집행하고자 건설교통부와 한국도로공사는 1990년대부터 국도와 고속도로에 포장 유지관리시스템(PMS: Pavement Management System)을 구축하여 운영하고 있다. 이외에도 공항공사, 인천공항공사, 공군, 서울시, 경기도 등 다양한 기관에서 PMS를 구축하여 업무 효율화를 이루고 있는 실정이다.

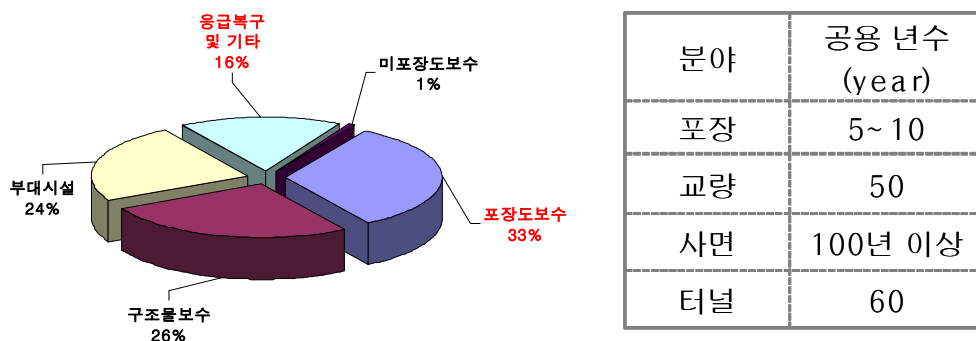


그림 7-3 건설교통부 유지관리 예산의 집행비율

건설교통부의 경우에는 한국건설기술연구원에 포장 상태조사 및 포장유지관리시스템의 운영을 위탁하여 관리하고 있고, 지속적인 기술개발을 통하여 보수 예산의 규모와 보수 우선순위 판정에 PMS의 성과를 반영하고 있다. 한국도로공사는 포장상태 조사 및 분석부문을 제외하고는 자체적으로 PMS를 운영 중에 있으며, 역시 보수 예산과 우선순위 판단에 성과를 적용하고 있다. 포장상태 조사 및 분석은 2003년 분사(Spin-off)한 로드코리아에 위탁하고 있다. 공항공사와 공군은 자체 보유 인력과 장비를 사용하여 PMS를 운영하고 있다.

PMS는 자동화된 조사장비에 의하여 획득된 포장의 상태 정보를 평탄성, 균열, 소성변형 등에 관련한 다양한 지표를 이용하여 정량화하고 이를 포장평가지수(Pavement Serviceability Index)에 반영하여 포장의 현재 상태를 정량화하고 주기적인 조사 정보를 축적함으로써 포장의 파손 상태와 잔존수명을 예측하고 있다. 이와 같은 PMS 기술은 포장 조사장비 개발, 포장 평가지수 개발, 경제성 분석논리 개발, 포장 보수 우선순위 판단 논리 개발 등 다양한 연구 분야를 포함하고 있으며 현재도 지속적으로 기술의 개발이 이루어지고 있는 실정이다. 이와 같은 기술개발의 성과는 합리적인 유지보수 예산 집행과 보수시기 결정으로 국가 예산의 절감에 기여하고 있다.

스마트하이웨이 통합유지관리 시스템은 앞서 언급한 바와 같이 계측관리 시스템(Structural Monitoring System)과 유지관리 시스템(Road Management

System)으로 대별할 수 있다.이 가운데 계측관리 시스템 분야에서는 국내의 기술수준도 선진국과의 격차가 별로 없다고 할 만큼 많은 발전을 이루어 왔다. 그러나 유지관리 시스템 분야에서는 체계적인 연구가 아직 국내에서는 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

미국이나 유럽에서는 유지관리 시스템의 주된 관리대상이 교량이었던 까닭에 BMS (Bridge Management System) 분야로 노력이 많이 집중되어 개발이 이루어져 왔다. 그러나 스마트하이웨이에서는 교량뿐만 아니라 스마트하이웨이를 구성하는 모든 시설물(SMART Highway Inventory)을 대상으로 체계적인 연구를 통하여 진일보한 Road Management System을 구축하도록 해야 할 것이다.

2001년도에 유럽의 16개국과 미국, 일본의 현행 BMS에 대한 조사 자료에 의하면 유럽 16개국 가운데 12개국에서 컴퓨터를 이용한 BMS를 운영하고 있었고 나머지 4개국은 개발 중에 있었으며, 그 운영기간은 짧게는 2년에서 길게는 22년에 걸쳐 사용되어온 것으로 보고되어 있다. 당시는 어느 나라도 BMS를 직접 Road Management System에 연결하여 운영할 계획을 갖고 있지 않았으며, 1개 대상 교량에 대하여 BMS를 구축하는 수준으로서 단지 노르웨이에서만 전국 도로망의 번호와 위치 등에 자동 연결되는 정도의 시스템을 구축하고 있었다.

BMS를 운영하는 대부분의 국가들은 상용 DB 소프트웨어를 사용하고 있는데 가장 많이 사용되는 것은 미국, 캐나다, 프랑스, 노르웨이 및 핀란드에서 사용하고 있는 ORACLE 이었고, 영국과 스웨덴 등지에서는 상용 DB 소프트웨어를 사용하지 않고 있는 것으로 조사되었다.

- SQL : 미국(FHWA), 독일
- ORACLE : 프랑스, 노르웨이, 핀란드, 미국, 캐나다
- ACCESS : 프랑스, 미국
- DELPHI : 크로아티아, 덴마크
- POWER BUILDER : 벨기에

미국의 PONTIS는 BMS 엔진으로 Sybase SQL Anywhere를 사용하고 있고, driver는 ORACLE과 MS-Access용으로 제공되며 DB는 ODBC환경으로

MS-Windows (3.1 and 95/NT)에서 구동된다.

독일에서는 상용 SQL DB 소프트웨어를 이용하여 구조물별 점검 및 유지관리 결과와 비용 등에 관한 이력을 관리하고 있다.

프랑스는 전국적 교량의 상태평가를 위하여 ORACLE을 활용하고 있으며, 교량보수의 우선순위 결정을 위해서는 Access를 이용하고 있다.

다음의 표 7-5과 표 7-6은 세계 각 국의 BMS 개발 사례를 조사하여 기능별로 분석 정리한 것이다.

표 7-2 국외의 BMS 개발현황

BMS의 주 기능	독일	덴마크	스페인	프랑스	영국	노르웨이	핀란드
이름	SIB-Bauwerke	Danbro		Edouard and OA	NATS	Brutus	
운용년수 (년)	New	20			15	2	3
관리대상교량 (개)	34,600	1,400	15,000	22,000	9,500	17,000	15,000
교량 부재의 재고관리	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
점검 스케줄링	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
구조물의 상태등급 평가 적용	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
유지보수작업 입찰관리	No	Yes		Yes	Yes	Yes	?
유지보수 작업의 우선순위 선정	No	Yes		Yes	Yes	Yes	?
장기적 유지관리 예산 추정	No	Yes		No	Yes	Yes	Yes
유지관리 상세비용 기록	Yes	Yes		Yes			
구조물 안전성 평가	No			No	Yes		
유지보수 전략 수립	No			No	Yes		
총 생애주기 비용	No			No	Yes		
주행자 지체분석	No			No	Yes		
열화 예측	No	No	No	No	No	No	Yes

표 7-3 국외의 BMS 개발현황(계속)

BMS의 주 기능	슬로베니아	캐나다	뉴욕주	벨기에 (Wallonie)	크로아티아	아일랜드	포르투갈	스웨덴
이름				BDOA		Project...		SAFE BRO
운영년수 (년)	5		4	22	2		3	12
관리대상교량 (개)	1,760	25,000	10,000	5,000	1,200	>1,800	1,400	15,000
교량 부재의 재고관리	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
점검 스케줄링		Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
구조물의 상태등급 평가 적용	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
유지보수작업 입찰관리		Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
유지보수 작업의 우선순위 선정	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
장기적 유지관리 예산 추정			Yes	No	No		No	Yes
유지관리 상세비용 기록			Yes	No	No		No	Yes
구조물 안전성 평가			Yes					Yes
유지보수 전략 수립			Yes	No	No		No	Yes
총 생애주기 비용			Yes	No	No		No	No
주행자 지체분석				No	No		No	Yes
열화 예측	No	Yes	Yes	Yes	No		No	Yes

이처럼 대부분의 국가에서 DB를 이용하여 개별적 시설물의 관리와 재고의 관리를 행하고 있다. 스페인과 포르투갈에서는 주로 시설물의 재고관리 차원에서 DB를 활용하고 있고, 프랑스에서는 시설물의 재고관리뿐만 아니라 시설물 자체의 관리와 병행하여 DB를 활용하고 있다.

일반적으로 시설물의 점검은 3-4단계(일상, 일반, 상세, 특수)로 구성되어지며, 일반 및 상세 점검의 결과들은 DB에 저장되어진다. 노르웨이와 스웨덴에서는 이와 함께 측량 및 조사의 결과들도 저장되어지고 있다. 영국과 스페인, 크로아티아를 제외하면 교량의 상태 또한 DB에 저장되어 있는데 시설물을 구성하는 개별요소와 전체 교량의 상태에 관한 이력들이 저장된다. 독일의 경우에는 전체 교량의 상태에 관한 이력만이 관리대상이 되고 있다. 이러한 상태평가는 3-5개의 등급 기준을 마련하여 평가하고 있다.

스웨덴에서는 다음의 세 가지 조건에 준한 상태평가 이력이 관리되고 있다.

- 물리적 조건

선행 또는 신규 손상이나, 열화 또는 오염 과정의 진전여부에 관한 측정과 평가

- 기능상 조건

4 등급으로 분류하여 서술하는데, 점검시점에서의 결함과 각 3년 이내와 10년 이내의 결함 및 10년 이후의 결함으로 분류

- 경제적 조건

보수작업의 양과 비용 측면에서 평가

독일, 프랑스, 영국, 노르웨이, 벨기에 등에서는 시설물의 최저공용한계와 같은 기준에 따른 최적유지관리 전략을 마련하기 위한 BMS 모듈은 갖고 있지 않은 상태이다. 그러나 덴마크와 스페인, 핀란드, 스웨덴과 미국의 뉴욕과 캘리포니아의 교통국에서는 이러한 목적의 BMS 모듈을 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

최적유지관리 전략의 마련에 있어서의 구속조건으로 영국에서는 비용 이외에 정책을 들 수 있고, 캘리포니아 도로국의 경우에는 “붕괴방지 최소장기비용”을, 스웨덴의 경우에는 “내하력의 손상”과 “사회간접가치의 손상”을 기준으로 해서

보수우선 순위 결정에 있어서 시설물의 기능적, 경제적 상태를 평가하고 있다.

프랑스와 독일, 영국, 노르웨이 및 벨기에 등의 대부분 유럽 국가에서는 시설물 재고관리의 우선순위 결정에 있어서 BMS를 활용하지 않고 있으나, 스페인, 덴마크, 스웨덴 및 미국의 뉴욕과 캘리포니아 도로국에서는 이러한 목적으로 BMS를 활용하고 있다. 각 국은 시설물 보수의 우선순위의 결정에 있어서 각각의 기준을 마련 적용하고 있다. 대부분의 국가에서 시설물 보수의 우선순위 결정에 대한 책임은 국가 차원에 두고 있지만, 노르웨이와 핀란드 그리고 스웨덴에서처럼 지역 관리주체에 그 책임이 있기도 하다.

미국에서의 BMS는 미국내 사회기간시설물의 열화에 대응하려는 노력의 차원에서 교량의 설계, 진단, 보수 및 보강은 점점 더 중요한 화두가 되어가고 있다. 미 연방도로국의 조사 결과에 의하면 전국의 57만여개의 교량의 1/3정도가 결함이 있거나 보강 또는 대체의 필요가 있는 것으로 분류되고 있으며, 현재의 상황에 이르게 된 주원인은 노후화, 부적절한 유지관리 및 증가하는 교통하중 및 환경적 오염피해로 파악되고 있다. 미국내의 교량의 유지관리는 교량을 소유하고 있는 기관에서 수행하고 있는데 이는 주 도로국, 지역 기관 및 대도시 관리주체 등이 그것이다. 이들에게 있어서 특정한 BMS의 사용과 같은 요구조건은 없지만 현재 사용되고 있는 것에는 다음의 세 가지 정도가 있다.

- PONTIS : 미국내 39개 주에서 사용되고 있는 대표적 BMS
- BRIDGIT : 프로젝트 단위의 BMS로 워싱턴주와 루이지애나에서 사용됨
- State Specific Systems : 5개 주 정도에서 자체적 BMS를 구축 사용함.

BRIDGIT은 교량의 기능적 결함을 포함한 상태평가를 위한 데이터모델을 활용하여 대상 도로망 전체를 고려한 유지관리 최적비용의 집행의사 결정과 프로젝트별 적용범위의 추천 및 유지관리와 보수작업의 우선순위 선정에 사용되고 있다. 시스템 내에는 시설물 인벤토리에 관련한 필드와 요소모델 등이 포함되어 있고, 개별 요소에 대한 점검은 인벤토리의 상태등급 점검기준을 대체하기 위하여 시행되고 있는데, 점검 데이터는 매 2년 마다 갱신되고 있으며, 붕괴유발 부재 점검이나, 수중 점검 및 기타의 특별 점검은 취약 시설물을 대상으로 현장 조건에 따라서 6개월에서 48개월의 범위에서 주기적으로 수행되고 있다.

육안 점검은 3-5 단계의 등급분류체계로 관리되며, 시간에 따른 모든 점검정

보가 시스템내에 저장되고 있다. BRIDGIT은 교량별로 또 개별 요소별로 수행된 유지관리 작업의 일시, 형태 및 비용 등을 기록하고, 유지관리 작업의 수행 이전과 이후의 교량의 상태를 기록하게 되어 있으며 점검 비용을 제외한 유지관리 및 보수작업의 직, 간접비용을 저장토록 되어 있다. 여기에는 교통두절로 인한 비용과 사고 또는 우회도로 이용에 따른 운행시간 및 운행거리의 증가로 인한 비용도 교량별로 추산이 되도록 되어 있다.

유지관리 작업의 계획 및 우선순위의 결정에 있어서는 단계별 비용-이익분석을 통하여 한정된 예산 내에서 최적의 집행 전략을 개발할 수 있도록 진행된다.

PONTIS는 BRIDGIT의 기능 이외에 다음의 추가적 기능을 갖고 있다. 전반적인 시설물의 상태에 대한 평가에 있어서, 성능도 측정에 의한 건전도 지수(Health Index)를 이용하여 예산의 범위를 고려한 시설물 구성 인벤토리의 미래 건전도를 예측하여 유지관리의 효율을 높이도록 구성되어 있다.

유지관리 작업의 우선순위 결정 절차는 개별요소의 붕괴를 방지하기 위한 최소비용의 집행에 그 초점이 맞추어져 있으며, 최소 비용이나 임계 건전도 지수를 효과적으로 수용할 수 있는 모델이 내제되어 있다.

일반적으로 PONTIS는 점검, 공용성 분석 및 설계에 관련한 교량 유지관리 담당자나 중장기적 계획의 입안에 관련한 담당자 및 예산이나 미래 예측에 관련한 상위 의사결정자들이 주로 사용하고 있는 실정이다.

이상에서와 같이 교량을 그 출발점으로 하는 Road Management System에 대한 유럽 각국과 미국에서의 접근 방법을 살펴보았다. 대부분의 국가에서 컴퓨터를 이용한 BMS를 이용하고 있었고, 점검결과에 근거한 교량의 상태 및 유지관리 작업과 비용에 대한 정보를 기록 관리하고 있었다. 유지관리에 관련한 간접비용까지를 고려한 유지관리 예측모델에 대한 개발 노력은 아직 초기 단계에 머물고 있으며, 우선순위의 결정뿐만 아니라 유지관리와 보수에 관련한 의사결정은 본질적으로 공학적 판단에 따른 문제로서 현재 발생된 손상의 평가와 관련된 부분이외에도 향후 손상의 예측에 관련하여서도 인덱스 시스템의 개발등 그 객관화와 정량화에 많은 노력이 필요한 실정이라 할 수 있다.

가장 진보적인 BMS 소프트웨어는 미국내 거의 40개 주에서 사용되고 있는 PONTIS라 할 수 있겠는데 그 모든 기능들이 실제로 현장에서 실효성 있게 사

용되고 있는지는 알기 어렵다고 보여진다. 하지만 미국의 유지관리 기술자들은 컴퓨터화된 도구에 의존하는 성향이, 사람의 판단에 의존하는 유럽의 기술자들보다 더 크다고 보여지는데 덴마크와 스웨덴은 예외적으로 컴퓨터를 이용한 BMS의 개발이 두드러져 보인다.

해외에서는 도로에 대한 다양한 유지관리 분야를 통합하고 전산화하는 흐름은 이미 오래전에 시작되었다. 미국의 경우에는 넓은 국토와 광범위한 도로망을 효과적으로 관리하기 위하여 PMS를 시작으로 교량유지관리시스템(BMS: Bridge Management System), 재난관리시스템, 교통관리시스템(TMS: Traffic Management System) 등을 다양하게 추구하고 있다.

이와 같은 흐름은 현재 모든 도로 시설물의 유지관리를 자산관리(Asset Management)라는 개념으로 통합하여 미국의 연방도로청(FHWA: Federal Highway Administration) 주관 하에 운영하고 있다. 연방도로청에서는 1998년에 자산관리부(Department of Asset Management)를 설치하고 도로망을 국가의 주요 자산(Asset)으로 설정한 뒤 자산의 가치를 극대화하고 도로사용자의 편의를 증진하는 방향으로 자산관리시스템을 운영하였다.

교통관리시스템은 각 주정부의 교통국(DOT: Department of Transportation)이 주관이 되어 운영하고 있다. 미국은 이미 인터넷과 교통방송 등을 통하여 실시간으로 교통소통 및 기상관련 교통정보, 교통통제 정보 등을 다양하게 지원하고 있다. 다음 그림 7-5는 미국 오하이오주 교통국에서 운영하는 통합 교통정보 제공 페이지의 초기화면으로 통합유지관리시스템의 구축으로부터 얻어지는 주요한 성과이다. 이 시스템은 자산관리시스템과 연동되어 도로의 상태와 유지보수 등에 따라 교통류의 흐름을 원활하게 유도하는 역할을 동시에 수행하고 있다.



그림 7-4 오하이오주 교통국에서 운영하는 교통관리 시스템

PMS는 이미 해외에서는 1980년대부터 광범위하게 적용되기 시작하였다. 미국의 경우에는 모든 주정부의 교통국(DOT)에서 PMS 시스템을 구축하여 업무에 활용하고 있다. 이는 1980년대부터 미국의 연방도로청(FHWA)이 도로 유지보수 예산의 효율적인 집행을 위하여 PMS를 구축, 운영하는 주정부 DOT에 도로 유지보수 예산을 더 많이 배분하는 등 예산권을 PMS 운영과 연계한 노력 덕분이었다. 그 결과 1990년 이후에는 미국 50개주 대부분에서 PMS를 도입하여 운영하기 시작하였다. 그 결과 포장 조사 장비, PMS 구축 기술 등 연관 분야가 다양하게 발전되었다. 다양한 전문업체들이 포장 조사 장비를 개발하고 PMS를 구축하고 DOT로 부터 위탁받아 운영함에 따라 기업의 기술발전과 고용 창출에 정부의 정책이 크게 기여한 사례로 인정받고 있다.

최근 미국 및 유럽, 뉴질랜드 등 선진국에서는 단순한 유지관리에서 한 단계 더 진일보한 개념으로 예방적 유지관리(Preventive Maintenance)를 도입하고 있다. 지금까지의 유지관리는 대부분 문제가 발생한 이후에 보수를 시행하는 사후관리의 형태로 이루어졌다. 그 결과 도로시설물이 파손될 경우 장기간의 교통차단과 대규모 보수예산이 소요되는 형태로 사후관리가 이루어졌다. 그러

나 예방적 유지관리는 도로시설물에 심각한 문제가 발생하기 이전에 문제를 예방하는 차원에서 저가의 소규모 보수공법을 적용하여 도로시설물의 성능을 조기에 향상시키고 수명을 연장하는 보수 방법이다.

도로포장의 측면에서는 균열셀링, 포장 표면처리 등의 저렴한 포장공법을 적용하여 포장의 공용수명을 연장할 수 있다. 다음 그림 7-6에서 보는 바와 같이 일상적인 유지관리만을 수행할 경우에 사용연수에 따른 포장의 성능이 굵은 파선으로 나타난다. 일정 수준이하로 성능이 저하될 경우에 보수공법을 적용하면 포장의 성능은 다시 초기 수준으로 상향된다. 예방적 유지관리를 적용할 경우 포장의 성능이 저하되기 이전에 경량 보수공법을 적용할 경우 얻어지는 포장의 성능은 붉은색 선으로 나타난다. 결국 저가의 보수공법을 지속적으로 적용할 경우 포장의 성능도 항상 높은 수준으로 유지되어 장기적으로 보수 예산도 절감되고 도로관리 수준도 상향되는 긍정적인 효과가 발생한다. 그리고 이를 실현하기 위해서는 포장상태를 상시적으로 모니터링 할 수 있어야 하며, 따라서 기존의 조사장비 보다 더욱 고속으로 포장상태를 측정할 수 있는 조사장비가 필요하다.

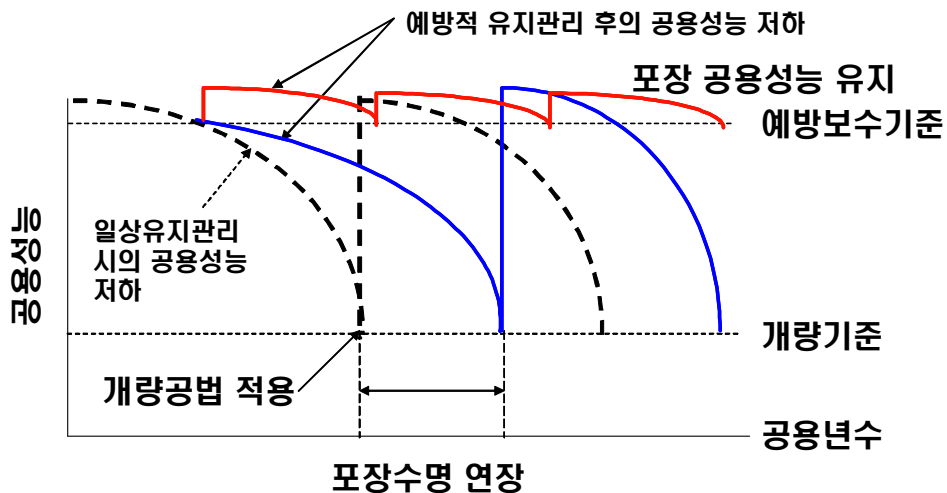


그림 7-5 포장에서의 예방적 유지관리 적용과 포장 성능

최근에는 예방적 유지관리를 교량 및 터널과 같은 구조물에도 확대 적용하고 있는 실정이다. 스마트하이웨이의 경우에는 고속주행이 가능한 도로이므로 도로시설물의 파손이 사고를 유발할 수 있는 확률이 높아진다. 그리고 대규모 보수를 실시할 경우 장시간의 교통 정체는 도로의 효율을 저하시킨다. 그러므로

예방적 유지관리의 개념을 적용하여 도로시설물의 심각한 파손이 발생하기 이전에 성능을 향상시킨다면 스마트하이웨이 본래의 의미를 살리며 사용자의 만족도도 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

1) 변위계측을 이용한 구조물의 상태평가 기술개발

기존의 계측시스템은 여러 종류의 센서를 다량으로 투입하여 운영되어 왔으나 광파기, 레이저 변위계 등을 이용하여 계측할 경우 우천 시 계측을 하지 못하는 등 계측의 한계가 있었다. 이런 단점들을 극복하기 위해 환경의 영향을 거의 받지 않는 GPS를 이용한 변위 계측에 대한 필요성이 대두되었고 국내의 연구 논문들은 GPS를 이용한 변위 계측의 장점을 활용한 적용 방안에 대해서도 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 GPS를 이용한 변위 계측의 결과를 실구조물의 상태평가에 도입한 계측시스템 사례는 아직 보고된 바가 없다.

국내의 기존 연구 사례에 의하면 교량의 경우, 유지관리 및 재해 예방 차원에서 경보시스템 운영에 있어서도 실시간 동적 GPS 측량의 결과를 이용하는 것이 비교적 경제적이고 신속하게 Data를 얻는 수단이 될 수 있으며, 측정 빈도에 따라 mm 단위의 오차로 측정이 가능하여 교량의 변위량 측정에도 실용성이 있음이 보고된 바가 있고, 교량의 계측과 유지관리시스템 개발 및 운영이라는 측면에서 동적 계측이 필요한 분야에 있어서 기존의 센서나 트랜스듀서의 대체 수단으로서 GPS 도입의 필요성이 강조되고 있는 것도 이러한 GPS 기술의 발전에 근거한다.

교량의 경우 국내에서는 성수대교의 붕괴를 시발로 교량의 유지 관리에 대한 대책을 연구, 수행함과 동시에 안전 진단 체계의 강화를 통하여 많은 기술적 진전을 이루어 왔다. 특히 장대교량의 경우 상시 유지 관리 (Longterm Structural Health Monitoring)가 적용된 경우도 있다. 이러한 안전 진단 및 상시 유지 관리 시스템은 가속도계, 광파기, 변형율계 등 다양한 계측기를 통해 구성 되어 있는데, 이러한 일련의 유지 관리 체계 중 변위 계측에 의한 유지 관리 방안은 변위 계측기의 적용이 쉽지가 않아 최대 처짐에 의한 교량의 거동 평가에 그치고 있으며 변위에 의한 교량의 전체적인 상태 평가에 대한 연구는 이론적 기반이 부실한 실정이다. 특히 상시 유지관리의 경우 다양한 계측기를

설치함으로써 비용면에서 부담이 되는 한편, 습득한 데이터를 데이터베이스화 하고는 있지만 이러한 계측 값을 이용한 상태 평가는 미흡한 실정이며 변위 계측 값의 경우는 앞서와 마찬가지로 최대 처짐을 계측하고 판별하는데 그치고 있다.

안전진단 및 상시 유지관리와 같은 구조물의 일련의 유지 관리 기법의 가장 큰 어려움은 운영하중 및 기타 하중에 대한 정보를 입수 하는 방법이 거의 불가능하다는 점이다. 하중의 식별이 가능하다면 유한 요소 해석 등 여러 해석 기법에 의해 구조물의 거동을 판별하고 구조물의 건전성을 평가 할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 하중의 식별이 불가능하기 때문에 구조물의 건전성 및 상태 평가를 위해서 다양한 계측기를 이용하여 계측 결과와 구조물의 재하 하중에 의한 결과를 바탕으로 유지 관리가 이루어진다. 구조물의 전체 변위를 판별하면 유한 요소 해석 및 역해석을 통해서 구조물의 개략적인 응력 평가를 할 수 있고 전체적인 하중도 판별 가능하다. 그러나 구조물의 변위 계측은 구조물의 위치 및 상황에 의해 기타의 계측 결과에 비해 취득하기가 어려웠다는 단점이 있고 따라서 변위에 의한 상태 평가는 계측 포인트의 최대 처짐 범위에 존재 하는가 여부에 그치고 있다. 그러나 현재 기술의 발전에 의해 변위를 계측하는 다양한 기술이 등장하고 있으며 차후 그 발전 속도는 빠르게 증가 할 것이다. 그 중 요새 대두되고 있는 변위 계측기가 고정밀 GPS 및 3차원 사진 측량 방법이다. 특히 이중 고정밀 GPS 의 경우 IT 기술의 발전에 따라 그 정확성이 증가 하고 있으며 가격은 저렴해지고 있다.

환경의 영향을 거의 받지 않는 GPS의 경우 그림과 같이 인공위성으로부터 송신되는 신호를 수신함으로써 관측지점의 3차원 위치를 정확하게 결정할 수 있는 광역적 위치 측정 시스템으로, 24시간 연속 관측 및 실시간 위치 결정이 가능하여 여러 분야에 이용되고 있다. 외국에선 교량의 처짐이나, 주탑의 변위, 사면 및 댐의 변형 계측 등을 위해 적용되고 있다. 또한 다음 그림과 같은 후처리 상대 측위 기법 등을 적용 할 경우 정확성이 증가한다. 그러나 국내에선 기술력 부족 및 비용 등의 문제로 인해 기존 계측기와의 대체가 미루어지고 있는 실정이다.

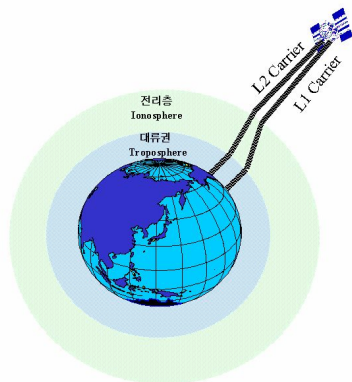


그림 7-6 GPS 신호 수신

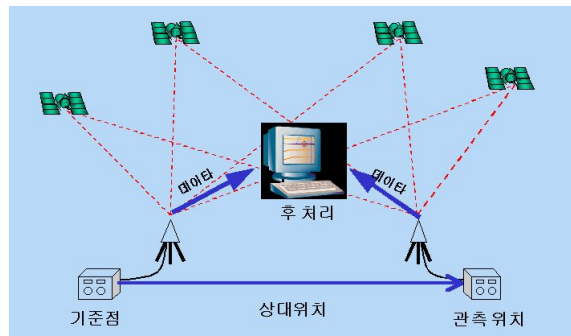


그림 7-7 후처리 상대 측위 기법

또한 변위에 의한 구조물의 전체적인 거동 양상을 파악하고 상태를 파악하기 위해서는 많은 변위 계측지점수를 필요로 하게 되는데, 계측기의 비용을 고려한다면 구조물별 최소 및 최적의 계측 지점을 선정하는 알고리즘을 개발해야 하며 이를 통해 구조물의 전체 적인 변위를 예측 하는 기법이 연구 되어야 한다.

고정밀 GPS 및 기타 변위 계측기에 의한 변위 계측 방안과 이를 통한 구조물의 상태 평가 방안이 마련된다면 안전진단 및 상시 유지 관리와 같은 구조물의 일련의 유지 관리 방안에 큰 도움이 되리라 예상된다.

지금까지 계측관리 시스템을 이용한 구조물의 상태평가는 다양한 방법으로 시도되어 왔으나 변위를 이용한 구조물의 상태평가 연구는 아직 보고된 바가 없으며, GPS에 의한 변위계측 결과를 실구조물의 상태평가에 적용하는 계측 시스템은 존재하지 않는다. 본 연구를 통해 기존 계측기의 문제점들을 해결하고 GPS에 의한 변위 계측결과를 이용하여 구조물 형식 및 계측항목 별로 최적화된 계측 시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이러한 일련의 연구 과정은 향후 개발되어 적용이 예상되는 다양한 변위 계측기기에 응용 될 것이다.

현재 국내외의 시설물의 상태평가 기술은 외력에 대한 구조물의 응답해석을 수행하고 해석 결과와 계측된 변위의 값을 비교하여 한계치 내에 존재하는지를 검토한다. 이러한 계측 방법의 문제점으로는 첫째, 계측기를 설치한 지점의 변위만 분석가능 하다는 점 즉, local monitoring의 한계를 극복할 수 없다는 점과 둘째, 한계변위 외는 대상 시설물의 상태평가를 할 수 없다는 점이다. 그

러나 유한 요소 해석을 이용할 경우 모든 절점의 변위를 파악한다면 구조물의 하중 상태를 파악할 수 있으며 이를 다시 해석하여 모든 절점의 응력상태 평가가 아래 그림과 같이 가능한데, 이를 실제 계측기기를 이용하여 모든 절점의 변위를 파악하려고 한다면 무수히 많은 계측기기가 소요될 것이며 이는 경제성이 없는 방법이 될 것이다. 이의 대안으로 관측지점의 3차원 위치를 24시간 연속, 실시간으로 정확하게 결정할 수 있는 GPS를 이용하면 절점의 변위를 경제적으로 확보할 수 있다.

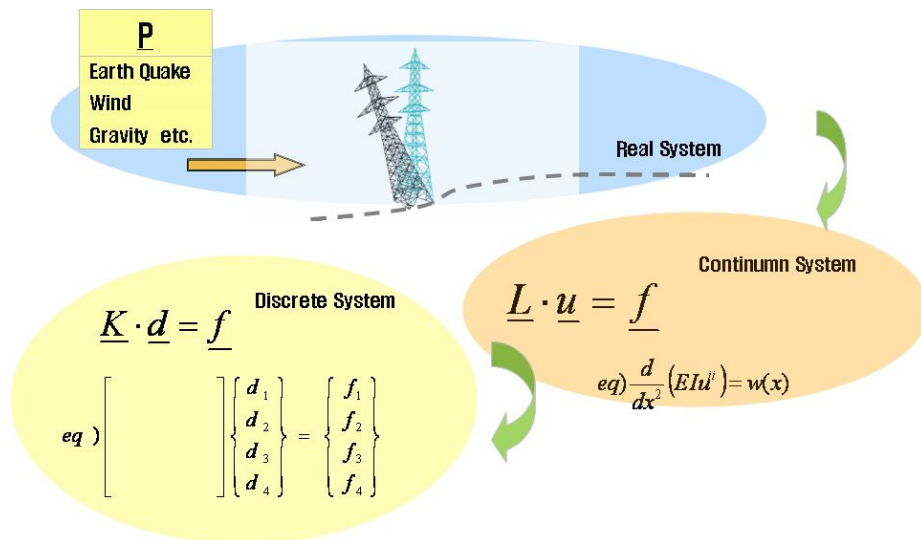


그림 7-8 구조물의 변위 계측에 의한 상대 평가(역해석)

이러한 장점을 바탕으로 교량, 터널, 사면 및 포장 등의 계측관리 시스템 분야에서 GPS의 활용은 점점 확대되어 가는 추세이다. 아직까지는 국내외적으로 GPS를 정적계측 분야 이외에 적용한 예는 거의 없었으며 동적계측을 위해서는 일반적으로 가속도계를 사용하여 왔으나 최근 GPS 기술의 발달로 10Hz이상의 측정기술이 개발되어 시설물의 동적해석에 대한 적용이 가능하게 되었다. RTK방식을 이용한 동적계측의 경우 일반적인 기기 스펙상 5mm 이상의 오차를 갖는다고 보지만 스마트하이웨이를 구성하는 계측관리 대상 시설물의 변위 발생 가능범위에 따라 동적계측에의 적용이 가능하리라 예상된다.

본 연구 과제를 통해 GPS의 정적계측은 오차범위 1~5mm, 해상도 0.1mm, 동적계측은 3축 방향, 100Hz까지 가능하게 된다면 구조물들의 계측 관리기준

치들을 계측하던 기존의 광파기, 레이저 변위계와 가속도계의 역할을 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 구조물의 상태평가를 위한 변위와 고유진동수 등에 대한 계측이 가능해짐에 따라 구조물 계측에 큰 변화를 가져오리라 예상된다.

미국의 경우, 교량은 연방정부, 주, 카운티, 시의 운송시스템에서 중요한 연결부로 운용되어지고 있다. 전체 60만 여개의 교량 중 절반 가량이 1940년 이전에 건설되었고 새로 지은 교량 역시 지체된 유지관리 때문에 노후화가 증가하는 문제가 발생 되었다. 즉, 거의 40%의 교량이 결함이 있거나 보수, 보강이 필요하다고 조사되었다. 이는 교량의 유지관리 필요성을 역설하는 배경이 되고 있다.

캐나다에서도 미국과 마찬가지로 각 주별로 독특한 특색을 갖고 교량에 대한 유지관리가 진행되고 있다. 이 중에서 가장 발전적인 온타리오주의 시스템은 구조물의 안전을 보장하고 유지관리 및 보강의 우선순위를 결정하며, 이러한 활동에 대한 예산을 최적으로 편성하기 위한 논리적인 의사결정체계로 구성되어 있다. 약 3200여개의 교량 중 50% 정도가 1960년대 이전에 건설, 30% 정도가 1961년~1970년 사이에 건설될 정도로 오래되었지만 지속적인 유지관리 및 보수로 최근에 들어서도 그 양이 상당히 줄어들었다.

덴마크의 경우에 있어서는 DANBRO로 불리워지는 PC중심의 EDP 시스템은 덴마크의 도로 및 철도교의 관리를 위한 수단으로 1987년 이래 개발되어 왔다. 이 시스템은 사용자들에 의해서 형성된 요구조건에 기초하여 수행되도록 개발되었으며, 완성된 모델은 이 사용자 그룹들에 의해서 평가받았다. 주요 고속국도상에 있는 교량들에 대해서 모든 행정구역상에 설치되어 현재까지 사용되고 있으며, 추가적인 연구가 계속되고 있다.

해외에서는 이미 고정밀 GPS를 사용하여 상시계측시스템을 구축한 사례를 가지고 있는데 대표적으로 미국 Diamond Valley Lake의 필댐, 일본의 아카시대교 등이 있으며, 그 중 홍콩의 장대교량 3개(Tsing Ma Bridge, Kap Shui Mun Bridge, Ting Kau Bridge)에 대해서는 아래의 그림과 같이 계측시스템을 설치하여 운영 중에 있다.

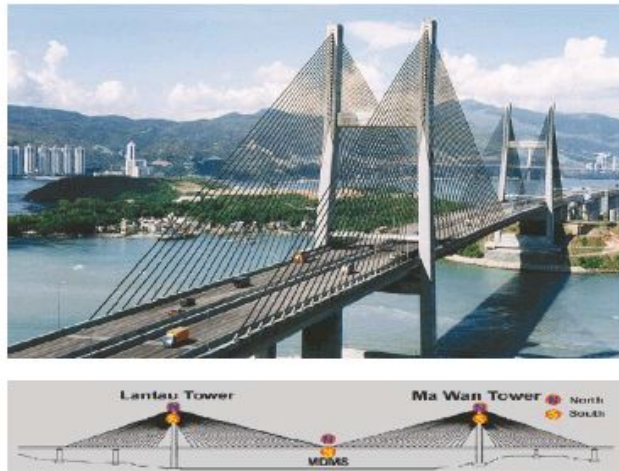


그림 7-9 Kap Shui Mun Bridge의 GPS 계측

위와 같이 실시한 Tsing Ma Bridge, Kap Shui Mun Bridge의 GPS 계측 값을 Level Sensor와 비교한 결과 다음 그림과 같이 두 값이 거의 일치하는 것을 보아 현수교와 사장교 모두 고정밀 GPS를 이용한 계측시스템 운영이 가능함을 보여주었다.

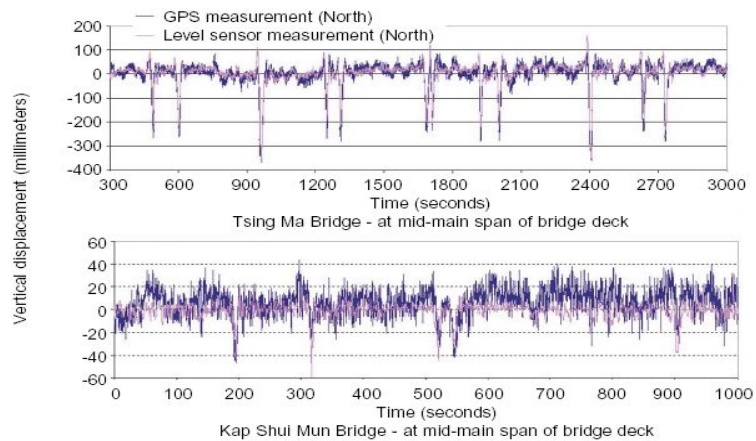


그림 7-10 Level Sensor와 GPS 측정결과의 비교

이미 외국에서는 GPS를 이용한 상시계측시스템은 교량, 댐 이외에도 사면, 해안구조물 등에 적용되어 사용되고 있다.

국외의 경우 국내 보다 오래전에 구조물의 유지관리에 대한 연구 및 정책이

실행되고 있으며 GPS 제작 및 계측 기술의 발달로 구조물의 유지관리에 GPS를 적용하는 연구 및 운용에서 국내보다 앞서 있는 실정이다. 그러나 국외의 경우도 현재 GPS데이터는 교량 변위 계측에 적용가능하며 이를 통해 유지관리에 운용 가능하다는 수준이고 이를 통한 구조물 전체의 상태평가를 가능케 하는 연구나 기술은 존재 하지 않는다.

(4) 추진전략

1) 추진체계

본 과제 수행시 통신방식, 시스템의 호환성, 운영 및 유지관리 등에 있어 1핵심 통합 유지관리 시스템 개발(1-6-1과제) 및 2핵심 SITMS 교통정보센터 설계(2-1-3), 구축4핵심 Test Bed 통합관리방안 연구(4-3-1)와 상호 연계성이 있도록 하고, 추진에 있어 협력체계를 구축해야 한다.

스마트하이웨이를 위한 최첨단 도로관리 시스템의 성공적인 연구개발을 위하여 주요 구성 요소인 변위 계측을 이용한 구조물의 상태 평가 시스템, 3D 모델링 및 데이터베이스를 기반으로 구축되는 시스템이 상호 밀접하게 연계되어 개발되어야만 한다. 상기 구성요소들에 대한 각 세부 연구 항목의 기술적인 사항에 있어서는 기술의 특성에 따라 연구개발 주체가 결정되어야 하며, 결정된 연구개발 주체는 산·학·연 공동 연구체계의 틀에서 연구개발 목표를 공유하고 유기적인 연계체제를 구축하여 연구개발을 진행해야 하며, 이를 기반으로 체계적이고 종합적인 연구개발 접근을 시도하여야 한다.

2) 테스트베드 전략

- 교량, 터널, 지반, 포장 등 각종 도로시설물에 대한 계측시스템 및 유지관리시스템의 경우 수년간에 걸쳐 여러 국가 프로젝트 및 다양한 관리 주체를 통하여 상당 부분 연구개발이 이루어진 상태이며, 일부 시스템의 경우는 도로시설물에 적용되어 운용되고 있는 상황이다.
- 최근에는 2006년도부터 한국시설안전기술공단의 주관하에 “국가 주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발 연구”가 시작되어 진행 중으로, 연구 범위는 교량, 터널 및 사면을 대상으로 하는 계측관리시

스텝 및 네트워크의 구축 및 운영을 포함하고 있다.

- 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템에서는 한국시설안전기술공단 프로젝트와의 협업을 통하여 연구결과물을 최대한 활용할 예정이며, 특히 계측시스템 및 통신 인터페이스의 경우는 상기 프로젝트의 연구결과물을 활용하여 표준화를 추진할 예정이다.
- 스마트하이웨이 통합유지관리 시스템, 변위 계측을 이용한 구조물의 상태평가 시스템 개발을 위하여 총 5 년에 걸친 시스템 요구사항 분석, 요소기술 개발, 요소기술의 통합, 시스템 성능 고도화 순의 단계적인 연구 개발 접근 전략을 수립한다.
- 단계별로 연구개발 결과물의 성능 검증을 위한 프로토타입을 제작하여 시험하고 분석함으로써, 연구개발 위험요소의 사전식별 및 연구개발 방향 수정 등을 통한 위기관리 대응 능력 제고한다.
- 스마트하이웨이를 위한 최첨단 도로관리 시스템의 서브시스템들을 각 연구개발 단계에서 테스트베드를 통하여 연동 실험을 함으로써 시스템 연동에 따른 문제점을 사전에 파악하고 이를 조율함으로써 전체 시스템 통합에 따른 시간과 노력을 경감한다.

7.4 활용방안 및 기대성과

7.4.1 성과물 활용방안

- 통합유지관리 시스템을 개발을 통해 개별적인 수준이 아닌 통합적인 관리를 통해 고속도로 유지관리의 수준을 한 단계 향상 시키고자 함
- 연구된 성과물에 대해서 국가 차원의 공동활용을 위해 성과물 전담기관과 연계해 규격서, 특히, SW/HW 등 연구 성과 검증 서비스를 통해 유망 연구 성과의 공동 활용 및 사업화 지원 등 연구 개발 성과를 부가가치 창출로 연계하고 R&D 사업정보와 관련된 현황과 추세를 한눈에 파악할 수 있도록 핵심지표를 선정

7.4.2 정부 정책과의 연계방안

- 본 과제의 원천기술 및 개발기술이 정부의 신기술·신산업의 핵심 성장엔진으로 발전할 수 있도록 연계 지원
- 환경감시, 시설물 관리, 교통정보 및 기상정보 제공 등 산업, 복지, 생활 및 국방 사업 관련 다양한 업무 시스템에 공통적으로 활용 가능하도록 정부 정책과 연계 추진

7.4.3 기대효과

(1) 스마트하이웨이 통합 유지관리 시스템 개발

1) 경제적 기대효과

- 1990년대 중반의 여러 사고로부터 시작된 시설물의 유지관리 분야에 있어서 관리주체로부터 예산을 받아서 유지관리시스템을 구축 운영하여 오고 있다. 주로 교량을 대상으로 시작하여 터널 및 사면 등으로 확산되고 있음
- 센서나 트랜스듀서의 발달로 과거에는 어려웠던 계측이 가능하게 되었고, 그 예가 주로 변형률계에 의지하던 초기 계측관리로부터 가속도계나 광섬

유센서를 사용하게 되었고, 최근에는 USN 및 Zigbee 등의 활용으로 꾸준한 발전을 이루고 있음

- 유지관리시스템의 경우는 교량에만 국한되어 구축되어 있고, 계측관리 시스템의 경우에는 변위계측의 어려움이 있음
- 스마트하이웨이의 건설에 있어서는 통합유지관리시스템의 범위 안에 교량뿐만 아니라 스마트하이웨이를 구성하는 모든 시설물(교량, 터널, 사면, 포장체)을 대상으로 유지관리시스템을 구축하여 총괄적인 유지관리 예산 집행의사 결정의 유용한 수단으로 개발하고, 계측관리 분야에서 GPS를 이용한 변위계측결과로부터 응력의 역해석 프로그램을 개발하여 시설물의 상태평가를 한 차원 높이는 결과를 가져올 것임

2) 기술적 기대효과

- 스마트하이웨이 시설물을 대상으로 하는 유지관리 시스템은 mobile 환경에서 운영이 되도록 구축함으로써 IT 기술의 건설분야의 실질적 접목을 기대할 수 있음
- 단계별로 연구개발 결과물의 성능 검증을 위한 프로토타입을 제작하여 시험하고 분석함으로써, 연구개발 위험요소의 사전식별 및 연구개발 방향 수정 등을 통한 위기관리 대응 능력을 제고, 효율적인 시스템을 구축함
- 스마트하이웨이를 위한 최첨단 도로관리 시스템의 서브시스템들을 각 연구개발 단계에서 테스트베드를 통하여 연동 실험을 함으로써 시스템 연동에 따른 문제점을 사전에 파악하고 이를 조율함으로써 전체 시스템 통합에 따른 시간과 노력을 경감할 수 있음

7.4.4 후속 연구과제 개발방향 전망

- 통합유지관리 시스템을 개발하여 테스트베드 통합정보센터와 연계 및 통합 적용 방법을 검토
- 향후 과제에서는 SMART Highway뿐만 아니라 일반도로에서도 적용 가능한 범용 기술개발을 지속적으로 추진해야 함

8.1 추진 방향

본 과제는 스마트하이웨이의 도로기반시설 핵심기술개발을 담당하고 있다. 따라서 도로기반시설에 필요한 핵심요소기술의 개별적 평가와 더불어 하나의 시스템으로의 통합, 실제 테스트 베드를 구축할 때 이를 적용하기 위한 개별기술까지 담당하게 된다.

여기서 말하는 테스트 베드란 개발된 개별 핵심기술을 실제의 스마트하이웨이에 적용하고 구현하는 기술적 지원 부분까지 본 과제에서 담당하게 된다.

8.2 추진 전략

테스트베드에 대한 연차별, 단계별 추진 전략을 정리하면 다음과 같다.

- [1단계] 조사 및 계획단계
 - 각 요소 기술 및 시스템 별로 어떠한 방식으로 어떠한 기술 수준을 구현할 것인지를 결정하는 시스템 기획 및 기획연구를 시행한다.
 - 각 요소시스템은 전체 스마트 하이웨이가 추구하는 핵심적 서비스를 달성하기 위한 요구수준에 충실해야 하며, 상호 시스템 통합과 외부 시스템과의 통합을 위한 연계를 감안하여 계획되어야 한다.
- [2단계] 요소기술 개발
 - 2단계는 세부 시스템별로 개발된 요소기술과 시제품을 테스트하는 공정을 담당한다.
 - 특히 테스트 도로, 고속도로 등을 활용하여 개발 기술의 성과를 검증하는 Pilot 테스트 단계이다. 단 각 기술별은 다른 기술과의 상호 호환성 및 연계성을 염두해 두고 개발되어야 한다.
- [3단계] Test Bed 설계
 - 2단계에서 검증된 각 요소기술을 병합하여 시스템을 구축하고, 기존 도로에 이를 접목하여 종합 시스템으로써의 가능성을 타진한다.
 - Test Bed에 필요한 각 세부과제별 요소기술들을 직접 설계하고 구축하기 위한 시방을 완성한다.
- [4단계] TB 모니터링 지원
 - 주어진 설계 및 시방에 따라 테스트베드가 구축되면, 이에 대한 성능평가

와 구동 등 시운전을 시행한다. 이는 사업 초기년도에 투입된 연구자들이 직접 참여하는 것이 타당하다.

- 이러한 작업은 운영시스템의 원활한 작동과 실제 구동 능력을 증진시키고, 시스템 에러를 제거하기 위해 필요한 공정이다.



그림 8-1 테스트 베드 추진 계획

8.3 테스트베드 선정

본 과제는 요소기술 및 요소기술의 통합된 시스템에 대한 Pilot 테스트단계에서는 기존 도로나 대규모의 시험도로에서 이를 추진하는 것이 타당하며, 그 실효성이 입증되는 시점에서, 테스트베드에 적용될 수 있는 시스템의 설계와 설치 및 운영 관리기준을 정립해 나가야 한다.