

(뒷면) (옆면)

(앞면)

3cm	R&D 2012 -연구 기획- U	4cm	건설교통연구기획사업 기획연구보고서 (견고닥13p)
			3cm
			0.5cm R&D / 2012-연구기획U
			2.5cm 9cm
			(견고닥31p) 5cm
			도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발 (원 과제명:미래형 도로포장에 적합한 고성능 하부구조 시스템 기술 개발) 기획 보고서
			(0.1cm)
			2012. 9.
			0.15cm (견고닥15p)
			(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)
			주관연구기관 / 세종대학교
			(견고닥 15.5p)
			(백색바탕)
			국 토 해 양 부 한국건설교통기술평가원
			(견고닥 20p)
5cm	도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발 (견고닥 14p)	Land Transport and Maritime R&D Report (견고닥 25p)	
3cm	2012.6 (견고닥13p) 국 토 해 양 부 한국건설교통기술연구원 (견고닥 17p)		

(뒷면)

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

제출문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 “도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발(원과제명 : 미래형 도로포장에 적합한 고성능 하부구조 시스템 기술 개발) 기획” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 9.

주관연구기관명 : 세종대학교

주관연구책임자 : 이현종

연 구 원 : 백종은

연 구 원 : 윤만뛰안

연 구 원 : 크리스티나 로살레스

연 구 원 : 최성호

보고서 요약서

과제고유번호	2012-연구기획-U	해 당 단 계 연구 기 간	2012.04.13 ~ 2012.09.12	단 계 구 분	1단계/1단계
연구사업명	중 사업명	건설교통연구기획사업			
	세부사업명				
연구과제명	대 과 제 명	도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 (원과제명 : 미래형 도로포장에 적합한 고성능 하부 구조 시스템) 기술 개발 기획			
	세부과제명				
연구책임자	이현중	해당단계 참 여 연구원수	총 : 5명 내부 : 1명 외부 : 4명	해당단계 연구비	정부 : 55,000천원 계 : 55,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 5명 내부 : 1명 외부 : 4명	총연구비	정부 : 55,000천원 계 : 55,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	세종대학교 산학협력단		참여기업명	해당사항 없음	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	242
- 기후변화와 도심지의 불투수면적 증가로 인한 도로침수와 도로포장하부의 침하로 인한 돌발적인 도로붕괴를 예방하고 보수 및 보강하기 위한 “재해예방형 도로”를 건설하기 위하여 다음과 같은 연구가 필요함 - 도심지 불투수면적을 저감하고 강우유출량을 감소시키기 위한 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공기술 개발 - 도로침하 및 붕괴의 위험도를 예측하고 보수·보강하여 사전에 대응할 수 있는 도로포장하부 시스템의 설계 및 시공기술 개발 - 효과적인 기술 개발을 기획하기 위하여 국내외 시장, 정책, 기술발전 동향 및 기술현황 분석함 - 기술수요조사를 통하여 필요한 기술분류체계를 수립하고 RFP를 도출함 “재해예방형 도로”를 실현하기 위하여 다음과 같은 세부 목표를 설정함 - 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템을 통하여 강우시 침투유출량을 30% 감소하고, 강우유출시간을 1.5시간 지체시켜 도로침수를 50% 저감시킴 - 도로붕괴 예방형 도로포장하부 시스템을 통하여 도로붕괴율을 50% 저감시킴					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	도로침수, 도로붕괴, 포장하부, 예방, 저류, 투수성포장			
	영 어	Road flood, road collapse, pavement substructure, Prevention, Retention, Permeable Pavement			

요약문

I. 제목

- 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발 기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구 목적

- 도발적이고 치명적인 도로침수 및 붕괴가 도심지에서 빈번하게 발생하여 많은 인명 및 재산 피해를 입히고 있음
- 본 기획 연구의 목적은 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템과 도로붕괴 위험도 조사 및 응급보수/보강 기법을 개발하여 재해대응형 도로를 구축하는 것임
- 도심지에서 집중 호우시 도로포장에서 빗물을 흡수하여 강우 유출량을 지연·감소하여 도로침수 피해를 저감할 수 있는 빗물 투과 및 저류형 도로시스템의 설계 및 시공 기술을 개발함
- 도로포장하부의 침하나 공동으로 인해 발생하는 도로붕괴를 예방하기 위한 붕괴 위험도 평가 기술을 개발하고 붕괴예방 및 붕괴발생시 신속히 보수·보강할 수 있는 기술을 개발함

○ 연구 필요성

- 우리나라의 기후 변화에 대한 정책은 대부분 기후 변화의 영향 평가, 온실가스 감축, 녹색성장 방안 등에 치중되어 있고 국민 대부분의 삶의 질을 책임지고 있는 도시 기반시설의 역량강화 정책은 극히 미미한 실정임
- 또한 재해대응 기능 강화 및 도로 공간의 다양한 활용 등과 같은 인간중심의 도로연구는 현재까지 상대적으로 관련 연구 및 투자가 미미한 실정임
- 특히 최근 기후 변화로 인한 도심홍수 및 도시화에 따른 불투수면적 증가로 인한 도로침수와 도로포장 하부의 침하로 인한 도로붕괴의 발생 빈도 및 규모가 증가하고 있어 도로분야의 재해 대응 및 안전 역량 강화 방안에 대한 연구개발이 시급히 필요한 상황임

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 연구 범위

- 국내외 시장, 정책, 기술 현황 분석
- 우선순위에 따른 중점추진분야 도출
- 비전 및 목표 수립
- 세부과제별 RFP 작성

○ 중점추진분야

중분류	소분류
도로침수 대응을 위한 도로포장 시스템 기술 개발	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
	도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발
	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발
	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발
	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선
도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발	도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
	포토 및 레이저 센서를 이용한 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발
	실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 시스템 개발
	도로붕괴 위험 저감을 위한 굴착복구 및 포장하부 지지력 복원기술 개발

Summary

I . Title

- A Research Plan for Development of a Pavement Substructure System against Road Flood and Collapse

II. Research Objectives and Needs

○ Research Objectives

- Severe road flood and collapse which occurs in urban areas frequently resulted in numerous casualties and damages of properties.
- The objectives of this research plan is to develop a disaster-prevention road system which consist of 1) a stormwater management pavement and 2) a road collapse resistant pavement substructure.
- Design and construction techniques for the stormwater management pavement will be developed to percolate and store rain into the pavement in order to reduce storm runoff.
- Design and construction techniques for the road collapse resistant pavement substructure will be develop to evaluate risk assessment and prevent, repair, and reinforce collapsed roads quickly.

○ Research Needs

- Most polices for climate changes in Korea focus on the evaluation of the climate changes, reduction of greenhouse gasses, and green growth so that only few attention was given to urban infrastructure protection directly related to people's life.
- Also, more R&D studies need to be conducted for future roads considering more human factors related to disaster-prevention and multi-functional substructure.
- Since there have been more and severe road collapse due to excessive settlement in a pavement substructure and urban flood caused by localized heavy rain and the increase of impermeable surface, it needs to develop a pavement system to prevent these disasters in roads for the safety of people.

III. Research Area and Scope

○ Research Scope

- Assessment of market, policy, and technology
- Determination of main research area based on priority analysis
- Development of vision and goal
- Request for proposal for research details

○ Main research area

Classification	Research Topic
Development of a pavement system to prevent road flood	Optimum disposition of permeable/retentional pavement systems based on hydrological effect
	Development of a subgrade reinforcement method under various moisture conditions caused by road flood
	Development of an artificial subgrade rain retention structure
	Development of design and construction technologies for permeable/retentional pavement systems
	Development of legislation for the application of the road flood and collapse prevention system
Development of a pavement substructure system to prevent road collapse	Development of a nondestructive test for risk assessment system to predict and evaluate road collapse
	Development of a pavement roughness evaluation method based on photo and laser sensing
	Development of a realtime remote road monitoring and self-evaluation system
	Development of repair/reinforcement methods for road collapse by road excavation and subgrade support loss

목차

제출문	1
보고서 요약서	2
요약문	3
Summary	5
 1장. 기술의 정의 및 필요성	10
1절. 기술의 정의 및 필요성	10
1. 기술의 정의 및 필요성	10
2. 기술의 범위	17
2절. 기술 분류 및 내용	18
1. 기술 분류	18
2. 기술 내용	19
 2장. 국내외 동향조사 및 환경분석	24
1절. 국내외 정책동향	24
1. 도로침수 분야	24
2. 도로붕괴 분야	27
2절. 국내외 시장현황 및 전망	30
1. 도로침수 분야	30
2. 도로붕괴 분야	35
3절. 기술동향 분석	39
1. 관련 기술개발 동향	39
2. 기존 기술(연구)과의 차별성	65
4절. 특허조사분석	69
1. 특허 조사 분석 범위	69
2. 특허기술 Landscape	75
3. 세부기술 분석	80
4. 주요 출원인별 IP History 분석	86
5. 기술개발 분야의 R&D 현황 분석	94
6. 특허 및 기술동향 분석 결론	105
5절. 연구개발 인프라 분석	110
1. 연구개발 인프라 분석 범위	110
2. 국내외 연구 인프라	110
3. 선진국 대비 국내 인프라 수준	117

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	118
1절. 비전 및 목표	118
1. 비전	118
2. 목표	118
2절. 기술개발에 따른 미래상	120
1. 현황 및 미래상	120
2. 기술개발 전략 및 효과	121
3절. 연구개발과제 구성	138
4절. 세부과제별 주요내용	139
5절. 세부과제 간 연계관계	148
6절. 기술 및 성과로드맵	151
1. 기술로드맵	151
2. 성과로드맵	154
7절. 성과의 활용방안	172
8절. 연구수행체계 제안	176
4장. 사전타당성 검토	177
1절. 분석의 틀	177
2절. 기술적 타당성	178
1. 기술개발 계획의 적절성	178
2. 기술수준 및 성공가능성	181
3. 기존 사업과의 중복성	182
3절. 정책적 타당성	182
1. 국가전략적 중요성	182
2. 상위계획과의 부합성	183
3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계	184
4절. 경제적 타당성	185
1. 경제성	183
2. 과학기술적 및 사회적 파급효과	189
5절. 종합평가	190
1. 기술적 타당성 분석	190
2. 정책적 타당성 분석	191
3. 경제적 타당성 분석	191
5장. 인력투입 및 소요예산 산정	192
1절. 인력투입계획	192
1. 연차별 투입 연구인력	192
2. 상세 투입 연구인력	192
2절. 소요예산 산정	197
1. 총괄 소요예산	197

2. 예산항목별 소요예산	198
6장. 과제 제안요구서	206
1절. 과제 제안요구서(RFP)	206
1. 연구단 과제 제안요구서(RFP)	206
2. 1세부 과제 제안요구서(RFP)	217
3. 2세부 과제 제안요구서(RFP)	225
2절. 평가기준 설정	233
1. 평가항목	233
2. 가점 및 감점 기준	235
7장. 참고문헌	234
부록	240
기술수요조사서 목록	241
세세부 기술수요조사서	245

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 기술의 정의

- 도심지에서 집중 호우시 도로포장에서 빗물을 흡수하여 강우 유출량을 지연, 감소시킴으로서 도로침수 피해를 저감할 수 있는 빗물 투과 및 저류형 도로포장 시스템의 설계·시공 기술임
- 도로포장하부의 침하나 공동으로 인해 발생하는 도로붕괴를 예방하기 위한 붕괴 위험도 평가 기술과 붕괴발생시 신속히 보수·보강할 수 있는 기술임

나. 기술의 필요성

(1) 급격한 도시화 및 기후 변화에 대응하는 도시 기반시설 역량 강화

- 유엔의 보고서에 의하면 도시 거주 인구가 2030년에는 전체 인구의 60%, 2050년에는 70%에 달할 것으로 전망되며, 이러한 도시 가속화로 인한 도시 거주자들의 삶은 교통, 주거, 수자원 서비스, 자원 및 폐기물 관리 등의 도시 인프라에 대한 의존성이 그 어느 때보다 높아지고 있음
- 기후 변화에 따라 그 빈도와 규모가 커지고 있는 홍수, 태풍, 가뭄, 폭설, 수자원 부족 등에 대비해 도시 기반시설의 대응 역량도 그에 걸맞게 향상시키지 않는다면 급속한 도시화에 따른 높은 재해 리스크를 감당하기 어려울 것으로 전망됨
- 그러나 우리나라의 기후 변화에 대한 정책은 대부분 기후 변화의 영향 평가, 온실가스 감축, 녹색성장 방안 등에 치중되어 있고 **국민 대부분의 삶의 질을 책임지고 있는 도시 기반시설의 역량강화 정책은 극히 미미한 실정임**
- 따라서 국민의 삶의 질을 보장하고 도시 집중화에 따른 재해 리스크를 줄이기 위해서는 기후 변화에 대응하기 위한 도시 기반시설물에 대한 투자가 시급한 시점이며, 도시의 주요 기반시설의 한 축을 담당하는 도로 또한 기존의 단순한 운송수단에서 벗어나 지능화, 다기능화, 재해역량 강화 등을 모색해야할 필요성이 있음
- 유럽의 경우 "New Road Construction Concept Vision 2040"을 통해 **미래에 추구할 도로의 기능에 대한 다양한 비전을 환경친화, 지능화, 고내구화, 인간중심의 4가지로 제시하고 있음**

- 이러한 미래 도로비전에 대응하는 국내의 관련 연구는 “탄소중립형도로 연구단(환경친화)”, “스마트하이웨이 연구단(지능화)”, “장수명 친환경 도로포장 연구단(고내구화)” 등의 대형 국책 연구 사업이 진행되고 있음
- 하지만 **재해대응 기능 강화 및 도로 공간의 다양한 활용 등과 같은 인간중심의 도로연구는 현재까지 상대적으로 관련 연구 및 투자가 미미한 실정임**
- 특히 기후 변화로 인한 도심홍수 및 도시화에 따른 불투수면적 증가로 인한 도로침수와 붕괴 등의 발생 빈도 및 규모가 증가하고 있어 도로분야의 재해 대응 및 안전 역량 강화 방안에 대한 연구개발이 시급히 필요한 상황임



그림 1.1 미래형 도로의 비전 및 국내 현황

(2) 도로침수 예방을 위한 빗물 투과 및 저류형 도로포장 시스템

- 최근 들어서 심각해지는 기후변화로 인한 도심폭우 증가, 도심화로 인한 불투수면적의 증가로 인한 강우유출량의 증가, 도로 배수 인프라의 부족 등으로 인하여 도심지의 도로침수가 크게 증가하고 있음



그림 1.2 도로침수의 주요원인 :

(a) 도심폭우 증가, (b) 불투수면적 증가, (c) 배수 인프라 부족

- 기후변화로 인한 국지성 호우, 다발성 홍수, 도심열섬현상 가속, 가뭄, 혹서, 태풍 등이 전 세계적으로 빈번해지고 있음
- 국내의 경우 지난 35년간 1,245mm에 불과하던 연평균 강수량이 2000년 이후 1,400mm 이상으로 유지되고 1,500mm가 넘는 해도 있으며, 일일강수량이 80mm 이상인 폭우빈도도 1970년대에 비하여 최근 2배 이상 증가하는 등 강우강도 증가로 인한 홍수빈도도 늘어나는 경향을 나타냄(2008년도 환경부 보도자료)

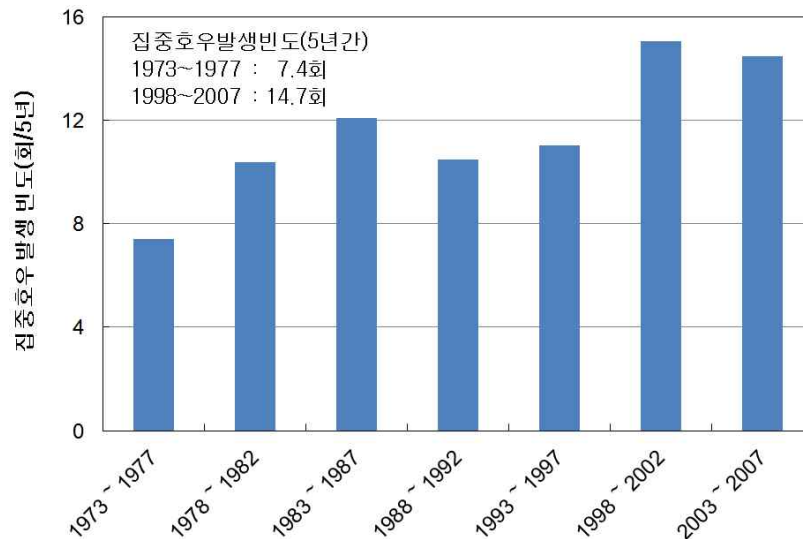


그림 1.3 집중호우 발생빈도의 변화추세

- 기후변화로 인한 강수량 증가는 종종 도시의 돌발성 집중 호우를 야기하고 있고, 이로 인한 도로침수 또한 빈번해지고 있음
- 소방방재청의 2010년 재해연보에 따르면 2001년부터 10년간 주요 7개 도시의 1년 평균 호우피해 복구액은 2010년 화폐가치 기준으로 약 490억원에 달함

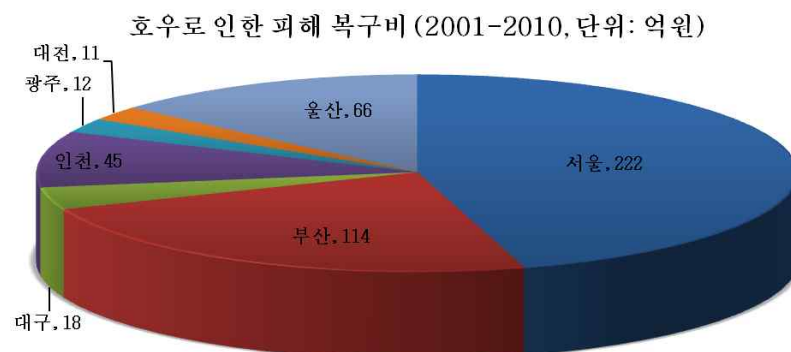


그림 1.4 주요 7개 도시의 연간 호우피해 복구액(2001년~2010년)

- 도심지에서 발생한 홍수의 주요원인은 집중호우 및 장마로 인한 유출량의 급격한 증가에 기인함. 이는 향후 국지성 이상강우 및 기후변화로 인해 그 피해 범위 및 강도가 증대할 수도 있을 것이라 전망됨(국토연구원, 2005)
- 최근 홍수피해의 특징은 침수면적은 감소한 반면, 도시화, 집중화로 인해 최근

10년간의 수해밀도는 1975~1985년에 비해 14배 증가함

- 특히 수해밀도 및 인명피해는 시급이상의 대도시에서 군급 중소도시에 비해서 각각 2.3배, 1.8배 높게 나타남. 특히 건물침수로 인해 경제적 손실은 대도시에서 6배 크게 나타나 도시화에 의한 홍수피해가 매우 심각한 실정임
- 2011년도 서울시의 경우 올림픽대로 등을 포함한 41개 지역에서 도로침수가 발생하였음(2012년도 서울시 보도자료)
- 서울시에서 최근 발생한 주요 침수 피해에 따르면 사망 및 부상으로 인한 인명 피해뿐만이 아니라 피해액도 크게 늘어나 2011년의 경우 874억원으로 이에 대한 시급한 대책이 필요함
- 특히 침수된 지역의 토지피복 특성을 살펴보면, 불투수율 90% 이상 지역의 침수피해가 전체 침수피해지역의 72.8%로 매우 높게 나타남(“도시기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발” 연구팀)
- 서울시의 경우 도심 개발에 따라 불투수 면적이 1962년에 7.8%에서 2010년 47.7%로 약 6배 증가하였음
- 이러한 불투수면적의 증가로 인하여 땅속으로 유입된 물 함량은 1962년 2억 1600만 m^3 에서 2002년 1억4500만 m^3 로 급격히 줄어드는 반면에 표면으로 흐르는 물은 9700만 m^3 에서 4억6100만 m^3 로 4.5배 급증하여 도로침수가 증가하는 것으로 나타남

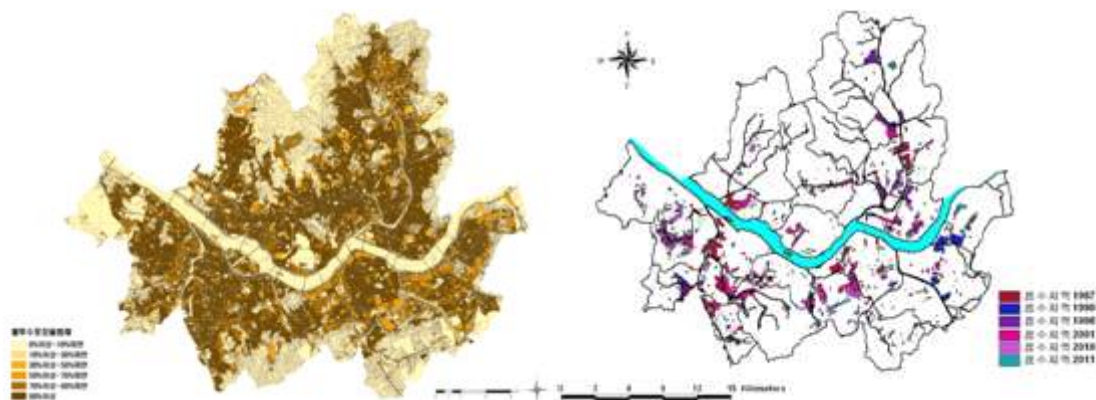


그림 1.5 서울시 불투수 지역 및 주요 침수지역 분포

표 1.1 서울시 주요 침수 피해 사례

연도	인명피해	피해액	침수지역
1988.7	사망 24명	108억원	광진구, 동대문구, 노원구 등
2001.7	사망 35명	513억원	중랑구, 동개문구, 광진구, 영등포구, 관악구 등
2010.9	부상 1명	584억원	종로구, 용산구, 광진구, 영등포구, 강남구, 강서구 등
2011.7	사망 62명	874억원	강남구, 서초구, 관악구, 강동구 등

- 이러한 도심지 도로침수는 집중호우가 직접적인 원인이지만 포장도로 및 건물 등으로 인한 불투수면 증가 및 배수시설 부족 등이 중요한 원인을 제공하고 있어 이러한 문제를 해소할 수 있는 연구가 시급한 실정임



그림 1.6 집중호우로 인한 도로침수 및 포장파손 사례

- 도로침수는 교통두절을 야기할 뿐만 아니라 포장의 파손과 주변 가옥의 침수, 차량파손 등 경제적, 사회적으로 심각한 피해를 유발하며, 2011년도 한 해 발생한 도로침수로 인한 직접적인 피해액만도 약 1,144억원으로 추정됨
- 선진도시의 경우 강우시 지하침투량을 증가시켜 도시 전체의 물순환을 개선하여 생태계에 미치는 영향을 최소화하는 방안인 저영향개발(Low Impact Development, LID)로 빗물 투과 및 저류형 도로포장 시스템이 활발히 적용되고 있음
- 외국의 연구사례에 의하면 빗물 투과형 포장을 적용할 경우 기존의 불투수형 포장에 비해 유출량을 최소 50%에서 최대 80%까지 저감할 수 있는 것으로 파악되었으며, 도심홍수 피해 저감을 위해 관련 분야 연구개발 및 투자가 지속적으로 확대되고 있음
- 국내의 경우 강우시 빗물을 신속히 배출할 수 있는 아스팔트, 콘크리트, 블록식 배수성 포장에 관한 연구가 최근 들어 활발하게 수행되고 있으나 도로 배수에 관한 연구는 주로 도로 상부의 포장표층 또는 배수시설에 국한되어 연구가 이루어져 투수성 포장 또는 포장 하부의 배수 및 저류 기능에 관한 연구가 미비함

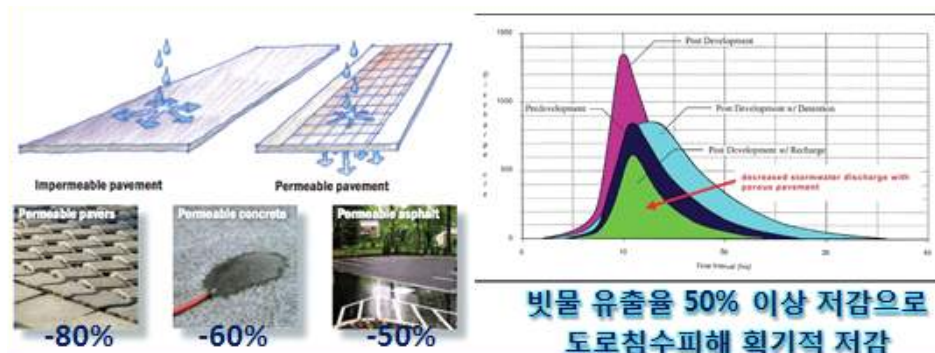


그림 1.7 빗물 투과형 도로포장의 유출량 저감 효과

- 도심지 집중호우에 대비한 투수성포장이 국내에서 일부 연구된 바 있으나 홍수량 유출저감 등에 대한 수리 수문학적 효과 분석 등에만 국한되고 있으며 침투수의 하부노상 침투시 노상의 강도저하를 초래하여 도로포장의 파손이 급격히 진행되는 문제점을 해소하지 못함으로써 실용화되지 않고 있음
- 따라서 도로포장체를 지지하는 하부구조가 역학적으로 하부강성을 충분히 확보하여 집중호우 발생 시 침투수의 자연유하를 촉진하면서도 하부구조 자체의 강도와 강성을 유지할 수 있는 설계 및 시공기술의 개발이 필요함
- 최근 유럽 및 미국에서는 집수 및 정수기능을 포함한 구조물을 도로포장 직하부에 설치하여 강우시 빗물을 도로포장체 내부로 흡수하고 물을 일정기간 저장하여 유용한 수자원 공급처의 역할을 하고 과급 시에는 체외로 배출할 수 있는 저류형 포장 시스템을 개발하여 적용하고 있음
- 따라서 국내에서도 강우시 빗물을 흡수·분산·저장할 수 있는 도로포장 하부구조 시스템에 대한 연구가 필요한 실정이며 이를 위해서는 투수성 포장의 대체 기층재료와 저류형 인공 노상 재료의 개발 및 적용 기술 확보, 도로포장하부 집수 및 배수시스템 설계 기술, 저장된 수자원의 활용기술 및 수문학적 효과분석 등에 대한 연구가 필요함

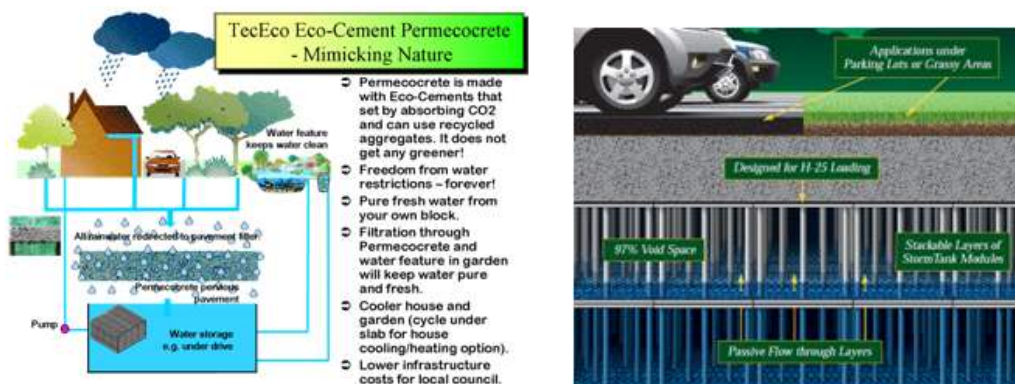


그림 1.8 빗물 투과 및 저류형 포장의 복합개념

(3) 도로붕괴 예방을 위한 위험도 탐지 및 보수보강 기술

- 최근 도심지의 도로가 갑자기 붕괴되어 인명피해가 발생하고 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번히 발생하여 사회적 이슈로 부각되고 있음
- 대표적으로 서울시의 경우 2008년도 이후 주요간선도로 총 197개소에서 도로침하 및 공동이 발생되었으며, 이중 27개소에서는 2회 이상 반복적으로 발생됨(2012년 4월 27일 서울시 보도자료)
- 도로의 침하 및 붕괴에 따른 보수를 비롯하여 도로의 표면처리, 소파보수, 덧씌우기 및 재포장 등 도로유지관리를 위해서 2010년도에만 전국적으로 총 2.2조원이 사용되었음(도로업무편람, 2010년)
- 도심지 도로붕괴 사고는 주로 도로하부에 상하수도관, 전력케이블, 가스관 등의 중소형 시설물을 비롯하여 지하철, 지하도와 같은 대형 구조물 등이 설치

되어 있는 지점에서 집중적으로 발생되고 있음

- 이러한 각종 시설물로 인하여 지하수의 흐름에 변화가 발생하고 있으며, 이에 수반하는 세립토사 유실 등이 복합적으로 작용하여 전국적으로 많은 도로침하나 공동이 돌발적, 반복적으로 발생하여 운전자의 주행 안전성에 큰 위험요인이 되고 있는 실정임



(1) 서울



(2) 부산



(3) 인천



(4) 경기도



(5) 전라남도



(6) 강원도

그림 1.8 2012년도 전국에서 발생한 도로붕괴 사례(조선일보, 부산일보, Newsis)

- 도로붕괴는 지하철 역 주변의 지하수 펌핑(pumping), 지하철 및 대형 차량에 의한 진동, 상하수도 관로 파손, 굴착공사 근접지역의 지하수위 변동 등 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하고, 또한 도로하부에서 발생되어 사전 예측도 어렵고 정확한 원인 파악이 어려운 실정임
- 도로하부의 기반 시설물 설치 빈도가 꾸준히 증가하고 있고 기후 변화로 인한 폭우 및 한파, 폭염 등이 증가하고 있어 돌발성 도로붕괴 사고는 지속적으로 증가하는 추세임
- 따라서 도로붕괴 및 침하로 인한 인명·재산 피해를 저감하기 위해서는 도로 붕괴 유형별 발생 메커니즘을 규명하고, 붕괴를 예측하기 위한 위험도 탐지 및 평가 기술, 도로붕괴 예방을 위한 붕괴 유형별 최적의 보수보강 기술 개발 등이 시급한 상황임



그림 1.9 도로붕괴 예측 및 보수보강 기술개발 필요성

2. 기술의 범위

가. 도로침수 대응형 빗물 투과 및 저류형 도로포장 시스템 개발 분야

- 글로벌 기후 변화와 더불어 도시화의 확대에 의한 불투수면적이 증가하여 발생하는 도로침수의 피해를 저감하기 위하여, 빗물을 흡수할 수 있는 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계·시공 기술임
- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발, 지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체재료 개발 기술 및 도로침수시 지지력을 보강할 수 있는 기술을 포함하는 빗물 투과형 도로시스템의 설계·시공 기술을 포함
- 강우시 도로에서의 배수를 원활하기 위한 배수 시스템을 개선하고, 흡수된 빗물을 임시로 저장하여 강우유출량을 감소시킬 수 있는 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계·시공 기술임
- 도심지 도로의 배수 시스템 평가 및 개선할 수 있는 기술, 빗물을 저류할 수 있는 인공노상구조체 적용기술을 포함하는 빗물 저류형 도로포장하부 시스템의 설계·시공 기술을 포함
- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 다양한 종류의 기술의 적절한 시행을 위한 기존의 법·제도의 개선에 관한 사항을 포함

나. 도로붕괴 예방을 위한 위험도 평가 및 보수보강 기술 개발 분야

- 도심지에서 도로포장 하부에 설치된 다양한 종류의 시설물과 대형 구조물 주변

에서의 토사 유실과 지하수위 변화로 인하여 발생한 도로하부의 침하나 공동으로 인한 도로붕괴 발생 가능성에 대한 위험도를 평가하는 기술임

- 비파괴시험을 이용하여 도로포장 하부에서 발생한 침하, 공동, 지하수위 변화를 탐지하여 도로붕괴 위험도를 평가할 수 있는 기술을 포함
- 도로붕괴 발생 전후 위험도 등급의 평가 및 위험구간의 도로하부를 보수·보강하고, 도로침하에 따른 주행 안정성을 확보할 수 있는 기술임
- 도로포장 하부에서의 관로 신설 및 교체공사, 굴착에 따른 근접지역에서의 도로붕괴 위험구간에서의 도로하부 보수·보강 기술과 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성을 확보할 수 있는 기술을 포함

2절. 기술 분류 및 내용

1. 기술 분류

표 1.2 도로붕괴 및 침수예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분류

대분류	중분류	소분류
도로침수 및 붕괴 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발	(1) 도로침수 대응을 위한 도로포장 시스템 기술 개발	(1-1) 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
		(1-2) 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강 기술 개발
		(1-3) 빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발
		(1-4) 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발
		(1-5) 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선
	(2) 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발	(2-1) 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
		(2-2) 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 시스템 개발
		(2-3) 포토 및 레이저 센서를 이용한 자がい동식 노면상태 측정 시스템 개발
		(2-4) 도로붕괴 위험 저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발

2. 기술 내용

가. 도로침수 대응을 위한 도로포장 시스템 기술 개발(1세부) 분야 기술 내용

(1) 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발(1-1세세부)

- 저영향개발(Low Impact Development, LID)을 고려하여 도심홍수시 강우유출량을 통합적으로 평가하고 기존 도로의 배수용량을 고려하여 도로침수를 방지하기 위한 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치기법 개발
- 빗물 투과/저류형 도로포장의 수문학적 효과를 분석하여 이를 영상화 할 수 있는 해석 시스템 개발
- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 배수기능을 포함하는 통합 설계기법과 도로의 종류와 등급에 적합한 설계 및 시공 기술 개발



그림 1.10 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템을 이용할 경우 강우유출량 변화



그림 1.11 부족한 배수 인프라로 인한 폭우시 역류 상황(방재안전관리연구센터, 2011)

(2) 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발(1-2세세부)

- 도로침수시 도로포장하부 노상의 함수량이 급격하게 변동되며 이로 인한 도로 포장의 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 불포화지반 개념을 도입하여 포장의 파손 상태를 평가 및 예측하는 기술을 개발하고 저하된 지지력을 보강할 수 있는 기술 개발

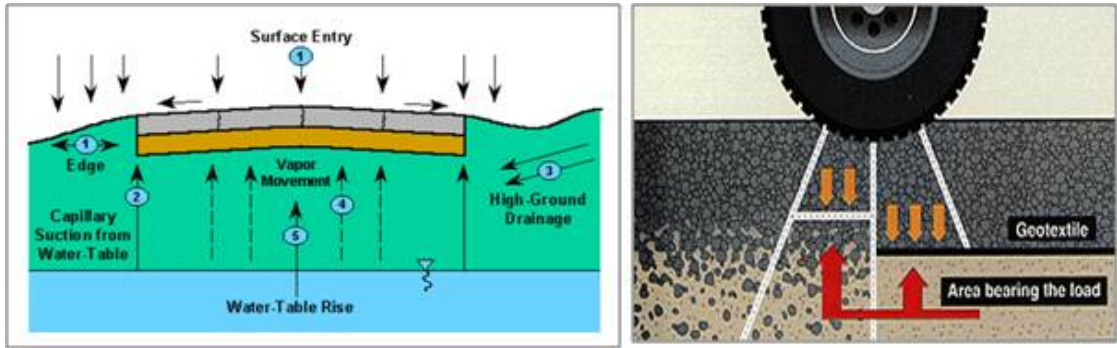


그림 1.12 강우시 지하수위 변동으로 인한 도로포장하부 시스템의 거동 변화

(3) 빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술 개발(1-3세세부)

- 노상을 대체할 수 있는 조립식 인공노상구조체를 노상에 설치하여 도로포장 상부에서 흡수된 빗물을 임시로 저장하여 강우유출량을 지연 및 저감하여 도심홍수시 도로침수를 예방할 수 있는 기술 개발

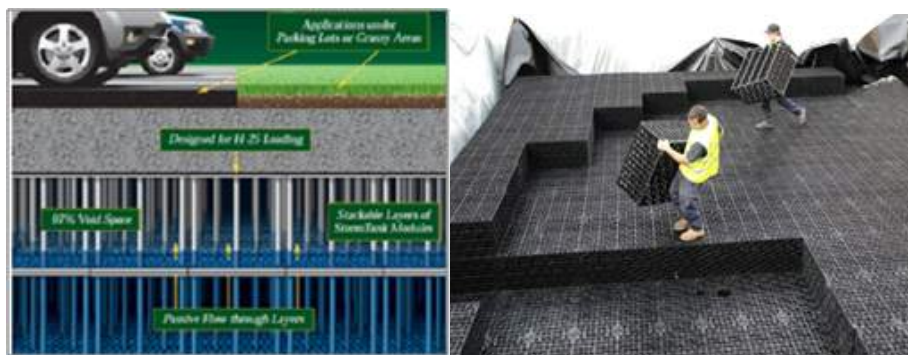


그림 1.13 인공노상구조체를 이용한 저류형 도로포장하부 시스템

(4) 빗물 투수/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공기술 개발(1-4세세부)

- 도로침수에 대응하기 위하여 개발된 빗물 투수/저류형 도로포장 시스템의 현장 적용성을 평가하고, 강우강도와 도로 등급에 따른 설계 및 시공 기술 개발

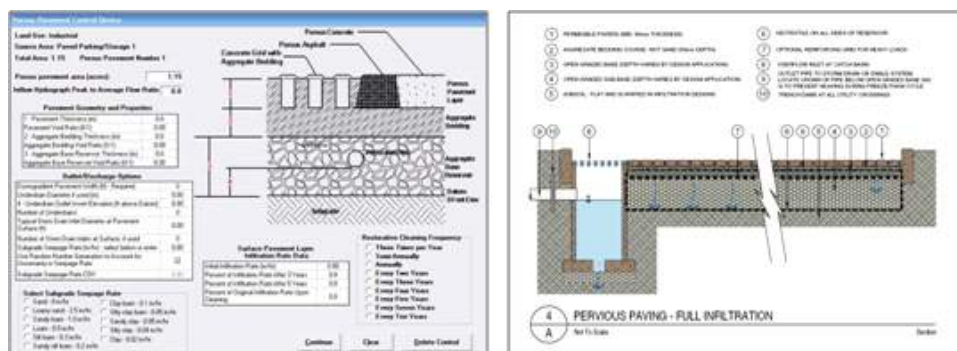


그림 1.14 빗물 투수/저류형 도로포장 시스템 설계

(5) 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선(1-5세세부)

- 도로침수에 대응하기 위하여 개발된 빗물 투수/저류형 도로포장 시스템의 현장 적용성을 평가하고, 강우강도와 도로 등급에 따른 설계 및 시공 기술을 적용하기 위한 법과 제도의 근거 및 논리개발을 통하여 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개정



그림 1.15 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선

나. 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발(2세부) 분야

(1) 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발(2-1세세부)

- 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR), Rolling Weight Deflectometer (RWD), Falling Weight Deflectometer (FWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험을 이용하여 도심지 도로포장 하부에 발생한 공동이나 지반의 처짐 및 지지력 등을 평가하여 도로붕괴 위험도를 평가할 수 있는 물리탐지 및 분석 시스템 개발



그림 1.16 도로붕괴 위험도 탐지시스템 개념

(2) 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 시스템 개발(2-2세세부)

- 도로붕괴 위험 구간에 대하여 실시간으로 도로포장의 변형과 같은 거동을 상시 모니터링하고 계측항목과 기존정보를 연계하여 붕괴 위험도를 자가진단 할 수 있는 시스템을 개발하여 붕괴사고를 사전에 감지할 수 있는 시스템 개발

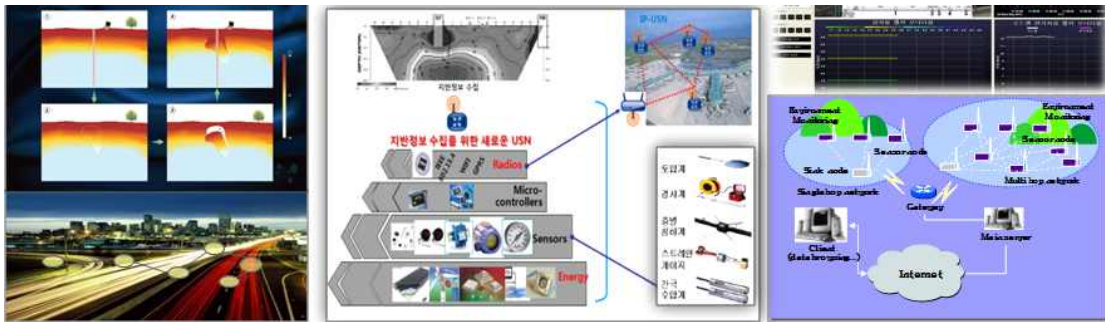


그림 1.17 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 시스템 개요

(3) 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발(2-3세세부)

- 도로포장 하부에 위치한 지하구조물로 인한 불연속면 구간에서 발생하는 도로 침하와 국부적인 파손으로 인한 평탄성을 포토 및 레이저 센서를 이용하여 측정 및 평가할 수 있는 소형 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발

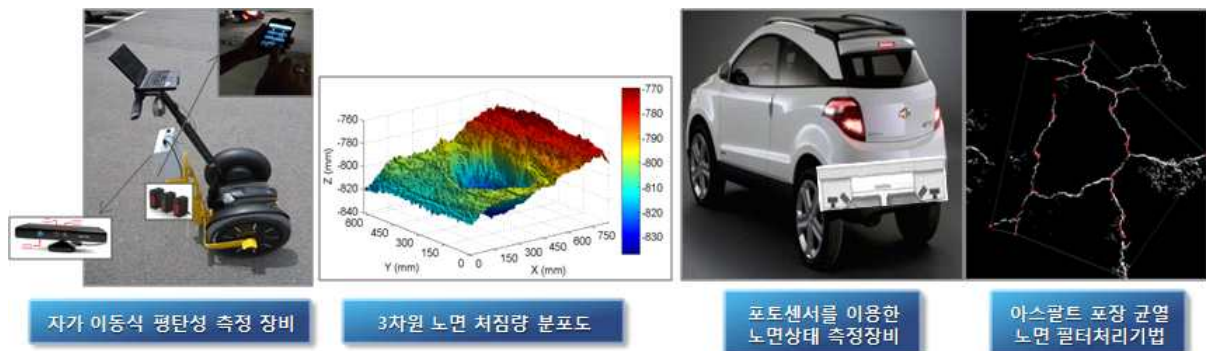


그림 1.18 도로 붕괴 예방 및 보수보강을 위한 기술

(4) 도로붕괴 위험 저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발(2-4세세부)

- 노후 상하수관의 관로교체 공사시 주변 지반의 교란과 침하로 인하여 발생하는 도로 붕괴를 방지하고 위험구간의 보수·보강 기술 개발
- 지하철 및 대형 빌딩 건설을 위한 도로굴착, 재다짐 및 재포장으로 인하여 발생하는 주변지반의 침하와 이완, 지하수위 변화 등을 고려하여 위험구간에서 도로붕괴가 발생하지 않도록 시공단계 전후에 도로포장하부를 보수 및 보강하

는 기술 개발

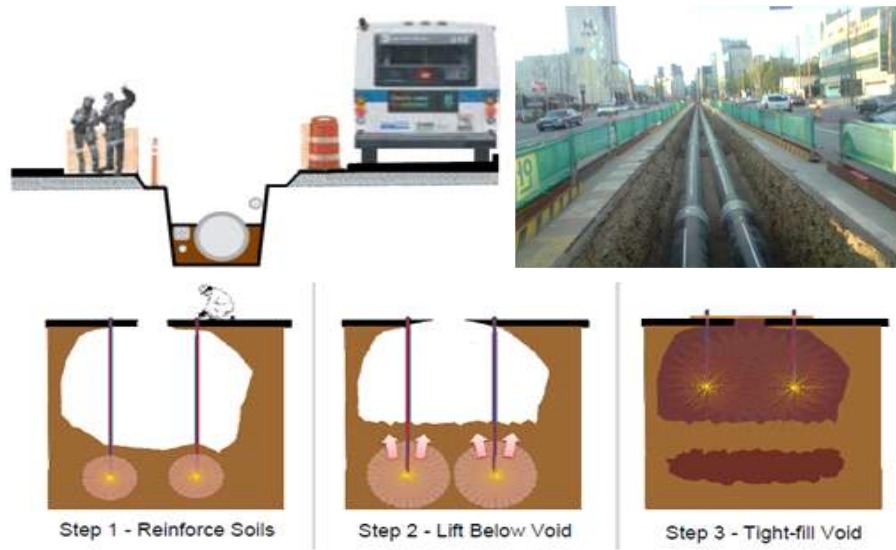


그림 1.19 도로붕괴 예방 및 보수보강을 위한 기술

2장. 국내외 동향조사 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 도로침수 분야

- 일본의 경우 빗물을 도로포장 아래로 침투시키는 투수성 포장을 1973년경부터 주로 보도용으로 대도시를 중심으로 널리 채택되어 왔음
- 일본도로건설업협회에서 1975년 7월에 발간한 「투수성 포장 핸드북」에 따르면 투수성 포장은 보도 및 이면도로, 주차장 같이 교통량이 적은 도로포장에 적용됨
- 1993년에 니이가타시와 건설성 킨키지방건설국(현 국토교통성 킨키지방정비국) 등에서 차도용 투수성 포장에 대한 시험 포장이 시작됨. 1998년에는 국토교통성 중부지방정비국과 아이치현이 도시 홍수 같은 환경 문제에 대한 대책의 일환으로 본격적으로 차도용 투수성 포장 연구가 시작되었고, 집중호우에 따른 도심지 침수방지 대책으로 「특정 도시 하천 침수피해 대책법」이 2003년 6월 11일에 성립, 2004년 5월에 시행되었음
- 국토교통성, 독립행정법인 토목연구소가 중심이 되어 투수성 포장에 대한 직할 국도에서의 전국적인 시험 포장을 실시하고, 중규모 교통량의 도로포장에 대한 적용을 검토하기 시작하였음
- 2005년 6월에는 독립행정법인 토목연구소로부터 토목연구소 자료 3971호에 「도로 노면 빗물처리 매뉴얼 (안)」을 공표하였음
- 또한 일본에서는 대심도 지하 빗물 저류배수시설 같이 한 곳에 대형 저류시설을 만드는 것과 동시에 지역별로 작은 저류시설을 여러 개 설치하도록 유도함. 특히, 학교 운동장 지하나 소규모 공원 지하 등 가능한 모든 곳에 빗물을 저류할 계획임
- 선진국(미국, 유럽 선진국, 호주 등)에서는 투수성 도로 포장재의 적용이 포함되는 포괄적 개념인 저영향개발(LID)을 고려한 설계지침이 마련되어 있는 상태임
- 미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA)은 녹색인프라를 비용 효과적이며, 지속적으로 환경친화적인 빗물 관리차원에서 수질보전을 위한 종합적 전략관점으로 접근하고 있음
- 또한 자연의 물순환을 유지하고 회복하기 위해 빗물을 침투, 증발, 집수 및 재사용하는 관리 방식을 기술적 관점에서 파악하고 레인가든, 투수성 포장, 옥상 녹화 등을 통하여 비음용 사용을 위한 빗물 확보에 주력하고 있음
- 영국에서는 “녹색인프라 파트너십”을 추진하여 녹색인프라를 통하여 실제 사

- 람들이 생활하고 일하는 현장과 인접한 곳에서 사회적, 경제적, 환경적 편익을 제공하여 홍수 완화 및 도시 열섬효과의 완화 등의 기후변화에 적응하고자 함
- 독일에서는 “빗물침투를 위한 시설의 계획” 법규를 제정하여 빗물관리를 하고 있음
 - 국내의 경우 국토해양부에서 자연재해로부터 안전한 도시설계기법 개발, 재해 취약성 등급지도 작성, 도시방재 데이터베이스 통합채널 구축 등을 통해 재해에 선제적으로 대응하기 위한 체계를 구축하기 위하여 국가도시방재연구센터를 설립함
 - 국토해양부는 도심의 저류기능 확대를 통한 도심침수 방지를 위하여 도시공원에 저류시설 설치를 허용하는 도시공원법 시행규칙을 개정하고 2001년 8월 31일부터 시행하고 있음
 - 또한 국토해양부는 수자원 장기 종합계획을 통하여 최근 기후변화로 인해 빈발하는 도시 홍수에 대비하여 하천과 도시배수 시설을 종합적으로 연계한 도시 하천유역종합침수대책을 추진하고 강우레이더 및 GIS를 이용한 첨단 홍수예보 체계 구축과 함께 도심지 주요도로 및 철도 등에 대한 침수예측 정보도 제공할 계획임
 - 서울시는 2011년 8월 집중폭우가 내려도 광화문광장 일대가 물에 잠기지 않도록 대비하는 한편, 서울시내 수해취약지역에 대한 기습폭우 대응능력을 높이기 위한 ‘기후변화대응 침수피해 저감대책’ 발표함
 - 본 대책을 통하여 서울 도심의 심장부이자 국가상징가로인 광화문광장의 배수 능력과 저지대 등 주요 수해취약지역에 대한 기습폭우 대응능력을 함께 높여 기상이변으로 인한 국지성 집중 폭우가 쏟아져도 안전한 도시를 만들기 위해 마련함
 - 최근 들어서 서울시는 도로침수가 집중호우와 같은 환경적인 영향과 더불어 도로 등을 포함한 불투수면적의 확산이 주요 원인이라고 평가하고 이를 개선하기 위하여 불투수면적에 따른 빗물세의 도입을 검토하고 있는 실정임
 - 경기도는 수해 등 재난방지 예산을 2011년 보다 140% 증가한 4,352억원으로 크게 확대하여 하천 정비와 수해복구사업을 50년 재해 빈도에서 80년 빈도로 강화, 도심지 및 상습침수지역 수해를 원천 차단할 것임
 - ‘기후변화대응 침수피해 저감대책’은 광화문광장의 배수능력을 10년에서 50년 향상, 2014년까지 6,693억원의 집중 투자로 저지대 수해취약지역 기습폭우 대응능력을 10년에서 30년으로 향상시키고, 수해취약지역 9개구 7개소 방재시설물 확충이 주요 골자임
 - 2010, 2011년 서울 및 대도시의 집중호우는 설계기준 초과강우로 무한정 도로에 설치되는 우수관망의 설계기준을 높이는 데는 한계가 있으며, 이미 도시화율이 높아져 우수지, 저류지 등 투수층을 확보하기가 어려운 실정임
 - 따라서 도시에서 우수관망에 유입되지 못하고 도로노면을 따라 흐르는 지표면 유출수를 효율적으로 배제하기 위한 연구가 필요하며, 기존 도로시설 측하부에 위치한 우수관망과 병행하여 지표면 유출수가 흐르는 도로를 이용한 저감대책 및 효과 연구가 필요함

- 기존 시스템은 지표면 범람수 해석, 우수관망 해석, 범람해석으로 기존 방재시설(우수관거, 맨홀, 펌프장, 저류지 등)에 대한 연구로 국한되어 있어서 도로를 오히려 도시침수를 유발하는 시설로만 다루고 있는 한계점이 있어 이를 개선할 수 있는 연구 및 이를 실증하는 시스템 개발이 필요함
- 국내에서는 녹색도로와 관련해서 '환경친화적인 도로건설 지침'을 적용(국토부, 2010년 개정)하고 있으며 서울시 등의 일부 지자체에서는 투수성 블록 및 틈새 투수 블록의 도로 적용 등을 위해 다양한 연구를 진행중에 있음
- 해외의 경우 도로포장 하부를 보강하기 위한 토목섬유의 활용이 확대되고 있으나 국내에서는 그 적용이 매우 미미함. 이는 공공분야 도로기술의 적용이 경제성 문제에 대한 고려가 우선적임에 따라 토목섬유와 같은 재료 및 기술의 적용에 다소 어려움이 있음
- 기후변화에 대응 혹은 적응하기 위한 국가적인 차원의 연구에 대한 필요성이 발생하고 있으며 도심부 도로가 특히 취약한 배수에 대한 관심이 증가되고 있는 추세임
- 환경부는 빗물관리를 제대로 못하는 지자체에 오염원인자 부담법칙에 따라 부담금을 내도록 하는 빗물요금제 도입을 계획하고 있으며, 환경부와 한국환경공단은 '비점오염원 관리를 위한 빗물오염 요금제 도입방안 연구' 용역을 발주하여 구체적인 정책 입안을 위한 사업조사에 착수함
- 빗물을 흡수하지 못하는 불투수면적이 넓으면 넓을수록 요금을 많이 내야 하기 때문에 지자체 입장에서는 빗물정원과 생태 저류지, 완충지 외 기존 도로를 투수성 포장으로의 전환이 필요함. 따라서 도시 홍수피해 예방대책 마련 차원에서 추진 중인 도시 배수시스템 개선 사업의 핵심 키를 '빗물요금제'가 차지하고 있음
- 빗물관리 방식은 늘어나는 시가지의 빗물을 신속히 유역하천으로 내보내어 모아서 처리하는 기존의 배수개념을 기본으로 하고 있음. 이는 도시화나 기후변화로 나타나는 현상에 단순히 대응하는 대증요법(對症療法)적인 방식에 불과하고 이에 따라 지표상의 빗물은 증가하는 반면 지하 침투가 줄고 도시하천의 건천화가 생기는 등 자연 물 순환 체계의 왜곡을 피할 수 없으며 도시 열섬효과 등으로 도시의 자연 생태환경에 심대한 영향을 줌
- 기존 배수 시스템이 가지고 있는 이러한 근원적인 문제를 해결하기 위하여 새로운 빗물관리 패러다임에 주목할 필요가 있음. 빗물을 발생지에서 바로 집수하여 저류·침투·이용하는 발생점관리방식으로 도시화 이전의 상태와 가깝게 지표상에 빗물이 흐르도록 관리하는 방식임
- 또한 불투수면을 최소화하고 연못, 침투수로, 주차장 투수성 포장 등 소규모 배수시설을 도시 전체에 분산 배치함으로써 홍수 시 물난리를 극복할 뿐만 아니라 자연 생태환경도 살릴 수 있음
- 소방방재청 국립방재연구소에서는 '우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준(2010.7.고시)'을 개발·보급한 바 있으며, 특히 2007년부터 현재까지 다양한 침투시설에 대한 현장실험을 통해 침투 및 이수 효과를 정량화하여 이 기준의 신뢰성을 높이는 노력을 하고 있음

- 본 기준은 강수시 우수의 직접유출을 억제하기 위하여 인위적으로 우수를 지하에 침투시키거나 지류시키는 시설 즉, 유출저감시설 중 침투시설에 대하여 각 시설에 대한 일반사항, 재료, 시공에 필요한 기술기준안을 정한 것으로서 우수유출저감 시설 사업에 관계되는 기술과 방법을 체계화하고 있음
- 서울시에서는 지속가능한 친환경(투수성) 보도포장 기준(안)을 마련하여 도심지 보도를 기존의 불투수 포장에서 투수 포장으로 점차 개선하여 자연생태면적을 개선, 도심지 열섬현상 완화, 우천시 보행환경 개선 및 호우시 최대값 감소 등의 효과를 높이하고자 함

2. 도로붕괴 분야

- 유럽의 경우 "New Road Construction Concept Vision 2040"을 통해 미래에 추구할 도로의 기능에 대한 다양한 비전을 제시하고 있으며, 도로포장하부의 시설물관리에 의한 영향 검토 등 도로포장하부 역할론 제시함
- 최근 유럽과 같은 도로선진국에서는 도로의 주목적을 교통기능 뿐만 아니라 도로가 차지하는 가용 하부공간을 활용한 다양한 기능성 활용 고품위의 고급 도로설계를 위한 기술개발에 치중함
- 최근 Ecotechnic Road System과 같은 최첨단의 공학기술을 활용하여 교통으로 인해 유발되는 각종 오염과 진동, 소음 등의 환경공해 유발을 최소한으로 줄일 수 있는 대응형 도로체계에 관한 연구가 진행중
- 도로붕괴와 같은 사고가 발생한 후에 복구 작업을 수행하는 것보다는 사전에 붕괴 가능성이 있는 지점을 탐지하여 재산과 인명의 피해를 예방하는 안전관리 차원의 정책이 선진국에서 최우선 정책으로 시도함
- 미국, 홍콩, 일본 등과 같은 선진국에서는 도로 침하, 붕괴분야의 단순한 조사와 데이터베이스화를 통한 유지관리 단계를 넘어서 장단기적인 안정성을 평가하고 불안정요소에 대한 대책을 수립하는 추세임
- 미국의 경우 절성경계부 도로하부 지하침투수의 신속한 배수 및 지반의 강성 부족과 다짐 불량으로 인해 발생하는 붕괴 및 침하를 억제하기 위하여 다양한 재료 및 공법개발이 이루어지고 있음
- 일본의 경우 지진에 의한 해일로 인해 지하수가 최대 2m이상 상승하는 것으로 알려져 지반안정성, 댐붕괴, 도로붕괴 등의 위험성이 증대함으로 이에 대한 연구를 지속적으로 수행함
- 남미의 경우 매년 되풀이 되는 허리케인으로 인하여 지하수위가 상승하여 지반불안정성을 초래하여 도로 및 건물붕괴의 주원인이 되어 이에 대한 연구가 진행되고 있음
- 미국과 유럽 등 선진국에서는 평탄성이 좋은 도로포장의 건설 및 유지보수가 대두되고 있는 실정임. 특히 도로안전개선 프로그램(Highway Safety Improvement Program, HSIP)은 모든 공공 도로의 교통 사망률과 심각한 부상을 감소시키기 위해서 수립되었으며, 프로그램 사용 후 교통사고 사망자가 큰 감소를 나타남

- 아일랜드에서는 본 지역의 모든 도로 사용자를 위해 안전을 향상시킬 수 있는 도로 안전 계획을 개발 예정이며, 도로 안전이 특히 취약한 곳을 선정하여 개선할 예정이고, “Road Safety Strategy 2007~2012”의 국가 도로 안전 전략에 맞도록 도로 안전에 초점을 맞추고 도로 안전이 모든 교통 정책을 뒷받침 할 수 있도록 역할을 수행할 예정임
- 선진국의 경우 도로하부에 시공된 지하매설물의 보수보강 공사를 기존의 굴착형에서 비굴착형으로 개선하고 있는 실정이나 최초 시공 및 지하매설물의 대규모 파손시 굴착보수공사가 주를 이루고 있음
- 특히 영국의 경우 도로하부 비개착 관로부설에 따른 도로포장의 위험도 평가를 위해 “The Joint Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works in the UK” 라는 기준을 수립하여 사용중임
- 이러한 지반 침하의 발생에 대해 선진국에서는 이미 지반침하의 유형별 분석과 대처방법, 지반침하 우려지역에 대한 재해 위험도지도 작성 및 지반침하 발생가능성의 순위 평가 등을 통해 지반침하현상을 능동적으로 대처하고 있음
- 국내의 도로정책은 최근 저탄소·녹색성장의 패러다임에 부응하고자 저탄소형 교통시스템을 구축하고 탄소배출 저감형 교통·물류체계 개발을 중점으로 하는 등 Green Highway를 목표로 하고 있으며, 국민의식수준향상, 소득증가, 여가생활의 활성화를 위한 통행기회의 증가, 근무환경의 변화 등 사회·경제적 여건의 변화에 따라 교통서비스 수준 향상에 대한 지속적인 요구가 예상됨
- 반면에 도로이용자의 안전에 심각한 문제를 직접적으로 야기할 수 있는 도로 붕괴사고는 전국적으로 발생빈도가 증가하고 있고 이와 관련되어 2009년도 도로 전체 유지보수 금액이 2000년도 보다 41% 증가함으로 인하여 각 지자체, 특히 도심지내 도로붕괴대책이 최우선정책으로 부상중임
- 국토해양부에 따르면 1989년부터 도로구조가 취약하며 도로가 붕괴된 것에 대한 위험도로 개량은 다음 그림 2.1과 같으며, 1단계 484개소, 2단계 458개소, 3단계 286개소, 4단계 현재까지 235개소로 전년도에 비해 약 2배 증가된 사업비를 투입할 예정임

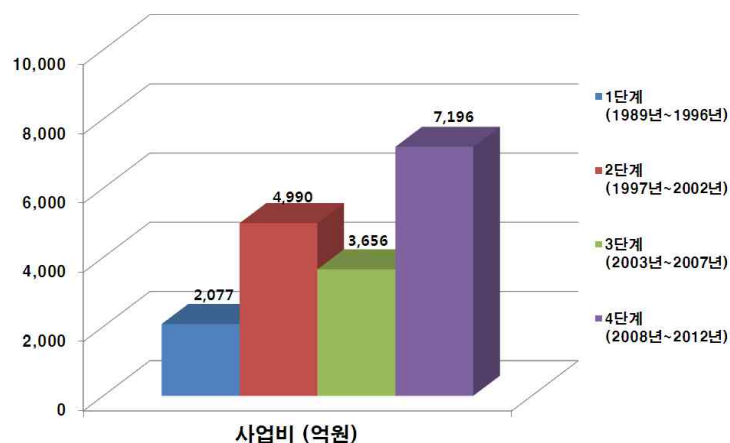


그림 2.1 위험도로 개량 통계

- 따라서 도로하부지반에 존재하는 관로, 지하구조물의 부실시공, 광산의 지하갱도 및 지하채굴지의 함몰, 지하수의 양수에 따른 암반 지지력의 상실 및 공동의 형성, 미고결층과 같은 연약지반의 자연적인 압밀 현상 등에 의한 원인으로 발생하는 지반 침하하는 도로 및 철도 등 국가 기간망에 안정성에 심각한 위험요인으로 작용하고 있으며 특히 인구가 밀집해 있는 지역에서는 가옥 및 시설물의 붕괴요인으로 작용함에 따라 국민의 생활 안전을 위협하고 있는 실정임
- 하수관거정비 재원부족으로 재정사업(연간 5천억원 규모)과 병행, 민간 자본을 선투자하여 관거를 정비하는 임대형민자사업(Build-Transfer-Lease, BTL) 사업이 추진중임
- 이를 통하여 하수관거보급률을 2015년까지 85%로 향상시켜, 선진국 수준의 생활환경 개선, 침수 피해 방지를 추진하고 있으나 국내의 경우 향후 노후 상수도관의 교체가 막대한 물량으로 계획되고 있으며 노후 하수도관 교체는 BTL 사업에 의해 진행중이므로 도로굴착 및 복구 면적이 증가하고 있음
- 최근 도심지에서 원인을 알 수 없는 원형붕괴(Sinkhole) 발생사례가 다수 보고되어 국토해양부에서는 이에 대한 원인분석에 착수하였으며 국외에서도 다수의 유사사례가 보고되어 이를 발생시킬 수 있는 원인분석(지하수의 부침, 지하수맥의 차단 등)에 착수하여 해당 기술을 확보할 경우 원천기술이 될 것으로 예상됨
- 2008년 정부는 5조원을 투입하여 누수율이 46%에 달하는 취약계층 거주지역 25,000개소의 노후 상수도관을 교체해 나갈 것을 발표한 바 있으며 1960년대 산업화 시작이후 대도시 및 중소도시의 압박한 상수도관 등 관로 교체주기시기임
- 또한 지하수위의 변화를 일으킬 수 있는 도로를 지나는 상수도관의 철저한 관리를 통하여 도로 하부층에서의 관으로부터의 누수를 막아 수압과 토압이크게 되는 것을 방지하고자 방법을 찾고 있음
- 최근 비개착식 방법으로 관로를 부설하는 방법이 고려되고 있으나 도로에 터널을 굴착할 경우는 지표면의 침하나 부풀어 오름을 면밀히 모니터링 하면서 공사수행을 하여야 하며, 터널의 붕괴나 도로의 붕괴를 방지할 수 있는 지하수 흐름을 차단하여 토사가 같이 이동하는 것을 미연에 방지할 수 있는 기술 개발이 필요함
- 또한 개착식공법으로 도로를 굴착하는 동안 2차적인 도로붕괴를 방지하기 위한 시설물 안전관리 강화를 위한 정책을 추진하고 있으며, 도로붕괴의 이상조짐이 감지될 경우 인명피해 및 재산피해를 방지하기 위하여 보수보강방안을 수립중임
- 도로포장하부 시설구조물 근접지역에서 도로 굴착시 전단강도의 급격한 저하로 붕괴될 수 있는 구간에 대하여 정밀안전진단을 실시하고 구배조정 및 보수 및 보강 대책을 강구하여야 함
- 일반적으로 매설관 주위 지반 및 재포장 특성을 간과한 채로 이루어지는 재포장 공사는 기존 도로포장의 내구수명을 단축시킬 뿐만 아니라 부실시공에 의한 침하, 붕괴 등에 따른 재산 및 인명피해까지도 수반할 수 있음

- 또한 사고이후 복구작업을 수행하는 것보다는 사전에 미리 예방하는 차원의 도로 개착 및 재포장을 위한 설계와 시공기술을 개발하는 것인 시급한 실정임
- 최근 서울시 보도에 따르면 GPR, FWD, Road Scanner를 구매하여 도로하부 지반상태를 정밀하게 조사하고 수시점검을 실시하도록 하여 체계적인 관리 체제 도입시킬 예정임(서울시 보도자료, 2012년 4월)
- 2009년 도로교통공단에서 발간된 교통사고통계에 따르면 운전도중 시야가 불확실한 날에 사고가 많이 일어나는 것을 보여줌으로써, 최근 노면상태에 의한 사고를 미연에 방지하고자 사고방지를 위한 도로표면상태 탐지 시스템 개발이 추진중임
- 도로붕괴에 따른 시민 불안은 사고빈도보다 파급성이 더 크므로 도로붕괴방지 방안 구축에 대한 관리정책화가 추진중이며, 최근 도로사업의 환경성, 안전성을 강화하는 추세임
- 교통량 재검토를 통한 도로시설규모 조정 등 도로사업 전과정에 걸쳐 투자효율성을 대폭 강화하는 추세이며, 도로계획, 건설 및 관리 분야의 환경성 및 지속가능성을 강화하고, 사고가 잦은 곳에 대한 개선 등 도로 안전사업을 확대 예정임

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 도로침수 분야

- 지구의 기후변화로 인한 국지성 호우, 다발성 홍수, 도심열섬현상 가속, 가뭄, 혹서, 태풍 등이 전 세계적으로 빈번해지고 있음
- 1980~2008년간 전 세계 홍수피해의 통계를 분석한 결과, 홍수 빈도수는 2,887건, 총 사망자는 200,000명에 이르며, 최근 기후변화에 따른 홍수피해 규모가 점차 증가할 전망이다

표 2.1 세계 홍수 피해 통계자료(1980~2008년간)

홍수 빈도수	2,887
사망자수	195,843
연평균 사망자수	6,753
이재민수	2,809,481,489
연평균 이재민수	96,878,672
경제적 피해 (US\$ × 1,000)	397,333,885
연평균 경제적 피해 (US\$ × 1,000)	13,701,168

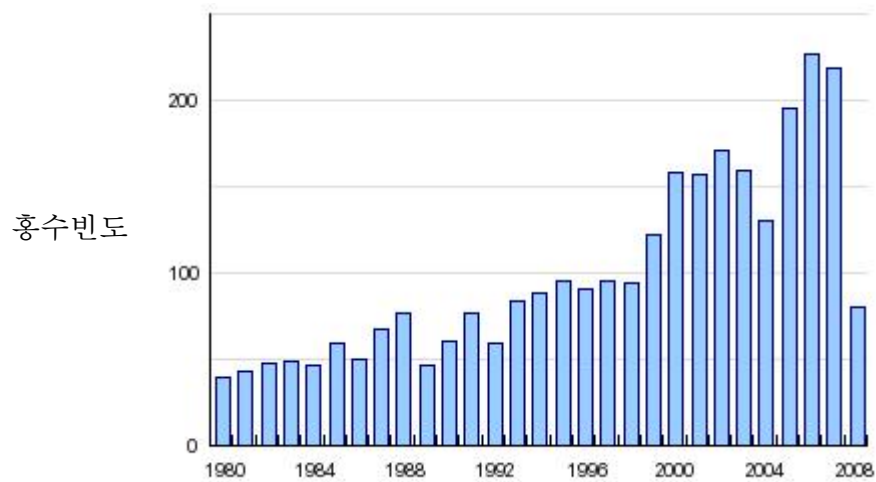


그림 2.2 세계 홍수빈도 통계

- 일본 도쿄인근 나카노구 센푸쿠지천 취수시설(대심도 터널)을 일회 가동할 때마다 홍수 피해액 156억엔(2000억원)을 줄인 것으로 추산됨
- 2011년 태국 홍수로 인한 피해는 약 백만 가구, 550만명의 이재민 발생, 사망 562명임
- 미국의 경우 지하수 유출로 인한 도로 등 심각한 침하가 일어나는 것을 방지하기 위해 그림 2.3과 같이 위성을 이용하여 지반 고도 변화를 파악하여 사회기반 시설의 피해를 최소화하고 있음

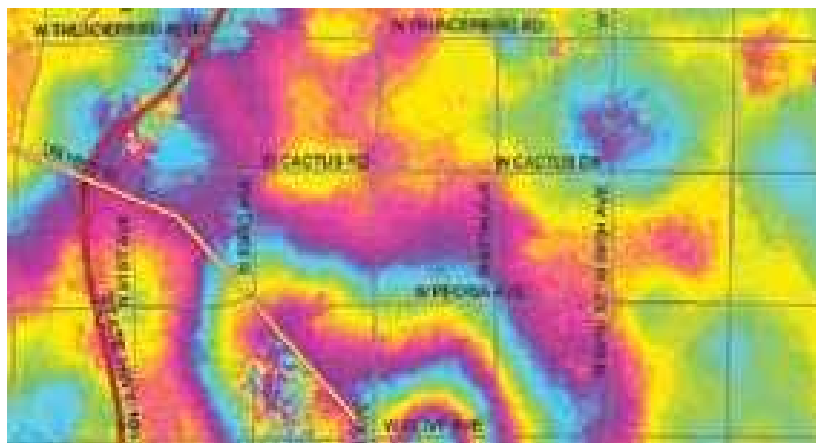


그림 2.3 위성 지반 고도 탐지 시스템

- 일본의 경우 GIS를 이용하여 포장 단면 구성, 연도별 화상 정보, 보수 이력 등의 정보가 종합되어 도로의 현재 상황을 한눈에 알 수 있으며, 이러한 포장 관리 지원 시스템을 개발하여 유지보수를 계획적, 경제적으로 하여 중장기 라이프 사이클 비용을 최소화하고 있음



그림 2.4 GIS를 이용한 포장 관리 시스템

- 또한 일본의 경우 도로나 철도가 연약한 지반 인근에 건설하는 경우가 많아 진동 대책이 요구되고 있는 실정으로 해석 대상 지반 근처의 도로나 건물 기초 등을 실물에 맞춘 3차원 유한 요소 모델로, 그 지역 주변에 무한하게 퍼져 지반을 3차원 박층 모델로 나타내는 각각의 해석 방법의 이점을 살린 시스템을 개발하였음

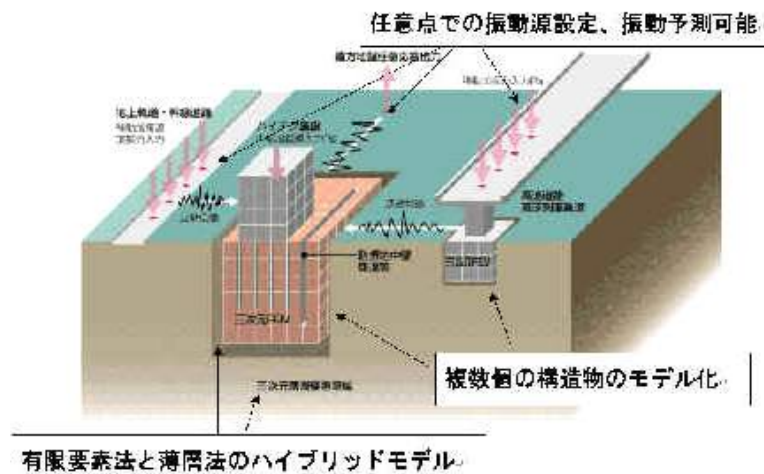


그림 2.5 시스템 개요도

- 또한 일본의 경우 도로를 건설하는 경우 연약층이 있는 지반상에 높은 성토를 구축하는 경우가 많아 큰 침하가 발생하므로, 성토 바로 전면에서 시멘트 개량체를 큰 간격으로 배치하여 성토 바로 아래의 압밀 침하를 완화하는 공법을 개발하여 종래보다 작은 침하 속도와 비용 감축, 공사 기간을 단축함

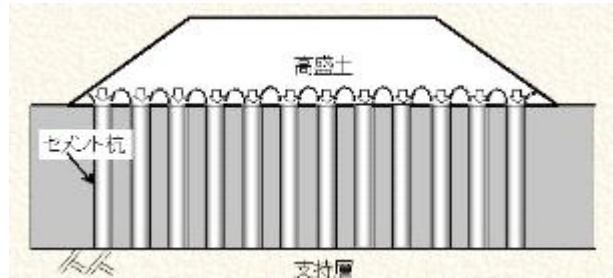


그림 2.6 연약지반 장기침하 억제 공법

- 영국 TRL(Transport Research Laboratory)은 최근에 버지니아 지속가능 연구 컨소시엄(Virginia Sustainable Research Consortium, VSRC)과 함께 도로 포장의 구조적 조건을 평가하기 위해 적용되고 있는 기술들에 대한 역량 평가 프로젝트를 수행중에 있음
- 호주연방과학원의 RoadCrack 시스템은 이미지 처리기술을 기반으로 하는 자동형의 도로표면 포장상태를 탐사하는 장치를 개발하고, 객관적으로 획득한 통계 데이터를 도로유지관리에 활용하여 도로유지관리비용으로 수천만 달러를 절약할 수 있을 것으로 예상됨
- 이와 같이 다양한 도로포장상태조사 장비가 활용되고 있으나, 도로붕괴 위험도의 평가와 같은 시스템화에 대한 연구는 전무한 실정임
- 다양한 국가 및 대륙에서 자연재해의 일종인 지진해일이나 이상기후로 해수면이 상승하고 이로 인하여 지하수위가 상승하게 되어 많은 붕괴사고가 발생하고 있기 때문에 이들 붕괴에 대한 평가기법에 대한 시장 수요가 많으며, 계속 증가할 것으로 예측할 수 있음
- 중국 베이징의 경우 수자원의 2/3가량을 지하수에 의존하고 있기 때문에 지하수가 급격히 고갈돼 지난 1999년 지하 12m였던 지하수 평균 수위가 2010년엔 지하 24m 수준까지 내려감.
- 이에 따라 수질악화와 함께 지반이 약해지는 문제가 나타나고 있고, 베이징 시내에선 지하수 고갈에 따른 지반약화로 2,650km² 지역이 지반침하를 겪고 있음
- 베트남의 경우 수도 하노이의 인구가 최근 폭발적으로 늘어나 하루 사용되는 지하수의 양이 보충되는 양보다 많아 지반침하가 발생하고 있으며 이 가운데서도 지반이 약한 지역의 침하 현상이 훨씬 두드러지게 나타나므로 이에 대한 보수보강 수요가 증가될 것으로 예상됨
- 국내의 경우 지난 35년간 1,245mm에 불과하던 연평균 강수량이 2000년 이후 1,400mm 이상으로 유지되고 1,500mm가 넘는 해도 있었음[이화여대 산학협력단, “수자원/수질분야의 기후변화 영향평가와 적응대책 발굴을 위한 연구과제”]

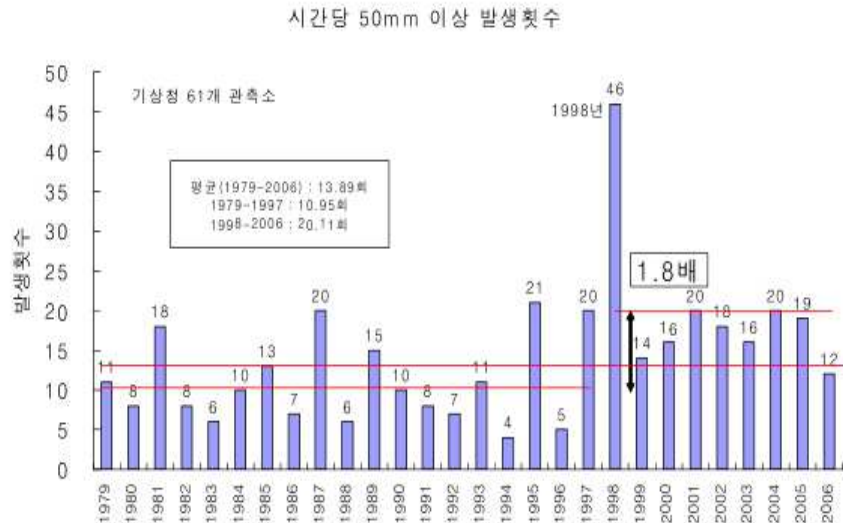


그림 2.8 평균 강수량의 변화추세

- 기후변화로 인한 강수량 증가는 종종 도심의 돌발성 집중 호우를 야기하고 있고, 이로 인한 도로침수 또한 빈번해지고 있으며 2011년도 서울시의 경우 올림픽대로 등을 포함한 41개 지역에서 도로침수가 발생하였음
- 서울시에서 최근 발생한 주요 침수 피해에 따르면 사망 및 부상으로 인한 인명 피해뿐만이 아니라 피해액도 크게 늘어나 2011년의 경우 874억원으로 이에 대한 시급한 대책이 필요함.
- 특히 침수된 지역의 토지피복 특성을 살펴보면, 불투수율 90% 이상 지역의 침수피해가 전체 침수피해지역의 73%로 매우 높게 나타남 [“도시기후변화 폭우 재해 적응 안전도시 기술 개발” 연구팀]
- 이러한 도심지 도로침수는 집중호우가 직접적인 원인이지만 포장도로 및 건물 등으로 인한 불투수면 증가 및 배수시설 부족 등이 중요한 원인을 제공하고 있어 이러한 문제를 해소할 수 있는 연구가 시급한 실정임
- 도로침수는 교통두절을 야기할 뿐만 아니라 포장의 파손과 주변 가옥의 침수, 차량파손 등 경제적, 사회적으로 심각한 피해를 유발하며, 2011년도 한 해 발생한 도로침수로 인한 직접적인 피해액만도 약 1,144억원으로 추정됨
- 최근 10년간 국내에서 호우와 태풍 피해를 복구하는 데 사용된 예산은 24조원이며, 이 중 도시 지역이 차지하는 비중은 90%임
- 중앙재난안전대책본부는 도시·지역별로 차별된 방재 기준을 마련하고, 또한 사유시설이 지하 저류시설을 확보하도록 용적률 상향 등 인센티브 부여를 추진하기로 함
- 특히 2011년 집중 호우를 계기로 절개지 붕괴, 산사태 및 도심지 저지대 침수 대책에 대한 근본적인 재검토가 필요하다고 판단하여 올해 전체 R&D 예산의 1%가량인 방재 분야 R&D사업 예산(1,492억원)을 선진국 수준인 10%까지 확대할 방침임
- 최근 기후변화로 인한 이상기후로 인하여 재해발생빈도 및 패턴이 변화하여 도시화와 산업화로 인한 도시지역의 피해 규모가 과거보다 커지고 예측하기

힘들게 재해환경이 변화하고 있음

- 특히 도시침수방지를 위한 방재산업은 이제 태동기에 있으며 관련시장규모가 기하급수적으로 증가할 것으로 예상됨
- 빗물 투과형 도로포장 분야에서 유역 수문학적 성능의 수치모형적 평가에 대한 전문적 지식을 보유하고 있는 연구단 및 업체는 국내에 거의 없으며, 본 연구를 통해 습득될 관련 노하우는 국내시장에서 본 연구단이 투수성 포장재 분야에서 선도적 위치를 차지할 수 있는 도구가 될 것임
- 녹색 성장 및 이상 기후 대응 방안으로 포장 분야에서 투·배수성 포장 사용률이 세계적으로 증가하는 추세임, 서울시 생태 환경 개선 사업으로 투수기층 재료를 채택할 때 30~40%의 증가가 예상돼 아파트 단지 등의 민간 부분에서 활용이 예상됨
- 최근 기후변화로 인한 강우의 증가와 패턴 변화로 인하여 도로하부 노상의 역학적 및 수리학적 특성의 검비가 요구되고 있음. 따라서 토목섬유와 같은 신소재 재료와 같이 두 가지의 기능이 균형있게 활용될 수 있는 기술의 적용을 통하여 도로, 지반, 건설재료, 섬유 및 방재 산업에 있어 개발과 활용이 증가할 것으로 예상됨
- 빗물 투과형 도로포장분야의 경우 공공성이 많은 분야로 개발 기술의 Test Bed 설치를 위해서는 국토해양부, 서울시, 한국도로공사, LH공사 등과 같은 기관에 설치 및 운용되어야 함. 따라서 이러한 기술의 적용을 통하여 차후 공공발주 및 민간투자 도로에 활용이 증가할 것으로 예상됨

2. 도로붕괴 분야

- 자연적인 현상에 의한 도로붕괴는 매우 미미하지만 도로굴착과 같은 공사로 인한 도로붕괴는 빈번한 상황을 고려할 때 도로붕괴 가능성을 평가하고 이를 보수 및 보강하는 기술에 대한 시장현황은 매우 양호할 것으로 전망됨
- 석회암이 존재하는 지역에서의 도로굴착시 Sinkhole과 같은 도로붕괴가 일어날 가능성이 매우 높아지므로 이에 대한 도로붕괴 보수보강기법의 수요는 상승할 것으로 예상됨
- 지중에 위치한 노후화된 관로교체공사를 수행하는 동안 지반의 불안정화로 인한 붕괴사고가 많이 발생하고 있어서 이를 예방할 수 있는 기술 및 응급복구공사에 대한 기술 수요가 많을 것으로 판단됨
- 일본에서는 연약지반위에 구축된 도로에서의 많은 경험과 연구 성과를 정리해 조사·설계·시공의 표준화를 구축하여 「토탄성 연약 지반 대책공 매뉴얼」 발간 등 연약지반도로의 처리를 활성화하고 있음
- 일본에서는 2011년 동일본 대지진 이후 도로의 장기적인 재진단 및 보수보강에 대한 연구 및 검토 등이 활발히 연구되고 있음



그림 2.7 일본 토탄성 연약지반에 시공된 도로

- 소방방재청에 따르면 발표된 전국 도로붕괴 사고는 2009~2010년도 12개소에 이어 2011~2012년에도 서울 4곳, 인천 3곳 등 발생빈도가 늘어가고 있음
- 최근 5년간 도로부문 연평균 투자는 약 80,000억원이며 연평균 증가율은 1.48%임. 신설 도로건설 공사는 점차 감소하는 추세이나 기존 도로의 유지보수 예산은 늘어날 것으로 전망함
- 2009년도 도로 전체 유지보수 금액이 24,852억원으로 2000년도 보다 41.1% 증가하였으며, 각 지자체, 특히 도심지내 도로붕괴대책이 최우선정책으로 부상중임



그림 2.9 국내 도로 유지보수 비용 현황

- 2010년 현재 국내 전체도로의 85.6%를 포장도로가 차지하고 있으며 산악지형이 많은 우리나라의 경우 절성경계부에 시공된 도로가 많은 비중을 차지함
- 또한 급격한 기후 변화로 인한 강습강우패턴의 증가에 따른 절성경계구간의 도로 붕괴 및 침하 또한 증가하여 이에 대한 대책공법 등 유관시장의 장래는 밝은 것으로 판단됨
- 우리나라도 일본과 같이 지진 및 해일 등 자연재해가 발생할 우려가 있으며,

- 지구 온난화 영향으로 아열대 기후로 변화하는 상황을 고려할 때 지하수 상승 요인이 많이 발생할 것으로 예상됨
- 따라서 지하수 상승으로 인한 지반안정성 약화로 도로붕괴가 많이 발생되어 이를 평가할 수 있는 기법이 상당히 필요할 것으로 판단되며, 연구개발시 국내 전체도로에 적용할 수 있을 것으로 예상됨
 - 도로하부에 시공된 국내의 상하수도를 포함한 관로의 유지보수 비용이 연간 2조원 정도로 추산되고, 이중 하부기초 및 뒤통재 등에 의한 유지보수 비율을 10% 수준으로 고려하면 약 2000억원 정도임. 이중 도로하부에 시공된 비율을 50% 정도 고려하면 약 1000억원 정도의 관련 분야 시장이 있는 것으로 추정됨
 - 우리나라 전국 포장도로의 길이가 약 10만 Km 정도이고, 전국에 시공된 상하수도관로의 총연장은 약 19만 Km임. 이중 서울에 시공된 총연장은 3만 km 정도임
 - 도로하부에 시공되는 하수관거 BTL 사업의 경우 2005년부터 현재까지 약 10조원 정도의 사업비 규모임
 - 2008년 정부는 5조를 투입하여 누수율이 46%에 달하는 취약계층 거주지역 25,000개소의 노후 상수도관을 교체해 나갈 것을 발표하였으며 1960년대 산업화 시작이후 대도시 및 중소도시의 임박한 상수도관 등 관로 교체주기를 고려할 때 도로굴착 및 복구 공사물량은 앞으로 지하급수로 증가할 것으로 판단됨
 - 따라서 국내의 노후화된 상수도, 하수도, 전기선로, 가스관로 교체공사 등으로 인하여 근접지역 도로붕괴위험이 내재되어 있어 이에 대한 붕괴지역의 보수보강의 수요는 해마다 늘어날 것으로 예상됨
 - 기존 도로하부 지하상가 및 지하철과 같은 대형 지하공간구조를 신축하기 위한 수요가 급증하고 있어 공사시 근접도로에서의 붕괴, 침하 및 파괴 사례가 급증하고 있음
 - 도심부 도로의 지하 매설물 관리를 위한 유틸리티 컷의 발생 빈도가 해가 갈수록 늘고 있고 이에 따른 소위 '누더기 도로'로 인한 주행안전성 결여로 인하여 시민들의 민원이 증가되고 있어 보다 체계적인 관리와 시공 기술이 필요함
 - 그동안 도심지 도로에서 개착이 불가피한 지역에서 경제성을 감안해 시행중인 비개착 일반 강관압입공법은 바다나 강이 인접한 초연약지반의 경우 막장붕괴 및 도로침하로 안전사고의 가능성이 높음
 - 또한 도로하부 굴착시 지하수맥의 흐름이상을 초래하여 도심지 곳곳에서 이상 sinkhole 및 침하피해 사례가 다수 발생하고 있으며 이러한 피해는 피해복구에 필요한 기술인력의 양성과 소요기술의 개발 및 이에 유관된 비용의 지출이 클 것으로 판단되며 향후 유관산업의 새로운 시장이 창출될 것으로 판단됨
 - 소파보수, 덧씌우기 및 재포장을 포함하여 도로붕괴와 같은 도로의 유지보수를 위해서 막대한 예산이 사용되고 있는 실정임. 서울시의 경우 그림 2.10에 나타난 바와 같이 매해 증가하는 추세를 나타냄

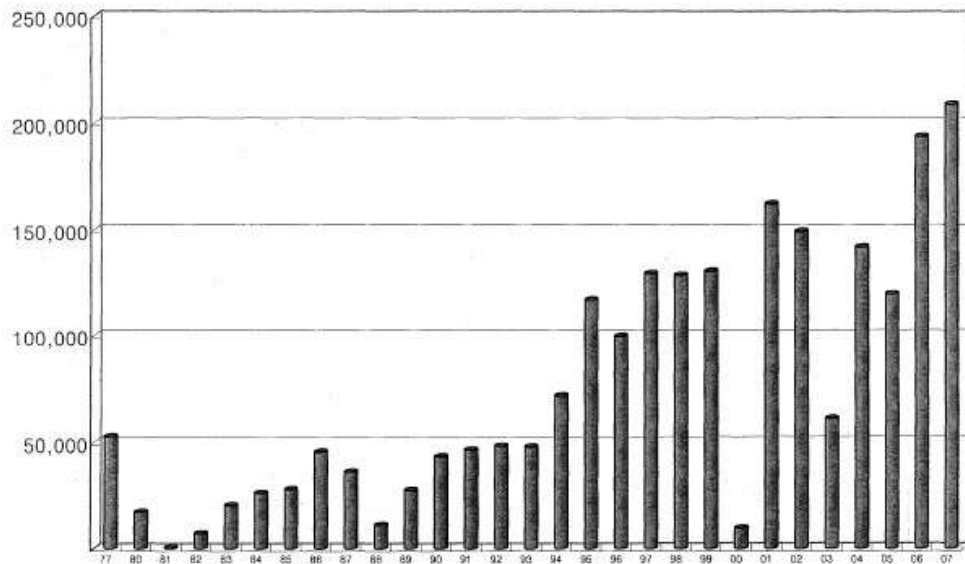


그림 2.10 서울특별시 연도별 보수비

- 특히 도로평탄성 검사를 하지 않은 채 준공해 요철현상이 심하게 나타난 공사 구간에 대해 도로평탄성 시험을 실시한 결과 실제 평탄성 지수가 많게는 기준치의 5배까지 초과했으며, 이로 인해 포장면의 요철현상으로 승차감이 떨어지고 포장층의 품질저하와 교통사고의 위험이 증가함
- 일본 PASCO사의 ROADRECON 장비는 소성변형 측정의 보관을 필름에 수록하는 방법을 채택하고 있으며, 조사속도는 40km/h이고 조명에 따른 음영을 촬영하는 방식으로 야간에 노면조사를 실시하고 있음
- KOMATSU사의 ROMEN-CATCHER 장비는 레이저 광선의 주사와 반사를 이용하여 노면손상, 소성변형 및 종방향 평탄성을 측정하고, 주행거리 신호에 근거하여 횡단 형상 화상을 촬영을 통해 소성변형 측정함
- 캐나다 ROADWARE사에서 제작한 ARAN 장비는 노면의 소성변형을 측정하기 위하여 초음파센서를 사용한 다점 변위 계측 방식이 사용되고 있으며, 관찰자의 평가를 키보드로 입력하는 형식이 병행하여 채택하여 소성변형 측정함
- 각국에서 개발하여 운영 중인 노면손상 자동측정장비는 노면의 균열뿐만 아니라 노면의 단차, 평탄성 및 소성변형 등을 복합적으로 측정할 수 있는 장치로서, 지속적인 연구 수행 중이므로 국내에서도 평탄성의 주행안전성 확보를 위한 기술독립 및 시장형성을 위한 체계적 연구가 필요함
- 도로 포장상태를 조사하기 위한 장비 현황은 다음 그림 2.11과 같이 다양한 장비가 활용되고 있으며, 이에 따른 포장 공용성 평가 해석기법, 도로포장관리시스템(PMS) 개선방안 또한 점차적으로 개발 되고 있으나, 포장 하부원인에 따른 도로 붕괴 위험도 등급 별 시스템화에 대한 연구가 전무한 실정으로 붕괴를 사전에 예방할 수 있는 시스템 구축이 어려운 상태임



그림 2.11 도로포장상태 조사 장비

3절. 기술동향 분석

1. 관련 기술개발 동향

가. 도로침수 예방형 도로포장 시스템 기술 관련 기술

- 기존 도시유출해석 모형은 하수관거 및 하수시설(맨홀, 펌프장)을 고려하여 직사각형 형태 및 사용자 입력형태의 유역특성을 가정하여 맨홀에 유입되는 집수면적, 관거 등을 이용한 분석기술은 연구된바 있으나 도로노면과 하부층 배수 거동해석 및 도로 유하량 산정 등에 대한 기술은 새롭게 개발하여야 함
- 투수성 도로포장재 적용에 있어 LID를 고려한 최적 공간배치기법 분야는 선진국을 중심으로 활발한 기술적인 연구가 진행되고 있으나, 국내에서 현장실험 및 실내외시험 등을 통해 실제 설계에 적용될 수 있는 체계적이고 정량적인 결과물이 나온 경우는 없음
- 미국 주택도시국에서는 “The practice of Low Impact Development”, 환경자원국에서는 “Low-Impact Development Design Strategies” 개념을 설계 지침에 적용하고 있으며 뉴질랜드 수환경연구재단에서는 “On Site Management of Stormwater”를 연구하고 있음
- 국내에서는 배수성 아스팔트 포장재료 개발에 관련하여 연구가 수행해 왔으나 본 재료는 주로 도로의 표층에 적용되고 있는 실정임
- 배수성 포장의 경우, 높은 공극률에 따른 내구성 저하에 따라 다양한 파손이 발생하고 있어 이에 대한 대책이 필요함
- 한국건설기술연구원은 고점도 침단 개질재를 이용하여 배수성 아스팔트 포장의 기능성과 내구성을 향상시킬 수 있는 방법을 개발함. 또한 포장 하부의 지지력 및 투수성 향상을 위한 저수축 투수시멘트 안정처리 공법을 개발함
- 현재 국내에서는 포장하부의 배수능력 확보를 위한 인공하부 구조체 개발 관련 연구는 전무한 상황임
- 영국 TRL에서는 보도부에서 포장하부를 인공하부 구조체로 대체하여 배수용량

- 을 확대하는 기술을 개발하고 있음
- 도로포장의 역할을 차량 주행안정성 확보와 더불어 홍수 피해 저감을 위한 매개체로 사용할 수 있는 신개념의 도로 포장 시스템의 구축이 필요한 실정임
 - 도심지 집중호우에 대비한 투수성포장이 국내에서 일부 연구된 바 있으나 홍수량 유출저감 등을 고려하는 측면만 강조하여 침투수의 하부노상 침투시 노상의 강도저하를 초래하여 도로포장의 파손이 급격히 진행되는 문제점을 해소하지 못함으로서 실용화되기에는 한계를 노출하였음
 - 최근 유럽 및 미국에서는 집수 및 정수기능을 포함한 구조물을 포장 직하부에 설치하여 강우시 빗물을 포장체 내부로 흡수·정수하고 물을 일정기간 저장하여 유용한 수자원 공급처의 역할을 하고 과급시에는 체외로 배출할 수 있는 저류형 포장 시스템을 개발하였음
 - 배수기층은 공항이나 많은 교통량이 있는 도로에서 지하수의 팽팽이나 단차(Faulting)의 피해를 막고자 개발되었으며 CTPB(Cement Treated Permeable Base)은 세립토의 양을 줄이고 $120\text{--}150\text{kg/m}^3$ 의 시멘트를 함유시킴. 다공성 콘크리트 기층 포장은 높은 투수성과 안정성을 가지며 빗물과 통과수로 인한 포장체의 피해를 방지하며 골재 기층보다 강성과 강도가 높고 건설이 용이함(Carl A. Rapp, 1997). 미국 IPRF(Innovative Pavement Research Foundation)에서는 강성포장은 배수층이 사용될 때 공용성이 좋으며, 포장과 기층은 배수층 위에 바로 시공이 된다고 제시함
 - 입상 재료 층의 경우 대형 삼축 실험 장비를 이용해서 geo-cell로 보강한 경우 전단강도가 높음을 보여주고 있으며(Bathurst 1993, Wang, 2008, 김현수, KICT 2010) 상용화된 제품이 외국의 경우 이용되고 있다(COREgravel) 그러나 실제 현장 시험에서는 전단강도나 지지력 상승이 보이지 않고 있어(유인균, KICT 2011) 격자 등의 형태와 프리스트레싱 개념을 이용한 채움 방법 등 다양한 시공법이 검토 중에 있음
 - 다공성 기층을 가진 포장층에서, 물 흐름 관련 연구는 미미한 수준이다. 국외의 경우 다양한 배수층 포장에서 표면수와 하부층에 투입되는 물의 양을 정량화하여 지연효과 및 누수량 등을 파악하고 있으나(벨기에 도로연구소 2004, 일본 토목연구소 2007, UNC 2007) 국내의 경우, CALES를 이용한 투수 계수 측정(중앙대 2011) 등에 머무르고 있는 실정임
 - 실내 실험 역시 국내에서는 정수위 혹은 변수위 투수 실험을 진행하고 있으나 영국 등에서는 골재 층에서 발생하는 Eddy flow를 배제하고 수두차를 적게 하여 실제 포장 현상을 반영하는 실험방법(2008 Dawson)을 개발하여 투수 계수를 구하고 있음
 - 열전달 모형을 기반으로 한 질량 보전 법칙을 이용해서 다양한 투수 모형(Hydro2D)이 개발되었고 이를 개량한 실용적 모형(DRIP)(KDRIP 2009)이 현재 사용 중에 있거나 개발 중임. 기존 투수성 포장의 배수 특성 분석 모형이 실험실에서, 그리고 모형으로 검증된 일체의 작업이 국내에서는 진행되지 못하고 있음
 - 투수성 포장의 물 영향 분석은 개발된 한국형 포장 설계법의 기본 개념을 이용

해서 측정이 가능함. 물 영향에 따른 처짐량의 변화와 탄성계수의 변화, 그리고
데미지의 영향 등을 분석함으로써 정량화된 함수량변화와 공용성 관계를 도출
할 수 있을 것임

- 일반적인 지반공학에서 연약지반개량 및 흙막이 공사에 다수가 활용되고 있
으나 도로분야의 적용은 미미한 실정임. 특별히 역학적인 특성의 정량화 및 적용
은 연구된 바가 있음. 그러나 도로노상 및 하부층 배수와 관련된 기술은 신규
로 개발하여야 함. 또한 지반재료와 토목섬유 합성의 재료를 신규로 개발하여
적당한 포장하부 배수재료로 개발이 가능함
- 국내외적으로 현장검증 평가가 다수 진행되어 왔으나 본 연구에서 고려하는
기술들의 역학적·환경적인 조건에 따른 기술의 적용을 위한 계측과 평가 기
술이 필요함. 특히 수리-역학적 관점의 실증화 연구가 요구됨에 따라 이에 대
응하는 설계기술도 필요함
- 일본의 요시나카 등(2000)은 투수성 포장의 중교통 구간에 대한 적용성을 평가
하기 위해 두께 45cm의 시험시공을 실시하고 현장 시험을 실시한 결과 시험시
공 구간에서 살수 전·후의 FWD 장비를 이용한 처짐량과 동적 평판재하시험
기를 이용한 노상의 지지력 측정 결과 빗물 침투가 투수성포장의 구조적인 내
구성에 미치는 영향은 미미하다고 보고하였음
- 또한 일본의 엔도 등(2002)은 차도용 투수성 포장에 대한 연구에서 노상토의
실내실험과 현장과의 경향을 파악하기 위해 시험포장을 실시하였음. 현장에서
FWD를 이용하여 노상의 지지력을 평가한 결과 강우 후에 노상토의 함수비가
증가한 시점에서 FWD의 처짐량은 약간 크게 측정되었으나, 이 결과로부터 추
정한 노상의 탄성계수는 거의 변화가 보이지 않는 것으로 분석되었으나 실내
실험 결과 노상의 함수비가 올라가면 노상토의 회복탄성계수가 떨어지고, 재하
에 의한 공시체의 영구변형이 크게 되는 결과를 얻었다고 보고하였음

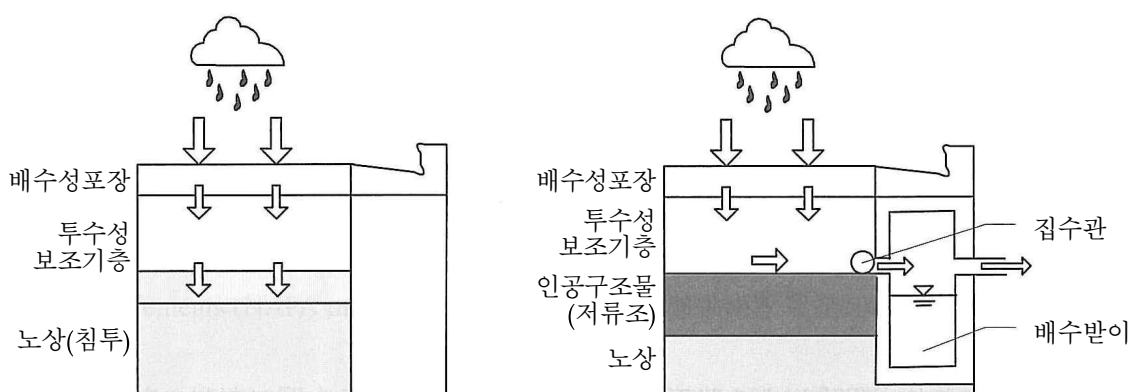


그림 2.12 빗물 투과형 및 저류형 도로포장 시스템

- 일본 「도로 노면 빗물 처리 메뉴얼(안)」에서는 투수성 포장을 이용한 처리 공
법이 5개로, 투수성 포장을 이용하지 않는 처리 공법 2개로 정의하였음

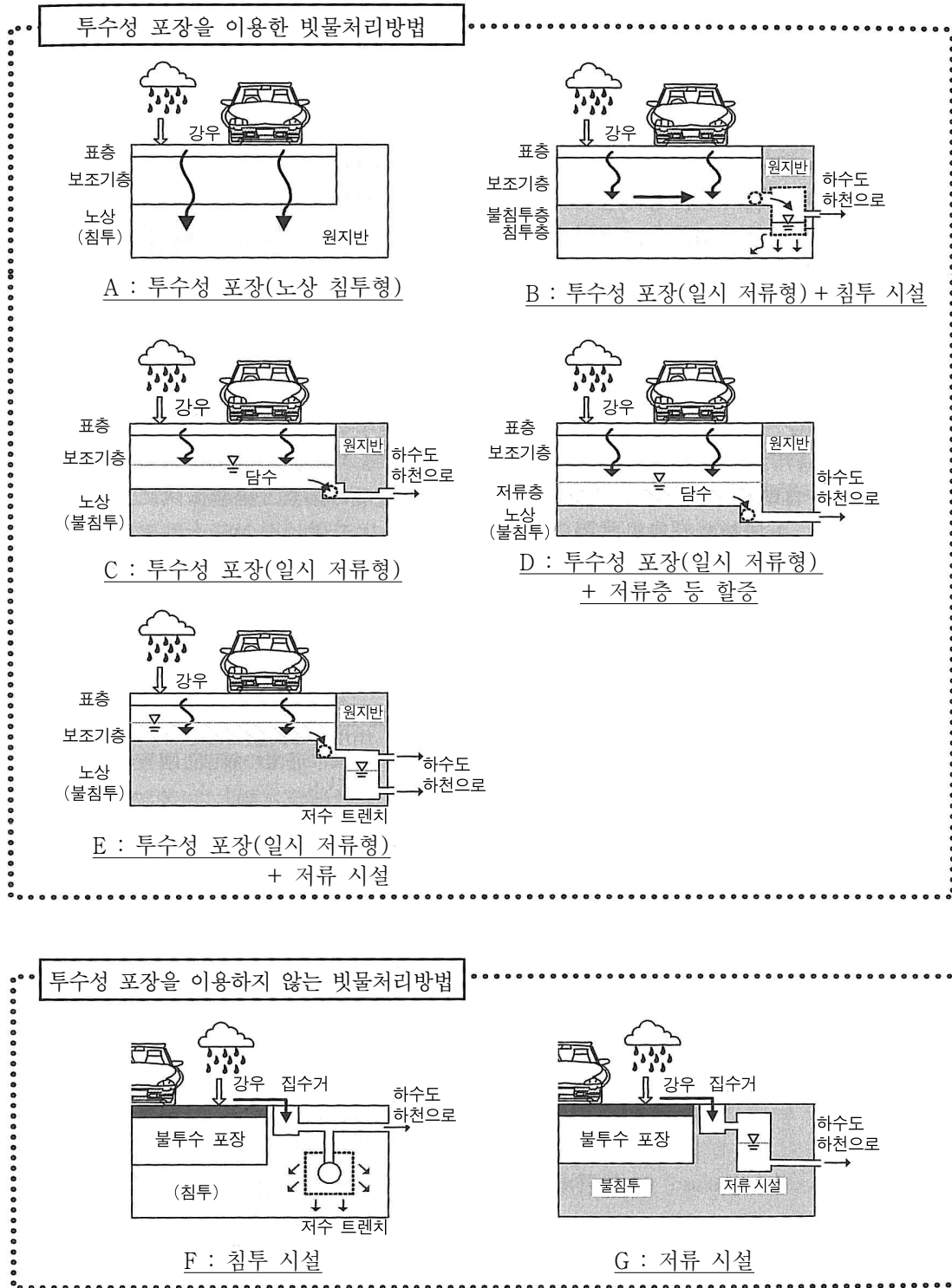


그림 2.13 빗물 처리 방법의 예

- 투수성 포장의 효과는 노면 아래로의 빗물 침투·저류 효과로는 「빗물의 유출 억제 효과」, 「지하수 함양·식생 등 지중 생태계의 개선」, 「보행 안전성 향상·연도 환경 개선」등 대략 3가지로 분류하였으며 표 2.2는 빗물 처리 방법과 기대효과의 관계를 나타내고 있음

표 2.2 빗물 처리 방법에 따른 기대효과

「도로 노면 빗물 처리 메뉴얼(안)」의 7가지 빗물 처리 방법			노면 아래로의 빗물 침투 · 저류 효과		
			빗물의 유출 억제 효과	지하수의 함양 · 식생 등 지중 생태계 개선	주행 안전성 향상 · 연도 환경 개선
투수성 포장	A	투수성 포장(노상 침투형)	○	○	○
	B	투수성 포장(일시 저류형) + 침투 시설	○	○	○
	C	투수성 포장(일시 저류형)	○	×	○
	D	투수성 포장(일시 저류형) + 저류층 등 할증	○	×	○
	E	투수성 포장(일시 저류형) + 저류 시설	○	×	○
투수성 포장 이외 노면의 빗물 처리	F	침투 시설	○	○	×
	G	저류 시설	○	×	×

○ 미국 미네소타 주에서는 10cm 두께의 아스팔트층, 5cm 두께의 필터층, 저류층, 섬유보강으로 구성된 빗물 투과형 도로포장 시스템을 제시하였음

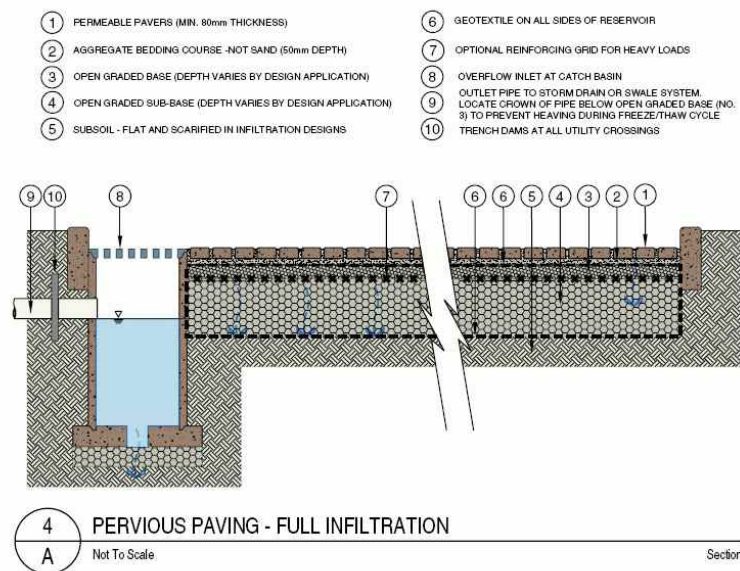


그림 2.14 미국 미네소타주 빗물 투과형 도로포장 시스템

- 미국 Interlock사는 집중호우시 침수의 저감 및 오염물질을 제거하기 위한 빗물 투과형 보도 포장 시스템 (Interlock Concrete's Storm Absorb Technology) 개발하였음

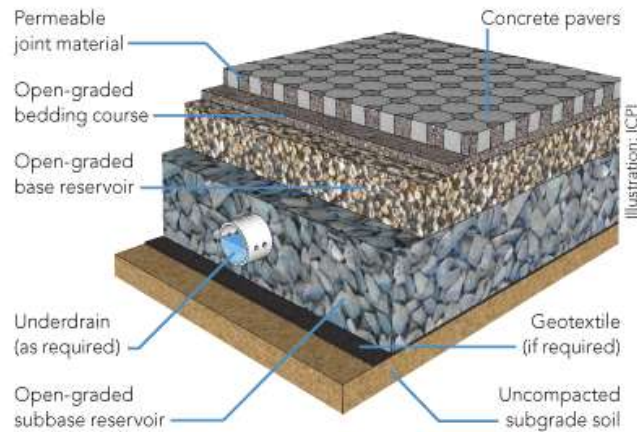


그림 2.15 미국 Interlock사 빗물 투과형 보도 포장 시스템

- 미국 환경청은 홍수피해 저감 및 친환경 거리 조성을 위하여 단지 내 도로의 설계 대안으로 우수처리 연석확장, 투수성 포장 시스템, 식생배수지를 제시하였음

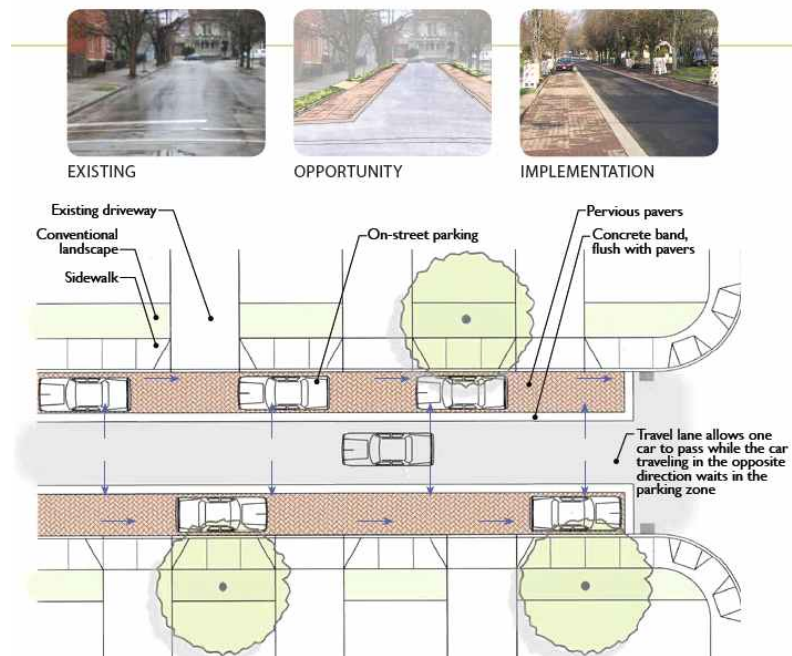


그림 2.16 미국 환경청에서 제시한 빗물 투과형 도로시스템

- 미국 아스팔트 포장 협회(National Asphalt Pavement Association, NAPA)에 따르면 배수성 포장이 홍수시 범람하는 유출수의 오염원을 제거하는데 아주

우수하다고 평가하고 있음. 예를 들어 배수성 포장을 사용한 경우 니트로젠(Nitrogen)과 납이 각각 72%와 74% 감소하는 것으로 보고되고 있음(Cahill 등 2004)

- 함수량에 따른 노상토의 보강기술에 관련된 논문 대부분에서 연약한 노상토를 대상으로 토목섬유 보강시 지지력 보강에 효과가 있음을 서술하고 있다. 일반적으로 토목섬유로 인한 멤브레인 효과로 층구조 안에 복합거동 형태로 상부로 부터의 하중을 분산함으로써 상대적으로 지지력이 향상되도록 한다. 그리고 국내외적으로 노상토의 지지력은 전반적인 계절적인 함수비 변동에 대한 탄성계수 변화 분석을 주로 다루고 있는데 침수로 인한 혹은 포화시에 보강을 위한 노상의 지지력을 확보하는 연구를 시행한 논문은 매우 미미한 실정임
- 토목섬유를 활용한 노상토의 보강공법 관련 사례 중 Zornberg 등(2010)은 계절적 변화에 따른 함수량 변화가 있는 노상토의 보강공법으로 토목섬유를 사용하여 그 실효성을 현장 실험을 통해 조사하였다. 함수량 계측과 더불어 토목섬유를 사용한 곳과 그렇지 않은 곳의 종방향 균열 정도를 비교하고 그 결과를 검토하였는데 주로 토목섬유로 보강한 경우가 효과적으로 표층의 종방향 균열을 저감시킴으로써 공용성능의 증진이 됨을 보임
- Leng and Garr (2005)은 수치해석적 기법을 이용하여 연약지반상 노상토 위에 건설된 비포장 도로내의 토목섬유의 보강효과를 알아보았다. 해석 결과 토목섬유의 효과로 (1)표층의 변위를 감소시키며; (2)상부 하중이 노상토로 전달되는 수직응력 분포를 향상시키며; (3)토목섬유의 탄성계수가 클수록 노상에서 낮은 수직응력을 보여주며; (4)토목섬유의 효용성은 대부분 기층의 두께와 기층과 노상토의 탄성계수 비에 많은 영향을 받는다고 보고함
- Hufferus 등(2006)은 연약노상 위에 토목 섬유로 보강된 비포장도로의 지지력을 조사하기 실험규모 현장시험을 실시하여 토목섬유로 인한 지지력 증강이 보였으나 층의 특성에 따라 보강효과가 크지 않은 것도 관측함. 또한 Tang 등(2008)은 토목섬유 보강 노상토를 대상으로 실내 간이포장가속시험기를 활용하여 140,000의 움직임은 윤하중이 가해진 조건에서 보강 효과가 양호한 것으로 보고함
- 한편 국내논문의 경우, 일반적인 지반의 토목섬유 보강 관련 연구는 다수이나 노상토 관련은 매우 미미하며 노상 함수비를 고려한 탄성계수 모형 관련된 주제를 가진 논문 또한 거의 연구가 전무한 실정임. 이중 박성완 등(2007)은 응력과 함수비를 고려한 노상토의 탄성계수와 그 변화를 살펴본 바 있으며, 이세현 등(2008) 또한 불포화상태에서의 흡수응력의 변화와 다짐지반의 탄성계수 관계를 고찰함
- 임유진 등(2009)은 함수비에 따른 노상에서의 탄성계수 변화를 온도, 강수량, 그리고 노상토의 세립분으로 구성된 함수로 제시된 기존 모형을 현장에 적용하여 평가함. 또한 박성완 등(2011)은 불포화상태에서 노상재료의 투수특성을 평가하여 그 변화를 살펴보고 침투성능을 정량화함. 박영석은 블록포장에 대한 포장가속시험을 활용하여 빗물 흐름에 대한 검증을 시도한 사례가 있다. 인공 강우조건에서 보조기층에서의 저류효과를 관측하였으며 10-15일 후에 평상시

함수비 상태로 회복되는 것으로 보고함

- 앞서 살펴본 바와 같이, 도로 침수 시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강 기술로 토목 섬유를 사용하는 방법의 적용이 적절할 것으로 판단되며, 이에 대한 보강 효용성 평가나 검증은 침수조건을 모사한 노상토의 환경에서 복합층 관련 실험과 수치해석, 그리고 실물크기의 포장가속시험이 필요할 것으로 판단됨

○ 도로침수시 노상토 보강과 관련된 국내외에서 수행된 논문들의 요약임

논문 제목	출판정보	내용
응력상태와 함수비에 대한 시험도로 노상토의 회복탄성거동	박성완, 황규영 (2007), 한국도로학회 논문집, 9권 2호, pp. 47~56	응력과 함수비를 고려한 노상토의 탄성계수와 그 변화를 살펴봄
다져진 도로기초 재료의 불포화투수특성 평가(1): 실내실험	박성완, 성열정 (2011), 대한토목학회 논문집, 31권 1호, pp. 73~82	불포화상태에서 노상재료의 투수특성을 평가하여 그 변화를 살펴보고 침투성능을 정량화함
포장가속 시험을 통한 블록포장의 빗물 흐름 연구	박영석, 임무광, 송거름수, 김현욱, 조운호 (2011), 한국도로학회 봄 학술대회 논문집, pp. 329~336	블록포장에 대한 포장가속시험을 활용하여 빗물 흐름에 대한 검증하고 인공강우조건에서 보조기층에서의 저류효과를 관측하였으며 10-15일 후에 평상시 함수비 상태로 회복되는 것으로 보고함
다짐지반의 모관흡수력 변화에 따른 탄성계수 평가를 위한 VPPE-BE 시험 시스템 개발	이세현, 서원석, 추연욱, 김동수 (2008), 한국지반공학학회 논문집, 24권 5호, pp. 117-127	불포화상태에서의 흡수응력의 변화와 다짐지반의 탄성계수 관계를 살펴봄
함수비에 따른 노상에서의 탄성계수 변화	임유진, 이성준, 임광수, 조운호, 박희문, 박경수, 황정규 (2009), 한국 도로학회 학술대회 논문집, pp. 635~640	함수비에 따른 노상에서의 탄성계수 변화를 온도, 강수량, 그리고 노상토의 세립분으로 구성된 함수로 제시된 기존 모형을 현장에 적용하여 평가함
Full-Scale Field Tests on Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads on Soft Subgrade	Hufenus, R., Rueegger, R. Banjac, R. Mayor, P., Springman, S. M., and Bronnimann, R. (2006), <i>Geotextiles and Geomembranes</i> , Vol. 24, pp. 21~37	연약노상 위에 토목 섬유로 보강된 비포장도로의 지지력을 조사하기 위하여 실물규모 현장시험을 실시하여 토목섬유로 인한 지지력 증강 현상을 확인하였으나 층의 특성에 따라 보강효과가 크지 않은 것도 관측하였음
Numerical Analysis of Stress-Deformation Response in Reinforced Unpaved Road Sections	Leng, J. and Gabr, M. (2005), <i>Geosynthetics International</i> , Vol. 12, pp. 111~119	수치해석적 기법을 이용하여 연약지반상 노상토 위에 건설된 비포장 도로내의 토목섬유의 보강효과를 알아본 결과 토목섬유로 인하여 표층 변위가 감소하고, 수직응력 분포가 향상됨

		토목섬유의 탄성계수가 클수록 노상에서 낮은 수직응력을 보여주며, 토목섬유의 효용성은 대부분 기층의 두께와 기층과 노상토의 탄성계수비에 많은 영향을 받음
Evaluation of Geogrids for Stabilizing Weak Pavement Subgrade	Tang, X. and Chehab, G. R. and Palomino, A. (2008), <i>International Journal of Pavement Engineering</i> , Vol. 9 No. 6, pp. 413~429	토목섬유 보강 노상토를 대상으로 실내 간이포장 가속시험을 실시하여 운하중의 횡수가 140,000인 경우에 대하여 토목섬유의 보강 효과가 양호하게 나타남
Field Performance of Geosynthetic Reinforced Pavements over Expansive Clay Subgrade	Zornberg, J. G., Gupta, R., and Ferreira, J. A. Z. (2010), <i>Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics</i>	함수량 변화가 심한 노상토를 보강하기 위하여 사용된 토목섬유의 실효성을 현장 실험을 통해 조사한 결과 토목섬유가 효과적으로 표층의 종방향 균열을 저감시킴으로써 공용성능을 향상시킴

- 관련 논문의 대부분에서 도로포장이 유출량 감소와 유출수의 수질 개선에 큰 효과가 있음을 서술하고 있다. 일반적으로 플라스틱 격자 구조 안에 투수성 재료(자갈, 분쇄 아스팔트 등)를 채워서 구성하는 플라스틱 격자 블록과 국내의 인도에 적용되는 콘크리트 블록을 변형시킨 투수성 콘크리트 블록의 경우가 가장 수문학적 효과가 좋은 것으로 나타났으며, 투수성 아스팔트, 투수성 콘크리트가 그 뒤를 잇는 것으로 나타났음
- 투수성 도로 포장재를 포함한 전반적인 LID 기법이 적용된 경우의 수문학적 분석을 다루는 논문들은 다수 존재하나, 도로 만을 별도로 분리하여 수문학적 분석을 시행한 연구 논문은 드물었음. 박무종과 손태석(2011)에 따르면 LID와 관련한 해외논문의 경우, 옥상녹화기법을 통한 유출저감과 수질관리, 상시저류녹지(Bioretention)와 투수성 포장에 대한 논문이 1990년부터 2011년 사이에 수행된 94편의 논문의 50% 이상을 차지하였음. 국내 논문의 경우, LID 시설을 사용한 비점오염원의 저감방안과 관련된 주제를 가진 논문이 가장 많았다. 국내 논문을 LID 기법별로 분류한 경우, 투수성 포장과 관련한 것이 가장 많았는데, 앞서 2장에서 소개된 방법과 유사한 주제로써, 투수성 포장이 적용된 경우 강우-유출 모형을 이용하여 대상유역의 유출특성을 분석하여 적용성을 검토하는 것들이 많았음.
- 이러한 국내외 연구 추세를 고려해보았을 때, GIS에 기반을 두고 도로를 포함한 각종 수문관련 요소들의 공간적 형태를 고려하는 모형을 사용하여 수문현상의 시공간적 변화를 모의하는 방안이 도로포장에 따른 홍수 저감 효과를 명확히 밝혀, 현장 적용에 있어 실질적이고, 유용한 결과물을 도출해낼 수 있을 것이라고 판단됨.
- 다음은 도로 포장과 관련된 수문학적 특성분석과 관련하여 국내외에서 수행된 논문들의 요약임

표 2.7 도로포장 관련 국내외 수행 논문 요약

논문 제목	출판정보	내용
Low-Impact Parking Lot Design Reduces Runoff and Pollutant Loads	Rushton, B. T. (2001), <i>Journal of Water Resources Planning and Management</i> , ASCE, Vol. 127 No. 3, pp. 172~179	미국 플로리다 지역에 투수성 콘크리트로 포장된 도로 및 주차장의 유출계수가 0.2로, 아스팔트/시멘트와 물길의 조합으로 이루어진 도로 및 주차장의 유출계수인 0.35/0.33보다 작음을 보임. 유출수 수질 개선의 효과 증명.
Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions	Dietz, E. M. (2007), <i>Water Air Soil Pollution</i> , Vol. 186, pp. 351~363	바이오 스웨일, 투수성 포장, 바이오 리텐션 등 LID 요소의 성능을 요약정리. 투수성 포장의 유출량 감소효과가 탁월함을 서술. 투수성 포장의 수질관련 문제가 거의 없음을 서술.
Runoff and Pollution Abatement Characteristics of Concrete Grid Pavements	Day et al. (1981), Project No. A-090-VA VPI-VWRRC_BULL 135 4C, Virginia Water Resources Research Center, Virginia Polytechnic Institute and State University	세 가지 종류의 콘크리트 블록 포장의 유출계수를 정리. 기존의 불투수성 포장재에 비해 투수성 포장재의 유출계수가 15배 이상 감소함을 증명.
Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management Long-Term Stormwater Quantity and Quality Performance of Permeable Pavement Systems	Booth and Leavitt (1999), <i>Journal of the American Planning Association</i> , Vol. 33 No. 5, pp. 1077~1089 Brattebo and Booth (2003), <i>Water Research</i> , Vol. 37, pp. 4369~4376	미국 워싱턴 주 Renton에 설치된 콘크리트 블록 포장을 6년 동안 관찰한 결과를 보고. 6년의 기간 동안 유출량이 0에 가까웠음. 유출수의 구리 및 아연 성분이 감소됨으로 수질개선의 효과도 있음을 서술.
Stormwater Runoff Quality and Quantity from Asphalt, Paver, and Crushed Stone Driveways in	Gilbert and Clausen (2006), <i>Water Research</i> , Vol. 40, pp. 826~832	미국 코네티컷 주에 설치된 콘크리트 블록 포장재 UNI Eco-Stone®을 22개월 동안 관찰. 블록이 설치된 바로 옆 구획의 아스팔트 포장재의 경우와 비교

Connecticut		하여 72%의 유출량 감소 효과가 있음을 증명. 적어진 유출량으로 인해 유출수의 수질 또한 개선되었음을 증명. 다른 투수성 포장재인 Eco-Stone®과 Unilock®의 경우에도 유사한 결과가 도출되었음을 서술.
Evaluation of Various Types of Permeable Pavements with Respect to Water Quality Improvement and Flood Control	Collins et al. (2006), <i>Proceedings of 8th International Conference on Concrete Block Paving</i> , San Francisco, CA	미국 노스캐롤라이나 주에서 세 가지 종류의 콘크리트 블록 포장재를 적용한 결과 유출량의 감소 및 수질개선의 효과가 크다는 것을 보임.
Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management	Booth and Leavitt (1999), <i>Journal of the American Planning Association</i> , Vol. 65 No. 3, pp. 314~325	두 가지 종류의 투수성 플라스틱 그리드를 워싱턴 주의 Renton에 포장재로 적용 후 관찰한 결과, 121mm의 극한 강우 이벤트에 대해 4mm의 유출량을 기록하여, 홍수저감 효과가 탁월함을 증명. 유출수의 수질 개선 효과를 기록.
Effects of a Porous Pavement with Reservoir Structure on Runoff Water: Water Quality and Fate of Heavy Metals	Legret and Colandini (1999), <i>Water Science and Technology</i> , Vol. 39 No. 2, pp. 111~117	프랑스의 한 거리에 61cm의 분쇄석층 위에 투수성 아스팔트를 적용한 결과, 96.7%의 강우가 흡수되고, 3.3%가 유출됨을 서술.
An Alternative Road Construction for Stormwater Management in Cold Climates	Stenmark(1995), <i>Water Science and Technology</i> , Vol. 32 No. 1, pp. 79~84	투수성 아스팔트와 투수성 물길을 함께 적용한 경우, 강우의 30%-40%가 유출량으로 발생함을 서술.
Evaluation of an Infiltration Best Management Practice(BMP) Utilizing Pervious Concrete	Kwiatkowski et al. (2007), <i>Journal of the American Water Resources Association</i> , Vol. 43 No. 5, pp. 1208~1222	미국 빌라노바 대학에 설치된 투수성 콘크리트 포장인 5cm 이하 강우 이벤트의 전량을 지하수로 침투시킴을 보임.
포장가속 시험을 통한 블록포장의 빗물흐름 연구	박영석 외 (2011). 한국도로학회 2011년도 봄 학술대회 논문집, 9-336	투수/일반 블록 포장 시스템에서 빗물 침투에 대한 안정성 검토; 강우강도, 강우량 변화에 따른 포장체

		의 투배수 특성 파악; 유출수 저감효과 분석을 통해 강우초기 저류효과 분석. • 일반 포장 블록에 비해 투수성 블록은 투수계수가 4배에서 7배 증가. 30년 빈도 홍수 (200mm/hr)에 대해 표면유출량 2배에서 9배까지 감소. 이 차이는 이전 강우 이벤트 유무에 따라 결정됨. • 투수성 블록 포장 적용시 표면수 발생 지연 효과 및 빗물 저장 효과를 확인할 수 있고, 포장 형식 및 두께에 따라 약 6-10ton/100m²의 저류 가능한 것으로 산정됨. • 강우강도, 강우량, 공용횡수가 증가할수록 표면유출량이 증가하는 경향을 보이고, 투수블록 포장의 경우 일반블록 포장에 비해 평균 50% 정도의 낮은 표면 유출량을 보임.
--	--	---

다. 도로붕괴 예측 및 보수보강을 위한 기술 개발 관련

- 서울의 경우 주요간선도로 총 197개 지점에서 도로 침하 및 공동이 발생하였으며 이 가운데 27개 지점에서는 2회 이상 반복적으로 나타남
- 소방방재청의 자료 조사에 따르면 2009부터 2010년까지 붕괴에 의한 261건 중 도로 붕괴에 의한 사고는 총 12건임. 이로 인한 인명피해 및 재산피해 저감을 위한 대책이 필요함
- 국내에서는 한국형포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구로써 현재 지지력 개념의 포장 하부구조에 대한 지침 및 시공기준이 개발되어 있었으며, 도로 상부에 대한 포장 유지관리, 포장구조체 거동 분석 프로그램, 아스팔트 포장구조체 구조적 적정성 및 상태평가 시스템 등 도로 포장 상부시스템에 대해 국한되어 연구가 이루어지는 실정임
- 현재 도로 포장상태 조사장비에 대한 결과분석, 평가기법 및 보정방법에 대한 타당성 연구는 진행되고 있으나, 도로 붕괴 위험도 등급별 시스템화에 대한 연구가 전무한 실정으로 붕괴를 사전적으로 예방할 수 있는 시스템 구축이 어려운 상태임
- 근래 국내에서는 「친환경·지능형 도로설계 기술개발」, 「스마트 하이웨이」, 「탄소중립형 도로」 등 사업단 규모의 국책 연구가 진행되었거나 현재 진행 중에 있으나 이러한 연구는 대부분 지속가능성과 최첨단 IT기술을 활용한 도로의 설계기술개선, 성능설계 및 기능성제고를 위한 기술개발임
- 한국도로공사에서는 도로의 유지보수 시기를 결정하기 위하여 도로 상부와 하부의 탄성계수에 기초로 한 포장 구조평가 방법이 개발됨. 또한 국내 노상토의 조건에 따른 동결·융해 특성을 이용하여 동상방지층을 설계할 수 있는 개선방법이 개발됨
- 도로포장의 하부구조에 관한 문제 즉, 지지력 또는 강성부족에 의한 상부 포장체에서의 평탄성 저하, 침하, 절성토 교차에 의한 지하수망의 교란, 배수불량 등에 의한 도로의 기능성 상실에 따른 국가·사회적 손실비용이 막대함
- 한국형포장설계법(KPRP)에서는 포장 하부의 지지력 향상을 위한 시멘트 안정처리 방법을 제시함
- 그리고 연약지반 구간 고속도로의 침하 및 변형 실태와 유지관리 현황을 체계적으로 조사하여, 향후 유지관리 시스템을 수립하는 연구가 진행중에 있음. 이를 위해 공주대학교에서는 연약지반 도로 현장에 적용할 수 있는 암거 및 배수관의 시공방법 및 개선 방법을 개발함
- 한국건설기술연구원에서는 연약지반 침하량 추정 및 지반의 안정성 해석을 위한 종합 성토관리 프로그램을 개발하였으나 도로포장체와 연동시키지 못함
- 스마트 하이웨이 연구의 일환으로 도로구조의 내구성을 확보하기 위하여 일부 절성경계부의 하부구조에 대한 연구를 수행하는 도중 연구가 종료됨
- 최근 이슈가 되고 있는 빗물 침투와 지하수위의 변동으로 인한 하부구조의 내구성 및 지지력 감소에 관한 연구는 부족한 상황

- 도로하부 공간 활용 기술은 우리나라와 같이 국토가 협소하지만 도로망이 발달된 곳에서 활용될 수 있으나 현재 국내의 경우 도로 하부를 다용도로 활용하기 위한 연구는 미비함
- 도로 침하구간에 대한 연구 또한 연약지반 구간 고속도로의 침하 및 변형 실태와 유지관리 현황에 대한 연구만 진행됨
- 도로 포장상태를 조사하기 위한 장비로는 ARAN(Automatic Road Analyzer)장비를 통한 소성변형측정, 노면 영상을 통한 균열폭 측정, 종단평탄성측정과 포장의 구조적 능력을 평가하기 위한 FWD장비, 레이더펄스를 이용하여 포장두께나 공동탐사를 위해 사용되는 GPR장비 등이 사용되고 있음

표 2.3 최근 발생한 도로붕괴 및 도심지 공동 현상 일례



- 해외 여러 국가에서는 1990년대 후반부터 지속가능한 교통망 구축을 국가성장 원동력으로 인식하고 친환경 교통망을 구축하기 시작함
- 국민의식수준향상, 소득증가, 여가생활의 활성화를 위한 통행기회의 증가, 근무환경의 변화 등 사회·경제적 여건의 변화에 따라 교통서비스 수준 향상에 대한 지속적인 요구가 예상됨
- 이러한 사회·경제적 변화를 종합적으로 반영할 수 있는 미래 도로교통전략을 수립하여 국민의 만족도 향상과 삶의 질 향상의 도모가 필요함
- 관련 기술개발 동향을 분석하기 위해, 다음 표 2.4와 같이 본 연구의 연관성에 따른 관련기술 현황을 분석하였으며, 표 2.5와 표 2.6은 본 연구의 활용 가능한 프로그램 및 평탄성 측정장비의 현황분석임

표 2.4 관련기술 현황

연구제목	사업명	연구분석
한국형도로포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구	한국형 도로포장 설계법	· 현재 하부의 지지력 확보의 기준하에서 탄성계를 관리하기 위한 포장 하부구조 다짐관리 지침 개발 · 지지력 부족의 노상부분에 대한 시멘트 안정처리 방법의 포장 하부구조 안정처리 지침 개발
연약지반 침하량 추정에 관한 연구	도로교통 기술연구원	· 연약지반 침하량 추정 및 지반의 안정성 해석을 위한 종합 성토 관리 프로그램 개발에 대한 것으로 본 연구의 연약지반 침하구간 고속주행성 확보를 위한 설계·시공 기술 개발과는 연관성이 없을 것이라 판단됨
노면의 건설 및 유지관리를 위한 FWD의 개발	건설교통부	· 충격하중에 의한 표면처짐으로부터 포장구조체의 탄성계수를 추정하는 과정을 체계적으로 정립
도로구조물의 건설 및 유지관리를 위한 시스템 개발	건설교통부	· FWD의 국산화 개발방안 및 개선방안을 연구하며, 포장구조체의 층별 두께와 초기 탄성계수로부터 표면처짐량을 계산하는 정해석에 대한 연구
FWD 정밀해석 및 포장구조체 하부구조 평가 방법 연구	한국도로공사 도로연구소	· 차량하중 및 FWD의 동하중이 가해지는 경우의 포장구조체의 거동을 분석할 수 있는 프로그램을 개발
비파괴시험을 통한 콘크리트 포장하부 평가 기법 개발	한국도로공사 도로연구소	· 비파괴시험장비인 FWD 및 GPR을 통해 콘크리트포장 하부에 대한 조사를 수행하고 이를 토대로 합리적인 포장하부평가방안 수립
포장의 기능 및 구조적 평가기법 개발을 통한 사용성 및 내구성 진단	도로교통 기술연구원	· 포장의 기능 유지를 위한 포장관리방안 구축 및 유지보수 시기 결정을 위한 도로 상부와 함께 하부 탄성계수 추정 프로그램 개발
아스팔트 포장의 유지관리 시스템 개발에 관한 연구	한국도로공사 도로연구소	· 전체 고속도로 구간(콘크리트 및 아스팔트)을 대상으로 한 하나의 PMS를 완성하기 위하여 아스팔트 PMS의 개발계획을 현재 개발 중인 시멘트 콘크리트 PMS의 골격을 토대로 하여 수립하였고, 전체 아스팔트 포장구간에 대한 데이터베이스를 구축
포장손상 검사 장비 및 평가 모델 개발 연구	건설교통부	· 도로 포장 상태(도로균열, 소성 변형, 종단 평탄성)를 도로 이용 차량과 동일한 속도로 주행하면서 조사하는 장비를 개발하고, 측정된 자료에 대한 분석 시스템 개발

연구제목	사업명	연구분석
아스팔트 포장체 구조적 적정성 및 상태평가 시스템 개발 연구	건설교통기술 연구개발	· 기존 아스팔트 포장체의 구조적 적정성을 평가하여 보수시기와 공법을 선정함으로서 포장의 잔존수명을 증대시켜 궁극적으로 아스팔트포장의 유지보수비용 절감할 수 있는 평가시스템 개발
동결심도를 고려한 포장 하부구조 개선방안	한국도로공사 도로연구소	· 국내 노상토의 동결·융해 특성 평가 후 국내 노상토의 조건을 고려한 동상방지층 설계 기법 제시
SMART Highway 안전성 확보기술 개발	SMART Highway	· 도로구조의 내구성 확보기술 연구로 일부 절성경계부의 하부구조 연구수행 중 과제 중간 종료됨
도로포장 표면 평탄성에 따른 주행차량의 동적 하중 변화 특성	건설교통 R&D 정책인프라 사업	· 동적 차량하중 크기의 증가는 포장의 응력 및 변형률에 영향을 미쳐, 포장의 공용성과 연관되어 표면 거칠기와 포장의 공용성과의 관계를 유출 방법 제시
포장평탄성과 차량 종류에 따른 동적하중 증폭계수 개발	한국도로공사 도로연구소	· 동적하중 증폭계수식의 특성을 비교 분석하여 도로의 평탄성과 중차량 종류 및 주행차량 속도만으로 도로 표면에 작용하는 동적 하중 예측식 제시
지상 LiDAR의 3차원 위치 데이터를 이용한 도로 평탄성 연구	국토해양부 첨단도시 기술개발사업	· 지상 LiDAR를 통한 도로 종방향 평탄성 측정 가능 여부 판단
포장 프로파일이 포장 피로수명에 미치는 영향 분석	한국학술 진흥재단	· 차량속도와 표층 아스팔트 혼합물 파괴특성에 근거한 포장 평탄성 규정 및 아스팔트 포장 시공 후 포장 평탄성 근거한 지불 규정에 효과적으로 사용 가능할 수 있다 판단

연구제목	연구분석
최소단면 보수지역의 평탄성 평가	최소단면 보수가 이루어진 아스팔트 콘크리트 포장 부분과 기존 포장의 평탄성을 국제평탄성지수와 PrI 지수를 비교 분석 결과 최소단면 보수가 이루어진 차선의 평탄성이 대체적으로 좋지 않게 나타나 이후 최소단면 보수 지역의 평탄성 기초자료로 사용될 것으로 판단
이용자 만족도를 고려한 고속도로 노면상태 종합평가에 관한 연구	기존의 정량적인 요소에 운전자의 만족도인 정성적인 data를 포함하여 종합적으로 노면상태 평가를 통해 현재 및 추후 변화 예측
승용차 유류소모량 산정 방법의 비교 연구	승용차를 대상으로 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화의 관계를 실제 도로에서 실측하여 평탄성과 유류소모량 변화의 관계 분석 결과 평탄성이 1m/km 증가하였을 경우 100km 주행시 약 정도의 비율로 유류소모량이 증가하는 것으로 확인되었지만, 추후 연구 필요
HPMS 데이터를 이용한 고속도로 교량 및 뒷채움 구간 평탄성 특성 연구	교량구간은 현재 정기적으로 시행하고 있는 조사장비에 의한 포장상태 측정과 병행하여 뒷채움부 침하가 원인인 단차를 측정하여 교량구간의 평탄성 불량지점을 효과적으로 개선할 수 있도록 조사 및 평가체계를 수립
평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구	7.6m CP에 의한 PrI와 APL에 의한 IRI의 상관관계를 시험을 통해 신뢰할 만한 상관관계 규명
연약지반 구간 고속도로의 개통 후 침하평가 및 관리 방안 연구	연약지반 구간을 지나는 고속도로는 건설 당시뿐만 아니라 공용 중에도 장기간에 걸쳐 침하가 발생함에 따라 포장면의 평탄성 저하로 인한 차량 주행 안전성과 구조물 안정성 차원에서 침하관리 방안연구
도로하부 매설관의 매설심도가 포장체에 미치는 영향평가	도로굴착복구 매설깊이 변화에 따른 포장체의 영향 정도를 평가하여 합리적인 매설깊이를 검토하는 것이 목적
상수도, 하수도, 도로, 하천제방 및 매립장 침출수 배수공사에 사용되는 암반굴착기	상수도, 하수도, 도로, 하천제방 및 매립장 침출수 배수공사에 사용되는 암반굴착기에 관한 것으로, 상하수도관 등의 관로 시공을 위한 터파기 작업시간을 단축하고 터파기 작업시 진동과 소음을 줄일 수 있도록 함.
지하굴착 주변에서의 지하수 영향범위 설정에 관한 연구	지하수위면 하부까지 대규모 굴착공사가 진행되면 지하수 흐름은 균형을 유지하려고 굴착구간으로 배출되어 대수층의 지하수 등수위선이 변형되고, 이에 따라 주변지역에 소재한 지하수이용시설의 고갈이나 기존 수리권의 침해와 같은 환경재해가 예측되어 굴착공사 이후에 나타나게 될 영향범위 설정에 관한 연구를 수행

연구제목	연구분석
터널의 지하수 유출이 도심지하수 흐름에 미치는 영향	부산시 수영구내에 건설중인 신양산~동부산 4차 전력구공사 현장과 전력구 공사 구간 내에 위치한 민락역사를 대상으로 전력구 터널 굴착이 진행됨에 따라 발생하는 유출지하수량의 변화와 주변 지역의 지하수위 변화를 비교함으로써 터널의 지하수 유출이 도심지하수 흐름에 미치는 영향을 분석
집중호우시 사면 붕괴의 특성 및 토층 심도와 지하수변동에 따른 사면 안정성 해석	집중호우시 붕괴된 절토사면 조사 자료와 일반 국도변 1,372개의 현장 조사자료이다. 토층의 붕괴 심도와 지하수 변동이 사면의 안정성에 미치는 영향에 대해서는 FLAC-SLOPE을 이용하여 분석
Catastrophic Subsidence by the change of water Table	지하수 변화에 의해 지반안정성이 떨어짐으로 이를 방지하기 위한 기술 개발
산업부산물 재활용 시멘트 콘크리트	재료의 물성 및 품질변동에 대한 신뢰도를 확립할 수 있는 국가적인 시스템을 갖추어 표층재료로의 적극적 활용기법 개발
도로 터널 공사중 발생된 불량형태 분석 연구	고속도로 터널 시공 중 보편적인 붕괴 사례를 조사함으로써 다른 지질조건에서의 붕괴원인과 형태 및 적용 보강공법에 대해 분석
도로와 가옥주변의 절취면 붕괴위험 평가 및 보강대책 연구	절취사면 붕괴의 예방과 방지 대책을 합리적으로 제시하여 사전에 보강할 수 있는 기법 개발
지반붕괴방지보강조립체용 내하체검 전단보강조립체 및 이에 의한 시공방법	사면과 흙막이공법 등 절개지 법면 또는 굴착면 보강공사와 터널 지중구조물의 선진보강공법과 굴착후 보강공법 개발
조립식 흙막이의 시공효율성을 위한 버팀보의 위치변화에 대한 해석적 연구	상수관, 하수관, 가스관 및 전력내지 통신선 관로 등을 도로나 공공용지에 단기간에 매설하고 되메우기 할 경우에는 토사층의 붕괴를 방지하기 위한 가설공사의 구조물 설계 및 시공방법의 표준화
도로 및 건축공사에서 지중매설되는 하수도관용 매설토 보강장치	본 발명은 도로 및 건축과 같은 토목공사 등에서 배수로관, 하수도관 등에서 지중 매설하여 장기간 사용하는 경우 외토압 및 지반 침하 등에 의하여 배수로관이 찌그러지거나, 폭우 등으로 지반이 함몰하는 경우에도 배수로관이 이탈하는 문제를 해결하기 위한 도로 및 건축공사에서 지중매설되는 하수도관용 매설토 보강장치

표 2.5 도로하부 거동 해석용 프로그램 분석

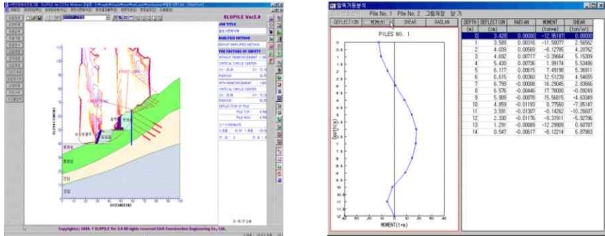
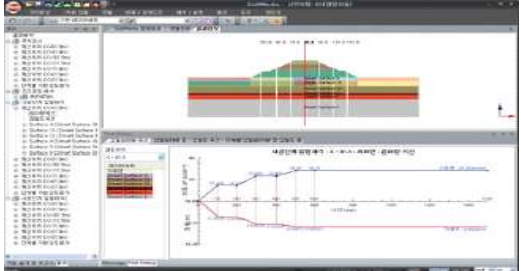
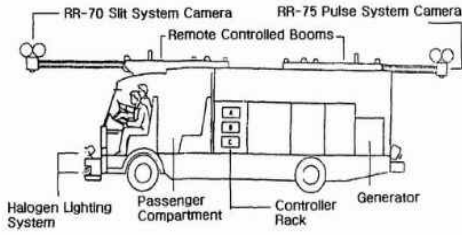
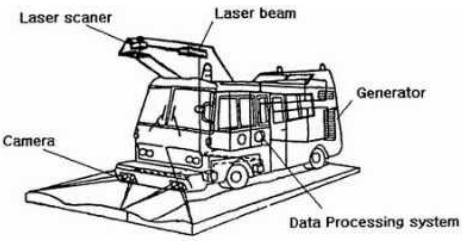
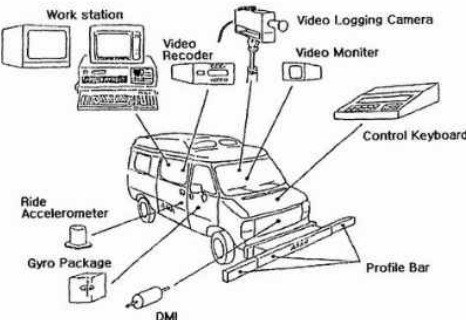
종류	프로그램	특징
지반해석 프로그램	SLOPILE 	- 사면안정 해석방법을 간편법을 적용 - 각종 해석단면의 정보입력과 수정이 가능하여 사용자에게 편리한 기능을 제공
	Soil Works Soft Ground 	- 해석결과를 선택한 기준과 직접 비교할 수 있도록 다양한 설계기준 탑재 - 초급 실무자도 프로그램을 사용하여 직접 검토결과 산출
도로해석 프로그램	KPRP 	- 우리나라 지역 및 환경조건에 적합한 맞춤형 한국형 도로포장설계법 - 국내 환경과 교통 특성을 반영한 실험을 통해 포장재료와 포장구조체의 반응을 역학적으로 분석하고, 이들 반응을 바탕으로 시간에 따른 포장의 파손 상태를 경험적 관계함수를 이용하여 예측

표 2.6 평탄성 측정장비

종류	장비 모습	장비 시스템			
ROAD RECON		조사 항목	모델명	시스템	최대 조사 속도
		노면 손상	RR-70	Slit 카메라	80 km/h
		소성 변형	RR-75	Pulse 카메라	
		종방향 평탄성	RR-85	1.5m 간격 레이저 3조	
CATCHER			측정 방법	조사 속도	정확도
		노면 손상	레이저 스캐닝	0~60 km/h	폭 1mm 이상 균열
		소성 변형	레이저 비디오 광절단법		±3m
		종방향 평탄성	레이저 비디오 광점변위법		±30%
ARAN		측정구간의 개략적인 선형이나 주변 상황등을 파악하기 위해 전방에 영상촬영 카메라가 장착되어 있으며, 최대 조사속도는 80km/h 이다.			

- 또한 도로붕괴의 보수보강에 관련된 논문들은 연약지반과 포장 하부에 발생하는 공동, 침하 등에 고유동성의 그라우팅 재료를 타설하거나 가압하여 하부강성을 보장하는 공법과 FWD 같은 도로하부의 강성 측정 장비 및 진단과 등을 활용한 하부 강성 측정 장비 개발 등이 있음
- 하부강성 보강 공법에는 국내 지표특성상 가장 풍부한 화강풍화토를 사용한 유동성 뒷채움재와 경량기포재를 시멘트계열의 재료와 혼합하여 고유동성의 그라우팅 재를 개발하고 강도와 강성을 측정하는 논문 등이 있음
- 도로하부의 공동 및 지지력 측정을 위한 연구가 국내외에서 많이 진행되었으며, 특히 지표투과레이더 시험을 통해 도로하부의 공극을 확인하는 공법과 진단파와 전자기파 및 평판재하시험과 공내재하시험을 이용하여 확장부 및 기존 도로부에서 하부기초 강성측정을 각각 시도하고 그 시험결과를 바탕으로 확장부 및 기존도로부의 강성차이를 분석함
- 일반 도로하부층 재료의 강성부족과 다짐불량으로 인해 발생하는 공동과 침하를 기본적으로 억제하기 위하여 개량된 성토재를 개발하고자 하는 시도가 다수 있어왔다. 또한 강성에 기초한 새로운 형태의 지지력 측정장비와 측정 시스템 개발이 해외는 물론 국내에서도 한국형포장설계법에서 시도된 바 있음. 대표적인 것은 공진주시험장비를 사용하여 시료의 탄성계수를 측정하는 것이며 동적콘관입시험 장비를 활용하여 다짐도와 관입지수를 연관시키는 시도였으며, 해당연구는 앞으로 계속 연구해야 하는 미개척 분야로 볼 수 있음
- 이우진 등(2011)은 지반변형 계측을 위한 TDR (Time Domain Reflectometry) 기술의 활용성을 고찰하였음. TDR기술은 원격감지식 전기적 측정기술로서 여러 가지 물리적 변화량에 대하여 그 변화위치와 상태를 결정하는데 이용되어 왔으며, 산사태나 암반사면의 변형 파악, 지반의 함수비 변화 모니터링, 지반 오염물질의 종류 및 이동경로의 추정, 지하수위의 변동측정등에 사용되고 있음. 강원도 태백시 추진지역 일대에서 기 개발된 석탄채굴적에 의한 철도선로, 터널 및 도로 등의 변형 안정성을 분석키 위해 TDR기술을 적용한 결과로부터 지반변형 계측기법으로서의 TDR기술의 활용성을 고찰하였음
- 다음은 도로붕괴 탐지 및 보수보강에 관련하여 국내외에서 수행된 논문들의 요약임

표 2.7 도로하부 공동보강 및 지지력 복원기술개발 관련 국내외 수행 논문 요약

논문 제목	출판정보	내용
Numerical Simulation Research of Bolt-Grouting Support in Deep Soft Roadway	Wang, L.-G., Miao, X.-X., Dong, J.-T., and Tan, X.-N. <i>Journal of Rock and Soil Mechanics</i> , China University of Mining Technology, Vol. 6. No. 35.	• 연약지반 하부상에 포설된 도로의 하부강성을 보강하기 위하여 bolt-grouting 공법을 개발하고 이를 적용한 결과 도로상부의 변형이 크게 감소함을 확인함.
Quality Control for Grouting under Rigid Pavement	Ni, J. C. and Cheng, W. C. (2011), <i>Proceedings of the 2011 GeoHunan International Conference</i> , Hunan, China, pp. 183-192.	• 공용중인 도로하부에 문제가 발생한 콘크리트포장의 하중전이능력을 회복시키기 위하여 가압그라우팅 프로그램을 개발함. • 실내시험을 통해 최적의 재료배합을 확정하고 현장에서 GPR 시험을 통해 도로하부 공극의 크기를 확인하였으며 FWD시험을 통해 그라우팅 시행전 포장체의 지지력을 평가하였음. • 최적 가압력과 유속 등을 결정하였으며 슬래브 들림을 방지할 수 있도록 모니터링 하는 기법을 채택하였음. • 그라우팅 효과를 검토하기 위하여 GPR과 FWD를 사용하였음.
Void Detection and Grouting Process	Torres, F. and McCullough, B. F. (1984), Interim Report, FHWA-TX-82-45+249-3, University of Texas at Austin, TX, USA.	• 콘크리트포장 하부의 공극발생이 포장 수명을 단축시키는 현상에 대한 본격적인 규명연구이며 특히 하부 공극발생시 슬래브에 집중응력이 발생하는 것을 확인함. • 공극을 확인하고 그라우팅 하는 최적기법을 제시함.
Use of Ground-Penetrating Radar for Detecting Voids under a Jointed Concrete Pavement	Clemen, G. G., Sprinkel, M. M., and Long, Jr. R. R. (1987), <i>Transportation Research Record</i> , No 1109, pp. 1-10.	• 조인트 콘크리트 포장에서 GPR의 하부공극 파악의 유효성을 확인함.

전단파와 전자기파를 이용한 연약지반의 실내 압밀 특성 평가	이창호, 윤형구, 김준한, 이종섭 (2008), 한국지반공학회논문집, 제24권 제8호, pp. 25~34.	• 일차 압밀 시간, 이방성, 응력 이력에 따른 국부적인 전기저항의 변화 등의 평가를 위하여 전단파 속도와 전기저항을 측정 할 수 있는 압밀셀을 개발하였음. • 하중에 따른 전단파와 전기저항값의 측정은 하중 단계별 시료의 전단탄성계수의 획득 및 이방성 평가가 가능하며, 기존 시험의 결과와 비교를 통하여 일차압밀 종료시점, 응력이력, 그리고 평균값이 아닌 국부적인 간극비 평가 등 보완적인 결과를 제시함.
경량기포혼합토의 공학적 특성 분석	조선아, 조계춘, 임유진, 이정학 (2010), 대한토목학회 학술대회, pp. 473~476	• 경량기포혼합토의 배합비를 결정하기 위해 실내 실험을 수행하고 공학적 특성을 파악함. • 또한 응력이나 교대 뒤택음 시 중요한 요소 중 하나인 정지토압계수를 산정하기 위해 수직응력에 따른 수평응력의 변화를 측정함.
화강풍화토를 이용한 CLSM의 공학적 특성평가	임유진, 서창범 (2009), 한국방재학회논문집, 제9권 제3호, pp. 19-26.	• 뒤택음재로 사용하는 입상재료의 다공성으로 인하여 발생하는 강성 부족과 이로 인한 변형발생 등의 문제를 극복하기 위한 방법으로서 국내 지표특성상 가장 풍부한 화강풍화토를 사용한 유동성뒤택음재의 배합특성을 분석하였으며 설계배합비에 따른 강도와 강성 발현 특성을 자유단공진주시험, 공내재하시험 및 동적평판재하시험 등으로 분석하여 향후 뒤택음재용 화강풍화토 CLSM의 설계 및 시공에 필요한 기초 데이터를 제시함.
시멘트 콘크리트 포장확장시 포장하부지반의 강성과 변위발생의	양성철, 임유진 (2009), 한국방재학회논문집, 제9권 6호, pp.41~45.	• 평판재하시험과 공내재하시험을 이용하여 확장부 및 기존포장부에서 하부기초 강성측정을 각각 시도

상관성 분석		하고 그 시험결과를 바탕으로 확장부 및 기존도로 부의 강성차이의 크기발생 차이를 분석함. 또한 확장구간과 기존구간의 지내력과 강성 차이 및 접속부의 처리방안의 차이에 의한 포장슬래브의 거동을 평가하기 위해 고안된 변위계를 현장에 설치하여 벌어짐, 단차, 밀림의 발생현상을 관찰하고 이들 사이의 상호연관성과 발생 원인을 분석하여 그 원인을 규명함.
지반변형측정을 위한 TDR기술의 적용	이우진, 김용진, 이원제, 이웅주 (2003), 한국지반환경공학회논문집, Vol.4 No.2	강원도 태백시 추진지역 일대에서 기 개발된 석탄 채굴적에 의한 철도선로, 터널 및 도로 등의 변형 안정성을 분석키 위해 TDR기술을 적용한 결과로부터 지반변형 계측기법으로서의 TDR기술의 활용성을 고찰함
도로포장 현장계측 온도데이터를 이용한 도로포장체의 동결깊이 연구	신은철, 이재식, 조규태 (2011), 한국도로학회논문집, Vol.13 No.1	포장층별로 현장 모니터링 시스템(온도, 함수비)을 설치하고, 이를 통하여 수집된 데이터를 분석하여 포장된 도로의 동결깊이를 결정함

2. 기존 기술(연구)과의 차별성

가. 도로침수 분야

- 현재 설계기준내에서의 포장하부 배수 프로그램 개발 등 배수관련 연구가 진행되고 있으나, 미래형 다기능포장형태인 투수 및 배수 포장층 아래의 포장 하부구조 다짐 품질관리 및 포장 하부 배수시스템, 연약지반에 놓인 도로에서의 포장 하부구조 다짐 품질관리, 포장 하부 배수시스템, 하부구조 구조해석 등 도로포장에 하부구조 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지 않은 실정임
- 현행의 도로 배수 시스템과 관련한 국내의 기준(요령, 편람 또는 지침)은 도로 구조물의 전체적인 안정성 확보에 초점을 두고 있어서, 포장성능 및 포장수명과 직결되는 포장 배수시스템과 관련한 부분은 대단히 미비한 실정으로 합리적인 포장 배수시설물 설계 미흡으로 포장 구조물의 조기 공용성 악화 초래 또는 지나친 과대 설계 가능성이 혼재한 실정임
- 도로 배수시설 또한 도로 표층에 해당하는 배수성 포장용 개질재, 도로 침수 방지를 위한 빗물받이 배출 시스템 등 도로 배수시설물 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으나, 본 연구에 부합하는 기후변화 대비 침수 및 침투된 물에 의한 도로포장체 용기에 대한 하부구조의 저항 능력, 투수능력이 확보된 보조기층재 입도 특성 등 재료 품질기준, 집중호우에 따른 지하수위 상승 및 포장체내 투수에 의한 하부구조 지지력 평가 기술, 최근 빗물 저류조 및 빗물흡수용 시설설치에 따른 도로 포장 설계기술에 대한 연구가 미흡한 실정임
- 지하 저류조에 대한 연구 또한 도심지 침수 저감을 위한 지하 저류조의 용량 및 최적 위치를 산정, 빗물 저류조 급속시공기술 및 친환경 빗물처리 시스템 개발에 대한 연구는 있으나, 지하 저류조 설치 시 하부구조 품질 관리에 대한 연구는 이루어지고 있지 않은 실정임
- 이를 종합하면 기존의 배수성 포장의 경우 도로포장 구조체의 일부인 표층에 관한 연구로 빗물을 표층에 고이지 않고 배수하는 것에만 한정된 반면, 본 연구에서는 빗물이 표층 및 포장하부로 침투할 수 있는 투과성 포장과 포장 하부에 저장할 수 있는 저류형 포장 개발에 초점을 맞춤
- 이를 위하여 기존의 투수성 아스팔트, 콘크리트 표층 기술은 활용하면서, 투수성 기층 및 보조기층에 대한 기술 개발과, 빗물 저류형 인공노상구조체를 개발하여 도심지 도로침수에 대응하며, 교통소음 저감, 빗길 교통사고 감소, 노면 및 침투수 정수기능, 도심지 수자원 확보를 위한 기술을 개발함
- 이러한 빗물 저류 시스템은 일본에서 주로 많이 적용하고 있는 대심도 저류조 방식과 비교해 경제성 및 시공성이 우수하고 부가적으로 교통 소음 감소 및 도심 열섬화 현상 완화 효과가 있으므로 Green City 조성에 적합한 기술임



그림 1.17 기존의 투수성 포장과 투수/저류형 포장의 차이점

표 2.8 도로침수 대응분야에서의 기존 연구와 본 연구와의 차별성

구분		기존 연구	본 연구
도로침수 대응분야	국내	■ 빗물 투과형 아스콘과 레미콘의 개발 및 상용화 ■ 빗물 투과형 포장의 설계 기준 부재 ■ 빗물 저류형 포장은 연구개발 전무함	■ 도로침수시 노상 지지력 약화 및 이로 인한 포장체 파손 연구 및 노상 강화 공법은 상대적으로 연구 미흡하므로 본 연구에서 수행 ■ 국외의 설계기준을 바탕으로 국내 환경, 재료, 교통조건, 도로등급에 적합한 설계 및 시공 기준 개발
	국외	■ 빗물 투과형 아스콘 및 레미콘, 블록 등 다양한 재료 개발 및 상용화 ■ 빗물 투과형 포장의 설계 기준 정립 ■ 빗물 저류형 포장은 기술 개발 단계로 상대적으로 미흡하며 국가 설계기준 없음	■ 빗물 저류형 인공노상구조체 개발 및 적용기술 확보 ■ 빗물 투과/저류형 도로포장의 적용에 관련된 법·제도 신설 및 개선

나. 도로붕괴 대응 분야

- 도로붕괴에 대체적인 원인은 상수도관 파열로 인해 누수가 발생하여 도로 하부 구조에 지지력 약화, 도로 하부의 겨울철 지하수가 얼어붙으면서 부피가 팽창했다가 날씨가 따뜻해지자 물이 녹아 이에 따른 동결융해로 인하여 도로가 붕괴되고 있는 실정임
- 현재 도로포장상태 조사 장비에 대한 결과분석, 평가기법 및 보정방법, 포장 공용성 평가 해석기법, 도로포장관리시스템(PMS) 개선방안 또한 점차적으로 개발되고 있으나, 포장 하부원인에 따른 도로 붕괴 위험도 등급별 시스템화에 대한 연구가 전무한 실정임
- 따라서 본 연구는 사전에 붕괴 가능성이 있는 지점을 탐지하여 이에 따른 피해를 예방하고자 도로포장상태를 조사하는 비파괴장비 데이터 분석을 통해 포장

하부 위험도 등급별로 나누어 시스템을 구축하여 도로붕괴 위험도 탐지 시스템을 개발하고자 함

- 도로 붕괴에 대체적인 원인은 지하수의 상승으로 인한 지반안정성 감소와 지하수 흐름방향으로의 토사의 이동에 의해 발생하는 경우가 많으므로 이러한 지하수의 영향에 의한 도로붕괴 위험도를 평가하는 기법은 국내에 전무함으로 도로붕괴를 사전에 파악하고 방재한다면 그 파급효과가 매우 클 것으로 판단됨
- 기존의 보수보강 공법에 관한 연구는 도로붕괴가 있는 위험구간에서 교통을 차단하여 공사하는 등 교통흐름에 심각한 방해로 주는 공법이었으나 본 연구에서 개발할 연구는 최대한 빠른 시간에 도로붕괴 위험이 있는 구간에 보수보강을 실시하는 기술 개발이 필요함
- 기존 평탄성 측정 장비의 경우 종방향 평탄성, 노면손상 및 소성변형을 측정하였으나, 단차의 경우 측정이 불가능한 실정이므로 본 연구를 통하여 종합분석알고리즘이 개발될 예정임
- 따라서 본 연구에서는 기본 평탄성 측정장비의 기능에 도로파손 및 단차에 의한 장비를 저가용으로 사용성을 높이기 위해 자가이동식 보급형으로 개발하며, 평탄성별 하중 등가계수 및 안정성 평가기술을 개발하여 해석프로그램 적용 및 Macro를 통해 간편히 해석 등을 통해 효율적인 평탄성 관리방안을 제시할 예정임
- 연약지반 도로 설계시 지반해석과 도로해석을 따로 진행하여 각각의 발생 변수 등을 고려하지 못하는 실정이나 본 연구를 통해 지반해석 및 도로해석의 연계를 통한 연약지반 해석프로그램 개발을 통해 종합적 해석을 통해 통합설계를 하고자 함
- 현재의 도로포장의 유지보수에 관한 기술은 많이 수행되어 있으며, 새로운 공법들이 개발되어 있으나 관로교체공사에 의한 도로붕괴의 부분적인 보수보강 기술 연구는 미미하므로 본 연구에서는 자주 발생하는 노후관로 교체공사나 신설관로 매설공사시 발생할 수 있는 지반침하나 붕괴로 인한 평탄성이 악화되는 것을 방지하기 위한 관로기초 및 스마트 무다짐 및 급속경화 보수보강 기법을 개발할 예정임

표 2.9 도로붕괴 예방분야에서의 기존 연구와 본 연구와의 차별성

구분		기존 연구	본 연구
도로붕괴 예방분야	국내	▪ 붕괴 유형별 발생 원인 불명확함 ▪ GPR을 이용한 도로하부 동공 탐지 기술은 확보되어있으나 인력에 의한 판독으로 처리시간이 많이 소요됨 ▪ RWD을 이용한 도로포장 지지력 평가 분야 연구 실적 전무 ▪ 도로붕괴 관련 계측 센서 개발은 실시한 적 없음 ▪ 도로하부 지지력 보강 기술은 다른 목적에 의한 유사 연구사례는 있으나 직접적으로 도로붕괴에 대한 보수보강 연구는 미미함 ▪ 포토 및 레이저 센서를 활용한 평탄성 측정 연구는 미미함	▪ GPR을 이용한 포장하부의 동공을 탐지할 수 있는 자동 소프트웨어 개발 ▪ RWD을 개발하여 차량이 이동하면서 도로포장 지지력을 평가할 수 있는 기술개발 필요 ▪ 도로붕괴 위험도를 평가하고 진단 체계 구축에 대한 연구개발 사례는 최초임 ▪ 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법은 최초의 연구임 ▪ 도로하부 지지력 보강 및 복원 기술은 기존의 국내외 유사 관련 재료 및 공법의 적용성을 검토하여 도로붕괴 예방적 보수에 가장 적합한 재료 및 공법 관련 설계 및 시공기준을 적립함
	국외	▪ 도로붕괴 관련 해외 연구동향은 국내와 유사하고, 미미하나 탐지관련 장비와 해석 기술에 대한 연구는 활발히 진행되고 있음	▪ 도로 붕괴 예방 시스템의 적용에 관련된 법·제도 신설 및 개선

4절. 특허조사분석

1. 특허 조사 분석 범위

- 본 분석에서는 연구성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 선택된 2개의 대분류 아래 4개의 중분류와 20개의 소분류 기술 분야에 대해, 2012년 4월까지 출원공개 된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개특허와 2012년 4월까지 출원등록 된 미국등록특허를 분석 대상으로 함

가. 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

- 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2010년 10월 이후 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 2009년까지 한정함

표 2.8 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개 · 등록특허 (공개 · 등록일 기준)	한국	WIPS	~ 2012년 5월	특허공개 및 등록 서지+요약+청구항1항
	일본	WIPS		특허공개 및 등록 서지+요약+청구항1항
	미국	WIPS		특허공개, 특허공고/등록, 특허공개(공표) 및 특허공개(재공표) 서지+요약+청구항1항
	유럽	WIPS		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 서지+요약+청구항1항

나. 분석대상 기술 및 검색식 도출

(1) 기술분류체계

- 본 분석에서는 과제의 RFP 제안서를 기초로 기획범위내의 기술을 기술분류별로 구분하여 대분류부터 소분류까지 가지치기 식으로 분류함

표 2.9 특허분석대상 기술분류

대분류	중분류	소분류
도로붕괴 및 침수예방을 위한 도로포장하부시스템 기술 개발(A)	빗물 투과형 도로포장 시스템 개발(AA)	빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발(AAA)
		지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조 기층 대체재료 개발(AAB)
		도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발(AAC)
		빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(AAD)
	빗물 저류형 도로하부 시스템 개발(AB)	도심지 도로침수 방어를 위한 배수 시스템 평가 및 개선기술 개발(ABA)
		빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술 개발(ABB)
		빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(ABC)
	도로붕괴 예측을 위한 위험도 평가 기술 개발(AC)	도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발(ACA)
		포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACB)
		지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACC)
	도로붕괴 예방을 위한 보수보강 기술개발(AD)	관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADA)
		도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADB)
		도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발(ADC)

(2) 기술분류기준

표 2.10 특허분석대상 기술분류기준

대분류	중분류	소분류	검색개요 (기술범위)
도로 침수 및 붕괴 예방을 위한 도로 포장 하부 시스템 기술 개발(A)	빗물 투과형 도로포장 시스템 개발(AA)	빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발(AAA)	빗물 투과형 도로시스템의 배치에 따른 강우시 수문학적 효과에 대한 분석 및 그에 따른 최적 공간배치 기술
		지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체 재료 개발(AAB)	집중호우시에도 지속적으로 빗물을 흡수, 분산, 저장할 수 있는 도로포장 하부구조에 적합한 기층 및 보조기층 대체재료
		도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발(AAC)	도로침수시에도 노상의 지지력 또는 강성을 유지할 수 있도록 하는 지지력 보강기술
		빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(AAD)	강우시 도로포장 표면의 빗물을 흡수, 분산, 저장할 수 있도록 하는 빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술
	빗물 저류형 도로하부 시스템 개발(AB)	도심지 도로침수 방어를 위한 배수 시스템 평가 및 개선기술 개발(ABA)	강우시 도로로 유입되는 빗물을 집수 및 배수하여 도로침수를 방지하는 배수 시스템 관련 기술
		빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술개발(ABB)	강우시 도로로 유입되어 흡수되는 빗물을 분산, 저장할 수 있는 인공노상구조체 관련 기술
		빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(ABC)	강우시 도로로 유입되는 빗물을 분산, 저장, 활용할 수 있도록 하는 빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술
	도로붕괴 예측을 위한 위험도 평가 기술 개발(AC)	도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발(ACA)	도로붕괴 위험도를 사전에 탐지 및 예측할 수 있는 기술
		포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACB)	도로 하부에 시설물을 배치할 경우 이로 인해 발생하는 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가 기술
		지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACC)	도로 하부 지하수 흐름(수위)변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가 기술
	도로붕괴 예방을 위한 보수보강 기술개발(AD)	관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADA)	도로붕괴 위험구간의 붕괴, 침하, 파손 등에 대비한 보수보강 기술
		도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADB)	
		도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발(ADC)	도로침하에 따른 상부포장체의 평탄성 평가 및 그에 따른 주행 안정성 확보 기술

(3) 핵심 키워드 도출

- 도로포장하부 시스템 기술분야의 기술분류 및 핵심키워드를 바탕으로 특허분석을 위한 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 연구진 및 기술 자문위원들과의 기술미팅을 거쳐 2차 키워드를 도출하였음

다. 유효특허 선별 기준 및 결과

(1) 유효특허 선별 기준

- 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장 하부시스템 기술의 Raw Data에 대한 유효특허 선별 기준(표 2.12 참조)을 마련하여 적용함

표 2.12 분석대상 기술분류에 대한 유효특허 선별기준

소분류	노이즈제거 및 유효특허추출기준
빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발(AAA)	빗물 투과형 도로의 배치에 따른 수문학적 효과를 분석하고 그에 따른 공간배치 기술을 유효특허로 분류함
지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체재료 개발(AAB)	빗물 투과형 도로시스템의 기층 및 보조기층 재료에 관련된 기술을 유효특허로 분류함
도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발(AAC)	강우나 침수에 따른 노상 지지력 보강기술을 유효특허로 분류함
빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발(AAD)	도로 노면에 흐르는 빗물을 흡수, 분산, 저장하는 투과형 도로포장기술을 유효특허로 분류함
도심지 도로침수 방어를 위한 배수 시스템 평가 및 개선기술 개발(ABA)	도로에 유입되는 빗물을 집수 및 배수하는 시스템에 관련된 기술을 유효특허로 분류함
빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술개발(ABB)	도로 하부에 유입된 빗물을 분산, 저장하는 하부구조체에 관련된 기술을 유효특허로 분류함
빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발(ABC)	도로에 유입된 빗물을 분산, 저장, 활용하는 시스템에 관련된 기술을 유효특허로 분류함
도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발(ACA)	도로의 붕괴, 침하, 파손을 사전에 탐지 및 예측할 수 있는 기술을 유효특허로 분류함
포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACB)	도로포장 하부시설물의 침하에 따른 붕괴 위험을 평가하는 것과 무관한 것은 노이즈로 분류함
지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACC)	도로 하부 지하수위 변화에 따른 붕괴 위험을 평가하는 것과 무관한 것은 노이즈로 분류함
관교교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADA)	세부적으로 관교교체나 도로굴착에 한정하지 않고 도로 침하 및 붕괴 위험에 대한 사전 보수보강에 관련된 기술을 유효특허로 분류함
도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADB)	
도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발(ADC)	도로 침하 및 붕괴에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보에 관련된 기술을 유효특허로 분류함

(2) 유효특허 선별 결과

표 2.13 도로포장 하부시스템의 유효특허 선별결과

소분류	유효데이터 건수				
	한국	미국	일본	유럽	계
빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발(AAA)	0	0	0	0	0
지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체재료 개발(AAB)	36	36	17	6	95
도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발(AAC)	17	9	17	3	46
빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(AAD)	180	118	191	37	526
도심지 도로침수 방어를 위한 배수 시스템 평가 및 개선기술 개발(ABA)	153	61	152	26	392
빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술개발(ABB)	48	30	64	20	162
빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발(ABC)	44	40	62	17	163
도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발(ACA)	14	18	17	10	59
포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACB)	0	0	0	0	0
지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACC)	0	0	3	0	0
관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADA)	75	59	67	19	220
도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발(ADB)					
도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발(ADC)	2	2	0	1	5

라. 분석 방법

- 본 특허분석에서는 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술분야의 특허기술 Landscape, 핵심기술 분석으로 나누어 분석함

(1) 특허기술 Landscape

- 특허기술 Landscape에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 주요 시장국 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 기술시장 성장단계 파악 및 분석을 통한 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 Landscape를 분석함
- 또한, 상위 Top20의 다출원인 도출을 통하여 주요 경쟁자 현황 및 IP로 본 주요 시장국을 분석하고, 주요 경쟁자들의 시장확보력 및 기술력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 경쟁자 Landscape를 분석함

(2) 세부기술 분석

- 핵심기술 분석에서는 세부기술별로 구간별 특허출원 동향, 주요시장국별 세부 기술 동향, 다출원인의 특허동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 특허와의 관계를 분석함
- 또한, 출원증가율 분석, 유효특허를 구간별로 나누어 세부기술의 구간별 점유증가율 분석, 주요출원인의 구간별 점유증가율 및 구간별 외국인 출원증가율, 결론에서 요소기술 현황표를 제시하여 정량적인 특허현황을 한눈에 알아볼 수 있도록 정리함

표 2.14 Main IP 분류(1차) - 대분류 전체특허

Main IPC	IPC설명	건수
E01C	도로 등의 건설, 시공	1098건
E03F	하수, 오수	161건
E01F	도로의 부대설비	82건
E01D	교량	43건
C04B	건축재료	36건
E03B	취수, 집수, 배수	32건
E01H	가로,지면의 청소	29건
E02D	기초,지하 구조물	23건
기타		146건

- 분석내용 : 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술분야에서는

도로 등의 건설, 시공과 관련된 E01C 분야에 관련 특허가 집중되어 있으며, 그 외 하수나 배수, 도로의 부대설비 및 건축재료에 연관된 분야에도 관련 특허가 분포하고 있음을 확인할 수 있음. 따라서 본 과제는 도로 및 침수 분야에 대해 중점적으로 기술적 파급력을 미칠 것으로 예상됨

2. 특허기술 Landscape

가. 국가별 Landscape

(1) 주요시장국 기술개발 활동현황

㉠ 주요시장국 연도별 특허동향

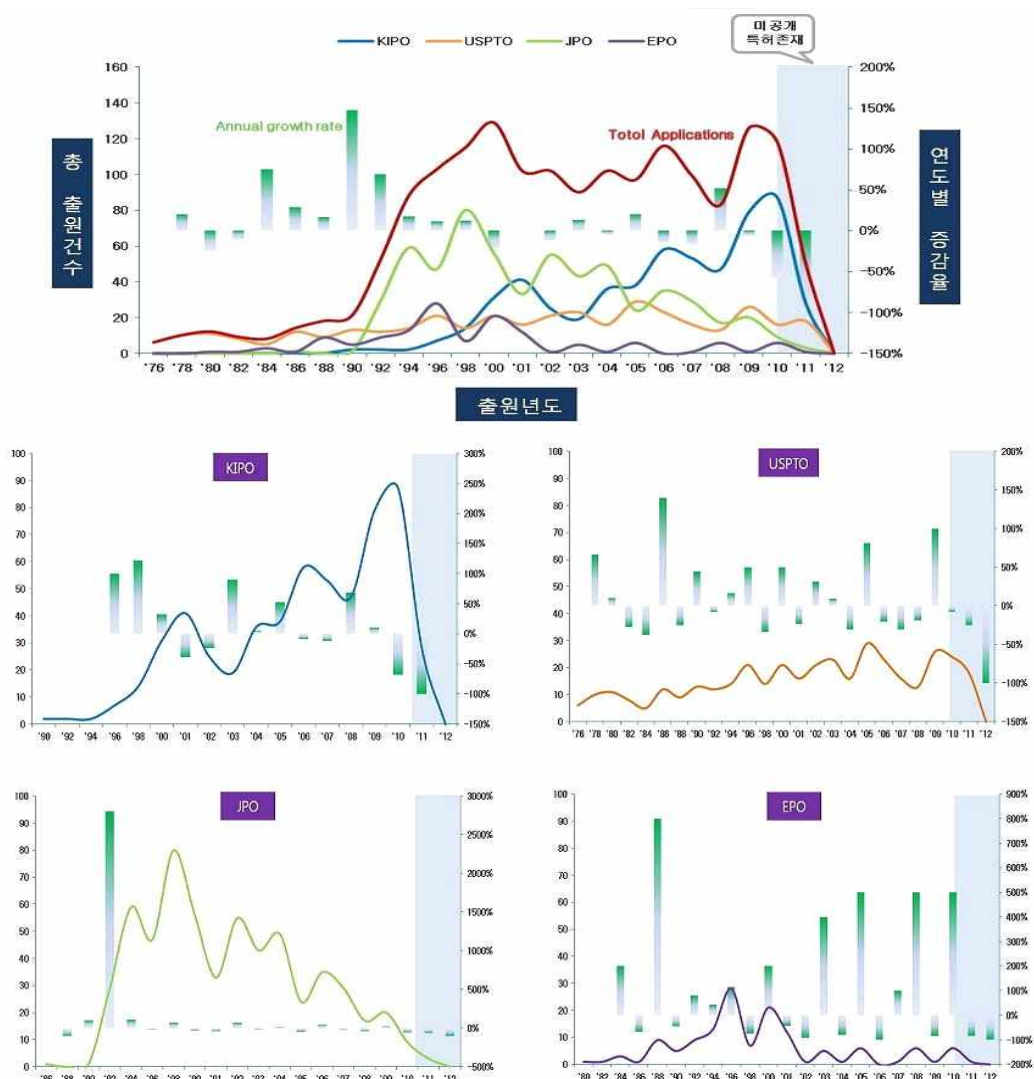


그림 2.17 전체 연도별 동향

- 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년대 후반과 2000년대 초반

에 비약적인 출원 증가세를 보인 후, 감소되다가 2008년을 전후로 다시 출원이 증가세를 보이고 있는 것으로 나타남

- 이러한 최근의 출원 증가세는 2000년대 중반 이후부터 특히 북반구에 나타나고 있는 기후변화에 따른 집중호우에 따른 홍수나 도로 침수 등이 주요한 원인으로 추측되며, 또한, 최근 환경과 수자원 활용에 대한 연구와 고속 주행에 기반한 도로 안정성 확보를 위한 연구도 이러한 흐름에 영향을 미친 것으로 보임

㉠ 주요시장국 내·외국인 특허출원 현황

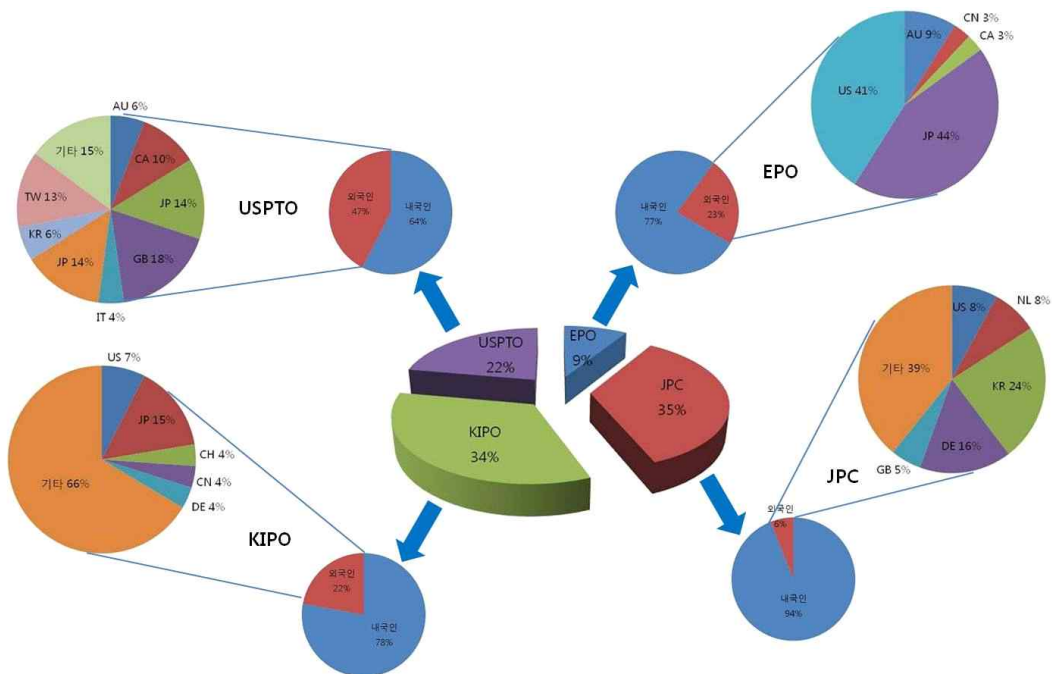


그림 2.18 주요시장국 내·외국인 특허출원현황

- 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 일본과 한국에서의 출원이 전체 분석대상 국가 출원규모의 약 70% 정도를 차지하는 것으로 나타나, 도로붕괴 및 침수 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분야의 연구개발은 대부분 일본과 한국에서 주도되고 있는 것으로 보임

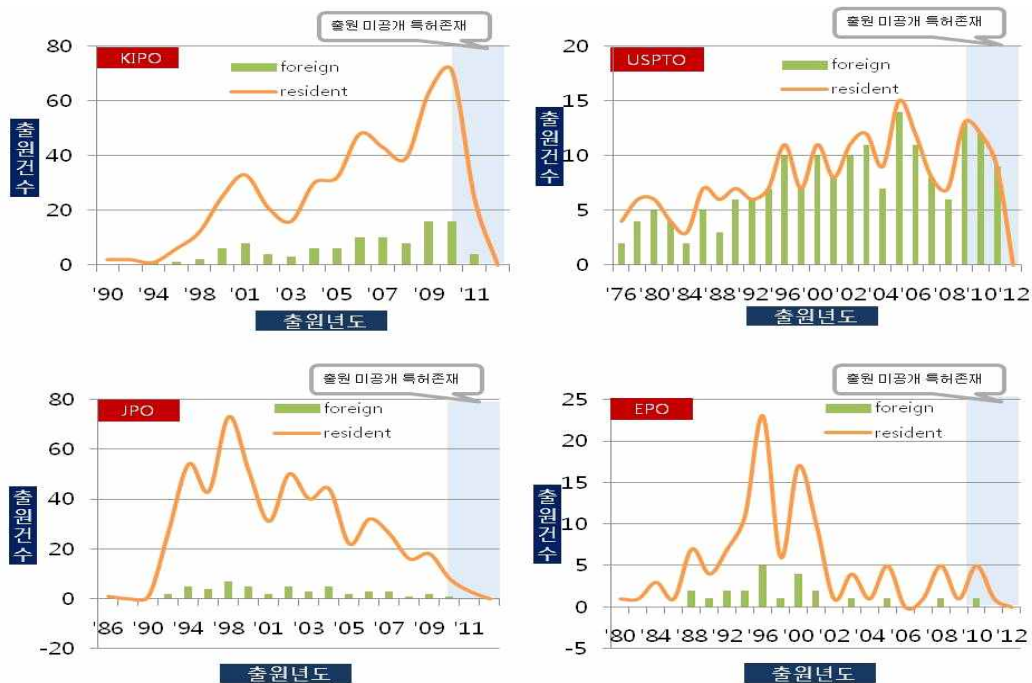


그림 2.19 연도별 주요시장국 내·외국인 특허출원현황

- 주요시장국의 내·외국인 특허출원현황을 살펴보면, 미국 및 유럽은 외국인의 점유율이 각각 43%, 23%로서 상대적으로 외국인에 의한 특허활동이 활발한 것으로 나타났으며, 일본 및 한국은 내국인의 점유율이 각각 94%, 78%로서 내국인에 의한 특허활동이 대다수를 차지하는 것으로 나타남
- 이는, 한국 국적 및 일본 국적의 출원인들이 내국 위주의 특허활동을 하고 있는 동시에, 타 주요시장국에서 한국과 일본 시장에 진출하는 비율이 높지 않기 때문인 것으로 판단되며, 이를 볼 때, 해외 국적의 출원인들이 한국 및 일본의 시장성을 미국 및 유럽에 비하여 상대적으로 더 낮은 것으로 판단하여 한국 및 일본 시장에 적극적으로 진입하지 않고 있기 때문인 것으로 볼 수 있음
- 미국에서는 일본 국적의 출원인들이 점유율 28%의 외국인 점유율을 기록하여, 가장 활발한 특허활동을 하고 있는 것으로 나타났으며, 그 뒤를 영국, 대만, 캐나다 국적의 출원인들이 차지하고 있으며, 한국 국적의 출원인들은 6%의 점유율을 보이는 것으로 나타남. 한편, 미국의 연도별 출원동향을 보면, 2000년대 이후에 꾸준히 출원 증가세를 보이고 있는 점에 주목할 만하며, 이는 일본이나 유럽에 비해 상대적으로 미국에서 기후변화에 따른 자연재해에 대한 관심과 연구가 늦게 나타나고 있기 때문으로 분석할 수 있음
- 유럽에서는 일본 국적의 출원인들이 44%, 미국 국적의 출원인들이 41%의 점유율을 기록하였으며, 한국 국적의 출원인들의 점유율은 거의 미미한 것으로 나타나, 한국 국적의 출원인들은 일본 시장 및 미국 시장에 비하여 유럽 시장에서의 진출이 부진한 것으로 분석됨
- 다만, 연도별 동향그래프에서 2010년 이후 출원이 감소하고 있는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이

이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허분석 데이터 상에 포함되지 않은 부분이 있음을 유의해야 함

(2) 기술시장 성장단계 파악

- 아래 그림은 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분야의 전체 및 해당 국가의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로, 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음. 각 구간은 1구간(~80년대 중반), 2구간(~90년대 초반), 3구간(~90년대 중반), 4구간(~2000년대 초반), 5구간(~2000년대 중후반)으로 나누었음

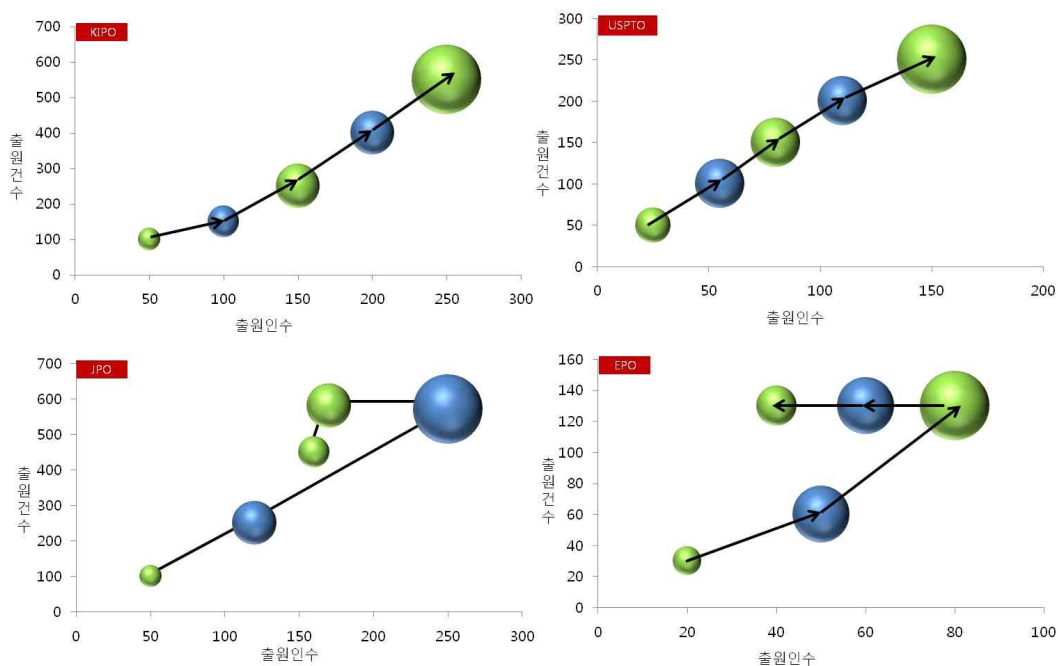


그림 2.20 기술시장 성장단계

- [KPO] 포트폴리오로 나타낸 한국특허의 기술위치는 1구간부터 5구간까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 발전기의 단계에 있음. 또한 최근 5구간에서 출원 건수 및 출원인 수가 크게 증가하고 있어 활발한 연구 및 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 분석됨
- [USPTO] 포트폴리오로 나타낸 미국특허의 기술위치는 1구간부터 5구간까지 출원건수와 출원인의 수가 비슷한 양상으로 점진적으로 증가하고 있으며, 한국과 유사하게 역시 최근에 출원건수와 출원인 수가 증가하고 있는 것으로 분석됨
- [JPO] 포트폴리오로 나타낸 일본특허의 기술위치는 3구간까지 출원 건수와 출원인의 수의 급격한 증가가 계속되다가, 4구간부터 5구간에 걸쳐 출원 건수와 출원인 수가 줄어드는 양상을 보임. 다만, 일본 국적의 출원인에 의한 해외에

서의 출원 건수는 최근에도 지속되고 있는 것으로 분석됨

- [EPO] 포트폴리오로 나타낸 유럽특허의 기술위치는 1구간부터 3구간까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하다가 최근 5구간까지는 비슷한 출원 건수에 비해 출원인수가 점차 감소하는 양상을 보여 기술 성숙기에 진입한 것으로 분석됨

나. 경쟁자 Landscape

표 2.15 경쟁자 Landscape

출원인	분석항목	출원인 국적	주요 IP시장국(건수, %)					주력 기술 분야
			한국	미국	일본	유럽	IP 시장국 종합	
			KR	US	JP	EP		
OBATA HARUKI		JP	0 (0%)	0 (0%)	8 (100%)	0 (0%)	일본	AAB
Chen, Jui Wen		TW	0 (0%)	16 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	미국	AAD
황익현		KR	15 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	한국	AAD
FORMPAVE HOLDINGS		GB	0 (0%)	5 (45%)	0 (0%)	6 (55%)	유럽	AAD
TAIHEIYO CEMENT CORP.		JP	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)	0 (0%)	일본	AAD
TAISEI CORP.		JP	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)	0 (0%)	일본	AAD
COVENTRY UNIVERSITY		GB	0 (0%)	1 (12%)	0 (0%)	7 (88%)	유럽	AAD
SUMIMOTO OSAKA CEMENT CO.		JP	0 (0%)	0 (0%)	7 (100%)	0 (0%)	일본	AAD
Urriola, Humberto		AU	0 (0%)	4 (67%)	0 (0%)	2 (33%)	미국	AAD
YOKOHAMA RUBBER CO LTD.		JP	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)	0 (0%)	일본	AAD
Lithocrete, Lnc		US	0 (0%)	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	미국	AAD
ITO YOGYO CO LTD.		JP	0 (0%)	0 (0%)	17 (100%)	0 (0%)	일본	ABA
DAIKURE CO LTD.		JP	0 (0%)	0 (0%)	12 (100%)	0 (0%)	일본	ABA
USUI CHIYORIYUU CHINTO.		JP	0 (0%)	0 (0%)	9 (100%)	0 (0%)	일본	ABA
레인보우 스케이프		KR	7 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	한국	ABA
AUTOSTRAD CONCESSIONIE		IT	0 (0%)	4 (67%)	0 (0%)	2 (33%)	미국	ABA
한국건설기술연구원		KR	16 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	한국	ABB
OHBAYASHI CORP.		JP	0 (0%)	0 (0%)	15 (100%)	0 (0%)	일본	ABB
SEKISUI CHEM CO LTD.		JP	0 (0%)	0 (0%)	9 (100%)	0 (0%)	일본	ABB
HAYASHI SHINICHIRO		JP	0 (0%)	0 (0%)	8 (100%)	0 (0%)	일본	ABB

* 해당 출원인의 출원수 중 주요 출원국가의 출원비중 중 10% 이상인 국가(대분류 대상 상위 20개 출원인)

- 미래형 도로포장에 적합한 고성능 하부구조 시스템 기술 개발 기획 과제에 주요 출원인 Top20를 추출한 결과, 일본 ITO YOGYO CO LTD.가 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 한국의 한국건설기술연구원 등이 이 분야에서

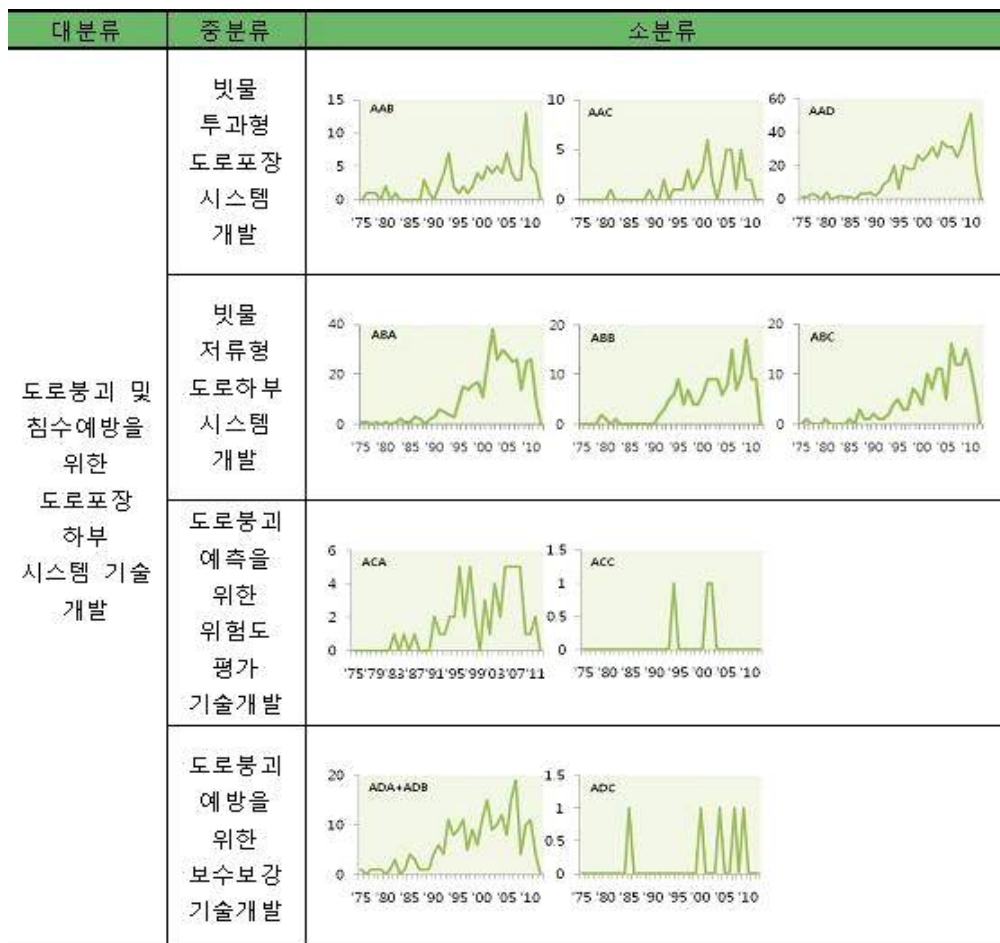
다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남. 특히, 주요출원인 Top20 중 일본 국적의 출원인이 11명으로 나타나 도로붕괴 및 침수예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술분야에서 일본이 두각을 나타내는 것으로 분석됨

- 이를 고려하여 볼 때, 도로붕괴 및 침수예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 분야에서는 일본의 ITO YOGYO CO LTD., DAIKURE CO LTD. 및 ITO YOGYO CO LTD.와 영국의 COVENTRY UNIVERSITY 및 FORMPAVE HOLDINGS 등이 국내 주요출원인들과 경쟁관계에 있음을 알 수 있으며, 도로 붕괴 및 침수예방 분야는 일본의 주요출원인들이 국제 시장에서의 연구개발을 주도하고 있는 것으로 분석됨. 다만, 일본의 주요출원인들은 한국에 진출하는 비율이 적은 편인 것으로 나타나, 한국시장의 경쟁력을 낮춘 것으로 판단하고 있는 것으로 분석됨

3. 세부기술 분석

가. 세부기술별 출원증가율 및 점유율 분석

(1) 세부기술별 추세선을 통한 출원증가율 분석



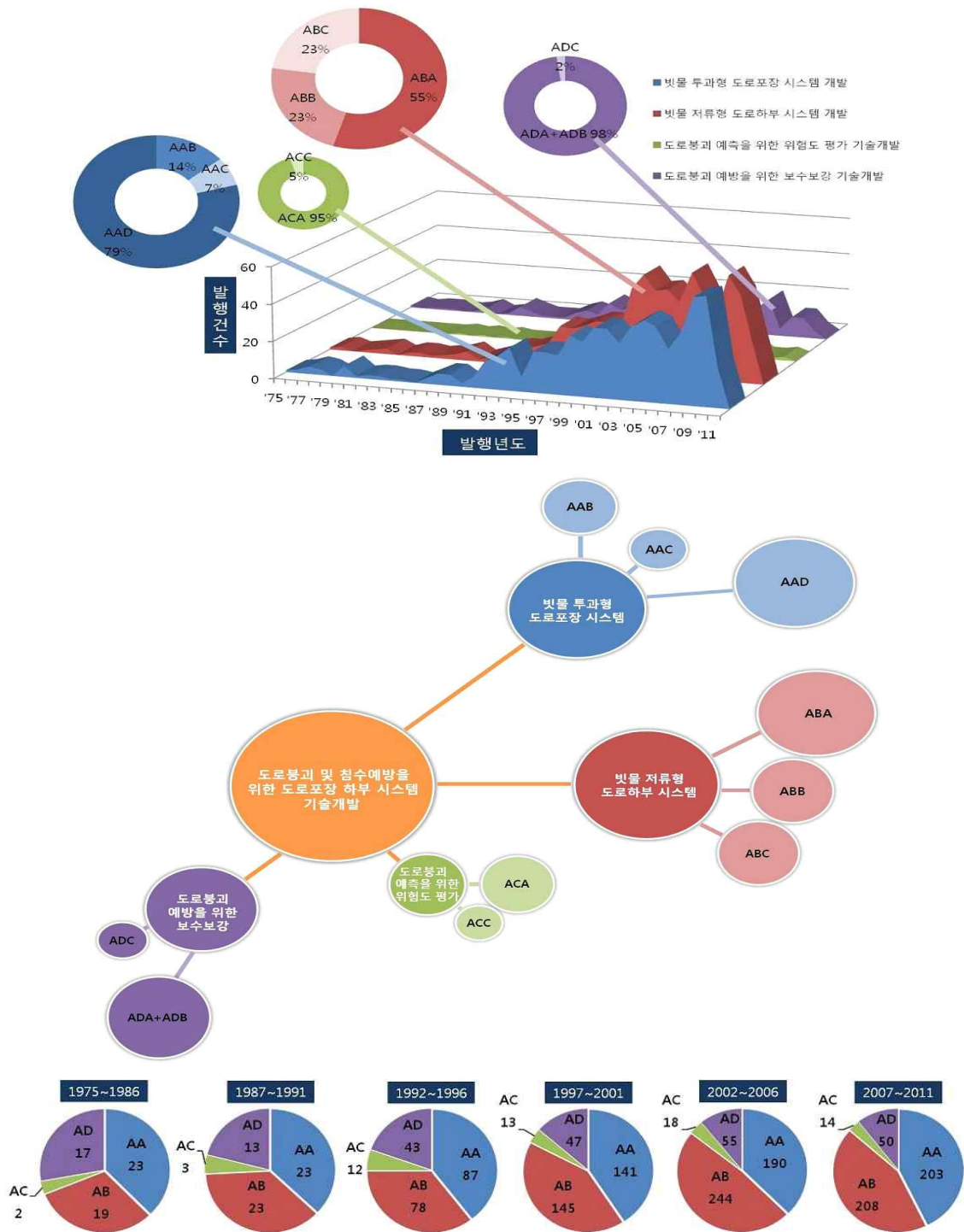
<그림 3-1> 세부기술별 추세선 분석

- 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술분야의 소분류별 추세 분석에 따르면, 본 기술분야는 90년대 후반과 2000년대 초반에 비약적인 출원 증가세를 보인 후, 감소되다가 2000년대 후반들어 전체적으로 증가세를 보이고 있는 것으로 나타남. 이는 90년대 중반 이후 건설·교통분야에 환경을 적용하여 태풍 등으로 인한 도심 침수를 방지하고 우수를 친환경적으로 (순환)활용하는 일본과 유럽의 정책적 추진('94년 일본 건설성의 '환경정책대강' 발표와 '97년 영국의 '환경·교통·지역부(DETR)' 통합 출범)에 기인한 선도적인 연구개발과, 2000년대 중반 이후 특히 북반구에 나타나고 있는 기후변화에 따른 집중호우로 인한 홍수나 도심 침수에의 대응과 수자원 활용에 대한 연구개발에 기인한 것으로 보임
- 전체적으로 대부분의 기술분야가 비슷한 추세를 보이면서 발전하고 있으나, 빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발, 도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발, 포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발, 지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발, 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발 분야에는 거의 특허출원이 이루어지지 않고 있으며, 이는 이 분야가 상업적 이익을 추구할 수 있는 제품화(산업화) 적용 분야와는 거리가 있는 순수 학문적 분야로 볼 수 있기 때문임
- 다만, 최근의 빈번한 도로 붕괴 및 도로 침하로 인한 대규모 인명손실과 사회적 피해가 급증하고 있는 점¹⁾을 감안하면, 도로붕괴 위험도 탐지 내지 평가 시스템 개발이나 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발 분야는 그 수요가 급증할 것으로 보여 이에 대한 선행적인 연구개발은 핵심 특허를 확보할 수 있는 가능성을 높임

(2) 세부기술별 점유율 분석

- 아래의 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 알 수가 있다. 원그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내며, 원그래프 하단의 연도별 분포 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여주고 있음

1) 「취재파일」 도로에 구멍 숭숭...지하에서 무슨일이 - SBS뉴스(2012.4.5)
 「인천 도로붕괴 이달 들어 벌써 세 번째」 - 아시아경제기사(2012.2.12)



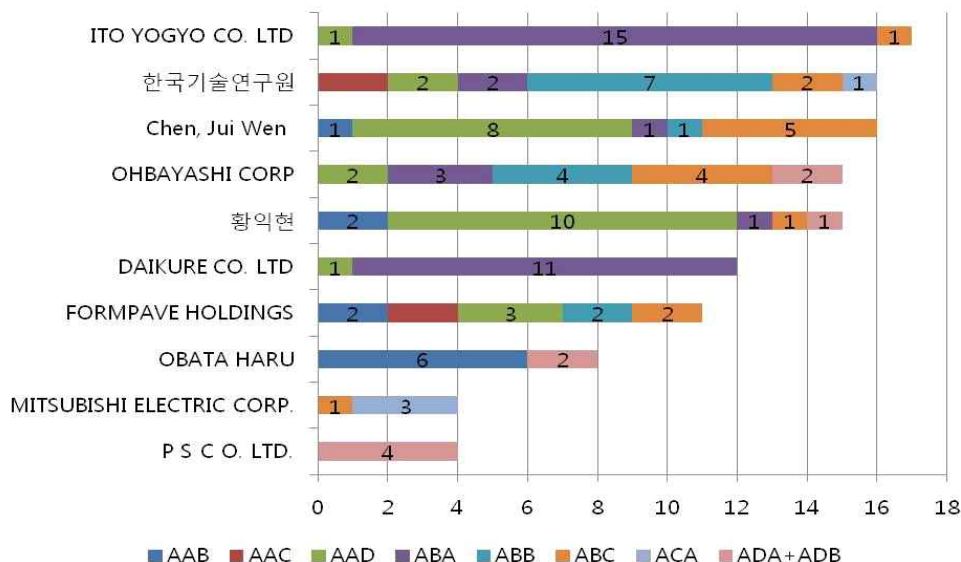
<그림 3-2> 세부기술별 점유율 분석

- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 도로포장 하부 시스템 기술 분야의 세부기술별 점유율 분석에 따르면, 빗물 저류형 도로하부 시스템(AB), 빗물 투과형 도로포장 시스템(AA), 도로붕괴 예방을 위한 보수보강(AD) 순으로 점유율을 차지하고 있는데, 이는 실질적으로 도로 포장의 시공과 관련된 도로 구조나 포장재 분야가 시장성 및 산업적 적용 가능성이 큰 분야에 속하기 때문에 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 보임

- 빗물 투과형 도로포장 시스템(AA)은 빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술(AAD), 지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체재료(AAB) 순으로 점유율을 차지하고 있고, 빗물 저류형 도로하부 시스템(AB)은 도심지 도로침수 방어를 위한 배수시스템 평가 및 개선기술(ABA)을 필두로 빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술(ABB)과 빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술(ABC)이 고르게 점유율을 차지하고 있고, 도로붕괴 예방을 위한 보수보강(AD)은 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술(ADA+ADB)에 편중된 점유율을 보이고 있는데, 이는 상대적으로 빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발(AAA), 도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발(ACA), 포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACB), 지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발(ACC), 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발(ADC) 분야가 상업적 이익을 추구할 수 있는 제품화(산업화) 적용이 어려운 순수 학문적 분야에 가깝기 때문으로 보임

나. 세부기술별 주요출원인 기술 개발 동향 분석

- 각각의 기술을 소분류로 할때 해당 소분류별로 주요출원인이 다르며, 이들이 집중하고 있는 특허기술에 대해서 심층적으로 살펴보면, 각각의 세부기술에는 해당하는 주요출원이 다르게 나타나고 이들이 집중하고 있는 기술분야도 다양함을 알 수 있음



<그림 3-3> 세부기술별 주요출원인의 특허 현황

- 주요출원인들 중 ITO YOGYO CO.,LTD.와 DAIKURE CO.,LTD. 는 도심지 도로침수 방어를 위한 배수시스템 평가 및 개선기술(ABA)에 특허출원이 집중되

- 어 있으나, 한국건설기술연구원과 OHBAYASHI CORP. 및 FORMPAVE HOLDINGS는 상대적으로 전 분야에 걸쳐 고르게 특허출원이 이루어지고 있음
- 이는 ITO YOGYO CO.,LTD.와 DAIKURE CO.,LTD. 는 특정 제품에 관련된 전문 회사인 반면에, 한국건설기술연구원은 건설기술 전반에 걸쳐 연구를 수행하는 국책연구기관이고, OHBAYASHI CORP. 및 FORMPAVE HOLDINGS는 토목 전 분야에 시공을 담당하는 종합 건설회사이기 때문임

다. 시장별 세부기술 시장점유율 분석

- 기술독점 현황분석을 위한 지수 중 하나인 집중률 지수(CR4)을 통해 상위 출원인 4개사의 시장점유율을 살펴봄. 여기서 CR4가 0에 가까울수록 시장의 독과점 수준이 낮고, 100에 가까울수록 독과점 수준이 높으므로, 40~60사이 일 때 새로운 기술의 적용을 유발시키는 최적의 시장경쟁 상태로 평가함
- 모든 세부기술에 대하여 전체 출원건수를 기준으로 각 출원인별 특허점유율을 구한 뒤 상위 4개사의 점유율을 나타낸 결과 CR4가 6~17로 나타났음. 이는 모든 세부기술 분야가 주요출원인의 시장 독과점 수준이 낮은 것으로 나타난 것으로, 가장 역사가 오랜 된 산업 중 하나이며 수많은 기업들이 진출해 있는 토목기술 분야의 특성에 기인한 것으로 보임

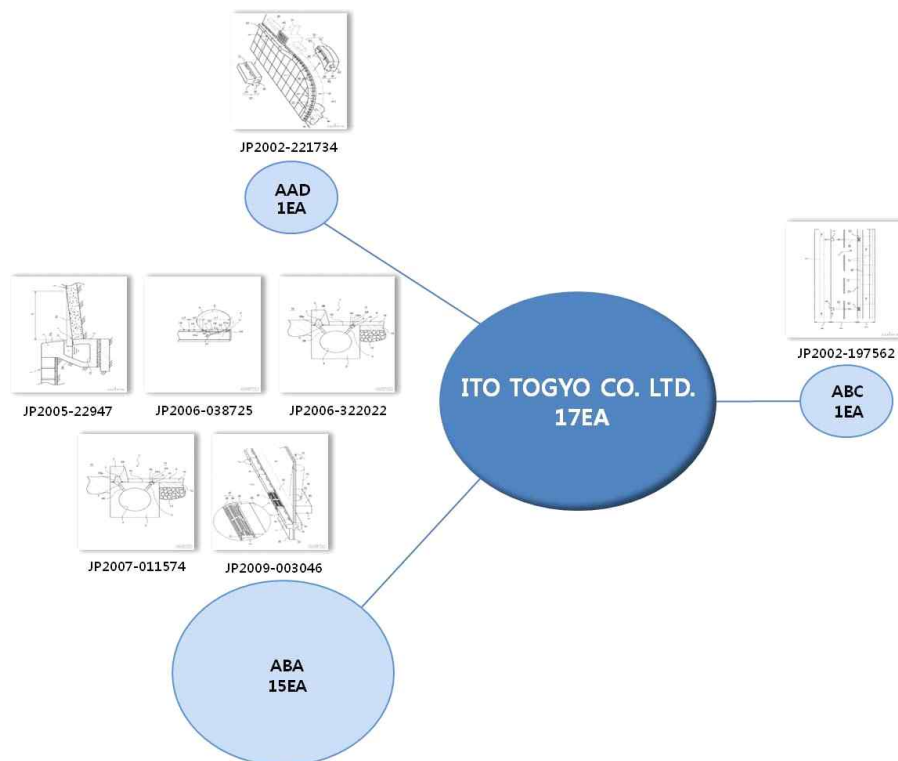
<표 3-1> 주요출원인 특허점유율 분석

세부기술	출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
AAB	OBATA HARUKI	6	6.3%		1
	황익현	3	3.1%		2
	Formpave Holdings LTD.	2	2.1%		3
	The University of Birmingham	2	2.1%	14%	4
	합계	13	13.6%	CR4=14	
AAC	한국건설기술연구원	2	4.3%		1
	Formpave Holdings LTD.	2	4.3%		2
	TSUDA PEIBUTON TECHNIC	2	4.3%		3
	최선용	2	4.3%	17%	4
	합계	8	17.2%	CR4=17	
AAD	황익현	10	1.9%		1
	Chen, Jui Wen	8	1.5%		2
	TAIHEIVO CEMENT CORP.	7	1.3%		3
	TAISEI POTECH CORP.	7	1.3%	6%	4
	합계	32	6.0%	CR4=6	
ABA	ITO YOGYO CO. LTD.	15	3.8%		1
	DAIKURE CO. LTD.	11	2.8%		2
	레인보우 스케이프	4	1.0%		3
	USUI CHIYORIYUU	4	1.0%	9%	4
	합계	34	8.6%	CR4=9	
ABB	한국건설기술연구원	7	4.3%		1
	OHBAYASHI CORP.	4	2.5%		2
	SEKISUI CHEM CO. LTD.	4	2.5%		3
	HAYASHI SHINCHIRO	4	2.5%	12%	4
	합계	19	11.8%	CR4=12	
ABC	Chen, Jui Wen	5	3.1%		1
	OHBAYASHI CORP.	4	2.5%		2
	레인보우 스케이프	3	1.8%		3
	HAYASHI SHINCHIRO	3	1.8%	9%	4
	합계	15	9.2%	CR4=9	
ACA	MITSUBISHI ELECTRIC CORP.	3	5.1%		1
	Flint Trading, Inc.	2	3.4%		2
	SIEMENS Akfiengesellschaft	2	3.4%		3
	VERMEER MANUFACTURING CO.	2	3.4%	15%	4
	합계	9	15.3%	CR4=15	
ADA/ ADB	P S CO. LTD.	4	1.8%		1
	OKITA ENGINEERING	3	1.4%		2
	이텍산업 주식회사	3	1.4%		3
	Wirtgen, Reinhard	3	1.4%	6%	4
	합계	13	6%	CR4=6	

4. 주요 출원인별 IP History 분석

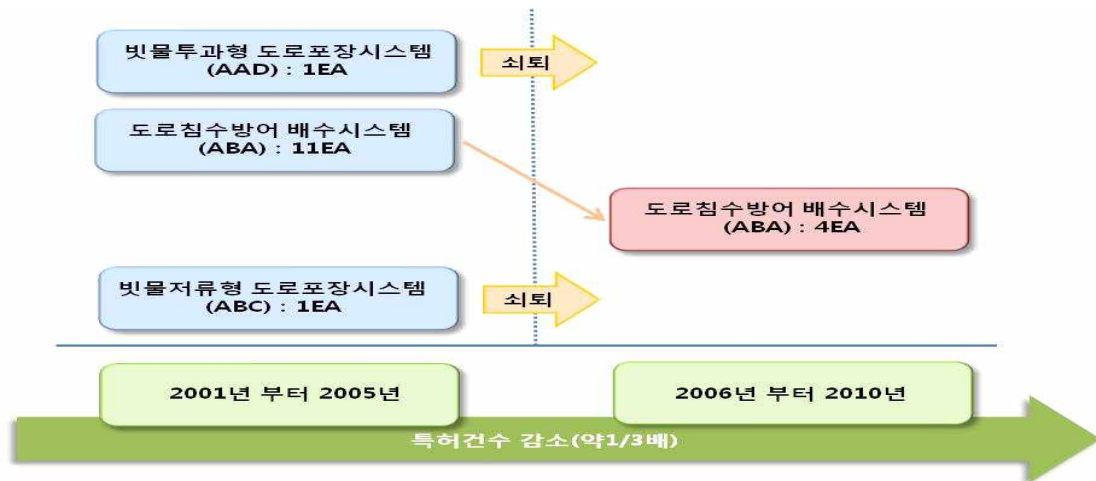
가. ITO YOGYO CO., LTD.

- ITO YOGYO CO., LTD.사의 경우 전체 17건의 특허 중, 도심지 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술 15건, 빗물투과형 도로포장시스템 기술 1건 및 빗물저류형 도로포장시스템 기술 1건 등으로, 포장과 배수에 관련된 콘크리트 제품을 제조하는 회사의 특성상 배수시스템 분야에 집중하고 있는 것으로 나타남



<그림 4-1> ITO YOGYO CO., LTD.의 기술 분포도

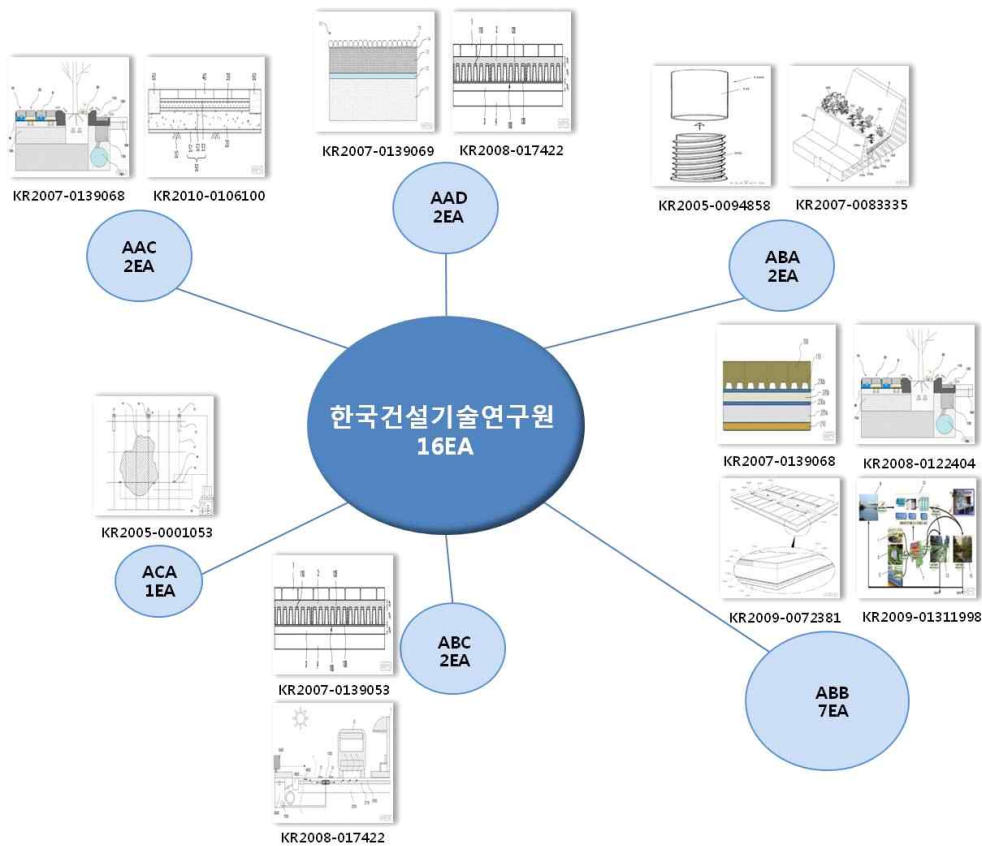
- 연도별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원의 건수가 감소하고 있는 것으로 나타남. 또한, 2000년대 초반과 비교하여 빗물투과형 도로포장시스템과 빗물저류형 도로포장시스템 기술과 관련하여서는 2000년대 후반 특허출원을 하지 않고 있으며, 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술 역시 2000년대 후반 절반 이하로 감소하고 있음
- 이는 앞서 살펴 본 일본 국가 전체적으로 90년대 후반과 2000년대 초반에 걸쳐 급증한 관련 기술 분야의 연구개발이 기술의 성숙기(또는 쇠퇴기) 및 장기 경제침체와 맞물려 감소하고 있는 경향과 동조하고 있다고 생각해볼 수 있음



<그림 4-2> ITO YOGYO CO., LTD.의 기술 개발 방향의 변화

나. 한국건설기술연구원

- 한국건설기술연구원의 경우 전체 16건의 특허 중, 빗물저류형 인공노상구조체 기술 7건, 노상의 지지력 보강기술, 빗물투과형 도로포장시스템 기술, 도로침수방어를 위한 배수시스템 기술, 빗물저류형 도로포장시스템 기술에 각각 2건, 도로붕괴 위험도 탐지기술 1건으로, 여러 분야에 걸쳐 고르게 연구개발을 진행하고 있음. 이는 건설기술 전 분야에 걸쳐 연구개발을 진행하는 국책연구기관의 특징을 반영한 결과로 볼 수 있음
- 연도별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원 건수가 급증하고 있는 것으로 나타남. 또한, 2000년대 초반과 비교하여 노상의 지지력 보강기술, 빗물투과형 도로포장시스템 기술, 빗물저류형 인공노상구조체 기술, 빗물저류형 도로포장시스템 기술에 각각 새로이 특허출원을 진행하고 있는 것으로 나타나 관련 분야에 활발한 연구가 이루어지고 있는 것으로 보임
- 이는 앞서 살펴 본 우리나라 국가 전체적으로 2000년대 중반 이후에 급증하는 자연재해에 따른 가뭄 및 홍수 대응기술과 도심지 열섬 대응기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 경향과 동조하고 있다고 생각해볼 수 있음



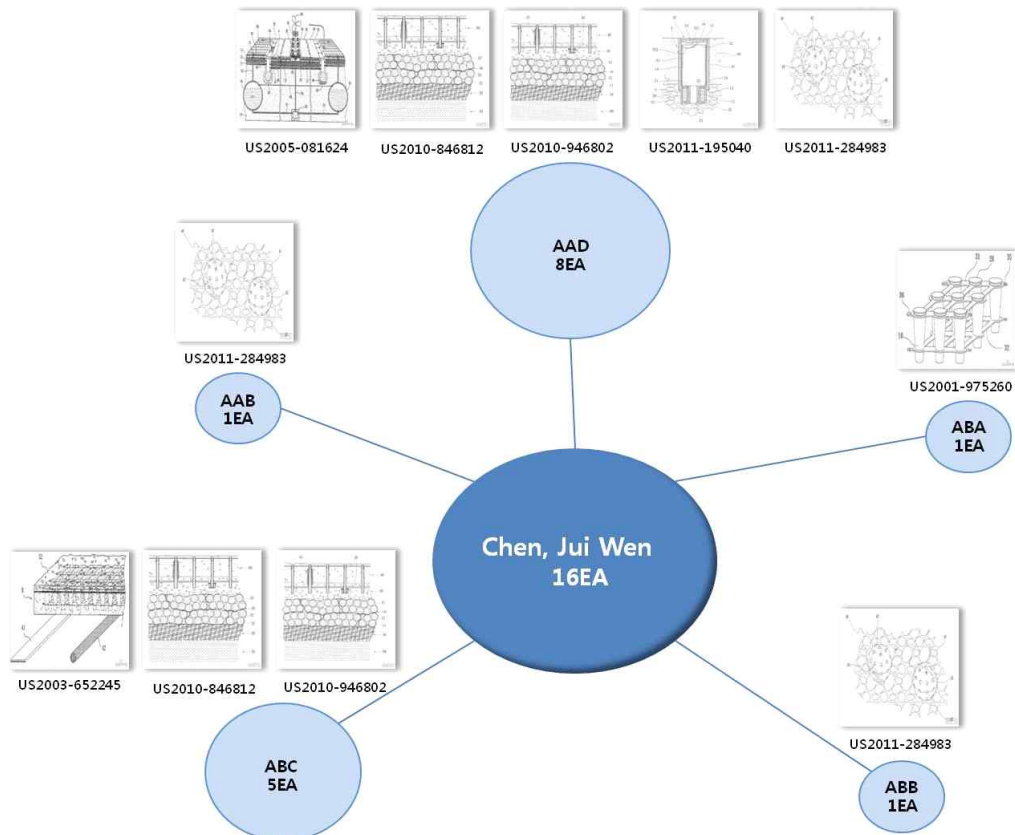
<그림 4-3> 한국건설기술연구원의 기술 분포도



<그림 4-4> 한국건설기술연구원의 기술 개발 방향의 변화

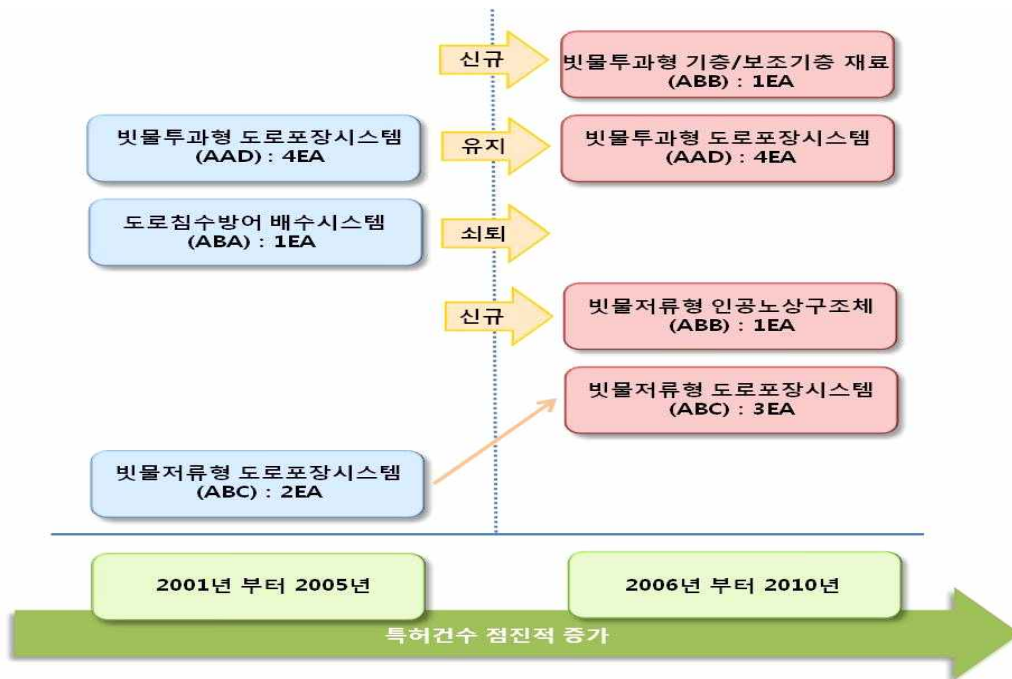
다. Chen, Jui Wen

- Chen, Jui Wen의 경우 전체 16건의 특허 중, 빗물투과형 도로포장시스템 기술 8건, 빗물저류형 도로포장시스템 기술 5건, 빗물투과형 기층/보조기층 재료 1건, 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술 1건, 빗물저류형 인공노상구조체 기술 1건으로, 빗물투과형과 빗물저류형 도로포장시스템 기술에 집중하고 있는 것으로 나타남



<그림 4-5> Chen, Jui Wen의 기술 분포도

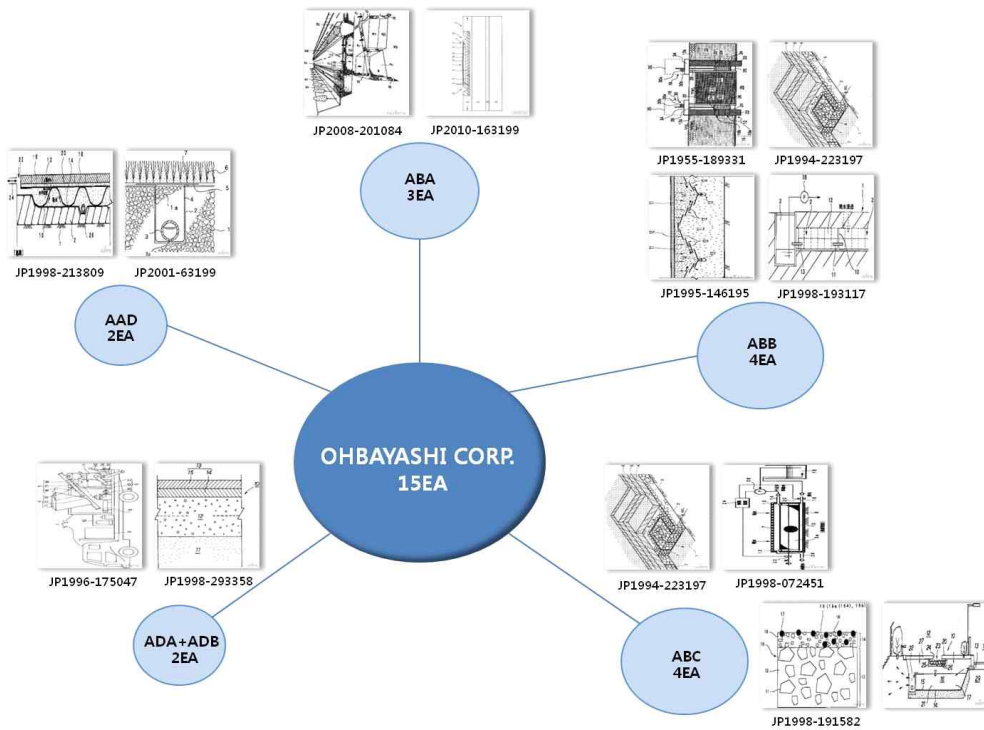
- 연도별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원이 점진적으로 증가하고 있는 것으로 나타남. 특히, 2000년대 후반 들어 빗물투과형 기층/보조기층 재료와 빗물저류형 인공노상구조체 기술에서도 새로이 연구 및 특허출원을 진행하고 있는 등 점차적으로 다양한 분야에 걸쳐 기술개발이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 생각해볼 수 있음



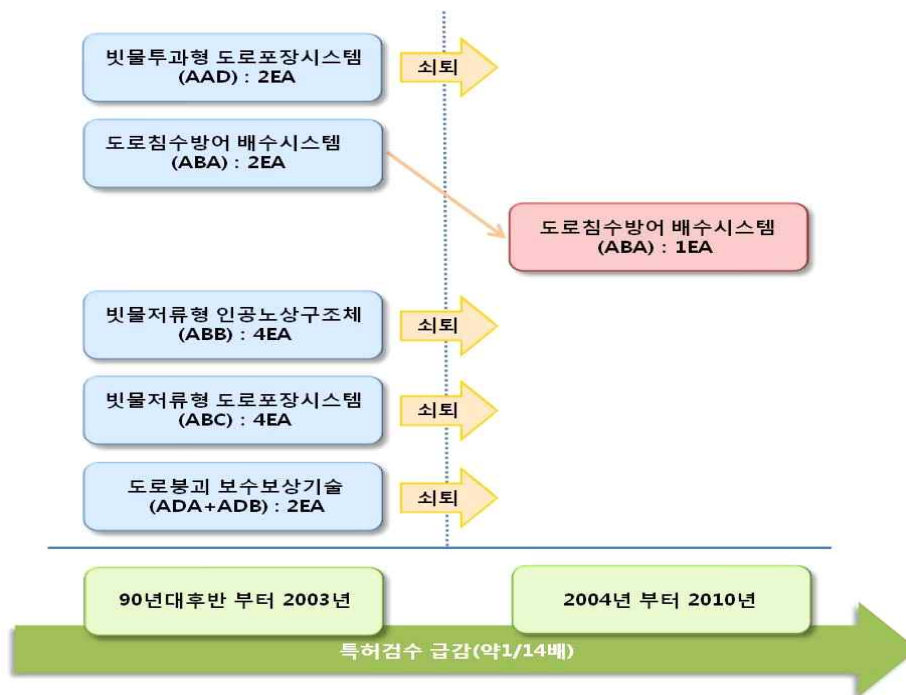
<그림 4-6> Chen, Jui Wen의 기술 개발 방향의 변화

라. OHBAYASHI CORP.

- OHBAYASHI CORP.사의 경우 전체 15건의 특허 중, 빗물투과형 도로포장시스템 기술 2건, 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술 3건, 빗물저류형 인공노상구조체 기술 4건, 빗물저류형 도로포장시스템 기술 4건, 도로붕괴 보수보강기술 2건 등 다양한 분야에 고르게 출원을 진행하고 있음. 이는 토목, 건축, 환경 전 분야에 걸쳐 시공하는 일본 굴지의 종합건설회사의 특성상 다양한 분야에 걸쳐 연구개발이 진행되고 있는 것으로 볼 수 있음
- 연도별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원의 건수가 급감하고 있는 것으로 나타남. 또한, 2000년대 초반과 비교하여 빗물투과형 도로포장시스템과 빗물저류형 인공노상구조체, 빗물저류형 도로포장시스템, 도로붕괴 보수보강 기술과 관련하여서는 2000년대 후반 특허출원을 하지 않고 있으며, 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술 역시 2000년대 후반 특허출원이 감소하고 있음
- 이는 앞서 살펴 본 일본 국가 전체적으로 90년대 후반과 2000년대 초반에 걸쳐 급증한 관련 기술 분야의 연구개발이 기술의 성숙기(또는 쇠퇴기) 및 장기 경제침체와 맞물려 감소하고 있는 경향과 동조하고 있다고 생각해볼 수 있음



<그림 4-7> OHBAYASHI CORP.의 기술 분포도

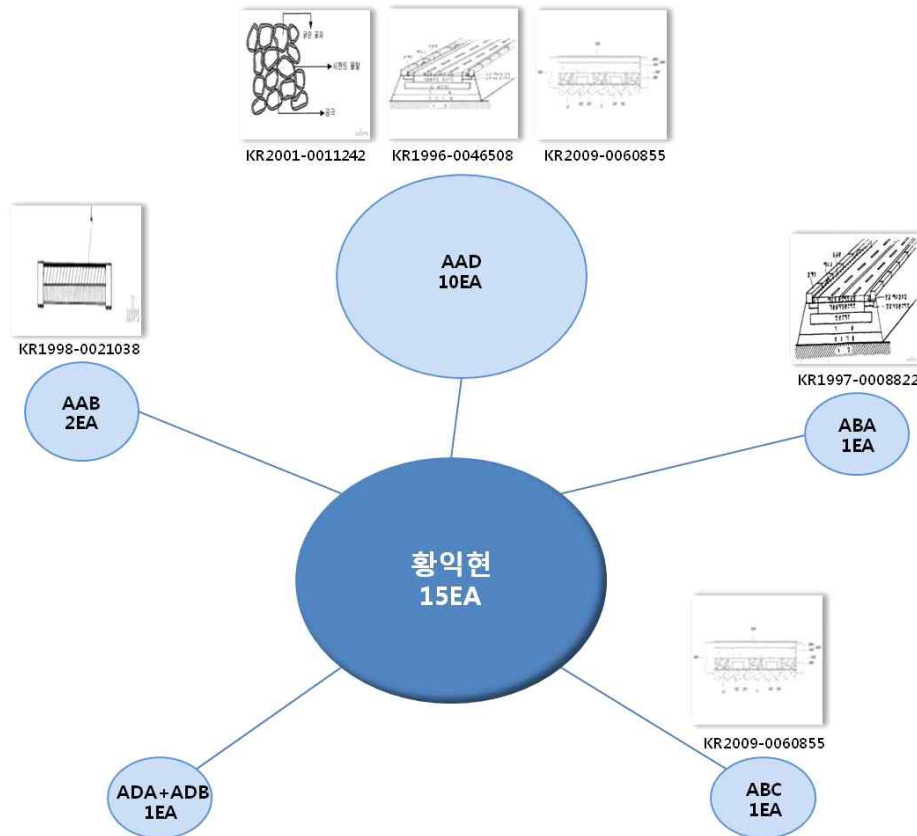


<그림 4-8> OHBAYASHI CORP.의 기술 개발 방향의 변화

마. 황익현

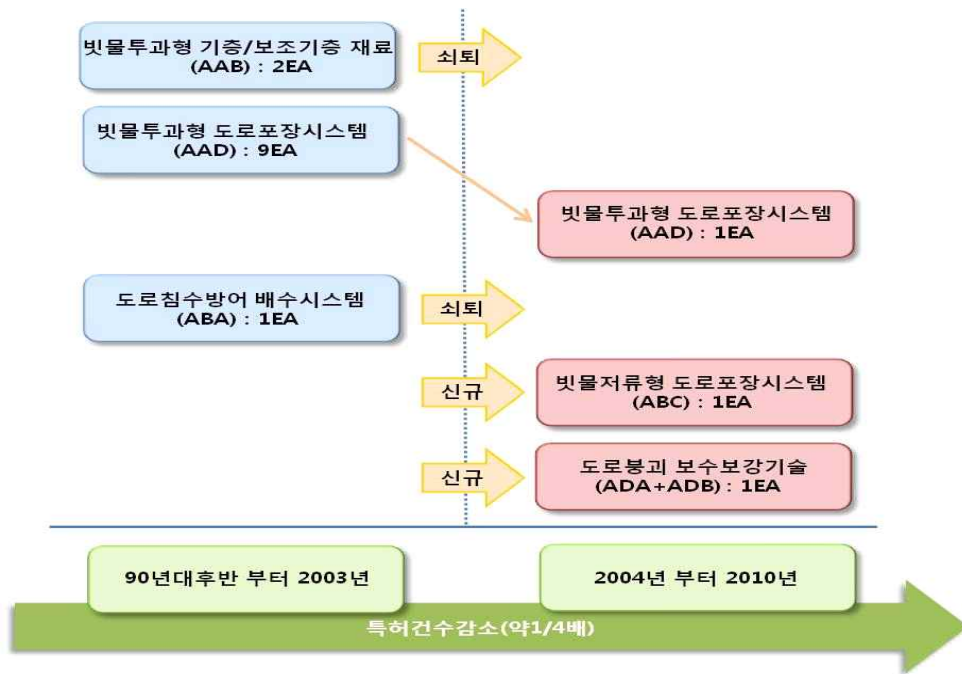
- 전체 15건의 특허 중, 빗물투과형 도로포장시스템 기술에 10건의 출원으로 특히, 빗물투과형 도로포장시스템에 집중하고 있는 것으로 나타남.

- 이는 황익현이 아스팔트 포장 전문으로 하는 기업인 시티오브테크사의 대표로, 운영하는 회사가 아스팔트 포장 전문기업인 특성을 반영하여 해당 분야인 빗물투과형 도로포장시스템 기술에 연구를 집중하고 있는 것으로 볼 수 있음



<그림 4-9> 황익현의 기술 분포도

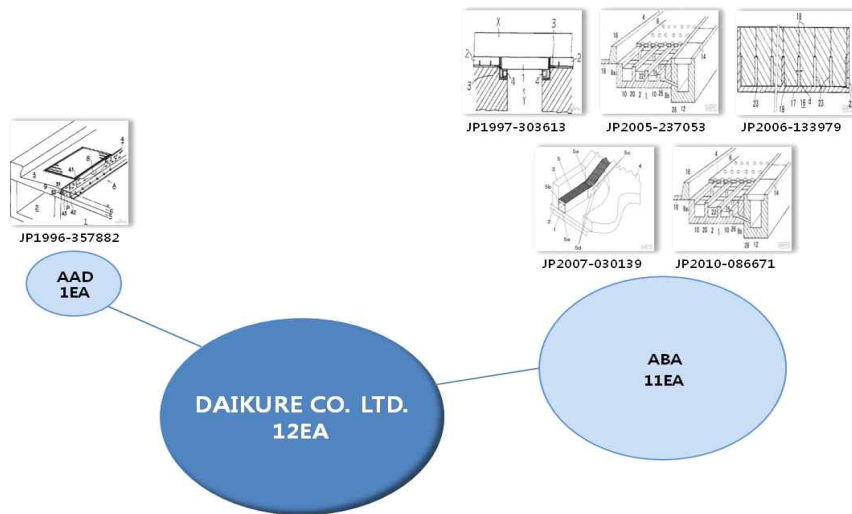
- 연별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원이 급감하고 있는 것으로 나타남. 특히, 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 주력으로 연구개발을 집중하고 있는 빗물투과형 도로포장시스템 분야에서 특허출원건수가 급감하고 있으나, 반면에 빗물저류형 도로포장시스템과 도로붕괴 보수보강 기술에서 새로이 특허출원이 진행되고 있는바, 점차적으로 연구개발의 폭을 넓히고 있는 것으로 볼 수 있음



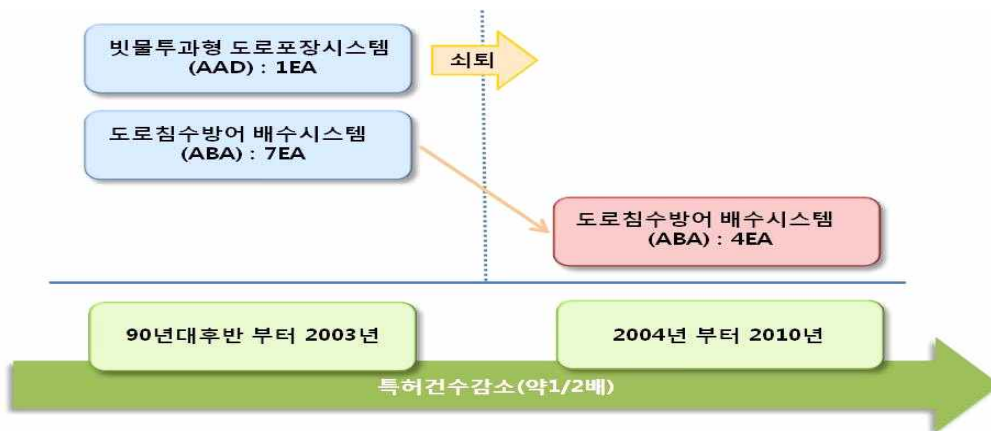
<그림 4-10> 황익현의 기술 개발 방향의 변화

바. DAIKURE CO., LTD.

- DAIKURE CO., LTD.社의 경우 전체 12건의 특허 중, 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술에 11건의 특허출원을 하고 있어 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술에 연구를 집중하고 있는 것으로 나타남.
- 이는 배수에 사용되는 그레이팅 제품을 주로 생산하는 전문기업의 특성상 해당 분야와 관련되어 있는 도로침수 방어를 위한 배수시스템 기술에 연구개발을 집중하는 것으로 볼 수 있음
- 연도별로는 2000년대 초반과 비교하여 2000년대 후반 특허출원의 건수가 감소하고 있는 것으로 나타남. 특히, 2000년대 초반과 비교하여 연구를 집중하고 있는 도로침수 방어를 위한 배수시스템 분야에서도 특허출원이 감소하고 있음.
- 이는 앞서 살펴 본 일본 국가 전체적으로 90년대 후반과 2000년대 초반에 걸쳐 급증한 관련 기술 분야의 연구개발이 기술의 성숙기(또는 쇠퇴기) 및 장기 경제침체와 맞물려 감소하고 있는 경향과 동조하고 있다고 생각해볼 수 있음



<그림 4-11> DAIKURE CO., LTD.의 기술 분포도



<그림 4-12> DAIKURE CO., LTD.의 기술 개발 방향의 변화

5. 기술개발 분야의 R&D 현황 분석

가. 빗물 투과형 도로포장기술(핵심기술 1)

(1) (핵심기술 1)관련 유사 선행문헌 LIST

빗물 투과형 도로포장기술 (핵심기술1)	요소기술
	① 빗물 투과형 도로포장 시스템 기술 ② 지속가능한 투수성 기층 및 보조기층 재료 기술 ③ 침수시 노상의 지지력 보장 기술

국가	출원번호	출원인 (논문저자)	출원일 (발행일)	관련 기술	유사도 (중요도)
국내	KR 2007-0139069	한국건설기술연구원	2007.12.27	①	★★★
	KR 2006-0017014	한국휴로드(주)	2006.02.22	①	★★★
	KR 2005-0074199	중앙대학교 산학협력단	2005.08.12	②	★★☆
	논문(장수명·친환경 도로포장재료 및 설계시공기술 개발 연구보고서)	국토해양부/ 한국건설교통기술평가원	2010.	②	★☆☆
	KR 2001-0040313	손중성	2001.07.06	③	★☆☆
	논문(투수성 아스팔트포장 구조설계방법에 관한 연구)	이수형/유인균/김제원	2011.	③	★★☆
국외	JP 2004-050793	SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.	2004.02.26	①	★★★
	EP 01274092	FORMPAVE HOLDINGS	2001.12.28	①	★★★
	JP 2003-379681	SUMITOMO METAL IND., LTD.	2003.11.10	②	★★☆
	US 2011-284983	CHEN, JUI-WEN	2011.10.31	②	★☆☆
	JP 2002-296755	UENOJO	2002.09.03	③	★☆☆

(2) (핵심기술 1)관련 유사 선행문헌 분석

- 빗물 투과형 도로포장 시스템 기술과 관련하여서 구조, 시공, 유지관리 등과 관련하여 다양한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 빗물 투과형 도로포장 시스템의 구조나 시공 및 유지관리와 중복되지 않는 새로운 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 지속가능한 투수성 기층 및 보조기층 재료 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 투수성 포장층 자체의 재료에 집중되어 있으며 특히, 기층이나 노반 재료에 있어서도 단순히 기존의 콘크리트나 슬래그를 활용하는 정도에 그치고 있으므로, 투수성 포장층 하부의 기층이나 보조기층의 대체 가능한 재료에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
- 침수시 노상의 지지력 보강 기술과 관련하여서는 관련된 선행문헌이 거의 없

으며 검색된 선행문헌 역시 단순히 두께나 보강재를 사용하는 구조적 설계방법에 관한 것이므로, 침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강 기술에 대한 연구 역시 다수의 개량특허가 도출될 수 있다고 사료됨

- 특허동향과 관련하여서는 일본에서 먼저 관련 연구와 출원이 활발하게 진행되었고, 국내에서는 최근 활발한 연구 및 출원이 진행되고 있음

구 분	특허(출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 2007-0139069 (출원인: 한국건설기술연구원)	유사점	①	투수성 포장재의 오염제어와 막힘현상 방지 기능을 추가한 것으로, 투과형 도로 포장의 유지관리 기술에 관련된 기술임
		차이점		투수성 포장재의 유지관리 중 ‘오염과 막힘을 방지하는 것’에만 중점을 두고 있음
	KR 2005-0074199 (출원인: 중앙대학교 산학협력단)	유사점	②	기층을 조성하는 도로 안정처리 기층용 조성물에 관한 것으로, 강도와 구조적 안정성을 향상시킨 기층 조성물에 관련된 기술임
		차이점		보조기층의 재료는 제시되어 있지 않으며, 기층 조성물 역시 기존 시멘트 콘크리트를 활용하는 것에 그치고 있음
	논문(투수성 아스팔트포장 구조설계방법에 관한 연구)	유사점	③	빗물에 의한 노상의 약화 정도를 고려하여 포장이나 보조기층의 두께를 보강하는 구조적 설계방법에 관련된 기술임
		차이점		이는 투수성 포장의 구조적 설계방법에 관한 것이며, 함수량 변동에 따른 노상의 지지력을 보강하기 위한 보강 기술과는 무관함

해외	JP 2004-050793 (출원인: SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.)	유사점	①	홍수나 열 문제를 해결하는 투수성 포장의 구조 및 시공방법에 관한 것으로, 투과형 도로포장의 시공 기술에 관련된 기술임
		차이점		빗물 투과형 도로포장 시스템의 다양한 구조와 시공방법 중 일 예를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	JP 2003-379681 (출원인: SUMITOMO METAL IND., LTD.)	유사점	②	기층 하부의 노반재의 조성물에 관한 것으로, 투수성이 우수하면서 간단하게 제조할 수 있는 투수성 노반재 조성물에 관련된 기술임
		차이점		기층 및 보조기층의 재료는 제시되어 있지 않으며, 노반재 조성물 역시 기존 슬래그를 활용하는 것에 그치고 있음
	JP 2002-296755 (출원인 : UENOJO)	유사점	③	별도의 보강재를 사용하여 투수성 포장의 강성을 보강하는 구조적 설계방법에 관련된 기술임
		차이점		이는 투수성 포장의 구조적 설계방법에 관한 것이며, 함수량 변동에 따른 노상의 지지력을 보강하기 위한 보강 기술과는 무관함

나. 빗물 저류형 도로포장기술(핵심기술 2)

(1) (핵심기술 2)관련 유사 선행문헌 LIST

빗물 저류형 도로포장기술 (핵심기술2)	요소기술
	① 빗물 저류형 도로포장하부 시스템 기술 ② 도로 집수구 배수 시스템 개량 기술 ③ 도로하부용 빗물 저류 구조체 기술

국가	출원번호	출원인 (논문저자)	출원일 (발행일)	관련 기술	유사도 (중요도)
국내	KR 2008-0117422	한국건설기술연구원	2008.11.25	①	★★★★
	KR 2006-0111848	주식회사 중원	2006.11.13	①,③	★★★★
	KR 2010-0008457	서울특별시	2010.01.29	②	★★★★
	KR 2008-0006631	한국기술개발 주식회사	2008.01.22	②	★★★★
	KR 2008-0003182	(주)지케이	2008.01.10	③	★★★★
	논문(우수 저류 및 활용 기술 개발)	김이호 (한국건설기술연구원)	2004.	③	★★★☆

국외	JP 2002-369033	GRAND WORK	2002.11.15	①	★★★
	US 1987-049856	Construction Supply, Inc.	1987.05.13	①	★★☆
	US 1989-431889	Salberg Concrete Products Ltd.	1989.11.06	②	★★★
	JP 2009-178762	SEKISUI PLASTICS CO., LTD.	2009.07.31	③	★★★
	JP 1995-146195	OHBAYASHI CORP.	1995.06.13	③	★★★

(2) (핵심기술 2)관련 유사 선행문헌 분석

- 빗물 저류형 도로포장하부 시스템 기술과 관련하여서는 구조, 시공, 유지관리 등과 관련하여 다양한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 빗물 저류형 도로포장하부 시스템의 구조나 시공 및 유지관리와 중복되지 않는 새로운 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 도로 집수구 배수 시스템 개량 기술과 관련하여서는 도로 표층에 흐르거나 또는 도로 표층을 통해 유입된 빗물을 집수하여 배수하는 다양한 배수시스템에 대한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 집수 및 배수시스템과는 다른 새로운 방식으로의 개량기술에 대한 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 도로하부용 빗물 저류구조체 기술과 관련하여서는 도로의 측구로 유입되는 빗물의 지하 저장구조나 투수성 도로의 표층에서 하부로 유입되는 빗물을 일시 저장하여 이를 배수관로(저장시설)와 연결시키는 노상구조체에 관련된 선행문헌들이 검색되었는데, 이 역시 이물질의 유입차단이나 저장된 우수의 활용 등에 관련된 새로운 기능들을 부가 및 개량하는 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 특허동향과 관련하여서는 일본에서 먼저 관련 연구와 출원이 활발하게 진행되었고, 국내에서는 최근 활발한 연구 및 출원이 진행되고 있음

구 분	특허(출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 2008-0117422 (출원인: 한국건설기술연구 원)	유사점	①	포장 하단에 저수패널을 구비하여 빗물 을 저장,사용하는 저류형 도로포장시스 템에 관련된 기술임
		차이점		빗물 저류형 도로포장 시스템의 다양한 구조 중 일 예를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	KR 2010-0008457 (출원인: 서울특별시)	유사점	②	투수성 아스팔트에서 집수된 우수를 신 속하게 배수시설로 배출시킬 수 있는 배수시설에 관한 것임
		차이점		도로의 침수방지 및 원활한 배수를 위 한 배수시스템의 다양한 구조 중 일 예 를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	KR 2008-0003182 (출원인: (주)지케이)	유사점	③	투수성 포장재의 우수 저장구조물로, 포 장 하부로 배출되는 우수가 집수관을 통 해 안내되어 저장탱크에 저장되는 기술임
		차이점		도로 하부에 설치되어 빗물을 저류하는 도로 하부 구조체들 중 일 예를 제시하 고 있는 것으로 볼 수 있음
해외	JP 2002-369033 (출원인: GRAND WORK)	유사점	①	도로의 불투수층을 흐르는 빗물을 지하 저수조에 저장하여 이를 이용해 도로표 면의 온도를 낮추는 빗물 순환형 도로 하부 시스템 기술임
		차이점		빗물 저류형 도로포장 시스템의 다양한 구조 중 일 예를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	US 1989-431889 (출원인: Salberg Concrete Products Ltd.)	유사점	②	도로를 따라 가변에 설치되어 도로 포 층에 흐르는 빗물을 집수하여 배수하는 일반적인 배수시스템에 관련된 기술임
		차이점		도로 표층의 원활한 배수를 위한 전형 적인 배수시스템의 일 예를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	JP 2009-178762 (출원인 : SEKISUI PLASTICS CO., LTD.)	유사점	③	도로의 측구에서 유입되는 빗물을 저장 하는 지하 구조물로, 이물질의 유입을 차단하는 것에 중점을 둔 기술임
		차이점		도로 하부에 설치되어 빗물을 저류하는 도로 하부 구조체들 중 일 예를 제시하 고 있는 것으로 볼 수 있음

다. 도로붕괴 위험도 평가 기술(핵심기술 3)

(1) (핵심기술 3)관련 유사 선행문헌 LIST

도로붕괴 위험도 평가 기술 (핵심기술3)	요소기술
	① 도로포장 하부의 동공 탐지 기술 ② 도로붕괴위험도 평가 기술 ③ 실시간 도로포장거동 예측 및 진단 기술

국가	출원번호	출원인 (논문저자)	출원일 (발행일)	관련 기술	유사도 (중요도)
국내	논문(한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구)	국토해양부	2010.	①	★★☆
	KR 1997-0075694	한국전기통신공사	1997.12.27	①	★☆☆
	KR 2008-0030022	한국시설안전공단	2008.03.31	②	★☆☆
	논문(지반침하 재해 저감기술 개발)	국무총리	2004.	②	★☆☆
	KR 2001-0056671	조운호	2001.09.14	③	★☆☆
국외	JP 1994-187470	WEST JAPAN RAILWAY CO.	1994.08.09	②	★★☆
	JP 2001-149652	RAILWAY TECHNICAL RES INST.	2001.05.18	②	★★☆
	JP 2003-082287	SATASU	2003.03.25	②	★☆☆
	EP 93118879	RIM TECH, INC.	1993.11.24	③	★☆☆
	JP 1998-273676	BABCOCK HITACHI	1998.09.28	③	★☆☆

(2) (핵심기술 3)관련 유사 선행문헌 분석

- 도로포장 하부의 동공 탐지 기술과 관련하여서는 도로 하부의 동공을 탐지하는 방법에 관련된 논문이 존재하기는 하나, 관련된 선행특허는 검색되지 않으므로 도로 포장 하부의 동공을 탐지해 내는 새롭거나 효율적인 방식에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
- 도로붕괴위험도 평가 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 사면의 붕괴 위험도 측정이나 알림에 집중되어 있으므로, 이를 응용한 도로붕괴위

- 험도 평가에 관한 연구는 관련 분야에 대한 다수의 개량특허가 도출될 수 있다고 사료됨
- 실시간 도로포장거동 계측 및 진단 기술과 관련하여서는 관련된 선행문헌이 거의 없으며 검색된 선행문헌 역시 단순히 도로 포장면의 상태 즉, 젖어 있는지 동결되어 있는지 여부 등을 측정하는 것이므로, 실시간 도로포장거동 계측 및 진단 기술에 대한 연구 역시 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
 - 특허동향과 관련하여서는 국내는 물론 해외에서도 관련 분야에 대한 특허 출원이 미진한 것으로 나타남

구 분	특허(출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	논문(한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구:국토해양부)	유사점	①	FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용한 하부공동의 탐지와 지지력 감소의 관계에 대해 기술하고 있음
		차이점		이는 도로 하부의 공동을 탐지하는 방법 중의 일 예를 제시하고 있는 것으로 볼 수 있음
	KR 2008-0030022 (출원인: 한국시설안전공단)	유사점	②	광섬유변위계를 이용하여 토사압력의 변위를 측정하여 암반의 거동을 측정하여 사면 안전(붕괴)을 감시하는 기술임
		차이점		이는 사면의 붕괴 위험도를 감시하는 것에 불과하고, 도로의 붕괴 위험도를 평가하는 기술과는 거리가 있음
	KR 2001-0056671 (출원인: 조운호)	유사점	③	실내에서 최대한 실제와 유사한 상태로 실험하여 아스팔트 포장 평가를 실시할 수 있도록 하는 아스팔트 포장 파손 판단기술임
		차이점		이는 실내에서 실제와 유사한 환경에서 실험하는 기술로, 실시간 도로포장거동을 계측 및 진단하는 기술과는 무관함

해외	JP 1994-187470 (출원인: WEST JAPAN RAILWAY CO.)	유사점	②	구조물(지반) 등의 용기나 침하를 실시간 계측하여 지반의 침하여부 판단 및 즉각적인 보수관리가 가능하도록 하는 기술임
		차이점		이는 지반의 침하를 계측하기는 하나, 도로의 붕괴 위험도를 평가하는 기술과는 거리가 있음
	JP 2001-149652 (출원인: RAILWAY TECHNICAL RES INST.)	유사점	②	지면 미끄러짐이나 표층 붕괴에 의한 지반 변위의 발생을 간단한 측정에 의해 예측할 수 있는 기술임
		차이점		이는 사면의 붕괴 위험도를 감시하는 것에 불과하고, 도로의 붕괴 위험도를 평가하는 기술과는 거리가 있음
	EP 93118879 (출원인 : RIM TECH, INC.)	유사점	③	센서를 이용하여 도로 포장면의 상태(크랙, 동결 등)를 측정하여 전송하는 기술임
		차이점		이는 포장면의 동결이나 젖어 있는지 여부를 측정하는 것으로, 실시간 도로포장거동을 계측 및 진단하는 기술과는 무관함

라. 도로붕괴예방 보수보강기술(핵심기술 4)

(1) (핵심기술 4)관련 유사 선행문헌 LIST

도로붕괴예방 보수보강기술 (핵심기술4)	요소기술
	① 도로하부침하 또는 굴착에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 ② 도로평탄성 평가 기술

국가	출원번호	출원인 (논문저자)	출원일 (발행일)	관련 기술	유사도 (중요도)
국내	KR 2010-0054918	(주)바우테크	2010.06.10	①	★★☆
	KR 2009-0064334	(주)에이치에스호성건설	2009.07.15	①	★★☆
	논문(지하철도 구조물 및 운행선 상부 근접시공에 따른 안정성 검토 연구)	신세영	2010.	①	★☆☆
	KR 2007-0010603	위성동	2007.02.01	②	★★☆
	KR 2007-0083037	한국도로공사	2007.08.17	②	★☆☆

국외	JP 2006-075960	RAILWAY TECHNICAL RES INST.	2006.03.20	①	★★☆
	EP 99113052	LEONHARD WEISS GmbH	1999.07.01	①	★☆☆
	JP 1992-102824	ASAHI CHEM IND CO., LTD.	1992.04.22	①	★☆☆
	JP 1993-081801	P S CO., LTD.	1993.04.08	①	★☆☆
	US 2004-565882	Carl Mahr Holding GmbH	2004.07.12	②	★☆☆

(2) (핵심기술 4)관련 유사 선행문헌 분석

- 도로하부침하 또는 굴착에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술과 관련하여서는 침하가 발생한 부분의 포장층을 용기시켜 보수하는 것과 관련된 선행문헌들이 검색되었으나, 도로 하부의 굴착 등에 따른 위험구간에 대한 직접적인 보수보강기술에 관한 연구개발은 관련 분야에 대한 다수의 개량특허를 도출할 수 있다고 사료됨
- 도로평탄성 평가 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 도로 포장의 표면상태를 계측하는 것에 그치고 있으므로, 도로평탄성 평가 기술에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
- 특허동향과 관련하여서는 도로의 보수보강과 관련된 특허출원만이 진행되고 있으며, 직접적으로 도로평탄성을 평가하는 기술의 특허출원은 없는 것으로 나타남

구 분	특허(출원)번호	비 고	관련 핵심기술	권리비교
국내	KR 2010-0054918 (출원인: (주)바우테크)	유사점	①	침하에 의한 도로의 공간부에 그라우팅재를 충전시켜 포장층이 용기되도록 하는 침하도로의 보수방법에 관련된 기술임
		차이점		이는 도로 하부의 관로교체나 굴착공사에 따른 위험구간의 보수보강과는 거리가 있음
	KR 2007-0010603 (출원인: 위성동)	유사점	②	도로 포장의 표면상태나 주변상황을 촬영 등으로 측정하여 안정적으로 제공할 수 있도록 하는 기술임
		차이점		이는 도로의 포장면 상태나 주변상황을 계측하는 것으로, 직접적인 도로평탄성 평가와는 거리가 있음
해외	JP 2006-075960 (출원인: RAILWAY TECHNICAL	유사점	①	침하지반(연약지반)의 부등침하에 대해 지반을 보수하고 재변위를 방지하는 방법에 관련된 기술임
		차이점		이는 도로 하부의 관로교체나 굴착공사

	RES INST.)			에 따른 위험구간의 보수보강과는 거리가 있음
	US 2004-565882 (출원인: Carl Mahr Holding GmbH)	유사점	②	물체의 표면 거칠기를 측정하는 것과 관련된 기술임
		차이점		이는 물체의 표면 거칠기를 계측하는 것으로, 직접적인 도로평탄성 평가와는 거리가 있음

6. 특허 및 기술동향 분석 결론

가. 세부기술 현황분석결과

표 2. 특허기술 Landscape 현황 정리표

소분류	IP시장성	출원증가율 및 점유율	상위출원인 동향	시사점
AAA	유효특허가 존재하지 않음			학문적 연구 영역으로 산업화(제품화)와는 거리가 있음
AAB	주요시장국에서의 출원이 증가하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있는 것으로 보임	출원증가율이 높아지고 있으며, 점유율도 다소 확대되고 있음	1.OBATA HARUKI 2.황익현 3.Formpave Holdings 점유율이 증가하는 상위출원인 없음	출원증가율 및 점유율이 점차적으로 높아지고 있는 상태로 관련 기술개발이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 보임
AAC	주요시장국에서의 출원이 증가하고 있으나, 증가폭은 완만하고 전반적으로 출원빈도가 낮아 시장성에 대한 기대가 크지 않은 것으로 보임	출원증가율이 완만하게 상승하고 있으나, 점유율은 낮은 수준에서 정체	1.한국건설기술연구원 2.Formpave Holdings 3.TSUDA PEIBUTON 한국건설기술연구원만 최근 점유율 상승	출원증가율이 완만하게 상승하고 있으나 점유율은 낮은 수준에서 유지되고 있으며, 주요출원인의 점유율이 상대적으로 크게 나타남
AAD	주요시장국에서의 출원이 증가하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있으며, 출원빈도도 높아 시장성도 큼	출원증가율이 급증하고 있으며, 점유율도 확대되고 있음	1.황익현 2.Chen, Jui Wen 3.TAHIEVO CEMENT Chen, Jui Wen만 점진적 점유율 상승	출원증가율과 점유율이 함께 상승하고 있어 시장성이 높고 연구개발도 활발하게 이루어지고 있음
ABA	주요시장국에서의 출원이 증가하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있으며, 출원빈도도 높아 시장성도 큼	출원증가율이 급증하고 있으며, 점유율도 확대되고 있음	1.ITO YOGYO 2.DAIKURE 3.레인보우스케이프 레인보우스케이프만 최근 점유율 상승	출원증가율과 점유율이 함께 상승하고 있어 시장성이 높고 연구개발도 활발하게 이루어지고 있음
ABB	주요시장국에서의 출원이 증가	출원증가율이 높아지고 있음	1.한국건설기술연구원	출원증가율 및 점유율이 점차적

	하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있는 것으로 보임	으며, 점유율도 다소 확대되고 있음	2.OHBAYASHI CORP 3.SEKISUI 초드 한국건설기술연구원만 최근 점유율 상승	으로 높아지고 있는 상태로 관련 기술개발이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 보임
ABC	주요시장국에서의 출원이 증가하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있는 것으로 보임	출원증가율이 높아지고 있으며, 점유율도 다소 확대되고 있음	1.Chen, Jui Wen 2.OHBAYASHI CORP 3.레인보우스케이프 OHBAYASHI CORP만 최근 점유율 하락	출원증가율 및 점유율이 점차적으로 높아지고 있는 상태로 관련 기술개발이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 보임
ACA	주요시장국에서의 출원이 증가하는 하고 있으나, 증가폭은 완만하고 전반적으로 출원빈도가 낮아 시장성에 대한 기대가 크지 않은 것으로 보임	출원증가율이 완만하게 상승하고 있으나, 점유율은 낮은 수준에서 정체	1.MITSUBISHI ELEC 2.Flint Trading 3.SIEMENS 점유율이 증가하는 상위출원인 없음	출원증가율이 완만하게 상승은 하고 있으나 점유율은 낮은 수준에서 유지되고 있어 연구개발은 이루어지나 시장성은 낮은 것으로 보임
ACB	유효특허가 존재하지 않음			최근 도로붕괴나 침하에 따른 사회적피해가 증대되고 있어, 종합적인 도로붕괴위험도 평가기술에 대한 수요증대가 기대되고, 핵심 특허 확보 가능성 높음
ACC	유효특허가 미미하여(3건) 의미가 없음			
ADA + ADB	주요시장국에서의 출원이 증가하여 시장성에 대한 기대가 향상되고 있는 것으로 보임	출원증가율이 증가하고 있으며, 점유율도 확대되고 있음	1.P S CO. LTD. 2.OKITA ENG. 3.이텍산업 주식회사 이텍산업 주식회사만 최근 점유율 상승	출원증가율 및 점유율이 점차적으로 높아지고 있는 상태로 관련 기술개발이 꾸준히 진행되고 있는 것으로 보임
ADC	유효특허가 미미하여(5건) 의미가 없음			도로의 평탄성은 주행 안정성과 직결되는바, 미래의 고속주행환경 하에서 기술의 필요성이 증대될 가능성 높음

나. 특허기술 Landscape 종합 분석 결과

- 빗물투과형 도로포장시스템 개발 분야에서 가장 점유율이 높은 분야는 빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 분야이며, 1990년대 중반부터 관련 기술에 대한 특허출원이 급증한 이후 2000년대 후반까지 꾸준히 출원이 그 수준을 유지하고 있으며, 최근에는 한국과 미국에서 출원이 증가하고 있음
- 빗물저류형 도로하부 시스템 개발 분야에서 가장 점유율이 높은 분야는 도심지 도로침수 방어를 위한 배수시스템 평가 및 개선기술 개발 분야이나, 특히 최근에는 빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술 분야와 빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발 분야에서의 출원 증가율이 보다 증대되고 있어 단순한 배수시스템에서 도로하부 공간을 이용한 빗물 저류 및 우수 활용에 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있는 것으로 보임
- 도로붕괴 예측을 위한 위험도 평가 기술 분야에서는 도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발 분야가 가장 점유율이 높으나, 해당 분야 전반적으로 타 분야에 비해 상대적으로 점유율이 극히 미미하여 시장성이 낮게 평가되고 있음. 다만, 최근 도로의 잦은 붕괴나 침하로 인한 사회적 피해가 증대되고 있으므로 종합적인 도로붕괴 위험도 평가기술에 대한 수요 증대가 기대되고 핵심특허 확보 가능성이 높은 것으로 보임
- 도로붕괴 예방을 위한 보수보강 기술 개발 분야에서는 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발 분야에 점유율이 편중되어 있으나, 도로의 평탄성이 주행안정성과 직결되는 점을 감안하면 미래의 고속 주행하에서는 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 분야 역시 기술의 필요성이 증대될 가능성이 크다고 판단됨

다. 기술 개발 분야의 R&D 현황 분석 결과

(1) 빗물 투과형 도로포장 기술

- 빗물 투과형 도로포장 시스템 기술과 관련하여서는 구조, 시공, 유지관리 등과 관련하여 다양한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 빗물 투과형 도로포장 시스템의 구조나 시공 및 유지관리와 중복되지 않는 새로운 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 지속가능한 투수성 기층 및 보조기층 재료 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 투수성 포장층 자체의 재료에 집중되어 있으며 특히, 기층이나 노반 재료에 있어서도 단순히 기존의 콘크리트나 슬래그를 활용하는 정도에 그치고 있으므로, 투수성 포장층 하부의 기층이나 보조기층의 대체 가능한 재료에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
- 침수시 노상의 지지력 보강 기술과 관련하여서는 관련된 선행문헌이 거의 없으며 검색된 선행문헌 역시 단순히 두께나 보강재를 사용하는 구조적 설계방법에 관한 것이므로, 침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강 기술에

대한 연구 역시 다수의 개량특허가 도출될 수 있다고 사료됨

(2) 빗물 저류형 도로포장 기술

- 빗물 저류형 도로포장하부 시스템 기술과 관련하여서는 구조, 시공, 유지관리 등과 관련하여 다양한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 빗물 저류형 도로포장하부 시스템의 구조나 시공 및 유지관리와 중복되지 않는 새로운 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 도로 집수구 배수 시스템 개량 기술과 관련하여서는 도로 표층에 흐르거나 또는 도로 표층을 통해 유입된 빗물을 집수하여 배수하는 다양한 배수시스템에 대한 선행문헌들이 검색되었는데, 이러한 기존 집수 및 배수시스템과는 다른 새로운 방식으로의 개량기술에 대한 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 도로하부용 빗물 저류 구조체 기술과 관련하여서는 도로의 측구로 유입되는 빗물의 지하 저장구조나 투수성 도로의 표층에서 하부로 유입되는 빗물을 일시 저장하여 이를 배수관로(저장시설)와 연결시키는 노상구조체에 관련된 선행문헌들이 검색되었는데, 이 역시 이물질의 유입차단이나 저장된 우수의 활용 등에 관련된 새로운 기능들을 부가 및 개량하는 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료됨

(3) 도로붕괴 위험도 평가 기술

- 도로포장 하부의 동공 탐지 기술과 관련하여서는 도로 하부의 동공을 탐지하는 방법에 관련된 논문이 존재하기는 하나, 관련된 선행특허는 검색되지 않으므로 도로 포장 하부의 동공을 탐지해 내는 새롭거나 효율적인 방식에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨
- 도로붕괴위험도 평가 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 사면의 붕괴 위험도 측정이나 알람에 집중되어 있으므로, 이를 응용한 도로붕괴위험도 평가에 관한 연구는 관련 분야에 대한 다수의 개량특허가 도출될 수 있다고 사료됨
- 실시간 도로포장거동 계측 및 진단 기술과 관련하여서는 관련된 선행문헌이 거의 없으며 검색된 선행문헌 역시 단순히 도로 포장면의 상태 즉, 젖어 있는지 동결되어 있는지 여부 등을 측정하는 것이므로, 실시간 도로포장거동 계측 및 진단 기술에 대한 연구 역시 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨

(4) 도로붕괴 예방 보수보강 기술

- 도로하부침하 또는 굴착에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술과 관련하여서는 침하가 발생한 부분의 포장층을 용기시켜 보수하는 것과 관련된 선행문헌들이 검색되었으나, 도로 하부의 굴착 등에 따른 위험구간에 대한 직접적인

보수보강기술에 관한 연구개발은 관련 분야에 대한 다수의 개량특허를 도출할 수 있다고 사료됨

- 도로평탄성 평가 기술과 관련하여서는 검색된 선행문헌들은 대부분 도로 포장의 표면상태를 계측하는 것에 그치고 있으므로, 도로평탄성 평가 기술에 대한 연구는 관련 분야에 대한 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 사료됨

다. 종합결론

- 빗물 투과 및 저류형 도로포장기술과 관련하여서는 다수의 선행문헌들이 존재하므로 기존의 빗물 투과/저류형 도로포장구조나 재료와 중복되지 않는 새로운 방식이나 기능을 부가, 개량하는 방식으로 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료되고, 도로붕괴 위험도 평가기술과 도로붕괴 예방 보수보강기술과 관련하여서는 특히, 도로포장 하부의 동공 탐지기술, 도로붕괴 위험도 평가기술, 실시간 도로포장거동 계측 및 진단기술, 도로평탄성 평가기술의 경우 검색된 선행문헌들은 대부분 해당 기술과 일부 연관되어 있는 것에 불과하므로 해당 분야에 대한 지속적인 연구는 관련 분야에 대한 다수의 개량특허 내지 핵심특허를 확보할 가능성이 충분하다고 판단됨
- 지구온난화 영향에 따른 집중 호우로 인한 도로 침수나 도심지 열섬현상이 심화되고 있고, 최근 빈번하게 발생하고 있는 도로 침하나 붕괴 및 미래의 고성능 포장과 고속 주행하에서의 주행 안정성 확보의 중요성을 감안하면, 수자원(우수)을 관리하고 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 도로 포장 기술과 도로붕괴를 예측하고 예방할 수 있는 탐지 및 보수보강기술에 대해서는 지속적으로 심층적인 연구개발 및 특허확보 전략이 필요하다고 사료됨

5절. 연구개발 인프라 분석

1. 연구개발 인프라 분석 범위

- 전문인력 보유 정도, 기자재, 산학연 공동연구기반, 기술이전 및 거래, 국제기술 협력 기반, 업계 현황 등에 대한 국내 현황 및 선진국과의 수준 비교 분석 수행
- 본 연구단 기술 개발을 위한 인프라 분석을 해 본 결과, 전문 인력 보유와 관련 업계의 인프라는 연구를 추진할 만한 수준은 갖추었다고 보이며, 산학연 공동연구 기반도 연구 추진에 문제가 없을 것으로 판단되지만, 기자재, 실험장비, 연구 예산의 안정성 등 측면에서는 노력이 필요할 것임

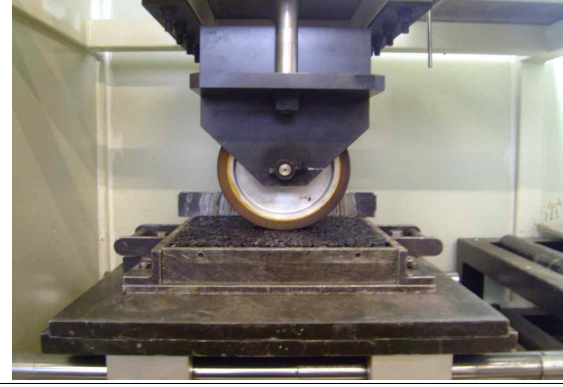
2. 국내외 연구 인프라

- 국내 연구 인프라를 조사한 결과, 콘크리트, 아스팔트, 포장하부 관련 재료, 공용성, 거동분석을 위한 각종 첨단 연구 인프라가 구축되어 있음. 아스팔트 포장 관련된 장비로는 피로시험기, 휠트래킹시험기, 다짐기, 아스팔트 함량 시험기 등이 있으며, 특히 실외시험장비로 미끄럼 저항 시험기가 있어 다양한 아스팔트의 재료 및 특성을 확인가능. 또한 콘크리트 재료 및 포장을 점검할 수 있는 다양한 시험기기를 보유하고 있으며 활용이 가능함.
- 한국도로공사는 도로의 재료, 공용성, 거동분석을 위한 각종 첨단 연구 인프라가 구축되어 있음. 재료의 개발에 필요한 물성분석에는 MTS, UTM, 동적 전단 시험기 등 충분한 실내시험장비가 구비되어 있고, 포장의 공용성 분석을 위한 공용성 분석 장비로 HWD, FWD, ARAN 등 최첨단의 공용성 분석 장비들의 활용이 가능함. 이와 더불어 각종 시험시공시 계측기 매설 및 이를 분석하기 위한 동적·정적 데이터로거로 구성된 데이터획득 시스템이 갖추어져 있음.
- 세종대학교는 아스팔트 포장 재료의 물리·역학적 특성을 분석하기 위한 각종 실내시험 장비가 구축되어 있음. 재료의 개발에 필요한 물성분석에는 Corelock, MTS, 빔피로시험기, 휠트래킹, 간접인장강도 시험기 등 충분한 실내시험장비가 구비되어 있음. 또한 현장 포장의 공용성 및 기능성을 평가하기 위한 코어채취기와 미끄럼 저항 측정기가 구비되어 있음.
- 인덕대학교는 다짐 및 평탄성 측정을 위한 장비들이 보유되어 있음. 재료의 개발에 필요한 물성분석에는 UTM, 휠트래킹 시험 등 실내시험장비가 구비되어 있고, 다짐도를 측정하기 위한 평판재하시험기와 동적콘관입 DCPT 시험기가 있으며, 처짐 및 탄성계수를 측정하는 소형충격재하시험기(LFWD), 평탄성을 측정하는 경량형 프로파일러가 갖추어져 있음.
- 강릉원주대학교는 포장의 재료, 거동분석을 위한 각종 첨단 연구 인프라가 구축되어 있음. 재료의 개발에 필요한 물성분석에는 UTM, BPT, 소음측정장비 등 충

분한 실내시험장비가 구비되어 있으며, 시험시공 도로 및 신설도로 혹은 구 도로의 거동 및 포장체에서 발생하는 소음 및 마모 상태 등을 파악 할 수 있는 실외 장비 또한 충분히 갖추어져 있다. 따라서 이러한 장비들을 통해 도로연구에 있어 충분한 연구시설을 갖추어 있음.

- 인하대학교는 동결융해시험장치, 동탄성계수측정기, 염화물농도 측정장치, LVDT, 경화전 수분함량계측기, 비표면적/분말도 측정기, 중성화시험기, 크리프시험기, 염소이온침투시험기, 균열폭측정기 등의 다양한 기기장비를 보유
- 한국건설기술연구원은 포장의 재료, 공용성, 거동 분석을 위한 각종 첨단 인프라가 구축되어 있음. 재료의 개발에 필요한 물성분석에는 MTS, UTM, 동적전단시험기 등 충분한 실내 시험장비가 구비되어 있고, 포장의 공용성 분석을 위한 분석 장비로, HWD, FWD, ARAN 등과 같은 최첨단 공용성 분석장비들의 활용이 가능하다. 이와 더불어 각종 시험 시공시 계측기 매설 및 이를 분석하기 위한 동/정적 데이터로거로 구성된 데이터 획득 시스템이 갖추어져 있음. 또한 한국도로공사에는 아시아 최초로 건설된 시험도로, 포장가속시험기, 폐도 등 현장 적용성 검증을 위한 각종 시험시공 구간의 제공이 가능하므로, 연구 결과의 실용성 도출이 가능함

표 2. 국내 보유 연구 인프라 현황

	
한국도로공사 시험도로	한국도로공사 포장가속시험기
	
휠트래킹 시험기	간접인장강도 시험기



현장 코어 채취기



미끄럼 저항 측정 시험기



만능재하시험기



3축 압축시험기



소성변형 저항성시험기



인화점 시험기



동점도 시험기



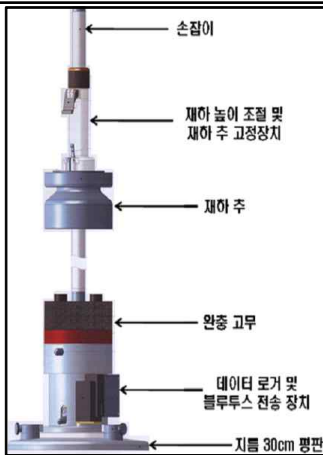
침입도 시험기



빔피로시험기



삼축압축기



LFWD 장비



경량형 프로파일러 장비



인장압축 UTM 장비



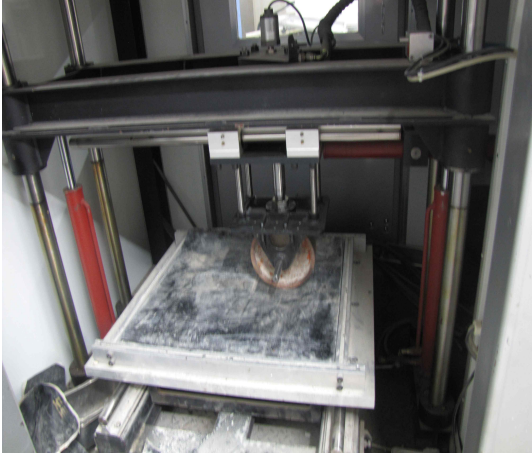
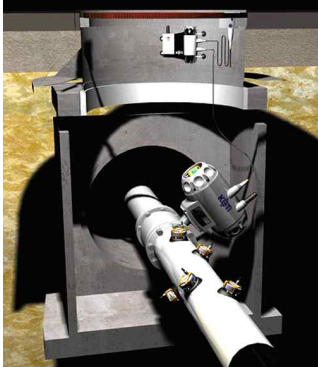
bench scale 성능시험 장치



성능시험 장치



가스분석기

	
휠 트래킹 시험기	미끄럼 저항 시험기
	
U-점침 통신모듈	지하시설물용 UFSN

<표 2-44> 중점추진분야별 관련 국내외 연구 인프라

중점추진분야	관련 기관	대표연구자	연구영역 및 방향
빗물 투과/저류형 도로시스템의 최적 공간배치법 개발	홍익대	이승호	수문학 분석, 공간배치법
	미국 주택도시국	-	Low Impact Development Practice
	미국 환경자원국	-	Low Impact Development Design
	뉴질랜드 수환경연구재단	-	On Site Stormwater Management
	강릉원주대학교	이승우	빗물 저류형 도로시스템의 수문학적 효과 분석
노상의 함수량 변동에 따른 지지력 평가 및 보강기술 개발	평화엔지니어링	안성순	도로설계 및 교통운영
	(주)한맥기술	남영국	하부안정처리 분야
	단국대	박성완	도로하부 지지력 평가 분야
	한국건설기술연구원	이용수	하부안정처리 분야
	배재대학교	임유진	하부 보강 기술
	동의대학교	권기철	도로하부 지지력 평가 분야
	인덕대학교	최준성	도로하부 지지력 평가 분야

중점추진분야	관련 기관	대표연구자	연구영역 및 방향
빗물 저류 인공노상구조 체 적용 기술 개발	미국 Interlock	-	빗물 투과형 보도 포장 시스템
빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 설계 및 시공 기술 개발	미국 환경청	-	홍수피해저감 및 친환경 거리 조성
	영국 TRL	-	빗물 저류형 인공노상구조체 개발
도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발	(주)유니세크	-	도로관리 분야
	광주과학기술원	-	초광대역 레이더 기반 매설물 탐지 기법
	한국전기연구원	-	초광대역 기술을 이용한 비파괴 진단
	한국건설기술연구원	-	도로포장 상태 평가 기술
	로드텍(주)	-	도로포장 상태 평가 기술
	세종대학교	백종은	GPR을 이용한 도로포장 상태 평가
	로드코리아(주)	-	도로포장 상태 평가 기술
	미국/ GSSI	-	도로교통 시설물 투과영상 획득기술
	스웨덴/MALA	-	도로교통 시설물 투과영상 획득기술
	Dynatest	-	FWD와 RWD 장비 생산 기술
도로붕괴 거동 원격 계측 및 자가진단 기술	전자부품연구원	-	센서네트워크, 통신, USN
	(주)화흥도로안전 시스템	-	ITS 도로 기상정보 시스템
	동아지반계측	-	간극수압계, 토압계 등을 활용한 센싱
	National Instruments	-	센서, 데이터 로거 전문 생산 업체
	Micron Optics	-	광섬유 센서 전문업체
	지구환경전문가그룹	-	웹기반 자동화 계측시스템, 강우자동경보시스템, 공사중 계측관리 시스템
	Crossbow Tech.	-	무선 센서 네트워크
	지오넷	-	지중경사시스템, USN 모니터링 시스템
도로붕괴 위험구간의 포장하부 동공 보강 및	배재대학교	임유진	경량 유동화 충전재 도로하부 보강기술
	한국기술교육대학교	김남호	지오그리드 포장하부 보강기법
	도로교통기술원	이경하	수치해석을 이용한 포장단면 거동 분석

중점추진분야	관련 기관	대표연구자	연구영역 및 방향
지지력 복원 기술 개발	공주대학교	이관호	재활용재료 활용 유동성 뒷채움재 공법
	(주)도화종합기술공사	진정훈	최소단면 아스팔트 포장 보수공법
	한국지오텍	김진춘	MSG공법, 소일크리트 고화재 개발
	미국/Geochem	-	복구공법 개발
	미국/PCA	-	보수보강 재료개발
	미국/RSLMC	-	보수보강 재료개발
	미국/Transit Mix	-	보수보강 현장시공을 위한 시공장비
포토 및 레이저 센서를 이용한 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발	(주)호승이앤씨	이근호	일반 계측 센서 개발
	(주)유디코	김종우	포토이미지 측정 센서 개발
	(주)코아칩스	오재근	포토이미지 해석 기술
	군산대학교	박대욱	최소단면 보수지역 평탄성 평가
	(주)도화종합기술공사	진정훈	최소단면 보수지역 평탄성 평가
	중앙대학교	조운호	콘크리트 포장 평탄성 평가
	한국건설기술연구원	김부일	자동조사장비 평가
	한국도로공사	서주원	도로 평탄성하중영향 해석 및 평가
	인덕대학교	최준성	도로 거동 계측 장비
	Fugro Roadware	-	도로 포장상태 조사장비

3. 선진국 대비 국내 인프라 수준

<표 2-44> 기술분야별 선진국 대비 국내 연구 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
도심지 침수관리 기술	전문인력 보유정도		○			
	기자재		○			
	산학연 공동연구기반	○				
	기술이전 및 거래	○				
	국제기술협력기반	○				
	업계현황		○			
포장하부 지지력 평가 및 보강기술 개발	전문인력 보유정도		○			
	기자재		○			
	산학연 공동연구기반		○			
	기술이전 및 거래		○			
	국제기술협력기반		○			
	업계현황		○			
빗물 투과/저류형 도로기술	전문인력 보유정도			○		
	기자재		○			
	산학연 공동연구기반	○				
	기술이전 및 거래	○				
	국제기술협력기반	○				
	업계현황		○			
도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술	전문인력 보유정도			○		
	기술 구축정도		○			
	연구 시설 및 설비		○			
	기술 투자지원		○			
도로붕괴 거동 원격 계측 및 자가진단 기술	전문인력 보유정도			○		
	기술 구축정도		○			
	연구 시설 및 설비	○				
	기술 투자지원		○			
도로붕괴에 따른 지지력 복원 기술 개발	전문인력 보유정도			○		
	기술 구축정도		○			
	연구 시설 및 설비		○			
	기술 투자지원		○			

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전

- 미래형 도로는 ‘지속가능성 창출’과 ‘주행안정성 확보’ 등 ‘재해예방형도로’를 구현하는 것을 목표로 하며 구체적으로 미래형 도로포장하부 시스템 구성을 위한 세부기술의 국산화 실현을 위하여 비전을 설정하였음
- ‘도로침수’와 ‘도로붕괴’ 예방을 위한 ‘도로포장하부 시스템’은 미래도로의 지향점을 안전성과 쾌적성 확보에 두고 이를 위해 적극적으로 대응하는 개념임
- 국토해양부 R&D에서 미래도로의 지향점을 ‘재해예방형 도로’로 설정하고 이의 위치와 역할을 분석하였으며 필요한 비전과 목표를 제시하였음
- 이러한 **재해예방형 지속가능한 도로포장하부 시스템**을 구축하여 **보편적 사회복지에 공헌을 실현**하는 것을 본 연구의 비전으로 설정함



그림 3.1 도로침수 및 붕괴 예방형 도로의 비전 및 목표

2. 목표

- ‘재해예방형 도로’의 목표를 달성하기 위하여 ‘**도로침수 예방**’ 및 ‘**도로붕괴 방지**’를 미션으로 설정하였음
- 최종적으로 제시한 비전과 미션을 실현하고자 연구 목표를 단계별로 다음과 같이 설정함

○ 1단계, 기술개발단계 (2013~2014년)

- 도심홍수피해를 저감하기 위한 **빗물 투과 및 저류형 도로포장하부 시스템의 설계 및 시공기술 개발**
- 도로침하 및 붕괴를 예방하여 주행 안전성을 확보하기 위한 **도로붕괴 탐지 및 위험도 평가 시스템 구축**

○ 2단계, 기술실용화단계 (2015~2017년)

- 빗물 투과 및 저류형 도로포장하부 시스템을 이용하여 홍수시 **침투유출량 50% 감소**
- 도로붕괴 탐지 및 위험도 평가 시스템과 붕괴 예방 기술을 이용하여 **돌발성 도로붕괴 사건 30% 감소**

○ 3단계, 기술확대단계 (2017~2020년)

- 도로침수 대응형 도로포장 시스템 기술의 확대 적용을 통하여 **도로침수 면적 50% 감소**
- 도로붕괴 예방형 도로포장하부 시스템 기술의 확대 적용을 통하여 **도로붕괴 사건 50% 감소**

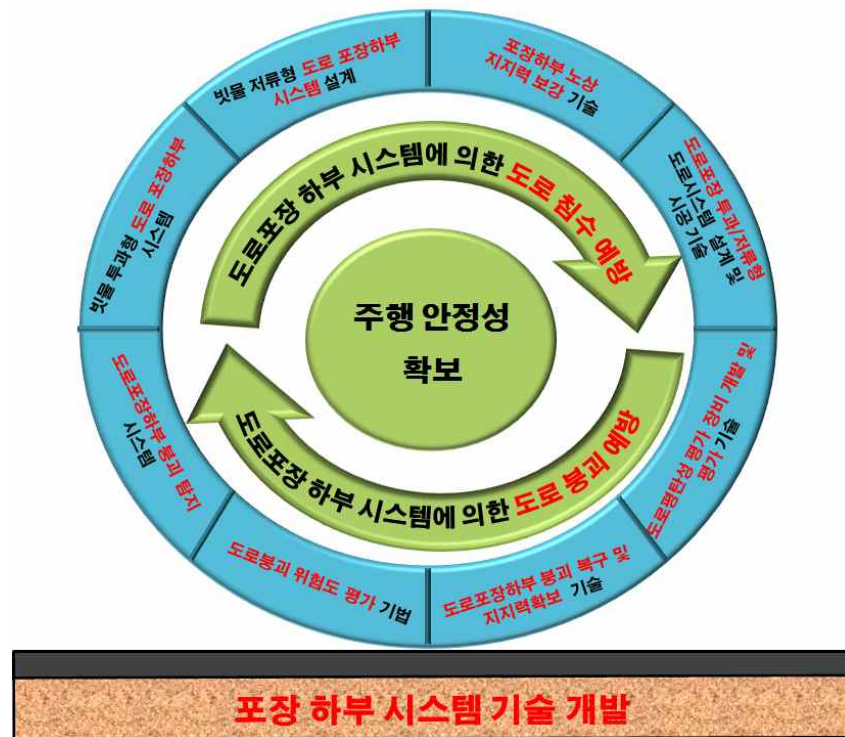


그림 3.2 도로침하 및 붕괴예방 도로포장하부 시스템의 목표

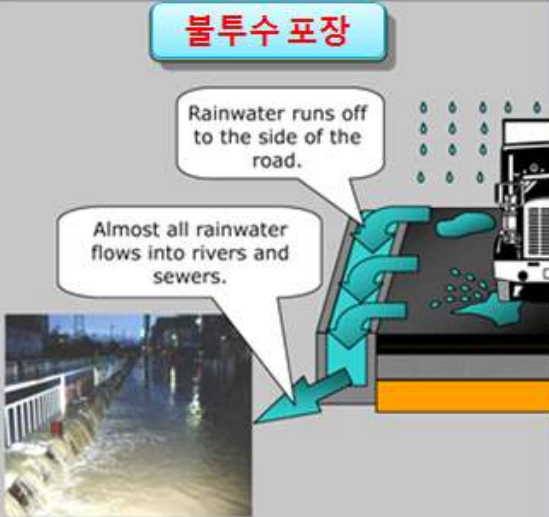
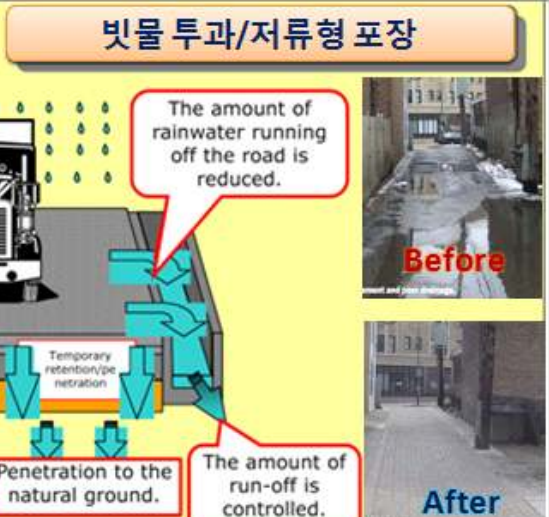
3. 범위

- 본 과제에서 대상으로 하는 도로는 국내 시도의 도심지에 건설되는 신규 및 기존 도로임

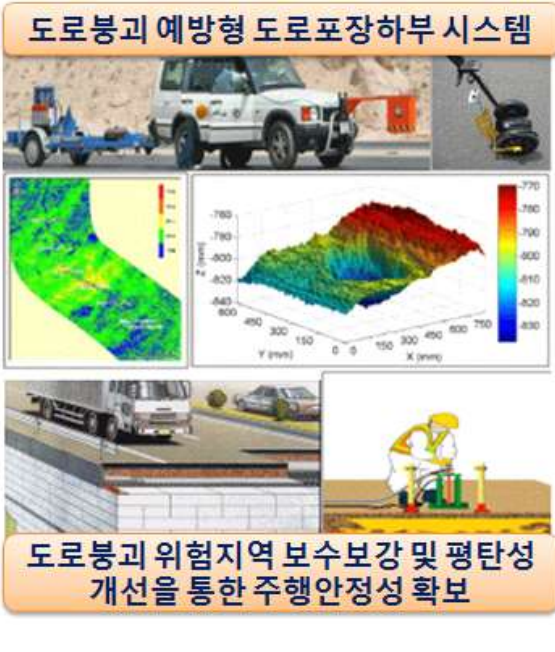
2절. 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

1) 도로침수 대응 도로포장 시스템 구축

AS-IS	TO-BE
불투수 포장 Rainwater runs off to the side of the road. Almost all rainwater flows into rivers and sewers.  빗물이 직접 배수구나 강으로 유출되어 침수 발생	빗물 투과/저류형 포장 The amount of rainwater running off the road is reduced. Temporary retention/penetration Penetration to the natural ground. The amount of run-off is controlled.  빗물이 도로에 흡수/저장되어 유출량이 줄어 침수 예방
도심지 도로침수가 빈번하게 발생하여 많은 인명 및 재산 피해가 발생함 • 최근 지속가능한 인프라에 대해 관심이 높아지고 있으나, 도로침수 방지를 위한 기술은 고려되지 못하여 공공의 안전에 위험요소가 됨 • 도심지 집중강우에 따른 침수해소를 위한 방안이 강구되고 있지만 침수 유발요인이 상존하며, 도로하부 침투수 저류 관리시스템은 아직 제시되지 않고 있음	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템을 개발하여 침수재해 대응형 도로구축 • 도로침수 예방을 위한 정책과 기술을 개발하여 재해예방을 위한 도로포장하부 시스템 구축 • 강습강우 패턴에 따른 적절한 도로하부 저류기술 수립과 체계적이며 효율적인 도심지 도로하부 침수 관리시스템 구축으로 기존 도심지침수 수준을 70% 줄임

2) 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술

AS-IS	TO-BE
	
돌발성 도로붕괴 사고로 인명 및 재산 피해 발생과 교통단절 초래 - 현재의 비지속형 단순기능 도로는 지하철, 지하상가 등 대형 도로 하부 공간 시설과 매설관 교체공사에 의해 유발되는 침하, 붕괴 등으로 도로포장의 기능 상실 초래하나 적정 보강 방법 부재 ‘미래형 도로가 요구하는 다기능성을 충족할 수 있는 고성능 도로포장 하부 구조 설계 및 시공기술 개발이 시급’하며 해당기술에 대한 연구가 세계적으로 초기 개발단계에 있음	도로붕괴 탐지 및 예측, 위험도 평가, 쾌속 보수보강 기술 개발로 주행 안정성 확보 - 지속가능한 도로시스템은 기본기능인 교통뿐만 아니라 도로 및 도로 근접 지반에서의 침하와 붕괴를 예방할 수 있도록 목적지향형 도로 관리시스템 패키지가 실현되어 적용됨 - 도로하부 붕괴 위험도 평가 기술개발을 통해 도로붕괴 예측 핵심원천 기술을 개발하고 도로재해 예방 활용기술의 효율성을 높여 미래의 도로기술의 핵심적인 분야로 자리매김함

2. 기술개발 전략 및 효과

가. 기술개발 전략 수립

- 기술개발전략을 수립하기 위한 과정은 다음 그림 3.3과 같은 과정으로 목표달성 기술개발방향 설정후 후보과제 Pool을 선정하였음.
- 후보과제 Pool 중 과제 연계성과 중복성을 고려하여 최종 후보과제들을 선택하여 1차 TRM을 작성하였음.



그림 3.3 기술개발전략수집

○ 기술수요절차는 다음 그림 3.4와 같이 기업, 정책입안자, 전문가 등 다양한 이해관계자로부터 그림 3.5와 같이 본 과제와 관련한 기술 수요 조사를 실시하였고, 수집된 43개의 기술수요조사서를 가지고 내외부 전문가 및 담당부처 관계자들의 의견 수렴을 통해 도로침수 및 도로붕괴 목표를 달성할 수 있는 유망기술후보들을 선정후, 분야별 분류·분석하였음.

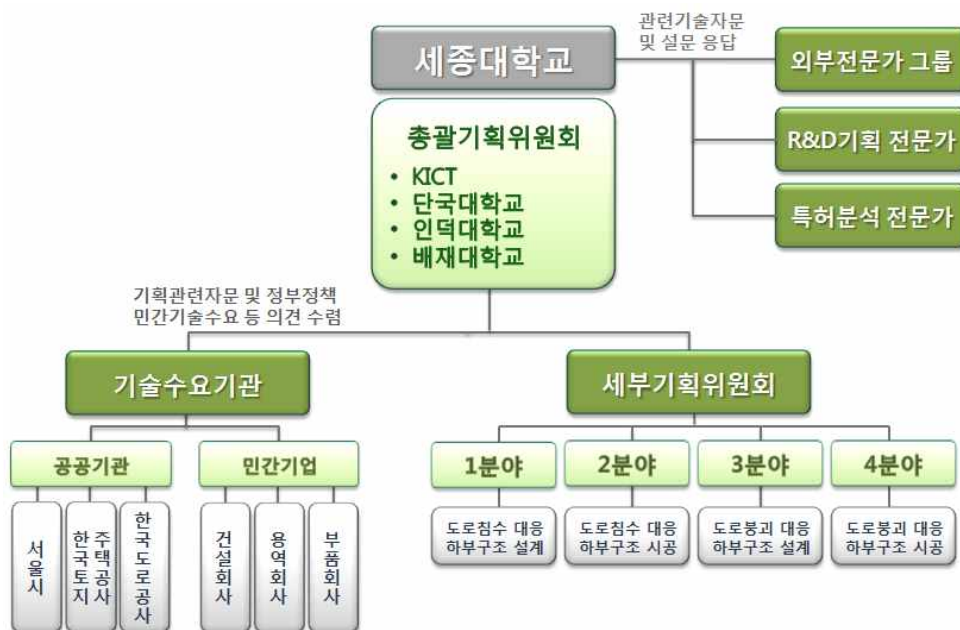


그림 3.4 기술수요를 위한 연구진 및 전문가위원회 구성

미래형 도로포장에 적합한 고성능 하부구조 시스템 기술 개발 계획 연구
기술수요 조사서

PART I. 인적사항

성명	소속기관명		
소속부서	직위		
주소	(TEL)	(FAX)	(E-mail)
소속기관명	대기업() 중견기업() 중소기업() 대학원() 정부기관() 연구소() 협회() 기타()		

PART II. 제안 기술 개요

출연수원분배	1. 도로포장대상 하부구조 설계 및 시공 2. 도로포장대상 하부구조 설계 및 시공 3. 설계/시공 중 선택
대상 기술명	OO 문제 해결을 위한 OOO 방식의 OOO 기술
기술문제해제 제안기술의 위치	(참고) L1에 L2에 기술분류체계 참조하여 제안기술이 포함되는 기술분야를 표기함)
연구수행기관	DEI() 중견기업() 중소기업() 대학원() 정부기관() 연구소() 협회() 기타()
기술개발단계	기초/장원() 응용() 실용화() 실증화-test bed()

[작성방법]

- 출연수원분배: 1. 도로포장대상 하부구조 설계 및 시공, 2. 도로포장대상 하부구조 설계 및 시공
중 택 1, 중견중견기업에 없을 경우에는 공백으로 처리
- 대상 기술명: 제안하는 기술의 개략적인 내용을 표기할 수 있도록 기술명을 명명하고, 제안하는 기술이
개발연구의 경우에는 앞에 "개발연구"를 표시

PART III. 연구개발의 목표 및 내용

기술의 개념	○
목표	○
연구개발내용	○ ○ ○

[작성방법]

- 연구개발의 목표: 연구개발의 목표(또는 과정)의 수준, 성능, 품질, 비용, 기간, 환경적
영향 기술
- 연구개발의 내용(연구개발): 연구개발의 목표달성을 위하여 수행할 세부기술의 내용 및
기술개발 연구개발 기술개발 대상 기술-성능, 성능, 비용, 기간, 환경적 영향 기술

PART IV. 연구개발 필요성

연구개발 필요성 및 성과	기술개발 필요성	상기 1 중(1 회())
	정부지원필요성	상기 1 중(1 회())
국내외 관련 동향	시장	
	기술	
	정책	

[작성방법]

- 연구개발 필요성 및 성과: 제안하는 기술의 경제적, 사회적, 환경적 중요성을 정부지원의 필요성을 평가함
- 관련 동향: 제안한 기술과 관련된 국내외 시장, 기술, 정책, 동향에 대한 관련 기관의 작성함

그림 3.5 기술수요조사서

- 기술개발 추진방향은 다음 그림 3.6과 같이 5-Force분석법에서 정의한 산업매
력도를 결정하는 5가지 경쟁요인을 분석하고, 그림 3.7에 나타난 SWOT분석을
통한 기회 및 위협요인, 강점과 약점을 도출하고 그림 3.8과 같이 Issue Tree
작성하여 20개 분야의 중점목표를 도출하였음.



그림 3.6 기술개발 추진방향 설정

내부 환경 분석	강점 (S) •역량 있는 국내 연구인력 확보 •정부의 R&D 사업투자 증대 •전통적 기술에서 탈피하여, 새로운 도로관련 축적된 기술을 바탕으로 융합형 녹색기술로 확대 •환경 친화적인 도로 개념 도입 •세계최고수준의 IT산업, 인터넷 및 이동통신 서비스 인프라 보유	약점 (W) •자체 기술개발보다는 국외기술 도입 •관련 유관기관간의 상호협조 부족 •선진국 대비 국내 설계 엔지니어링 능력취약 •기초요소기술의 개발 미흡 및 시방기준전무 •세계적 선도기술에 대한 국가적 지원 미흡
	기회 (O) •기술개발을 통한 국내 산업육성 가능 •삶의 질 개선에 대한 서비스 요구 증대 •저탄소, 녹색성장에 대한 국가정책 •개발될 기술을 적용할 수 있는 해외 건설 시장이 확대되고 있음 •기후변화에 의한 재해 예방 관심 고조	위험 (T) •도로분야는 기반 시설 분야이므로 가격에 따른 건설비용 부담이 큼 •선진국 기술 선점시 기술 주도권 상실 •제도적 기반 및 산·학·연 협력체계 취약 •개발될 기술을 적용할 수 있는 해외 건설 시장이 확대되고 있음 •핵심 기술의 해외 선진국 의존성과 함께 후발 국가의 도전이 증대됨

SO 전략	•국내·외 저탄소 녹색성장 흐름에 따라 녹색 기술분야 투자 확대를 통한 기술 개발로 해외기술수출 및 공공서비스 제공 •미래 도로산업 및 환경전망을 고려한 조속한 시스템 구축 •유사 경험을 바탕으로 기술개발 성과 제고 •풍부한 IT기반의 전문인력 및 산업체 기술 활용	WO 전략	•국가의 R&D 사업에 대한 투자증대를 활용한 연구기반확충 및 새로운 시장 개척 •다양한 인적 인프라를 활용한 융합 신기술 개발 및 전문인력 양성 기반 마련 •신기술개발을 통한 국제 경쟁력 확보 •국가적인 사업 추진을 통한 관련 기초기술 확보 및 기준 정비
ST 전략	•개방형 공동연구강화를 위한 체계화된 전략 수립 •IT, 환경 및 도로기술 접목 •관계기관의 인식제고를 위한 지속적이고 단계적인 접근 전략 추진 •단계별로 구분하여 성과중심의 연구 추진 •우수한 연구인력과 풍부한 시공경험을 통한 기술선점 •개발되는 기술의 국내현장 적용을 통해서 세계적인 기술경쟁력을 확보	WT 전략	•문제점에 대한 현실적인 요인 파악과 기술 개발을 통해 기술력과 시장 확보 및 신뢰 축적 •산·학·연 공동 연구를 통한 다양한 분야의 기술 축적 •관련 국제시장 선점을 위한 원천기술 확보 •엔지니어링 기술의 확보를 위해 기준, 기술자료 작성 및 설계 위주의 과제 병행 •원천특허 선점을 통한 핵심기술 조기 확보 및 세계시장의 기술우위 확보 •기술개발과 국내현장 적용을 통한 기술선점

그림 3.7 SWOT 분석

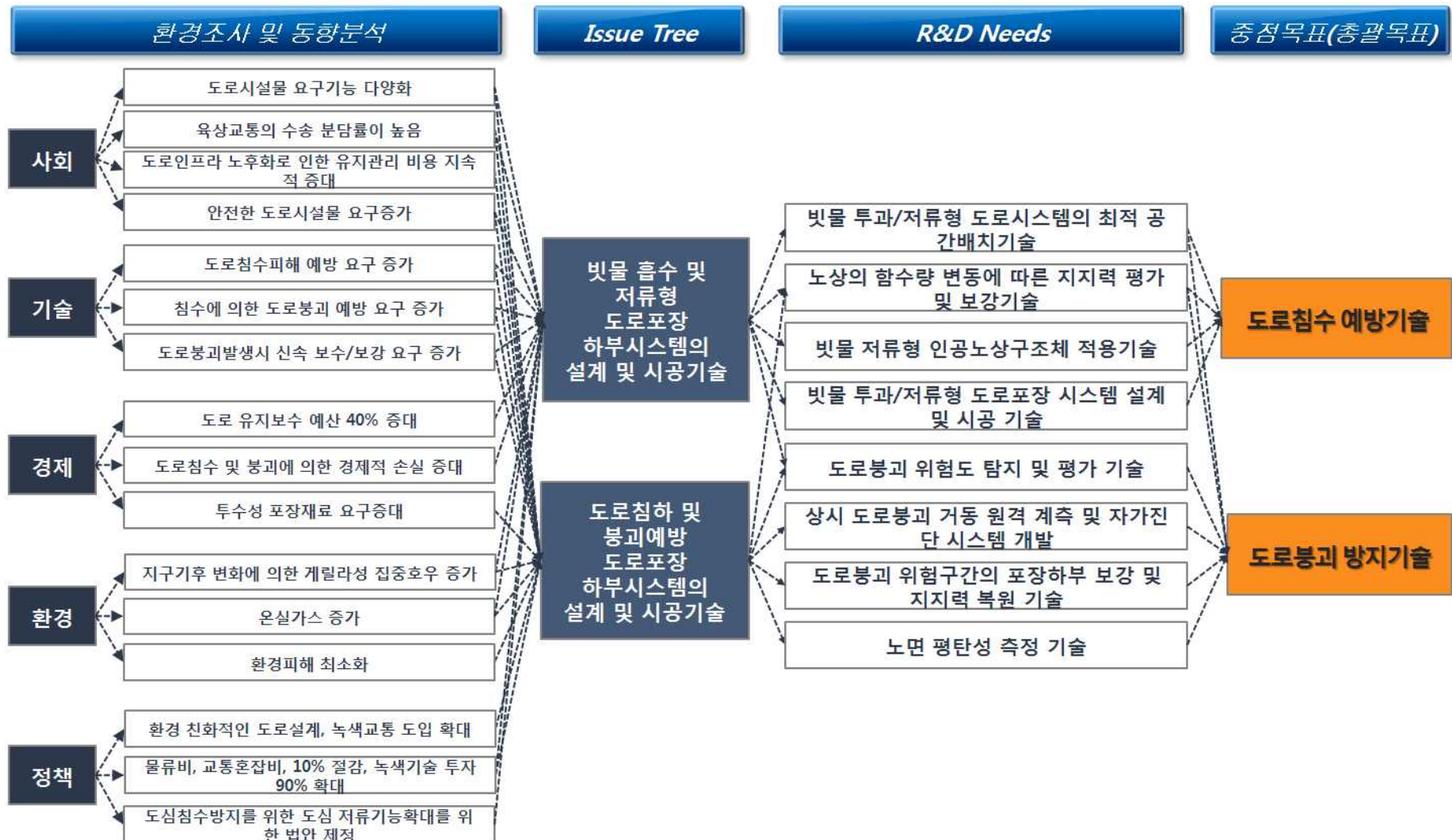


그림 3.8 중점과제 도출을 위한 Issue Tree 구성

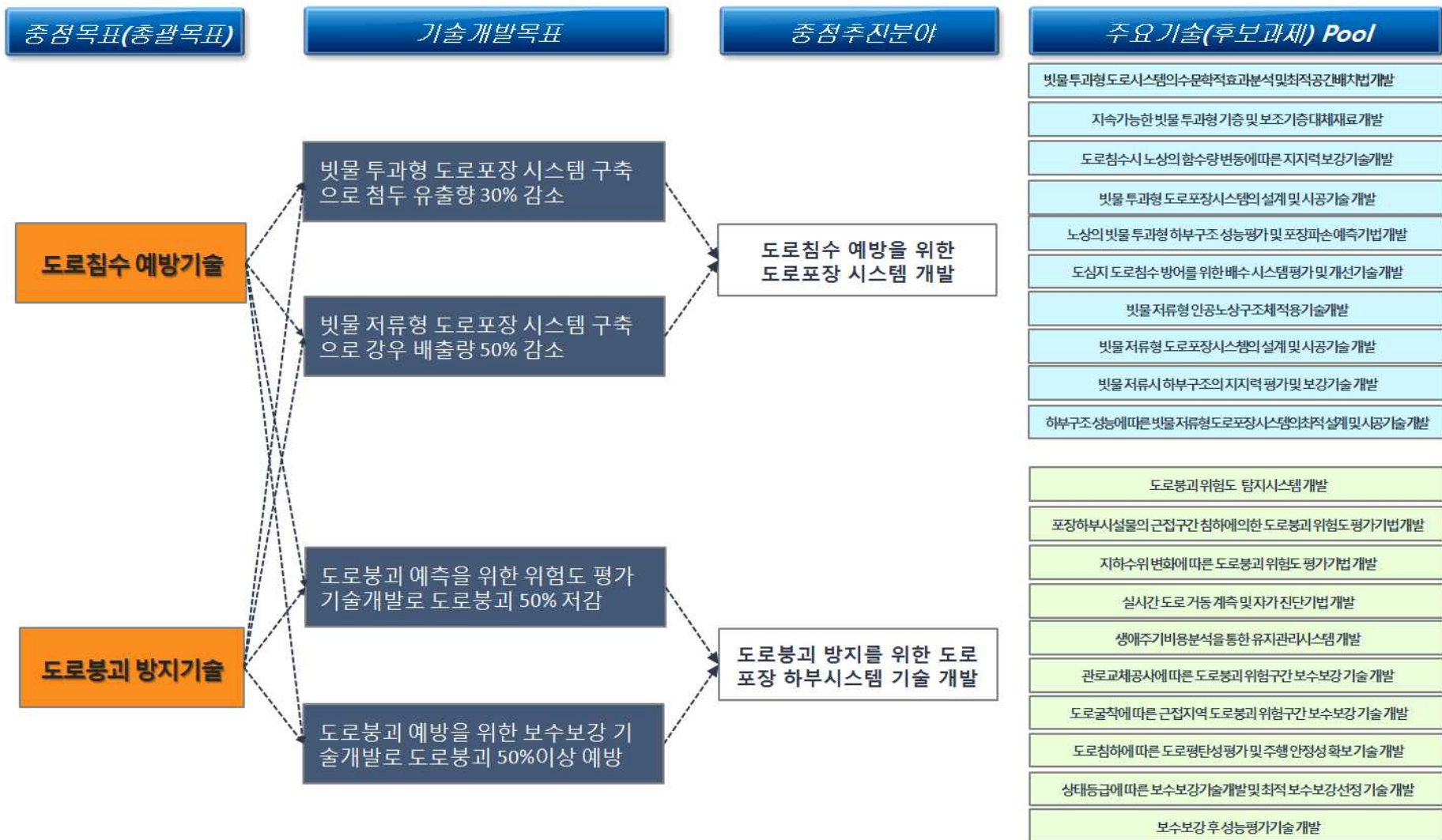


그림 3.8(계속) 중점과제 도출을 위한 Issue Tree 구성

나. 중점추진분야 선정

(1) 중점추진분야 선정 기준

- 중점추진분야는 다음 표 3.1과 같이 목표의 타당성/적시성/국가지원타당성을 고려하여 선정함

표 3.1 중점추진분야의 선정 기준

선정기준	세부내용
목표 타당성	▪ 사회경제적 니즈가 충분한가? ▪ 국토해양부의 R&D 비전 및 목표달성과 부합하는가? ▪ 본 과제의 비전 및 목표 달성과 부합하는가?
적시성	▪ 5-10년 후 최종 개발 또는 가시적 성과 창출이 가능한가? ▪ 국내에 관련 전문 인력 및 기술 인프라가 구비되어 있는가?
정부지원 타당성	▪ 민간이 독자적으로 개발하기 어려운 기술인가? ▪ 타부처 사업과의 차별성이 있는가?

- 다음 그림 3.9와 같은 과정을 통하여 중점추진분야별 후보과제를 도출하였음



그림 3.9 중점추진분야별 후보과제 도출

- 목표달성을 위한 43개의 기술수요조사서를 분석하여 다음 표 3.2와 같이 22개의 세세부과제를 도출하여 기술개발 세부내용을 정의함

표 3.2 기술개발 세부내용 후보군

구분	과제명
중점추진분야	도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발
1-1세부과제	빗물 투과형 도로포장 시스템 개발
1구성기술	빗물 투과형 도로시스템의 수문학적 효과 분석 및 최적 공간배치법 개발
2구성기술	지속가능한 빗물 투과형 기층 및 보조기층 대체재료 개발
3구성기술	도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발
4구성기술	빗물 투과형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발
5구성기술	노상의 빗물투과형 하부구조 성능평가 및 포장파손 예측기법 개발
1-2세부과제	빗물 저류형 도로하부 시스템 개발
1구성기술	도심지 도로침수 방어를 위한 배수 시스템 평가 및 개선기술 개발
2구성기술	빗물 저류형 인공노상구조체 적용기술개발
3구성기술	빗물 저류형 도로포장시스템의 설계 및 시공 기술 개발
4구성기술	포장하부 빗물 저류시 하부구조 지지력 평가 및 보강기술개발
5구성기술	하부구조 성능에 따른 빗물저류형 최적 설계 및 시공기술개발
6구성기술	도로침수 예방 기술 적용을 위한 법·제도 개선
중점추진분야	도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발
2-1세부과제	도로붕괴 예측을 위한 위험도 평가 기술 개발
1구성기술	도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발
2구성기술	포장하부시설물의 근접구간 침하에 의한 도로붕괴 위험도 평가기법 개발
3구성기술	지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발
4구성기술	실시간 도로거동 계측 및 자가진단 기법 개발
5구성기술	생애주기를 활용한 도심지 도로붕괴 유지관리 시스템 개발
2-2세부과제	도로붕괴 예방을 위한 보수보강 기술 개발
1구성기술	관료교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발
2구성기술	도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발
3구성기술	도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술 개발
4구성기술	상태등급에 따른 보수보강 예측 및 최적 보수보강 선정기술개발
5구성기술	보수보강후 성능평가기술 개발
6구성기술	도로붕괴 예방 및 복구 기술 적용을 위한 법·제도 개선

- QFD를 통하여 20개의 세세부과제에 대한 우선순위 분류 및 과제간 연계성, 중복성을 고려하여 2개의 중점추진 분야에서 9개의 세부과제를 도출함으로써 기술개발을 통한 목표달성 추구

표 3.3 중점추진 분야의 기술개발 내용

구분		과제명
1세부		도로침수 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발
1-1	세세부	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
1-2	세세부	도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발
1-3	세세부	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발
1-4	세세부	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발
1-5	세세부	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선
2세부		도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발
2-1	세세부	도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
2-2	세세부	실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발
2-3	세세부	도로굴착 근접지 도로붕괴 위험구간 복구 및 지지력확보 기술개발
2-4	세세부	포토 및 레이저 센서를 이용한 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발

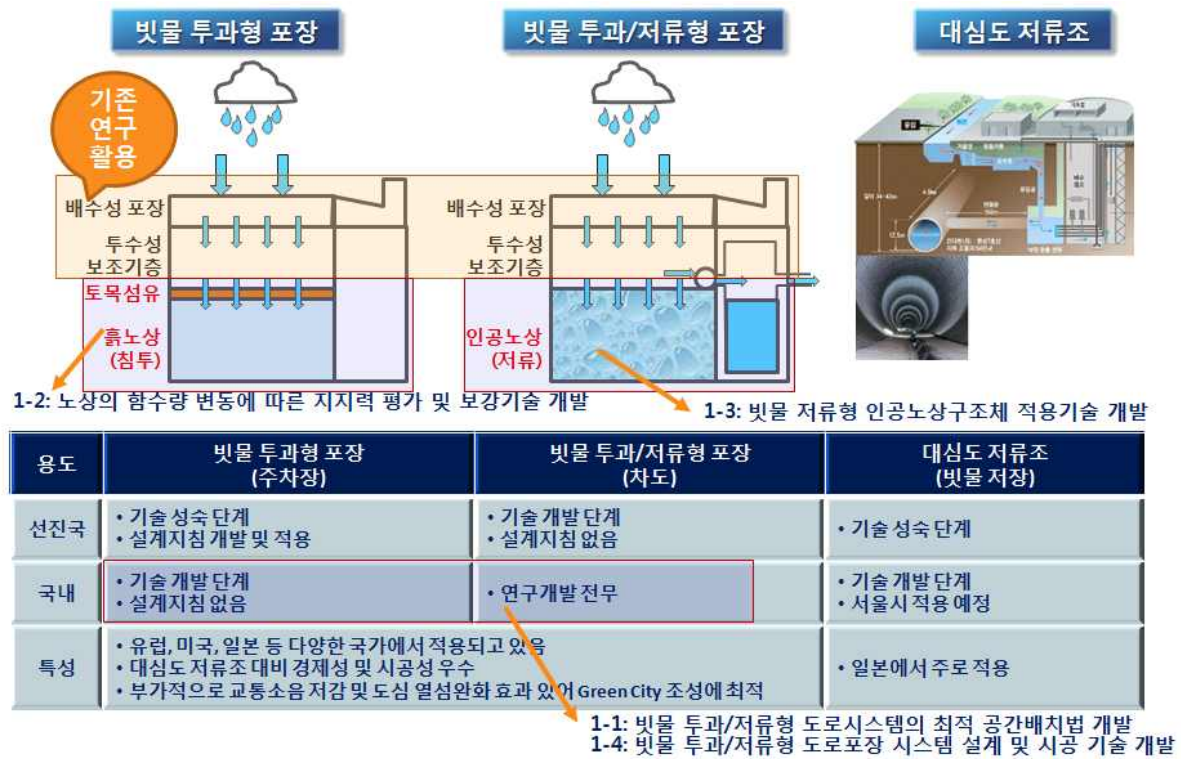


그림 3.10 도로 침수 대응형 도로포장 시스템 구성



그림 3.11 도로붕괴 예방형 도로포장하부 시스템 구성

(1) 중점추진분야 (1세부) : 도로침수 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발

개요	• 도심지 도로침수의 피해를 저감하기 위하여 빗물을 흡수할 수 있는 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 • 강우시 도로에서의 배수를 원활하기 위한 배수 시스템을 개선하고, 흡수된 빗물을 임시로 저장하여 강우유출량을 감소시킬 수 있는 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술
배경	• 도로에서 빗물을 바로 흡수, 투과, 저류, 배출할 수 있는 시스템 기술을 개발하여 도로는 비지속성 인프라의 주범이라는 부정적인 이미지를 개선하여 친환경 지속가능 녹색도로의 비전 구현 • 국가 성장 비전인 “저탄소 녹색성장”에 발맞춰 국가 경제력의 기반이 되는 도로 인프라를 지속가능형의 시스템 도로로 구성하여 기후변화에 선제적으로 대응할 필요가 있음 • 강습강우시 도심지 도로표면으로 집중되는 빗물을 통합적으로 관리하기 위하여 도로표면을 통한 빗물처리 기술을 개발하고 체계적 모니터링하여 정보 제공함으로써 능동적인 도심지 물 관리 선순환 시스템을 정부주도로 집행하도록 함 • 도로는 전국토의 2.8%를 차지하고 있음 • 도로 건설은 지속불가능한 행위(unsustainable activity)로 지목되고 있음 • 향후 기후변화에 따라 강습강우의 패턴이 일반화되고 지역적 강수량의 증가가 심화될 것으로 예상됨 • 따라서 도로구조의 강수량 증가에 대한 대비가 필요하며, 강수의 급격한 배출을 줄이고 가용수자원으로 사용할 수 있는 저류공간을 도로하부에 확보할 수 있는, 지속가능한 형태의 도로하부재료와 설계 및 시공법의 개발이 필요함
목표	• 빗물 투과형 도로포장 시스템 기술 국산화 • 침투유출량 50% 감소 • 강우유출시간 1시간 30분 지체 • 도심지 수자원 재활용율 증가(20%) • 도로수명 증가(30%) • 지속가능/녹색도로 기술의 구현
주요내용	• 빗물 투과/저류형 도로시스템의 최적공간배치법 개발 • 도로 침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발 • 빗물 저류 인공노상구조체 적용기술 개발 • 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공기술 개발

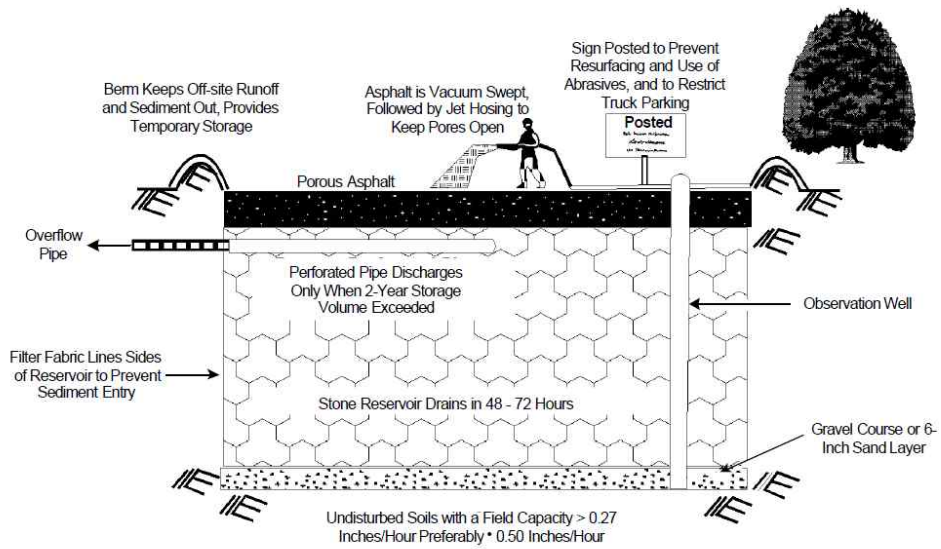


그림 3.12 도로하부 다공석식 빗물저류조 개념도



그림 3.13 도로하부 지하저류조 설치개념도

(2) 중점추진분야 (2세부) : 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발

개요	• 도심지에서 도로포장 하부에 설치된 다양한 종류의 시설물과 대형 구조물로 인하여 발생한 도로하부의 침하나 동공으로 인한 도로붕괴 발생 가능성에 대한 위험도를 평가하는 기술 • 도로붕괴 발생 전·후에 평가된 위험도 등급에 따라 위험구간의 도로하부를 보수·보강하고, 도로침하에 따른 주행 안정성을 확보할 수 있는 기술
배경	• 국내외에서 원인을 알 수 없는 도로붕괴 빈도가 급증하고 있음 • 산업화 이후 매설된 노후 관로의 확장, 교체 및 신설수요가 급증하면서 관로공사에 따른 도로의 굴착/개착 빈도증가에 따라 도로구조의 붕괴와 근접지반의 붕락사고가 빈발하고 있음 • 급격한 도시화로 도로하부 지하수위의 저하 등 도로침하와 붕괴 방지 및 도로기능상실을 방지하기 위하여 근접구조물과 도로, 도로와 지하수, 그리고 교통과 도로의 상관관계를 파악하여 도로기능성 제고를 위해 도로포장하부 시스템 유지가 필요한 상황임. • 도시화, 산업화의 진전에 따라 도심지 도로를 개착식 굴착하는 빈도가 급증하고 있으며 매설관 설치, 재다짐 및 재포장으로 인해 발생하는 주변지반의 침하와 이완, 손상정도를 고려하여 위험구간에서 도로붕괴가 발생하지 않도록 시공단계 전후에 도로포장하부를 보수, 보강하는 기술의 개발이 요구됨 • 관로교체 공사 및 도로근접시설물 공사시 지하구조물로 인한 불연속면 구간이 다수 발생하고 강성차이로 인해 도로침하와 국부적인 파손을 유도하여 평탄성의 저하가 발생함으로 이를 평가할 수 있는 저가의 보급형 장비개발이 필요함. • 굴착복구 구간의 평탄성 불량 및 연약지반의 허용침하에 의한 도로내 발생하는 침하를 억제하여 상부 평탄성이 불량해지는 것을 방지하여 주행 안정성을 확보할 수 있는 기술의 개발이 요구됨
목표	• 도로붕괴율 50% 저감 • 도로수명 증가(30%) • 지속가능/녹색도로 기술의 구현 • 예측가능한 지속형 도로교통 관리시스템 운영 • 도로·근접시설물·교통운영 통합 관리기술 수준을 선진국 수준으로 발전
주요내용	• 도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발 • 포장하부시설물의 근접구간 침하와 지하수위 변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가 기법 개발 • 도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발 • 도로침하에 따른 도로평탄성 평가 및 평탄성 확보 및 침하억제공법을 통한 주행 안정성 확보 기술 개발



그림 3.14 도로에서 발생하는 공동현상



그림 3.15 공동 탐지시스템 구축

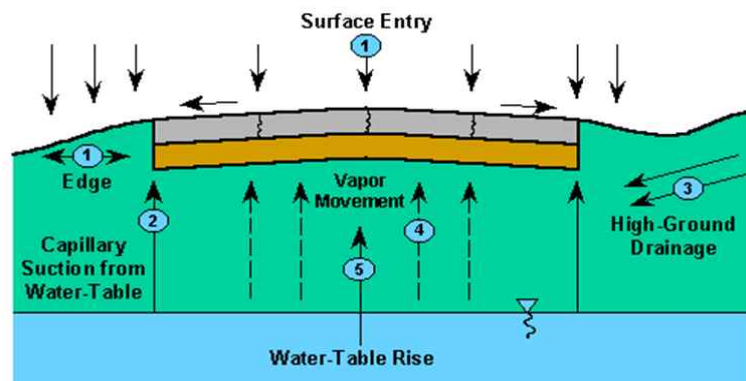


그림 3.16 지하수위 상승이 도로의 안정성에 미치는 영향

다. 기대 및 파급효과

- 기후변화 적응형 도로하부 재료 및 공법 개발을 통하여 역학-기능적인 도로의 적용과 도로의 공용성 증가로 인한 유지보수 비용의 감소와 소음 및 진동저감형 친환경 도로설계가 가능함
- 도로포장하부의 다기능성을 확보함으로써 도시홍수 예방과 수자원확보 기술 차원의 융합으로 도로하부 공간을 방재에 활용할 수 있음

기술적	경제적	사회적
• 빗물 투과 및 저류형 포장 적용으로 강우시 침투유출량 50% 이상 저감 및 강우유출시간 1시간30분 지연 • 도심지 도로침수피해 규모 50% 이상 저감 효과 • 빗길 교통사고 발생 저감 • 도로노면 및 침투수의 환경오염 저감(중금속 및 BOD 80% 감소) • 도심지 수자원 확보 • 돌발성 도로붕괴 예측 및 예방 관련 원천기술 확보 • 도로붕괴 사고를 50% 이상 저감 기대	• 연간 도로침수 피해액 500억원 이상 저감 기대 • 도로침수 간접 피해 (교통두절, 민간가옥 침수, 경제활동 피해) 저감 • 도로붕괴 예방으로 인한 인적 물적 피해저감 및 사회적 비용 절감 • 관련 기술 수출 기대	• 도로공간의 효율적 사용 및 기능 확대로 새로운 가치 창출 • 도로침수 및 붕괴로 인한 피해를 최소화하여 시민 안전에 기여 • 도시방재에 기여함으로써 기반시설물 투자에 대한 부정적 사회인식 개선 • 국민의 보편적 복지 증진에 기여

그림 3.17 도로침수 및 붕괴 예방 도로기술 개발의 기대 및 파급효과

(1) 경제적 측면

- 강우 및 기후변화에 따른 도로구조물의 평탄성 저하, 침하, 그리고 배수 불량에 의한 도로의 기능성 상실 등 국가적 사회적인 손실이 다수 발생함. 이에 기후변화 적응형 공법을 이용한 도로하부의 시공 및 유지보수 기술 적용으로 도로 침수로 인한 연간 직접피해 1150억 원(2011년 기준)중 상당 부분을 재해저감 차원에서 절감할 수 있어 도로의 평균 공용기간 10년을 기준으로 가정한다면 약 1조원 정도의 예산 절감 효과가 기대됨
- 특히 강우시 빗물 흡수 분산 저장의 기능이 가능한 미래형 도로하부시스템 기술의 개발 및 적용을 통하여 도시부 홍수차원의 간접적인 방어시설로 활용이 가능하며, 신속한 재해 방어 및 저감을 통한 도로의 효율성이 증대됨에 따라 계속적인 경제활동이 가능하여 예산 절감뿐 아니라 수출 및 국제 경쟁력 차원에서도 막대한 효과가 기대됨
- 도로하부를 통한 상부 도로평탄성 향상을 통하여 차량의 에너지 효율성이 증가하여 탄소저감 및 이동의 효율성이 증대됨. 차량 연비 소비 요인에 있어 많은 부분을 차지하는 평탄성은 타이어의 마찰에도 영향을 주는데 최근 연구에서 타이어와 노면의 저항이 10% 줄어든다면 차량의 연비에 1.74% 개선 효과가 있다고 보고되고 있는 바, 노면의 평탄성 향상은 도로의 수송 비율이 90%인 우리 현실에서 장·단기적으로 가계 및 국가경제에 크게 기여하며 됨
- 기후변화는 우리만의 문제가 아니라 범지구적인 문제인만큼 환경 적응형 도로하부기술 개발로 신흥시장에서의 건설 수주에 기여하고, 또한 개도국의 경우 국제기술협력과 지원을 통하여 현지 적용 가능한 우리 기술의 전수와 인력 교육으로 장기적인 시장의 확보가 용이하여 장기적인 관점에서 경제적인 성과가

크게 기대됨

(2) 기술적 측면

- 기존 도로의 기능은 보행, 교통수용, 그리고 기반시설 수용공간으로 활용되어 왔으나 그러한 기능을 운송적인 기능 외에 창출할 수 있는 다양한 공간적 기능을 개발함으로써 새로운 개념의 미래형 도로구조체로 활용 가능함. 따라서 빗물 침투와 같은 기능적이고 내구적인 시스템 개발이나 관련 인공 재료의 개발이 가능함에 따라 다기능적인 도로기술의 확보가 가능함
- 강우시 도로하부에 빗물을 저류하여 도시홍수 예방과 도심 수자원을 확보하는 기술개발을 통하여 재해저감형 도로의 적용이 가능함. 또한 저류를 통하여 도시 열섬 효과도 저감시킬 수 있음
- 연약지반 상 도로 혹은 하부의 구조물 설치로 인하여 발생하는 부등 침하 및 장기적인 변형 등 도로파손 및 평탄성 저하를 저감한 기술의 개발과 적용을 통하여 차량의 에너지 효율이 극대화되고 아울러 구조물의 공용성도 증진될 것으로 예상됨
- 지난 30년간 연간 강수량은 증가추세에 있으며 그 변화도 빈번함. 이에 도로 침수를 포함한 피해는 기하급수적으로 증가하고 있어 역학-수리학적인 대응기술 개발과 도로기술의 접목을 통하여 저류형 도로시스템 개발이 가능함
- 견고한 하부구조 및 도시홍수 대응형 기술 개발은 다양한 인공 재료의 개발과 적용, 다기능적인 도로하부구조 설계, 공간 적용 기술개발 등 다양한 형태의 기술적인 개발을 유도하게 되어 장기적인 구조물 성능 유지에 기여하게 됨
- 수치모의시험결과에 의하면 50%의 도로가 투수성 포장으로 교체될 경우, 아래 그림에 나타난 바와 같이 10~100년 빈도의 홍수에 대하여 침투유출량은 40~60% 정도 감소하고, 도달시간은 1시간 30분 이상 지연되는 저류효과를 볼 수 있을 것으로 기대됨

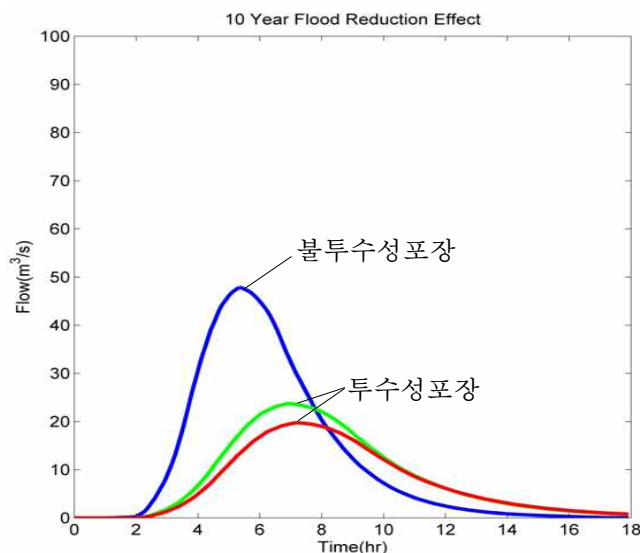


그림 3.18 투수성 도로 포장 적용에 따른 10년 빈도 홍수 저감 효과

- 모의시험결과 침투유출량의 50%가 감소할 경우 강우량 50~70mm/hr의 감소 효과가 발생하므로 이로 인하여 강우 강도 빈도를 30년 이상 증가시킬 수 있고, 이는 도로침수 확률을 50% 이상 감소시키는 영향을 기대할 수 있음

(3) 사회적 측면

- 기후변화 적응형 기술의 적용은 방재 뿐 아니라 친환경적인 공법의 활용 측면에서 환경보전에 기여하고 지속가능성과 녹색 성장에 기여하게 됨
- 현재 인구구조의 변화로 인하여 노령화 추세에 있고 유연한 노동 패턴과 정보통신 기술의 발전으로 Work Smart 환경으로 전환하고 있는 추세로 가용한 시간의 증가로 인한 여가 및 이동이 증가할 것으로 예상됨. 따라서 도로의 경우 비침투 시간의 이동이 증가하는 등 이동패턴의 변화가 도래되고 노년층의 경제활동이 증가가 예상됨. 이러한 환경에 도로에서의 평탄성 확보 기술의 적용은 도로 사고의 위험성이 상대적으로 감소되고 안전한 도로의 기능을 미래에도 계속적으로 제공하게 됨
- 향후 세계 인구의 75% 이상이 도시에 거주할 것으로 예측되고 있고, 특히 인구 1,000만 이상의 메가시티가 증가할 전망이다. 이로 인한 도시방재 측면의 대응형 도로하부 기술의 적용을 통한 직·간접적인 방재기여로 실질적인 효과 이외에 도로시설의 사회적 인식이 제고됨에 따라 사회기반시설 투자에 따른 긍정적인 효과를 증진시킴
- 도시화의 증가로 인하여 토지사용 및 개발의 변화가 유도되고 있는 시점에 공간 효율성의 증대 및 다기능 활용 공간의 확보가 가능함

3절. 연구개발과제 구성

○ 본 연구개발과제는 다음과 같이 구성되어있음

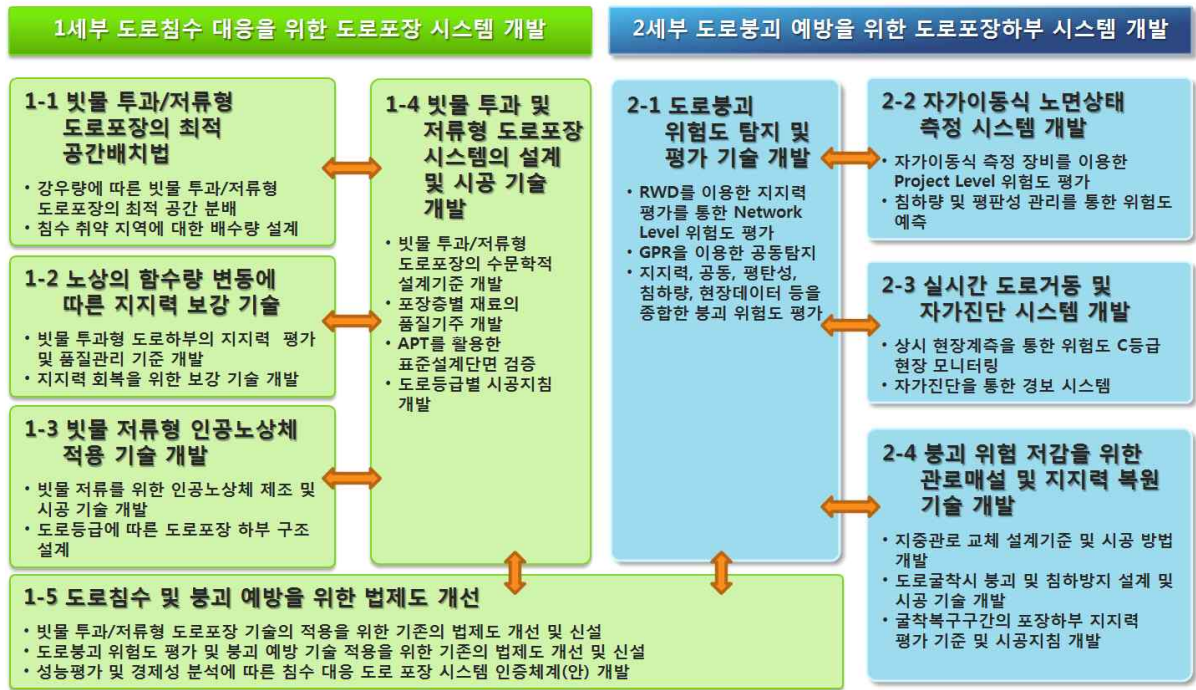


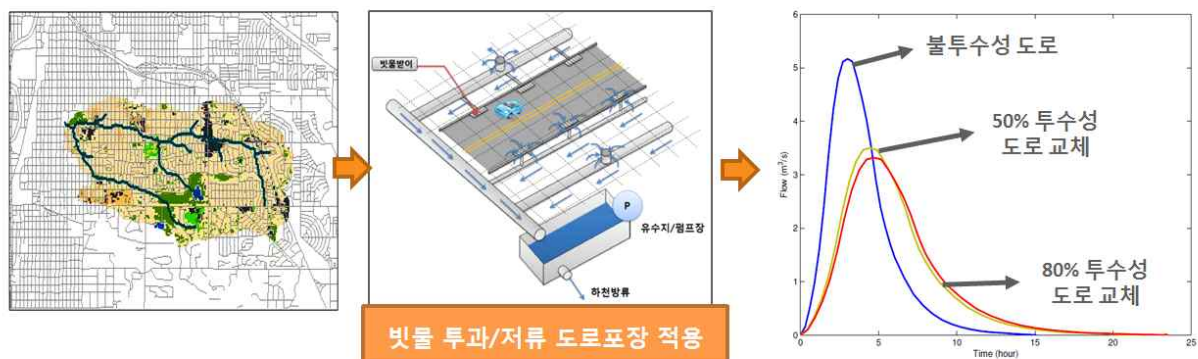
그림 3.19 연구개발과제 구성

4절. 세부과제별 주요내용

- 미래형 도로는 도로의 목표를 달성하기 위하여 '도로침수 예방' 및 '도로붕괴 방지'를 미션으로 설정하였으며, 도로침수 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발과 도로 침하 및 붕괴를 예방하여 주행 안전성을 확보하기 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발을 연구 목표로 설정하였음
- 본 연구의 연구항목별 주요내용은 다음과 같음

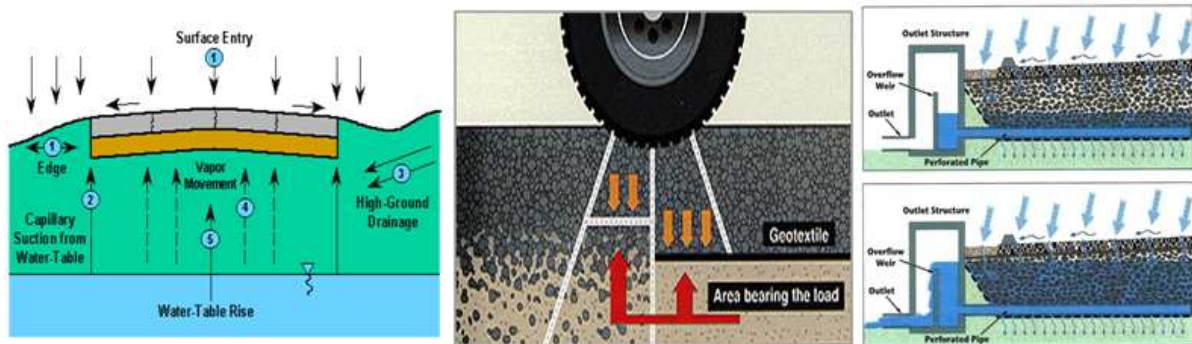
□ 1-1 세세부과제

과제명	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
연구 목표	• TOD(Transit Oriented Development) 개념을 바탕으로 빗물 투과/저류형 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간 배치를 가능하게 하는 GIS S/W 개발 • 도심지 침수 지역에 대한 최적 빗물 투과/저류형 도로포장 공간 배치 방안 제시
기술 내용	• 실험을 통해 다양한 투수성 도로포장재의 수문학적 매개변수를 산정하여 다양한 가상유역에 대한 수문 모형을 사용한 모의를 통해 투수성 도로 포장재의 수문학적 효과 분석 • 향후 도로설계시 투수성 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간적 배치를 산정하게 하는 GIS Application의 개발 및 검증 • 국내 주요 도로 침수지에 대한 수문관련 데이터 베이를 확보하여 개발된 Application을 통해 국내 주요 도로 침수지에 대한 투수성 도로의 최적 공간적 배치 도출 및 제안
최종 성과물	• 빗물 투과/저류형 도로시스템 수문학적 효과 분석시스템 • GIS 기반 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 공간배치 평가시스템 • GIS 기반 도로 침수 최소화 소프트웨어 • 도로시스템 설계 또는 시공성을 고려한 경제적 최적화 평가기법



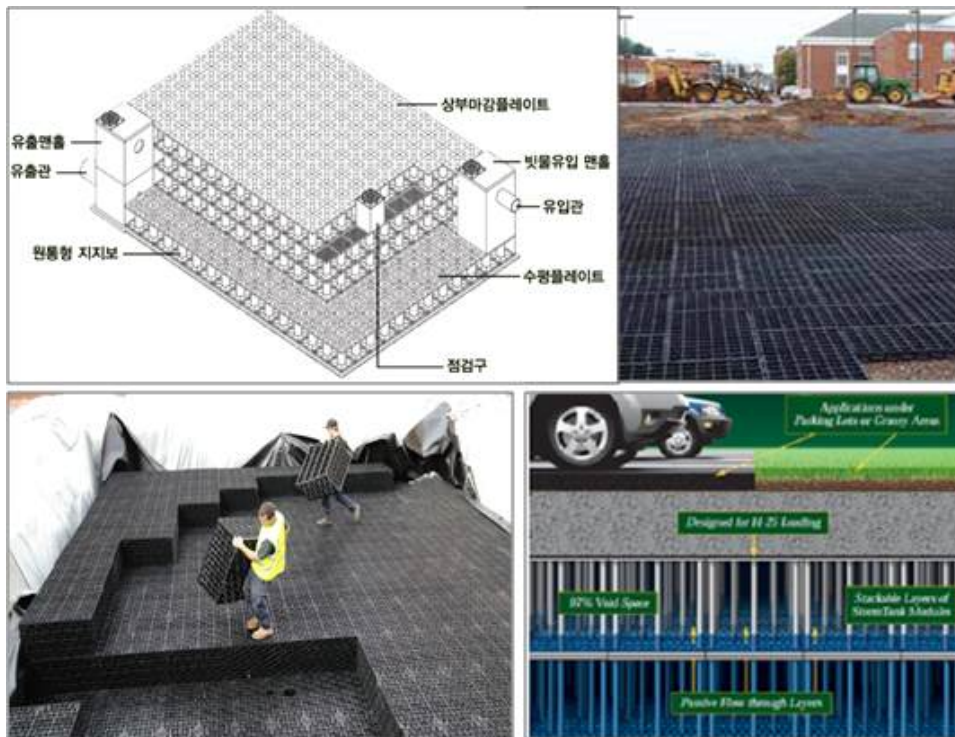
□ 1-2 세세부과제

과제명	도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발
연구 목표	- 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 평가 방법 개발 - 침수노상의 지지력 강화 공법 개발
기술 내용	- 국내 노상토 종류 및 다짐도별 침투율 시험 및 예측 모형 개발 - 도로침수시 노상토의 포화도에 따른 다짐도별 지지력 감소효과 정량화 - 노상의 지지력 감소가 포장 파손에 미치는 영향 분석 및 정량화 - 토목섬유를 사용한 노상의 지지력 보강 기술 개발 - APT를 이용한 지지력 감소 및 보강효과 검증
최종 성과물	- 투수 영향이 고려된 노상 지지력 예측 기술 - 도로침수시 보조기층 및 노상의 지지력 저감 평가 기술 - 노상 보강용 재료의 공용성 향상 기술 - Pilot 모형 개발 및 성능 시험을 통한 지지력 보강 기술



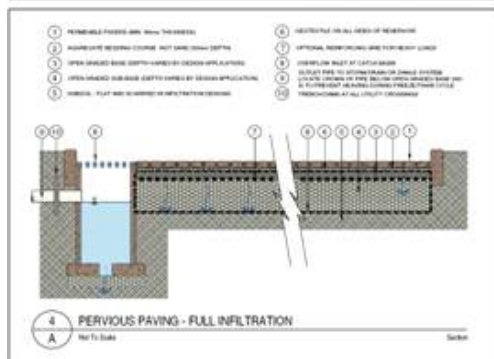
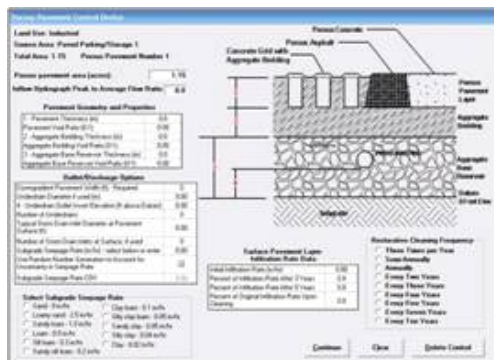
□ 1-3 세세부과제

과제명	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발
연구 목표	• 빗물 저류형 도로포장 시스템에 적합한 중소규모의 빗물저류 구조물 개발 • 시공시 공기를 단축하기 위한 쾌속시공형 조립식 인공노상구조체 개발
기술 내용	• 도로 등급과 강우강도에 따른 인공노상구조체의 형상 및 구조 설계 • 인공노상구조체 시제품 제작 • 물리 역학적 성능 시험을 통한 품질 기준 개발 • APT 및 시험시공을 통한 현장 적용성 분석 및 저류능력, 지지력 효과 측정 • 향후 재활용을 고려한 경제성 분석 및 설계, 시공, 품질기준 개발
최종 성과물	• 빗물 저류형 인공노상구조체 재료 및 구조 설계 • 물리 역학적 성능 평가 시험을 통한 품질기준(안) • 도로등급별 조립식 인공노상구조체 설계 기준(안) • 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계, 시공, 및 품질기준 개발 및 유지관리/시방서



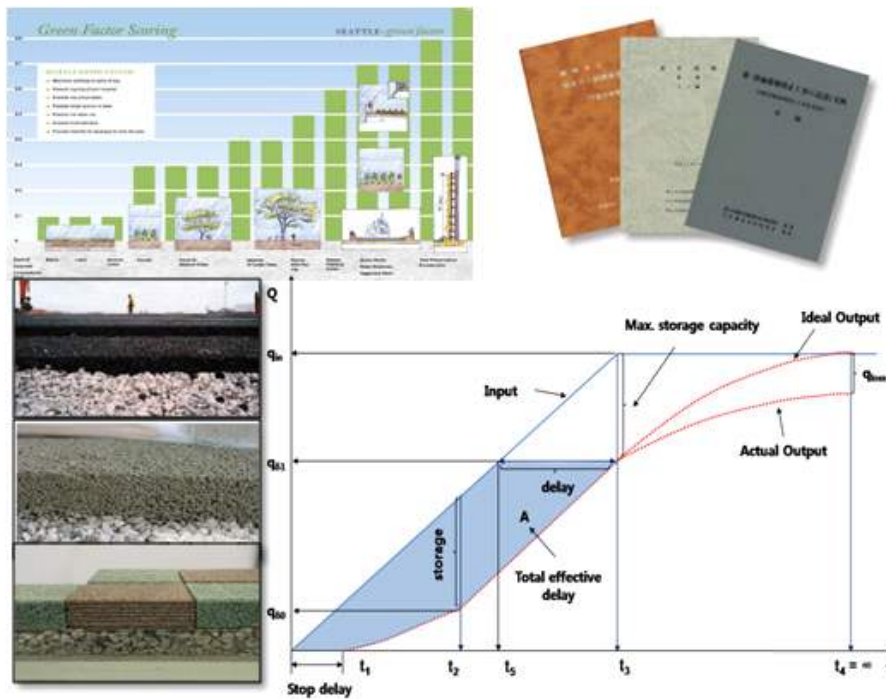
□ 1-4 세세부과제

과제명	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발
연구 목표	• 빗물 투과/저류형 도로포장의 개별요소를 시스템화하는 설계법 개발 • 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단면 설계 기준 제시 • 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발
기술 내용	• 빗물 투과/저류형 도로포장의 수문학적 설계 기준 개발 • 경험적 설계방법 및 역학적-경험적 설계에 기초한 도로포장 단면구조 설계 기준 개발 • 포장 층별 재료의 품질기준 개발 • APT를 활용한 표준 설계단면의 검증 및 테스트 베드 구축을 통한 효과 분석 • 기술적, 경제적, 환경적 타당성 분석 • 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단면 설계 기준 제시 • 투수성포장(배수성포장+투수성기층+저류성노상)의 종류에 따라 단계적으로 빗물 유출량을 조절할 수 있는 목표를 설정 • 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발 • 장단기 확대적용 계획 수립
최종 성과물	• 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계요소 분석 및 기준(안) • 빗물 투과/저류형 도로포장의 재료품질 기준(안) • 빗물 투과/저류형 도로포장의 구조설계 잠정지침(안) • 빗물 투과/저류형 도로포장의 시공 및 유지관리 지침



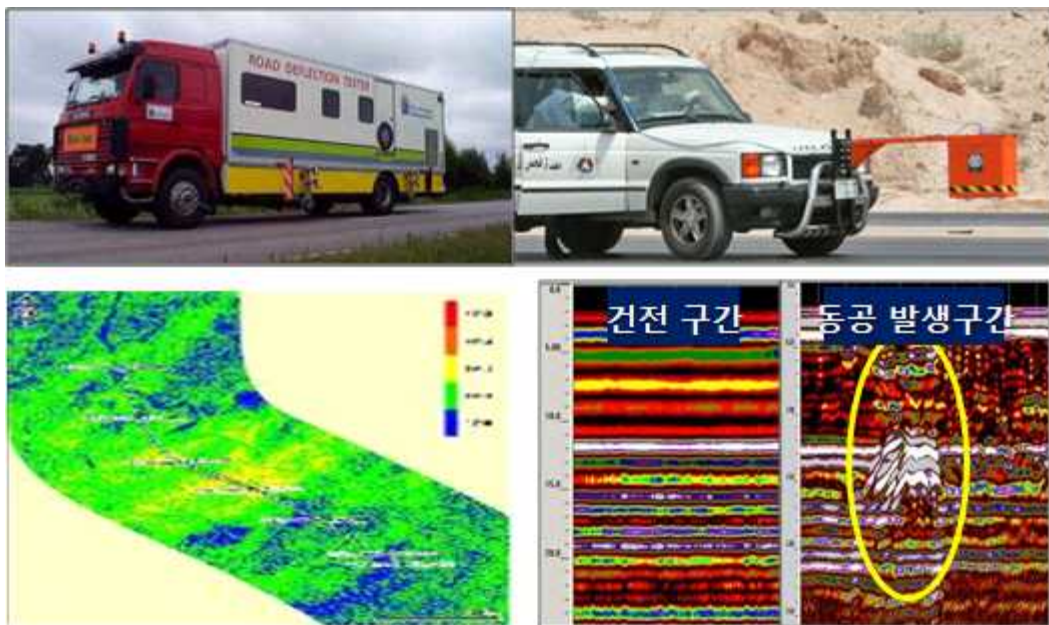
□ 1-5 세세부과제

과제명	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선
연구 목표	- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도화 기반조성 및 논리 개발 - 도로침수 대응 포장 시스템 기술 활용의 법·제도 수립
기술 내용	- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법적 개념 정립 및 현황분석 - 도로 포장 침수 지수 개발 및 평가 방안 수립 - 도로침수 대응 포장 시스템 성능 평가 및 효과 분석에 따른 법제도 근거 및 논리개발 - 성능 평가 및 경제성 분석에 따른 침수 대응 도로포장 시스템 인증체계(안) - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개정(안)
최종 성과물	- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 지침(안) - 도로침수 대응 도로포장 시스템 인증체계 - 도로붕괴 예방 도로포장하부 시스템 인증체계



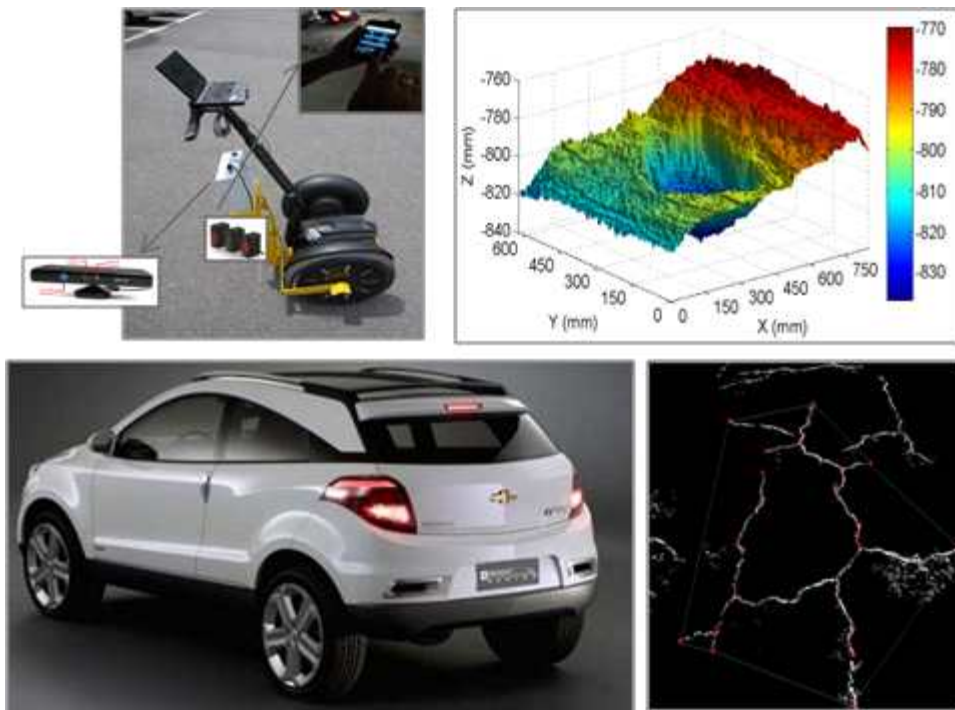
□ 2-1 세세부과제

과제명	도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
연구 목표	• 도로붕괴 위험성을 평가하기 위하여 도로하부의 동공 발생 유무를 파악하고 포장의 지지력을 평가할 수 있는 비파괴시험 및 해석 기법을 개발 • 동공 및 침하, 지지력 요소를 포함하는 도로붕괴 위험도 종합판정 지수 및 보수보강 지침 개발
기술 내용	• 도로붕괴 유형별 발생 메커니즘 규명 • 비파괴 기법을 이용한 도로포장 하부구조 특성 자동화 탐지 기술 개발 : GPR등을 이용한 동공, 지하수 등 측정 기술, RWD(FWD)를 이용한 붕괴 예상구간의 포장 지지력 평가 기술, 도로붕괴 위험지점 GIS Mapping 기술 등 • 도로붕괴 위험도 평가 기술 개발 : 도로붕괴 위험도 평가 요소인자 결정 및 판정 기준, 정량적 위험도 등급산정기술 • 도로붕괴 예방 보수보강 결정기술 개발 : 도로붕괴 위험도 등급별 보수보강 적용분류 체계 구축 및 예방적 보수보강 선정 지침 개발 • 도로붕괴 예측/예방 통합 시스템 구축
최종 성과물	• 도로포장 하부 상태 평가 알고리즘 • 도로붕괴 위험도 탐지를 위한 비파괴시험 시스템 • 도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산정 알고리즘 • 도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼



□ 2-2 세세부과제

과제명	포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발
연구 목표	- 도로붕괴 위험구간의 침하량 및 노면상태 측정과 정량화를 위한 자가이동식 소형 평탄성 및 이미지 측정 장비의 개발 - 포토 및 레이저 센서에서 획득한 데이터의 분석 및 해석용 소프트웨어 개발
기술 내용	- 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 시제품 개발 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 개발 - 이미지 센서를 이용한 노면상태 측정 장비 시제품 개발 - 아스팔트도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석프로그램 개발 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템 구축 - 측정 장비 및 시스템의 검증을 위한 현장시험 및 이를 통한 시스템 개선 - 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 시제품 개발 및 현장 적용성 개선
최종 성과물	- 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 - 이미지 센서를 이용한 노면 상태 측정 장비 - 아스팔트도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석 프로그램 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템



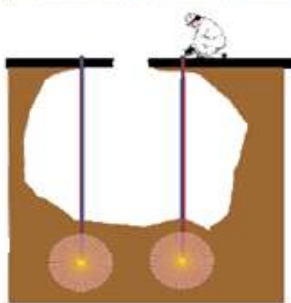
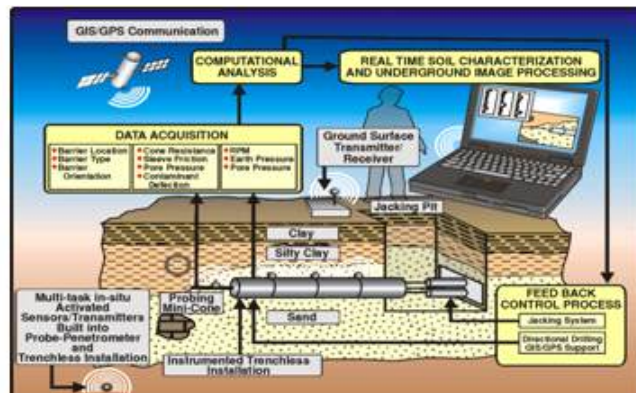
□ 2-3 세세부과제

과제명	실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발
연구 목표	도로붕괴 사고를 사전 감지할 수 있는 현장 모니터링 및 자가진단 시스템 개발
기술 내용	- 도로하부 거동에 따른 변형실태조사 및 도로거동 계측시스템 조사 분석 - 자가진단을 위한 계측항목 선정 및 평가, 기존정보 연계방안 연구 - 상시 계측용 최적 시스템 설계 및 구축 - 실시간 도로거동 분석 및 자가진단 기법 개발 - 계측 시스템의 장단기 안정성 개선 및 현장 적용성 평가 - 실시간 도로거동 모니터링을 위한 usn기반 모니터링 시스템 개발 - ISA 100 통신 프로토콜을 활용한 원격 모니터링 전용 시스템 시제품 개발 - 현장적용을 통한 시제품의 안정성 확보
최종 성과물	- 도로 하부 거동 상시 계측 시스템 - 도심지 공사용 도로 하부 거동 계측 시스템 - 실시간 도로 거동분석 및 자가진단 시스템 - 돌발성 붕괴 예측 및 대응 시스템

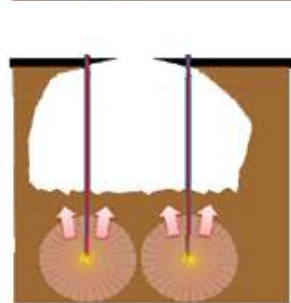


□ 2-4 세세부과제

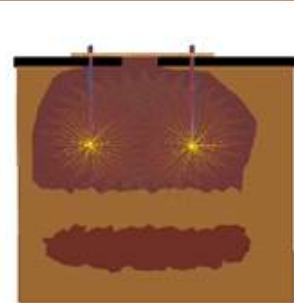
과제명	도로붕괴 위험저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발
연구 목표	• 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 기술 개발 • 도로침하 및 붕괴 방지를 위한 비개착 관로매설 기술 개발 • 도로붕괴 위험구간의 지지력 복원기술 개발
기술 내용	• 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 지침 개발 • 비개착 관추진 매설공법의 기술수준 분석 및 최적 공법 선정 - 노후관 파쇄(pipe bursting)교체 공법 개발 - GIS/GPS 기반 침단 지향성 관추진 공법 개발 • 가압식 그라우팅 포장하부 지지력 보강 설계 및 시공기술 개발
최종 성과물	• 굴착복구로 인한 도로붕괴 보수보강 기술 • 관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 • 도로포장 하부 손상복구 및 예방기술 • 굴착복구 하부다짐관리 지침



Step 1 - Reinforce Soils



Step 2 - Lift Below Void



Step 3 - Tight-fill Void

5절. 세부과제 간 연계관계

○ 본 연구 1세부 과제 간 연계관계는 다음과 같음

구분	과제명	연계방안
1세부	도로침수 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발	
1-1	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간 배치법 개발	- 기후변화에 따라 강습강우의 패턴이 일반화되고 지역적 강수량의 증가가 심화되어 도심침수 피해가 증가됨 1-1세세부 과제인 빗물 투과/저류형 도로시스템 최적 공간배치법 개발을 통해 수문학적 효과를 고려한 최적 공간 배치 기법의 현장적용성을 평가하여, 빗물 투과시 도로가 침수되어 하부층의 영향으로 도로가 파손이 될 우려가 있으므로, 1-2세세부 과제인 도로침수시 노상의 함수력 변동에 따른 지지력 보강 기술을 개발하고자 함 1-2세세부 과제인 도로침수시 지지력을 보강할 수 있는 기술을 포함하는 1-4세세부 과제인 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공기술을 개발하고자 함 1-1세세부 과제인 빗물 투과/저류형 도로시스템 최적 공간배치법 개발을 통한 강우시 도로에서의 배수를 원활하기 위한 배수 시스템을 개발하여 이를 개선하고, 이는 흡수된 빗물을 임시로 저장하여 강우유출량을 감소시킬 수 있는 1-4세세부 과제인 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술과 연계가 있음 1-1세세부 과제인 빗물 저류형 도로 시스템 최적 공간 배치법 개발을 통한 1-3세세부 과제인 빗물을 저류할 수 있는 인공노상구조체 적용기술은 대체 노상구조체와 도로포장시스템의 수리역학적 상호작용 평가함으로써, 이는 도로포장하부 시스템 설계 및 시공 기술 개발과 연계가 있음 1-5세세부 과제인 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선을 통하여 1세부와 2세부에서 개발될 도로침수 및 붕괴 예방 기술의 적법한 사용을 위한 법과 제도를 개정하는 것으로 1세부와 2세부의 연구 내용 전체와 상호 연계가 있음
1-2	도로침수시 노상의 함수력 변동에 따른 지지력 보강기술 개발	
1-3	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발	
1-4	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발	
1-5	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선	

○ 본 연구 2세부 과제 간 연계관계는 다음과 같음

구분	과제명	연계방안
2세부	도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발	
2-1	도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발	2-1세세부 과제인 도로붕괴 위험도 탐지 시스템 개발을 통한 비파괴시험을 이용하여 도로포장 하부에서 발생한 침하, 동공, 지하수위 변화를 탐지하여, 2-4세세부 과제인 포장하부시설물의 근접구간 침하와 지하수위변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법을 개발하고자 함 2-2세세부 과제인 도로침하에 따른 저가형 자가이동식 평탄성 측정 평가 장비 및 분석시스템 구축으로 소규모 규모의 지역의 도로붕괴 위험도를 평가함. 따라서 2-1세세부로부터 평가된 붕괴위험 지역에 대하여 보다 상세한 분석 가능함.
2-2	실시간 도로거동 예측 및 자가진단 기법 개발	2-3세세부 과제인 도로붕괴 위험도 평가기법 개발을 통한 도로붕괴 발생 전·후에 평가된 위험도 등급에 따른 위험구간의 도로하부를 2-4세세부 과제인 도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술을 개발하고자 함. 이에 따라 2-2세세부 과제인 도로침하에 따른 평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술과 연계하여 전체적으로 예측가능한 지속형 도로교통 관리시스템이 운영될 뿐만 아니라, 도로수명이 증가하여 이에 따른 도로붕괴도 줄어들 것이라 예상함
2-3	포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발	포장하부 시설물 근접구간, 지하수위에 따른 연약지반 도로파손, 굴착복구구간 도로파손 등 파손으로 인해 도로 평탄성이 악화되어, 2-2세세부 과제인 도로침하에 따른 평탄성 평가 및 주행 안정성 확보 기술개발을 통해 얻은 평탄성 데이터를 2-3세세부 과제인 포장하부시설물의 근접구간 침하와 지하수위변화에 따른 도로붕괴 위험도 평가기법 개발, 2-4세세부 과제인 도로굴착에 따른 근접지역 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술개발에 활용하므로써 기술개발효과 증대
2-4	도로굴착 근접지 도로붕괴 위험구간 복구 및 지지력확보 기술개발	연약지반에서의 도로 하부층에 지하수위, 도로침수, 굴착 복구구간 등에 대한 영향도로 상부에 변형이 일어남으로써, 운전자들에게 불안감을 주며 이는 사고로 이어질 가능성이 있음

2-1: 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발(Network level 조사)



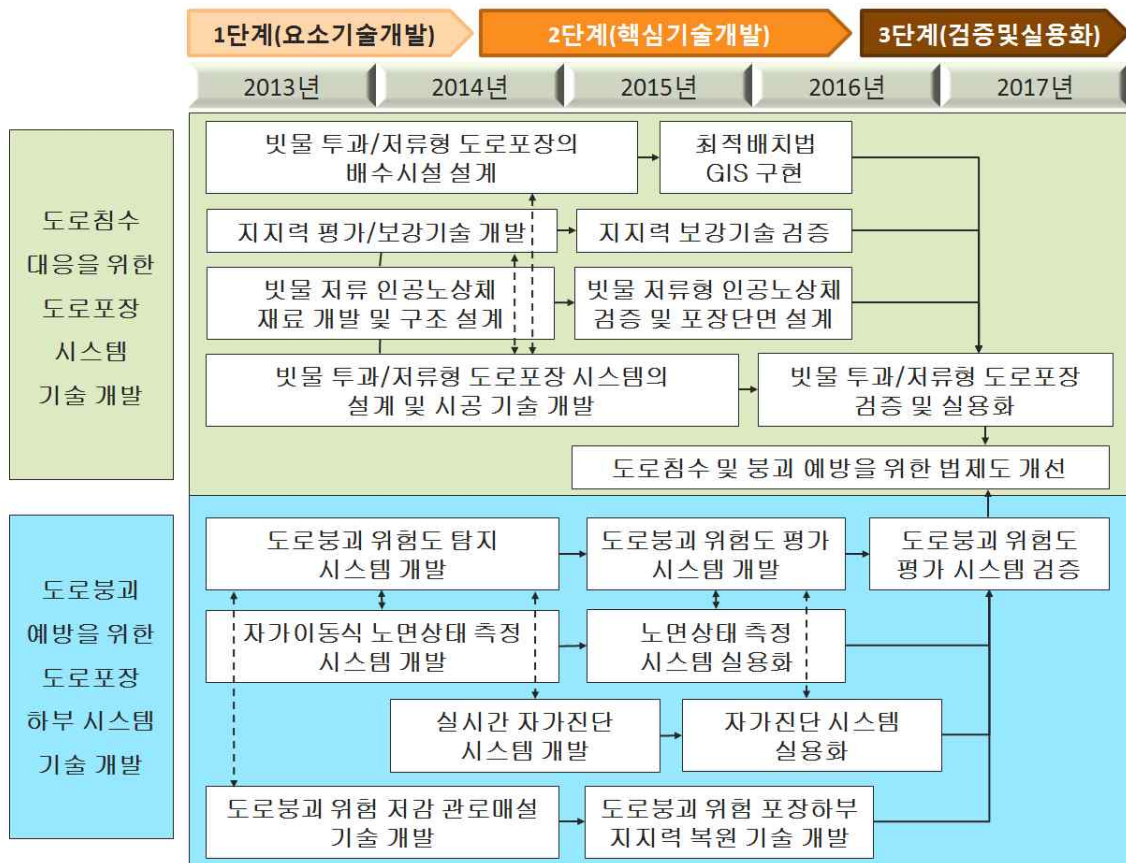
2-2: 자가이동식 노면상태 측정 시스템 개발(Project level 조사)



6절. 기술 및 성과로드맵

1. 기술로드맵

가. 총괄



나. 도로침수 대응을 위한 도로포장 시스템 개발 분야

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발		투수형 도로 최적 공간 배치 알고리즘 개발				
			도로침수 예측을 위한 도로 배수체계 흐름 거동 모형 개발			
			다양한 도로 및 포장조건에서 도로면 강우 침투율 결정			
			도로침수 최소화 GIS 어플리케이션 개발 및 국내 데이터에 대한 적용성 평가			
				GIS 기반 도로포장 공간배치 및 배수설계 지침 작성		

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강 기술 개발			도로 침수시 노상토의 포화도에 따른 다점도별 지지력 감소효과 정량화			
			노상의 지지력 감소가 포장 파손에 미치는 영향 분석			
				토목섬유를 사용한 노상의 지지력 보강 기술 개발		
				APT를 이용한 지지력 감소 및 보강효과 검증		

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
빗물 저류형 인공 노상구조체 적용 기술 개발			빗물 저류를 위한 조립식 박스구조체 개발			
			물리 역학적 성능 평가 시험을 통한 품질기준 (안) 제시			
			도로등급별 빗물 저류형 도로포장 하부 시스템 설계			
				빗물 저류형 인공노상구조체 검증 및 실용화		
					도로등급별 인공노상구조체 기준 제시	

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발		빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 요소설계기술 분석 및 기준 작성				
			빗물 투과/저류형 도로포장 재료 품질 기준 개발			
				빗물 투과/저류형 도로포장의 구조설계 잠정 지침 개발		
					빗물 투과/저류형 도로포장의 시공 및 유지관리 지침 개발	
					APT 시험을 통한 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 검증 및 보완	

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개선				도로비상대응 법제도 평가		
					도로 침수 대응을 위한 법제도 개선	
					도로 붕괴 예방을 위한 법제도 개선	

다. 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발 분야

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발		도로포장 하부 상태 탐지 장비 구축				
			도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴 자동화 탐지 알고리즘 개발			
				도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴 시험 자 동화 탐지 소프트웨어 개발		
				도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산 정 알고리즘 개발		
					도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼 작성	

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
포토 및 레이저센 서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발		레이저센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 개발 및 평탄성 평가 기법 개발				
			아스팔트도로용 균열 분석을 위한 필터링 기 법 및 분석 프로그램 개발			
			포토 및 레이저센서 통합장비 시 스템 구축			
				현장시험을 통한 측정 장비 및 시 스템 개선		
					포토 및 레이저센서를 이용한 노 면상태 시스템 시제품 및 보완	

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
실시간 도로거동 원격 계측 및 자가 진단 시스템 개발			도로 거동 상시 원격 계측 시스템 설계 및 구축			
				도심지 공사용 도로 하부 거동 계 측 시스템 구축		
				실시간 도로 거동 분석 및 자가 진단 기법 개발		
					돌발성 도로붕괴 예측 및 대응시스템 개발	

분야	연도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
도로붕괴 위험 저감을 위한 관로 매설 공법 및 포장 하부 지지력 복원 기술 개발		굴착복구로 인한 도로붕괴 보수보강 기술 개발				
			관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 개발			
				도로포장 하부 손상복구 및 예방 기술 개발		
					굴착복구 하부 다짐관리 지침 개발	
					도로붕괴 위험도에 따른 최적 보 수보강 공법 선정	

2. 성과로드맵

○ 1-1세세부 과제

연도	성과목표 (1-1세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	도로침수원인분석 및 침수예측에 필요한	도로침수침수예측 모형개발전략수립 - 노면 우수 침투율 산정 실험장치제작	①	침수예측모형개발전략	우수	자문회의평가	보고서
			②	노면침투율 실험장치	제작완료	실험장치물 및 시험측정결과	보고서
2차년도	통합배수체계흐름거 동 모형개발 및 노면특성별 우수 침투율 산정실험	- 통합배수체계 모형개발 및 노면특성별 우수 침투율	①	통합배수체계 모형의 기층배수의 세부 모듈및 통합	세부모듈개 발 및 통합	모듈별 모형작성 통합기능에 대한 자문결과	보고서
			②	노면특성별 우수침투 산정결과	대표 노면특성에 대한 침투율	침투율 실험결과	보고서
3차년도	GIS기반 도로침수예측 S/W 개발	- GIS기반 도로침수예측 S/W	①	GIS기반 도로침수예측 S/W 개발	1 건	S/W 시연	S/W 시연 결과
4차년도	GIS기반 도로침수예측 S/W 완성	-가상호우에 대한 도로 침수 모형 -GIS기반 도로침수예측 S/W 검증	①	가상호우에 대한 도로침수 모형 결과	높음	도로침수모형 결과 시연	보고서
			②	GIS기반 도로침수예측 S/W 완성	1건	S/W 등록 여부	S/W등록증
			③	지적재산권 확보	1건	특허등록 여부	특허등록증

구분	목표		1-1세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원						
		등록						
	소프트웨어 등록건수					1		1
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수					1		1
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급			1	1		2
		비SCI급		1	1	1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			2	2	2		6
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지기술기사							
	자문회의개최		1	1	1	1		4
	전문인력양성실적		1	1	2	2		6
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 1-2세세부 과제

연도	성과목표 (1-2세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
2차년도	도로침수시 노상의 지지력 보강 핵심요소기술 개발	노상 지지력 보강 기술 개발 - 주차장용	①	회복탄성계수	70MPa	실험결과	보고서
			②	지지력	5.0kg/cm ³	실험결과	보고서
			③	포장체 변형	38mm	실험결과	보고서
3차년도		노상 지지력 보강 기술 개발 - 도로용	①	회복탄성계수	100MPa	실험결과	보고서
			②	지지력	7.0kg/cm ³	실험결과	보고서
			③	포장체 변형	30mm	실험결과	보고서
4차년도	도로침수시 노상의 지지력 보강기술 현장 적용 및 보완	침수시 노상 지지력 보강 기술 현장 적용	①	설계 및 시공지침(안)	1건	지침서 확인	보고서
			②	유지보수지침(안)	1건	지침서 확인	보고서
			③				

구분	목표		1-2세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원						
		등록						
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수				1	1		2
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급				1		2
		비SCI급		1		1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1		1		2
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수					1		1
	국내학협회지기술기사				1			1
	자문회의개최			1	1	1		3
	전문인력양성실적							
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 1-3세세부 과제

연도	성과목표	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 기초기술 개발	인공노상구조체 요소기술개발	①	패널 휨강도	1.0MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	5.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	500l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
2차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 핵심요소기술 개발	인공노상구조체 시제품 개발 - 주차장용	①	패널 휨강도	1.5MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	5.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	1000l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
3차년도		인공노상구조체 시제품 개발 -도로용	①	패널 휨강도	2.0MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	7.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	500l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
4차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 현장 적용 및 보완	인공노상구조체 현장적용	①	설계 및 시공지침	1건	지침서 확인	보고서
			②	유지보수지침	1건	지침서 확인	보고서
			③				

구분	목표		1-3세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원		1				1
		등록			1			1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수			1	1	1		3
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급		1	1			2
		비SCI급	1	1		1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1		1		2
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수					1		1
	국내학협회지기술기사				1			1
	자문회의개최			1		1		2
	전문인력양성실적							
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 1-4세세부 과제

연도	성과목표	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 기초기술 개발	인공노상구조체 요소기술개발	①	패널 휨강도	1.0MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	5.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	500l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
2차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 핵심요소기술 개발	인공노상구조체 시제품 개발 - 주차장용	①	패널 휨강도	1.5MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	5.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	1000l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
3차년도		인공노상구조체 시제품 개발 -도로용	①	패널 휨강도	2.0MPa	휨강도 실험결과	보고서
			②	지지력	7.0kg/cm ³	지지력 실험결과	보고서
			③	저류용량	500l/m ²	저류용량 실험결과	보고서
4차년도	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 현장 적용 및 보완	인공노상구조체 현장적용	①	설계 및 시공지침	1건	지침서 확인	보고서
			②	유지보수지침	1건	지침서 확인	보고서
			③				

구분	목표		1-3세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원		1				1
		등록			1			1
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수			1	1	1		3
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급		1	1			2
		비SCI급	1	1		1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1		1		2
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수					1		1
	국내학협회지기술기사				1			1
	자문회의개최			1		1		2
	전문인력양성실적							
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 1-5세세부 과제

연도	성과목표 (1-5세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
3차년도	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 제도 법적 개념 정립	제도 법적 개념 정립 보고서	①	법제도 조사/필요성 도출	1건	보고서	보고서 확인
			②	국내외 적용 사례 분석	1건	보고서	보고서 확인
			③	제도 법적 논리 개발	1건	보고서	보고서 확인
4차년도	도로침수 및 붕괴 예방기술 활용의 법제도 근거 및 논리 개발	도로침수 대응 도로포장 시스템 인증 제도 개발	①	도로포장 침수 평가 분석	1건	보고서	보고서 확인
			②	포장 시스템종류별 성능비교분석	1건	보고서	보고서 확인
5차년도	도로정비 제도 개선(안) 마련	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개정(안)	①	적용 공법에 따른 경제성 분석	1건	보고서	보고서 확인
			②	제도 법적 지침서(안)	1건	지침서(안)	지침서(안)

구분	목표		1-5세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원						
		등록						
	소프트웨어 등록건수							
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수							
	국내외 학술지	SCI급						
	게재논문 건수	비SCI급				1	1	2
	정책 제안 및	제안				1	1	2
	채택건수	채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수					1	1	2
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수							
	국내학협회지기술기사					1	1	2
	자문회의개최				2	2	2	6
	전문인력양성실적					1	1	2
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 2-1세세부 과제

연도	성과목표 (2-1세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	도로붕괴 위험도 탐지 및 평가를 위한 기초 요소기술 개발	도로포장 하부 상태 탐지 알고리즘	①	알고리즘	1건	개발여부	보고서
			②	특허출원	1건	출원여부	출원증
2차년도	도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴시험 자동화 탐지 기술 개발	도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴시험 자동화 탐지 알고리즘	①	알고리즘	1건	개발여부	보고서
			②	특허출원	1건	출원여부	출원증
			③	SCI급 논문	1건	게제여부	게제논문
3차년도		도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴시험법 자동화 탐지 소프트웨어	①	소프트웨어	1건	등록여부	등록증
			②	SCI급 논문	1건	게제여부	게제논문
4차년도	도로붕괴 위험도 평가 및 보수보강 결정기술 개발	도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산정 알고리즘	①	알고리즘	1건	개발여부	보고서
			②	특허출원	1건	출원여부	출원증
			③	SCI급 논문	1건	게제여부	게제논문
5차년도	도로붕괴 예방통합시스템 개발	도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼	①	시스템	1건	시스템 개발여부	보고서
			②	매뉴얼	1건	매뉴얼 작성여부	보고서

구분	목표		2-1세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원	1	1		1		3
		등록			1	1	1	3
	소프트웨어 등록건수				1	1		2
	시제품 출시(제작)·현장시험 건수				1	1	1	3
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급		1	1	1		3
		비SCI급	1	1	1	2	2	7
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수		1	1	2	2	1	7
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수				1	1		2
	국내학협회지기술기사							
	자문회의개최		2	2	2	2	2	10
	전문인력양성실적							
	연구개발 관련 홍보			1		1	1	5
	기타신규목표							

○ 2-2세세부 과제

연도	성과목표 (2-2세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	노면상태 측정시스템 기초기술 개발	노면상태 측정 시스템 요소기술개발	①	노면 파손상태 측정	80%	실내시험결과	보고서
			②	노면 프로파일 측정	90%	실내시험결과	보고서
			③	안정도 평가분석	비교분석표	보고서확인	보고서
2차년도	노면상태 측정시스템 자가이동식 적용 및 분석기술 개발	자가이동식 노면상태 측정장비 시제품 개발	①	자가이동식 시제품	1건	시제품 확인	보고서
			②	평탄성관리 기준식	1건	보고서 확인	보고서
			③	이미지 분석 프로그램	1건	보고서 확인	보고서
3차년도	자가이동식 측정시스템 현장적용 및 보완과 탐재형 통합시스템 구축	개선형 시제품 및 탐재형 통합시스템 개발	①	개선형 자가이동식 시제품	1건	시제품 확인	보고서
			②	탐재형 통합시스템	1건	보고서확인	보고서
			③	노면상태 분석 프로그램	1건	S/W 등록	S/W 등록증
4차년도	노면상태 측정시스템 탐재형 적용 및 분석기술 개발	탐재형 차선 노면상태 측정장비 시제품 개발	①	탐재형 시제품	1건	시제품 확인	보고서
			②	도로 평가지수	1건	보고서 확인	보고서

구분	목표		2-2세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원		1				1
		등록			1			1
	소프트웨어 등록건수					1		
	시제품 출시(제작)			1	1			2
	현장시험 건수					1		1
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급			1			1
		비SCI급	1	1		1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1		1		2
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수					1		1
	국내학협회지기술기사				1			1
	자문회의개최			1	1	1		3
	전문인력양성실적							
	연구개발 관련 홍보					1		1

○ 2-3세세부 과제

연도	성과목표 (2-3세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
2차년도	스마트센서 노드개발	USN기반 도로 거동 모니터링용 스마트 센서 노드 개발	①	전력소모량	< 100mW	1시간 구동시 전력측정	공인시험
			②	계측정밀도	< 0.1%	레퍼런스와의 비교 실험	공인시험
			③	통신거리	100m	통신거리시험	자체
3차년도	LTE 게이트웨이	도로 거동 모니터링용 게이트 웨이 개발	①	LTE망 연계 유무	연계	기간망 연계시험	자체
			②	센서노드 데이터 수신율	> 99%	시험 데이터 전송시험	자체
			③	데이터 전송 성공율	> 99%	시험 데이터 전송시험	자체
4차년도	웹기반 실시간 모니터링 시스템	스마트 센서 설치 치구, 데이터 전송 네트워크, 웹기반 모니터링 시스템	①	실시간 모니터링 구축	구축유무	동작확인	자체
			②	이력 데이터 조회	구축유무	동작확인	자체
			③	설치 편리성	유	동작확인	자체
5차년도	모바일 기반 모니터링 시스템	모바일 단말기 기반 모니터링, 붕괴 예측 및 대응 시스템	①	실시간 모니터링 구축	구축유무	동작확인	자체
			②	이력 데이터 조회	구축유무	동작확인	자체
			③	사용 편리성	유	동작확인	자체

구분	목표		2-3세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원		1		1		2
		등록					1	1
	소프트웨어 등록건수					1	1	2
	시제품 출시(제작), 현장시험 건수			1	1	1	1	4
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급			1	1	1	3
		비SCI급		1	1	1		3
	정책 제안 및 채택건수	제안						
		채택						
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			2	3	3	3	11
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화, 제품화 건수					1	1	2
	국내학협회지기술기사							
	자문회의개최							
	전문인력양성실적			2	2	4	6	14
	연구개발 관련 홍보							
	기타신규목표							

○ 2-4세세부 과제

연도	성과목표 (2-4세세부)	세부산출물 (성능목표)	성과검증 기준				
			성과지표		목표치	측정방법	검증방법
1차년도	굴착복구 보수보강 기초기술 개발	도로개착시 침하 및 붕괴방지 설계 요소기술 개발	①	도로굴착모형시험/해석	1건	시험/해석결과	보고서
			②	다짐도 기준수립 시험	1건	시험결과	보고서
			③	보강/뒷채움재료평가시험	1건	시험결과	보고서
2차년도	굴착복구 보수보강 핵심요소기술 개발	도로개착복구 재포장설계 및 침하방지기술 핵심개발	①	침하복원재료개발 시험	1건	시험결과	보고서
			②	동공보강재료개발 시험	1건	시험결과	보고서
			③	지중관상호거동해석	1건	해석결과	보고서
3차년도	도로침하 및 붕괴최소화를 위한 매설관 교체공법 기술개발	GIS/GPS기반 지향형 관로교체핵심 기술개발	①	지중매설관 모형추진시험	1건	시험결과	보고서
			②	GIS/GPS 적용기술	1건	운용결과	보고서
			③	동공/침하방지설계기술	1건	기준수립 확인	보고서
4차년도	-도로침하 및 붕괴방지 관로추진공법 현장적용 및 보완	GIS/GPS기반 지향형 매설관 교체기술	①	매설관 설계 및 시공지침	1건	지침서 확인	보고서
			②	노후관 교체시공지침	1건	지침서 확인	보고서
			③	관매설 해석프로그램	1건	프로그램 확인	프로그램
5차년도	- 굴착복구기술 현장적용 및 보완	굴착복구 현장적용	①	굴착복구 설계 시공지침	1건	지침서 확인	보고서
		굴착후 재포장 기준 현장적용	②	굴착하부 강성평가 지침	1건	지침서 확인	보고서
			③	재포장단면 설계시공지침	1건	지침서 확인	보고서

구분	목표		2-4세세부					
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
사업연계지표	특허출원/등록	출원			1		1	2
		등록						
	소프트웨어 등록건수					1		1
	시제품 출시(제작).현장시험 건수					1		
	국내외 학술지 게재논문 건수	SCI급				1	1	2
		비SCI급	1	2	3	3	2	
	정책 제안 및 채택건수	제안			2	2	1	5
		채택					5	5
기타지표	신기술 지정 건수							
	국내외 학술회의 발표 건수			1	2	2	2	7
	기술료 징수금액							
	기술실시계약 건수							
	현장적용에 따른 비용절감 건수							
	사업화·제품화 건수				1		1	2
	국내학협회지기술기사				1		1	2
	자문회의개최		2	1	2	1	1	7
	전문인력양성실적		2	2	2	2	2	10
	연구개발 관련 홍보			1	1	1	1	4
	기타신규목표							

7절. 성과의 적용 및 실용화방안

본 연구를 통하여 개발되는 도로침수 대응 및 도로붕괴 예방형 도로포장하부 기술을 통하여 다음과 같은 분야에 적용할 수 있다.

도로침수 대응을 위한 빗물 투과 및 저류형 도로포장 기술

- 도심지 불투수 면적을 축소하기 위하여 주차장 및 아파트 단지도로, 공원도로, 이면도로 등에 적용
- 도심 노후포장 리모델링 사업 및 상하수도관 교체 사업과 연계하여 상습 침수지역에 적용하여 도로 침수 예방



도로붕괴 예방을 위한 도로하부 탐지 및 보수보강 기술

- 도심지 도로의 붕괴 위험도 예측 및 예방을 위한 유지관리업무 적용 (기존 PMS 시스템과 연동)
- 붕괴발생시 응급복구 기술로 적용
- 재해위험지역의 방재시설 설계 및 시공에 적용



본 연구를 통하여 개발되는 도로침수 대응 및 도로붕괴 예방형 도로포장하부 기술의 주요 최종수요처 및 실용화 방안은 다음과 같다.

- 1세부 과제 최종수요처 및 실용화 방안

구분	과제명	최종 성과물	최종수요처	실용화 방안
1세부	도로침수 대응을 위한 도로포장 시스템 기술 개발			
1-1	빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발	• 빗물 투과/저류형 도로시스템 수문학적 효과 분석시스템 • GIS 기반 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 공간배치 평가시스템 • GIS 기반 도로 침수 최소화 소프트웨어 • 도로시스템 설계 또는 시공성을 고려한 경제적 최적화 평가기법	• 국토해양부 • 광역단위지자체 • 한국도로공사, LH공사 • 도로 설계 및 시공사	• 기술 개발을 통해 도출된 연구 성과를 기초로 빗물 도로시스템에 수문학적 효과를 분석 및 평가하여 향후 도심지 도로 및 하수관거 정비 사업에 활용함 • 빗물 투과형 도로 기술을 기존의 빗물 배수형 도로포장 시스템과 연계하여 빗물의 원활한 배수를 통한 교통사고 방지 및 소음저감형 도로포장 기술로 확대 적용함 • 빗물 투수 및 저류형 도로의 설계 및 시공 기술을 도로관리 및 관련 기관(업체)에 기술을 이전하여 기술을 전파함 • 새롭게 제안하는 법과 제도를 통하여 지자체에서의 현장 적용성을 향상시킴
1-2	도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술개발	• 투수 영향이 고려된 노상 지지력 예측 기술 • 도로침수시 보조기층 및 노상의 지지력 저감 평가 기술 • 노상 보강용 재료의 공용성 향상 기술 • Pilot 모형 개발 및 성능 시험을 통한 지지력 보강 기술		
1-3	빗물 저류형 인공노상구조체 적용 기술 개발	• 빗물 저류형 인공노상구조체 재료 및 구조 설계 • 물리 역학적 성능 평가 시험을 통한 품질기준(안) • 도로등급별 조립식 인공노상구조체 설계 기준(안) • 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계, 시공, 및 품질기준 개발 및 유지관리/시방서		
1-4	빗물 투과/저류형 도로포장	• 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계요소 분석 및 기준(안)		

	시스템의 설계 및 시공기술 개발	• 빗물 투과/저류형 도로포장의 재료품질 기준(안) • 빗물 투과/저류형 도로포장의 구조설계 잠정지침(안) • 빗물 투과/저류형 도로포장의 시공 및 유지관리 지침		
1-5	도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선	• 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 지침(안) • 도로침수 대응 도로포장 시스템 인증체계 • 도로붕괴 예방 도로포장하부 시스템 인증체계		

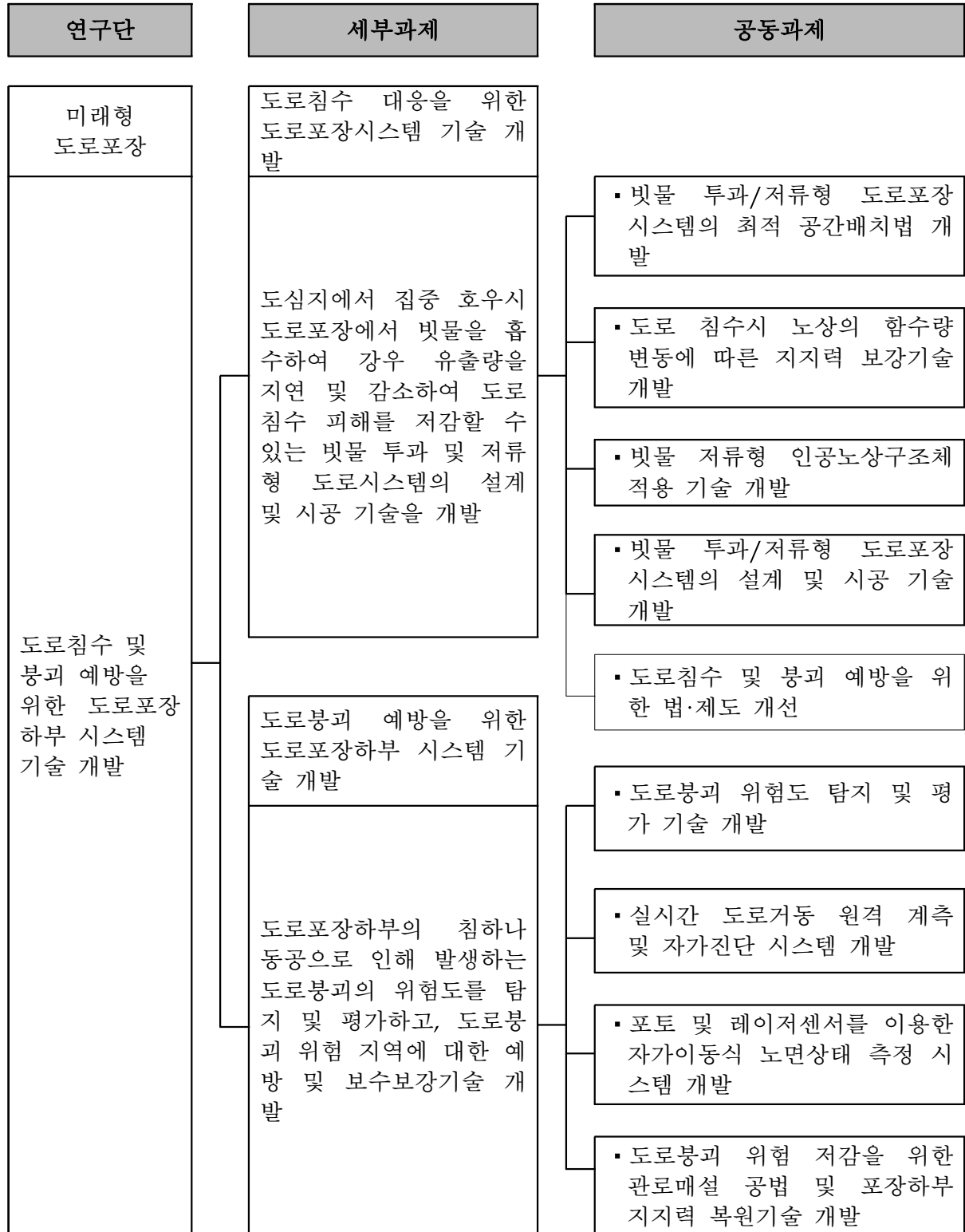
- 2세부 과제 최종수요처 및 실용화 방안

구분	과제명	최종 성과물	최종수요처	실용화 방안
2세부	도로붕괴 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발			
2-1	도로붕괴 위험도 탐지시스템 개발	• 도로포장 하부 상태 평가 알고리즘 • 도로붕괴 위험도 산정을 위한 비파괴시험 자동화 탐지 S/W • 도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산정 알고리즘 • 도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼	• 국토해양부 • 광역단위 지자체 • 한국도로공사, LH공사 • 도로 설계 및 시공사 • 도로 및 지반 계측 및 안전평가관련 업체	• 도로 붕괴 탐지 및 경보 시스템 기술을 각 지자체에 확대 적용하지 도로붕괴로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화함 • 공동탐지기법 및 붕괴예측기술을 도로뿐만이 아니라 터널, 교량, 공항 등 주요 도로교통 시설물의 안전도 평가에 활용 • 실시간 도로거동 기술을 사면안정성 평가 모니터링 기술에 활용하여 돌발적 산사태 경보시스템에 적용
2-2	포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발	• 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 • 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 • 이미지 센서를 이용한 노면 상태 측정 장비 • 아스팔트도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석 프로그램 • 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템		

2-3	실시간 도로거동 계측 및 자가진단 기법 개발	• 도로 하부 거동 상시 계측 시스템 • 도심지 공사용 도로 하부 거동 계측 시스템 • 실시간 도로 거동분석 및 자가진단 시스템 • 돌발성 붕괴 예측 및 대응 시스템		• 도로붕괴탐지 시스템을 국제표준화하여 해외 시장 진출 • 붕괴저감형 굴착복구기술 및 지지력 보강기술을 도로 및 건물 기초분야에 활용
2-4	도로굴착 근접지 도로붕괴 위험구간 복구 및 지지력확보 기술개발	• 굴착복구로 인한 도로붕괴 보수보강 기술 • 관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 • 도로포장 하부 손상복구 및 예방기술 • 굴착복구 하부다짐관리 지침		

8절. 연구수행체계 제안

○ 연구추진체계는 1개의 연구단, 2개의 세부과제, 8개의 세세부과제로 구성하였음



4장. 사전타당성 검토

1절. 분석의 틀

- 기술적·정책적·경제적 타당성 조사 항목은 KDI 및 KISTEP의 대형R&D사업의 예비타당성조사 보고서의 조사항목을 기준으로 설정되었음

표 4.1 사전타당성 분석의 틀

대분류	중분류	소분류
기술적 타당성	기술개발 계획의 적절성	사업목표와 내용의 구체성
		사업추진전략의 적절성
		기술개발로드맵의 우수성
	기술수준 및 성공가능성	기술수준 및 역량분석
		기술개발의 성공가능성
	기존사업과의 중복성	기존사업과의 중복성
정책적 타당성	국가전략적 중요성	국가전략적 중요성
	상위계획과의 부합성	정책적 일관성
	사업추진의지와 관련 기관협조체계	정책적 추진의지분석
	사업추진상의 위험요인 및 대응방안	사업추진상의 위험요인 및 대응방안
경제적 타당성	경제성	경제성 분석
	과학기술적 파급효과	과학기술적 및 기타 파급효과 분석
	예산 및 인력투입의 적정성	예산의 적정성분석
		인력투입의 적정성분석

2절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 본 사업의 목표와 내용의 적절성

(1) 본 사업의 목표의 구체성 분석

(가) 본 사업의 총괄목표는 정량적이며 구체적으로 설정되어 있음

○ 비전인 ‘재해예방형 지속가능한 도로포장하부 시스템을 구축하여 보편적 사회복지에 공헌을 실현’ 달성을 위해 총괄목표를 구체적으로 제시함

- 연구목표를 “도심홍수피해를 저감하기 위한 빗물 흡수 및 저류형 도로포장하부 시스템의 설계 및 시공기술 개발”, “도로침하 및 붕괴를 예방하여 주행안전성을 확보하기 위한 도로포장하부 시스템의 설계 및 시공기술 개발” 구체적으로 제시함

- 기술적 목표로는 3단계별로 2020년까지 도로침수면적 50% 저감 및 도로 붕괴 사고 50% 감소를 목표로 설정함

○ 총괄목표 달성을 위해 기술적으로 해결해야하는 문제를 구체적으로 제시하고 있음

- 기술개발이 필요한 문제를 미션으로 정의하고 있으며, 정의된 미션은 ‘재해재난 저감형 인간중심 도로포장 시스템 개발’로 설정함

○ 세부과제별 목표를 정성/정량적으로 제시하고 있으며, 총괄목표 달성을 위한 세부과제 목표의 배분이 이루어져 있어 세부과제 목표 설정이 적절하다고 판단됨

- 1세부과제 목표는 강우유출시간 1시간 30분 지체, 침투유출량 50% 감소, 도심지 수자원 재활용을 증가(20%), 도로수명 증가(30%), 지속가능/녹색 도로 기술의 구현으로 설정함

- 2세부과제의 목표를 도로붕괴율 50% 저감, 도로수명 증가(30%), 지속가능/녹색도로 기술의 구현, 예측가능한 지속형 도로교통 관리시스템 운영, 도로·근접시설물·교통운영 통합 관리기술 수준을 선진국 수준으로 발전으로 설정함

(나) 세부과제 목표와 대표성과를 단계별로 세분화하여 제시하고 있으며 단계별로 기술개발을 통해 달성해야하는 목표를 구체적으로 제시하였음

(다) 세부과제별로 설정된 목표는 재난 종류별로 도로에 피해를 주는 주요한 요인과 현재의 대응 기술수준을 기초로 설정되어 있어 타당성이 높음

- 세부과제별 동향 및 환경분석을 통한 현재 기술수준 분석을 기초로 정량적 목표 수준을 설정하여 기술개발 목표 설정 근거의 타당성이 높은 것으로 판단됨

(2) 사업 내용의 논리성 및 적절성

(가) 세부과제의 구성기술은 논리적으로 타당한 절차를 통하여 도출되었음

- 전문가 기술수요조사 통하여 기획과제의 기술개발아이템에 대한 다양한 의견을 수렴하여 세부과제 및 구성기술을 도출하였음
 - 총 43개의 기술수요조사를 바탕으로 후보과제를 도출하고 내외부 전문가 및 담당부처 관계자들의 의견 수렴을 통하여 세세부과제를 도출하였음
- 후보과제 도출, 중복성 검토, 우선순위 도출 등의 기획프로세스를 적용하여 세부과제 및 구성기술을 설정하여 절차의 타당성이 높음
 - 국내외 동향조사, 기술수요조사, 이슈트리 및 SWOT분석 등 전문가 의견 수렴을 통하여 비전 및 목표를 설정하고 최종 기술개발 아이টে을 선정함

나. 추진전략의 적절성

(1) 사업추진 위험요소와 공헌요소를 고려한 추진전략의 적절성

(가) 추진전략은 이슈트리, SWOT분석을 통하여 사업관련 불확실성 및 위험성 검토를 기반으로 기술개발 추진전략을 수립함

- 기획연구보고서 작성 시, 본 사업 관련 사회, 과학기술, 경제, 환경, 정책관련 동향 분석을 기초로 거시적인 추진전략을 수립하고 연구개발 주체별 참여기준, 역할모델을 정립함
 - 대표적인 공공재인 도로교통분야의 특성을 고려하여 도로교통분야에 풍부한 연구경험과 역량을 갖춘 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발주체로 설정함
 - 대학 및 연구기관의 경우 관련 논문 및 특허 성과, 기술개발전략 수립 경험, 관련 지침 연구 능력을 기준으로 선정하였음
 - 기술개발업체의 경우, 기업 내 연구부서의 유무를 참여기준으로 적용함
 - 도로관리 주체인 국가 방재 담당기관의 현장 적용 가능성 평가의 중요성을 인식하고 국토해양부, 행정안전부, 소방방재청, 한국도로공사, 지자체 및 민자고속도로 운영기관과의 전략적 관계설정을 고려함
 - 해외의 관련 기관과의 협조/협약 체결, 기술자문 계획을 수립함

(2) 추진체계 및 절차의 적절성

(가) 추진체계는 향후 추진될 기술개발의 이해관계자를 고려하여 구체적으로 설정할 예정임

- 기술개발의 추진형태는 연구단으로 설정하고 있으며, 효율적 연구추진을 위하여 연구단 차원에서의 국내외 학회 및 자문그룹과, 정부지자체 관련 자문그룹과의 협력체계를 제안함
- 세부과제별 기술위원회를 구성하여 기술개발 과정, 결과를 검증하고자 함

(나) 연구개발 수행주체 선정 기준을 구체적으로 제시할 예정임

- 선정평가 시 선정기준을 연구개발목표, 연구개발내용, 추진전략 및 계획, 개발기술의 실용성 및 경제성, 연구책임자의 전문성으로 구분하여 선정기준별 세부항목과 배점을 설정하여 선정평가의 적절성을 높일 계획임

(다) 세부과제별 관련 부처 및 유관기관과의 협력방안을 구체적으로 제시하여 기술개발 시 효율성을 높일 계획임

- 기술경쟁력분석을 통하여 과제관련 국내외 기술인프라 현황과 관련 연구개발과제 수행현황을 조사할 계획임
- 국내외 기술인프라 현황 및 연구개발 수행현황을 기반으로 과제와 관련하여 역량을 보유한 기관과의 협력 및 차별화 방안을 모색함

(3) 성과 평가 및 관리체계의 적절성

(가) 성과의 활용방안을 구체적으로 제시하여 기술개발 이후, 기술의 전파에 긍정적 영향을 줄 수 있을 것으로 판단됨

- 세부과제의 구성기술별로 최종성과물을 정의하고, 최종수요처, 활용방안을 구체적으로 제시하고 있음

(나) 구성기술별로 성과목표를 설정함

- 본 사업의 성과목표는 세부과제별로 학술적 성과, 특허성과, 소프트웨어, 시제품, 매뉴얼, 시방서 등으로 설정함
- 세부과제별로 성과목표를 정량적으로 설정하였으나, 성과측정 방법, 목표치 설정근거를 제시하여 성과측정의 구체성을 보완하는 것이 필요함

다. 기술개발로드맵의 우수성

(1) 연구개발계획의 완성도

(가) 기술개발로드맵은 구성기술의 기술적 연계관계를 도식화하여 표현하여 구체성이 높음

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준 및 역량 분석

(1) 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

(가) 국내외 관련 기술의 동향 분석을 통하여 기술개발 현황에 대한 상세 분석이 적절히 수행되었음

- 특허분석은 국내외 출원현황, 기술시장 성장단계, 출원인 분석을 수행함
 - 전반적으로 출원건수 및 출원인 수가 증가하는 추세로 본 사업의 관련 연구가 활발히 진행되고 있는 것으로 분석됨
- 국내외 논문분석, 관련기술 적용 현황을 조사하여 본 연구의 기술현황 및 수준을 파악하였음
- 본 기술은 국내에 적용된 사례가 없으므로 정량적 기술수준을 파악하기 어렵기 때문에 관련 전문가 설문을 통한 기술수준 조사를 본 사업을 수행하는 기관에서 실시하는 것이 필요함

(2) 기술개발 역량 및 잠재력

(가) 기술개발 인프라에 대한 분석을 충실히 수행한 것으로 판단됨

- 국내 유관 연구기관, 대학, 기업체 전문가 및 주요 연구분야와 기관별 보유 실험장비에 대한 조사분석을 통해 협력방안을 모색함
- 해외 관련 연구기관의 전문가와 전문분야 연구인력을 조사하여 대외협력을 위한 기초자료로 제공함
- 해외 대비 국내 기술 인프라 수준을 전문인력, 기자재, 산학연 공동연구기반, 기술이전 및 거래, 국제기술협력기반, 업계현황 관점에서 분석하였음
 - 해외 선진국 대비 6개 항목에 대하여 기술수준을 분석한 결과 전반적으로 인프라 현황이 부족한 것으로 분석되었음
 - 본 사업 수행시 인력, 장비 등은 다소 부족한 것으로 조사되어 본 사업 수행시 위험요인으로 작용하지는 않을 것으로 판단됨

(나) 국내 전문가에 대한 조사는 수행과제 및 기술개발현황 조사를 수행하여 심도 있는 분석이 진행된 것으로 판단됨

- 국내전문가에 대한 조사는 기술분야, 전문가명, 소속기관, 기술개발현황을 조사하여 향후 기술개발추진 시, 협력방안 모색에 활용도가 높을 것으로 판단됨

나. 기술개발의 성공가능성

(1) 기술적 위험요인

- 본 사업의 국내외 동향 및 환경분석을 통하여 기술개발전략을 수립하는 등 기술적 위험요인을 사전에 분석하고, 이에 대응하기 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발 성공가능성이 높은 것으로 판단됨
- 기술적 위험요인을 대응하기 위한 연구개발추진전략을 기술 수요처와의 유기적 협조체계 구축, 실용화 촉진 방안 수립, 분야별 전문가 네트워크 활용 등에 대한 제안 할 예정임

3. 기존 사업과의 중복성

- 기획과정과 내·외부 전문가 검토를 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하여 기존연구와 중복성을 최소화한 것으로 분석됨
 - 본 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음
 - 각 단계별로 전문가 워크숍을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 착수보고 및 2차회의 평가위원회 검토시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음

3절. 정책적 타당성

1. 국가전략적 중요성

가. 국가전략적 중요성

(1) 정부 지원을 통한 사업추진이 시급한 기술개발분야임

(가) 침수 피해로 인해 사망 및 부상으로 인한 인명 피해뿐만 아니라 피해액이 크게 늘어나고 있음

(나) 국민 삶의 질을 책임지고 있는 도시 기반시설의 역량강화 정책은 미미한 실정임

○ 도로 침수로 인한 재해대응 기능 강화와 도로시설의 공공적인 성격으로 인하여 정부의 적극적인 연구개발 추진이 필요한 실정임

(다) 급격한 기후변화로 인하여 집중호우가 발생하고 있으며 이에 따른 도로침수 및 포장파손으로 인한 피해액은 매우 큰 상황임

○ 도로의 불투수 표면의 증가와 배수시설의 부족으로 도심지형 홍수피해가 증가하고 있으며 홍수피해로 인한 인명 및 재산 피해를 줄이기 위한 정부의 연구개발 지원의 필요한 상황임

2. 상위계획과의 부합성

가. 정책적 일관성 분석

(1) 상위 유관계획과의 부합성

(가) 녹색성장 10대 정책과제와의 부합

- 녹색 성장 10대 정책과제 중 효율 온실가스 감축과 기후변화 적응 역량 강화는 다음과 같은 이유로 본 연구와 부합함
 - 하부구조 안정성 확보 불량 시 도로상부의 평탄성이 급격하게 나빠져 자동차들의 연료 소비 증가로 인한 CO2 발생증가 및 에너지소비 증가
 - 유지보수에 따른 장비·재료 투입에 따라 CO2 발생 증가
- 기후변화 적응역량 강화라는 녹색정책에 부합
 - 지구 온난화 현상으로 인한 지구의 기온상승은 기상이변 현상을 야기하고 집중호우, 돌발홍수 등을 야기함
 - 집중호우로 인해 도로가 침수됨에 따라 교통두절, 차량파손, 인접 가옥 침수피해 유발, 도로 하부의 토사 유출 등 하부도로 포장체가 용기되거나, 파괴됨

(나) 녹색성장 국토해양 비전과의 부합

- 녹색성장 10대 녹색 성장 정책과제 중 저탄소 녹색 국토·도시 공간 조성, 저탄소 교통·물류체계 구축, 수자원분야 기후변화 적응역량 강화는 다음과 같은 이유로 본 연구와 부합함
 - 저탄소 녹색 국토·도시 공간 조성과 부합
 - : 하부구조 안정성 확보 불량 시 도로상부의 평탄성이 급격하게 나빠져 자동차들의 연료 소비 증가로 인한 CO2 발생증가 및 에너지 소비 증가와 유지보수에 따른 재료 투입에 따라 CO2 발생 증가
 - 저탄소 교통·물류체계 구축과 부합
 - : 자전거도로망 구축이 되어야하며, 자전거전용도로 특성상 강변·하천 주변 포장이므로, 포장하부의 포화에 따른 지지력 감소 예상
 - : 본 연구의 포장하부의 지하수위 변화에 따른 포장하부구조 지지력 확보기술 개발로 도로의 안정성 및 평탄성 확보로 고성능 하부시스템 구축으로 인한 도로포장의 고성능화
 - 수자원 분야 기후변화 적응역량 강화와 부합
 - : 지구 온난화 현상으로 인한 지구의 기온상승은 기상이변 현상을 야기

하며 집중호우, 돌발홍수 등을 발생하여 집중호우로 인해 도로가 침수됨에 따라 도로 하부의 토사 유출 등 하부도로 포장체가 융기되거나, 파괴

3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

가. 정책적 추진의지 분석

- (1) 본 기획연구는 국토해양부의 건설교통R&D중장기계획에 따라 전략적으로 추진되며, 사전에 추진된 관련 사업의 연장선상에 있는 부분으로 국토해양부의 정책적 추진의지를 반영하고 있음
- (가) 국토해양부는 “국토해양 R&D 발전전략”을 통하여 기술수준 향상, 사회/경제적 비용 저감, 사회 환경개선 등의 성과를 창출하여 글로벌 5대 녹색강국으로 도약하고자 함



그림 4.4 국토해양 R&D 발전전략의 비전 목표 및 추진전략

- 국토해양부 R&D 사업체계를 미래중점분야 육성 등의 방향으로 사업체계를 23개에서 19개 사업으로 개편하고 녹색·공공, 기초·원천기술 투자를 확대함
- 본 기획 연구는 녹색/공공분야의 기술 투자를 확대할 예정임에 따라 국토부의 사업 추진의지는 매우 높을 것으로 판단되며, 공공기여를 고려하면 국토부의 적극적인 지원이 수행될 것으로 예상됨
- 국토해양부는 R&D를 통한 기대효과로 사회적 비용절감효과와 녹색산업 성장을 예상하고 있으며, 본 기획 연구의 추진으로 도로 기반시설 분야의 사회적 비용절감효과가 예상됨

4절. 경제적 타당성

1. 경제성

가. 예산의 적정성 분석

(1) 예산규모의 적정성 분석

(가) 총사업비, 세부 사업/과제별 사업비의 적정성을 분석

- 본 기획연구에서 제안하고 있는 총사업비는 155억원(정부출연금 117억), 세세부과제당 연구비는 17억원으로 총사업비 및 세부과제별 사업비는 유사 연구단에 비하여 낮은 수준임
- 총사업비 대비 민간매칭 펀드의 비중이 높은 편이며, 본 기획연구의 대상과제의 기술개발 성공 시 막대한 공공적인 경제적 비용 절감 효과를 고려할 경우 정부의 적극적인 예산 지원이 필요할 것으로 판단됨

연구단명	연구비	연구기간	세부과제수	세세부과제수
탄소중립형 도로 연구단	280억원	5년	2개	9개
본 기획 연구	155억원	5년	2개	9개

(2) 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- (가) 세부과제별 기획위원회를 구성하여 예산을 산출함
- (나) 최소 연구단위인 구성기술을 수행하는데 소요되는 적정비용을 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정
- (다) 인건비는 '2012년 학술연구용역 인건비기준단가'를 기준으로 작성

- (라) 각 구성기술별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함
 - 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준'을 작성기준으로 활용
- (마) 항목별 예산은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표 2 연구개발비 비목별 계상기준'을 작성기준으로 활용
- (3) 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성
 - (가) 각 세부과제의 구성기술별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하여 제시함
 - (나) 각 세부과제의 공동과제별 인건비, 직·간접비를 연차별로 구분하여 제시함
 - (다) 인건비는 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 감안하여 산정함
 - (라) 직접비는 연구장비, 재료비, 연구활동비, 연구수당으로 구분하여 산정함

나. 비용편익 분석

(1) 분석방법론 개요

(가) 분석방법 : 비용-편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

- B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 1보다 높으면 경제성이 높은 것으로 판단할 수 있음

(나) 분석대상

- 본 연구단을 구성하고 있는 2개 세부과제를 추진하는 데에 소요되는 비용과 이로부터 발생하는 편익을 고려하여 분석함

(다) 혜택범위

- 본 연구단의 기술개발에 의한 편익은 '도로침수로 인한 피해액', '도로유지 보수 시장'을 추정하여 사용함
- 본 연구단의 연구기간을 2013년~2017년으로 가정하고, 실용화 기간을 3~4년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2020년 이후라 볼 수 있음
- $\text{Benefit} = \text{기술개발에 의한 편익(현재가치)} \times \text{시장점유율} \times \text{기술개발성공률} \times \text{부가가치 비중} \times \text{R\&D 기여도} \times \text{기술 기여도}$

(라) Benefit 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 기술개발에 의한 편익, 부가가치비중, 시장점유율, 기술기여도, 기술개발성공률, R&D기여도, 할인율 고려함
 - 기술개발에 의한 편익 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물로 인한 비용절감 및 매출발생 예상액
 - 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되

있으며, 이를 준용하여 적용함

- 기술기여도 : 마케팅/제품/공법에서 기술이 차지하는 비중²⁾
- R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중³⁾
- 할인율 : 할인율은 10년 만기 국고채금리인 4.3%를 적용함

(마) 비용의 설정

- 2개의 세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금의 합한 금액의 현재가치로 산정함

(2) 경제성 분석 결과

(가) 세부과제별로 적용 시장을 구분하여 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 산정하고, 이를 취합하여 연구단 전체 B/C ratio를 산정함

(나) 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 연구단의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 2.47로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨

- 편익 = NPV(기술개발로 인한 편익) × 기술개발성공율(30.0%) × R&D기여도(30.6%) × 기술기여도(29.7%)

2) 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술 자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한바 있음.

3) KISTEP에서 작성된 "09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구"의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 30.6% 적용함

표 67 도로침수 및 붕괴예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발 B/C분석
결과

(단위:억원)

구분	Benefit			Cost
	국내			연구비
내용년수	시장전망	시장점유율	Market Penetration	
2012	-	-	-	-
2013	-	-	-	29.7
2014	-	-	-	33.8
2015	-	-	-	37.1
2016	-	-	-	35.8
2017	-	-	-	19.2
2018	-	-	-	-
2019	-	-	-	-
2020	89,621	5%	4,481	-
2021	100,376	5%	5,019	-
2022	112,421	10%	11,242	-
2023	125,912	10%	12,591	-
2024	141,021	10%	14,102	-
2025	157,943	15%	23,692	-
2026	176,897	15%	26,534	-
2027	198,124	15%	29,719	-
2028	221,899	20%	44,380	-
2029	248,527	20%	49,705	-
NPV	-	-	117,434	155.6
B/C	-	-	-	2.47

2. 과학기술적 및 사회적 파급효과

가. 과학기술적 파급효과 분석

(1) 지적 재산권 및 학술적 성과 및 환경 개선 효과

○ 논문, 특허 등의 과학기술적 성과 공익적 성과가 기대됨

- 본 사업의 성공 시 56건의 논문, 6건의 특허 등의 과학기술적 성과가 기대됨

- 그 이외의 지침, 매뉴얼 등 공익적 성과가 도출될 것으로 기대됨

나. 사회적 파급효과 분석

○ 방재 뿐 아니라 친환경적인 공법의 활용 측면에서 환경보전에 기여하고 지속 가능성과 녹색 성장에 기여함

○ 도로의 경우 비침투 시간의 이동이 증가하는 등 이동패턴의 변화가 도래되고 노년층의 경제활동이 증가가 예상됨

○ 도로에서의 평탄성 확보 기술의 적용은 도로 사고의 위험성이 상대적으로 감소되고 안전한 도로의 기능을 미래에도 계속적으로 제공하게 됨

○ 도시방재 측면의 대응형 도로하부 기술의 적용을 통한 직-간접적인 방재기여로 실질적인 효과 이외에 도로시설의 사회적 인식이 제고됨에 따라 사회기반시설 투자에 따른 긍정적인 효과를 증진시킴

○ 도로 침수로 인한 연간 직접피해 1150억 원(2011년 기준)중 상당 부분을 재해저감 차원에서 절감할 수 있어 도로의 평균 공용기간 10년을 기준으로 가정한다면 약 1조원 정도의 예산 절감 효과가 기대됨

○ 빗물 침투와 같은 기능적이고 내구적인 시스템 개발이나 관련 인공 재료의 개발이 가능함에 따라 다기능적인 도로기술의 확보가 가능함

○ 환경 적응형 도로하부기술 개발로 신항시장에서의 건설 수주에 기여하고, 또한 개도국의 경우 국제기술협력과 지원을 통하여 현지 적용 가능한 우리 기술의 전수와 인력 교육으로 장기적인 시장의 확보가 용이하여 장기적인 관점에서 경제적인 성과가 크게 기대됨

5절. 종합분석

1. 기술적 타당성 분석

가. 기술적 타당성 분석에서의 주요 쟁점은 1. 기술개발 계획의 적절성 2. 기술수준 및 성공가능성 3. 기존사업과의 중복성 이며, 이에 대한 최종 검토의견은 다음과 같음

(1) 기술개발 계획의 경우 사업 목표와 내용이 구체적이고 사업추진전략이 적절하게 도출되었으며, 기술개발로드맵이 완성도 있게 작성되었음

○ 비전 및 목표가 구체적으로 제시하고 설정근거를 타당하게 제시하였으며 연구개발과제의 도출 프로세스와 세부과제의 개념, 범위, 연계관계에 대해 구체적으로 서술하였음

○ 본 사업은 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단되며 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술하였으나, 추후 성과관리체계의 효과적인 방안을 검토하는 것이 필요함

○ 기술개발로드맵은 각 세부기술의 구성기술 수준에서 상세히 작성되었고 세부과제에서 구성기술간 선후관계가 명확하게 드러나도록 작성됨

(2) 기술수준 및 성공가능성의 경우 국내외 논문, 특허, 시장, 기술동향 및 인프라 분석을 통해 구체적인 분석이 이루어 졌음

○ 보유기술수준, 기술개발 역량 및 잠재력 등을 동향분석 및 기술수준조사를 통해 수행하였으며 국내외 선진국 수준을 비교분석 하였음

○ 본 사업 수행 중 나타날 수 있는 기술적 위험요인에 대해 세부과제별로 서술하였으나 추후 기술개발 성공가능성 및 시장 경쟁력 측면에서의 성공가능성에 대한 구체적인 논의가 필요할 것으로 판단됨

(3) 기존사업과의 중복성의 경우 각 세부과제별 유사과제에 대해 연계가능성 및 고도화 방안을 통해 차별화 방안을 제시함

2. 정책적 타당성 분석

가. 정책적 타당성 분석에서의 주요 쟁점은 1. 국가전략적 중요성 및 상위계획과의 부합성, 2. 사업추진의지 및 위험요인이며, 이에 대한 최종 검토의견은 다음과 같음

- (1) 국가전략적 중요성 및 상위계획과의 부합성의 경우 산업정책적/국토개발정책적 중요성, 정부지원 타당성 및 관련 국가 상위계획에 대해 타당하게 서술하였음
- (2) 사업추진의지 및 위험요인의 경우 본 사업과 관련한 국토해양부의 관련사업 추진의지에 대해 기술하고 사업추진상의 위험요인과 이에 따른 대응방안에 대해 기술하였음

3. 경제적 타당성 분석

가. 경제적 타당성 분석에서의 주요 쟁점은 1. 경제성 2. 과학기술적 파급효과 이며, 이에 대한 최종 검토의견은 다음과 같음

- (1) 경제성 분석의 경우 비용/혜택 분석(Cost/Benefit Analysis)을 통해 본 사업의 경제적 측면을 긍정적으로 판단함
- (2) 과학적 파급효과의 경우 논문, 특허, 시작품, 관련지침 외에 사회비용 감소, 탄소 저감 및 관련 산업 파급효과가 클 것으로 판단됨
- (3) 연구비의 경우 국토해양부에서 시행하는 유사사업의 연구비와 비교할 때 적정한 것으로 판단되며 세부적인 인력 활용 및 연구비 사용에 대해서는 연구 추진 단계에서 보다 구체화 될 수 있을 것으로 판단됨

5장. 인력투입 및 소요예산 산정

1절. 인력투입계획

1. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

세부과제		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		62	80	90	89	47	367
1세부	1-1	9	10	10	10	0	38
	1-2	9	10	10	10	0	38
	1-3	8	10	10	10	0	38
	1-4	11	13	13	13	13	64
	1-5	0	0	5	5	5	15
	소계	37	41	47	49	18	192
2세부	2-1	11	13	13	13	13	64
	2-2	6	10	10	7	0	32
	2-3	0	6	10	10	6	33
	2-4	8	10	10	10	10	47
	소계	25	38	42	40	29	175

2. 상세 투입연구인력

가. 총 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	12	11	12	12	7	53	
연구원	19	26	31	30	16	122	
연구보조원	15	22	26	26	14	103	
보조원	17	19	21	21	10	89	
합계	62	80	90	89	47	367	

나. 세부과제 투입연구인력

(1) 1세부과제

- 1세부 과제 총괄

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	5	6	6	6	3	26	
연구원	8	14	16	17	6	61	
연구보조원	7	12	14	14	5	52	
보조원	8	10	11	12	4	45	
합계	28	41	47	49	18	183	

- 1-1세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	1	1	1	0	6	
연구원	3	3	3	3	0	12	
연구보조원	2	3	3	3	0	11	
보조원	2	2	2	2	0	9	
합계	9	10	10	10	0	38	

- 1-2세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	1	1	1	0	4	
연구원	3	3	3	3	0	9	
연구보조원	2	3	3	3	0	9	
보조원	2	2	2	2	0	7	
합계	9	10	10	10	0	29	

- 1-3세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	1	1	1	0	6	
연구원	2	3	3	3	0	13	
연구보조원	2	3	3	3	0	11	
보조원	2	2	2	2	0	9	
합계	8	10	10	10	0	38	

- 1-4세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	2	2	2	2	9	
연구원	3	4	5	5	4	21	
연구보조원	3	4	4	4	4	18	
보조원	3	3	3	3	3	15	
합계	11	13	13	13	13	64	

- 1-5세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	0	0	1	1	1	2	
연구원	0	0	2	2	2	5	
연구보조원	0	0	1	1	1	4	
보조원	0	0	1	1	1	3	
합계	0	0	5	5	5	15	

(2) 2세부과제 총괄

- 2세부 과제 총괄

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	5	5	6	5	4	25	
연구원	8	13	15	14	10	59	
연구보조원	6	11	12	12	9	49	
보조원	7	9	10	10	6	42	
합계	25	38	42	40	29	175	

- 2-1세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	2	2	2	2	9	
연구원	3	4	4	5	4	21	
연구보조원	3	4	4	4	4	18	
보조원	3	3	3	3	3	15	
합계	11	13	13	13	13	64	

- 2-2세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	1	1	1	1	0	5	
연구원	2	3	3	2	0	11	
연구보조원	1	3	3	2	0	9	
보조원	2	2	2	2	0	8	
합계	6	10	10	7	0	32	

- 2-3세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	0	1	1	1	1	4	
연구원	0	2	3	3	2	11	
연구보조원	0	2	3	3	2	9	
보조원	0	2	2	2	1	8	
합계	0	6	10	10	6	33	

- 2-4세세부 과제

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2	1	1	1	1	7	
연구원	3	3	3	3	3	16	
연구보조원	2	3	3	3	3	13	
보조원	2	2	2	2	2	11	
합계	8	10	10	10	10	47	

2절. 소요예산 산정

1. 총괄 소요예산

- 본 과제 참여연구원의 인건비 기준단가는 2012년도 회계예규 “예정가격작성기준” 학술연구용역 기준단가를 참고하였음

(단위 : 백만원)

과제	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	2,200	770	2,500	875	2,800	910	2,700	875	1,500	416	10,600	3,216
1세부	1,300	455	1,300	455	1,500	455	1,500	455	600	128	5,500	1,568
1-1	300	105	300	105	300	105	300	105	0	0	1,100	346
1-2	0	0	400	140	300	105	300	105	0	0	1,000	314
1-3	200	70	300	105	300	105	300	105	0	0	1,100	342
1-4	400	140	400	140	400	140	400	140	400	128	1,800	566
1-5	0	0	0	0	200	0	200	0	200	0	600	0
2세부	900	315	1,200	420	1,300	455	1,200	420	900	288	5,100	1,648
2-1	400	140	400	140	400	140	400	140	400	128	1,800	566
2-2	200	70	300	105	300	105	200	70	0	0	900	283
2-3	0	0	200	70	300	105	300	105	200	64	900	283
2-4	300	105	300	105	300	105	300	105	300	96	1,500	516

2. 예산항목별 소요예산

(1) 연구단 총괄

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여 율/100	인원×참여 율/100	인원×참여 율/100	인원×참여 율/100	인원×참여 율/100		
인건비	책임연구원	67,289	236	229	235	233	138	1,071	7%
	연구원	51,596	289	409	475	470	250	1,894	12%
	연구보조원	34,490	207	309	356	356	192	1,421	9%
	보조원	25,869	220	251	278	275	127	1,151	7%
소계			952	1,199	1,344	1,334	707	5,537	36%
직접비	연구장비/재료비		1,149	1,292	1,438	1,318	703	5,900	38%
	연구활동비		305	269	277	273	156	1,280	8%
	연구수당		283	222	245	244	131	1,125	7%
소계			1,738	1,783	1,959	1,836	989	8,305	53%
간접비			279	393	406	404	221	1,704	11%
합계			2,970	3,375	3,710	3,575	1,916	15,546	100%

(2) 세부과제 소요예산

가. 1 세부과제

- 1세부 과제 총괄

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	107	119	123	127	52	529	7%
	연구원	52.8	131	212	251	257	95	946	12%
	연구보조원	34.8	96	161	188	195	73	712	9%
	보조원	26.4	99	132	147	151	48	577	7%
소계			432	623	709	730	269	2763	36%
직접비	연구장비/재료비		523	672	757	721	267	2940	38%
	연구활동비		139	140	146	150	59	633	8%
	연구수당		128	116	129	134	50	557	7%
소계			789	928	1,032	1,004	376	4,129	54%
간접비			127	205	215	221	84	852	11%
합계			1,350	1,755	1,955	1,955	728	7,743	100%

- 1-1세세부과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	32	28	26	27	0	112	7%
	연구원	52.8	39	48	51	53	0	191	12%
	연구보조원	34.8	29	37	39	41	0	146	9%
	보조원	26.4	30	30	30	31	0	122	8%
소계			130	143	147	151	0	571	35%
직접비	연구장비/재료비		157	155	157	149	0	618	38%
	연구활동비		42	32	30	31	0	135	8%
	연구수당		38	27	27	28	0	120	7%
소계			237	214	214	208	0	873	54%
간접비			38	47	44	46	0	176	11%
합계			405	405	405	405	0	1,620	100%

- 1-2세세부과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6		27	25	26	0	78	7%
	연구원	52.8		48	51	53	0	153	12%
	연구보조원	34.8		37	39	41	0	117	9%
	보조원	26.4		30	30	31	0	92	8%
소계				143	146	151	0	440	35%
직접비	연구장비/재료비			155	157	149	0	462	38%
	연구활동비			33	30	31	0	94	8%
	연구수당			27	27	28	0	82	7%
소계				215	214	208	0	637	54%
간접비				47	45	46	0	138	11%
합계				405	405	405	0	12.15	100%

- 1-3세세부과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	33	27	25	26	0	111	7%
	연구원	52.8	38	50	52	54	0	194	12%
	연구보조원	34.8	28	37	39	41	0	145	9%
	보조원	26.4	30	30	30	31	0	122	8%
소계			129	144	147	152	0	572	35%
직접비	연구장비/재료비		156	155	157	149	0	618	38%
	연구활동비		41	33	30	31	0	135	8%
	연구수당		38	27	27	28	0	120	7%
소계			237	214	213	208	0	873	54%
간접비			38	47	45	46	0	176	11%
합계			405	405	405	405	0	1,620	100%

- 1-4세세부과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	43	37	34	35	38	187	7%
	연구원	52.8	53	66	70	71	69	329	12%
	연구보조원	34.8	38	50	52	53	53	245	9%
	보조원	26.4	40	41	41	42	35	198	7%
소계			173	193	196	202	195	959	36%
직접비	연구장비/재료비		209	206	209	199	194	1018	38%
	연구활동비		56	43	40	41	43	222	8%
	연구수당		51	35	35	37	36	194	7%
소계			316	284	285	277	272	1,434	53%
간접비			50	63	59	61	61	295	11%
합계			540	540	540	540	528	2,688	100%

- 1-5세세부과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	0	0	13	13	14	40	7%
	연구원	52.8	0	0	26	26	26	78	13%
	연구보조원	34.8	0	0	19	20	20	59	10%
	보조원	26.4	0	0	15	16	13	44	7%
소계			0	0	73	74	74	221	37%
직접비	연구장비/재료비		0	0	77	74	73	225	37%
	연구활동비		0	0	15	15	16	46	8%
	연구수당		0	0	13	14	14	40	7%
소계			0	0	105	103	103	311	52%
간접비			0	0	22	23	23	68	11%
합계			0	0	200	200	200	600	100%

나. 2 세부과제

- 2세부 과제 총괄

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	96	110	111	106	85	509	7%
	연구원	52.8	119	198	225	213	155	908	12%
	연구보조원	34.8	84	148	168	161	120	681	9%
	보조원	26.4	91	120	131	124	79	545	7%
소계			389	576	635	604	439	2,643	36%
직접비	연구장비/재료비		471	620	680	598	435	2,804	38%
	연구활동비		125	129	131	123	97	605	8%
	연구수당		117	106	116	111	81	530	7%
소계			713	855	927	831	613	3,939	53%
간접비			113	189	192	183	137	814	11%
합계			1,215	1,620	1,755	1,620	1,188	7,398	100%

- 2-1세세부 과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	43	37	34	35	38	187	7%
	연구원	52.8	53	66	69	71	69	328	12%
	연구보조원	34.8	38	50	52	54	53	246	9%
	보조원	26.4	40	40	40	41	35	197	7%
소계			174	193	195	201	195	958	36%
직접비	연구장비/재료비		209	206	209	199	193	1017	38%
	연구활동비		55	43	40	41	43	222	8%
	연구수당		51	35	36	37	36	195	7%
소계			316	285	285	277	272	1,435	53%
간접비			50	63	59	61	61	295	11%
합계			540	540	539	539	529	2,688	100%

- 2-2세세부 과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	21	28	26	18	0	93	7%
	연구원	52.8	26	49	52	35	0	163	12%
	연구보조원	34.8	18	37	39	27	0	121	9%
	보조원	26.4	20	30	30	21	0	101	7%
소계			86	144	147	101	0	477	35%
직접비	연구장비/재료비		105	155	157	100	0	517	38%
	연구활동비		28	32	30	21	0	111	8%
	연구수당		26	26	27	18	0	98	7%
소계			159	214	214	139	0	726	54%
간접비			25	47	44	31	0	147	11%
합계			270	405	405	270	0	1,350	100%

- 2-3세세부 과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	0	18	25	26	19	89	7%
	연구원	52.8	0	33	52	54	34	172	13%
	연구보조원	34.8	0	25	39	40	27	131	10%
	보조원	26.4	0	20	30	31	18	99	7%
소계			0	96	146	151	98	491	37%
직접비	연구장비/재료비		0	103	157	149	97	506	38%
	연구활동비		0	21	30	31	21	104	8%
	연구수당		0	18	27	28	18	90	7%
소계			0	142	214	208	136	700	52%
간접비			0	31	44	46	30	152	11%
합계			0	270	405	405	264	1,344	100%

- 2-4세세부 과제

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
			인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100	인원×참 여율/100		
인건비	책임연구원	69.6	32	28	26	27	28	140	7%
	연구원	52.8	39	49	52	53	52	245	12%
	연구보조원	34.8	28	37	39	41	39	183	9%
	보조원	26.4	30	30	30	31	26	148	7%
소계			129	144	147	151	146	716	36%
직접비	연구장비/재료비		157	155	157	149	146	764	38%
	연구활동비		42	32	30	31	32	168	8%
	연구수당		39	26	27	28	27	147	7%
소계			238	214	214	208	205	1079	54%
간접비			38	47	44	46	46	220	11%
합계			405	405	405	405	396	2,016	100%

(3) 세부과제 장비 및 시제품 소요예산

가. 1 세부과제

- 장비 목록(3천만원 이상)

해당없음

- 시제품 목록(1천만원 이상)

세세부	시작품명	용도	비용(천원)
1-1	GIS 기반 도로침수 최소화 S/W	수문학적 특성을 고려한 도심지 투수/저류성 도로포장의 최적 공간 Solution	60,000
1-3	빗물 저류형 인공노상체	인공적으로 도로하부에 빗물을 저장할 수 있는 노상구조체	40,000
1-4	빗물 투과/저류형 포장도로 Demo 구조	다양한 빗물 투과/저류형 포장도로 단면의 효과를 평가하고 홍보할 수 있는 소규모 도로포장	200,000

나. 2 세부과제

- 장비 목록(3천만원 이상)

세세부	장비명	용도	비용(천원)
2-1	GPR 장비	포장체의 두께 및 공동 탐사 장치	200,000
2-1	포장공동탐사 차량	RWD, GPR, DAQ 등의 장비를 탑재하여 이동중 시험을 수행할 수 있는 차량 및 부속 장치	200,000

- 시제품 목록(1천만원 이상)

세세부	시작품명	용도	비용(천원)
2-1	RWD용 계측 시스템	고속주행중 포장체의 처짐을 정밀 측정하기 위한 Laser 타입의 센서 및 DAQ 장치	500,000
2-2	노면 평탄성 측정 장비	Laser 센서와 포토 센서를 이용한 노면상태 평가 장비	50,000
2-3	도로하부거동 상시 계측 장비	붕괴상태를 예측하기 위하여 노로하부의 변형량을 실시간으로 모니터링 하기 위한 장비	70,000
2-3	돌발성 붕괴 예측 및 대응 시스템	USN을 이용한 현장계측된 데이터의 D/B 구축 및 위험도 대응 경고 시스템	50,000
2-4	가압식 그라우팅 장비	포장하부 지지력 보강을 위하여 포장하부 공동을 신속하게 메꾸는 장비	200,000

6장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단 RFP

총괄과제명	도심지 도로침수피해 및 붕괴사고 저감을 위한 빗물투과/저류형 도로포장 및 도로붕괴위험도 탐지 및 보강기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도심지 도로 침수 및 붕괴를 예방하고자 빗물 투과 및 저류형 도로포장하부 시스템 및 도로붕괴 탐지 및 보강기술 개발 ○ 도로침수 면적 50% 감소 ○ 돌발형 도로붕괴 사건 50% 감소
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	○ 최근 기후변화로 인한 강수량 증가 및 돌발성 집중 호우로 도심지 도로침수가 자주 발생하여 인명 및 재산피해가 증가하는 추세임 ○ 2010년 광화문 일대 홍수, 2011년 강남일대 침수에서 나타나듯이 최근 기후변화로 인하여 100년 빈도 이상의 극한강우가 비정상적으로 자주 일어나고 있는 추세임 ○ 이러한 현실에 반해, 서울 등 주요 대도시의 우수관거는 5-10년 빈도의 홍수에 견딜 수 있도록 설계되어, 도로를 비롯한 도시의 전반적인 침수가 매해 고착화될 우려가 있음 ○ 서울시의 경우도 전체면적 중 도로 비율이 22%를 차지하고 있어 불투수 포장으로 인한 영향을 상당 수준 받고 있으며, 도시화됨에 따라 도로로 인한 불투수면적률, 대지 불투수면적률이 빠르게 증가하고 있음 ○ 1962년에서 2002년까지 서울시의 불투수면적이 증가함에 따라 표면에서 유출되는 우수의 양은 527%가 증가하였고 증발·증산하는 양과 지반으로 침투하는 양은 각각 40.7%, 40.2% 감소하였음 ○ 이러한 도심지 도로침수는 집중호우가 직접적인 원인이지만 포장도로 및 건물 등으로 인한 불투수면 증가 및 배수시설 부족 등이 중요한 원인을 제공하고 있어 이러한 문제를 해소할 수 있는 연구가 시급한 실정임 ○ 도로침수는 교통두절을 야기할 뿐만 아니라 포장의 파손과 주변

가옥의 침수, 차량파손 등 경제적, 사회적으로 심각한 피해를 유발하며, 2011년도 한 해 발생한 도로침수로 인한 직접적인 피해액만도 약 1,144억원으로 추정됨

- 소방방재청에 따르면 도로붕괴 사고가 전국발생 (2009 ~ 2010) 12개소에 이어 2011~2012년 서울 4곳, 인천 3곳 등 전국발생빈도가 늘어가고 있음
- 대표적으로 서울시의 경우 2008년도 이후 주요간선도로 총 197개소에서 도로침하 및 동공이 발생되었으며, 이중 27개소에서는 2회 이상 반복적으로 발생됨
- 2009년도 도로 전체 유지보수 금액이 24,852억원으로 2000년도 보다 41.1%증가로 인해 각 지자체, 특히 도심지내 도로붕괴대책이 최우선정책으로 부상 중
- 도로붕괴 및 침하에 따른 보수를 비롯하여 도로의 표면처리, 소파보수, 덧씌우기 및 재포장 등 도로 유지관리를 위해서 2010년도에만 전국적으로 총 2.2조원이 사용되었음
- 이러한 각 중 시설물로 인하여 지하수의 흐름에 변화가 발생하고 있으며, 이에 수반하는 세립토사 유실 등이 복합적으로 작용하여 전국적으로 많은 도로침하나 동공이 돌발적, 반복적으로 발생하여 운전자의 주행 안전성에 큰 위험요인이 되고 있는 실정임
- 도로붕괴는 지하철 역 주변의 펌핑, 지하철 및 대형 차량에 의한 진동, 상하수도 관로 파손, 굴착공사 근접지역의 지하수위 변동 등 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하고, 또한 도로하부에서 발생되어 사전 예측도 어렵고 정확한 원인 파악이 어려운 실정임
- 따라서 도로붕괴 및 침하로 인한 인명·재산 피해를 저감하기 위해서는 도로붕괴 유형별 발생 메커니즘을 규명하고, 붕괴를 예측하기 위한 위험도 탐지 및 평가 기술 개발이 필요한데, 이를 위해서는 지하수위, 침하, 간극수압 등 도로거동에 영향을 미치는 인자들에 대한 실시간 데이터 확보가 중요한 이슈로 부각됨
- Ground Penetrating Radar(GPR), Falling Weight Deflectometer (FWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험 기법을 이용한 도로시설물 위험도 평가 관련 연구는 예방적 도로관리 시스템으로 활용하나, 도심지 공사 및 이상기후에 따른 돌발성 도로붕괴 사고에 대비하기 위해서는 도로거동 및 외부인자에 대한 실시간 데이터 수집 및 이를 이용한 자가진단 기법에 대한 연구개발이 필요함
- 연약지반상에 시공된 포장에 스웰(swell) 등으로 인하여

□ 기술동향

장과장의 요철이 생길 경우 그 주위에서 속도를 급격히 제한하고 있어 운전자의 불편이 심하고 이로 인해 AADT가 7000인 경우 2.5cm의 연약지반의 움푹임에 따라 연간 약 550달러/lane mile의 경제적 손실도 있는 것으로 보고됨

- 현재 ROAD RECON, CATCHER, ARAN 등 고가의 노면 평탄성 측정 장비가 사용되어 지고 있음
- 국내기술동향
 - 빗물 투과형 도로포장 시스템 적용에 있어 Low Impact Development (LID)를 고려한 최적 공간배치기법 분야는 국내에서 현장실험 및 실내외시험 등을 통해 실제 설계에 적용될 수 있는 체계적/정량적인 결과물이 나온 경우는 없음
 - 집중호우시 도심지 침수를 최소화할 수 있는 고효율 빗물 투과형 도로포장 시스템 개발에 대한 총괄적인 연구가 미진한 상황임
 - 투수성 블록포장은 자체투수 형식이 대부분이며 보도에만 설치하고 있음. 설계, 시공 및 재료 기준이 미비한 상태에서 2008년부터 현재까지 총 연장 49,554 m, 사업금액 25,104 백만원을 투자하였음
 - 빗물의 효과적인 처리를 위한 대안으로 국내에서는 주로 배수성 아스팔트 바인더 개발 및 배합설계 기준 등 다양한 연구가 수행해 왔으나 주로 도로의 표층에 적용 되고 있는 실정이며 포장 공용성의 문제점이 발생하는 실정임
 - 현재 국내에서는 아스팔트표층의 소성변형을 방지하기 위한 보강 연구들은 수행되었으나 포장하부의 배수능력 확보를 위한 지지력 보강 관련 연구는 전무한 상황임
 - 도로 포장상태를 조사하기 위한 장비 현황은 지표투과레이더 Ground Penetrating Radar(GPR), Falling Weight Deflectometer (FWD), Rolling Wheel Deflectometer(RWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험기가 활용되고 있으며, 이에 따른 포장 공용성 평가 해석기법 개발이 필요한 실정임
 - 도로붕괴에 대한 대책공법은 주로 침하를 유발하는 연약지반을 위주로 기술개발이 이루어져 왔으며 ‘스마트하이웨이’사업단에서는 도로접속부에서의 침하방지를 위한 연구가 진행중이었으나 중도 종료된 바 있음
 - 국내에서는 매년 지하공간구조물 및 관로공사시 도로면 침하 및 붕괴사례가 다수 발생하여 막대한 재산상 및 인적피해가 발생함에도 불구하고 지하공간구조물 및 지중매설관로의 공사시 도로붕괴의 방지설계/시공기술과 붕괴발생에 따른 도로하부 보수공법에 대한 기술개발이 이루어져있지 않음
 - 기존 도로 개착 또는 굴착후 재포장 설계, 붕괴방지설계 및 유관 시공법의 개발이 시급한 실정이나 국내에서는 유사연구가 매우

제한적이며 통일된 지침이 개발되지 않은 상태임

- 표면 거칠기에 의한 동적 차량하중 크기의 증가는 포장의 응력 및 변형률에 영향을 미치는 것으로 나타남. 이는 포장의 공용성과 연관되기 때문에 표면 평탄성과(거칠기와) 포장의 공용성과의 관계를 유출하는 방법이 필요함
- 제시지반설계에서 설계완료시기인 압밀 90%와 장기침하 10cm 규정의 경우 도로설계에 미치는 영향이 검토된 바 없으며, 실제 모니터링결과를 보면 원지반 장기침하구간의 도로파손이 더 빨리 진행되며, 운전자의 쾌적성과 안정성을 위협하고 있음

○ 국외기술동향

- 투수성 도로 포장재를 포함한 전반적인 저영향개발(LID) 기법이 적용된 경우의 수문학적 분석을 다루는 연구는 다수 존재하나, 도로 만을 별도로 분리하여 수문학적 분석을 시행한 연구는 상대적으로 찾아보기 어려움
- 미국 환경청 (EPA)은 홍수피해저감 및 친환경 거리 조성을 위하여 단지 내 도로 (Residential Street)의 설계 대안으로 우수처리 연석확장, 투수성 포장 시스템, 식생배수지를 제시하였음
- 미국의 Florida주 및 남동지역의 주들은 1970년부터 유출저감 및 홍수조절을 위하여 투수콘크리트를 적용하였음. Florida Concrete & Products Association에 의하면 지난 10여년간 약 100개 이상의 프로젝트가 진행되었음
- 미국에서 홍수조절용으로 개발된 RainTank[®]은 주차장의 포장하부에 빗물을 임시로 저류할 수 있도록 인공노상구조체로, 95%의 공극률을 확보하기 위하여 강화플라스틱 조립식 판넬구조를 가지고 있음. 이러한 인공노상구조체는 기존의 파이프나 콘크리트 박스구조체보다 시공성이 우수함
- 불포화상태에서 지반재료층내 투수성능 향상을 위하여 미국 애리조나대학에서는 모세관현상을 활용한 배수층 기술이 개발되어 있으나 제한적인 범위에서 사용이 가능함. 다만 완전포화상태에서는 기능을 상실함
- 호주 Sydney의 도시 도로환경을 개선하기 위해 이면도로에 표층 80mm 블록, 모래층 30mm, 기층 200mm, 그리고 보조기층 150mm로 포설된 투수성 블록포장이 2002 교통 개방하여 현재까지 우수한 공용성을 보여주고 있음
- 일본은 투수성 포장을 이용한 처리 공법과 투수성 포장을 이용하지 않는 처리 공법을 적용한 빗물 투과형 도로포장 시스템 모델을 제시하고 있음
- 국외 도로포장상태 조사 장비는 국내와 마찬가지로 구성되어 있음

며, 미국의 경우 지하수 유출로 인한 도로 등 심각한 침하가 일어나는 것을 방지 하기위해 위성을 이용하여 지반 고도 변화를 파악하여 사회기반 시설의 피해를 최소화하고 있음

- 호주연방과학원의 RoadCrack 시스템은 이미지처리기술을 기반으로 하는 자동형의 도로 표면 포장상태를 탐사하는 장치로서, 이 장치를 통해 도로 표면의 균열을 밀리미터 단위로 이동하면서 차량 바닥면 아래를 감지하며, 자동 균열감지시스템에서 수집한 객관적인 통계 데이터는 도로 포장 자산관리에 있어 매우 유용한 자료로 활용하게 되고, NSW 도로국은 매년 도로 유지관리비용으로 수천만 달러를 절약할 수 있을 것으로 예상
- 미국, 홍콩, 일본 등과 같은 도로 침하, 붕괴분야의 선진국에서는 단순히 조사와 데이터베이스화를 통한 유지관리 단계를 넘어서 장단기적인 안정성을 평가하고 불안정요소에 대한 대책을 수립하는 추세임
- 최근 USN, SoC 등 첨단 IT기술을 접목한 도로 시설물 거동측정에 대한 연구가 활발히 수행되어, 소형, 저전력, 저비용의 실시간 거동계측 시스템의 구현 및 보급의 가능성이 높아짐
- Risk Assesment에 따라 도로에 미치는 영향최소화를 위한, 최적 굴착방법의 선정, 굴착전 관망 네트워크 및 지반조사 사전조사 방법의 수립, 도로교통량의 평가, 침하최소화를 위한 관로부설공법 최적화 기술, 굴착시 도로하부 지반변형의 평가, 관로인접 시설에 미치는 영향의 평가방법 수립 등을 진행함
- 국외의 경우 도로하부 구조물 설치시 underpinning 공법에 대한 다수의 기술이 개발된 바 있으나 근접도로의 침하 또는 붕괴에 따른 평탄성 모니터링 기술이나 도로하부변형 사전검측기술 및 보수공강공법 등은 아직 개발된 사례가 없음

3. 연구개발 내용

- 1세부 : 도로침수 예방을 위한 도로포장 시스템 기술 개발
 - 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
 - 연구목표
 - TOD(Transit Oriented Development) 개념을 바탕으로 빗물 투과/저류형 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간 배치를 가능하게 하는 GIS S/W 개발
 - 도심지 침수 지역에 대한 최적 빗물 투과/저류형 도로포장 공간 배치 방안 제시
 - 연구내용
 - 실험을 통해 다양한 투수성 도로포장재의 수문학적 매개변수를 산정하여 다양한 가상유역에 대한 수문 모형을 사용한 모의를 통해 투수성 도로 포장재의 수문학적 효과 분석

- 향후 도로설계시 투수성 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간적 배치를 산정하게 하는 GIS Application의 개발 및 검증
 - 국내 주요 도로 침수지에 대한 수문관련 데이터 베이를 확보하여 개발된 Application을 통해 국내 주요 도로 침수지에 대한 투수성 도로의 최적 공간적 배치 도출 및 제안
 - 도로하부에 저류된 물의 순환을 위한 배수 및 저류 기반 시스템과 연계성 분석
- 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발
 - 연구목표
 - 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 평가 방법 개발
 - 침수노상의 지지력 강화 공법 개발
 - 연구내용
 - 국내 노상토 종류 및 다짐도별 침투율 시험 및 예측 모형 개발
 - 도로침수시 노상토의 포화도에 따른 다짐도별 지지력 감소 효과 정량화
 - 노상의 지지력 감소가 포장 파손에 미치는 영향 분석 및 정량화
 - 토목섬유를 사용한 노상의 지지력 보강 기술 개발
 - APT를 이용한 지지력 감소 및 보강효과 검증
 - 빗물 저류형 인공노상구조체적용 기술 개발
 - 연구목표
 - 빗물 저류형 도로포장 시스템에 적합한 중소규모의 빗물저류 구조물 개발
 - 시공시 공기를 단축하기 위한 쾌속시공형 조립식 인공노상구조체 개발
 - 연구내용
 - 특허조사를 통한 빗물 저류형 도로관련 기술 특성 분석
 - 도로 등급과 강우강도에 따른 인공노상구조체의 형상 및 구조 설계
 - 인공노상구조체 시제품 제작
 - 물리 역학적 성능 시험을 통한 품질 기준 개발
 - APT 및 시험시공을 통한 현장 적용성 분석 및 저류능력, 지지력 효과 측정
 - 향후 재활용을 고려한 경제성 분석 및 설계, 시공, 품질기준

개발

- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발
 - 연구목표
 - 빗물 투과/저류형 도로포장의 개별요소를 시스템화하는 설계법 개발
 - 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단면설계 기준 제시
 - 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발
 - 연구내용
 - 빗물 투과/저류형 도로포장의 수문학적 설계 기준 개발
 - 경험적 설계방법 및 역학적·경험적 설계에 기초한 도로포장 단면구조 설계 기준 개발
 - 포장 층별 재료의 품질기준 개발
 - APT를 활용한 표준 설계단면의 검증 및 테스트 베드 구축을 통한 효과 분석
 - 기술적, 경제적, 환경적 타당성 분석
 - 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단면설계 기준 제시
 - 투수성포장의 종류에 따라 단계적으로 빗물 유출량을 조절할 수 있는 목표를 설정
 - 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발
 - 장단기 확대적용 계획 수립
- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선
 - 연구목표
 - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도화 기반조성 및 논리개발
 - 도로침수 대응 포장 시스템 기술 활용의 법·제도 수립
 - 연구내용
 - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법적 개념 정립 및 현황분석
 - 도로 포장 침수 지수 개발 및 평가 방안 수립
 - 도로침수 대응 포장 시스템 성능 평가 및 효과 분석에 따른 법제도 근거 및 논리개발
 - 성능 평가 및 경제성 분석에 따른 침수 대응 도로포장 시스템 인증체계(안)
 - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개정(안)
 - 연구개발 성과 활용 및 확산 전략 수립
 - 연구개발 실용화 및 사업화 방안 마련

- 2세부 : 도로붕괴 예방을 위한 도로포장하부 시스템 기술 개발
 - 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 위험성을 평가하기 위하여 도로하부의 동공 발생 유무를 파악하고 포장의 지지력을 평가할 수 있는 비파괴시험 및 해석 기법을 개발
 - 동공 및 침하, 지지력 요소를 포함하는 도로붕괴 위험도 종합판정 지수 및 보수보강 지침 개발
 - 연구내용
 - 도로붕괴 유형별 발생 메커니즘 규명
 - 비파괴 기법을 이용한 도로포장 하부구조 특성 자동화 탐지 기술 개발
 - 도로붕괴 위험도 평가 기술 개발
 - 도로붕괴 예방 보수보강 결정기술 개발
 - 도로붕괴 예측/예방 통합 시스템 구축
 - 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 위험구간의 침하량 및 노면상태 측정과 정량화를 위한 자가이동식 소형 평탄성 및 이미지 측정 장비의 개발
 - 포토 및 레이저 센서에서 획득한 데이터의 분석 및 해석용 소프트웨어 개발
 - 연구내용
 - 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 시제품 개발
 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 개발
 - 이미지 센서를 이용한 노면상태 측정 장비 시제품 개발
 - 아스팔트 도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석프로그램 개발
 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템 구축
 - 측정 장비 및 시스템의 검증을 위한 현장시험 및 이를 통한 시스템 개선
 - 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 시제품 개발 및 현장 적용성 개선
 - 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 사고를 사전 감지할 수 있는 현장 모니터링 및 자가진단 시스템 개발

- 연구내용
 - 도로하부 거동에 따른 변형실태조사 및 도로거동 계측시스템 조사 분석
 - 자가진단을 위한 계측항목 선정 및 평가, 기존정보 연계방안 연구
 - 상시 계측용 최적 시스템 설계 및 구축
 - 실시간 도로거동 분석 및 자가진단 기법 개발
 - 계측 시스템의 장단기 안정성 개선 및 현장 적용성 평가
 - 실시간 도로거동 모니터링을 위한 USN 기반 모니터링 시스템 개발
 - ISA 100 통신 프로토콜을 활용한 원격 모니터링 전용 시스템 시제품 개발
 - 현장적용을 통한 시제품의 안정성 확보
- 도로붕괴 위험저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발
 - 연구목표
 - 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 기술 개발
 - 도로침하 및 붕괴 방지를 위한 비개착 관로매설 기술 개발
 - 도로붕괴 위험구간의 지지력 복원기술 개발
 - 연구내용
 - 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 기술 개발
 - 도로침하 및 붕괴 방지를 위한 비개착 관로매설 기술 개발
 - 도로붕괴 위험구간의 지지력 복원기술 개발

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 본 과제는 크게 2개 세부과제, 9개의 세세부과제로 구성됨
- 체계적 대학원 인력 관리 시스템 구축 및 운용
- 국내외 관련 소프트웨어 개발사와 협조/협약을 통해 소프트웨어 중요 소스코드 확보
- 해외 빗물 저감형 도로포장관련 기관과의 협조/협업을 통해 포장시스템 구축의 효율성 극대화
- 해외 전문가에게 기술적 자문
- 연구개발 내용별로 기준 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립
- 기존 기술 적용시의 효용성 및 문제점 분석을 통하여 성능검증 계획 수립

□ 추진체계	○ 원천기술 확보와 기준 개발은 학·연 중심으로 주관연구 추진 ○ 실용화기술 개발은 산·학 중심으로 연구 추진 ○ 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간 배치법 개발 - 빗물 투과/저류형 도로시스템 수문학적 효과 분석시스템 - GIS 기반 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 공간배치 평가시스템 - GIS 기반 도로 침수 최소화 소프트웨어 - 도로시스템 설계 또는 시공성을 고려한 경제적 최적화 평가기법 ○ 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발 - 투수 영향이 고려된 노상 지지력 예측 기술 - 도로침수시 보조기층 및 노상의 지지력 저감 평가 기술 - 노상 보강용 재료의 공용성 향상 기술 - Pilot 모형 개발 및 성능 시험을 통한 지지력 보강 기술 ○ 빗물 저류형 인공노상구조체적용 기술 개발 - 빗물 저류형 인공노상구조체 재료 및 구조 설계 - 물리 역학적 성능 평가 시험을 통한 품질기준(안) - 도로등급별 조립식 인공노상구조체 설계 기준(안) - 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계, 시공, 및 품질기준 개발 및 유지관리/시방서 ○ 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발 - 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계요소 분석 및 기준(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 재료품질 기준(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 구조설계 잠정지침(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 시공 및 유지관리 지침 - 관련 기관을 통한 핵심 기술이전 ○ 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선 - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 지침(안) - 도로침수 대응 도로포장 시스템 인증체계 - 도로붕괴 예방 도로포장하부 시스템 인증체계 ○ 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발 - 도로포장 하부 상태 평가 알고리즘 - 도로붕괴 위험도 탐지를 위한 비파괴시험 시스템 - 도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산정 알고리즘 - 도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼

○ 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발 - 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 - 이미지 센서를 이용한 노면 상태 측정 장비 - 아스팔트도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석 프로그램 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템 ○ 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발 - 도로 하부 거동 상시 계측 시스템 - 도심지 공사용 도로 하부 거동 계측 시스템 - 실시간 도로 거동분석 및 자가진단 시스템 - 돌발성 붕괴 예측 및 대응 시스템 ○ 도로붕괴 위험저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발 - 굴착복구로 인한 도로붕괴 보수보강 기술 - 관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 - 도로포장 하부 손상복구 및 예방기술 - 굴착복구 하부다짐관리 지침빛물	
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 142억원(정부출연금 106억원 이내)
7. 기 타	
	○ -

2. 1세부 과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	도로침수피해 저감을 위한 빗물 투과 및 저류형 도로포장 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도심홍수피해를 저감하기 위한 빗물 투과 및 저류형 도로포장하부 시스템의 설계 및 시공기술 개발 ○ 홍수시 침투유출량 50% 및 도로침수 면적 50% 감소
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 최근 기후변화로 인한 강수량 증가 및 돌발성 집중 호우로 도심지 도로침수가 자주 발생하여 인명 및 재산피해가 증가하는 추세임 ○ 2010년 광화문 일대 홍수, 2011년 강남일대 침수에서 나타나듯이 최근 기후변화로 인하여 100년 빈도 이상의 극한강우가 비정상적으로 자주 일어나고 있는 추세임 ○ 이러한 현실에 반해, 서울 등 주요 대도시의 우수관거는 5-10년 빈도의 홍수에 견딜 수 있도록 설계되어, 도로를 비롯한 도시의 전반적인 침수가 매해 고착화될 우려가 있음 ○ 서울시의 경우도 전체면적 중 도로 비율이 22%를 차지하고 있어 불투수 포장으로 인한 영향을 상당 수준 받고 있으며, 도시화됨에 따라 도로로 인한 불투수면적률, 대지 불투수면적률이 빠르게 증가하고 있음 ○ 1962년에서 2002년까지 서울시의 불투수면적이 증가함에 따라 표면에서 유출되는 우수의 양은 527%가 증가하였고 증발·증산하는 양과 지반으로 침투하는 양은 각각 40.7%, 40.2% 감소하였음 ○ 이러한 도심지 도로침수는 집중호우가 직접적인 원인이지만 포장도로 및 건물 등으로 인한 불투수면 증가 및 배수시설 부족 등이 중요한 원인을 제공하고 있어 이러한 문제를 해소할 수 있는 연구가 시급한 실정임 ○ 도로침수는 교통두절을 야기할 뿐만 아니라 포장의 파손과 주변 가옥의 침수, 차량파손 등 경제적, 사회적으로 심각한 피해를 유발하며, 2011년도 한 해 발생한 도로침수로 인한 직접적인 피해액만도 약 1,144억원으로 추정됨 ○ 저류시설 확충 및 우수관거 확장 등의 1차적인 구조적 대책들은 홍수/침수 저감에 직접적인 효과가 있으나, 강우를 하천으로 직접적으로 유도함으로써, 유역의 물순환에 영향을 주어, 건천화 및 생태계 파괴 등의 되돌리기 어려운 악영향을 끼칠 수 있음 ○ 국내 주요 도시의 도로율(도로의 면적/도시의 면적)은 20%

□ 기술동향

내외로써, 투수성 도로포장 적용시 상당한 수문학적 효과 (침수저감 및 물순환 복원)가 있을 것으로 기대함

- 최근 기후변화로 인한 강우의 증가와 패턴 변화로 도로하부 노상의 역학적 및 수리학적 특성 검토가 요구되고 있어 연구가 시급한 실정임. 두 가지 기능을 균형 있게 활용할 기술의 적용이 필요함
- 투수 능력이 향상된 도로의 구축을 위해서는 상부침투수를 허용해야하는 시스템상의 문제로 노상의 지지력 확보가 중요한 요인임. 도로하부 재료들의 침투를 포함한 수리역학적인 성능 평가가 필요하며 이들 재료들에 대한 부분 혹은 전체적인 보강기술 개발의 필요성이 있음
- 국내기술동향
 - 빗물 투과형 도로포장 시스템 적용에 있어 Low Impact Development (LID)를 고려한 최적 공간배치기법 분야는 국내에서 현장실험 및 실내외시험 등을 통해 실제 설계에 적용될 수 있는 체계적/정량적인 결과물이 나온 경우는 없음
 - 교통소음 저감 및 미끄럼 저항성 개선의 목적으로 국내에서는 주로 배수성 아스팔트 바인더 및 혼합물 개발 등 다양한 연구가 수행해 왔으나 주로 도로의 표층에 적용 되고 있는 실정이며 기층 및 보조기층은 불투수층으로 구성되어 있어 본 연구에서 제시하는 형식의 빗물 투과형 도로포장과는 설계 및 시공 방식이 상이함
 - 집중호우시 도심지 침수를 최소화할 수 있는 고효율 빗물 투과형 도로포장 시스템 개발에 대한 총괄적인 연구가 미진한 상황임
 - 국내의 투수 콘크리트는 강도면에서 많은 제약 때문에 보도 및 주차장 및 건물 주변시설과 같은 비교적 하중이 가벼운 용도에 그치고 있음. 그러나 높은 공극률을 가지면서도 일반적인 도로 포장용 콘크리트와 거의 동등한 강도를 갖는 투수 콘크리트의 차도 포장에의 적용은 미비한 실정이며 기술 또한 초보 단계에 있음
 - 투수성 블록포장은 자체투수 형식이 대부분이며 보도에만 설치하고 있음. 설계, 시공 및 재료 기준이 미비한 상태에서 2008년부터 현재까지 총 연장 49,554 m, 사업금액 25,104 백만 원을 투자하였음
 - 투수성 블록 포장을 차도까지 확대적용하기 위해 2009~2011년 사이에 서울시 도로관리과에서 총 네 번 시험시공을 실시하여 투수성 블록포장의 설계, 시공 및 유지관리 방안 등 기초 자료를 마련하였음
 - 빗물의 효과적인 처리를 위한 대안으로 국내에서는 주로 배수성 아스팔트 바인더 개발 및 배합설계 기준 등 다양한 연구가 수행되어 왔으나 주로 도로의 표층에 적용 되고 있는 실정이며 포장 공용성의 문제점이 발생하는 실정임

- 현재 국내에서는 아스팔트표층의 소성변형을 방지하기 위한 보강 연구들은 수행되었으나 포장하부의 배수능력 확보를 위한 지지력 보강 관련 연구는 전무한 상황임
- 국외기술동향
 - 투수성 도로 포장재를 포함한 전반적인 저영향개발(LID) 기법이 적용된 경우의 수문학적 분석을 다루는 연구는 다수 존재하나, 도로 만을 별도로 분리하여 수문학적 분석을 시행한 연구는 상대적으로 찾아보기 어려움
 - 현재 도시침수와 관련하여 개발된 대부분의 소프트웨어는 도로를 불투수층으로 고려하여 수문현상을 모의할 뿐, (1) 투수성 도로를 전문적으로 다루며 (2) 그 공간적 배치를 GIS를 통해 주변의 다른 공간적 요소들(빌딩, 지하도 등)과 유동적으로 처리하고 (3) 경제적/ 공학적으로 최적화된 투수성 도로의 공간적 배치를 산정해 주는 소프트웨어는 현재까지는 존재하지 않음
 - 이러한 이유로 전 세계적으로 최종사용자(설계엔지니어)들에게 사용성이 높은 상용 지형공간시스템 소프트웨어인 ArcGIS에 기반을 둔 투수성 도로 설계 전용 GIS Application 개발시 해외 기술 수출의 효과도 기대할 수 있음
 - 미국 환경청 (EPA)은 홍수피해저감 및 친환경 거리 조성을 위하여 단지 내 도로 (Residential Street)의 설계 대안으로 우수처리 연석확장, 투수성 포장 시스템, 식생배수지를 제시하였음
 - 미국의 Florida주 및 남동지역의 주들은 1970년부터 유출저감 및 홍수조절을 위하여 투수콘크리트를 적용하였음. Florida Concrete & Products Association에 의하면 지난 10여년간 약 100개 이상의 프로젝트가 진행되었음
 - 미국에서 홍수조절용으로 개발된 RainTank[®]는 주차장의 포장하부에 빗물을 임시로 저류할 수 있도록 인공노상구조체로, 95%의 공극률을 확보하기 위하여 강화플라스틱 조립식 판넬구조를 가지고 있음. 이러한 인공노상구조체는 기존의 파이프나 콘크리트 박스구조체보다 시공성이 우수함
 - 미국에서는 도로침수시 발생하는 지반약화 현상을 예방하기 위하여 지반재료와 토목섬유 합성재료를 개발하여 적정한 포장하부 배수재료로 개발하고 있음
 - 불포화상태에서 지반재료층내 투수성능 향상을 위하여 미국 애리조나대학에서는 모세관현상을 활용한 배수층 기술이 개발되어 있으나 제한적인 범위에서 사용이 가능함. 다만 완전포화상태에서는 기능을 상실함
 - 영국 TRL에서는 보도부에서 포장하부층을 인공하부 구조체로 대체하여 배수용량을 확대하는 기술을 개발하고 있음

- 투수성 블록 포장은 1980년쯤에 처음으로 유럽에서 사용하기 시작하였고, 다양한 연구를 통해 영국 (Interpave)에서 2008까지 제 5판 설계·시공 지침서를 제시하였음. 벨기에서는 2003~2007년 지속적인 모니터링으로 토해서 투수성 블록포장의 공용성에 대해서 평가하였고 관련 설계지침을 개발하였음.
- 호주의 경우, 1999년 Sydney의 Homebush Olympics site에 투수성 포장이 시공되었으며 이외에도 보도 및 이면도로에 시공되었음. 2003년 Melbourne의 Kingston City Council은 Sinclair Lane에 투수포장을 시공하였고, 시공된 포장들은 모두 빗물관리에 있어서 우수한 효과를 보였음
- 호주 Sydney의 도시 도로환경을 개선하기 위해 이면도로에 표층 80mm 블록, 모래층 30mm, 기층 200mm, 그리고 보조기층 150mm로 포설된 투수성 블록포장이 2002 교통 개방하여 현재까지 우수한 공용성을 보여주고 있음
- 일본 「도로 노면 빗물 처리 매뉴얼(안)」을 개정하여 투수성 포장을 이용한 처리 공법과 투수성 포장을 이용하지 않는 처리 공법을 적용한 빗물 투과형 도로포장 시스템 모델을 제시
- 일본은 투수성 포장을 이용한 처리 공법과 투수성 포장을 이용하지 않는 처리 공법을 적용한 빗물 투과형 도로포장 시스템 모델을 제시하고 있음

3. 연구개발 내용

- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
 - 연구목표
 - TOD(Transit Oriented Development) 개념을 바탕으로 빗물 투과/저류형 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간 배치를 가능하게 하는 GIS S/W 개발
 - 도심지 침수 지역에 대한 최적 빗물 투과/저류형 도로포장 공간 배치 방안 제시
 - 연구내용
 - 실험을 통해 다양한 투수성 도로포장재의 수문학적 매개변수를 산정하여 다양한 가상유역에 대한 수문 모형을 사용한 모의를 통해 투수성 도로 포장재의 수문학적 효과 분석
 - 향후 도로설계시 투수성 도로포장의 공학적/경제적 최적 공간적 배치를 산정하게 하는 GIS Application의 개발 및 검증
 - 국내 주요 도로 침수지에 대한 수문관련 데이터 베이를 확보하여 개발된 Application을 통해 국내 주요 도로 침수지에 대한 투수성 도로의 최적 공간적 배치 도출 및 제안
 - 도로하부에 저류된 물의 순환을 위한 배수 및 저류 기반 시

스텝과 연계성 분석

- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
 - 연구목표
 - 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 평가 방법 개발
 - 침수노상의 지지력 강화 공법 개발
 - 연구내용
 - 국내 노상토 종류 및 다짐도별 침투율 시험 및 예측 모형 개발
 - 도로침수시 노상토의 포화도에 따른 다짐도별 지지력 감소 효과 정량화
 - 노상의 지지력 감소가 포장 파손에 미치는 영향 분석 및 정량화
 - 토목섬유를 사용한 노상의 지지력 보강 기술 개발
 - APT를 이용한 지지력 감소 및 보강효과 검증
- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
 - 연구목표
 - 빗물 저류형 도로포장 시스템에 적합한 중소규모의 빗물저류 구조물 개발
 - 시공시 공기를 단축하기 위한 쾌속시공형 조립식 인공노상 구조체 개발
 - 연구내용
 - 특허조사를 통한 빗물 저류형 도로관련 기술 특성 분석
 - 도로 등급과 강우강도에 따른 인공노상구조체의 형상 및 구조 설계
 - 인공노상구조체 시제품 제작
 - 물리 역학적 성능 시험을 통한 품질 기준 개발
 - APT 및 시험시공을 통한 현장 적용성 분석 및 저류능력, 지지력 효과 측정
 - 향후 재 활용을 고려한 경제성 분석 및 설계, 시공, 품질기준 개발
- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발
 - 연구목표
 - 빗물 투과/저류형 도로포장의 개별요소를 시스템화하는 설계법 개발
 - 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단

면설계 기준 제시

- 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발
- 연구내용
 - 빗물 투과/저류형 도로포장의 수문학적 설계 기준 개발
 - 경험적 설계방법 및 역학적-경험적 설계에 기초한 도로포장 단면구조 설계 기준 개발
 - 포장 층별 재료의 품질기준 개발
 - APT를 활용한 표준 설계단면의 검증 및 테스트 베드 구축을 통한 효과 분석
 - 기술적, 경제적, 환경적 타당성 분석
 - 교통량, 노상조건, 강우강도, 도로등급에 따른 카달로그식 단면설계 기준 제시
 - 투수성포장의 종류에 따라 단계적으로 빗물 유출량을 조절할 수 있는 목표를 설정
 - 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 시공지침 개발
 - 장단기 확대적용 계획 수립

○ 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간배치법 개발

● 연구목표

- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도화 기반조성 및 논리개발
- 도로침수 대응 포장 시스템 기술 활용의 법·제도 수립

● 연구내용

- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법적 개념 정립 및 현황분석
- 도로 포장 침수 지수 개발 및 평가 방안 수립
- 도로침수 대응 포장 시스템 성능 평가 및 효과 분석에 따른 법제도 근거 및 논리개발
- 성능 평가 및 경제성 분석에 따른 침수 대응 도로포장 시스템 인증체계(안)
- 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 개정(안)

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 연도별 세부적 마일스톤 설정 및 준수
- 체계적 대학원 인력 관리 시스템 구축 및 운용
- 국내외 관련 소프트웨어 개발사와 협조/협약을 통해 소프트웨어 중요 소스코드 확보
- 해외 빗물 저감형 도로포장관련 기관과의 협조/협업을 통해 포장시스템 구축의 효율성 극대화
- 해외 전문가에게 기술적 자문

☐ 추진체계	○ 연구개발 내용별로 기존 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립 ○ 기존 기술 적용 시의 효용성 및 문제점 분석을 통하여 성능검증 계획 수립 ○ 원천기술 확보와 기존 개발은 학·연 중심으로 주관연구 추진 ○ 실용화기술 개발은 산·학 중심으로 연구 추진 ○ 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증
5. 최종성과물	○ 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 최적 공간 배치법 개발 - 빗물 투과/저류형 도로시스템 수문학적 효과 분석시스템 - GIS 기반 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템 공간배치 평가시스템 - GIS 기반 도로 침수 최소화 소프트웨어 - 도로시스템 설계 또는 시공성을 고려한 경제적 최적화 평가기법 ○ 도로침수시 노상의 함수량 변동에 따른 지지력 보강기술 개발 - 투수 영향이 고려된 노상 지지력 예측 기술 - 도로침수시 보조기층 및 노상의 지지력 저감 평가 기술 - 노상 보강용 재료의 공용성 향상 기술 - Pilot 모형 개발 및 성능 시험을 통한 지지력 보강 기술 ○ 빗물 저류형 인공노상구조체적용 기술 개발 - 빗물 저류형 인공노상구조체 재료 및 구조 설계 - 물리 역학적 성능 평가 시험을 통한 품질기준(안) - 도로등급별 조립식 인공노상구조체 설계 기준(안) - 빗물 저류형 도로포장 시스템의 설계, 시공, 및 품질기준 개발 및 유지관리/시방서 ○ 빗물 투과/저류형 도로포장 시스템의 설계 및 시공 기술 개발 - 빗물 투과형 도로포장 시스템의 설계요소 분석 및 기준(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 재료품질 기준(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 구조설계 잠정치침(안) - 빗물 투과/저류형 도로포장의 시공 및 유지관리 지침 - 관련 기관을 통한 핵심 기술이전 ○ 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법·제도 개선 - 도로침수 및 붕괴 예방을 위한 법제도 지침(안) - 도로침수 대응 도로포장 시스템 인증체계 - 도로붕괴 예방 도로포장하부 시스템 인증체계
☐ 주요 최종성과물	

6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 73억원(정부출연금 57억원 이내)
7. 기 타	
	○ -

3. 2세부 과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	도로붕괴사고 저감을 위한 붕괴위험도 탐지 및 보강 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도로침하 및 붕괴를 예방하여 주행 안전성을 확보하기 위한 도로 붕괴 탐지 및 위험도 평가 시스템 구축 ○ 돌발성 도로붕괴 사건 30% 감소
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 소방방재청에 따르면 도로붕괴 사고가 전국발생 (2009 ~ 2010) 12개소에 이어 2011~2012년 서울 4곳, 인천 3곳 등 전국에서 발생빈도가 늘어가고 있음 ○ 대표적으로 서울시의 경우 2008년도 이후 주요간선도로 총 197개소에서 도로침하 및 동공이 발생되었으며, 이중 27개소에서는 2회 이상 반복적으로 발생됨 ○ 2009년도 도로 전체 유지보수 금액이 24,852억원으로 2000년도 보다 41.1%증가로 인해 각 지자체, 특히 도심지내 도로붕괴 대책이 최우선정책으로 부상 중 ○ 도로붕괴 및 침하에 따른 보수를 비롯하여 도로의 표면처리, 소파보수, 덧씌우기, 재포장 등 도로유지관리를 위해서 2010년도에만 전국적으로 총 2.2조원이 사용되었음 ○ 이러한 각 종 시설물로 인하여 지하수의 흐름에 변화가 발생하고 있으며, 이에 수반하는 세립토사 유실 등이 복합적으로 작용하여 전국적으로 많은 도로침하나 동공이 돌발적, 반복적으로 발생하여 운전자의 주행 안전성에 큰 위험요인이 되고 있는 실정임 ○ 도로붕괴는 지하철 역 주변의 펌핑, 지하철 및 대형 차량에 의한 진동, 상하수도 관로 파손, 굴착공사 근접지역의 지하수위 변동 등 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하고, 또한 도로 하부에서 발생되어 사전 예측도 어렵고 정확한 원인 파악이 어려운 실정임 ○ 따라서 도로붕괴 및 침하로 인한 인명·재산 피해를 저감하기 위해서는 도로붕괴 유형별 발생 메커니즘을 규명하고, 붕괴를 예측하기 위한 위험도 탐지 및 평가 기술 개발이 필요한데, 이를 위해서는 지하수위, 침하, 간극수압 등 도로거동에 영향을 미치는 인자들에 대한 실시간 데이터 확보가 중요한 이슈로 부각됨 ○ Ground Penetrating Radar(GPR), Falling Weight Deflectometer (FWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험 기법을 이용한 도로시설물 위험도 평가 관련 연구는 예방적

□ 기술동향

도로관리 시스템으로 활용하나, 도심지 공사 및 이상기후에 따른 돌발성 도로붕괴 사고에 대비하기 위해서는 도로거동 및 외부인자에 대한 실시간 데이터 수집 및 이를 이용한 자가진단 기법에 대한 연구개발이 필요함

- 미국, 유럽 및 일본 등의 선진국을 중심으로 예방적 유지보수라는 신 개념의 유지관리기법 도입이 생애주기비용 측면에서 성공을 거둠
- 미국 및 캐나다의 북미지역의 연구 결과에 의하면 도로굴착에 의한 시공지역의 지반 침하로 인한 포장표면 단차로 인하여 전체적인 도시 전체의 포장의 수명이 약 10%정도 감소하였으며, 도로굴착 부분만 분석하였을 경우 약 35%의 포장수명이 크게 감소되는 것으로 나타남
- 미국 애리조나주의 경우 현재의 포장상태를 알 수 있도록 GIS기반을 이용하여 실시간 홈페이지 서비스 중에 있음
- 연약지반상에 시공된 포장이 스웰(swell)등으로 인하여 장파장의 요철이 생길 경우 그 주위에서 속도를 급격히 제한하고 있어 운전자의 불편이 심하고 이로 인해 AADT가 7000인 경우 2.5cm의 연약지반의 움직임에 따라 연간 약 550달러/lane mile의 경제적 손실도 있는 것으로 보고됨
- 현재 ROAD RECON, CATCHER, ARAN 등 고가의 노면 평탄성 측정 장비가 사용되어 지고 있음

○ 국내기술동향

- 도로 포장상태를 조사하기 위한 장비 현황은 지표투과레이더 Ground Penetrating Radar(GPR), Falling Weight Deflectometer (FWD), Rolling Wheel Deflectometer(RWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험기가 활용되고 있으며, 이에 따른 포장 공용성 평가 해석기법 개발이 필요한 실정임
- 유지관리 시스템의 업무프로세스와 데이터 처리 방식의 개선에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있으며, 도로포장관리시스템(PMS) 개선방안 또한 점차적으로 개발 되고 있으나, 포장 하부원인에 따른 도로 붕괴 위험도 평가 기술에 대한 연구가 전무한 실정으로 붕괴를 사전적으로 예방할 수 있는 시스템 구축이 어려운 상태임
- 선진국과의 유지관리 투자비중 비교, 시설물 스톡증가 추이, 향후 신규 건설규모 전망 등에 기초하여 향후 안전 및 유지관리 수요를 전망한 결과, 2010년대 중후반까지는 안전 및 유지관리 시장이 현재의 증가율이 유지되다가 2020년 이후부터 증가세가 확대될 것으로 예측되나 2050년 이후부터는 증가세가 둔화될 것으로 전망
- 도로붕괴에 대한 대책공법은 주로 침하를 유발하는 연약지반을 위주로 기술개발이 이루어져 왔으며 ‘스마트하이웨이’사업단에서

는 도로접속부에서의 침하방지를 위한 연구가 진행중이었으나 중도 종료된 바 있음

- 국내에서는 매년 지하공간구조물 및 관로공사시 도로면 침하 및 붕괴사례가 다수 발생하여 막대한 재산상 및 인적피해가 발생함에도 불구하고 지하공간구조물 및 지중매설관로의 공사시 도로붕괴의 방지설계/시공기술과 붕괴발생에 따른 도로하부 보수공법에 대한 기술개발이 이루어져있지 않음
- 지하공간구조물 및 지중관로 시공시 개착 또는 굴착과 관로 등 구조물 설치에 따른 재포장 후 하부구조 강성 및 지지력 저하, 침하발생, 붕괴 등으로 인한 재산피해는 물론 인명피해가 따르고 있음
- 기존 도로 개착 또는 굴착후 재포장 설계, 붕괴방지설계 및 유관 시공법의 개발이 시급한 실정이나 국내에서는 유사연구가 매우 제한적이며 통일된 지침이 개발되지 않은 상태임
- 현재 국내에 적용되고 있는 포장설계법은 상부에 대한 포장 유지관리, 포장체 거동 분석 프로그램, 아스팔트 포장체 구조적 적정성 및 상태평가 시스템 등 본 연구에 부합하는 도로 하부 해석 시스템에 연구는 이루어지고 있지 않으며, 도로 포장 상부시스템에 대해 국한되어 연구가 이루어지는 실정임
- 실내시험 및 포장구조해석에서 저·고속 상태의 차량속도를 고려하여 주행차량 속도 변화에 따라 하부구조에 가해지는 구속압과 축차응력에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여야 합당한 하부구조 설계 가능함
- 도로하부문제로 인하여 상부 평탄성이 문제가 발생하면 고속 주행시 동적하중이 증가되어 파손이 급격히 증가함
- 표면 거칠기에 의한 동적 차량하중 크기의 증가는 포장의 응력 및 변형률에 영향을 미치는 것으로 나타남. 이는 포장의 공용성과 연관되기 때문에 표면 평탄성과(거칠기와) 포장의 공용성과의 관계를 유출하는 방법이 필요함
- 제시지반설계에서 설계완료시기인 압밀 90%와 장기침하 10cm 규정의 경우 도로설계에 미치는 영향이 검토된 바 없으며, 실제 모니터링결과를 보면 원지반 장기침하구간의 도로파손이 더 빨리 진행되며, 운전자의 쾌적성과 안정성을 위협하고 있음

○ 국외기술동향

- 국외 도로포장상태 조사 장비는 국내와 마찬가지로 구성되어 있으며, 미국의 경우 지하수 유출로 인한 도로 등 심각한 침하가 일어나는 것을 방지 하기위해 위성을 이용하여 지반 고도 변화를 파악하여 사회기반 시설의 피해를 최소화하고 있음

- 영국 TRL(Transport Research Laboratory)은 최근에 버지니아 지속가능 연구 컨소시엄(VSRC: Virginia Sustainable Research Consortium)과 함께 도로 포장의 구조적 조건을 평가하기 위해 적용되고 있는 기술들에 대한 역량 평가 프로젝트를 수행 중에 있음
- 호주연방과학원의 RoadCrack 시스템은 이미지처리기술을 기반으로 하는 자동형의 도로 표면 포장상태를 탐사하는 장치로서, 이 장치를 통해 도로 표면의 균열을 밀리미터 단위로 이동하면서 차량 바닥면 아래를 감지하며, 자동 균열감지시스템에서 수집한 객관적인 통계 데이터는 도로 포장 자산관리에 있어 매우 유용한 자료로 활용하게 되고, NSW 도로국은 매년 도로 유지관리비용으로 수천만 달러를 절약할 수 있을 것으로 예상
- 미국, 홍콩, 일본 등과 같은 도로 침하, 붕괴분야의 선진국에서는 단순히 조사와 데이터베이스화를 통한 유지관리 단계를 넘어서 장단기적인 안정성을 평가하고 불안정요소에 대한 대책을 수립하는 추세임
- 최근 USN, SoC 등 첨단 IT기술을 접목한 도로 시설물 거동측정에 대한 연구가 활발히 수행되어, 소형, 저전력, 저비용의 실시간 거동계측 시스템의 구현 및 보급의 가능성이 높아짐
- 유럽 및 미국의 경우 기존도로 하부 비개착식의 관로부설 공사가 일반화되어 있으며 pipe jacking 및 micro tunneling에 의한 관로부설을 실시함
- 특히 비개착 관로부설에 따른 도로포장의 risk assesment 평가기술을 개발하여 관로부설 이전 관로부설이 도로포장에 미칠 영향을 엄밀하게 평가하여 도로포장에 미치는 영향을 최소한으로 하고 있음
- Risk Assesment에 따라 도로에 미치는 영향최소화를 위한, 최적 굴착방법의 선정, 굴착전 관망 네트워크 및 지반조사 사전조사 방법의 수립, 도로교통량의 평가, 침하최소화를 위한 관로부설공법 최적화 기술, 굴착시 도로하부 지반변형의 평가, 관로인접 시설에 미치는 영향의 평가방법 수립 등을 진행함
- 미국의 경우 연방도로국(FHWA) 주도로 도로개착 및 매설관 설치시 기존 도로포장에 미치는 평가기술을 이미 개발하여 활용중임
- 국외의 경우 도로하부 구조물 설치시 underpinning 공법에 대한 다수의 기술이 개발된 바 있으나 근접도로의 침하 또는 붕괴에 따른 평탄성 모니터링 기술이나 도로하부변형 사전검측기술 및 보수공강공법 등은 아직 개발된 사례가 없음
- 일본의 경우 도로 이용자의 승차감을 평가하기 위한 주행성 지표를 제안하기 위해 생체 맥파를 이용하고 노면의 노철이나 단

차가 도로 이용자에게 주는 승차감의 정도를 정량 평가하고 생체 맥파의 카오스 해석에 의해서 얻을 수 있던 리아프노프 지수를 이용해 복수 도로의 승차감의 구별화를 실시해 포장 유지관리를 위한 승차감 평가 지표를 제안하는 기초연구를 실시함

3. 연구개발 내용

- 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 위험성을 평가하기 위하여 도로하부의 동공 발생 유무를 파악하고 포장의 지지력을 평가할 수 있는 비파괴시험 및 해석 기법을 개발
 - 동공 및 침하, 지지력 요소를 포함하는 도로붕괴 위험도 종합판정 지수 및 보수보강 지침 개발
 - 연구내용
 - 도로붕괴 유형별 발생 메커니즘 규명
 - 비파괴 기법을 이용한 도로포장 하부구조 특성 자동화 탐지 기술 개발
 - 도로붕괴 위험도 평가 기술 개발
 - 도로붕괴 예방 보수보강 결정기술 개발
 - 도로붕괴 예측/예방 통합 시스템 구축
- 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 위험구간의 침하량 및 노면상태 측정과 정량화를 위한 자가이동식 소형 평탄성 및 이미지 측정 장비의 개발
 - 포토 및 레이저 센서에서 획득한 데이터의 분석 및 해석용 소프트웨어 개발
 - 연구내용
 - 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 시제품 개발
 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 개발
 - 이미지 센서를 이용한 노면상태 측정 장비 시제품 개발
 - 아스팔트 도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석프로그램 개발
 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템 구축
 - 측정 장비 및 시스템의 검증을 위한 현장시험 및 이를 통한 시스템 개선
 - 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 시제품 개발 및 현장 적용성 개선

- 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발
 - 연구목표
 - 도로붕괴 사고를 사전 감지할 수 있는 현장 모니터링 및 자가진단 시스템 개발
 - 연구내용
 - 도로하부 거동에 따른 변형실태조사 및 도로거동 계측시스템 조사 분석
 - 자가진단을 위한 계측항목 선정 및 평가, 기존정보 연계방안 연구
 - 상시 계측용 최적 시스템 설계 및 구축
 - 실시간 도로거동 분석 및 자가진단 기법 개발
 - 계측 시스템의 장단기 안정성 개선 및 현장 적용성 평가
 - 실시간 도로거동 모니터링을 위한 USN 기반 모니터링 시스템 개발
 - ISA 100 통신 프로토콜을 활용한 원격 모니터링 전용 시스템 시제품 개발
 - 현장적용을 통한 시제품의 안정성 확보
- 도로붕괴 위험저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발
 - 연구목표
 - 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 기술 개발
 - 도로침하 및 붕괴 방지를 위한 비개착 관로매설 기술 개발
 - 도로붕괴 위험구간의 지지력 복원기술 개발
 - 연구내용
 - 굴착복구구간의 포장하부 지지력 평가 기술 및 굴착복구 기술 개발
 - 도로침하 및 붕괴 방지를 위한 비개착 관로매설 기술 개발
 - 도로붕괴 위험구간의 지지력 복원기술 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 연도별 세부적 마일스톤 설정 및 준수
 - 체계적 대학원 인력 관리 시스템 구축 및 운용
 - 국내외 관련 소프트웨어 개발사와 협조/협약을 통해 소프트웨어 중요 소스코드 확보
 - 해외 도로붕괴 탐사용 비파괴시험 관련 기관과의 협조/협업을 통해 탐사시스템 구축의 효율성 극대화

☐ 추진체계	○ 해외 전문가에게 기술적 자문 ○ 연구개발 내용별로 기존 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립 ○ 기존 기술 적용 시의 효용성 및 문제점 분석을 통하여 성능검증 계획 수립 ○ 원천기술 확보와 기존 개발은 학·연 중심으로 주관연구 추진 ○ 실용화기술 개발은 산·학 중심으로 연구 추진 ○ 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증
5. 최종성과물	☐ 주요 최종성과물 ○ 도로붕괴 위험도 탐지 및 평가 기술 개발 - 도로포장 하부 상태 평가 알고리즘 - 도로붕괴 위험도 탐지를 위한 비파괴시험 시스템 - 도로붕괴 위험도 평가를 위한 정량적 등급 산정 알고리즘 - 도로붕괴 예방 통합 시스템 및 사용자 매뉴얼 ○ 포토 및 레이저 센서를 이용한 자가 이동식 노면상태 측정 시스템 개발 - 레이저 센서를 이용한 노면 평탄성 측정 장비 - 주행안정성 확보를 위한 평탄성 평가 기법 - 이미지 센서를 이용한 노면 상태 측정 장비 - 아스팔트도로용 균열 이미지 개선을 위한 필터링 기법과 이미지 분석 프로그램 - 레이저 및 포토센서 장비의 통합 시스템 ○ 실시간 도로거동 원격 계측 및 자가진단 기법 개발 - 도로 하부 거동 상시 계측 시스템 - 도심지 공사용 도로 하부 거동 계측 시스템 - 실시간 도로 거동분석 및 자가진단 시스템 - 돌발성 붕괴 예측 및 대응 시스템 ○ 도로붕괴 위험저감을 위한 관로매설 및 포장하부 지지력 복원 기술 개발 - 굴착복구로 인한 도로붕괴 보수보강 기술 - 관로교체공사에 따른 도로붕괴 위험구간 보수보강 기술 - 도로포장 하부 손상복구 및 예방기술 - 굴착복구 하부다짐관리 지침비트물
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~ 2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 67억원(정부출연금 51억원 이내)

7. 기 타	
	○ -

2절. 평가기준 설정

1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적절성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

가. 연구개발 목표

- 기후변화와 더불어 도심화로 인하여 발생하는 도시홍수로 인한 도로침수와 도로하부 시설물로 인한 지반침하 및 지하수위변화로 인한 도로붕괴로 인한 인적, 물적 피해를 최소화하기 위한 시대적 요구에 부응하는 건설기술개발의 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토해양부의

‘건설교통 R&D 성과지표’에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

나. 연구개발 내용

- 도로침수를 예방할 수 있는 빗물 투수형 및 저류형 도로포장 시스템을 구축하기 위한 포장하부 재료, 지지력 확보 및 보강 기술을 포함한 설계 및 시공 기술이 필요함
- 도로붕괴의 위험도를 평가하고 이를 예방 및 보수보강 할 수 있는 새로운 기술의 제안이 구체적으로 필요함
- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

다. 추진전략 및 계획

- 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발 계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용.
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단
- 탄소저감형 건설재료 기술개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성의 적정성 및 연계성
- 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

- 기관선정의 우선순위는 탄소저감형 건설재료의 제품화에 따른 시장점유율 및 부가가치 확대, 세계최고 수준의 기술경쟁력 확보 등으로 개발기술의 실용성 및 경제성에 초점을 두어 선정함.
- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부
- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부

- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있음.
- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함.
- 연구책임자는 국토해양부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 중합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함.

2. 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

- 산, 학, 연이 모두 참여하며
 - 세부 주관연구기관으로 산, 학, 연이 각각 구성된 경우 : 2점
 - 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점
- 산, 학 또는 산, 연으로 구성되며
 - 중소기업이 세부 주관연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
 - 중소기업이 세부 주관연구기관으로 구성된 경우 : 1점

나. 총 연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

- 총 연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)
 - 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
 - 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

- 국토해양부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약이 체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

- 현재 개정 작업 중에 있는 「국토해양부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

* 『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(‘11.3.28)』 제7조 4항 1호 및 [별표 1의 3] 관련

마. 기타

- 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(기입 여부)
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점
- 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점
- 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정(‘09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정(‘09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점

7장. 참고문헌

- 건설기술혁신사업 (2010), 빗물저류조 급속시공기술 및 친환경 빗물처리 시스템 개발, 기술혁신사업.
- 경북일보 (2003), "지방 확·포장 공사때 평탄성 검사 미 실시 허점", 경북일보, <http://jjan.kr>.
- 구본홍 (2007), 연약지반 도로현장에서의 지반공학적 문제에 관한 현장사례 연구, 공주대학교.
- 국가기록원, 나라기록, (2006)<http://contents.archives.go.kr/next/content/listSubjectDescription.do?id=001878>.
- 국토연구원, 기후변화에 따른 국토취약성 분석과 적용방안(1차년도), 주요 국가기반시설 재해현황.
- 국토연구원 (2008), 도시 침수피해 방지를 위한 효율적 실행방안 연구, 제 2장 도시화 및 홍수피해 현황과 특성.
- 국토해양부 (2010), 도로안전 개선사업 추진, 국토해양부 도로정책자료.
- 국토해양부 (2010), 저탄소 녹색성장과 기후변화대응을 위한 국토해양부 녹색성장 추진계획, 국토해양부.
- 국토해양부 (2010), 한국형포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구: 포장 하부구조 다짐관리 지침개발 연구", 국토해양부.
- 권순민 외 2명 (2002), 동결심도를 고려한 포장 하부구조 개선방안 연구, 한국건설기술연구원.
- 기상청 (2010), 지구대기감시 보고서, 기상청.
- 김국한, 이병덕, 최고일, 영성철 (2003), "평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구", 한국도로학회 논문집, 제5권 제1호, pp. 11~18.
- 김성민, 이석근 (2008), "도로포장 표면평탄성에 따른 주행차량의 동적 하중 변화 특성" 한국도로학회 논문집, 제10권 제1호, pp. 135~144.
- 김정호 (2010), "해외 도로성능 시험장 현황 및 국내도입 필요성", 도로정책 BROEF 제 34호.
- 김정환 (2008), "생애주기비용을 고려한 도로포장의 자산가치 평가 방안", 석사학위논문, 한밭대학교.
- 김창훈 (2010), 지하굴착 주변에서의 지하수 영향범위 설정에 관한 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교.
- 남양주뉴스 (2012), "경기지역 13개 노선에 1조5천706억 투자", 남양주뉴스,

<http://www.nyjnews.net>.

- 남정희 (2010), "산업부산물 재활용 시멘트 콘크리트포장", 한국도로학회지, 제12권 제2호, pp. 20~24.
- 노한성, 김홍중 (1995), 연약지반 침하량 추정에 관한 연구(III), 한국건설기술연구원.
- 류명찬 외 7명 (1996), 아스팔트 포장의 유지관리 시스템 개발에 관한 연구, 한국건설기술연구원.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2003), 3차원 지반 환경 진동 예측 해석 시스템 개발, KISTI.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2003), 위성으로 지반침하 측정, KISTI.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2008), GIS를 이용한 도로포장 관리 시스템, KISTI.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2009), 비파괴 도로 평가 기술을 평가하기 위한 TRL, KISTI.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2010), 모바일 탐사차량 기반의 도로 포장 표면 균열 감지시스템, KISTI.
- 미리안글로벌동향브리핑 (2011), 토탄성 연약지반에 도로 건설·관리하기 위한 매뉴얼 발간, KISTI.
- 박기홍 (2009), 대절토 도로사면 슬라이딩 방지를 위한 계측효과에 관한 연구, 석사학위논문, 상지대학교.
- 박대욱, 진정훈 (2010), "최소단면 보수지역의 평탄성 평가", 한국도로학회논문집, 제12권 제2호, pp. 123~127.
- 박무중, 손태석 (2011), "저영향개발(LID) 기법을 활용한 최근 연구 동향", 방재연구, 제13권 제4호.
- 박상권 (2006), 산사태 및 위험절개지 재해에 대한 효율적인 예방시스템의 구축, 박사학위논문, 홍익대학교.
- 박상욱, 서영찬 (2008), "HPMS 데이터를 이용한 고속도로 교량 및 뒤편구간 평탄성 특성 연구" 한국도로학회논문집, 제10권 제3호, pp. 189~197.
- 박성완, 황규영 (2007), "응력상태와 함수비에 대한 시험도로 노상토의 회복탄성거동" 한국도로학회 논문집, 9권 2호, pp. 47~56.
- 박성완, 성열정 (2011), "다져진 도로기초 재료의 불포화투수특성 평가(1): 실내실험", 대한토목학회 논문집, 31권 1호, pp. 73~82.
- 박영석, 임무광, 송거름수, 김현욱, 조운호 (2011), "포장가속 시험을 통한 블록포장의 빗물흐름 연구", 한국도로학회 봄 학술대회 논문집, pp. 329~336.
- 박희문 (2006), 아스팔트 포장체 구조적 적정성 및 상태평가 시스템 개발 연구, 한국건설기술연구원.
- 백용, 권오일, 김승현, 구호본 (2005), "집중호우시 사면 붕괴의 특성 및 토층 심도와 지하수변동에 따른 사면 안정성 해석", 대한지질공학회지, 제15권 제1호, pp. 57~66.

- 서울시청 (2012), 서울시 첨단과학 장비로 스마트한 도로관리, 서울시청 보도자료.
- 서울특별시, 도로울 및 포장울 현황, (2012), <http://safe.seoul.go.kr/archives/tag/%EB%8F%84%EB%A1%9C%EC%9C%A8-%EB%B0%8F-%ED%8F%AC%EC%9E%A5%EC%9C%A8-%ED%98%84%ED%99%A9>.
- 서은석, 이종세, 김희석 (2003), “교량의 동적거동특성을 고려한 중량 계측시스템의 정확성 향상에 관한 연구”, 2003 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 982.
- 서주원, 김보경, 최준성, 김수일, 김형배 (2007), “포장 평탄성과 차량 종류에 따른 동적하중 증폭계수 개발”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회논문집, 제9권 제4호, pp. 461~468.
- 소방방재청 2010년 방재연보, http://www.nema.go.kr/nema_cms_iba/show_nema/board/board9s/view.jsp.
- 소방방재청 (2011), 2010년 재난연감, 소방방재청 예방전략과.
- 손수국 외 9명 (2001), 포장손상 검사장비 및 평가모델 개발 연구, 한국건설기술연구원.
- 손영태, 이진각, 이신라, 정철기 (2010), “이용자 만족도를 고려한 고속도로 노면상태 종합평가에 관한 연구”, 한국도로학회논문집, 제12권 제3호, pp. 9~16.
- 송동범 (2007), 도심지 근접시공시 적정 흙막이 공법 선정에 관한 연구, 석사학위논문, 서울과학기술대학교.
- 신상영 (2011), “최근 서울의 수해현황과 대책”, 워터저널, <http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=13721>.
- 신은철, 이재식, 조규태 (2011), “도로포장 현장계측 온도데이터를 이용한 도로포장체의 동결깊이 연구”, 한국도로학회논문집, 13권 1호, pp. 21~32.
- 양성철, 임유진 (2009), “시멘트 콘크리트 포장확장시 포장하부지반의 강성과 변위발생의 상관성 분석”, 한국방재학회논문집, 제9권 6호, pp. 41~45.
- 오홍운 등 (2005), 고속도로 운행제한 차량 단속체계 개선 방안 연구, 한국도로공사 도로교통기술원.
- 유인균, 김제원, 이수형, 고광호 (2011), “승용차 유류소모량 산정 방법의 비교 연구” 한국도로학회논문집, 제13권 제4호, pp. 167~175.
- 유인균 (2012), 차량운행비용을 고려한 도로 노면의 관리, 교통환경문제연구포럼.
- 유태석 외 3명 (2000), 비파괴시험을 통한 콘크리트포장하부 평가기법 개발, 한국건설기술연구원.
- 유현수 (2001), 노면의 건설 및 유지관리를 위한 FWD의 개발, 한국생산기술연구원.
- 유현수 (2001), 도로구조물의 건설 및 유지 관리를 위한 시스템 개발: 노면의 건설 및 유지관리를 위한 FWD의 개발, 한국건설기술연구원.

- 이관호 외 7명 (1997), FWD 정밀해석 및 포장구조체 하부구조 평가방법 연구(Ⅲ), 한국건설기술연구원.
- 이세현, 서원석, 추연욱, 김동수 (2008), “다짐지반의 모관흡수력 변화에 따른 탄성계수 평가를 위한 VPPE-BE 시험 시스템 개발”, 한국지반공학회 논문집, 24권 5호, pp. 117~127.
- 이수곤 외 7인 (1992), 도로와 가옥주변의 절취면 붕괴위험 평가 및 보강대책 연구, 한국지질자원연구원.
- 이수곤, 김낙영, 전복현 (2007), “도로 터널 시공중 발생된 붕락형태 분석 연구”, 한국지질공학회지, 제17권 제1호, pp. 115~123.
- 이찬중 (2009), 터널의 지하수 유출이 도심지하수 흐름에 미치는 영향, 석사학위논문, 동아대학교.
- 이창호, 윤형구, 김준한, 이종섭 (2008), "전단파와 전자기파를 이용한 연약지반의 실내 압밀 특성 평가", 한국지반공학회논문집, 제24권 제8호, pp. 25~34.
- 이우진, 김용진, 이원제, 이웅주 (2011), “지반변형측정을 위한 TDR기술의 적용”, 한국지반환경공학회논문집, 4권 2호, pp. 15~25.
- 임유진, 서창범 (2009), “화강풍화토를 이용한 CLSM의 공학적 특성평가”, 한국방재학회논문집, 제9권 제3호, pp. 19-26.
- 일본도로학회 (2007), 투수성 포장 가이드북, 일본도로학회 포장위원회 포장설계시공소위원회.
- 임동호 (2012), "교통약자 저상버스 도입 전국최하위", 아시아뉴스통신, <http://www.anews.com>.
- 임영태 (2009), "대중교통 연계를 통한 자전거 이용 활성화 정책", 국토정책 BRIEF 제 226호.
- 임유진, 이성준, 임광수, 조운호, 박희문, 박경수, 황정규 (2009), “함수비에 따른 노상에서의 탄성계수 변화”, 한국 도로학회 학술대회 논문집, pp. 635~640.
- 장승호, 오지택, 문대섭 (2006), “고속도로 생애주기비용 산정을 위한 사용자비용 모형”, 교통기술과 정책, 제3권 제1호, pp. 40~51.
- 전북도민일보 (2001), 88고속도 주행안정성 대폭 확대, <http://domin.co.kr>.
- 정종홍, 정경자, 김홍중, 조성민 (2005) "연약지반구간 고속도로의 개통 후 침하량 분석", 2005년 대학토목학회 학술대회 논문집.
- 조선아, 조계춘, 임유진, 이정학 (2010), “경량기포혼합토의 공학적 특성 분석”, 대한토목학회 학술대회, pp. 473~476.
- 조준행 (2006), 도로연결 점용허가제도 개선방안연구, 도로정책연구센터.
- 최고니, 유충식 (2011), "응력-간극수압 연계해석을 이용한 흙막이 굴착시 지하수 저하에 따른 지반침하에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 제27권 제5호, pp. 17~31.

- 최광용, 권원태, 부경은, 차유미 (2008), Journal of Korean Geographical Society, Vol. 43, No. 5. pp. 681-700.
- 한국건설기술연구원 (2004), 아스팔트 포장체의 구조적 적정성 및 상태 평가 시스템 개발, 한국건설기술연구원.
- 한국건설기술연구원 (2006), 자연친화형 도로건설을 위한 친환경배수재 활용 연약지반 개량기술 연구, 한국건설기술연구원.
- 한국도로공사 (1994), 연약지반 침하량 추정에 관한 연구, 한국도로공사 도로연구소.
- 한국도로공사 (2005), 장수명 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발, 한국도로공사 도로교통연구원.
- 한국도로공사 (2005), 연약지반 구간 고속도로 개통 후 침하평가 및 관리방안 연구, 한국도로공사 도로교통연구원.
- 한국도로공사 (2006), 포장의 기능 및 구조적 평가기법 개발을 통한 사용성 및 내구성 진단, 한국도로공사 도로교통기술원.
- 허용환 (2011), 조립식 흙막이의 시공효율성을 위한 버팀보의 위치변화에 대한 해석적 연구, 공학석사학위논문, 전북대학교.
- ACF (2006), "Rain Tank Installation Field Guide", Australian Conservation Foundation(ACF).
- Cahill, T., Adams, M., Marm, C., and Hansen, K. (2004), "Pavements that are stormwater management friendly," Land Development Today.
- Clemena, G. G., Sprinkel, M. M., and Long, Jr. R. R, (1987), "Use of Ground-Penetrating Radar for Detecting Voids under a Jointed Concrete Pavement", *Transportation Research Record*, No 1109, pp. 1~10.
- EPA (2009), A Conceptual Guide to Effective Green Streets Design Solutions, Report EPA-833-F-09-022, EPA.
- FEHRL (2008), "New Road Construction Concepts", The Forum of European National Highway Research Laboratories(FEHRL).
- FEHRL (2008), "New Road Construction Concepts: Vision 2040", The Forum of European National Highway Research Laboratories(FEHRL).
- FEHRL (2008), "Vision: Road Transport in Europe 2025", The Forum of European National Highway Research Laboratories(FEHRL).
- FHWA (2005), Quiet Pavement Systems in Europe, Federal Highway Administration(FHWA), U.S. Department of Transportation.
- Hufenus, R., Rueegger, R., Banjac, R., Mayor, P., Springman, S. M., and Bronnimann, R. (2006), "Full-Scale Field Tests on Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads on Soft Subgrade", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 24, pp. 21-37.

- Leng, J. and Gabr, M. (2005), "Numerical Analysis of Stress-Deformation Response in Reinforced Unpaved Road Sections", *Geosynthetics International*, Vol. 12, pp. 111-119.
- KIEP 지역경제 포커스 (2012), 타지키스탄의 교통인프라 개발 계획과 발전 전망, 대외경제정책연구원.
- NAPA (2008), Porous Asphalt Pavements for Stormwater Management, Information Series 131, National Asphalt Pavement Association(NAPA), Lanham, MD.
- Ni, J. C. and Cheng, W. C. (2011), "Quality Control for Grouting under Rigid Pavement", *Proceedings of the 2011 GeoHunan International Conference*, Hunan, China, pp. 183~192.
- Tang, X., Chehab, G. R., and Palomino, A. (2008), "Evaluation of Geogrids for Stabilizing Weak Pavement Subgrade", *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 9, No. 6, pp. 413-429.
- Torres, F. and McCullough, B. F. (1984), "Void Detection and Grouting Process", Interim Report, FHWA-TX-82-45+249-3, University of Texas at Austin, TX, USA.
- Wang, L.-G., Miao, X.-X., Dong, J.-T., and Tan, X.-N. (2005), "Numerical Simulation Research of Bolt-Grouting Support in Deep Soft Roadway," *Journal of Rock and Soil Mechanics*, China University of Mining Technology, Vol. 6. No. 35.
- Zornberg, J. G., Gupta, R., and Ferreira, J. A. Z. (2010), "Field Performance of Geosynthetic Reinforced Pavements over Expansive Clay Subgrade", *Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics*, Brazil.