

(뒷면) (옆면)

(앞면)

3cm	R&D 2012 -연구 기획- U	4cm		<p>건설교통연구기획사업 기획연구보고서 (견고닥13p)</p> <p style="text-align: right;">3cm</p>
	도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발	Land Transpot and Maritime R&D Report		<p style="text-align: right;">0.5cm R&D / 2015-연구기획U</p> <p style="text-align: right;">2.5cm 9cm</p> <p style="text-align: center;">(견고닥31p) 5cm</p> <p style="text-align: center;">도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 기획 보고서</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p style="text-align: center;">(0.1cm)</p> <p style="text-align: right;">2015. 4.</p> <p style="text-align: center;">0.15cm (견고닥15p)</p> <p style="text-align: center;">(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관 / 세종대학교</p> <p style="text-align: center;">(견고닥 15.5p)</p> <p style="text-align: center;">(백색바탕)</p> <p style="text-align: center;">국 토 교 통 부 국토교통과학기술진흥원</p> <p style="text-align: right;">(견고닥 20p)</p>
5cm	국토교통 과학기술 진흥원	(견고닥 25p)		
3cm	(견고닥 17p)			

(뒷면)

주 의

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

제출문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 기획” 과제의
보고서로 제출합니다.

2015. 4.

주관연구기관명 : 세종대학교

주관연구책임자 : 이현중

연 구 원 : 이종재

연 구 원 : 윤만뚜안

연 구 원 : 크리스티나 로살레스

연 구 원 : 최성호

요약문

I. 제목

- 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 연구 목적

- 최근들어 빈번히 발생하고 있는 돌발적인 도로함몰 사고로 국민 불안이 커지고 있으며 이에 대한 대책 마련 필요
- 본 기획 연구의 목적은 도로함몰을 사전에 탐지하고 다양한 환경조건에 따른 도로함몰 위험도 평가 기술을 개발하여 선제적 재해방지형 도로를 구축하는 것임
- 비파괴기법을 이용한 도로포장 하부구조 특성 자동 탐지 기술 개발, 탐지 데이터 분석을 통한 도로함몰 위험도 판정기술 개발을 통해서 도로함몰 발생 사고 70% 감소 목표

○ 연구 필요성

- '14년 8월 서울 잠실인근에 5개의 도로함몰이 발생하여 주변 일대의 차량 통행이 전면 중단되고 해당 내용을 언론이 대대적으로 보도함에 따라 도로함몰이 큰 사회적 이슈가 되었음
- 또한, 지난 2월 20일에는 용산 근처에 보도를 걸어가고 있던 행인 2명이 도로함몰구간에 빠져 부상당하는 사건이 발생하는 등 도로함몰에 대한 국민 불안이 가중되고 있는 실정
- 주로 대규모 석회암 지역에서 석회암이 물에 녹아서 생기는 공동(空洞)으로 인해 발생하는 대규모의 싱크홀과는 달리, 도로함몰은 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
- 이러한 도로함몰 방지를 위해서는 도로 하부에 위치한 동공을 사전 탐지하고 동공의 크기 및 위치에 따라 도로함몰 발생 시기를 예측하여 복구하

는 도로 유지관리 시스템 개발이 필요

- 또한, 다양한 환경 및 토질조건에 따른 실험대형(Full Scale) 포장가속 시험으로 동공의 위치 및 크기에 따른 도로함몰 발생 시기 예측 및 원인을 규명하고 사전 대응이 가능한 재난방지형 도로시스템 구축이 필요함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

○ 연구 범위

- 국내외 시장, 정책, 기술 현황 분석
- 비전 및 목표 수립
- 연구과제 RFP 작성

○ 중점추진분야

- 도로함몰 위험구간 탐지 장비 개발
- 도로함몰 위험도 탐지 분석 기술 개발
- 도로함몰 원인 분석 및 검증 연구

목 차

1. 기술의 정의 및 필요성	1
가. 기술의 정의 및 필요성	1
(1) 기술의 정의	1
(2) 기술의 필요성	1
나. 기술 범위 및 내용	4
(1) 기술 범위	4
(2) 기술 내용	4
2. 국내외 동향조사 및 환경분석	6
가. 국내외 정책동향	6
나. 국내외 시장현황 및 전망	9
다. 기술동향 분석	15
(1) 관련 기술개발 동향	15
(2) 기존 기술(연구)과의 차별성	25
라. 특허 동향	26
(1) 국내외 특허 동향	26
(2) 특허청 보도자료 (2014.10)	28
마. 연구개발 인프라 분석	30
(1) 연구개발 인프라 분석 범위	30
(2) 국내외 연구 인프라	30
(3) 선진국 대비 국내 인프라 수준	35
3. 연구개발과제 구성 및 추진전략	36
가. 비전 및 목표	36
(1) 비전	36
(2) 목표	36
(3) 범위	37
나. 주요 연구개발 내용	38
다. 기술 및 성과 로드맵	41
(1) 기술로드맵	41
(2) 성과로드맵	42
라. 성과의 적용 및 실용화방안	44

4. 인력 투입 및 소요예산 산정	45
가. 인력 투입계획	45
나. 소요예산 산정	45
(1) 총 연구비	45
(2) 장비 및 시작품 소요예산	46
5. 과제 제안요구서	47
가. 과제 제안요구서(RFP)	47
나. 평가기준 설정	53
(1) 평가항목	53
(2) 가점 및 감점 기준	55
6. 참고문헌	57

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 기술의 정의 및 필요성

(1) 기술의 정의

- 도로포장하부의 침하나 공동으로 인해 발생하는 도로함몰을 예방하기 위한 도로함몰 위험도 탐지, 분석, 평가 기술임

(2) 기술의 필요성

- 최근 도심지의 돌발적인 도로함몰로 인명피해가 발생하고 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번히 발생하여 사회적 이슈로 부각되고 있음
- '14년 8월 서울 잠실인근에 5개의 도로함몰이 발생하여 주변 일대의 차량통행이 전면 중단되고 해당 내용을 언론이 대대적으로 보도함에 따라 도로함몰이 큰 사회적 이슈가 되었음
- 또한, 지난 2월 20일에는 용산 근처에 보도를 걸어가고 있던 행인 2명이 도로함몰구간에 빠져 부상당하는 사건이 발생하는 등 도로함몰에 대한 국민 불안이 가중되고 있는 실정



(1) 서울



(2) 부산



(3) 인천



(4) 경기도



(5) 전라남도



(6) 강원도

<2012년도 전국에서 발생한 도로함몰 사례(조선일보, 부산일보, Newsis)>

- 대표적으로 서울시의 경우 2008년도 이후 주요간선도로 총 197개소에서 도로침하 및 공동이 발생되었으며, 이중 27개소에서는 2회 이상 반복적으로 발생됨 (2012년 4월 27일 서울시 보도자료)
- 도심지 도로함몰 사고는 주로 도로하부에 상하수도관, 전력케이블, 가스관 등의 중소형 시설물을 비롯하여 지하철, 지하도와 같은 대형 구조물 등이 설치되어 있는 지점에서 집중적으로 발생되고 있음
- 주로 대규모 석회암 지역에서 석회암이 물에 녹아서 생기는 공동(空洞)으로 인해 발생하는 대규모의 싱크홀과는 달리, 도로함몰은 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
- 도로하부의 기반 시설물 설치 빈도가 꾸준히 증가하고 있고 기후 변화로 인한 폭우 및 한파, 폭염 등이 증가하고 있어 돌발성 도로함몰 사고는 지속적으로 증가하는 추세임
- 따라서 도로함몰로 인한 인명·재산 피해를 저감하기 위해서는 도로함몰 유형별 발생 메커니즘을 규명하고, 붕괴를 예측하기 위한 위험도 탐지 및 평가 기술 개발이 시급한 상황임. 또한, 도로 하부에 위치한 동공을 사전 탐지하고 동공의 크기 및 위치에 따라 도로함몰 발생 시기를 예측하여 복구하는 도로 유지관리 시스템 개발이 필요함.
- Ground Penetrating Radar(GPR), Rolling Wheel Deflectometer (RWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험 기법을 이용한 도로시설물 위험도 평가 관련 연구가 예방적 도로관리 시스템의 일환으로 개별적으로 연구되고 있으나, 복합적인 데이터를 활용한 도로함몰 위험도 탐지 및 분석에 대한 연구는 미미한 실정으로 이에 대한 연구가 필요함.
- 또한, 다양한 환경 및 토질조건에 따른 실험대형(Full Scale) 포장가속 시험으로 동공의 위치 및 크기에 따른 도로함몰 발생 시기 예측 및 원인을 규명하고 사전 대응이 가능한 재난방지형 도로시스템 구축이 필요함.

도로함몰 현황

- 빈번한 도로붕괴 사고로 인한 사회문제 대두(서울시: '08년 이후 197개소 발생)
- 기후변화 및 기반시설을 설치 증가로 붕괴사고 급격한 증가



여기도 폭삭, 저기도 폭삭... 범인은 자연이 아니라 사람

북한도 폭삭, 저기도 폭삭... 범인은 자연이 아니라 사람

북한도 폭삭, 저기도 폭삭... 범인은 자연이 아니라 사람

북한도 폭삭, 저기도 폭삭... 범인은 자연이 아니라 사람

조선일보 2012년 4월 2일 보도

함몰 유형

- 지하철 역 주변의 펌핑, 진동 등에 의한 도로 함몰
- 상하수도 관로 노후화
- 굴착공사 이후의 다짐부족



관련분야 연구

- 함몰원인 불명확(기존연구 미미)
- 함몰위험구간 사전 탐지 및 위험도 평가 기술 개발 시급
- 위험도 기반 도로유지관리



도로함몰로 인한 인명·재산 피해 저감을 위한 도로함몰 위험도 탐지, 분석, 평가 기술개발 필요

<도로함몰 위험도 탐지 기술 개발 필요성>

나. 기술 범위 및 내용

(1) 기술 범위

- 도심지에서 도로포장 하부에 설치된 다양한 종류의 시설물과 대형 구조물 주변에서의 토사 유실과 지하수위 변화로 인하여 발생한 도로하부의 침하나 공동으로 인한 도로함몰 발생 가능성에 대한 위험도를 평가하는 기술임
- 다양한 종류의 비파괴시험 기법 중 도로함몰 탐지에 최적인 시스템을 구축하여 도로함몰 위험구간을 탐지하기 위한 장비를 개발하는 기술
- 탐지 데이터 분석 및 처리를 통해서 도로함몰을 진단하여 위험도 등급을 산정하는 프로그램 개발 내용을 포함
- 도로함몰 원인에 대한 분석 및 도로함몰 실험을 통해서 탐지 및 분석 기술에 대한 검증 연구 수행

(2) 기술 내용

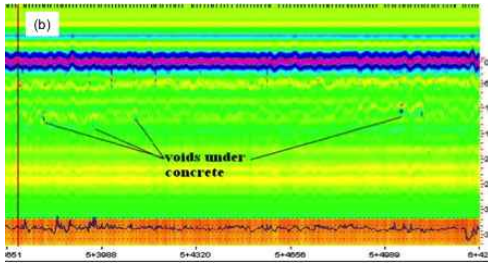
- 도로함몰 위험구간 탐지 장비 개발
지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR), Rolling Weight Deflectometer (RWD), Falling Weight Deflectometer (FWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험을 이용하여 도심지 도로포장 하부에 발생한 공동이나 지반의 처짐 및 지지력 등을 평가하여 도로함몰 위험도를 평가할 수 있는 물리탐지 및 분석 시스템 개발



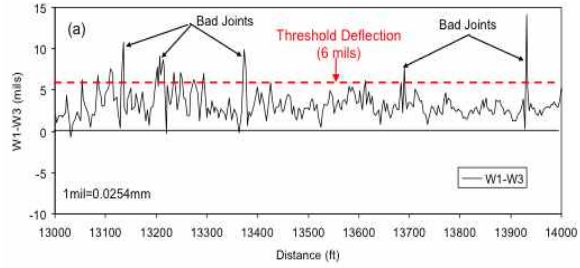
<도로함몰 위험도 탐지시스템 개념>

- 도로함몰 위험도 탐지 분석 기술 개발
지표투과레이더, RWD 등의 계측 데이터에 대한 영상 및 신호 처리 기술을 이용한 분석, 처리 기술 개발, 이로부터 도로함몰 위험구간을 자동으로 스크린 해주

는 자동 진단 프로그램 개발, 최종적으로 도로함몰 위험구간에 대한 위험도 등급을 산정해 주는 위험도 등급 산정 알고리즘 개발



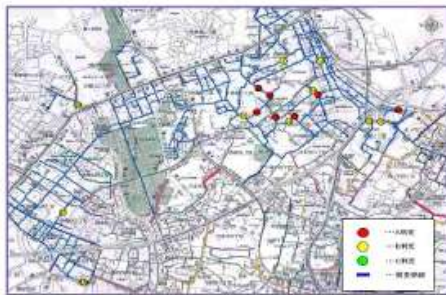
<GPR data>



<RDD data>

○ 도로함몰 원인 분석 및 검증 연구

도로함몰 사례 및 현장 조사를 통한 도로함몰 DB 구축하여 이로부터 도로함몰 구간의 위험도 요인을 평가하고, 도로함몰 원인에 따른 발생 및 확장 모형을 개발하며, 신타형 포장 가속실험을 통해서 도로함몰 모형 검증 및 개발된 도로함몰 탐지 기술에 대한 검증을 수행함



<도로함몰 위험도 지도>



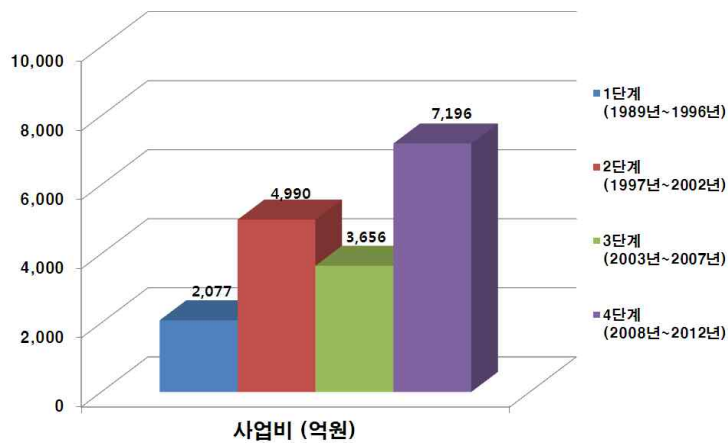
<신타형 도로하중 재하장비>

2. 국내외 동향조사 및 환경분석

가. 국내외 정책동향

- 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
- 도로함몰과 같은 사고가 발생한 후에 복구 작업을 수행하는 것보다는 사전에 함몰 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, 도로함몰 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 나타냄
- 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 도로합몰사고는 전국적으로 발생빈도가 증가하고 있고 이와 관련되어 2009년도 도로 전체 유지보수 금액이 2000년도 보다 41% 증가함으로 인하여 각 지자체, 특히 도심지내 도로합몰대책이 최우선정책으로 부상중임
- 국토교통부에 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



<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 침하는 도로 및 철도 등 국가 기간망에 안정성에 심각한 위험

- 요소로 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 상하수도관의 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 국토교통부에서는 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 임박한 상수도관 등 관로 교체주기시 기임
 - 또한 지하수위의 변화를 일으킬 수 있는 도로를 지나는 상하수도 관의 철저한 관리를 통하여 도로 하부층에서의 관로부터의 누수를 막아 수압과 토압이 크게 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 도로함몰을 방지하기 위한 시설물 안전관리 강화를 위한 정책을 추진하고 있으며, 도로함몰의 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 체

제 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
- 도로함몰에 따른 시민 불안은 사고빈도보다 과급성이 더 크므로 도로함몰방지 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

나. 국내의 시장현황 및 전망

- 소방방재청에 따르면 발표된 전국 도로함몰 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 도로함몰대책이 최우선정책으로 부상중임

● 도로 유지보수 비용 예

* 친환경 녹색국토 창출을 위한 도로사업 효율화 방안(2010)
* 경성일보 (2008)

유지보수 구간	연약지반	도로굴착복구
신승정교~신상안교 연약지반 구간	1,100억원	
서울시 (2010)		3,039 백만원

*** 도로 유지보수 금액
→ 24,852억원(09년도)
2000년도 보다 41.1% 증가**

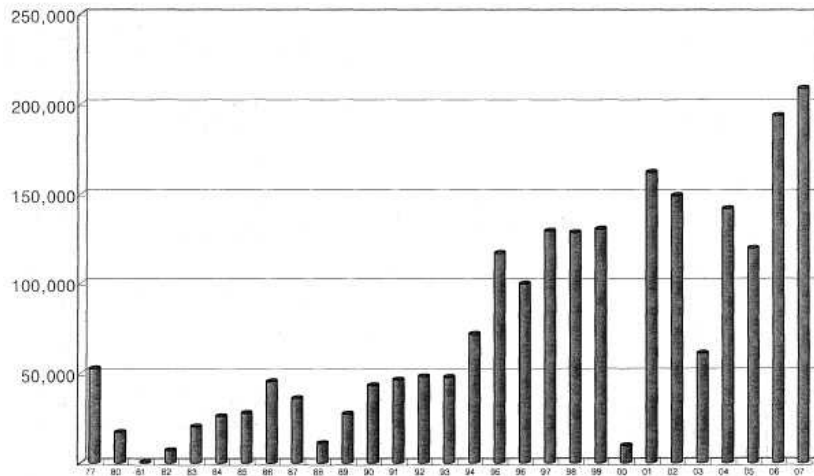
도로붕괴 및 침하로 인한 인명·재산 피해 현황



<국내 도로 유지보수 비용 현황>

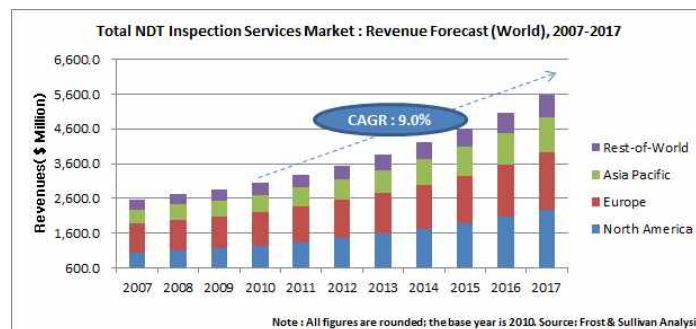
- 도로하부에 시공된 국내의 상하수도를 포함한 관로의 유지보수 비용이 연간 2

- 조원 정도로 추산되고, 이중 하부기초 및 뒤채움재 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 10조 원 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 압박한 상수도관 등 관로 교체주기를 고려할 때 도로굴착 및 복구 공사물량은 앞으로 기하급수로 증가할 것으로 판단됨
 - 따라서 국내의 노후화된 상수도, 하수도, 전기선로, 가스관로 교체공사 등으로 인하여 근접지역 도로함몰위험이 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 돌발적 도로함몰 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 도로함몰과 같은 도로의 유지보수를 위해서 막대한 예산이 사용되고 있는 실정임. 서울시의 경우 아래 그림에 나타난 바와 같이 매해 증가하는 추세를 나타냄



<서울특별시 연도별 도로 보수비>

- 검사대상물에 손상을 가하지 않고 시설물의 내부 결함유무를 파악하여 대형사고 및 파손을 방지하는 비파괴검사 시장은 초음파 방식 또는 협대역 전자파 방식이 해외의 경우 50% 이상을 점유하고 있으며 기타 충격파, 방사선, 자기장, 협대역 전자파, 저주파 투과레이더와 같은 방식이 사용되고 있음.
- 기존의 방식은 주로 정적인 환경에서 작업자가 직접 장비를 휴대하여 측정 지점을 계측하는 방식이 거의 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 기존의 비파괴 검사 시장의 경우 2006년부터 2010년까지 연평균 5.5%(국내)에서 6%(해외) 수준으로 꾸준한 시장 성장률로 규모가 확대되고 있음.
- 2008-2009년 경제위기는 세계 비파괴 검사 서비스 시장에 크게 영향을 끼치지 못했으며, 성장세는 감소되었으나 마이너스 성장을 보이지는 않았음. Frost & Sullivan 에 따르면 향후 세계 비파괴검사 서비스 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측됨. 2010년 30.5억 달러 수준이던 세계 비파괴 검사 서비스 시장은 연평균 9.0%의 성장률로 향후 7년 뒤인 2017년에는 55.9억 달러 수준으로 성장할 것으로 예상됨.



<Total NDT Inspection Services Market, 2007-2017>

- 그러나 도로, 교량, 터널과 같이 정적인 작업환경이 어려운 지역과 정밀한 지층 분석이 필요한 검사 분야에서는 초음파를 비롯한 기존의 방식이 매우 비효율적이기 때문에 해외에서는 이를 해결하기 위해 이동성 및 정밀도가 향상되

는 광대역 지층 투과 레이더 기술이 최근 개발되는 추세임.

- 광대역 지층 투과 레이더 기술은 정밀도가 높기 때문에 비파괴검사 시장에서 기존의 방식을 빠르게 대체해 나갈 것으로 기대가 되고 있을 뿐만 아니라, 최근 건설IT 융합 기술을 활용한 센서 인프라 기반의 IT건설 유지관리 시장을 주도해 나갈 것으로 예측되고 있음.
- 기존의 센서 인프라 기반 건설IT 기술은 도로나 교량에 검사용 센서를 구축하고 이를 무선 네트워크로 연결하는 구조를 갖고 있는데 구축해야 하는 검사 면적, 검사용 센서의 수가 급증함에 따라 매우 제한된 검사 규모를 가질 수밖에 없는 단점이 있으나 이동성이 좋은 광대역 지층 투과 레이더 기술은 이동하면서 동시에 높은 정밀도의 비파괴 투과 검사를 수행할 수 있기 때문에 적은 비용으로 효율적으로 도로, 교량과 같은 운송기반 시설물의 유지관리가 가능하게 되어 IT건설 유지관리 시장을 선도하는 수치로 급성장할 것으로 보임.
- 최근 3년간 비파괴 검사 시장과 IT건설 유지관리 시장의 국내의 시장 규모가 5% ~ 6% 사이에서 꾸준한 성장세를 나타내고 있으며 이동성, 고정밀성, 비접촉성의 장점을 가지는 경우 상당한 성장세로 시장 진입할 것으로 예측됨.

비파괴 및 IT건설 유지관리 시장현황



· 비파괴 검사 기술 진흥 계획, 교육과학기술부

· 대한 유지관리협회 시장 현황

<비파괴 및 IT건설 유지관리 시장 현황>

- 또한 향후 원천기술 시장 및 유지관리시장의 지속적 성장과 개발 기술의 적용 시장이 지속적으로 확대될 것으로 예상되며 비파괴 및 IT건설 유지 관리 시장은 2014년에는 약 10조원에 이를 것으로 예상됨. 비파괴 진단시장(비 차량형 GPR 제품군 시장)의 경우 2016년 6조2천억 원 기준으로 5%를 점유할 경우 3,150억 원의 시장규모 확보가 가능하며 건설 유지관리시장(안전점검 시스템 부문, 차량형 GPR시장)의 경우 2016년 5조 5천억 원 기준으로 약 5%를 점유할 경우 2,600억 원의 시장규모 확보가 가능함.

<비파괴 지층투과 레이더 시장>

구분	2010년	2016년	2018년
한국시장	5,397억	4,803억	5,397억
세계시장	40,573억	57,550억	64,664억
합계	44,848억	62,353억	70,061억

<IT 건설 이동형 고정밀 투과 레이더 시장>

구분	2010년	2016년	2018년
한국시장	2,683억	3,595억	3,963억
세계시장	36,000억	51,600억	58,000억
합계	38,683억	55,195억	61,963억

출처 : 기획보고서(산기평) 및 비파괴 검사 기술 진흥 계획(교육과학부)

- 최근 3년간 비파괴 검사 시장과 IT건설 유지관리 시장의 국내외 시장 규모가 5% ~ 6% 사이에서 꾸준한 성장세를 나타내고 있으며 이동성, 고정밀성, 비접촉성의 장점을 가지는 경우 상당한 성장세로 시장 진입할 것으로 예측됨.
- 비파괴 진단시장의 산출근거는 건설 분야 비파괴 진단시장에서 장비의 단가를 약 1억/set 로 가정하면 2016년 기준 국내외 총 예상 시장은 3,150억(약 3,100대) 규모임. 이는 국내 총 예상 시장 약 5,000억 원의 약 5% 점유를 가정한 약 250억(250대) 규모와 국외 시장 약 57,000억 원 시장의 5% 점유를 가정한 2,900억(2,900대) 규모를 합산한 결과임.
- 건설 유지 관리 시장 산출근거는 장비의 단가를 약 2.5억(수입 가격 5억)으로 가정하면 2016년 기준 국내외 총 예상 시장은 3,270억 규모임. 이는 국내 총 예상 시장 약 250억 원(현재 도로 연장 기준, 한국은 103,019km) 규모와 국외 시장 약 52,000억 원 시장의 5% 점유를 가정한 3,020억 원 규모를 합산한 결과임.
- 따라서 2016년 기준 총 예상 시장은 약 1조 3000억 원 규모이며 비파괴 진단 기술 시장의 경우 건설 분야 비파괴 시장만을 산출한 것이므로 철도, 건축, 국방 등의 시장을 고려하면 시장성은 확대 될 것으로 예상되며 안전점검 시스템(차량형) 분야도 향후 기간 시설물의 확장에 따라 국내외 시장의 추가 확대가 예상됨.

<2016년 기준 총 예상 시장 점유 규모 : 약 6,420억 원>

구분	합계	시장	
		국내	국외
비차량형 진단기술	3,150억	250억	2,900억
차량형 안전점검시스템	3,270억	250억	3,020억
합계	6,420억	500억	5,920억

- 비파괴 진단 시장 및 IT 건설 유지 관리 시장의 국내외 시장 규모의 성장률을 추정하였고, 1단계 목표 성장률은 2016년부터 2023년까지의 평균 성장률인 21.1% 로 수립하는 것을 가정하였으며 이후는 기획 단계를 기준으로 먼 시점이기에 무성장을 적용하였음.

<국내외 시장규모 성장률 추정>

단계	추정 성장률
1단계(7년간)	21%로 수립
2단계(수명주기말까지)	0%

- 또한 비파괴 진단 시장 및 IT 건설 유지 관리 시장의 국내외 시장 규모의 전망을 추정하였고, 1단계 목표 성장률은 2016년부터 2023년까지의 평균 성장률인 21.1%로 수립하는 것을 가정하였으며 이후는 기획 단계를 기준으로 먼 시점이기에 무성장을 적용하였음.

<제품별 예상 시장 규모>

(단위 : 억 원, 억 달러)

구분		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	CAGR
비파괴검사용 지층 투과 레이더 시장	국내	250	310	418	568	784	1090	1340	1750	33%
	국외	4	4.48	5.51	7.275	10.04	14.155	18.265	22.36	28%
IT건설 이동형 고정밀 투과 레이더 시장	국내	250	323	435	592	817	1136	1479	1893	34%
	국외	4.05	4.535	5.58	7.365	10.165	14.33	18.39	23.92	29%
계	국내	490	632	853	1,161	1,602	2,226	2,819	3,643	33%
	국외	8.05	9.015	11.09	14.64	20.205	28.485	36.655	46.28	28%

- 2010년 통계청의 나라지표-도로 보급률 현황자료에 따르면 도로 총연장이 미국은 6,506,251km, 중국은 3,050,000km, 일본은 1,200,858km, 한국은 103,019km이고, 교량의 경우 미국은 500,000개, 중국은 700,000개, 일본은 150,000개, 한국은 27,381개에 이룸. 또한 지형적으로 산악지역 분포 비율이 높은 한국의 경우 터널의 수가 1,400개에 이룸
- 지층 투과레이더 장비의 세트 당 가격은 1.5억 원으로 산정하였고, 도로의 경우 100km 당 1세트 기준, 교량의 경우 100개당 1세트 기준, 터널의 경우 10개당 1세트 기준을 적용하였음.(터널은 국내만 적용함)
- 통계청에 따르면 도로보급률의 중요지표인 인구 당 도로 연장(km/천인)이 국내의 경우 2010년 12월 31일 현재 2.12로써 미국의 20.48, 일본의 9.46에 크게 미달하여 향후 도로 보급률을 선진국 수준으로 향상시키기 위해 도로 확충 규모와 속도가 가속되어 이동형 고정밀 투과레이더 시장이 급격히 증대될 것으로 예측됨.
- 비파괴 검사용 지층 투과 레이더 시장과 IT 건설 이동형 고정밀 투과 레이더 시장의 예상 시장 점유율 및 제품별 예상 매출액은 다음과 같이 추정해 볼 수 있음. 추정매출액(=제품별 국내외 시장규모×예상점유율×기술비중)을 기획 시점으로 할인하여 현재 가치화 하였음. 본 기획과제 제품의 기술비중은 비파괴검사용 지층 투과레이더 시장 90%와 IT건설 이동형 고정밀 투과레이더 시장 100%를 적용함.

〈제품별 예상 시장점유율〉

(단위 : %)

구분		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
비파괴검사용 지표 투과 레이더 시장	국내	15	18	20	24	28	30	32	35
	국외	0.5	1	2	3	4	6	7	9
IT건설 이동형 고정밀 투과 레이더 시장	국내	20	25	29	33	37	40	43	46
	국외	0.5	1.5	3	5	7	8	9	10

〈제품별 예상 매출액〉

(단위 : 억 원, 억 달러)

구분		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	합계
비파괴검사용 지층 투과 레이더 시장	국내	32	50	75	123	198	294	386	551	1,709
	국외	0.02	0.04	0.1	0.195	0.405	0.765	1.15	1.77	4.45
IT건설 이동형 고정밀 투과 레이더 시장	국내	50	81	126	195	302	454	636	871	2,715
	국외	0.02	0.07	0.165	0.37	0.71	1.145	1.655	2.235	6.375
합계	국내	82	131	201	318	500	749	1,022	1,422	4,425
	국외	0.04	0.11	0.265	0.565	1.115	1.91	2.805	4.005	10.82
	계	167	369	788	1,560	2,960	4,952	7,195	10,237	17,409

다. 기술동향 분석

(1) 관련 기술개발 동향

- 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 함몰에 의한 사고는 총 12건임. 이로 인한 인명피해 및 재산피해 저감을 위한 대책이 필요함



(a) 2012년 인천



(b) 2012년 전라남도 여수



(c) 2011년 경기도 포천



(d) 2012년 인천

<최근 발생한 도로함몰 및 도심지 공동 현상 일례>

- 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 함몰 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
- 도로 포장상태를 조사하기 위한 장비로는 ARAN(Automatic Road Analyzer)장비를 통한 소성변형측정, 노면 영상을 통한 균열폭 측정, 종단평탄성측정과 포

장의 구조적 능력을 평가하기 위한 FWD장비, 레이더펄스를 이용하여 포장두께나 공동탐사를 위해 사용되는 GPR장비 등이 사용되고 있음



<도로포장상태 조사 장비>

- 도로하부의 공동 및 지지력 측정을 위한 연구가 국내외에서 많이 진행되었으며, 특히 지표투과레이더 시험을 통해 도로하부의 공극을 확인하는 공법과 전단파와 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 있음. 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, 지반오염물질의 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
- 관련 기술개발 동향을 분석하기 위해, 다음의 표에서는 본 연구의 연관성에 따른 관련 연구 현황, 본 연구에서 활용 가능한 프로그램 및 대표적인 도로하부 공동탐지 장비인 지표투과레이더(GPR) 현황을 분석하였음.

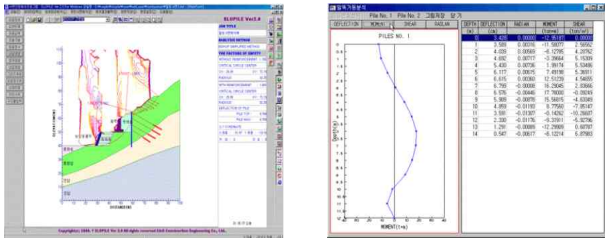
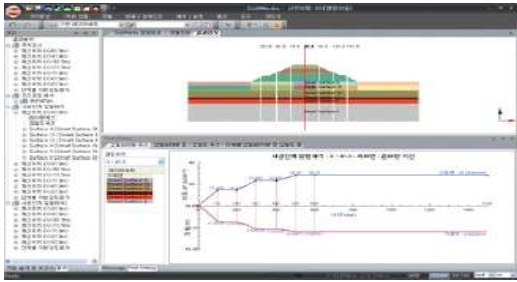

<관련 연구 현황>

연구제목	사업명	연구분석
한국형도로포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구	한국형 도로포장 설계법	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 충격하중에 의한 표면처짐으로부터 포장구조체의 탄성계수를 추정하는 과정을 체계적으로 정립
도로구조물의 건설 및 유지관리를 위한 시스템 개발	건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 차량하중 및 FWD의 동하중이 가해지는 경우의 포장구조체의 거동을 분석할 수 있는 프로그램을 개발
비파괴시험을 통한 콘크리트 포장하부 평가 기법 개발	한국도로공사 도로연구소	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 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




연구제목	사업명	연구분석
아스팔트 포장체 구조적 적정성 및 상태평가 시스템 개발 연구	건설교통기술 연구개발	· 기존 아스팔트 포장체의 구조적 적정성을 평가하여 보수시기와 공법을 선정함으로써 포장의 잔존수명을 증대시켜 궁극적으로 아스팔트포장의 유지보수 비용 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 동적하중 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	국토교통부 첨단도시 기술개발사업	· 지상 LiDAR를 통한 도로 종방향 평탄성 측정 가능 여부 판단
포장 프로파일이 포장 피로수명에 미치는 영향 분석	한국학술진흥재단	· 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
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	연구분석
이용자 만족도를 고려한 고속도로 노면상태 종합평가에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 기존의 정량적인 요소에 운전자의 만족도인 정성적인 data를 포함하여 종합적으로 노면상태 평가를 통해 현재 및 추후 변화 예측
HPMS 데이터를 이용한 고속도로 교량 및 뒷채움 구간 평탄성 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 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
연약지반 구간 고속도로의 개통 후 침하평가 및 관리 방안 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 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	<ul style="list-style-type: none"> · 도로굴착복구 매설깊이 변화에 따른 포장체의 영향 정도를 평가하여 합리적인 매설깊이를 검토하는 것이 목적
지하굴착 주변에서의 지하수 영향범위 설정에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수위면 하부까지 대규모 굴착공사가 진행되면 지하수 흐름은 균형을 유지하려고 굴착구간으로 배출되어 대수층의 지하수 등수위선이 변형되고, 이에 따라 주변지역에 소재한 지하수이용 시설의 고갈이나 기존 수리권의 침해와 같은 환경재해가 예측되어 굴착공사 이후에 나타나게 될 영향범위 설정에 관한 연구를 수행
조립식 흙막이의 시공효율성을 위한 버팀보의 위치변화에 대한 해석적 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 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



<본 연구에서 활용가능한 도로하부 거동 해석용 프로그램 분석>

종류	프로그램	특징																								
지반해석 프로그램	<p>SLOPILE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 사면안정 해석방법을 간편법을 적용 • 각종 해석단면의 정보입력과 수정이 가능하여 사용자에게 편리한 기능을 제공 																								
	<p>Soil Works Soft Ground</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 해석결과를 선택한 기준과 직접 비교할 수 있도록 다양한 설계기준 탑재 • 초급 실무자도 프로그램을 사용하여 직접 검토 결과 산출 																								
도로해석 프로그램	<p>KPRP</p>  <table border="1" data-bbox="368 1048 986 1182"> <caption>재료물성입력</caption> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>두께(m)</th> <th>재료</th> <th>물성입력</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>표층</td> <td>0.11</td> <td>마스탈트 콘크리트</td> <td>입력</td> </tr> <tr> <td>중간층</td> <td>0.00</td> <td>마스탈트 콘크리트</td> <td></td> </tr> <tr> <td>기층</td> <td>0.15</td> <td>마스탈트 콘크리트</td> <td>입력</td> </tr> <tr> <td>보조기층</td> <td>0.20</td> <td>입상재료</td> <td>입력</td> </tr> <tr> <td>노상</td> <td></td> <td>입상재료</td> <td>입력</td> </tr> </tbody> </table>	구분	두께(m)	재료	물성입력	표층	0.11	마스탈트 콘크리트	입력	중간층	0.00	마스탈트 콘크리트		기층	0.15	마스탈트 콘크리트	입력	보조기층	0.20	입상재료	입력	노상		입상재료	입력	<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라 지역 및 환경 조건에 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
구분	두께(m)	재료	물성입력																							
표층	0.11	마스탈트 콘크리트	입력																							
중간층	0.00	마스탈트 콘크리트																								
기층	0.15	마스탈트 콘크리트	입력																							
보조기층	0.20	입상재료	입력																							
노상		입상재료	입력																							

<지표투과레이더 현황>

제품	특징	비고
RoadScan (미국/ GSSI)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o SIR-20: Compatible with all GSSI antennas, 2 channels, work with a laptop, 80GB, (Road, Bridge, Rail, Concrete, Archaeology, Mining). <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o 1.0GHz (depth: 0-0.9m) or 2.0GHz (depth: 0 - 0.75 m), horn antenna <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o Highway speeds(Higher Than 60 km/h), asphalt pavement inspection o Antenna mounting hardware for vehicle o Antenna cable o Wheel mounting distance measuring instrument o RADAN system o Training (at GSSI) 	
TerraVisio n (미국/ GSSI)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o SIR-3000: 1 channel, 2GB, 'in the field' - 3D imaging, Concrete, Utility, Geological, Archaeology, Forensics, Bridge, Mining, Turf. <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o 400 MHz(depth: 0-4 m (0-12 ft)), bow-tie antenna, Array antenna. <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o Collecting Data: 5 mph (12 scans/foot), 10 mph (6 scans/foot), Not Collecting: 30 mph, 14 internal antennas, 6-foot wide, Multi antenna system for 3D imaging o 14 internal antennas (400 MHz) o 6-foot wide survey path for 3D imaging o Automatic pipe recognition o Collecting speed: 5 mph (12 scans/foot), 10 mph (6 scans/foot) o Not collecting speed: 30 mph 	
MALA Imaging Radar Array (MIRA) (스웨덴/ MALA)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o Full-rangeseries (ProEx): Dual hardware channel (optional max. 8 antennas), Supports array configurations o Dual hardware channel (4 data channels) o Supports all antennas, max. 8 antennas (16 data channels) o Ethernet communication o Pulse Repetition Frequency (PRF): 100 kHz (upgradable) <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o HF antenna (1.2/1.6/2.3 GHz), LF antenna (100/250/500/800 MHz). o Separable Shielded Antenna (200 MHz, 400 MHz, 1.3 GHz). o Array option: 31 channels (16 Tx/Rx antennas). <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o ProEx, array option, shielded separable antenna o position system o Fast 3D imaging, Up to 30 antennas 	

	<ul style="list-style-type: none"> o Maximum channel spacing (1/4 lamda): 12.5, 6.3, 2cm(for the frequencies 200, 400, 1300 MHz) o Speed: 1 average-75 km/h, 2-37 km/h, 4-19 km/h, 8-9 km/h 	
<p>Roadcart (스웨덴/MALA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o Full-rangeseries (ProEx) o Ethernet communication o Pulse Repetition Frequency (PRF): 100 KHz <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o HF antenna (1.2/1.6/2.3 GHz), o LF antenna (100/250/500/800 MHz). <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o ProEx system o Single or Dual hardware channel (one HF antenna, one LF antenna) o high speed road measurements 	 <p>1. Adjustable Coupling 2. Puncture proof wheels 3. Low frequency antenna (250, 500 or 800 MHz) 4. High Frequency antenna (1.2, 1.6 or 2.3 GHz)</p>
<p>RoadMap (캐나다/Sensors&software)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o DVL (digital video logger): display and control data acquisition. o Noggin and Noggin plus: 250, 500, 1000 MHz. <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o Highways: 50-60 mph (or 90-100 km/h). o Detailed studies or urban situations: 30-40 mph (or 50-60 km/h). o Multiple frequency system (250, 500 and 1000 MHz). 	
<p>Road Inspection (노르웨이/3D Radar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o Geoscope : <ul style="list-style-type: none"> - Continuous frequency range: 100 MHz - 3 GHz, - Controls up to 31 antennas - Step-frequency waveform (programmable frequency range) - 200 MHz - 3 GHz, depth 2 meters, depth resolution 3 cm. - Interface for GPS (NMEA0183) <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o 3d-Radar V-series antenna arrays: <ul style="list-style-type: none"> - 29 channels of GPR data (continuous 200 MHz - 3 GHz frequency range). <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> - 3D GPR system. - High speed, multi-channel 	
<p>Highway inspection (미국/Penetrator)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o IRIS: Rugged Design for High Speed Vehicular Installation: 60 MPH (100KM/H), Installed with up to 4 antennas <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o Horn antenna: 2 GHz, 1 GHz, 500 MHz <input type="checkbox"/> Software <ul style="list-style-type: none"> o Radar data acquisition (RDA), processing (RDP), display (RDD). o PavePro (RDP): Pavement Structure, Pavement Layer Thickness, Voids, Subsurface Moisture 	

	<p>Detection.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o GPR Control Unit, Antennas, Software, Vehicle Installation System, GPR Vehicles, Options (Submeter GPS, Remote GPR Control) 	
<p>RIS family (이탈리아/IDS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o DAD FastWave <ul style="list-style-type: none"> - PRF (Pulse Repetition frequency): 400 KHz - No. of simultaneously acquired channels: 2 Tx/ 2 Rx - A/D clock: 400 KHz - Bits per sample: 16 - Max. number of driven antennas: 1 - Max. Scan rate: 4760 scan/sec. (@128 samples) - Max. range: 9999 nsec. - Max. number of samples/scan: 8192 - Power Supply: 12V - Scan rate @ 512 samples (scan/sec): 725 - Scan speed (m/sec) @ 2.5 cm sampling step: 18.1 (@ 512 samples) - Power consumption: < 10 W average <input type="checkbox"/> Antenna <ul style="list-style-type: none"> o HR2000 antenna (2 GHz horn) for road pavement survey o HR1000 antenna (1 GHz horn) for runaway survey o TR600 antenna (600 MHz) for grade and subgrade evaluations <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o RIS ONE, RIS PLUS, RIS PLUS/E, RIS S, RIS MF, ALADDIN o Multi-channel unit: 8 TX + 8 RX o High resolution: 1600, 2000 MHz o High PRF: 100 km/h 	
<p>Evaluation Kit GZ6EVK (리투아니아/Geozondas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Control Unit <ul style="list-style-type: none"> o Number of channels: 1 o Bandwidth of channels: (0,1 - 6) GHz o Dynamic range: ± 500 mV o Sensitivity range: 10 –1000 mV/screen o Number of ADC discrettes: 12 o Time Window: 100 ns/screen (0,15 - 15)m @ $\epsilon = 1,0$ o Time interval resolution: 25 ps/point (0,0037)m @ $\epsilon = 1,0$ o Maximal Number of points: 4096 o Delay adjustment range: (0 - 100) ns (0 - 15)m @ $\epsilon = 1,0$ o PRF (for 2 channels): 250 kHz o Averaging number (max): 32 o Operating modes: Real time scanning <input type="checkbox"/> Description <ul style="list-style-type: none"> o Sampling Converter GZ6E o Transmitting and Receiving Antennas (UWB Antenna AU-3.1G10.6G-1) o Pulse Generator Head GZ1120ME-35EV o AC Power Supply (AC 90-260) o Set of connective RF Cables and Attenuators 	

(2) 기존 기술(연구)과의 차별성

- 도로함몰의 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 함몰되고 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 함몰 위험도 등급별 시스템화에 대한 연구가 전무한 실정임
- 따라서 본 연구에서는 다양한 종류의 비파괴 검사 데이터를 통해 도로함몰 위험구간을 탐지하고, 그 데이터를 분석 평가하여 위험도를 산정함으로써 예방적인 도로관리 시스템을 개발하고자 함

<기존 연구와 본 연구의 차별성>

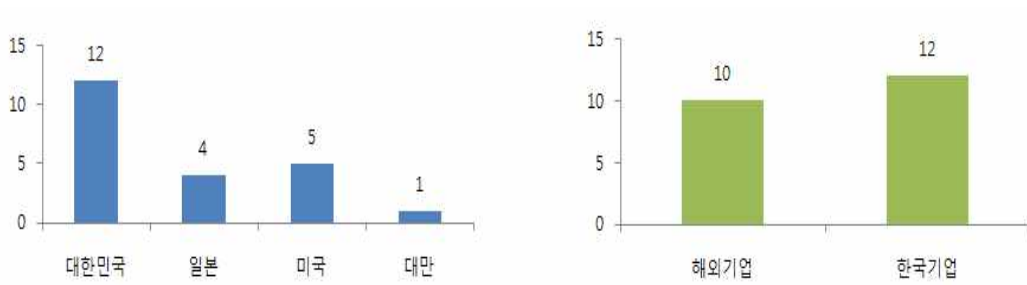
	기존 연구	본 연구
국내	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 붕괴 유형별 발생 원인 불명확 함 ▪ GPR을 이용한 도로하부 동공 탐지 기술은 확보되어있으나 인력에 의한 판독으로 처리시간이 많이 소요됨 ▪ RWD을 이용한 도로포장 지지력 평가 분야 연구 실적 전무 ▪ 도로함몰 관련 계측 센서 개발은 실시한 적 없음 ▪ 도로하부 지지력 보강 기술은 다른 목적에 의한 유사 연구사례는 있으나 직접적으로 도로함몰에 대한 보수보강 연구는 미미함 ▪ 포토 및 레이저 센서를 활용한 평탄성 측정 연구는 미미함 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GPR을 이용한 포장하부의 동공을 탐지할 수 있는 자동 소프트웨어 개발 ▪ RWD을 개발하여 차량이 이동하면서 도로포장 지지력을 평가할 수 있는 기술개발 필요 ▪ GPR, RWD 등의 다양한 비파괴 검사 장비를 복합적으로 활용하여 도로함몰 위험구간을 탐지하기 위한 최적 시스템 구성 ▪ 도로함몰 위험도를 평가하고 진단 체계를 구축하여 위험도 등급별로 도로를 관리하기 위한 연구개발은 국내 최초임
국외	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도로함몰 관련 해외 연구동향은 국내와 유사하고, 미미하나 탐지관련 장비와 해석 기술에 대한 연구는 활발히 진행되고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도로 함몰 예방을 복구 대응 매뉴얼 개발

라. 특허 동향

(1) 국내외 특허 동향

○ 핵심특허 수 비교

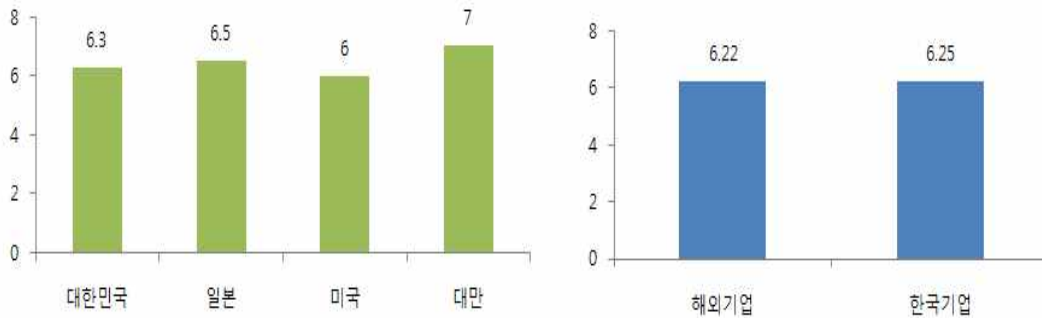
- 후보과제와 유사함 핵심특허의 수를 비교하여 국가별 점유율을 비교함으로써, 정량적 기술수준을 분석함



<국가별 핵심 특허 비교>

○ 핵심특허 유사도 비교

- 후보과제의 기술과 핵심특허의 유사도를 국가별로 비교함으로써, 후보기술에 대한 국내수준을 정성적으로 비교·분석함



<국가별 핵심 특허 유사도 비교>

- 도로함몰 탐지를 위한 이동형 고정밀 투과영상탐지 시스템 개발 분야 관련 핵심특허 22건 중 12건이 국내특허로 총 54.5%의 점유율을 갖는 반면, 미국은 2003년부터 출원이 이루어진 것으로 나타남.
- 도로함몰 탐지를 위한 이동형 고정밀 투과영상탐지 시스템 개발 분야는 국내외 출원/등록된 건과 거의 동일하고 유사도 또한 대등하나, 상용화 실적에서 차이를 나타냄.

<국내외 특허 현황>

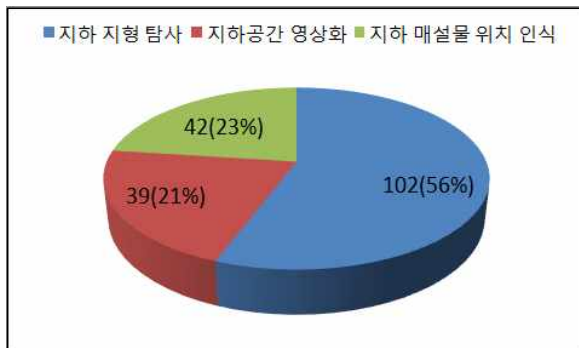
특허(등록·공개)번호	출원일자	출원인 (출원인국적)	권리 상태	유사도 점수 (1-10)	핵심요지
일본등록특허 3564468	2002-09-09	삼성전자 (KR)	등록	6점	소비전력이 낮은 저속의 디지털회로에 의해, 초광대역 무선통신을 수행할 수 있는 초광대역 무선송신기 및 초광대역 무선통신방법을 제공함
일본등록특허 4,180,890	2002-11-21	삼성전자 (KR)	등록	7점	통신 신호가 밀집 지역을 회피하면서, 종래 이상의 전송율 및 통신 품질을 확보할 수 있으며, 안테나를 더 소형화 할 수 있는 초광 대역 무선 송신기, 초광 대역 무선 수신기 및 초광대역 무선 통신 방법을 제공함
미국공개특허 2005-0047444	2004-07-14	삼성전자 (KR)	공개	7점	초광대역 통신을 위한 TFI-OFDM 전송 시스템은, 전송 속도 모드에 대응하는 속도를 갖는 데이터 발생부, 컨벌루션 인코더, OFDM 심볼을 출력하는 OFDM 변조부, 소정의 주파수를 발생하는 주파수 발생부를 가짐
한국공개특허 2009-0065882	2007-12-18	전남대학교산학협력단 (KR)	공개	7점	울트라 와이드밴드 대역 통신용으로 사용할 수 있는 소형 초광대역 안테나에 관한 것으로서, 2.97 GHz에서 11.15 GHz 까지의 넓은 대역폭을 갖으면서도 대역 저지 특성을 제공하고, 경량화 및 소형화가 가능한 장점을 제공함
한국등록특허 470,029	2002-11-04	한국전기연구원 (KR)	등록	6점	일정한 간격을 가지는 초광대역의 펄스를 발생하는 가우시안 모노사이클 발생기, 이진 랜덤 데이터 발생기, 스위치수단, 필터수단, 증폭수단, 안테나를 포함하여 구성됨
한국등록특허 829,989	2006-03-28	주식회사 팬택 (KR)	등록	6점	초광대역 통신 시스템의 상향링크에서의 디지털 통신 방법으로서, 송신된 데이터 심볼을 수신하는 단계, 상기 직교 시간 도약 패턴의 충돌 여부를 검사하는 단계 및 데이터 심볼을 복호하는 단계를 포함한다.
한국등록특허 753,851	2005-12-19	한국전기연구원 (KR)	등록	6점	입력되는 디지털 데이터와 임펄스 제어신호를 믹싱하여 임펄스 발생기에 의해 발생된 임펄스에 따라 송출하는 송신부 및 수신된 임펄스로부터 디지털 데이터 신호를 검출하여 디지털 데이터를 복원하는 수신부를 포함함
한국공개특허 2009-0076586	2008-01-09	한국원자력연구원 (KR)	공개	8점	레이저 스펙클 패턴 간섭으로부터 얻어지는 랩핑 위상맵에서 에러를 유발할 수 있는 위상반전위치를 추출하여 잡음을 제거하고, 잡음이 제거된 위상반전부 위치에서의 기울기 정보를 통해 위상반전위치를 보정함으로써 3차원 위상 정보를 복원하여 제공하는 위상 측정 방법 및 위상 측정 시스템
[KR] 2009-0017769	2007-08-16	(사)한국도로교통협회 (KR)	공개	5점	감지기 및 동적신호분석기를 콘크리트 포장에 설치하는 단계와, 응력파를 발생시키는 단계와, 수직방향 진동을 계측하는 단계와, P파 속도를 결정하는 단계와, 응력파의 공진주파수를 구하는 단계와, 콘크리트 포장의 두께 및 결함을 추정하는 단계로 이루어짐

[KR] 2003-0082865	2002-04-18	미승씨엔에스검사주식회사 (KR)	공개	6점	개시신호를 입력받는 단계, 수신부로 송신하는 단계, 초음파를 수신받는 단계, 영상출력장치에 표시하는 단계를 포함함
[KR] 530,861	2003-04-21	세안기술주식회사 (KR)	등록	5점	펄스에코 초음파를 사용한 3차원 영상제작 기술로서, 2차원 위너필터에 의해 초음파 빔을 선명하게 하여 사용자에게 3차원 구조물의 좌우 회전 및 축회전과 같은 조작 능력을 제공
[KR] 400,843	2000-07-26	주식회사 레이콤 (KR)	등록	6점	광탄성효과에 의해 발생하는 레이저 또는 일반광원의 광량의 변화를 바탕으로 건축물의 이상유무를 검출하는 구조물 안전진단 시스템
미국공개특허 2008-0297424	2004-12-28	Yekeh Yazdandoost, Kamya (JP)	공개	7점	저역대와 초광대역에서 훌륭한 성능을 보여주는 L-루프 안테나이고, 기관 위에 금속층과 한 쌍의 점점가늘어지는 송신기를 구비함
미국특허 7,567,210	2005-10-26	Industrial Technology Research Institute(TW)	등록	7점	방사소자, 기관, 유전체 소자를 포함하며, 방사부는 방사 컨덕터, 전극, 안테나를 포함하고, 안테나는 소형 사이즈와 7.97.GHz의 임피던스 대역폭을 가짐
미국공개특허 2008-0117804	2008-05-22	QUALCOMM INCORPORATED(US)	공개	6점	무선 통신 시스템에 대한 다중 액세스 기술은 상이한 채널들에 대한 상이한 시간 간격들을 정의함으로써 개별 채널들을 설정하며 이 기술들은 초광대역 시스템에서 이용 가능함
미국특허 6,710,736	2003-06-02	Time Domain Corporation (US)	등록	8점	초광대역 레이더를 사용하는 시스템으로 각 TM-UWB 레이더는 빌딩 주위에서 초광대역파를 방사하고 빌딩 내부의 정확한 영상을 고해상도 이미지로 얻음

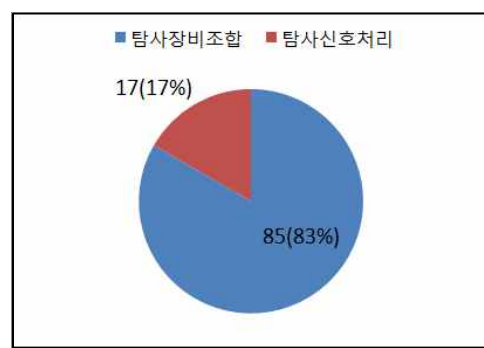
(2) 특허청 보도자료 (2014.10)

- 최근 5년('09~'13)간 지하탐사관련 특허출원(총 183건) 중 '지하 동공' 등 지하지형탐사 기술 분야가 56%에 이르고 있으며, 연도별로 지속적으로 증가하고 있으나, 그 속내를 들여다보면, 지하탐사장비 배치나 조합에 관한 특허출원이 83%로 대부분을 차지하고, 탐사신호를 처리·분석하는 등 싱크홀 진단을 위한 핵심기술 분야의 특허출원은 17% 수준에 머무르고 있음

<최근 5년('09~'13)간 국내 지하탐사 관련 기술 특허출원 현황>



(a) 지하탐사 기술

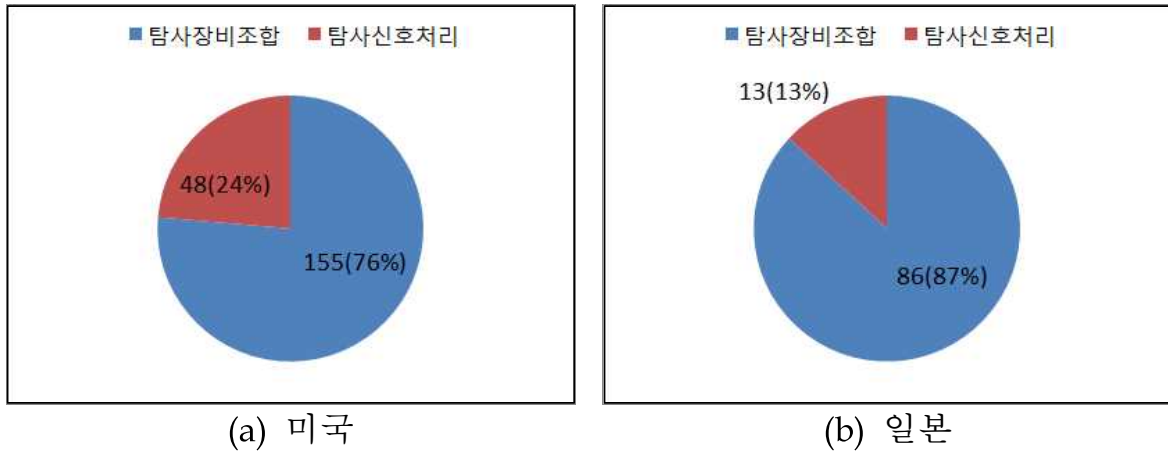


(b) 지하지형탐사 기술*

* 특허출원건수: 16건('09년)→18건('10년)→22건('11년)→26건('12년)→20건('13년)

- 미국의 경우, 지하탐사 정확도를 향상하기 위한 탐사신호 처리·분석 등의 특허출원 비중이 한, 미, 일 3국 중 가장 높은 24%를 차지하고 있으며, 이는 지질특성 및 지하 동공 지도 정보를 활용한 도심 지하 이상 유무를 신속·정확하게 파악하기 위한 연구개발이 활발히 이루어지고 있기 때문임

<최근 5년('09~'13)간 미, 일의 지하지형탐사 기술 특허출원 현황>



- 반면, 국내는 아직 최적화된 탐사신호 선택을 위한 도심 ‘지하 지도’가 부족하고, 탐사신호 처리·분석 기술 등의 특허출원도 현장 취득 탐사신호를 실내에서 단순 분석하는 기술 등으로 국한되어, 다양한 지질특성이 있는 도시에 적용하는 데는 어려움이 따름. 따라서 거미줄처럼 얽힌 대도시 지하의 지질특성의 정보화 및 지하 이상 유무를 신속·정확하게 찾아낼 수 있는 **한국형 탐사신호 처리·분석 기술** 개발이 필요

마. 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

<국내 보유 연구 인프라 현황>

	
<p>한국도로공사 시험도로</p>	<p>한국도로공사 포장가속시험기</p>
	
<p>휠트래킹 시험기</p>	<p>간접인장강도 시험기</p>



현장 코어 채취기



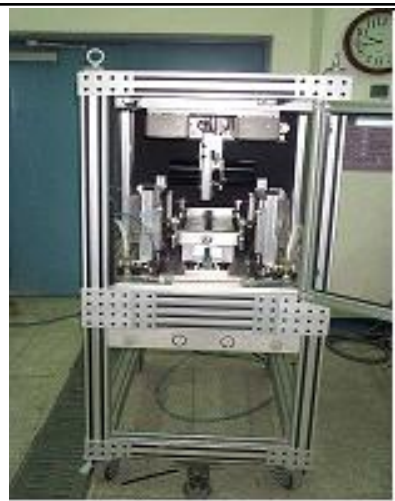
미끄럼 저항 측정 시험기



만능재하시험기



3축 압축시험기



소성변형 저항성시험기



인화점 시험기



동점도 시험기



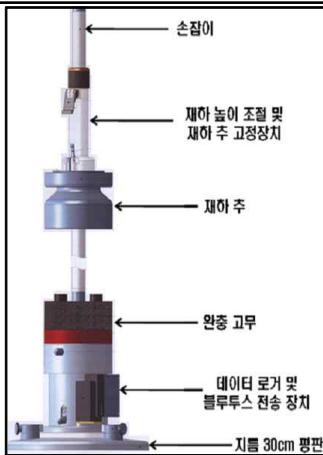
침입도 시험기



빔피로시험기



삼축압축기



LFWD 장비



경량형 프로파일러 장비



인장압축 UTM 장비



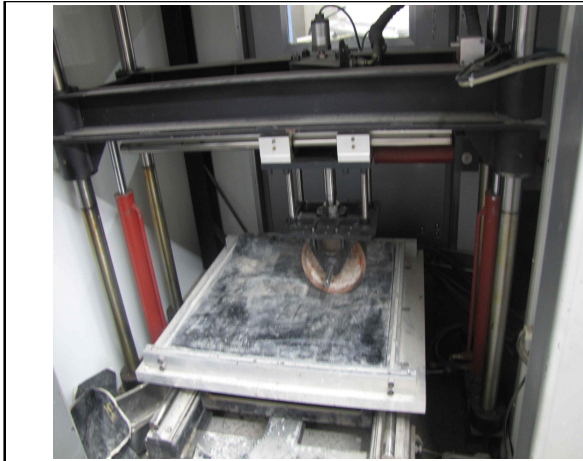
bench scale 성능시험 장치



성능시험 장치



가스분석기



휠 트래킹 시험기



미끄럼 저항 시험기



U-검침 통신모듈



지하시설물용 UFSN

<국내외 연구 인프라>

중점추진분야	관련 기관	대표연 구자	연구영역 및 방향
도로함몰 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

(3) 선진국 대비 국내 인프라 수준

<선진국 대비 국내 연구 인프라 수준>

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
도로함몰 위험도 탐지 및 평가 기술	전문인력 보유정도			○		
	기술 구축정도		○			
	연구 시설 및 설비		○			
	기술 투자지원		○			

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

가. 비전 및 목표

(1) 비전

- 국토교통부 R&D에서 미래도로의 지향점을 '재해예방형 도로'로 설정하고 이의 위치와 역할을 분석하였으며 필요한 비전과 목표를 제시하였음
- 이러한 **재해예방형 지속가능한 도로를 구축하여 보편적 사회복지에 공헌**하는 것을 본 연구의 비전으로 설정함



<도로합몰 예방형 도로의 비전 및 목표>

(2) 목표

- '도로재해 대응역량강화를 통한 보편적 사회 복지 구현'의 비전을 갖고, '**도로합몰 예방**'를 목표로 설정하였음
- 최종적으로 제시한 비전과 미션을 실현하고자 연구 목표를 단계별로 다음과 같이 설정함
- 1단계, 기술정립단계 (2015년)
 - 도로합몰 사고 70% 구현을 위한 융복합 통합 시스템 기본 기술 정립 단계로 **도로합몰 위험도 탐지 및 분석 시스템 설계** 완성

○ 2단계, 기술적용단계 (2016~2017년)

- 도로함몰 탐지 시스템 구축 및 탐지 시스템의 성능 검증 수행 완료
- 개발된 도로함몰 위험도 평가 시스템과 붕괴 예방 기술을 이용하여 **돌발성 도로함몰 사건 30% 감소**에 기여

○ 3단계, 기술확대단계 (2018년~)

- TB운용을 통한 개발 기술의 검증
- 도로함몰 위험도 탐지, 분석, 평가 통합 시스템의 확대 적용을 통하여 **도로함몰 사건 70% 감소**

(3) 범위

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

나. 주요 연구개발 내용

○ 본 연구의 세부 항목별 주요 연구내용은 다음과 같음

□ 도로함몰 위험구간 탐지 장비 개발

연구 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 도로함몰 위험성을 평가하기 위하여 도로하부의 동공 발생 유무를 파악하고 포장의 지지력을 평가할 수 있는 비파괴시험 및 분석 기법 개발 • Multi-data(지표투과레이더, 연속식 도로지지력 평가 장비 등)를 활용한 최적의 도로함몰 탐지 시스템 개발
기술 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 비파괴 기법을 이용한 도로포장 하부특성 자동화 탐지 기술 개발 : GPR등을 이용한 동공, 지하수 등 측정 기술, 도로지지력 평가 장비를 이용한 도로함몰 위험구간의 포장 구조적 지지력 평가 기술 등 다양한 종류의 비파괴 기법 활용 • 비정상 데이터 제거를 위한 센싱 기술 : 매립되어있는 지장물 조사 장비 등의 활용, 복합적인 데이터 처리 기술 등을 이용하여 비정상 데이터를 제거하기 위한 데이터 처리 기술 및 센싱 기술을 포함 • 도로함몰 탐지를 위한 최적 시스템 설계 및 구축 : 목표 탐지 수준 (도로하부 1.5m 깊이, 동공크기 50cm) 및 점검 목표 (속도, 오차 등)을 만족하기 위한 최적의 복합 검사 장비 설계 및 구축 : 복합 검사 장비의 운용 및 데이터 취득 기술 개발
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> • 도로함몰 탐지를 위한 복합센서형 비파괴 검사 장비 • Multi-data를 활용한 도로함몰 탐지 시스템 시제품 • 탐지 장비의 운용 및 데이터 취득 매뉴얼



일본

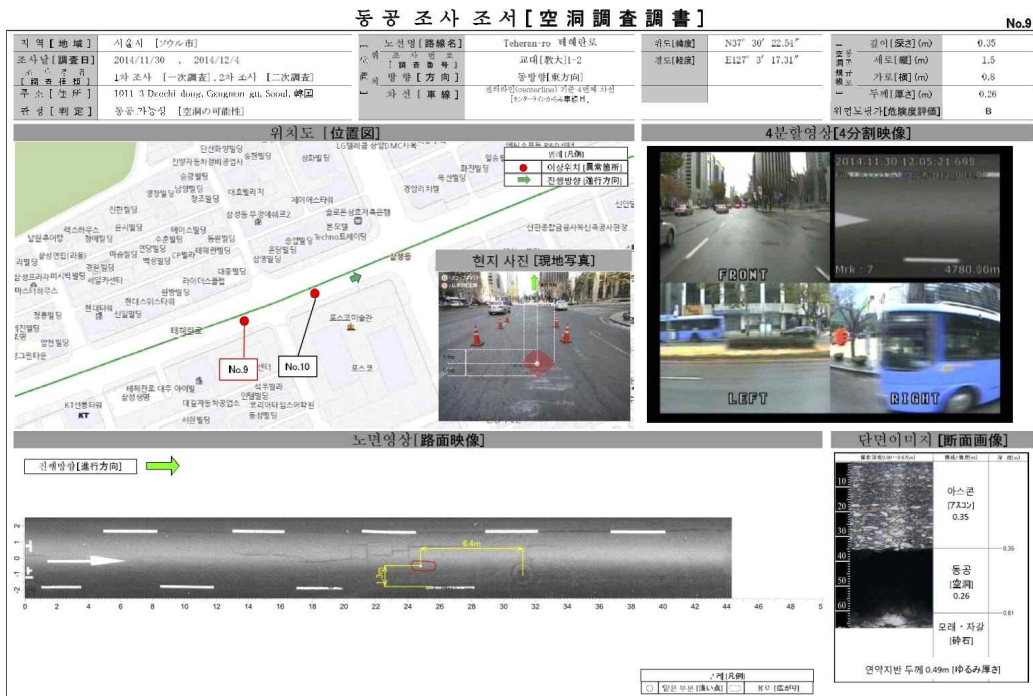


미국 Texas DOT

<도로함몰 위험구간 탐지 해외 장비 예>

□ 도로함몰 위험구간 탐지 분석 기술 개발

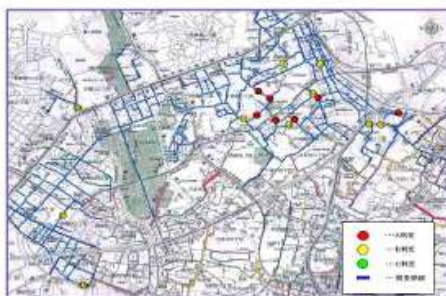
연구 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 도로함몰 위험도를 평가할 수 있는 통합 정보 처리 시스템 개발 • 동공, 지지력 요소 등을 포함하는 도로함몰 위험도 종합판정 지수 개발
기술 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 탐지 데이터 분석 및 처리 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> : GPR 영상 데이터 처리 기술 : 도로지지력 데이터 처리 기술 : 도로하부 이상상태 처리를 위한 데이터 전처리 기술 • 도로함몰 자동 진단 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 복합 데이터를 이용한 도로함몰 진단 알고리즘 : 데이터마이닝 기법을 이용한 도로함몰 진단 기법 : 기타 활용 가능한 데이터를 이용한 융복합 적용 방법 • 도로함몰 위험도 등급 산정 알고리즘 및 평가 프로그램 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 동공 크기 및 위치별 위험도 등급 산정 : 도로함몰 위험도 평가 알고리즘 개발 : GIS 기반 도로함몰 위험도 등급 표출 : PMS 연계 방안 연구
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> • 비파괴시험 데이터 처리 프로그램 • 데이터마이닝을 이용한 도로함몰 자동진단 프로그램 • 도로함몰 위험도 평가 프로그램



〈도로하부 동공조사 보고서 샘플〉

□ 도로합몰 원인 분석 및 검증 연구

<p>연구 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 도로합몰의 위험도 요인 평가 및 메커니즘의 규명을 통하여 도로합몰 발생의 근본적 원인을 규명하고 도로합몰 발생 모형을 개발하고자함. • 실대형 포장가속시험을 통하여 도로합몰 발생 모형을 검증하고 현장 적용을 위한 도로합몰 위험도 기준을 개발하고자 함.
<p>기술 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 도로합몰 구간 위험도 요인 평가 분석 : 도로합몰 구간에 대한 현장 조사 : 도로합몰 기존 사례 조사 및 DB 구축 : 실내시험을 통한 도로합몰 유형별 위험도 요인 평가 • 도로합몰 발생 및 확장 모형 개발 : 도로합몰 유형별 도로합몰 발생 및 확장 모형 개발 : 기존 데이터 (상, 하수도 등) 연계 활용 방안 연구 • 실대형 포장가속시험을 통한 도로합몰 모형 검증 : 실대형 포장가속시험 테스트베드 구축 : 도로합몰 메커니즘 검증 및 개발된 도로합몰 탐지 기술 검증 • 도로 합몰 위험도 기준(안) 개발 : 도로합몰 위험도 기준 지침(안) 개발 : 도로합몰 위험도 기반 복구 및 대응 매뉴얼
<p>최종 성과물</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 도로합몰 사례 및 현장 조사 DB • 도로합몰 위험도 분석 조서 • 도로합몰 메커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드 • 도로 합몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구 대응 매뉴얼



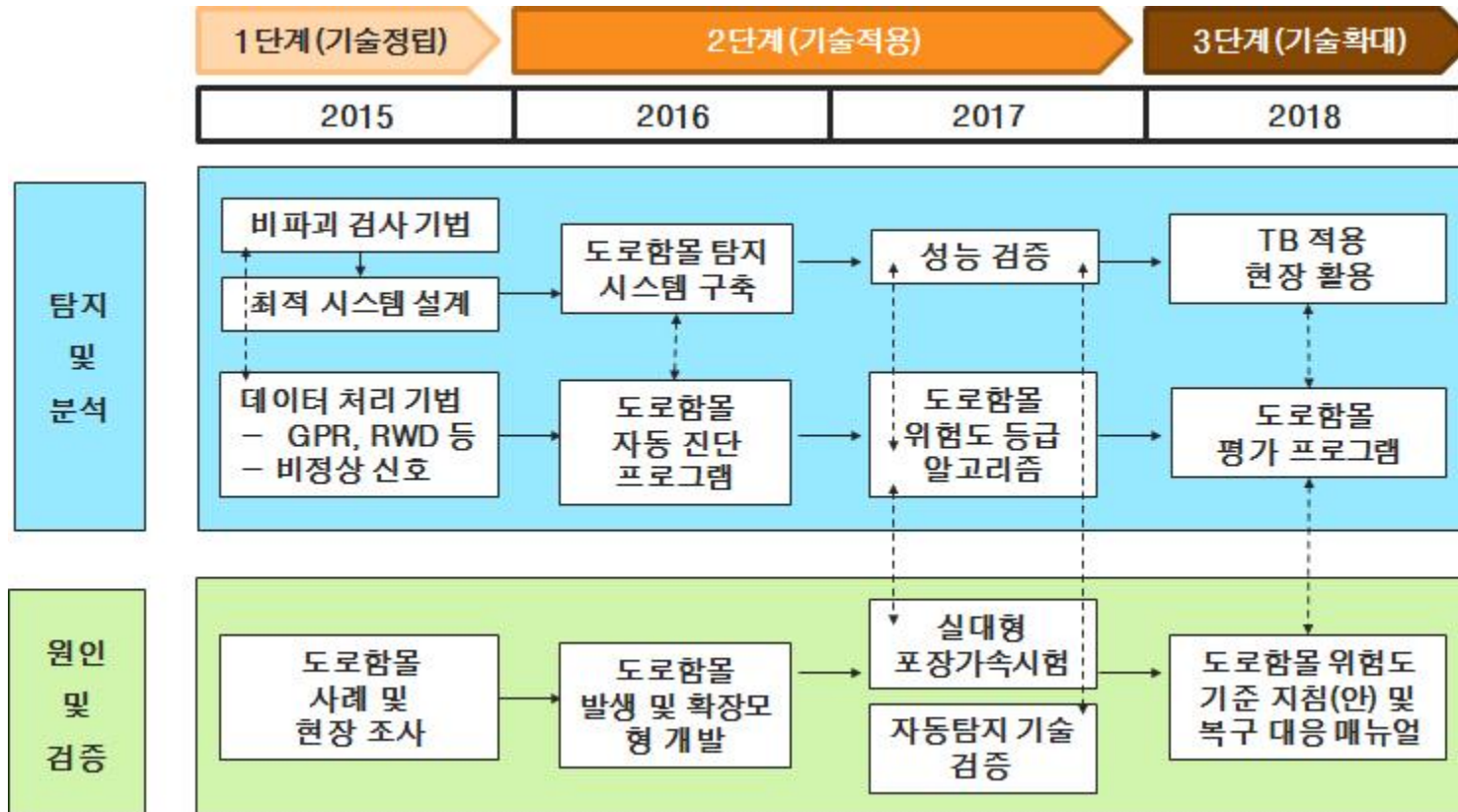
<도로합몰 위험도 지도>



<실대형 도로하중 재하장비>

다. 기술 및 성과 로드맵

(1) 기술로드맵



(2) 성과로드맵

연도	성과목표		성과지표		성과검증 기준		
					목표치	측정방법	검증방법
1차년도	1-1	최적시스템 설계	①	최적시스템 설계안	1건	설계도	설계 보고서
			②	특허 출원	1건	출원여부	출원증
	1-2	데이터 처리 알고리즘 개발	③	알고리즘	1건	개발여부	보고서
			④	SCI논문	1건	게재여부	게재논문
	1-3	도로함몰 사례 및 현장 조사	⑤	사례 DB	1건	구축여부	사례DB 보고서
2차년도	2-1	탐지시스템 구축	①	시작품	1건	구축여부	시작품
			②	특허출원	1건	출원여부	출원증
	2-2	도로함몰 진단프로그램	③	프로그램	1건	등록여부	소프트웨어 등록증
			④	SCI논문	1건	게재여부	게재논문
	2-3	도로함몰 발생 및 확장 모형	⑤	모형 제시	1건	개발여부	보고서
⑧			SCI논문	1건	게재여부	게재논문	
3차년도	3-1	탐지시스템 개선	①	시작품	1건	개선여부	시작품
			②	현장적용	1건	현장 적용 여부	현장 적용 보고서
	3-2	위험도 등급 알고리즘	③	알고리즘	1건	개발여부	보고서
			④	소프트웨어	1건	등록여부	소프트웨어 등록증
	3-3	실대형 포장가속시험 검증	⑤	TB 구축	1건	구축여부	TB 구축 보고서
			⑥	검증시험	2건	검증시험회수	검증시험 보고서
4차년도	4-1	탐지시스템 현장적용	①	현장적용	2건	현장 적용 여부	현장 적용 보고서
			②	프로그램	1건	등록여부	소프트웨어 등록증
	4-2	도로함몰 평가 프로그램 개발	③	현장적용	2건	현장 적용 여부	현장 적용 보고서
			④	지침	1건	작성여부	위험도 기준 지침
	4-3	위험도 기준 지침 복구 대응 매뉴얼	⑤	매뉴얼	1건	작성여부	복구 및 대응 매뉴얼

구분	목표		수행기간				합계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
사업연계지표	특허출원 및 등록 건수	출원	1건	1건			2건
		등록			1건	1건	2건
	국내외 학술지 게재 논문 건수	비SCI급	1건	1건	2건	2건	6건
		SCI급	1건	1건	2건	2건	6건
	기술실시계약 건수					1건	1건
	현장적용에 따른 비용절감 건수				1건	2건	3건
	사업화·제품화 건수					1건	1건
기타지표	설계 시작품 건수		1건				1건
	국내외 학술회의 발표 건수		2건	2건	2건	2건	8건
	석박사인력양성		2인	3인	3인	4인	12인
	시작품 제작 건수			1건	1건		2건
	SW 등록건수			1건	1건		2건
	시험/조사/관측기법 개발 실적					1건	1건
	지침/매뉴얼의 개발 및 보급					2건	2건

라. 성과의 적용 및 실용화방안

- 우리나라는 현재 동공 탐지를 위해 외산 장비(스웨덴 Mala社 등)를 수입하여 현장에서 사용 중이나, 탐사된 자료를 육안으로 분석하는 수준으로 정량화·자동화된 분석이 불가능 (동공의 크기, 함몰 위험도 등의 정밀분석 필요시에는 외국 기술에 의존)
- 또한, 우리나라 토질 및 도로환경을 감안한 분석노하우를 보유하지 못하여 동공 분석에 대한 정확성이 떨어지고 있어 한국형 도로하부 위험도 분석기술 및 프로그램 개발 필요성 요구가 높은 실정임
- 일본, 미국 등은 차량과 GPR이 일체화된 장비를 개발·운영하고 있으며, 일본의 한 도로탐사업체의 경우 총 38대를 운용하여 20여년간 약 125천km구간, 25천여개의 동공(심도 1.5m, 크기 50cm)을 탐사
- 해외업체 용역 발주시, 용역 단가가 4차로 기준 km당 대략 1천만원 정도로 고가임을 감안할 때, 본 기술을 실용화해서 국내 기술로 도로함몰 진단 용역 자체 수행
- 최종 수요처는 아래와 같음
 - 국토교통부
 - 광역단위 지자체
 - 한국도로공사, LH공사
 - 도로 안전 진단 업체
 - 비파괴 검사 장비 업체

4. 인력투입 및 소요예산 산정

가. 인력투입계획

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	6	6	6	6	24	
연구원	14	14	14	14	56	
연구보조원	16	16	16	16	64	
보조원	6	6	6	6	24	
합계	42	42	42	42	168	

나. 소요예산 산정

(1) 총 연구비

- 본 과제 참여연구원의 인건비 기준단가는 2015년도 회계예규 “예정가격작성기준” 학술연구용역 기준단가를 참고하였음

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	단가 (연봉)	구분				소계	비율 (%)
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	61	122	147	147	147	563	6.2%
	연구원	47	219	263	263	263	1,007	11.1%
	연구보조원	31	167	200	200	200	768	8.5%
	보조원	24	47	56	56	56	216	2.4%
소계			555	666	666	666	2,554	28.3%
직접비	연구장비/재료비		650	900	1,224	550	3,324	36.8%
	연구활동비		658	469	495	460	2,081	23.0%
	연구수당		60	60	60	69	249	2.8%
소계			1,368	1,429	1,779	1,079	5,654	62.6%
간접비			192	210	245	175	821	9.1%
합계			2,115	2,305	2,690	1,920	9,030	100.0%

(2) 장비 및 시작품 소요예산

장비/시작품 명	용도	비용(천원)
차량 탑재용 RWD 계측 시스템	고속주행중 포장체의 처짐을 정밀 측정하기 위한 가력장치, Laser 타입의 센서 및 DAQ 장치	700,000
차량 탑재용 GPR 계측 시스템	포장체의 두께 및 공동 탐사 장치	700,000
포장공동탐사 차량	RWD, GPR, DAQ 등의 장비를 탑재하여 이동중 시험을 수행할 수 있는 차량 및 부속 장치	200,000
포장노면 영상정보 획득 및 분석장치	포장체 노면의 영상정보 획득 및 이상상태 분석을 위한 장치	100,000
시추 및 지반 공동 3차원 영상 정보 획득 장치	이상군간에 대한 도로 시추 및 도로 하부 공동의 3차원 영상을 수집하기 위한 장치	200,000
매설물 탐지용 자속센서	매립되어 있는 강관 등의 탐지, 비정상 신호 검지용	300,000
무선 제어 및 데이터 취득 장비	각 계측 시스템을 제어하고 이로부터 데이터를 원격으로 취득할 수 있는 장비	100,000
지반탐사용 레이더	도로함몰 탐지용 비파괴 검사 기법 연구	100,000
레이더 데이터 취득 장비	도로함몰 탐지용 비파괴 검사 기법 연구	100,000
지반물성치 조사용 계측장비	도로함몰 구간 지반 물성치 조사	100,000
지반물성치 계측용 비파괴 검사장비	비파괴 검사 기법 신호 분석용	70,000
영상분석 프로그램	GPR 영상 분석을 위한 영상처리 프로그램	30,000
장비 운용 및 데이터 취득 SW UI 제작	운용 및 데이터 취득 프로그램 제작	30,000
비파괴 검사 신호처리 프로그램	비파괴 검사 장비로부터 계측된 신호를 처리하고 분석하는 프로그램	20,000
영상분석 프로그램	GPR 영상분석 프로그램	20,000
통합 프로그램	통합 프로그램 GUI 제작	50,000
테스트베드 구축	실대형 현장실험용 테스트베드	400,000
	소계	3,220,000

5. 과제 제안요구서

가. 과제 제안요구서(RFP)

과제명	도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 최근 자주 발생하고 있는 도로함몰을 사전에 탐지하고 다양한 환경조건에 따른 도로함몰 위험도 평가 기술을 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 비파괴기법을 이용한 도로포장 하부구조 특성 자동 탐지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 탐지속도 최소 20km/h 이상에서 도로 심도 1.5m 이내, 크기 50cm 이상 공동 탐지 정확성 80% 이상을 목표 · 탐지된 데이터를 분석하여 12시간 이내 공동여부 판독 가능 목표 - 탐지 데이터 분석을 통한 도로함몰 위험도 판정기술 개발 - 다양한 환경·토질 조건을 고려한 도로함몰 발생 모형 개발 및 위험도 등급 산정(국도 및 지방도(도시내도로 포함)를 대상)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	<p data-bbox="225 1211 470 1290">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ ‘14년 8월 서울 잠실인근에 5개의 도로함몰이 발생하여 주변 일대의 차량통행이 전면 중단되고 해당 내용을 언론이 대대적으로 보도함에 따라 도로함몰이 큰 사회적 이슈가 되었음 ◦ 또한, 지난 2월 20일에는 용산 근처에 보도를 걸어가고 있던 행인 2명이 도로함몰구간에 빠져 부상당하는 사건이 발생하는 등 도로함몰에 대한 국민 불안이 가중되고 있는 실정 <div data-bbox="497 1514 1369 1823" style="text-align: center;"> </div> <p data-bbox="804 1832 1062 1865" style="text-align: center;">< 싱크홀 발생 사례></p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 대표적으로 서울시의 경우 2008년도 이후 주요간선도로 총 197개소에서 도로침하 및 공동이 발생되었으며, 이중 27개소에서는 2회 이상 반복적으로 발생됨

- 주로 대규모 석회암 지역에서 석회암이 물에 녹아서 생기는 공동(空洞)으로 인해 발생하는 대규모의 싱크홀과는 달리, 도로함몰은 지하철 역 주변의 펌핑, 지하철 및 대형 차량에 의한 진동, 상하수도 관로 파손, 굴착공사 근접지역의 지하수위 변동 등 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하고 도로 하부에서 발생되어 사전 예측도 어려움
- 이러한 도로함몰 방지를 위해서는 도로 하부에 위치한 공동을 사전 탐지하고 공동의 크기 및 위치에 따라 도로함몰 발생 시기를 예측하여 복구하는 도로 유지관리 시스템 개발이 필요
 - 일본의 경우, 도로함몰 위험도를 평가하여 A, B, C 총 3등급으로 구분하여 관리하고 있음 (A등급: 긴급 복구, B등급: 주기전 복구, C등급: 공동 확장성 지속관찰)
 - 지하에 발생하는 공동을 감지하기 위해서 GPR, RWD 등 다양한 종류의 비파괴시험 기법을 이용한 도로시설물 위험도 평가 관련 연구가 진행되었으나, 복합적인 데이터를 활용한 도로함몰 위험도 탐지 및 분석에 대한 연구는 미미한 실정
- 또한, 다양한 환경 및 토질조건에 따른 실험대형(Full Scale) 포장가속 시험을 통해 공동의 위치 및 크기에 따른 도로함몰 발생 시기를 예측하여 사전 대응이 가능한 재난방지형 도로시스템 구축이 필요함.

□ 기술동향

- 국내기술동향
 - 국내 도로유지관리 연구는 도로포장관리시스템(PMS) 등 대부분 도로 포장과 관련된 연구에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있어 포장 하부원인에 따른 도로 함몰 위험도 평가 기술에 대한 연구가 전무한 실정으로 함몰을 사전적으로 예방할 수 있는 시스템 구축이 어려운 상태임
 - 도로 하부의 상태를 조사하기 위하여 지표투과레이더 (Ground Penetrating Radar, GPR), Falling Weight Deflectometer (FWD), Rolling Wheel Deflectometer(RWD), Acoustic Emission 등의 다양한 종류의 비파괴시험 장비가 있으나, GPR에 대한 의존도가 높고 분석기술 역시 해외기술에 전적으로 의존하고 있는 실정임
 - 우리나라는 현재 공동 탐지를 위해 외산 장비(스웨덴 Mala社 등)를 수입하여 현장에서 사용 중이나, 탐사된 자료를 육안으로 분석하는 수준으로 정량화·자동화된 분석이 불가능 (공동의 크기, 함몰 위험도 등의 정밀분석 필요시에는 외국 기술에 의존)
 - 또한, 우리나라 토질 및 도로환경을 감안한 분석노하우를 보유하지 못하여 공동 분석에 대한 정확성이 떨어지고 있어 한국형 도로하부 위험도 분석기술 및 프로그램 개발 필요성 요구가 높은 실정임

- 해외업체 용역 발주시, 용역 단가가 4차로 기준 km당 대략 1천만원 정도로 고가임을 감안할 때, 자체 연구개발을 통해 기술 국산화 필요성 증대
 - 한편, 미래부에서는 “사물인터넷(IoT)기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발”을 수행하고 있으나, 이 연구는 지하 10m 이하의 하부시설 상태를 감지하는 센서 네트워크를 설치하고 이로부터 시설물 운영에 영향을 미치는 위험 구간을 파악하는 연구로써 본 과제와 차별
- 국외기술동향
- 미국, 홍콩, 일본 등과 같은 도로 침하, 함몰분야의 선진국에서는 단순 조사와 데이터베이스화를 통한 유지관리 단계를 넘어서 장단기적인 안정성을 평가하고 불안정요소에 대한 대책을 수립하는 추세임
 - 스웨덴, 이탈리아 등에서는 공동 탐지를 위해 지하투시레이더(GPR) 장비를 개발하고 상시 운용 중
 - 기존에 사용되고 있는 해외 GPR 장비의 성능을 살펴보면 투과 심도는 약 1.5m, 운행속도는 최대 15~75km/h, 주파수는 1~3개 정도를 사용 (고주파수일수록 작은 공동 감지 가능하나, 투과 심도가 얇고 통과속도가 낮은 단점)
 - 일본, 미국 등은 차량과 GPR이 일체화된 장비를 개발·운용하고 있으며, 일본의 한 도로탐사업체의 경우 총 38대를 운용하여 20여년간 약 125천km 구간, 25천여개의 공동(심도 1.5m, 크기 50cm)을 탐사
 - 미국 텍사스에서 최근에 개발된 지하탐사 장비는 GPR 이외에도 RDD(Rolling Dynamic Deflectometer)를 이용한 도로 지지력 검사를 통해 도로 함몰 위험구간을 정밀하게 파악 중
 - 또한, 탐사된 신호를 바탕으로 해당 국가의 토질 환경 등을 고려하여 공동의 위험 정도를 분석할 수 있는 관련 프로그램을 개발하는 등 자체 노하우를 확보하고 있음

3. 연구개발 내용

- 도로함몰 위험구간 탐지 및 분석기술 개발
 - 기존 탐사장비의 기능개선을 통한 도로포장 하부특성 자동화 탐지 기술 개발 (지표투과레이더(GPR) 등을 포함한 복합탐지 시스템 구성)
 - 비정상 데이터 제거를 위한 센싱 기술 개발
 - 도로함몰 탐지를 위한 최적 시스템 설계 및 구축
 - 탐지 데이터 분석 및 처리 기술 개발
 - 도로함몰 자동 진단 프로그램 개발
 - 도로함몰 위험도 등급 산정 알고리즘 및 평가 프로그램 개발
 - 도로 함몰 위험도 기준(안) 개발
 - 포장관리시스템(PMS) 연계(안) 제시

- 도로함몰 원인 분석 및 분석 장비 성능 검증 연구
 - 도로함몰 구간 위험도 요인 평가 분석
 - 도로함몰 발생 및 확장 모형 개발
 - 실대형 포장가속시험을 통한 도로함몰 모형 검증
 - 개발된 자동탐지 기술 검증 지침(안) 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 연도별 세부적 마일스톤 설정 및 준수
 - 1차년도 : 조사 분석 및 설계
 - 국내·외 관련 기술현황 조사 및 분석
 - 기술개발 동향 분석 및 제품 목표성능 검토
 - 개발 제품 및 시스템 상세 설계(핵심특허 출원)
 - 실 테스트 운용 구축범위 대상 확정
 - 2차~3차년도 : 장비 제작 및 성능 검증
 - 핵심기술이 되는 센서 및 알고리즘 개발
 - 센서 통합 시제품 개발 및 성능 검증
 - 운용 매뉴얼 등 기타 연관 산출물 제작
 - 국토부 설계기준/시방서/지침(안) 제안
 - 4차년도 : 테스트베드 구축 운용 및 기술 검증
 - 테스트베드 구축 운용 및 개발 기술 평가
 - 개발기술의 검증, 실용화 및 기술이전 추진
 - 국토부 설계기준/시방서/지침(안) 보완 및 제도화
- 산·학·연 공동연구 수행을 통한 기술개발 상용화 및 성능수준 기술기준 제안 추진
- 국내외 관련 프로그램 개발사와 협조/협약을 통해 프로그램 중요 소스코드 확보
- 해외 도로함몰 탐사용 비파괴시험 관련 기관과의 협조/협업을 통해 탐사 시스템 구축의 효율성 극대화
- 개발기술의 현장적용/시범검증을 위한 관련 기업, 지자체, 공공부문 등 기술수요처와의 유기적인 협조체계 구축
- 연구개발 내용별로 기준 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립
- 기존 기술 적용 시의 효용성 및 문제점 분석을 통하여 성능검증 계획 수립

□ 추진체계

- 관련 유관기관이 참여토록 하여 향후 연구결과가 국내 도로에 충분히 반영될 수 있도록 해야 함
- 산·학·연·관 역할분담 및 공조체제에 의한 연구개발 추진
- 관련 정부기관, 수요기관, 운영기관 등과 운용 시험을 위한 협력체계 구축

- 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

- 도로함몰 위험구간 탐지 및 분석기술 개발
 - 공동 탐지를 위한 복합탐지 시스템(TRL-8)
 - 탐지 장비의 운용 및 데이터 취득 매뉴얼(TRL-8)
 - 도로 하부 탐지 데이터 처리 프로그램(TRL-7)
 - 데이터마이닝을 이용한 도로함몰 자동진단 프로그램(TRL-7)
 - 도로함몰 위험도 평가 프로그램(TRL-7)
 - 도로 함몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구 대응 매뉴얼(TRL-8)
- 도로함몰 원인 분석 및 검증 연구
 - 도로함몰 위험도 분석 조서(TRL-7)
 - 도로함몰 발생 확장 모형(TRL-5)
 - 도로함몰 메커니즘 검증을 위한 실험형 테스트베드(TRL-6)
 - 개발된 자동탐지 기술 신뢰성평가 지침(안)(TRL-8)

6. 기대효과 및 파급효과

- 공동탐지 시스템 국산화 개발을 통하여 장비 수입 및 해외 외주 용역 대비 비용 대폭 절감
- 선진국 수준의 선제적 재난재해 방지 기술 개발을 통하여 사고 방지 및 국민안전 확보
- 도로 함몰 위험도 관리를 통해 지속가능한 도로관리시스템을 정착하고 도로함몰로 인한 국민 불안감 해소

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

- 총 연구기간 : 2015년 6월 ~ 2019년 3월 (3년 10개월)
- 총 연구비 : 9,030백만원(정부)

연도	연구기간	정부출연금(백만원)
1차년도	2015. 6. 1. ~ 2016. 3.31.(10개월)	2,115
2차년도	2016. 4. 1. ~ 2017. 3.31.(12개월)	2,305
3차년도	2017. 4. 1. ~ 2018. 3.31.(12개월)	2,690
4차년도	2018. 4. 1. ~ 2019. 3.31.(12개월)	1,920

- * 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- * 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- * 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확 하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

7. 기 타

- 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원여부 결정
- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP) 및 기획 보고서를 참조하여 작성
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시
- 개발기술의 목표수준과 성과지표를 연구개발계획서에 명확히 제시하고, 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시
 - 1차년도에는 세부기술별로 특허조사 후 별도의 특허전략 보고서 및 출원서 작성
- 연구개발 핵심성과물 목록 및 핵심성과물 세부설명 제시
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(공법, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
- 연구성과의 실용화 및 사업화 추진계획 필히 제시
 - 신청자는 연구성과의 실용화사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시
 - 신청자는 Pilot Test-Bed 또는 Test-Bed 등을 통한 연구성과의 실용성 검증 및 사업화 추진계획을 필히 제시
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고 과제추진시 역할(자료·기술 조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함(※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조)
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
- 연구관리 전문기관(국토교통과학기술진흥원)은 필요시 선정된 동 과제 연구 책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구 목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)

나. 평가기준 설정

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 적정성 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

6. 참고문헌

- 건설기술혁신사업 (2010), 빗물저류조 급속시공기술 및 친환경 빗물처리 시스템 개발, 기술혁신사업.
- 경북일보 (2003), "지방 확·포장 공사때 평탄성 검사 미실시 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 뒷채움구간 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, 도로율 및 포장율 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, 추연옥, 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, 대외 경제정책연구원.
- 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.