

주관연구기관의 자체평가의견서

1. 과제 현황

	과제번호			19TLRP-C099510-05		
사업 구분	교통물류연구사업					
연구 분야	사고없는 안전교통			과제 구분		단위
사업명	교통물류연구사업					주관
주관과제	도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발			과제 유형		응용
연구기관	세종대학교 산학협력단			주관연구책임자		이현종
연구 기간 연구개발비 (천원)	연차	연구개발기간	정부출연금	기업부담금	정부 외 출연금	계
	1차 연도	2015.07.14.-2016.05.13	2,115,000	710,000	-	2,825,000
	2차 연도	2016.05.14.-2017.03.13	2,871,000	962,000	-	3,833,000
	3차 연도	2017.03.14.-2018.01.13	1,973,000	673,500	-	2,646,500
	4차 연도	2018.01.13.-2018.12.31	1,433,000	481,000	-	1,914,000
	5차 연도	2019.01.01.-2019.05.13	599,000	199,600	-	798,600
	계	2015.07.14.-2019.05.13	8,991,000	3,026,100	-	12,017,100
참여기업	국보환경					
상대국	미국		상대국 연구기관		University of Central Florida	

2. 평가일: 2019년 9월 중

3. 평가자(연구책임자):

소속	직위	성명
세종대학교 산학협력단	교수	이현종

4. 평가자(연구책임자) 확인:

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구개발성과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하
며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약

I. 연구개발 실적

1. 연구개발성과의 우수성/창의성

■ 등급: 아주 우수

1.1. CTE1 : 도로함몰 위험도 탐지 기술

1.1.1. CTE1 연구성과 내용요약

- CTE1의 연구목표는 도로 공동의 발생유무 및 포장 지지력의 평가를 통해 도로함몰을 미연에 방지할 수 있는 하드웨어 시스템을 개발하는 것임 (최종 목표 성능 : 조사속도 20km/h)
- 도로함몰 위험도 탐지 하드웨어 시스템은 1) 도로함몰 복합탐지 시스템, 2) 이동식 도로지지력 평가장치로 구성되며, **시작품 개발 및 검증이 완료되었음**
 - 시작품1-도로함몰 복합탐지 시스템 : 3D 지표투과레이더(GPR)와 포장표면촬영기, 소성변형센서, IRI센서, GPS, DMI 등의 복합센서가 탑재된 조사시스템
 - 시작품2-이동식 도로지지력 평가장치(RDD) : 동적하중에 기반하여 연속적으로 도로포장 지지력의 측정이 가능한 조사장치
- 5차년도에는 시작품 고도화를 위한 개선연구를 수행하였으며 아스팔트 도로포장 두께측정에 대한 연구 개발 수행, 측정오차 9.1% 수준으로 개발완료



<시작품1:도로함몰 복합탐지 시스템>



<시작품2:이동식 도로지지력 평가장치>

1.1.2. CTE1 연구성과의 우수성/창의성

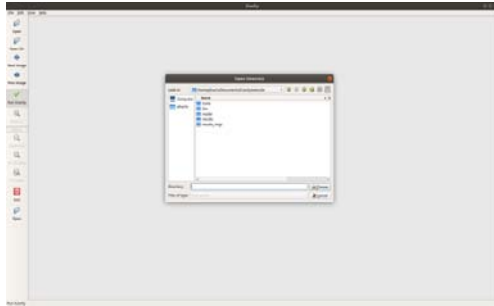
- 국내 지자체, 민간업체에서 도로노면 조사차량, GPR을 각각 보유하여 포장균열 또는 공동탐사 용역을 수행 중에 있으나, 이를 하나의 조사차량으로 조사하는 기술을 보유한 국내기관은 없음
- 도로함몰 복합탐지 시스템 시작품은 GPR과 도로노면 조사센서를 하나의 조사차량에 동기화하여 활용함으로써 **도로상하부 상태를 동시에 평가할 수 있는 국내 최초 탐지시스템임**
- 이동식 도로지지력 평가 장치(RDD)를 활용하면 연속적으로 도로지지력을 측정 할 수 있어 기존 고정식 지지력평가 장치인 FWD를 대체할 수 있을 것으로 판단됨
- 현재 서울시 공동조사 6회, 국도 공동조사 1회를 실시하여 탐지시스템의 성능을 검증하였으며 최종 목표 성능인 조사속도 20km/h를 만족하였음

1.2. CTE2 : 도로함몰 위험도 분석 프로그램

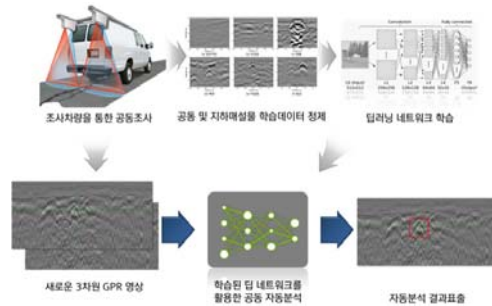
1.2.1. CTE2 연구성과 내용요약

- CTE2의 연구목표는 하드웨어 시작품으로부터 취득된 GPR, 도로영상 데이터를 자동으로 분석하는 인공지능 기반 프로그램을 개발하는 것으로 도로 공동의 위치, 규모, 포장표면 균열, 지지력을 자동으로 탐지하는 것이 목적 (최종 목표 성능 : 정확도 80%, 공동크기 50cm 이상, 깊이 1.5m이내, 분석시간 12시간 이내)

- CTE2에서 개발한 대표적인 프로그램은 1)공동 자동탐지 프로그램인 iCavity, 2)균열 자동탐지 프로그램인 iCrack으로 **현재 프로그램 개발이 완료되어 저작권 등록을 완료하였음**
- 도로하부 공동 자동탐지 프로그램(iCavity) : 딥러닝 기반의 GPR데이터 자동분석 프로그램으로 공동의 위치를 자동으로 탐지하여 표출하는 기능을 보유
- 도로균열 자동탐지 프로그램(iCrack) : 딥러닝 기반의 도로포장 표면영상 자동분석 프로그램으로 도로균열, 균열심각도, 패칭 등을 자동탐지하고 균열률을 산정할 수 있는 기능 보유



<자동분석 프로그램 GUI>



<자동분석 프로그램 개발흐름도>

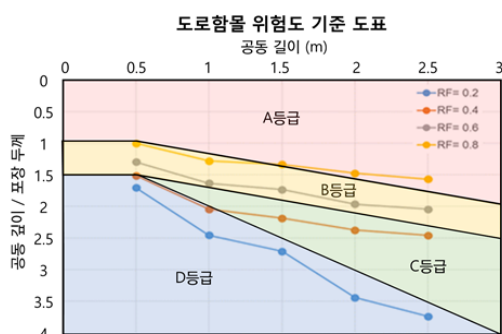
1.2.2. CTE2 연구성과의 우수성/창의성

- 현업에서 공동분석은 2인 1조로 구성된 2팀이 동일구간의 GPR 조사데이터를 육안분석하고 분석 결과를 상호재검토 하는 과정으로 이루어지며, 업무시간 1일 약10km데이터 이하만 분석이 가능
- 딥러닝을 이용한 공동 자동분석 프로그램(iCavity) 사용 시, GPU 1대 기준 80 km/day의 속도로 GPR데이터를 분석 가능하며 정확도는 약 85%를 상회하고 있음
- 도로 균열조사의 경우 조사차량으로 확보한 고해상도 도로표면영상을 다수의 분석자가 육안으로 찾아 마킹하는 방법으로 분석에 과도한 시간이 요구되며, 특히 다수의 인원이 각각 다른 구간을 분석하기 때문에 균열선정이 주관적이고 오인식 확률이 다소 높음
- 본 연구에서 개발한 인공지능 기반 도로균열 자동분석 프로그램은 10m 도로연장 당 7초에 분석이 가능하여 약 170km/day의 균열분석이 가능하며, 결과의 객관적 신뢰도가 높고 정확도는 90%를 상회하는 우수성을 보유함

1.2. CTE3 : 도로함몰 위험도 평가 기술

1.3.1. CTE3 연구성과 내용요약

- CTE3의 연구목표는 공동모사 테스트베드를 이용한 포장가속시험, 도로함몰 발생·확장 모형실험, 입자기반해석, 유한요소해석 결과를 기반으로 도로함몰의 위험도를 평가하는 기준을 제시하는 것임
- 본 연구과제에서 제시한 도로함몰 위험도 기준(안)은 **과학적·공학적인 연구결과를 기준으로 개발된 최초의 공동관리등급**이며 향후 일본, 서울시의 공동관리등급을 보완할 수 있는 합리적인 방안으로 판단됨



<도로함몰 위험도 기준(최종안)>

위험도등급	관리기준	조치내용
A	긴급복구	즉시복구 (4시간 이내)
B	우선복구	신속한 조치계획 수립 및 복구
C	일반복구	우기철 이전까지 복구
D	관찰대상	지속관찰

<위험도 등급에 따른 조치내용>

1.3.2. CTE3 연구성과의 우수성/창의성

- 도로함물의 주원인인 공동의 위험도 등급은 기존 일본의 공동관리등급(2011)이 사용되어 왔으며 2016년부터 서울형 공동관리등급이 개발되어 적용되고 있음
- 그러나 이러한 공동관리등급은 특정한 이론적 검증 없이 전문가들의 경험적인 판단으로 개발되었다는 단점이 있음
- 본 연구에서 개발한 ‘도로함물 위험도 기준(안)’은 모형토조 실험, 입자기반해석, 유한요소해석, 실험형 포장가속시험의 결과를 활용하여 개발 및 검증된 세계 최초의 실증적 관리등급임

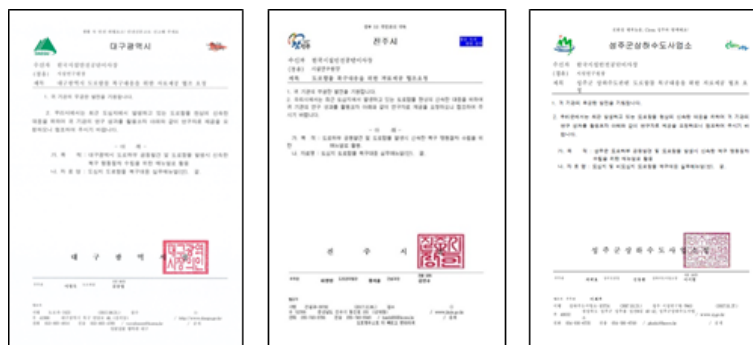
1.4. CTE4 : 재난 예방형 도로관리 시스템

1.4.1. CTE4 연구성과 내용요약

- 본 연구에서 개발된 연구성과물(시작품 및 소프트웨어)을 수요 기관에서 활용할 수 있는 방안 마련하는 것으로 목표로 하며 특히 도심지/도심외곽지에 대한 도로함물 대응/복구 실무매뉴얼을 개발하는 것이 핵심목표임

1.4.2. CTE4 연구성과의 우수성/창의성

- 공동 또는 도로함물이 발생하면 관리등급의 기준은 정립되어 있으나, 사고 상황별 위험도, 복구 및 보강의 상세한 조치사항, 표준 행동절차에 대한 실무자용 매뉴얼이 부재
- 본 연구에서는 도로함물 복구 실무매뉴얼을 작성하여 다양한 지자체에서 도로하부 공동탐지를 포함한 도로함물 발생 시 활용할 수 있는 보수/보강 표준 행동절차 및 Checklist를 제시하고 도심지 도로 관리주체 담당자 및 실무자들의 업무수행과 관련되는 매뉴얼을 개발
- 현재 대구광역시, 성주군, 진주시 등에 매뉴얼이 보급되었으며 실무에 활용 중에 있음



<지자체별 도로함물 복구 실무매뉴얼 활용공문>

2. 연구개발성과의 파급 효과

■ 등급: 아주 우수

2.1 기술적 파급효과

- 4차 산업혁명에 대처하는 세계 수준의 인공지능 분석기술 확보
- 도로함몰 재해에 대한 예방적 도로 관리 기술의 확보
- 도로하부구조 점검을 위한 첨단 시스템 구축으로 세계선도 기술수준 확보
- 도로함몰 복구 대응 매뉴얼 개발을 통한 현장적용성 증대
- 인공지능 분석기술 자체 노하우 확보 및 전문엔지니어 교육 실시
- 탐지-분석-도로공학을 연계하는 융합 공학 분야의 발전



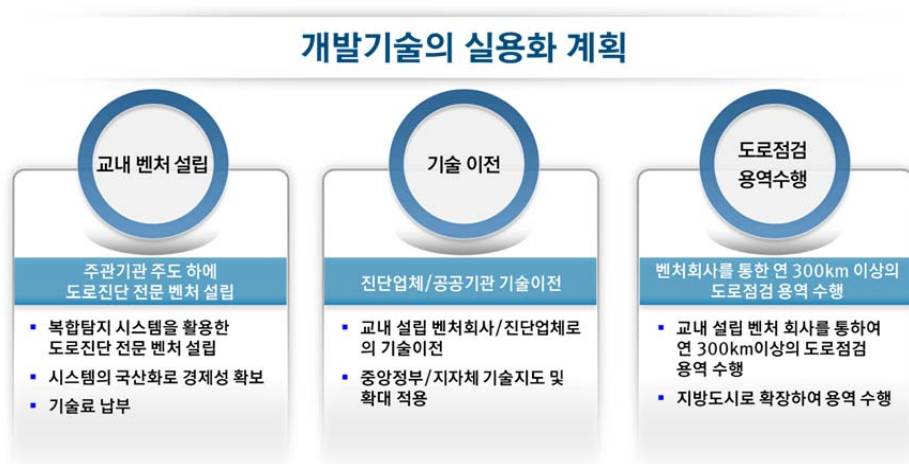
2.2 사회 · 경제적 파급효과

- 국가적인 차원에서 최근 빈번히 발생하고 있는 도로함몰 사고를 예방하여 국민 불안 해소
- 도로분야 안전산업을 육성하여 2,000억 이상의 국내 시장 창출
- 관련 기술에 대한 대외 의존도를 감소시킴으로서 국가의 외화낭비를 방지
- 사회간접자본의 수명 연장에 따른 경제성 제고
- 첨단 점검 시스템 산업의 국산화로 세계시장의 진출
- 관련 법령 제정으로 도로 하부 점검시장 확대



3. 연구개발성과에 대한 활용 가능성

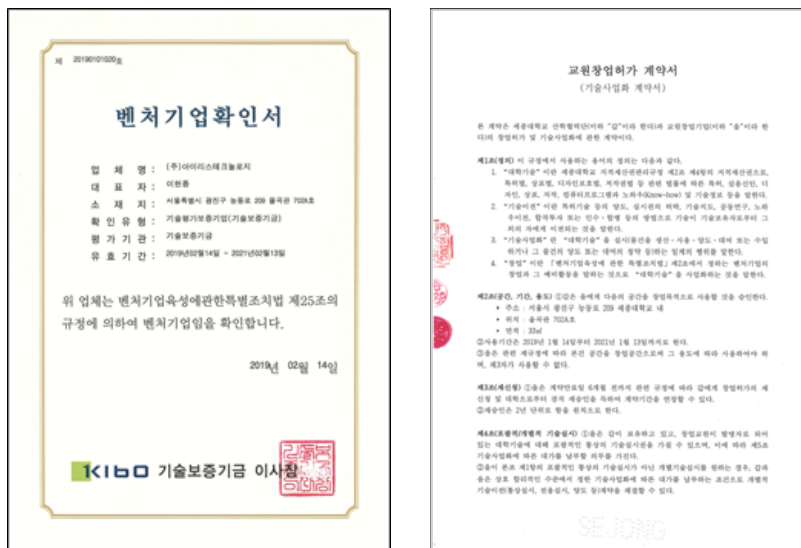
■ 등급: 아주 우수



<실용화 방안 개요>

3.1. 교내벤처설립 및 기술실시계약

○ 교내벤처설립((주)아이리스 테크놀로지, 설립연월 : 20190109) 및 기술실시계약



<교내벤처기업 확인서>

<기술실시계약>

- 5차년도부터 서울시, 국도, 경기도 공동, 포장조사 용역 지속적 참여 중
 - 2019년 서울특별시 도로포장 상태조사 및 분석 과업 수주 (발주처 : 서울시)
 - 도로포장 장기공용성 추적조사 및 품질개선 과업 수주 (발주처 : 서울시)
 - 2019년 포장관리시스템 조사결과 분석 과업 수주 (발주처 : 경기도)
- 전국 광역시, 중소도시, 고속도로 등으로 시장범위 확대

3.2. 지적재산권 확보

- 관련 특허 및 소프트웨어 저작권 등록
- 건설 신기술 지정 신청

3.3. 기술 홍보

- 국토교통부, 서울시 등 국내 도로관리 주체에 도로함몰 위험도 기준(최종안) 및 복구대응 매뉴얼 제공
- 개발된 도로함몰 위험도 등급기준(최종안)을 서울시·수도권 등 지자체 도로포장관리시스템(PMS)에 반영 시도
- 개발된 연구성과물 (시작품, 프로그램, 도로함몰 위험도 관리등급 등)에 대한 국내 표준 추진
- 자동분석 프로그램 시연회 개최 및 홍보



<연구개발 기술홍보 계획>

3.4. 성과 활용 예상기관

연구성과	활용방안	활용기관
도로함몰 위험도 탐지 시스템	도로 하부 점검	서울시, 한국시설안전공단 진단 회사
	기술이전	진단 회사 및 장비 회사
	첨단 복합 탐지 시스템을 이용한 도로 점검 전문 회사 설립	진단 회사
	안전진단 용역 수행	진단 회사
공동, 포장균열 자동분석 프로그램	도로 상하부 점검 데이터 분석	서울시, 한국시설안전공단 진단 회사
	기술이전	세종대학교 산학협력단 소프트웨어 개발 회사 및 진단 회사
	전문 분석 시스템을 갖춘 컨설팅 회사 설립	컨설팅 회사
	소프트웨어 판매 및 안전진단 용역 수행	진단 회사 및 분석 컨설팅 회사
도로함몰 위험도 기준	도로함몰 및 공동 위험도 등급 보급	도로, 상하수도 관리주체 진단 회사, 분석 회사
	실대형 TB를 이용한 관련 실험 및 추가 연구 추진	한국건설기술연구원 대학, 산업체 등 실험 의뢰 기관
도로함몰 복구 실무매뉴얼	도로함몰 위험도 기준 지침 및 복구 대응 매뉴얼을 이용한 도로관리	국토부, 서울시 등 도로관리주체 한국시설안전공단 등 도로점검 기관
	포장관리시스템 (PMS) 개선	한국건설기술연구원, 서울시 등 PMS 구축 활용 기관 DB 관리 및 PMS 구축 전문 업체

4. 연구개발 수행의 성실도

■ 등급: 아주 우수

- 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 연구팀은 1차년도(2015년)부터 현재 5차년도(2019년)까지 맡은 연구를 계획한 대로 성실하게 수행하였으며 연구목표에 합당한 성과실적을 보였음
- 특히, 지난 2017년 12월 29일에는 본 과제의 연구성과의 성실도를 인정받아 국토교통부장관으로부터 표창장을 수여받았음
- 또한 지난 2018년 10월 24일에는 본 과제가 2018년 국토교통R&D 우수성과 25선에 선정되어 연구수행의 성실성을 다시한번 인정받았음

5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: 우수

5.1 국내외 논문게재 : SCI 9건, 비SCI 23건

번호	게재연도	논문명	저자명	학술지	SCI여부
1	2015	공용중인 아스팔트 포장의 아스팔트층 동탄성계수와 FWD 역산 탄성계수의 상관관계 분석	박희문	한국도로학회	비SCI
2	2016	도로공동 탐지를 위한 지표투과레이더의 적정 주파수 선정에 관한 연구	김연태	한국도로학회	비SCI
3	2016	한국형포장설계프로그램 및 유한요소해석을 이용한 동상방지층의 구조적 성능 평가	김도완	한국도로학회	비SCI
4	2016	New Approach to Construct Master Curve of Damaged Asphalt Concrete Based on Falling Weight Deflectometer Back-Calculated Moduli	Van Phuc Le	Journal of Transportation Engineering	SCI
5	2016	A numerical simulation of thermo-mechanical behavior of the intact rock in response to the Borehole Heater Test	Syed Danial Ali	Annals of Nuclear Energy	SCI
6	2016	Effect of Suction Stress on Critical State of Compacted Silty Soils under Low Confining Pressure	Byeong-Su Kim	International Journal of Geomechanics	SCI
7	2016	Comparison of Supervised Classification Techniques for Vision-Based Pavement Crack Detection	윤해범	Journal of the Transportation Research Board	SCI
8	2016	지표투과레이더를 이용한 아스팔트 혼합물의 공극률 예측에 관한 연구	김제원	한국도로학회 논문집	비SCI
9	2016	도로함몰 위험도 평가를 위한 실험실 모형 포장가속 시험 기초 연구	박희문	한국도로학회 논문집	비SCI
10	2016	다단계 FWD 하중을 이용한 블록포장의 비선형 거동 분석	박희문	한국도로학회 논문집	비SCI
11	2016	개별요소법을 활용한 도로하부 공동 상태 평가	김연호	한국도로학회 논문집	비SCI
12	2016	실내모형시험을 통한 도로함몰 매커니즘에 대한 기초적 연구	권기철	한국도로학회 논문집	비SCI
13	2016	FIELD INVESTIGATION OF ROAD CAVITY AND CAVE-INS IN SEOUL, KOREA	백종은	Mairepav8	비SCI
14	2016	도로함몰 현상 대응을 위한 전략과제 도출	성주현	한국안전학회지	비SCI
15	2017	도로함몰 실태와 안전관리 개선 방안	이상엽	한국산학기술학회 논문지	비SCI
16	2017	Decision Matrix Analysis of Impact Sounding Test Method to Determine Interlayer Condition of Concrete Bridge Deck	Cristina Amor Rosales	Journal of Sensors	SCI
17	2017	도로공동 탐지에 적합한 GPR 타입 선정에 관한 연구	김연태	한국도로학회 논문집	비SCI
18	2017	FWD 처짐량 기반 도로 공동 및 함몰 위험도 평가 기초 연구	김태우	한국도로학회 논문집	비SCI
19	2017	개별요소법을 활용한 도로함몰 발생과 전개거동 예측	김연호	한국지반공학학회 논문집	비SCI
20	2017	도심지 개착식 굴착공사 붕괴사고 및 도로함몰 저감을 위한 우선 관리 요소 결정	성주현	한국터널지하공간학회 논문집	비SCI

번호	게재연도	논문명	저자명	학술지	SCI여부
21	2017	도로함몰관리체계 구성요소 최적화방안 연구	연구민	한국도로학회 논문집	비SCI
22	2018	A Risk Assessment of Asphalt Pavement for Depression and Cave-in Caused by Subsurface Cavity	최연우	International Journal of Pavement Engineering	SCI
23	2018	불포화 사질토의 도로함몰 특성에 관한 실험적 연구	권기철	한국도로학회 논문집	비SCI
24	2018	3차원 유한요소해석을 이용한 공동부 아스팔트 포장의 반응 모델 개발	최연우	한국도로학회 논문집	비SCI
25	2018	개별요소법을 통한 지반의 포화도와 밀도가 함몰에 미치는 영향 평가	김연호	한국지반공학회	비SCI
26	2018	도시규모를 고려한 도로함몰 사고 복구 행동절차 및 체크리스트 개발	성주현	한국방재학회	비SCI
27	2018	Deep Learning-Based Underground Object Detection for Urban Road Pavement	김남규	International Journal of Pavement Engineering	SCI
28	2018	도로공동 탐사를 위한 멀티채널 GPR 장비 비교 연구	윤진성	한국도로학회 논문집	비SCI
29	2018	보도구간 지하매설물 조사에 대한 GPR적용성 평가	이창민	한국도로학회 논문집	비SCI
30	2018	처짐비를 활용한 도로함몰 위험도 평가 개선 연구	김경수	한국도로학회 논문집	비SCI
31	2019	Deep Learning-based Autonomous Underground Cavity Detection Using Three-Dimensional Ground Penetrating Radar	강만성	Structural Health Monitoring	SCI
32	2019	Novel 3D GPR Image Arrangement for Deep Learning-based Underground Object Classification	김남규	International Journal of Pavement Engineering	SCI

5.2 지식재산권 : 출원 7건, 등록 4건

번호	권리분류	국명	지식재산권 명	출원(등록)일	출원(등록)번호
1	특허출원	한국	동공 탐지용 복합장비	2016.04.07	10-2016-0042674
2	특허출원	한국	이동식 도로 지지력 평가장비	2016.04.07	10-2016-0042678
3	특허출원	한국	3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법	2017.02.10.	10-2017-0018772
4	특허출원	한국	지중탐사장치	2017.02.09.	10-2017-0018032
5	특허출원	한국	3D 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법	2017.06.20.	10-2017-0078026
6	특허출원	한국	지표투과 레이더의 데이터 처리방법	2017.10.24.	10-2017-0138636
7	특허출원	한국	이동식 동적하중 재하장치 및 이를 이용한 아스팔트 도로 포장 상태 측정	2017.12.12.	10-2017-0169945
8	특허등록	한국	3D 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법	2018.11.05.	10-1917374
9	특허등록	한국	이동식 도로지지력 평가장비	2018.11.21	10-1922767
10	특허등록	한국	지표투과 레이더의 데이터 처리방법	2019.01.25	10-1944324
11	특허등록	한국	지중탐사장치	2019.02.01	10-1947015

5.2 저작권 등록 : 총 18건

번호	저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
1	3차원 지표투과레이더 로더	2016.02.11	2016.04.06	C-2016-008898	세종대학교 산학협력단
2	단일 레이더 칩 기반의 실시간 데이터 취득 프로그램	2016.04.05	2016.04.06	C-2016-008899	세종대학교 산학협력단
3	RDD 데이터취득 프로그램	2016.12.01	2017.01.25	C-2017-002230	세종대학교 산학협력단
4	도로노면 평탄성 분석을 위한 위치 및 방향 계측 프로그램	2017.02.01	2017.02.01	C-2017-002903	세종대학교 산학협력단
5	동공자동탐사 프로그램	2017.11.21	2017.12.07	C-2017-032151	세종대학교 산학협력단
6	균열자동탐사 프로그램	2017.11.21	2017.12.07	C-2017-032160	세종대학교 산학협력단
7	도로함몰 위험도 평가 프로그램 (RSWS 1.0)	2017.12.01	2017.12.08	C-2017-032567	주식회사 유디엔에스
8	도로함몰 관리 시스템	2018.10.24	2018.10.30	C-2018-029580	명지대학교 산학협력단
9	iCrack	2018.08.24	2018.08.26	C-2018-022210	세종대학교 산학협력단
10	iCavity	2018.08.24	2018.08.26	C-2018-022211	세종대학교 산학협력단
11	도로처짐분석기 (RDDAnalyzer)	2018.10.31	2018.11.05	C-2018-030256	주식회사 유디엔에스
12	균열자동탐사 프로그램_v2 (Pavement Crack)	2018.11.14	2018.11.19	C-2018-033356	세종대학교 산학협력단
13	UndergroundAnalyzer_v2 (도로하부분석기)	2018.11.14	2018.11.19	C-2018-033358	세종대학교 산학협력단
14	도로함몰 위험도 자료 변환 프로그램 (RSWS_CONVERT 1.0)	2018.11.14	2018.11.19	C-2018-033357	세종대학교 산학협력단
15	도로함몰 위험도 지리정보 분석 프로그램 (RSWS_GIS1.0)	2018.10.31	2018.11.05	C-2018-030256	주식회사 유디엔에스
16	iCrack_v2(아이크랙)	2019.07.10	2019.07.10	C-2019-019878	세종대학교 산학협력단
17	iCavity_v2(아이캐비티)	2019.07.10	2019.07.10	C-2019-019879	세종대학교 산학협력단
18	도로함몰 위험도 분석 및 정보화 프로그램 (RSWS_GIS2.0)	주식회사 유디엔에스	2019.07.12	C-2019-019421	주식회사 유디엔에스

II. 연구 목표 달성도

1. 1차년도

구분	핵심연구 성과 (level1)		단위성과 (level2)	1차년도 성과점검기준						해당 기관
				질적성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	질적성과지표 달성도	
1차년도 (2015)	C T E 1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1 도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	① GPR 장비 및 기술 동향 조사	1권	동향조사 보고서 작성 여부	보고서	10	100%	세종대학교 UCF 광성지엠(주) (주)로드텍
				② 도로 지지력 평가(RDD) 시작품 개발	1건	시제품 제작여부 및 특허출원	발표 특허출원	15	100%	
				③ GPR 실내시험 시험장비 구축	1건	실내시험 시험장비 구축여부	발표 (동영상)	5	100%	
	C T E 2	도로함몰 위험도 분석 프로그램	B-1 도로하부 탐지 데이터 처리 프로그램	① GPR 형식에 따른 구동 알고리즘 분석	1권	시뮬레이션 결과	발표 보고서	5	100%	세종대학교 UCF
				② 3D GPR 데이터 처리 소프트웨어 개발	2건	S/W 개발 건수	S/W등록증	15	100%	
				③ LRIS 영상분석 소프트웨어 개발	1건	도로 균열탐사 적용	발표 (동영상)	5	100%	
	C T E 3	도로함몰 위험도 평가 기술	C-1 도로함몰 발생 확장 모형	① 도로함몰 위험도 요인 평가 시험시스템 구축	2권	도로함몰 패턴분석 및 공동확장 기설 수립/ 도로함몰 모사 시스템 구축여부	보고서 발표 (동영상)	10	100%	단국대학교 동의대학교
				② 도로함몰 발생원인 선행연구 조사	1권	조사보고서 작성	보고서	5	100%	
				③ 도로함몰 발생과정 시뮬레이션	입도반영	시뮬레이션 결과	발표	5	100%	
			C-2 도로함몰 매커니즘 검증을 위한 실험 테스트베드	① 도로함몰 모형 검증 항목 개발	1권	도로함몰 영향 항목 조사 작성	보고서	5	100%	한국건설기술연구원 서울과학기술대학교
				② 실험형 포장가속시험 사례 조사	1권	실험형 포장가속시험 사례 조사서 작성	보고서	5	100%	
				③ 공동과 도로파손 연관성 조사	1건	포장가속시험 시범 운영(시험시연)	발표 (동영상)	5	100%	
	C T E 4	재난 예방형 도로관리 시스템	D-1 도로함몰 위험도 분석 조사	① 도로함몰 현장조사(GPR, 지반조사)	1권	도로함몰 현장 조사서 작성	보고서	5	100%	인덕대학교 서울특별시
				② 도로함몰 DB 구축(GPR, 지반조사)	1권	도로함몰 DB 구축 보고서	보고서	5	100%	
			D-2 도로함몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구대응 매뉴얼	① 도심지 실무 대응 매뉴얼(안) 제시	1권	도심지 실무 대응 매뉴얼 작성	보고서	5	100%	한국시설안전공단 서울특별시 탄탄(주)
			D-3 포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	① 국내 · 외 PMS 운영현황 조사분석	1권	PMS 운영현황 조사분석 보고서	보고서	5	100%	명지대학교 동일기술공사

2. 2차년도

구분	핵심연구 성과 (level1)		단위성과 (level2)		2차년도 성과점검기준						해당 기관	
					질적성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	질적성 과지표 달성도		
2 차 년 도 (2016)	C T E 1	도로 함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 복합탐지 시스템	①	도로함몰 복합탐지 시스템 시작품 제작(GPR, LRIS)	1건	시작품 제작여부 및 특허출원	시작품 제작 SCI논문	15	100%	세종대학교 UCF (주)지오메 카이엔지 (주)로드텍
					②	도로 지지력 평가(RDD) 시작품 개선 및 실험형 실험 검증	10km/hr	점검속도	학술발표 및 기술홍보	10	100%	
	C T E 2	도로 함몰 위험도 분석 프로그램	B-1	도로하부 탐지 데이터 처리 프로그램	①	GPR 영상분석 알고리즘 개선 및 검증	1.0m, 70cm/60%	탐지심도 및 크기/공동탐지 정확성	소프트웨어 등록	20	100%	세종대학교 UCF
					②	RDD 신호처리 알고리즘 개발 및 검증	24시간 이내	처리속도			100%	
					③	LRIS 영상분석 소프트웨어 개선 및 검증	3분(1차선, 5m)/8%	균열탐지속도/균열오인식률	동영상 시연	5	100%	
	C T E 3	도로 함몰 위험도 평가 기술	C-1	도로함몰 발생 확장 모형	①	도로함몰 위험도 요인 잠정 도출	1건/10회	도로함몰 공동확장 가설 검증/ 도로함몰 모사 시험 횟수	SCI논문 비SCI논문 보고서	5	100%	단국대학교 동의대학교
					②	도로함몰 발생과정 시뮬레이션	함몰발생 구현	원인별 시뮬레이션 수행	학술발표	5	100%	
			C-2	도로함몰 매커니즘 검증에 위한 실험형 테스트베드	①	테스트베드 기본 설계	1권	테스트베드 기본 설계도	보고서	5	100%	한국건설기술연구원 서울과학기술대학교
					②	실험형 포장가속시험 테스트베드 구축 및 기초시험	2건/2건	테스트베드 구축여부/ 도로함몰 모사 기초시험 건수	사진증빙 비SCI논문 학술발표	5	100%	
	C T E 4	재난 예방형 도로 관리 시스템	D-1	도로함몰 위험도 분석 조서	①	도로함몰 현장조사(계속)	1건	도로함몰 현장 조사서 작성	비SCI논문 기술홍보 학술발표	5	100%	인덕대학교 서울특별시
					②	도로함몰 DB 구축(계속)	1권	도로함몰 DB 구축보고서	보고서	5	100%	
					③	도로함몰 위험도 기준(잠정안) 제시	1건	위험도 기준 잠정안 작성	비SCI논문 교육성과 학술발표	5	100%	
			D-2	도로함몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구대응 매뉴얼	①	도심지 실무 복구 매뉴얼(안) 제시	1건	도심지 실무 복구 매뉴얼 작성	보고서 비SCI논문 학술발표	5	100%	한국시설안전공단 서울특별시 탄탄(주)
			D-3	포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	①	도로함몰 현장조사자료의 PMS 연계방안 연구	1건	PMS 연계방안 연구 보고서 작성	보고서 학술발표	5	100%	명지대학교 동일기술공사

3. 3차년도

구분	핵심연구 성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준						해당 기관	
					질적성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	질적성 과지표 달성도		
3 차 년 도 (2017)	C T E 1	도로 합몰 위험도 탐지 시스 템	A-1	도로합몰 탐지용 복합탐지 시스 템	①	도로지지력 평가 시스템 운용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	세종대학교 UCF (주)지오메카 이엔지 (주)로드텍
					②	실대형 실험을 통한 시작품 하드웨어 개선 및 성능평가	15km/hr	점검속도	발표 및 시작품홍보 (동영상)	15	100%	
	C T E 2	도로 합몰 위험도 분석 프로 그램	B-1	도로하부 탐지 데이터 처리 프로그램	①	RDD 신호분석 알고리즘 개발 및 검증 (계속)	1.2m, 60 cm/70%	탐지심도 및 크기/ 공동탐지 정확성	발표 및 소프트웨어 홍보(동영 상)	20	100%	세종대학교 UCF (주)유디엔에 스
					②	머신러닝/데이터 마이닝을 통한 공동 자동진단 알고리즘 개발 및 검증	18시간 이내	처리속도		100%		
					③	도로합몰 위험도 평가 소프트웨어 개발	1건	S/W 개발 건수	S/W 등록증	10	100%	
	C T E 3	도로 합몰 위험도 평가 기술	C-1	도로합몰 발생 확장 모형	①	도로합몰 위험도 요인 정량화	1건/15회	도로합몰 잠재적 위험도 요인 도출/ 도로합몰 모사 시험 횟수	보고서 및 논문	5	100%	단국대학교 동의대학교
					②	도로합몰 확장 시뮬레이션	합몰확장 구현	합몰 확장 시뮬레이션 수행	발표(동영 상)	5	100%	
					③	도로합몰 발생 파괴기준 수립	1권	파괴기준 분류 보고서	보고서	5	100%	
			C-2	도로합몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	①	도로합몰 분석 및 평가를 위한 계측 시스템	1권	계측 시스템	보고서	5	100%	한국건설기술 연구원 서울과학기술 대학교
					②	환경을 고려한 실대형 포장가속시험 수행	2건/2건	테스트베드 구축건수/ 도로합몰 모사 시험건수	사진증빙 발표(동영 상)	5	100%	
	C T E 4	재난 예방 형 도로 관리 시스 템	D-1	도로합몰 위험도 분석 조서	①	도로합몰 패턴 정량화 및 위험도 기준 분석	1권	도로합몰 패턴분석 보고서	보고서	5	100%	인덕대학교 서울특별시
					②	도로합몰 현장조사(계속)	1권	도로합몰 현장 조사서 작성	보고서	5	100%	
					③	도로합몰 DB 구축(계속)	1권	도로합몰 DB 구축 보고서	보고서	100%		
					④	도로합몰 위험도 기준(수정안) 제시	1권	위험도 기준 수정안 작성	보고서	5	100%	
			D-2	도로합몰 위험도 기반 복구 매뉴얼(안)	①	도로합몰 위험도 기반 복구 매뉴얼 제시(도심지, 국도/지방도)	2권	위험도 기반 복구 매뉴얼 작성	보고서	5	100%	한국시설안전 공단 서울특별시 (주)유디엔에 스
			D-3	포장관리시 스템 (PMS) 연계(안)	①	PMS 정량화 지표 연계 논리 연구	1권	연구 보고서 작성	보고서	5	100%	명지대학교 동일기술공사

4. 4차년도

구분	핵심연구 성과 (level1)	단위성과 (level2)	4차년도 성과점검기준							해당 기관		
			질적성과지표		목표치	측정방법	검증 방법	가중치	질적성 과지표 달성도			
4차 년도 (2018)	CTE 1	도로합몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로합몰 탐지용 복합탐지 시스템	①	복합 탐지시스템 시작품 운용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	세종대학교 UCF (주)지오메 카이엔지 (주)로드텍
					②	실대형 실험을 통한 시작품 하드웨어 개선 및 성능평가	20km/hr	점검속도	발표 및 시작품홍보 (동영상)	5	100%	
		A-2	개발된 자동탐지 기술 신뢰성평가 지침(안)	①	자동탐지 기술 평가 지침서	1권	지침서 작성여부	보고서	5	100%	한국건설기 술연구원	
	CTE 2	도로합몰 위험도 분석 프로그 램	B-1	도로하부 탐지 데이터 처리 프로그램	①	지하공동 자동진단 소프트웨어 패키징	1건	S/W 개발 건수	S/W 등록증	15	100%	세종대학교 UCF (주)유디엔 에스
					②	실대형 실험을 통한 소프트웨어 검증 및 성능평가	1.5m/50 cm/80%/ 12시간/3 0km	탐지심도 및 크기/ 공동탐지 정확성/ 처리속도	발표 및 소프트웨어 홍보	15	100%	
					③	개발 프로그램 사용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	
	CTE 3	도로합몰 위험도 평가 기술	C-1	도로합몰 발생 확장 모형	①	도로합몰 위험도 요인 평가 및 기준제시	1권	도로합몰 발생 · 확장 모형 개발	보고서 및 논문	5	100%	단국대학교 동의대학교
			C-2	도로합몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	①	포장가속시험을 통한 도로합몰 모형 검증	1권	도로합몰 모형 검증 보고서	보고서	5	100%	한국건설기 술연구원 서울과학기술 대학교
					②	도로합몰 위험도 평가 조서	1권	도로합몰 위험도 평가 보고서	보고서	5	100%	
	CTE 4	재난 예방형 도로관 리 시스템	D-1	도로합몰 위험도 분석 조서	①	개발된 시작품 이용 도로합몰 현장조사	1권	현장조사 보고서	보고서	5	100%	인덕대학교 서울특별시
					②	도로합몰 위험도 분석 조서 안 제시	1권	위험도 분석 조사 안 작성	보고서	10	100%	
			D-2	도로합몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구대응 매뉴얼	①	도로합몰 대응/복구 실무 매뉴얼 안 제시	1권	대응/복구 매뉴얼 안 작성	보고서	10	100%	한국시설안 전공단 서울특별시 (주)유디엔 에스
			D-3	포장관리시스 템 (PMS) 연계(안)	①	도로합몰 DB 적용 PMS(안) 제시	1권	도로합몰 적용 PMS 적용 보고서	보고서	5	100%	명지대학교 동일기술공 사

5. 5차년도

구분	핵심연구 성과 (level1)		단위성과 (level2)		5차년도 성과점검기준						해당 기관	
					질적성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	질적성과 지표 달성도		
5차년도 (2019)	CTE 1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	①	시작품 현장적용	1권	용역수행 보고서	보고서	20	100%	세종대학교
					②	시작품 성능 고도화	60km/hr	포장두께 조사속도	현장시연	20	100%	
	CTE 2	도로함몰 위험도 분석 프로그램	B-1	도로함몰 위험도 분석 프로그램	①	프로그램 현장적용	1건	용역수행 보고서	S/W 등록증	20	100%	세종대학교 (주)유디엔 에스
					②	포장두께 측정 알고리즘 개발	90%	포장두께 측정 정확도	현장코어를 통한 포장두께 측정 및 비교	20	100%	세종대학교
							12시간/1일데이터	분석속도				
	CTE 4	재난 예방형 도로관리 시스템	D-1	도로함몰 위험도 기준 자침(안) 및 복구대응 매뉴얼	①	도로함몰 대응/복구 실무 매뉴얼 안 제시	1권	대응/복구 매뉴얼 안 작성	보고서	20	100%	한국시설안전공단

Ⅲ. 종합 의견

1. 연구개발성과에 대한 종합의견

-
- 도로함몰에 대한 피해를 미연에 방지하고 시민들의 불안감을 해소하기 위하여 지난 2015년 7월 「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」 과제가 시작되고 연구가 마무리단계임
 - 본 연구과제의 주요 연구목표는 도로함몰의 주요원인인 공동을 탐사하는 복합탐지 시작품과 자동 분석 프로그램 그리고 위험도 평가 기준을 개발하는 것으로 현재 개발이 완성단계에 도달하였음
 - 도로함몰 복합탐지 시작품은 도로표면 조사 센서와 3D 지표투과레이더를 탑재하여 공동조사를 비롯한 종합적인 도로상태조사가 가능한 국내 최초의 장비이며, 자동분석 프로그램의 경우 국내 최초로 개발된 딥러닝 기반 공동, 균열 분석프로그램임
 - 또한, 본 연구과제에서는 실대형 포장가속시험, 모형토조실험, 유한요소해석, 입자기반해석의 결과를 바탕으로 국내 최초의 실증적 공동관리기준인 ‘도로함몰 위험도 평가 기준(안)’ 을 개발하였으며, 도로함몰, 공동이 발생 시 실무자에게 가이드라인을 제공하기 위한 도로함몰 대응/복구 매뉴얼을 개발하였음
 - 도로함몰 복합탐지 시스템을 활용할 경우 공동과 도로상태조사를 동시에 수행 가능한 장비로써 조사효율을 극대화 시킬 수 있는 장점이 있어 향후 도로조사용역 시장에서 높은 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 판단됨
 - 딥러닝 기반 공동 및 균열 자동분석 프로그램은 객관적인 정확도 성능과 분석속도의 성능이 다수의 현장실험 및 실대형 실험에 의해 검증되었으며 이를 활용하면 향후 국내 조사분석시장을 선도하고 나아가 해외 시장에 진출할 수 있을 것으로 보여짐
 - 5차년도에 연구 개발된 아스팔트 층 포장두께 측정 기술의 측정오차는 9.1%내 외로 포장두께 측정 정확도 90% 수준 달성하였으나 정확성을 더욱 확보하기 위한 추가 연구 필요
 - 향후 도로함몰 위험도 평가 기준(안)과 도로함몰 대응/복구 실무매뉴얼을 도로관리주체, 도로복구업체의 현장실무에 적극 반영되도록 할 것임
-

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

-
- 본 연구과제는 도로함몰 복합탐지 시스템, 자동 분석프로그램 등 실무에 직접 적용할 수 있는 실증적인 연구목표를 제시하고 있음
 - 따라서 시작품과 프로그램의 완성도와 성능에 대한 평가에 주안점을 두어야 할 것으로 보임
-

3. 연구개발성과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

-
- 본 연구과제는 실용화 단계에 착수하여 주관연구기관에서 교내벤처기업 (주)아이리스 테크놀로지를 2019년 1월 9일에 설립하였으며, 주관연구기관과 함께 기술실시 계약을 체결하였음
 - 교내벤처기업 (주)아이리스 테크놀로지는 서울시, 경기도에서 발주하는 공동조사 및 포장상태조사 용역 4건을 수주하였으며 현재 한국건설기술연구원 공동조사 관련 용역에 입찰 참여하였음
 - 공동연구기관 및 참여기업과 기술 실시 계약 협의 중
 - 국내 조사/분석 시장에서 본 연구과제의 성과물을 검증을 받고 완성도를 더욱 높여 향후 국제 도로조사시장으로 진출 할 계획임
-

Ⅳ. 보안성 검토 (※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성)

1. 연구책임자의 의견

○ 일반과제로 해당사항 없음

2. 연구기관 자체의 검토 결과

○ 일반과제로 해당사항 없음
