보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( ) 발간등록번호( )
교통물류연구사업 최종보고서

R&D / 19TLRP-C099510-05

도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발
성과점검기준표 및 증빙자료

2019.07.13.

주관연구기관 / 세종대학교
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
University of Central Florida
서울특별시 품질시험소
한국시설안전공단
동의대학교
인덕대학교
㈜로드텍
㈜지오메카이엔지
㈜동일기술공사
㈜유디엔에스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

〈 목 차 〉

<1차년도 성과점검 기준표> ·····2

<2차년도 성과점검 기준표> ·····43

<3차년도 성과점검 기준표> ·····97

<4차년도 성과점검 기준표> ·····150

<5차년도 성과점검 기준표> ·····204

<총괄 정량적 성과 목표 대비 달성도>

구분		목표	누적달성	달성도	비고
SCI 논문 게재		9	9	100%	-
비 SCI 논문 게재		13	23	100%	초과달성
국내·외 학술발표		19	63	100%	초과달성
국내 특허 출원		2	7	100%	초과달성
국내 특허 등록		2	4	100%	초과달성
등록·기탁 대상 성과물	소프트웨어	3	18	100%	초과달성
기타	시작품	1	7	100%	초과달성
	신기술 등록	1	(1)	0	등록 준비 중
	성과 홍보	2	28	100%	초과달성
	교육성과	1	14	100%	초과달성
	테스트베드 구축	5	10	100%	초과달성
	저작(매뉴얼 등록)	4	4	100%	-

<1차년도 성과점검 기준표>

구분	핵심연구성과 (level1)		단위성과 (level2)		1차년도 성과점검기준							해당 기관	예산 (백만)	정량목표	양적성과 지표 달성도	양적성과지표 근거자료
					질적성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치	질적성과지표 달성도	질적성과지표 근거자료					
1차년도(2015)	CTE1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	①	GPR 장비 및 기술 동향 조사	1권	동향조사 보고서 작성 여부	보고서	5	100%	25p	세종대학교 UCF 광성지엠(주) (주)로드텍	141.3	인력양성 : 1건 성과홍보 : 1건	100% 100%	붙임16 붙임26
					②	도로 지지력 평가(RDD) 시작품 개발	1건	시제품 제작여부 및 특허출원	발표 특허출원	10	100%	26p		282.5	특허출원 : 0건 시작품제작 : 0건	2건 추가 1건 추가	붙임14,15 붙임24
					③	GPR 실내시험 시험장비 구축	1건	실내시험 시험장비 구축여부	발표(동영상)	5	100%	28p		141.3	학술발표 : 1건	200%	붙임4,5
	CTE2	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%	27p	세종대학교 UCF	141.3	테스트베드 : 1건	100%	붙임40
					②	3D GPR 데이터 처리 소프트웨어 개발	2건	S/W 개발 건수	S/W등록증	15	100%	27p		423.8	S/W : 0건	2건 추가	붙임22,23
					③	LRIS 영상분석 소프트웨어 개발	1건	도로 균열탐사 적용	발표(동영상)	5	100%	28p		141.3			
	CTE3	도로함몰 위험도 평가 기술	C-1	도로함몰 발생 확장 모형	①	도로함몰 위험도 요인 평가 시험시스템 구축	2권	도로함몰 패턴분석 및 공동확장 가설 수립/ 도로함몰 모사 시스템 구축여부	보고서 발표(동영상)	10	100%	29p	단국대학교 동의대학교	282.5	인력양성 : 3건 시작품제작 : 0건	100% 1건 추가	붙임17~19 붙임25
					②	도로함몰 발생원인 선행연구 조사	1권	조사보고서 작성	보고서	5	100%	29p		141.3			
					③	도로함몰 발생과정 시뮬레이션	입도반영	시뮬레이션 결과	발표	5	100%	29p		141.3	학술발표 : 1건	200%	붙임8,9
			C-2	도로함몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	①	도로함몰 모형 검증 항목 개발	1권	도로함몰 영향 항목 조서 작성	보고서	5	100%	30p	한국건설기술 연구원 서울과학기술 대학교	141.3	비SCI논문 : 3건	100%	붙임1~3
					②	실대형 포장가속시험 사례 조사	1권	실대형 포장가속시험 사례 조사서 작성	보고서	5	100%	30p		141.3	테스트베드 : 0건	2건 추가	붙임38,39
					③	공동과 도로파손 연관성 조사	1건	포장가속시험 시범 운영(시험시연)	발표(동영상)	5	100%	30p		141.3	학술발표 : 1건	200%	붙임6,7
	CTE4	재난 예방형 도로관리 시스템	D-1	도로함몰 위험도 분석 조서	①	도로함몰 현장조사(GPR, 지반조사)	1권	도로함몰 현장 조사서 작성	보고서	5	100%	31p	인덕대학교 서울특별시	141.3	학술발표 : 0건 성과홍보 : 0건 교육성과 : 0건	1건 추가 6건 추가 5건 추가	붙임12 붙임27~32 붙임33~37
					②	도로함몰 DB 구축(GPR, 지반조사)	1권	도로함몰 DB 구축 보고서	보고서	5	100%	31p		141.3	학술발표 : 1건 인력양성 : 1건	200% 100%	붙임10,11 붙임20
			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%	31, 32p	한국시설안전 공단 서울특별시 탄탄(주)	141.3	학술발표 : 0건	1건 추가	붙임13
			D-3	포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	①	국내·외 PMS 운영현황 조사분석	1권	PMS 운영현황 조사분석 보고서	보고서	5	100%	32p	명지대학교 동일기술공사	141.3	인력양성 : 1건	100%	붙임21
계					-	-	-	-	-	100	-	최종보고서 Page	-	2,825	논문 : 3건 발표 : 4건 특허 : 0건 S/W : 0건 기타 : 2건	논문 : 3건 발표 : 10건 특허 : 2건 S/W : 2건 기타 : 17건	34건

[붙임1]
성과증빙 C-2-①

Int. J. Highw. Eng. Vol. 17 No. 5 : 25-31 OCTOBER 2015
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.5.025

공용중인 아스팔트 포장의 아스팔트층 동탄성계수와 FWD 역산 탄성계수의 상관관계 분석

Analysis on Relationship between FWD Back-calculated Modulus and Dynamic Modulus of Asphalt Layers for Existing Asphalt Pavements

박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)
박 홍 준 Park, Hong Joon | Tennessee Department of Transportation, Assistant State Asphalt Engineer (E-mail : hong.park@tn.gov)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to analyze the relationship between the FWD back-calculated modulus and dynamic modulus of asphalt layers for existing asphalt pavements.

METHODS : To evaluate the dynamic modulus of the asphalt mixture in the existing and new asphalt layers, the uniaxial direct tension test was conducted on small asphalt specimens obtained from the existing asphalt-covered pavements. A dynamic modulus master curve was estimated by using the uniaxial direct tension test for each asphalt layer. The falling weight deflectometer (FWD) testing was conducted on the test sections, and the modulus values of pavement layers were back-calculated using the genetic algorithm and the finite element method based back-calculation program. The relationship between measured and back-calculated asphalt layer moduli was examined in this study. The normalized dynamic modulus was adopted to predict the stiffness characteristics of asphalt layers more accurately.

RESULTS : From this study, we can conclude that there is no close relationship between dynamic modulus of first layer and back-calculated asphalt modulus. The dynamic moduli of second and third asphalt layers have some relation with asphalt stiffness. Test results also showed that the normalized dynamic modulus of the asphalt mixture is closely related to the FWD back-calculated modulus with 0.73 of R square value.

CONCLUSIONS : The back-calculated modulus of asphalt layer can be used as an indicator of the stiffness characteristics of asphalt layers in the asphalt-covered pavements.

Keywords
Asphalt Pavement, Falling Weight Deflectometer, Dynamic Modulus, Genetic Algorithm

Corresponding Author : Park, Hee Mun
Korea Institute of Construction Technology 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 12, 2015 Revised Aug. 19, 2015 Accepted Oct. 01, 2015

1. 서론

최근 도로포장 건설 산업은 신설도로 건설보다는 기존 공용중인 도로포장을 확장하거나 유지 보수하는 추세이다. 이에 따라 유지보수공법을 적용한 도로포장에 대한 정확한 지지력 및 공용성 평가가 향후 도로포장의 수명 예측 및 유지보수 비용 산정에 대우 중요한 요소가 되고 있다.

주기적인 아스팔트 덧씌우기 공법의 적용에 따라 공

[붙임2]
성과증빙 C-2-①

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 2 : 37-42 APRIL 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.2.037

도로동공 탐지를 위한 지표투과레이더의 적정 주파수 선정에 관한 연구

Determining the Optimal Frequency of Ground Penetrating Radar for Detecting Voids in Pavements

김연태 Kim, Yeon Tae | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 진입연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
김부일 Kim, Booil | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail : bikim@kict.re.kr)
김제원 Kim, Je Won | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : jewonkim@kict.re.kr)
박희문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)
윤진성 Yoon, Jin Sung | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : jsyoon94@seoul.go.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to determine the optimal frequency of ground penetrating radar (GPR) testing for detecting the voids under the pavement.

METHODS : In order to determine the optimal frequency of GPR testing for void detection, a full-scale test section was constructed to simulate the actual size of voids under the pavement. Voids of various sizes were created by inserting styrofoam at varying depths under the pavement. Subsequently, 250-, 500-, and 800-MHz ground-coupled GPR testing was conducted in the test section and the resulting GPR signals were recorded. The change in the amplitude of these signals was evaluated by varying the GPR frequency, void size, and void depth. The optimum frequency was determined from the amplitude of the signals.

RESULTS : The capacity of GPR to detect voids under the pavement was evaluated by using three different ground-coupled GPR frequencies. In the case of the B-scan GPR data, a parabolic shape occurred in the vicinity of the voids. The maximum GPR amplitude in the A-scan data was used to quantitatively determine the void-detection capacity.

CONCLUSIONS : The 250-MHz GPR testing enabled the detection of 10 out of 12 simulated voids, whereas the 500-MHz testing allowed the detection of only five. Furthermore, the amplitude of GPR detection associated with 250-MHz testing is significantly higher than that of 500-MHz testing. This indicates that 250-MHz GPR testing is well-suited for the detection of voids located at depths ranging from 0.5~2.0 m. Testing at frequencies lower than 250 MHz is recommended for void detection at depths greater than 2 m.

Keywords
ground penetrating radar, testbed, asphalt pavement, simulated void, amplitude

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 30, 2015 Revised Dec. 02, 2015 Accepted Mar. 31, 2016

1. 서론

최근 국내에서는 도로의 일부가 급속도로 침하되어 차량이나 보행자가 동공으로 추락하는 등의 사고를 발생시키는 도로함몰 현상이 사회적으로 큰 문제로 대두되고 있다. 서울시에서 최근 5년간 도로침하, 동공, 함몰 발생 현황을 조사한 결과 총 3,328건이 발생하였으며, 연간 665건으로 발생건수가 점차 증가하는 추세이다(서울시, 2015). 주요 도로함몰 발생원인인 상하수관 손상 및 누수, 도로굴착 공사 불량, 지하수위 강하 등으로 발생한

[붙임3]
성과증빙 C-2-①

한국형포장설계프로그램 및 유한요소해석을 이용한 동상방지층의 구조적 성능 평가

Evaluation of Structural Performance of Anti-Freezing Layer using Korea Pavement Research Program and Finite Element Method

김도완 Dowan Kim | 정회원 · (주)건화 도로공항부 사원(E-mail: kimdw@kunhwaeng.co.kr)
이준규 Junkyu Lee | 비회원 · 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정(E-mail: dlwnsrb69a@naver.com)
*문성호 Sungho Mun | 정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학과 부교수(E-mail: smun@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Cavity phenomenons are occurring more often these days in pavement layers of downtown area because of various reasons. It causes an increment of the number of pothole, sinkhole and other failure on road. For various reasons regarding cavity occurrence, a fundamental cause is loss of earth and sand in the pavement. It is related to abrupt climate change like heavy rain, heavy snow and frozen of underground water that can affect underground water level change. In this regards, the purpose of this study is to evaluate the performance of pavement with application of anti-freezing layer based on Korean Pavement Design Guide. To evaluate the pavement performance, KPRP(Korea Pavement Research Program) and KICTPAVE programs are utilized.

METHODS : Performance analysis and Finite-Element Analysis using KPRP and KICTPAVE are focused on investigation of the structural performance. KPRP was developed for Korean Pavement Design Guide which is based on Mechanical-Empirical Pavement Design Guide(M-EPDG). The previous design guide was on AASHTO Interim Guide Method(1972) in Korea. It was founded upon empirical design guide and didn't attract the internal traffic and climate conditions. In the process of development of KPRP, KICTPAVE was developed to demonstrate the reliability of KPRP results. This program can solve the axial symmetry problem of visco-elasticity material using Finite-Element Method (FEM). The fatigue failure and Permanent deformation based on stress and strain were evaluated in previous paper.

RESULTS : In the results of performance analysis using KPRP with conditions regarding anti-freezing layer installation, all kind of analysis (Fatigue Crack, Permanent Deformation and International Roughness Index(IRI)) of 13 %, 0.7 cm, 3.0m/km respectively are satisfied with design standards (Fatigue crack : 20 %, Permanent deformation : 1.3 cm, IRI : 3.5m/km). The results of FEM using KICTPAVE are indicated of Figure 8~12. and Table 3~5.

CONCLUSIONS : The performance analysis results on KPRP are satisfied with its design standards without thickness of anti-freezing layer. all the value of 13 %, 0.7 cm and 3.0m/km from analysis results are equally indicated under any conditions regarding application of anti-freezing layer. The value of stress and strain on interlayer between subgrade and anti-freezing layer are gradually decreased when the thickness of anti-freezing layer is increasing. On the contrary to this result, the value of strain on the interlayer between sub-base and anti-freezing layer are gradually increased when the thickness of anti-freezing layer is increasing.

Keywords

Anti-Freezing Layer, Korean Pavement Research Program (KPRP), AASHTO Interim Design Guide(1972), KICTPAVE, Performance Analysis, Finite-Element Method (FEM), Fatigue Failure, Rutting, International Roughness Index (IRI), Cavity, Sinkhole, Pothole, Mechanical-Empirical Pavement Design Guide (M-EPDG)

Corresponding Author : Sungho Mun, Associate Professor
The Road Pavement Research Division, No.43, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneng-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea
Tel:+82.2.970.9014
email : smun@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

[붙임4]
성과증빙 A-1-③

도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발

Development of Evaluation and Analysis Technologies for Road Sink

박영수1) 이현종2) 이종재3)
Park, Young-Soo · Lee, Hyun Jong · Lee, Jong-Jae

요 지

최근 도심부 도로가 갑자기 함몰되어 인명 · 재산 피해는 물론 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번하게 발생하여 중요한 사회적 이슈로 부각되고 있다. 본 논문에서는 최근 사회적 이슈로 부각되고 있는 도로함몰을 탐지하고 분석 평가하기 위한 연구개발과제를 소개한다. 본 연구는 도로하부의 동공을 탐지하는 GPR, RDD등의 탐지시스템을 이용하여 측정된 데이터를 신호 및 영상처리, 통계적 이상상태 판단, 데이터마이닝 기법이 탑재된 프로그램으로 도로함몰 위험도를 분석하고 토질, 동공깊이, 동공크기, 도로지지력 등의 영향인자에 따른 도로함몰 위험도를 평가하기 위한 연구와 도로함몰 위험도 평가 기술을 도로관리시스템에 연계하여 적용하기 위한 실용화 연구를 종합적으로 수행하는 것을 목표로 한다. 탐지시스템의 최종목표성능은 탐지속도 20km/hr이상, 도로심도 1.5m이내의 50cm이상의 동공, 탐지 정확성 80%이상, 분석시간 12시간 이내로 설정하였다. 이러한 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술의 개발은 해외기술에 의존하고 있는 현재 시스템을 국산화하여 대폭적인 도로관리 비용절감이 예상되며 나아가 해외시장 경쟁력의 확보가 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도로함몰, 위험도평가, 복합 탐지 시스템, 진단 프로그램, 예방적 도로관리

1. 서 론

도로함몰이란 도로하부에서 발생한 동공에 의해 상부도로가 지지력을 잃고 내려앉는 현상을 말한다. 도로함몰의 주원인인 동공은 상하수관 손상 및 누수, 도로굴착 공사불량, 지하수위 강하 등으로 발생한다. 동공은 일반적으로 대중에게는 싱크홀로 인식되고 있으나 이는 석회암질 지반의 용해로 비롯한 자연현상으로 동공과는 발생원인이 다르다. 최근 도심부 도로가 갑자기 함몰되어 인명 . 재산 피해는 물론 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번하게 발생하여 중요한 사회적 이슈로 부각되고 있다. 서울시에서 최근 5년간 도로침하, 동공, 함몰 발생현황을 조사한 결과, 총 3,328건이 발생하였으며, 연간 발생건수가 점차 증가하는 추세이다. 도로함몰로 인한 인명 . 재산 피해를 감소시키고 시민의 불안감을 해소하기 위하여 2015년 7월 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원이 지원하는『도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발』연구과제가 시작되었다.

1) 학생회원, 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail: degaulle38@gmail.com)
Member, Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Sejong University
2) 교신저자, 정회원, 세종대학교 건설환경공학과 정교수 (E-mail: hlee@sejong.ac.kr)
Corresponding Author, Member, A Full Professor, Department of Civil Engineering, Sejong University
3) 세종대학교 건설환경공학과 조교수 (E-mail: jongjae@sejong.ac.kr)
Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sejong University

[붙임5]
성과증빙 A-1-③

도로 동공에 의한 도로함몰 위험도 탐지분석기술 개발

Development of Evaluation and Analysis Technologies for Road Sink

김기덕* 김세훈** 이종재***
Kim, Ki-Deok Kim, Se-hoon Lee, Jong-Jae

Abstract

A new research project entitled 「Development of Evaluation and Analysis Technologies for Road Sink」 was initiated last year under the sponsorship of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement and Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In this article, outlines of this project is briefly introduced including research goal, scope, current major activities, etc.

1. 서 론

동공이란 지층에 토사가 유실되어 발생하는 공간이다. 동공은 자연적인 현상이지만 도심부에서는 상하수도 손상, 도로굴착공사, 불량 매립 자재, 지하수위 강하 등 인위적인 이유로 지속적으로 발생하고 있다. 동공이 도로하부에 발생하여 포장층이 지지력을 잃고 함몰되는 것을 도로함몰이라 한다. 이는 최근 빈번하게 발생하여 많은 인명·재산 피해를 입히고 있다.

도로함몰로 인한 피해를 감소시키고 시민들의 불안감을 해소하기 위해 2015년 7월 국토교통부, 국토교통과학진흥원이 지원하는 「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」 연구과제가 시작되었다. 본 과제는 도로함몰 위험도의 탐사기술, 분석기술, 평가기술, 관리기술의 4가지 핵심목표를 갖고 있다. 특히 국내 도로동공 탐사 및 분석기술은 시작단계로써 탐지에 관련된 여러 종류의 장비를 보유하고 있으나 체계화되지 않은 상태로 효과적인 계측 및 분석이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 도로함몰을 예방하기 위한 동공탐사 핵심기술의 연구는 필요성이 높고 기술을 통한 국제경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 1 도로함몰 예시

* 세종대학교 건설환경공학과, 공학석사
** 세종대학교 건설환경공학과, 박사과정
*** 교신저자, 세종대학교 건설환경공학과 교수, 공학박사 (jongjae@sejong.ac.kr)

[붙임6]
성과증빙 C-2-③

아스팔트 혼합물의 동적거동 모사를 위한 DEM 접촉모형 연구

윤태영*

아스팔트 혼합물은 플랜트에서 가열, 이송, 혼합, 배출 등의 여러 가지 공정을 거쳐 생산되며, 생산된 아스팔트 혼합물은 현장으로 이송되어 포설 및 다짐의 과정을 거쳐 아스팔트 포장으로 적용된다. 이와 같이 다양한 외부 환경에 노출된 아스팔트 혼합물의 생산 및 적용 공정은 최종 생산품이 실내에서 완성되어 재료의 균질성이 확보되는 일반적인 산업분야와는 확연히 다른데, 이러한 요인에 의하여 아스팔트 혼합물의 생산 및 포설, 다짐 공정을 현장에서 정량적으로 모니터링하고 개선하여 재료의 잠재적인 성능을 최대한 활용하는데 한계가 있다. 이와 같은 한계를 극복하기 위한 대안을 제시하기 위한 방법으로는 재료의 동적 거동 및 여건을 모사할 수 있는 이산요소법(Discrete Element Method, DEM)을 고려할 수 있다. 재료가 다른 재료와 접촉할 때의 부착을 포함한 동적 거동의 특성은 이산요소법에서 접촉모형(Contact Model)을 이용하여 표현되는데, 아스팔트 혼합물과 같이 혼합재료의 가시적 구분이 가능한 재료의 생산 및 포설, 다짐까지의 공정을 모두 모니터링 하여 재료의 성능을 확보하기 위해서는 시간 또는 온도 변화에 따른 굵은 골재, 잔골재, 아스팔트 바인더의 물성 등 개별요소의 물성을 각각 측정하여 혼합물 전체의 성능을 예측하는, 실용적 측면에서의 다상 모사(Multiphase Simulation) 기법에 적용하기 쉬운 접촉모형을 결정하는 것이 합리적이다. 이러한 기법을 활용하면 생산과 포설 단계에서의 도로포장 재료의 동적 거동을 분석하여 시설 및 과정을 최적화 할 수 있을 뿐만 아니라, 이미 포설되어 차량이 운행 중인 도로의 파손에 대한 초기 생산 조건의 영향을 확인할 수 있기 때문이다.

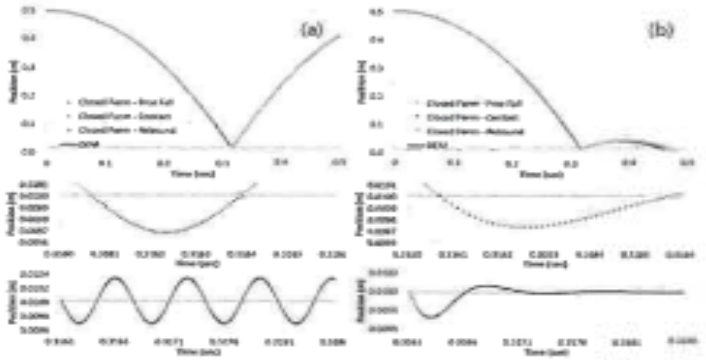


그림 1. DEM 접촉모형의 특성에 따른 입자의 반발특성

따라서 본 연구에서는 골재의 탄성계수와 바인더의 시간 및 온도 종속적인 부착성 점소탄성 특성을 반영할 수 있는 정교한 접촉모형을 개발을 위하여, 해석적 방법으로 정해가 유도될 수 있는 비교적 단순한 점탄성 모형과 선형 부착모형을 이산요소법의 부착모형으로 개발 및 적용하고 이에 대한 가능성을 검증하고자 하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 도로포장연구실 · 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : tyun@kict.re.kr) – 발표자

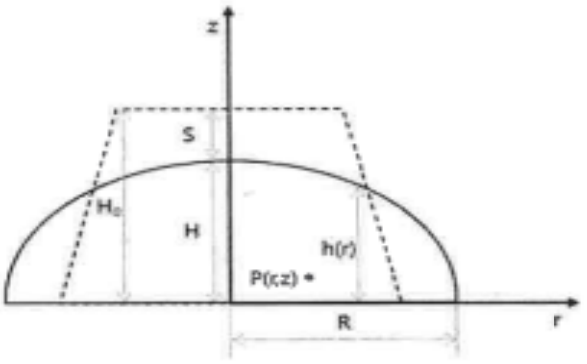
[붙임7]
성과증빙 C-2-③

DEM을 이용한 시멘트 콘크리트의 유동성 모사

윤태영*

생산 및 시공과정에서의 유동적 특성을 갖는 일반 시멘트 콘크리트나 자가다짐 콘크리트(Self Compacting Concrete, SCC)의 작업성 또는 성형성을 평가하기 위해서 일반적으로 슬럼프 실험이 수행되는데, 시멘트 페이스트에는 작은 콘을 이용한 미니 슬럼프 실험을 수행할 수 있으며, 시멘트 콘크리트에 대해서는 일반적인 슬럼프 실험을 수행할 수 있다. 2000년대 전후 이들 실험이 실제 재료의 유동적인 특성을 반영하여 재료의 특성을 나타낼 수 있는지에 연구가 일본과 유럽을 중심으로 수행된 바 있는데, 이들 연구에서는 슬럼프나 퍼진정도가 실제 재료의 유동에 영향을 미치는 역학적인 인자들인 점도와 항복응력과 관련이 있음을 분석적 해(Analytical Solution)을 도출함으로서 어느 정도 규명되었다. 이는 경험적 실험방법의 이론적 규명으로 현장에서 수행되는 슬럼프 실험의 타당성을 확인하는데 큰 의미를 갖는다고 할 수 있으나, 이들 역학적 물성이 슬럼프 뿐만이 아닌 V funnel 실험이나 L-Box 실험과 같은 다른 실험조건 및 SCC의 최종목적이 될 수 있는 복잡한 구조에서의 유동을 예측하는데 적용될 수 있는지에 대해서는 답이 될 수 없다.

한편 재료의 이동특성을 분석하거나 다짐의 최적화를 연구하는 산업 또는 연구 분야에서는 운동하는 입자의 거동이나 상호작용을 반복적으로 모사할 수 있는 수치해석적 방법인 개별요소법(Discrete Element Method, DEM)이 점차 확대되어 활용되고 있는데, 이러한 이산요소법의 장점은 접촉모형과 골재모사 방법의 개선을 통하여 복잡한 구조에서의 입자를 포함하는 SCC와 같은 유동성 재료의 거동을 모사할 수 있다는 장점이 있다.



〈그림 1〉 분석적 해 이용을 위한 기본 개념

따라서 본 연구에서는 역학적인 인자들을 이용하여 시멘트 혼합물의 거동을 모사하기 위하여 사용될 수 있는 이산요소법을 적용하여 시멘트 혼합물의 거동을 모사하고자 하였으며, 유럽과 일본에서 제시된 분석적 해를 활용하여 이를 검증하고자 하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 도로포장연구실 · 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : tyun@kict.re.kr) – 발표자

[붙임8]
성과증빙 C-1-③

도로하부 함몰 발생에 따른 변형해석

Numerical Simulation of Deformation Behaviors of Road Foundations with Cave-in Conditions

김연호* 박현수** 박성완***
Kim, Yeon-Ho · Park, Hyuns-Su · Park, Seong-Wan

요 지

도시화로 인해 도로 함몰이 빈번하게 발생하고 있으며, 도로 함몰로 인한 피해가 급증하고 있다. 따라서 도로의 하부층에 동공이 발생하였을 때의 강도변화를 수치해석을 통해 알아보았다. 삼축압축시료에 글루코오스를 삽입하여 인위적으로 동공을 형성한 실내시험자료를 수치해석으로 모델링 하였으며, 입자의 크기는 입도분포곡선을 반영하여 형성하였다. 또한, 입자의 탄성계수와 마찰각은 실내시험값과 동일한 값을 갖도록 보정하였다.

기존의 실내시험에서는 동공의 발생 위치를 삼축압축시료의 하부에서 발생하도록 하였으나, 본 연구에서는 삼축압축 시료의 상부, 중부, 하부에 동공이 발생하였을 때의 강도 변화와 동공의 크기에 따른 강도 변화를 확인해 보았다.

각각의 시험 결과 상부에서 하부로 동공의 위치가 변화할 때 강도는 증가하는 경향을 보였고 체적변형률은 감소하다가 증가하는 경향을 보였다. 상부와 중부에 동공이 위치할 때에는 비슷한 경향의 체적변화를 보였으나 하부에 동공이 위치하였을 때에는 체적변형률의 증가가 작게 나타났다. 동공의 크기가 증가하였을 때에 강도는 급격하게 낮아졌고, 강도가 감소하는 시점에서 체적변형률이 증가하는 결과를 보였다. 본 연구를 통해 동공의 크기가 커질수록 강도가 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며, 상부에 존재 할수록 시료가 저항 할 수 있는 하중이 작은 것을 볼 수 있었다. 결론적으로 동공이 하부에 존재 할 때에는 상대적으로 저항성이 크고 상부에 위치할 때에는 크게 나타난다. 하지만 지반의 동공 발생지점이 하부에서 존재할 때에 탐지가 비교적 어려우며, 하부 동공이 확장되었을 때에는 강도가 급격하게 감소하여 상부에 동공이 위치할 때보다 더 취약하므로 하부 동공의 탐지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

핵심용어 : 도로함몰, 개별요소법, 삼축압축시험, 변형

감사의 글

본 연구는 2015년도 국토교통부 교통물류연구사업인 '도로함몰 발생 해석 모델 개발'과제의 지원을 받아 수행된 연구(15TLRP-C099511-01)이며, 이에 감사드립니다.

* 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail:rladusgh1116@naver.com)
Graduate Student, Department of Civil & Environment Engineering, Dankook University
** 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail:sup1115@naver.com)
Graduate Student, Department of Civil & Environment Engineering, Dankook University
*** 교신저자, 단국대학교 토목환경공학과 교수 (E-mail:spark@dankook.ac.kr)
Corresponding Author, Professor, Department of Civil & Environment Engineering, Dankook University

[붙임9]
성과증빙 C-1-③

KSJ Spring National Conference 2016 / March 17-18, 2016 / Seoul / Korea

개별요소법을 활용한 침투조건하 미세구조 지반의 강도 평가
Strength evaluation of micro-structured soils under seepage flow conditions by DEM

김연호[1], Yeon-Ho Kim, 박성완[2], Seong-Wan Park

[1] 단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environment Engineering, Dankook Univ.
[2] 단국대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environment Engineering, Dankook Univ.

SYNOPSIS : Seepage-induced internal erosion generally occurs in gap-graded granular and fine materials composed of five different types of micro-structure. One type of the micro-structure, which have a resistance against collapse only with migration of fine particles from soil matrix under seepage, was selected and analyzed using DEM(Discrete Element Method) analysis. The created gradations for analysis were based on micro-structure identification diagram. The relationship between deviator stress and diameter ratio of the granular to fine was derived by numerical analysis at the same void ratio and fine content. It was found that the maximum deviator stress increased with a increase in diameter ratio and decreased from the specific diameter ratio.

Keywords : Micro-structure, DEM, Strength evaluation, Internal erosion

1. 서 론

갭입도의 입자 구조 중 조립질이 흙 구조의 골격을 이루고 간극 사이에 세립질이 위치한 경우 침투에 의한 내부 침식에도 부피변형이 아주 작으며 결과적으로 붕괴 저항성이 크다고 볼 수 있다. 이러한 입자 구조 중에서도 조립질과 세립질의 입경비가 다르게 구성 될 수 있으며 입경비가 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구에서는 입경비 변화에 따른 강도 평가를 개별 요소 해석을 통해 실시하였다.

2. 입경비 변화에 따른 강도 평가

2.1 미세구조 판별 도표 (Micro-structure identification diagram)

Thevanyagam(2002)은 간극비와 세립질 함유량의 관계식을 통해 도표를 만들어 입자구조를 다섯 가지로 분류하였으며 Slangen(2015)은 갭입도 흙의 미세 구조에 대한 새로운 판별도표를 제시하였다. 입자 구조 중 조립질이 주 골격을 이루는 type C와 C-T의 경우 침투 시 세립분의 침식에도 부피변화가 거의 관찰되지 않아 붕괴 저항성이 크다고 결론지었다.

2.2 해석 결과

해석에 사용된 간극비는 0.5, 세립질 함유량은 0.10으로 미세구조 판별 도표상 type C-T에 해당한다. 세립질 손실에 의한 부피변화가 관찰되지 않은 입경비 5이상의 입도에 대한 해석 결과는 Table. 1과 같

[붙임10]
성과증빙 D-1-②

국내외 사례분석을 통한 도로함몰 구간의 조사 기법 구축

최준성* · 김진오** · 이찬희***

최근 들어 빈번히 발생하고 있는 도로함몰 사고로 국민 불안이 커지고 있으며 이에 대한 대책 마련이 필요하다. 우리나라의 도로함몰 조사는 기초적인 수준이 전부였으며 최근에 동공 파악을 위해 외산 장비를 수입하여 현장에서 사용 중이나, 현장에서 수집한 자료는 도로함몰의 형태만 분석하는 수준으로 정밀화체계화된 분석이 불가능하다. 그리고 현재 우리나라는 우리나라의 토질 및 도로환경을 감안한 분석노하우를 보유하지 못했기 때문에 제대로 된 DB 구축을 통한 한국형 도로하부 위험도 분석기술 및 프로그램 개발 요구가 높은 실정이다. 그렇기 때문에 다양한 우리나라의 환경조건에 따른 도로함몰 구간의 조사기법을 구축하여 도로함몰 위험도 평가 기술 개발에 기여하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구는 국내 · 외 도로함몰 관련 자료 및 현장 조사서 확보와 분석을 통해 기초 DB를 구축하고 추가적인 취득 자료를 통해 도로함몰 패턴 분석 및 지속적인 DB화를 진행하여 위험도 등급 선정 기초자료로 활용하려고 한다. 먼저 도로함몰이 빈번하게 발생하는 일본, 뉴욕 등의 국외는 GPR을 통하여 예상지역을 선정하며, CPT를 통하여 지반의 특성을 분석하고 내시경을 통하여 추가 동공여부를 파악하는 방법을 구축하고 있다. 그러나 국내는 최근에 GPR을 사용하여 예상지역을 선정할 뿐 도로함몰이 발생한 후에는 형태만을 조사하는 기초적인 조사방법으로 파손 구간의 넓이, 깊이, 높이를 재는 등 조사 방법이 미흡하여 도로함몰이 발생하였을 경우와 추가적인 동공유무에 대한 대책이 없는 실정이다. 이에 따라 본 연구의 조사방법으로는 도로함몰이 발생하기 전 예상되는 도로에서 예상 지역의 예측동공의 존재유무를 확인하기 위해 LFWD로 처짐과 탄성력, 천공하여 DCPT 및 내시경을 진행하여 강도특성을 측정한다. 도로함몰이 발생한 후에는 도로함몰이 발생한 구간에서 무너진 도로의 잔해를 제거한 후 도로 잔해를 제거한 곳에서 하부 지반의 강도특성을 알기위해 DCPT 시험을 진행하며, 추가 동공의 존재유무를 확인하기위해 천공 및 내시경을 진행한다. 현장의 다짐도와 지지력등 강도특성들을 파악하기 위해 함몰 내부 주위 지반의 시료를 채취 하여 현장 함수비 체크를 하고 최적 함수비와 비교한다. 도로함몰 구간의 복구 후 복구한 지역과 주변 도로의 추가 이상 사항을 체크하기 위해 LFWD 시험을 진행한다. 본 연구는 교통물류연구사업으로 진행된 '도로함몰 위험도 평가 및 분석기술개발'이라는 연구과제의 일환으로 도로함몰구간 현장조사 및 위험도 기준개발부분으로써 진행되는 것이며 추후 도로포장유지관리시스템에 도로함몰 조사기법을 추가할 때 자료로써 사용될 수 있을 것이고, 다른 연구부분인 영향인자에 따른 도로함몰 위험도 평가하기 위한 연구부분에 기초자료로써 사용됨으로써 우리나라의 환경조건에 따른 도로함몰 위험도 평가 기술 개발에 활용한다.

본 연구는 서울시와 지자체의 동공발생 DB구축을 역학적 평가를 수행할 수 있도록 구축하였고, 현장의 추가 동공 발생가능성을 평가하였다. 구축된 조사기법을 통하여 형태조사수준이 아닌 우리나라의 토질 및 도로환경을 감안한 지반의 특성과 강도특성을 파악하고 추가 함몰 여부 판단근거 자료와 추후 함몰 발생가능성 평가 인자 DB 구축을 통해 다양한 우리나라의 환경조건에 따른 도로함몰 구간의 조사기법을 구축하여 도로함몰 위험도 평가 기술을 개발할 수 있을 것으로 예측된다.

핵심용어 : 도로함몰, 동공, LFWD, DCPT, 천공, 내시경

* 정회원 · 인덕대학교 토목환경설계과 교수 · 공학박사 · 02-950-7565 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
** 학생회원 · 인덕대학교 토목환경설계과 학사과정 (E-mail : zeros2054@naver.com)
*** 학생회원 · 인덕대학교 토목환경설계과 전문학사과정 (E-mail : asd930407@naver.com)

[붙임11]
성과증빙 D-1-②

국내외 자료 분석을 통한 도로함몰 구간의 DB 인자 결정 방안

Decision of road sink's DB fields through domestic and international data analyses

최준성* 김진오** 이동훈*** 박소연****
Choi, Jun seong · Kim, Jin oh · Lee, Dong hun · Park, So yeon

요 지

최근 들어 우리나라에서 빈번하게 발생하고 있는 도로함몰 사고로 국민들의 불안이 증가 되고 있다. 하지만 우리나라의 도로함몰 조사기법은 형태적 조사 수준에 불과하며 도로함몰에 대한 데이터 정리 자체도 미비하다. 현재 함몰 전의 동공 파악을 위해 외산 장비를 수입하여 현장에서 사용 중이며, 함몰 현장에서 수집된 자료는 도로함몰의 형태적 조사수준 밖에 되지 않기 때문에 정밀화 · 체계화된 분석이 불가능하고, 함몰 후 현장의 데이터는 전무한 상태이다. 따라서 현재까지 발생된 도로함몰 데이터를 정리 및 분석하여 데이터베이스를 구축하여야하며, 그러기 위해서는 우리나라 함몰 발생의 환경 조건에 따른 데이터베이스의 인자결정을 해야 한다. 본 연구는 국내·외 자료 분석을 통하여 도로함몰과 월평균 기온, 하수관의 매설년도, 지하 구조물의 유무, 하수관 이격과 같은 원인 유형 등의 여러 가지 도로함몰 데이터베이스 인자들과 더불어 도로함몰 지반의 시료채취 후 실내시험을 통하여 여러 지반 특성인자들을 결정 하고자하며, 함몰 특성분석 및 공학적 발생 원인을 찾고자 데이터베이스 형식 및 필요한 인자를 결정 하고자 한다. 이를 활용하여 도로함몰 위험도 평가 및 도로함몰 원인 분석 기술 개발에 기여하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

핵심용어 : 도로함몰, 데이터베이스, 데이터베이스 인자, 함몰 특성분석

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원, 교신저자, 인덕대학교 도목환경공학과 교수 (E-mail: soilpave@induk.ac.kr)
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Induk University
** 학생회원, 인덕대학교 도목환경공학과 학사과정 (E-mail: zeros2054@naver.com)
Member, Research Assistant, Department of Civil Engineering, Induk University
*** 학생회원, 인덕대학교 도목환경공학과 전문학사과정 (E-mail: hunlee20229@naver.com)
Member, Research Assistant, Department of Civil Engineering, Induk University
**** 학생회원, 인덕대학교 도목환경공학과 전문학사과정 (E-mail: thdus1058@naver.com)
Member, Research Assistant, Department of Civil Engineering, Induk University

[붙임12]
성과증빙 D-1-①

세션 2-1

KSDS2015A01

사회기반시설 재난 예방 및 대응기술
Disaster prevention and technology on SOC-Infrastructure

백 용*, 박의섭, 신덕호, 김우년
한국건설기술연구원
(back44@kict.re.kr)

국가주요시설물에 대하여 예상치 못한 재해가 발생할 경우, 대응 방안에 대하여 논의하고 미래의 재난 예방기술을 확보하고자 함. 도심지 시설물 재해는 발생은 다양한 복합적 요소의 결함에 의하여 발생되는 경우가 많음. 복합적 영향 요소를 고려한 창의적인 연구 사업 분야를 도출하기 위하여 연구개발이 이루어져야 할 것으로 생각됨. 대형지하산업시설물은 각각의 수용물을 안전하게 저장하기 위한 다양한 분야의 기술들이 적용되고 있으며, 특히 지중 구조물의 특성상 육안에 의한 유지관리 및 피해 발생 확인이 어렵다는 문제점이 있음. 따라서 대형지하산업시설물의 유지관리를 위해서는 다양하고 복합적인 영향 인자 분석 및 대응방안 마련이 이루어져야 함.

상기 목적을 달성하기 위하여 정부출연연구기관을 주축으로 미래의 재난 대응 기술을 발굴하고 안전한 국토를 유지관리하고자 함. 본 연구구성팀은 융합클러스터라는 울타리에 협업하고 기획하는 것으로 향후 지속적인 기획연구를 수행할 계획임.

핵심용어 : 국가주요시설물, 미래 재난 예방기술, 시설물 재해, 융합클러스터

세션 3-1

KSDS2015A02

도심지 도로포장 수준향상을 위한 개선방안 연구
The Study on The Strategies for Urban Roads Condition Improvement

이상염
인덕대학교
(yummy0220@induk.ac.kr)

서울시에서는 약 1,157km에 해당하는 방대한 시도를 유지관리하고 있으나, 평균 교통량이 일반국도에 비해 5~8배가 많을 뿐 아니라 버스전용차로 운영, 각종 기후 변화 및 도심지 확장에 의한 도로하부의 지지력 감소로 아 포장수명의 저하로 포트홀과 함몰 등 다양한 도로파손이 발생하여 시민의 안전운행에 위협의 요인이 되고 있다. 이에 본 논문에서는 서울시에서 계획 운영하고 있는 포장도로 내구성 향상, 도로 평탄성 개선, 유지관리 방안 강화에 중점을 두고, 도로포장의 내구성과 효율성을 높이는 저비용의 신기술 개발, 도로굴착복구 공사의 품질관리 향상방안, 도로 평탄성 관리방안 개선 등 도심지 도로현장 적용사례를 통한 도심지 도로포장의 수준향상 정책방안을 제시하였다.

핵심용어 : 버스전용차로, 포트홀, 도로함몰, 도로평탄성, 도로굴착복구

[붙임13]
성과증빙 D-2-①

도심지 도로함몰 대응 실무매뉴얼 구축을 위한 전략과제 도출

Strategic Tasks for Development of Road Subsidence Response Manual at Urban Areas

박원주* 김홍균** 이종건*** 김용수**** 허인영***** 최병일******

Park, Wonjoo · Kim, Hongkyoon · Lee, Jonggun · Kim, Yongsoo · Heo, Inyoung · Choi, Byoungil

요 지

최근 도심지 도로함몰로 인해 인명 및 재산피해가 발생되어 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번하여 사회적 이슈로 부각되고 있다. 도로함몰로 인한 인명 및 재산 피해를 감소시키고 시민의 불안감을 해소하기 위해 도로함몰에 대한 대책 및 방안 마련이 시급한 실정이다. 근본적으로 도로함몰이 발생되지 않도록 예방하거나 최소화하는 선제적 방안 수립도 중요하지만 도로함몰이 발생된 상황에 대비하여 어떻게 효과적으로 대응할지에 대한 부분도 중요한 사안이다. 이러한 사안에 대한 대책으로 도심지 도로함몰 대응에 관한 실무매뉴얼 구축이 필요하며, 매뉴얼 구축을 위한 구체적인 전략과제 도출이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 브레인스토밍 방식의 일종인 Futures Wheel 방식(1971년 UN University의 미래예측 전문가 Jerome C. Glenn에 의해 고안되었음)을 이용하여 사회, 기술, 경제, 환경, 법/제도 등 다각적 측면에서 관련분야 전문가 설문을 통해 현실적인 도로함몰 대응 방안에 관한 전략과제를 도출하였다. 또한, 선정된 전략과제를 도로함몰 대응 실무매뉴얼에 반영하기 위해서는 우선 적용이 가능한 전략과제의 선정이 필요하다. 중요도와 실현가능성을 기본축으로 하는 통계적 접근방식인 RAND사의 우선순위 도출기법을 활용하여 우선전략과제를 도출하였다.

핵심용어 : 도로함몰, 대응매뉴얼, 도심지, 전략과제, Futures Wheel

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01)에 의해 수행되었습니다.

* 정회원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원 (E-mail: wjpark@kistec.or.kr)
Member, PhD Senior Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation
** 교신저자, 정회원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원 (Tel : +82-55-771-1436, E-mail: bossvirus@kistec.or.kr)
Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation
*** 한국시설안전공단 시설안전연구소 책임연구원 (E-mail: gun5f@kistec.or.kr)
Senior Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation
**** 한국시설안전공단 시설안전연구소 수석연구원 (E-mail: yskim@kistec.or.kr)
Head Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation
***** 한국시설안전공단 시설안전연구소 연구원 (E-mail: hiy04@kistec.or.kr)
Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation
****** 정회원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원 (E-mail: bichoi@kistec.or.kr)
Member, PhD Senior Researcher, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation

[붙임14]

성과증빙 A-1-②

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2016.04.07
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(우) 참조번호(SP160056)
출 원 번 호	10-2016-0042674 (접수번호 1-1-2016-0335794-35)
출원인 명칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	유병욱(9-2007-000605-1)
발 명 자 성 명	이종재 이현종
발 명 의 명 칭	동공 탐지용 복합장비

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자직교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

[붙임15]

성과증빙 A-1-②

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2016.04.07
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(우) 참조번호(SP160057)
출 원 번 호	10-2016-0042678 (접수번호 1-1-2016-0335858-69)
출원인 명칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	유병욱(9-2007-000605-1)
발 명 자 성 명	이종재 이현종
발 명 의 명 칭	이동식 도로 지지력 평가장비

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

[붙임16]
성과증빙 A-1-①

제 C - 4349 호

학 위 수 여 증 명 서

성	명 :	박영수
생 년 월 일 :		1983 년 11 월 23 일
학 위 과 정 :		박사과정
소	속 :	대학원
학 과 (전 공) :		건설환경공학과(구조공학)
학위수여일자 :		2016 년 2 월 19 일
학 위 명 :		공학박사
학위등록번호 :		세종대`15(박)059호

위 의 사 실 을 증 명 함.

2016 년 4 월 14 일

세 종 대 학 교 교 무 처 장

* 본 증명서는 자동발급기에서 발급된 것이며, 직인이 없으면 무효임.

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY COPY

[붙임17]
성과증빙 C-1-①

제 C759-7D2E0-2518-45FC7 호

졸 업 증 명 서

성 명 : 김 연 호
주민등록번호 : 901218 - 1******
소 속 : 공과대학 토목환경공학
입 학 일 자 : 2009년 03월 01일
졸 업 년 월 일 : 2016년 02월 24일
학 위 번 호 : 단국대2015(학)1088
학 위 명 : 토목공학 전문 공학사
제 1 전 공 : 토목공학(전문교육과정)(심화과정)

위의 사실을 증명합니다.

2016년 04월 04일

단 국 대 학 교 총 장

본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, "http://icert.dankook.ac.kr/icerti/compare.jsp" 에 접속하여 상단의 증명서 발급번호를 입력하면 증명서 원본대조 및 유효성을 검증할 수 있습니다(발급일로부터 3개월 이내).

[붙임18]
성과증빙 C-1-①

제 B33E-DD1D0-97E7-8732D 호

학 위 증 명 서

성 명 : 박 현 수
생 년 월 일 : 1989년 11월 15일
소 속 : 대학원
학과 및 전공 : 토목환경공학과 지반공학
학위 수여일 : 2016년 02월 24일
수 여 학 위 : 공학석사
학위등록번호 : 단국대2015(석)0166
논 문 제 목 : 이력현상을 고려한 습윤시 함수특성곡선 추정

위의 사실을 증명합니다.

2016년 04월 04일

단 국 대 학 교 총장

본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, "http://icert.dankook.ac.kr/icerti/compare.jsp" 에 접속하여 상단의 증명서 발급번호를 입력하면 증명서 원본대조 및 유효성을 검증할 수 있습니다(발급일로부터 3개월 이내).

[붙임19]

성과증빙 C-1-①

문서확인번호 ▣ XD9D-12BE-8CA2-2A47 ▣

제 16-I07812 호

박 사 학 위 증 명 서

성　　명 : 이석민

생 년 월 일 : 1975년 04월 17일

입 학 년 월 일 : 2014년 03월 03일

학위수여년월일 : 2016년 02월 19일

대　학　원 : 대학원

학　　과 : 토목공학과

학　　위 : 공학박사

학위 등록 번호 : 동의대2015(박)018

위와 같이 증명함.

2016년 04월 06일

동 의 대 학 교 총 장

※ 총장직인이 없으면 무효입니다.

*본 증명서는 인터넷으로 발급한 증명서로서, 정부민원센터(www.webminwon.com)에서 원본확인 문서번호를 통해 원본대조가 가능(발급 후 90일간) *재출력은 발급프린터 출력을 권장

[붙임20]

성과증빙 D-1-②

제 C2016-1754 호

졸 업 증 명 서

성 명 : 김진오

생년월일 : 1993년 9월 5일생

학 과	졸 업 일자	학 위 명 (학 위 번 호)	비고
토목환경설계공학과 (4년제)	2016년 2월 12일	공학사 인덕학사-2016-0099	

위의 사실을 증명합니다.

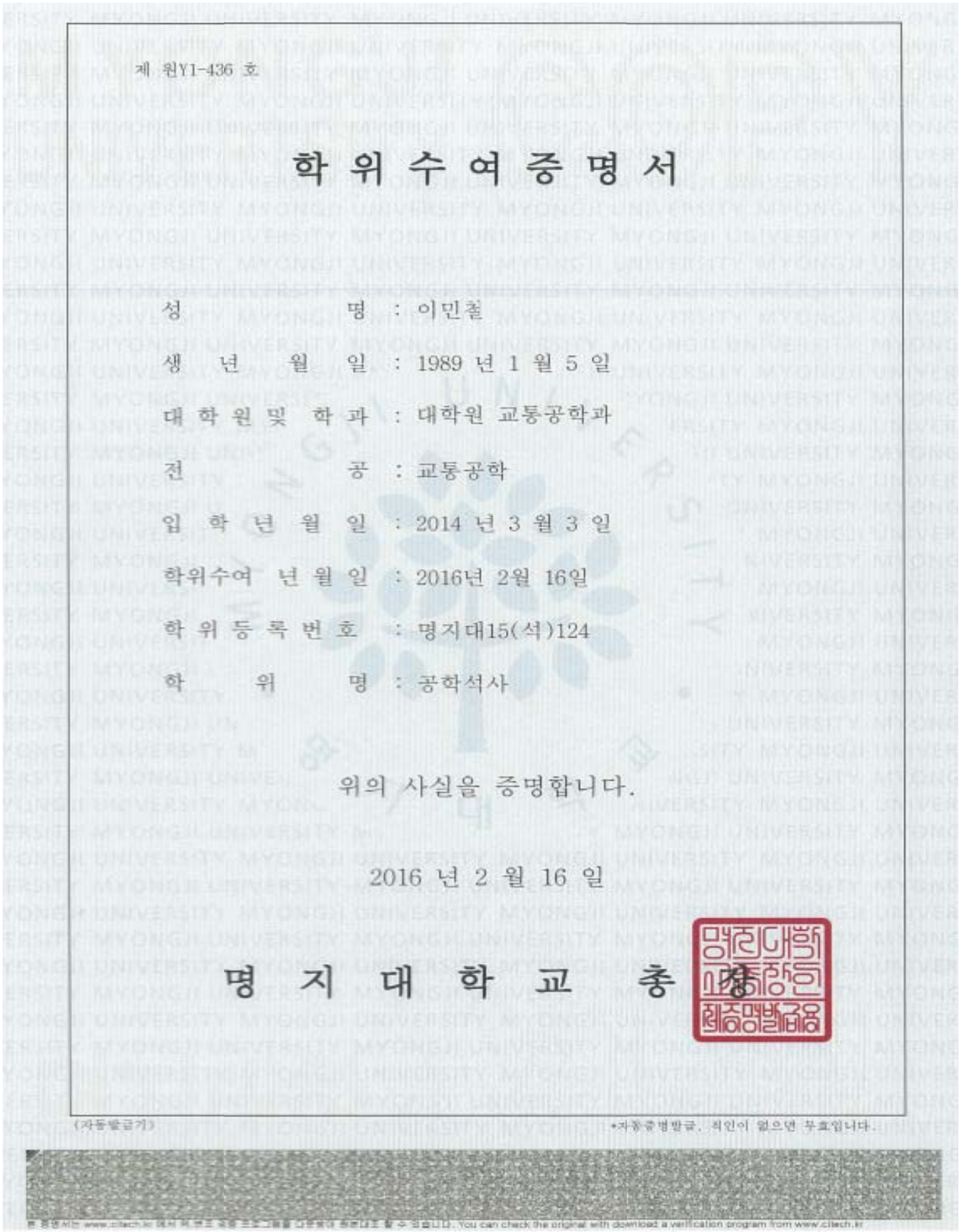
2016년 4월11일

인 덕 대 학 교 총 장

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.

[붙임21]

성과증빙 D-3-①



제 원Y1-436 호

학 위 수 여 증 명 서

성 명 : 이민철

생 년 월 일 : 1989 년 1 월 5 일

대 학 원 및 학 과 : 대학원 교통공학과

전 공 : 교통공학

입 학 년 월 일 : 2014 년 3 월 3 일

학위수여 년 월 일 : 2016년 2월 16일

학 위 등 록 번 호 : 명지대15(석)124

학 위 명 : 공학석사

위의 사실을 증명합니다.

2016 년 2 월 16 일

명 지 대 학 교 총 장

명지대학교 교통장의 제증명발급용

(자동발급기) *자동증명발급, 직인이 없으면 무효입니다.

본 증명서는 www.cltech.kr 에서 위변조 검증 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.cltech.kr

[붙임22]
성과증빙 B-1-②

제 C-2016-008898 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	3차원 지표투과레이더 데이터 로더		
2. 저작자 성명 (법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로	3. 생년월일 (법인등록번호)	240171-0007766

4. 창작연월일 2016년02월11일

5. 공표연월일 2016년04월02일

6. 등록사항 저작자 : 세종대학교 산학협력단,
창작 : 2016.02.11, 공표 : 2016.04.02

7. 등록연월일 2016년04월08일

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2016년 04월 08일

한국저작권위원회

[붙임23]
성과증빙 B-1-②

제 C-2016-008899 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	단일 레이더 칩 기반의 실시간 데이터 취득 프로그램		
2. 저작자 성명 (법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로	3. 생년월일 (법인등록번호)	240171-0007766
4. 창작연월일	2016년04월05일		
5. 공표연월일	2016년04월05일		
6. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2016.04.05, 공표 : 2016.04.05		
7. 등록연월일	2016년04월08일		

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2016년 04월 08일

한국저작권위원회

[붙임24]
성과증빙 A-1-②

Prototype RDD









[붙임25]
성과증빙 C-1-①

[시작품 사진]



(a) 모형토조 정면



(b) 모형토조 측면

<도로함몰 모사 모형토조 시험장치 전경>

[붙임26]

성과증빙 A-1-①

도로함몰 예방기술 공동연구 업무협약서

서울특별시(이하 "서울시")와 세종대학교(이하 "세종대")는 「도로함몰 예방기술 공동연구」를 위하여 아래와 같이 협력할 것을 합의한다.

제1조 (목적) 본 협약은 서울시와 세종대가 공동으로 도로함몰 예방기술을 연구하기 위해 필요한 상호 협의체제를 마련하고 그 성과를 각각이 수행하고 있는 연구과제의 공동성과로 하는 것을 목적으로 한다.

제2조 (대상연구) 양 기관이 수행하는 연구개발 과제는 아래의 사업으로 한다.

1. 서울시 : 보유중인 차량탑재형 GPR의 탐사기술 실용화 연구
2. 세종대 : 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발

제3조 (협력내용) 양 기관은 다음 사항에 대하여 상호 협력한다.

1. 서울시는 세종대의 "도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발" 연구를 위하여 테스트베드(동공)와 지반 및 지하매설물 정보를 적기에 제공한다.
2. 세종대는 국토교통부 주관으로 시행되는 「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」 연구과제를 수행함에 있어 서울시가 조속한 시일 내에 차량탑재형 GPR 탐지기술을 실용화 할 수 있도록 연구용 탐지센서(멀티채널안테나, 중간심도)와 그에 필요한 연구비용을 서울시에 적기 지원한다.
3. 노면하부 동공탐사 및 분석기술 개발과 도로함몰 위험도를 연구함에 있어 상호 중단 없는 연구환경 유지를 위해 연구인력 교류와 기자재 사용에 적극 협력한다.
4. 기타 공동연구에 필요한 사항은 상호 적극 협력한다.

제4조 (비밀의 유지) 서울시와 세종대는 상호연구 및 교류를 통해 알게 된 보안사항에 대하여 상대 기관의 동의 없이 제3자에게 제공하거나 공개하지 않는다.

제5조 (협약의 효력, 변경, 해지 등)

1. 본 합의서는 아래에 서명한 날부터 효력을 가지며 내용변경 및 합의서 해지에 대해서는 양측이 협의하여 결정한다.
2. 본 합의서에 정하지 않은 사항이나 해석 등 이의가 있을 때에는 양측이 협의하여 결정한다.

위와 같이 협약서가 원만하게 성립되었음을 확인하고 증명하기 위하여 협약서 2부를 작성하고 서명하여 협약 기관이 각 1부씩 보관한다.

2015년 8월 3일

서울특별시장을 대리하여
행정2부시장 **이 제 원**

세 종 대 학 교
총장 **신 구**

[붙임27]
성과증빙 D-1-①

2. 서울시 동공탐사장비 성과 홍보 실적

번호	대상	일자	내용	관련사진
1	시청출입 기자	'15.10.26.	• 동공탐사차량 도입 - 서울신문 '15.10.26. 보도(붙임 1) - 뉴스토마토 '15.09.22. 보도(붙임 2) - 뉴스1 '15.09.22. 보도(붙임 3)	
2	시의회의원, 서울시공무원 등 20명	'15.11.12.	• 동공탐사차량 도입 - 아시아경제 '15.11.12. 보도(붙임 4)	
3	공무원, 업체 등 98명	'16.02.24. '16.03.09. '16.04.01.	• 도로포장전문교육 중 동공탐사장비 및 정책 소개	
4	울산시 공무원 3명	'16.03.09	• 동공탐사장비 및 조사절차 소개	
5	국가안전처 공무원 등 3명	'16.03.31.	• 동공탐사장비 소개 및 탐사시연	
6	시청출입 기자	'16.04.20	• 동공조사 성과 - 뉴스1,'16.04.20 보도(붙임 5)	

[붙임28]
성과증빙 D-1-①

[붙임 1]

['땅의 재난' 관리 선진국에서 배운다] "사람 잡는 싱크홀 찾아라" 고주파 X선 땅속을 훑다

국내 유일 등공탐사차 타 보니

25 25:02 | 수정 : 2015-10-26

야설록, 사마달, 고행석, 김성동, 황성

"400년간 한성백제의 수도였던 송파구 일대를 샅샅이 훑으며 땅속의 위험 지도를 그려 나가고 있습니다. 국내에서는 처음 시도되는 것인데 좀 거창하게 말하자면 조선시대 김정호 선생의 '대동여지도' 제작에 비견할 수 있을 겁니다."(윤진성 서울시 도로포장연구센터 주무관)



▲ 서울시의 등공 탐사차가 지난 25일 오후 송파구 백제고분로를 달리며 땅속 빈 공간의 존재 여부를 분석하고 있다. 버스 뒤쪽 아랫부분 흰색 직사각형 패널이 지표투과레이더(GPR) 등이 장착된 첨단 탐사장비.



▲ 서울시의 등공 탐사차가 지난 25일 오후 송파구 백제고분로를 달리며 땅속 빈 공간의 존재 여부를 분석하고 있다. 25인승 미니버스를 기초해 만든 탐사차 내부.

[붙임29]
성과증빙 D-1-①

[붙임 2]

서울시, "땅속까지 보수"…'차도관리 혁신'대책 발표

매년 34억 투입 연약지반 동공탐사

입력 : 2015-

서울시는 포장도로 유지보수 패러다임을 바꾸는 '차도관리 혁신대책'을 마련했다고 22일 밝혔다. 땜질식 정비가 아닌 땅 속까지 체계적인 보수·관리로 예산을 절감하고, 도로 수명을 늘린다는 방침이다.

1932년 서울 한강로를 시작으로 서울 전역에는 83.6㎢의 아스팔트 포장도로가 깔렸으며, 이는 서울 전체 면적(605.28㎢)의 약 13.8%에 달한다.

서울지역은 교통량이 일반 국도보다 5배 많으나 표면 위주의 정비만이 반복되면서 도로 함몰, 동공(빈 구멍), 도로 침하 등을 불러오고 있다.

시 진단결과 전체 포장도로 중 34.1%가 노후 포장도로로 나타났으며, 폭우·폭설로 인한 포트홀이 급증해 2013년 7월 한 달에만 1만6623건의 포트홀이 발생하기도 했다.

시는 조기파손율 45%, 평균 재포장 주기 6.6년에 불과한 포장도로를 개선, 노후 포장도로를 2026년까지 '제로화'하고 포장도로 수명을 싱가폴·도쿄와 같이 10년 수준으로 늘린다.

시는 획일화된 포장설계법을 벗어나 서울지역 교통환경에 맞는 서울형 포장설계법을 개발해 올 하반기부터 시험포장을 실시하고 있다.

서울형 포장설계법은 표층, 기층 총 두께 20㎝에 불과한 기존 포장설계법을 개선, 표층과 기층 사이에 중간층(두께 7㎝)을 넣어 도로 수명을 약 2배 가량 늘렸다.

통행량 증가로 포트홀이나 굴곡변형이 빈번한 구간은 내구성이 강한 포장재를 사용해 포장 파손을 방지하기로 했다.

특히, 도로 함몰을 예방하기 위해 노후 하수관, 지하철 공사구간, 연약지반 구간 등 위험구간에 매년 34억원을 투입해 동공 탐사를 실시한다.

동공 탐사에는 자체 개발한 차량형 GPR(동공탐사장비)가 동원돼 올 하반기부터 서울 주요 도로를 다니며 도로 하부구간 동공여부를 조사한다.

[붙임30]
성과증빙 D-1-①

[붙임 3]

서울시, 등공탐사차량으로 싱크홀 잡는다

전국 2015/09/22 12:28 입력



(서울=뉴스1) 구윤성 기자 = 22일 서울광장 인근 도로에서 진행된 도로함몰 예방용 등공탐사차 시연회에서 서울시 관계자들이 등공탐사차에 탑재된 지표투과레이더(GPR)로 도로를 탐사하고 있다. 서울시는 등공탐사차량 등을 이용한 '차도관리 혁신대책'으로 기존의 표면 위주 정비에서 땅 속까지 체계적인 관리를 함으로써 총 9,320억원의 예산이 절감될 것으로 내다봤다. 2015.9.22/뉴스1

kysplanet@news1.kr

숨은 싱크홀 잡는 등공탐사차

전국 2015/09/22 13:47 입력



(서울=뉴스1) 구윤성 기자 = 22일 서울광장 인근 도로에서 지표투과레이더(GPR)로 도로를 탐사하는 도로함몰 예방용 등공탐사차 시연회를 진행했다. 서울시는 등공탐사차량 등을 이용한 '차도관리 혁신대책'으로 기존의 표면 위주 정비에서 땅 속까지 체계적인 관리를 함으로써 총 9,320억원의 예산이 절감될 것으로 내다봤다. 사진은 서울시에서 도입한 등공탐사차량의 모습. 2015.9.22/뉴스1

kysplanet@news1.kr

[붙임31]
성과증빙 D-1-①

[붙임 4]

서울시 동공탐사 장비 성능, "일단 합격점"

최종수정 2015.11.12 18:28 기사입력 2015.11.12 18:28

[아시아경제 원다라 기자] 서울시가 국내기술로 제작하여 시범 운용 중인 차량형 동공탐사장비의 성능이 일단 합격점인 것으로 나타났다.

서울시의회 도시안전건설위원회는 12일 오전11시30분 송파구 잠실역 인근 동공탐사장비 시범적용 현장을 긴급 방문해 성능을 확인한 결과 이 같이 나타났다고 밝혔다. 이는 제264회 정례회 2015년 서울시 안전총괄본부 소관 행정사무감사에 따른 것이다.

이날 현장 감사에서는 도시안전건설위원들이 GPR장비가 탑재된 탐사장비 차량에 탑승하여 실제 동공이 발생된 현장까지 탐사과정을 지켜보면서 탐사장비의 성능을 확인하고 이어 동공이 발생된 지역에 도착하여 시추공 내로 내시경을 통해 지표면 아래 동공을 확인하는 순서로 이어졌다.

현장 감사 결과 위원들은 "실제로 동공탐사 현장을 확인해 본 결과 아직 걸음마 단계이긴 하나 국내 기술로 개발된 최초 동공장비라는 데에 큰 의미가 있다고 생각한다"면서 "앞으로 동공탐사장비가 시민의 안전에 중요한 역할을 담당할 것"라고 기대감을 나타냈다.

다만, 분석요원이 2명에 불과데이터 분석은 하루 2km밖에 안되어 데이터 분석시간이 7일 내지 10일이 걸린다는 애로 사항을 청취하고 전문분석인력의 확충이 시급하다고 지적했다.

한편 이 탐사 장비는 시가 지난해 일본 동공탐사 전문업체인 지오서치(Geo Search)를 초청하여 서울시내 주요 도심을 탐사한 결과 41개소에서 동공이 탐지되어 탐사장비 개발이 시급하다고 판단, 개발하게 됐다. 개발 소요비용은 6억6200만원이며 1일 탐사 능력은 20km다.

시운전 기간 중 성능 검증을 마친 후 내년부터 본격적인 탐사활동에 활용된다.

원다라 기자 supermoon@asiae.co.kr

[붙임32]
성과증빙 D-1-①

「붙임 5」

서울 주요 간선도로에서 동공 105개 나왔다

A급 61개 즉각 복구..연말까지 총 300개 발견될듯

(서울=뉴스1) 장우성 기자 | 2016-04-20 11:15:00 송고

기사보기 네티즌의견 공유하기 0 트윗



서울시가 주요 간선도로 지하를 탐사한 결과 100개가 넘는 동공이 발견됐다.

서울시는 2015년 12월부터 4개월 동안 함몰사고 개연성이 높은 주요 간선도로 48km를 탐사해 동공 105개를 발견했다고 20일 밝혔다.

함몰 우려가 높은 A급 동공 61개는 이달 안에 복구하고 B급 동공 35개는 장마가 오기 전인 5월말까지 복구한다. 함몰 가능성이 낮은 C급 8개는 동공 연구를 위해 일단 관찰한 뒤 복구할 예정이다.

서울시는 올해 말까지 동공탐사용역을 추가발주해 총 246km의 도로를 대상으로 실시할 계획이다. 이럴 경우 총 300여개의 동공이 발견될 것으로 내다봤다.

이번 동공탐사작업은 서울시의 용역을 맡은 일본의 전문업체 시오세지(수)와 국내 업체 GK엔지니어링(주), 셀파이엔씨(주)가 협력해 실시했다. 전자파로 지하 빈 공간을 찾는 레이더장치를 장착한 GPR(Ground Penetrating Rader) 차량을 투입했다.

서울시는 도로함몰 개연성이 높은 주요 간선도로를 중심으로 3년주기로 반복해 동공탐사를 실시할 계획이다. 올해는 현재 진행 중인 용역 외에 246km를 추가 발주해 탐사할 계획이다.

동공탐사 분석기술 국산화를 위해 지난해부터 세종대, 미국 플로리다중앙대와 동공탐사분석 프로그램을 공동개발하고 있다. 한국전자통신연구원과는 동공탐사장비 공동연구를 추진하고 있다.

발견된 동공은 대부분 노후 물량하수관 주변에 위치하고 있어 노후가 심각한 50년 이상의 하수관 932km 구간 중 437km를 올하 개·보수한다. 2018년까지는 작업을 마칠 계획이다.

서울시에 따르면 지난해 서울에서 일어난 도로함몰 사고는 56건에 이른다. 올해는 3월까지 10건이 발생했다.

김준기 안전총괄본부장은 "지난해까지는 도로함몰 발생 후에 복구하는 수준이었으나 도로 아래 동공탐사용역을 본격적으로 실시하는 올해부터는 도로함몰 발생 전에 원인을 없애는 선제적 대응체계를 갖추겠다"고 밝혔다.

장우성 기자(nevermind@)

[붙임33]
성과증빙 D-1-①

[붙임 1] 2차 도로포장전문교육





< 2차 도로포장전문교육 중 동공탐사장비 및 정책 소개(교육인원 23명) >

[붙임34]
성과증빙 D-1-①

[붙임 2] 3차 도로포장전문교육





< 3차 도로포장전문교육 중 동공탐사장비 및 정책 소개(교육인원 36명) >

[붙임35]
성과증빙 D-1-①

[붙임 3] 4차 도로포장전문교육





< 4차 도로포장전문교육 중 동공탐사장비 및 정책 소개(교육인원 39명) >

[붙임36]
성과증빙 D-1-①

[붙임 4] 동공탐사 교육





< 국가안전처 공무원 대상 동공탐사장비 소개 및 탐사시연 >

[붙임37]
성과증빙 D-1-①

참고 1 「굿모닝 경기도로 시설안전포럼」 행사계획

◈ 도로 시설물 안전 및 유지관리 등 관련분야의 각계 전문가로 포럼을 구성하여 선제적 정책방향 마련과 도로안전에 대한 공감대 형성· 확산

□ 포럼개요

○ 일　　시 : '15. 9. 4.(금) 14:00 ~ 16:40

○ 장　　소 : 경기도청 북부청사 평화누리홀(2층)

○ 주최/주관 : 경기도(건설안전과) / 대한시설물유지관리협회

○ 포럼주제

(세션1) 도심지 도로안전 유지관리 방안**(인덕대학교 이상염 교수)**

(세션2) 시설물 안전에 관한 특별법 및 도로구조물 점검방법
(한국시설안전관리공단 오광진 처장)

○ 참석대상 : 120명(광역단체 및 경기도 31개 시·군 담당자)

□ 진행순서

시 간			내 용	비고
부터	까지	소요		
14:00	14:05	5'	◦ 참석자 소개	협회 사회자
14:05	14:10	5'	◦ 인사말씀	건설국장
14:10	15:10	60'	◦ 도로포트홀 및 싱크홀 원인과 분석	이상염 교수
15:10	15:20	10'	◦ 질의 및 답변	
15:20	16:20	60'	◦ 시특법 법령해설 및 정기점검방법	오광진 처장
16:20	16:30	10'	◦ 질의 및 답변	
16:30	16:34	10'	◦ 당부말씀	건설국장

[붙임38]
성과증빙 C-2-②

1. 도로함몰 발생과정 파악을 위한 동공모사 테스트베드

목적	도로함몰 발생과정을 실규모로 파악하기 위한 실대형 시험 검증
위치	경기도 고양시 한국건설기술연구원
준공일	2016년 3월 9일
테스트베드 제원	• 폭 : 3 m • 길이 : 10 m • 깊이 : 총 1m(아스팔트층 : 0.2 m, 보조기층 : 0.5 m, 노상층 : 0.3 m(최하단 동공까지의 깊이))
동공 크기 및 위치	• 동공의 크기(공통) : 0.5 m × 0.5 m × 0.3 m • 동공 A(도면 평면도 참고) : 지표면으로부터 0.7 m 지점 • 동공 B(도면 평면도 참고) : 지표면으로부터 0.3 cm 지점
테스트베드 활용방안	• 테스트베드 단면 1(도면 평면도 참고)에는 일본 도로함몰 위험도 평가기준 B등급의 동공 1개소를 설치하고, 단면 3에는 A등급에 해당하는 동공 1개소를 설치한다. 나머지 단면 2와 4는 건전구간으로 동공을 설치하지 않는다. • 차량 주행하중을 재하할 수 있는 포장가속시험기를 가동하여 동공이 설치된 단면과 건전한 단면의 포장가속시험기 운행 횟수에 따른 포장상태 및 소성변형량을 비교한다. • 동공으로 인하여 도로함몰이 발생되는 과정을 분석
특징	• 포장가속시험기를 이용한 최초의 실규모 도로함몰 발생 실험 • 얼음을 동공 깊이에 매설하고, 그 위에 토사를 덮어서 동공을 모사 • 동공유무에 따른 지반지지력의 변화를 측정하기 위해 토압계, 온도계, 변형율계 등 다양한 계측기 설치 • 동공에 내시경을 함께 매설하여 내시경 검사를 통해 동공 생성 여부를 확인

[붙임39]
성과증빙 C-2-②

2. 지표투과레이더(GPR) 성능검증을 위한 테스트베드구축

목적	지표투과레이더(GPR)를 이용한 도로동공 탐지 정확도 평가
위치	경상북도 안동 한국건설기술연구원 안동하천실험센터내 시험도로
준공일	2015년 7월 28일
제원	• 폭 : 7 m • 길이 : 15 m • 깊이 : 2 m
동공 크기 및 위치	• 크기 : 30cm ~ 90cm 직경의 정육면체 동공(16EA) • 매설 깊이 : 포장 표면으로부터 0.7m, 1.0m, 1.5m, 2.0m
테스트베드 활용방안	• 총 16개의 깊이, 크기별 동공을 설치하여 GPR 장비의 주파수 방식 또는 Ground-coupled, Air-coupled 방식 등에 따른 동공 측정 영상데이터 비교 및 데이터 축적 • 복합탐사 시스템의 GPR 제품최종선정을 위하여 국내 기관에서 보유 중인 GPR 성능비교실험
특징	• 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침의 품질기준을 만족하도록 시공 • 아스팔트 포장 하부층에 스티로폼으로 제작된 다양한 크기의 모의동공을 깊이 별로 매설 • 스티로폼을 모의동공으로 선정한 이유는 유전상수가 공기와 동일하여 지표투과레이더에서 취득한 결과 값이 동공과 유사하기 때문임 • 매설위치 및 깊이의 기준점을 파악하기 위하여 30cm×30cm 규격의 철판을 매립

[붙임40]
성과증빙 B-1-①

3. RDD 시작품 성능검증을 위한 테스트베드

목적	이동식 도로지지력 평가(RDD) 시작품의 지지력 측정 성능검증
위치	미국 Uinversity of Central Florida 캠퍼스 내
준공일	2016년 3월 14일
제원	• 폭 : 7.2 m • 길이 : 17 m • 깊이 : 0.8 m
동공 크기 및 위치	• 크기 : 직경 50cm, 높이 20cm의 원통형 동공 (3EA) • 매설 깊이 : 포장 표면으로부터 0.2m, 0.4m, 0.6m
테스트베드 활용방안	• 개발된 RDD 시작품을 이용하여 동공유무 및 동공의 깊이에 따른 상부 도로지지력의 변화량를 측정 • FWD와 같은 다른 지지력 평가 시스템을 적용하여 도로지지력 값의 교차검증 수행
특징	• 포장하부의 서로 다른 위치에 동공을 위치시킴으로써 서울 도심지에서 흔히 발견되는 동공을 모사함 • 동공은 원기둥 모양으로써 50 cm의 지름과 20 cm의 두께로 설계됨

<2차년도 성과점검 기준표>

구분	핵심연구성과 (level1)		단위성과 (level2)		2차년도 성과점검기준								해당기관	예산 (백만)	정량목표	양적성과지표 달성도	양적성과지표 근거자료
					질적성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치	질적성과지표 달성도	질적성과지표 근거자료					
2차년도(2016)	CTE1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	①	도로함몰 복합탐지 시스템 시작품 제작(GPR, LRIS)	1건	시작품 제작여부 및 특허출원	시작품 제작 SCI논문	15	100%	33, 34p	세종대학교 UCF (주)지오메카 이엔지 (주)로드텍	604.5	SCI논문 : 2건 특허출원 : 1건 인력양성 : 2건 시작품제작 : 1건 성과홍보 : 0건	100% 100% 추가 100% 2건 추가	붙임1,2 붙임28 붙임29,30 붙임43 붙임48,49
					②	도로 지지력 평가(RDD) 시작품 개선 및 실대형 실험 검증	10km/hr	점검속도	학술발표 및 기술홍보	10	100%	34p		403	학술발표 : 1건 시작품제작 : 0건	200% 1건 추가	붙임21,23 붙임42
	CTE2	도로함몰 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	15	100%	35p	세종대학교 UCF	604.5	특허출원 : 0건	1건 추가	붙임27
					②	RDD 신호처리 알고리즘 개발 및 검증	24시간 이내	처리속도			100%	36p			S/W : 1건	200%	붙임40,41
					③	LRIS 영상분석 소프트웨어 개선 및 검증	3분(1차선,5m)/8%	균열탐지속도/ 균열오인식률	동영상 시연	5	100%	36p		201.5	SCI논문 : 1건	100%	붙임4
	CTE3	도로함몰 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%	37p	단국대학교 동의대학교	201.5	SCI논문 : 1건 비SCI논문 : 1건 인력양성 : 1건	100% 200% 추가	붙임3 붙임8,9 붙임39
					②	도로함몰 발생과정 시뮬레이션	함몰구현	원인별 시뮬레이션 수행	학술발표	5	100%	37, 38p		201.5	학술발표 : 1건	200%	붙임16,20
			C-2	도로함몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	①	테스트베드 기본 설계	1권	테스트베드 기본 설계도	보고서	5	100%	38p	한국건설기술연구원 서울과학기술대학교	201.5	인력양성 : 1건	추가	붙임31
					②	실대형 포장가속시험 테스트베드 구축 및 기초시험	2건/2건	테스트베드 구축여부/ 도로함몰 모사 기초시험 건수	사진증빙 비SCI논문 학술발표	5	100%	38p		201.5	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건 성과홍보 : 0건 테스트베드 : 2건	300% 500% 1건 추가 100%	붙임5~7 붙임13,15,18,19,22 붙임50 붙임54,55
	CTE4	재난예방형 도로관리 시스템	D-1	도로함몰 위험도 분석 조서	①	도로함몰 현장조사(계속)	1건	도로함몰 현장 조사서 작성	비SCI논문 기술홍보 학술발표	5	100%	39p	인덕대학교 서울특별시	201.5	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건 인력양성 : 6건	100% 100% 추가	붙임12 붙임24 붙임32~37
					②	도로함몰 DB 구축(계속)	1권	도로함몰 DB 구축보고서	보고서	5	100%	39p		201.5			
					③	도로함몰 위험도 기준(잠정안) 제시	1건	위험도 기준 잠정안 작성	비SCI논문 교육성과 학술발표	5	100%	40p		201.5	비SCI논문 : 0건 학술발표 : 0건 성과홍보 : 0건 교육성과 : 0건	1건 추가 2건 추가 4건 추가 3건 추가	붙임10 붙임17,25 붙임44~47 붙임51~53
			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%	40p	한국시설안전공단 서울특별시 탄탄(주)	201.5	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 0건	100% 2건 추가	붙임11 붙임14,26
			D-3	포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	①	도로함몰 현장조사자료의 PMS 연계방안 연구	1건	PMS 연계방안 연구 보고서 작성	보고서 학술발표	5	100%	40p	명지대학교 동일기술공사	201.5	인력양성 : 1건	추가	붙임38
계					–	–	–	–	–	100	–	최종보고서 Page	–	4,030	논문 : 8건 발표 : 4건 특허 : 1건 S/W : 1건 기타 : 3건	논문 : 12건 발표 : 14건 특허 : 2건 S/W : 2건 기타 : 14건	44건

[붙임1]
성과증빙 A-1-①

SCI 논문1

New Approach to Construct Master Curve of Damaged Asphalt Concrete Based on Falling Weight Deflectometer Back-Calculated Moduli

Van Phuc Le[1]; Hyun Jong Lee[2]; Julius Marvin Flores[3]; Won Jae Kim[4]; and Jongeun Baek[5]

Abstract: In this study, a frequency-temperature correction model and an approach to construct the master curve of damaged asphalt concrete based on falling weight deflectometer back-calculated moduli were presented. Falling weight deflectometer (FWD) testing and field coring was conducted in 26 locations in Seoul City in which back-calculated and laboratory measured modulus were compared. A frequency-temperature correction model is developed based on the frequency-temperature superposition principle and was verified by comparing to current temperature correction models. The proposed model has the lowest prediction error of 8.2% in comparing asphalt concrete dynamic modulus, but is limited within the linear range of the dynamic modulus and reduced frequency curve in a logarithmic scale. A new procedure in establishing damaged asphalt concrete (AC) master curves is proposed considering a damage factor which is used in determining damaged δ and α parameters. It is verified using laboratory-measured modulus curves and is validated using FWD data obtained from literature. The validation study showed that the proposed procedures have an average error of 11.5%. Further study is recommended to enhance the proposed procedure to minimize error. **DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000881.** © *2016 American Society of Civil Engineers.*

Downloaded from ascelibrary.org by Sejong University on 09/19/16. Copyright ASCE.

Introduction

Understanding the current asphalt concrete (AC) pavement property-like stiffness is important for the evaluation of the structural capacity of the pavement. The stiffness of AC is responsible for governing the overall behavior of the pavement. In addition, to predict or estimate the remaining life of the pavement, determining current the AC modulus of the pavement is essential. The falling weight deflectometer (FWD) test is a traditional way of determining the current AC modulus of the pavement (Baltzer and Jansen 1994; Chen and Hugo 2001; Leiva-Villacorta and Timm 2013). Since AC is a viscoelastic material, modulus changes with temperature and frequency. With this, some researchers (Baltzer and Jansen 1994; Kim et al. 1995; Lukanen et al. 2000; Chang et al. 2002; Zhou 2014) proposed temperature correction models to convert FWD back-calculated modulus obtained at different field temperatures to a reference temperature.

Since most of these current temperature correction models were developed by regression analysis of the FWD field data conducted at different temperatures, they have not been fully validated using laboratory measured data. In addition, these temperature correction models could not consider the frequency dependence of the FWD back-calculated modulus.

In 2004, AASHTO introduced the mechanistic empirical design guide (MEPDG), which is based on the damage accumulation concept. Therefore, the AC modulus values at different temperatures and frequencies must be determined through a dynamic modulus master curve. Especially in the MEPDG for AC overlay design, it is essential to determine the master curves not only of the new material but also of the existing AC layer. Since FWD testing provides only one single back-calculated modulus at a specific temperature and frequency, MEPDG recommended an approach in estimating the master curve of a damaged AC layer by utilizing the master curve of an undamaged material and FWD back-calculated modulus.

In the MEPDG procedure the damage ratio of the new and damaged AC at high frequency was used to determine the damaged master curve. However, in the modified Witczak equation (Brown et al. 2009), both the low and high frequency modulus are changing due to the effects of binder aging and pavement damage. Therefore, adjusting dynamic modulus at high frequency may not be sufficient to describe the modulus behavior of damaged AC. Moreover, Loulizi et al. (2007) performed a validation study of the MEPDG procedure and found that the procedure is only accurate when MEPDG level 1 analysis is used, while Seo et al. (2013) modified this approach by considering temperature and vehicle speed. Another study by Varma et al. (2013) used FWD back-calculated data to develop the master curve. However, it requires several FWD data from different testing temperatures, which is not practical since temperature variation within a day is not that significant. Hence, FWD testing must be done on different days or even months

[1]Ph.D. Candidate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sejong Univ., 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea. E-mail: lvphucgtvt@gmail.com

[2]Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sejong Univ., 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea (corresponding author). E-mail: hlee@sejong.ac.kr

[3]Ph.D. Candidate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sejong Univ., 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea. E-mail: juliusmarvinflores@yahoo.com

[4]Ph.D. Candidate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sejong Univ., 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea. E-mail: mniwjk@naver.com

[5]Director, Pavement Research Center, Quality Inspection Office Division, Seoul Metropolitan Government, 131 Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul 137-900, Republic of Korea. E-mail: jbaek@seoul.go.kr

Note. This manuscript was submitted on November 11, 2015; approved on April 11, 2016; published online on June 9, 2016. Discussion period open until November 9, 2016; separate discussions must be submitted for individual papers. This paper is part of the ***Journal of Transportation Engineering***, © ASCE, ISSN 0733-947X.

[붙임2]
성과증빙 A-1-①

SCI 논문2

Annals of Nuclear Energy 101 (2017) 301–311

Contents lists available at ScienceDirect

Annals of Nuclear Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/anucene

A numerical simulation of thermo-mechanical behavior of the intact rock in response to the Borehole Heater Test

Syed Danial Ali, Jongmin Kim *

Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 February 2016
Received in revised form 10 November 2016
Accepted 20 November 2016
Available online 28 November 2016

Keywords:
Borehole Heater Test (BHT)
KAERI Underground Research Tunnel (KURT)
High Level radioactive Waste (HLW)
Thermo-mechanical (TM)
Geological repository

ABSTRACT

In order to investigate the heating effects of High-Level radioactive Waste (HLW) on the intact rock, a Borehole Heater Test (BHT) has been conducted at KAERI Underground Research Tunnel (KURT). In this study, coupled thermo-mechanical (TM) processes carried out at KURT main experiment were simulated by a finite-element code, ABAQUS and its applicability to TM process is investigated. The model incorporates real test configurations by including all site-specific information of BHT. This study mainly describes and discusses the thermal and mechanical behavior from numerical analysis and compares them with experimental observations. A special focus has been on thermal stress analysis of selected stress-meters around the heater and on the factors that affect the thermo-mechanical behavior. The comparison of results shows good integrity with the thermal-mechanical phenomena of geological medium.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Energy demand has been significantly increased with the beginning of modern industrialized era to accommodate the needs of industry, transportation and the society. Initially, different types of sources i.e. thermal, hydro, wind etc. were adopted to fulfill the capacity. Later on, due to continuously increasing demand, other sources of energy were also adapted to fill the exigency. The nuclear energy became a major power resource in many countries over a period of time.

Nuclear power plants produce tons of radioactive waste each year. The widely acceptable strategy for safe storage of nuclear waste is the use of geological repositories; where the waste is stored at hundreds of meters below the ground surface. Since the waste packages have very high temperature and are continuously generating heat until reaching their half-life span, the repositories are designed to last for long periods of time.

Due to continuous heat emission, the rock around the waste package may experience thermal, mechanical, chemical and hydrological processes and their interaction may impact the overall performance of the repository. These are the major challenges in planning and designing projects for nuclear waste isolation which require highly resilient structures to safely store the HLW.

There are mainly two approaches for predicting the performance of HLW repositories in design; insitu tests and computer simulation (Kwon et al., 2012). In many countries, the research using both processes have been carried out during the last decades; including the insitu heater tests held at Stripa mine in Sweden, APSE at Äspö in Sweden, insitu test at WIPP in USA, a full scale heater test at Hanford in USA, the Drift Scale Test in Yucca Mountain in USA, an in situ THM test at Kamaishi mine in Japan, FEBEX at Grimsel in Switzerland, heater experiment at Mont Terri in Switzerland, THE at URL in Canada, BCE by AECL in Canada, Bacchus backfill experiment at the Hades URF at Mol in Belgium, Cornwall in England, and Amélie mine in France (Andersson, 2007; Berchenko et al., 2004; Birkholzer and Tsang, 2000; Bourke and Hodgkinson, 1985; Carlsson, 1978; Guo, 2011; Hocking et al., 1990; Munson et al., 1990; Neerdael et al., 1992; Raynal et al., 1993; Rutqvist et al., 2001; Schneefuss et al., 1989; Thury and Bossart, 1999).

In Korea, nuclear energy is one of the vital sources of energy production. According to the latest statistics, more than 11,000 tons of spent fuel has already been produced from over 20 nuclear reactors (Kwon et al., 2013). To keep the environment sustainable, a safe and reliable storage is one of the critical issues for the authorities. As practiced in other nuclear advanced countries, Korea has decided to store the HLW in geological repositories. To initiate this process, several studies were conducted including the geological investigations, thermo-hydro-mechanical modeling and tests of the natural and engineered barriers and the whole

* Corresponding author.
E-mail address: jongmin@sejong.ac.kr (J. Kim).

http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2016.11.031
0306-4549/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

[붙임3]
성과증빙 C-1-①

SCI 논문3

Effect of Suction Stress on Critical State of Compacted Silty Soils under Low Confining Pressure

Byeong-Su Kim[1]; Seong-Wan Park, A.M.ASCE[2]; Yuji Takeshita[3]; and Shoji Kato[4]

Abstract: The critical-state behavior of an unsaturated dilative specimen under low confining pressure from 0 to 50 kPa was examined by conducting a constant water content–compression (CWCC) test on unsaturated compacted silty soil. Trends in the compressive strength and deformation of specimens were measured from each testing condition. The experimental results were analyzed by assuming that the effective confining stress can be calculated through the use of suction stress, which is defined as the product of the effective degree of saturation and the matric suction. It was found that the postpeak shear-strength states are arranged on the critical-state line for saturated conditions by considering the suction stress as a stress component in the ($p_{net} + p_s$, q) plane. The state boundary surface was observed in the relationship between the stress ratio [$q/(p_{net} + p_s)$], considering the suction stress, and referential specific volume (v_s). It can be concluded, therefore, that the existence of a critical state for an unsaturated dilative specimen under low confining pressure is verified through these results. **DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000665.** © *2016 American Society of Civil Engineers.*

Author keywords: Unsaturated dilative specimen; Critical state; Suction stress; Constant water content–compression test; Low confining pressure.

Introduction

The studies done so far on the existence of a critical state for unsaturated soils can be classified into the following four categories according to confining pressure and the degree of saturation parameters: (1) high confining pressure and high degree of saturation, (2) high confining pressure and low degree of saturation, (3) low confining pressure and high degree of saturation, and (4) low confining pressure and low degree of saturation. Most studies have examined the existence of a critical state for unsaturated soils on the basis of test results obtained under either high confining pressures or high degrees of saturation (i.e., Cases 1 and 2; Toll 1990; Kohgo et al. 1993; Maatouk et al. 1995; Sivakumar 1993; Wheeler and Sivakumar 1995; Sun et al. 2000; Liu and Muraleetharan 2012; Cunningham et al. 2003; Estabragh and Javadi 2014). In particular, a confining pressure of less than 100 kPa has been recognized as a low confining pressure (Tatsuoka et al. 1986; Fannin et al. 2005). The existence of a critical state for unsaturated soil under low confining stress has not been fully explained (i.e., Cases 3 and 4). Therefore, there is an urgent need for further study on these conditions.

[1]Assistant Professor, Dept. of Environmental and Civil Engineering, Okayama Univ., 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530, Japan. E-mail: bskim@okayama-u.ac.jp

[2]Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Dankook Univ., Jukjeon-dong 126, Suji-gu, Yongin, Gyeonggi-do 448-701, Korea. E-mail: spark@dankook.ac.kr

[3]Professor, Dept. of Environmental and Civil Engineering, Okayama Univ., 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530, Japan. E-mail: yujitake@okayama-u.ac.jp

[4]Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kobe Univ., Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501, Japan (corresponding author). E-mail: skato@kobe-u.ac.jp

Note. This manuscript was submitted on November 14, 2014; approved on January 27, 2016; published online on March 17, 2016. Discussion period open until August 17, 2016; separate discussions must be submitted for individual papers. This paper is part of the ***International Journal of Geomechanics***, © ASCE, ISSN 1532-3641.

A thorough understanding of the mechanical behavior of unsaturated soils under low confining stresses is important for predicting the stability and deformations of the surface layer in natural slopes or embankments. Brand (1981) reported that there are two extreme slope failure patterns in the field: (1) rapid failure, which occurs under constant water content conditions; and (2) slow failure, which occurs under approximately constant volume conditions. Rahardjo et al. (2004) indicated that the consolidated drained test condition does not always simulate the field condition correctly because slope failures might occur rapidly under undrained conditions. They focused on constant water content triaxial tests under undrained conditions that correspond with rapid failure and compared the results with those of consolidated drained triaxial tests. From a practical standpoint, it was expected that the constant water content–compression (CWCC) test, which is a triaxial test under the water-undrained condition, and low confining pressure would play an important role in understanding the mechanism of the surface failure problems of natural or engineered earth slopes. The CWCC tests, which include unconfined compression tests and unconsolidated undrained tests, have been performed by many researchers (Bishop and Donald 1961; Satija and Gulhati 1979; Shimizu and Tabuchi 1993; Ridley 1995; Cunningham et al. 2003). In particular, Cunningham et al. (2003) studied the mechanical behavior for a contractive specimen of reconstituted clayey silt through the use of constant-suction triaxial tests under higher confining pressures. Their study showed that the shear behaviors observed until the peak shear-strength state were similar to the common behavior of normally consolidated soil (Fig. 1, Point B). The critical state for unsaturated soil on a contractive specimen, in which suction stress was considered, is examined in the following paragraphs through the use of the Cunningham et al. (2003) data.

Although the soil–water retention (characteristic) curve (SWRC or SWCC) is affected by the confining pressure condition, it is assumed that the degree of saturation does not change during the consolidation and shear processes. This is because the degrees of saturation of the contractive specimen during shearing were reduced by less than 1% (in case of the specific volume, approximately Δv =

[붙임4]
성과증빙 B-1-③

SCI 논문4

Comparison of Supervised Classification Techniques for Vision-Based Pavement Crack Detection

Soroush Mokhtari, Liuliu Wu, and Hae-Bum Yun

In this study, the application of four classification techniques for computer vision–based pavement crack detection systems was investigated. The classification methods—artificial neural network (ANN), decision tree, *k*–nearest neighbor, and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)—were selected on the basis of the complexity and clarity of their procedures. These methods were evaluated for (*a*) prediction performance, (*b*) computation time, (*c*) stability of results for highly imbalanced data sets, (*d*) stability of the classifiers' performance for pavements in different deterioration stages, and (*e*) interpretability of results and clarity of the procedure. According to the results, the ANN and ANFIS methods not only provide superior performance but also are more flexible and compatible for the crack detection application. The ANFIS method is called a "white-box classifier," and the inferred knowledge from its membership functions can be used to characterize the imagery properties of detected image components.

Road pavement plays an important socioeconomic role by providing transportation for people and commodities; therefore, the maintenance and development of pavement are necessities. Collection of distress data is a major task in every pavement management program. However, current data collection and evaluation methods are mostly manual or semiautomated. Such methods are usually time-consuming and can cause traffic interruption and safety hazards. Moreover, the results of manual pavement evaluation are subjective and may vary because of personal judgment.

Image-based techniques are considered a promising nondestructive approach for evaluating pavement surface condition, especially for cracking, which is a major cause of pavement deterioration. Several image-based pavement evaluation systems have been proposed in the past decades. Some of the proposed methods aim to classify pavement crack types (e.g., longitudinal, transverse, block, and alligator cracks), while others try to detect and quantify the pavement cracks. Moreover, several pavement evaluation studies use tile-based analysis instead of pixel-level analysis. In such methods, pavement images are divided into smaller regions (tiles), and then tiles are classified into crack and no-crack tiles. Saar and Talvik used neural networks to classify pavement images into crack-free, longitudinal, transverse, block, and alligator cracks and reported an accuracy of 89.3% (*1*). Lee and Lee divided the pavement images into smaller tiles (12 × 15 pixels) and used three different neural network architectures to classify the tiles into different crack types (*2*). They reported an accuracy of 95.2% on the basis of their results. Nejad and Zakeri used neural networks to classify images of different types of pavement cracks and reported an accuracy of 94.41% (*3*). In another study, they also used decision trees (DTs) and different wavelet transforms for a similar task and could achieve 93% to 96% accuracy (*4*). Jahanshahi et al. compared neural networks, support vector machines, and *k*–nearest neighbor (*k*-NN) classifiers for pavement crack detection (*5*). According to their results, the artificial neural network (ANN) outperformed the others, with 95.57% accuracy. In another study, Moussa and Hussain proposed a system based on graph cut segmentation and support vector machine to detect and classify pavement cracks (*6*). They achieved a 97.1% accuracy for crack type classification and reported that the estimated crack quantifications were similar to field measurements at a 95% confidence level.

In this study, a computer-vision framework developed by Wu et al. (*7*) was used to detect crack image components by removing the random background of pavement images. However, the problem with the results of morphological bottom-hat transformation is that detected cracks are fragmented and have many disjoints along the crack path. To solve this problem, Yun et al. developed a self-adaptive crack grouping method based on morphological dilation and thinning transforms, the so-called MorphLink_C (*8*). The details of computer-vision techniques are beyond the scope of this study; however, a brief description of these methods are provided in a later section. Although the image processing techniques can efficiently remove random background from the pavement images, the results still include no-crack objects. Machine learning methods are commonly used to classify image components into cracks and no-cracks. Different classification methods have been used to detect cracks from pavement images, including ANNs (*1–3, 9, 10*), the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) (*11, 12*), support vector machine (*6, 13–15*), DT (*16–18*), and *k*-NN (*5*). However, limited research has been carried out to compare different classification algorithms and discuss their advantages and drawbacks for the image-based pavement crack detection problem. The available studies often focused on classification performance and disregarded the information and knowledge inferred from the classification procedure.

PRELIMINARY IMAGE PROCESSING

The morphological image processing technique is based on mathematical morphology. In this technique, a binary image, a so-called structuring element, is applied to input images. Different region shapes

Department of Civil, Environmental, and Construction Engineering, College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida, 4000 Central Florida Boulevard, Orlando, FL 32816. Corresponding author: H.-B. Yun, Hae-Bum.Yun@ucf.edu.

Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2595, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016, pp. 119–127.
DOI: 10.3141/2595-13

[붙임5]
성과증빙 C-2-②

비SCI논문1

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 4 : 55-61 AUGUST 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.4.055

지표투과레이더를 이용한 아스팔트 혼합물의 공극률 예측에 관한 연구

Estimation of Air Voids in Asphalt Mixtures Using Ground-Penetrating Radar

김 제 원 Kim, Je Won | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : jewonkim@kict.re.kr)
김 연 태 Kim, Yeon Tae | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 전임연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
김 부 일 Kim, Booil | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail : bikim@kict.re.kr)
박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study was to determine the relationship between the dielectric characteristics of asphalt mixtures and the air voids present in them using ground penetrating radar (GPR) testing.

METHODS : To measure the dielectric properties of the asphalt mixtures, the reflection coefficient method and the approach based on the actual thickness of the asphalt layer were used. An air-couple-type GPR antenna with a center frequency of 1 GHz was used to measure the time for reflection from the asphalt/base layer interface. A piece of aluminum foil was placed at the interface to be able to determine the reflection time of the GPR signal with accuracy. An asphalt pavement testbed was constructed, and asphalt mixtures with different compaction numbers were tested. After the GPR tests, the asphalt samples were cored and their thicknesses and number of air voids were measured in the laboratory.

RESULTS : It was found the dielectric constant of asphalt mixtures tends to decrease with an increase in the number of air voids. The dielectric constant values estimated from the reflection coefficient method exhibited a slight correlation to the number of air voids. However, the dielectric constant values measured using the approach based on the actual asphalt layer thickness were closely related to the asphalt mixture density. Based on these results, a regression equation to determine the number of air voids in asphalt mixtures using the GPR test method was proposed.

CONCLUSIONS : It was concluded that the number of air voids in an asphalt mixture can be calculated based on the dielectric constant of the mixture as determined by GPR testing. It was also found that the number of air voids was exponentially related to the dielectric constant, with the coefficient of determination, R^2, being 0.74. These results suggest that the dielectric constant as determined by GPR testing can be used to improve the construction quality and maintenance of asphalt pavements.

Keywords
Ground-penetrating radar, dielectric constant, reflection coefficient, air voids

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jul. 05, 2016 Revised Aug. 01, 2016 Accepted Aug. 01, 2016

1. 서론

도로포장관리시스템(Pavement Management System, PMS)에서는 도로포장의 기능과 성능을 적정 수준으로 유지 및 관리하기 위하여 주기적으로 도로포장의 상태를 모니터링하고 있다. 효과적인 PMS 운영 및 도로포장의 관리를 위해서는 도로포장의 파손 지점, 유형, 정도의 파악이 필요하다. 이를 위해 PMS에서는 자동노면조사장비, FWD(Falling Weight Deflectometer) 장비, 지표투과레이더(GPR: Ground Penetrating Radar) 장비 등의 측정 결과를 이용하여 한정된 도로유

한국건설기술연구원 | IP: 218.49.21.*** | Accessed 2016/11/02 15:20(KST)

[붙임6]
성과증빙 C-2-②

비SCI논문2

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 5 : 57-62 OCTOBER 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.5.057

도로함몰 위험도 평가를 위한 실대형 포장가속시험 기초 연구

A Preliminary Study for Assessing the Risk of Road Collapse Using Accelerated Pavement Testing

박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)
김 연 태 Kim, Yeon Tae | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
최 지 영 Choi, Ji Young | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : legion@kict.re.kr)
김 기 현 Kim, Ki Hyun | 정회원 · 한국건설기술연구원 국가건설기준센터 수석연구원 (E-mail : kihyun@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the effect of size and depth of cavities on the pavement failure using the full-scale accelerated pavement testing.

METHODS : A full-scale testbed was constructed by installing the artificial cavities at a depth of 0.3 m and 0.7 m from the pavement surface for accelerated pavement testing. The cavities were made of ice with a dimension of 0.5 m*0.5 m*0.3 m, and the thickness of asphalt and base layer were 0.2 m and 0.3 m, respectively. The ground penetrating radar and endoscope testing were conducted to determine the shape and location of cavities. The falling weight deflectometer testing was also performed on the cavity and intact sections to estimate the difference of structural capacity between the two sections. A wheel loading of 80 kN was applied on the pavement section with a speed of 10 km/h in accelerated pavement testing. The permanent deformation was measured periodically at a given number of repetitions. The correlation between the depth and size of cavities and pavement failure was investigated using the accelerated pavement testing results.

RESULTS : It is found from FWD testing that the center deflection of cavity section is 10% greater than that of the intact section, indicating the 25% reduction of modulus in subbase layer due to the occurrence of the cavity. The measured permanent deformation of the intact section is approximately 10 mm at 90,000 load repetitions. However, for a cavity section of 0.7 m depth, a permanent deformation of 30 mm was measured at 90,000 load repetitions, which is three times greater than that of the intact section. At cavity section of 0.3 m, the permanent deformation reached up to approximately 90 mm and an elliptical hole occurred at pavement surface after testing.

CONCLUSIONS : This study is aimed at determining the pavement failure mechanism due to the occurrence of cavities under the pavement using accelerated pavement testing. In the future, the accelerated pavement testing will be conducted at a pavement section with different depths and sizes of cavities. Test results will be utilized to establish the criteria of risk in road collapse based on the various conditions.

Keywords
Accelerated Pavement Test, Cavity, Testbed, Permanent Deformation

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology,
283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Sep. 08, 2016 Revised Oct. 04, 2016 Accepted Oct. 04, 2016

한국건설기술연구원 | IP: 218.49.21.*** | Accessed 2016/11/02 15:20(KST)

[붙임7]
성과증빙 C-2-②

비SCI논문3

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 6 : 35-40 DECEMBER 2016
https://doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.6.035

다단계 FWD 하중을 이용한 블록포장의 비선형 거동 분석

An Analysis on the Nonlinear Behavior of Block Pavements using Multi-Load Level Falling Weight Deflectometer Testing

박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)
김 연 태 Kim, Yeon Tae | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
이 수 형 Lee, Su Hyung | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : shlee1@kict.re.kr)

ABSTRACT

OBJECTIVES : The objective of this study is to analyze the nonlinear behavior of block pavements using multi-load level falling weight deflectometer (FWD) deflections.

METHODS : Recently, block pavements are employed not only in sidewalks, but also in roadways. For the application of block pavements in roadways, the structural capacities of subbase and subgrade are important factors that support the carry traffic load. Multi-load level FWD testing was conducted on block pavements to analyze their nonlinear behavior. The deflection ratio due to the increase in load was analyzed to estimate the nonlinearity of block pavements. Finite element method with nonlinear soil model was applied to simulate the actual nonlinear behavior of the block pavement under different levels of load.

RESULTS : The results of the FWD testing show that the center deflections in block pavements are approximately ten times greater than that in asphalt pavements. The deflection ratios of the block pavement due to the increase in the load range from 1.2 to 1.5, indicating that the deflection increased by 20-50%. The material coefficients of the nonlinear soil model were determined by comparing the measured deflections with the predicted deflections using the finite element method.

CONCLUSIONS : In this study, the nonlinear behavior of block pavements was reviewed using multi-load level FWD testing. The deflection ratio proposed in this study can estimate the nonlinearity of block pavements. The use of nonlinear soil model in subbase and subgrade increases the accuracy of predicting deflections in finite element method.

Keywords
Block Pavement, Falling Weight Deflectometer, ILLIPAVE, Finite Element Method

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 02, 2016 Revised Nov. 30, 2016 Accepted Nov. 30, 2016

1. 서론

최근 블록포장은 보도부에서 저속 이면도로의 차도부로 확장하여 적용되고 있는 추세이다. 국외에서는 블록포장의 차도부 설치에 필요한 블록포장 시스템 설계 기준을 제정하여 차도부 적용에 따른 포장파손을 최소화하고 있다. 블록포장은 차량이 통과하기 때문에 블록자체의 강도도 중요하지만 블록하부의 보조기층 및 노상층의 지지력 확보 또한 매우 중요하다. 현재 포장구조체의 상태를 평가하는 비파괴시험장치로 FWD(Falling Weight Deflectometer)가 널리 이용되고 있다. 이는 포장의 구조적 지지력 및 적정성을 측정하는 장비로서

[붙임8]
성과증빙 C-1-①

비SCI논문4

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 5 : 39-47 OCTOBER 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.5.039

개별요소법을 활용한 도로하부 동공 상태 평가

Condition Assessment of Various Types of Road Cavities Using DEM

김 연 호 Kim, Yeonho | 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : rladusgh111@naver.com)
박 현 수 Park, Hyunsu | 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail : supl115@naver.com)
김 병 수 Kim, Byeongsu | 일본 오카야마대학교 환경이공학부 조교수 (E-mail : bskim@okayama-u.ac.kr)
박 성 완 Park, Seong-Wan | 정회원 · 단국대학교 토목환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : spark@dankook.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Road subsidence occurs owing to road cavities, which cause many social and environmental problems, especially in cities. Recently, road cavities were detected by various ground radars and repair works were carried out against the detected cavities. The condition assessments related to the road cavities are necessary to understand the potential risk of the cavities. Therefore, in this study, a numerical study was performed to assess the various conditions of road cavities.

METHODS : The numerical method adopted in this study is the discrete element approach, and it is suitable for analyzing the condition because it can consider the movement of the soil particles in the surrounded cavity areas. In addition, the triaxial test was modeled and performed under various cavity conditions inside the specimens.

RESULTS : The conditions of different cavity locations and shapes were analyzed to identify the effect of cavity state. Three general cases of particle size distributions were formulated to identify the effect of surrounding ground conditions. As a result, the degree of decrement and volumetric strain were varied depending on the locations and shapes of the cavity. Only minor changes were observed when the particle size distributions were altered.

CONCLUSIONS : The strength reduction was higher when the cavity formed was larger and located in the upper zone. Similar to the cavity shape, strength reduction and volume deformation are more influenced by the width than the length of the cavities. There is an influence from ground conditions such as the particle size distribution, especially on the wide cavity.

Keywords
Road cavity, Condition assessment, Discrete element method, Stress-strain behavior

Corresponding Author : Park, Seong-Wan, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering, Dankook University,
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Youngin-si, Gyeonggi-do, 16890, Korea
Tel : +82.31.8005.3472
E-mail : spark@dankook.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 03, 2016 Revised Sep. 30, 2016 Accepted Oct. 04, 2016

1. 서론

도로함몰은 하부지반에서 생성된 동공으로 인하여 동공 상부가 표층의 하중을 지지하지 못하고 도로 표면이 열린 상태로 붕괴되는 현상이다. 하부지반의 동공은 여러 원인으로 인해 발생할 수 있으며 동공은 지하수위의 반복, 계속된 토사의 침식 등으로 인하여 지표방향으로 점점 확장된다. 최근 서울특별시 보고(2014)에 따르면 2010년부터 2014년 7월까지 함몰 발생 건수는 3,127

[붙임9]
성과증빙 C-1-①

비SCI논문5

Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 5 : 11-19 OCTOBER 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.5.011

실내모형시험을 통한 도로함몰 매커니즘에 대한 기초적 연구

Basic Study on Mechanism of Cave-in in Road through Laboratory Model Tests

권 기 철 Kweon Gichul | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : gckweon@deu.ac.kr)
김 상 록 Kim Sanglok | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : tkdfhr8911@naver.com)
홍 석 우 Hong Seokwoo | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 (E-mail : hongswoo@deu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study identifies the causes and the mechanism of the occurrence of underground cavities.

METHODS : A case study on cave-in and a series of model tests with a small soil chamber were conducted.

RESULTS : A hypothesis about the mechanism of the cave-in in road was established, and the basic influencing factors on underground cavity expansion were identified.

CONCLUSIONS : It was found that the characteristics of shear strength of soil and direction of water flow had a larger influence on cavity formation and expansion than the characteristics of internal erosion. In addition, large cavities suddenly expanded when cavities were caused owing to breakage of buried sewer pipe.

Keywords
cave-in, cavity, soil chamber test, sewer pipe, internal erosion

Corresponding Author : Kweon Gichul, Professor
Department of Civil Engineering, Dongeui University, 176 Eomgwangro, Busanjin-gu, Busan, 47340, Korea
Tel : +82.51.890.1617 Fax : +82.51.890.2633
E-mail : gckweon@deu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received May. 12, 2016 Revised Aug. 30, 2016 Accepted Sep. 06, 2016

1. 서론

최근 들어 도심지를 중심으로 도로함몰이 증가하고 있다(서울시, 2015; Kuwano 등, 2006; Kuwano 등, 2009). 도로함몰은 도로 하부 지반에 발생한 동공이 함몰로 진행된 것인데, 동공의 발생·확장은 특별한 징조 없이 진행되다가 갑작스러운 붕괴에 의해 도로 표면에 큰 구덩이를 형성한다. 도로 하부의 동공은 도시 한복판의 함정과 같이 시민에게 불안감을 야기하고 있는 것이다. 도로함몰은 때로는 인명피해를 수반하는 심각한 사고로 이어지기도 하고 교통흐름 방해를 초래하는 등 시민안전의 위협 요인이 되고 있다.

불행하게도 도로함몰의 정확한 원인 및 매커니즘이 규명되지 못하고 있어, 도로 하부의 동공을 붕괴(함몰) 이전단계에서 다양한 탐사방법에 의해 발견해냄으로써 실질적인 피해를 최소화하는 노력이 우선적으로 진행되고 있다(서울시, 2015; Kuwano 등, 2012). 도로 하부의 동공을 사전에 효과적으로 탐사하는 것은 도로함몰 피해를 실질적으로 저감할 수 있으나 도로함몰의 직접적인 원인인 동공 발생을 억제하는 근원적인 대책이 되지는 못한다. 도로함몰을 근원적으로 차단하기 위해서는 도로하부 동공 발생의 원인 및 매커니즘을 규명하는 것이 무엇보다 중요하다.

[붙임10]
성과증빙 D-1-③

비SCI논문6

FIELD INVESTIGATION OF ROAD CAVITY AND CAVE-INS IN SEOUL, KOREA

Yenwoo, CHOI
Seoul Metropolitan Government
Republic of Korea
cywem@seoul.go.kr

Jongeun, BAEK*
Seoul Metropolitan Government
Republic of Korea
jbaek@seoul.go.kr
* Corresponding author

Hyun, CHOI
Seoul Metropolitan Government
Republic of Korea
chtry@seoul.go.kr

Hyun Jong, LEE
Sejong University
Republic of Korea
hlee@sejong.ac.kr

ABSTRACT

Recently road cave-ins and depressions due to subsurface cavities occurred in Seoul, Korea. In this study, field investigations were conducted to discover the mechanism of subsurface cavity initiation. The location of road cavities were identified using ground penetrating radar (GPR) tests and trench cutting. A total of 25 road cavities identified from the GPR tests and 37 road cave-ins were targeted for field investigation. From the field investigations, it was revealed that most cavities in urban roads are composed of three parts which are cavity head, body, and tail. Cavity head reached to an asphalt layer and cavity body occupies most part of the cavity. Long and narrow shape of cavity tail was originated from different locations which were caused by defects of sewer pipes, insufficient backfill compaction, and improper groundwater management. Management plans of Seoul metropolitan government to prevent road cavities and cave-ins were introduced.

Keywords: Road cave-in, subsurface cavity, management plan, damaged utility pipes, ground penetrating radar.

ROAD CAVE-IN PROBLMES IN SEOUL

Sinkhole is land surface collapse which results from a lack of bearing capacity due to cavity/voids developed in limestone and carbonate rocks dissolved by groundwater. It had been recognized as a natural disaster long time. Nowadays, sinkhole-like road collapse, cave-in, or sink has occurred in urban area, including Seoul, Korea. In China, significant change of groundwater table was reported as the main cause of large scale sinkholes (Gao et al. 2013). In Japan, the damage of overage underground utility pipes resulted in the development of voids under roads (Kuwano, R. 2011). So, sinkhole-like road cave-ins developed in urban area should be recognized as man-made disasters. Compare to natural sinkholes, most road cave-ins are small, not bigger than 5 m in diameters.

In Korea, road cave-ins have been serious problems in a couple of years ago. In 2012, a large size of road cave-in occurred suddenly at a road construction site in Incheon, Korea (Figure 1.a). The road cave-in was 11 m in length and 21 m in depth and was caused by the breakage of large water pipe during subway construction underneath. Right before the accident, no road depression or abnormality was observed. In Seoul, several small sizes of subsidence were found in a road nearby a construction site for a high-rise building in 2014. In addition, lots of road cave-ins, depressions, and potholes (Figure 1.b, c, d) were also reported as shown in Figure 1.b, c, and d. Figure 1.b shows road cave-in (4 m in length x 5 m in width x 3 m in depth) caused by the failure of drinking water pipes constructed in 1978 and neighbor sewer pipes. A small opening on the surface shown in Figure 1.c occurred again one month after patching smaller size road depression at the same place. From trench-cut of the area around the hole, a big size (1 m in diameter by 8 m

Proc. of the Eighth Intl. Conf. on Maintenance and Rehabilitation of Pavements

Copyright © 2016 by Mairepav8 2016 Organizers.

Published by Research Publishing, Singapore
ISBN: 978-981-11-0449-7 :: doi:10.3850/978-981-11-0449-7-323-cd

[붙임11]
성과증빙 D-2-①

비SCI논문7

Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 6, pp. 99-104, December 2016
Copyright@2016 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803, eISSN 2383-9953) All right reserved. https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.6.99

도로함몰 현상 대응을 위한 전략과제 도출

성주현 · 박원주 · 이종건 · 최병일†

한국시설안전공단 시설성능연구소 · 국도시설성능관리실

(2016. 10. 4. 접수 / 2016. 10. 25. 수정 / 2016. 10. 26. 채택)

Deriving Strategic Agenda for Response of Road Sink Phenomenon

Joo Hyun Seong · Won Joo Park · Jong Gun Lee · Byoung Il Choi†

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, KISTEC

(Received October 4, 2016 / Revised October 25, 2016 / Accepted October 26, 2016)

Abstract : Road Sink Phenomenon (RSP) is one of the major issues in South Korea. National and local governments are trying to develop effective preventive measures against the RSP. Developing the policy-oriented RSP management is most important to minimize possible losses induced by RSP. In this study, we employed the Futures Wheel (FW) method to derive influence factors for RSP management. FW method is widely used for predicting future social-environmental condition. In addition, RAND Corporation's method is used to derive potential strategic agenda based on derived influence factors by FW method. These derived strategic agenda can contribute to develop the policies related with RSP management.

Key Words : road sink phenomenon, influence factor, futures wheel, strategic project

1. 서 론

2014년 8월 서울 잠실 인근에 5개의 도로함몰이 발생하여 주변일대의 차량통행이 전면 중단되고 해당 내용을 언론에서 대대적으로 보도함에 따라 도로함몰이 큰 사회적 이슈가 되었다[1]. 서울시에서는 최근 5년간 발생한 지반침하 현상을 대상으로 발생 현황을 분석하였으며, 발생 원인으로는 1)하수관 손상(84.5%) 2)상수관손상(1.7%) 3)인접굴착공사 등 기타 원인(13.8%) 순으로 나타났으며, 발생건수도 2010년(435건), 2011년(573건), 2012년(689건), 2013년(854건), 2014년 7월 기준(568건)과 같이 계속 증가하는 것으로 나타났다[2]. 환경부에서 발표한 자료에서는 발생크기에 대한 기준은 제시되지 않았지만 3년간 하수도 시설로 인한 지반침하 현상이 35개 시군구에서 84건이 발생한 것으로 나타났다[3].

이와 같이 도로함몰 현상이 이슈화되고, 매년 증가함에 따라 정부 및 지자체에서는 도로함몰 예방을 위해 다양한 대책을 발표하고 있으며, 관련 전문가들도 도로함몰 현상을 대응하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 도로함몰 현상을 효과적으로 대응하기 위해서는 정책 대안마련이 가장 중요할 것이며, 그밖에도 관련 기술개발, 발생가능원인 제거 등 다양한 대응 방법들이 있을 것이다. 이 같은 사회적 큰 이슈를 반영한 도심지 도로함몰 예방 방법들은 재난관리 4단계(예방- 대비- 대응- 복구) 모든 단계에서 적용할 수 있는 실효성 있는 정책적 대안이 필요할 것이며, 이 같은 정책들은 실제 일어날 상황을 가정한 상태에서 전략이 수립될 것이다. 미래예측을 통한 정책대안 마련은 미래에 일어날 가능성이 있는 다양한 사건들을 추측을 기반으로 하므로, 확실한 전략적 사고가 뒷받침 되어야 할 것이다. 미래예측방법으로는 사회과학분야 뿐만 아니라 자연과학분야 예측에서도 자주 활용되고 있으며, 경향분석, 시뮬레이션, 시나리오분석, 델파이 기법 등 다양한 방법들이 존재하고 많은 연구자들이 활용하고 있다[4].

변요셉은 합리적인 토석류 피해조사를 실시하기 위한 표준화된 평가항목을 도출하였다. 이를 위해 관련 문헌 및 선행연구들을 분석하여 예비 평가항목을 도출하고, 해당 분야의 연구기관, 학계, 산업체 등에 종사하고 있는 12명의 전문가를 대상으로 3차례에 걸친 델파이 조사를 실시하여 29개의 세부 평가항목을 최종 도출하였다[5].

† Corresponding Author : Byoung Il Choi, Tel : +82-55-771-1626, E-mail : bichoi@kistec.or.kr
Korea Infrastructure Safety Corporation, 16, Sadeul-ro, 123beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangnam-do 52852, Korea

[붙임12]
성과증빙 D-1-①

비SCI논문8

Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 18, No. 1 pp. -, 2017

https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

도로함몰 실태와 안전관리 개선 방안

배윤신[1], 김균태[2*], 이상염[3]
[1]서울연구원 안전환경연구실, [2]한국건설기술연구원 건설시스템연구센터, [3]인덕대학교 건설정보공학과

The Road Subsidence Status and Safety Improvement Plans

Yoon-Shin Bae[1], Kyoon-Tai Kim[2*], Sang-Yum Lee[3]
[1]Dept of Safety and Environment, The Seoul Institute
[2]Construction System Research Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology
[3]Construction Information Engineering, Induk University

요 약 함몰은 싱크홀, 포트홀, 구조물 침하, 도로함몰 등을 발생시킨다. 도로함몰은 지표수 근처 석회암이 녹아 동공이 생기고 지지력 저하로 인한 도로표면의 급작스런 붕괴로 기술된다. 도로함몰은 서울시에서만 2010년 이후 연평균 약 665건 발생하였고 2013년까지는 발생빈도가 증가하였다. 서울 지역에서 발생하는 도로함몰의 주된 원인은 지하 시설물의 파손 및 관리 소홀과 지하수위 강하 등이다. 이에 서울시에서는 여러 기관과 공동연구 및 담사를 통해 원인을 규명하고 통행자들이 안심할 수 있도록 안전관리방안에 대한 특별대책을 수립하여 발표하였다. 도심지의 경우 주로 굴착복구 공사에서 도로함몰이 발생할 수 있기 때문에 공사장에서의 올바른 관리는 필수적이다. 본 연구의 목적은 도로함몰의 주된 원인을 파악하고 이에 대한 대책 및 관리방안을 제시하는 것이다. 이를 위하여 생애주기비용 분석을 통해 주야간공사 시행의 필요성을 제기하였다. 또한 모래를 뒤채움재로 사용하는 경우의 한계점을 분석하여, 모래 대신 유동성 뒤채움재를 활용할 것을 제안하였다. 마지막으로 지방자치단체들의 도로담사 사각지대를 줄이기 위하여, 권역으로 구분하고 권역별로 외부전문기관과 협업하여 담사하는 방안을 제시하였다.

Abstract Ground subsidence can result in the formation of sinkholes, potholes, settlement of structures, and road subsidence. Road subsidence is described as the sudden collapse of the road surface into subsurface cavities caused by the loss of bearing capacity in the ground, such as the dissolution of limestone by fluid flow in the surface causing the formation of voids leading to subsidence at the surface. Road subsidence occurs about 665 times annually, and this incidence has been increasing until 2013. Damaged underground facilities, management negligence, and lowering of the ground water table have been the causes of road subsidence in Seoul. Seoul metropolitan government announced special management counter plans to relieve the anxieties and make the roads safe for passing. Construction sites, such as excavation works, need to be managed properly because they have strong potential to induce road subsidence.

The aim of this study was to identify the main causes of road subsidence and suggest management plans. First, life cycle cost analysis revealed the daytime construction to be more appropriate than nighttime. In addition, by analyzing the limitations of using sand as a backfill material, it is proposed to use a flowable backfill material instead of sand. Finally, to reduce the blind spots, which is a problem in surveying the road pavement conditions of local governments, the road to be managed is divided into several zones, and a specialized agency is selected for each zone and a method of surveying the blind spots through collaboration is suggested.

Keywords : backfill material, compaction, excavation work, road subsidence

본 논문은 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01) 및 한국건설기술연구원 개방형연구활성화사업(건설정책연구소)(20160147-001)으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Kyoon-Tai Kim (KICT)
Tel: +82-31-910-0420 email: ktkim@kict.re.kr
Received October 19, 2016 Revised (1st November 2, 2016, 2nd December 5, 2016, 3rd December 16, 2016)
Accepted January 6, 2017 Published January 31, 2017

[붙임13]
성과증빙 C-2-②

학술발표1

The 7th International Conference on Discrete Element Methods
August 1 to August 4, 2016
Dalian, China

Applicability Evaluation of Similarity Principle in Discrete Element Analysis

Taeyoung Yun[1] and Heemun Park

Abstract. The discrete element method (DEM) that has recognized as a powerful numerical analysis tool is used in many scientific and engineering fields because it has a great potential to analyze the dynamic behavior of solid, granular, and fluidal materials in discrete manner. However, when DEM is applied to simulate massive material handling cases, the computational cost of DEM becomes a critical issue. Therefore, there are growing needs to reduce computational cost by finding mechanistically reasonable scale adjustment factor or method without losing the similarity or similitude of discrete element analysis for given laboratory or field conditions. In this paper, a mechanics-based scaling method for static liquid bridge model to reduce computational time is suggested by utilizing the existing scaling factor determination method with particle replacement concept. Although the method needs to be improved by introducing contact model property adjustment method for more realistic simulation, it can be applied for the static liquid bridge model to reasonably simulate the fluidal behaviour of particles with reduced computational time in discrete element analysis

Keywords: similarity principle, discrete element method, liquid bridge model.

1.1 Introduction

The discrete element method (DEM) is used in many engineering areas because it is very useful numerical analysis tool to evaluate the motions and interactions of granular, solid, and fluidal particles in various scales. However, even though DEM has distinguished advantages comparing to continuum mechanics-based numerical analysis methods, the impractical computational cost of DEM is known as one of critical obstacles that deteriorates the application of DEM.

[1] T. Yun (✉)
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-Si, South Korea
e-mail: tyun@kict.re.kr

[붙임14]
성과증빙 D-2-①

학술발표2

D-013

Deriving Influence Factors for Response of Road Depression Symptoms in Urban Area

B. I. Choi*, J. H. Seong and M. H. Jung

Infrastructure Performance Institute, Korea Infrastructure Safety Corporation, 16, Sadeul-ro, 123beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea 52852

Abstract

August 2014 was halted vehicle passing to five road depression occurs in Seoul. As news concerns the road depression has become a social issue. Seoul city analyzed road depression phenomenon the last five years. Causes include 1) sewage pipeline damage (84.5%), 2) water pipeline damage (1.7%) 3) adjacent excavation work and other causes (13.8%). while other sources present a wide range of root causes, including excavation work, water leakage, subsidence of soft ground, land frostbite, pumping near subway stations, changes in underground water level, loss of ground support, and the lack of water barriers in earth retaining wall. Incidence also occurred in 2010 (435 cases), 2011 (573 cases), 2012 (689 cases), 2013 (854 cases), until July 2014 (568 cases) and It continues to grow (Seoul, 2014). As a result, the government and local autonomous bodies announce a variety of preventive measures for against the road depression.

The most effective response of road sink phenomenon is preparing related policies, which must be applied procedure of disaster management. There are several types of deriving a predicted influence factors. In this study, we derived influence factors for response of road depression using Futures Wheel method.

Acknowledgements

This research was supported by a grant (16TLRP-C099510-02) from Transportation & Logistics Research Program (TLRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

Keywords: Rod depression; futures wheel; influence factor

* Corresponding author's e-mail: bicoi@kistec.or.kr

[붙임15]
성과증빙 C-2-②

학술발표3

도로함몰 발생원인 파악을 위한 실대형 포장가속시험 기초 연구

박희문* · 김연태** · 최지영*** · 김기현**** · 윤태영*****

최근 대도시에서 빈번하게 발생하는 도로함몰로 인해 국민들의 불안감이 증대되는 가운데 도로함몰 발생 원인 및 위험도 평가를 위한 기초연구가 필요한 실정이다. 이를 위해 한국건설기술연구원에서 보유한 포장가속시험기(Accelerated Pavement Tester, APT) 운영을 통해 동공 심도 및 크기에 따라 아스팔트 포장체 파손에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 먼저 예비실험 및 동공 관련 문헌조사 결과 동공 생성에 얼음이 적합한 것으로 판단되어 테스트베드 구축 시 가로×세로×높이가 50cm×50cm×30cm인 얼음을 주문 제작하여 포장가속시험기 바퀴축의 중앙에 깊이 0.3m와 0.7m 지점에 매설하였다. 동공 매설 깊이와 크기를 결정한 기준은 일본의 도로함몰 위험도 등급 기준과 서울시에서 발생된 동공의 심도 중 그 빈도가 높은 위치를 선정하였다. 동공 매설 시 내시경 촬영을 위한 관을 매립하여 동공 생성 여부 및 함몰 진행상황을 모니터링 하였다.

테스트베드 구축한 후 FWD 장비를 이용하여 동공을 매설한 동공구간과 매설하지 않은 건전구간의 구조적 지지력을 측정하였으며, 동공구간이 건전구간보다 처짐값이 약 10% 정도 낮은 것으로 파악되었다. 1차 포장가속시험 후(운행횟수 90,000회) 소성변형량 측정 결과 건전구간은 약 10mm 정도의 소성변형이 발생했으나 동공구간은 약 30mm정도 발생하여 약 3배의 차이가 나는 것으로 파악되었다.



그림 1. 포장가속시험기 전경

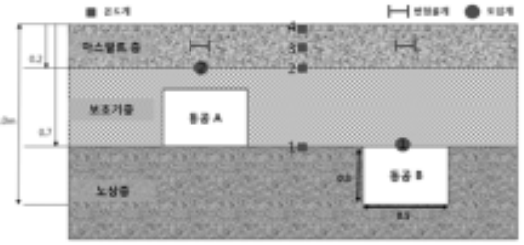


그림 2. 포장가속 시험구간 단면도

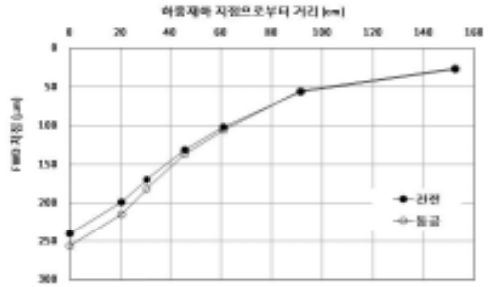


그림 3. 건전 및 동공구간 FWD 처짐값 비교

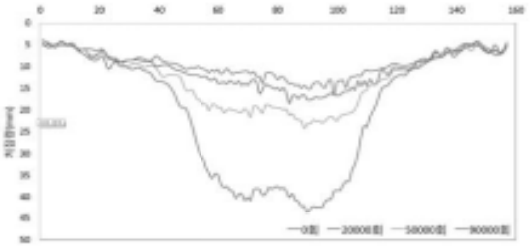


그림 4. 소성변형량 측정 값(동공구간)

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail : hpark@kict.re.kr) – 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : legion@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 국가건설기준센터 수석연구원 (E-mail : kihyun@kict.re.kr)
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : tyun@kict.re.kr)

한국건설기술연구원 (IP: 218.49.21.*** | Accessed 2017/01/02 15:50(KST))

[붙임16]
성과증빙 C-1-②

학술발표4

개별요소법을 활용한 지하 동공의 위치와 형상별 위험도 평가

김연호* · 박성완**

도로 하부에 동공이 발생하게 되면 지반재료의 거동이 크게 변화하게 된다. 최근, 동공은 GPR장치를 활용하여 탐지가 가능하며 탐지된 동공은 그 위험도에 따라 적당한 보수 대책을 마련하게 된다. 지하의 동공은 다양한 위치에 다양한 모양으로 생성될 수 있으며 이에 따른 강도 저하가 발생하는데 특히 위치 및 형상에 따라 도로함몰에 미치는 위험도가 다르다. 따라서 도로 하부에 발생한 다양한 동공의 위험도를 평가하기 위한 많은 연구가 실내시험 및 수치해석을 통해 수행되었다.

Hewage and Renuka(2012)는 시료 내에 글루코스 블록을 통해 동공을 모사한 삼축압축 시험을 수행하여 동공이 발생한 지반재료의 공학적 거동을 파악하였다. 그러나 글루코스 블록을 통하여 모사된 동공은 물에 용해되는 과정을 거치며 초기 블록의 모양과는 다르게 형성되기에 다양한 위치, 모양을 구현하는데 한계점이 있다. 따라서 이러한 실내 시험의 어려움 때문에 본 연구에서는 수치 해석적 방법을 이용하여 동공의 위치와 형상이 지반재료의 강도와 변형에 미치는 영향을 알아보았다. 연구에 사용한 해석방법은 개별요소법(Discrete Element Method)으로 시간의 흐름에 따라 개별 입자의 이동이 발생하여 동공의 변화에 따른 연속적인 해석이 가능하다. 본 연구에서는 동공의 위치 및 형상을 모사한 삼축압축 모델 테스트를 진행하였다.

한편, 박형민 등(2016)은 DEM기반의 PFC-2D 프로그램을 이용하여 입도분포곡선을 반영한 삼축시험 모델링 해석을 수행하였으며 실내시험 데이터와 비교한 결과 그 타당성을 입증하였다. 이를 바탕으로 특정 시료에 대한 입도분포 알고리즘을 적용하여 동공의 위치와 구속압 조건, 형상에 대한 영향을 알아보기 위한 수치해석을 진행하였다.

동공의 위치에 따른 영향을 알아보기 위하여 모델링 된 시료에 상, 중, 그리고 하부에 동공을 생성하여 해석을 수행한 결과 동공이 시료의 윗부분에 위치할수록 낮은 축차응력 수치를 보였다. 또한, 실제 동공이 존재하는 지반 조건을 깊이 별로 모사하기 위하여 시료 내 동공은 동일한 위치에 생성한 후 지반의 깊이를 구속압으로 표현해 각각 약 1m, 2m, 3m 깊이에 해당하는 구속압 조건에서 해석을 수행하였다. 결과 동공이 깊은 깊이(75kPa구속압)에 위치한 경우 동공 발생으로 인해 감소한 강도가 얕은 깊이일 때 보다 낮은 변형률에서 다시 회복되어 증가하는 현상을 확인 할 수 있었다. 또한 지반 내에서 동공은 여러 형태로 생성 될 수 있기 때문에 동공의 면적과 중심점은 동일한 조건에서 동공의 형상을 변화하여 해석을 수행하였으며 그 결과 동공의 초기 강도는 높이보다 폭에 의해 더 큰 영향을 받으며 더 큰 부피 변화를 수반하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구의 결과를 토대로 도로 하부의 동공을 탐지한 경우 동공의 형상과 위치에 따라 위험도를 평가하여 그에 따른 관리 대책을 수립 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 국토교통부 교통물류연구사업인 '도로함몰 발생 해석 모델 개발' 과제의 지원을 받아 수행된 연구(15TLRP-C099511-01)이며, 이에 감사드립니다.

핵심용어 : 개별요소법, 지하 동공, 전단 강도

* 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : riadusgh111@naver.com) - 발표자
** 단국대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : spark@dankook.ac.kr)

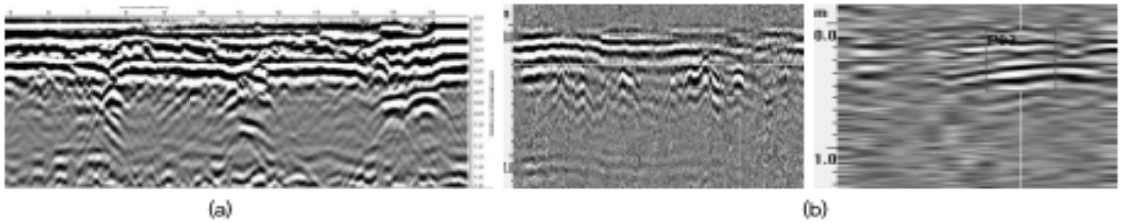
[붙임17]
성과증빙 D-1-③

학술발표5

도로동공 탐사를 위한 GPR 신호 패턴 분석

윤진성[1] · 이창민[1] · 백종은[1]* · 박대근[1] · 김태우[1]

최근 도로하부에 생성된 동공으로 인한 도로함몰이 빈번하게 발생되고 있다. 동공의 주요 발생 요인으로는 굴착복구 시 다짐불량, 노후 하수관 파손, 대형공사장 지하수처리 미비 등으로 알려져 있다. 서울시에서는 도로함몰을 사전에 예방하기 위하여 지표투과레이더(GPR, Ground Penetrating Radar)를 이용한 동공탐사를 2015년부터 본격적으로 실시하였다. GPR 시험에서는 전자기파가 유전율이 상이한 재료 경계부에서 반사되는 특성을 이용하여 포장층 두께, 지하매설물의 위치 등을 탐지할 수 있다. GPR 안테나는 주파수 대역, 채널 수, 설치방법 등에 따라 다양한 형식을 가진다. 서울시의 경우 도로함몰로 발전할 확률이 높은 1.5m 내외의 얕은 심도의 동공을 탐지하기 위하여 250MHz 또는 500MHz 접촉식 안테나를 사용하고 있다. 조사연장이 긴 차도에는 조사 효율성이 높은 16채널 안테나를 사용하고, 좁은 폭의 차도 및 보도에는 단채널 안테나를 사용하고 있다. 본 연구에서는 서울시에서 실시한 GPR 시험으로부터 획득한 GPR 신호로부터 동공 및 지하매설물, 자갈 등을 구분하기 위한 정성적 패턴 분석을 실시하였다. 일반적으로 원형, 연속적인 형태를 가지는 하수관에서 반사된 GPR 신호는 위로 볼록한 포물선 형상으로 되어 있고 반사강도가 크게 나타난다. 반면 동공 대부분은 비정형, 불연속 형태이므로 신호패턴이 찌그러진 비대칭형 포물선으로 나타내고, 반사파의 강도가 약하거나 (+)신호와 (-)신호가 뒤바뀌는 경향으로 나타났다. 또한 지하매설물은 1.0~1.5m 사이에 위치하므로 약 30cm 두께의 아스팔트 포장층에서 1.0m 이상 깊은 곳에서 신호가 나타난다. 반면 동공의 경우 포장층 직하부에 주로 존재하므로 포물선의 상부가 포장층에 가까이 나타났다. 그러나 포장하부에 존재하는 건설폐기물, 자갈 등도 동공신호와 유사하게 나타나므로 탐지율을 향상시키기 위해서는 더 많은 GPR 신호 패턴이 필요하다.



(a) (b)

그림 1. GPR 자료 : (a) 단채널 (b) 다채널 안테나

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01, 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발)에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 도로함몰, 도로동공, GPR(Ground Penetration Radar) 시험, 신호패턴

1) 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 / 윤진성 - 발표자
1)* 교신저자 (E-mail : jbaek@seoul.go.kr)

서울특별시 보건환경연구원 | IP: 211.253.60.*** | Accessed 2016/12/26 10:50(KST)

[붙임18]
성과증빙 C-2-②

학술발표6

공동규모에 따른 아스팔트 포장도로의 거동에 대한 유한요소해석

이준규* • 박연수** • 전은비*** • 문성호****

지난해 2월말 경 용산역 근처 공사현장 인근 인도에서 도로함몰이 발생하여 보행자가 추락하여 부상을 입는 사고가 발생했다. 이를 계기로 서울시는 도로함몰의 조기예방을 위해 세계 최고수준의 기술을 보유한 일본 업체와 협력하여 차량형 GPR(Ground Penetrating Radar : 전자파를 지표에 투과하여 지하의 빈 공간 형상 데이터를 수집하는 레이더 장치)을 이용한 도로하부 등공탐사 용역을 실시하였다.

서울시 등공탐사용역을 계기로 현장적용 시운전과 기술진의 분석훈련을 거쳐 실질적 탐사는 지난해 12월부터 시작되었으며 약 4개월 동안 도로함몰 개연성이 높은 주요 간선도로 493km구간에서 105개의 공동을 발견하였으며 금년 말까지는 약 200여개를 포함해 총 300여개의 공동이 발견될 것으로 예상했다. 이번 조사로 발견된 공동 중 위험도가 가장 높은 A급 공동이 약 60%로 61개가 발견되었고 그보다 낮은 등급의 B급 공동이 35개가 발견되어 5월 말까지 복구할 예정이며 도로함몰 가능성이 그나마 낮은 C급 공동 8개는 연구를 위해 일정 기간 관찰 후 복구할 예정이라고 밝혔다. 서울시 자치구별 공동 발견 현황을 살펴보면 송파구가 약 30%인 32개로 가장 많은 공동이 발견되었고 뒤이어 용산구 21개, 종로구 19개 순으로 나타났다. 본 연구는 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 공동 규모에 따른 아스팔트 포장도로의 거동에 대한 분석을 실시하였다. 이를 위해 공동의 규모는 공동 위험도 평가 등급에 따른 A, B ,C 등급으로 분류하였으며 공동의 발생 범위는 1.5m 이내로 설정하였다. 해석을 위한 단면 구성은 아스팔트 콘크리트 층, 보조기층, 노상의 구조로 이루어져 있으며 접합상태를 의미하는 tie contact를 선택하고 각 층의 재료에 대한 입력물성은 일반적으로 아스팔트 콘크리트 포장구조체에 사용되는 범위를 적용하였다. 해석 모델은 연직하중만이 작용하는 Axisymmetric으로 구성하였으며 해석에 사용된 하중은 포장도로 설계시 사용되는 원형 등분포하중으로 설정하였다. 해석은 각 층의 단면, 재료물성과 하중 그리고 공동의 규모를 변화시키며 실시하였고 아스팔트 포장체의 표면 처짐, 변형률 등을 분석하였다.

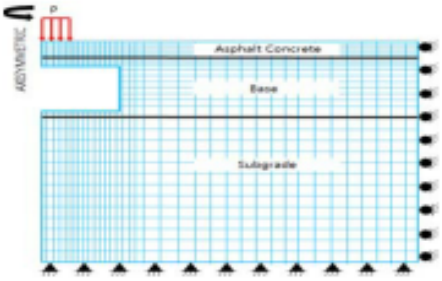


그림 1. 축대칭 유한요소망

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01)에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 공동, 도로함몰, 유한요소해석, 아스팔트 포장

* 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 석사과정 (E-mail : dlwnsrb89s@naver.com)
** 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 학사과정 (E-mail : damace@naver.com)
*** 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 학사과정 (E-mail : dmsq5349@naver.com)
**** 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학부 부교수 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

[붙임19]
성과증빙 C-2-②

학술발표7

동상방지층의 구조적 성능 평가를 위한 한국형포장설계 및 유한요소해석 프로그램 연구

이준규* • 김도원** • 공유석*** • 문성호****

최근 서울 도심 지역에 위치한 주요 포장도로에서의 동공발생 문제가 다양한 원인으로 인하여 이전 보다 더 빈번하게 나타나는 것으로 대두되고 있는 실정이다. 이 문제는 포트홀과 싱크홀 수 증가와 포장도로에서의 다른 문제들을 야기 시킨다. 사실, 포장도로에서의 동공발생을 일으키는 주체적인 원인은 강우, 강설과 같은 기후 변화와 밀접한 관련이 있다. 이 연구에서는, 한국형도로포장설계법에 기반하여 개발된 KPRP(Korea Pavement Research Program : 한국형 포장설계프로그램)를 이용하여 동상방지층의 구조적 성능을 모니터링 하고, 유한요소해석 프로그램 중 하나인 KICTPAVE 프로그램을 이용하여 KPRP프로그램의 신뢰도를 확인하고자 한다. KPRP 프로그램은 한국형 도로포장설계법에 기반을 두고 개발 된 프로그램 이다. 사실, 이전에 사용되어지던 설계 법은 AASHTO Interim Guide Method(1972)로, 한국형포장설계프로그램의 개발 전 국내에서 가장 보편적으로 사용된 설계법이다. 이 설계법은 주어진 조건 하에서만 포장 단면을 설계하는 법을 도출해내기 때문에 다양한 조건에서의 설계와 구조적인 거동이 어렵다는 지적이 나오게 되었다. 이를 보완하기 위하여 국내에서의 주어진 조건에 적합하게 도로 포장의 횡단을 설계하기 위해 개발된 한국형포장설계프로그램이 나오게 되었다. 본 연구에서는, KPRP와 KICTPAVE를 이용하여 동상방지층의 구조적 성능을 더욱 정밀하게 연구하게 된다.

한국형포장설계프로그램은 설계조건을 반영한 후, 횡단면 조건 설정, 기상조건 반영, 교통량 반영, 포장 재료 물성치 반영 및 동상방지층 설치 여부 판단과정을 거쳐 공용성을 예측하게 된다. 설계조건 반영은 한국형포장설계프로그램에서 제공하는 기본 DB를 활용하여 횡단 설계를 하였다. 본 연구는 효과적인 공용성 분석을 위하여 세 가지 경우로 나누어서 해석을 실시하였는데, 그 조건들은 아래 표 1에 나온 것과 같다. 표 1은 동상방지층의 구조적 성능을 한국형포장설계프로그램을 이용하여 분석해낸 결과 이다. 표 1을 보면 두께와 상관없이 모든 구조적 성능이 일치하게 되는 결과를 가져와서 KICTPAVE 프로그램을 이용하여 조건을 5가지로 나누어 유한요소해석을 실시하였다. 각 층(동상방지층-노상토, 보조기층-동상방지층, 기층-보조기층, 표층-기층, 표층 사이의 노드와 요소)은 5cm간격으로 0cm에서 20cm까지 다섯 가지 경우의 조건으로 나누어서 해석을 하였다. 그 결과 보조기층과 동상방지층 사이의 변형률은 동상방지층의 두께가 두꺼워 질수록 증가되는 현상을 보였다. 하지만, 이와는 반대로 노상토와 동상방지층 사이에서 발생하는 변형률은 동상방지층의 두께가 두꺼워 질수록 감소되는 현상을 보였다.

표 1. 각 두께별 동상방지층의 구조적 성능 평가

	Fatigue	Rutting	IRI
Standard	20 %	1.3 cm	3.5 m/km
Case 1	13 %	0.7 cm	3.0 m/km
Case 2	13 %	0.7 cm	3.0 m/km
Case 3	13 %	0.7 cm	3.0 m/km

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01)에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 동상방지층, 한국형포장설계프로그램, Fatigue, Rutting, International Roughness Index

* 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 석사과정 (E-mail : dhwnsrb89s@naver.com)
** (주)건화 도로공항부 사원 (E-mail : kimdw@kunhwaeng.co.kr)
*** 한국도로공사 도로교통연구원, 과장 (E-mail : brabus@ex.co.kr)
**** 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학부 부교수 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

[붙임20]
성과증빙 C-1-②

학술발표8

모형토조 시험을 통한 기초적인 도로함몰 매커니즘 규명

권 기철* · 김 상록** · 홍석우***

최근 들어 도심지를 중심으로 도로함몰이 증가하고 있다. 도로함몰은 때로는 인명피해를 수반하는 심각한 사고로 이어지기도 하고 교통흐름 방해를 초래하는 등 시민안전의 위협 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 도로함몰의 기초적인 매커니즘 규명을 위해 사례분석과 2차원 모형토조 시험을 수행하였다. 사례분석을 통해 도로함몰의 공학적 특성과 매커니즘에 대한 가설을 수립하고 도로하부의 공동 발생·확장과 관련된 기본적인 영향요소를 도출하였다. 모형토조 시험은 다양한 조건에서의 도로함몰의 정성적인 특성 규명에 초점을 두고 진행하였고, 시험결과로부터 도로함몰의 기본적인 매커니즘을 제시하였다.

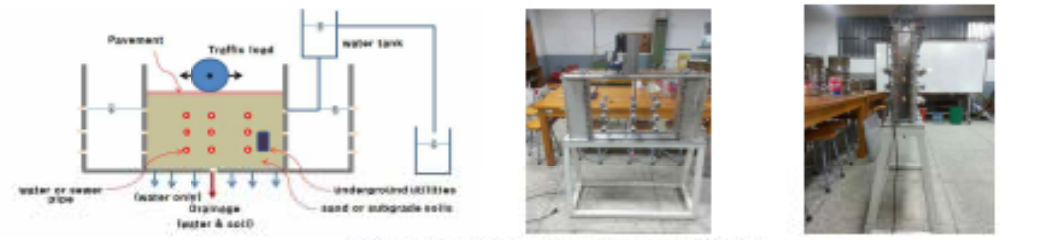
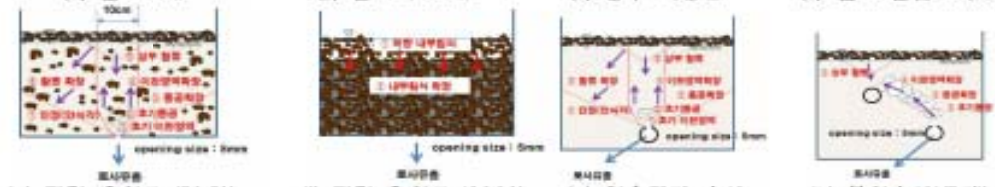


그림 1 도로함몰 모사 모형토조 시험장치



(a) 건조모래 (b) 불포화 모래 (c) 상부 지장물 (d) 점토 혼합토 (90:10)



(e) 자갈 혼합토 (50:50) (f) 자갈 혼합토 (20:80) (g) 하수관거 손상 (h) 복합손상(모래)

그림 2 도로함몰 모사 모형토조 시험에서 조건별 공동발생 형태

모형토조시험 결과, 동공의 발생 및 확장은 내부침식 특성보다는 토사의 전단강도 및 물의 흐름 방향이 중요한 영향요소로 나타났다. 하수관거의 손상에 의한 동공의 확장은 연속적으로 발생하는 것이 아니라 감작스러운 확장 및 일시적 안정을 반복하는 형태로 나타나고, 손상된 하수관거 상부에 전단강도를 급격하게 떨어뜨리면서 전체적인 동공의 발생 규모는 매우 큰 형태로 나타났다. 상수관과 하수관의 손상이 복합적으로 발생한 경우, 동공은 상수관거 손상부위로 동공이 확장되었다.

핵심용어: 도로함몰, 모형토조, 에비실험, 하수관거, 매커니즘

* 정회원, 동의대학교 토목공학과 교수 (E-mail:gckwoon@deu.ac.kr)-발표자
** 동의대학교 토목공학과 석사과정
*** 정회원, 동의대학교 토목공학과 조교수 (E-mail:hongswoo@deu.ac.kr)

[붙임21]
성과증빙 A-1-②

학술발표9

도로공학

2016 대한토목학회 정기학술대회

이동식 도로지지력 평가장치 개선연구

A Study on Modified Rolling Dynamic Deflectometer

김기덕* · 이종재** · 이현종***

Kim, Ki Deok · Lee, Jong Jae · Lee, Hyun Jong

이동식 도로지지력 평가장치(Rolling Dynamic Deflectometer, RDD)는 1990년대 TxDOT와 텍사스 주립대학교의 협력연구를 통해 개발된 비파괴 도로 처짐 측정 장비다. 「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」과제에서는 동공탐사의 정확성을 높이기 위하여 도로의 상태평가가 가능한 이동식 도로지지력 평가장치를 구축하여 연구에 활용하고 있다. 본 연구에서는 기존 RDD센서의 측정방법을 개선하기 위하여 기존 RDD 장비의 메카니즘과 센싱시스템의 개선안에 대해 소개하고자 한다.

핵심용어 : 도로함몰, RDD, 포장건전도평가

1. 서 론

최근 대도시를 중심으로 빈번하게 발생하고 있는 도로함몰은 시민들의 안전을 위협하고 불안감을 야기하고 있다. 도로함몰은 동공이 발생한 상부 도로가 지지력을 잃고 주저앉는 현상을 말한다. 이러한 도로함몰을 미연에 방지하기 위해 「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」과제에서는 도로하부 동공을 찾는 연구를 수행하고 있다. 동공탐사장비는 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)가 대표적으로 알려져 있지만, 본 과제에서는 동공탐사의 정확성을 높이기 위하여 도로의 상태평가가 가능한 이동식 도로지지력 평가장치(Rolling Dynamic Deflectometer, RDD)를 구축하여 연구에 활용하고 있다. 기존 RDD장비로 가하는 동적하중에 대한 변위응답을 4개의 풀링센서를 사용하여 계측한다. 그러나 운행 및 계측속도가 1~2mph(1.6~3.2km/h)로 목표치 20km/h에 부합하지 않아 개선이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 기존 RDD의 장비와 본 과제의 RDD 센싱시스템 개선안을 소개하고자 한다.

2. RDD의 배경과 메커니즘

2.1 RDD의 배경

RDD는 1990년대 TxDOT와 텍사스 주립 대학교의 협력연구를 통해 개발된 비파괴 도로 처짐 측정 장비다. RDD는 고속도로, 공항 활주로 등 콘크리트 포장도로의 조인트, 균열지점 등의 연속변위를 효율적으로 측정하는 장비로 알려져 있다. RDD는 연속적으로 변위를 측정할 수 있기 때문에 그림 1,2와 같이 장비가 운행하는 모든 위치의 도로포장 건전도 평가를 놓침 없이 수행할 수 있다.

2.2 RDD의 메커니즘

RDD는 도로를 일정속도 (1~2 mph)로 주행하며 일정 주파수(30~35Hz)로 동적하중을 도로포장에 가하는 동시에 포장 표면과 접촉되어있는 풀링센서로 하중에 의해 발생되는 포장체의 진동을 측정한다. RDD 시스템은 동적하중 및 하중측정 시스템, 포장변위 계측시스템(풀링센서), 거리측정기로 구성된다. 고속도로에서 정적,

* 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 전임연구원, 공학석사 (E-mail:paestum3@sejong.ac.kr) - 발표자
** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 부교수, 공학박사 (E-mail:jongjae@seojng.ac.kr)
*** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 정교수, 공학박사 (E-mail:hlee@sejong.ac.kr)

[붙임22]
성과증빙 C-2-②

학술발표10

도로공학

2016 대한토목학회 정기학술대회

실대형 포장가속시험을 통한 도로함몰 메커니즘 기초 연구

A Preliminary Study of Road Collapse Mechanism Using the Accelerated Pavement Testing

김연태* · 박희문** · 최지영*** · 김기현**** · 윤태영*****

Kim, Yeon Tae · Park, Hee Mun · Choi, Ji Yeong · Kim, Ki Hyeon · Yoon, Tae Young

최근 언론에서는 대도시에 발생하는 도로함몰로 인해 국민들의 불안감이 증대되는 현실 세태를 반영하여 도로함몰 발생 원인 및 위험도 평가의 중요성을 강조하고 있다. 이와 같은 도로함몰 위험도 평가를 위해 한국건설기술연구원에서는 포장가속시험기(Accelerated Pavement Tester, APT) 운영을 통해 동공 심도에 따라 아스팔트 포장체에 미치는 영향을 파악하기 위한 테스트베드 구축 후 기초 연구를 수행하였다. 다른 국가의 도로함몰 위험도 등급 기준과 서울시에서 조사된 동공이 주로 발생되는 깊이와 크기를 바탕으로 본 연구에서 데림시킬 동공의 깊이와 크기를 결정하였다. 동공 매설 시 내시경 촬영을 위한 관을 매립하여 동공 생성 여부 및 함몰 진행상황을 모니터링 하였다. 또한, 운행 횟수에 따른 소성변형량 측정을 통해 동공 존재 여부에 따른 처짐량의 차이를 확인하였다.

핵심용어 : 포장가속시험기, 테스트베드, 아스팔트, 도로함몰, 소성변형

1. 서 론

실대형 포장가속시험 테스트베드 구축에 필요한 도로동공 매설 깊이 및 크기를 결정하기 위해 문헌조사 및 현장자료를 분석하였으며, 이를 바탕으로 도로 동공 및 함몰 모사를 위한 테스트베드를 구축하였다. 본 연구에서는 구축된 테스트베드에서의 포장가속시험을 이용하여 도로에서 발생하는 동공의 심도 및 크기에 따른 도로포장 파손을 예측하고자 하였고, 획득한 데이터는 도로함몰 위험도 등급 판정에 필요한 정량적 자료로 활용하고자 한다.

2. 테스트베드 구축

도로 동공과 포장파손의 연관성 조사를 위한 포장가속시험을 수행하기 위하여 한국건설기술연구원 일산본원에 실대형 테스트베드를 구축하였다. 그림 1과 같이 동공 생성용 얼음 및 내시경 삽입을 위한 관을 매설하였고, 얼음은 사전 문헌 조사를 통해 표층으로부터 30cm, 70cm 아래에 매설하였다. 포장가속시험기의 윤하중 및 FWD 재하하중에 따른 도로 포장체의 거동을 파악하기 위해 그림 2와 같이 토압계 외에 변형률계, 온도 측정계 등을 매설하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail:kyt@kict.re.kr) - 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원, 공학박사 (E-mail:hpark@kict.re.kr) - 교신저자
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail:legion@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 국가건설기준센터 수석연구원 (E-mail:kihyun@kict.re.kr)
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail:tyun@kict.re.kr)

한국건설기술연구원 | IP: 218.49.21.*** | Accessed 2017/01/02 15:50(KST)

[붙임23]
성과증빙 A-1-②

학술발표11

콩효소를 이용한 탄산칼슘 침전 흙시료의 일축압축강도에 대한 실험연구

An experimental study on the uniaxial compressive strength of soil specimens with enzymatic-induced calcite precipitation using soybean

이승형* 김종민**
Lee, Seunghyung · Kim, Jongmin

요 지

본 연구에서는 노란콩으로 추출한 요소가수분해효소를 사용하여 차수 및 강도 증진 효과를 갖는 경제적이고 환경친화적인 그라우트재를 개발하고자 한다. 그라우트재는 연약지반의 보강, 침식에 취약한 사면의 보호 등 다양한 방면에서 활용되고 있다. 최근 연구자들은 미생물의 요소가수분해능력을 사용하여 요소 분해 시 발생하는 탄산이온과 칼슘이온과의 화학반응을 통해 지반공극 내에 탄산칼슘을 침전시켜 지반을 보강하는 방법을 연구하고 있다. 하지만 토착 미생물 및 산소의 영향, 미생물 배양과 보관의 어려움, 반복적인 주입을 통한 공정의 문제와 이로 인한 공사비용 증가 등 많은 문제점들로 인해 실용화의 어려움을 겪고 있다. 요소가수분해효소를 함유한 노란콩은 미생물의 문제점을 해결할 수 있는 대체자원으로 지반의 토착 미생물과 산소에 영향을 받지 않으며, 저렴한 가격으로 쉽게 구할 수 있다. 또한 물과의 혼합으로 요소가수분해 효소를 쉽게 추출할 수 있고, 추출 후 남은 부산물들은 가축의 비료로 재활용할 수 있다. 노란콩으로부터 추출한 요소가수분해효소의 그라우트재 보강 효과를 확인하기 위해 일축압축시험을 수행하였다. 흙과 요소가수분해 효소액, 요소/염화칼슘 수용액(0.75M, 1.5M, 3M)을 혼합하여 공시체를 제작하고 7, 28일의 양생기간 후에 강도를 측정하였다. 1.5M 이하의 요소/염화칼슘의 경우, 농도가 높아질수록 침전되는 탄산칼슘의 양이 증가하여 일축압축강도가 증가하는 것을 보였고 양생기간에 따른 강도변화가 없으므로 7일 양생기간 동안 최대강도가 발현되었다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 3M의 요소/염화칼슘의 경우, 28일 양생기간 후에 강도증진 효과를 보여 요소/염화칼슘의 농도가 3M 이상이 되면 긴 양생기간이 필요하다는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 그라우트, 요소가수분해효소, 탄산칼슘, 지반개량

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-02)에 의해 수행되었습니다.

* 정회원, 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail: todayhyung@naver.com)
Member, Graduate Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University
** 교신저자, 정회원, 세종대학교 건설환경공학과 교수 (Tel : +82-2-3408-3293, E-mail: jongmin@sejong.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University

[붙임24]
성과증빙 D-1-①

학술발표12

Journal of Korean Society of Disaster & Security

지표 투과레이더 취득신호 분석을 통한 도로하부 이상구간 탐지기법 연구

A Study on Detection Technique for Abnormality under Pavement by Analyzing Signals Obtained from GPR

이상엽[1], Sang-Yum Lee

[1] 인덕대학교 건설정보공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Construction Information, Induk University.

요 약 : 도로에서 발생하는 함몰은 도로하부 공동 존재여부를 파악하는 것이 필수적이다. 하부상태 정보를 획득할 수 있는 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)가 비파괴시험으로 각광을 받고 있으나 기존의 공동 탐사와 분석의 정확도는 높은 수준이 아니다. 그 이유는 일률적인 경험에 근거한 정성적인 분석방법에 있다. 정확한 분석 정보와 정량적 해석을 통한 분석기술이 요구되는 실정이다. 따라서 본 연구는 시험 구간(Test Bed)에서 지표투과레이더의 통해 습득한 정보를 다각도로 분석하고 그에 따른 결과와 방법을 평가하고자 하였다. 분석은 취득신호의 형상을 중첩시켜 비교하여, 각 신호주기에 의한 이상구간을 선정하였다.

핵심용어 : 지표 투과레이더, 도로함몰, 도로포장, 취득신호

ABSTRACT : For finding sinkholes, it would be essential to understand cavities under the pavement. GPR is useful to acquire condition information under the pavement because GPR is non-destructive test. However, the accuracy of the test is not high enough. This is owing to the analysis depended on monotonous experiences. It needs improved analysis method with precise assessment and quantitative interpretation. Consequently, this study concentrates on developing several analysis methods by using test bed. To be specific, the obtained signals in test bed are overlapped or piled up for checking abnormal section.

KEYWORDS : GPR, Sinkhole, Pavement, Obtained Signal

1. 서 론

도로포장의 공용 중에 발생하는 공동으로 인한 지반함몰은 인명피해를 야기할 수 있는 중대한 사회문제로 인식되고 있다. 이러한 위험성이 있기 때문에 도로하부의 상태 및 공동의 존재여부를 조사하여 도로의 전반적인 공용성의 상태를 파악하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 도로하부에 설치된 상하수도관과 같은 매설물 근처에 존재하는 공동으로 인하여 이러한 도로함몰이 발생하는 빈도수가 빈번함을 확인할 수 있었다(강대홍, 2014).

일반적으로 도심지에서의 도로하부 공동탐사는 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)를 이용하는 비파괴시험(Non-Destructive Test)으로 조사한다(백종은 외 2014). 이와 같이 도로하부의 상태정보를 획득하고 시공과정 및 공용 중 발생할 수 있는 문제점들을 굴착복구와 같은 파괴적인 방법이 아닌 비파괴적인 방법을 통해 효과적으로 해결 가능하고 또한, 다양한 적용범위, 간편성 및 경제성으로 인해 가장 각광을 받고 있다. 그러나 최근에 수행된 여러 분야의 공동탐지·분석 적중률은 정확도가 낮은

[붙임25]
성과증빙 D-1-③

한국지구물리·물리탐사학회 2016년 특별 심포지엄 및 춘계학술발표회
2016년 5월 12일(목) ~ 13일(금), 연세대학교 장기원국제회의실

서울시 도로동공 발생현황 및 대책

윤진섭[1)*], 백종은[1)], 최연우[2)]
[1)*] 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터, jsyoon94@seoul.go.kr
[2)] 서울특별시 안전총괄본부 도로관리과

Current States and Management of Road Cavity in Seoul

Jin-Sung Yoon[1)*], Jongeun Baek[1)], and Yeonwoo Choi[2)]

최근 도심지에서 도로함몰이 빈번하게 발생하고 있다. 이에 서울시는 2014년도에 도로함몰특별관리대책을 수립하여 동공탐사 및 노후하수관 보수, 굴착복구관리 개선 등을 실시하고 있다. 도로동공의 주요 발생원인은 하수관과 같은 지하매설물 손상, 굴착복구 미흡, 대형공사장 주변 지하수처리 미비 등으로 인한 토사 유출이다. 도로하부에 존재하는 동공은 궁극적으로 도로함몰로 발전할 가능성이 높으므로 서울시에서는 도로함몰 발생 전 사전적 예방활동으로 도로동공 탐사를 2015년부터 실시하고 있다. 도로동공 탐사는 1차 GPR(Ground Penetrating Radar) 조사와 2차 시추 조사로 구성된다. 1차 GPR 조사에서는 차량탑재형 다채널 GPR 장비를 이용하여 동공의심지점을 파악한다. 2차 시추 조사에서는 동공의심지점에 시추를 하고 시추공 내부 영상촬영을 실시하여 동공존재 유무를 확인한다. 동공의심지점을 정확하게 파악하기 위해서는 정량적인 GPR 신호분석이 필요하다. 실제 도심지에서 획득한 GPR 신호는 지하매설물, 건설폐기물, 지하수 등으로 인하여 매우 복잡하게 구성되어 있다. 하지만 현재 도로하부 동공탐사는 초기단계이므로 다양한 종류의 동공신호 패턴에 대한 자료가 부족하여 복잡한 GPR 이상신호로부터 동공을 탐지할 수 있는 정확도가 낮은 상태이다. 따라서 서울시에서는 도로동공 및 도로함몰에 관한 D/B를 구축하고 이를 활용하여 동공신호 분석기술을 향상시키기 위한 관련연구를 수행하고 있다.

핵심용어 : 도로함몰, 도로동공, GPR(Ground Penetration Radar) 시험, 지하매설물, 동공신호

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01, 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발)에 의해 수행되었습니다.

[붙임26]
성과증빙 D-2-①

학술발표14

위험수준을 반영한 공동 및 도로함몰 대응을 위한 복구 흐름도 개발

Development of restoration flow chart for dealing with road cavity and collapse based on risk level

최병일* 성주현** 정민형*** 김지성****
Choi, byoungil · Seong, Jooyhun · Jung, Minhyung · Kim, Jiseong

요 지

본 연구에서는 도로함몰의 사전 단계인 도로지반 하부에 공동이 발생한 경우 및 도로함몰이 발생한 경우를 나눠 실무자들이 활용할 수 있는 복구 업무처리 흐름도를 제시하고자 한다. 개발된 흐름도는 도로하부 '공동탐지 단계' 및 '도로함몰 발생 단계'로 구분하였으며, 실효성 있는 업무처리 흐름도를 제시하기 위해 각 단계별 위험수준을 고려하였다. 공동탐지 단계의 경우 [1]신속한 조치계획을 수립 후 우기철 이전까지 보강이 필요한 단계, [2]공동발생으로 인한 위험성이 현재는 없으나 주기적인 모니터링 계획수립을 통해 공동을 관리해야 하는 단계로 구분하였다. 또한 도로함몰 발생 단계는 [1]인명/재산 피해뿐만 아니라 발생된 도로함몰이 2차 피해(극심한 교통정체, 교통사고 등)가 예상되는 단계로 중앙부처인 국토교통부와 협조가 필요한 단계, [2]인명/재산 피해는 발생하지 않았으나 2차 피해가 예상되는 단계, [3]공동탐사를 통해 발견된 공동의 위험성이 도로함몰 발생가능 조건을 충족하는 경우 또는 도로함몰이 발생하였으나 발생규모가 경미하여 피해발생으로 이어지지 않은 단계로 구분하였다. 추후 연구에서는 업무처리 흐름도를 바탕으로 도로함몰 복구관련 체크리스트를 제시하고자 한다.

핵심용어 : 공동탐지, 도로함몰, 위험수준, 흐름도

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개 발사업의 연구비지원(과제번호 16TLRP-C099510-02)에 의해 수행되었습니다.

* 정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 선임연구원(E-mail: bichoi@kistec.or.kr)
Member. Ph.D Senior Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety&Technology Corporation
** 교신저자, 정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 책임연구원(Tel : +82-55-771-1603, E-mail: bluehill@kistec.or.kr)
Corresponding Author. Member. Principal Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety&Technology Corporation
*** 한국시설안전공단 시설성능연구소 선임연구원(E-mail: yskim@kistec.or.kr)
Ph.D Senior Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety&Technology Corporation
**** 한국시설안전공단 시설성능연구소 선임연구원(E-mail: sea@kistec.or.kr)
Ph.D Senior Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety&Technology Corporation

[붙임27]

성과증빙 B-1-①

특허출원1

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.02.10
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2017-0018772 (접수번호 1-1-2017-0141235-20)
출원인 명칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	특허법인 엠에이피에스(9-2011-100001-9)
발 명 자 성 명	안윤규 강만성
발 명 의 명 칭	3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

[붙임28]

성과증빙 A-1-①

특허출원2

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.02.09
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(4058)
출 원 번 호	10-2017-0018032 (접수번호 1-1-2017-0135543-92)
출원인 명칭	주식회사 로드텍(1-2003-029913-9)
대 리 인 성 명	특허법인주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명	문형철
발 명 의 명 칭	지중탐사장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

[붙임29]
성과증빙 A-1-①

제 D - 20884 호

학 위 수 여 증 명 서

성 명 :	김원재
생 년 월 일 :	1984 년 1 월 12 일
학 위 과 정 :	박사과정
소 속 :	대학원
학 과 (전 공) :	건설환경공학과(지반공학)
학위수여일자 :	2017 년 2 월 17 일
학 위 명 :	공학박사
학위등록번호 :	세종대`16(박)059호

위 의 사 실 을 증 명 함.

2017 년 2 월 27 일

세 종 대 학 교 교 무 처 장

• 본 증명서는 자동발급기에서 발급된 것이며, 직인이 없으면 무효임.

[붙임30]
성과증빙 A-1-①

제 D - 19058 호

학위수여예정증명서

성 명 :	김남규
생 년 월 일 :	1985 년 2 월 25 일
학 위 과 정 :	박사과정
소 속 :	대학원
학 과 (전 공) :	건설환경공학과(구조공학)
수 여 예 정 일 :	2017 년 2 월 17 일

위 의 사 실 을 증 명 함.

2017 년 2 월 10 일

세 종 대 학 교 교 무 처 장

* 본 증명서는 자동발급기에서 발급된 것이며, 직인이 없으면 무효임.

세종대학교 SEJONG UNIVERSITY COPY

[붙임31]
성과증빙 C-2-①

졸 업 증 서

박 민 수
1990년 11월 5일생

위 사람은 본 대학교에서 정해진 전 과정을 이수하고
아래의 자격을 얻었으므로 이를 인정함

건 설 시 스 템 공 학 과 공 학 사

2016년 8월 26일

서울과학기술대학교 공과대학장 공학박사 김 호 경

위의 인정에 의하여 이 증서를 수여함

2016년 8월 26일

서울과학기술대학교 총장 공학박사 김 종 호

학위번호 : 서울과기대2015학01754

[붙임32]

성과증빙 D-1-①

제 C2016-10139 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 김유민

생년월일 : 1992년01월28일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
건설정보공학과 (4년제)	201518708	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

※ 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
* 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.citech.kr 에서 위변조 검증 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.citech.kr

[붙임33]
성과증빙 D-1-①

제 C2016-10138 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 김현겸

생년월일 : 1990년08월17일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
건설정보공학과 (4년제)	201518703	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

※ 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
* 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.cilech.kr 에서 위,변조 검증 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.cilech.kr

[붙임34]

성과증빙 D-1-①

제 C2016-10136 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 박소연

생년월일 : 1994년10월19일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
토목환경공학과 (4년제)	201609711	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

* 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
* 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.citech.kr 홈페이지 진본 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.citech.kr

[붙임35]

성과증빙 D-1-①

제 C2016-10140 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 임상윤

생년월일 : 1991년12월27일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
건설정보공학과 (4년제)	201518710	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

※ 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
* 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.citech.kr 에서 위.변조 검출 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.citech.kr

[붙임36]

성과증빙 D-1-①

제 C2016-10137 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 정철호

생년월일 : 1991년10월22일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
토목환경공학과 (4년제)	201609718	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

* 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

• 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
• 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.ctech.kr 접속 후 본인 확인 프로그램을 다운받아 확인하실 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.ctech.kr

[붙임37]

성과증빙 D-1-①

제 C2016-10141 호

졸 업 예 정 증 명 서

성 명 : 진보현

생년월일 : 1992년07월24일

학 과	학 번	졸 업 예 정 일 자	비고
건설정보공학과 (4년제)	201518705	2017년 2월10일	

위의 사실을 증명합니다.

2017년 1월25일

인 덕 대 학 교 총 장

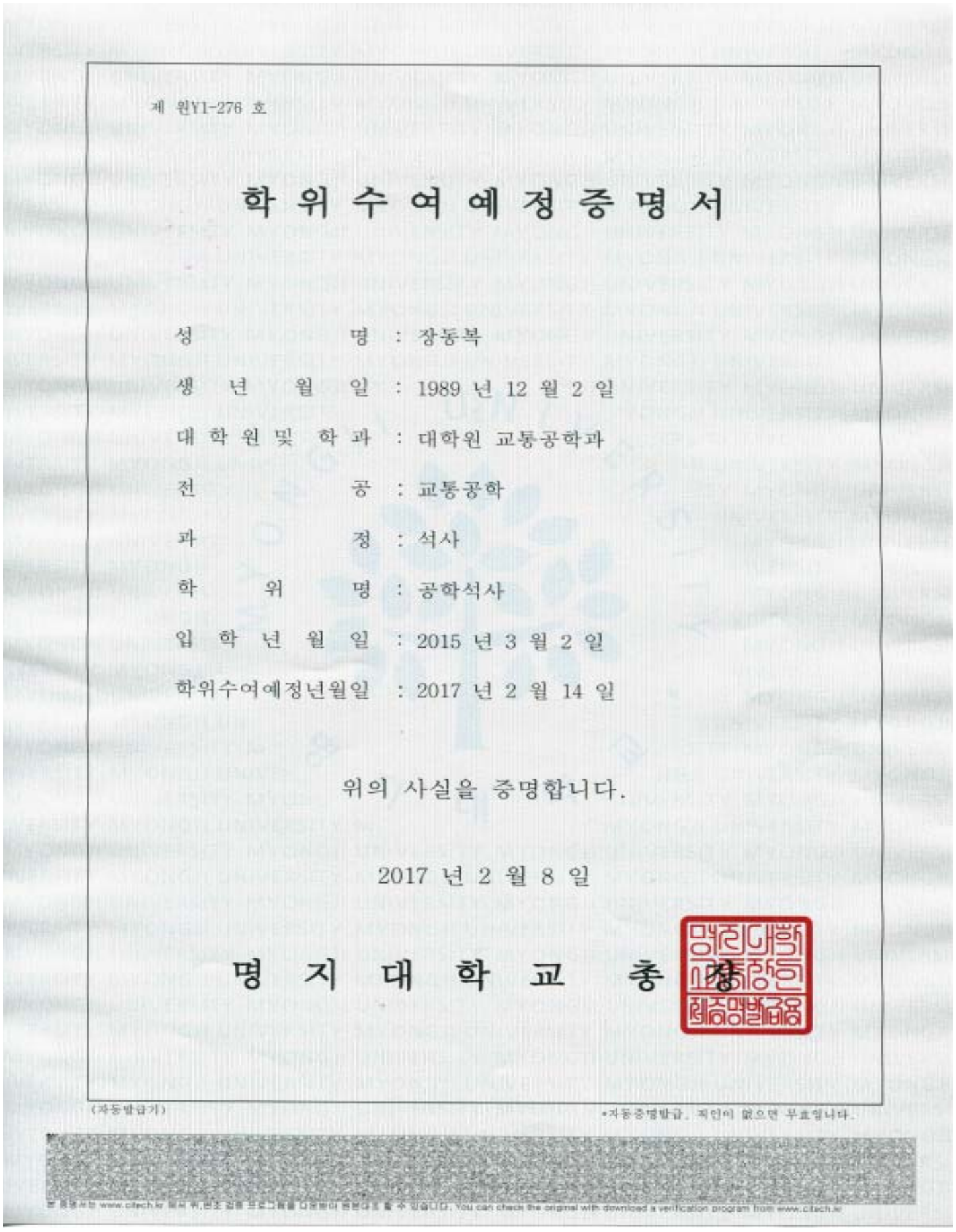
※ 본 증명내용은 학적변동에 따라 변경될 수 있습니다.

* 본 증명서는 자동증명발급기에서 발급된 것입니다.
* 본 예정증명서는 졸업학점 취득을 조건으로 발급합니다.

본 증명서는 www.citech.kr 에서 위.변조 검증 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.citech.kr

[붙임38]

성과증빙 D-3-①



제 원Y1-276 호

학 위 수 여 예 정 증 명 서

성 명 : 장동복

생 년 월 일 : 1989 년 12 월 2 일

대 학 원 및 학 과 : 대학원 교통공학과

전 공 : 교통공학

과 정 : 석사

학 위 명 : 공학석사

입 학 년 월 일 : 2015 년 3 월 2 일

학위수여예정년월일 : 2017 년 2 월 14 일

위의 사실을 증명합니다.

2017 년 2 월 8 일

명 지 대 학 교 총 장

(자동발급기)

*자동증명발급, 직인이 없으면 무효입니다.

본 증명서는 www.citech.kr 접속 위,변조 검증 프로그램을 다운받아 원본대조 할 수 있습니다. You can check the original with download a verification program from www.citech.kr

[붙임39]
성과증빙 C-1-①

진위확인번호 ▣ XF2Q-G1GT-W2JZ-PIK8 ▣

제 17-901643 호

학위수여예정증명서

성　　명 : 김상록

생 년 월 일 : 1989년 11월 11일

입학년월일 : 2015년 03월 02일

대　　학　　원 : 대학원

과　　정 : 석사

학　　과 : 토목공학과

내　　용 : 2017년 02월 17일
학위수여예정

위와 같이 증명함.

2017년 02월 07일

동 의 대 학 교 총 장

※ 총장직인이 없으면 무효입니다.

본 증명서는 http://www.[illegible]에서 원본확인 가능합니다. 단, 원본확인은 발급일로부터 90일까지 가능합니다.

[붙임40]
성과증빙 B-1-②

제 C-2017-002230 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	RDD 데이터취득 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2016년12월01일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2017년01월25일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2016.12.01

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 01월 26일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION · 한국저작권위원회 ·

[붙임41]
성과증빙 B-1-②

제 C-2017-002903 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로 노면 평탄성 분석을 위한 위치 및 방향 계측 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2017년01월
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2017년02월01일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2017.01

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 02월 02일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION · 한국저작권위원회 ·

[붙임42]
성과증빙 A-1-②

RDD 2차 시작품



[붙임43]
성과증빙 A-1-①

도로함몰 복합 탐지시스템 시작품

1. 도로함몰 복합탐지 시스템의 센서 종류

항 목	주요 사양	용 도
3차원 지표투과레이더 (GPR)	• 주파수범위 : 200~3000MHz • 채널 수 : 20개 • 채널간격 : 7.5m • 유효조사폭 : 1.5m	도로 주행방향으로 전자기파를 발생 및 반사파를 측정하여 지반내부의 구조나 물체를 탐지하는 장치로써 동공 탐사의 주요장치
포장표면영상 취득장치	• 조사 속도 : 0~80km/h • 측정 폭 : 3.7m이상 • 표면 영상 분해능 - 횡방향 Sampling : 1mm이하 - 종방향 Sampling : 1mm이하	도로포장표면에 발생한 결함을 조사속도 범위 이내에서 이동속도와 무관하게 영상자료를 취득하는 장치
종단평탄성 조사장치	• 조사 속도 : 0~80km/h • 조사지점 수 : 1개 지점 • 종방향 Sampling : 25mm (속도무관) • 노면 측정 파장 영역 : 120m	도로를 주행하면서 주행방향으로 일정간격의 요철높이를 획득한 후 특정 지수(IRI) 형태로 변환하여 주행방향으로 도로의 평탄정도를 조사하는 장치
소성변형 조사장치	• 조사 속도 : 0~80km/h (취득간격 가변형) - 횡방향 Sampling : 2mm 이하 - 종방향 Sampling : 50cm 이하 • 수직프로파일측정 최대깊이 : ±75mm(150mm)이상 • 수직변위 정확도 : 2mm 이하 • 조사 폭 :3.7m 이상	아스팔트포장 표면에 발생되는 횡방향의 물리적인 굴곡을 조사하는 장치로서, 주행중 신속하게 1개의 차로폭에 대한 굴곡깊이를 측정하는 장치
도로현황 조사장치	• 영상 해상도 : 5M Pixel • 거리연동 등간격 영상취득 • 디지털 칼라 영상취득	조사차량을 기준으로 주행 중 조사노선의 km-post 및 기타 주요 이정시설물에 대한 영상자료를 획득하는 장치로서 부수적으로 조사 시점으로부터의 거리, GPS 좌표를 동시에 수집하는 장치
위치확인 조사장치	• 구성:GPS+DMI • (Distance measurement Unit) • 거리정보연동 최대채널수 : 8개 • 거리오차:0.15%	각 조사장치에 위치 정보를 제공해주는 장치로써, 각 장치에 의해 수집된 자료에 위치자료(시점으로부터 거리 및 GPS좌표)를 제공하여 현재 조사 위치 및 주행 궤적상태를 모니터링

[붙임44]
성과증빙 D-1-③

[붙임 1] - 방송화면 캡처







[붙임45]
성과증빙 D-1-③

[붙임 2] - 방송화면 캡처







[붙임46]
성과증빙 D-1-③

[붙임 3] - 교육사진





[붙임47]
성과증빙 D-1-③

[붙임 4] - 홍보사진





[붙임48]
성과증빙 A-1-①

[붙임 5] - 신문기사 복제

도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발

최근 대도시 곳곳에서 도로가 갑자기 함몰되는 사례가 빈번하게 발생하여 중요한 사회적 이슈로 부각되고 있다.

도로함몰이란, 도로하부에서 발생한 붕괴에 의해 상부도로가 지지력을 잃고 내려앉는 현상을 말한다. 일반적으로 대중에게는 싱크홀로 인식되고 있지만, 이는 석회암질 지반의 용해로 비롯한 자연현상으로 도로함몰과는 다르다.

도로함몰의 주요원인은 상하수관 손상 및 누수, 도로굴착 공사불량, 지하수위 강하 등이다. 서울시에서 최근 5년간 도로침하, 붕괴, 함몰 발생현황을 조사한 결과 총 3,328건이 발생하였으며, 연간 665건으로 발생건수가 점차 증가하는 추세이다.

도로함몰로 인한 피해를 감소시키고, 시민의 불안감을 해소하기 위하여 지난 2015년 7월 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원이 지원하는 '도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발' 과제가 시작되었다.

'도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발'은 최근 이슈가 되고 있는 도로함몰을 장기적이고 근원적으로 예방하는 핵심기술의 개발을 목표로 하며, 연구 필요성이 높고 국제 경쟁력 확보 가능성이 큰 분야이다.

본 과제의 연구진은 세종대학교 산학협력단을 주관기관으로 총 13개의 기관과 3년 10개월간 총 연구비 120억 규모의 연구를 수행하게 된다. 본 과제는 재해예방형 도로를 구축하고 보편적 사회복지에 공헌하기 위하여 '도로재해 저감을 통한 안전 대한민국 건설'을 연구의 비전으로 설정하고, '도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발'을 최종목표로 설정하였다.

이를 위해 탐지 시스템, 분석 프로그램, 평가 기술, 도로관리시스템의 총 4가지 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행한다.



이현종 교수
세종대학교

도로하부의 붕괴를 탐지하기 위한 지표투과레이더(Ground Penetration Radar, GPR)와 연속식 도로지지력 평가 장비(Rolling Dynamic Deflectometer, RDD) 등의 탐지 시스템을 이용하여 측정된 데이터를 신호 및 영상처리, 통계적 이상상태 판단 데이터마이닝 기법이 탑재된 프로그램으로 도로함몰 위험도를 분석하고, 포장, 동공길이, 동공크기, 도로지지력 등의 영향인자에 따른 도로함몰 위험도를 평가하기 위한 연구와 도로함몰 위험도 평가 기술을 도로관리시스템에 연계하여 적용하기 위한 실용화 연구를 종합적으로 수행한다.

우리나라 전국에 시공된 상하수도 관로의 총연장은 약 185만km이며, 내구 연한이 초과된 노후상하수도관이 전국에 9만5km가 연결되어 있다.

기존 노후상하수도관의 누수와 이를 교체하는 과정에서 발생하는 심각한 사회 불안적 사항은 도로함몰의 주요 원인이며 실제 대도시들의 존폐 도로함몰 발생빈도가 높아지는 것으로 그 위험성이 입증된다.

따라서 도로함몰로 인한 인명, 재산 피해를 줄이기 위해 향후 도로 유지보수 예산의 증가, 예방기술 수요의 증가로 이어질 것으로 판단된다.

'도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발' 과제에서 구축하게 될 도로하부 지반상태평가 장비는 이동하면서 동시에 높은 정밀도의 비파괴 투과 검사를 수행할 수 있고 도로함몰 진단 프로그램을 이용하여 더욱 쉽게 자료를 처리할 수 있기 때문에 적은 비용으로 효율적으로 도로의 유지관리가 가능하며 도로함몰 예방을 위한 시공을 개선할 수 있는 장점을 가질 것으로 판단된다.

더하여 이번 연구를 통해 선진적 재난재해 방지 기술능력을 선진국 수준으로 이끌어 올리고, 체계적인 도로 침몰 위험도 관리방안 등을 통해 지속가능한 도로관리시스템을 정착할 수 있다면, 도로함몰로 인한 국민 불안감 해소할 수 있을 뿐만 아니라 기술자립화로 해외시장 진출도 가능할 것으로 보인다.

[붙임49]

성과증빙 A-1-①

Research & Institute

> 세종대학교 건설환경공학과 이현종 교수

도로재해 저감을 통한 안전 대한민국 건설

성공적 선행모델 구축해 예방적 도로관리 실용화 가속

Building safe Korea through reduction in road accidents

Accelerating road management commercialization
through building successful preliminary development model

글 : 편집부 (이메일 주소)

재해예방형 도로 구축과 보편적 사회복지 공헌

최근 도심부 도로가 갑자기 침하되어 인명 및 차량이 함께 사망하는 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 서울시의 경우, 최근 5년간 도로함몰, 맨홀 침하 등 싱크홀(Sink hole)로 추산한 결과 총 3,728건이 발생하였으며, 연간 약 600건이 넘는 것으로 나타났다. 또한 이러한 도로함몰로 인한 재해를 감소시키고 사고의 발생을 예측하기 위한 많은 연구가 시급한 상황이다.

지난 2015년 7월 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원의 지원하는 '도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발사업'의 착수보고서가 도로함몰 문제 해결 방안 마련의 근원적인 해결과 확장기술을 개발하고 있다. 세종대학교 건설환경공학과 이현종 교수가 연구책임자로 한국건설기술연구원, 한국도로공사 등 13개 기관과 함께 총 사업비 12억 원으로 3년 10개월 동안 수행하는 연구이다. 이 연구는 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발사업의 일환으로

[붙임50]
성과증빙 C-2-②

[붙임 7]

홈 > 뉴스 > 과학·기술

도로 침하.함몰 사고 예측 가능해진다

기사승인 2016.10.12 16:07:57

가- 가+

- 한국건설기술연구원, 국내 최초 실대형 도로 함몰 테스트베드 구축

도로 침하.함몰 사전 예고가 가능해질 것으로 보인다.

한국건설기술연구원(이하 KICT) 박희문 박사 연구팀은 국내 최초로 도로 침하 및 함몰 현상을 시뮬레이션 할 수 있는 '실대형 테스트베드(Test-bed)'를 KICT 일산 본원 내에 구축하고 '실대형 포장 가속시험'을 진행하고 있다.



(좌)한국건설기술연구원 실대형 포장 가속시험기 (우)실대형 도로붕공 테스트베드 (출처:한국건설기술연구원)

KICT 연구팀은 실대형 테스트베드에서 포장 가속시험을 통하여 국내 도로의 동공 발생에서 도로 함몰까지의 진행속도, 함몰 시점 파악, 동공의 크기와 깊이에 따른 도로 함몰 발생 시점을 정확히 파악할 수 있을 것이라고 전했다.

이번 실대형 테스트베드(Test-bed)를 통해 한국 도로에 맞는 위험도 등급을 산정할 수 있으며, 이 등급에 따라 도로 유지 보수 시점 및 알맞은 공법을 선정할 수 있는 기준이 마련될 것으로 보인다.

한국건설기술연구원 이택식 원장은 "실대형 포장 가속 시험 연구를 통하여 도로함몰 대응에 필요한 기술력을 확보하고, 향후 도로함몰 발생 빈도를 줄여 국민들에게 더욱 안전한 도로환경 제공을 기대할 수 있을 것이다."라고 말했다.

박민정 기자 pmj@bttimes.co.kr

<저작권자 © BT Times 무단전재 및 재배포금지>

[붙임51~53]
성과증빙 D-1-③

서울시 공무원 및 업체 관계자 대상 동공탐사교육

□ **교육기관** : 서울시 품질시험소
□ **교육내용** : 동공탐사장비 소개(구성, 성능, 정책, 조사절차, 동공자료 등) 및 탐사시연

번호	일시	교육사진	교육인원
1	2016.05.20		14명
2	2016.09.02	 	13명
3	2016.09.21		18명

[붙임54]
성과증빙 C-2-②

1. 도로함몰 확산모형 육안조사를 위한 테스트베드

목적	도로함몰 확산모형 육안조사
위치	한국건설기술연구원 포장가속시험동
제원	- 시험 포장 면적 : 10m×2m=20㎡ - 시험 포장 두께 : 표층-20cm(약 10톤), 기층-80cm(약 40톤), 배수층-20cm(약 10톤)
시험방법	- 1일차 시공은 배수층 설치 및 아크릴, 모의동공(얼음) 매설, 아스콘 표층 포설 및 양생 - 2일차는 측면 참호 제작을 통해 아크릴 내부가 보일 수 있도록 하고, 포장가속시험기를 운행하여 도로함몰 확산모형을 육안으로 파악
특징	- 1차 실대형 테스트베드 구축 및 포장가속시험을 통해 장기공용성능 평가하고, 도로함몰 발생과정을 육안으로 파악 가능 - 공용성능 평가 입증을 통한 해외진출 홍보 활용

[붙임55]
성과증빙 C-2-②

2. 도로함몰 확장시기 예측을 위한 테스트베드

목적	도로함몰 확장시기 예측
위치	한국건설기술연구원 포장가속시험동
제원	- 시험 포장 면적 : 10m×3m=30㎡ - 시험 포장 두께 : 표층-20cm(약 15톤), 기층-80cm(약 17톤), 배수층-20cm(약 6톤) - 1차 테스트베드 골재 일부 재사용으로 인한 재료량 감소
시험방법	- 깊이 별 도로동공의 확장 메커니즘 확인을 위해 통전센서를 매립하였으며, 이를 통해 포장가속시험기 운행 횟수에 따른 정확한 도로함몰 발생시기 파악 가능함
특징	- 2차 실대형 테스트베드 구축 및 포장가속시험을 통해 장기공용성능 평가하고, 도로함몰 발생시기 파악 가능 - 공용성능 평가 입증을 통한 해외진출 홍보 활용

<3차년도 성과점검 기준표>

구분	핵심연구성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준								해당 기관	예산 (백만)	정량목표	양적성과 지표 달성도	양적성과지표 근거자료
						질적성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	질적성과지표 달성도	질적성과지표 근거자료					
3차년도(2017)	CTE1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	①	도로지지력 평가 시스템 운용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	42p	세종대학교 UCF (주)지오메카이엔지 (주)로드텍	132.3	SCI논문 : 1건 현장검증 : 8건	100% 200%	붙임1 붙임43~50
					②	실대형 실험을 통한 시작품 하드웨어 개선 및 성능평가	15km/hr	점검속도	발표 및 시작품홍보 (동영상)	15	100%	41, 42p		397	시작품제작 : 0건	1건 추가	붙임32
	CTE2	도로함몰 위험도 분석 프로그램	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(동영상)	20	100%	44p	세종대학교 UCF (주)유디엔에스	529.3	특허출원 : 1건	100%	붙임28
					②	머신러닝/데이터 마이닝을 통한 공동 자동진단 알고리즘 개발 및 검증	18시간 이내	처리속도			100%	43p			학술발표 : 0건 특허출원 : 0건 S/W : 0건	2건 추가 2건 추가 2건 추가	붙임16,20 붙임26,27 붙임29,30
					③	도로함몰 위험도 평가 소프트웨어 개발	1건	S/W 개발 건수	S/W 등록증	10	100%	43, 44p		264.7	학술발표 : 0건 S/W : 1건 성과홍보 : 0건	1건 추가 100% 2건 추가	붙임9 붙임31 붙임33,34
	CTE3	도로함몰 위험도 평가기술	C-1	도로함몰 발생 확장 모형	①	도로함몰 위험도 요인 정량화	1건/15회	도로함몰 잠재적 위험도 요인 도출/ 도로함몰 모사 시험 횟수	보고서 및 논문	5	100%	45p	단국대학교 동의대학교	132.3	학술발표 : 0건	1건 추가	붙임25
					②	도로함몰 확장 시뮬레이션	함몰구현	함몰 확장 시뮬레이션 수행	발표(동영상)	5	100%	45p		132.3	비SCI논문 : 0건	1건 추가	붙임4
					③	도로함몰 발생 파괴기준 수립	1권	파괴기준 분류 보고서	보고서	5	100%	45, 46p		132.3	학술발표 : 1건	300%	붙임12,19,24
			C-2	도로함몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	①	도로함몰 분석 및 평가를 위한 계측 시스템	1권	계측 시스템	보고서	5	100%	42p	한국건설기술 연구원 서울과학기술 대학교	132.3	비SCI논문 : 0건 학술발표 : 1건 테스트베드 : 1건	1건 추가 200% 200%	붙임2 붙임10,18 붙임51,52
					②	환경을 고려한 실대형 포장가속시험 수행	2건/2건	테스트베드 구축건수/ 도로함몰 모사 시험건수	사진증빙 발표(동영상)	5	100%	46p		132.3	학술발표 : 1건	500%	붙임7,8,11,17,21

CTE4	재난예방형 도로관리시스템	D-1	도로함몰 위험도 분석 조서	①	도로함몰 패턴 정량화 및 위험도 기준 분석	1권	도로함몰 패턴분석 보고서	보고서	5	100%	47p	인덕대학교 서울특별시	132.3	학술발표 : 0건	2건 추가	붙임14,15
				②	도로함몰 현장조사(계속)	1권	도로함몰 현장 조사서 작성	보고서	5	100%	47p		132.3	학술발표 : 0건 성과홍보 : 0건 교육성과 : 0건	1건 추가 2건 추가 3건 추가	붙임13 붙임35,36 붙임40~42
				③	도로함몰 DB 구축(계속)	1권	도로함몰 DB 구축 보고서	보고서		100%	47p		132.3			
				④	도로함몰 위험도 기준(수정안) 제시	1권	위험도 기준 수정안 작성	보고서	5	100%	48p		132.3	비SCI논문 : 1건	100%	붙임3
		D-2	도로함몰 위험도 기반 복구 매뉴얼(안)	①	도로함몰 위험도 기반 복구 매뉴얼 제시(도심지, 국도/지방도)	2권	위험도 기반 복구 매뉴얼 작성	보고서	5	100%	48p	한국시설안전공단 서울특별시 (주)유디엔에스	132.3	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건 성과홍보 : 0건	100% 200% 3건 추가	붙임5 붙임6,23 붙임37~39
		D-3	포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	①	PMS 정량화 지표 연계 논리 연구	1권	연구 보고서 작성	보고서	5	100%	48p	명지대학교 동일기술공사	132.3	학술발표 : 0건	1건 추가	붙임22
계				-	-	-	-	-	100	-	최종보고서 Page	-	2646.5	논문 : 3건 발표 : 4건 특허 : 1건 S/W : 1건 기타 : 1건	논문 : 5건 발표 : 20건 특허 : 3건 S/W : 3건 기타 : 13건	44건

[붙임1]
성과증빙 A-1-①

SCI논문 1

Hindawi
Journal of Sensors
Volume 2017, Article ID 8516319, 11 pages
https://doi.org/10.1155/2017/8516319

Research Article

Decision Matrix Analysis of Impact Sounding Test Method to Determine Interlayer Condition of Concrete Bridge Deck

Cristina Amor Rosales,[1,2] Hyun Jong Lee,[1] Wonjae Kim,[1] and Chang kyu Park[1]

[1]*Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Chungmu-gwan, 98 Gunja-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Republic of Korea*
[2]*Department of Civil and Environmental Engineering, Batangas State University, Batangas City, Philippines*

Correspondence should be addressed to Hyun Jong Lee; hlee@sejong.ac.kr

Received 25 May 2017; Accepted 13 August 2017; Published 1 November 2017

Academic Editor: Zhou Zhi

Copyright © 2017 Cristina Amor Rosales et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This study focused on the analysis of the frequency spectra of impact sounding test performed on composite slabs with different interlayer condition. Distinct and consistent characteristics of the frequency spectra were observed from the impact signals. The consistency of results for bonding condition at varying temperature was also investigated. Results of laboratory tests were compared to different bonding condition observed in the field. Finally, a proposed decision matrix analysis was presented and successfully identified the interface bonding condition. The proposed decision matrix is composed of four zones characterizing each interlayer condition based on the features of impact signals. Field and laboratory assessment conform to decision matrix result.

1. Introduction

Bonding between pavement layers is an important factor for long term performance of asphalt concrete (AC) pavements and for the durability of bridge deck slabs. A decrease in the bonding strength at the interface between the AC deck pavement and Portland cement concrete (PCC) deck plate and increase in pavement deflection caused by traffic loading may result in accelerated fatigue damage in the pavement [1–3]. In addition, debonding between a water proofing layer and bridge deck may cause more serious problems to the bridge deck. Water and/or deicing salt could easily penetrate into the concrete deck resulting in deterioration of concrete slab and corrosion of reinforcements [3, 4]. Therefore, appropriate interlayer bonding is essential to achieve the long term durability of the AC-PCC bridge deck pavement.

Evaluating the amount of debonding area developed in the bridge deck is very important to determine proper timing and methods for repair or rehabilitation. However it is not an easy task because debonding cannot be determined by visual inspection of the pavement, especially at the early stages of deterioration. Therefore, nondestructive tests (NDTs) such as impact echo (IE), ground penetrating radar (GPR), and sounding methods have been applied to determine the condition of bridge deck pavements. American Society for Testing and Materials (ASTM) released guidelines and methods for detecting delamination using sounding (ASTM 4580), infrared thermograph (ASTM 4788), and GPR (ASTM D6087) [5–7]. These approaches focused on concrete bridge deck condition but not on the interlayer debonding problems. The second Strategic Highway Research Program (SHRP-2) was recently conducted to evaluate the efficiency of available NDTs in determining delamination and debonding of pavement infrastructures [8]. GPR methods displayed limitations on determining delamination in shallow depth or on wet conditions and detailed boundaries of damaged area at fast survey [9]. Previous study indicated that GPR tests succeeded in detecting 33% of simulated debonded sections and could only qualitatively identify severely debonded areas with presence of moisture [10]. The limitation of IE/SASW tests is greatly affected by the temperature of AC pavements and the slow-walking speed limits [8]. The IE method was also found to be limited to certain deterioration size and shallow delamination which generates vibration frequency [11].

[붙임2]
성과증빙 C-2-①

비SCI논문1

Int. J. Highw. Eng. Vol. 19 No. 5 : 69-75 OCTOBER 2017
https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.5.069

도로동공 탐지에 적합한 GPR 타입 선정에 관한 연구

A Study on the Selection of GPR Type Suitable for Road Cavity Detection

김 연 태 Kim, Yeon Tae | 정회원 - 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)
최 지 영 Choi, Ji Young | 정회원 - 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : legion@kict.re.kr)
김 기 덕 Kim, Ki Deok | 정회원 - 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : paestum3@naver.com)
박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 - 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to evaluate different types of Ground Penetrating Radar (GPR) testing for characterizing the road cavity detection. The impulse and step-frequency-type GPR tests were conducted on a full-scale testbed with an artificial void installation. After analyzing the response signals of GPR tests for detecting the road cavity, the characteristics of each GPR response was evaluated for a suitable selection of GPR tests.

METHODS : Two different types of GPR tests were performed to estimate the limitation and accuracy for detecting the cavities underneath the asphalt pavement. The GPR signal responses were obtained from the testbed with different cavity sizes and depths. The detection limitation was identified by a signal penetration depth at a given cavity for impulse and step-frequency-type GPR testing. The unique signal characteristics was also observed at cavity sections.

RESULTS : The impulse-type GPR detected the 500-mm length of cavity at a depth of 1.0 m, and the step-frequency-type GPR detected the cavity up to 1.5 m. This indicates that the detection capacity of the step-frequency type is better than the impulse type. The step-frequency GPR testing also can reflect the howling phenomena that can more accurately determine the cavity.

CONCLUSIONS : It is found from this study that the step-frequency GPR testing is more suitable for the road cavity detection of asphalt pavement. The use of step-frequency GPR testing shows a distinct image at the cavity occurrences.

Keywords
Ground Penetrating Radar, Impulse, Step-Frequency, Simulated Road Cavity, Testbed

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 11, 2017 Revised Sep. 10, 2017 Accepted Sep. 13, 2017

1. 서론

최근 도로동공 탐지와 관련하여 Ground Penetrating Radar(GPR) 장비를 활용한 연구가 가장 활발하게 수행되고 있다. GPR 장비를 이용한 지반 탐사는 30~40년 전부터 폭 넓은 분야에서 발전하였으며, 도로 하부 조사 외에도 광산의 자원 매장량 탐지, 지중구조물 조사, 지구물리학의 지층 정보를 제공하는 용도로 광범위하게 사용되고 있다(David J, 2005). GPR장비의 올바

[붙임3]
성과증빙 D-1-④

Int. J. Highw. Eng. Vol. 19 No. 5 : 59-68 OCTOBER 2017
https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.5.059

FWD 처짐량 기반 도로 공동 및 함몰 위험도 평가 기초 연구

Preliminary Evaluation of Subsurface Cavity and Road Cave-in Potentials Based on FWD Deflections

김 태 우 Kim, Tae-Woo | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : 77twkim@seoul.go.kr)
윤 진 성 Yoon, Jin-Sung | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : jsyoon94@seoul.go.kr)
이 창 민 Lee, Chang Min | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : min7872@seoul.go.kr)
백 종 은 Baek, Jongeun | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 센터장 · 교신저자 (E-mail : jbaek@seoul.go.kr)
최 연 우 Choi, Yeon-Woo | 서울특별시 도로관리과 도로관리팀장 (E-mail : cywem@seoul.go.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the potential risk level of road cave-ins due to subsurface cavities based on the deflection basin measured with falling weight deflectometer (FWD) tests.

METHODS : Ground penetrating radar (GPR) tests were conducted to detect road cavities. Then FWD tests were conducted on 13 pavement test sections with and without a cavity. FWD deflections and a deflection ratio was used to evaluate the effect of geometry of the cavity and pavement for road cave-in potentials.

RESULTS : FWD deflection of cavity sections measured at 60 cm or a closer offset distance to a loading center were 50% greater than more robust sections. The average deflection ratio of the cavity sections to robust sections were 1.78 for high risk level cavities, 1.51 for medium risk level cavities, and 1.16 for low risk level cavities. The relative remaining service life of pavement with a cavity evaluated with an surface curvature index (SCI) was 8.1% for the high level, 21.8% for the medium level, and 89.8% compared to pavement without a cavity.

CONCLUSIONS : FWD tests can be applied to detect a subsurface cavity by comparing FWD deflections with and without a cavity measured at 60 cm or a closer offset distance to loading center. In addition, the relative remaining service life of cavity sections based on the SCI can used to evaluate road cave-in potentials.

Keywords
Falling Weight Deflectometer, Deflection Basin, Subsurface Cavity, Road Cave-in, Remaining Service Life

Corresponding Author : Baek, Jongeun
The Pavement Research Center, Quality Inspection Office Division, Seoul Metropolitan Government, 131, Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul, 06763, Korea
Tel : +82.2.3462.6718 Fax : +82.2.3462.6710
E-mail : jbaek@seoul.go.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 10, 2017 Revised Sep. 11, 2017 Accepted Sep. 13, 2017

1. 서론

최근 국내에서 자주 발생하는 지반함몰은 대부분 노후 상·하수도의 손상, 느슨하게 다져진 굴착복구 구간, 공사구간 지하수 유출 등으로 인하여 토사가 유출되어 생성된 공동(서울시에는 주로 "동공"으로 표기함)이 무너져서 발생한다(Choi et al. 2015; Kuwano 2015). 이러한 지반함몰을 예방하기 위한 일환으로 발생원인인 공동을 찾기 위하여 전자기파를 이용한 비파괴시험인

[붙임4]
성과증빙 C-1-②

한국지반공학회논문집 제33권 7호 2017년 7월 pp. 43 - 53
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.33, No.7, July 2017 pp. 43 - 53

ISSN 1229-2427 (Print)
ISSN 2288-646X (Online)
https://doi.org/10.7843/kgs.2017.33.7.43

개별요소법을 활용한 도로함몰 발생과 전개거동 예측

DEM Simulation on the Initiation and Development of Road Subsidence

김 연 호[1] Kim, Yeonho
박 성 완[2] Park, Seong-Wan

Abstract

Road subsidence, frequently occurring in urban areas, is caused by collapsing of surface layer due to underground cavities followed by a loss of soils. To better understand this phenomenon, the mechanism of cavity formation should be identified firstly. Two kinds of possible subsidence mechanisms were established through previous case studies and the numerical analyses based on Distinct Element Method were conducted for each of these mechanisms. It was confirmed that particle loss and surface settlement can develop differently depending on slit size, void ratio, and particle shape among the various factors influencing the road subsidence. The result demonstrated that the effects of varying cavity diameter and depth could be quantified as a damage chart.

요 지

최근 도시지역에서 빈번하게 발생하는 도로함몰은 지하에 생성된 동공으로 인해 지표면이 붕괴되는 현상을 의미한다. 지하 공간에서 동공 생성 과정과 생성된 동공이 도로함몰로 이어지는 현상을 이해하기 위해서는 동공의 형성 메커니즘을 명확히 이해할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 사례와 여러 모델 시험 결과를 분석하여 두 가지 가능한 메커니즘을 제시하였으며 각 메커니즘에 대해 개별요소법 기반의 수치해석 시뮬레이션을 수행하였다. 특히, 도로함몰 영향인자 중 토사 유출구의 크기와 지반의 간극비, 지반 구성 입자 형상의 영향을 확인하기 위한 수치해석을 통해 유출구 특성과 지반 조건에 따라 입자 손실과 지표 침하가 다르게 발생할 수 있음을 확인하였다. 또한, 불연속 침하 해석 결과로 본 연구에서 제시한 도표를 통해 동공의 지름과 심도를 통해 지반의 포화 시 거동을 예측할 수 있다.

Keywords : Road subsidence, Cavity, Discrete Element Method

1. 서 론

최근 도심지에서 빈번하게 발생하는 도로함몰은 지반 내 동공에 의해 상부 포장층이 붕괴됨에 따라 발생하며 도로함몰의 근본적인 원인은 지하공간에서의 토사 유출이다. 도로함몰로 인한 사회적 문제가 심각해짐에 따라 2016년 서울시에서는 보도 자료를 통해 도로함몰의 발생원인, 빈도, 현황 등을 조사, 분석하여 기본적인 도로함몰 메커니즘을 규명하였다. 도로함몰은 도로하부 토사가 유출됨에 따라 동공이 형성되고 이후 지하수위 변

1 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ.)
2 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ., Tel: +82-31-8005-3472, spark@dankook.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2018년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2017 by the Korean Geotechnical Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[붙임5]
성과증빙 D-2-①

도심지 개착식 굴착공사 붕괴사고 및 도로함몰 저감을 위한 우선 관리 요소 결정

성주현[1] · 정민형[2*]

[1]정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소, 책임연구원
[2]비회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소, 선임연구원

Determination of priorities for management to reduce collapse accident of open excavation and road sink in urban areas

Joo-Hyun Seong[1] · Min-Hyung Jung[2*]

[1]Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Research Institute for Infrastructure Performance, Principal Researcher
[2]Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Research Institute for Infrastructure Performance, Senior Researcher

*Corresponding Author : Min-Hyung Jung, mhjung@kistec.or.kr

Abstract

The collapse accidents during a open ground excavation in urban areas not only lead to human injuries and material damages in the construction site, but also lead to road sinks and damages to the adjacent facilities due to settlement of ground around the construction site. Therefore, during a open ground excavation in the urban areas, it is necessary to thoroughly prepare for prevention of collapse accidents, and consider whole construction stage such as planning, design and construction. In this study, the priorities to be managed mainly were obtained in order to prevent collapse accidents during a open ground excavation. After analyzing results from past accidents cases for open ground excavations, priorities were evaluated regarding collapse-inducing elements using the Delphi technique which is a decision-making method by consensus among experts. As a result, insufficient groundwater treatment, bad geotechnical investigation and instability on construction, etc. were obtained as priorities for prevention of collapse accidents.

Keywords: Open ground excavation, Accident cases, Delphi survey, Priorities

초 록

도심지 개착식 굴착공사 중 발생하는 붕괴사고는 공사장 내에서의 인명 및 물질적 피해를 불러일으킬 뿐만 아니라, 공사장 주변의 지반침하로 인한 도로함몰 및 시설물 피해를 유발한다. 따라서, 도심지에서 개착식 굴착공사를 수행함에 있어서, 계획, 설계 및 시공의

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
19(3)489-501(2017)
https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.3.489

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received April 14, 2017
Revised May 2, 2017
Accepted May 16, 2017

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright ⓒ 2017, Korean Tunnelling and Underground Space Association

[붙임6]

성과증빙 D-2-①

National Cheng Kung University
No.1, University Road, Tainan City 701, Taiwan (R.O.C.)

16th International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE 2017)

Session Schedule

November 14, 2017 (Tuesday) 10:50 ~ 12:30						
Session CE-9 : Civil Engineering-9		Chair: Kenji KAWAI		Location: Room 5		
Time	Title	Author	Reporter	Institution	Nation	Page
10:50 ~ 11:10	Effect of Chloride Solution on Adsorption and Desorption of Lead in Cement Hydrates	Shaojun Zhou, Masaharu Yamasaki, Yuko Ogawa andKenji Kawai	Shaojun Zhou	Hiroshima University	China	91
11:10 ~ 11:30	Behavior of Moisture and Carbonation in Mortar Containing Polypropylene Fibers after Exposed to High Temperature	Totsawat Daungwilailuk, Tatsuya Kitagawa, Phuong Trinh Bui, Yuko Ogawa and Kenji Kawai	Totsawat Daungwilailuk	Hiroshima University	Japan	93
11:30 ~ 11:45	Development of IoT sensing modulus for infinite slope failures	Wen-Jong Chang, Shih-Hsun Chou and Jyh-Fang Chen	Shih-Hsun Chou	National Cheng Kung University	Taiwan	95
11:45 ~ 12:00	An analytical model considering variation of compressibility and radial permeability due to PVD-Installation	Ba-Phu Nguyen, Dae-Ho Yun and Yun-Tae Kim	Ba-Phu Nguyen	Pukyong National University	Korea	97
12:00 ~ 12:15	Chemical and Microstructure Properties of Cement Treated Marine Clay in Solidification Process	Hiroyasu Kasu, Takashi Tsuchida and Gyeong OKang	Hiroyasu Kasu	Hiroshima University	Japan	99
12:15 ~ 12:30	Development Flow Chart and Checklist of Restoration of Road Sink in Urban Areas	Seo Jeongeun , Seong Joohyun, Jung Minhyung and Choi Byoungi	Jeongeun Seo	Korea Infrastructures Safety&Technology Corporation	Korea	101

[붙임7]
성과증빙 C-2-②

Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields – Loizos et al. (Eds)
© 2017 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-29595-7

Use of accelerated pavement testing for degree of risk due to road cavity

Hee Mun Park, Yeon Tae Kim, Ji Young Choi & Booil Kim
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

ABSTRACT: Recently, the various types of cavities under the road pavement have been frequently occurred in the urban area of Seoul, Korea. These cavities cause the collapse and settlement in the pavement and have a bad influence on safety of driver. The objective of this study is to evaluate the effect of size and depth of cavities on the pavement failure using the accelerated pavement testing. Two rectangular shape of cavities were installed at depth of 0.3 and 0.7 m from the surface in the testbed. The cavities are made of ice with 0.5*0.5*0.3 m of dimension. The thickness of asphalt and base layer were 0.2 m and 0.3 m, respectively. An 80 kN of wheel loading was applied on pavement section with 10 km/h of speed. The permanent deformation was measured periodically at given number of repetitions. For cavity section of 0.7 m depth, the 30 mm of permanent deformation was measured at 90,000 load repetitions which is three times greater than intact section. In case of section with cavity at the depth 300 mm from the surface, about 900 mm of permanent deformation was measured at 32,000 load application which is twenty times higher than cavity section of 0.7 m depth.

[붙임8]
성과증빙 C-2-②

Manuscript

Click here to download Manuscript 1.docx

A Study of Road Collapse Mechanism Using the Accelerated Pavement Testing

Kim, yeontae., Park, Heemun
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)

Recently, anxiety of the people is increasing due to road depression occurring in the Korean cities. A lot of related researches are going on in Korea. In this study, a simulated cavity (ice) was placed 50cm below the surface, and its size was designed as 1m in width and 50cm in height. In addition, a method of laying the drainage layer 20 cm was provided to facilitate the drainage of the melted ice. A specially made acrylic of 200 times the strength of ordinary acrylic was installed to withstand the sand pressure during the acceleration of the accelerated pavement tester (APT). In addition, we designed the road collapse mechanism to be directly visible to the naked eye. A strain meter was embedded at the bottom of the surface layer, and the positions were embedded in the intact area, the vertical part of the center of the cavity, and the cavity side.

[붙임9]
성과증빙 B-1-③

도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발

Development of Evaluation and Analysis Technologies for Road Sinkhole

이종재* · 김기덕** · 이현종***

Lee, Jong Jae · Kim, Ki Deok · Lee, Hyun Jong

일명 '싱크홀'이라는 용어로 잘 알려진 '도로함몰'이란 도로하부에서 생성된 '동공'에 의해 상부도로가 지지력을 잃고 내려앉는 현상을 말한다. 실제로 싱크홀 현상이란 석회질 지반의 용해로 비롯한 자연적인 침하 현상으로 주로 인위적인 요인에 의해 발생하는 도로함몰과는 차이가 있다. 이러한 도로함몰은 언제 어디서 발생할지 알 수 없어 국민들의 불안감을 증대시키며 실제 인명 및 재산피해를 초래할 가능성이 있다. 실례로 지난 2010년부터 지금까지 서울시 내에서만 매년 600건 이상의 도로함몰이 발생하였다.

도로함몰의 직접적인 원인은 도로하부 지반에 발생된 동공이다. 동공이란 지반 내부에 생성된 빈 공간을 일컫는 것으로 보통 상하수도관의 누수나 굴착복구공사 과정에서 토사의 유출에 의해 발생된다. 이러한 동공은 원인이 제거되지 않는 이상 점점 아스팔트 포장 하부까지 확장되어 도로함몰을 일으킨다. 즉, 도로함몰을 예방하기 위해서는 동공을 미리 발견하고 위험도를 분석할 수 있는 기술개발이 필요하다.



그림 1. 도로함몰 사고사례 (출처: 서울시)

가장 효과적인 동공탐사기법은 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, 이하 GPR)을 활용한 방법이다. 이는 방출된 전자기파의 반사신호를 측정하여 지반상태를 볼 수 있는 장비이다. 국내의 경우 이미 다수의 관련기관 및 업체들이 해외 GPR탐사기술을 벤치마킹 하여 상당수준의 탐지정확성을 확보한 상황이다. 국내 동공탐사기법은 차량형 GPR을 활용한 도로조사 데이터 확보 후 전문가가 직접 육안으로 데이터를 분석 하고 의심구간을 천공하여 확인하는 방식으로 구성된다. 그러나 육안조사방식은 분석자의 능력, 경험에 따라 탐지정확도의 차이가 심하며 또한 2km의 데이터 분석기준으로 약 12시간 이상의 장시간이 소요된다는 단점이 있다. 현재 서울시에만 집중되고 있는 동공탐사영역을 전국으로 확장할 경우 기존조사방식을 개선하지 않는다면 막대한 예산과 인력이 필요할 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 동공탐지 정확성을 올리고 탐사, 분석시간을 단축하기 위한 도로함몰 조사시스템의 구축을 목표로 하고 있다. 도로함몰 조사시스템은 크게 복합탐지 차량과 분석 프로그램으로 구성된다. 첫 번째로 복합탐지 차량이란 GPR을 비롯하여 도로의 노면균열, 종단편탄성, 소성변형을 측정할 수 있는 센서들과 위치정보를 동기화 할 수 있는 거리측정기, GPS가 탑재된 장비로 현재 구축이 완료되어 현장적용 및 검증을 진행 중이다. GPR데이터를 활용한 지반 하부 데이터를 측정할 뿐만 아니라 노면의 균열상태, 소성변형량 등을 함께 조사하여 탐지정확성과 도로함몰 위험도 예측이 가능하다. 나아가 도로함몰 데이터를

* 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 부교수, 공학박사 (E-mail:jongjae@sejong.ac.kr) - 발표자
** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정, 공학석사 (E-mail:paestum3@sju.ac.kr)
*** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 정교수, 공학박사 (E-mail:hlee@sejong.ac.kr)

[붙임10]
성과증빙 C-2-①

도로공학

2017 대한토목학회 정기학술대회

FWD 역산을 통한 도로동공구간 구조적 지지력 평가

Evaluation of Structural Capacity in Road Cavity Sections using FWD Deflection Backcalculation Approach

박희문* · 백종은** · 김태우*** · 최연우**** · 김연태*****

Park, Hee Mun · Baek, Jong Eun · Kim, Tae Woo · Choi, Yeon Woo · Kim, Yeon Tae

최근 도심부에서 다양한 원인에 의한 도로하부 동공생성 및 함몰사고가 발생하여 도로운전자의 안전을 위협하고 있는 실정이다. 현재 서울시에서는 Ground Penetrating Radar (GPR) 시험을 통하여 도로동공의 발생 위치 및 규모를 탐지하고 있다. 본 연구에서는 GPR 시험을 통하여 탐지된 주요 도로동공구간에서 Falling Weight Deflectometer (FWD) 시험을 수행하였으며 이를 통하여 도로동공 발생에 따른 아스팔트 포장의 구조적 지지력 감소효과를 평가하였다. 현장에서 측정된 FWD 처짐값과 코어를 통하여 파악된 포장층 두께를 이용하여 역산기법을 적용하여 포장층별 탄성계수를 산정하였다. 건전구간과 동공구간에서 산정된 포장층별 역산탄성계수값의 비교를 통하여 아스팔트 포장의 구조적 지지력 감소량을 정량적으로 평가하였다.

핵심용어 : 도로동공, GPR, FWD, 구조적 지지력, 탄성계수

1. 서 론

본 연구의 목적은 도로동공 발생에 따른 아스팔트 포장의 지지력 감소량을 FWD 역산결과를 통하여 평가하는 것이다. 아스팔트 동공구간과 인접한 건전구간에서 취득한 FWD 처짐값에 대하여 역산기법을 적용하여 포장층별 탄성계수를 산정하였다. 동공 및 건전구간에서의 역산 탄성계수를 상호 비교하였으며 동공 발생시 아스팔트 포장의 구조적 지지력 감소를 층별 역산탄성계수를 이용하여 정량화하였다. 도로하부 동공 깊이와 크기는 아스팔트 포장의 지지력 감소에 영향을 미칠 것으로 판단되며 향후 유지보수 시기 결정에 중요한 자료로 사용하고자 한다.

2. 아스팔트 포장층별 탄성계수 역산

서울시에서는 도로동공이 발생한 4개구간 (13지점)에서 FWD 시험을 수행하였으며 지점별로 코어작업을 통하여 아스팔트 포장층 두께와 도로동공의 깊이 및 규모를 파악하였다. 비교의 목적으로 동공발생지점 근처의 건전구간을 선정하여 FWD 시험을 수행하였다. 도로동공구간에서 수행한 FWD 처짐값과 아스팔트 포장층의 두께를 입력변수로 하여 포장층별 탄성계수를 역산하였다. 탄성계수 역산을 위하여 한국건설기술연구원에서 개발한 GAPAVE 프로그램을 활용하였다 (박성완, 2007). 본 프로그램은 유한요소해석 모듈과 유전자 알고리즘 모듈로 구성되어 있으며 현장에서 측정된 FWD 처짐값과 유사한 경우의 아스팔트층 탄성계수를 산정하게 되어 있다. 현장에서 측정된 FWD 처짐값은 측정당시 온도가 상이함으로 구간별 비교 및 평가를 위하여 역산기법 적용전에 대표온도 기준으로 처짐값의 보정이 필요하다. 본 연구에서는 미국 노스캐롤라이나 도로국에서 제시한 FWD 처짐값 보정식을 이용하여 현장에서 측정된 처짐값을 대표온도 20도로 보정한 후에 역산을 수행하였다 (Park, 2002).

* 정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원, 공학박사 (E-mail:hpark@kict.re.kr) – 발표자
** 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 센터장, 공학박사 (E-mail:jbaek@seoul.go.kr)
*** 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관, 공학박사 (E-mail:77twkim@seoul.go.kr)
**** 정회원 · 서울특별시 안전총괄본부 도로관리과 도로관리팀 팀장 (E-mail:cywem@seoul.go.kr)
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 선진연구원 (E-mail:kyt@kict.re.kr)

[붙임11]
성과증빙 D-1-③

도로공학

2017 대한토목학회 정기학술대회

포장가속시험을 통한 도로함몰 테스트베드구간의 소성변형 특성 기초 연구

A Preliminary Study on Rut-Depth Characteristics of Simulated Road Collapse Testbed using Accelerated Pavement Testing

박희문* · 김연태** · 최지영***
Park, Hee Mun · Kim, Yeon Tae · Choi, Ji Young

최근 국내에서 발생하는 도로 함몰로 인해 국민들의 불안감이 증대되고 있는 실정이다. 이에 따라 도로 함몰을 예방하고 발생된 동공의 확장 메커니즘을 파악하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 보유한 포장가속시험기를 활용하여 동공 유무에 따라 동공구간과 건전구간으로 나누어 소성변형량을 측정하였다. 동공은 위험도 등급에 따라 국내에서 가장 많이 파악되는 깊이와 크기로 매설하였다. 포장가속시험을 통해 장비 운행 횟수에 따른 소성변형량을 비교하였고, 각 구간 별 특성을 파악하였다.

핵심용어 : 포장가속시험기, 테스트베드, 아스팔트, 도로함몰, 소성변형

1. 서 론

본 연구에서는 선행연구 결과를 바탕으로 도로함몰 모사 테스트베드를 구축하고, 포장가속시험기 운영을 통해 각 구간 별 소성변형 특성을 분석하였다. 동공 구간과 건전 구간의 하중재하 횟수 별 소성변형량의 추이를 확인하였고, 횟수 증가에 따른 소성변형량 증가 추세를 파악하였다.

2. 테스트베드 구축

도로 함몰 모사를 위해 모의 동공을 그림 1과 같이 매설하였으며, 매설 위치는 도로함몰이 주로 발생하는 아스팔트 포장 하부 0.5m, 동공폭 1.0m로 결정하였다. 이는 표 1에서 위험도등급 B에 해당하는 수준으로 본 연구결과를 바탕으로 위험도 등급 A, C의 포장가속시험 시 하중재하 목표횟수와 소성변형 추세를 짐작할 수 있는 기초 자료로 활용가능 할 것으로 판단되었다.



그림 1 도로함몰 모사 테스트베드 구축 전경

표 1 도로함몰 위험도 등급 기준(박희문 외, 2016)

위험도 등급	위험도 산정 기준	대응방안
A	토피 0.3m 이내 또는 토피 0.3m 이상이고, 동공폭 1.5m 이상	긴급보수
B	토피 0.3m 이상이고, 동공폭 0.5m~1.5m	일반보수 (무기전 보수완료)
C	토피 0.3m 이상이고 동공폭 0.5m 이내	경과관찰

* 정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail:hpark@kict.re.kr) - 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 선진연구원 (E-mail:kyt@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail:legion@kict.re.kr)

[붙임12]
성과증빙 C-1-③

학술발표7

2017 대한토목학회 정기학술대회
[부산 지역 세션] 지반함몰(싱크홀)의 원인, 조사 대책

도로함몰 발생 원인과 매커니즘

Causes and Mechanism of Cave-in in Road

권기철*
Kweon, Gi Chul

도로함몰은 때로는 인명피해를 수반하는 심각한 사고로 이어지기도 하고 교통흐름 방해를 초래하는 등 시민안전의 위협 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 도로함몰의 기초적인 매커니즘 규명을 위해 사례분석과 2차원 모형토조 시험을 수행하였다. 사례분석을 통해 도로함몰의 공학적 특성과 기본적인 원인을 분석하였다. 모형토조 시험은 다양한 조건에서의 도로함몰의 정성적인 특성 규명에 초점을 두고 진행하였고, 시험결과로부터 도로함몰의 기본적인 매커니즘을 제시하였다.

핵심용어 : 도로함몰, 모형토조, 토사유출, 하수관거

1. 서 론

도로함몰은 도로 하부 지반에 발생한 동공이 함몰로 진행된 것인데, 동공의 발생·확장은 특별한 징조 없이 진행되다가 갑작스러운 붕괴에 의해 도로 표면에 큰 구덩이를 형성한다. 도로함몰 매커니즘 규명이 어려운 가장 큰 이유는 도로함몰에 대한 체계적인 조사가 어렵기 때문이다. 도로함몰이 발생하면 대부분의 경우 즉시적으로 복구가 이루어지기 때문에 현장조사를 통한 엄밀한 원인 분석에 한계점이 있다(Kuwano 등, 2012; Sato 등, 2013).

도로함몰의 정확한 원인 및 매커니즘이 규명되지 못하고 있어, 도로 하부의 동공을 붕괴(함몰) 이전단계에서 다양한 탐사방법에 의해 발견해냄으로써 실질적인 피해를 최소화하는 노력이 우선적으로 진행되고 있다(서울시, 2015; Kuwano 등, 2012). 도로 하부의 동공을 사전에 효과적으로 탐사하는 것은 도로함몰 피해를 실질적으로 저감할 수 있으나 도로함몰의 직접적인 원인인 동공 발생을 억제하는 근원적인 대책이 되지는 못한다. 도로함몰을 근원적으로 차단하기 위해서는 도로하부 동공 발생의 원인 및 매커니즘을 규명하는 것이 무엇보다 중요하다.

2. 사례분석을 통한 도로함몰의 기본적인 원인 분석

서울시의 사례를 살펴보면 도로함몰의 직접적인 원인으로 추정되는 요인은 크게 하수관거 손상(81%), 상수관거 손상(2%), 굴착관련(17%)으로 대별된다. 전체 도로함몰에서는 하수관거 손상이 81%로 가장 큰 부분을 차지하나, 함몰의 크기가 2m×2m 이상인 경우에 대해서는 굴착관련 문제가 57%로 가장 큰 비중을 차지하고, 상수관거 손상(29%), 하수관거 손상(14%)순으로 조사되었다. 도로함몰 지역의 토사 유출경로는 ①하수관 유입, ②매설관 하부공간 유입, ③매립재 공간 유입, ④구조물 배면 유입으로 분석하고 있다(서울시, 2015). 시기적으로는 강우시 및 강우 후에 집중되고 계절적으로는 여름에 집중적으로 발생(약 40.1%)하고 있다. 이는 도로함몰이 도로하부의 물의 흐름과 밀접한 관련이 있음을 나타내는 것이다.

일본의 사례에서는, 도로 하부의 동공 발생 원인으로 구조물 주변의 토사유출(관거의 파손 및 접합부위 불량 등), 다짐 불량에 의한 구조물 주변 지반의 침하, 대형 구조물 설치에 의한 지하수 흐름 변화, 강우 등에 의한 지하수위 변동, 지진, 인접한 호안으로의 유출 등을 원인으로 추정하고 있다(Kuwano 등, 2012).

* 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (E-mail:gckweon@deu.ac.kr) - 발표자

[붙임13]
성과증빙 D-1-②

2017 대한토목학회 정기학술대회
[부산 지역 세션] 지반함몰(싱크홀)의 원인, 조사 대책

도로공동 탐지 및 복구, 서울시 사례

Case Study of Road Cavity Detection and Repair in Seoul City

백종은* · 최연우** · 윤진성*** · 최현****
Baek, Jongeun · Choi, Yeonwoo · Yoon, Jin Seoung · Choi, Hyun

최근 도로함몰 발생으로 인한 도로안전에 대한 불안감이 심각한 수준에 이르러 이를 예방하기 위한 다양한 기술 및 정책이 제시되고 있다. 서울시는 2014년부터 도로함몰의 원인을 파악하기 위하여 함몰사고가 발생한 곳에 대하여 굴착복구를 통한 조사를 실시하였다. 정확한 도로함몰 통계를 작성하기 시작한 2014년 7월 이후 서울시에 발생한 도로함몰은 총 155건으로 원인별로 구분하면 하수관 손상이 78건(50%)으로 가장 많고, 굴착복구 구간 장기침하가 39건(25%), 상수관 손상이 22건(14%), 공사중함몰이 16건(10%)를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

서울시는 도로함몰을 예방하기 위하여 도로하부에 발생한 빈 공간, 즉 공동을 탐지하기 위하여 2014년부터 3차원 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar)를 기반으로 한 공동탐사장비를 이용한 공동탐사를 실시하고 있다. 또한 국내 최초로 자체 공동탐사장비를 2015년에 제작하였고, 지하 1.5m 이내에 있는 공동을 자체 및 외부용역을 통하여 탐사하고 있다. 2017년 5월 기준 약 3,000km(1차로 기준)의 도로에 대한 탐사를 완료하여 총 1,500개의 공동을 발견하였다.

공동은 다양한 크기, 심도를 가지며, 아스팔트층두께, 교통량 등 다른 도로환경 조건에 발생되어 있으므로 도로함몰 가능성이 다르므로 효율적인 공동관리를 위해서는 등급이 필요하다. 따라서 공동이 발생한 구간에 대하여 하중재하시험(정적 및 동적하중)을 통하여 표면처짐량을 측정하고 이를 유한요소로 해석하여 함몰 가능성을 평가하였다. 이 결과를 바탕으로 함몰 위험도에 따라 4단계(긴급복구, 우선복구, 일반복구, 관찰대상)로 공동을 구분하여 관리하고 있다. 긴급복구 등급(전체 중 2%)은 함몰 가능성이 매우 높아 발견 즉시 복구를 실시하고, 우선복구 등급(29%)은 돌발 강우발생 시 함몰 가능성이 높으므로 신속한 조치계획 수립 후 복구를 실시한다. 일반복구 등급(62%)은 향후 동공확대 등으로 인한 함몰 가능성이 있으므로 우기철 이전에 복구를 실시한다. 반면에 관찰대상 등급(7%)은 함몰될 위험성이 매우 낮아 일정기간 관찰한 후 복구를 실시한다. 이러한 관리 등급을 기준으로 발견된 공동 중 559개(37%)를 복구 완료하였다.

핵심용어 : 도로함몰, 공동, 지표투과레이더, 복구, FWD, 위험도

* 정회원 · 서울시품질시험소 도로포장연구센터 센터장, 공학박사 (E-mail:jbaek@seoul.go.kr) – 발표자
** 서울시 도로관리과 팀장, 공학석사 (E-mail:cywam@seoul.go.kr)
*** 서울시품질시험소 도로포장연구센터 주무관, 이학석사 (E-mail:jsyoon94@seoul.go.kr)
**** 서울시 도로관리과 주무관 (E-mail:chtry@seoul.go.kr)

[붙임14]
성과증빙 D-1-①

도로공학

2017 대한토목학회 정기학술대회

고속 푸리에 변환을 이용한 GPR 데이터의 정량적 분석방법 연구

Quantitative Analysis Method of GPR Data using Fast Fourier Transformation

곽대열* · 김재형** · 이상염***

Kwak, Dae Yeol · Kim, Jae Hyung · Lee, Sang Yum

지표투과레이더(GPR) 취득신호 분석은 분석자의 경험에 근거한 정성적 판단 위주로 행해지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고속푸리에변환(FFT) 알고리즘을 이용하여 GPR 데이터에 대한 정량화를 시도하였다. 그 결과로 동공과 건전부 구간에 대한 파형특징을 일부 확인하였으며, 추후 동공 데이터베이스 검증을 거쳐 신뢰도 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지표투과레이더, 동공, 도로함몰, 고속푸리에변환

1. 서 론

최근 도심지 지하공사 관리소홀 및 상·하수관로 노후화로 인해 발생한 함몰은 인명 및 재산피해를 유발하는 중대한 사회 문제로 인식되고 있다. 이로 인하여 현재 도심지 도로하부 동공탐사를 위해 비파괴시험 장비 지표투과레이더(Ground Penetration Radar; GPR)를 사용하고 있으며, 그에 대한 전문 인력의 수요 또한 증가하고 있는 추세이다. 그러나 종래의 분석기술은 전문가의 경험에 근거한 정성적 판단 위주로 행해지고 있어 데이터 신뢰성에 문제가 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 고속푸리에변환(Fast Fourier Transform; FFT) 알고리즘을 이용하여 GPR의 진폭데이터를 단순화한 정량적 분석방안을 제시하고자 한다.

2. GPR (Ground Penetration Radar)을 이용한 탐사

도로하부 동공탐사는 일반적으로 공용중인 도로에서 시행되므로 비파괴시험 장비가 선호되며(손수정 외, 2000) 그중에서도 GPR 등의 장비가 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 스웨덴 Cobra社의 핸디형 GPR을 탐사장비로 사용하였으며, 탐사구간은 서울시 송파구 일대의 외곽차로 긴급복구구간으로 오전 2시 전후 상대습도 43%에서 탐사를 진행하였다. 다음 그림 1은 연장 약 2.6m 구간을 탐사하여 취득한 이미지 데이터이며, 붉은 점선으로 표시한 것과 같이 심도 0.5m, 거리 1.75m에서 뚜렷한 이상신호를 관측할 수 있었다. 이상신호 구간의 심도별 진폭 값은 우측의 그림 2와 같다.

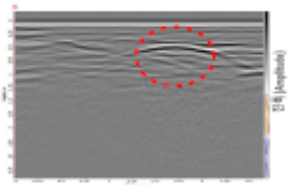


그림 1. GPR Raw Data

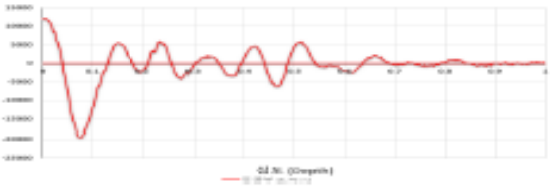


그림 2. 이상신호 구간 진폭 그래프

* 학생회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 학사과정 (E-mail:sys5404@naver.com) - 발표자
** 학생회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 학사과정 (E-mail:eozjs@naver.com)
*** 정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 조교수, 공학박사 (E-mail:yummy0220@induk.ac.kr)

[붙임15]
성과증빙 D-1-①

도로공학

2017 대한토목학회 정기학술대회

LFWD를 이용한 도로 표면 처짐값과 도로하부 동공의 상관관계 분석

Analysis of Correlation between Pavement Surface Deflection and Scale of the Road Cavities Using the LFWD Equipment

최준성* · 윤진성** · 이한***
Choi, Jun Sung · Yoon, Jin-Sung · Lee, Han

최근 다양한 방법으로 동공발생가능성을 파악하여 동공발생전에 예상지역을 예측하고 예상되는 지역을 굴착보수하고자 노력하고 있다. 본 연구에서는 LFWD 장비를 이용하여 동공 발생 여부와 도로하부의 동공의 규모, 심도 등을 파악하고자 처짐값 분석을 수행하고 굴착을 통해 직접 확인한 결과와 비교분석하였다. 본 연구를 통해 동공발생가능성뿐만 아니라 동공의 규모를 예측하므로써 도로함몰의 위험도를 평가하고 보수우선순위를 결정하는데 활용하고자 한다.

핵심용어 : 비파괴시험, LFWD, 처짐값, 탄성계수, 지지력

1. 서론

최근 노후화된 상하수도관 및 지하구조물 구축에 따른 다양한 공학적 원인에 의해 발생하는 도로함몰을 예방하고자 다양한 방법으로 도로 하부 동공의 발생여부를 파악하려고 하고 있다. 본 연구에서 적용하고자 하는 LFWD는 기존 연구에서 비파괴시험으로써 코어링 작업을 거치지 않고 처짐값 분석을 통해 간편하게 동공여부 및 정밀조사 필요여부를 판단할 수 있음을 제시하고 있다. 따라서 동공발생구간의 주요지역인 매설관주변, 지하공사구간, 지하철연결구간 및 GPR 조사에서 나타난 의심되는 구간들을 손쉽게 발생 가능성확인 및 추적조사에 활용될 수 있다.

2. 건전구간과 비건전구간의 처짐값 분석을 통한 동공발생가능성 평가

동공발생이 예상되는 구간들인 비건전구간과 인접한 같은 주행구간의 동공이 없는 건전구간에서 LFWD 처짐값 분석을 실시하고, 직접 굴착을 하여 그 지역의 동공깊이 및 동공규모를 확인하였다. 상대적인 처짐값을 표 1과 같이 비교분석한 결과, 다른 조사장비에서 동공가능성을 제시하였으나 본 처짐값 분석에서 차이가 나지 않았고, 실제 굴착시 동공이 아닌 경우를 알 수 있었다. 또한 동공이 발생한 구간의 처짐값이 상대적으로 동공이 없는 구간보다 처짐값이 대부분 1.5-2.5배로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 아스팔트층 하부직하 동공규모와 처짐값의 상관관계 분석

본 연구에서는 도로표면 처짐값을 이용하여 도로하부 동공규모를 예측하고자 처짐값과 동공규모의 상관관계를 분석하고자 한다. 직접 굴착하여 확인한 동공이 발생한 장소마다 아스팔트 두께가 다르고 동공의 규모가 다름으로 인해 먼저 동공깊이에 대한 정규화 분석결과, 동공이 표층으로부터 깊이가 깊을수록 처짐비가 낮아짐을 알 수 있다. 그러나 깊이별 데이터가 충분치 않음으로 깊이에 대한 상관관계는 추후 다양한 깊이에서의 동공에 대한 데이터 축적에 의하여 동공깊이에 대한 추가연구를 수행하여 동공깊이와 동공규모 예측 가능성을 제시하고자 한다.

* 정회원 · 인덕대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사 (E-mail:sbilpave@induk.ac.kr) - 발표자
** 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail:jsyoon94@seoul.go.kr)
*** 정회원 · 인덕대학교 토목환경공학과, 학사과정 (E-mail:leehanv630@naver.com)

[붙임16]
성과증빙 B-1-②

학술발표11

Basis Pursuit 기법을 이용한 GPR 데이터의 개선연구

김기덕* · 강만성** · 안윤규*** · 이현종****

최근 대도시의 도로하부 지반에 동공이 자주 발생되어 도로함몰로 이어지고 있다. 서울시에 따르면 동공과 도로함몰은 노후상하수관의 누수, 굴착공사불량 구간에서 대부분 발생하고 있다. 도로함몰은 시민들의 불안감을 야기할 뿐만 아니라 규모에 따라 인명사고로 이어질 수 있기 때문에 동공을 찾아 이를 미연에 방지하기 위한 대책이 필요하다. 대표적인 동공탐사방법은 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)를 활용하는 것으로 이는 방출된 전자기파의 반사파를 측정하여 지반상태를 측정할 수 있는 비파괴 검사장비다. 현재, 서울시를 비롯한 지자체, 관련업체들이 GPR장비를 구축하여 동공탐사를 수행하고 있다. 그러나 기존의 동공탐사방법은 전문가가 육안으로 직접 GPR데이터를 확인하는 것으로 2km 구간을 조사하는데 약 12시간의 긴 분석시간을 필요로 한다. 따라서 장시간의 분석시간을 절약하고 탐지 정확성을 향상시키기 위한 GPR데이터 분석 자동화 알고리즘 개발이 필요하다.

동공탐사의 자동화를 위해 GPR데이터의 이상구간의 탐지(Detection), 패턴인식(Recognition), 동공확인(Identification)의 총 3가지 단계를 설정하였으며, 현재 첫 번째 단계인 이상구간의 탐지를 위한 알고리즘을 개발 중에 있다. Basis Pursuit(BP) 알고리즘은 3차원 GPR 원 데이터를 BP Transformation으로 변환시키고 Noise Filtering기법을 개발/적용한 후 다시 Inverse BP Transformation을 거쳐 3차원 공간 이미지로 역변환함으로써 지반 하부 구조 및 도로동공으로 반사된 신호를 자동으로 개선하는 기법이다.

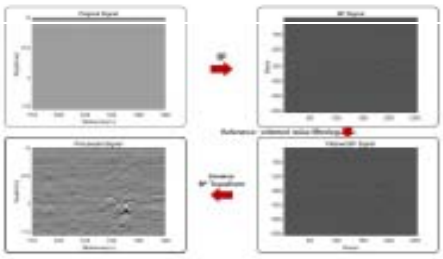


그림 1. BP 기법을 활용한 GPR 데이터의 개선 절차

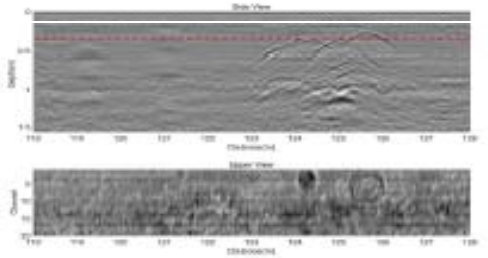


그림 2. BP 기법을 활용한 GPR 데이터의 개선 결과

그림 1은 실제 동공구간의 미가공 GPR신호를 BP기법을 통해 개선하는 절차이며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 결과에 나타난 바와 같이 원 신호에서 지배적이던 포장층의 강한 반사 신호를 두께와 상관없이 제거할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 전문가가 기존 상용프로그램을 활용하여도 유사한 개선성능을 보일 수 있으나 수동처리과정에서 데이터손실이 발생할 가능성이 있다. 즉, 본 기법을 적용할 경우 전문가의 판단에 의존하지 않고 하부지반과 동공으로부터 반사되는 GPR 신호를 자동적으로 추출할 수 있는 장점이 있다. 향후 GPR을 통해 3D 데이터를 계측하는 동시에 자동화 동공탐사가 가능하도록 하여 기존의 분석시간을 단축하여 현장적용성을 극대화 하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16TLRP-C099510-02)에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 지표투과레이더, Basis Pursuit 기법, 도로함몰, 동공

* 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : paestum3@sju.ac.kr)- 발표자
** 세종대학교 건축공학과 석사과정 (E-mail : kms102353@sju.ac.kr)
*** 정회원 · 세종대학교 건축공학과 전임교수 · 공학박사 (E-mail : yunkyuan@sejong.ac.kr)
**** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 정교수 · 공학박사 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)

[붙임17]
성과증빙 C-2-②

학술발표12

실대형 포장가속시험을 통한 도로함몰 확장 메커니즘 연구

김연태* · 박희문** · 최지영***

최근 대도시에서 발생하는 도로함몰로 국민들의 불안감이 증대되고 있으며, 그와 관련된 많은 연구들이 수행중에 있다. 본 연구에서는 지표면으로부터 50cm 하부에 모의 동공(얼음)을 설치하였으며, 그 크기는 가로세로 1m, 높이 50cm로 설계하였다. 또한, 배수층을 20cm 포설하는 방안을 마련하여 융해된 얼음의 배수가 용이하도록 하였다. 일반 아크릴의 200배 강도의 특수 아크릴을 설치하여, 포장가속시험기의 축하중에 따른 토압을 견디고, 동공의 확장 메커니즘을 육안으로 직접 확인할 수 있도록 설계하였다. 표층 하단부에 변형률계를 매립하였으며, 위치는 건전부, 동공 중심의 수직부, 동공 측면에 각각 매립하였다.

포장가속시험 결과 약 2000회 정도 운행 시 포장하부 골재가 대부분 떨어져 나가는 것을 확인할 수 있었고, 약 4000회 정도 운행 하였을 때부터 포장 하부에 균열이 보이기 시작하였다. 균열이 시작된 후 급격히 그 진전속도가 빨라졌으며, 약 6000회 운행하였을 때 장비가 제어할 수 없을 만큼의 소성변형(130mm)이 발생하여 포장가속시험기 운영을 중단하였다. 동공부와 매설부의 처짐량 비교를 위해 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer) 시험을 실시하였다. 주로 처짐량 측정은 FWD 장비를 이용하나 본 실험은 동공의 깊이가 깊지 않고, 가로세로 1m로 넓어 충격하중이 가해졌을 때 파손의 우려가 있어, LFWD 장비로 데이터 값을 비교하였다. LFWD 타격 지점은 건전부, 동공부 중심, 동공부 측면, 동공부와 건전부의 접경부로 설정하였다. LFWD 측정 결과 동공 중심에서 변형률이 약 27㎛ 발생하는 것으로 나타났으며, 동공에서 멀어질수록 변형률이 작아지는 것으로 나타났다. 건전부의 변형률은 약 14㎛으로 동공부 중심의 변형률과 비교했을 때 약 2배가량 차이가 나는 것으로 파악되었다.

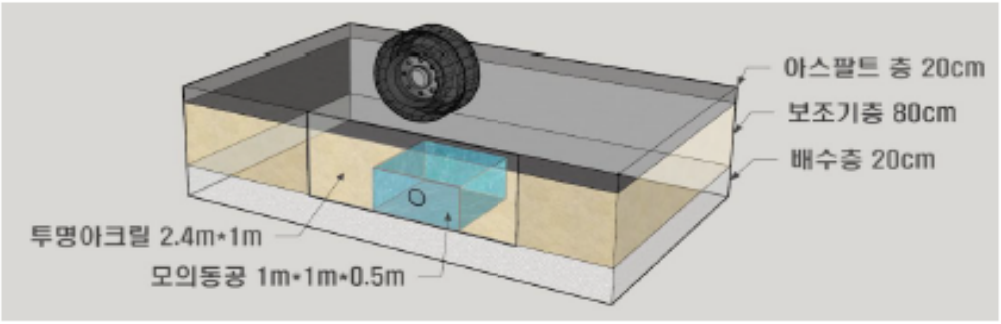


그림 1. 포장가속시험 테스트베드 조감도

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16TLRP-C099510-02)에 의해 수행되었습니다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr)- 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail : hpark@kict.re.kr)- 교신저자
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : legion@kict.re.kr)

[붙임18]
성과증빙 C-2-①

유한요소해석을 이용한 동공발생 구간 아스팔트 포장의 공용수명 분석 연구

이준규* · 조민경** · 전은비*** · 문성호****

최근 빈번하게 발생되는 도로함몰 예상구간의 아스팔트도로 포장을 평가하기 위해 중차량인 덤프트럭에 하중을 재하하는 시험을 통해 발생된 동공의 수명을 동공이 발생하지 않은 건전구간과 비교하고 그 잔존수 명을 예측하고자 한다. 이를 위해 현장에서 트럭의 하중에 의해 측정된 표면 처짐값과 유한요소기법을 이용 하여 예측된 표면 처짐값을 상호 비교하는 형식을 사용하였으며 도로구조 모델을 신뢰성을 위하여 다층탄 성 모델과 개발된 유한요소모델을 상호 비교하여 검증하였다. 실제 동공을 묘사한 동공발생 모델의 신뢰성을 위해 다층탄성 프로그램인 KENLAYER와 한국건설기술연구원에서 개발한 KICTPAVE를 사용하여 검증을 실시하였다. 이를 위해 동일한 조건에서 동공이 없는 상태의 아스팔트 포장 및 하부층을 설정하여 아스팔트 포장층 직하부에서 인장변형률을 비교한 결과 그림 1.과 같이 유사한 결과값을 얻어 모델의 신뢰성을 만족한 것으로 나타났다. 최종적으로 동공이 발생한 도로포장 위험구간 에 대해 하중재하 시험에 따른 포장의 공용성 평가를 위해 파괴모델을 이용하여 동공 간의 상대비교를 통해 동공해석 및 공용수명 예측기법을 제안하였다.

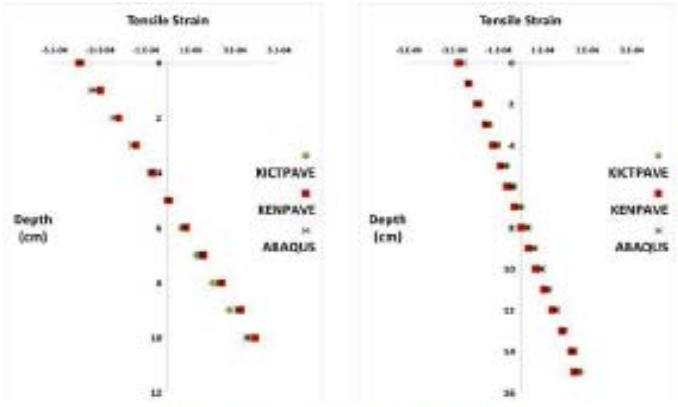


그림 1. 해석프로그램 간 인장변형률 비교

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15TLRP-C099511-01)에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 유한요소해석, 도로함몰, 아스팔트 포장, 공용수명

* 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정 (E-mail : dlwnsrb89s@naver.com)
** 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 학사과정 (E-mail : dse03097@naver.com)
*** 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 학사과정 (E-mail : dmsql9349@naver.com)
**** 서울과학기술대학교 건설시스템공학부 부교수 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

[붙임19]
성과증빙 C-1-③

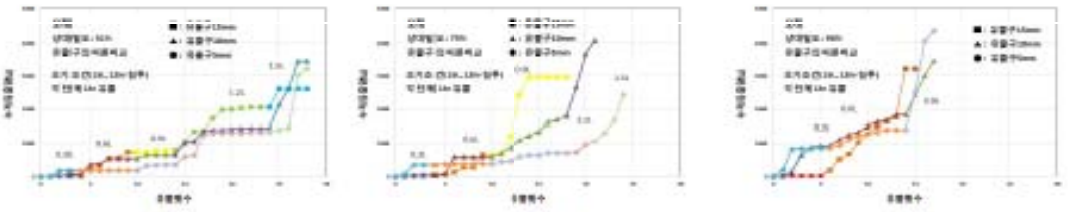
실내모형시험을 통한 모래 지반의 도로함몰 기초특성

권기철* · 최석입**

최근 들어 도심지를 중심으로 도로함몰이 증가하고 있다. 도로함몰은 때로는 인명피해를 수반하는 심각한 사고로 이어지기도 하고 교통흐름 방해를 초래하는 등 시민 안전의 위협 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 도로함몰의 기초적인 매커니즘 규명을 위해 2차원 모형 토조시험을 수행 하였다. 모형토조 시험을 수행하여 도로하부의 동공 발생 · 확장과 흙의 유출량과 관련된 영향 요소를 도출하였다. 시험결과로부터 모래 지반의 도로함몰 기초특성을 제시하였다.



그림 1. 도로함몰 모사 모형토조 시험장치



(a) 상대밀도 51%　(b) 상대밀도 75%　(c) 상대밀도 90%

그림 2. 모형토조 시험에서의 조건별 유출량

모형토조시험 결과, 동공의 발생 및 확장은 흙의 전단강도 특성, 작용하는 전단응력, 유출경로의 크기가 중요한 영향요소로 나타났다. 침투유량이 일정수준을 넘어서면 발생된 동공이 안정 상태를 유지하지 못하고 지속적으로 확장을 하여 함몰로 이어지는 것으로 나타났다. 상대밀도가 증가하면 유출구 주위 영역의 함수비가 증가하고 전단강도는 급격하게 저하되며 급격한 토사유출이 발생되는 것을 확인하였다. 또한 초기에는 유출구 크기가 작을수록 토사와 물의 유출이 억제된다. 물의 유출이 억제될수록 유출구 주위의 함수비가 급격하게 증가되고 전단강도가 감소하게 된다. 결과적으로 초기단계에서는 전단강도 감소에 의한 동공의 붕괴 및 확장이 빠른 속도로 발생하여 누적유출량이 크게 나타난 것으로 추정된다.

핵심용어 : 도로함몰, 모형토조, 함수비, 상대밀도, 누적유출량

* 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 (E-mail : gckweon@deu.ac.kr)
** 동의대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : key1218@naver.com)- 발표자

[붙임20]
성과증빙 B-1-②

지표투과레이더를 이용한 도로함몰 검출기술 개발

김남규* · 김기덕** · 이현종*** · 이종재****

최근 도심지의 돌발적인 도로함몰로 인명해가 발생하고, 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번히 발생하여 사회적 이슈로 부각되고 있다. 이에, 2015년 세종대학교 산학협력단을 주관으로 국토교통부, 국토교통과학진흥원이 지원하는「도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발」에 대한 연구가 시작되었다. 본 연구는 장기적이고 근본적으로 도로함몰을 예방하기 위한 도로함몰 위험도 탐지시스템 및 분석 프로그램 개발, 도로함몰 위험도 평가기술 개발, 재난예방형 도로관리 시스템 구축을 목표로 현재 3차년도 연구가 진행 중이다.

현재, 지표투과레이더와 노면영상 수집장치가 포함된 도로함몰 복합탐지 시스템을 구축하여 운용 중에 있으며 (그림 1), 해당 장비로부터 수집된 데이터를 이용하여 도로 지하시설물 및 동공탐사를 할 수 있도록 분석 자동화 알고리즘을 개발하고, 현장적용을 위한 GUI를 구축하여 그 성능을 검증하였다.



그림 1. 도로함몰 복합탐지 시스템 및 지표투과레이더

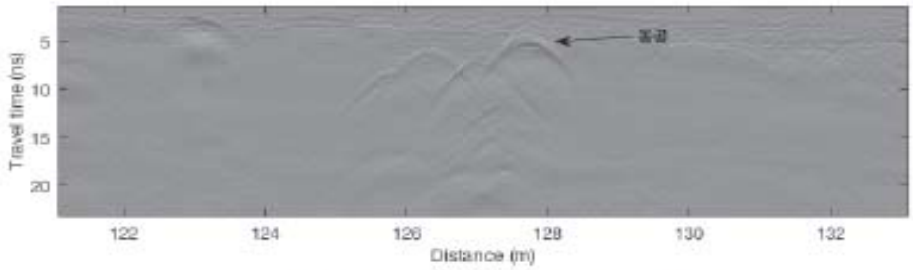


그림 2. 지표투과레이더를 이용한 도로포장하부 동공탐지 (예)

본 연구는 국토교통부, 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-C099510-03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

핵심용어 : 지표투과레이더, 도로함몰

* 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사후연구원 · 공학박사(E-mail : namgyu.kim@sejong.ac.kr)-발표자
** 학생회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사과정(E-mail : paestum3@sju.ac.kr)
*** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 정교수 · 공학박사(E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
**** 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : jongjae@sejong.ac.kr)

[붙임21]
성과증빙 C-2-②

실대형 포장가속시험을 통한 도로함몰 위험도 등급 별 소성변형 특성 연구

김연태* · 최지영** · 박기수*** · 박희문****

본 연구는 도로함몰과 관련된 연구 중 위험도 등급에 따른 소성변형 특성을 파악하기 위해 수행되었다. 도로함몰 위험도 등급 A, B에 해당하는 지표면으로부터 60cm, 90cm 하부에 모의 동공(업음)을 설치하였으며, 동공의 크기는 그림 1과 같이 너비와 높이는 50cm, 길이는 100cm, 200cm로 각각 설계하였다. 또한, 배수층을 20cm 설치하여 배수가 가능하도록 설계하였다.

포장가속시험은 4ton의 축하중으로 10km/h의 속도로 운영하였으며, 1,000회, 2,000회, 6,000회, 10,000회 운행 시 마다 소성변형량 변화를 측정하였다. 그 결과 동공의 크기보다는 동공의 깊이가 소성변형에 영향을 크게 미치는 것으로 파악되었다. 그림 1의 1,3번 동공은 폭과 높이는 유사하지만 깊이가 각각 1m, 2m로 위험도 등급에서 B, A이다. 하지만, 소성변형량을 비교했을 때 각 횟수마다 비슷한 경향을 보이며 증가하는 추세를 볼 수 있었다. 또한, 2번 동공의 경우 포장층에 가깝게 동공이 형성되어 1,3번 동공과 달리 소성변형량 증가 추세가 다른 동공들에 비해 월등히 빨랐으며, 6,000회 이상 포장가속시험을 수행하기 어려울 정도로 소성변형이 심하게 나타났다. 포장가속시험 수행 결과 동공 생성 초기에 소성변형량 변화폭이 가장 크며, 동공 깊이보다는 심도에 포장층이 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

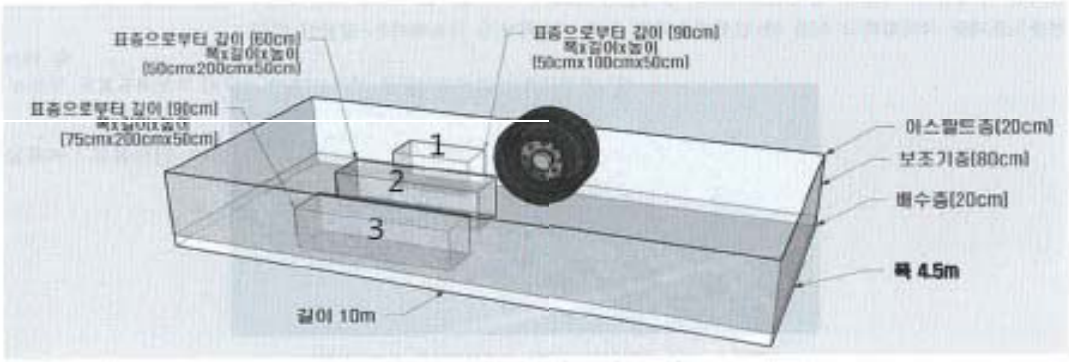


그림 1 포장가속시험 테스트베드 조감도

감사의 글
본 연구는 국토교통부/고등물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-C099510-03)에 의해 수행되었습니다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kyt@kict.re.kr) - 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : legion@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 신진연구원 (E-mail : kisoopark@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 (E-mail : hpark@kict.re.kr) - 교신저자

[붙임22]
성과증빙 D-3-①

2017년도 제19회
한국도로학회 학술대회
학술발표17

Session 5 도로안전

보아레스 / 10.26.(목) 15:00~16:15 좌장 : 김용석한국건설기술연구원 연구위원

시간		내용	발표자
5-1	15:00~15:15	도로함몰관리체계 구성요소 최적화 방안 연구	연규민 명지대학교
5-2	15:15~15:30	위험확률기반 비신호교차로의 회전 전용차로 설치 기준 정립 연구	문재필 한국건설기술연구원
5-3	15:30~15:45	지표투과레이더를 이용한 도로함몰 검출기술 개발	김남규 세종대학교
5-4	15:45~16:00	강설상황에 따른 도로위험도 예측모형 개발	이선영 한국교통연구원
5-5	16:00~16:15	차량방호 안전시설 탑승자 보호성능 시험결과 고찰	이창석 교통안전공단

Session 6 도로기초/유지보수

보아레스 / 10.26.(목) 16:30~18:00 좌장 : 김현욱포스코건설 박사

시간		내용	발표자
6-1	16:30~16:45	아스팔트 표층과 RCC 기층 계면에서의 부착특성 연구	김영규 강릉원주대
6-2	16:45~17:00	DEM-MBD 기법을 활용한 골재 도로의 콜루게이션 모사	윤태영 한국건설기술연구원
6-3	17:00~17:15	개립도 골재의 회복탄성계수와 영구변형에 대한 영향요인 : 검토	Nguyen Hung Tan 부산대학교
6-4	17:15~17:30	도로포장 상태평가를 위한 육안조사 수행방안에 관한 연구	신재철 동성엔지니어링
6-5	17:30~17:45	3D Scanner를 활용한 포장표면 Texture Depth 측정 방안 연구	조남현 인천국제공항공사
6-6	17:45~18:00	콘크리트 포장상태 지수 예측에 관한 연구	정동혁 한양대학교

07

[붙임23]

성과증빙 D-2-①



학술행사

포스터발표 | 9월 21일(목) - 9월 22일(금)

진 단	발표장2 / 좌장 : 박준규
P-060	비파괴측정에서 주관적인 영향평가에 대한 모델링 양영철
P-061	무인검사장비 기반 교량 정밀 상태조사에 관한 연구(해외 사례를 중심으로) 강동진 · 강동영 · 정홍주 · 박제봉
P-062	비구조요소의 내진성능검증을 위한 국내외 지진하중 비교 서영욱 · 박동욱 · 권혁규 · 장영수
P-063	수계소화설비 수격해석을 통한 내진성능 평가를 위한 진동대 시험 권형규 · 장상신 · 김성윤 · 김민욱 · 정진욱
P-064	고강도콘크리트 압축강도 추정을 위한 초구경 코어 적용에 관한 연구 오동진 · 송국현 · 신주 열 · 오홍섭
P-065	적외선과 간섭법을 이용한 사장교 케이블의 장력 측정 강성은 · 권혁규 · 박동욱 · 송다운
P-066	사장재 케이블의 동특성 측정을 위한 영상처리기법의 적용 강성은 · 권혁규 · 박동욱 · 송다운
P-067	지중식 계류사설 안전성평가 기법 연구 오정근 · 김우용 · 손정훈 · 김우용 · 최재은
P-068	철근콘크리트 구조물의 검사를 위한 능동 적외선 열 화상 장치 프란 쌍 위 · 강승현 · 변동열 · 허정원
P-069	Newmark type 변위해석에 의한 지진시 활동의 소성변위 비교 장승필 · 장재우 · 최정훈 · 장영진 · 류안택
P-070	한수고 센터스테이 보강재 파괴균열 원인분석 나성욱 · 임동현 · 강대훈
P-071	도로함몰 복구대응을 위한 행동절차 및 체크리스트 개발 최영일 · 장우현 · 장인 형 · 서정윤 · 강영구
P-072	AHP기법을 활용한 도로터널의 변상별 가중치 산정 이욱석 · 노손철 · 강영구 · 류인택 · 조노영

건설안전	발표장2 / 좌장 : 양영철
P-073	콘크리트용 순환골재 품질 개선 방안을 위한 조사 강상훈 · 조영근
P-074	도형 삼첨을 이용한 무소음절톡 철마공법의 소음특성에 관한 연구 양순익 · 최소영 · 이승수
P-075	방음벽 일루미늄 프레임 부재의 두께 변화에 따른 강통해석도 평가 강성도 · 최정규 · 박용주 · 장우영
P-076	기능성 ACO3-TiO2 입자 분말을 혼입한 모르타르의 역학적 특성 장영일 · 이종원 · 배준영 · 박성신 · 김선우
P-077	재해 현황 분석을 통한 소규모 건설 사업장 지도감독제도 개선 방안에 관한 연구 오아라 · 윤정훈 · 임재홍 · 장남권

구조성능	발표장2 / 좌장 : 심재일
P-078	일반 플랜트 취수구에 유입되는 유해 물질 차단을 위한 에어버블 차단막의 환경하중평가 송정훈 · 유 영준 · 박민수 · 강대우
P-079	한성동력하중하에서 현장 인발재 의 강성변화에 따른 현장시스템 의 변화 문주형 · 최용수 · 심재일
P-080	철근콘크리트 기둥에 대한 축력의 영 향을 고려한 전단강도모델의 비교분석 김시윤 · 김승억
P-081	단차가 있는 SFRC 보에 대한 확대 아치 철근의 겹 침이음 이규 선 · 이 재승 · 김승훈
P-082	철근 및 전단기의 위치에 따른 5년주기 중성화단계에 내충격성에 대한 연구 이재욱 · 김주익 · 이 임근 · 장유익 · 류정진 · 기경진
P-083	무소음화학팽창제를 활용한 콘크 리트 구조물 균열 생성시 전등를 간격에 따른 최소 요구 팽창압 비교연구 손동우 · 이 재욱 · 김 정진 · 조형기 · 김윤호 · 박상민
P-084	순환골재콘크리트를 혼 입한 철근콘크리트 보의 휨성능 평가 양인 종 · 전 병욱 · 최 정진
P-085	반력 벽체의 균열원 인 연구 이윤훈
P-086	피장 접속부의 동적상호거동 해석 이윤훈

www.ksmi.or.kr

학술발표18

[붙임24]
성과증빙 C-1-③

학술발표19

KSCE Spring National Conference 2017 / March 16-17, 2017 / Seoul / Korea

도로함몰 메커니즘과 함몰 영향인자 평가
Assessment of Road Subsidence Mechanisms and Influence Factors

김연호[1], Yeon-Ho Kim, 박성완[2], Seong-Wan Park

[1] 단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environment Engineering, Dankook Univ.
[2] 단국대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environment Engineering, Dankook Univ.

SYNOPSIS : Road subsidence, frequently occurred in urban areas, is caused by collapsing of surface layer due to underground cavities followed by a loss of soils. To understand this through phenomenological approach, cavity formation should be identified. In this study, two kinds of possible subsidence mechanisms were established through many case studies. Then, those mechanisms were analyzed by using the Distinct Element Method to quantify the effect of the slit size and ground conditions on the formation of underground cavity.

Keywords : Road subsidence, Cavity, DEM

1. 서 론

도심지에서 빈번하게 발생하고 있는 도로함몰은 지반 내 동공에 의해 상부 포장층이 붕괴됨에 따라 발생하며 도로함몰 발생의 근본적인 원인은 지하공간에서의 토사 유출이다. 도로함몰에 직접적인 영향이 있는 지하 동공 형성을 예방하는 방법을 찾아내기 위해서는 도로함몰을 유발하는 다양한 원인과 영향인자를 명확히 이해하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 유출구의 크기와 지반 조건이 도로함몰에 미치는 영향을 확인하기 위해 함몰 유형을 실제 사례를 토대로 분석한 후 두 가지의 메커니즘을 규명하여 개별요소법 기반의 수치해석을 수행하였다(권기철 외 2016; 최성웅 외 2005; Kuwano et al. 2012; Seong et al. 2003).

2. 도로함몰 발생 메커니즘

2.1 연속침하에 의한 도로함몰

연속침하에 의해 발생하는 도로함몰은 지하에 토사가 유출될 수 있는 유출구가 존재하며 지반이 포화되거나 지속적인 지하수의 흐름이 발생하는 경우 토사가 연속적으로 유출됨에 따라 발생한다. 연속침하로 발생하는 지하 동공은 도로 포장층 바로 아래에 비교적 큰 규모로 발생하기 때문에 도로함몰 위험도가 높다. 본 연구에서는 모조 모델에 각 해석 단계별로 다른 크기의 유출구를 생성하여 지반의 간극비와 입자 형상이 연속침하에 미치는 영향을 확인하였다.

2.2 불연속침하에 의한 도로함몰

연속침하 조건에서 지하수위가 낮게 형성되는 경우 도로하부에 동공이 생성될 수 있으며 이는 불연속침하의 초기조건이 된다. 불연속침하는 동공의 상부가 무너지며 지표면에 침하 또는 붕괴를 일으키는 거동을 의미하는데 동공의 폭과 심도에 따라 크게 지표 붕괴, 지표 침하, 동공 폐쇄의 세 가지 거동을 보인다. Fig. 1은 각 동공의 심도와 지름에 따른 수치해석 모델 거동을 표시한 그림으로 모델의 거동에 따라 구간을 분류하여 제시하였다.

[붙임25]
성과증빙 C-1-①

학술발표20

2017 Fall Geotechnical Engineering Conference / September 21, 2017 / Seoul / Korea

개별요소법을 활용한 전단시험 모사 시 경계조건과 초기 밀도 영향 평가
Effects of boundary condition and initial density on shear test using DEM analysis

김현빈[1], Hyunbin Kim, 김연호[2], Yeonho Kim, 박성완[3], Seong-Wan Park

[1]단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University
[2]단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University
[3]단국대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

SYNOPSIS : In this study, the discrete element method (DEM) was performed to simulate the shear behavior of granular materials in terms of relative density of particles and boundary condition. Since the difference between maximum and minimum void ratio is relatively small in two-dimensional condition, a change in relative density causes the variation of void ratio prominently. This indicates that the initial void ratio should be considered more accurately. In addition, two kinds of boundary conditions can be applied in DEM analysis: rigid or flexible boundary condition. As a result, shear behavior was shown in the similar mode, but a change in volume is notable. Therefore, if the volumetric behavior is considered, the membrane type boundary condition gives more reasonable results.

Keywords : Discrete element method, Density, Boundary condition, Granular materials

1. 서 론

조립재료에 대한 전단시험은 전체적인 재료의 거동 특성을 파악하고 강도와 변형 특성을 얻는데 용이하다. 기존의 실내 전단시험은 동일한 초기 시료조건 획득 및 시험 장비에 대한 한계가존재하기 때문에 이를 극복할 수 있는 대안으로근래에는 개별요소법을 활용한 전단시험해석이 증가하고 있다. 전단시험을 통해 획득할 수 있는 거동 특성은 재료의 밀도와 응력 상태에 따라 상이한 결과를 보이기 때문에 이에 대한 고려가 반드시 필요하지만, 현재까지 개별요소법을 활용한 전단시험해석은 재료의 밀도에 대한 고려가 충분하지 않은 채 수행되어왔다. 또한, 일반적으로 전단시험해석에 사용하는 경계조건은 실내 전단시험과 다르며 이에 따른 변형적인 측면에서 매우 큰 차이가 발생한다. 따라서 이러한 점들을 고려한 개선된 해석이 필요하다.

2. 개별요소법

2.1 상대밀도를 이용한 초기 밀도 결정

개별요소법에서 표현되는 조립재료는 기본적으로 구형이며, 이로 인해 재료의 형상에 따른 간극의 차이가 발생한다. 2차원 해석일 경우, 측정되는 간극비는 실제 지반재료에 비해 상대적으로 작은 값으로 표현된다. 따라서 일정한 기준값이 없는 상태에서 임의의 초기 간극비를 바탕으로 조립재료를 생성하고 해석하는 것에는 문제점이 존재한다. 본 연구에서는 지반재료의 조밀한 정도를 나타내는 상대밀도 개념을 이용하여 실내 전단시험과 전단시험해석 간의 밀도를 합리적으로 적용하고자 하였다.

2.2 멤브레인을 고려한 전단시험 수행

일반적으로 전단시험해석에 사용하는 경계조건은 강체 거동을 하는 벽체로 구성된다. 벽체를 이용한 경계조건은 국부

[붙임26]

성과증빙 B-1-②

특허출원1

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.06.20
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(우)
출 원 번 호	10-2017-0078026 (접수번호 1-1-2017-0591793-62)
출원인 명칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	특허법인 엠에이피에스(9-2011-100001-9)
발 명 자 성 명	안윤규 강만성
발 명 의 명 칭	3D 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 영확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

[붙임27]

성과증빙 B-1-②

특허출원2

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.10.24
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(유) 참조번호(SP170119)
출 원 번 호	10-2017-0138636 (접수번호 1-1-2017-1051751-68)
출 원 인 명 칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	유병욱(9-2007-000605-1)
발 명 자 성 명	이종재 이현종 안윤규 김남규
발 명 의 명 칭	지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 인원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

[붙임28]

성과증빙 B-1-①

관 인 생 략

특허출원3

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.12.12
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2017-0169945 (접수번호 1-1-2017-1234621-23)
출 원 인 명 칭	세종대학교산학협력단(2-2005-011470-2)
대 리 인 성 명	특허법인 엠에이피에스(9-2011-100001-9)
발 명 자 성 명	이현종 줄리우스 플로레스
발 명 의 명 칭	이동식 동적하중 재하장치 및 이를 이용한 아스팔트 도로 포장 상태 측정 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [선지적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

[붙임29]
성과증빙 B-1-②

소프트웨어1

제 C-2017-032151 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	등굔자동담사 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2017년11월21일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2017년12월06일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2017.11.21

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 12월 07일

한국저작권위원회

[붙임30]
성과증빙 B-1-②



소프트웨어2

제 C-2017-032160 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	균열자동탐사 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2017년11월21일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2017년12월08일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2017.11.21

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 12월 07일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임31]
성과증빙 B-1-③

소프트웨어3

제 C-2017-032567 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로함몰 위험도 점기 프로그램 (RSWS 1.0)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 유디엔에스 경기도 용인시 수지구 신수로
4. 생년월일(법인등록번호)	134111-0441620
5. 창작연월일	2017년12월01일
6. 공표연월일	2017년12월01일
7. 등록연월일	2017년12월08일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 유디엔에스, 창작 : 2017.12.01, 공표 : 2017.12.01

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

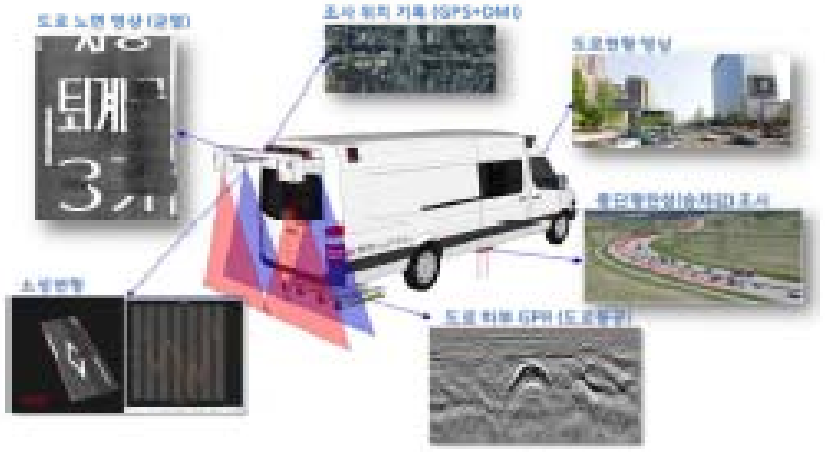
2017년 12월 08일

한국저작권위원회

[붙임32]
성과증빙 A-1-②

1. 도로함몰 복합탐지 시스템 시작품 구성

본 시스템은 GPR, 포장표면 촬영장치, 소성변형 측정장치, 종단평탄성 조사장치, 도로현황 촬영장치, DMI(Distance Measurement Instrument), GPS로 구성된 계측기를 보유하고 있다. 각 계측기는 아래 그림과 같이 도로하부 GPR영상, 도로노면 균열영상, 소성변형 데이터, 종단평탄성(IRI) 데이터, 도로현황 영상, 위치데이터를 측정 가능하다.



[그림 2] 도로함몰 복합탐지 시스템 계측데이터 구성

[표 2] 측정데이터에 따른 계측기 구성

측정 데이터	도로공용 및 지하매설물	도로균열	소성변형	승차감	도로현황	위치정보
계측기	지표투과 레이더 (GPR)	포장표면 촬영장치	소성변형 측정장치	종단평탄성 조사장치	도로현황 촬영장치	GPS, DMI

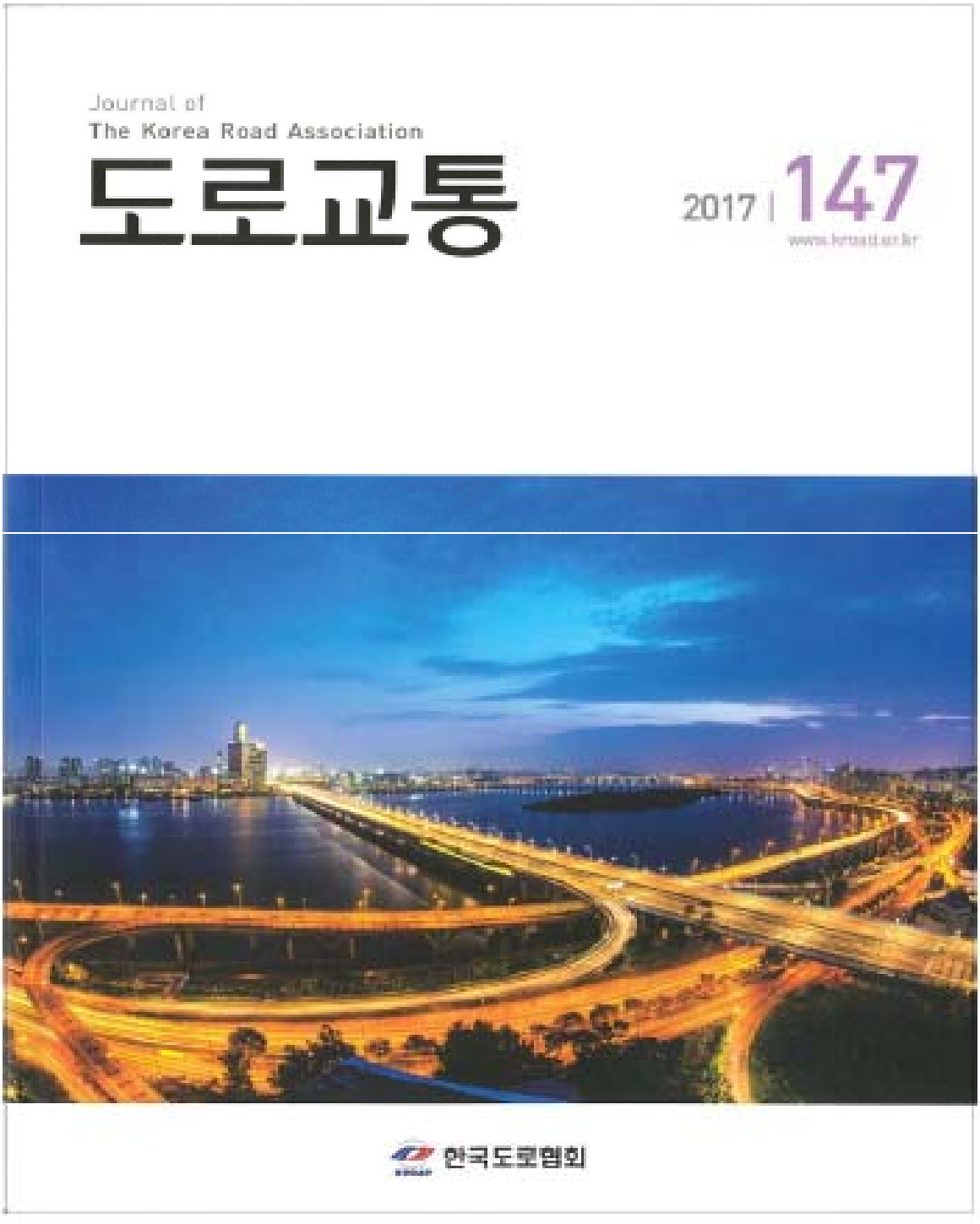


[그림 6] 완성된 도로함몰 복합탐지 시스템 전경

- 1 -

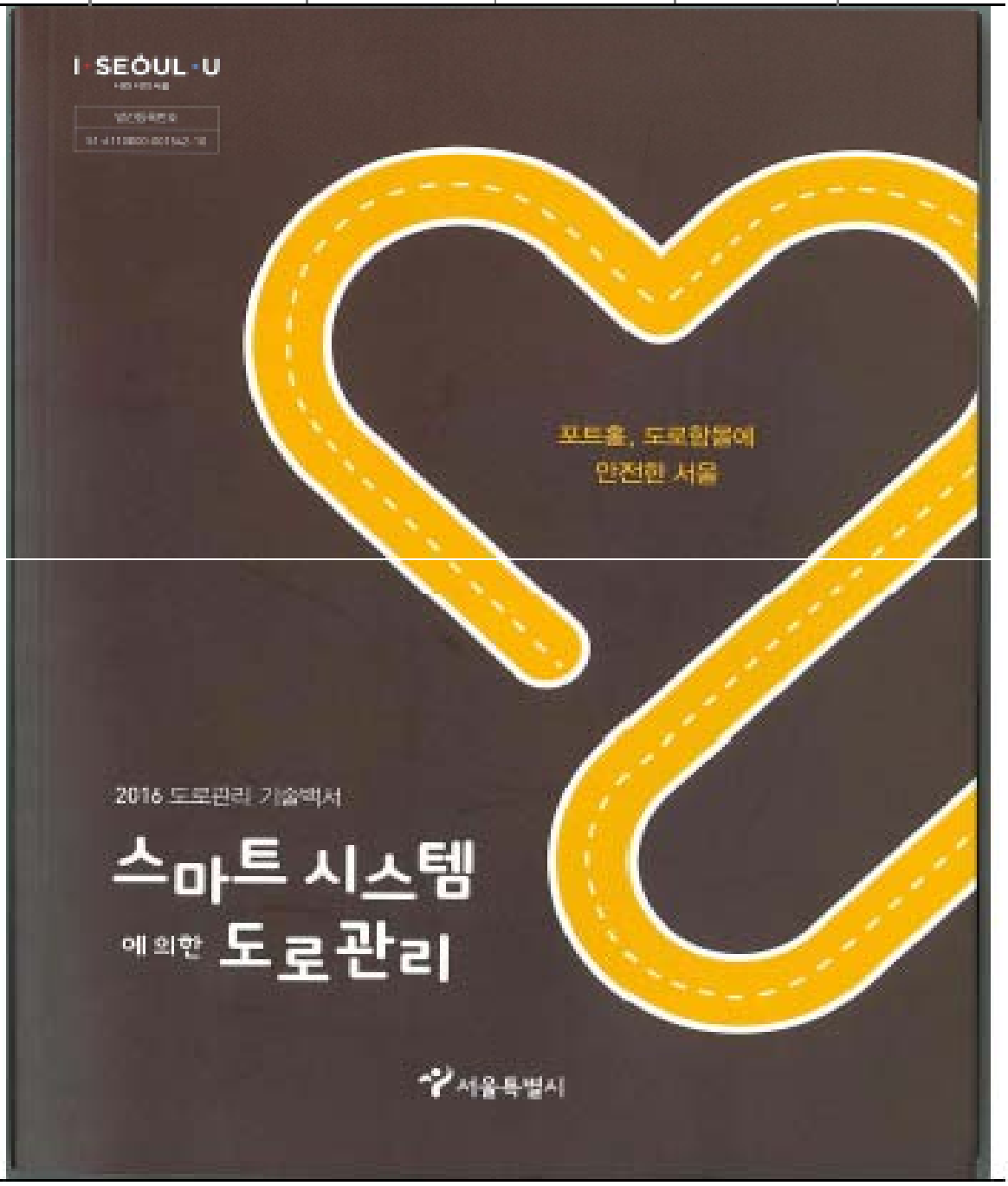
[붙임33]
성과증빙 B-1-③

번호	형태	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
1	도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발	한국도로협회 도로교통147호 특집03	연구과제 성과홍보	2017.06.28.	세종대학교



[붙임34]
성과증빙 B-1-③

번호	형태	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
2	서울시 도로관리 기술백서	서울특별시	연구과제 홍보	2017.06.28.	세종대학교



[붙임35]
성과증빙 D-1-②

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
3	서울시 동공탐사장비 홍보	경기도청 대상	동공탐사장비 홍보	2017.05.29.	서울시 품질시험소

일자리 넘치는 희망하고 따뜻한 경기도

경기도

NEXT경기

수신 서울특별시 품질시험소장(도로포장연구센터장)
(경유)
제목 동공탐사장비 운영 견학 협조 요청

1. 귀 시의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 우리도에서는 최근 도심지내 노후된 지하 매설물의 파손 및 여정굴착공사에 의한 지하수위가 낮아져 지반침하가 지속적으로 발생하고 있어

3. 귀 시에서 지반침하 방지 및 사전조사를 위해 운영중인 동공탐사장비운영에 대한 벤치마킹을 하고자 하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

가. 방문일시 : 2017.03.29.(수) 10:00 ~
나. 방 문 자 : 경기도 상하수과 하수관리팀장, 조황래 주무관

방문내용 : 장비구입 및 운영현황, 유지관리비용, 품질 사전조사 후 사후관리 및 지반침하 예방 실과 등. 끝.

경기도지사

주무관	조황래	하수관리팀장	정선관	상하수과장	전결 03/21 신건생

협조자

시행 상하수과-5741 | 2017.03.21. | 접수 도로포장연구센터-654 (2017.3.22.)
우 16708 경기도 수원시 남동면 산수로 1602 / http://gg.go.kr
전화 031-8008-6984 /전송 031-8008-6978 / cho2213@gg.go.kr / 대시민공개

[붙임36]
성과증빙 D-1-②

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
4	서울시 동공탐사장비 홍보	부산시청 대상	동공탐사장비 홍보	2017.04.27.	서울시 품질시험소





[붙임37]
성과증빙 D-2-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
5	도로함몰 복구대응 매뉴얼 제공	대구광역시	매뉴얼 제공	2017.08.24	한국시설안전공단

생활 속 안전 위협요소! 안전신문고로 신고해 주세요

DAEGU

대구광역시

수신자 한국시설안전공단이사장
(경유) 시설연구원장
제목 대구광역시 도로함몰 복구대응을 위한 자료제공 협조 요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 우리시에서는 최근 도심지에서 발생하고 있는 도로함몰 현상의 신속한 대응을 위하여 귀 기관의 연구 성과를 활용코자 아래와 같이 연구자료 제공을 요청하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

- 아 래 -

가. 목 적 : 대구광역시 도로하부 공동발견 및 도로함몰 발생시 신속한 복구 행동절차 수립을 위한 매뉴얼로 활용
나. 자 료 명 : 도심지 도로함몰 복구대응 실무매뉴얼(안). 끝.

대 구 광 역 시 장

대구광역시장의인

주무관 이형욱 도로과장 김상엽

협조자
시행 도로과-7423 (2017.08.21.) 접수 ()
우 41908 대구광역시 북구 연암로 40, (산격동) / http://www.daegu.go.kr
전화 053-803-4814 전송 053-803-4789 / yuvaboom@korea.kr / 공개
임팩감있 행복한 대구

[붙임38]
성과증빙 D-2-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
6	도로함몰 복구대응 매뉴얼 제공	성주군 상하수도사업소	매뉴얼 제공	2017.11.30	한국시설안전공단

친환경 행복농촌, Clean 성주와 함께해요!

성주군상하수도사업소

수신자 한국시설안전공단이사장
(경유) 시설연구원장
제목 성주군 상하수도관련 도로함몰 복구대응을 위한 자료제공 협조 요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 우리군에서는 최근 발생하고 있는 도로함몰 현상의 신속한 대응을 위하여 귀 기관의 연구 성과를 활용코자 아래와 같이 연구자료 제공을 요청하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

가. 목 적 : 성주군 도로하부 공동발견 및 도로함몰 발생시 신속한 복구 행동절차 수립을 위한 매뉴얼로 활용
나. 자 료 명 : 도심지 및 비도심지 도로함몰 복구대응 실무메뉴얼(안). 끝.

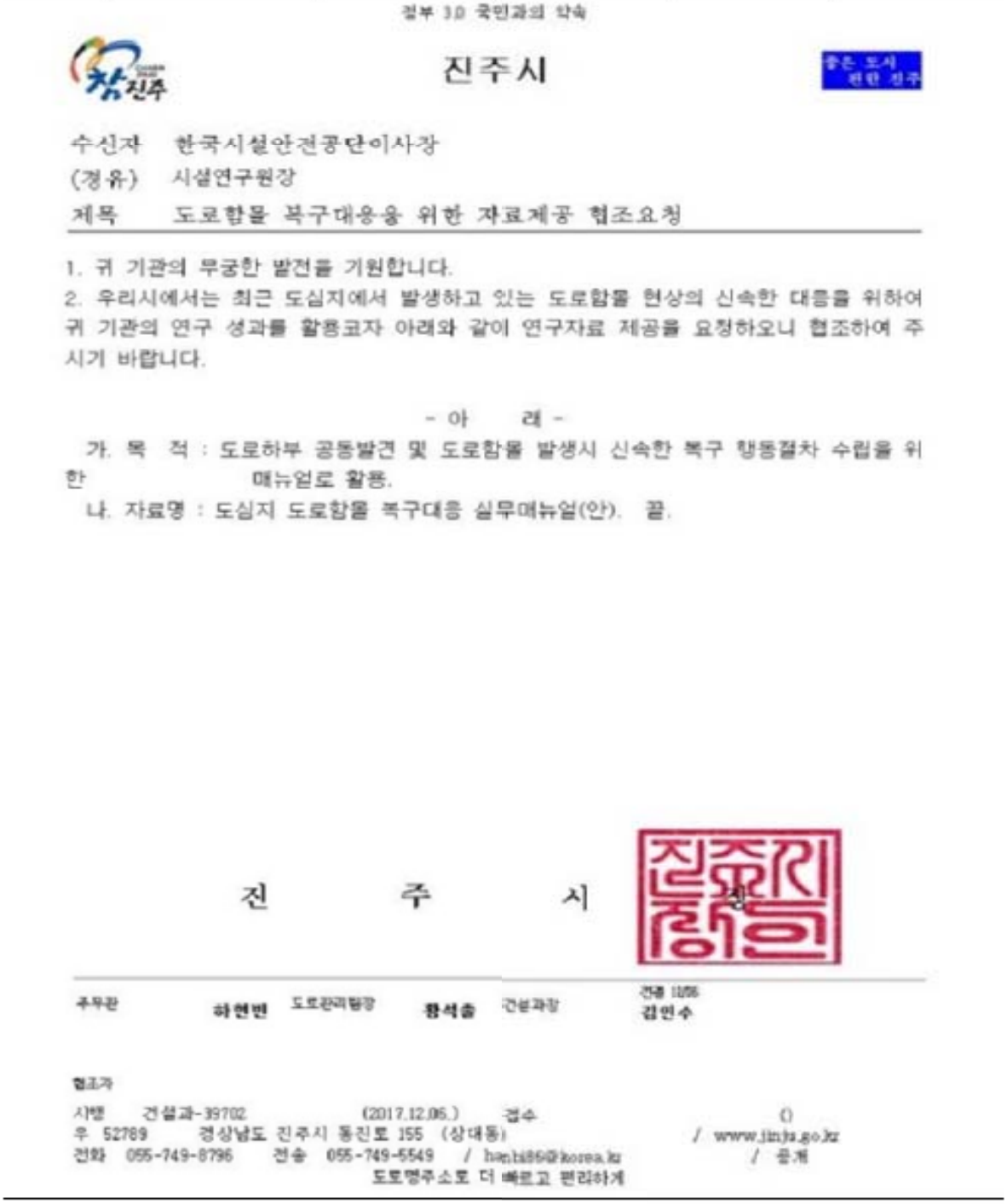
성 주 군 상 하 수 도 사 업 소 장

주무관 최재호 상수도담당 신동환 상하수도사업소장 이시영

협조자 주무관 이희우
시행 상하수도사업소-15724 (2017.11.23.) 접수 시설연구원-7663 (2017.11.27.)
우 40032 경상북도 성주군 성주읍 성산8길 40-42, 성주군상하수도사업소 / www.sj.go.kr
전화 054-930-6735 전송 054-930-6749 / hishi@korea.kr / 공개

[붙임39]
성과증빙 D-2-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
7	도로함몰 복구대응 매뉴얼 제공	진주시	매뉴얼 제공	2017.12.20	한국시설안전공단



정부 3.0 국민과의 약속

참진주

진주시

좋은 도시 판단 진주

수신자 한국시설안전공단이사장
(경유) 시설연구원장
제목 도로함몰 복구대응을 위한 자료제공 협조요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 우리시에서는 최근 도심지에서 발생하고 있는 도로함몰 현상의 신속한 대응을 위하여 귀 기관의 연구 성과를 활용코자 아래와 같이 연구자료 제공을 요청하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

- 아 래 -

가. 목 적 : 도로하부 공동발견 및 도로함몰 발생시 신속한 복구 행동절차 수립을 위한 매뉴얼로 활용.
나. 자료명 : 도심지 도로함몰 복구대응 실무매뉴얼(안). 끝.

진 주 시 장

주무관 하현빈 도로관리팀장 황석출 건설과장 건설 11/06 김인수

협조자

시행 건설과-39702 (2017.12.06.) 접수 ()
우 52789 경상남도 진주시 동진로 155 (상대동) / www.jinju.go.kr
전화 055-749-8796 전송 055-749-5549 / hanbi86@korea.kr / 공개
도로명주소로 더 빠르고 편리하게

[붙임40]
성과증빙 D-1-②

서울시 공무원 및 업체 관계자 대상 동공탐사교육

□ 교육기관 : 서울시 품질시험소
□ 교육내용 : 동공탐사장비 소개(구성, 성능, 정책, 조사절차, 동공자료 등) 및 탐사시연

번호	일시	교육사진	교육인원
1차	2017.04.28	  	26명

[붙임41,42]
성과증빙 D-1-②

번호	일시	교육사진	교육인원
2차	2017.09.01	 	18명
3	2017.10.12		13명

[붙임43]
성과증빙 A-1-①

1. 서울시 동공현장 조사(1차)

1.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 6월 13일(화)
2) 실험참가자 : 세종대학교, ㈜로드텍 연구진 총 5명
3) 조사목적 : 동공 외 이상신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 중구

표 1 1,2차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사결과 (개소)		
		동공 (크기미달, 미약신호 포함)	동공 외 신호 (모래층, 자갈층, 폐기물 등)	조사경로 (아래 지도참조)
1차	중구	1	1	Line-3



그림 1 1차 현장조사 경로 (Line-3 : 중구 퇴계로)

[붙임44]
성과증빙 A-1-①

2. 서울시 동공현장 조사(2차)

2.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 6월 14일 수요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 연구진 총 4명
3) 조사목적 : 동공 외 이상신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 동대문구

표 2 1,2차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사결과 (개소)		
		동공 (크기미달, 미약신호 포함)	동공 외 신호 (모래층, 자갈층, 폐기물 등)	조사경로 (아래 지도참조)
2차	동대문구	-	7	Line-9 Line-10 Line-11

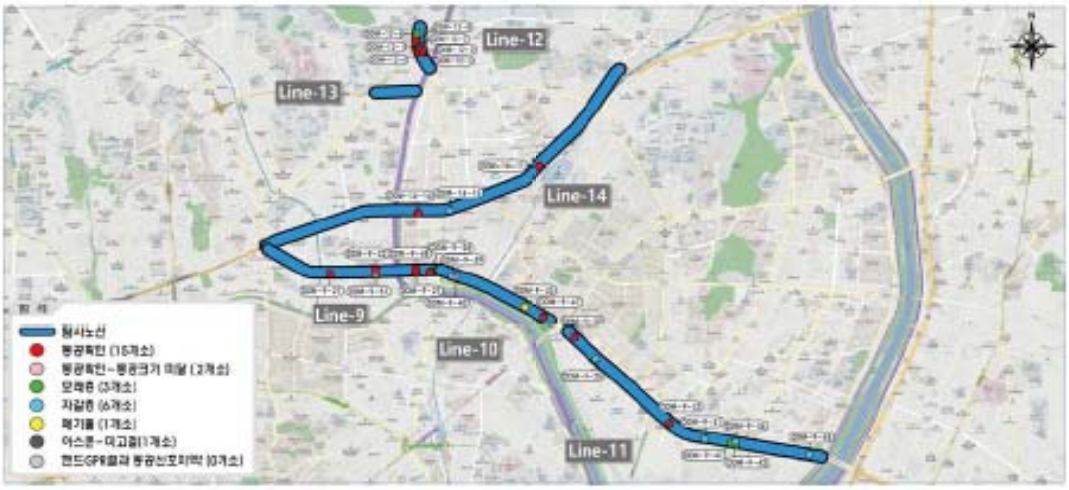


그림 7 2차 현장조사 경로 (Line-9,10,11 : 동대문구 천호대로)

2.2. 현장조사 공문

1차 현장조사 공문으로 갈음

[붙임45]
성과증빙 A-1-①

3. 서울시 동공현장 조사(3차)

3.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 6월 30일 금요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 연구원 3명
3) 조사목적 : 동공신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 마포구 6km 구간

표 3 3차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사 (개소)	
		발견동공	조사경로 (아래 지도참조)
3차	마포대로	4	Line-23



그림 15 3차 현장조사 경로 (Line-23 : 마포구 마포대로)

3.2. 현장조사 공문

1차 현장조사 공문으로 갈음

[붙임46]
성과증빙 A-1-①

4. 서울시 동공현장 조사(4차)

4.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 8월 29일 수요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 연구원 4명
3) 조사목적 : 동공신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 중랑구

표 4 4차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사 (개소)	
		발견동공	조사경로 (아래 지도참조)
4차	중랑구	7개	-

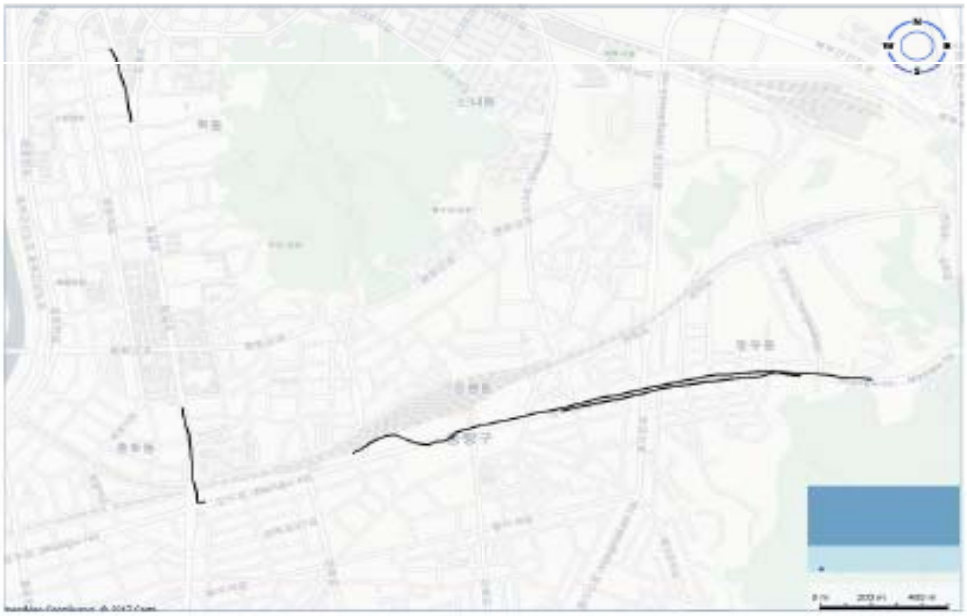


그림 20 중랑구 동공조사 경로

[붙임47]
성과증빙 A-1-①

5. 서울시 동공현장 조사(5차)

5.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 9월 8 금요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 연구원 4명
3) 조사목적 : 동공신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 강남구

표 5 5차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사 (개소)	
		발견동공	조사경로 (아래 지도참조)
5차	강남구	19개	-



그림 29 강남구 동공조사 경로

[붙임48]
성과증빙 A-1-①

6. 서울시 현장조사(6차)

6.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 9월 13일 수요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 연구원 4명
3) 조사목적 : 동공신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 송파구, 강동구

표 6 6차 서울시 현장조사 구간개요

현장실험	관할구	세종대 조사 (개소)	
		발견동공	조사경로 (아래 지도참조)
6차	송파구	9개	-
	강동구	4개	



그림 44 송파구 동공조사 경로

[붙임49]
성과증빙 A-1-①

7. RDD 현장조사(1차)

7.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 8월 16일(수)~17일(금)
2) 실험시간 : 오후 10:00~오전 06:00
3) 실험참가자 : 세종대학교, 서울시 품질시험소 총 10명
4) 조사목적 : RDD와 FWD 성능비교실험
5) 조사구역 : 서울시 강남대로(교육개발원 사거리~우성아파트 사거리)
6) 도로특성 : 버스전용차로
7) 투입장비 및 준비물
- 복합조사차량, FWD, RDD, 트럭, 서울시 교통통제 차량
- 청테잎, 워킹메타, 열화상카메라
- 안전장비, 라바콘, 경광봉, 콤프레샤

표 7 1차 RDD 현장조사 실험일정

시간	실험내용	투입인원
01:00~02:00	복합조사차량(GPR)을 활용한 포장두께 측정	2명
01:00~04:30	FWD, RDD Stopping Test (시간 산정기준 : 2km구간 60m 간격 1포인트 당 5분, 이동시간 포함)	4명
04:30~05:30	RDD Moving Test (시간 산정기준 : 조사속도 2miles/hr)	4명

[붙임50]
성과증빙 A-1-①

8. RDD 현장조사(2차)

8.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2017년 10월 06일 금요일
2) 실험참가자 : 세종대학교 6명
3) 실험시간 : 10:00~12:00
4) 조사목적 : RDD를 이용한 동공구간 지지력변화 측정
5) 조사구역 : 서울시 강남구 봉은사로
6) 투입장비 및 준비물
 - 복합조사차량, RDD, 트럭, 서울시 교통통제 차량

표 8 2차 RDD 현장조사 실험일정

시간	실험내용	투입인원
10:00~11:00	복합조사차량(GPR)을 활용한 포장두께 및 동공크기 측정	2명
11:00~12:00	RDD 동공구간 실험	4명

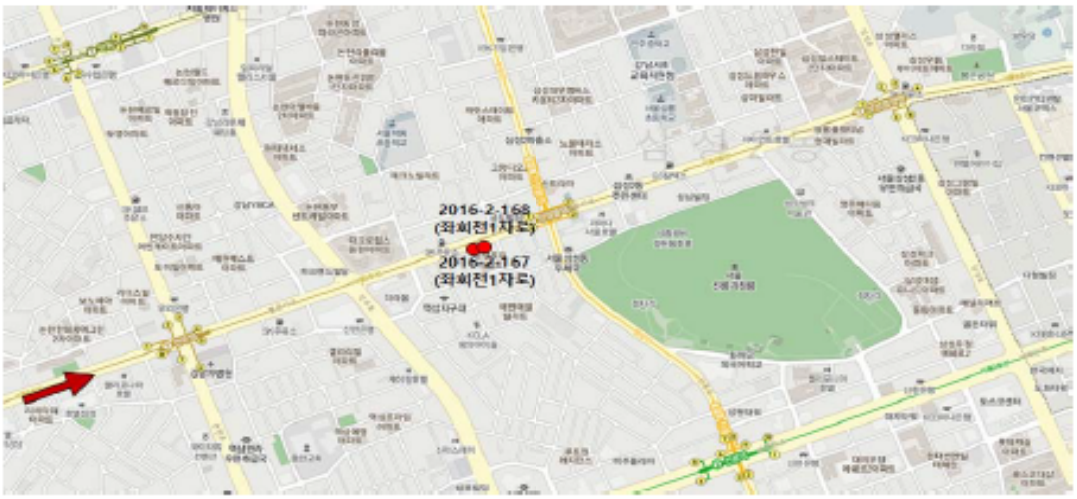


그림 63 2차 RDD 현장조사 동공위치

[붙임51]
성과증빙 C-2-①

1. 과업 개요

◦ 과 업 명 : 도로함몰 위험도 평가를 위한 테스트베드 구축
◦ 관련과제 : 실대형 실험을 통한 도로함몰 위험도 예측기술 개발(3/4)
◦ 과업 목적 : 모의동공이 매립된 아스팔트 포장에 대한 현장 내구성 평가
◦ 시험포장구간 : 한국건설기술연구원 내 포장가속 테스트베드
◦ 시험포장면적 : 10m×4.6m = 46m²
◦ 시험포장두께 : 표층-20cm, 기층-80cm, 배수층-20cm
◦ 시공 일자 : 2017년 5월 10일(수)
◦ 시험포장 예상경비 : 약 10,000,000원(VAT포함)

2. 과업의 범위

본 과업은 도로함몰 위험도 평가를 위한 포장가속시험동 내 시공건으로, 주요 공정은 다음과 같으며, 이와 관련된 제반사항을 총괄적으로 포함하는 것을 원칙으로 한다.

◦ 기존 면 절삭 및 기층, 배수층 제거
◦ 배수층 및 기층 재료 투입
◦ 도로함몰 모사를 위한 모의동공(얼음) 매설
◦ 다짐 후 표층 포설 후 완공

3. 과업의 세부내용

◦ 과업의 진행과 관련된 사항에 대해서는 사전에 감독원과 협의하여야 한다.
◦ 기존 면 절삭 및 기층, 배수층 제거, 재료 투입
 - 기존 면의 폭 4.6m 중 1.6m 구간 콘크리트로 타설된 기층이 존재하여 제거 시 작업성을 사전에 파악해야한다.
 - 모든 작업 진행에 필요한 인력동원 및 일체의 자재 수입을 포함한다.
 - 일체의 장비 및 자재는 규격과 용도에 적합하여야 한다.
 - 소요되는 재료에 대해서는 일괄 구매하여야 한다(모의동공(얼음) 제외). 즉 재료 구매 및 실험체 제작까지 업체가 일괄적으로 처리해야 한다.

◦ 작업내용 및 제원 - [붙임 1] 참조

[붙임52]
성과증빙 C-2-①

연천 SOC 실증연구센터 시공 계획서

1. 개요

○ 목적 : 모의동공이 매립된 아스팔트 포장에 대한 현장 내구성 평가
○ 시험 포장 구간 : 한국건설기술연구원(연천) 내 포장가속 테스트 베드
○ 시공일자 : 2017년 11월 13일~17일 예정
○ 시험 포장 면적 : 20m×10m=200㎡
○ 시험 포장 두께 : 표층-20cm, 기층-80cm, 배수층-20cm
○ 시험 포장 예상경비 : 약 18,000,000원

2. 현장 적용 추진 경과

○ 현장 적용 추진 경과
- 2016년 01월 : 모의동공 매립 예비 시공 및 실험 실시
- 2016년 03월 : 1차 실대형 도로함몰 테스트베드 시공 및 포장가속시험 실시
- 2016년 9월 : 2차 실대형 도로함몰 테스트베드 시공 및 포장가속시험 실시
- 2017년 1월 : 3차 실대형 도로함몰 테스트베드 시공 및 포장가속시험 실시

<4차년도 성과점검 기준표>

구분	핵심연구성과 (level1)		단위성과 (level2)		4차년도 성과점검기준							해당 기관	예산 (백만)	정량목표	양적성과 지표 달성도	양적성과지표 근거자료
					질적성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	질적성과지표 달성도	질적성과지표 근거자료					
4차년도(2018)	CTE1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	① 복합 탐지시스템 시작품 운용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	49~53p	세종대학교 UCF (주)지오메카이엔지 (주)로드텍	95.7	S/W : 1건 현장검증 : 5건	300% 167%	붙임32~34 붙임51~55
					② 실대형 실험을 통한 시작품 하드웨어 개선 및 성능평가	20km/hr	점검속도	발표 및 시작품홍보 (동영상)	5	100%	49~53p		95.7	학술발표 : 0건 시작품제작 : 0건	1건 추가 1건 추가	붙임10 붙임36
			A-2	개발된 자동탐지 기술 신뢰성평가 지침(안)	① 자동탐지 기술 평가 지침서	1권	지침서 작성여부	보고서	10	100%	54p	한국건설기술 연구원	191.4			
	CTE2	도로함몰 위험도 분석 프로그램	B-1	도로하부 탐지 데이터 처리 프로그램	① 지하공동 자동진단 소프트웨어 패키징	1건	S/W 개발 건수	S/W 등록증	15	100%	55, 56p	세종대학교 UCF (주)유디엔에스	287.1	학술발표 : 1건 S/W : 0건	100% 2건 추가	붙임9 붙임28,29
					② 실대형 실험을 통한 소프트웨어 검증 및 성능평가	1.5m/50cm/80%/12시간/30km	탐지심도 및 크기/공동탐지 정확성/처리속도	발표 및 소프트웨어 홍보	15	100%	57~61p		287.1	성과홍보 : 0건	2건 추가	붙임37,38
					③ 개발 프로그램 사용 매뉴얼 작성	1권	매뉴얼 작성 여부	보고서	5	100%	56p		95.7	특허등록 : 1건	100%	붙임27
	CTE3	도로함몰 위험도 평가 기술	C-1	도로함몰 발생 확장 모형	① 도로함몰 위험도 요인 평가 및 기준제시	1권	도로함몰 발생·확장 모형 개발	보고서 및 논문	5	100%	62~64p	단국대학교 동의대학교	95.7	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건	200% 200%	붙임2,4 붙임21,22
			C-2	도로함몰 매커니즘 검증을 위한 실대형 테스트베드	① 포장가속시험을 통한 도로함몰 모형 검증	1권	도로함몰 모형 검증 보고서	보고서	5	100%	65p	한국건설기술 연구원 서울과학기술 대학교	95.7	학술발표 : 1건	200%	붙임25,26
					② 도로함몰 위험도 평가 조서	1권	도로함몰 위험도 평가 보고서	보고서	5	100%	62~64p		95.7	학술발표 : 0건 테스트베드 : 1건	1건 추가 100%	붙임14 붙임56
	CTE4	재난예방형 도로관리 시스템	D-1	도로함몰 위험도 분석 조서	① 개발된 시작품 이용 도로함몰 현장조사	1권	현장조사 보고서	보고서	5	100%	49~52p 57~60p	인덕대학교 서울특별시	95.7	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건 성과홍보 : 0건	200% 400% 5건 추가	붙임6,7 붙임12,13,16,18 붙임39~43
					② 도로함몰 위험도 분석 조서 안 제시	1권	위험도 분석 조사 안 작성	보고서	10	100%	66, 67p		191.4	SCI논문 : 1건 비SCI논문 : 1건 학술발표 : 0건	100% 200% 1건 추가	붙임1 붙임3,8 붙임19
			D-2	도로함몰 위험도 기준 지침(안) 및 복구대응 매뉴얼	① 도로함몰 대응/복구 실무 매뉴얼 안 제시	1권	대응/복구 매뉴얼 안 작성	보고서	10	100%	67, 68p	한국시설안전 공단 서울특별시 (주)유디엔에스	191.4	비SCI논문 : 1건 학술발표 : 1건 S/W : 0건 교육성과 : 1건	100% 500% 2건 추가 700%	붙임5 붙임11,17,20,23,24 붙임30,35 붙임44~50
			D-3	포장관리시스템 (PMS) 연계(안)	① 도로함몰 DB 적용 PMS(안) 제시	1권	도로함몰 적용 PMS 적용 보고서	보고서	5	100%	69p	명지대학교 동일기술공사	95.7	학술발표 : 0건 S/W : 0건	1건 추가 1건 추가	붙임15 붙임31
계					-	-	-	-	100	-	최종보고서 Page	-	1,914	논문 : 5건 발표 : 5건 특허 : 1건 S/W : 1건 기타 : 2건	논문 : 8건 발표 : 18건 특허 : 1건 S/W : 8건 기타 : 16건	51건

[붙임1]
성과증빙 D-1-②

A Risk Assessment of Asphalt Pavement for Depression and Cave-in Caused by Subsurface Cavity

Yeon Woo Choi[a], Hee Mun Park[b], Yeon Tae Kim[b], Wang Soo Lee[c], and Hyun Jong Lee[c]*

[a] *Road Management Division, Seoul Metropolitan Government, Seoul, Republic of Korea*
[b] *Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Republic of Korea*
[c] *Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Seoul, Republic of Korea*

*corresponding author: hlee@sejong.ac.kr

For Peer Review Only

[붙임2]
성과증빙 C-1-①

비SCI1
Int. J. Highw. Eng. Vol. 20 No. 1 : 19-25 FEBRUARY 2018
https://doi.org/10.7855/IJHE.2018.20.1.019

불포화 사질토의 도로함몰 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Road-Subsidence Characteristics in Unsaturated Sandy Soils

권기철 Kweon, Gichul | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : gckweon@deu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to identify the road-subsidence mechanism in unsaturated sandy soils.

METHODS : A series of soil chamber tests were conducted under various conditions.

RESULTS : The cavity-expansion characteristics in unsaturated sandy soils due to seepage were affected by the outlet size, seepage intensity, relative density, and fine content.

CONCLUSIONS : In unsaturated sandy soils, the cavity-expansion speed was affected by the outlet size, relative density, seepage intensity, and clay content; however, the cavity-expansion shape was very similar. As the outlet size and seepage intensity increased, the cavity-expansion speed increased. As the relative density increased, the cavity-expansion speed increased because of a sudden decrease in shear strength, resulting from the increased saturation (reduction of matric suction). The cavity expanded faster with the increasing clay content, up to a certain threshold. It expanded at a slower rate once it passed the threshold. Finally, it reached a stable state where the cavity did not expand due to seepage.

Keywords
Road subsidence, unsaturated sandy soil, cavity, soil-chamber test, seepage

Corresponding Author : Kweon Gichul, Professor
Department of Civil Engineering, Dongeui University,
176 Eomgwangro, Busanjin-gu, Busan, 47340, Korea
Tel : +82.51.890.1617 Fax : +82.51.890.2633
E-mail : gckweon@deu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Oct. 24, 2017 Revised Oct. 24, 2017 Accepted Jan. 29, 2018

1. 서론

최근 들어 빈번하게 발생하는 도로함몰은 때로는 인명피해를 수반하는 심각한 사고로 이어지기도 하고 교통흐름 방해를 초래하는 등 시민안전의 위협 요인이 되고 있다(서울시, 2015; Kuwano 등, 2006; Kuwano 등, 2009). 도로함몰은 도로하부 토사가 유출됨에 따라 동공이 형성되고 이후 동공이 지표면으로 점차 확장되어 발생하는 기본적인 메커니즘을 갖는다(권기철 등, 2016; 김연호 등, 2017). 그러나 불행하게도 동공발생 및 확장에 대한 정확한 메커니즘이 규명되지 못하고 있어, 도로함몰의 직접적인 원인인 동공 발생을 근원적으로 억제하는 대책 마련에 어려움이 있다(권기철 등, 2016; 김영호 등, 2017).

도로함몰 메커니즘 규명이 어려운 가장 큰 이유는 도로함몰에 대한 체계적인 조사가 어렵기 때문이다. 도로함몰이 발생하면 대부분의 경우 즉시적으로 복구가 이루어지기 때문에 현장조사를 통한 엄밀한 원인 분석에 한계점이 있다(Kuwano 등, 2012; Sato 등, 2013;

[붙임3]
성과증빙 D-1-②

비SCI2

Int. J. Highw. Eng. Vol. 20 No. 5 : 85-91 OCTOBER 2018
https://doi.org/10.7855/IJHE.2018.20.5.085

3차원 유한요소해석을 이용한 공동부 아스팔트 포장의 반응 모델 개발

Development of an Asphalt Pavement Response Model for Subsurface Cavity Section Using the 3D Finite Element Method

최 연 우 Choi, Yeon Woo | 정회원 · 서울특별시 도로관리과 도로관리팀장 · 공학박사 (E-mail : cywem@seoul.go.kr)
이 왕 수 Lee, Wang Soo | 정회원 · 세종대학교 박사과정 (E-mail : cloeo19@naver.com)
이 현 종 Lee, Hyun Jong | 정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 정교수 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
박 희 문 Park, Hee Mun | 정회원 · 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원 · 교신저자 (E-mail : hpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study was to develop an asphalt pavement response model for a subsurface cavity section using the 3D finite element method and a statistical approach.

METHODS : It is necessary to analyze the structural behavior of asphalt pavement with a subsurface cavity to evaluate the degree of risk for a road cave-in. A 3D finite element model was developed to simulate the subsurface cavity underneath asphalt pavement and was verified using the ILLIPAVE program. Finite element analysis was conducted for asphalt pavement sections with different asphalt layer thickness/modulus, and cavity depth and length, to generate the artificial pavement response database. The critical pavement response considered in this study was the tensile strain at the bottom of the asphalt layer because fatigue cracking is the main cause of road cave-in. The relationship between the critical pavement response and influencing factors was investigated using the pavement response database. The statistical regression approach was adopted to develop the asphalt pavement response model for predicting the critical pavement response of asphalt pavement with a subsurface cavity.

RESULTS : It was found from the sensitivity analysis that the asphalt layer thickness or modulus, and cavity depth or length, are the major factors affecting road cave-in incidents involving asphalt pavement. The asphalt pavement response model showed high accuracy in predicting the tensile strain at the bottom of asphalt layer. It was found from the verification study that the R square value between finite element model and pavement response model were 0.969 and 0.978 in the cavity and intact sections, respectively.

CONCLUSIONS : The work reported in this paper was intended to figure out the pavement structural behavior and to develop a pavement response model for the occurrence of cavities underneath asphalt pavement using 3D finite element analysis. In the future, critical pavement response will be utilized to establish the criteria of risk of road cave-in based on various different conditions.

Keywords
Finite Element Method, Cavity, Pavement Response Model, Road cave-in

Corresponding Author : Park, Hee Mun, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0323 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : hpark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 08, 2018 Revised Aug. 14, 2018 Accepted Oct. 02, 2018

[붙임4]
성과증빙 C-1-①

한국지반공학회논문집 제34권 8호 2018년 8월 pp. 27 ~ 36
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.34, No.8, August 2018 pp. 27 ~ 36

비SCI3
ISSN 1229-3407 (Print)
ISSN 2288-646X (Online)
https://doi.org/10.7843/kgs.2018.34.8.27

개별요소법을 통한 지반의 포화도와 밀도가 함몰에 미치는 영향 평가

Influence of Saturation and Soil Density on the Ground Subsidence Using Distinct Element Method

김 연 호[1] Kim, Yeonho
김 현 빈[2] Kim, Hyunbin
박 성 완[3] Park, Seong-Wan

Abstract

The collapse behavior of ground subsidence caused by continuous loss of particles depends on the saturated condition and density of the ground. In this study, types of ground subsidence were classified based on the saturated condition and each type was performed on the different relative density to analyze the influence factors on the collapse behavior by distinct element method. According to analysis results, the relatively small amount of settlement occurred on the dense ground and a cavity was created under dense-unsaturated ground. In contrast, loose ground showed the large amount of settlement and collapsed immediately without cavity formation even if the unsaturated ground was simulated. The results demonstrated that because the relative density has influence on the mechanical interlocking and saturated condition has influence on the inter-particle force, these are important factors to change the collapse behavior.

요 지

연속적인 입자 유실에 의해 발생하는 지반 함몰 유형은 지반의 포화상태 및 상대밀도에 따라 전개 거동이 다르게 발생한다. 본 연구에서는 지반의 포화상태에 따라 함몰 유형을 분류하고 각 유형에 대해 상대밀도에 따른 해석을 개별요소법을 통해 수행하여 영향 인자에 따른 지반 함몰 전개 거동 변화를 분석하였다. 조밀한 지반인 경우, 포화상태에서는 비교적 작은 침하량과 침하 영향범위가 발생하였고 부분포화상태에서는 지반 내부에 동공을 형성하는 결과를 보였다. 반면, 느슨한 지반인 경우, 포화상태에서는 침하량과 침하 영향범위가 크게 발생하였으며 부분포화상태에서도 동공을 형성하지 못하고 즉각적인 함몰이 발생하였다. 결과적으로 지반의 상대밀도 및 포화상태는 입자 사이에 작용하는 맞물림 효과에 큰 영향을 미치며 함몰 거동을 변화시키는 중요한 인자로 작용하는 것으로 나타났다.

Keywords : Ground subsidence, Soil erosion, Distinct Element Method

1 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 공학석사 (Member, Master of Eng., Dept. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ.)
2 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ.)
3 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ., Tel: +82-31-8005-3472, xpark@dankook.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)
* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2019년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2018 by the Korean Geotechnical Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[붙임5]
성과증빙 D-2-①

J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 18, No. 6 (Oct. 2018), pp.49-58
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.6.49

비SCI4
ISSN 1738-2434(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

도시방재

도시규모를 고려한 도로함몰 사고 복구 행동절차 및 체크리스트 개발

Development of Urban Scale Action Procedure and Checklist for Road Sink Accident Restoration

성주현* · 최병일**
Seong, Joohyun*, and Choi, Byoungil**

Abstract

Following continuous occurrences of road sinks in the center of Seoul in 2014, this phenomenon has become a major social issue in Korea. Although the government, municipalities, and related experts have made lots of efforts to prevent road sink accidents, these incidents are still occurring all over the country. Road sink accidents are often accompanied by emergency situations because of their close association with loss of human life and property damage. Therefore, this study aims at presenting urban-scale restoration action procedures and checklist items that can be used by government officials to recover quickly in the event of a road sink incident.

Key words : Road Sink, Restoration, Action Procedure, Checklist

요 지

2014년 서울 중심에서 도로함몰 현상이 연속하여 발생함에 따라 도로함몰 현상은 사회적으로 큰 이슈가 되었다. 지금까지도 정부·지자체, 관련 전문가들은 도로함몰 사고 예방을 위해 많은 노력을 기울였지만 여전히 전국에 걸쳐 사고가 발생하고 있는 실정이다. 도로함몰 사고는 인명 및 재산 피해와 직접적인 관련이 있으므로 긴급 상황을 동반할 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 도로함몰 사고 발생시 지자체 실무자들이 신속히 활용할 수 있는 복구 행동 절차와 필수 점검 항목을 도시규모에 따라 제시하고자 한다.

핵심용어 : 도로함몰, 복구, 행동절차, 체크리스트

1. 서 론

2014년 8월 서울시 잠실 인근 5개 지역에서 도로함몰 사고가 발생함에 따라 주변일대 차량 통행이 전면 통제되었으며, 관련 내용이 언론에 노출되며 도로함몰 사고는 사회적 이슈로 부각 되었다(MOLIT, 2015a). 당시 도로함몰 사고가 전국에서 가장 많이 발생하던 서울시에서는 사고 발생 원인을 분석하였으며, 그 결과 하수관손상(84.5%), 상수관손상(1.7%), 인접굴착공사 등 기타(13.8%) 순으로 나타났다(Seoul Metropolitan City, 2014). 그리고 최근 서울시에서 발간한 '서울시 도로관리 기술백서'에서도 도로함몰 사고 원인 및 빈도를 분석하였다. 사고원인은 하수관손상(51%), 상수관손상 (13%), 굴착복구미흡(25%), 공사중함몰(11%) 순으로 나타났으며, 여전히 매설관로가 도로함몰 사고 원인으로 가장 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다(Seoul Metropolitan City, 2017). 이는 도시 노후화뿐만 아니라 도시 규모와도 관련이 있을 것이라 판단된다. Fig. 1은 서울시에서 분석한 도로함몰 발생 원인을 나타낸다. 그리고 도로함몰

*정희원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 수석연구원(E-mail: bluehill@kistec.or.kr)
Member, Head Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC
**교신저자, 정희원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 연구원(Tel: +82-55-771-4784, Fax: +82-55-771-4989, E-mail: bichoi@kistec.or.kr)
Corresponding Author, Member, Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC

[붙임6]
성과증빙 D-1-①

Int. J. Highw. Eng. Vol. 20 No. 6 : 101-108 DECEMBER 2018
https://doi.org/10.7855/IJHE.2018.20.6.101

도로공동 탐지를 위한 멀티채널 GPR 장비 비교 연구

Comparison of Multichannel Ground Penetrating Radar Equipment for Detecting Road Cavities

윤진성 Yoon, Jin-Sung | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : jsyoon94@seoul.go.kr)
이창민 Lee, Chang Min | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : min7872@seoul.go.kr)
백종은 Baek, Jongeun | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 센터장 · 교신저자 (E-mail : jbaek@seoul.go.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to compare the advantages and disadvantages of 3D multichannel ground penetrating radar (GPR) equipment, which is mainly used for road cavity detection. The optimal signal analysis method was also proposed for 3D GPR data.

METHODS : Four types of 3D GPR equipment were used to detect road cavities in a pilot road section in Seoul. The obtained GPR signals were evaluated in the time and frequency domain using raw data. In addition, various types of filters were applied to time domain (B-scan) data to examine the optimal signal processing.

RESULTS : The time and frequency domain analysis of raw data showed that all the equipment produced reverse and strong signal reflections owing to the low dielectric permittivity of air in the cavity compared with neighbor materials. Also, the asymmetric parabolic curve was observed as well. The optimal signal processing method was determined to detect road cavities: zero-setting and background removal should be applied to all equipment. Bandpass filtering can be optionally applied to remove high-frequency noise or direct waves.

CONCLUSIONS : Despite the different specifications of GPR equipment in terms of signal generation and bandwidth, the GPR signals were appropriate in terms of zero-setting, noise level, and depth of investigation. Therefore, all the multichannel GPR devices evaluated were found to be suitable to detect road cavities located at depths of 1.0 and 1.5 m after the application of proper filtering process.

Keywords
Road Cavity, Ground Penetrating Radar, Multichannel, Signal analysis

Corresponding Author : Baek, Jongeun
The Pavement Research Center, Quality Inspection Office Division,
Seoul Metropolitan Government, 131, Taebong-ro, Seocho-gu,
Seoul, 06763, Korea
Tel : +82.2.513.4690 Fax : +82.2.513.4689
E-mail : jbaek@seoul.go.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Oct. 30, 2018 Revised Oct. 30, 2018 Accepted Nov. 25, 2018

1. 서론

최근 들어 도심지 도로에 자주 발생하는 지반함몰(도로함몰)의 주요 원인인 공동을 탐사하기 위하여 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)를 이용하는 비파괴시험이 일반적으로 많이 사용되고 있다(Baek and Choi, 2014). 특히 공동 탐사의 효율성을 높이기 위하여 GPR 송·수신 안테나 여러 개를 병렬로 연결하고, 차량에 부착 또는 견인되는 차량형 멀티채널

[붙임7]
성과증빙 D-1-①

Int. J. Highw. Eng. Vol. 21 No. 1 : 35-41 FEBRUARY 2019
https://doi.org/10.7855/IJHE.2019.21.1.035

보도구간 지하매설물 조사에 대한 GPR 적용성 평가

Evaluation of GPR Application to Survey Utilities on Sidewalks

이창민 Lee, Chang Min | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : min7872@seoul.go.kr)
윤진성 Yoon, Jin-sung | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : jsyoon94@seoul.go.kr)
백종은 Baek, Jongeun | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 센터장 · 교신저자 (E-mail : jbaek@seoul.go.kr)
김순태 Kim, Soontae | (주)지오레이다 대표이사 (E-mail : geoguy.kr@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aims to evaluate the applicability of ground penetrating radar (GPR) for surveying utility pipes under sidewalks made of concrete brick and plate-stone block pavements.

METHODS : GPR tests were conducted at two test sections to detect layer boundary and utility pipes under the pavements. The central frequency of the single-channel GPR was 800, 500, 250, and 100 MHz, and the central frequency of multi-channel (8) GPR was 450 MHz. GPR signals were analyzed in terms of 1-D (A-scan) and 2-D (B-scan) profiles.

RESULTS : From the A-scan data analysis, the vertical resolution of the GPR ranged from 7.3 cm for 800 MHz to 133.1 cm for 100 MHz in the concrete brick block pavement and 13.9 cm for 800 MHz to 144.2 cm for 100 MHz in plate stone block pavement. From the B-scan data analysis, 250 MHz to 500 MHz GPR was sufficient to differentiate the layer boundary at a depth of 1.0–1.5 m to detect utility pipes at a depth of 0.5–2.0 m in both block pavements. In the plate-stone block pavement, GPR signal attenuation was greater because of the wire mesh in the concrete layer. Thus, the penetration depth was approximately 80% of the concrete brick-block pavement.

CONCLUSIONS : The penetration depth and vertical resolution of GPR in the sidewalk paved with blocks were comparable to those of roadway pavement. Among the GPR evaluated, the 250 MHz GPR was the most desirable, and the 500 MHz GPR was affordable for the investigation of underground pipes situated up to 2.0–3.0 m under sidewalks.

Keywords
Ground-penetrating radar, Block pavements, Sidewalk, Utility detection

Corresponding Author : Baek, Jongeun
The Pavement Research Center, Quality Inspection Office Division, Seoul Metropolitan Government, 131, Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul, 06763, Korea
Tel : +82.2.513.4690 Fax : +82.2.513.4689
E-mail : jbaek@seoul.go.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 22, 2018 Revised Nov. 26, 2018 Accepted Jan. 28, 2019

1. 서론

서울시는 도로함몰 예방을 위해 차도구간에 대하여 2015년도부터 공동탐사를 실시하고 있다. 지난 3년간의 서울시 도로 6,478km에 대하여 공동탐사를 통하여 2,920개의 공동을 발견하였다. 발견된 공동에 대해서는 원인 파악을 위한 굴착복구 및 소규모 공동에 대한 그라우팅 공법으로 복구하였다. 이러한 도로공동 탐사 및 복구를 통하여 도로함몰이 67% 줄어드는 효과를 나

[붙임8]
성과증빙 D-1-②

Int. J. Highw. Eng. Vol. 20 No. 6 : 117-126 DECEMBER 2018
https://doi.org/10.7855/IJHE.2018.20.6.117

처짐비를 활용한 도로함몰 관리등급 개선 연구

A Study for Improvement the Subsurface Cavity Management Grade Using Deflection Ratio

김 경 수 Kim, Kyung soo | 정회원 - 인덕대학교 산학협력단 과제연구원 (E-mail : ild@naver.com)
최 준 성 Choi, Junseong | 정회원 - 인덕대학교 토목환경공학과 정교수 · 교신저자 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
윤 진 성 Yoon, Jin-sung | 정회원 - 서울특별시 안전총괄본부 도로관리과 주무관 (E-mail : jsyoon94@seoul.go.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to evaluate and improve the potential risk of road cave-ins due to subsurface cavities based on the deflection ratio measured with light falling weight deflectometer (LFWD) tests.

METHODS : A cavity database for Seoul was developed and sorted. LFWD tests based on the database were conducted on pavement sections with and without road cavities detected by ground-penetrating radar (GPR) tests; after excavating the area, the cavity sizes were measured. The deflection ratio was applied and analyzed by cavity management grade methods of Japan and Seoul.

RESULTS : The results of comparative analysis show that the deflection method can detect road cavities in areas of the narrow road (or in narrow areas of the road). The average deflection ratio of the cavity sections to the robust sections were 2.48 for high-risk cavities, 1.85 for medium-risk level cavities, and 1.49 for low-risk cavities. Risk levels in Japan and Seoul were reclassified according to the deflection ratios.

CONCLUSIONS : LFWD test results can be applied to verify and improve the subsurface cavity risk level by comparing maximum deflection and deflection ratio between cavity area and non-cavity area at the loading center. LFWD devices also have more advantages compared with larger NDT(Nondestructive test) because FWD and GPR encounter difficulties in traffic control and they could not get in a narrow roads.

Keywords
Light Falling Weight Deflectometer, Deflection analysis, Subsurface Cavity, Cavity Risk Level

Corresponding Author : Choi, JunSeong, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering,
Induk University, 12, Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea
Tel : +82.2.950.7565 Fax : +82.2.950.7579
E-mail : soilpave@induk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 12, 2018 Revised Nov. 13, 2018 Accepted Nov. 19, 2018

1. 서론

최근 국내에서 빈번하게 발생하는 도로함몰은 다양한 원인에 의하여 발생한다. 도로함몰의 발생 원인으로는 대부분 물이 흐르는 관로의 손상, 미흡하게 다져진 굴착 복구 구간, 공사구간 지하수 유출 등으로 인한 토사유출이다. 도로함몰은 도로하부의 동공이 생성되고 이후 동공이 포장층으로 점차 확장되어 발생하는 기본적인 원리로 발생한다(Kweon et al., 2016). 도로함몰 예방을 위해서 도로함몰 전 포장층 하부에 발생한 동공의 탐지를 위한 다양한 비파괴 시험 방법을 사용하고 있으며,

[붙임9]

성과증빙 B-1-①

Underground Object Classification using 3D GPR Data

Namgyu Kim[1], Ki-Deok Kim[1], Yun-Kyu An[2], Hyun-Jong Lee[1], Jong-Jae Lee[1]

[1] Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Republic of korea

[2] Department of Architectural Engineering, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Republic of korea

Correspondence e-mail address: jongjae@sejong.ac.kr

Abstract:

In this study, a novel method based on ground penetration radar (GPR) is proposed to categorize underground objects by using both B-scan and C-scan images. Three-dimensional GPR data obtained from a multichannel GPR system are reconstructed into a two-dimensional (2D) grid image which consists of several B-scan and C-scan images. Three-dimensional shape information of an underground object can be well represented in 2D grid image. The 2D grid images are then trained using deep convolutional neural networks (CNN) that is a state-of-the-art technique for image classification problem. The proposed method is validated through field applications on urban roads in Seoul, South Korea.

Key Words: Ground Penetrating Radar; Deep Learning; Image arrangement

[붙임10]
성과증빙 A-1-②

학술발표2

Sensitivity Analysis on the Effect of Cavity in Structural Capacity of Asphalt Pavement using Finite Element Analysis

Wang Soo Lee[1], Yeon Woo Choi[2], and Hyun Jong Lee[3], Hee Mun Park[4],

[1] *PhD student, Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Seoul, Korea*
[2] *Head of the division, Road Management Division, Seoul Metropolitan Government, Seoul, Korea*
[3] *Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Seoul, Korea*
[4] *Research Fellow, Highway Research Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea*

Correspondence e-mail address: hpark@kict.re.kr

Abstract:

Subsurface cavities in the asphalt pavement which can cause road depression and cave-in accidents influence on the safety of pedestrians and vehicle drivers in the urban area. The existence of subsurface cavity can increase the tensile strain at the bottom of asphalt layer which is an indicator of fatigue cracking potential, and leads to the weakening of the pavement structural capacity. In this study, the finite element (FE) analysis was conducted to examine the relationship between the critical pavement responses and influencing factors, such as cavity depth and size, asphalt layer thickness, and asphalt concrete modulus. The surface deflections and tensile strains calculated from the ABAQUS FE program were compared to those from ILLIPAVE. It is found from this comparison that there are a good relationship between two analysis results. A three dimensional finite element model which is essential to simulate the hexahedral cavity were used to generate the synthetic database of critical pavement responses. To validate the developed model, the deflection data obtained from field Falling Weight Deflectometer (FWD) testing in four different locations were compared to FE deflections. It is found that the center deflections obtained from the FWD testing and FE analysis are similar to each other with an error values of 2.7, 4.4, 5.5, and 11.9 % respectively. The FE model developed in this study seems to be acceptable in simulating actual field cavity condition. On the basis of the data in the database, various analyses were conducted to estimate the effect of influencing factors on the critical pavement responses. It was found that the tensile strain at the bottom of asphalt layer is affected by all the factors but the most affected by the cavity depth and asphalt concrete modulus. Further studies are recommended to properly account for the effect of cavity's geometry to pavement response.

Key Words: Cavity; asphalt pavement; finite element method; ABAQUS; falling weight deflectometer; deflection basin

References

[1] Gupta, A., Kumar, A. (2014), "Comparative structural analysis of flexible pavements using finite element method", *The International Journal of Pavement Engineering and Asphalt Technology*, Vol. 15, pp 11-19.
[2] Tarefder, R.A., Ahmed, M.U. (2013), "**Modeling of the FWD Deflection Basin to Evaluate Airport Pavements**", *The International Journal of Geomechanics*, Vol. 14, pp 205-213.
[3] Schwartz, C.W., Li, R., Ceylan, H., Kim, S., Gopalakrishnan, K. (2013), "Global sensitivity analysis of mechanistic-empirical performance predictions for flexible pavements" *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2368, pp 12-23

[붙임11]
성과증빙 D-2-①

학술발표3

Preliminary Field Evaluation of Grouting Methods used for Small Subsurface Cavity Restoration

Jongeun Baek[1], Chang-Min Lee[1], Jin-Sung Yoon[1], Yeon-Woo Choi[2] and Hyun Choi[2]

[1] *Quality Inspection Office Division, Seoul Metropolitan Government, 131 Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul 06763, Korea*

[2] *Road Management Division, Seoul Metropolitan Government, 131 Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul 06763, Korea*

Correspondence e-mail address: jbaek@seoul.go.kr

Abstract:

Ground depression/cave-ins due to subsurface cavities have been occasionally occurred in urban area. To prevent the ground cave-ins, a ground penetrating radar (GPR) method was applied and more than 2,000 subsurface cavities were found in Seoul. For each cavity, excavation was carried out to investigate main cause of the cavity and then the site was restored permanently. It was found that this excavation-and-restoration method was not efficient to repair small size cavities. Instead, grouting methods was used to repair the small cavities temporarily. This study evaluated the field applicability of grouting methods on restoring small cavities. Three types of grouting materials were applied on 12 sections and two non-destructive tests were conducted in field. A falling weight deflectometer(FWD) test was conducted to assess the bearing capacity of the site before and after grouting. Ground penetrating radar (GPR) was used to evaluate the extent of the grouting materials to a cavity. From the FWD test results, the bearing capacity of the Section A and B was enhanced by 7.5% and 13.5% while the bearing capacity of the section C was reduced by 11.5%. It was found from the GPR tests that the grouting materials used in the Section B and C could fill the cavity well and also extended to surrounded area due to injection pressure or self-expansion. In common, the small cavities could be restored quickly, less than 30 minutes per a cavity by the grouting methods. Hence it can be concluded that the grouting methods can be applicable to restore small cavities. However, it needs to consider the application of grouting methods carefully because the grouting methods can be lost through a pipe link to a cavity. Also, excavations can be conducted occasionally in urban roads so that the stiffness of grouting materials needs to soft enough to be excavated and strong enough to support traffic loads.

Key Words: subsurface cavity; grouting; falling weight deflectometer; ground penetrating radar

[붙임12]
성과증빙 D-1-①

학술발표4

Evaluation of Road Cavity Detection using Road Deflection as a Complementary Method

Jun-Seong Choi[1], Jin-Sung Yoon[2]

[1] Department of Civil and Environmental Engineering, Induk University, *12, Choansan-ro 5-gil, Nowon-gu, Seoul, Republic of Korea*
[2] Quality Inspection Office Division, Pavement Research Center, Seoul Metropolitan, *131 Taebong-ro, Seocho-gu, Seoul, Republic of Korea*

Correspondence e-mail address: soilpave@induk.ac.kr

Abstract:
This is the abstract section. One paragraph only Road cavities recently in urban are causing collapse of road surface layer due to loss of support bearing capacity. Detecting road cavities with ground penetrating radar(GPR) test, then excavation and backfill are performed in the anticipated cavity area. However sometimes detecting errors are occurred because of the complexity of the GPR test result analysis or interval space between larger gravels. So before unnecessary excavation, verification for detect the cavities results should be needed. The purpose of this study suggest deflection method by the light weight deflectometer(LWD) as a verification way of GPR test results and as a tracking investigation method continuously at the sites having small size cavity. LWD devices has more advantages than larger NDT because FWD has difficulties in a traffic control and entrance of narrow-back road. In this study, LWD tests were conducted on the pavement sections with and without road cavity detected by GPR tests and after excavating the area, the cavity sizes were measured. LWD test results can be applied to verify a subsurface cavity by comparing maximum deflection and deflection ratio between cavity area and non cavity area at the loading center. The higher deflection and lower modulus was measured at cavity sections. Based on the results of the comparative analysis, It is found that deflection method has a possibility of complementary for detecting road cavity. Also cavity size prediction equation was attempted to propose through deflection ratio using a database. Compared with another validation data, the proposed prediction equation is more suitable for detecting cavity existence than size estimation because the average error rate is larger. As a results of the analysis with depth ratio as a factor, it is necessary to improve the cavity size prediction through the normalization using the parameter of road properties.

Key Words: Road Cavity, LWD(light wieght deflectometer), Deflection, Deflection ratio

Acknowledgement

This research was supported by a grant(18TLRP-C099510-04) from Transportation & Logistics Research Program(TLRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government

References

[1] Choi, J. S. The Study of the Diagnosis on Pavement Condition Using the Light FWD Equipment. *Journal of Korean Hazard Mitigation* **2014**, Volume 14, 4, pp. 135–141.
[2] Choi, J. S.; Yoon, J. S.; Lee, H. Analysis of Correlation between Pavement Surface Deflection and Scale of the Road Cavities Using the LFWD Equipment. *KSCE 2017 CONVENTION* **2017**, 10, pp 1-2.
[3] Kim, T. W.; Yoon, J. S.; Lee, C. M.; Baek, J. E.; Choi, Y. W. Preliminary Evaluation of Subsurface Cavity and Road Cave-in Potenials Based on FWD Deflections. *International Journal of Highway Engineering* **2017**, Volume 19, 5, pp. 59-68.
[4] Kim, Y. H., Park, S. W. DEM Simulation on the Initiation and Development of Road Subsidence. *Journal of the Korean Geotechnical Society* **2017**, Volume 33, 7, pp. 43-53

[붙임13]
성과증빙 D-1-①

학술발표5

Quantitative Analysis Method of GPR Image for Road-Cavity Section

Sang-yum Lee[1], Jung-moo Kim[2] and Dae-yeol Kwak[2]

[1] Department of Construction Information, Induk University
[2] Department of Construction Information, Induk University
[2] Department of Construction Information, Induk University

Correspondence e-mail address: yummy0220@induk.ac.kr

Abstract: The Ground Penetrating Radar(GPR) is a typical non-destructive test equipment which is widely used in seeking a cavity or underground facility. Test results are generally expressed 2D monochrome or color images, distribution of the parabolic waveforms are used to determine the existence of cavity and facility. **(Fig. 1)** But, an analysis method of image may cause errors depending on the knowledge and experience of analyst. In this study, we analyzed the coefficient of correlation between A-Scan data of GPR to judge the existence of cavity located under the pavement layer. The correlation analysis was performed based on the assumption that the relationship of correlation between a number of A-Scan data passing through a non-cavity section is larger than a small number of A-Scan data passing through a cavity section, and relationship of correlation was visualized using Surfer Program. **(Fig. 2)** In addition, apart from the correlation analysis, we compared the Power spectrum of the A-scan data for the cavity section and non-cavity section. In other words, assuming that the size of the energy changes depending on the existence of the cavity, PSD (Power Spectrum Density) is obtained for all the B-Scan data, and the tendency of the energy size is confirmed using the 3D wireframe map of the Surfer program. **(Fig. 3)**

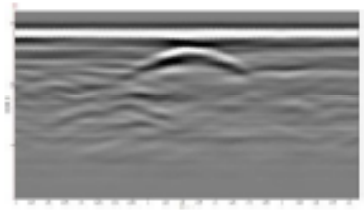


Fig. 3. GPR Measurement result.

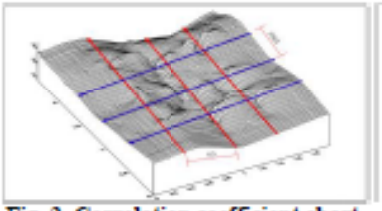


Fig. 2. Correlation coefficient chart.

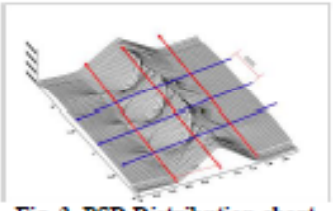


Fig. 3. PSD Distribution chart.

As a result, the correlation coefficient shows a small tendency in the cavity section and the PSD shows a large tendency, which is intuitively recognized that the energy attenuation in the cavity section is smaller than other material. But, there are some ambiguous sections to judge the tendency clearly, this is estimated to be noise on the underground facility and it is necessary to take measure of mitigating this.

Acknowledgement
This research was supported by a grant(18TLRP-C099510-04) from Transportation & Logistics Research Program(TLRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

Key Words: Cavity; Ground Penetrating Radar (GPR); Correlation Analysis; Furier Transform;

[붙임14]
성과증빙 C-2-②

학술발표6

A Study on Stiffness Characteristics of Asphalt Pavement with Subsurface Cavity using Falling Weight Deflectometer Test

Kisoo Park[1], Yeontae Kim[1], Heemun Park[1] , Yeonwoo Choi[2] and Taewoo Kim[3]

[1] Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Republic of Korea
[2] Road Management Division, Seoul Metropolitan Government, Seoul, Republic of Korea
[3] Quality Inspection Office, Seoul Metropolitan Government, Seoul, Republic of Korea

Correspondence e-mail address: hpark@kict.re.kr

Abstract:
Recently, road cave-in and depression in urban area due to subsurface cavity are emerging as a social issue in Korea. These phenomena enable to cause not only damage to human lives and properties, but also an anxiety of the citizens. Furthermore, it is a problem that needs more fundamental solution to countermeasure. The objective of this study is to evaluate the stiffness characteristics of asphalt pavement with existence of subsurface cavity using Falling Weight Deflectometer (FWD) deflection and backcalculation analysis using GAPAVE program developed the KICT. The characteristics of FWD deflections are analysed for cavity and intact asphalt pavements. The stiffness reduction in the asphalt pavement due to subsurface cavity was evaluated as a result of this FWD test. The Seoul Metropolitan Government has conducted a Ground Penetrating Radar (GPR) test, coring, and image photographing in four different locations to determine the presence of the cavity and figure out the cavity depth and size underneath asphalt pavements. The cavity depths measured in this section range between 17cm to 51cm, and its lengths are at least 70cm to up to 310cm. It is found from this analysis that the deflections measured from cavity section are generally higher than intact section in same locations. As results of backcalculation analysis, it appears that the backcalculated moduli are generally decreasing with increase of cavity depth. After comparing with AC moduli obtained from intact and cavity section, it is observed that about 80% of moduli was reduced with existence of subsurface.

Key Words: Falling Weight Deflectometer; Ground Penetrating Radar; GAPAVE, Subsurface cavity

References

[1] Choi, Yeon Woo, Choi, Hyun, and Kim, Jong Min 2015 Cause of Road Cavity and Action Plan for Road Collapse, Proceedings of 2015 Korea Society of Road Engineering Conference, October 2015, Seoul, Korea.
[2] Park, Hee Mun, 2006. Development of the Structural Condition Evaluation Technique for Asphalt Pavements Using Falling Weight Deflectometer Deflections, International Journal of Highway Engineering, Vol. 8, No. 4. 115-124.
[3] Park, Hee Mun, Kim, Yeon Tae, Choi, Ji Young, Kim, Ki Hyun. 2016. A Preliminary Study for Assessing the Risk of Road Collapse Using Accelerated Pavement Testing, International Journal of Highway Engineering. Vol. 18 No. 5, 57-62.
[4] Yoon, Jin-Sung, Baek, Jongeun, Choi, Yeon Woo, Choi, Hyeon, Lee, Chang Min. 2016. Signal Pattern Analysis of Ground Penetrating Radar for Detecting Road Cavities, International Journal of Highway Engineering. Vol. 18 No. 6, 61-67.

[붙임15]
성과증빙 D-3-①

Development of a Prototype Road Cave-In Management Program

연규민, 유호준, 조정연, 김인태

[1] *Full Affiliation, Address*
[2] *Full Affiliation, Address*
Correspondence e-mail address: XXXX@email

Abstract:
우리나라 도로는 PMS(Pavement Management System) 전산시스템이 구축되어 고속도로, 국도, 시도로에 운영되고 있다. PMS 는 포장의 구조적 성능과 기능적 성능을 지표로 포장의 최적 유지보수 대안을 선택하고 관리하는 프로그램이다. PMS 는 포장의 구조적인 성능 유지가 주요 목적으로 개발된 시스템으로 아직까지 도로이용자의 안전과 관련된 지표는 포함하지 않고있다. 하지만 최근 전 세계적으로 SNS, 매스컴 등을 통해 이슈가 되고 있는 도로함몰은 도로이용자에게 안전상의 위험을 주며, 특히 포장의 대규모 붕괴로 이어지기 때문에 포장의 구조적· 기능적 관점에서도 PMS 와 같이 하나의 통합된 프로그램 안에서 체계적으로 다뤄져야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존 국내에서 활발하게 연구를 진행 중인 도로함몰의 탐사, 분석, 평가, 대처에 대한 다양한 연구결과를 토대로 하나의 통합된 도로함몰 관리 프로그램 개발을 위한 실용화 연구를 진행했다.



도로함몰 관리 시스템 운영 절차



도로함몰 관리 프로그램 개발

Key Words: Cave-In, Management

감사의 글

본 연구는 국토교통부/ 교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 18TLRP-C099510-04)에 의해 수행되었습니다.

References

[1] Park. K. S., Suh. Y. O. (2000). "Optimization of Municipal Pavement Management System(PMS) Components (Development of a Prototype PMS for Ansan City)" Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 2, No. 4, pp. 111-122.

[2] O. L. Dickerson III., J. Wang., J. Witherspoon. (2017). "Work Zone Management the District of Columbia" Journal of the Transportation Research Board, No. 2554, pp. 37-45.

[3] Bae. Y. S., Shin. S. Y., Won. J. S., Lee. D. H. (2018) "The Road Subsidence Conditions and Safety Improvement Plans in Seoul" The Seoul Institute

[붙임16]
성과증빙 D-1-①

A Case Study on Detection of Subsurface Cavities of Urban Roads Using Ground-coupled GPR

Jongeun Baek*, Jin-sung Yoon, Chang-min Lee, and Yeonwoo Choi
Seoul Metropolitan Government
Seoul, Republic of Korea
*Corresponding author: jbaek@seoul.go.kr

***Abstract*—The city of Seoul has been in trouble due to road safety problems induced by a sudden and random road cave-ins. Extensive field investigations have been conducted to understand the phenomenon of the road cave-ins. This study introduced the results of field investigation on the development of road cave-ins and subsurface cavities. Ground penetrating radar (GPR) test results also reported to detect subsurface cavities which may become road cave-ins in the future. Field tests indicate that most subsurface cavities consist of three parts: head, body, and tail. The causes of the cavities were sewage defects, lack of backfill compaction, and insufficient earthwork. Subsurface cavities were detected successfully using the GPR tests and repaired according to the level of road cave-in potential. Two years of GPR tests and restoration resulted in a 67% reduction in the urban road.**

Keywords—road cave-in; subsurface cavity; ground penetrating radar; urban road

I. INTRODUCTION

A sinkhole can be defined as a type of surface collapse due to the lack of bearing capacity of the surface due to cavities/ voids in the underlying layer made of limestone and carbonate rock dissolved in groundwater. It has long been recognized as a natural disaster. Today, in many countries, there has been a sinkhole-like road cave-in (or collapse) and/or sink, especially in urban areas. Significant changes in the groundwater table have been reported as major causes of large-scale sinkholes (Gao et al., 2013). In many cases of small-scale road cave-ins, the damage of underground utility pipes has led to the development of a joint underground and/or original foundation (Kuwano 2011). Compared with natural sinkholes, most road cave-ins are considerably small, less than 5 meters in diameter, but occur more frequently. It can be regarded as important artificial disasters to be controlled carefully in urban area.

In Korea, road cave-ins have become a serious problem a few years ago. In Seoul, several small settlements were found on the road near the construction site of high-rise buildings in 2014. In addition, lots of road cave-ins, depressions and potholes have been reported. For example, figure 1.a shows a road cave-in, 4 m long, 5 m wide, and 3 m deep, caused by the breakdown of the sewage pipe adjacent to the drinking water pipe constructed in 1978. Figure 1.b shows that the second road cave-in occurred just one month after a small patch repair was done on the first small road cave-in. A large size (1 m diameter, 8 m depth) cavity was found in the trench cut around the hole.



(a) (b)

Fig. 1. Typical road cave-ins due to utility damage

II. MECHANISMS OF ROAD CAVE-INS DEVELOPMENT

A. Road Cave-in Development

A field investigation was conducted to discover the causes of road cave-ins and the mechanism of road cave-in and cavity development. Excavation was carried out carefully to prevent the sudden collapse of the roads and surrounding areas. Several types of subsurface cavities have been found in more than 100 road cavities and subsurface cavities. In general, the first step of subsurface cavity development is to break the connection between two pipes or the middle part of the pipe buried 1-2 meters below the surface. Then, the soil around the pipe is gradually penetrated into the pipe by water through cracks or crevices, and the cavity is formed initially. The surrounded soil keeps infiltrating into the pipe and then the cavity moves to weak areas and grow in long and narrow spaces. This part can be named "cavity tail" in this study. The cavity tail was found in subgrade and/or original base of roads which was made of clay and/or silty soils having very low permeability. The length of the tail depends mainly on the depth of the utility and the type of soil. For example, a tail developed near a circular pipe is 0.2 m long, 0.8 m long in a sewage box, and 1.9 m in a subway box (Choi et al., 2016).

As the cavity tail grew toward the road surface and reached the aggregate and the base layer, the cavity quickly began to expand and occupied most of the volume of the cavity. So this part was named "body" in this study. The cavity

978-1-5386-5777-5/18/$31.00 ©2018 IEEE

[붙임17]
성과증빙 D-2-①

International Conference on Civil and Environmental Engineering, ICCEE-2018/ Oct.14-17, 2018/ Dalian, China

PKNU19 Development of restoration processes for the road sink using classification of city size*

Joo-Hyun Seong[a], Min-Hyung Jung[a], Byong-Il Choi[a]

[a]Research Institute for Infrastucture Performance, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Jinju, Korea

Abstract

As road sinks occurred frequently in Korean major cities such as Seoul, Busan, Incheon, the road sink phenomenon was considered as a major social issue in Korea. Because a road sink accident is closely related to human lives and property damages, it is necessary to develop and operate restoration process for the road sink in order to decrease damage from a road sink accident. However, it is necessary that restoration processes which are suitable for the character of each city are developed, because size and organization are different from each city. In this study, type of cities were classified as big city and small city in consideration of population, population density and presence of response organization for the road sink. As a result of score combinations, 8 cities in Korea were divided as a guidance for big city. And, restoration processes were developed in order to suit with big city and small city. Finally, a restoration process for suburban area whose importance of road management is lower than urban area was presented.

Table. 15. Flow chart of landslide susceptibility map using hazard level-based rainfalls

Factor	Criteria		City
	Range	Score	
Population (Million people)	≥ 1	3	Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Ulsan, Suwon etc. (10)
	≥ 0.5 & < 1	2	Seongnam, Bucheon, Ansan, Anyang, Yongin, Jeonju, Jeju etc. (13)
	< 0.5	1	Uijeongbu, Siheung, Gwangmyeong, Gunpo, Osan, Guri, Sejong etc. (27)
Population Density (people/㎢)	≥ 2,000	3	Bucheon, Seoul, Anyang, Gwangmyeong, Suwon, Gunpo, Seongnam etc. (22)
	≥ 500 & < 2,000	2	Hanam, Yongin, Changwon, Namyangju, Gimhae, Dongducheon, Ulsan etc. (18)
	< 500	1	Jinju, Icheon, Pohang, Jeju, Anseong, Gwangyang, Wonju, Pocheon etc. (10)
Response organization	metropolitaon, city with gu	2	Seoul, Anyang, Suwon, Seongnam, Ansan, Busan, Goyang, Jeonju etc. (18)
	general city	1	Bucheon, Gwangmyeong, Gunpo, Guri, Uijeongbu, Mokpo, Gimpo etc. (32)
City size	Total Score		Classification of City
Large City	6 and/above		Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Suwon, Goyang (8)
Small City	not more than 5		Changwon, Ulsan, Yongin, Anyang, Seongnam, Ansan, Cheonan, Cheongju, Pohang, Jeonju, Bucheon, Gwangmyeong, Gunpo, Guri, Uijeongbu, Mokpo, Osan, Siheung, Uiwang, Gwacheon, Hanam, Namyangju, Gimhae, Dongducheon, Gimpo, Pyeongtaek, Hwaseong, Yangju, Gyeonggi-Gwangju, Gumi, Sejong, Paju, Yeosu, Jinju, Icheon, Jeju, Anseong, Gwangyang, Wonju, Pocheon, Yeoju, Milyang (42)

[붙임18]
성과증빙 D-1-①

지방도로 아스팔트포장 공용성 지수 개발

Development of Local Road Performance(Pavement Condition)Index

최준성[1*]

Choi, Junseong[1*]

[1]인덕대학교 토목환경공학과 정교수 이메일 주소: soilpave@induk.ac.kr *교신저자

요 약

도로포장 유지관리의 목적은 정기적인 포장상태 조사를 통해 최적 보수우선순위 및 공법선정과 함께 포장의 설계, 시공 및 유지관리 각 단계별로 개선사항을 도출하여, 같은 예산 또는 더 적은 예산으로 포장수명을 늘리는데 있다. 현재 국내에 적용되는 평가지수로는 서울시 SPI(Seoul Pavement Index), 고속도로 HPCI(Highway Pavement Condition Index), 일반국도 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index), 국토해양부 일반 시단위 MPCI(Municipal Pavement Condition Index) 등 4가지 평가지수가 있다. 그러나 지방도로의 경우 국도 또는 시단위 식을 활용할 수 밖에 없으나 지방도로에는 위임국도, 시도, 지방도, 군면리도 등 매우 다양한 등급의 도로가 혼재하여 기존 타 기관과 동일한 기준을 적용하여 평가할 경우 도로등급에 따라 과다평가 혹은 과소평가 될 가능성이 있으며, 도로등급별 현재수준의 절대비교가 어려워 예산투입 우선순위 결정이 어려워진다.

본 연구에서는 이러한 지방도로 아스팔트포장의 각 도로등급별 개별결함의 유지보수 관리기준을 합리적으로 선정하여 다양한 도로등급을 적절한 서비스상태로 관리할 수 있는 통합된 공용성지수를 개발하고, 지방도로의 도로포장 데이터를 분석하여 검증하였다. 통합된 공용성지수를 개발하기 위하여 기존 포장평가지수의 개별결함지수 산정방식을 분석·참조하여, 지방도로 관리구간 내 다양한 도로등급을 적절한 서비스상태로 관리할 수 있는 통합된 개별결함지수 산정식(Local road LrPI)과 지방도로 공용성지수식(LrPCI)을 개발하였다. 개발된 LrPCI을 검증하기 위하여 지방도로에서 기존 SPI 및 MPCI 지수를 적용하여 보수 필요구간의 비율을 비교분석하여 보면, 전체보수구간이 39.1~42.5% 로 산정되며, 도로등급별로 큰 차이를 보이지 않으나 개발된 지방도로 공용성지수에 의하여 유지보수구간을 선정한 결과, 지방도로 등급별로 유지보수구간 선정의 차이가 보이며, 전체 보수구간도 약 30.5% 로 기존 대비 8.6 ~12.5%정도 감소함을 알 수 있었다. 또한 공용중인 지방도로 4개소의 품성시험결과와 가상의 샘플데이터로부터 지불계수개념의 시방 허용 한계(Percent Within Limits, PWL)와 FWD 처짐을 이용한 기대수명인 공용성 수명을 비교분석하여 검증한 결과, 현재상태의 LrPCI 값은 현재 상태의 지불계수 그리고 잔존수명 가치평가 예측결과와 매우 유사함을 알 수 있었다.

Keywords: 지방도로 아스팔트포장, LrPI, LrPCI, PWL, 지불계수, FWD해석

[붙임19]
성과증빙 D-1-②

도로공학

2018 대한토목학회 정기학술대회

처짐비를 이용한 도로함몰 관리등급 세분화 방법론 제안

A Proposed Methodology for Determining the Subsurface Cavity Management Grade using Deflection ratio

최준성* · 김경수**
Choi, Jun seong · Kim, Kyung soo

최근 국내에서 빈번하게 발생하는 도로함몰은 대부분 노후 상하수도의 손상, 미흡한 굴착복구, 굴착공사 부실, 지하수 유출 등으로 토사가 유출되어 생성된 동공이 무너지면서 발생된다(최연우, 2015). 이를 예방하고자 도로 하부의 동공 발생여부를 파악하려는 다양한 연구를 진행하고 있다. 본 연구에서는 데이터베이스의 인자별 분류와 동공관리 등급 분류 기준을 분석하고 LWD로 측정된 처짐비를 적용하여 도로함몰 위험도 등급 세분화를 위한 인자로 활용하고자 한다.

핵심용어 : 도로함몰, 위험도, 동공, LWD, 처짐량

1. 서 론

본 연구에서는 시험 구간을 대상으로 탐사된 동공의 데이터베이스 작업을 통한 인자별 분류와 일본 간선도로 동공관리 등급으로 분류하여 비교·분석하였다. 또한 LWD 처짐을 이용한 일본의 동공관리 등급 세분화를 위한 인자로 제안하고자 한다.

2. 도로함몰 DB 분석을 통한 동공의 인자별 분류

다양한 원인에 의하여 발생되는 도로함몰을 사전조사를 통해 예방하기 위한 DB를 구축하였다. 이를 구축하기에 앞서 도로함몰 DB의 인자 결정을 위해 국내외 문헌조사와 기존 연구를 통해 도로함몰 DB의 인자를 결정하였다(최준성, 2017). 결정된 인자를 사용하여 동공 폭, 토피고, 동공 규모(B×L)별 분포는 다음 그림 1~2와 같다. 동공의 규모는 주로 0.25~1.50㎡, 토피고는 10~50㎝, 동공 폭 0.4~1.2m에 주로 분포하며, 본 시험 구간의 경우, 다양한 크기의 동공이 분포하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 처짐비를 고려하여 동공의 규모를 감안한 도로함몰 관리등급 세분화 가능성을 검토하고자 한다.

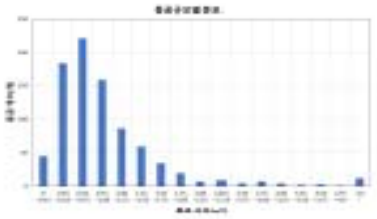


그림 1. 규모별 동공 분포

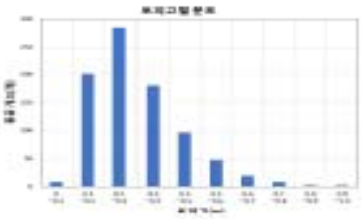


그림 2. 토피고별 동공 분포

* 정회원 · 인덕대학교 도목환경공학과 교수, 공학박사 (E-mail:soilpave@induk.ac.kr) - 발표자
** 인덕대학교 산학협력단 연구원, 공학석사 (E-mail:dd@naver.com)

[붙임20]
성과증빙 D-2-①

도로공학

2018 대한토목학회 정기학술대회

도로함몰 사고 복구대응을 위한 체크리스트 개발

Development of Checklist for Road Sink Accident Restoration

최병일* · 성주현**
Choi, Byoung Il · Seong, Joo Hyun

2014년 서울 중심에서 도로함몰 현상이 연속하여 발생함에 따라 도로함몰 현상은 사회적으로 큰 이슈가 되었다. 지금까지도 정부·지자체, 관련 전문가들은 도로함몰 사고 예방을 위해 많은 노력을 기울였지만 여전히 전국에서 사고가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다. 도로함몰 사고는 인명 및 재산 피해와 직접적인 관련이 있으므로 긴급 상황을 동반할 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 도로함몰 사고 발생시 지자체 실무 담당자들이 신속히 복구업무에 활용할 수 있는 단계별 체크리스트를 제시하고자 한다.

핵심용어 : 도로함몰, 복구, 체크리스트

1. 서 론

2014년 8월 서울시 잠실 인근 5개 지역에서 도로함몰 사고가 발생함에 따라 주변일대 차량 통행이 전면 통제되었으며, 관련 내용들이 언론에 노출되며 도로함몰 사고는 사회적 이슈로 부각 되었다. 당시 도로함몰 사고가 전국에서 가장 많이 발생하던 서울시(2014)에서는 사고 발생 원인을 분석하였으며, 그 결과 하수관손상(84.5%), 상수관손상(1.7%), 인접굴착공사 등 기타(13.8%) 순으로 나타났다. 도로함몰 사고가 사회적으로 이슈화 되고 매년 전국에서 발생함에 따라 정부 및 지자체, 관련 전문가들은 도로함몰 사고 예방을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 국토부(2015)에서는 도로함몰 현상의 효과적인 대응을 위해 '지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼'을 발간하며 지반침하(함몰) 발생원인 분석 및 지반침하(함몰) 안전관리 방안을 제시 하였다.

2. 도로함몰 사고 복구대응을 위한 체크리스트 개발

도로함몰 사고 발생시 지자체 담당자의 신속한 복구 업무 지원을 위해 사고 발생 규모를 2단계로 구분하였다. 소규모 사고의 경우 인명·재산 피해가 발생하지 않고 관계기관·관련 사업자의 협조가 필요 없이 신속한 피해 복구가 가능한 정도의 사고 규모를 나타내며, 대규모 사고는 도로함몰로 인한 주변구조물 파손, 인명·재산 피해가 발생하였거나, 2차(교통사고, 함몰범위 확대, 주변구조물 파손 등) 피해로 이어질 수 있는 단계를 나타낸다. 또한 도로함몰 관련 법규를 분석하여 업무 처리시 고려해야 할 사항에 관해 검토하였다. 2018년 시행된 '지하안전관리에 관한 특별법' 제35조에서는 긴급복구공사 완료, 안전점검 실시결과 지반침하가 우려가 있을 때, 지반침하 위험도 평가 실시 명령을 하고 공사 주체에 지반침하 위험도 평가를 받게끔 하고 있다. 그리고 이 때 위험성이 확인되면 중점 관리대상지역으로 지정 후 관리하게 하고 있다(국토교통부, 2018). '도로법' 35조에서 도로관리청은 도로공사 외의 공사 또는 도로공사 외의 행위로 인하여 도로공사가 필요하게 되면 그 타공사의 시행자나 타행위를 한 자에게 그 도로공사를 시행하게 하거나 그 타공사의 시행자나 타행위를 한 자의 부담으로 직접 도로공사를 할 수 있게 하고 있다(국토교통부, 2017). 표 1은 소규모 도로함몰 사고 발생시 실무자들이 활용 가능한 체크리스트(안)을 나타낸다.

* 한국시설안전공단 시설성능연구소 연구원, 공학박사 (E-mail:bichoi@kistec.or.kr) - 발표자
** 한국시설안전공단 시설성능연구소 수석연구원, 공학박사 (E-mail:bluehill@kistec.or.kr)

[붙임21]
성과증빙 C-1-①

DEM simulation to identify the development of road subsidence under traffic loadings

학술발표13

Hyunbin Kim[1], and Seong-Wan Park[2]
[1]Dankook University, Youngin-si, Korea. Email: 72170153@dankook.ac.kr
[2]Dankook University, Youngin-si, Korea. Email: spark@dankook.ac.kr

ABSTRACT

In this study, a numerical simulation was carried out using the two-dimensional discrete element method for evaluating the development of road subsidence under traffic loadings. Based on force chain distribution and particle displacement, the collapsing areas were simulated. As a result, if the geometric shape of cavity and load conditions are properly modelled, it is possible to reproduce the development of road subsidence which then can be used for cavity assessment.

Keywords: *Discrete element method; Road subsidence; traffic load; Granular materials*

1. Introduction

Road subsidence, where the foundation cavities exist, occurs due to the collapsing of surface pavement layer caused either by soil erosion or traffic loadings(Kuwano et al., 2012; Kwoen et al., 2016). These cavity problems on roads have increased and become more socially challenging. So, there is a need for a more realistic understanding of road subsidence mechanism is under traffic loadings. In this paper, numerical simulations were shown according to various sizes of cavity using the Discrete element method(DEM)

2. Discrete element method

2.1 Pavement layer and inital state

Before identifying the effect of traffic load on the road subsidence, indirect tensile test(e.g. Brazilian test) simulations must be performed to get reasonable input parameters for asphalt pavement. The indirect tensile test is used to determine the tensile properties of pavement as well as the fracture properties. We assume that the pavement consists of aggregate and asphalt binder. The aggregates were bonded with asphalt binders modeled by linear parallel bond model considering not only translational motion but also rotational motion.

Because pavement subgrade is under unsaturated state, the intergranular adhesive force is used for simulation which were phenomenologically similar to lab scale test results(Kim, 2017). Soil particles in subgrade were bonded with each other using liner contact bond model only considering translational motion. The particle shapes were modelled using clumps of spheres to simulate particle interlocking.

2.2 Loading conditions

There are three kinds of traffic loadings applied on the pavements: stationary, translational and rotational. For stationary loadings, the wheel particle is subjected to a concentrated vertical force at the centre. For translational and rotational loadings, the constant translational velocity and constant angular velocity is applied on the wheel particle. When the linear translational velocity is selected as V_0, then corresponding angular velocity can be calculated: $V_0 = \omega_0 * R$ where R is the radius of the wheel particle. When the wheel particle reaches the end of the simulation domain, the translational velocity and angular velocity area reverses to represent the Accelerated pavement testing(APT).

3. Results

In the case of subsidence under traffic loadings, the contact force chain between surface pavement and subgrade was highlighted above the cavity due to unequal displacement of pavement. However, in the other case under gravity only, the

[붙임22]
성과증빙 C-1-①

KSCE Spring National Conference 2018 / March 14-16, 2018 / Yeosu / Korea

학술발표14

수리역학적 영향을 고려한 도로함몰 전개 거동 예측
Simulation on the development of road subsidence considering hydro-mechanical conditions

김현빈[1], Hyunbin Kim, 김연호[2], Yeonho Kim, 박성완[3], Seong-Wan Park

[1] 단국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook University
[2] 단국대학교 토목환경공학과 공학석사, Researcher, Dept. of Civil Engineering, Dankook University
[3] 단국대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

Abstract : Road subsidence, where the underground cavities exist, occurs due to collapsing of surface pavement layer caused by many causes either by erosion or traffic load. To better understand on the road subsidence mechanisms, possible influencing factors on road cavity should be identified. In this paper, the numerical simulations were performed depending on various cavity size under hydro-mechanical condition using Discrete element method. As a results, the effective range of subsidence was expanded under cyclic loading. Results of these simulations can be used to predict the development of actually detected cavity.

Key words : Discrete element method, Road subsidence, Cyclic loading, Cavity

1. 서론

최근 도심지 도로상에 발생하는 함몰은 하부에 동공이 존재하는 경우, 일반적으로 지하수위의 상승 혹은 차량하중에 의한 충격으로 인하여 도로 및 상부 지반재료가 점진적으로 무너지면서 발생한다. 따라서 현실적인 도로함몰 메커니즘을 이해하기 위해서는 지하수위와 차량하중이 형성된 동공의 전개 거동에 미치는 영향을 평가해야한다. 본 논문에서는 개별요소해석을 사용하여 앞선 영향인자를 고려한 상태에서 다양한 크기의 동공이 형성되었을 경우, 거동을 확인하고 전개 거동 양상의 변화를 확인하였다. 이를 위해서 기존 토사만 존재하는 상태에서의 해석(Kim and Park, 2017)이 아닌 포장층을 포함한 다층 상태에서의 해석을 수행하였다.

2. 해석대상모델

2.1 상부 포장층 구현

개별요소법 내에서 포장층의 입력물성값에 대한 타당성 검증을 위하여 2017년 Peng et al. 연구를 참고하여 간접인장강도시험을 모델링하였다. 대상 모델은 도로하부 동공 상부에 존재하는 포장층과 동일한 입자구조를 가지며 아스팔트 바인더와 골재로 구성하였다.

2.2 수리 역학적 영향인자 구현

지하수위 상부지반에 동공이 형성된 경우, 지반재료는 불포화상태이며 입자 간에 겉보기점착력이 발

[붙임23]

성과증빙 D-2-①

포스터세션

포스터세션 I		
10주년 기념전 Ⅰ부 포스터		
15	시설물분과	수압기반내부식과 연료의 미기능을 활용한 천상수관망 수압제어 지점 선정 유동근, 김동일, 이정호
16	시설물분과	상수 관망 수압기반분석 신뢰성 향상을 위한 구역대블지역 제어기법 유동근, 이준호, 심은석
17	시설물분과	지하에 저수지 특성을 고려한 저수지 위험도 평가 알고리즘 개발 임정열, 임은상, 김우용
18	시설물분과	저수지 측정지표에 따른 내부 침식 영향 분석 임정열, 김동일
19	시설물분과	LID장의 이세분점을 고려한 프레디로의 배합 및 강도 특성 김정부, 정일영
20	시설물분과	시설물 유지관리에서의 인프라 BIM 종합플랫폼 연결효과 분석 김동우
21	시설물분과	공동구 시공 중 대형자료 발생 시 안전 확보를 위한 기준 박현석, 임태수, 송정근
22	시설물분과	철근콘크리트 보의 콘크리트 강도 변화에 따른 RCM과 CFRP 휨보강특성 성능분석 김성호, 이희일, 김현석
23	지반분과	고압의 강연선을 이용한 열적압착식 압축형 영구앵커의 현장적용에 관한연구 심세웅, 박재성, 백두현, 서상호, 김주성
24	지반분과	유산자료 머신러닝 활용성 김상식, 임동진, 이동호
25	지반분과	인공신경망을 활용한 유동성재료의 배합비 도출 김진원
26	지반분과	세립분 함유 물에 따른 모래 – 점토 혼합토의 정적 전단강도특성 김지욱, 김동성
27	지반분과	능업형상기반 시설 내진설계기준 개정 연구 김동성, 최우수, 박동욱, 김정민, 최 건
28	지반분과	위험수준을 반영한 프로 성능 목구 대진해석 업 개발 박동 일, 성우현, 김진원, 윤준원
29	지반분과	일본의 지역단위 지진성 재해방 대책 특징과 시사점 연구 박정일, 정여홍

포스터세션

포스터세션 I		
10주년 기념전 Ⅰ부 포스터		
30	지반분과	지진을 관측시스템 개발 개념설계 김진원, 김우일, 이동진, 백 용
31	지반분과	일본의 심 지진사고 특성분석 – 박정우, 박동균, 이강에, 서상원
32	지반분과	원전 전기기기 내부 침투 고압 연구 – 김석원, 권상수, 이광호
33	지반분과	철근콘크리트교 각각 활성철근과 휨성능 곡선 – 국승규, 김준일
34	하천분과	소하천 영향을 고려한 SP SWMM 유역 유출해석 – 최종원, 최소현, 안용준
35	하천분과	도심지 물투수면적을 고려한 방심천유역의 수문 및 수질특성분석 김재로, 김경수, 김병 심, Hood Jamesard Ladaei 이규열, 신현석
36	하천분과	RCP 4.5 및 8.5 시나리오에 따른 서울급 유역 강우빈도분석 분석 유철주, 이승호
37	하천분과	이변량 다중 파생프로 분류기에 의한 침수예측모델 유철주, 안상현, 이승호
38	하천분과	빙 재생을 고려한 지능하천 설계인자 결정방안 김경원, 진재원, 김도훈
39	하천분과	하천유사 다항을 통한 하천변유수이 분석 박원조, 진재원
40	하천분과	감시 영상에서 Level set 방법을 이용한 하천 범람 영역 추정 박대원, 윤혁진
41	하천분과	HOBWUS 모형을 이용 한기-라천 하구부 수리특성 분석 최종호, 진재원
42	하천분과	하천공간의 입체적 활재활용 가능한 BIM 라이브러리 개발방안 남정원, 김진일
43	하천분과	지역 내 다중수원이용을 위한 스마트워터그리드 물순환시스템의 활용 이수원, 최재준, 변성준, 전제욱
44	하천분과	LSTM 알고리즘 을 이용한 해풍강유역의 하천유량 예측 김성호, 이태일, 이경상, 이기욱

[붙임24]
성과증빙 D-2-①

DEVELOPMENT OF RESTORATION MANUAL FOR ROAD SINK

J.E. SEO[1,*], J.H. SEONG[2], M.H. JUNG[3] and B.I. CHOI[3]

[1]Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC, Jinju, Korea
[2]Principal Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC, Jinju, Korea
[3]Senior Researcher, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC, Jinju, Korea
*Corresponding author. Tel: +82 55 771 4783; E-mail address: jeong123@kistec.or.kr

ABSTRACT: As many road sink phenomena have recently been found in urban areas, the road sinks have become a social problem. In particular, both frequency and severity of road sink accidents are increasing due to the aging of underground facilities and the development of underground spaces without a comprehensive plan. Therefore, it is urgent to establish a response system for road sink that threatens the safety of citizens. In this study, several causes were investigated by performing case study of road sink accidents, and the risk level of road sink phenomena was defined by analyzing related laws and systems. Based on the results, a restoration manual was developed that includes workflow charts and checklists by dividing the case when a cavity was discovered and when the road was damaged, depending on the risk level. The road sink restoration manual is expected to be used as a guideline to prevent road sink in advance and to recover the road systematically and promptly in case of an accident.

Keywords: Manual, Road Sink, Cavity, Risk Level, Flow Chart, Checklist

Acknowledgement: This research was supported by a grant (18TLRP C099510-04) from Transportation & Logistics Research Program (TLRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

[1] J.H.Seong, W.J.Park, J.G.Lee, B.I.Choi, Deriving Strategic Agenda for Response of Road Sink Phenomenon, in Journal of the Korea Society of Safety, 2016, Vol.31, No.6, pp.99-104
[2] Seoul Metropolitan City, Seoul City's White Paper on Road Management Technologies, 2016.
[3] The Seoul Institute, The Road Subsidence Condition and Safety Improvement Plans in Seoul, 2016-PR-09.
[4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Ground Subsidence (sink) Safety Control Manual, 2015.

[붙임25]
성과증빙 C-2-①

Full Scale Simulation of Road Collapse using Accelerated Pavement Testing

학술발표17

Hee Mun, Park, Yeon Tae Kim, and Ji Young Choi
Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, Goyang, Korea

ABSTRACT: More than 600 cavities underneath the road have been recently discovered in the city of Seoul using ground penetrating radar testing. Various types of cavities will affect the settlement of pavement structures with time and traffic passage. The objective of this study is to simulate the full- scale road collapse due to the occurrence of cavity using accelerated pavement testing (APT). A cubic shape of cavity was installed at depth of 0.3m from the surface in the testbed. The cavity was made of ice with 1m*1m*1m of dimension and the thicknesses of asphalt and base layer were 0.2m and 0.3m, respectively. An 80kN of APT wheel loading was applied on pavement section with 10km/h of speed. Strain gauges were also installed at the bottom of asphalt layer to measure the tensile strain at cavity and intact section. It is observed from this testing that the subbase material initially started to fall off from the bottom of asphalt layer. After then, the cracks initiate at the bottom of asphalt layer with settlement of pavement surface. Finally, the width of crack increases with number of load application and the permanent deformation is found to be 130mm at 6,000 of load application. It is also found from strain measurements that the tensile strain values at cavity section are two times greater than those at intact section.

Keywords: Road Collapse, Accelerated Pavement Testing, Full Scale Simulation

1 INTRODUCTION

The road collapse frequently occurred in urban area of Seoul tends to threaten the safety of road users and induce the anxiety of people. Main causes of road collapse from the forensic investigation are found to be due to the underground construction, leakage of drain pipe, and other excavation work. Various researches have been focused to investigate the cause and mechanism of these road collapses. Multi-channel ground penetrating radar has been used to detect the cavities under the pavement in main road sections of Seoul. Based on GPR test results, a lot of cavities are located at 0.2~0.4m from the surface of pavement, which is at the bottom of asphalt layer or on top of subbase layer (Seoul Metropolitan Government, 2005).

The time of occurrence in road collapse is normally dependent on the size and location of cavities, traffic volume, soil condition, and environment condition. Recently, Japan has experienced a large amount of road cavities due to the earthquake. As shown in Table 1, they suggested the risk criteria of road collapse using the width and depth of cavities. Since this criteria is not based on the scientific analysis or experiment but the extensive experience in the field, it is necessary to establish the quantitative criteria for the road collapse by considering the various factors such as soil condition, climate, and traffic volume.

Table 1. Risk Criteria of Road Collapse in Japan

Risk Rank	Risk Criteria	Action Plan
A	Less than 0.3m depth or more than 0.3m depth with cavity width more than 1.5m	Urgent Repair
B	More than 0.3m depth with cavity width 0.5~1.5m and refer the graph in case of cavity width more than 1.5m	Normal Repair (Repair before wet season)
C	More than 0.3m depth with cavity width less than 0.5m and refer graph in case of cavity width more than 0.5m	Regular Monitoring

[붙임26]
성과증빙 C-2-①

학술발표18

Use of GPR for Monitoring Expansion Mechanism of Subsurface Cavity

Kim, Yeon Tae, Choi, Ji Young and Park, Hee Mun
Highway and Transportation Research Institute
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)
283, Daewha-dong, Gyeonggi-do, Republic of Korea
kyt@kict.re.kr, region@kict.re.kr, hpark@kict.re.kr

Kim, Ki Deok
Civil and Environmental Engineering
Sejong University
209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, Republic of Korea
paestum3@naver.com

***Abstract* — Recently, many road collapse accidents have occurred due to subsurface cavities in the urban areas of Korea. This study is aimed to figure out the expansion of the subsurface cavity and estimate the time of pavement failure with repeated load applications through accelerated pavement testing (APT) and ground penetrating radar (GPR) testing. The different sizes of artificial cavities made by ice cubes were installed at different depths in the full-scale APT testbed. The GPR testing was utilized to monitor the expansion of the subsurface cavity with APT load applications.**

Keywords—Accelerated Pavement Tester, Road Collapse, Road Cavity, Ground Penetration Radar, Testbed

I. INTRODUCTION

A. Overview

In recent years, the city of Seoul has been required to prepare for the systematic solution to prevent road collapse. Thus, a measure to prevent them systematically is urgently needed. To prevent damage due to road collapses, a number of studies using ground penetrating radar (GPR) equipment have been conducted. The subsurface investigations using GPR equipment have advanced and are used in a wide range of fields as compared to 30 to 40 years ago. It has been used in underground road survey, as well as for the detection of resource reserves in mines, surveys of underground structures, and for the providing of geological information and in geophysics.[1]

The existing studies on the identification of the causes of road collapses and the mechanisms causing these have focused on laboratory tests and numerical analysis mainly. The main purpose of the laboratory tests and the numerical analysis is to figure out the mechanism causing road collapses. The developed road collapse expansion mechanism must be verified through full-scale tests considering road site conditions. The purpose of this study is to identify the expansion mechanism of road collapses through accelerated pavement tester (APT) and to present assessment criteria for the risk level of road collapse.



Figure 1 Road Collapse Case in South Korea

B. Equipment

Ground Penetrating Radar

The GPR used in this study is equipment using a step frequency mode. The output of the step frequency signal is received continuously during the programmed dwell time, which is then converted to the time domain to be represented with cross-section. It can be cross-sectioned based on the collected data [2]

A distance to an object can be determined through the delay time of the signals received in the time domain. It can be known by the inverse Fourier transform with regard to the synthesis of reference and reflection signals in the frequency domain.

Accelerated Pavement Testing

The accelerated pavement testing is a process to verify long term pavement performance within a few months. [3] In addition, it is also suitable testing equipment for damage prediction-related tests that cannot be performed on real roads due to safety reasons. The specifications of the accelerated pavement tester (Heavy Vehicle Simulator, HVS) held by the Korea Institute of Construction Technology (KICT) are presented in Table 1.[4]

978-1-5386-5777-5/18/$31.00 ©2018 IEEE

[붙임27]
성과증빙 B-1-③

특허등록1

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월09일
(11) 등록번호 10-1917374
(24) 등록일자 2018년11월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 3/12 (2006.01) *G01S 13/88* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 3/12 (2013.01)
G01S 13/88 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0078026
(22) 출원일자 2017년06월20일
심사청구일자 2017년06월20일
(65) 공개번호 10-2018-0092793
(43) 공개일자 2018년08월20일
(30) 우선권주장
1020170018772 2017년02월10일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004245742 A
US20020122000 A1
Roya Ostoori, Ali Goudarzi, Behrooz Oskooi. GPR noise reduction based on BPD and BPD-EMD. International Conference and Exhibition. April 2016
Rui Zhang, Mrinal K Sen, Sanjay Srinivasan. A prestack basis pursuit seismic inversion. Geophysics. Vol.78,no.1. January/February 2013

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
안윤규
서울특별시 동대문구 한천로 248, 113동 1106호 (휘경동, 주공아파트)
강만성
서울특별시 중랑구 사가정로45길 3-8 (면목동)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

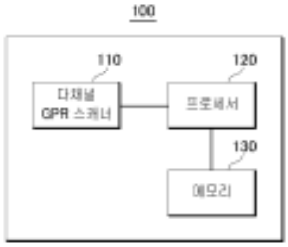
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 권민정

(54) 발명의 명칭 **3D 지표투과 레이더 신호 처리 장치 및 방법**

(57) 요 약

3차원 지표투과 레이더 신호 처리 장치 그 방법을 제공하되, 지표에 복수의 채널 별로 전자기 펄스파를 가진하여 가진된 전자기 펄스파에 대응된 반사 신호를 계측하여 다채널 GPR 신호를 획득하고, 상기 다채널 GPR 신호에 대해 깊이 방향으로의 거리 및 주파수에 따른 신호 감쇄를 보상하는 가중치를 적용하고, 각 채널 별로 비손상구간에서 계측된 기준 신호를 설정하고, 가중치가 적용된 GPR 신호 및 기준 신호를 BP(Basis Pursuit) 변환하고, BP 영역에서 기준 신호를 이용하여 GPR 신호의 노이즈를 제거하고, 노이즈가 제거된 GPR 신호를 시간 영역으로 역 BP(inverse Basis Pursuit) 변환하고, 역BP 변환된 다채널 GPR 신호들에 기초하여 3차원 이미지를 생성 및 출력한다.

대 표 도 - 도2



[붙임28]
성과증빙 B-1-①

제 C-2018-022210 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	iCrack(아이크랙)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2018년08월24일
6. 공표연월일	2018년08월24일
7. 등록연월일	2018년08월28일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2018.08.24, 공표 : 2018.08.24

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 08월 29일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임29]
성과증빙 B-1-①

제 C-2018-022211 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	iCavity(아이캐비티)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2018년08월24일
6. 공표연월일	2018년08월24일
7. 등록연월일	2018년08월28일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2018.08.24, 공표 : 2018.08.24

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 08월 29일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임30]

성과증빙 D-2-①

제 C-2018-030256 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로함몰 위험도 지리정보 분석 프로그램 (RSWS_GIS 1.0)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 유디엔에스 경기도 의왕시 이미로
4. 생년월일(법인등록번호)	134111-0441620
5. 창작연월일	2018년10월31일
6. 공표연월일	2018년10월31일
7. 등록연월일	2018년11월05일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 유디엔에스, 창작 : 2018.10.31, 공표 : 2018.10.31

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 05일

한국저작권위원회

[붙임31]

성과증빙 D-3-①

제 C-2018-029580 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로함몰 관리 시스템
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>시스템프로그램>데이타베이스
3. 저작자 성명(법인명)	명지대학교 산학협력단 경기도 용인시 처인구 명지로
4. 생년월일(법인등록번호)	134571-0003971
5. 창작연월일	2018년10월24일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2018년10월30일
8. 등록사항	저작자 : 명지대학교 산학협력단, 창작 : 2018.10.24

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 20일

한국저작권위원회

[붙임32]
성과증빙 A-1-①

제 C-2018-033356 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로처짐분석기(RDDanalyzer)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>수치계산용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2018년11월14일
6. 공표연월일	2018년11월14일
7. 등록연월일	2018년11월19일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2018.11.14, 공표 : 2018.11.14

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 20일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임33]
성과증빙 A-1-①

제 C-2018-033358 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	균열자동탐사 프로그램_v2(Pavement Crack)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2018년11월14일
6. 공표연월일	2018년11월14일
7. 등록연월일	2018년11월19일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2018.11.14, 공표 : 2018.11.14

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 20일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임34]
성과증빙 A-1-①

제 C-2018-033357 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	UndergroundAnalyzer_v2(도로하부분석기)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2018년11월14일
6. 공표연월일	2018년11월14일
7. 등록연월일	2018년11월19일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2018.11.14, 공표 : 2018.11.14

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 20일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION · 한국저작권위원회 ·

[붙임35]
성과증빙 D-2-①

제 C-2018-034240 호

저작권 등록증

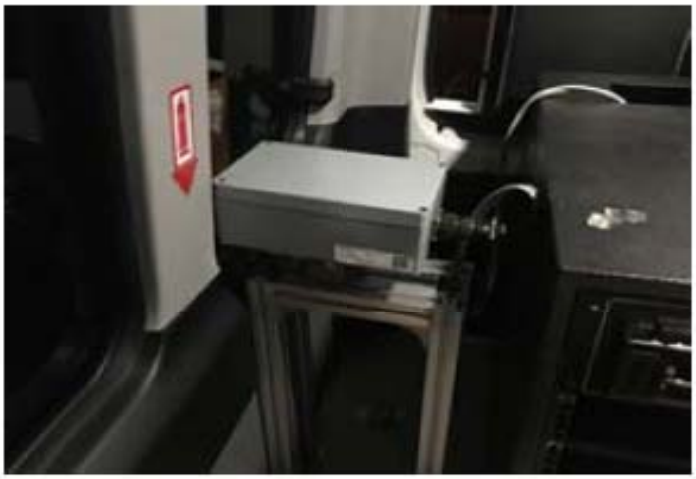
1. 저작물의 제호(명칭)	도로함몰 위험도 자료 변환 프로그램 (RSWS_CONVERT 1.0)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 유디엔에스 경기도 의왕시 이미로
4. 생년월일(법인등록번호)	134111-0441620
5. 창작연월일	2018년11월12일
6. 공표연월일	2018년11월12일
7. 등록연월일	2018년11월21일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 유디엔에스, 창작 : 2018.11.12, 공표 : 2018.11.12

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2018년 11월 21일

한국저작권위원회

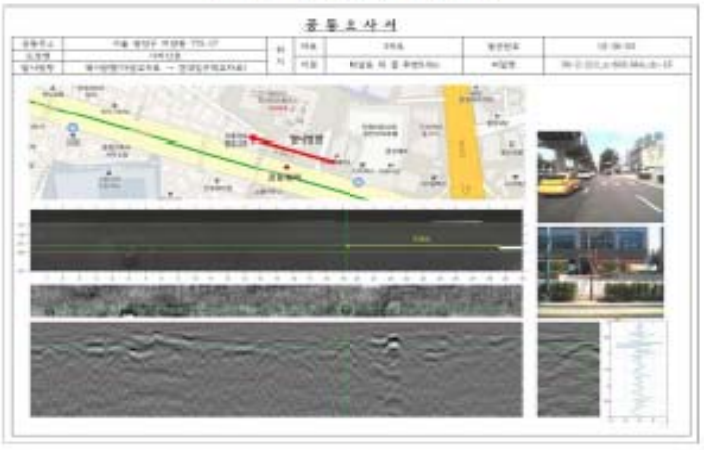
[붙임36]
성과증빙 A-1-②



<우측방 현황카메라 설치전경>



<우측방 현황 실제 촬영예시>



공 동 조 사 서

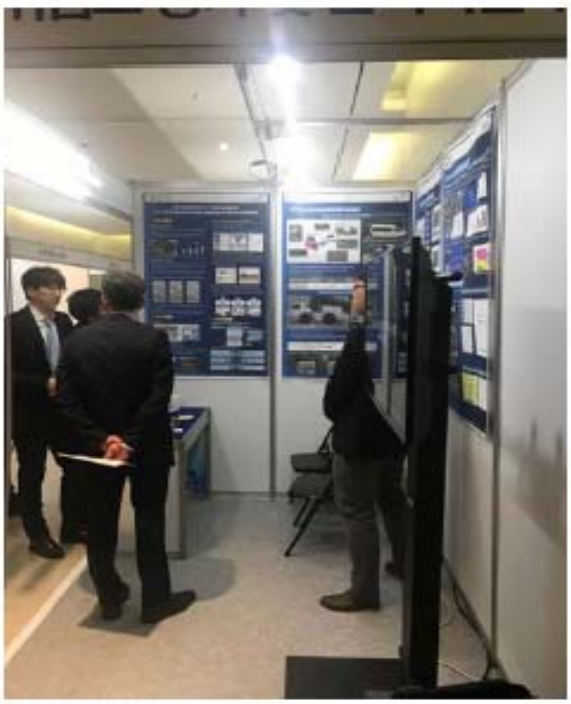
<우측방카메라 정보를 포함한 공동조사서 예시>

[붙임37]
성과증빙 B-1-②

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
1	2018 ICRE 국제학회부스 참여	제주도 부영호텔	연구성과 홍보	2018.05.29.-06.01	세종대학교 산학협력단

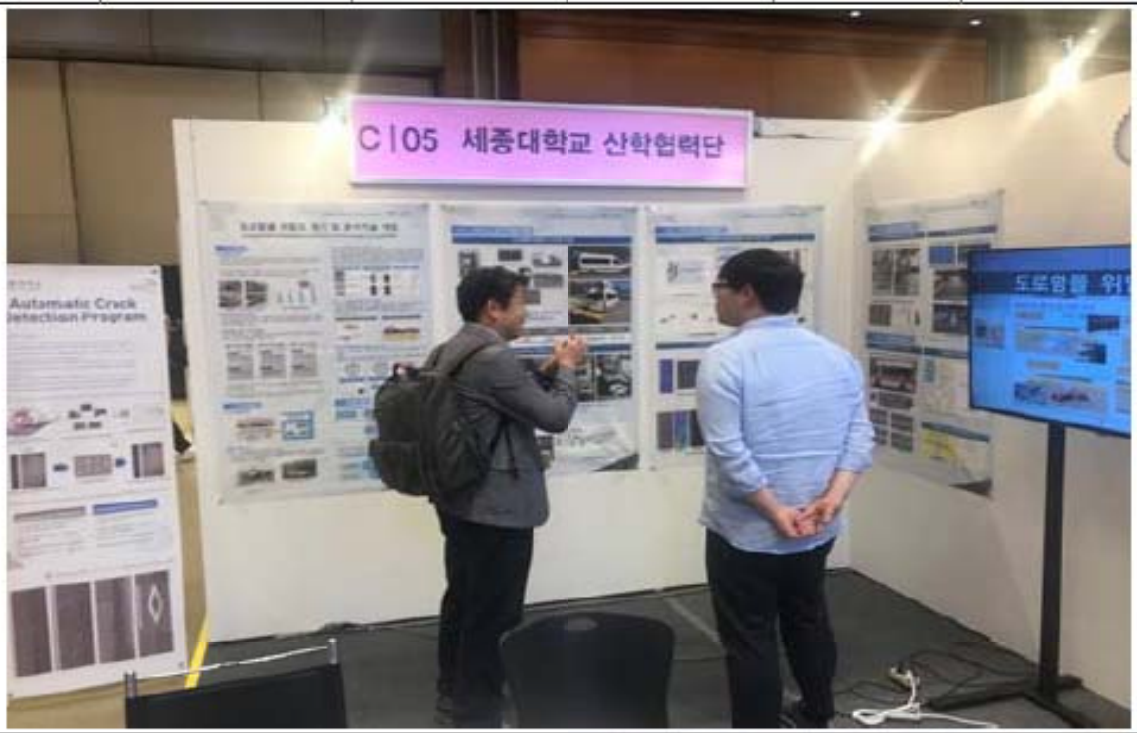






[붙임38]
성과증빙 B-1-②

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
1	2018 국토교통기술대전	코엑스	연구성과 홍보	2018.05.07.-06.08	세종대학교 산학협력단





[붙임39]
성과증빙 D-1-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
3	공동탐사 성과홍보	토목신문	언론 보도	2018.02.07	서울시 품질시험소

인쇄하기

토목신문

HOME 뉴스 종합

[동공 특집] 동공탐사 장비, 서울시가 '직접 개발'

인터뷰- 서울시 품질시험소 도로포장연구센터 백종은 센터장

김재원 기자 | 승인 2018.02.07 09:43

[토목신문 김재원 기자] 서울시에서 동공탐사를 위해 진행하고 있는 다양한 일들 중 하나가 바로, 동공탐사 장비의 자체 개발이다. 도로함몰로 인한 시민들의 불만감을 해소하는데 더 많은 기여를 하기 위해서다. 이 뿐만 아니다. 동공탐사 기업들과 함께 더 많은 동공을 빠르게 찾아내기 위해서다.

이에 따라 지난 2015년부터 서울시 품질시험소에서는 국내 동공탐사 장비를 개발하고 있다. 그리고 그 장비는 국내외 최고수준의 장비가 될 것으로 예상되고 있다.

서울시 품질시험소 도로포장연구센터 백종은 센터장(사진). 그가 동공탐사 장비 국산화의 중심에 서 있다.

개발 중인 장비와 기술에 대해 자세히 설명한다면.

서울시는 지난 2015년 국내의 동공탐사 기술이 초기단계임을 감안, 국내 동공탐사 기술 향상을 위한 연구개발 목적으로 국내최초 순수 국산기술을 활용한 동공탐사장비 1대를 자체설계로 제작 구매했다.

동공탐사장비의 핵심기술은 도로하부를 단층촬영하듯이 나타낼 수 있는 다채널 GPR 안테나와 GPR로 발견한 동공의 위치를 정확하게 일치하게 할 수 있는 노면위치 매칭 기술이다. 최초 도입 당시 안테나 측점개수는 16개,

[붙임40]

성과증빙 D-1-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
4	공동탐사 성과홍보	동아일보	언론 보도	2018.02.23	서울시 품질시험소

인쇄 네이버 뉴스 의 웹이지

동아일보

싱크홀 탐사車 모니터에 불규칙 곡선… "혹시 동공? 아, 아니네요"

기사입력

[동아일보]

[서울 랜드마 간담회 리]<동> 지반침하-공동구 조사



8일 서울 마포구 지하공동구의 나방배까 라이을 송라업보 김배을 기자(오른쪽)가 업화상까데라의 멘진하고 있다. 배형 우분 의 존ㅅ기 실계 나타나면 아직 투리가 없다는 신호다. 김지원 기자 base@donga.com

루이스 캐럴의 소설 '이상한 나라의 앨리스'에서 '이상한 나라'가 어디에 있는지 기억하시는지. 주인공 앨리스는 하얀 토끼를 쫓아 나무 밑굴 입구에서 예상치 못한 모험을 한다. 2018년 서울의 땅 밑에는 무엇이 있을까. 8일 서울시의 지하 안전관리 현장에 동행했다.

□ 지하 1.5m 상하수도관…동공?

"어, 잠깐만 멈춰 봐."

폴리제라 모니터를 바라보던 서울시 도로관리과 직원이 외쳤다. 라선에 가까운 선들이 이어지던 흑백 화면에 마치형 곡선이 나타났다. 동공(땅속싱크홀) 탐사차량이 멈췄다. "동공인가?" 화면을 본 직원은 "아니네요"라며 고개를 저었다. 탐사차량은 이날 오후 송파구 한국전력 터 앞 명동다로에서 동공이 있는지 점검했다. 2016년 4월 동공 4개를 복구한 지 2년 만이다.

땅속의 빈 공간인 동공은 평균 지름이 1m가량이다. 상하수도관이 묻혀 있는 지하 1~1.5m에 주로 생긴다. 이 구멍이 커지면서 지반이 침하해 길이 꺼지면 흔히 싱크홀이라고 불린다. 이 직원은 "동공은 서울이 늙어가고 있다는 신호"라고 말했다.

[붙임41]

성과증빙 D-1-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
5	공동 탐지 성과물을 이용한 유지관리	토목신문	언론 보도	2018.04.10	서울시 품질시험소

유지관리특집 로 유지관리 新시장 개척한다 토목신문 의 페이지



[유지관리특집-4] GPR로 유지관리 新시장 개척한다

토목신문

[붙임42]
성과증빙 D-1-①

번호	명칭	장소 또는 대체	홍보내용	일시	홍보주체기관
6	광주광역시청 대상 성과물 시연	광주광역시청	업무설명 및 성과물 시연	2018.04.11	서울시 품질시험소







[붙임43]
성과증빙 D-1-①

번호	명칭	장소 또는 매체	홍보내용	일시	홍보주체기관
7	서울시 공동탐사 취재	MBN뉴스	언론 보도	2018.10.18	서울시 품질시험소

MBN

[단독] 서울 '복구 시급 싱크홀'만 187곳...다른 지자체는 '깜깜이'



【 앵커멘트 】
순간적으로 보행자나 자동차 사고를 유발할 수 있는 싱크홀이 늘고 있는데, 서울처럼 긴급 복구가 필요한 곳만 187곳으로 나타났습니다.
서울은 그나마 실태라도 파악하고 있고 긴급 복구를 하고 있지만, 다른 지자체는 자료조차 제대로 관리하지 않고 있습니다.
김문영 기자의 단독 보도입니다.

【 기자 】
땅속 깊숙이 시커먼 구멍이 보입니다.

탐사 차량을 타고 이동하다가 싱크홀을 발견하고는, 직경 길이를 파악한 결과입니다.

▶ 스탠딩 : 김문영 / 기자
- "눈으로 보이지 않지만, 이곳 30cm 땅속 세찬기 규기의 구멍이 있습니다. 차량하가 바로 추돌사고로도 이어질 위험이 있습니다."

서울시가 지난해 실태조사를 벌인 결과 면적이 넓거나 깊이가 상당히 '긴급복구 및 우선복구'가 필요한 것으로 확인된 싱크홀만 187곳이 달했습니다.

자치별로는 동대문구와 강북구, 서초구에서 복구가 시급한 싱크홀이 다수 발견됐습니다.

싱크홀이 생기는 주요 원인은 지하매설물 이문인데, 구도심을 중심으로 문제가 발생하는 경우가 많습니다.

▶ 인터뷰 : 박용준 / 서울시 도로포장연구센터장
- "노후화된 하수관이 파손되서 흙이나 물 등이 유출되면서 발생한 것이 (가장) 많았습니다. 또 지하철 굴사라든지 대형 건축물 같은 굴사장 주변에서 발견된 게 20%를 차지하고…"

서울시의 경우 그나마 실태조사와 함께 긴급 복구가 이뤄지고 있지만, 다른 지자체는 한 참조차 제대로 파악하지 못하고 있는 것이 현실입니다.

▶ 인터뷰 : 홍종선 / 더불어민주당 의원
- "전국 수만 km에 달하는 곳을 조사하서 싱크홀을 찾아내야 하기 때문에 (정부가) 관련 예산을 더 확대하고 조사 로드맵을 보강하는 것이 필요합니다."

MBN 뉴스 김문영입니다. [nomoon@mbn.co.kr]

영상취재 : 최병호 기자, 김 훈 기자
영상편집 : 박화규

[붙임44]
성과증빙 D-2-①

서울시 공무원 및 업체 관계자 대상 동공탐사교육

□ 교육기관 : 서울시 품질시험소
□ 교육내용 : 동공탐사장비 소개(구성, 성능, 정책, 조사절차, 동공자료 등) 및 탐사시연

번호	일시	교육사진	교육인원
1	2018.02.09	  	32명

[붙임45,46]
성과증빙 D-2-①

번호	일시	교육사진	교육인원
2	2018.02.23	 	21명
3	2018.03.09	 	13명

[붙임47,48]
성과증빙 D-2-①

번호	일시	교육사진	교육인원
4	2018.03.30	 	34명
5	2018.04.13	 	17명

[붙임49,50]
성과증빙 D-2-①

번호	일시	교육사진	교육인원
6	2018.08.31	 	22명
7	2018.10.12	 	14명

[붙임51]
성과증빙 A-1-①

1.2. 공동조사 수행내용

1.2.1. 서울시 광진구 관리도로 공동조사

1.2.1.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2018년 4월 2일 ~ 4월 3일
2) 조사기관 : 세종대학교 도로함몰 연구팀, 서울특별시 품질시험소
3) 조사목적 : 공동 외 이상신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 광진구 구관리도로



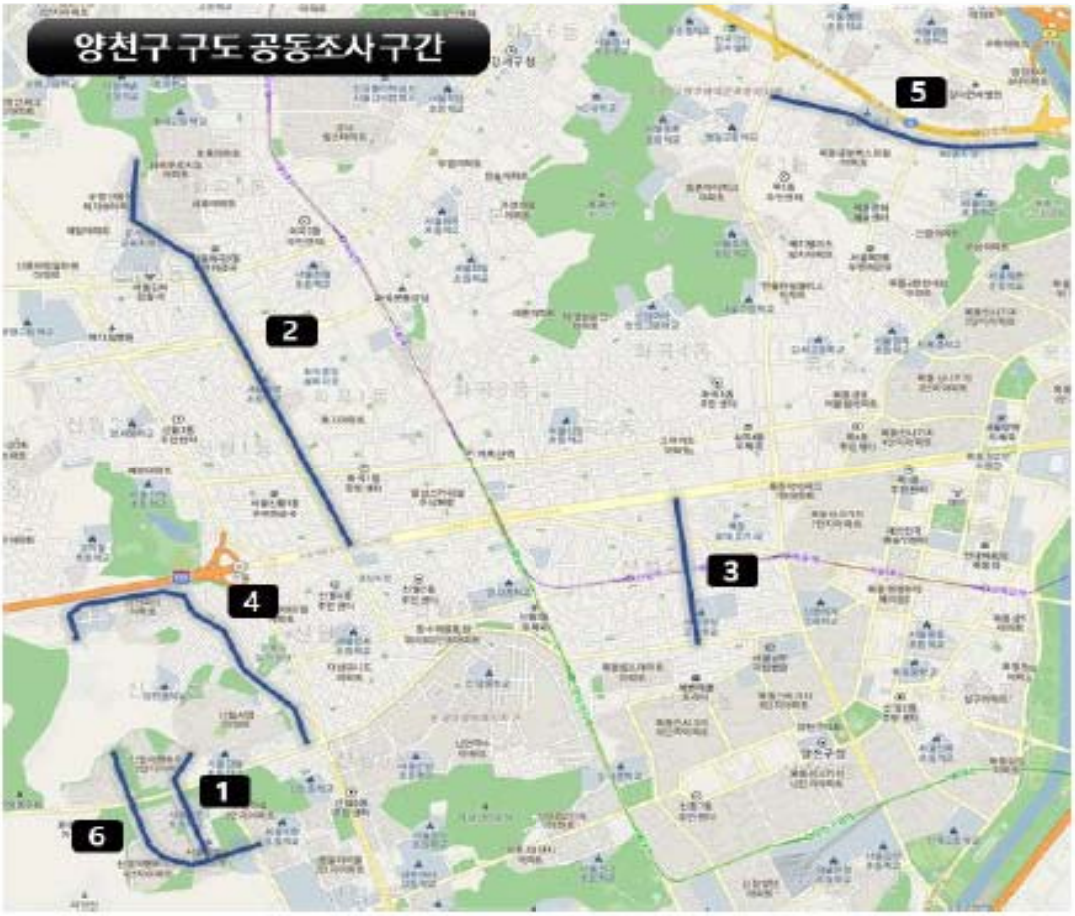
<광진구 관리도로 공동조사구간 지도>

[붙임52]
성과증빙 A-1-①

1.2.2. 서울시 양천구 관리도로 공동조사

1.2.2.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2018년 6월 12일~ 6월 15일
2) 조사기관 : 세종대학교 도로함몰 연구팀, 서울특별시 품질시험소
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 양천구 관리도로



<양천구 관리도로 공동조사구간 지도>

[붙임53]
성과증빙 A-1-①

1.2.8. 서울시 광진구 시도로 공동조사

1.2.8.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2018년 7월 24일~ 7월 25일
2) 조사기관 : 세종대학교 도로함몰 연구팀, 전문도로관리 업체
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 광진구 시도로



<광진구 시도 공동조사구간 지도>



<전문탐사업체 공동조사 요청공문>



<서울시 공동조사 현장 전경>

[붙임54]
성과증빙 A-1-①

1.2.4. 포항,함양인근 국도 공동조사

1.2.4.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2018년 7월 26일~ 9월 10일
2) 조사기관 : 세종대학교 도로함몰 연구팀
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 포항, 함양 인근 국도

<포항, 함양 인근 국도 공동조사 현황>

도로 연번	지역	사무소	국도 호선	구간		도로연장 (km)	탐사연장 (km)
				시점	종점		
총 22 개 구간						107.1	214.2
함양	함양군	함양	26	거연정휴게소	중산교+0.60	0.4	0.8
함양2	함양군			교량하부	송계삼거리	0.5	1.0
4-1	경산시	포항	4	금락고가교 A1 (하양역앞)	교대사거리	5.4	10.8
4-2	경주시			현포교A1 현포교차로	건천3교 A2 고지교	1.3	2.6
4-3				와읍교+0.73 (와읍교차로)	전촌삼거리	5.7	11.4
7-1	울산 광역시		7	울산/경북경계 (중산리치안센터)	구어교+0.188	4.7	9.4
7-2	경주시 포항시			강동IC	(공대앞교차로) 남구효자동	5.6	11.2
7-3	포항시			설곡IC	칠포교차로 (곡강초등학교)	5.0	10.0
7-4				청하교차로	승라진입도	3.4	6.8
7-5	경북 영덕군			20호선분기+0.67 (강구시장입구)	덕곡교차로	6.9	13.8
7-6	경북 울진군			삼율IC교	월송교	8.7	17.4
20-1	경주시		20	2신원교	의곡교+1.01	4.6	9.2
20-2				건천ic입구	경주터널	6.2	12.4
28-1			28	강동IC	대련IC/JC(남측)	8.3	16.6
31-1			31	관설1교 A1	나산현교 A2	6.5	13.0
31-2	포항시			일반국도31분기휘 (감포읍복지회관)	금곡교	13.8	27.6
31-3				죽장초등학교	죽장교A1	0.8	1.6
31-4				거설교+1.249	도평삼거리+1.19 (설일APC)	2.6	5.2
35-1			35	북안현교	경주시구간	8.6	17.2
35-2				북영천ic입구+0.74	선현교+0.72	4.1	8.2
36-1	밀양시		36	수산교차로	건잠교+6.30	3.0	6.0
36-2	경북 울진군			광현교+4.49	광현교+5.47	1.0	2.0

[붙임55]
성과증빙 A-1-①

2. 이동식 도로지지력 평가 장치 현장적용

2.1. RDD 현장조사

2.1.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2018년 5월 1일~7일
3) 실험참가자 : 세종대학교, 서울시 품질시험소 총 10명
4) 조사목적 : RDD와 FWD 성능비교실험
5) 투입장비 및 준비물
- 복합조사차량, FWD, RDD, 트럭, 서울시 교통통제 차량
- 청테잎, 워킹메타, 열화상카메라
- 안전장비, 라바콘, 경광봉, 콤프레샤

<서울시 시도 RDD 조사구간 현황(2018.05.01~05.07)>

도로구간	조사내용	조사연장 (km)
위례성길1차로	지지력측정	0.9
위례성길2차로	지지력측정	0.9
강남역→인재개발원	지지력측정	1.9
인재개발원→강남역	지지력측정	0.4
대치우성아파트사거리→학여울사거리	지지력측정	0.4

[붙임56]
성과증빙 C-2-②

사 진 대 지



공 사 명	도로함몰모사 APT 시험시공		
사진설명	테스트베드 시공 후 전경 (1)	일 자	2018. 09



공 사 명	도로함몰모사 APT 시험시공		
사진설명	테스트베드 시공 후 전경 (2)	일 자	2018. 09

<5차년도 성과점검 기준표>

구분	핵심연구성과 (level1)		단위성과 (level2)		5차년도 성과점검기준							해당 기관	예산 (백만)	정량목표	양적성과 지표 달성도	양적성과 지표 근거자료
					질적성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	질적성과지표 달성도	질적성과지표 근거자료					
5차년도(2019)	CTE1	도로함몰 위험도 탐지 시스템	A-1	도로함몰 탐지용 복합탐지 시스템	① 시작품 현장적용	1권	용역수행 보고서	보고서	25	100%	70, 71p	세종대학교	200	특허등록 : 1건 현장검증 : 3건 저작 : 1건	200% 300%	붙임7,8 붙임11~13 붙임 18
					② 시작품 성능 고도화	60km/hr	포장두께 조사속도	현장시연	20	80%	71, 72p		162	시작품제작 : 1건	1건 추가	붙임9
	CTE2	도로함몰 위험도 분석 프로그램	B-1	도로함몰 위험도 분석 프로그램	① 프로그램 현장적용	1건	용역수행 보고서	S/W 등록증	25	100%	73, 74p	세종대학교 (주)유디엔에스	209.6	SCI논문 : 3건 학술발표 : 2건 성과홍보 : 1건 저작 : 2건 SW : 0건	100% 200% 100% 100% 100%	붙임1,2,22 붙임3~6 붙임10 붙임19,20 붙임15~17
					② 포장두께 측정 알고리즘 개발	90% 12시간/1일데이터	포장두께 측정 정확도 분석속도	현장코어를 통한 포장두께 측정 및 비교	25	90%	75, 76p	세종대학교	200	현장검증 : 1건	100%	붙임14
	CTE4	재난 예방형 도로관리 시스템	D-1	도로함몰위험도 기준 지침(안) 및 복구대응 매뉴얼	① 도로함몰 대응/복구 실무 매뉴얼 안 제시	1권	대응/복구 매뉴얼 안 작성	보고서	5	100%	78p	한국시설안전공단	27	저작 : 1건	100%	붙임 21
계					–	–	–	–	100	–	최종보고서 Page	–	798.6	논문 : 3건 발표 : 2건 특허 : 1건 S/W : 0건 기타 : 6건 저작 4건	논문 : 3건 발표 : 4건 특허 : 2건 S/W : 3건 기타 : 2건 저작 : 4건	10건

[붙임1]
성과증빙 B-1-①

INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING
https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1559317

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

Deep learning-based underground object detection for urban road pavement

Namgyu Kim[a], Kideok Kim[a], Yun-Kyu An[b], Hyun-Jong Lee[a] and Jong-Jae Lee[a]

[a]Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Seoul, Republic of Korea; [b]Department of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul, Republic of Korea

ABSTRACT

Ground penetrating radar (GPR) is a promising non-destructive evaluation technique for detecting buried underground objects in urban area. Deep learning technique is recently being applied into this field to automate the GPR data interpretation. However, there is no proper technique that can reflect the uniqueness of urban road pavements. In this study, an underground object detection technique suitable for urban road pavement is proposed by using a statistically determined threshold amplitude and a large amount of GPR B-scan image libraries. An automated thresholding technique is newly developed based on the statistical distribution of GPR data. Deep learning technique is then applied to the reconstructed GPR data to detect underground objects in urban area. The proposed method is experimentally validated by field data collected on urban roads in Seoul, South Korea. In addition, its application possibility is also tested with full-size GPR data. The proposed method successfully emphasises the feature of underground objects and classifies hyperbola, manhole cover, layer interface and subsoil background.

ARTICLE HISTORY
Received 10 April 2018
Accepted 11 December 2018

KEYWORDS
Ground penetrating radar; urban road; thresholding method; Gumbel distribution; deep learning; B-scan image

1. Introduction

There are many reports of road collapse in recent years caused by cavities under the urban roads all around the world, making an issue in society (Park 2014, Mccurry 2016, Barnes 2017, Boyle 2017, McArthur 2017). In addition, a buried gas pipeline explosion, occurred by a construction work, is occasionally reported (WQAD Digital Team 2017) as well. There are also many unreported water and sewage pipeline burst incidents in pavement maintenance or construction sites. Most of these events can be prevented by knowing the exact location of underground objects. As a result, underground object detection without excavating the urban road pavement became a matter of great importance for preventive road pavement maintenance in urban area.

Ground penetrating radar (GPR) is a promising non-destructive evaluation technique for detecting buried underground objects (Le Bastard *et al.* 2007, Hu *et al.* 2016). Signal processing and image reconstruction techniques have been widely used to enhance the definition of target objects in GPR data (Shrestha and Arai 2003, Gilmore *et al.* 2006, Soldovieri *et al.* 2011, Zhao and Al-Qadi 2017). For the pavement inspection purpose, GPR is used to evaluate the pavement condition (Kassem *et al.* 2016, Shangguan *et al.* 2016). However, it requires highly trained experts to interpret GPR data since empirical judgments are needed to recognise underground objects in the GPR data, which involves a lot of experimental noises and environmental complexities (Thitimakorn *et al.* 2016). In addition, it is time-consuming and difficult to manually scan entire GPR data by the naked eye due to the large size of a district assigned to an analyst. For these reasons, it is required to develop a fast and accurate automatic GPR data interpretation technique.

In recent, deep convolutional neural network, which is a state-of-the-art technique for image classification, has emerged and obtained a reasonable result (Besaw and Stimac 2015, Lameri *et al.* 2017). However, most of the studies have been validated with computationally created artificial GPR data (Pasolli *et al.* 2009) or real GPR data but collected on other regions, not urban area (Becker 2014, Núñez-Nieto *et al.* 2014, Lameri *et al.* 2017). Hence, the concepts cannot be directly applied to urban road pavement applications, since the patterns of GPR data collected from the normal ground are different from the ones of urban road pavement.

The underground objects in road pavement such as cavity, concrete culvert, steel culvert, a lump of gravel and sand can be pinpointed by detecting a hyperbola or an inverted U-shape (hereafter hyperbola) in a GPR B-scan image, that is, the key of GPR data interpretation for detecting underground objects. Thus, many studies have executed for automatic hyperbola detection using pattern recognition techniques (Pasolli *et al.* 2009, Maas and Schmalzl 2013), multiresolution monogenic signal analysis (Qiao *et al.* 2015), integrating machine learning classification using image-based gradient features/robust curve fitting (Kaur *et al.* 2016) and column-connection clustering algorithm (Dou *et al.* 2017). Still, the previous studies have limitations to be directly applied to the urban road pavement, since they are focusing only on hyperbola detection, not considering the whole GPR patterns obtainable in the urban road pavement.

There are various underground objects in urban road pavement. This results in various patterns of GPR data and a wide range of signal strength. For example, there are 20 million manholes in the United States. In other words, manholes exist roughly every 400 feet on pavement (Water Environment

CONTACT Jong-Jae Lee jongjae@sejong.ac.kr
© 2018 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

[붙임2]
성과증빙 B-1-①

Check for updates

Original Article

SHM Structural Health Monitoring

Structural Health Monitoring
1–13
© The Author(s) 2019
Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/1475921719838081
journals.sagepub.com/home/shm
SAGE

Deep learning-based automated underground cavity detection using three-dimensional ground penetrating radar

Man-Sung Kang[1], Namgyu Kim[2], Jong Jae Lee[2] and Yun-Kyu An[1]

Abstract

Three-dimensional ground penetrating radar data are often ambiguous and complex to interpret when attempting to detect only underground cavities because ground penetrating radar reflections from various underground objects can appear like those from cavities. In this study, we tackle the issue of ambiguity by proposing a system based on deep convolutional neural networks, which is capable of autonomous underground cavity detection beneath urban roads using three-dimensional ground penetrating radar data. First, a basis pursuit-based background filtering algorithm is developed to enhance the visibility of underground objects. The deep convolutional neural network is then established and applied to automatically classify underground objects using the filtered three-dimensional ground penetrating radar data as represented by three types of images: A-, B-, and C-scans. In this study, we utilize a novel two-dimensional grid image consisting of several B- and C-scan images. Cavity, pipe, manhole, and intact features extracted from in situ three-dimensional ground penetrating radar data are used to train the convolutional neural network. The proposed technique is experimentally validated using real three-dimensional ground penetrating radar data obtained from urban roads in Seoul, South Korea.

Keywords

Ground penetrating radar, deep convolutional neural network, underground object detection, signal processing, basis pursuit

Introduction

Sinkholes are one of the most severe concerns for today's urban roads, because sudden ground collapses may lead not only to road closures and economic losses but also to human injuries and fatalities. Recently, several major sinkhole accidents have been reported worldwide, such as in Hangzhou, China (April 2016);[1] Fukuoka, Japan (November 2016);[2] and Cheltenham Township, PA, USA (January 2017).[3] Extraction of groundwater, changes in water drainage patterns, and water main breakages are considered as the main causes of the underground cavities that lead to urban sinkholes.[4,5] As sinkholes appear without any forewarning, there is an increasing demand for their early detection in urban areas. Several techniques have been developed to accomplish this. A commonly used geophysical inspection technique is electrical resistivity tomography (ERT). ERT has been widely used to image subsurface structures by measuring the electrical resistivity.[6,7] Although it is simple to implement and reliable for various applications such as investigations of the soil moisture content and the groundwater table, underground soil layers.

Alternatively, ground penetrating radar (GPR) has been widely used as a fully noncontact nondestructive testing technique. GPR is currently gaining popularity in the field of structural health monitoring thanks to its noncontact nature, fast scanning speed, and three-

[1]Department of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul, South Korea
[2]Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University, Seoul, South Korea

Corresponding author:
Yun-Kyu An, Department of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul 05006, South Korea.
Email: yunkyuan@sejong.ac.kr

[붙임3]
성과증빙 B-1-①

지하 매설물 분류능력 향상을 위한 위상 분석 기반의 딥러닝 기술

Phase Analysis-based Deep Learning Technique for Enhanced Underground Object Classification

서정민* 강만성** 안윤규***
Seo, Jung Min Kang, Man-Sung An, Yun-Kyu

Abstract

This paper proposes a deep learning-based underground object classification technique incorporated with phase analysis of ground penetrating radar (GPR) for enhancing the underground object classification capability. Deep convolutional neural network (CNN) using the combination of the B- and C-scan images has recently emerged for automated underground object classification. However, it often leads to misclassification because arbitrary underground objects may have similar signal features. To overcome the drawback, the combination of B- and C-scan images as well as phase information of GPR are simultaneously used for CNN in this study, enabling to have more distinguishable signal features among various underground objects. The proposed technique is validated using in-situ GPR data obtained from urban roads in Seoul, South Korea. The validation results show that the false alarm is significantly reduced compared to the CNN results using only B- and C-scan images.

1. 서 론

최근 세계 곳곳에서 싱크홀 사고가 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 특히, 도심지 싱크홀 사고들은 아무런 예고 없이 찾아와 사회, 경제적인 피해를 발생시킬 뿐만 아니라 인명피해를 동반함에 따라 도심지 싱크홀 사전 탐지에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이러한 사고를 사전에 방지하기 위하여 복잡한 도심지 도로 하부의 다양한 지하 매설물을 검출 및 분류하기 위한 다양한 기술들이 개발 및 적용되고 있으며, 빠른 스캐닝과 비파괴 검사가 가능하다는 장점을 가지는 Ground Penetrating Radar (GPR) 기술이 널리 사용되어오고 있다. 그러나 GPR 신호를 분석하여 공극의 유무를 판단하는 데 있어서 전문가의 판단에 크게 좌우되는 단점을 가지기 때문에 공극을 검출하는 데 있어 신뢰도에 문제가 발생한다. 최근, 이러한 단점들을 보완하기 위해 분석시간을 줄이며 전문가의 판단에 의존하지 않는 딥러닝을 이용한 지하 매설물 탐지 및 분류에 관한 연구가 진행되고 있지만, 지하 매설물로부터 반사되어 돌아온 GPR 신호들이 유사한 형태를 가지면서 딥러닝 기반의 기술에서도 지하 매설물을 정확히 분류하기에는 한계가 있음이 확인되었다. 본 연구에서는 앞에서 언급한 단점들을 극복하기 위하여, GPR의 대표 이미지인 B-scan과 C-scan을 합하여 딥러닝 기반의 지하 매설물 분류 기술에 사용했다. 또한 추가적으로 지하 매설물로부터 반사된 신호의 위상 분석을 위하여 자동으로 반사파의 경계를 추출하는 기술을 개발했다. 결과적으로 딥러닝 기반의 지하 매설물 분류와 더불어 추출된 경계의 추가적인 위상 분석을 통해 지하 매설물 분류 오보를 줄여 정확도를 향상시켰다.

* 세종대학교 건축공학과, 학부연구생
** 세종대학교 건축공학과, 박사과정
*** 교신저자, 세종대학교 건축공학과, 교수

[붙임4]

성과증빙 B-1-①

학술발표 세부일정



건설안전

좌 장 / 안윤규 발표장2 효해

09:00 - 09:15	가새재가 미설치된 wedge joint 시스템 동바리의 내하력 변화 분석 장남권, 이형노, 원정훈, 신승현
09:15 - 09:30	EMR 유체의 개발 및 제어성능 평가 허광희, 전승곤, 서상구, 김대혁, 김민기
09:30 - 09:45	딥러닝을 이용한 건설현장 위험탐지 기법 개발 김세훈, Zarifjon Nakhalov, 이종재
09:45 - 10:00	건설기술진흥법 개정에 내포된 건설현장 발주자 안전관리 책임 강화 원정훈, 나에지, 박기용
10:00 - 10:15	클라이밍 로봇을 활용한 고교각의 자동화 균열 평가 배현진, 장근영, 안윤규
10:15 - 10:30	코어 크기가 콘크리트 압축강도에 미치는 영향 조선두, 권승희, 김철영, 박영석

내진성능

좌 장 / 최명성 발표장3 해은

09:00 - 09:15	5경간 라멘형식 교량의 내진안정성 평가 강판승, 홍기남
09:15 - 09:30	구속조건에 따른 적재설비의 거동특성 분석 허광희, 박건희 주요한, 박채린, 김충길
09:30 - 09:45	재료 변동성을 고려한 캐비닛 설비의 확률론적 비선형해석 트란 탄투안, 응위엔 티 홍쉬엔, 장성규, 김두기
09:45 - 10:00	응답면기법기반 캐비닛 시설의 지진취약도해석 응위엔 티 홍쉬엔, 카오 안 투안, 장성규, 김두기
10:00 - 10:15	시간변동성 절대누적속도를 이용한 댐의 지진위험도 예측 타미나 나하르, 카오 안 투안, 김두기, 최병한
10:15 - 10:30	콘크리트 열화를 고려한 중력댐의 시간 의존성 지진위험도 평가 타미나 나하르, 카오 안 투안, 김두기, 장성규

구조성능

좌 장 / 최윤석 발표장3 해은

10:40 - 10:55	실물 동적 실험을 통한 기존 RC 모멘트 골조에 대한 FRP 재킷시스템의 보강효과 신지욱, 유영찬, 최기선, 김민선, 이현지
10:55 - 11:10	내진성능 향상을 위한 시멘트 복합체의 탄소섬유 보강효과 한윤경, 송기창, 임채영, 홍승현, 박종건
11:10 - 11:25	강섬유 종류에 따른 강섬유보강 콘크리트의 압축 및 휨 인성지수 임동균, 김지현, 윤다예, 임성훈, 장아연, 윤현도

[붙임5]
성과증빙 B-1-①

제23권 1호 (통권 43권)

3차원 GPR 블록 데이터와 3D CNN을 이용한 동공탐지

Underground void detection based on 3D GPR block data using 3D convolution neural network

Lee Jong-Jae*, Sheldroz Khudoyarov**

Abstract

Ground penetrating radar (GPR) is a typical sensor system for underground objects detection area. The multichannel GPR devices can give more detail and informative three-dimensional (3D) data for classification underground objects. Spatial information of underground objects can be well characterized in the three-dimensional GPR block data which consists of several B-scan and C-scan data. In this article underground object classification method is proposed by using 3D GRP data. Deep learning technique is recently being adopted into this field due to its powerful image classification capacity. The 3D GRP block data is then used to train deep three-dimensional convolution neural network (3D CNN). The proposed method successfully classifies cavity, pipe, manhole and subsoils having small false positive errors. The suggested method is experimentally validated by area data collected on urban roads in Seoul, South Korea.

1. Introduction.

A multichannel Ground penetrating radar(GPR) system has a three-dimensional visualization capability, underground three-dimensional detail information effectiveness, simplicity of data collection and no safety risk. In this study, underground object classification method based on 3D GPR data is proposed to classify underground object by using 3D GPR block data, which consists several B-scan and C-scan images. 3D shape information of an underground object can be represented 3D block data. This 3D data is then trained using deep 3D convolution neural network(3D CNN) that is a main technique for 3D object classification problem.

2. Underground void detection with 3D GPR block data using three-dimensional convolution neural network.

2.1 3D GPR data acquisition and interpretation of 3D GPR data.

In this study, the data collected by multichannel antenna manufactured by 3D-Radar. This technique enables users to acquire 3D underground GPR data. Typical 3D GPR data is shown as Fig.1. The 3D GPR data consists of multiple B-scan and C-scan images. There are single B-scan image (red edges) and single C-scan image (blue edges) which are shown in Fig.2. The example of GPR B-scan and C-scan images of cavity and pipe is shown in Fig. 3 and Fig. 4. There are three C-scan images(Fig. 4) are shown at the three red-colored lines on B-scan image(Fig. 3). There are cavity and pipe show a similar shape in the B-scan image, but not in the C-scan images. Particularly, a pipe has quadrilateral shape, a cavity has ellipse shape in the C-scan image. Therefore, a cavity and pip can be well recognized by C-scan images.

2.2 Proposed method for underground void detection.

In this study, underground object classification method is proposed by using deep 3D CNN. 3D GPR block data are used as training data for 3D CNN. 3D GPR data include underground information in transverse, longitudinal and depth direction. The size

* 정회원, 세종대학교 건설환경공학과 부교수, (E-mail:jongae@sejong.ac.kr)
** 학생회원, 세종대학교 건설환경공학과, (E-mail:sheldrooz@yahoo.com)

[붙임6]
성과증빙 B-1-①

딥러닝과 이미지 처리를 이용한 포장 균열탐지 자동화 및 세그멘테이션

Automatic pavement crack detection and its segmentation by deep learning and image processing

Lee Jong-Jae*, Eldor Ibragimov**

Abstract

Pavement condition deteriorates due to various environmental issues. This can be seen on the pavement surface as a form of distress. A crack can be considered as a typical form of pavement distress in which it may reveal a critical condition of the road. Therefore, automatic and accurate detection of pavement crack and segmentation are crucial for pavement condition assessment and maintenance.

1. Introduction

Roads play an integral part of our lives [citations]. They connect cities and countries. Thousands of cars pass through the roads daily for various purposes e.g., business, trip, emergency. Unfortunately, there are some accidents on the roads. One of the main reasons of such accidents is a poor condition of a pavement. It is easy to understand that the pavement condition deteriorates over the course of time due to a natural disaster or an environmental issue. Therefore, it is important to assess the pavement condition in time resulting in saving lives of people, time, and even our environment.

2. Methodology

In this paper, we propose a novel image-based approach for the pavement crack detection and segmentation. Our method consists of two stages: at the first stage our method takes a 2D pavement image as input and outputs the crack locations with their types.

Since the crack size varies significantly depending on the condition, we develop a crack detection method which is built on region-based convolutional neural networks. At the next stage, crack segmentation is applied. Because there is no structural information on the detected cracks, we resort to image processing, and developed image segmentation algorithm. To be more specific, thresholding-based segmentation applied to crack image.

3. Conclusion

In this work, we propose a system for evaluating a pavement condition. The system consists of two stages: automatic crack detection and segmentation. The first stage is built on region-based convolutional neural networks, and we can detect four common types of cracks: longitudinal, transverse, alligator and patching. The second stage, followed by the first stage, apply the segmentation algorithm to the extract cracks. Results shows that our technique can perform well with its effectiveness and robustness.

* 정회원, 세종대학교 건설환경공학과 부교수, (E-mail:jongae@sejong.ac.kr)
** 학생회원, 세종대학교 건설환경공학과 박사과정, (E-mail:eldor1992@mail.ru)-발표자

[붙임7]

성과증빙 A-1-①

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월31일
(11) 등록번호 10-1944324
(24) 등록일자 2019년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 1/28 (2006.01) *G01S 13/89* (2006.01)
G01V 1/30 (2006.01) *G01V 3/12* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 1/28 (2013.01)
G01S 13/88 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0138636
(22) 출원일자 2017년10월24일
심사청구일자 2017년10월24일
(65) 공개번호 10-2017-0124984
(43) 공개일자 2017년11월13일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020120022747 A*
US20040225444 A1
US20050128125 A1
US20140125508 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이종재
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 710호 (군자동)
이현종
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 712호 (군자동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 권민경

(54) 발명의 명칭 **지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 지표 투과 레이더의 데이터 처리 방법은, 지하 구조물을 탐지하기 위해 수집한 지표 투과 레이더의 데이터를 처리하는 방법에 있어서, 상기 지표 투과 레이더에서 수집한 3차원 데이터를 2차원 이미지로 분해하고, 상기 2차원 이미지에 딥러닝을 적용하여, 지하 구조물의 유무를 정확하게 판단할 수 있다.

대 표 도 - 도2



[붙임8]

성과증빙 A-1-①

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월12일
(11) 등록번호 10-1947015
(24) 등록일자 2019년02월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 3/12 (2006.01) *G01D 11/18* (2006.01)
G01S 13/02 (2006.01) *G01S 13/88* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 3/12 (2013.01)
G01D 11/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0018032
(22) 출원일자 2017년02월09일
심사청구일자 2017년02월09일
(65) 공개번호 10-2018-0092408
(43) 공개일자 2018년08월20일
(56) 선행기술조사문헌
JP04159145 A*
JP2006336713 A*
KR1020020039735 A
KR101204907 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 로드텍
경기도 안산시 상록구 해안로 705, 203호, 204호, 205호 (사동, 경기테크노파크앙아이티센터)
(72) 발명자
문형철
경기도 군포시 고산로539번길 7-12 롯데프항아파트 936동 504호
(74) 대리인
특허법인주원

전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 권민경

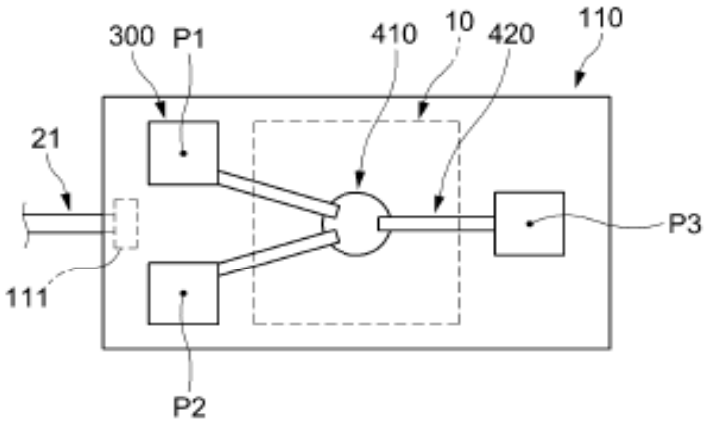
(54) 발명의 명칭 **지중탐사장치**

(57) 요 약

본 발명은, 지중탐사장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 지표면 상에서 이동하면서 지중의 상태를 검사하는 지중탐사장치에 관한 것이다.

본 발명은, 지중 상태를 검사하는 지중탐사센서(10)가 고정되는 본체부(110)와; 상기 지중탐사센서(10)가 지표면 상에서 미리 설정된 설정거리를 유지함과 아울러 지표면 상에서 이동가능하게 상기 본체부(110)의 하측에 결합되는 이동부(200)를 포함하는 것을 특징으로 하는 지중탐사장치를 개시한다.

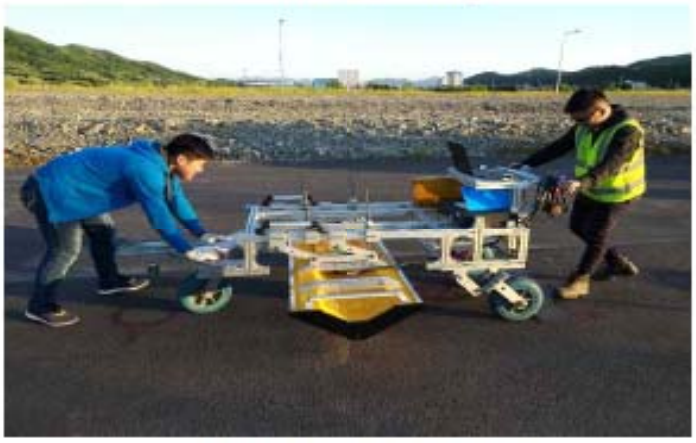
대 표 도 - 도1



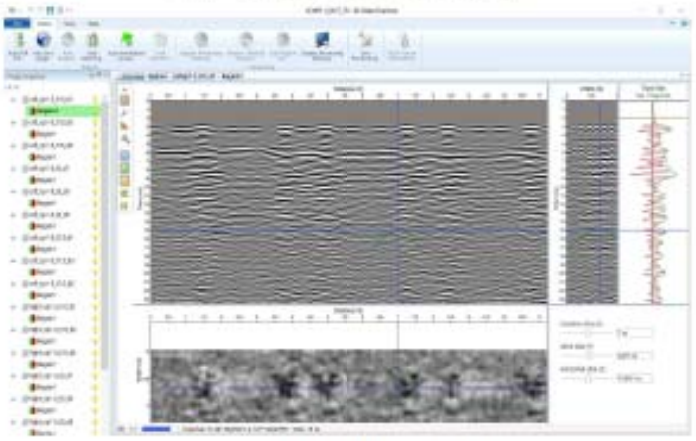
[붙임9]
성과증빙 A-1-②



<Air-Coupled GPR 시작품>



<Air-Coupled GPR 실험 방법>



<Air-Coupled GPR 데이터>

[붙임10]
성과증빙 B-1-①

KAIA, 혁신에 혁신을 더하다

국토교통과학기술진흥원

수신 수신처 참조
(경유)
제목 도로교통 R&D 성과발표회 참석 요청

사회적가치 실현과 혁신성장을 위해 수행중인 도로·교통·물류 분야 연구개발과제의 성과들을 소개하고, 그 발전방향을 논의하여 민·관 협력방안 협력 방안 및 후속 연구사업의 추진방향 마련하고자 붙임과 같이 성과발표회를 개최하고자 하오니, 참석 및 발표를 요청드립니다.

1. 세미나명 : "사회적가치" 실현과 "혁신성장"을 위한 도로교통 R&D 성과발표회
2. 일시 : '19. 5. 30(목) 13:30-18:00
3. 장소 : 일산 킨텍스 제2전시장 305A호

붙임 도로교통 R&D 성과발표회 개최 계획(안) 1부. 끝.

국토교통과학기술진흥원장

수신처 : 한국지능형교통체계협회장 , 세종대학교 산학협력단장(이현종 연구책임자) , 현대자동차(김형진 연구책임자) , (주)랩투마켓(장윤석 연구책임자) , 한국교통안전공단이사장(강병도 연구책임자) , 한국건설기술연구원장(권수안 연구책임자) , 한국건설기술연구원장(성정곤 연구책임자) , 한국지능형교통체계협회장(손승녀 연구책임자) , 한국지능형교통체계협회장(조용성 연구책임자)

★실무 박재선 교통물류실장 결재05/16 김승일

협조자

시행 교통물류실-343(시행일자:2019.05.16) 접수
주소 14066 경기도 안양시 동안구 시민대로 266 (관양동 1600) 송백빌딩 3층 /http://www.kaia.re.kr
전화 031-369-6457 전송 /jaesunpark@kaia.re.kr / 공개

[붙임11]
성과증빙 A-1-①

1.2 공동조사 수행내용

1.2.1. 서울시 소재 동남로 공동조사

1.2.1.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2019년 3월 5일
2) 조사기관 : 2019년 서울시 공동조사용역(1단계) 참가 업체
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 송파구 동남로
(광평교 교차로 ~ 올림픽체밀리타운 교차로)
※ 별첨 참조

☐ **별첨 : 위 치 도**



[붙임12]
성과증빙 B-1-②

1.2.2. 서울시 소재 양천로 공동조사

1.2.2.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2019년 8월 7일 (공동 미검출로 인한 재조사)
2) 조사기관 : 2019년 서울시 공동조사용역(1단계) 참가 업체
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 강서구 양천로
(강서구청별관입구 교차로 ~ 염창동 265-25)
※ 별첨 참조

□ 별첨 : 위 치 도



[붙임13]
성과증빙 A-1-①

1.2.3. 서울시 소재 양천로 공동조사

1.2.3.1. 현장조사 개요 및 경로

1) 일시 : 2019년 4월 15일
2) 조사기관 : 2019년 서울시 공동조사용역(2단계) 참가 업체
3) 조사목적 : 공동신호 수집
4) 조사구역 : 서울시 강서구 양천로
(발산역 사거리 ~ 김포공항입구 교차로)
※ 별첨 참조

□ 별첨 : 위 치 도



[붙임14]
성과증빙 A-1-④

2. Air-Coupled GPR 현장적용

2.1. Air-Coupled GPR 데이터 검증

2.1.1. 현장조사 개요 및 장소

1) 일시 : 2019년 5월 20일
2) 실험참가기관 : 세종대학교
3) 조사목적 : Air-Coupled GPR을 활용한 포장두께 측정값 검증
4) 투입장비 및 준비물
 - Air-Coupled GPR, 노트북, Geoscope, DMI, GPR 배터리, GPR 치구, 철판
 - 코어기, 자, 물탱크, 물, 펌프, 발전기, 비트, 바구니, 망치, 목하브, 다짐기
5) 조사위치 : 한국건설기술연구원 SOC실증연구센터 내 테스트베드



<테스트베드 Air-Coupled GPR 데이터 검증 현장>

[붙임15]
성과증빙 B-1-①

제 C-2019-019878 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	iCrack_v2(아이크랙)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>통계분석용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2019년07월10일
6. 공표연월일	2019년07월10일
7. 등록연월일	2019년07월17일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2019.07.10, 공표 : 2019.07.10

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 07월 19일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION 한국저작권위원회

[붙임16]
성과증빙 B-1-①

제 C-2019-019879 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	iCavity_v2(아이캐비티)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	세종대학교 산학협력단 서울특별시 광진구 능동로
4. 생년월일(법인등록번호)	240171-0007766
5. 창작연월일	2019년07월10일
6. 공표연월일	2019년07월10일
7. 등록연월일	2019년07월17일
8. 등록사항	저작자 : 세종대학교 산학협력단, 창작 : 2019.07.10, 공표 : 2019.07.10

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 07월 19일

한국저작권위원회

KOREA COPYRIGHT COMMISSION · 한국저작권위원회 ·

[붙임17]
성과증빙 B-1-①

제 C-2019-019421 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	도로함몰 위험도 분석 및 정보화 프로그램 (RSWS_GIS 2.0)
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 유디엔에스 경기도 의왕시 이미로
4. 생년월일(법인등록번호)	134111-0441620
5. 창작연월일	2019년06월07일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2019년07월12일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 유디엔에스, 창작 : 2019.06.07

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 08월 26일

한국저작권위원회

[붙임18]

성과증빙 A-1-①

[붙임19]

성과증빙 B-1-①

[붙임20]

성과증빙 B-1-①

[붙임21]

성과증빙 D-1-①

[붙임22]
성과증빙 B-1-①

International Journal of Pavement Engineering

A Novel 3D GPR Image Arrangement for Deep Learning-based Underground Object Classification

ABSTRACT

Ground-penetrating radar (GPR) is widely used for detecting buried underground object. Deep learning technique is recently being adopted into this field thanks to its powerful image classification capacity. However, it uses only GPR B-scan images, although multichannel GPR device can provide more informative three-dimensional (3D) data for underground object. In this study, a novel deep learning-based underground object classification method is proposed by using two-dimensional (2D) grid image which consists of several B-scan and C-scan images. Spatial information of an underground object can be well represented in the 2D grid image. The 2D grid images are then used to train deep convolutional neural networks (CNN). The proposed method is experimentally validated by field data collected on urban roads in Seoul, South Korea. The performance is also compared to a conventional method which uses only B-scan images. The proposed method successfully classifies cavity, pipe, manhole and subsoils background having very small false positive errors.

Keywords: ground penetrating radar; underground object classification; deep learning; multichannel GPR, 3D image grid

1. Introduction

Ground penetrating radar (GPR) is a promising non-destructive testing (NDT) technique for detecting buried underground objects, and it has been widely applied in geology (Barr *et al.* 1993, Mayne *et al.* 2002, Busby *et al.* 2004), archaeology (Conyers 2015, Zhao *et al.* 2018), military (Becker 2014, Núñez-Nieto *et al.* 2014, Lameri *et al.* 2017) and civil engineering applications (Wai-Lok Lai *et al.* 2017) thanks to its non-destructive and non-invasive natures, three-dimensional visualization capability, data collection simplicity and no safety risk. However, it needs experts on data interpreting to recognize various underground objects in GPR data including environmental complexities and experimental noises (Thitimakorn *et al.* 2016). Moreover, it is an inefficient and time-consuming work to analyze large amounts of GPR data by the naked eye. For these reasons, it is emerged that the importance of developing a fast and accurate automatic underground object detection technique.

Underground objects are commonly recognized by detecting a hyperbola in GPR B-scan images. Many researchers have been therefore approached for detecting hyperbolas using pattern recognition (Pasolli *et al.* 2009, Maas and Schmalzl 2013), multiresolution monogenic signal analysis (Qiao *et al.* 2015), column-connection clustering algorithm (Dou *et al.* 2017) and convolutional neural networks (CNN) (Besaw and Stimac 2015, Lameri *et al.* 2017). However, these studies focus on detecting only one specific underground object or a hyperbolic pattern in B-scan images although there are various kinds of objects are buried underground. Zhang et al. suggested neural networks based underground object classification method using computationally-generated GPR B-can images (Zhang *et al.* 2016). B-scan images for three types of underground objects were generated by gprMAX, an open source software that simulate electromagnet wave propagation. The concept of underground object classification was suggested only by the simulation data, not by experimental data. Kim et al. proposed a combination technique of thresholding and CNN methods to classify hyperbolic pattern, manhole cover, layer interface and subsoil in GPR B-scan images. The proposed technique validated with field experimental GPR data (Kim *et al.* 2019). Recently, some studies have been done with C-scan images (Klesk *et al.* 2015, Jing and Vladimirova 2017) to detect or classify landmines. However, their performances were only examined on test-beds where the collected GPR data is rarely affected by experimental and environmental noises.

In this study, a novel underground object classification method based on GPR data is proposed to categorize underground objects by using both B-scan and C-scan images. Three-dimensional (3D) GPR data obtained from a multichannel GPR system are reconstructed into a two-dimensional (2D) grid image which consists of several B-scan and C-scan images. 3D shape information of an underground object can be well represented in a 2D grid image. The 2D grid images are then trained using deep convolutional neural networks that is a state-of-the-art technique for image classification problem (Krizhevsky *et al.* 2012). The proposed method is validated through field applications on urban

For Peer Review