

3cm

17CTAP-C
097787-03

4cm

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술촉진사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-002312-01

R&D /
17CTAP-C097787-03

2.5cm

9cm

(건고덕31p)

5cm

포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태 감지 및 급속보강 시스템 개발 최종보고서

2018. 09. 17

주관연구기관 / (주)엔엔에프텍
참여연구기관 / (주)동성엔지니어링

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

3cm

포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태 감지 및
급속보강 시스템 개발 최종보고서

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부 R&D Report

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태 감지 및 급속보강 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2015. 06. 23 ~ 2018. 06. 22) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2018. 09. 17.

주관연구기관명 : (주)엔엔에프텍 (대표자) 문 성 모

참여기관명 : (주)동성엔지니어링 (대표자) 김 형 철



주관연구기관책임자: 문 성 모

참여기관책임자: 신 재 철

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C097787-03	해당 단계 연구 기간	2015.06.23. ~ 2018.06.22	단계구분	(해당단계) 3/ (총단계) 3
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태 감지 및 급속보강 시스템 개발			
연구책임자	문성모	해당단계 참여 연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 210,000천원 기업: 71,000천원 계: 281,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 24명 내부: 24명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 630,000천원 기업: 213,000천원 계: 843,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)엔엔에프텍			참여기업명 (주)동성엔지니어링	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

[연구 내용 요약]

■ 노면 측정을 위한 멀티빔 개발

- 멀티빔 최적 센서 선정
- 멀티빔 H/W 개발
- 신호처리 보드(H/W, S/W, F/W) 개발
- GPS 데이터 연동 처리 기능 개발
- 차량 탑재용 프레임 설계 및 제작

■ 포트홀 급속 보강 장치 개발

- 최적 상온 포트홀 보강재 선정
- 급속 보강 장치 메인 제어보드 H/W, S/W 개발
- 에어컴프레서, 롤러, 자동 조절장치 선정 및 메인 제어보드 일체화
- 전동 브러쉬 개발 (H/W, 기구 제작)
- 차량 탑재용 프레임 제작 (부속장비 포함)

■ 통합 시스템 개발(데이터 분석 플랫폼 포함) 개발

- ◆ 데이터분석 플랫폼 H/W 개발
- ◆ 데이터분석 플랫폼 S/W 개발
 - 필터링 프로그램 개발
 - 데이터 후처리 및 데이터추출 프로그램개발
 - 통합시스템 전송 및 연동을 위한 API, 전송 프로그램 개발
 - 기능구현 프로그램 개발
- ◆ 통합시스템 프로그램 개발
 - 데이터분석 플랫폼 통신 프로그램 개발
 - 급속시공 물량산출 알고리즘 개발
 - 급속시공 단가산출 알고리즘 개발
 - 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 개발
 - GIS 데이터 맵핑 프로그램 개발
 - 우선순위 의사결정 지원 프로그램 개발
 - 급속시공 메인 제어보드 통신 및 데이터전송 프로그램 개발
 - 의사결정에 따른 순위별 포트홀 네비게이터 프로그램 개발
 - 도로 평탄성 등급 판정을 위한 알고리즘 개발
 - Report 파일 생성 프로그램 개발

보고서 면수 : 104page

<국문 요약문>

연구의 목적 및 내용	□ 연구의 목적 본 연구에서는 도로 노면에 대한 주기적이고 상시적인 모니터링이 가능하고 이를 통한 도로 포장 보수 결정을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하고 포트홀에 대해 우선순위 의거 또는 즉각적인, 급속 보강이 가능한 시스템 개발을 최종 목표로 하며 경량형의 자동측정 급속 보강 장비를 개발하여 국내 도로연장 10만Km에 대한 상시적인 모니터링이 가능하도록 경량형 타입으로 포트홀 20mm이상의 감지와 급속시공이 가능한 시스템을 개발하는 것을 주요 목적으로 한다. □ 연구의 내용 1. 노면 측정을 위한 멀티빔 개발 ◆ 멀티빔 최적 센서 선정 ◆ 멀티빔 H/W 개발 ◆ 신호처리 보드 (H/W, S/W, F/W) 개발 ◆ GPS 데이터 연동 처리 기능 개발 ◆ 차량탑재용 프레임 설계 및 제작 2. 포트홀 급속 보강 장치 개발 ◆ 최적 상온 포트홀 보수재 선정(실험 결과) ◆ 급속 보강 장치 메인 제어보드 H/W, S/W 개발 ◆ 에어컴프레서, 롤러, 자동 조절 장치 선정 및 메인 제어보드 일체화 ◆ 전동 브러쉬 개발 (H/W, 기구 제작) ◆ 차량 탑재용 프레임 제작(건, 주입호스, 롤러 포함) 3. 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발 ◆ 데이터분석 플랫폼 H/W 개발 ◆ 데이터분석 플랫폼 S/W 개발 - 필터링 프로그램 개발 - 데이터 후처리 및 데이터추출 프로그램개발 - 통합시스템 전송 및 연동을 위한 API, 전송 프로그램 개발 - 기능구현 프로그램 개발 ◆ 통합시스템 프로그램 개발 - 데이터분석 플랫폼 통신 프로그램 개발 - 급속시공 물량산출 알고리즘 개발 - 급속시공 단가산출 알고리즘 개발 - 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 개발 - GIS 데이터 맵핑 프로그램 개발 - 우선순위 의사결정 지원 프로그램 개발 - 급속시공 메인 제어보드 통신 및 데이터전송 프로그램 개발 - 의사결정에 따른 순위별 포트홀 네비게이터 프로그램 개발 - 도로 평탄성 등급 판정을 위한 알고리즘 개발 - Report 파일 생성 프로그램 개발
연구개발성과	1. 노면 측정을 위한 멀티빔 개발 단일(다중) 센서를 통한 도로 표면상태(포트홀, 도로평탄성)를 검출하는 기술형태에서 포트홀 감지 및 도로 평탄성을 동시에 측정할 수 있는 멀티빔 형태의 노면 측정용 멀티빔을 개발함으로써 포트홀 20mm급 이상 감지와 도로 평탄성을 측정할 수 있도록 하기 위한 시스템 2. 포트홀 급속 보강 장치 개발 포트홀 급속 보강을 위해서 급속 시공 단계별 장치들을 일체화된 프레임으로 개발, 차량 탑재하며 이들을 제어할 수 있는 메인제어보드를 개발하고 자동으로 산출된 주입량에 따라 자동 조절되는 장치를 개발

	3. 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발 도로관리 주체에게 포트홀에 대한 상세정보와 우선순위 선정 정보, 의사결정 지원 정보 등을 제공하고 선정된 포트홀에 대해 다시 찾아가서 급속시공이 가능하도록 하기 위한 포트홀 네비게이터 기능, 포트홀 급속보강 재료 자동 투입량을 제공하는 기능을 수행하는 통합시스템 개발 최종 성과물은 아래와 같다. • 노면 측정용 멀티빔 시제품 • 포트홀 급속 보강 장치 시제품 • 데이터 분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 시제품				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 본 연구의 최종 성과물들은 국산 경량형 이동식 도로 노면 상태감지 시스템(노면 측정을 위한 멀티빔 + 데이터분석 플랫폼)과 이를 관제할 수 있는 통합 시스템, 그리고 의사결정에 따른 포트홀에 대해서나, 일정 규격 이상의 포트홀에 대해서 자동으로 급속 보강을 할 수 있는 포트홀 급속 보강 장치로 구성된다. 이는 기존의 외산장비처럼 수억원대의 고가의 장비가 아닌 경량형의 제품으로 급속 보강까지 가능한 제품으로 도출된다. • 완성된 시작품을 신경기건설(주)에서 활용하여 직접적인 사업화를 추진하며, (주)엔엔에프텍과 (주)동성엔지니어링은 개발된 컴포넌트들을 활용한 세부 사업화를 추진한다. 또한 신경기건설(주)는 용역수행에 맞추어 사업화를 추진하지만, (주)엔엔에프텍과 (주)동성엔지니어링은 장비 판매 및 임대사업에 사업화를 추진한다. • 본 연구의 최종 성과물은 도로관리주체에게 포트홀의 상시모니터링 및 급속 보강을 저렴한 초기도입비용으로 해결할 수 있어 포트홀로 야기되는 인적/물적 손실을 줄일 수 있을 것으로 기대한다.				
핵심어 (5개 이내)	노면측정	포트홀	급속 보강	멀티빔	

< SUMMARY >

Purpose & Contents	□ Poupose The final purpose of this research is to develop an automatic reinforcement equipment of a decision support system for the road surface and pothole. Detailed objectives are the same as the under. □ Contents 1. Development of multi beam for road measurement • Decision of the optimum sensor for multi beam • Development of H/W for multi beam • Development of board in signal processing(H/W, S/W, F/W) • Development of data processing system for GPS • Design and fabrication of frame for vehicle • 2. Development of automatic reinforcement equipment for pothole • Decision of the optimum cold mixed asphalt patching material for pothole • Development of main control board, H/W and S/W in automatic reinforcement equipment • Integration of the essential equipment for main control board(decision of essential euipment) • Development of electric brush • Design the frame in vehicle(air gun, pump hose, roller etc.) 3. Development of integrated system(data analysis platform) • Development of H/W for data analysis platform • Development of S/W for data analysis platform – Development of filtering program for data – Development of program for data processing and extraction – Development of API and transmission program for the integrated system – Development of program for functional implementation • Development of program for integrated system – Development of communication program for Platform in data analysis – Development of quantity take-off algorithm for rapid construction – Development of calculated unit price algorithm for rapid construction – Development of selection of preferable alternative algorithm in rapid construction – Development of mapping program for GIS data – Development of selection program of priority decision – Development of data transmission program in main control board for rapid construction – Development of decision-making navigator program for the pothole – Development of classification algorithm for determining on the road roughness grade – Development of program for report file production
Results	1. Development of multi beam for road measurement – Development of multi beam for road measurement system capable of sensing the pothole and road roughness at the same time. 2. Development of automatic reinforcement equipment for pothole – Development of automatic reinforcement equipment in integrate of the essential equipment for pothole.

	3. Development of integrated system(data analysis platform) - Development of the integrated system to provide information of road condition for the functional navigator and the rapid reinforcement. The final consequences of this research are the same as the under. • Development prototype of multi beam for road measurement • Development prototype of automatic reinforcement equipment for pothole • Development prototype of integrated system(data analysis platform)				
Expected Contribution	• The final consequences of this research are lightweight movable road surface investigation system, total control system and automate repair equipment. This system can investigate and repair pot-hole at a lower cost than existing method. • New kyonggi construction Co., Ltd. will promote directly commercialization, NNFtech and Dongsung Eng. push ahead with detail commercialization using the developed components. • The final outcomes of this research can be expected to reduce human/material loss because low cost real-time monitoring and repair system is provided.				
Keywords	Measured road surface	Pothole	Rapid reinforcement	Multi Beam	

< Contents >

1. Overview of Research	9
2. State of Art for This Subject	15
3. Research Contents & Performance	21
4. Level of Contributions on Objectives	87
5. Application Plan of Research	93
6. Information of Technologies about This Research	95
7. Security Level	96
8. Enrollment of the Equipments to NTIS	96
9. Results of Safety Actions	97
10. Typical Results of Research Project	98
11. Others	103
12. References	104

< 목 차 >

제1장. 연구개발과제의 개요	9
제2장. 국내외 기술 개발 현황	15
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	21
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	87
제5장. 연구개발성과의 활용 계획	93
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	95
제7장. 연구개발성과의 보안등급	96
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	96
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	97
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	98
제11장. 기타 사항	103
제12장. 참고 문헌	104

제1장. 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발의 개요

1. 연구개발의 목적

- 국내 도로 사업이 신규건설 위주에서 유지관리 비중이 커지는 단계로 전환됨에 따라 도로 포장 상태의 상시적이고 주기적이 모니터링이 중요해지고 있다. 도로의 포장상태는 도로를 주행하는 이용객들의 안전에 영향을 미칠 뿐만 아니라 거액의 사회적인 복구비용을 요구한다.
- 특히 여름철의 집중호우나 겨울철의 온도변화에 의한 포장재의 파손으로 인해 발생하는 패임 현상(포트홀)이나 급증하는 교통량과 대형차량의 하중 때문에 발생하는 소성변형 현상이 도로의 파손을 가속화하고 있어 이런 포장재 불량률 주기적으로 모니터링 하는 시스템이 필요하다.
- 국내 포장유지관리체계(PMS, Pavement Management System)는 일부 고액의 표면 결함 검출 장비를 운영하고 있으나 대부분 외산 장비들이며 보유하고 있는 장비로는 국내 도로연장 10만 Km를 조사하기에는 무리가 따르는 실정이다.
- 이에, 본 연구에서는 도로 노면에 대한 주기적이고 상시적인 모니터링이 가능하고, 이를 통한 도로 포장 보수 결정을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하고, 포트홀에 대해 우선순위의거 또는 즉각적인, 자동 급속 보강이 가능한 시스템 개발을 최종 목표로 하며 경량형의 자동측정 급속 보강 장비를 개발하여 국내 도로연장 10만Km에 대한 상시적인 모니터링이 가능하도록 경량형 타입으로 20mm급 이상의 포트홀 감지 및 급속 보강이 가능한 시스템을 개발하는 것을 최종 목표로 한다.
- 시스템적으로도 경량형을 목표로 하지만 제한된 예산으로 시, 군, 읍 단위의 도로까지 지속적이고, 상시적으로 도로 포장 표면 상태를 모니터링 할 수 있고, 도로 포장을 관리하는 기관에게 우선보수를 위한 의사결정을 지원할 수 있으며, 결정된 포트홀에 대한 급속 보강이 가능한 경량형의 경제적 시스템 개발을 목표로 한다.
- 포트홀 급속 보수보강을 위해서 도로관리 주체에게 2가지 형태의 옵션을 제공한다. 첫째는 도로관리 주체가 선정한 일정 크기 이상의 포트홀은 바로 보수보강을 할 수 있도록 하는 방법과 둘째는 포트홀을 도로구간별 감지한 결과를 토대로 포트홀의 사이즈 및 위치, 보수보강 비용, 물량 등에 대한 정보를 도로관리 주체에게 제공한 후 도로관리 주체가 우선순위를 지정하고 그 결과에 따라 포트홀 급속 보수보강을 하는 형태가 그것이다. 이 두 가지 측면의 서비스는 포트홀에 대한 보수보강, 비용정산, 관리체계(직접, 용역 등)를 반영한 결과이다.



그림 1 개발한 포트홀 감지 및 급속보강 시스템

2. 연구개발의 필요성

- 최근 우리나라의 기후가 온대에서 아열대 기후 쪽으로 변화하면서 연평균 강우량의 증가 추세가 확연히 나타나고 있으며 이러한 강우량의 증가는 수분에 대하여 취약한 아스팔트 포장의 내구성을 약화시키는 경향이 있어 포트홀은 해를 거듭할수록 악화되는 경향이 있다.
- 포트홀은 사회문화적 측면, 경제적인 측면 모두 인적/물적 손실을 가져오는 위험 요소이다. 아래의 그림을 보면 이와 같은 위험도를 알 수 있으며 한 언론매체의 보도에 따르면 서울시의 최근 10년간 50만 건의 포트홀이 발생, 이로 인한 교통사고는 2천 건 이상으로 조사되었다.



그림 2 서울시 및 고속도로 구간 포트홀 발생 수 (출처: 국회 국토교통위원회/연합뉴스)

- 2013년 서울의 경우 장마철에 이틀간 1,866곳의 포트홀이 발생되어 사회적 이슈로 다시 한번 부각되었다. 특히, 포트홀의 경우 방치하게 되면 넓이가 확대되어 더 큰 교통사고를 유발하게 되기 때문에, 주기적인 포트홀 관리와 우선순위에 따른 빠른 시공 기술이 꼭 필요한 실정이다. 아래의 그림은 국내의 도로 총연장에 대해 보여준다.

표 1 국내 도로 총연장 (국토해양부 도로업무편람, 2008)

구분	도로관리청	책임부서		총연장(km) 2007.12기준
		건설공사	관리	
고속국도	국토해양부장관	국토해양부장관 (대행:도공사장)	국토해양부장관 (대행:도공사장)	3,368
일반국도	국토해양부장관 (시구역:시장)	국토해양부장관 (시구역:시장)	국토해양부장관 (시구역:시장)	13,832(2,320)
특별·광역시 도	특별·광역시장	특별·광역시장	특별·광역시장	18,109
지방도	도지사	도지사 (필요시:국토해양부장관)	도지사 (시구역:시장)	18,174
시도	시장	시장(필요시:도지사)	시장	25,397
군도	군수	군수(필요시:도지사)	군수	24,139
합 계				103,019

- 현행 포트홀 대응 방안은 도로 순찰시 육안관찰 또는 이용자의 신고에 의해 파악한 후 응급 복구팀이 투입되어 인력으로 포트홀을 보수하는 방식으로 인력시공에 따른 품질확보와 신속한 작업이 어려운 문제점이 있다. 포트홀에 대한 상시 조사와 초기 포트홀 발생 상황에서의 조기 복구 시스템은 도로이용자의 안전을 높이기 위해 반드시 필요하다.
- 일반적인 포트홀 보수방법은 포트홀 감지와 포트홀 보수가 별도로 진행되지만 개발 시스템은 포트홀 감지와 긴급보수 작업을 한 번에 수행할 수 있으며, 아래의 표와 같은 효과를 가진다.

표 2 일반적인 포트홀 보수방법과 개발된 시스템의 보수방법 비교

현행 포트홀 보수방법	개발된 보수 방법	효과
순찰자, 민원인 감지	멀티빔이 장착된 차량으로 감지	-상시적, 주기적 도로 포트홀 모니터링 가능
작업반 출동	포트홀 감지와 포트홀 긴급보수 장치 일체화 차량	-포트홀 감지와 동시에 긴급보수 -포트홀 감지 보고 후 보수 결정된 포트홀 보수(포트홀 네비게이터 탑재)
수분제거	수경화성 보수재 사용	-수경화성 보수재 사용으로 수분 제거 작업 불필요
상온유화아스팔트, 상온형아스팔트 보수재 포설	수경화성 보수재 포설	-감지 된 포트홀 체적에 기초한 정량의 보수재 물량을 급속보강 자동화 장치로 자동 주입 -정량의 보수재 주입으로 보수재 손실 감소
다짐	다짐	-
마무리	마무리	-

- 서울시의 경우 2014년에 이러한 포트홀을 감지할 수 있는 대책의 일환으로 서울시 버스 3개 노선에 포트홀 감지를 위한 충격감지센서(포트홀을 버스가 지날 때 덜컹거리는 충격을 감

지)와 GPS센서모듈을 장착해 시범 운행하였으나 버스의 바퀴가 지나는 곳만을 감지, 모든 충격을 포트홀로 인식 등의 폐해가 있어 확장하지 못하였다.

- 이와 같은 인적/물적 손실을 야기하는 포트홀의 해결을 위해서는 포트홀을 감지하고, 급속시공을 결정하고, 급속시공을 할 수 있는 3단계의 해결책이 필요하다. 3단계 모두 도로관리 주체의 사업비와 직결된다. 따라서 경제적인 대안을 제시해야만 관리주체의 시스템 도입이 가능하고, 시스템 도입뿐만이 아니라 운용에 있어서도 경제성이 있는 기술이어야만 가능하다.
- 이에 본 제안에서는 도로 노면에 대한 주기적이고 상시적인 모니터링이 가능하고 이를 통한 도로 포장 보수 결정을 위한 의사결정 지원시스템을 개발하고 포트홀에 대해 우선순위 또는 즉각적인, 자동 급속 보강이 가능한 시스템 개발을 개발하여 10만Km 에 대한 상시적인 모니터링이 가능하도록 경량형 타입으로 개발하는 것을 주목적으로 하며, 이를 통해 시급한 유지보수를 먼저 시행할 수 있고, 운전자의 안전 증진에 기여할 수 있으며, 사고예방을 통한 인적/물적 피해를 최소화 할 수 있으며 궁극적으로 안전한 사회 구현이 가능할 것으로 기대한다.

3. 연구개발의 중요성

- 세계적으로 선진국이나 개발도상국들은 도로에 대한 신설보다는 유지관리 측면으로 방향전환이 되고 있으며, 이러한 현상은 도로의 상태를 실시간적으로 감지할 수 있는 것부터 출발하게 된다. 따라서 기존의 외산장비들이 갖고 있는 노면상태 감지 기능 이외의 다기능을 복합하여 고가로 이어진 장비들에 대해 본 개발결과물은 충분한 경제적 이점을 안고 있다고 할 수 있으며, 이를 통한 시장 점유의 가능성이 높다고 볼 수 있다.
- 대도시의 도로는 연장길어도 많고, 이곳에서 발생하는 포트홀들은 교통사고를 일으키는 주요 요인과 함께 민원발생의 주요 원인이기도 하다. 서울특별시의 경우 보유한 장비나 인력 구성으로 총 도로연장에 대해 주기적인 포트홀 관리가 불가능한 실정이며, 이에 본 장비 개발을 통해 포트홀 관리 용역 수행이 가능함으로 또 다른 시장을 생성할 수 있을 것으로 기대한다.
- 운전자에게 있어 포트홀이나 소성변형들은 자주 마주치고, 위험지수가 높은 편에 속한다. 이를 감지하기 위한 장비들로는 전 세계적으로 많은 장비들이 존재하고 있지만, 고가로 인한 초기 도입 비용이 크게 발생되어 많이 보유하지 못한다는 단점이 있다. 이를 극복할 수 있도록 포장 상태의 상시적, 주기적인 모니터링과 포트홀에 대한 급속 보강이 가능할 수 있도록 경제적인 이점을 갖는 본 결과물들은 기존 시장에 대한 틈새 공략적인 측면에서 충분한 경제적 이점을 안고 있다. 이를 통해 국내에서는 수입대체 효과와 해외 수출을 통한 수출증대효과를 볼 수 있을 것으로 기대한다.
- 현재 대다수의 포트홀은 관리기관의 Search에 의한 검지가 아닌 주민들의 민원 또는 신고에 의한 검지가 더욱 많다. 이는 도로 관리기관의 관리대상인 도로 연장에 비해 이들의 관리에 필요한 장비, 인력 등의 부족에 기인한다. 따라서 본 결과물을 활용하면 포트홀 즉시 제거가 가능해지고, 이에 따라 민원의 감소도 동반될 것으로 기대한다.
- 기존의 검사장비의 경우 노면 상태의 검출단계에서 머물러 있지만 본 연구에서는 포트홀 급속시공을 위한 물량산출 알고리즘, 우선순위 결정 알고리즘이 포함되어 있어 도로관리 주체에게

최종 의사결정을 위한 데이터를 추가적으로 제공할 수 있다.

- 본 연구는 도로 노면 검사 장비와 포트홀 급속시공 장비 일체형이고 상온식 포트홀 보수재를 사용하여 포트홀 보수 단계를 단순화하여, 도로 포장 유지관리 기관들에게 초기도입비용의 최소화를 제공할 수 있으며, 이를 통해 주기적이고도 상시적인 국토 도로관리가 가능해 질 수 있을 것으로 기대한다.
- 사회 기반 시설인 도로, 교량, 터널 등에 대한 이용자들인 전 국민의 안전한 생활과 경제의 동맥으로서의 역할을 원활히 하기 위한 건설 및 유지보수에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 연구개발의 범위

- 본 연구는 포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태 감지 및 급속보강 시스템을 제시하기 위해 포트홀 보수 최적 재료 선정, 노면측정을 위한 멀티빔 개발, 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합시스템 개발, 포트홀 급속 보강 장치 개발, 포트홀 네비게이터를 개발하고 현장 적용을 진행한다.
- 노면 포트홀을 감지하기 위해 기존의 단일센서 및 포인트 형태의 기술에서 멀티센서형태의 노면 측정용 멀티빔을 개발하여 포트홀 20mm급 이상 감지와 도로 평탄성을 측정할 수 있도록 한다.
- 멀티빔에서 측정된 데이터와 GPS데이터를 이용하여 포트홀 감지 위치와 도로평탄성 측정 위치를 GIS와 연동하여 DB화하고, 이를 기초로 포트홀 급속시공 물량산출, 급속시공 단가 산출, 급속시공 포트홀 네비게이터를 포함하는 통합시스템을 개발한다.
- 멀티빔에서 측정된 포트홀 측정 데이터를 기반으로 포트홀의 체적을 산출하여 포트홀 보수재의 시공 물량을 산출하는 알고리즘을 개발한다.
- 감지된 포트홀 체적을 기반으로 하여 급속시공 단가 산출 알고리즘을 개발한다. 단가는 재료비, 간접재료비, 인건비, 경비를 포함한 시공비용을 산출하며, 이와 같은 정보와 포트홀에 대한 상세정보를 제공하여 관리주체가 도로 포장 보수 결정을 위한 의사결정을 지원한다.
- 노면에서 감지된 포트홀 상세정보와 보수재 물량, 포트홀 보수 단가 정보 등을 기반으로 도로 관리주체에서 보수 할 포트홀이 선정되면 포트홀 시공 순서에 따라 해당 포트홀의 위치를 찾아 갈 수 있는 포트홀 네비게이터를 개발한다.
- 포트홀 급속보강을 위한 최적의 상온 급속 보수재 재료를 선정하고, 통합시스템에서 자동 산출된 포트홀 급속 시공 물량을 전송받아 해당 포트홀 체적에 맞는 보수재를 충전하고 급속 보수재의 누름 및 마감처리를 수행하는 포트홀 급속 보강 장치를 개발한다.
- 지자체에서 제공한 도로에 인위적인 포트홀을 생성하고 멀티빔을 이용하여 포트홀 20mm급 이상 감지실험 및 도로 평탄성 감지 실험을 진행하고, 감지 데이터를 활용한 도로 평탄성 등급 판정, 급속시공 물량산출, 급속시공 단가산출, 급속시공 우선순위 의사결정 지원, 포트홀 네비게이터의 동작을 확인하고 상온 급속보강 재료의 현장 적용 시험을 진행한다.

연구개발 세부범위는 아래 표와 같다.

표 3 연구개발 세부범위

연차	연구 목표	주요 연구내용
1차 년도	노면 측정을 위한 멀티 빔 개발	• 멀티빔 최적 센서 선정
		• 신호처리 보드 H/W, S/W 개발
		• 멀티빔 기구설계 및 Working Mockup
	데이터 분석 플랫폼 개 발	• 데이터분석 H/W 플랫폼 개발
		• 데이터분석 프로그램 개발
		• 급속시공 물량산출 알고리즘 개발
		• 포트홀 시편 감지 시험
	포트홀 급속 보강 장치 개발	• 최적의 급속 보강 재료 선정 • 급속보강장치 메인제어보드 개발
2차 년도	노면 측정을 위한 멀티 빔 개발	• 신호처리 보드 개발
		• GPS 데이터 연동 처리 기능 개발
		• 차량 탑재용 프레임 설계 및 제작
	데이터 분석 플랫폼 개 발	• 필터링 프로그램 개발
		• 통합시스템 전송 및 연동을 위한 API, 전송프로그램 개발
	포트홀 급속 보강 장치 개발	• 자동 조절 장치 선정 및 메인 제어보드 일체화
		• 급속보강 장치 기구설계 및 개발
		• 마감작업용 에어컴프레서, 컴팩터 탑재기구물 제작
		• 차량 탑재용 프레임 제작(에어컨, 주입호스, 컴팩터 포함)
		• 차량 유도 및 안전장치 제작
	통합 시스템 개발	• 급속시공 단가산출 알고리즘 반영 프로그램 개발
		• 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 반영 프로그램 개발
		• GIS 데이터 맵핑 프로그램 개발
		• 급속보강 메인 제어보드 통신 및 데이터전송 프로그램 개발
		• 도로 평탄성 등급 판정을 위한 알고리즘 반영 프로그램 개발
3차 년도	노면측정을 위한 멀티 빔 개발	• 20mm급 이상의 포트홀 가지 실험
		• 전체 시스템 통합 테스트 및 디버깅
		• 현장 시험 운용
	포트홀 급속 보강 장치 개발	• 급속 보강 장치 보완(2차년도 도로현장 시험 결과 반영)
		• 차량 유도 및 안전장치 제작
		• 전체 시스템 차량 탑재 후 통합 테스트
		• 현장 시험 운용
	통합 시스템 개발	• 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 반영 프로그램 개발
		• 의사결정에 따른 순위별 포트홀 네비게이터 프로그램 개발
		• Report파일 생성 프로그램 개발
		• 데이터베이스 구축 방안 연구

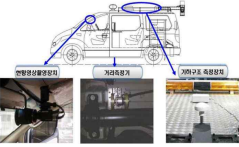
제2장. 국내외 기술 개발 현황

제1절. 관련분야의 국내외 연구동향

1. 관련분야의 국내 연구동향

- 포트홀을 효율적으로 관리하기 위해 기존의 수동식조사 방식을 벗어나 자동 포트홀 탐지시스템이 최근 다양한 방식으로 연구되고 있다. 포트홀을 자동으로 탐지하기 위한 시스템은 크게 가속도 센서 방식, 레이저 스캐닝 방식, 영상 방식, 지표투과 레이더 스캔 방식으로 분류할 수 있다.
- 가속도 센서 방식은 차량에 가속도 센서를 설치하여 차량이 포트홀을 밟고 통과할 때의 흔들림 정도를 측정하여 포트홀을 측정하는 시스템이다. 저비용으로 손쉽게 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있으나 포트홀 인식에 있어 오인식이 발생할 경우가 많은 단점이 있다. 도로노면의 맨홀이나 과속 방지턱과 같이 포트홀에서 발생하는 흔들림과 유사한 형태를 지니는 노면 설치물은 포트홀과 구분하기 힘들다. 또한, 차륜부에 위치한 포트홀만이 측정가능하기 때문에 그 이외의 영역에 발생한 포트홀은 측정이 불가능한 문제가 있다.
- 레이저 스캐닝 방식은 전용 레이저 스캐너를 도로노면에 투영하여 반사되어 돌아오는 레이저의 시간차를 이용해 레이저 스캐너와 도로표면의 거리 차이를 측정해 포트홀을 탐지하는 방식이다. 레이저 스캐닝 방식은 포트홀 뿐만 아니라 상세한 노면 크랙까지 측정할 수 있을 정도로 상세한 데이터를 얻을 수 있다. 스캐너의 샘플링 속도가 빠를수록 더욱 상세한 데이터를 얻을 수 있다.
- 영상을 이용한 포트홀 탐지 방식은 2D 이미지를 이용해 포트홀을 인식하는 방식이다. 도로노면에서 발생하는 포트홀의 특징점을 정의하고 해당 특징점이 발생하는 위치를 찾아 포트홀을 검출하는 방식을 주로 사용한다.
- 지표투과 레이더 스캔 방식은 전자기파의 투과 및 반사 특성을 이용하여 지하에 매설된 물체를 탐지하는 목적으로 고고학, 지질학, 지반공학 분야에서 많이 사용되는 비파괴시험 방식이다. 최근 들어 도로포장 분야에서도 포장두께 측정, 공동 탐지, 콘크리트 바닥판의 열화상태 평가 등의 목적으로 지표투과 레이더 스캔 방식이 많이 사용되고 있다.
- 표면 결함은 포트홀, 균열, 소성변형 등의 포장 표면에 발생하는 결함의 총칭으로써 유지보수 실무자들에게 가장 중요한 요소이다. 균열율, 소성변형의 깊이처럼 각각의 결함정도를 별도로 표시하는 것이 일반적이며 측정은 육안조사의 문제점들을 해소하는 차원에서 많은 기관들이 자동포장상태 조사장비에 의하고 있다. 자동포장상태 조사장비의 대표적인 예로는 ARAN, ARIA, eRoadInfo, ROMA153, KRISS, TSCV 등이 있다. 아래의 표는 포트홀 및 소성변형, 균열 검출장비들과 개발시스템과의 비교표이다.

표 4 기존 장비와 개발시스템의 비교표

구분	이미지	측정방식	측정범위	비교
ARAN (캐나다)		-이미지방식 -레이저방식 -GPS	-균열, 소성변형, 종단평탄성, 도로선형 측정 -위치정보	-도로포장 유지관리 장비 -1회/2년 측정 -포트홀 보수 불가 -고가의 장비
ARIA (미국)		-이미지방식 -레이저방식	-평탄성, 단차측정	
eRoadInfo (미국)		-이미지방식 -GPS	-균열, 소성변형, 종단평탄성, 도로선형 측정 -주변 현황 영상 -위치정보	
ROMA153 (한국)		-이미지방식 -레이저방식 -GPS	-균열, 소성변형, 종단평탄성, 도로선형 측정 -위치정보 -도로, 공항포장조사장비	
KRISS (한국)		-이미지방식 -초음파센서 -레이저센서 -GPS	-균열, 소성변형, 종단평탄성 측정 -주변 현황 영상 -위치 정보	
TSCV (한국)		-이미지방식 -가속도, G센서 -레이저센서 -GPS	-균열, 소성변형, 종단평탄성 측정 -주변 현황 영상 -위치 정보	
개발 시스템		-레이저센서 -초음파센서 -GPS	-포트홀 감지 -도로평탄성 측정 -포트홀 네비게이터 -위치정보	-포트홀 감지 장비 -상시적 측정 -포트홀 보수 가능 -경량형 장비

- 국내의 도로 사업은 신규건설 위주로 진행되었던 방향이 신규는 축소되고 유지관리의 비중이 커지는 단계로 전환되어 운영되고 있다. 도로의 유지관리를 위한 기본적인 자료는 도로의 포장상태에 기인하는 경우가 많다.
- 도로의 포장상태는 도로를 주행하는 이용객들의 안전성에 큰 영향을 미친다. 이는 포장 시공뿐만 아니라, 유지관리 측면에서도 중요시되어 도로의 Life Cycle 전체에 대해 지속적인 관리가 이루어진다. 특히 여름철의 집중 호우나 겨울철의 날씨에 의한 포장재의 파손으로 인해 발생하는 패임현상(일명 포트홀)이나 급증하는 교통량과 중차량의 하중 때문에 발생하는 소성변형 현상들은 운전자의 안전에 치명적인 영향을 미치는 포장 상태의 대표적인 불량상태이다. 이와 같이 포장의 상태에 대해 상시적이고 주기적인 모니터링을 수행하여 적정수

준 이상으로 관리하는 방안으로 국내에서는 포장상태 조사장비와 포장유지관리체계(PMS)를 구축하여 운영하고 있다.

- 포장유지관리체계(PMS)는 정기적인 포장상태 조사를 통해 최적 보수우선순위 및 공법선정과 함께 포장의 설계, 시공 및 유지관리를 각 단계별로 개선사항을 도출하여, 궁극적으로 제한된 예산을 합리적이며 효율적으로 운영하는 의사결정지원체계로 정의할 수 있다. 국내에는 국토해양부에서 1987년 프랑스로부터 도입하여 운영 중에 있으며 PMS의 기본적 구성요소는 포장의 평가, 평가자료 데이터베이스 구축, 의사결정 체계 및 기타 기능으로써 도로상태의 현황조치 기능으로 크게 나눌 수 있는데, 이 중 포장의 평가는 노면 평탄성, 표면결합, 구조적 지지력, 노면마찰력 등을 기본요소로 한다.
- 하지만, 현행 PMS의 경우 노선별 년 1회 또는 그 이하의 빈도로 전체적인 포장상태 조사를 목적으로 활용되고 있어 포트홀 등 운전자에게 치명적인 포장파손의 즉각적 보수 작업을 위한 상시적 조사 작업과는 차이가 있다. 또한 급속시공을 통한 포트홀 제거도 불가능하다.
- 표면 결함 검출 장비들은 대부분 외산 장비들이며 이들 장비의 평균 금액은 5억원 이상이다. 이를 국산화하기 위한 시도로서 국토해양부 R&D 자금을 지원받아 개발한 장비가 KRISS이며, 도로교통공단에서 자체 개발한 TSCV가 있다. 하지만 이 두 장비도 도입비용이 수 억 원 이상이다.
- 상기에서 설명한 바와 같이 도로의 노면 상태 감지는 그 중요성만큼이나 많은 IT기술융합을 통한 자동화 측정 장비들이 개발되어 운영되고 있다. 하지만 IT 기술 강국이라는 국내에서는 자체적으로 개발한 몇 대의 노면상태 감지 차량을 제외하고는 모두 고가의 수입제품에 의존하고 있는 실정이다.
- 이와 같이 고가의 외산 장비라는 특수성과 무거운 시스템으로 인한 운영의 복잡성으로 인해 국내의 많은 도로들을 상시적이고 주기적으로 검측할 수 없는 결과를 초래하였다. 국내소수의 노면 표면 검출 장비로는 총연장이 10만Km 이상의 국내 도로에 대해 주기적이고 상시적인 측정을 한다는 것이 무리가 따르게 된다. 특히 여름철 장마 후나 겨울철 결빙/해빙기의 포트홀에 대한 즉각적인 대처가 어렵게 되어 운전자들에게 크나큰 위험요소로 작용하게 되었다.

2. 관련분야의 국외 연구동향

- 일본의 경우, 유럽에서 주도적으로 수행하는 각종 연구프로그램(PERS, SILVIA, NR2C)등에 활발히 참가로 주도적으로 고무아스팔트 매트 개발하여, 기능성, 특히 응급보수 및 소음저감효과가 있는 고무매트 포장을 개발하여 실제 포트홀 등과 같은 파손에 대한 응급 보수포장으로 활용하고 있음.
- 미국 보스턴대학교는 적외선 영상 카메라를 이용해 깊이 정보(Depth-map)를 추출하는 방식으로 포트홀을 탐지하는 Autoscan(2014)을 제안하였다. Autoscan은 노선 버스의 전방 범퍼 하부에 설치하여 포트홀의 위치, 크기, 깊이, 발견 시각 등의 탐지 정보를 수집하는 것으로 제안하였다.

- Mednis 등(2011)은 안드로이드 스마트폰의 가속도 센서를 이용해 포트홀을 탐지하는 시스템을 제안하였다. 실제로로위에서 BMW323 차량을 이용해 실험을 진행하였으며, 알고리즘의 일반화를 위하여 삼성 갤럭시와 HTC 등 다양한 회사의 스마트폰과 함께 실험을 진행하였다. 차량이 포트홀을 통과하였을 경우를 가정하였을 때 90%라는 높은 정확도로 포트홀을 탐지하였다. 이 시스템 역시 포트홀을 뚫아야 한다는 제약사항이 있다.
- Moazzam 등(2013)은 저 비용의 Microsoft사의 Kinect 센서를 이용한 포트홀 탐지시스템을 제안하였다. Kinect 센서는 적외선 센서와 카메라를 이용해 전방 촬영부의 3D depth-map을 추출하는 센서로 초기 Microsoft사의 게임용 센서로 개발이 되었다. 현재는 포트홀 탐지 뿐만 아니라 전방의 깊이 정보를 측정해야하는 많은 어플리케이션에서 활용되고 있다. 하지만, 적외선 센서의 특성상 외부 태양 빛에 영향을 받는 문제가 있다.
- 포트홀 사후 보수를 위하여 다양한 장비 개발이 이루어지고 있으며 단순한 가열아스팔트혼합물의 보온 기능을 넘어 원형 또는 사각형으로 파손부위를 컷팅 후 사전에 제작된 보수제를 접착시키는 프리캐스트 장비, 바이더와 골재를 슛크리트처럼 분사하는 스프레이형 장비 등 포설 및 다짐장비 일체형 장비도 개발되고 있음.
- 특히, 공항 활주로, 유도로, 에이프런의 포장은 항공기의 대형화나 운행 회수의 증가로 손상 정도나 규모가 현저하게 커져 보수가 빈번히 행해지고 있는 점과, 매립지등의 연약지반 상에 있는 공항이나 항만에서는, 중 교통 하중의 작용에 더해 지반의 부등침하에 의해서 넓은 범위에서 보수가 반복되고 있는 사례도 볼 수 있음.
- 긴급 보수 및 내구성이 높은 공법 및 공사의 신속성이 요구되고 있는 경우, 고강도PRC 판을 췌기식 연결부로 연결하여 내구성이 뛰어나며 시공 규모 유연성 및 급속보수가 가능한 콘크리트 슬래브 도로 포장 보급에 주력하고 있음.

제2절. 국내외 시장분석 및 산업동향

- 국내 건설 시장의 유지관리 비율은 꾸준히 증가해 왔으며, 신규 공사가 줄어들고 기존 시설물의 비율이 많아짐에 따라 현재 약 20%에서 선진국 수준인 40%대 까지 유지관리 관련 예산이 증대할 것으로 예상된다.
- 최근 5년간 도로부문 연평균 투자는 약 80,000억 원이며 연평균 증가율은 1.48%이고, 신설 도로건설 공사는 점차 감소하는 추세이나 기존 도로의 유지보수 예산은 늘어 날 것으로 전망하며, 공공 시설물의 90년대 이후 급격한 유지관리 비용의 상승은 국가 재정에 위협적인 요소가 되고 있으며, 특히 도로 시설물의 경우, 1990년 약 3천억 원에서 2016년 약 2조 8천억 원으로 1990년 이후 약 9배의 유지보수비용이 증가되었다.
- 고속도로의 경우 경부고속도로 착공 이래로 1990년 초반 이후 급격히 증가하였으며, 앞으로 도 계속적으로 증가하여 2020년에는 약 6,000 km 이상 건설될 예정이고 또한 국도의 경우 1980년대 초반 이후 연장이 급격히 증가하여 2016년 말 기준 13,977km로 증가되었다.
- 도로 포장의 신설도 증가하고 있지만, 도로 포장의 보수는 장기간 공용된 포장의 열화가 많이 진행되었고, 설계 공용기간을 초과하는 도로 포장 연장의 증가로 보수비용이 매년 급속히 증가하고 있고, 또한 부적합한 보수 재료를 이용한 시공과 잦은 재보수로 인한 도로의 평탄성 및 주행성이 저하되고 그에 따른 운전자의 안전이 위협받고 있는 실정임.
- 도로의 유지보수는 80년대부터 급격히 신설된 도로 포장이 설계 수명에 다다르면서 이에 따른 유지보수 비용이 날로 증가되고 있는 실정이고, 이에 2016년 말 기준 전국도로의 108,780km 전체 연장 유지보수 비용은 약 2조 8,829억 원이 소요되었음.
- 일반 국도의 경우 1985년 말 총 연장 9,017 km에서 2016년 말 현재 총 연장 13,977km로 약 1.5배 증가하였으나, 경제발전과 함께 통행 차량의 대형화 및 교통량의 증가로 포장 노후화 및 아스팔트 포장의 단점인 소성변형 등이 나타남에 따라 유지보수 비용이 증가하고 있는 실정임.
- 2015년 전국 교통혼잡비용이 약 33조 3천억 원이며, 증가되고 있는 추세이고, 이 비용은 교통통제에 따른 차량운행비용과 시간지체비용만을 고려한 것이며, 따라서 보수횟수 감소 및 보수시간 단축이 가능한 공법을 적용할 수 있으면 손실비용을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 전망됨.
- 최근 도로연장의 증가율이 감소하고 차량등록대수가 지속적으로 증가되는 추세로 볼때, 향후 1인당 또는 차량 1대당 교통혼잡비용은 급격하게 증가될 가능성이 있음.
- 도시부도로의 교통혼잡비용은 인구 과밀에 따라 그 증가율이 지속적으로 증가하고 있는 추세에 있으며, 이러한 인구 과밀지역에서 우기와 동결기의 잦은 유지보수는 교통지체비용 및 사고에 대한 비용을 급격하게 증가시킬 가능성이 많음.
- 더불어민주당 임종성 의원이 국토교통부로부터 제출받은 ‘2011~2015 고속·일반국도 포트홀 발생 현황’ 자료에 따르면 최근 5년 도로 포트홀이 36만건 발생하고 포트홀로 인한 교통사고도 1천653건에 이르는 것으로 나타났으며, 2011년부터 2015년까지 발생한 포트홀은 국도가 26만 931건, 고속도로가 10만 2천294 건으로 나타났고, 이 기간 동안 포트홀로 인한 사고는 국도 607건, 고속도로가 1천46건 발생했다. 이에 따른 피해보상액만 해도 지난 5년

간 11억원이 넘었다.



그림 10 전국 포트홀 발생 현황 및 사고발생 현황

- 국내의 포트홀 보수시장은 과거 유화아스팔트 계열의 혼합물에서 수경화성 우레탄을 사용하는 혼합물로 진화하고 있으며 모든 응급복구재료를 합쳐서 연간 최대 100억 원가량의 판매 시장이 존재함.
- 세계 비파괴 검사 시장 규모에서 국내 건설업계의 세계 점유율에 근거하여 이동형 비접촉 아스팔트 포장평가 시스템의 2019년 수출액은 3,126억 원, 수입 대체 액은 1,040억 원으로 예상됨.
- 아스팔트 혼합물 생산관련 2012년 세계시장규모는 6조 2천억 원 정도로 추산되고 있으며, 2020년에는 9조 2천억 원으로 지속적으로 증가될 것으로 예측됨.
- 유럽연합에서는 환경을 보호하고 자원을 절약하기 위하여 유럽연합 자체의 기준을 제시하여 연구개발을 진행하고 있으며, 이를 만족하는 새로운 도로포장 형식에 대한 시장규모가 확대 될 것으로 추정됨.
- 미연방도로청(FHWA)에서 미국토목학회(ASCE)에 토목인프라 현황조사 보고서를 작성 의뢰하여 총 600,905개의 교량 중 72,686개(12.1%)는 구조적인 문제가 있으며, 89,024개(14.8%)의 교량은 기능적으로 노후 되고(08.12), 2004년 현재 \$105억/년 예산 소요 중이며 노후교량의 보수 및 개선을 위해 \$170억/년 지속적으로 요구됨.
- 미국의 경우 도로 포장 보수로 인한 교통체증 유발로 발생하는 사용자비용을 최소화하기 위하여 조립식 포장 공법을 이용하고 있으며, 뉴욕, 뉴저지, 캘리포니아 등 여러 주에서 조립식 포장의 적용이 급속도로 증가하고 있는 추세임.
- 영국 교통부는 지난 2016년 4월, 영국 전역의 포트홀 보수를 위해 향후 1년간 5천만 파운드 규모의 자금지원을 발표했다. 이를 통해 이번 회계년도에 100여 곳의 지방의회를 대상으로 백만개의 지방부도로 포트홀 보수가 이루어질 것으로 보인다. 이번 자금지원은 2억5천만 파운드 규모의 PAF(Pothole Action Fund)의 일환으로 영국 교통부는 2021년까지 4백만개 이상의 포트홀 보수를 목표로 하고 있다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

제1절. 연구개발 수행 전략 및 방법론

1. 연구개발 목표

- 본 제안의 최종 목표는 상시적인 도로의 포트홀 측정 및 제거를 위한 20mm 급 노면상태 감지 및 급속 보강 시스템 개발이다. 이는 시스템적으로도 경량형을 목표로 하지만 제한된 예산으로 시, 군, 읍 단위의 도로까지 지속적이고, 상시적으로 도로 포장 표면 상태를 모니터링 할 수 있고 도로 포장을 관리하는 기관에게 우선보수를 위한 의사결정을 지원할 수 있으며, 결정된 포트홀에 대한 급속 보강이 가능한 경제적 시스템 개발을 목표로 한다.
- 개발 세부 목표는, 도로 노면의 포트홀 감지와 도로 평탄성 측정을 위한 멀티빔 개발, 멀티빔에서 취득한 데이터의 필터링, 후처리, 추출 기능을 수행하는 데이터분석 플랫폼과 급속시공 물량 산출 알고리즘, 시공 단가 산출 알고리즘, 우선순위 의사결정 알고리즘, 도로평탄성 등급 판정 알고리즘, 포트홀 네비게이터 기능을 담당하는 통합시스템의 개발이다.
- 최종 성과물은, 노면 측정용 멀티빔 시제품, 데이터 분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 시제품, 포트홀 급속 보강 장치 시제품이다.

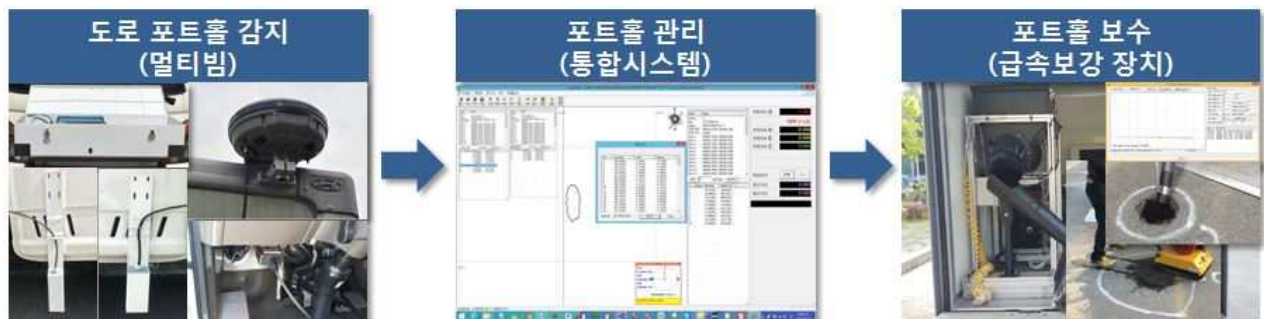


그림 11 포트홀 감지 및 급속보강 시스템 개발목표 개념도

가. 노면 측정을 위한 멀티빔 개발

- 도로 노면의 포트홀과 도로평탄성을 측정하기 위한 장비로 레이저센서와 초음파센서, 3축가속도센서, GPS, OBD2를 사용한 멀티센서형태로 구성되며, 레이저센서는 포트홀 감지 주센서 역할을 수행하고, 초음파센서는 포트홀 감지 부센서 및 도로평탄성 측정 주센서의 기능을 3축 가속도센서는 도로평탄성 측정 부센서의 역할을 수행한다.
- 도로 포장에 사용되는 골재의 크기가 13mm ~ 20mm임으로 골재 노출 부분을 파손으로 인식할 우려가 있어 배수성 포장과 같이 포장텍스처가 거친 포장의 적용이 늘어나고 있는 점을 감안하여 직경 20mm 이상 감지를 목표로 한다.
- 차량 내외부에 설치되는 위치(GPS)센서, 레이저센서, 초음파센서, 가속도센서, OBD2의 측정 데이터를 취득하고 가공한 후 데이터분석 플랫폼으로 전송하는 멀티빔 신호처리보드를 개발

한다.

- GPS신호는 포트홀 감지 위치, 도로평탄성 측정 위치와 매핑되어 포트홀 상세정보, 포트홀 네비게이터 등에 활용한다.

나. 포트홀 급속 보강 장치 개발

- 포트홀 급속 보강 장치는 보수재 교반기에서 포트홀까지 보수재를 이송하기 위한 보수재 자동 조절장치, 보수재의 이송을 원활하게하기 위한 발열장치, 상온형 보수재의 경화를 위한 급수장치와 상기의 장치들을 제어하는 메인제어보드로 구성된다.
- 멀티빔에서 감지 된 포트홀의 정보를 이용하여 통합시스템에서 해당 포트홀의 급속 보강을 위한 보수재 물량을 산출하게 되며, 이 정보는 포트홀 급속시공 장치의 메인제어보드로 전송된다.
- 포트홀 급속보강 장치는 통합시스템에서 산출된 물량에 기초하여 해당 포트홀에 알맞은 보수재 물량을 이송하고 컴퍼넌트(에어컴프레서, 에어컨, 전동브러쉬, 다짐기, 발진기)를 이용하여 다짐과 마감처리를 수행한다.
- 포트홀 급속보강을 위한 최적의 상온 급속 보수재 재료는 국토교통부의 ‘상온형 아스콘 혼합물의 품질기준’에 의거하여 품질검토를 수행하고 적정성 여부를 판별하여 최적의 포트홀 보수재료를 선정한다.

다. 데이터 분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발

- 멀티빔에서 취득한 데이터를 필터링, 데이터 분석(포트홀 여부, 평탄성 데이터), 데이터 추출(포트홀 사이즈, 위치)하여 통합시스템으로 전송기능을 수행한다.
- 통합시스템은 데이터 분석 플랫폼에서 전송된 분석 및 추출된 데이터를 기반으로 물량산출 알고리즘, 단가산출 알고리즘, 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘을 개발한다.
- 급속시공 물량 산출알고리즘에서 급속시공 재료의 양을 결정하고 급속 보강 장치의 메인제어보드로 전송한다.
- 데이터 분석 플랫폼에서 전송받은 평탄성 데이터를 기반으로 도로 평탄성 등급결정 알고리즘을 통해 도로 평탄성 등급을 결정하고 표출한다.
- Report파일 출력기능을 개발하여 도로관리주체에게 포트홀 정보를 제공한다.
- GIS데이터와 연계하여 포트홀 및 도로평탄성 측정 위치를 맵핑시키고 추후 의사결정 된 포트홀 시공 순서에 따라 보수할 포트홀 위치를 찾아갈 수 있는 네비게이터 역할을 수행한다.

2. 연차별 세부 추진계획 및 방법

- 1~2차년도에는 핵심 요소기술 개발을 위주로 진행하여 프로토타입의 제품 개발 및 지식재산권 취득을 수행하였고, 3차년도에는 통합 시스템으로 최종 개발하여 신뢰성 확보를 위한 현장 적용 시험을 진행하였다.
- 각 연차별 연구수행 목표와 세부 목표는 아래와 같다.

가. 1차년도

- (1) 노면 측정을 위한 멀티빔 개발
 - ▶ 멀티빔 최적센서 선정
 - ▶ 멀티빔 H/W, S/W 개발
 - ▶ 멀티빔 기구설계 및 시제품 개발
- (2) 포트홀 급속보강 장치 개발
 - ▶ 최적 급속 보강 재료 선정
 - ▶ 급속보강 장치 메인제어보드 H/W, S/W 개발
- (3) 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발
 - ▶ 데이터분석 플랫폼 H/W 개발
 - ▶ 데이터분석 플랫폼의 데이터 필터링, 후처리, 추출 프로그램 개발
 - ▶ 급속시공 물량산출 알고리즘 개발
 - ▶ 포트홀 시편 감지 시험

나. 2차년도

- (1) 노면 측정을 위한 멀티빔 개발
 - ▶ 신호처리보드 H/W, S/W 개발
 - ▶ GPS 데이터 연동 처리 기능 개발
 - ▶ 차량탑재용 프레임 설계 및 제작
- (2) 포트홀 급속보강 장치 개발
 - ▶ 급속보강장치 메인제어보드 H/W, S/W 개발
 - ▶ 컴프레서, 롤러, 자동 조절 장치 선정 및 메인 제어보드 일체화 개발
 - ▶ 급속보강 장치 기구설계 및 개발
 - ▶ 차량 탑재용 프레임 제작
 - ▶ 차량 유도 안전장치 제작
- (3) 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발
 - ▶ 데이터분석 플랫폼 H/W, S/W 개발 완료
 - ▶ 통합시스템 연동 API, 프로그램 개발
 - ▶ 급속시공 물량산출 알고리즘 개발
 - ▶ 급속시공 단가산출 알고리즘 개발
 - ▶ 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 개발
 - ▶ 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 개발
 - ▶ GIS 데이터 맵핑 기능 개발
 - ▶ 급속보강 메인제어보드 통신 프로그램 개발

다. 3차년도

- (1) 노면 측정을 위한 멀티빔 개발
 - ▶ 20mm급 이상 포트홀 감지 실험
 - ▶ 전체 시스템 통합 테스트 및 디버깅
 - ▶ 현장 시험 운용
- (2) 포트홀 급속보강 장치 개발
 - ▶ 급속보강 장치 보완
 - ▶ 전동 브러쉬 개발 (H/W, 기구 제작)
 - ▶ 차량 유도 및 안전장치 제작
 - ▶ 전체 시스템 차량 탑재 후 통합테스트
 - ▶ 현장 시험 운용
- (3) 데이터분석 플랫폼을 포함한 통합 시스템 개발
 - ▶ 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 반영 프로그램 개발
 - ▶ 의사결정에 따른 순위별 포트홀 네비게이터 프로그램 개발
 - ▶ Report 파일 생성 프로그램 개발
 - ▶ 데이터베이스 구축
 - ▶ 현장 시험 운용

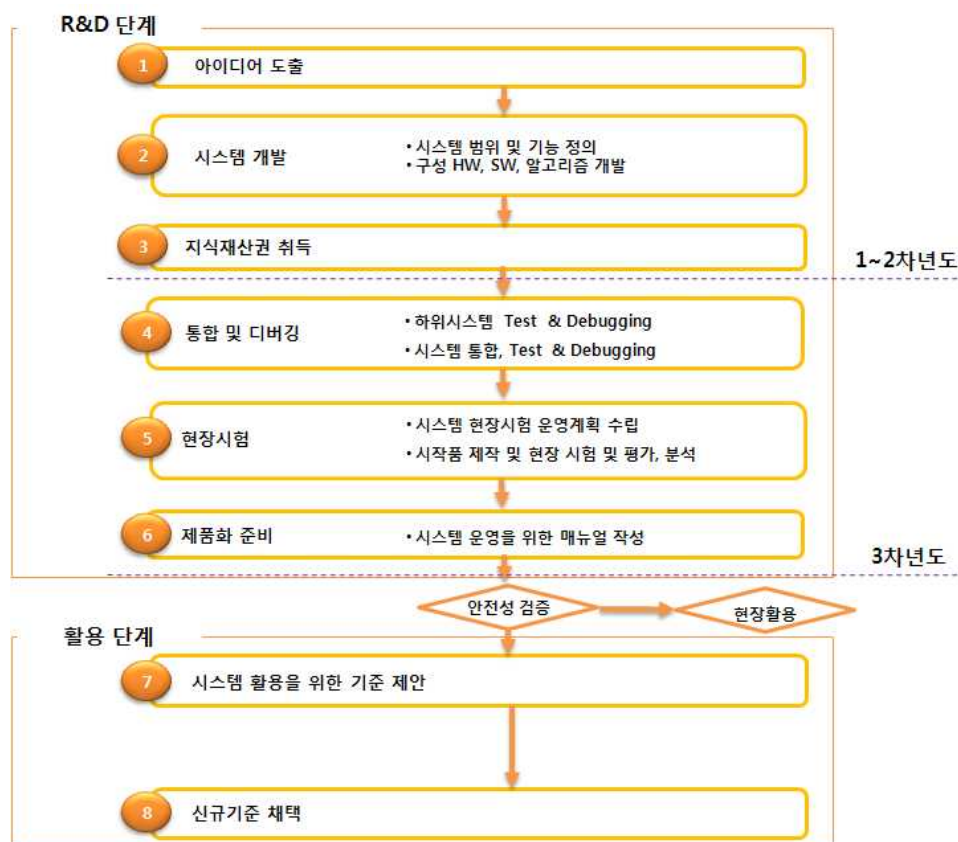


그림 12 연구개발 추진계획

3. 연구개발 추진전략

가. 연구목표별 연구개발 추진체계

표 5 연구개발 추진체계

연구목표	주관연구기관 (주)엔엔에프텍	공동연구기관 (주)동성엔지니어링
노면 측정을위한 멀티빔 개발	• 멀티빔 최적 센서 선정 • 멀티빔 개발 • 신호처리 보드개발 • GPS 데이터 연동 처리 기능 개발 • 차량탑재용 프레임 설계 및 제작	
포트홀 급속보강 장치 개발	• 급속보강 장치 메인제어보드 개발 • 에어컴프레서, 롤러, 자동조절장치 선정 • 메인 제어보드 일체화 • 전동브러쉬 개발 • 차량 탑재용 프레임 제작 • 장비매뉴얼 개발	• 최적 상온 포트홀 보수재 선정 • 가이드라인 개발
데이터분석 플랫폼을 포함하는 통합시스템 개발	• 데이터분석 플랫폼 개발 • 통합시스템 개발 - 각각의 알고리즘 프로그램 구현 - 포트홀 네비게이터 프로그램 개발 - Report ,파일 생성 프로그램 개발 • 차량탑재용 프레임 설계 및 제작	• 급속시공 물량산출 알고리즘 개발 • 급속시공 단가산출 알고리즘 개발 • 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 개발 • 도로평탄성 등급 판정 알고리즘 개발

나. 연구개발 추진계획 및 방법

표 6 연구개발 수행 내용 및 연구수행 방법

연구 범위	연구 수행 방법 (이론적 · 실험적 접근방법)	구체적인 내용
노면 측정을 위한 멀티빔 개발	- 선행연구 사례 조사 및 분석 - 시스템 범위 및 기능 정의 - H/W, S/W 개발 및 실험을 통한 디버깅	- 멀티빔 선행 연구 사례 조사 - 멀티빔 최적 센서 선정을 위한 자료 수집 및 분석 - 최적 기술 선정(레이저, 초음파) - 멀티빔 H/W, S/W 개발 - 시편 제작 및 실험, 디버깅 - 신호처리 F/W, S/W (GPS 데이터 연동 처리 기능 포함) 개발 - 차량탑재용 프레임 설계 및 제작 - 현장 실험으로 GPS 연동처리 및 20mm이상 포트홀 감지 확인
포트홀 급속 보강 장치	- 선행연구 사례 조사 및 분석 - 시스템 범위 및 기능 정의 - H/W, S/W 개발 및 실험을 통한 디버깅	- 포트홀 급속 보강 선행연구 사례 조사 - 상온 아스콘 기성 제품 조사 및 분석 - 상온 아스콘 1종 KS F 2369 실험(급속보강 보수재 선정 실험) - 급속 보강 장치 설계 - 급속 보강 장치 메인제어보드 H/W, S/W 개발 - 급속보강 장치 최적 컴포넌트 (컴프레서, 컴팩터, 발전기, 자동 조절장치, etc) 선정

		- 차량탑재용 프레임 설계 및 제작 - 차량 유도를 위한 LED Sign 조명 기구설계 및 제작
데이터분석 플랫폼을 포함하는 통합 시스템	- 시스템 범위 및 기능 정의 - H/W, S/W, 알고리즘 개발 및 실험을 통한 디버깅	- 데이터 분석플랫폼 H/W, S/W 개발 - 통합시스템 기구설계 및 위킹목업 제작 - 통합시스템 S/W 개발 (급속보강 자동물량산출 알고리즘 반영된 프로그램 모듈) - 데이터분석 플랫폼 S/W(데이터추출, API, 통신기능 포함)개발 - 알고리즘 개발(급속시공 단가산출/ 평탄성 등급판정) - 알고리즘이 구현된 통합시스템(GIS 데이터 맵핑, 급속시공 메 인제어보드 통신기능 포함) 프로그램 개발 - 현장실험으로 20mm 이상 포트홀 크기 감지 확인

제2절. 연구개발 수행 내용

1. 노면 측정을 위한 멀티빔 개발

- 도로 노면의 표면결함은 포트홀, 균열, 소성변형 등의 포장 표면에 발생하는 결함의 총칭이다. 표면결함은 공항포장평가에서 주로 사용되는 PCI(Pavement Condition Index)와 같이 하나의 합성지수로 나타내기도 하나, 대부분 균열율, 소성변형의 깊이처럼 각각의 결함정도를 별도로 표시하는 것이 일반적이다. 표면결함의 측정은 육안조사의 문제점을 해소하는 차원에서 많은 기관들이 자동포장상태(예: ARAN, ARIA)조사장비에 의하고 있다.
- 본 연구에서는 단일(다중) 센서 및 포인트 형태의 배열을 통한 도로 표면상태(포트홀, 도로평탄성)를 검출하는 기술형태에서 포트홀 감지 및 도로 평탄성을 동시에 측정할 수 있는 멀티센서형태의 노면 측정용 멀티빔을 개발함으로써 포트홀 20mm급 이상 감지와 도로 평탄성을 측정할 수 있도록 하기 위한 시스템이다.
- 포장파손의 기준을 20mm로 선정한 것은 포장에 사용되는 골재의 크기가 13mm, 20mm임으로 골재 노출 부분을 파손으로 인식할 우려가 있고 배수성 포장과 같이 포장텍스처가 거친 포장의 적용이 늘어나고 있음을 감안하였다. 직경 20mm 수준의 파손을 감지할 수 있다면 포트홀이 안전에 위협을 가하기 전의 초기 파손 상태로 사고 발생 전 사전 예방이 가능한 수준이다.
- 멀티빔 개발은 레이저센서, 초음파센서, GPS를 기반으로 개발하는 것이 개발목표였으나, 좀 더 정밀한 측정을 위해 가속도센서, OBD2를 추가하여 개발하였다.
- 포트홀 감지의 주센서 역할을 하는 레이저센서와 포트홀 감지의 부센서 역할과 노면 평탄성 측정의 주센서 역할을 담당하는 초음파센서, 그리고 노면 평탄성 부센서 역할을 담당하는 3축 가속도센서와 측정 위치를 알려주는 GPS, 차량 속도값을 취득하는 OBD2로 구성된다.



그림 13 노면 측정용 멀티빔 구성도

가. 멀티빔 최적 센서 선정

- ▶ 최근에 국내외에서 다양한 분야에 3차원 공간정보 기술에 대한 접목이 시도되고 있다. 특히 3차원 공간정보 구축을 통한 3차원 모델링이 활성화되고, 지상용 3차원 레이저 스캐너는 디지털지상사진측량을 결합하여 건축물의 모델링과 지상라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링, 구조물의 변위 계측을 위한 지상라이다의 정밀도분석과 철골 보의 안전 및

사용성 모니터링을 위한 변위 측정기법 등에 활용되고 있다.

- ▶ 또한 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가를 통한 모니터링 분야, 그리고 문화재 분야에서 문화재 복원, 안전진단, 정밀실측, 보수보강, 데이터베이스 구축, 도면복구 및 동굴 문화재에도 활용되고 있으며, 골프장, 건설공사 등의 설계분야에서도 운영되고 있다. 지상용 3차원 레이저 스캐너는 그 활용범위가 점차 확대되고 있으며 향후에는 차원 분야의 핵심장비로 자리를 확고히 할 것이다.
- ▶ 레이저 센서는 레이저를 대상물에 투사하여 돌아오는 시간으로 거리 값을 환산하여 대상물의 형상정보를 취득, 디지털 정보로 전환하는 장치이며, 대상물의 3차원 형상정보와 정확한 치수까지 측정할 수 있으며 디지털 정보를 이용하여 다양한 후가공이 가능한 장비이다. 이를 이용하여 포트홀의 3차원 형상정보와 정확한 치수를 측정한다.
- ▶ 본 연구에 사용된 레이저센서는 회전수 3,000rpm의 라인 레이저센서로 차량 진행방향의 수직방향으로 도로노면의 스캔을 진행한다. 이때 차량의 이동속도에 따라 스캔되어지는 간격이 변화되는데 차량속도가 증가할수록 스캔되는 간격도 증가하게 된다. 회전수 3,000rpm의 레이저센서의 경우 20mm이상 직경의 포트홀을 감지하기 위해서는 차량이동속도가 3.6km/h이하 이어야한다. 이때 동일한 조건에서 회전수가 다른 라인 레이저센서를 적용하면 차량이동속도에 따라 변화하는 스캔 간격에 영향을 주어 감지할 수 있는 포트홀의 직경이 변경되게 된다.
- ▶ 회전수 3,000rpm의 레이저센서로 직경 20mm의 포트홀을 감지하기 위해서는 초당 50번 (3,000rpm) 회전 중에 20mm포트홀이 최소 1회 이상 감지되어야 하므로 초당 1,000mm이하를 스캔하여야 한다. 이를 km/h로 환산하면 차량이동속도는 3.6km/h가 된다. 아래의 표는 레이저센서의 회전수와 감지 목표 포트홀 사이즈와 차량이동속도의 상관관계를 나타낸 것이다.

표 7 회전수(rpm), 감지 목표 포트홀 사이즈(mm)와 차량이동속도(km/h)의 상관관계

레이저센서 회전수(rpm)	감지 목표 포트홀 직경(mm)				
	20	50	100	150	200
3,000	3.6(km/h)	9(km/h)	18(km/h)	27(km/h)	36(km/h)
6,000	7.2(km/h)	18(km/h)	36(km/h)	54(km/h)	72(km/h)
9,000	10.8(km/h)	27(km/h)	54(km/h)	81(km/h)	108(km/h)
12,000	14.4(km/h)	36(km/h)	72(km/h)	108(km/h)	144(km/h)

- ▶ 본 연구에서는 고가의 레이저센서를 구매할 수 없어 개발기간에도 임차를 해서 사용했으며, 사용된 주 측정 센서인 레이저센서는 3,000rpm이었고, 목표치인 20mm급을 감지하기 위한 차량속도가 3.6 km/h로서 저속운행을 해서 감지하였다. 이러한 한계점이 나타나 이를 극복하기 위해 3차년도에는 레이저센서 회전수를 프로그램에서 엔지니어가 셋팅할 수 있도록 프로그램을 개발하였으며, 실제로 12,000rpm의 레이저센서와 연동가능하게 개발하였다. 하지만 12,000rpm의 레이저센서의 경우 소비자가가 1.8억(독일 Z&F사 기준) 원에 육박하여 본 연구의 활용적인 측면(도입비용 최소화의 강점)에서는 제한 요소로 작용된다.

- ▶ 국내 포트홀 보수 판단 기준은 국토부(2013)에서 제시한 ‘도로 포장 유지보수 실무 편람’의 ‘유지보수 필요 여부에 대한 판단 기준’을 참고하고 있으며 도로 표면에 발생한 포트홀 중 200mm이상의 포트홀에 대해 보수하도록 권고하고 있다. 상기의 표에서와 같이 차량속도 60km/h에서 200mm이상의 포트홀을 감지하기 위해서는 레이저센서 회전수가 6,000rpm이상이면 가능하다는 것을 알 수 있다.

표 8 유지보수 필요 여부에 대한 판단 기준(도로 포장 유지보수 실무 편람, 2013, 국토교통부)

도로의 종류	항목	러팅	단차(mm)		미끄럼 마찰 계수	종단방향의 요철(mm)	균열률 (%)	포트홀 지름 (cm)
			교량	암거				
자동차 전용도로		25	20	30	0.25	8m 프로파일 90(PrI) 3m 프로파일 3.5(σ)	20	20
교통량이 많은 일반도로		30~40	80	40	0.25	3m 프로파일 4.0~5.0(σ)	30~40	20
교통량이 적은 일반도로		40	30	-	-	-	40~50	20

- ▶ 상기의 내용은 멀티빔 센서 중 포트홀 감지의 주된 역할을 수행하는 라인 레이저센서에 국한된 내용이고, 본 연구에서는 초음파센서를 부 감지 센서로 사용하였다. 초음파 센서의 경우 초당 2,000회의 샘플링주파수를 갖고 있으며 오차는 1mm 이하이다. 초음파 센서의 설치 위치는 포트홀이 가장 많이 발생하는 차량 바퀴 축에 일치시켜 설치하였으며, 시속 60km/h로 이동 시에 감지할 수 있는 포트홀은 약 9mm 간격마다 센싱이 가능하다.
- ▶ 선행연구, 자료 조사 및 분석을 통해 포트홀 감지 최적기술로서 레이저센서와 초음파센서, GPS의 병합으로 1차 멀티빔을 개발하였으며, 좀 더 정밀한 측정을 위해 고정밀GPS, OBD2를 추가하여 개발하였다. 도로평탄성 측정을 위한 센서로는 초음파센서로 측정하는 것을 목표로 하였으나 가속도센서를 추가하여 개발하였다.
- ▶ 레이저 센서의 경우 차량의 앞면에 부착하는 형태로 초음파 센서의 경우 차량 측면에 부착하는 형태, 3축 가속도센서는 차량내부에 위치하는 형태로 개발하였다.
- ▶ 레이저 센서는 포트홀 시편을 제작하여 포트홀 감지 시험을 통해 phase-based laser scanner, Laser class 1, Range 187.3m, Data acquisition rate Max. 1.016million pixel/sec, Resolution range 0.1mm, Linearity error 0.1mm급으로 선정하였으며, 초음파센서는 Sensing Range 30mm~300mm, Response times 2.5ms급으로 선정하였다.



그림 14 포트홀 시편(좌) 및 센서 포트홀 감지 실험(우)

나. 신호처리 보드 개발

- ▶ 신호처리 보드는 노면을 측정하기 위한 멀티빔과 통합 시스템의 데이터분석 플랫폼과의 통신을 담당하는 보드이다.
- ▶ 차량 전면에 위치한 레이저센서와 차량 측면에 위치한 초음파센서, 차량내부에 설치되는 가속도센서로 부터 포트홀 감지 데이터 및 도로평탄성 측정 데이터를 전송받고 차량 외부에 부착되어 있는 GPS데이터를 수신 받아 포트홀 감지 데이터에 GPS신호를 Mapping하여 통합시스템의 데이터분석 플랫폼으로 전달한다.
- ▶ 신호처리 보드는 레이저센서와 초음파센서, GPS데이터, 가속도센서의 센싱데이터 취득, 센서의 조정(Calibration), 데이터 가공의 역할을 수행한다.

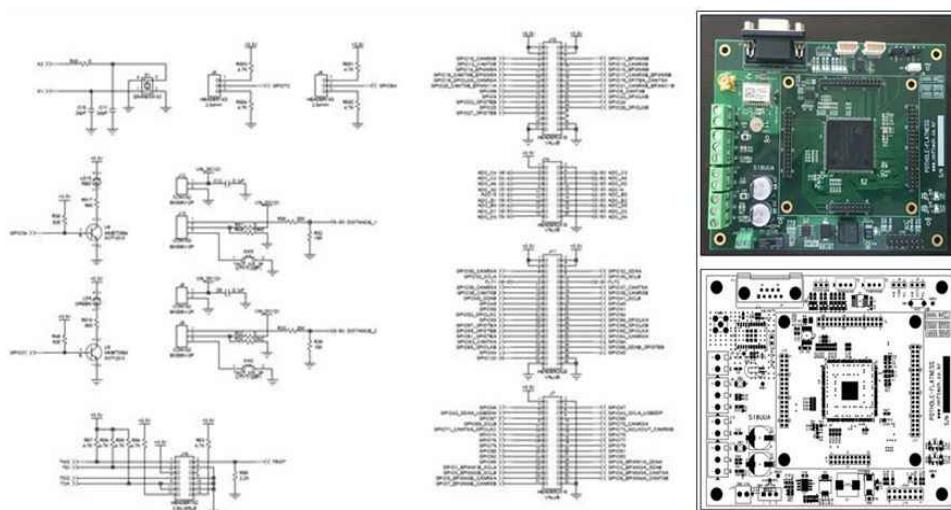


그림 15 회로도(좌), 거버파일(우하), 조립된 PCB(우상)

```
//***** main loop *****

    SendPacket(PKT_AVR_BLUE_CONNECT,0x00,1);
    while(1)
    { mpu9150_getRawData11();
      mpu9150_2getRawData11();
      getDegree();
      getAcclDegree();
      ////////////////////////////////////////
      /

      if(x_gResult1<-1    &&    x_gResult>-1    &&    x_gResult-bx_gResult>8    &&
      bx_gResult<x_gResult    && dcx == 0 && xym == 0 && wy == 0 && cx1 == 0){
          cx=1;
          cx1=0, wy=1;
          cbx_gResult = x_gResult;
      }
      if(cbx_gResult>x_gResult && cx==1 && cbx_gResult-x_gResult>8){
          cx=2;
          cx1=0, wy=1;
          cbx_gResult = x_gResult;
      }
      if(cx==2){
          SendPacket(PKT_AVR,0x00,1);
          if(dcx==3){
              SendPacket(PKT_AVR_MODE,0x00,1);
              dcx=0;
          }
      }
  }
```

- ▶ 최종 목표인 20mm이상 급 포트홀 감지를 위해 실험실 및 현장 실험을 통해 2차년도 50mm급 포트홀 감지, 3차년도 20mm급 포트홀 감지를 확인하였다.

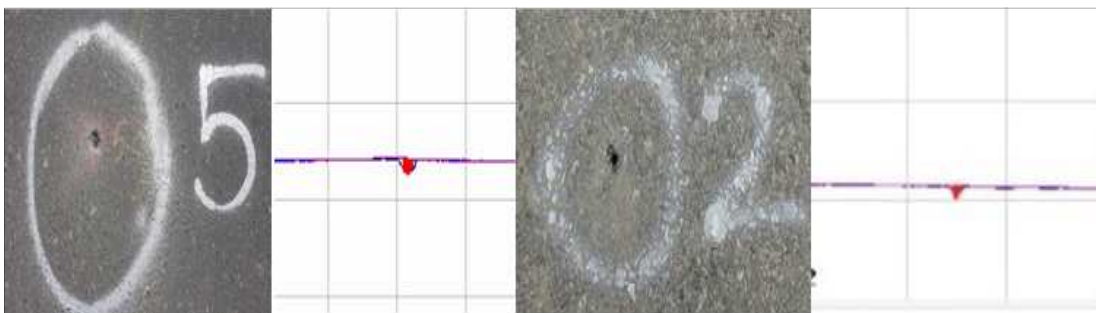


그림 16 포트홀 감지 실험 결과

다. 차량탑재용 프레임 설계 및 제작

- ▶ 포트홀 감지를 위한 레이저 센서와 도로 평탄성 측정을 위한 초음파 센서를 차량에 탑재하기 위한 프레임을 설계 및 제작하였다.
- ▶ 레이저센서를 지면에서 약 1.2m, 차량 전방에 장착하여 도로 1개 차선의 전체 폭을 감지

할 수 있도록 설계 및 제작하였다.

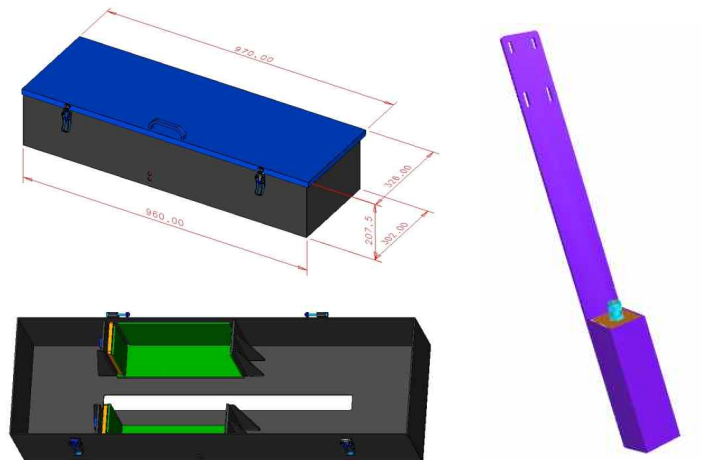


그림 17 멀티빔 기구설계 (좌:레이저센서, 우:초음파센서)



그림 18 멀티빔 기구 제작(좌:레이저센서, 우:초음파센서)



그림 19 멀티빔 시제품

2. 포트홀 급속 보강 장치 개발

- 포트홀 보강용 급속 시공 공법은 크게 인력 보수공법, 프리캐스트 보수공법, 스프레이형 보수공법 3가지로 구분된다. 인력 보수공법은 인력으로 포트홀 발생구역을 보수하는 공법으로 시공이 느리고 정량적인 재료 투입이 불가능하여 다짐확보 등 품질 확보에 어려움이 있다. 프리캐스트 보수공법은 포트홀로 인한 포장 파손부를 커팅, 절삭하여 사전에 제작한 일정 크기의 보수재로 보수하는 공법이다. 반면 커팅, 절삭을 위해 대형화 장비 적용이 필수적이고 시공에 상당한 시간이 걸린다는 단점이 있다. 스프레이형 보수공법은 보수재를 쏙크리트 처럼 분사하여 보수하는 공법으로 프리캐스트 장비와 마찬가지로 대형화 장비 적용이 필수적이다.
- 본 연구에서 적용한 포트홀 급속 보강 공법은 정량 설계 및 신속한 보수시공이 가능하다. 또한, 장비 비용 및 운용비용이 저렴하며 포트홀 검출과 보수를 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다.
- 급속 보강 장치는 포트홀의 급속 시공이 가능하도록 하기 위한 장치로서 통합시스템으로부터 전송된 포트홀 별 보수재 물량이 주입되고 컴팩터(다짐기)를 통한 평탄 작업까지 할 수 있는 장치로서 급속시공 단계는 크게 3단계로 진행된다. 1단계는 포트홀 오염물질 제거(에어건, 전동브러쉬), 2단계는 자동 주입량에 따른 보수재 주입, 3단계는 마감작업인 평탄화 작업(컴팩터), 에어청소작업으로 나누어 진행한다.
- 포트홀 보수재료에 대해서는 국내외 상온 포트홀 보수재의 품질검토를 위해 국토교통부, 한국도로공사의 ‘상온형 아스콘 혼합물의 품질기준’에 의거하여 품질검토를 수행하여 적정성 여부를 판별하였고, 포트홀 급속 보강 장치에 최적화된 보수재료를 선정하였다. 또한, 추가적으로 응급보수재료와 기존포장과의 접착성 평가를 위해 부착강도 시험을 수행하였다.
- 재료의 포설, 다짐 등의 공정을 일괄 수행할 수 있는 장비 모듈의 개발과 주행성 확보를 위한 평탄성 확보 기술 및 기존포장과의 접착력 확보 방안을 마련하였다.
- 기존 상온 보수재료 외에 현재까지 개발된 포트홀 보수공법에 대해 조사하고, 본 연구에 적용 가능성 검토 (성능, 경제성, 현장 적용성 등 고려)하고, 실용성 제고를 위한 수요처 협의 및 전체 장비들에 대한 O&M(Operation and Maintenance) 매뉴얼을 개발하였다.



그림 20 급속보강 장치 구성도

가. 최적 상온 포트홀 보수재 선정

(1) 최적 상온 포트홀 보수재 선정을 위한 선행연구, 자료 조사 및 분석

- ▶ 품질기준으로 도로보수용 상온 아스팔트 혼합물(KS F 2369)를 일반적으로 적용하며 최근 한국도로공사의 ‘고속도로 건설재료 품질기준’ (2014)에서는 추가적으로 동적안정도 항목까지 검토하도록 하고 있음, 또한 한국건설기술연구원의 ‘이상기후 대비한 도로 포장의 시공 품질 관리 기준 개선 및 유지보수 지침 등 개발’ (2014)에서는 일반형 보수재료와 속경성 긴급보수재료로 구분하여 보다 세분화된 품질기준을 제시하고 있다.
- ▶ 본 연구에서는 최적 상온 포트홀 보수재료 선정을 위해 A 제품(컷백 아스팔트 계열), B 제품(수경화성), C 제품(수경화성) 총 3종의 상온 보수재료에 대하여 실내실험 및 현장적용을 통해 검토하였다.
- ▶ 상온 아스팔트 혼합물의 품질검토를 위해 공시체를 제작하여 마샬안정도 시험, 흐름값 시험, 수침 잔류안정도 시험을 수행하였으며, 선회다짐 시험기를 사용하여 다짐도 이용가사시간을 검토하였다.

(2) 급속 보수재 선정 및 1종 이상의 KS F 2369에 대한 검증 실험

- ▶ 공시체 제작
 - 가사시간 검토를 위한 다짐 확인용 공시체는 선회다짐기를 사용하여 제작하였으며, 품질검토 시험용 공시체는 마샬다짐기를 사용하여 제작하였다. 컷백 아스팔트 계열의 A 제품의 경우 개봉 직후 상태에서 수경화성 계열의 B, C 제품의 경우 공시체 제작시 일정량의 수분(혼합물 중량대비 약 10%)을 첨가한 후 공시체를 제작하였다.

표 10 혼합물 공시체 제작방법

구 분	다짐 방법	공시체 당 혼합물 양(g)	물 투입량(g)
다짐률 확인용	선회 다짐	1,100	110
안정도 확인용	마샬 다짐 (양면 75회)	1,100	110



그림 21 검토용 공시체

▶ 마샬안정도 및 흐름값 시험

- 도로 보수용 상온 아스팔트 혼합물(KS F 2369) 품질기준에 따라 25℃의 온도에서 안정도 시험을 수행하였다. 마샬안정도 시험은 아스팔트 혼합물의 경험적인 물성을 측정하는

것으로, 표준 실험실 다짐도로 다져진 아스팔트 혼합물의 강도를 측정하기 위한 것이다.

- 약 63.5 mm의 높이의 공시체를 3개 이상 준비한다. 두께 보정을 통해 강도 값을 보정해야하므로 마찰안정도 측정 전에 각 공시체의 두께를 2회 이상 측정하여 평균을 기록한다. 제작된 혼합물 공시체를 마찰안정도 시험기에 거치한다. 2개의 반원형 재하 헤드들 통하여 직경 101.6 mm인 원통형 공시체에 분당 50.8 mm의 재하속도로 압축 하중을 공시체가 파괴될 때까지 가한다. 이 시험을 통해 마찰안정도와 흐름값을 측정할 수 있다. 마찰안정도는 공시체가 파괴될 때까지의 가해진 하중 중 가장 큰 값을 의미한다.



그림 22 마찰안정도 시험기

▶ 시험방법은 다음과 같다.

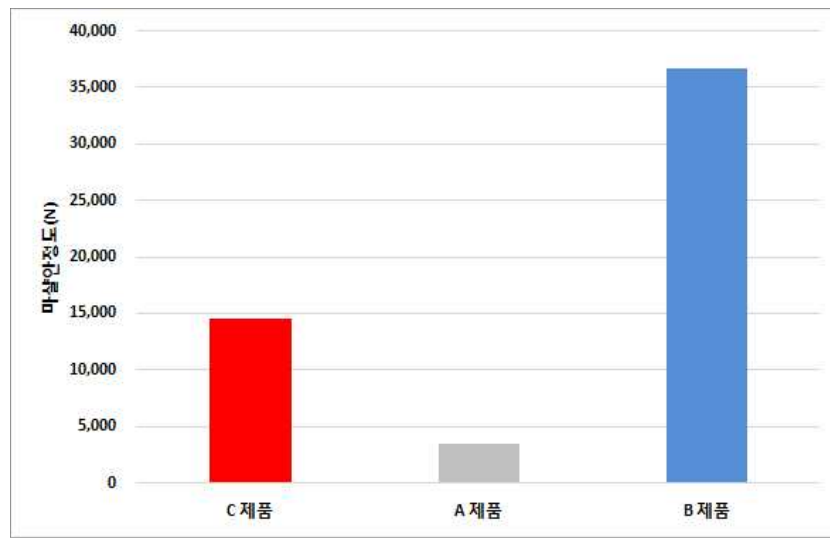
- 마찰안정도 실험은 여름철 포장체의 최고온도를 모사하기 위해 통상적으로 60℃에서 실험을 수행하나 KS F 2369(도로 보수용 상온 아스팔트 혼합물) 규정에서는 25℃에서 실험을 수행하도록 하고 있다. 따라서 마찰안정도 측정은 상온의 실험실에서 16 ~ 19시간 방치한 후 (25±1)℃의 공기 욕조 안에서 2시간 양생 후 실험을 실시하였다.
- 마찰 시험용 헤드 또한 (25±5)℃로 유지하여야 한다.
- 공기 욕조 안에서 공시체를 꺼내어 마찰안정도 재하 지그 하부에 맞춰 올려놓는다. 그 후 상부 지그를 올려 마찰안정도 측정을 위해 시험기 하중 재하 지점에 올려놓고 흐름값 측정을 위한 흐름 미터를 한쪽에 설치하며 눈금은 0으로 조정한다.
- 분당 50.8 mm의 재하속도로 공시체를 압축한다. 안정도는 공시체가 파괴될 때까지의 가해진 하중 중 가장 큰 값을 의미한다.
- 하중을 가하지 않은 상태를 “0”으로 보고 하중을 가하면서 이동한 거리를 흐름값이라고 하며, 1/10 mm 단위로 읽고 기록한다.

▶ 마찰안정도 및 흐름값 시험 결과

- 마찰안정도 시험결과는 다음 표와 같으며 수정화성 계열의 B, C 제품만 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 B 제품은 안정도 기준을 크게 상회하는 값을 보이거나 흐름값 기준을 통과하지 못하는 것으로 나타났다.

표 11 혼합물 안정도 및 흐름값 시험 결과

시험 항목	국내 기준	제품	시험 결과	비 고
개봉 직후 마샬안정도(25℃, N)	$\geq 7,350$ (KS F 2369)	A	3,404	불만족
		B	36,688	만족
		C	14,853	만족
개봉 직후 혼합물 흐름값 (0.1 mm)	20 ~ 40 (KS F 2369)	A	27	만족
		B	42	불만족
		C	29	만족



<그림 4.23> 마샬안정도 결과 비교

▶ 수침 잔류안정도 시험

- 긴급보수용 상온 보강 재료 적용구간은 우천 후, 웅덩이 형태의 포트홀이 발생한 구간으로 일반적으로 물고임 현상이 발생할 수 있다. 수침 잔류 안정도 시험은 수분에 노출되었을 경우 아스팔트의 품질을 평가할 수 있는 시험이다. 시험방법은 25(±1.0)℃의 물속에 48시간 수침시킨 후 마샬안정도 시험을 실시하여 측정된 마샬안정도와 초기 마샬안정도 값의 비를 측정한다. 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물의 품질기준은 75%이상이어야 한다.

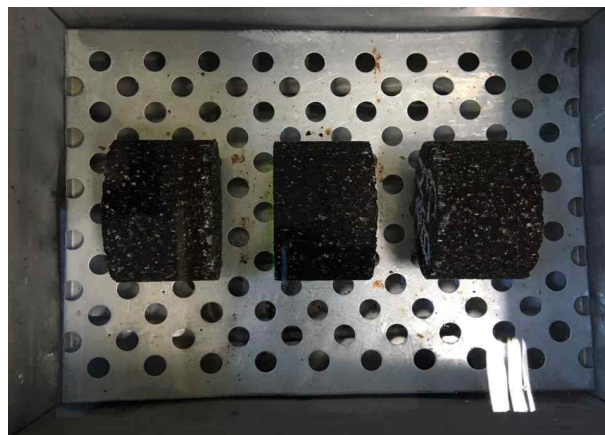


그림 24 25℃ 항온수조 수침

▶ 수침 잔류안정도 시험 결과

- 시험결과 수경화성 계열의 B, C 제품은 품질기준을 크게 상회하는 값을 보였으나 A 제품의 경우 수침 후 일정시간 이후 공시체가 파괴되어 실험이 불가능하여 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. C 제품의 경우 수침 후 경화반응이 촉진되어 수침 후 안정도 값이 초기 안정도 대비 소폭 증가하는 것으로 나타났다.

표 12 C 제품 혼합물 수침 잔류 안정도 시험 결과

시험 항목	품질 기준	(A)	(B)	(C)
초기 마찰안정도(N)	$\geq 2,500$ (KS F 2337)	수침공시체 파괴	36,688	14,853
수침 마찰안정도(N)	$\geq 2,500$ (KS F 2337)	수침공시체 파괴	35,963	15,810
수침 잔류 안정도(%)	75 이상 (KS F 2369)	수침공시체 파괴	98.0	106

▶ 다짐도 이용 가사시간 검토 시험

- 아스팔트 혼합물의 작업성은 다짐작업의 효율성을 의미한다. 일반적인 가열아스팔트 혼합물이 온도가 저하됨에 따라 다짐효율이 낮아지며 가사시간이 결정되는 것에 반해 상온 아스팔트 보수재료의 경우는 수분의 증발 또는 경화반응의 속도에 따라 다짐이 가능한 시간이 결정되기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다.
- 본 연구에서는 수경화성 아스팔트의 가사시간을 검토하기 위해 밀봉 상태인 제품을 개봉하고 상온 20℃, 습도 40%의 실험실 환경에 방치한 후 선회다짐기를 이용해 보관시간에 따른 다짐효율을 분석하였다. 실험조건으로 개봉직후 다짐, 제품을 용기에 담아 공기 중에 노출한 상태에서 상온 보관 3시간 경과 후 다짐, 상온 보관 6시간 경과 후 다짐을 실시하였다.
- 선회다짐기는 수직압력과 회전각, 현장 다짐장비와 교통량을 재현하기 위해 회전수를 조절할 수 있는 장비로 미국의 전략적 도로연구사업(SHRP ; Strategic Highway Research Program)에 의해 개발되었다. 선회다짐기는 현장에서 관찰된 골재 입자와 비슷한 방향으로 골재 입자를 배열시켜줌에 따라 아스팔트 혼합물의 다짐특성을 평가할 수 있는 다짐방법이다.

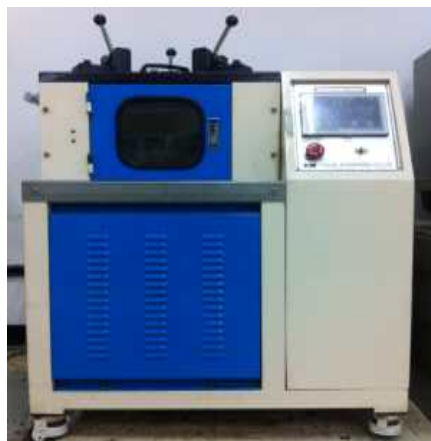


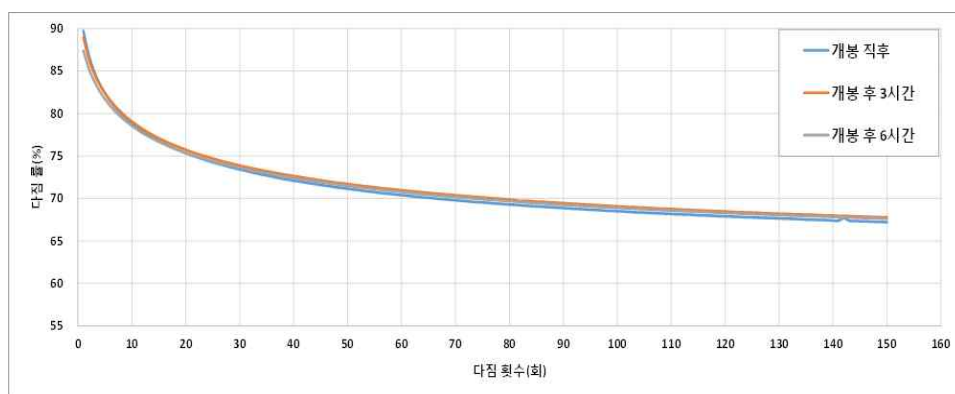
그림 25 선회다짐 시험기

▶ 시험방법은 다음과 같다.

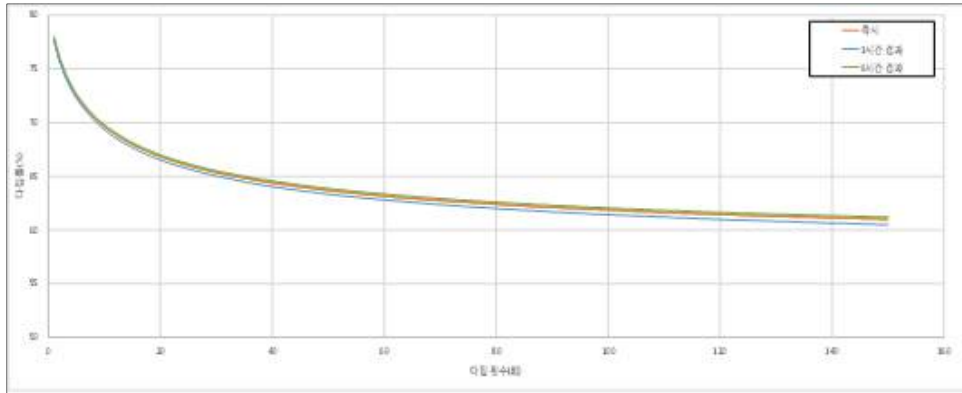
- 공시체 지름이 100 mm인 몰드를 사용하여 상온 아스팔트 혼합물 1,100 g을 준비한다.
- 실험은 개봉직후 다짐, 상온 20℃, 습도 40%의 실험실 환경에 3시간, 6시간 방치한 후 다짐과 같이 3가지 조건에서 수행하며, 다짐 온도는 상온(20℃)에서 수행한다.
- 선회다짐 몰드와 밀판을 꺼내어 선회 전 다짐기에 조립하고, 준비된 혼합물 투입 전에 종이 원반을 바닥에 편편하게 고정한다.
- 몰드 속에 혼합물을 투입한다. 이 때 몰드 밖으로 혼합물이 쏟아지지 않도록 주의를 해야 한다. 몰드에 혼합물을 모두 넣은 후 스페츨러 등을 사용하여 혼합물 윗면을 편편하게 하고 그 위에 종이 원반을 놓는다.
- 아스팔트 혼합물이 담긴 몰드를 선회 전 다짐기 본체에 잘 고정시켜야 하며, 이 때 하중 램 아래에 몰드의 중심을 맞추어야 한다.
- 공시체의 압력이 (600 ± 18) kPa에 도달될 때까지 가압시킨다.
- $(1.25 \pm 0.02)^\circ$ 각의 경사를 몰드 조립품에 적용하고, 이 각도를 유지하면서 선회 다짐을 시작한다.
- 각 회전 후 공시체의 높이를 기록한다. 선회다짐 150회까지 다짐을 하고, 역회전시켜 몰드가 수직이 되었을 때 선회 다짐 장치의 작동을 중지한다.
- 몰드 조립품에서 상판을 꺼내고 다짐기에서 몰드를 빼낸 후 몰드에서 공시체를 탈형한다.

▶ 다짐도 이용 가사시간 검토 시험 결과

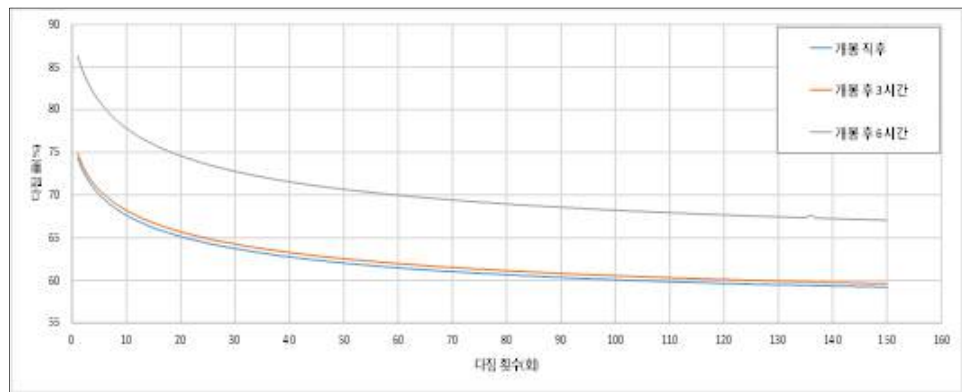
- A, B 제품은 개봉직후 다짐효율과 상온 6시간 방치 후에도 다짐률이 유사한 경향을 보여 제품 개봉 후 1일 동안 충분히 작업이 가능한 것으로 판단되었다. 또한 밀폐형 보관 탱크를 설치할 경우 보다 장시간의 가사시간을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- 반면 C 제품의 경우 개봉 직후 상태에 비해 개봉 후 6시간이 경과한 상태의 제품의 다짐 효율이 다소 저하되는 것을 확인하였다. 각 제품의 다짐효율 실험결과는 아래 그림과 같다.



<그림 4.26> 시간에 따른 A 제품 혼합물 다짐률



<그림 4.27> 시간에 따른 B 제품 혼합물 다짐률



<그림 4.28> 시간에 따른 C 제품 혼합물 다짐률

▶ 결 론

- 본 연구에서는 상온 포트홀 보강재 검토결과 포트홀 급속 보강용 최적 재료로 C 제품을 선정하였다.
- A 제품의 경우 컷백 아스팔트 바인더를 사용하는 제품으로 다짐효율 실험에서 하루 동안 충분히 가사시간을 확보할 수 있는 것을 확인하였으나 안정도, 수침후 안정도 등 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물 품질기준을 만족하지 못하는 것을 확인하였다. 특히, 수침후 잔류안정도 실험에서 수분에 일정 시간 이상 노출될 경우 혼합물 공시체가 파괴되어 수분에 노출되는 환경이 다수인 본 개발 공법의 수요처에는 적용에 무리가 있는 것으로 판단된다.
- B, C 제품은 수경화성 보수재료로 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물 품질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 수경화성 계열의 B, C 제품은 재료 투입 후 물을 첨가하면 양생속도가 빨라져 조기 경화 및 교통개방이 가능한 장점이 있다. 수경화성 제품은 재료의 특성에 따라 시공과정에서 물을 부어 바인더의 반응을 유도하기 때문에 우천시나 물이 고여있는 상태에서도 시공이 가능한 장점이 있다.
- 이에 따라 본 연구에서는 상온 포트홀 보수재 검토결과 포트홀 급속 보강용 최적 재료로 C 제품을 결정하였다. B 제품의 경우 C 제품 대비 2배 이상의 안정도 값을 보이거나 적용 보수 구역의 주변 포장 대비 고강성 재료로 응력집중 현상으로 조기 파손을 야기할 수 있다. C 제품은 품질기준을 모두 만족할 뿐만 아니라 수분 노출에도 안정적인 품질을 나타낸다. 반면 다소 짧은 가사시간은 투입 공정이 간단한 개발 장비를 이용할 경

우 별도의 밀폐형 저장탱크 없이 보수가 필요한 구역에서 재료 공급이 가능하여 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

(3) 포트홀 보수공법 조사, 적용성 검토 및 시공 재료, 공법 선정

- 포트홀 보강용 급속 시공 공법은 아래 표 와 같이 크게 3가지로 구분된다. A 형태의 경우 인력으로 포트홀 발생구역을 보수하는 공법으로 시공이 느리고 정량적인 재료 투입이 불가능하여 다짐확보 등 품질 확보에 어려움이 있다. 프리캐스트 보수공법은 포트홀로 인한 포장 파손부를 커팅, 절삭하여 사전에 제작한 일정 크기의 보수재로 보수하는 공법이다. 반면 커팅, 절삭을 위해 대형화 장비 적용이 필수적이고 시공에 상당한 시간이 걸린다는 단점이 있다. 본 연구에서 적용한 포트홀 급속 보강 공법은 신속하고 정량설계가 가능하다. 또한, 장비 비용 및 운용비용이 저렴하며 포트홀 검출과 보수를 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다.

표 13 포트홀 보수공법 비교

구 분	특 장 점	
(A) 인력 보수공법	포트홀 발생 구간을 찾고 일정 인원의 인력으로 보수하는 형태의 공법	
(B) 프리캐스트 보수공법	원형 또는 사각형으로 파손부위 커팅 후 사전에 제작된 보수재를 접착시키는 공법	
(C)스프레이형 보수공법	바인더와 골재를 쏙크리트처럼 분사하여 보수하는 공법	
(D) 개발 공법	포트홀 급속 보강용 장비 운용을 통해 자동으로 포트홀 검출 및 보수를 동시에 수행하는 공법	

나. 급속 보강 장치 메인제어보드 개발

- ▶ 급속 보강 장치의 기능별 모듈을 제어하는 보드로서 보수재 교반기, 보수재 자동 조절 장치, 급수장치, 발열장치 등을 제어한다.
- ▶ 멀티빔에서 측정된 포트홀의 크기에 적합한 급속시공 재료량을 산정하여 시공지점으로 토출시키는 자동 조절 장치와 이를 제어하는 메인 제어보드의 일체화를 수행하였다.

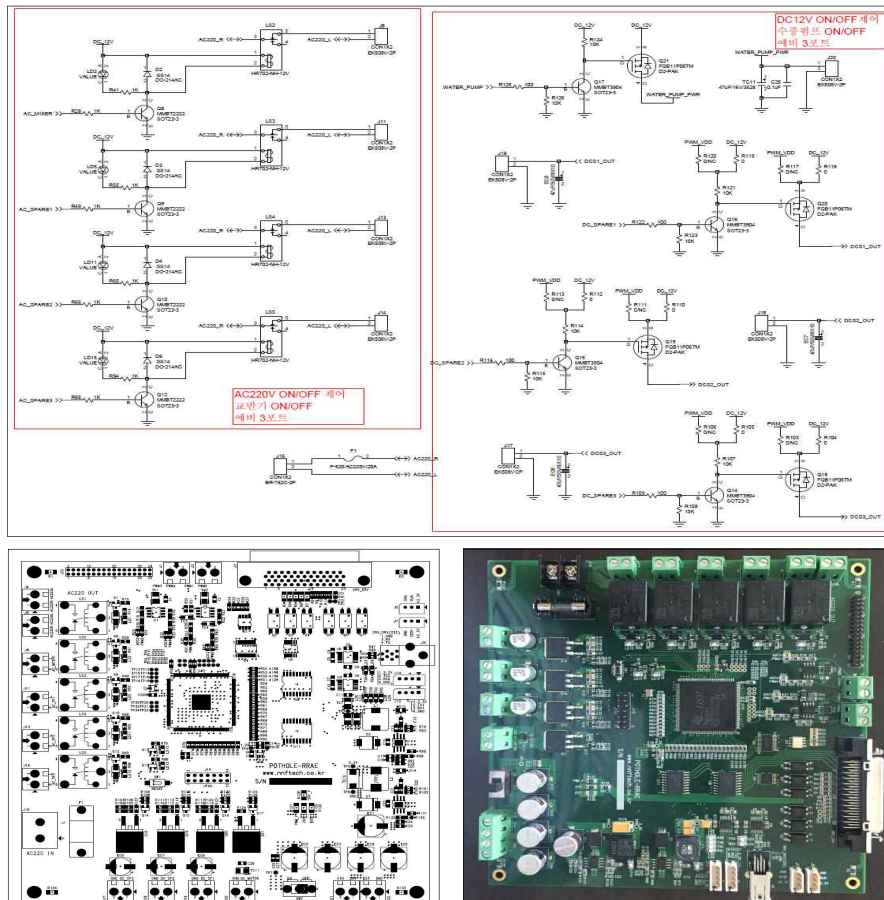


그림 33 회로도(상), 거버파일(하 좌), 조립된 PCB(하 우)

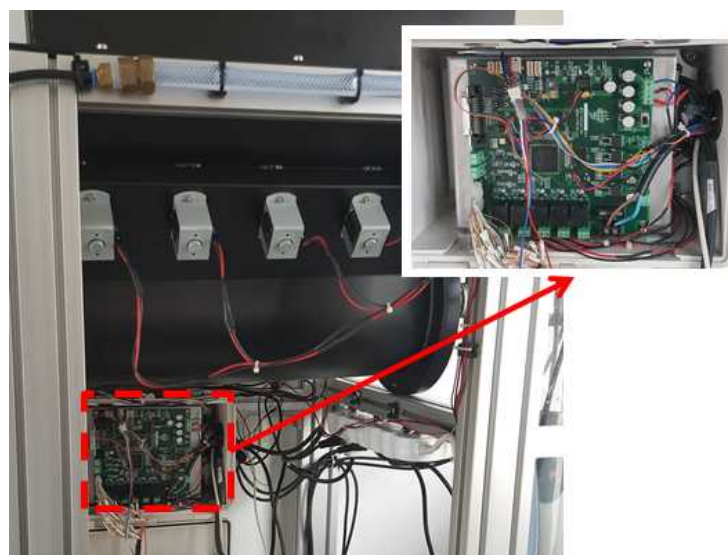


그림 34 메인제어보드 장착 모습

표 14 메인제어보드 소프트웨어 일부

```
void main(void)
{
    char *msg;
    InitSysCtrl();
    InitGpio();

    GPIO_SetupPinMux(1, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(1, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);
    GPIO_SetupPinMux(2, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(2, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

    GPIO_SetupPinMux(5, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(5, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);
    GPIO_SetupPinMux(7, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(7, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

    //LED 3//
    GPIO_SetupPinMux(31, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(31, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

    //SCI A PORT(Serial)
    GPIO_SetupPinMux(28, GPIO_MUX_CPU1, 1);
    GPIO_SetupPinOptions(28, GPIO_INPUT, GPIO_PUSHPULL);
    GPIO_SetupPinMux(29, GPIO_MUX_CPU1, 1);
    GPIO_SetupPinOptions(29, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);
```

다. 보수재 자동 주입 장치 개발

- ▶ 보수재 자동 주입 장치는 급속시공 보수재 교반기와 보수재 자동 조절장치, 발열장치, 급수장치로 구성된다.
- ▶ 통합시스템에서 전송된 포트홀 산출 물량에 따라 해당 보수 포트홀의 체적에 알맞는 보수재가 토출되고 이를 포트홀에 주입 후 다짐 및 마감작업을 수행한다.
- ▶ 보수재 재료로 수경화성 상온형을 사용함에 따라 급수장치를 개발하여 급속보강 이후에 보수재의 원활한 수경화가 가능하게 한다.
- ▶ 보수재 자동 주입 장치의 작동순서는 통합시스템에서 해당 포트홀의 보수재 물량을 전송받고 교반기에 수납되어 있는 보수재 중 산출된 물량이 보수재 자동 조절장치에 의해 토출되며, 이와 동시에 급수가 이루어진다.
- ▶ 발열장치는 보수재 자동 조절장치 중간에 설치되어 있으며 보수재의 원활한 흐름성을 좋게하고, 급수장치는 발열장치 뒷단에 설치되어 있어 발열장치의 온도를 유지시켜 줄 수 있도록 배치하였다.

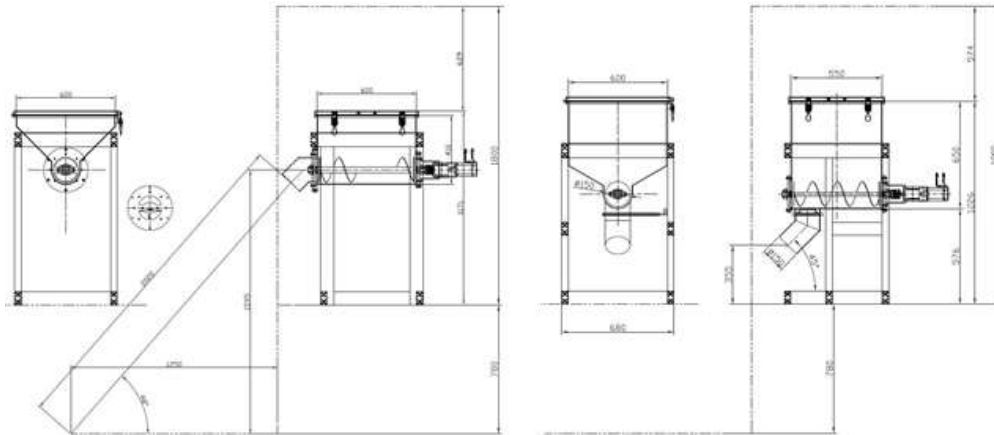


그림 35 보수재 자동 조절장치 설계도면



그림 36 보수재 자동 조절장치

라. 급속 보강 장치 최적 컴퍼넌트 선정

- ▶ 차량 선정 : 현대 포터2 내장탑 파워게이트
- ▶ 컴퍼넌트 구성 : 에어컨, 에어컴프레셔, 메탈 브러쉬 전동공구, 보수재 자동 조절장치, 발 전기, 콤팩터, 물관 및 수중펌프



그림 37 선정된 차량 및 컴퍼넌트 탑재차량

마. 차량 탑재용 프레임 제작(에어컨, 주입호스, 롤러 포함)

- ▶ 급속보강 장치와 급속보강 시공에 사용되는 컴포넌트의 탑재를 위한 프레임을 제작하고, 시공 우선순위로 선정된 포트홀에 차량이 도착 후 에어컨을 이용한 포트홀 청소, 최적 선정된 급속보수재의 자동 산출된 물량 충전 후 급속보수재의 누름 및 마감처리에 활용되는 컴포넌트를 선정 및 탑재하였다.

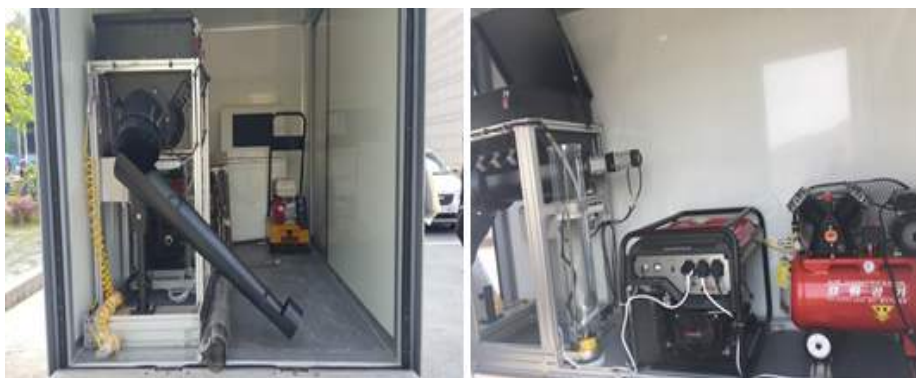


그림 38 마감작업용 장비 및 차량 탑재용 프레임

바. 차량 유도 안전장치

- ▶ 차량 이동시 및 작업 시 후방 차량의 효율적인 회피 유도과 작업자의 안전을 위한 방향 지시등, 경광등, 사이렌과 같은 차량 유도 장치를 탑재하였다.



그림 39 차량 유도 안전장치

사. 급속보강 장치 가이드라인 / 매뉴얼 개발

- ▶ 급속보강 장치에 대한 가이드라인과 장비매뉴얼을 개발하였다.

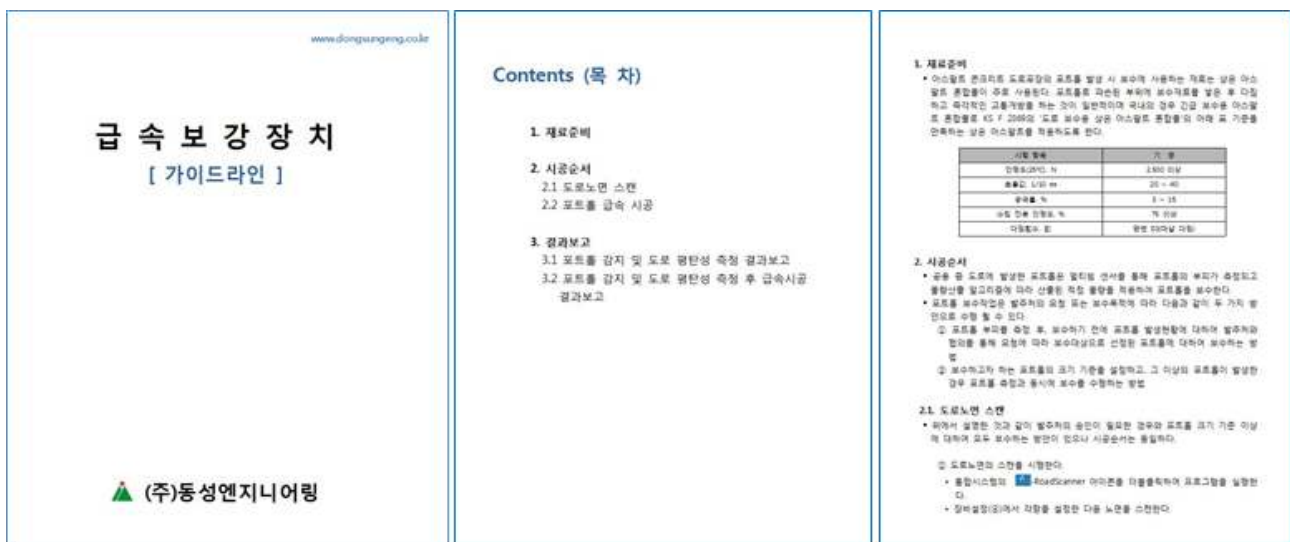


그림 40 급속보강 장치 가이드라인

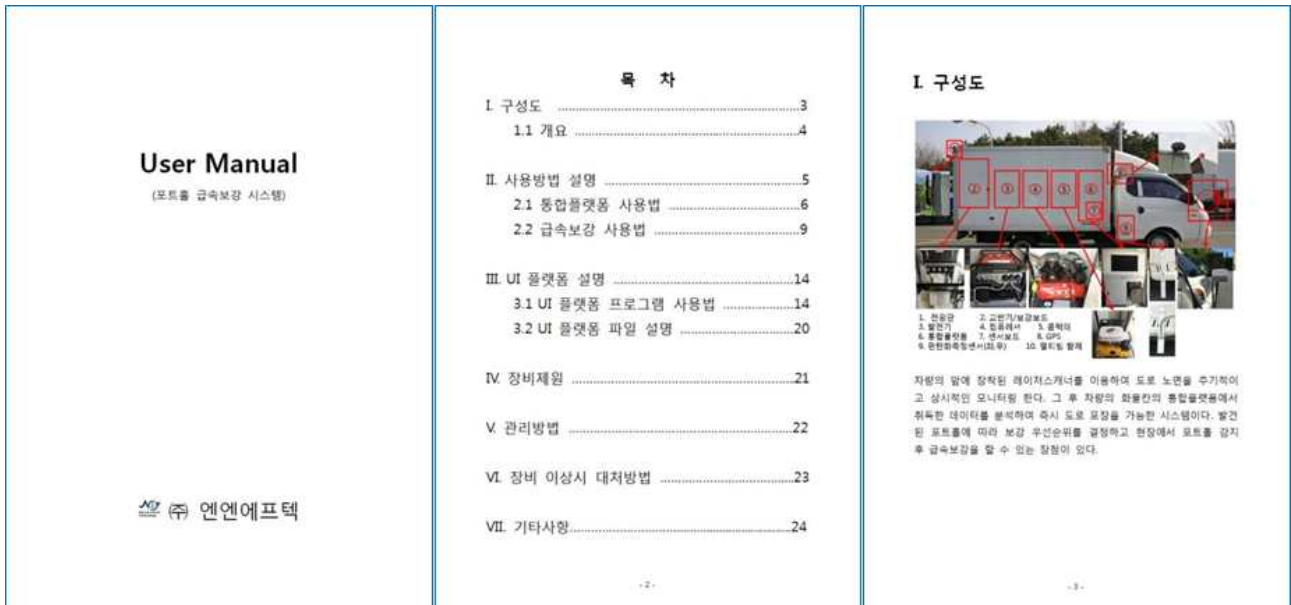


그림 41 급속보강 장치 매뉴얼

3. 데이터분석 플랫폼을 포함하는 통합시스템 개발

- 데이터분석 플랫폼은 멀티빔으로부터 취득한 데이터를 필터링, 데이터분석(포트홀 여부), 데이터추출(포트홀 사이즈), 통합시스템으로의 전송기능을 수행하며, 통합시스템은 데이터분석 플랫폼과 통신하여 분석 및 추출된 데이터를 기반으로 공동기관에서 개발하는 알고리즘(물량산출알고리즘, 단가계산 알고리즘, 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘)들을 적용하여, 급속시공 재료의 양을 결정하여 급속보강장치의 메인제어보드로 전송하는 기능을 수행하고 Report 파일로 출력기능을 수행한다. 또한 도로 평탄성 등급결정 알고리즘을 통해 데이터분석 플랫폼으로부터 수신한 평탄성 데이터를 기반으로 도로 평탄성을 결정한다.
- 데이터분석 플랫폼은 멀티빔과 직결된 단말이라고 가정하면, 통합시스템은 이 단말과 통신하여 데이터를 수신, 기능 구현하는 서버라고 할 수 있다.
- 통합시스템은 GIS 데이터와 연계하여 도로평탄성 및 포트홀의 데이터를 맵핑시키고, 추후 의사결정 된 포트홀 시공 순서에 따라 위치를 찾아갈 수 있는 네비게이터 역할을 수행한다.

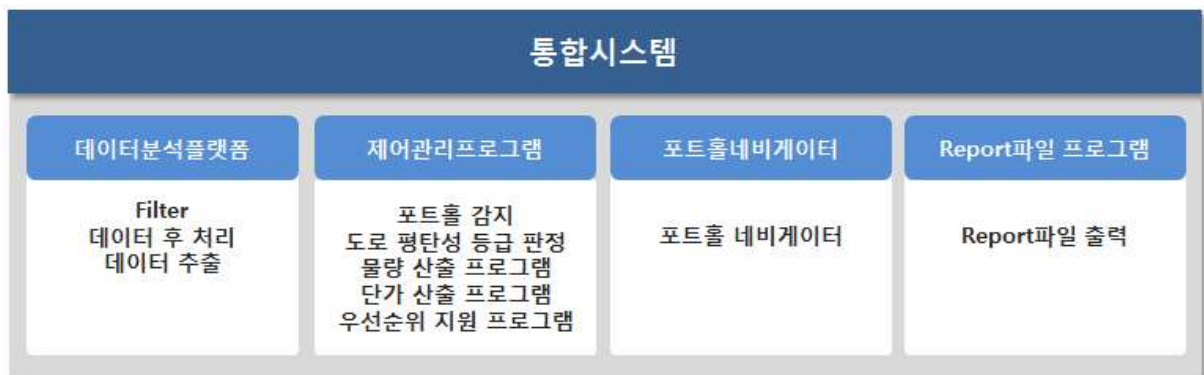


그림 42 데이터분석 플랫폼 내장 통합시스템 구성도

가. 데이터분석 플랫폼 개발

(1) 데이터분석 플랫폼 개발

- ▶ 멀티센서형태의 멀티빔에서 취득한 센서데이터의 필터링 기능과 데이터분석(포트홀 여부) 데이터 추출(포트홀 사이즈) 기능, 추출한 센서데이터와 GPS/GLONASS 데이터 연동 처리 기능, 신호처리보드와 급속보강 장치의 메인제어보드와의 통신 기능을 담당하는 데이터 분석 플랫폼을 개발하였다.

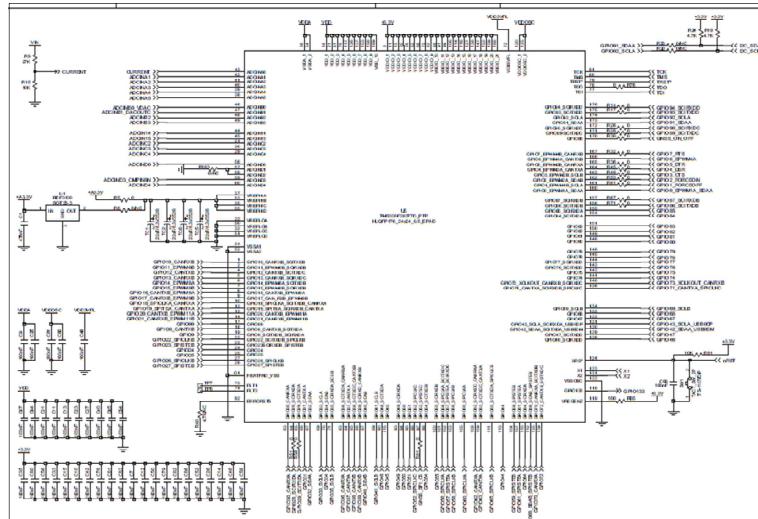


그림 43 데이터분석 플랫폼 회로설계(일부)

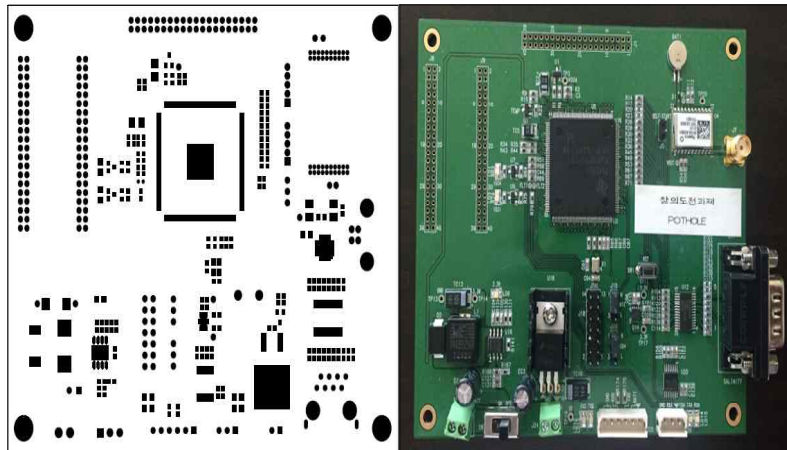


그림 44 데이터분석 플랫폼 거버파일(좌) 및 조립된 PCB(우)

- ▶ 아래의 표는 데이터분석 플랫폼 소스 파일 중 일부를 발췌한 내용임.

표 15 데이터분석 플랫폼 S/W 일부

```
void main(void)
{
    char *msg;
    InitSysCtrl();
    InitGpio();

    GPIO_SetupPinMux(1, GPIO_MUX_CPU1, 0);
    GPIO_SetupPinOptions(1, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSH_PULL);
}
```

```

GPIO_SetupPinMux(2, GPIO_MUX_CPU1, 0);
GPIO_SetupPinOptions(2, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

GPIO_SetupPinMux(5, GPIO_MUX_CPU1, 0);
GPIO_SetupPinOptions(5, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);
GPIO_SetupPinMux(7, GPIO_MUX_CPU1, 0);
GPIO_SetupPinOptions(7, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

//LED 3//
GPIO_SetupPinMux(31, GPIO_MUX_CPU1, 0);
GPIO_SetupPinOptions(31, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

//SCI A PORT(Serial)
GPIO_SetupPinMux(28, GPIO_MUX_CPU1, 1);
GPIO_SetupPinOptions(28, GPIO_INPUT, GPIO_PUSHPULL);
GPIO_SetupPinMux(29, GPIO_MUX_CPU1, 1);
GPIO_SetupPinOptions(29, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSHPULL);

EALLOW;
GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO5 = 0;
GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO7 = 1;

//LED 1//
GpioCtrlRegs.GPBPUd.bit.GPIO34 = 0; // Enable pullup on GPIO34
GpioCtrlRegs.GPBDir.bit.GPIO34 = 1;
GpioCtrlRegs.GPBMUX1.bit.GPIO34 = 0; // GPIO34

// CM //
GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO1 = 1; //FORCEOFF
GpioDataRegs.GPASET.bit.GPIO2 = 1; //FORCEON

```

▶ 통합시스템과의 통신 기능 개발

표 16 통합시스템과의 통신 기능 S/W 일부

```

//-----
// 거리값과 반사강도값으로 이루어진 메모리 형태의 스캔 라인 데이터를 수신
// TCP 통신 스트림을 통해서 들어옴
//-----
virtual void OnData(const DeviceInfo&, const LineRawInfo&, const char* /*head*/, const
                char* line, int pixel)
{
    int id = 0; // choose channel
    // filter out bad pixel. Pixel are masked out, they are not deleted
    Filter(); // new in 8.5
    // 데이터 처리를 위한 데이터 버퍼로 변환
    int len = 4 + 2 + 13 * pixel; // tickcount + pixels + [mask bit + hAngle + rgm +
rf] * pixels
    BYTE* buffer = new BYTE[len];
    DWORD tick = GetTickCount();
    USHORT count = pixel;

    memcpy(buffer, &tick, 4);
    memcpy(buffer + 4, &count, 2);

    // Print line
    int hsub = HSubsample(id);

    for (int p = 0; p<pixel; p++)
    {
        int pos = 6 + p * 13;

```

▶ 센서 데이터 필터링 및 데이터 추출 기능 개발

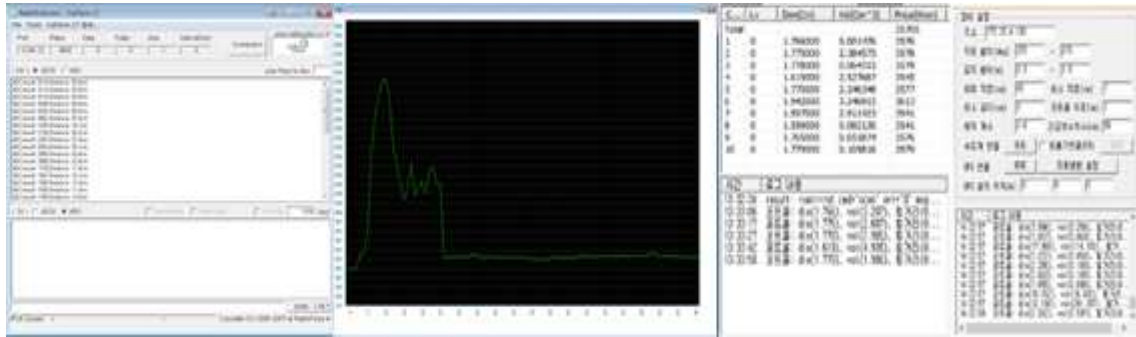


그림 45 데이터 필터링 및 데이터 추출 기능

다. 통합시스템 프로그램 개발

(1) 포트홀 검출 알고리즘 개발

- ▶ 본 연구에서 사용되는 레이저센서는 라인레이저 방식이며, 포트홀 검출을 위한 멀티센서 조합은 레이저 센서 + 초음파센서 + 위치(GPS) + OBD2(차량속도) + 가속도센서 데이터를 기반으로 포트홀을 검출한다.

표 17 포트홀 검출 알고리즘 소스 코드 일부

```
//-----
// 포트홀 검출 알고리즘
//-----

float_array m_data1; // 원본 스캐닝 데이터
float_array m_data2; // 가우스안필터 처리 데이터
float_array m_data3; // 도로면 데이터
float_array m_data4; // 포트홀 데이터[x,z 반복 + z1 + z2]
Potholes m_data5; // 포트홀 데이터(그룹핑 처리된 자료)

m_data1.clear();
m_data2.clear();
m_data3.clear();
m_data4.clear();

// 데이터 수집
for (it = pts.begin(); it != pts.end(); it++)
{
    if (it->ang < t1 || t2 < it->ang)
        continue;
    if (it->rgm < d1 || d2 < it->rgm)
        continue;

    float t = it->ang - tm;
    float x = sin(t) * it->rgm;
    float z = cos(t) * it->rgm;

    m_data1.push_back(x);
    m_data1.push_back(z);
}
```

```
// 노이즈 필터 : 가우시안 처리
for (i = 2; i < count - 2; i++) {
    int p = i * 2;
    float x1 = m_data1[p - 4];
    float z1 = m_data1[p - 3];
    float x2 = m_data1[p - 2];
    float z2 = m_data1[p - 1];
    float x3 = m_data1[p - 0];
    float z3 = m_data1[p + 1];
    float x4 = m_data1[p + 2];
    float z4 = m_data1[p + 3];
    float x5 = m_data1[p + 4];
    float z5 = m_data1[p + 5];

    float x = (x1 + x2 + x3 + x4 + x5) / 5.f;
    float z = (6.f*z1 + 24.f*z2 + 36.f*z3 + 24.f*z4 + 6.f*z5) / 96.f;

    m_data2.push_back(x);
    m_data2.push_back(z);
}
```

(2) 포트홀 시편 감지 실험

- ▶ 원형 및 타원형 포트홀 시편을 제작하여 포트홀 감지 실험을 진행하였다.

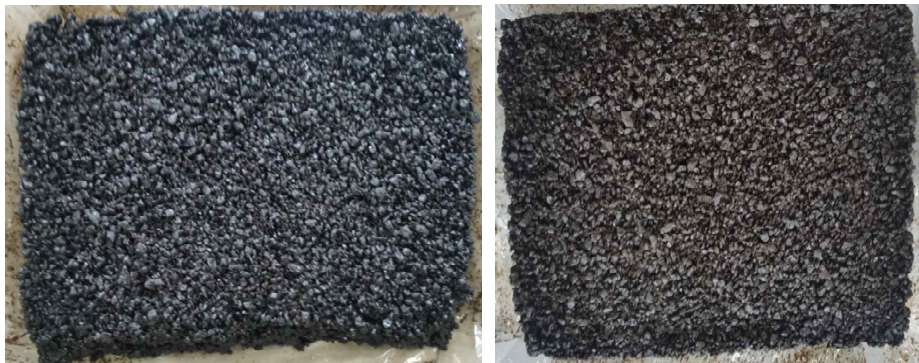


그림 46 포트홀 시편 제작용 상온아스콘 노면 시편 제작

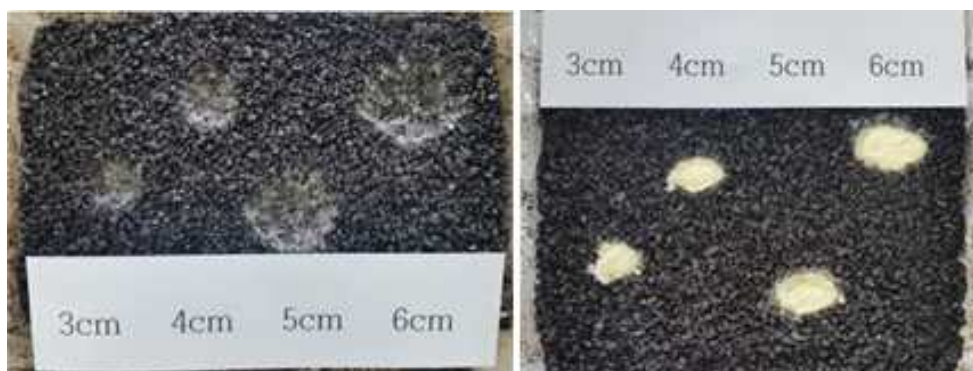


그림 47 포트홀 시편 제작 (좌 : 원형, 우: 타원형)

▶ 포트홀 시편 레이저센서 및 통합시스템 S/W 감지 시험 결과

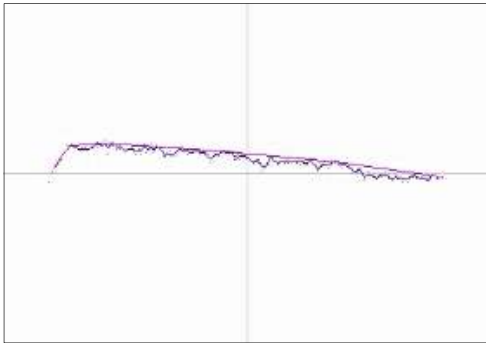


그림 48 통합시스템 S/W와 레이저센서로 취득한 시편 데이터

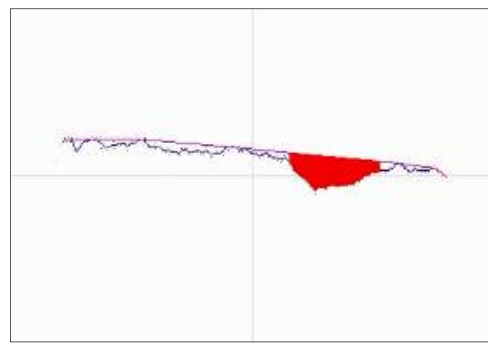


그림 49 통합시스템 S/W로 감지된 포트홀 체적

(3) 급속시공 물량 산출 프로그램 개발

- ▶ 포트홀 급속보강 물량산출 알고리즘 개발을 위해 직경 3 ~ 6 cm의 포트홀 모사 시편을 제작하여 체적 감지 실험을 수행하였다. 멀티빔을 이용하여 모사 시편의 포트홀 체적을 산출 한 후 산출된 체적과 모래치환법에 의한 흙의 단위중량 시험(KS F 2311)을 통해 측정된 체적을 비교하였다.

표 18 포트홀 체적 검출 실험 결과

직경(cm)	검출 포트홀 체적(cm^3)	실제 포트홀 체적(cm^3)	편차(cm^3)
3	17.0	18.2	1.2
3	20.4	21.1	0.7
3	17.9	18.7	0.8
4	49.5	51.0	1.5
4	53.8	55.7	1.9
4	58.7	60.8	2.1
5	73.8	79.5	5.7
5	104.8	109.2	4.4
5	114.8	119.8	5.0
6	159.5	164.2	4.7
6	187.4	191.4	4.0
6	147.9	152.4	4.5

- ▶ 감지된 포트홀 체적과 실제 체적간의 다소 차이가 있으며 포트홀 규모가 커질수록 편차가 커지는 경향이 있는 것으로 나타났다. 또한 레이저로 상부에서 스캔을 통해 부피를 감지하는 방식상 실제 체적보다 작게 감지되는 경향을 보여 보정계수(a)를 적용하여 체적 보정식을 통해 통합시스템상에서 산출되는 포트홀 체적을 보정하였다.

$$V_r = a \times V_d$$

V_r : 보정 포트홀 체적(cm^3)

a : 체적 보정계수(1.03)

V_d : 검출 포트홀 체적(cm^3)

- ▶ 실내 포트홀 감지 모사 실험에서 규모에 따라 편차가 발생하므로 실제 현장에서 발생한 포트홀에 대해 포트홀 체적 감지 실험을 수행하였다. 현장 실험은 수도권 일반 도로에서 무작위로 15개소의 포트홀에 대해 측정을 수행 후 모래치환법에 의한 실제 포트홀 체적을 측정하였다.

표 19 실내/현장 포트홀 체적 검출 실험 결과

구 분		보정 포트홀 체적(cm^3)	실제 포트홀 체적(cm^3)	편차(cm^3)
실내	1	17.6	18.2	0.6
	2	21.1	21.1	0.0
	3	18.5	18.7	0.2
	4	51.1	51	-0.1
	5	55.6	55.7	0.1
	6	60.6	60.8	0.2
	7	76.2	79.5	3.3
	8	108.3	109.2	0.9
	9	118.6	119.8	1.2
	10	164.8	164.2	-0.6
	11	193.6	191.4	-2.2
	12	152.8	152.4	-0.4
현장	13	3,128	3,849	721.0
	14	4,884	5,046	162.0
	15	4,816	5,195	379.0
	16	4,168	5,819	1,651.0
	17	5,973	7,032	1,059.5
	18	7,124	7,481	357.0
	19	5,942	8,123	2,181.0
	20	6,684	9,005	2,321.0
	21	8,125	9,617	1,492.0
	22	8,452	10,495	2,043.0
	23	9,981	11,038	1,057.0
	24	11,115	11,222	107.0
	25	12,342	14,490	2,148.0
	26	14,831	17,209	2,378.0
	27	19,667	21,427	1,760.0

- ▶ 포트홀 모사 시험편을 측정된 실내실험의 경우 모사된 포트홀의 크기가 작아 감지시스템을 통한 측정값과 큰 차이가 없었으나 크기가 큰 현장 측정 실험에서는 차이가 약 2,500 cm³ 까지 나타났다. 이는 포트홀의 규모가 커짐에 따라 실측값과의 차이가 커지는 것으로 기존의 보정계수 1.03을 1.14로 수정하였다. 보정계수의 수정을 통해 실제 포트홀 체적과의 차이를 약 200 cm³ 까지 줄일 수 있었다.

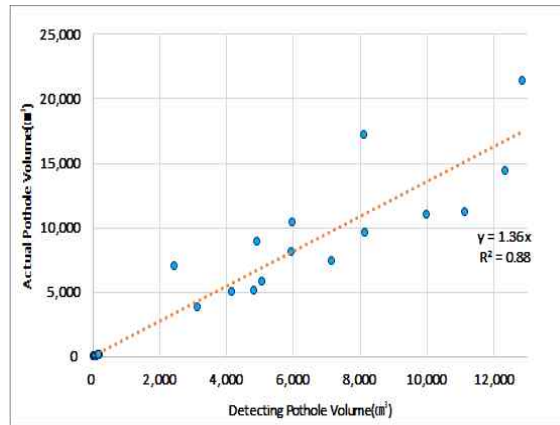


그림 50 실제/검출 포트홀 체적 차이

- ▶ 포트홀 체적에 따라 필요한 보수재료의 양을 계산하고 현장 적용성을 검증하고자 하였다. 실험에 사용된 보수재료는 현재 포트홀 급속 보수작업에 주로 사용되는 수경화성 보수재료로 마샬다짐기로 양면 50회 다짐한 후 밀도를 측정한 결과 2.199 g/cm³의 값을 얻어 이를 측정된 부피에 곱하여 필요 재료량을 산출하였다.

$$M_p = a \times V_d \times G_m$$

M_p : 보정 보강재료 물량(kg)

a : 체적 보정계수(1.14)

V_d : 검출 포트홀 체적(cm³)

G_m : 보강재료 밀도(2.199 g/cm³)

- ▶ 포트홀 크기에 따라 결정된 보수재의 양은 아래의 표와 같으며, 통상적으로 포트홀 보수시 차량 하중에 의한 잔류 침하를 고려하여 기존 포장면에 비해 약 0.5cm 높게 다짐을 실시하고 주변에 남은 보수재료를 수거한 후 무게를 재어 잔량을 측정하였다. 평균 3.0 kg의 재료 잔량이 발생하였다. 이는 측정된 체적은 골재가 들어가지 못하는 굴곡 부위까지 체적이 측정된 반면 실제 보수재료는 그러한 공간을 완전히 채우지 못하므로 잔량이 예상보다 많이 남게 된 것으로 판단되었다. 또한 현장에서의 다짐이 실험실 수준의 다짐 효율을 나타내지 못하기 때문일 수도 있다. 통상 현장다짐은 실험실 다짐도의 96% 이상으로 관리됨으로 이를 감안하여 필요 보수재료량의 보정이 필요한 것으로 나타났다.

표 20 현장 적용 보강재료 잔량

구 분	보정 포트홀 체적(cm^3)	보정 보강재료 물량(kg)	재료 잔량(g)
1	4,388	10.0	3,400
2	5,753	13.0	3,800
3	5,923	13.0	4,800
4	8,016	18.0	3,600
5	9,260	18.0	-
6	6,633	15.0	3,800
7	8,529	19.0	4,800
8	10,266	23.0	3,300
9	11,965	26.5	3,400
10	12,584	28.0	2,800
11	10,964	24.5	2,900
12	12,793	28.5	1,900
13	16,519	36.5	2,000
14	19,618	43.5	2,300
15	24,427	54.0	2,400

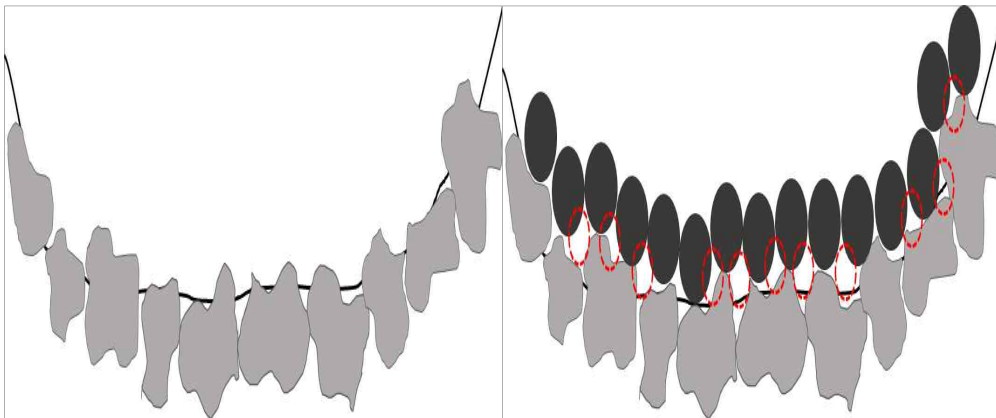


그림 51 포트홀 표면 및 보강재료 다짐 후 모식도

- ▶ 포트홀 보수공사의 경우 기존에는 작업자가 육안으로 포트홀 크기를 파악한 후 주관적 판단에 따라 대략적인 보수재료를 주입하고 다짐작업을 실시함으로 보수재료 부족 시 다짐 부족으로 품질저하가 발생한다. 또한 보수재료의 양을 계량 없이 작업자의 감에 의해 사용함에 따라 작업 후 남은 재료의 폐기량이 많아지거나 사용했던 재료를 재사용하는 등 품질관리에 문제가 발생하고 있는 실정이다.
- ▶ 정확한 물량을 사용하는 것은 보수재료의 낭비를 최소화하여 비용을 절감할 뿐 아니라 적정량의 재료를 사용함으로써 다짐율을 확보하여 품질을 향상시키는데 중요한 부분이다. 따라서 본 연구에서는 자동 감지 통합시스템을 이용하여 포트홀 체적을 측정하고 이에 맞는 적정량의 보수재료량을 선정하기 위한 물량보정을 수행하였다. 잔량의 경우 포트홀 체적보다 최상부의 면적과 더 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 즉, 포트홀의

넓이가 클수록 잔량은 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따라 잔량을 최소화하기 위해 면적에 따른 보정 값을 제시하였으며, 이를 통해 포트홀 개소당 평균 3 kg의 잔량을 1 ~ 2 kg까지 감소시킬 수 있었다. 여기서, 평균 잔량은 보수재료의 함중률(산출된 재료의 정미량(절대소요량)에 재료의 운반, 절단, 가공 및 시공 중에 발생하는 손실량을 가산하여 주는 %) 1.03% 범위 내에 있다고 할 수 있다.

$$M_p = a \times V_d \times G_m - (b \times A + c)$$

- M_p : 보정 보강재료 물량(kg)
 a : 체적 보정계수(1.14)
 V_d : 검출 포트홀 체적(cm^3)
 G_m : 보강재료 밀도(2.199 g/cm^3)
 b : 물량 보정계수(0.8)
 A : 포트홀 면적(cm^2)
 c : 3710(보정 상수)

표 21 포트홀 보강재료 보정 후 재료 물량

구 분	재료 잔량(g)	보정 재료 잔량(g)
1	3,400	294
2	3,800	774
3	4,800	1,860
4	3,600	797
5	-	-
6	3,800	1,198
7	4,800	2,198
8	3,300	698
9	3,400	1,138
10	2,800	538
11	2,900	699
12	1,900	22
13	2,000	477
14	2,300	1,005
15	2,400	1,595

- ▶ 기존 포트홀 급속 보수방식에 비해 포트홀의 정확한 체적 측정과 이에 따라 필요한 적정 보수물량을 계산하여 자동으로 계량 투입하는 방식을 적용하여 포트홀 보수작업을 실시할 경우, 하루 20개소의 포트홀 보수 시 폐기물로 발생하는 보수재료는 약 20 kg 정도의 소량만 발생하여 보수재료에 사용되는 예산을 최소화 할 수 있을 뿐 아니라 포트홀 체적에 따른 적정량의 보수재료를 사용함으로써 보수공법의 품질관리에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

- ▶ 아래 표는 물량산출 알고리즘의 S/W 일부이다.

표 22 물량산출 알고리즘 소스 코드 일부

```

double GetTriangleArea(CDPoint pt1, CDPoint pt2, CDPoint pt3)
{
    double sum=0
    sum = fabs(pt1.x*pt2.y + pt2.x*pt3.y + pt3.x*pt1.y - pt3.x*pt2.y - pt2.x*pt1.y -
pt1.x*pt3.y) / 2.0
    return sum;
}

double dSumArea=0, dSumVol=0
CDPoint dpt1, dpt2, dpt3;
for (titerator it = Triangles.begin(); it != Triangles.end(); )
{
    triangle tri(*it);
    dpt1.x = tri.GetVertex(0)->GetX();
    dpt1.y = tri.GetVertex(0)->GetY();
    dpt1.z = tri.GetVertex(0)->GetZ();
    dpt2.x = tri.GetVertex(1)->GetX();
    dpt2.y = tri.GetVertex(1)->GetY();
    dpt2.z = tri.GetVertex(1)->GetZ();
    dpt3.x = tri.GetVertex(2)->GetX();
    dpt3.y = tri.GetVertex(2)->GetY();
    dpt3.z = tri.GetVertex(2)->GetZ();

    double dArea, dVol;
    dArea= :GetTriangleArea(dpt1, dpt2, dpt3);
    dVol = dArea*(dpt1.z + dpt2.z + dpt3.z)/3.0
    dSumArea=dSum+AreaddArea;
    dSumVol=dSumVol+dVol;
    it++;
}

```

(4) 급속시공 단가산출 알고리즘 개발

- ▶ 급속시공 물량산출 알고리즘에 의거한 산출된 포트홀 면적 및 부피계산 된 급속시공 보수재 단가 및 인건비, 경비 등을 포함하여 시공비용을 산출한다.
- ▶ 포트홀 급속 보강 공정은 포트홀 감지=>포트홀 청소(에어)=>물량투입=>마감(콤팩터) 단계로 나누어지며 이 공정은 포트홀의 사이즈와 큰 관계없이 기본적인 시간이 투입된다.
- ▶ 따라서 포트홀 사이즈별 단가는 주요 비중인 재료비와 기타 비용으로 나누어지며 기타비용은 동일하게 책정하였다.
- ▶ 기타 비용은 인건비, 경비, 간접재료비를 포함하며 인건비의 경우 현장감독자를 포함하여 3명으로 산정(현장감독자, 고급기술자, 고급기능사)하였으며 간접재료비의 경우 장비에 사용되는 유류 및 엔진오일류를 계상하였고 경비의 경우 감가상각비, 수리수선비, 특허권사용료, 기술료, 보험료, 복리후생비, 소모품비, 여비, 세금공과금, 폐기물처리비, 지급수수료 등으로 구성되었다.
- ▶ 재료비의 경우 직접재료비인 상온아스콘과 경화제인 물을 실제 기성품 가격과 수자원공사 자료를 토대로 산정하였다.
- ▶ 급속시공 단가산출 알고리즘은 재료비[=자동물량(산출) * 물량에 따른 재료비 단가(아스콘,물)] + 기타 비용로 산출되며 산출식은 아래와 같다. 품셈은 2017년 건설공사표준품셈의 도로포장 및 유지 중 포장유지보수 항목의 소과보수(소규모 포장복구)를 근거로 산출하였다.

$$C_p = (P_e \times C_m \times E) + C_g + C_p + VAT / n$$

여기서, C_p : 급속보강 단가(원)
 P_e : 인건비(원)
 C_m : 사용 재료비(kg/원)
 E : 경비(운반비, 감가상각비 등)(원)
 C_g : 일반관리비(원)
 C_p : 이윤($(P_e + E + C_g) \times 10\%$)(원)
 VAT : 부가가치세(원)
 n : 하루 포트홀 보수 개소수(개)

- ▶ 포트홀 급속보강 장비를 사용하여 포트홀 보강작업을 수행한 결과 개소당 약 5 분이 소요되는 것으로 확인. 포트홀의 크기가 직경 30 cm, 깊이 5 cm 로 가정할 경우 포트홀을 보수의 단가산출 예시는 다음과 같다.

표 23 포트홀 단가산출 예시(직경 30 cm, 깊이 5 cm)

비 목	금 액(원)	비 고
1) 인 건 비	740	
2) 재 료 비	6,305	
3) 경 비	987	
4) 제조원가(1+2+3)	8,032	
5) 일반관리비(4 x 5%)	401	
6) 이 윤((1+3+5) x 10%)	212	
7) 총 원 가(4+5+6)	8,645	
8) 부가가치세(7 x 10%)	865	
합 계(7+8)	9,510	

- ▶ 아래 표는 단가산출 알고리즘의 S/W 일부이다.

표 24 단가산출 알고리즘 소스 코드 일부

```

단가 계산
=====
데이터 로딩후 총단가 계산
hole->dPrice = (g_Option.dPriceTot - g_Option.dPrice30) +
g_Option.dPrice30*hole->dDia / 30.0; //각 홀의 단가
strText.Format("%.0f", hole->dPrice);
lvi.iSubItem = 4;
lvi.pszText = (LPTSTR)(LPCTSTR)strText;
m_lstProperty2.SetItem(&lvi);

dTotPrice = dTotPrice + hole->dPrice; // 모든 홀 단가 합산

```

- ▶ 개발된 급속시공 단가산출 알고리즘의 시스템 구동 확인(아래의 그림과 같이 옵션설정(좌측)을 통해 결과치 표출(우측))

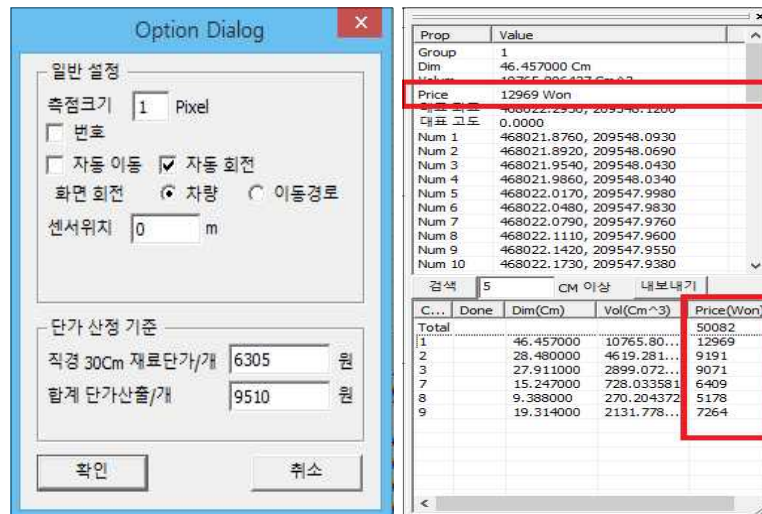


그림 52 급속시공 단가산출 알고리즘 구동 결과

(5) 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 개발

- ▶ 도로 포장의 평탄성은 도로이용자가 느끼는 서비스 수준으로 도로관리기관은 일정 수준 이상으로 도로 포장의 평탄성을 유지관리하여야 할 의무가 있다. 그러나 기존의 평탄성 측정장비의 경우 고가의 장비와 이로 인한 운용비용의 증가로 인해 예산의 한계로 적용하는데 어려움이 있는 실정이다. 평탄성은 차량 탑승자가 느끼는 진동의 정도로 이를 기준으로 한 도로의 평탄성 평가 방법을 제시하고자 하였다. 비교적 저렴한 비용으로 측정 및 운용이 가능한 초음파 센서와 가속도 센서를 이용하여 진동가속도를 측정하고 이를 분석하여 도로의 평탄성 등급을 판정하는 알고리즘을 개발하고자 한다.
- ▶ 도로 평탄성은 교통하중, 환경영향, 시공재료 및 시공의 불규칙성 등 다양한 원인에 의해 발생하며, 교통 개방이 이루어지지 않은 신설도로에도 존재한다. 교통하중과 환경영향에 지속해서 노출됨에 따라 평탄성은 계속해서 저하되며, 이를 평가하기 위해 세계적으로 많은 종류의 평탄성 지수가 개발되어 사용되고 있다(서호덕, 2006).
- ▶ 평탄성 지수는 1982년도에 IRRE(International Road Roughness Experiment)에서 국제 표준 지수로 제시된 IRI(International Roughness Index), PrI(Profile Index), QI(Quarter-Car Index), 그 외 RQI(Ride Quality Index), DLI(Dynamic Load Index), PI(Profilograph Index), RMSVA(Root-Mean-Square Vertical Axxeleration), PSI(Pavement Serviceability Index), South Dakota Index, ARV(Average Rectified Velocity), RN(Ride Number), ARS(Average Rectified Slope) 등이 있다. (Ksaibati, 2002).
- ▶ 본 연구에서는 평탄성 지수 중 IRI(International Roughness Index))를 기준으로 비교 분석하였다.
- ▶ IRI(International Roughness Index)
 - 국제 평탄성 지수 IRI는 차량의 요철을 나타내는 정류경사의 평균값으로 평균 정류경사라고도 한다. IRI 측정은 다음 그림과 같이 25 cm 간격으로 노면 프로파일을 측정한다.

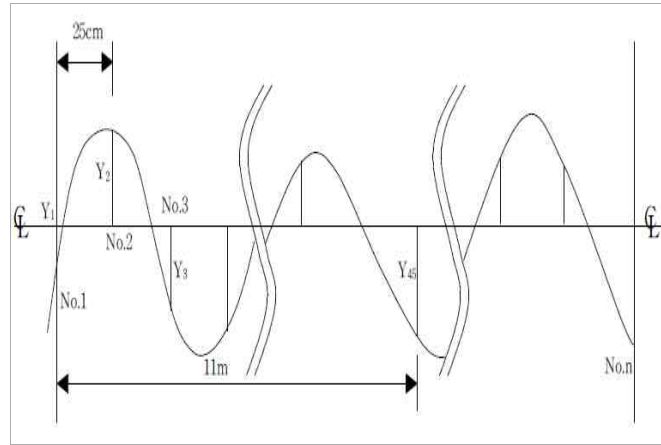


그림 53 IRI 계산 원리(김국한, 2003)

- 정류경사를 구하기 위해 다음 식을 이용하여 i 번째 위치에서의 변수 값 ($\{z_1, z_2, z_3, z_4\}_i$)을 구하며, 최초 11 m에 대한 첫 번째 변수 값 ($\{z_1, z_2, z_3, z_4\}_1$)은 다음 식과 같이 가정한다.

$$\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & p_1 \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} & p_2 \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} & p_3 \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} & p_4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z'_1 \\ z'_2 \\ z'_3 \\ z'_4 \\ Y' \end{pmatrix}_{i-1}$$

여기서, $Y' : \frac{(Y_i - Y_{i-1})}{dx} = \text{기울기 입력값}(i=2, \dots, n)$

s_{jk}, p_j : 주어진 샘플간격 dx 에 대하여 주어지는 상수

z'_j : 바로 앞 점의 $z_j(j=1, 4)$

$$(z_1, z_2, z_3, z_4) = \left(\frac{Y_{45} - Y_1}{11}, 0, \frac{Y_{45} - Y_1}{11}, 0 \right)$$

- 계산된 값을 이용하여 다음 식을 통해 i 번째 정류경사를 구할 수 있고, 측정구간에서의 평탄성 지수 IRI는 다음 식과 같이 전체 구간의 정류경사 평균값으로 계산한다.

$$RS_i = |z_3 - z_1|_i$$

$$IRI = \frac{1}{n-1} \int_{i=2}^n RS_i$$

- IRI 범위는 다음 그림과 같이 공항활주로부터 노면 상태가 매우 불량한 비포장도로까지 적용할 수 있도록 제안되어 있다. 또한, 이론상 완전히 평탄한 도로의 경우 IRI는 0을 나타내며, 그 수치가 증가할수록 평탄성이 불량해지는 것을 나타낸다.

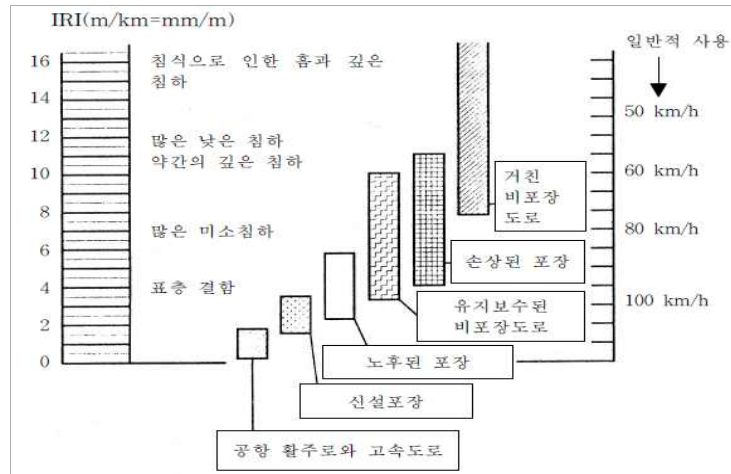


그림 54 IRI 평탄성 범위(김성호, 2001)

- ▶ 저가형 포트홀 급속보강 장치의 포트홀 조사와 더불어 평탄성 평가를 함께하기 위한 목적으로 검토되었기 때문에 측정장비 및 캘리브레이션에 비용이 많이 소요되는 IRI 측정 방법 대신 저렴한 비용에 신속한 분석이 가능한 진동가속도를 이용한 평탄성 평가 방법을 고려하였다.
- ▶ 포장 평탄성 측정 알고리즘 개발을 위해 포트홀 급속 보강 장치에 탑재되어 있는 가속도 센서를 이용하여 주행 중 발생하는 가속도를 측정, 분석하였다. 그리고 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘의 검증에 위해 자동 도로포장상태 조사장비를 통해 도로상태를 조사한 구간에서 개발장비 측정 가속도 값에 의해 계산된 평탄성과 자동 포장상태 조사장비를 통해 산출된 IRI 값을 비교, 분석하여 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘을 개발하였다.
- ▶ 도로 평탄성은 포장도로를 주행하는 차량의 주행성, 이용자의 승차감, 진동과 밀접한 연관성이 있다. ISO 2631-1 (Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole body Vibration)에서는 전신 진동에 노출된 인체에 대해 건강(Health), 안락감(Comfort), 지각(Perception) 그리고 멀미(Motion Sickness)라는 4가지 관점의 영향도를 평가하고 측정 방법 및 평가방법을 정의하고 있다(김지만 외, 2015). 다음 그림과 같이 차량에 착석한 사람에게 진동이 전달되는 경로를 발바닥, 엉덩이 그리고 등받이 부분 3가지 위치로 지정하고 각각의 위치에서의 인체 진동을 측정한다.

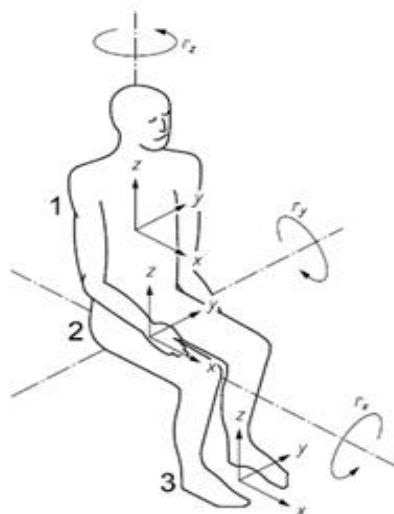


그림 55 인체 진동 지점

- ▶ 차량에 탑승한 사람은 3가지 진동경로에 대하여 진동에 노출되지만, 척추의 손상에 주된 영향을 미치는 엉덩이 위치의 진동이 승객의 건강과 연관된 주된 진동이다. ISO 2631-1에서는 엉덩이 진동 값을 건강 영향도 평가에 주된 값으로 반영하고 등받이 진동은 무시하거나 진동량의 0.8의 가중치로 합산하여 반영하도록 하고 있다
- ▶ 인간을 하나의 측정기라 생각하는 평가에 대하여 전체 진동의 생체 반응과 주관적인 승차감 평가의 개념을 객관화시켜 승차감 평가 시스템 속에 도입하기 위해서는 진동에 노출된 차량 내의 인간이 처해 있는 환경 조건을 표준화하여 동일한 조건을 바탕으로 포장을 평가할 필요가 있다.
- ▶ 미국에서는 주행 중 측정되는 충격가속도 값을 RIF(Road Impact Factor) 변환을 통해 도로 평탄성을 산정하는 연구를 수행하였다(Raj Bridgelall et al., 2016). 또한, 김정남(2016)은 자전거 주행 중 발생하는 충격량을 측정하여 자전거도로 포장면에 발생한 단차를 예측하는 연구를 수행하였다. 포장면에 발생한 단차와 주행 속도와의 관계를 회귀 분석하여 진동가속도 값에 따른 포장면 평탄성을 예측하였다. 다음 식은 측정 진동가속도를 이용한 도로 평탄성 예측모델이다.

$$R_v^L = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^{L/v} |g_z(t)v(t)|^2 dt}$$

여기서, R_v^L : 도로 평탄성
 L : 측정 거리(m)
 g : 중력가속도(충격가속도) ($\frac{m}{s^2}$)
 v : 평균 속도(km/h)

- ▶ 본 연구에서는 도로 평탄성 등급판정 알고리즘 개발을 다음 그림과 같이 개발한 포트홀 급속 보강 장치에 초음파센서와 가속도센서를 탑재하여 주행 중 발생하는 진동가속도 값을 측정하고 초음파센서값 중 양의 값 평균과 다음 식의 RIF 변환을 통해 도로 평탄성을 예측하였다. 다음 그림은 개발 장비에 탑재된 초음파 센서 및 가속도 센서이다. 초음파센서는 차량의 양쪽 측면, 가속도센서는 탑승자가 느끼는 진동에 가장 큰 영향을 미치는 의자의 엉덩이 부분에 설치하였다.



그림 56 포트홀 급속 보강 장치

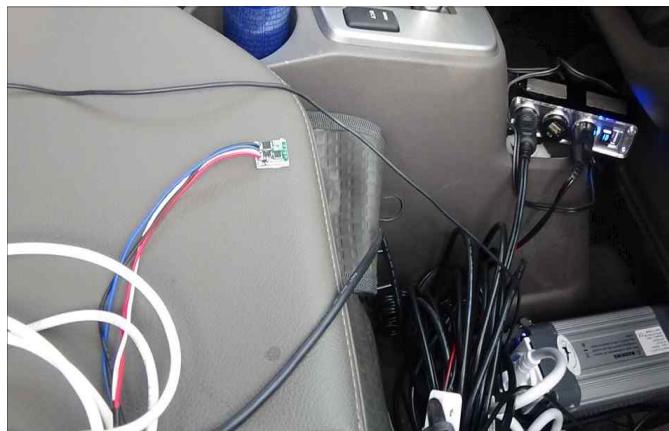


그림 57 장착 가속도 센서

- ▶ 도로 평탄성 등급판정 알고리즘의 검증을 위해 측정된 진동가속도(G 값)에 의해 계산된 평탄성과 포장상태 측정 장비를 통해 산출된 IRI 값을 비교하였다. 가속도 센서는 초당 100개 이상의 진동가속도 값을 측정하며 다음 그림은 가속도 센서와 컴퓨터 프로그램에 의해 측정된 데이터와 산출된 진동가속도 그래프이다.

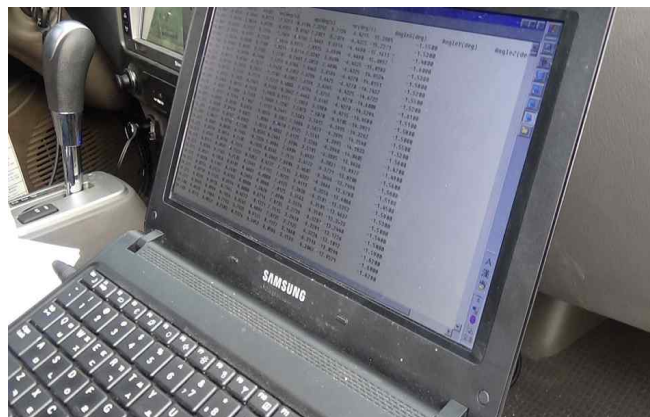


그림 58 충격가속도 측정 데이터 예시



그림 59 프로그램 산출 충격가속도 그래프 예시

표 25 현장조사 결과 데이터

No.	IRI(m/km)	G($\frac{m}{g}$)
1	5.50	0.48
2	7.21	0.66
3	2.28	0.06
4	1.78	0.02
5	3.60	0.21
6	2.03	0.14
7	6.51	0.41
8	3.81	0.06
9	4.35	0.19
10	3.91	0.31
11	4.04	0.02
12	8.00	0.68
13	5.55	0.55
14	7.10	0.60
15	5.24	0.49
16	4.90	0.37
17	4.79	0.35
18	4.44	0.01
19	5.09	0.08
20	4.62	0.17
21	9.46	0.56
22	5.57	0.54
23	3.04	0.08
24	3.08	0.20
25	4.62	0.02
26	3.29	0.04
27	5.49	0.32
28	3.42	0.20
29	3.64	0.29
30	8.66	0.01
...	...	...

- ▶ 위의 표는 개발 측정장비에 장착한 가속도 센서로 주행 중 측정된 진동가속도와 조사구간의 IRI 값이다. 위의 표의 측정 데이터 분석결과 다음 그림과 같이 도로 평탄성 및 주행성이 불량한 구간에서 IRI와 진동가속도 데이터가 급격하게 상승하는 경향을 보였다.

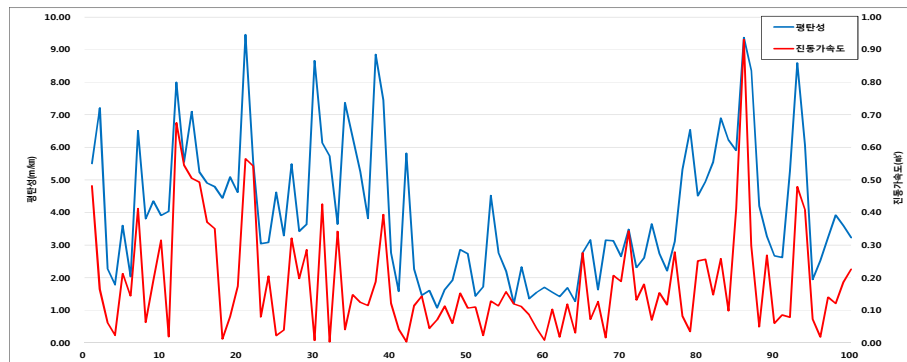


그림 60 현장측정 IRI 및 진동가속도 그래프

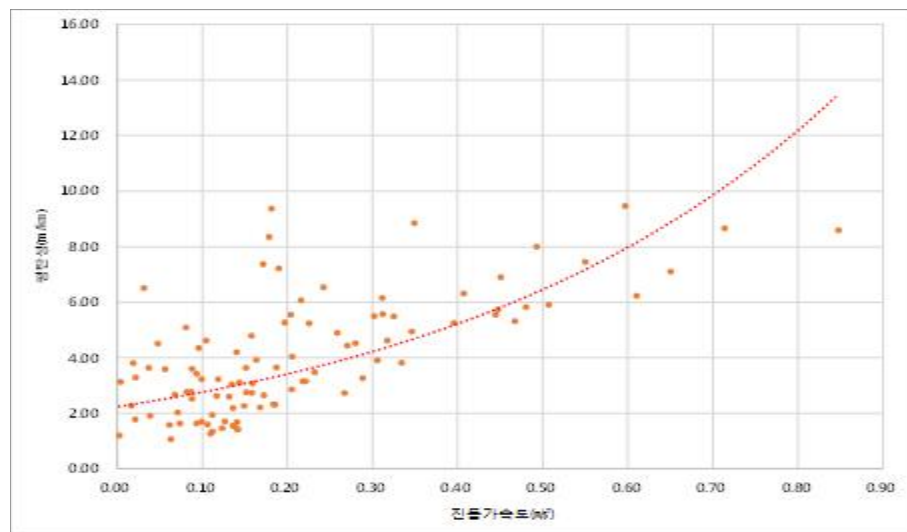


그림 61 진동가속도와 IRI 관계

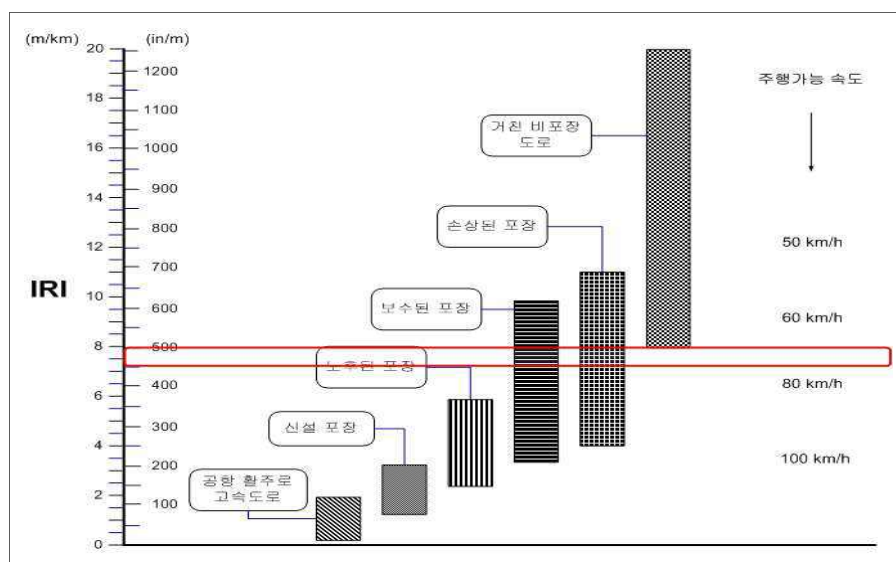


그림 62 종단평탄성(IRI)과 포장상태와의 관계(서울시, 2006)

- ▶ 현행 자동화 포장상태평가 장비 데이터와 다소 차이를 보였으나 본 연구의 목적은 고가의 자동화 포장상태평가 장비를 대신하여 경제적으로 포장상태를 평가하는데 목적이 있다. 또한 다음 그림과 같이 도로 평탄성 평가기준 범위 제시를 위해 서울시 도로 보수 기준을 대상으로 충격가속도에 따른 도로 평탄성 등급 및 유지·보수공법 적용 기준을 A, B, C등급 3단계로 구분하였다. 다음의 표는 진동가속도에 따른 평탄성 등급 및 유지·보수 적용 기준이다.

표 26 충격가속도에 따른 유지·보수공법 적용 기준

평탄성 등급	IRI (m/km)	G($\frac{m}{s^2}$)	유지·보수공법	
A	7.5 이하	0.15 이하	소파보수	
B	7.5~10.5	0.15~0.70	절삭 덧씌우기 I	표층 5 cm
C	10.5 이상	0.70 이상	절삭 덧씌우기 II	표층 5 cm+기층 7 cm

- ▶ 제시된 도로 평탄성 등급판정 알고리즘의 적용성 검토를 위해 김천시 관내 3개 노선을 조사하였다. 현장적용 결과는 다음 그림과 같다.

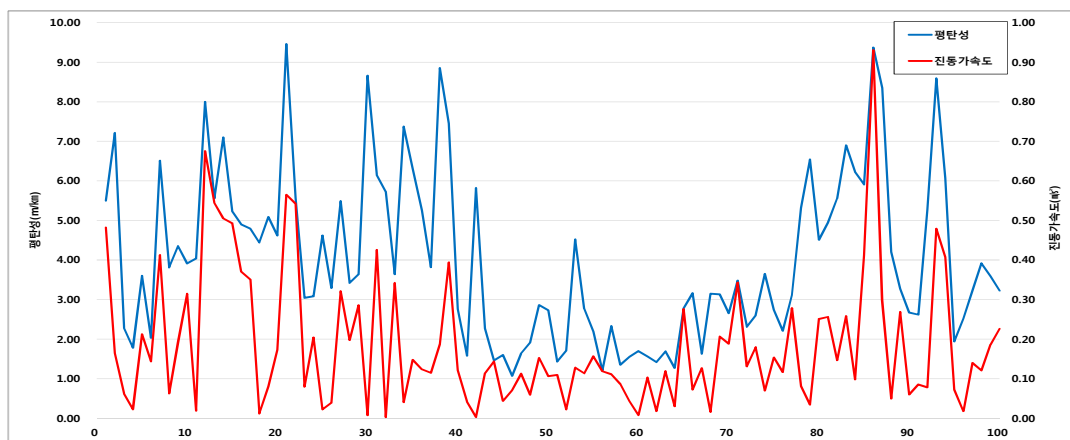


그림 63 A 현장 적용 결과

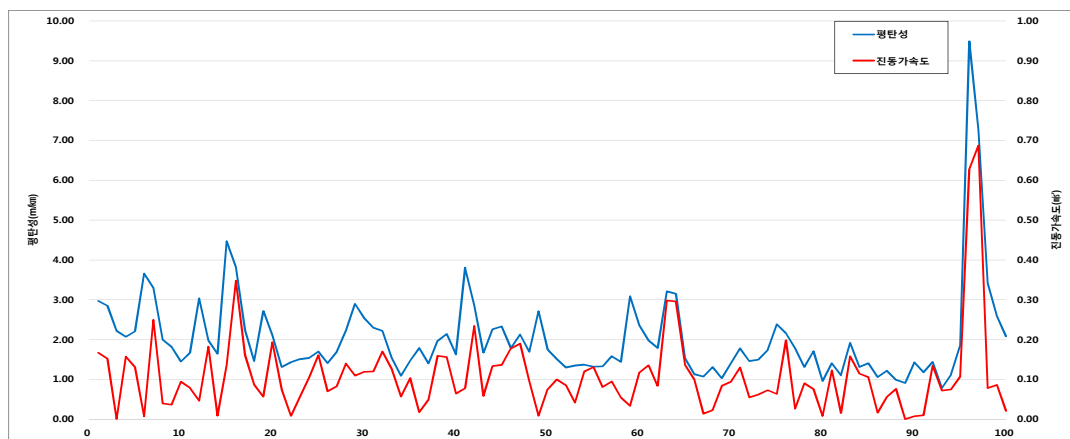


그림 64 B 현장 적용 결과

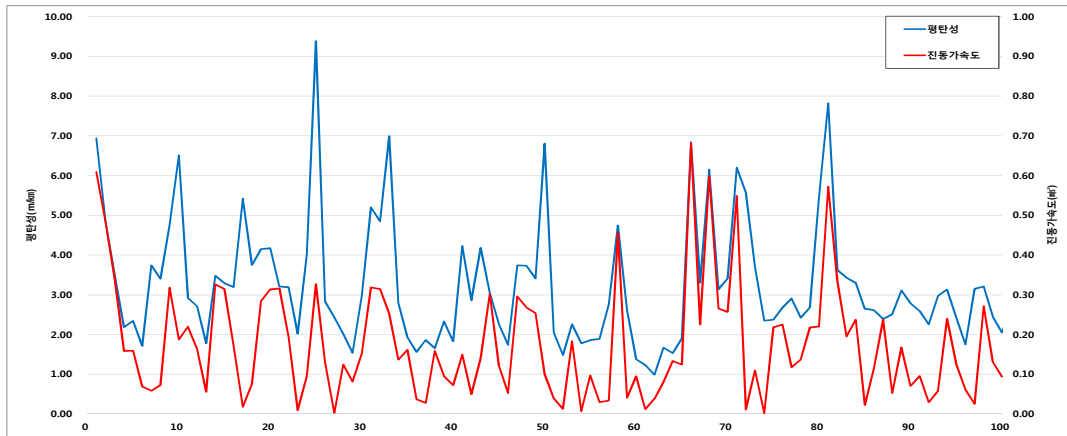


그림 65 C 현장 적용 결과

- ▶ 조사된 데이터의 활용도를 높이기 위해 분석 결과를 다음 그림과 같이 20m단위 구간으로 구분하여 도시화하였다. 또한, 조사 현황을 데이터 베이스화 함에 따라 포장도로 보수이력 관리가 가능하여 보다 편리하게 도로관리가 가능할 것으로 판단된다.
- ▶ 본 연구를 통해 개발된 포트홀 급속 보강 장치는 기존에 포트홀 감지와 보수·보강 장비를 별도로 운영하는 방법을 단일 장비로 동시에 수행이 가능할 뿐만 아니라 주행중 도로 평탄성 평가까지 수행할 수 있어 효율성이 높을 것으로 판단된다. 또한 현장 조사 데이터를 축적 및 데이터 베이스화 함에 따라 보다 세분화된 도로 평탄성 등급기준 제시와 보수이력 관리가 가능하여 편리하게 도로 관리가 가능할 것으로 보인다.

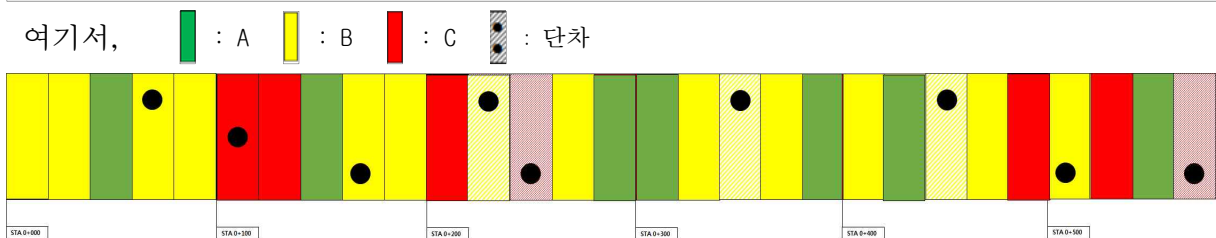
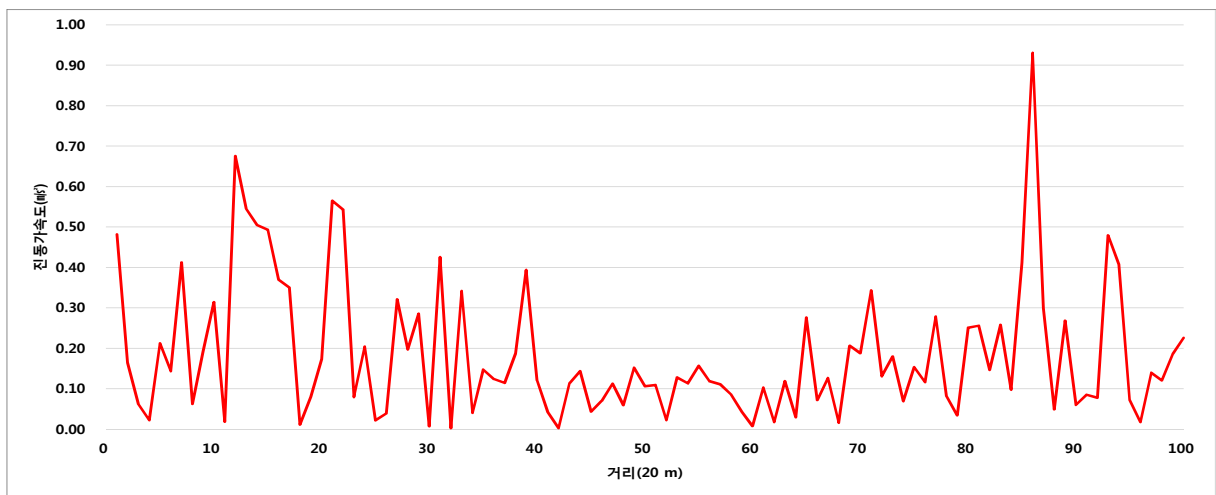


그림 71 도로 평탄성 등급판정 정리 도표

▶ 아래 표는 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘의 S/W 일부이다.

표 27 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 소스 코드 일부

```
//도로 평탄성 계산=====

void CPlateDlg::DoFileOpen(CString path)
{
    FILE *fp = NULL;
    fp = fopen(path.GetBuffer(0), "r");
    if (!fp) {
        return;
    }
    int nInitT = -1, nPrevT = -1, nTick;
    double dTime, dX, dY, dZ, dX2, dY2, dZ2, dVal, dValSum = 0, dPrevX, dPrevY,
    dPrevZ, dPrevVal;

    m_arrPlate.RemoveAll();

    CString csLine;
    int line = 0, count, tot=0;
    CString strData[4];
    char *seps = ",";
    char *token;

    do
    {
        char ch = fgetc(fp);
        if (ch == '\n')
        {
            count = 0;

            token = strtok((char*)(LPCTSTR)csLine, seps);
            while (token != NULL)
            {
                strData[count].Format("%s", token);
                token = strtok(NULL, seps);
                count++;
                if (count>3) break;
            }
            if (count == 4)
            {
                dTime = atof(strData[0]);
                if (dTime > 0)
                {
                    dX = atof(strData[1]);
                    dY = atof(strData[2]);
                    dZ = atof(strData[3]);
                    if (nInitT < 0)
                    {
                        m_nTimer = SetTimer(101, 1000, NULL);

                        nInitT = (int)dTime;
                        dPrevX = dX;
                        dPrevY = dY;
                        dPrevZ = dZ;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

▶ 도로 평탄성 등급 판정 프로그램 시스템 적용

Tick	ax(g)	ay(g)	az(g)	가속도	등급
5	0.2026	-0.0195	0.7158	0.400109	B
6	0.2412	-0.0186	0.7505	0.370917	B
7	0.2061	-0.0078	0.8345	0.279290	B
8	0.1846	0.0342	0.7212	0.309706	B
9	0.1685	-0.0215	0.7051	0.405690	B
10	0.2544	-0.0498	0.7832	0.336899	B
11	0.2070	-0.0352	0.6509	0.269044	B
12	0.2212	-0.0415	0.8350	0.496360	B
13	0.2100	-0.0498	0.7749	0.296947	B
14	0.2192	-0.0239	0.7051	0.311947	B
15	0.2344	-0.0410	0.7646	0.321283	B
16	0.1855	0.0068	0.6577	0.378829	B
17	0.1733	0.1377	0.7314	0.448479	B
18	0.1685	0.0713	0.6880	0.365871	B
19	0.1826	-0.0479	0.7339	0.333839	B
20	0.2139	-0.0376	0.7642	0.383539	B
21	0.2241	-0.0381	0.7480	0.407010	B
22	0.2212	0.0161	0.8066	0.364128	B
23	0.2222	-0.0039	0.7500	0.379676	B

그림 67 도로 평탄성 등급 판정 프로그램 표출

(6) 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 개발

- ▶ 서울시 시설관리공단 도로관리처(2015)에서는 포트홀 6시간내 응급복구제를 시행하고 있으며, 강우 직전 포트홀 발생 예방보수를 강화하고 여름철 연속 강우대비 주·야간 시간대별 효율적 정비반을 편성하여 운영하고 있다.
- ▶ 포트홀을 A등급(긴급), B등급(보통), C등급(관찰) 세단계로 구분하여 A등급은 즉시 소파항구보수를 진행하고 B등급은 순차적 정비를 시행하며 C등급은 지속관찰 후 후순위정비를 시행하고 있다. 응급보수 후에는 등급별 이력관리를 시행하고 있으며, A등급은 7일 이내 항구복구 시행을 원칙으로 하며, B등급은 노후포장 개량 구간에 검토를 반영하고 C등급은 지속관찰 후 개량 검토를 실시하고 있다.
- ▶ 도로 관리 담당자의 포트홀 등급별 보수 우선순위를 결정을 지원 할 수 있도록 측정된 전체 포트홀의 상세 데이터를 출력하고, 담당자가 포트홀 등급에 맞게 직접 설정한 지름보다 큰 포트홀만 추출하여 표출하며, 단가 산출 프로그램에서 산출 된 보수시공단가 등을 종합하여 보수할 포트홀 우선 순위를 결정하게 된다.
- ▶ 보수 대상으로 선택된 포트홀의 상세정보를 출력 화면에 표출하고 저장할 수 있으며 차후 포트홀 보수 시공 시 포트홀 네비게이터의 입력 자료로 사용하여 해당 포트홀을 찾아가 보수 할 수 있다.
- ▶ 아래의 표는 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 S/W 일부이다.

표 28 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 소스 코드 일부

```
void CPropertyBarDlg::ReloadList2()
{
    LVITEM lvi;
    CString strTmp;
    CString strText;
    memset(&lvi, 0, sizeof(lvi));
    lvi.mask          = LVIF_TEXT;

    m_lstProperty2.DeleteAllItems();

    SHole* hole;
```

```

int nIdx=0;
double dTotVol=0, dTotPrice=0;

strText = "Total";
lvi.iltem = 0;
lvi.iSubItem = 0;
lvi.pszText = (LPTSTR)(LPCTSTR)strText;
m_lstProperty2.InsertItem(&lvi);

for(int i=0; i<GetView()->GetDocument()->m_arrCode.GetCount(); i++)
{
    hole=&GetView()->GetDocument()->m_arrCode.GetAt(i);

    if(hole->dDia < m_dLimit) continue;

    strText.Format("%d", hole->nCode);
    lvi.iltem = nIdx+1;
    lvi.iSubItem = 0;
    lvi.pszText = (LPTSTR)(LPCTSTR)strText;
    m_lstProperty2.InsertItem(&lvi);
}

```

Prop	Value
Group	7
Dim	15.247000 Cm
Volum	728.033581 Cm ³
대표 좌표	468068.6000, 209548.1200
대표 고도	0.0000
Num 1	468068.3430, 209548.2740
Num 2	468068.3890, 209548.2430
Num 3	468068.4200, 209548.2200
Num 4	468068.4690, 209548.2090
Num 5	468068.5000, 209548.2100
Num 6	468068.5310, 209548.2090
Num 7	468068.5470, 209548.1920
Num 8	468068.5940, 209548.1880
Num 9	468068.6410, 209548.2010
Num 10	468068.6720, 209548.1970
Num 11	468068.7340, 209548.2050

C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm ³)
1		46.45700...	10765.80...
2		28.48000...	4619.281...
3		27.91100...	2899.072...
4		4.335000...	15.95095...
5		2.034000...	7.341036...
6		2.288000...	8.321155...
7		15.24700...	728.0335...
8		9.388000...	270.2043...
9		19.31400...	2131.778...
10		2.872000...	45.65266...

그림 68 우선순위 결정을 위한 포트홀 사이즈 선택(붉은 색) 및 선택된 포트홀 리스트

그림 69 우선순위 결정 지원 프로그램 중 포트홀 보수 우선순위 대장

라. GPS데이터 연동 처리 기능 및 포트홀 네비게이터 개발

- ▶ 포트홀 각각의 크기 및 위치를 GPS데이터와 맵핑을 수행
- ▶ 측정 프로그램과 공유메모리를 통해 GPS좌표정보 공유하고 화면에 좌표와 속도를 표시
- ▶ 찾아가야 할 포트홀을 선택하면 목적지까지의 거리와 방향을 표시
- ▶ 목적지를 찾기 쉽도록 화면 회전, 중앙선에서의 거리등의 정보 계산 표시
- ▶ 방향을 가늠하기 힘든 현장을 위해 현재 태양의 위치화 고도 표시
- ▶ 아래 표는 포트홀 네비게이터 S/W 일부이다.

표 29 포트홀 네비게이터 소스 코드 일부

```
void CLoadHoleView::DoUpdateGpsData()
{
    CCadMgr* pCadMgr = GetDocument()->GetCadMgr();
    if(pCadMgr->IsLoaded()==FALSE || g_CadOption.nCurFile<0)
        return;

    double dLineDeg, dLineDeg2;
    //목표홀과의 거리 계산
    if(g_pBase && g_pPLine)
    {
        CPoint cpt;
        double dDist, dGap;
        double dDist2, dGap2;

        bool ret = MathUtil::GetMinPointFromLine(&g_pPLine->m_arrPoints,
            g_MData.m_pt, &cpt, &dGap, &dDist, &dLineDeg);
        if(dDist>0.00001)
        {
            bool ret2 = MathUtil::GetMinPointFromLine(&g_pPLine->m_arrPoints,
                g_pBase->pt, &cpt, &dGap2, &dDist2, &dLineDeg2);

            g_MData.dPDist=dDist2-dDist;
            g_MData.dPGap=dGap2-dGap;
        }
    }
}
```

```

    }
    else
    {
        g_MData.dPDist=MathUtil::GetDistance(g_pBase->pt,g_MData.m_pt);
        g_MData.dPGap=0;
    }
}
else if(g_pBase)
{
    g_MData.dPDist=MathUtil::GetDistance(g_pBase->pt,g_MData.m_pt);
    g_MData.dPGap=0;
}
else
{
    g_MData.dPDist=0;
    g_MData.dPGap=0;
}
}

```

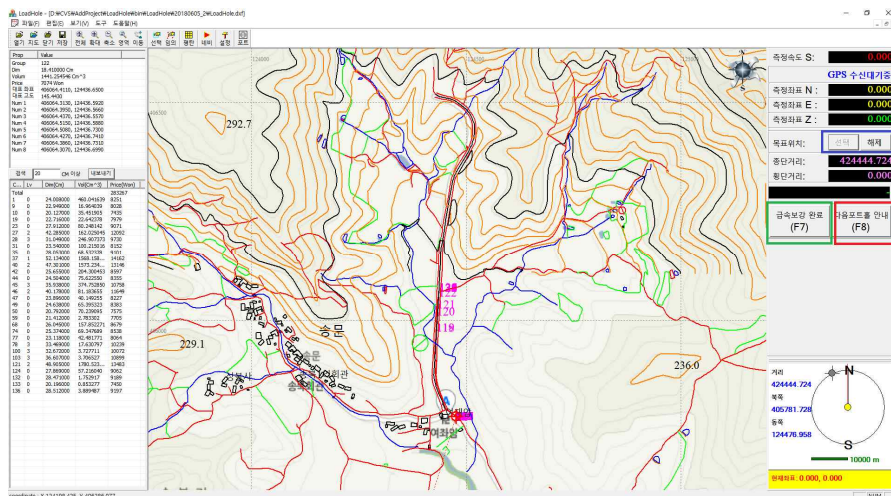


그림 70 포트홀 네비게이터

마. 통합 관리/제어 프로그램 개발

- ▶ 포트홀 검출 프로그램, 급속시공 물량 산출 프로그램, 급속시공 단가산출 프로그램, 도로 평탄성 등급 판정 프로그램, 급속시공 우선순위 의사결정 지원 프로그램, 포트홀 네비게이터 프로그램을 통합한 관리/제어 프로그램 개발.
- ▶ UI / UX 개발
- ▶ 아래 표는 통합 관리/제어 프로그램 S/W 일부이다.

표 30 통합 관리/제어 프로그램 소스 코드 일부

```

void CPropertyBarDlg::OnBnClickedButtonExport()
{
    UpdateData();

    static char BASED_CODE szFilter[] = "ExcelData Files (*.xlsx)|*.xlsx|";
}

```

```

CFileDialog DataRead(FALSE, // TRUE for FileOpen, FALSE for FileSaveAs
    "xlsx", NULL,
    OFN_PATHMUSTEXIST | OFN_OVERWRITEPROMPT,
    szFilter,
    NULL);

```

```

int nFileRead = DataRead.DoModal();

```

```

CString SourceFile, DestinationFile;
if (IDOK == nFileRead)
    DestinationFile = DataRead.GetPathName();
else
    return;

```

```

SourceFile.Format("%s\\Src\\HoleReport.xlsx", theExePath);
DeleteFile(DestinationFile);

```

```

CMessageWnd messageWnd;
messageWnd.Create(CMessageWnd::IDD);
messageWnd.CenterWindow();
messageWnd.SetWindowText("엑셀파일 생성 중입니다.");
messageWnd.ShowWindow(SW_SHOW);
messageWnd.UpdateWindow();

```

```

CXLEzAutomation XL(FALSE);
if (!XL.OpenExcelFile(SourceFile))
{
    XL.ReleaseExcel();
    messageWnd.DestroyWindow();
    EndWaitCursor();
    MessageBox("Failed to Open Excel File", "Error", MB_OK);
    return;
}

```

```

CString val, code, lv, dim, vol, y, x, price;
int nSum=0, nPrice;
for (int i = 1; i<m_lstProperty2.GetItemCount(); i++)
{
    code = m_lstProperty2.GetItemText(i, 0);
    lv = m_lstProperty2.GetItemText(i, 1);
    dim = m_lstProperty2.GetItemText(i, 2);
    vol = m_lstProperty2.GetItemText(i, 3);
    price = m_lstProperty2.GetItemText(i, 4);
}

```

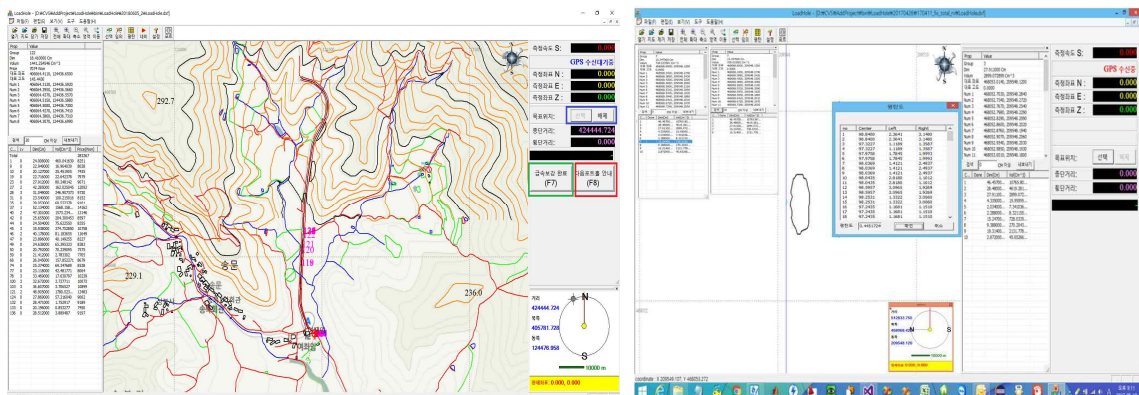


그림 71 통합시스템 일부

바. 차량탑재용 기구 설계 및 제작

- ▶ 통합시스템(데이터분석 플랫폼 포함) 기구설계

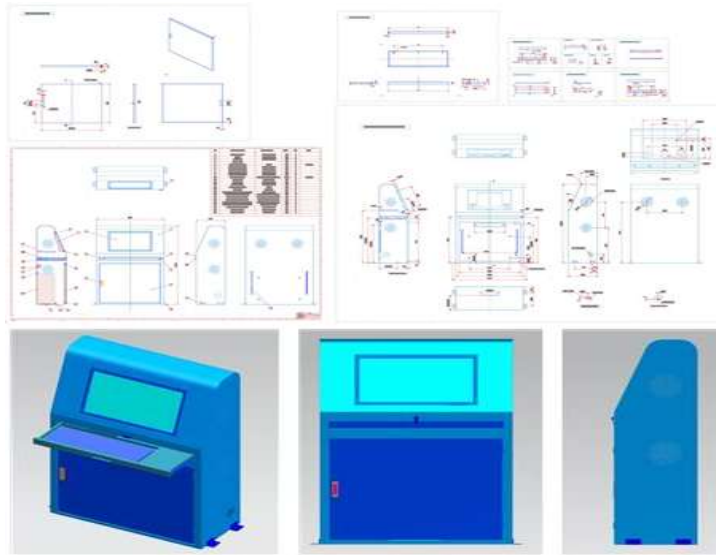


그림 72 통합시스템 기구설계 도면 및 3D렌더링

- ▶ 통합시스템 Working Mockup 제작



그림 73 통합시스템 워킹목업

4. 수요처 간담회

- 포트홀 발생 현황 및 지자체 보유 예산에 따른 보수 방법 및 보수 단계와 개발품에 대한 포트홀 관리 담당자의 의견을 수렴하기 위한 수요처 간담회를 실행하였다.
- 부여군청, 서울시 성동도로사업소, 서울시 동부도로사업소를 방문하였으며, 도로 관리 담당 주무관을 비롯한 포트홀 복구를 시공하는 담당자가 참석하였다.

가. 부여군청 간담회

- ▶ 포트홀 자동 감지 및 급속보강 시스템 소개
 - 20mm 급 포트홀 감지 가능 ; 포트홀의 체적감지 및 자동 물량산출 가능
 - 급속보강 시스템 개발 ; 우선보수 순위 의사결정 지원 및 급속보강
- ▶ 부여군청의 도로 유지보수 현황
 - 도로 유지보수 비용으로 10억의 예산 보유
 - 우천시 발생하는 포트홀 및 도로파손에 대한 유지보수가 매우 중요함
 - 포트홀 자동 감지 및 자동 물량산출이 가능한 점에서 매우 우수하다고 판단되며, 현장 적용성에 대한 검토가 필요함.
- ▶ 현장적용 실용화 타당성 의견
 - 테스트 베드 시범 운영의 중요성 강조
 - 현장적용을 통해 실용화 타당성 및 시스템의 검증이 매우 중요함



그림 74 부여군청 간담회

나. 서울특별시 성동도로사업소 간담회

- ▶ 포트홀 자동 감지 및 급속보강 시스템 소개
 - 20mm 급 포트홀 감지 가능 ; 포트홀의 체적감지 및 자동 물량산출 가능
 - 급속보강 시스템 개발 ; 우선보수 순위 의사결정 지원 및 급속보강
- ▶ 서울시 성동도로 사업소의 도로 유지보수 방안
 - 도로 유지보수 비용으로 약 25억/년의 예산을 보유하고 있음.
 - 현재 서울시에서 로드 스캐너, FWD, GPR(동공탐사기, 지표투과레이더[Ground Penetrating Radar])를 이용하여 도로 표면조사 뿐만 아니라 동공조사를 포함하여 도로 유지보수 수행 중에 있음.
 - 그러나, 외산 장비를 이용하여 도로 유지관리를 하고 있으나, 고가의 장비로 활용도가 낮음
- ▶ 현장적용 실용화 타당성 의견
 - 경제적인 방법으로 도로유지관리가 가능하다면 경쟁력이 있다고 판단됨.



그림 75 서울특별시 성동도로사업소 간담회

다. 서울특별시 동부도로사업소 간담회

- ▶ 포트홀 자동 감지 및 급속보강 시스템 소개
 - 20mm 급 포트홀 감지 가능 ; 포트홀의 체적감지 및 자동 물량산출 가능
 - 급속보강 시스템 개발 ; 우선보수 순위 의사결정 지원 및 급속보강
- ▶ 서울시 성동도로 사업소의 도로 유지보수 방안
 - 긴급 앱을 활용하여 택시, 버스를 이용한 도로 포트홀 신고체계를 확립하여 발생 현황을 파악하고 이에 대하여 보수를 실시하고 있음.
 - 그러나, 주로 인력으로 수행되는 작업으로 발생 현황에 대한 데이터 관리가 어려운 실정임.
- ▶ 현장적용 실용화 타당성 의견
 - 포트홀 보수 시간, 규격 등을 확인하여 빅데이터화가 필요하며 이에 대한 현장적용 조사가 충분히 이루어져야 함.



그림 76 서울특별시 동부도로사업소 간담회

제3절. 현장 시험 및 운영

1. 현장 시험(2차년도)

가. 개요 및 목표

(1) 개요

- ▶ 날짜 : 2017년 4월 10일 ~ 11일
- ▶ 장소 : 경상북도 안동시 (안동대교~시외버스터미널간(대로1-13)) 도로확장공사 구간
- ▶ 방법 : 포트홀 생성 후 장비 및 프로그램 구동 확인

(2) 목표

- ▶ 50mm급 이상 포트홀 센싱데이터 확인하여 검지됨을 확인하고 포트홀 크기를 감지하는 여부 확인
- ▶ 급속시공 단가산출 및 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 시스템 구동 확인
- ▶ 최적 상온 급속보수재료 현장 적용 시험

(3) 현장 시험 내용

- ▶ 현장 시험 순서는 인위적으로 도로 노면에 포트홀을 생성하고 도로의 포트홀 감지 및 평탄성 스캔을 진행 후 감지된 포트홀의 급속시공 및 상온 급속보수재료의 현장 적용 시험과 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘의 시스템 구동여부를 확인하였다.



그림 77 포트홀 생성



그림 78 노면 포트홀 및 도로 평탄성 스캔

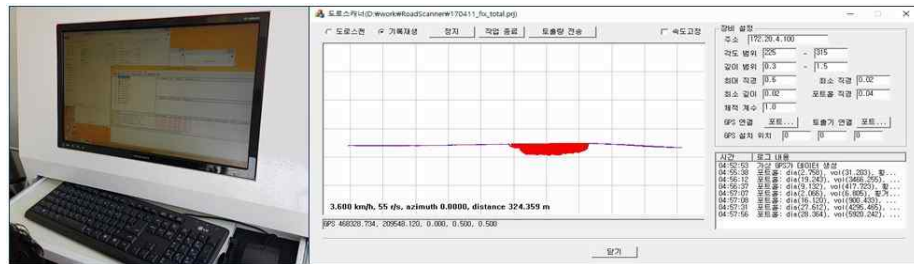


그림 79 포트홀 감지

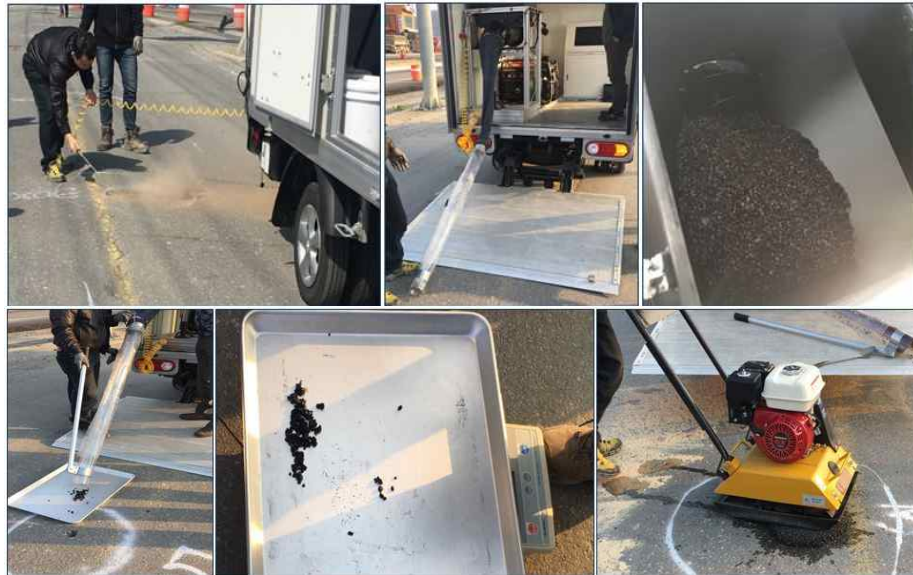


그림 53 포트홀 급속 보강



그림 54 포트홀 급속시공 완료

(4) 현장시험결과

- ▶ 50mm 이상급 포트홀 센싱데이터 확인하여 검지됨을 확인하고 포트홀 크기를 감지하는 여부 확인

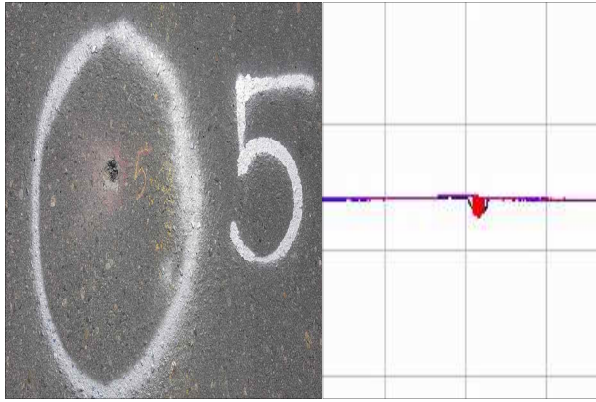


그림 18 노면 포트홀 멀티빔 감지 실험

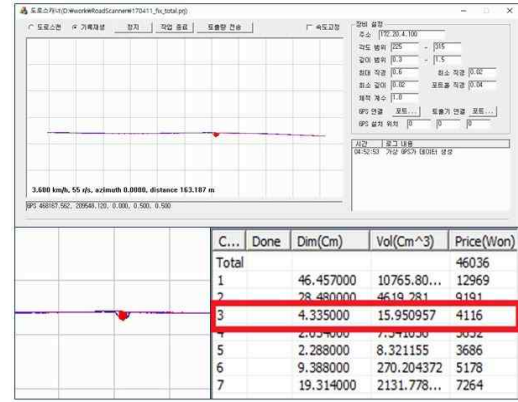


그림 19 검지 포트홀 인식 실험

▶ 급속시공 단가산출 및 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 시스템 구동 확인

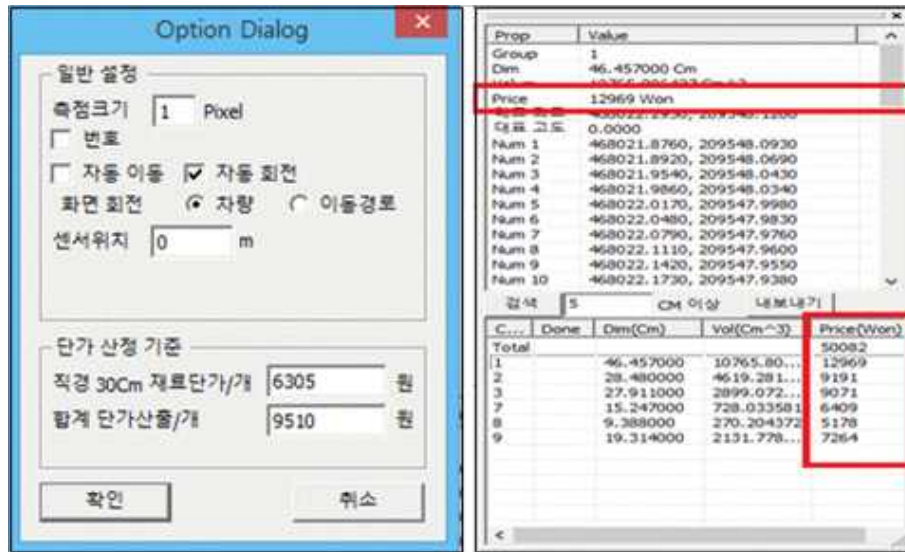


그림 21 급속시공 단가산출 알고리즘 구동 실험

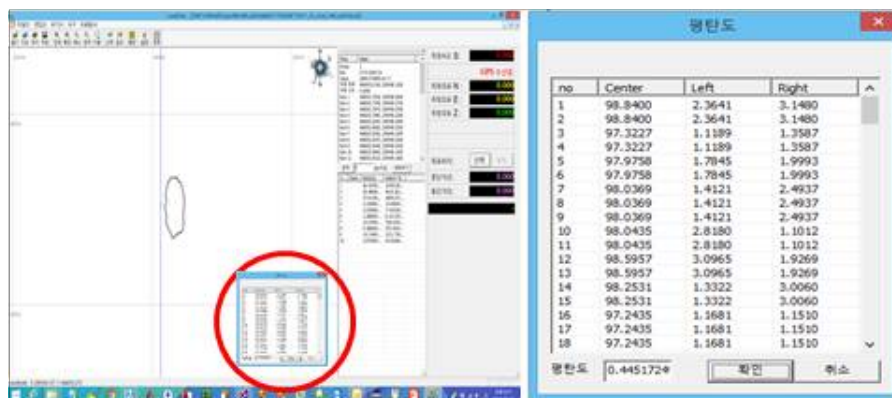


그림 20 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 구동 실험

▶ 최적 상온 포트홀 보수재 현장 적용 실험



그림 22 최적 상온 포트홀 보수재 현장 적용 실험

- 포트홀 보수에 사용한 재료는 수경성 상온 아스팔트 혼합물로 실내 실험에서 다짐 후 밀도가 2.199 g/cm^3 의 재료이다. 자동화 장비를 통해 급속 보강한(다짐까지 완료된) 부위의 혼합물 코어링 작업 후 부착강도와 밀도 및 안정도를 측정하였다.
- 포트홀 보수는 일반적인 아스팔트 콘크리트 포장과 달리 불규칙한 형상의 파손 부위를 보수하는 것으로 국토교통부(2017) “아스팔트 콘크리트 포장 시공 지침”의 통상적인 아스팔트 콘크리트 포장 시공 후에 실시하는 밀도 측정이나, 두께, 마찰안정도 시험 등의 항목에 해당되지 않는다. 그러나 개발 기술의 효율성을 검토하기 위해 일정 규모 이상의 포트홀 보수 개소에 대해 코어 시료를 채취하여 밀도 측정과 마찰안정도를 측정하여 부피에 따른 적절한 재료량의 결정 여부를 확인하였으며, 기존 포장과의 부착강도 측정을 통해 품질확보를 평가하였다.
- 정확한 재료 물량을 사용하는 것은 재료 낭비 최소화뿐만 아니라 다짐율을 확보하여 품질을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 현장 코어링 시편의 밀도를 KS F 2364(다져진 아스팔트 혼합물의 공극률 시험 방법)에 따라 측정한 결과 평균 2.150 g/cm^3 로 실험실 밀도 2.199 g/cm^3 의 97.7%로 나타났다. 아래 표는 현장 품질시험 결과표이다. 일반적인 아스팔트 콘크리트 포장의 현장다짐률 기준이 96% 이상인 것을 감안할 경우 적정한 물량을 사용하여 품질 확보가 가능한 것으로 확인 되었다.
- 코어링이 가능한 크기의 포트홀 보수에 한하여 부착강도와 채취 코어 시료에 대한 마찰

안정도 실험을 KS F 2337(아스팔트 혼합물의 마찰 안정도 및 흐름값 시험방법)에 따라 수행하였다. 안정도 시험결과 평균 10,369 N으로 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물 품질 기준은 크게 상회하는 것으로 나타났다.

- 또한, 자동화 장비를 통해 급속 보강이 완료된 부위를 코어링 작업 후 Pull-off 시험기를 사용하여 부착강도를 측정하였다. 부착강도와 관련한 국내 기준이 없어 ASTM D4541(Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers)에 따라 시험을 수행하였다. 시험은 사전에 포장표면에 에폭시 본드를 사용해 금속플레이트를 부착하고 유압기를 이용하여 상하부층이 분리될 때 하중을 측정하는 것으로 시험 후 상부와 하부가 분리된다. 인발시험 결과 상하부층간의 부착강도는 0.4 ~ 0.5 MPa로 측정되었으며, 이는 교면포장에서 방수층 인장 접착강도 기준이 상온에서 0.8 MPa 이상이며 코어링 작업에 의해 교란된 시편 상태에서 0.6 MPa 까지 허용되는 것을 감안하였을 때 비교적 양호한 부착성능을 나타내는 것으로 판단된다.

표 31 현장 시험결과(2차년도)

구 분	시험방법	품질기준	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Avg.
밀도(g/cm³)	KS F 2364	-	2.095	2.172	2.184	2.150
안정도(N)	KS F 2337	7,350 이상	10,250	9,598	11,259	10,369
부착강도(MPa)	ASTM D4541	-	0.46	0.49	0.54	0.50

2. 현장 시험(3차년도)

- 지자체(김천시)에서 제공한 도로에 인위적인 포트홀을 5mm, 10mm, 20mm, 100mm, 200mm, 300mm를 생성하고 멀티빔을 이용하여 포트홀 20mm급 이상 감지실험 및 도로 평탄성 감지 실험을 진행하고, 감지 데이터를 활용한 도로평탄성 등급 판정, 급속시동 물량산출, 급속시공 단가산출, 급속시공 우선순위 의사결정 지원, 포트홀 네비게이터의 동작을 확인하고 상온 급속보강 재료의 현장 적용 시험을 진행하였다.

가. 개요 및 목표

(1) 개요

- ▶ 날짜 : 2018년 6월 4일 ~ 5일
- ▶ 장소 : 경상북도 김천시 폐도로(군도 19호선)
- ▶ 방법 : 포트홀 생성 후 장비 및 프로그램 구동 확인

(2) 목표

- ▶ 포트홀 센싱데이터, 포트홀 감지 확인과 20mm급 이상 포트홀 크기 감지 여부확인
- ▶ 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 시스템 구동 확인
- ▶ 급속시공 물량산출 및 급속시공 단가산출 알고리즘 구동 확인
- ▶ 급속시공 우선순위 의사결정 지원 알고리즘 구동 확인

- ▶ 최적 상온 급속보수재료 현장 적용 시험
- ▶ 급속보강 GIS 안내 네비게이터 구동 확인
- ▶ 통합 관리/제어 프로그램 구동 확인

(3) 현장시험내용

- ▶ 시험순서는 아래와 같다.
 - 지자체(김천시)에서 제공한 도로에 인위적으로 포트홀 5mm, 10mm, 20mm, 50mm, 100mm, 200mm, 300mm를 총 40개 생성



그림 60 노면 포트홀 생성

- 멀티빔을 이용하여 포트홀 20mm급 이상 감지실험을 왕복 50회(총100회) 실시 및 도로 평탄성 감지 실험을 진행



그림 61 노면 포트홀 감지 실험



그림 62 도로 평탄성 측정 시험

- 감지 된 포트홀에 대한 급속 보강 장비로 포트홀 보수

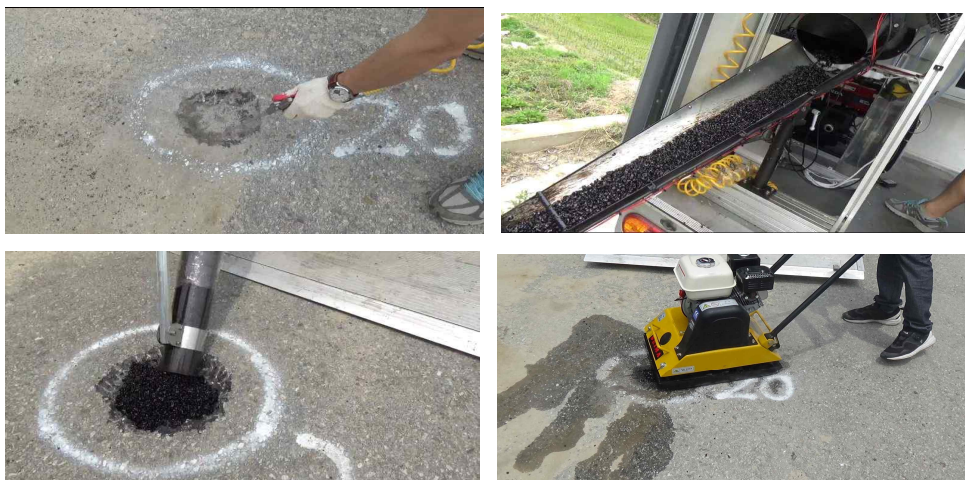


그림 63 포트홀 급속 보강

(4) 현장시험결과

▶ 20mm급 이상의 포트홀 감지 확인

- 20mm급 이상의 포트홀 감지 확인과 포트홀 감지 최소크기 설정에 따른 포트홀 감지를 확인하였으며 포트홀 감지 크기를 20mm이상으로 한 경우 인위적으로 생성한 포트홀 이외의 20mm이상 포트홀 감지를 확인하였음.

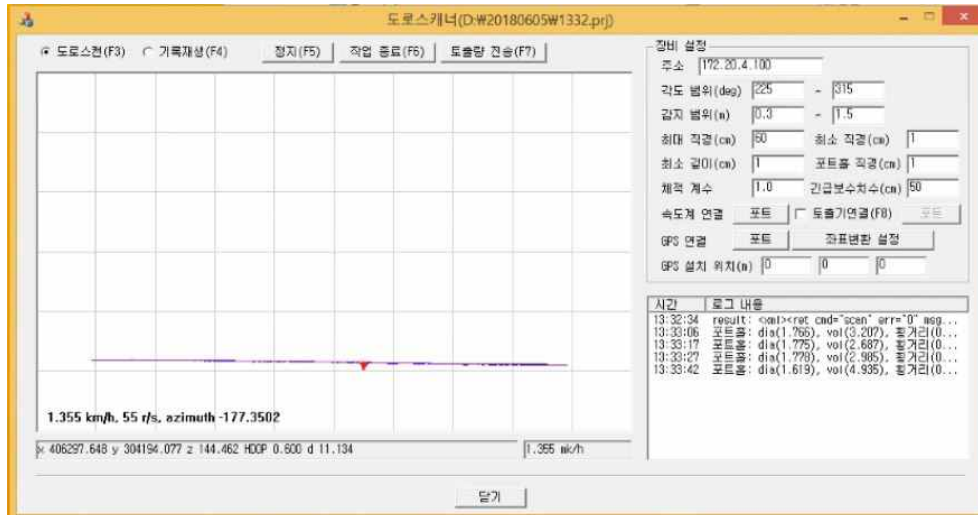


그림 64 포트홀 20mm 감지

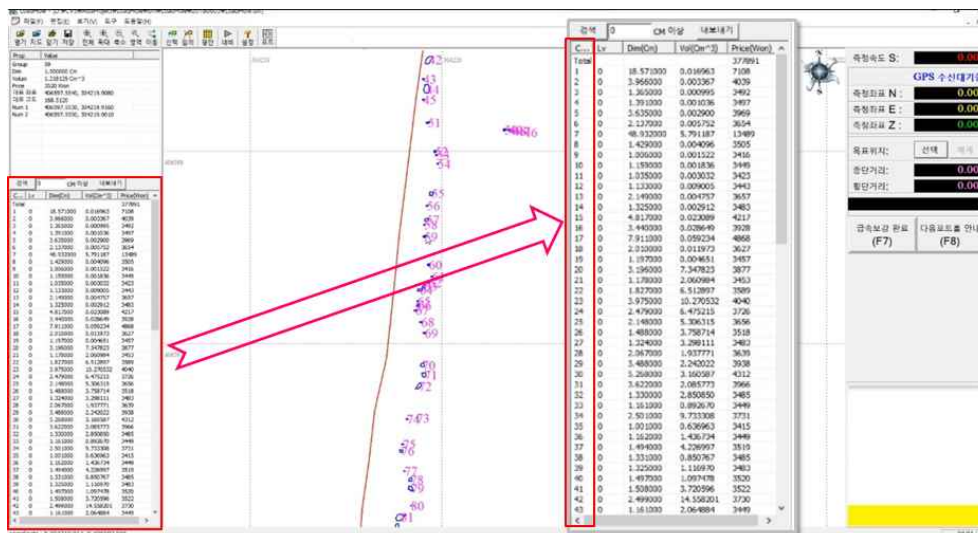


그림 65 포트홀 20mm급 이상 감지 화면

C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)		C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)		C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)	
Total				274844		Total				395744		Total				6514359	
1		2.473000	0.017891	3725		1		3.801000	21.434278	4004		1		2.234000	10.087543	3675	
2		52.950000	1219.642...	14333		2		5.345000	53.704772	4328		2		14.808000	737.215625	6317	
3		48.904000	668.160474	13483		3		15.881000	109.203259	6543		3		56.700000	1327.184...	15121	
4		52.216000	1122.526...	14179		4		3.394000	33.552348	3918		4		26.012000	2515.542...	8672	
5		47.859000	215.103643	13263		5		3.248000	16.519863	3888		5		58.203000	2336.574...	15437	
6		48.793000	188.981912	13460		6		21.535000	1309.621...	7731		6		10.913000	17.336209	5499	
7		51.177000	486.325927	13961		7		4.154000	22.181964	4078		7		16.136000	26.278231	6596	
8		11.177000	9.815162	5554		8		7.843000	243.479253	4853		8		33.614000	449.981267	10270	
9		53.165000	821.068086	14379		9		6.496000	28.648849	4570		9		44.154000	270.427132	12485	
10		52.062000	589.772815	14147		10		2.455000	3.483823	3721		10		7.188000	58.500979	4716	
11		3.796000	6.467594	4003		11		5.170000	17.257170	4292		11		5.916000	31.615654	4448	
12		2.170000	4.695689	3661		12		2.285000	3.104700	3685		12		9.383000	24.784835	5177	
13		8.539000	92.178638	5000		13		9.920000	145.349834	5290		13		4.268000	15.510959	4102	
14		2.455000	2.805991	3721		14		28.871000	638.414863	9273		14		13.517000	267.407347	6046	
15		17.935000	7.607362	6974		15		3.406000	17.077546	3921		15		32.459000	1402.204...	10027	
16		22.981000	10.498638	8035		16		2.421000	4.250694	3714		16		2.417000	2.742461	3713	
17		2.118000	0.343442	3650		17		2.702000	8.848296	3773		17		4.234000	5.063296	4095	
18		13.929000	25.668792	6132		18		4.203000	12.223620	4088		18		2.017000	2.841600	3629	
19		8.447000	17.817728	4980		19		12.593000	65.670910	5852		19		7.728000	30.042004	4829	
20		2.326000	3.339649	3694		20		3.677000	16.375555	3978		20		3.052000	3.339854	3846	
21		2.400000	9.124490	3709		21		2.781000	3.910709	3789		21		3.059000	3.966401	3948	
22		10.114000	46.955793	5331		22		28.616000	314.249360	9219		22		12.109000	15.062809	5750	
23		3.506000	19.721177	3942		23		5.437000	8.812130	4348		23		27.685000	262.722633	9023	
24		6.517000	70.903095	4575		24		12.701000	103.499402	5874		24		2.405000	2.693874	3710	
25		3.788000	20.058732	4001		25		2.785000	4.087238	3790		25		3.258000	11.902795	3890	
26		2.574000	5.208090	3746		26		27.268000	764.525878	8936		26		49.263000	217.102207	13558	
27		4.990000	11.986266	4254		27		2.141000	6.424632	3655		27		12.442000	156.629753	5820	
28		2.006000	3.937135	3627		28		9.557000	30.172858	5214		28		3.597000	7.700393	3961	
29		5.386000	20.629130	4337		29		2.605000	4.149746	3752		29		2.408000	11.306038	3711	
30		7.314000	39.256811	4742		30		2.142000	3.118861	3655		30		2.235000	2.834794	3675	
31		5.474000	30.791898	4355		31		5.953000	47.758589	4456		31		3.787000	2.417570	4001	
32		2.515000	5.215178	3734		32		2.565000	4.319515	3744		32		4.666000	17.304707	4186	
33		6.910000	16.249450	4657		33		2.248000	7.647923	3677		33		2.024000	1.556653	3630	
34		2.664000	11.321803	3765		34		40.077000	2211.670...	11628		34		27.772000	1626.252...	9042	
35		5.128000	22.345527	4283		35		6.589000	32.472452	4590		35		2.659000	6.806877	3764	
36		4.500000	12.842955	4151		36		9.711000	215.465684	5246		36		3.021000	5.565659	3840	
37		2.210000	4.707489	3669		37		2.898000	0.002465	3814		37		2.638000	1.786768	3759	
38		2.784000	5.655110	3790		38		56.166000	0.233688	15009		38		4.683000	3.660813	4189	
39		2.106000	4.251942	3648		39		54.583000	0.152544	14677		39		2.657000	1.733224	3763	
40		7.295000	16.094786	4738		40		2.128000	3.490147	3652		40		2.386000	1.545288	3706	
41		4.478000	44.808261	4146		41		8.966000	94.785366	5089		41		5.164000	4.041637	4290	
42		2.217000	6.940914	3671		42		37.518000	152.626581	11090		42		2.010000	0.098736	3627	
43		6.721000	113.489115	4618		43		38.382000	1876.988...	11272		43		5.163000	0.266904	4290	
44		7.024000	44.411277	4681		44		20.089000	259.495480	7427		44		2.380000	0.115071	3705	

C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)		C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)		C...	Done	Dim(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)	
Total				377891		Total				1170771		44		38.018000	1932.640...	11195	
1		18.571000	0.016963	7108		1		5.483000	7.898077	4357		45		5.546000	18.567854	4371	
2		3.966000	0.003267	4039		2		4.724000	6.832433	4198		46		8.453000	120.772569	4982	
3		1.365000	0.000995	3492		3		8.047000	31.024975	4896		47		7.472000	16.309489	4775	
4		1.391000	0.001036	3497		4		37.716000	207.005122	11132		48		33.521000	106.725907	10250	
5		3.635000	0.002900	3969		5		32.690000	90.526938	10075		49		2.113000	3.452893	3649	
6		2.137000	0.005752	3654		6		34.463000	76.481433	10448		50		44.182000	244.886809	12491	
7		48.932000	5.791187	13489		7		42.304000	1622.245...	12096		51		5.235000	9.773313	4305	
8		1.429000	0.004096	3505		8		3.195000	5.849331	3876		52		31.059000	77.162895	9733	
9		1.006000	0.001522	3416		9		2.802000	5.013904	3794		53		6.828000	22.565683	4640	
10		1.159000	0.001836	3449		10		24.753000	224.290534	8407		54		7.621000	11.504038	4807	
11		1.035000	0.003032	3423		11		14.269000	196.243881	6204		55		13.761000	1185.153...	6097	
12		1.133000	0.009005	3443		12		10.511000	19.313340	5414		56		11.778000	1.890887	5680	
13		2.149000	0.004757	3657		13		2.593000	11.983786	3750		57		10.955000	3.073629	5507	
14		1.325000	0.002912	3483		14		3.307000	20.441517	3900		58		10.596000	3.199174	5432	
15		4.817000	0.023089	4217		15		3.704000	25.992579	3983		59		3.355000	0.123386	3910	
16		3.440000	0.028649	3928		16		35.413000	541.514224	10648		60		5.200000	0.511499	4298	
17		7.911000	0.059234	4868		17		4.554000	8.260438	4162		61		8.228000	0.945034	4934	
18		2.010000	0.011973	3627		18		2.233000	3.879273	3674		62		4.369000	0.142307	4123	
19		1.197000	0.004651	3457		19		2.729000	5.805752	3779		63		8.910000	1.328279	5078	
20		3.196000	7.347823	3877		20		23.490000	57.699263	8142		64		3.370000	0.292001	3913	
21		1.178000	2.060984	3453		21		18.139000	77.740400	7017		65		5.383000	0.425640	4336	
22		1.827000	6.512897	3589		22		3.943000	7.304442	4034		66		7.071000	0.502262	4691	
23		3.975000	10.270532	4040		23		48.283000	1756.320...	13352		67		5.719000	0.394255	4407	
24		2.479000	6.475215	3726		24		27.650000	109.594757	9016		68		2.021000	0.067221	3630	
25		2.148000	5.306315	3656		25		7.641000	79.504219	4811		69		4.876000	0.164789	4230	
26		1.488000	3.758714	3518		26		15.123000	122.325897	6383		70		7.540000	0.431903	4790	
27		1.324000	3.298111	3483		27		17.113000	50.162686	6802		71		2.010000	0.123158	3627	
28		2.067000	1.937771	3639		28		19.802000	172.278235	7367		72		2.004000	0.120988	3626	
29		3.488000	2.242022	3938		29		5.474000	18.190268	4355		73		2.724000	0.290282	3777	
30		5.268000	3.160587	4312		30		7.914000	36.867137	4868		74		2.786000	0.303704	3791	
31		3.622000	2.085773	3966		31		42.966000	541.203560	12235		75		28.788000	111.763768	9255	
32		1.330000	2.850850	3485													

▶ 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 구동 확인

Figure 1 displays two side-by-side windows titled '평탄도' (Flatness). Both windows have a table with the header 'Open' and columns: Tick, ax(g), ay(g), az(g), 가속도 (Acceleration), and 등급 (Grade).

The left window shows an empty table. The right window shows the table populated with 19 rows of data, with the '등급' column consistently containing the value 'B'.

Tick	ax(g)	ay(g)	az(g)	가속도	등급
5	0.2026	-0.0195	0.7158	0.400109	B
6	0.2412	-0.0186	0.7505	0.370917	B
7	0.2061	-0.0078	0.8345	0.279290	B
8	0.1846	0.0342	0.7212	0.309706	B
9	0.1685	-0.0215	0.7051	0.405690	B
10	0.2544	-0.0498	0.7832	0.336899	B
11	0.2070	-0.0352	0.6509	0.269044	B
12	0.2212	-0.0415	0.8350	0.496360	B
13	0.2100	-0.0498	0.7749	0.296947	B
14	0.2192	-0.0239	0.7051	0.311947	B
15	0.2344	-0.0410	0.7646	0.321283	B
16	0.1855	0.0068	0.6577	0.378829	B
17	0.1733	0.1377	0.7314	0.448479	B
18	0.1685	0.0713	0.6880	0.365871	B
19	0.1826	-0.0479	0.7339	0.333839	B
20	0.2139	-0.0376	0.7642	0.383539	B
21	0.2241	-0.0381	0.7480	0.407010	B
22	0.2212	0.0161	0.8066	0.364128	B
23	0.2222	-0.0039	0.7500	0.379676	B

그림 67 도로 평탄성 등급 판정 프로그램

▶ 급속시공 물량산출 및 단가산출 알고리즘 구동 확인

Option Dialog

✕

일반 설정

측점크기

1 Pixel

번호크기

30 Pixel

☐ 번호
 ☐ 자동 이동
 ☐ 자동 회전

황도계산 설정

기준위경도(N,E)

36.14

128.09

지도 설정

☒ IMG보기

시작NE

406646

123515

종료NE

404146

125516

현재 프로젝트 이미지 좌표저장

단가 산정 기준

직경 30cm 재료단가/개

6305 원

합계 단가산출/개

9510 원

확인

취소

C...	Lv	Dm(Cm)	Vol(Cm^3)	Price(Won)
Total				11,707/1
1	0	5.483000	7.898077	4357
2	0	4.724000	6.832433	4198
3	0	8.047000	31.024975	4896
4	0	37.716000	207.005122	11132
5	0	32.690000	90.526938	10075
6	0	34.463000	76.481433	10448
7	0	42.304000	1622.745...	12096
8	0	3.195000	5.849331	3876
9	0	2.802000	5.013904	3794
10	0	24.753000	224.290534	8407
11	0	14.269000	196.243881	6204
12	0	10.511000	19.313340	5414
13	0	2.593000	11.983786	3750
14	0	3.307000	20.441517	3900
15	0	3.704000	25.992579	3983
16	0	35.413000	541.514224	10648
17	0	4.554000	8.260438	4162
18	0	2.233000	3.879273	3674
19	0	2.720000	5.805752	3779
20	0	23.490000	57.699263	8142
21	0	18.139000	77.740400	7017
22	0	3.943000	7.304442	4034
23	0	48.283000	1756.320...	13352
24	0	27.660000	109.594757	9016
25	0	7.641000	79.504219	4811

그림 68 물량산출 및 단가산출 프로그램

▶ 급속시공 우선선위 의사결정 지원 알고리즘 구동 확인

번호	우선순위	도로명	좌표 N	좌표 E	폭경(Cm)	폭경(Cm)²	단가(원)	승공시액(원)
1	0		405781.835	124477.814	24.008	460.041639		8.251
9	0		405781.872	124477.225	23.949	18.9648039		8.038
10	0		405781.903	124477.282	20.127	35.451905		7.435
19	0		405782.125	124477.337	22.716	22.642378		7.979
27	2		405781.728	124476.958	42.285	162.825045		12.092
28	3		405781.464	124476.758	31.049	246.907373		9.730
35	0		405781.858	124477.006	28.053	68.532326		6.401
37	1		405782.387	124477.227	52.134	1568.15889		14.162
40	2		405781.561	124477.154	47.201	1532.23467		12.146
42	0		405782.894	124477.254	29.083	254.308493		9.397
44	0		405782.314	124477.805	24.584	35.62255		6.355
45	3		405782.218	124477.051	26.889	274.73285		10.750
46	2		405782.165	124477.668	40.178	81.183655		11.649
47	0		405781.97	124477.804	23.986	40.148235		8.227
49	0		405782.36	124477.858	24.616	65.395323		8.363
50	0		405782.112	124477.783	20.792	70.238095		7.575
59	0		405782.011	124477.087	21.412	2.783382		7.705
60	0		405782.309	124476.778	26.045	157.852371		6.679
74	0		405782.592	124476.207	25.374	68.347688		8.538
77	0		405782.656	124476.046	23.116	49.482324		6.064
78	3		405782.558	124476.195	33.469	117.628792		10.239
100	3		405782.733	124475.954	32.672	3.727711		10.072

그림 69 우선순위 의사결정 프로그램

▶ 최적 상온 급속 보수재료 현장 적용 시험



그림 70 상온 급속보강 재료 현장 적용 시험

- 3차년도 현장 적용 시험에서도 2차년도와 동일하게 현장 품질시험으로 밀도, 안정도와 부착강도 시험을 수행하였으며 품질시험 결과는 아래 표와 같다.
- 시험결과 현장 코어링 시편의 밀도는 평균 2.143 g/cm³로 2차년도와 유사한 수준의 현장 다짐율을 나타내었으며 안정도는 평균 9,720 N로 긴급보수용 상온 아스팔트 혼합물 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 부착강도도 0.49 MPa로 양호한 부착성능을 나타내는 것으로 확인되었다.

표 32 현장 품질시험 결과(3차년도)

구 분	시험방법	품질기준	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Avg.
밀도(g/cm ³)	KS F 2364	-	2.121	2.185	2.124	2,143
안정도(N)	KS F 2337	7,350 이상	8,948	9,954	10,258	9,720
부착강도(MPa)	ASTM D4541	-	0.48	0.51	0.49	0.49

▶ 급속보강 GIS 안내 네비게이터 구동 확인

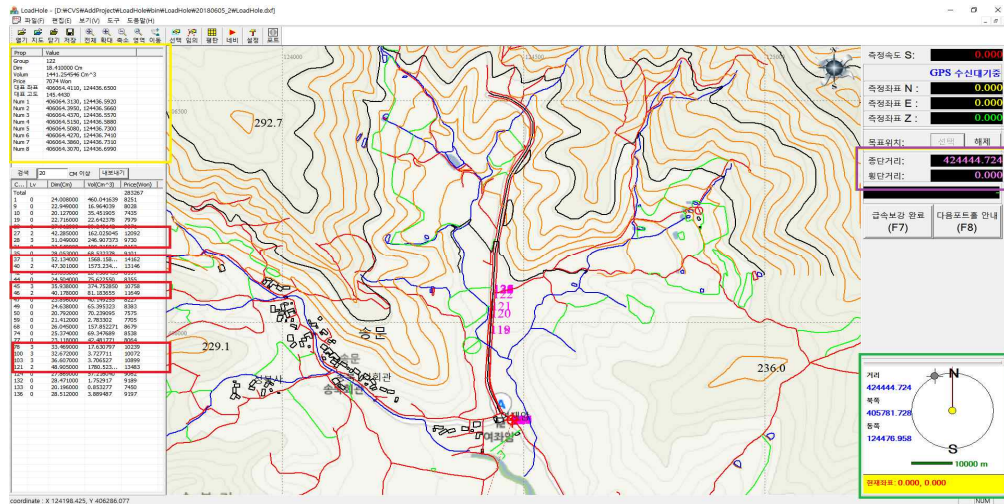


그림 71 포트홀 네비게이터 프로그램

▶ 통합 관리/제어 프로그램 구동 확인

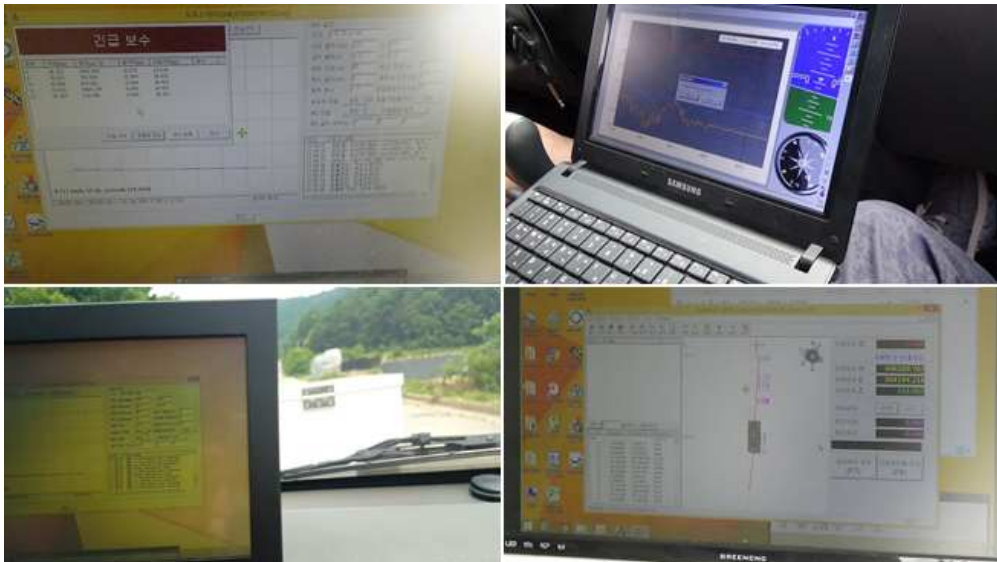


그림 72 시스템 현장 동작 확인

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절. 목표 달성도(성과지표 및 달성)

1. 총괄 성과지표 달성도

- 특허 등록 2건, 소프트웨어 등록 1건 추가달성

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	
				질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방 법	가중 치		성분
A	노면 측정용 멀티빔	A-1	멀티빔 제작	①	센서 종류	2종 이상	제작된 멀티빔으로부터 데이터를 수신 받아 2종 이상의 센서데이터를 확인함	보고서	5	시제품 3건 특허 1건	주 관
				②	감지 사이즈	20 mm 이상	포트홀 20mm 급을 선정하여 센서데이터 확인하여 검지됨을 측정함	보고서 , 동영상	20		
B	포트홀 급속 보강 장치	B-1	최적 재료 선정	①	상온 실험 재료 수	3종 이상	기존 상온식 급속보수재료 3종 이상에 대한 실험평가를 진행하여 최적의 재료 선정	보고서	5	시제품 1건 특허 1건	공 동
				②	상온 보수재료 품질기준 실험	KS F 2369	KS F 2369에 제시된 상온 보수재료 품질기준 실험 항목에 대한 기준 만족여부	보고서	5		
				③	실내 공용성 실험	허용범 위 만족	간접인장강도비 및 부착강도 등 실내 공용성 실험기준 만족여부	보고서	5		
				④	현장 품질시험	만족	보수작업 완료 후 보수재료 현장 품질실험 결과 만족 여부	보고서	5		
		B-2	급속보강 장치 제어보드	①	동작온도	0-50도	제어보드를 외부 공인시험기관에 의뢰하여 온도챔버에 동작시켜 동작온도 측정	공인시 험성적 서	5		주 관
C	통합 시스템 (데이터 분 석 플랫폼 내 장)	C-1	급속보강 물량 산출 알고리즘	①	알고리즘	만족	포트홀 체적량에 따른 보수재료 물량산출 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족여부	보고서	5	시제품 4건 S/W등록 2건 가이드라인 1건 장비매뉴얼 1건	공 동
		C-2	단가/평탄성 알고리즘	①	알고리즘	100%	급속시공 단가산출 및 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족여부	보고서	5		
		C-3	급속시공 우선 순위 알고리즘	①	알고리즘	만족	급속시공 우선순위 의사결정 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족 여부	보고서	5		
		C-4	통합 시스템	①	포트홀 사이즈	20 mm 이상	포트홀 20mm 급을 선정하여 멀티빔과 연동시켜 검지된 사이즈를 분석/처리하여 포트홀로 감지된 사이즈를 확인함	보고서 , 동영상	25		주 관
				②	네비게이터 표출 오차율	5% 이내	관리주체에 의해 선정된 급속보강 포트홀의 네비게이터 표출에 있어 누락되는 포트홀이 존재하는지를 측정하여 수치화	보고서	10		
계									100		
사업연계지표				성과지표			목표치	달성치	가중치		
				시제품			8	11	75		
				특허출원			2	2	10		
				소프트웨어 등록			2	3	10		
				가이드라인			1	1	2		
				장비매뉴얼			1	1	3		
계						14	18	100			

2. 1차년도 성과지표 달성도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관	
				질적 성과지표		목표치	측량방법		검증방법		가중치
A	노면 측정용 멀티빔	A-1	멀티빔 제작	①	센서 종류	2종 이상	제작된 멀티빔으로부터 데이터를 수신 받아 2종 이상의 센서데이터를 확인함	보고서	25	시제품 1건 특허 1건	주관
B	포트홀 급속 보강 장치	B-1	최적 재료 선정	①	상온 실험 재료 수	3종 이상	기존 상온식 급속보수재료 1종 이상에 대한 실험평가를 진행하여 최적의 재료 선정	보고서	15	시제품 1건 특허 1건	공동
				②	상온 보수재료 품질기준 실험	KS F 2369	KS F 2369에 제시된 상온 보수재료 품질기준 실험 항목에 대한 기준 만족여부	보고서	10		
		B-2	급속보강 장치제어보드	①	동작온도	0~50도	제어보드를 외부 공인시험기관에 의뢰하여 온도챔버에 동작시켜 동작온도 측정	공인시험성적서	25		
C	통합 시스템 (데이터 분석 플랫폼 내장)	C-1	급속보강 물량 산출 알고리즘	①	알고리즘	만족	포트홀 체적량에 따른 보수재료 물량산출 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족여부	보고서	25	시제품 1건 S/W등록 1건	공동
계									100		
사업연계지표				성과지표		목표치	달성치	가중치			
				시제품		3	3	75			
				특허출원		2	2	10			
				소프트웨어 등록		1	1	15			
				가이드라인		0	0	0			
				장비매뉴얼		0	0	0			
계						6	6	100			

3. 2차년도 성과지표 달성도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당기관		
				질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	성취			
A	노면 측정용 멀티빔	A-1	멀티빔 제작	②	감지 사이즈	20 mm 이상	포트홀 50mm 급을 시편 또는 도로에서 선정하여 20회 이상 측정 후 감지율 95%이상으로 센싱 감지됨을 측정함	보고서 , 동영상	25	시제품 1건	주관	
B	포트홀 급속 보강 장치	B-1	최적 재료 선정	①	상온 실험 재료 수	3종 이상	기존 상온식 급속보수재료 3종(누적) 이상에 대한 실험평가를 진행하여 최적의 재료 선정	보고서	10		공동	
				②	상온 보수재료 품질기준 실험	KS F 2369	KS F 2369에 제시된 상온 보수재료 품질기준 실험 항목에 대한 기준 만족여부	보고서	10			
				③	실내 공용성 실험	허용범 위 만족	간접인장강도비 및 부착강도 등 실내 공용성 실험기준 만족여부	보고서	5			
C	통합 시스템 (데이터 분석 플랫폼 내장)	C-2	단가/평탄성 알고리즘	①	알고리즘	100%	급속시공 단가산출 및 도로 평탄성 등급 판정 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족여부	보고서	25	시제품 1건 S/W등록 1건	공동	
		C-4	통합 시스템	①	포트홀 사이즈	20 mm 이상	포트홀 50mm 급을 선정하여 멀티빔과 연동시켜 감지된 사이즈를 분석/처리하여 포트홀로 감지된 사이즈를 확인함	보고서 , 동영상	25		주관	
계									100			
사업연계지표				성과지표			목표치	달성치	가중치			
				시제품			2	2	60			
				특허출원			0	0	0			
				소프트웨어 등록			1	1	40			
				가이드라인			0	0	0			
				장비매뉴얼			0	0	0			
계									3	3	100	

4. 3차년도 성과지표 달성도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	
				질적 성과지표		목표치	측정방법		검증방 법		가중 치
A	노면 측정용 멀티빔	A-1	멀티빔 제작	②	감지 사이즈	20 mm 이상	포트홀 20mm 급을 선정하여 센싱데이터 확인하여 감지됨을 측정함	보고서 , 동영상	25	시제품 1건	주 관
B	포트홀 급속 보강 장치	B-1	최적 재료 선정	④	현장 품질시험	만족	보수작업 완료 후 보수재료 현장 품질실험 결과 만족 여부	보고서	10		공 동
C	통합 시스템 (데이터 분 석 플랫폼 내 장)	C-1	급속보강 물량 산출 알고리즘	①	알고리즘	만족	급속시공 우선순위 의사결정 알고리즘 제시여부 및 시스템 구동 시 만족 여부	보고서	25	시제품 2건 가이드라인 1건 기타: 장비매뉴얼 1건	공 동
		C-4	통합 시스템	①	포트홀 사이즈	20 mm 이상	포트홀 20mm 급을 선정하여 멀티빔과 연동시켜 감지된 사이즈를 분석/처리하여 포트홀로 감지된 사이즈를 확인함	보고서 , 동영상	25		
				②	네비게이터 표출 오차율	5% 이내	관리주체에 의해 선정된 급속보강 포트홀의 네비게이터 표출에 있어 누락되는 포트홀이 존재하는지를 측정하여 수치화	보고서	15		
계									100		
사업연계지표				성과지표			목표치	달성치	가중치		
				시제품			3	6	95		
				특허출원			0	0	0		
				소프트웨어 등록			0	1	0		
				가이드라인			1	1	2		
				장비매뉴얼			1	1	3		
계							5	9	100		

제2절. 관련 분야 기여도

- 20mm급 이상의 포트홀 감지 및 포트홀 급속시공을 위한 물량산출 알고리즘, 우선순위 결정 지원 알고리즘, 보수가 결정된 포트홀로 안내하는 포트홀 네비게이터의 기능과 급속시공 장비의 동작을 확인하였으며, 이는 포트홀의 감지와 보강을 동시에 진행할 수 있는 장비로서 도로 관리주체에게 시간과 비용을 줄여 줄 수 있는 시스템이라 할 수 있으며, 관리도로에 대한 포트홀 데이터베이스를 제공하여 체계적인 도로 유지관리에 기여할 것으로 기대한다.
- 본 연구 개발품은 도로 포트홀 검사장비와 포트홀 급속시공 장비 일체형이며 상온식 수경화성 포트홀 보수재를 사용하여 포트홀 보수 단계를 단순화하여 도로 유지관리 기관들에게 투입비용과 시간을 절약해 줄 수 있을 것으로 기대한다.
- 본 연구의 연구개발 성과는 기술적 측면, 경제적 측면, 사회적 측면에서 다음과 같은 파급효과를 가진다.

1. 기술적 측면

- 가. 세계적으로 선진국이나 개발도상국들은 도로에 대한 신설보다는 유지관리 측면으로 방향전환이 되고 있으며, 이러한 현상은 도로의 상태를 실시간적으로 감지할 수 있는 기술부터 출발하게 된다. 국내의 기술들은 IT 강국임에도 불구하고 도로 포장의 유지관리 기술에는 아직도 많은 외국 첨단 장비들을 사용하고 있다. 본 기술 개발이 완료되면, 예산에 따른 초기 도입비용적인 측면과 실용성 측면을 고려한 기술 접근을 통해 틈새시장 및 기술의 선택적 다양성을 제공하는 기술이 될 수 있을 것으로 기대한다.
- 나. 현재까지의 국내의 도로포장 상태 측정 기술들은 초기개발단계로서 고가의 외국산 장비들과 비슷하거나 같은 방법으로 다기능을 제공하는 형태로 개발되어 기술적으로나 경제적으로 실용화가 되기 어려운 구조를 안고 있다. 이에 본 기술은 서비스(포트홀, 소성변형(평탄성) 감지)를 우선적으로 선택한 후 이에 기술을 집약하여 서비스를 완성할 수 있는 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 이는 기존 기술들의 접근방식에 대한 또 다른 접근방식을 보여주는 기술(개발)적 시도라고 할 수 있다.
- 다. 도로포장 검출 및 자동 급속 보강 장비의 시스템, 소프트웨어 경량화를 통한 경제적인 도로 유지보수 시스템 보급이 가능할 것으로 기대한다.

2. 경제적 측면

- 가. 기존의 외산장비들이 갖고 있는 노면상태 감지 기능 이외의 다기능을 복합하여 고가로 이어진 장비들에 대해 본 개발결과물은 충분한 경제적 이점을 안고 있다고 할 수 있으며, 이를 통한 시장 점유의 가능성이 높다고 볼 수 있다.
- 나. 대도시의 도로는 연장길어도 길고, 이곳에서 발생하는 포트홀은 교통사고를 일으키는 주요 요인과 함께 민원발생의 주요 원인이기도 하다. 서울특별시의 경우 보유한 장비나 인력구성으로 총 도로연장에 대해 주기적인 포트홀 관리가 불가능한 실정이며, 이에 본 장비 개발을 통해 포트홀 관리 용역 수행이 가능함으로 또 다른 시장을 생성할 수 있을 것으로 사료된다.
- 다. 운전자에게 있어 포트홀이나 소성변형들은 자주 마주치고, 위험지수가 높은 축에 속한

다. 이를 감지하기 위한 장비들로는 전 세계적으로 많은 장비들이 존재하고 있지만, 고가로 인한 초기 도입 비용이 크게 발생되어 많이 보유하지 못한다는 단점이 있다. 또한, 현행 보수공법 이용 시 인력시공의 한계에 따라 불균질한 시공품질, 교통통제 등의 문제가 있으며 이를 극복할 수 있도록 포장 상태의 상시적, 주기적인 모니터링과 포트홀에 대한 급속 보강이 가능할 수 있도록 경제적인 이점을 갖는 본 결과물들은 기존 시장에 대한 틈새 공략적인 측면에서 충분한 경제적 이점을 안고 있다. 이를 통해 국내에서는 수입대체 효과와 해외 수출을 통한 수출증대효과를 볼 수 있을 것으로 기대한다.

- 라. 자동화 장비 활용을 통해 기존 인력 보수 공법 대비 향상된 내구성 및 균질한 시공품질 확보로 유지보수 비용 절감과 교통편익의 증대를 기대할 수 있다.
- 마. 기존 도로 유지보수 공법 대비 동등 또는 그 이상의 내구성 확보로 유지보수 비용 저감을 통한 국내 예산 절감 가능하다.
- 바. 현장 시공의 간편함뿐만 아니라 내구성 향상에 따른 유지보수 비용 감소 측면에서 경쟁력 확보가 가능하다.
- 사. 현행 긴급 도로 유지보수의 경우 임시적 조치로 인해 추가 보수가 진행되는 단점이 있으며, 본 연구의 공법 활용 시, 항구적 보수로 인해 추가 소요 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

3. 사회적 측면

- 가. 본 제안 기술의 결과물들은 도로 포장에 대한 상태를 상시적, 주기적으로 수행하여 유지보수 의사결정에 도움을 줄 수 있는 시스템으로서 이를 통해 시급한 유지보수를 먼저 시행할 경우 운전자들에게는 안전한 도로포장상태를 제공 할 수 있게 된다. 이를 통해서 운전자의 안전 증진에 기여할 수 있으며, 사고예방을 통한 인적/물적 피해를 최소화 할 수 있으며 궁극적으로 안전한 사회 구현이 가능할 것으로 기대한다.
- 나. 현재 대다수의 포트홀은 관리기관의 Search 에 의한 검지가 아닌 주민들의 민원 또는 신고에 의한 검지가 더욱 많다. 이는 도로 관리기관의 관리대상인 도로 연장에 비해 이들의 관리에 필요한 장비, 인력 등의 부족에 기인한다. 따라서 본 결과물을 활용하면 포트홀 즉시 제거가 가능해지고, 이에 따라 민원의 감소도 동반될 것으로 기대한다.
- 다. 도로 포장 유지관리 기관들에게는 초기도입비용의 최소화를 제공할 수 있으며, 이를 통해 주기적이고도 상시적인 국토 도로관리가 가능해 질 수 있을 것으로 기대한다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

- 본 연구의 최종 성과물들은 국산 경량형 이동식 도로 노면 상태감지 시스템(노면 측정을 위한 멀티빔 + 데이터분석 플랫폼)과 이를 관제할 수 있는 통합 시스템, 그리고 의사결정에 따른 포트홀에 대해서나, 일정 규격 이상의 포트홀에 대해서 자동으로 급속 보강을 할 수 있는 포트홀 급속 보강 장치로 구성된다. 이는 기존의 외산장비처럼 수억원대의 고가의 장비가 아닌 경량형 제품으로 급속 보강까지 가능한 제품으로 도출된다.
- 기존의 시장은 고가의 장비로 인한 지자체 및 지방 국토관리청, 도로공사 등의 도로관리주체들이 몇 대 보유하지 못한 현실과 10만Km 이상의 국토 도로에 대해 여름철 홍수, 겨울철 결빙, 폭설로 인한 빈번한 포트홀 발생을 해결하고자 제안하였다. 본 결과물을 도입하게 되면 도로 관리주체들이 좀 더 많은 장비를 보유할 수 있게 되고 이는 주기적, 상시적인 노면 검사를 가능하게 하여 도로 유지보수에 대한 의결결정을 신속하게 처리할 수 있게 된다. 또한 실시간적으로 포트홀 제거(급속 보강)가 가능해지며, 이는 궁극적으로 민원해결 및 운전자에 대한 안전을 보호 하여 국가적 차원의 인적/물적 손실을 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 기대한다.
- 국토교통부에서 제공하는 도로 및 보수 현황 시스템의 통계에 따르면 2016년 포트홀 보수건수는 228,232건에서 2017년 434,332건으로 증가하였고 이에 따른 포트홀 복구비용은 2016년 155억원에서 160억원으로 증가하였다. 이 중 서울시의 경우 2017년 한해에 3만 3,940건의 포트홀이 발생하였으며 이로 인한 교통사고가 245건 발생하였고 이는 2016년에 발생한 101건에 비해 2배이상 증가하였으며 2018년 상반기에만 117건의 교통사고가 발생하였다. 이에 대해 본 연구 결과물인 포트홀을 감지와 포트홀 급속보강장치 일체형 시스템을 도로관리주체에게 제공하여 도로에 대한 주기적, 상시적인 모니터링과 포트홀의 크기가 확대되기 전 조기조치를 수행 할 수 있도록 하여 포트홀에 의해 발생하는 교통사고를 줄일 수 있을 것으로 기대한다.
- 본 연구에서 개발되는 급속 보강 장치들은 같은 형태의 임시포장이나, 유사한 형태의 공정에도 활용이 가능하다.
- 본 연구에서 개발되는 IT의 요소 기술들은 고성능 실시간 데이터 정보 수집/가공/공유 분야에 활용할 수 있어 구축에 따른 활용도가 크다고 할 수 있다.
- 상시·즉각적 모니터링 및 자율적 의사결정이 가능한 자동 급속 보강 장비 개발을 통한 차세대 포장유지관리체계(PMS) 구축이 가능하다.
- 선진화된 기술 전파로 도로 유지보수 시장의 국제적 협력 관계에서 기술적/사회적 우위를 선점할 수 있다.
- 완성된 시작품을 신경기건설(주)에서 활용하여 직접적인 사업화를 추진하며, (주)엔엔에프텍과 (주)동성엔지니어링은 개발된 컴포넌트들을 활용한 세부 사업화를 추진한다. 또한 신경기건설(주)는 용역수행에 맞추어 사업화를 추진하지만, (주)엔엔에프텍과 (주)동성엔지니어링은 장비 판매 및 임대사업에 사업화를 추진한다.
- 개발기간 동안 고가의 장비인 레이저센서를 구입 할 수 없어 3,000rpm급 레이저센서를 임차로 사용하였으며, 포트홀 감지 목표치인 20mm급을 감지하기 위해서는 차량속도가 3.6km/h이하로 저속을 운행을 하여야하였다. 이러한 한계점을 극복하기 위해, 프로그램에서 레이저센서의 회

전수를 셋팅 할 수 있도록 하여 엔지니어가 레이저센서를 선택하여 사용할 수 있도록 개발하였으며, 실제로 12,000rpm급까지의 레이저센서와 연동이 가능하도록 개발하였다. 하지만, 12,000rpm 레이저센서의 경우 소비자가 1.8억원에 육박하여 본 연구의 활용적인 측면에서는 제한 요소로 작용하였다.

- 후속 연구로서는 포트홀 급속시공 시 포트홀 청소, 보수재 주입, 다짐을 인력이 수행하는 한계점에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료되며, 이는 급속시공 요소장비인 에어건, 전동브러쉬, 보수재 이송장치, 다짐장치(롤러)가 시스템에 장착되는 형태로 개발하여 최소한의 인력으로 포트홀 감지 및 긴급보수를 수행할 수 있는 시스템으로 개발 예정이며, 또한 싱크홀 예측과 같은 도로의 함몰에 대한 연구가 가능하며, 본 사업에서 개발 된 장비(멀티빔이 탑재된 차량 시작품)의 도로 표면검출부의 멀티빔에 GPR(Ground Penetrating Radar)센서(최소 3채널 이상)를 추가 개발/부착하여 도로 하부의 심도별 정밀 측정이 가능하며 이를 해석하여 도로함몰 위험평가 연구에도 활용할 수 있다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 국내외 포트홀 예방 및 제거를 위한 관련 기술 및 산업동향은 지속적인 예산투입 및 기술 개발이 이루어지고 있음.
- 국내 포트홀 보수재료 시장은 유화 아스팔트 계열의 혼합물에서 점차 수경성 우레탄을 사용한 혼합물로 변화하고 있으며 연간 최대 100억 원의 판매 시장이 형성되어 있음(한국건설기술연구원, 2014)
- 국외의 경우 국내 포트홀 파손에 대해 보다 능동적으로 대처하고 있다. 아스팔트 도로포장에 발생한 균열이 포트홀로 진전되는 것을 방지하기 위해 사전에 포트홀의 예방적 유지보수로 균열실링 또는 표면처리를 실시하거나(균열실링, 포그실, 침실, 슬러리 실, 박층 표면처리 등), 이미 발생한 포트홀에 대해 휴대용 다짐기 및 수경성 경화제를 이용한 반영구적 보수공법, 다짐 과정을 없앤 분사-주입공법(Spray-Injection Method), 트럭하중을 이용한 Edge-Seal 공법 등을 적용하고 있다. 또한 포트홀 사후 보수를 위해 다양한 장비 개발을 수행 중에 있으며, 혼합물 보온 기능을 포함한 포설 및 다짐 등의 적용이 가능한 일체형 장비 개발이 진행되고 있다(한국건설기술연구원, 2014).
- 일본의 경우 유럽 수행 연구 프로그램(PERS, SILVIA, NR2C) 등에 참여하여 아래의 그림과 같이 응급보수 및 소음저감효과가 있는 고무 아스팔트 매트 개발하고 실제 포트홀 등과 같은 응급 보수부에 적용한 사례도 있다.



그림 73 아스팔트 매트를 이용한 응급보수 공법

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 보안등급 일반

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당 없음.

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

• 연구실 안전조치 이행

- 연구실 안전조치는 크게 화재와 같은 산업재해와 개발내용의 보안을 요하는 보안 안전조치로 나누어 적용하였다.
- 산업재해 안전교육 : 국가연구안전정보시스템(www.labs.go.kr) 안전 교육자료 활용한 정기적인 안전교육을 통해 기계의 조립, 제작, 운용, 연구실 전기시설점검을 진행하였다.
- 연구실험실 일일 안전점검표를 활용하였다.
- 완벽한 보안체계의 유지를 위하여 문서, 인원, 통신, 시설, 전산에 대하여 각각의 보안통제 대상에 보안요구사항을 반영하고 보안대책을 수립하여 운영하였다.

분류	대응 방안	세부 대응 방안
인원 (조직) 보안	• 구축 및 투입인원 • 비인가 인원 • 인원복귀, 이직	• 수행연구원 선정기준에 의한 인원선정으로 이직방지 • 전 수행연구원 보안각서 작성 • 보안담당자 설정, 주기적인 점검 및 통제 • 보안교육 주기적 실시 • 사직서 제출 시 보안담당자에게 보안확인 각서 제출 • 이직 시 자료별/장비별 접근 ID를 포함한 모든 접근권한 삭제 • 이직 시 일체의 사업관련 장비 및 자료회수 조치여부를 보안담당자가 확인
시설보안	• 개발 및 시험 장비, 도구 • 시설물 (장소, 각종시설)	• 외래인 출입자에 대한 무단 출입통제 • 구축팀 내부 전산망의 외부연결 금지 • 사업관련 물자에 대한 수송시 보안대책수립 • 소화기구 등 비상도구 비치
문서보안	• 산출물 • 보고서 • 사업관련 획득 문서	• 비밀 취급 및 비밀분류 원칙 준수 • 문서의 대출, 열람 등 제한 및 통제 • 산출물의 무단복제/복사 활용 금지 • 중요자료 및 비밀자료 별도 장소 보관 • 폐지 및 휴지의 처리규정 준수
통신보안	• 유/무선자료 송수신 • 외부와의 네트워크 구성	• 유/무선 통신수단에 의한 수발규정 및 절차 준수 • 통신보안 위규 사례 교육 • 통신보안장비 사용 시 관리규정 준수
전산보안	• 전산장비 및 보조 기억장치 • 사업관련 전산 자료	• 보조기억매체 운용관리 규정 준수 • 전산자료의 보호대책 및 자료별 접근범위 제한 • 운영체제에 최신 백신프로그램 설치 및 운영 • PC부팅 시 바이러스 자동검색 및 치료

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

제1절. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	멀티빔을 이용한 포트홀 급속보수 시스템 개발 연구	(주)동성엔 지니어링	공동	2016 KSCE 정기학술대 회		2016.10		비SCI
2	논문	A Study on the Quantitative Evaluation Method of Asphalt Pavement Condition Through the Visual Investigation.	(주)동성엔 지니어링	공동	ICCBЕ 2018		2018.05		비SCI
3	논문	Development of Pothole Management Method Using Automated Equipment with Multi-Beam Sensor.	(주)동성엔 지니어링	공동	ICCBЕ 2018		2018.05		비SCI
4	특허	노면 포트홀 및 평탄성 측정 장치	(주)엔엔 에프텍	주관	출원 (한국)		2016.04.27.		
5	특허	노면 포트홀 및 평탄성 측정 장치	(주)엔엔 에프텍	주관	등록 (한국)		2018.01.08		
6	특허	포트홀 급속 보강 자동화 장치	(주)엔엔 에프텍	주관	출원 (한국)		2016.04.27.		
7	특허	포트홀 급속 보강 자동화 장치	(주)엔엔 에프텍	주관	등록 (한국)		2017.07.11		
8	소프트 웨어 등록	포트홀 급속보강 물량자동 산출 프로그램	(주)엔엔 에프텍 (주)동성 엔지니어 링	주관 공동	한국		2016.04.01		
9	소프트 웨어	포트홀 감지 및 급속보강	(주)엔엔 에프텍	주관	한국		2017.04.24		

	등록	자동화 프로그램							
10	소프트 웨어 등록	포트홀 감지 및 GIS(지리 정보 체계) 네비게이터 급속보강	(주)엔엔 에프텍	주관	한국		2018.06.15		
11	시제품	노면 측정용 멀티빔	(주)엔엔 에프텍	주관	한국		2017.04.28		
12	시제품	포트홀 급속 보강 장치 제어보드	(주)엔엔 에프텍	주관	한국		2016.04.30		
13	시제품	통합 시스템	(주)엔엔 에프텍	주관	한국		2017.04.24		

제2절. 연구 주요 성과

- 도로 노면의 포트홀 감지와 도로 평탄성 측정을 동시에 수행 할 수 있는 멀티빔을 개발하고 포트홀의 상세정보를 활용하여 포트홀의 보수재료의 최적 물량산출 프로그램과 산출된 물량을 기반으로 한 단가산출 프로그램, 도로 관리자가 포트홀 보강에 대한 우선순위를 결정하기 위한 포트홀 보강 우선순위 지원 프로그램, 보강이 결정된 포트홀을 찾아갈 수 있는 네비게이터를 포함하는 통합시스템을 개발하였다.
- 포트홀 시공을 위해 작업에 필요한 컴퍼넌트(급수장치, 에어컴프레서, 발전기, 에어건, 메탈 브러쉬, 전동공구 등)를 작업차량에 구비하였으며 포트홀에 보수재를 주입하기 위한 보수재 자동 주입 장치를 포함하는 포트홀 급속보강 장비를 개발하였다.
- 경상북도 안동시 폐도로(2차년도)와 경상북도 김천시 폐도로(3차년도)에서 현장실험을 진행하여 개발 시스템의 구동 여부를 확인하였으며 시험결과를 바탕으로 개발품의 보완을 거쳐 노면 측정을 위한 멀티빔, 포트홀 급속보강 장치, 데이터분석 플랫폼을 포함하는 통합시스템의 시제품을 개발하였다.
- 특허 등록 2건, 소프트웨어 등록 1건 추가달성 하였음.

1. 노면 측정을 위한 멀티빔 개발

가. 시제품 개발

- 멀티빔 신호처리보드 시제품.
- 멀티빔 1차 시제품(레이저센서, 초음파센서, GPS)
- 멀티빔 2차 시제품(레이저센서, 초음파센서, 고성능GPS, 가속도센서, OBD2 시제품)

나. 특허출원

- 발명의 명칭 : 노면 포트홀 및 평탄성 측정 장치
- 출원번호 :10-2016-0051203
- 출원일자 : 2016.04.27.
- 출원인 명칭 : (주)엔엔에프텍

다. 특허등록(추가달성)

- 발명의 명칭 : 노면 포트홀 및 평탄성 측정 장치
- 등록번호 :10-1818083
- 등록일자 : 2018.01.08
- 특허권자 : (주)엔엔에프텍

2. 포트홀 급속 보강 장치 개발

가. 시제품 개발

- 급속보강 장치 메인제어보드 시제품
- 급속보강 장치(급속시공 컨퍼넌트 포함) 시제품

나. 특허출원

- 발명의 명칭 : 포트홀 급속 보강 자동화 장치
- 출원번호 :10-2016-0051202
- 출원일자 : 2016.04.27.
- 출원인 명칭 : (주)엔엔에프텍

다. 특허등록(추가달성)

- 발명의 명칭 : 포트홀 급속 보강 자동화 장치
- 등록번호 :10-1758757
- 등록일자 : 2017.07.11
- 특허권자 : (주)엔엔에프텍

라. 기타

- 급속보강 장치 가이드라인
- 급속보강 장치 매뉴얼

3. 데이터분석 플랫폼을 포함하는 통합시스템 개발

가. 시제품 개발

- 데이터분석 플랫폼 시제품
- 포트홀 감지 프로그램
- 포트홀 보강재 물량산출 / 단가산출 프로그램
- 급속시공 우선순위 의사결정 프로그램
- 포트홀 네비게이터 개발
- 도로 평탄성 등급 판정 프로그램

나. 소프트웨어 등록

- 저작물의 명칭 : 포트홀 급속보강 물량자동산출 프로그램
- 프로그램 등록번호 : 제 C-2016-012249호
- 창작연월일 : 2016.04.01

- 프로그램 등록일자 : 2016.05.23
- 저작자 성명 : (주)엔엔에프텍 / (주)동성엔지니어링

다. 소프트웨어 등록

- 저작물의 명칭 : 포트홀 감지 및 급속보강 자동화 프로그램
- 프로그램 등록번호 : 제 C-2017-010119호
- 창작연월일 : 2017.04.07
- 프로그램 등록일자 : 2017.04.24
- 저작자 성명 : (주)엔엔에프텍

라. 소프트웨어 등록 (추가달성)

- 저작물의 명칭 : 포트홀 감지 및 GIS(지리 정보 체계) 네비게이터 급속보강 프로그램
- 프로그램 등록번호 : 제 C-2018-014847호
- 창작연월일 : 2018.04.02
- 프로그램 등록일자 : 2018.06.15
- 저작자 성명 : (주)엔엔에프텍

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

1. ‘도로 포장 유지보수 실무 편람’, 국토교통부(2013)
2. Autoscan(2014), ‘AutoScan Vehicle Mounted Pothole Detection System’ USA, Boston University
3. Mednis(2011) ‘Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers, In Proceedings of the 2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)’ , pp.1-6
4. Moazzam 등(2013) ‘Metrology and visualization of potholes using the Microsoft Kinect sensor, In Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems’ , pp.1284-1291
5. 박선현(2015), ‘3D Laser Scanner를 이용한 암반사면의 절리방향 측정의 신뢰성에 관한 연구’, 학위논문, 서울시립대학교 토목공학과
5. 서호덕 (2006), 도로면 상태 및 차량의 주행속도에 따른 공용성 분석기법 개발, 연세대학교 대학원, 석사학위논문.
6. Ksaibati, K. and S.A. Mahmood (2002). “Utilizing the Long-Term pavement Performance Database in Evaluating the Effectiveness of Pavement Smoothness” , Mountain-Plains Consortium, MPC Report No. 02-13, Wyoming Department of Transportation, Laramie, Wyoming.
7. 김국한 (2003), 평탄성 지수 IRI와 PrI의 상관관계에 관한 연구, 한국도로포장공학회 논문집, Vol. 5, No. 1, pp. 11-18.
8. 김성호, 서영찬, 조윤희, 박경부(2001), 중부고속도로 평탄성 특성에 관한 연구, 한국 도로학회논문집, Vol. 3, No. 2, pp. 131-140.
9. 김지만, 박진한, 안세진, 정의봉(2015), ISO 2631-1을 이용한 국내 고속철도차량의 인체진동 노출량 평가, 한국소음진동공학회논문집, Vol. 25, No. 4, pp. 266-274.
10. Raj Bridgelall, Md Tahmidur Rahman, Jerome F. Daleiden and Denver D. Tolliver(2016), Pavement Performance Evaluations Using Connected Vehicles, International Society for Asphalt Pavements 53rd Annual Petersen Asphalt Research Conference, Jackson Hole, WY.
11. 김경남, 조신행, 안지현, 김낙석(2016), 자전거도로 조사장비를 이용한 포장상태 평가 기준 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 36, No. 6, pp. 1125-1131.
12. 서울시 시설관리공단 도로관리처(2015), ‘포트홀 응급복구체계 개선 시행 계획’, 서울시 시설관리공단, 2015

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.