

3

글. 유평준
-
총괄책임자,
건설산업진흥본부 연구위원

포트홀 Free 도로포장시스템 개발

들어가며

아스팔트포장에 발생하는 다양한 결함 중 포트홀(Pothole)은 아스팔트포장 표면의 일부가 떨어져 나가 생긴 원형모양의 구덩이로 차량이 도로를 주행할 때 강한 충격이 발생하여 차량의 사고를 유발한다. 이러한 포트홀은 강수량이 많은 여름 장마철과 동결융해로 지반이 연약해지는 이른 봄에 주로 발생하며, 이 시기에는 특별한 관리가 필요하다.

국회 보도자료에 의하면, 2011년부터 2015년까지 발생한 포트홀은 일반국도가 총 260,931건, 고속국도가 102,294건으로 집계되었다. 이 기간 포트홀로 인한 사고는 일반국도 607건, 고속국도가 1,046건 발생하여 무시할 수 없는 수준이다. 이처럼 포트홀로 인하여 발생한 1,600건이 넘

는 사고에 따른 피해보상액만 해도 지난 5년간 약 11억 원이 넘는다고 보도되었다. 국토교통부는 포트홀 파손문제에 대처하기 위해서 제도적 품질관리 강화방안을 마련하여 시행하고 있지만 제도적, 기술적 한계가 있으며, 이에 보다 근본적인 해결 방안이 요구되고 있다.

한국건설기술연구원에서는 2014년부터 2018년까지 5년 동안 포트홀 문제를 근본적인 해결할 수 있는 포트홀 Free 도로포장시스템을 개발하였다. 포트홀 Free 도로포장시스템은 크게 두 가지 기술로 구성된다. 첫 번째는 포트홀을 사전에 억제할 수 있는 도로포장 재료 기술, 두 번째는 불가피하게 발생한 포트홀을 신속히 발견하여 보수할 수 있는 시스템 기술이다.



그림 1. 포트홀 Free 도로포장 시스템의 구성 기술

포트홀 방지/억제 도로포장 재료 기술

우리나라는 신설도로 건설 성장 추이는 둔화하는 반면, 유지관리가 필요한 도로는 지속적으로 증가하여 장수명 도로의 필요성이 대두되고 있다. 최근, 포트홀로 인한 운전자 및 차량의 안전운행 저해와 막대한 도로 유지보수 비용 문제 등을 해결하기 위해서는 경제성 있고 내구성이 높은 새로운 아스팔트 혼합물 도입이 필요하다. 이번 연구에서는 이러한 대응 방안으로 기존 아스팔트 혼합물에 유리섬유 보강재를 첨가, 혼합물의 물리적 성능을 개선하여 포트홀 방지/억제하는 도로포장 재료를 개발하였다.

유리섬유 보강 아스팔트 혼합물은 그림 2와 같이 아스팔트 혼합물에 플라스틱으로 코팅된 봉형 유리섬유(PPGF, PolyPropylene-coated-Glass Fiber)를 첨가하여 유리섬유가 입체적으로 보강되어 균열저항성을 가지도록 하였다. 또 석분 필러를 골재형 유리섬유 파분 입자(PEGS, PolyEthylene-coated-Glass Fiber Scrap)로 대체해 인성 및 골재 간 마찰을 증진하여 소성변형 저항성을 가지도록 하였다. 재료 내에 섬유를 넣어 보강하는 원리는 선조들이 진흙집을 만들 때 벗짚을 넣어 보강하는 원리와 동일하다. 유리섬유 보강 아스팔트 개발의 초기 연구에서는 원천기

술 확보를 위하여 실내의 시험을 통한 성능검증에 초점을 맞춰 수행하였으며, 중반 이후 연구에서는 확보한 유리섬유 보강재 원천기술을 개선하여 페아스콘 골재 재활용률을 50%까지 사용해 내구성을 높이는 재생 아스콘용 하이브리드 유리섬유 보강재를 개발하였다. 또한, 국내뿐만 아니라, 해외의 극한 및 열대성 기후환경(몽골, 중국, 캄보디아)에서 현장 적용을 실시하여 관련 기술을 검증하였다. 연차별 연구 성과는 그림 3에서 보는 바와 같다.

포트홀 탐지 시스템 기술

안전하고 효율적인 도로교통 환경 구축을 위하여 포트홀을 사전에 억제하는 것도 중요하지만, 여러 가지 이유로 불가피하게 발생하는 포트홀을 신속히 발견하고 대처할 수 있는 시스템이 무엇보다 시급하다. 기존처럼 시민들의 신고 또는 도로관리 차량의 현장 순찰 등 인력에 의존하는 방식으로는 광범위한 도로에서 다발적이고 다양하게 발생하는 포트홀을 관리하기에 한계가 있었다. 정부와 지자체에서는 해마다 증가하는 포트홀에 대하여 인력에만 의존하지 않도록 다양한 방법을 도입하여 운영하고 있다. 최근 서울시에서 도입한 택시 신고 방식의 경우, 택시 운전자가

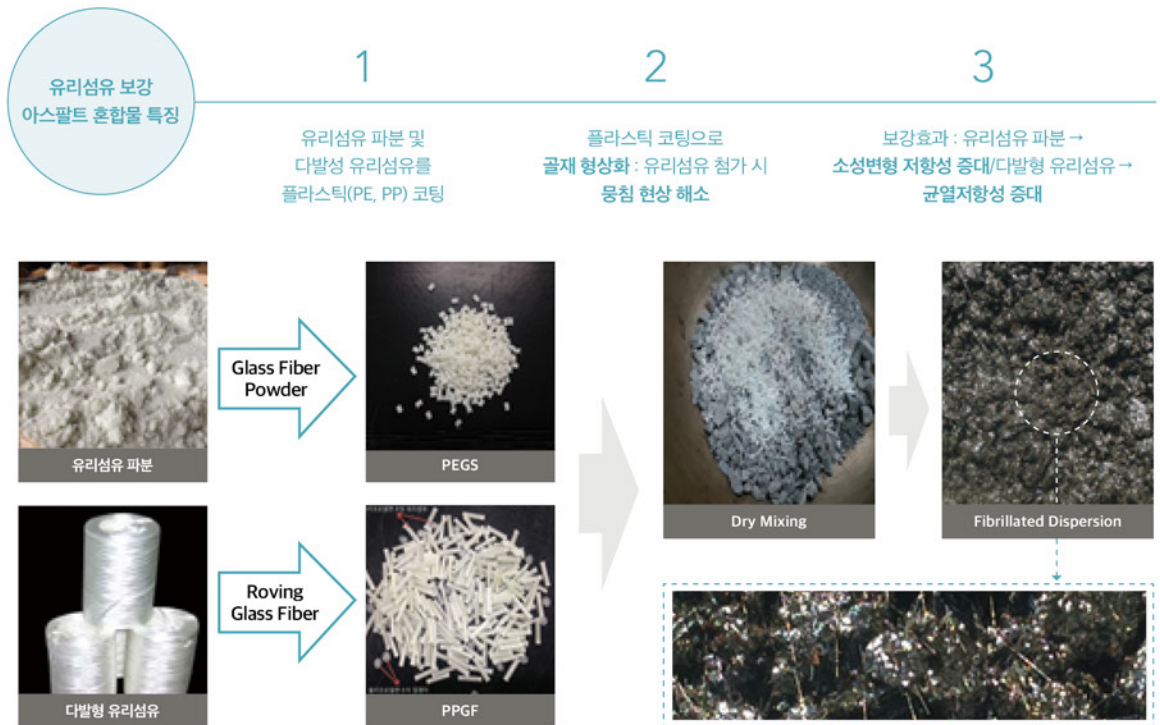
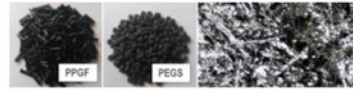


그림 2. 유리섬유 보강 아스팔트의 특징 및 원리

1차년도

- 아스팔트용 보강 유리섬유 시제품 개발
- 유리섬유 보강 아스팔트 혼합물 개발
- 실내 내구성 실험 평가
- 국내 현장 적용 2건(국도 38호선)



2차년도

- 습기 경화형 에폭시 시제품 개발
- 고분자 코팅 준저온 아스팔트 혼합물 개발
- 고분자 코팅 아스팔트 혼합물의 실외 포장 가속 시험
- 국내 현장 적용 3건(고속도로, 서울시, 국도)

- 국외 현장 적용 1건(중국)
- 특허 등록 1건(유리섬유 보강 아스팔트 혼합물)
- 국내지역 기술이전 1건(5천만 원, KCC)



3차년도

- 고분자 코팅 준저온 아스팔트 혼합물 검증
- 유리섬유 보강 아스팔트 혼합물의 실외 현장 포장 가속 시험
- 국내 현장 적용 3건(호남고속도로 등)
- 국외 현장 적용 2건(몽골, 캄보디아)

- 해외지역 기술이전 1건 (3.5천만 원, 코로스/ESG산업)
- 등록 특허 2건(고분자 코팅 아스팔트 혼합물 등)
- 한국건설기술연구원 글로벌 선도 기술 선정 (2016년 8월)



4차년도

- 하이브리드형 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물 개발
- 국내 현장 적용 1건(서해안 고속도로)
- 국외 현장 적용 2건(몽골, 캄보디아)
- 해외지역 기술이전 2건(3천만 원, ㈜코로스/㈜삼성아스콘)

- 해외진출을 위한 국제공동 실증 연구 수행(몽골)
- 유리섬유 보강 아스팔트의 국가별 생산 및 시공 시방서 작성



5차년도

- 캄보디아 국도 개량 사업 실시 설계 등록 (2번, 22번 국도, 4km)
- 해외(미국) 특허 등록: 유리섬유 보강 아스팔트 혼합물
- 국내 특허 등록: 하이브리드형 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물

- 국내외 현장 적용 구간에 대한 공용성 추적 조사
- 국내 적용 : 총 9건의 현장 적용 (14년 2건, 15년 3건, 16년 3건, 17년 1건)
- 해외 적용 : 총 5건의 해외 현장 적용(15년 중국 1건, 16년 몽골, 캄보디아 각 1건, 17년 몽골, 캄보디아 각 1건)



그림 3. 포트홀 방지/억제 도로포장 재료의 연차별 연구 성과



그림 4. 스마트 포트홀 탐지시스템의 특징 및 구성

1차년도



해상도	1280×720(HD)
촬영방식	각도 임의조정 브라켓 구조
탐지 알고리즘 내장화	안됨
통신	안됨
특징	블랙박스형 단말기 최초 설계

2차년도



해상도	1920×1080(FHD)
촬영방식	렌즈 각도 임의조정 구조
탐지 알고리즘 내장화	리눅스 버전 내장화
통신	안됨
특징	차선인식, LCD 탑재

3차년도



해상도	1920×1080(FHD)
촬영방식	렌즈 각도 임의조정 구조
탐지 알고리즘 내장화	윈도우/안드로이드 버전 내장화
통신	LTE 통신
특징	컴퓨팅 파워 향상, 스마트폰 기반 단말기, 탐지 포트를 실시간 전송

4차년도

스마트폰 실시간 포트를 탐지 단말기 완성

- 영상기반 포트를 탐지 알고리즘 내장화
- Android OS 스마트폰
- JAVA JNI, OpenCV 활용
- 알고리즘 S/W 경량화, 최적화



5차년도

스마트폰 실시간 포트를 탐지 단말기 고도화

- 핵심기술 1. APDS 특징점 기반 알고리즘
- 핵심기술 2. APDS 인공지능 기반 알고리즘
- 핵심기술 3. APDS 특징점 및 인공지능 하이브리드 기반 알고리즘
- 실도로 주행 검증(1,200km이상), 대구시 등 지자체 운영



그림 5. 포트를 탐지 시스템의 연차별 연구 성과

포트를 발견하면 택시 내부 단말기의 버튼을 눌러 신고 하는 방식이다. 이외에도 레이저 센서 또는 적외선 센서를 활용한 3D 형상 기반 포트를 탐지 기술 등 다양한 방법이 계속 연구되고 있지만, 제한된 센싱 영역의 문제, 높은 구축 비용 등 실용화하여 활용되기에는 많은 어려움이 있었다.

이번 연구에서는 앞선 탐지 기술들의 단점을 보완하여, 상대적으로 저렴한 비용으로 넓은 영역의 포트를 탐지할 수 있는 영상 기반 스마트 포트를 탐지시스템을 개발했다. 그림 4는 개발된 스마트 포트를 탐지시스템의 특징을 보여주며, 시스템은 영상을 통한 포트를 탐지와 탐지된 포트를의 정보를 저장, 분석, 관리하는 포트를 관리시스템으로 구성되어 있다.

포트를 탐지시스템 개발의 초기년도에는 기존 블랙박스를 활용하여 촬영된 영상에서 포트의 특징점을 기반으로 탐지하는 알고리즘을 개발하였으며, 이후 연구에서는 스마트폰 기반으로 포트를 탐지 알고리즘 내장화에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다. 최종 연구에서는 인공지능 기반의 포트를 알고리즘 등 기술의 고도화를 통하여 포트를

탐지율을 90% 이상까지 높였으며, 개발된 포트를 탐지시스템을 1,200km 이상의 실도로 주행 검증 및 대구시 등 지자체 운영을 통해 기술의 완성도를 높였다. 연차별 연구 성과는 그림 5에서 보는 바와 같다.

맺음말

우리나라뿐만 아니라 전 세계 도로포장에서 발생하는 포트는 최근 이상기후 영향으로 빠르게 증가하고 있다. 이러한 파손은 차량의 주행 안전성에 큰 영향을 미치며, 사회적 비용 증가를 야기하는 원인이 된다. 이번 연구에서 개발된 포트를 사전 예방 차원의 유리섬유 보강 아스팔트 포장 재료 기술과 포트를 신속히 발견하고 대처할 수 있는 포트를 탐지시스템 기술이 도로포장 재료와 포트를 관리기술로 활용된다면, 포트를 발생 문제를 빠르게 해결할 것으로 기대한다. ☐

참고자료

- 더불어민주당 보도자료, "최근5년간 전국 도로 포트를 36만건 발생", 2016.8.23
- 유평준 외, 포트를-프리 품질관리체계 개발, 한국건설기술연구원 보고서, 2014~2017
- 류승기 외, 포트를-프리 스마트 품질다발장비 개발, 한국건설기술연구원 보고서, 2014~2017