

자동차정보이용 도로상태 검지기술



강 영 균 | 현대건설 연구개발본부 차장
 김 완 상 | 현대건설 연구개발본부 과장
 신 성 욱 | 현대건설 연구개발본부 대리
 김 지 훈 | 현대건설 연구개발본부 대리
 전 장 우 | 현대건설 연구개발본부 사원

1. 서론

국내 도로의 전체 도로연장이 2013년 기준 107,527km에 이르고 있으며, 이 중 92.1%가 포장되어 있다(통계청, 2015). 도로의 연장이 증가하고, 포장 재령이 증가함에 따라 포장에 투입되는 유지보수 비용 또한 증가하게 된다. 또한 1990년대 이후 국내의 산업발달과 함께 중차량 교통량이 증가하였고, 최근 들어 폭설, 폭우 등 이상기후가 점차 증가함에 따라 포장 파손 발생이 급격하게 증가하고 있다.

IT기술의 발달과 함께 인프라와 자동차의 지능화 또한 가속화되었다. 최근에는 차량과 인프라간의 통신을 통해 정보 교류 및 서비스 제공이 가능한 C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System)기술이 주목받고 있다. 개발 또는 연구 중에 있는 대부분의 기술들은 안전과 효율성 향상에 집중되어 있고 도로운영과 관련된 기술개발은 상대적으로 많지 않다. 도로의 상태 검지는 특수차량과 인력만으로 수행되고 있다.

레이저기반의 검지 장비들을 장착하고 해당 차량이 직접 이동하면서 도로표면결합, 소성변형, 종단평탄성 등을 조사하게 된다. 또한 조사위치 확인을 위해 GPS, 거리측정기(DMI) 및 360도 현황촬영장치 등이 기본적으로 구성되어 있다. 검지차량 자체의 가격이 고가인데 비해 검지오류가 빈번하게 발생하고 추가적인 인력이 필요한 점을 감안하면 가격대비 경쟁력이 현격히 떨어지는 실정이다. 따라서 본고에서는 이를 보완할 수 있는 기술개발의 일환으로 기존의 차량운행정보(OBD data)를 활용하여 도로포장의 상태를 모니터링 하는 인프라 운영기술에 관하여 논하고자 한다.

2. 국내외 산업동향 및 시사점

포장은 콘크리트 포장과 아스팔트로 나뉘며, 포장파손은 종류에 따라 단차(faulting), 라벨링(ravelling), 균열(Cracking) 등으로 나뉜다. 이러한 파손에 의한

수분침투로 인하여 포장표면에 국부적인 작은 구멍이 생기게 되며, 이를 포트홀이라 한다. 포트홀은 국내 2014년 기준 5년간 전국 36만 건이 발생하였고, 특히 고속도로의 경우 10만 건 가량이 발생하여 1,000건 이상의 사고를 일으켰다. 이로 인한 사회적 비용은 수백억 원에 달한다. 이러한 포트홀뿐 아니라 도로 노후화에 따라 유지보수 비용이 증가하고, 사회적 비용과 사고가 증가하고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 국내외에서 운용되고 있는 도로 노후도 및 포트홀 검지 장비, 시스템은 다음과 같다.

2.1. 국외 도로상태검지 방법

2.1.1 ARAN(Automatic Road Analyser, 아일랜드)

포장조사 분야에 활용되는 차량으로서, 차량 후방부에 설치된 카메라를 이용하여 균열을 조사한다. 또한, 레이저 시스템을 통해 노면의 평탄성 및 소성변형의 측정이 가능하다. 또한, IRI(International Roughness Index), HRI(HalfCar Roughness Index), RN(Ride Number), Rutting, 차량 속도와 이동거리 등의 측정이 가능하다.

2.1.2 MIDAS(미국)

MIDAS는 포장조사를 위한 차량으로 종단평탄성(IRI), 소성변형 등의 정보를 취득하는 차량으로서 도로영상 취득이 가능하다.

2.1.3 포트홀 엘리트 시스템(Pothole Alert System)

재규어 랜드로버에서 개발한 기술로서, 도로에



그림 1. 포트홀 엘리트 시스템

푹린 포트홀을 미리 알아채서 운전자에게 경고해주는 시스템. 포트홀을 감지한 차가 클라우드 서버에 포트홀의 좌표데이터를 전송하고 이 좌표들이 다른 차에게 전달되어 포트홀을 알려주는 시스템이다.

2.2 국내 도로상태 검지방법

2.2.1 ARASEO(Automated Road Analysis and Safety Evaluation Tool)

차량 전방의 시설물을 촬영하는 3대의 카메라, 바닥에 부착된 노면온도 측정시스템, 도로 폭과 가이드레일, 중앙분리대를 측정하는 시스템 등 세계 최고



그림 2. 건설기술연구원 ARASEO

수준의 도로안전 점검 설비이다.

2.2.2 서울시 택시 포트홀 전송단말기

서울시, 한국스마트카드, 서울개인택시 운송조합 MOU를 통해 포트홀 발생지점을 지날 때 단말기에 해당 버튼을 눌러 위치를 공유하는 시스템을 적용하였다.



그림 3. 서울시 택시 포트홀 전송장치

3. 자동차정보 이용기술

3.1 차량 OBD 데이터

캘리포니아 대기 자원국(CARB)은 LA유역의 심각한 대기 문제에 대한 대응책으로 1970년에 미국 의회가 대기오염방지법을 제정하였고, 미국 환경보호국(EPA)을 설립하여 법적인 기반과 함께 OBD가 EPA의 법적인 규정을 감시할 수 있는 수단으로 인식하게 되었다. 국내에서는 2000년 이후 차종에는 OBD가 장착되었으며, 하이스캔 또는 스캐너라 불리는 진단장비로 여러 정보를 확인할 수 있게 되었다. OBD 포트는 그림 4와 같이 일반적으로 운전석

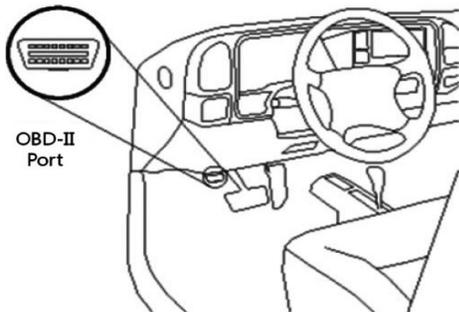


그림 4. 차량 내 OBD 포트위치

표 1. OBD 포트 및 데이터 항목

데이터 항목 (예시)
Vehicle Speed
Longitudinal Acceleration
Accelerator Pedal Position %
Wheel Velocity (LF,RF,LR,RR)
Tire Pressure (LF,RF,LR,RR)
DRV Seatbelt status
Passenger Seatbelt Status
Odometer reading
GPS정보, RPM정보
Vehicle Width
Vehicle Length
Vehicle Height
Vehicle Mass
Vehicle Type
Suspension height

계기판 아래쪽에 위치하며, OBD를 통해 취득할 수 있는 데이터 목록은 표 1과 같다.

3.2 OBD 데이터의 포트홀 검지 접목

앞서 기술한 차량 OBD 데이터 중 서스펜션, 속도, 가속도 등은 도로 표면의 상태파악에 활용될 수 있는 정보이다. 자동차에 있어 관절이라고도 할 수 있는 서스펜션은 차량운행 중 탑승자에게 바퀴를 타고 지면에서 오는 충격을 걸러주고 차량의 자세제어를 담당하는 장치이다. 이 장치를 통하여 노면의 포트홀에서 감지되는 진동정보를 얻을 수 있으며, 이를 위치데이터와 접목하여 포트홀 등의 위치를 데이터베이스에 저장하게 되면 포트홀 관련 안전서비스를 제공할 수 있을 것이다. 또한 각 타이어의 속도와 가속도 정보를 이용하여 도로의 마찰계수와 슬립율을 측정, 포장상태별 노후정도를 파악할 수 있다.

4. 도로상태 검지기술

4.1 마찰력을 이용한 도로노후도 검지

4.1.1 이론적 배경

일반적으로 차량바퀴와 노면의 마찰력에 대한 연구는 원인기반 접근방식과 효과기반 접근방식의 두 가지로 나눌 수 있다.

원인기반 접근방식은 타이어모델과 분석이론들을 가지고 타이어-노면 간의 마찰계수에 영향을 미치는 요인들을 검지하고 최대마찰계수를 예측하는 방식으로 진행된다. 이 방식은 실험결과들의 정확성이 높은 반면 추가적인 센서들과 정교한 모델, 특화 컴퓨터 프로그램 등이 필요하다는 단점이 있다. 그리고 실험상의 제약이 많아 실제 상황과는 거리가 있다는 점 또한 고려해야 한다.

효과기반 접근방식은 타이어-노면 간의 마찰력의 변화가 차량과 타이어에 미치는 영향에 주안점을 두

고 있다. 슬립율, 타이어 변형, 음향 등을 가지고 접근하는 연구들이 이에 해당된다. 특히 이 중에서도 슬립율과 마찰계수의 관계를 통해 타이어-노면 간의 마찰력을 예측하는 연구들이 주를 이루고 있다.

국내의 경우 도로노면 포장 별 제동경과시간과 마찰계수 등을 파악한 연구, 차량에서의 실시간 동반경 및 슬립율을 측정하는 연구 등이 수행되었다. 이 연구들은 도로의 노후도 또는 도로의 상태 파악보다는 측정 자체에 중점을 두었고 인프라 운영에 적용하려는 시도는 없었다.

일반적으로 도로의 재질별 슬립율과 마찰계수를 이용한 특성은 그림 5와 같다. 본 연구는 이러한 관계를 이용하여 노면의 다양한 조건을 파악하였다.

마찰계수와 슬립율을 파악하는 방법은 자동차에서 수집되는 OBD data 중 관련 변수를 실시간으로 수집, 변환하여 얻는다. 또한 이를 이용하여 모니터링을 위한 Database를 만드는데 활용되게 될 것이다.

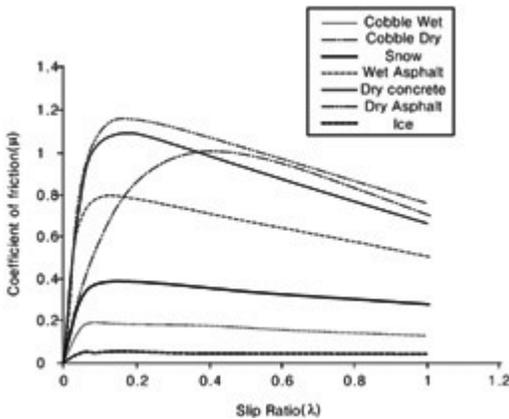


그림 5. 포장재질, 상태별 마찰계수-슬립율 관계

4.1.2 실험방법

본 연구는 승용차량을 이용하여 아스콘, 콘크리트, 비포장 재질의 도로에서 측정한 OBD data로부터 얻은 마찰계수와 도로 마찰계수 측정계인 BPT를 사용하여 측정하는 결과값 사이의 신뢰도를 알아보는 1차 실험을 시행하였다. 이후 실제 운전상황에 대한 반영을 위하여 일정속도(60~80km/h)에서의

가감속을 추가하고 등속구간을 선정하여 마찰계수와 슬립율을 측정하였다.

1) 1차실험



그림 6. BPT와 실험차량 측정

최대마찰계수를 얻기 위해서는 최대정지마찰상황에서 값을 구해야 한다. 이를 위해 우리는 표 2와 같이 다양한 속도까지 가속한 후 멈출 때 까지 최대제동을 하여 최대정지 마찰계수를 구하고 이를 BPT의 값과 비교하였다.

표 2. 1차실험 조건

실험장소	강원도 원주시 솔치터널 인근 폐도로		
노면종류	아스콘	비포장	콘크리트
실험속도 (km/h)	80, 100, 120		
실험방법	급가속 후 급정거		

2) 2차실험

2차 실험은 표 3과 같이 아스콘과 비포장구간, 콘크리트에 대한 실험을 수행하였으며, 이를 통해 아스팔트와 콘크리트, 비포장과와의 차이점을 알 수 있었다.

표 3. 2차실험 조건

실험장소	국내A주 주행시험도로	
노면종류	아스팔트	비포장
실험속도	가속 : 60km/h → 80km/h 등속 : 80km/h 감속 : 80km/h → 60km/h	
실험방법	일정속도(60km/h)에서 가속(평균0.3g) 및 등속주행 후 감속(평균0.3g) 4회 반복	

4.1.3 실험결과분석

1) 1차 실험결과

각 구간별(아스팔트 양호, 아스팔트 노후, 비포장, 콘크리트) 측정 결과 그림 7과 같이 나타났으며, 여기서 평균 마찰계수 값은 아스팔트(양호)는 자동차 : 0.782, 아스팔트(노후)는 자동차 : 0.584, 콘크리트는 자동차 : 0.608, 비포장은 자동차 : 0.4였고 두 결과값의 관계는 그림 8과 같으며, 통계적 유의 관계지수인 P-value가 0.033으로서 0.05 미만 유의성 높은 관계를 검증하였다. 마찰계수는 아스콘(양호) > 콘크리트 > 아스콘(노후) > 비포장의 순서였다.

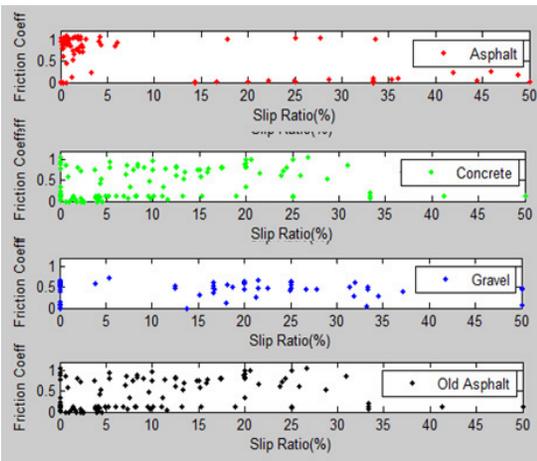


그림 7. 1차 실험 마찰계수 - 슬립율 결과

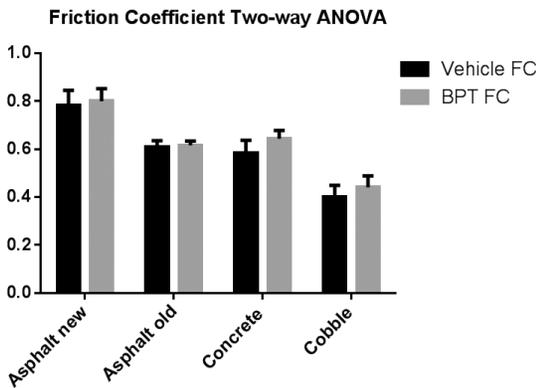


그림 8. 자동차와 BPT의 마찰계수 측정값 유의성

2) 2차 실험결과

총 4회에 걸쳐 수행된 조사를 통해 아래와 같은 결과를 얻었으며, 분석내용은 다음과 같다.

표 4. 아스콘 실험결과

항목 \ 실험	실험1	실험2	실험3	실험4	평균
초기속도(km/h)	58	56.7	58.7	59	58.1
가속도(g)	0.18g	0.21g	0.19g	0.2g	0.2g
마찰계수(평균)	0.352	0.435	0.279	0.328	0.349
마찰계수(분산)	0.154	0.195	0.225	0.216	0.198
슬립율(평균)	1.28	1.86	1.56	1.54	1.561
슬립율(분산)	0.48	0.38	0.46	0.48	0.453

표 5. 비포장 실험결과

항목 \ 실험	실험1	실험2	실험3	실험4	평균
초기속도(km/h)	56.3	57.7	62.7	60.4	58.2
가속도(g)	0.14g	0.1g	0.1g	0.124g	0.12g
마찰계수(평균)	0.27	0.18	0.18	0.15	0.195
마찰계수(분산)	0.19	0.11	0.12	0.15	0.142
슬립율(평균)	4.54	3.88	3.98	4.18	4.145
슬립율(분산)	1.08	2.53	1.36	1.27	1.567

4.1.4 장기모니터링 결과

실험 6개월 후, 1년 후 동일한 조건에서 실험을 한 결과는 다음과 같다. 평균 마찰계수 슬립율의 관계는 그림 9, 표 6과 같이 약 15%씩 감소되는 것을 확인할 수 있다.

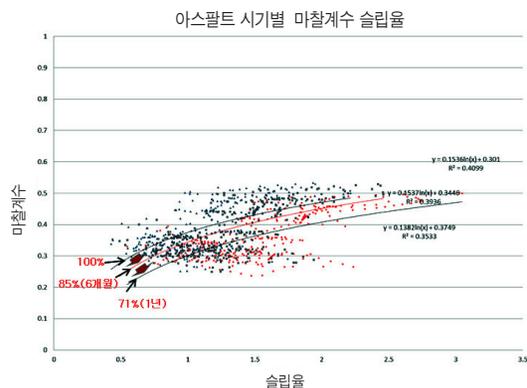


그림 9. 아스콘, 비포장 마찰계수 - 슬립율 비교

표 6. 아스콘, 비포장 마찰계수-슬립율 비교

실험 항목	실험당일					6개월 후					1년 후				
	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균	1	2	3	4	평균
초기속도(km/h)	58	56.7	58.7	59	58.1	60	58.3	59.2	60.3	59.4	60.3	59.5	60.8	60	60.15
가속도(g)	0.18g	0.21g	0.19g	0.2g	0.2g	0.223	0.197	0.215	0.205	0.21g	0.225	0.195	0.186	0.182	0.2g
마찰계수(평균)	0.352	0.435	0.279	0.328	0.34	0.275	0.312	0.291	0.285	0.29	0.231	0.253	0.25	0.254	0.25
마찰계수(분산)	0.154	0.195	0.225	0.216	0.19	0.179	0.195	0.202	0.172	0.187	0.215	0.223	0.195	0.187	0.2
슬립율(평균)	1.28	1.86	1.56	1.54	1.56	1.32	1.67	1.65	1.68	1.58	1.82	1.93	2.02	1.76	1.88
슬립율(분산)	0.48	0.38	0.46	0.48	0.45	0.38	0.42	0.34	0.35	0.37	0.27	0.35	0.34	0.41	0.34

4.2 포트홀 검지기술

4.2.1 실험개요

차량의 서스펜션 데이터를 이용하여 도로 포트홀 지점의 진동데이터를 취득하여 포트홀을 파악하기



그림 10. 실험구간

위한 실험을 진행하였다. 구간은 김해 가락대로 인근 1.6km 구간이며, 그림 10, 11과 같다. 해당구간은 중차량의 통행이 많고 실험당시 장마 후 포트홀이 많은 구간으로서 건설기술연구원의 ARASEO차량이 먼저 포트홀 및 평탄성조사를 시행하여 비교자료가 있는 구간이었다.

4.2.2 실험결과분석

해당 구간의 포트홀 총 6구간에 대해 총 10회의 주행시험을 실시하였으며, 주행차량은 기아자동차 K9로서 해당차량의 전자서스펜션의 변화율을 기본 데이터로 하여 ARASEO의 주행결과와 비교하였다. ARASEO와 실험차량의 포트홀 지점 Data는 R2 평균 0.785로서 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있다.



그림 11. 포트홀 검지구간

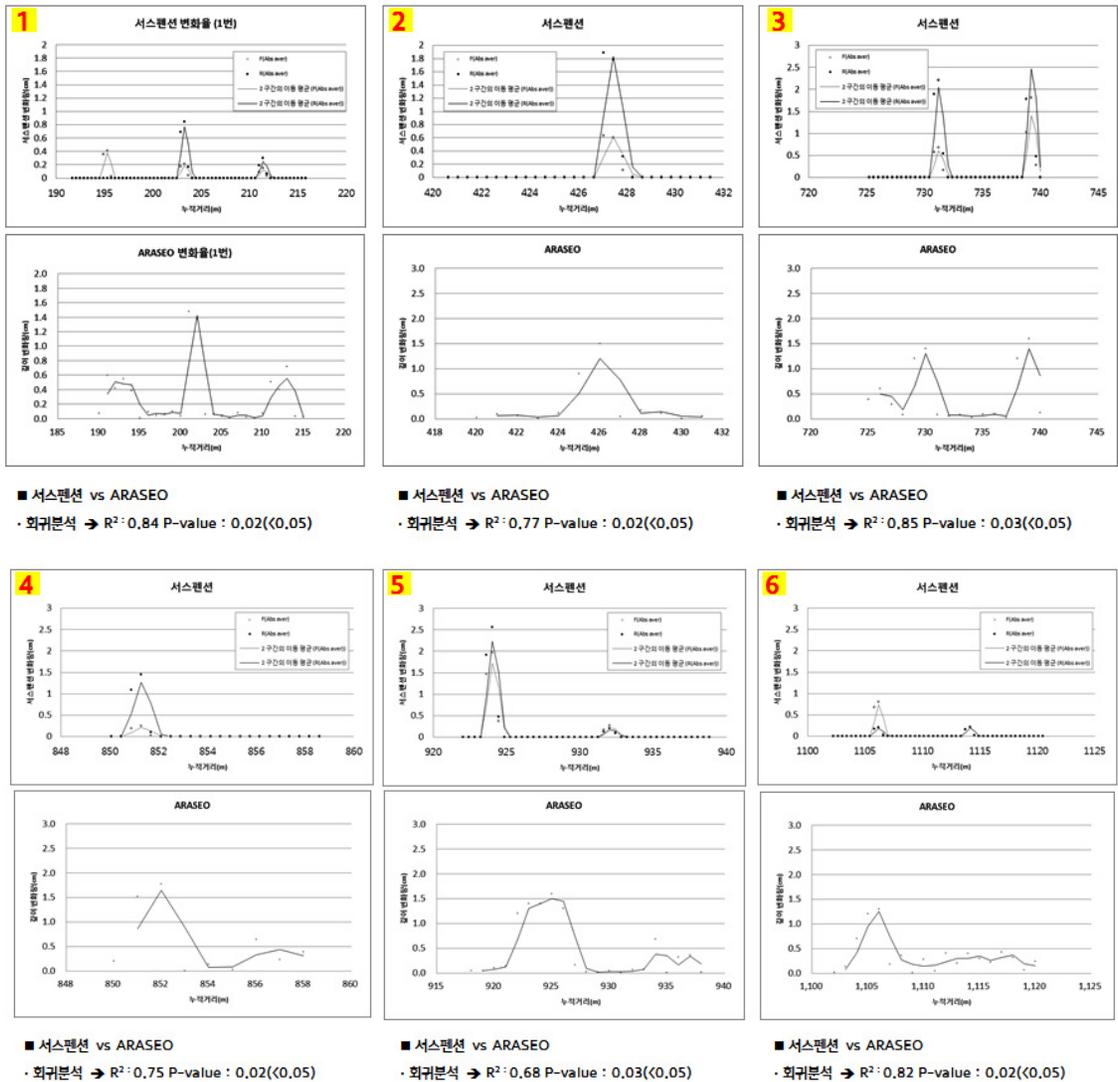


그림 12. 실험결과 비교표

5. 결론

최근 도로포장 노후화로 인한 유지관리비용이 증가함에 따라, 이를 절감하기 위한 다양한 방법이 필요한 시점이다. 또한 포트홀의 경우 안전상의 문제를 유발시키며 심각한 경우 사망사고로 이어질 수 있어 빠른 대응이 필요한 문제점이라고 할 수 있다.

현재의 기술은 고가의 점검차량으로 예상되는 구간의 정보를 받아야 하는 고가, 수동적 형태의 방법으로 대응하고 있는 실정이다. 하지만 본고에서 제시한 자동차의 정보를 활용한 마찰력을 이용한 도로 노후도 검지, 포트홀 검지 기술은 통신환경이 갖추어진 도로에서 V2I 통신이 가능한 향후 출고될 차량 성능을 고려해 볼 때 저비용으로 높은 효율을 기대할 수 있는 기술로 판단된다.