

2.2 조사 항목 및 방식

1) 균열

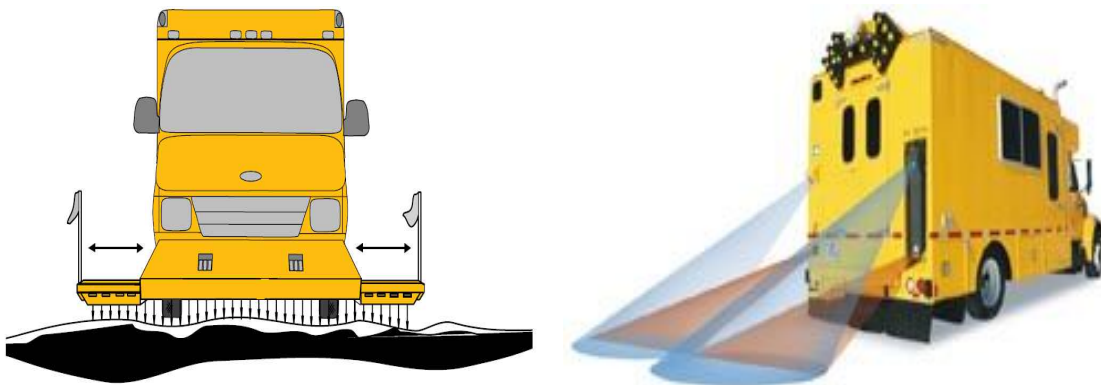
노면에 도로표면 영상 혹은 변위를 측정할 수 있는 센서를 차량에 탑재하여 차량이동거리와 연동하여 자료를 수집하는 방식이 주로 사용된다. 초창기 비디오 카메라 등의 Area Scan 방식의 영상센서를 적용하였으나, 현재는 복사기와 같은 방식으로 도로표면을 스캔하는 라인스캔 카메라를 주로 사용하고 있다(그림 1).



〈그림 1〉 표면결함(균열) 조사 방식(좌:Area Scan 우:Line Scan)

2) 소성변형

일반적인 소성변형을 측정하기 위한 센서로 사용되는 것이 초음파 센서로써, 공기를 매질로 이용하여 사람이 들을 수 없는 영역의 파장을 발생시켜 물체에 반사되는 시각을 계산하여 변위를 측정하는 방식이다. 센서 가격이 비교적 저렴하며, 측정 대상물의 특성 영향을 적게 받고 비교적 정확한 변위를 얻을 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 측정하고자 하는 대상 물체와 동일한 크기의 구성장치가 필요하며, 차량의 이동속도에 따라 측정위치가 수시로 변경되는 단점을 갖고 있다. 또한, 다수의 초음파 센서에 의해 상호 간섭을 일으켜 측정에 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 문제점들 때문에 레이저 및 광학 센서를 이용한 측정에 대해 활발히 진행되고 있다(그림 2).

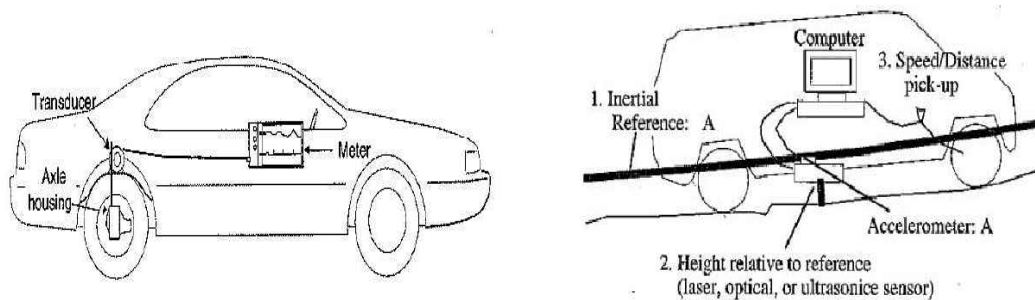


〈그림 2〉 소성변형 측정 방식(좌 : 초음파 방식, 우 : 레이저 및 광학센서 방식)



3) 종단평탄성

도로포장의 근본 목적인 종단평탄성(승차감) 측정 방식에는 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째는 고전적인 방법으로, 차축의 수직 움직임을 측정하는 장치(Transducer)를 부착하여 수직 움직임을 기록하는 방식인 반응형 종단평탄성 측정시스템 (RTRRMS:Response Type Road Roughness Measuring Systems)로서, 비교적 간단한 방법으로 구성할 수 있다(Sayer, 1998). 그러나 장착 차량의 서스펜션의 차이 및 속도에 따른 값이 상이하게 나타나는 문제점으로 인해 상대적인 노면의 종단 평탄성 측정에 적합한 방식이라 할 수 있다. 두 번째는 관성형 비접촉 측정방식으로(Inertial Road Profiling systems) 반응형 측정방식보다 진보된 형태의 측정 방식으로, 수직성분 가속도 측정 센서를 이용, 노면 요철을 측정하고자 하는 가상의 기준선을 생성하고, 레이저 변위 센서를 차량에 탑재하여 노면의 프로파일을 측정할 수 있도록 고안된 장비이다<그림 3>.



<그림 3> 반응형 측정시스템 및 관성형 비접촉 측정시스템 구성도

2.3 도로포장상태 조사항목별 개발 방향

국의 조사장비의 일반적 측정 항목과 이에 해당되는 측정 방식을 조사한 결과를 기본으로 각 조사항목에 따른 측정방식은 <표 1>과 같다.

<표 1> 장비의 조사항목 및 조사 방식

항 목	개발 측정 방식
표면결함(균열)	라인스캔카메라 방식
소성변형	레이저 및 광학 센서 방식
종단 평탄성	관성형 비접촉 측정방식 (레이저 변위센서&가속도센서)

3. 도로포장 상태 조사를 위한 각 조사장치 개발

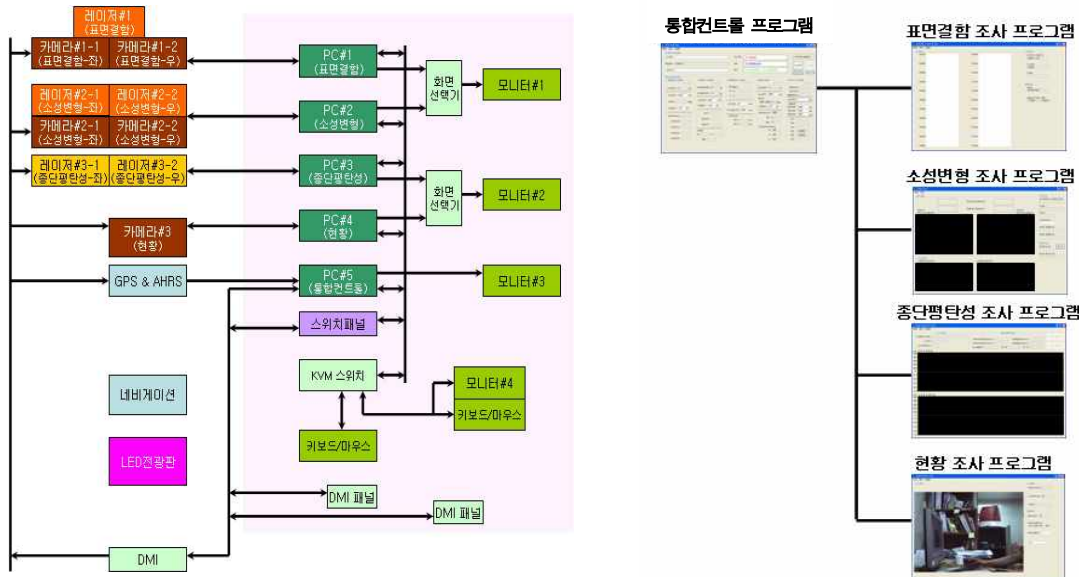
3.1 전체 구성

<그림 4>는 국내 도로여건과 국외 최신 조사장비의 조사형식을 고려하여 개발된 조사장비의 전체 외형을 나타낸다 (KRISS:Korea Roadway Infrastructure Survey System). 본 장비의 조사가 가능한 항목으로는 앞서 열거한 표면결함(균열 및 소성변형)과 종단평탄성 측정이며, 추가적으로 도로의 주변 현황 영상 및 위치정보를 동시에 기록하는 도로현황조사시스템을 추가로 개발하였다.



〈그림 4〉 도로포장상태조사장비(KRISS) 외형사진

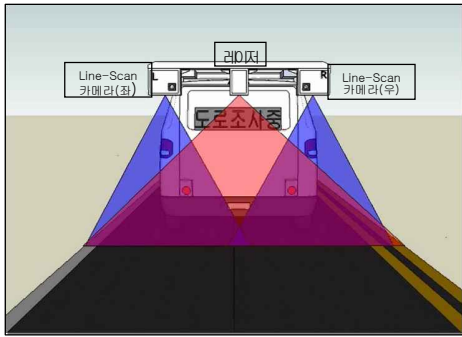
KRISS는 각 조사 항목별 개발 조사 및 통합조사가 가능한 구조로 제작하였다. 각 조사 항목별 별개의 독립적인 시스템으로 운영 할 수 있음을 의미하는데, 사용자가 관심 있는 항목만으로 독립적으로 조사 할 수 있으며, 각각 개별항목만 조사가 가능한 조사차량을 구성할 수 있어 전체 시스템의 유연성을 높이고자 하였다〈그림 5〉.



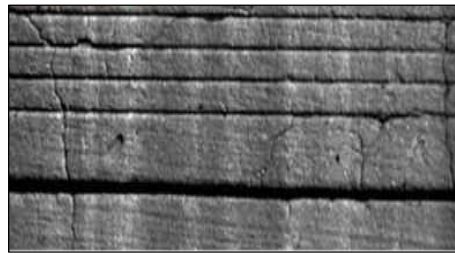
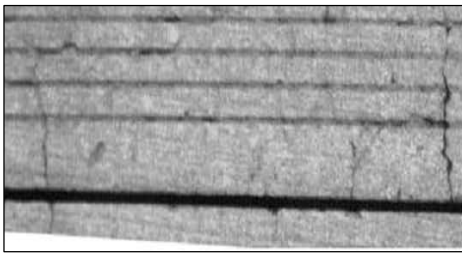
〈그림 5〉 KRISS 전체 시스템 구성도

3.2 표면결함(균열) 조사 모듈

도로표면의 영상을 취득하기 위한 Line-Scan 방식은 1열로 구성된 영상센서(CCD)로 획득된 1차원적 영상을 누적하여 일정면적을 표현하는 방식으로, 도로조사의 특성상 세계적인 추세는 Line-Scan 방식을 취하고 있다. 본 개발 장비에서도 2대의 고해상도 Line-Scan 영상센서와 노면의 그림자 배제 및 야간에도 조사 할 수 있도록 레이저 광원을 이용하여 외부 환경에 영향을 받지 않고 선명한 노면 영상을 획득할 수 있는 도로표면결함 조사모듈을 개발하였다〈그림 6〉. 본 개발모듈은 기존 국외의 조사장비에 비해 4배 이상 선명한 영상을 획득할 수 있으므로 미세균열 검지가 가능하다. 한 예로, 〈그림 7〉은 동일 구역에서 본 개발 장비와 국내에 운영 중인 국외의 조사장비의 노면 영상을 비교한 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 기존 운영되는 국외 장비에 비해 미세한 균열까지 선명하게 나타냄을 확인할 수 있다.



〈그림 6〉 KRISS 표면결함(균열) 조사 모듈

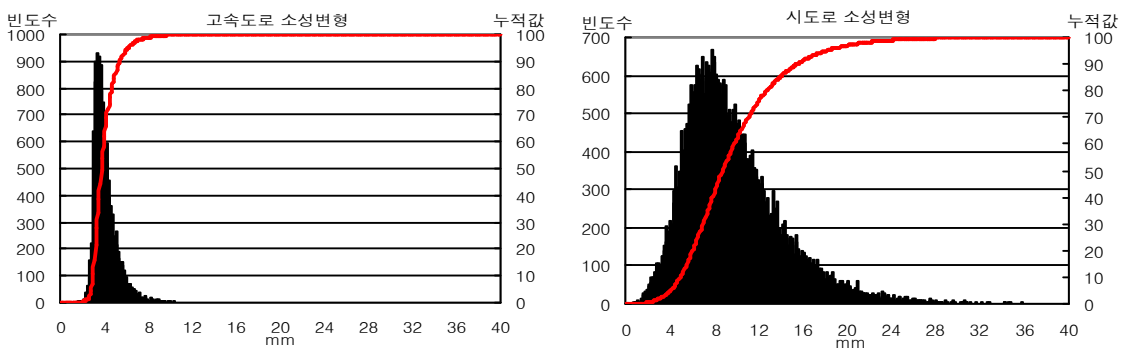


〈그림 7〉 노면 영상 비교(좌: 기존 운영 장비, 우:KRISS)

3.3 표면결함(소성변형) 조사 모듈

1) 개요

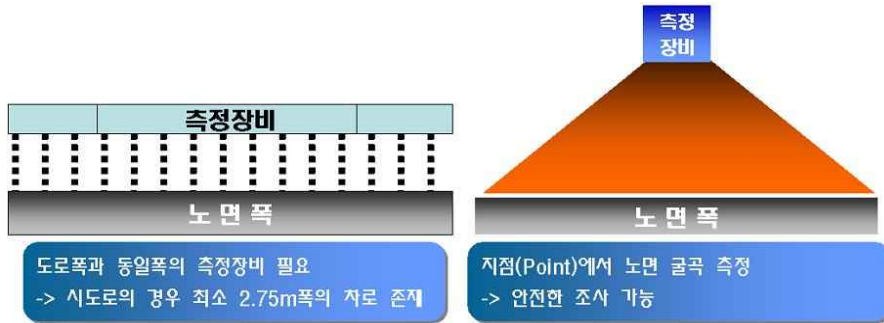
도로 이용자 측면에서 안전에 많은 영향을 미치는 주요사항 중 하나는 소성변형(바퀴 패임)이다. 시가지 도로에서 교차로가 다수 존재하는데, 소성변형은 교차로 주변에 흔히 발생하는 결함으로 우천시 발이랑에 물이 고이듯이 웅덩이를 형성하여 차량이 주행할 때 타이어와 노면 사이에 물이 있는 이른바 수막현상을 발생시켜 차량 주행 안전에 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 도심지 도로의 대표적인 결함인 소성변형은 고속도로보다 상당히 깊게 발생한다(김종호 2006). 〈그림 8〉은 시 단위(서울시 및 성남시) 도로와 고속도로에 발생한 단위구간의 소성변형깊이를 누적한 그래프로써, 단일 등급의 고속도로에 비해 시 단위 도로에서 발생한 깊이는 매우 넓고 깊게 분포된 것을 알 수 있다.



〈그림 8〉 고속도로 및 시 도로(서울시 및 성남시)소성변형 분포

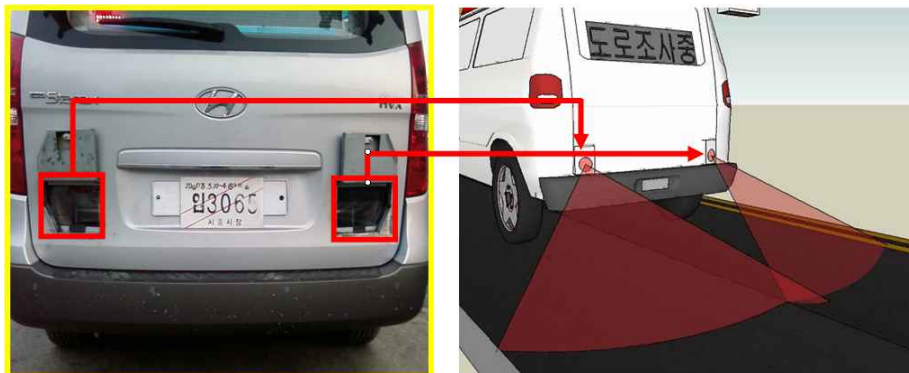
2) 소성변형 측정 원리

기존의 포장상태 조사장비에서 적용되는 소성변형 측정방식은 다수의 초음파 및 레이저변위센서를 이용한 방식이다. 즉, 노면과 수평이 되도록 센서를 배열하여 센서가 설치된 위치와 노면 간의 상대적 위치를 파악하여 굴곡을 측정하는 방식이다. 이러한 방식은 측정하고자 하는 노면 폭과 같은 크기의 측정 장치가 필요하여 조사 안전에 문제가 있다. 본 연구에서는 한 지점에서 측정하고자 하는 폭의 굴곡의 높이를 측정할 수 있도록 광학(Vision)방식을 적용한 소성변형 측정모듈을 개발하였다(그림 9).



〈그림 9〉 일반적 소성변형 측정방식(좌)과 KIRSS에 적용된 측정방식(우)

〈그림 10〉은 앞서 설명한 개념을 제작한 것으로 하부에는 약1mm두께의 레이저빔을 생성할 수 있도록 구성하였으며, 상부에는 이러한 레이저빔이 노면상태에 따라 형성되는 굴곡을 이미지화하는 영상센서가 장착되어 있다.



〈그림 10〉 소성변형 측정 방식

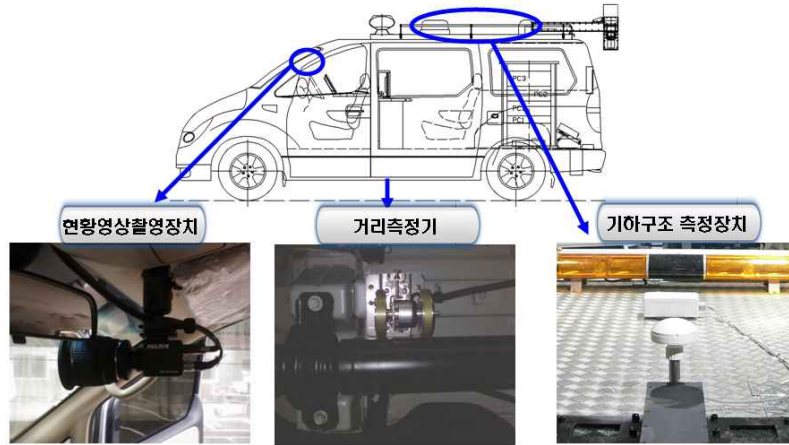
3.4 중단평탄성 조사 모듈

도로포장의 주 목적 중 하나는 평탄성 향상에 있다. 평탄성의 측정방법에는 고전적인 방법으로는 측량을 통한 굴곡 측정방법이 있으며, 기타 전용측정기구를 통해 차축의 수직 운동량을 수치화하는 방법(RTRRMS-Response-Type Road Roughness Measuring System)과 레이저 변위센서와 가속도센서를 이용하는 방식은 현재 범용적으로 사용되는 AEIPR이 있다. 본 개발 장비에서도 국제적으로 범용적 중단평탄성 평가지수 중 하나인 IRI(International Roughness Index)를 정량적으로 측정하기 위해 레이저 변위센서와 가속도센서를 적용한 중단평탄성 측정모듈을 제작하였다.



3.5 도로현황 조사모듈

최근 영상자료 및 위치자료를 결합하여 신속히 시설물의 위치 및 상태자료를 수집할 수 있는 모바일 매핑 시스템(Mobile Mapping System)이 다양한 분야에서 활용되고 있다(Benning W, 1998). 본 개발장비는 상대적 이동거리 측정을 위해 거리측정기(DMI)를 이용하여 거리측정과 동시에 연속된 등간격 이동거리에 따른 디지털 영상을 촬영시점을 생성하기 위한 신호를 발생하게 된다. 절대위치자료는 위성위치확인시스템(GPS, Global Positioning System)을 이용하여 획득하며, 차량의 Roll, Yaw 및 Pitch는 자세제어측정장치(AHRS)를 이용하여 측정한다. 이렇게 수집된 다양한 자료는 영상 자료와 위치정보자료를 매칭하는 형태로 구성되어 있다. 본 장비에 장착된 거리측정기는 표면결합에서 1mm 분해능을 갖는 영상을 획득하기 위해 1mm 이하의 분해능을 반드시 확보해야 함으로 차량에 장착된 엔코더의 신호처리 방법을 개선하여 1mm 이하의 분해능을 갖도록 개발하였다(그림 11).



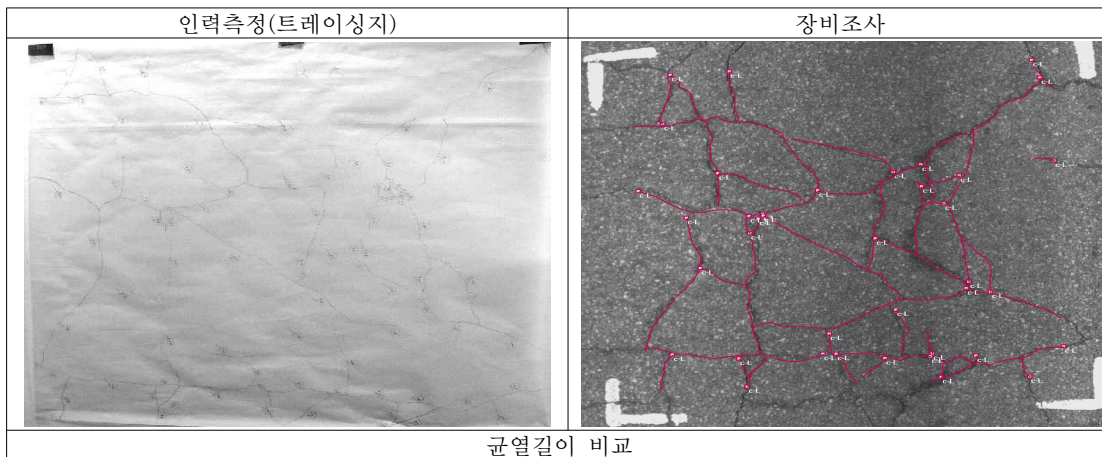
〈그림 11〉 도로현황 조사모듈 세부구성요소

4. 각 조사모듈 검증

4.1 표면결합 조사모듈

1) 균열

도로 표면결합 조사모듈 테스트 방법은 다양한 폭(0.5~2mm)으로 균열이 발생한 실제 공용 중인 도로에서 인력측정(트레이싱지 균열도)을 실시한 후 동일 구역을 도로표면영상자료에서 균열 길이를 측정하여 두 값을 비교하였다(그림 12).



〈그림 12〉 도로표면결합 조사모듈 테스트 방법(인력 측정과 비교)



비교결과 개발된 표면결함(균열) 조사모듈의 균열 구분이 가능한 영상 해상도는 매우 높은 것으로 나타났다. 모든 구역에 인력측정 대비 90% 이상의 검출률을 나타내었으며, 특히 0.5mm 균열이 발생한 Section 1에 대해서도 검출이 대부분 가능하였다(표 2).

〈표 2〉 표면결함(균열) 조사모듈 검증결과

Section	인력측정 균열량(m)	장비조사 균열량(m)	검출결과	
			편차(m)	검출율(%)
1	5.38	5.04	-0.34	93.7
2	1.68	1.55	-0.13	92.3
3	10.52	9.89	-0.63	94.0
4	6.56	7.14	+0.58	108.8
5	9.49	9.32	-0.17	98.2
6	6.43	6.34	-0.09	98.6

2) 소성변형

실제 소성변형이 발생한 공용 중인 구간을 인력으로 실측한 값(막대자)과 소성변형 조사모듈을 이용 정차 및 주행 시 조사자료 후 동일 지점에 대해 비교하였다(그림 13). 테스트 결과 〈표 3〉과 같이 인력 측정값과 조사장비 측정값을 비교한 결과 매우 정확한 측정값을 나타내었다.



〈그림 13〉 소성변형 조사모듈 테스트를 위한 인력 측정 및 장비측정

〈표 3〉 소성변형 조사모듈 테스트 결과

위치 No.	인력측정(mm)		장비측정(mm)				편차(mm)			
			정차시		주행시		정차시		주행시	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
1	15	15	14	12	15	13	1	3	0	2
2	9	23	9	23	9	23	0	0	0	0
3	28	19	26	19	26	18	2	0	2	1
4	32	43	34	42	33	42	2	1	1	1



4.2 종단 평탄성 조사모듈

공용 중인 도로에서 일반적인 종단평탄성 인력측정장비인 Dip-Stick을 이용, 100m 단위 구간별 IRI를 측정, 동일구간 종단평탄성 조사모듈로 5회 반복조사한 후 비교하였다(그림 14). 비교결과, Dip-Stick 측정값을 기준으로 종단평탄성 측정모듈의 측정값은 10% 이내의 편차를 나타냈다(표 4).



〈그림 14〉 종단평탄성 조사모듈 테스트를 위한 인력 측정 및 장비측정

〈표 4〉 종단평탄성 조사모듈 테스트 결과

항목	Station(m)	
	0~100	100~200
	IRI(mm/m)	
Dip-Stick	4.56	6.37
장비1회	4.38	5.75
장비2회	4.38	6.06
장비3회	4.34	5.9
장비4회	4.22	5.88
장비5회	4.14	6.15
평균	4.29	5.95
표준편차	0.11	0.16
최대값	4.38	6.15
최소값	4.14	5.75
%error	9.21	9.73

4.3 현황촬영모듈 및 거리측정기 테스트

등간격 도로현황영상 획득 가능 여부를 확인하고자 테스트 구간(약 9.5km)에 대해 3회 반복조사를 시행하여 측정된 거리 및 획득된 영상자료 개수를 확인하였다. 주행속도는 가감속을 제외한 구간에서 80km/h로 속도를 유지하였으며, 영상 촬영거리 간격은 10m로 설정하였다. 이동거리 및 촬영된 영상자료개수는 〈표 5〉와 같다. 테스트 결과 10m별 획득된 영상자료는 이동거리와 연동하여 정확히 수집되었다.

〈표 5〉 현황촬영모듈 및 거리측정기 테스트 결과

항목 \ 조사회수	1회	2회	3회	평균	표준편차
이동거리	9536.54m	9536.39m	9536.47m	9536.39m	0.075m
획득 영상자료 수	953장	953장	953장		



5. 결 론

선진국들이 국가의 기본 인프라인 도로관리를 체계적으로 수행하고자 각 국가의 특성에 적합한 도로포장상태조사장비를 자체 개발하여 운영하고 있다. 그러나 우리나라는 도로포장유지관리 초기 외국조사장비를 도입해 운영해 왔으나, 조사장비의 노후화 및 우리나라 도로유지관리 환경에 최적화되지 않은 조사자료 때문에 효율성 높은 도로포장 유지관리 시스템이 정립되지 못한 측면도 있다. 본 연구에서는 국내 도로포장 유지관리 환경에 적합한 조사장비를 세계적인 추세에 따라 최신 측정방식을 반영하여 모듈별로 개발하였으며, 각 조사모듈의 성능 검수결과 기존 외국에서 도입된 조사장비를 대체할 수 있는 월등한 성능의 도로포장상태 조사장비를 개발하였다. 향후 통합조사시스템의 개선과 함께 지속적인 현장 적용을 통해 부수적인 문제점을 개선하여 성능을 향상시킨다면, 도로포장 유지관리 시스템의 기본 요건인 조사장비의 범용적인 사용이 가능해 질 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발 사업지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서영찬(1999), PMS의 기본기능 및 구성요소, 한국도로학회 학회지, 제1권 2호, pp5~7.
2. 김종호(2006), 김장락, 문형철, 시 도로 아스팔트포장의 중단평탄성, 소성변형 및 균열특성, 한국도로학회 학술발표회 논문집, pp475~476.
3. Michael W. Sayer., Steven M. Karamihas, (1998) "The Little Book of Profiling",pp39~40
4. Benning W., Th. Aussems, (1998) "Mobile Mapping by Car-Driven Survey System(CDSS)"