

포장 상태 조사 장비

- 지체 개발 현황을 중심으로 -

엄 주 용* · 홍 승 호** · 김 준 범**

1. 서 론

한국의 도로는 미국 및 유럽과 비교하여 매우 짧은 역사 동안 비약적인 발전을 이룩하였다. 현재 한국의 도로는 국도가 약 12,500 km가 건설되었으며, 고속도로는 1,900 km가 건설되었다.

고속도로의 경우 향후 2004년 이후까지 현재 고속도로 연장의 2배에 이르는 3,500 km가 건설될 예정이며, 국토의 동서와 남북을 7×9의 격자형 고속도로망으로 연결하게 되는 2020년 이후에는 총연장 6,000 km의 방대한 고속도로망을 구축하게 될 것이며, 또한 국토의 경우도 지속적으로 확대 건설될 예정에 있다. 도로 연장이 늘어남에 따라 유지관리 분야의 발전이 병행되어야 경제적인 도로 관리가 될 수 있을 것이다. 그러나 한국은 현실적으로 도로의 유지관리 체계가 아직 확립되지 못하였으며, 도로 유지관리의 많은 부분에 인력을 투입하는 방법을 채택하고 있다. 인력 투입에 의한 도로 유지관리에는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 체계적이고 분석적인 대책의 수립이 곤란할 수 있다.

한국의 도로는 크게 국도와 고속도로로 구분되어 건설 및 관리되고 있다. 국도의 포장 공용

성 평가는 한국건설기술연구원에서 매년 정기적으로 표준구간을 설정하여 공용성 평가를 위한 현장 조사를 실시하고 있으며, 고속도로의 경우 한국도로공사는 장기 공용성 평가(LTPP)를 위한 구간을 설정하여 정기적인 조사를 수행하고 있다. 그러나, 두 기관에서 수행되고 있는 포장 공용성 평가를 위한 현장 조사의 많은 부분이 인력을 투입한 육안조사에 의하여 실시되고 있어, 현장 조사에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라, 조사된 자료의 분석을 위해 많은 시간이 소요되고 있다. 뿐만 아니라 공용성 평가는 많은 제약 상황으로 인하여 표준구간에서만 실시되고 있으며, 전구간을 대상으로 하는 공용성 평가는 현실적으로 불가능한 상태에 있다.

미국 및 유럽의 경우 오래 전부터 신속하고 정확한 포장 공용성 평가를 위하여 많은 장비를 연구 및 개발하여 운영하고 있으며, 빠른 시간 내에 넓은 구간에서 정확한 자료 수집과 체계적인 자료 분석을 실시하고 있는 것을 볼 수 있다. 한국도로공사는 미끄럼저항 측정장비(PFT)를 미국에서 '89년에 도입하여 운영하고 있으며, 노면 상태 분석 장치인 ARAN을 캐나다로부터 '95년에 도입하여 운영 중에 있다. 한국건설기술 연구원은 '98년도에 미끄럼저항 측정장비(PFT)와 ARAN을 도입하여 운영하고 있다. 현재까지 도입된 외국 장비의 경우 장비를 운영하기 위한

* 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

** 한국도로공사 도로연구소 연구원

전문가의 양성이 미미한 상태이며, 도입 장비의 운영을 위한 전문가의 양성이 시급한 상태에 있다. 외국에서 도입된 장비의 운영에서 가장 빈번하게 발생하는 문제는 장비의 적용성 및 A/S의 신속한 해결에 있다. 외국에서 도입된 장비는 측정원리 및 장비 자체의 특성에 대한 이해 부족, 도입기간의 경과에 따른 장비 노후화, 시스템 보정 및 유지 관리의 어려움 등이 빈번히 발생되고 있으며, 이러한 원인은 자체 기술로 개발되지 못함으로 인한 기술종속의 문제로 귀결된다. 따라서, 많은 부분에서 포장 공용성 평가를 위한 측정 장비의 국산화 노력이 절실히 요구된다고 할 수 있다.

본고에서는 외국에서 운영중인 노면 공용성 평가 장비를 소개하고, 국내에서 운영 중인 장비와 향후 국내의 포장 공용성 평가를 위해 필요한 장비에 개발 및 연구 방향에 대하여 소개하고자 한다.

2. 외국의 포장공용성 평가장비

2.1 미끄럼저항측정 장비

도로의 포장공용성을 평가하기 위한 장비의 연구 및 개발은 미국 및 유럽 각국에서 1960년대부터 본격적으로 수행되었다.

도로를 운행 중인 차량은 도로 포장 표면의 상태, 대기조건, 도로의 선형구조, 차량의 주행 속도 등에 따라 미끄럼저항 특성이 다르게 나타난다. 미끄럼 저항지수(SN : Skid Number)는 주행중인 차량의 타이어 특성과 노면 거칠기와의 관계로 평가되며 도로의 공용성 평가를 위한 중요한 자료를 제공한다. 미국은 ASTM E 274 규정에 미끄럼 저항지수를 측정하기 위한 기준을 마련하고 있으며, 이 기준에서 제시하는 타이어를 채용하여 일정한 속도로 주행하는 미끄

럼 측정 차량이 일시적으로 브레이크가 걸린 상태의 수직하중과 수평하중(마찰력)의 평균값을 계산하여 미끄럼 저항지수를 산정하고 있다. 미국 대부분의 주에서 ASTM E 274 기준으로 장비를 개발하여 운영 중에 있으며, 많은 수의 미끄럼저항 측정 장비는 몰탱크를 탑재한 견인 트럭과 미끄럼저항 측정장비가 장착된 트레일러로 구성되어 있다. 유럽 및 일본에서 개발하여 운영 중인 미끄럼저항 측정 장비는 차량에 미끄럼저항 측정 장치를 장착하는 방식을 채택하고 있으며, 이 방식의 경우 차량에 몰탱크를 탑재해야 하므로 적재 공간이 넓은 트럭 및 버스 형태의 차량을 이용하고 있다.

각국의 미끄럼저항 측정장비는 다음과 같은 장비들을 운영하고 있다.

미국 K. J. Law사 장비

K. J. Law 사는 미국 미시건 주에 위치한 회사로 여러 가지 포장 시험용 장비를 제작 판매하는 회사이다. 미국의 많은 주에서 이 회사의 장비를 사용하고 있다. 현재 한국도로공사 및 건설기술연구원에 이 회사의 미끄럼저항 측정장비 (PFT: Pavement Friction Tester) 중 하나인 M1290을 도입하여 운영하고 있다.

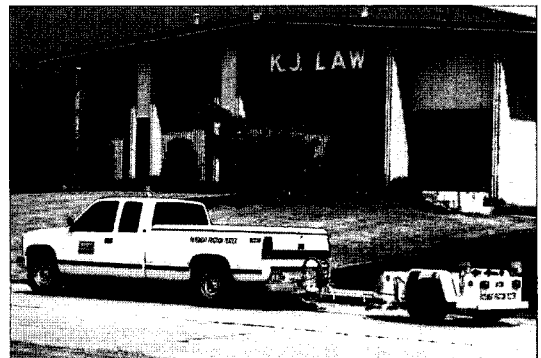


사진 1. K.J.Law사 미끄럼저항 측정장비

미국 텍사스주 장비

텍사스주 교통부 (TxDOT: Texas Department of Transportation) 에서는 자체 개발한 미끄럼저항 측정장비 (Tx Skid System)를 사용한다. 현재 미국의 전체 주 중에서 가장 많은 미끄럼저항 측정장비를 보유하고 있으며(약 10대), 제작 기술도 최고의 수준에 있다고 할 수 있다.



사진 2. 텍사스주 미끄럼저항 측정장비

미국 인디애나주 장비

인디애나주도 자체 개발한 미끄럼저항 측정장비 (Indiana Trailer)를 사용하고 있다. 측정방법은 역시 ASTM E274에 규정된 사항을 따르고 있으며 사진 3과 같다.

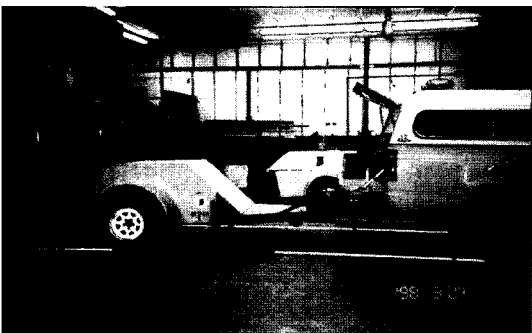


사진 3. 인디애나주 미끄럼저항 측정장비

노르웨이 Norsemeter사 장비

노르웨이의 Rud에 위치한 회사로 도로용 및 공항용 미끄럼저항 측정장비를 판매한다. 도로용 장비는 측정 바퀴가 하나인 것을 이용하며 ROAR Mark II라 한다(사진 4).

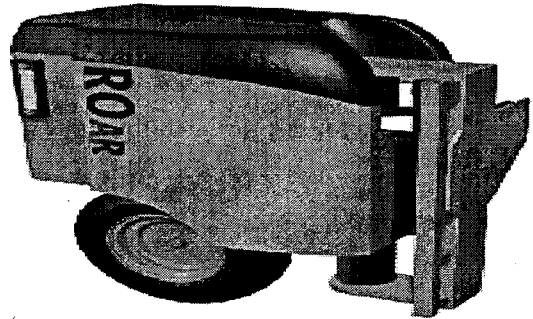


사진 4. 노르웨이의 ROAR Mark II

영국 Findlay Irvine사 장비

영국의 스코틀랜드에 있는 회사로 1987년부터 미끄럼저항 측정장비 (Grip Tester)를 개발하여 판매하고 있다. 영국의 TRL 및 미국의 NASA 등을 통해 세계에 널리 알려 졌으며 현재 약 150여기의 장비가 세계적으로 이용되고 있다.

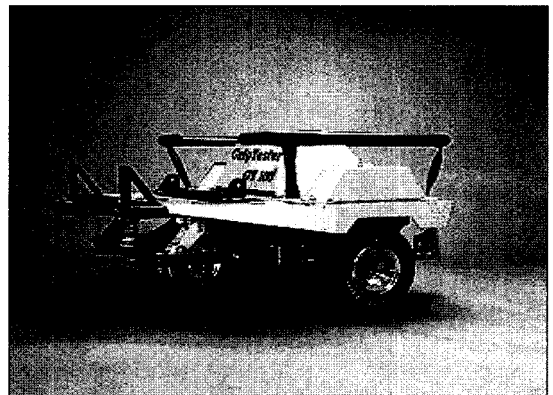


사진 5. 영국의 GripTester

일본 호카이도 토목연구소 장비

일본에서는 사진 6에 보인 것과 같이 1994년에 버스를 이용하여 왼쪽의 앞바퀴와 뒷바퀴 중간에 측정용 장비를 장착하였다.

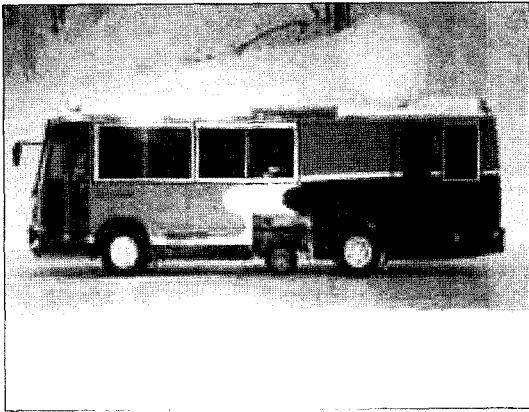


사진 6. 일본의 미끄럼저항 측정장비

스페인 도로연구소 장비

스페인 도로연구소 (CEDEX)는 사진 7에 보인 것과 같이 트럭의 중앙부분에 측정장비를 배치하여 사용하며 SCRIM이란 모델명을 갖고 있다.



사진 7. 스페인의 SCRIM

2.2 노면 균열 분석장치

도로 연장이 늘어남에 따라 유지관리를 위해 많은 인력과 시간이 소요된다. 그러나, 체계적인 도로 관리 및 대책 수립을 위해서는 신속하고 정량적인 방법이 강구되어야 한다. 미국 및 유럽의 경우 노면의 손상을 빠른 시간 내에 분석하기 위한 방법에 대하여 연구 및 개발을 오랫동안 수행하였다. 노면균열 분석 장치의 개념은 측정 차량이 주행하면서 도로의 이미지를 획득할 수 있는 장치를 통하여 수집된 자료를 컴퓨터 프로세서의 이미지 처리를 거쳐 손상된 부분을 찾아내는 방법이다. 도로노면의 균열을 분석하기 위한 분야는 도로의 이미지를 획득할 수 있는 장비 및 컴퓨터 성능과 프로그램의 획기적인 발전으로 인하여 꾸준히 발전하고 있다. 그러나 현재까지 각국에서 운영 중인 많은 장비들 중 만족할 만한 해석 결과를 제시하는 경우는 미미한 상태에 있다.

각국에서 개발하여 운영 중인 노면균열 분석 장치는 다음과 같으며, 노면 균열 분석 장치의 경우 장비의 특성상 노면의 균열뿐만 아니라 노면의 단차, 평탄성 및 소성변형 등을 복합적으로 측정할 수 있는 장치를 장착하고 있다.

캐나다 ARAN 장비

차량의 후방 상부에 2대의 CCD를 부착하고 있으며, CCD 설치 위치와 동일한 높이에 2대의 스트로브 조명을 설치하여 촬영 도로면의 그림자 문제를 해결하고, 야간 촬영이 가능하도록 하였으며, 레이저 시스템을 이용하여 노면의 평탄성 및 단차를 측정할 수 있는 보조적인 역할을 수행하기도 한다. 촬영된 노면의 손상부 위치 분석은 차량에 설치된 GPS에 의하여 수행된다. 사진 9는 촬영한 비디오 이미지를 분석하는 소프트웨어를 보여준다.

프랑스 GERPHO 장비

GEOPHO는 프랑스의 M.I.P.C.사의 포장 손상을 분석하기 위한 장비로 차량 전방에 한 대의 35mm 카메라를 설치하여 평균 속도 60km/h로 도로면을 촬영하여 노면의 손상을 분석하며, 대기조건의 영향을 최소한으로 배제하기 위하여 5개의 조명을 차량 전면 하단에 설치하여 야간 촬영이 가능하도록 한 장비이다. 본 장비를 사용하여 프랑스는 70,000km 이상의 도로에 대하여 노면 손상을 분석하고 있다.



사진 12. 프랑스 GEOPHO

3. 자체 개발 공용성 평가 장비

3.1 미끄럼저항 측정 장비

한국도로공사에서는 기존에 도입된 미끄럼저항 측정장비의 내구년한 종료와 잦은 고장으로 인하여 장비의 운영에 많은 문제점이 발생하여, 미끄럼저항 측정장비의 개발 가능성을 검토하여 2년간의 연구를 통하여 장비 개발에 착수하였으며, '99년 말에 장비 개발을 완료하기 위하여 진행 중에 있다. 개발 장비는 미국의 ASTM E 274 기준에 따라 진행중이며, 기준은 다음과 같다.

ASTM E 274 기준

미끄럼저항 측정 원리는 미국의 ASTM E 274 기준에 따라 표준 타이어를 채용한 미끄럼 측정 트레일러를 시속 64 km/h로 주행하면서, 물탱크로부터 측정 바퀴의 전면에 일정한 물을 살포하고 브레이크가 걸린 바퀴의 동적 수직하중과 노면과 접촉하고 있는 타이어의 마찰력을 측정하여 다음 식을 적용하여 계산된다.

$$SN = \left(\frac{F}{W}\right) \times 100 \quad (1)$$

- 여기서, SN = 미끄럼 저항 값(%)
- F = 동적 마찰력
- W = 동적수직 하중

또한, 실제 측정 시간 동안 미끄럼 저항지수는 다음과 같이 계산된다.

$$SN(t) = \frac{f_h(t)}{f_v(t)} \times 100 \quad (2)$$

$$SN = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} sn(t) dt \quad (3)$$

- 여기서, sn(t) = 측정시간 미끄럼 저항지수
- f_h(t) = 측정시간 동적 마찰력
- f_v(t) = 측정시간 동적 수직하중
- t₁ = 평균기간의 시작 시간
- t₂ = 평균기간의 종료 시간

장비개발 개요

현재 개발 진행중인 장비는 미국의 ASTM E274 기준을 채용하여 물탱크를 탑재한 견인 트럭과 트레일러 양쪽 바퀴의 타이어면과 노면 사이에서 발생하는 마찰력에 의하여 노면의 미끄럼 저항지수를 측정하는 시스템이다. 미끄럼 저항지수(SN)를 측정하기 위한 주요 장치로는 트레일러의 동적 수직하중을 측정하기 위한 로

드셀, 측정을 위한 브레이크가 작동되었을 때 바퀴 타이어의 마찰력을 측정하기 위한 토크셀, 측정시 양쪽 바퀴의 속도를 측정하기 위하여 바퀴 축 안에 각각 설치된 속도 센서, 트레일러의 속도 및 DMI를 정확하게 산정 할 수 있는 속도 측정장치(5th wheel), 측정시 바퀴 전방에 물을 공급하는 장치로 구성되어 있다. 본 장비는 좌측 또는 우측의 바퀴를 선택하여 측정을 실시하며, 외국의 문헌에 의하면 좌·우측 바퀴의 미끄럼을 동시에 측정할 경우는 트레일러가 측정 구간을 이탈하는 현상이 발생되어, 이 방법을 지양하고 있다. 좌측 또는 우측 바퀴의 미끄럼 저항지수 측정시 브레이크는 한쪽 바퀴에 작동하며, 바퀴의 속도가 0 km/h가 되는 시점에서 트레일러의 동적 수직하중과 바퀴 축에 걸리는 토크력을 측정하여 미끄럼 저항지수(SN)를 산출하게 된다. 또한, 이때 반대쪽 바퀴는 자유운동을 하게 되어 축내에 설치된 속도계는 측정시의 트레일러 속도를 산정 할 수 있다.

모든 장치의 구동은 운영자의 조건 입력에 의하여 제어시스템의 구동으로 작동되게 된다. 미끄럼 저항지수를 측정하기 위한 장비의 가동 순서는 다음과 같다.

- (1) 운영자 측정 조건 입력(주제어 컴퓨터) : 측정 조건은 특정한 구간에 대하여 수동으로 측정할 것인지, 아니면 자동 시스템으로 일정한 구간을 특정 간격(시간 또는 거리)으로 측정할 것인지를 결정할 수 있다.
- (2) 주제어 시스템은 측정 조건에 노면의 건조, 젖은 상태 그리고 자체적으로 노면을 젖은 상태로 만들지를 선택하여 컨트롤러에 명령을 지시
- (3) 노면을 젖게(Wet Condition)하는 측정의 경우 측정 바퀴의 전면에 차량의 속도와 관계되는 양의 물을 살포
- (4) 컨트롤러는 측정 바퀴의 브레이크를 작동

- (5) 측정 바퀴의 동적 수직하중과 동적 수평하중(마찰력)을 1~2초간 측정하여 평균값을 계산한 후 미끄럼 저항지수를 산출한다,
- (6) 측정이 완료되면 브레이크를 이완시키고, 물 살포를 중지함으로써 한 구간에서의 미끄럼 저항지수 측정이 완료된다.

이와 같은 일련의 과정은 측정 차량이 65km/h의 속도로 운행 중인 상태에서 이루어지며 측정에 소요되는 시간은 5초 정도이고, SN 값이 결정되는 시간은 1~2초이며 측정 구간은 18~30 m가 된다.

트레일러 바퀴에서의 수평력 측정 원리는 다음과 같이 산출될 수 있으며, 궁극적으로 측정 타이어면과 노면의 마찰력을 측정하게 되며, 그림 1에서 노면에 작용하는 타이어 마찰력은 바퀴 축에서 측정된 토크력을 식(5)에 대입함으로써 계산될 수 있다.

$$T_k = r \times F_k \quad (4)$$

$$F_k = \frac{T_k}{r} \quad (5)$$

여기서, T_k = 동적 토크력
(토크셀에 의해 측정된 값)
 r = 바퀴의 반경
 F_k = 동적 수평력(노면 마찰력)

이와 같은 측정 원리에 의하여 노면의 미끄럼 저항지수를 산출할 수 있다.

장비 개발의 가장 핵심은 미끄럼저항 측정 장비의 제어를 위한 프로그램 개발에 있다. 미국의 미끄럼저항 측정장비 개발 회사 및 주정부가 보유하고 있는 노하우는 미끄럼저항 측정장치의 기계장치의 기술력에 있는 것이 아니고 장치를 제어하는 프로그램 기술에 있다. 본 장비를 개

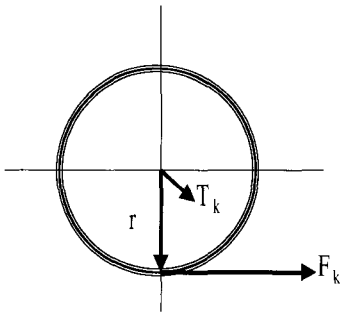


그림 1. 타이어에 작용하는 힘

발함에 있어 운영 소프트웨어 개발을 포함하여 장착된 기계장치를 제어하는 소프트웨어 개발과 계측 시스템에 사용되는 각종 계측 장치의 개발 및 데이터 수집 제어보드를 병행하여 개발하고 있다. 많은 나라에서 생산되고 있는 미끄럼저항 장치는 대부분 비슷한 원리를 적용하여 개발되고 있으며, 현재 개발 중인 장비를 바탕으로 사용자의 용도에 맞는 장비의 개발이 가능해 질 수 있다. 또한, 미끄럼저항 측정 장비의 개발에서 가장 주요한 부분은 실제적인 SN 값을 획득하기 위한 로드셀 및 토크셀의 장착에 있다. 장비에 사용되는 로드셀의 경우 동적하중을 측정할 수 있는 것을 채용하였으며, 토크셀은 본 장비의 용도에 맞게 새롭게 개발하고 있는 제품을 채용하였다. 그 외 장비에 장착되는 장치들은 대부분 한국에서 생산되고 있는 것을 채택하였으며, 한국에서 생산되지 않는 몇몇 장치는 외국 제품을 사용하였다.

제어 소프트웨어 개요

측정을 위한 제어 프로그램은 국내에서 개발 중에 있으며, 다음과 같이 각 단계별로 구분되어 운영된다.

(1) 내부명령 및 Packet 처리 모듈

① Packet 수신모듈(Thread) : 시작 또는 중

료 버튼과 컨트롤러로부터 Packet을 수신하며, 모듈 구조는 Thread로서 항상 수신상태를 확인하며, 수신된 자료를 Circular Queue로 전송한다. 이때 bls Using flag가 FALSE 일 경우에만 제어가 가능하도록 한다. 즉 자원 점유에 대한 동기화를 보장한다.

② Packet 송신모듈 : 컨트롤러로의 송신을 담당하며, 모든 데이터는 반듯이 이 송신모듈을 통하여 전송되어야 한다.

③ 측정 Packet 분석모듈 : 컨트롤러로부터 전송되는 Packet은 다음과 같이 3가지로 분류된다.

- 동작/제어 명령에 대한 Ack 및 명령 수행 완료 Packet
- 측정 데이터 Packet으로 이는 실제 SN 값을 구하기 위한 측정 데이터
- 상태 정보로서 이 정보는 최소 1회/0.5초 수신되며 이는 현재 트레일러에 대한 상태 정보를 제공한다.

④ Circular Queue : Void Point를 처리하고 저장하는 Circular Queue이다. 버튼 동작시 미리 해당 데이터를 Heap 상에 적재하여야 한다. Circular Queue는 객체의 Pointer를 값으로 해서 처리를 수행한다. 즉 실제 값의 복사 없이 신뢰성이 있는 데이터 교환이 가능하다.

⑤ Message Trigger(Thread) : Circular Queue를 항상 감시하면서 Queue에 데이터가 들어 있을 경우 수신 Packet 분석 모듈에 송신 명령을 보내 Packet을 처리하도록 하며, 송신 명령은 처리 후 돌아와 처리상의 신뢰성을 보장한다.

⑥ 오류 점검(Thread) : 수신 Packet 분석 모듈은 항상 데이터의 수신시 동작되는 메시지 핸들러이다. 따라서 콘크리트롤러 문제시 항상 어떠한 값이 대기하는 경우가 발생할 수 있다. 이런 시간 초과 문제를 해결하기 위해 별도의 시간 초과를 검사하는 Thread를 둔다. 이것은 제

어과정에서 일련의 정확한 데이터의 흐름이 원활히 진행되는지 아닌지를 판단하여 적절한 조치를 취하고, 통신상의 문제 발생에 대한 Fault tolerance를 보장한다. 즉, 상대 통신 주체의 문제로 인한 통신 장애 및 시스템 다운을 처리하고 상태를 확인하여 운용자에게 이를 통보함으로써 즉각적인 문제 해결이 가능하도록 한다. 전체 흐름에서는 시간적인 에러만을 처리한다.

⑦ 수집 데이터처리 모듈 : 측정된 데이터는 CTestData로 객체화되어 한번의 사이클 동안의 데이터를 가지고 있는 CCourseInfo에 저장된다. 또한 이것은 전체 구간의 내용을 포함하고 있는 CTestinfo에 저장된다. 즉 Tree를 구성하게 되며, 이것은 Serialize를 구현하며 객체적인 처리를 수행할 수 있게 한다. 모든 데이터 관리 및 저장은 이 구조로 이루어진다.

⑧ 상태정보, 속도 및 노면 온도 처리 모듈 : 이 Packet의 정보는 CCycleStatus 모듈에서 처리되고 운용자가 현재의 상태를 파악할 수 있도록 화면에 디스플레이 된다. CCycle-Status의 내부 모듈인 차량 상태 디스플레이 모듈, 속도 디스플레이 모듈, 노면온도 디스플레이 모듈을 각각 호출하여 처리가 이루어지도록 한다.

⑨ 동작 제어 명령 처리모듈 : 운용자의 명령이 직접적으로 콘트롤러에게 전달될 수 있도록 Packet화하여 전송하는 모듈이다. 명령에는 시작·재시작이 있으며, 단일구간 측정 종료, 연속구간 측정 및 설정 등을 지시할 수 있다. Pendant에서 전송된 명령도 이곳에서 Packet화하여 콘트롤러로 전송이 된다. 명령 수행시 bMode는 장치 제어모드로 설정되며 bAck, bComplete은 FALSE로 설정되고, dwiTickCount는 현재 값으로 설정된다. 다음 수신 Packet이 flag와 비교되어 처리된다.

⑩ 차량 상태 관리 및 시스템 설정 모듈 : 측정 차량에 대한 정보와 시스템 설정에 대한 정

보를 설정하고 저장하는 모듈이다. 사용자가 설정한 환경 파일을 시스템 시작과 재구성할 수 있도록 해서 시스템 운영에 도움을 주고자 하는 것이다.

⑪ 파일모드 모듈 : 로드파일 내용은 설정 파일, 데이터 저장 파일이 있다. 두가지 모두 자동, 수동 저장이 가능하다. 데이터 로드시 Serialize을 호출하여 로드한다.

(2) CTestDataView

측정구간에 대한 모든 데이터를 디스플레이 하는 부분으로써 사용자의 요구에 의해 그래프 혹은 실제 데이터 값을 화면에 디스플레이하며, 현재 측정 구간에 대한 정보를 디스플레이 한다. 또한 한 구간에 대한 측정이 종료되면 자동적으로 그 구간의 평균 SN 값을 디스플레이하며 다음과 같은 모듈로 구성된다.

- ①그래프 디스플레이 모듈
- ②데이터 디스플레이 모듈

(3) ScheStatusView

① 측정 진행 상태 디스플레이 모듈 : 연속구간 측정시 사용자로 하여금 진행 상태 및 측정현황을 한눈에 파악할 수 있게 한다.

② 연속구간 그래프 디스플레이 모듈 : 연속구간 내 각 구간에서 값들의 평균값들을 그래프로 디스플레이 하는 것으로 오류 처리된 구간도 함께 디스플레이가 되며, 이것은 사용자의 선택에 따라 개별적인 디스플레이가 되는 그래프로 선택이 가능하다.

(4) CCycleStatusView

① 차량 상태 디스플레이 모듈 : 제어 명령 전송후 또는 측정시 장치의 변화 상태를 실시간으로 그래픽을 통하여 운용자에게 제공한다.

② 속도 디스플레이 모듈 : 상태 정보 Packet

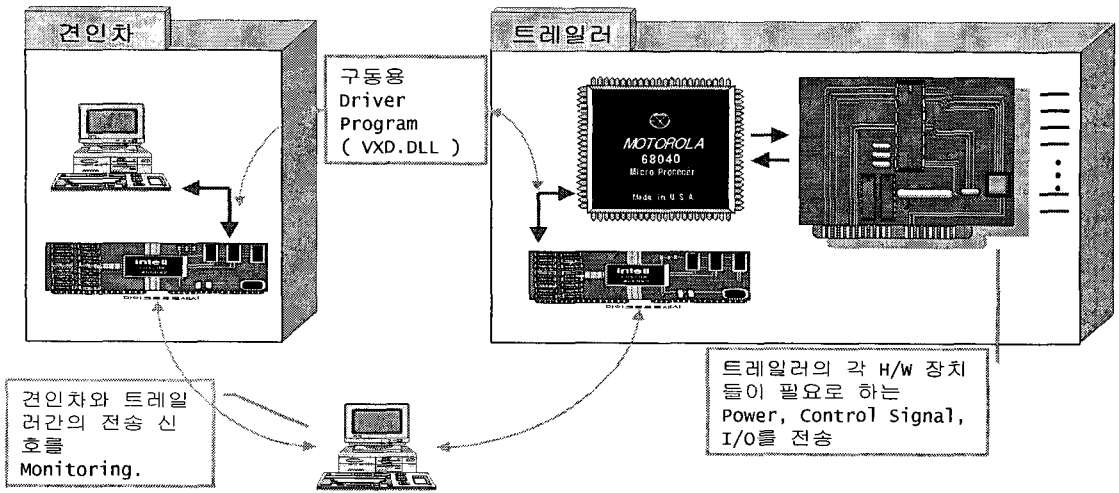


그림 2. 미끄럼저항 측정 개념도

에 의하여 주기적으로 전달된 트레일러 속도를 화면에 디스플레이 한다.

③ 노면온도 디스플레이 모듈 : 상태 정보 Packet에 의하여 주기적으로 전달된 노면 온도를 화면에 디스플레이 한다.

(5) CComplexAnalyzer View

연속구간을 하나의 파일로하여 관리가 된다. SN 값은 아직 정확히 어떠한 값이 되어야 한다는 규정이 아직까지 없으며, 여러 형태의 구간들에 대한 종합적인 분석을 통한 통계적인 분석을 통한 통계적 기준을 구해야만 하며, 다음과 같이 구성된다.

① 평균, 표준편차 산출 및 그래프 디스플레이 모듈 : 선택된 파일의 구간 평균을 단위(n)로 하여 전체 평균과 표준편차를 구한다. 사용자의 선택에 따라 필요한 그래프를 선택할 수 있다.

② 파일 관리 및 구간 정보 디스플레이 모듈 : 디스플레이 영역은 폴더 및 파일 정보 영역으로 나누어지며, CTreeCtl과 ClistCtl을 사용한다.

파일이 단일 구간일 경우 하나의 구간에 대한 정보만 디스플레이 되고 연속 구간일 경우 연속

구간내의 모든 구간을 디스플레이 할 수도 있고, 연속구간 정보로 디스플레이 될 수 있다. 그림 2.는 미끄럼저항 측정을 위한 개념도이다.

3.2 노면 균열 분석 장비

시스템개요

노면 균열분석 장비는 도로를 주행중인 측정 차량으로부터 얻어진 자료를 영상 처리와 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 포장 노면의 균열을 정확하게 분석하여 검출 및 분류할 수 있는 소프트웨어 및 장비를 개발하는 것으로 장비는 다음과 같은 하드웨어 구성을 갖는다.

- 탑재 차량
 - 2.5ton 이상의 트럭 또는 15인승 미니밴
- 디지털 캠코더 2대
 - 영상의 디지털화 과정에서 발생하는 화질 열화를 최소화하기 위하여 디지털 카메라를 장착하며, 1차선(최대 3.75m) 폭 촬영이 가능해야 한다. 장착된 카메라는 SONY DVCAM의 DSR200을 설치하였으며, 고화질의 영상을 취득할 수 있고 진동 보정 기

능이 내장되어 있고, 높은 셔터 스피드(최고 1/10000 초)가 가능하여 이동하면서 영상 촬영이 가능하다.

- 비전보드

비전보드는 비전 시스템을 이루는 핵심 요소로서 카메라로부터 입력되는 영상을 캡처하고 이 영상에 대해 여러 가지 처리를 고속으로 수행하는 보드이다. 비전 보드는 1개의 보드에 대해 CCD 카메라 인터페이스 모듈, A/D 변환기, 영상데이터 메모리, 영상 데이터 프로세서, D/A 변환기 등 비전에 핵심적인 모듈을 갖추고 있어야하며, 본 시스템에서는 2대의 비전보드가 요구된다.

- 조명

지속적으로 광원을 제공할 수 있는 조명 또는 섬광 라이트

- 분석용 컴퓨터

컴퓨터 운영 체제는 Win95 이상이며, 구현 언어는 Visual C 또는 Visual Basic

- 발전기(10kw)

노면 영상의 처리과정

도로에서 획득된 영상으로부터 노면의 균열을 분석하기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳐 노면의 균열부를 분석하게 된다.

- 전처리 과정

아스팔트 또는 콘크리트 노면 영상의 입력시에 발생할 수 있는 노이즈를 최소화하기 위한 영상강조 (enhancement), 잡음제거 (noise elimination), 영상분할(segmentation)의 과정을 갖는다.

- 2차원 영상의 과정

전처리 과정을 거친 영상으로부터 원하는 물체를 인식하기 위한 준비 과정으로서 2D 영상 기술 과정이 요구되며, 영상처리 과정에서 널리 성능이 입증된 4진 트리(Quad-

tree)가 이용되고, 트리 생성을 위해서는 트리 노드들에 해당하는 영역별로 특징(Feature)을 추출하고 구조화한다.

- 분류 및 정량화 과정

노면 영상의 분석 예

(1) 노면 분석 장치는 정지 노면 영상을 대상으로하며, 노면의 균열을 검출하고 분석하는 프로그램은 비주얼베이직 5.0으로 작성되었고, Win95, 98 및 NT 상에서 동작되도록 하였다. 시스템에서 지원하는 파일 형식은 JPG, BMP, GIF이다.

(2) 노면 영상의 히스토그램 분포와 평활화 : 먼저 입력되는 노면 영상의 그레이 레벨 값의 분포를 종류별로 측정하였다. 그림 3과 같이 차선을 포함하는 영상의 경우는 그레이 레벨의 분포가 낙타 등 형태의 골을 보이며, 그림 3과 같이 차선을 포함하지 않는 노면만의 영상은 정규 분포 형태를 나타낸다. 이러한 히스토그램이 그림 정보를 이용하면, 촬영 노면의 차선 포함 여부를 알 수 있어서 정말 분석에 앞선 노면 유형의 대분류 과정으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 경우에 따라서는 히스토그램이 그레이 레벨의 변화가 없이 몰려 있는 경우가 발생하는데, 이 경우는 별도의 전처리 과정이 필요하며, 히스토그램의 분포를 레벨별로 고르게 하는 것이 필요하다.

(3) 노면 영상의 에지(Edge) 및 Contour 추출 : 노면영상의 해석에 앞서 전처리 과정으로 입력 영상의 에지 및 Contour 추출 과정을 수행한다. 영상은 이 과정을 거쳐 분석이 용이하도록 간략화 되고, 유사 영역별 구분 정보로 재구성된다. 그림 5부터 7은 임계치 변화에 따른 Contour 추출 예를 나타낸다.

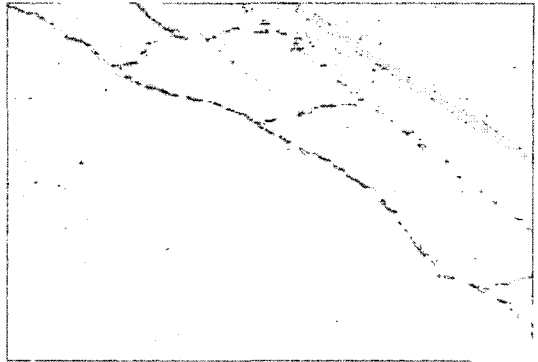
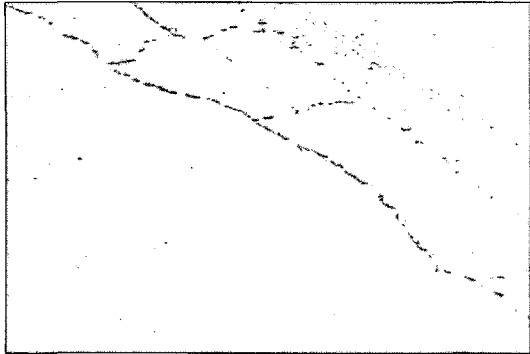


그림 5. 입력영상

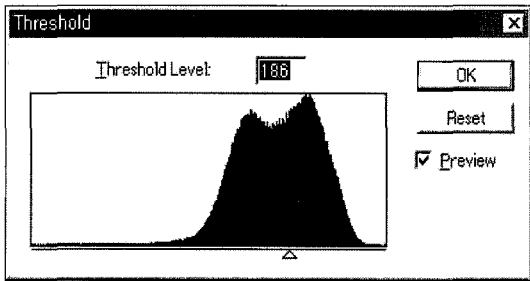


그림 3. 차선을 포함한 히스토그램

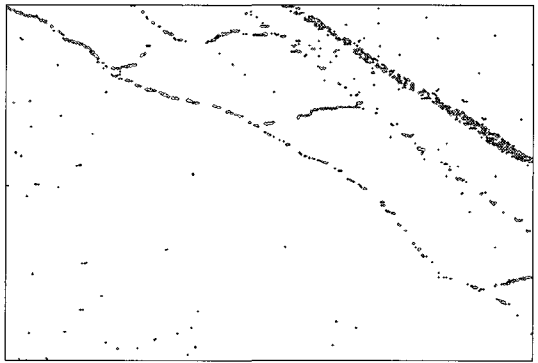


그림 6. Contour 추출(Thr=100)

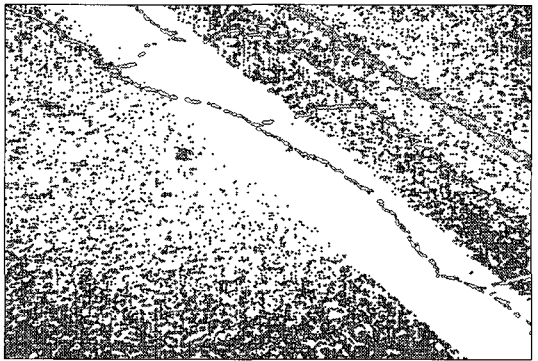
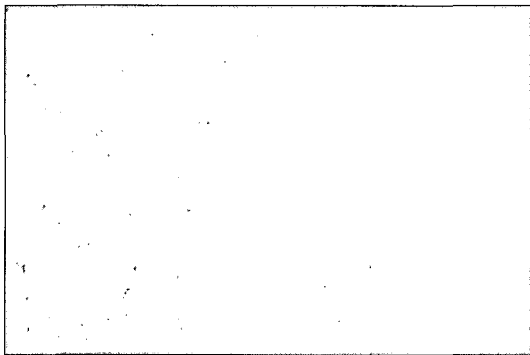


그림 7. Contour 추출(Thr=300)

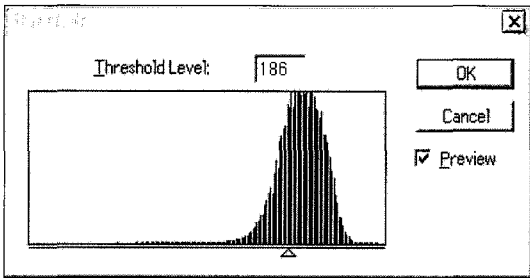


그림 4. 차선을 포함하지 않는 히스토그램

(4) 노면 영상의 잡영 제거 : 일반적으로 입력 영상에는 촬영 환경에 기인한 잡영이 포함될 수 있다. 잡영 영역의 특징은 일반적으로 주변 영역과 자연스럽게 연결되지 못하고 동 떨어진 농도를 가진 화소들로 구성되는데 이와 같은 잡영의 성질을 이용하여 잡영을 제거할 수 있다. 그러나 지나친 잡영제거는 중요한 에지 정보를 손실을 가져올 수 있다. 그러므로 에지 부분과 잡영을 효과적으로 분리하여 처리하는 것이 중요하다. 그림 8과 9는 입력영상의 잡영 제거를 보여준다.

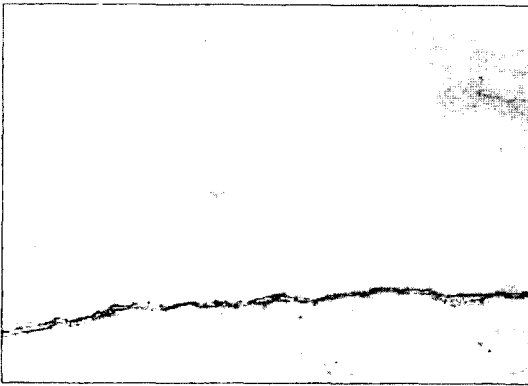


그림 8. 입력영상

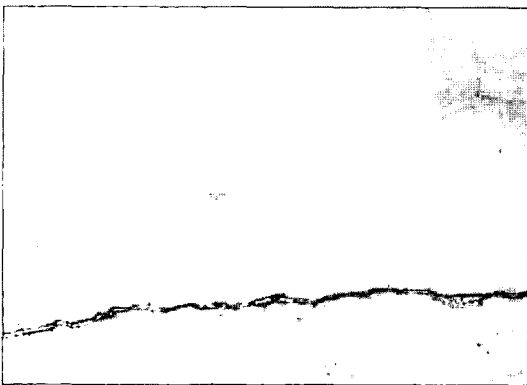


그림 9. 잡영제거 후의 영상

(5) 균열부 검출 : 균열부 검출에 사용되는 허프 변환에서 직선의 방향을 결정하는 ρ 의 간격 조절에 따른 직선 검출의 변화를 실험하였다.

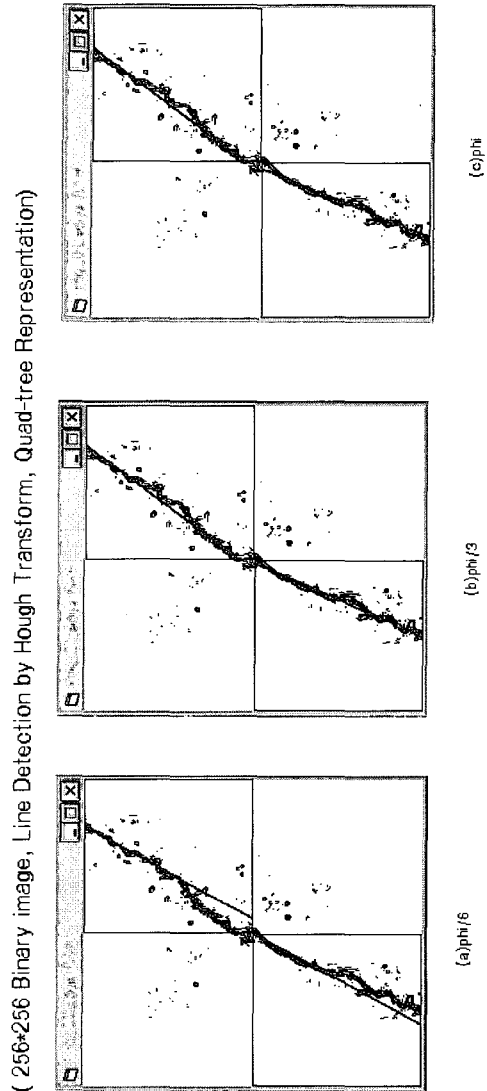


그림 10. 허프변환의 ρ 값에 따른 균열의 방향성 추출

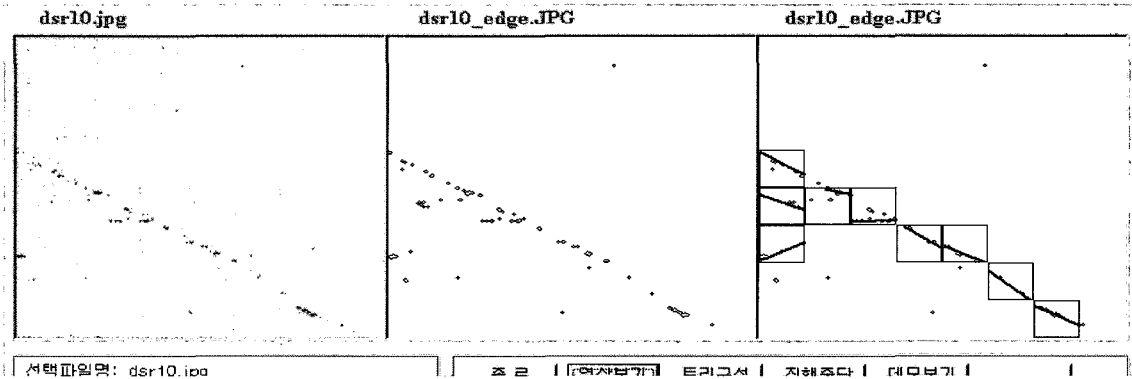


그림 11. 영상입력, Contour 추출, 균열분석 S/W의 진행 화면

그림 10에서 볼수 있듯이 $\rho/3$ 정도의 정밀도 만으로도 실제 노면의 균열을 표현하는에는 문제가 없는 것으로 관찰되었다. 그림 11은 영상이 입력되고 Contour 추출, 균열 분석의 연속적인 진행과정을 보여준다. 자료 분석으로부터 얻어지는 자료들은 분석구간의 실제거리, 균열의 시·종점의 위치 좌표, 균열의 길이, 균열의 평균 폭 및 균열의 방향들이 결정된다. 이와 같이 분류 및 정량화 된 결과들이 PMS 데이터베이스에 입력된다.

3.3 노면 중·횡단 요철 자동 측정 장비

개발된 측정장비의 주요 성능 및 개발사항은 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 광파를 이용한 변위측정모듈을 개발하였다. 측정모듈(광파방식)의 광원을 LED(Light Emitting Diode)로 사용함으로써 측정센서의 신뢰성 향상 및 초기투자비 절감을 꾀하였으며, LED선택에 따른 전기적 배경잡음 제거회로를 개발하여 LD(Laser Diode)를 광원으로 사용하는 고가(高價)의 측정모듈과 거의 동일한 성능을 유지하도록 하였다.

(2) 개발된 장비의 운행 시 고속도로를 이용하는 여타의 차량통행에 방해되지 않도록 측정센서 모듈을 U자형으로 배열하였으며, 측정장비

의 차량운행속도와 관계없는 측정을 위해 전체 시스템을 DMI 펄스 신호로 동기(Synchronize)시켰다.

(3) 횡단 요철은 3m의 노면폭에 대해, 주된 노면파손지점인 대형차량 바퀴지점에 측정센서 모듈을 조밀하게 배치하였고, 그 외 지점에는 상대적으로 넓은 간격으로 배치하였다.

(4) 종단 요철은 3)항의 모든 횡단기준점에 대해, 측정차량이 최고속도(120km/hr) 일 때, 30cm 간격으로 측정하게 된다.

(5) 인접 측정모듈간의 광원 간섭으로 인한 데이터 오류를 제거하기 위해 각각의 모듈에 대해 일정간격의 휴지기를 두는 Timing 분할방식을 취하였다.

(6) 각 측정모듈에서 측정된 데이터는 인터페이스 모듈에 집계되어 Main 컴퓨터로 전송되며, Main 컴퓨터에서는 수집된 데이터를 분석하여 측정지점의 위치 및 비디오 카메라로부터 얻은 도로화면과 중·횡단 데이터가 동시에 디스플레이 되도록 하였다.

변위계측센서의 원리

비대칭 구조의 삼각측정 광학계는 그림 12에 보인 바와 같은 광 송신기와 광 수신기로 구성되는데, 물체와 이 두 기준점이 이루는 각 θ_c

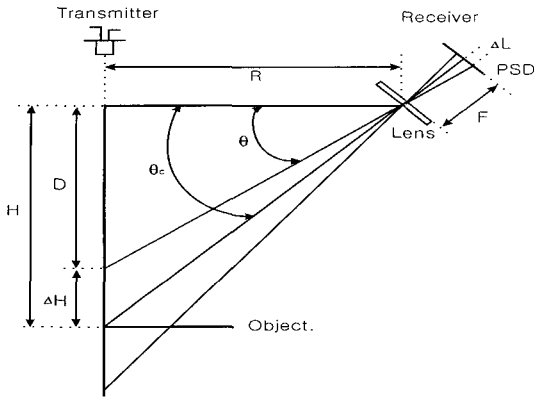


그림 12. 변위측정방법의 원리

는 수신된 광의 영상이 PSD 검출기 위에 맺히는 위치에 따라 결정된다.

그림 12에 보인 바와 같이 물체까지의 거리가 기준거리 H 에서 ΔH 만큼 짧아졌다고 가정하면, 송·수신기와 물체가 이루는 작은 θ_c 에서 θ 로 변하고, 이에 따라 물체에서 반사된 광은 수광부의 렌즈에 의해 PSD 상의 기준점에서 ΔL 만큼 떨어진 지점에 영상이 맺히게 된다. 이때, ΔH 와 ΔL 은 다음과 같은 관계식을 만족하게 된다.

$$\Delta L = -F \times \frac{\tan \theta_c - \left(\frac{H - \Delta H}{R} \right)}{1 + \left(\frac{H - \Delta H}{R} \right) \tan \theta_c} \quad (6)$$

여기서, F는 수광렌즈의 초점 거리이고, R은 송·수신기 사이의 거리이다. PSD의 출력과 식 (6)으로부터 물체까지의 거리 (H+ ΔH)를 도출해 낼 수 있다.

이동거리 측정기(DMI)

DMI(Distance Measuring System)에서의 펄스 획득방법은 여러 가지가 있는데 일반적으로는 바퀴축 외곽에 필요한 Hole을 뚫어서 Hole 센서를 이용하여 펄스를 획득하는 방법을 사용하지만 본 연구에서는 전자회로에서 가장 많이

사용하는 포토 인터럽터(photo-interrupter) 방식을 사용하였다. 포토 인터럽터는 송신부에서 적외 LED로 빔(광)을 조사시키고 수신부에 포토 트랜지스터로 수신하는 방식으로, 송신부와 수신부 사이에 빔의 차단막을 형성하고 차단막에 Hole을 뚫어 차단막이 회전하면 Hole 사이로 빔의 통과여부를 관측하는 방식이다.

소프트웨어 및 디스플레이

각각의 거리측정모듈에서 측정된 데이터를 A/D 변환하여 데이터를 평균할 수 있는 측정용 소프트웨어를 구성하였다. 즉, Slave모듈에는 측정용 소프트웨어로 프로그램되어 있는 MICOM이 내장되어 있어서 Master모듈과의 데이터 송수신은 물론 간단한 연산(4회 평균)을 수행할 수 있다. 한편, Master모듈은 DMI정보에 따라 각각의 Slave모듈로부터 읽어들이는 데이터를 순차적으로 메모리에 저장하며, 저장된 데이터를 PC로 전송하도록 프로그램 되어 있다. PC에서는 Master 모듈에서 읽은 데이터를 측정일자 기준으로 파일을 생성하도록 하였으며 이를 PC의 하드디스크에 자동저장 되도록 하였다. 사진 14부터 사진 19까지는 개발장비의 실제적인 모습이 나타나 있다.

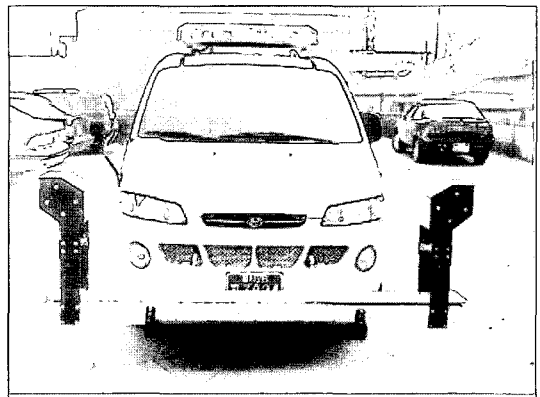


사진 13. 측정모듈Box가 장착된 모습

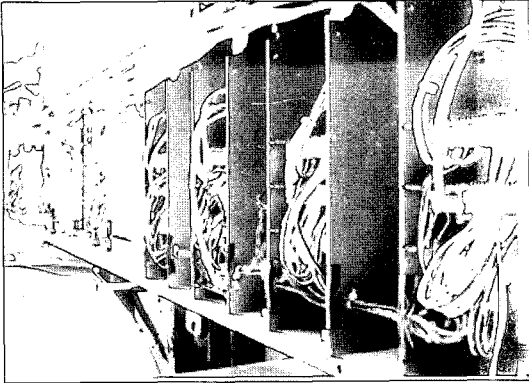


사진 14. 모듈Box 내부



사진 17. 차량내 탑재된 시스템 랙

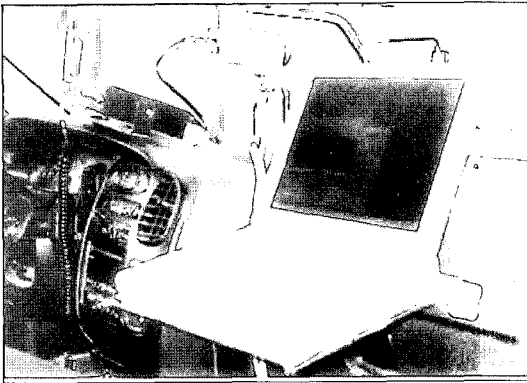


사진 15. 제어용 노트북과 카메라

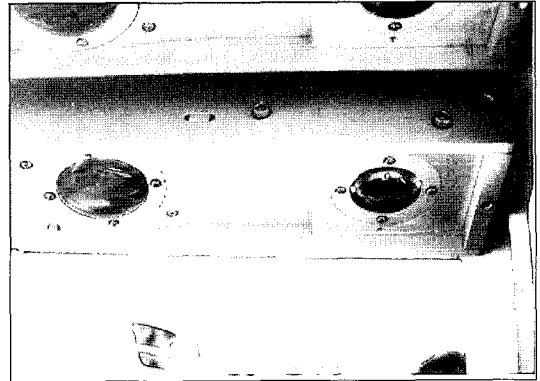


사진 18. 측정 모듈 저면의 송수신부

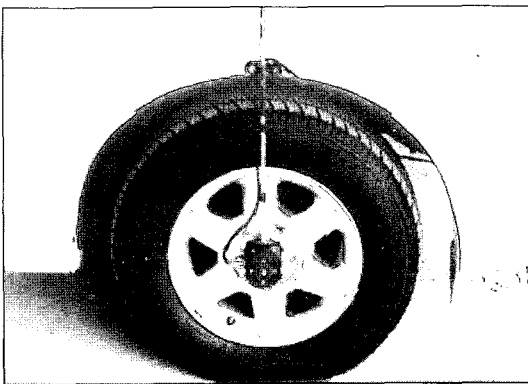


사진 16. 후륜에 장착된 DMI

4. 맺음말

국가의 산업동맥이라고 일컬어지는 도로는 경제 발전의 원동력을 제공할 수 있는 가장 기본적인 사회간접시설이라고 할 수 있다.

도로의 연장은 지난 수 십년간 비약적으로 발전하였다. 그러나, 도로의 연장 증가와 병행하여 도로의 유지·관리 분야에 대한 발전이 지속적으로 이루어져야 하지만 현재까지 도로의 유지·관리에 대한 체계적인 시스템이 구축되어 있지 않은 것이 현실이다. 신설도로의 건설은 일정한 건설 기간과 장소를 확보하여 수행되는

경우가 대부분이지만, 공용중인 도로에서 수행되는 유지·관리 분야는 시간 및 장소의 제약이 많이 받고 있으며, 또한, 교통량의 기하급수적인 증가로 인하여 도로에서의 노면 상태 조사 및 보수 공사가 매우 어렵게 진행되고 있는 실정이다. 향후, 도로 연장 및 차량의 증가는 도로를 유지·관리하는 기관들을 곤경에 처하게되는 상황을 만들 수 있을 것이다.

외국의 경우 오래 전부터 이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 포장의 공용성 평가를 위한 장비에 대하여 많은 연구 및 개발을 진행하여 상당한 성과를 얻고 있으며, 공용중인 도로에서 다른 차량의 주행을 방해하지 않으면서 포장 상태를 조사하고 분석할 수 있는 장비를 개발하여 운영 중에 있다. 공용 중인 도로의 공용성을 평가하기 위한 가장 주요한 손상 원인은 포장의 평탄성, 미끄럼 저항지수(SN), 균열, 요철 및 소성변형 등을 들 수 있으며, 앞서 설명한 외국 장비들은 이와 같은 도로의 문제들을 조사하고 분석할 수 있는 장비들이다. 미국의 경우 많은 주에서 독자적으로 포장의 공용성을 평가하기 위한 장비를 개발하여 운영하고 있으며, 유럽 및 일본의 경우도 자국의 도로 환경에 적합한 장비를 개발하여 운영하고 있다. 외국의 많은 나라들이 이와 같이 포장 공용성 평가를 위한 장비를 개발하여 운영하고 있는 이유는 각국의 도로 상황이 다르고, 장비 개발을 통한 기술력 축적을 성취하기 위한 요인이 크게 작용하고 있다.

전 세계적으로 많은 포장 공용성 평가를 위한 장비들이 운영 중에 있으나, 몇몇 장비의 경우 신뢰성 확보 및 장비의 운행에 많은 문제점이 제기되고 있다.

한국도로공사는 포장 공용성 평가를 위한 장비의 연구 및 개발을 수행하고 있으며, 노면의 종·횡단 요철을 자동으로 측정하는 장비를 개

발하여 운행 중에 있으며, 도로의 적용에서 매우 우수한 성과를 획득하고 있다.

또한, 도로의 미끄럼 특성을 분석하기 위한 장비인 미끄럼저항 측정 장비 및 도로의 손상을 분석하기 위한 노면 균열 분석 장비의 개발이

현재 진행 중에 있으며, '99년말경에 완료될 예정이다.

한국도로공사는 이와 같이 포장의 공용성 평가에 대한 가장 주요한 판단 기준이 될 수 있는 노면의 평탄성, 미끄럼저항 지수, 균열 및 요철 손상을 조사할 수 있는 장비를 개발함으로써 종합적으로 포장 유지관리 시스템의 기본 자료를 신속하게 제공함으로써 도로 관리자가 정략적이고 빠른 시간 내에 경제적인 도로의 유지관리 정책을 수립하는데 이바지할 수 있을 것이다. 또한, 한국의 도로 환경에 알맞는 장비의 개발을 통하여 포장 공용성 평가를 위한 장비의 기술력을 확보할 수 있으며, 궁극적으로 종합적인 포장 공용성 평가 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 엄주용, 김성민, 박종식(1998), "미끄럼 저항 측정장치 개발", 도로연 98-67-31, 한국도로공사 도로연구소
2. 김용곤, 김준범(1998), "노면 종·횡단 요철 자동 시스템 개발", 도로연 98-67-17, 한국도로공사 도로연구소
3. 한국건설기술연구원(1998), "'97국도유지보수 조사 최종보고서", 건기연 98-012, 건설교통부 국립건설시험소
4. ASTM(1990), "Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire", ASTM E274-90