

포장 미끄럼 저항 장비 측정 개발 연구

Development of the Pavement Surface Friction Analyzer

홍승호* · 엄주용**

1. 서 론

포장은 공용년수 경과에 따라 노후화가 진행되며 이로 인하여 포장 노면의 공용성 평가 지수 중 미끄럼 저항성 지수도 저하되고 있다. 최근 포장에 대한 각종 신재료와 신공법이 활발하게 개발되어 적용되고 있어 이에 대한 현장 안전성의 검증이 요구된다. 현장에 적용된 신재료의 미끄럼저항 특성을 분석하기 위한 미끄럼 저항 측정은 실제 자동차 바퀴를 이용하여 측정하는 방법을 세계적으로 많이 선택하고 있다. 본 연구를 통하여 개발된 포장 미끄럼 저항 측정장비는 ASTM E 274 기준에 맞추어 개발되었다. 도로에서의 미끄럼 저항 측정 원리는 주행 중인 자동차가 전방의 장애물을 발견하고 브레이크를 작동하였을 때 자동차 바퀴에 작용하는 수직하중(자동차 하중)과 타이어와 바퀴 노면에서 발생하는 마찰력을 측정하기 위하여 바퀴에 걸리는 토크력을 측정하여 산정 될 수 있다. 개발된 장비는 ASTM E 274 기준에 따라 40mph(65km/h) 주행속도에서 측정 바퀴에 제동을 걸었을 때의 미끄럼 저항값인 SN65를 측정하고자 하는 포장 구간의 미끄럼 저항값으로 산정하고 있다. 개발된 장비는 시험가동을 통하여 측정 자료의 신뢰성 검토를 수행중에 있으며, 지속적인 보완 연구를 통하여 측정 자료의 신뢰성을 향상시키고 있다.

2. 외국의 미끄럼 측정 장비 현황

각국은 도로의 미끄럼 저항 특성을 분석하기 위하여 다양한 장비를 운영하고 있다. 미국의 경우 ASTM E 274의 기준에 따른 장비를 많이 운영하고 있으며, 유럽의 경우 각 나라마다 고유한 미끄럼 저항 측정장비를 개발하여 운영하고 있다. 미끄럼 저항 측정값은 도로의 기하구조 설계에서 정지시거 산정시 이용되는 지수이다. 미국은 포장 설계법인 AASHTO 설계법의 정지시거 산정시 ASTM E 274에서 측정된 속도에 따른 미끄럼 저항값을 사용하고 있으며, 한국의 경우 미국의 AASHTO 설계법을 도로 설계에 적용하고 있기 때문에 장비의 개발 측면에서 ASTM E 274 기준에 의거하여 장비를 개발하였다. 표 1은 각국에서 운영하고 있는 미끄럼 저항 측정장비이다.

* 한국도로공사 도로연구소 연구원(02-2230-4855)

** 한국도로공사 도로연구소 수석연구원(02-2230-4856)



표 46 각국의 미끄럼 저항 측정장비

국 가	장 비 명	측정원리	시험타이어	측 정 값
오스트레일리아	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC50=0.45~0.55 SFC80=0.35~0.45
벨기에	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC60=0.40
프랑스	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC60=0.40
	Remorgne de glissance LPC	고정차륜	스무드	10%와 90% 수준에서 평가
아일랜드	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC50=0.50,40,0.30
이탈리아	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC60=0.28이상 커브SFC60=0.31~0.40
스페인	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	SFC 0.5이상 우수 0.4 < SFC < 0.50
영국	SCRIM	20° 미끄럼	스무드	
캐나다	ASTM E274	고정차륜	ASTM E 500	SN65=40경고, 30조정
미국	ASTM E274	고정차륜	ASTM E500	주마다 다름
독일	Suetgrter Reibugsmeser -SRM	고정차륜	홈이패인 타이어	μ 60=0.33 μ 40=0.42 μ 80=0.26
일본	미끄럼저항측정기	0~100% 미끄럼	홈이패인 타이어	μ 80=0.25
네덜란드	RED	86% 미끄럼	165R15 스무드	μ 50=0.52 이상 0.38이하 개선
스위스	Sciddometer BV-11	15% 미끄럼	VII 4.00-8	측정한계 없음

3. 측정원리

미끄럼 저항 측정은 실제의 측정용 차량에서 계측되는 바퀴에 작용하는 수직하중과 바퀴와 포장면에서 발생하는 마찰력을 계측하여 식(1)과 같이 산정 될 수 있다.

$$SN = \left(\frac{F}{W} \right) \times 100 \quad (10)$$

여기서, F : 타이어와 포장 접지면에서 시험용 타이어에 작용하는 수평마찰력하중(lbf(N))

W : 시험바퀴에 작용하는 동적수직하중 (lbf(N))

트레일러가 평행하지 않거나, 수직하중을 직접 측정하지 않을 때는 바퀴의 하중 W는 트레일러의 모양과 마찰력에 지배된다. 마찰력에 의하여 생기는 하중의 감소는 계산되어야 하며 식(2)가 사용된다.

$$SN = \left(\frac{F}{W} \right) \times 100 \quad (11)$$



여기서, $W = W_0 - (H/L)F$

H : 연결부 높이 (in.(mm))

L : 트레일러 바퀴까지의 거리 (연결부에서 바퀴의 중심까지의 거리) (in.(mm))

W_0 : 시험바퀴에 작용하는 정적수직하중 (lbf(N))

동적 미끄럼계수를 측정할 수 있는 측정장치는 수평마찰력을 동적 수직력으로 나누어 실시간으로 측정한다. 이렇게 구한 순간 미끄럼계수 $sn(t)$ 는 실시간으로 저장되며 자동으로 평균값을 계산하여 원하는 구간에서 미끄럼계수 SN를 구할 수 있도록 하며, 식(3), (4)을 적용한다.

$$sn(t) = \left(\frac{fh(t)}{fv(t)} \right) \times 100 \tag{12}$$

$$SN = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int sn(t) dt \tag{13}$$

여기서, $sn(t)$: 실시간 동적 미끄럼계수

$fh(t)$: 실시간 동적 마찰력,

$fv(t)$: 실시간 동적 수직력,

t_1 : 평균을 구할 구간의 시작 시간

t_2 : 평균을 구할 구간의 끝 시간

SN : 평균 미끄럼계수

미끄럼 저항 측정시 E501의 Rib 타이어를 사용하였을 경우는 SN Test Speed R로 표시하며, smooth 타이어를 사용하였을 경우에는 SN Test Speed S로 표시한다.

4. 장비개요

본 장비의 시스템 개념은 그림 1과 같다. 장비 견인용 차량에는 측정을 위한 제어용 컴퓨터가 탑재되어 있어 측정자가 측정 명령을 지시할 수 있다. 측정은 수동 및 자동 방식으로 구분된다. 본 시스템은 미국에서 많이 제작된 장비와 비교하여 트레일러에 측정을 위한 모든 제어 시스템이 장착되어 있으며 견인용 차량에는 제어를 위한 컴퓨터만 탑재되어 있다.

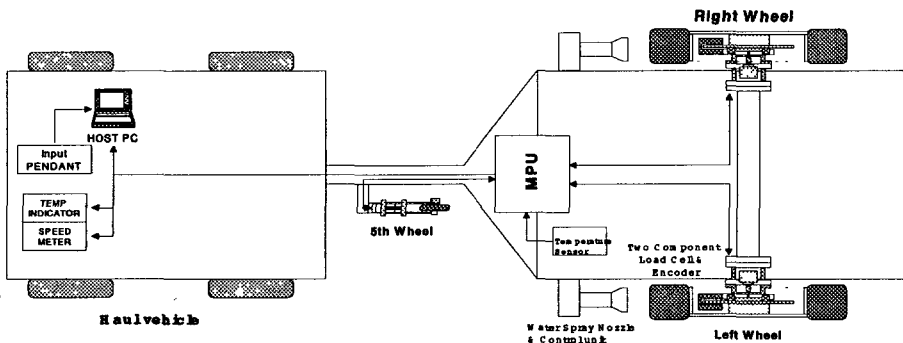


그림 1. 미끄럼 저항 측정장치 개념도



4.1 주제어 시스템(MPU)

본 장비의 MPU는 장비의 시험 절차를 제어하고 각 센서에서 데이터를 취득하는 장치로 그림 2와 같이 구성되며, 각 구성품의 명칭 및 기능은 다음과 같다.

- (1) CPU 보드 : 전체 시스템 제어
- (2) 로드셀 Signal Conditioners : 로드셀 신호 증폭, 4채널
- (3) Analog converter의 Pulse : Encoder 신호를 Analog 신호로 변환, 3채널
- (4) Control Relay : 각종 구동부(공압용 장치, 리프트 잭) 제어
- (5) DC 전원 공급기 : MPU내의 각 구성품에 전원 공급

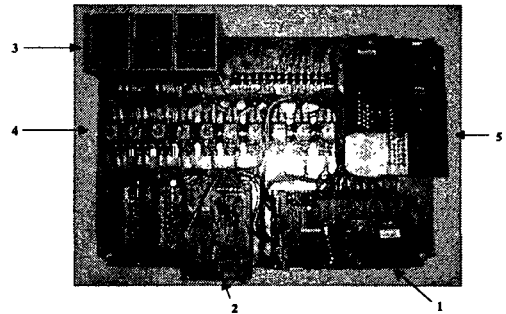


그림 2. 제어 및 측정용 MPU

4.2 로드셀(Load Cell)

미끄럼 저항 측정장치의 주요 구성 요소인 로드셀은 차축에서 토크와 수직하중을 계측할 수 있는 2축 로드셀(Two Component Load Cell)이 좌·우측 차축에 장착되어 있다. 측정된 토크 및 하중 신호는 MPU 내부에 탑재된 Signal Conditioner에 의하여 증폭되어 CPU 보드의 A/D Convert에 의하여 데이터 수집되게 된다. 2축 로드셀의 중앙부에는 좌·우측 바퀴의 속도를 감지할 수 있는 속도계(Encoder)가 장착되어 있다. 그림 3의 No27과 No31은 바퀴의 토크력과 수직하중을 측정하기 위한 로드셀이고, No 54는 측정 바퀴의 속도 측정용 Encoder이다.

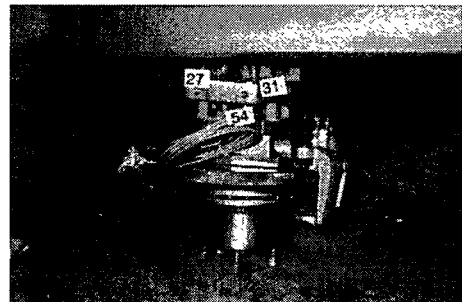


그림 3. 토크력 및 수직하중 측정 로드셀

4.3 물분사 노즐장치

물 분사 노즐장치(그림 4)는 측정시 측정하고자 하는 바퀴 앞에 일정한 양의 물을 분사함으로써 타이어 마모 방지와 균일한 데이터를 얻을 수 있도록 하는 장비이다. 물 분사 노즐을 통해 분사되는 물은

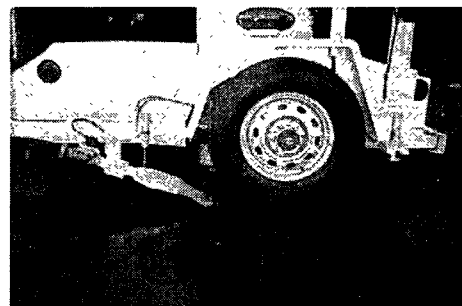


그림 4. 측정을 위한 물 분사



전인 차량에 설치된 물탱크로부터 측정시 물 가압 펌프의 작동으로 차량의 속도에 비례하여 물 분사량이 조절된다. 물 분사 노즐은 측정시 에어 실린더에 의하여 ASTM E 274에서 규정한 물 분사 각도를 유지할 수 있도록 제작하였다.

4.4 측정용 소프트웨어

미끄럼 저항 측정용 소프트웨어는 도로의 미끄럼 저항 측정용 장비에 탑재되어 측정자의 명령에 따라 장비의 각종 기능을 제어하며, 측정 명령에 따라 실시간으로 수집된 데이터를 분석하여 도로의 미끄럼 저항계수(SN:Skid Number)를 산출할 수 있다. 또한, 운용자로 하여금 측정중 실시간으로 장비의 상태를 파악할 수 있으며, 수집된 측정 자료의 용이한 분석을 위하여 그래픽 및 그래프 처리 기능을 제공한다. 소프트웨어의 구성은 그림 5와 같다.

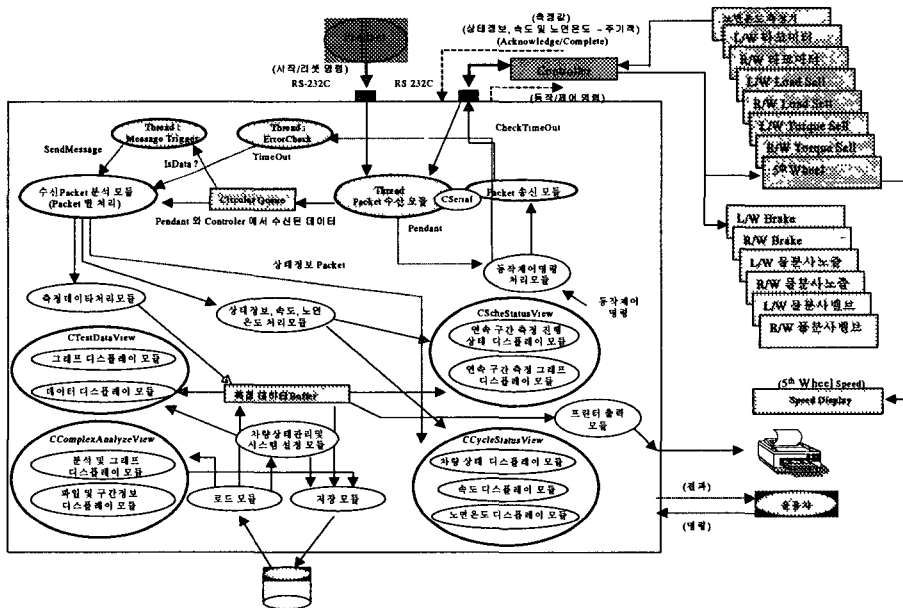


그림 5. 소프트웨어 구성도

4.5 결과분석

ASTM E 274 기준에 따라 40 mph(65 km/h) 속도로 측정을 실시한다. 측정시간은 전체 시스템의 작동 시간이 5초간 실시되며, 계측 장치로부터 250개의 자료를 수집하여 측정 바퀴가 완전히 정지되어 측정바퀴의 속도가 0 km/h 상태의 자료를 대상으로 SN 값을 계산한다. 보통 유효한 자료 값은 2 초 정도에서 계측된 100개 자료이며, 측정 거리는 약 36m이고, 이 구간의 미끄럼 저항지수를 산출하게 된다. 일반적으로 산출되는 미끄럼 저항값은 그림 6과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 포장면에



서의 최대 SN값은 속도가 0에 접근할 때 발생된다. 그림 7은 경과시간에 따라 바퀴에 작용하는 수직력과 포장면에서 발생하는 마찰력을 나타내며, 그림 7에서와 같이 속도가 0에 접근할 때 가장 최대값을 나타내는 것을 볼 수 있다.

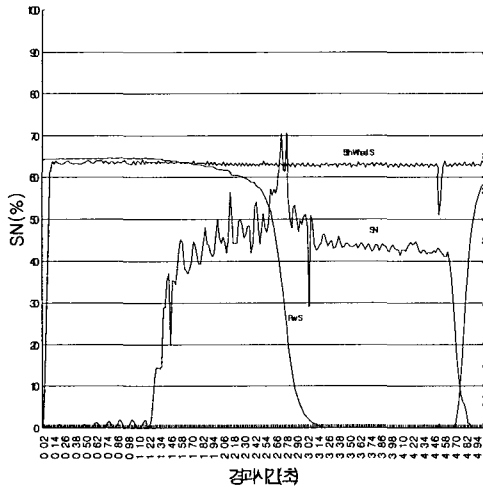


그림 6. 경과시간과 미끄럼 지수(SN)

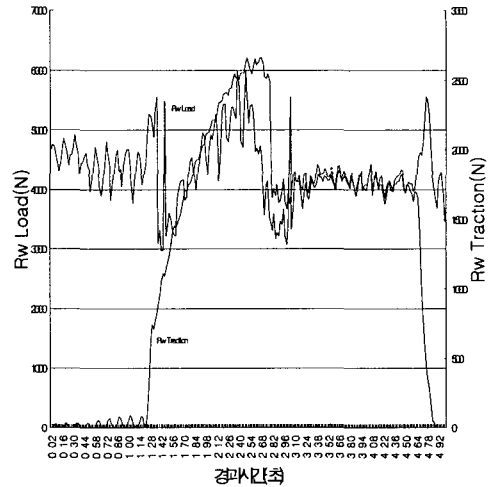


그림 7. 경과시간에 따른 수직하중과 마찰력

현장에서의 측정은 측정 시스템이 정상적으로 작동되는지 확인한 후 특정한 구간을 대상으로 측정을 실시하며, 그림 8, 9와 같이 측정된 결과는 그래프와 수치값으로 결과될 수 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 이 구간에서의 미끄럼 저항 값인 SN은 42이고, 침두시의 PSN은 70임을 보여주고 있다. 그림 9는 전체 측정값을 수치값으로 표현하여 미끄럼 저항 값의 변화를 확인할 수 있는 자료를 제공할 수 있다.

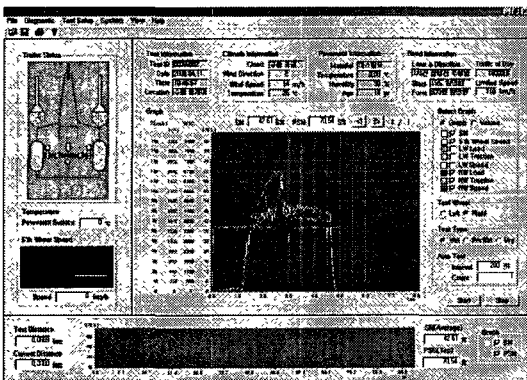


그림 8. 미끄럼 저항 측정 그래프

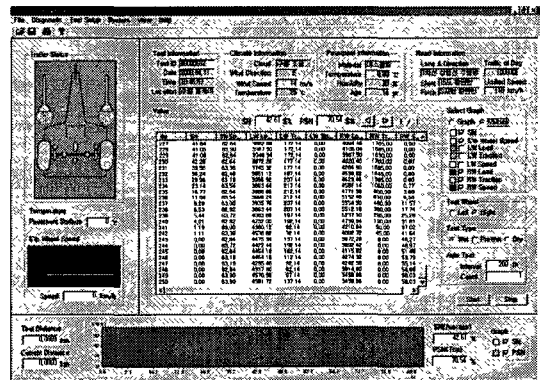


그림 9. 미끄럼 저항 측정 수치값



5. 결 론

본 연구를 통하여 개발된 미끄럼 저항 측정장치는 미국의 ASTM E 274 기준을 채택하였으며, 개발된 미끄럼 저항 측정장치의 주요 사항은 다음과 같다.

- (1) 연구를 통하여 미끄럼 저항 측정장치의 국산화를 이루어, 포장의 공용성 평가 자료중 하나인 미끄럼 저항지수(SN)를 체계적으로 관리할 수 있다.
- (2) 미끄럼 저항 측정장비를 운영하기 위한 제어 소프트웨어를 개발함으로써, 향후소프트웨어 업그레이드를 위한 기술력을 확보하였다.
- (3) 개발된 소프트웨어는 일정한 구간에서의 미끄럼 저항지수를 비교하여 확인할 수 있는 기능이 포함되어 있다.
- (4) 현장 측정을 통하여 신뢰성 있는 자료를 수집할 수 있었으며, 지속적인 시험가동을 통하여 신뢰성 향상을 위한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- 1. 양성철, 임승욱, 유태석, “노면 미끄럼저항 증진방안에 대한 연구,” 연구보고서 96-46-26, 한국도로공사 도로연구소, 1996.
- 2. 한국도로공사, “도로표면의 제특성”, 기술교재 제80호, 1990.12
- 3. Texas Department of Transportation, "METRICATION GUIDE", JULY 1994.