

3D Profile 분석을 통한 마찰력 측정방법 개선



이민철 | 명지대학교 교통공학과 도로연구실 석사과정
 손덕수 | 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원
 이재훈 | 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원
 김인태 | 명지대학교 교통공학과 부교수

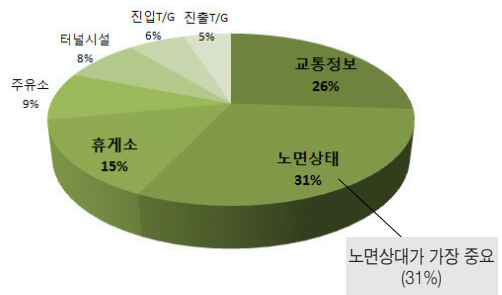
1. 서론

고속도로 이용자 설문결과, 그림 1과 같이 도로서비스 분야에서 가장 중요하게 평가하는 항목은 노면상태로 나타났다. 또한, 현 도로포장의 문제점은 미끄럼과 주행 쾌적성을 선택했다.

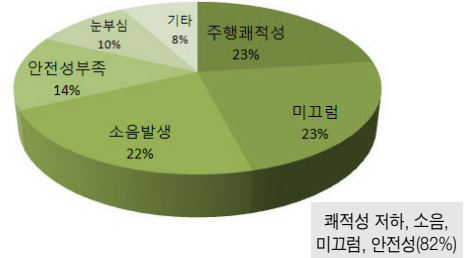
고속도로 이용자들이 주행 쾌적성과 미끄럼을 도로포장의 문제점으로 선택한 이유로는 현재 우리나라의 노면상태를 제대로 관리하지 못하고 있기 때문이다.

현재 우리나라의 도로 노면상태의 미끄럼 정도를 측정하는 방법으로 'ASTM E 274-97'에서 정의한 Locked-Wheel Trailer 방법을 사용하여 마찰력 지수(Skid Number)를 측정해 사용한다. 이 방법은 그림 2와 같이 도로의 차로 전체가 아니라 도로의 한 차로의 2~3곳을 선택하여 측정을 실시하고 이 측정결과를 해당차로의 대표 값으로 관리하는 방식을 사용한다.

실제 도로를 주행하는 차량이 측정한 지점으로만 주



(a) 도로서비스 분야의 중요도



(b) 현 도로포장의 문제점

그림 1. 도로포장의 주행쾌적성, 안전성의 중요성 (포장관리 효율화 방안, 2011)

행하지 않는다. 운전자의 습관에 따라 주행패턴이 다양하기 때문에 측정하지 않은 곳의 마찰력이 낮다면 운전자의 주행안정성이 떨어지고, 사고를 유발시킨다.



그림 2. 마찰력(Skid Number) 측정

기존의 측정방법으로 차선 전체의 마찰력을 측정하는 방법은 시간과 비용이 매우 많이 소모되고, 측정자가 정확하게 주행하며 측정을 하는 것이 불가능하다. 따라서 현재의 측정방법이 아닌 새로운 측정방법인 3D Profile 조사차량을 이용한 3D Profile 분석을 통해 마찰력 측정방법을 개선하고자 한다.

2. 3D Profile 분석

2.1 3D Profile 분석 목적

3D Profile 분석은 기존의 마찰력 지수인 Skid Number로 분석되지 않고 Texture를 분석하여 공극량을 표현한다. 이때의 공극량은 Road Porosity Index(도로공극량지수, RPI)로 나타내며 단위는 1/1000mm으로 표현된다.

3D Profile 분석은 그림 2의 Skid Number 측정처럼 얇은 직선으로 마찰력을 측정하지 않고 그림 3처럼 차선을 하나의 면으로 보고 차선 전체를 측정한다.

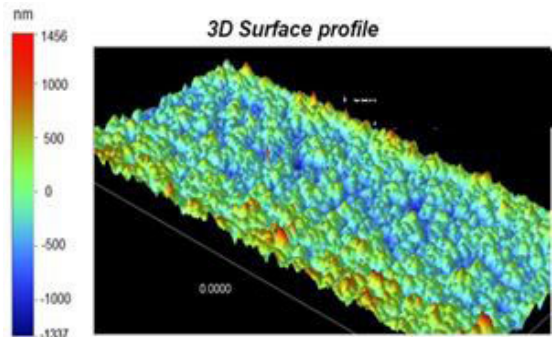


그림 3. 3D Profile 측정화면

2.2 3D Profile 측정 방법

3D Profile 조사장비는 그림 4와 같이 차량 후미 좌·우측에 각각 1개의 레이저 센서와 카메라로 구성된다. 도로 표면을 70km/h의 속도로 주행하면서 5m 씩 도로 표면을 분석하고 이미지를 저장한다. 도로 표면을 1mm 씩 분석이 가능하며 표면처리(횡방향, 종방향)에 따른 Profile을 획득한다.

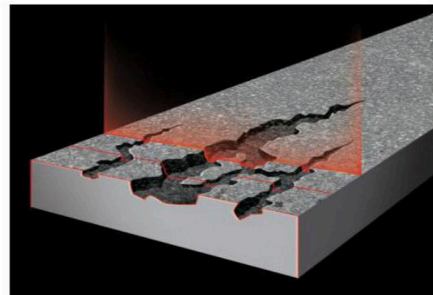
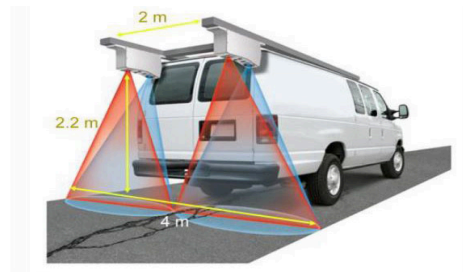
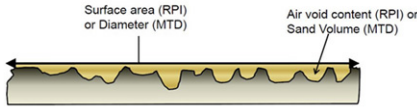


그림 4. 3D Profile 조사장비

2.3 3D Profile 분석 방법

RPI는 그림 5와 같은 전체 공극량에서 라벨링 균열을 제외한 값을 전체 면적으로 나누어 계산한다.

3D Profile 조사장비로 도로표면의 Texture를 측정된 데이터를 3D Profile 분석프로그램으로 분석을 실시한다. 분석 시 그림 6과 같이 포장의 종류, 균열, 줄눈, 표면 깊이, RPI 면적 등을 설정하여 분석을 실시한다.



Surface area (RPI) or Diameter (MTD) Air void content (RPI) or Sand Volume (MTD)

$$RPI = \frac{Vol_{air\ void} - Vol_{ravelling} - Vol_{cracks}}{Area_{Total}}$$

그림 5. Road Porosity Index(도로공극량지수, RPI) 계산방법

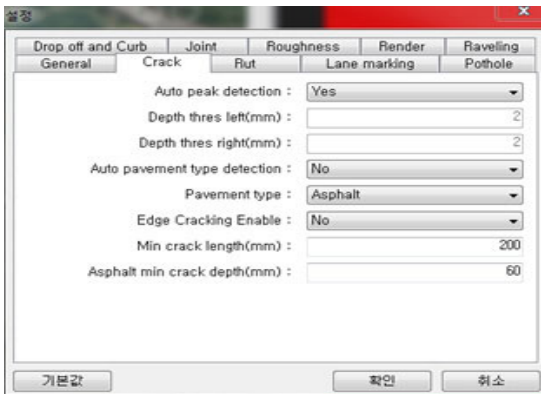
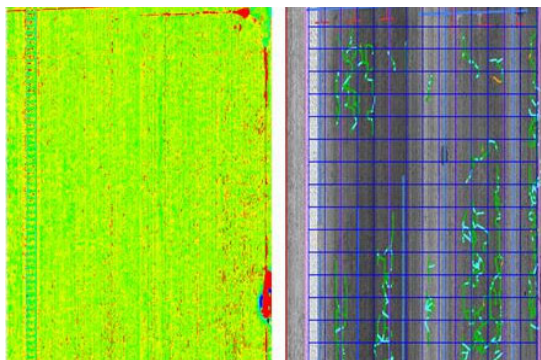


그림 6. 3D Profile 분석 프로그램 설정창



(a) 표면의 높이 분석 (b) RPI 분석

그림 7. 3D Profile 분석 결과창

분석을 실시하면 그림 7과 같은 결과창이 도출된다. 이 결과창에서는 RPI 값과 설정값에 의한 표면의 높이가 나타난다.

분석을 실시하면 그림 7과 같은 결과창이 도출된다. 이 결과창에서는 RPI 값과 설정값에 의한 표면의 높이가 나타난다.

3. RPI 분석

3.1 RPI 분석 목적

새로운 마찰력 측정방식인 3D Profile 측정은 지금까지 연구가 많이 진행되지 않았고, 분석방법에 대한 기준도 그러므로 없다.

3D Profile 분석 프로그램에 대한 연구를 실시하여 RPI 연구 결과를 향후 마찰력 분석기준으로 사용을 제언하고자 한다.

3.2 면적 별 RPI 변화 특성 분석

3D Profile을 측정된 자료를 분석하면 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있다. 여기서 그림 7의 '(b) RPI 분석'에서 똑같이 5m의 차로를 분석하여도 RPI 분석 면적에 따라 결과가 달라질 수 있기 때문에 면적을 표 1과 같이 다양하게 분류하여 분석을 실시했다. 분석을 실시하면 그림 8과 같이 설정한 면적에 따른 결과창이 도출된다.

분석 표면처리로 콘크리트 포장의 횡방향 타이닝 콘크리트와 종방향 타이닝 콘크리트를 선정했다. 기존 RPI의 단위는 1/1000mm를 사용하지만 본 연구에서는 Skid Number와의 비교를 위해 1/100mm의 단위로 분석했다.

표 2와 표 3은 각각의 포장의 표면처리에 따른 면적 별 RPI 분석결과이다. 횡방향 타이닝 콘크리트의 경우, 가장 큰 RPI 값과 가장 작은 RPI 값의 차이는 1이다. RPI의 단위로 1/100mm를 사용하여 분석하였기 때문에 차이는 0.01mm를 나타낸다. 이는 구별

이 불가능한 정도로 작은 값이다. 마찬가지로 종방향 타이닝 콘크리트도 0.8의 값의 차이로 분석되었다. RPI 분석 면적을 다르게 설정하여도 분석한 총 면적이 동일하면 같은 RPI 값을 얻을 수 있다는 것을 확인했다.

표 1. RPI 분석 면적의 높이와 너비 설정

너비 (mm)	250	500	700	1750	3500
높이 (mm)	250	500	1250	2500	5000

높이 250mm, 너비 250mm 높이 500mm, 너비 1750mm

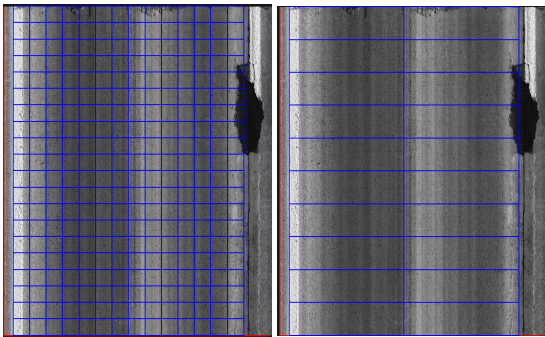


그림 8. 도로공극량지수 분석 면적

표 2. 횡방향 타이닝 콘크리트 면적별 분석 평균

구분	250mm	500mm	700mm	1750mm	3500mm
250mm	54.5	55.1	55.3	55.5	55.5
500mm	54.5	55.1	55.3	55.5	55.5
1250mm	54.4	55.1	55.3	55.5	55.5
2500mm	54.4	55.0	55.3	55.5	55.5
5000mm	54.4	55.0	55.2	55.5	55.4

표 3. 종방향 타이닝 콘크리트 면적별 분석 평균

구분	250mm	500mm	700mm	1750mm	3500mm
250mm	62.4	62.9	63.0	63.3	63.5
500mm	62.4	63.0	63.0	63.3	63.5
1250mm	63.4	63.0	63.0	63.3	63.5
2500mm	62.7	63.0	63.0	63.3	63.5
5000mm	62.6	63.0	63.0	63.3	63.5

4. Mean Texture Depth(MTD)와 RPI의 상관성 분석

기존의 Texture 측정방법으로는 MTD가 있다. 그림 5에서 RPI의 계산방법을 확인해 보면 MTD를 구하는 공식과 동일하다는 것을 알 수 있다. 기존의 Texture 지수와 RPI 지수의 비교를 통해 MTD를 대체할 수 있는지 분석했다.

본 연구에서는 MTD와 RPI의 상관성을 분석하여 두 측정방법을 비교했다. MTD 측정방법으로 'ASTM E 965-96'의 Sand Patch Test Method를 사용했다. 각 표면처리에서 좌측 휠 패스와 우측 휠 패스, 차로 중앙에서 각각 30개의 Sand Patch Test를 실시하여 총 180개의 자료를 수집했다.

4.1 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트

표 4는 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트에서 MTD와 RPI의 상관성 분석을 실시한 결과다.

표 4. 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트 상관성 분석결과

구분	상관계수
좌측 휠 패스	0.5590
차로중앙	0.8289
우측 휠 패스	0.7923
전체 상관계수	0.7360

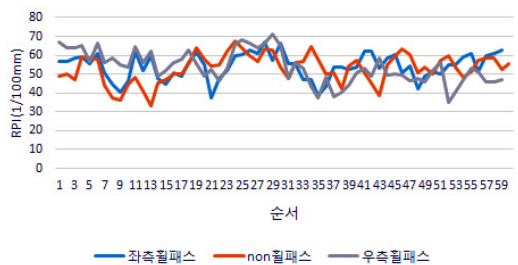


그림 9. 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트 휠 패스 별 PRI 비교

분석결과, 차로중앙과 우측 휠 패스는 높은 상관성을 보여주지만 좌측 휠 패스는 상대적으로 낮은 상관성으로 분석됐다. 이는 MTD 측정 시, 측정자의 주관이 개입했다고 판단하여 그림 9과 같이 휠 패스별 RPI 값을 비교했다. 비교결과, 3개의 RPI는 비슷한 추세를 나타냈고 이 결과에 따라 MTD 측정 시 오류로 판단된다.

4.2 18mm 종방향 타이닝 콘크리트

표 5의 18mm 종방향 타이닝 콘크리트의 결과는 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트와 같이 좌측 휠패스에서의 상관계수가 낮게 측정되었다. 이렇게 측정된 상관계수는 18mm 횡방향 타이닝 콘크리트와 18mm 종방향 타이닝 콘크리트의 MTD 측정 시 동일한 측정자가 좌측 휠 패스를 측정했고 같은 결과가 나온 것에 따라 측정자의 측정오차인 것으로 사료된다.

표 5. 18mm 종방향 타이닝 콘크리트 상관성 분석결과

구분	상관계수
좌측 휠 패스	0.4698
차로중앙	0.7628
우측 휠 패스	0.8286
전체 상관계수	0.6262

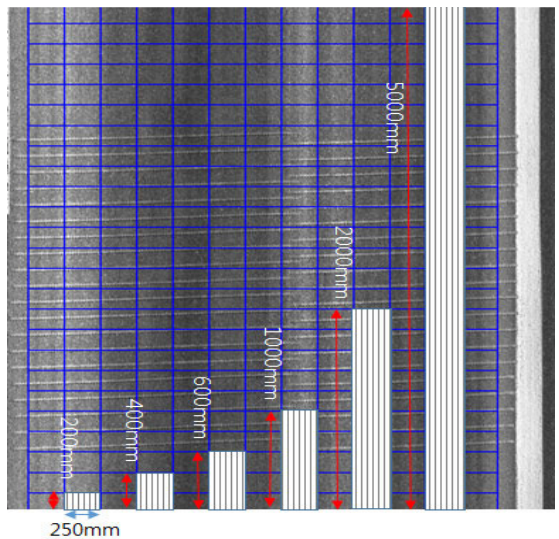
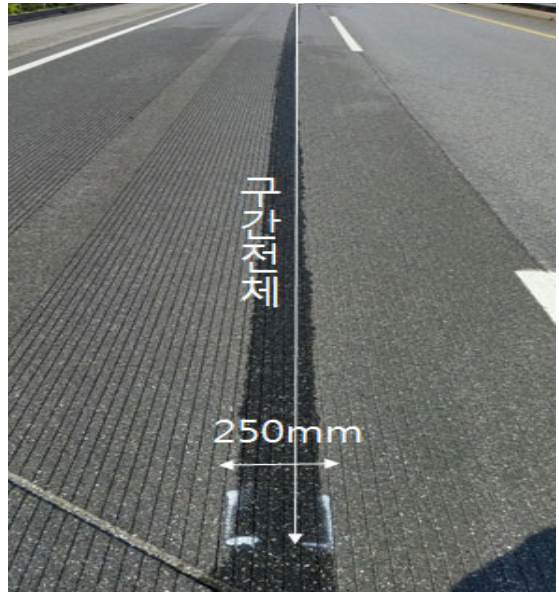


그림 10. Skid Number 분석 면적 설정

5. Skid Number와 RPI의 상관성 분석

새로운 마찰력 측정방법이 기존의 마찰력 측정방법을 대체하기 위해서는 기존의 마찰력 지수와의 정량화가 필요하다. 이를 위해 Skid Number와 RPI를 그림 10과 같이 RPI의 분석면적을 200mm, 400mm, 600mm, 1000mm, 2000mm, 5000mm, 구간전체의 총 7개 길이로 분석했다. 이 때의 폭은 Skid Number 측정 시의 폭인 250mm로 고정했다.

5.1 횡방향 타이닝 콘크리트

횡방향 타이닝 콘크리트의 경우, 그림 11과 같이 Skid Number 분석 시 초기값이 비정상적인 값을 보여 삭제 후 재분석을 실시했다. 그 결과, 상관계수가 0.6564에서 0.7224로 상승했다. 이는 3차원 표면 프로파일 분석을 통해 얻어진 매크로 텍스처와

미끄럼성능과 상당한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

5.2 종방향 타이닝 콘크리트

종방향 타이닝 콘크리트는 표 6과 같이 상관계수가 매우 낮게 측정되어 상관성이 없다고 분석되었다. 그 원인으로는 종방향 타이닝의 표면처리 방향과 Skid Number 측정방향이 동일해서 생기는 문제로 판단된다.

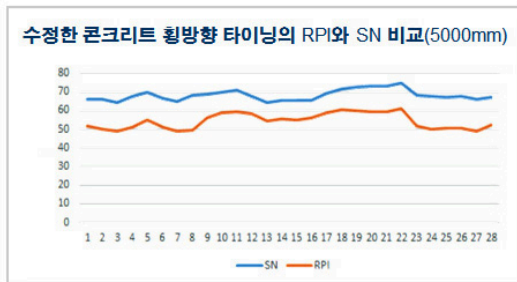
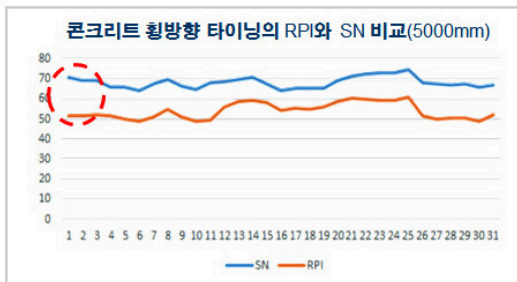


그림 11. 횡방향 타이닝 콘크리트의 RPI와 SN 비교

표 6. 종방향 타이닝 콘크리트의 RPI와 Skid Number 상관분석

길이	상관계수
200mm	0.0753
400mm	0.0820
600mm	0.0944
1000mm	0.0976
2000mm	0.1341
5000mm	0.2123
구간전체	0.2833

6. 결론

본 기사에서는 3D Profile 분석을 통해 기존의 마찰력 측정방법을 개선하는 방안을 알아보았다. Texture 분석을 위해 MTD와 RPI의 상관성 분석을 실시했고, 마찰력 지수분석을 위해 SN과 RPI의 상관성 분석을 실시했다. MTD와 RPI의 상관성 분석을 실시한 결과, 횡방향 타이닝 콘크리트와 종방향 타이닝 콘크리트 모두 상관성이 있다고 분석되었다. 또한 Skid Number와 RPI의 상관성을 분석한 결과, 횡방향 타이닝 콘크리트는 상관성이 있지만 종방향 타이닝 콘크리트는 상관성이 없다고 분석되었다. 이는 마찰성능은 이력 및 점착효과에 의해 영향을 크게 받는데 종방향 타이닝 콘크리트는 표면처리 방향과 SN측정 방향이 동일하기 때문에 이력효과가 상대적으로 낮아 상관성이 떨어진다고 판단된다.

따라서, 향후 종방향 타이닝 콘크리트의 마찰성능 메카니즘을 연구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 포장의 미끄럼 저항특성 연구(Ⅱ)
2. 한국도로공사(2004), 고속도로 미끄럼 관리기준(안)
3. ASTM E 274-97, "Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire"
4. ASTM E 965-96, "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique"
5. John Michael Kebrle, Texture Measurement and Skid Number Prediction Using Laser Data Acquisition, Digital Signal Processing, and Neural Networks, University of Texas AT Arlington, 2008.05.
6. Mark B. Snyder, Pavement Surface Characteristics-A Synthesis and Guide, American concrete Pavement Association, 2006