특 집

콘크리트 표면조직의 노후화 및 개선

이 승 우*

1. 머리말

콘크리트 포장의 표면 상태는 균열, 러팅등의 노면 파손과 표면조직(texture)과 평탄성(roughness)의 파형으로 구분할 수 있다. 평탄성을 나타내는 파형은 포장재료의 포설 방법, 교통하중 및 노상토 침하 등에 의하여 영향을 받는다. 특히, 평탄성과 관련되는 노면 요철의 파장은 단파로서 포장 중 시공불량이나 표층부의 재료 변형에 의해 발생된다. 장파는 포장 표면의 변화와는 관계가 적고 노상이나 하부층의 부등침하 또는 부실 시공에 의해 발생된다. 본 기사에서 중점적으로 논하고자 하는 표면 조직은 포장 상부면의 거친 정도를 나타내는 것으로 1㎛~0.5mm 파장의 마이크로 조직(microtexture)과 0.5mm~50mm 파장을 갖는 매크로 조직(macrotexture)으로 구성되며, 미끄럼 저항성 및 소음 발생에 영향을 준다.

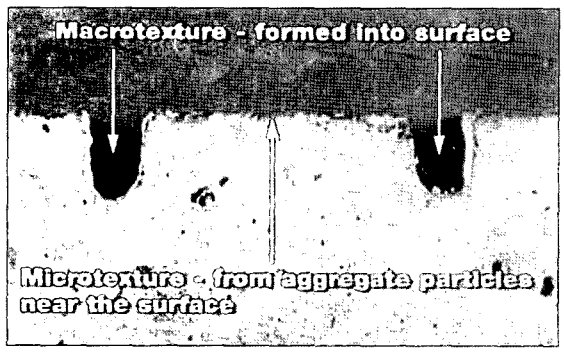

그림 1. 마이크로조직과 매크로조직

마이크로 조직은 마이크로 스케일에서 측정된 울퉁불퉁한 상태의 표면조직으로 모르타르와 잔골재의 특성 및 구성, 마모정도에 따라 표면조직의 물리적 특성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 마이크로 조직은 거칠기가 0.005mm~0.5mm 사이의 값으로 분류되고 마이크로조직사이를 통한 배수기능으로 습윤한 상태의 미끄럼저항성에 직접적인 영향을 주는 특성을 갖고 있다. 0.5mm보다 큰 거칠기는 부드러운 고무재질의 타이어를 통과할 수 없고 이런 직접적인 방법으로 타이어와 포장면 사이에서 마찰에 영향을 줄 수 없다. 마이크로 조직의 특성은 인위적으로 조절하기가 매우 어렵다. 마이크로 조직은 photo micrographs에 의해 측정되며 간접적으로 British Pendulum Number (BPN)의 값은 마이크로 조직의 크기에서의 양호한 근사값을 나타낸다. 이에 비해서 매크로 조직은 밀리미터에서 측정된 표면조직의 거칠기이고 주로 크기, 모양, 각상, 2.0mm보다 큰 거친 골재의 분포, 타이닝 등 인위적으로 만든 표면조직의 설계에 의해 구성되며 도로안전에 민감한 요소인 습윤상태에서의 미끄럼저항성을 인위적으로 확보할 수 있기 때문에 국내외적으로 많은 연구와 기술이 적용이 되어 왔다.

콘크리트 포장도로가 반복주행에 의한 결과로 마모가 진행되면 마이크로 조직에 의한 마찰력이 저하

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수

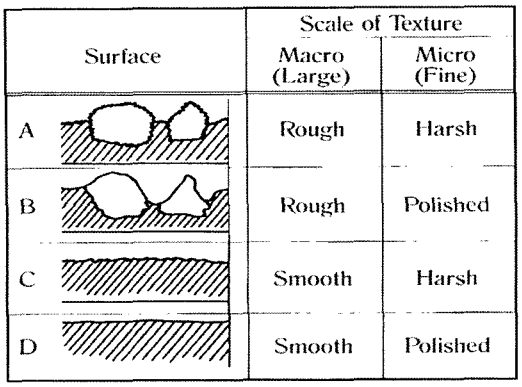

그림 2. 마이크로조직과 매크로조직의 설명도

될 뿐만 아니라, 매크로 조직의 깊이가 감소되어 얇은 수막이 형성되어서 타이어와 노면사이의 마찰저항은 급격하게 떨어지어 사고 위험을 더 늘리게 된다. 따라서 공용중인 도로에서 마이크로조직이나 매크로 조직을 적정 수준으로 유지 관리를 하여야 소정의 습윤한 포장에서 미끄럼 저항성을 확보하여 도로의 안전성을 확보할 수 있다.

포장의 표면조직이 습윤시 마찰, 소음, 물 튀김 및 물보라 현상, 회전 저항과 타이어 마모를 포함하여 대부분 타이어와 도로의 상호작용을 극단적으로 결정한다. 포장 표면조직은 마이크로 조직, 매크로 조직, 그리고 메가 조직이다. 메가 조직범위를 벗어나는 장파장은 평탄성의 항목으로 규정하고 있다. 불규칙한 세 범위의 조직 특성은 타이어가 접촉하는 길이를 비교하기 위해 파장에 따라 구분한다. 불규칙적으로 단파장은 단지 적은 동적 변형만을 유발하는데 타이어는 표면의 돌출부만 덮게 된다. 이 범위 파장이 매크로 조직에 상응한다. 매크로 조직은 타이어와 포장 사이에서 표면의 물에 대하여 작은 배수 골을 제공하게 되며 습윤한 포장의 미끄럼 저항을 확보하게 되는 것이다. 추가적으로 이 배수 골은 타이어 홈이 그루빙에 들어간 공기가 배수가 낮아진 것에 의해 회전 소음이 감쇠된다. 이와 같은 두 가지 기능은 투수성 아스팔트 포장의 경우와 같이 수직적인 배수와 달리 마이크로 조직에 의해 가능할 수 있다.

표면조직의 성능을 평가하는 방법으로는 미끄럼 저항을 측정하는데 도로는 포장의 종류에 관계없이 신설 단계에서 높은 미끄럼 저항 특징을 나타낸다. 도로 노면의 미끄럼 저항 특성은 초기에 높은 미끄럼 저항치를 갖지만, 대부분의 구간에서 공용 4년 이내에 현저한 감소 현상을 보인다. 특히 중하중 교통이 많이 통행하는 구간의 아스팔트 포장에서는 더욱 현저한 감소를 나타낸다. 초기 감소 현상은 교통하중에 의한 노면의 마모와 함께 포장 표면의 재다짐이 진행되어 표면의 거친 입자가 혼합물 속으로 들어가기 때문이다. 후기 감소는 비교적 완만하게 진행되며, 표면에 노출된 골재의 편마모등에 의한 조면조직의 재구성으로 일시적인 증가경향을 보일 수도 있으나 전체적인 추세에는 영향을 미치지 않는다.

시멘트 콘크리트 포장의 경우에는 아스팔트 포장과 달리 공용 수명기간 전체에 걸쳐 완만한 감소 경향을 나타낸다. 이는 시공시 형성된 타이닝 홈이 공용기간 동안 표면의 조면조직을 확보해 주며 , 포장체 강성에 의해 교통하중에 의한 재다짐 현상이 일어나지 않기 때문이다. 포장 공용 기간 중에 잦은 교통하중과 대기 환경의 영향을 받아 포장면은 신설 초기의 미끄럼 저항 상태를 유지하지 못할 수 있다. 이와 같은 포장 상태는 지속적인 현장 조사를 통하여 체계적인 관리가 요구된다. 여러 나라의 각 도로 관리 기관은 포장 유지관리를 위한 다양한 미끄럼 관리 기준을 마련하고 있으나, 이 기준은 도로 기하구조 및 포장종류에 많은 영향을 받기 때문에 특정한 기준으로 통일되지 못하고 있는 실정이다. 각 국가 및 기관에 따라 포장의 미끄럼을 측정할 수 있는 장비는 다양한 종류가 사용되고 있으며, 미국의 경우 많은 주에서 ASTM E274 기준의 장비를 사용하고 있다. 유럽에서 가장 많이 사용되고 있는 포장 미끄럼 측정 장비는 SCRIM이고 나라에 따라 자체적으로 개발한 미끄럼 측정장비와 기준으로 측정하여 도로를 관리하고 있다.

소음은 세기(Intensity 혹은 Sound Pressure, dB)와 진동빈도(Frequency, Hz)로 표시하는데 공

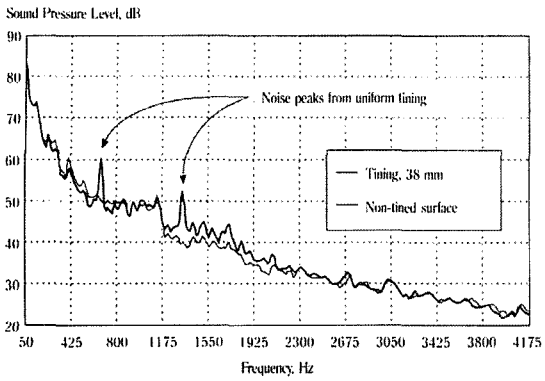

그림 3. 소음 레벨 및 주파수

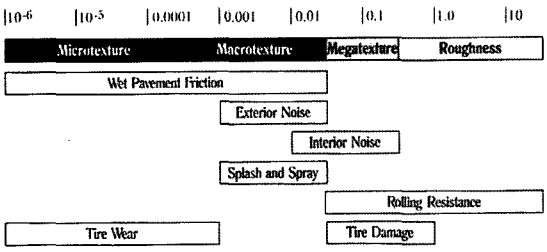

그림 4. 표면특성에 영향을 주는 표면조직의 파장

학적으로 소음을 제거할 경우 인간의 가청영역인 200Hz~10000Hz사이의 소음을 제거하는 것이 중요하다. 차량 주행시 발생하는 소음은 차량내 소음, 도로변 소음으로 구분할 수 있다. 도로변 소음의 경우 소음정도는 일반적으로 도로운행 관점에서는 차량내 소음을 감소시켜 쾌적한 운행을 유지하도록하는 것이 중요하다. 물론 도심지의 경우 도로변의 소음을 차단하기 위한 방음벽등을 설치하기도 하지만 최근 경우에 따라서는 민원이 발생하기도 하므로 도로변의 소음을 줄이는 것이 중요하다. 차량주행시 발생하는 소음의 발생 요인은 차량자체의 기계적인 요소 및 바퀴와 포장면에서의 접촉에 의한 요소가 있다. 차량자체의 기계적인 요소는 차량의 종류, 상태, 주행속도 등에 따라 달라지며 연구 범위는 포장면과 바퀴의 접촉에 의해 발생되는 소음만을 다루는 경우가 많다.

2. 콘크리트 포장 표면조직 상태조사

표면조직 측정방법에는 sand patch, grease patch, silicone-putty, stereo-photograhic analysis, profile tracing, water outflow method 등이 있으며 게다가 최근에는 레이저를 이용하여 측정하는 방법도 있다. 이는 노면의 매크로조직의 깊이의 평균 깊이를 얻기 위한 것으로 이는 미세표면조직 특성과는 무관하다. 가장 일반적이면서 간단한 방법인 sand patch 시험법은 ASTM E965에 제시된바와 같이 NO 50번체를 90%이상 통과하고 NO100번체에서 100% 잔류하는 입도의 모래 약 25를 노면에 평탄하게 펼쳐서 지름을 측정하여 평균조직깊이(MTD)를 구한다.

표면조직의 상태를 알아보기 위한 측정방법으로서 노면 미끄럼 저항은 교통 개방 초기 포장 품질 관리에 문제가 없는 경우 미끄럼 저항치는 설계 단계에서 적용된 최소 값보다 높은 상태를 유지한다. 그러나 포장은 공용기간이 경과하면서 교통하중이나 대기환경에 의하여 포장표면에서 미끄럼 저항성을 유지하던 표면 조직이 손실되어 미끄럼 저항값이 낮아질 수 있다. 포장의 미끄럼 저항값은 측정장비의 역할이 매우 중요하며 표 1에 나타난 바와 같이 다양한 측정장비가 국내외적으로 사용되고 있으나 장비간 측정차이에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

그림 5. 샌드 패칭 시험

표 1은 각 나라별 측정 장비를 비교한 것이며 시공단계와 유지관리 단계에서 요구하는 기준이 동일한 기관이 있는 반면에 다른 기준을 적용하고 있는 기관도 있음을 알 수 있다.

한국도로공사의 연구보고서에 의하면 우리나라 콘크리트 포장 표면조직 상태는 고속도로 노선별로

표 1. 나라별 미끄럼 저항 측정 장비

측 정 장 치	운 영 방 식	측정방향 (편주각도)	측정속도 (km/h)	사 용 국 가
ASTM E274 Trailer	Locked Wheel	100	30-90	미국
BPN(British Portable Tester)	Slider	100	10	영국
DBV(Diagonal Braked Vehicle)	Locked Wheel	100	65	미국NASA
DFT Trailer	Slider	100	0-90	일본
DWWTrailer	Fixed slip	86	30-90	네덜란드
Griptester	Fixed slip	14.5	30-90	스코틀랜드
IMAG	변환Fixed slip	0-100	30-90	프랑스
Japanese Skid Tester	Locked Wheel	100	30-90	일본
Komatsu Skis Tester	변환Fixed slip	10-30	30-60	일본
LCPC Adhera	Locked Wheel	100	30-60	프랑스
MuMeter	side force	13(7.5°)	20-80	영국
Norsemeter Oscar	변환slip,fixed	0-90	30-90	노르웨이
Norsemeter ROAR	변환slip,fixed	0-90	30-90	노르웨이
norsemeter SALTAR	변환slip	0-90	30-90	노르웨이
Odoliograph	side force	34(20°)	30-90	벨기에
Polish SRT-3	Locked Wheel	100	30-90	일본
Runway Friction Tester	Fixed slip	15	30-90	미국
Saab Friction Tester(SFT)	Fixed slip	15	30-90	스웨덴
SCRIM	side force	34(20°)	30-90	영국
Skiddometer BV-8	Locked Wheel	100	30-90	스웨덴
Skiddometer BV-11	Fixed slip	20	30-90	스웨덴
Stradograph	side force	20(12°)	30-92	덴마크
Stuttgarter Reibungsmesser(SRM)	LockedWheel, fixed slip	100,20	30-90	독일

* DWW : Dienst Wegen Waterbouwkunde friction tester
* IMAG : Instrunent de Mesure Automatique de Glissnce
* SCRIM : Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine
* LCPC : Laboratoration Centeral des Ponts et Chaussees
* ROAR : Road Analyzer and Recorder
* SALTAR : Slat Analyzer and recorder

초기 건설 이후 많은 변화가 있었다. 표면조직 상태 조사가 수행된 2001년 8월 기준 노선별 포장 현황은 표 2와 같다. 경부선의 경우는 콘크리트 포장이 아스팔트 포장보다 좀더 많다는 것을 알 수 있다. 중부선은 일부 터널 및 교량부를 제외하고 93%가 콘크리트 포장으로 건설되었다. 영동선은 아스팔트 포장이 58%정도로 콘크리트 포장보다 좀더 포장구간이 긴 것을 알 수 있다. 호남선은 상행선의 경우 연장의 71%가 아스팔트 포장 구간이고, 하행선의 경우 80%가 콘크리트포장 구간으로 포장되어 있다.

표 2의 포장 현황에서 보듯이 중부선은 일부 터널 및 교량 구간을 제외하고는 대부분 구간 93%가 콘크리트 포장으로 건설되어 있고 현장조사에 의하면 사고 발생이 빈번한 지점의 도로 선형의 특징과 포장상태를 살펴본 결과 포장의 표면 조직 상태가 상·하행 방면 모두 타이닝 마모 현상이 발생하고

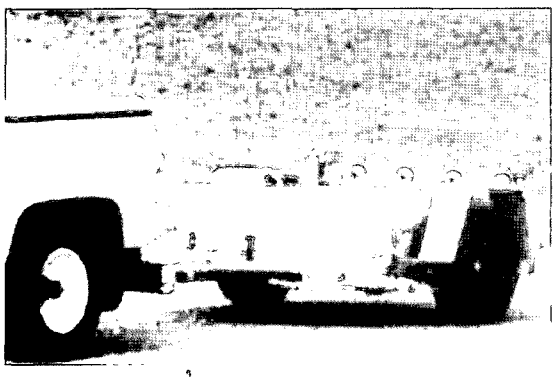

그림 6. Locked-wheel trailer

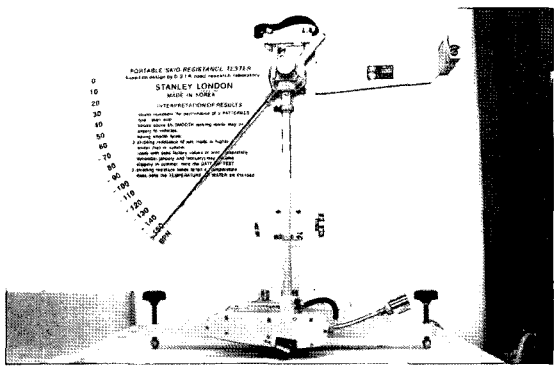

그림 7. BPT(British Portable Tester)

표 2. 포장 현황(2001년 8월 기준)

노선명	관 리 연 장 (km)					2차로 환산 연장(km/2차로)				
	포장종류	A	A/C	C	C/A	계	A	A/C	C	C/A
경부선	426.32	170.09	8.78	242.72	4.73	1,111.43	566.89	17.56	515.57	11.41
	100%	39%	2%	56%	1%	100%	51%	1%	46%	1%
중부선	117.9	7.95	0.20	109.75		235.8	15.90	0.40	219.50	
	100%	6%	0%	93%		100%	6%	0%	93%	%
영동선	195.72	114.74	0.37	69.72	10.89	371.14	205.18	0.74	143.44	21.78
	100%	58%	0%	35%	5%	100%	55%	0%	38%	5%
호남선	249.1	46.75	132.20	69.60	0.55	498.19	93.50	264.40	139.19	1.10
	100%	18%	53%	27%	0%	100%	18%	53%	27%	0%
남해선	169.4	68.90	43.00	53.50	4.00	338.8	137.80	86	107	8
	100%	40%	25%	31%	2%	100%	40%	25%	31%	2%
구마선	82.41	17.60	28.37	36.44		167.22	35.20	57.48	74.54	
	100%	21%	34%	44%		100%	21%	34%	44%	
동해선	41.7	41.70				41.7	41.70			
	100%	100%				100	100%			

* A : 상·하행 모두 아스팔트 포장
C : 상·하행 모두 콘크리트 포장
**A/C : 상행 아스팔트포장 - 하행콘크리트포,
C/A : 상행 콘크리트 포장 - 하행 아스팔트 포장

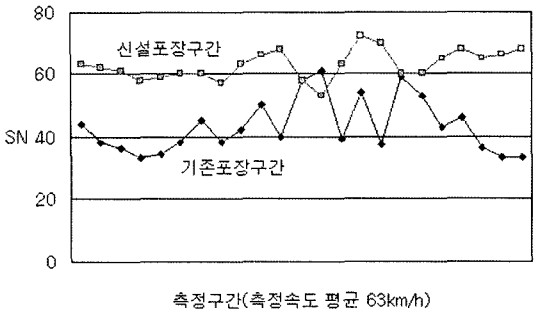

그림 8. 중부고속도로에서의 미끄럼저항 측정값

있어 전 구간을 대상으로 타이닝 마모에 대한 정밀 조사가 요구된다.

3. 표면조직의 마모 및 미끄럼저항성 저하

도로 포장의 표면 조직 상태를 알아보기 위한 미끄럼 저항과 관련되는 연구는 두 분야로 구분될 수 있다. 첫 번째 분야는 포장의 미끄럼 저항에 대한 고려로 도로 기하 구조의 선형설계 단계이다. 두 번째 분야는 포장의 유지관리 단계에서 차량의 안정적인 주행을 위해 요구되는 적정한 포장의 미끄럼 저항관리 단계이다.

우리나라 도로 기하 구조 설계는 도로의 구조 · 시설 기준에 관한 규정 개정안을 근거로 사용하고 있다. 이 기준은 미국의 1994 AASHTO "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"를 근간으로 개정한 것으로 우리나라의 도로 기하구조 설계는 미국 1994 AASHTO기준을 바탕으로 설계되었다고 할 수 있다.

우리나라 포장의 미끄럼과 관련되는 연구는 1990년대부터 본격적으로 연구되기 시작하였다. 한국도로공사에서는 포장의 미끄럼 저항을 측정할 수 있는 장비 도입을 시작으로 본격적으로 현장 측정을 통한 연구를 수행하기 시작했고 현재까지 지속적으로 연구를 수행하고 있으며 이를 바탕으로 실무에 활용하고 있다. 한국도로 공사에서 수행한 미끄럼 관련 연구는 포장 유지관리 시스템(HPMS)운영에 있어 포장을 체계적으로 관리하기 위해 포장의 미끄럼저항 자료를 수집하기 위한 목적으로 주로 수행되었다. 한국건설 기술 연구원에서는 도로 기하구조 설계요소인 횡방향 마찰계수와 곡선반경에 관한 연구를 수행하였으며, 교통개발 연구원 등에서 교통사고와 관련되는 연구를 수행한바 있다.

포장의 미끄럼 관련 연구 분야는 주행 차량의 안전성 측면에서 접근해야 되는 관계로 도로를 운행하는 차량의 물리적인 면을 고려하여야 한다. 그러나, 우리나라의 경우 차량과 도로의 상관관계를 고려한 연구가 저조한 실정이고, 포장 상태를 차량 운동학적인 면에서 정밀하게 측정할 수 있는 장비도 부족한 실정에 있어 미끄럼과 관련되는 연구를 하는데 있어 많은 어려움이 있는 것이 현실이며 관련 연구분야의 활성화를 통한 많은 연구자료의 축적이 요구된다.

대표적인 포장의 미끄럼 저항 값을 측정할 수 있는 장비로는 ASTM E274 기준 장비가 있으며 1994 AASHTO 기준을 적용하고 있는 나라의 경우, 도로 기하구조 설계의 미끄럼 요소를 ASTM E274기준 장비로 측정된 미끄럼 저항 값을 사용하도록 하고 있다. 우리나라의 경우 도로 설계단계에서 실제로 측정된 자료를 사용하는 것은 아니고, 도로 유지관리차원에서 미끄럼측정 자료가 수집 분석되고 있다. 우리나라의 경우 미끄럼과 관련된 관리기준은 건설 교통부에서 재정하였으며, 포장이 제공해야 할 최소한의 마찰력은 도로의 기하구조 및 교통 조건에 따라 다르므로 최소 마찰 기준계수 기준표에서 도로 및 교통조건에 따라 도로를 S1~S4의 4개등급(S등급)으로 분류하였다. 같은 등급이라 하더라도 그 지역에 미끄럼이 동반된 사고(또는 노면 마찰력이 더 높았더라면 방지할 수 있는 사고)건 수가 많다면 더 높은 마찰계수가 필요한 구간이다. 기준표에서 위험도를 3등급으로 분류한 것은 위험도를 고려하기 위함이며 등급이 높을수록 미끄럼에 의한 사고가 빈번한 경우이다. 구간별로 요구되는 최소

마찰계수는 선정된 구간 각각에 대하여 도로의 기하구조, 설계속도, 미끄럼 사고의 빈도등을 고려하여 최소 마찰기준표에서 각 구간에 요구되는 최소 마찰계수를 구한다. 건설교통부에서 재정한 최소 마찰계수 기준표는 도로 기하구조 설계단계에서 요구하는 최소 마찰계수보다는 큰 값으로 실제 교통 현장에서의 적용성에 대해서는 재검토가 필요하다.

위험도의 결정은 기본적으로 각 기관의 주관적인 판단에 준하며 다음 기준을 참고로 한다.

- □ 위험도 1: 노면 미끄럼에 의한 사고가 거의 없는 경우, 사고 기록이 아직 정리되지 않은 경우
- □ 위험도 2: 노면 미끄럼에 의한 사고가 가끔씩 발생하는 경우
- □ 위험도 3: 노면 미끄럼에 의한 사고가 빈번한 경우

최소 마찰계수 기준표를 이용하는 방법은 먼저 도로의 기하구조, 도로등급, 교통량 등을 고려하여 S 등급을 구하고 미끄럼 사고 기록을 참고로 각 구간의 위험도를 구한뒤 해당되는 경우의 마찰계수를 읽으면 된다. 위험도 결정 시 객관적인 기준이 필요한 경우에는 교통 사고중 노면이 습윤 상태에서 발생된 사고 건수에 따라 결정 할 수도 있다.

다음 그림 9,10은 미국의 뉴욕에서 홈이 없는 타이어로 적당한 마찰 저항값을 유지하기 위해 실험한

표 3. 최소 마찰계수 기준표

구 분	정 의	최소요구마찰계수			측정방법
		위험도 1	위험도 2	위함도 3	
S1 마찰력 확보가 매우 중요한 구간	1) 설계속도 60km/h 이상인 도로의 교통신호 또는 횡단보도 접근부 2) 도시 또는 지역도로의 교통신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 구배에서 곡선반경이 "도로의 구조·시설기준에 관한 규정"에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당되는 구간	37	44	50	SN
S2 마찰력 확보가 중요한 구간	1) 설계속도 60km/h 이상이 되는 도로로서 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규정"에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 2) 5%이상의 내리막 구배가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반 구간 4) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로 접근부	31	37	44	SN
S3 평균조건	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로 1) 주요 간선 도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반도로	21	31	37	SN
S4 마찰력이 중요하지 않은 구간	교통량이 적은 도로의 일반 직선구간	21	27	31	SN

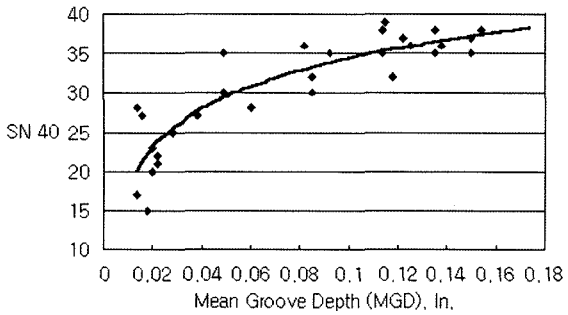

그림 9. 40mph에서의 Skid Number 와 Mean Groove Depth 사이의 관계

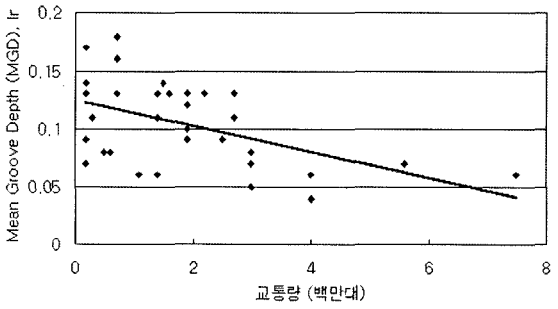

그림 10. 교통량과 표면조직가모와의 관계

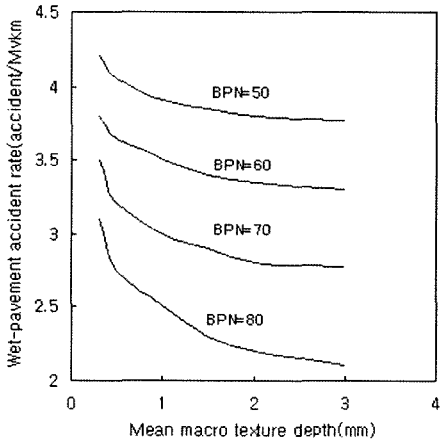

그림 11. 습윤한 포장상태에서 MTD와 마찰저항값(BPN)에 의한 사고율

것이다. Mean Groove Depth와 SN40의 관계는 표면조직이 마모될수록 SN40값이 떨어지는 것을 알 수 있으며 Mean Groove Depth와 교통량의 관계도 그림 10에서 보듯이 교통량이 증가할수록 MGD값이 일정하게 떨어진다.

그림 11은 그리스에서 습윤한 포장 상태에서의 MTD와 마찰 저항값을 평가한 것이다. 마찰 저항값의 평균 10%의 증가된 평균값이 습윤한 포장상태에서 약 13%의 사고 경감을 나타낸다.

4. 미끄럼 저항 증진 공법

도로 포장의 미끄럼 저항을 증진하기 위하여 표 7과 같이 다양한 공법들이 적용되어 왔으나 공용성에 대하여 지속적인 추적조사가 이루어지지 않아 적용된 공법의 미끄럼 저항 성능에 대해서는 객관적인 평가가 미진한 실정이다. 우리나라 고속도로에 적용된 미끄럼 저항 공법으로는 가장 일반적인 공법인 아스팔트 포장은 표면에 신재료를 추가하는 형식으로 개립도 마찰층 아스팔트 포장, 슬러리실 표면처리, 수지계 표면처리 등이 있으며, 특히 수지계 표면처리에 의한 이격식 미끄럼 저항 공법이 많이 적용되어 있다. 콘크리트 포장의 경우는 표면의 재료를 재거하는 형식으로 그루빙, 숏블라스팅 및 노면 평삭 공법들이 있으며 일반적으로 그루빙 형태의 미끄럼 저항 공법들이 많이 적용되어 있다.

우리나라 도로에는 그 동안 많은 미끄럼 방지 공법들이 적용되었으나 시공방법이나 공용성에 대해서는 충분한 자료가 분석되지 못하였다. 이로 인하여 고속도로뿐만 아니라 국도를 비롯한 모든 도로에서 미끄럼 방지 공법의 적용성에 대한 이해가 부족하여 차량 운전자 및 현장 기술자들에게 미끄럼 방지 포장의 설치 및 효용성에 대하여 종종 논란을 불러 일으키고 있는 실정이다.

도로에 미끄럼 방지 포장 적용은 현장 기술자들에게 다양한 상황에 대한 검토를 요구한다. 미끄럼 방지 포장을 적용하는 가장 큰 이유는 우천시 미끄럼으로 인한 사고를 예방하는데 있다. 그러나, 미끄럼

표 4. 미끄럼 저항 증진 공법 시공 사례

포장 종류	공법	시공 노선	위치(km)	행선	연장 (m)	시공방법	시 공 연 도	미끄럼 (SN)	측정년도
콘크리트 포장	골재노출	중부 고속 도로	24.92~24.97	상1	100	설탕물(3%)	1987.6.17	-	
			25.5	상	50	설탕물	1987.6	45.4	1992
			32.73~32.74	상1 상2	20 10	설탕물(3%)	1987.6.10	-	
			60.59~60.62	상1 상2	68 34	설탕물(2.7%)	1987.6	- 44.9	1992
			108.3~108.33	하1 하2	22 11	설탕물(0.8~1.2%)	1986.11	48.5	1992
		남해 고속 도로	354.7	하	280	설탕물(3%)	1988.10	53.6	1992
			355.0	하	200	Verbator 35배 수용액	1988.10	53.6	
	Fibromac 표면처리	호남 고속 도로	16.8~18.8	상	2,000	개질폴리머+합성섬유 6~15mm박층포설	1995.6.21 ~7.6	39.2	1992
	Macroseal 표면처리		14.8~16.8	상	2,000	개질폴리머+합성섬유 6~15mm박층포설	1995.6.21 ~7.6	45.3	1992
	숏블라스팅	경부 고속 도로	203.4~203.3	상	100	차선폭 블라스팅	1996.11	37.8	시공직후
	종방향 노면평삭		203.3~203.2	상	100	종방향 차선폭 평삭*	1996.1	37.9	시공직후
	횡방향 노면평삭		203.2~203.1	상	100	횡방향 3m 평삭*	1996.11	40.1	시공직후
	노면평삭 이격시공		203.1~203.04	상	60	6m 이격 평삭*	1995.11.1 ~11.30	32.3	시공직후
	그루빙	88 고속 도로	98.469	상		TYPE 2***	1995.11.1 ~11.30	39.1	1996.11
			109.9~110.6	상 하	700 1,400	TYPE 1**	1995.11.1 ~11.30	37.5~ 45.4	1996.11
		경부 고속 도로	175.46~175.61	하		TYPE 2***	1996.11	41~45.7	1996.11
			285.38~285.52	하		TYPE 2***	1996.11	43~44.8	1996.11
			206.52~206.23	상		TYPE 2***	1996.11	38.2~ 42.4	1996.11
			203.55~203.48	상		TYPE 2***	1996.11	39.6	1996.11

* 노면평삭에 사용된 평삭기는 톱날 간격이 1.5cm, 절삭깊이 2mm, 톱날 폭은 7mm이다.
** TYPE 1 : 폭×깊이×간격 = 6×6×38mm
*** TYPE 2 : 폭×깊이×간격 = 6×9×38mm

표 5. 타이닝 종류에 따른 미끄럼 저항값(SN)

타이닝 형태		ASTM965 mm	미끄럼 저항값					
			56km/h		72km/h		90km/h	
			SNR*	SNS**	SNR	SNS	SNR	SNS
횡방향	13mm간격, 3~5mm 깊이	1.00	57	50	52	46	48	43
	13mm간격, 1.5mm 깊이	0.94	60	52	63	47	51	45
	19mm 간격	0.95	58	51	53	47	50	43
종방향	19mm간격, 1.5mm 깊이	0.96	49	42	44	36	44	34
	19mm간격, 3~5mm깊이	1.12	46	46	41	40	40	39

* SNR : 홈이 있는 타이어에서의 SN값
** SNS : 홈이 없는 타이어에서의 SN값

방지 포장은 평탄성에 관계되는 승차감을 저하할 가능성이 있으며 때로는 포장의 조기 파손으로 내구성 저하를 초래할 수 있다. 표면 접착식 미끄럼 방지 포장의 경우 시공 초기에는 미끄럼 방지 성능을 발휘하나 조기에 파손이 발생하여 미끄럼 방지 효과가 저하되고 때로는 승차감을 저해하는 원인을 제공하기도 한다.

(1) 신설시공에서의 콘크리트포장 미끄럼저항 증진 공법

타이닝-타이닝은 콘크리트포장에서 가장 일반적으로 시공되는 표면조직이다. 횡방향 타이닝이 가장 일반적인 형태이나 소음에 민감한 지역에서는 종방향 타이닝을 시공하기도 한다. 횡방향 타이닝에 대하여 미국 FHWA 콘크리트 포장 표면조직 연구그룹은 다음과 같은 규격을 제안하고 있다. 타이닝의 간격은 10~76mm, 폭은 3 .5mm 그리고 깊이는 3 mm이다. 좁고 깊은 그루빙은 얕고 넓은 그루빙보다 소음 발생이 더 클 수 있다. 종방향 타이닝이 사용되는 경우 FHWA에서는 간격을 19mm, 폭을 3 .5mm 그리고 깊이를 3~6mm를 제안하고 있다. 적당한 마이크로 조직을 제공하기 위해서 전체 골재 중 최소 25%는 실리카 모래를 포함해야 한다. 표5는 미국 IOWA주도로국에서 신설포장에 설치한 타이닝과 미끄럼 저항값을 측정한 결과이다.

골재노출 공법- 콘크리트 포장시공시에 표면의 모르타르를 제거하여 조골재를 노출시켜서 포장표면에 별도의 거시결을 형성시키지 않고도 미끄럼 저항력을 확보하는 방안으로 소음 저감효과가 매우 우수한 공법으로 평가되고 있으나 기술적으로 쉬운 공법이 아니므로 시공자는 충분한 경험을 가지고 있어야 한다. 골재노출공법을 적용하기 위한 콘크리트 재료 배합시에는 균일하게 많은 조골재를 포장 표면에 노출되도록 조골재 용적률을 크게 하여야 한다. 일반적으로 최대 입경을 20mm이하로 하는데 해외에서는 조골재의 최대입경을 15mm이하로 하여 소입경 골재 노출공법으로서 소음저감효과를 증대시켜 터널 내포장에 적용하는 예가 많다. 골재를 노출시키기 위하여 지연제를 표면에 살포하여 표면 2-3mm정도

그림 12. 횡방향 타이닝 공법

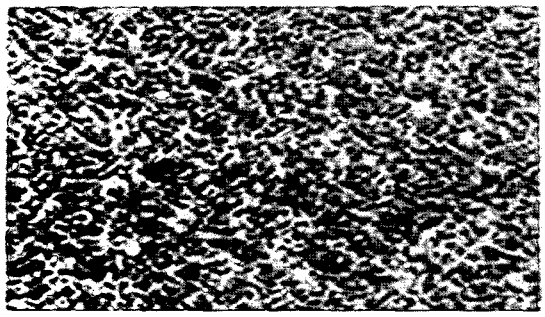

그림 13. 골재노출 공법

의 모르타르의 경화속도를 늦추고 골재 노출기(Brush)를 사용하여 표면의 경화전에 2-3mm정도의 모르타르를 긁어내어 포면의 결을 구성하는데 노출시기는 모르터르 경도 30-40 정도에서 하는 것이 적당하다.

(2)공용중인 콘크리트 포장의 미끄럼저항증진 공법

그루빙(Grooving)- 절단 그루빙은 콘크리트 포장의 적합한 미끄럼 특성을 복구하기 위해 사용되는 방법이다. 타이닝된 콘크리트 포장은 마모에 의해 마이크로 조직이 손실되며,

그루빙으로 마이크로 조직을 복구할 수 있다. 대부분의 그루빙은 종방향 그루빙이며, 횡방향 그루빙은 교면포장, 공항 활주로 및 인터체인지 등에서 사용된다. 타이어와 포장에서 소음 발생이 문제가 되는 곳에서 횡방향 그루빙은 간격이 일정하지 않게 시공하면 효과가 있다. 횡방향 그루빙은 길어깨 쪽으로 배수골을 제공하여 저우량을 감소시킨다

그러나, 높은수준의 소음을 발생할 수 있다. 만약, 홈이 있는 ASTM E501 시험 타이어를 사용하여 ASTM E274 장비로 포장의 미끄럼 평가 기준으로 사용하는 경우 포장은 그루빙 되지 않아야 한다. 측정 타이어의 홈은 접촉되는 타이어 바닥면에서 충분한 배수를 제공하여 그루빙은 미끄럼 지수를 증가시키지 않는다. 그러나, 홈이 없는 타이어를 사용하는 경우 그루빙이 커지면 미끄럼 지수도 증가된다.

다이아몬드 그라인딩- 다이아몬드 그라인딩은 승차감 저하와 소성변형으로 거칠어진 노면을 제거하기 위하여 주로 적용되고 있으며 미끄럼 저항성도 증진된다. Mosher는 홈이 없는 타이어를 채용하여 Saab 미끄럼 측정기를 사용하여 서로 다른 5개의 중에서 5종류의 프로젝트에서 측정하였다. 그라인딩 후에 바로 측정한 평균 미끄럼의 증가는 90%정도였다. 평탄성에서 1.2m/km 평균감소가 Mays Ridemeter로 측정되었다. 캘리포니아주의 Farnsworth에 의한 초기 연구와 루이지애나주의 Walters의 연구는 습윤과 건조한 포장에서 사고에서 분명하게 감소하는 것을 보고하였다. 1998년 위스콘신주 연구에서 그라인딩과 타이닝된 표면의 사고율을 비교하였으며 그 결과는 표 6과 같다. 다이아몬드 그라인딩의 그루빙은 절단 그루빙보다 매우 작고 조밀한 간격이다. 5~6mm의 간격과 1.6mm의 깊이와 2.3~3.8mm폭에 절삭 면적은 1.5~3.3mm이다. 다이아몬드 그라인딩은 평탄성 증진과 소성변형을 제거하기 위해 사용될 때 표면을 19mm

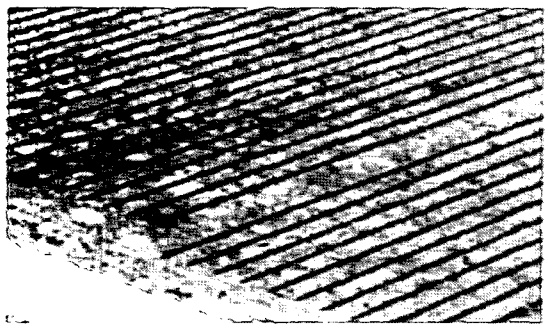

그림 14. 그루빙

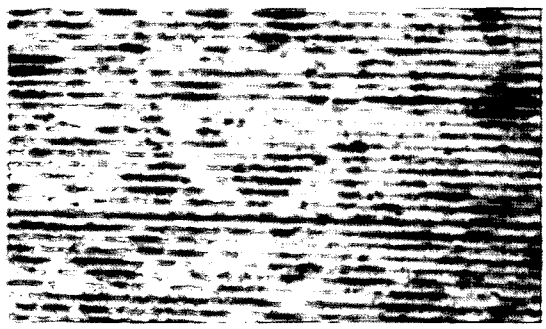

그림 15. 다이아몬드 그라인딩

표 6. 타이닝과 그루빙된 포장의 사고율 비교

포장상태	사고 /100만대		그라인딩포장의 감 소 율 (%)
	그라인딩	타이닝	
건 조	65	112	42
습 윤	99	170	42
적설/결빙	173	205	16

이상 제거가 가능하다. 다이아몬드 그라인딩 공법의 단점으로는 표면을 충분한 깊이로 제거하는 경우 조골재가 노출될 수 있다는 것이다.

5. 맺음말

우리나라는 콘크리트 포장을 시작한지 20년의 세월이 지났다. 먼저 콘크리트 포장을 시작한 선진국에 비해 시공기술이 선진국에 근접해 있을 만큼 많은 발전을 하였으며 중차량에 대한 뛰어난 적용성과 장기간의 공용성을 지녔고 국내의 비교적 풍부한 시멘트를 활용할 수 있다는 장점으로 매년 약간씩 콘크리트 포장이 증가하고 있는 추세이다.

표면조직의 성능평가와 설계기술 확보를 위해서는 우선 주행중인 차량이 제동하기 위한 타이어와 노면간의 소정의 마찰력이 요구된다. 노면 미끄럼 저항은 국제적으로 SN(Skid Number)으로 표기하는데 허용 주행 속도 및 선형조건에 따라서 도로별로 요구되는 SN이 달라진다. SN은 포장체의 표면의 마이크로 조직과 매크로 조직에 의해 결정되는데 콘크리트 포장의 마이크로조직과 매크로 조직의 노후화로 인하여 공용기간이 경과하면서 교통하중에 의한 표면 마모 또는 탈리 현상에 의하여 설계단계에서 최소 기준으로 설정한 미끄럼 저항 치수보다 낮아질 수 있기 때문에 포장 유지 관리 단계에서 지속적인 현장 조사를 실시하여 미끄럼 저항 수치를 관리할 필요성이 있다 그리하여 콘크리트 포장면과 타이어 사이의 마찰저항을 줄여 특히 포장의 표면이 젖어있을 때 사고발생률을 줄이는 방안을 모색하여야겠다.

또한 포장의 미끄럼 저항 특성을 다각적으로 검토하여 국내 적용을 개선하고 마찰계수 값의 증진을 위한 미끄럼 저항 증진 공법을 연구하여 분석한 후 효과가 좋은 공법을 선정하여 콘크리트 표면조직 최적 설계기준 및 이에 대한 표면조직 공용성 확보기간 예측 기법을 개발해야겠다

▣ 참고 문헌

- 한국도로공사 도로연구소 (2001), "도로 선형별 미끄럼 저항 특성 연구(I) 보고서"
- 한국도로포장공학회지 (2001.9), "건식그루빙을 사용한 공항 활주로의 마찰 및 수막현상 특성 평가"
- 한국도로포장공학회지 제 2권 1호, "포장 미끄럼 저항 장비 측정 개발 연구"
- (주)서영기술단 부설기술연구소, "콘크리트 포장 표면처리 공법 조사보고서"
- ALEXANDROS G. KOKKALIS 외 (1997.6.21), "*Fraxtal Evaluation of Pavement Skid Resistance*"
- David A. Kuemmel 외 (2000.6), "*NOISE AND TEXTURE ON PCC PAVEMENTS*"
- David Croney 외(1991), "*The Design and Performance of Road Pavements*"
- Hironari Abe 외 (2000.1), "*Measurement of pavement Macotexture using the CTMeter*"
- JOHN E.GRADY 외 (1981), "*Groove-Depth Requirements for Tine-Textured Pavements*"
- Paul L.Burge 외(2001.11), "*A Comparison of Transverse Tined and Longitudinal Didmond Ground Pavement Texturing for Newly Constructed Concrete Pavement*"