

도로 포장 미끄럼 저항 관리 및 측정



김인수 | 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원

1. 국내·외 미끄럼 저항 관리기준

1.1 영국

도로 미끄럼 저항을 관리하기 위해서는 단순히 최소 미끄럼 저항 기준만으로는 부족하고 구체적인 실행 방법이 필요하다. 본고에서는 해외에서 시행되고 있는 미끄럼 저항 관리 방법을 몇 개국의 예를 들어 소개하고자 하며 이를 통하여 국내기준의 발전적 개정 가능성을 밝혀보고자 한다.

국내 미끄럼 저항 관리기준은 국토교통부 도로안전시설 설치 및 관리지침(미끄럼방지시설)에 따라 다음 표 1과 같다(국토교통부, 2008). 도로의 중요도에 따라 4개로 나누고, 교통사고 자료를 통하여 위험도에 따른 최소 미끄럼 저항기준을 제시하였다. '위험도'는 노면 미끄럼 관련 사고의 발생 정도에 따라 3단계로 구분하여 관리자의 주관적인 판단에 따라 정하고 있다. 측정방식은 Skid Number(ASTM E 274를 따르는 바퀴잠금식 측정방법)와 BPN (British Pendulum Tester, 진자 식 간이 측정법)을 제시하고 있다.

영국에서는 모든 주요도로의 양방향 1차로에서 미끄럼 저항을 측정하고 있으며, 자동차전용도로(Motorway)의 전체 측정거리는 약 10,000km, 1차로 도로는 약 3,500km를 측정하고 있다. 이를 측정하는 측정방법도 몇 년의 간격을 두고 측정하는 방법에서 매년 측정하는 방법으로 측정방법을 바꾸었다. 이렇게 매년 같은 구간을 측정하여 평균값을 저장하는 경우에는 현재 측정한 값이 계절적 영향을 반영한 값인지에 대한 판단이 가능하여 미끄럼저항의 하락이 발생한 구간에 대한 판별이 즉시 가능하기 때문에 유리한 것으로 나타났다. 이렇게 매년 조사하는 방법의 주요한 이점은 다음과 같다.

- 매년 동일구간 측정함으로써 기준 이하 구간 파악가능
- 네트워크 상태파악에 신뢰성
- 표면처리 등의 효과 파악(예를 들어, 매년 100명의 부상자 감소가 예상되면 이는 곧바로 170억 원의 비용감소로 환산 가능)
- 매년 조사하는 것이 특정구간의 효과조사에 드는 비용을 감소시킴

표 1. 국내 미끄럼 마찰계수 기준

구분	정 의	최소요구마찰계수			측정 기준
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/h 이상인 도로의 교통신호 또는 횡단보도 접근부	57	67	77	BPN
	2) 도시 지역도로의 교통신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 경사에서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구간	37	44	50	SN
S2 (마찰력 확보가 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/h 이상이 되는 도로로서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에서 정한 값보다 작게 설계된 곳	47	57	67	BPN
	2) 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로 접근부	31	37	44	SN
S3 (평균 조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로	32	47	57	BPN
	1) 주요 간선도로 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 직선 구간	32	42	47	BPN
		21	27	31	SN

영국은 지난 1994년에 설정한 미끄럼관련 조사기준(Investigatory Level)을 대체하고, 구간 분류와 정의를 세분하여 새로운 기준을 2004년에 표 2와 같이 선정하였다(Highway Agency et al., 2004).

도로를 기호화하여 A, B, C(고속도로와 일반도로)와 Q(접근로 또는 JC 횡단도로, 회전교차로 접근로), K(횡단보도 접근로와 다른 위험도 높은 구간), R(회전교차로)과 G(내리막구간(5-10%, 10% 이

표 2. 구간분류와 미끄럼 조사기준

구간 분류와 정의		조사 기준(SCRIM 장비로 50 kph에서 측정)							
		0.3	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
A	자동차전용도로								
B	Dual Carriage								
C	Single Carriage								
Q	교차로 접근로/회전교차로 접근로								
K	횡단보도 접근로와 다른 위험도 높은 구간								
R	회전교차로								
G1	내리막 5-10%(50m 이상)								
G2	내리막 10% 이상(50m 이상)								
S1	곡선반경 < 500m-Dual Carriage								
S2	곡선반경 < 500m-Single Carriage								

상), S(곡선반경 500m 이하 2차로 또는 곡선반경 500m 이하 2차로 1차로)로 세분하였다. 같은 구간이라도 표 2의 열은 음영과 짙은 음영의 두 기준이 있는 것을 알 수 있는데 이것은 해당구간의 교통량이 낮거나 위험이 적은 구간이라면 낮은 기준(열은 음영)을 쓰는 것을 나타내고 있다.

조사기준(Investigatory Level)에 미달하는 구간에 대해서는 현장조사(Sight Investigation)를 수행한다. 현장조사를 통하여 미끄럼 저항을 높이기 위한 표면처리 공법을 적용하게 된다. 현장조사 시에 사용하는 교통사고 자료 조사방법은 1) 구간평균보다도 해당구간의 사고건수가 높은지 여부와 2) 젖은 노면 사고율과 미끄럼에 의한 사고율이 구간평균보다도 높은지 여부를 확인한다. 현장조사를 통하여 선정된 구간에 대한 보수 우선순위를 선정하는 방법은 다음과 같다.

- CSC(Characteristic SCRIM Coefficient)값이 '조사기준(Investigation Level)' 이하인 경우
- 미끄럼저항과 표면조도(텍스처) 값이 같이 낮은 경우
- 사고자료 분석결과, 젖은 노면사고와 미끄럼에 의한 확실한 증가가 예상되는 경우

조사기준 이하의 구간에 대해서는 위험표지판을 세우게 되며 미끄럼 저항을 회복한 이후에는 즉시 철거하도록 하고 있다. 이상 영국의 사례를 요약하면 다음과 같다.

- 조사물량은 매년 13,500km 노선의 양방향 1차로 조사
- 매년 조사하는 방식이 다년간의 간격을 두고 조사하는 방식보다도 효과측정 및 데이터 신뢰도 측면 우위(측정 속도는 최대 85km/h)

1.2 독일

독일 연방정부는 시공사가 도로 개통 4~8주 전에 표 2에 제시된 최소 미끄럼기준을 통과하도록 요구

하고 있으며 최초 4년간의 공용기간 동안에 미끄럼 기준을 유지하도록 하는 준거를 가지고 있다(Heavy Vehicle Research Center, 2006). 이 4년 동안의 최소 미끄럼 기준은 최초 기준보다는 조금 완화된 값을 적용하여 포장의 마모 등에 따른 미끄럼 저항 저하에 대한 고려를 하고 있음을 알 수 있다. 이 초기 4년 이후 미끄럼 저항 유지책임은 정부에 돌려지게 되며 연방정부는 주요도로(아우토반 등), 지방정부는 지방도로를 책임지게 된다. 표 3은 독일의 미끄럼저항기준을 나타낸 것이다.

표 3. 독일의 미끄럼 저항 관리 기준

제한속도(kph)	최소 미끄럼 값		
	개통 4~8주 전 허용기준	개통 후 최초 4년 기준	개통 4년 이후 도로관리 기준
80	0.43	0.40	0.32
60	0.48	0.45	0.37
40	0.53	0.49	0.42

독일의 주요 도로는 4년마다 전수 조사하고 있고, 100m 단위를 동질성구간으로 변환하여 저장하고 있다. 주요 도로가 아닌 경우는 전체 연장의 30% 정도를 조사하고 있다. 만약에 기준에 미달하는 구간이 나타나면 재포장 공사를 시행하던지 또는 속도제한을 조정하고 있는데 이 제한속도 조정은 재포장하기 전까지 임시방편으로 수행된다. 미끄럼 측정과 기준에 대한 분석 등은 연구기관인 BAST(연방도로연구소)에서 수행하고 있는 것으로 나타났다. 독일의 미끄럼 저항기준 조사결과를 정리하면 다음과 같다.

- 80km/h 측정속도에서 미끄럼저항 0.32를 적용
- 시공자가 최초시공 4년까지 미끄럼 유지관리 책임
- 개통 전 4~8주 전까지 미끄럼저항 최소기준치 만족여부 검사

1.3 미국

미국은 각 주별로 별도의 기준으로 운영되고 있지

만 기본적으로 다음 표 4의 기본 틀을 유지하고 있다 (Midwest Regional University Transportation Center, 2005).

표 4. 통상적인 미끄럼 저항 값의 기준

미끄럼 저항 (SN:Skid Number)	권장사항 (Recommendations)
<30	보수시행
≥30	저교통량 도로에 적합
31-34	자주 포장 관측 필요
≥35	중교통 도로에 적합

표 5는 미국의 각 주별 미끄럼 저항기준을 나타낸 것으로서 유지관리기준과 함께 신설 또는 미끄럼저항이 낮은 구간에 표면처리시공을 실시한 경우에 적용하는 최소기준을 함께 운용하는 주도 있다는 점이다. 또한, 립 타이어를 측정 타이어로 사용하는 15개 주에서 대부분이 SN 30~35 정도를 사용하는 것으로 나타났다(Midwest Regional University Transportation Center, 2005).

표 5. 미국 주 별 미끄럼 저항 기준

주 명	유지관리 기준 (SN)	신설(표면시공)기준 (SN)
아리조나	34	-
아이다호	30	-
일리노이즈	30	-
켄터키	28	-
뉴욕	32	-
사우스 캐롤라이나	41	-
텍사스	30	-
유타	30-35	-
워싱턴	30	30
와이오밍	35	-
메인	-	35
미네소타	-	45
위스콘신	-	38

2. 도로 미끄럼저항 측정 방법 및 장비

세계 각국에서 표 6과 같이 다양한 미끄럼 측정방법을 사용하여 미끄럼 저항을 측정하고 있으며, 대체적으로 북미에서는 바퀴 잠금(Locked Wheel) 장비를 사용하는 ASTM E 274 방법을 주로 적용(미국에서는 41개주에서 사용)하고 있다. 유럽에서는 SCRIM, Mu-meter 및 Grip tester를 주로 사용하고 있다.

표 6. 주요 미끄럼 측정방법

시험방법	관련기준	세부기준	관련장비
Locked Wheel (바퀴잠금) 방식	ASTM E 274	64km/h 속도로 측정. 0.5mm 두께의 수막 형성하여 측정. 측정을 잠기게(locked) 하고 견인력을 측정	ASTM E 501, E 524 기준에 맞는 타이어 사용
Side Force	ASTM E 670	종방향 및 횡방향 미끄럼 저항 측정. 1.2 리터/분 살수. 하나 또는 두 개 경사진 타이어가 포장면에 끌리며 측정. 횡방향 힘, 타이어 하중, 거리와 속도가 기록	- British Mu-Muter 7.5도 경사 바퀴 - British Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine(SCRIM) 20도 경사 바퀴
Fixed Slip	가변적	스무스 타이어의 회전저항(일정한 슬립속도)을 64-85km/h 속도로 측정	- Roadway and runway Friction Tester(RFT) - Airport Surface Friction Tester (ASFT) - Saab Friction Tester - Grip tester
Variable Slip	ASTM E 1859	가변 슬립(0~ 100%) 조건에서 측정. 0.5mm 두께의 수막 형성하여 측정	- 프랑스 IMAG - 노르웨이 Noremeter - RUNAR - ROAR and SALTAR 시스템

그림 1은 미끄럼 마찰 측정 장비를 측정 방법에 따라 ① 바퀴잠금식, ② Variable Slip, ③ Fixed Slip, ④ Side Force으로 구분하여 제시한 것이다. 한국도로공사에서 현재 보유한 장비는 바퀴잠금식으로, 세 종류의 풀 스케일 타이어를 사용하나 기타 유럽에서 주로 사용되는 'Side force' 및 'Fixed slip' 장비는 타이어 트래드(Tread)가 없는 스무드(Smooth) 타이어를 사용한다. 측정방식이 다른 장비에서 도출된 측정값은 정량적인 비교는 불가하며 만약 다른 장비를 사용하게 되는 경우에는 별도의 기준을 다시 세우기 위한 현장조사가 필요하게 된다.

표 7은 현재까지 장비 운영과 관련한 특성들을 정리한 것이다. 표 6에서 중요하게 고려할 점으로 바퀴잠금식은 연속측정이 불가능하다는 점이다. 현재 도로공사의 미끄럼 장비 운영결과, 연속측정을 하게 되면 100% 제동으로 인한 측정륜의 순간 변형이 발생하게 되며 하드웨어에 무리를 주기 때문에 200~300m의 단거리도 측정이 불가능하게 된다. 이에 반하여 'Fixed Slip' 방식(Side force 포함)은 약 15~20% 정도의 제동력만 가하기 때문에 측정륜의 변형이 적게 발생하여 연속적인 측정이 가능하게 된다. 따라서 이런 'Fixed Slip' 종류의 장비는



(a) 바퀴잠금식



(b) Variable Slip



(c) Fixed Slip



(d) Side Force



그림 1. 미끄럼 마찰 측정 장비 유형

네트워크 수준에서 전수 조사 시에 사용하고 일정 기준 값보다 낮은 값이 나온 구간이 있는 경우(현장 조사 시)에는 현재 보유 장비인 바퀴잠금식 장비를 사용하는 조합을 선택하는 것이 적절한 방법이 될 것으로 판단된다.

표 7. 미끄럼 측정방법별 장단점 비교

측정장비	장 점	단 점	비 고
Locked Wheel (바퀴잠금식)	- 측정신뢰도 높음 - 타이어 종류 별 측정 가능 - 다양한 속도 서 측정 가능 - 조작 편리	- 연속측정불가(미끄럼취약구간 누락가능) - 타이어간 상관식 없음 - 65km/h이하 속도 서 측정신뢰도 낮음 - 별도 데이터 정리에 많은 시간 필요	바퀴잠금식 장비는 0.5mm 수막기준으로 약 1톤의 살수로 7.2km 측정 가능
Side force 및 Fixed slip	- 연속측정 - 그래픽자료 처리 - 살수량 적음	- 대용량 테이타 처리 시 특이구간 별도조사 필요 - Smooth 타이어만 사용	Grip tester는 0.5mm 수막기준으로 약 4톤의 살수로 160km 측정 가능

3. 도로 미끄럼 저항 관리 개선방안 제언

미끄럼 저항 측정은 몇 년의 간격을 두는 것 보다 매년 측정하는 것이 도로 안전도 향상에 유리한 것으로 보이며 유럽의 예에서 보는 것처럼 연속식 미끄럼 측정 장비는 네트워크 대역 측정(전수조사)에 유리한 것을 알 수 있다. 국내에서도 이상의 해외 사례를 참조하여 구체적인 조사방법 및 기준을 선정하여 대처한다면 도로안전을 높이는데 효과적인 성과를 이뤄낼 수 있을 것으로 보인다. 각국의 미끄럼 저항 관리 사례를 다음과 같이 요약하였다.

- 문헌고찰 결과, 다양한 도로시설물별로 미끄럼 저항 기준을 설정한 영국은 조사기준(매년 전수조사를 통하여 축적된 자료를 바탕으로 조치기준 대상 구간을 판별하는 미끄럼 기준)과 현장조사(표면처리공법 또는 재시공 등을 결정하는 조사)의 2단계로 미끄럼 저항을 관리하며 매년 전수조사를 통한 미끄럼저항 하라구간을 판별하여 적극 대처
- 독일의 경우는 영국과 달리 ① 신설 포장의 미끄럼저항 기준, ② 초기부터 4년까지의 미끄럼 저항 기준과 ③ 4년 이후의 미끄럼 저항 기준의 연차별 기준을 적용하며 4년마다 전수조사를 실시함. 또한, 시공 이후 4년까지 시공사가 책임지고 관리하도록 하는 점이 특이사항
- 미국은 주 별로 조금씩 다른 기준이 적용되고 있으나, 바퀴잠금식 장비를 이용하는 경우에 공통적으로 SN 30~35를 기준으로 사용

참고문헌

1. 국토교통부 (2008), 도로안전시설 설치 및 관리지침.
2. Highways Agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government and the Department for Regional Development, Northern Ireland (2004), Design Manual for Roads and Bridges (HD28/2004), London.
3. Heavy Vehicle Research Center (2006), Assessment of Friction-based Pavement Methods and Regulations.
4. Midwest Regional University Transportation Center (2005), Incorporating Road Safety Into Pavement Management: Maximizing Asphalt Pavement Surface Friction For Road Safety Improvements.
5. TRB (2009), Guide for Pavement Friction, 2009, National Cooperative Highway Research Program Web-Only Document 108.