

# 도로 안전과 노면의 미끄럼



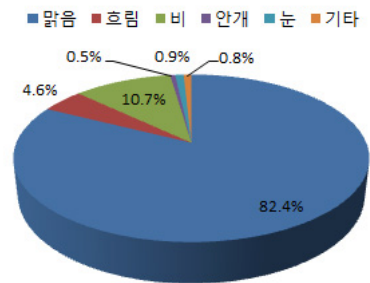
김 용 석 | 한국도로학회 교통안전시설분과위원회 위원장

## 1. 노면 미끄럼과 교통사고 위험성

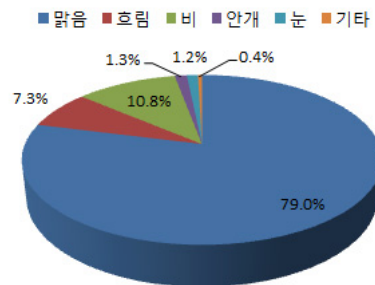
2015년 한 해, 총 232,035건의 도로 교통사고가 발생하였고 이로 인해 4,621명의 사망자와 350,400명의 부상자가 발생하였다(경찰청, 2016). 미국의 911 테러로 인한 사망자가 2,843명임을 감안할 때 매년 911 사망자 이상의 피해가 부지불식간에 도로에서 발생하고 있다고 볼 수 있다. 정부는 5년 단위의 교통안전기본계획을 세워 도로 교통사고를 감축하고 있으나 여전히 OECD 34개국에서 32번째로 교통사고 위험이 높은 국가로 분류되고 있다(국토교통부, 2016). 따라서 전통적으로 추진해 온 다양한 교통안전 정책 추진과 더불어 노면 미끄럼 저항 확보와 같은 그동안 충분히 반영하지 못했던 분야에 대한 관심 및 실천방안을 검토해야 할 시점이다.

노면 미끄럼은 우천 시에 자동차 타이어와 도로 노면 간에 마찰력을 확보하여 자동차의 빗길 미끄럼 사고나 대형 트럭의 전복 사고를 예방할 수 있는 중요한 대책이다. 노면의 미끄럼으로 인한 사고는 '차대 사람', '차대 차', '차량 단독 사고'에 고르게 영향을 주며, 특히 자동차가 미끄러져 도로 밖으로 이

탈하거나 전도·전복되는 차량 단독 사고는 타 사고 유형에 비해 피해 규모가 크다. 2015년 국내 차량 단독사고는 전체 사고의 22%를 차지하지만 사고로



(a) 차량 단독사고 발생비율



(b) 사망자 발생비율

그림 1. 기상 조건별 차량 단독사고 발생 비율과 사망자 비율

인한 사망자 비율은 38%를 차지하고 있고, 그림 1과 같이 단독사고 중 기상 악화조건(흐림, 비, 안개, 눈)에서 사고 발생이 16.7%, 사망자 비율은 20.6%를 차지하고 있는 실정이다(경찰청, 2016).

그림 2는 사고 잦은 구간과 임의로 선택된 구간에서 미끄럼 마찰력을 비교한 결과이다. 그림 2를 보면 사고 잦은 구간에서 상대적으로 낮은 마찰력을 나타냈음을 보여주고 있다(Giles et al., 1964).

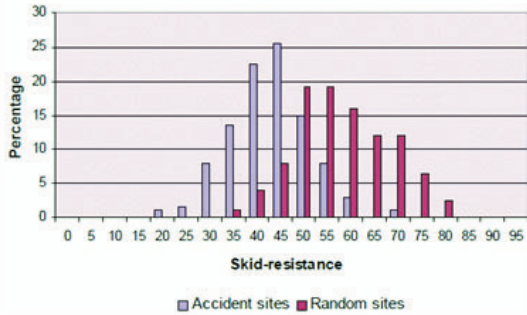


그림 2. 사고 잦은 곳과 임의의 선택 구간에서 미끄럼 마찰 저항 분포

노면 마찰 저하로 인한 사고 위험 분석 결과, 그림 3을 보면 미끄럼 마찰지수(BPN) 50 이하에서 사고의 위험이 비선형적으로 증가하고 있음을 보여준다(Giles et al., 1964).

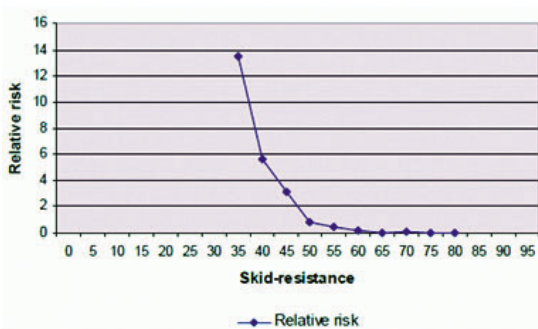


그림 3. 미끄럼 마찰과 교통사고 위험

그림 4는 미끄럼 마찰저항을 두 배로 올리면 교통사고 위험도를 반으로 줄일 수 있음을 시사해 주고 있다(Viner et al., 2004).

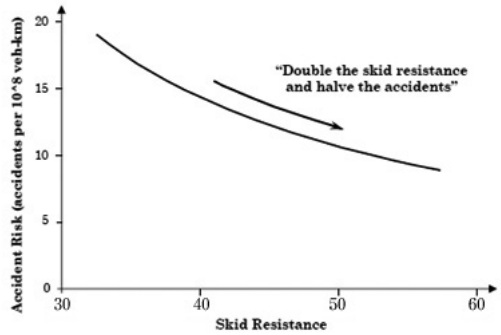


그림 4. 미끄럼 마찰과 교통사고 위험

타 연구자들에 의해 검토된 미끄럼 마찰과 교통사고의 관계연구 동향은 아래와 같다.

- Runkle et al. (1977) : 버지니아 주 내 도로를 대상으로 사고와 미끄럼 저항 관계를 연구한 결과, 64km/h의 조사속도에서 얻어진 미끄럼 마찰 저항(SN)이 최소한 30 정도의 값을 유지해야 한다고 제시하고 있다.
- Lindenmann (2004) : 스위스 국도를 대상으로 미끄럼 저항과 교통사고의 상관성을 입증하려 하였으나, 일정 수준의 미끄럼 저항 값과 사고와의 관계를 도출하지 못하였다.
- Xiao et al. (2000) : 펜실베니아 도로를 대상으로 교통사고와 미끄럼 저항 등 영향 요인간의 상관성을 분석한 결과, 미끄럼 저항(SN)이 33.4에서 48로 높아지는 경우 습윤 노면상 교통사고를 약 60% 수준으로 줄일 수 있음을 제시했다.
- Kuttesch (2004) : 버지니아 주 도로를 대상으로 노면 미끄럼 저항과 사고와의 관계분석연구에서 습윤 노면 상 교통사고가 미끄럼 저항이 낮아질수록 증가하는 관계가 있음을 제시하였으나, 미끄럼 저항만으로 사고를 설명하는 것에는 한계가 있음을 제시했다. 연구 결과로, 교통사고 관점에서 최소한 유지되어야 하는 값은 64km/h 조사속도에서 얻어진 미끄럼 저항(SN)이 25~30이 되어야 함을 제시했다.

## 2. 미끄럼 관련 국내·외 연구동향

국내 미끄럼 관련 연구는 다소 산발적으로 이루어졌으며 연구 결과가 정책에 충분히 반영되지 못한 실정이다. 한국도로학회 발행 자료 중심으로 노면 미끄럼에 대한 연구 자료를 정리하면 표 1과 같다. 개괄적으로 보면 시멘트 콘크리트 포장의 미끄럼에 대한 연구가 상대적으로 많고, 버스전용차로, 자전거 미끄럼, 보도 미끄럼에 대한 연구가 일부 수행되었다.

표 1. 국내 노면 미끄럼 관련 연구 동향

구분	연구명	저자	발행정보
도로 포장	콘크리트포장의 노면 잔류 이물질에 따른 미끄럼 저항변화	이승우 김남철	한국도로학회 논문집(2004)
	연화물을 함유한 제설제가 콘크리트의 열 특성과 미끄럼저항성에 미치는 영향	이병덕 윤병성	한국도로학회 학술대회(2004)
	시멘트 콘크리트 포장의 미끄럼방지 및 평탄성 증진공법	홍승호 한승환 윤경구	한국도로학회 학술대회(2004)
	콘크리트포장 노면의 마모에 따른 미끄럼 저항변화 예측	김남철 전상민 전범준 이승우 조인성	한국도로학회 복합학술대회(2004)
	중앙버스전용차로의 도로포장 미끄럼 저항 특성 연구	박태순 문정규 이홍재 김명	한국도로학회 복합학술대회(2006)
	차량 주행속도에 따른 노면 미끄럼 저항성의 평가	이수형 유인균 김제원	한국도로학회 학술대회(2010)
	포장노면 미끄럼 저항특성	김용석 홍재정 유형목	한국도로학회 논문집(2012)
자전거 도로 포장	자전거 도로표면의 미끄럼저항 KS 기준 개발에 관한 기초연구	최준성 김성민 김재철 조영교	한국도로학회 학술대회(2010)
	자전거도로 포장의 미끄럼저항 평가 및 기준설정에 관한 연구	조영교 오한진 김성민 최준성	한국도로학회 학술대회(2011)

	자전거도로 미끄럼저항 기준정립을 위한 BPT 장비의 표준화 기초연구	김재철 최준성 김성민 김성민	한국도로학회 학술대회(2011)
보도 포장	보도의 미끄럼저항 및 탄력성 평가	최재진 문승권 최병민	한국콘크리트학회 학술대회(2014)
	서울형 보도포장 미끄럼 저항기준 수립	박대근 정시윤 김재겸 정희곤	한국도로학회지 (2011)
	겨울철 보도 미끄럼저항	김용석	한국도로학회 논문집(2013)

도로 포장의 미끄럼에 관련한 연구로 노면 위에 남은 토사 및 겨울철 제설재가 콘크리트 포장의 미끄럼 저항에 미치는 영향 연구, 다이아몬드 그라인딩(콘크리트 포장)의 미끄럼증진 효과, 타이닝이나 골재노출 표면처리 콘크리트 포장노면의 미끄럼 저항 예측연구, 버스전용차로에서 코팅공법과 반강성 공법 적용에 따른 미끄럼 저항특성 연구, 아스팔트 포장에서 속도별 미끄럼 저항특성 연구 등이 수행되었다.

자전거 미끄럼에 대한 연구는 자전거 도로의 미끄럼 저항 규격(KS)을 정하기 위한 기초연구와 자전거 도로로 실제동거리와 미끄럼저항 지수의 상관성 연구(KS 규격제정을 위한 기초연구), 자전거 미끄럼 측정자료의 신뢰성 확보를 위한 BPT 장비 표준화 등에 관한 연구가 수행되었다. 보도 포장에 관한 연구로 보도 포장 재질(콘크리트, 아스팔트, 고무, 바닥타일 등)별 미끄럼 저항조사, 겨울철 적설 및 포장 재질에 따른 보도포장 미끄럼 조사 등에 대한 연구가 수행되었다.

국의 미끄럼 관련 자료는 노면 미끄럼에 관련한 국가 규정과 일반 연구 자료로 구분할 수 있다. 표 2와 같이 미국의 경우는 노면 미끄럼에 국한하여 미끄럼에 대한 개요, 측정방법, 포장설계 등에 관한 규정을 제시하고 있으며, 주(州)별로도 노면 미끄럼에 관련한 규정을 제시하고 있다. 영국의 도로설계규정

「Design Manual for Roads and Bridges」는 포장 미끄럼 측정 및 관리기준, 경고표지의 설치 등에 대한 세부적인 규정을 제시하고 있다. 국가별 보다 상세한 미끄럼 저항 관리기준에 대해서는 본 특집호 연결기사인 「도로포장 미끄럼 저항관리 및 측정」 편을 참조한다.

표 2. 국외 노면 미끄럼 관련 국가 규정

국가명	국외 미끄럼 관련 규정(가이드)	주요 내용
미국	Guide for Pavement Friction (AASHTO, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장 미끄럼 개괄</li> <li>• 포장 미끄럼 관리</li> <li>• 포장 미끄럼 설계</li> </ul>
	Evaluation of Pavement Friction Characteristics (NCHRP Synthesis 291, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장 미끄럼 모델</li> <li>• 포장 노면 텍스처</li> <li>• 표면 처리</li> </ul>
	Evaluation of Surface Friction Guidelines for Washington State Highways (Washington DOT, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WSDOT 노면미끄럼 시험프로그램</li> <li>• 간선도로 미끄럼 관리 기준</li> </ul>
	Guide for Pavement Friction, Web-only Document 108(NCHRP, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장미끄럼 관리 프로그램</li> <li>• 포장 미끄럼 설계</li> </ul>
영국	Design Manual for Roads and Bridges(Highway Agency, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장 미끄럼 측정</li> <li>• 관리기준</li> <li>• 경고표지 설치 등</li> </ul>

국외 노면 미끄럼 마찰 관련 일반 연구는 표 3과 같이 포장 재료(표면처리), 측정 방법, 포장관리 시스템으로 크게 나눌 수 있다. 표면재료, 포장관리 측면에서 보인 것이다. 노면의 미끄럼은 포장 노면 텍스처(마이크로/매크로)와 밀접한 영향을 받기 때문에 많은 연구가 포장 재료 및 표면처리와 미끄럼의 관계를 분석하기 위해 수행되었다. 또한 전 세계적으로 통일된 미끄럼 저항 측정방법이 없기 때문에 측정규격의 통일이나 측정의 신뢰성을 높이기 위한 연구가 많이 수행되었다. 또한 노면 미끄럼은 포장 관리시스템의 중요한 관리항목이기 때문에 특히 미

국을 중심으로 포장관리시스템 내에서 평탄성 등과 함께 노면 미끄럼을 관리하는 방안에 대해 많은 연구가 이루어졌다.

표 3. 노면 미끄럼 관련 국외 연구 동향

구분	간행물 정보	주요 내용
포장 재료 (표면처리)	Analysis of Effectiveness of Longitudinal Grooving Against Hydroplaning(G. P. Ong and T.F. FWA, 2005)	종방향 그루빙과 수막현상과의 관계연구
	Effect of Aggregate Characteristics on Texture and Skid Resistance of Asphalt Pavement Surface (Chanida K. and Kunnawee, K., 2011)	골재와 미끄럼저항과의 관계연구
	Guidelines for Transverse Tining In Surface Texturing of Concrete Pavement(G. P. Ong and T.F. FWA, 2005)	타이닝이 콘크리트포장 미끄럼에 미치는 영향연구
	Surface Texture and Friction Characteristics of Diamond-Ground Concrete and Asphalt Pavement(Shou Li, Dwayne H., and Tim W., 2060)	칩실 표면처리와 포장 미끄럼 설계
측정 방법	Pavement Friction and Skid Resistance Measurement Methods: A Literature Review(Behrouz et al., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장표면의 미끄럼 성질</li> <li>• 포장 미끄럼저항 측정방법</li> </ul>
	The Influence of Internal Tyre Pressure on Road Friction(Michael Selig, 2014)	타이어 공기압이 미끄럼 측정에 미치는 영향연구
포장 관리 시스템 (PMS)	Development of Improved Pavement Performance Prediction Models for the Indiana Pavement Management System(Sedat Gulen et al., 2001)	인디애나 주 PMS를 위한 포장성능 예측모델 개발연구
	Incorporation of Surface Texture, Skid Resistance and Noise into PMS(Alauddin et al., 2008)	PMS에 노면 텍스처, 미끄럼, 소음 반영에 관한 연구

유럽연합(EU)은 유럽 국가간 공통의 관심사에 대해 대규모 공동 프로젝트를 수행하고 있으며, 이 가운데 도로 노면 미끄럼에 대한 주요 프로젝트는 표 4와 같다. 특히 「TYROS SAFE」는 미끄럼에 한정된

연구를 수행한 프로젝트로 오스트리아의 AIT (Austrian Institute of Technology)가 코디네이터를 맡고 독일, 네덜란드, 슬로베니아, 프랑스, 영국의 도로연구기관들이 공동으로 진행한 연구이다. 이후 도로포장 노면의 소음에 관련한 공동 프로젝트 「SILVIA」와 「SILANCE」, 구름저항에 관련한 공동 프로젝트 「MILIAM(Model for Rolling Resistance in Road Infrastructure Asset Management System)」이 수행되었고 이들 연구를 종합하여 EU 공통의 노면 미끄럼, 소음, 구름저항 측정표준 마련 등을 위한 프로젝트 「ROSANNE」가 수행되었다. 노면의 미끄럼 특성 등을 교통안전에 활용하기 위한 프로젝트로 「FRICTI@N」과 「ARTRAC」가 수행되었다.

표 4. 노면 미끄럼 관련 EU 프로젝트

EU Project 명	주요 내용
TYROSAFE (Tyre and Road surface optimization for Skid Resistance And Further Effects)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로노면 특성(미끄럼, 구름저항, 소음)에 관한 국가별(전문가) 접근방법 논의</li> <li>• 포장 미끄럼저항 측정규격 통일화</li> <li>• 포장 미끄럼저항에 영향을 미치는 환경요인에 대한 연구 등</li> </ul>
ROSANNE (Rolling Resistance, Skid Resistance, and Noise Emission Measurement Standards for Road Surface)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노면 미끄럼저항, 소음, 구름저항에 관련한 EU 표준마련</li> <li>• 유관 EU 프로젝트(TYROSAFE, HERMES, SILVIA, SILENCE, MIRIAM) 연구결과 종합</li> </ul>
FRICTI@N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 운전자 안전운전 지원시스템 개발을 위한 도로-포장면 미끄럼 저항 예측 연구 프로젝트</li> </ul>
ARTRAC (Advanced Radar TRacking and Classification for Enhanced Road Safety)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 차량탑재장치를 활용한 도로표면 미끄럼저항 예측연구</li> </ul>

### 3. 도로 미끄럼 조사 현황

도로의 미끄럼을 조사하는 방법은 차량을 이용하는 방법(PFT, Pavement Friction Tester), DFT(Dynamic Friction Tester)를 이용하는 방법, BPT(British Pendulum Tester)를 이용하는 방법 등이 있다. 측정 장비에 따라 조사하는 방법이 다르므로 미끄럼 조사결과와 더불어 측정 장비 및 방법에 대해 동시에 기술함으로써 상호 비교가 가능하다. 노면 미끄럼 측정방법에 대해서는 본 특집 연결기사 「도로 포장 미끄럼 저항 관리 및 측정」에 보다 상세히 제시되어 있다.

국내 미끄럼 조사연구로, 이수형 등(2010)은 아스팔트 포장에 대해 PFT, BTP, MTD(Mean Texture Depth) 조사를 수행하였고, PFT 측정결과는 그림 5와 같다. 국도 4개 호선에서 조사가 이루어졌고 구간별 평균값이 최소 39.9, 최대 56.4로 나타났다.

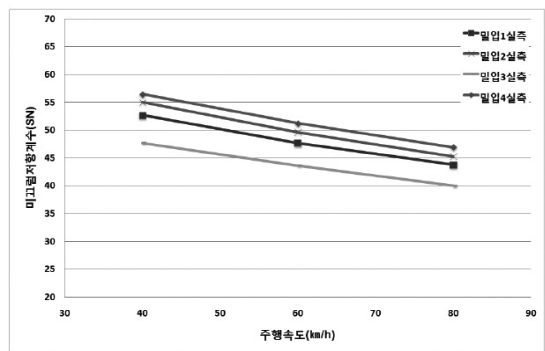


그림 5. 국도 아스팔트 포장 미끄럼 저항 조사 결과

김용석 등(2012)도 국도 3개 노선에서 아스팔트, 콘크리트, 배수성 포장별 시간경과에 따른 미끄럼 저항값 변화를 조사하였다. 조사장비로 PFT가 사용되었으며 미끄럼 저항 측정방법은 ASTM E 501 노면의 미끄럼저항 실험을 위한 표준 립 타이어(Rib Tire)의 기준(Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Test)을 적용하였다. 조사장비는 그림 6과 같이 미국의 K. J.

Law Engineers(주)에서 제작한 포장 미끄럼 측정기(Pavement Friction Tester)를 이용하였다. 이 장비는 트레일러 형식으로 달린 차량을 이용하여 미끄럼 마찰계수를 측정하게 되며 습윤 노면을 모사하기 위한 살수 장치, 시험 룬의 브레이크 장치, 시험 룬 견인력을 측정할 수 있는 계측 시스템 등으로 구성된다. 측정은 조사속도로 자동차를 주행시키면서 시험 바퀴 앞에 살수를 하여 습윤 노면을 모사한다. 살수 시작 약 0.5초 후에 시험 바퀴에 제동을 걸어 완전히 잠기도록 하고, 바퀴는 일정구간에서 잠긴 상태를 유지한다. 살수는 제동장치를 풀고 나면 중단하며, 각 구간 시험 전후의 계측기 정산 신호를 기록한다. 바퀴가 잠기는 지점을 표시하고 적어도 0.2초 이후의 지점부터 1.0~3.0초 간격으로 견인력을 측정한다. 마찰계수는 견인력을 타이어에 재하된 동적 수직 하중으로 나누어 산출한다. 포장면의 미끄럼 저항은 기록된 힘에 의해 결정되며, 이 결과는 미끄럼 마찰계수(Skid Number, SN)으로 표현된다. 미끄럼 마찰계수는 정해진 속도에서 브레이크가 잠긴 타이어가 미끄러지는데 필요한 힘을 유효 윤택중으로 나눈 후 백을 곱한 값이다.



그림 6. Pavement Friction Tester

그림 7은 아스팔트 포장에 대한 조사결과로서, 그림에서 'First', 'Second', 'Third'는 각각 포장 시공 후 1년, 2년, 5년이 경과된 시점을 의미한다. 조사결과, 시공 후 1년 경과기준으로 80kph 조사조건에서 44.9(SN), 2년 경과 후 44.5(SN), 5년 경과

후 44.7(SN)로 시간 경과에 따른 미끄럼 저항변화는 크지 않는 것으로 조사되었다(김용석 등, 2012).

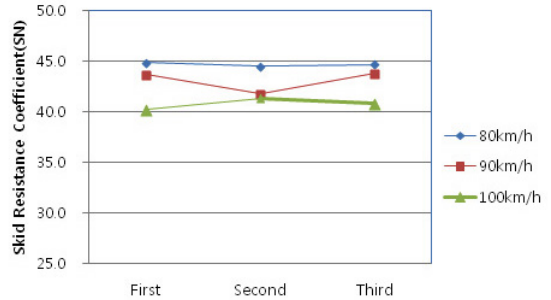


그림 7. 국도 아스팔트 포장구간 시간경과에 따른 미끄럼 저항 변화

아스팔트 포장은 시간 경과에 따라 미끄럼 저항이 크게 변화되지 않은 반면에 콘크리트 포장의 경우는 시간경과에 따라 그림 8과 같이 미끄럼 저항이 크게 저하되는 경향이 있었다. 다만, 조사구간이 접경지역으로 군용차량 이동이 잦은 현장 특이점이 반영되었으며, 콘크리트 타이닝이 시간 경과에 따라 마모되면서 미끄럼 저항이 낮아진 것도 추가적인 원인으로 볼 수 있다(김용석 등, 2012).

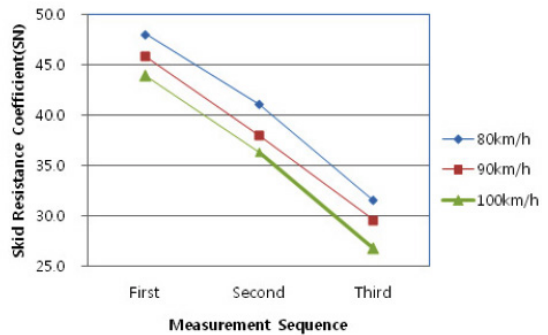


그림 8. 국도 시멘트 포장구간 시간경과에 따른 미끄럼 저항변화

국내 콘크리트 포장에 대한 미끄럼 조사로, 홍승호 등(2004)은 중부고속도로에서 다이아몬드 그라인딩 시험 시공 전·후에 도로공사 보유 장비(KHPFT)를 이용하여 미끄럼을 조사하였다. 조사결과, 시공 전에는 지점별 44(SN), 48(SN)에서 시공 후에는 지

점별 67, 71로 향상된 결과를 얻었다.

노면 미끄럼 저항은 포장 텍스처 특성과 밀접한 관계가 있으며 일반적인 관계는 그림 9와 같다 (NCHRP, 2009). 그림 9를 보면 마이크로 텍스처 특징이 노면 미끄럼에 1차적인 지배요인이며 매크로 특징은 수막현상이나 자동차의 주행속도 증가에 따른 미끄럼 저항 유지 등 2차적인 지배요인임을 알 수 있다. 따라서 미끄럼 저항을 확보하기 위해서는 포장 설계 시 마이크로와 매크로 특성을 감안한 골재 크기, 입도, 배합 설계 등을 검토하여 적용함이 바람직하다.

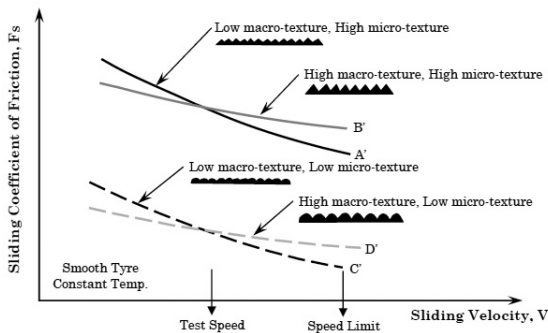


그림 9. 포장 노면 텍스처 특성과 미끄럼의 관계

#### 4. 도로 설계 안전과 미끄럼

노면 미끄럼은 도로 설계 안전과 밀접한 관계를 가지며 특히 도로 정지시거 산정과 평면 곡선부 기하구조 설계 등에 직접적인 영향을 준다. 정지시거는 운전자가 도로상의 위험물체를 인지하고 정지하는데 필요한 거리로 정의될 수 있으며 크게 제동을 결정하는 인지 반응 시간동안 이동한 거리와 물리적으로 자동차를 정지시키는데 필요한 거리로 구분된다. 노면 미끄럼은 자동차를 정지시키는데 필요한 거리를 산정하는데 활용된다. 그림 10은 국가별 정지시거 산정을 위한 종방향 미끄럼 마찰계수를 비교한 것이다. 한국, 캐나다, 일본이 동일한 값을 가짐

에 반해 호주의 경우 상대적으로 높은 미끄럼 마찰계수를 적용하고 있다. 이는 국가별 기후, 지형, 교통특성 등에 차이를 반영한 것이며 국내의 경우는 국외 기준을 참조하여 정해진 값이다.

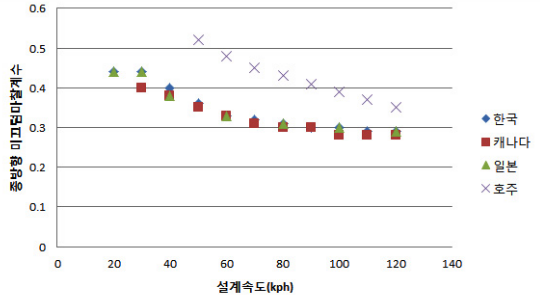


그림 10. 국가별 정지시거 산정을 위한 종방향 미끄럼 마찰계수

노면 미끄럼은 특히 평면 곡선부에서 자동차가 도로 밖으로 이탈하거나 전도·전복되는 사고에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 평면 곡선부는 식 (1)에 보인 점 방정식에 따라 설계되며 국내 규정(국토교통부, 2013)은 국외 기준 등을 참조하여 정하고 있다.

$$e + f = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

그림 11은 국가별 횡방향 미끄럼 마찰계수를 비교적으로 보인 것이다. 구분되는 특징은 저속(통상 70 kph 이하를 말함)에서는 미국과 호주의 기준이 상대적으로 높은 횡방향 미끄럼 마찰계수를 제시하고 있는 반면 국내 및 일본의 경우는 고속과 저속이 거

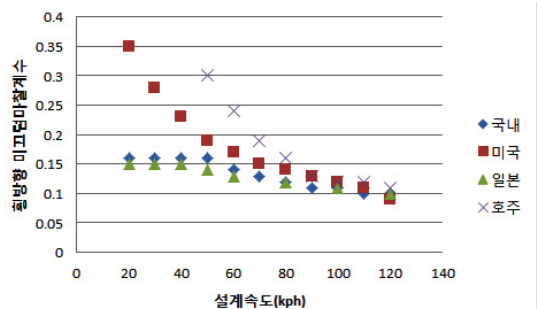


그림 11. 국가별 평면곡선부 설계를 위한 횡방향 미끄럼 마찰계수

의 직선 비례하여 낮추어지는 것을 알 수 있다. 횡방향 미끄럼 마찰계수를 설정하는 이론적인 배경은 고속의 주행환경에서는 운전자가 느끼는 불쾌감이 클 것으로 간주하여 상대적으로 낮은 값을 정하며 저속에서는 운전자가 불쾌감에 대한 수용력이 클 것으로 보고 상대적으로 높은 값을 정하고 있다.

횡방향 미끄럼 마찰계수는 평면 곡선부 주행 안전성과 더불어 도로 공사비에도 영향을 미친다. 그림 12에 보인 바와 같이 국가별 상이한 횡방향 미끄럼 마찰계수 기준 차이로 인해 동일 설계속도 편경사 가정 시 최소 평면곡선반지름이 상이하게 나타남을 알 수 있다. 그림 12를 보면 설계속도 60kph에서 국가별 평면곡선반지름의 최소와 최대는 94m와 149m로 나타났고, 설계속도 80kph에서는 최소와 최대가 229m와 280m로 나타났다. 이는 횡방향 미끄럼 마찰계수의 설정에 따라 도로 설계의 안전과 더불어 공사비 및 도로규모에 따른 주변 환경에의 영향에도 밀접한 관련이 있다.

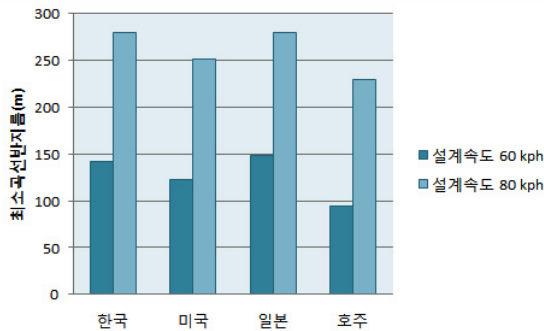


그림 12. 국가별 최소 평면곡선반지름 비교 (동일 설계속도, 편경사 가정)

미끄럼 마찰계수는 포장면 특성, 자동차 요소, 타이어 성질, 환경적인 요인 등 다양한 원인에 의해 영향을 받는다. 특히 자동차 성능(현가장치 등), 타이어 성능, 포장 상태의 향상으로 인해 곡선부에서 운전자가 느끼는 불쾌감의 정도도 과거와는 큰 차이가 있다. 미끄럼에 영향을 주는 외부 요인의 변동에 대해 지속적인 모니터링을 통해 도로 설계기준에 적용

하는 횡방향 미끄럼 마찰계수에 공학적인 합리성을 부여할 수 있다. 미국의 경우도 외부요인의 변화 등을 감안하여 그림 13과 같이 횡방향 미끄럼 마찰계수를 지속적으로 개정하고 있다. 주요 변화는 운전자가 저속으로 평면 곡선을 주행하는 경우 고속으로 주행함에 비해 불쾌감에 대한 저항이 상대적으로 낮다는 점을 반영하고 있다.

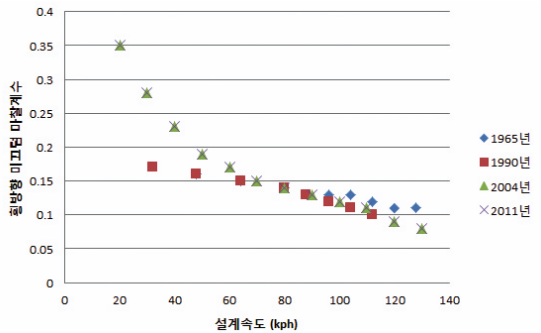


그림 13. 미국의 횡방향 미끄럼 마찰계수 기준 변화

## 5. 도로안전을 위한 미끄럼 연구방향 제언

기상 악천후 조건에서 교통사고의 높은 치사율은 노면 미끄럼 관리의 필요성을 반증한다. 특히 최근의 이상기후 및 고령화로 인한 도로이용자의 상황 대처 능력 저하는 도로안전 관점에서 큰 위협요소로 다가오고 있다. 본 특집기사 작성과정에서 국내·외 노면 미끄럼에 관한 연구동향을 살펴본 결과, 국내 연구가 산발적으로 수행되고 정책으로 연결되지 못하는 실정임에 반해 미국의 경우는 AASHTO 및 주(州)별로 노면 미끄럼에 관련한 규정을 제시하고 있고 PMS 내 중요한 포장관리 항목으로 다루고 있었다. 영국의 경우도 도로설계기준에 명시적으로 노면 미끄럼 규정을 반영하고 있음을 알 수 있었다. 특히 EU는 다양한 유럽 국가들이 공동으로 미끄럼에 관련한 대형 연구프로젝트(TYROSAFE, ROSANNE 등)를 수행하고 공통의 규격 작성 등 상호호혜적인 연구를 수행함을 알 수 있었다.



노면 미끄럼에 대한 지속적인 모니터링 및 관리를 통해 1) 사고 잦은 곳이나 위험도로 구간의 실효성 있는 안전대책 수립이 가능하고 2) 시간 경과에 따른 노면 미끄럼의 변화 이력을 관찰함으로써 최적 포장 보수시점 결정 및 적정 보수공법을 정할 수 있으며 3) 도로 선형 설계의 중요 파라미터인 종방향 및 횡방향 미끄럼 마찰계수에 대해 국내 포장 여건에 부합되는 기준 수립을 통한 도로 구조적 안전성 확보뿐만 아니라 도로 공사비 및 과다 시설설계에 따른 자연환경 훼손비용을 최소화할 수 있다.

노면 미끄럼에 대한 선진국의 심도 있는 연구수행은 도로 교통사고에서 미끄럼 관리의 중요성을 반증하는 것으로 향후 국내에서도 도로안전을 위한 미끄럼 연구를 체계적으로 수행할 필요성이 있다. 특히 도로학회를 포함한 도로전문가 중심의 노면 미끄럼에 대한 측정방법 기준마련, 포장설계에 있어 노면 미끄럼을 설계단계, 시공단계, 운영 및 관리단계에서 구체적으로 반영할 수 있는 매뉴얼 마련 등이 시급히 수행될 필요가 있다.

참고문헌

1. 경찰청 (2016), 2015년 교통사고 통계.
2. 국토교통부 (2016), 제8차 교통안전기본계획(2017-2021).
3. 김용석, 홍재청, 유형목 (2012), “포장노면 미끄럼 저항특성” 한국도로학회 논문집 제14권 제4호, 한국도로학회.
4. 이수형, 유인균, 김제원 (2010), “차량 주행속도에 따른 노면 미끄럼저항성의 평가”, 2010 한국도로학회 학술대회 논문집, 한국도로학회.
5. 홍승호, 한승환, 윤경구 (2004), “시멘트 콘크리트 포장의 미끄럼방지 및 평탄성 증진 공법”, 2004년 한국도로학회 학술대회 논문집, 한국도로학회.
6. AASHTO (1965), A Policy on Geometric Design of Rural Highways.
7. AASHTO (1999), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.

8. AASHTO (2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
9. AASHTO(2011), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
10. AUTOROAD (2003), A Guide to the Geometric Design of Rural Roads.
11. Giles C. G, Sabey B. E., and Cardew K. H. F. (1964), “Development and Performance of the Portable Skid-Resistance Tester,” Road Research Technical Paper No. 66, Road Research Laboratory. London.
12. Kuttesch, J. S. (2004), “Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data,” Thesis for Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University.
13. Lindenmann, H. P. (2004), “Is the Correlation Between Pavement Skid Resistance and Accident Frequency Significant?,” Presented at the TRB 83rd Annual Meeting, Washington, D. C.
14. Runkle, S. N., Mahone, D. C. (1977), “Virginia’s Wet Pavement Accident Reduction Program,” TRR. 622, Transportation Research Board.
15. TAC (1999), Geometric Design Guide for Canadian Roads.
16. TRB (2009), Guide for Pavement Friction. 2009, National Cooperative Highway Research Program Web-Only Document 108.
17. Viner H., R. Sinhal, and T. Parry. (2004), “Review of UK Skid Resistance Policy,” Paper prepared for 5th International Symposium on Pavement Surface Characteristics, Toronto, Ontario, Canada.
18. Xiao, J., Kulakowski, B. T., and El-Gindy, M. (2000), “Prediction of Risk of Wet-Pavement Accidents: Fuzzy Logic Model,” TRR 1717, Transportation Research Board.
19. 日本道路協會 (2004), 道路構造令の解説と運用.