

포장노면 미끄럼 저항특성

Skid Resistance Characteristics of Pavement Surface

김용석	Kim, Yong Seok	정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail: safeys@kict.re.kr)
홍재청	Hong, Jae Cheong	정회원 · 한국건설기술연구원 기술위원 (E-mail: jchong@kict.re.kr)
유형목	You, Hyeong Mok	정회원 · 한국건설기술연구원 수석기술원 (E-mail: naekog@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Skid resistance on pavements plays an important role in reducing the risk of vehicle skidding on wet surface particularly. Almost 9.3 percent of traffic accidents were occurred under rainy condition and these are over-represented in terms of the severity of the crashes. Recently, unusual weather conditions referred widely as the intensified rainfalls justify the need of a systematic management of skid resistance. In this context, the study carried out the observational study on the skid resistance characteristics of different types of pavement with the time passage.

METHODS : This study measured the skid resistance with Pavement Friction Tester at three times within five years. The skid resistance measurement has followed the method suggested by ASTM.

RESULTS : As the main results under the scope of this study, skid resistance of asphalt concrete has not nearly reduced with time. On the contrary, skid resistance of cement concrete has been rapidly reduced with time though the highest resistance was gained at the early observation. Porous asphalt concrete shows a steady decrease of skid resistance with time, anyway, the reduction rate according to the increase of measurement speeds is relatively lower than the others.

CONCLUSIONS : Based on our study, skid resistance of the pavement should be regarded as one of the pavement management system, so periodic measurement should be made to assure road safety as a whole.

Keywords

road safety, pavement design, surface characteristics, skid resistance, porous asphalt concrete

Main Author : Kim, Yong Seok, Senior Researcher
Highway Research Division, Korea Institute of Construction,
283 Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do,
411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0178 Fax : +82.31.910.0161
email : safeys@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

도로 환경적 조건과 교통사고의 관계를 보면, 야간이나 우천 시의 사고가 주간이나 노면 건조 시의 사고에 비해 치사율이 높게 나타나고 있다. 2010년에 발생한

전체 교통사고 226,878건 가운데 9.3%인 21,296건이 비가 오는 기상조건에서 발생했고, 이로 인해 사망자 593명, 부상자 34,970명이 각각 발생했다(경찰청, 2011). 사고 100건당 사망자수로 정의되는 치사율로 비교해 보면, 맑은 기상조건에서는 2.3, 비가 오는 조건에

서는 2.8로 나타났다. 이는 비가 오는 기상조건에서 사고가 맑은 기상조건에 비해 치명적인 결과를 가져옴을 보여준다. 반면 최근의 이상기후 현상으로 인한 집중호우나 강우 발생빈도가 커짐으로 인해 노면 미끄럼에 의한 자동차의 주행 안전성이 보다 중요하게 고려되는 시점에 있어 포장 미끄럼에 대한 특성 조사 및 정기적인 유지관리체계 구축이 시급하다. 사회 환경 변화 관점의 중요함에도 불구하고, 현재 노면 미끄럼 조사는 국가 또는 지방자치단체의 도로 포장관리 시스템 내에서 정기적으로 조사해야 하는 항목에 포함되지 못한 관계로 측정 규정이나 평가기준에 대한 구체적인 방안이 마련되지 못한 실정이다. 따라서 노면 미끄럼 저항특성은 도로 교통 안전관리관점의 중요도를 감안할 때 시급한 제도적, 기술적 정비가 필요한 항목이다.

1.2. 연구범위 및 방법

본 연구는 노면 미끄럼에 관한 기초 연구로서 포장형식별 공용 후 1년, 2년, 5년이 각각 경과된 시점에서 추적조사를 시행해, 노면 미끄럼의 시간 경과에 따른 변화를 조사한 것이다. 선행연구 고찰에서는 노면 미끄럼에 영향 요인, 포장과 미끄럼 저항, 도로교통 안전과 노면 미끄럼 저항 관계로 구분하여 검토했다. 이론 고찰에서 제시된 여러 논점들을 국내 도로포장 환경과 비교적으로 검토하기 위한 현장 미끄럼 조사계획을 수립하고 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트, 배수성 아스팔트 포장에 대해 미끄럼마찰계수를 측정했다. 국내 노면 미끄럼 측정규정이나 평가기준에 대한 구체적인 방안이 제시되지 않은 이유로, 미국 규정인 ASTM E 501 "Standard Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests"에 따라 미끄럼 저항을 측정하였다. 미끄럼 저항은 시험륜이 제동(lock-wheel)된 상태에서 측정하며 조사속도는 80, 90, 100km/h로 하였다. 조사장비는 트레일러 형식의 자동차에서 실제 물을 분사하는 방식을 갖는 포장 미끄럼 측정장비(Pavement Friction Tester)를 이용하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1. 미끄럼저항 영향요인

노면 미끄럼은 교통안전 측면에서 매우 중요한 인자이지만 측정이 매우 어려운 특징을 갖는다. 측정장비 자체는 제작에 어려움이 없으나 미끄럼 마찰력에 영향을

주는 인자가 다양하기 때문에 측정 오차를 일정 수준으로 관리하기가 어렵다. 이런 이유로 동일한 도로 조건에서 미끄럼 저항을 측정해도 약 5% 정도의 차이 발생은 빈번하게 발생한다(VTI, 2001). 따라서 미끄럼 저항에 영향을 주는 요인들에 대한 종합적인 검토가 필요하며 측정 시 이를 고려해야 한다. 노면 미끄럼 저항에 영향을 주는 요인은 타이어, 포장, 온도(계절), 노면 오염 등을 들 수 있다. 타이어는 트래드(tread) 패턴, 고무 성분, 공기압 등이 영향을 주며, 타이어 제조사별로 차이가 있으므로 ASTM에서는 미끄럼조사용 타이어의 규격을 정하고 있다. 포장은 사용된 골재, 아스팔트, 배합방식에 따라 차이가 있다. 일반적으로 온도가 높아지면 마찰저항이 낮아지는데, 동일한 노면이라도 겨울철에 마찰계수가 여름철보다 크다. 이런 이유로 미끄럼 저항 조사는 일반적으로 여름에 이루어진다. 일반적으로 봄에 측정된 마찰저항이 가을에 측정된 값에 비해 높는데 이는 겨울 제설작업 시 노면 스크래치 효과가 유지되기 때문이다(VTI, 2001). 노면 오염은 도로 관리에 관련된 사항으로 이를 정량화하기 어렵기 때문에 미끄럼과의 관계를 규명하기가 어렵다. 따라서 노면 미끄럼에 대해 도로 설계단계에서 보다 직접적으로 관여가 가능한 사항은 포장이라고 할 수 있다.

도로 안전 관점에서 습윤 노면 시에 미끄럼 특성이 중요하며, 습윤 시에는 자동차의 속도가 증가함에 따라 미끄럼 저항도 크게 작아지는 것을 알 수 있다. 역학적으로 보면, 미끄럼 저항은 주로 자동차 타이어와 노면 간의 접촉면에서 발생하는 저항력(adhesion losses)과 타이어의 변형에 의한 에너지 손실(hysteresis losses)로 구분할 수 있는데, 습윤 노면에서는 타이어 변형 손실이 주요하게 작용한다. 접촉 저항력은 자동차의 미끄럼이 발생되기 전에 노면 미끄럼 저항에 기여하며 미끄러짐이 발생하는 순간부터는 에너지 손실이 미끄럼 저항에 기여한다(Choubane et al, 2003). Oh(2009)는 캘리포니아 주 도로에서 조사된 미끄럼 자료(Caltran 제공)를 이용해서 미끄럼저항과 영향요인들에 관한 상관 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 포장 공용연수, 교통량, 노면 온도, 강우량 등이 주요 영향 요인으로 제시하였다. 참고로 이 연구에서 사용된 미끄럼 저항(조사속도 64km/h, 관측 수 50,000)의 평균값은 44.32이며 표준편차는 7.83으로 제시하였다. 유사 선행연구로, Song(2006)은 메릴랜드 주 포장관리시스템에서 제공된 자료를 이용하였다. 자료는 메릴랜드 주 도로국의 포장 관리 시스템 (Maryland Pavement Management System, PMS)에서 제공된 것으로,


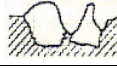
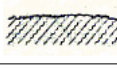
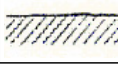
1998년에서 2004년 동안에 관측된 자료이다. 매릴랜드 PMS가 관리하는 15,000 차로-마일(lane-miles) 도로 구간의 약 98%가 가열 아스팔트 콘크리트 포장이다. 미끄럼저항에 영향을 주는 요인에 대한 분석결과로, 네트워크 레벨에서 미끄럼 저항에 영향을 주는 요인은 일평균 온도와 강우량이며 온도가 1도(°F) 올라가면 미끄럼 저항이 약 1.0 정도로 낮추어지고 강우량이 2.54mm 올라가는 경우 미끄럼 저항이 약 2.26 정도 높아짐을 제시했다. 강우량의 경우는 노면 건조기간이 늘어난 경우 노면상 먼지나 기름류 성분이 노면과 결합되어 미끄럼 저항을 낮추기 때문이다. 이 연구에서 개발된 상관모형은 미끄럼 저항이 매년 0.22(지방지역), 0.26(도시지역)씩 감소됨을 제시하고 있다. 관측된 미끄럼 저항은 지방지역에서 평균 48.5, 도시지역에서 평균 42.0로 각각 나타났다.

2.2. 포장과 미끄럼저항

초기 포장은 일정 수준의 미끄럼마찰을 확보하고 있으나 시간 경과에 따라 마찰력이 줄게 된다. 아스팔트 포장의 경우는 주로 블리딩(bleeding)이나 마모에 의해서 마찰이 줄고, 콘크리트 포장은 주로 마모에 의해 초기 미끄럼 저항이 유지되지 못하게 된다. 미끄럼 마찰특성은 노면의 형상과도 관련되어 있는데, 노면형상은 매크로 조직(macro-texture)과 마이크로 조직(micro-texture)으로 구분할 수 있다. 매크로 조직은 0.5~50mm 정도의 표면 요철에 대한 것이고 마이크로 조직은 0.5mm 미만의 요철에 대한 것이다(VTI, 2001). 매크로 조직은 비교적 굵은 표면 거칠기로서 습윤 시 배수의 기능과 타이어 변형에 의한 에너지 손실에 의한 마찰 저항 기능을 한다. 마이크로 조직은 타이어와 노면 접촉 시 전단 저항을 통해 마찰 기능을 한다. 마이크로 특징은 아스팔트 콘크리트나 시멘트 콘크리트 포장에서 골재 표면 성질과 관련이 크고 매크로 특징은 입도, 배합방법 등에 영향을 받는다(AASHTO, 2008). 도로 안전 관점에서는 습윤 노면의 타이어 변형 손실에 의한 저항이 중요하므로 매크로 표면조직이 상대적으로 중요한 의미를 갖게 되지만, 초기 미끄럼 마찰에 영향을 주는 것은 마이크로 조직의 거칠기가 된다.

Table 1은 표면 조직 형상을 네 가지 유형으로 구분해 본 것이며, Fig. 1은 조직 형상 유형별 미끄럼 저항 특성을 보인 것이다.

Table 1. Classification of Pavement Surface Texture

Texture Types		Classification of Texture	
		Macro Texture Characteristics	Micro Texture Characteristics
A		Rough	Rough
B		Rough	Smooth
C		Smooth	Rough
D		Smooth	Smooth

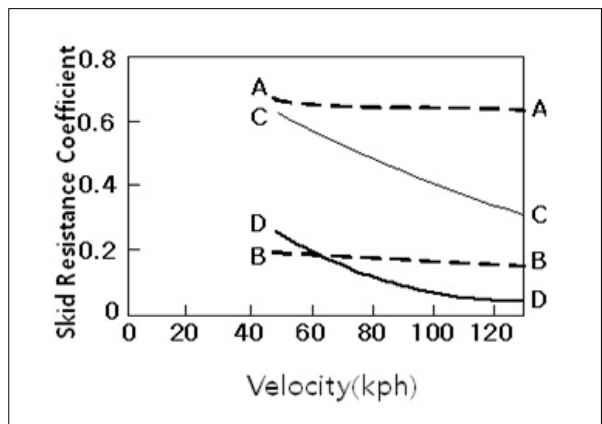


Fig. 1 Skid Resistance by Pavement Texture Types (Ref. 8)

Fig. 1에 제시된 바와 같이 미세 표면 조직이 조밀하고 거칠게 형성되면 초기 미끄럼 저항 값이 크며, 조면 조직은 속도의 증가에 대해 미끄럼 저항이 균일하게 유지될 수 있도록 하는데 영향을 준다.

포장 노면 조직을 포장 형식과 연계하여 고려하면, 배수성 포장과 같이 상대적으로 굵은 골재의 비율이 높은 포장의 경우는 매크로 조직이 잘 발달되어 자동차의 속도 증가에 따른 미끄럼 저항 감소가 상대적으로 낮으며, 밀입도의 포장의 경우는 속도 증가에 따른 미끄럼 저항 값 감소는 크지만 마이크로 조직의 거칠기가 유지된다면 전반적인 미끄럼 저항이 높게 나타난다.

2.3. 도로안전과 미끄럼 관계

도로 교통사고가 건조 노면에 비해 습윤 상태에서 보다 빈번하게 발생된다는 점은 잘 알려져 있다. 여하튼 도로 교통사고는 여러 요인들이 중첩되어 발생하기 때문에 노면 미끄럼 저항만을 독립적으로 분석하는 것은 한계가 있다. 이런 이유로 노면 미끄럼 저항과 사고와의

관계 연구들이 항상 일치되는 결과를 제시하고 있지는 않다. 다만 선행 연구에서 일관되게 언급하는 사항으로는 노면 미끄럼 저항이 일정 수준 이하로 낮아지는 경우 사고율은 급증한다는 것이다. 미국 교통사고 통계(2001년)에 의하면 22% 이상의 사고가 기상과 관련되어 있으며 열악한 기상조건에서 발생한 사고가 전체 사망사고의 16%를, 부상사고의 20% 이상을 차지하고 있음을 제시했다(Oh, 2009). Runkle & Mahone(1977)은 버지니아 주내 도로를 대상으로 사고와 미끄럼 저항 관계를 연구한 결과 64km/h의 조사속도에서 얻어진 미끄럼 마찰저항(SN)이 최소한 30 정도의 값을 유지해야 한다고 제시하고 있다. 미끄럼 저항과 교통사고 간에 유의한 상관관계를 입증한 연구가 있는 반면에 Lindenmann(2004)는 스위스 국도를 대상으로 상관성을 입증하려 하였으나 일정 수준의 미끄럼 저항 값과 사고와의 관계 분석에 실패하였다. Xiao et al.(2000)은 펜실베이니아 도로를 대상으로 교통사고와 미끄럼 저항 등 영향요인간의 상관성을 분석한 결과 미끄럼 저항(SN)이 33.4에서 48로 높아지는 경우 습윤 노면상 교통사고를 약 60% 수준으로 줄일 수 있음을 제시했다. Kuttesch(2004)는 버지니아 주 도로를 대상으로 노면 미끄럼 저항과 사고와의 관계분석 연구에서 습윤 노면상 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.

2.4. 연구논점 및 현장조사 계획

선행연구 검토결과, 미끄럼 저항은 타이어나 온도 등 여러 요인이 중첩되어 나타난 결과이므로 포장에 한정하여 미끄럼 저항특성을 모두 규명하는 데는 한계가 있다. 아울러 측정에 사용되는 타이어의 종류, 조사속도, 조사시점, 조사시점 전후에 강우 유무 등 측정에 영향을 줄 수 있는 요인들이 많기 때문에 조사결과에 대해서는 신중한 검토가 필요하다. 따라서 도로 설계 관점에서는 노면 미끄럼 저항에 포장 골재, 아스팔트, 배합설계 등이 미치는 영향요인을 정량화하고 이를 조사된 노면 미끄럼 특성과 연계하여 검토할 필요가 있다. 아울러, 다양한 외부요인과 더불어 완전한 형태의 포장 미끄럼 관리 프로그램 구축이 필요하다고 본다. 비록 노면 조직 형상에 따라 미끄럼 저항 성질이 변화됨이 선행연구에서 제시되었으나 이는 국외의 연구경험이나 이론적으로 제시된 사항으로 국내 포장 골재, 아스팔트, 배합설계

및 시공 환경에서도 동일 또는 유사한 결과를 얻을 수 있는지에 대해서는 현장 조사 연구가 필요하다. 즉, 실제 도로현장은 시공과정을 거치면서 설계단계에서 예상된 것과 완전하게 일치되기 어렵기 때문에 실제 관측 자료를 통해 설계단계에서 전제된 사항들을 면밀히 확인하는 과정이 필요하다. 본 조사연구도 이의 일환으로 수행된 것으로, 선행연구나 이론적인 검토에 의한 포장 노면 형상과 미끄럼 저항 관계에 대해 국내 포장 환경에서 검토해보고 조사 결과에 대한 토의 및 향후 연구를 제시하였다.

3. 현장조사

3.1. 조사목적

포장 노면과 미끄럼 저항에 관한 선행연구를 통해 노면 조직 형상이 중요한 인자이며, 노면 조직은 골재 및 배합설계와 연계되어 있음을 알 수 있다. 본 조사 연구는 포장 형식별로 골재나 배합설계에 차이가 있음을 감안해 밀입도 아스팔트 콘크리트 포장(이하에서는 아스팔트 콘크리트 포장), 시멘트 콘크리트, 배수성 아스팔트 콘크리트 포장에 대한 미끄럼 마찰저항을 측정했다. 총 5년 동안 3회에 걸친 추적 조사를 통해 포장형식별 시간 경과에 따른 미끄럼마찰 저항 변화 및 조사속도에 따른 마찰저항에 대한 결과를 제시코자 한다. 본 조사에서 기대코자 하는 연구결과로는 첫째 국내 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트, 배수성 아스팔트 콘크리트 포장에서 얻어진 미끄럼 저항의 개괄적 범위, 둘째 시간 경과에 따른 포장 형식별 초기 미끄럼 저항성능 저하, 셋째 입도 상 차이를 갖는 포장형식별 개괄적 미끄럼 저항 특징 및 조사속도에 따른 미끄럼 저항 변화를 관측하는데 있다.

3.2. 조사방법

포장노면의 미끄럼 마찰력을 도로 평면 직선부에서 측정하였으며 Table 2는 조사지점에 대한 위치 및 개략정보이다. 조사는 공용 후 1년(시멘트 콘크리트는 3년), 2년(시멘트 콘크리트는 4년), 5년(시멘트 콘크리트는 7년)이 각각 경과된 시점에서 조사하였다. 미끄럼 마찰저항은 계절(여름/겨울)에 따라 변동 폭이 크며 여름이 겨울에 비해 미끄럼 저항이 낮아 일반적으로 여름에 수행된다는 선행연구(VTI, 2001) 결과를 참조하여 조사 시점은 5~7월 사이에 실시하였다. 조사는 5년 동안 총 3회에 걸쳐 수행되었으며 1차 조사는 2006년 6

월 5일, 2차 조사는 2007년 5월 2일, 3차 조사는 2010년 7월 12일에 각각 조사하였다. 조사구간의 포장 지점은 가능한한 동일한 것이 바람직하지만 고속의 조사환경에 맞는 직선구간과 포장형식 등 다양한 요소들을 최대한 고려하여 Table 2와 같은 구간들을 선정했다. 아울러 조사구간 내에는 급 곡선이나 중단경사의 영향이 거의 없는 일정 구간이 확보되는 구간을 선정했다. 조사의 안전성 및 효율성을 확보하기 위해 가급적 조사구간 전후에는 신호 교차로가 설치된 곳으로 조사 시 미끄럼 측정 자동차와 다른 자동차간의 간섭이 최소화될 수 있도록 하였다.

Table 2. Summary of the Measurement Sites

National Highway Number	Location	Type of Pavement		Characteristics of Traffic Volume & Number of Lanes	
		Types	Year of open to Public	Volume (vehicle/day)	Number of Lanes
17	Ansung, Gyonggi-Do	Asphalt Concrete	2005	14,674	4
47	Ildong, Gyonggi-Do	Cement Concrete	2003	16,146	4
17	Ansung, Gyonggi-Do	Porous Asphalt Concrete	2005	19,519	4

미끄럼 저항 측정방법은 ASTM E 501 노면의 미끄럼 저항 실험을 위한 표준 립 타이어(rib tire)의 기준 (Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Test)을 적용하였다. 조사장비는 미국의 K. J. Law Engineers(주)에서 제작한 포장 미끄럼 측정기(Pavement Friction Tester)를



Fig. 2 Skid Resistance Measurement Equipment (Vehicle)

이용하였다(Fig. 2 참조). 이 장비는 트레일러 형식으로 달린 차량을 이용하여 미끄럼 마찰계수를 측정하게 되며 습윤 노면을 모사하기 위한 살수 장치, 시험륜의 브레이크 장치, 시험륜 견인력을 측정할 수 있는 계측 시스템 등으로 구성된다.



Fig. 3 Skid Resistance Measurement Scene

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(Eq. (1)). 포장면의 미끄럼 저항은 기록된 토크(torque)나 힘에 의해 결정되며, 이 결과는 미끄럼 마찰계수(Skid Number : SN)으로 표현된다. 미끄럼 마찰계수는 정해진 속도에서 브레이크가 잠긴 타이어가 미끄러지는데 필요한 힘을 유효 운하중(effective wheel load)으로 나눈 후 백을 곱한 값이다.

$$SN = \frac{F}{W} \times 100 \quad (1)$$

여기서,

F : 견인력(N)

W : 시험륜에 재하된 동적 수직 하중(N)

3.3. 조사결과

포장노면의 포장형식별 미끄럼 저항 조사결과는 Table 3과 같다. 포장형식별로 미끄럼 저항 조사결과를

미끄럼 저항계수(SN)으로 나타낸 것이다. 아스팔트 콘크리트 포장의 경우는 시간경과(조사 차수로 표시)에 따른 미끄럼 저항이 크게 변동되지 않았으며 40~45 범위를 나타냈다. 콘크리트 포장의 경우는 초기(1차 조사)에는 다른 형식들에 비해 높은 미끄럼 저항을 보였으나, 시간경과에 따른 감소가 상대적으로 크게 나타났으며 전반적으로 30~45 범위를 나타냈다. 배수성 포장은 아스팔트 포장과 유사하게 시간경과에 따라 미끄럼 저항이 크게 변동되지 않았으며 35~40 범위를 나타냈다.

Table 3. Results of Skid Number by Pavement Types

Pavement Type	Measurement Sequence	Velocity (kph)	Number of Trial	SN	
				Avg.	S.D.
Asphalt Concrete	First	80	15	44.9	1.1
		90	15	43.7	1.3
		100	10	40.2	1.9
	Second	80	15	44.5	1.0
		90	11	41.8	1.5
		100	12	41.3	1.4
	Third	80	12	44.7	0.9
		90	11	43.8	0.9
		100	13	40.8	1.2
Cement Concrete	First	80	17	48.1	1.2
		90	15	45.9	1.0
		100	14	44.0	1.5
	Second	80	16	41.1	2.6
		90	15	38.0	2.1
		100	15	36.3	2.1
	Third	80	12	31.6	2.4
		90	12	29.6	3.2
		100	11	26.8	2.7
Porous Asphalt Concrete	First	80	12	41.8	0.9
		90	12	41.1	0.7
		100	13	39.0	1.1
	Second	80	12	40.8	1.2
		90	15	41.4	1.6
		100	11	39.5	0.7
	Third	80	10	38.2	1.0
		90	13	37.3	0.9
		100	13	36.3	1.0

Fig. 4는 조사차수에 따른 아스팔트 콘크리트 포장의 미끄럼저항 변화를 나타낸 것이다. 초기 측정 이후 5년이 경과되었으나 미끄럼 저항은 거의 1차 조사와 3차 조사 사이에 차이가 발생되지 않았다. 조사 속도가 높을수록 미끄럼 저항은 낮아졌으며, 속도 100km/h에서 80km/h

대비 1차 조사에서 10.5%, 2차 조사에서 7.2%, 3차 조사에서 8.7%로 각각 감소된 것으로 나타났다.

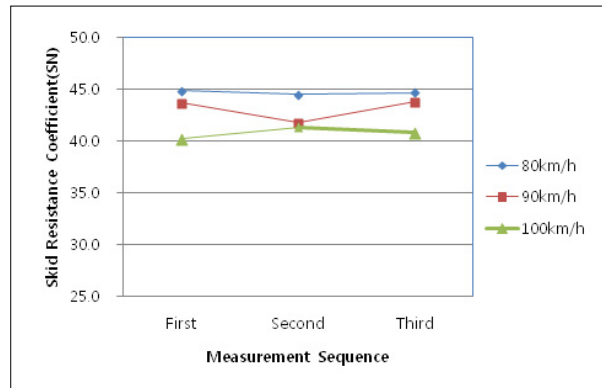


Fig. 4 Skid Resistance Variation of Asphalt with Time

Fig. 5는 3차에 걸친 조사차수에 따른 시멘트 콘크리트 포장의 미끄럼 저항 변화를 나타낸 것이다. 초기 측정 이후 5년이 경과된 시점에서 미끄럼 저항은 크게 변화되었다. 1차 조사 대비 3차 조사 값이 속도 80km/h에서 34%, 90km/h에서 36%, 100km/h에서 39%가 각각 감소되었다. 조사 속도가 높을수록 미끄럼 저항은 낮아졌으며, 속도 100km/h에서 80km/h 대비 1차 조사에서 8.5%, 2차 조사에서 11.6%, 3차 조사에서 15.1%로 각각 감소된 것으로 나타났다.

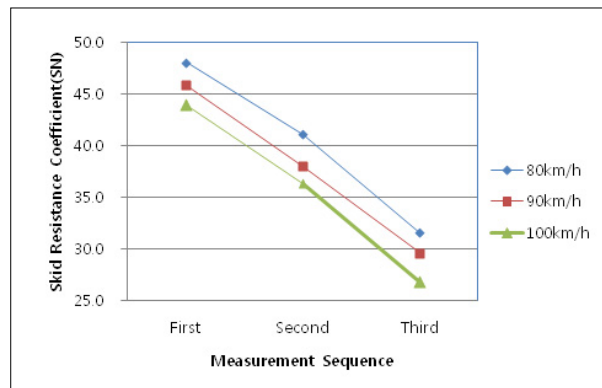


Fig. 5 Skid Resistance Variation of Cement with Time

Fig. 6은 3차에 걸친 조사차수에 따른 배수성 아스팔트 콘크리트 포장의 미끄럼 저항 변화를 나타낸 것이다. 초기 측정 이후 5년이 경과되었으나 미끄럼 저항은 아스팔트 콘크리트에 비해서는 크게, 시멘트 콘크리트에 비해서는 작은 수준으로 변화되었다. 1차 조사 대비 3차 조사 값이 속도 80km/h에서 8.6%, 90km/h에서 9.2%, 100km/h에서 6.9%가 각각 감소되었다. 타 형식과 마찬가지로 조사 속도가 높을수록 미끄럼 저항은 낮아졌으며, 속도 100km/h에서 80km/h 대비 1차 조사에

서 6.7%, 2차 조사에서 3.2%, 3차 조사에서 5.0%로 각각 감소된 것으로 나타났다.

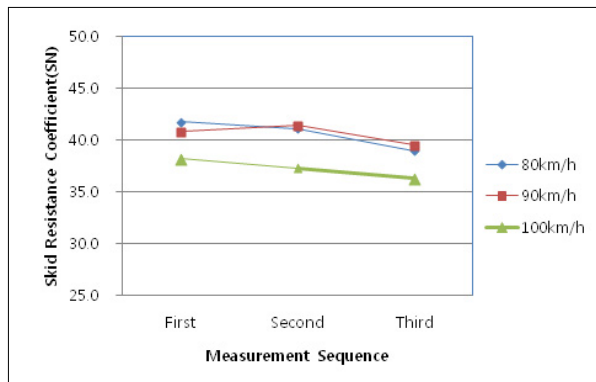


Fig. 6 Skid Resistance Variation of Porous Asphalt with Time

3.4. 결과검토 및 토의

포장 형식을 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트, 배수성 아스팔트 콘크리트로 나누어 시간 경과에 따른 미끄럼 저항을 조사한 결과, 선행연구에서 제시한 시간 경과에 따른 저항 감소를 관측하였다. 본 조사에 한정하여 얻은 결론으로, 아스팔트 콘크리트 포장의 경우가 추적 조사기간 동안 미끄럼저항 감소가 거의 발생하지 않았다. 상대적으로 시멘트 콘크리트 포장이 비록 초기 미끄럼 저항은 가장 높았으나 시간경과에 따라 상대적으로 크게 감소하였다. 배수성 콘크리트 포장은 초기 미끄럼 저항이 아스팔트에 비해서는 시간경과에 따라 소폭으로 감소하였으나 아스팔트 콘크리트나 시멘트 콘크리트에 비해 조사속도 증가에 따른 미끄럼 저항 감소비율이 상대적으로 낮게 나타났다. 본 연구는 현장조사 샘플 수가 제약된 한계가 있으므로 추후 추적조사를 지속적으로 수행하여 연구의 완성도를 높일 필요가 있다. 또한 조사구간의 개통시기에 차이(아스팔트/배수성은 2005년, 시멘트 콘크리트는 2003년)가 있는 점 등을 감안하여 이를 보완할 수 있는 방안도 검토할 필요가 있다. 단, 시멘트 콘크리트의 미끄럼저항이 다소 급격하게 변하는 것에 대해서는 역학적 원인 조사를 추후 시행할 필요가 있다고 본다.

도로 교통사고에 미끄럼 저항이 중요한 역할을 함을 감안 시, 포장관리체계의 조사항목에 미끄럼 저항을 포함하여 광범위한 자료를 수집하고 이를 교통사고 발생결과와 비교적으로 분석하는 것이 필요하다. 도로 기하구조 설계관점에서는 운전자가 도로구간 어느 지점에서도 정지할 수 있는 최소 정지시거 기준이 있으며 여기에 종방향 미끄럼 마찰계수가 설계속도별로 제시되어 있다.

설계속도 80km/h에서 종방향 미끄럼 마찰계수가 0.31, 90km/h에서 0.30, 100km/h에서 0.30으로 제시되어 있다. 이는 교통사고와 미끄럼 저항간의 상관관계에 관한 선행연구에서 권고하는 최소한 유지되어야 하는 미끄럼 저항 값과 유사한 수준으로 되어 있다. 물론 미끄럼 저항 측정은 주로 바퀴가 완전히 잠긴 상태에서 조사된 것으로 가장 열악한 제동상황이 고려되었기 때문에 완전한 비교는 어렵지만 참고적으로 고려될 수는 있다. 본 연구에서 조사된 미끄럼 저항은 시멘트 콘크리트 포장 3차 조사 값을 제외하고는 도로설계기준에서 제시된 값을 대부분 상회하는 것으로 나타났다. 시멘트 콘크리트 포장도 본 조사에서 한 구간만을 대상으로 했기 때문에 이를 일반화하기 곤란하며 추후 조사범위를 넓혀 지속적인 관찰을 통한 추적 연구가 수행될 필요가 있다.

4. 결론

미끄럼 저항은 우천 시에 자동차의 전도 사고를 예방하는데 중요한 역할을 한다. 우천 시 교통사고는 전체 사고의 9.3%를 차지하고 있으며 특히 치사율이 높은 특징이 있다. 최근 이상기후로 인한 집중호우로 인해 강우 빈도 및 발생 주기가 짧아진 측면을 감안하면 우천 시 교통안전 확보가 보다 중요한 시점에 있다. 따라서 포장 미끄럼 특성에 대한 일관된 관찰조사를 포함한 종합적인 관리시스템 확보가 필요하다. 본 연구는 이의 일환으로 포장 형식별로 미끄럼 저항에 관한 추적조사를 시행한 결과를 제시한 것이다. 연구결과로 포장형식별 시간 경과 및 조사속도에 따른 미끄럼 저항 변화 특성을 제시하였다. 선행연구 고찰에서 검토되었듯이 미끄럼 저항에 영향을 주는 요인은 교통조건(교통량 등)이나 노면, 타이어, 기상, 계절, 온도 등 다양한 요인이 있기 때문에 한정된 구간에서 조사된 미끄럼 저항 특성을 일반화하기 곤란하다. 이런 이유로 포장 관점의 특성(골재, 아스팔트, 배합설계 등)을 포함하고 다양한 외부요인들과 종합적으로 검토하여 공용 중 요구되는 포장 서비스수준을 유지하기 위한 전략적 관리정책을 수립할 필요가 있다. 본 연구는 국내에 노면 미끄럼 저항에 관한 측정방법 조차 전무한 실정에서 사회환경적 변화에 능동적으로 대처하기 위해 노면 미끄럼 저항의 중요성을 부각하고 최대한 조사환경을 일관되게 선정하여 국내 도로 포장 환경을 반영한 미끄럼 저항에 대한 조사결과를 제시한 것이다.

노면 미끄럼 저항에 관한 향후 연구로는 미국 ASTM

과 같이 표준 측정방법이 마련될 필요가 있으며 포장관리체계 안에 주요 조사항목으로 다루어져 효율적으로 관리될 수 있도록 할 필요가 있다. 아울러 노면 미끄럼 저항은 교통사고에 영향을 주는 주요 요인이므로 사고와의 상관성에 관한 신뢰성 있는 평가모형이 필요하고 이를 포장관리체계에서 보수 등 주요 정책을 결정하는 자료로써 활용되어야 할 것이다. 기술적으로는 포장 보수이력, 표면상태 정밀분석 등을 추가적으로 검토하여 이론과 현장조사가 상호 보완적으로 발전될 필요가 있다.

References

- ASTM, 2008. *Standard Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Tests*
- AASHTO, 2008. *Guide for Pavement Friction*
- Choubane, B., Holzshuher, C. R., and Gokhale, S., 2003. Precision of Locked Wheel Testers for Measurement of Roadway Surface Friction Characteristics, *Research Report FL/DOT/SMO/03-464*, State Materials Office, Florida.
- 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
- 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.
- National Police Agency, 2011. *Traffic Accident Statistics Analysis of Year 201*
- Oh, Soonmi, Madanat, S., Ragland, D. R., and Chan, C., 2010. Evaluation of Traffic and Environment Effects on Skid Resistance in California, *TRB 2010 Annual Meeting*, Washington, D. C.
- Runkle, S. N., Mahone, D. C., 1977. Virginia's Wet Pavement Accident Reduction Program, *TRR. 622*, Transportation Research Board
- Song, W., Chen, X., Smith, T., and Hedfi, A., 2006. Investigation of Hot Mix Asphalt Surfaced Pavements Skid, *Resistance in Maryland State Highway Network System*
- Transportation Research Board, 2000. *Evaluation of Pavement Friction Characteristics*, NCHRP Synthesis 291
- Väg och Transportforskningsinstitut(VTI), 2001. *Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction and Traffic Safety*
- 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
- 技術書院, 1986. *路面のすべり*
(접수일 : 2011. 8. 25 / 심사일 : 2011. 8. 25 / 심사완료일 : 2012. 7. 23)