



콘크리트포장의 노면 잔류 이물질에 따른 미끄럼저항변화

Skid Resistance Change by Dirt Material on Road Surface of Concrete Pavement

이 승 우* 김 남 철**
 Lee, Seung-Woo Kim, Nam Choul

Abstract

Skid resistance is an important factor that control braking distance and secure safety by preventing slipperiness between tire and pavement surface. Decrease of skid resistance at wet condition may cause fatal traffic accidents. Dirt materials such as sand and de-icing on the road surface also can be a factor for decrease skid resistance.

This study makes an investigation into influence of skid resistance between varied cement concrete pavements about surface texturing method(transverse tining, longitudinal tining, exposed aggregate surface texturing method) and wearing condition of pavement surface texture(new constructed pavement's surface, wore pavement's surface) using accelerate concrete pavement wearing tester when remains of dirt material are obtained between tire and road surface on PCC pavement.

As dirt material on road surface of concrete pavement, sand, calcium chloride and old oil were used with different amount of each cases.

Keywords : skid resistance, sand, calcium chloride, accelerate concrete pavement wearing test, tining, exposed aggregate

요 지

미끄럼저항은 자동차의 타이어와 포장노면 사이에서 발생하는 미끄러짐을 방지하여 제동거리를 제어하고 주행안정성을 확보하는데 중요한 역할을 한다. 우천시의 미끄럼저항 감소는 치명적인 교통사고를 유발할 수 있다. 노면위에 남은 토사 및 겨울철 제설재는 미끄럼저항을 감소시킬 수 있는 요소가 될 수 있다. 본 연구에서는 노면상의 잔류하는 이물질이 타이어와 포장노면사이에서 발생하는 미끄럼저항에 미치는 영향을 다양한 콘크리트 노면조직 형태 (횡방향타이닝, 종방향타이닝, 골재노출) 및 노면조직의 마모조건(신설노면, 마모된 노면)에 대하여 검토하였다. 노면상의 이물

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
 ** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정



질로는 모래, 염화칼슘과 자동차에서 발생하는 폐 오일을 사용하였으며 각 경우별로 이물질의 양을 달리하여, 모래의 경우는 입도 및 양을 달리해가며 미끄럼저항에 미치는 영향을 검토하였다.

핵심용어 : 미끄럼저항값, 모래, 염화칼슘, 마모시험, 타이닝, 골재노출

1. 서 론

콘크리트포장은 공용연수 경과에 따라 노후화가 진행되고 스펀링, 단차, 균열 등 구조적인 파손뿐 아니라 노면의 마모로 인해 타이어와 포장 접지면에서 작용하는 미끄럼저항성이 감소하여 우천시에 교통사고의 원인이 된다. 타이어와 포장 노면과의 미끄럼저항은 제동거리를 제어하는 기본적인 요소로서 주행 안전성을 확보하는데 중요한 역할을 한다.

실제 콘크리트 포장의 표면상태조건이 건조, 습윤 상태일 때 타이어와 포장표면조건에 따라서 미끄럼저항은 크게 다르다. 특히 습윤 상태에서는 수막현상으로 인하여 미끄럼저항성이 저하되어 교통사고율이 높은 추세이다(Chelliah 등, 2002).

도로표면의 미끄럼저항성 확보는 우천시 뿐만 아니라 겨울철 설빙방지를 위해 그림 1과 같은 염화칼슘이나 모래 등의 제설재가 사용된다. 염화칼슘은 물과 섞이면서 발열반응을 일으켜 열을 방출할 뿐만 아니라 녹은 눈이 얼지 않도록 방지하는 역할을 하며 염화칼슘이 30%가 섞인 제설재는 영하 50℃까지 얼지 않는다. 염화물 제설재의 경우 그림 2와 같이 눈이 녹은 후에도 노면위의 제설재가 상당시간동안 잔류할 수 있고, 운반차량에서의 유실된 토사, 바람에 의한 흙의 이동, 폭우로 인한 흙의 유실로 노면에 잔류할 수 있다. 하지만 눈이나 얼음이 녹으면서 포장 노면과 자동차 사이에서 미끄럼저항 역할을 한 모래의 경우 배수구를 막고, 염화칼슘의 경우 수분을 흡수하는 능력이 뛰어나 눈이 다 녹은 상태에서도 공기 중의 수분을 흡수해 도로표면을 습윤하게 만들어 미끄럼저항 감소의 요인이 된다. 이러한 이물질이 노면에 존재하면 미끄럼저항값이 낮아져 교통사고의 원

인이 될 수 있다.

본 연구에서는 이물질의 종류와 그 양에 따라 표면 처리조건에 따른 미끄럼저항의 변화를 실험을 통하여 현장의 일반적인 콘크리트 포장도로에서 노면상의 이물질이 미끄럼저항에 어떠한 영향을 주는지 고찰하고자 한다.

실내실험은 국내에서 많이 활용해온 타이닝 및 골재노출표면처리 조건에서 제설재로 사용되고 있는 염화칼슘, 모래, 도로표면에 많이 발생하는 자동차의 엔진오일 등의 이물질을 대상으로 한다.



그림 1. 제설재 살포



그림 2. 제설재 살포 후 노면상태



2. 도로표면조직의 변화 및 도로 노면상의 이물질

표면조직의 미끄럼저항값은 타이어, 포장표면상태, 제동장치, 환경적인 요소에 의해서 영향을 받는다. 그 중 표면조직 처리방법(매크로 조직), 골재 및 시멘트페이스트 특성(마이크로조직), 습윤상태, 결빙상태, 노면의 마모상태 등이 미끄럼저항값의 변화에 많은 영향을 주고 있다.

표면조직은 조직의 크기와 형상에 따라 마이크로조직과 매크로조직으로 구분할 수 있다. 마이크로조직은 모르타르와 잔골재의 특성 및 구성, 마모정도에 따라 표면조직의 특성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 골재의 크기는 0.005mm~0.5mm이하의 값으로 분류된다. 매크로조직은 굵은 골재 크기, 모양, 각상, 타이닝 등 인위적으로 만든 표면조직에 의해 구성되며, 습윤 상태에서의 미끄럼저항성을 확보할 수 있도록 인위적인 조절이 가능하여 국내·외적으로 많은 연구와 기술이 적용되어 왔다.

콘크리트 포장노면이 교통하중의 반복주행에 의해 마모가 진행되면 마이크로조직의 마모로 미끄럼저항이 저하될 뿐만 아니라 매크로조직의 깊이 감소로 인해 타이어와 노면사이의 미끄럼저항은 급격하게 떨어지고 사고 위험은 더 증가한다.

따라서 공용중인 도로에서 마이크로조직이나 매크로조직을 적정 수준으로 유지 관리를 해야 소정의 습윤한 포장에서 미끄럼 저항성을 확보하여 도로의 안전성을 확보할 수 있다.

그러나 도로의 미끄럼저항은 노면과 타이어사이의 포장을 구성하는 골재 및 결합재의 성질과 그 구성 및 타이어 표면과의 상관 문제지만, 일단 노면 위에 압설이 있거나, 표면수가 동결한 경우의 미끄럼저항은 노면과 타이어 문제가 아니라 눈 또는 얼음 면과 타이어 사이의 미끄럼저항 문제가 되며 여러가지 동결, 압설 대책으로 제설제, 전열, 온수파이프, 모래의 살포 등의 이용을 들 수 있다.

염화칼슘, 모래 등의 사용은 눈이 녹은 후에도 상

당기간 잔류하여 도로포장 표면의 미끄럼저항에 영향을 주는 또 하나의 요인이며 제설제에 의해 녹은 물은 염화칼슘의 화학적인 성질로 인해 일반 물보다 더 오랜 시간에 걸쳐 증발하게 되어 미끄럼저항의 회복을 더디게 하는 것도 도로의 미끄럼저항을 적정상태 이하로 유지하는 문제를 가지고 있다.

그림 3은 제설제 이용에 따른 습윤 노면의 건조 소요 시간 지연을 보여주고 있다. 우천시 도로의 물로 인하여 습윤한 표면상태를 지니지만 건조상태가 되기까지는 약 100분 정도의 시간이 소요되며, 염화칼슘이 포장노면위에 살포되었을 경우 미끄럼저항값이 건조 상태까지 되기 위해서는 습윤 상태보다 상당한 시간이 소요되고 있다.

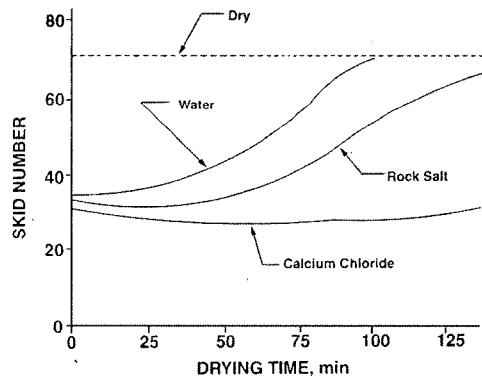


그림 3. 건조시간에 따른 제설제의 영향 (Leslie Titus-Glover, 1999)

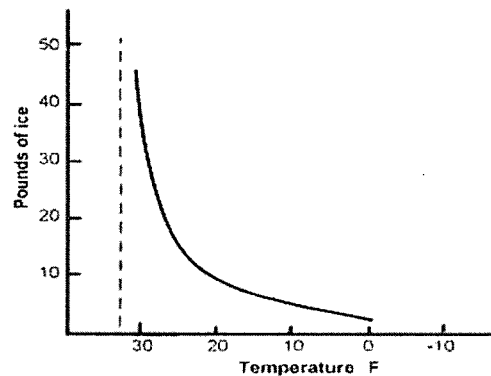
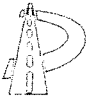


그림 4. 제설제 1pound당 온도에 따른 얼음의 녹는양 (Anderson, 1997)



제설재의 양이 많으면 많을수록 건조시간은 더욱 길어지며 일반적으로 한 차선 당 1 km구간에 제설재는 340kg을 사용하고 있어 꼭 필요한 분량만 사용하는 것이 중요하다. 그림 4는 제설재 1파운드당 온도에 따른 얼음의 녹는 양을 제설재 살포 후 온도의 증가에 따라 나타내고 있다.

압설 노면위에 미끄럼저항확보를 위하여 모래, 쇠석분 등을 살포하지만 일정량 이상일 경우 포장노면이 건조한 후 타이어와의 사이에서 베어링역할을 하게 되어 미끄럼저항은 감소한다.

3. 노면상의 이물질에 따른 미끄럼저항 변화 측정

노면상의 잔류하는 이물질이 미끄럼저항에 미치는 영향을 검토하기 위하여 표 1과 같은 이물질의 종류, 양, 습윤조건, 노면조직종류, 마모상태에 대하여 미

끄럼저항을 검토하였다.

여러 표면조건에서의 이물질에 따른 미끄럼저항변화를 알아보기 위하여 일반적으로 우리나라 콘크리트포장의 표면처리방법인 횡방향타이닝시편, 종방향타이닝시편과 유럽 등 선진국에서 많이 사용되고 있는 저소음과 미끄럼저항확보에 우수한 골재노출콘크리트시편을 사용하였다.

시편 크기가 600mm×300mm×200mm 인 3개 시편과 각 시편의 포장노면의 상태를 휠트랙킹장비를 사용하여 마모촉진시험을 통해 마모가 안 된 초기상태와 철륵을 이용하여 마모를 촉진시킨 마모상태로 구분하였으며, 미끄럼저항값 측정 시 시편 표면을 건조, 습윤상태로 두어 #50번체, #30번체, #16번체에 남은 모래, 염화칼슘, 자동차 폐오일을 노면위에 1mm, 2mm로 이물질이 쌓이도록 하여 미끄럼저항측정 장비인 BPT(British Portable Tester)장비를 사용하여 미끄럼저항을 측정하였다.

표 1. 이물질이 미끄럼저항에 미치는 영향을 검토하기 위한 실험절차

표면 마모상태	노면조직종류	이물질 살포량	표면조건	이물질 종류
마모시험 전	횡방향타이닝	노면 위 1mm	건조조건 습윤조건	-모래(#50,30,16번체에 남은 모래) -염화칼슘 -폐오일
	종방향타이닝			
	골재노출콘크리트			
	횡방향타이닝	노면 위 2mm	건조조건 습윤조건	-모래(#50,30,16번체에 남은 모래) -염화칼슘
	종방향타이닝			
	골재노출콘크리트			
마모시험 후	횡방향타이닝	노면 위 1mm	건조조건 습윤조건	-모래(#50,30,16번체에 남은 모래) -염화칼슘 -폐오일
	종방향타이닝			
	골재노출콘크리트			
	횡방향타이닝	노면 위 2mm	건조조건 습윤조건	-모래(#50,30,16번체에 남은 모래) -염화칼슘
	종방향타이닝			
	골재노출콘크리트			



3.1 시편제작

마모촉진 시험을 위해 제작된 시편의 크기는 600mm×300mm×200mm 이며 횡방향타이닝시편, 종방향타이닝시편, 골재노출콘크리트시편이 사용되었으며, 타이닝의 경우 간격을 25mm로 균일하게 표면처리했다. 배합설계는 표2와 같다.

그림 5의 마모촉진실험을 하기 위한 휠트래킹시험기는 자동차 바퀴에 해당하는 주행차륜을 비롯해서 자동차 하중을 근거로 설계된 접지압, 자동차 주행속도에 근거를 둔 시험 차륜의 주행속도 및 주행거리, 하절기 고온의 조건을 모사한 시험온도 그리고 차륜 하중에 침하된 도로의 변형 깊이를 측정할 수 있는 변형량 기록계 등을 갖추고 있다.

주행 차륜은 마모의 촉진을 위하여 철륜을 사용하였으며 지름 200mm, 폭 50mm 크기의 바퀴를 사용하였다. 마모촉진 실험을 위하여 60kgf의 윤하중으로 하중을 고정시켜 시험을 시행하였다.

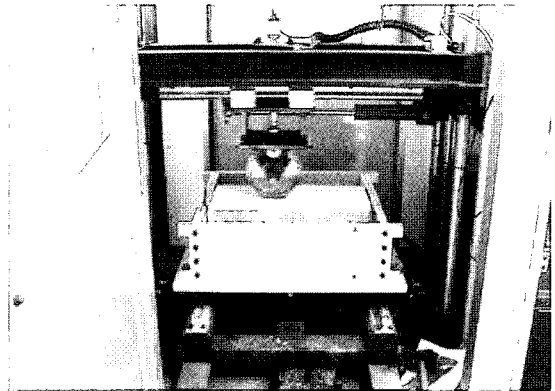


그림 5. 휠트래킹 장비를 이용한 마모실험

평균조직깊이는 샌드패칭방법으로 측정했으며, ASTM E-965에 제시된 바와 같이 NO 50번체를 90% 이상 통과하고 NO 100번체에 100% 잔류하는 모래 약 25cm³를 노면에 평탄하게 펼쳐서 4부분의 지름을 측정하여 평균값을 구해 평균 조직 깊이 (Mean Texture Depth)를 구한다.

그림 6은 마모상태에 따른 노면조직별 평균조직

표 2. 배합 설계표(타이닝)

굵은골재 최대치수	S/a (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)				공기량 (%)
			W	C	S	G	
32mm	41	45	175	389	699	1078	2

상태 \ 노면조직	횡방향타이닝	종방향타이닝	골재노출콘크리트
신설노면	MTD = 1.62	MTD = 1.32	MTD = 0.9
마모된 노면	MTD = 0.94	MTD = 0.76	MTD = 0.52

그림 6. 마모에 따른 노면조직 종류



깊이를 나타내었다.

미끄럼저항 측정은 ASTM E-303 기준의 BPT 장비를 이용하여 측정하였다. 이는 실험실에서 도로포장 표면의 마찰계수를 측정할 수 있도록 만들어진 장치이며 도로 포장표면과 고무 슬라이더 사이에서의 미끄럼저항값을 측정한다.

3.2 실험 방법

이물질에 따른 미끄럼저항변화를 알아보기 위하여 제작된 시편으로 신설초기의 노면과 마모촉진실험후의 노면, 3개의 시편에 각각 2가지 경우를 두어 #50, 30, 16체에 잔류하는 모래, 염화칼슘, 오일을

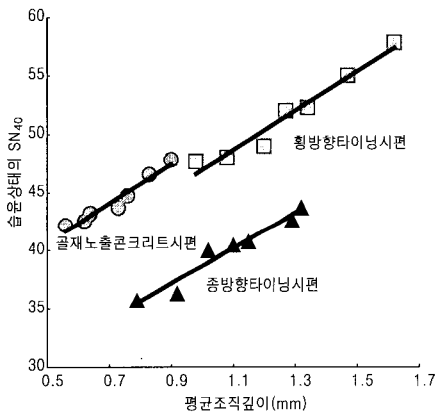


그림 7. 미끄럼저항값과 평균조직깊이의 관계

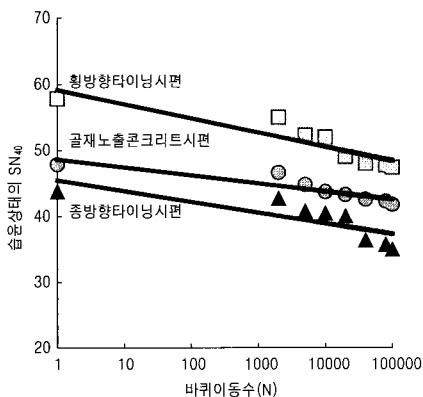


그림 8. 미끄럼저항값과 철펠이동수의 관계

대상으로 포장노면위에 1mm, 2mm 깊이의 이물질이 쌓이도록 한 후 BPT장비를 사용하여 미끄럼저항값을 측정하였다. 그림 7에서처럼 이물질을 고려하지 않았을 경우 평균조직깊이와 미끄럼저항값의 관계는 횡방향타이닝시편이 가장 높은 평균조직깊이와 미끄럼저항값을 나타내고, 종방향타이닝시편이 골재노출콘크리트시편보다는 평균조직깊이가 크지만 가장 낮은 미끄럼저항값을 보이고 있다.

마모촉진실험 후 평균조직깊이의 감소는 타이닝의 경우 시멘트 페이스트가 철륵과 접촉하여 많으며, 골재노출콘크리트시편의 경우 굵은 골재가 철륵과 직접 접촉하게 되어 마모가 일어남으로 인해 마모율이 작다. 또한 그림 8처럼 바퀴이동수와 미끄럼저항값의 관계에서 미끄럼저항감소율이 평균조직깊이 감소가 많은 타이닝시편보다는 골재노출콘크리트시편에서의 미끄럼저항값 감소가 작게 나타난다.

4. 미끄럼저항 측정 결과 분석

각 횡방향타이닝, 종방향타이닝, 골재노출콘크리트시편에서의 마모 전·후의 표면조직 상태와 이물질로 사용된 모래, 염화칼슘의 양에 따른 미끄럼저항변화를 체계적으로 고찰하고자 실내 마모촉진실험을 수행하여 노면의 상태에 따라 모래의 입경별, 염화칼슘, 오일의 미끄럼저항을 측정하였다.

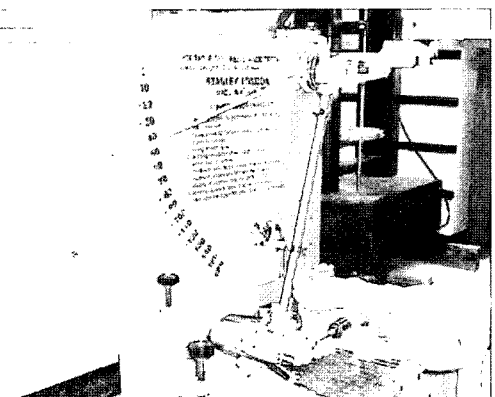


그림 9. 노면 이물질에 대한 미끄럼저항측정

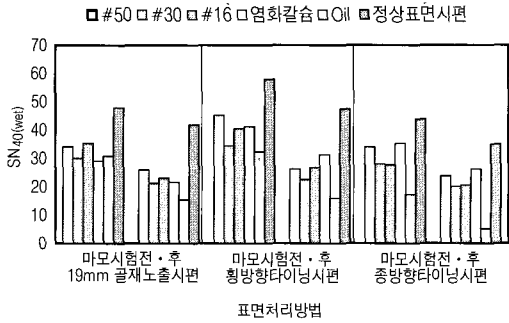


그림 10. 습윤상태 미끄럼저항값
(노면 위 이물질 두께 1mm)

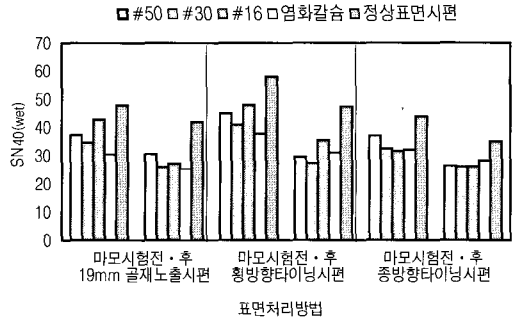


그림 11. 습윤상태 미끄럼저항값
(노면 위 이물질 두께 2mm)

그림 9는 BPT장비를 이용하여 미끄럼저항값을 측정하는 장면이다.

횡방향타이닝, 종방향타이닝, 골재노출 콘크리트 시편을 사용하여 측정된 습윤상태에서의 미끄럼저항값은 그림 10, 11과 같다.

그림 10, 11은 노면 위 이물질이 1mm, 2mm일 경우 습윤상태에서의 마모시험 전·후 미끄럼저항값의 변화를 나타낸 그림이다. 횡방향타이닝시편은 이물질이 없는 경우, 이물질이 있는 경우에 대하여 습윤상태의 노면 마모상태에 관계없이 종방향타이닝시편과 19mm골재노출콘크리트시편에 비하여 상대적으로 높은 미끄럼저항값을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

종방향타이닝시편은 이물질이 없는 노면상태에서 시편 중 가장 낮은 미끄럼저항 값을 보이며 이물질이 노면위에 있을 경우도 상대적으로 낮은 미끄럼저항 값을 나타낸다. 노면위에 여러 이물질이 미끄럼저항 값을 감소시키지만 표면처리방법에 따라서 특정한 표면조직의 미끄럼저항 감소에는 영향을 주지 않으며 이물질에 의한 영향은 정상표면시편에 대하여 약 80% 이하의 미끄럼저항을 확보하고 있다.

콘크리트 포장 노면의 마모 전·후 습윤 상태에서 이물질 양에 따른 미끄럼저항값의 변화는 그림 10, 11에서와 같이 노면 위 이물질의 양에 따라 미끄럼저항값의 차이는 있지만 표면처리방법에 의한

표 3. 횡방향타이닝시편에서의 조건별 일반시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)

노면 상태	노면 조건	이물질 양 (노면 위 이물질 두께)	정상시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)					
			정상표면시편	#50체에 남은모래	#30체에 남은모래	#16체에 남은모래	염화칼슘	Oil
건조	마 모	1mm	100	52	42	62	57	36
		2mm	100	61	47	87	62	-
	비마모	1mm	100	61	50	56	51	52
		2mm	100	63	55	79	57	-
습윤	마 모	1mm	100	55	47	56	66	34
		2mm	100	62	58	75	65	-
	비마모	1mm	100	78	59	70	71	56
		2mm	100	78	71	83	65	-



표 4. 증방향타이닝시편에서의 조건별 일반시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)

노면 상태	노면 조건	이물질 양 (노면 위 이물질 두께)	정상시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)					
			정상표면시편	#50체에 남은모래	#30체에 남은모래	#16체에 남은모래	염화칼슘	Oil
건조	마 모	1mm	100	65	51	52	66	15
		2mm	100	76	65	72	70	-
	비마모	1mm	100	69	55	54	61	42
		2mm	100	74	65	68	71	-
습윤	마 모	1mm	100	68	57	59	75	15
		2mm	100	75	74	75	81	-
	비마모	1mm	100	78	64	63	80	39
		2mm	100	85	74	72	73	-

표 5. 골재노출시편에서의 조건별 일반시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)

노면 상태	노면 조건	이물질 양 (노면 위 이물질 두께)	정상시편에 대한 미끄럼저항 확보율(%)					
			정상표면시편	#50체에 남은모래	#30체에 남은모래	#16체에 남은모래	염화칼슘	Oil
건조	마 모	1mm	100	66	42	41	51	37
		2mm	100	76	54	54	57	-
	비마모	1mm	100	70	44	45	59	62
		2mm	100	73	50	64	65	-
습윤	마 모	1mm	100	62	51	55	52	37
		2mm	100	73	62	65	61	-
	비마모	1mm	100	71	63	74	61	65
		2mm	100	78	72	89	63	-

미끄럼저항값 차이보다는 적은 값을 보인다. BPT장 비사용으로 미끄럼저항측정결과 모래의 입경은 미끄럼저항값 변화에 영향을 주지 않으며 모래와 염화칼슘은 같은 조건에서 비슷한 미끄럼저항값을 보인다. 오일의 경우 상대적으로 낮은 미끄럼저항값이 측정되었다.

표 3~5는 시편조건별 정상표면시편에 대한 미끄럼저항 확보율을 나타낸 것이다.

표 3에서 보듯이 횡방향타이닝시편에서 이물질이 도로노면위에 있을 때 모든 조건에서 정상표면시편과 비교하면, 모래의 경우 미끄럼저항 확보율은

42%~87%, 염화칼슘의 경우 51%~65%, 폐 오일의 경우 34%~56%이다. 이물질로 모래를 사용하였더니 정상표면의 미끄럼저항값에 따른 미끄럼저항 확보율은 입경에 따라 차이는 있지만 전체적으로 마모가 안 된 노면위에 이물질이 2mm 두께로 쌓여 있는 노면상태가 높게 나타났다.

표 4의 증방향타이닝시편의 경우 이물질이 도로노면위에 있을 때 모든 조건에서 정상표면시편과 비교하면, 모래의 경우 미끄럼저항 확보율은 54%~85%, 염화칼슘의 경우 61%~81%, 폐 오일의 경우 15%~42% 정도이다.

표 5의 골재노출콘크리트시편은 이물질이 도로노면위에 있을 경우 정상표면시편과 비교하였을 때, 미끄럼저항 확보율은 모래가 41%~89%, 염화칼슘이 51%~65%, 폐 오일이 37%~65%정도의 미끄럼저항 확보율을 보인다.

표면처리방법이 다른 3시편 모두 마모가 안 된 노면위에 이물질의 양이 2mm 두께로 쌓여있을 때 미끄럼저항 확보율을 높였다.

일반적으로 건조상태에서의 미끄럼저항값은 습윤상태에서의 미끄럼저항값보다 우수하다. 그러나 모래와 염화칼슘을 시편표면에 살포한 후 휴대용미끄럼저항장치로 측정된 미끄럼저항값은 건조상태와 습윤상태에서 차이가 없으며, 정상시편에 대한 미끄럼저항값의 확보율은 습윤상태가 높았다. 이는 건조한 시편의 표면에 고무슬라이더와 이물질로 사용된 모래, 염화칼슘 사이의 롤링현상에 의한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 콘크리트 포장 표면에서의 마모에 따른 포장 노면의 미끄럼저항특성에 영향을 미치는 여러 인자(모래, 염화칼슘, 오일)에 대해 실내실험을 통하여 각 이물질별로 미끄럼저항값의 변화를 측정해 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 횡방향타이닝, 종방향타이닝, 골재노출콘크리트 시편에서 이물질을 첨가하여 미끄럼저항값을 측정한 결과 상대적으로 미끄럼저항값이 작은 종방향타이닝에서 정상표면상태에 대한 이물질에 따른 미끄럼저항 확보율이 크지만, 표면특성이 서로 다른 시편에 큰 영향을 미치지 않는다.
- 2) 마모가 안 된 노면에서 이물질의 양을 2mm 두께로 살포했을 경우가 1mm로 살포했을 경우보다 미끄럼저항확보율이 높다.

- 3) 모래의 입경은 미끄럼저항에 큰 영향을 미치지 않는다. 같은 조건에서 모래와 염화칼슘은 비슷한 미끄럼저항값이 측정되었지만, 폐 오일의 경우 상대적으로 낮은 미끄럼저항값이 측정되었다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 강릉대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. 노관섭 등(1997) 도로의 횡방향 마찰계수와 곡선반경에 관한 연구, 한국건설기술연구원
2. 임주용 등(1996) 시멘트콘크리트포장과 아스팔트포장의 제설특성 비교연구, 한국도로공사
3. Anderson(1997) Using Salt and Sand for Winter Road Maintenance, Wisconsin *Transportation Bulletin No.6*
4. Chelliah, Stephanos, Shah, Smith(2003) Developing a Design Policy to Improve Pavement Surface Characteristics, *82th Annual Meeting of Transportation Research Board*
5. Imad L.Al-Qadi, Daniel S. Roosevelt, Rand Decker, James C. Wambold, Wilfrid A Nixon(2002) *Feasibility of Using Friction Indicators to improve Winter Maintenance Operations and Mobility*, National Cooperative Highway Research Program
6. John E. Grady, William P. Chamberlin(1981), Groove-Depth Requirements for Tind-Textured Pavement, *Transportation Research Record 836*
7. Leslie Titus-Glover(1999) *Assessment of LTPP Friction Data*, FHWA-RD-99-037

〈접수 : 2004. 5. 13〉