

차량 주행속도에 따른 노면 미끄럼저항성의 평가

Evaluation of Surface Skid Resistance by Vehicle Operating Speed

이수형* · 유인균** · 김제원***

Lee, Soo Hyung · Yoo, In Kyoon · Kim, Je Won

1. 서론

비오는 날은 노면의 미끄럼저항의 저하로 인해 동일한 상황에서도 맑은 날보다 정지거리가 길어져 교통사고의 위험이 높아진다. 노면의 미끄럼은 노면과 타이어의 텍스처, 주행속도 그리고 수막의 두께에 영향을 받게 된다. 비가 와서 습윤노면이 되면 동일한 속도에서도 건조노면보다 미끄럼저항이 급격히 떨어지며, 수막이 형성된 상태에서 속도가 증가하면 더욱 저하하게 된다. 따라서 도로에서 적정한 정지거리를 확보하여 미끄럼 교통사고 위험을 줄이기 위해서는 노면의 텍스처, 속도 그리고 수막의 두께가 적절히 통제되고 설계될 필요가 있다.

현재, 노면의 미끄럼저항의 측정방법으로는 가장 오래 사용되고 있는 BPT시험법과 실제 노면의 미끄럼저항을 모사하는 PFT시험법이 사용되고 있다. BPT시험법은 젖은 노면에 고무패드를 낙하시켜 미끄럼저항을 측정하는 방법이며 자동차의 실제 정지거리와 연관시키기는 어려운 시험법이며, 노면의 미끄럼을 상대적으로 비교하고 기준값을 규정하기 위한 시험법이다. PFT시험법은 실제 65km/h의 속도로 주행하면서 일정한 양의 물을 분사하며 젖은 노면의 모사하여 시행하는 시험법이며 동일한 조건에서의 정지거리를 추정할 수 있는 시험법으로 노면의 상대적 미끄럼 비교와 기준의 규정에 사용되고 있다.

그러나 이러한 시험법으로는 실제 도로 주행상황에서의 미끄럼저항을 추정하여 정지거리의 변화를 산정하기는 어려운 상황이다. 즉, 위에 제시된 시험법으로는 노면 미끄럼의 상대적인 비교나 기준을 규정하는 데 사용되고 있으나, 실제로 주행속도가 증가하고 비로 인해 수막이 증가할 경우 미끄럼저항이 어느 정도 감소하는지 평가할 수 없기 때문이다. 현재는 우천 시 교통사고의 위험성을 줄이기 위해 주행속도의 20%정도를 감속하는 것을 추천하고 있는 상황이다. 아직도 많이 발생하고 있는 우천시 교통사고를 줄이기 위해서는 실제 노면에서 발생하는 노면 미끄럼의 변화를 보다 과학적으로 규명하여 이들 영향 요소들을 적절히 통제하고 관리할 필요가 있다.

본 연구에서는 실제 사용되고 있는 도로포장에서 주행속도의 변화에 따라 노면의 미끄럼저항이 어떻게 변화하는지 알아보기 위하여, 밀입도 아스팔트포장을 시험구간으로 정하고 PFT를 이용하여 주행속도에 변화를 주며 미끄럼 시험을 시행하였다. 밀입도 아스팔트포장에 대한 속도별 미끄럼저항의 변화를 검토하고 노면의 텍스처 시험결과를 이용하여 국제미끄럼지수(IFI)와의 비교를 통해 그 타당성을 검토하고 개선방향에 대해서 논하였다.

2. 노면 미끄럼 측정법과 예측

2.1 노면 미끄럼저항성의 측정 방법

국내에서 노면 미끄럼저항성을 측정하는 방법은 두 가지 방법이 이용되고 있다. 하나는 정치식 측정방법으로 휴대용 미끄럼저항성 측정 장비(British Pendulum Tester ; BPT)를 이용한 측정 방법이다. BPT는 진자의 원리를 이용한 방법으로 젖은 노면을 고무 패드가 부착된 1.5kg인 진자를 자유 낙하시켜 고무 패드와 포

* 정희원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 공학석사 · 031-9100-144(E-mail:shlee1@kict.re.kr)

** 정희원 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 공학박사 · 031-9100-167(E-mail:ikyoo@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 공학석사 · 031-9100-725(E-mail:jewonkim@kict.re.kr)

장 노면간의 마찰저항성을 측정한다. 측정 결과는 BPN(British Pendulum Number)으로 표시된다.

휴대용 미끄럼저항성 측정 장비(BPT)를 이용한 방법은 비교적 휴대가 간편해서 필요한 장소에서 간단히 측정할 수 있는 장점은 있으나 노면의 미끄럼저항성에 영향을 미치는 주행속도, 수막두께 등의 변화를 고려할 수 없다. 이 방법은 노면 미끄럼저항성에 영향을 미치는 요소 중에 노면의 거칠기(Texture)가 서로 다른 노면의 상대적인 평가를 하는 방법이라 할 수 있다.



그림 1. 휴대용 미끄럼측정 장비(BPT)



그림 2. 자동식 미끄럼측정 장비(PFT)

또 다른 하나는 이동식 측정방법으로 자동식 미끄럼저항 측정 장비(Pavement Friction Test ; PFT)를 이용한 방법으로 차량이 비교적 고속으로 주행하면서 연속적으로 노면의 미끄럼저항성을 측정하는 방법이다. 이 방법은 노면의 미끄럼저항성이 주행속도, 수막두께, 노면의 특성 등에 의해 영향을 받기 때문에 이러한 요소를 고려한 것으로 PFT에는 차량에 미끄럼저항성을 측정하는 트레일러는 장착이 되어 있고 트레일러에는 시험용 타이어와 물분사 장치가 설치되어 있어 차량이 규정된 속도로 주행하는 상태에서 시험 바퀴 앞에 물을 분사하고 바퀴에 제동을 가하여 타이어와 노면 사이의 마찰력을 측정한다. 측정 결과는 마찰력과 차량의 주행속도를 계측 장치로 기록하는 방식으로 미끄럼계수 SN(Skid Number)으로 표시된다.

자동식 미끄럼측정 장비(PFT)를 이용한 방법은 차량이 주행하는 상태에서 미끄럼저항성을 측정하기 때문에 BPT를 이용한 방법보다는 실제 상황을 모사한 측정 방법이라고 할 수 있다. 이 시험은 65km/h의 주행속도와 물분사량 600ml/min·mm를 표준으로 하고 있다. PFT 장비는 측정시 일정한 양의 물이 분사되기 때문에 주행속도와 수막은 고려가 되지만 수막의 두께의 변화는 고려할 수 없다. 즉 낮은 속도에서는 수막두께가 두꺼워지고 높은 속도에서는 수막두께가 반대로 얇아지기 때문에 주행속도의 변화, 수막두께의 변화는 고려하지 못한다. 따라서 이 방법 또한 BPT를 이용한 방법보다 주행속도와 수막을 고려하기는 하지만 노면 특성이 서로 다른 노면의 상대적인 평가 방법이라 할 수 있다.

실제 상황을 제대로 고려해서 미끄럼저항성을 측정하고 평가하는 것은 매우 어려운 일이며 특히 고속주행시의 노면 미끄럼저항성을 측정하는 것은 상당히 위험하고 현재 이용되고 있는 방법의 한계이다. 이에 대한 보다 많은 연구와 노력이 필요할 것으로 사료된다.

2.2 노면 미끄럼저항성의 예측

노면의 미끄럼저항성은 건조한 상태보다는 습윤 상태가 또한 주행속도가 높을 때 더욱 감소하게 되는데 이러한 조건에서의 미끄럼저항성을 측정하고 평가하는 것이 매우 중요하고 어렵다.

미끄럼저항성을 측정하는 방법은 측정 장비의 유형, 측정 속도, 수막두께 등이 나라마다 모두 다른데, 미끄럼저항값도 그 측정값에 따라 달라진다. 국제적으로 교통망이 인접 여러 나라와 연결되어 있을 경우에는 포장관리 면에서 불합리한 점이 발생한다는 점, 조사·연구 면에서도 최적의 노면 상태 평가·검토의 상호 비교가 쉽지 않다는 점 등의 문제가 지적되면서 PIARC에서는 1992년 국제 통일화 연구를 통해서 국제미끄럼지수I(International Friction Index ; IFI)를 제시하였다.

IFI는 F60과 Sp의 지표로 나타내는데, 전자는 속도 60km/h일 때 미끄럼저항값을, 후자는 속도 정수를 의미하는 것으로, 미끄럼저항의 속도 의존성을 좌우하는 포장의 거시적인 거칠기(Macro Texture) 특성을 나타내

는 지표이다.

Sp는 포장 거칠기(Texture) 측정값(TX)으로부터 구한다. TX는 샌드패치법(Sand Patch Method)으로 구한 MTD(Mean Texture Depth), 텍스처(Texture) 프로파일 측정값으로부터 구한 MPD(Mean Profile Depth)와 RMS(Root Mean Square) 등이 있는데, 측정 방법과 그 지표값 마다 a와 b가 정해져 있다. IFI는 아래와 같은 순서로 구한다.

$$Sp = a + b \times TX \dots \dots \dots (1)$$

$$F = F60 \times \text{EXP} \left[\frac{S - 60}{Sp} \right] \dots \dots \dots (2)$$

(1), (2)식이 IFI의 지표값이다. (2)식은 미끄럼저항 측정 바퀴와 포장노면 간 측정 방향에서 60km/h 속도에서의 미끄럼저항값을 알면 상대속도 S km/h에서의 미끄럼저항값으로 환산하는 변환식이다. 이 (2)식에 타이어~포장간의 상호 작용이 집약되어 있다. 포장노면의 거시적인 거칠기(Macro Texture) 특성이 미끄럼저항값의 속도 의존성을 좌우하고, 60km/h가 아닌 임의의 속도에서의 미끄럼저항값을 예측할 수 있는 것이 IFI의 특징이다.

3. 속도별 미끄럼저항성 측정실험

도로포장에서 주행속도의 변화에 따라 미끄럼저항성이 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 시험구간을 선정하고, 자동식 미끄럼저항 측정 장비(PFT)를 이용하여 주행속도에 변화를 주며 미끄럼저항 시험을 시행하였다. 또한 국제미끄럼지수(IFI)와의 비교를 위해 ASTM E 965에 따라 노면 텍스처 시험을 실시하여 MTD(Mean Texture Depth)를 산출하였으며 휴대용 미끄럼저항성 측정 장비(BPT)를 이용하여 노면 텍스처 시험을 실시한 지점에서 미끄럼저항성을 측정하였다.

시험구간은 수원, 예산국도관리사무소에서 관리하는 일반국도 구간으로 아래 표와 같다.

표 1. 미끄럼저항성 측정 시험구간 위치

구분	노선 번호	포장 구분	구간시점	구간종점	차로수	준공 년도	조사 차로	측정 개소	시험방법 (속도, km/h)
1	45	밀입도	아산시계(뒤)	국도34분기	4	2004	상행 1	8	40, 60, 80
2	34	밀입도	국도39분기	국도45분기	4	2004	상행 1	8	40, 60, 80
3	39	밀입도	아산시계(뒤)	국도34분기	4	2004(보수)	상행 1	8	40, 60, 80
4	77	밀입도	서평택I-C	국도43분기	4	2005	상행 1	8	40, 60, 80



그림 3. PFT 장비를 이용한 미끄럼저항성 측정



그림 4. Sand Patch Method에 의한 MTD 측정



그림 5. BPT를 이용한 미끄럼저항성 측정

시험구간에 대한 PFT와 BPT 장비를 이용한 미끄럼저항성 측정 결과, Sand Patch Method에 의한 노면 텍스처(Texture) 시험결과를 아래 표 2, 표 3과 그림 6, 그림 7에 나타내었다.

표 2. PFT를 이용한 미끄럼저항성 측정 결과

지점 번호	노선 번호	측정시점	측정종점	측정 속도	조사 항목	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
1	국도 45	충무충전소 후방 300m	시점부터 1km	40	SN	53.1	53.5	52.2	52.7	53.7	51.3	53.8	51.3	52.70
				60	SN	47.7	47.6	48.2	48.3	49.1	46.5	46.9	47.2	47.69
				80	SN	42.9	43.7	42.6	45.1	44.1	43.6	44.2	43.9	43.76
2	국도 34	둔포 전방 10km	시점부터 1km	40	SN	55.5	55	53.7	56.2	52.1	56.7	56	54.9	55.01
				60	SN	50.4	49.2	48.1	50.9	47.4	49.3	50.8	51	49.64
				80	SN	45.2	44.9	44.2	46.1	46.1	46.1	46.2	43.5	45.29
3	국도 39	이산교차로	신운 교차로	40	SN	48.8	45.9	48.4	48.2	47.5	48.6	47.6	46.5	47.69
				60	SN	44	41.3	45.9	44.1	45.1	42.4	43.1	43.3	43.65
				80	SN	40.9	38.6	37.5	41.2	41.1	39.9	40.1	40.6	39.99
4	국도 82	마산교차로 후방200m	시점부터 1km	40	SN	56.9	56.9	57	55.5	57	55.6	56.1	56.9	56.49
				60	SN	51.1	50.9	51.5	50	51.4	51.4	51.7	52.1	51.26
				80	SN	48.8	47.4	45.9	47.7	46.8	46.3	46.3	46.3	46.94

표 3. BPT를 이용한 미끄럼저항성 및 MTD 측정 결과

지점 번호	노선 번호	측정시점	측정종점	조사 항목	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
1	국도 45	충무충전소 후방 300m	시점부터 1km	BPN	56.9	56.2	53.5	54.0	55.6	55.2	62.7	57.9	56.5
				MTD	1.01	0.95	0.89	0.69	0.71	0.66	0.82	0.84	0.82
2	국도 34	둔포 전방 10km	시점부터 1km	BPN	62.4	67.3	66.3	63.0	62.0	62.6	64.0	60.5	63.51
				MTD	1.03	1.15	0.95	0.95	0.77	0.74	0.99	0.88	0.93
3	국도 39	이산교차로	신운 교차로	BPN	57.8	61.1	52.1	53.5	55.4	57.0	55.3	53.6	55.73
				MTD	0.89	0.91	1.13	0.84	0.88	1.26	0.84	0.99	0.97
4	국도 82	마산교차로 후방200m	시점부터 1km	BPN	53.5	51.0	53.0	50.0	52.5	51.9	52.8	54.0	52.34
				MTD	0.65	0.40	0.25	0.46	0.34	0.67	0.61	0.66	0.51

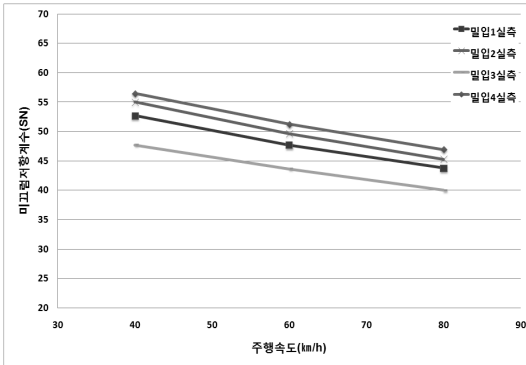


그림 6. PFT를 이용한 미끄럼저항성 측정 결과

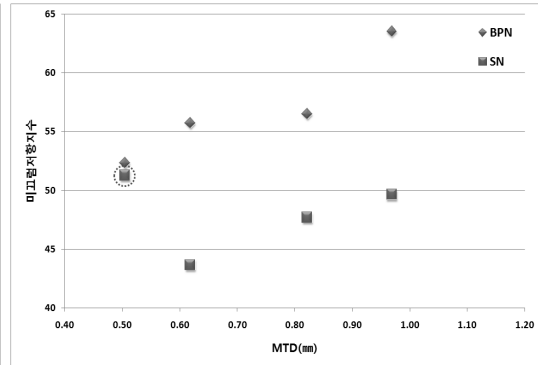


그림 7. 미끄럼저항성과 MTD 측정 결과

4. 결과의 분석, 비교 및 평가

자동식 미끄럼저항 측정 장비(PFT)를 이용하여 주행속도에 변화를 주며 미끄럼저항성 시험을 실시한 결과 그림 6에서와 같이 주행속도가 증가하면 미끄럼저항성은 감소하는 것을 확인하였다. 시험구간이 밀입도 포장으로 조건이 유사한 상태에서는 동일한 주행속도가 증가할수록 미끄럼저항성은 감소하는 경향을 나타내고 있어 이 결과를 통해서 유사한 조건을 갖는 포장의 노면 미끄럼저항성은 예측이 가능할 것으로 판단된다. 또한 그림 7에서와 같이 노면의 텍스처(MTD)가 크면 미끄럼저항성이 증가하는 것을 확인하였다.

자동식 미끄럼저항 측정 장비(PFT)를 이용하여 60km/h에서 미끄럼저항성 측정 결과와 Sand Patch Method에 따른 노면 텍스처(MTD) 측정 결과를 이용하여 10km/h에서 150km/h까지 국제미끄럼지수(IFI)를 산출하였으며 그 결과를 아래 그림 8에 나타내었다.

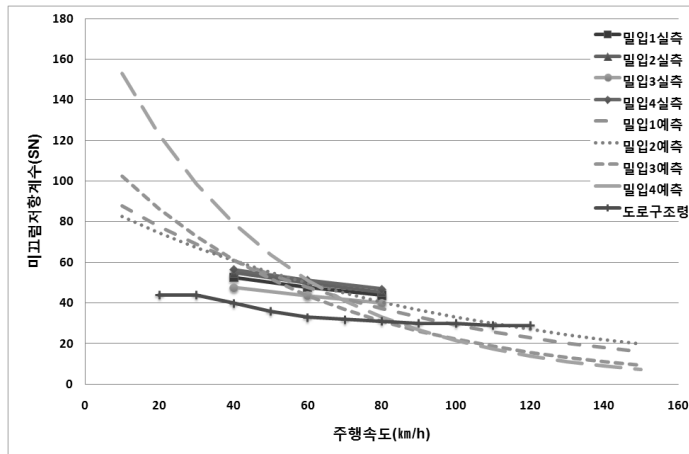


그림 8. 미끄럼저항성 측정 결과와 IFI를 이용한 예측 결과의 비교

그림 8에서와 같이 PFT를 이용하여 측정한 결과와 IFI를 이용하여 미끄럼저항성을 예측한 결과가 차이가 있는 것을 확인하였다.

PFT를 이용한 실측 방법과 IFI를 통한 예측 방법을 통해 주행속도의 변화에 대한 미끄럼저항성을 예측할 수는 있지만 이 방법들이 중요한 요소를 고려하지 못하는 부분이 수막이다. 포장 노면의 텍스처는 포장이 만들어지면 일정한 상태를 유지하지만 수막두께는 강우강도, 선형 조건 등에 따라 변하기 때문에 미끄럼저항성을 예측하기 위해서는 이러한 변동성을 고려할 수 있어야 한다. 그러나 PFT 장비를 이용한 방법의 경우

측정시 일정한 물의 양을 분사하기 때문에 주행속도의 변화에 따라 수막두께도 변화가 된 상황에서의 미끄럼저항성을 측정하게 되기 때문에 측정 조건이 달라지는 것이다. 따라서 이 방법으로는 노면 조건이 다른 구간에서 동일 속도에 대한 미끄럼저항성의 상대적인 비교만 가능하다고 할 수 있다.

또한 IFI는 60km/h 속도에서의 측정 결과를 기준으로 임의의 속도에서의 미끄럼저항성을 예측하기 때문에 동일한 수막두께를 기준으로 미끄럼저항성을 예측하지만 앞서 언급했듯이 60km/h 속도에서의 측정 결과이므로 수막두께가 변화되는 상황을 제대로 반영할 수가 없다.

PFT 장비를 이용한 실측 방법과 IFI를 이용하여 미끄럼저항성을 예측하는 방법 모두 노면 텍스처(Macro Texture)가 고려된 결과를 산출하지만 미끄럼저항성에 영향을 미치는 수막에 대해 고려하는 조건이 다르고 변화되는 실제 상황을 제대로 모사하지 못한다는 점에서 이에 대한 보다 정확한 원인과 예측에 대한 연구를 통해서 노면 미끄럼저항성 측정과 예측 방법이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 우천시 교통사고를 줄이기 위해서는 실제 노면에서 발생하는 노면 미끄럼의 변화를 보다 과학적으로 규명하여 이들 영향 요소들을 적절히 통제하고 관리하기 위한 기초 연구로서 실제 사용되고 있는 도로포장에서 주행속도의 변화에 따라 노면의 미끄럼저항이 어떻게 변화하는지를 밀입도 아스팔트포장을 시험구간으로 정하고 PFT 시험기를 이용하여 주행속도에 변화를 주며 미끄럼 시험을 시행하였다. 밀입도 아스팔트포장에 대한 속도별 미끄럼저항의 변화를 검토하고 노면의 거칠기 시험결과를 이용하여 국제 미끄럼지수(IFI)와의 비교를 통해 그 타당성을 검토하였다.

PFT 장비를 이용하여 주행속도의 변화를 주며 미끄럼저항성 시험을 실시한 결과 주행속도가 증가하면 미끄럼저항성은 감소하는 것을 확인하였다. 또한 노면의 텍스처가 거칠수록 미끄럼저항성은 증가하는 것을 확인하였다. 노면 텍스처 시험결과를 이용하여 국제미끄럼지수(IFI)를 산출하여 비교한 결과 예측 결과가 실측 결과에 비해 고속에서 미끄럼저항성이 더 감소하는 것으로 예측되었다.

미끄럼저항성을 측정 방법과 예측 방법이 미끄럼저항성에 영향을 미치는 수막에 대해 고려하는 조건이 다르고 변화되는 실제 상황을 제대로 모사하지 못하기 때문에 실제로 측정 조건에 비해 더 많은 비가 오거나 수막두께가 두꺼워지는 상황이 되면 측정된 결과보다 미끄럼저항성은 더 감소할 수 있다. 수막두께가 어느 정도 두꺼워지면 미끄럼저항성이 얼마나 감소할지에 대해서는 현재로서는 예측하기 어렵다.

현재 우리나라에서 도로를 설계할 때 설계속도에 따라 일정한 미끄럼 마찰계수를 적용하고 있다. 노면 미끄럼은 주행속도, 노면 거칠기, 수막두께 등의 요소에 영향을 받는다. 이러한 요소들이 노면 미끄럼저항성에 미치는 영향에 대해 과학적으로 규명하고 관리할 필요가 있다. 어떤 상황에 대해 정확하게 미끄럼저항성을 예측할 수 있다면 도로설계에 있어서 미끄럼 취약 구간에 대한 대응 방안을 설계에 반영할 수 있고 실제 공용중인 구간에서도 현재 상황에 대한 미끄럼저항성 예측을 통해 취약 구간에 대한 적절한 대응조치가 이루어질 수 있다. 이러한 예측과 대응이 적절히 이루어진다면 우천시 발생하는 교통사고를 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

1. ASTM, ASTM E 965, "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique"
2. ASTM, ASTM E 1845, "Standard Practice for Calculating Pavement Macrottexture Mean Profile Depth"
3. ASTM, ASTM E 1960, "Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface"
4. 技術書院(1986), "新 改訂版 路面のすべり, - 道路・滑走路 床面", 技術書院