

□ 論 文 □

# 포장재료별 습윤시 교통사고 가능성 비교 연구

A Comparison of Traffic Accident Possibilities for Different  
Pavement Materials in Wet Condition

**張 德 鳴**

(道路交通安全協會 研究委員)

**徐 永 贊**

(漢陽大學校 交通工學科 助教授)

**呂 運 雄**

(道路交通安全協會 先任研究員)

**李 大 遠**

(道路交通安全協會 研究員)

## 目 次

I. 서론

II. 노면 마찰력 조사

1 조사개요

2 조사결과

III. 교통사고율 비교

IV. 결론

참고문헌

## 요 약

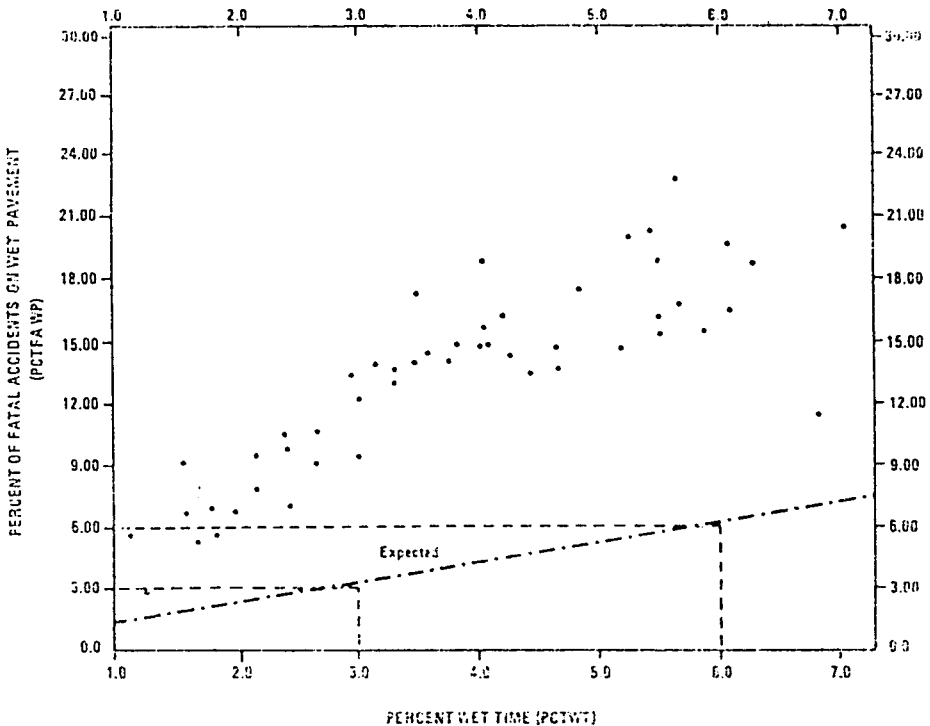
본 연구에서는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 습윤시 교통사고 가능성을 비교하였다. 다양한 노후도를 가진 두 포장재료에 대해 마찰력 측정장비(BPT, British Pendulum Tester)로 건조 및 습윤 상태에서 노면마찰력을 측정하였으며, 측정결과와 두 포장재료에 대한 실제 교통사고율을 비교하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 노면 습윤에 따른 마찰력 저하정도는 아스팔트 포장이 콘크리트 포장보다 컸다. (2) 노면 습윤에 따른 실제 교통사고율도 아스팔트 포장에서 훨씬 큰 것으로 나타나 (1)의 결론과 일관된 결과를 보여주었다. (3) 노면마찰력은 건조상태에서는 노면마모 정도에 크게 영향을 받지 않으나 일단 습윤상태가 되면 노면마모가 심할수록 마찰력 저하폭이 큰 것으로 나타났다.

### 1. 서론

교통사고는 다른 조건들이 동일하다면 맑은 날보다 비오는 날에 많이 발생된다. 그 원인은 강우로 인한 시계불량, 노면의 번들거림등 다양하나 노면습윤으로 인한 마찰력 저하가 가장 큰 요인이라 할 수 있다. 일반적으로 습윤으로 인한 노면의 마찰력 저하는 직접적인 사고의 원인이 되기보다는 경미한 운전자의 과실이 실제 사고로 이어질 가능성을 높게 한다. 다음의 <그림 1>은 습윤한 노면에서 사고율이 높았음을 보여주는 연구자료<sup>1)</sup>이다. 예를들어 노면이 습윤한 시간이 전체의 6%였을 경우 전체 인명사고 중 습윤노면에서의 인명사고는 16~23%로서 평균사고율의 약 3~4배의 사고율을 보여주고 있다.

맑은날 발생한 사고는 노면마찰력이 원인이었을 가능성이 거의 없다. 왜냐하면 건조노면의 마찰계수는 0.7~0.9<sup>2)</sup>로서 제동에 필요한 최소한의 마찰계수보다 훨씬 크며, 곡선부 주행에 필요한 횡방향 마찰계수도 건조시에는 설계에 필요한 횡방향 마찰계수 (0.15~0.25)보다 큰 것이 일반적이다. 일반적으로 마찰력은 노면이 습윤상태일 때 급격히 하락하므로 교통안전 측면에서의 노면마찰력은 습윤상태에서 분석되어야 한다.

선진국의 경우 습윤노면 마찰력 확보의 중요성을 일찍이 인식하여 1950~70년대에 이미 노면 마찰특성에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 나름대로의 습윤노면 안전관리 프로그램 (Wet-Pavement Safety Programs)을 운영중에 있다<sup>3)</sup>. 습윤노면의 마찰특성은 포장표면의 조



<그림 1> 습윤시간에 따른 습윤노면 교통사고 비율<sup>1)</sup>

면거칠기 (macro texture), 표면골재 및 바인더 (아스팔트 바인더 또는 시멘트 페이스트) 자체의 마찰특성 등에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 따라서 포장재료가 다른 경우 마찰특성도 근본적으로 차이가 있을 수 있다. 그러나 선진국의 경우도 포장재료별 노면 마찰특성 비교 연구는 깊이 있게 연구된 바가 별로 없었다.

본 연구에서는 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 습윤여부에 따른 마찰특성을 측정·분석하여 습윤시 교통사고의 가능성을 비교하였다. 먼저 포장재료별 노면습윤에 따른 마찰력 저하 정도를 실험하였으며, 이 결과와 실제 교통사고 자료 분석결과를 토대로 결론을 도출하였다.

## II. 노면 마찰력 조사

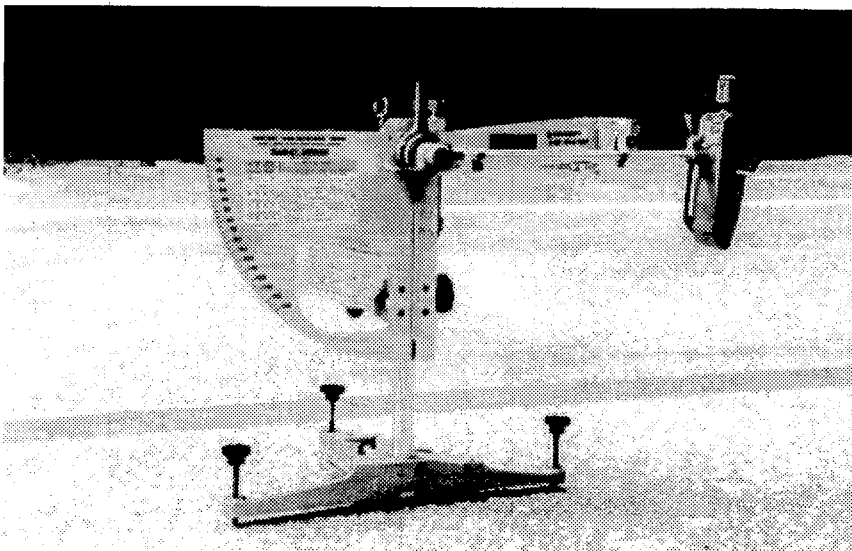
### 1. 조사개요

포장재료별 노면 습윤 여부에 따른 마찰력의

변화정도를 알아보기 위해 마찰력 현장조사를 실시하였다. 조사장비는 <그림 2>에서 보는 바와 같은 British Pendulum Tester (BPT)를 사용하였다. 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 각각에 대해 노면상태가 거친곳, 마모가 심한곳, 그리고 중간정도되는 구간을 각각 2개소씩 총 12개소 (2 포장재료×3 노면상태×2 반복개소 = 12개소)를 선정하였다.

현장조사는 교통방해를 최소화하기 위해 아스팔트 포장의 경우 영동고속도로 폐도구간에서, 콘크리트 포장의 경우 영동고속도로 문막톨게이트 진입부에서 실시하였다. 조사지점 선정시 폐도구간 및 톨게이트 진입부가 갖는 특수성이 영향을 주지 않도록 특히 유의하였다.

BPT 조사는 기본적으로 ASTM E-303 "Standard Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester"에 준하였으며 각각의 시험개소에 대해 '건조' 및 '습윤'의 두가지 노면상태에서 조사하였다.



<그림 2> British Pendulum Tester

2. 조사결과

조사결과는 <표 1>에 요약된 바와 같이 각 조사지점의 건조 및 습윤상태에 따라 British

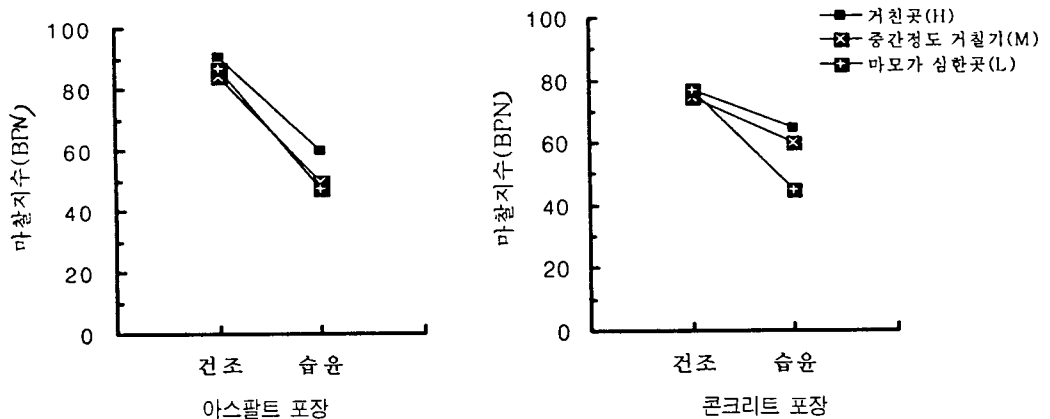
Pendulum Number (BPN) 값으로 나타내었다. <그림 3>은 포장재료별 습윤에 따른 마찰력저하 정도를 보여주고있다. 조사결과는 다음과 같이 분석할 수 있다.

<표 1> 마찰력 조사결과

(단위 BPN)

포장재료	노면마모정도 <sup>주1)</sup>	건조 <sup>주2)</sup>	습윤 <sup>주3)</sup>	낙차폭 <sup>주4)</sup>
아스팔트	H1	92 <sup>주5)</sup>	65	27
	H2	89	55	34
	M1	86	50	36
	M2	82	50	32
	L1	92	49	43
	L2	82	46	36
	평균	87.2	52.5	34.7
콘크리트	H1	78	69	9
	H2	76	61	15
	M1	76	62	14
	M2	73	58	15
	L1	79	43	36
	L2	79	43	36
	평균	76.2	56.7	19.5

- 주1) H: 노면이 거친곳, M: 중간정도 거칠기, L: 노면마모가 심한곳
- 주2) 맑은날 현장에서 돌, 먼지등 바람으로 날려갈 정도의 이물질을 제거한 상태
- 주3) 조사지점에 충분한 량의 물을 부어 두꺼운 수막을 이룬상태
- 주4) 노면습윤에 따른 마찰력 저하값 (건조시 BPN - 습윤시 BPN)
- 주5) 조사결과는 각 지점에 대한 5회 반복조사 결과의 평균치 임.



<그림 3> 포장재료별 습윤에 따른 마찰력 저하정도

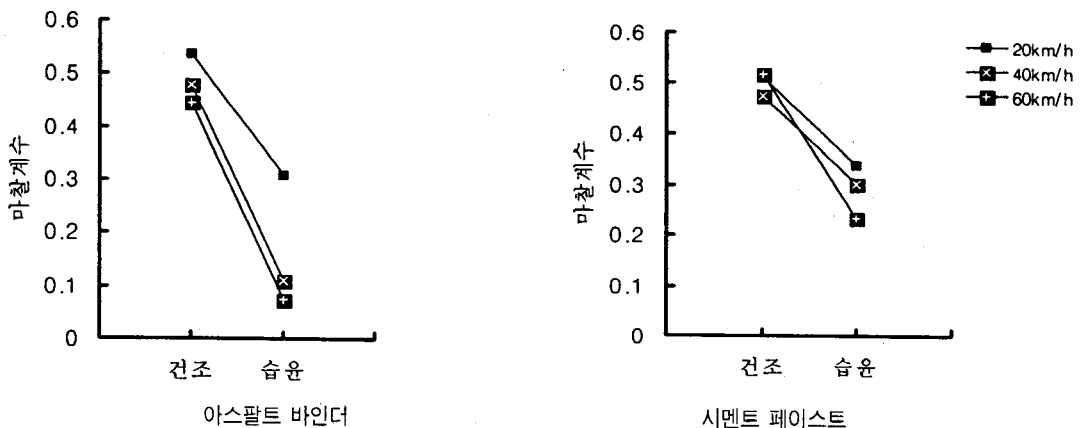
첫째, 노면습윤에 따른 마찰력 저하정도는 <그림 3>과 <표 2>의 통계적 유의도 검정에서 볼 수 있듯이 아스팔트 포장에서 훨씬 컸다. 본 연구의 조사범위 내에서 건조상태에서는 아스팔트 포장의 평균 BPN이 87.2로서 콘크리트 포장의 76.2보다 훨씬 컸으나, 습윤상태에서는 아스팔트 포장이 52.5로서 콘크리트 포장의 56.7보다 오히려 약간 작아졌다. 마찰력의 낙차폭이 크다는 것은 노면습윤에 따라 자동차의 제

동거리가 큰 폭으로 변화한다는 것을 의미한다. 노면습윤시 운전자가 예상하는 정도 이상으로 제동거리가 길어지면 사고 가능성은 그만큼 커지게 될 것이다. 아스팔트 포장의 습윤시 마찰력이 콘크리트 포장보다 크게 떨어지는 것은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 아스팔트 바인더의 습윤에 따른 마찰력 저하폭이 시멘트 페이스트보다 크기 때문으로 판단된다.

<표 2> 마찰력 조사결과와 통계적 유의도 분석

구분	가 설	$t_c$	$t_r$	결 과
Ho	○노면습윤에 따른 마찰력 낙차폭은 포장재료에 따라 차이가 없다.	1.812	3.2 <sup>*)</sup>	Ha 채택
Ha	○노면 습윤상태에 따른 마찰력 낙차폭은 아스팔트 포장에서 더 크다	df=10 $\alpha=0.05$		

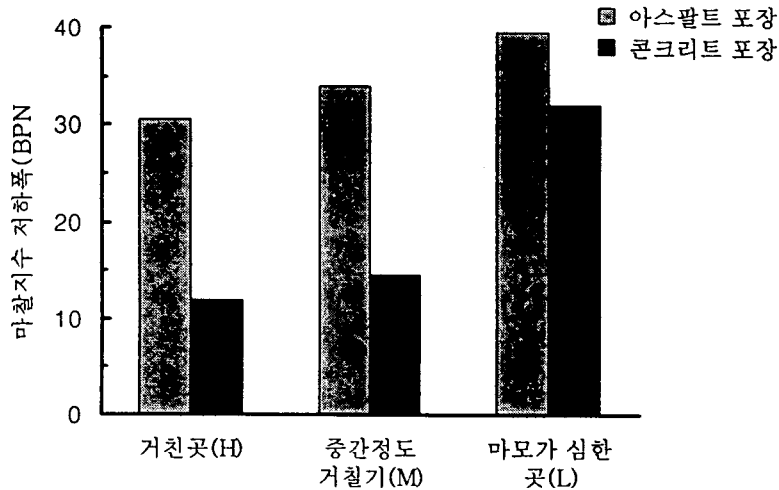
주)  $t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$       $S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$



<그림 4> 아스팔트 바인더와 시멘트 페이스트의 습윤에 따른 마찰력 저하비교<sup>2)</sup>

둘째, 노면습윤에 따른 마찰력 저하정도는 다음 <그림 5>에서 보듯이 동일 포장재료에서도 노면마모가 심한곳 일수록 컸다. 이것은 노면

마모가 심할수록 노면요철 (macro texture)이 적으므로 강우시 수막형성 가능성을 높이기 때문으로 풀이된다.



〈그림 5〉 마모상태에 따른 노면 습윤시 마찰력 저하

셋째, 〈그림 5〉에서 콘크리트 포장의 경우 노면이 거친 경우 ('H' 또는 'M') 낙차폭은 크게 줄어들었다. 즉 노면을 거칠게만 해주면 콘크리트 포장에서의 노면습윤에 따른 미끄럼 사고 가능성은 크게 줄일 수 있음을 말해준다. 마모된 콘크리트 포장을 거칠게 하는 방법으로는 그루빙 (Grooving), 샷블라스팅 (Shot Blasting), 절삭 (Cold Milling) 등을 들 수 있다.

넷째, 건조상태에서의 마찰력은 노면마모 정도에 크게 영향받지 않았다. 〈표 1〉에서 보면 노면마모 정도에 따른 건조시 마찰력 변화폭은 아스팔트 포장의 경우 10 (BPN), 콘크리트 포장의 경우 6 정도로서 습윤시의 19와 26에 비하면 훨씬 작은 것이다. 또한 흥미로운 것은 건조시 노면마찰력은 노면 마모상태에 크게 좌우되지 않는다는 것이었다 (〈표 1〉에서 건조시 'L' 노면이 'H' 노면보다 BPN 값이 높은 경우도 있음).

### Ⅲ. 교통사고율 비교

앞절의 현장조사에서 노면습윤에 따른 마찰력 저하폭이 아스팔트 포장이 콘크리트 포장에 비해 큰 것으로 나타났다. 본 절에서는 이런 현상이 실제 교통사고에 영향을 미치고 있는지 확인하기 위해 포장재료별 교통사고율을 비교·분석을 실시하였다. 포장재료별 비교 연구에서 가장 어려운 점은 기하구조나 교통 및 환경조건이 동일하고 포장재료만 다른 구간을 찾는 일이었다. 현실적으로 포장재료가 다른 구간은 위치가 달라지게 되므로 기하조건등 다른 조건도 동일하다고 볼 수는 없기 때문이다. 다행히 본 연구에서는 동일 도로에서 선형의 변화없이 덧씌우기에 의해 포장재료만 달라진 구간을 찾을 수 있었다. 이 구간은 경부고속도로 회덕분기점 이남 구간으로서 1990년 전후에 아스팔트 포장에서 콘크리트 포장으로 덧씌우기된 구간이었다. 이 구간은 덧씌우기중 중앙리분대

형식변경 (화단형식에서 콘크리트 배리어로) 및 약간의 갓길 확장 (1.8m 에서 2.5m)을 제외하고는 선형변화등 사고에 영향을 주는 요소들의 변화가 거의 없었다.

포장재료별 교통사고율을 비교하기 위하여 이 구간의 덧씌우기 전 (아스팔트 포장)과 덧씌우기 후 (콘크리트 포장)의 고속도로 사고통계자료 ('88~'94), 일일교통량자료, 콘크리트 덧씌우기 시기 자료 등의 분석을 수행하였다. 물론 덧씌우기 전후에 선형변화가 없었다라도 교통여건, 운전자 행태 및 사회경계의 변화등 교통사고율에 영향을 줄 수 있는 요소가 시간에 따라 바뀌는 것이 사실이다. 그러나 본 연구에서는 시간에 따른 변화요소중 교통량 변화외에 다른 조건들은 분석기간 ('88~'94) 동안에 바뀌지 않는다고 가정하였다. 도로환경 및 기후조건중 교통사고에 영향을 미치는 항목으로는 선형, 노면상태 (포장의 요철 또는 습윤상태), 교통량, 기후, 운행시각 (밤낮 구분)등 다양하나 본 연구에서는 이러한 항목중 자료수집이 용이하며 비교적 정량화가 용이한 선형, 노면상태, 밤낮구분, 덧씌우기 전후 구분 등을 분석항목으로 선정하였다.

일반적인 교통사고자료는 사고발생 기록 뿐인데, 사고율 (건/역대km)을 산출하기 위해서는 각 경우 (습윤상태, 밤낮구분등)별 교통량 및 구간길이 (주행거리)를 알아야 한다. 이를 위해 일출·일몰자료, 기상자료, 교통량자료 등을 수집하여 각 경우별 교통량 및 주행거리를 산정하고 여기에 사고건수를 고려하여 사고율을 산출하였다. 분석구간은 영천 I/C~경주 I/C (331.1~359.3km, 구간길이 28.2km)를 선정하였다. 경부고속도로 회덕 분기점 이남 구간중 특히 이 구간이 선정된 이유는 기상자료 수집이 용이하며, 아스팔트 포장일 때와 콘크리트 포장일 때의 사고자료가 비슷한 량으로서 비교가 용이하고, 직선과 곡선이 다양한 구간이었기

때문이다. 선형은 직선 또는 곡선반경 2,000m 이상의 구간을 직선으로, 곡선반경 2,000m 미만인 구간은 곡선으로 정하였다. 노면상태는 일강우량 30mm 이상일 때를 습윤, 일강우량 30mm 미만일 때를 건조, 그리고 낮과 밤을 구분하고, 덧씌우기 전후 구분은 아스팔트 포장일 때를 덧씌우기 전으로, 콘크리트 포장일 때를 덧씌우기 후로 구분하였다.

분석상 또다른 어려움 중의 하나는 노면습윤상태별 사고율 산정이었다. 교통사고 조사자료에 사고당시의 노면습윤 여부는 표시되어 있으나, 습윤시 통과교통량에 대한 자료는 전무하기 때문이었다. 결국 습윤시 사고건수는 교통사고 조사보고서의 사고당시 노면습윤 여부를 근거로 하되, 습윤시 통과교통량의 경우는 적정량 이상의 강우시 해당일이 하루종일 습윤하다고 보고 기상자료를 토대로 이런 날이 연중 몇일이 되는가를 산출한 후, 일일교통량을 곱하는 방법으로 산출하였다. 여기서 적정량 이상의 강우 기준으로 30mm를 채택한 것은 특별한 기준에 의한 것이 아니며 기상자료의 강우분류 기준중에서 이 값이 하루종일 습윤상태로 보기 적절한 값이라 보고 선정한 것이다.

분석은 SAS의 GLM (General Linear Model)을 사용하였다. 모델의 변수는 선형, 노면상태, 밤낮구분, 덧씌우기 전후구분, 그리고 이들의 2인자 상호작용 (2 factor interaction)등 이었다. 분석에서 선형과 밤낮구분, 선형과 덧씌우기 전후, 노면상태와 밤낮, 그리고 밤낮과 덧씌우기 전후 구분 등에 대한 2인자 상호작용은 p값이  $\alpha = 0.05$ 에서 유의수준 이상이 되어 모형에서 제외하였다. 또한 주된 인자중 밤낮구분은 p값이 0.1875로서  $\alpha = 0.05$  수준에서 유의수준 이상이므로 모형에서 제외하였다. <표 3>과 <표 4>는 통계분석에 이용된 자료 및 통계분석 결과를 나타낸 것이다.

〈표 3〉 덧씌우기 전후의 사고율

(단위:건/억대km)

구 분		덧씌우기 전			덧씌우기 후			
건 조	직 선	낮	72.9 <sup>주1)</sup>	55.7 <sup>주2)</sup>	33.7 <sup>주3)</sup>	41.1	41.1	36.9
		밤	84.4	116.5	82.6	59.0	52.4	53.5
	곡 선	낮	124.2	82.8	41.4	47.3	43.2	24.2
		밤	230.6	112.7	78.5	76.0	58.2	64.2
습 윤	직 선	낮	387.0	232.8	390.1	99.6	77.6	166.2
		밤	385.8	132.6	486.2	132.4	154.7	0.0
	곡 선	낮	792.6	337.8	468.2	211.5	112.6	399.0
		밤	1053.6	673.5	311.1	542.2	299.2	265.2

주1) 1990년 덧씌우기구간에 대한 사고율  
 주2) 1991년 덧씌우기구간에 대한 사고율  
 주3) 1992년 덧씌우기구간에 대한 사고율

〈표 4〉 통계분석 결과

구분	제곱합 (Sum of Squares)	자유도 (DF)	제곱평균 (Mean Square)	F 값 (F Value)	비 고
모형식	1588684.048	5	317736.810	19.77	R-Square 0.71
오차	658926.557	41	16071.379		
총계	2247610.606	46			

구분	Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >   T	Std Error of Estimate
INTERCEPT		326.7	7.23	0.0001	45.1
PAVE(포장종류)	A(덧씌우기전)	257.6	4.86	0.0001	52.9
	C(덧씌우기후)	0.0			
C(선형)	1(직선)	-226.8	-4.28	0.0001	52.9
	2(곡선)	0.0			
MOIST (노면상태)	B(건조)	-266.4	-4.19	0.0001	63.6
	R(습윤)	0.0			
PAVE*MOIST	AB	-214.4	-2.89	0.0061	74.0
	AR	0.0			
	CB	0.0			
	CR	0.0			
C*MOIST	1B	205.7	2.78	0.0082	74.0
	1R	0.0			
	2B	0.0			
	2R	0.0			



분석을 통하여 구축된 모형의 결정계수 ( $R^2$ )는 0.71이며, 모형식과 각 변수들의 계수값들은 다음과 같다.

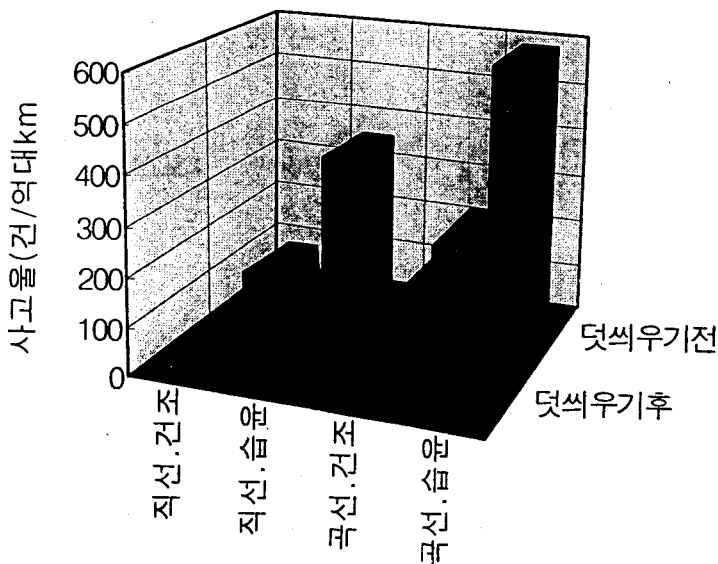
$$\begin{aligned} \text{사고율} = & 326.7 + \text{선형} + \text{노면상태} + \\ & \text{덧씌우기 전후구분} + \\ & \text{선형} \times \text{노면상태} + \\ & \text{노면상태} \times \text{덧씌우기 전후구분} \end{aligned}$$

- 사고율 : 종속변수 (단위 : 건/억대km)
- 선형 : 직선 (-226.8), 곡선 (0)
- 노면상태 : 건조 (-266.4), 습윤 (0)
- 덧씌우기 전후구분 : 덧씌우기전 (257.6), 덧씌우기후 (0)
- 선형\*노면상태 : 직선이면서 건조한 노면 (205.7), 그 외 (0)
- 노면상태\*덧씌우기 전후구분 : 건조한 노

면이면서 덧씌우기전 (-214.4), 그 외 (0)

분석결과 일반적으로 생각할 수 있듯이 직선 부보다 곡선부에서, 노면이 건조할 때보다 습윤 상태에서 사고율이 높았다. 구축된 모형에서 가장 뚜렷한 점은 덧씌우기 후에 사고율이 크게 감소한 것이지만 이것만으로 어느 포장재료가 교통사고 가능성이 더 높다고 단정하기는 어렵다 (<그림 6> 참조).

그러나 분명한 것은 건조시와 비교한 습윤시 교통사고율이 아스팔트 포장이었던 덧씌우기 전이 콘크리트 포장인 덧씌우기 후보다 특히 컸다는 점이다. 이것은 앞절의 마찰력시험 결과 얻어진 아스팔트 포장의 습윤시 마찰저항력 저하폭이 콘크리트 포장보다 컸던 것과 일관된 결과를 보여준다고 할 수 있다



<그림 6> 각 경우별 사고율 분석결과

#### IV. 결론

본 연구에서는 마찰력 시험 및 교통사고 자료분석을 통해 포장재료별 습윤에 따른 교통사고의 가능성을 비교하였다. 본 연구의 범위내에서 포장재료별 습윤여부에 따른 마찰력 변화 시험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 노면습윤에 따른 마찰력 저하정도는 아스팔트 포장이 콘크리트 포장보다 훨씬 컸다. 습윤에 따른 노면마찰력 저하가 클 경우 제동거리는 그만큼 큰 폭으로 길어진다. 운전자가 예상하는 길이 이상으로 제동거리가 길어질 경우 일단 유사시 사고 가능성은 그만큼 커질 수 있다. 즉 아스팔트 포장의 습윤시 사고 가능성이 콘크리트 포장보다 커짐을 의미한다. 아스팔트 포장의 습윤시 마찰력이 크게 떨어지는 것은 기본적으로 아스팔트 바인더의 습윤시 마찰력 저하가 시멘트 페이스트보다 크기 때문으로 판단한다.
- (2) 노면마찰력은 건조상태에서는 노면마모 정도에 크게 영향받지 않으나 일단 습윤상태가 되면 노면마모 상태에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 노면습윤에 따른 마찰력 저하정도는 동일 포장재료에서도 노면마모가 심한 곳 일수록 컸다. 이것은 노면마모가 심할수록 노면요철 (macro texture)이 적으므로 강우시 수막형성 가능성을 높이기 때문으로 풀이된다.

노면습윤에 따른 아스팔트 포장의 마찰력 하락폭이 콘크리트 포장에 비해 큰 것이 실제 교

통사고에서도 영향을 주고 있는지 확인하기 위해 경부고속도로 28.2km 구간의 포장재료별 교통사고율을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 건조시와 비교한 습윤시 교통사고율은 아스팔트 포장이 콘크리트 포장보다 훨씬 컸다. 이것은 앞서 언급한 노면 습윤에 따른 마찰력 시험결과와 일관된 결과를 보여준 것이었다.
- (2) 당연한 결과이나 직선부보다 곡선부에서, 건조할 때보다 습윤상태에서 사고율이 높은 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- 1) National Transportation Safety Board, "Special Study: Fatal Highway Accident on Wet Pavement" Report NTSB-HSS-80-1, NTSB Bureau of Technology, Wasington DC, 1980.
- 2) 市原 薫, 小野田光之, 路面 의수へり, 技術書院, 昭和 61
- 3) Sabir H.M. Dahir and Wade L. Gramling, Wet-Pavement Safety Programs, NCHRP Synthesis 158, TRB, 1990.
- 4) Ken Atkinson, HIGHWAY MAINTENANCE HANDBOOK, Thomas Telford Ltd., London, 1990.