스키드 마크를 이용한 자동차 속도 추정
Estimation of Vehicle Speed using Skid Mark

상지대학교 경희대학교

홍 유식 한 창평

개요

객관적이고, 과학적인 수사를 위해, 교통 사고는 공정한 기록에 의해서, 컴퓨터 모의 실험, 및 학문, 그리고 충돌 사고 역동성, 도로 및 교통 공학 으로 검증되어야 한다. 본 논문에서는, 교통사고, 과학, 객관적인 방법을 이용하여 진짜 교통사고 및 결과를 재현한다. 본 논문에서는 모의실험 결과 다음 같은 사항이 입증되었다. 습한 도로 조건에서 브레이크 작동시간이 건조한 도로 상태보다 더 긴 것이 입증되었다. 뿐만 아니라, 포장도로와 비포장 돌에서는 비포장도로의 제동시간이 포장도로의 제동시간 보다 짧다는 것이 입증되었다.

Abstract

For the purpose of objective and scientific inspection, traffic accidents should be appraised and inspected by righteous material evidences, computer simulation, and studies such as automobile engineering, traveling and collision accident dynamics, road and traffic engineering.

In this paper, it displays the results of studying cases with the reasons of traffic accidents by analyzing and studying automobile kinetics, real traffic accidents and the results of in scientific and objective ways. In this paper, it is proved that with compared by dry and wet road surface condition, the transient brake time of wet condition is longer than dry road condition. Moreover, compared with unpacked road condition and packed road condition. unpacked road condition is shorter than packed road condition using computer simulation.

Ⅰ. 서론

자동차 교통사고의 원인을 규명하기 위해 차량 노면마찰계수를 적용하여 속도를 추정하기 위해 객관적인 근거에 의한 사고 발생 전·후 차량의 타이어와 노면간의 운동특성을 알아야 한다.

그러나 현재까지는 노면상에 발생된 타이어흔적(skid mark)만 가지고 충돌직전 속도 및 자세 등을 추정한다. 사고 분석요소에서 차량의 충돌 전·후 속도 추정이 기본이다. 차량의 속도 추정방법은 운동량 보존의 법칙을 응용, 사고재현 컴퓨터 시뮬레이션 응용, 충돌 전·후 차량의 급 제동시 발생된 스키드마크를 근거로 하는 에너지 보존법칙, 핸들조작에 의한 요마크(yaw mark)응용 방식, 차체 손상깊이에 따른 충돌유효속도추정, 추락속도, 전복속도 등이 있다. 현실적으로는 육안으로 확인되는 스키드마크로만 속도를 추정하고 있다[1-2].

속도추정시 적용되는 마찰계수는 미국 노스 웨스턴 대학교 부설 교통연구소에서 승용차 및 픽업차의 도로 종류별 마찰계수 실험치, T.D. Day, C. Y. Waner, 미국 EDC 사의 EDVEP Program Manual은 승용차 실차실험에 대한 마찰계수에 대한 연구를 하였다[3].

본 연구는 스키드마크가 발생되기 이전에 희미하게 발생되는 새도우(shadow)마크 등에 대해서 연구하였다[4-5].

2. 스키드마크로부터 속도 추정

통상적으로 주행중인 차량을 멈추게 하고자 할 때는 가볍게 브레이크를 완제동 상태로 밟아 슬립율이 약 20~30% 정도 범위에서 노면에 타이어 흔적을 남기지 않고 정지한다. 그러나 갑자기 강하게 브레이크를 밟으면 잠겨진(locked)타이어에 의한 마찰열로 인해 노면상에 타이어의 흔적이 발생하며 이를 스키드마크(skid mark)라 한다. 스키드마크는 차량이 진행하는 종방향으로 발생하는 전형적인 형상이며, 도로 경사, 타이어 마모 정도, 브레이크슈와 드럼사이의 압력정도 등에 따라 발생정도를 달리한 흔적이 발생하기도 한다[6-8].

그러나 노면상태가 평편한 상태에서는 차륜 폭만큼 발생한다. 정상 주행 중인 차량이 급제동하면 차량 무게 중심이 후륜에서 전륜으로 갑작스럽게 이동하며 차체 앞쪽이 앞으로 숙여지며 이때 노면 마찰은 전륜 및 후륜이 노면과 접지하는 지점에서 차량의 뒤 방향으로 힘을 가하고, 질량의 중심은 관성에 의해 차량 전면 방향으로 움직임을 계속하려고

한다. 열에너지는 제동하는데 필요한 열에 비해 충분히 무시해도 되는 아주 작은 양이므로 운동에너지는 자동차를 제동하여 정지시키는 일로 전환된 것으로 가정하고 속도 산출시 가속도는 $a=-\mu g$ 초기속도 v_1으로 정리 하면

$v_1=\sqrt{2\mu gd}$

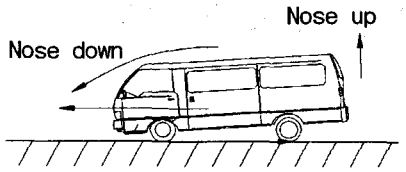

그림 1 급제동 조건시 중심 이동

Fig 1. Movement of gravity for quick braking condition

여기서, v_1 : 제동전 차량의 속도 ($m/\sec$)
a : 가속도 ($m/\sec^2$)
μ : 마찰계수
g : 중력가속도 ($m/\sec^2$)
d : 스키드마크거리

자동차가 A위치에서 초기속도(v_1)로 급제동하여 스키드마크(d)를 발생 후 (B)위치에서 최종속도(v_2)를 에너지 보존의 법칙에 의해 정리하면 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2=\mu mgd+\frac{1}{2}mv_2^2 \quad (1)$$

$$v_1=\sqrt{2\mu gd+v_2^2}=\sqrt{v_2^2-2ad} \quad (2)$$

즉, 식(2)는 차량이 스키드마크를 발생시키고 정지하여 최종속도가 0인 경우,

$v_2=0$, $a=-\mu g$ g:9.8 ($m/\sec^2$), μ : 견인계수(f) 변환하면

$$v_1=\sqrt{2\times 9.8\times f\times d}=\sqrt{19.6\times f\times d} \quad (3)$$

식(3)을 시속으로 변환 및 도로의 구배(%) G를 감안하면,

$$v_1=\sqrt{254.0146\times d\times(f\pm G)} \quad (4)$$

식 4가 구해지며 실차실험의 스키드마크 발생 길이를 측정한 값과 승용 차량의 경우 견인계수 f (=0.8)를 적용하여 제동전 차량속도를 추정한다.

2-1. 제동직전 제동순시간을 감안한 속도추정

속도추정에 대해 J. A. Neptune 외 3인은 일반적인 속도 추정 방법으로 적용하는 식 1은, 육안으로 확인되는 제동흔적(skid mark)거리를 측정하여 식1 에 적용하여 속도 추정을 하고 있다. 식1 에 의한 속도 추정 방법은 육안으로 확인된 흔적길이만 고려한다. 차량이 브레이크 페달을 밟는 순간과 동시에 바퀴가 고정되지 않고 그림 2의 B구간은 스키드마크가 발생되기 전 흔적을 다음과 같은 같이 표현한다. incipient skid marks, shadow, warmup distance 로 불리는 용어는 브레이크 페달을 밟았을 때 휠이 고정되어 스키드마크를 발생시키기 전 까지를 의미한다. 그림 2의 B 구간의 운동에너지는 전체 운동에너지 100% 중 약 15~25% 로 연구되고 있다. 식1은 그림 2의 B구간 운동에너지에 대한 속도손실 부분이 고려되지 않은 스키드마크 공식이므로 다음과 같이 수식에 의해 제동거리 예측에 대한 속도를 추정한다.

$$v_1=\sqrt{254.0146\times[d\times(0.15\sim 0.25\%)]\times(f\pm G)} \quad (5)$$

식5을 구하기 위해서는 실차실험을 통한 마찰계수와 그림 2의 B의 순시제동시간 값 ts 를 구 한다.

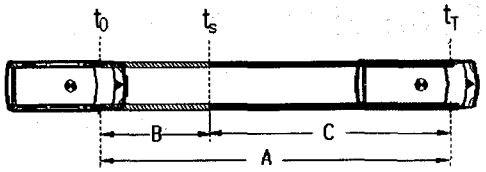

그림 2 실제 교통사고 도로의 스키드마크

Fig 2. Skid-mark for Real traffic accident road

실차실험을 통한 스키드마크를 통해서 마찰계수와 제동순시간을 실측하기 곤란하다. 실차실험 차량에 종합제동거리, 주행시간, 주행속도, 평균 및 최고 마찰계수, 순시제동시간 값 등이 측정할 수 있는 가속도계를 장착하고 타이어 미끄러짐 실차실험으로 값을 구한다.

3. 자동차 순간제동시간

본 연구에서는 표 1과 표 2와 같은 사양을 가진 시험 차와 가속도계를 이용하였고 순시제동시간을 측정에 H회사 승합차내에 가속도계(Vericom VC2000PC)를 장착하여 제동감속 특성을 측정하였다. 생성된 스키드마크는 육안으로 확인된 노면흔적을 측정도구를 이용하여 실측하였다.

표 1. 스키드마크 분석

Table 1. Analysis of skid mark

Manufacturer		Hyundai
Model		Starex RV
Transmission type		5-speed Manual
Overall length(mm)		5,035
Overall width(mm)		1,820
Overall height(mm)		1,980
Track(mm)	front	1,570
	rear	1,545
Wheelbase(mm)		3,080
Brake distance with 50km/h (m)		14
Weight(kg)		2,485
Parking brake		Manual
Fuel		Diesel
Gross vehicle traveled distance (km/h		2,300
Tire		205-60R15,99S Steel belted radial tubeless(new)
Brake (hydraulic)	front	disk
	rear	drum

표 2는 실험차량에 마찰계수 측정 가속도계를 장착하여 제동순시간이 노면 조건과 속도에 의한 스키드마크의 생성 직전에 생성되는 시간을 실측하기 위한 조건은 다음과 같다.

표 2. 스키드마크 시험 조건

Table 2. Skid mark test conditions.

Test place	Kyonggi Youngin																								
Road surface condition	Dry																						Wet		
Road surface sort	Excess tar new asphalt					Traffic polished asphalt					Earth (packed)					Gravel (packed)					Excess tar new asphalt				
Test speed (km/h)	20	30	40	50	60	20	30	50	60	70	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	50	60	70		

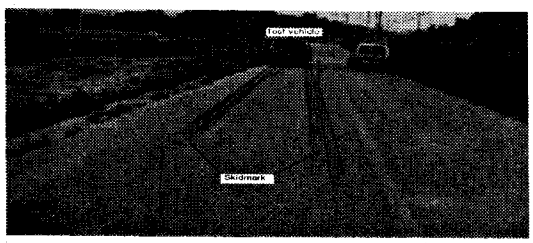

그림 3 건조 조건인 경우 스키드마크 실험
Fig. 3 Skid mark test on the dry condition

표 3의 실험 조건을 가지고 실험차량에 마찰계수 가속도계를 장착하고 조수석에 1명을 탑승시켜 4 단계로 실험하였다. 1단계는 가속도계(vericom 2000) 메뉴 모드에서 braking 버턴을 선택 후 다시 자동 출발 모드를 선택후 차량 출발하고, 2단계는 운전자가 실험속도 20, 30, 40, 50, 60, 70 km/h로 주행하고, 조수석 탑승자가 정해진 속도계가 실험속도에 도달시 신호에 따라 운전자가 급제동을 실시. 3단계는 정지한 차량 가속도계 화면에 출력된 각 제동거리, 평균속도, 평균마찰계수, 총소요시간 등을 기록하였다. 4단계는 실제 발생된 스키드마크의 길이를 측정하였다.

실험은 동일한 실험장소에서 습윤(wet)노면, 건조(dry)노면 및 실험속도 20, 30, 40, 50, 60, 70km/h로 노면 조건에 따라 1~5회 반복 실험을 실시하였다.

4. 모의 실험 결과 및 고찰

실험의 오차를 줄이기 위해 각 속도에 대하여 평균 실험데이터 값으로 정하고, 가속도계에 저장된 제동순시간과 도로조건에 따른 실험 데이터값을 평균하여 각 시간에 따른 차량 감속상태인 제동순시간이 구분된다. 그림 4는 인터넷을 이용하여 스키드마크를 입력하면, 차량속도를 구하는 과정을 보여주고있다

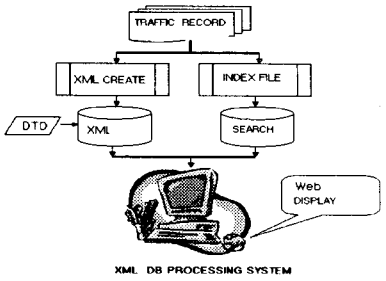

그림 4. 스키드마크를 이용한 차량속도 환산
Fig. 4 Conversion of vehicle speed using skid mark.

본 논문에서는 앞에서 설명한 것과 같이 마찰계수가 도로조건및 날씨조건에 따라서 스키드 마크 길이가 틀려진다. 그러므로, 이러한 문제점을 개선하기위해서 사용한 퍼지규칙은 다음과 같다.

```
IF    PA  is  Low
and   PS  is  MED
and   WT  is  High

then
      Op  is  HIGH
      Os  is  Low
```

where:

```
PA   is  Degree of skid mark
PS   is  degree of road condition
WT   is  degree of collision
OP   is Expecting vehicle speed
```

(Rule 1)

[0.3/4, 0.5/5, 1/6] | ^ [0.7/-3, 0.6/-2, 0.8/-1, 0.4/0, 0.1/1]
| ^ [0.3/4, 0.5/5, 1/6]
= 0.3 ^ 0.7^ [0.3/4, 0.5/5, 1/6]
= [0.3/4, 0.5/5, 1/6]

```
<font size="1>      TRAFFIC ACCIDENT   </font> <p>
 <FONT SIZE= "2 FACE=궁서체 COLOR="red"> SKID MARK .</FONT> <br>
   <marquee direction="alternate"> SELECT   INPUT   <marquee>
 <font color="red">[ 2005-  TRAFFIC SIMULATION<br>

SKID MARK /td>
name="select1"onchange="calculatePay()" class="textarea">
 <option value="0.8" selected>
    select one of them
            <option value="0.8">
              0.8
            <option value="0.7">
              0.7
            <option value="0.6">
              0.6
            <option value="0.5">
              0.5
            <option value="0.4">
              0.4
            <option value="0.3">
              0.3
            <option value="0.2">

 function calculatePay()
 {
var p1 = eval(document.mypay.select1.options.value);
var p2 = eval(document.mypay.select2.options.value);
var p3 = eval(document.mypay.select3.options.value);
var p4 = eval(document.mypay.select4.value);
document.mypay.pay.value = Math.sqrt(254*p4*(p1*p3+p2));
                                    0.2
```

표 4. 스키드마크 궤적 데이터및 신뢰도
Table 4 Skid mark Trajectory data and reliability

	최고속도(KPH)			종방향 이동거리(m)			횡방향 이동거리(m)		
	TM	재현	오차(%)	실측	재현	오차(%)	실측	재현	오차(%)
직선 주행									
정속	57.4	55.8	2.79	200.0	203.4	1.7	0.7	0.0	0
가속 정지	51.8	51.9	0.2	200.0	208.4	4.2	0.7	0.5	0
급	64.4	66.7	20.2	186.0	193.7	4.14	0.7	0.0	0
가속 정지	68.6	67.9	1.02	205.2	212.8	3.70	0.7	0.0	0

Table 4는 주행 실험 결과를 정리한 것이다. 지그재그 주행의 경우 진행방향 거리를 측정하지 않아 오차계산이 되지 못하였으나 직선 주행결과로 미루어 이외의 평균 오차범위를 크게 벗어나지 않을 것이라고 추정된다

1. 속도와 제동순시간과의 관계

교통량이 적은 건조한 아스팔트 노면에서 속도 변화에 대한 제동순시간의 변화이며 제동순시간의 변화가 0.1초~0.16초를 초과하지 않은 평균 0.43~0.45초로 볼 때, 제동순시간은 차량의 초기 운행 속도와 약간의 영향이 발생한다.

2. 건조한 아스팔트와 습기가 있는 아스팔트 노면에서의 제동순시간

습윤상태의 노면마찰계수가 건조 노면의 마찰계수 보다 적기 때문에 습윤 및 건조한 아스팔트노면에서 제동순시간은 습윤상태의 노면에서 약간 늦어진다.

교통량이 많이 사용한 아스팔트 노면과 새로운 아스팔트 노면의 순시제동시간을 비교한 결과, 아스팔트의 마멸 정도가 마찰계수에는 큰 영향이 없는 것으로 순시제동시간은 거의 변화가 없었다.

3. 포장노면과 비포장 노면에서의 제동순시간

포장도로(새로운 아스팔트노면)와 비포장노면(자갈길과 흙길)에서의 순시 제동시간을 비교하였고, 비포장 노면의 순시 제동시간이 아스팔트 노면에서 비하여 짧은 것은 비포장 노면의 마찰계수가 크기 때문이다.

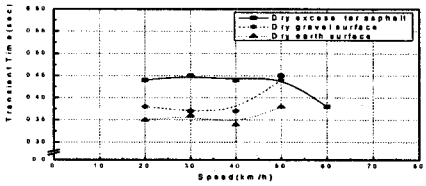

그림 5 마찰계수비교
Fig. 5 Comparison of Coefficient of friction

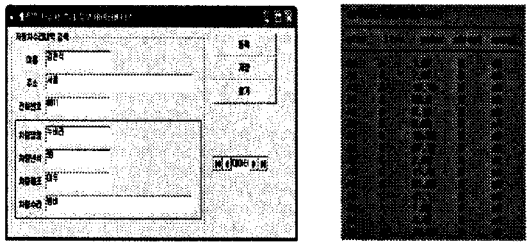

그림 6 스키드마크를 이용한 뺑소니 운전자 검색
Fig 6. Searching for hit and running driver using skid mark

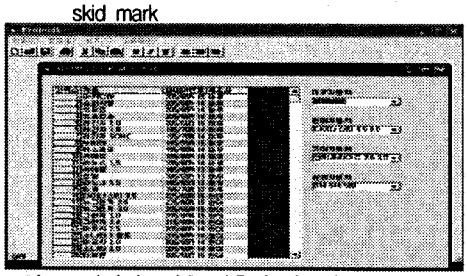

그림 7 타이어조건을 이용한 뺑소니 운전자 검색
Fig 7. Searching for hit and running driver using tire conditions

만약, 인적이 드문 새벽 충북지역 한적한 국도에서 뺑소니차가 사람을 치고 도망쳤다고 가정하자.

목격자가 없는 부품으로 차량번호를 추적할 수 있는 유일한 단서인 깨진 전조등 조각도 뺑소니운전자가 챙겨서 도망쳤다면, 증거라고는 가해자가 급정차를 하면서 도로표면에 남긴 타이어흔적(스키드마크)와 피해자 옷에 도로에 남은 타이어자국 뿐이다,

본 논문에서는, 이러한 문제점을 해결하기위해서, 자동검색 자동차 부품업체, 타이어 정보를 이용하여 차량의 속도를 추정하여 가해차량과 피해차량의 정보를 정확하게 계산하고자 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 그림 6은 스키드마크를 이용한 범인 검색 시뮬레이션 프로그램 결과이고 그림 7은 도로에 남은 타이어 종류별 범인 검색 시뮬레이션 프로그램 결과를 보여주고 있다.

5. 결 론

스키드마크 길이를 이용한 차량의 제동전 속도를 산출하여 제동 순시간에 대한 결과는 다음과 같다.

습윤 상태의 노면마찰계수가 건조한 노면보다 길며, 비포장 노면과 다져진 자갈 노면 중에서 비포장 노면의 경우가 제동순시간이 적다. 콘크리트 노면이 아스팔트노면에 비해 마찰계수가 약간 높게 측정되었다. 실험차량의 제동순시간은 차량 속도에 따라 큰 변화가 없으나, 건조한 아스팔트 노면의 경우 평균 0.43~0.45초이며 변화량은 0.1초~0.16초미만 으로 큰 차이를 보인다.

그러므로 본 논문에서는 이러한 도로 조건 및 날씨조건을 고려하여 최적의 차량속도를 퍼지규칙을 이용해서 추정하였다. 자동차사고에서 사고당시 현장에 있는 사람은 장소에 따라 운전자가 가장 중요한 목격자임에도 불구하고 자기 방어위주로 진술하므로 교통 사고관련운전자가 서로 다른 주장을 하고 있는 실정이다.

정확한 교통사고 현장에서, 스키드 마크를 이용한 자동차 속도 추정은 본 논문에서 사용된 도로조건과 날씨 조건 외에 풍속, 풍향, 도로 종단구배, 트레드 패턴 및 면적, 재질, 타이어 공기압, 브레이크 라인닝 마모상태, 브레이크 라이닝 간격불량, 노면상태(젖은 노면, 모래가루가 많은 노면 등)에 따라 마찰계수가 달라지므로 체계적이고 세분화된 연구가 반드시 필요하고 교통조사의 과학화가 반드시 필요할 것으로 생각된다.

비록 교통사고가 감소하고 있지만 뺑소니 교통사고에 대한 건수는 줄고 있지 않고 있다. 특히 이와 같은 사건은 누가 언제 어떤 형태의 사고를 발생했는지 알 수 없고, 그 결과 범인을 검거하기 위한 과학적인 수사체계가 절실히 필요한 분야이다.

그러나 아직까지 과학적인 체계와 투자가 뒤따르지 못하고 있는 상황이데, 이에 본 논문에서는 데이터베이스 설계를 통해서 교통사고 현장에서의 충돌 및 사고 후 에 생기는 잔여부품을 현미경과 같은 도구로 알아낸 후 본 논문에서 정의한 데이터베이스에서 부품정보를 검색하여 범인을 검거하는 과정을 XML을 이용해서 모의 실험하였다.

참고 문헌

[1] L. B, Fricke, "Traffic Accident Reconstruction", Northwestern University Traffic Institute, p.62-7, 1990.

[2] T. D Day and J. R Smith, "Friction factors for motorcycles sliding on various surfaces" SAE Paper 840250, pp.441-443, 1984.

[3] C. Y. Warner, G. C. Smith, M. B. James, and G. J. Germane, "Friction Applications in Accident Reconstruction", SAE Paper 830612, pp.12-13, 1983.

[4] Engineering Dynamics Corporation, "EDVAP Program manual", p. 5-17, 1994.

[5] 林洋, "自動車事故鑑定工學", 기술서원, p.48, 1996.

[6] 경찰청, 도로교통안전협회, "교통사고조사교본", p. 69, 1996.

[7] 韓昌平, 漢陽大學院, 1994.

[8] W. S. Reed, "A Comparison of Emergence Braking Characteristics of Passenger Cars", SAE Paper 880231, 1988.

[9] J. A. Neptune, James E. Flynn, P. A. Chavez, and Howard W, Underwood, "Speed from Skids : A Modern Approach", SAE Paper 950354, pp.189 - 205 , 1995.

[10] 경찰청, "질의회시집 p 221, 2003.