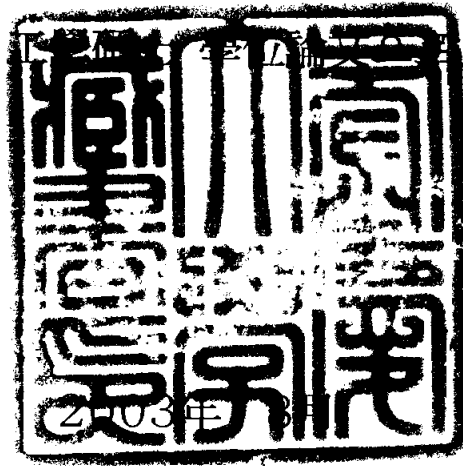


工學碩士 學位論文

路面 鋪裝別 車輛의 制動經過時間에
관한 實驗的 研究

指導教授 姜 大 敏

이 論文을



提出함

釜慶大學校 産業大學院

自動車工學科

林 昶 植

이 論文을 林昶植의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2003年 8月

主 審

柳 寅 一



委 員

尹 文 哲



委 員

姜 大 敏



목 차

Abstract

1. 서론	1
2. 이론적 배경 및 방법	4
2.1 제동흔적으로부터 일반적인 속도추정 원리	4
2.2 제동경과시간을 고려한 제동흔적으로부터 속도추정 방법	11
2.3 아스팔트 콘크리트 혼합물의 종류 및 특성	14
3. 실험 장치 및 실험 방법	18
3.1 실험 장치	18
3.2 실험 방법	23
4. 실험결과 및 고찰	27
4.1 차량의 속도와 제동경과시간과의 관계	27
4.2 건·습 상태 아스팔트 노면에서의 제동경과시간	28
4.3 일반·특수포장 아스팔트 노면에서의 제동경과시간	36
4.4 미끄럼방지포장 설치방식에 따른 제동경과시간	50
5. 결론	57
참고문헌	59

An Experimental Study for the Transient Brake time on the Road surface a Pavement classified by Vehicle

Chang-Sik Lim

Department of Automotive Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University

ABSTRACT

The velocity analysis of the vehicle is the one of the most important factors to find out the reason of the traffic accident, and it needs the information about the average friction coefficient.

In this paper, the proper average friction coefficient of the road surface was determined and the initial braking velocity of the vehicle under the emergency brake was calculated. At first, the braking test computer was set on the vehicle for the test, and then the drag factor between the tire and the road that was dried and flat was measured in the both cases of on-road and off-road. As the result of the test, it was found that the drag factor has the low value as the initial brake velocity is high on the same road and as the road surface is rough, The result of the test was applied to the case on the flat and mixed with generality asphalt and speciality

asphalt.

The conventional equation for the velocity analysis using only skid mark on the road does not consider the invisible braking distance. With those facts, the new velocity analysis method considered the braking time before the skid-mark was showed. And the initial braking velocity that was calculated by the new velocity analysis method and conventional method was compared with the result measured in the test.

1. 서 론

현대 사회의 발달과 함께 교통은 우리의 일상생활에서 따로 떼어내어 생각할 수가 없을 정도로 중요한 역할을 담당하고 있다. 2003년 5월 말 현재 우리나라 차량 전체 보급대수가 1,434만대¹⁾로 급속히 증가하고 있다. 이에 따라 교통체증, 대기오염, 교통사고 등 많은 문제점들이 제기 되고 있으며, 이중에서 대형교통사고는 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 특히 지난 2001년도 총 교통사고가 260,579건이 발생하여 약 8조 2,361억원의 엄청난 사회적 손실²⁾을 입었으며, 또한 사고 당사자 및 사고 관련 모든 사람들에게 직·간접적으로 끼친 피해는 이루 말할 수 없을 정도이다.

교통사고가 발생하면 사고 당사자들은 민·형사적인 문제와 관련해 민감해지므로 사고 조사자는 사고 관련자의 민·형사, 행정적인 책임 및 보상 기준을 제시하기 위해 객관적인 근거에 의한 사고 발생 전·후 사고 상황을 정확하게 재현을 하여야 하고, 정확한 사고 재현은 사고관련 차량의 사고 발생 전·후 주행상태에 관한 여러 요소의 정확한 분석에서부터 시작되어야 한다. 교통사고는 기본적으로 차량이 일정속도로 움직이기 시작하면서부터 시작되기 때문에 사고 분석 요소 중 가장 중요한 것 중의 하나가 차량의 충돌 전·후 속도를 알아내는 것이다.

현재 사용되고 있는 속도분석기법에는 에너지보존의 법칙³⁾에서 도출한 기본적인 이론식에 의한 분석과 차체의 변형량을 이용하여 변형에 소모된 에너지를 속도로 환산한 실험식을 이용하는 분석 방법이 이용되고 있다. 그러나, 일반적으로 속도분석이 필요한 사고재현에 있어서 가장 보편적이고 근사한 값을 얻을 수 있는 방법은 이론식을 이용한 것이다. 이 방법은 사고현장의 도로상에

제동하는 차량의 타이어와 노면간의 마찰에 의하여 생성된 급제동흔적(Skid-Mark)을 이용한 역속도 산출법이다. 역속도 산출법의 결과 값에 중요한 변수로 작용하는 요인 중의 하나가 노면 상태에 따른 타이어와 노면간 작용하는 평균마찰계수(이하 마찰계수로 사용한다)의 적용이다. 마찰계수는 타이어와 접하는 노면과의 상대적인 관계에 따라서 변화하는 것으로 현재까지는 동일한 마찰력을 지닌 노면에 한하여 마찰계수 측정 실험이 실시되었다.

이와 관련된 연구는 미국 노스 웨스턴 대학교 부설 교통연구소에서 일반 타이어를 장착한 승용 차량과 픽업 차량의 도로 종류별 마찰계수 실험치⁴⁾, T. D Day and J. R. Smith⁵⁾, C. Y. Waner, G. C. Smith, M. B. James and G. J. Germane⁶⁾, 미국 EDC 사의 EDVAP Program Manual⁷⁾, 일본의 林 伴⁸⁾ 등이 마찰계수에 대한 연구를 한바 있으며, 이는 에너지 보존의 법칙으로 유도된 식을 적용한 것이다.

그러나 이 식은 차량이 급제동하면서 제동할 때까지 모든 에너지를 속도로 모두 변환시킨 것이 아니다. W. S. Reed의 연구⁹⁾에 의하면 차량은 제동하면서 급제동에서 스킴마크가 발생되기 시작하는 시간 동안의 에너지가 전체 에너지 중 약 15~25% 에너지 손실이 있으나, 현재 속도 추정식은 식별 가능한 제동흔적의 길이만을 측정하므로 이 에너지 손실 부분에 대한 감속을 실제 반영하지 못하고 있는 실정이다. 급제동에서 제동흔적이 발생하는 동안 손실 에너지 부분을 보정한 속도추정 방식에 대해 J. A. Neptune 등의 논문¹⁰⁾에서 제시된바가 있으며, 국내에서도 연세대학교 Kim Sang Ki¹¹⁾, 서울산업대학교 Lee Jong Sang¹²⁾ 등이 노면의 마찰계수 측정 및 일부조건에서의 순시제동시간에 대하여 연구된바 있으나, 현재 증가하고 있는 여러 특수아스팔트 포장층 및 미끄럼방지포장 종류별에 따른 연구는 전무한 상태이다.

본 연구에서는 차량의 속도 추정에 필수적인 차량의 급제동에서 제동흔적이 발생되기 시작할 때까지의 시간인 제동경과시간을 Vericom VC2000PC인 정

밀가속도계로 측정하여 제동경과시간에 영향을 미치는 인자들을 규명하고자 한다. 이를 위해 여러 가지 도로의 조건(재질, 습도정도, 포장형태 등)에 따른 차량의 주행속도의 상관관계 및 영향을 분석하여 특수아스팔트 포장이 설치된 지점 및 구간과 미끄럼방지포장이 설치된 구간에서의 교통사고 재현작업에 필요한 차량의 속도분석을 보다 정확히 평가 하였다.

2. 이론적 배경 및 방법

2.1 제동흔적으로부터 일반적인 속도추정 원리

주행중인 차량을 멈추게 하고자 할 때, 일반적으로는 가볍게 브레이크를 밟음으로써, 노면상에 타이어 흔적을 발생시키지 않고 부드럽게 정지하게 된다. 그러나 회전하는 타이어가 갑자기 회전이 멈추도록 제동된다면, 노면상에는 록(Lock)된 타이어가 노면과 마찰되면서 타이어 흔적을 남기게 된다. 이때 발생한 타이어 흔적을 스킨드마크라 한다. 스킨드마크는 전형적인 모습(직선 모양)을 하고 있는 것이 대부분이나, 노면의 굴곡, 타이어에 미치는 하중의 정도, 횡단 경사도, 타이어의 공기압, 타이어의 마모 상태, 브레이크 슈와 드럼사이의 압력정도 등 다양한 원인으로 인해 여러 형태로 변형되기도 한다.

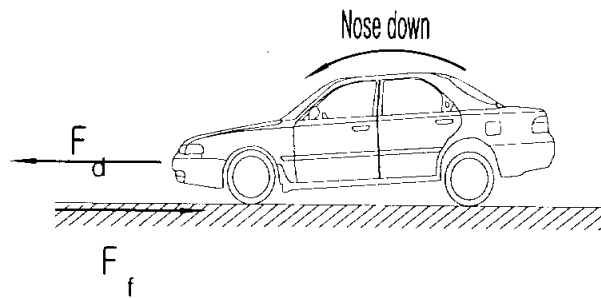


Fig. 1 The nose down of vehicle

차량의 속도가 급감할 정도의 강한 제동이 차량에 작용하면 차량의 후륜에서 전륜으로 무게의 이동이 갑자기 발생한다. 노면상의 마찰은 전륜 및 후륜이 노면과 접지하는 지점에서 차량의 뒷방향으로 힘을 가하지만 질량의 중심은 차량의 전면쪽으로 이동을 계속하려 한다. 따라서 Fig. 1과 같이 차량이 최대한 길이방향으로의 제동을 하는 경우 노면의 마찰력(F_f)은 타이어와 노면의 접지면에서 차량의 후미방향으로 힘을 가하지만 중량중심은 관성의 법칙에 의하여 전방으로 움직임(F_d)을 계속하려 하게 되고 차량의 전면부분이 지면 방향으로 쏠리게 되고 상대적으로 차량의 후미 부분은 하늘방향으로 올라가는 듯한 노우즈 다운(nose down) 현상이 나타난다. 이러한 현상 때문에 전륜에는 열이 많이 발생하고, 후륜에는 상대적으로 열이 적게 발생하게 되어 전륜의 스키드마크만을 남기는 경우가 빈번하다.

이러한 노우즈 다운 현상이 발생하는 차량은 전륜에 차량 무게의 70%가 후륜에 약 30%가 실리게 되는 하중이동이 이루어진다. 아스팔트 포장도로에서 급제동으로 인한 하중이동이 발생한 차량은 상대적 강도가 약한 타이어의 재질인 고무가 노면과의 마찰로 인하여 발생하는 열에 의하여 노면에 겹게 눌러붙은 급제동흔적을 생성하게 된다. 그리고 급제동시 노우즈 다운 현상의 평균 가라앉음은 노면과 마찰의 대소에 비례하므로 일반적으로 마찰계수 값이 0.6, 0.7, 0.8인 경우 정상상태일 때의 전면차량 높이보다 평균적으로 약 6cm, 7cm, 8cm 내외가 아래쪽으로 가라앉으면서 급제동하게 되는데 같은 높이를 가진 차량끼리 정면충돌하면 차량의 중심은 충돌부분보다 위쪽에 있으므로 노우즈 다이브 현상에 의하여 차량의 후단은 올라가고 전단은 노면에 대해서 눌러진다. 급격한 제동과정으로 노우즈 다운 현상이 나타나서 전륜 타이어 내부는 내부 공기압에 비해 과대한 하중이 걸리게 되어 타이어가 손상을 입게 된다. 타이어가 지나치게 손상을 받으면 Fig. 2에서와 같이 트레이드 가운데 부분보다 가장자리가 더 큰 하중을 받아 대부분의 열이 가장자리에 발생하여 트레이

드 가운데 부분 보다 가장자리가 더 진하고 뚜렷한 흔적을 남기게 되는데, 이런 현상은 매우 딱딱한 트레이드를 지닌 래디얼 타이어(radial tire)보다는 보통의 바이어스 타이어(bias tire)에서 더 잘 나타난다.

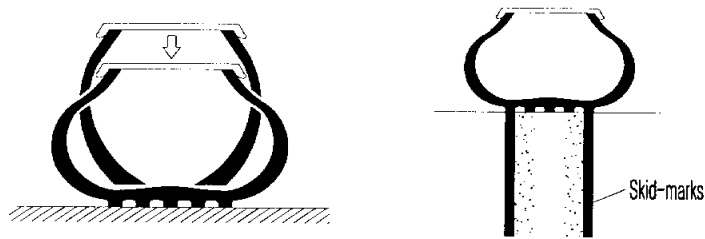


Fig. 2 Tire and road surface in sliding

만약 후륜 제동이 제대로 이루어지지 않았다면 후륜은 미끄러지기보다 회전을 계속하려해 견인력을 유지하므로 어떤 힘도 저항해 낼 수 있다. 후륜은 회전하면서 전륜이 잠기어 미끄러지는 뒤를 똑바로 따라 가려고 하기 때문에 차량은 본래 진행하던 방향으로 진행하게 된다. 반대로 후륜이 제동되고 전륜이 잘 제동되지 않고 구르면 후륜은 잠겨 미끄러져 견인력을 잃어 타이어가 쉽게 옆으로 미끄러져 차량은 대각선 방향이나 회전하게 된다. 급제동흔적의 생성은 타이어에 접촉하는 접지면 상태에 따라 달라지는데, 접지면이 상대적으로 약한 부분이 마찰로 인하여 마모되어 발생하는 원리는 동일하다. 일반적으로 급제동흔적은 미끄럼 비와 제동시간 경과에 따라 발생초기에는 육안으로 구분하기 어려운 희미한 급제동흔적 생성 전 제동경과구간으로 시작하여 서서히 분명한 자국을 생성하게 된다. 이러한 이유는 주행중인 차량이 감속하게 되면 굴러가던 타이어가 노면 위를 100% 완전 제동되어 미끄러지기 까지 소요되는

시간이 필요하기 때문이다. 중요한 점은 급제동하는 차량의 실제 제동시간과 노면에 급제동흔적이 생성되는 시간과는 차이가 발생하며 이것을 급제동흔적 생성전 제동경과시간이라 부른다. 교통사고 재현 과정에서는 급제동흔적을 이용한 속도 산출시 100% 완전 제동되어 미끄러지면서 노면상에 생성한 흔적 중 육안으로 식별이 가능한 부분을 시점으로 제동하는 동안의 차량의 중심간 이동거리로 상정하여 속도를 산출하고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 속도 분석방법은 급제동흔적 생성전 제동경과시간을 포함하지 않은 관계로 실제 차량의 제동초기속도와는 차이가 발생하게 된다. 따라서 차량의 실제 제동초기 속도에 근접하여 산출할 수 있는 방법은 급제동흔적 생성전 제동경과시간을 기존에 사용하고 있는 속도분석공식에 첨부하여 속도분석공식을 보정하여 주어야 한다. 자동차가 브레이크를 작동한 후 감속비는 교통사고의 재현과 매우 관련이 높으며, 만약 자동차가 감속될 때의 거리와 감속비를 알고 있다면 자동차의 최초속도를 구할 수 있다. 자동차의 가속(또는 감속)은 견인계수 f 와 노면마찰계수 μ 에 관련되어 있으며 마찰계수는 타이어와 도로의 접촉면 사이에서 감속하는 힘이며, 견인계수는 전체 자동차를 감속하는 것과 관련되어 있다.

차량이 급제동될 때 마찰계수와 견인계수는 교통사고 재현에서 중요한 계수인데 마찰계수와 견인계수는 표면이 수평일 때와 차량의 모든 타이어가 록크(Lock)되어 스키드 되었을 때는 동일한 값을 갖는다. 그러나 도로 표면이 수평이지 않고 경사가 있을 때 상향 종단 경사의 경우 견인계수 값은 경사도(%)만큼 마찰계수에 합하고, 하향경사일 때는 그 경사도 만큼 빼야 한다.

마찰계수 μ 와 견인계수 f 의 정의는 식 (1)과 같다.

$$\mu = \frac{F}{W} \text{-----} (1)$$

여기서, μ 는 마찰계수, F 는 견인력($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$), 그리고 W 는 하중(kg_f)이다. 교통사고 재현에 사용되는 마찰계수는 주행중인 차량의 타이어와 노면간 상대 속도 관계를 고려하여 타이어가 회전하다가 완전 제동되어 미끄러지는 과정을 생각할 때, 제동초기부터 타이어가 완전히 제동되어 미끄러지기까지 도로상에 미끄럼 비⁸⁾와 마찰계수의 변화는 중요하다. 제동전 타이어는 완전한 회전을 하며 노면과 접촉하나 그 순간에는 차량속도에 대한 노면과 접촉한 타이어의 상대속도 비는 0이며, 곧 제동이 시작되면 타이어의 제동력은 타이어와 노면의 마찰력에 의해 증가한다. 마찰력이 작용하기 시작하면 탄력적인 타이어 재질이 불규칙하고 거친 노면을 누르므로 견인력은 타이어가 서서히 정지되기 시작하는 동안 노면에 닿은 고무를 잡아당긴다. 이 시점에서 노면과 접촉된 타이어에 작용하는 제동력은 차량의 속도와 비례하여 증가되고, 제동력이 증가함에 따라, 타이어는 접지력을 잃고 미끄러지기 시작한다. 미끄러짐이 증가함에 따라, 고무가 노면을 붙들고 있는 시간은 점점 감소하게 된다. 타이어가 완전히 멈추면 노면 위를 100% 미끄러지게 되며 이 순간 타이어는 동적 마찰에 의해 미끄러진다. 이와 같이 제동과정의 마찰계수는 타이어가 노면에 대하여 미끄러진 정도 즉, 미끄럼 비 s 는 다음 식 (2)로 정의된다.

$$s = \frac{v - r\beta}{v} \text{-----} (2)$$

여기서, s 는 미끄럼 비, v 는 자동차의 전진속도(m/s), r 는 타이어의 회전각 속도(rad/s), 그리고 β 는 타이어의 회전유효반경(m)이다. 완전 제동되지 않았을 때에는 $v = r\beta$ 이므로 $s = 0$ 이며, 4륜 타이어 모두가 완전 제동되었을 때는 $\beta = 0$ 이므로 $s = 1$ 이다. 제동시 마찰계수는 미끄럼 비에 의해 크게 변화하며 $s = 0 \sim 0.2$ 의 범위에서는 마찰계수 μ 는 미끄럼 비에 비례하여 증가¹³⁾한다. 브레이크 페달을 밟아 감속도를 조절할 경우 $s = 0.2 \sim 0.3$ 에서 제동 마찰계수가 가장 높고 그것을 넘어섰을 경우 오히려 낮아진다. $s = 1$ 즉, 완전

제동 상태에서 마찰계수는 최고치 보다 20% 정도 낮은 수치가 되는데 이상태의 마찰계수를 완전제동 마찰계수라 한다. 따라서, 교통사고 재현에서의 마찰계수는 완전 제동되어 미끄러질 때 적용하며 타이어가 10~20% 노면 위를 미끄러질 때 최대값에 도달한다.

반면, 견인계수는 교통사고 재현에 있어서 타이어와 노면간의 특정한 상황에서 가속(또는 감속)하기 위해 필요한 힘을 차량의 무게로 나눈 것으로 f 로 표시하며 위 식(1)과 동일하다. 견인계수 f 는 차량 내·외부의 원인인 노면종류 및 상태, 차량의 기계적·구조적 영향, 외부 물체와의 충돌로 인한 타이어의 펑크, 브레이크 조작능력, 타이어의 마모상태 등에 의하여 각 타이어마다 서로 다른 마찰력으로 전환하여 차량속도 산출시 적용하게 된다. 이에 따라 각 타이어에 다르게 작용하는 마찰력을 하나의 마찰력으로 전환하여 차량속도 산출시 적용하게 된다. 견인계수는 완전 제동시 적용할 수 있는 마찰계수와는 다른 상황에서 적용된다. 따라서 모든 타이어가 멈춘 상태에서 평탄한 노면을 동일한 거리와 상태를 유지하며 미끄러지는 경우와 같이 각각의 타이어에 작용하는 마찰력이 동일한 경우에 한하여 마찰계수와 견인계수는 동일한 값을 갖는다. 그러나 이와 같은 상황은 실제 교통사고 현장에서는 발생하기 쉽지 않으므로 노면상에 생성된 제동흔적을 측정하여 마찰계수와 견인계수를 구분하는 것이 필요하다.

물체가 속력 v_1 으로 운동을 하면 그 물체가 가진 운동량은 질량과 속도의 제곱에 비례한다. 운동하는 자동차가 급제동을 하면 구르던 바퀴가 회전을 멈추게 되고 도로에 마찰이 작용하여 최후에 가서는 정지하게 된다. 이 경우 자동차에 작용하는 힘은 급제동을 하기전의 추진력이 관성력으로 전환된 힘으로 이 관성력의 크기 정도에 따라 제동거리는 다르게 나타난다. 자동차가 정지하기까지의 물리적 현상의 변화는 바퀴의 노면마찰에 따른 마찰력이 관성력을 지속적으로 감소시키고, 관성력에 따른 마찰력의 작용은 같은 힘의 크기 비율로 작용하기 때문에 자동차는 일정 감속도의 크기로 운동한다.

자동차가 급제동시 자동차에는 관성력에 따른 속도가 유지되고, 동시에 바

퀴와 속도가 0에 이르게 된다. 즉, 제동 직전의 운동에너지는 제동거리만큼 작용한 마찰력이 소모하는 일의 양만큼 전환(제동하는데 필요한 일로 전환)된다. 정확하게 말하면 이때 운동에너지는 100% 일로 전환되는 것은 아니며, 총 운동에너지 중 조금은 노면과 타이어의 마찰시 열에너지로 전환되고, 일부는 공기중으로 사라지며, 나머지 에너지가 스키드 흔적으로 변환된다.

일반적으로 이 과정에서 생겨난 열에너지는 제동하는데 필요한 열에 비해 충분히 무시해도 되는 아주 작은 양이므로 대부분 운동에너지는 자동차를 제동하여 정지시키는 일로 전환되었다고 설정하고 속도 산출을 한다. 그러므로 가속도는 $a = -\mu g$ 이므로,

이식을 초기속도 v_1 으로 정리하면

$$v_1 = \sqrt{2\mu g d} \text{ ----- (3)}$$

여기서, v_1 는 제동전 차량의 속도(m/sec²)이고, a 는 가속도(m/sec²), μ 는 마찰계수, g 는 중력 가속도(m/sec²), 그리고, d 는 스키드마크 거리(m)이다. 만약 자동차가 임의의 위치에서 v_1 속도에서 급제동하면 거리 d 만큼 스키드마크를 남기고 최종속도 v_2 가 되었다면 에너지보존의 법칙에 의해 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \mu mgd + \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ ----- (4)}$$

$$v_1 = \sqrt{2\mu g d + v_2^2} = \sqrt{v_2^2 - 2ad} \text{ (m/sec) ----- (5)}$$

따라서 식 (5)을 차량이 스키드마크를 발생시키고 정지하여 최종속도가 0인 경우, $v_2 = 0$, $a = -\mu g$, g 는 9.8(m/sec²)을 적용하고 μ 를 전인계수 f 로 변환하여 정리하면,

$$v_1 = \sqrt{2 \times 9.8 \times f \times d} = \sqrt{19.6 \times f \times d} \text{ (m/sec)} \text{ ----- (6)}$$

위 식(6)을 시속으로 변환하고, 도로의 경사도 G 를 고려하여 계산하여 소수점 이하 자리를 무시하면,

$$v_1 = \sqrt{254 \times d \times (f \pm G)} \text{ (km/h)} \text{ ----- (7)}$$

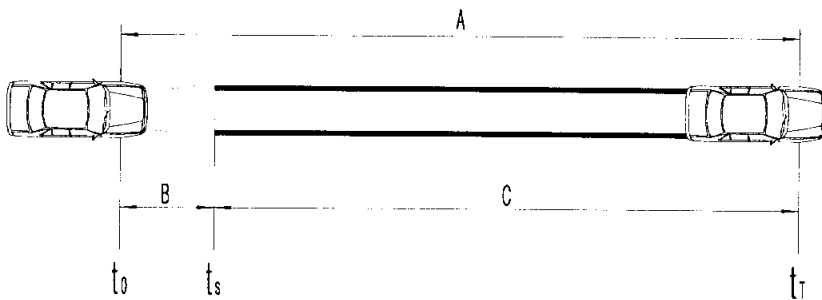
위 식(7)이 교통사고 조사시 현재 스키드마크 길이를 측정한 값과 승용차량의 경우 견인계수 $f(f=0.8)^{14)}$ 을 일반적으로 적용하여 제동전 차량속도 추정시 적용되고 있는 공식이다.

2.2 제동경과시간을 고려한 제동흔적으로부터 속도추정 방법

전술한대로 급제동하는 차량은 실제 제동거리와 노면에 생성된 급제동흔적의 길이와의 차이인 급제동흔적 생성전 제동경과구간이 발생하게 된다.

J. A. Neptune 등¹⁰⁾이 발표한 논문에서 제안된 속도추정 방법에 의하면 현재 일반적인 속도 추정 방법으로 적용하는 식(7)는, 차량이 제동을 작동하는 순간과 거의 동시에 스키드마크가 나타났다는 가정 아래 주행중인 차량이 급제동 후 나타낸 스키드마크 거리를 측정하여 식(7)에 적용하여 속도를 추정하나 기존의 식(7)에 의한 속도추정 방법은 고려되지 않은 점이 있다. 그것은 급제동하는 차량은 제동을 작동하는 순간과 동시에 제동 휠이 잠기지 않고 Fig. 3에 나타난 B를 다른 표현¹⁵⁾으로 Incipient skid-marks, Shadow, Warmup distance로 불리는 급격한 제동을 하면서 휠이 완전히 잠기어 스키드마크를 발생시킬 때 까지를 의미하는 구간이 있다. 연구에 의하면 Fig. 3의 B구간 운동에너지는 전체운동에너지 100% 중 15~25%로 연구¹⁰⁾되고 있다. 다시 말해

서 식(7)은 Fig. 3의 B구간 운동에너지에 대한 속도손실 부분이 고려되지 않은, 스킨마크가 나타난 시점으로부터 최종 정지할 때까지만 속도를 반영한 것으로 본래 제동전 차량속도가 정확하게 추정되지 못한 것을 의미한다. 그러므로 스킨마크가 나타나지 않는 구간까지 고려한 새로운 속도 추정식은 Fig. 3의 B, C구간 운동에너지를 속도에 전부 다 반영한 것이고, 이식에 올바른 적용을 위해서는 마찰계수 값과 Fig. 3의 B구간 제동경과시간 값 t_s 를 알아야 한다.



A : All braking distance, B : Invisible skdmark distance, C : Skidmark distance

Fig. 3 The behavior of vehicle movement under braking

그러나 실질적으로 스킨마크를 통해서 마찰계수와 제동경과시간을 정확하게 측정하기는 쉽지 않으므로 현재 일반적으로 사용되는 감가속도계를 실험용 차량에 장착하여 제동거리, 주행시간, 주행속도, 평균 및 최고 마찰계수, 제동경과시간 값 등을 미끄러짐 실험을 통해서 값을 측정한다. 제동실험을 통해 수집된 데이터를 퍼스날 컴퓨터(이후 PC라 한다)로 실험 분석하여 제동경과시간과 속도에 대하여 나타낸 것이 Fig. 4로써 이것은 시간에 따른 감속도의 제동특성을 나타낸 것이다. 또 Fig. 4를 Fig. 3과 관련하여 구분하면 Fig. 4를

Fig. 5와 같이 삼각형 영역과 사각형 영역의 2개 영역으로 나눌 수 있는데, 삼각형 영역은 Fig. 3에서 B구간이고, 사각형 영역은 Fig. 3의 C구간이며, 식(7)으로 속도계산이 되는 영역이기도 하다.

그러므로 J. A. Neptune 등¹⁰⁾이 제안한 속도 추정방식은 차량 제동실험을 통해 얻어진 감속데이터를 그래프 분석을 통하여 Fig. 4와 같이 출력한 것을 Fig. 5의 삼각형 영역을 삼각형 넓이 공식으로 계산하여 기존의 속도 추정식(7)에 Fig. 3의 B구간 속도감속 부분을 더하여 나타낸 식이다.

삼각형 영역의 넓이는 $a(t) = \frac{a}{t_s} \times t$, ($t_0 \leq t \leq t_s$ 일 때 $t_0 = 0$)이고,

사각형 영역에서는 $a(t) = a$, ($t_0 \leq t_s \leq t_T$ 일 때 $t_0 = 0$)이다.

삼각형 영역 값과 사각형 영역 값은 차량이 총제동하는 구간이므로, 위 식에서 a 는 가속도이고, t_s 는 제동경과시간으로 스킵드마크에 의한 기존식(7)에 삼각형 영역 값을 합하면 다음과 같은 식이 된다.

$$v_1 = [\sqrt{v_2^2 + (-)2 \times a \times d} + (\frac{1}{2}a \times t_s)] \text{ (m/sec)} \text{ ----- (8)}$$

식 (8)에서 $a = -\mu g (\mu = f)$ 이고,

차량 최종속도 v_2^2 가 0인 경우 식(8)을 시속으로 변환하면 다음과 같다.

$$v_1 = [\sqrt{254 \times d \times (f \pm G)} + (\frac{1}{2}a \times t_s)] \text{ (km/h)} \text{ ---- (9)}$$

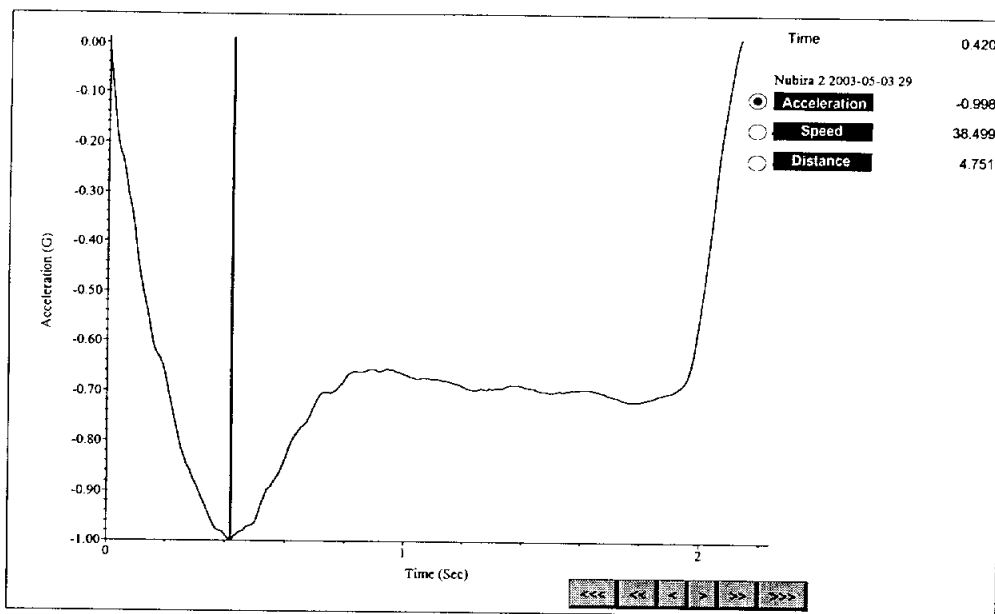


Fig. 4 Characteristic deceleration curve for locked wheel braking

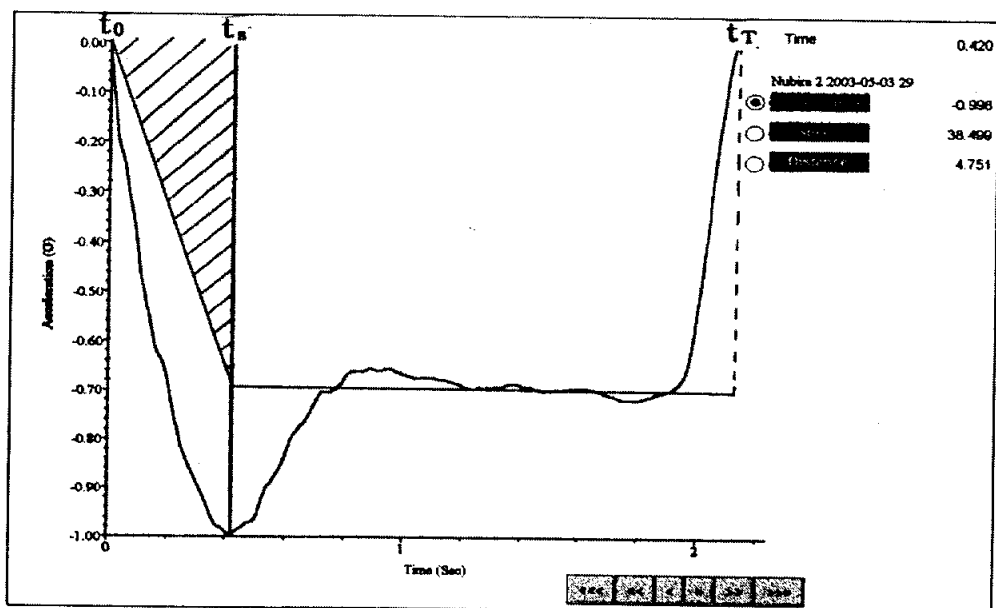


Fig. 5 The new model for locked wheel braking

2.3 아스팔트 콘크리트 혼합물의 종류 및 특성

2.3.1 아스팔트 콘크리트 개요

아스팔트에 필러(Filler)를 혼합한 것을 아스팔트 페이스트(Paste)라 하고, 아스팔트 페이스트에 잔골재를 배합한 것을 아스팔트 모르타르(Mortar)라 하며, 여기에 다시 굵은 골재를 혼합한 것을 아스팔트 콘크리트라 한다. 일반적으로 아스팔트 콘크리트의 앞 글자를 붙여 아스콘(Ascon)이라 부르고 있으며, 제조방식에 따라 가열아스팔트(가열아스콘) 혼합물과 상온 아스팔트 혼합물(상온아스콘)로 분류하고 있다. 앞으로 언급되는 일반아스팔트 및 특수아스팔트 콘크리트는 가열 혼합식 아스팔트 콘크리트(Hot-mix Asphalt Concrete)를 의미한다.

2.3.2 혼합물의 종류 및 특성

아스팔트 콘크리트 혼합물은 여러 종류로 나눌 수 있으며, 미국아스팔트협회의 분류법에 따르면 골재입도 분포의 잔골재비율 즉, 2.5mm체 통과율에 따라 머캐덤, 개립도, 조립도, 밀립도, 세립도, 토폐카, 샌드아스팔트, 시이트 아스팔트 등으로 구분하며, 입도분포가 불연속적인 것을 갭(gap) 아스팔트 콘크리트라 한다. 우리나라 한국산업규격(KS F 2349)에 따른 혼합물 분류방법은 일본의 아스팔트 포장 요강을 따랐으며, 기층과 중간층에는 일반적으로 조립도 아스팔트 콘크리트, 표층에는 대형차 교통량이 많은 지점의 포장에 밀립도 아스팔트 콘크리트, 대형차량 교통량이 비교적 적은 차도와 보도의 포장에는 세립도 아스팔트 콘크리트를 사용하고 있다. 골재의 최대입경이 20mm인 것과 13mm인 것을 비교하면, 일반적으로 전자는 내유동성, 내마모성, 미끄럼 저항 등의 성질이 우수하고, 후자는 내구성과 균열에 대한 저항성이 우수하다.

아스팔트 콘크리트 혼합물이 갖추어야 할 일반적 특성 중 표층의 혼합물은 교통차량을 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있도록 노면을 제공함은 물론 혼합물 자체가 장기간 수명을 유지하여야 한다. 이러한 기능을 만족시키기 위해서는 안전성, 가요성, 내구성, 미끄럼 저항성, 피로저항성, 불투수성, 인장강도, 내마모성 등이 필요하게 된다. 아스팔트 혼합물의 선정에 있어서는 기상조건, 지역조건, 교통조건, 재료조건과 시공한 층의 마감두께 등의 시공조건 등을 고려하여 결정한다. 각기 다른 인자들로부터 요구되는 사항을 보면 Table 1에 나타낸 것과 같다. 자동차의 타이어와 노면과의 사이에는 적당한 미끄럼 마찰 저항성이 있어야 하는데, 미끄럼 저항성이 적은 혼합물을 표층에 사용하면 운전자가 예기치 못한 사고를 일으키는 수가 있다. 이러한 미끄럼 저항성을 크게 하기 위해서는 아스팔트 양은 적게 하는 것이 좋으며, 만약 아스팔트 양이 과다하게 되면 노면에 부풀림(Blow-up) 현상이라고 불리는 아스팔트가 스며 올라와서 자동차 주행에 있어 대단히 위험한 상태로 된다.

골재 입도만으로 미끄럼 저항성이 향상된다는 명확한 근거는 없으나, 여러 가지 특수 첨가물 등을 사용하여 기존 일반아스팔트 콘크리트에 비해 미끄럼 저항성이 우수한 혼합물 등이 개발·시공되고 있으며, 대표적인 것이 개립도 아스팔트 콘크리트와 밀립도 아스팔트 콘크리트를 들 수 있다.

Table 1 Various factor for different mixture design

Mixture design Factor	Asphalt volume		Aggregate mixture	
	Many	Little	Density	Open graded
Stability	×	○	○	×
Flexibility	○	×	○	×
Durability	○	×	×	○
Skid resistance	○	×	○	×
Fatigue resistance	×	○	—	—
Permeability impervious	○	×	○	×
Tensile strength	○	×	○	×

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

3.1.1 정밀가속도계(Vericom VC2000PC)

차량이 제동하는 동안의 평균견인계수와 최대견인계수, 제동초기속도, 감속도, 정지거리, 제동경과시간 등을 Photo. 1와 같은 실험장치 정밀가속도계¹⁶⁾¹⁸⁾를 장착한 후 측정하며, 실험장치 제원은 Table 2로 나타내었다.

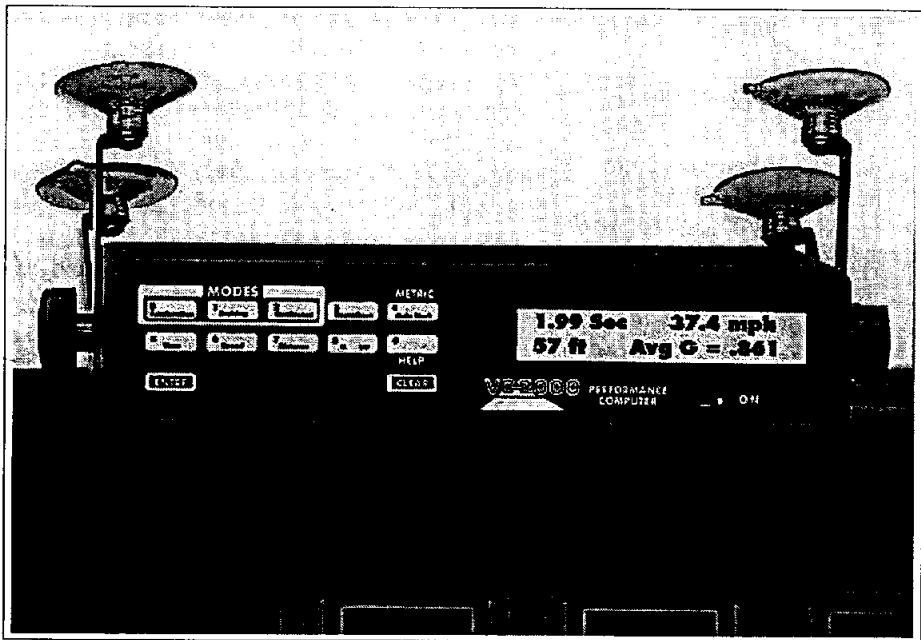


Photo. 1 Vericom VC2000PC

Table 2 The specifications of Vericom VC2000PC

Factors	Specifications
Power input	12V~16V DC(negative ground)
Momentary surge	24V DC(10 seconds)
Nominal current draw	160 mA
Temp. Range	-20°F~160°F
Charging voltage	13V~16V DC Nominal battery life : 5 hours
Accelerometer dynamic range	5g(-2g~3g)
Minimum resolution	0.00156g
Sample rate	100 Hz
Computer clock speed	11.0592 MHz
RAM	128.3 Kbytes
ROM	32 Kbytes
Dimensions	23.5 cm long, 5.38cm high, 11.43cm deep
Manufacturer	Vericom computer, Inc. 6008 Culligan Way Minnetonka, MN 55345

이 측정 장치는 스프링-질량 방식의 가속도 측정기로서, 중력가속도를 이용하는 방식이며 중력가속도는 스프링 사이에 있는 질량체의 편향도에 의해 측정하며 이 미세한 움직임은 전기적으로 감지된다.

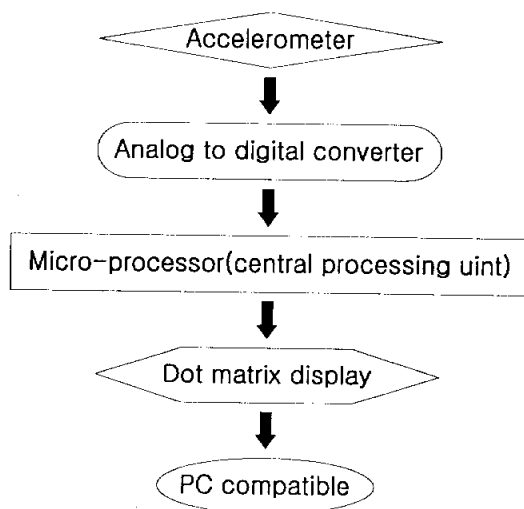


Fig. 6 The block diagram of braking test computer

또한, 가속도 측정기는 변환기와 장치로 구성되어 있으며, 이 장치는 정전 용량 가속도 측정기라고 불려진다. 변환기는 Fig. 7과 같이 샌드위치 형태의 3개 층으로 구성되어 있는데, 두개의 바깥층은 딱딱한 부도체이고 가운데층은 주석으로 만들어진 스프링에 의해 매달린 견고한 질량체이다.

따라서, 가속도 측정기를 이용한 중력가속도의 측정방법은 차량의 진행방향에 따라 가속도 측정기가 관성법칙에 의하여 미세한 편향을 나타낸다. 그 실시간 변화하는 감폭량을 정밀하게 측정하여 G당 1볼트의 용량으로 변환시켜 주어 정확한 속도와 거리를 계산하는 방식이다. 측정기는 중력가속도 측정에서는 1% 내외, 차량속도 측정에서는 1m/h(1.6km/h), 이동거리 측정은 2% 내외, 시간 측정은 0.01초 정도의 오차범위를 갖고 있다.

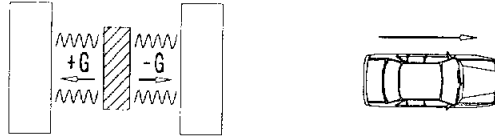


Fig. 7 Spring mass accelerometer

3.1.2 실험 차량

제동경과시간을 측정하기 위하여 본 실험에서는 1,500cc급 소형 승용차 중에서 Photo. 2와 같은 대우자동차의 Nubira 2를 선정, 정밀가속도계를 장착하여 제동시 감속 특성을 측정하였고, 실험 차량의 제원¹⁷⁾은 Table 3으로 나타내었다.

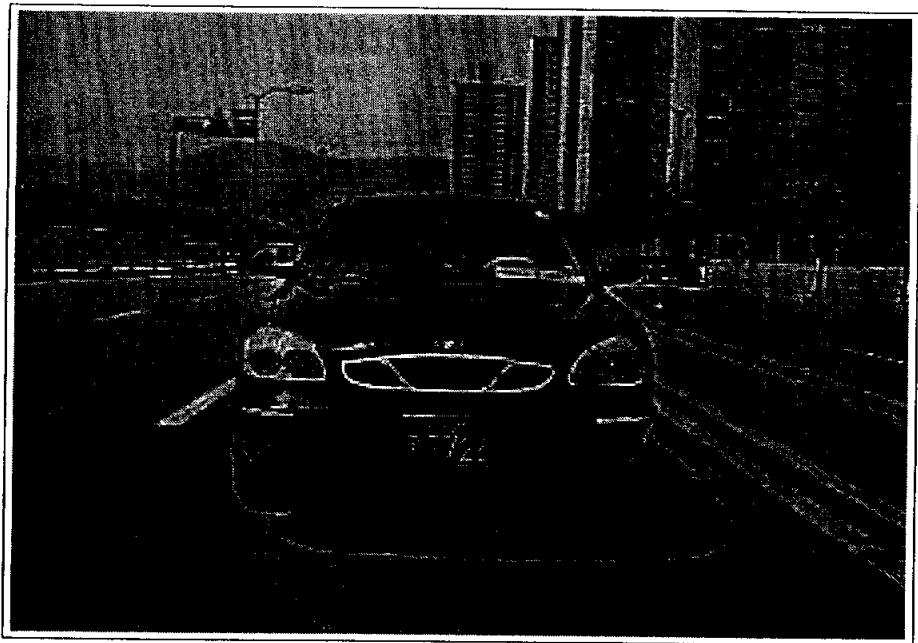


Photo. 2 Test vehicle

Table 3 Specifications of Nubira 2

Manufacturer		Daewoo
Model		Nubira 2(1999)
Transmission type		4-speed Auto manual
Overall length(mm)		4,495
Overall width(mm)		1,700
Overall height(mm)		1,430
Track(mm)	front	1,466
	rear	1,450
Wheelbase(mm)		165
Total weight(kg)		1,500
Parking brake		Manual
Fuel		Gasoline
Tire		Kumho 195/55R15 85V Steel belted radial tubeless
Brake(hydraulic)	front	Disk-brake
	rear	Drum-brake

3.2 실험 방법

본 연구는 소형 승용 차량을 사용하여 제동경과시간이 각종 노면의 조건에 따라 어떤 영향이 있는가를 알아보기 위하여 Table 4와 같은 조건으로 시험을 실시하였다. 또한 실험 차량을 대우 Nubira 2 및 마찰계수 측정 장비는 정밀가속도계(Vericom VC2000 PC)로 한정하였다.

Table 4 Various test conditions

Test place	Busan (Nam-Gu Daeyeon/Yongho, Yeonje-Gu Yangjeong, National-read 7line etc.)														
Road surface condition	Dry									Wet					
Road surface sort	Generality asphalt			Speciality asphalt			Slipping prevention pavement			Generality asphalt			Speciality asphalt		
Test speed (km/h)	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70

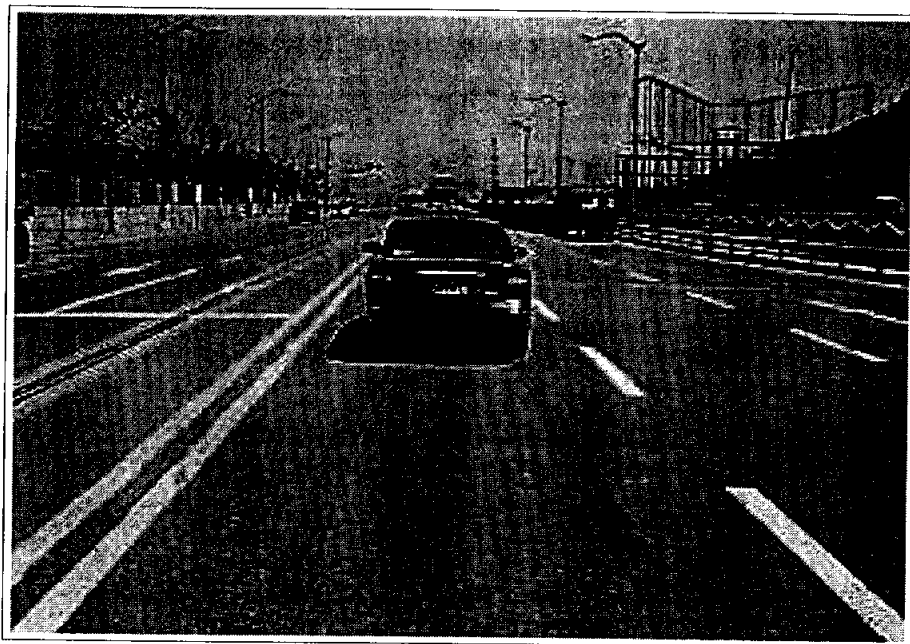


Photo. 3 Skidding test on dry asphalt

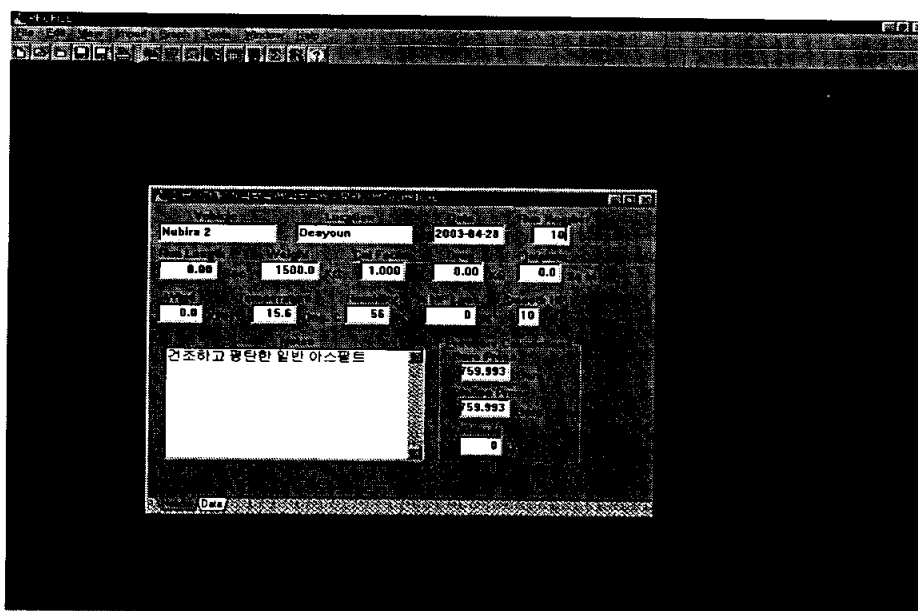


Photo. 4 The main screen of Vericom VC2000PC

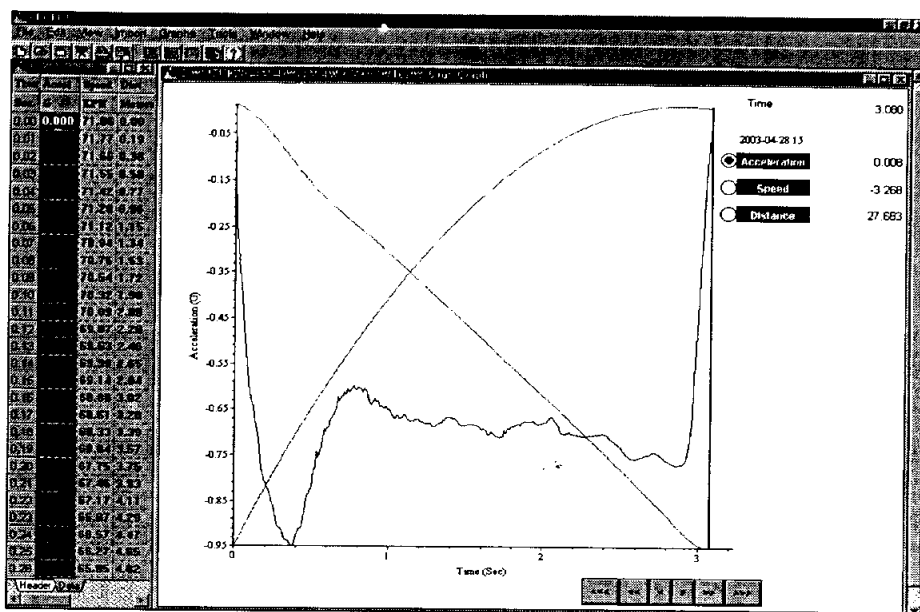


Photo. 5 Out put data and externally activated graph

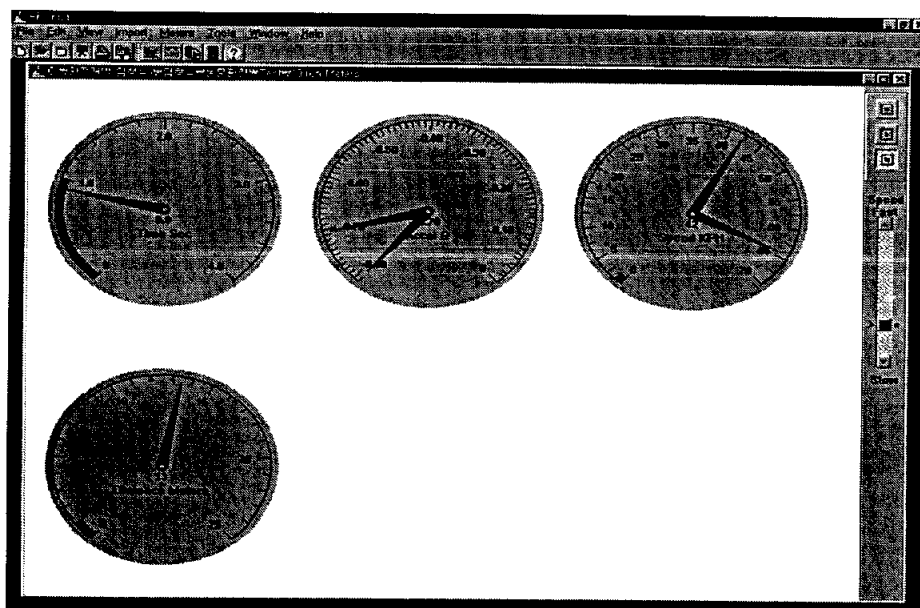


Photo. 6 Externally activated real time meters

실험은 Table 4와 같이 여러 조건으로 각각 실시하였다. 그리고 Nubira 2 차량 전면 유리 가운데 부분에 정밀가속도계를 장착하고 운전자 및 조수석에 1명을 동승하여 아래와 같은 순서로 실시하였다.

가. 실험장치 정밀가속도계 메뉴 모드에서 1번 “Braking” 버튼을 선택

나. 메뉴 모드에서 다시 4번 “Auto start” 버튼을 선택

다. 실험 차량을 출발

라. 운전자는 속도를 의식하지 말고 실험속도(50, 60, 70km/h) 이상으로 주행

마. 조수석 동승자가 실험속도에 도달할 때 신호를 주어 운전자가 급제동

바. 차량이 완전정지 후 정밀가속도계 화면에 출력된 실험번호, 평균속도, 제동거리, 평균마찰계수, 총소요시간 등을 기록용지에 기록

사. 메뉴 모드에서 “Enter” 버튼을 눌러 데이터 저장

아. 차량에서 내려 제동실험으로 도로 노면에 나타난 실제 스키드마크의 길이를 측정, 기록용지에 기록

자. “가~아” 반복 실험

정밀가속도계는 실험에서 나타난 모든 자료를 자동 저장하고 있어 실험 후 PC를 통해 모든 자료 입·출력 및 분석이 가능하나, 추후 출력된 자료의 혼동을 막기 위해서 현장에서 가속도계의 실험번호 등 자료를 기록용지에 기록하였다. 또 실험의 신뢰성을 확보하고자, 가급적 동일한 장소에서 습기가 많은 노면, 건조한 노면상태에서 동일 차량으로 50, 60, 70km/h 속도로 각 노면 조건에 따라 3회씩 반복 실험을 실시하였다.

Photo. 4는 가속도계의 데이터 분석시 나타나는 주 메뉴이며, Photo. 5는 실험 후 시간과 거리의 출력 데이터와 출력 데이터를 감속, 가속, 거리 관련 그래프로 나타낸 것이고, Photo. 6은 실시간으로 계기판을 통한 데이터의 변화량을 보여주는 활성창이다.

4. 실험 결과 및 고찰

교통사고에 있어 사고차량들의 속도 추정 문제는 매우 민감한 부분으로 과속, 교차로 선진입 및 이동 가능거리, 정지거리 및 시인가능거리, 이동시간 판단, 회전궤적추적, 최종위치까지의 이동가능성을 분석할 수 있으며, 좀더 확대하면 운동량추정, 사고시 보행자 위치규명 등 사고분석 및 재현에 있어서는 필수불가결한 요소이다. 이러한 속도추정의 기본계수로 적용되는 노면마찰계수는 올바른 속도분석의 근간을 이루는 매우 중요한 사안으로 사전에 실험조건의 고려사항으로 차종, 브레이크종류(ABS, Non-ABS), 실험속도, 타이어 종류 및 마모정도(상·중·하로 구분), 균일한 타이어 공기압, 승차인원 및 중량, 실험횟수 등을 감안하여 각 조건별로 실험한 후 마찰계수의 평균값을 적용하였다.

노면 포장별 조건에 따른 제동경과시간과 영향을 검토하기 위하여 실험 후 가속도계에 저장된 실험 데이터를 PC에서 그래프 형태로 출력한 것이 Fig. 9~Fig.14이며, 제동중 각 시간에 따라 차량의 감속상태가 잘 나타나 있어 육안으로도 제동경과시간을 식별할 수 있다. 그러나 실험시 실험자의 조건 및 상황변화 등에 의하여 측정된 값이 일정하지 않으므로 각각의 속도에 대하여 3번씩의 실험을 실시하고 이를 실험 데이터 값으로 정하였다.

4.1 차량의 속도와 제동경과시간과의 관계

차량의 속도변화에 따른 제동경과시간에 대한 관계는 건조하고 평탄한 일반 아스팔트 콘크리트 노면에서 실험 측정한 속도 변화에 대한 제동경과시간을 Fig. 8에 나타내었고, 각 속도에 따른 제동경과시간은 50km/h에서 0.27~0.32초, 60km/h에서 0.30~0.40초, 70km/h에서 0.32~0.41초로 그 변화량은 0.14초로 나타났다. 이러한 결과로 보아 제동경과시간은 차량의 속도 증가에 따라

조금씩 증가하는 것으로 측정되어 제동경과시간은 초기운행속도의 증가에 따라 제동경과시간도 함께 길어지는 것으로 본 실험에서 나타났다. 이러한 결과는 속도의 증가에 따른 운전자의 반응시간동안 공주거리가 길어지므로 제동경과시간도 함께 길어지는 것으로 사료된다.

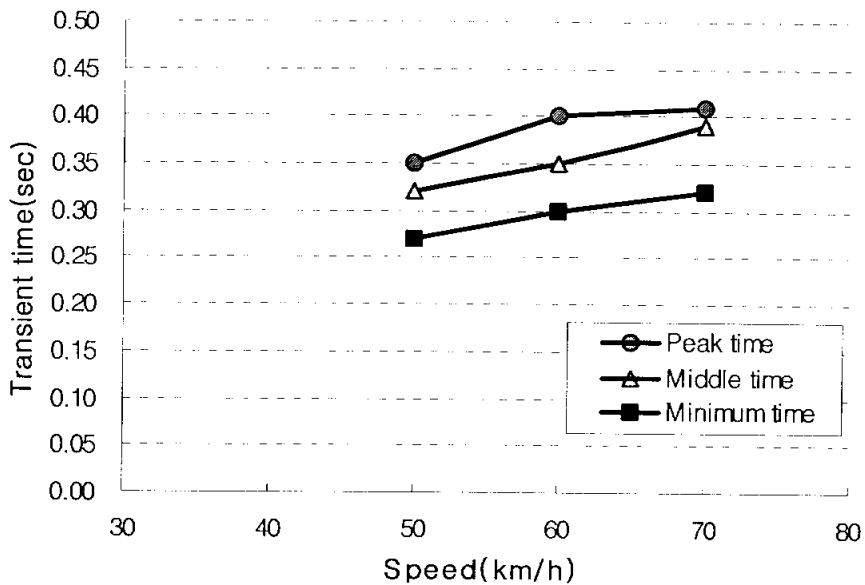


Fig. 8 Speed and transient time of the dry asphalt

4.2 건 · 습 상태 아스팔트 노면에서의 제동경과시간

Fig. 9 및 Table 4~Table 6은 건조하고 평탄한 일반아스팔트 콘크리트 포장도로에서 제동초기속도 약 50km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프 및 표이다. 각 실험은 3회씩 실시하여 모두 시간에 따른 견인계수의 변화상태는 거의 유사하며 제동 후 약 0.3sec전까지는 미끄럼 비 20%에 도달하기까지 견인계수도 함께 증가하다가 제동 후 약0.38~0.42sec에 도달하는 시점에서 최대

견인력을 얻을 수 있으며, 그 이후에는 완전제동 되어 일정한 상태를 유지하게 된다. Table 5에는 가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 9.8~11.9m이었으나 도로 노면상에 생성된 급제동 흔적을 실측한 길이는 6.2~8.7m로 나타났으며, 둘 사이의 거리차이인 급제동흔적 생성전 제동경과거리는 3.2~3.6m가 시간으로 환산하면 0.27~0.35sec가 경과 되었다. 같은 방법으로 Fig. 10는 약 60km/h에서 Fig 11는 약 70km/h로 급제동 실험한 시간-견인계수 그래프로 급제동흔적 생성전 제동경과거리는 60km/h에서 4.0~5.7m이고, 70km/h에서 5.1~6.4m로 나타났다. 제동경과시간으로 환산하면 60km/h에서 0.30~0.40sec이고, 70km/h에서 0.32~0.41sec가 경과 되었다.

Fig. 12는 습기가 있고 평탄한 아스팔트 콘크리트 포장도로에서 제동초기속도 약 50km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프이며, 건조하고 평탄한 일반아스팔트 포장도로에서는 거의 일정한 감속 상태를 유지 하는 것과 달리 불안정한 감속 상태를 유지하였다. Table 8에는 가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 12.5~15.0m이었으며, 도로 노면상에 생성된 급제동 흔적의 실측한 길이는 아스팔트 포장 노면이 습윤한 상태이므로 육안으로 식별이 매우 힘들었으며, 측정 가능한 거리를 실측하였다. 같은 방법으로 약 60km/h와 70km/h로 급제동 실험한 결과는 Fig. 13과 Fig. 14에 나타냈으며, 정밀가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 60km/h에서 19.6~23.2m, 70km/h에서 30.1~31.4m로 나타났다

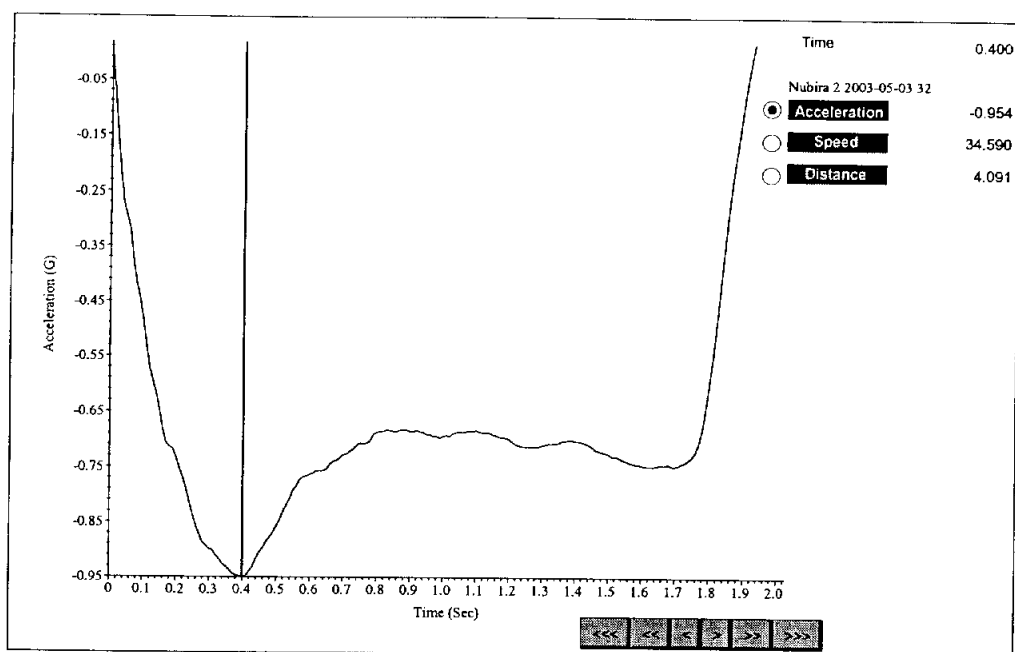


Fig. 9 The relationship acceleration and time on dry asphalt under 50km/h

Table 5 The experimental results on dry asphalt under 50km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	48.3	44.3	47.8
Stop time(sec)	1.93	1.73	1.81
Average speed reduction(m/s^2)	-0.708g	-0.725g	-0.705g
Stop distance(m)	11.9	9.8	11.3
Actual survey distance(m)	8.7	6.2	7.9
Braking marks generation before transient brake distance(m)	3.2	3.6	3.4
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.27	0.35	0.32

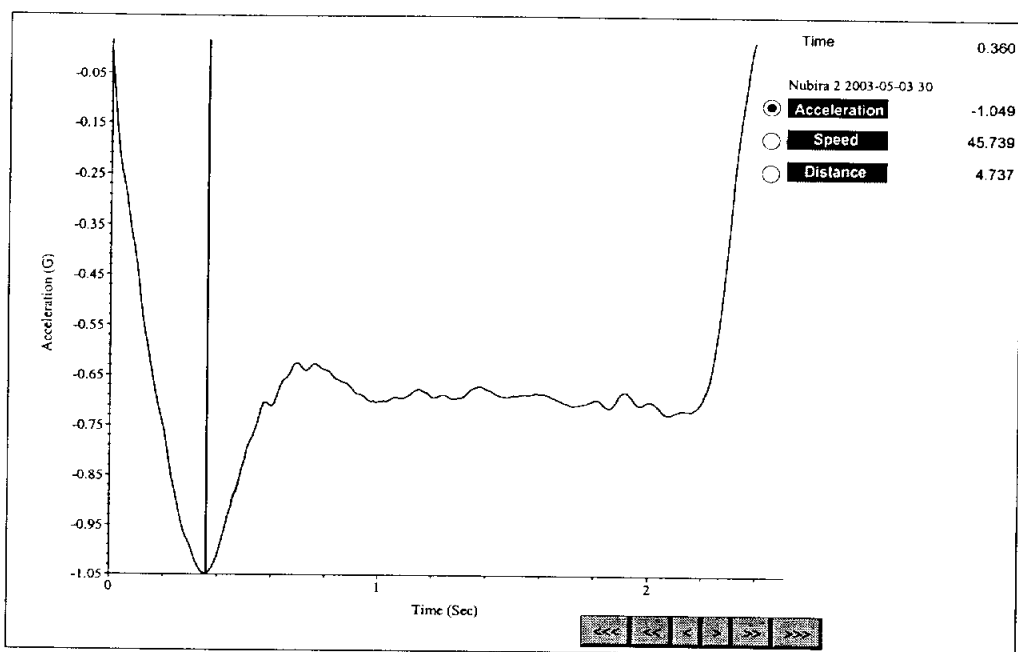


Fig. 10 The relationship acceleration and time on dry asphalt under 60km/h

Table 6 The experimental results on dry asphalt under 60km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	54.3	58.9	55.3
Stop time(sec)	2.19	2.37	2.23
Average speed reduction(m/s^2)	-0.702g	-0.703g	-0.684g
Stop distance(m)	15.3	18.2	14.7
Actual survey distance(m)	11.3	12.5	10.1
Braking marks generation before transient brake distance(m)	4.0	5.7	4.6
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.30	0.40	0.35

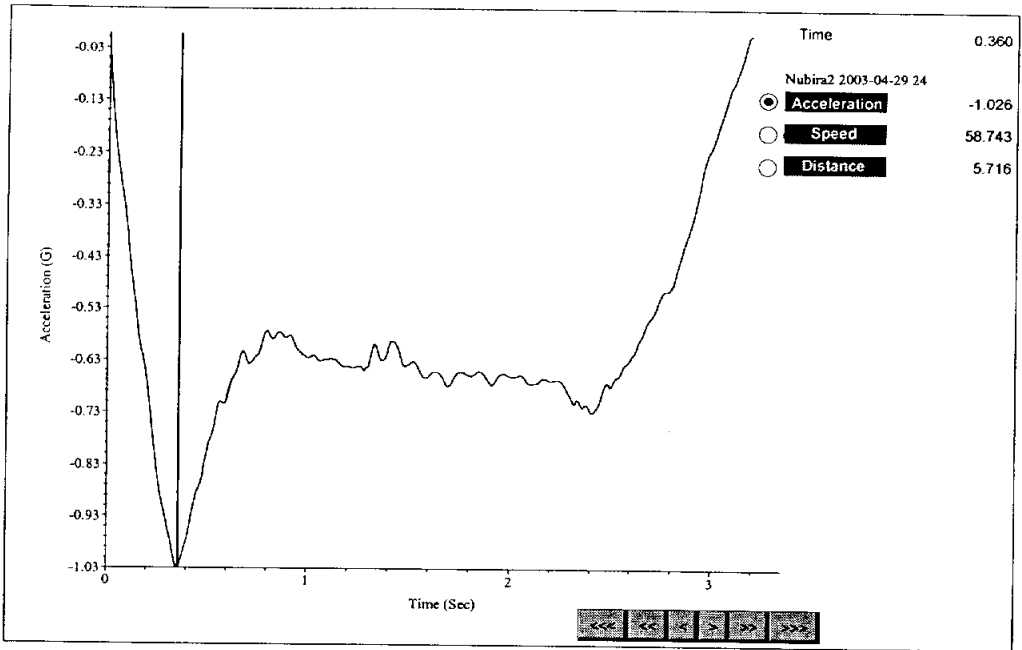


Fig. 11 The relationship acceleration and time on dry asphalt under 70km/h

Table 7 The experimental results on dry asphalt under 70km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	66.6	66.9	67.5
Stop time(sec)	2.99	2.96	2.98
Average speed reduction(m/s ²)	-0.630g	-0.639g	-0.654g
Stop distance(m)	23.9	24.7	25.5
Actual survey distance(m)	18.8	18.4	19.1
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.1	6.3	6.4
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.32	0.39	0.41

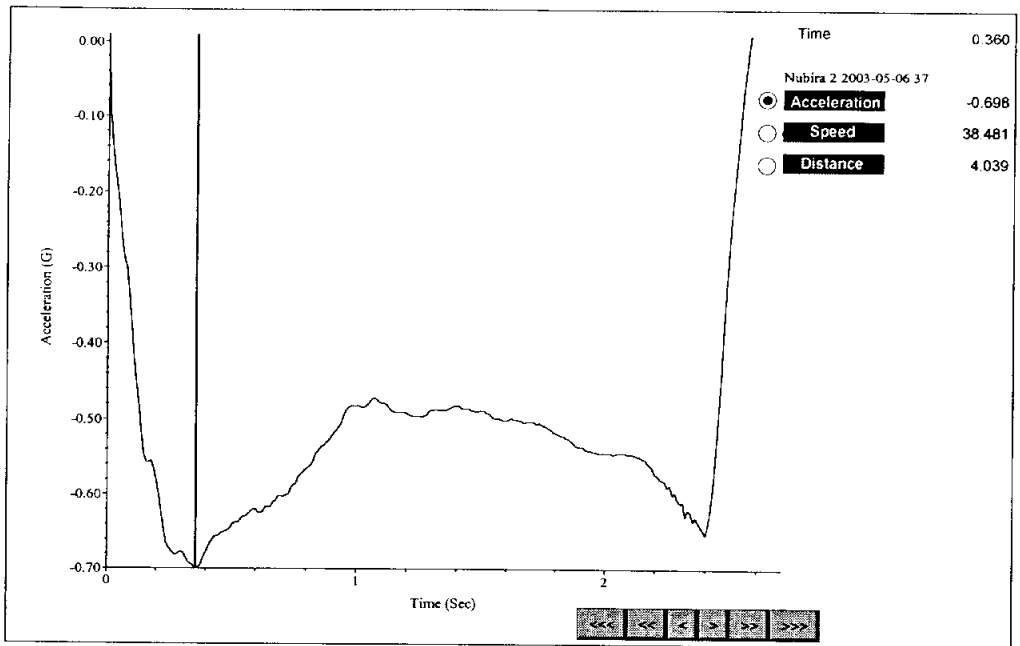


Fig. 12 The relationship acceleration and time on wet asphalt under 50km/h

Table 8 The experimental results on wet asphalt under 50km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	43.9	45.0	44.8
Stop time(sec)	2.09	2.37	2.37
Average speed reduction(m/s^2)	-0.593g	-0.536g	-0.534g
Stop distance(m)	12.5	14.1	15.0
Actual survey distance(m)	8.8	10.1	11.3
Braking marks generation before transient brake distance(m)	3.7	4.0	3.7
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.34	0.36	0.33

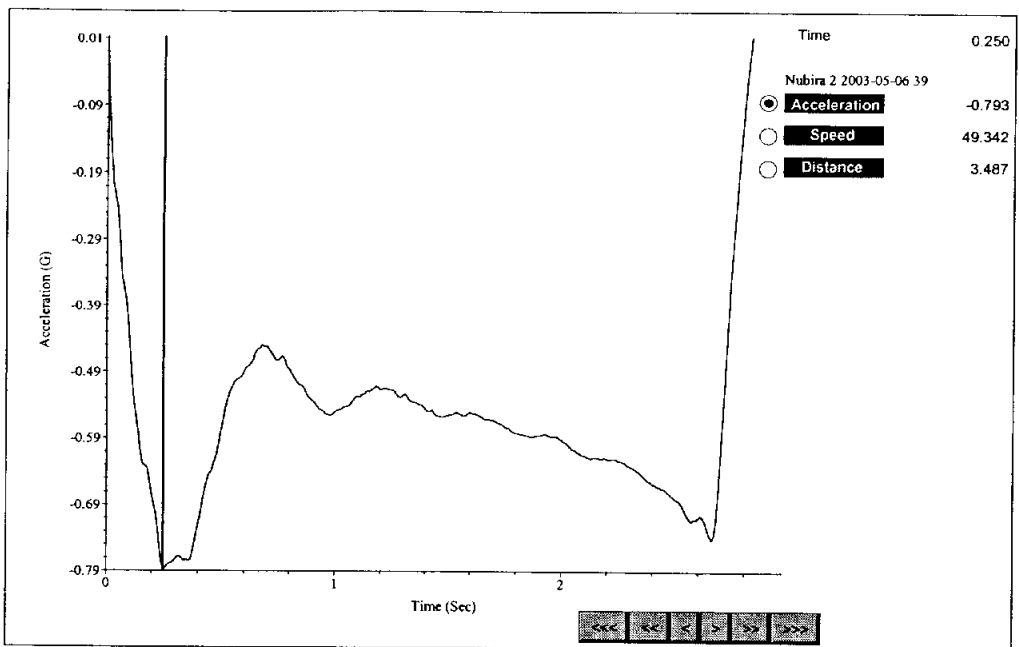


Fig. 13 The relationship acceleration and time on wet asphalt under 60km/h

Table 9 The experimental results on wet asphalt under 60km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	53.1	57.0	53.8
Stop time(sec)	2.80	2.72	2.63
Average speed reduction(m/s ²)	-0.536g	-0.593g	-0.579g
Stop distance(m)	23.2	22.1	19.6
Actual survey distance(m)	17.8	15.9	14.1
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.4	6.2	5.5
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.38	0.43	0.41

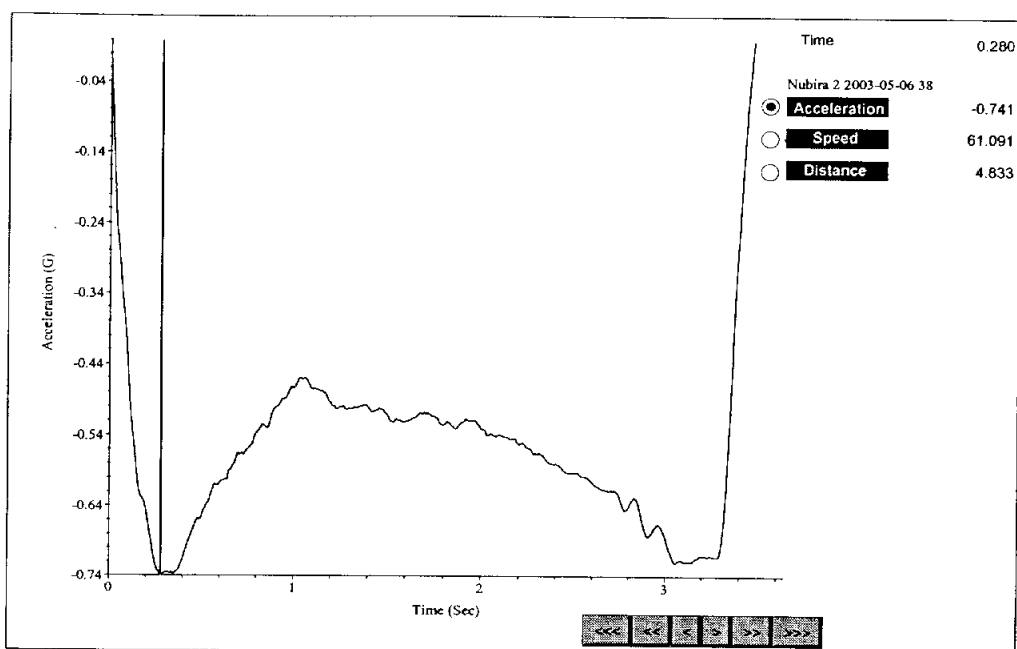


Fig. 14 The relationship acceleration and time on wet asphalt under 70km/h

Table 10 The experimental results on wet asphalt under 70km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	65.4	66.1	67.3
Stop time(sec)	3.25	3.27	3.29
Average speed reduction(m/s^2)	-0.569g	-0.572g	-0.579g
Stop distance(m)	30.5	30.1	31.4
Actual survey distance(m)	23.6	22.6	22.8
Braking marks generation before transient brake distance(m)	6.9	7.5	8.6
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.41	0.45	0.52

아래의 Fig. 15에서와 같이 각 속도에 따른 건·습 상태 아스팔트 노면의 평균제동경과시간 차이가 50km/h에서 0.03초, 60km/h에서 0.06초, 70km/h에서 0.09초로 속도가 증가할수록 습기가 있는 아스팔트가 건조한 일반 아스팔트 노면에서 보다 제동경과 시간도 함께 늦어짐을 알 수 있었다. 이는 습기가 있는 일반아스팔트 노면의 마찰계수가 건조한 상태의 일반아스팔트 노면상태 마찰계수보다 적기 때문에 제동경과시간도 함께 길어지는 것으로 판단되었다.

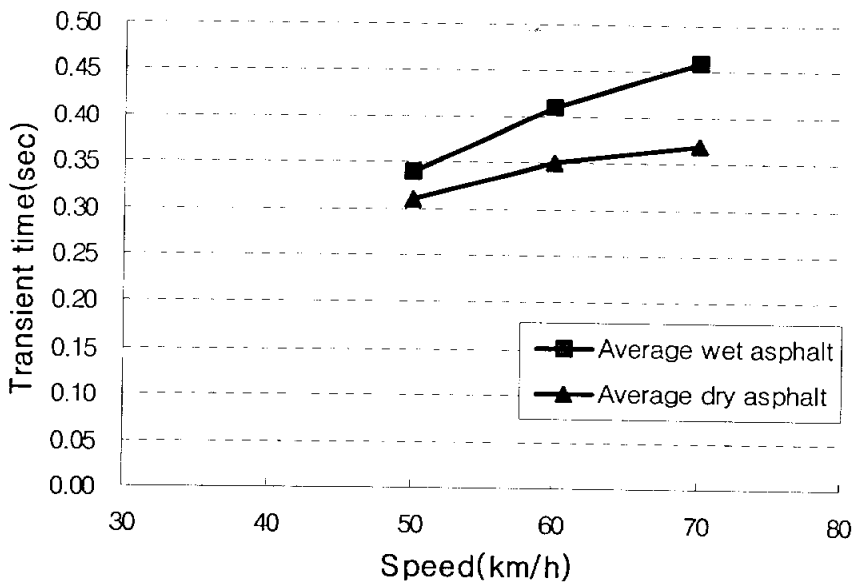


Fig. 15 Speed and transient time of dry and wet asphalt

4.3 일반·특수포장 아스팔트 노면에서의 제동경과시간

4.3.1 내유동 아스콘(Rutting Free ASCON)

내유동 아스콘은 최근 고온 및 중차량으로 인하여 아스팔트 포장에 발생하는 소성변형을 최대한 저감시킨 아스팔트 콘크리트 혼합물로서 국내에서 생산

되고 있는 아스팔트를 그대로 적용하고 골재 입도를 개선시켜 개발·제조한 제품으로 “한국아스콘공업협동조합연합회”에서 3년간에 걸친 기술개발과 현장 시험포장등을 통하여 그 우수성이 입증된 제품이다. 내유동 아스콘은 소성변형문제 개선 및 기타 공용성이 우수, 타 개질아스콘에 비하여 원가가 절감되며, 일반제품과 생산 공정이 동일하여 생산효율 증대와 노면의 노화시 재활용이 용이한 것으로 알려져 있다. 실험은 부산시 남구에 위치한 유엔교차로, 동국보세장치장삼거리 등에서 이루어졌으며, 아스팔트 포설 후 공용된 시기는 3개월 미만인 지점으로 교차로 유입부 정지선에서 70~80m 후방으로 각 방면마다 설치되어 있다.

Fig. 16는 건조하고 평탄한 특수(내유동)아스팔트 콘크리트 포장도로에서 제동초기속도 약 50km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프이며, Table 10에는 가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 10.5~12.2m이었으나 도로 노면상에 생성된 급제동 흔적을 실측한 길이는 7.4~9.4m로 나타났다. 둘 사이의 거리차이인 급제동흔적 생성전 제동경과거리는 2.8~3.1m가 발생하였으며, 시간으로 환산하면 0.24~0.29sec가 경과 되었다. 같은 방법으로 정밀가속도계를 이용하여 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 60km/h에서 15.8~18.8m, 70km/h에서 26.9~29.9m로 나타났다. Table 11~Table 13에는 그 외의 실제 정지거리 및 실측한 길이 등을 나타내는 실험결과가 나타나 있다.

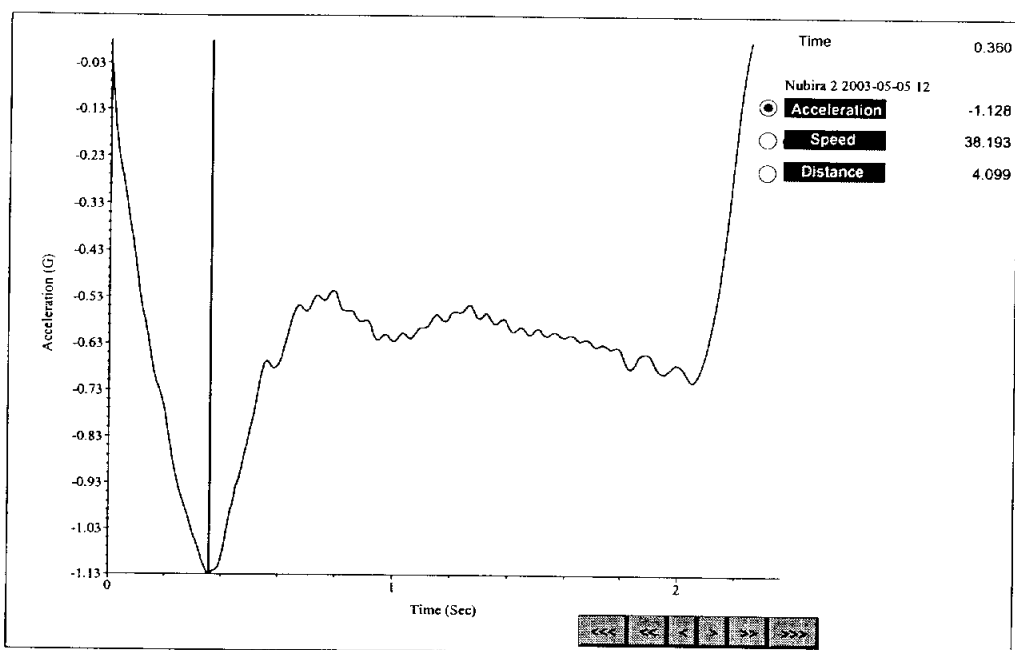


Fig. 16 The relationship acceleration and time on rutting free asphalt under 50km/h

Table 11 The experimental results on rutting free asphalt under 50km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	47.2	46.3	46.0
Stop time(sec)	2.05	1.83	1.77
Average speed reduction(m/s^2)	-0.651g	-0.716g	-0.715g
Stop distance(m)	12.2	10.8	10.5
Actual survey distance(m)	9.4	7.5	7.4
Braking marks generation before transient brake distance(m)	2.8	3.3	3.1
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.24	0.29	0.27

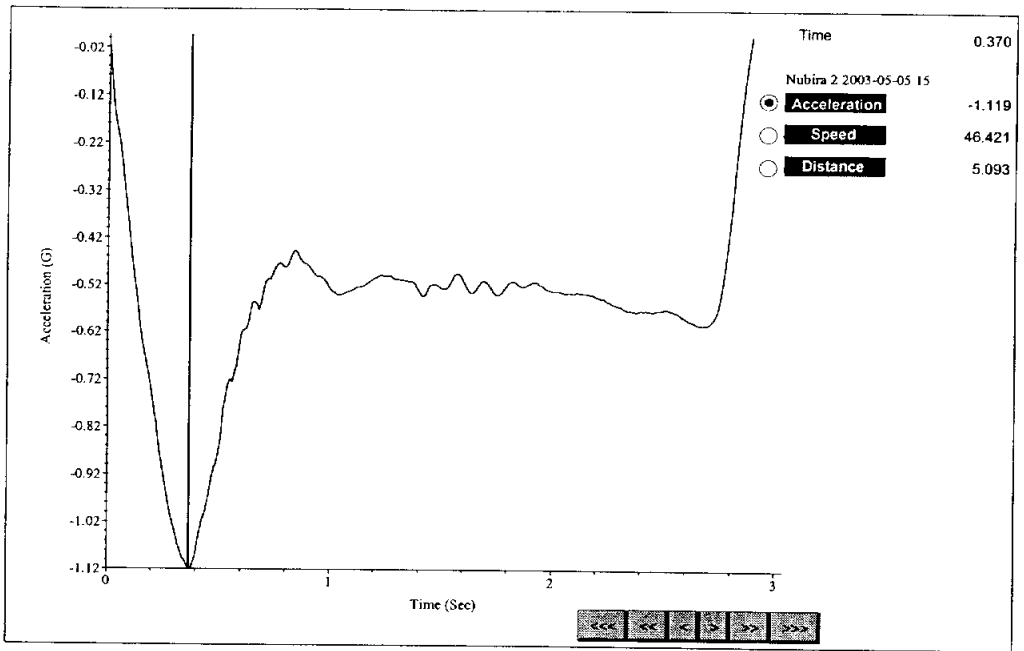


Fig. 17 The relationship acceleration and time on rutting free asphalt under 60km/h

Table 12 The experimental results on rutting free asphalt under 60km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	55.4	56.6	57.1
Stop time(sec)	2.69	2.28	2.30
Average speed reduction(m/s ²)	-0.582g	-0.642g	-0.633g
Stop distance(m)	18.8	17.0	15.8
Actual survey distance(m)	14.9	12.9	11.6
Braking marks generation before transient brake distance(m)	3.9	4.1	4.2
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.28	0.29	0.30

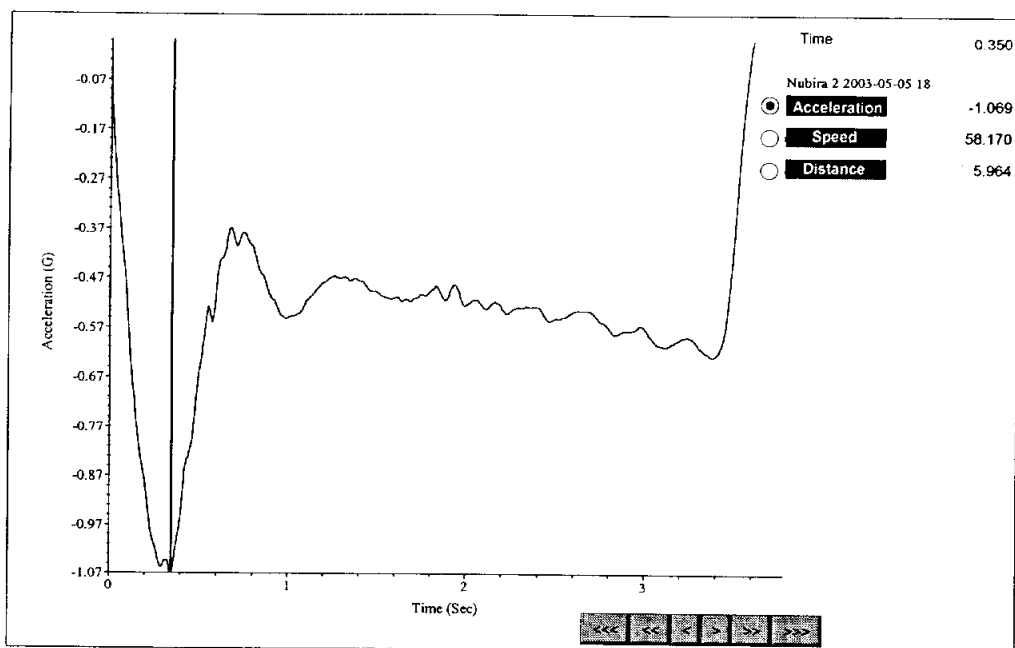


Fig. 18 The relationship acceleration and time on rutting free asphalt under 70km/h

Table 13 The experimental results on rutting free asphalt under 70km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	67.4	67.0	67.2
Stop time(sec)	3.40	3.19	3.18
Average speed reduction(m/s^2)	-0.561g	-0.596g	-0.607g
Stop distance(m)	29.9	26.9	27.3
Actual survey distance(m)	24.1	21.8	21.9
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.8	5.1	5.4
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.34	0.30	0.32

4.3.2 SMA(Stone Mastic Asphalt)

SMA 포장은 골재의 맞물림 효과를 최대화 하여 소성변형을 최소화하며, 많은 양의 아스팔트를 함유케하여 골재에 대한 아스팔트 피복 두께를 두껍게 하고 천연섬유를 첨가함으로써 아스팔트와 골재간의 결합력을 높여 주어 골재의 탈리나 균열을 최소화하고 노화를 지연시킨다. 또한 포장 후 표면이 거칠기 때문에 미끄럼 저항성이 우수하고, 고온 및 중차량 조건에서 소성변형에 대한 저항성이 우수하다고 알려져 있다.

실험은 부산광역시 연제구에 위치한 송공삼거리~지방청입구삼거리 구간에서 이루어졌으며, 아스팔트 포설 후 공용된 시기는 4개월 미만인 지점으로 100~150m씩 불연속적으로 설치되어 있다. Fig. 19은 건조하고 평탄한 특수(SMA)아스팔트 콘크리트 포장도로에서 제동초기속도 약 50km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프이며, 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 13.0~14.0m이었으나 도로 노면상에 생성된 급제동 흔적을 실측한 길이는 9.7~10.0m로 나타났다. 둘 사이의 거리차이인 급제동흔적 생성전 제동경과거리는 3.0~4.3m가 발생하였으며, 시간으로 환산하면 0.26~0.36sec가 경과 되었다.

같은 방법으로 약 60km/h와 70km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프는 Fig. 20과 Fig. 21이고, 정밀가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 60km/h에서 15.5~20.6m, 70km/h에서 28.1~28.9m로 나타났으며, 제동경과거리 및 시간은 Table 14~Table 16에 나타내었다.

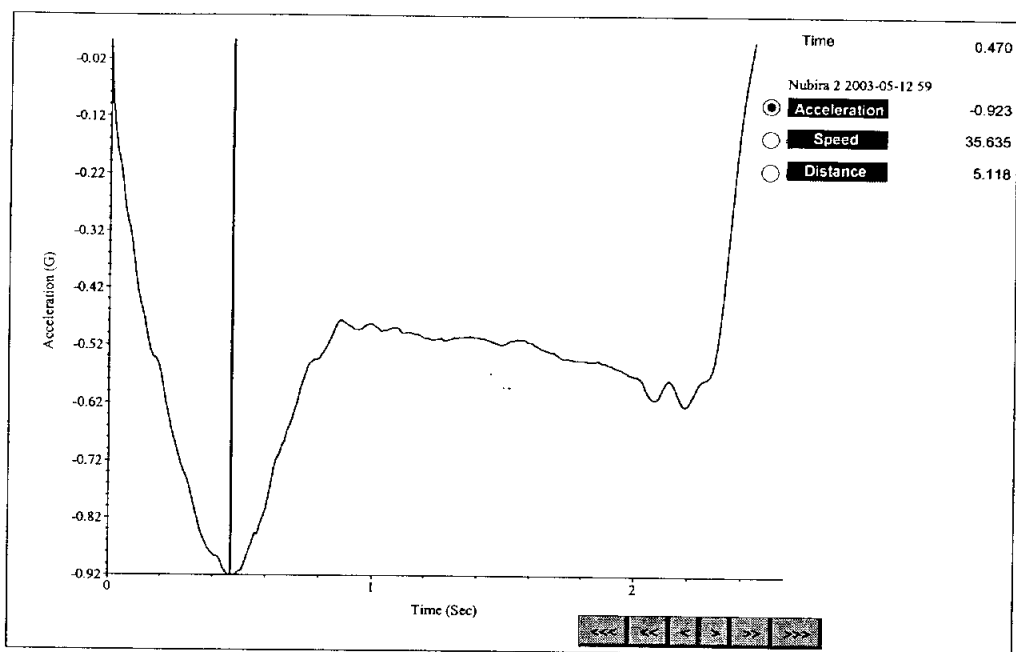


Fig. 19 The relationship acceleration and time on SMA asphalt under 50km/h

Table 14 The experimental results on SMA asphalt under 50km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	49.8	45.9	47.8
Stop time(sec)	2.19	2.24	2.21
Average speed reduction(m/s^2)	-0.643g	-0.580g	-0.611g
Stop distance(m)	14.0	13.0	13.5
Actual survey distance(m)	9.7	10.0	9.9
Braking marks generation before transient brake distance(m)	4.3	3.0	3.6
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.36	0.26	0.32

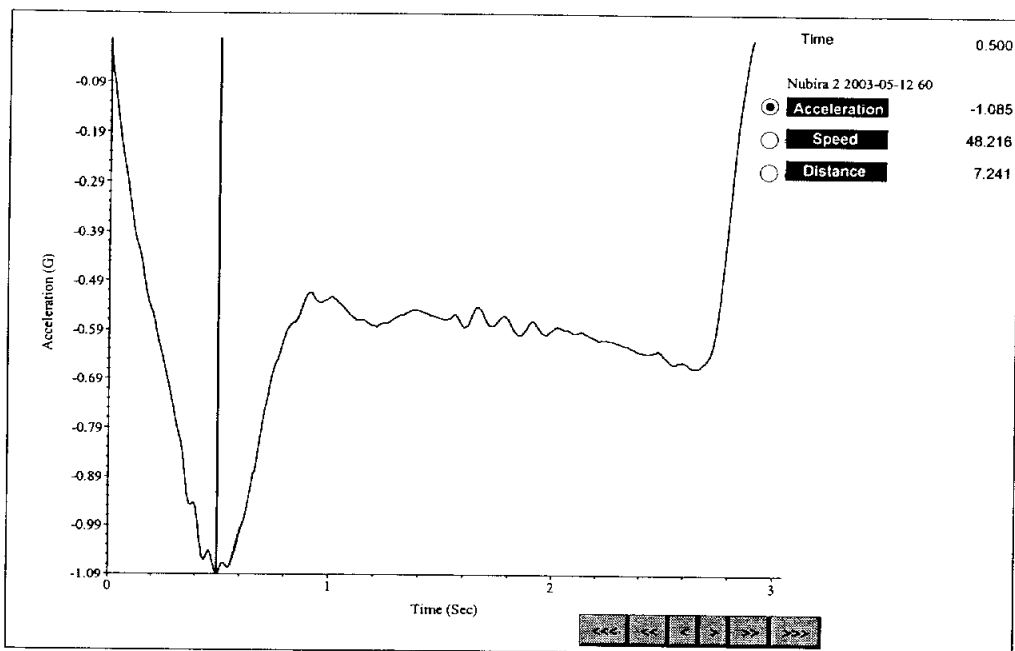


Fig. 20 The relationship acceleration and time on SMA asphalt under 60km/h

Table 15 The experimental results on SMA asphalt under 60km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	59.7	55.7	57.7
Stop time(sec)	2.70	2.18	2.44
Average speed reduction(m/s ²)	-0.625g	-0.623g	-0.624g
Stop distance(m)	20.6	15.5	18.1
Actual survey distance(m)	15.2	11.1	13.4
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.4	4.4	4.7
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.36	0.32	0.35

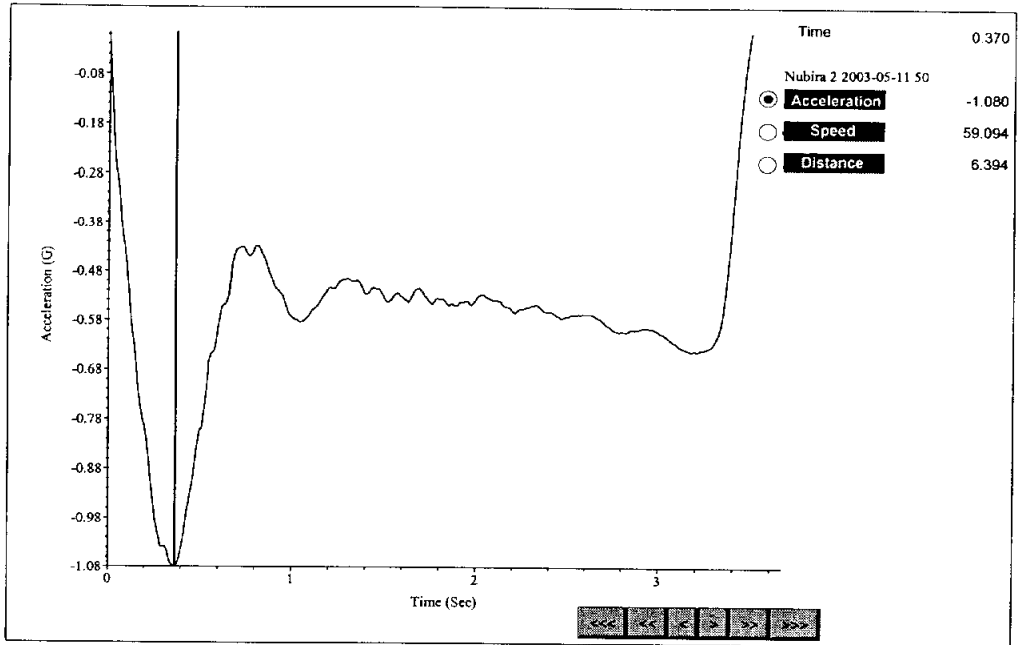


Fig. 21 The relationship acceleration and time on SMA asphalt under 70km/h

Table 16 The experimental results on SMA asphalt under 70km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	68.2	67.5	66.8
Stop time(sec)	3.31	3.29	3.27
Average speed reduction(m/s^2)	-0.581g	-0.588g	-0.601g
Stop distance(m)	28.9	28.3	28.1
Actual survey distance(m)	23.5	22.6	21.2
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.4	5.7	6.9
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.31	0.33	0.40

4.3.3 EA(Ecological Asphalt : ECOPHALT)

에코팔트는 친환경적인 아스팔트로 국내 최초로 개발된 저소음, 배수성 포장으로 기존의 아스팔트 포장과 달리 포장체의 공극을 통해 빗물을 배수시킨다. 공극으로 인해 차량 주행시 발생하는 소음의 감소와 특수 첨가재(DAMA : Darin Asphalt Modified Additive)를 사용하여 아스팔트 포장의 저온시 균열 파괴 및 고온시 변형현상을 현저히 감소시킨다. 특히 에코팔트는 배수성포장으로 빗길 교통사고의 감소 효과가 매우 높은 것으로 일본 “도로교통협회”의 보고서에 평가 받고 있다. 향후 국내에서도 비교·검토(효과분석)를 하여 교통사고감소의 검증이 이루어진다면 수막현상의 예방, 야간 노면의 시인성 향상 및 소음감소, 빗길교통사고 등을 줄일 수 있는 하나의 교통안전 개선방안으로 제시하고자 하며, 도로 공용 후 공극의 막힘을 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

실험은 국도 7호선 부산과 울산의 시경계부 근처에서 이루어졌으며, 아스팔트 포설 후 공용된 시기는 6개월 미만인 지점으로 콘크리트포장 위 덧씌우기 구간에 1,000~1,500m씩 불연속적으로 설치되어 있다. 특수(ECOPHALT)아스팔트 콘크리트 포장도로에서 제동초기속도 약 50km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프는 Fig. 22이며, Table 17에는 가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 11.0~12.2m이었으나, 도로 노면상에 생성된 급제동 흔적을 실측한 길이는 8.6~9.1m로 나타났다. 둘 사이의 거리차이인 급제동흔적 생성 전 제동경과거리는 2.5~3.3m가 발생하였으며, 시간으로 환산하면 0.21~0.28sec가 경과 되었다. 같은 방법으로 Fig. 23는 약 60km/h에서 Fig. 24은 약 70km/h로 급제동 실험한 감속도-시간 그래프이고, 정밀가속도계로 측정한 실험차량의 실제 정지거리는 60km/h에서 18.1~18.8m, 70km/h에서 29.3~29.9m로 나타났으며, 제동경과거리 및 시간은 Table 18과 Table 19에 나타내었다.

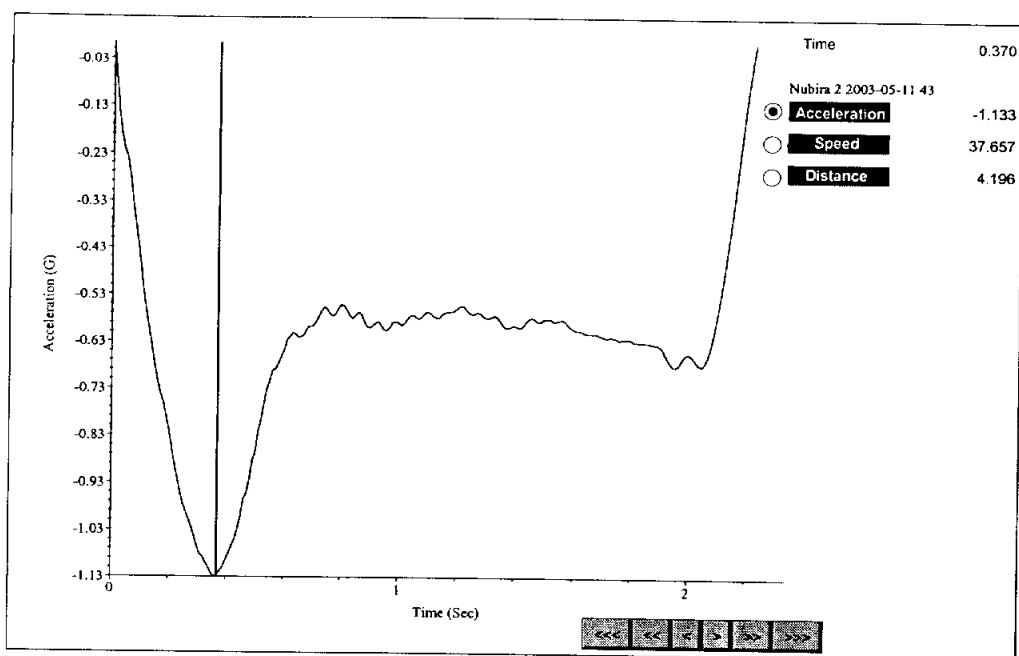


Fig. 22 The relationship acceleration and time on ECOPHALT under 50km/h

Table 17 The experimental results on ECOPHALT under 50km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	45.9	47.2	47.3
Stop time(sec)	1.91	2.05	2.03
Average speed reduction(m/s^2)	-0.680g	-0.651g	-0.659g
Stop distance(m)	11.1	12.2	12.0
Actual survey distance(m)	8.6	9.1	8.7
Braking marks generation before transient brake distance(m)	2.5	3.1	3.3
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.21	0.27	0.28

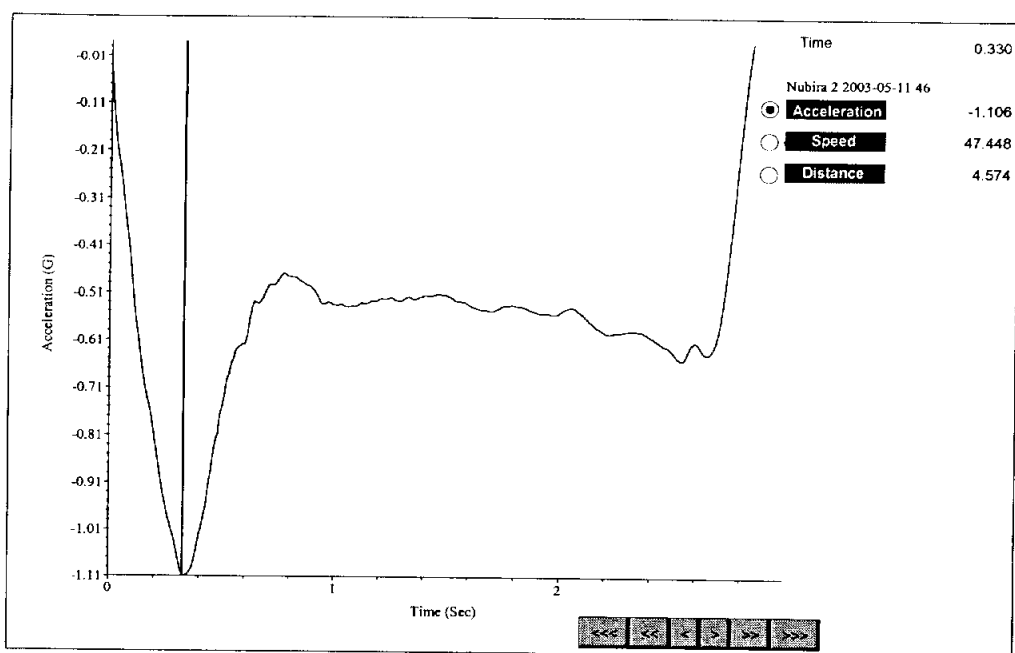


Fig. 23 The relationship acceleration and time on ECOPHALT under 60km/h

Table 18 The experimental results on ECOPHALT under 60km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	54.9	55.4	55.4
Stop time(sec)	2.57	2.69	2.65
Average speed reduction(m/s^2)	-0.603g	-0.582g	-0.592g
Stop distance(m)	18.1	18.8	18.7
Actual survey distance(m)	14.3	15.8	14.6
Braking marks generation before transient brake distance(m)	3.8	3.0	4.1
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.27	0.30	0.22

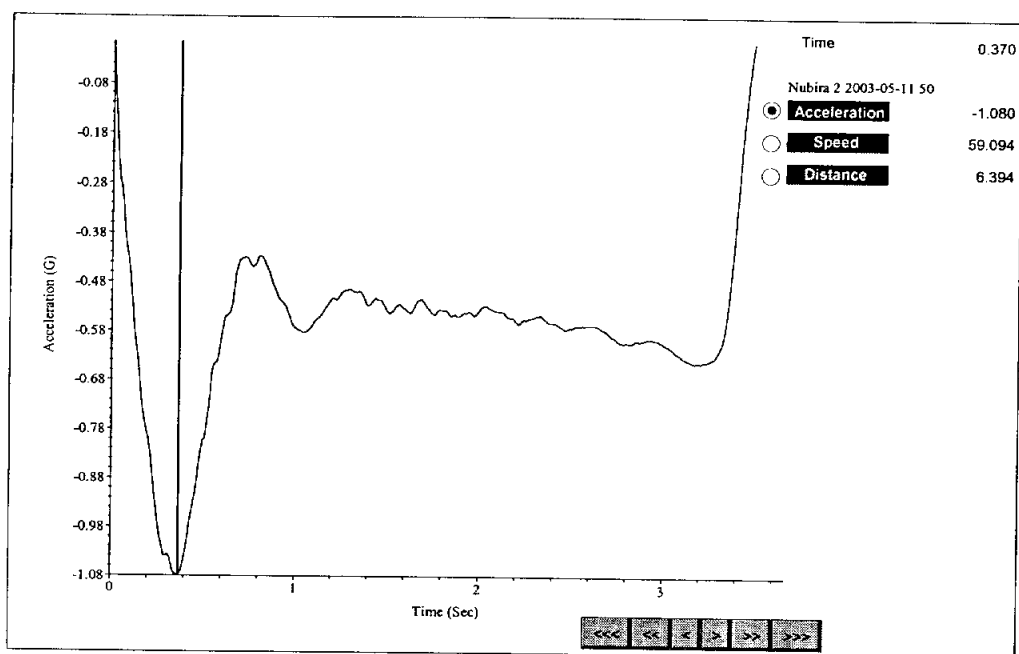


Fig. 24 The relationship acceleration and time on ECOPHALT under 70km/h

Table 19 The experimental results on ECOPHALT under 70km/h

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	67.4	68.5	67.9
Stop time(sec)	3.40	3.29	3.34
Average speed reduction(m/s^2)	-0.561g	-0.588g	-0.574g
Stop distance(m)	29.9	29.3	29.6
Actual survey distance(m)	25.1	23.8	24.9
Braking marks generation before transient brake distance(m)	4.8	5.5	4.7
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.28	0.31	0.27

Fig. 25은 건조하고 평탄한 일반아스팔트와 특수아스팔트 노면에서 실험 측정한 속도 변화에 대한 제동경과시간을 나타내었고, 각 특수 포장에 따른 제동경과시간은 내유동 아스팔트 포장이 0.27~0.32초, SMA 아스팔트 포장이 0.26~0.28초, ECOPHALT는 0.19~0.22초로 나타났다. 일반아스팔트 포장에서의 제동경과시간 0.31~0.37초로 그 변화량은 0.12~0.15초 였다. 이러한 결과로 보아 제동경과시간은 노면 포장의 종류에 따라 조금씩 변화를 가져오는 것으로 판단되며, 이는 노면 마찰계수 값의 차이가 특수아스팔트의 재질 및 성분, 첨가제의 종류에 따라 조금씩 제동경과시간에 영향을 주는 것으로 본 실험에서 나타났다.

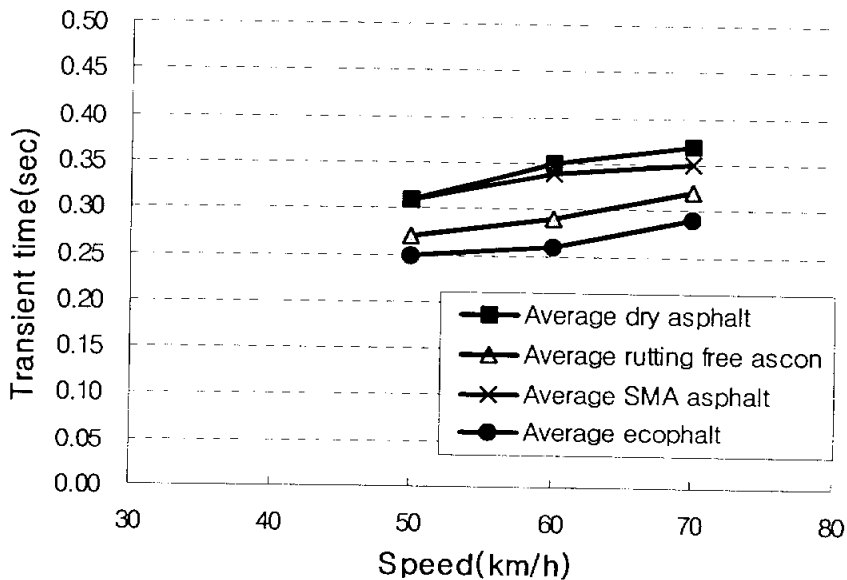


Fig. 25 Speed and Transient time of dry asphalt and speciality asphalt

4.4 미끄럼방지포장 설치방식에 따른 제동경과시간

미끄럼방지시설이란 노면의 미끄럼 저항이 낮아진 곳, 도로의 평면 및 종단 선형이 불량한 곳 등에서 포장면의 미끄럼 저항력을 높여 주어 자동차의 제동 거리를 짧게 하기 위한 목적으로 설치되는 시설물을 말하며, 포장의 미끄럼 저항을 높여 자동차의 안전주행 확보 외에 운전자의 주의를 환기시켜 안전운행을 도모하는 부수적인 기능도 가지고 있다.

전면처리방식은 해당구간의 노면전체를 설치하는 형식을 말하며, 이격식에 비해 미끄럼 마찰력 증진이 요구되는 구간에 가장 적합하게 선정되는 공법을 말한다. 또 일정 간격을 띄워 부분 처리하는 형식을 이격식 이라고 하며, 설치 방식에 따라 1:3방식과 3:6 방식이 있다.

4.4.1 이격식(1:3 포장방식)

실험은 종단경사 5~6% 정도의 내리막 경사구간인 부산시 남구에 위치한 부산공업고등학교 후문 앞 도로에서 이루어졌으며, 그 결과 값은 Table 20~Table 21에 나타내었다.

4.4.2 이격식(3:6 포장방식)

실험은 부산시 중구에 위치한 2부두 앞 교차로에서 이루어졌으며, 종단경사가 거의 없는 직선구간으로 유색 수지계 표면처리 방식으로 설치된 구간이다. 그 결과 값은 Table 22~Table 23에 나타내었다.

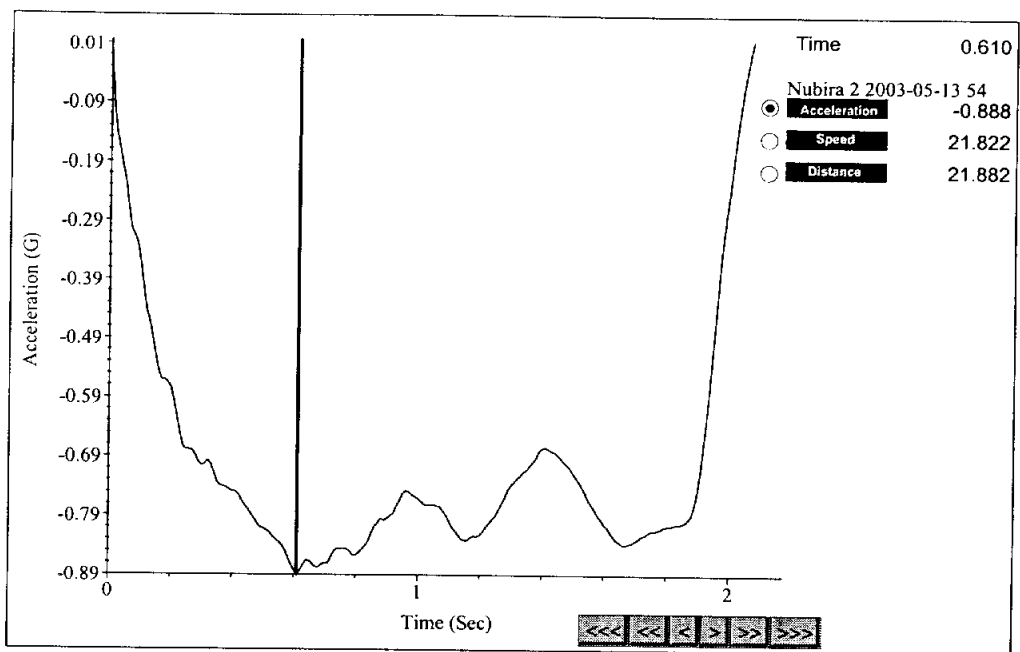


Fig. 26 The relationship acceleration and time on sliding prevention pavement(1:3 formula) under 50km/h

Table 20 The experimental results on sliding prevention pavement (1:3 formula)

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	48.7	47.9	46.3
Stop time(sec)	1.87	1.96	1.83
Average speed reduction(m/s ²)	-0.738g	-0.694g	-0.653g
Stop distance(m)	12.2	11.2	10.8
Actual survey distance(m)	4.3	4.3	3.7
Braking marks generation before transient brake distance(m)	7.9	6.9	7.1
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.20	0.18	0.19

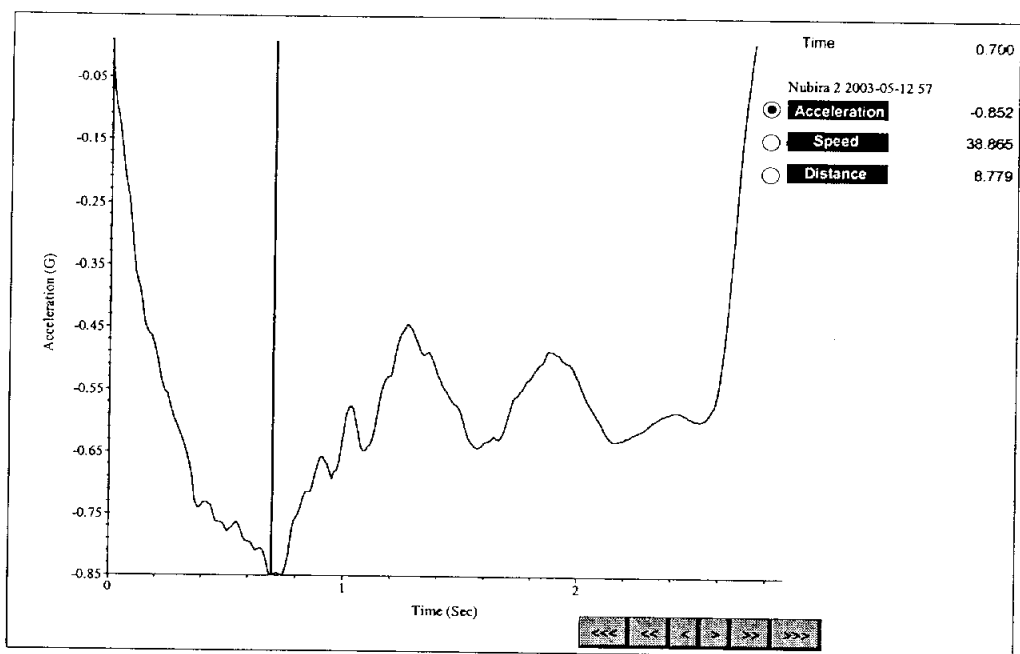


Fig. 27 The relationship acceleration and time on sliding prevention pavement(1:3 formula) under 60km/h

Table 21 The experimental results on sliding prevention pavement (1:3 formula)

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	53.9	54.7	55.9
Stop time(sec)	2.54	2.61	2.64
Average speed reduction(m/s^2)	-0.600g	-0.641g	-0.652g
Stop distance(m)	17.9	18.3	18.7
Actual survey distance(m)	11.7	9.8	10.6
Braking marks generation before transient brake distance(m)	6.2	8.5	8.1
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.14	0.19	0.18

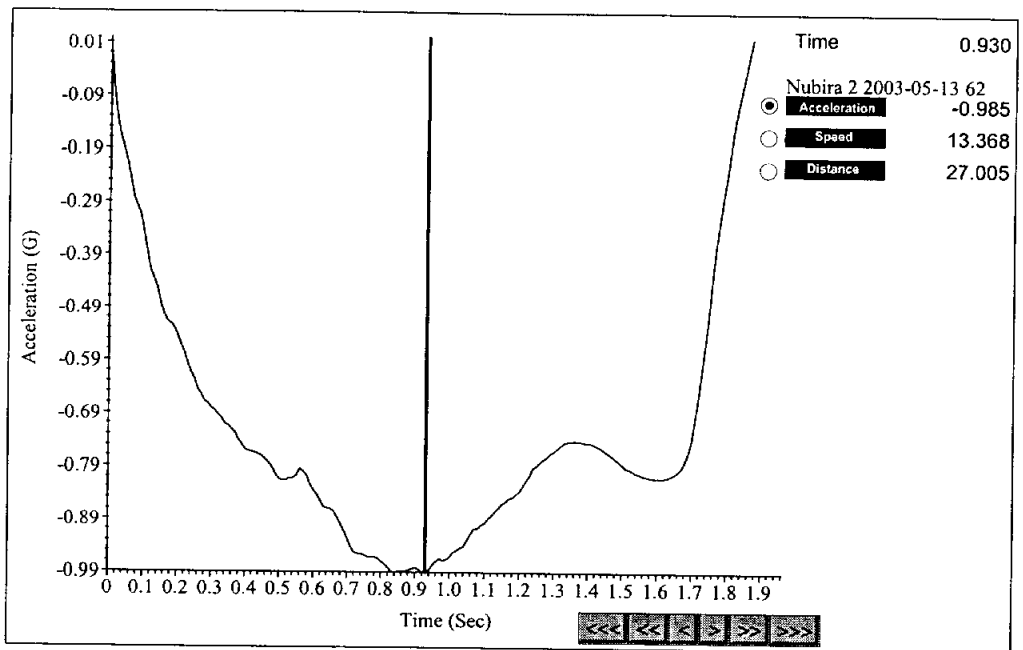


Fig. 28 The relationship acceleration and time on sliding prevention pavement(3:6 formula) under 50km/h

Table 22 The experimental results on sliding prevention pavement (3:6 formula)

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	45.3	46.6	46.1
Stop time(sec)	1.67	1.81	1.78
Average speed reduction(m/s^2)	-0.767g	-0.730g	-0.695g
Stop distance(m)	10.1	10.6	10.3
Actual survey distance(m)	5.6	5.3	4.7
Braking marks generation before transient brake distance(m)	4.5	5.3	5.6
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.13	0.15	0.16

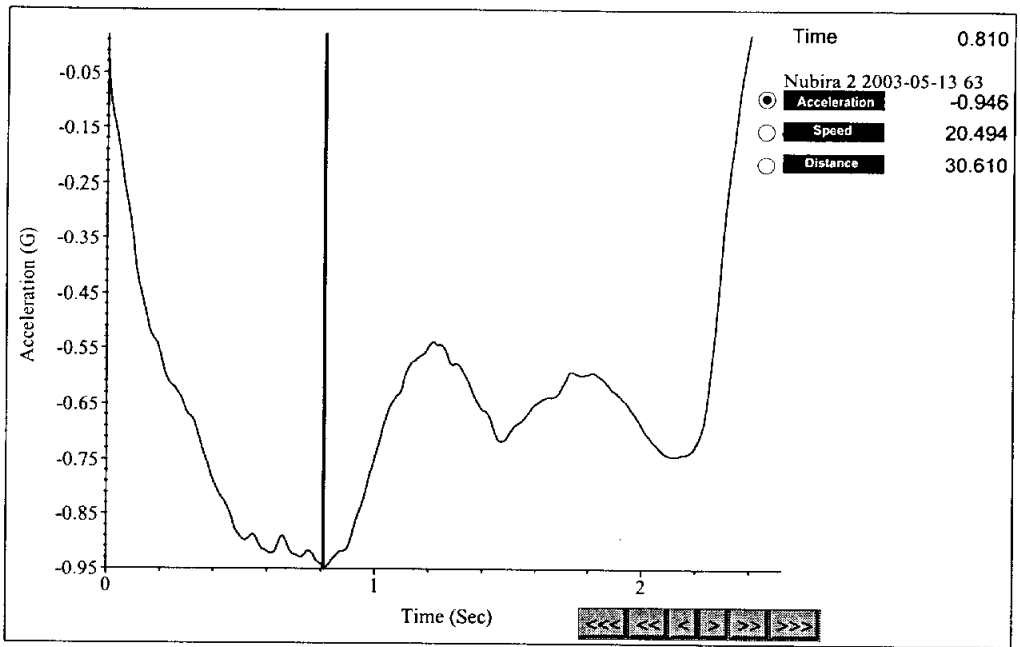


Fig. 29 The relationship acceleration and time on sliding prevention pavement(3:6 formula) under 60km/h

Table 23 The experimental results on sliding prevention pavement (3:6 formula)

Item \ Test	Test 1	Test 2	Test 3
Early stage speed(km/h)	53.1	54.9	55.4
Stop time(sec)	2.20	2.34	2.44
Average speed reduction(m/s^2)	-0.684g	-0.725g	-0.704g
Stop distance(m)	15.1	17.5	16.3
Actual survey distance(m)	9.8	9.9	9.6
Braking marks generation before transient brake distance(m)	5.3	7.6	6.7
Braking marks generation before transient brake time(sec)	0.12	0.18	0.15

Fig. 30은 일반아스팔트와 미끄럼방지포장이 설치된 노면에서의 실험 측정 한 속도 변화에 대한 제동경과시간을 나타내었고, 미끄럼방지포장의 설치방식에 따라 1:3포장 방식은 0.17~0.19초, 3:6포장 방식은 0.12~0.15초로 나타났다. 일반아스팔트 포장에서의 제동경과시간이 0.31~0.37초로 상당한 차이를 보였다. 이러한 결과로 보아 제동경과시간은 미끄럼방지포장의 설치방식에 따라 그 값이 차이를 보이며, 제동경과시간에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

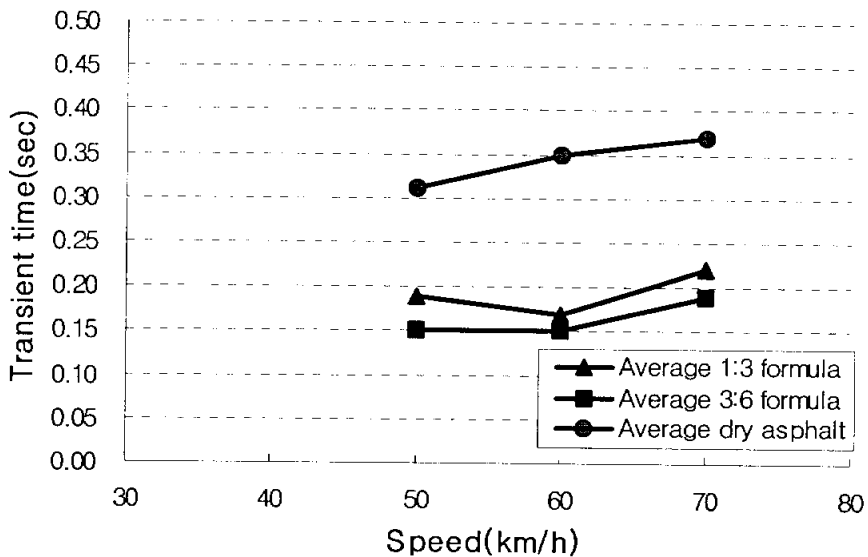


Fig. 30 Speed and transient time of dry asphalt and sliding prevention pavement(1:3 formula & 3:6 formula)

우리나라 경찰청에서는 현재 승용차의 경우 일반적으로 건조한 노면의 경우 Table 24과 같이 일률적으로 마찰계수를 0.8로 적용하고 있으며, 노면 상태별로 조금씩 차이를 두고 있다. Table 25는 미국의 노스 웨스턴 대학교 교통연구소에서 적용하고 있는 일반 타이어를 장착한 승용차와 Pickup 트럭을 대상으로 실험한 마찰계수 값⁴⁾이다.

Table 24 Frictional coefficient of various roadway surface(Korea Police)

Condition Road kind	Dry	Wet	Small wet	Freezing
Asphalt	0.8	0.7	0.6	0.3
Concrete	0.8	0.6	0.4	0.3
Brick	0.7	0.4	0.3	0.2
Earth	0.5	0.4	0.3	0.2

Table 25 Frictional coefficient of various roadway surface(USA)

Condition Road kind	Dry		Wet		Road condition
	48km/h below	48km/h above	48km/h below	48km/h above	
Concrete	0.80~1.20	0.70~1.00	0.50~0.80	0.40~0.75	New
	0.60~0.80	0.60~0.75	0.45~0.70	0.45~0.65	Use
	0.55~0.75	0.50~0.65	0.45~0.65	0.45~0.60	Wear
Asphalt	0.80~1.20	0.65~1.00	0.50~0.80	0.45~0.60	New
	0.60~0.80	0.55~0.70	0.45~0.70	0.45~0.60	Use
	0.55~0.75	0.45~0.65	0.45~0.65	0.40~0.60	Wear
	0.50~0.60	0.35~0.60	0.30~0.60	0.25~0.55	Excess
Gravel road	0.55~0.85	0.55~0.80	0.40~0.80	0.40~0.60	Harden
	0.50~0.70	0.35~0.60	0.45~0.75	0.45~0.75	Not harden
Freezing	0.10~0.25	0.70~0.20	0.05~0.10	0.05~0.10	Freezing
Snow road	0.30~0.55	0.35~0.55	0.30~0.60	0.30~0.60	Harden
	0.10~0.25	0.10~0.20	0.30~0.60	0.30~0.60	Not harden

5. 결 론

본 연구는 차량이 제동하는 동안의 제동초기속도, 감속도, 정지거리, 제동경과거리, 제동경과시간 등을 정밀감가속도계 Vericom VC2000PC를 사용하여 여러 가지 도로의 조건(재질, 습도정도, 포장형태 등)과 특수 아스팔트 포장이 설치된 구간, 미끄럼방지 포장이 설치된 구간 등에서 실험차량을 이용 급제동 실험을 수행하여 차량의 제동전 운행속도를 구하는데 필요한 제동경과시간에 대해 실험적으로 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 차량의 속도와 제동경과시간과의 관계에 대한 결과는 차량의 속도 증가에 따라 제동경과시간이 조금씩 길어지는 것으로 측정되어 차량의 초기운행속도 증가에 따라 제동경과시간도 함께 길어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운전자의 반응시간이 일정하다고 가정하여도 초기운행속도의 증가에 따라 판단·반응시간 즉, 공주거리의 증가로 제동경과시간도 함께 길어진다.

2. 건·습 상태 아스팔트 노면에서의 제동경과시간에 대한 결과는 속도가 증가할수록 습기가 있는 아스팔트가 건조한 일반 아스팔트 노면에서 보다 제동경과시간도 함께 늦어진다. 이는 습기가 있는 일반아스팔트 노면에서의 마찰계수가 건조한 상태의 일반 아스팔트 노면상태 마찰계수보다 적기 때문에 제동경과거리가 길어지므로 제동경과시간도 함께 길어지며, 이는 노면의 마찰계수가 제동경과시간에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

3. 일반·특수포장 아스팔트 노면에서의 제동경과시간에 대한 결과는 각 특수 포장에 따른 제동경과시간은 내유동 아스팔트 포장이 0.27~0.32초, SMA 아스팔트 포장이 0.26~0.28초, ECOPHALT는 0.19~0.22초로 나타났고, 일반 아스팔트 포장에서의 제동경과시간 0.31~0.37초로 그 변화량은 0.12~0.15초

였다. 이러한 결과로 보아 제동경과시간은 노면 포장의 종류 및 골재의 크기, 아스팔트 첨가제 성분에 따라 조금씩 변화를 가져오며, 이는 노면 마찰계수 값의 차이가 각 특수 포장의 구성 성분에 따라 차이가 나므로 제동경과시간에도 영향을 준다.

4. 미끄럼방지포장 설치방식에 따른 제동경과시간에 대한 결과는 미끄럼방지포장의 설치방식에 따라 1:3포장 방식은 0.17~0.22초, 3:6포장 방식은 0.15~0.19초였으며, 일반아스팔트 포장에서의 제동경과시간이 0.31~0.37초로 상당한 차이를 보였다. 이러한 결과로 보아 제동경과시간은 미끄럼방지포장의 설치방식과 마멸상태, 설치 높이 등에 따라 그 값에 차이를 보이며, 포장방식에서는 3:6포장 방식, 1:3포장 방식 순으로 제동경과시간이 더욱 길어져 제동경과시간에도 영향을 미친다. 미끄럼방지포장이 설치된 구간에서의 교통사고 재현작업은 사고차량의 상태가 구동 가능하다면 실차실험에 의한 마찰계수의 적용 및 분석이 필요하다.

5. 정확한 교통사고의 재현은 사고관련 차량의 사고 발생 전·후 주행상태에 관한 여러 요소의 정확한 분석에서부터 시작되어야 하며, 일률적인 마찰계수의 수치적용 보다 과학적이고 세분화된 국내 적용기준을 제시하고, 급증하고 있는 특수 아스팔트 노면에 대한 정확한 마찰계수의 정립과 정밀한 실험장비, 소음측정기 등을 갖추어 차량의 충돌 전·후 속도 분석이 정확하게 이루어질 수 있도록 향후 함께 고찰되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 道路交通安全管理公團, “信號燈”, p78, 2003.
- 2) 道路交通安全管理公團, “道路交通 事故費用的 推計와 評價에 관한 研究”, 2002.
- 3) 道路交通安全管理公團, “Traffic Accident Reconstruction Manual”, 工學篇 2段階, p115, 2002.
- 4) L. B. Fricke, “Traffic Accident Reconstruction”, Northwestern University Traffic Institute, p62-67, 1990.
- 5) T. D Day and J. R Smith “Friction factors for motorcycles sliding on various surfaces” SAE Paper 840250, p441-443, 1984.
- 6) C. Y. Warner, G. C. Smith, M. B. James, and G. J. Germane “Friction Applications in Accident Reconstruction” SAE Paper 830612, p12-13, 1983.
- 7) Engineering Dynamics Corporation “EDVAP Program manual”, p5-17, 1994.
- 8) 林洋, “自動車事故鑑定工學”, 技術書院, p48, 1996.
- 9) W. S. Reed, “A Comparison of Emergence Braking Characteristics of Passenger Cars”, SAE Paper 880231, 1988.
- 10) J. A. Neptune, J. E. Flynn, P. A. Chavez, and H. W. Underwood, “Speed from Skids : A Mordern Approach”, SAE Paper 950354, p189-205, 1995.
- 11) 金相岐, 타이어와 路面간에 作用하는 摩擦係數에 대한 研究, p6-8, 1999.
- 12) 李鍾相, 벤형 車輛의 巡視制動時間에 관한 實驗的 研究, p1-9, 2001.
- 13) Limpert, R. “Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analsis” Michile Corporation, Charlottesville, 1978.

- 14) 李相斗, “交通事故調查實務便覽-上卷”, p207, 1995.
- 15) J. S. Baker, L. B. Fricke, “The Traffic Accident Investigation Manual”, p17, 1986.
- 16) Vericom Computers, “VC2000PC Dynamometer and Braking Test Computer Owner’s Manual”, p78, 1998.
- 17) 大字自動車, “Nubira 2 取扱證明書/保證書”, 1999.
- 18) <http://www.vericom.org/Advantages.htm/deceleration>

감사의 글

항상 부족한 저의 삶에 있어 조금 더 노력하는 자세로 지내고자 배움의 길로 접어들었으나 돌이켜보면 최선을 다하지 못했다는 아쉬움이 남습니다. 먼저 이 논문이 완성되기까지 부족하고 모자란 저에게 아낌없는 보살핌과 인자하심, 세심한 배려와 따뜻한 격려, 학문적 지도를 해주신 강대민 교수님께 깊은 감사와 늘 건강하시길 기원 드립니다.

그리고 바쁜 시간 속에서도 본 논문의 시작부터 마무리까지 세심하게 검토하여 학문적 조언과 격려를 해주신 류인일 교수님, 윤문철 교수님과 보이지 않게 저를 격려해주시고 관심을 가져주신 건설공학부 토목공학과 이종출 교수님, 자동차공학과 모든 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다. 또한 어려운 근무여건에도 불구하고 학업을 계속 할 수 있도록 여러 모로 배려해 주시고 격려해주신 명철원 지부장님, 이상민 국장님, 정우택 과장님, 직장동료 및 지인들과 차량실험에 같이 참여 해주시고 여러 자료 및 조언을 해주신 한국건설기술연구원 류인균 박사님, 한국포장공학회 김현준 이사님, 김정대 지사장님, 부산지방경찰청 이중우님, 사상경찰서 윤종해님, 서구청 이창건 과장님, 광권두님, 사상구청 박성민님, 정우생님, 남구청 박종일님, 김성률 대표이사, 부산광역시청 교통기획과 한기성님, 최점돌님, 부산광역시 건설안전시험사업소 관계자에게도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 언제나 따뜻한 마음과 인자하신 마음으로 지켜봐주시던 어머니, 장인, 장모님과 자랑스런 마음으로 격려해준 처남 동희, 처제 주영, 힘들고 어려울 때 한결같은 사랑으로 내조하여준 사랑하는 아내 주희와 두 딸 혜원, 현지와 이작은 결실의 기쁨을 함께 나눕니다. 부족한 나의 삶을 가득 채우기 위해 노력할 것을 다짐하고 다시 한번 저를 도와주신 모든 분들과 가족들에게 깊은 감사를 드리오며, 하나님께 영광을 돌립니다.