

加速度計를 이용한 制動直前の 車速推定方法에 關한 研究

A Study on the presumption method of automobile velocity just before braking, using a accelerometer.

姜永圭* · 韓應教** · 趙珍鎬**

Y. K. Kang, E. K. Han, J. H. Cho.

Abstract

In the case of a automobile marking skid on road for a period of braking, in general, the automobile velocity just before rapid braking can be obtained by evaluating the coefficient of friction between tires and road.

Up to now, the coefficient of friction has been derived from mean velocity measured by a time watch, but the automobile velocity obtained in this manner would be deviated from actual value considerably, due to errors arising from not only measuring time but other various factors.

In this paper the presumption method of automobile velocity by accelerometer is presented so as to improve the accuracy of measurement, and to determine the velocity readily. The results obtained in this experiment show that the frictional coefficients between tires and road under the given experimental conditions are considered to take linear relation over the fixed velocity limits 30km/h to 50km/h while for the same limits of velocities the coefficients of friction by the time watch method are not valid at low velocity range. It will be seen that the former is simple and reliable whilst the latter is cumbersome and unreliable.

I. 序 論

自動車 交通量の 増加는 高度의 産業發達과 함께 車輛生産量의 増加와 道路改良施設의 擴張으로 因하여 大都市는 물론 近郊都市와 나아가서는 地方都市에 이르기까지 날로 더해가고 있다. 反面에 이와같은 交通量の 増加는 交通事故 件數의 増加를 수반하여 悲劇的인 結果를 招來하고 있다. 그래서 이 問題를 解決하기 위하여 事故解析과 豫防對策에 대하여 廣範圍한 研究를 各 分野로부터 要하고 있다. 여기서 事故調査 및 原因解析時에 速度推定의 問題가 必須不可缺한 문제일 것이다. 交通事故原因의 解析에서 導出된 情報는 運轉者로 하여금 事故發生直前に 緊急事態發生을 감지할 수

있게 해줄 것이다. 이때 運轉者는 危險을 피하기 위하여 可能한 모든 措置를 取하려고 할 것이다. 이러한 措置는 人間-機械系에 있어서 制御機構의 한 部分으로서 自動車運轉이라는 條件下에 人間本性으로서 解析할 수 있는 것으로 볼 수 있다. 따라서 事故原因의 解析과 事故防止對策인 安全施設, 安全技術教育에 關한 資料를 얻는데 必要不可缺한 要素中的의 하나가 바로 위에서 언급했듯이 事故發生時 急制動直前の 車速推定이다. 그래서 本論文은 加速度計를 사용하여 車速推定을 하므로써 精確度를 높이고 쉽게 이를 解析할 수 있는 方法을 제시한다. 이번 實驗에 使用된 振動加速度變換器는 自作하였으며 아울러 變換器의 特性을 實驗하여 目的의 達成을 하였다.

II. 車輛速度的 推定

報告하기로 한다.

II - 1 車輛速度的 推定方法

II - 2 Skid를 發生시킬 경우의 車輛制動過程

一般的으로 事故發生後에 事故發生直前의 車速推定에는 極히 困難한 問題點들이 많으며 現在 考慮되고 있는 方法들로서는 다음과 같은 것들이 있다.

緊急時에 있어서 車輛이 停止할 경우 車速이 減少하는 時間은 實制動時間동안이며 이 時間中의 前進距離가 곧 制動距離가 되어서 路面에 skid로서 자국을 남기게 되고 이것이 車輛舉動의 變化部로서 가장 重要한 것이 된다. 그런데 事故時 等に 車輛이 實制動過程에 到達以前 段階에 있어서는 實際問題로 重要한 部分을 이루는 反應時間이라는 것이 있다. 全制動時間(全制動距離)은 이들 두 部分 即, 反應時間(空走距離)과 制動時間(制動距離)을 더한 것으로 생각할 수 있으며, 여기서 反應時間은 대체로 反射時間, 踏代替時間(발끝이 역셀 페달에서 브레이크 페달로 移行하는 時間), 踏入時間(발이 브레이크 페달을 밟아들어가는 시간)으로 構成되며 問題가 되는 것은 브레이크의 過渡時間(브레이크의 機能이 作用하기 시작한 以後 制動力이 점점 증가하여 最大值에 到達할 때까지 또는 skid에 到達할 때까지의 時間)이다. 實際問題로서 制動操作中에 있어서 反射時間중에는 速度變化가 없는 것으로 생각해도 된다. 다음에 踏代替時間중에 車輛은 엔진 브레이크의 效果에 의하여 약간이긴 하나 減速效果가 나타난다. 그러나 이 값은 極히 微小하기 때문에 實際事故解析時의 要素로서는 無視할 수 있다. 다음에 踏代替動作 以後에 이어지는 踏入時間 即, 브레이크機能中에서의 過渡時間 및 制動過程이 問題가 된다. 이 過渡時間중의 減速效果도 실제로는 이 時間이 短時間이기 때문에 무시되며, 事故現場에 남은 資料, 即 skid mark로부터 車速을 推定하려는 경우에는, 이 過渡時間은 大體로 反應時間內에 包含되는 것으로 보는 것이 妥當性하다.

- (a) 運轉者의 證言에 의한 것
- (b) 目擊者가 있을 경우에 이 目擊者의 證言에 의한 것
- (c) 事故發生地點 附近의 通過車輛速度的 交通 調査法에 의한 것
- (d) skid가 있을 경우에 이 skid mark의 길이로부터 推定하는 것
- (e) 衝突物體 및 車輛等의 變位나 變化量에 의하여 推定하는 것.

이들 中에서 (a), (b)의 資料에 의한 것은 極히 主觀的이어서 工學的으로는 거의 資料가 못되는 것이 보통이다. (c)에 의한 資料는 平均值的의 問題로 處理할 경우에는 有力한 方法이나 事故의 連關性 있는 解析에 있어서는 不充分함을 免할 수 없다. (e)의 경우는 車輛의 構造材料, 車體의 強度 및 構造體로서의 剛性 또는 物體의 變位量 等一般的으로 各種 材料의 特性을 다루어야 하는 어려움이 따르며 더구나 大規模의 實驗의 뒷받침을 필요로 할 경우에는 實現上의 困難性이 있다. 그러나 最近에 와서는 이 分野에 대해서도 先進 各國에서 研究가 活潑히 進行되고 있다.

(d)의 경우는 다행히 事故發生 路面上에 skid mark를 남길 경우인데 이때 skid mark의 길이는 客觀的인 資料로서 工學的으로도 有效한 資料가 된다고 본다. 여기서 實驗한 方法은 (d)의 skid mark 길이를 利用하는 車速推定法이다. 從來의 方法은 路面과 타이어사이의 摩擦係數를 通過距離 및 所要時間으로 測定한 間接的인 誘導方式이므로 이 사이에 여러가지 誤差가 介在될 憂慮가 있다.

本 研究에서 行한 方法은 車輛의 減速度를 直接 推定하여 곧 바로 路面과 타이어사이의 摩擦係數를 求하는 것인데, 現實의 事故解析作業中에 있어서 制動直前의 車速推定問題를 매우 容易하게 하고, 信賴性이 있어서 今後에 現場의 實際處理方法으로서 效果的으로 採用될 수 있을 것으로 믿는다. 따라서, 아래에 이 目的을 가지고 實驗한 結果를

II - 3 Skid 길이로써 車速推定の 計算法

車輛이 緊急時에 急制動措置를 取하여 skid를 일으키면서 停止하는 過程에 있어서 車輛의 制動力은 타이어와 路面間의 摩擦係數에 依하여 결정된다. 이때 車輛의 skid중의 速度減少狀況은 直線關係를 나타낸다는 것은 實驗에 依하여 證明되기 때문에 이 時間중의 減速度는 一定值를 取하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 skid 중에 路

면과 타이어間的 摩擦係數의 값은 現實의 一 一定值를 取하는 것으로 간주해도 아무런 지장이 없다. 따라서 이와같은 條件이 設定될 때 skid mark의 길이로부터의 車速推定式은 車輛의 急制動停止時에 車輛의 運動에너지量과 制動에 必要한 作業量과의 關係로부터 다음과 같이 誘導된다.

$$V = 15.937\sqrt{\mu L} \text{ (km/hr)} \dots\dots\dots (i)$$

- 여기서 m : 車輛의 質量 (kg)
- V : 推定 車輛速度 (km/hr)
- L : skid mark의 길이 (m)
- μ : 路面과 타이어間的 摩擦係數
- g : 重力加速度 (=9.8m/sec²)

이 關係는 Fig. 1에 表示된 原形슬라이드尺으로서 是 쉽게 계산될 수 있다.

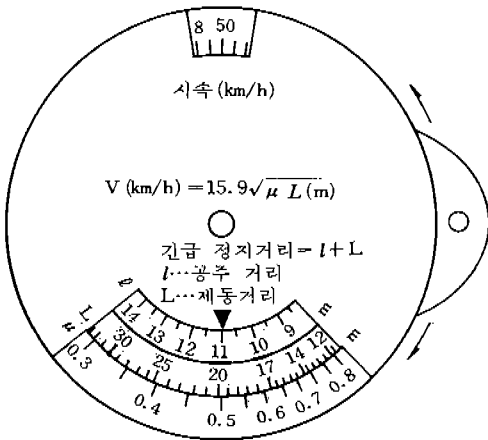


Fig. 1. Slide rule for estimating velocity

式 (i)을 使用하기 위해서는 事故現場에서의 路面과 타이어間的 摩擦係數값을 알아야 한다. 이와 같이 車速推定作業을 위해서는 摩擦係數 μ 를 求하는 것으로 歸着된다.

(1) 摩擦係數 μ 를 求하는 一般的인 方法

路面과 타이어間的 摩擦係數 μ 의 값은 式 (i)로부터

$$\mu = \frac{1}{254} \frac{V^2}{L} \dots\dots\dots (ii)$$

으로 된다. 따라서 μ 를 求하기 爲해서는 μ 를 求하려는 路面上에서 試驗制動停止를 하여 制動直前의

車速 V(km/hr) 및 skid mark의 길이 L(m)을 測定해야 한다. 이때 L값은 쉽게 測定되지만 V값을 求하기 위해서는 基線距離 ℓ (m)를 設定하고 이 區間을 定速度로 走行시켰을 경우의 通過所要時間 t(sec)를 測定하여

$$V = \frac{\ell}{t} \times 3.6 \text{ (km/hr)} \dots\dots\dots (iii)$$

에 依하여 誘導해야 한다. 이때 式 (ii)에 나타난 바와 같이 μ 의 값은 V²에 比例한다.

그러므로 實用上 必要한 正確度를 가진 μ 를 求하기 위해서는 V의 값도 그에 對應하는 正確度를 가지고 測定되어야 할 것이다.

위의 方法으로 求한 車速V의 값은 設定된 基線距離區間의 平均速度이므로 試驗走行의 基線區間距離를 크게 잡으면 이 區間사이의 速度變動이 커지기 쉽다. 또 이것을 避할 目的으로 基線距離區間을 작게 잡으면 Stop watch法에 있어서는 測定時間值에 誤差의 介在度가 크게 나타나는 結果를 招來하게 되는데 V의 값을 算出할 때는 避할 수 없다. 따라서 이로부터 誘導되는 μ 값도 역시 變하지 않을 수 없을 것이다. 이로 因한 誤差를 最大限 줄이기 爲해서는 微小時間의 測定正確度를 매우 높게 잡고 設定基線距離區間의 길이를 縮小해야 한다. 또 다른 方法으로서 京釜高速道路에 設置되어 있는 自動車速 檢出裝置와 같이 도플러의 效果 (Effect of Doppler)를 利用한 速度計器가 있으나 이번 實驗에서는 준비가 안되어 使用하지 못하였다.

III. 加速度變換器를 利用한 μ 의 測定

摩擦係數 μ 의 測定에 있어서는 스트레인 게이지식 振動加速度計를 自作하여 實驗하였다. Fig. 2는 自作하여 本 實驗에 使用한 加速度計의 外觀이다.

III-1 加速度變換器에 依한 μ 의 測定

自作한 스트레인 게이지식 振動加速度計에 의한 車의 速度推定作業은 事故解析作業으로서 是 매우 重要한 問題임에도 불구하고 摩擦係數測定法의 困難性 때문에 現實問題로 取扱할 경우에는 그리 쉬운



Fig. 2. exterior view of a domestic accelerometer

作業이 아니다. 따라서 이 문제를 解決하는 方法으로서 急制動停止時에 있어서 車輛의 skid 中の 減速度(負의 加速度)를 直接 測定함으로써 路面과 타이어間의 摩擦係數 μ 를 求하는 方法을 試圖했다. 이것에 의하면 自動記錄式 一素子 加速度計를 使用함으로써 임의의 車速狀態에 있어서도 쉽게 路面과 타이어間의 摩擦係數값을 求할 수 있게 된다. 그래서 이 方法에 依한 測定實驗과 從來의 方法을 同時에 實施하여 이들 相互間에 있어서의 實用性을 比較檢討하였다.

III - 2 車輛의 速度上으로 본 制動力學

지금 車輛重量이 W 인 自動車가 急制動에 依하여 skid를 일으키면서 制動停止를 할 경우를 생각해 보자.

路面과 타이어間의 摩擦係數를 μ 라고 하면 車輛을 停止시키려는 方向으로 路面과 타이어間에 發生하는 힘 F 는

$$F = W \cdot \mu \dots\dots\dots (iv)$$

로 表示될 수 있다.

한편 走行中の 車輛이 skid를 일으키면서 減速度되어 停止하기까지의 사이는 等減速度運動을 하고 있는 狀態로 볼 수 있기 때문에 이 減速度를 α (負의 方向의 加速度)라고 하면 車輛의 運動을 停止시키려는 힘은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F' = m\alpha \dots\dots\dots (v)$$

$$= \frac{W}{g} \alpha \dots\dots\dots (v')$$

여기서; m : 車輛의 質量

g : 重力加速度
따라서 式 (iv)와 式 (v')를 等置시키면 即,

$$F = F' \dots\dots\dots (vi)$$

$$\text{또는 } W \cdot \mu = \frac{W}{g} \cdot \alpha \dots\dots\dots (vi')$$

그러므로

$$\mu = \frac{\alpha}{g} \dots\dots\dots (vii)$$

$$\text{혹은 } \alpha = g \cdot \mu \dots\dots\dots (vii')$$

그러므로 이 경우에는 實驗車의 瞬間速度를 測定할 必要없이 車輛의 減速度 α 의 값만 測定하면 μ 의 값은 쉽게 求해진다. 이렇게 구한 μ 값과 skid mark의 길이로부터 式 (i)에 依하여 制動直前의 車速을 計算하면 된다.

IV. 實驗方法과 實驗結果

IV - 1 實驗方法

實驗으로서는 從來의 一般의인 方法(Stop watch에 依한 方法)으로 求한 路面과 타이어間의 摩擦係數와 새로운 加速度計法으로 求할 수 있는 摩擦係數를 比較함으로써 實用性에 對한 檢討을 하였다. 이때 實驗은 指定車速度 30km/h, 40km/h 및 50km/h에서 各各 3번씩 實施하였다.

(1) Stop watch에 依한 方法

- (a) 基線距離를 $l=25m$ 로 選定
- (b) 通過所要時間 t 는 校正한 Stop watch 2개를 使用하여 求한 값의 平均値로 하였다.
- (c) 車速 V 의 값은 $V = \frac{l}{t} \times 3.6$ 에 依하여 算出하였다.

- (d) 摩擦係數 μ 의 값은 $\mu = \frac{1}{254} \times \frac{V^2}{l}$ 에서 算出하였다.

(2) 加速度計에 依한 方法

Fig. 3과 같은 시스템으로 計測을 하였다. 1素子 스트레인 앰프(Strain Amplifier) 로서 電磁 Oscillograph에 記錄하였으며, 加速度計를 進行方向으로 車室內 바닥에 부착하고 Amp 및 Recorder 등을 搭載하여 測定하였다. Fig. 4는 實驗自動車(Pony 79年型)이고 Fig. 5는 搭載한 計測裝置이다.

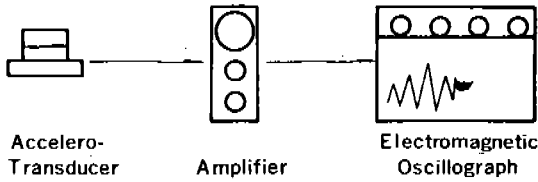


Fig. 3 Acceleration measurement system



Fig. 4 Experimental car

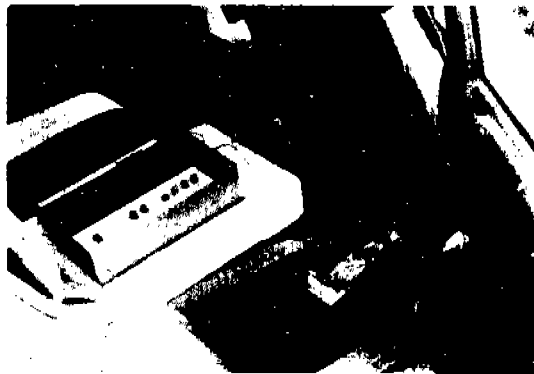


Fig. 5 Measuring equipment on the experimental car

- (a) 實驗路面: 아스판트鋪裝路直線進路(乾燥)
- (b) 實驗用 自動車: 乘用車 pony 79年型
- (c) 實驗自動車實驗狀況: 運轉者, 計測機器 搭載, 測定者 2人搭乘, 타이어(거의 新品으로 뷰우브리스 타이어 (uniroyal))

IV-2 實驗結果 및 考察

車의 急制動停止時에 Stop watch에 의한 方法과 加速度計에 의한 方法으로 구한 測定值들 및 이로부터 算出된 摩擦係數 μ 값들을 表 I에 실어 놓았다.

다시 Fig. 6에서는 Stop watch로 測定된 速度와 skid mark로 算出된 摩擦係數의 指定速度에 따른 變化와 加速度計로서 測定된 減速度로부터 算出된 摩擦係數의 指定速度에 따른 變化를 Graph로 比較하여 놓았다.

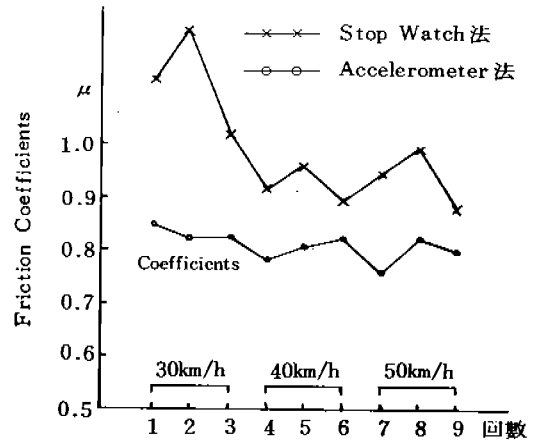


Fig. 6 Comparison of friction coefficients by Stop watch method and Accelerometer method

表 I. 急制動停止 實驗時의 測定值와 摩擦係數計算值

No.	지 정 속도 (km/h)	25m 통 과 시 간 (sec)	계산에 의한 속도 (km/h)	skid mark의 길이 (m)		계 산 속도에 의한 μ	가속도 계측장 치 (g)	가속도 계 에 의한 μ
				실험치	평균치			
1	30	3.0	30.0	3.1 3.2	3.15	1.12	0.84	0.84
2	30	2.9	31.0	3.3 3.1	3.2	1.20	0.81	0.81
3	30	3.1	29.0	3.5 3.2	3.3	1.01	0.81	0.81
4	40	2.3	39.1	6.7 6.4	6.5	0.92	0.78	0.78
5	40	2.5	36.0	5.3	5.3	0.96	0.80	0.80
6	40	2.4	37.5	6.4 6.2	6.3	0.88	0.81	0.81
7	50	1.9	47.4	9.6 9.2	9.4	0.94	0.75	0.75
8	50	1.8	49.9	10.2 9.8	10.0	0.98	0.81	0.81
9	50	2.0	45.0	9.3 9.1	9.2	0.87	0.79	0.79
10	60	1.5	59.9					

Fig. 6에서 보는 바와 같이 Stop watch 法에
 依해서 測定된 μ 값은 加速度計에 依해서 測定된
 μ 의 값으로부터 크게 벗어나고 있으며 特히 指定
 速度 30km/h에서는 摩擦係數가 1을 超過하므로
 타당성이 없는 것이 확실하다. 그 理由는 Stop
 watch에 依한 速度測定에 誤差가 있을 뿐만 아니
 라 skid mark에 있어서 타이어의 摩擦等 複雜한
 問題들이 있기 때문이다. 따라서 0.9를 超過하는
 값은 實際問題로서 採擇할 수 없는 것으로 생각해
 야 할 것이다. 그리고 앞에서 論及한 바와 같이
 摩擦係數 μ 는 指定速度와 線型關係를 가진다는 것
 을 accelerometer 法에 依한 데이터들로부터 確認
 하기 위해서 Fig. 7에 圖示하였다. 그러나 Stop
 watch 法에 依한 것은 線型關係가 아니고 매우 不
 規則的이라는 것을 알 수 있다.

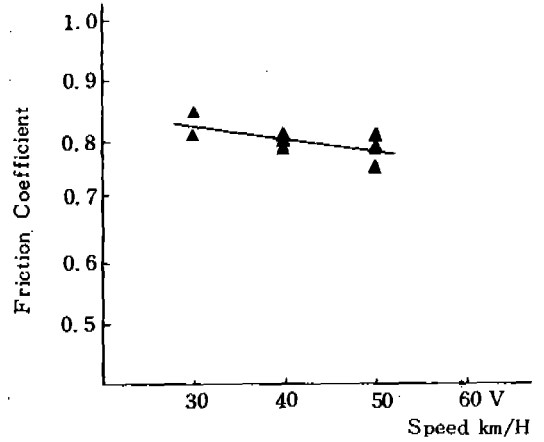


Fig. 7 Relation between Friction Coefficient and the automobile velocity in the accelerometer method

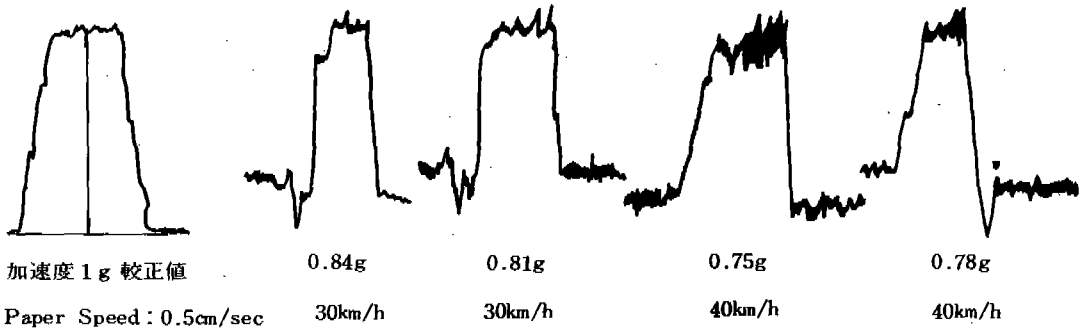


Fig. 8 Graphs of measuring result

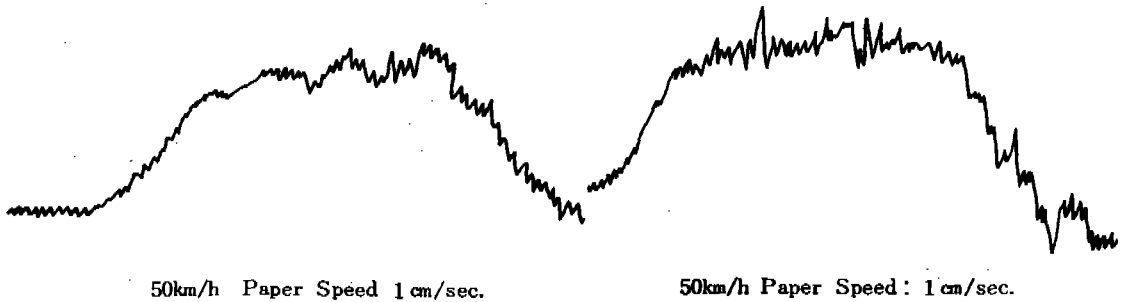


Fig. 9 Graphs of measuring result

Fig. 8과 9는 加速度變換器로서 測定한 減速
 度 a 값의 recording paper를 一部 掲載한 것이다.
 自動車の 急制動으로 생기는 skid mark에 있어

서 路面狀態는 물론, 타이어의 狀態와 타이어의
 溫度等 고무의 摩擦關係 및 타이어의 制動力學等
 의 複合된 要因이 介在하여 完全한 解析으로 結論

을 얻기가 매우 어려우나 고무의 摩擦과 타이어特性에 對해서 음미해 보기로 한다.

아무리 自動車의 性能이 向上되어도 接地하고 있는 面積은 不過 500~800cm²程度로 마치 4개의 손바닥程度의 接地面에서 加速, 減速 및 Cornering에 必要한 모든 힘을 떠 받치고 있는 格이다.

이와 같이 타이어와 路面사이의 接地面內에서의 摩擦의 傳達狀況을 充分히 理解하는 것은 事故에 대한 올바른 判斷의 지름길이 아닌가 생각한다

V. 結 論

制動直前의 車速推定에 있어서 加速度計를 利用하여 路面과 타이어間의 摩擦係數를 구하는 方法은 事故發生時 事故解析에 使用되던 從來의 方法에 比해서 다음과 같은 長點들이 있다.

- (1) 測定方法이 極히 쉽다.
- (2) 試驗走行時의 速度는 任意의 것으로 滿足하다. 即, 試驗時에 있어서 試驗車輛의 速度를 測定할 必要가 없다.
- (3) 制動所要時間 (skid 증의 時間)의 推定도 可能하다.
- (4) 車輛速度의 測定이 必要없으므로 操作員 1人만으로도 된다.
- (5) 任意의 路面에도 適用할 수 있다.
- (6) 誤差의 介在도가 낮다. 即 測定正確도가 높다.

한편 이 方法에서 加速度計 自體는 自作(國産化)하여 使用할 수 있으나 스트레인 게이지 增幅器와 記錄器가 高價인 것이 現在로서는 缺點이라고 본다.

VI. 參考文獻

1. G. GRIME, C. G. GILES : The Skid-resisting Properties of road and Tyres, The Institution of mechanical Engineers Proceeding of the Automobile division 1954 ~55.
2. W. T. THOMSON : Mechanical Vibrations, 1953
3. 光成坂下 : 自動車技術會春季學術講演會 1960
4. H. W. Kummer : W. E. MEYER : New Theory Permits Better Frictional Coupling between Tire and Road FISITA, 1966.
5. 服部 : “自動車の 타이어” 機械의 研究 VOL. 13 No. 1 (1961)
6. 市村, 原田 : “自動車타이어의 슬립現象” 機械의 研究 VOL. 23, No. 1 (1971)
7. 大久保 : 科學警察研究所報告 “交通篇” VOL. 5, No. 1 (1964)
8. 櫻井小畑 : 振動, 衝擊의 計測, 朝倉書店
9. 韓應教 : 스트레인 게이지~理論과 應用~普成文化社~3 卷 6 章 219p (1976)