

## 乘用車 車體의 靜的 強度 및 剛性試驗

### Strength and Rigidity Tests of a Small Sedan Body

朴 光 男 · 朴 性 鉉

(現代自動車(株)試驗研究部)

#### 1. 序 言

乘用車 車體의 形狀은 메이커에 따라 실로多樣하며, 같은 會社에서 製作되는 製品도 時代에 따라 그 構造, 스타일이 끊임없이 달라지고 있다.

그러나 車體를 構成하는 部材가 shell, 鐵板 骨造物等이라는 點에 있어서는 變함이 없으며, 結合된 狀態로서의 車體의 構造의 性質을 把握함으로써 新型自動車 設計時, 그것이 構造力學의 觀點에서 合理的인지 非合理的인지를 客觀的으로 判定할 수 있도록 하기 위하여 여러가지 方法이 研究되어 왔다.

모든 車型을 간단한 理想型으로 假定하여 그들을 數值的인 값으로 比較할 수 있다면 乘用車 車體의 設計上 매우 큰 도움이 될 것이다. 實際로 새로운 모델의 車가 開發되었을 때에는 다음과 같은 理由때문에 그 prototype body에 對한 靜的 試驗이 實施되고 있다.

- 1) 早期에 設計의 問題點이나 車體의 主缺陷을 發見할 수 있어 時間과 經費를 節約할 수 있다.
  - 2) 繼續的인 靜的 試驗을 통하여 構造의 充足할 만한 road car를 만들 수 있다.
  - 3) 過設計를 防止하여 車體의 輕量化에 기여하고, 最適設計의 開發을 위한 길을 提示해 준다.
- 車體에 對한 靜的 試驗은 위와 같은 理由때문

에 發展되어 왔으며, 靜的 試驗의 效果를 最大로 하기 위하여 그것은 純粹한 工學의 原理에 基礎를 두어 實際의 使用條件과 充分히 一致되는 試驗으로서 考案되었다.

車體構造는 그 使命의 多樣性뿐만아니라 製作, 改修에 상당한 努力과 時間이 必要하기 때문에 早期에 問題點을 發見하여 缺陷을 除去하지 않으면 안된다.

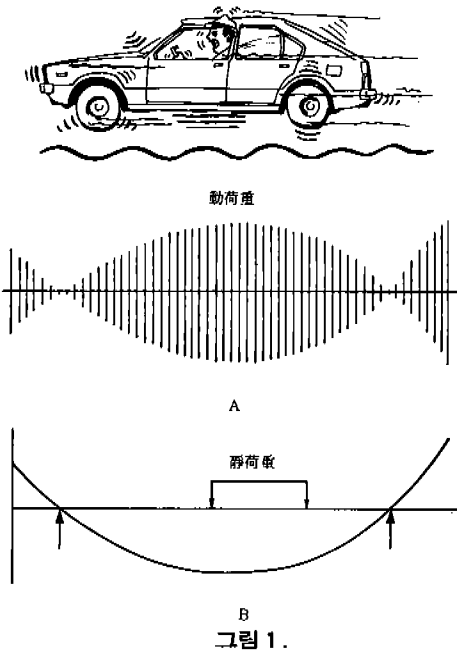
構造體로서의 많은 必要條件中에서 特히 重要視되는 것은 強度, 剛性 및 耐久性이다. 그때문에 車體의 強度, 剛性試驗은 理論的인 解析(彈性學, 構造力學, 強度學等)에 앞서 여러가지 方法이 開發되어 왔으며, 여기에서는 그 중 가장 代表的인 方法인 비틀림試驗(torsion test)과 굽힘試驗(bending test)에 관하여 Pony 4-door Sedan 車體의 試驗 結果를 土土로 하여 記述하고자 한다.

#### 2. 굽힘荷重試驗(bending test 또는 beam test)

굽힘荷重試驗은 車體의 最終強度를 알기 위한 破壞試驗과는 구별되는 彈性試驗의 한 種類이며, 車體가 굽힘荷重에 對하여 어떠한 變形과, 어떠한 應力分布狀態를 갖는가를 測定하여 試驗車 車體의 굽힘剛性(EI)의 適合性 與否를 判定하거나, 疲勞壽命을 推定하는 基礎資料를 얻기 위하여 實施하는 試驗이다.

이미 序言에서 밝힌 바와 같이 靜的試驗은 實際의 使用條件과 充分히 一致하여야 하며, 兪통 불통한 典型的인 시골道路를 달리는 乘用車의 chassis frame (또는 under body)의 變位(deflection)를 實際로 測定한 그림 1. A와 같은 模樣을 시뮬레이션할 수 있도록 考案된 試驗方法에 의하여 그림 1. B와 같은 靜的 變位를 얻을 수 있게 된다.

荷重을 加하는 方法, 車體를 支持하는 方法, 그리고 變位와 應力을 測定하는 方法 등은 물론, 車輛의 用途 및 必要條件이나 狀態 또는 測定精度 등을 考慮하여 決定하지 않으면 안된다.



荷重을 加하는 方法으로는 主로 a) 一點 中央 集中 荷重, b) 乘客 荷重, c) 正規分布 荷重 등이 있으며 必要에 따라 引擎室, 積載函 등에 荷重을 加할 수도 있다. 荷重으로서 利用될 수 있는 것은 저울추, 납이나 모래주머니, 油圧실린더 체인 블록, 링 시스템 등을 들 수 있으며, 또한 車體의 支持方法으로 생각되는 것은 a) 車體의 前後端에서 支持하는 方法, b) front axle center와 rear axle center의 位置에서 支持하는 方法, c) 懸架方式과 同一한 支持方法 등을 들 수가

있다. 變位の 測定에 보통 使用되는 것으로는 dial gage(機械式), displacement transducer(電氣抵抗式)가 있으며, 應力測定은 wire resistance strain gage, 反射型 光彈性法, stress rote 등을 보통 使用하고 있다.

우선, white body에 對하여 굽힘荷重試驗을 行할 경우, 裝着된 door, hood, trunk lid 등은 약간 開放한 狀態로 開口部의 變形을 自由롭게 할 必要가 있다. 車體에 加할 荷重의 決定은 實際車(完成車)의 主된 積載部(引擎, 乘客, 貨物 位置)에 加速度計를 裝置한 後 道路를 走行하여 얻은 結果로부터 決定한다. 보통 seat 位置에 約 2G에 相當하는 荷重을, luggage compartment 에는 約 3G에 相當하는 荷重을 加하는데, 이 값은 車輛條件, 道路條件, 車輛使用條件 등에 따라 보다 正確한 加速度를 測定하여 使用할 수 있다.

車體의 支持方式은 비틀림試驗(torsion test) 時의 方式과 同一하게 使用할 수 있으나, 다르게 하여야 할 點은 車體가 左右로 비틀리지 않도록 pivoting beam을 充分히 固定시켜야 하며, 車體가 上下로 bending되는데 아무런 支障을 받지 않도록 앞뒤 中間에 한 쪽 支持裝置는 roller 위에 놓인 狀態이어야 한다.

荷重을 加한 後 under body의 變位를 測定할 때 車體의 傾斜에 依한 誤差를 最小限度로 줄이기 위하여는 under body 또는 body sill 밑에 wooden pad를 붙이고 그 밑에 dial gage를 부착하는 代身 body sill 밑에 hook가 있는 button式 magnet를 부착하고 이 hook와 dial gage의 probe와의 사이를 가느다란 銅線으로 連結하는 方法을 使用할 수도 있다.

荷重을 加한 後에 測定된 車體의 變位는 곧 바로 그림 2. A와 같은 그래프로 plotting된다. 그러나 相異한 車體間의 比較를 쉽게 하기 위하여는 車體 支持部의 變位量을 除去하여 under frame의 front wheel과 rear wheel의 center line을 잇는 基準線을 軸으로 그림 2. B와 같이 再plotting을 하여야 한다. 이것은 車體의 變形이 各 部材의 굽힘과 비틀림에 依하여 생기는 것이 대부분이며, 部材길이의 變化는 極히 微小하

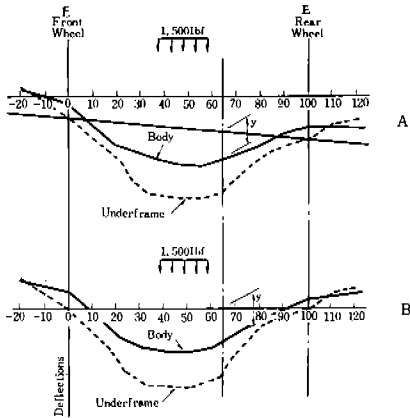


그림 2.

기 때문에 이것을 無視하고 車體 全體의 bending 荷重에 따른 變形의 模樣만을 나타낸 것이다.

車體의 bending deflection 曲線은 그 傾斜가 急變하는 곳이 있으면 안되며, 만약 急變하는 곳이 있을 경우에는 그 原因을 밝혀 對策을 講究하지 않으면 안된다. 대개의 경우에 있어서 그 主要原因은 部材結合部의 剛性이 不足하거나 局部的인 缺陷이 있을 경우가 많다. body의 上下 bending deflection 測定 以外에도, 이와 同時에 脆弱部位의 應力測定, 開口部의 distorsion 測定

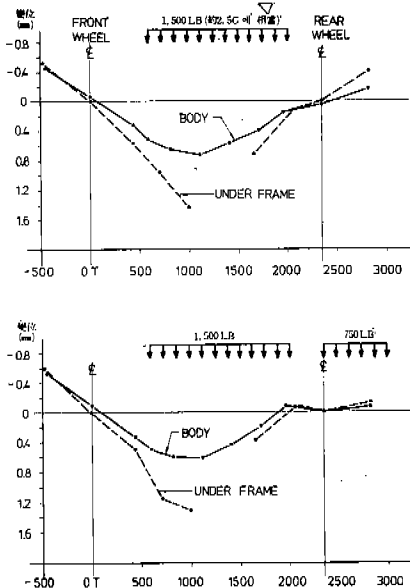


그림 3.

等이 並行된다. 應力測定의 結果는 비틀림試驗 (torsion test) 時에 發生하는 應力의 測定結果를 함께 考慮하여 疲勞壽命算定의 基礎資料로 삼는다. 그림 3 과 그림 4 는 Pony 4-door Sedan의 white body에 대한 bending deflection 曲線과 이때의 應力을 測定한 一例를 나타낸 것이다. 構造的으로 複雜한 車體 全體의 굽힘剛性을 單純한 개의 數值로 表現하는 것은 不可能하나 便宜上 車體全體를 똑같은 剛性을 갖는 單純支持보로 假定하여 車軸距離間의 굽힘剛性值(EI)를 다음과 같이 求할 수 있다.

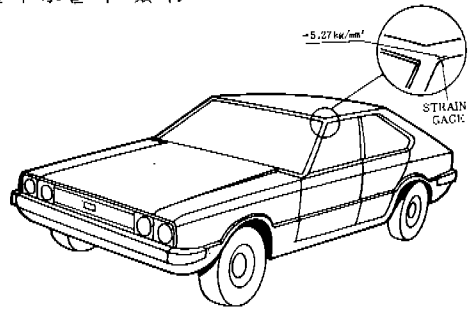


그림 4.

$$EI = \frac{Wax}{6ly} (\ell^2 - a^2 - x^2)$$

(W; 集中荷重,  $\ell$ ; 車軸距離

a; 荷重點까지의 距離 x; 測定點까지의 距離

y; 變位量

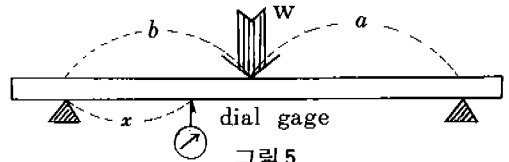


그림 5.

實際로 小型乘用車의 경우에 있어서 軸距의 대략 中央位置에 200kg 程度의 荷重을 加하는 것이 보통이며, 이때 얻은 bending deflection 曲線도 그 傾斜가 急變하지 않고, 부드러울 必要가 있다. 또한 굽힘剛性值은 車體의 強度와도 關係가 있으나 乘車感과도 크게 關係하기 때문에 그 값이 어느 適正線을 維持하여야 할 必要가 있다. 만약 車體의 굽힘剛性值가 너무 크면 그 車體는 道路面으로부터 傳達되는 小振幅의 高周波振動을 吸收하지 못하고 그대로 乘客에게 傳達시켜 주기 때문에 乘車感이 좋지 못하고, 그 반대로

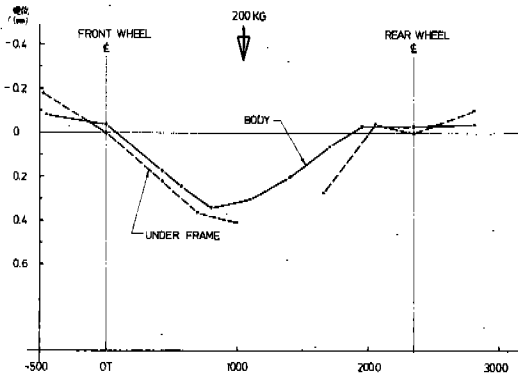


그림 6.

車種 項目	PONY 4-DOOR SEDAN	LANCER
wheel base (m)	2.34	2.34
white body weight (kg)	276	252.7
torsional rigidity GJ (kg·m <sup>2</sup> /rad)	12.3×10 <sup>4</sup>	11.6×10 <sup>4</sup>
bending rigidity EI (kg·m <sup>2</sup> )	12.595×10 <sup>4</sup>	
body type	量産車	量産車
備考	1979年度生産	日本自動車技術 Vol. 27, No. 4, (1973)

그림 7.

車體의 굽힘剛性値가 너무 작으면 車體가 큰 振幅으로 低周波振動을 하기 때문에 乘客은 큰 不安感을 느끼게 된다. 그림 6. 및 그림 7.은 Pony 4-door Sedan white body의 一點中央集中荷重에 對한 bending deflection曲線과 굽힘剛性値를 日本의 Lancer와 比較한 것이다.

實際車(完成車)에 있어서의 굽힘試驗은 white body의 試驗과 같은 方法으로는 困難하며, suspension 系統의 變位를 補正할 수 있도록 四角形의 frame을 車의 under frame에 매어 달고, 이 四角形의 frame위에 dial gage를 裝着한 後 車體에 荷重을 加하여야 한다. 이 以後의 變位測定과 그 結果를 그래프로 plotting하는 方法은 white body의 경우와 同一하며, white body로부터 求한 굽힘剛性値와 實際車(完成車)로부터 求한 굽힘剛性値의 比는 대략 1 : 1.5 程度이다.

### 3. 비틀림試驗 (torsion test)

비틀림試驗은 車體가 비틀림荷重에 대하여 어떠한 變形과 應力分布狀態를 나타내는가를 測定하여 試驗車體의 비틀림剛性(GJ)의 適合性與否를 判定하고 疲勞壽命을 推定하는 基礎資料를

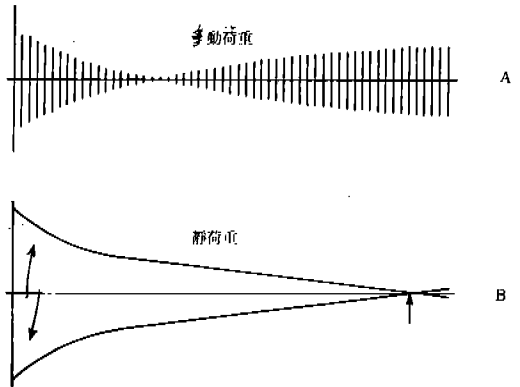
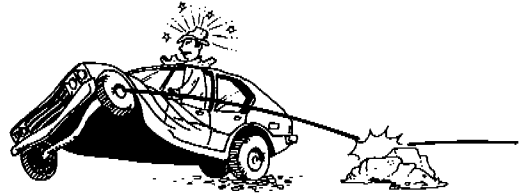


그림 8.

얻기 위하여 實施하는 試驗이다.

그림 8은 운동불통한 道路를 달리므로써 車體가 비틀리는 것을 나타낸 그림으로 chassis frame의 deflection을 實際로 測定하면 그림 8. A와 類似한 曲線을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 狀態를 시뮬레이션할 수 있도록 考案된 靜的 試驗

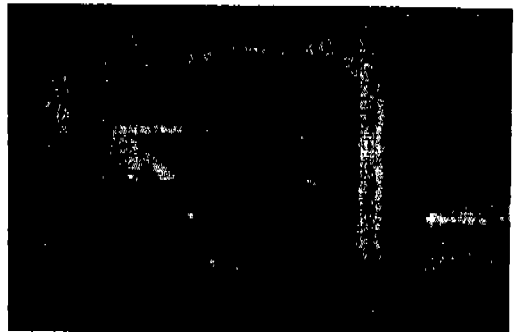


그림 9.

方法에 의하여 그림 8. B와 같은 靜的 deflection 曲線을 얻을 수 있다. 이 試驗을 遂行하기 위하여 white body를 支持하고 비틀림 torque를 주는 方法으로는 a) rear axle center를 固定하고 front axle center에서 비틀림 torque를 주는 方法, 또는 그 逆의 方法으로 b) 車體後端을 固定하고, 前端에서 비틀림 torque를 주는 方法, 또는 그 逆의 方法으로서 c) a)와 b)에서 前後兩者로부터 비틀림 torque를 주는 方法, d) 前後端 또는 front axle center와 rear axle center를 固定하고 車體中央으로부터 비틀림 torque를 주는 方法等이 있다.

그림 9는 a)의 方法으로 비틀림 torque를 주고 있는 하나의 例이다. 비틀림 試驗時의 車體의 變位, 應力을 測定하는 方法 및 注意하여야 할 點等은 굽힘荷重試驗時와 同一하다. 車體에 加할 비틀림 torque의 量은 道路走行時에 車體가 받는 비틀림 torque의 量을 考慮하여 決定하며, 보통  $\pm 1^\circ$ 를 넘지 않는 것으로 되어 있다. 本試驗을 行하기 前에 予備 torque를 反時計方向으로 주는 것이 常例이며, 그림10은 굽힘荷重試驗

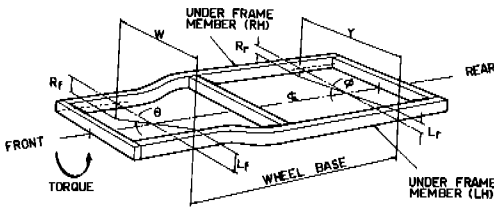


그림10.

에서와 같이 車體를 剛性이 均一한 보로 假定하여 車體의 비틀림剛性值를 計算하는 原理를 나타내고 있다.

Front axle에서의 비틀림角이 充分히 작다고 假定하면,

$$\theta_{\text{radian}} = \frac{R_f + L_f}{W}$$

이며, 이것을 다시 分으로 고치면,

$$\begin{aligned} \theta_{\text{minute}} &= \frac{R_f + L_f}{W} \times \frac{180 \times 60}{\pi} \\ &= \frac{R_f + L_f}{W} \times 3438 \text{ (길이 단위는 모 두 mm 임)} \end{aligned}$$

이 된다. 같은 方法으로 rear axle에서는

$$\phi_{\text{minute}} = \frac{R_r + L_r}{Y} \times 3438$$

이 된다. 여기서,  $K_r = 3438/W$  또는  $K_r = 3438/Y$ 은 常數로서 이  $K_r$ 나  $K_r$ 의 factor를 使用하면 車體의 上下變位(mm單位)를 쉽게 角變位로 換算하여 그림11과 그림12와 같은 비틀림剛性 그래프 (또는 torsional hysteresis curve)나 비틀림分布 그래프 (또는 overall torsional distribution graph)를 plotting할 수 있다. 그림11과 그림12는 모두 Pony 4-door Sedan의 white body에 대하여 3000 lb-ft의 비틀림 torque를 加한 後의 試驗結果를 나타낸 것이다.

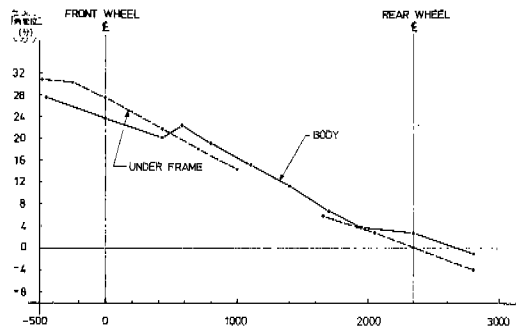


그림11.

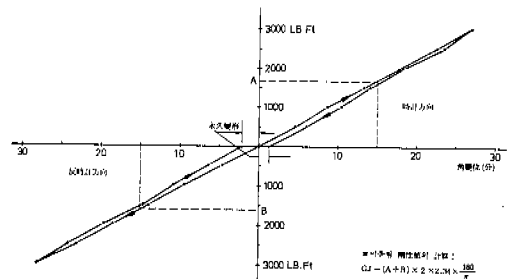


그림12.

비틀림剛性值 (GJ)의 計算은 굽힘試驗의 경우와 같이 생각하여 다음 式으로부터 求한다.

$$GJ = \frac{T\ell}{\theta}$$

(T; 비틀림 torque,  $\ell$ ; 軸距,

$\theta$ ; 비틀림角)

윗 式에서  $\theta$ 의 값으로는 보통 最大비틀림角의

半을 使用하며, 時計方向, 反時計方向의 값을 平均하여 使用한다 (Pony 4-door Sedan 및 Lancer의 GJ에 대하여는 그림 7을 參照).

實際車(完成車)에 있어서의 비틀림試驗은 實際車를 油圧 jack 위에 올려 놓고 그 中 前輪 또는 後輪의 높이를 變化시켜 비틀림torque를 주는 方法을 使用한다. 보통 white body로부터 얻은 비틀림剛性値와 實際車(完成車)로부터 얻은 비틀림剛性値와의 比는 1 : 1.5가량인 것으로 알려져 있다.

#### 4. 結 論

靜的 試驗이 充分한 效果를 거두기 위하여는 純粹한 工學의 原理에 基礎를 두어 實際의 使用條件과 充分히 一致될 수 있는 試驗方法이 考案되지 않으면 안된다. 試驗의 時期도 變更이나 改善이 可能한 時期를 擇할수록 좋으며 設計 group과 試驗 group間的 緊密한 協助로서 훌륭한 結果를 얻을 수 있게 된다.

무엇보다도, 試驗計劃이 實質的인 價値를 얻기 위하여는 試驗結果에 대한 慎重한 解析과 研究가 뒤따라야 한다.

車體에 대한 試驗은 本文中에 紹介된 것 외에도 實로 여러가지의 試驗方法이 있으며, 어느 것이나 많은 時間과 經費, 高價의 試驗機器 및 精密計測裝備를 必要로 하고 있다. 이것은 使用者의 要求本準이 날로 높아가고 있을 뿐만 아니라, 高度의 産業競爭 속에서 되도록 적은 費用으로 水準 높은 品質의 車를 生産하려는 努力이 繼續되고 있는 한, 車輛의 試驗方法은 끊임없이 發展되고 있음을 보여 주는 것이다.

車體設計와 開發에 있어서의 最近傾向의 特徵

은 처음부터 最適設計에 초점을 맞출 수 있도록 그 解析裝置들이 多樣하게 考案되고 있다는 點이다. 例를 들면, computer를 利用한 設計方法인데 設計의 試行錯誤를 極小化할 수 있다거나, 短時間에 解析, 評價 및 設計補完을 可能하게 한 다거나, program 開發 如何에 따라서 解析領域을 얼마든지 擴大하여 갈 수 있는 등 可히 놀라운 程度로 技術의 進歩를 보이고 있다. 그런데 試驗에 의한 實證的 解析이 輕視되고 있지 않으며, 相互補完的인 性格을 띠고 있는 만큼 우리의 實情에서는 더욱 많은 經驗의 蓄積이 必要하리라 생각된다.

#### 參 考 文 獻

- (1) 日本 新編 自動車工學 핸드북 第4章 構造強度試驗法
- (2) 小林, 自動車構造의 靜的強度および 剛性, 日本機械學會第247回 講習會教材, pp.117~126.
- (3) P. O. Johnson, Static Structural Testing of the Automobile Body, SAE Quarterly Transaction, Vol. 6, No. 2, 1952.
- (4) 重田 清, 車體關係의 強度試驗, 日本自動車技術, Vol. 17, No. 5, 1963.
- (5) 小林, 車體構造의 開發と問題點, 日本自動車技術, Vol. 20, No. 8, 1966.
- (6) H. C. Johnson, Stress Testing Methods In Body Structures, SAE Transaction, Vol. 61, 1953.
- (7) 難波, 三菱ランサー, 日本自動車技術, Vol. 27, No. 4, 1973.
- (8) J. G. Giles, Body Construction and Design, 1971.