

# 고 무 製 品 의 摩 耗

金 駿 洙 編 譯

1. 序 言
2. 試驗方法과 實用의 比較
3. 摩耗現象과 機構

## 1. 序 言

고무제품의 大部分을 占有하고있는 Tire, Belt, 靴類의 實用的인 見地에서 摩耗는 龜裂과 더불어 보다 關心깊은 現象이다. 文獻에 依하면 Tire 에서만도 年間 約 800,000% 이란 莫大한 고무가 摩耗損失된다고하며 Carbon black 의 出現으로 고무제품의 耐摩耗性은 顯著하게 改善되어가고 있는 實情이다.

고무제품의 摩耗는 옛날부터 關心事로서 많은 試驗方法이 考案되어왔으나 實際 摩耗는 複雜한 現象이므로 試驗機에서의 評價와 實用上의 評價가 좀처럼 一致하지 않는다. 또한 摩耗機構에 對해서도 여러가지 說이 있으나 實際의 摩耗를 說明하는데는 미치지 못하고 있으나 近年에 와서 摩耗現象에 對한 解明도 漸次 核心的인 問題에 이르기까지 파고드는 傾向을 나타내고있어 이와더불어 試驗方法에도 큰 進歩를 보여주고 있는 實情이나 實用面에 맞설 試驗方法 試價方法의 適切한 手段이 없음은 고무技術者의 큰 苦悶거리이다.

即, 實際의 結果를 滿足하게 推定할 수있는 試驗方法이 없다. 文獻의 Data 를 參考로

해도 반드시 同一한 結果가 나오지 않고 反對의 結果를 내는 경우도 가끔 있다. 그러므로 結局 實際試驗을 해야되나 實際試驗은 長期間의 時日과 많은 費用이 들게되고 더구나 數值上으로 正確하게 나타나지 않기에 문에 이 또한 結果에 確信을 가질 수없게 됨으로 조금씩 試驗規模를 擴大하여 本生産으로 들어가게되고 이와같이 어느 段階에 있어서나 愼重한 試驗을거쳐 實生産에 들어가도 結果가 반드시 豫期한 效果를 내지못하는 때가 가끔있다.

以上에서 記述한 바와같이 實際 勞苦하고 있는 經驗者의 詳細한 紹介들이 많이 있으나 다음에 試驗과 實際摩耗의 問題點, 考察方法 등을 記述하고자한다.

## 2. 試驗方法과 實用의 比較

一般的으로 實用의 目的으로 試驗하는 경우는 大體로 促進試驗 即, 短時間에 評價할 수있는 試驗을 하게된다. 摩耗試驗도 例外가 될 수없이 研摩劑나 鋼刃을 使用해서 摩耗를 促進시키고있다. 摩耗는 2種의 物體가 어떤 法線力을 받아서 서로 接觸하면서 그 接觸面의 어느 한쪽이 다른쪽에 對해서 接觸面에 平行으로 어느 相對速度를 가지고 運動할 때(이를 Slip 라 한다) 반드시 일어나는 現象이다.

그러므로 法線力과 相對速度, 接觸面の 狀態(溫度도 包含해서), 서로 接觸하는 2個物質의 物性(嚴密히는 接觸部の 物性)이 支配的 因子가되고 그 外에 接觸面に 미치는 Stress의 分布, 接觸面附近의 雰圍氣가 摩耗에 影響을 미친다.

이들 要因을 實用하는 使用目的의 條件과 同一, 또는 實用條件과 1:1로 比例하는 條件을 發見하여 試驗을하면 좋지만 그 要因은 아주 많고 또 各各의 要因의 實用條件을 明確히 포착하기는 容易한 일이 아니고 또 그들 要因의 效果는 서로 다르므로 아직 不明한 點이 많은 것이 現實情이다.

아래에 Jube 및 Veith의 總說을 主로 해서 現在 널리 使用되고 있는 것 및 最近의 새로운 試驗方法에 對해서 實際試驗과의 比較를 위주로해서 紹介한다.

### 2-1. Williams 試驗機(Du pont 試驗機 또는 Gresselli 試驗機)

Williams가 1927年 軟質고무用으로 考案, 摩耗에 要하는 Energy를 計算하여 이 값을 重要視했으나 ASTM D-394-59 및 ISO/TC 45-R-33은 이 값을 推獎치 않고 標準品과의 摩耗損失量의 比較值만을 意味있는 것이라고 했다. NBS 試驗機는 이의 變形型으로 摩耗面을 圓筒으로해서 數個를 同時에 測定하고 摩耗量을 試片의 두께의 變化로 볼 수있게 한 것이다.

이 試驗機의 問題點의 하나는 摩耗紙(日本의 同種試驗機는 砥石으로 되어있는 것이 많이 使用되고 있으나)의 均一성과 그 壽命이다.

Powell과 Gough는 摩耗試驗機의 摩耗機構를 Power에 對하여 考察하고 本試驗機에 對해서도 一定 荷重에서 測定하는 것보다는 一定한 Torque에서 測定하는 便이 Tire의 實走行試驗과 符合된다는 것을 <表 1>과같이

報告하였다.

表 1. Williams 試驗機의 試驗條件과 道路試驗과의 比較(試料 A에 對한 摩耗指數로 表示)

配合物	定 Torque	定荷重	道路 Test
A	100	100	100
B	92	145	92
C	85	159	80
D	73	100	75
E	63	54	75
F	38	50	59

### 2-2. Angle 摩耗試驗機

Vogt의 考案에 依한 것으로서 直徑 1m 程度의 圓板狀 摩耗砥石을 水平으로 回轉하고 그 周邊部에 Akron式보다도 조금 大型인 圓盤型의 고무試料가 縱으로 一定 壓力을 받고 摩耗角을 0~90°로 變動할 수있도록 되어 있다. 氏에 依하면 이 試驗機에서의 摩耗損失은 0~45°까지의 範圍에서는 角度에 比例, 또 回轉速度에는 事實上 關係없이 荷重에 比例한다고 報告했다. Phillips社의 評價에 依하면 서로 다른 고무의 比較에는 使用되지않으나 同一 고무에서의 Carbon black의 評價에는 實際와 잘 一致한다고 한다.

### 2-3. Akron 摩耗試驗機

摩耗損失과 角度는 直線關係에 있지않다. 角度를 높이면 다른 配合物이 摩耗의 順位가 逆轉하는 경우가 있다.

### 2-4. Lambourn 摩耗試驗機

回轉數 600 rpm, 荷重 3.2 kg 이 標準이고 Slip은 5~40%로 可變된다. 天然고무 10種類의 Tire tread 配合에 對해서 여러가지 Slip에 依한 試驗結果와 道路 Test의 結果를 比較한 결과 16% Slip의 경우가 道路 Test結果와 比較的 一致하는 것을 發見 16% Slip을 標準으로한 結果는 <表 2>와 같다.

表 2. 定 Slip(16%)에서의 Lambourn 試驗機의 結果와 道路試驗結果(試料 A에 對한 摩耗指數로 表示)

配合物	試驗機	道路試驗
A	100	100
B	139	130
C	150	142
D	200	225
E	95	93
F	117	117
G	92	92
H	206	215
J	100	100
K	97	92

Powell 과 Gough 는 前述한바와같이 摩耗試驗機를 定荷重代身に 定 Power 로 試驗하도록 修正할 것을 提案하고 Lambourn 試驗機에 對하여 改良, 走行試驗과의 比較를 (그림 1)에 보였다.

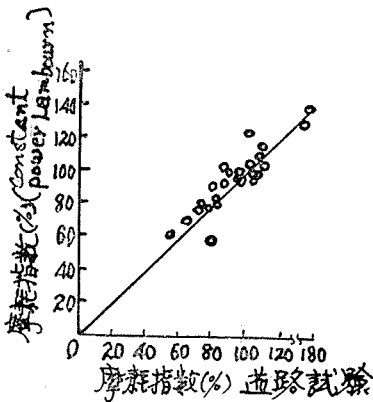


Fig. 1. 道路試驗과 試驗機의 比較

2-5. Pigo 摩耗試驗機

Newton 等은 從來의 摩耗紙나 숯돌판대신에 단단한 칼날(Tungsten, Carbide 鋼)로서 굽는 作用을 採用한 새로운 試驗機를 考案했다. 試料의 回轉數, 칼에 걸리는 荷重이 變化된다. 試驗에서 重要한 因子로서 摩耗層에 依한 칼의 汚損을 防止할 Dusting powder 의 品質, 칼의 銳利度, 試驗의 回轉速度, 칼에 걸리는 荷重의 4 가지가 있다. Dusting powder

로서는 Mohrs 硬度 6~7.5의 것이 좋다고한 다. 칼의 銳利度의 檢定은 標準荷重(4.5 kg), 回轉數(60 rpm)로, <表 3>에서보는 5種의 標準配合物에 對해서 試驗하여 그 摩耗指數가 表에서보는 走行試驗의 指數의 ±10% 以內에 들어가면 칼의 銳利도가 合格된다고 한다.

表 3. Pigo 試驗機의 標準試料

	摩耗指數
NR-EPC	100
Hot SBR-EPC	90
Cold SBR-EPC	110
Cold SBR-HAF	125
Cold SBR-SAF	150

또 Newton 等은 上記 5種의 配合物에 對해서 Pigo, NBS, Angle, Lambourn 等 4個의 試驗機에서 試驗하여 <表 4>와같은 結果를 얻고 Pigo 만이 道路試驗과 全試料에 걸쳐 比較的 一致하는 結果를 얻었으며 Angle 과 Lambourn 은 同一 고무에서 Grade 가 다른 Carbon black 의 配合物에 對해서 만이 相對值가 잘 맞는다.

表 4. 4種의 試驗機의 結果와 道路試驗結果의 比較 (摩耗指數로 表示)

	道路試驗	Pigo	NBS	Angle	Lambourn
NR-EPC	100	100	100	100	100
Hot SBR-EPC	90	90	105	136	155
Cold SBR-EPC	110	110	89	133	330
Cold SBR-HAF	125	125	1500	159	425
Cold SBR-SAF	150	150	2400	218	510

이와같이 從來의 試驗機에서는 고무가 다 른 경우 試驗結果가 實際와 맞지않는 일이 많았지만 Pigo 는 이러한 欠點을 打開한 唯一한 試驗法이라고한다. 最近 日本에서도 比較的 檢討되고있고 Abrasion Pattern 도 實際 Tire 와 흡사한 方向性的의 모양을 이루는 등 아주 特徵이 있어 有望한 試驗機로 생각되고 있다.

## 2-6. Tow Trailer 表

半實用的인 試驗方法으로 Schallamach 가 最近에 報告하였고 이어서 Gelinas 와 Storey 가 多少 改良해서 發表하였다. 二輪의 索引車에 試驗 Tire 를 달고 一定荷重과 一定한 Slip Angle(Tire 의 圓周를 包含한 面과 車의 進行方向과의 角度를 말함)을 附與해서 車에 끌리는 方法으로 試驗 Tire 는 外經 6.35 cm(고무量으로 50 g) (Gelinas 의 例)의 적은 것 으로부터 6.40~13 의 實用 Tire (Grosch 와 Schallamach)를 使用하는 數種의 方法이 있다. Slip angle 을 變化함에 따라 試驗의 苛酷度를 變化시킬 수 있다. 이 試驗方法의 實用的 價値는 歷史가 짧으므로 앞으로가 注目된다.

## 2-7. Shell 摩耗試驗機

Shell 의 研究所에서 各種 摩耗試驗機를 檢討한 結果, Lambourn 型이 多方面의 條件 即, 試驗의 表面速度, 荷重, Slip, 相對運動을 시키기 위한 傳達 Energy, 溫度等を 調節할 수 있기 때문에 가장 良好하다고 判定하고 이를 改良해서 Shell Abrader 라 命名하여 發表하였다. 그 機構, 構造의 基本的인 部分은 Lambourn 과 같으나 走行機構와 摩耗의 Severity 의 考察에서 Transmitted power 를 一定하게하여 試驗할 수 있고 從來의 摩耗試驗條件에 比하여 아주 낮은 Severity 로 試驗할 수 있도록 하기 위하여 摩耗論의 Brake 電流의 調節에 依하여 電氣的 Servo 機構를 利用해서 摩耗論의 角速度와 傳達力을 自動的으로 廣範圍하게 걸쳐서 一定하게 維持하도록 하였다. 이렇게 함으로써 長時間 放置해두고 運轉할 수 있으므로 實走行에 가까운 低苛酷度の 長時間試驗도 安心하고 할 수 있다. 또 試驗機의 摩耗輪部分을 恒溫箱에 넣고 廣範圍한 一定溫度에서 試驗을 할 수 있다. Slip 은 一定하

지는 않으나 電氣的으로 連續해서 測定되도록했다. 그래서 傳達力, 溫度의 廣範圍한 變化, 荷重, 試料의 回轉速度는 될 수 있는 대로 實走條件과 같이 해서 試驗함으로써 고무 種類가 다른 Factor 까지 包含한 試驗條件에서 實測과 比較의 一致됨을 보였다.

## 2-8. 다른 物性에서의 摩耗性의 評價

摩耗는 고무表面이 局部的으로 破壞되어 작은 고무片이 되어 떨어져 나가는 現象이므로 局部的이기는하나 고무引裂, 引張強度, 伸張率等に 關係가 있다. 摩耗機構의 解明을 위해서나 또 實用的으로 보아도 摩耗試驗보다도 이들의 強度를 測定하는 것이 測定도 容易하고 試驗의 精密度도 높다. 이러한 理由로 摩耗와 다른 物理的인 特性值과의 關係는 옛날부터 調査되어왔다. 實際 經驗으로 이들 強度가 큰 것은 一般的으로 耐摩耗性도 크다. 그러나 고무가 다르거나, 充填劑의 種類가 다른 것을 比較하는 경우에, 또 同一 고무, 同種 充填劑의 配合物에서도 定量的인 比較를 하게되면 이들 強度와 耐摩耗性의 關係가 맞지않는 것에 對해서는 잘 알려져 있는 事實이다.

Zapp 은 Butyl 고무와 SBR 의 Carbon black 配合에 對해서 그 動的 Modulus K 와 보통 引張試驗機에서의 破壞 Energy (Stress strain 曲線下의 面積) R 과의 比와 Lambourn 摩耗試驗機에서의 摩耗損失(7 Lb 荷重, 600 rpm, 18% Slip)과 制動電流(Lambourn 試驗機의 摩耗輪의 制動電流로 直流의 定電壓을 負荷하고 있으므로 電流值는 Slip 의 尺度가 된다)의 比에 對한 關係를 調査하였으나 一般的으로 좋은 相關性이 얻어지지 않는다. 그 理由로서 引裂이나 引張強度等은 溫度, 引張速度의 영향을 強하게 받아서 고무가 다르거나 配合이 크게 다르면 그 影響이 달라진다. 한 便 摩

耗條件의 解析에서 摩耗되고있는 面의 溫度는 比較的 높고 또 局部에서의 變形速度가 아주 크다는 것을 알 수있었다. 그래서 1950年代의 後半부터 高速에서의 引裂, 引張試驗의 試驗을 하게 되었다. Greensmith는 天然고무와 SBR의 純고무加黃物, HAF 補強 加黃物에 對해서 廣範圍한 伸張速度로 引裂測定을 하였고, 普通의 引張試驗에 比해서 엄청나게 큰(10~20 m/sec 또는 10,000~50,000 %/sec) 引張速度를 주기때문에 Fly wheel 式 또는 重錘의 落下式을 採用하고있다.

2-9. Sand blast 의 試驗

Sand blast는 Tire, 靴類, Belt 등과 달라 實用上으로도 아주 苛酷한 摩耗條件으로 되어있다. 따라서 그 摩耗性和 고무配合과의 關係도 Tire 등의 경우와 比較的 달라진다. Morris와 Oser는 圓板에 고무를 부치고 摩耗砂를 一定한 位置에서 불어 부치고 그 噴射角을 變化할 수있도록 한 試驗裝置를 만들어 <表 5>에서 보는 바와같은 各種 고무에 對해서 試驗하였다.

表 5. Sand blast 試驗

고 무	主 配 合	Sand blast 摩 擦 指 數*
天 然 高 木	純 高 木	1.00
	Light oil	20部 0.60
	MPC Black	50部 0.38
	Shawinigan Black	40部 0.37
Genthane S	純 高 木	0.80
	Showinigan Black	31部 0.53
Neoprene GN	純 高 木	0.68
	Shawinigan Black	30部 0.37
Butyl 215	純 高 木	0.50
	Shawinigan Black	40部 0.18
SBR 1500(Synpol)	"	39部 0.50
Hycar 1014	"	38部 0.33
Hycar 1001	"	37部 0.21
Hycar 1072	純 高 木	0.18
	Shawinigan Black	37部 0.11

\* 標準試料(여기서는 天然고무의 純고무 配合物)의 摩 擦 容 積과 試驗試料의 摩 擦 容 積의 比

그 結果 噴射角(고무面에 對한 角度)을 적게하면 摩耗速度가 크게되고 同一 고무에서는 Carbon black을 加하면 摩耗速度가 크게 된다. 또 各配合物의 다른 物理特性和 摩耗指數와 相關성을 散布圖를 그려서 調査했으나 硬度, 反發彈性, Pendulum 侵入度는 若干 相關性이 있으나 引張強度, 伸張率, 引裂強度, NBS 試驗機에 依한 摩耗指數와는 相關性이 없었다.

3. 摩耗現象과 機構

2項의 처음에서도 記述한 바와같이 摩耗라고하는 現象은 2個의 物體가 어떤 法線力을 받아서 接觸하면서 相互 Slip(接觸面에 平行한 相對運動을 일으킬 때 摩 擦 力을 生成하고 그 摩 擦 力에 依해서 接觸面에서 接觸하고있는 物體의 破壞가 일어나는 現象이다. 이를 다른 表現으로하면 摩 擦 的 法 則에 依하여 法線力을 N, 切線力(摩 擦 力)을 F 라하면

$$F = \mu N \dots \dots \dots (1)$$

의 關係가 있다.  $\mu$ 는 摩 擦 係 數로서 接觸面에서의 兩物體의 物性和 接觸面의 狀態, 다시 말해서 運動狀態에서는 兩物體의 相體速度(Slip)에 依해서 定해지는 恒數로서 接觸面積에는 依存하지 않는다. 摩耗는 上式의 F에 依해서 일어나고 이것이 實際 어떠한 狀態로 일어나고 있는 가를 考察하면 複雜하다. 왜냐하면 고무는 粘彈性體이고 그 物性은 Hysterisis 나 疲勞에 依하여 變化하고 摩耗力의 作用이 아주 複雜해진다. 그러나 複雜하다는 것은 아주 많은 要因이 綜合된 것이고 또 要因에 따라서는 아주 廣範한 變化를 가져오기 때문이다. 따라서 Tire, 靴類, Belt 와 一見 다른 用途의 製品에 있어서도 위에 記述한 摩耗의 基本的인 機構는 共通이다. 거기서 上記  $F = \mu N$ 의 各各에 對해서 고무에 주는 外的인 因子로부터 考察해보기로 한다. (다음號에 계속)