

燃費節減을 爲한 自動車엔진油의 最近動向과 그 問題點

權 寧 信
(韓國油類試驗檢査所)

1. 序 言

從來 自動車用 엔진油에 要求되었던 主要 機能으로서는 摩擦部位에서 發生되는 摩擦抵抗이나 磨耗을 減少시키는데에 局限하여 研究開發되어 왔었지만 1973년의 石油危機를 契機로 하여 이와같은 機能外에도 消費에너지를 最小化 할려는 努力의 一環으로서 燃費節約型의 엔진油는 勿論 耐久性이 良好한 롱라이프(long life) 油가 登場되었을뿐만 아니라 날로 深刻해져가고 있는 自動車排氣가스에 依한 大氣汚染과도 適合性を 考慮한 새로운 機能의 엔진油가 開發됨에 따라 이와 關聯하여 自動車엔진油를 通해본 燃料費節減 効果와 그 問題點을 檢討해 보고자 한다.

2. 燃費節減을 爲한 에너지政策

우리나라에서도 自動車의 燃料費節約을 爲한 對策이 政府의 政策樹立이나 自動車 메이커別로 多角的인 檢討와 方向을 設定하여 推進되고 있는 줄로 알지만 美國에서는 1975년에 에너지政策·節約法(Energy Policy and Conservation Act)이 制定되어 表 1에 나타낸바와 같이 乘用車의 燃料費基準值가 定해졌고 이 燃料費基準에 未達될 경우에는 0.1mile/gallon 당 5 달러의 벌과금이 車 1臺마다 있으며 日本에서도 1979年 6월에 「에너지의 使用合理化에 關한 法律」이 制定되어 同年 12월에는 表 2와 같이 1985년에 있어서 乘用

表 1 美國의 乘用車燃料費 基準

年 度	燃 料 費 基 準 (mile/gallon)	向 上 率 (%)
1978	18.0	-
1979	19.0	5
1980	20.0	11
1981	22.0	22
1982	24.0	33
1983	26.0	44
1984	27.0	50
1985	27.5	53

表 2 日本의 乘用車 燃料費에 關한 基準(1985年)

項 目	區 分				綜 合 平 均
	A	B	C	D	
車 輛 重 量(kg)	577.5 未 滿	577.5~ 827.5未滿	827.5~ 1265.5 未 滿	1265.5~ 2015.5 未 滿	-
④日 標 值 (km/ℓ)	19.8	16.0 13	12.5	8.5	12.5
⑥1978年度平均 燃料消費率 (km/ℓ)	18.6	14.4 11.5	11.1	7.6	11.4
1978年度燃料費 向 上 率 對 比 ④/⑥× 100 (%)	+ 6.5	+11.1 +13.0	+12.6	+11.8	+12.3

車의 燃料費에 關한 判斷基準이 告示되었다. 이것은 1978年度와 對比해서 10모드 燃料費를 平均해서 約 12% 向上시킬 수 있다. 물론 美國과 같이 基準値를 下廻할 경우 벌과금을 물리지는 않지만 各自動車메이커에 依해서 低燃料型 車輛은 커다란 販賣戰略의 利點關係로 開發에 全力 投球하고 있다. 이와같은 狀況과 政策때문에 自動車의 燃料費와 潤滑油와의 關係에도 크게 關與됨에 따라 自動車用엔진油의 性能改善으로 燃料費節約에 크게 期待를 걸고 研究하고 있다.

3. 엔진内部에서의 摩擦損失

自動車의 엔진内部에서 일어나는 機械的 摩擦損失은 엔진油의 機能改善으로 줄이는 것이 可能하다. 이것은 한마디로 燃料費의 節約이 可能하다는 뜻과도 같다.

Haviland¹⁾는 엔진内部의 機械的 摩擦損失은 約 9kw이며 그중 4.5kw는 실린더 속에서 피스톤과 피스톤링과의 摩擦에 依한 것이라고 報告한 바 있으며 摩擦損失을 減少시키고 그에 따라서 出力을 0.75kw (1 HP)로 줄인다면 約 0.3 MPG (約 0.13km/l)의 燃料이 節約된다고 推算하였다.

만일 모든 機械的 摩擦損失(9kw)이 없어진다면 $9kw \times (0.3MPG / 0.75kw) = 3.6MPG$ 의 燃料節約이 理論적으로 可能하다.

이러한 改善을 理論적으로 解析하면 燃料節約은 $[(1 \text{ gallon} \div 20 \text{ mile}) - (1 \text{ gallon} \div 23.6 \text{ mile})] \div (1 \text{ gallon} \div 20 \text{ mile}) \times 100 = 15.2\%$ 로 된다. 이것은 20.0MPG (8.50km/l)의 燃料費에 依해서 計算한 것이다.

이에 基礎를 두고 市販되고 있는 많은 低燃料費節約型의 엔진油에 依한 燃料의 節約은 EPA (Environmental Protection Agency: 美國環境保全廳) 試驗에서 約 1~3%로 測定되었으며, 같은 樣式의 實車試驗에서도 6.5%로 測定되었다고 報告되었다.²⁾

그러나 理論적으로 可能한 15.2%의 目標에도 달하기에는 아직도 많은 研究가 進行되어야 할 것이다.

4. 低粘度化에 依한 燃費節約

潤滑摺動部에서의 摩擦係數와 潤滑油의 粘度(η), 荷重(P), 速度(N)와의 사이에는 그림1과 같은 關係가 있다. 이것을 Stribeck 曲線 이라고 하며 油膜에 依해서 潤滑되는 流体潤滑領域에서는 摩擦係數는 油의 粘度에 比例한다. 예를 들어 粘度가 增加하면 油의 内部摩擦 抵抗이 增加하여 摩擦係數가 커진다. 따라서 可能한 限 油의 粘度를 油膜이 形成할 수 있는 最少限으로 줄인다면 油의 内部摩擦에 依한 에너지消費節約效果를 가져와 燃料費를 줄일 수 있다.

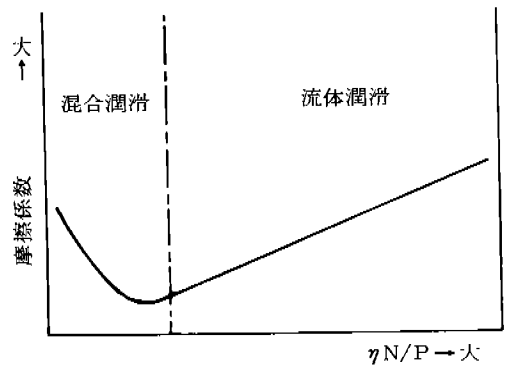


그림 1 Stribeck 曲線

그림 2에 Passut³⁾가 行한 엔진油의 粘度와 燃費의 關係에 대해서 檢討結果를 나타냈다. 이것은 SAE 5W로부터 SAE 40까지의 싱글그레이드 油를 使用해서 80km/h의 定速走行時의 燃費를 測定하고 試驗溫度에 있어서는 엔진油粘度를 外挿法으로 求하여 燃費와의 關係를 한데 모은 것이다. 이와같이 燃費는 廣範圍해 있어 엔진油의 粘度에 依存하고 있다. 따라서 溫度에 따른 粘度變化가 적고 또한 低粘度의 엔진油 쪽일 수록 燃費節約效果가 커진다. 즉 SAE 30 < 10w/30 < 5w/30의 順으로 節約效果가 있다고 한다.

이와같이 低粘度化에 依한 燃費는 改善되지만 粘度를 過度로 낮게하면 油膜두께가 얇아져 境界潤滑領域으로 되어 도리어 摩擦係數가 增加하여 燒付(타서 눌러붙는 現象) 등의 原因으로 되기 때문에 充分한 配慮가 必要하다. 그러면 엔진의 베어링部位를 潤滑하는데 必要한 限界粘度

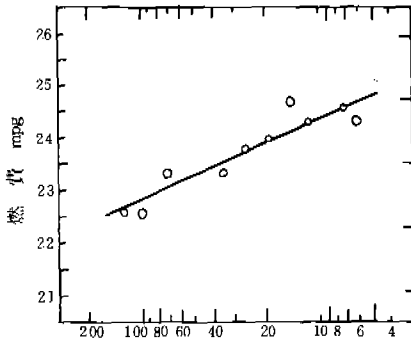


그림 2 燃費에 미치는 粘度의 影響 (Ford L-6 엔진 4.1ℓ)

는 어느 정도인가? 이점에 對해서의 報告는 엔진의 形式이나 試驗條件等에 따라 若干 差異가 있다.

山田⁴⁾은 1800cc, OHC엔진을 使用해서 行한 結果에서 크랭크軸의 燒付溫度와 엔진油의 100℃의 粘度사이에는 그림 3 과 같은 關係가 있음을 나타냈다. 즉 베어링이 타서 늘어붙는 限界粘度는 3.3~3.7 cSt이다. 特히 멀티그레이드油(multigrade oil)와 싱글그레이드油(single grade oil)를 比較하면 멀티그레이드油를 使用한 경우 베어링이 타서 늘어붙는 溫度가 보다 낮은 傾向이 있다. 이것은 베어링부분의 剪斷速度가 10⁶~10⁷ S⁻¹로 比較的 높으므로 멀티그레이드油에 使用되는 粘度指數向上劑(폴리머)가 剪斷 方向으로 配向하여 一時的인 粘度低下를 일으키기 때문이다.

McMillan 은 베어링磨耗는 149℃, 6 × 10⁵ S⁻¹의 條件下에서의 엔진油의 粘度와 相關性이 있

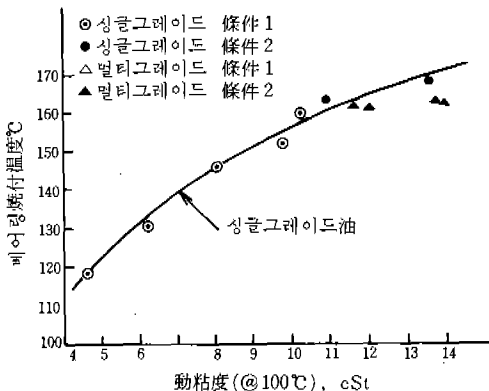


그림 3 粘度에 對한 베어링의 燒付溫度 (L-4 엔진, 1.8ℓ, OHC)

으므로 高溫, 高剪斷下의 粘度를 規定해야 한다고 主張하고 있다.⁵⁾

現在 ASTM, SAE에서도 이와같은 條件下의 粘度測定法의 制定 및 規格化가 檢討되고 있다. 高剪斷下에서는 粘度指數向上劑의 一部分이 切斷되어 永久的인 粘度低下를 일으킨다. 이경우 低下된 粘度는 剪斷速度가 적어져도 다시 回復되지 않는다. 따라서 低粘度의 멀티그레이드油를 設計할 경우에는 優秀한 剪斷安定性을 갖는 粘度指數向上劑를 選擇하는 것이 重要하다. 低粘度化를 했을 때 念慮해야 할 事項은 油消費增大이다. 油消費의 增大는 排氣가스淨化触媒의 被毒, 밸브에의 堆積物의 增加, 点火플러그의 汚損等의 トラブル을 일으킬 수가 있다. 油消費는 엔진型式이나 運轉條件等에 依해 달라질 수가 있어 正確히 測定하기는 어렵다.

一般的으로 油消費를 增大시키는 要因으로서는 粘度와 基油의 揮發性이다.

Orrin⁶⁾은 粘度와 基油의 揮發性을 바꾸어 10種類의 엔진油를 使用해서 그림 4 와 같은 結果를 얻어 다음과 같은 式을 提案하고 있다.

$$I_n(OC) = -2.38 + 3.84\mu - 0.523\mu^2 + 0.056W$$

OC : 油消費(g/hr)

μ : 粘度 @ 149℃ (cSt)

W : 399℃에서의 留出比率(%)

이것에 依하면 高溫(149℃)에서의 粘度와 399℃이하의 低沸點基油의 比率이 重要한 포인트로 되어 重質基油와 輕質基油를 混合하여 製造할 경우에는 充分한 配慮가 必要하다.

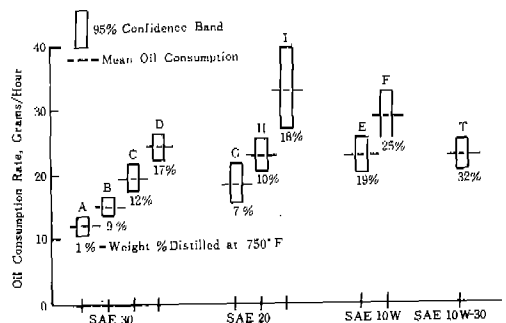


그림 4 油消費와 粘度, 揮發性과의 關係

5. 減摩劑 (Friction Modifier) 에 의한 燃費 效果

自動車燃費節減을 爲한 엔진油의 改善方案으로서는 低粘度化에 의한 流体의 内部摩擦抵抗減少와 減摩劑添加로 機械的 摩擦抵抗減少에 主眼點을 두고 있다.

減摩劑로서는 固体潤滑劑와 油溶性添加劑로 大別되고, 固体潤滑劑로서는 二硫化 몰리브덴 (MoS_2) 과 그라파이트(黑鉛) 等이다. 이러한 固体潤滑劑를 油中에 安定하게 分散시키기 爲해서는 極히 微粒子($0.3\sim 0.5\mu$)로 하여 粒徑分布를 좁게 하는것이 무엇보다도 重要하다.

이러한 添加劑를 含有한 油를 엔진에 充塡한다고 해서 當장에 效果를 發揮하는것은 아니고

그림 5에 나타낸것과 같은 break-in 效果, 또는 다른 기름으로 交換하여도 그 效果가 남아있는 carry-over 效果가 있음을 알아둘 必要가 있다. 다만 이러한 添加劑가 함유된 油는 黑色을 나타내므로 商品價値에 多少 問題가 있을 뿐이다. 다음 表3에 各種의 粘度그레이드에 固体潤滑劑를 添加시킨 油에 對하여 燃費向上을 台上 및 實車 그리고 EPA 사이클 試驗으로 評價한 것이다.

한편 油溶性의 減摩劑로서는 有機몰리브덴 化合物과 아민系, 磷系, 硫黃系, 에스테르系 等の 無灰系의 것이 알려져 있으며 燃料費의 節約 效果는 固体潤滑劑의 경우와 같고(表4參照) 評價方法에 따라 2~5%의 差가 나타난다. 이것은 아직까지 客觀的으로 그의 有効性을 評價하

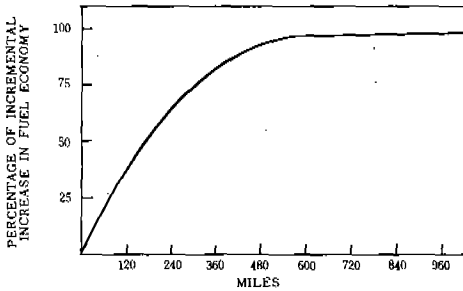


그림 5 그라파이트 含有油의 break-in 效果

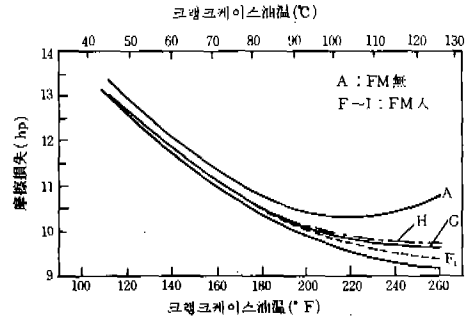


그림 6 摩擦損失에 미치는 FM 添加效果

表 3 固体潤滑劑에 의한 燃費效果

評 價 方 法	粘度그레이드	固体潤滑劑(%)	燃 費 效 果	參 考 文 獻
台 上, 實 車	SAE 20	MoS_2 : 1.0	2.3~6.4 (平均 4.4)	7
台上(사이클), 實車 (一定速度)	10W/30	그라파이트 : 0.5~1.0	3.0~7.1	8
台上, 實車(SAE) (J 1082)	10W/40	콜로이드 type	-4.1~22.4	9
EPA 사이클	10W/30	MoS_2 : 1.0	1.2~2.6	10
		그라파이트 : 1.0	0.8~1.2	
EPA 사이클	5W/20	콜로이드 type	-1.0~8.8	11
	5W/30			
一定速度走行	SAE	콜로이드 type	2.8~5.1	11
EPA 사이클	5W/20	MoS_2 : 1.0	4.6	12
EPA 사이클 및 其他	10W/30	그라파이트 : 1.0	3.9~4.6	

表 4 油溶性減摩劑에 의한 燃料費節減效果

評 價 方 法	粘度그레이드	減 摩 劑 (%)	燃料費效果	參考文獻
一 定 速 度 走 行	10W / 40	無 灰 型 2 種 類	9.1~11.1	13
E P A 사 이 클			1.5~12.0	
台 上 一 定 速 度	10W / 40	無 灰 型 3 種 類 油 溶 性 M ₀ 化 合 物	- 0.3~2.9	14
E P A 사 이 클			0.6~1.9	
E P A 사 이 클	10W / 40 (REO 10W/30)	油 溶 性 M ₀ 化 合 物	2.6	10
Motoring 摩 擦 토 오 크	10W / 40	無 灰 型	토오크低減 1.6~5.7	15
一 定 速 度 및 G M 市 內 / 市 外 走 行	10W / 40	디오레일포스페이트 : 2	2.0~2.4	12
	20W / 40	옥타데실아민 : 2	-0.2-0.9	
	20W / 20	鯨腦油誘導體 : 2	1.1	
E P A 사 이 클 및 實 車	10W / 30 10W / 40	油 溶 性 化 合 物	1.4~4.8	16

는 方法이 確立되어 있지 않기 때문이다.

添加效果는 그림 6의 Passut의 結果가 나타낸 것과 같이 高溫領域으로 될 수록 顯著하나一般的으로 油溶性의 減摩劑는 金屬表面에의 化學吸着이나 表面과의 化學反應에 依해 作用하기 때문에 高溫이 되어야 效果가 나타나는 것 같다.

이와같이 減摩劑의 效果는 期待되지만 形에 따라서는 動弁系摩耗, 베어링腐蝕, 触媒被毒에 나쁜 影響을 끼치는 것이 豫想된다. 動弁系摩耗에 關해서는 디티오磷酸亞鉛, 金屬淨淨劑, 無灰分散劑의 形과의 均衡이 重要하다 減摩劑의 形에 따라서는 이러한 均衡을 파괴하여 動弁系摩耗를 促進시키는 것도 있다. 触媒被毒에 關해서는 엔진油中の 磷이 나쁜 影響을 끼치는 것으로 알려지고 있다. 特히 磷의 含量이 0.14%를 초과할 경우는 더욱 심하다고 한다. 그것은 触媒converter型(C-4)排氣가스制御에 使用되는 酸素檢出器와 反應하여 더욱 酸化触媒를 汚染시킨다고 Ca-racciolo와 Spearot¹⁷⁾는 報告하고 있다. 따라서 數十年間 自動車엔진의 摩耗防止를 도와온 ZDTP (Zn-dialkyl thio Phosphate)의 一部 또는 全部의 使用를 中止하여야 할 것인가, 그렇지 않으면 多量의 磷을 使用하더라도 汚染에 依한 耐久性이 良好한 排氣가스制御裝置를 開發하여야 할

表 5 L-38試驗에 미치는 減摩劑 影響

減 摩 劑 (F·M)	베어링腐蝕 (Loss, mg)
A ₁	19.5
A ₂	338
M ₀₁	49.5
M ₀₂	225
A ₃	300 (10h)

것인가는 멀지않는 장래에 반드시 解決해야 할 課題이다.

한편 베어링腐蝕에 關해서는 表 5의 Retzloff의 結果에서 보는 바와 같이 나쁜 影響을 끼치는 減摩劑도 있다.

따라서 減摩劑를 選定하는 데는 단순한 摩擦減少에 依한 燃費節減效果도 重要하지만 엔진油本來의 性能, 즉 耐摩耗性, 淸淨性等에 나쁜 影響을 주지 않는 것을 選擇해야 함은 말할 必要도 없다.

6. 燃費節約型 가솔린엔진油 規格化

앞에서 記述한 바와 같이 燃料費節約에 對한 엔진油의 性能데이터는 엔진型式, 運轉條件等에 따라서 각각 다르고 客觀的인 性能을 評價하는

방법이 아직 確立되지 않아서 ASTM에서는 SAE의 依頼를 받아 가솔린엔진油의 燃費節約性能의 評價方法을 檢討하고 있다. 現在에 檢討中인 案은 表6에 나타낸 것과 같이 5대의 車를 사용한 새시 다이노미터法이다. 測定條件은 CAFE(Corporated Average Fuel Economy)와 같고 市街地와 高速度사이클試驗이며, 計算에 依據 combined 燃費로서 나타낸다.

標準油 20W/30을 使用하고 燃費節約型인가, 아닌가를 判定하는 基準値에 對해서는 現在 檢討中에 있지만 標準油對比로서 1%以上이 有力視되고 있다. 이와같은 試驗法(案)은 금년중에 採擇될 예정이다. 새시다이노미터를 使用할 경우 引擎油 1種類當 約40,000달러의 費用이 든다고 하며 評價方法으로서도 疑問視하는 傾向이 있다. 따라서 2.3ℓ의 引擎을 使用한 台上試驗의 檢討가 始作되었으며 試驗方法으로서 確立될 때까지에는 많은 時間이 걸릴 것으로 생각된다. 어느 것이든 몇%에 불과한 燃費節約性能을 實際의 引擎에서 精度 좋게 測定해야 하기 때문에 從來의 引擎試驗等에 比해서 상당히 어렵고 또 費用과 勞力이 많이 들 것으로 生覺된다.

表6 燃費節約型 引擎油의 評價에 쓰이는 車種

排氣量	엔진型式	車名
(1) 2.3ℓ	Ford L-4	Pinto, Bobcat, Mustang
(2) 5.0ℓ	Ford V-8	Granada, Monarch, Fairmont Zephyr
(3) 2.8ℓ	GM V-6	GM "X" Body (Citation)
(4) 3.8ℓ	GM V-6	GM "A" or "B" Body (Cuttlass, Impala)
(5) 3.7ℓ	Chrysler L-6	Volare, Aspen, Mirada

7. 結 言

이상으로 自動車引擎油를 통해본 燃費節約化의 最近 動向과 問題點에 對하여 檢討해 보았지만 今後 이러한 問題와 더불어 引擎油에 要求되는 새로운 機能인 排氣가스裝置에의 適合性, 그리고 代替에너지(가스, 가스올燃料等의 燃料)에도 適

합한 引擎油를 開發하고 發展시키기 爲해서는潤滑油메이커, 自動車業界, 그리고 添加劑 메이커 間에 많은 協력이 이루어져야 할 것이다. 그리고 이러한 問題는 어디까지나 潤滑油의 基本性能을 沮害하지 않는 範圍內에서 이루어져야한다.

參 考 文 獻

1. M. L. Haviland; Presented at the Tribology in Energy Technology Workshop, Sponsered by The American Society of Mechanical Engineers, U. S. Energy Reserarch and Development Administration and the Office of Naval Research Washinton D. C. (1977).
1. E. F. Mashall; CRC Report 502 (1978).
3. C. A Passut & R. E Kollman; SAE Paper 780601.
4. 山田重久, 中井正, 小谷恒弘; 潤滑 25, 11 (1980).
5. M. L. McMillan, R. C. Rosenberg & C. K. Murphy; SAE Paper 780092.
6. D. S. Orrin; SAE Paper 710141.
7. T. J. Risdon & D. A. Gresty; SAE Paper 750674 (1975).
8. J. E. Bennington et al; ibid, 750677 (1975).
9. V. E. Broman et al; ibid, 780597 (1978).
10. T. F. McDonnell & S. A. Tempe; ibid, 780962 (1978).
11. P. J. Ghirla et al; ibid, 780984 (1978).
12. M. L. Haviland & M. C Goodwin; ibid, 790945 (1979).
13. W. E. Waddey et al; ibid, 780599 (1978).
14. C. A. Passut & R. E. Kollman; ibid, 780601 (1978).
10. 大坪勝治, 吉岡達夫; 石油學會製品部會 討論會講演集 (1978) 114.
16. J. B. Retzloff et al; ASLE 34th Ann Mtg. Preprint, 79-AM-2C-1 (1979).
17. Report of the ASTM PV-Task Force to the ASTM Division B. Section I, Engine Oil Classification Panel (1979).