

가솔린엔진潤滑의 諸問題와 엔진油에 要求되는 性能 (The Problems of Gasoline Engine Lubrication and Required Performance of Engine Oil)

權 寧 估

韓國油類試驗檢査所 技術部長(技術士)

1. 序 言

自動車에서 潤滑을 必要로 하는 部分으로서는 엔진과, 車體, 그리고 變速 및 走行裝置로 大別되며 엔진만의 潤滑을 위해서는 엔진油가 必要하고 車體나 變速 走行裝置는 그리이스 및 기어油가 使用된다.

특히 自動車潤滑에서 가장 苛酷한 條件으로 潤滑되고 또한 潤滑問題로 苦心하는 엔진 潤滑은 엔진의 構造나 潤滑方式 또는 使用燃料등에 따라 潤滑狀態가 크게 달라질 수도 있으나 潤滑의 基本原理과 目的은 大同小異하다.

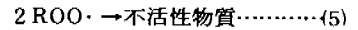
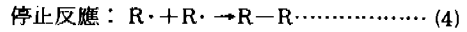
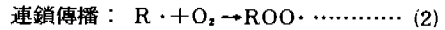
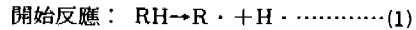
自動車엔진, 특히 가솔린엔진에서 潤滑을 必要로 하는 部分은 베어링, 실린더 및 캠部分등으로 나눌 수가 있으며 이런 部分의 潤滑은 極히 苛酷한 狀態에 놓이게 된다. 따라서 이와 같은 問題들을 考慮하면서 가솔린엔진潤滑의 諸問題點과 엔진油에 要求되는 性能에 대하여 考察하여 보고자 한다.

2. 高溫運轉時의 問題

가솔린엔진의 高溫運轉에서 發生하기 쉬운 問題로서는 다음과 같은 것이 있고 이것은 모두 오일의 高溫酸化가 原因이다.

- (1) 潤滑油自身の 酸化劣化에 의한 粘度 및 酸價의 上昇
- (2) 베어링의 腐蝕
- (3) 高溫와니스 및 高溫슬러지이다.

(1)의 潤滑油酸化는 潤滑油의 主成分인 炭化水素의 活性遊離基의 連鎖反應에 基因된다.



RH는 炭化水素이고 R· 및 ROO· 등은 活性遊離基(Free Radical)이다. (3)式에서 生成된 過酸化水素(ROOH)는 다시 分解해서 活性遊離基를 放出한다. (2) 및 (3)式의 過程에서 潤滑油中の 炭化水素分子가 連鎖的으로 攻擊을 받아 酸化가 進行되고 이러한 反應過程을 거친 다음 最終的으로는 케톤 알데히드 카르본酸 알코올, 옥시酸 또는 이런 것의 重縮合物質로 된다.

酸化生成物의 特色으로서는 파라핀系의 炭化水素는 有機酸으로, 나프텐系의 炭化水素는 와니스狀의 物質을 生成하기 쉽다. 또한 芳香族炭化水素에서는 酸化縮合物의 着色이 심하여 오일에 不溶性슬러지로 된다. 이와같이 潤滑油의 酸化를 促進시키는 因子로서는 使用溫度에 크게 影響을 받는다. 가솔린 엔진에서 오일의 溫度는 오일팬에서는 普通80℃程度, 高速條件일지라도 110℃程度이지만 燃燒室近處에서는 一時的으로 200℃以上の 高溫으로 되기 때문에 酸化條件은 極히 苛酷하다. 그리고 鉛化合物이나 黃化合物 또는 鐵이나 銅과 같은 金屬 等の 酸化를 促進하는 物質이 存在하면 條件은 한층 심하다. 그러나 現

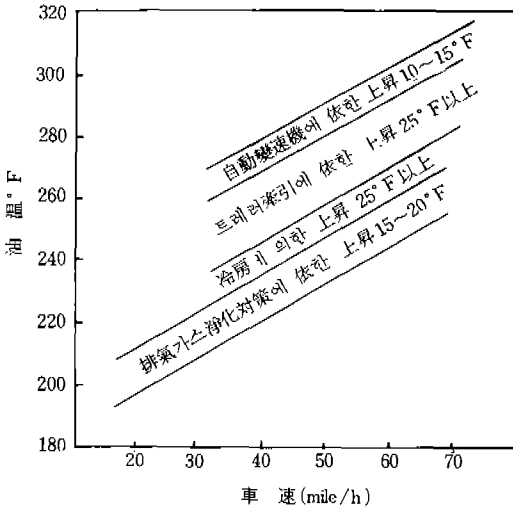


Fig. 1. 엔진油温上昇을 招來하는 各種 要因

在의 市販 엔진油에는 이와 같은 酸化條件을 감안하여 충분히 이겨낼 수 있도록 製品이 設計되어 있다.

最近 엔진油의 油温은 豫想外로 높아지고 있기 때문에 오일이 變質하는 現象이 자주 일어난다. 油温上昇을 초래하는 要因으로서는 Fig. 1 과같이 몇가지가 있지만 이러한 것이 全部 加算된 경우에는 油温은 150°C 에 달한다. 이와같은 高温酸化條件에도 견디어 낼 수 있는 油로서 設定된 것이 SE級油이고 그의 評價試驗法으로서 Seq III C 가 있다.

Fig. 2는 Seq III C 試驗에 있어서 油温을 290, 305, 320°F 로 變更시킨 경우의 粘度增加傾向을 나타냈지만, 油温이 15°F 높아지면 極端의으로 劣化가 빨라진다는 것을 나타내고 있다. 이 粘度增加는 酸化防止劑의 増量에 의하여 抑制될수 있지만 基油의 粘度도 또한 結果에 影響을 미친다.

즉, 揮發性이 큰 低粘度基油를 使用하면 粘度增加는 커진다. 따라서 同一 添加劑 시스템에서는 싱글그레이드油에 比較해서 基油粘度가 낮은 멀티그레이드油는 粘度增加가 크다(表 1)? 이 외에 窒素酸化物(NO₂)도 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 炭化水素의 酸化를 促進하고 基油 및 酸化防止劑를 含有한 경우의 어떤 것에 대해서도 酸化生成物에 基因한 赤外吸收가 強해지고 있다.²⁾

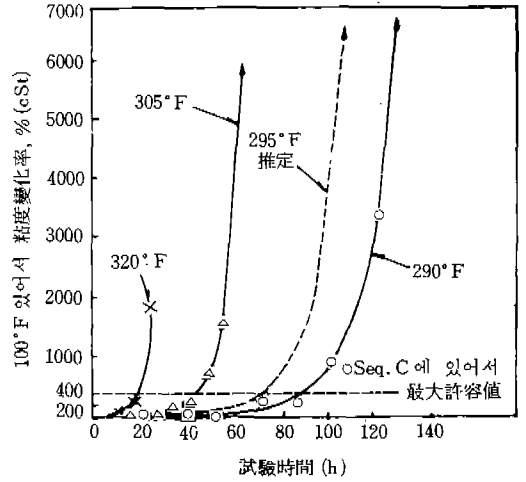


Fig. 2. 粘度變化에 미치는 油温의 影響

表 1. 高温酸化에 미치는 粘度그레이드의 影響

試料油	粘度그레이드	粘度增加
Oils contain additive package X		
G	5 w/ 30	1865 (20h)
H	10w/30	140
I	20	27
Oils contain additive package Y		
L	5 w/ 30	146
N	5 w/ 30	25

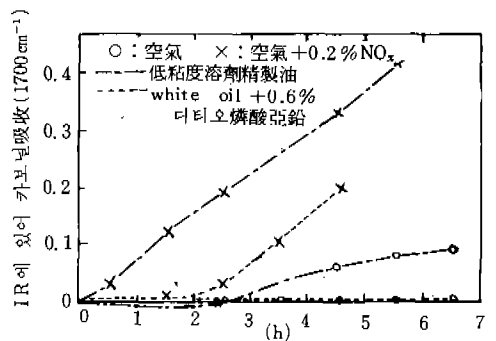
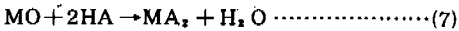
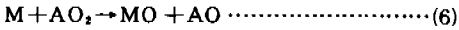


Fig. 3. 窒素酸化物의 酸化促進作用 (320°F)

(2)의 베어링腐蝕은 Cu-Pb 또는 Cd合金베어링中的 Pb 및 Cd가 오일의 酸化劣化物에 의한

攻撃을 받아서 選擇的으로 喪失되는 現象이다. 베어링腐蝕이, 일어나기 爲해서는 有機酸 및 酸化劑(peroxide: 過酸化物 또는 酸素)의 存在가 必要하고 (6)式과 같이 過酸化物이 金屬을 攻撃하기 때문이다. 金屬酸化物에 (7)式과 같이 有機酸이 作用하여 最終的으로는 金屬의 有機酸塩으로 되어서 腐蝕이 進行한다.

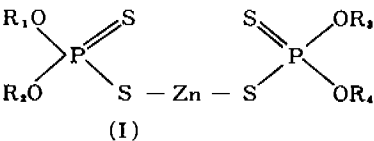


여기서 M : Pb 또는 Cd
 AO₂ : 過酸化物
 HA : 有機酸

이외에 黃腐蝕도 問題가 되는 경우가 있다. Ag 및 Cu는 黃에 대해서 상당히 강한 親和性을 갖고 있기 때문에 Ag 베어링 또는 Cu-Pb 베어링의 黃腐蝕이 자주 일어난다. 腐蝕機構로서는 最初베어링金屬과 黃化合物이 結合體를 形成하여 베어링 表面위에 不動態의 被膜을 만든다. 이 被膜이 남아 있는 限 腐蝕은 進行되지 않지만 高温으로 됨에 따라 結合體가 分解하여 黃化銅으로 된다. 黃化銅은 상당히 硬해져 있기 때문에 剝離하여 그 結果 베어링으로부터 점차 Cu가 喪失된다.

베어링腐蝕을 防止하는데는 油의 酸化劣化, 즉 有機酸 및 過酸化物의 生成을 減 수 있는 限 抑制시킬 것(酸化防止劑 添加), 또는 베어링表面 위에 保護被膜을 形成시킬 것(腐蝕防止劑 添加)이 必要하다.

酸化防止와 腐蝕防止를 同時에 滿足시킬 수 있는 添加劑로서는 디테오포에아鉛이 있고 現在의 引擎油 대부분이 이것을 配合시키고 있다.



여기서 R₁~R₄ : 알킬基

Fig. 4에 實車試驗에 있어서 베어링重量減少에 미치는 引擎油의 影響을 나타냈다. 適切한

腐蝕防止劑를 添加한 A油를 除外하고는 현저히 腐蝕摩耗을 일으키고 있다. A油의 경우는 顯微鏡觀察로 腐蝕의 徵候는 確認되지 않았고 이 程度의 重量減少는 正常摩耗이다.

(3)의 高温와니스 및 슬러지의 生成이지만 油의 酸化에 의거 生成된 카복실(-COOH)基, 카르보닐基(>C=O), 水酸基(-OH) 등의 極性基를 含有한 酸化生成物이 다시 重合, 縮合하여 油不溶으로 된 것이다. 이와같은 油不溶으로 된 것(Resin; 樹脂)이 高温部分에 附着해서 熱硬化를 받으면 와니스로 되고 또 鉛化合物, 그을음, 摩耗粉, 油分 등을 包含하여 沈積하면 슬러지로 된다.

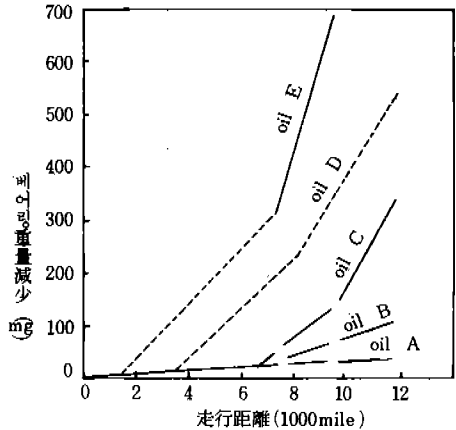


Fig. 4. Cu-Pb 베어링重量減少에 미치는 引擎油의 影響

3. 低温運轉時의 問題

여기서 低温運轉이란 發進停止型과 같이 引擎이 충분히 動되지 않은 狀態를 말하고 이와같은 運轉條件下에서는 크게 나누어 다음 2가지 現象이 있다.

- (1) 低温와니스, 低温슬러지生成
- (2) 녹, 腐蝕摩耗.

먼저 低温슬러지 및 와니스는 블로우바이(blow by)가스중에 含有된 燃料의 液狀酸化生成物이 다시 反應하여 各部分에 沈積된 것이고 潤滑油自身の 酸化劣化物의 寄與가 매우 적은 점이 앞에

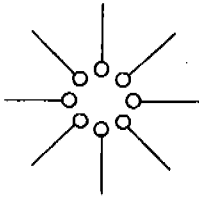


Fig. 5. 新油中の 清淨分散劑分子의 乳化粒

物質의 表面에 物理的 또는 化學的으로 吸着하여 Fig 6과 같은 乳化粒中에 不溶物質을 둘러싸서 分散시킨다. 吸着方法 및 凝集防止의 形態는 清淨分散劑의 種類 또는 分散粒子의 크기에 따라 다르다. Fig. 5과 같은 形으로 되면 乳化

粒끼리의 靜電反撥力 또는 吸着된 清淨分散劑分子의 主름에 의한 立体障害 때문에 乳化粒끼리 凝集해서 슬러지화하는 것이 防止된다.

清淨分散劑에는 이외에도 可溶化作用 및 酸中和作用도 함께 갖고 있다. 可溶化作用은 分散作用이 樹脂分, 즉 마이크론의 固体粒子를 對象으로 하는데 대해서 슬러지나 와니스로 되기 前의 中間體 또는 有機酸, 水分 등 分子스케일을 對象으로 하고 있는 점이 크게 다르다. 이러한 中間體의 分子中에 있는 카르보닐基, 카르복실基, 水酸基 등의 極性基에 作用해서 그의 反應性을 減少시키는 것에 의해 슬러지나 와니스화하는 것을 防止하는 作用이다.

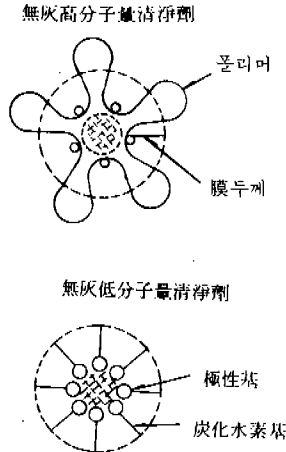
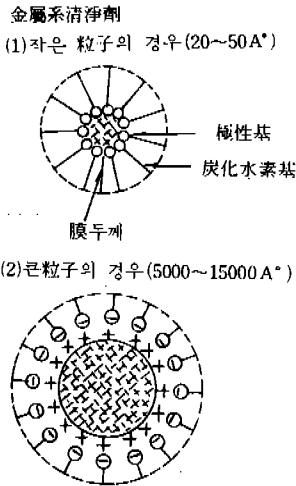
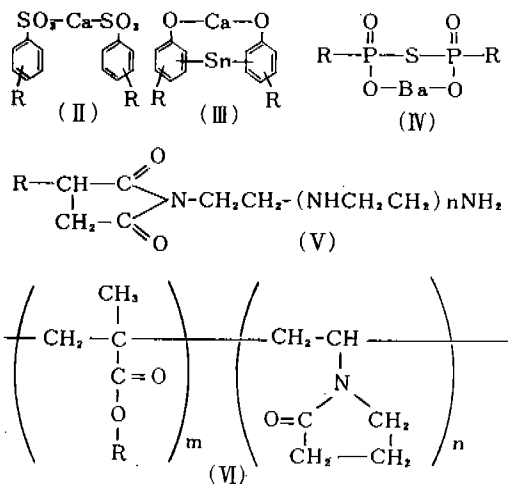


Fig. 6. 清淨分散劑의 吸着모델

清淨分散劑에는 크게 나누어 金屬系 清淨劑와 無灰分散劑 2種類가 있고 前者에 屬하는 것은 솔폰네이트(II), 페네이트(III) 및 포스포네이트(IV) 등이 있고, 後者에 屬하는 것에는 호박酸이미드(V)나 메타크릴레이트-비닐푸로리딘 共重合體(VI) 등이 있다.

金屬系清淨劑 中에는 (II)~(VI)까지 나타낸 것과 같이 中性鹽 또는 塩基性塩外에 CaCO₃, 등의 無機塩을 그中에 微粒子狀으로 分散시켜서 塩基價를 150~400mgKOH/g으로 높인 高塩基價金屬清淨劑가 있으나 最近에는 無灰 分散劑의 使用比率이 높아져 塩基價가 나타나지 않은 경우도 있다.



金屬系清淨分散劑는 一般적으로 高温와니스나 슬러지의 生成을 防止하는데는 非常하게 有効하지만 發進停止型的 低溫運轉時에서는 特히 水分이 共存하는 條件下에서는 效果가 적다. 反對로 이와같이 低溫運轉時에는 無灰分散劑가 效果가 크다. 그의 作用機構는 슬러지 프리커서(Precursor)의 段階에 作用해서 이것을 不活性化하고 그 以上 反應이 進展되지 않도록 하는 것이 主目的이다. Fig. 7 에는 無灰分散劑添加劑의 添加量과 Seq. VB試驗에 있어 슬러지評點과의 關係를 나타냈다. 添加量이 많을수록 슬러지는 減少하고 있다. 無灰分散劑가 使用되기 始作한 것은 1960年代에 들어와서부터이기 때문에 比較的 새롭지만 現在에는 가솔린엔진油에만이 아니고 디젤엔진油에 있어서도 없어서는 안될 成分이다.

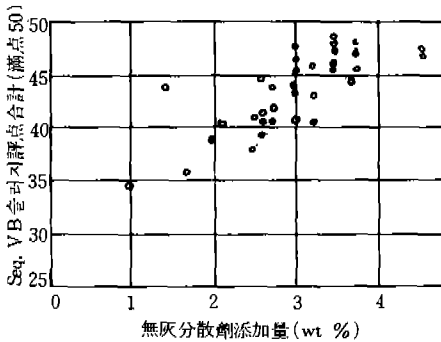


Fig. 7. 無灰 分散劑 添加量과 Seq. VB 슬러지와의 關係

低溫運轉에 있어서 두번째의 問題는 녹(銅)과 腐蝕이다. 1950年頃 美國에서는 油壓밸브식리프터의 膠着이 問題로 되었고 그 原因이 녹에 의한 것이었으며 그 以後 엔진油의 녹防止性이 重要視되었다.

엔진의 녹은 분로우바이가스 中の 酸性物質이 低溫條件에서 水分과 함께 凝縮함에 의해서 일어난다. 酸性物質로서는 加鉛가솔린中에 配合되어 있는 에틸렌디클로라이드 및 브로마이드 등의 掃鉛劑에 由來된다. HCl 이나 HBr, 가솔린 中の 黃분에 由來하는 H_2SO_4 , 또는 有機酸 등이 있지만 이러한 것 中에는 HCl 의 寄與가 가장 크다 (Fig. 8).⁷⁾ 따라서 無鉛가솔린을 使用하게

되면 녹은 현저히 減少한다. 또한 PVC(positive crankcase ventilation; 強制크랭크室 換氣) 시스템裝着엔진에서는 水分이나 酸性物質을 含有한 분로우바이가스를 再循環시키기 때문에 현저히 녹의 發生을 促進한다.

녹, 腐蝕을 防止하기 爲해서는 엔진油에 高塩基價의 金屬清淨劑를 加하면 有効하다. Fig. 9 는 MS Sequence IIB-III B試驗 및 Ford Falcon 各試驗에 있어서 오일의 塩基價가 各評點에 미치는 影響을 나타낸 것이지만 塩基價가 높으면 녹은 없어진단다. 그렇지만 各防止를 重要視하는 各에 金屬에 基因된 油中灰分이 增加되는 結果 早期點火에 의한 피스톤 燒損事故가 일어나고 또한 使用中의 炭價要求值 增加가 있다는 것이 알려져서 最近에는 합부로 塩基價를 높이는 것을 삼가하고 있다. 이 때문에 適當한 塩基價와 各防止劑를 併用하는 方向으로 變換되어가고 있다.

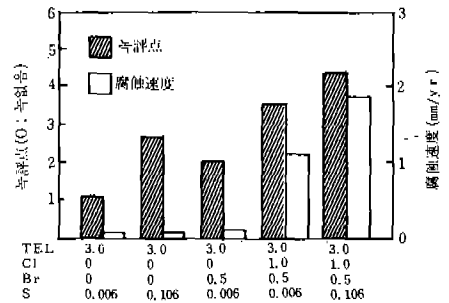


Fig. 8. 엔진의 녹 및 腐蝕에 미치는 各系 掃鉛劑의 影響

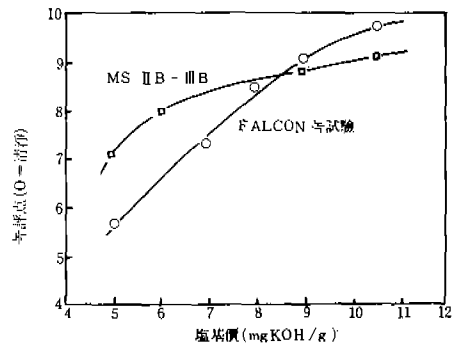


Fig. 9. 各評點에 미치는 塩基價의 影響

4. 摩耗

넓은 意味에서 摩耗라고 불리우는 現象이 問題로 된 것은 엔진部品中에는 다음 3個所이다.

- (1) 피스톤링과 실린더
- (2) 벨브드레인...OHV型의 경우는 캠과 태핏 OHC型의 경우는 캠과 록커아암
- (3) 連接棒(connecting rod) 및 크랭크 샤프트의 베어링

한편 摩耗現象으로서는 다음 4種類가 있다.

- (a) 腐蝕摩耗(corrosive wear)
- (b) 凝着摩耗(adhesive wear)
- (c) 疲勞摩耗(surface fatigue)
- (d) 研削摩耗(abrasive wear)

이중 研削摩耗는 外部로부터 混入된 먼지나 모래, 鉛化合物, 燃焼에 의해서 生成된 카아본 등이 原因으로 되고 있어 이것을 防止하기 爲해서는 異物의 混入自體를 防止하든가 또는 필터 등으로 早期에 異物을 除去하는 일이다.

베어링 및 피스톤링과 실린더간의 摩耗에는 빈번한 研削摩耗의 要因이 있지만 엔진油側으로의 防止手段은 없다.

피스톤링과 실린더間에는 原則으로 流體力學潤滑이 維持되고 있기 때문에 摩耗의 主原因은 腐蝕摩耗. 特히 低温腐蝕이다. 低温腐蝕 摩耗는 水分 및 各種의 酸性物質에 의한 腐蝕段階와 피스톤링의 上下運動에 의한 腐蝕生成物의 除去段階가 反復되기 때문이지만, 最近 大部分의 引擎에서와 같이 크롬鍍金링을 使用하도록 되어 있는 것은 이 摩耗가 극히 적어졌다. 引擎油에 高塩基價의 金屬系清淨劑를 添加하여 酸性物質을 中和하도록 하는 것은 링의 腐蝕摩耗防止에 有效하다. 또한 引擎油에는 摩耗防止劑로서 디티오 磷酸亞鉛이 添加되지만 이 添加劑는 링이나 실린더의 摩耗防止에는 效果가 없다. 다시 말하면 피스톤링이나 실린더摩耗의 主原因은 凝着摩耗가 아니라는 것을 意味한다. 따라서 現在 船舶

用 실린더油나 2 사이클 가솔린엔진油에는 一般의 摩耗防止劑를 配合하지 않는다.

베어링도 起動時를 除外하면 流體潤滑이 維持되고 있어 問題가 되는 것은 凝着摩耗가 아니고 高温腐蝕摩耗이다.

한편 벨브드레인摩耗에 있어서는 明確히 凝着 및 疲勞摩耗이고 다른 要因은 전혀 생각할 수 없다. 따라서 이 경우에는 摩耗防止劑가 有效하게 作用하여 特히 디티오 磷酸亞鉛의 效果가 크다. 表3의 A油는 摩耗防止劑를 含有하지 않는 경우이고 B油는 含有한 경우의 摩耗量 및 스커핑(scuffing)의 發生頻도에 큰 差가 있음⁴⁾을 알 수 있다."

ASTM, MS Sequence 試驗으로는 表4 및 表5에 나타낸 것과 같이 以前에는 Seq. IV. 現在는 Seq. III C 試驗이 벨브드레인摩耗評價試驗이다.

5. 가솔린엔진油의 組成

表3. 캠 및 리프터摩耗에 미치는 摩耗防止劑의 效果

	Oil A	Oil B
Cam 및 lifter 摩耗 (in)		
maximum	0.1660	0.0044
average	0.0358	0.0036
Scuffing을 일으킨 數		
cam noses	16	0
lifter crowns	4	0

이때까지 記述한 것을 整理하면 가솔린엔진油에 있어서 諸問題點과 添加劑機能의 關係를 나타낸 것이 表6이다. 現在高級가솔린엔진油의 組成은 大部分이 이와같은 것이지만 無灰의 녹防止劑는 使用되지 않는 경우도 있고 또한 粘度指數向上劑는 멀티그레드油(multigrade oil:多級油)에만 添加된다. 디티오 磷酸亞鉛은 酸化防止劑, 腐蝕防止 및 摩耗防止劑를 겸한 多目的添加劑이고 30年동안 使用되어 왔지만 지금까지도 이것보다 뛰어난 것은 나타나지 않았다.

表 4. 各種 엔진 試驗法과 評價項目

		MS Sequence 試驗				CLR		caterpillar					Petter		
		II C	III C	(IV)	VC	CRC L-38	LTDT	I-A	I-A (1% S)	I-H	I-D	I-G	AV-I	W-I	
가솔린, 디젤別		가솔린 엔진						디젤 엔진					디젤 엔진	디젤 엔진	
		VS 풀스케일엔진				單筒試驗用엔진		單筒試驗用엔진					單筒試驗用엔진		
엔진 메이커		GTM		Chrysler	Ford	LABECO		caterpillar					Petters Ltd.		
評價項目	酸化安定性		○			○								○	
	베어링腐蝕					○								○	
	링膠着					○		○	○	○	○	○	○	○	
	高温清淨性		○			○		○	○	○	○	○	○	○	
	실린더·링摩耗					○		○	○	○	○	○	○	○	
	캠·배닛摩耗			○	○										
	中低温清淨性					○		○							
低温속	○														
PCV 밸브 閉塞						○									
試驗條件의特徵	過給壓(kg/cm ²)	低速	高速	高速	中低轉速(1/4IDL)	高速	低轉速	○	○	1.3	1.5	1.8	○	高速高温 油温 137℃	
	平均有效壓(kg/cm ²)	49℃	118℃	無負荷		143℃		5.3	5.3	7.7	9.5	9.9	5.5		
	使用燃料(S%)	43℃						0.4	1.0	0.4	1.0	0.4	0.4 또는 1.0		
	第1링溝温度℃							208	208	220	220	243			
試驗時間(h)	32	64	12	192	40	180	480 (120h마다 오일交換)					120	36		
各種規格이 要求하는 엔진試驗	API 서어비스 分類	SE	○	○		○	○								
		CA						○							
美軍規格	Mil-L-2104A 2104B, Suppl Mil-L-21043B Mil-L-45199B Mil-L-41652 Mil-L-2104C	CB							○						
		CC	○								○				
		CD	(II B)									○	○		
									○						
根據 (FTM:美連邦規格)	ASTM Spec, Tech Publ 315E 및 315°F	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	FTM	Modified	Modified		
		791a	791a	791a	791a	791a	同左	791a	791a	791a	1P	1P			
制定年度		1973	1971	(1958)	1971	1959	1969	1936	1946	1962	1948	1955			

表 5. 엔진試驗에 의한 SE 및 CD 그레이드의
主要性能基準 (例)

品質分類	엔진試驗法	評價基準	
SE	Seq. II C	녹평점 平均	8.4以上
	Seq. III C	粘度增加: 40h 試驗後, 100°F (%)	400以下
		64h 試驗後의 評價	
		피스톤스커트 와니스 評点 平均	9.5以上
		오일링랜드 와니스 評点 平均	6.0 "
		슬러지 評点 平均	9.0 "
		링 膠着	無
		리프터 膠着	無
	64h 試驗後의 스키핑 및 摩耗		
	캠, 또는 리프터 스키핑	無	
캠+리프터 摩耗 (in)			
平均	0.0010		
最大	0.0020		
Seq. VC	슬러지 評点 平均	8.5以上	
	피스톤스커트 와니스 評点 平均	8.2以上	
	와니스 評点 平均	8.0以上	
	오일스크린 막힘 (%)	5以下	
	오일링 막힘 (%)	5以下	
壓縮 링 膠着	無		
CD	L-38	베어링重量減少 (mg)	40以下
	I-D	第1 링溝 카아본 막힘 (vol %)	75以下
		第2 링溝 以下	거의 淸淨
	I-G	第1 링溝 카아본 막힘 (vol %)	60以下
		第1 링랜드 堆積物 (%面積)	50以下
		第1 링溝 堆積物 (%面積)	30以下
	L-28	第2 링랜드 以下	거의 淸淨
		베어링重量減少 (mg)	50以下
	피스톤 와니스 評点 平均	9.0以上	

表 6. 가솔린엔진에 있어서 諸問題와 添加劑
機能의 관계

問題點	누, 腐蝕 摩耗	高温 酸化	高温 와니스	低温 와니스	低温 슬러지	摩耗 (鋼砂 摩耗除外)
評價엔진試驗	Seq. II C	Seq. III C L-38	Seq. III C	Seq. VC	Seq. VC	Seq. III C (Seq. IV)
添 加 劑	高塩基價金屬淨劑	○		○		
	無灰分散劑				○	○
	酸化防止劑 (디티오퍼디올레이트)		○			○
	無灰防銹劑	○				
粘度指數向上劑 및 流動點 降下劑						

參 考 文 獻

1. R. H. Kabel; SAE Paper 700507 (1970).
2. C. C. Colyer; 8th World Petrol Conger PD17, (2) (1971).
3. Ibid., 20 ND. 10 (1965).
4. B. D. Vineyard, A. Y. Coran; Am Chem. Soc. Preprint, Div. Petrol Chem; 14, A-35 (1969).
5. Lubrication (Caltex), 25, NO. 1 (1970).
6. Chevron Chem Co. 社 資料
7. F. J. Cordera et al.; SAE Trans, 73, 576 (1965).
8. A. B. Sarkis; SAE Paper 690349 (1969).