

自動車 엔진用 合成油

Synthetic Oil for Automotive Engine

權 寧 估*
Young Kil Kown

1. 序 言

合成潤滑油가 自動車用엔진油로서 使用되기 시작한 것은 1946 年에 美國의 유니이트카바나이트社가 開發한 폴리프로필렌글리콜을 使用한 "Preston Motor Oil"이었으나⁽¹⁾ 鑛油系의 潤滑油에 비해 劣發生이 심했을 뿐만 아니라 高價인 관계로 1955 年에 販賣가 중단되었다. 그後 特殊한 條件의 鑛油로서는 解決할 수 없는 곳에서 一部가 除限한 範圍內에서 使用되기도 했으나 그량은 극히 미미했다.

1970 年代에 이르러 오일쇼크로 인한 省에너지와 더불어 自動車의 高性能化는 低溫始動性, 粘度-溫度의 特性이 우수하고, 燃費(km/l當) 向上과 롱드레인이화가 기대되는 合成基油를 使用한 潤滑油가 再開發되기 시작하였으며 特히 歐美地域에서 많은 種類의 製品이 나타나기 始作했다.^(2,3)

1980 年代에 들어와서는 省에너지에 대한 인식은 더욱 高조되고 터어보차지의 出現은 耐久性, 耐熱性이 보다 우수한 潤滑油가 要求되었고 이러한 觀點에서 鑛油系 潤滑油보다는 한결 여유가 있는 合成油를 全基油로 한 合成潤滑油나 鑛油에 部分混合한 部分合成潤滑油가 開發의 초기단계에서 完숙의 단계로 들어섰다고 볼수 있다.

汎用自動車엔진油의 경우 젯엔진油와는 달리 반드시 合成潤滑油를 使用하지 않으면 안되는 것도 아니지만 우수한 特性을 지니고 있는 까닭에 이러한 特性을 잘 살린 製品이 더욱 開發되고 장래 斷熱엔진의 出現도 예상됨에 따라 合成潤滑油의 必要性은 더욱 높아지고 또한 市場性도 넓어질 것으로 본다.

2. 自動車用엔진油의 合成基油

自動車用엔진油의 合成潤滑油는 基油를 全部 또는 一部를 合成油를 쓰고 여기에 엔진의 性能에 必要한 添加劑를 加한 것이 一般의이다. 基油로서 使用이 가능한 合成油의 種類는 많으나 用途에 適合한 性狀을 가진 合成油를 選擇하는 일은 무엇보다도 重要하다. 自動車用엔진油의 基油로서 어떤 合成油가 最適인가를, 代表的인 合成油에 대하여 鑛油와의 相對比較를 表1에 나타냈다.

表1에서 보는바와 같이 실리콘油나 폴리글리콜은 鑛油나 自動車엔진油에 必要한 添加劑의 溶解性이 나빠서 使用되지 않고, 磷酸에스테르는 性狀에 많은 難點이 있어 鑛油이상의 性能을 期待하기 어렵다. 鑛油보다 우수한 性能을 기대할 수 있는 것으로는 α 올레핀을 리고머와 같은 合成炭化水素, 디에스테르, 헨

* 정회원 韓國石油品質檢査所 光州支所長

表 1. 自動車엔진油用的 合成油性狀 比較

種 類 一般性狀	鑛 油	合成炭化	디에스테르	힌더드폴	폴리글리콜	麟 酸	알킬벤젠	실 리 콘
		水 素		리올에스		에스테르		
1. 粘 度 指 數	2	3	4	3	3	1	2	5
2. 低 溫 流 動 性	1	3	4	3	3	2	3	3
3. 高 溫 酸 化 安 定 性	2	4	4	5	3	2	2	4
4. 鑛油와의混和性	—	5	3	2	1	2	5	1
5. 揮 發 性	2	5	5	5	3	3	3	3
6. 加水分解安定性	5	5	2	2	3	2	5	3
7. 防 鏽 性	5	5	2	2	3	2	5	3
8. 엔진油添加劑와 의 混和性	5	5	3	2	2	5	5	1
9. 고무 膨 潤 性	L	收 縮	M	H	L	H	L	L
10. 塗 料 에 의 影 響	無	無	L	M	M	H	無	L

評點基準 : 5 : 상당히 좋음 4 : 좋음 3 : 약간 좋음 2 : 보통
 1 : 나쁨 L : 小 M : 보통 H : 大

더드폴리올에스테르, 알킬벤젠이고 현재 汎用 自動車엔진油의 合成油로서는 合成炭化水素나 에스테르系이다.

시일고무와의 適合성은 油漏問題로부터 重 要한 性能이고 基油의 영향이 크다. 自動車에 사용되고 있는 代表的인 시일고무는 니트릴고 무, 아크릴고무, 실리콘고무, 플루오로카아본 고무이고, 이들은 모두 鑛油와의 適合성이 良好한 편이다. 合成油의 各種고무에 대한 適合性의 例를 表2에 나타냈다.⁽⁴⁾ 分子內에 極性基를 가진 니트릴고무나 아크릴고무의 경우 디 에스테르나 폴리에스테르에는 膨潤하고 알 파올레핀올리고머와 같은 合成炭化水素油에는 收縮하는 경향이 있다. 表2에 나타난 것과 같 이 相反하는 合成炭化水素와 에스테르를 混合한 것을 基油로 하면 鑛油에 가까운 고무의 適合성이 얻어진다. 그러나 에스테르만의 基油에 있어서도 油漏가 없었다는 報告가 있다.⁽⁵⁾ 플루오로카아본은 대부분의 合成油에 適合성을 갖지만⁽⁶⁾ 價格이 비싸다.

表 2. 고무 膨潤性 (130°C × 100 h, %體積變化)

고 무	150 SUS 鑛 油	合成炭化 水 素	合成炭化 水 素 + 에스테르
· 실 리 콘	+ 20.6	- 8.5	+ 8.4
· 바 이 톤	+ 0.1	- 0.2	+ 0.7
· 과 부 나	+ 2.6	- 0.4	+ 4.2
· 폴리아크릴 레	+ 2.6	- 0.4	+ 4.2

3. 엔진性能

合成潤滑油는 鑛油에 비해서 다음과 같은 利點이 있다고 한다.^(4,7-13)

- (1) 低溫流動性이 우수하기 때문에 엔진의 低溫始動性이 좋다.
- (2) 低揮發性이기 때문에 油消費量이 적다.
- (3) 燃費(km/l當) 向上이 기대된다.
- (4) 롱드레인이화가 기대된다.
- (5) 터어보性能이 良好하다.

3-1. 低溫始動性

低溫流動성은 低溫時的 엔진始動성에 영향을 주는 중요한 性狀이다. 合成炭化水素나 에스테르는 鑛油에 비해서 低溫流動성이 훨씬 좋다. 高溫粘度가 같을 경우 鑛油보다 低溫粘度가 낮고 流動點도 -50°C 이하인 것이 보통이다. 이것은 鑛油中에는 왁스가 함유되어 있어 低溫에서 왁스가 析出하여 응고현상을 나타내지만 合成油에는 왁스가 함유되어 있지 않기 때문이다.

合成潤滑油의 Cold Cracking Simulator 粘度를 鑛油와의 비교한 結果를 그림 1에 나타냈다.⁽¹⁴⁾ 合成潤滑油 10W/50과 鑛油 10W/50과를 비교하면 -17.8°C 에서는 粘度가 동일해도 그 이하의 온도영역에서는 溫度가 낮아질수록 그차는 커진다. 또한 鑛油 5W/40보다도 -30°C 이하의 溫度에서 粘度가 낮다. 鑛油에 合成油를 部分混合한 경우에 低溫流動성이 改善되었는가를 보면 表 3과 같이 鑛油에 알파올레핀올리고머를 添加하면 Cold Cracking Simulator 粘度와 Mini-Rotary Visco-

meter (略해서 MRV) 溫度, 流動點 等の 低溫流動성은 알파올레핀올리고머의 組成이 增加함에 따라 改善된다.^(15,16)

實車에 의한 CCS 試驗에서 鑛油 10W/30, 10W/40은 -29°C 에서 始動하지 않는데 만약 合成潤滑油 10W/30은 -37°C 에서도 始動이 용이하다.⁽¹⁷⁾ 즉 이것은 合成潤滑油가 低溫流動성이 우수한 증거이다.

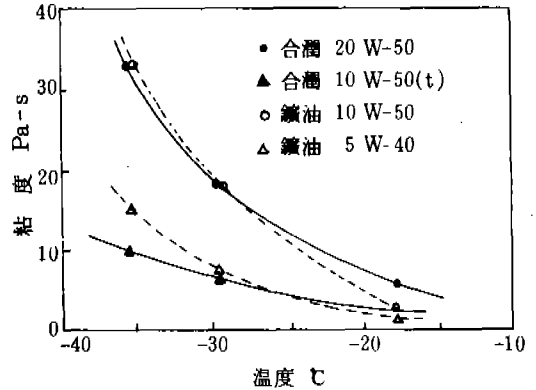


그림 1. 低溫에서의 CCS 粘度

表 3. 鑛油와 部分合成潤滑油의 低溫流動性

組 成 wt%	試 驗 法	鑛 油	部 分 合 成 潤 滑 油			SAE 規格
			A	B	C	
• 100 SEN 鑛油	•	78.3	68.3	58.3	48.3	
• PAO (폴리올레핀 올리고머)	•		10.0	20.0	30.0	
• 添 加 劑	•	13.7	13.7	13.7	13.7	
• 粘度指數向上劑	•	8.0	8.0	8.0	8.0	
• 粘度 cSt 100 °C	ASTMD-445	10.63	10.40	10.28	10.17	
• " cSt 40 °C	"	64.17	63.39	60.73	59.46	9.3 < 12.5
• 粘度指數	ASTMD-2270	156.	152.	158.	159	
• CCS. cP, -25°C	ASTMD-2602	3700	3360	2670	2370	3500 最大
• MRV, BPT, °C	ASTMD-3829	-31.9(5W)	-33.3(5W)	-35.4(0W)	-37.5(0W)	-30 最大
• 流 動 點 °C	ASTMD-97	-15.	-18.	-29.	-32.	
• 스카닌 브룩크필드 CPT °C	Ford BJ-27	-29.1(10W)	-29.8(10W)	-33.4(5W)	-35.5(0W)	

3-2. 油 消 費

油의 消費는 엔진의 運轉條件을 같게 했을때 油의 粘度 및 蒸發特性에 依한다. 一般的으로 粘度가 높은 것은 蒸發에너지가 높아 蒸發하기 어렵다. 그러나 混合物의 경우 그의 分子量分布도 상당히 重要な 因子가 된다. 알파올레핀올리고머나 에스테르와 같은 合成油는 低沸點을 나타내는 低分子量留分을 간단히 제거할 수 있기 때문에 같은 粘度의 鑛油와 比較할때 蒸發損失이 적다. 따라서 이런것의 合成油는 粘度指數가 높으므로 低粘度의 多級油를 만드는데 적합하다. 그림 2의 엔진油 TGA(TGA : themogravimetric analysis) 試驗에서 보는바와 같이 5W/30의 粘度等級을 鑛油와 比較하면 合成潤滑油쪽이 蒸發損失이 적다. 鑛油와 混合한 部分合成潤滑油는 鑛油와 全合成基油의 合成潤滑油의 中間정도의 熱重量分析性狀을 나타냈고 鑛油만의 것보다 改善되고 있다.⁽¹⁵⁾ 鑛油에서는 低溫流動特性을 좋게 하기 위해서는 輕質留分을 많이 함유시켜야 하기 때문에 蒸發損失이 많아진다. 반대로 蒸發損失을 적게 하면 低溫流動性이 나빠진다. 合成潤滑油에서는 양쪽의 性能을 모두 만족시킬 수가 있어 寒冷地에서는 물론 溫暖地에서 蒸發損失의 問題없이 使用이 可能하다.

實車試驗에서의 油消費를 鑛油와 比較해보면 W.H Richman이 행한 13,000 마일 實車 走行試驗의 平均 油消費量을 그림 3에 나타냈다.⁽¹³⁾ 合成潤滑油를 使用하면 5W/20 에서도 鑛油 10W/40 보다 油消費量은 약 50% 적다. 燃費向上, 低溫始動性을 향상시키기 위해 鑛油에서는 低粘度基油를 使用할 必要가 있지만 油消費는 늘어난다. 10W/30의 粘度等級에서 合成潤滑油의 油消費量을 鑛油와 比較하면 合成潤滑油쪽이 鑛油보다 우수한 結果를 나타냈다.⁽¹⁴⁾

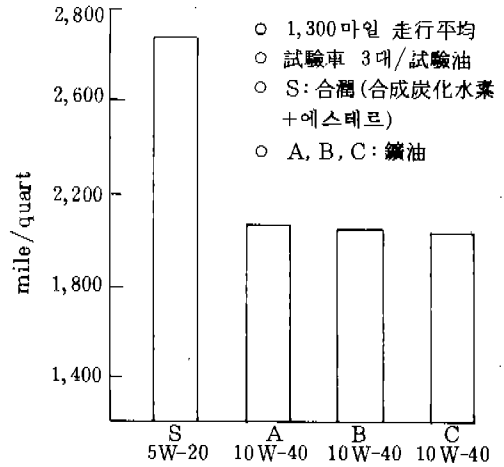
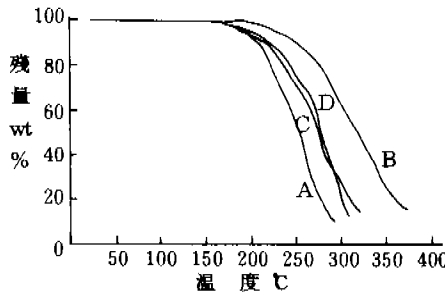


그림 3. 鑛油와 合潤의 油消費量



	A (鑛油) 5W30	B (合成潤滑油) 5W30	C (部分合成潤滑油) 5W30	D (部分合成潤滑油) 5W30
粘度 @ 100°C, cSt	11.67	12.20	10.17	10.44
粘度指數	185	152	159	123
CCS 粘度 @ -25°C, cP	1,610	3,080	2,370	2,340
流動點, °C	-37	-59	-32	-43

그림 2. 엔진油의 TGA曲線

3-3. 燃費向上

엔진에는 베어링, 動弁系, 피스톤, 실린더, 오일펌프 등 摺動部分이 많다. 이러한 部分에서 摩擦에 의한 에너지損失은 軸의 役割에 대하여 30%에 이른다.⁽¹⁷⁾ 潤滑油에 의한 摩擦損失의 低減法으로서는 低粘度化하는 方法, 油에 可溶인 摩擦低減劑를 添加하는 方法, 固體潤滑劑를 油中에 分散시키는 方法이 있다.

低粘度化法은 流體潤滑膜에서 하중을 견디어 낼수 있는 流體潤滑領域에서 有效한 方法이고 다른 두가지 方法은 金屬과 金屬接觸이 일어나는 境界潤滑領域에서 效果를 發揮한다. 合成潤滑油는 低粘度化하여도 油消費를 적게 할 수가 있고, 流體潤滑領域에서 低粘度化에 의거 燃費向上을 달성시킬 수 있다.

엔진의 摺動部分에서는 油에 강한 剪斷應力이 作用하므로 粘度指數向上劑의 永久粘度低下分과 一時粘度低下分을 뺀 實效粘度가 有效하다. 鑛油의 實效粘度는 거의 基油의 粘度에 依存하지만 그의 粘度指數는 낮다.

合成基油는 粘度指數가 높기 때문에 比較的 油溫이 낮을 때에는 合成潤滑油쪽이 낮은 實效粘度를 나타내고 溫度가 높을 때에는 높은 實效粘度로 된다. 따라서 合成潤滑油는 같은 粘度等級의 鑛油에 비해 넓은 溫度範圍에 걸쳐 低摩擦化하기 쉽다.

溫度의 영향과 동시에 摺動面에서 壓力에 의한 粘度變化를 생각해 볼 必要가 있다. 알파올레핀올리고머나 에스테르는 鑛油보다 粘度-壓力係數가 낮기 때문에⁽¹¹⁻¹⁸⁾ 壓力增加에 대하여 粘度增加는 적어 高壓下에서 低摩擦로 되기 쉽다고 생각된다. 이와같은 要因에 의거 合成潤滑油는 鑛油보다 燃費向上이 기대되지만 실제 엔진시험에서는 어떤지, 合成潤滑油가 鑛油에 비해 燃費節減效果가 있다는 報告는 많다.^(4,7,8,12,18,19,20) 두대의 디젤엔진을 포함 7대의 차로 運轉條件을 바꾸어 燃費測定을 실시하여 合成潤滑油 10W/30과 鑛油 15W/40과의 비교한 結果를 그림 4에 나타냈다.⁽⁷⁾ 運轉條件에 따라 그結果가 달라지겠지만 대체로 약 2~5%의 燃費向上이 일어졌다.

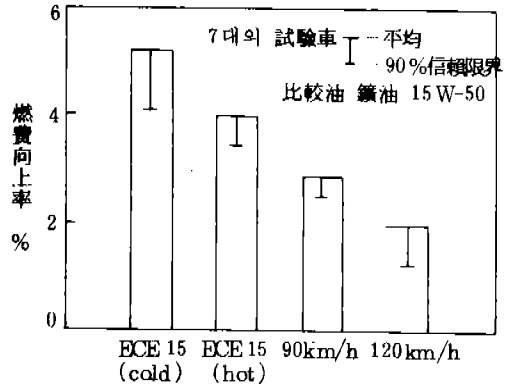


그림 4. 合成潤滑油의 燃費試驗結果 (유럽 새시콜試驗)

피일드 燃費試驗에서는 市街地走行, 高速道路走行試驗을 여러가지 車種으로 實施하여, 合成潤滑油 5W/20을 鑛油 10W/40, 10W/50, 20W/50와 統計的으로 比較한 結果를 그림 5에 나타냈다.⁽¹¹⁾ 合成潤滑油 5W/20은 平均 4.2%의 燃費向上을 나타냈다. 디젤엔진에서도 燃費向上이 있었다는 報告가 있다.⁽⁸⁾

摩擦低減劑를 添加하면 더욱 燃費向上이 可能하다고 한다.^(21,22) 이것은 境界潤滑領域에서도 摩擦低減이 可能하다는 것을 암시하고 있으며, 合成潤滑油 5W/30에 에스테르系 摩擦低減劑를 加하면 無添加油에 비해 1%이상의 燃費向上을 나타냈다.⁽²³⁾

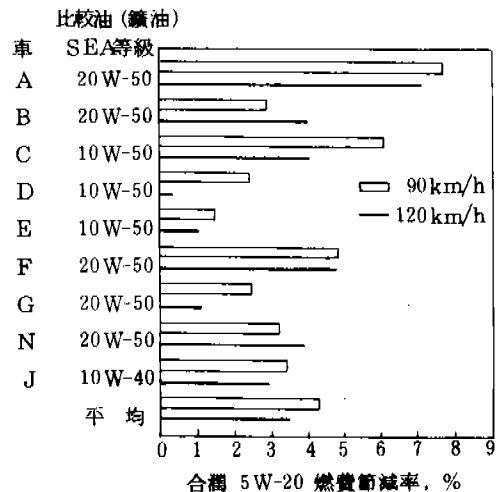


그림 5. 엔진油의 피일드 燃費試驗

3-4. 롱드레인성

潤滑油를 롱드레인(long drain)化하기 위해서는 엔진油에 必要한 諸性能을 長壽命化할 必要性이 있지만 그중에서도 특히 중요한 것은 酸化安定性, 淸淨性, 耐摩耗性이다. 合成潤滑油의 酸化安定性은 基油로 使用되는 合成油의 化學構造와 基油에 配合된 添加劑에 의하여 決定된다. 一般的으로 酸化安定性이 우수한 化學構造를 갖는 合成油와 그에 適合한 添加劑를 選擇하는 것에 의하여 鑛油보다 우수한 酸化安定性을 기대할수 있다.

自動車가 市街地를 運行할때 고 스톱 運轉하는 경우가 많아 燃燒室로부터 不完全燃燒物이나 空氣中の 水分이 어느정도 이상의 량이 油中에 混入하게 되면 低溫슬러지로 되어 침전하거나 油의 酸化를 促進시키는 原因이 되어 결국 엔진의 淸淨性을 나쁘게 한다. 에스 테르系의 合成潤滑油는 分子內에 極性基를 가지고 있어 低溫슬러지의 溶解性이 높아 淸淨性을 좋게 한다고 생각된다.

摩 擦 및 摩耗가 問題되는 것은 주로 金屬과 金屬과의 接觸이 일어나는 領域이고 이領域에

서는 그의 潤滑條件이나 油의 組成에 따르므로 鑛油가 有利할 때도 있고 合成潤滑油가 有利할때도 있다.^(4,11,24) 合成油가 有利할 경우라도 耐摩耗劑가 油의 摩耗性을 支配하므로 添加劑의 選擇은 重要하다.

合成潤滑油의 롱드레인성을 보기 위해 시퀀스(Sequence) IID, VD의 더블運轉試驗을 실시한 結果를 表 4.5에 나타냈다.⁽⁷⁾ 潤滑油의 酸化安定性을 評價하는 시퀀스 IID에서는 API-SF 10W/40, API-SF/CC 10W/30의 鑛油는 128時間 도달하기 전에 싯그닝을 일으키는데 대하여 SAE 10W/30의 合成潤滑油는 더블運轉(128時間)後에도 그의 粘度增加가 적을뿐 아니라 SF싱글運轉의 規格에 合格하고 있다.⁽⁷⁾ 시퀀스 IIC의 더블運轉試驗에서도 같은 結果가 얻어지고 있다.⁽²⁵⁾

低溫슬러지에 대한 淸淨性에 대하여서는 시퀀스VD의 더블運轉試驗에서 評價되는데, 와니스, 슬러지, 오일스크린의 막힘 오일링의 막힘에서 鑛油보다 良好한 것으로 나타났다.

摩耗에 대해서는 表 4.5에 나타낸 것과 같이 캠, 리프터摩耗나 캠, 로우프摩耗가 SF싱

表 4. 合成潤滑油의 시퀀스 IID 더블運轉試驗 結果

測定項目	油 種	API-SF 規格 (64h 運轉)	合成潤滑油 (10W/30)		鑛 油	
			A(10W/30)	B(10W/40)	A(10W/30)	B(10W/40)
粘度增加 % (40 °C)						
· 64h 後		375 이하	20	72	141	
· 128h 後		—	30	固化(96h)	固化(10 ⁴ h)	
128h 試驗後의 評價						
· 슬러지評點, 平均		9.2 이상	9.7	9.2	9.1	
· 피스톤 와니스評點, (平均)		9.2 이상	8.7	8.5	8.7	
· 오일링바다의 堆積物評點, 平均		4.8 이상	6.9	3.5	4.4	
캠+리프터摩耗 (in × 10 ⁴)						
· 最 大		80 이하	39	33	48	
· 平 均		40 이하	23	22	28	
油消費量, ℓ		—	6.44	8.96	9.23	
오일스크린의 막힘, %		—	< 1	40	100	

表 5. 合成潤滑油의 시컨스 VD 더블運轉試驗 結果

油 種 測 定 項 目	API-SF 規格 (192h 運轉)	合 成 潤 滑 油		鑛 油 (10W/30)
		A(10W/30)	B(10W/30)	
384h 試驗後의 評價				
· 슬러지 評點, 平均	9.4 이상	9.7	9.4	6.0
· 와니스 評點, 平均	6.6 이상	7.2	6.7	3.5
캠 摩 耗 (in × 10 ⁴)				
· 最 大	2.5 이하	0.5	1.0	2.0
· 平 均	1.0 이하	0.06	0.2	0.9
오일스크린의 막힘 %	7.5 이하	< 1	< 1	95
오일링의 막힘 %	10.0 이하	0	< 1	66

表 6. 디젤엔진油의 性能

엔 진 性 能	目 標 位	合 成 潤 滑 油	
		A	B
SAE 粘 度 分 類		10W/30	5W/30
API 서어비스分類		SE/CD	SE/CD
Caterpillar 1-G			
· Top ring 의 막힘 %	60 이하	14	38
· Total deposit 評點	—	35	56
Caterpillar 1-D			
· Top ring 의 막힘 %	75 이하	—	65
· Total deposit 評點	—	—	178
Mack T-1(過酷度增加)			
· 200h deposit 評點	500 이하	386	212
· 400h deposit 評點	—	437	404

급運轉의 規格에 合格하므로 良好하다고 말할 수 있다.

파일드試驗에서는 8萬km⁽²⁶⁾ 및 16萬km⁽²⁷⁾의 無交換에서도 우수한 性能을 나타내고 있으므로 라이프타임(life-time)오일로서도 사용하자는 意見도 있다.

디젤 性能에 대한 報告도 있어 Caterpillar 1G, 1D나 Mack T1 性能에 대한 評價를 表 6에 나타냈고 이表에서 보는바와 같이 合成潤滑油는 目標值에 合格한 것으로 나타났다.⁽⁹⁾

20萬km 無交換으로 走行이 可能하다는 報告도 있다.⁽²⁷⁾

3-5. 터어보性能

燃費向上이나 排氣가스의 淨化를 위해 터어보차지가 汎用自動車엔진에 부착되어졌다. 터어보는 엔진을 정지했을때 油의 흐름이 멈추어지고 排氣매니폴을드로부터의 熱에 의거 터어보에 남아 있는 油의 溫度가 높아진다. 엔진정지 수분후에 메어링의 溫度는 230~350°C

表 7. 티어보차지試驗에 의한 엔진油의 堆積物 生成傾向

油	티 어 보 차 지 評 點		
	샤 프 트 (데메리트評點)	베 어 링 (데메리트評點)	케 신 그 (데메리트評點)
· 部 分 合 潤*	81.9	12.0	75.5
· 鑲 油 A	64.8	15.3	57.5
· 鑲 油 B	122.1	22.3	43.3
· 水 添 鑲 油	109.1	11.5	65.5
· 全 合 潤	70.7	19.0	49.0

※ 적당한 添加劑配合

에 달한다고 한다.^(7,28) 이때문에 殘留油가 크 오크스로 變하여 부작됨으로 潤滑油經路의 폐쇄나 베어링摩耗의 問題가 된다. 따라서 油에 대한 要求性能은 酸化安定성이 良好하고 슬러지防止性能이 좋고 熱安定성이 우수해야 한다. 이러한 問題를 보다 근접하게 해결할 수 있는 油는 鑲油보다는 合成潤滑油가 有利하다고 한다.

새시試驗에서 合成潤滑油의 티어보性能을 評價했을때 堆積物生成이나 베어링摩耗에 問題가 없고 鑲油 10W/30 (API SF級)나 10W/30 (API SF/CC級)보다 우수한 結果가 나타났다.⁽⁷⁾

表 7에 나타낸 바와 같이 鑲油에 비해 적당한 添加劑를 配合한 部分合成潤滑油도 良好하다는 報告도 있다. 實車走行試驗에서도 合成潤滑油는 우수하다.

4. 結 言

汎用自動車엔진用 合成潤滑油는 現在의 自動車가 鑲油를 臆두에 두고 설계하고 있어 省 에너지나 롱드레인성에 있어서는 利點이 있어 鑲油와 競爭이 可能하다.

合成潤滑油의 添加劑로서 鑲油系의 添加劑를 그대로 사용하는 일이 많지만 溶解성에 問題있고 또한 添加劑의 熱安定성에 문제 가 있는 경우가 있다. 따라서 合成潤滑油에 알맞는 添加劑가 開發된다면 보다 高品質의 것이 기대될 수 있다.

금후 使用條件의 과혹화나 斷熱엔진 등의 새로운 엔진의 出現도 예상되므로 潤滑油에 대한 要求는 엄해지고 있어 合成潤滑油의 役割도 增加할 것으로 예상된다.

參 考 文 獻

1. D.K. Willson: SAE Quaterly Transactions, 2, 2 (1984) 242.
- 2.
3. E.I. Williamson: J. Synthetic Lubrication, 2, 4 (1986) 329.
4. B.J. Miller, T.W. Rogers, D.B. Smith & W.P. Trautwein: SAE Paper, 740140 (1974).
5. G.L. Willette: SAE Paper, 790950 (1979).
6. B.J. Ward: SAE Paper, 840185 (1984).
7. D.B. Barton, H.V. Lowther & T.W. Rogers: SAE Paper, 811413 (1981).
8. J.A. Keller, N.S. Katuszenko & R.R. Mccov: SAE Paper, 801345 (1980).
9. S.S. Hetrick, J.A. Keller & H.V. Lowther: SAE Paper, 780183 (1978).
10. D.B. Barton, J.A. Murphy & K.W. Gardner: SAE Paper, 78085 (1978).
11. J.A.C. Krulish, H.V. Lowther & B.J. Miller: SAE Paper, 770634 (1977).
12. C.E. Goldman: SAE Paper, 760854 (1976).
13. W.H. Richman & J.A. Keller: SAE Paper,

- 350376 (1975).
14. E.L. Armstrong & D.S. Tabor: ACS Preprint, Div. Chem. Marketing & Economics, Synthetic Lubricate Markets & Opportunities (1974) 73.
 15. B.J. Beimesch & J.E. Davis: Lub. Eng., 42, 1 (1986) 24.
 16. J.E. Davis: Lub. Eng. 41, 3 (1986) 155.
 18. W.R. Jones Jr., R.L. Jonnson, W.O. Winer & D.M. Sanborn: ASLE Trans, 18 (1975) 249.
 19. H. Hamaguchi, Y. Maeda & T. Maeda: SAE Paper, 810316 (1981).
 20. C.A. Passut & R.E. Kollman: SAE Paper, 780601 (1978).
 21. J.R. Lohous, J.A. Murphy & T.W. Rogers: SAE Paper, 800436 (1980).
 22. J.B. Betzlott, B.J. Davis, M.E. Gluckstein & J.M. Pietras: Lub. Eng. 25 (1979) 568.
 23. H.V. Lowther, W.L. Maxwell & T.W. Rogers: SAE Paper, 830166 (1983).
 24. R.A. Willermet, L.R. Mahonev & C.M. Bishop: ASLE Preprint 79-AM-IB-4 (1979).
 25. R.I. Potter: SAE Paper, 760561 (1976).
 26. R.H. Boehringer: SAE Paper, 750686 (1975).
 27. S.C. Meisel: Preprint JPI Conference, Tokyo (1977).
 18. D.J. Needle: J. Synthetic Lubrication, 2, 4 (1986) 311.
 29. J.A. Keller, H.V. Lowther & T.W. Rogers: SAE Paper, 810016 (1981).