

潤滑油의 性能改善을 통한 環境保護

문 우 식
潤滑油公 蔚山研究所

1. 머리말

最近 엔진유 등 自動車用 潤滑油를 비롯한 潤滑油 製品에 要求되는 性能은 以前과 比較할 수 없을 程度로 高度化 및 多様化되어가고 있다. 그 中에서도, 環境保護, 에너지節減, 배기가스規制 등 環境과 關連된 性能의 改善이 切實한 実情이다. CO₂ 가스의 增加에 起因되는 地球温暖化에 對한 關心이 世界的으로 높아지고 있으며, 酸性비에 의한 環境破壞도 問題化되어 있다.

한편, 最近의 進歩된 電子技術 및 新材料의 応用 등으로 自動車를 비롯한 各種 産業機械는 점점 더 高効率化 및 에너지 節減化되고 있으며 이와 함께 潤滑油에 要求되는 性能도 더욱 高度化되고 있다. 또한 메인터난스-프리화 및 廢油發生量 低減의 側面에서도 潤滑油의 長壽命化 및 高性能化가 必須的이라고 하겠다. 이러한 高性能 機械의 安全運轉 및 耐久性 向上에 寄与하는 基本性能뿐만 아니라, 潤滑油를 通하여 摩擦抵抗을 減少시키는 直接的인 에너지 節減 또한 重要視되고 있다.

에너지 節減을 考慮하여, 流体潤滑에서의 摩擦抵抗을 減少시키기 爲한 潤滑油의 低粘度化가 持續적으로 이루어지고, 境界潤滑에서의 摩擦低減을 爲한 添加劑의 使用도 增加되는 傾向이다. 그러나, 이러한 에너지 節減型 潤滑油는 摩耗增加 및 機械의 耐久性 低下 그리고 油消耗量 增加 등의 問題를 일으킬 수 있으므로 基油 및 添加劑의 選擇 그리고 配合式의 設計에 특히 注意를 기울여야 한다. (1)

本稿에서는 環境 및 에너지 節減과 關連된 潤滑油의 要求性能과 製品 開發의 動向에 關하여 엔진유를 中心으로 紹介한다.

2. 배기가스規制와 油消耗量 制御

엔진유의 消耗은 一部 外部로 漏泄되는 것을 除外하면 大部分 燃燒室로 混入되어 타서 消費되는 것이다. 엔진設計, 整備狀態 및 運轉條件 등이 엔진유 消耗量에 미치는 影響이 가장 크지만, 油의 組成 및 性狀의 影響도 적지 않다. 油消耗量의 過度한 增加는 燃燒室 및 吸氣밸브에의 堆積物을 增加시킬 뿐만 아니라 배기가스에의 油含有量 增加, 배기가스淨化 触媒裝置에의 被毒作用 및 酸素센서의 機能을 低下시키는 등 엔진性能뿐만 아니라 大氣汚染의 觀点에서도 매우 나쁜 影響을 준다. 또한, 피스톤에의 堆積物 增加, 異常摩耗 發生 및 ORI (Octane Requirement Increase) 에의 影響 그리고 메인터난스-프리화 및 油自體의 經濟性 側面에서도 可能的 限 油消耗을 줄이는 것이 바람직하다.

오일消費量과 蒸發性 規制 :

오일消費는 엔진유의 粘度, 粘度指數, 剪斷安定性 등의 性状과 關係가 있는데 特別히 粘度와 蒸發性的 影響이 크다. Noack 蒸發率 (250 °C, 1 h)과 오일消費量 사이에는 좋은 相關關係가 있는 것으로 알려져 있으며, 또한 高速의 運轉領域에서 오일消費가 特別히 많아진다. (그림 1) (2) 유럽規格인 CCMC G5 에서는 Noack 蒸發減少率을 13%로 規定하고 있으며, AAMA 및 JAMA에서 制定한 ILSAC GF-1 規格에서는 20% (10W/30의 경우)로 規定하고 있다. ILSAC GF-1 規格은 올해 중에 선보일 API SH 級 오일과 함께 適用될 豫定이며, 向後 ILSAC GF-2 規格에서는 더욱 規制가 強化될 展望이다. (표 1)

燃費性能을 向上시키 爲하여는 엔진유의 低粘度化가 效果的인데, 一般的으로 이 低粘度化는 低粘度 基油의 使用으로 可能하게 된다. 그러나, 低粘度 基油일수록 分子量이 작고 蒸發되기 쉬운 缺點이 있기 때문에 分子量 分布의 範圍를 작게하여 蒸發되기 쉬운 成分을 除去한 鈹油系 내로우 컷 基油를 使用하거나, 高精製된 高粘度指數 基油 또는 合成油의 適用이 必要하다.

배기淨化裝置 被毒作用과 인含量規制 :

低蒸發性 基油의 使用뿐만 아니라 添加劑에 의한 堆積物 生成 및 배기淨化裝置에의 惡影響을 最小化하기 爲하여 添加劑의 選擇 및 配合式 設計時 金屬清淨劑 및 耐摩耗劑의 使用을 減少시키고 低灰分化할 必要가 있으며, 또한 高粘度指數 基油의 使用으로 粘度指數向上劑의 添加量 減少도 檢討해야 하겠다.

特別히 摩耗防止劑 및 酸化防止劑의 兼用으로 엔진유에 通常 使用되는 ZDDP (Zinc Dialkyl-Dithio-Phosphate)의 경우, 이의 燃燒生成物 中 인酸化物은 特別히 배기觸媒에의 被毒作用이 큰 것으로 알려져 있어 規制의 對象이 되고 있다. ILSAC GF-1에서는 엔진유에의 含有量을 最大 0.12%로 規制하고 있고, 規制가 심한 日本의 경우 0.06%를 要求하는 自動車會社도 있으며 平均 人含有量이 매우 낮은 것으로 알려져 있다. (3) 低인化의 要求에 따라 앞으로는 값이 비싸고 相對적으로 性能이 떨어지는 非인系 摩耗防止劑 및 無灰系 酸化防止劑를 使用하여 性能을 補強해야 하겠으며, 또한 無灰系 分散劑의 使用으로 金屬系 清淨劑의 使用을 줄여서 低灰分化할 必要가 있다. 近來에는 極低인 및 無인 엔진유의 開發도 推進되어 成功한 例 (4) 도 發表되고 있으나 價格이 비싸지고 性能에 關한 信賴性이 떨어지는 短점이 있다.

自動車 배기가스 規制를 滿足하기 爲하여 装着되는 배기淨化 裝置에는 酸化觸媒 및 三元觸媒 方式이 많이 適用되고 있는데, 이들 觸媒는 인酸化物과 反應하여 인酸알루미늄 등의 유리상 物質을 形成하여 觸媒의 活性을 低下시킨다. (5) 이와 같은 觸媒被毒作用 外에도 酸素센서의 劣化에도 影響을 주는데 酸素센서의 感度가 低下되면 空燃比뿐만 아니라 酸化窒素의 制御도 不完全하게 된다.

運轉條件과 오일消耗量 :

定常條件으로 運轉中인 엔진에서의 오일消耗量은 速度 및 負荷에 比例하여 增加한다. 엔진溫度와의 關係는 매우 複雜하여 單氣筒엔진에서 冷却水溫度의 增加에 比例하여 오일消耗量이 增加되는 例가 있는 반면, 多氣筒엔진에서 運轉時間에 比例하여 溫度가 增加됨에 따라 피스톤과 실린더 사이의 間隙이 작아지게 되어 오히려 오일消耗이 減少되는 例도 있다. 한편 實走行과 같이 加速과 減速이 反復되는 運轉條件에서의 오일消耗量은 定常運轉의 경우와는 달리 急激히 增加되는데, 特히 加速時에 많이 增加되며 減速時에도 增加된다. (그림 2) (5)

오일消耗의 徑路 :

오일이 消耗되는 徑路는 上部徑路와 下部徑路의 둘로 나눌 수 있다. 上部徑路는 흡배기밸브와 밸브가이드 사이의 間隙을 통하여 燃燒室 및 매니폴드에 오일이 吸入되어 消耗되는 것이며, 下部徑路는 크랭크室로 부터 피스톤과 실린더 사이를 통하여 燃燒室 內로 吸入되는 것을 말한다. 全消耗量 中에서 上部徑路의 消耗比率이 높아 30%에서 最高90%까지 達한다고 한다. 上部徑路에서는 吸氣밸브 및 배기밸브의 양쪽을 통하여 일어나는데 특히 吸氣 매니폴드에는 最高 500 mmHg 程度까지의 負壓이 걸리기 때문에 吸氣行程 中의 吸氣밸브를 통한 消耗이 많다. 배기밸브에서의 消耗은 배기가스가 배기 매니폴드를 通過할 때 發生되는 베르누이 效果에 의한 負壓과 高溫에 의한 蒸發 등의 影響으로 생긴다.

한편 下部徑路는 실린더라이너 表面에 附着되어 있는 油膜으로부터의 蒸發과 틱링의 上部에 있던 오일의 飛散에 의하여 發生된다. 피스톤의 上下運動 時에 피스톤링이 피스톤그루브 内部에서 慣性에 의하여 上下運動을 하며 오일을 上部로 밀어 올리는 펌핑現象이 생긴다. (6) 틱링의 上面에 밀려 올라간 오일은 피스톤이 方向을 바꿀 때 오일自身の 慣性에 의해 飛散된다. 펌핑되는 油量은 링의 形象, 面壓, 링의 間隙 및 갭, 피스톤과 라이너 間隙 등의 影響을 받는다.

燃燒室堆積物과 ORI :

가솔린엔진에서는 使用時間에 比例하여 엔진의 要求옥탄値가 上乘된다. 이는 燃燒室 內에 蓄積되는 堆積物の 影響으로 엔진의 爆發行程에서 불꽃點火에 의한 正常火炎이 아닌 말단가스의 自然着火가 쉽게 일어나게 되기 때문이다. 燃燒室 內의 堆積物 生成에는 燃料 및 潤滑油 모두가 關係되지만, 오일消耗量의 增加와 함께 潤滑油의 寄与率이 커지게 되고 ORI 도 同時에 增加된다.

ORI 에 對한 오일의 影響은 그 組成에 따라 變化되는데 基油로서 高粘度인 브레이크스톡을 使用하면 ORI 가 增加되며, 황산灰分과도 關係가 있다. 오일 中의 金屬系 清淨劑에 包含되는 金屬의 種類도 影響을 미치는데 Mg鹽은 Ca鹽 및 Ba鹽보다 優殊하며 Na鹽과 混合하여 使用할 경우 더욱 良好한 結果를 준다. 그 外에 粘度指數向上劑의 影響도 크다.

吸氣 밸브에의 堆積物 生成 :

오일의 上部徑路를 통한 消耗 中에서 一部는 吸氣 밸브의 튜립部에 카본상의 堆積物을 生成한다. 특히 多級粘度油를 使用하고 比較的 輕負荷의 短距離 走行을 反復할 경우 이러한 堆積物이 急激히 增加한다고 한다. 배기 밸브에의 堆積物은 오일이 밸브스텝과 밸브가이드 사이를 通하여 튜립部 까지 내려오는 동안에 基油 中의 比較的 揮發性이 높은 輕質分은 蒸發되어 버리고 粘度指數向上劑 등의 高沸點 物質만이 濃蓄되어 남아 炭化되어 生成된다.

吸氣 밸브 堆積物 生成에는 오일의 倒達量과 吸氣 밸브의 溫度와 關係가 있다. (5) 오일 倒達量이 增加할수록 當然히 堆積量도 增加되나 過量의 오일이 供給되면 오히려 세척作用을 하여 堆積量이 減少된다. (그림 3) 堆積物의 生成量에 對해서는 溫度의 影響도 적지 않은데 堆積量이 最大로 되는 溫度가 역시 存在하며, 廣範圍의 多級粘度油일수록 堆積物의 最大值를 나타내는 溫度가 낮아진다. (그림 4)

오일의 組成 側面에서 보면 粘度指數向上劑의 影響이 가장 크고 基油의 粘度도 적지 않은 影響을 준다.

3. 自動車의 燃費向上과 摩擦損失 最小化

自動車의 燃費를 向上시키는 方法에는 車輛自體의 輕量化와 摩擦損失의 節減이 있는데, 엔진유 의 性能改善을 通하여 寄與할 수 있는 方法으로는 오일使用量의 節減과 低摩擦化의 두가지가 可能하다. 오일使用量을 節減하기 爲해서는 엔진유 의 高性能化가 必須的인데, 특히 엔진유에 加해지는 熱負荷의 增大에 對應하여 酸化安定性, 耐窒化性, 耐熱性, 高分散性, 耐摩擦性 등의 性能改善이 先行되어야 하겠다. 또한 엔진유 의 低摩擦化는 低粘度化를 通하여 펌핑損失과 流体潤滑領域에서의 摩擦損失을 減少시키고, 同時에 低摩擦添加劑의 使用을 通하여 金屬接觸이 일어나는 領域에서 摩擦損失을 줄임으로써 可能하다.

엔진内部의 潤滑狀態는 엔진 回轉數 및 負荷에 따라서 變化되는데, 一般적으로 엔진部 圍 中 피스톤 링과 실린더 사이는 流体潤滑 및 混合潤滑의 摩擦條件이며, 밸브系統은 混合潤滑領域 그리고 베어링部는 流体潤滑領域의 條件에 包含된다. (그림 5) 가솔린의 全燃燒 에너지 100% 中 엔진内部에서 일어나는 摩擦에 의한 損失이 7.5% 程度인데, 피스톤스커트 및 피스톤 링과 실린더 사이에서 3% 그리고 밸브系統 및 베어링部 등을 包含하는 기타 部 圍에서 4.5% 인 것으로 알려져 있다. (7)

피스톤 部 圍 및 크랭크 軸에서의 損失은 엔진 回轉數에 比例하여 增加하는 반면, 밸브系統의 損失은 低速일 때 조금 크지만 回轉數에 關係없이 全範圍에서 一定한 傾向이다. (그림 6) 相對적으로 低速에서는 밸브系統에서의 損失이 큰 반면, 高速에서는 피스톤 部 圍 및 크랭크 軸에서의 損失 比率이 크다. 이것은 피스톤 部 圍 및 크랭크 軸의 潤滑이 주로 流体潤滑이기 때문에 速度에 比例하여 摩擦도 增加하는데 比하여, 밸브系統은 彈性流体潤滑 및 混合潤滑領域에 있기 때문에 速度의 增加에 따라 流体潤

슬로의 移動이 始作되기 때문이다.

따라서 벨브系統의 摩擦損失을 減少시키기 위해서는 오일 中の 摩擦低減劑가 效果가 있으며, 베어링 部에 對해서는 低粘度化 등의 粘度特性改善이 重要하다. (그림 7)

4. 低粘度化의 效果

潤滑改善에 의한 燃費節減으로 가장 큰 效果를 期待할 수 있는 것은 엔진유를 低粘度化함으로써 엔진 各部에서의 攪搬損失 및 摩擦損失을 減少시키는 것이다. 單級粘度油의 경우 SAE 5W 에서 40 까지 粘度等級을 變化시킬 때 엔진動力計 試驗에서 燃費가 4%以上 變化된다고 한다. (8) 또한 低粘度化에 의한 摩擦토크의 低減效果는 始動直後 및 低温運轉 條件에서 크고, 같은 高温粘度의 오일일 경우 單級粘度油보다 多級粘度油의 摩擦低減效果가 크다. (그림 8) (9)

單級粘度油보다 多級粘度油가 燃費節減性能에서 優殊한 것은 베어링과 같이 剪斷速度가 큰 엔진內의 接觸部에서 폴리머인 粘度指數向上劑가 剪斷方向으로 배열하기 때문에 일어나는 一時的인 粘度低下와 永久的인 剪斷에 의한 粘度低下에 따라 엔진유의 實際 粘度가 低下되기 때문이다. 따라서 多級粘度油의 경우 同一 粘度油일지라도 使用하는 粘度指數向上劑의 種類에 따라 燃費性能이 달라진다. 또한, 100 °C 의 高剪斷粘度和 燃費改善率 사이에는 相關關係가 있다고 한다. (8)

結局, 엔진유 粘度의 最適化를 通하여 燃費를 向上시키고자 할 경우, 單純한 低粘度化뿐만 아니라 高温高剪斷 粘度를 低下시키는 것이 效果적이다. 때문에 엔진유의 여타 性能을 低下시키지 않는 範圍 안에서 可能한 限 高分子量의 粘度指數向上劑를 選定하는 것이 바람직하다고 하겠다.

低粘度化가 燃費改善에 매우 有效하게 作用하기 때문에 美國에서는 小型車에 對한 엔진유의 低粘度化 研究가 일찍부터 進行되어 過去에는 一部 寒冷地用으로 使用되었던 SAE 5W/30 을 四季節用으로 承認하기에 이르렀다. 現在, GM, 포드, 크라이슬러 등의 工場충진用 엔진유의 主種은 5W/30 이며, 日本에서는 最近 5W/20 및 0W/20 의 適用도 檢討 中이다.

엔진유의 低粘度化를 通하여 流体潤滑領域에서 運轉되는 部에서 油膜의 剪斷에 必要한 에너지를 節減함으로써 低摩擦化가 可能하지만, 粘度를 낮추어 가면 저어널베어링의 油膜두께가 얇아짐에 따라 金屬磨耗의 增加 및 燒附의 發生 등의 問題를 일으킬 수 있으므로 베어링의 設計, 材質, 加工 등을 充分히 考慮하여 低粘度化를 推進해야 하겠다. 또한 엔진유의 蒸發量이 增加되어 오일 消耗가 많아지고 오일누설 問題도 發生될 수 있으므로 피스톤 및 실린더의 設計 그리고 오일씰 등에 注意를 기울여야 하며, 엔진유의 對策으로는 使用하는 基油를 高性能化하여 高精製 高粘度指數油, 合成油, 내로우컷유 등의 適用이 檢討되어야 하겠다.

5. 低粘度化와 摩耗問題

最近의 엔진은 高出力化, 高効率化를 위하여 負荷하중이 增加되고 따라서 油温 및 剪斷力의 增加로 因한 엔진유의 過多한 粘度低下를 일으키기 쉽다. 이러한 가혹한 條件下에서 燃費改善을 위하여 低粘度화한다는 것은 摩耗 및 燒附 發生의 側面에서 거의 限界點에 近接하고 있다고 볼 수 있다. 때문에 摩擦面의 油膜温度, 壓力, 剪斷速度를 考慮하여 이들이 粘度에 미치는 影響을 充分히 理解해야 할 必要가 있다.

低粘度油일수록 油膜두께가 얇아져 摩耗에 對해서 가혹해지게 되는데, 多級粘度油는 低粘度 基油를 使用하기 때문에 同一 粘度의 單級粘度油보다 一般적으로 摩耗에 더 가혹해진다. 또한 油의 粘度는 엔진의 運轉條件에 따라서 變化한다는데 注意하여야 한다. 베어링 部囀의 油膜은 피끄럼에 의한 摩擦熱 때문에 油温이 上乘되고 따라서 粘度가 低下되는데, 油温 上乘은 高速일수록 커서 50 °C 까지 達하는 경우도 있다. (5) 또한 油膜에 作用하는 高剪斷 速度에 의하여 粘度指數向上劑를 含有하는 엔진유의 粘度低下도 일어난다.

크랭크軸 및 커넥팅로드 베어링은 通常 流体潤滑領域에서 作動되지만, 低粘度油의 使用이나 極端的인 高温高負荷 運轉의 경우에는 油膜破斷으로 베어링 燒附 및 過剩 摩耗를 일으킬 수 있다. 베어링 메탈의 摩耗는 이 部囀의 油膜두께와 關係되는데 이는 베어링部에서의 油粘度에 따라 結定된다. 高温高剪斷 粘度와 베어링 메탈의 摩耗 사이에는 相關關係가 있는 것으로 알려져 있으며, 피스톤링의 摩耗도 베어링 메탈과 마찬가지로 高温高剪斷 粘度를 높임으로서 줄일 수 있다. 過多摩耗를 防止하기 위한 150 °C, 10^6 sec^{-1} 에서의 高温高剪斷 粘度 限界值는 2.7 - 2.9 cP 인 것으로 알려져 있다.

最近 SAE 에서는 粘度規定을 改定하여 高温高剪斷 粘度를 J 300 規格에 包含시키고 있다. (표2) 그 內容을 보면 SAE 20 의 경우 最小 2.6 cP 이며, SAE 30 은 2.9 cP, SAE 40 이상은 3.5 cP (단, 10W/40이하는 2.9 cP) 로 規定하고 있다. 따라서, 燃費節減型 엔진유로서 바람직한 粘度 特性은 150 °C, 10^6 sec^{-1} 에서의 高温高剪斷 粘度 規格을 滿足하면서 150 °C 이하 溫度에서의 高剪斷 粘度는 可能한 限 낮은 것이다. 이러한 粘度 特性은 使用하는 基油의 粘度, 粘度指數 및 粘度指數向上劑의 剪斷安定性에 의해서 結定된다.

6. 摩擦低減 添加劑의 効果

摩擦低減劑의 添加에 의한 効果는 피스톤링과 라이너 사이 및 밸브系統 등 境界潤滑 및 混合潤滑 狀態에 있는 部囀에서 期待할 수 있는데, 特히 低回轉의 運轉領域에서 밸브系統의 摩擦減少를 통한 燃費改善 效果가 크며, 高油温으로 엔진유의 粘度가 低下되어 金屬接觸이 일어나기 始作하는 條件에서 有效하다. (그림7)

摩擦低減劑의 作用機構는 그 種類에 따라 다음의 세가지로 分類할 수 있다.

- (1) 摩擦面に 化学的 또는 物理적으로 吸着하여 表面에 吸着膜을 形成하는 것: 脂肪酸, 에스테르, 아미드, 이황화몰리브덴, 흑연등.
- (2) 摩擦면에 吸着한 後 分解되어 保護膜을 生成하는 것: MoDTP, MoDTC, 摩擦폴리머型 添加劑 등.
- (3) 摩擦면에 吸着한 後 表面과 反應하여 低摩擦의 表面層을 만드는 것: 인酸에스테르, 아린酸에스테레 등.

摩擦低減劑의 使用에 있어서는 여타 添加劑와의 相応性에 特別히 注意를 기울여야 하는데 일부 活性이 높은 添加劑는 他添加劑를 分解시키기도 하며 表面에 作用하여 腐食問題를 일으키는 경우도 있다. 또한 다른 界面 活性 添加劑와 金屬表面 및 엔진유 内部에서 競争적으로 作用하여 엔진유 本然의 性能이 低下될 수가 있다. 그 밖에도 摩擦低減劑는 一般的으로 매우 高價이기 때문에 엔진유 全体의 價格이 높아지는 短점이 있다.

次世代 에너지 切減型 엔진유로서 ASTM Seq.VI 에서 基準油 대비 燃費 改善率이 3.9%以上인 EC (Energy Conserving) III級 오일의 規定이 檢討되고 있는데 이를 滿足하기 爲해서는 低粘度化와 함께 MoDTC, MoDTP 등 有機몰리브덴系 添加劑가 有効한 것으로 알려져 있으며, 特別히 이들 添加劑의 耐久性 維持를 爲하여 酸化安定性이 좋은 基油를 使用하고 優殊한 酸化防止劑를 使用할 必要가 있다. ⁽¹⁰⁾

7. 맺음말

배기가스 規制 및 에너지 節減과 直接的으로 關係되는 油消耗量 制御, 엔진유의 燃費性能 改善 등에 關해서 紹介하였으나, 엔진유의 基本性能인 耐摩耗性, 淸淨分散性, 酸化防止性 등을 더욱 強化하여 엔진의 輕量化 및 耐久性 向上에 寄与해야한다는 것은 물론 必須的이다. 向後 高精製基油 및 高性能 添加劑의 適用을 通하여 엔진유의 高性能化와 燃費向上率의 極大化에 研究開發能力을 全力投球해야 할 것으로 생각된다.

以上 가솔린엔진유를 中心으로 記述했으나, 디젤엔진 및 2사이클엔진과 關連된 배기가스 規制와 環境規제도 強化될 것으로 豫想되는 바, 이와 關連된 엔진유의 性能改善도 시급한 課題이다.

<참고문헌>

- (1) 문우식, 가솔린엔진의 저연비화를 위한 엔진유의 기술적 과제, 대한기계학회지, 1992, 32, 11, 927-937.
- (2) 井上清, ガソリンエンジン油の技術的課題, Advanced Tribology in Automobile, JSAE'89 Symposium, 13, 55-61.
- (3) 村川秀樹 外, 日・米・欧における自動車エンジン油の特徴, トライボロジスト, 1993, 38, 3, 195-200.
- (4) M. Shiomi 外, Formulation Technology for Low Phosphorus Gasoline Engine Oils, SAE Paper 922301.
- (5) 染谷常雄 外, 内燃機関の潤滑, 辛書房, 1987.

- (6) 문우식 外, *윤활기술총론*, 한국석유품질검사소, 1992, 27-104.
- (7) O. Pinkus 外, *The Role of Tribology in Energy Conservation*, *Lub. Eng.*, 1978, 34, 599-610.
- (8) J. E. Clevenger 外, *The Effects of Engine Oil Viscosity and Composition on Fuel Economy*, SAE Paper 841389.
- (9) 関克彦 外, *低燃費型潤滑油の開発について*, *潤滑*, 1983, 28, 1, 23-28.
- (10) Y. Naito, *Gasoline Engine Oil*, *トライボロジスト*, 1993, 38, 2, 93-96.

표 1. Noack 증발률의 규제현황

구분	성능등급	점도등급	Noack 증발률, max %
CCMC - 유럽	G4	10W	15
		15W	13
	G5	5W	13
		10W	13
ILSAC - 미국, 일본	GF-1	5W	25
		10W	20
	GF-2	5W	20 (?)
		10W	20 (?)

표 2. SAE J300 엔진유 점도 규격

SAE Viscosity Grades for Engine Oils ¹ (SAE J300MAR93)					
SAE Viscosity Grade	Viscosity (cP) at Temp (°C), Max.		Viscosity ⁴ (cSt) at 100°C		High-Shear Viscosity ⁵ (cP) at 150°C and 10 sec ⁻¹ , Min.
	Cranking ²	Pumping ³	Min.	Max.	
0W	3,250 at -30	30,000 at -35	3.8		
5W	3,500 at -25	30,000 at -30	3.8		
10W	3,500 at -20	30,000 at -25	4.1		
15W	3,500 at -15	30,000 at -20	5.6		
20W	4,500 at -10	30,000 at -15	5.6		
25W	6,000 at -5	30,000 at -10	9.3		
20			5.6	<9.3	2.6
30			9.3	<12.5	2.9
40			12.5	<16.3	2.9 ⁶
40			12.5	<16.3	3.7 ⁷
50			16.3	<21.9	3.7
60			21.9	<26.1	3.7

¹ All values are critical specifications as defined by ASTM D3244.
² ASTM D5293.
³ ASTM D4684. Note that the presence of any yield stress detectable by this method constitutes a failure regardless of viscosity.
⁴ ASTM D445.
⁵ ASTM D4683, CEC L-36-A-90 (ASTM D4741).
⁶ 0W, 5W, and 10W-40 oils.
⁷ 15W, 20W, 25W, and 40 oils.
 1 cP = 1 mPa·s. 1 cSt = 1 mm²/s.

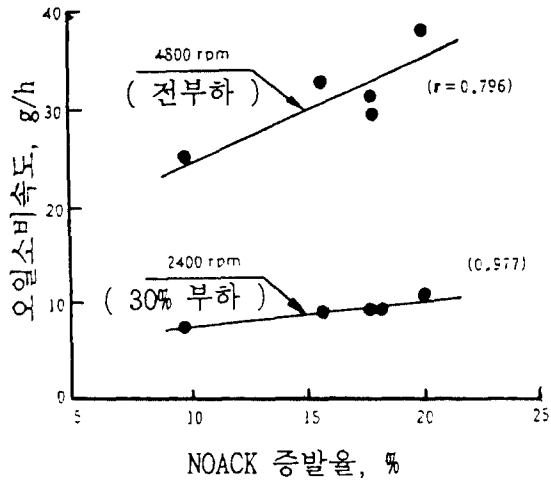


그림 1 Noack 증발률과 오일소비속도의 관계

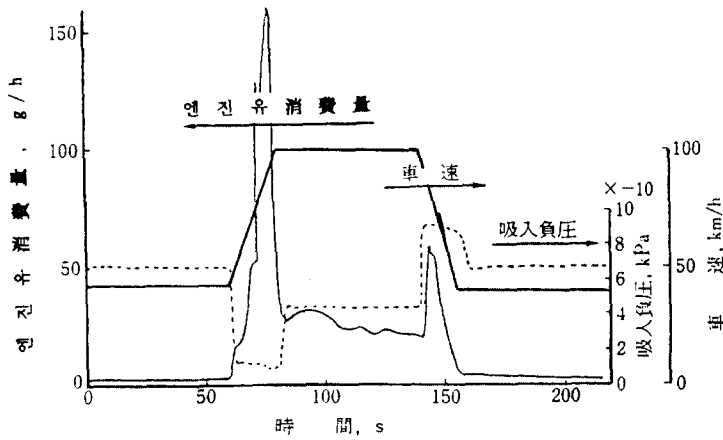


그림 2 가속감속시의 오일소모량의 변화

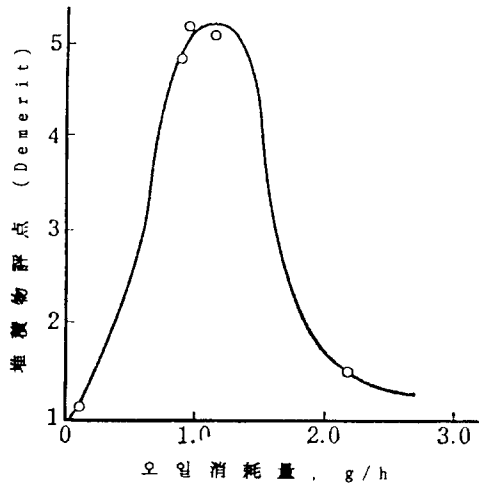


그림 3 오일소모량과 밸브퇴적물

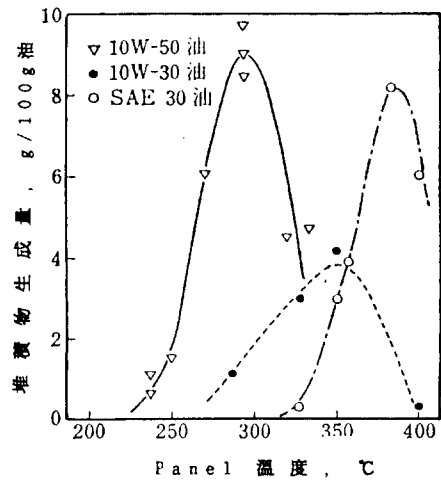


그림 4 퇴적물과 Panel 온도

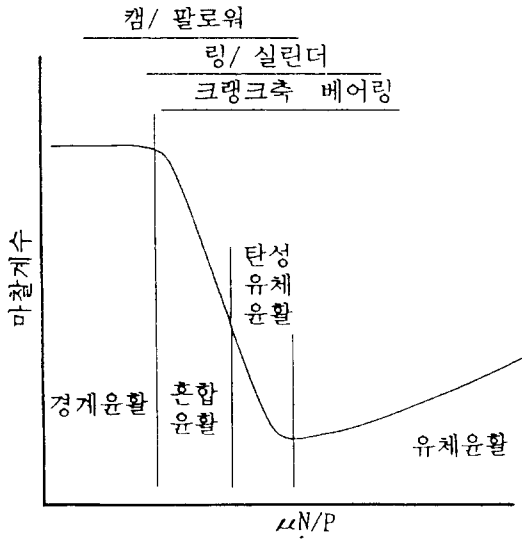


그림 5 스트리백선도와 접동부의 윤활영역

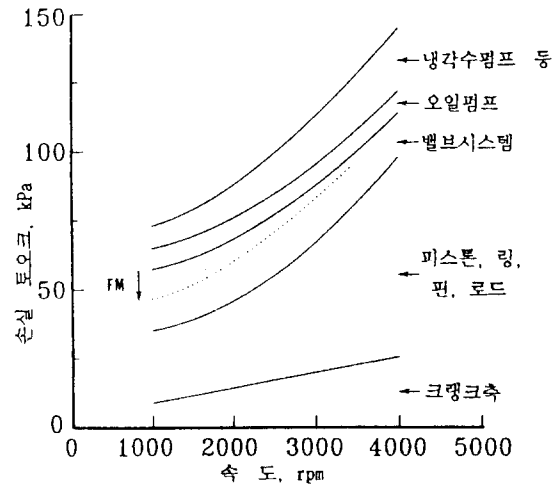


그림 6 엔진의 마찰손실토크오크 비율

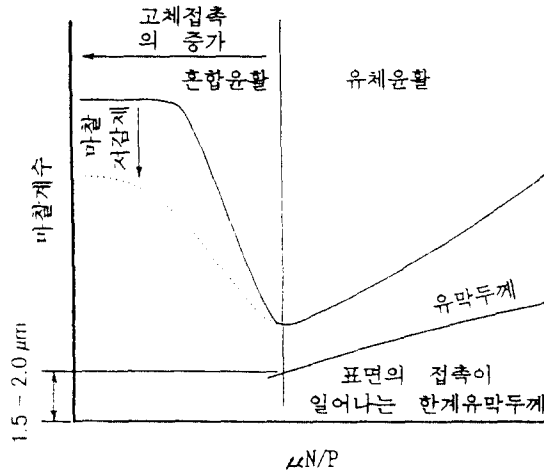


그림 7 마찰저감제에 의한 마찰계수의 저하

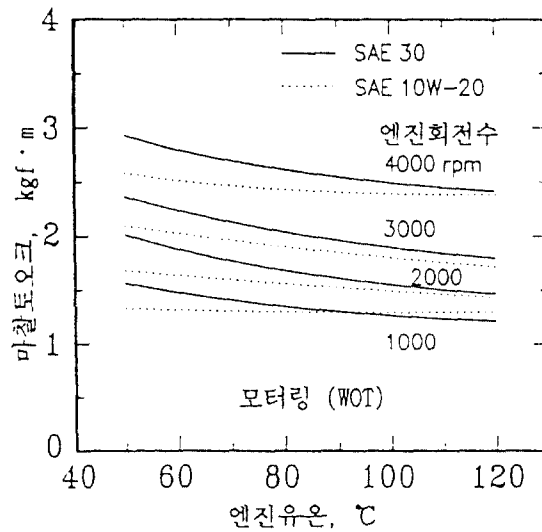


그림 8 엔진의 마찰손실토크