



# 潤滑油와 作動油의 汚染과 保安全管理

서울대학교 工科大学教授  
工学博士 鄭善謨

## § 1. 序 言

潤滑油를 使用하여 機械의 摩擦 磨耗를 減少시키고 壽命을 維持한다는 것은 아득한 古代로부터 내려온 지혜로운 사실이었다. 그後의 潤滑의 機能은 摩擦面사이의 摩擦을 輕減시켜서 機械의 效率를 向上시킬 뿐아니라 機械의 壽命을 길게하며 過熱하는 部分을 冷却시켜서 늘어붙음 등을 防止하고 外部에서 浸入하는 異質物을 多量으로 潤滑油를 供給하여 排除시키고 機械部分의 녹슬은 것을 防止 各部分의 機能低下를 防止하고 應力集中現象을 高粘度의 潤滑油를 使用하여 分散緩和시키는等, 여러가지 役割을 擔當해 왔던 것이다.

따라서 潤滑油는 機械의 管理와 企業의 生産性 向上에는 絶對不可缺의 重要한 要素가 된다는 것은 말할 나위가 없다.

1966년에 公表된 英國의 Jost報告는 トライ보로지(Tribology) 活動을 維持함으로써 英國 한나라에서만 當時의 화폐가격으로 年間約 1兆5,000億圓의 利益을 達成했다는 實態調査結果가 나왔다.

그때 トライ보로지推進(潤滑技術 推進)의 意義로서“トライ보로지는 省資源, 省에너지, 機械性能의 保證과 向上에 있다.”고 것발을 높이 들고 推進한것은 지금 다시 뒤돌아 본다면, 歷史의 重要性을 갖는다고 評價된다. 當時는 第1次石油危機의 數年前이고 全世界가 好景氣이며 우리나라도 經濟開發五個年計劃의 全盛期이

며 増産에 増産을 거듭하고 機械設備는 償却期間을 짧게하여 大規模化 新銳化를 推進할 때 이었다.

즉 英國에서 일으킨 トライ보로지活動은 實態調査에 의하여 明白히 된 トライ보로지의 利益이 엄청난데 對하여 世界사람들이 놀란것 뿐이다. 그리고 省資源·省에너지, 機械性能의 保證과 向上은 切實한 重要한 問題는 아니었던것이고 그 열쇠가 된다는것은 그時代에 뚜렷이 證明한 結果로 되었다. 그리고 그것은 높이 評價할만한 功績이었다.

그後 第1次石油危機·第2次石油危機를 지내고 第3次石油危機가 닥쳐오려는지도 알수없는 低成長時代로 옮겨가고 原材料費, 에너지費가 매년 오르고 附加價值를 追求해야 하는 오늘날 自動化·合理化 및 價格低下가 至上命題로 되어 事情은 달라져 가고 있는 것이다.

省資源·省에너지 및 機械性能의 保證과 向上은 企業과 國家民族의 發展을 左右하는 가장 重要한 要素로 되고 尖端技術開發과 總合技術開發의 레벨업(Level up)과 발맞추어 潤滑技術을 本格的으로 研究開發함과 同時에 實地應用에 힘써야 되게 되었다.

最近의 潤滑技術의 動向을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 省에너지 (2) 省資源 (3) 極限用途의 對應으로서의 高溫用·低溫用 高面壓用·高真空用 기타의 潤滑의 發展. (4) 特殊用途 (原

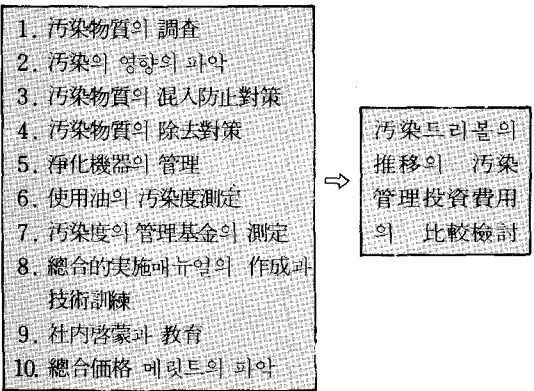
子力産業·海洋産業·宇宙産業開發等)에의 適用 (5) 防災의 強化, 公害對策의 促進 예를 들면 難燃性 作動液의 進出과 環境保全을 위한 技術開發 (6)重要機器와 設備의 潤滑, 液壓·空壓시스템, 加工(切削·研削·塑性加工·特殊加工) 등 其他의 넓은 分野에서의 세밀하고 精密한 技術開發이다.

그러나 여기서는 潤滑油와 作動油를 使用함에 있어서 100% 機能을 發揮할 수 있도록 潤滑油와 作動油의 污染管理 문제를 우선 다루어 보기로 한다.

§ 2. 污染管理의 內容

污染管理의 目的은 潤滑 혹은 油壓系内の 汚染物質의 量이 그 系가 要求하는 污染度以下로 항상 維持하고 污染에 의한 機器의 トラブル을 미리 막는 것에 있다. 따라서 污染管理를 成功의 으로 誘導하려면 基本이 되는 污染測定法의 確立은 물론 다음 그림(1)에서 보는 여러가지 事項을 組織的으로 또 計劃的으로 推進하여 投資費用을 上廻하는 實效를 거두워야 된다.

(그림 I) 污染管理의 內容



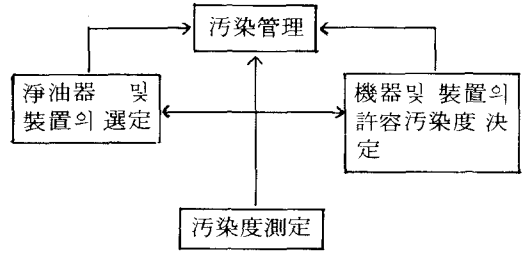
污染管理의 實施에 있어서 特히 淨油機의 選定과 機器의 許容污染度(規格值)를 決定하고 污染度 測定을 하는 것이 重要하다.

다음 그림(II)는 污染管理 體系를 나타낸 것이다.

§ 3. 污染度의 測定

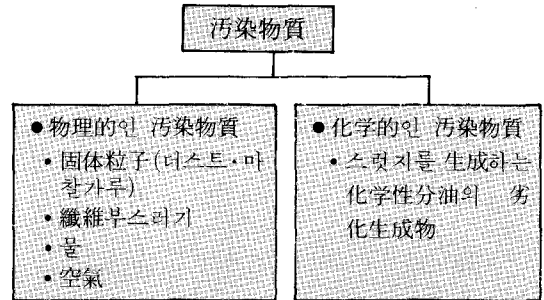
污染度의 測定은 污染管理를 推進하는데 있어서 가장 重要한 事項이고 測定值에 信賴性이 없으면 污染管理는 基本부터 崩괴된다고 말해도 과언이 아니다.

(그림 II) 潤滑系에 있어서 污染管理의 技術體系



그림(III)은 測定對象 汚染物質을 表示한다.

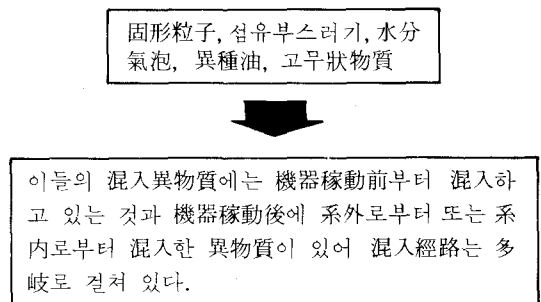
(그림 III) 測定對象 汚染物質



3·1 汚染物質의 種類와 混入經路

汚染物質이라는 것은 潤滑 또는 油壓系內에 있어서 機器의 性能에 害로운 影響을 주는 소위 異物質을 말하고 대체로 그림(IV)에 表示한 바와 같다.

(그림 IV) 汚染物質의 種類와 混入經路



[1] 機器稼動前부터 混入한 것

- (1) 機器의 製造·組立中에 混入한 것 → 鑄物 砂·切粉·스케일 등
- (2) 機器의 保管·輸送中에 混入한 것…… 먼

지·녹·雨水

(3) 裝置의 設置中에 混入한것..... 切粉·스케일·웨어스 等

(4) 裝置플러싱, 豫備運轉中에 混入한것..... 녹·氣泡·플러싱油

[2] 機器稼動後에 混入한것

(1) 系外에서 混入한것..... 먼지·切削油·그리이스

(2) 系外에서 發生 혹은 混入한것..... 마모가루·凝縮水·油劣化物

3.2. 汚染測定法の 種類와 規格

汚染物質이 機器에 주는 影響은 汚染物質의 種類와 含有量이외에 形狀, 才數, 硬度등의 物性에 의하여 다름으로 理想的으로는 개개의 汚染物質마다의 그 크기와 量을 測定할 수 있는 것이 바람직하나 現狀에 있어서는 일부를 除外하고는 技術的으로 測定할 수 없는 경우가 많고 費用과 必要性과의 均衡을 생각하더라도 早期 實現은 곤란할 것이다.

現在 主로 利用되고 있는 測定法の 種類와 規格은 表 1과 같다.

표 1. 作動油 固形物의 測定法과 規格

測定法	規格
1) 數와 크기를 測定하는 方法	ASTM-F-312-69 SAE-ARP-598 Fed, test method No791-a-3009-T JLS-B-9930
2) 重量을 測定하는 方法	ASTM-F-313-70 ASTM-D-2276-71 SAE-ARP-785
3) 실링인레스	ASTM-F-52-69 SAE-ARP-788
4) 質을 定性·定量하는 方法	ASTM-F-314-70 ASTM-D-1744-64
5) 산물링方法	ASTM-F-302-70 ASTM-F-311-70 ASTM-F-303-70

3.3. 作動油 固形物의 測定法

[I] 현미경에 依한 微粒子計數法の 特長

(1) 長点:

- ① 粒子를 직접 육안으로 觀察할수 있으므로 粒子의 形狀과 種類가 어느 程度 判別할 수 있고 汚染原因의 推定과 対策이 쉽게 된다.
- ② 試驗法이 規格化되고 있으므로 보편성이 있다.
- ③ 粒子計數法으로서는 裝置의 費用이 가장 廉價이다.

(2) 短点:

- ① 測定에 熟練과 長時間이 要한다. 心理的 肉体的으로 보아서 1月 10試料 以上の 測定을 연속해서 하는 것은 무리이다.
- ② 測定值의 信賴性이 欠된다.  
SAE-ARP-598에서는 試料의 反復測定에 있어서 再現性을  $\pm 33\%$ 를 規定하고 있으나 實際로는 상당한 熟練이 必要하다.
- ③ 顯微鏡의 解像力에서 보아  $5(\mu m)$  以上の 粒子의 計算은 무리이다.

[2] 自動微粒子 計數器에 依한 微粒子 計數法の 特長

(1) 長点:

- ① 計測이 쉽고 또 빠르다.
- ② 온라인 測定이 可能하다.
- ③ 測定值의 反復性이 좋다.  
또 適法한 校正을 하면 充分한 再現性이 期待된다.

(2) 短点:

- ① 裝置의 費用이 高價이다.
- ② 油中の 氣泡와 실리콘系消泡劑를 固形 異質物과 똑 같이 計數해 버린다. 다만 氣泡의 영향은 計測前에 試料의 脱氣를 充分히 잘하면 막을 수 있다.  
실리콘系消泡劑의 영향은 試料를 등유로 稀積(Delution)하여 測定하면 어느 程度는 防止할 수가 있다.

[3] 薄膜 濾過紙에 依한 微粒子計數法の 特徵

(1) 長点:

- ① 裝置가 간단하고 값이 싸며 測定이 容易하다. 다만, 測定環境을 깨끗이 유지할 必要가 있다.

② 計測法이 規格化되어 있다.

③ 測定置의 信賴性이 높다.

SAE-ARP-785에서는 測定值의 反復性을 粒子量重이 0.2(mg) 以上の 경우에는  $\pm 0.1(mg)$  以内라고 規定되어 있다.

② 短点 :

① 粒子의 種類와 크기, 粒径分布가 알수 없다.

② 密度와 珞수가 큰 粒子가 數개 있으면 測定值에 큰 영향을 끼친다. 따라서 濾過前의 試料의 均一性에 注意하여야 된다.

[ 4 ] 汚染指數 測定의 特長

(1) 長点 :

① 測定이 比較的 容易하다.

② 粒径 0.5( $\mu m$ ) 以下の 粒子에 의한 汚染

傾向의 把握에 有効하다.

③ 現場에서의 測定이 可能하다.

(2) 短点 :

① 汚染度의 表示가 直接的이 아니다.

② 測定值의 信賴性이 낮다.

③ 粒子 5 ( $\mu m$ ) 以上の 粒子에 의한 汚染度測定은 적당하지 않다.

§ 4. 汚染度의 等級 表示

微粒子에 의한 試料의 汚染度는 試料의 單位容積에 包含하고 있는 粒子의 个数(個/100m $\ell$ ) 혹은 重量(mg/100m $\ell$ ) 으로 表示되는데 NAS (National Aerospace Standard : 國家宇宙標準規格) ASE, MIL 等에서는 油壓系統 或은 潤滑系流의 汚染度表示에 汚染度等級이 規定되어 있고 다음 表II는 이것을 表示한 것이다.

표 II.

NAS 汚染度等級 (計數法)

NAS 1638. 個/100ml

等級 粒径( $\mu m$ )	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5~15	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
15~25	22	44	89	178	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
25~50	4	8	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
50~100	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
100以上	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

SEA 汚染度等級 (計數法)

SAE749D, 個/100ml

等級 粒径( $\mu m$ )	0	1	2	3	4	5	6	7~10
2.5~5	←			pending				→ pending
5~10	2700	4600	9700	24000	32000	87000	128000	"
10~25	670	1340	2680	5360	10700	21400	42000	"
25~50	93	210	380	780	1510	3130	6500	"
50~100	16	28	56	110	225	430	1000	"
100以上	1	3	5	11	21	41	92	"

NAS 汚染度等級 (重量法)

NAS1638, mg / 100ml

等級	100	101	102	103	104	105	106	107	108
重量	0.02	0.05	0.10	0.30	0.50	0.70	1.0	2.0	4.0

MIL 汚染度等級 (重量法)

MIL 1246A, mg/100ml

等級	A	B	C	D	E	F	G	H	I
重量	1.0以下	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0	7.0~10.0	10.0~15.0	15.0~25.0

§ 5. 汚染의 影響

潤滑油와 作動油의 汚染이 機器의 性能과 壽命에 미치는 影響을 定量的으로 把握하고 対象 機器에 따른 汚染度의 管理限界를 設定한다는 것은 汚染管理基準을 確立하는데 가장 重要한 課題라고 말할 수 있으나 汚染의 狀態 (예를 들면 汚染物質의 種類, 形狀, 才數, 粒度分布, 硬度 등)와 機器摺動部의 여러가지 디멘션(dimension) 즉 材質, 클리어런스(틈새) 面壓, 미끄럼 속도, 溫度等이 복잡하고 여러갈래로 걸쳐 있기 때문에 이들의 諸因子의 影響을 定量的으로 論하는 것은 不可能에 가까운 現狀이다.

다음에 機器의 摺動部의 틈새(clearance) 固形微粒子, 水分, 氣泡, 酸化生成物의 影響에 대하여 論하기로 한다.

5.1 機器의 摺動部の 클리어런스(틈새)

機器 摺動部の 틈새는 固形粒子에 의한 機器 외 눈막임에 의한 作動不良等이 고려된다는 점에서 重要한 인자로 여겨진다.

粒子의 形狀과 硬度에도 의하지만 一般的으로 潤滑油의 틈새에 끼어 들어 가기도 하고 눈막임을 일으키기 쉬운 粒徑의 粒子가 가장 나쁜 影響을 끼치게 된다는 것으로 되어 있다.

表Ⅲ은 微小틈새部分이 많은 油壓機器를 中心으로 代表的인 클리어런스의 값을 表示한 것이다.

표Ⅲ. 油壓機器의 틈새(하나치:  $\mu\text{m}$ )

機 器	틈새(Clearance)
기어펌프(Gear Pump) • 기어와 側板 • 이끝과 케이싱(Casing)	0.5~5 0.5~5
베인펌프 • 베인先端 • 베인側面	0.5~1 5~13
피스톤 펌프(Piston Pump) • 피스톤과 실린더 보어 • 밸브 플레이트와 실린더	3~40(半徑틈새) 0.5~5
서어보 밸브(servo valve) • 오리피스(orifice) • 플랫퍼와 노즐 • 스푸울과 슬라브(sleeve)	130~450 18~63 1~4(半徑틈새)
서어보 밸브 이외의 制御弁 • 오리피스	130~10,000

5.2 固形 微粒子의 影響

各種의 汚染物質중에서 機器에 대한 影響이 항상 문제가 되는 것에 固形粒子가 있다.

특히 15~25( $\mu\text{m}$ ) 전후에서는 육안으로 서는 보이지 않는 微粒子는 機器摺動部에 浸入하기 쉽고 系外에 제거하는 方法도 容易하지 않은 만큼 汚染管理의 對象으로 最大의 곤란한 物質 이라고 말할 수 있다.

(1) 油壓機器에 미치는 影響

作動油의 汚染은 油壓機器고장의 60~70%를 占하고 특히 서어보밸브에 있어서는 고장원인의 약 90%가 作動油의 汚染에 起因한다고 말하고 있다. 그중에서도 固形微粒子에 의한 汚染은 トラ블의 元凶이라고 말하고 있으며 油壓機器에 對하여 以下에 表示하는 여러가지 劣影響을 주는 것으로 되어 있으므로 充分히 注意해야 할 것이다.

(1) 一般油壓機器에 미치는 影響

- (1) 펌프部의 磨耗를 促進하고 吐出量 低下의 原因으로 된다.
- (2) 석션 스트레이너(Suction Strainer)의 눈막임을 促進하고 캐비테이션(空洞現象: Cavitation) 發生의 原因이 된다.
- (3) 方向切換弁의 스푸울(Spool)에 끼어 들어 가기도하고 틈새를 묻어 버리기도하여 스푸울 로크(Spool Lock)와 作動不良의 原因이 된다.
- (4) 流量調定弁의 오리피스에 눈막임이 생기고 流量制御機能低下의 原因으로 된다.
- (5) 오일시이일(Oil Seal)의 마모를 促進하고 기름누설의 原因으로 된다.

(2) 電氣 油壓서어보弁에 미치는 影響

- (1) 스푸울의 메탈링엠티의 磨耗를 促進하고 流量制御機能低下와 中立點 變動의 原因이 된다.
- (2) 스푸울클리어런스에 눈막임이 생기고 作動力이 增大하여 스푸울로크와 作動不良의 原因이 된다.
- (3) 토오크모우터가 濕式의 경우에는 電磁코일에 鐵粉을 부착시켜서 히스테리시스 增大의 原因이 된다.
- (4) 오리피스, 노즐(Nozzle), 內藏필터에 異質物이 充填되어 막혀버리게 되어 制御感度 低下의 原因으로 된다.

5 · 3 水分의 影響

油中에 混入한 水分의 影響으로 다음 事項이 열거된다. 이 防止對策으로서는 完全한 方法은 確立되어 있지 않으나 高含水作動油의 導入등은 有效한 方法으로서 最近 注目을 集中시키고 있다.

- (1) 油壓 또는 潤滑系內의 녹스는것이 促進된다.
- (2) 사용유의 潤滑性이 低下되고 機器의 磨耗와 損傷의 危險이 增加된다.
- (3) 使用油의 酸化劣化가 促進된다.
- (4) 펌프의 캐비테이션이 일어나기 쉽게 된다.

5 · 4. 氣泡의 影響

油中에 混入된 氣泡는 油壓裝置에 있어서 특히 문제가 되고 다음에 열거하는 影響을 미친다. 이 對策으로서는 스트레이너(Strainer)의 定期的인 洗淨·油壓탱크의 정확한 容量의 選

定등이 重要하다.

- (1) 作動油의 압축성이 增加하고 油壓機器의 作動지연과 誤動作의 原因이 된다.
- (2) 油壓펌프의 소음이 增大된다.
- (3) 作動油의 黑化現象의 原因이 된다.
- (4) 油壓機器의 캐비테이션 에로존(Cavitation erosion)이 促進된다. 其他 氣泡의 混入은 使用油의 酸化劣化를 促進시키기도 하고 動力損失의 原因이 된다.

5 · 5. 酸化生成成分의 影響

使用油는 空氣中의 酸素에 의한 酸化作用을 받아서 점차로 變質劣化하고 油中에 不容性슬러지와 有機物을 生成하고 機器의 作動不良과 腐蝕 또는 發錆의 原因이 된다. 그리고 酸化의 進行은 油溫, 壓力이 높을 수록 異質物(특히물금속가루, 氣泡)의 混入이 많을 수록 加速되고 系內에 使用되는 金屬材料(특히 銅)도 酸化觸媒로서 作用한다. 이對策으로는 極壓添加劑를 넣은 作動油의 採用으로서 상당히 減少시킬 수가 있다.

## 국민건강생활지침

1. 식사전에는 손을 씻고 식사후에는 이를 닦읍시다.
2. 음식은 제 때에 싱겁게 골고루 먹읍시다.
3. 행주와 도마는 삶거나 햇볕에 말려서 씹시다.
4. 쓰레기통은 뚜껑을 덮고 주위를 깨끗이 합시다.
5. 예방접종과 건강진단은 때 맞추어 받읍시다.
6. 지나친 담배와 술을 삼갑시다.
7. 알맞게 운동하고 즐겁게 생활합시다.

## 보건사회부