

技術開發

廢潤滑油의 再精製
技術開發



韓國動力資源研究所
에너지 轉換研究部長

工學博士 崔 益 綏

I. 序論

國內의 潤滑油 使用量은 年間 140만드럼 (1984년 기준)으로 이에 따라 發生되는 廢潤滑油의 量은 약 100만드럼으로 추산되고 있다.

이와같은 廢潤滑油의 主要 용도로는 燃料용, 거푸집용, 인쇄잉크용 및 재정제용 등으로 나눌 수 있으나 이중 약 50% 이상이 소규모 보일러등에서 B-C油를 代替하여 燃料용으로 쓰이고 있는 관계로 귀중한 潤滑資源이 낭비되어 資源節約의 측면에서 막대한 손실을 초래하고 있으며 이 밖에 再精製 活用에는 약 20% 정도가 기존의 재정제 방법인 酸/白土工程에 의해 재정제되고 있으나 노후한 시설과 육감적인 再精製 技術로 低級 基油로 밖에 再精製 되지 못하고 있다.

이와같은 資源浪費 이외에 廢潤滑油의 不法 燃燒로 인한 有毒性 排가스의 放出과 酸/白土 工程의 再精製 副産物인 酸슬러지와 廢白土로 인한 環境汚染 問題가 심각히 대두되고 있어 이에 대한 対策樹立이 시급한 실정이다.

이에 따라 当所에서는 이와같은 諸問題를 해결하고자 다음과 같은 研究內容을 수행하여 왔다.

1. 國內의 廢潤滑油 發生, 收集 및 處理上의 現況 調査.
2. 廢潤滑油 再精製 工程(酸/白土, Recyclon IFP, BERG, KTI, LUWA등)에 대한 技術分析과 性能比較를 위한 기초실험 수행.
3. 세계적으로 우수성이 입증된 薄膜蒸發裝置(Thin Film Evaporator)의 國産化 開發성공

에 따라 이 장치를 核心으로 KIER 再精製 工程 開發 및 操業.

4. 再精製用 Pilot plant의 基本 및 詳細 設計.

本稿에서는 紙面 관계상 再精製 工程의 核心部分인 薄膜蒸發裝置에 의한 減壓蒸溜에 대해 중점적으로 기술하고자 한다.

II. 國內의 廢潤滑油 利用 現況^{1), 2)}

年間 약 100만드럼이 發生되는 것으로 추정되는 廢潤滑油는 廢棄되는 것이 없이 全量 利用되고 있으며, 대부분 中間商人 및 産業廢棄物 處理業 許可를 소지한 업자들이 收集하여 고물상이나 목욕탕의 B-C油 代替燃燒나 酸/白土 再精製용으로 공급하고 있는 實情이다.

이와같은 廢潤滑油의 直接燃燒 및 再精製 利用은 廢資源의 再活用 측면에서는 적극 권장되어야 하나 環境汚染과 低級 基油로의 回收로 인한 資源浪費의 심각성을 고려하면 강력한 法規를 적용해서라도 효율적인 수집제도를 마련하여 廢潤滑油의 利用價值를 極大化 시켜야 할 것이다.

III. 廢潤滑油 再精製 工程의 開發 및 裝置製作¹⁾⁻¹¹⁾

1. 再精製 工程의 開發

廢潤滑油의 再精製는 廢潤滑油內에 함유된 汚染物質을 효과적으로 제거하여 新 潤滑基油

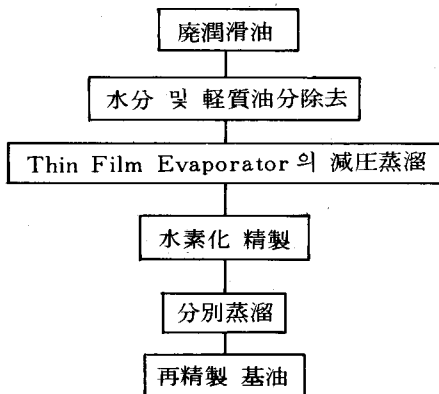
에 비해 諸 性狀의 측면에서 품질이 동등내지는 우수한 제품으로 회수하는 것을 目的으로 하는 것으로 이는 原油로 부터 新 潤滑基油를 生産하는데 비해 에너지가 절감되며, 潤滑基油의 回收 可能性이 높고 또한 再精製 基油는 潤滑油로서의 부적당한 성분이 엔진오일등으로 사용시에 이미 열화나 산화에 의해 제거된 상태이므로 再精製 基油의 品質向上이 가능한 장점이 있다.

그러나 폐윤활유내에는 윤활유로서의 諸性質을 향상시키기 위해 Additive Blending시에 사용된 첨가제 및 사용시의 금속 마모분등이 부유상태로 잔존하고 있으므로 이의 효과적인 除去를 위한 特殊技術이 필요하다.

즉 재사용 가능한 潤滑基油와 Residue의 효과적인 분리 system이 廢潤滑油 再精製 step의 核心工程이 될것이다.

이와같은 분리 system에는 Solvent Extraction Chemical reaction, physical Separation 등 여러 process등을 들수 있으나 solvent나 화학물질을 사용하는 경우 반드시 부산물이 生成되어 공해문제를 유발시키는 등 여러문제를 야기시켜왔다.

세계적으로도 용제나 시약을 이용한 재정제 處理보다는 Physical separation으로 많은 研究가 進行되고 있다. 當所에서도 이와같은 physical Separation System에 着眼을 두어 연구를 수행한 결과 세계적으로도 우수성이 입증되고 첨단과학 分野인 薄膜蒸發裝置 (Thin Film Evaporator)의 國産化 開發에 成功함으로써 이 장치를 核心으로 前處理 및 後處理 system을 추가하여 [그림 1]과 같은 再精製 工程 (KIER Process)을 開發하기에 이르렀다.



[그림 1] KIER 폐윤활유 재정제 공정

2. 再精製 試驗 plant의 概要

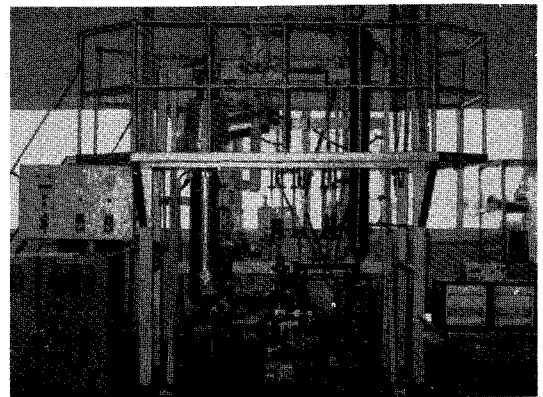
가. 試料의 選定

廢潤滑油의 性狀은 再精製의 重要變수로써 함유된 불순물에 대한 許容値가 設定되어 있어야 하며 諸性狀을 고려하여 폐윤활유를 채택하여야 하나 폐윤활유의 분리수거나 동일한 종류에 대한 집중수거가 불가능한 관계로 再精製 조건이 엄격한 자동차용 엔진오일에 대해 세차장등에서 임의 수거된 것을 再精製 試驗 plant의 基準試料로 채택 하였다.

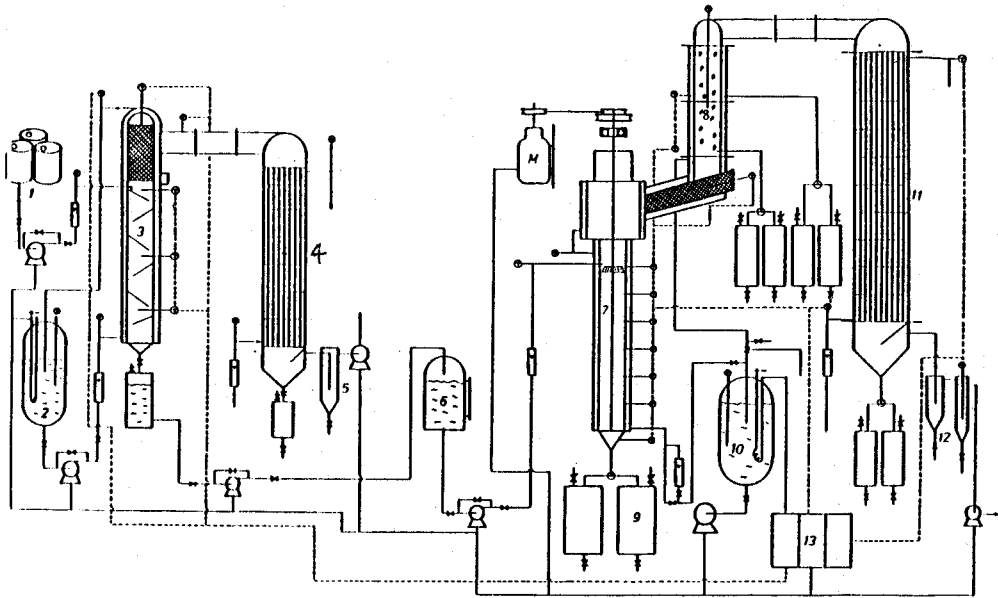
나. 再精製 試驗plant의 單位工程

Thin Film Evaporator에서의 再精製 收率을 향상시키기 위해서는 먼저 前處理 工程인 廢潤滑油內의 水分 및 輕質油分 除去단계에서 10mm Hg의 압력을 유지하면서 200℃까지 加熱하여 1~10%에 해당되는 低沸點 成分, 즉 水分, 가솔린 및 그밖의 有機成分 (Gas oil) 등을 증발 응축시켜 폐윤활유내의 水分 및 경질유분 함유량을 0.1% 이하로 감소시킨다. 이때 回收된 輕質油分은 요구하는 性狀에 따라 再處理를 한 후 再精製 工程에 필요한 연료로 活用하고자 하였다.

前處理된 폐윤활유는 [그림 2]와 같은 Thin Film Evaporator로 공급되어 潤滑基油 成分과 아스팔트분의 찌거기로 분리되는데 이때 증발기내의 Rotor-blade와 증발표면 사이에서의 Thin-Film 技術 응용으로 폐윤활유의 체류시간을 최소화 함과 동시에 열전달효율을 향상시켜 減壓下의 潤滑油分 蒸發溫度를 가능한 낮게 유지함으로써 Coking과 Fouling문제를 최소화 하여 재정제 수율을 최대로 하는 동시에 재정



[그림 2] 廢潤滑油 再精製用 Thin Film Evaporator



[그림 3] Thin Film Evaporator에 의한 再精製 試驗 Plant의 工程圖

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Feed | 2. Hot oil heating tank |
| 3. Dehydrator | 4. Condenser |
| 5. High cold trap | 6. Dehydrated feed tank |
| 7. Thin Film evaporator | 8. Fractionator |
| 9. Receiver | 10. Hot oil heating tank |
| 11. Condenser | 12. High cold trap |
| 13. Data logger & PIP Controller. | |

제 기유의 品質向上을 도모하고 있다.

Thin Film Evaporator의 操業變數인 공급유량은 流量펌프의 회전수에 의해 30-40ml/min로, Blade의 회전수는 Mechanical Seal로 Rotor 축과 접속된 변속기에 의해 1,000~2,000rpm으로 증발기의 내부압력은 진공펌프에 의해 1.0~1.5Torr로, 加熱面의 溫度는 열매체유(KSK 330)순환탱크내의 전기히터와 순환펌프에 의해 300~350℃로 조절된다.

Thin Film Evaporator에서 증발 응축된 再精製基油는 쌍용150N과 500N의 新潤滑基油를 기준으로 0.5Torr의 壓力下에서 230℃ 이하와 230-270℃의 蒸發分 및 Bottom分으로 分類한 후 Hydrofinishing대신 白土處理를 통해 再精製 基油로 製品化 되도록 하였다.

이와같은 再精製 試驗 plant의 工程圖는[그림 3]과 같다.

IV. 再精製 試驗 plant의 運轉 結果 및 考察

1. 試料의 分析

試料用 폐윤활유의 재정제에 따른 再精製 收率과 재정제 기유의 품질평가를 위한 기준으로 폐윤활유내의 潤滑基油 회수율과 蒸溜溫度의 관계를 나타내는 ASTM D1160¹³⁾의 分析 결과는 <그림 4>와 같으며 이와같은 폐윤활유 ASTM D 1160증류곡선상의 초기 및 종말비점과 감압 증류 수율간에는 다음식과 같은 관계가 있다¹²⁾

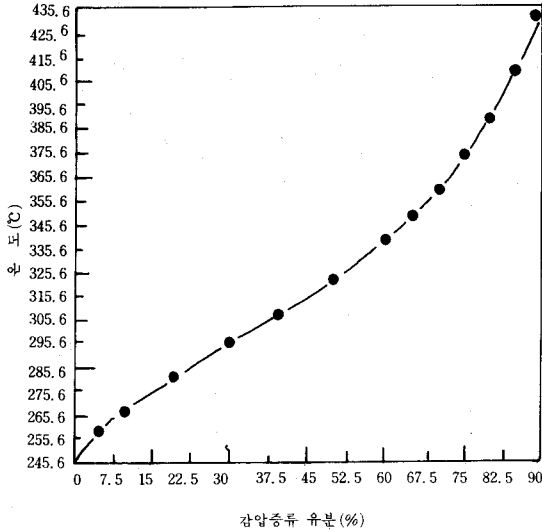
$$V = \left\{ 1 - \exp(-T^* / 0.5285)^{1.4135} \right\} \times 100$$

여기서, V; 온도 T까지 증류된 全溜分의 Vol%

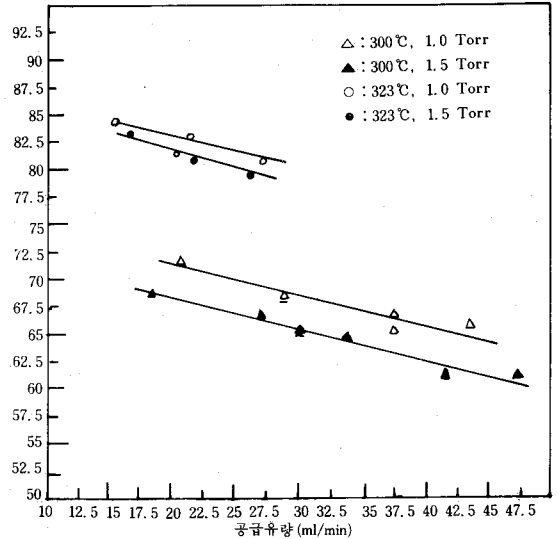
T* : $T^* = (T - T_i) / (T_r - T_i)$ 로 정의된

〈表 1〉 減圧蒸溜 混合溜分과 新 潤滑基油의 性状比率

분 석 항 목	운 활 기 유 의 종 류			
	20~50%유분	60~90%유분	쌍용 150N	쌍용 500N
동 점 도 40℃ (cSt)	34.90	106.83	30.75	93.67
100℃	5.77	11.73	5.41	10.99
점 도 지 수	105.5	97.4	111	102



〔그림 4〕 ASTM D1160에 따른 廢潤滑油의 減压蒸溜 分析(압력 4 mmHg)



〔그림 5〕 Thin Film Evaporator의 조업변수에 따른 再精製 收率

무차원수.

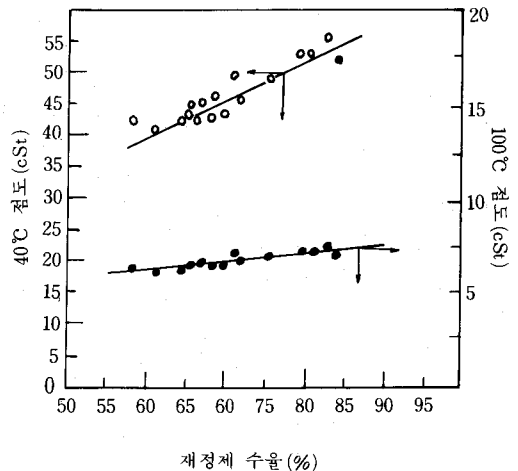
T_i : 초기 비점 (°C)

T_f : 종말 비점 (°C)

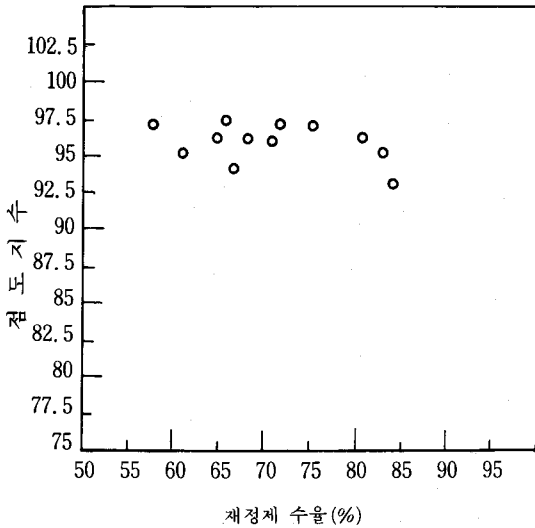
이때 減压蒸溜 溜分을 20~50% 成分과 60~90% 成分으로 Blending한 결과는 〈表 1〉에서 보는 바와 같이 각각 쌍용 150N과 500N에 유사하며 따라서 75~80%이상으로 재정제 되어야 分別蒸溜를 통해 쌍용 150N과 500N에 해당되는 再精製 基油의 生産이 가능함을 알 수 있다.

2. 再精製 試驗 plant의 運轉

Thin Film Evaporator의 溫度, 壓力 및 供給流量에 대한 再精製 收率は 〔그림 5〕에서 보는 바와 같이 1.0~1.5Torr의 壓力과 320℃의 溫度下에서 供給流量을 약 30ml/min로 했을때 약 80%이상으로 향상되어 再精製 基油內의 高粘度 潤滑基油의 함유율이 높아지며 이에 따라 〔그림 6〕에서 보는 바와같이 점도는 대체로 증



〔그림 6〕 再精製 收率에 따른 基油의 粘度(40℃ 100℃) 變化



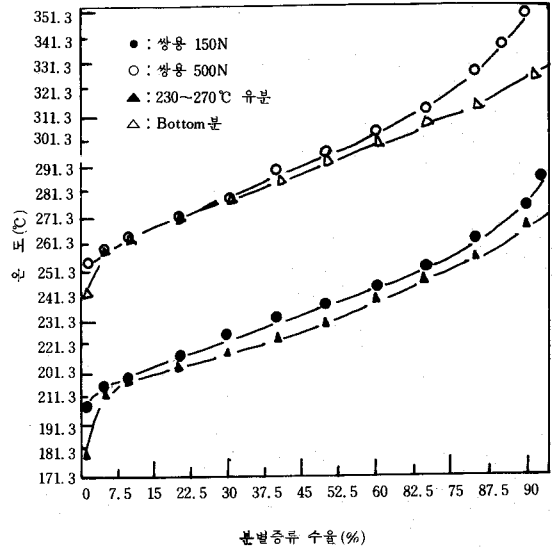
[그림 7] 再精製 収率에 따른 基油의 粘度指數 變化

가하는 경향을 나타내고 있으나 [그림 7]의 점도지수는 예상보다 약간 낮은 95-97 정도를 나타내고 있다. 따라서 粘度指數의 向上을 위한 研究가 수반되어야 高品質의 潤滑基油 生産이 가능하다

再精製 基油를 潤滑油 제조시에 Blending된 2-3가지의 潤滑基油를 기준으로 0.5Torr의 壓力下에서 230℃ 以下의 蒸發成分을 低沸點, 즉 低粘度 基油로, 230~270℃의 蒸發成分을 中沸點, 즉 中粘度 基油로 分類하고 分別蒸類의 Bottom分 즉 270℃ 以上の 沸點을 갖는 高沸點分을 高粘度 基油로 分別 回收한 후 이들 分別蒸溜分에 대한 ASTM D1160 分析을 행한 결과는 [그림 8]에서 보는 바와 같으며 이는 (表 1)에서도 언급한 바와 같이 20~50%의 溜分, 즉 230~270℃의 溜分이 쌍용 150N과, 60~90%의 溜分, 즉 Bottom分이 쌍용 500N에 해당됨을 알 수 있다.

물론 廢潤滑油內에는 쌍용 150BS에 해당되는 高粘度의 潤滑基油가 함유되어 있으나 이의 生産 및 消費量이 10% 이하이고 또한 이의 蒸發回收에는 1.0Torr의 壓力下에서도 350℃ 이상의 超高温이 필요한 關係로 그 回收가 불가능 하다고 판단된다.

이와같이 回收된 再精製 基油와 新 潤滑基油의 諸 性狀에 대한 比較 分析에서는 약간의 粘度指數나 色狀(color)를 제외하고는 再精製 基油의 性狀이 新 潤滑基油에 버금갈 정도로 우수함이 입증되었다.



[그림 8] 分別蒸溜 溜分과 쌍용基油의 ASTM D1160分析 (압력: 4 mmHg)

V. 再精製用 Pilot plant의 設計

1次年度의 기초실험을 통한 공정선정과 2차년도 Thin Film Evaporator를 중심으로 한 再精製 工程의 設置 및 運轉上의 資料를 土 台로 200kg/hr 규모의 廢潤滑油 再精製用 pilot plant에 대한 基本 및 詳細 設計를 다음 內譯에 따라 수행 하였다.

1. 一般設計 조건

가. 處理流量: 廢潤滑油 200kg/hr.

나. 運轉條件

- 1) Dehydrator: 200℃, 10mmHg.
- 2) Thin Film Evaporator: 350℃, 1 mmHg.
- 3) Hydrofinishing Reactor: 380℃ 51 kg/cm²
- 4) Fractionator : 300℃, 1 mm Hg

다. 原料 및 生成物

- 1) 原料: 大田市內의 세차장 등에서 임의 수거된 자동차 엔진오일의 廢潤滑油
- 2) 生成物
 - 殘溜物 (Bottom Residue oil)
 - Gas oil: 분류 범위 ~398℃
 - 쌍용 150N: 분류범위 398~450℃
 - 쌍용 500N: 분류범위 450℃~

2. 再精製用 pilot plant의 設計內譯

本 pilot plant는 폐윤활유를 Dehydrator로 공급하여 폐윤활유내의 水分 및 輕質油分을 분리시키는 前處理 工程과 前處理가 끝난 廢潤滑油를 3개의 熱交換器를 통해 加熱한 후 Thin Film Evaporator에서 증발시켜 塔低液으로는 찌꺼기 및 殘渣油를 回收하고 塔頂의 蒸氣를 응축시켜 潤滑基油를 回收하는 減壓蒸溜 工程 및 主 工程에서 生成된 재정제 기유와 水素가스를 混合하여 수소화정제 반응기에서 반응시킨후 순환되는 水素가스와 분리시킨 재정제 기유를 分별증류기로 공급하여 沸點에 따라 Gas oil, 輕質 및 重質의 潤滑基油로 分溜시키는 工程등으로 구성되어 있다.

한편 本 設計에서는 Simulation Science社의 Process Simulator인 "Process" Package에 대한 Computer Simulation으로 各 單位工程別 細部 設計基準을 設定 하였다.

VI. 結 論

첫째, 廢潤滑油 處理 실태에 대한 現況 調査 分析은 아직 부족한 면이 있으나 環境오염 방지와 자원절약의 측면에서 볼때 이에대한 收集制度 樹立이 시급하므로 政策的인 次元에서 무분별한 廢潤滑油 處理를 강력하게 규제해야 하며

둘째 : 세계 첨단분야인 Thin Film Evaporator의 국내 개발 성공에 따라 이를 核心으로 KIER Process를 開發하게 되었으며 各 單位工程에 대한 最的化 實驗으로 Thin Film Evaporator와 Fractionator의 最的運轉條件 규명이 가능 해졌고

셋째 : 이와같은 技術開發을 바탕으로 200 kg/hr 규모의 재정제용 Pilot plant의 基本 및 詳細 設計의 완료 등을 들 수 있다.

한편 앞으로 Pilot plant의 운전을 통하여 경제성 제고를 위한 工程開善이 이룩되므로써 첨단 재정제 기술의 경제적 상업화가 실현될 것으로 전망된다.

參 考 文 獻

1. 崔益綬外 4人, "廢潤滑油의 再精製에 關한 研究(I)" 韓國動力資源研究所. KE-83-7, 1983
2. 崔益綬外 5人, "廢潤滑油의 再精製에 關

- 한 研究(II)" 韓國動力資源研究所. KE - 84-2 1984.
3. U. S. Department of Energy, "Program Guide to Used oil Recycling," DOE/CS/40402-1, Supersedes, DOE/CS-0015 7-78 1982.
4. Association of Petroleum Re-refiners, "Used oil: The Hidden Asset," The 4th International Conference of Used Oil Recovery and Reuse, September 28 - October 1, 1981.
5. Luwa Ltd, "Re-refining of Waste Lube Oil," VT-VB/JF/Mar, October 1982.
6. Kinetics Technology International, "KTI-Process for Re-refining of Waste Lubricating Oil," 1982.
7. George T. Booth III et al., "Re-refining at Booth oil Company from Planning to Construction," Luwa Corporation, The 5th International Conference of Used Oil Recovery and Reuse, November 17, 1983.
8. F.W. Hauri and C. Lafrenz, "Operating Experience with the New Used oil Distillation Unit at Haberland Re-refinery," Luwa Corporation, The 5th International Conference of Used oil Recovery and Reuse, November. 17. 1983.
9. W. F. Van Weenen, "Re-refining plant in Greece, Applied by KTI Relube process," Kinetics Technology International Corp., The 5th International Conference of Used Oil Recovery and Reuse, November 17, 1983.
10. C. B. Johnson et al., "The Turbo Lubrefining, Process" Turbo Lubrefining, The 5th International Conference of used oil Recovery and Reuse, November 17, 1983.
11. W. L. Nelson, "Petroleum Refinery Engineering," Forth Edition. 1958, McGraw-Hill Ltd.
12. H. Dhulesia, "Equation fits ASTM Distillations," Hydrocarbon Processing, vol. 62, No 9. P. 179, 1984.
13. Annual Books of ASTM standards,

Part 23&24, Petroleum Products and Lubricants (I) and (II), 1981.

引用文献

1. Briggman, P. W., "Studies in Large Plastic Flow and Fracture" (1952) McGraw Hill.
2. 津谷裕子, 摩擦摩耗의 微視的 研究, 機械技術研究所報告, №. 81 (1975).
3. Sauer, H.g. et al., Lub. Eng., 27(4), 110 (1971).
4. 津谷裕子, 井上和男, 岳崎弘毅, 機械技術研究報, 34(3), 97 (1980).
5. Dayson, C, ASLE Trans., 14, 105 (1971).
6. Bartz, W.g., Oppelt, g., Lub, Eng., 36 (10), 579 (1980).
7. 曾田範宗, 宮原儀芳, 潤滑, 21(2), 90 (1976).
8. Westwood, A.R.C., Latanision, R.M., Proc, Symp Sci Ceramic Machining and Surface Finishing Edited by Schneider, S.g. et al. : Nat Bul. Stand. Spec. Pub., 141 (1972).

知性人을 위한 **名言·名句**

- * 장래의 전쟁은 승리로 끝나는것이 아니라 상호전멸로 끝난다.
- <러셀 (영국철학자)>
- * 원자전쟁에서는 승리자는 없고 패배자만이 존재한다.
- <슈바이처 (독일의 철학자, 의사)>
- * 개가 사람을 물어도 뉴스가 되지 않지만, 사람이 개를 물면 뉴스가 된다 - <J. 보가트 (미국의 저널리스트)>
- * 이세상은 생각하는 사람들에게는 희극이요, 느끼는 사람들에게는 비극이다 - <월포드 (영국의 작가)>
- * 누구든지 행복에 대해서 말하지만 그것을 알고 있는 사람은 드물다 - <로망로랑 (프랑스의 작가)>