

廢潤滑油의 再精製 기술개발

I. 머리말

국내의 潤滑油 사용량은 연간 약 130만드럼 (1983년 기준)으로 이에 따라 발생하는 廢潤滑油의 양은 약 90만 드럼으로 추산되고 있다.

이와 같은 廢潤滑油의 주요 용도로는 연료용, 거푸집용, 인쇄잉크용 및 제정제용 등으로 나눌 수 있으나 이중 약 50% 이상이 소규모 보일러 등에서 B-C油를 代替하여 연료용으로 쓰이고 있는 관계로 귀중한 潤滑資源이 낭비되어 자원절약의 측면에서 막대한 손실을 초래하고 있으며, 이밖에 再精製 활용에는 약 20% 정도가 기존의 再精製方法인 酸/白土 공정에 의해 再精製되고 있으나 노후한 시설과 육감적인 再精製 기술로 低級 基油로 밖에 再精製되지 못하고 있다. 이와 같은 자원낭비 이외에 廢潤滑油의 不法燃燒로 인한 유독성 排가스의 방출과 酸/白土 공정의 再精製 부산물인 酸슬러지와 廢白土로 인한 環境汚染 문제가 심각히 대두되고 있어 이에 대한 對策 樹立이 시급한 실정이다.

이에 따라 本 研究에서는 이와 같은 諸問題를 해결하고자 지난 2개년에 걸쳐 다음과 같은 연구 내용을 수행하여 왔다.

1. 國內의 廢潤滑油 발생, 수집 및 處理上의 현황조사
2. 廢潤滑油 再精製공정(酸/白土, Recyclon, IFP, BERC, KTI 및 Luwa 등의 7개 공정에 대한 기술분석과 성능비교를 위한 기초실험으로 收率과 품질면에서 우수성이 입증된 Thin Film Evaporator에 의한 減壓蒸溜 공정의 선정
3. Thin Film Evaporator에 의한 減壓蒸溜를

중심으로 하여 脫水에 의한 前處理와 分別蒸溜 및 白土처리로 구성된 소규모 再精製 공정의 설치 및 운전

4. 再精製用 파일러트 플랜트의 기본 및 詳細設計

本稿에서는 再精製 공정의 선정에서 파일러트 플랜트의 설계까지의 연구수행에 있어서 再精製공정의 핵심부분인 Thin Film Evaporator에 의한 減壓蒸溜에 대해 중점적으로 기술하고자 한다.

II. 國內의 廢潤滑油 이용현황

연간 약 90만 드럼이 발생하는 것으로 추정되는 廢潤滑油는 폐기되는 것이 없이 全量 재이용되고 있으며, 대부분 중간상인 및 産業廢棄物 처리업 허가를 소지한 업자들이 수집하여 고물상이나 목욕탕의 B-C油 代替燃燒나 酸/白土 再精製용으로 공급하고 있는 실정이다.

이와 같은 廢潤滑油의 직접연소 및 再精製 이용은 廢資源의 재활용 측면에서는 적극 권장되어야 하나 環境汚染과 低級 基油로의 회수로 인한 資源浪費의 심각성을 고려하면 강력한 법규를 적용해 서라도 효율적인 수집제도를 마련하여 廢潤滑油의 이용가치를 극대화 하여야 한다.

III. 廢潤滑油 再精製 공정의 선정 및 裝置製作

1. 再精製 공정의 선정

廢潤滑油의 제정제는 廢潤滑油내에 함유된 오염물질을 효과적으로 제거하여 新 潤滑基油에 비

해 諸 性狀의 측면에서 품질이 등등 내지는 우수한 제품으로 회수하는 것을 목적으로 하는 것으로, 이는 原油로부터 新 潤滑基油를 生産하는데 비해 에너지소비가 절감되며, 潤滑基油의 회수가능성이 높고 또한 再精製 基油는 潤滑油로서의 부적당한 성분이 엔진 오일 등으로 사용時에 이미 劣化나 酸化에 의해 제거된 상태이므로 再精製基油의 품질향상이 가능한 장점이 있다.

그러나 廢潤滑油內에는 潤滑油로서의 諸性質을 향상시키기 위해 블렌딩時에 사용된 첨가제 및 사용時의 금속마모분 등이 浮遊상태로 殘存하고 있으므로 이의 효과적인 제거를 위한 특수기술이 필요하다.

현재 商業化나 研究開發의 단계에 있는 再精製 기술로서는 酸/白土, Recylcon, IFP, PROP, BERC, KTI 및 Luwa 공정 등을 들 수 있는데 위의 각 1程에 대한 1차년도에 기초실험으로 再精製 收率 및 品質面에서 우수성이 입증되고 독일 Harberland Co.나 미국 Booth Oil Co. 등에서 再精製 Plant로서 商業化가 시도되고 있는 Thin Film Evaporator에 의한 減壓蒸溜 工程이 적합하다고 판단되어 (그림-1)과 같은 再精製 공정을 선정하였다.

2차년도에는 선정된 再精製 공정의 각 單位工程에 대한 소규모 장치의 設計, 제작과 이의 性能實驗 및 再精製 基油의 品質분석 등으로 再精製의 諸特性을 파악함으로써 파일러트 플랜트의 設計, 건설 및 運轉上의 토대를 구축하고자 하였다.

2. 再精製 試驗 플랜트의 개요

(1) 試料의 선정

廢潤滑油의 性狀은 再精製의 重要변수로 함유된 불순물에 대한 허용치가 설정되어 있어야 하며 諸 性狀을 고려하여 廢潤滑油를 채택하여야 하나 廢潤滑油의 분리수거나 同一한 종류에 대한 집중수거나 불가능한 관계로 再精製 조건이 엄격한 자동차용 엔진오일에 대해 세차장 등에서 임의수거된 것을 再精製 試驗Plant의 基準試料로 채택하고 있다.

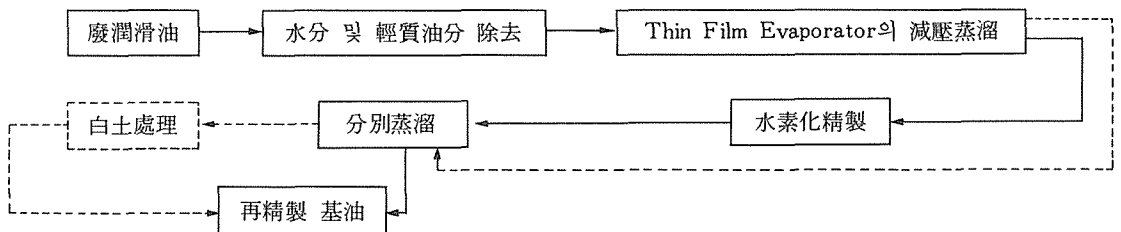
(2) 再精製 試驗플랜트의 單位工程

Thin Film Evaporator에서의 再精製 收率을 향상시키기 위해서는 먼저 前處理 工程인 廢潤滑油內의 수분 및 輕質油分 제거단계에서 10mmHg의 압력을 유지하면서 200℃까지 가열하여 1~10%에 해당되는 低沸點성분, 즉 수분, 기술린 및 그밖의 有機成分(Gas Oil 등)을 증발·응축시켜 廢潤滑油內의 水分함유량을 0.1% 이하로 감소시키고 있다. 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 燃料로 活用하는 방안을 강구해야 한다.

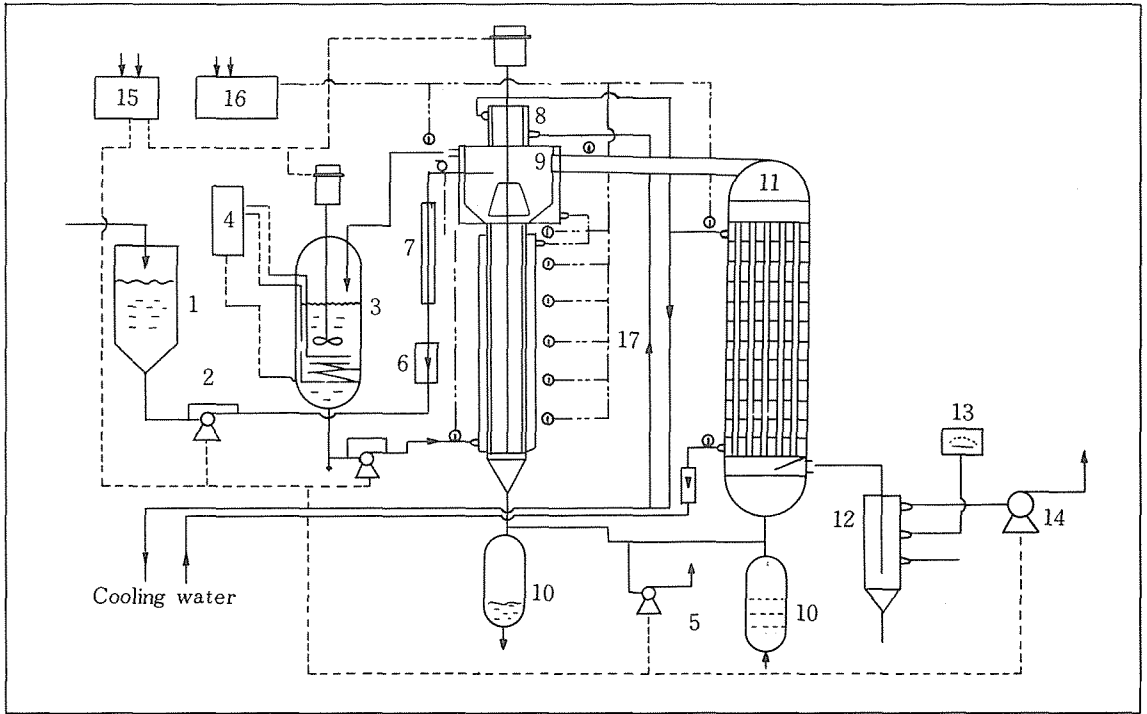
前處理된 廢潤滑油는 Thin Film Evaporator로 공급되어 潤滑基油 成分과 아스팔트分의 찌꺼기로 분리되는데 이때 蒸發器內의 Roter-Blade와 蒸發表面 사이에서의 Thin-Film 技術 응용으로 廢潤滑油의 체류시간을 최소화함과 동시에 열전달률을 향상시켜 減壓下의 潤滑油分 蒸發溫度를 가능한 낮게 유지함으로써 Coking과 Fouling 문제를 최소화하여 再精製 收率을 최대로 하는 동시에 再精製 基油의 品質향상을 도모하고 있다.

Thin Film Evaporator의 操業變數인 공급유량은 유량펌프의 回轉數에 의해 30~40ml/min로, Blade의 回轉數는 Mechanical Seal로 Rotor 축과

〈그림-1〉 선정된 廢潤滑油 再精製 工程



(그림-2) Thin Film Evaporator에 의한 再精製 試驗플랜트의 工程圖



- | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1. Feed tank | 7. Preheater | 13. Vacuum gauge |
| 2. Feeding pump | 8. Mechanical seal | 14. Vacuum pump |
| 3. Hot oil heating tank | 9. Thin film evaporator | 15. Control box |
| 4. P. I. D. controller | 10. Receiver | 16. Temperature recorder |
| 5. Hot oil circulation pump | 11. Condensor | 17. Thermocouple |
| 6. 적산식 flow meter | 12. Separator | |

접속된 변속기에 의해 1,000~2,000RPM으로, 蒸發器의 内部壓力은 진공펌프에 의해 1.0~1.5Torr로, 加熱面의 溫度는 熱媒体油(KSK330) 순환 탱크內의 전기히터와 순환속도에 의해 300~350℃로 조절된다.

Thin Film Evaporator에서 증발·응축된 再精製 基油는 쌍용 150N과 500N의 新潤滑基油를 기준으로 0.5Torr의 압력하에서 230℃ 이하와 230~270℃의 蒸發分 및 Bottom分으로 분류한 후 白土 處理를 통해 再精製基油로 製品化되도록 하였다.

이와 같은 再精製 試驗플랜트의 工程圖는 (그림-2)와 같다.

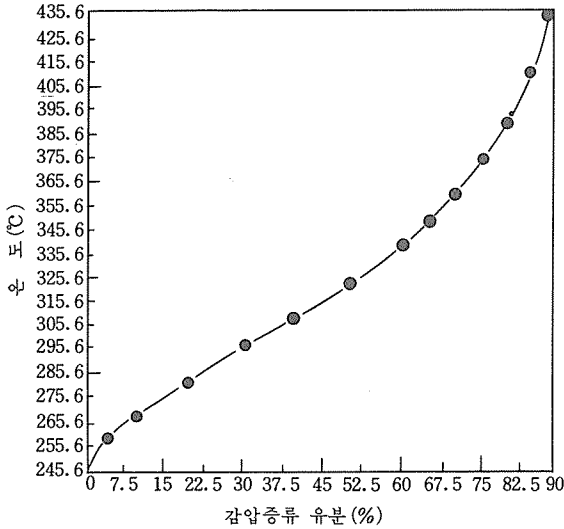
IV. 再精製 試驗플랜트의 運轉結果 및 고찰

1. 試料의 분석

시료용 廢潤滑油의 再精製에 따른 再精製收率과 再精製 基油의 品質 평가를 위한 기준으로 廢潤滑油內의 潤滑基油 回收率과 蒸溜溫度의 關係를 나타내는 ASTM D1160의 분석결과는 (그림-3)과 같으며,

이와 같은 廢潤滑油 ASTM D1160 蒸溜曲線上의 초기 및 증발沸點과 減壓蒸溜 收率間에는 다음과 같은 關係가 있다.

〈그림-3〉 ASTM D1160에 따른 廢潤滑油의 減壓蒸溜 분석(압력: 4 mmHg)



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

여기서 V : 온도 T까지 蒸溜된 全溜分の Vol. %
 $T^* : T^* = (T - T_i) / (T_f - T_i)$ 로 정의된 무차원 수
 T_i : 초기 沸點 (°C)
 T_f : 종말 沸點 (°C)

이때 減壓蒸溜 溜分을 20~50% 성분과 60~90% 성분으로 Blending한 결과는 〈表-1〉에서 보는 바와 같이 각각 쌍용 150N과 500N에 유사하며 따라서 최소 75~80% 이상으로 再精製되어야 分別蒸溜를 통해 쌍용 150N과 500N에 해당되는 再精製 基油의 생산이 가능함을 알 수 있다.

2. 再精製 試驗Plant의 運轉

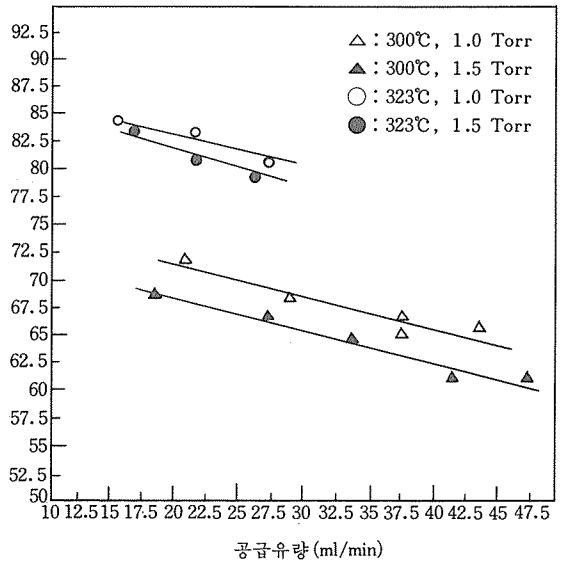
Thin Film Evaporator의 溫度, 壓力 및 供給流

量에 대한 再精製 收率은 〈그림-4〉에서 보는 바와 같이 1.0~1.5Torr의 壓力과 320°C의 온도하에서 供給流量을 약 30ml/min로 했을 때 약 80% 이상으로 향상되어 再精製 基油內의 高粘度 潤滑 基油의 함유율이 높아지며.

이에 따라 〈그림-5〉에서 보는 바와 같이 粘度는 대체로 증가하는 경향을 나타내고 있으나 〈그림-6〉의 粘度指數는 예상보다 약간 낮은 95~97 정도를 나타내고 있다. 따라서 粘度指數의 向上을 위한 연구가 수반되어야 高品質의 潤滑基油 生産이 가능하다.

再精製 基油를 潤滑油 제조時에 Blending된 2~3가지의 潤滑基油를 기준으로 0.5Torr의 壓力下에서 230°C 이하의 蒸發成分을 低沸點, 즉 低粘度 基油로, 230~270°C의 蒸發成分을 中沸點,

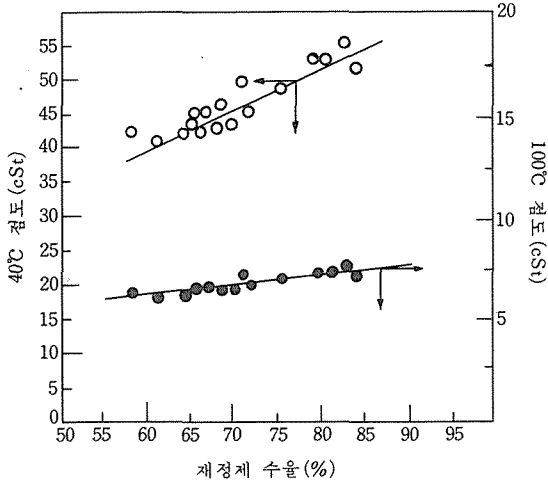
〈그림-4〉 Thin Film Evaporator의 조업변수에 따른 再精製 收率



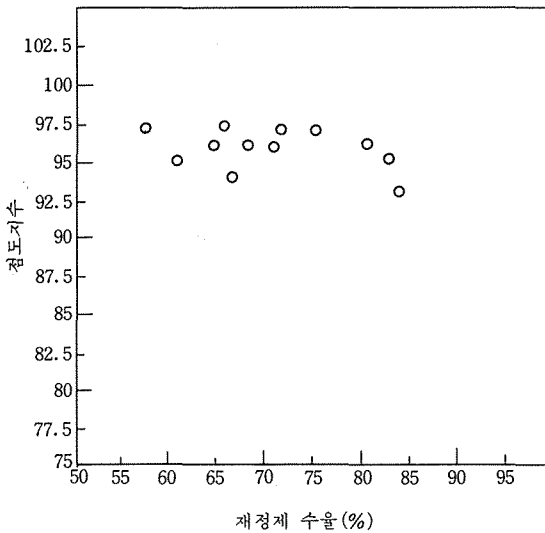
〈表-1〉 減壓蒸溜 混合溜分과 新潤滑基油의 性狀비교

분 석 항 목		운환기유의 종류			
		20~50%유분	60~90%유분	쌍용 150N	쌍용 500N
동점도 (cSt)	40°C	34.90	106.83	30.75	93.67
	100°C	5.77	11.73	5.41	10.99
점 도 지 수		105.5	97.4	111	102

〈그림-5〉 再精製 收率에 따른 基油의 粘度 (40°C, 100°C) 變化

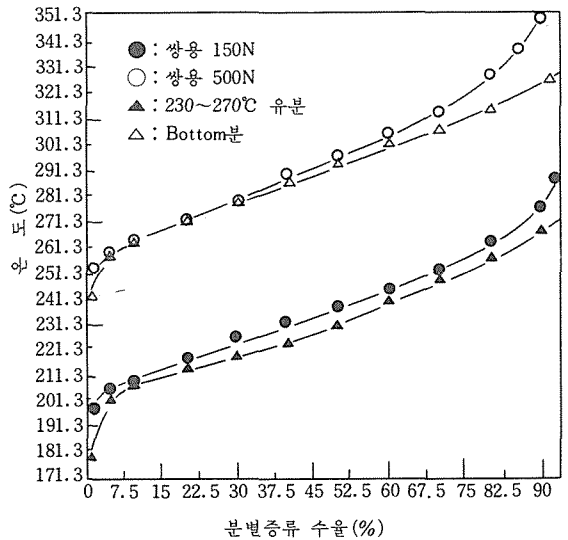


〈그림-6〉 再精製 收率에 따른 基油의 粘度指數 變化



즉 中粘度 基油로 分類하고 分別蒸溜의 Bottom 分, 즉 270°C 이상의 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 분석을 행한 결과는 〈그림-7〉에서 보는 바와 같으며 이는 〈表-1〉에서도 언급한 바와 같이 20~50%의 溜分, 즉 230~270°C의 溜分이 쌍용 150N과, 60~90%의 溜分, 즉 Bottom 分이 쌍용 500N에 해당됨을 알 수 있다.

〈그림-7〉 分別蒸溜 溜分과 쌍용基油의 ASTM D1160 분석 (압력: 4 mmHg)



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 소비량이 10% 이하이고 또한 이의 蒸發 회수에는 1.0Torr의 壓力下에서도 350°C 이상의 超高温이 필요한 관계로 그 回收가 불가능하다고 판단 된다.

이와 같이 回收된 再精製 基油和 新 潤滑基油의 諸 性狀에 대한 比較 分析에서는 粘度指數나 殘留炭素分을 제외하고는 再精製基油의 性狀이 新 潤滑基油에 버금갈 정도로 우수함이 입증되었다.

V. 再精製用 파일럿 플랜트의 設計

1차년도 的 基礎實驗을 통한 工程 選定과 2차 년도의 Thin Film Evaporator를 중심으로한 再精製 工程의 設置 및 運轉上의 資料를 土台로 200 kg/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

(1) 處理 流量 : 廢潤滑油 200Kg/hr

(2) 運轉조건

- 1) Dehydrator : 60°C, 20mmHg
- 2) Thin Film Evaporator : 350°C, 3 mmHg
- 3) Hydrofinishing Reactor : 380°C, 51Kg/cm²
- 4) Fractionator : 300°C, 20mmHg

(3) 原料 및 生成物

- 1) 原料 : 大田市内의 세차장 등에서 임의 수거된 자동차용 엔진오일의 廢潤滑油
- 2) 生成物 :
 - 殘溜油 (Bottom Residue Oil)
 - Gas Oil : 분류범위 ~ 398°C
 - 상용 150N : 분류범위 398 ~ 450°C
 - 상용 500N : 분류범위 450°C ~

2. 再精製用 파일러트 플랜트 設計內譯

本 파일러트 플랜트는 廢潤滑油를 Dehydrator로 공급하여 廢潤滑油内的 수분 및 輕質油分을 분리시키는 前處理 工程과 핵심공정으로 前處理가 끝난 廢潤滑油를 3개의 熱交換器를 통해 가열한 후 Thin Film Evaporator에서 증발시켜 塔低液으로는 찌꺼기 및 殘渣油를 회수하고 塔頂의 증기를 응축시켜 潤滑基油를 回收하는 減壓蒸溜 工程 및 主 工程에서 生成된 再精製 基油와 水素가스를 混合하여 水素化精製 反應器에서 반응시킨 후 순환되는 水素가스와 분리시킨 再精製 基油를 分別蒸溜

器로 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. 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 설정하였다.

Ⅵ. 맺는 말

2개년에 걸친 廢潤滑油 再精製에 관한 연구결과를 요약하면,

첫째, 廢潤滑油 처리실태에 대한 현황조사는 아직 미미한 수준에 그치고 있으나 環境汚染 방지와 資源節約의 측면에서 이에 대한 收集制度 수립이 시급한 현실임을 고려하여 정책적인 차원에서 廢潤滑油 처리를 강력하게 규제해야 하며

둘째, 1차년도 再精製 기초실험과 2차년도의 선정된 再精製 工程의 各 單位工程에 대한 最適化 실험으로 再精製 工程의 핵심부분인 Thin Film Evaporator와 分別蒸溜器의 最適 運轉조건의 규명이 가능해졌고, 또한 Luwa Co.의 尖端技術로 세계시장을 석권하고 있는 Thin Film Evaporator의 국내개발에 성공할 수 있었으며

셋째, 이와 같은 기술개발을 바탕으로 200kg/hr 규모의 再精製用 파일러트 플랜트의 基本 및 詳細 設計의 원료 등을 들 수 있다.

앞으로 眞空技術의 向上과 파일러트 플랜트의 運轉을 통하여 경제성 제고를 위한 공정개선이 이루어짐으로써 尖端 再精製 기술의 경제적 商業化가 실현될 것으로 전망된다. *

(한국동력자원연구소 · 에너지/여름호)

낭비없는 알뜰피서

가족끼리 오손도손