

총설(Review)

국내외 폐윤활유의 재활용기술 현황 및 재활용 촉진대책 조사분석

배재흠*, 권선대†

수원대학교 화학생명공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산 2-2

†수성열연
300-801 대전광역시 동구 가양2동 40-17

(2006년 9월 5일 접수; 2006년 9월 15일 채택)

Recycling Technologies of Waste Lubricating Oils and Their Promotion Policies in Korea and Foreign Countries

Jae-Heum Bae* and Sun-Dae Kwon†

Dept. of Chemical and Biochemical Engineering, University of Suwon
San 2-2, Wawoo-ri, Bondam-eup, Hwaseong-shi, Gyeonggi-do 445-743, Korea

†Suseong Yeolyeon
40-17 Gayang-dong, Dong-gu, Daejeon 300-711, Korea

(Received for review September 5, 2006; Revision accepted September 15, 2006)

요 약

폐윤활유는 세멘트 킬른과 화력발전소의 직접 연료로 사용하여 에너지원으로 재활용하거나 정제 과정을 거쳐 연료유 또는 재생 윤활기유로 재활용 되고 있다. 우리나라는 주로 이온처리 공정을 활용하여 폐윤활유를 저급 연료유로 재활용하고 있고 2003년도 예치금제에서 생산자 책임재활용제도를 도입하여 폐윤활유의 재활용을 촉진하고 있다. 그러나 지난 5년간 재활용율은 70% 이내로 정체되고 있고 아직까지 선진국에서 추구하고 있는 재생 윤활기유로의 재활용기술 개발연구도 전혀 없는 실정이다.

이에 비하여 일부 선진 국가에서는 근래에 폐윤활유의 열분해 생성유 중의 타르 및 악취의 발생을 대폭 감소시키고 색도를 향상시켜 고급연료유를 생산하는 안정화 기술과 폐윤활유로부터 고급 재생 윤활기유를 생산하는 새로운 공정을 개발하여 상용화하였다. 또한 호주, 이태리, 독일, 미국 등 몇몇 국가에서는 폐윤활유를 재생윤활기유로 재활용하였을 경우 훨씬 많은 보조금을 지급하거나 국가나 지방 정부에서 재생 윤활유를 우선적으로 구매하도록 하고 소비자도 하여금 재생 윤활유를 사용하도록 권장하는 정책을 채택하고 있다. 이렇게 선진국에서는 점차적으로 고갈되는 석유자원의 절약과 환경오염을 저감시키는 폐윤활유를 윤활기유로 재활용하는 정책을 채택하고 있어 우리나라에서도 지속가능한 개발을 위한 새로운 윤활유 재활용정책을 수립하여야할 시점에 있다고 판단된다.

주제어 : 폐윤활유, 재활용, 안정화, 열분해, 이온처리

Abstract—Waste lubricating oil(WLO)s have been recycled as energy source through direct fuel in cement kilns and fossil power plants, or as fuel oils, or re-refined lubricating base oils. In our country, they have been recycled as low grade fuel oil through chemical treatment process. In 2003, extended producer

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jhbae@suwon.ac.kr

responsibility (EPR) system was adopted from deposit system on sale of lubricating oils in order to promote their recycling rate. However, our recycling rate of WLOs have been stagnant(below 70%) for last 5 years. And there has been no research work on recycling of WLOs as re-refined base oil until now in this country.

Stabilization technology of thermally cracked oils to reduce tar and malodor and to improve their color for production of high grade fuel oil, and a novel process for production of high grade re-refined lubricating base oil from WLOs have been developed and commercialized recently in Canada and U.S.A., respectively. Several countries like Australia, Italy, Germany and U.S.A., etc. are encouraging recycling companies to recycle WLOs as re-refined lubricating oil by giving greater subsidies or benefits compared to other recycling methods. They also adopt a policy to purchase re-refined lubricating oil preferentially in the federal or local governments and to recommend consumers to purchase it willingly. Based on the facts that several advanced countries have adopted a policy to recycle WLOs as re-refined base oil for saving of petroleum resource and reduction of environmental pollution, it is right time to be considered that our present policy for recycling of WLOs should be reevaluated and the new policy of their environmental-friendly and sustainable recycling should be established.

Key words : waste lubricating oil, recycling, stabilization, thermal cracking, chemical treatment

1. 서 론

자동차, 농기계, 선박 등 내연기관의 운전이나 유압기계, 콤팩트레서, 산업기계 등의 구동과 기계가공과 같은 산업생산 활동에서 윤활유는 윤활작용과 냉각작용을 위하여 필수적으로 사용된다. 여기서 윤활작용이란 금속 마찰면 사이에 유막을 형성시켜 금속간의 직접적인 접촉에 의한 마모를 방지하는 것이고 냉각작용은 마찰과정에서 열의 발생을 최소화 하고 발생된 열을 마찰부위로부터 외부로 빠르게 제거함으로써 온도를 낮추어 부품의 열화를 방지하여 부품 손상을 줄이고 수명을 연장시키는 중요한 기능을 갖는다. 윤활유는 이밖에 밀봉, 방청, 응력분산, 슬러지 생성물의 침적방지 및 분산 작용 등과 같은 기능도 갖고 있다. 윤활유는 원유를 증류하여 만든 기유(base oil)가 주성분(70~90%)이고 여기에 윤활유의 사용목적에 맞게 Table 1에서 보는 바와 같이 마모 방지제, 세정제, 분산제, 마찰 향상제, 유동점 저

하제, 밀봉 팽창제, 점도 향상제, 소포제, 산화 방지제, 금속 비활성제 등의 첨가제가 들어있다. 이렇게 첨가제가 함유된 윤활유는 장시간 사용함에 따라 기유는 거의 변하지 않지만 첨가제들은 열화되고 분해되어 폐윤활유가 발생하게 된다[1].

우리나라에서는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 제 16조에 의거하여 1992년 1월부터 윤활유 제조사 및 수입업자에게 윤활유 출고량의 65%(2000년부터 70%)에 대하여 폐기물 회수처리 예치금 20 원/ℓ(1997년부터 25 원/ℓ)을 부과하고 폐윤활유처리업자에게 폐윤활유 회수·처리량에 따라 예치금을 청구할 수 있도록 하여 폐윤활유의 재활용을 촉진시켜 왔고 2003년부터는 생산자책임재활용(Extended Producer Responsibility; EPR) 제도를 실시하여 윤활유 생산자 및 수입업체로 하여금 국내 폐윤활유의 연료유 재활용기준에 맞추어 폐윤활유에 대한 일정량의 재활용 의무를 부여하고, 미달량에 대하여 처리 소요비용과 과태료를 부과하는 제도를 운영하여 폐윤활유가 불법으로

Table 1. Various additives used in lubricating oils

Additives	Compounds Used
Antiwear	Zinc dithiophosphates, acid phosphates, organic sulphur and chlorine compounds, sulphurised fats, sulfides and disulfides
Detergent	Metal-organic compounds of sodium, calcium and magnesium phenolates, phosphonates and sulphonates
Anticorrosion	Zinc dithiophosphates, metal phenolates, fatty acids and amines
Dispersant	Alkylsuccinimides, alkylsuccinic esters
Friction Modifier	Organic fatty acids, lard oil, phosphorus
Pour-Point Depressant	Alkylated naphthalene and phenolic polymers, polymethacrylates
Seal Swell Agent	Organic phosphates, aromatic hydrocarbons
Viscosity Modifier	Polymers of olefins, methacrylates, di-enes or alkylated styrenes
Antifoam	Silicone polymers, organic copolymers
Antioxidant	Zinc dithiophosphates, hindered phenols, aromatic amines, sulphurised phenols
Metal Deactivator	Organic complexes containing nitrogen and sulphur amines, sulphides and phosphites

투기되거나 환경기준에 맞게 처리되지 않고 직접 연료로 이용되는 일이 없도록 하고 재활용율을 높이도록 하는 정책을 추진 중에 있다[2-4].

본고에서는 폐기물 예치금제도에서 EPR 제도를 전환하여 4년째 시행함에 따른 국내 폐윤활유의 재활용율 변화를 조사하였고 국내의 폐윤활유 재활용 기술현황과 각국의 폐윤활유 재활용 촉진대책을 분석하여 국내 실정에 적합한 폐윤활유 기술개발 방향과 재활용 촉진대책을 제시하고자 하였다.

2. 국내 폐윤활유 재활용 현황

2.1 국내 폐윤활유 재활용율과 재활용 연료유 품질기준

Table 2은 최근 5년간 우리나라의 폐윤활유의 발생량과 재활용율을 나타내고 있다[4, 5]. Table 2에서 보는 바와 같이 폐윤활유 발생량은 2000년 이후 완만하게 증가하다가 최근 들어 정체되고 있음을 보여주고 있는데 미국, 캐나다, 유럽 등 선진국에서도 우리나라보다 5~6년 앞서 1990년대 중반이후 10여년간 폐윤활유의 발생량이 완만히 증가하거나 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이것은 선진국이나 우리나라의 자동차 보유대수도 정체되고 있고 비교적 사용수명이 긴 고급 윤활유의 사용 증가에 따른 것으로 추정된다. 그리고 국내 폐윤활유의 재활용율도 최근 4~5년간 60~70%로 정체되어 있음을 보여주고 있다. 이것은 국내에 2003년 15개 품목에 대하여 EPR 제도를 도입하여 3년간 시행한 결과 재활용 의무 대상품목들의 재활용율이 대부분 7~12% 증가하였다고 하나 폐윤활유는 발생량이 정체되고 국내 재활용 기술의 한계성으로 인하여 답보 상태에 있는 것으로 판단된다.

이렇게 국내에서 발생되어 수거된 폐윤활유는 폐윤활유 회수 및 처리 업체에서 이온정제, 감압증류, 열분해, 용매추출 등의 방법에 의해서 폐기물관리법 시행규칙 별표 4 제6호의 규정에 의거하여 Table 3과 같이 고시한 국내 폐윤활유 연료유 품질기

준에 맞추어 연료유로 재활용되고 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 우리나라의 주요 폐윤활유 정제공정인 이온정제공정이나 열분해/감압증류 공정에 의하여 처리된 연료유의 품질기준은 미국, 영국, 일본의 연료유 품질기준에 비하여 매우 엄격한 것을 알 수 있다. 그리고 미국의 연료유 품질기준은 잔류탄소, 수분 및 침전물, 회분, 황분에 대한 기준이 없고 중금속 기준은 존재하지만 우리나라 연료유 품질기준과 비교하여 엄격하지 않으며 다만 사용자의 안전을 고려하여 인화점에 대한 기준이 추가되어 있음을 알 수 있다. 이에 비하여 폐윤활유를 연료유로 재활용하거나 직접 소각하여 에너지 회수 이용하고 있는 영국에서는 잔류탄소 기준이 없으며 중금속도 Pb 이외의 금속에 대한 기준이 없다. 일본은 폐윤활유 연료유 품질기준으로 일반유와 고급유로 구분하는데 이들 제품 모두 중금속에 대한 기준이 없으며 고급품의 경우 황분과 회분에 대한 기준이 우리나라의 이온정제유 품질기준보다는 엄격하지만 열분해/감압증류 연료유 품질기준보다는 엄격하지 않다[5-7].

Table 3의 오른쪽에 칼럼에 우리나라와 미국 California 폐윤활유의 분석자료를 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 자동차에서 발생된 폐윤활유가 오염되지 않게 적절히 수거된다면 어떠한 처리과정도 없이 폐윤활유는 우리나라의 이온정제유 품질기준을 충분히 만족시킬 수 있어 저급연료유로 사용할 경우 폐윤활유의 이온정제 과정이 필요 없을 것으로 판단된다. 다만, 현장에서는 폐윤활유 뿐만 아니라 다른 오염물질이나 수분이 혼합될 가능성이 있어 폐유의 사용처를 규정하고 대기 배출기준을 엄격히 한다면 이러한 문제는 없을 것으로 판단된다.

그리고 최근 미국 California 주에서 발생하는 폐윤활유의 분석자료를 살펴보면 우리나라 폐윤활유의 회분과 황분의 함량은 비슷하지만 Pb의 성분이 비교적 높고 Cd, Cr 등 중금속도 소량 함유하며 첨가제일 것으로 판단되는 Zn 함량이 매우 높은 것으로 나타나 국가별로 폐윤활유 성분이 다를 가능성이 많은 것으로 판단된다.

2.2 국내 폐윤활유 회수 및 재활용 체계

자동차 정비공장이나 카센터 등에서 발생된 우리나라 폐윤활유의 회수 및 재활용체계는 Figure 1과 같다. 즉, 정비공장, 카센터 등에서 배출된 폐윤활유는 소규모 수입상을 통하여 수집되고 수집된 폐윤활유는 이온정제, 감압증류 등의 시설을 갖춘 재활용업체에 의하여 정제연료유로 처리되고 이를 병커 C유나 경유 대체유로 시판하고 이를 한국윤활유공업협회에 보고 하도록 하여 폐윤활유 처리량에 따른 보조금을 지급 받도록 되어 있다.

현재 우리나라의 폐윤활유 회수 처리 업체들은 처리 시설도 단순하고 운전이 비교적 용이한 이온처리 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 폐윤활유에 특정 화학물질을 투입하여 납과 같은 중금속들을 침전시킨 다음 여과, 원심분리, 증류 등의 분리공정을 이용하여 고형물질과 수분을 제거하고 병커 C유 대체유를 제조하는 공정이다. 그리고 (주)신호정유, 신대한정유산업(주) 등은 탈수, 이물질 제거, 진공박막증류 등을 활용하는 감압증류 방법을 사용하여 경유 및 보일러유의 대체 연료유를 생산하고 있다.

또한 (주)대우환경산업, (주)세일정유, 신대한정유산업(주),

Table 2. Domestic recycling percentage of waste lubricating oils (WLOs)

Year		2000	2001	2002
Generation* (A)	drum	1,052,483	1,006,322	1,130,953
	ton	210,497	201,265	226,131
Treatment (B)	drum	688,455	521,067	731,843
	ton	137,691	104,213	146,369
Recycling rate, %(B/A)		65.4	51.8	64.7
Year		2003	2004	2005
Generation* (A)	drum	1,173,035	1,135,068	1,176,785
	ton	234,607	227,014	235,537
Treatment (B)	drum	758,390	767,540	794,385
	ton	151,678	153,508	168,877
Recycling rate, %(B/A)		64.6	67.6	67.5

* The amount of generated WLOs is assumed about 70% of the lubricating oil sold.

Table 3. Quality standard of fuel oil derived from WLOs and their pollutants and properties in Korea and foreign countries

Classification	Domestic quality standard of fuel oil		Quality standard of fuel oil in foreign countries				Pollutants in WLOs and their properties	
	Chemical treatment	Thermal cracking/vacuum distillation	USA	UK	Japan		Korea*	California**
					high grade	low grade		
Residual carbon (wt%)	2.0	0.03	-	-	4.0	4.0	1.43	-
Water & precipitates (vol%)	0.5	0.02	-	3.0	1.0	0.3	0.04	-
Ash (wt%)	0.5	0.05	-	0.4~1.0	1.0	0.05	0.66	0.5
Sulfur (wt%)	0.55	0.2	-	0.5~0.9	1.0	0.5	0.26	0.32
Flash point(°C)	-	-	above 38	-	-	-	-	-
Nitrogen(wt%)	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-
Halogens(wt%)	-	-	0.4	-	0.2	0.1	-	-
Heavy metals	Cd (mg/L)	below 1	below 1	below 1	-	-	N/D***	1
	Pb (mg/L)	below 30	below 1	below 100	500~1000	-	-	N/D***
	Cr (mg/L)	below 5	below 1	below 10	-	-	-	1.0
	As (mg/L)	below 2	below 1	below 5	-	-	-	N/D***
	Zn (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-

* WLOs in Korea (oil type: SK-ZIC, tested car: SM 520, oil exchange condition: after driving 7000 km)

** Average value of 10 samples from California

*** Not detected

(주)대림 등은 폐윤활유의 열분해시설을 갖추고 경유 대체유를 생산 제조한 바 있지만 단순 열분해법을 사용하여 생산된 정제유는 악취가 발생하고 사용 중에 검게 색도가 변하면서 끈적끈적한 타르가 사용 중에 발생하여 버너의 연료유 분사노즐, 펌프 등과 같은 라인에 침전물을 발생시키는 문제를 일으킬 수 있어 현재는 (주)대림 이외에는 열분해시설이 가동하고 있지 않다. 이 밖에 덕은인터라인정유(주)는 미국의 Interline 사로부터 기술을 도입하여 propane 용매 추출에 의하여 중금속 등 오염물질을 제거하고 분리된 오일을 감압증류하여 보일러 등유의 대체 연료유를 생산 제조하고 있다. Table 4에 한국윤활유공업협회

(이하 윤협)에서 위탁처리 계약을 맺고 있는 한국석유재활용협회 소속의 폐윤활유 회수 및 처리 업체들을 나타내었다[5].

윤협에서는 이들 폐윤활유 처리업체의 회수·처리·판매실적 보고서 및 회수·처리관리대장 사본, 판매세금계산서, 정제유 사용처별 구입량 확인서 등이 첨부된 실적보고서를 근거로 폐윤활유의 재활용율을 판단하고 있다.

앞의 Table 2에서 보는 바와 같이 2005년도 우리나라 폐윤활유 재활용량은 794,385 드럼으로 이를 Table 4의 28개 정제업체가 처리한다면 한 업체당 월평균 2365 드럼을 처리하게 된다. 폐윤활유 재활용업체 관계자에 의하면 한 업체가 최소 월

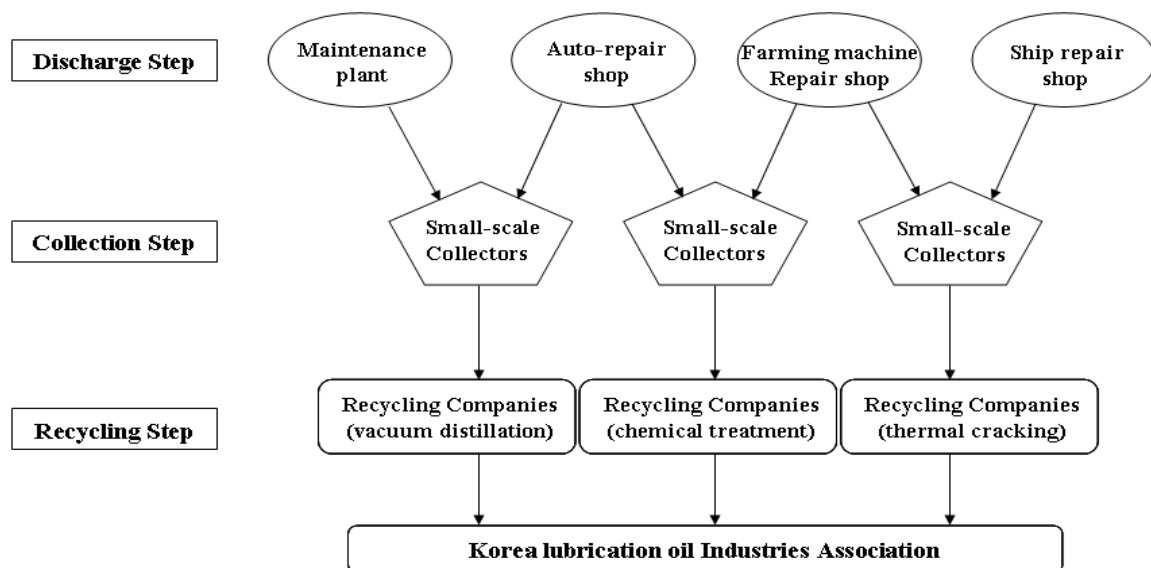


Figure 1. Collection and recycling system of WLOs in Korea.

Table 4. Domestic collection and treatment companies of WLOs affiliated to Korea Petroleum Recycling Association

Name of companies	President	Address	Telephone number	Treatment process
(주)그린에너지	이준우	경기도 안산시 성곡동 683-5(시화 6바 506호)	031) 494-0151	이온정제
길상에너지(주)	임채남	경기도 김포시 대곶면 송마리 209	031) 989-5100	이온정제
(주)남산	장남익	전북 정읍시 북면 태곡리 931-3	063) 536-5301	이온정제
(주)다우링에너지	김수부	경남 김해시 한림면 신천리 841-2	055) 346-3355	이온정제
(주)남양에너지	오연수	경기도 안산시 성곡동 685-1(시화공단 5바 602호)	031) 433-7011	이온정제
(주)대림	김영중	전북 군산시 소룡동 1647-2	063) 468-5455	이온정제, 열분해
(주)대우정유	전종상	광주광역시 광산구 하남동 505-8	062) 954-4150	이온정제
(주)대우환경산업	김기진	제주도 북제주군 조천읍 외산리 1488-8	064) 782-8936	이온정제
덕은인터라인 정유(주)	정기암	경기도 화성군 마도면 쌍송리 268-3	031) 357-5151	용매추출, 감압증류
(주)동남정유	김정수	경남 김해시 안동 426-1	055) 335-3521	이온정제
(주)동남정유제2공장	김정수	경남 김해시 어방동 1065-3	055) 332-5070	이온정제
미지산업(주)	진 국	인천시 남동구 고잔동 695-6(남동공단 130B7L)	032) 811-7361	이온정제
부국산업(주)	김기윤	경기도 고양시 덕양구 향동동 267-1	02) 3158-3158	이온정제
(주)범창	김근순	충북 진천군 이월면 사곡리 116	043) 534-5800	이온정제
삼성정유(주)	최천행	경기도 양주군 외천읍 덕계리 350-2	02) 996-7053	이온정제
(주)삼화정유	남기옥	인천광역시 서구 석남동 223-259	032) 578-8490	이온정제
(주)씨엔지	정환구	전남 순천시 서면 구삼리 152-4	061) 775-8601	이온 정제
(주)세일정유	최병윤	경북 칠곡군 약목면 교리 474	054) 975-3100	이온정제, 열분해
(주)신성에너텍	김태극	경북 영천시 금호읍 오계리 산 12-31	054) 332-3401	이온정제
(주)신호정유	강윤수	경기도 오산시 누읍동 332	031) 375-5173	감압증류
(주)신흥유업	이철호	울산광역시 남구 여천동 426-23	052) 276-5123	이온정제
신대한정유 산업(주)	안준복	경기도 화성군 정남면 고지리 28-1	031) 352-3831	이온정제, 감압증류
(주)오림에너지	장두철	경북 경산시 자인면 복사리 56	053) 857-0028	이온정제
천지에너지(주)	이종훈	경기도 시흥시 정왕동 1697-2	031) 498-3251	이온정제
(주)천지화학	김철수	충북 진천군 덕산면 옥동리 26-5	043) 537-8090	이온정제
(주)클린코리아	김용신	경기도 평택시 진위면 하북리 260-7	031) 668-0211	이온정제, 감압증류
한일정유(주)	장인옥	경기도 시흥시 정왕동 시화공단 1마317호	031) 497-2207	이온정제
(주)혁진	최병대	경남 양산시 산막동 332-4	055) 387-1153	이온정제

4500 드럼을 처리하여야 폐유회유 정제시설을 정상적으로 가동하여 재활용사업을 유지할 수가 있다고 하는데 우리나라는 현재 폐유회유정제시설이 거의 100% 과잉 투자되어 각 정제업체들이 폐유회유 확보가 어려워 산업체에서 발생하는 오염된 약성 폐유까지 혼합하여 처리할 유혹을 가질 수 있어 이온처리에 의하여 생산하는 연료유의 적절한 품질관리가 필요할 것으로 사료된다.

또한 우리나라에서는 폐유회유를 고급 연료유나 윤활기유로 재활용하는 경우에 대한 인센티브가 전혀 없어 대부분의 폐유회유 회수처리 업체들이 시설투자비가 비교적 적으며 운전비가 적게 드는 이온처리공정을 활용하여 저급 연료유로의 재활용에만 관심을 가지고 사업을 추진하고 있다. 이 때문에 국내업체들은 현재 사용 중인 이온정제기술 개선에 거의 신경을 쓰지 않고 있으며 고급 연료유 생산공정인 열분해 공정이나 감압증류 공정, 그리고 재생윤활기유 생산기술 등과 같은 고급 재활용 기술개발에 대부분 신경을 쓰지 않고 있으며 정부도 이에 대한 지원이 전혀 없어 기술 발달이 거의 정체된 상태라고 할 수 있다.

3. 국내외 폐유회유 재활용기술 현황

국내외적으로 폐유회유를 재활용하기 위해서는 정유공정이나 석유화학 공정에서 이용되고 있는 화학처리기술, 원심분리기술, 증류기술, 열분해기술, 용매추출기술, 수소처리기술 등이 채택되어 사용되고 있는데 폐유회유의 재활용 목적에 따라 이들 기술들을 사용하여 연료유나 윤활기유로 재활용하고 있다.

3.1 폐유회유의 연료유 재활용 기술

폐유회유를 연료유로 재활용하는 방법은 Table 5에 요약 기술한 바와 같이 여러 가지 방법이 있다[8]. 즉, 윤활유를 정제 처리 과정 전혀 없이 소각로, 시멘트 킬른 등의 직접 연료유로의 이용, 폐유회유 중의 수분과 침전물을 제거하여 시멘트 킬른, 도로 석(road stone) 공장, 화력발전소 등의 화석연료의 대체 연료유로의 이용, 폐유회유 중의 중금속 제거 목적으로 화학 처리하여 선박 디젤유나 산업용 가열 연료유로의 이용, 폐유회유를 열분해시켜 중금속이 제거된 경질유를 만들어 경유 대체연료유로의 이용, 폐유회유를 가스화시켜서 가스터빈 용 연료유로의 이용 등으로 폐유회유가 연료유로 재활용되고 있다.

Table 5. Various recycling processes of WLOs for fuel oil

Type of treatment	Changes that occur in the waste oils after treatment	Fuel use	Industrial sector using WLOs
No treatment. Used directly in a combustion process	No change	Directly used as fuel in kilns, furnaces, etc.	Waste incinerators Cement kilns Space heaters (farages, green houses, workshops, etc.) On-board ships(typically using marine oils) Quarry stone industries.
Mild re-processing	Removal of water and sediments	Product blend to fuel oil (replacement of fuel oil)	Cement kilns Road stone plants Large marine engines Pulverized power plants
Severe re-processing (chemical or thermal processes)	De-metallized heavy fuel oil (or heavy distillate)	Product blend to fuel oil (replacement of fuel oil)	Marine diesel oil Fuel for heating plants
Thermal cracking	De-metallized and cracked product	Distillate gasoil products	Gasoil (also called heating oil, diesel oil, furnace oil, etc.) De-metallized heavy fuel oil Marine gasoil Re-refined light base oil
Gasification	Converted to synthetic gas (H ₂ + CO)	Fuel gas	Methanol production Large combustion plants (e.g. gas turbines)

3.1.1 기존의 폐윤활유의 연료유 재활용 기술

- 화학처리 기술

이 기술은 황산, 인산암모늄 등의 화학물질을 폐윤활유에 첨가하여 폐윤활유 중에 함유되어 있는 중금속이나 여러 첨가제와 반응시켜 생성된 침전물질을 원심분리 방법이나 여과법, 단순 증류 방법에 의하여 제거하여 저급 벙커 C 대체 연료유를 생산하는 공정이다. 이 처리 기술은 단순하고 운전 조작성이 용이하여 국내 대부분의 업체가 채택하여 사용하고 있다. 그러나 처리 과정 중에 발생하는 폐산 슬러지, 폐수 처리 등의 문제점이 있어 선진국에서는 점차적으로 사용되고 있지 않는 공정이지만 국내에서는 가장 보편적으로 활용되고 있는 공정이다. Figure 2는 우리나라에서 주로 사용되고 있고 이온처리 기술로 알려진 전형적인 폐윤활유 이온처리 공정도를 보여주고 있다[9].

- 감압증류/박막증류 기술

증류 기술은 폐윤활유 중의 구성 성분들의 비등점 차이를 이용하여 경질유, 중질유, 아스팔트유, 고형물 등으로 분리하는 기술이다. 이에 비하여 감압증류는 폐윤활유의 열분해를 방지하기 위하여 진공상태에서 분리하는 기술로 저온에서 운전함으로써 고온 열분해기술과는 다르게 폐윤활유의 분해에 따른 타르 생성, 악취 발생 등의 문제점이 없고 생성 오일의 점도가 비교적 높은 편이지만 비교적 양질의 연료유를 생성할 수 있는 기술이다. 그리고 박막증류(thin-film evaporator)는 증류 시에 증류탑 내벽에 침적되는 슬러지를 방지하기 위하여 증류탑 내에 회전하는 blade를 설치하여 컬럼 내벽에 쌓이는 슬러지를 긁어 탈착하는 기술로 보통 진공상태에서 운전한다. 감압증류와 박막증류 기술도 국내에 일부 업체에서 설치 운전하고 있으며 Figure 3이 대표적인 공정도이다[10, 11].

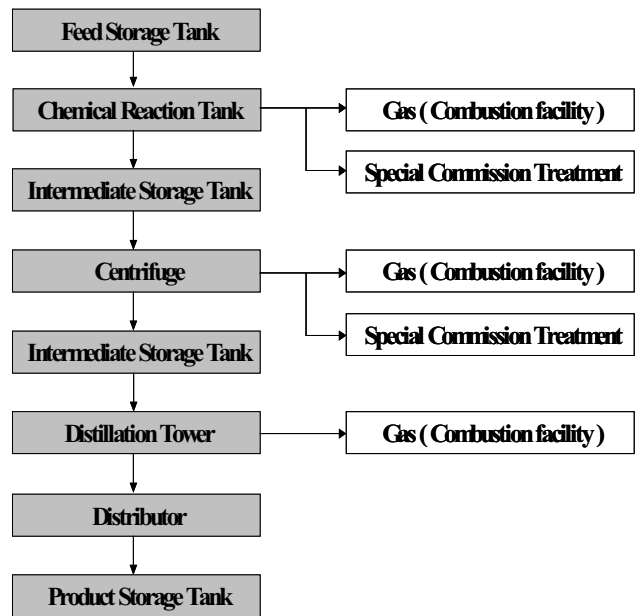


Figure 2. Typical process diagram of fuel oil production from WLOs by their chemical treatment in Korea.

그리고 미국의 Texaco Refining and Marketing Inc.(TRMI) 사는 상압증류와 감압증류를 기초로 한 Trailbalzer 공정을 개발하였고 이를 상용화하여 1999년도에 32,000,00 gallon의 폐유를 처리하여 선박용 디젤유나 정유공장 원료유를 재활용하여 TRMI 사는 이 공로로 2000년도에 Gulf Guardian 상을 수상할 수 있었다[12].

- 열분해 기술

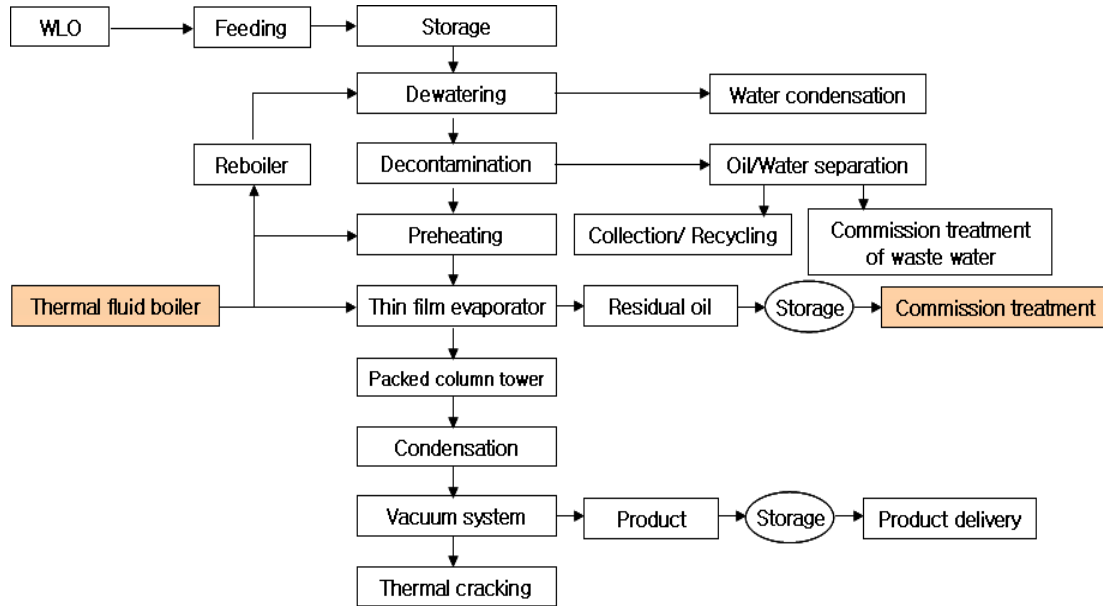


Figure 3. Typical process diagram of fuel oil production from WLOs by their vacuum distillation in Korea.

열분해기술은 거대탄화수소 분자(탄소수 : 30여개)들로 이루어진 점성을 가진 폐윤활유를 고온으로 가열 분해시켜 탄소수가 10~18개의 탄화수소로 이루어져 점성이 적은 가솔린, 디젤유 등의 경질유를 제조할 수 있는 기술이다. 폐윤활유는 납과 같은 중금속이 함유되어 있을 뿐만 아니라 점성이 높아 그대로 연료유로 사용하기에는 기존의 연소장치에 사용하기가 어렵다. 이 때문에 폐윤활유를 열분해 시켜서 고급 디젤유로 대체하고자 하는 연구가 진행되었고 특히, 90년대 중반 이후에 국내에서 많은 연구가 이루어졌고 그 결과 우리나라에서는 이러한 폐윤활유 열분해 시설들이 90년대 말과 2000년도 초에 많이 건설되어 운전되었었다[2, 3, 13]. 그러나 정제유 수요업체에서 열분해 정제유의 타르 발생, 악취문제 등으로 사용을 꺼리어 현재 국내의 거의 모든 폐윤활유 열분해 시설들은 가동을 중단한 상태이다. 국내에서 개발된 열분해기술은 폐윤활유가 분해되어 이중결합을 가진 불안정한 올레핀류가 일부 생성됨에 따라 타르가 발생되어 제품의 불안정, 악취 발생, 색도 같은 문제점이 있어 국내에서 설치된 거의 모든 공장이 현재 가동을 중지한 상태이다.

선진국에서는 캐나다의 Silver Springs Oil Recovery사가 개발한 SOCI, SCO2 공정이 있고 미국에서 개발된 GNP 공정이 있다. SOCI 공정은 탈수공정을 거쳐 heating coil에서 가열이 이루지고 soaking drum이나 heating kettle이 갖추어져 폐윤활유를 열분해시키는 공정으로 6000~15,000 ton/year의 소규모 공정에 적합한 공정으로 알려져 있다. 이에 비하여 SOC2 공정은 탈수 공정을 거쳐 rotary kiln에서 잔점가열에 의하여 폐윤활유를 열분해시키는 공정으로 대규모 공정에 적합하고 합성유나 잔류 탄소 성분이 많은 폐윤활유 처리에 적합한 공정으로 알려져 있다. 그리고 GNP 공정은 캐나다의 Par Excellence Development 사에 의하여 상용화된 공정으로 여

과, 탈수, 열분해, 증류, 정제 및 안정화 공정으로 이루어져 있고 2001년도 열분해공정으로는 유럽 최초로 벨기에에 40,000 ton/year 규모로 건설되었다고 한다[14].

- 용매추출 기술

용매추출 기술은 프로판, 알콜 등 저비점의 용매를 이용하여 폐윤활유 중에 윤활기유 같은 유기물만 추출하고 금속오염물이나 첨가제를 제거하는 기술이다. 이 기술은 본래 폐윤활유 중에서 윤활기유를 생산하기 위하여 개발된 기술이다. 국내에서는 (주)덕은인터라인정유사가 미국 interline 사에서 개발한 프로판 용매추출기술을 활용하여 고급 연료유를 생산하고 있다. 이 기술은 소규모로 일반 저온 증류공정에 비하여 회분과 다른 침전물 제거에 효과적인 것으로 알려지고 있고 미국, 유럽 등에서 활용되고 있는 기술이다[15].

3.1.2 최근의 연료유 재활용 개발 기술

- 막분리 기술

미국의 New Logic Research 사는 막 분리 시스템을 이용하여 폐윤활유를 고급 연료유(선박용 디젤유 등)를 생산하는 공정 (VSEP: Vibratory Shear Enhanced Process)을 개발하여 2001년 6월에 Oregon주 Portland에 200 drum/day 규모로 설치하였다. 이 공정의 특징은 막 분리 시스템에 진동을 주어 오염물에 의한 막 분리 오염을 방지할 수 있고 고온에도 내구성이 있어 막의 수명이 1년 이상 되는 고분자 재질의 분리막을 사용하고 있다. 따라서 120℃까지도 운전이 가능하여 윤활유 점도를 낮추어 막 투과량(flux)을 증가시킬 수 있고 막 분리시스템을 module 단위로 설치하여 대규모로 폐윤활유를 처리할 수 있다. 이 시스템을 운전한 결과 회분 함량(wt%)을 0.7%에서 0.03%로 황분(wt%)을 0.38%에서 0.25%, 수분(Vol%)을 1.0%에서

0.5%로 줄일 수 있었고 금속물질 농도도 대폭 줄일 수 있어 비교적 고급 연료유를 생산할 수 있고 선박용 디젤 대체유로 사용 가능하다[16].

- 열분해유 안정화 및 정제기술

열분해공정은 폐유허유의 열분해에 따라 생성되는 올레핀 계통의 탄화수소들이 중금속과 같은 미립자를 핵으로 하여 끈적끈적한 타르 성분이 생성되고 윤활유 첨가제에 함유된 황이나 질소, 염소 등의 성분들이 악취를 발생시키는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결한 기술이 캐나다에서 개발된 ROBYS 공정이다. 이 기술은 Natural Resources Canada의 CANMET Energy Technology Center(CETC)에서 개발되어 Par Excellence Development(PED)사에 특허가 양여된 기술로서 열분해공정에서 생성된 아주 불안정한 열분해유(부식성, 끈적끈적함, 악취, 검은색 등)를 원료로 하여 안정되고 깨끗한 고급의 디젤유를 만들 수 있다[16, 17].

이 기술이 응용되어 건설된 폐유허유 정제공장으로는 말레이시아 Kuantan 지역에 미국의 GNP(Great Northern Processing Inc.) 열분해 공정과 접목하여 30,000 ton/year 규모로 건설되었고 이의 공정도는 Figure 4와 같다[18]. Figure에서 보는 바와 같이 GNP 공정에서는 Flash Evaporator에서 폐유허유 중의 수분을 제거한 다음 Tubular Heater에서 폐유허유의 열분해 온도로 가열하여 Thermal Cracking Vessel에서 폐유허유를 분해시킨 후 증류탑으로 보내어져 증류탑의 top product인 경유성분은 ROBYS 공정으로 보내어지고 bottom product인 분해되지 않은 폐유허유 성분은 Tubular Heater로 반송하여 다시 분해될 수 있도록 설계되었다. 증류공정에서 분리된 경유 성분은 올레핀 계통이 많아 불안정 하지만 ROBYS 공정에서

처리된 후에는 악취가 적어지고 색도가 향상되며 특히 타르 성분이 전혀 생성되지 않는다고 한다. Table 6은 열분해하여 생성된 경유 성분들을 ROBYS 공정으로 처리하기 전과 후의 색도, 냄새, 타르, 황분, 질소, 염소 성분 변화를 비교한 도표이다. Table 6에서 보는 바와 같이 열분해유를 ROBYS 공정 처리하였을 때 열분해유의 물성과 조성(미량의 유해성분 함량)이 현저히 개선되었음을 보여주고 있다.

국내에서는 타르를 없애기 위한 연구가 이루어져 발생원인은 구명 되었지만 이를 제거할 수 있는 방법은 아직까지 개발이 이루어지고 있지 않다[20]. 현재 전 세계적으로는 캐나다의 ROBYS process 만이 유일하게 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 기술로 지금까지 알려져 있다.

- 오일확산을 이용한 감압 증류 정제기술

최근에 우리나라의 수성열연은 기존의 감압증류공정을 개선하는 오일확산 진공증류 장치 및 방법을 개발하여 (주)세일정유에 고급 연료유 생산공정을 건설 중에 있다[21]. 이 방법은 오일을 감압하에서 노즐로 분사시키면서 쉽게 오염물질과 유분을 분리시켜 고급의 연료유를 제조하는 공정이다.

폐유허유는 종류에 따라 차이는 있으나 평균적으로 증류 수율 95%이상을 얻기 위해서는 최종 증류 온도가 상압 하에서 약 700℃정도이다. 그러나 높은 온도는 오일을 탄화시키므로 낮은 온도와 감압 하에서 증류하는 감압증류가 폐유 정제의 한 방법이다. 고진공으로 갈수록 증류온도는 낮아지고 아울러 정제유의 품질은 좋아진다. 일반적으로 윤활유는 250℃부터 서서히 열적인 분해가 진행되기 시작하여 350℃를 넘어서면서 급격하게 분해가 이루어진다 현재 감압증류를 하는 제조업체에서의 증류기

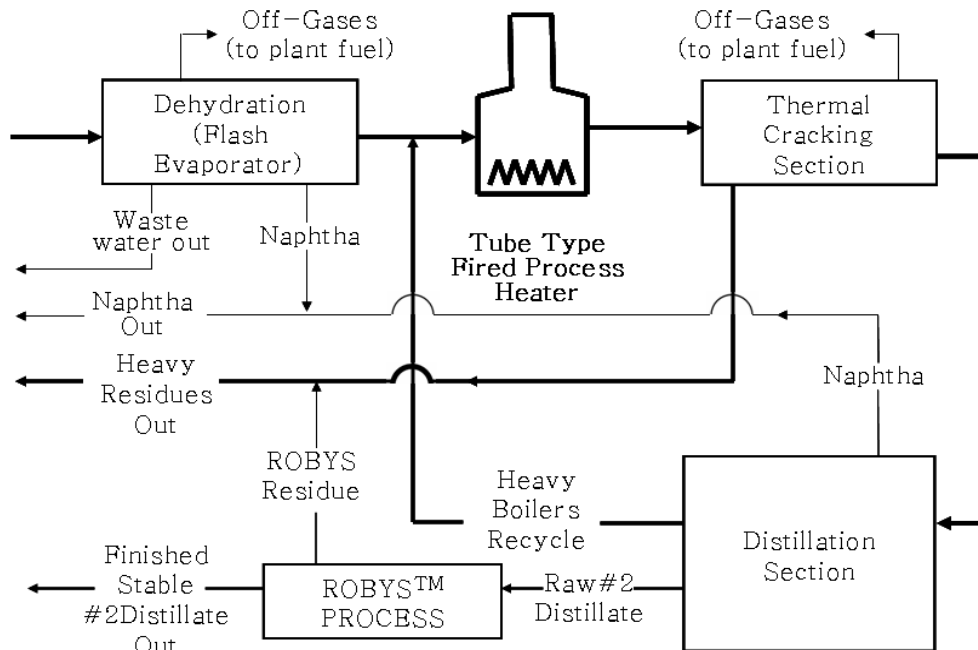


Figure 4. Fuel oil production diagram from WLOs by GNP and ROBYS processes.

Table 6. Physicochemical properties of thermal cracked oils before and after their treatment by ROBYS process

Product	Color ASTM D1600-04	Odor	Tar	Sulphur (wt %)	Nitrogen (ppm)	Chlorine (ppm)
Feed A	4	Foul smell	Yes	0.19	524	137
Processed A	3	Smell reduced	No	0.10	63	53
Feed B	Light	Foul smell	No	0.58	594	381
Processed B	Light	Smell reduced	No	0.25	53	104
Feed C	7	Foul smell	Yes	0.14	637	-
Processed C	4.5	Smell reduced	No	0.08	141	-

내의 작업진공도는 약 4 torr이고 증류온도 320°C에서 85% 정도의 수율을 얻으며 오일은 약간의 갈색을 띠는데 이러한 현상은 어느 정도 오일이 분해된 것을 의미한다. 증류 온도를 낮추기 위해서는 진공도를 더욱 낮추는 것이 절대적이지만 현재의 진공 기술로는 더 이상의 진공도를 낮추기 위한 비용이 정제유로부터 얻을 수 있는 수익을 상회하므로 경제성이 없다.

오일 확산 증류 정제 방법은 오일의 증류와 응축에서 일어나는 과정에서 자체적으로 고진공을 형성하도록 되어 있어 추가적인 진공장치 없이 증류기 내의 작업진공도를 0.001 torr 이하로 만들 수 있다. 결국 추가 비용 없이 오일의 증류 온도를 250°C 이하로 낮출 수 있게 개발되어 아주 저렴한 비용으로 윤활기유 또는 고급 연료유를 만드는 기술로 평가할 수 있다.

3.2 폐윤활유의 윤활기유 재활용 기술 현황

3.2.1 기존의 폐윤활유의 윤활기유 재활용 기술

폐윤활유를 윤활기유로 재활용하기 위해서는 재활용 제품의 색도와 냄새의 적절한 관리가 중요하다. 이를 위하여 채택되고 있는 핵심 기술은 산/점토처리 기술과 수소처리기술이라고 할 수 있다.

- 점토 처리 기술(clay treatment technologies)

이 기술은 황산에 의하여 폐윤활유 중에 함유되어 있는 오염물질을 제거한 다음 점토 처리하여 중화시키고 윤활기유에서 요구되는 색도와 냄새를 갖도록 처리하는 산/점토 처리 기술이나 상압증류/감압 증류를 이용하여 물, 경질유, 가스오일, 아스팔트를 분리하고 점토 처리하여 윤활기유를 얻는 증류/점토처리 기술이 이용되고 있다. 여기서 산/점토처리 기술은 처리 과정에서 유해하고 독성이 있는 산폐기물과 점토 폐기물을 발생시켜 이의 처리가 문제된다. 그리고 증류/점토처리 기술도 산/점토처리 기술보다는 환경 친화적이지만 유분 함유 점토폐기물을 발생시키는 문제점이 있다. 이 기술은 오래 전에 개발된 기술이고 수소처리 기술보다 윤활기유회수 효율이 떨어지는 단점이 있지만 투자비와 운전비가 적어 일부 국가에서는 아직도 윤활기유를 생산용으로 사용되고 있다. Figure 5에 이태리와 폴란드에서 증류/점토처리 기술을 이용하여 윤활기유를 생산하고 있는 이태리의 Viscolube의 점토처리를 활용한 공정도를 나타내었다[22].

그러나 최근에는 이태리 Viscolube 사와 수소처리에 관한 독

보적 기술을 가지고 있는 프랑스의 IFP사가 공동 개발한 REVIVOIL 공정은 점토처리 대신에 수소처리공정을 도입하고 오염물 제거에 용매추출공정을 활용하는 공정을 개발하여 신규로 건설되는 공장에 이 공정을 채택하여 품질 좋은 재생 윤활기유를 생산하고 있다[23].

- 수소처리 기술(hydrotreatment or hydrogenation)

수소처리기술은 폐윤활유를 전처리, 증류, 감압증류 공정을 거쳐 생성된 오일을 고압 하에 Ni/Mo 과 같은 촉매 존재 하에서 오일 중의 올레핀계통의 불순물과 황, 질소, 염소, 산소 화합물들을 포화탄화수소, H₂S, NH₃, HCl, H₂O 등의 형태로 전환 또는 제거하고 방향족화합물의 함량을 줄여 생성된 윤활기유의 색도와 냄새를 개선하는 공정이다. 따라서 수소처리 기술에 앞서 수소 처리시 사용되는 촉매의 피독을 방지하고 장치의 오염을 예방하기 위하여 폐윤활유를 정제하는 전처리공정이 반드시 필요하며 폐윤활유를 처리 시에는 대규모의 석유화학공장과 달리 소규모 용량을 경제적으로 처리할 수 있는 기술이 필요하다. 또한 수소처리 기술은 타르의 생성 원인이 되는 탄화수소의 불포화도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 악취의 원인 물질이 되는 S,

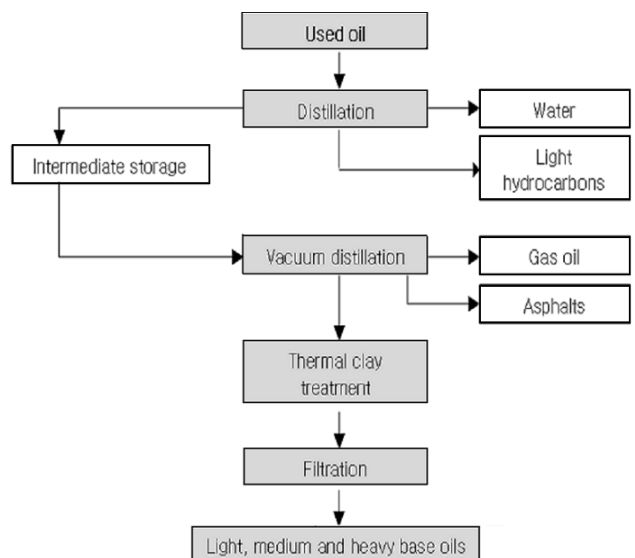


Figure 5. Viscolube process diagram.

N, Cl 등의 성분을 제거할 수 있어 타르 및 악취문제를 동시에 해결할 수 있다. 그리고 폐윤활유 정제를 위한 촉매의 공급은 일반 석유화학공장에서 사용하는 수소처리용 촉매를 활용하는 것이 가능하다[22].

캐나다 Vancouver 소재의 Newalta Corporation(이전 Mohawk Lubricants Ltd)은 세계 최초로 Vancouver 북쪽 Mohawk plant에서 distillation/hydrotreating 기술을 활용하여 폐윤활유 정제 공정을 가동하였고 현재 매년 3,300 kl 폐윤활유를 정제하여 2,000 kl의 고급 정제유를 생산하고 있다. 이 기술은 미국 California 주 Newark 소재의 Evergreen사, 미국 Indiana 주의 East Chicago와 캐나다 Ontario 주의 Breslau 에 위치해 있는 Safety-Kleen 사의 상용공장에 설치되어 현재 연간 500,000 kl의 폐 엔진 오일과 산업 폐유를 정제하여 고급 윤활기유를 생산하고 있다. 이러한 연유로 2005년도에 캐나다 Safety-Kleen 사는 Ontario 주가 제정한 지속가능한 백금 기술상(Platinum Sustainable Technology Award)을 수여 받았다. 이것은 폐윤활유를 윤활유 기유로 재정제함으로써 폐윤활유 소각을 예방하여 2004년도 캐나다에서만 연간 500,000 ton 온실가스를 절감할 수 있었고 대기 중에 1,200 ton의 미세입자, 1,700 ton의 SO₂, 3,300 kg의 Cr, 1,100 kg의 As, 218 kg의 Cd 등과 같은 유해물질 방출을 예방한 공로로

시상을 받은 것이다. Figure 6은 Safety-Kleen 사의 감압증류/수소처리 공정을 이용하여 윤활기유와 연료유를 생성시키는 공정을 나타내고 있다. 감압증류/수소처리공정을 활용하여 윤활기유를 생산하는 공정은 미국, 캐나다 뿐만 아니라 이탈리아, 독일, 그리스 등에서 활용되고 있다[24,25].

3.2.2 최근의 윤활유 기유 재활용 기술

미국의 UOP사는 최근에 폐윤활유를 고급 윤활기유로 재정제하는 기술인 UOP-Hylube 기술을 개발하여 이를 독일계 회사인 Puralube 사에게 전 세계(북아프리카, 중동아시아 제외) 독점사용 실시권을 양도하였고 Puralube 사는 독일 Zeitz에 최근 상용공장을 건설하였다. 이 공정의 특징은 Figure 6과 같이 Flash separator에서 폐윤활유의 오염물질을 제거하고 Conversion reactor에서 수소처리(hydrotreating)하고 이를 분별증류하여 윤활기유 (P-75, P-160, P-300)을 주로 얻고 Naphtha, Diesel 등을 부산물로 생산하는 공정이다. 이 공정에서 생산한 윤활기유 P-160은 포화탄화수소 함량이 97%이상, 황 함량이 0.01% 이하로 현재 전 세계 윤활기유의 대부분(200년도 92%)을 차지하는 미국석유협회(API) group I 등급(포화탄화수소 90% 이하, 황함유량 0.03% 이상)인 윤활기유보다 품

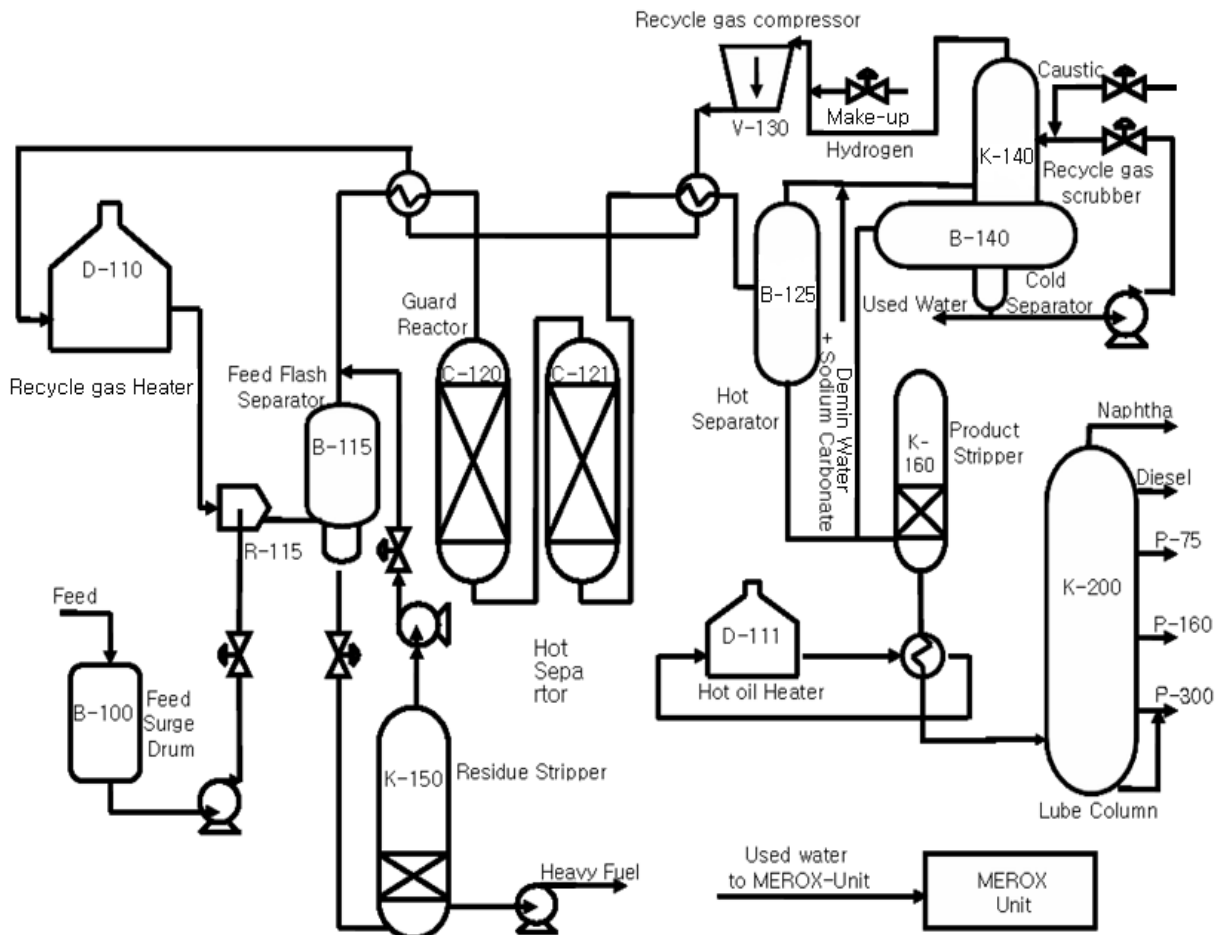


Figure 6. UOP Hylube process diagram.

질이 좋은 group II(포화탄화수소 90%이상, 황함량 0.03%이하) 이상의 고급 윤활유를 생산할 수 있는 공정이다[26].

미국의 Probex Corp. 도 기존의 원유 정제기술을 기반으로 하여 폐윤활유 정제기술을 개발하여 최고급 품질의 기유 (premium quality base oil, GF-3) 64%, 경질유 24%, 아스팔트 보완제(modifier) 12%를 생산할 수 있는 폐윤활유 경제시설을 미국 Ohio주 Wellsville에 연간 54,000,000 gallon 규모로 건설하려는 계획을 갖고 있다. 이 기술은 폐윤활유 처리 전 단계에서 오염방지 안정제(defouling stabilizer)를 첨가하여 폐윤활유 처리에서 흔히 발생하는 공정 설비의 오염 문제점을 완전 해결하고 폐기물 부산물과 오일 함유 폐수가 발생하지 않도록 하였다[27, 28].

4. 각국의 폐윤활유 재활용 촉진 대책

4.1 북미 국가

- 미국

미국은 연간 14억 gallon의 폐윤활유가 발생되고 있고 이 중에 7.5억 gallon은 제철소나 시멘트 공장과 같은 산업용 연료유로 활용되고 약 1.5억 gallon만이 정제되어 재생 윤활유나 윤활기유의 원료로 재활용되고 있다[29-31]. 1960년대 미국은 150개 폐윤활유 정제업체에서 3억 gallon의 재생윤활유를 생산하였지만 1965년 원유에서 만든 윤활유에 대한 소비세 폐지, 윤활유의 첨가제 사용 증가, 재생윤활유에 대한 환경마크 요구, 폐윤활유의 처리 및 관리에 대한 감독 강화에 따라 많은 폐윤활유 재활용업체가 문을 닫고 California 소재의 Evergreen사와 Chicalgo 소재의 Safety-Kleen사만이 재생윤활유나 재생 기유를 생산하고 있을 뿐이다. 그러나, 1994년 미국 정부에서는 대통령으로 연방정부의 자동차, 트럭, 전차 등 같은 모든 수송수단의 윤활유는 재생윤활유를 사용하도록 하는 지침(Executive order)을 내려 국방부, 총무처, 우편국 등 연방정부 관할 부서에서 구입 사용하도록 하고 있다. 미국 환경청에서도 폐윤활유 정제 윤활기유가 25%이상이면 재생윤활유로 인정하고 재생윤활유 사용을 권장하고 있다[32, 33]. 그리고 주정부와 지방 자치단체에서도 이의 지침서에 준하여 시행하고 있으며 특히, 이 중에서도 환경 관련법이 엄격한 California에서의 재생윤활유 사용 장려 정책이 돋보인다. 즉, California 주 정부에서는 매년 약 189,890 gallon의 재생윤활유를 구입 사용하고 있고 일반 소비자가 쉽게 재생윤활유를 구입하여 사용할 수 있도록 하는 "Re-refined Oil Outreach Program"을 추진하고 있다[34, 35]. 그리고 폐윤활유의 재활용방법에 대하여 GaBi₃ Software를 활용하여 전과정평가(Life Cycle Analysis: LCA)를 분석하여 재생윤활유로 하는 것이 가장 환경친화적이라는 것을 발표하였다[7]. 이러한 여러 가지 폐윤활유 재활용 노력결과 California 주에서는 2004년 윤활유 판매량 150백만 gallon의 58%인 87백만 gallon을 재활용할 수 있었다[36]. 또한 미국 자동차 제조사들도 미국석유회(American Petroleum Institute: API)가 인증(API Service Symbol "Donut"; Certification Mark "Starburst")하는 재생윤활유를 사용하는

경우에 보증(warranty)하여 일반 소비자도 안심하고 재생윤활유를 사용할 수 있도록 하는 제도가 갖추어져 있다[37].

- 캐나다

캐나다는 80년대 후반 윤활유의 판매나 수입시에 환경처리비용(Environmental Handling Charge: EHC)을 부담시키고 인허가를 받은 폐윤활유 수집업체, 운반업체 및 처리업체에 회수보상금(Return Incentive: RI)을 지급하는 프로그램을 캐나다 각 주의 폐윤활유 관리협회(Used Oil Management Association: UOMA)에서 운영하여 왔다. EHC와 RI는 각 지역에 따라 조금씩 다른데 Albert 주에서는 EHC를 윤활유 1 liter당 5 Canadian cents를 징수하고 RI는 폐윤활유 1 liter당 8~17 Canadian cents를 지불하고 있다. 이 program은 상당한 성과를 거두어 2004년도 Albert, British Columbia, Sakatchewan, Manitoba 등 4개주의 폐윤활유 수집처리율이 76%로 윤활유 판매량의 47%에 해당한다. 그리고 Ontario주의 2002년도 폐윤활유 회수율은 80%이상이었다[38, 39]. 이것은 영국을 제외한 서방의 모든 국가들에 비하여 폐윤활유 회수율이 높은 것으로 나타났다. 영국이 폐윤활유 회수율이 76%로 높은 것은 회수된 폐윤활유가 정제처리 과정 없이 단순히 시멘트 킬른이나 화력발전소, Road Stone Plant 등에서 저급의 화석 연료유 대체유로 직접 사용되고 있기 때문인 것으로 추론된다. 이에 비하여 캐나다에서는 회수된 폐윤활유 중 70%가 연료유, 그리고 30% 이상이 재생윤활유나 재생 윤활기유로 그리고 재활용되고 있다는 점이 다르다.

4.2 EU 국가

EU국가는 수집된 폐유를 Table 6에서와 같이 재생윤활유나 가스오일, 합성가스, 화석연료 대체 연료유, 직접소각 등의 에너지원으로 재활용하고 있다[14]. 이들 EU국가 중에 비교적 폐윤활유로부터 재생 윤활유나 재생 윤활기유 또는 연료유로서의 재활용율이 높은 이태리, 독일, 영국의 사례를 조사하여 보았다.

- 이태리

이태리는 윤활유 제조업체, 회수업체, 정제업체 및 정책입안자 대표 등으로 구성된 컨소시엄을 구성하여 폐윤활유의 회수처리에 대한 정책을 결정하고 집행할 수 있도록 하는 시스템을 두고 있다. 주요 정책으로는 윤활유 가격이 일정액의 세금(325 Euro/ton)을 징수하여 이중에 67 Euro/ton는 폐윤활유 정제업체 및 연료업체에 지급하도록 하고 있다. 이에 따라 2002년도에 폐윤활유 회수처리업체에 약 31백만 Euro를 지급하였다. 그리고 폐윤활유 재활용시에 윤활유 제품으로 재활용하는 경우 연료유로 재활용하는 경우 보다 2배 이상 차등 지원하도록 하였다. 또한 폐유회수업체로 하여금 90%는 윤활기유나 연료유 재활용업체에 10% 이하는 시멘트 킬른과 같은 직접 연소에 의한 에너지회수업체에 공급하도록 하여 윤활기유나 고급 연료유로 재활용하도록 유도하는 정책을 시행하고 있다. 이태리의 윤활유 제조업체(lubricant blenders)들은 폐유에서 정제된 재활용기유나 원유에서 얻어지는 윤활기유와의 차별을 두지 않고 구매하여 윤활유를 제조하며 재활용된 윤활기유의 판매에도 별 어려움이 없는 것으로 알려져 있다. 이것은 폐윤활유로부터 재활용 윤

Table 6. Classification of waste oil (WO) treatment processes adopted in EU

Types of WO	Types of Treatment	Products
Engine WO	Regeneration or refining	Lubricant base oil
All types of WO including synthetic oils	Thermal cracking	Distillate gas oil products, e.g., - gas oil(or heating oil, diesel oil, furnace oil); - de-metallized fuel oil; - marine gas oil; - re-refined light base oil.
Mixed wastes	Gasification	Synthetic gas: hydrogen, methanol
All types of WO, especially heavy polluted ones	Severe re-processing	De-metallized fuel oil (or heavy distillate): marine diesel oil, fuel oil for heating
	Mild re-processing then burning	Replacement fuel, used in road stone plants, cement kilns, large marine engines, pulverized power stations, etc.
	Direct burning in waste incinerators, cement kilns, greenhouse, and workshops, etc.	

활기유를 제조하는 업체와 윤활유 제조업체와의 상호 밀접한 관계에 기인하고 있다[40].

이태리 폐윤활유 재활용시스템의 문제점은 컨소시엄에 참여하지 않는 업체들에 대한 적절한 관리가 어렵고 일정 품질기준에 부적합한 폐윤활유는 무상 수거대상에 제외하도록 하기 때문에 이런 종류의 폐윤활유에 의하여 환경오염 문제가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. Table 7에 2002년도 이태리의 윤활유 판매 및 회수 처리 현황을 나타내었다. Table 7에서 보는 바와 같이 이태리는 윤활유 회수율이 33%로 낮지만 회수된 윤활유 중에 윤활기유로의 재활용율은 매우 높은 것을 알 수 있다 [41].

- 독일

독일은 1990년 전까지 폐윤활유를 정제 시설의 원료로 받아들이는 업체들에게는 약 80 Euro/tonne의 주정부 보조금을 지원하도록 하여 폐윤활유 재활용 정제시설 투자를 촉진하여 많은 폐윤활유 정제기반시설을 갖추게 되어 독일 지역은 물론 네덜란

드, 동유럽 등의 이웃 국가인 폐윤활유까지 수입하여 처리하고 있다. 독일 통일 후에는 동독 지역에 투자를 촉진하도록 하는 정책을 추진하고 있고 2001년부터는 독일 정부가 폐윤활유로부터 생산된 윤활기유 제품에 최대 25 Euro/tonne 지원하도록 하였는데 점차 지원액을 축소하도록 예정되어 있다[40].

독일은 이태리와 달리 폐윤활유 정제사업에 윤활기유 생산업체나 윤활유 제조업체의 참여가 없지만 좋은 품질의 재생 윤활기유를 생산할 수 있는 설비들을 갖추고 있으며[26] 현재 재생 윤활기유는 ICIS-LOR 가격에서 25% 할인된 금액으로 판매되고 있다. 그리고 2000년도 독일의 폐유회수율은 68%이고 이중 50% 이상을 재생윤활유로 활용하고 있어 폐윤활유를 이용한 재생윤활유 사업이 전세계에서 가장 활발한 국가라 할 수 있다 [41].

- 영국

영국은 현재 유럽 다른 국가와 달리 회수된 폐윤활유를 에너지원으로만 사용하고 있다. 2002~2003년도에 폐윤활유 회수

Table 7. Lubricating oil sales and WLOs collection status of Italy in 2002.

Classification	Status	Remarks
Amount of lubricating sales (a)	578,000 ton	
Amount of WLOs' collection (b)	190,000 ton	Limited to companies participating in consortium
Recycling percentage (a/b)	33%	Limited to recycling companies participating in consortium
Recycling percentage as lubricating base oil	54%	Limited to recycling companies participating in consortium
Recycling percentage as fuel oil	36%	Limited to recycling companies participating in consortium
Direct combustion	10%	Limited to recycling companies participating in consortium

시 27.40 파운드/ton(연료가격의 5%)를 지원하여 EU국가에서 가장 높은 재활용 판매량의 47% 이상 폐윤활유 회수율은 높일 수 있었다[39].

그러나 EU가 폐기물소각지침(WID/2000/87/EC)을 시행함에 따라 기존에 폐윤활유를 연료유로 사용하여 왔던 시멘트 길르, 화력발전소, road store plant 등에서는 WID(Waste Incineration Directive)에서 규정하고 있는 오염배출기준을 초과해서는 아니 되고 폐기물을 최소 850℃, 특정 오염 폐기물의 경우는 1100℃에서 2초 이상은 소각시켜야하며 소각온도가 이 온도에 도달할 때까지는 폐기물을 주입시켜서는 안 되는 것으로 규정하고 있다. 또한 폐오일 지침(WOD/75/439/EEC: 87/101/EEC, 91/692/EEC로 개정)에서는 폐오일은 안전하게 수집, 저장, 회수 처분을 촉진하고 폐오일 수집업자를 등록시키며 최우선적으로 재생 윤활유로 재활용할 것을 WOD(Waste Oil Directive) 규정에서 요구하고 있다[42, 43].

따라서, 영국은 그동안 폐윤활유를 연료유로서 대부분 사용하여 재활용율을 높게 유지시켰지만 EC에서 요구하는 WID와 WOD 규정에 의하여 폐윤활유 회수처리 체계를 근본적으로 개편해야하는 과제를 안고 있다.

4.3 호주

호주는 2000년 생산자 책임제도(Product Stewardship ACT 2000)을 도입하여 윤활유 생산업체와 수입업체에게 5.449 cent/L의 재활용 비용을 부과하고 이렇게 징수된 세금을 폐유 재활용업체에게 보조금을 지원하도록 하였다. 재활용 지원비는 재활용된 제품의 양과 종류에 따라 다른데 Table 8에서 보는 바와 같이 폐유를 윤활기유로 재활용하는 경우가 가장 많은 혜택을 받도록 하였다. Table 8에서 보는 바와 같이 폐유를 재활용하는 경우에 고품질 윤활기유 50 cent/L, 디젤유 10 cent/L, 고급산업용 연료유 5 cent/L, 저급산업용 연료유 3 cent/L와 같

Table 8. Subsidy rates under the Product Stewardship Oil (PSO) Program in Australia

Category	Amount (Cents per liter or kilogram) ^a
1. Re-refined base oil (for use as a lubricant or a hydraulic or transformer oil) that meets the criteria mentioned in Schedule 1 of the Product Stewardship (Oil)	50
2. Other re-refined base oils.	10
3. Diesel fuels to which the Excise Tariff Act 1921 applies.	7
4. Diesel extenders (filtered, de-watered and de-mineralised).	5
5. High grade industrial burning oils (filtered, de-watered and de-mineralised).	5
6. Low grade industrial burning oils (filtered and de-watered).	3

^a Amount paid per liter for oils and per kilogram for grease.

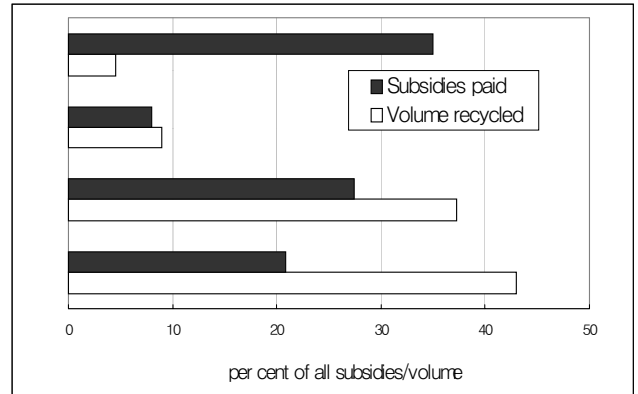


Figure 7. Subsidy payments and volumes recycled under the waste oil Product Stewardship Program in Australia.

이 지원하도록 하였다. 호주는 2004-2005년에 PSO Program 시행결과 220 백만 liter 이상 폐윤활유를 회수 재활용(회수 가능한 폐윤활유의 80%)할 수 있었다.

Figure 7은 2004~2005년도 PSO Program 시행에 따라 이루어진 보조금 지급액과 재활용 체적을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 재생 윤활기유로의 재활용율이 5% 미만이지만 보조금 비율은 30% 이상으로 매우 높음을 알 수 있다. 호주는 캐나다, 이태리, 독일과 비교하여 아직 폐윤활유의 윤활기유 재활용율이 낮는데 이것은 아직까지 품질 좋은 재생 윤활기유 제조시설이 캐나다, 이태리, 독일 등에 비하여 적기 때문인 것으로 판단된다. 이에 따라 PSO Program은 2001~2007년에 걸쳐 공공 회수시설과 수소 처리 등을 이용한 최고급 윤활기유 생산시설 등의 기반시설을 갖추는데 34.5백만 달러를 정부에서 지원하도록 명시하고 있다[44, 45].

5. 결 론

선진 각국에서는 폐윤활유를 고급연료유, 저급연료유, 윤활기유 등 다양한 용도로 재활용하고 있으며 특히, 호주, 캐나다, 독일 등에서는 윤활기유로 재활용을 촉진시키기 위하여 윤활기유로 재활용 시에 연료유로 재활용시보다 훨씬 가격적인 인센티브를 제공하고 있다. 그러나 우리나라는 현재 대부분 이온처리 공정으로 저급연료유 재활용하고 있으며 재활용율도 60~70%로 정체 상태에 있다. 따라서, 선진국과 같이 윤활기유와 고급연료유로의 재활용이 촉진되고, 관련기술 개발이 활성화되며, 재활용율을 높이기 위한 정책 개발이 필요한 것으로 판단된다. 또한 EU국가에서는 폐유 지침(WOD) 규정에 따라 폐윤활유를 최우선적으로 재생 윤활기유로 재활용할 것을 요구하고 있어 이러한 국제기준에 대한 대처가 필요할 것이다.

그리고 폐윤활유 재활용기술 개발을 촉진시키기 위하여서는 고급 연료유나 윤활기유로 재활용할 경우 선진국과 같이 보다 많은 인센티브를 주고 정부나 지방자치단체에서 구매를 의무화하는 제도도 도입하는 것도 고려하여야 할 것이다.

마지막으로 윤활유를 만들 때 윤활성능을 향상시키면서 재활

용이 용이하고 저렴하게 재생 윤활유로 재활용할 수 있게 제품을 설계하도록 하고 윤활유를 장기간 사용할 수 있도록 하여 윤활유 발생량을 감소시킬 수 있도록 하여야 할 것이다. 그리고 독일과 같은 일부 선진 국가에서는 윤활유를 광유가 아닌 천연 동식물로 대체를 주장하고 있어 이에 대한 대비책도 마련하여야 할 것이다.

참고문헌

1. UK Waste Oils Market 2001, Oakdene Hollins Ltd. for DETR(2001).
2. Bae, J. H., *Chemical Industry and Technology*, **12**(1), pp.30~36(1994). <배재흠, “폐윤활유의 재활용”, *화학공업과 기술*, **12**(1), 30~36 (1994)>
3. Bae, J. H. Min, B. H. and Kwon, S. D. *Chemical Industry and Technology*, **16**(1), pp.30~40(1998). <배재흠, 민병훈, 권선대, “폐윤활유의 재활용 현황과 최신 기술“, *화학공업과 기술*, **16**(1), 30~40 (1998)>
4. 2005 Environmental White Paper. Department of Environment (2005). <2005 환경백서, 환경부 (2005)>
5. Bulletin of Lubrication No.119 Korea. Lubrication Oil Industry Association (2006.5.6). <윤활유협회보 119호, 한국윤활유공업협회(2006.5.6)>
6. Kim, S. H., A Study for Improvement of Recycling System of Waste Lubricating Oil - Final Report (Oct. 29. 2004). <김성현, “폐윤활유 재활용 제도 개선 방안 마련을 위한 연구”(최종 보고), 고려대학교, (2004.10.29)>
7. Boughton, B. Influencing State Government Hazardous Management Policy and Product Procurement Using LCA, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency (2006)
8. Integrated Pollution Prevention and Control, European Commission Technologies for Sustainable Development European IPPC(Feb. 2003)
9. http://www.kleankorea.co.kr/tech_02.html.
10. http://www.kleankorea.co.kr/tech_01.html.
11. Kim, Y. S and Gil, H.S., Process for Refining Waste Oil Using Vacuum Distillation, Korea Patent Registration 10-0521407(2005. 10. 6). <김용신, 길홍섭, “감압증류법을 이용한 폐유의 정제 방법”, 대한민국 특허번호 10-200-21407 (April 10, 2003)>
12. http://www.epa.gov/gmpo/gulfguard/2000_2nd_y_prof.html.
13. Kwon, S. D. and Bae, J. H. Method and Apparatus for Preparing Full Oil by Thermal Cracking Process of Waste Oil. Korea Patent registered No. 10-1998-148476 (1998.5.26). <권선대, 배재흠, “폐유의 열분해에 의한 연료유의 제조 방법 및 장치”, 대한민국 특허 10-1998-148476 (1998.5.26) >
14. Waste Oil Refineries, Co-ordinated by H. Fiedler, UNEP Draft 04/05/05.

15. <http://www.interlineresources.com/introduction.html>.
16. Membrane Filtration of Waste Oil - A Cost-Effective and Environmentally Sound Processing Solution, New Logic Research, Inc.(web: www.vsep.com).
17. Fuel and Oil Purification & Stabilization, CCANMET Energy Technology Centre, Natural Resources Canada (Web: www.cetc-ctec.gc.ca).
18. ROBYSTM GASOIL STABILIZATION & PURIFICATION, Cat. No. 04012/09017, Par Excellence Developments, Inc. (Web: www.ped.vianet.ca).
19. Waste Oil Thermal Cracking Plant, Aldwich Enviro Management Sdn Bhd, Kula Lumpur, Malaysia (Feb.2004).
20. Kim, K. M., Kim, Y. S., Jeong, S. U. and Kim, S. H., “Characteristic of Deposited Carbon on the Pyrolysis Reactor Wall sith Continuous Feeding of Waste Lubricating Oil.” *Hwahak Konghak*, **41**(1), pp.122~128 (2003). <김관문, 김영식, 정성욱, 김성현, 폐윤활유 연속주입 시 열분해반응기에서 생성되는 탄소 집적체의 특성, *화학공학*, **41**(1), 122~128(2003)>
21. Kwon, S. D. and Bae, J. H. “Apparatus and Method of Vacuum Distillation utilizing Oil Diffusion.” Korea Patent Applied No, 10-2006 -0056940, 출원일자: 2006.6.23. <권선대, 배재흠, “오일확산 진공증류장치 및 방법”, 대한민국특허 출원번호10-2006-0056940(2006.6.23)>
22. Recycling Possibilities and Potential Uses of Used Oils, Regional Activity Center for Cleaner Production (RAC/CP) (published on Nov. 2000).
23. <http://www.viscolubricating.it/processo.asp>.
24. <http://www.safety-kleen.com/>.
25. http://bulktransporter.com/mag/transportation_safetykleen_customers_receive/index.html(Oct. 2005).
26. Hartman, C., Modern Re-Refining in Germany - First realization of Hylubricating Process, Used Oil Conference, “The Future of the Used Oil Market” (Feb. 3, 2005).
27. http://www.solidwaste.com/content/news/article.asp?docid=%7BEAC386B3-2CC2-11D5-A770-00D0B7694F32%7D&VN_ETCOOKIE=NO.
28. <http://www.theautochannel.com/news/2001/02/06/014095.html>.
29. <http://www.lawrencerecycles.org/pdf/facts-motoroil.pdf>.
30. http://www.solidwaste.com/content/news/article.asp?DocID%7B17DDF4D1-29B8-11D5-A770-00D0B7694F32%7D&VN_ETCOOKIE=NO.
31. <http://www.forbes.com/forbes/2001/0917/128.html>.
32. http://www.solidwaste.com/content/news/article.asp?docid=%7BEAC386B3-2CC2-11D5-A770-00D0B7694F32%7D&VN_ETCOOKIE=NO.
33. 2004 Comprehensive Procurement Guidelines: Buy-Recycled Series Vehicular Products, EPA-530-F-04-018(May 2004).
34. Re-Refined Lubricants, The California Integrated Waste

- Management Board(CIWMB) Publication No. 611-04-007 (April 2005).
35. Encouraging Re-Refined Oil's Use at the Quick lubricating: Re-Refined Oil Reach, Produced under contract by California State University, The California Integrated Waste Management Board(Oct. 2005).
 36. Used Oil Recycling Rate Annual Report: 2004, The California Integrated Waste Management Board, Publication No. 611-06-002(Jan. 2006).
 37. <http://www.recycleoil.org/>.
 38. OECD Working Group on Waste Prevention & Policy, ENV/EPC /WGWP(2005)9/FINAL(Feb, 2006).
 39. A Critical Review of the Used Oil Management Association (UOMA) Program Review, Corporate Policy Group(CPG) LLP(Oct. 2005).
 40. UK Policy Options in the Light of German and Italian Experience, Oakdene Hollins Ltd.(Sept. 2003).
 41. Choi, H. Z., "Promotion Programs for Recycling of Waste Lubricating Oil in OECD Countries", National Environmental Technology Information Center (www.konetic.or.kr). <최홍진, "OECD 국가들의 폐유허유 재 활용시장 활성화 방안", 환경기술정보센터>
 42. <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/hazforum/pdf/hwf-3-5iii.pdf#search=%22%20%22Draft%20waste%20oils%20%22%22>
 43. National Best Practice Project: Mineral Oil Wastes, Scottish Environment Protection Agency(Nov. 2005)
 44. Uses Oil Recycling - Independent Review of the Transitional Assistance Elements of the Product Stewardship for Oil Program, Australian Academy of Technological Sciences and Engineering(March 2004)
 45. Waste Management - Productivity Commission Draft Report, Australian Government Productivity Commission (2006)
 47. Examination of Recycling Technologies Level for ERP item, ENVICO(July 28, 2006) <"ERP 품목별 재활용 기술수준 조사", 한국환경자원공사(2006.6.28)>