

윤 활 연 구

# 윤활기유 기초이론

SK(주) 대덕기술원 조용래 선임연구원  
SK(주) 윤활유사업팀 윤춘배 대리

## 1. 서론

최근 수년간 윤활유 제품에 대한 요구규격 및 장비 제작자 (OEM)의 제품 요구규격이 엄격해짐에 따라 윤활유 원재료, 첨가제에 대한 중요성이 증대 되고있다.

과거에는 윤활유 첨가제를 활용하여 규격을 충족하였지만 최근에는 첨가제만으로는 규격 충족 하는데 어느 정도의 한계에 직면하게 되었다.

그 결과 윤활유 제품의 원재료인 윤활기유의 중요성이 대두 되고있다.

본 고에서는 윤활기유의 정의, 요구 품질인자, 제조방법, 분류등에 대하여 기술하였다.

## 2. 윤활기유의 정의

윤활기유란 원유를 상압증류할 때 남는 잔사유를 여러 정제공정을 거쳐 제조된 탄수소 10에서 50정도의 점성을 지니는 유분으로서 마찰을 감소시키는 윤활제로서의 기능을 지닌다.

윤활유 제품은 여기에다 성능을 더욱 더 강화하거나 보완하기 위해 각종 화학첨가제를 혼합하여 사용하게 됨으로써 이 유분을 윤활유를 구성하는 기초유분이란 의미에서 "윤활기유"(또는 생략하여 '기유'라고도 함)

라고 말한다.

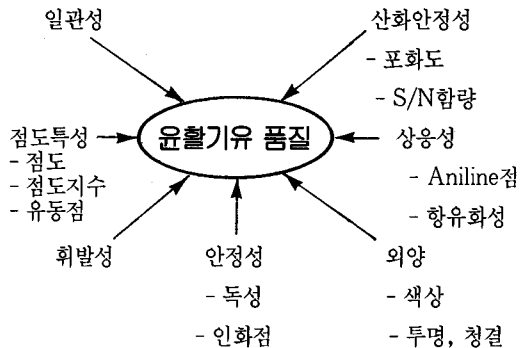
윤활기유는 모든 석유계 윤활유 제품의 주원료가 되는 물질로서 휘발유, 등유, 경유 등의 일반 석유제품과 마찬가지로 역시 원유로부터 얻어내므로 구체적으로는 "광유계 윤활기유"라고 말한다.

이와 구분하여 단위 화학물질을 출발물질로 하여 화학적 합성을 하여 얻은 윤활기유를 "화학합성유계 윤활기유"라고 한다.

## 3. 윤활기유의 요구성능

### 가. 윤활기유의 품질인자

윤활기유는 수많은 탄화수소 혼합물이며 품질은 많은 인자들에 의하여 지배를 받게 되는데 이들 대표적인 품질 인자들을 (그림 1)에 나타내었다.



〈그림 1〉 윤활기유 품질인자

나. 윤활기유의 주요 성능

윤활기유의 품질 특성은 주로 포화탄화수소 함량, 방향족 화합물 및 황, 질소, 산소를 포함하는 헤테로화합물 함량에 크게 의존하며 윤활기유의 품질은 기본적으로 다음의 세가지 주요 성능 영역, 1) 점도 및 저온특성, 2) 산화 안정성, 3) 휘발성으로 표현할 수 있으며 이들 주요 성능영역에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 점도 및 저온특성

윤활기유의 점도특성을 가장 대표적으로 나타내는 물성은 점도지수이며 이는 온도변화에 따른 오일의 점도변화에 대한 안정성과 대략적인 탄화수소 분포를 나타낸다.

일반적으로 점도지수가 높은 오일은 통상적으로 CCS(Cold Cranking Simulator)점도, Brookfield 점도 등으로 표현되는 저온점도특성이 우수하며 고온고전단 하에서 측정되는 HTHS(High Temperature High Shear) 점도 특성에서도 상대적으로 우수하다.

저온 유동성은 저온에서 오일 흐름에 대한 저항으로 오일중의 왁스(Wax) 및 파라핀계 탄화수소(Paraffins)의 양과 그것들의 분자량과 직접적인 관련이 있다. 이처럼 윤활기유의 점도 및 저온특성은 탄화수소 분포와 관련이 깊으며 이를 간단히 <표 1>에 나타내었다.

	점도지수	유동점
직쇄형 파라핀(Normal-Paraffins)	매우 높음	높음
결가지 파라핀(Iso-Paraffins)	높음	보통
나프텐(Naphthenes)	보통	낮음
알킬 벤젠(Alkyl Benzene)	알킬기의 길이에 의존	
다환 방향족(Multi-Ring Aromatics)	낮음	낮음

<표 1> 탄화수소의 화학적 유형에 따른 점도/저온특성

2) 산화안정성

오일의 산화는 오일을 구성하고 있는 탄화수소 혼합물 내의 불안정한 화학종이 산화할 수 있는 조건이 조성되면 진행되기 시작하여 일반적으로 자유 라디칼(Free Radical) 산화 메카니즘에 의해 가속화 된다.

자유 라디칼이 한번 생성되면 상대적으로 안정된 화학종에 전파되어 산화가 연속적으로 진행되므로 윤활기유의 산화안정성은 자

연적으로 라디칼 반응을 종결 시킬수 있는 페놀계(Hindered Phenols), 아민계(Amines), 황계 화합물 등의 산화방지제 농도와 라디칼 반응을 유발할 수 있는 불안정한 화학종, 예로서 다환 방향족, 올레핀, 헤테로 화합물 등의 함량과 관련이 있으며 이들 화합물의 산화특성을 다음의 <표 2>에 나타내었다.

	산화 특성
파라핀계	자체는 불안정하나 산화방지제 응답성 우수.
나프텐계	자체는 불안정하나 산화방지제 응답성 우수.
알킬 벤젠(단환방향족)	자체는 불안정하나 산화방지제 응답성 우수.
다환 방향족 화합물	슬러지 전구체(Sludge Precursors).
S계 헤테로 화합물	티오펜(Thiophenes)은 천연 산화방지제 역할.
N, O계 헤테로 화합물	일반적으로 산화촉진.

<표 2> 탄화수소의 화학적 유형에 따른 산화안정성

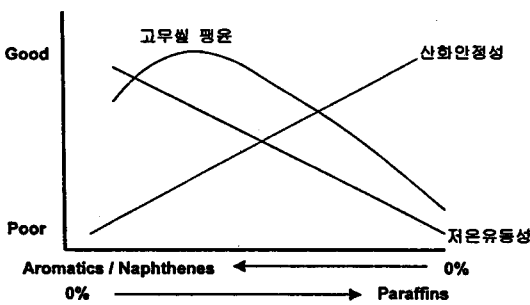
〈표 2〉에서 보듯이 파라핀, 나프텐, 알킬벤젠 화합물은 산화안정성이 우수하나 그 자체로는 특히 열에 대하여 불안정하다.

황화합물 중에서 벤조티오펜류, 설파이드계 화합물은 방향족 화합물과의 상승작용으로 천연 산화방지제 역할을 하는데 양자가 공존할 때 페놀계 화합물이 생성되어 산화방지 작용을 나타낸다고 추정 되어지고 있다.

일반적으로 산화방지제 투여시 황분이나 방향족분 같은 천연 산화방지제가 적을수록 효과가 우수하다. 천연 산화방지제가 존재하는 윤활기유에 산화방지제 투여시 산화방지 작용에 있어서 서로 경쟁을 하기 때문에 상대적으로 효과가 작다.

그래서 최근에는 윤활기유 제조시에 황화합물을 적극적으로 제거하는 추세이다.

따라서 윤활기유의 산화안정성은 포화탄화수소 함량과 헤테로 화합물 함량에 의존한다고 할 수 있는데 이들의 관계를 〈그림 2〉에 나타내었다.



〈그림 2〉탄화수소 분포와 산화안정성

### 3) 휘발성

오일소모는 사용중 오일의 손실을 말하는데 고온에서의 오일 자체의 휘발과 오일분자가 분해되어 작은 분자로 변화되어 휘발

되는데 주 원인이 있다.

특히 엔진오일에서의 오일소모는 윤활기유의 휘발성 및 점도와 관련이 깊다.

윤활기유의 휘발성 및 점도는 윤활기유의 분자량 분포나 증류성상과 관련이 깊으며, 일반적으로 증류점 분포 343-399℃, 즉 탄소수 범위 C<sub>20</sub>~C<sub>25</sub> 범위의 유분이 윤활기유의 휘발성을 대부분 결정한다.

윤활기유의 점도는 감압증류공정에서의 Distillation Cutting Point에 의해 결정되며 일반적으로 점도가 낮을수록 높은 휘발성을 지닌다.

엔진유의 경우 최근 저점도의 다급 점도 유화 되는 추세이므로 저점도 윤활기유에서의 휘발성능이 중요시 되고 있다.

윤활기유의 산화안정성은 오일 소모에도 영향을 주는데 오일이 급속히 열화나 산화가 되면 오일의 분자량 분포 즉 오일의 점도가 변하게 되는데 대부분의 윤활기유가 보다 작은 분자로 분해되어 결과적으로 휘발성이 증대되므로 오일소모가 많아지게 된다.

따라서 휘발성은 오일의 산화안정성과 관련이 깊은 탄화수소 분포와도 관계 있으며 일반적으로 탄화수소 유형이 파라핀, 나프텐, 방향족 순서로 휘발성이 증대되는 경향을 보인다.

상기와 같이 윤활기유의 세 가지의 주요 성능영역을 중심으로 요구성능을 살펴보았는데 윤활기유의 품질은 그것을 이루는 화학적 조성과의 직접적인 관련이 있음을 알 수 있으며 구성하고 있는 탄화수소 유형에 따라 윤활기유로서 유용하기도 하지만 유용하지 못한 경우가 있다.

예로서 왁스(Wax) 형태의 노말 파라핀의 경우는 점도지수 측면에서는 유리하지만 유동성 측면에서는 좋지 못한 화학종이다.

따라서 윤활기유 제조시 목표로 하는 윤

활기유 제품의 품질수준과 경제성 등을 고려하여 최적점에서 윤활기유 제조 정제도가 결정되어진다.

#### 4. 윤활기유 제조공정

##### 가. 윤활기유 제조 단위공정

앞장에서 윤활기유에 요구되는 품질인자와 주요성능 영역에 대하여 살펴 보았는데 원유중의 중질유분인 상압잔사유가 윤활기유로서 활용되기 위해서는 다음 <표 3>, <표 4>와 같이 유용한 화학종과 유용하지 않은 화학종으로 구분할 수 있다.

화학적 유형	이 유
긴사슬 파라핀 황화합물(티오펜 류)	점도지수가 높음 천연 산화방지제로 작용

<표 3> 윤활기유로서 유용한 화학종

화학적 유형	이 유
긴사슬 파라핀(왁스형) 방향족 화합물 불포화 화합물 N, O계 헤테로 화합물	유동점이 높음 슬러지 생성, 발암성 지님 슬러지/바니쉬 생성 산화 촉진

<표 4> 윤활기유로서 유용하지 못한 화학종

따라서, 상압잔사유로부터 윤활기유제품을 얻기 위해서는 상술한 여러가지 화학종들을 제거 또는 유지, 전환 시키기 위해 일반 석유제품과는 다른 장치 및 공정을 거쳐야 하는데 구체적으로 어떠한 공정을 거쳐야 하는지에 관해 각각의 단위 공정은 다음과 같다.

##### 1) 감압증류 공정(VACUUM DISTILLATION UNIT, VDU)

윤활기유는 탄소수가 보통 10~50정도 되는 상당히 복잡한 탄화수소들의 혼합체이며, 보통 상압에서 300℃ 이상의 비점을 가진다.

그렇기 때문에 일반 석유 제품을 분리해

내는 상압증류탑 공정의 온도를 과도하게 높이면 유분의 화학구조가 변화되어 원하는 윤활기유 유분을 얻을 수 없다.

따라서 윤활기유의 기본이 되는 유분을 분리하기 위해 원유의 중질유분을 감압상태에서 증류시키는 감압증류탑을 통해 윤활기유 유분을 얻을 수 있다.

감압증류탑에서는 윤활기유 제조의 원료인 상압잔사유를 여러가지 점도등급의 유분으로 분류하게 되며 여기서 휘발성능이 결정되어진다.

동일 점도라 할지라도 비점범위 (초류점~종류점)를 좁게 생산을 하면 휘발성이 낮은 유분을 얻게 된다.

##### 2) 용제 탈아스팔트 공정(SOLVENT DEASPHALTING UNIT)

감압증류탑을 통해 분리된 여러 점도등급의 유분중에 탑저의 무거운 유분은 점도가 매우 높은 기유인 브라이트 스탁(Bright Stock) 제조에 활용되는데 이 유분 내에는 다량의 수지형 물질 및 아스팔트분이 포함되어 있다.

이러한 물질들은 윤활기유의 산화안정성을 악화시키고 퇴적물을 형성시키는 것들이므로 보통 프로판을 솔벤트로 이용하여 제거해 낸다.

##### 3) 탈방향족 공정(DEAROMATIC UNIT)

감압증류탑에서 분류된 윤활기유 유분은 점도지수와 산화안정성을 저해하는 다량의 방향족 유분을 포함하고 있어 이것을 제거하는 탈방향족 공정을 거치게 되는데 이 공정이 윤활기유 제조에 있어서 중점인 정제공정이 된다. 정제 방법에 따라 크게 세가지로 나눌 수 있는데 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

##### a) 용제추출 공정(SOLVENT EXTRACTION UNIT)

방향족 화합물을 제거하기 위해 퍼푸랄 (Furfural)이나 NMP(Nitro Methyl a-Pyrrolidone)등의 아로마틱계의 용제를 이용하여 추출해 낸다.

여기서 추출물인 방향족 화합물이 부산물로 생산되며 이것은 고무, 타이어 제조 등에 이용된다.

b) 수소첨가 개질 공정(HYDRO-TREATING UNIT)

금속계 촉매가 충전된 반응탑에서 수소첨가반응을 통하여 방향족화합물을 포화 탄화수소인 나프텐 화합물, 파라핀 화합물로도 전환 시키는 방법이다.

여기서는 일부 화합물들은 분해되어 보다 작은 경질유분으로 전환되어 반응탑상부로 회수되는데 이것은 저점도 윤활기유나 용제 제품 제조용 유분으로 이용된다.

c) 수소첨가 분해 공정(HYDRO-CRACKING UNIT)

수소첨가 개질 공정과 수소를 첨가하는 면에서는 유사하나 운전조건이 고온, 고압으로 보다 가혹운전을 하여 전환반응보다는 분해반응이 주도적으로 이루어져 수소첨가 개질법 보다 방향족 화합물이 나프텐 화합물로, 나프텐 화합물이 파라핀 화합물로 전환되는 비율이 더욱 높아진다.

수소첨가 분해 공정의 경우 용제 추출법이나 수소첨가 개질법 대비 방향족 함량이 적고 파라핀 함량이 많아 점도지수가 높고 산화안정성이 우수한 윤활기유를 얻을 수 있다.

4) 탈납 공정(DEWAXING UNIT)

탈방향족공정을 거친 유분 중 제거 되어야 할 물질은 저온에서 오일의 유동성을 저하시키며 쉽게 응고하기 쉬운 고단위 파라핀계 탄화수소인 왁스(Wax)분이다.

이 왁스분을 제거하는 탈납 공정을 거친 후에 윤활기유의 저온성능은 개선 되지만 점도지수는 저하된다.

탈납공정에는 용제탈납과 촉매탈납 방법이 있다.

a) 용제탈납 공정(SOLVENT DEWAXING UNIT)

용제로는 주로 MEK(Methyl Ethyl Ketone)와 Toluene등이 주로 사용되며 원하는 유동점까지 냉각하여 용제에 용해된 왁스분을 필터(Filter)를 거쳐 제거하고 용제를 회수함으로써 유동성을 지니는 오일을 얻게 된다.

이 공정에서는 왁스가 부산물로 얻어지는데 최초 얻어지는 왁스는 오일을 포함하여 조왁스(Slack Wax)라고 한다. 조왁스는 정제를 통하여 왁스 제품으로 여러 산업에 이용된다.

b) 촉매탈납 공정(CATALYTIC DEWAXING UNIT)

금속계 촉매가 충전된 반응탑에서 수소첨가반응을 통하여 왁스를 분해하여 보다 적은 파라핀계 탄화수소로 전환하는 분해법(Cracking)과 상대적으로 유동성이 우수한 이소-파라핀계 탄화수소로 전환하는 이성화법(Isomerization)이 있다.

촉매탈납 공정은 용제탈납 공정 대비 윤활기유 제품의 생산 수율이 높는데 이중에서도 이성화법은 분해법 대비 수율이 높은 장점이 있지만 이들 촉매탈납 공정에서는 왁스를 부산물로 얻을 수 없게 된다.

5) 수소처리 마무리 공정(HYDRO-FINISHING UNIT)

이 공정에서는 촉매존재하에 수소를 첨가하여 유분내의 헥테로 화합물, 극성 및 불포화 화합물 등의 분자구조를 변화 시키거나

기타 불필요한 물질들을 제거함으로써 유분의 산도(Acidity)를 낮추고 열, 산화안정성을 높이며 색상 안정성을 증대 시킨다.

이 공정은 과거에 사용하던 산처리 및 백토처리 마무리공정 대비 수율이 좋기 때문에 최근에는 주로 적용하는 방법이다.

**나. 윤활기유 제조공정**

위에서 설명한 윤활유의 단위공정은 윤활기유 유분인 상압잔사유를 고품질 윤활기유로서 필요치 않은 물질들을 제거해 나가는 공정이라고 말할 수 있다.

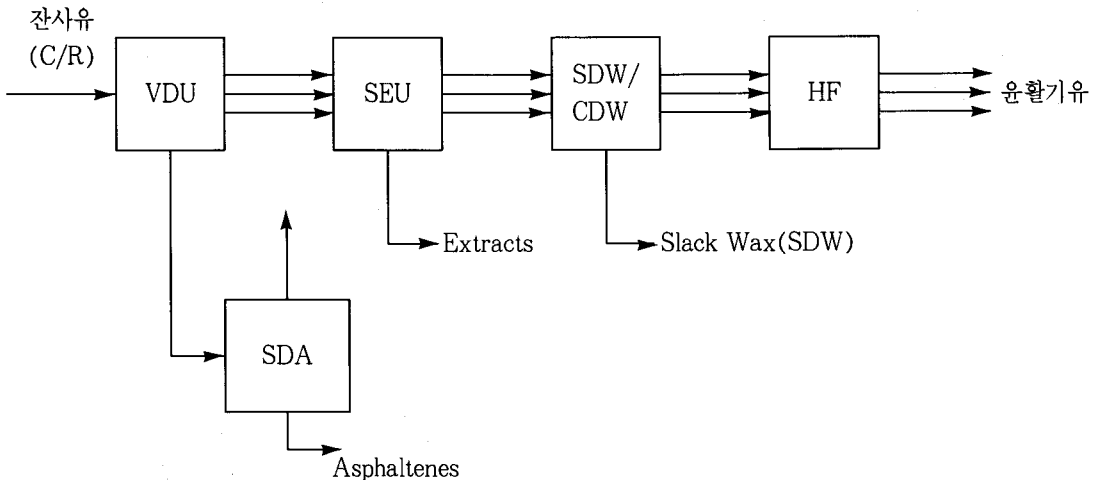
따라서 고도로 정제된 윤활기유란 위의 주요 공정들을 철저히 거쳐 나옴으로써 얻

게 되는 고점도지수의 윤활기유를 말하며, 저급 윤활기유인 경우는 위의 공정중 주요 부분이 생략되거나 대략적으로만 거쳐 나옴으로써 얻어지는 저점도지수의 윤활기유를 말한다. 윤활기유 제조 방법은 상술한 단위공정을 어떻게 조합하는가에 따라 여러 형태로 바뀔 수 있다.

일반적으로 가장 널리 적용되는 윤활기유 제조공정은 다음과 같다.

**1) 용제추출 공정(SOLVENT REFINING ROUTE)**

용제추출법에 의한 윤활기유 제조의 공정 흐름도는 <그림 3>과 같다.



<그림 3>윤활기유 제조공정-용제추출법

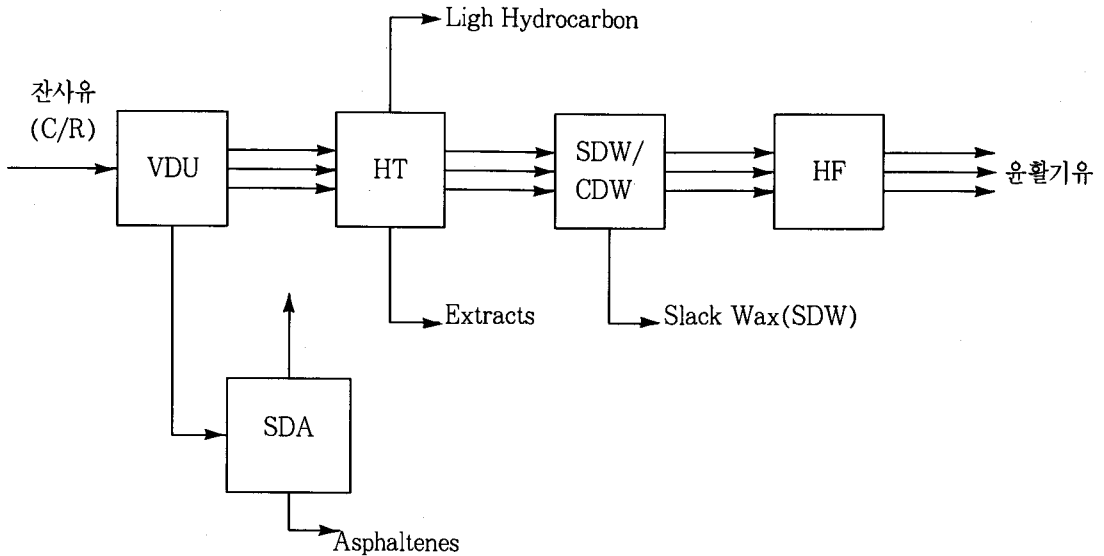
탈방향족 공정이 용제추출 공정으로 채택되어 있으며 탈납공정은 용제탈납 또는 촉매탈납 중의 선택으로 구성되어 있다. 전세계 대부분의 윤활기유가 이러한 방법으로 제조되어 있는데 주로 용제탈납을 채택하고 있다.

세계 최대 윤활기유 제조사인 미국의

Exxon, 중국 Sinopec산하 윤활기유 제조설비 대부분의 윤활기유 공정이 이에 해당된다.

**2) 수첨개질 공정(HYDRO-TREATING ROUTE)**

수소첨가개질법에 의한 윤활기유 제조의 공정흐름도는 <그림 4>와 같다.



(그림 4) 윤활기유 제조공정-수첨첨가개질법

탈방향족 공정으로서 수소첨가 개질법이 채택된 것을 제외하고는 용제추출법에 의한 공정흐름도와 거의 같다.

북미의 Chevron, Petro-Canada, 일본의 Idemitsu등도 상기와 같은 공정을 채택하고 있는데 Chevron, Petro-Canada의 경우에는 탈납공정에 촉매탈납을 택하여 모두 수소첨가 반응법에 의한 윤활기유를 제조하고 있다.

### 5. 윤활기유 분류

윤활기유를 분류하는데 있어서는 여러가지 방법이 있지만 여기서는 점도등급에 따른 분류, 관용적 방법에 따른 분류, API의 분류에 대하여 알아보면 다음과 같다.

#### 가. 점도등급에 따른 윤활기유 분류

##### 1) NEUTRAL과 BRIGHTSTOCK

윤활기유는 일반적으로 뉴트랄(Neutral)과 브라이트 스택(Bright Stock)으로 구분을 하는데 뉴트랄 윤활기유는 감압증류시 탑으로부터 증류 되어 나오는 것을 말하고

브라이트 스택 윤활기유는 감압증류시 탑의 밑부분으로부터 나오는 점도가 매우 높은 유분을 말한다.

뉴트랄은 산도가 높은 윤활기유 원료 유분(상압 잔사유)이 정제 후 중성물질로 변화하였다는 의미에서, 브라이트 스택은 매우 탁하고 검은 것이 밝은 유분으로 변화하였다는 의미에서 관용적으로 사용된 용어이다.

##### 2) 점도에 의한 윤활기유 분류

뉴트랄 윤활기유는 100°F에서의 SUS (Saybolt Universal Seconds)점도 값에다 N을 붙여 표기하는데 윤활기유의 점도등급이 150N이라고 하면 이 윤활기유는 증류하여 얻어진 것이고 100°F에서 점도가 150SUS임을 나타낸다.

브라이트 스택 윤활기유는 210°F에서의 SUS 점도값에다 BS를 붙여 표기하는데 윤활기유의 점도등급이 150BS라고 하면 이 윤활기유는 증류시 탑저에서 얻어진 것이고 210°F에서 점도가 150 SUS임을 나타낸다. <표 5>은 윤활기유의 점도 등급별 비교를 나타낸 것이다.

NEUTRAL	40℃		100℃	
	cSt	SUS	cSt	SUS
70N	13.3	70.8	3.0	37.0
100N	21.5	104.0	4.0	39.0
150N	31.6	148.0	4.9	42.4
250N	56.1	257.0	6.5	47.0
500N	107.0	496.0	11.0	64.0
600N	130.4	604.0	12.1	66.0
BRIGHTSTOCK	cSt	SUS	cSt	SUS
135BS	413.2	1875	28.6	135.0
150BS	568.0	2632	33.0	155.0
175BS	654.7	3034	36.0	169.7

〈표 5〉윤활기유의 점도등급 비교표

나. 관용적 방법에 따른 윤활기유 분류  
대표적 분류방법으로 조성에 의한 분류와 점도지수에 의한 분류가 있다.

1) 조성에 의한 기유 분류

윤활기유의 조성에 의한 분류는 기본적으로 상압증류시 사용하는 원유에 의해 영향을 받는데 〈표 6〉과 같이 표현된다.

그러나 최근에는 과거의 용제정제, 용제 추출에 의한 방법 보다는 수소분해, 전환 등의 반응에 의해 윤활기유를 제조하는 경우가 많아짐에 따라 원유의 영향을 적게 받으며 최종 윤활기유 제품의 조성도 많이 달라지게 되었다.

	% 파라핀	% 나프텐	% 아로마틱
파라핀계	45~60	20~30	15~25
나프텐계	15~25	65~75	~10
아로마틱계	~5	60~75	20~25

〈표 6〉탄화수소 조성에 의한 윤활기유 분류

2) 점도지수에 의한 윤활기유 분류

점도지수는 표준 파라핀 오일의 점도지수를 100, 표준 나프텐 오일의 점도지수를 0으로 두어 어떤 오일의 점도지수를 표현하

므로 오일의 점도지수는 오일 중의 파라핀 함량을 개략적으로 나타낸다.

또한 점도지수에 의해 윤활기유를 분류하기도 하는데 이를 〈표 7〉에 나타내었다.

점도지수	분 류
VI < 40	저점도지수(LVI, Low Viscosity Index)기유
40 ≤ VI < 80	중점도지수(MVI, Medium Viscosity Index)
80 ≤ VI < 120	고점도지수(HVI, High Viscosity Index)
120 ≤ VI < 140	초고점도지수(VHVI, Very High Viscosity Index)
140 ≤ VI	극초고점도지수(UHVI, Ultra High Viscosity Index)

〈표 7〉점도지수에 따른 윤활기유 분류



다. API의 윤활기유 분류

1994년 미국석유협회 API(American Petroleum Institute)는 보다 과학적인 방법

으로 윤활기유제품을 <표 8>과 같이 5개 그룹으로 분류하였다.

조 건	
Group I	Saturates < 90% and/or Sulfur > 0.03wt% and $80 \leq VI < 120$
Group II	Saturates $\geq 90\%$ and Sulfur $\leq 0.03wt\%$ and $80 \leq VI < 120$
Group III	Saturates $\geq 90\%$ and Sulfur $\leq 0.03wt\%$ and $VI \geq 120$
Group IV	PAOs
Group V	기타

<표 8>API 윤활기유 분류

일반적으로 광유계 윤활기유 중 용제추출법에 의해 제조된 윤활기유는 주로 그룹 I, 수첨개질법으로 제조된 윤활기유는 대부분 그룹 II, 고도의 수첨분해반응에 의해 제조된 VHVI윤활기유는 주로 그룹 III에 해당된다.

그룹 IV는 PAO(Poly Alpha Olefins)로 합성윤활기유 이다.

그룹 V는 그 외의 윤활기유로서 합성 윤활기유인 에스테르(Esters)나 글리콜(Glycols)등이 이에 해당된다.

6. 맺 음 말

최근 세계 윤활기유 시장의 성장세가 점차적으로 소폭 증가하고 있다.

특히 아시아 지역 윤활기유 시장의 성장율은 3~4% 정도의 증가세를 보이고 있어 점차적으로 세계적인 윤활기유 제조사들이 아시아 지역에 대한 투자를 증대시키고 있는 현황이다.

그리고 향후 윤활유 제품 요구규격이 점차적으로 엄격해짐에 따라 API Group II, III의 윤활기유의 시장이 상당히 급성장할 것으로 보인다.

다음 기고에서는 최근 윤활기유 제조시설 현황과 초고점도지수 윤활기유(API Group III)에 대하여 고찰해 보고자 한다.

<<참 고 문헌>>

1. Stephen M. Hsu, National Bureau of Standards Special Publication 584, "Characterization of Lubricating Base Stocks for Automotive Crankcase Oils", 1980
2. Exxon Chemical Co., "Base Stock Properties and Lubricant Performance", 1989
3. Dr. Michael Dowling, Exxon, "Base Stock Options for High Quality Lubricants", 1994
4. Refining Process Services, Inc., "Lube Oil and Wax Processing Technology", 1995
5. Gary L. Everett, Lyondell Petroleum Co., "Lubricant Oil Production, The Proper Marriage of Process and Catalyst Technology", NPRA, 1996