

# 윤활유 Formulation의 문제점 및 추진현황

김 종 호

한국화학연구소

## 1. 서 론

기계적 mechanism에 의해 동력의 전달 또는 방향을 전환할때 상대적으로 움직이는 두 면에서 필연적으로 발생하는 마찰, 마모를 감소시켜 원활한 작동을 유지시켜 주는 물질을 윤활유라 한다. 이러한 윤활유의 기능은 두 마찰면 사이에 유체막을 형성하여 마찰 및 마모를 감소시키는 마찰, 마모 작용과 같은 1차 기능과 두 마찰면 사이에서 발생하는 열을 냉각시키는 냉각작용, 금속표면의 청정성을 유지시키는 방청작용, 두 마찰면을 밀봉시켜주는 밀봉작용과 같은 2차 기능으로 대별할 수 있다<sup>1)</sup>. 윤활유의 구성은 크게 윤활기유와 기유의 물성을 보완 또는 기유에 없는 물성을 나타내는 첨가제들로 구성되어 있는데 기유로는 주로 Paraffine계, Naphthenic계, Aromatic계로 탄소수 20~50의 탄화수소 혼합물로 이루어진 광유계 기유와 물성과 용도에 따라 인위적으로 합성된 여러가지 합성기유가 사용된다.

첨가제는 기유가 갖고 있는 물성을 강화시키기 위해 첨가하는 것과 기유에 없는 물성을 얻기위해 첨가하는 두가지로 대별할 수 있다. 즉 기유의 산화분해, 열분해, 마찰이나 마모의 감소 등을 위해 첨가하는 것은 전자에 속하는 경우이고 기유 분해물의 침적을 막아주거나 부식을 방지하며 온도에 따른 점도변화 감소를 위한 첨가제는 후자에 해당한다. 이와같은 첨가제의 역할과 함께 갖추어야할 조건으로는 1) 기유에 대한 용해도가 충분할것, 2) 물에 대해서 안정할것, 3) 휘발성이 낮을것, 4) 장기간 보관시 안정할것, 5) 첨가제 상호간의 미반응성 등을 들 수 있다.

현재까지 개발되어 사용되는 윤활유첨가제는 종류가 매우 다양하지만 성능 및

용도별로 분류해보면 금속계청정제, 비회형분산제<sup>2)</sup>, 산화방지제<sup>3,4)</sup>, 방청제, 부식방지제<sup>2)</sup>, 극압제<sup>4)</sup>, 소포제, 유동점 강화제<sup>5)</sup>, 점도지수 향상제<sup>6,7,8)</sup>, 마모 방지제<sup>4)</sup> 등이 있으며 다음 표-1에 첨가제의 종류 및 작용 mechanism을 요약 정리하였다.

표-1. 윤활유 첨가제의 종류 및 작용 Mechanism.

종 류	첨 가 목 적	작 용 Mechanism	Examples
Anti-Oxidants	* 오일의 산화 방지 * 점도증가 억제 * 슬러지 형성 방지	* 라디칼 형성 억제 * Peroxides 분해 * 금속표면 보호	* Phenolates * Amines * Zn-DTP
Detergent-Dispersant	* 오일의 청정성 유지 * 침적물 방지	* 산생성물 중화 * 슬러지 분산	* Metallic sulfonates and phenates * Non-Metallic amine
VI-Improver	* 점도 지수 향상 * 저온 유동성 향상	* 저온에서 기유의 coiling 방지 * 고온에서의 점성 유지	* Olefin Co-Polymer * Polymetacrylates * Polyisobutene
Pour Point Depressant	* 저온 유동성 향상	* Wax 결정화 방지 * Wax size 감소	* Wax naphthalene * Polymetacrylates
Antirust agent	* 금속 표면의 부식 방지	* 금속표면에 극성화합물이 흡착되어 표면 보호	* Nitrogen Compounds * Soaps * Acis and Esters
EP-agent	* 마찰, 마모방지	* 금속표면에 윤활피막 형성	* Zn-DTP * S, P, Cl Compounds
Anti-Forming agent	* 기포발생 억제	* 기포분해 및 표면장력 조절	* Silicones

내연기관용 윤활유로서 요구되는 물성은 매우 다양하며 물리적, 화학적, 기계적 물성을 모두 만족 해야 한다. 이러한 성능으로 특히 중요한 것은 높은 산화안정성, 고온 안정성, 청정 분산성, 내마모성, 극압성, 부식 방지성, 방청성 및 온도변화에 따른 점도유지성 등 여러가지 물성을 들 수 있다. 이와같이 다양한 물성을 만족 시키기 위해서는 윤활기유에 첨가제 종류와 첨가량을 변화시켜 glassware 및 hardware test 와 engine test를 통하여 우수한 성능의 윤활유를 제조하게 되며 이런 과정을 formulation(혼련)이라 한다.

혼련기술은 학문적으로 확립된 정설이 없으며 윤활유로서 원하는 물성을 얻기위해 시행 착오적인 방법으로 많은 시험을 거쳐 체계적인 경험과 기술이 축적되어야 비로서 개발이 가능하다. 또한 우수한 물성의 첨가제가 새로이 개발 된다 하더라도 곧바로 윤활유에 첨가하여 사용할 수 없으며 기존의 첨가제 및 윤활기유와의 혼련과정을 거쳐야만 비로서 사용될 수 있을 만큼 혼련기술은 중요할뿐만 아니라 윤활유 개발의 핵심기술이다. 이러한 혼련기술 개발 과정을 간단히 살펴보면 복합물질인 윤활유로부터 첨가제들을 분리·분석한 후 국내 원료 수급 및 경제성을 고려하여 합성 가능한 첨가제들을 합성한 후 각 첨가제 자체의 물성을 측정하여 윤활유 물성에 대한 inductive effect 측정이 우선되어야 한다. 이러한 inductive effect를 바탕으로 첨가제들의 배합비율을 달리 하면서 glass ware 및 hardware test를 거쳐 첨가제 package를 제조한 후 점도지수 향상제, 유동점 강화제 및 윤활기유와 혼련하여 최적의 배합비율을 선택한다. 이와같은 혼련과정을 거쳐 제조한 윤활유는 성능평가인 engine test를 거쳐 하나의 새로운 윤활유로 탄생된다. 최종 윤활유의 성능 규격은 크게 미국규격과 유럽규격으로 나뉘어진다.<sup>9)</sup> 미국에서는 Society of Automotive Engineers(SAE), American Society of Testing Material(ASTM), American Petroleum Institute(API)의 세 기관이 공동으로 윤활유에 관한 성능규격을 제정하고 있다. SAE에서는 윤활유의 중요한 물리적 성능인 점도 등급을 분류하고 있으며(표-2)<sup>10)</sup>, API에서는 윤활유의 engine 성능 규격을 정하고(표-3) ASTM에서는 각각의 분석 방법을 결정한다.(표-4)<sup>11)</sup>

본 강연에서는 API SG급에 해당하는 내연기관용 윤활유 혼련기술 개발 과정과 성능 평가 과정에 관해서 중점적으로 언급하고자 하며 다음 Fig-1에 윤활유 혼련과정의 Block-diagram을 수록하였다.

표-2. SAE 점도 분류

SAE Viscosity Number		0W	5W	10W	15W	20W	25W	20	30	40	50
High Temp. <sup>b)</sup> Viscosity at 100°C	Min.(cSt)	3.8	3.8	4.1	5.6	5.6	9.3	5.6	9.3	12.5	16.3
	Max.(cSt)	NR <sup>a)</sup>	NR	NR	NR	NR	NR	<9.3	<12.5	<16.3	<21.9
Low Temp. Viscosity	Temp.(°C)	-30°C	-25°C	-20°C	-15°C	-10°C	-5°C	NR	NR	NR	NR
	Max.(cP) <sup>c)</sup>	3250	3500	3500	3500	4500	6000	NR	NR	NR	NR
	Max. Borderline Pump Temp. <sup>d)</sup> (°C)	-35°C	-30°C	-25°C	-20°C	-15°C	-10°C	NR	NR	NR	NR

a) NR = not required, b) ASTM D445, c) ASTM D2602, d) ASTM D3329

표-3. API SG 엔진 성능 규격

Test	Requirement	
Caterpillar 1H2	Top Groove Filling(%) Weighted Total Demerite Lose of Side Clearance(mm)	45 Max. 140 Max. 0.013 Max.
CRC L-38	Bearing Weight Loss(mg) Piston Varnish	40 Max. 9.0 Min.
Sequence IID	Average Engine Rust Stuck Lifters	8.5 Min. None
Sequence IIIE	Average Engine Sludge Average Piston Skirt Varnish Oil Ring Land Deposits Cam Plus Lifter Wear Max. in(mm) Average, in(mm) Viscosity Increase, 40°C, 64hr(%) Stuck Lifters Scuffed Cam or Lifters	9.2 Min. 8.9 Min. 3.5 Min.  0.0025(0.064) Max. 0.0012(0.030) Max. 375 Max. None None
Sequence VE.	Average Engine Sludge Cam Cover Sludge Average Engine Varnish Cam Lobe Wear Maximum, in(mm) Average, in(mm) Oil Ring Clogging(%) Oil Screen Clogging(%) Stuck Compression Ring(Hot)	9.0 Min. 7.0 Min. 5.0 Min.  0.015(0.38) Max. 0.005(0.13) Max. 15 Max. 20 Max. None

표-4. ASTM의 윤활유 기본물성 측정 방법

Physical or Chemical Property	ASTM Designation
Kinematic viscosity at 40 °C, 100 °C	(D445) 23
Apparent Viscosity at Low Temp. via C.C.S.	(D2602) 24
Viscosity Index	(D2270) 24
Pour Point	(D97) 23
Flash Point	(D56) 23
Volatility	(D1160) 23
Water Content	(D95) 23
Glycol Content	(D2982) 25
Fuel Dilution(gasoline)	(D3625) 25 (D322) 23 (D3524) 25
Metal Content in Lubricating Oils	(D81) 23
Sulfated Ash in Lubricating Oils and Additives	(D874) 23
Pentane and Toluene Insolubles	(893A,B) 23
Total Acid Number(TAN)	(D664) 23
Total Base Number(TBN)	(D2896) 24

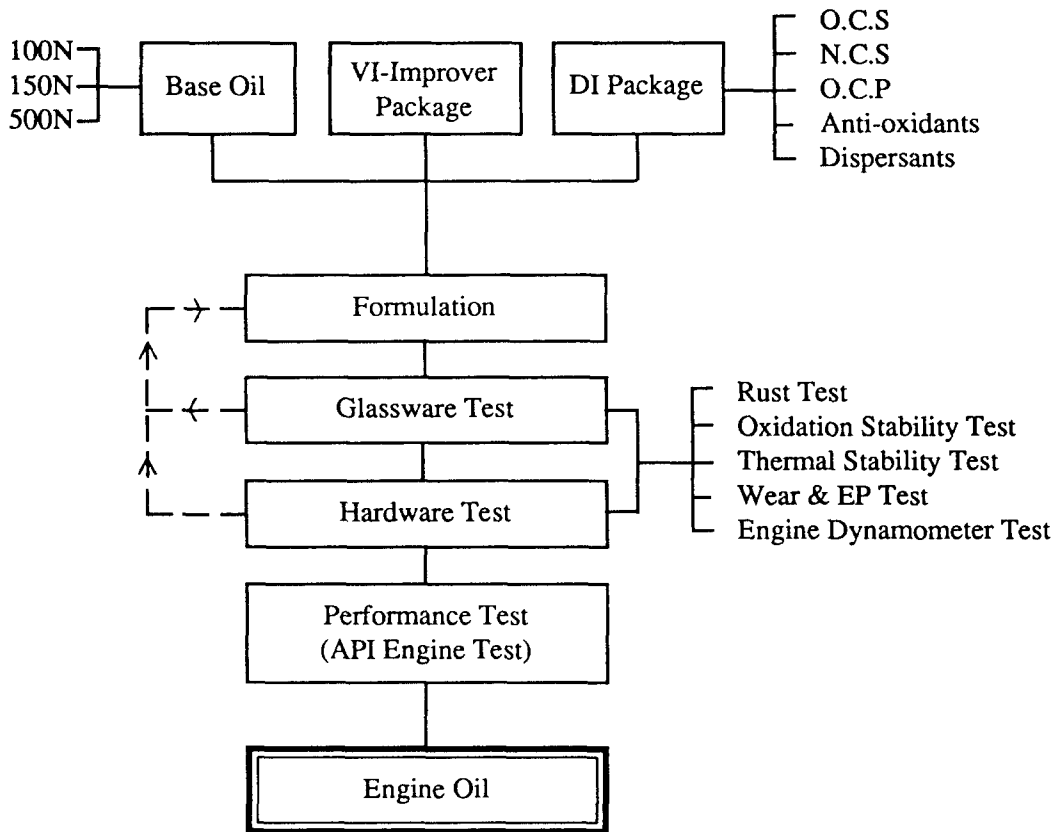


Fig. 1. 혼련 과정의 Block-Diagram

## 2. 혼련 및 성능평가

### 2.1 Lab. Glassware Test

#### 2.1.1 점도 조절 시험 결과

내연기관용 윤활유의 가장 기본적인 물성중 하나인 점도에 영향을 미치는 인자로는 base oil과 점도지수 향상제, 유동점 강화제등 고분자 물질 첨가제들이다. 따라서 formulation의 가장 기초적인 자료수집을 위해 이들의 첨가량을 변화시켜 가면서 점도변화를 측정하였다.

먼저 500N기유의 첨가량 변화에 따른 점도변화를 살펴보면 다음 Fig.2에서 보는 바와 같이 500N 기유의 첨가량이 증가함에 따라 40, 100°C 동점도도 따라서 증가하나 온도 변화에 따른 점도변화를 나타내는 점도지수는 적은 폭이나마 오히려 감소함을 알 수 있다. 또한 점도지수 향상제의 첨가량 변화에 따른 점도변화를 시험한 결과 다음 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Olefin Co-polymer인 OCP Type 점도지수 향상제의 첨가량이 증가함에 따라 40, 100°C 동점도가 증가하면서 점도지수도 증가하였다. 반면 유동점 강화제는 다음 Fig. 4에서와 같이 점도변화에 큰영향을 미치지 못하는것으로 나타났다. 따라서 점도변화에 영향을 많이 미치는 500N 기유와 점도지수 향상제를 적절히 조절하여 혼련함으로써 원하는 등급의 다급점도 오일을 제조할 수 있다.

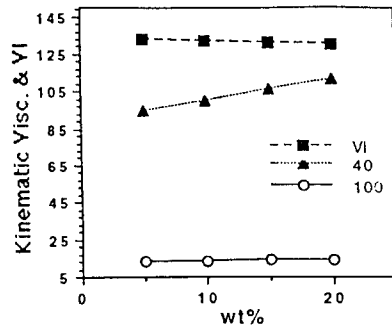


Fig-2 Effect of 500N B.O.

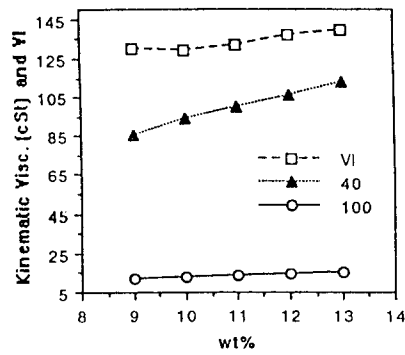


Fig-3 Effect of VI-Improver

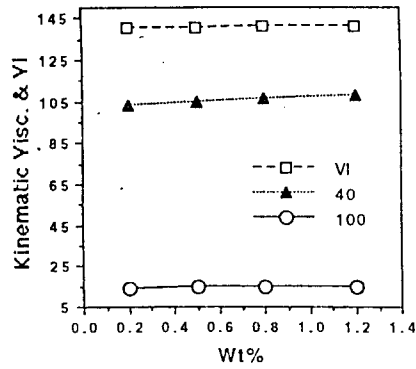


Fig-4 Effect of Pour Point Depressant



### 2.1.2 산화 안정성 시험 결과

점도 등급을 조절한 후 윤활유의 산화안정성을 측정하였다. 윤활유는 사용기간 동안 열에 의해 산화되어 점도 및 오일자체의 산가(acidity)가 증가하며 슬러지는 생성한다. 따라서 산화되는 점도를 지연시켜 윤활유 수명을 연장시키기 위해 산화방지제를 첨가한다.

본 연구에서는 산화방지제겸 마모방지제로 내연기관용 윤활유에 가장 널리 첨가되는 Zn-DTP(Zinc dialkyldithiophosphates)를 alkyl group 종류별로 합성하여 사용하였다. 이중 primary alkyl Zn-DTP와 secondary alkyl Zn-DTP를 혼합하여 농도별로 40°C 동점도 변화, 전산가(TAN) 변화 및 슬러지 생성량을 측정하였다.

그 결과 다음 Fig. 5에서 보는바와 같이 secondary alkyl Zn-DTP의 농도가 증가함에 따라 40°C 동점도와 전산가가 증가하였으며 특히 슬러지 생성이 급증하였다. 따라서 산화 안정성은 primary alkyl Zn-DTP가 secondary alkyl Zn-DTP에 비해 우수함을 알 수 있었다. 이는 primary alkyl이 secondary alkyl에 비해 분해온도가 높기 때문으로 추정된다.

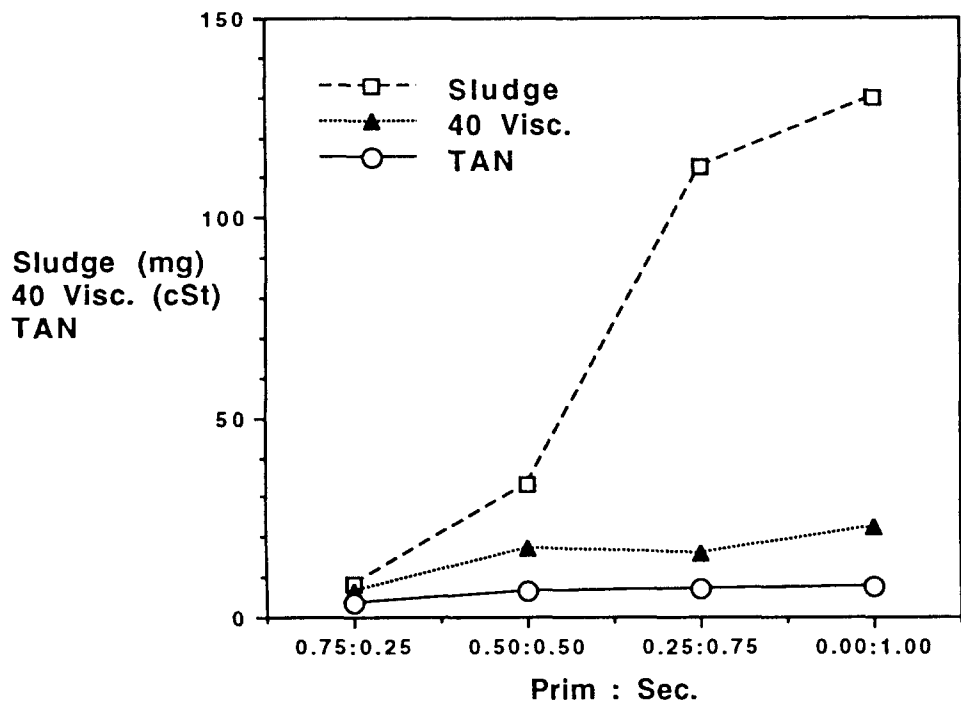


Fig-5 Effect of Zn-DTP

### 2.1.3 마찰 시험 결과

최근에 엔진의 고출력화, 소형화 및 윤활유의 우수한 연비향상성이 대두되면서 윤활유의 점도를 낮추려는 경향이 있다. 그러나 점도를 낮추는 경우에는 윤활영역에서 유막의 파괴가 발생하기 쉬우며 또한 고하중에서 두마찰면사이에서의 마모가 증가하는 현상이 나타난다. 따라서 윤활유의 기본적인 물성중 하나인 내마모성을 향상시키기 위하여 마모 방지제가 첨가된다. 본 연구에서는 앞에서 언급한 Zn-DTP의 alkyl group을 달리하여 여러 종류의 Zn-DTP를 합성한 후 내마모성을 측정하였다. 그 결과 다음 Fig. 6에서 보는 바와같이 2-butyl Zn-DTP가 가장 우수한 내마모성을 나타내었으며 첨가량변화에 따른 내마모성을 조사한 결과 다음 Fig. 7에서 보는 바와같이 Zn-DTP의 첨가량이 증가함에 따라 마모직경이 감소하나 첨가량이 일정 수준이상이면 오히려 마모직경이 증가하는 첨가제 특유의 pattern을 나타냄을 알 수 있다.

한편 앞의 산화시험에서 사용한 Zn-DTP의 배합비율과 농도 조건에서 최적 마모 방지제의 첨가량을 결정하기 위해 primary alkyl과 secondary alkyl Zn-DTP를 혼합하여 내마모성을 측정하였다.

그 결과 다음 Fig. 8에서 보는 바와 같이 secondary alkyl Zn-DTP가 증가할수록 내마모성이 우수함을 알 수 있었다. 이는 secondary alkyl Zn-DTP가 빨리 분해되어 마찰면에서 피막형성 속도가 빠르기 때문으로 추정되며 따라서 산화안정성과 내마모성을 동시에 고려하여 primary alkyl과 secondary alkyl Zn-DTP의 혼합비율을 결정하여야 한다.

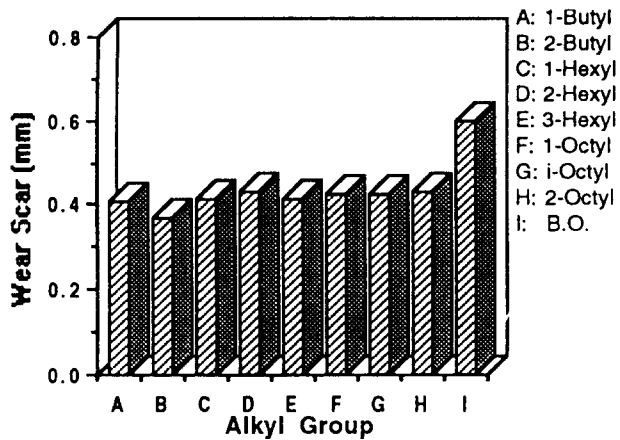


Fig-6. Wear Scar of Variable Alkyl Zn-DTP

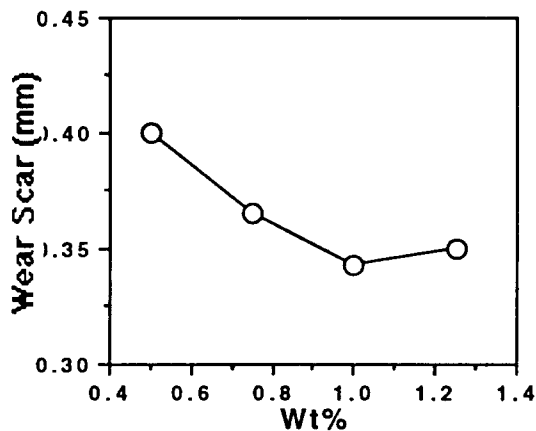


Fig-7 Wear Scar Effect of 2-Butyl Zn-DTP

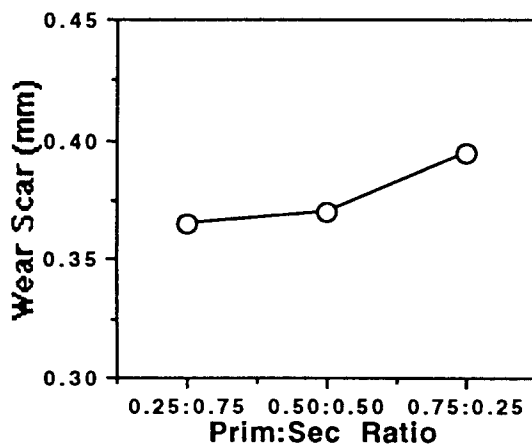
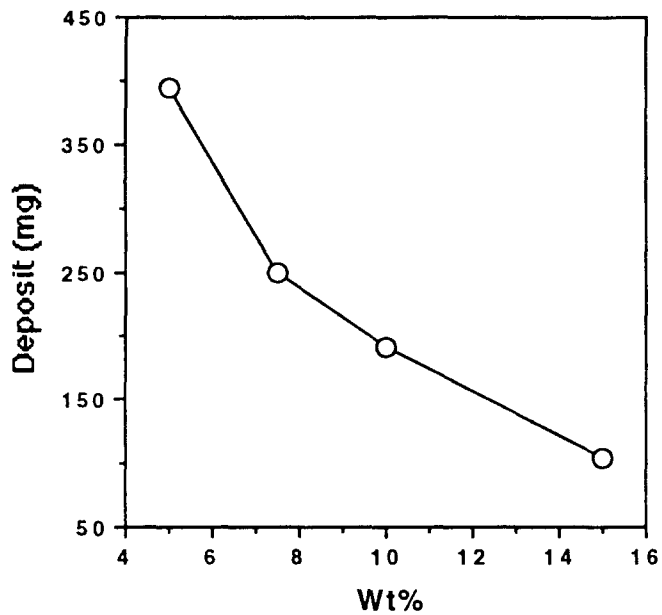


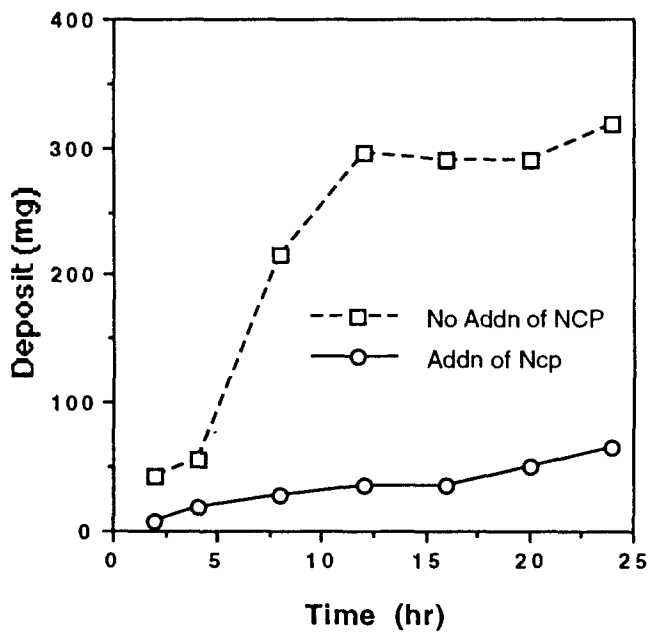
Fig-8 Wear Scar Effect of Variable Prim:Sec Ratio

#### 2.1.4 고온 안정성 시험 결과

고온 안정성은 연료의 연소에 의해 발생하는 열이나 실린더 내부로 혼입된 엔진오일의 불완전 연소에 의해 엔진오일 찌꺼기가 피스톤 주위에 눌러 붙는 정도를 측정하는 것이다. 통상 연료의 연소에 의해 피스톤은 부분적으로 300°C 이상으로 고온 조건하에서 작동하며 이때 실린더 내부로 혼입된 윤활유가 동시에 연소되면서 찌꺼기가 피스톤의 land나 skirt 부분에 눌러붙게 되어 결국 피스톤의 원활한 상하운동을 저해하게 된다. 이와같이 눌러붙은 불완전연소된 윤활유 찌꺼기를 deposit라 부르며 이의 생성 정도를 Panel Coker Tester로 측정하였다. 일반적으로 base oil, 청정분산제, 산화방지제등이 deposit 생성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 본연구에서는 500N 기유의 첨가량변화에 따른 deposit 생성량을 측정하였다. 그 결과 다음 Fig. 9에서 보는 바와 같이 500N 기유의 첨가량이 증가함에 따라 deposit의 생성이 급격히 감소함을 알 수 있다. 즉 500N 기유가 생성되는 deposit를 분산시키는 효과가 우수한 것으로 나타났다. 또한 다음 Fig. 10에서 보는 바와같이 청정분산제겸 산화방지능력을 갖는 neutral Ca-phenate(N.C.P)를 첨가하고 시간별로 deposit양을 측정한 결과 NCP가 첨가된 경우 24시간까지 deposit 생성량의 증가가 크지 않으나 NCP가 첨가되지 않은 경우 8시간 경과 후부터 deposit 생성이 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 500N 기유와 NCP를 적절히 조절하여 혼련함으로써 고온 안정성을 향상시킬 수 있다.



**Fig-9 Effect of 500N Base Oil**



**Fig-10 Effect of NCP**

## 2.2 Engine Dynamometer Test

지금까지 기술한 대로 여러종류의 glassware 및 hardware test를 거쳐 훈련된 윤활유 (KMO 9020)의 실제 엔진내에서 성능을 추정하기위해 Engine Dynamometer test를 실시하였다. Engine Dynamometer Test는 공군사관학교 기계공학과 연구팀(강석춘박사)의 협조를 받아 공동으로 시험하였으며 SG/CD급 외제오일과 비교하였다.

다음 표-2에 Engine Dynamometer Test의 운전조건을 수록하였다.

표-2. Engine Dynamometer Test 운전조건

시험엔진	Pony II, 1400 CC
사용 Bearing	1, 2번: 표준 Al-Bearing 3~8번: Cu/Pb bearing
Piston Ring	현대 순정품
사용연료	유연 휘발유
엔진회전수	2000 rpm
엔진 부하	40 kg
냉각수 온도	80 °C
오일 온도	~98 ± 2 °C
시험시간	50 hr (매 10 hr 마다 시료 채취)

상기의 운전조건으로 Engine Test를 실시하면서 매 10시간 마다 오일시료를 채취하여 40 °C 동점도, 전산가 및 슬러지 생성량을 조사하였으며 50시간 후 엔진을 해체하고 장착된 connecting rod bearing을 깨끗이 씻어 말린후 장착전의 무게와 시험후 무게차이를 측정하여 외제오일과 비교하였으며 그 결과를 다음 표-3에 수록하였다.

표-3에서 보면 홀수 bearing이 짝수 bearing에 비해 무게 감소가 크다. 이는 bearing

구조상 윗 부분에 장착되는 bearing이 더 많은 하중을 받게되어 마찰에 의한 마모가 크게 작용하기 때문에 해석할 수 있다. 전체적으로 bearing 무게 감소는 외제오일에 비해 큰차이가 없음을 알 수 있다.

Engine Dynamometer test를 실시하면서 매 10시간마다 오일시료를 채취하여 시험시간 경과에 따른 오일의 물성 변화를 측정하였다. 40°C동점도 변화에서는 표-13에서와 같이 시험전 점도에 비해 점도가 모두 감소하였다. 이는 glassware test의 산화안정성 시험 결과와 상반된 결과로서 미연소 가솔린의 혼입에 의해 엔진오일이 회석된 것으로 생각된다.

윤활유의 산화정도를 측정하는 또다른 기준으로 전산가 변화를 측정하였다. 그결과 시험시간이 경과하면서 전산가는 서서히 증가추세를 보이고 있으며 50시간 경과 후 최종적인 전산가 증가폭이 KMO9020의 경우 0.33~0.38로 외제오일 SG/CD의 0.66~0.79에 비해 1/2 정도에 불과하였다. 따라서 산화안정성이 우수함을 간접적으로 증명할 수 있다.

통상적으로 엔진오일은 사용할수록 오일산화에 의해 점도와 전산가가 증가하며 이에따라 슬러지 생성양도 증가하게 된다. 엔진시험중 채취한 시료오일의 슬러지 생성량을 heptane insoluble 방법으로 측정하였다.

그 결과 다음 표-3에서와 같이 시험시간이 경과할수록 슬러지 생성량은 증가추세를 보이며 KMO9020의 1차 시험치를 제외하고는 대략 0.040~0.053 wt%로 유사한 결과를 나타내고 있다.

이상의 Glassware & Hardware Test 및 Engine Dynamometer Test 결과로부터 본연구팀에서 혼련한 KMO9020이 외제오일에 비교해서 유사한 성능을 갖는 우수한 윤활유임을 확인하였다.



표-3. Engine Dynamometer Test 결과

구 분	시료오일	KMO 9020		외제 오일	
	Exp. No.	1차	2차	1차	2차
Bearing 무게 감소	1번	3.7	13.9	0.0	20.1
	2번	3.2	10.0	0.0	18.2
	3번	3.7	6.3	3.9	5.3
	4번	2.6	3.1	2.9	3.4
	5번	6.6	4.3	6.0	7.2
	6번	2.7	2.4	2.0	6.9
	7번	9.2	5.3	5.8	9.8
	8번	9.4	3.3	3.7	5.7
	합 계	34.2	24.7	24.3	38.3
40 °C 동점도 증가대비(%)	10 hr	-13.2	-6.3	-8.8	-13.2
	20 hr	-13.4	-10.71	-10.3	-8.2
	30 hr	-12.3	-8.7	-9.4	-8.4
	40 hr	-13.6	-6.7	-10.1	-9.9
	50 hr	-14.4	-8.3	-9.3	-7.6
전산가 증가 대비(%)	10 hr	0.12	0.07	0.17	0.47
	20 hr	0.15	0.14	0.33	0.44
	30 hr	0.11	0.27	0.02	0.49
	40 hr	0.13	0.22	0.12	0.41
	50 hr	0.33	0.38	0.79	0.66
슬릿지 생성량 (%)	10 hr	0.046	0.011	0.010	0.010
	20 hr	0.063	0.012	0.013	0.013
	30 hr	0.060	0.018	0.017	0.017
	40 hr	0.083	0.032	0.029	0.036
	50 hr	0.083	0.043	0.040	0.053

### 3. 결 론

지금까지 언급바와 같이 윤활유란 첨가제군과 기유로 구성되어있는 복합물질로서 물질해석기술, 합성기술, 혼련기술 및 성능평가기술이 종합적으로 발전하여야 비로서 개발 가능한 전형적인 specialty chemical로 분류할 수 있다. 이러한 윤활유의 개발 과정을 다시한번 간단히 서술하면 우선 첨가제 개개의 특성, 용도, 첨가량 및 작용 mechanism을 시험측정하여 최종윤활유 물성에 미치는 inductive effect를 정확히 파악하여야 한다. 첨가제들의 합성 및 물성측정이 이루어지면 윤활유의 최종물성과 경제성을 고려하여 glassware 및 hardware test를 거쳐 최적의 배합비율로 혼련하며 이과정에서 첨가제들간의 상호 화학적 반응 또는 첨가제가 다른 윤활유 물성에 미치는 악영향등을 유의하여야 하며 혼련된 윤활유는 performance test(Engine test)를 거쳐 최종적으로 성능 인증을 받게 된다.

이상과 같이 윤활유 개발에는 종합예술과 같이 여러 분야가 공동으로 기술개발해야만 하는데 선진외국의 경우 자동차 제조업체, 윤활유 제조업체, 정부 및 전문 연구기관(또는 대학)이 공동으로 윤활유의 성능규격을 제정하고 평가하며 개발하고 있다. 따라서 국내에서도 윤활유 관련 기관들이 공동으로 산·학·연의 공동연구 기틀을 확립하여야 하며 이러한 공동연구를 토대로 현재의 SG급 윤활유의 Background가 확립되어야만 차세대 연비향상성이 보장된 SH급 윤활유 개발이 가능하며 또한 외국의 기술적 예측에서 탈피가 가능하다.

## References :

1. 한국기기유화시험검사소, "윤활공학", 정문출판, 서울, 한국, 1991, 제3장 p133
2. W. T. Stewart, F. A. Stuart, "Advances in Petrol. Chem. and Refining Vol VII, Lubrication Oil Additive", Interscience Publisher, NY, 1963
3. A. A. Bondi, "Physical Chemistry of Lubrication Oils", Reinhold (1951)
4. C. E. Frank, Chem. Rev., 1950, 46, 155
5. L. E. Lorensen, W. A. Hewett, Am. Chem. Soc. Prep. Div. Petrol. Chem., 1962, 7(4), B-71
6. W. L. Van Horne, Ind. Eng. Chem., 1945, 41, 952
7. A. Schilling, Motor Oils and Eng. Lub. "28, Scientific Publication (G. B) Brosley, 1968
8. C. B. Biswell, W. E. Catline, J. F. Froning, Ind. Eng. Chem., 1955, 47, 1598
9. E. Richard Booster, CRC Handbook of Lubrication, Vol 1, p13, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1983
10. SAE Information Report, Engine Oil Viscosity Classification SAE J 300 Sep 89
11. SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., 1981