

工學碩士 學位論文

나노구리합금潤滑劑가
엔진潤滑特性에 미치는 影響

**The Effect of Lubricant Containing Copper
Alloy Nano-powder on Engine Lubrication**

指導教授 朴 權 夏

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機 械 工 學 科

鄭 錫 旻

鄭錫旻의 工學碩士 學位論文을 認准함

委 員 長 工學博士 都 德 熙 ㉠

委 員 工學博士 金 允 海 ㉠

委 員 工學博士 朴 權 夏 ㉠

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機 械 工 學 科

鄭 錫 旻

ABSTRACT

The Effect of Lubricant Containing Copper Alloy Nano-Powder on Engine Lubrication

Suk Min Jung

Department of Mechanical Engineering, Graduate School
Korea Maritime National University
Busan, Korea

(Supervised by Professor Kweonha Park)

The characteristic of a lubricant is important under severe running condition.

Especially on diesel engines the better lubrication performance is required due to the extreme condition such as high temperature and pressure by combustion process in a combustion chamber.

Many research works for improving a boundary lubrication performance

have been studied by using solid lubricants, and have been tried to apply solid lubricants to an engine. However those general lubricants like MoS₂ or PTFE have not been applied on engines due to the extreme conditions such as very high temperature and pressure by combustion process in a cylinder.

Recently, the solid lubricant containing a copper nickel alloy has been introduced and studied.

In this thesis the lubricant containing the alloy particles is applied on a high speed rolling contact wear test machine and a diesel engine. The lubricant is assessed by mechanical characteristic test and by engine performance test. The results by mechanical characteristic test show the decrease of the coefficient of friction and oil temperature. The results by engine test show the decrease of X-axis and Y-axis amplitude which strongly effect on engine vibration and the decrease of torque related strongly to the engine efficiency as well as the improvement of the engine lubrication performance.

It is clear that the lubricant containing the copper nickel alloy nano-powder decreases friction and wear, and it is also expected the increase of the sealing effect between a cylinder and piston rings.

목 차

ABSTRACT	i
I. 서 론	
1.1 연구의 배경 및 목적	1
II. 윤활유 및 첨가제	
2.1 기관의 윤활	4
2.1.1 윤활영역의 종류	4
2.1.2 윤활작용	6
2.1.3 윤활유의 물리·화학적 성질	8
2.2 기관의 윤활제	9
2.2.1 엔진유의 역할	10
2.2.2 엔진유의 요구성능	15
2.2.3 엔진유의 분류기준	18
2.3 기관윤활유 첨가제	19
2.3.1 첨가제의 종류	20
2.3.2 대표적인 첨가제의 특성	21
2.3.3 고체윤활제	25
2.4 나노구리합금윤활제	27
III. 실험장비 및 실험조건	
3.1 고속마찰마모시험기	29

3.1.1 실험장치	29
3.1.2 실험조건 및 실험방법	32
3.2 모터구동 디젤기관	32
3.2.1 실험장치	32
3.2.2 계측장치	34
3.2.3 실험조건 및 실험방법	34
IV. 실험결과 및 고찰	
4.1 일반적인 특성 고찰	40
4.1.1 마찰특성	40
4.1.2 시편마모특성	46
4.2 기관진동특성 고찰	50
4.3 기관유회특성 고찰	62
4.3.1 과도상태유회특성	62
4.3.2 정상상태의 유회특성	64
V. 결 론	67
참고문헌	68

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

내연기관내의 많은 부품들은 원활한 윤활이 이루어지지 않아 마찰접속운동이 생겨나게 되고 이에 따라 그 기능이 저하되며 이는 엔진의 성능을 저하시킨다. 내연기관의 마찰부위는 크랭크축 등의 베어링과 같은 회전운동부분, 캠, 밸브 및 로커암과 같은 주기적 충격운동부분, 피스톤링, 실린더와 같은 왕복운동부분으로 나눌 수 있다. 주기적인 왕복운동을 하는 피스톤부위는 특별한 윤활성능이 요구된다. 특히 금속간의 마찰운동이 가장 심한 피스톤 링과 실린더 벽면은 원활한 윤활이 필요하다. 피스톤의 운동학적 특성은 운동속도가 순간적으로 영이 되는 것이며, 이때 액체 윤활이 어려워지며 큰 하중을 받기 때문에 극압윤활상태에 도달하게 된다. 그리고 실린더내의 연소에 의한 고온의 열에 윤활면이 노출되어 있기 때문에 엔진 오일을 이용하여 마찰열로 인한 열손상을 방지해야 한다. 또한 실린더와 피스톤의 비정상적인 마멸로 인한 배기가스배출의 문제로 가급적이면 얇은 유막을 형성하면서 동시에 연소실내의 고압가스의 누출을 방지하기 위하여 높은 밀봉작용을 요구한다. 연소실 압력과 온도가 높은 디젤기관에서는 윤활유의 이러한 특성이 더욱 요구된다.

Hardy 등¹⁾은 상대운동을 하는 두 금속면이 윤활막에 의하여 분리될 때 마찰은 미끄럼면과 윤활막 사이에서의 물리, 화학적인 작용 때문에 감소된다는 경계윤활 메커니즘을 제시하였고, 이에 따라서 윤활유의 분자구조, 환경조건, 경계온도 그리고 고체면에서 윤활유의 물리, 화학적

흡착을 지배하는 변수들에 대한 연구가 활발해 졌다.

Bowden and Tabor²⁾의 윤활메커니즘에 의하면, 윤활상태의 금속을 접촉시키면서 하중을 가하면 접촉면은 작용하중에 의하여 소성변형을 일으키며, 이러한 변형 때문에 윤활막은 두 금속면 사이에서 큰 압력을 받게 되지만, 이 압력은 전 접촉영역에서 같지 않기 때문에 압력이 최고가 되는 부분에서 국부적인 파단 및 금속의 용착이 일어난다. 결국 경계윤활면 사이에서의 윤활유 분자구조와 윤활막의 물리적 성질이 마찰에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

경계윤활성 향상을 위하여 고체윤활제에 대한 연구들이 많이 진행되고 있는데 Bartz와 Oppelt³⁾는 광유에 MoS₂를 분산시킨 윤활유의 경계윤활성 향상을, Reick⁴⁾은 PTFE를 포함한 고효율 윤활유를 발표하였다. Cusano와 Sliney⁵⁾⁶⁾는 연속되는 그들의 논문에서 Graphite와 Molybdenum을 분산시킨 윤활유의 동적 특성을 분석하였다. 이후에도 Lin⁷⁾ 등은 Al/Graphite 고체윤활제의 연구를 Hisakado⁸⁾, Gupta와 Bhushan⁹⁾ 등은 경계윤활성향상과 윤활성능향상을 위한 연구를 계속 진행하고 있다. 주로 MoS₂, PTFE, Graphite 등의 분말을 오일에 분산시켜 제조하는 고체윤활제들은 고온에서 산화되어 윤활성을 상실하여 엔진 실린더내의 고온조건에서는 그 효과를 발휘할 수 없게 된다. 따라서 연소를 동반한 고온고압의 엔진조건에 적용하기 위한 고체윤활제의 개발이 이루어지고 있는데 주로 구리합금 미세 분말을 이용하고 있다. Spalvins¹⁰⁾는 엔진환경에서의 구리 및 ZDDP 미립자의 영향을 연구하였으며, Kuzharov와 Fisenko¹¹⁾는 사구실험에 의한 극압하중과 용착하중(Critical and Welding load)의 향상을, Nazarenko 등¹²⁾은 고온특성향상을 Gunsel과 Lockwood¹³⁾는 산화와 부식방지효과를 발표하였다. 또한 니켈분말에 대한 연

구도 진행되었는데 흡착과 촉매작용에 의하여 마찰, 마모감소 등의 효과가 월등하게 향상됨을 밝혔다. Astakhov와 Mouratov¹⁴⁾, Wu¹⁵⁾ 등은 두 가지의 장점을 동시에 적용하기 위하여 구리와 니켈합금을 윤활첨가제로 사용하여 마찰마모의 효과를 연구하였으며. Shpenkov¹⁶⁾는 구리와 함께 니켈도 연한 금속층을 형성하여 마찰저감 및 마모에 효과가 있음을 보여주었다. 안효석과 이성철¹⁷⁾은 구리와 니켈합금 미세분말 윤활제의 엔진적용을 위해 왕복동시험기를 사용하여 마찰과 마모특성에 대한 상세한 연구를 하였다. 왕복동시험결과에 의하면 구리합금입자에 의해 형성된 화학적 유기 금속피막에 의해 마찰계수와 마모직경의 감소를 가져오며, 기어시험에서는 미세한 구리입자가 손상부위를 메워 치료하는 효과가 있다고 발표하였다.

이와 같은 선행연구에서 나노구리합금의 마찰특성과 마모특성 및 실제기관의 성능에 미치는 특성들에 대한 연구들이 많이 수행되었다.

본 연구에서는 나노구리합금윤활제가 첨가된 윤활유를 고속마찰마모시험기에 주입하여 일반적인 기계적 특성을 분석하고, 모터링상태의 실험장치가 설치된 디젤기관에 사용하여 윤활유의 윤활특성과 기관에 미치는 영향을 분석하고자 한다

2.윤활유 및 첨가제

어떤 물체가 그것이 접해있는 면에 따라 움직이려 할 때는 그 운동을 방해하려는 힘이 발생하는데 이를 마찰이라 한다. 윤활이란 움직이는 두 물체 사이에 기체, 액체, 반고체, 고체 및 이들의 혼합체를 넣어 두 물체가 서로 접촉할 때 생기는 마찰저항을 줄이고 마모를 방지하는 작용이다. 즉 고체에 의해 부딪치는 마찰을 저항이 비교적 적은 액체나 반고체 상태의 마찰로 바꾸어 주는 것이다. 윤활유는 이러한 윤활작용을 하는 액체 상태의 오일을 일컫는 말이다.

2.1 기관의 윤활

엔진은 수백 개의 움직이는 기능부품으로 구성되어 있으며, 마찰 접촉운동을 해야하는 개개의 부품은 유막에 둘러싸여 마찰을 줄이면서 내구성이 확보될 수 있도록 윤활이 원활하게 이루어져야한다. 만약 윤활유막이 형성되지 않은 상태에서 엔진 부품이 미끄럼 마찰운동이나 회전운동을 하게 되면 금속간의 접촉으로 인한 건조마찰과 이에 따른 마멸이 발생하게 된다. 즉 기계의 마찰 부분에 유막을 형성, 마찰을 적게 하며 타버리거나 마모되는 것을 방지하고 동력의 소비를 적게 하여, 기계효율을 좋게 하는 것이 중요하다. 기관에서의 윤활유는 이러한 역할을 하고있다.

2.1.1 윤활영역의 종류

1)유체윤활 · Full-film lubrication(완전윤활, 후막윤활)

두터운 유막에 의해 두 마찰면이 완전히 분리되는 가장 이상적인 윤활상태를 말하며 이러한 상태는 양호한 설계, 적당한 속도 및 하중, 충분한 급유상태에

있을 때 유지된다. 이때의 마찰은 윤활유의 점도에만 관계될 뿐 금속의 성질과는 무관하다.



Fig. 2.1.1 Schematic of full-film lubrication

2)경계윤활 · Boundary lubrication(불완전윤활, 박막윤활)

유체윤활 상태에서 하중이 증가하거나 유온이 상승하여 점도가 떨어져 유압만으로는 하중을 지탱할 수 없는 상태를 말한다. 이때는 유성(油性:유막의 성질)이 관계되며, 윤활유의 점도는 그다지 중요한 성질이 아니다. 경계윤활은 고하중 저속상태에서 일어나기 쉽고, 특히 시동이나 정지 전후에 반드시 일어나는 특징이 있다.

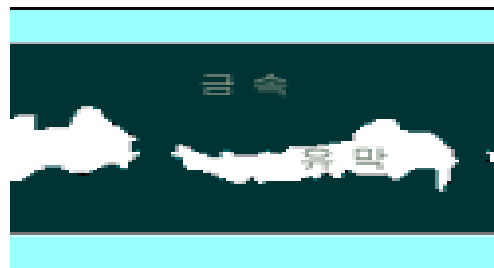


Fig. 2.1.2 Schematic of boundary lubrication

3)극압윤활 · Extreme lubrication

하중이 더욱 증대되어 마찰면의 온도가 높아지면 결국 흡착유막으로는 하중

을 지탱할 수 없게 되어 유막이 파괴되는 현상을 말한다. 이때는 금속 접촉이 일어나 접촉 부분에 용착현상이 일어난다. 오일의 점도나 유성으로는 해결할 수 없고 극압제라고 불리는 염소, 인, 황 등 유기화합물을 첨가하여 금속면의 돌출부와 화학적으로 반응시켜 금속화합물을 만든다.

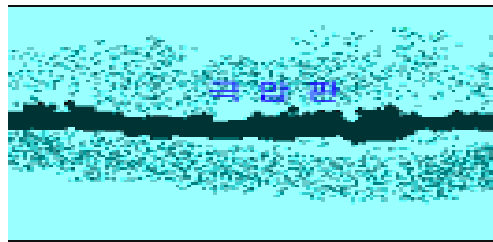


Fig. 2.1.3 Schematic of extreme lubrication

2.1.2 윤활작용

윤활작용은 감마작용을 말하며 일반적으로 기계윤활에는 다음과 같은 기능이 있다

1)감마작용

금속과 금속 혹은 금속과 비금속간의 마찰을 줄이는 즉 마찰저항을 적게 하는 작용으로 윤활의 최대 목적이다.

2)냉각작용

윤활부위에는 항상 마찰열이 발생하게 마련이며 이 열이 제거되지 않으면 국부적으로 고온이 되어 마침내 녹아 붙게 된다. 윤활제는 마찰열을 흡수하여 다른 곳으로 방출시키는 것이 중요한 임무이다. 특히 내연기관에 있어서는 중요한 일이다.

3)응력분산작용(역학적 분산작용)

윤활부분에서는 국부적 또는 순간적으로 고압이 걸리므로 유막이 파괴되어 마찰부위가 접촉되기 쉽다. 윤활유는 액체의 성질로서 부분압력을 균등하게 분산시키는 작용을 하며 이것을 응력분산작용이라 한다. 엔진과 같이 진동적인 하중이 많이 작용하는 윤활에는 중요한 성질이다.

4) 밀봉작용

실린더 윤활에 있어서 피스톤링이 고압작동가스의 누설을 방지하지만 이때 윤활유는 이것을 도와준다. 이것을 밀봉작용이라 하며 윤활유의 중요한 성질 중의 하나이고 윤활유의 점도, 점도지수, 유막구성력 등이 관계된다.

5) 방청작용

윤활유에 수분이 작용하면 금속은 녹이 슬거나 부식된다. 따라서, 윤활제는 윤활면에서 수분 또는 부식가스의 침투를 방지하지 않으면 침투한 후에도 이것을 치환하여 제거하여야 한다. 이러한 작용을 방청작용이라 한다.

6) 세정작용

윤활부위에 고형협잡물(공기중의 먼지, 마모금속, 슬러지 등)이 있으면 마모가 현저하게 증가되어 마찰면이 상하게 되며 이러한 협잡물을 제거하는 작용을 세정작용이라 한다.

기계윤활은 이러한 종합적인 작용을 하며, 윤활유는 각각의 용도에 따라 필요한 성질을 향상시켜 제조한다. 예를 들면 엔진유는 감마작용, 냉각작용, 응력분산작용, 밀봉작용, 방청작용이 요구되며, 그리스는 감마작용, 밀봉작용, 방청작용이 요구된다.

2.1.3 윤활유의 물리·화학적 성질

1) 점도

윤활유의 선정에 있어서 가장 중요한 항목중의 하나이다. 액체가 유동할 때 나타나는 내부저항의 척도로 일정량의 시료가 일정한 온도에서 일정한 거리를 통과하는데 걸리는 시간을 측정하여 구한다. 윤활유에서는 절대점도를 밀도로 나눈 동점도를 이용한다.

-절대점도:Poise(g/cm · sec)

-동점도:Stokes(cm²/sec), 동점도를 CGS단위로 표시하것을 Stokes라 하며 그 1/100을 Centistokes(cSt)라 한다.

-일반적으로 산업용윤활유의 제품 번호는 40℃ 일 때 동점도를 나타낸다.

2) 점도지수

점도지수는 온도의 변화에 따른 윤활유의 점도변화를 나타내는 수치로 값이 큰 경우가 온도변화에 대한 점도의 변화가 작다.

3) 전산가

윤활유의 산화정도를 예측하는 수치이며 열, 공기, 배기가스와 접촉함으로써 산화가 일어나고 이로 인해 이 값이 증가한다.

4) 색상

시료의 색을 기준으로 색도의 등급에 따라 구분하여 숫자로 표시한다. 윤활유 제품의 색상이 서로 다른 이유는 각종 색깔을 띠는 첨가제들이 포함되어 있기 때문이며 색상이 밝거나 어둡다고 해서 품질에 차이가 있는 것은 아니다. 즉 윤활유의 색상은 특별한 경우를 제외하고는 품질과는 전혀 무관하다.

5) 비중

표준 물질의 밀도에 대한 어떤 물질의 밀도의 비이다. 윤활유에서 사용될 때

에는 규정된 윤활유인지 또는 이물질이 혼합되었는지를 알기 위한 것이다.

6) 유동점

오일이 흐를 수 있는 가장 낮은 온도, 즉 유동성을 잃기 직전의 온도를 말한다. 크게 파라핀 왁스가 결정화됨과 동시에 결정격자중에 유분을 흡수함에 따라 전체가 고화되는 현상이 일어나는 Wax pour point와 온도가 하강함에 따라 점도가 극단적으로 커져서 일정 온도하에서는 유동되지 않는 현상이 발생하는 Viscosity pour point가 있다.

7) 비점

윤활유는 다수의 화합물로 이루어진 혼합물이기 때문에 일정한 비점을 갖지 않는다. 또한 중질유이므로 상압에서는 분해를 일으켜 증류할 수 없으므로 감압증류하여 얻은 분류성상에 따라 비점 범위를 나타낸다.

8) 인화점

오일을 가열해서 발생한 증기에 불꽃을 접근시켰을 때 순간적으로 증기에 불이 붙는 온도이다.

9) 연소점

오일을 가열하여 증기의 발생이 심해지고 불꽃을 접근시켰을 때 연소가 계속되는 온도이다.

2.2 기관의 윤활제

자동차에 사용되는 윤활유는 크게 엔진오일 (가솔린 엔진 오일, 디젤 엔진 오일), 기어 오일(수동 기어 오일, 자동변속기 오일), 브레이크 오일로 분류될 수 있다. 엔진은 연료를 연소시켜 자동차를 움직이게 하는 원동력인 만큼 가장 많은 양의 오일을 필요로 하며 엔진의 효율적인 운전은 엔진오일의 제 기

능을 충분히 발휘할 수 있는가의 여부에 좌우된다. 여기서는 가장 큰 비중을 차지하고 있는 엔진오일을 이해하기 위해서 엔진내에서 엔진오일의 역할 및 기능을 알아본다.

2.2.1 엔진오일의 역할

엔진을 가장 효율적으로 작동시킬 수 있는 요인은 엔진오일의 성능을 충분히 발휘할 수 있도록 설계하고 제조하는 것이다. 자동차의 엔진오일이 내연기관에서 수행해야 할 세부적인 역할을 살펴보면 아래와 같다.

1) 초기 시동성 최적화

자동차의 초기 시동시 최상의 작동조건은 배터리, 점화장치, 연료의 휘발성 및 공연비에 의하여 결정되고, 뿐만 아니라 엔진오일의 초기 유동성에 따라 크게 좌우된다. 초기 시동온도에서 엔진오일의 점도가 너무 높은 경우는 엔진내의 상대 접촉 운동부에 부하가 걸리게 되어 신속하게 시동이 걸리지 않는다. 온도가 낮아지게 되면 모든 오일의 점도가 높아지게 되므로 겨울철에 사용되는 오일은 엔진의 적절한 회전속도를 낼 수 있도록 충분히 점도가 낮아야 하며, 마멸 발생을 방지하기 위해 신속히 베어링으로 공급될 수 있을 정도로 충분한 초기 유동성을 가져야 한다. 또한 엔진이 정상 운전온도에 이르렀을 때 충분한 유막을 형성할 수 있을 정도로 높은 점도를 가지고 있어야 한다. 즉, 자동차에서 엔진오일 점도는 대단히 중요한 파라메타로 엔진의 초기 시동성과 밀접한 관계를 맺고 있다.

2) 윤활 및 마멸 방지

엔진이 작동하면 엔진오일은 각 부품의 마멸과 고착현상을 일으킬 수 있는 금속간의 접촉을 방지하기 위하여 움직이는 금속표면을 윤활하도록 엔진내를

순환하여야 한다. 메탈 베어링과 실린더 벽에 부착된 오일의 박막은 오일의 공급량과 부품의 움직임 또는 압력에 대단히 민감하므로 적절한 유동성을 가진 오일이 공급되어야 한다. 오일이 일단 미끄럼 마찰작동 부위에 도달하면 오일은 윤활작용을 하게 되고, 또한 유막형성으로 작동되는 마찰표면에 대한 마멸을 방지하는 기능을 하게 된다. 엔진내에는 많은 부품이 있어서 오일은 두 표면간의 완벽하고 과단되지 않는 강인한 유막을 형성하여야 함은 물론 증발이나 소모에 의한 부족량을 계속적으로 보충해야 한다.

3)마찰감소

윤활유 공급이 원활한 완전 유체윤활 상태에서는 유막에 의하여 두 개의 금속간 미끄럼 마찰접촉이 분리되므로 엔진내 각 부품간의 금속간 접촉은 일어나지 않는다. 이런 부품간의 상대운동은 윤활유 자체의 유체저항을 극복할 수 있을 정도로 상대운동에 드는 힘이 커지게 된다. 그러나 오일은 유막의 과단을 방지하기 위하여 점도가 높아야 하지만, 필요 이상으로 높아서는 안 된다. 자동차 제작회사에서는 대기온도를 감안하여 SAE 점도등급에 따라 적당한 점도등급을 사용하도록 추천한다. 이러한 추천은 정상적인 운전조건에서 윤활유가 적절한 수준의 점도를 갖도록 해주는 것이다. 오일이 오염되면 오일의 점도는 변하게 된다. 미립자(Soot), 산화 생성물 또는 슬러지(Sludge)가 혼입되면 점도는 상승하게 되고, 반대로 연료가 희석되면 점도가 저하하게 된다. 점도가 상승되든지 아니면 저하되든지 간에 어떠한 경우에도 엔진에는 좋지 못한 결과를 가져오게 된다. 그러므로 엔진오일의 오염수준이 최저가 되도록 관리하는 것이 중요하며, 이러한 최상의 윤활관리를 위하여 적절한 주기로 오일을 교환해주는 것이 가장 좋은 방법이다.

4)녹과 부식방지

연료가 연소실에서 완벽하게 연소되면, 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)을 생성한다. 내연기관에서 연료가 모두 연소하기란 어려우며, 일부 불완전 연소된 가솔린이나 디젤은 연소중에 복잡한 화학적 변화를 일으키게 되고, 어떤 경우에는 미립자(Soot)와 카본 퇴적물을 생성하게 된다. 이렇게 발생된 카본의 일부는 연소된 연료의 일부와 함께 배기장치의 머플러를 빠져나가 검은 매연이나 심한 악취를 내게 된다. 특히 연료와 공기의 혼합기의 농도가 너무 짙거나 연소실에서 점화되지 않는 일이 발생할 경우에도 배출가스가 발생하기 쉽다. 일부 미립자와 불완전 연소된 연료가 피스톤 링을 거쳐 크랭크케이스로 유입될 경우에는 수분과 혼합되어 슬러지를 비롯한 엔진내의 주요 부품에 바니쉬(Vanish)상의 퇴적물을 형성하게 된다. 슬러지가 발생하게 되면 오일 통로를 막아 오일의 흐름이 감소하게 되며, 바니쉬는 적절한 유막을 두고 결합되어 움직이는 부품사이에 끼여들어 오일의 순환을 방해하게 되므로 엔진부품을 고착시켜 기능장애를 유발하고 결국에는 엔진 각 부품의 조기 손상을 일으키게 된다.

5)엔진의 청정성 유지

고품질의 엔진 오일을 개발하는데 있어서 기본적인 목표는 엔진 각 부품의 청정성을 유지해야 함은 물론 엔진의 정상적인 운전을 방해하는 슬러지와 바니쉬상의 퇴적물 생성 억제에 유의해야 한다. 엔진에서 슬러지의 형성은 일반적으로 엔진의 운전 온도가 낮다는데 문제가 있다. 엔진내의 슬러지 퇴적물은 응축된 수분, 먼지, 열화된 오일에서 생성된 물질, 그리고 불완전연소 생성물이 혼합되어 발생된다. 슬러지를 형성하는 물질은 대부분 오일 필터로 제거할 수 없을 정도로 아주 미세한 물질들이다. 또한 이러한 물질은 엔진부품에 부착된 유막의 두께보다도 훨씬 작아서 그 작은 상태로 부착되어 있다던지 오일

중에 잘 분산되어 있는 한 엔진의 마찰부에는 마멸 등의 손상을 입히지는 않는다. 하지만 오일을 사용하는 중에 이러한 물질의 양이 증가되면 이들 물질들이 서로 결합하여 더욱 큰 입자로 되면서 오일의 흐름에 지장을 주게 되어 오일의 공급상의 문제점을 발생하게 된다. 슬러지의 형성은 엔진의 운전속도가 낮은 경우 크랭크 케이스에 응축된 수분에 의해 더욱 악화된다. 크랭크 케이스내의 엔진오일이 퇴적하여 슬러지를 형성하게 되는 정도는 몇 가지 운전 조건에 관련이 있다. 시동시에 초우크가 고정되어 혼합기가 농후한 경우, 에어 클리너의 오염, 점화 불량 요인이 작용할 경우에 슬러지의 퇴적이 증가하게 된다. 첨가제가 전혀 공급되지 않은 기유는 엔진내에서 이러한 오염물질로 인하여 다량의 슬러지를 형성하거나 응집되는 것을 억제할 수 있는 능력이 거의 없으므로 첨가제인 청정 분산제를 사용하여 오염관리를 한다. 청정 분산제는 엔진의 주요부품들을 깨끗하게 유지하여 주고 오일에 혼입된 오염물질들을 작은 입자의 형태로 오일중에 분산시켜서 정기적인 오일 교환시기에 제거될 수 있도록 해야한다.

6)연소실내의 퇴적물 감소

피스톤 링과 실린더 벽면에 윤활유가 원활하게 공급되어 윤활 역할을 수행하기 위해서 오일은 피스톤 탑링(Top ring) 부위까지 도달하여야 한다. 그러면 탑링과 연소실 벽면에 공급된 엔진오일은 마찰열과 연소열의 불꽃에 노출되면서 결국 그 일부는 연소되어 없어지게 된다. 최신의 오일 정제 기술로 생산된 윤활유는 이러한 조건하에서 깨끗이 타서 없어지던가 카본을 약간 혹은 전혀 남기지 않는 오일을 생산해 낸다. 엔진오일에 사용된 청정 분산제는 피스톤 링 홈(Groove)에서 링이 자유롭게 움직일 수 있도록 해 줌으로써 압축압력을 균일하게 유지해 주고, 연소실에 달하는 오일의 양을 최소한으로 줄여준다. 오

일의 자연 소모량을 줄여줄 뿐만 아니라 연소실 내의 퇴적물을 최소한으로 줄여주는 더욱 중요한 역할을 하는 것이다. 연소실에 퇴적물 발생이 과도하지 않도록 하기 위해서는 엔진오일이 다음 두 가지의 조건을 만족해야한다. 오일링을 자유롭게 운동하도록 연소실에 들어가는 오일의 양을 최소가 되도록 하고, 연소실내에 유입된 오일은 가능한 한 깨끗이 연소되도록 한다.

7)엔진 각 부품의 냉각

엔진에 주입되는 물과 부동액의 혼합액은 엔진의 실린더 헤드, 실린더 벽 및 벨브등 만을 냉각하며 크랭크축, 메인베어링, 커넥팅 로드 베어링, 캠축과 그 베어링 및 피스톤을 비롯한 엔진의 아래부분에 위치한 많은 부품들은 대부분 엔진오일에 의해 냉각된다. 이러한 부품들은 절대로 넘어서는 안될 절대온도 한계치를 가지고 있다. 몇몇 부품은 상당히 높은 온도까지도 운전이 가능하나 메인 베어링이나 커넥팅 로드 베어링과 같은 부품은 마찰열에 기인한 열손상을 방지하기 위하여 비교적 냉각된 상태로 운전되어야 하나, 지나치게 낮으면 연소효율이 떨어져 유해 배기가스 발생의 문제점이 있으므로 적정온도의 유지가 대단히 중요하다. 이러한 부품은 열을 방출하여 그 열을 외부의 공기로 보냄과 동시에 오일이 냉각되는 크랭크 케이스로 보내기 위하여 충분한 양의 냉각된 오일이 공급되어야 한다. 크랭크 케이스내에서 순환에 의한 오일의 계속적인 냉각은 베어링의 과열을 방지해 주는데 대단히 중요하다. 이러한 냉각효과를 계속적으로 유지해 주기 위해서는 적정량의 엔진오일을 계속적으로 베어링과 기타 각 엔진 부품에 공급하여야 한다. 만약 엔진의 어떤 부분에 오일의 공급이 중단된다면 이 부분은 마찰과 연소열의 증가로 순식간에 가열된다. 베어링의 윤활유 부족으로 인한 손상은 주로 베어링의 재질로 사용된 금속이 실제로 녹아버리기에 충분한 정도로 온도가 급상승하면서 베어링에는 소부현상

(Seizure)이 발생하게 된다. 적절한 냉각을 위하여는 유면 위치의 하한선 이상으로 유량을 관리하는 것이 필요하다.

2.2.2 엔진유의 요구성능

위와 같은 엔진유의 역할을 잘 수행하기 위하여, 엔진유는 각종의 성능을 잘 구비하고 있어야 할 필요가 있다. 필요한 엔진유의 성질은 다음과 같이 정리될 수 있다.

1)적정점도

점도를 선정할 경우, 너무 낮은 것을 사용하면, 마모의 증가, 소부의 발생, 오일소모량의 증가등의 문제가 생기게 된다. 또한 너무 높으면, 엔진의 작동이 무겁게 되고, 효율이 떨어지며, 퇴적물이 증가하는 문제를 발생시킨다. 따라서, 자동차의 사용조건에 따라 적절한 점도등급을 선택할 필요가 있다.

2)높은 점도지수

오일의 점도는 온도가 높을 때에는 낮고, 저온시에는 뽁뽁해진다. 극한기의 경우 시동시의 외기 온도는 영하이지만, 시동후 주행에 따라 엔진이 가열되면, 피스톤부에서는 400℃정도까지 온도가 상승된다. 즉, 엔진의 시동을 좋게 하기 위해서는 오일의 점도가 낮은 편이 좋지만, 너무 낮으면 운전중의 고온시에는 유막이 너무 얇아지거나 유막과단을 일으켜 마모가 증가되거나 엔진소부를 일으킬 수 있다. 또한 엔진내부의 온도도 각각 다르기 때문에 각 윤활부에 대하여 적절한 점도를 가짐으로서 일정한 두께의 유막을 유지할 필요가 있다. 이를 위하여, 고온엔진유는 온도의 변화에 따른 점도의 변화가 적은 특성, 즉 높은 점도지수가 요구된다. 엔진유는 단급점도유와 다급점도유가 있다. 단급점도유는 점도지수가 85~100정도인데, 이 정도의 점도지수로는 엔진 전체의 운전

조건을 만족시키기가 어렵다. 따라서 외기온도나 운전조건에 따라서 몇종의 단급점도유를 나누어서 사용해야만 한다. 그러나, 윤활기유의 정제도를 높이거나, 합성기유를 사용하고, 점도지수향상제를 첨가함으로써, 점도지수가 높은 엔진유를 만들어, 1종류의 엔진유로 몇 종류의 단급점도유의 점도범위를 만족시키는 것이 가능하다. 다급점도유는, 고온(100℃)에서 동일점도를 갖는 단급점도유보다 연지성능이 좋은 것으로 확인되어 있다. 이것은 폴리머인 점도지수향상제가 전단을 받아 전단방향으로 배열하기 때문에, 전단속도의 증가에 따라 일시적으로 점도가 저하되는 성질을 가지기 때문이다.

3)청정분산성

오일은 사용에 따라 산화생성물이 생기고, 미립자등의 오염물이 혼입되어 오일에 불용성인 물질이 생긴다. 이것들이 피스톤링을 부착시키거나, 오일필터, 오일스트레이너 등의 부품에 퇴적되거나, 엔진마모를 증가시키기도 하여 문제를 발생시킨다. 이를 방지하기 위하여, 엔진유는 이러한 불용물질을 오일중에 분산시켜 엔진내부를 청정하게 유지시키는 능력을 가져야 한다. 때문에 엔진유에는 청정분산제가 함유되어 있는데, 청정성이 좋은 오일은 비교적 빨리 오염되는데, 이는 청정분산작용에 의한 것이기 때문에 염려할 필요는 없으며, 오일교환시에 동시에 배출되어 버린다.

4)산중화성

오일의 열화나 연료의 연소에 의하여 발생된 유독한 부식성의 산을 중화하여 부식마모를 방지하는 능력도 엔진유에는 요구된다. 특히, 디젤엔진유는 연료로서 황 함량이 많은 경유를 사용하기 때문에 연소에 따라 황산이 생긴다. 이 산을 중화시키기 위하여, 엔진유중에는 염기성물질을 첨가하는데, 주로 금속계 청정제가 사용되고 있다.

5)산화안정성

오일은 열악한 분위기에서 고온과 접촉함에 따라 서서히 산화, 변질되며, 열화가 진행되어 침전물, 퇴적물 및 산성물질 등을 생성시킨다. 침전물 및 퇴적물은 오일통로를 막거나, 오일의 흐름을 순조롭지 못하게 하여 마모를 증가시키거나 소부를 일으킨다. 부식성이 있는 산성물질은 베어링 및 실린더 등 섭동부를 부식시키고, 마모를 증가시킨다. 산화안정성을 좋게 하기 위해서 산화방지제가 사용된다.

6)부식방지성

연소실로부터 부식성이 있는 산 및 수분등이 크랭크케이스에 혼입되어, 엔진내부에 부식 및 녹을 발생시킬 가능성이 있기 때문에, 엔진유는 이를 방지할 능력이 필요하다. 첨가제로서 부식방지제가 사용된다.

7)마모방지성

엔진의 고성능화로 인하여, 회전속도 및 압축비 등이 높아짐에 따라, 밸브계통, 각 베어링, 실린더 및 피스톤 등의 마모증가가 문제로 되고 있다. 또한, 엔진의 소형경량화의 영향으로 각 부품의 접촉면압이 증가되고, 회전수의 증가와 더불어 밸브계통의 용착이나 피로마모 등도 증가되고 있다. 이를 방지하기 위하여 엔진유에는 마모방지제를 첨가하고 있다.

8)기포발생

엔진내에서 오일은 항상 교반되고있기 때문에 기포가 발생되기 쉬운 조건에 처해있는데, 오일에 기포가 발생되면, 오일펌프의 성능이 떨어지고, 오일공급의 부족으로 마모가 증가되거나 소부를 일으킬 수 있다. 이의 방지를 위하여 엔진유에는 소포제가 첨가되어 있다.

2.2.3 엔진유의 분류기준

점도와 SAE점도번호의 관계는 Table 2.2.1와 같다.

Table 2.2.1 SAE Viscosity grade (SAE J300, 1995. 12.)

SAE viscosity grade	Low temperature viscosities		High temperature viscosities		
	Cranking (cP) max at temp °C	Pumping(cP) max with no yield stress at temp °C	Kinematic (cSt) at 100°C		High shear (cP) at 150°C and 10 ⁶ /s min
			min	max	
0W	3250 at-30	60,000 at-40	3.8	-	-
5W	3500 at-25	60,000 at-35	3.8	-	-
10W	3500 at-20	60,000 at-30	4.1	-	-
15W	3500 at-15	60,000 at-25	5.6	-	-
20W	4500 at-10	60,000 at-20	5.6	-	-
25W	6000 at-5	60,000 at-15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	< 9.3	2.6
30	-	-	9.3	< 12.5	2.9
40	-	-	12.5	< 16.3	2.9(0W/40,5W/40,10 W/40)
40	-	-	12.5	< 16.3	3.7(15W/40,20W/40,2 5W/40,40)
50	-	-	16.3	< 21.9	3.7
60	-	-	21.9	< 9.3	3.7

외기온도와 적절한 SAE 점도등급은 Table 2.2.2 과 같다.

Table 2.2.1 Air temperature & SAE standard

SAE	Air temperature(℃)
SAE 10W	-20℃ ~ -10℃
SAE 20W	-10℃ ~ -25℃
SAE 30W	5℃ ~
SAE 40W	10℃ ~
5W/20, 5W/30	-25℃ ~ 40℃
10W/30, 10W/40	-20℃ ~ 40℃
15W/40	-15℃ ~ 40℃
20W/40, 20W/50	-10℃ ~

2.3 기관유허유 첨가제

유허유 첨가제는 유허유에 새롭고 바람직한 성질을 부여하거나 이미 유허유에 의해 보유된 바람직한 성질들을 강화, 보장한다. 특히 자동차용 유허유는 마찰, 열, 그리고 마모를 감소시키는 그들의 기초적인 작용들뿐만 아니라 많은 다른 작용들을 수행토록 요구된다. 유허유는 슬러지와 바니쉬 그리고 침적물을 최소화시키고 녹과 부식을 방지하며 극압조건 아래에서 마모와 마찰을 방지하고 오일속의 유해한 오염물질들을 중화시키고 분산시켜야 한다. 이들 작용은 광범위한 가동조건 아래에서 수행되어야 한다. 광유 단독으로는 어떤 중요한 시기에 대한 그러한 요구사항들을 만족시킬 수 없기 때문에 유허유 첨가제의 역할은 매우 중요하며 ,그들의 성능을 향상시키기 위해 엔진의 개발과 함께 꾸준히 개발되고 있다.

2.3.1 첨가제의 종류

내연기관에 요구되는 성능에 따른 첨가제로는 엔진의 고온 운전시 발생되기 쉬운 산화생성물 또는 외부로부터 침입해오는 카본 및 슬러지 등을 오일 중에 미세한 입자상태로 분산 시켜주며 산중화작용을 하는 청정분산제(Dispersants / Detergents), 오일이 공기중의 산소에 의해 산화되는 것을 막거나 부식 생성이나 슬러지의 생성을 억제하며 점도상승을 억제하는 산화방지제(Anti oxidants), 금속표면에 극압피면을 만들어 금속간의 접촉에 의한 마모 및 소부를 방지하는 극압첨가제(Extreme pressure additive), 온도변화에 따른 오일의 점도변화를 적게 하여 오일이 광범위한 온도범위에서 사용할 수 있게 해주는 점도지수 향상제(Viscosity index improve), 유중에 포함되어 있는 왁스가 저온시 결정화되어 응고되는 것을 방지하는 유동점 강하제(Pour point depressants), 사용중 격심한 교반작용에 의해 기포가 발생하는 것을 방지하는 소포제(Anti-foam agents), 금속 표면에 흡착면을 만들어 공기가 수분에 의해 녹이 발생하는 것을 방지하는 방청제(Anti-rust additives), 마찰표면에 작용하여 마찰계수를 낮춰주는 감마제(Friction modifier)등이 있다.

기관유탄유에 사용되는 첨가제의 대표적인 화합물은 Table. 2.3.1과 같다.

Table. 2.3.1 Representative compounds in lubricants

Items	Representative Compound
Dispersants / Detergents	Sulfonate, Phenate, Salicylate, Succine, Acid ester Succinimide,
Anti-oxidants	Zn-DTP, Bisphenol
Extreme pressure additive	Dialkyldithiophosphate, Tricrecylphosphate, Chlorine Compounds,
Viscosity index improvers	Polymetacrylate, Olefine polymerization, Styrengen polymerization, PIB, PMA, OCP
Pour point depressants	Polymetacrylate
Anti-foam agents	Silicon compounds
Anti-rust additives	Sulfonate, Ester
Friction modifier	MoS ₂ , Graphite, Molybdenum compounds, Ester, Amine, Phosphate, compounds

2.3.2 대표적인 첨가제의 특성

1) 청정분산제 (Dispersants / Detergents)

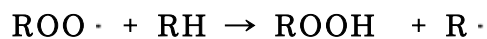
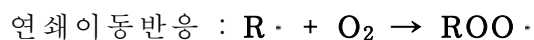
청정분산제는 슬러지, 카본, 연료나 엔진오일의 일부가 산화되어 발생하는 슬러지핵(Precursor)을 유중에 분산시켜 엔진의 내구수명에 영향을 미치는 퇴적물이나 마모를 억제하는 작용을 한다. 퇴적물 생성을 억제하기 위해 여러 가지 청정제나 분산제가 사용되고 Phenate나 Sulfonate의 금속계 청정제 외에 최근에는 호박산아미드류계나 폴리머형의 점도지수향상제(유용성 폴리머)와 같은 무회분산제가 사용되고 있다. 무회분산제의 화학구조는 일반적으로 분자

량 700~3000의 Polybutene등의 유용성기와 Polyamine 또는 Polyol에서 유도된 극성기로 이루어져 있다. 무회분산제 중에는 호박산아미드계가 가장 많이 제조되고 있으며 Polybutene Succinimide가 대표적인 것이다. 유용성기의 Polybutene은 분자량 700~3000 사이로 조정하고 통상은 분자량 약 1000정도이다.(C 원자수 50이상) 또한 Succinate ester와 Polyalkylenepolyamine 등이 있다. Ca sulfonate는 가장 많이 이용되고 있는 금속계청정제이며 윤활유 정제 과정에서 부생하는 유용성 Mahogany sulfonate나 합성 Alkylbenzene의 sulfonate로 제조된다. 가장 간단한 구조로는 중성 Alkylbenzene sulfonate에서 유용성의 Alkyl기 부분은 C18~C20 내지 그 이상이다. 오일에 대하여 충분한 용해성을 가지는 Sulfonic acid 의 분자량은 통상 450이다.

2) 산화방지제 (Anti-oxidants)

엔진오일이 산화되면 점성증가 및 엔진 내의 Deposit 및 부식의 원인이 된다. ZnDTP는 대표적인 제품으로 엔진오일은 물론 대부분의 공업유 윤활유에도 사용되고 있다. 기타 특수하게 철도, 천연가스엔진 및 터빈에 있어서는 Hindered phenol, 방향족 Amine 및 유기화합물과 같은 무회산화방지제가 ZnDTP대신에 이용되고 있다.

윤활유의 산화는 다음과 같은 연쇄반응으로 진행된다.



RH는 탄화수소이고 R·, ROO·는 활성유리기이며 열, 빛, 촉매에 의해서 촉진된다.

엔진유는 산화가 진행되면 점도상승 및 전산가의 증가로 인하여 윤활

로 중화시켜 아연염을 합성한다.

4)극압제 (Extreme pressure additive)

극압제는 하중이 커져서 금속간의 요철부끼리 흡착막을 뚫고서 접촉해 표면 온도가 상승하면 흡착유막은 파괴되어서 Seizure현상을 일으키거나 Scuffing을 일으키게 된다. 이러한 윤활조건에서 가급적 마모를 줄이고, 윤활불능이 되지 않도록 작용한다. Terpene 혹은 α -pinen이나 불포화지방산의 황화물등의 황계 화합물과 염소 및 옥소의 유기화합물인 할로겐계 화합물이 주로 사용되고 있다.

5)점도지수 향상제 (Viscosity index improvers)

Multigrade(다급점도) 엔진오일은 저온에서 점도(SAE 10W30경우)가 -20°C 에서 측정하는 저온상에서의 규격(Max 3500 cP)범위 내에 있고, 한편 100°C 에서 측정하는 고온상에서의 점도도 규격범위 내에 있다. Multigrade를 오일에 첨가하면, 모든 온도 범위내에서 오일의 점도는 증가하며 이 점도 증가의 비율은 고온측이 저온측보다 크다. 따라서, 온도변화에 따라 점도변화를 최소화시켜 주는 매개체가 점도지수향상제이다. 이런 역할로 연료소비의 저감, 오일소모량 감소 및 저온시동성 향상 등의 효과를 낸다. 분자량 20,000~1,000,000 범위의 유용성 Polymer로 구성되어 있으며, 측쇄와 주쇄의 차이에 의해 많은 종류가 있고, 일반적으로 비분산형과 분산형이 있다. 엔진유, 기어유 모두 멀티그레이드화가 더욱 진전될 것이 예상되기 때문에 점도지수향상제의 역할이 보다 중요하게 되고 있다. 각각의 형에 의해서 증점성, 저온성능, 고온성능에 대한 특징이 있기 때문에 금후에도 어느 화합물도 적재 적소의 형태로 사용될 것이 예상된다.

6)소포제 (Anti-foam agents)

윤활유의 개량에 따라서 각종 첨가제의 사용 또는 고속운전에 의한 발포현상이 많아지고 있다. 예컨대 고속버스의 디젤엔진유, 극압첨가제가 첨가된 터어빈유, 철도차량용 토크컨버터유, 비행기의 엔진유, 유압작동기의 발포가 대표적이다. 발포가 심하면 윤활유의 압축성 증대에 따라서 실린더의 작동이 불규칙하게 되고, 유압펌프의 효율이 저하되며, 마찰부예의 급유 부족분에 의한 마모, Seizure현상이 발생하게 된다. 또한 윤활유와 공기와의 접촉면적이 넓어져서 기름의 산화가 촉진되고, 거품을 함유한 윤활유의 Over flow가 발생한다. 소포제로서는 액상의 오르가노폴리실록산 즉 실리콘과 오르가노실리케이이트가 대단히 유효함이 발견되었으나, 실리콘은 윤활유에 1~100ppm의 미량을 첨가하므로 우수한 억포작용을 나타내어, 윤활유의 특징을 손상하지 않는 특징을 가지나, 실리케이이트류는 안정성에 난점이 있어서 탄화로서는 실리콘만이 소포제로 쓰이고 있다.

2.3.3 고체윤활제 (Solid lubricants)

고체윤활제는 액체윤활제를 사용할 수 없는 극저온이나 고온의 조건 하에서 윤활효과를 나타내어 마찰계수를 감소시키고 내마모성을 향상시켜 기계부품의 수명 및 성능을 증대시키는 장점을 가지고 있다. 고체윤활제의 미끄러운 윤활효과는 대표적인 고체윤활제인 흑연의 결정구조에서 알 수 있듯이 층상구조 또는 lamella 구조에 기인한다. 즉 육각판상의 층상 결정구조를 가지고 있으며 한축과 평행한 층내에서는 강한 공유결합에 의해서 그 축과 수직인 다른축으로는 약한 Van der Waals 결합에 의해 결정을 형성하고 있으며 이 층과 층사이의 약한 결합력에 의해서 미끄러짐이 유발된다. 자기 윤활성을 가지고 있는 층상 Dichalcogenide계 무기 물질이란 IVB나 VB족 전이금속, 즉 Mo, W, Nb,

Ta 등과 VIA족의 S, Se, Te이 결합한 화합물을 일컫는다. 흑연 이외에 보편적인 고체윤활제인 MoS₂, WS₂, TeS₂ 등의 MX₂계의 결정구조는 Fig. 2.3.1에서 보여준 바와 같이 흑연의 결정구조와 유사하다. 고체윤활제는 금속 부재에 코팅시 판상형의 적층결정구조 분말이 Fig. 2.3.2 와 같이 표면에 배열 된다. 이 때 S층과 S층간의 약한 Van der Waals 결합에 의해 윤활특성을 나타내게 된다(Fig. 2.3.3).

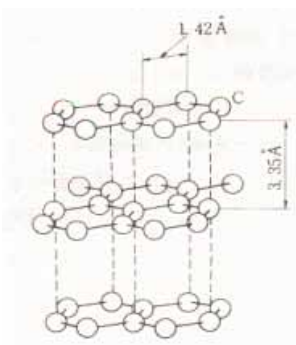


Fig. 2.3.1 Schematic of Graphite

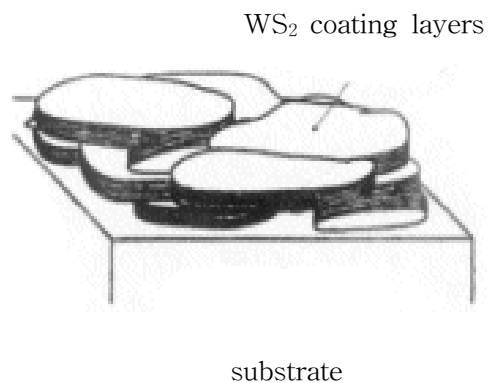


Fig. 2.3.2 Schematic of WS₂ coating Layers on Substratum

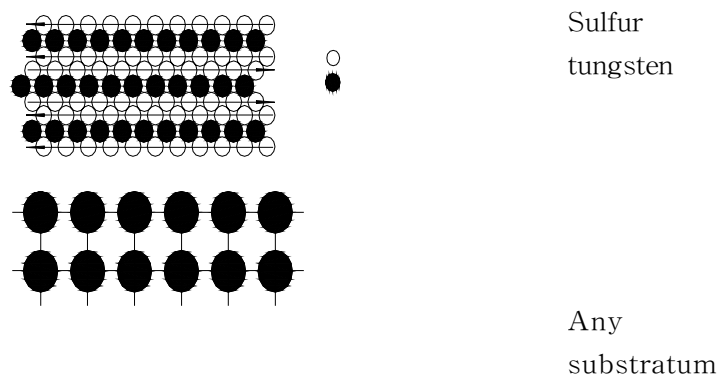


Fig .2.3.3 Schematics of substratum and coated WS₂ layer

가장 대표적인 고체윤활제인 Graphite는 상온, 습도 분위기에서는 매우 낮은 마찰계수 (약 0.06~0.1)를 나타내지만 500℃ 이상의 고온 산화분위기에서는 산화에 의해 마찰계수가 급격히 상승하고 진공에서 윤활특성이 낮으므로 항공기 등의 접동부품의 윤활제로는 적용이 힘들다. MoS₂는 상온에서는 Graphite나 WS₂와 대등한 마찰계수를 나타내지만 내산화성이 낮아서 250℃ 이상의 온도에서 MoS₂가 MoO₃으로 전이될 뿐 아니라 마찰계수도 급격히 높아지며 습도, 온도, 등의 작동환경에 따라 마찰계수가 민감하게 변한다. MoS₂는 250℃ 이하의 온도에서는 적용 가능한 비교적 염가의 고체윤활제로 알려져 있다. WS₂ 고체윤활제는 graphite나 MoS₂에 비하여 내산화성이 크고, 가혹 환경에서의 윤활특성이 우수할 뿐 아니라, 최저온도 -273℃부터 최고온도 650℃까지 Graphite보다 낮은 마찰계수를 나타내며 진공상태에서는 1000℃까지 처리표면의 변형 없이 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 상온에서 건식코팅하여 부재와의 결합강도가 크고 얇은 코팅층을 얻을 수 있으므로 금속, 플라스틱, 세라믹스 등의 부재에 코팅이 가능하다. 이러한 장점을 가지는 WS₂의 양산 합성방법에 관하여는 문헌상 구체적으로 보고된 바 없다. 다만 WS₂ 제조공정이 MoS₂ 제법과 매우 유사할 것이라는 판단하에 다음의 제조공정을 고려할 수 있다. 즉, W와S 분말의 진공 내에서의 반응, WO₃ 고상과 CS₂나 H₂S 가스와의 기상-고상 반응, 텅스텐 산화물을 수용성염으로 전환시켜 sulfur를 포함하는 염과 반응시킨 후 침전시키는 방법, WS₃의 화학분해, 전기증착, 화학증착등이 고려되어질 수 있다.

2.4 나노구리합금윤활제

기관의 운전시 고온·고압 및 극압윤활상태는 피할 수가 없는 사항이며, 기존의 윤활유 및 윤활유 첨가제 특히 고체윤활제로는 위에 언급된 상태에서 발생하는 문제점을 모두다 해결할 수 없는 상황이다. 현재 금속재료 중 윤활성 및 극압, 마모방지에 뛰어난 성질을 가지는 구리합금에 대한 연구가 많은 나라에서 활발히 진행되고 있으며, 그 동안 발표되었던 많은 문헌에 의하면, 구리합금 윤활제가 기관을 포함한 기계요소에서 발생할 수 있는 극압윤활상태를 향상시키는 효과를 보이고 있음을 증명하고 있다. 특히, 러시아 중앙 자동차 및 자동차 엔진연구소(NAMI)의 연구보고서에 의하면 구리합금 윤활제가 극압성이 매우 우수하며 손상된 마찰부위에 대한 치료효과도 기대할수있는것으로 판명되었으며, 안효석과 이성철의 연구보고서에서는 마찰·마모 저감과 손상 부위 치료효과가 있음이 확인되었다.

본 실험에서는 나노구리합금첨가제를 포함한 윤활유가 디젤기관의 윤활특성에 미치는 영향을 모터링상대의 실험장치를 이용하여 파악하고 동시에 고속마찰마모시험기로 나노구리합금첨가제의 일반적인 특성을 분석하고자 한다.

본 실험에서 사용되는 첨가제는 구리니켈합금 나노분말이 함유되었으며, Fig. 2.4.1은 본 실험에 사용된 나노구리니켈합금분말의 전자주사현미경(SEM) 사진으로 형상은 구형이며 크기는 10nm에서 100nm 사이에서 주로 분포하고 있음을 보여준다.

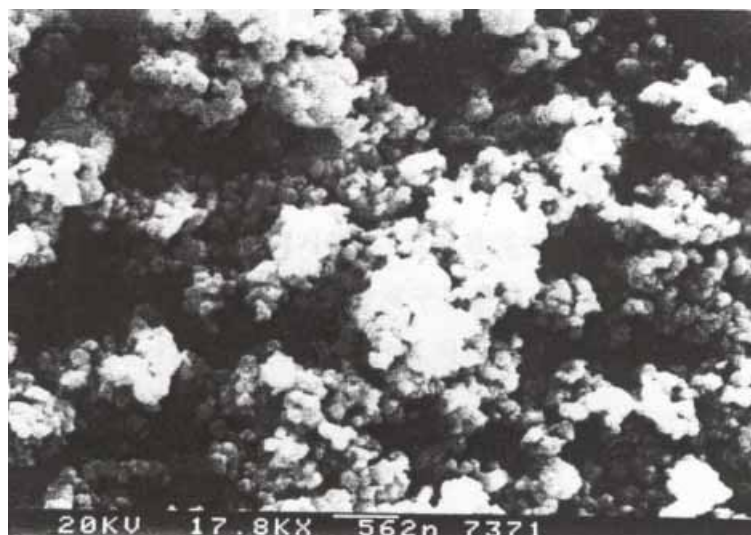


Fig. 2.4.1 SEM micrograph of NiCu nano-powder

3. 실험장비 및 실험조건

3.1 고속마찰마모시험기

3.1.1 실험장치

윤활제의 효과를 확인하기 위한 예비실험으로 고속마찰마모시험기 (High speed rolling contact wear test machine)를 이용하여 마찰·마모특성을 실험하였다. 실험에 사용된 고속마찰마모시험기의 사진은 Fig. 3.1.1과 같으며 고속마찰마모시험기의 기본사양은 Table 3.1.1과 같다. 본 실험장치는 회전 및 마찰부분, 데이터 취득부분, 가동 및 운전부분으로 구성되어 있다. 회전 및 마찰부분에 미리 가공된 시편을 설치하여 필요한 회전속도 및 부하를 적용하여 구동을 시킨다. 동력은 AC 서보모터(Surbo motor)에서 직접 구동축으로 전달되며, 윤활유는 급유펌프에 의해 마찰이 일어나는 시편상부에 직접 분사시키는 방식으로 급유된다.



Fig. 3.1.1 Model of high speed rolling contact wear test machine

Table 3.1.1 Specification of high speed rolling contact wear test machine

	Specifications
Speed range of revolution (rpm)	60~7,000
Rolling speed (m/s)	0.65~58
Load range (kN)	0.25~15
Roller diameter (mm)	150
Slip rates	0~100%
Measurement Variables	Wear coefficient, Friction force, Temperature, Number of vibration

Fig. 3.1.2와 Fig. 3.1.3은 본 실험에 사용된 시편의 상세도와 사진을 나타내었다. 시편은 시험재와 상대재로 나누어 제작되었으며, 재질은 마찰을 극대화시키면서 한편 시험재에 대한 상대재의 마모가 크게 일어날 수 있도록 상대재는 SM45C로 시험재는 SK3으로 제작하였다.

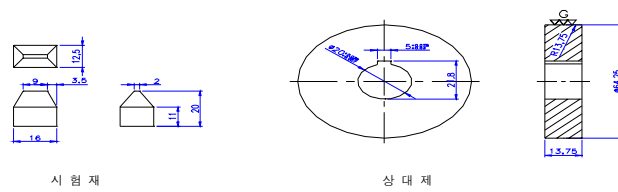


Fig. 3.1.2 Detail view of specimen



Fig. 3.1.3 Photography of specimen

3.1.2 실험조건 및 실험방법

실험은 2가지 경우에 대하여 수행하였으며 이는 일반 디젤엔진용 윤활유만을 사용하였을 경우와 일반 디젤엔진용 윤활유에 나노구리합금 윤활제를 첨가했을 경우로 구분할 수 있다. 전체실험에서의 윤활유 공급압력은 $2\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 으로 일정하게 유지하였으며 윤활유는 시편이 장착되는 부분에 0.8 l 를 저장하였으며 저장된 윤활유는 필터를 통하여 오물이 제거되어 시편의 마찰부분에 공급된다. 회전축의 속도는 일반적인 디젤기관의 피스톤 속도인 $6\sim 7\text{m/s}$ 를 고려하여 2000rpm 으로 고정하였으며, 시편에 적용되는 하중은 50N 으로 적용하였다. 또한 회전축의 속도와 적용하중은 시편의 과도한 마찰을 피하여 적용되었다.

예비실험에서는 윤활유 첨가제의 일반적이고 기계적인 효과를 파악하기 위하여, 마찰력, 마찰계수, 진동수, 온도를 각 운전조건에서 운전시간 별로 측정하였다. 각각의 데이터들을 취득하기 위한 센서들은 시편이 장착되는 챔버 (Chamber) 내에 설치되어있으며 실험이 수행되기 직전 영점이 교정되는 방식을 취하였다. 데이터는 윤활유를 주입한 직후의 10분동안과 50rpm 의 회전속도와 5N 의 실험하중으로 20시간을 운전시킨 후의 10분간으로 취득되었다. 각각의 실험은 10분씩 3번의 과정으로 진행되었으며, 이 과정에서 윤활유 및 시편의 온도를 낮추기 위하여 10분의 데이터 취득 후 50분의 시간여유를 두고 취득되었다. 데이터는 0.5초의 간격을 두고 취득되었으며, 데이터의 개수는 1200개로 일정하게 하였다.

3.2 모터구동 디젤기관

3.2.1 실험장치

실제의 엔진에 대한 윤활유의 효과를 확인하기 위하여 기존의 실제 4기통 디

젤기관을 이용하였으며 연소에 의한 동력전달의 영향을 제거하기 위해 분사밸브와 예열플러그를 분리하여 엔진구동에 따른 마찰특성과 주축의 진동특성의 평가를 위해 모터를 사용하여 강제 구동하는 형식의 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 엔진의 사진은 Fig. 3.2.1과 같으며 엔진의 기본사양은 Table 3.2.1과 같다.



Fig. 3.2.1 Model of experiment engine

Table. 3.2.1 Specification of experimental engine

	Specifications
Type	Vertical 4stroke cycle
Number of cylinder	4
Number of valve	2
Piston displacement(cc)	2209
Compression ratio	21.0
Maximum power(ps)	45 at 2600 rpm
Maximum torque(kg-m)	13.8 at 2400 rpm
Built tear	1981

3.2.2 구동장치

엔진의 주 구동축은 속도제어기가 부착된 AC 서버모터와 직접적으로 연결되어 구동되어진다. 모터는 엔진의 토크만을 검출할 수 있도록 베어링을 사용하여 마찰력이 없이 고정되었다. 모터의 정격회전수는 1750rpm이며 실제실험은 1200rpm까지 수행되었다. 구동모터의 기본사양은 Table 3.2.2와 같다.

Table 3.2.2 Specification of test motor

	Specifications
Model	TEFC
Allowed voltages(V)	220~380
Allowed current(A)	2.5~44
Maximum power(kw)	10
Maximum rpm(rpm)	1750
Frequency	60
Number of pole	4
Maker	HYOSUNG Industrial co.

3.2.2 계측장치

본 실험에서는 나노구리합금 윤활제의 기관 내에서의 대한 실제적인 효과를 파악하기 위하여, 엔진주축의 진동모드, 진동수, X-Y orbit선도와 엔진토크를 각각의 운전조건별로 측정하였다. 엔진주축의 진동모드, 진동수 및 X-Y orbit 선도는 엔진주축의 변위를 변위센서(Eddy current type displacement transducer)를 통하여 측정하였으며 이렇게 측정된 신호는 증폭기(Amplifier)를 거쳐 적절한 크기로 증폭된 후 A/D변환기를 거쳐 컴퓨터에 저장되어진다. 엔진토크를 계측하기 위해, 엔진좌우측에 로드셀(Load cell)을 설치하였으며,

로트셀로 입력된 신호는 또 다른 저장용 컴퓨터로 저장되어 2차 데이터정리가 가능 되어진다. 엔진회전수는 모터로 연결되어있는 인버터(Inverter)의 입력을 제어하여 조절하였으며, 엔진의 회전속도는 모터에 설치된 엔코더(Encoder)로 인해 처리된다.

Fig. 3.2.2는 각종 데이터를 수집하기 위해 설치된 실험장치도를 나타낸다.

1)진동 및 부하측정장치

기계의 진동은 진동을 전기신호로 변환시켜 주는 센서에 의해서 측정된다. 전기신호의 단위로는 주로 밀리볼트(mV)를 사용하지만 때때로 볼트(V)를 사용한다. 볼트와 밀리볼트의 관계는 1,000mV/V이다. 말하자면, 밀리볼트값을 볼트값으로 변환하기 위해서는 소수점을 세자리 왼쪽으로 이동하거나 1,000으로 나누어 계산하여준다. 전압형태로 측정된 신호는 계측기, 오실로스코프, 분석기로 전달되며 이 전기신호를 $mV/\mu m$, $mV/mm/s$, mV/g , mV/deg 또는 사용되는 센서에 관련된 $mV/[공학 단위]$ 의 척도로 나눔으로써 계산된다. 회전체

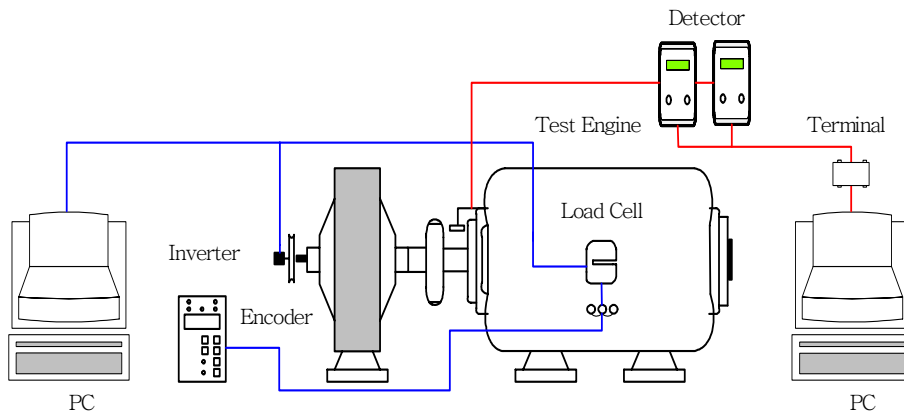


Fig. 3.2.2 Experimental setup for assessment of engine lubricants

시스템의 진동측정에 이용될 수 있는 일반적인 센서는 주로 비접촉 변위계 (Proximity probe)와 접촉식 변위계(Shaft rider), 속도 센서, 가속도계로 나누어진다. 비접촉식 와전류 변위계(Non-contacting eddy current displacement transducer)로도 불려지는, 비접촉 변위계는 베어링등의 하우징에 부착되며, 변위계가 설치된 위치에 대한 상대적인 축 진동을 측정한다. 일반적으로 두 개의 센서가 각각에 대해서 90°각도로 설치되며 기계의 구동축 단에서 볼 때에 수평 변위계가 항상 수직 변위계의 90° 오른쪽에 있도록 설치된다.

접촉식 변위계는 직접적으로 축에 접촉되어 축의 절대 진동을 측정하는 장치이다. 속도센서들은 베어링 하우징에서 절대진동을 측정한다. 적분기에서는 전자적으로, FFT(Fast fourier transfer)스펙트럼 분석기에서는 수학적으로, 속도는 변위로 적분이 가능하다. 가속도계들은 g's의 절대 진동을 측정한다. 이 가속도 진동은 속도, 또는 변위로 적분이 될 수가 있다. 또한 기계진동의 크기 또는 양을 평가하는 데에 사용되는 측정 변수는 크게 변위, 속도, 가속도로 나누어진다.

변위(Displacement)는 저주파수 영역에서 지배적인 측정변수이며, 변형된 요소에 작용되는 응력에 관련된다. 일반적인 기계운동이, “+” 피크값과 “-” 피크값이 다른, 비조화진동이기 때문에 변위는 피크-피크값으로 표시된다. 변위는 하우징과 구조물에 대해서, 10Hz(600CPM)이하의 진동을 측정하는 것에 이용된다. 그리고, 일반적으로 변위는 베어링과 그 저널 혹은 기계 케이싱과 축 간의 상대운동을 측정하는 것에 사용된다. 신호내의 노이즈에 비해서 변위의 진폭이 작기 때문에, 고주파대역에서 측정하는 것은 어렵다.

속도(Velocity)는 변위의 시간에 대한 변화율이다. 변위와 주파수 양쪽에 좌우되며, 피로와 관련된다. 진동의 변위 혹은 주파수가 커질수록, 측정 위치에

서 기계진동의 심각도는 커진다. 10Hz(600CPM)부터 60,000(1000Hz)까지의 주파수 범위에서 기계상태를 평가하는 것에는 속도가 사용된다.

가속도(Acceleration)는 고주파 영역에서 지배적으로 측정된다. 가속도는 기여와 같은 기계 요소에 작용하는 힘에 비례하며, 발생하는 주파수들이 1,000Hz(60,000CPM)이상을 초과할 때에 기계상태를 평가하기 위해 사용된다. 신호의 강도가 낮기 때문에, 저주파 측정에는 가속도 측정이 부적절하다.

조화운동에 대해서는 변위, 속도, 가속도의 피크값을 다음과 같은 관계식으로 변환하여 구할 수 있다.

$$\text{Velocity}=2\pi fD$$

$$\text{Acceleration}=2\pi fV \text{ and } (2\pi f)^2D$$

D=Displacement of peak (μm), f=Frequency (cycle/sec),

V=Velocity (mm/sec)

A=Acceleration (mm/sec^2)

본 실험에서는 비접촉 와전류 변위센서인 GAP센서를 사용하였으며, 실험에 사용된 GAP센서는 구동모터와 연결되는 엔진주축에 90°의 위상차를 가질 수 있도록 설치하였다.

변위계에 대한 제원은 Table 3.2.3 과 같다.

Table 3.2.3 Specification of test rig instruments

Instrument		Specifications
Gap sensor (eddy current type)	Model	VS-021
	Maker	Ono sokki co.
	Measurement range(mm)	0.02 ~ 2.05
	Linearity	0.4%/F.S or below
	Operating temperature(℃)	-10 ~ +120
	Output	Voltage output
	Output content	Displacement, Amplitude
Gap detector	Model	VT-120
	Maker	Ono sokki co.
	Measurement items	Gap between the detector and material under measurement
	Response frequency	DC to 10KHz
	Displacement output	0 ~ 5V
	Amplitude output	0 ~ 5V
	Monitor	Digital display 0 ~ 100%

연소에 의한 동력전달의 영향을 완전히 제거한 기관의 부하는 엔진의 좌우측에 설치된 로드셀(Load cell)로 측정되며 사양은 Table 3.2.4와 같다.

Table 3.2.4 Specification of load cell

	Specifications
Model	JW U2SB
Maker	JUNGWOO co.
Rated capacity	200kg _f
Rated output	2mV/V±0.2%

3.2.3 실험조건 및 실험방법

본 실험 또한 앞서 언급한 고속마찰마모실험과 같이 일반 디젤엔진용 윤활유만을 사용하였을 경우와 일반 디젤엔진용 윤활유에 나노구리합금 윤활제를 첨가했을 경우의 2가지 실험에 대하여 수행하였으며, 실험에 선행하여 기관내에서 윤활유의 제 성능을 발휘할 수 있도록 500rpm의 회전속도로 72시간의 예비구동을 실시하였다.

전체실험에서 윤활유는 오일팬내로 6ℓ를 주입하였으며 별도의 윤활유 공급장치를 설치하지 않고 기관자체의 윤활유 공급방식에 따라 윤활유를 기관내로 공급하였다. 오일팬내의 윤활유는 엔진외부에 설치되어있는 오일필터를 통하여 오물이 제거되어 엔진내부로 공급된다. 기관의 진동특성의 실험에서는 엔진주축의 속도를 50rpm을 시작으로 하여 100rpm에서부터 100rpm씩 증가하며 이때 각 회전수에서 데이터를 취득하였으며, 주축속도의 증가시 1000rpm이상의 회전속도에서는 구동모터에 과도한 부하로 인해 자동차단이 자주 발생하여 실험을 중지하였다. 기관의 토크변화의 실험에서는 각각 저속 및 고속을 대표할 수 있는 50, 100, 200rpm과 500, 800, 1200rpm의 회전속도에서 데이터를 취득하였다.

데이터의 개수는 진동특성실험에서는 1s 동안 2000개로 일정하게 유지하였으며, 토크변화실험에서는 800ms동안 37개로 유지하였다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 윤활유 첨가제로 구리나켈 나노분말을 사용하였으며 첨가제의 일반적인 특성을 확인하기 위한 고속마찰마모실험과, 실제 사용하던 디젤기관에서 연소관련부분과 동력전달부분을 제외하여 마찰 및 윤활특성만을 확인할 수 있는 기관을 이용하여 기관에 대한 첨가제의 기관진동 특성 및 윤활특성을 정량적으로 제시할 수 있었다.

4.1 일반적인 특성 고찰

4.1.1 마찰특성

1) 마찰력

고속마찰마모실험기를 이용하여 일정 선속도에서의 일반 디젤기관용 윤활유와 나노구리합금첨가제를 첨가한 윤활유를 비교실험한 결과, 마찰력(Friction force)의 변화는 Fig. 4.1.1과 Fig. 4.1.2와 같다. 각각 3회의 실험을 10분씩 실시하였으며 50분의 여유시간을 두고 데이터를 취득하였다. Fig. 5.1.1은 윤활유를 주입시킨 직후의 일반디젤기관용 윤활유와 나노구리합금첨가제를 첨가한 윤활유의 마찰력변화를 실험횟수에 대하여 보여주고 있다. 그림에서 보는 보와 같이 윤활유 주입 직후에서는 ①번 실험의 경우 일반디젤기관용 윤활유와 첨가제를 첨가한 윤활유의 마찰력차이가 ②번 실험에 비하여 크게 나타나지 않고 있다. 이는 윤활유 주입직후라는 시간적 사항에 의해서 윤활유의 기본성능을 나타낼 수 있는 시간적 여유가 없는 이유로 판단된다. ②번 실험의 경우가 ①번 실험에 비하여 일반디젤기관용 윤활유의 경우에는 89%, 첨가제주입 윤활제의 경우에는 32%의 마찰력증가를 보이고 있지만, ②번 실험의 경우에서

만 볼 때 일반디젤기관용 윤활유에 비하여 첨가제 첨가 윤활유의 경우 48%의 마찰력감소를 보이고 있다. 이는 ①번 실험에서는 나타나지 못한 윤활유의 성능이 시간이 지남과 함께 마찰면에 골고루 응착되어 제대로 나타날 수 있는 이유로 판단된다. 그러나 ③번 실험의 경우 첨가제 첨가 윤활유가 일반디젤기관용 윤활유에 비하여 오히려 마찰력이 증가하는 것으로 나타나는데, 이는 하나의 시편으로 과부하실험을 하는 동안 마찰면의 변화에 의하여 일반윤활유만을 사용하는 경우 상대재의 마찰면이 적절히 마모변화되어 극압상태에서도 유체마찰을 유지할수 있게 되어 나타난 결과로 판단되어 고찰에서 제외시킨다. Fig. 4.1.2는 20시간의 여유구동 시간을 가진 후의 마찰력변화를 나타내고 있다. ①번 실험의 경우 일반디젤기관용 윤활유에 비하여 첨가제 첨가 윤활유가 95%의 마찰력감소를 보이고 있다. 이는 20시간의 여유구동시간을 가짐으로써 나타나는 결과로 판단된다. 윤활유를 주입한 직후의 ②번 실험과 20시간의 여유구동시간을 가진후의 ①번 실험에 대한 마찰력의 변화는 Fig. 4.1.3과 같다. 나노구리합금을 첨가하지 않은 일반디젤기관용 윤활유의 경우, 윤활유 주입직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진후가 3.86%의 마찰력감소를 보인데 비하여 나노구리합금을 첨가한 윤활유의 경우 27%의 마찰력감소를 보이고 있다. 또한 나노구리합금을 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우에 비하여 상당히 마찰력이 감소해있음을 알수 있다. 전체적으로 볼 때 나노구리합금을 첨가하지 않은 경우에 비하여 첨가한 경우가 마찰력이 감소해 있는 것으로 나타나며, 윤활유 주입 직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진후가 이러한 현상이 두드러지고 있음을 알수 있었다 . ②, ③번 실험은 진술한 바와 같이 일반윤활제 극압실험시 과도한 변화에 의하여 서로 비교될 수 없는 결과이다.

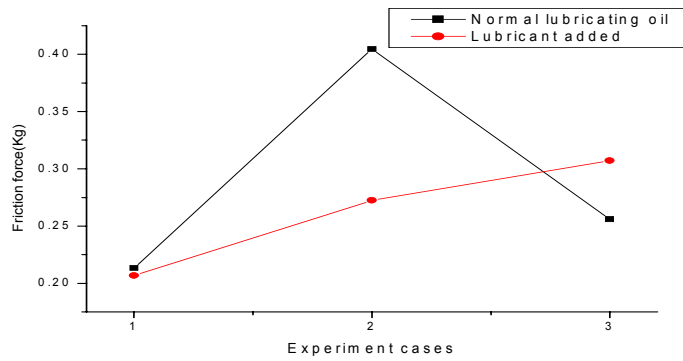


Fig. 4.1.1 Friction force variation soon after added

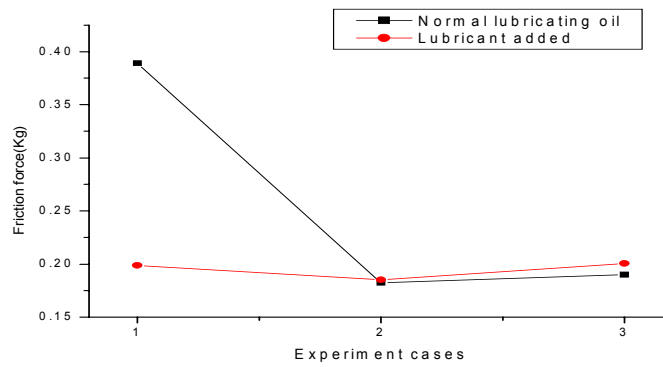


Fig. 4.1.2 Friction force variation after 20 hr

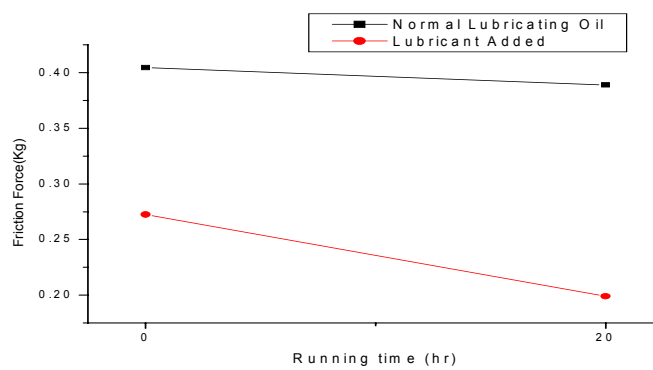


Fig. 4.1.3 Friction force variation versus running time

2)마찰계수

실험횃수에 대한 마찰계수의 변화를 정리한 그래프는 Fig. 4.1.4와 Fig. 4.1.5와 같다. Fig. 4.1.4는 윤활유를 주입한 직후의 마찰계수변화를 나타낸다. 앞서 설명한 마찰력변화 그래프와 실험횃수에 대하여 흡사한 변화를 보이고 있는데, 이는 마찰력과 마찰계수가 비례관계를 가지고 있기 때문이다. 20시간의 여유구동시간을 가진후의 마찰계수변화그래프인 Fig.4.1.5에서도 역시 20시간의 여유구동시간의 가진 윤활유의 마찰력변화와 흡사한 변화를 보이고 있다. 윤활유를 주입한 직후의 ②번 실험과 20시간의 여유구동시간을 가진후의 ①번 실험에 대한 마찰계수의 변화는 Fig. 4.1.6과 같다. 이 그래프 역시 앞서 설명한 Fig. 4.1.3의 마찰력변화와 거의 흡사한 변화를 보이는 것을 볼수 있다. 나노구리합금을 첨가하지 않은 일반디젤기관용 윤활유의 경우, 윤활유 주입직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진후가 4.11%의 마찰력감소를 보인데 비하여 나노구리합금을 첨가한 윤활유의 경우 26.86%의 마찰력감소를 보이고 있어 이 또한 앞서 설명한 마찰력변화와 거의 비슷한 수치를 가지면서 마찰계수가 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

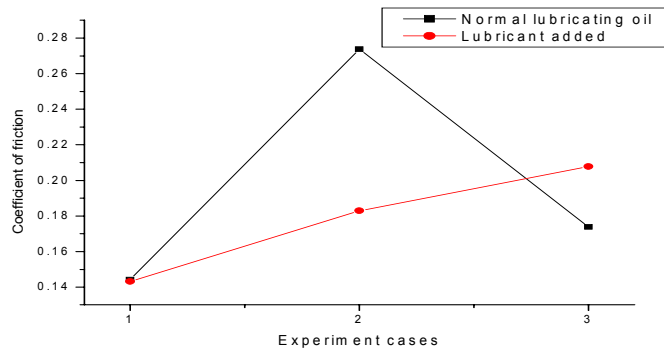


Fig. 4.1.4 Friction coefficient variation soon after added

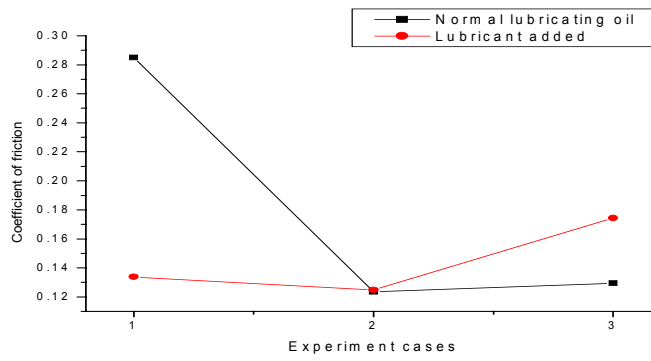


Fig. 4.1.5 Friction coefficient variation after 20 hr

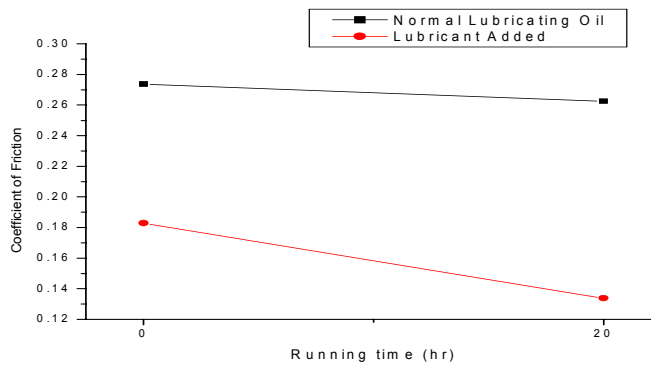


Fig. 4.1.6 Friction coefficient Variation versus running time

3)진동특성

Fig. 4.1.7과 Fig. 4.1.8은 일반디젤기관용 윤활유와 첨가제 첨가 윤활유의 실험횟수에 대한 진동 가속도의 변화를 나타내고 있다. Fig. 4.1.7은 윤활유 주입 직후의 결과이며, Fig. 4.1.8은 20시간의 여유구동시간을 가진 후의 결과이다. Fig. 4.1.7에서 볼 수 있듯이 윤활유 주입 직후의 ①번 실험에서는 일반디젤기관용 윤활유와 첨가제 첨가 윤활유의 가속도의 차이가 크게 나타나지 않지만, ②번 실험의 경우 가속도의 차이가 소폭 증가한 것을 볼 수 있다 (0.04%에서 0.075%로 증가). 이는 앞서 설명한 윤활유의 효과가 서서히 나타나는 것과 같은 사항으로 판단된다. 20시간의 여유구동시간을 가진 후인 결과인 Fig. 4.1.8에서 볼 때 ①번 실험에서는 9.6%의 진동가속도감소를 보여 윤활유 주입직후의 0.075%에 비하여 대단히 큰 감소치를 보이고 있다. 그러나 ②번 실험의 경우 0.74%의 가속도 감소를 보여 ①번 실험에 비하여 감소치가 줄어든 것으로 나타났다. 이는 동일 시편으로 실험을 계속 진행하여 나타난 결과로 판단되며, 앞서 설명한 마찰력, 마찰계수의 값이 20시간의 여유구동시간을 가진 ②번 실험의 값이 일반 디젤기관용 윤활유에 비하여 첨가제 첨가 윤활유가 약간씩 증가해서 나타난 것과 같은 사항으로 사료된다. 윤활유 주입직후의 ②번 실험과 20시간의 여유구동시간을 가진후의 ①번 실험에 대한 진동가속도의 변화는 Fig. 4.1.9와 같다. 첨가제를 첨가하지 않은 윤활유의 경우, 윤활유 주입직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진후가 0.07%의 가속도감소를 보인데 비하여 나노구리합금을 첨가한 윤활유의 경우 8.76%의 가속도감소를 보이고 있다. 전체적으로 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우보다 첨가제를 첨가한 경우 진동 가속도값이 감소한 것으로 나타나고 있다.

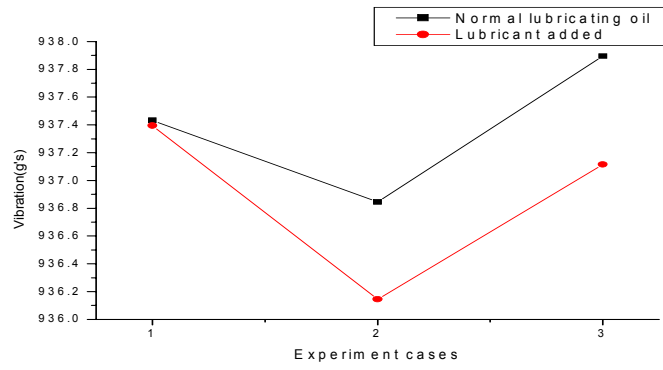


Fig. 4.1.7 Acceleration variation soon after added

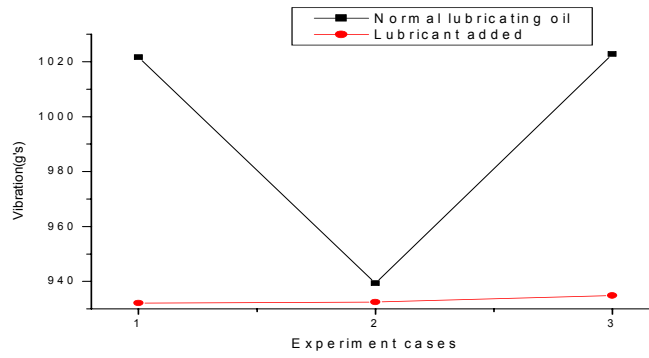


Fig. 4.1.8 Acceleration variation after 20 hr

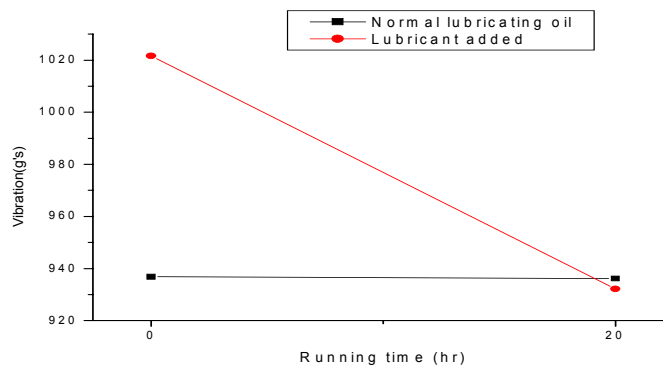


Fig. 4.1.9 Acceleration Variation versus running time

4) 온도특성

Fig. 4.1.10과 Fig. 4.1.11은 실험횟수에 대하여 온도변화를 윤활유 주입 직후와 20시간의 여유구동시간을 둔 경우로 나누어 나타내었다. 윤활유 주입 직후의 그래프인 Fig. 4.1.10에서 볼 수 있듯이 ①번 실험의 경우, 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 실험에서는 28.35℃인데 비하여 첨가제 첨가 윤활유를 사용한 경우 26.45℃로 7.2%의 온도하강이 나타나고 있다. ②번 실험의 경우, 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우 31.34℃인데 반해 첨가제 첨가 윤활유를 사용한 실험에서는 28.19℃를 나타내어 11.13%의 온도하강이 보이고 있다. ③번 실험의 경우 온도가 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우와 첨가제를 첨가한 윤활유의 경우가 거의 비슷하게 나타나고 있는데, 이 또한 앞서 언급한 시편의 효과로 판단된다. Fig. 4.1.11은 윤활유 주입후 20시간의 여유구동을 가진 후의 결과이다. 첨가제 첨가 유무에 대한 온도차이가 윤활유 주입 직후의 그것보다도 훨씬 더 크게 나타나고 있음을 육안으로도 확인할 수 있다. ①번 실험의 경우, 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우의 온도는 36.16℃를 나타내는데 비하여 첨가제 첨가 윤활유의 경우 25.58℃로 41.30%의 온도저감을 나타내고 있다. 이는 윤활유 주입 직후의 ①번 실험에서의 온도차이인 7.2% 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우 31.12℃, 첨가제 첨가 윤활유를 사용한 경우 25.58℃를 나타내어 21.64%의 온도차이를 보이고 있으므로 이 또한 윤활유 주입 직후인 11.13%에 비하여 약 2배 정도의 온도저감 능력을 보여주고 있다. 윤활유를 주입한 직후의 ②번 실험과 20시간의 여유구동시간을 가진 후의 ①번 실험에 대한 유중온도의 변화는 Fig. 4.1.12와 같다. 나노구리합금을 첨가하지 않은 일반디젤기관용 윤활유의 경우, 윤활유 주입직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진 후가 오히려 15%의 유중온도증가를 보인데 비하여 나노

구리합금을 첨가한 윤활유의 경우 9.25%의 유중온도감소를 보이고 있어 뛰어난 온도저감능력을 보여주고있다.

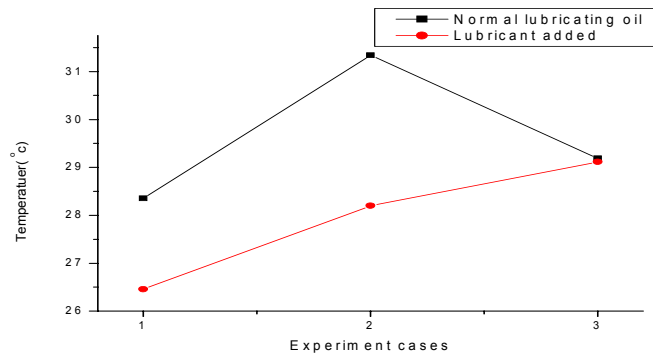


Fig. 4.1.10 Temperature variation soon after added

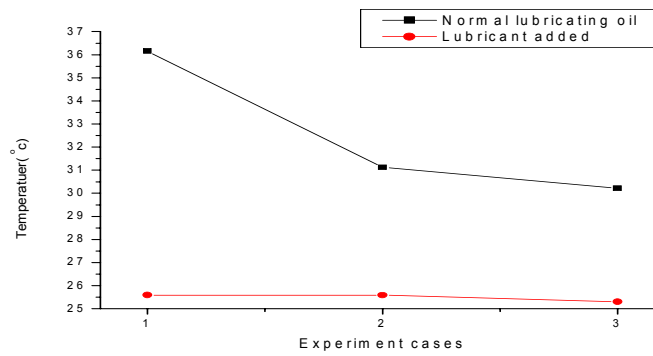


Fig. 4.1.11 Temperature variation after 20 hr

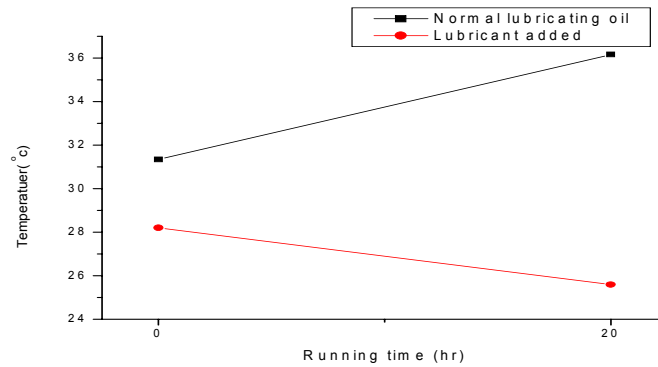


Fig. 4.1.12 Temperature Variation versus running time

4.1.2시편마모특성

1)마모면적

Fig. 4.1.13과 Fig. 4.1.14는 윤활유 주입 직후의 시험재(SM45C)와 상대재(SK3)에 대하여 첨가제 첨가유무에 대한 시편의 사진이다. 디젤기관용 윤활유에 대한 실험에 사용된 시편의 사진은 Fig.4.1.13과 같다. 시험재(SM45C)의 경우 0시간후의 마모깊이는 0.05mm를 나타내었으며 마모폭은 2.54mm를 나타내었다. 첨가제를 첨가한 윤활유에 대하여 윤활유 주입직후의 시편에 대한 사진은 Fig. 4.1.14와 같다. 시험재의 마모깊이는 0.0247mm이며, 마모폭은 1.18mm이다. 윤활유 주입직후의 첨가제 첨가 윤활유를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우를 비교하면 첨가제 첨가후가 첨가전에 비하여 마모깊이는 102%, 마모폭은 117%의 감소를 나타내어 거의 2배의 마모감소를 나타내었다.

Fig. 4.1.15와 Fig. 4.1.16은 윤활유 주입후 20시간의 여유구동 시간을 가진후의 시편사진이다. Fig. 4.1.15는 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우의 시편이다. 상대재의 경우 20시간후의 마모깊이는 0.08mm를 나타내었으며 마모폭은

3.19mm를 나타내었다. 첨가제 첨가 윤활유를 사용한 경우 마모깊이는 0.00109mm이며 마모폭은 0.63mm을 나타내어 마모깊이 및 마모폭이 나타나지 않았다. 윤활유 주입후 20시간의 여유구동시간을 가진 시편은 첨가제 첨가 윤활유가 일반디젤기관용 윤활유에 비하여 마모깊이는 73배, 마모폭은 5배의 마모 감소효과를 나타내고 있어, 윤활유 주입직후에 비하여 20시간의 여유구동시간을 가진 후의 윤활효과가 더욱더 탁월하게 나타났다.

상대재(SK3)의 경우도 마찬가지로, 첨가제를 첨가한 윤활유를 사용한 실험의 상대재에 비하여 일반 디젤기관용 윤활유를 대한 실험에 사용된 상대재가 육안으로도 마모가 크게 일어났음을 알 수 있었으며 마모에 의해 탈락된 시편 높이는 상대재의 중앙을 기준으로 할때 가공초기상태(실험실시전)의 높이가 20mm인 것에 비하여 일반디젤기관용 윤활유를 사용한 실험에서는 실험시작 0시간후의 높이는 19.30mm로 0.7mm의 마모에 의한 탈락을 나타내었으며, 20시간의 여유구동후에는 19.27mm로 0.73mm를 나타내었다. 첨가제를 첨가한 윤활유를 이용한 실험에서는 상대재의 마모에 의한 탈락높이가 0시간후 19.99mm로 0.01mm의 마모에 의한 탈락높이를 나타내었으며, 20시간의 여유구동후에는 19.98mm로 0.02mm의 탈락높이를 나타내어 있다. 윤활유 주입 직후의 실험에서 일반윤활유를 사용한 경우에 비하여 첨가제를 첨가한 윤활유를 사용한 경우, 70배의 마모감소효과를 얻을 수 있었으며, 20시간의 여유구동시간을 가진 후의 실험에서는 36.5배의 윤활에 의한 마모감소효과를 기대할 수 있다.

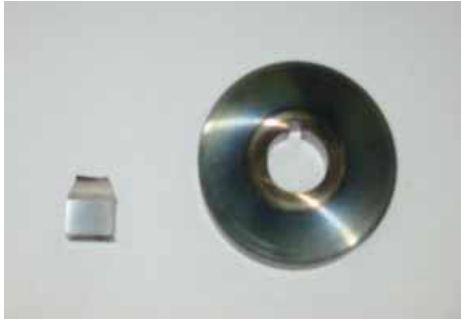


Fig. 4.1.13 Photography of specimen just after added (without ADD)

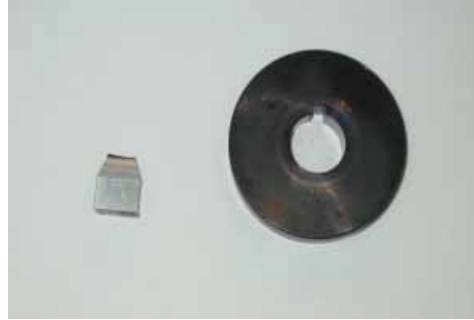


Fig. 4.1.14 Photography of specimen just after added (with ADD)



Fig. 4.1.15 Photography of specimen after 20hr (without ADD)



Fig. 4.1.16 Photography of specimen after 20hr (with ADD)

2)마모중량

일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 실험에서 시험재의 경우 가공초기(실험실행 전)의 중량이 313.3g인 것에 비하여 0시간후 0.1g의 중량감소, 20시간후에는 0.1g의 중량감소를 보였지만, 첨가제를 첨가한 윤활유를 이용한 실험의 상대재는 거의 중량감소가 없었다. 상대재의 경우 일반윤활유를 사용한 경우 가공초기의 중량이 23.9g인데 비하여 0시간후 0.1g 중량감소, 20시간 후에는 0.2g의 중량감소를 보이고 있는 반면 첨가제를 첨가한 윤활유를 이용한 실험에 사용된 상대재의 경우는 중량감소가 거의 나타나지 않았다.

3)시편표면특성

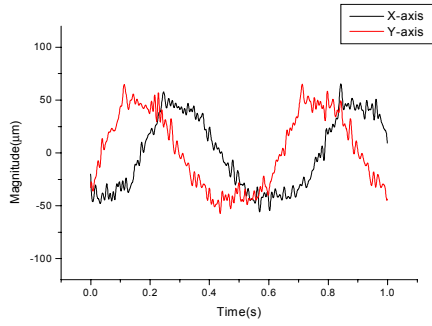
Fig. 4.1.17은 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 실험의 시편의 사진이다. 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우에 비하여 첨가제를 첨가한 윤활유를 사용한 경우의 실험의 시험재와 상대재의 접촉부분에서 매우 큰 열이 발생하여 시험재 및 상대재가 매우 검게 그을려 있는 것을 알 수 있었다. 반면 첨가제를 첨가한 윤활유를 사용한 실험의 시편은 표면에 아무런 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 시험재와 상대재가 접촉하는 부분에서 마찰부분에서 상당히 큰 열이 발생한 것으로 판단된다



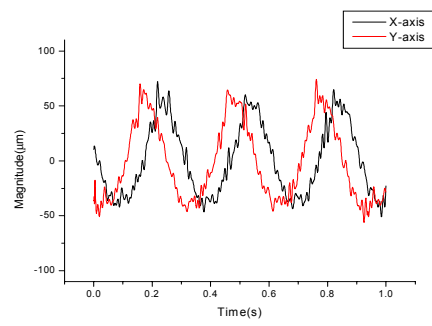
Fig. 4.1.17 Photography of smoked specimens

4.2 기관진동특성 고찰

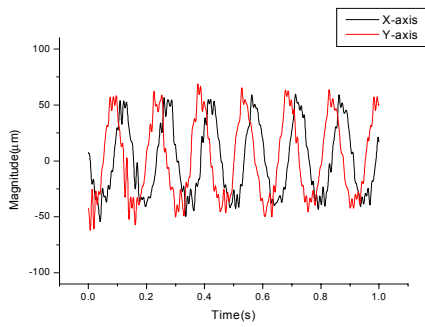
Fig. 4.2.1 (a), (b),(c)는 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 디젤엔진의 rpm 증가에 따른 축의 진동응답을 나타내고 있다. 각각 1sec의 시간에 대한 X축 및 Y축에 대한 진동응답을 저속, 중속, 고속을 대표할 수 있는 100rpm과 200rpm, 400rpm과 500rpm, 900rpm과 1000rpm으로 나누어 나타내었다. 질량 불평형을 가진 기계의 진동의 가장 기본적인 주기운동(Periodic motion)의 형태는, 흔히 조화운동(Harmonic motion)으로 불리는 사인과 형태의 운동(Sinusoidal motion)을 보여주어야 하나, 기관과 같은 대부분의 기계들에서는 여러 가지 주파수 성분들이 포함된 복잡한 형태의 진동이 발생되며, Fig. 4.2.1에서 보이는 것과 같이 비조화적이지만 주기적인 파형으로 나타난다. 또한 기관내의 4개의 피스톤이 각자의 위치를 다르게 하여 압축·폭발·배기·흡입행정에 의한 상하운동을 함으로 상당히 크게 떨리는 형상을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. Fig.4.2.1은 rpm 증가에 따른 진동응답의 최대치 및 최고치에 대한 주기의 감소를 확연히 보여주고 있으며, Y축의 진동응답이 X축에 비하여 90°의 위상차를 가지면서 변화하는 것을 보여주고 있다.



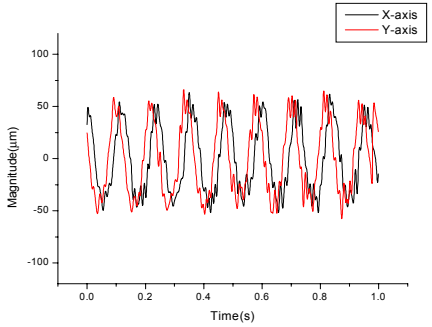
(a) 100 rpm



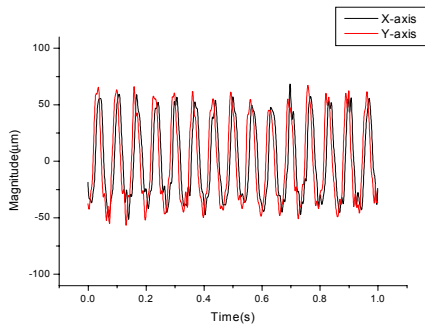
(b) 200 rpm



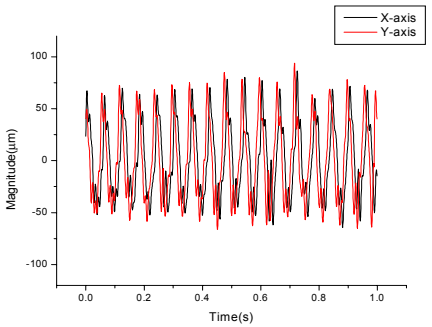
(c) 400 rpm



(d) 500 rpm



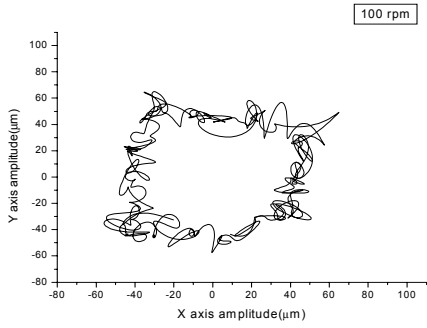
(e) 900 rpm



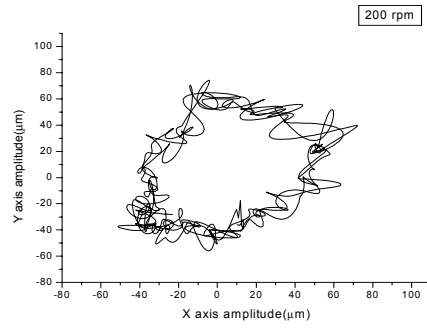
(f) 1000 rpm

Fig. 4.2.1 Vibration response of shaft without ADD

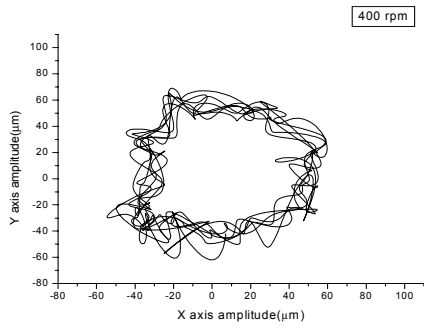
Fig. 4.2.2는 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 실험에 대한 엔진주축의 X축 및 Y축에 대한 X-Y orbit 선도를 각 rpm으로 나누어 보여주고 있다. 일반적으로 축의 orbit선도를 보여주기 위해서 제작되는 실험용 축은 축길이가 매우 길고 축지름을 작게 하여 제작하기 때문에 X-Y orbit 선도가 거의 원에 가깝게 나타나나 본 실험에 사용된 축은 실제 사용되었던 디젤기관의 주축이기 때문에 축길이가 비교적 짧고 엔진내부에 많은 저널 베어링이 내장되어있고 짧은 축길이에 비하여 축지름이 크기 때문에 다소 불규칙적인 궤도를 나타내고 있다. 특히 100rpm과 200rpm에서는 상당히 불규칙적인 궤도를 나타내고 있는데, 이는 시동초기 및 저속에 의한 토크변화에 의한 것으로 판단된다. 그에 반하여 rpm이 증가할수록 규칙적인 궤도를 나타내고 있으며, 특히 900rpm에서는 거의 일정한 궤도를 보이고 있어 본 실험에 사용된 엔진의 회전체 진동면에서는 가장 이상적인 rpm으로 판단된다.



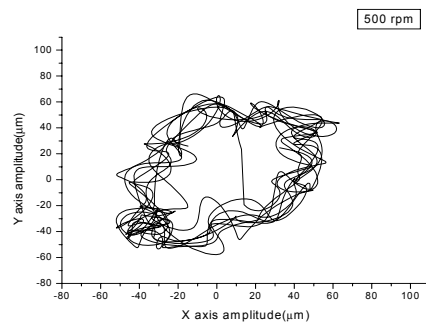
(a) 100 rpm



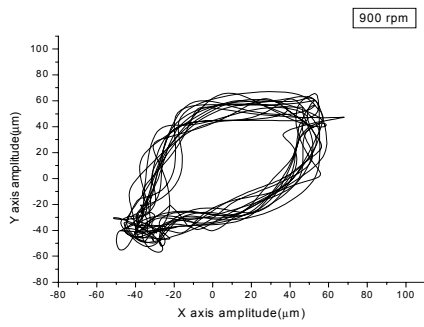
(b) 200 rpm



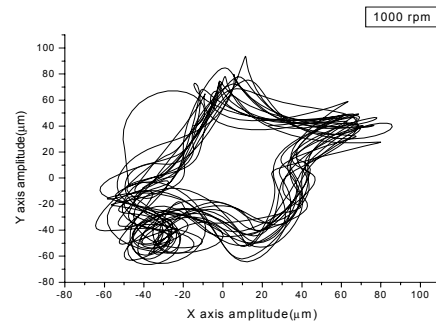
(c) 400 rpm



(d) 500 rpm



(e) 900 rpm



(f) 1000 rpm

Fig. 4.2.2 Measured X-Y amplitude on the shaft without ADD

Fig. 4.2.3은 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 경우의 각 rpm에 따른 X 및 Y방향에 대한 고속 푸리에 변환(FFT, Fast fourier transform) 그래프이다. 각각의 그래프에서 볼수 있듯이 1차 고유진동수가 모두 나타나고 있음을 알수 있으며, 특히 Fig.4.2.3 (a)은 저속인 100rpm의 초기 시동으로 인한 토크변동의 급격한 변화로 1차고유진동수지점에서 X방향 및 Y방향 모두 높은 진폭값(X방향 42.3214 μ m, Y방향 45.0812 μ m)을 나타나고 있다. Fig. 4.2.3 (c) 400rpm에서부터 2차 고유진동수 지점으로 의심할 수 있는 구간이 나타나고 있으며, Fig.4.2.3 (d) 500rpm에서는 확연히 2차고유진동수 지점이 나타나고 있다. Fig. 4.2.3 (e) 900rpm에서는 2차 및 3차 고유진동수 지점이 나타나고 있으며, Fig. 4.2.3 (f) 1000rpm에서는 2차, 3차, 4차 고유진동수 지점이 뚜렷이 나타나고 있어, rpm증가에 따른 위험차수의 증가를 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 rpm이 증가할수록 진폭값이 일정한 증가 혹은 일정한 감소를 하지 않고 주기적인 증가와 감소를 거듭함을 보여주고 있다.

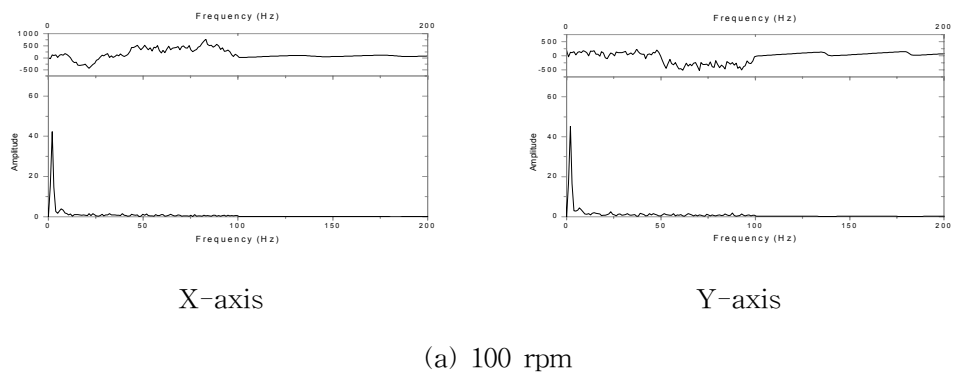
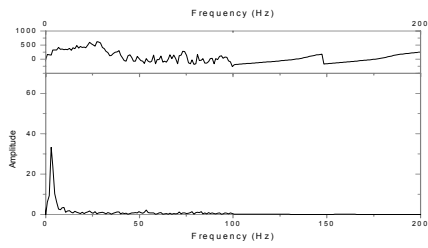
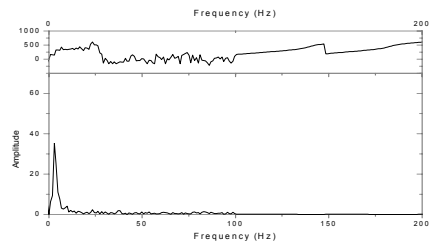


Fig. 4.2.3 Measured FFT on the shaft without ADD

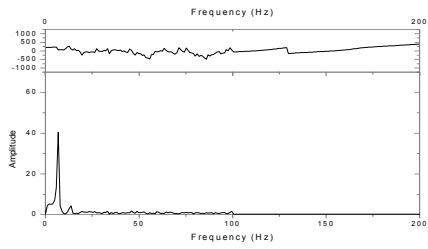


X-axis

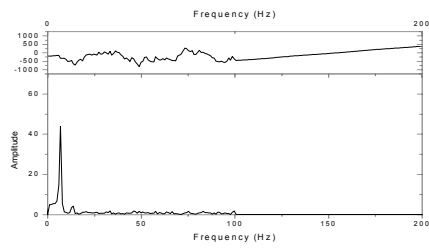


Y-axis

(b) 200 rpm

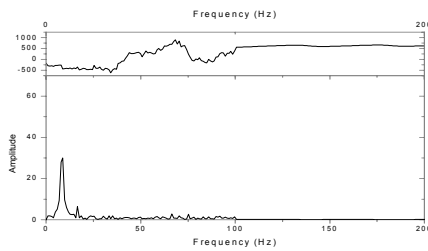


X-axis

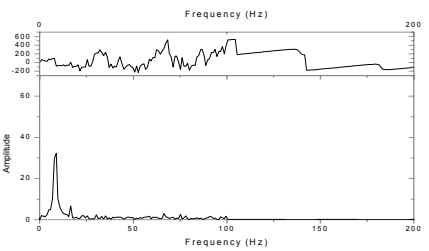


Y-axis

(c) 400 rpm



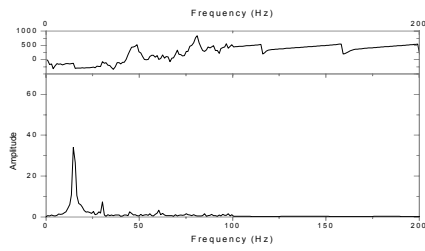
X-axis



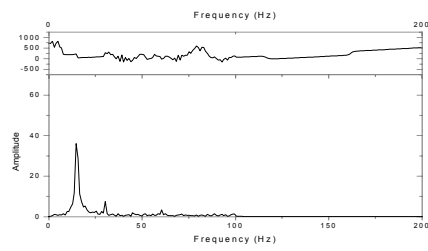
Y-axis

(d) 500 rpm

Fig. 4.2.3 To be continued

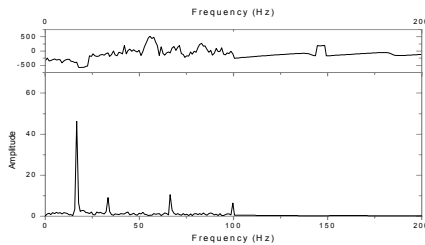


X-axis

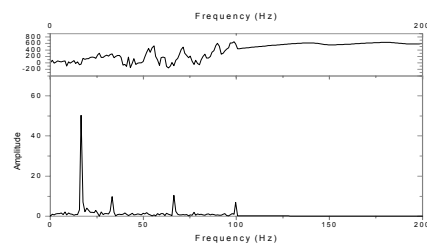


Y-axis

(e) 900 rpm



X-axis

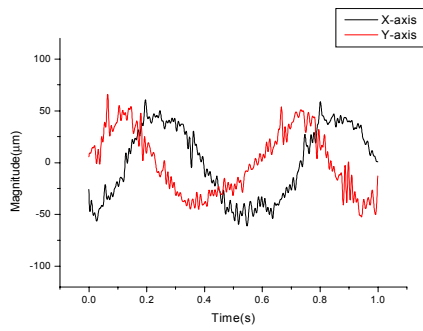


Y-axis

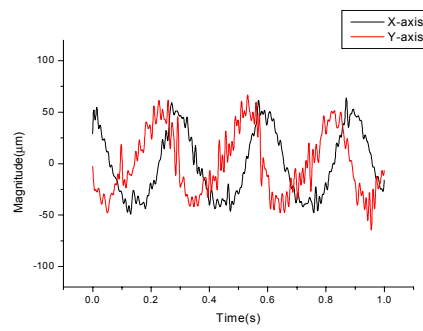
(f) 1000 rpm

Fig. 4.2.3 To be continued

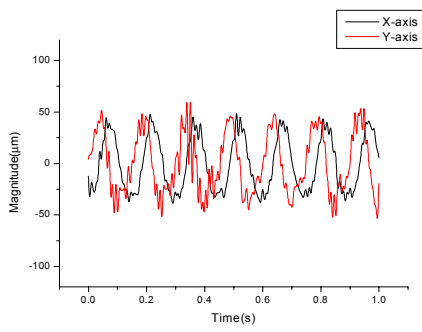
Fig. 4.2.4는 일반 디젤기관용 윤활유에 나노구리합금윤활제를 첨가하여 실험한 기관의 rpm증가에 따른 엔진주축의 진동응답을 나타내고 있다. 일반 디젤기관용 윤활유를 사용한 실험의 진동응답과 비교하여 진동주기와 형태는 크게 변하지 않았으나 나노구리합금윤활제를 첨가하지 않은 윤활유의 경우 진동응답의 값이 +방향으로 대개 70 μm 에서 50 μm 사이 존재하고있고, -방향으로는 주로 50 μm 에 존재하고 있는 것에 비하여, 나노구리합금윤활제를 첨가한 윤활유를 사용한 경우 저속의 rpm(100, 200rpm)이 아닌 경우를 제외하고는 대부분 +방향 및 -방향으로 50 μm 을 넘지 않는 것을 알 수 있다.



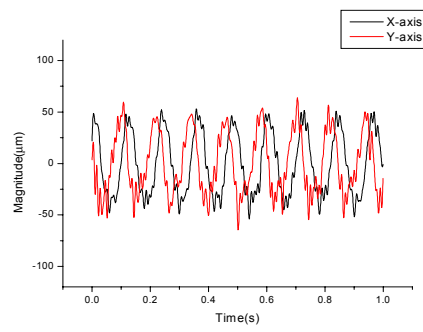
(a) 100 rpm



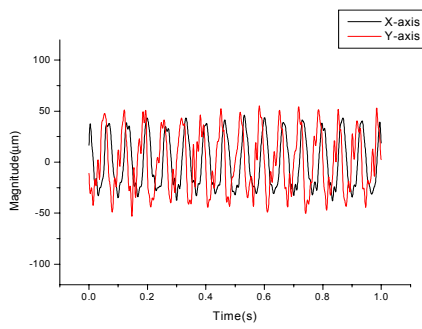
(b) 200 rpm



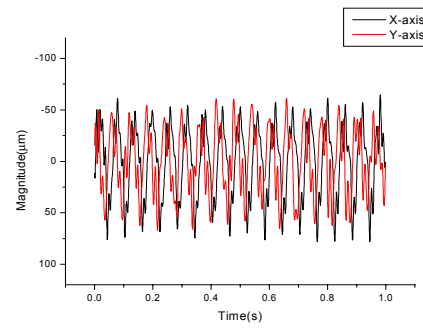
(c) 400 rpm



(d) 500 rpm



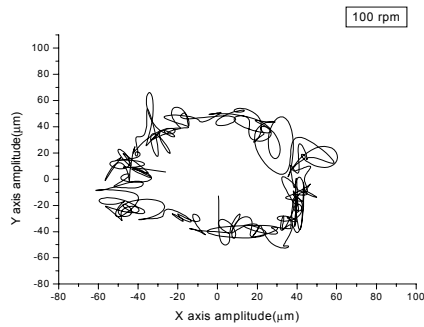
(e) 900 rpm



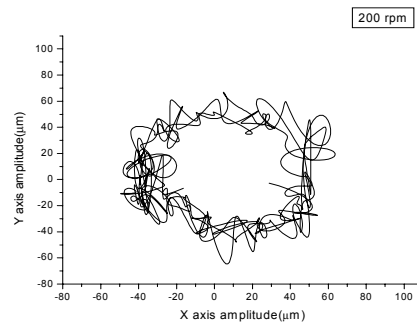
(f) 1000 rpm

Fig. 4.2.4 Vibration response of shaft with ADD

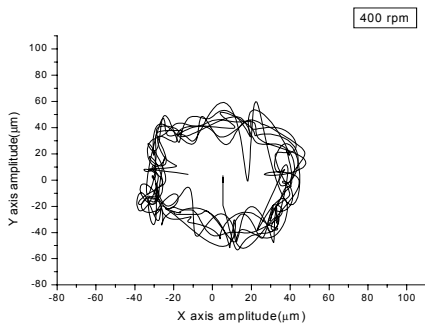
Fig. 4.2.5는 나노구리합금윤활제를 주입한 윤활유의 각 rpm에 따른 X-Y orbit선도를 나타내고 있다. 이 역시 나노구리합금 첨가제를 주입하지 않은 일반디젤기관용 윤활유의 X-Y orbit선도에 비교하여 육안으로 보이는 큰 차이는 보이지 않고 있으나, 전체 rpm에 걸쳐 X방향 및 Y방향으로의 진폭이 비교적 미세하게 줄어들고 있음을 알 수 있으며, 나노구리합금윤활제를 주입하지 않은 윤활유와 동일하게 타rpm에 비하여 900rpm의 Orbit선도가 매우 안정적이고 규칙적인 궤도를 보여주고 있다.



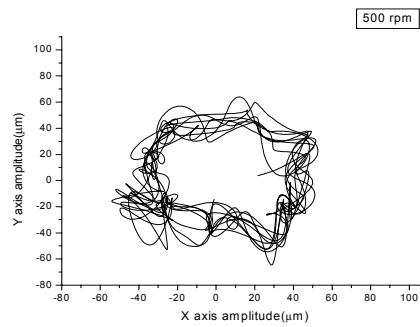
(a) 100 rpm



(b) 200 rpm

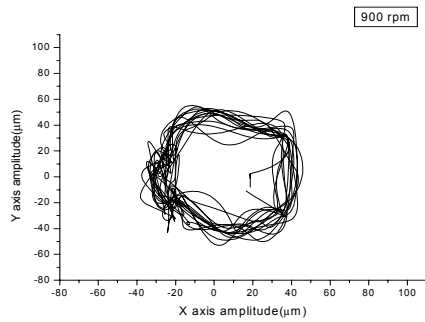


(c) 400 rpm

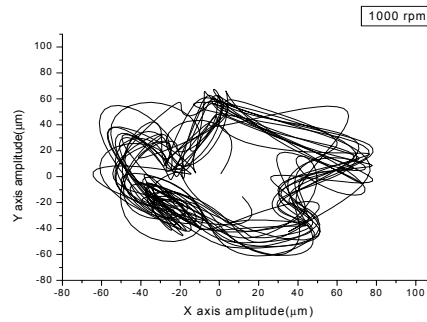


(d) 500 rpm

Fig. 4.2.5 Measured X-Y amplitude on the shaft with ADD



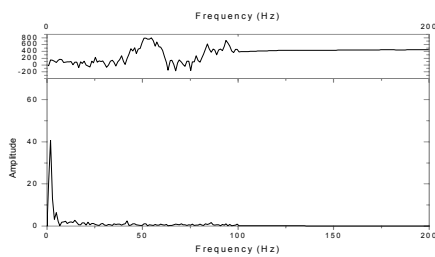
(e) 900 rpm



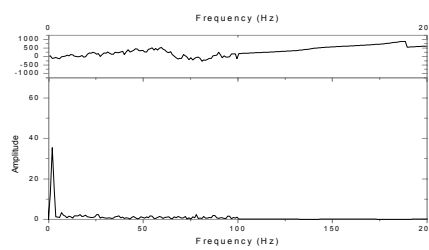
(f) 1000 rpm

Fig. 4.2.5 To be continued

Fig. 4.2.6은 나노구리합금윤활제를 주입한 윤활유의 각 rpm에 따른 고속푸리에 변환 그래프이다. 나노구리합금윤활제 주입전과 비교하여 저속인 100rpm에서는 역시 높은 진폭값(X방향 40.6433 μm , Y방향 35.32 μm)을 나타내고 있으며, 전체적으로 나노구리합금윤활제 주입전과 유사한 형태로 증가와 감소의 반복을 거듭함을 보여주고 있다. 또한 1차, 2차, 3차,4차 고유진동수가 나타나는 구간은 변화가 없었지만, X방향 및 Y방향으로 특히 Y방향에 대한 진폭값은 뚜렷한 감소를 나타내고 있다.



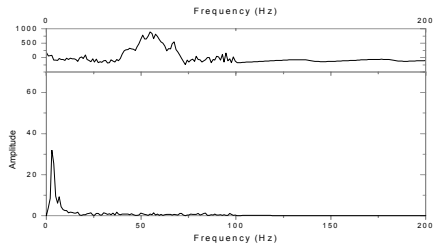
X-axis



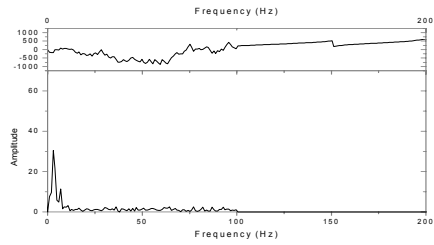
Y-axis

(a) 100 rpm

Fig. 4.2.6 Measured FFT on the shaft with ADD

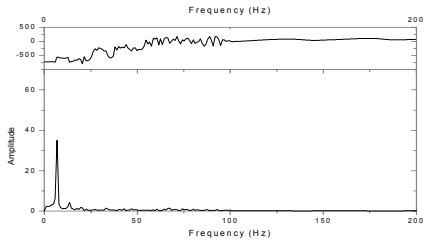


X-axis

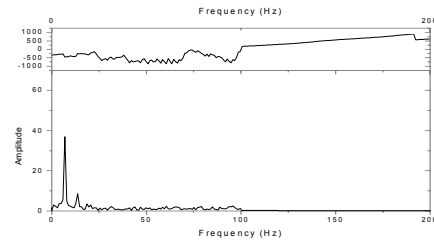


Y-axis

(b) 200 rpm

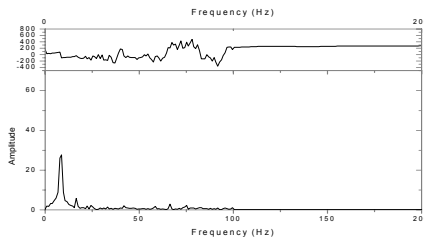


X-axis

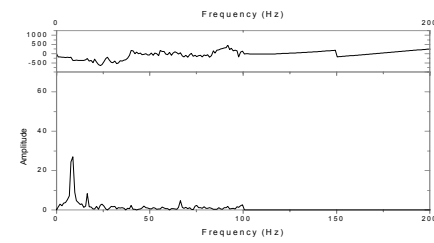


Y-axis

(c) 400 rpm



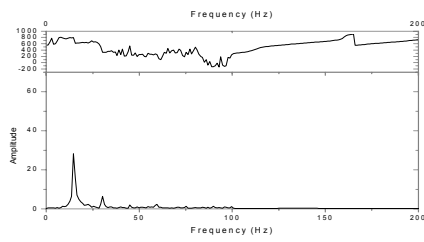
X-axis



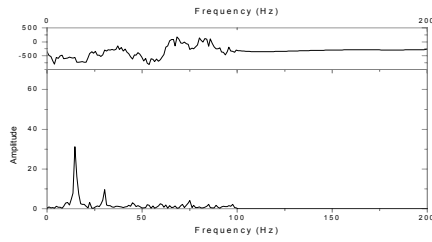
Y-axis

(d) 500 rpm

Fig. 4.2.6 To be continued

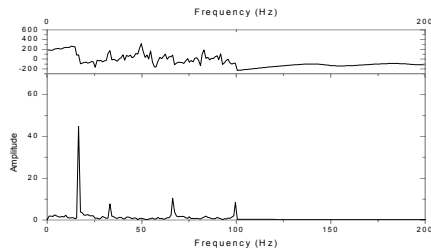


X-axis

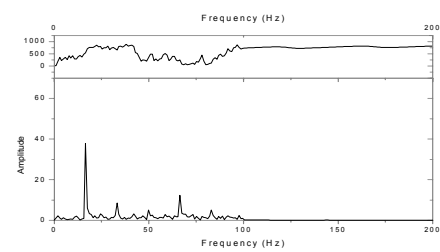


Y-axis

(e) 900 rpm



X-axis



Y-axis

(e) 1000 rpm

Fig. 4.2.6 To be continued

Fig. 4.2.7은 X방향에 대한 첨가제의 주입전, 후의 진폭변화를 나타내고 있으며, Fig. 4.2.8은 Y방향에 대한 진폭변화를 나타내고 있다. Fig. 4.2.7은 나노구리합금윤활제를 사용하기 전에 비교하여 나노구리합금윤활제를 사용한 경우의 X방향으로 최소 0.87%에서 최대 11.91%의 진폭값의 감소를 보여주고 있다. Fig. 4.2.9는 Y방향의 진폭변화가 X방향의 진폭변화에 비하여 비교적 큰 수치인 최소 14.15%에서 최대 30.53%의 변화를 가지며 감소하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 4.2.8과 Fig. 4.2.9를 비교할 때 저속인 50rpm 과 100rpm에서 매우 큰 진동감소를 볼 수 있는데 이 결과는 저속에서 기관 진동을 감소시키는데

큰 효과를 기대할 수 있다. 이 결과는 후에 언급할 토크감소와 일치한다. 또한 진폭의 변화가 증가와 감소의 일정한 반복은 보이고 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 첨가제를 투입한 전후를 비교해 보아도 같은 특성을 보이고 있다.

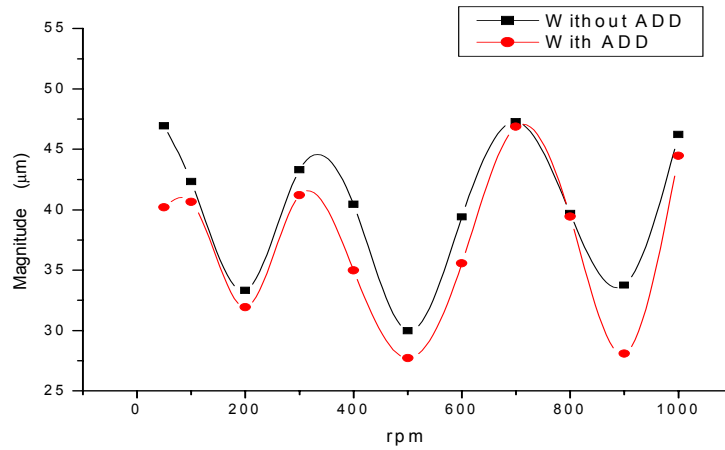


Fig. 4.2.7 Measured amplitude on the shaft (X-axis)

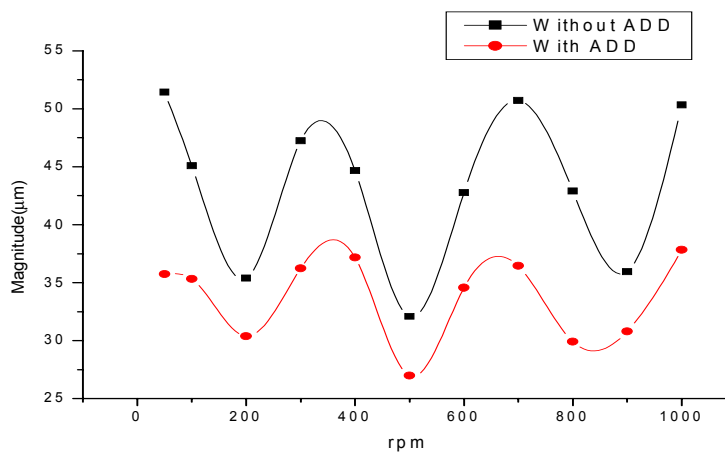


Fig. 4.2.8 Measured amplitude on the shaft (Y-axis)

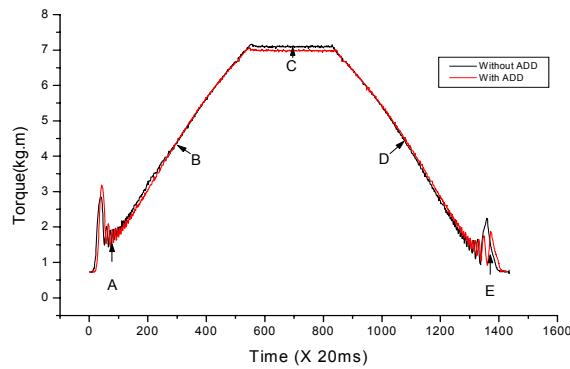
4.3 기관유허특성 고찰

4.3.1과도상태유허특성

Fig. 4.3.1은 엔진을 정지 상태에서 최대 부하까지 또 최대 부하에서 정지상태까지 구동모터의 전류를 변화시킬 때 변화되는 과도상태의 엔진토크를 보여준다. 모터전류를 급속히 최대로 올리게 되면 최대토크까지 상승한 후 정상상태가 되어 동일한 토크가 계속된다. 이때 모터전류를 급속히 0의 상태로 내리게 되면 토크가 떨어지게 되고 마지막에는 역시 심한 진동과 함께 정지운동을 하게된다. 특성에 따라서 5개의 구간으로 나눌 수 있는데, 시작구간(A),가속구간(B), 정상구간(C), 감속구간(D) 그리고 정지구간(E)이다.

시작구간(A)에서의 특성은 초기조건의 상이로 분석에서 제외한다. 가속구간(B)는 동일 입력에 대한 엔진의 가속상태를 보여주는데, 일반오일의 경우와 비교할 때 첨가제를 주입한 경우에 더 급한 기울기, 즉 빠른 가속을 보여준다(2.24%). 정상구간(C)은 최대입력구간으로 계속적으로 동일한 입력을 했을 경우의 토크변화를 보여주는데 첨가제를 사용한 경우 2.36%의 토크절감을 나타낸다. 감속구간(D)에서는 모터에 의한 외부입력이 제로로 된 상태에서 엔진구동기구 및 마찰에 의한 자연감속을 보여주기 때문에 감속기울기가 급하면 마찰소모율이 크다는 것을 말한다. 첨가제 사용의 경우가 2.34%완만한 것을 나타낸다. 구간(E)은 정지시의 토크변동을 보여주는데 엔진의 구동기구를 살펴보면 1,4번실린더와 2,3번실린더가 항상 180°의 위상차를 가지고 왕복운동을 하기 때문에 큰 마찰 부분과 적은 마찰부분이 180°주기를 가지고 반복된다. 즉 토크변동이 180°의 주기를 갖는다는 것을 알 수 있다. 일반유허유의 경우 토크변동이 점점 커지다가 마지막에 매우 큰 피크치를 보인 후 정지한 반면,

첨가제사용의 경우에는 정지 초기에는 동일해지며 마지막에는 비교적 작은 피크치를 두 번 보인 후 정지한다(4.5%감소). 이는 저속의 경우 구동의 관성력 보다는 마찰에 의한 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 과도상태의 유효특성을 살펴보면 모든 구간에서 첨가제의 유효성 향상을 말해주고 있는데 특히 매우 저속구간에서 큰 효과가 기대된다.



4.3.2 정상상태의 유효특성

Fig. 4.3.2와 Fig.4.3.3은 저속구간 50,100,200rpm일 때와 고속구간 500, 800, 1200rpm일 때의 토크변동을 보여준다. 저속인 경우 모든 경우에 180°주기의 토크변동을 나타내는데, 50rpm의 경우에 큰 차이를 나타내는 반면 속도의 증가와 함께 차이가 줄어들고 있다. 500rpm이상의 고속인 경우에는 180°주기가 명확하게 나타나지는 않지만 작은 변동은 볼 수 있다. 500rpm의 경우는 아직 위 아래로 토크변동을 나타내며 1200rpm에서는 거의 일정한 토크를 보여준다.

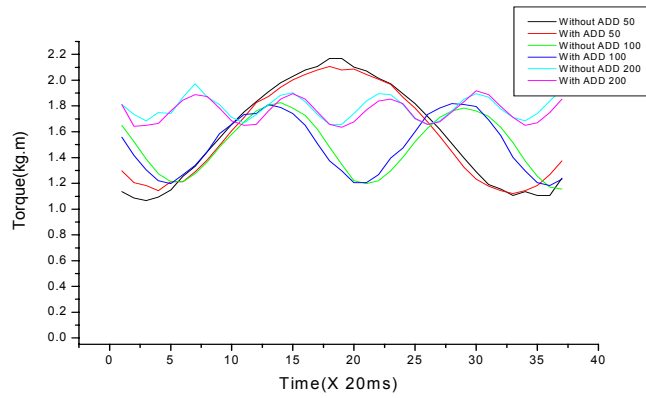


Fig. 4.3.2 Comparison of torque variations at 50,100,200rpm

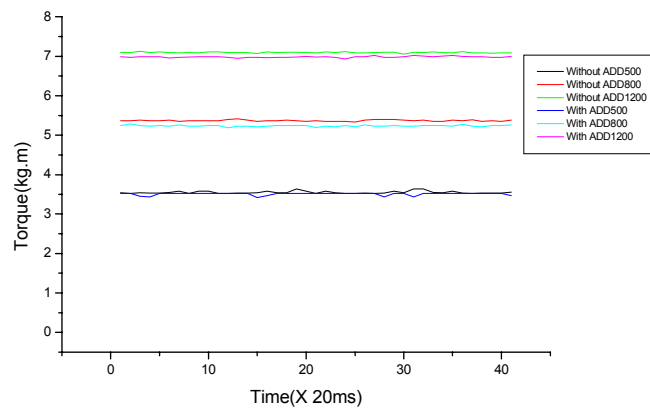
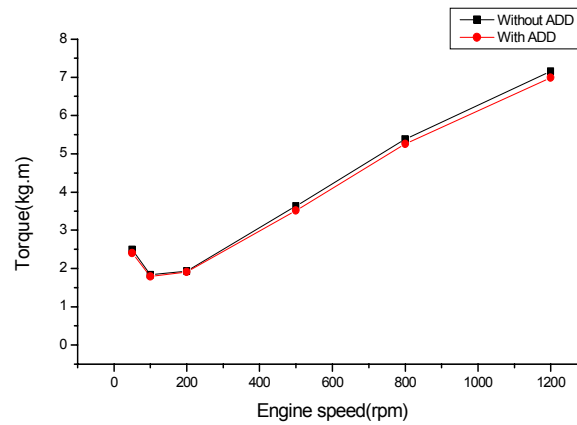


Fig. 4.3.3 Comparison of torque variations at 500,800,1200rpm

정상상태에서의 첨가제를 주입한 경우와 아닌 경우에 대한 최대토크비교를 50rpm에서 1200rpm까지 Fig. 7에 나타낸다.

매우 저속인 50rpm의 경우에는 운동관성력의 영향이 매우 작은 구간으로 큰 토크변동과 높은 최대토크점을 보인 후, 엔진속도의 증가와 함께 낮아지는데 이는 200rpm이후 비례적으로 증가한다. 전체 구간에서 첨가제를 주입한 경우가 낮은 값을 보여주는데, 50rpm의 경우 3.95%, 200rpm의 경우 2.36%의 토크 저하를 나타낸다.



Fig, 4.3.4 Comparison of maximum torque with or without additives at 50, 100, 200, 500, 800, 1200rpm

5. 결 론

이상에서와 같이 나노구리합금첨가 윤활제가 기관성능에 미치는 효과를 파악하기 위하여 고속마찰마모시험기와 실제 디젤기관에 대하여 일정한 부하와 회전속도에 따른 일반적인 특성과 일정회전속도에 따른 엔진주축의 진동특성과 엔진성능의 변화를 실험 계측하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 첨가제 첨가후의 마찰력과 마찰계수 및 유중온도가 감소하였다. 이러한 현상은 윤활유 주입직후 보다 20시간의 여유구동시간을 가진후에 더욱더 두드러지게 나타났다.

2. 기관의 윤활성능을 향상시키기 위하여 첨가제를 주입한 후의 1차 고유진동수의 위치는 거의 변함이 없으며 그 진폭은 첨가제 사용전에 비하여 사용후가 X방향으로 최소0.87%에서 최대11.91%, Y방향으로 최소14.15%에서 최대30.53% 감소한다.

3. 과도운전상태시 급가감속성은 2.29%정도의 향상을 가져오며 정지시 토크변동이 작음을 보여준다. 정상운전상태시 엔진속도 50rpm에서 3.95%, 1200rpm에서는 2.36%의 마찰토크감소를 나타낸다.

參考文獻

- [1] W. B. Hardy and I. Doubleday, "Boundary Lubrication-The Para-affin Series", Proc. Roy. Soc. A, Vol. 102, pp.550-547, 1922.
- [2] B. Bhushan and B. K. Gupta, *Handbook of Tribology*, McGraw Hill, 1991.
- [3] W. J. Bartz and J. Oppelt, "Lubricating Effectiveness of Oil-Soluble Additives and Molibdenum Disulfide Dispersed in Mineral Oil", Lubr. Eng., Vol.36, pp579-585, 1980.
- [4] G. F .Reick, "Energy-Saving Lubricants Contaning Colloidal PTFE",Lubr .Eng.,Vol.38, pp.635-65, 1982.
- [5], [6] C. Cusano and H. E. Sliney, "Dynamics of Solid Dispersions in Oil During the Lubr-ication of point Contacts, partI-Graphite", ASLE Trans.,Vol. 25,No.2, pp.183-189, 1982.
- [7] Jen Fin Lin , Ming Guu Shih and Yih Wei Ch-en, *The tribological performance of 6061 aluminum alloy/graphite composite materials in oil lubrications with EP additives*, Wear pp.58-70, 1996.
- [8] T. Hisakado , T. Tsukizoe and H. Yoshikawa, "Lubrication Mechhanism of Solid Lubricants in Oils", Journal of Lubrication Technology APRIL,Vol. 105, 1983.

- [9] B. K. Gupta and B. Bhushan, "Fullerene Particles as an Additive to Liquid Lubricants and Greases for Low Friction and Wear", *Lubr.Eng.*, Vol. 52, pp.524-528, 1994.
- [10] T. Spalvins, "A review of recent advances in solid film lubrication", *American Vacuum Society J.Vac. Sci. Technol. A* 5(2), Mar/Apr 1987.
- [11] A. S. Kuzharov and O. V. Fisenko, "Copper Containing Additives and Tribological Behavior of Chiatim-201 Grease", *Soviet Jr. of Friction and Wear*, Vol.13, pp.73-77, 1992.
- [12] T. I. Nazarenko , N. N. Lozentsova , G. G. Shchegolov and Yu. P. Toporov, "On Lubrication Properties of Oil with Copper-Containing Additives", *Soviet Jr. of Friction and Wear*, Vol.13, No.2, pp.78-81, 1992.
- [13] S. Gunsel and F. Lockwood, "The Influence of Copper-Containing Additives on Oil Oxidation and Corrosion", *Tribology Trans.(STLE)*, Vol.38, No.3, pp.485-496, 1995.
- [14] M. V. Astakhov and V. A. Mouratov, "Nickel Fine Particle's Adsorptive Catalytic Mechanism", *Wear*, Vol.176, pp.61-65, 1994.
- [15] Yun. Xin. Wu , Fuxing. Wang , Yinqian. Cheng and Nanping. Chen,

"A study of the optimization mechanism of solid lubricant concentration in Ni/MoS₂ self lubricant in composite Wear", 205 ,pp.64-70, 1997.

[16] G. P. Shpenkov, *Physical Chemistry of Friction*, Minsk, 1991 in Russian.

[17] 안효석, 이성철, "첨가제에 함유된 미세한 구리합금입자의 마찰 및 마모 특성," 한국윤활학회지, 제12권 제2호, pp.32-40, 1996.

감사의 글

본 논문이 완성 되도록 세심한 지도와 배려를 해주시고 학문뿐만 아니라 바른 삶의 자세에 대해 실천으로 보여주신 박 권하 교수님께 깊이 감사 드립니다. 또한 바쁘신 와중에서도 좀더 좋은 논문이 될 수 있도록 세심하게 심사하여 주신 도 덕희 교수님과 김 윤해 교수님께 감사 드립니다. 그 외에도 많은 가르침을 주신 기계시스템공학부 교수님들께 감사를 드리고자 합니다.

2년이라는 짧지 않은 대학원시간동안 많은 일을 겪으면서 포기하고 싶은 마음, 나태해지고 싶은 마음이 들 때마다 저를 이끌어주신 많은 분들께 감사를 드립니다. 우선 처음 접해보는 저의 대학원생활을 잘 이끌어주신 다정한 이 준형 선배님, 광주에 계시다가 늦게 배움의 길로 오셨지만 누구보다도 열심히 생활하신 김 영민 선배님, 그리고 실험실생활을 같이하면서 많이 정든 이 봉열 선배님, 이 종범씨, 인선이. 직장에 다니시는 바쁜 와중에서도 후배인 저를 위하여 아낌없는 조언을 해주신 윤 성호 선배님, 이 경우 선배님, 최 영준 선배님, 안 경정 선배님께 다시 한번 감사 드립니다. 그리고 많은 시간동안 가르침을 받지는 못하였지만 아직도 멀리 미국에서 저를 걱정 해주실 김 중수 교수님에게도 감사의 마음을 전합니다. 또한 전공을 변경하여 또 다른 배움의 길에 들어서게 된 저를 반갑게 맞아주신 마음씨 따뜻한 조 현철 선배님, 소 병두 선배님, 곽 인석 선배님, 언제나 힘든 일이 있을 때마다 자기 일처럼 도와준 나의 동기들 상무, 재혁, 진희에게 고마움 마음을 전합니다. 항상 웃는 얼굴로 귀은 일도 마다하지 않고 열심히 하는 승우와 조금은 늦게 합류한 성윤이도 좋은 결과 얻기를 바랍니다. 그리고 자주 뵙지는 못하였지만 언제나 저에게 도움을 주시던 이 화순 교수님, 박 홍일 원장님, 송 영호 이사님께도 감사를 드리며 하시는 일이 잘되기를 진심으로 바랍니다.

대학원생활의 마무리를 미처 짓지 못하고 취업한 저에게 마무리할 수 있도록 배려를 해주신 (주)키코펌프의 윤 시현 사장님, 박 병안 차장님 그리고 키코펌프 직원여러분께도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 언제나 저 만큼 걱정해주시면서 28년 동안 저를 올바른 사람으로 키우기 위하여 많은 질타와 사랑을 주시며 뒷바라지해주신 아버님, 어머님께 말로 표현할 수 없는 감사를 드립니다. 항상 가까이서 저를 도와준 15년지기 동무들 영대, 대엽, 석언, 그리고 저를 아껴준 모든 분들께 다시 한번 감사의 마음을 전합니다. 3년이 넘는 시간동안 저 때문에 마음 상해도, 변함 없이 지켜주고 바라봐 준 sujin에게 본 논문을 바칩니다.

2002년 12월 28일
鄭 錫旻