

공학석사 학위논문

나노구리합금첨가 윤활제가 디젤엔진의 성능에  
미치는 영향

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

지도교수 최재성

2002년 8월

한국해양대학교 대학원

기관공학과 김대현

本 論 文 을 金 大 顯 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위 원 장   裴 鍾 旭   ( 印 )

위   원   朴 權 夏   ( 印 )

위   원   崔 在 星   ( 印 )

2 0 0 2   年   6   月   2 0   日

韓 國 海 洋 大 學 校   大 學 院

機 關 工 學 科   金 大 顯

# 목 차

Abstract .....	iii
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 유탄유 및 첨가제 .....	4
2.1 기관의 유탄유 .....	4
2.1.1 유탄유상태 .....	5
2.1.2 유탄유의 기능 .....	6
2.1.3 유탄유의 조건 .....	7
2.2 첨가제의 종류 .....	8
2.3 첨가제의 특성 .....	10
2.3.1 청정분산제 .....	10
2.3.2 산화방지제 및 마모방지제 .....	12
2.3.3 점도지수향상제 .....	13
2.4 나노구리합금첨가 유탄유제 .....	15
제 3 장 실험장치 및 계측장치 .....	17
3.1 실험장치 .....	17
3.1.1 대상기관 .....	17
3.1.2 냉각계통 .....	21
3.2 계측장치 .....	22

3.2.1	동력측정장치 .....	24
3.2.2	배기가스분석기 .....	26
3.2.3	실린더내 압력검출장치 .....	28
3.2.4	연료소비율 측정장치 .....	30
<b>제 4 장</b>	<b>실험결과 및 고찰 .....</b>	<b>31</b>
4.1	최대토크 .....	32
4.2	실린더내 연소 최고압력 .....	33
4.3	연료소비율 .....	38
4.4	배기가스온도 .....	42
4.5	급기온도 .....	45
4.6	배기배출물 .....	48
4.6.1	NO <sub>x</sub> 의 배출농도 .....	48
4.6.2	CO의 배출농도 .....	51
4.6.3	O <sub>2</sub> 의 농도 .....	55
4.6.4	스모크의 배출농도 .....	58
<b>제 5 장</b>	<b>결 론 .....</b>	<b>61</b>
	<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>62</b>

## Abstract

The characteristic of a lubricant is very important when it is used under severe running condition.

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

Many researches work for improving a boundary lubrication performance have been executed by using solid lubricant but this general lubricant has not been applied to engine due to the extreme condition of high temperature and pressure in a cylinder.

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

In this study, the author investigated the effects of lubricant which contains the copper nickel alloy nano-powder on a diesel engine performance.

The results were manifested to show the increase of maximum torque, and the decrease of cylinder pressure, exhaust gas temperature, scavenging air temperature, CO emission according to running time lapse at various speed and torque on a diesel engine.

It was assured that the lubricant which contains the copper nickel alloy nano-powder decreases friction and wear, and simultaneously increases the sealing effect in a cylinder on diesel engines.

## 제 1 장 서론

기관은 많은 운동부를 가지고 있으며 각각의 운동부에서는 기계적 손실에 의한 효율저하, 마모, 소음, 진동이 발생된다. 이러한 문제들을 최소화하기 위하여 유체유회 상태를 유지하는 것이 필요하다. 내연기관의 효율향상을 위하여 마모 및 마찰의 감소가 필요하며, 보다 뛰어난 고품질의 유회특성을 지닌 유회기술이 요구된다. 특히 고온 및 고압상태에서 유회를 필요로 하는 피스톤 부위의 마찰특성은 일반적인 기기에서의 마찰특성과 매우 차이가 있으므로, 특별한 유회특성이 요구된다.

상대운동의 속도가 낮아지거나 하중을 증가시킨다면, 더 이상 유체유회 상태의 유지가 어렵게 되어, 고체면의 요철간에 금속접촉이 시작되는 경계유회상태로 접어든다<sup>1)</sup>. 그래서 피스톤의 운동 부위는 이와 같은 특성으로 유체유회가 어려우며 특히 큰 하중을 받기 때문에 극압유회상태에 도달하게 되고, 또한 유회면이 연소실 내의 높은 열에 노출되어 있어, 일부는 연료와 같이 연소를 하게 된다. 그러므로 피스톤 부위에 있어서 유회는 배기배출물을 최소화하기 위하여, 가급적 적은 양의 유회유로 얇은 유막을 형성하면서도 유회성이 뛰어나고, 연소실의 고압가스의 누출을 막는 높은 밀봉작용이 요구된다.

Hardy 등<sup>2)</sup>은 상대운동을 하는 두 금속면이 유회막에 의하여 분리될 때 마찰은 미끄럼면과 유회막 사이에서의 물리, 화학적인 작용 때문에 감소된다는 경계유회 메커니즘을 제시하였고, 이에 따라서 유회유의 분자구조, 환경조건, 경계온도 그리고 고체면에서 유회유의 물리, 화학적

흡착을 지배하는 변수들에 대한 연구가 활발해 졌다.

Bowden and Tabor<sup>3)</sup>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.

현재 경계윤활성의 향상을 위해 고체 윤활제에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 고체윤활제로는 광유에 MoS<sub>2</sub>를 분산시키는 방법<sup>4)</sup>과, PTFE(polytetrafluoro ethylene)를 분산시키는 방법<sup>5)</sup>, 흑연(graphite)과 폴리브덴을 분산시키는 방법<sup>6)7)</sup> 등이 있는데 이와 같은 고체윤활제 첨가제들은 경계윤활상태의 접촉부의 소재표면에 윤활성 피막을 형성하여 마모를 감소시키고, 유막과피시에도 용착을 막아주거나 지연시키는 것으로 나타났다. 그러나 MoS<sub>2</sub>, 흑연, PTFE등의 고체윤활제는 고온에서 사용시 산화되어, 윤활성을 상실하게 되므로, 고온의 상태인 기관의 실린더내에 사용시에는 그 효과를 발휘할 수 없게 된다. 따라서 온도와 환경의 제한을 극복할 수 있는 새로운 첨가제의 개발이 요구되는데, 가장 적합한 대상으로 구리와 같이 윤활성이 높은 금속의 미세분말이나 합금류와 이것의 산화물, 염과 같은 화합물을 들 수 있다. 구리 미세분말이나 구리화합물을 첨가하여 4구시험(Four Ball Method)을 실시한 결과 극압하중(critical load)과 용착하중(welding load)이 구리의 조성과 화학적 구조에 관계없이 크게 상승하였으며<sup>8)</sup>, CuOl(copper oleate)을



올레익산과 혼합한 첨가제를 4구시험한 결과 높은 온도에서 이것이 첨가되지 않은 오일보다 마찰계수 및 마모도가 감소하는 효과가 나타났으며<sup>9)</sup>, 구리염(copper naphthene)이 함유된 첨가제 사용시에는 형성된 표면막이 윤활유의 산화를 방지하고, 재료의 부식도 방지하는 효과가 나타났다<sup>10)</sup>. 그리고 Shpenkov에 의하면 니켈도 구리와 같이 접촉면에 연한 금속층을 형성하여, 마찰저감 및 내마모효과가 있다고 보고되었으며<sup>11)</sup> 니켈입자가 윤활유에 함유되었을 경우에 대한 연구로는 ZDDP(zinc dialkyldithiophosphates)가 함유된 첨가제에 미세한 니켈입자가 추가되었을 때, ZDDP와 연계해 흡착 및 촉매작용을 하고, 인-금속피막을 형성하여 마찰과 마모를 감소시키는 효과가 있다고 보고하였다<sup>12)</sup>.

안효석과 이성철<sup>13)</sup>은 구리와 니켈합금의 미세분말 윤활제를 시험한 결과 왕복동시험에서 구리합금입자에 의해 형성된 화학적 유기 금속피막에 의해 무첨가 윤활유의 경우에 비해 마찰계수가 감소하고, 마모직경도 감소하는 효과를 확인하였고, 기어시험에서는 마모에 의해 발생한 접촉면의 요철부위를 도금하고 깊게 손상된 부위를 메꾸어 치료하는 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 구리합금나노입자를 첨가한 윤활유를 산업용 디젤엔진에 적용하여, 엔진의 성능 및 배기배출물의 변화를, 운전 시간별로 실험하여 그 변화를 분석하고자 한다.

## 제 2 장 윤활유 및 첨가제

### 2.1 기관의 윤활

윤활이란 움직이고 있는 두물체 사이에 액상이나 반고형체의 물질을 넣어 마찰을 감소시키고 그 움직임을 쉽게 하는 것을 말하며, 기계의 마찰부분에 유막을 형성, 마찰을 적게 하며 타버리거나 마모되는 것을 방지하고 동력의 소비를 적게 하여, 기계효율을 좋게 하는 것이 중요하다.

윤활유의 외기온도와 SAE 점도등급은 Table 2.1와 같다.

Table 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℃ ~

## 2.1.1 윤활상태

일반적으로 윤활상태는 윤활제의 유막의 두께에 의해 다음과 같이 3가지로 구분된다.

### 1)유체윤활(Full-film Lubrication)

후막윤활 또는 완전윤활이라고도 하며 가장 이상적인 윤활 상태를 말한다

### 2)경계윤활(Boundary Lubrication)

박막윤활 또는 불완전윤활이라고도 하며 기름의 점도가 떨어져 움직이는 속도가 느려지거나 또는 기름의 양이 충분치 못할 때는 유막의 두께가 얇아지는 박막상태가 되는 것을 말하며 마찰표면에 흡착된 얇은 분자막에 의해 윤활이 이루어진다.

### 3)극압윤활(Extreme Lubrication)

하중이 많이 걸리거나 마찰면의 온도가 높게 되면 마찰면이 접촉하여 파괴되기 쉽다. 이러한 극압마찰을 적게 하기 위해 통상 윤활유에는 극압 첨가제를 넣어 금속표면과 화학적으로 반응하여 극압막을 만든다.

## 2.1.2 윤활유의 기능

기관에 있어서 윤활유의 기능은 다음과 같다.

### 1) 윤활작용

엔진의 마찰 부위에 액상의 윤활유가 개입되어, 금속-금속접촉을 막고 마찰을 줄이는 역할을 한다.

### 2) 감마작용

물체가 서로 접촉하여 운동하면 반드시 마찰이 일어나고, 마찰은 마모를 동반한다. 이러한 마모를 줄이기 위해서는 유체역학적 윤활을 하여야 하고, 이는 운동하는 두 물체 사이에 유막을 형성함으로써 두 물체를 완전히 분리시키는 것이다.

### 3) 냉각작용

엔진의 연소열을 일차적으로 냉각하는 역할을 하는 것이 바로 윤활유이므로, 윤활유의 열산화안정성이 매우 중요하다.

### 4) 세정작용

오늘날 기관은 열부하가 매우 크므로 탄화, 산화물이 다량 생성되는데 이를 미세하게 분산시켜, 기계부품에 퇴적되지 않도록 하는 것이 중요하다.

### 5) 밀봉작용

폭발하는 가스의 팽창하는 힘을 낭비 없이 구동에 사용되려면 금속접촉면 사이의 간극으로 누설하는 기체를 차단하는 것이 중요하다.

#### 6) 시동보조작용

엔진의 시동시는 충분한 유막이 형성되지 않아, 엔진부품의 마모가 일어나기 쉬우므로, 적절한 마모방지 첨가제나 윤활유의 저온유동성 개선이 필요하다

### 2.1.3 윤활유의 조건

기관에 있어서 윤활유가 그 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 다음과 같은 성능을 갖추어야 한다.

#### 1) 산화 안정성

오늘날 엔진은 출력이 높고, 공기저항을 극소화하였으며, 방음설계로 인하여 엔진유에 대한 열부하가 극도로 높아져 윤활유가 열분해, 산화되기 쉽다. 이를 방지하기 위하여, 극도로 정제된 윤활유를 사용하고, 우수한 성능의 산화방지제가 필요하다.

#### 2) 극압 내마모성

고속, 고출력 엔진에서는 캠등의 접촉면에서 하중이 극도로 높아져, 엔진의 마모를 보호하고, 마찰을 줄여 주는 극압첨가제 및 마찰조정제가 필요하다.

#### 3) 청정분산성

오늘날의 엔진은 고온의 열에 의한 탄화, 산화 퇴적물이 엔진의 주요부품에 퇴적되어 윤활작용 및 윤활유의 공급을 방해하지 않도록 산성산화물을 빠르게 중화하는 기능이 필요하기 때문에, 안정성이

높은 윤활유 및 청정제와 분산제등의 첨가제 사용이 필요하다.

4) 저온시동성 및 고온유막 유지 성능

겨울철에는 시동이 잘 걸릴 수 있도록 저온유동성이 우수하고 여름철에는 방열효율이 높지 않아 엔진이 과열되기 쉬우므로 고온점도가 충분히 높아야 한다.

5) 증발안정성

기관이 고온상태에서 오랜 시간 운전하면 윤활유의 저분자유분이 증발하여 윤활유가 소모되는데, 이를 방지하기 위하여 고온증발안정도가 높아야 한다.

## 2.2 첨가제의 종류

내연기관용 윤활유가 기관에 있어서 충분히 그 효과를 발휘하기 위해서는 많은 성능이 요구되며, 다양한 요구를 모두 만족시키기에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위하여 첨가제를 첨가하며, 따라서 첨가제의 역할이 매우 중요하게 된다.

내연기관에 요구되는 성능에 따른 첨가제로는 슬러지, 매연 등을 분산하여 응집, 침적을 방지하며 또한 산을 중화하여 부식을 방지하는 청정 분산제(Dispersants/Detergents), 윤활유 자체의 산화를 방지시키는 산화방지제(Anti-Oxidants), 마찰면에 피막을 만들어 마모를 방지하는 마모방지제(Wear Inhibitors), 저온에서 유동성을 보존하며, 고온에서 점도저하를 억제하는 점도지수향상제(Viscosity Index Improvers), 왁스의

생성을 방해하여 고화를 방지하는 유동성강하제(Point Depressants), 금속의 녹을 억제하는 방청제(Anti-Rust Additives), 거품발생을 억제하는 소포제(Anti-Foam Agents), 마찰표면에 작용하여 마찰계수를 낮춰주는 감마제(Friction modifier) 등이 있다.

첨가제 종류별 대표적인 화합물은 Table 2.2와 같다.

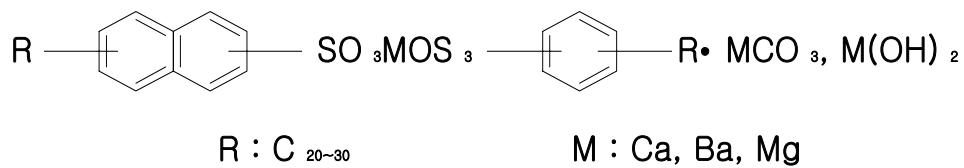
Table 2.2 Lubricants & compounds

Items	Compounds
Dispersants/Detergents	Sulfonate, phenate, salicylate, succinimide, Succinic Acid Ester
Anti-Oxidants	Zn-DTP, Bisphenol
Wear Inhibitors	Zn-DTP
Viscosity Index Improvers	Polymetacrylate, Olefine polymerization, Styrenge polymerization
Point Depressants	Polymetacrylate
Anti-Rust Additives	Sulfonate, Ester
Anti-Foam Agents	Silicon Compounds
Friction modifier	MoS <sub>2</sub> , Graphite, Molybdenum compounds, Ester, Amine, Phosphate, Compounds

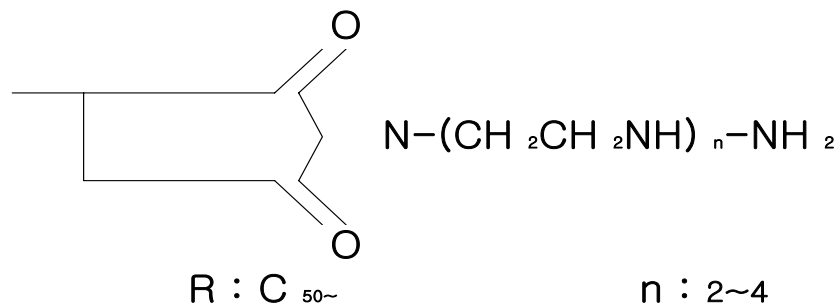
## 2.3 첨가제의 특성

### 2.3.1 청정분산제 (Dispersants/Detergents)

청정분산제에는 크게 나누어 금속계청정제와 무회계분산제가 있다. 일반적으로 금속계는 고온에서 바니쉬, 슬러지의 생성을 방지하는데 효과가 있고, 무회계는 저온운전시 슬러지의 생성방지 및 분산에 효과가 있다. 대표적인 청정제인 슬폰산염 구조식은 아래와 같으며, Ca, Ba, Mg 등에 중화염과 과량의 탄산염으로 구성되어 높은 염기가를 나타내는 것을 과염기성청정제라고 한다.



무회계분산제의 구조식은 다음과 같다.





이것은 석신이미드에 대표적인 첨가제로 이와 같은 단일구조(Monon type)외에 아민기 사이에 호박산(Succinic Acid)이 결합한 이중구조(Bis type)가 있으며, 후자가 열안정성이 크다. 또 고분자 화합물에 아민과 같은 극성기를 가진 고분자형 분산제도 있다.

청정분산제의 작용으로서는 크게, 분산작용, 가용화작용, 중화작용의 세 가지로 나누어진다.

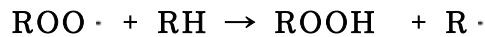
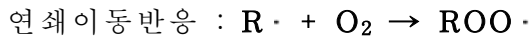
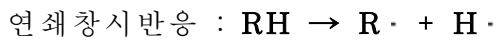
분산작용은 연소실로부터 윤활유속에 혼입한 슬러지, 그을음 등을 미세하게 분산하여 엔진내에 쌓이는 것을 방지하는 역할을 말하며, 무회계 분산제가 높은 분산성을 보인다. 그 작용기구는 윤활유내에서 미셀로 형성하고, 그안에 엔진 오염물질을 거둬들여 오염물질이 서로 접촉하여 크게 되는 것을 방해함으로써 응집과 침적을 막는다.

가용화작용은 슬러지, 물의 분산 등의 극성화합물을 미셀 내에 거둬들여 가용화하여 슬러지생성 자체를 억제하는 작용을 가리킨다.

중화작용은 연료중의 황분이 연소하여 생성하는 황산, 혹은 윤활유 자신이 열화하여 생긴 유기산을 중화하는 작용을 말한다. 이것은 황분이 많은 중유를 연료로 사용하는 디젤엔진에서 중요하게 사용되고 있다.

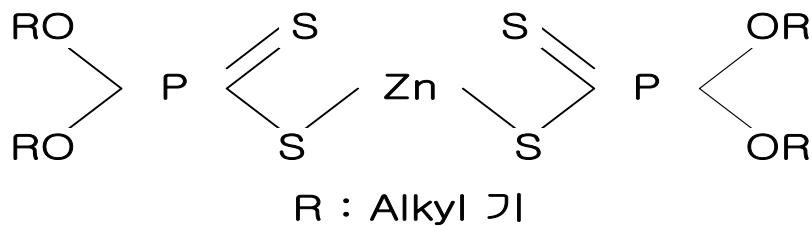
### 2.3.2 산화방지제 및 마모방지제 (Anti-Oxidants & Wear Inhibitors)

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 윤활유는 겔(Gel) 상태로 되어 베어링의 부식마모를 이끈다. 대표적인 산화방지제인 Zn-DTP의 분자구조 식은 아래와 같다.



Zn-DTP의 또다른 중요한 역할은 엔진내에서 마모를 억제하는 작용을 들 수 있다. 산에 의한 부식마모에 청정분산제가 유효한 것은 앞에서 이미 밝혔지만, Zn-DTP는 마모표면에 직접반응하여, 극압성피막을 만들므로 마모를 억제한다. 이 피막구조에 관하여는 P계, S계, 폴리머 형태의 화합물 등 많은 설이 있다. 피막은 Zn-DTP가 금속표면에서 분

해하여, 형성되기 때문에 열분해 하기 쉬운 것일수록 높은 극압성을 보인다. 알칼기의 구조에서는 2급 알칼기가 가장 내마모성이 좋지만, 열 안정성이 뒤떨어지기 때문에 사용시에는 청정성의 영향을 충분히 고려할 필요가 있다.

### 2.3.3 점도지수 향상제(Viscosity Index Improvers)

멀티그라이드 윤활유는 저온에서의 유동성과 고온에서의 충분한 점도를 함께 가지고 있으며, 예컨대 SAE 10W-30 윤활유는 저온에서 SAE 10W와 같은 유동성을 가지며 또한 고온에서는 SAE 30W와 같은 점도를 가진다. 점도지수 향상제는 이 멀티그라이드 윤활유를 제조하기 위해서 사용하는 첨가제로, 대부분 분자량이 10,000이상의 고분자화합물을 사용하며, 실모양으로 퍼져서 윤활유 중에 분산하고 있으며, 고온이 될 수록 효과가 커져 증점효과가 얻어진다. 엔진 오일에 사용되는 점도지수향상제로는 지금까지 폴리메타크릴레이트가 대부분이었으나, 최근 올레핀 공중합체, 스티렌-디엔 공중합체의 사용이 증가하고 있다. 점도지수 향상제의 선택에 있어서는 점도저하와 청정성을 고려해야 한다. 점도저하에는 고분자의 사슬이 끊어지는데 따른 영구점도저하와 고분자가 흐름의 방향에 배향하는데 따른 일시적 점도저하가 있으며, 이러한 특성도 고려해야 한다.

연료 절약형 엔진오일에 관해서는 많은 연구결과가 있었고, 저점도화에 관해서는 마모 윤활유 소비점에 한계가 있어, 예컨대 가솔린 엔진오일은 광유에서는 7.5W가 저점도의 한계라는 보고도 있다. 디젤엔진오

일에 관해서도 10W-30 윤활유가 벌써 사용되고 있으나, 확실한 평가가 나타나지 않았다. 연료절약성과 내마모성과의 접점이 모색되겠지만, 그러기 위해서는 단순히 내마모성 첨가제뿐만 아니라, 청정분산제, 점도지수향상제도 포함한 종합적인 첨가제 배합기술이 필요하다.

앞으로 엔진의 대형화 고출력화에 따른 보다 더 내열성이 높은 청정분산제의 개발, 배기가스, 정화촉매를 피독시키지 않는 저인의 극압첨가제, 즉 Zn-DTP를 대신할 수 있는 첨가제의 개발이 필요하다.

## 2.4 나노구리합금첨가 윤활제

기관의 운전시 고온 및 극압윤활상태는 피할 수 없는 것이며, 기존의 고체윤활제는 이러한 조건을 향상시키지는 못했다. 현재 금속재료 중 윤활성이 뛰어난 구리합금 윤활제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 많은 문헌의 실험분석에 의하면, 이것이 극압윤활상태를 향상시키는 효과가 있음을 입증하였다. 러시아 자동차연구소(NAMI)의 분석결과에 따르면 구리합금 윤활제는 극압성이 우수한 것으로 판명되었으며, 안효석과 이성철의 연구에서는 마찰 감소와 손상 부위 치유효과가 있음을 확인하였다.

본 실험에서는 나노구리합금 윤활제를 고온 및 극압상태인 실제 엔진에 적용하여 이와 같은 성능을 규명하고자 한다.

본실험에서는 극미세 구리니켈합금 나노분말이 함유된 첨가제를 사용하였으며, 기존 윤활유와의 명확한 혼합비율이 규명되지 않아 전체 윤활유량의 5%에 해당하는 만큼의 윤활제를 혼합하였다. 즉, 8.0리터 윤활유에 0.4리터의 첨가제를 첨가하였다. Fig. 2.4.1은 나노분말을 전자현미경으로 촬영한 것으로 그 형상은 구형이며, 크기는 10nm ~ 100nm 사이에서 주로 분포하고 있음을 보여 주고 있다.

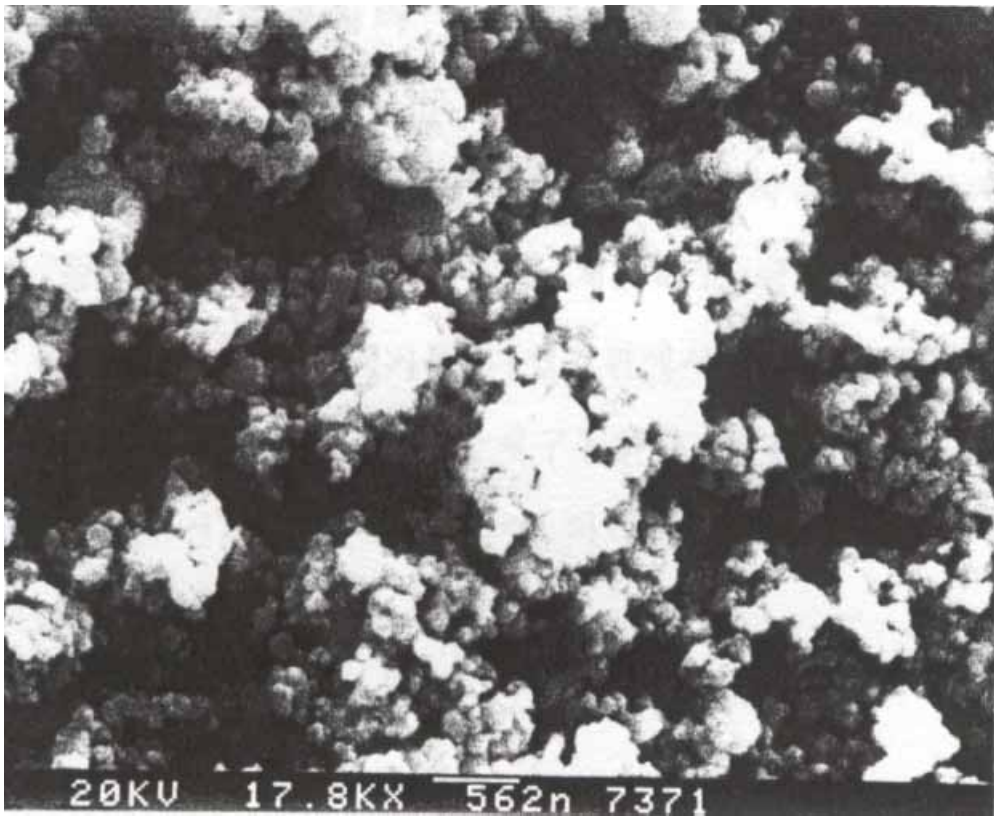


Fig. 2.4.1 SEM micrograph of NiCu fine particles

## 제 3 장 실험장치 및 계측장치

### 3.1 실험장치

#### 3.1.1 대상기관

윤활제의 효과를 확인하기 위하여 기존의 실제 엔진에 나노구리합금 윤활제를 첨가하여 운전한 후 엔진의 성능변화를 측정하였다. 본 실험에 사용된 엔진은 최대출력 115PS, 배기량 3,298cc, 압축비 16인 디젤 엔진으로 3.5TON 트럭에 사용되고 있는 엔진을 선택하였다. Fig. 3.1.1은 실험사진이며, Table 3.1.1 - 3.1.7은 실험엔진 및 각종 계통의 사양을 나타낸다.

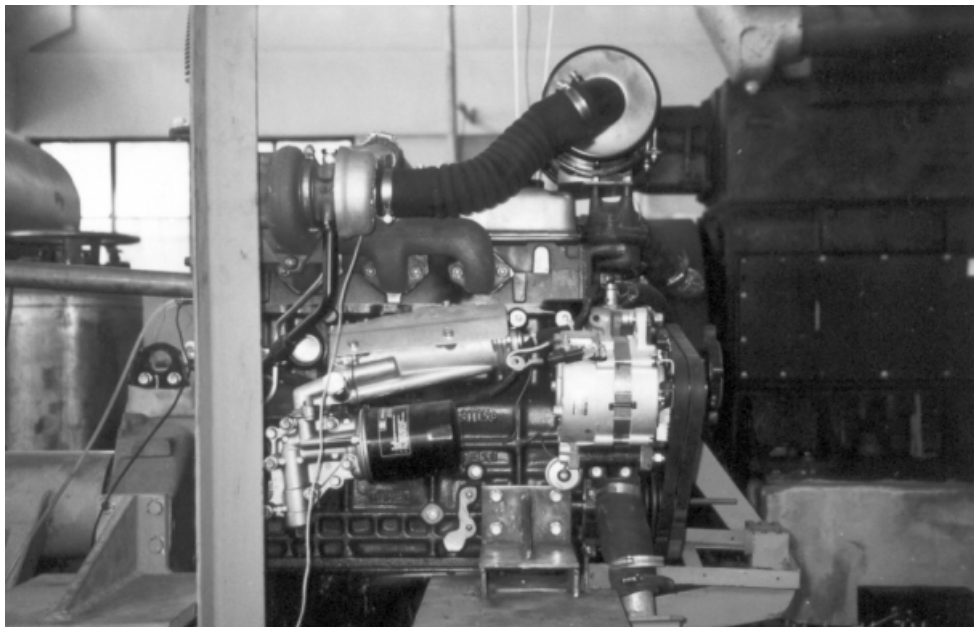


Fig. 3.1.1 Model diesel engine

Table 3.2.1 Specification of Test Engine

Type	Turbo Diesel Engine(D4AK-C)
Cooling Method	Water Cooler
No. of Cyl. & Arrangement	4-IN Line
Valve Mechanism	Overhead Valve
Combustion Chamber Type	Direct Injection
Bore × Stroke	100mm × 105mm
Total Piston Displacement	3,298cc
Compression Ratio	16:1
Rated Output(KSR 1004)	80/2400(ps/rpm)
Peak Torque(KSR 1004)	25.5/1800(kg.m/rpm)
NO-Load Minimum Speed	700~750 rpm
NO-Load Maximum Speed	2640±20 rpm
Firing Order	1-3-4-2
Injection Timing	16°±1°B.T.D.C

Table 3.1.2 Oil System

Oil Pressure	Idle : 1.5 ~ 3kg/cm <sup>2</sup> Rated Speed : 1.5 ~ 3kg/cm <sup>2</sup>
Oil Filter	Full Flow Filter Type
Oil Cooler	Water Cooled Shell & Tube Type
Max. Allowable Oil Temp.	115°C
Eng. Oil Capacity	8.5 liter



Table 3.1.3 Cooling System

Coolant Capacity	8.3 liter(Engine Only)
Thermostat Opening Temp.	82℃
Heat Rejection to Coolant	35,000kcal/h at Rated Output
Max. Allowable Coolant Temp.	105℃
Water Pump	Centrifugal Type
Drive Method	V-Belt Drive

Table 3.1.4 Air Inlet System

Maximum Intake Air Restriction	With Clean Filter Element : 100 mmAq With Dirty Filter Element : 762 mmAq
Intake Air Flow Rate	8.5m <sup>3</sup> /min at Rated Output

Table 3.1.5 Exhaust System

Maximum Allowable Back Pressure	30mmHg
Exh. Pipe Size Normally Acceptable	50.8 mm (Turbocharger Outlet Port)
Max. Exh. Gas Temp. at Turbocharger Outlet	425 ℃
Exh. Gas Flow Rate	15.5m <sup>3</sup> /min at Rated Output

Table 3.1.6 Fuel System

Fuel Injection Pump	Bosch PES-4A
Max. Suction Head of Feed Pump	73.5 mmHg
Max. Static Head of Leak Pipe	1216mmHg
Fuel Injection Nozzle	Multi-Hole Type
Governor	RSV Type
Fuel Filter	Paper Element Type

Table 3.1.7 Turbocharger

Boost Pressure	550 mmHg at 2000rpm, Full Load
Air Intake Temp.	110°C at 2000rpm, Full Load
Turbine Inlet Pressure	500 mmHg at 2000rpm, Full Load
Turbine Inlet Temp.	580°C at 2000rpm, Full Load

### 3.1.2 냉각 계통

냉각수 온도가 변화가 생기면 엔진성능에 영향을 미치게 되고 그로 인해 데이터 수집에 일관성을 잃게 되므로, 엔진의 냉각수 온도는 일정하게 유지 시켜 줘야한다. 본 실험에서는 엔진의 냉각수 온도를 70℃로 유지시키기 위해 냉각수 탱크에 온도 센서를 부착하여, 온도를 일정하게 유지시키도록 하였고 또한 동력계에 들어가는 냉각수의 온도도 30℃로 유지하도록 하였다. 엔진 내부에 부착된 냉각수의 서모스탯밸브는 82℃에서 열리기 시작하므로 데이터 수집 전에 엔진을 충분히 돌려서, 냉각수 온도를 충분히 상승시킨 후에 데이터를 수집하였다. Fig. 3.1.2는 엔진 및 동력계의 냉각수 파이프계통 및 제어장치를 나타낸다.

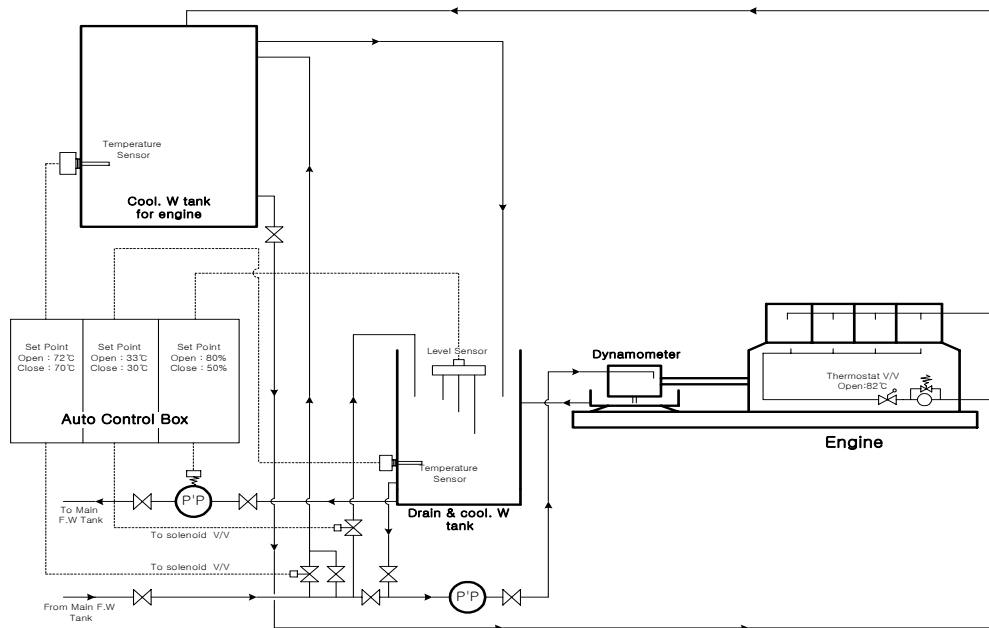


Fig.3.1.2 Piping diagram of cooling water for engine & dynamometer

## 3.2 계측장치

본 실험에서는 윤활유 첨가제의 효과를 파악하기 위하여, 실린더내 최고폭발압력, 배기가스 온도, 소기온도, 연료소비율, 배기배출물 등을 각 운전조건에서 운전시간 별로 측정하였다. 실린더내 최고폭발압력은 1번 실린더에 압력센서를 부착하여 나온 데이터를 증폭기로 증폭하여 측정하였으며, 축의 끝단에 엔코더(Z pulse, B pulse)를 설치하여, AD컨버터에서 TDC(Z pulse)를 시작으로 1회전당 360(B pulse)개의 트리거(Trigger)신호에 의하여, 크랭크 각도당 실린더내 압력을 받아서, 컴퓨터에 저장하였다. 배기가스와 급기온도를 측정하기 위해, 3번 실린더의 배기관과 급기챔버(Chamber)에 온도계를 설치하였으며, 연료소비량 측정을 위하여 200ml의 유리관으로된 게이지를 3개 설치하였으며, 스톱와치를 사용하여, 일정량의 연료를 소모시키는데 걸리는 시간을 측정하여 구하였다.

배기가스 배출물을 측정하기 위하여, T/C 출구 쪽에 스모크 측정기 및 배기가스 분석기를 연결하여, 데이터를 수집하였다. 배기가스 분석기는 노트북 컴퓨터를 이용하여 30초 단위로 계속적으로 수집하였다.

Fig. 3.2.1는 각종 데이터를 수집하기 위해 제작된 실험장치도를 나타낸다.

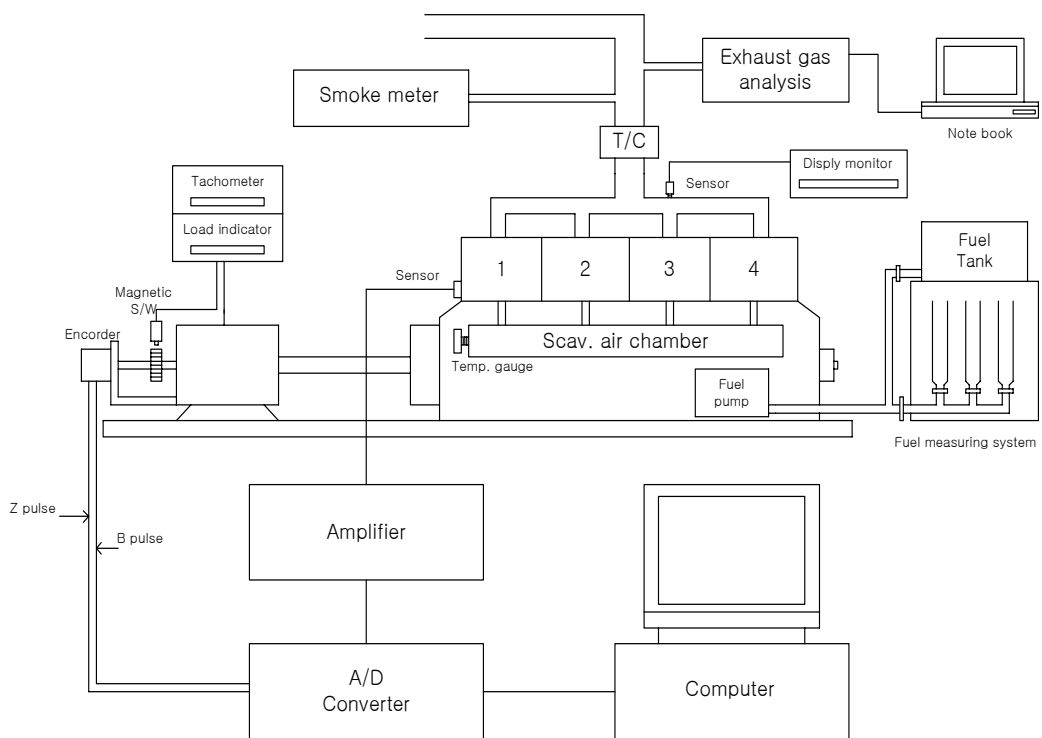


Fig. 3.2.1 Setup of Experimental apparatus

### 3.2.1 동력 측정 장치

기관 성능시험에 있어서 주로 이용되는 동력계는 전기동력계와 수동력계가 있으며, 본 실험에서는 수동력계를 사용하였다. 기관에서 발생된 출력은 축를 통해 동력계로 전달되고, 동력계로 전달된 엔진의 출력은 그에 상당하는 하중으로 표시가 된다. 이 하중을 측정함으로써 기관의 토크 또는 제동마력을 산출할 수 있다.

본 실험에 사용된 수동력계는 엔진의 축과 연결된 축에 임펠러가 고정되어 있어, 흡입되는 물을 토출하는 작용을 한다. 출구 쪽에 밸브가 달려 있고, 이것을 조절함으로써 수동계 안의 작동수 높이를 조절하게 되며, 이로써 브레이크 토크를 변화시킨다.

동력계의 제원은 Table 3.3.1에서 보여주고 있다.

제동마력 및 토오크는 다음과 같이 구한다.

- 1) 제동마력(BHP) :

$$BHP = P \times N / 1000 (PS)$$

- 2) 제동 토오크(Breaking Torque) :

$$T = 0.7162 \times P (kg \cdot m)$$

\*  $P$  : Load (kg),  $N$  : rpm

하중(Load)은 로드셀(Load cell)에 의해 검출되고, 기관의 회전속도는 비접촉식 전자감지기(Electromagnetic detector)에 의하여 검출되며, 각각의 사양은 Table 3.2.2~3.2.3과 같다.

Table 3.2.1 Specification of Dynamometer

Items	Specification
Type	Hydrodynamometer
Model	P - 1.8 - LC Non-reversible Model
Max. braking horsepower	200 /3331 (PS/RPM)
Max. Speed	6000 (RPM)
Max. Torque	43 (kg · m)
Braking Control	Manual Control
Amount of Feed Water	Max. 3.6 m <sup>3</sup> /Hr
Feed water pressure	1.0 ~1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Drain Temperature	Max. 70 <sup>o</sup> .
Lubrication	Grease

Table 3.2.2 Specification of Load Meter

Load cell	
Type	LU-200KE
Capacity	200 kgf
Indicator	
Type	FLA-102RV
Measuring points	1
Indicate	0 ~ 60.0 Kg (ratio indicate)

Table 3.2.3 Specification of Tachometer

Detector	
Measuring range	50 ~ 20000 rpm
Plus/Rotation	60 P/R
Indicator	
Measuring range	0 ~ 19999 rpm
Type	RM-200

### 3.2.2 배기가스분석기

본 실험에 사용된 배기가스 분석기(testo 350)는 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>를 각기 다른 압력에서 정확하고, 신속하게 측정할 수 있고 습도와 음속도 측정할 수 있다. 특히 방사 컨트롤과 대형 산업용 용광로 조정용으로 적합하며, 넓은 측정범위와 낮은 측정범위에서 한계수치를 통제하는 정밀성이 높다. 높은 가스밀도에서 스위치가 꺼지는 레벨을 자유롭게 독립적으로 지정할 수 있고 동시에 신선한 공기로 린스되는 CO측정셀을 사용하여 과부하를 방지하거나, 또는 사용자가 장착할 수 있는 모듈로 측정매개 변수를 첨가하는 추가적 장점이 있다.

Table 3.2.4~3.2.5는 본 실험에 사용된 배기가스 분석기 및 스모크 측정기의 사양을 나타낸다.



Table 3.2.4 Specification of exhaust gas analyzer

Model	Testo 350
Temperature	Range : -40 to 1200 °C Accuracy : ±0.5 °C (0 to 100 °C) ±0.5% of measured value (from 100 °C)
O <sub>2</sub>	Range : 0 to 21 vol % Accuracy : ±0.2 vol %
CO	Range : 0 to 20000 ppm Accuracy : ±20 ppm (to 400 ppm) ±5% of measured value (to 2000 ppm) ±10% of measured value (to 20000 ppm)
	Range : 0 to 40000 ppm Accuracy : ±50 ppm (to 1000 ppm) ±5% of measured value (1000 to 10000 ppm) ±10% of measured value (> 10000 ppm)
NO	Range : 0 to 3000 ppm Accuracy : ±5 ppm (to 100 ppm) ±5% of measured value (to 3000 ppm) ±10% of measured value (to 3000 ppm)
NO <sub>2</sub>	Range : 0 to 500 ppm Accuracy : ±10 ppm (to 100 ppm) ±5% of measured value (> 100 ppm) ±10% of measured value (to 3000 ppm)
SO <sub>2</sub>	Range : 0 to 5000 ppm Accuracy : ±20 ppm (to 400 ppm) ±5% of measured value (to 3000 ppm) ±10% of measured value (to 5000 ppm)

Table 3.2.5 Specification of smoke meter

Model	P8340
Company (nation)	G Cussions (England)
range	0 ~ 100%

### 3.2.3 실린더내 압력검출 장치

본 실험의 데이터 수집장치는 압력검출을 위한 센서 및 그 신호를 증폭하기 위한 신호조정용 앰프 유니트, 크랭크 각 검출을 위한 엔코더, A/D 컨버터 및 PC로 구성되어 있다.

본 실험에서 압력검출을 위해서 압력센서는 스트레인게이지형을 사용하였다. 이것은 금속체에 변형을 주면 전기저항이 증감하는데 이와 같은 원리를 이용한 것이다.

스트레인 게이지의 저항 변화율은 소자가 받는 변형에 비례하며 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon$$

$R$  : 게이지의 저항값

$\Delta R$  : 게이지 저항값의 변화분

$K$  : 게이지 고유의 변형감도(게이지율)

소자가 받는 변형으로 외력에 의한 길이의 변화를  $\Delta l$  이라하면 변형율  $\varepsilon$ 는 다음식으로 표현되는 무차원량이 된다. <sup>14)</sup>

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

압력은 변형율에 비례하므로, 호이스톤 브리지회로를 이용하여 저항변화율을 측정하면 곧 압력의 변화를 나타내게 된다.

본 실험에서는 4 실린더 엔진중 1번째 실린더에 센서를 연결하고, 측정

된 압력신호를 증폭시킨 뒤 A/D변환기에서 신호를 수집한다.

크랭크 각을 검출하기 위하여, 360/rotation인 'B'펄스와 1/rotation인 'Z'펄스를 발생하는 엔코더를 이용하였다. 엔코더는 엔진축의 끝에 연결하여 1회전당 1펄스를 발생하는 'Z'펄스를 1번째 실린더의 TDC에 정확히 맞추게 되면 'Z'펄스는 TDC신호가 되는 동시에 프로그램에서 데이터 수집을 시작하는 트리거(Trigger)가 된다. 또한 엔코더의 B펄스는 1회전당 360회의 구형파를 발생한다. 크랭크 각도 1도당 1개의 데이터를 샘플링하기 위해서 이 엔코더를 사용하였다. 따라서 A/D변환기에서는 센서에서 출력되는 전압을 증폭기에서 증폭시키고, 엔코더에서 나온 'B'펄스와 'Z'펄스를 받아 센서의 압력신호를 'B'펄스의 트리거신호에 따라 'Z'펄스가 입력되는 신호로부터 사용자가 원하는 사이클 수만큼 데이터를 수집할 수 있다.

Table 3.2.6에서 엔코더의 사양을 보여주고 있다.

Table 3.2.6 Specification of Encoder

Type	TRD - J360 - RZ
Pulse number / Rotation	360 / Rotation
Power source voltage	5 ~ 30 VDC
Maximum response frequency(kHz)	18 kHz
Output pulse	A, B, Z Pulse

본 실험에 사용된 앰프는 직류로부터 5000Hz까지의 현상을 증폭할 수 있으며, 초정밀 저항기 VKR, IC를 풍부하게 사용하여 드리프트(drift), 노이즈(noise)등을 제거하고, 안정하게 작동하기 때문에 공업계기로 사

용하기에 용이하다.

본 기기의 특성은 다음과 같다.

- ① 응답주파수가 높다.(DC~5KHz,  $\pm 5\%$ , DC~10KHz,  $\pm 10\%$ )
- ② 고출력이므로 직접 컴퓨터에 접속이 가능하다.  
[ $\pm 10V(5k\Omega$ 이상의 부하),  $\pm 80mA(30\Omega$ 부하)]
- ③ CDA-110A에서는 코드연장시의 오차가 거의 없다.
- ④ VKR, IC를 사용하기 때문에 신뢰성이 높다.

본 실험에 사용된 A/D 컨버터는 선박의 MIP 시스템에 사용되는 것으로 성능은 다음과 같다.

CPU Type : 80c196KC(16MHz)

Memory : 64K Byte

데이터 처리에 사용된 PC는 다음과 같다.

Pentium 75MHz

Memory : 64M RAM

HDD : 2.1GB

### 3.2.4 연료소비율 측정장치

소비되는 연료량을 측정하기 위해서 연료탱크와 엔진 연료펌프 사이에 일정량(100cc, 200cc)이 표시된 유리관을 사용하여 스톱와치로 일정량의 연료가 소모되는 시간을 측정함으로써 연료소비율을 계산하였다.

## 제 4 장 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 윤활유 첨가제로 구리나켈합금 나노분말을 사용하였으며 운전조건은 최대 토크선도를 구한 다음 토크구간을 5구간으로 나누어 총 25개의 운전조건을 설정하였다. 데이터의 수집은 1000RPM에서 무부하 상태로 20시간 간격으로 운전한 후에 데이터를 수집하는 방법으로 총 100시간에 걸쳐 데이터를 수집하였으며, 첨가제를 첨가하기 전에 각각의 조건(25포인트)에서 2회에 걸쳐 기초데이터를 수집하였다.

Fig. 4.1은 데이터 수집을 위한 엔진의 기본조건을 나타낸다.

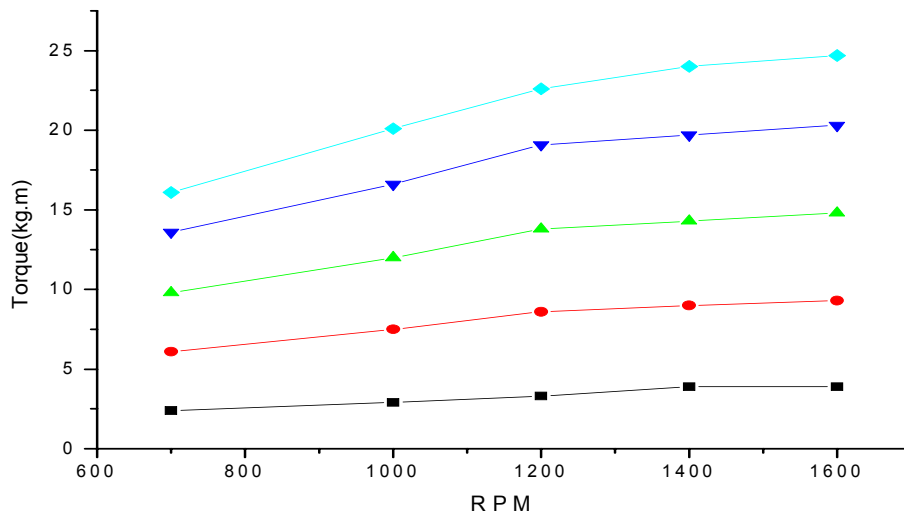


Fig. 4.1 Basic condition of engine for data acquisition

## 4.1 최대토크

일정한 RPM에서의 나노윤활제 첨가 이후 운전 시간에 따른 각 RPM에서의 최대토크 변화는 Fig. 4.1.1과 같이 나타났다. Fig. 4.1.1에서 X축의 -20은 윤활유 나노윤활제 첨가 전의 기초 데이터를 나타내며 0은 투입 직후를 나타내고 그 이후는 각각의 운전시간을 말한다. 전반적으로 각 RPM에서의 최대토크는 첨가제를 투입한 이후 운전시간이 지남에 따라 모두 증가하였고 특히 저속에서는 그 증가폭이 고속일 때 보다 커짐을 알 수 있다. 100시간 운전후 총 증가량은 첨가제 투입 전에 비해 700rpm에서 13.9%, 1000rpm에서, 9.9%, 1200rpm에서 13.6%, 1400rpm에서 8.2%,

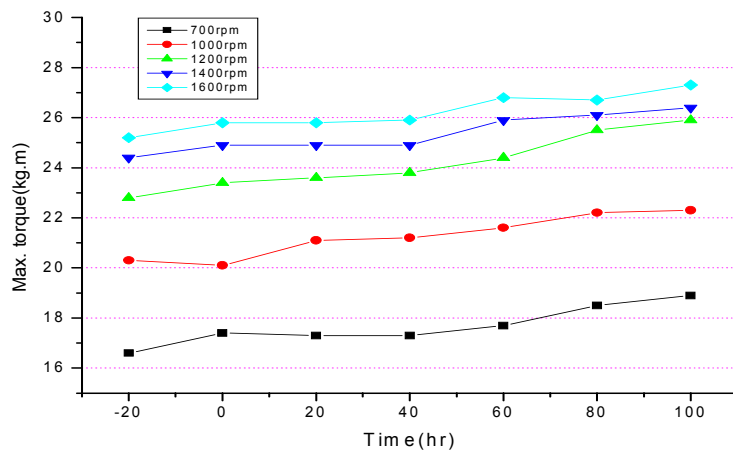


Fig. 4.1.1 Variations of max. torque versus run hours according to Eng. speed(rpm)

1600RPM에서 8.3% 가 상승한 것으로 나타났고 이것은 동일 RPM에서 엔진이 낼 수 있는 출력이 증가했음을 말해 준다. 그래프에서 나타난 것처럼 각 RPM에서 최대토크 증가폭은 첨가제를 투입한 직후에 가장 높게 나타났다.

이는 다음 두가지의 영향으로 판단된다. 첫째는 안효석과 이성철의 왕복동시험에서<sup>13)</sup> 마찰이 감소함을 보여준 것처럼 마찰손실의 감소에 의한 영향이며, 두 번째는 밀봉작용의 증가로 연소실 압력이 증가된 영향이다.

## 4.2 실린더내 연소 최고압력

데이터 수집 및 분석방법은 크랭크 각도당 압력값을 수집하여 운전시간에 따른 최고압력값의 변화를 비교하였다. Fig. 4.2.1는 700RPM, 토크 2.4kg.m에서 수집된 실린더내 압력선도를 나타내며 다른 모든 데이터도 이와 같은 방법으로 계측하였다. 압력변화에서 알 수 있는 바와 같이 첨가제를 첨가함으로써 상사점 부근의 압력이 높게 나타나 있으며 최대폭발압력은 낮게 나타난다. 이는 첨가제 사용으로 실린더내 가스의 밀봉작용이 향상된 것에 기인한다고 판단된다. 첨가제 사용후 운전시간이 경과함에 따라서도 밀봉작용이 향상됨을 알 수 있으나 그 효과는 첨가제 첨가직후에 비하여 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4.2.2 ~ Fig. 4.2.6는 각 RPM과 토크를 일정하게 유지한 조건에서의 운전시간에 따른 엔진의 최고폭발압력의 변화를 나타낸다. 각각의 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 최고폭발압력은 운전시간이 지남에 따라 저하됨을 알 수 있고 그 저하폭은 첨가제를 투입한 직후에 가장 높게 나타났다. 700RPM에서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 최고폭발압력은 운전시간이 지남에 따라, 계속 감소하였는데 RPM이 증가함에 따라 토크별 운전시간에 따른 엔진의 최고폭발압력은, 그 감소 폭이 점점 줄어들었고, 1600RPM에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 즉 RPM과 토크가 낮을 때에는 운전 시간이 지남에 따라 최고폭발압력이 감소하였지만, RPM과 토크가 높아짐에 따라 최고폭발압력은 거의 변화가 없었다. 동일한 RPM과 토크에서 운전시간에 따라 폭발압력이 감소했다는 것은 공급연료량의 감소에 대응하는 것이며 이는 마찰손실의 감소에 의한 정미열효율의 증대를 뜻하고, 피스톤링의 밀봉작용이 향상된 것임을 알 수 있다. 높은 토크에서 최고폭발압력의 변화가 거의 없는 것은 무첨가시에도 비교적 양호한 유회상태이었기 때문에 그 효과가 상대적으로 적게된 것으로 추정된다.

100시간의 총운전 시간동안 연소실압력의 변화를 Table 4.2.1에 나타낸다.



Table 4.2.1 Comparison of cylinder pressure reduction percents versus run hours at various engine speeds & torques

rpm \ torque	$A_i$	$B_i$	$C_i$	$D_i$	$E_i$
700	12.8%	4.6%	10.5%	8.5%	5.7%
1000	3.0%	2.3%	5.5%	2.9%	4.3%
1200	3.6%	2.2%	2.2%	3.1%	3.3%
1400	2.9%	2.3%	2.7%	3.7%	3.8%
1600	3.3%	2.3%	2.8%	2.8%	1.7%

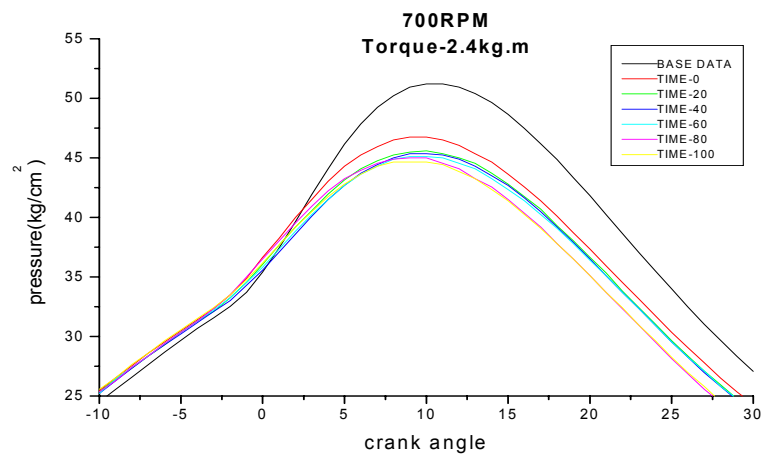


Fig. 4.2.1 Cylinder pressure curves at engine torque-2.4kg.m & 700rpm

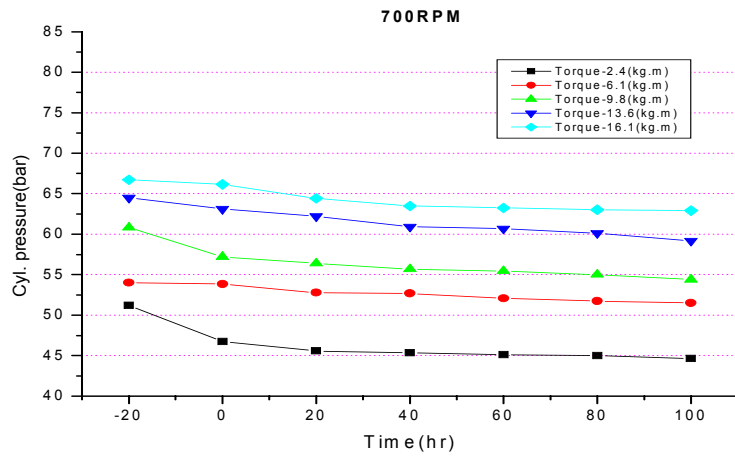


Fig. 4.2.2 Variations of maximum pressure versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

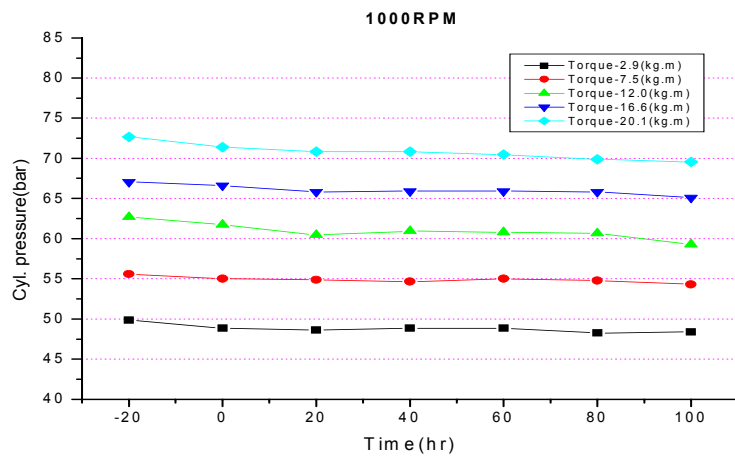


Fig. 4.2.3 Variations of maximum pressure versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

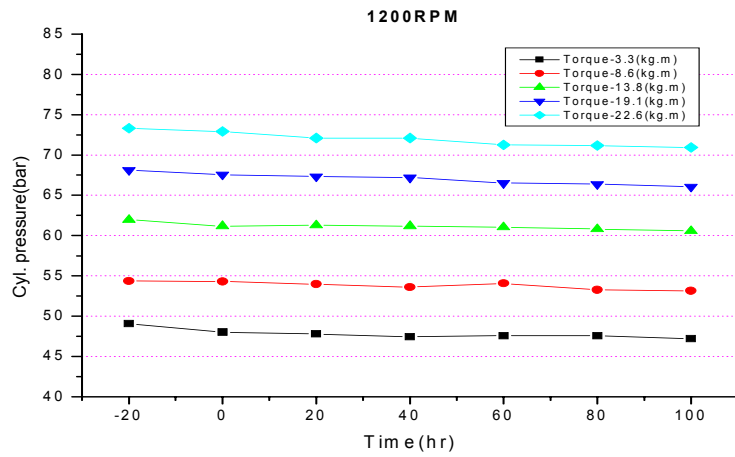


Fig. 4.2.4 Variations of maximum pressure versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

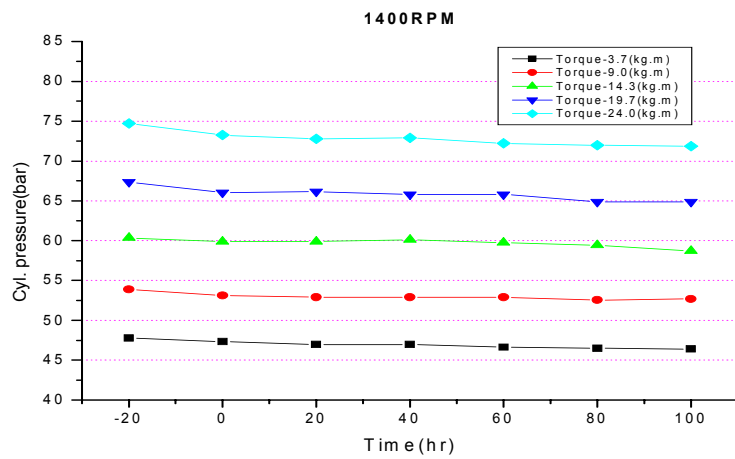


Fig. 4.2.5 Variations of maximum pressure versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

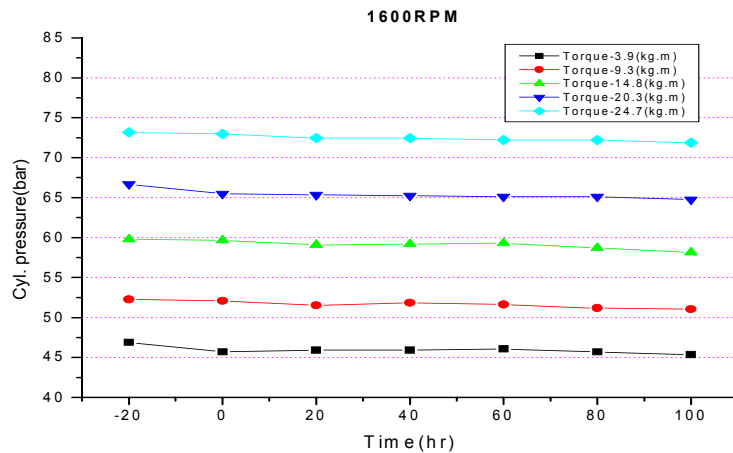


Fig. 4.2.6 Variations of maximum pressure versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

### 3.3 연료소비율

소비되는 연료량을 측정하기 위해서 연료탱크와 엔진 연료펌프 사이에 일정량(100cc, 200cc)이 표시된 유리관을 사용하여, 스톱와치로 연료가 소비되는 시간을 측정함으로써, 연료소비율을 계산하였다. Fig. 4.3.1 ~ 4.3.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 연료소비율의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 연료소비율은 모든 조건에서 감소하였고 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 윤활제의 첨가로 인하여 마찰손실의 감소와 밀봉효과에 의한 것으로 판단되며 RPM과 토크가 증가할수록 감소율이 낮아짐을 알 수 있다. 특히 모든 조건에서 연료소비율의 감소율은 윤활유 첨가제를 투입한 직후에 가장 컸으며 그 이후의 운전시간에서는 거의 변화가 작음을 알 수 있다.

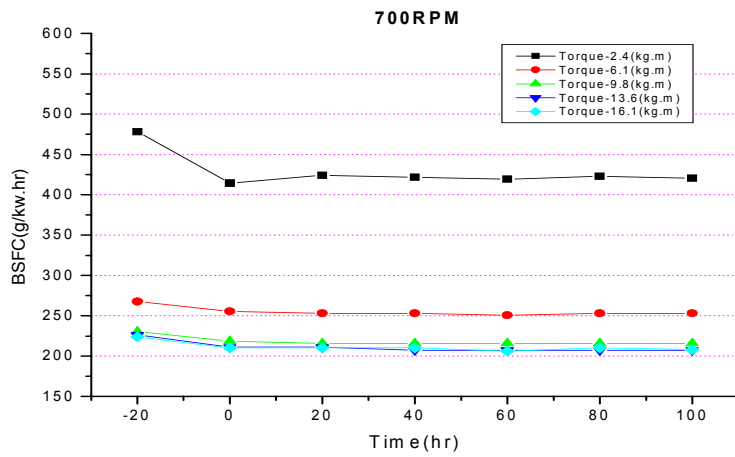


Fig. 4.3.1 Variations of BSFC versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

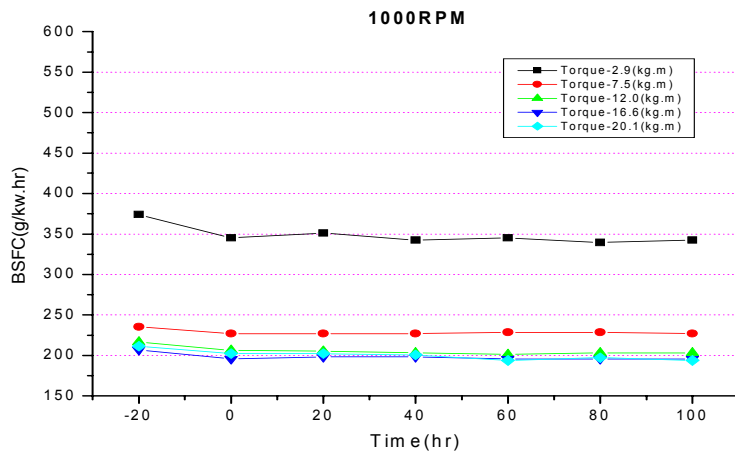


Fig. 4.3.2 Variations of BSFC versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

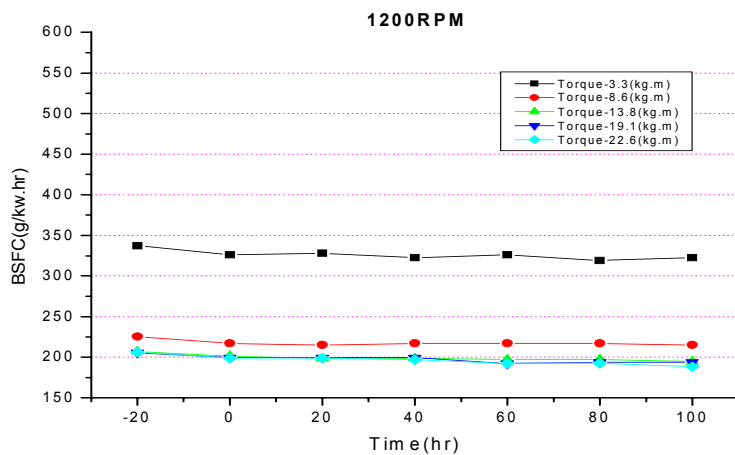


Fig. 4.3.3 Variations of BSFC versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

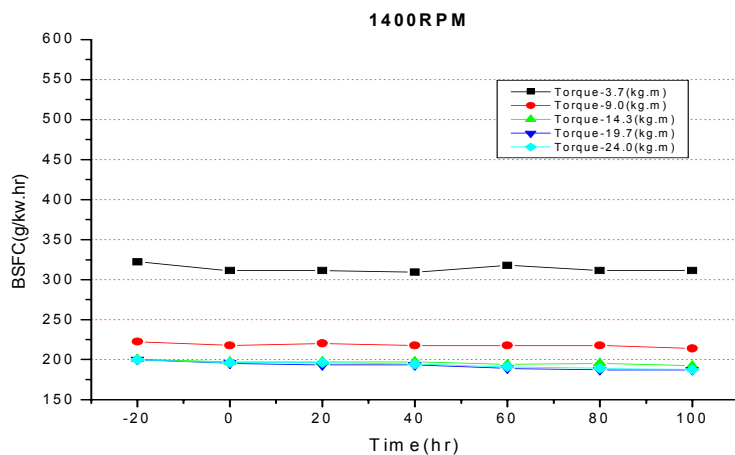


Fig. 4.3.4 Variations of BSFC versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

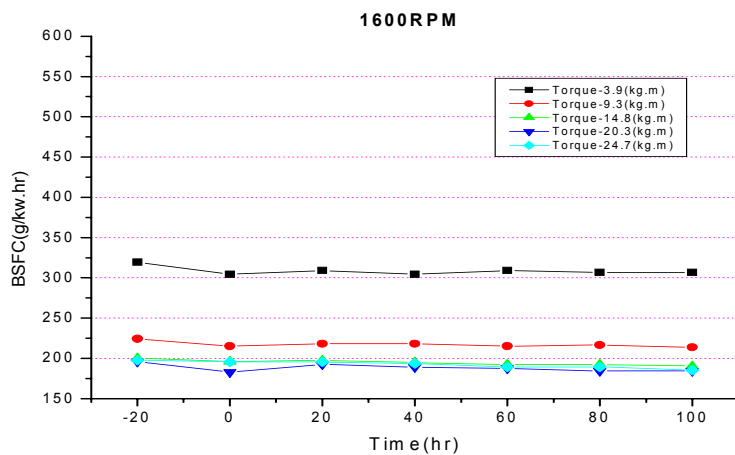


Fig. 4.3.5 Variations of BSFC versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

100시간의 총운전 시간동안 RPM 및 토크별 연료소비율의 감소비를 Table. 4.3.1에 나타냈다.

Table. 4.3.1 Comparison of BSFC reduction percents versus run hours at various engine speeds & torques

rpm \ torque	$A_i$	$B_i$	$C_i$	$D_i$	$E_i$
700	12.0%	5.5%	6.2%	8.3%	6.9%
1000	8.5%	3.6%	6.2%	5.5%	8.2%
1200	4.3%	4.7%	6.1%	5.6%	8.6%
1400	3.4%	4.0%	4.1%	6.5%	6.2%
1600	4.0%	4.7%	4.8%	5.9%	6.2%

## 4.4 배기가스온도

Fig. 4.4.1 ~ 4.4.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 배기가스온도의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 배기가스온도도 연료소비율의 변화추세와 비슷하게 모든 조건에서 감소하였고 특히 낮은 RPM과 토크에서는 변화가 거의 나타나지 않았으며 RPM과 토크를 증가시킬수록 온도의 감소율이 크게 나타났다. 특히 모든 조건에서 배기가스온도의 감소율은 윤활유 첨가제를 투입한 직후에 가장 크게 나타났다. 이것은 동일한 RPM과 토크의 조건에서 연료소비율이 낮아져 최고폭발압력이 감소하였고 그로 인해 배기가스 온도가 낮아짐을 알 수 있다.

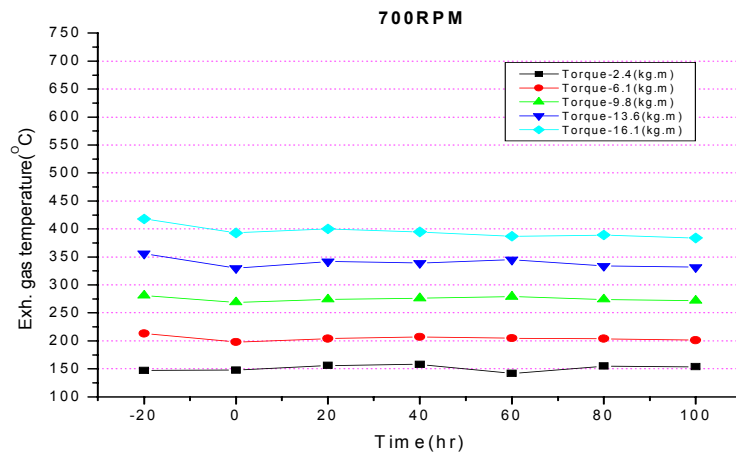


Fig. 4.4.1 Variations of Exh. gas temperature versus run hours according to Eng. torque at 700rpm



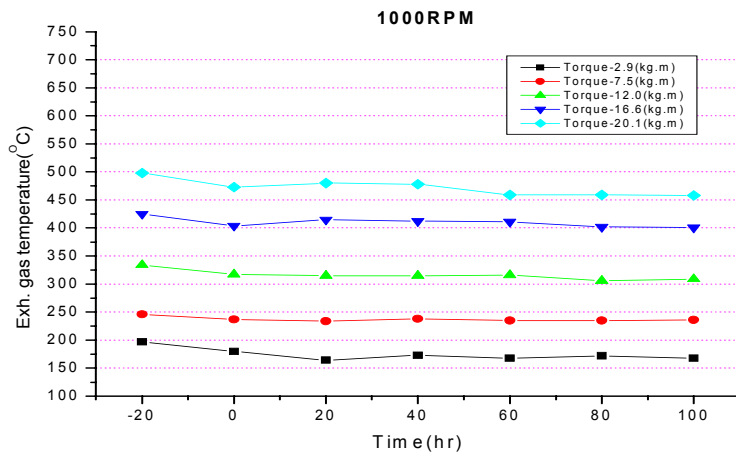


Fig. 4.4.2 Variations of Exh. gas temperature versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

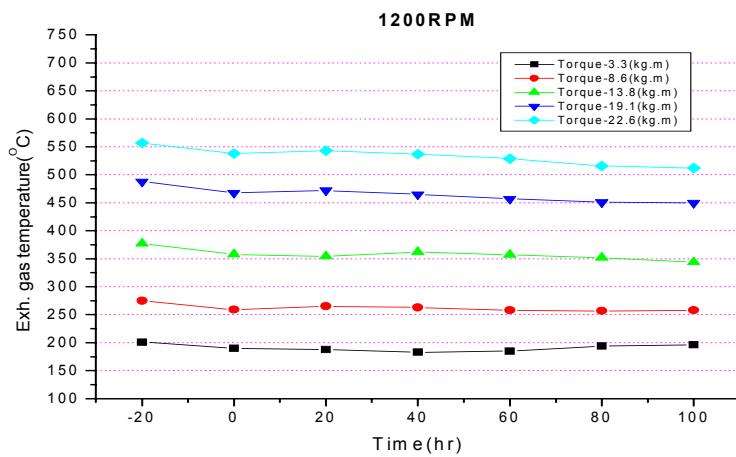


Fig. 4.4.3 Variations of Exh. gas temperature versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

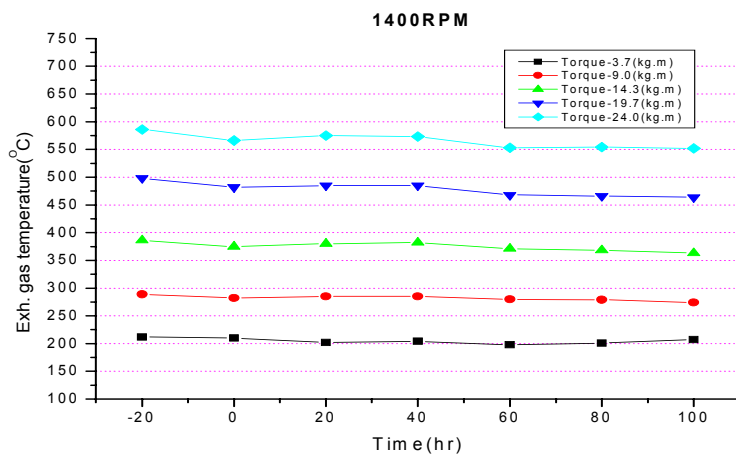


Fig. 4.4.4 Variations of Exh. gas temperature versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

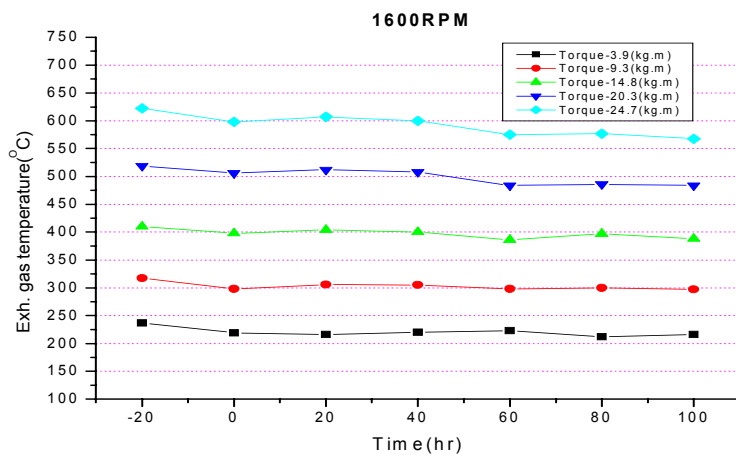


Fig. 4.4.5 Variations of Exh. gas temperature versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

## 4.5 급기 온도

실험대상 기관은 과급기관이기 때문에 엔진성능의 변화는 급기온도에 도 영향을 미친다. 일반적으로 급기온도의 변화는 배기가스 온도의 변화에 비례한다.

Fig. 4.5.1 ~ 4.5.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 급기온도의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 급기온도도 모든 조건에서 감소하였고 특히 낮은 RPM과 토크에서는 운전시간에 따라 연속적으로 온도가 감소한 반면에 RPM과 토크를 증가시킬수록 온도가 감소하다가 100시간 근처에서는 거의 변화하지 않고 안정되는 것으로 나타났다. 급기온도 또한 모든 조건에서 감소율이 윤활유 첨가제를 투입한 직후에 가장 크게 나타났다.

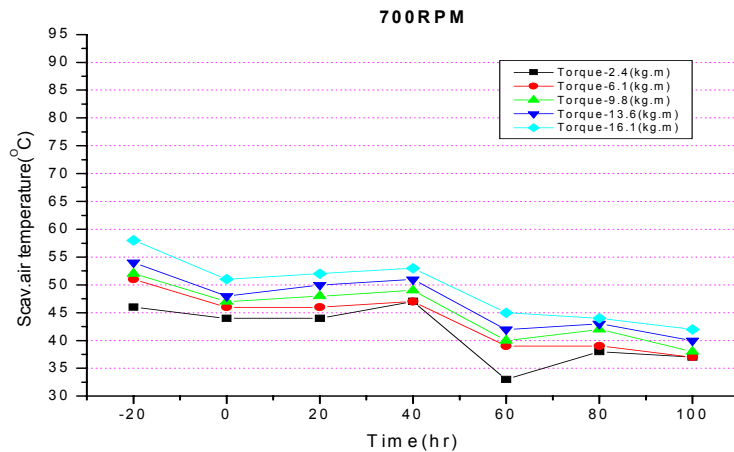


Fig. 4.5.1 Variations of Scav. air temperature versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

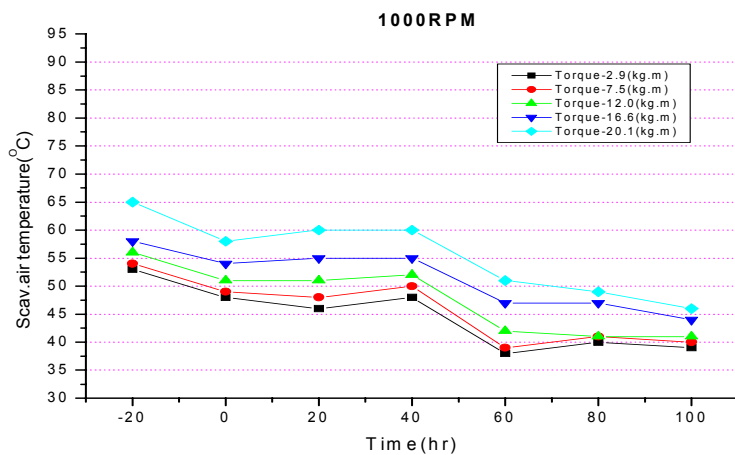


Fig. 4.5.2 Variations of Scav. air temperature versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

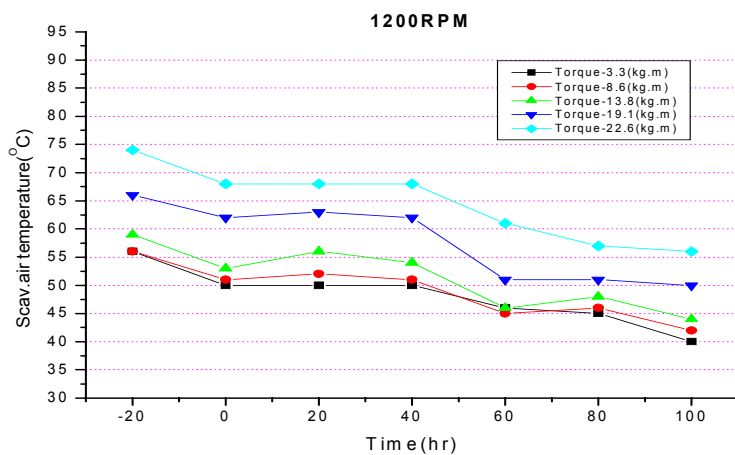


Fig. 4.5.3 Variations of Scav. air temperature versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

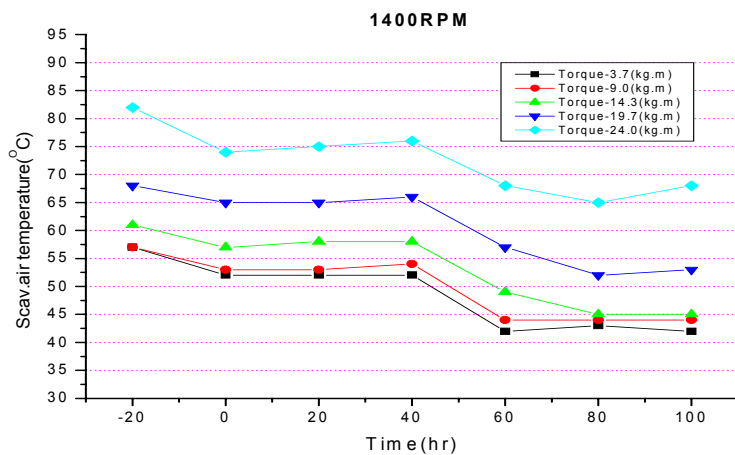


Fig. 4.5.4 Variations of Scav. air temperature versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

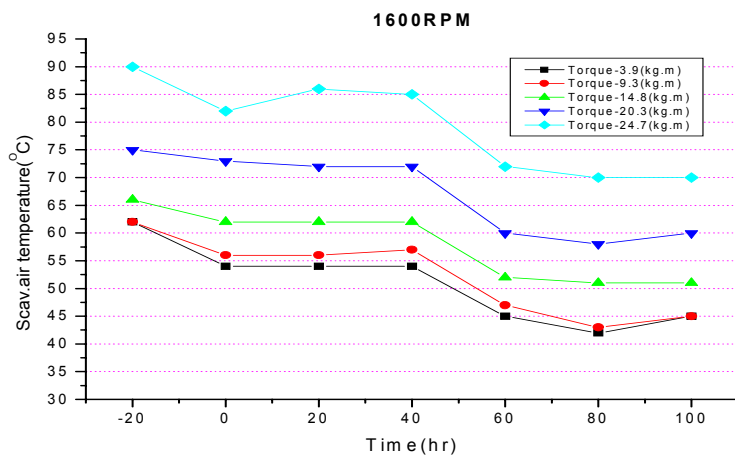


Fig. 4.5.5 Variations of Scav. air temperature versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

## 4.6 배기 배출물

### 4.6.1 NO<sub>x</sub>의 배출농도

Fig. 4.6.1.1~4.6.1.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 NO<sub>x</sub>배출농도의 변화를 나타낸다. NO<sub>x</sub>배출농도는 모든 조건에서 40~60시간 운전까지 지속적으로 상승하다가 그 이후에 감소하는 것을 볼 수 있으나 특히 높은 RPM과 토크에서는 80시간 운전 이후 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 NO<sub>x</sub>배출농도가 일정 하지 않은 것은 다음과 같은 이유 때문이라고 생각된다. 즉, 연소에 있어서 NO<sub>x</sub>의 배출농도는 연소실의 잔류 O<sub>2</sub>농도와 연소 최고온도에 영향을 받기 때문에 마찰손실의 감소로 연소실 부하가 감소하고 T/C에 의한 급기압력이 감소하므로, 이들의 복합적인 영향에 의한 것으로 생각된다.

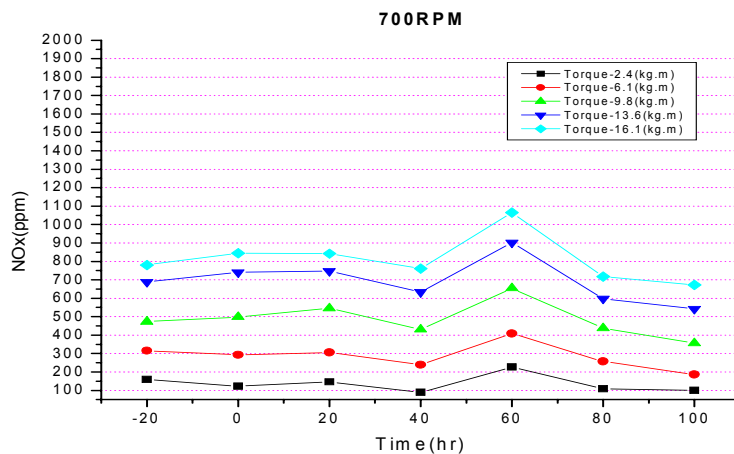


Fig. 4.6.1.1 Variations of NO<sub>x</sub> emission versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

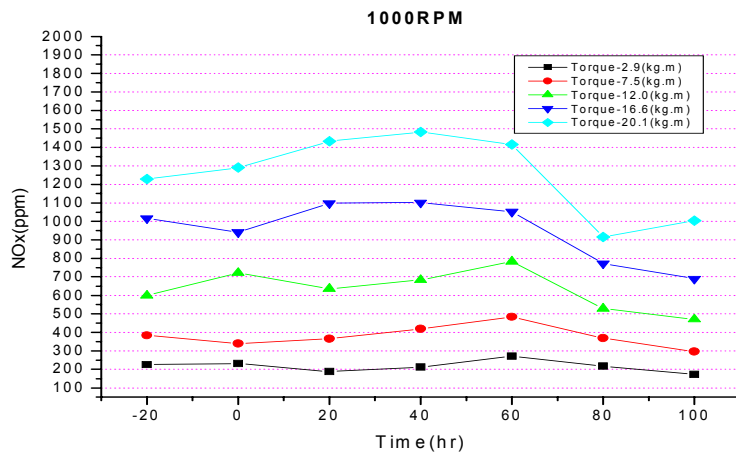


Fig. 4.6.1.2 Variations of NOx emission versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

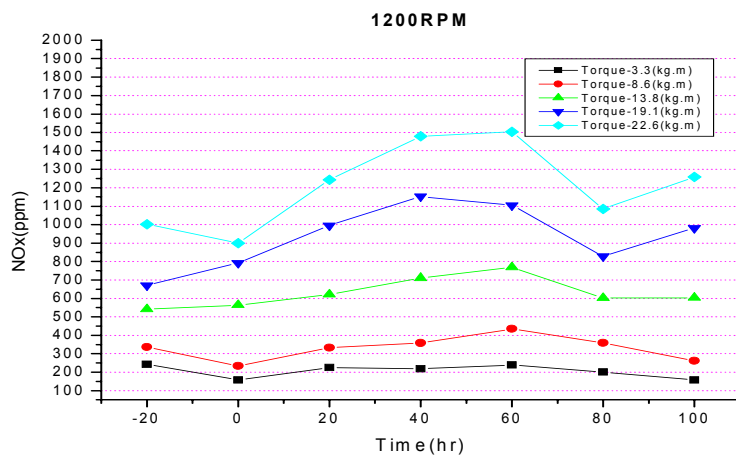


Fig. 4.6.1.3 Variations of NOx emission versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

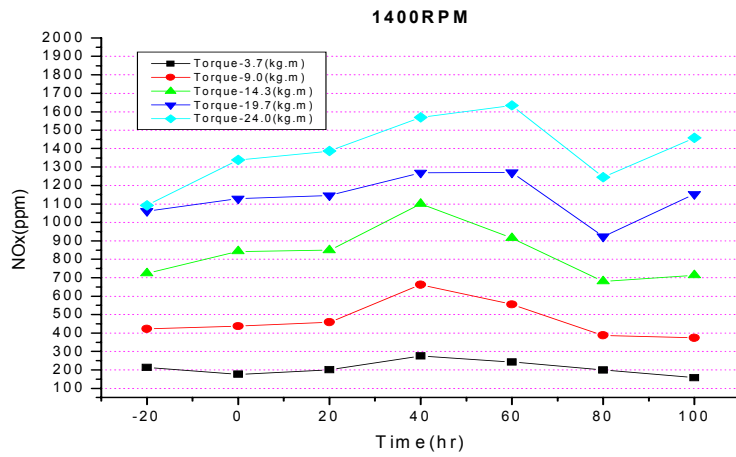


Fig. 4.6.1.4 Variations of NOx emission versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

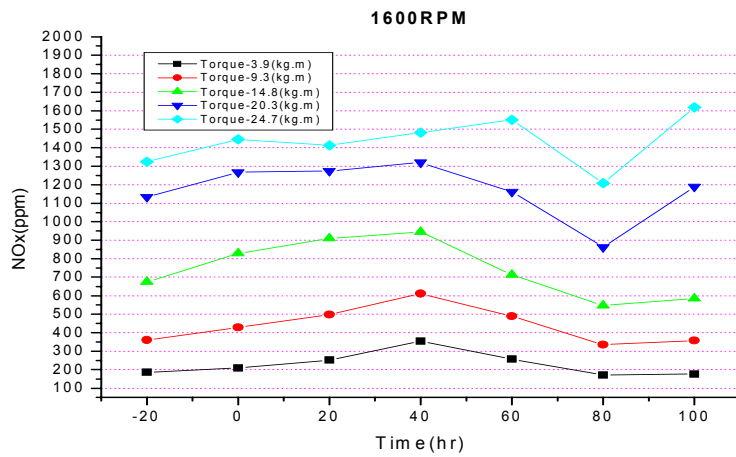


Fig. 4.6.1.5 Variations of NOx emission versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm



## 4.6.2 CO의 배출농도

Fig. 4.6.2.1 ~ 4.6.2.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 CO배출농도의 변화를 나타낸다. CO배출농도는 낮은 토크에서는 농도가 변화하지 않았으나 토크가 높은 경우에는 운전시간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며 80시간을 전후로 안정화되는 모습을 보여 준다. 여기서도 CO배출농도의 감소율이 윤활유 첨가제를 투입한 직후에 가장 변화가 크게 변화하는 것으로 나타났다. CO배출농도 역시 연소실 부하와 급기압력의 복합적인 영향을 받는 것이지만 대체로 전자의 영향이 현저히 우세한 것으로 판단된다.

100시간의 총운전 시간동안 RPM 및 토크별 CO배출농도의 감소비는 Table. 4.6.2.1과 같이 나타났다.

Table. 4.6.2.1 Comparisons of reducing effects of CO emission versus run hours at various engines speed & torques

rpm \ torque	$A_i$	$B_i$	$C_i$	$D_i$	$E_i$
700	26.7%	6.7%	19.8%	60.1%	74.6%
1000	27.8%	25.3%	51.5%	69.1%	83.2%
1200	36.1%	22.5%	50.3%	13.3%	67.2%
1400	22.9%	5.6%	55.3%	79.1%	65.2%
1600	14.0%	13.7%	48.9%	64.6%	69.8%

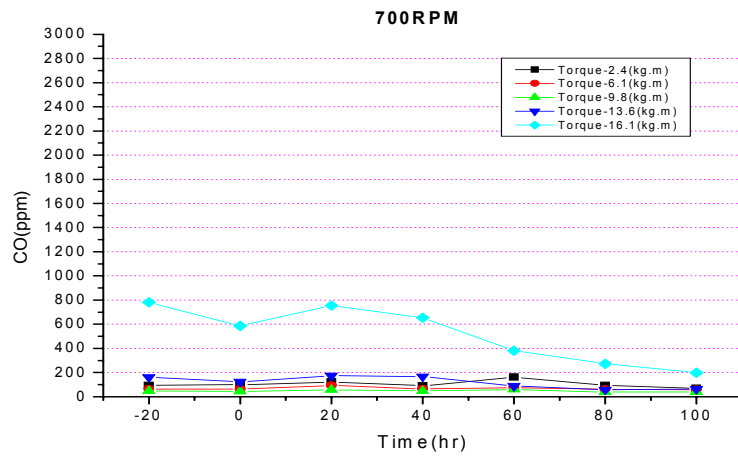


Fig. 4.6.2.1 Variations of CO emission versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

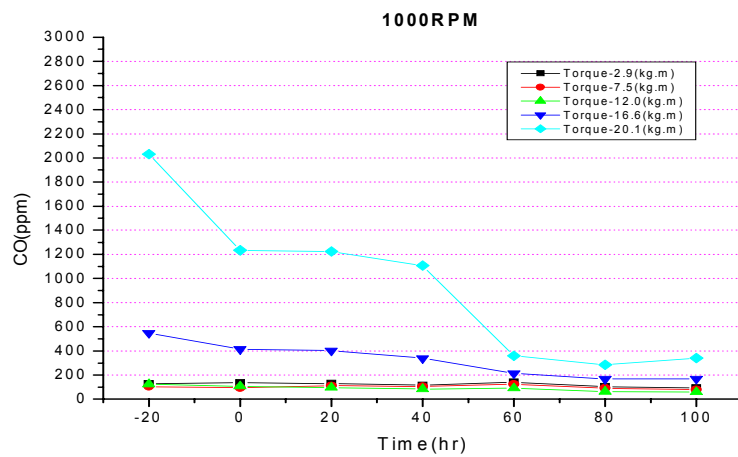


Fig. 4.6.2.2 Variations of CO emission versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

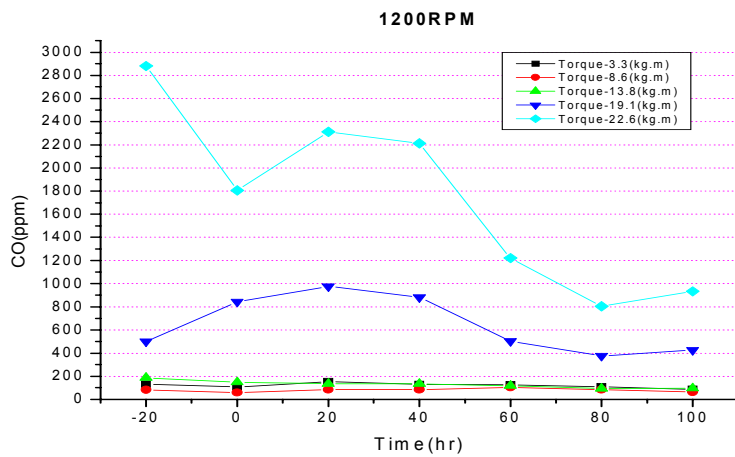


Fig. 4.6.2.3 Variations of CO emission versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

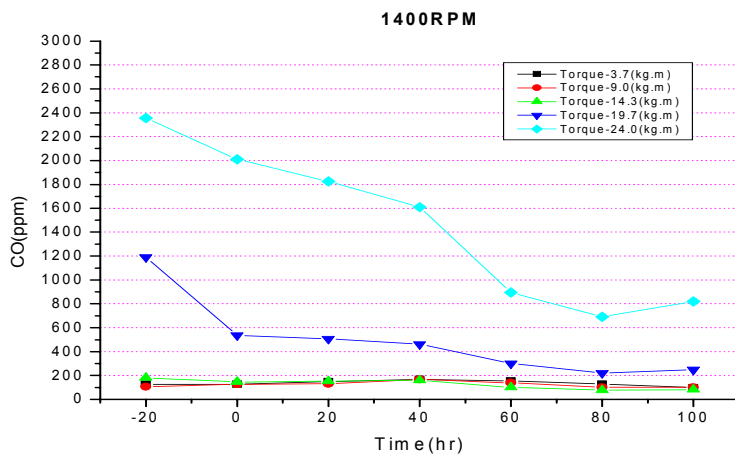


Fig. 4.6.2.4 Variations of CO emission versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

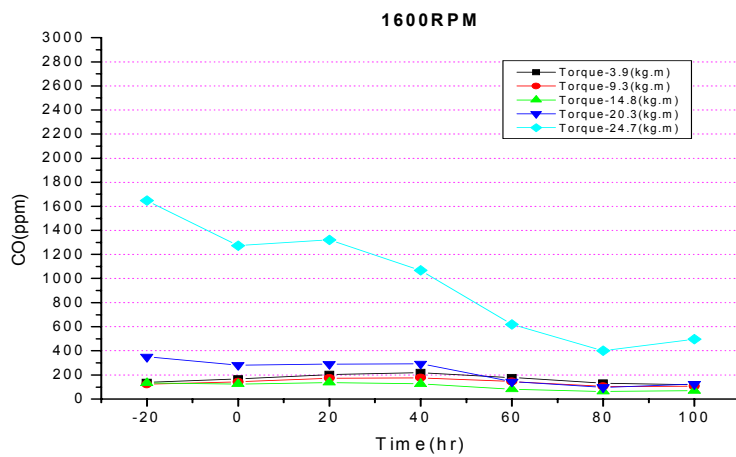


Fig. 4.6.2.5 Variations of CO emission versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

### 4.6.3 O<sub>2</sub>의 농도

Fig. 4.6.3.1 ~ 4.6.3.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 잔류 O<sub>2</sub>농도의 변화를 나타낸다. O<sub>2</sub>농도는 낮은 RPM과 토크에서는 거의 일정하였고 RPM과 토크를 높일수록 40시간을 전후로 감소하다가 다시 상승하였고 80시간을 전후로 다시 감소하였다.

O<sub>2</sub>의 농도는 과급기의 효율과 관련이 깊으므로 좀 많은 검토가 필요하다고 판단된다.

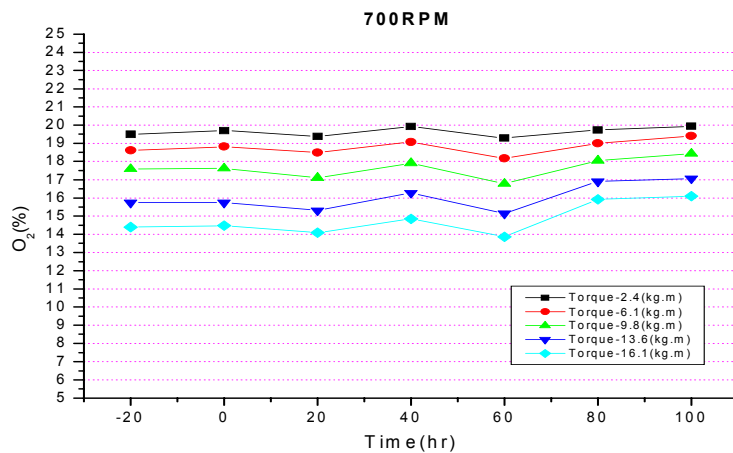


Fig. 4.6.3.1 Variations of O<sub>2</sub>(%) versus run hours according to Eng. torque at 700rpm

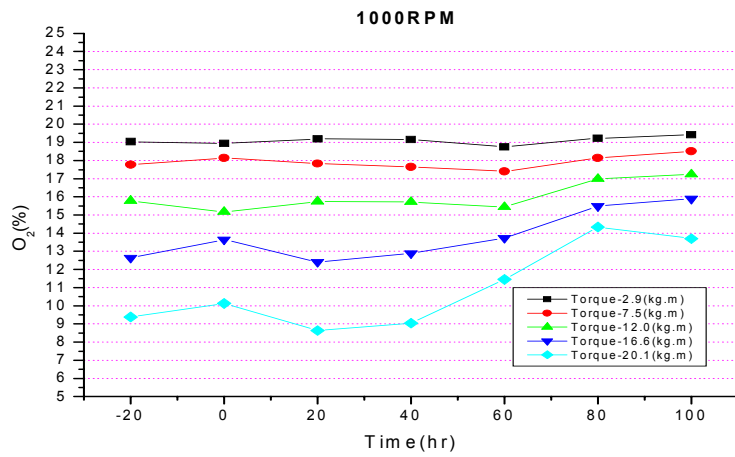


Fig. 4.6.3.2 Variations of O<sub>2</sub>(%) versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

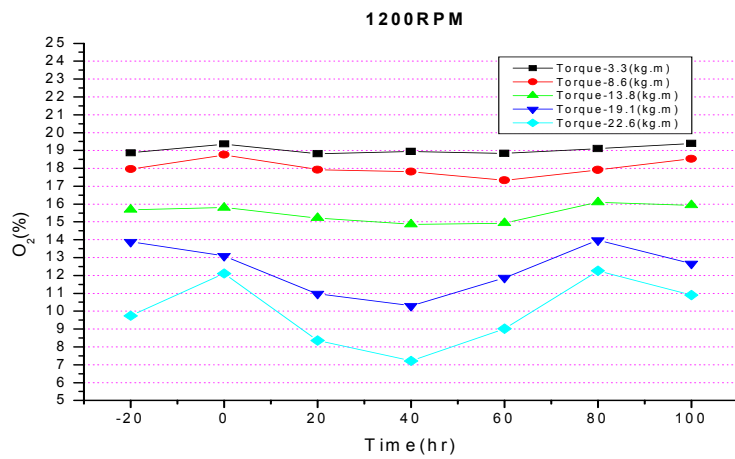


Fig. 4.6.3.3 Variations of O<sub>2</sub>(%) versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

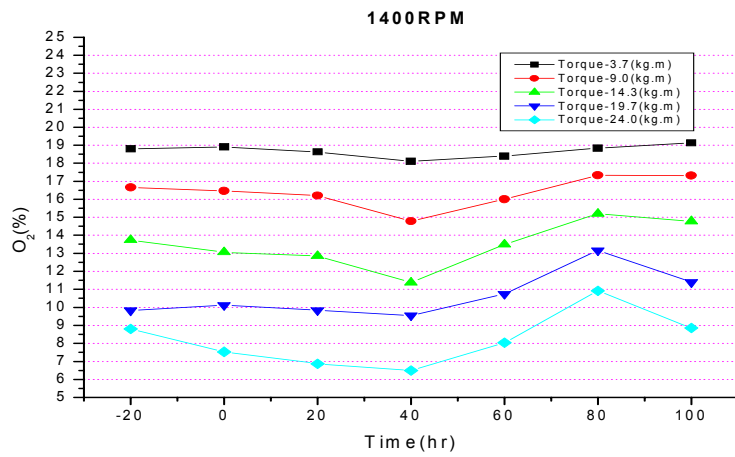


Fig. 4.6.3.4 Variations of O<sub>2</sub>(%) versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

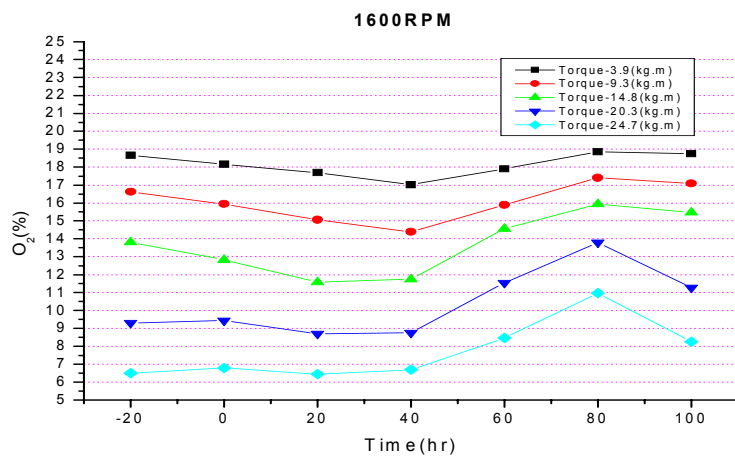


Fig. 4.6.3.5 Variations of O<sub>2</sub>(%) versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

#### 4.6.4 스모크의 배출농도

Fig. 4.6.4.1 ~ 4.6.4.5는 각 RPM에 있어서 토크별 운전시간에 따른 엔진의 스모크의 발생 변화를 나타낸다. 스모크의 발생은 전운전 시간에 걸쳐 거의 변화가 없으나 대체적으로 감소하는 것으로 볼 때 윤활유 첨가제가 스모크 감소에도 영향을 미치고 있다고 판단된다.

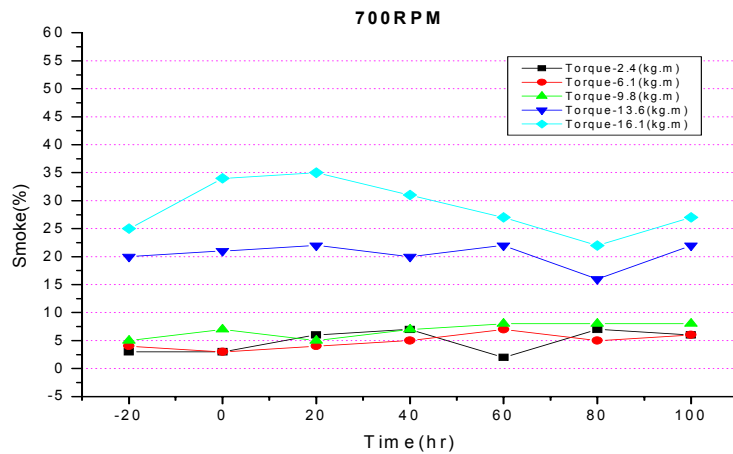


Fig. 4.6.4.1 Variations of Smoke(%) versus run hours according to Eng. torque at 700rpm



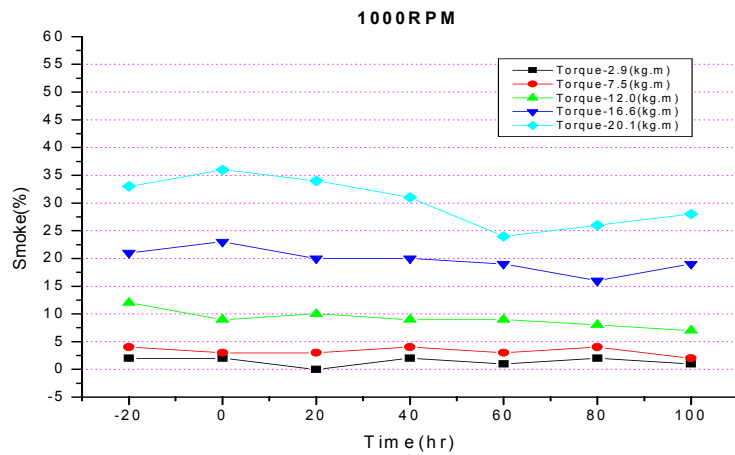


Fig. 4.6.4.2 Variations of Smoke(%) versus run hours according to Eng. torque at 1000rpm

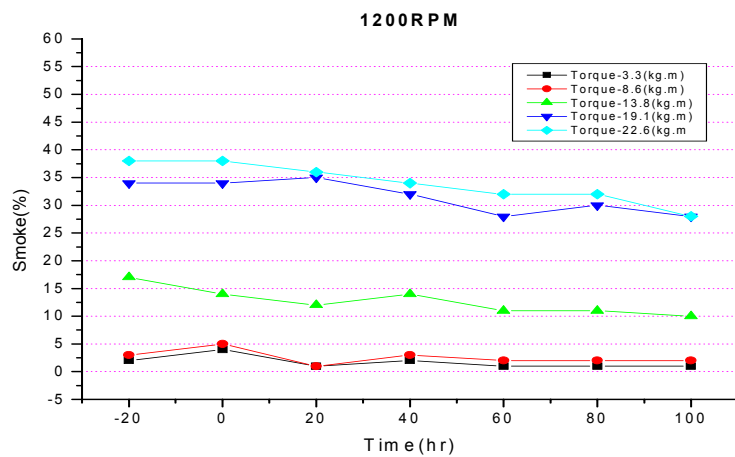


Fig. 4.6.4.3 Variations of Smoke(%) versus run hours according to Eng. torque at 1200rpm

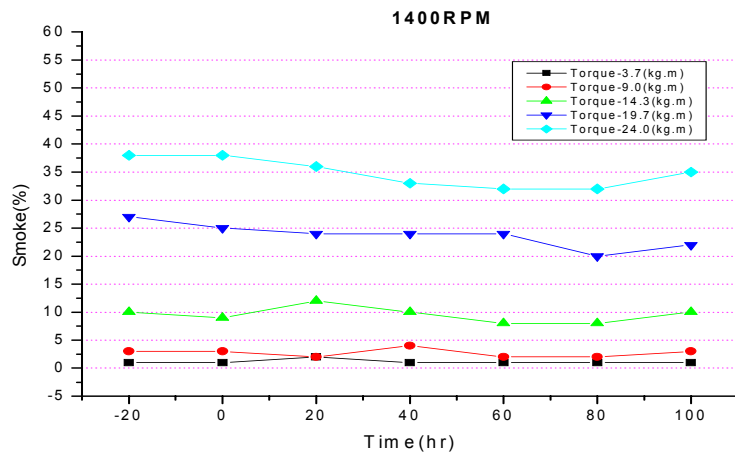


Fig. 4.6.4.4 Variations of Smoke(%) versus run hours according to Eng. torque at 1400rpm

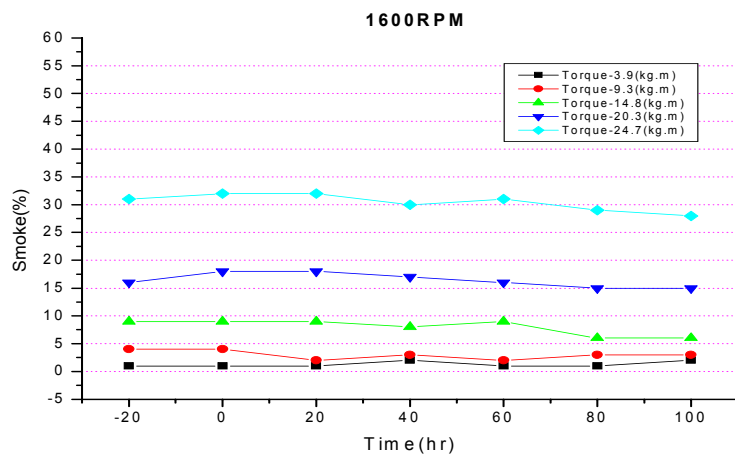


Fig. 4.6.4.5 Variations of Smoke(%) versus run hours according to Eng. torque at 1600rpm

## 제 5 장 결 론

이상에서와 같이 나노구리합금첨가 윤활제가 기관성능에 미치는 효과를 파악하기 위하여 산업용 디젤기관에 대하여 일정한 부하와 회전속도에서 운전시간에 따른 엔진성능 및 배기배출물의 변화를 실험계측하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 엔진의 최대토크가 첨가제사용 이후 증가하였다.
- (2) 각각의 RPM 및 토크에 있어서 실린더 폭발압력, 연료소비율, 배기 가스온도, 급기온도는 첨가제의 사용 이후 감소하였고 그 변화율은 첨가제사용 직후에 가장 높게 나타났다.
- (3) 각각의 RPM 및 토크에 있어서 첨가제의 사용 이후 NO<sub>x</sub>배출 농도는 증가하였고, CO와 스모크의 배출농도는 감소하였으며 전반적으로 배기오염물질의 배출성능은 악화되지는 않았다.  
그러나, 나노구리합금첨가 윤활제가 배기배출물에 미치는 영향에 관하여는 지속적인 검토가 필요하다고 판단된다.

실험결과를 종합하면, 나노구리합금첨가 윤활제를 디젤기관에 적용하면 최대토크가 증가하고 동일토크 및 RPM에서 연소실 압력이 감소하며 연료소비율이 감소하고 있는데, 이는 윤활성을 향상시켜 운동부에서의 마찰손실을 감소시키고, 동시에 피스톤부의 밀봉작용을 높인 결과로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- (1) Bhushan, B. and Gupta, B. K., *Handbook of Tribology*, McGraw Hill, 1991.
- (2) Hardy, w. b. and Doubleday, I., "Boundary Lubrication-The Paraaffin Series," Proc. Roy. Soc. A, Vol. 102, pp.550-547, 1922.
- (3) Bowden, F. P. and Tabor, D., *The Friction and Lubrication of Solids*, Clarendon Press, pp.176-199, 1958.
- (4) W.J, Bartz, J. Oppelt, "Lubricating Effectiveness of Oil-Soluble Additives and Molibdenum Disulfide Dispersed in Mineral Oil, "Lubr. Eng., Vol.36, pp579-585, 1980.
- (5) G. F. Reick, "Energy-Saving Lubricants Containing Colloidal PTFE, " Lubr. Eng., Vol.38, pp.635-65, 1982.
- (6) C. Cusano and (7)H. E. Sliney, "Dynamics of Solid Dispersions in Oil During the Lubrication of point Contacts, partI-Graphite," ASLE Trans., Vol.25, No.2, pp.183-189, 1982.
- (8) 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, No.2, pp.73-77, 1992.
- (9) T. I. Nazarenko, N. N. Lozentsova, G. G. Shchegolev and Yu. P. Toporov, "On Lubricating Properties of Oil with Copper-Containing Additives," Soviet Jr. of Friction and Wear, Vol.13, No.2, pp.78-81, 1992.

- (10) S. Gungel 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.
- (11) G. P. Shpenkov, *Physical Chemistry of Friction, Minsk*, 1991.
- (12) M. V. Astakhov and V. A. Mouratov, "Nickel Fine Particle's Adsorptive-Catalytic Mechanism," *Wear*, Vol. 176, pp.61-65, 1994.
- (13) 안효석, 이성철, "첨가제에 함유된 미세한 구리합금입자의 마찰 및 마모 특성," *한국윤활학회지*, 제12권 제2호, pp.32-40, 1996.
- (14) 박선호, *FA 센서 응용백과*, 영진출판, pp.330 -334, 1993.