



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2015 年 2 月  
博士學位論文

커먼레일 엔진의 인젝터 종류 및  
EGR 장착에 따른 바이오 디젤유의  
배출가스 특성에 대한 연구

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 泰 中

# 커먼레일 엔진의 인젝터 종류 및 EGR 장착에 따른 바이오 디젤유의 배출가스 특성에 대한 연구

Study on the Exhaust Gas Composition of Bio-diesel  
according to an injector type and with/without EGR in a  
Common Rail Engine

2015年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 泰 中

커먼레일 엔진의 인젝터 종류 및  
EGR 장착에 따른 바이오 디젤유의  
배출가스 특성에 대한 연구

指導教授：曹 弘 鉉

이 논문을 공학박사 학위신청 논문으로 제출함

2014 年 10 月

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 泰 中

## 金泰中の博士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校

教授

洪明錫



委員 朝鮮大學校

教授

曹弘鉉



委員 朝鮮大學校

教授

吳東郁



委員 韓國原子力研究所

工學博士

李善一



委員 韓國energy技術研究院

工學博士

許宰赫



2014 年 12 月

朝鮮大學校 大學院

# Contents

Contents .....	i
List of Figures .....	v
List of Tables .....	vii
Nomenclature .....	ix
ABSTRACT .....	xi
제1장 서론 .....	1
제1절 연구배경 .....	1
제2절 기존의 연구 동향 .....	5
1. 인젝터에 대한 기존의 연구 동향 .....	5
2. 바이오디젤에 대한 기존의 연구 동향 .....	7
3. EGR 시스템에 대한 기존의 연구 동향 .....	9
제3절 연구 목적 .....	10
제2장 디젤기관(Diesel engine) .....	12
제1절 디젤기관의 개요 .....	12
제2절 디젤엔진과 가솔린엔진의 차이점 .....	15
1. 디젤엔진과 가솔린 엔진의 운전 특징 .....	16
제3절 디젤기관의 유해 배출가스 .....	18
1. 일산화탄소(CO) .....	19
2. 탄화수소(HC) .....	20

3. 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) .....	21
4. 질소산화물(NO <sub>x</sub> ) .....	24
5. 입자상 물질(PM : Particulate matters) .....	29
제4절 최근 디젤기관의 배출가스 저감기술 .....	31
1. EGR 시스템(Exhaust Gas Recirculation system) .....	33
2. 선택적 환원 촉매장치(SCR : Selective Catalytic Reduction) .....	35
제5절 전자제어 디젤엔진(Electronic control Diesel engine) .....	36
1. 커먼레일 직접분사식 디젤엔진 .....	36
2. 커먼레일 시스템의 분사 특성 .....	38
3. 커먼레일 엔진 장점 .....	41
제3장 바이오디젤 .....	42
제1절 바이오디젤유 .....	42
1. 바이오디젤유의 특성 .....	44
2. 바이오디젤유의 배출가스 특성 .....	47
3. 운할 특성 .....	50
제4장 실험장치 및 방법 .....	51
제1절 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정실험 .....	51
1. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정장치 .....	51
2. 인젝터 클리닝 방법 .....	51
3. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정방법 .....	53

제2절 배기가스 성분 분석 실험 .....	56
제3절 배기가스 성분 분석 실험장치 .....	60
1. 시뮬레이션 엔진 .....	60
2. 인간지능형 종합 진단 시스템 : HI-DS(Human Intelligent Diagnostic System) .....	66
3. 배기가스 측정장치(MEXA-554JKNO <sub>x</sub> ) .....	70
4. 바이오디젤(Biodiesel) / 경유(Diesel fuel) .....	73
5. 실험데이터의 불확실성 .....	75
제4절 배기가스 성분측정 실험방법 및 조건 .....	78
1. 인젝터(Injector)의 구조변화에 따른 실험 .....	81
2. 경유와 바이오디젤(Biodiesel)유의 혼합연료 사용에 따른 배기가스 성분변화 실험 .....	82
3. EGR 시스템 적용/미적용에 대한 배출가스 성분변화 실험 .....	83
4. 실험 데이터의 처리 .....	84
제5장 실험결과 및 고찰 .....	86
제1절 실험 결과에 대한 고찰 .....	86
1. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정 실험결과 .....	86
2. 인젝터 클리닝이 배기가스에 미치는 영향 고찰 .....	95
제2절 배기가스 성분 분석 실험 .....	96
1. 인젝터 분사 홀수에 따른 배기가스 성분 고찰 .....	96
2. 바이오디젤 혼합유 농도에 따른 배출가스의 성분 고찰 .....	112
3. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 배출가스 성분 고찰 .....	123



제6장 결론 ..... 137

    제1절 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정 실험 ..... 137

    제2절 운전조건에 따른 배기가스 성분 분석 실험 ..... 137

        1. 인젝터 분사 흡수 변화가 배출가스에 미치는 영향 ..... 137

        2. 바이오디젤 혼합유 농도에 따른 배출가스에 미치는 영향 ... 139

        3. EGR 시스템 적용 및 미적용에 따른 배출가스에 미치는 영향 .. 140

        4. 향후계획 ..... 141

REFERENCE ..... 142

## List of Figures

Fig. 2 The molecular structure of the carbon dioxide .....	22
Fig. 3 Schematic of diesel particulates ( $\mu\text{m}$ ) .....	30
Fig. 4 Difference of EGR rate (gasoline and diesel engine) .....	34
Fig. 5 SCR system map .....	35
Fig. 6 Comparison of fuel release rate each injector .....	38
Fig. 7 The molecular structure of biodiesel and diesel .....	45
Fig. 8 Reaction of biodiesel .....	45
Fig. 9 Biomass Carbon Balance for Biodiesel Life Cycle (g carbon/bhp-h) ..	47
Fig. 10 Normal and abnormal nozzle tips .....	52
Fig. 11 Nozzle injection of cleaning injector .....	52
Fig. 12 Layout of Exhaust Emission Close Inspection Test .....	54
Fig. 13 KD147 mode driving graph .....	55
Fig. 14 Common rail engine configuration map .....	56
Fig. 15 Flow chart of fuel system .....	57
Fig. 16 Emission simulation system .....	57
Fig. 17 Digital Pressure Gauge(SSG) .....	58
Fig. 18 Digital Temperature Gauge(TSG) .....	59
Fig. 19 D-2.0 Engine Modeling and Part name .....	60
Fig. 20 Exhaust gas recirculation .....	63
Fig. 21 Injector structure and part name .....	65
Fig. 22 Injector work .....	65
Fig. 23 HI-DS(Human Intelligent Diagnostic System) .....	66
Fig. 24 MEXA-554JK Front and Back .....	70
Fig. 25 MEXA-554JK .....	72
Fig. 26 SK energy Test report .....	74

Fig. 27 Injector injection 5hole, 6hole, 7hole ..... 81

Fig. 28 Bio-diesel fuel mixing ratio ..... 82

Fig. 29 Photography of injector ..... 88

Fig. 30 Test result before injector cleaning ..... 89

Fig. 31 Comparison of exhaust gas rate before and after of Injector  
cleaning for one vehicle ..... 91

Fig. 32 Test result after injector cleaning ..... 92

Fig. 33 Comparison of exhaust gas rate before and after of Injector  
cleaning for five vehicles ..... 93

Fig. 34 Comparison of soot concentration before and after of Injector  
cleaning for ten vehicles ..... 94

Fig. 35 HC density of Exhaust gas without EGR system ..... 99

Fig. 36 NOx density of Exhaust gas without EGR system ..... 102

Fig. 37 CO<sub>2</sub> density of Exhaust gas without EGR system ..... 105

Fig. 38 Spray pattern due to the number of injector holes ..... 108

Fig. 39 CO density of Exhaust gas without EGR system ..... 109

Fig. 40 HC density according bio-diesel mixing rate without EGR system .. 114

Fig. 41 NOx density according bio-diesel mixing rate without EGR system .. 116

Fig. 42 CO<sub>2</sub> density according bio-diesel mixing rate without EGR system .. 119

Fig. 43 CO density according bio-diesel mixing rate without EGR system .. 121

Fig. 44 HC density with/without EGR system in case of 7hole injector  
and Bio-diesel 20% mixing rate ..... 126

Fig. 45 NOx density with/without EGR system in case of 7hole injector  
and Bio-diesel 20% mixing rate ..... 129

Fig. 46 CO<sub>2</sub> density with/without EGR system in case of 7hole injector  
and Bio-diesel 20% mixing rate ..... 132

Fig. 47 CO density with/without EGR system in case of 7hole injector  
and Bio-diesel 20% mixing rate ..... 135

## List of Tables

Table 1 Vehicle Registration Status .....	4
Table 2 2013 Vehicle registration data statistics .....	4
Table 3 Differences between diesel engine and gasoline engine .....	15
Table 4 Composition of diesel engine exhaust emissions .....	19
Table 5 volume relative to the volume of carbon dioxide in the water-soluble ·	22
Table 6 Rate constants for thermal NO formation reactions .....	26
Table 7 Automotive EURO enforce time restrictions .....	31
Table 8 EURO VI type car allowance .....	32
Table 9 Quality standards of BD100 and BD20 .....	46
Table 10 Bio-Diesel emissions compared to conventional diesel .....	49
Table 11 Effects of biodiesel on tailpipe emission(g/bhp-h) .....	49
Table 12 Gear change with time of KD147 mode .....	55
Table 13 Based on diesel vehicle Exhaust gas standards .....	55
Table 14 Specifications of digital pressure gauge(Model-SSG) .....	58
Table 15 Specifications of digital temperature gauge(Model-TSG) .....	59
Table 16 Detailed Specifications of D-2.0(D4EA) Engine .....	61
Table 17 VCI specification .....	68
Table 18 Simulation test function .....	69
Table 19 Specification of MEXA-554JKNO <sub>x</sub> .....	72
Table 20 Bio-diesel Fuel Test report이 맥 바이오(주) .....	73
Table 21 Uncertainies of MEXA-554JKNO <sub>x</sub> & data acquisition .....	76
Table 22 Average value of experimental data .....	77
Table 23 Test conditions and results when EGR Valve is not applied ···	79
Table 24 Test conditions and results when EGR Valve is applied .....	79
Table 25 Exhaust gas experimental conditions .....	80

Table 26 Diesel Fuel and Bio-diesel mixing rate .....	82
Table 27 Applied and Unapplied of the EGR system .....	83
Table 28 Emission measurements Log Data .....	90
Table 29 Emission measurements 01 .....	91
Table 30 HC density according of injector holesCoolant(82±2℃) .....	98
Table 31 NOx density according of injector holesCoolant(82±2℃) .....	101
Table 32 CO <sub>2</sub> density according of injector holesCoolant(82±2℃) .....	104
Table 33 CO density according of injector holesCoolant(82±2℃) .....	108
Table 34 HC density according bio-diesel mixing rateCoolant(82±2℃) ·	113
Table 35 NOx density according bio-diesel mixing rateCoolant(82±2℃)	115
Table 36 CO <sub>2</sub> density according bio-diesel mixing rateCoolant(82±2℃)	118
Table 37 CO density according bio-diesel mixing rateCoolant(82±2℃) ·	120
Table 38 HC density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate .....	125
Table 39 NOx density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate .....	128
Table 40 CO <sub>2</sub> density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate .....	131
Table 41 CO density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate .....	134

## Nomenclature

Al	: Aluminum
AVE	: Average
BD10	: Fuel mixing Bio-Diesel 10%
BD20	: Fuel mixing Bio-Diesel 20%
BD30	: Fuel mixing Bio-Diesel 30%
BD100	: Bio-Diesel 100%
BTDC	: Before top dead center
C	: Carbom
CA	: Crank angle
CO	: Carbon monoxide
CO <sub>2</sub>	: Carbon dioxide
CRDI	: Common rail direct fuel injection
CR-DPF	: Continuously regeneration diesel particulation filter
DPF	: Diesel particulate filter
DPM	: Diesel particulate matters
EGR	: Exhaust gas recirculation
Fe	: Iron
H	: Hydrogen
HC	: Hydrocarbon
n	: Number
N	: Nitrogen
NO <sub>x</sub>	: Nitrogen oxides
O	: Oxygen
PAHs	: Polycyclic aromatic hydrocarbons
PM	: Particulate matters

R	: HC
RPM	: Revolution per minute
SCR	: Selective catalytic reduction
SO <sub>x</sub>	: Sulfur monoxide
SOF	: Soluble organic fraction
TDC	: Top dead center
$\Sigma$	: Sigma
$x_n$	: Data number

## ABSTRACT

### Study on the Exhaust Gas Composition of Biodiesel according to an injector type and with/without EGR in a Common-Rail Engine

**Kim, Tae-jung**

Advisor : Prof. Cho, Honghyun, Ph. D.  
Department of Mechanical Engineering,  
Chosun University

Modern society has made progress in many areas after the industrial revolution, including the development of mechanical engineering. The Industrial Revolution from the mid-18th century to the early 19th century due to technical innovation which started in British society is based on the great economic transformation. This development has been achieved many changes and developments throughout the human life. 1892 by the German engineer Rudolf Diesel diesel engine was invented, and it was to play a pivotal role in modern industry and it has modified by using new fuel, which corresponds to the environmental pollution and improve the performance of the car in order to reduce the use of fossil fuels.

In this paper, the injector type and biodiesel mixed rate was changed to investigate the performance and the composition variation of the exhaust gas with respect to the exhaust of an odd component in the current diesel vehicle by using a simulation engine. Besides, those were analyzed with/without the EGR system in the diesel engine. Component of the exhaust gas like HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, and CO, was measured under various operating conditions. The experimental was carried out by using a simulation engine which was the D-2.0 (D4EA) diesel engine with a displacement of 1,997 cc. Each experiment was carried out 10 times which were analyzed obtaining the average of the experimental data. The set speed of the engine was changed by 780, 1000, 1500, 2000, 2500 rpm, and classified as to analyze the exhaust gas components according to operating condition change. Experiment performed



with a variation of the injection holes which was varied by 5-, 6-, and 7-hole injector. In addition, diesel and biodiesel fuel blend ratio was changed by 100:0, 90:10, 80:20, and 70:30 of diesel:biodiesel in order to determine the effect of gas fuel blend ratio with biodiesel into diesel. Hydrocarbon (HC), nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) were analyzed with the concentration ratio of bio-diesel and engine speed. Finally, the effect of injector cleaning in the fuel injector was also investigated by using experimental test on the point of smoke generation.

As a result, the spray shape and pressure increased after injector cleaning. The average particulate concentration after injector cleaning is significantly reduced. Before the injector cleaning, the maximum soot generation rate was about 80% and the average soot generation rate was also 72% for long period. But after injector cleaning, the maximum soot generation rate was reduced by 32% and the average soot generation rate was also 28%. Besides, for ten cars, the amount of soot can be reduced over the 20% by the injector cleaning, which was changed from 46.7% to 22.5%. In case of the performance comparison with injector nozzle holes, the 6- and 7-hole injector was effective to the reduction of HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO compared to the 5-hole injector. Among 6- and 7-hole injector, the 7-hole injector had better performance to the reduction of exhaust gas. Therefore, the 7-hole injector was the best to the reduction of HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, and CO, so it can be applied to the other test.

The exhaust gas composition analysis with biodiesel blend ratio(0%, 10%, 20%, 30%) for 7-hole injector, the reduction effect of exhaust gas like HC and NO<sub>x</sub>, becomes strong by using biodiesel compared to that of non-use biodiesel. By injection the biodiesel to the diesel, the exhaust concentration of HC decreased by 5%~6% for any engine speed. In addition, that of NO<sub>x</sub> could be reduced by 4.4 ppm. Especially, the bio-diesel blend ratio of 20% showed the best performance to the decrease of harmful gases. However, the exhaust concentration of CO and CO<sub>2</sub> did not affected by the biodiesel blend ratio.

When the EGR system was operated with bio-diesel blend ratio of 20% and the 7-hole injector to the diesel engine, the exhaust rate of NO<sub>x</sub> decreased by 52.8% and 53.8% for engine speed of 1000 and 1500 rpm. However, that did not affected over the 2000 rpm. Besides, the exhaust concentration of CO was decreased by 0.004%~0.012%. In case of exhaust rate of CO<sub>2</sub>, it increased over 50% by using EGR system. Therefore, the EGR system has good effect to the reduction of CO and NO<sub>x</sub>, but it play a role of increase the CO<sub>2</sub> and HC.

Overall, it was confirmed that the emission can be reduced by the injector cleaning and the 7-hole injector has the best performance and low emission. Besides, the biodiesel blend ratio of 20% is the most effective to reduction of exhaust gas. EGR system is also effective to the decrease of NOx.

Required study for next plan, the performance test is need under the high-speed state with/without EGR system. Further studies should be made also for the mathematical modeling of the combustion process in the exhaust gas with the variation of biodisel mixing ratio.

# 제1장 서론

## 제1절 연구배경

현대 사회는 산업혁명(産業革命, Industrial Revolution)<sup>(1)</sup> 이후 기계공학의 발달로 많은 부분에서 발전을 이루었다. 산업혁명은 18세기 중반부터 19세기 초반까지 영국에서 시작된 기술의 혁신과 이로 인하여 사회, 경제 등의 큰 변혁을 기반으로 하고 있다. 이러한 발달은 인간의 생활을 전반에 걸쳐 많은 변화와 발전을 이루게 되었다.

1892년 독일의 기술자 루돌프 디젤(Rudolf Diesel)에 의하여 디젤엔진(Diesel engine)이 발명되었다. 디젤엔진은 ‘디젤기관’으로도 불리며, 1893년 2월 23일 독일제국 특허국(Kaiserliches Patentamt in Berlin)으로부터 “열기관의 작동 사이클과 실행방법(Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen)”에 관한 특허(DRP 97207)를 받았다<sup>(2)</sup>.

이러한 기술의 발달은 화석연료의 사용으로 인하여 환경오염이라는 문제를 안고 있다. 화석연료의 사용으로 인한 배출가스(Emission)는 대기오염(Air Pollution), 산성비(Acid Rain), 오존층(The Ozone Layer) 파괴 및 지구온난화(Global Warming)와 같은 환경문제가 발생하였다. 대기오염의 심각성은 중국의 베이징시의 2014년 3월 1일 ‘베이징시 대기오염방치(防治)조례’가 시행되기 전과 후의 차이를 비교하면 PM 2.5 연간평균농도는 1 m<sup>2</sup>당 85.9 $\mu$ g으로 2013년에 비해 4% 감소했다. 1급 대기는 2013년보다 22일 늘어난 93일, 5급 대기와 6급 대기는 2013년 58일에서 45일로 감소했다. 특히 대기오염 최고 등급인 적색경보가 발령되면 현재 차량 5부제 대신 홀짝제가 시행되고, 건축자재 운송차량의 베이징 시내 운행도 전면 금지된다. 이와 같이 대기오염 정도에 따른 대안으로 차량의 운행 규제가 효과적인 대안이 되고 있다. 위와 같은 배경으로 현대사회는 자동차에 의한 환경오염과 화석연료 사용을 줄이기 위하여 자동차의 성능 향상과 기존의 디젤 및 가솔린에 대응하는 새로운 연료의 적용 및 관련 기술의 개발이 필요하다.

현재 국내 디젤기관의 배기가스 저감기술은 기관개량, 후처리장치개발, 대체

에너지 및 청정연료개발 등을 연구하고 있으며, 원천적으로 CNG자동차, 하이브리드자동차, 연료전지자동차, 태양열자동차, 수소자동차 및 바이오디젤 등 화석연료를 대체할 수 있는 청정연료개발이 이루어지고 있으며 단기적 측면에서는 전자제어식 Cooled-EGR시스템, 선택적 환원촉매(SCR : Selective Catalytic Reduction), 연속 재생방식 필터(CR-DPF : Continuously Regeneration Diesel Particulation Filter) 및 De-NO<sub>x</sub>촉매 등 후처리장치를 개발하여 상반관계(Trade-off)인 NO<sub>x</sub>와 PM의 동시저감에 중점적인 연구개발이 이루어지고 있다<sup>(3)</sup>. 이에 따라 청정대체연료로서 가장 활발히 연구되고 있는 바이오디젤은 1895년 Dr. Rudolf Diesel 의해 세계 최초로 디젤기관 개발시 사용된 연료가 석유계의 경유가 아닌 바이오디젤이었다는 사실과 함께 바이오디젤이 청정 및 대체연료로 사용될 수 있는 가능성에 대해 EU와 미국 등에서 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(4,5)</sup>. 국내에서도 청정연료로 인천광역시에서는 2003년 6월부터 산업자원부에서 인가받은 22개 바이오디젤 공급 주유소를 지정해 운영하고 있다. 특히 관용차량 745대 전체와 청소차량 380대에 바이오디젤을 사용하고 있으며<sup>(6)</sup> 수원시와 전라북도 등에서 바이오디젤의 사용이 확산되어 대체연료 및 청정에너지로서 가능성을 더해가고 있다.

바이오디젤은 대체에너지로서 기관개량 없이 디젤기관에 직접 적용할 수 있는 장점이 있고 CO, THC, SO<sub>x</sub>, 다고리방향족(PAHs : Polycycle Aromatic Hydrocabons) 및 PM 등을 근본적으로 감소시킬 수 있다<sup>(7)</sup>. 현재 적용중인 바이오디젤은 경유와 바이오디젤 비율을 8:2로 혼합한 B20이 가장 많이 사용하며 50%, 75% 및 순수바이오디젤(100%)에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다<sup>(8,9)</sup>. 바이오디젤은 고체 탄소화물을 줄이고 황 분율을 줄이는데 효과가 있지만 근본적으로 NO<sub>x</sub>가 증가하고 용해성 유기물질(SOF : Soluble Organic Fraction)을 감소시키지 못하므로 이를 저감하기 위해서 EGR 시스템과 CR-DPF등을 장착하여 이러한 문제점을 해결할 수 있다<sup>(10)</sup>. 자동차의 배기가스의 감소를 위한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 현재 운행 중인 자동차에 대한 연구 또한 필요하다. Table 1은 국내 자동차 등록현황을 나타낸 것이다. 2013년을 기준으로 전국 자동차 수량은 19,400,864대(관용차:72,781대, 자가용:18,202,292대, 영업용:1,125,791대)이며, Table 2는 국내 자동차 등록차량의 사용연료별 차량으로 경유를 연료로 사용하는 디젤엔진 차량은 7,395,739대이다<sup>(11)</sup>.

디젤 기관은 연료에 저장된 화학 에너지를 기계 에너지로 바꾸어 화물 트럭,

대형견인차, 기관차, 선박에 동력을 준다. 일부 자동차와 소형발전기들도 디젤 동력을 사용한다. 디젤기관의 사용은 산업 전반적으로 사용되고 있으며, 디젤기관의 높은 효율과 낮은 이산화탄소 배출이라는 장점에도 불구하고 국내 대도시의 대기오염에 디젤자동차가 차지하는 비율이 NO<sub>x</sub> 48.9%, PM 51.1%를 차지하고 있어 이에 대한 저감기술이 시급한 실정이다. 국내의 경우에도 B20(폐식용유, 채종류 및 미장유 등 20%와 일반경유 혼합)을 중심으로 연구가 시작되어 디젤기관의 대체연료로서의 가능성을 제시하고 있으며 연구결과 CO, HC, SO<sub>x</sub> 및 PM 등은 현저하게 감소하지만 합산소연료로 연소가 활발히 이루어져 NO<sub>x</sub>가 10~14%증가하는 Trade-off현상이 발생하고 있음이 밝혀졌다. 이에 따라 NO<sub>x</sub>저감방법으로 이미 잘 알려진 EGR시스템은 비교적 다른 저감기술에 비해 장치가 간단하고 비용이 저렴하며 NO<sub>x</sub>를 획기적으로 저감시킬 수 있어 2000년 이후부터 디젤기관에서의 NO<sub>x</sub>저감 기술로 검토되고 있으며<sup>(12)</sup>, 국가정책상 2006년 7월부터 BDF5(경유 95%와 바이오디젤연료 5% 혼합)를 시판 중에 있다. 최근 서울시가 바이오디젤 연료의 확대보급을 위해 수도권 매립지를 포함한 총 3곳에 BDF20 바이오디젤 전용 주유소를 완공하고 운영에 들어갔다. 아직은 대형청소차량이나 관용차량에 시범적으로 보급중이나 자가정비시설과 주유시설을 갖춘 사업장에서는 버스, 트럭, 건설 중장비에도 사용할 수 있도록 허용하고 있어 향후 보급속도가 가속될 전망이다. 최근 바이오디젤 연료의 고점성에 의한 분무성 저하를 극복하기 위하여 커먼레일 분사시스템(common rail fuel injection system)을 이용하고 있다.

이러한 배기 배출물을 저감하기 위해서 다양한 연구가 이루어지고 있는데 선행된 커먼레일 엔진의 배기가스 배출특성을 기초로 하여 보다 심층적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Table 1 Vehicle Registration Status

[Unit : One 10 thousand, One thousand, %]

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Registration number (One 10 thousand)</b>	1,733	1,794	1,884	1,887	1,940
<b>The previous year increase in the number (One thousand)</b>	531	616	496	433	530
<b>The previous year Increased or decreased (%)</b>	3.2	3.6	2.8	2.3	2.8

Source : Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Table 2 2013 Vehicle registration data statistics

[Unit : EA]

Gasoline	Kerosine (paraffin)	light oil (Diesel Fuel)	LPG	CNG	LNG	etc
3,706,806	5,692,605	7,395,739	2,391,988	39,708	13	173,948

Source : Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

## 제2절 기존의 연구 동향

### 1. 인젝터에 관한 기존의 연구 동향

최근 들어 일부 산유국들의 내정 불안과 원활하지 않은 오일 공급 등이 국제 유가에 영향을 미치고 있으며, 온실가스 정책 등으로 자동차 기관의 유해 배출물 허용치가 크게 낮아짐으로써 고효율과 저공해를 동시에 실현하는 내연기관의 새로운 연소기술의 개발에 대한 요구가 날로 증가하고 있다. 또한, 디젤자동차의 시장이 확대되면서, 국내에서도 디젤엔진에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 그러나 핵심부품인 커먼레일 디젤엔진 인젝터는 기술 및 시장 진입장벽이 높기 때문에 전량 수입에 의존하고 있어 국산화를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존의 인젝터에 대한 연구를 살펴보면 Kim et al.(2013)은 인젝터 노즐 형상이 노즐 내부 유동 및 출구 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 노즐 입구 크기를 고정하고, 출구 크기가 변하는 경우, 발산도(출구 직경/입구 직경)가 커질수록 노즐 입구 상단에서 유동 박리 및 압력강하가 심하게 발생하였으며, 원통형 노즐의 경우, 노즐 입구 상단에서 발생한 캐비테이션은 노즐 상단을 통해 출구까지 전파되고, 노즐 하단에서도 캐비테이션이 발생하여 출구 특성에 영향을 미친다고 보고하였다<sup>(13)</sup>.

또한, Lee et al.(2013)은 노즐 홀 직경 및 오리피스 홀 직경 조건이 다른 세 종류의 테스트 인젝터를 사용하여 커먼레일 연료분사 시스템에서 다양한 분위기 압력 및 분사압력 조건에 따른 DME분무 특성을 알아보았으며, 노즐 직경 0.25 mm, 오리피스 직경 1.0 mm인 인젝터를 사용하여 DME를 분사함으로써 노즐 직경 0.166 mm, 오리피스 직경 0.6 mm인 인젝터로 디젤을 분사하였을 때보다 최소 약 1.69배 최대 약 2.02배 많은 연료분사량을 확보한다고 보고하였다<sup>(14)</sup>. Sung(2012)은 RCCI(Reactivity Controlled Compression Ignition) 연소 개념을 적용한 디젤-가솔린의 2중 연료 예혼합 저온연소에 따른 연소 및 배기 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 단기통 Light-duty 디젤기관과 구동방식이 다른 두 종류의 인젝터를 사용하여 고효율 저공해를 얻을 수 있는 기초 데이터 확보와 RCCI 연소 특성 등을 분석하였다. 이에 인젝터 형식에 무관하게 디젤 분사가 진각 될수록 연소구간이

지연되어 최대 실린더 압력은 감소하고 발생시점은 지각되었다고 보고하였다<sup>(15)</sup>.

Hong et al.(2012)은 인젝터의 분사압력과 분사시작으로부터의 시간에 따른 분무의 정도를 획득된 이미지로부터 분석하고 분무특성에 대하여 실험하였으며, 분사압력이 증가할수록 분사속도가 빨라지기 때문에 동일 시간대의 분무도달거리는 증가하였고 분위기압력이 증가할수록 분사속도는 느려지고 동일 시간대의 분무도달거리도 감소하였으며 분무각은 증가한다고 보고하였다<sup>(16)</sup>. Moon et al.(2014)은 커먼레일 디젤인젝터의 내부유동에서 압력강하가 발생하는 지점을 주요 설계인자로 정하여, L16 직교배열(4인자-4수준)에 의한 실험계획법(DOE)과 다항식회귀분석(PR), 반응표면법(RSM)으로 최적수준을 결정하기 위해 인젝터 전체유로를 대상으로 3차원 CFD 해석을 통해 연료의 분사량과 리턴유량을 산출하였다<sup>(17)</sup>.

또한 Alcoci와 Scott<sup>(18)</sup>은 실제기관을 개조하고 toroidal type의 연소실을 제작하여 실린더헤드의 대부분을 광학유리창으로 덮고 유리 위에 구멍을 가공하여 노즐을 부착시킨 뒤 실린더헤드 측에서 화염을 촬영하였다. 이 방법은 유리가공이 어렵게 때문에 Scott<sup>(19)</sup>은 소형기관의 실린더헤드 측면에 단공노즐을 사용해서 분사할 수 있도록 개조하였으며, 대형기관에 있어서 한 가닥의 분무발달에 상응하는 연소실 면적만큼의 연소경과로부터 전체 연소과정을 추측하여 연소특성을 고찰하였다. Ueda<sup>(20)</sup>등은 소형 직접분사식 디젤기관의 연소특성을 해명하기 위해서 실제의 연소실과 동일한 형상의 아크릴가시화관을 제작하여 연소과정을 관찰하였다. Desantes et al.(2006)은 디젤분무의 거시적 특성을 예측할 수 있는 모델을 제시하였으며<sup>(21)</sup>, Wang et al.(2011)은 인젝터 노즐 내부 유동해석과 함께 라그랑주(Lagrangian) 접근으로서 액적 분열모델(ELSA model)을 통해 노즐 외부의 액체 미립화를 재현하여 관통과 무화 특성에 대해 연구하였다<sup>(22)</sup>.



## 2. 바이오디젤에 관한 기존의 연구 동향

디젤엔진은 연소효율 및 연료 경제성이 우수하여 많이 사용되고 있으며, 특히 우리나라에서는 그 보급비율이 다른 선진국에 비해 높은 편이다. 그러나 공해 물질인 PM, NOx 등 대기오염의 주범이 되고 있어 이를 위한 대체 연료 등 다양한 효율적인 대기저감 대책이 요구되고 있다<sup>(23,24)</sup>. 이에 대한 대책으로써 바이오디젤이 거론되고 있으며, 바이오디젤은 식물성 오일이나 동물성지방과 같은 재생 가능한 자원으로서 환경적으로 유익하고 미생물을 안전하게 분해하며 재생성이 좋고, 화석연료보다 대기오염이 적은 것이 특징이다. 기존의 바이오디젤에 대한 연구를 살펴보면 Kim et al.(2011)은 커먼레일 고압분사시스템을 사용하여 디젤유와 바이오디젤유에 대한 필터 전-후단의 온도와 압력, 그리고 분무각 및 분무도달거리의 분무특성 실험을 진행하였다. 연료의 온도에 따른 연료공급필터 전-후단 압력은 연료의 점도에 의해 연료 온도가  $-4^{\circ}\text{C}$  이후에는 거의 일정한 압력을 보이고 이 경향은 각 연료에서 거의 같으며, 연료별 분무각은 압력의 차이에 관계없이 분무초기에는 조금 큰 분무각을 형성하였고 혼합유가 점성과 표면장력에 의해 조금 작다고 보고하였다<sup>(25)</sup>.

바이오디젤 연료의 연소와 배출물에 대한 연구로서 Ramahas et al.(2004)은 디젤엔진에 바이오디젤을 사용하여 연소실험을 통해 대체 연료로서의 가능성을 입증하였고<sup>(26)</sup>, Suh et al.(2004)은 커먼레일 분사시스템을 이용하여 바이오디젤 연료의 종류에 따른 분무 미립화 특성에 대하여 연구하였다<sup>(27)</sup>. 또한, Goering et al.(1982)은 식물성 연료 11개에 대한 연소 실험에서 디젤 연료의 대체연료로서의 가능성을 입증하였다<sup>(28)</sup>.

Lim et al.(2012)은 동력기관으로 많이 사용되고 있는 디젤기관을 사용시간이 증가함에 따라 연료계통의 마모와 연소실 주위의 상황변화로 연소특성이 달라질 것으로 판단하여 제작 후 20여년 지난 디젤기관에 바이오디젤 혼합유를 연료로 사용할 경우, 1800 rpm에서 최적의 연료분사시기를 규명하기 위하여 연료분사시기 변경에 따른 연소특성을 실험적으로 분석 및 고찰하였다. 실린더 압력과 압력상승율은 연료분사시기가 빠를수록 상승했으며, 열발생율은 연료분사시기가 빠를수록 상승했는데, 최대열발생율은 BTDC  $22^{\circ}\text{C}$

보다 BTDC 24℃에서 6.77% 상승했고, BTDC 26℃에서는 24.25%, BTDC 28℃에서는 31.13% 상승했음을 보고하였다<sup>(29)</sup>.

또한, Baek et al.(2014)은 바이오디젤 연료를 사용하는 커먼레일 엔진을 이용하여 분사압력과 경유와 바이오디젤 혼합비의 변화에 따른 NOx와 Soot의 배기가스 특성을 조사하였다. 엔진의 연소특성에 있어서 바이오디젤 연료를 사용하였을 때 분사압력이 증가할수록 NOx의 발생량은 커지고, 반대로 Soot 발생은 감소하는 전형적인 trade-off 관계를 확인하였음을 보고하였다<sup>(30)</sup>. Jeong et al.(2011)은 바이오디젤 혼합연료를 적용한 4기통 직접분사식 커먼레일 디젤엔진에서 과일릿 분사 전력을 사용하였으며, 부하 20% 조건에서 주 분사시기 ATDC 3°에서 BTDC 3°까지 진각하는 경우에 연소 압력과 열 발생률은 증가하였고, 부하 60% 조건에서는 부하 20% 조건의 결과와 반대로 분사시기가 진각할수록 연소압력은 증가하였지만, 열 발생률은 감소하는 경향을 확인하였음을 보고하였다<sup>(31)</sup>.

Choi et al.(2011)은 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유 20%를 상용경유와 혼합하여 커먼레일 방식의 디젤기관의 연료로 적용하고, 시험 모드를 이용하여 300시간 운전하였을 경우 기관성능 및 배기가스 배출특성, 기관부품의 변화상태, 윤활유의 특성을 조사하였다. BDF 20%를 사용하여 300시간의 내구시험을 수행한 결과 출력, 에너지소비율, 배기배출물이 동일 회전수 및 부하조건에서 일정한 경향을 보여 디젤기관의 대체연료로서 가능성을 확인하였음을 보고하였다<sup>(32)</sup>. Zhang et al.(2009)은 바이오디젤(면실유) 및 혼합한 연료와 일반 디젤연료를 커먼레일 디젤엔진에 적용하여 연소 및 배기특성에 미치는 영향을 연구하였으며, 출력 및 토크는 일반경유 B0에 비하여 바이오디젤 B100의 경우 평균 10%정도 감소되었으며, 혼합한 연료 B20의 평균 2%정도 감소된다고 보고하였다<sup>(33)</sup>. Yasafumi et al.(2001)은 Cooler-EGR을 적용한 디젤엔진에서 바이오디젤 연료 사용시 배출가스 중의 NOx와 Smoke의 배출저감에 대하여 연구하였다<sup>(34)</sup>.

### 3. EGR 시스템에 관한 기존의 연구 동향

디젤기관은 가솔린기관에 비하여 배기 배출물 중 입자상물질(Particulate matter)과 질소산화물(Nitrogen oxide) 배출량이 상대적으로 많이 배출된다<sup>(35)</sup>. 이러한 입자상 물질과 질소산화물은 중추 신경 및 호흡기를 자극하며 산성비 및 대기 중에서 화학반응으로 광화학 스모그를 생성하는 것으로 알려져 있다. 이에 대하여 세계적으로 자동차에서 배출되는 배기가스의 규제는 지속적으로 강화되는 추세이다. 따라서 강화된 배기가스 규제치를 만족시키기 위한 배기가스 저감 기술이 필요하다. 질소산화물의 저감을 위한 기술로는 연소용 공기 중의 산소 농도를 감소시키는 EGR(Exhaust Gas Recirculation) 시스템을 적용하는 것이 효과적이다. EGR 시스템의 NO<sub>x</sub> 저감 방법은 연소실 내의 예혼합 연소가 질소 산화물 형성에 직접적인 영향을 미치게 되는데, EGR 시스템을 적용함으로써 어느 정도 연소과정을 변경하여 다량의 질소를 무해한 N<sub>2</sub>로 배출하는 원리이다.

기존의 EGR 시스템에 대한 연구를 살펴보면, Peter L. Herzog et al.(1992)은 DI 디젤엔진에서 NO<sub>x</sub>를 감소시키기 위한 방법으로 EGR이 매우 효과적이고 특히 EGR-Cooling을 적용하여 NO<sub>x</sub>를 저감시키면서 PM을 증가시키지 않음을 보고하였다<sup>(36)</sup>. 또한, Kolbenschmidt Pierburg AG(독일)사는 중소형 디젤엔진의 Euro-6 배기규제 대응을 위해 By-pass Valve에 의한 High-Cooled EGR과 Low pressure EGR, DPF 및 DeNO<sub>x</sub> aftertreatment를 이용하는 기술의 실증작업을 진행하고 있다<sup>(37)</sup>. Valeo(프랑스)사는 Double EGR Loop란 이름으로 연구가 진행되고 있으며 엔진의 내구성 증대를 Pierburg사와 동일한 컨셉으로 연구가 진행되고 있으며 현재까지는 엔진 가격 상승, Exhaust Flap의 신뢰성 문제, 과도운전조건에서의 배기성능, 인터쿨러 부품의 부식과 Low pressure EGR Valve 및 Cooler의 신뢰성 등의 문제점이 있는 것으로 보고되었다<sup>(38)</sup>. 미국의 Southwest Research Institute (SwRI)의 연구결과 Dual-Loop EGR과 4-Way Catalyst를 이용한 엔진실험에서 Tailpipe를 통한 NO<sub>x</sub>의 배출이 0.035g/mile(Tier2 Bin5 : 0.07g/mile)까지 저감 가능한 것으로 확인되었다<sup>(39,40)</sup>.

### 제3절 본 연구의 목적

기존의 화석연료는 연료자체내의 산소성분이 전혀 존재하지 않는 탄화수소 화합물이기 때문에 디젤기관의 특성상 저속고부하영역 및 연소말기에 불완전 연소를 유발시킨다. 합산소 연료인 바이오디젤연료는 경유와 비슷하고 높은 에너지 밀도를 가지고 있어 현재의 상용 디젤기관에 구조변화없이 사용가능하다는 것이 입증되었다<sup>(41-46)</sup>. 현행 경유에 대한 바이오디젤연료의 장점은 국내 자급이 가능하고 재생가능한 식물 자원에서 생산되므로 에너지 자원의 고갈 문제가 없고, 폐식용유 등 폐자원을 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나 점도가 높고 저온 유동성이 낮아 순수 바이오디젤유는 동절기와 같이 저온 환경에서 사용하는 데에는 불리하다. 현재까지는 경유와 바이오디젤유를 혼합하여 사용하는 방법이 보편적이며 국내에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유에 대한 연구가 활발히 이루어져 BDF20(경유 80%와 바이오디젤 연료 20% 혼합)의 기관성능평가는 완료되었다.<sup>(47,48)</sup>

현재 커먼레일 디젤엔진의 인젝터에 대한 연구는 노즐 및 오리피스 직경에 따른 연료분사량과 분무 특성이 주로 이루어지고 있으며, 인젝터 내부 유로 형상의 최적화에 대한 연구, 그리고 커먼레일 연료분사 시스템에서 연료분사압력과 분사시기를 조정하였을 때 분무도달 시간과 출력에 대한 연구가 많이 진행되고 있고 기존에는 커먼레일 디젤엔진의 인젝터 형상의 변화없이 바이오디젤유를 혼합시켜 연료 분사시기를 진각 또는 지각시켜 배출가스의 PM과 NOx의 성분비율, 엔진의 연료소비율 및 엔진의 출력에 대한 연구가 주로 진행되고 있다. 그러나, 아직까지 인젝터의 분사효율과 관련된 인젝터 홀수를 변화시켜 배출가스에 대한 연구와 HC, NOx, CO<sub>2</sub>, CO에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

또한 기존의 바이오디젤유에 대한 연구는 연료의 분무특성 및 바이오디젤 혼합유의 연료분사시기 최적화에 대한 연구, 연료분사 압력을 제어하고 엔진 회전수를 변화시켜 엔진 최적화에 대한 연구와 대체 연료로서 가능성을 확인하였다. 또한 NOx와 Soot에서의 배기가스에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 이와 더불어 바이오디젤 혼합연료를 적용한 커먼레일 디젤엔진 시스템의 EGR을 변화에 따른 출력, 배기가스를 측정하여 기관의 성능과 배기가스 중의 질소산화물(NOx)과 매연 위주로 연구가 진행되었으며 배기가스를 줄이기 위한 종합적인

실험이 아닌 EGR 제어율로 배기가스 저감을 위한 실험이 주로 진행되었다.

이러한 상황에서 본 연구에서는 현재 운행 중인 자동차에서 디젤엔진(Diesel engine)을 장착한 차량 중 CRDI(Common rail direct fuel injection)엔진을 장착한 차량을 기준으로 실험을 진행하였으며, 현재 운행 중인 디젤 차량이 CRDI엔진을 장착한 직접분사식 전자제어 디젤엔진(Electronically controlled diesel engine)으로 과거의 디젤엔진 차량보다 연비에 대한 효율이 더 좋고, 고출력을 낼 수 있다. 디젤엔진 차량의 문제점인 매연의 발생은 운행 중인 차량에 대하여 매연의 발생이 더 많고, 이에 대한 대책으로 인젝터 클리닝이 필요하다. 매연의 검사방법은 'KD-147모드 매연검사'를 통해 운행 중인 디젤엔진 차량의 매연발생을 측정한다. 측정된 매연은 기준치(매연 30%)의 적합 및 부적합을 판단하고, 부적합 판정이 이루어진 차량의 인젝터 클리닝(Injector cleaning)을 실시함으로써 인젝터 클리닝 전·후의 매연 농도를 비교 분석하고, 운행 중인 차량의 매연의 감소에 대한 성능특성을 확인하였다. 또한 CRDI 엔진의 연료공급장치(Fuel supply device)인 인젝터(Injector)의 연료분사 홀수 5홀, 6홀, 7홀 인젝터에 대한 구조변화를 통하여 연료의 사용량, 배기가스 성분을 분석하고자 한다. 배기가스의 저감 및 배기가스의 성분을 줄일 수 있는 연료(Fuel)의 변화, 즉 시판중인 경유와 바이오디젤유의 비율을 0%, 10%, 20%, 30%로 혼합하여 배기가스 중 HC, CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>를 측정하여 혼합비율에 따른 각 성분의 감소 비율을 확인하고자 한다. 또한 바이오디젤유는 현재 사용 중인 경유와 혼합하여 바이오디젤유 혼합비율에 따른 배기가스의 성분의 차이를 분석한다. EGR 시스템은 연소실에서 사용된 배기가스를 EGR 밸브를 통하여 재사용하는 시스템으로 EGR 시스템을 적용하였을 때와 미적용하였을 때의 배기가스 성분의 차이를 분석한다.

따라서 본 연구에서는 현재 운행 중인 CRDI(Common rail direct fuel injection)엔진을 장착한 자동차의 매연을 측정하여 인젝터 클리닝에 따른 매연 저감정도를 확인하고 인체에 유해한 물질 중 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO 성분을 분석하기 위하여 연료분사 장치인 인젝터의 홀수 변화와 바이오디젤유와 경유의 혼합유를 사용하여 EGR 시스템을 적용 시 나타나는 배기가스 성분에 대하여 비교분석하며, 엔진의 운전조건인 엔진회전수(780 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm)와 연료압력 변화에 따라 배출가스에 미치는 영향을 파악하여 운행 중인 디젤 자동차의 대기오염 감소에 대한 효과를 확인하고자 한다.

## 제2장 디젤기관(Diesel engine)

### 제1절 디젤기관의 개요

디젤 기관(Diesel engine)은 점화장치가 없어 흔히 압축점화기관이라고 한다. 압축점화의 가능성은 1824년 프랑스의 물리학자 ‘니콜라 레오나르 사디 카르노(Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1796~1832)’가 처음으로 언급했던 것으로 보인다. 1862년 프랑스의 ‘알퐁스 보 드 로샤(Alphonse Beau de Rochas, 1815~1893)’가 4행정 내연기관(4 Stroke Engine)의 원리를 고안했으나, 이 원리는 독일의 공학자 ‘니콜라우스 아우구스트 오토(Nikolaus August Otto, 1832~1891)’<sup>(49)</sup>가 흡입 가스(연료-공기 혼합물)가 연소되기 전에 실린더에서 압축되는 최초의 기관을 만들었던 1876년까지 실제 기관에 응용되지 않았다. 당시 이 내연기관은 개발자의 이름을 따서 ‘오토엔진’으로 불렸다. 자동차가 영어로 ‘오토’라 불리는 것도 바로 아우구스트 오토의 이름에서 비롯됐다. 또한 처음 오토엔진은 10년간 3만대 이상이 팔렸을 만큼 인기를 누렸다. 그러나 1886년 특허취소 판결이 내려졌고, 이때부터 오토 엔진은 누구나 개발이 가능하게 됐다. 세계 최초 자동차로 알려진 벤츠 1호와 다임러 1호차가 바로 오토엔진을 이용해 만들어진 자동차다.

1884년경 루돌프 디젤은 증기기관의 증기 대신 가열한 암모니아 증기를 쓰면 열효율을 높일 수 있다는 생각을 하게 되는데, 암모니아는 냄새가 심하고 금속을 부식시켜 현실적으로 사용이 불가능하다. 그래서 공기를 이용한 방법을 사용하기로 결정했다. 루돌프 디젤이 고안한 엔진의 특징은 압축된 공기에 연료를 뿌리면 자연 착화가 일어나는 것이다. 1892년에 발표된 ‘새로운 합리적인 열기관에 대한 이론과 구조(Theory und Aufbau, Neue rationellen Wärmekraftmaschinen)’에서 “피스톤에 의해 밀폐된 실린더 내의 공기를 약 250 bar로 단열 압축하여 공기온도가 약 800℃가 되게 한 다음, 여기에 석탄가루(coal-dust)를 분사하여 등온팽창을 시키면서 서서히 연소를 진행시킨다. 그리고 연소에 의한 온도상승이 과도해지는 것을 방지하기 위해 연소압력이 90 bar정도에 이르면 석탄가루의 공급을 중단하고, 단열팽창으로 사이클을 완성한다. 따라서 실린더 내의 평

균온도가 비교적 낮아 실린더를 별도로 냉각시킬 필요가 없기 때문에 열효율은 73%정도에 이를 것이다.”와 같이 디젤은 카르노사이클(Carnot cycle)로 작동하는 미분탄기관(coal-dust engine)을 계획하였다. 하지만 당시 기술로는 저질로 불이 붙을 만큼 공기를 압축하는 것이 불가능한 일로 여겨졌다. 아우구스부르크 기계제작소(현재 독일 MAN사에 합병)의 후원을 받게 된다. 실용화에 성공할 경우 판매권을 양도한다는 조건이었는데, 1894년 2월 드디어 엔진 개발에 성공한다. 하지만 당시 연료는 지금의 경유가 아니고 등유였는데, 연료효율이 휘발유보다 2배나 좋았다.

디젤엔진 발달의 결정적인 계기는 공기분사식에 비해 작고, 간단하면서도 제어 정밀도가 높은 무기분사식(Airless injection system) 분사장치의 개발이다. 1910년 영국의 비커스(Vickers)사에서 처음 개발한 무기분사식 연료장치를 개발하였다. 무기분사식은 공기분사식에 비하여 부피가 작고 간단하며 제어 정밀도가 높은 분사장치였다. 그 후 발전을 거듭하여 1923년 Benz-MAN에 의하여 무기분사식 직접분사장치를 갖춘 최초의 디젤 엔진 차량이 발표되었다. 이 엔진의 출력은 40 PS 이었다.

1937년 M.A.N은 최초의 구(球)형 연소실 디젤기관(화물차용 디젤기관)을 제작하였다. 1945년(제2차 세계대전) 이후부터는 2행정기관보다 4행정기관이 많이 사용되고 있다. 특히 화물자동차용 디젤기관은 고출력이면서도 연료소비율이 낮고, 내구성이 우수한 4행정기관이 주류를 이루고 있다.

1990년대에 전자제어 커먼레일 시스템(Common rail system)이 도입되면서 기존의 기계식 고압분사펌프도 이제는 역사의 유물이 될 시간을 기다리고 있다.

디젤 엔진은 기구학적인 요소에서 가솔린 엔진과 거의 비슷하지만, 연료의 연소 과정에서 가솔린 엔진은 공기와 연료의 혼합기를 압축한 다음 전기적인 불꽃으로 점화(Spark Ignition)하는데 비해 디젤엔진은 공기를 흡입하여 고압축비(16~23:1)로 압축하여 공기의 온도가 500℃이상 되게 한 후 노즐에서 연료를 안개모양으로 분사시켜 공기의 압축열에 의해 자기착화시키는 점이 다르다. 따라서 디젤엔진에서는 가솔린 엔진에서의 점화장치가 필요하지 않고 연료 분사 펌프(Injection Pump)와 연료 분사노즐(Injection Nozzle)등으로 구성된 연료 분사장치를 필요로 한다.

디젤엔진에서 사용되는 연료는 자기 착화성이 좋은 경유, 중유, 석유 등을 사용하며 연료 분사장치는 가솔린 엔진의 전자제어 연료 분사장치와 비슷하지만

연료분사 원리는 본질적으로 다른 점이 있다.

가솔린 엔진은 회전수를 높이기 위해 엑셀페달로 트로틀 밸브를 열어 공기의 양을 증가시키지만, 디젤엔진은 항상 다량의 공기를 흡입해야 하므로 트로틀 밸브가 없고 회전수를 올리기 위해 엑셀 페달을 밟아 연료펌프로부터 들어오는 연료의 양을 늘리는 방법을 사용한다.



## 제2절 디젤 엔진과 가솔린 엔진의 차이점

Table 3 Differences between diesel engine and gasoline engine

Description	Diesel engine	Gasoline engine
Combustion cycle	Sabathe cycle	Otto cycle
Combustion chamber type	Complication	Intermission
Fuel	Diesel	gasoline, LPG
Fuel supply method	Injection pump, Injection nozzle	Port injection (Carburetor)
Ignition method	Heterogeneous Mixtures	Homogeneous Mixtures
Spark method	CI(Compression Ignition)	SI (Spark Ignition)
Compression ratio	16~23 : 1 (Air)	6~11 : 1 (Mixer)
Load control	Fuel adjustment	Mixture amount adjustment
Mixing ratio	16 $\geq$ (Excess air lean-burn)	13~17 (Density)
Mixer production	Fuel injection after compressed only air	Mixing before compressed
Combustion process	Diffusion combustion flame	Mixed combustion (Flame propagation)
Thermal efficiency	35~40%	25~35%
Maximum RPM	4500 rpm	7500 rpm
Compression temperature	500~550℃	120~140℃
Explosion pressure	60~90 kg/cm <sup>2</sup>	50~70 kg/cm <sup>2</sup>
Compression pressure	30~45 kg/cm <sup>2</sup>	7~11 kg/cm <sup>2</sup>
Gravity/output	5~8 kg/cm <sup>2</sup>	3.5~4 kg/cm <sup>2</sup>
Starting horse power	5 ps	1 ps
Exhaust gas temperature	Low	High
Catalyst	The 3-way catalyst can not used as the oxygen excess in the exhaust	3-way catalyst

\* SI (Spark Ignition), CI(Compression Ignition)

## 1. 디젤엔진과 가솔린 엔진의 운전 특징

가솔린 엔진은 혼합비가 일정한 혼합기의 양으로 출력을 조절하고 디젤 엔진은 공기의 흡입량에 따라 혼합비가 결정된다. 즉 연료의 양은 일정한 상태에서 낮은 회전수에서 공기의 흡입량이 줄어들고, 높은 회전수에서 늘어난다. 이것은 디젤 엔진의 혼합비가 가솔린 엔진(13~18:1)과는 달리 16~160:1 까지 넓은 범위에서 연소가 이뤄질 수 있기 때문이다. 그래서 디젤 엔진은 저속일 때 혼합비가 높아져 배출가스의 농도가 짙어지며, 배기가스내의 유해 물질을 줄이기 위해 혼합비의 최저치를 16:1 정도로 한다. 또 디젤 엔진은 혼합비가 떨어져도 점화가 계속 일어난다. 이에 반해 가솔린 엔진은 혼합비가 기준치보다 낮아지면 점화가 제대로 이뤄지지 않는다. 또 자연 발화식 디젤 엔진에 비해 가솔린 엔진은 점화플러그를 이용한 강제 점화 방식(Spark Ignition, 불꽃점화)을 쓰기 때문에 엔진 회전수를 높여 큰 힘을 얻을 수 있다. 이것이 디젤엔진이 가솔린 엔진보다 출력이 떨어지는 이유이다.

연료의 성질도 출력에 영향을 준다. 가솔린 엔진의 이론 혼합비는 14.7:1 이고 디젤엔진은 14.3 정도이다. 이론 혼합비를 이렇게 맞추는 것은 가솔린 성분 중 탄소와 수소의 비율이 84:14 이고, 디젤은 탄소와 수소의 비율 88:12 이기 때문이다. 산소와 결합하는 수소의 비율이 가솔린보다 경유가 낮기 때문에 상대적으로 작은 힘을 낸다. 디젤 엔진의 높은 압축비도 출력을 떨어뜨리는 원인이 된다. 가솔린 엔진은 기계적인 강도가 허락하는 한도 내에서 고속운전을 할 수 있다. 그러나 디젤엔진은 회전이 늘어날수록 엔진의 마찰저항도 커져 출력이 떨어진다.

디젤 엔진의 소음은 크랭크샤프트(Crankshaft)의 각도와 관계가 있다. 크랭크샤프트의 각도는 커넥팅 로드(Connecting rod)의 길이로 결정되는데, 커넥팅 로드가 길면 크랭크샤프트의 각도는 커진다. 당연히 피스톤이 오르내리는 길이가 길어져 실린더 벽에 횡 방향으로 마찰이 늘어나게 되는 것이다. 크랭크샤프트와 커넥팅 로드의 각도는 가솔린 엔진과 디젤 엔진이 서로 다르며, 보통 두배 이상 디젤 엔진의 각도가 크다. 이처럼 각도가 큰 것은 압축비(Compression ratio) 때문이다. 디젤 엔진의 압축비(16~23:1)는 가솔린 엔진의 압축비(6~11:1)보다 높아 실린더를 크게 해야 하므로 커넥팅 로드의

길이도 길어진다. 이 때문에 크랭크샤프트의 각도가 큰 디젤 엔진은 소음이 심하다. 하지만 이처럼 커빅팅로드를 길게 하면 유리한 점도 있다. 정속성이나 속도에 떨어지지만 저 회전에서 큰 토크를 내기 때문에 버스나 트럭 등에 많이 쓰인다. 따라서 디젤엔진을 사용하는 차량 중 대부분이 상용차인 이 유가 이것 때문이다.

### 제3절 디젤기관의 유해 배출가스

디젤기관(Diesel engine)은 공기를 기관의 실린더 내에 흡입, 압축시킨 후 소량의 디젤유를 분사노즐에 의해 실린더내로 분사하여 압축착화(Compression Ignition)하는 자연착화방식을 사용하는 기관으로 14~23:1의 높은 압축비로 인해 소음과 진동이 큰 것이 특징이다. 디젤기관의 공연비는 보통 15~100:1의 범위에 있어 산소 과잉상태로 연소가 일어나므로 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(HC)의 배출이 가솔린기관보다 적으나 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 배출은 상대적으로 많다<sup>(50,51)</sup>. 질소산화물은 고온의 연소가스 영역에서 형성되며 형성속도는 이론공연비에 가깝게 될 때 최고로 되며, 연소실의 연소온도가 높을수록, 연소시 산소농도가 높을수록 질소산화물의 생성은 많아지게 된다. 또한 디젤은 가솔린에 비해 고 비점 탄화수소 성분이 많고 황 화합물이 약 10배나 많다<sup>(52)</sup>. 이러한 이유로 디젤 차량에는 입자상물질(PM : Particulate matters)의 배출이 많고 황산화물을 많이 포함하고 있으며, 벤조피렌 등과 같은 발암물질을 함유하고 있다. 이들 PM은 평균직경이 0.1~0.3 μm의 미립자로서 용해성유기물질(SOF)과 미연탄화수소(μHC)가 주성분인 비용해성유기물질로 구분하며, 대기오염문제와 인체에 미치는 영향이 매우 심각하다. 특히 디젤 기관에서 배출되는 용해성 유기물질의 양은 삼원촉매(TWC : Three Way Catalyst)를 장착한 가솔린기관에 비해 약 20배나 많이 배출한다. 디젤기관의 배출가스의 조성은 운전특성에 따라 큰 차이가 있으나 가스상 물질과 입자상 물질로 이루어지며, 가스상 물질은 주로 CO, HC, NO<sub>x</sub> 및 SO<sub>x</sub>로 구성되어 있다. Table 4는 디젤기관의 배출가스가 함유한 가스상 물질과 입자상 물질의 주요성분들이다<sup>(53)</sup>.

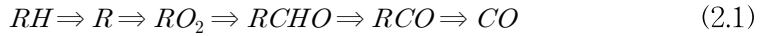
Table 4 Composition of diesel engine exhaust emissions

Gaseous	Particulars	
	Liquid	Solid
- CO <sub>2</sub> and CO - NO and NO <sub>2</sub> - SO <sub>2</sub> and SO <sub>3</sub> - Hydrocarbons (CrC <sub>15</sub> ) - Organic nitrogen and sulfur compounds - N <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> - Oxygenates	- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - Hydrocarbons(C <sub>15</sub> _C <sub>40</sub> ) - Oxygenates_Polyaromatic - H <sub>2</sub> O	- Soot _ Metal - Inorganic oxides - Sulfates - Solid hydrocarbons

## 1. 일산화탄소(CO)

CO는 주로 연소시 산소의 부족으로 연료가 불완전 연소하여 생성되고 CO<sub>2</sub>가 적열된 C와 접촉할 때 발생되며, 무색무취의 유독한 기체로 사람이 소량 흡입하여도 혈액중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 산소운반 능력을 감소시키므로 목숨을 잃을 수 있다. 즉, 연료가 연소하면서  $2C+O_2 \rightarrow 2CO$ 로 되며 기관에 공급되는 혼합가스의 공연비에 좌우되기 때문에 CO의 발생을 감소시키기 위해서는 희박상태로 연소시키면 CO를 감소시킬 수 있다. 가솔린의 경우는 이론공연비 혹은 이론공연비보다 약간 과농한 상태에서 운전되기 때문에 CO가 디젤기관보다 더 많이 배출되며 디젤의 경우는 희박상태(1.2~10정도의 공기 과잉율)에서 연소되기 때문에 CO가 적게 생성된다. 디젤기관에서 과농 상태에서의 배출가스 CO농도는 연공비의 증가와 함께 점차로 증가하며 과희박 혼합에서 배출가스의 CO농도는 등가비와 함께 거의 변하지 않지만 팽창과 배기과정동안 연소실 벽면에서의 퇴적물이나 윤활유 그리고 연소실에서의 틈으로 부터 나오는 미연탄화수소가 부분적으로 산화될 때 CO가 발생하여 증가할 수 있다.

CO형성은 HC연소 메커니즘에서 주요 반응단계 중 하나이며 다음과 같은 경로를 통해 CO가 형성한다.



여기서, R은 HC를 나타내며 이런 경로를 통해 연소과정에서 형성된 CO는 낮은 속도로 CO<sub>2</sub>로 산화한다<sup>(54)</sup>. 앞서 설명한 바와 같이 CO를 저감시키는 방법은 희박상태로 연소시키는 방법 이외에 흡기밸브를 통해 들어가는 공기가 균일하게 실린더 내로 들어가도록 하는 방법 및 가·감속시 연료량의 적절한 제어를 통해 연소실에서 CO를 최대한으로 감소시킬 수 있다.

## 2. 탄화수소(HC)

HC는 연료사용 중 증발되는 휘발성 물질은 물론 불완전 연소로 생기는 각종 미연소물질을 말한다. 여기에 메탄올은 물론 케논류와 벤젠 메조피렌 등 각종 다환방향족(PAHs)이 포함되는데 어떤 것은 발암물질이고 매우 자극적이며 냄새가 심하다. HC는 PAHs외에는 인체에 유해성이 없으나 디젤연료는 가솔린 연료보다 높은 비등점과 분자량을 가진 HC를 포함하고 있으며, 또한 실제적으로 연료혼합물의 열분해는 연소과정동안 연료가 분산되기 전에 발생한다. 미연의 HC와 디젤배출 가스 중에 부분적으로 산화된 HC는 가솔린 기관보다 더 복잡하고 더 큰 분자크기 범위로 확장된다. 디젤기관의 연소실 내에서의 HC 생성메커니즘<sup>(55)</sup>은 두 방향, 즉 착화지연기간 동안 분사된 연료에 의한 것과 연소가 진행되는 동안 분사된 연료에 의한 것으로 크게 나눌 수 있으며, 먼저 착화지연기간 동안 분사된 연료에 의한 HC 생성메커니즘은 국부적인 과희박상태와 과농상태<sup>(56)</sup> 및 가연성상태로 나누어지고 여기서 연료와 공기가 혼합하여 화염전파 또는 점화가 일어나지 않거나 느린 반응에 의해서 불완전연소생성물을 만들 수 있고 국부적인 과농상태는 가연성 혼합물로 인해 점화와 화염발생이 일어나 완전연소생성물을 배출한다. 가연성 상태에서는 연소실 벽면의 소염으로 인해 불완전연소생성물을 배출한다.

연소가 진행되는 동안 분사된 연료에 의한 HC 생성메커니즘은 연료가 우선 열분해를 거쳐 열분해의 생성물을 만들거나 이 생성물은 가연성 혼합과

정을 거쳐 연소실벽면의 소염에 의해 불완전연소 생성물을 만들며 또한 미가연성 혼합 상태는 국부적인 과농상태로 되어 불완전연소의 생성물을 만든다. 또 다른 반응은 연료에서 가연성상태로 되어 화염에 의해 완전연소 생성물을 만들기도 하며 가연성상태에서 국부적인 혼합을 거쳐 화염전과 또는 점화가 일어나지 않거나 느린 반응에 의해서 불완전연소의 생성물을 생성하기도 한다. 마지막으로 연료에서 느린 혼합 또는 산소부족으로 인해 국부적인 과농상태로 되어 화염전과 또는 점화가 일어나지 않거나 느린 반응에 의해서 불완전연소의 생성물이 만들어지기도 한다.

이상은 연소실내에서 발생하는 HC생성 메커니즘에 대해서 설명하였고 그림에 디젤기관에서 HC가 발생하는 원인 중 유힬유와 냉각수온도에 민감하여 직접분사식 디젤기관에서 온도가 40℃에서 90℃로 증가될 때 HC는 거의 30% 감소한다. 연소실벽면에 스프레이 충돌정도에 따라 화염의 벽소염과 실화는 HC생성의 중요한 원인이 될 수 있고, 작동 사이클 중 부분적인 실화에 의해 HC가 발생하지만 정상조건하에서는 실화가 발생하지 않는다. 그러나 정상작동조건 하에서의 HC배출은 연료가 그 지연기간 동안 희박연소한계보다 더 희박하게 혼합한 것과 연소과정후기에 연료분사 노즐에 남겨져 있는 연료가 주원인이다. 특히 경부하와 공회전영역에서 발생하는 HC가 고부하 영역에서 발생하는 HC보다 더 많이 발생한다.

### 3. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

이산화탄소(二酸化炭素)는 탄소 원자 하나에 산소 원자 둘이 결합한 화합물이다. 화학식은 CO<sub>2</sub>이며, 고체 상태일 때는 드라이아이스(dry ice)라고 부른다. 대기 중에도 존재하며, 화산의 배출 기체에도 포함되어 있다. 유기물의 연소, 생물의 호흡, 미생물의 발효 등으로 만들어진다. 식물은 광합성 과정에서 이산화탄소를 이용하여 탄수화물을 만들고 부산물로 대기 중에 산소를 방출한다.

상온에서 무색 기체로 존재하고, 밀도는 0℃, 1 atm에서 1.976 g/L이다. 삼중점은 -56.6℃/5.11atm으로 상온 상압에서 승화하며, 승화점은 -78.50℃

이다. 임계온도는 31.0°C이며, 임계 압력은 72.80 atm이다. 분압이 1 atm일 때, 1부피의 물에 녹는 이산화탄소의 상대적인 부피는 Table 5와 같다.

Table 5 volume relative to the volume of carbon dioxide in the water-soluble

Temperature	0 °C	10 °C	20 °C	50 °C
Volume	1.713	1.194	0.878	0.436

에탄올에는 물에 비해서 약 2배정도로 녹고, 카복시산 또는 그 무수물에는 물의 약 20배 정도 녹을 수 있다. 에테르, 벤젠과는 잘 섞이지만 그 외의 많은 유기 화합물과는 잘 섞이지 않는다. 분자의 형태는 직선형이며, 탄소 원자와 산소 원자간의 결합 길이는 1.62 Å이다. 고체는 분자성결정의 형태로 존재하며, Fig. 2에 CO<sub>2</sub>의 분자구조를 나타내었다.

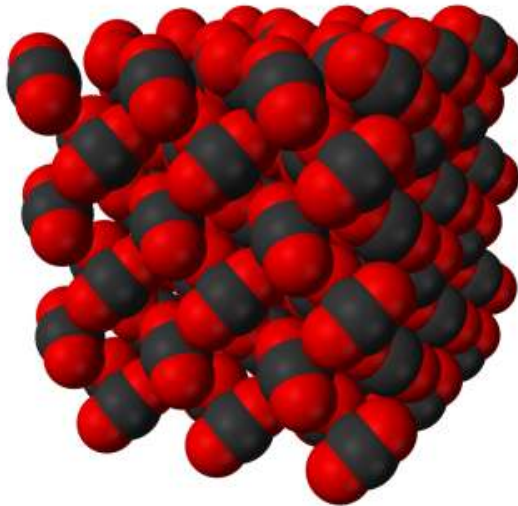


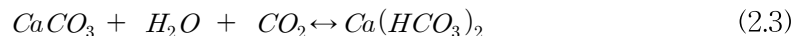
Fig. 2 The molecular structure of the carbon dioxide

이산화탄소는 화학적으로 활성이 낮은 기체이다. 이산화탄소가 관여하는 대표적인 반응은 다음과 같다.

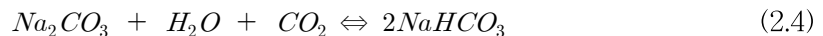
- 물에 녹아 약한 산성을 띠는 탄산을 생성한다.



- 1atm의 이산화탄소에 수용액이 접해있을 경우의 pH는 3.7이다.
- 고압의 조건에서 포화 수용액을 냉각하면 수화물  $CO_2 \cdot 8H_2O$ 가 생성된다.
- 고온에서는 가역적으로 일산화탄소와 산소로 분리된다.
- 수소와 가역적으로 반응하여 일산화탄소와 물을 생성한다. 적당한 조건과 촉매를 갖추고 있을 경우 메테인, 폼산, 메탄올을 생성하는 경우도 있다.
- 알칼리 금속이나 알칼리 토금속과 반응하면 환원되어 탄소와 포름산염을 생성할 수 있다. 아연, 철과 같은 다른 금속과도 반응하여 일산화탄소를 생성하는 경우가 많다.
- 황화수소와 함께 가열된 금속관을 통과하면 일산화탄소와 황을 생성한다. 사염화탄소를 통과할 경우 포스젠을 생성한다.
- 많은 금속산화물이나 수산화물과 반응하여 탄산염을 생성한다. 특히 수산화칼슘과 반응하면 다음과 같은 반응이 진행된다.



탄산칼슘은 물에 잘 녹지 않지만, 탄산수소칼슘은 물에 녹는다. 따라서 이산화탄소의 분압이 높아지면 위의 두 반응 중 두 번째 반응의 평형이 생성물 쪽으로 이동한다. 그 결과 탄산칼슘이 반응을 일으켜 탄산수소 칼슘이 되어 물에 녹게 된다. 반대로 이산화탄소의 분압이 낮아지면 평형은 반응물 쪽으로 이동하고 다시 탄산칼슘이 석출된다. 이 반응은 석회동굴의 생성과 관련되어 있다. 이산화탄소는 무극성 분자이고, 공업적으로 이산화탄소를 정제하는 데에는 주로 다음과 같은 반응을 이용한다.



위 반응들은 공통적으로 저온에서는 평형이 왼쪽으로 이동하고, 고온에서는 평형이 오른쪽으로 이동한다. 따라서 위 반응의 반응물이 포함된 수용액과 이산화탄소를 반응시켜 이산화탄소를 흡수한 후 이를 가열하면 다시 이산화탄소가 발생한다. 이산화탄소는 부피 백분율로 0.1~1%의 이산화탄소는 나른함과 두통을 일으킨다. 농도가 8~10%일 경우 질식에 의한 사망에까지 이를 수 있다.

#### 4. 질소산화물(NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub>는 고온 연소에서 생성되어 대기 중으로 배출되는데 대부분은 연료중 질소의 산화로 생긴다. 질소가 산화하여 생기는 질소산화물에는 NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등이 존재하는 것으로 알려져 있으나, 대기 중에서 검출되는 것은 N<sub>2</sub>O, NO 및 NO<sub>2</sub> 등이 대부분이다.

NO나 NO<sub>2</sub>는 독성이 있고 대기 중에서 광화학반응을 일으키지만 N<sub>2</sub>O는 무독성으로 광화학반응과 관계는 없으나, 대기 중에 상당한 양이 존재하여 환경오염물질로 간주하고 있다. 또 NO나 NO<sub>2</sub>가 인공적으로 발생함에 비해 N<sub>2</sub>O는 대기 중에서 자연적으로 생성되며, 지구온난화를 유발한다<sup>(57,58)</sup>.

연소 중 배출되는 NO<sub>x</sub>는 반응된 질소의 종류와 이 질소를 산화시키는 화학반응에 의해서 분류하면, Thermal NO, Prompt NO 및 Fuel NO로 분류한다. 대부분의 연소장치에서는 Thermal NO가 NO<sub>x</sub>의 대부분을 차지하지만 유기 질소 화합물을 함유하고 있는 중유나 석탄을 연소시킬 때는 Fuel NO가 중요한 NO<sub>x</sub>의 생성원인이다. Prompt NO나 Fuel NO는 주로 연소영역이나 가스 반응 영역으로부터 조금 떨어진 후류에서 생성됨에 반해 Thermal NO는 산소의 농도, 화염온도 및 체류시간이 적당하기만 하면 고온영역 어디에서나 발생한다. 실제 연소장치에 있어서 Thermal NO는 고온의 화염후류에서 연료가 희박한 연소상태에서 많이 발생한다.

### a. Thermal NO

연소과정에서 대기 중의 질소에 의한 NO생성은 많은 연구자들에 의해 오래 전 부터 연구되었으며, 이에 관한 최초의 연구는 1946년 Zeldovich에 의하여 이루어졌다. NO생성의 주된 반응식은 Zeldovich Mechanism이라고 알려진 식(2.1)~(2.3)으로 주어진다. 일반적으로 이 반응식은 연료와 공기의 혼합물이 이론공연비 부근 또는 연료의 희박연소상태에 적용한다.



일반적으로 연소가스 중 산소분자는 1700°C전후의 고온에서 식(2.7)의 분해반응에 의해 산소원자를 생성한다. 이 산소원자와 질소원자가 반응하여 식(2.8)의 NO를 생성하고 동시에 질소원자를 유리한다. 이 질소원자는 산소분자와 반응하여 식(2.9)의 NO를 생성하고 산소원자를 발생시켜 연쇄반응을 일으킨다. Lavoie 등은 연료에 대한 산소의 비율이 적어지는 경우 식(2.10)의 속도가 느려지고 이 상태에서 OH가 존재한다면 식(2.10)의 반응도 NO생성에 기여한다고 제안했다.



식(2.7), (2.8) 및 (2.9)를 합쳐서 Extended Zeldovich Mechanism 이라 한다. 공기에 비해 연료가 희박한 대부분의 연소상태에서는  $k_4[OH]_{eq} \ll k_3[O_2]_{eq}$  이므로  $[NO] \ll k_3[O_2]_{eq}$  인 초기조건에서 NO생성율은 식(2.10)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}[NO] &= 2k_2[O] + eq.[N_2] \\ &= 6 \times 10^{10} T_{eq}^{-1/2} \exp(-69,090/T_{eq}) [N_2]_{eq} [mol/m_3 \cdot sec] \end{aligned}$$

Table 6 Rate constants for thermal NO formation reactions

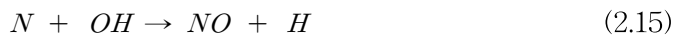
Reaction	Rate constant( $m^3/mol \cdot s$ )	Temperature range(K)
$N_2 + O \rightarrow NO + N$	$7.6 \times 10 \exp(-38,000/T)$	2000 ~ 5000
$N + NO \rightarrow N_2 + O$	$1.6 \times 10$	300 ~ 5000
$N + O_2 \rightarrow NO + O$	$6.4 \times 10 \text{Temp}(-3,150/T)$	300 ~ 3000
$NO + O \rightarrow N + O_2$	$1.5 \times 10 \text{Temp}(-19,500/T)$	1000 ~ 3000
$N + OH \rightarrow NO + H$	$1.0 \times 10$	300 ~ 2500
$NO + H \rightarrow N + ON$	$2.0 \times 10 \exp(-23,650/T)$	2200 ~ 4500

식(2.5)에서 NO생성율은 온도에 의해 크게 좌우된다. 즉, 고온에서의 체류시간 및 산소농도의 평방근에 비례하여 NO의 생성은 증가한다. 따라서 Thermal NO의 생성은 연소온도와 연소영역에서 산소농도가 높을 때, 고온영역에서 연소가스의 체류시간이 길 때 많아진다. Table 6은 Thermal NO 생성반응에 대한 반응속도정수이다<sup>(59)</sup>.

온도가 일정할 때 공연비가 감소할수록 NO의 평형농도는 증가하고 있으며 공연비가 일정할 때는 온도가 증가할수록 NO의 평형도는 증가하고 있으나, 실제 연소계에서 온도와 당량비는 서로 독립적이 아니어서 NO의 최대농도는 연료가 약간 희박한 경우에 얻어진다. 이것은 연료와 공기 중의 질소분자가 서로 경쟁적으로 산소와 결합하기 때문이다. 즉 연료의 농도가 약간 높을 경우 연소계의 온도는 최대가 되지만 연료에 의해 우선적으로 산소가 모두 소비된다. 또 공연비가 작아져서 산소 농도가 증가할 지라도 온도저하로 인한 NO<sub>x</sub> 생성 억제효과가 산소과잉에 의한 NO<sub>x</sub> 생성촉진효과를 능가하므로 NO농도는 떨어진다. 보통 평형상태에서 NO<sub>x</sub>의 농도는 15% 과잉공기일 때 최대이다. 비록 약간의 온도 강하로 인해 NO<sub>x</sub> 생성의 평형상수는 다소 낮아져도 산소의 농도가 증가하고 NO의 평형농도는 더욱 증가한다.

## b. Prompt NO

Fenimore<sup>(60)</sup>는 에틸렌과 공기의 예혼합가스를 다공관을 사용한 버너에서 연소시켜 얻은 평면 화염면에서 상당한 양의 NO가 급격히 생성됨을 발견하고 이를 Prompt NO 라고 명명했다. Prompt NO의 생성기구 식은 (2.11)~(2.15)와 같다.



Prompt NO의 생성은 연료의 농도가 낮은 화염에서는 Zeldovich Mechanism에 의해, 연료의 농도가 높은 화염에서는 탄화수소기에 의한 Fenimore Mechanism에 의해 연소영역에서 형성한다. 연소영역 부근에서 NO의 생성율이 평형상태에서보다 다소 클지라도 실제 연소장치에 있어서 이러한 영역은 화염 후류영역에 비해 작은 영역이므로, Thermal NO나 Fuel NO보다 중요하지 않다.

## c. Fuel NO

Fuel NO는 연료 속에 화학적으로 결합하고 있는 질소성분이 연료 중에 NOx 로 전환된 것이다. Shaw와 Thomas<sup>(61)</sup>는 기체연료에 유기질소화합물을 혼합하여 연소실험을 행한 결과 공기 중 질소의 존재유무에 상관 없이 많은 양의 NO가 생성됨을 관찰하고 그 생성원이 연료 속에 포함된 질소임을 확인하였다. Haynes와 Fenimore는 각기 다른 종류의 질소화합물을 에틸렌의 혼합화염에 첨가하여 Fuel NO의 생성을 연구하여 연료 중에 질소산화물은 열분해 또는 반응을 통해 일단 분자량이 작은 질소화합물(HCN, 또는  $NH_i$ ,  $i=0, 1, 2, 3$ )인 중간 생성물(M)을 발생시키며, 이 중간생성물은 두 가지의 경쟁적반응을 거쳐 최종 생성물로 생성하는데

그 중 한가지 반응경로는 중간생성물이 산소를 함유한 화합물(R)과 반응해서 NO를 생성한다는 메커니즘을 제안하였다. 두번째 경로는 M이 NO 또는 다른 M과 반응해서  $N_2$ 를 생성하는 NO분해반응이다.

Song 등은 과농연료연소의 경우 Fuel NOx 생성경로는 연료 질소로부터 HCN 으로의 전환은 정량적이고 매우 빠른 반응이므로 자세한 반응기구는 알 수가 없으나 HCN은 과농영역에서 초기 가스상태의 질소산화물에만 영향을 미친다고 알려져 있으므로 Fuel NO생성율을 예측하는데 큰 제한이 되지 않는다고 설명하고 있다.

Haynes<sup>(62)</sup> 등이 제안한 Fuel NO 메커니즘에 의하면 Chain carrier free radical인 O, H, OH는 HCN으로부터 수소원자와 결합하여 시안화기가 된다. HCN은 동시에 OH기와 반응하여 HNCO의 중간체를 형성하며 CN기는 OH기와 반응하여 NCO를 생성한다. HNCO와 OCN은 고온에서 불안정하므로 수소원자와 반응하여 아민화합물( $NH_i$ )이 된다. 이렇게 해서 생성된  $NH_2$ 와 NH는 Chain carrier radical인 O, H, OH와 반응하여 NH기와 질소원자가 되며, 이때  $NH_i$ 화합물은 부분평형상태로 가정한다. 결국 Fuel NO는 NH 또는 질소원자가 OH, O와 반응하여 생성한다.

Fuel NO의 생성기구를 정리하면 이론혼합비 또는 산소가 부족한 경우는 연료 중에 함유된 질소성분이 실험적으로 거의 Fuel NOx로 전환되고 이 반응은 연소반응과 같은 속도로 일어난다. 그러나 연료가 과잉인 경우에는 연료 중에 결합된 질소가 우선적으로 HCN이 되고, 이어서 다른 중간생성물로 전환하여 결국 Fuel NO를 생성한다. 또한 Thermal NO와는 달리 온도의 영향을 받지 않으나, 연료 중에 포함된 질소의 양이 증가함에 따라 전체 NOx생성량은 증가하며 NOx로의 전환율은 감소한다. Fuel NO는 연료전환과 산소의 분압저하에 의해 저감할 수 있다<sup>(63)</sup>.

## 5. 입자상 물질(PM : Particulate matters)

디젤기관에서 바로 배출되는 PM은 Nuclei mode로 그 크기가  $0.03\mu\text{m}$ 이하로서 탄소물질로 구성되어 있으나, 배기관을 통해 배출되는 과정에서 응집되어 보다 큰 입자로 된다. 디젤입자상물질(DPM : Diesel Particulate Matters)은 액체상과 고체상의 물질을 포함하고 있으며, 총입자상물질(TPM : Total Particulate Metters)은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(64)</sup>

$$TPM = SOL + SOF + SO_4 \quad (2.16)$$

여기서 SOL은 Solid Fraction, SOF는 Soluble Organic Fraction 및  $SO_4$ 는 Sulfate Particle 를 의미하며, 이외에 결합수(Combined water), 중금속 등도 일부 함유하고 있다. 기관에서 처음 배출되는 입자는 탄소 물질(SOL)이며 배기시스템에서 온도에 따라 산화와 응집(Agglomeration)이 달라지며 그 특성이 변한다. 일부 입자는 배기관 벽에 열영동차(Thermophoretic force)에 의해 침착된다. 물리적·화학적 특성은 희석터널(Dilution tunnel)에 들어가면서 변화하며, 탄소류는 불완전 연소, 윤활유 등이 응축되거나 탄소 입자의 표면에 흡착되어 DPM의 SOF가 된다. TPM에서 SOF의 비율은 기관과 운전조건에 따라 다르며 SOF의 대부분은 미연소된 연료와 윤활유가 원인이다.

지방족 탄화수소(Aliphatic Hydrocarbons)는 탄소개수가 12~20개의 범위에 있고, 디젤윤활유(Diesel lube oil)은 18~36개의 탄소으로 이루어져 있으며, SOF에는 다환방향족 탄화수소류(PAHs : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)를 포함한다. 황산(Sulfuric acid)은 연료 중 황(Sulfur)이 원인으로 연소실(Combustion chamber)을 거친 황은  $SO_2$ (Sulfur dioxide : 95~98%)와  $SO_3$ (Sulfur trioxide : 2~5%)로 산화되고 수분 존재 하에서  $SO_3$ 는 다음식과 같은 반응을 한다.<sup>(65)</sup>



불포화(Undersaturated)상태에서 황산(Sulfuric acid)과 수증기(Water vapor)는 황입자를 생성시킨다. 대부분의 황산염입자(Sulfate particle)는  $H_2O$  8,000개와  $H_2SO_4$  3,000개로 구성되어 있다. Fig. 3는 일반적인 디젤입자들의 구조를 나타낸다<sup>(66-68)</sup>.

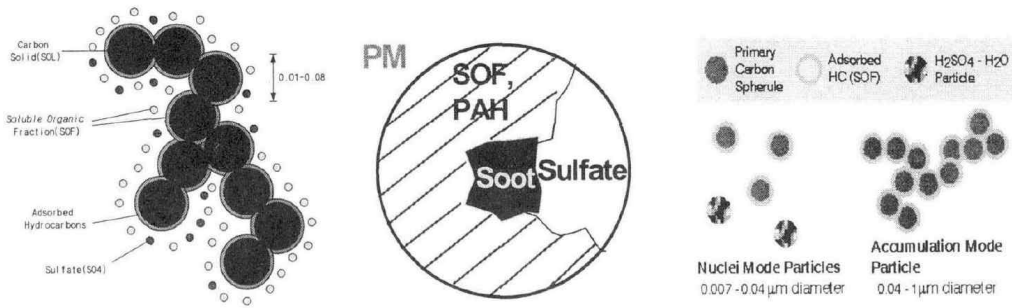


Fig. 3 Schematic of diesel particulates ( $\mu m$ )



## 제4절 최근 디젤기관의 배출가스 저감 기술

2003년 후반기를 기준으로 우리나라는 경유를 연료로 사용하는 자동차가 약 500여만 대로 전체 자동차의 약 34.8%를 차지하고 있으며 연료의 경제성 등에 의해 점점 증가하는 추세이다. 그에 따라 전체 배출가스 중에서 디젤연료로 인해 발생율이 높은 NO<sub>x</sub>와 PM의 배출량은 각각 연간 94만여 톤과 7만 8천여 톤에 달한다. 디젤자동차의 급격한 증가와 함께 향후 디젤자동차의 비율의 상당한 증가가 예상되는 우리나라는 세계 어떤 나라보다도 디젤 매연 및 오존으로 인한 대기 오염이 심각한 수준이다.

디젤엔진의 장점인 힘과 우수한 연비에도 불구하고 CNG, LPG 등 타 연료에 비해 상대적으로 많은 유해 배기가스가 단점으로 지적되면서 규제가 점점 강화되고 또한 환경적인 면에서 배기가스를 최소화하기 위하여 전 세계적으로 기술 개발 및 재원투자가 활발히 되고 있다.

EU에서는 이전에 시행된 자동차 배출가스 규제(EURO 1~5)보다 더욱 강화된 EURO 6을 2014년부터 시행하였으며, 2012년 6월 12일, 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC : International Agency for Research on Cancer)는 디젤 엔진에서 배출되는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 분진(PM)으로 인해 폐암과 방광암이 유발될 수 있으며, 석면이나 주류, 담배는 1급 발암물질로 선정되었다고 보고하였다. EURO 6은 친환경적 목적뿐만 아니라 시민의 건강을 위한 목적으로 시행하였으며, 2014년 9월부터 자동차 배기가스 규제 EURO VI<sup>(69)</sup>가 시행됨에 따라 이를 충족하지 못하는 자동차는 판매가 금지될 예정이다. 1992년 도입된 EURO 규정은 지속적으로 강화되어 왔으며, 차량 유형에 따라 배기가스 배출기준이 다르게 적용되며, EURO VI가 적용되는 자동차 유형은 기준 질량(reference mass, RM)이 2,610 kg을 넘지 않는 승용차와 화물차가 대상이다. Table 7은 EURO 규제 시행시기이다.

Table 7 Automotive EURO enforce time restrictions

	EURO I	EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO VI
Implementation time	1992.7	1996.1	2000.1	2005.1.	2009.9	2014.9.

2014년 9월부터 도입될 EURO VI는 2009년 9월부터 도입되었던 EURO V보다 디젤 차량의 질소산화물 배출기준이 20% 정도 강화(ex. 승용차 0.18g/km→0.08g/km) 되었다. Table 8은 EURO VI 허용기준이다.

Table 8 EURO VI type car allowance

(Unit : g/km)

Type	Vehicle	R.M(kg)	CO	HC+NOx	NOx	PM	적용년도
Passenger car	Gasoline	All	1.0	0.10(HC)	0.06	0.006	2014.9
	Diesel	All	5.0	0.17	0.08	0.008	2014.9
Freight car	Gasoline	≤1305	1.0	0.10(HC)	0.06	0.005	2014.9
		1305-1760	1.81	0.13(HC)	0.075	0.005	2015.9
		>1760	2.27	0.16(HC)	0.082	0.005	2015.9
	Diesel	≤1305	0.5	0.17	0.08	0.005	2014.9
		1305-1760	0.63	0.195	0.105	0.005	2015.9
		>1760	0.74	0.215	0.125	0.005	2015.9

Note: RM is the standard weight of the vehicle, CO is carbon monoxide, HC is hydrocarbon, NOx is NOx, PM is a fine dust meaning

현재 연구되고 있는 배출가스 저감기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 기관의 개량 및 연료질의 개선과 관계된 기관 혹은 연료 그 자체에 대한 것이고 또 다른 하나는 후처리 기술에 관한 것이라 할 수 있다. 그러나 이런 저감기술의 적용에 있어 문제점은 디젤 배출가스의 대표적인 오염물질인 NOx와 PM의 생성이 서로 상반관계(Trade-off)에 있어 두 오염물질에 대한 동시 저감기술 개발에 어려움이 있다. 그러므로 배기 규제에 대응하기 위한 NOx와 PM의 동시저감기술은 초고압 전자제어식 고압 연료분사시스템과 내구성과 재형성이 입증된 매연여과장치개발이 필요하며, 4밸브화, 터보 인터쿨링, 가변터보, 냉각식 E-EGR기술, 예혼합압축착화(HCC : Homogenous Charged Combustion) 및 De-NOx촉매개발 등을 요구하고 있다. 그러나 디젤기관의 경우, 배출가스규제 대응 시 연비악화를 반드시 수반한다. 석유 소비의 대폭적인 증가는 CO<sub>2</sub>배출량 증가로 인해 지역적인 대기환경을 개선하여도, 지구온난화 문제 등을 유발하여 지구환경을 다시 악화시키고, 국가적인 경제적 부담을 증가

시키는 문제를 야기하게 된다. 또한 주요 적용 필수 기술들이 대부분 디젤유의 황함유율이 현재의 무게비 0.05%이하보다 1/10이하의 수준을 필요로 하고 있다. 따라서 디젤유 개선이 동반되지 않으면 안되며, 이러한 연료 개발노력이 뒤따르지 않으면 환경공해개선은 목적을 달성하기가 어렵다<sup>(70-73)</sup>.

## 1. EGR 시스템(Exhaust Gas Recirculation system)

EGR(Exhaust Gas Recirculation)은 배출가스를 재순환하여 신기에 혼합하여 공급하는 방식으로 ‘배기가스 재순환 장치’라고도 부르며, 현재 가솔린기관과 소형디젤기관에 폭넓게 적용되어 양산차량에 적용되어있는 기술이다. 가솔린기관과 디젤기관에 있어 EGR시스템의 구성은 기본적으로 일치하고 있으나, EGR의 NO<sub>x</sub>저감 메카니즘에 있어서는 약간의 차이가 있음을 논의하고 있다.

Fig. 4은 가솔린기관과 디젤기관에 적용한 EGR의 기본적인 차이를 비교하여 나타낸 것이다<sup>(74)</sup>. 가솔린기관은 실린더 내에 유입되는 공기-연료 혼합기 또는 공기에 EGR가스가 추가되어 공급된다. 따라서 공연비는 변화하지 않으면서 실린더내 급기의 열용량은 EGR율에 따라 증대되어 실린더내 연소가스 온도의 상승을 억제하게 된다. NO<sub>x</sub>생성과정은 연소가스의 최고 온도에 민감하여, 가솔린기관에서 EGR 적용시 열용량 증가가 NO<sub>x</sub>감소의 주요인이 된다. 디젤기관은 흡기 스토틀이 없는 상태로 운전되므로, 동일한 기관 운전 조건에서 EGR가스를 도입하면, 실린더내의 총 가스량은 변화되지 않고, 흡입공기의 일부가 EGR가스로 대체되어 연소에 이용되는 공기가 감소하게 된다. 따라서 열용량의 증가와 더불어 공연비는 감소한다. 또한 가솔린기관에서는 EGR 가스가 혼합기와 균일하게 혼합되므로 연소가스 온도를 효율적으로 냉각시키게 되지만, 디젤기관의 경우 혼합기가 공간적으로 매우 불균일하여, EGR가스가 화염온도를 냉각시킬 때 공간적으로 제약이 따른다.

따라서 디젤기관의 연소가스온도는 가솔린기관과 같은 정도로 감소되지 않으며, 산소농도만이 EGR에 따라 감소된다. 한편 디젤기관에서 EGR에 의한 NO<sub>x</sub> 저감 메커니즘은 가솔린 기관의 연소온도 감소보다는 산소농도 감소가 NO<sub>x</sub> 저감에 지배적으로 작용한다고 볼 수 있다<sup>(75)</sup>. 이러한 디젤기관에

서의 EGR 적용은 NO<sub>x</sub>의 효율적 저감을 가져오지만 반대로 연료소비율이 악화되고 PM배출이 증가하는 단점도 가지게 된다<sup>(76-79)</sup>.

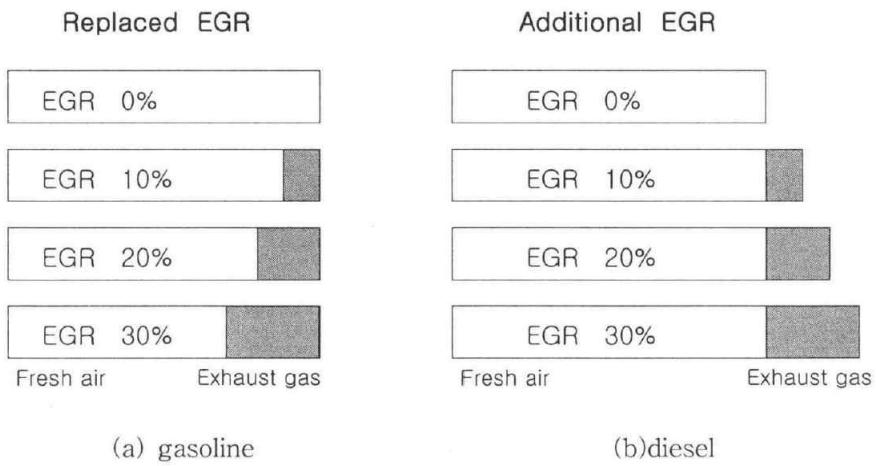


Fig. 4 Difference of EGR rate (gasoline and diesel engine)

## 2. 선택적 환원 촉매장치(SCR : Selective Catalytic Reduction)

선택적 환원 촉매장치(Selective Catalytic Reduction)란 산소와 반응을 하는 일반적인 자동차용 촉매저감장치와는 달리 배기가스내의 질소산화물(NOx)만을 선택적으로 저감하는 촉매장치이다. 제철소등의 일반산업체에서 질소산화물 저감에 이미 안정적으로 사용되어온 기술이며, 대형디젤엔진의 연비손실을 최소화하는 질소산화물 저감기술로 자리잡아가고 있다. 촉매층(Catalyst layer)에 배출가스와 환원제를 동시에 통과시키면서 배출가스내의 NOx를 환원제와의 반응에 의해 질소와 수증기로 선택적인 환원을 시키는 장치이다. 이 장치는 현재 배출규제치가 가장 엄격한 일본에서 상업적 규모로 운전되고 있는 탈 NOx 공정의 대부분을 차지하고 있고 가장 진보된 탈 NOx 공정으로 각광받고 있다. Fig. 5는 SCR 시스템의 작동원리를 나타낸 것이다.

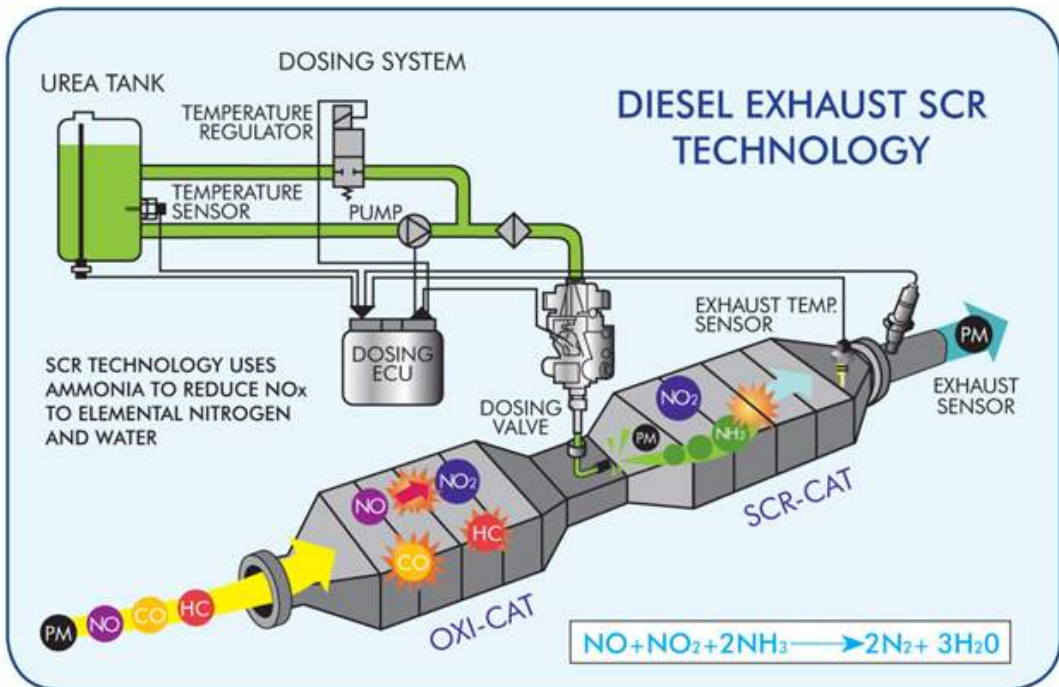


Fig. 5 SCR system map

## 제5절 전자제어 디젤엔진(Electronic control Diesel engine)

### 1. 커먼레일 직접분사식 디젤엔진

높은 열효율과 CO<sub>2</sub> 저감의 장점 때문에 직접분사식 소형 고속 디젤기관(HSDI) 엔진이 전 세계의 승용차 시장에 널리 확산되어가고 있다. 소형 고속 디젤기관(HSDI)의 바람직한 연료-공기 혼합을 위해서는 높은 레일 압력과 인젝터 노즐의 작은 분사공, 적은 섹(sac)체적 등의 조화가 중요하다<sup>(80)</sup>. 직접분사식 디젤엔진은 엔진 연소실내에 고압상태의 연료를 직접 분사함으로써 기존의 예연소실을 가지는 간접분사식 디젤엔진과 구분되고, 다양한 엔진의 운전 조건에 따라 최적의 연소 조건을 형성함으로써, 간접분사식 디젤엔진에 비해 상대적으로 높은 출력과 양호한 연료 소비율을 구현시키는 특성을 가지고 있다.

반면에, 피스톤 상부에 직접 분사된 연료는 매우 짧은 시간 내에 흡기포트로부터 유입된 공기와 최적의 혼합을 위하여 높은 분사압력으로 분사되어야 하므로, 연료 분사시스템기술이 직접분사식 디젤엔진의 핵심기술 중의 하나이다. 특히 연료분사장치의 고압화를 위한 기술개발은 지금까지의 디젤엔진의 기술개발 역사로 인식될 만큼 중요하다. 이러한 고압분사의 목적은 분사된 연료분무의 미립화 증진을 통한 연료미립자와 공기의 혼합을 향상에 있다<sup>(81)</sup>. 또한 고압상태에서 임의의 짧은 시간에 연료 분사를 위한 제어 인자로는 분사압력, 분사시기, 분사기간 그리고 분사율 등을 들 수 있는데, 이러한 다양한 제어 인자를 자유롭게 변화시켜 엔진의 운전 조건별로 최적의 분사를 달성할 수 있도록 하는 연료분사의 전자 제어화도 중요하다.

최근에는 커먼레일 연료분사시스템(common rail fuel injection system) 방식이 가장 근접한 기술로 개발되어 직접분사식 디젤엔진에 주로 적용되고 있다. 기존의 캠 제어 분사시스템과 커먼레일 분사시스템의 근본적인 차이는 분사기간 동안에 분사노즐에 공급되는 연료압력이 일정하게 유지된다는 점이다. 커먼레일을 장착한 연료분사시스템에서는 연료의 가압을 위해 레디얼 피스톤펌프가 고압펌프로 사용되며, 이 가압과정은 연료의 분사과정과는 독립적으로 제어될 수 있어, 실제적인 혼합기 형성에 보다 많은 제어 자유도를

가질 수 있다. 즉, 연료의 공급이 실제로 일정하게 유지될 수 있기에, 분사된 연료량은 인젝터의 작동기간에만 직접적으로 비례하게 됨으로 연료 분사량은 엔진운전조건과 완전히 독립되어 제어될 수 있다<sup>(82)</sup>.

기존의 분사시스템들은 낮은 속도조건에서는 분사압력이 낮아 연료-공기 간의 충분한 혼합을 하는데 있어서 문제점이 있어 상대적으로 강한 스웰 (swirl) 유동을 필요로 한다. 그러나 스웰 강도는 엔진속도에 의존하기 때문에 기능이나 유연성 측면에서 볼 때 고압분사에 의한 연료-공기 혼합보다 좋지 않다<sup>(83)</sup>. 커먼레일 분사시스템은 여러 개의 모듈로 구성되어 있다. 그 구성 모듈로서는 토출 연료량이 조절되는 고압 펌프, 연료 레일과 고압 파이프, 인젝터, 전자제어 유닛, 각종 센서 및 액츄에이터 등이다.

## 2 커먼레일 시스템의 분사 특성

Fig. 6는 인젝터에 따른 연료분사 특성을 나타낸 그림이다.

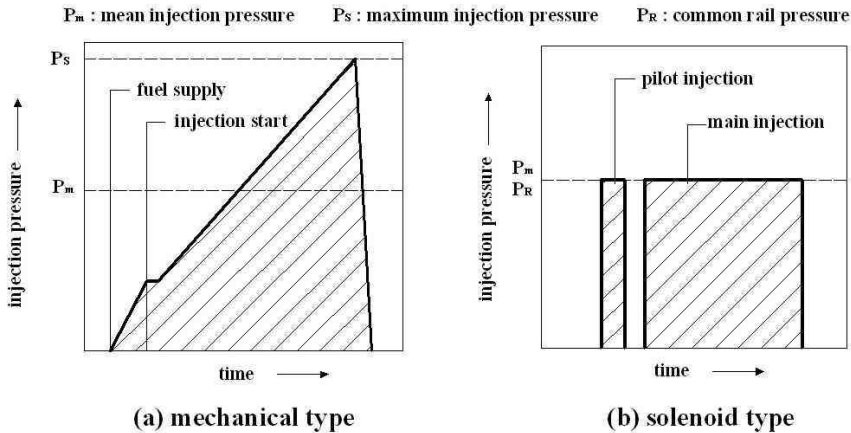


Fig. 6 Comparison of fuel release rate each injector

### a. 기계식 분사장치의 특성

기계식 연료분사 특성은 기계적 분배형 인젝션시스템을 지니고 있는 기존의 분사시스템에서, 연료분사는 파일럿과 후분사가 없는 단지 주분사 상태만을 의미한다. 근래에 와서 전자펌프의 등장으로 파일럿 분사 단계의 도입이 개발 진행되고 있지만 기계식 시스템에서 압력발생과 분사된 연료량의 공급은 캠과 펌프 플런저에 의해 서로 연결되고, 이것은 분사특성에 다음과 같은 영향을 미친다.

첫째, 분사압력은 가속도와 분사된 연료량과 함께 증가하고,

둘째, 실제 분사과정동안에 분사압력은 증가하고 분사말기에 노즐이 닫혀 압력은 떨어진다.

그렇기 때문에 구조적으로 연료분사량을 제어할 때는 연료분사량이 적을 시에는 낮은 압력으로, 연료분사량이 많을 시에는 높은 압력으로 분사된다. 결국 최대압력은 평균 분사압력보다 2배 이상 크다. 효율적인 연소에 대응하는 시점에서는, 실제로 방출율(rate-of-discharge)이 삼각형태로



모든 구간에서의 정교한 연료 분사량 제어가 어렵다. 최대압력은 연료-분사 펌프의 구성요소와 운전의 기계적 부하에 대해 결정적인 영향을 미치고 기존의 연료분사 시스템에서, 연소실 최대압력은 연소실에서 형성되는 공기-연료 혼합물의 양에 의해 결정된다.

## b. 커먼레일의 분사 특성

Fig. 6의 (b)는 커먼레일에 사용되고 있는 솔레노이드(solenoid) 인젝터의 연료분사 특성을 나타내고 있으며, 기존의 분사특징과 비교하여 이상적인 분사를 위해 다음의 조건이 요구된다.

첫째, 연료 분사량과 분사압력은 각각 그리고 모든 엔진 작동조건에 대해 상호간 독립적으로 정의될 수 있어야 한다. 즉 이상적인 공기-연료 혼합물을 형성하기 위해 충분한 자유도가 제공되어야 한다.

둘째, 분사과정의 초기에 분사된 연료량은 가능한 적어야 한다. 즉, 분사개시와 연소개시 사이의 점화지연동안 이러한 요구는 파일럿과 주분사특징을 가지는 커먼레일 어큐뮬레이터 분사시스템에서 가능하게 할 수 있다.

커먼레일 시스템은 모듈시스템이고, 기본적으로 고압펌프, 연료레일(커먼레일), 인젝터 등의 구성요소가 분사특징에 대해 중요한 역할을 한다. 또한 시스템작동을 위해 기본적으로 전자제어유니트(ECU), 크랭크샤프트-속도센서, 캠샤프트 속도센서(상태센서)등이 필요하다. 소형디젤엔진에서는 플런저-피스톤펌프가 압력발생을 위해 고압펌프로 사용된다. 압력은 분사과정에 독립적으로 생산된다.

고압펌프의 속도는 불변 전달률(non-variable transmission ratio)을 가지며 엔진에 의해 구동된다. 기존의 분사시스템과 비교하여 이송량이 일정하다. 따라서 고압펌프의 크기가 작아지고 펌프의 구동력이 적게 소요되며 엔진부하와 고압발생은 독립적으로 행해질 수 있다. 이렇게 되어 커먼레일의 고압펌프가 작아질 수 있다.

펌프의 인젝터는 짧은 라인으로 레일에 연결되고, 기본적으로 노즐과 분사개시에 스위치를 열기 위해 ECU로부터 에너지를 제공하는 솔레노이

드밸브로 구성된다. 솔레노이드밸브의 스위치가 닫히지면, 분사는 종료된다.

일정한 압력이라고 가정하면 분사된 연료량은 솔레노이드밸브의 활성화된 시간과 직접적으로 비례한다. 이것 역시 엔진과 펌프의 속도(시간-제어 연료분사)에 완전히 독립적이다. 매우 신속한 솔레노이드 스위칭(개폐)은 높은 전압과 전류에 의해 이루어지고 이것은 ECU에서 솔레노이드 밸브 구동단계가 순차적으로 설정되어야 함을 의미한다. 분사의 시기계산은 EDC(전기적 디젤 제어)의 각도-시간 제어 시스템에 의해 제어된다. 이것은 엔진속도를 기록하기 위한 크랭크샤프트에 있는 센서와 상태감지를 위한 캠샤프트에 있는 센서를 사용한다.

### c. 파일럿 분사(pilot injection)

주분사전의 소량 예비분사를 일컫는다. 파일럿 분사는 TDC에 비교해서 90도 크랭크샤프트(90°CA)까지 진각될 수 있다. 만약 분사개시가 BTDC보다 40도 이전에 일어나면, 연료는 피스톤 표면과 실린더벽에 침전될 수 있고 비정상적으로 윤활유와 혼합될 수 있다. 파일럿 분사에서는 디젤연료의 소량(1~4mm<sup>3</sup>)이 연소실의 예비조건(precondition)을 위해 실린더에 분사되며 이로 인해 연소효율은 전체적으로 향상되어 다음의 효과가 달성된다.

- ① 압축압력은 파일럿 반응과 부분연소 때문에 조금 증가한다.
- ② 주분사 점화지연이 감소된다.
- ③ 연소압력 상승의 감소와 연소압력 피크치의 감소(훨씬 부드러운 연소)

이러한 효과는 연소소음과 연료소비율 및 배기가스를 감소시키며 파일럿 분사가 없는 방출을 곡선에서, 초기에 작게 압축된 라인에서는 TDC 이전에 완만한 압력상승이 명백하다. 그러나 이후 최대 압력점에서는 상대적으로 날카롭다. 가파른 압력상승은 디젤엔진의 연소소음에 상당한 영향을 끼치는 피크치와 같이 증가한다. 파일럿분사가 있는 방출을 곡선에서는 TDC근처에서의 압력은 다소 높은 값이고, 연소-압력은 덜 가파르게 증가한다. 파일럿 분사는 착화지연을 감소시키기 때문에 엔진의 토크

발생에 간접적인 기여를 하고 특성상 연료소비율은 주분사의 개시와 파일럿과 주분사 순서사이의 시간의 함수로써 증가하거나 감소할 수 있다.

#### d. 주분사(main injection)

엔진의 출력에 대한 에너지는 주분사로부터 나온다. 커먼레일 어큐물레이터 연료분사 시스템에서, 분사압력은 분사과정 전체를 통해 실제적으로 일정하게 유지된다. 주분사의 기본 값으로 사용되는 것은 요구 엔진 토크량(악셀레이터 페달센서 값), 엔진회전수, 냉각수온도, 흡기온도, 대기압 등의 값을 받아 주분사 연료량을 계산하고 또한 예비분사가 실행되었는지를 고려하여 연료량을 계산한다.

### 3. 커먼레일 엔진 장점

- (1) 연료의 압력을 제어하여 직접 분사하기 때문에 고압을 유지할 수 있어 연소 효율을 높일 수 있다.
- (2) 엔진의 회전수와는 관계없이 분사압, 분사량, 분사율, 분사시기를 독립적으로 제어할 수 있다.
- (3) 엔진의 회전수에 의해 연료분사 제어를 하는 것과 달리 엔진의 회전수와 연료분사가 독립적으로 이루어지기 때문에 설계가 용이하고, 부품수가 줄어 경량화가 가능하게 되었다.
- (4) 연소효율이 높아 출력이 올라가고, 유해물질의 배출량을 줄일 수 있다.
- (5) 승차감에서는 기존의 기계적인 연결에서 생기는 진동과 소음이 커먼레일 방식에서는 발생하지 않아 가솔린 엔진보다 조금 더 높다.

## 제3장 바이오디젤

### 제1절 바이오디젤유

최근에 청정 대체 에너지원으로 각광받는 바이오연료의 하나인 바이오디젤은 환경친화적 특성으로 인해 수송용 연료에 가장 활발하게 적용되고 있다. 바이오디젤은 기존 공급 인프라에 큰 변화를 가하지 않으면서 화석연료를 대체할 수 있고 환경오염 물질의 배출도 상당량 줄일 수 있다. 더구나 최근의 고유가 지속은 중동산 석유의 의존에서 벗어나려는 나라들로 하여금 바이오연료 보급 및 지원을 확대하려는 정책을 펴고 있다.

미국은 최근에 2025년까지 중동산 수입 석유량을 현재의 25%수준으로 줄이겠다는 야심찬 계획을 발표하였다. 이의 핵심은 바이오연료의 보급 확대로 미국 정부는 연료 생산 보조금, 관련 연구개발 투자 등 정책적 지원을 늘릴 방침이다. 미국은 석유의 60%를 수입에 의존하고 있으며 이 중 20%가량이 중동산이다. 현재의 수급 추세대로라면 2025년 75%의 석유를 수입해야 하는 실정이다.

유럽의 경우 EU 차원은 물론 각국 정부에서 바이오연료가 경제뿐 아니라 환경 문제 해결을 위한 정치적인 이슈로 급부상하고 있다. EU는 전체 연료에서 바이오연료가 차지하는 비중을 2005년 현재 2%수준에서 2010년 5.75%로 높일 계획이다. 영국을 비롯하여 스페인, 프랑스, 독일 등의 각국 정부는 보조금 지급 기업 육성 및 연구개발 지원 등을 통해 바이오디젤과 에탄올의 상업화를 적극 유도하고 있다.

바이오연료 시장은 과거 인터넷 산업의 성장과 비교될 정도로 그 가능성을 높게 평가받고 있다. 먼저 석탄, 석유와 같은 화석연료에 대한 과도한 의존이 지속적인 문제로 제기될 전망이다. 또한 기존 연료와 손쉽게 병용할 수 있는 재생 에너지는 자원의 고갈 없이 보존되어질 수 있는 에너지 자원을 말한다. 예를 들어 태양광, 태양열 에너지와 풍력, 조력, 바이오매스, 수소 에너지 등이 있다. 이 중 바이오매스는 사용 시 이산화탄소를 방출하는 유일한 재생 에너지 자원이다. 하지만 사용 중 방출된 이산화탄소는 바이오매스가 광합성을 통하여 이를 소모함으로써 상쇄되어진다. 따라서 바이오매스는 재생 가능하며 이산화탄소의

순 발생량이 전혀 없는 청정 에너지원으로의 사용 가능성으로 인하여 최근에 들어와 큰 주목을 받고 있다.

그 중에서도 최근에 가장 각광을 받고 있는 바이오에너지로는 바이오디젤이 있다. 바이오디젤은 식물성·동물성 유지와 같은 재생 가능한 생체 자원으로부터 만들어진다. 바이오디젤은 그 자체만으로도 디젤유를 대체하여 기존 경유용 승용 승합차에 별도의 엔진 개조없이 사용될 수 있는 대체 연료이다 현재 우리나라에서는 경유에 바이오디젤을 20% 혼합한 B20을 시판 중에 있다. 바이오디젤은 디젤유에 상응하는 점도, 끓는점, 그리고 높은 세탄가를 가지고 있어 사용하기 쉽고, 생분해도가 높으며, 독성이 없고, 본질적으로 황과 방향족을 포함하지 않아 청정연료로서 그 수요가 크게 증대될 것으로 예측하고 있다. 바이오디젤은 청정대체연료로 이용되고 있으며, 최근에는 환경 친화적 제품의 합성 중간체로써 섬유, 세제, 화장품 산업의 계면활성제, 세척용제, 저공해 농약의 용제 등으로 이용범위가 확대되고 있다. 150°C의 인화점을 가진 바이오디젤은 경유(64°C)에 비해 불이 잘 붙지 않고, 더구나 폭발하기 쉬운 휘발유(-45°C)보다는 안정적이다. 실제로 바이오디젤은 미국 산업안전보건청(OSHA)이 비가연성 액체로 분류하고 있다. 하지만 당연히 충분히 높은 온도가 되면 불이 붙는다. 이 같은 특성 때문에 순수 바이오디젤을 연료로 쓰는 차량은 사고에 더 안전하다고 볼 수 있다.

바이오디젤은 동결점이 경유보다 높으므로 (약 -5°C) 추운 기후에서 순수한 형태로 사용하는데 제약이 있다. 또한 5°C이하에서는 유동성이 떨어져 연료 공급이 원활하지 못하다. 이러한 이유로 100%의 바이오디젤(BD100)을 사용하는 것보다 경유와 혼합하여 사용하게 된다. 경유와는 달리 바이오디젤은 미생물에 의해 분해되며, 독성이 없다. 그리고 연료로서 연소될 때 독성이나 기타 배출물이 현저하게 적다. 메틸 에스터를 제조하기 위해서는 대개 메탄올을 사용하지만, 에틸 에스터 바이오디젤을 제조하는 데는 에탄올도 사용할 수 있다. 에스터 교환 과정의 부산물로 글리세롤이 생성된다.

현재 바이오디젤은 보통 경유보다 생산가가 높기 때문에, 이 점이 종종 대중화의 최대 걸림돌로 지적되고 있다. 원유 값의 상승에 따라, 바이오디젤의 경제 규모는 앞으로 이 같은 현실이 뒤집어지는 것도 가능하다. 그러나 식물성 기름이나 동물성 지방의 전 세계 생산량은 액체 화석 연료의 이용량을 대체할 수준에는 미치지 못한다. 일부 환경 단체, 특히 천연자원 보호협의회(NRDC)에서는

더 많은 식물성 기름을 생산하기 위해 광범위한 재배가 이루어지고 결국 과도한 비료, 농약의 사용을 빚을 것이라고 비판하고 있다.

## 1. 바이오디젤유의 특성

바이오디젤은 염기 또는 산 촉매 상에서 메탄올과 트리글리세라이드의 전이에스테르화 반응에 의해 생성되어지며, 반응식은 Fig. 7과 같다. 또한 Fig. 8에서 알 수 있듯이 바이오디젤은 기존의 디젤과 달리 산소원자를 가지고 있기 때문에 환경에 미치는 영향이 상대적으로 적다. 반응 시 내재하고 있는 산소가 연소 시 완전연소를 가능하게 한다. 바이오디젤 원료로는 폐식용유, 폐오일 등을 수거하여 생산하기도 하고 식물성유인 유채유, 대두유, 코코넛유, 야자수유, 해바라기유, 쌀겨유, 팜유 등을 사용하기도 한다. 바이오디젤의 생산에 사용되는 식물성유는 불포화 지방산의 함량에 따라 바이오디젤의 물성이 많이 달라지게 된다. 독일에서 주로 사용되는 유채유는 비교적 점도가 낮은 편이어서 생산된 바이오디젤의 물성이 비교적 낮은 온도에서도 좋은 온도 물성을 보인다. 그러나 대두유를 사용하여 바이오디젤을 생산할 경우 좀 더 높은 불포화 지방산에 의해 낮은 온도에서의 물성이 나빠지게 된다. 특히 고도의 불포화지방산을 포함하는 팜유를 이용할 경우 낮은 온도에서 결정이 산출하므로 특별한 에이전트의 사용을 필요로 한다. 국내에서 생산되는 바이오디젤은 다음의 표와 같이 18개 이상의 물성에서 기준치 이상의 품질을 확보해야만 판매가 허용된다. Table 9는 바이오디젤 BD100과 BD20의 품질기준이다.

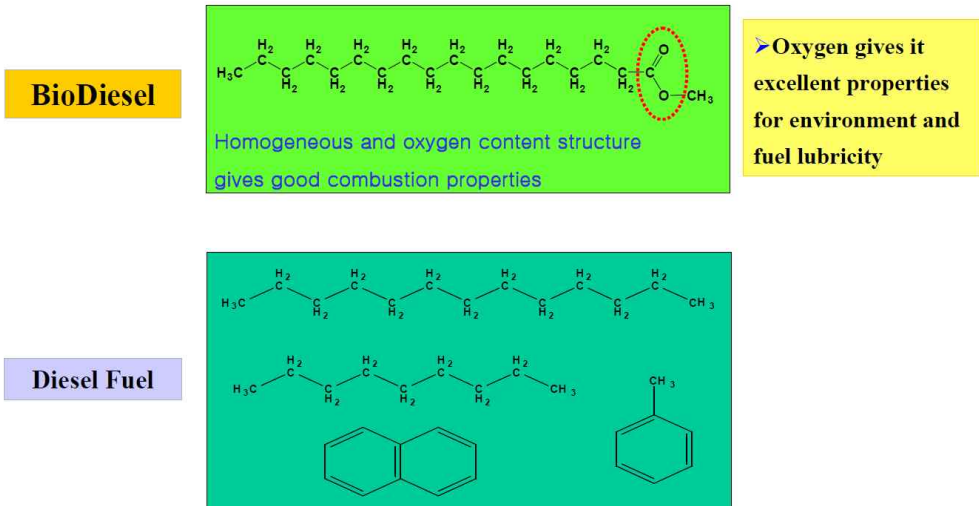


Fig. 7 The molecular structure of biodiesel and diesel

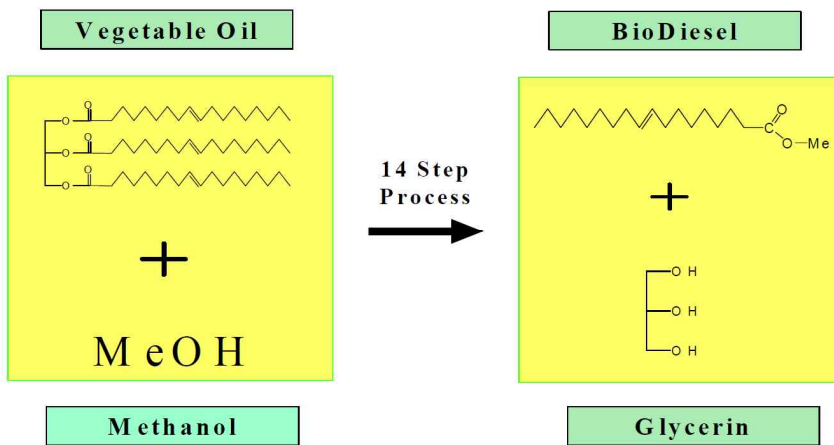


Fig. 8 Reaction of biodiesel

Table 9 Quality standards of BD100 and BD20

Item	Condition & unit	standard	
		BD 100	BD 20
Ester content	%mass	95.0	-
Density	15°C, $kg/m^3$	-	0.815~0.855
Flash point	°C	≥ 100	≥ 40
Kinematic viscosity	40°C, $mm^3/s$	1.9~6.0	1.9~5.5
Pour point	°C	-	≤ 0.0
Distillation	90%, °C	≤ 360	≤ 360
Carbone content residue, 10%	%mass	-	≤ 0.15
Carbone content residue, 100%	%mass	≤ 0.5	-
Sulfated ash	%mass	≤ 0.02	≤ 0.043
Ash	%mass	≤ 0.01	≤ 0.02
Cetane No.	Cetane Index	-	≥ 45
Copper corrosion	100°C, 3h	≤ 1	≤ 1
water and Sediment	%vol	≤ 0.05	-
Free glycerol	%mass	≤ 0.02	≤ -16
Total glycerol	%mass	≤ 0.240	-
Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	ppm	≤ 5	-
K <sup>+</sup>	ppm	≤ 5	-



Fig. 9은 바이오디젤의 생명주기에 대한 바이오매스 탄소 균형을 나타낸 것이다.

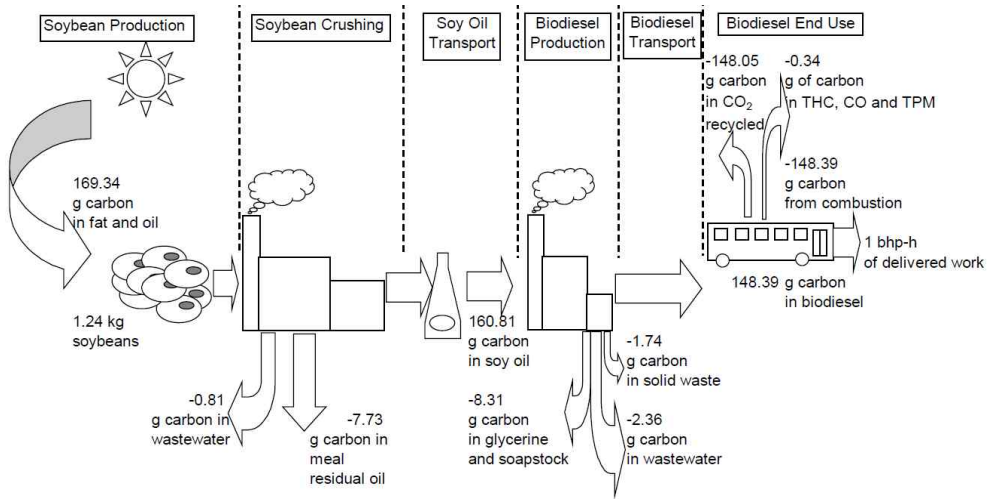


Fig. 9 Biomass Carbon Balance for Biodiesel Life Cycle (g carbon/bhp-h)

\* g carbon/bhp-h : All numbers presented as carbon equivalent. To calculate actual CO<sub>2</sub> emissions, multiply carbon equivalent numbers by 3.67 (the ratio of the molecular weight of CO<sub>2</sub> divided by the molecular weight of carbon).

## 2. 바이오디젤유의 배출가스 특성

바이오디젤은 미국 환경보호청에서 최초로 배출가스평가 결과 건강효과를 줄 수 있는 유망하고 유일한 대체에너지로 제시되어 미국의 연료첨가제나 연료보증서에 대해 미국환경보호청(Environmental Protection Agency)에서 요구되는 가장 엄격한 시험규약을 포함하고 있으며 배출가스는 팜콘이나 프렌치프라이같은 일반 식용유 냄새가 난다.

Table 10은 바이오디젤 함유량에 대한 디젤엔진의 배기가스타입을 나타낸 표이다. 실험을 통해서 얻어진 데이터는 환경과 인간의 건강효과에 가장 적

합한 상태를 제시하여 현재의 에너지기술을 개발하는데 기여한다. 바이오디젤의 오존(스모그)생성 가능성이 디젤연료보다 적으며 HC 배출물의 오존생성 가능성은 디젤연료에서 측정된 것보다 거의 50%(B20:10%)정도였다. 황배출물은 순수 바이오디젤에서 근본적으로 제거되어 산성비의 주요 성분인 산화황과 황산염의 배출가스는 디젤연료에 비교하여 거의 발생하지 않으며 (B20:20%감소)바이오디젤은 합산소연료이므로 CO의 배출은 B100을 기준으로 거의 50% (B20:20%)가 낮으며 PM 배출물은 디젤보다 30%(B20:22%)정도 낮게 나타난다. NOx 배출물은 B20의 경우 기관 시험과정 및 연료형태에 따라 증가하거나 감소하지만 B100은 13%정도 증가한다.

그러나 바이오디젤에서 황의 감소로 일반디젤에서 적용될 수 없는 NOx 제어기술로 더 많은 감소가 가능하다. 따라서 바이오디젤의 NOx 배출물은 연료이용기술에 따라 효과적으로 제어할 수 있다. Table 11은 바이오디젤 함유량에 대한 탄소의 생성을 나타낸 것이다.

바이오디젤에서 배출되는 배출가스 중 TPM은 SOF의 증가율에 좌우되는데 배출가스 중 SOF증가율이 크면 TPM은 증가하고 SOF증가율이 작으면 TPM은 감소할 수 있다. SOF의 증가는 미연소에 의해 실린더와 피스톤 및 밸브 사이에서 오일을 열화시키며 배출가스 중에서 SOF가 절대적인 영향을 미치므로 DOC에 의한 감소대책이 필요하다. 또한 바이오디젤은 Sulfate나 CO, HC, Soot 등을 감소시키며 NOx는 조금 증가하지만 HC와 CO가 감소되는 원인은 바이오디젤이 합산소 연료이며 세탄가가 높아 완전연소에 가깝기 때문이고 PAHs의 감소는 HC와 CO의 감소에 의한 영향이다.

그러나 알데히드는 알콜 연료의 특성상 약간 증가하며 증가의 정도는 기관 부하조건에 따라 다르다. NOx는 연료중의 바이오디젤에서 배출되는 비율이 높는데 이는 산소함량 증가에 따라 완전연소에 기인된다. 미국 EPA규정에 의하면 Soot는 디젤연료보다 약 50%정도 낮은 수준으로 평가되며 미량규제물질은 순수 바이오디젤이 일반연료에 비해 10배정도 낮은 수준이며, Lower heating value에 의해 엔진 Power가 약간 감소하나 무시할 정도이며 오일의 점성이 기본연료보다 크므로 윤활성이 좋아 마찰력이 감소할 수 있다. 고부하 조건에서 NOx는 증가하고 PM은 감소하나 순수 바이오디젤은 B20에 비하여 PM의 감소율은 높은 반면 NOx 감소율은 다소 낮으며, 필터 교환주기가 빠르고 엔진오일 소손, 오일회석 및 고무퇴화 등을 야기시키며

특히 B100은 고무연료 라인을 심하게 오염시킨다.

현재 바이오디젤의 내구성은 1992년 보도자료에 의한 RNALS B 5.9liter 엔진으로 REM연료를 이용하여 161,000 km의 내구성을 실험한 결과를 토대로 볼 때 B100은 카본함량이 적으므로 Soot량도 급격히 감소한다<sup>(84)</sup>. 또한 바이오디젤의 히터 릴리즈는 바이오디젤이 디젤연료보다 약간 크게 나타났다.

Table 10 Bio-Diesel emissions compared to conventional diesel

	Emission type	Characteristics	
		B100	B20
Regulated	Total unburned hydrocarbons	-93%	-30%
	Carbon monoxide	-50%	-20%
	Particulated matter	-30%	-22%
	NOx	13%	2%
Non-Regulated	Sulfates	-100%	-20%
	PAH(Polycyclic aromatic hydrocarbons)	-80%	-13%
	nPAH(nitrated PAH's)	-90%	-50%
	Ozone Potential of speciated HC	-50%	-10%

Table 11 Effects of biodiesel on tailpipe emission(g/bhp-h)

Emission	Effects		
	Diesel Fuel Baseline	20% Biodiesel Blend	100% Neat Biodiesel
Carbon dioxide (fossil)	633.28	534.1	136.45
Carbon dioxide (biomass)	0	108.7	543.34
Carbon monoxide	1.2	1.089	0.6452
Hydrocarbons	0.1	0.09265	0.06327
Particulate matter(PM10)	0.08	0.0691	0.02554
Sulfur oxides (as SO <sub>2</sub> )	0.17	0.14	0
Nitrogen oxides (as NO <sub>2</sub> )	4.8	4.885	5.227

### 3. 유허 특성

바이오디젤은 유허성 측면에서 일반경유나 저황유보다 우수하다는 것이 입증되었다. 디젤기관은 연료펌프나 인젝션 시스템의 과도한 마찰에 의해 인젝션 펌프나 기관수명을 감소시키므로 유허성 증대가 시급하다. 바이오디젤은 종류에 따라 유허성에 약간의 차이가 있으며, 이것을 평가하는 기준은 식물의 종류와 오일의 성분에 따라 유허효과가 다르게 나타난다. 바이오디젤의 유허성 평가기준은 마모자국의 범위, 마찰계수 및 유허넘버 등을 고려하여 유허첨가제의 비율을 조절하고<sup>(85)</sup>, 그 종류에 따라 기본성능을 평가하며 유허성이 양호한 오일을 찾기 위한 최적화 노력이 활발히 진행되고 있다. 유허성 시험은 벤치테스터나 단품에 의한 시험이 수행되고 있으나 테스트에 소요되는 시간과 비용을 고려하여 적절한 테스트조건과 모드를 선정하는 것도 중요하다<sup>(86)</sup>. 또한 테스트시 오염에 대한 원인을 찾고 신뢰성 확보가 선행되어야 하는 문제점을 안고 있다.

고압력 직분사 디젤기관은 연료펌프나 인젝션 시스템에 과도한 마모가 일어날 수 있으며 이를 방지하기 위해 연료의 유허성 향상을 요구한다. 초기에는 디젤연료를 사용할 때 기관의 마모와 인젝션 펌프의 고장율이 높았으나 바이오디젤에서 황이나 방향족의 감소로 이러한 문제점을 해소하고 환경오염을 줄이는 결과를 가져온다. 아울러 일반경유에 지나치게 황을 감소하면 연료의 점성에 영향을 주며 엔진출력 감소와 기밀성불량을 일으킬 수 있으며 ULSD의 경우 점성 및 기밀성문제로 어려움이 있으나 바이오디젤을 이용함으로써 해결할 수 있다. 바이오디젤이 일반경유보다는 유허성이 뛰어나 엔진수명을 증가시키며 연소시 SO<sub>2</sub>를 배출하여 산성비를 생성하는 주요인인 황을 대체하여 이용되므로 프랑스에서는 모든 디젤연료는 황성분을 대신할 수 있도록 5%의 바이오디젤을 포함시켜 사용하고 있다.

## 제4장 실험장치 및 방법

### 제1절 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정실험

#### 1. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정방법

일반적으로 자동차 검사에 대한 관계법령인 “자동차 검사 및 점검 시행요령 등에 관한 규정 제5조인 점검시행”에서 “운행차 배출가스 검사방법(제5조 관련)”을 기준으로 검사한다<sup>(87)</sup>. 검사장비는 차대동력계, 배출가스 분석기, 매연측정기로 구성되어 있으며, 커먼레일 엔진은 한국형 경유 147(KD147모드 : 부하 검사방법)은 승용 및 중형 이하 승합 화물, 특수 경유사용 자동차의 매연농도를 측정한다. 매연의 검사장비에 필요한 전산시스템은 KD147모드를 적용하였으며 광투과식 매연측정기는 부분 유량 채취방식(Partial flow principle)이 사용되었다. 따라서 측정된 매연은 농도단위(%)로 표시된다. 본 연구에서 정확한 측정을 위하여 배기관의 벽면으로부터 5 mm 이상 이격 시켜 측정하였다<sup>(88)</sup>.

#### 2. 인젝터 클리닝 방법

CRDI(Common-rail diesel engine)에서 인젝터 클리닝(Injector cleaning)은 인젝터의 바디와 노즐을 분리하여 노즐 끝의 탄소 퇴적물을 깨끗이 제거하여 다시 인젝터 바디와 노즐을 재조립한다. Fig. 10는 인젝터 노즐 클리닝 전과 후의 노즐의 상태를 비교한 것으로 클리닝 전은 노즐 끝의 탄소 퇴적물에 의하여 연료의 분사가 고르지 않고 분사저항이 크게 나타나며, 인젝터 클리닝 후 연료의 노즐의 분사부위가 깨끗해 졌으며 분사량이 고르게 분사될 수 있도록 퇴적물들이 제거되었음을 확인할 수 있다. 또한 인젝터 클리닝 후 연료의 분사형태를 Fig. 11에 보여주고 있다. 클리닝 후 인젝터에서 분사되는 연료의 분사형태가 각 방향으로 일정하며 분압도 일정하게 형성되었음을 확인할 수 있다.

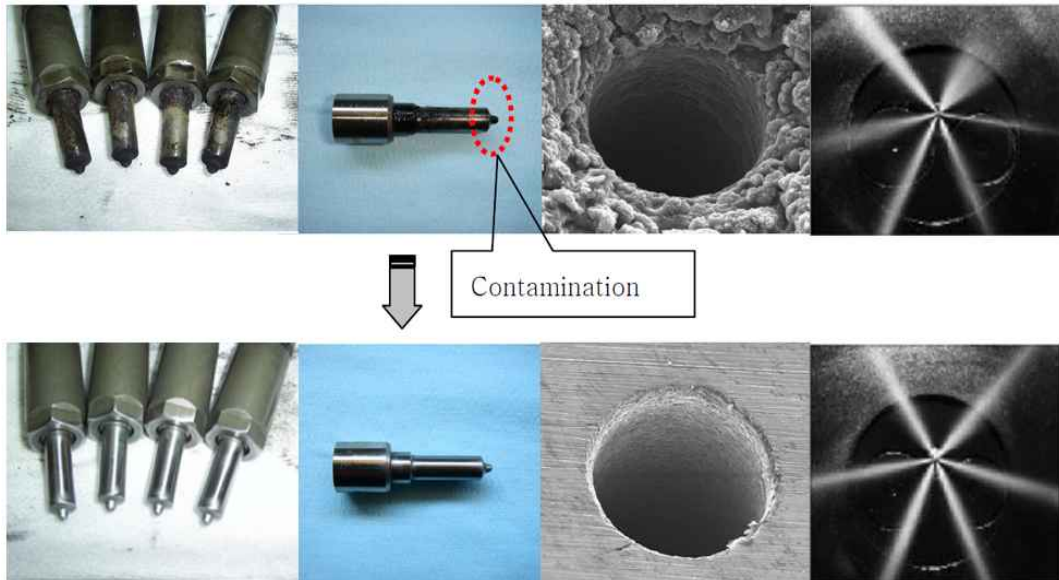


Fig. 10 Normal and abnormal nozzle tips



Fig. 11 Nozzle injection of cleaning injector

### 3. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정방법

차량의 매연 측정 시 매연의 측정값은 0.25초마다 측정된다. 매연 배출허용기준이 30%이상인 경우, 매연 농도 30%이상 측정치를 기준으로 3초 전과 3초 후를 합친 총 7초 동안의 산술평균값을 구하여 7초 동안의 산술평균값이 20%를 초과하면 앞에서 측정된 매연 30%이상 측정치 전·후의 1초 동안 산술평균값을 측정값으로 하고, 20% 이하이면 최고측정치 전·후 7초 동안의 산술평균값을 측정값으로 한다. 전·후 7초 동안의 산술평균값은 식(4.1)을 이용하여 계산하였다.

$$AVE = \frac{(A_{n-14}) + \dots + A_n + \dots + (A_{n+14})}{B} \quad (4.1)$$

$AVE$  = 평균값(Average)

$B$  = 측정된 Data 수

$A_n$  = 30%이상 매연발생 값

$A_{n \pm 14}$  = 매연 30% 전·후 7초 동안의 값

7초 산술 평균값이 20% 초과일 때 중심값(30%이상 측정값)의 전 0.5초와 후 0.5초 동안의 평균값은 다음과 같다.

$$AVE = \frac{(A_{n-2}) + \dots + A_n + \dots + (A_{n+2})}{B} \quad (4.2)$$

식(4.2)에서 B의 수는 5개이다. 반면, 7초 산술 평균값이 20%이하 일 때는 식(4.1)과 같다. 식(4.1)의 B의 값은 29개 이다.

Fig. 12은 매연 측정장치로 차대동력계에서 도로 부하마력을 설정하고 주행 패턴에 따라 가속, 급가속, 정속, 급감속, 감속하여 시험한 결과를 보여주고 있으며 반복시험의 정확성, 주변소음, 시험차량 안정성이 다른 검사방법에 비해 우수하며, 특히, 엔진 가속페달 밟는 양 등의 임의조작 영향이 가장 적게 나타나는 KD147 모드를 실험 조건으로 설정하였다. 이는 차대동력계에서 차량중량에 따라 도로 부하마력을 설정한 다음 IM240 모드의 1단계 주행주기를 이용하여 147초 동안 최고 83.5 km/h까지 가속, 정속, 감속하면서 매연농도(%)를 측

정하는 한국형 운행경유차 검사모드이며 이를 Fig. 13와 Table 12에 나타내었다. 매연농도는 부분유량 채취방식의 광투과식 분석방법을 채택한 측정기를 사용하여 측정하였다<sup>(87,89)</sup>. 경유 자동차에 대한 일반적인 매연 검사방법은 한국형 경유147(KD-147모드)의 운행차 수시점검 및 정기검사의 배출허용기준에 의한 매연검사이며 이를 나타내는 기준은 Table 13과 같다.

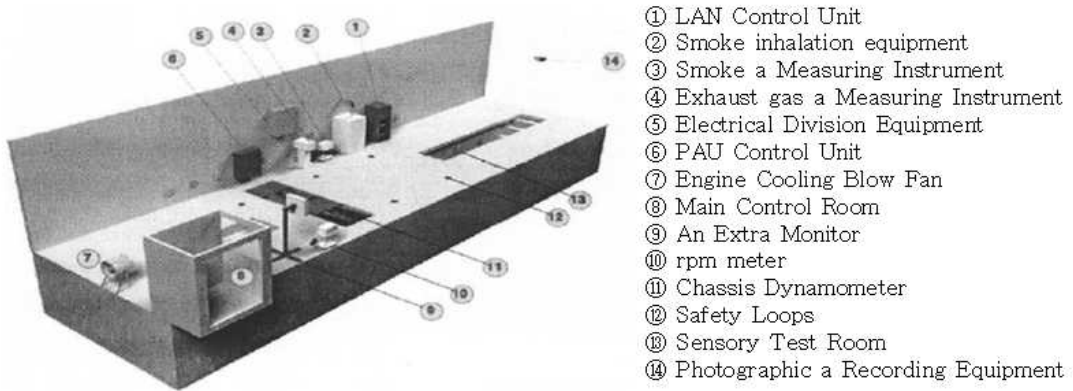


Fig. 12 Layout of Exhaust Emission Close Inspection Test



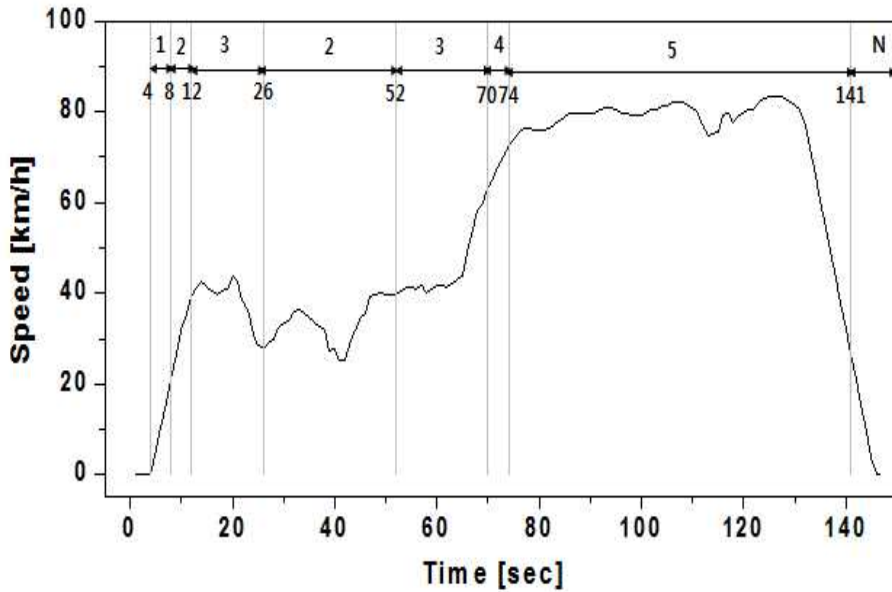


Fig. 13 KD147 mode driving graph

Table 12 Gear change with time of KD147 mode

Time	4	8	12	26	52	70	74	141
Gear change	1	2	3	2	3	4	5	N

Table 13 Based on diesel vehicle Exhaust gas standards

Check Items		Exhaust Gas	
Application Data		~2011.12.31.	2012.01.01 ~
Manufacture Data	~1992.12.31.	50% Below	45% Below
	1993.01.01. ~ 1995.12.31.	45% Below	40% Below
	1996.01.01. ~ 2000.12.31.	40% Below	35% Below
	2001.01.01. ~ 2007.12.31.	30% Below	25% Below
	2008.12.31.	20% Below	15% Below

## 제2절 배기가스 성분 분석 실험

본 연구는 ‘제1절 매연 측정실험’을 통하여 확인된 매연 및 배출가스에서 인체에 유해한 영향을 끼치는 성분인 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO를 분석하고, 이와 같이 현재 운행 중인 디젤엔진을 장착한 차량의 운전조건 변화에 따른 배기가스 성분분석을 통하여 인체에 유해한 성분을 저감하는데 그 목적이 있다. 디젤엔진 차량의 경우 엔진의 출력에 맞는 디젤엔진이 장착된다. 하지만 본 연구에서는 실험의 정확성을 위하여 가장 일반적인 D-2.0(D4EA)엔진을 사용하여 실험하였다. 그리고 D-2.0(D4EA)엔진으로 실험하기 위하여 시뮬레이션 성능실험 장치를 제작한다. Fig. 14은 본 연구에서 제작된 실험장치의 계통도를 나타내고 있다. 배기가스 측정의 직접적인 원인이 되는 부분은 엔진의 연소실의 조건에 따른 연소반응에 의하여 이루어지며 이러한 연소반응으로 배기가스의 성분이 결정된다.

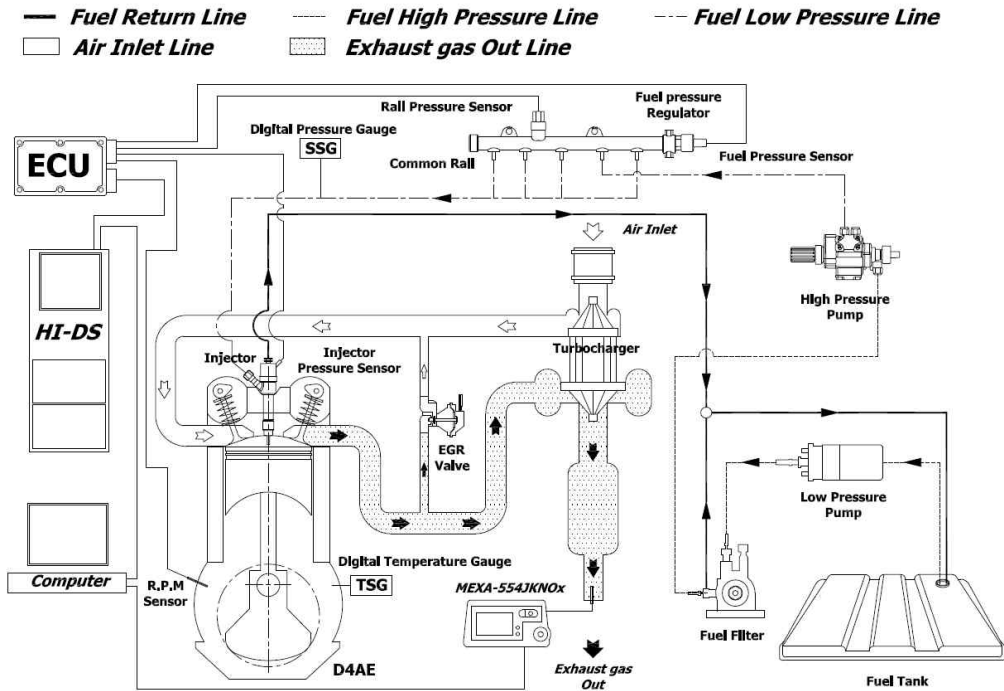


Fig. 14 Common rail engine configuration map

Fig. 15는 Fig. 14의 연료의 흐름 및 ECU에서 제어하는 신호를 쉽게 나타낸 블럭선도이다. 연료압력을 높이거나 낮추기 위하여 듀티제어(Duty Control) 방식의 PWM 제어를 이용하여 연료공급시의 압력을 제어하는 것을 나타내었으며, Fig. 16는 제작이 완성된 실험장치의 모습을 보여주고 있다. 커먼레일 시뮬레이션 엔진에 연료압력센서가 있지만 정확한 연료압력의 측정을 위하여 연료의 고압라인에 압력계를 설치하여 연료압력을 모니터링 하였으며, 본 연구에서 사용된 압력계의 사진과 상세사양은 Fig. 17과 Table 14에 나타내었다. 또한, 시뮬레이션 엔진의 냉각수 온도의 정확한 측정을 위하여 엔진의 냉각수 라인에 온도계를 추가로 설치하여 냉각수 온도( $82\pm 2^{\circ}\text{C}$ )가 일정하게 유지될 수 있도록 모니터링 하였으며, 본 연구에서 온도 측정을 위해 사용된 온도계의 사진과 상세사양은 Fig. 18과 Table 15에 나타내었다.

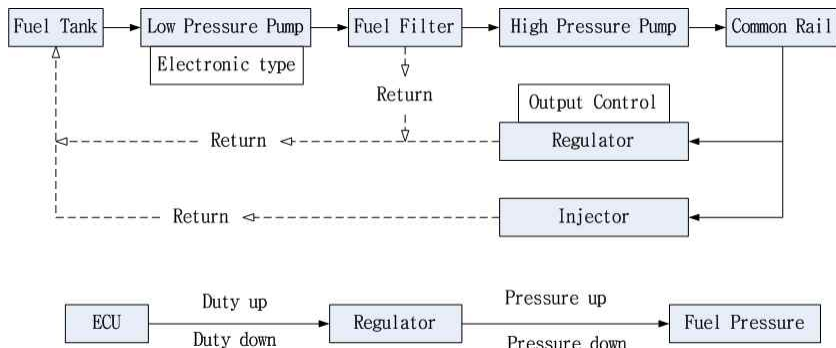


Fig. 15 Flow chart of fuel system



Fig. 16 Emission simulation system



Fig. 17 Digital Pressure Gauge(SSG)

Table 14 Specifications of digital pressure gauge(Model-SSG)

Item		Specification	
<b>Range</b>		0 ~ 150 MPa(Gauge)	
<b>Performance</b>	Accuracy	±0.8%FS ±1digit	
	Thermal Effect on Zero	±0.08%FS/°C	
	Thermal Effect on Span	±0.08%FS/°C	
	Compensated Temperature Range	-10 ~ 70°C	
	Operating Temperature Range	-20 ~ 80°C	
<b>Electrical</b>	Excitation	10 ~ 26VDC	
	Output	Switching Signal	-
		Analog Signal	1 ~ 5VDC, 4 ~ 20mA(3Wire)
Electrical Connection		Cable	
<b>Physical</b>	Proof Pressure	X1.5 or 150 MPa	
	Burst Pressure	X2 or 150 MPa	
	Vibration	49.1 m/s <sup>2</sup> {50G}, 10 ~ 500 Hz	
	Shock	490 m/s <sup>2</sup> {50G}	
	Pressure Port	R(PT)3/8", Other Connection Available on Request	
	Media-Wetted Materials	Stainless Steel, Ti 87%	
	Protection	IP65	
	Wight	Approx. 700g(Standard type only)	



Fig. 18 Digital Temperature Gauge(TSG)

Table 15 Specifications of digital temperature gauge(Model-TSG)

Item		Specification	
Range		-50~0, -50~50, 0~50, 100, 200, 300, 400℃	
Performance	Accuracy	±0.8%FS ±1digit	
	Ambient Temperature Range	-20 ~ 80℃	
	Storage Temperature Range	-40 ~ 100℃	
Electrical	Excitation		18 ~ 26VDC
	Output	Switching Signal	-
		Analog Signal	1 ~ 5VDC, 4 ~ 20mA(3Wire)
	Electrical Connection		Cable
Physical	Vibration		49.1 m/s <sup>2</sup> {50G}, 10 ~ 500 Hz
	Shock		490 m/s <sup>2</sup> {50G}
	Pressure Port		R(PT)1/2", Flange & Other Connection Available on Request
	Media-Wetted Materials		Stainless Steel 316, Ohter Available on Request
	Protection		IP65
	Wight		Approx. 700g (Standard type only)

## 제3절 배기가스 성분 분석 실험장치

### 1. 시뮬레이션 엔진

#### a. D-2.0 Engine

D-엔진은 커먼레일 시스템(Common rail system)을 처음 선보일 당시였던 2000년부터 현대자동차의 싼타페, 트라제-XG 차량에 적용되어 커먼레일 연료장치의 성능과 우수성을 최초로 입증하게 되었다. D-엔진의 특징은 지금까지 적용되던 인젝션 펌프 방식을 완전히 탈피한 최첨단 전자 제어 축압식(Common Rail)을 적용한 엔진으로 SOHC 4밸브 직접분사 디젤엔진이다. 또한 기존 디젤엔진 대비해서 약 30% 출력 및 연비 향상을 나타내었으며, 기존 디젤엔진의 문제점인 배기가스를 최소화하여 세계 모든 국가의 배기가스 규제를 만족하는 환경친화적인 디젤엔진이다. 저공해 저소음을 위하여 연소실 중앙직립 인젝터, 주분사 전 예비분사(Pilot injection), 밸런스 샤프트를 적용하였다. Fig. 19은 본 연구에서 사용된 D-2.0 엔진의 개략도와 각 부분 명칭 및 구조를 나타낸 그림이다.

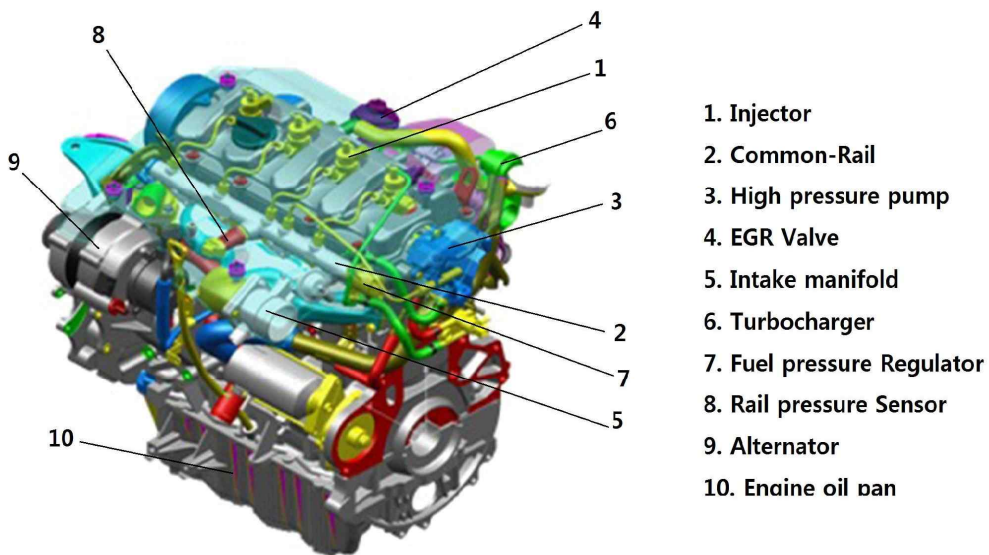


Fig. 19 D-2.0 Engine Modeling and Part name

엔진이 작동하기 위해서는 연소실 안으로 혼합기를 흡입하고 혼합기가 연소한 후 그 연소가스를 외부로 배출하는 장치가 있어야 한다. 이러한 역할을 하는 흡기장치(Intake System)에는 에어클리너와 흡기다기관 등으로 구성되어 있다. 또한, 배기장치(Exhaust System)에는 배기다기관, 배기파이프, 소음기 등으로 구성되어 있다.

본 연구에 적용되는 엔진은 현대 자동차에서 제작된 D-2.0(D4EA) CRDI 엔진으로 상세제원은 Table 16에 나타내었다. 1,997 cc의 배기량에 4기통 SOHC(Single Over Head Camshaft)엔진으로 EURO-Ⅲ의 배기가스 기준이 적용된 엔진으로 현재 운행 중인 디젤엔진 차량의 기준이므로 본 실험에서 사용하였다.

Table 16 Detailed Specifications of D-2.0(D4EA) Engine

Item	D-2.0(EURO-Ⅲ)
Displacement (cc)	1,997cc
Cylinder number	4
Inside diameter × distance	83 × 92
Injection order	1-3-4-2
Intake device	TCI
Cam arrangement	SOHC
Compression	17.3 : 1
Maximum output(Ps/RPM)	125/4,000
Maximum torque(kg · f/RPM)	29.0/2000
Idle(RPM)	750±40
Warm-up device	Glow plug
Maximum control pressure(bar)	1,350
Fuel pressure control method	Exit(Outlet) Control
Injector type	Grade injector
Injector spray pattern	Pilot(Preliminary injection) +Main(Main injection)
EMS	Bosch 1th generation
Turbocharger	VGT(Option application)
Variable swirl device	-
Emission standards	Euro-Ⅲ
CPF	-

## b. 흡기장치

### (1) 에어 클리너(Air cleaner)

실린더 내로 흡입되는 공기와 함께 들어오는 먼지 등은 실린더 벽, 피스톤 링, 피스톤 및 흡기, 배기밸브 등에 마멸을 촉진시키며 또 기관오일에 유입되어 각 윤활부분의 마멸을 촉진시킨다. 공기청정기는 흡입공기의 먼지 등을 여과하는 작용 이외에 흡입공기의 소음을 감소시킨다. 에어클리너의 종류에는 건식, 습식이 있으며 건식 공기청정기는 케이스와 여과 엘리먼트로 구성되며, 습식 공기청정기는 엘리먼트가 스틸 울(steel wool)이나 천(gauze)이며 기관오일이 케이스 속에 들어있다. 에어클리너 청소방법은 압축공기로 안에서 밖으로 불어낸다.

### (2) EGR system

배기가스 재순환장치는 질소산화물의 배출을 저감시키기 위하여 흡기부압에 의해 열리며 배기가스 중의 일부(혼합가스의 약 15%)를 배기다기관에서 빼내어 흡기다기관으로 순환시켜 연소실로 다시 유입시킨다. 배기가스를 재순환시키면 새로운 혼합가스의 충전율은 낮아진다. 그리고 다시 공급된 배기가스는 질소에 비해 열용량이 큰 이산화탄소가 많이 함유되어 있다. 즉, 다시 공급된 배기가스는 더 이상 연소작용을 할 수 없기 때문에 폭발행정에서 연소온도가 낮아져 온도의 함수인 질소산화물의 발생량이 약 60% 정도 감소한다.

기관에서 배기가스 재순환장치를 적용하면 질소산화물 발생률은 낮출 수 있으나 착화성 및 기관의 출력이 감소하며 일산화탄소 및 탄화수소 발생량은 증가하는 경향이 있다. 이에 따라 배기가스 재순환장치가 작동되는 것을 기관의 특정 운전구간(냉각수 온도가 65℃ 이상이고, 중속 이상)인 질소산화물이 다량 배출되는 운전영역에서만 작동하도록 하고 있다. 공전, 난기운전 및 전부하 운전시에 농후한 혼합가스로 운전되어 출력을 증대시킬 경우에는 작용하지 않도록 한다. Fig. 20는 EGR율을 나타낸 그림이고, EGR율은 식(4.3)과 같이 산출한다.



$$\text{EGR율} = \frac{\text{EGR가스량}}{\text{EGR가스량} + \text{흡입공기량}} \quad (4.3)$$

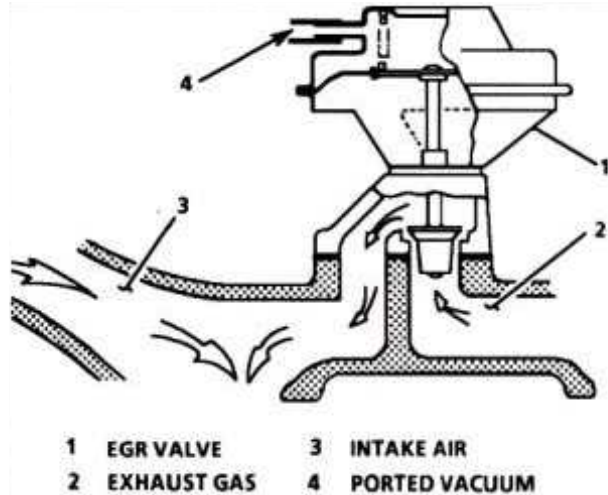


Fig. 20 Exhaust gas recirculation

(3) 배기가스 재순환장치의 구성부품

- ① EGR 밸브 : 스톱 밸브의 열림정도에 따른 흡기 부압에 의하여 제어되며, 진공 조절밸브에 의해 조절된다.
- ② 진공 조절밸브 : 기관 작동상태에 따라 EGR 밸브를 조절하여 배기가스의 재순환되는 양을 조절한다.

(4) 인젝터(Injector)

고압의 연료를 실린더 연소실로 분사하는 장치로서 엔진 ECU에 의해 제어되며 분사개시와 분사된 연료량은 전기적으로 작동되는 인젝터에 의해 조정된다. Fig. 21은 인젝터의 구조를 나타낸 그림이고, Fig. 22은 인젝터의 작동을 나타낸 그림이다. 이러한 인젝터는 솔레노이드 밸브와 노즐로서 이루어져 있다. 실린더 헤드에 장착되며 인젝터를 장착할 때 클램프에 의해 체결되고 정비시 주의해야 하는 부분이다. 연료는 고압

통로를 통해 인젝터에 공급되고 오리피스를 통해 제어 챔버에 공급된다. 제어 챔버는 솔레노이드 밸브에 의해 열리는 볼을 경유하여 연료 리턴 라인에 연결되어 있다. 블리드 오리피스가 닫힌 채, 밸브 제어 플런저에 적용된 유압은 노즐 니들 압력 값을 이기고 니들 밸브는 밸브 시트로 강제 이동되면서 고압 통로가 개방되고 연료가 분사된다.

인젝터의 솔레노이드 밸브가 작동되면 블리드 오리피스(볼 밸브)가 열리고 따라서 제어 챔버 압력이 낮아지고 그 결과로서 플런저에 작용하는 유압 힘도 또한 떨어진다. 유압 힘이 노즐 니들 압력에 작용되는 힘보다 약해지면 노즐 니들 밸브는 열린다. 그리고 연료는 스프레이 홀을 통해 연소실에 분사된다. 인젝터의 작동은 엔진의 시동과 압력을 생성하는 고압 펌프와 더불어 4단계의 작동을 나누어 볼 수 있는데 인젝터 닫힘(고압 적용), 인젝터 열림(분사 개시), 인젝터 완전 열림, 인젝터 닫힘(분사 종료) 이러한 작동 단계는 인젝터의 구성 성분에 작동하는 힘의 분배에 의해 결정되며 엔진 정지와 레일에서 압력이 없는 상태에서는 노즐의 스프링은 인젝터를 닫는다.

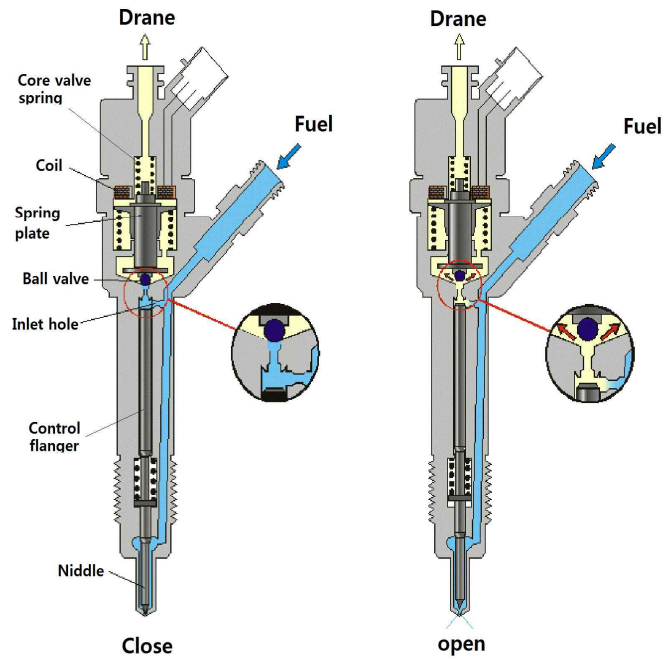


Fig. 21 Injector structure and part name

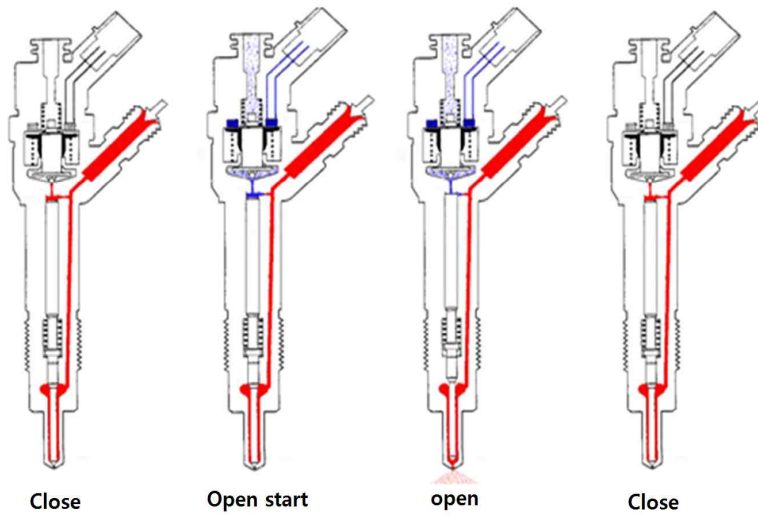


Fig. 22 Injector work

## 2. 인간지능형 종합 진단 시스템 : HI-DS(Human Intelligent Diagnostic System)

### a. 인간지능형 종합 진단 시스템(HI-DS)

Fig. 23는 본 연구에서 사용된 Hi-DS 시스템의 모습을 보여주고 있다. Hi-DS는 “인간지능형 종합 진단 시스템(Human Intelligent Diagnostic System)”을 통한 첨단기술을 적용하여, 자동차 전자장치의 고장원인을 진단하는데 필요한 모든 기능을 제공한다. 작동이 쉽고 편한 사용 환경을 제공하고, 정비에 필요한 진단 정보들을 한 곳에서 확인할 수 있는 인공지능 시스템으로 자동차를 관리하는 모든 곳에서 필수적으로 볼 수 있는 시스템이다. 본 연구에서는 HI-DS 시스템을 이용하여 자동차의 주요 부분에 대한 제어를 실시하였으며 또한 주요한 데이터를 수집하였다.



Fig. 23 HI-DS(Human Intelligent Diagnostic System)

## b. 인간지능형 종합 진단 시스템의 구성

HI-DS 시스템은 IB(Intelligent Box), VCI(Vehicle Communication Interface), Hi-DS Premium 정보 단말기(데스크탑) 등으로 구성되어 있으며 각각의 역할은 다음과 같다.

- (1) IB 본체 : 장비에서 모든 신호의 측정과 계측을 담당하며, IB는 소형 컴퓨터와 오실로스코프 회로, 점화파형 측정 회로, 멀티미터 회로, 저장메모리 및 각종 인터페이스 회로들이 내장되어 차량의 점화파형, 압력, 진공, 전압, 저항 및 전류 등을 측정할 수 있는 장치이다.
- (2) VCI 본체 : 차량의 ECU(전자제어장치 Electronic Control Unit)와 연결하여 정보 소통하는 장치이다.
- (3) 정보 단말기(데스크탑) : Hi-DS Premium 프로그램이 설치되어, 차량 진단에 필요한 정비정보와 온라인을 통한 정비사례, 차량정보 등을 제공하며 VCI 본체와 IB 본체에 연결되어 차량을 진단하여 차량의 진단정보를 Hi-DS Premium 프로그램을 통해 볼 수 있다.
- (4) Hi-DS 무선중계기: VCI 본체와 인터넷을 무선으로 연결하여 사용할 수 있는 장치이다.

Table 17과 18은 본 연구에서 사용된 VCI와 시뮬레이션 시험 장비의 상세 사양을 보여주고 있다.

Table 17 VCI specification

Items	Remark	
<b>Micro-controller</b>	ARM9 (S3C2410A) @ 208MHz	
<b>Memory</b>	RAM 32MByte	
	ROM 32MByte	
<b>Operating voltage</b>	7~35VDC	
<b>Storage mode</b>	Temperature (Temp.)	-10℃ ~ 70℃ (14°F ~ 158°F) : USB communication application
		-10℃ ~ 55℃ (14°F ~ 131°F) : Wireless LAN communication application
	Relative humidity (RH)	Non-condensing @ 0℃ ~ 10℃ (32°F ~ 50°F)
		95%RH @ 10℃ ~ 30℃ (50°F ~ 86°F)
		70%RH @ 30℃ ~ 50℃ (86°F ~ 122°F)
40%RH @ 50℃ ~ 70℃ (122°F ~ 158°F)		
<b>Movement mode</b>	Temperature (Temp.)	-20℃ ~ 80℃ (-4°F ~ 176°F)
	Relative humidity(RH)	Non-condensation @ -20℃ ~ 80℃ (-4°F ~ 176°F)
<b>Operation mode</b>	Diagnostic function / Driving record function	
<b>Current consumption</b>	About 350 mA @12V(General user mode)	
<b>Size</b>	170×105×33mm(length×width×thickness)	
<b>Material</b>	Case(PC + ABS), Shroud(TPE)	
<b>Weight</b>	About 350g	

Table 18 Simulation test function

Items		Remark
Voltage output	Output range	0.0V ~ 5.0V ± 0.1V
	Controlled shutdown	When the output data is out of the output range(0.0V ~ 5.0V)
Frequency output	Output range	1 Hz ~ 15 kHz ± 0.5%
	Duty	50%
	Voltage level	Maximum: 5V, Minimum: 0V
	Controlled shutdown	When data is out of the power ground side output voltage range of (-)1.0V ~ 6.0V
Actuator control	Frequency range	1 Hz ~ 999 Hz ± 0.5%
	Duty range	1% ~ 99% @ 1 Hz ~ 999 Hz (Progressive 1%)
	Pulse width	Depends on the frequency or duty
	Allowable current	Maximum 2A ± 0.3A

### 3. 배기가스 측정장치(MEXA-554JKNOx)

배기가스 측정장치(MEXA-554JKNOx)는 배기가스를 측정하는 장치로 자동차의 배기구에 프루브(Probe)를 설치하여 CO, HC, CO<sub>2</sub>, NOx, O<sub>2</sub>, LAMBDA등을 측정한다. 측정 전 5분정도의 충분한 예열시간을 가진다. 측정방식으로 비분산 적외선(Non Dispersive Infrared Detector) 방식과 전기화학센서(ECS Sensor)의 방식을 사용한다.

비분산적외선 방식은 CO, CO<sub>2</sub>, HC에 적외선을 노출시키면 각각의 특정 파장의 적외선을 흡수하고, 각 성분의 가스 농도에 따라 흡수된 정도는 변화하게 된다. 이때 흡수된 적외선 양은 가스 농도와 측정 셀의 길이에 따라 정해지고, 출력신호는 지수 함수적으로 변환한다는 원리를 이용한 것이다. 또한, 측정 셀 중에 적외선이 어느 정도 흡수되었는지는 특정 파장의 적외선에만 감응하는 검출기에 의해 그 측정 성분의 농도를 측정한다<sup>(90)</sup>.

NOx, O<sub>2</sub> 측정은 전기화학방식 (Chemiluminescence Dector, CLD)을 사용한다. NO, O<sub>3</sub> 사이의 반응에서 발광이 생기는 것을 기본원리로 화학발광 강도가 NO 농도와 비례하는 것을 이용한 것이다. 600~3000 nm의 파장 범위에서 발광하는 광량을 측정하여 샘플가스 내 NO 농도를 측정한다. NO<sub>2</sub>는 열해리를 이용하여 변환기를 통해 NO로 환원 후 측정한다<sup>(91)</sup>. Fig. 24의 (a)와 (b)는 배기가스 측정장치의 전면과 후면을 나타낸 것이다.

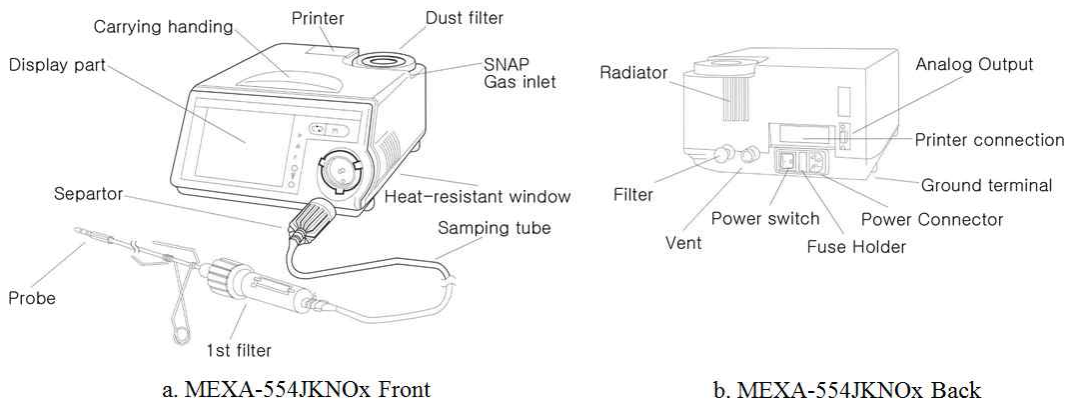


Fig. 24 MEXA-554JK Front and Back



Fig. 25는 본 연구에서 사용된 실제 배기가스 측정장치의 사진을 보여주고 있으며, Table 19는 배기가스 측정장치의 특성으로 측정 가능한 가스 및 측정 범위 및 측정방법을 나타내고 있다. 본 연구에서 사용된 배기가스의 측정기의 경우 시뮬레이션 엔진에서 나오는 배기가스를 충분히 검사할 수 있는 측정 범위를 가지고 있으며 실험의 정확도를 높이기 위하여 여러 번 취득하여 평균값을 사용함으로써 취득 데이터의 신뢰성을 높였다.



Fig. 25 MEXA-554JK

Table 19 Specification of MEXA-554JKNOx

<b>Model NO.</b>	MEXA - 554JKNOx
<b>Measure ingredients</b>	CO / HC / CO <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> / NO <sub>x</sub> / λ(LAMBDA)
<b>Measuring range</b>	CO : 0.00 ~ 10.00 %vol(±0.06%vol) HC : 0.00 ~ 10.000 ppm(±12 ppmvol) CO <sub>2</sub> : 0.00 ~ 20.00 %vol(±0.5%vol) NO <sub>x</sub> : 0 ~ 5,000 ppmvol(±7 ppmvol) λ(LAMBDA) : 0.50 ~ 2.50%vol O <sub>2</sub> : 0.00 ~ 25.00 %vol 0.4%vol (0 ~ 10.00 %±vol) 1.0%vol (10.0 ~ 25.0 %vol)
<b>Display Method</b>	LCD (Digital 방식), Show Hangul
<b>Measuring Method</b>	CO / HC / CO <sub>2</sub> : NDIR O <sub>2</sub> / NO <sub>x</sub> : ECS Sensor λ(LANBDA) : bretttschneider Low
<b>Response rate</b>	90% response in less than 10 seconds
<b>Operating conditions</b>	Temperature : 0 ~ 40°C (Option : -10~40°C) Humidity : 90% Below
<b>Power</b>	100 ~ 240V AC (Free Voltage)
<b>Power Consumption</b>	60VA
<b>Dimensions(W×L×H)</b>	217 × 366 × 143mm
<b>Weight(kg)</b>	Appro × 4 kg
<b>Printer</b>	Thermer Print
<b>Warm-up time</b>	5 minute

#### 4. 바이오디젤(Biodiesel) / 경유(Diesel fuel)

Table 20은 이맥바이오(주)에서 제공한 폐식용유를 이용한 바이오디젤의 시험 성적서이다. Fig. 26는 시중에 유통 중인 SK energy의 경유 시험 성적서이다. 본 연구에서는 두 가지 연료를 혼합하여 혼합비에 대한 엔진의 특성과 배기가스의 성분 분석을 통하여 간접적으로 연소효율과 연소정도에 대한 특성을 고찰하였다.

Table 20 Bio-diesel Fuel Test report

이맥바이오(주)

Characteristics	Quality Standard	Test results	
Content of fatty acid methyl ether (weight, %)	96.5 ≥	97.3	
Flash point temp. (°C)	120 ≥	178	
Kinematic viscosity at 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	1.9 ~ 5.0	4.2	
Carbon residue (weight, %)	0.1 ≤	0.1 <	
Sulfur (mg/kg)	10 ≤	8	
Ash (weight, %)	0.01 ≤	0.01 <	
Copper strip corrosion (50°C, 3h)	< 1	1	
Density @15°C (kg/m <sup>3</sup> )	890 ~ 900	882	
Water (weight, %)	0.05 ≤	0.03	
Solid impurities (mg/kg)	24 ≤	12	
Acid value (mg KOH/g)	0.50 ≤	0.16	
Total Glycerin (weight, %)	0.24 ≤	0.05	
Mono-glycerid (weight, %)	0.80 ≤	0.18	
Di-glycerid (weight, %)	0.20 ≤	0.01 <	
Tri-glycerid (weight, %)	0.20 ≤	0.01 <	
Free glycerin (weight, %)	0.02 ≤	0	
Oxidation stability (110°C, h)	6 ≥	7	
Methanol (weight, %)	0.2 ≤	0.1 <	
Metal (mg/kg)	(Na + K)	5 ≤	1 <
	(Ca + Mg)	5 ≤	1 <
Phosphorous (mg/kg)	10 ≤	1 <	
Verdict		Pass	
Test method	This test hayeoteum of the KS M 2413, KS M ISO 2719, KS M 2014, KS M ISO 10370, KS M 2027, KS M ISO 6245, KS M 2018, KS M 2002, KS M ISO 12937, EN 12662, KS M ISO 6618, KS M 2412, EN 14112, EN 14110, EN 14108, EN 14109, EN 14538, EN 14107		



## 월말 성적서

발행자:이현호

제품명	고유황경유			
규격명	일반광대규격			
생산일자	2014-01-01 - 2014-01-31			
시험 항목	규격	최소	최대	평균
API비중 60°F	보고	35.3	36.9	35.7
밀도 15°C kg/m³	보고	844.9	847.9	845.9
비중 15.4°C	보고	0.8449	0.8479	0.8459
인화점, PMCC °C	40이상	58.0	63.0	61.5
동점도 40°C m/sec	1.5 - 6.0	2.967	3.282	3.072
황분 wt %	0.05이하	0.033	0.044	0.039
달점 °C	보고	-6	-4	-5
유동점 °C	-17.5이하	-32.5	-30.0	-31.7
잔류탄소 wt %	0.20이하	0.06	0.07	0.07
중만부식 100°C 3hr	1이하	-	1-a	1-a
회분 wt %	0.01이하	0.001	0.001	0.001
물과 침전물 vol %	0.02이하	0.005	0.005	0.005
세탄지수	40이상	49.2	51.5	50.5
Distillation(D86)	-			
50% 증류온도 °C	보고	280.9	287.2	283.4
90% 증류온도 °C	보고	355.6	359.1	356.9

위의 시험결과가 사실과 틀림이 없음을 증명함.

Print Date:2014-02-04

SK 에너지 석유품질관리1팀장

1. 본 시험보고서는 엄격한 품질 인허가 목적으로 사용될 수 있음

울산광역시 남구 고사동 110번지 울산우재국 사서함 제4호 TEL:052-208-6501 FAX:052-208-6509

Fig. 26 SK energy Test report

## 5. 실험 데이터의 불확실성

정확한 데이터를 확보하기 위하여 모든 데이터 획득 실험은 10회를 시행하였으며, 식(4.4)를 이용하여 계산된 평균값을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Average} &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i & (4.4) \\
 &= \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{(n-1)} + x_n}{n}
 \end{aligned}$$

$$\text{측정 Data 값} = x_n$$

$$n = 1, 2, \dots, (n-1), n$$

본 연구에서 측정된 배기가스의 정확도와 얻어진 데이터의 불확실도를 Table 21에 나타내었으며 Table 22에 10회 실험하여 측정된 실험데이터 값을 정리하여 보여주고 있다.

본 연구에서 측정되는 배기가스 중 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO 측정에 대한 불확실도 인자는 센서의 오차와 측정오차에 의해 정해지며, 측정된 실험 데이터의 불확실성은 식(4.5)에 의해 계산된다. 이때 U, U<sub>s</sub>, U<sub>m</sub>은 각각 측정값의 불확실도, 센서의 오차, 측정오차를 의미한다. 측정된 HC의 불확실도는 ±2.01%로 측정장비의 오차율 ±12 ppmvol를 만족하였고, NO<sub>x</sub>의 불확실도는 ±1.46%로 측정장비의 오차율 ±7 ppmvol의 기준치를 만족하였다. 또한, CO<sub>2</sub>의 불확실도는 ±0.50%로 측정장비의 오차율 ±0.5%vol을 만족하였으며, 측정된 CO의 불확실도는 ±0.06%로 측정장비의 오차율 ±0.06%vol을 만족함으로써 본 실험에서 얻어진 실험데이터의 신뢰성을 확인할 수 있다.

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_m^2} \quad (4.5)$$

Table 21 Uncertainties of MEXA-554JKNO<sub>x</sub> & data acquisition

Item		Range	Uncertainty
MEXA-554JKNO <sub>x</sub>	CO	0.00 ~ 10.00 %vol	±0.06%vol
	HC	0.00 ~ 10.000 ppm	±12 ppmvol
	CO <sub>2</sub>	0.00 ~ 20.00 %vol	±0.5%vol
	NO <sub>x</sub>	0 ~ 5,000 ppmvol	±7 ppmvol
Data acquisition	CO		± 0.06%
	HC		± 2.01%
	CO <sub>2</sub>		± 0.50%
	NO <sub>x</sub>		± 1.46%

Table 22 Average value of experimental data

5Hole Injector - unapplied EGR system HC												
BD	Engine RPM	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	ave.
0%	(rpm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
	780	26	29	30	30	29	30	30	26	26	29	28.8
	1000	29	34	33	31	30	29	30	31	33	34	31.4
	1500	33	35	35	36	34	33	34	35	35	36	34.6
	2000	48	45	50	48	49	47	48	45	50	50	48
	2500	115	118	120	118	116	115	118	117	119	118	117.4
5Hole Injector - unapplied EGR system NOx												
BD	Engine RPM	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	NOx	ave.
0%	(rpm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
	780	95	98	95	97	96	95	97	96	98	95	96.2
	1000	45	48	46	48	46	44	47	48	48	46	46.6
	1500	23	25	24	26	24	23	24	25	25	25	24.4
	2000	19	21	19	22	20	20	21	20	22	20	20.2
	2500	30	33	31	34	31	30	33	34	31	31	31.8
5Hole Injector - unapplied EGR system CO <sub>2</sub>												
BD	Engine RPM	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	ave.
0%	(rpm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
	780	2.14	2.16	2.16	2.16	2.16	2.14	2.16	2.15	2.16	2.16	2.156
	1000	2.14	2.18	2.18	2.16	2.18	2.18	2.16	2.16	2.18	2.14	2.168
	1500	2.16	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.192
	2000	2.4	2.42	2.4	2.46	2.42	2.4	2.42	2.44	2.48	2.4	2.42
	2500	2.8	2.84	2.86	2.8	2.84	2.8	2.8	2.86	2.84	2.84	2.828
5Hole Injector - unapplied EGR system CO												
BD	Engine RPM	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	ave.
0%	(rpm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
	780	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.018
	1000	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	1500	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.042
	2000	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.062
	2500	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	0.08	0.08	0.08

## 제4절 배기가스 성분측정 실험방법 및 조건

본 연구는 D-2.0(D4EA)엔진을 적용한 시뮬레이션엔진을 이용하여 실험을 수행하였다. HI-DS 시스템을 이용하여 엔진의 기본적인 성능을 Table 23과 24의 실험조건을 이용하여 실험을 수행한다. HI-DS를 이용하여 실험을 실시하는 이유는 엔진 가동 시 작동의 상태가 항상 일정하지 않기 때문에 실험의 신뢰성 확보를 위하여 여러 번의 반복실험을 실시하였으며 안정화에 많은 시간을 할애하였다. 또한 실험조건에서 다른 변수들인 엔진 회전수, 연료압력, 연료압력레귤레이터, 냉각수 온도, 연료 분사 등의 상태변화를 최소화하도록 설정하였다.

Table 23과 24는 EGR 밸브를 적용하지 않았을 때와 EGR 밸브를 적용했을 때의 실험조건을 보여주고 있다. 엔진 회전수는 780 rpm을 기준으로 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm으로 속도변화를 주었으며, 이때 작용하는 연료압력과 연료압력레귤레이터의 작동, 엑셀 위치 등을 동일조건으로 맞추어 엔진 회전수 변화량으로 기본적인 실험의 상태를 동일하게 유지하였다. Table 23에서 나타낸 바와 같이 연료압력 및 연료압력 레귤레이터의 변화는 엔진 회전수에 따른 ECU에서 제어되는 실험조건이다. 엔진의 변화에 따라서 조건이 일정하면 실험의 데이터는 정확할 수 있으나 이는 실제 차량의 운행에서 발생하는 변화 및 그에 따른 배기가스 성분에 대하여 실질적인 자료를 정확하게 확보하기 어렵다. 특히 연료압력 레귤레이터와 인젝터에서 연료의 분사는 엔진 회전수 즉 엔진의 작동에 따라서 ECU의 제어를 받게 된다. Table 23에서 EGR 밸브 5%의 작동은 기본적인 제어값으로 EGR 밸브의 작동유무와 상관이 없는 값이다.

Table 24는 EGR 밸브를 적용했을 때의 실험조건으로 기본적인 조건은 Table 23과 같이 동일한 조건으로 수행하였으며, 단지 운전중에 EGR 시스템을 적용하여 실험을 진행하였다. 2500 rpm에서 EGR 밸브가 5%인 이유는 엔진의 고속 주행 시 D-2.0엔진에서는 EGR 밸브의 작동이 이루어지지 않기 때문이다.

본 실험에서 냉각수의 온도는  $82\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 중요 요인으로 설정하였는데 그 이유는 최초의 엔진 작동시의 엔진온도와 고속운전 중의 엔진의 온도에 많은 차이가 발생하며 이로 인한 연소실에서의 연소 반응에 영향을 주기 때문에 항상 엔진의 예열을 통한 냉각수 온도를 일정하게 유지하는 것이 바람직하여 그 적정온도가  $82^{\circ}\text{C}$  근처이기 때문이다.



Table 23 Test conditions and results when EGR Valve is not applied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	Fuel Pressure Regulators (%)	Coolant (°C)	Excel Positions Sensors(%)	EGR Valve (%)	Fuel Injection (cc)
Idle(780)	280	18±1	82±2	0	5	6.5
1000	300	20±1	82±2	2.5		7.3
1500	350	22±1	82±2	4		7.8
2000	400	24±1	82±2	6		8.5
2500	520	27±1	82±2	8		10

\*Basic Conditions

Table 24 Test conditions and results when EGR Valve is applied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	Fuel Pressure Regulators (%)	Coolant (°C)	Excel Positions Sensors(%)	EGR Valve (%)	Fuel Injection (cc)
Idle(780)	280	18±1	82±2	0	5	6.5
1000	300	20±1	82±2	2.5	95	7.3
1500	350	22±1	82±2	4	70	7.8
2000	400	24±1	82±2	6	50	8.5
2500	520	27±1	82±2	8	5	10

\*Basic Conditions

실험을 통하여 측정된 배기가스의 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 성분을 확인하여 각 성분의 농도를 확인하였다. 본 실험을 위한 기초 데이터의 확보를 위해서 Table 23과 Table 24의 조건에서 인젝터의 분사홀수가 5, 6, 7홀을 장착한 후 냉각수 온도(Coolant)가 82±2℃를 유지하도록 엔진 예열을 한 후 실험에서 설정된 일정 시간동안 실험 수행하였다. 그 후 실험에서 생성되는 데이터는 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO로 위 배기가스의 성분을 각 실험조건에 맞추어 분류를 진행하였다.

실험은 각 10회씩 실시하였으며 실험 데이터의 10회 평균을 구하여 분석한다. 또한, 엔진 회전수 780 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm으로 분류하여 각각의 상태변화에 따른 배기가스 성분을 분석한다. 본 실험에서 진행한 주요 실험조건은 Table 25와 같다.

Table 25 Exhaust gas experimental conditions

Item	Parameters
Injector kind	5 hole, 6 hole, 7 hole
Bio-diesel mixing rate (%)	0%, 10%, 20%, 30%
EGR system	applied, unapplied

## 1. 인젝터(Injector)의 구조변화에 따른 실험

실제 시스템에서 인젝터의 전체적인 구조를 변경할 수 없다. 현재 사용되는 Bosch의 솔레노이드 타입의 인젝터의 구조를 변경하였을 때 엔진의 전체적인 형태 및 ECU의 제어 또한 변경해야 하기 때문이다. 따라서 이러한 이유로 인젝터의 구조 중 연료의 분사방법에 따른 실험을 실시하였다.

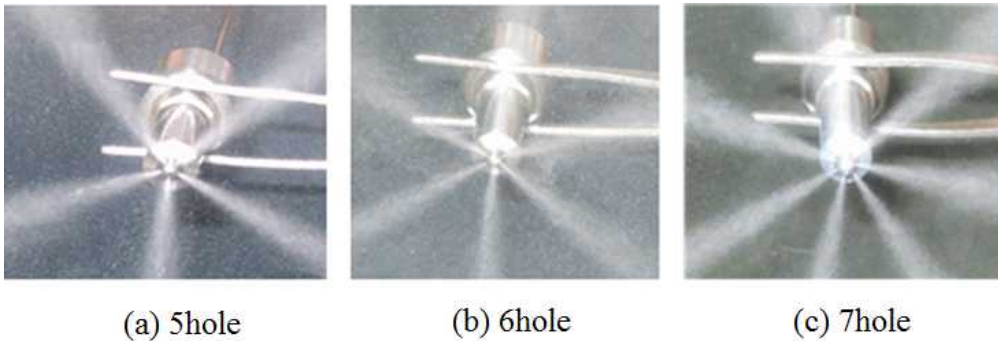


Fig. 27 Injector injection 5hole, 6hole, 7hole

Fig. 27은 인젝터 노즐의 분사 홀수 변화를 주고 연료분사의 형태를 사진으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 인젝터 노즐의 홀수가 5홀, 6홀, 7홀 일 때의 배기가스 성분의 변화를 측정하여 적합한 노즐을 선택하여 배기가스와 인젝터 노즐과의 관계를 확인하였다.

인젝터는 연료의 분사에 대하여 분사 홀수에 따른 연소실 내의 연료의 확산에 영향을 주는 것을 확인하기 위한 것으로 확산의 정도에 따라 연소실에서 이루어지는 폭발로 인하여 불완전연소에서 완전연소에 근접하게 되는 것을 간접적으로 확인하였으며 그로 인한 배기가스의 성분을 분석하였다.

## 2. 경유와 바이오디젤(Biodiesel)유의 혼합연료 사용에 따른 배기가스 성분변화 실험

본 연구에서 경유와 바이오디젤유의 혼합연료를 만들어 바이오디젤유가 배기가스에 미치는 영향을 확인하기 위하여 디젤엔진의 연료인 경유와 바이오디젤유의 혼합비율을 100:0, 90:10, 80:20, 70:30의 비율로 혼합하여 실험을 실시하였다. Table 26은 실험에 사용되는 혼합연료의 혼합비율을 보여주고 있다. Fig. 28은 바이오디젤 혼합연료 1ℓ를 제작하는데 혼합되는 바이오디젤유의 농도를 나타낸 것이다. Fig. 28은 바이오디젤유의 혼합되는 양으로 (a)는 경유와 바이오디젤유의 혼합비율이 90:10(%)로 경유 900 ml와 바이오디젤유 100 ml를 혼합한 것이고, (b)는 경유 800 ml와 바이오디젤유 200 ml, (c)는 700 ml와 바이오디젤유 300 ml의 혼합비율로 제작하였다. 각각의 시료를 제작하고 인젝터의 종류와 EGR 시스템의 적용 및 미적용에 대한 실험을 수행하여 배기가스에 미치는 영향을 측정기를 통하여 측정하였다.

Table 26 Diesel Fuel and Bio-diesel mixing rate

Mixing ratio	Diesel fuel	Bio-diesel
100[%] : 0[%]	1000[ml]	0[ml]
90[%] : 10[%]	900[ml]	100[ml]
80[%] : 20[%]	800[ml]	200[ml]
70[%] : 30[%]	700[ml]	300[ml]

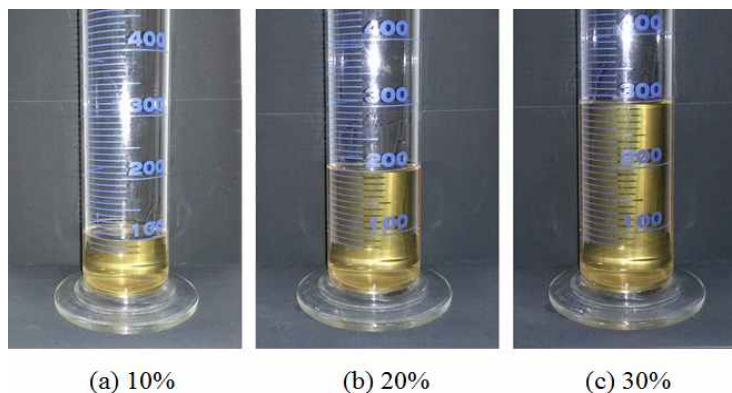


Fig. 28 Bio-diesel fuel mixing ratio

### 3. EGR 시스템 적용/미적용에 대한 배출가스 성분변화 실험

EGR 시스템을 적용하지 않았을 때와 적용하였을 때의 배기가스 성분의 차이를 분석하기 위하여 인젝터의 홀수와 바이오디젤유를 사용한 혼합연료를 사용하였을 때의 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 변화를 확인하기 위한 실험은 다음과 같은 조건에서 실시하였다.

Table 27은 EGR 시스템 적용 및 미적용시의 각 구간별 엔진회전수(rpm) 및 연료압력과 인젝터의 연료 분사량을 나타낸 것이다. EGR 시스템을 적용시 EGR 적용 비율이 각 구간별 다른 이유는 EGR 시스템은 배기가스 재순환장치로 연소실에서 연소된 배출가스를 연소실에 제공급하여 NO<sub>x</sub>의 저감을 목적으로 하기 때문이다. 본 연구에서는 EGR 시스템의 작동이 실제 배기가스에 미치는 영향을 구체적으로 알아보았으며 특히 바이오디젤을 이용한 디젤유의 성분 변화에 따른 배기가스의 변화를 집중적으로 고찰하였다.

Table 27 Applied and Unapplied of the EGR system

Engine Speed [rpm]	Fuel Pressure [bar]	Fuel Injection [cc]	EGR Unapplied [%]	EGR Applied [%]
780(Idle)	280	6.5	5	5
1000	300	7.3		95
1500	350	7.8		70
2000	400	8.5		50
2500	520	10		5

## 4. 실험 데이터의 처리

시물레이션 엔진의 회전수(rpm)에 각각의 실험을 진행하고, 각 실험의 결과 데이터를 실험의 분석을 위하여 각 형식별로 분류하여 비교분석을 하였다. 실험 조건에 따른 분류로 바이오디젤 혼합유의 농도에 따른 분류와 EGR system의 적용과 미적용에 대하여 분류한다.

본 연구에서 측정되는 주요데이터 처리 조건을 위한 주요 변수는 다음과 같다.

- 인젝터 홀수 변화에 따른 분류 : 5홀 인젝터, 6홀 인젝터, 7홀 인젝터
- 경유와 바이오디젤 혼합유에 따른 분류 : 0%, 10%, 20%, 30%
- EGR 시스템 적용과 미적용에 따른 분류

위의 분류 기준에 준하여 EGR 시스템을 미적용했을 때 혼합연료의 농도에 대하여 엔진회전수의 변화량에 따른 배기가스의 성분을 분석하고, EGR 시스템을 적용했을 때 혼합연료의 농도에 대하여 엔진회전수의 변화량에 따른 배기가스의 성분을 분석하였다. 분석된 데이터의 성분은  $O_2$ [vol%], CO[vol%],  $CO_2$ [vol%], HC[ppm],  $NO_x$ [ppm]로 배기가스 전체의 성분을 분석하기 위해서는 단위의 통일이 필요하다. 실제 사용되는 ppm(parts per million)은 농도를 나타내는 단위로 백만분의 1을 나타낸다. 일반적으로 보통 무게와 부피비를 나타낸다. 용액 1 kg에 용질 1 mg이 포함되어 있다면 이것이 곧 1 ppm이다. 식(4.6)은 ppm의 정의를 수식으로 나타낸 것이다.

$$ppm = \left[ \frac{\text{용질의 무게}[mg]}{\text{용액의 무게}[kg]} \times 1,000,000 \right] \quad (4.6)$$

즉, 물 1킬로그램을 밀리그램으로 환산하면

$$1[kg] = 1,000[g], \quad 1[g] = 1,000[mg] \quad \text{이므로,} \quad 1[kg] = 1,000,000[mg]$$

$$\begin{aligned}
 1[kg] &= 1[kg] \times 1,000 \left[ \frac{g}{kg} \right] \times 1,000 \left[ \frac{mg}{g} \right] \\
 &= 1,000,000 [mg]
 \end{aligned}$$

ppm과 %농도와는 1% = 10000 ppm 의 관계가 있다.

1%는 0.01이므로 용액 1 kg이라고 하면 용질 0.01 kg이 함유되어 있다.

실험중인 엔진의 배기량은 1,997 cc이다. 따라서 1,997 cc의 이산화탄소 함유량이 2.6%라면,

$$\frac{1,997[cc]}{100} \times 0.026 = 0.51922[cc] \tag{4.7}$$

이므로 식(4.7)과 같이 배기량 1,997 cc 중 이산화탄소는 0.51922 cc 함유되어있다. 또한 1,000 cc가 1ℓ이며, 1ℓ는 1 kg이므로, 0.51922 cc는 0.51922 kg이 되며, 519.2 g이 된다. 따라서 519,220 mg은 519.22 ppm으로 표시할 수 있다. 이와 같은 방법으로 실험 데이터 값을 환산하여 배기가스 각 성분에 대한 전체적인 농도를 비교분석하였다.

## 제5장 실험결과 및 고찰

### 제1절 인젝터 클리닝에 따른 매연저감을 고찰

#### 1. 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정 실험결과

Fig. 29은 인젝터 클리닝 전·후의 사진으로 클리닝전은 인젝터의 노즐 부분에 탄소 퇴적물이 형성되어 있음을 알 수 있다. 일반적으로 탄소 퇴적물은 인젝터의 노즐의 연료분사에 영향을 준다. 이를 정밀 클리닝을 통하여 제거하며 이후 노즐부분의 탄소퇴적물이 제거되어 있음을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 30는 노즐 클리닝 전 13년 된 차량의 매연검사를 실시한 결과이다. 제시된 매연검사 결과 매연 측정치가 81%로 매연의 농도가 높아 적합하지 않은 것으로 나타났다.

Table 28은 A차량의 노즐 클리닝 전과 후의 매연농도 검사의 일부분으로 총 588개의 데이터 중 29개를 보여주고 있으며 이는 매연농도가 가장 높은 시간을 기준으로 인젝터 클리닝 전·후의 매연농도를 비교하여 나타낸 것이다. 측정된 데이터의 매연농도가 30% 이상인 구간 중 한 곳인 NO.274의 68.25초를 기준으로 계산하면 농도 측정 평균값은 다음과 같다. 식(5.1)은 차량의 매연의 농도 판단의 기준이 된다. NO.275는 68.5초이며 매연농도 85.2%이고, 이를 기준으로 다음과 같이 계산하면,

$$\begin{aligned} \frac{(65\text{초값} \sim 72\text{초값})}{29} &= \frac{(7.5 + \dots + 17.2)}{29} \\ &= 32.33[\%] \end{aligned} \quad (5.1)$$

평균값이 32.33%로 20%를 초과하는 것으로 확인되었다. 7초 산술 평균값이 매연농도 30%를 초과하였으므로 매연농도 기준 값인 68.5초 전·후 1초 동안의 평균값으로 매연 농도를 측정하며 식(5.2)와 같이 계산한다.

$$\frac{(81.55 + 85.4 + 85.2 + 81 + 71.85)}{5} = 81.00[\%] \quad (5.2)$$



1초 동안의 산술 평균값이 81%로 불합격 판정이 이루어졌으며, 인젝터 클리닝 이후의 검사결과로 29%의 매연이 측정되어 매연의 발생량 감소가 많은 구간에 대하여 큰 효과가 나타남을 알 수 있다.

Fig. 31은 A차량의 매연 측정결과를 그래프로 나타낸 것으로 인젝터 클리닝 전·후의 매연측정 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 배출가스의 매연이 인젝터 클리닝 전에 구간적으로 60~80% 정도의 큰 값을 보이거나 인젝터 클리닝 후는 32%가 최고값으로 나타났으며 약 20% 이하의 수치를 보였다. Table 29는 매연농도가 높은 부분의 계산 값을 보여주고 있다. Fig. 31에서 매연의 농도가 30% 넘는 구간 중 13.25, 53.25, 68.5, 122초의 네 구간을 계산하면, 13.25초의 7초 산술평균값이 26.68%로 매연농도 20%를 초과하여 계산된 매연농도의 값은 1초 산술평균값인 72.27%가 된다. 53.25초에서는 매연농도가 51.5%로 7초 동안의 산술평균값이 35.49%이고, 이 또한 매연농도 20%를 초과하여 1초 동안의 산술평균값인 50.14%의 매연농도가 측정되었다. 또한 68.5초일 때의 매연농도는 85.2%이므로 7초 동안의 산술평균값은 32.33%이고, 1초 동안의 산술평균값은 81%로 나타났으며, 122초에서는 매연농도가 49.95%이고 7초 동안의 산술평균값은 22.83%로 20%를 초과하여 1초 동안의 산술평균값인 41.12%의 매연이 검출되는 것으로 확인되었다.

인젝터 클리닝 후 매연의 농도가 전체적으로 낮아진 것을 Fig. 31에서 알 수 있다. 클리닝 후의 매연의 변화에서 30% 이하의 값의 1초 산술평균값이 65.25초에서 29%의 매연의 농도가 측정된다. 인젝터 클리닝 후 29%의 매연농도가 검출되어 적합 판정이 되었으며 Fig. 32은 A차량의 인젝터 클리닝 이후의 검사 결과표를 보여주고 있다.

Fig. 32는 위의 A차량과 같은 종류의 엔진을 가진 10년 동안 운행 중인 5대의 차량의 인젝터 클리닝 전·후의 매연 농도를 비교한 그래프이다. Fig. 32의 KD147 모드 주행그래프를 기준으로 비교하면 매연의 농도가 높은 구간은 기어의 변속 전·후와 속도의 증가가 일어나는 구간에서 매연의 농도 검출이 다른 구간보다 많이 생성됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 엔진의 연소실의 연소반응이 불균일한 연소반응에 의하여 불완전 연소가 되었음을 간접적으로 확인할 수 있다.

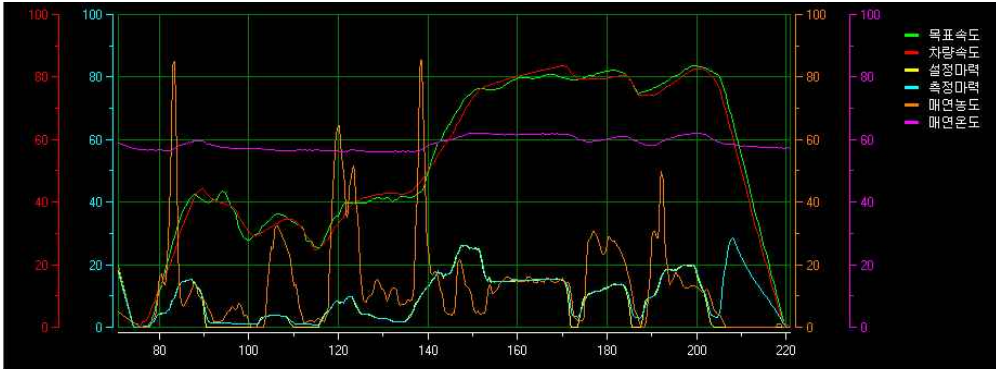
인젝터의 연료분사가 빠르게 이루어지는 구간에서는 매연의 생성이 많이 이루어지는 것으로 확인되었다. 반면 Fig. 32의 (b)는 인젝터 클리닝 후의 매연

측정결과로 전체적으로 매연이 감소함을 알 수 있다. 특히 등속구간에서는 매연의 발생이 균일하게 생성됨을 알 수 있다. 또한 기어변속 및 가속구간에서의 매연의 발생량이 인젝터 클리닝 전과 비교하면 매연 농도의 감소폭이 큰 것을 확인하였다. 즉, 인젝터 클리닝으로 인하여 전체적으로 불완전연소가 이루어지던 구간에서 완전연소에 가깝게 운전됨을 확인할 수 있다.

Fig. 34은 동일한 배기량과 CRDI 형식의 다양한 10대 차량의 인젝터 클리닝 전·후의 매연 감소폭을 나타낸 그래프이다. 10대의 차량의 인젝터 클리닝 전·후의 평균매연농도는 46.7%에서 22.5%로 클리닝 전에 비하여 매연의 발생량이 20%이상 크게 감소하였음을 확인할 수 있으며 전반적으로 매연 발생량이 배출 허용기준 30% 이하로 감소하였음을 확인하였다. 또한 매연발생량이 많은 자동차일수록 그 감소폭이 큰 것으로 확인되어 인젝터 클리닝의 효과가 오래된 자동차에 더욱 필요함을 확인할 수 있다.



Fig. 29 Photography of injector



(a) Before cleaning the intake manifold KD147 mode graph

[종합검사] (경유사용자동차용)

### 정밀 검사 결과 표(KD-147)

접수번호 제 E023-20110219-0002-1 호 (휘발유, 가스, 알콜사용 자동차용)

자동차	1) 등록 번호	09우2672	2) 차대번호	KMHSD81VP1U056747	3) 제원관리번호	*****		
	4) 소유자성명 (상호)	*****	5) 차명(제작사)	산타페	6) 차종(용도)	승용차기용		
	7) 연 식	2001	8) 연 료	경유	9) 누적주행거리	124,047 Km		
	10) 최초등록일	2001-01-22	11) 정밀검사유효기간만료일					
12) 종합판정	부적합		13) 재검사기간 :					
14) 정밀검사유효기간 : <b>1회 부적합 차량입니다.</b>								
15) 관능밀기능검사	판정 : 적합		16) 배출가스검사					
대기온도 : 4.20    대기압력 : 100.80			검사항목	측정치	허용기준	판정		
			무부하검사			%	%	
			부하 매 검사 연	1모드	81.0%	30.0%	부적합	
				2모드	%	%		
				3모드	%	%		
			최대출력		ps	ps		
엔진회전수		rpm	%					
차체	17) 길이	4,500 mm	원	20) 형 식	D4EA	23) 차량중량	1,685 kg	26) 특기사항
	18) 너비	1,820 mm	동	21) 배기량	1,991 cc	24) 총 중 량	2,140 kg	
	19) 높이	1,685 mm	기	22) 정격출력/ 회전수	115A000	25) 정 원	7 명	

(b) Before cleaning the intake manifold KD147 mode chart

Fig. 30 Test result before injector cleaning

Table 28 Emission measurements Log Data

NO	Time(sec)	before	after
261	65	7.500000112	32.80000049
262	65.25	8.100000121	29.80000044
263	65.5	8.550000127	23.50000035
264	65.75	8.550000127	22.05000033
265	66	8.250000123	20.60000031
266	66.25	8.800000131	17.85000027
267	66.5	10.35000015	15.15000023
268	66.75	12.02500018	10.60000016
269	67	13.7000002	9.150000136
270	67.25	28.95000043	7.950000118
271	67.5	42.85000064	7.200000107
272	67.75	58.80000088	6.750000101
273	68	81.55000122	6.300000094
274	68.25	85.40000127	6.000000089
<b>275</b>	<b>68.5</b>	<b>85.20000127</b>	<b>5.75000009</b>
276	68.75	81.00000102	5.500000082
277	69	71.85000107	5.850000087
278	69.25	61.30000091	7.650000114
279	69.5	50.45000075	7.150000107
280	69.75	33.6000005	6.6500001
281	70	27.25000041	6.150000092
282	70.25	22.40000033	5.35000008
283	70.5	17.75000026	5.050000075
284	70.75	16.95000025	5.250000078
285	71	16.87500025	6.350000095
286	71.25	16.80000025	7.000000104
287	71.5	17.75000026	7.750000115
288	71.75	17.85000027	8.550000127
289	72	17.20000026	11.95000018
<b>AVE</b>		<b>32.33103496</b>	<b>10.95344844</b>

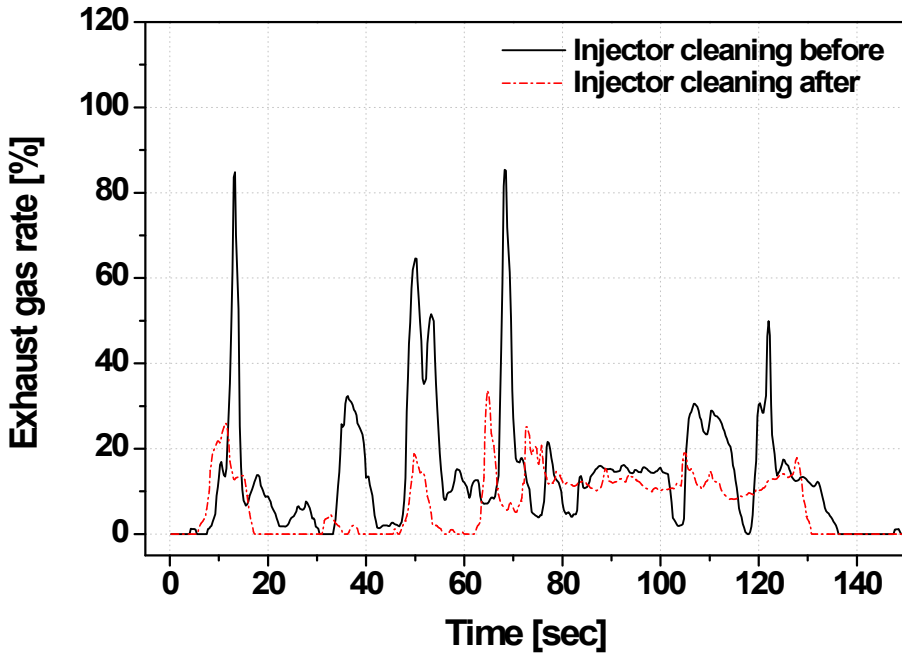
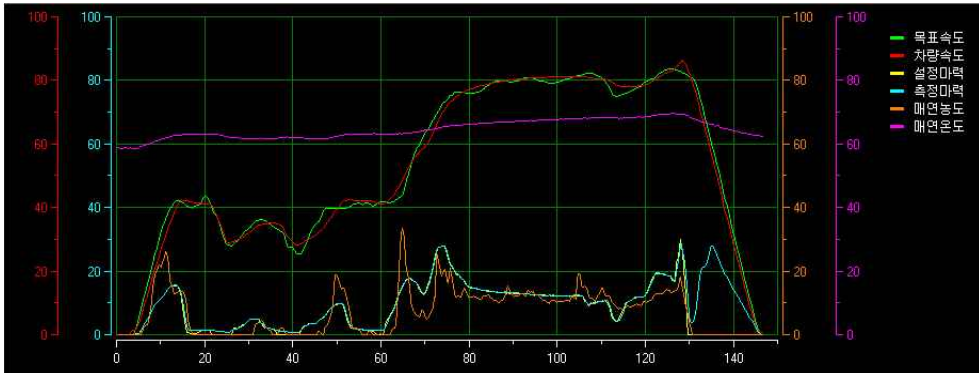


Fig. 31 Comparison of exhaust gas rate before and after of Injector cleaning for one vehicle

Table 29 Emission measurements 01

	More than 30%		7sec AVE [%]	Density of exhaust gases [%]	
	Time [sec]	Density [%]		20%<AVE (7sec)	20%>AVE (1sec)
before	13.25	84.85	26.68	-	72.27
	9.75 ~ 16.75				
	53.25	51.5	35.49	-	50.135
	49.75 ~ 56.75				
	68.5	85.2	32.33	-	81.00
	65 ~ 72				
	122	49.95	22.83	-	41.12
118.5 ~ 125.5					
after	65.25	29.8	12.31	12.2	29.0
	61.75 ~ 68.75				
	64.75	33.6	12.0	12.0	-
	61.25 ~ 68.25				



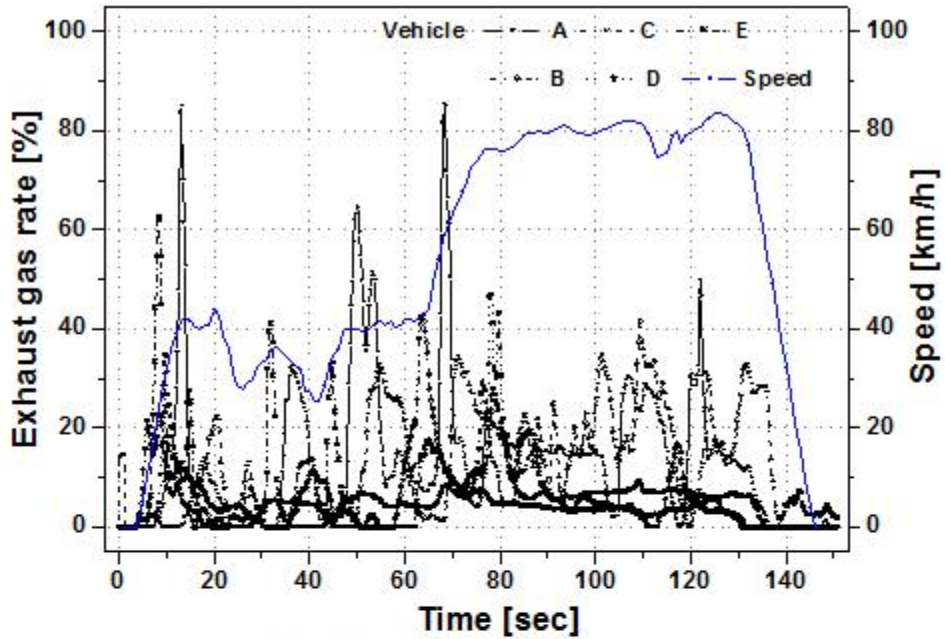
(a) After cleaning the intake manifold KD147 mode graph

[2부제검사(중합)] (경유사용자동차용)

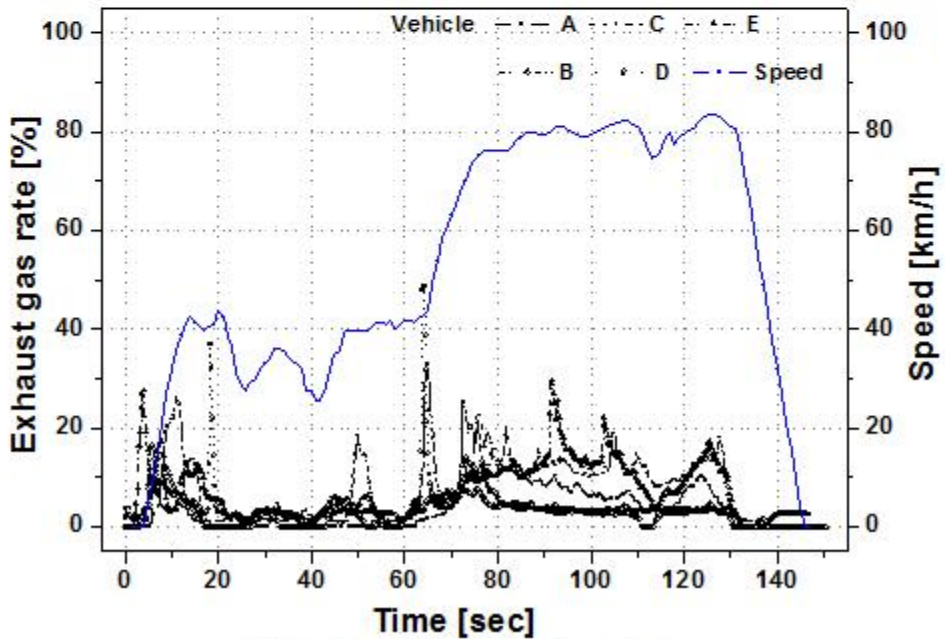
정밀 검사 결과 표(KD-147)							
접수번호 제 E023-20110219-0002-2 호			(휘발유, 가스, 알콜사용 자동차용)				
1) 등록 번호	09우2672	2) 차대번호	KMHSD81VP1U056747	3) 제원관리번호	*****		
4) 소유자성명 (상호)	*****	5) 차명(제작사)	현대제	6) 차종(용도)	승용 저기용		
7) 연 식	2001	8) 연 료	경유	9) 누적주행거리	124,050 Km		
10) 최초등록일	2001-01-22	11) 정밀검사유효기간만료일					
12) 종합판정	적합		13) 재검사기간 :				
14) 정밀검사유효기간 :							
15) 관능및기능검사	판정 : 적합		16) 배출가스검사				
대기온도 : 6.50    대기압력 : 100.90			검 사 할 목	측정치	허용기준	판정	
			무부하검사		%	%	
			부하 매	1모드	29.0%	30.0%	적합
				2모드	%	%	
				3모드	%	%	
최 대 출 력		ps	ps				
엔진회전수		rpm	%				
17) 길이	4,500 mm	원	20) 형 식	D4EA	23) 차량중량	1,685 kg	26) 특기사항
18) 너비	1,820 mm	동	21) 배기량	1,991 cc	24) 총 중 량	2,140 kg	
19) 높이	1,685 mm	기	22) 정격출력/ 회전수	115A/000	25) 정 원	7 명	

(b) After cleaning the intake manifold KD147 mode chart

Fig. 32 Test result after injector cleaning



(a) Before injector cleaning



(b) After injector cleaning

Fig. 33 Comparison of exhaust gas rate before and after of Injector cleaning for five vehicles

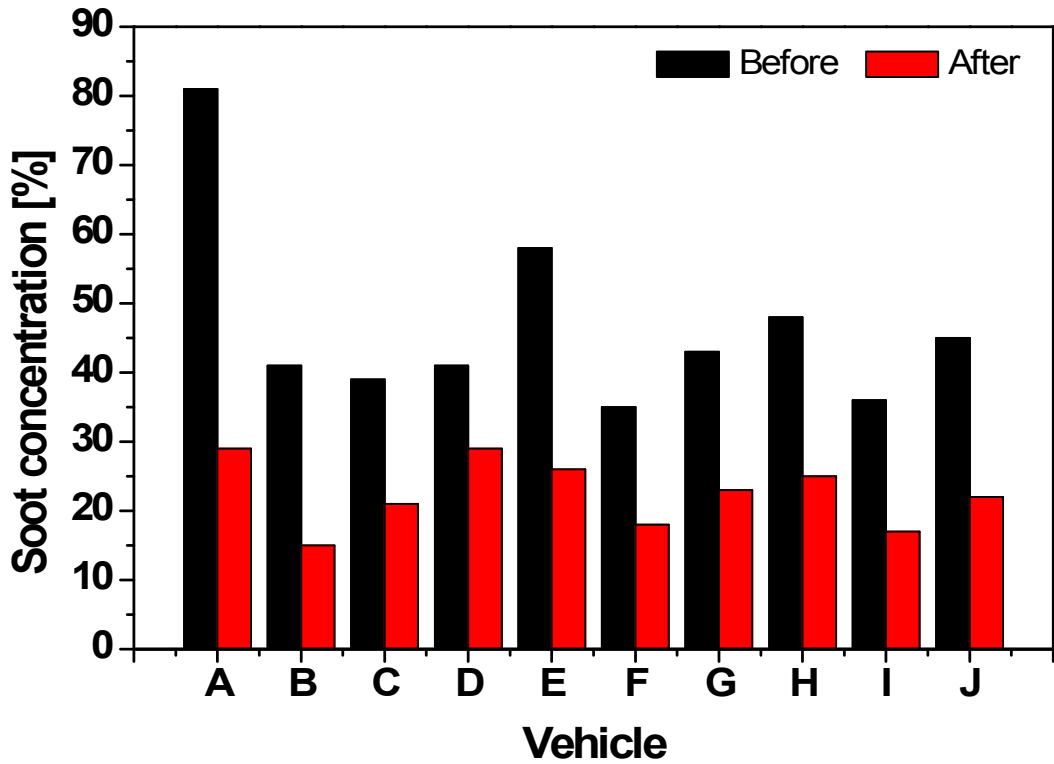


Fig. 34 Comparison of soot concentration before and after of Injector cleaning for ten vehicles



## 2. 인젝터 클리닝이 배기가스에 미치는 영향 고찰

디젤 자동차에서 인젝터의 상태와 관련되어 인젝터 클리닝이 매연 발생에 미치는 영향에 대한 연구를 10대의 차량으로 실험적으로 진행하였으며 그 중 한 차량의 인젝터 클리닝 전후의 매연의 농도를 정밀하게 비교 및 분석하였다. 이를 통하여 인젝터 클리닝 전·후의 매연측정은 전반적으로 배출가스의 매연이 인젝터 클리닝 전에 구간적으로 60~80% 정도의 큰 값을 보이나 인젝터 클리닝 후는 32%가 최고값으로 나타났으며 이 구간에서는 약 20% 이하의 수치를 보였다. 매연의 농도가 30%가 넘는 구간 중 13.25초는 매연의 농도가 72.27%이고, 53.25초는 50.138%, 68.5초는 81%, 122초는 41.12%의 매연이 발생하였다. 인젝터 클리닝 후의 매연의 농도는 62.25초에서 29%, 64.75초는 12%로 나타나는 것을 확인하였다.

10대의 차량의 인젝터 클리닝 전·후의 평균매연농도는 46.7%에서 22.5%로 클리닝 전에 비하여 매연의 발생량이 20%이상 크게 감소하였음을 확인할 수 있으며 전반적으로 매연 발생량이 배출 허용기준 30% 이하로 감소하였음을 확인하였다. 또한 매연발생량이 많은 자동차일수록 그 감소폭이 큰 것으로 확인되어 인젝터 클리닝의 효과가 오래된 자동차에 더욱 필요함을 확인할 수 있었다.

## 제2절 배기가스 성분 분석 실험

### 1. 인젝터 분사 흡수에 따른 배기가스 성분 고찰

디젤기관은 흡입, 압축, 폭발, 배기의 각 행정이 하나의 사이클을 이루고, 흡입과정에서 공기만을 흡입한 후, 압축과정 말기에 실린더 내 연료를 분사하여 자연착화를 하는 시스템으로 연료분사 시스템에서 공급된 연료는 인젝터의 노즐을 통해 압축과정 말기에 실린더내로 분사된다. 액체 상태의 연료는 고속 분무형태로 연소실 내로 퍼져나가게 되며, 더 작은 액적으로 분무화되면서 증발하게 되고 연소실내 고온 고압의 공기와 혼합되게 된다. 연소실내 공기는 연료의 착화점 이상의 온도 및 압력 조건을 가지고 있는 상태이므로, 이미 혼합된 상태의 연료-공기 일부가 발화를 일으키게 된다. 연소가 진행됨에 따라 실린더 내 압력은 상승하게 되고, 동시에 미연 연료 공기 혼합기의 착화지연시간을 단축시키고 액체상태의 연료의 증발시간을 줄이게 되어 연소는 급속도로 일어나게 된다. 실린더 내에 분사된 모든 연료는 무화, 증발, 혼합 및 연소의 과정을 거치게 되며, 연소 및 팽창기간 중에도 기연 및 미연가스가 남은 공기와의 혼합이 계속적으로 일어나게 된다.

이러한 연소과정에서 배출되는 배기가스의 성분 중 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 농도를 측정하고, 엔진의 연소실에서 이루어지는 연소형태를 간접적으로 유추하게 된다. 이러한 과정에서 우선 인젝터의 분사 흡수에 대한 비교분석을 통하여 인젝터 분사 형태가 엔진의 연소실에 미치는 영향을 확인하고 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 농도의 변화를 분석하여 상용차의 배기가스를 저감할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 본 실험을 실시하였다. 실제 자동차에서 배기가스의 성분 중 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO는 연소 상태 및 대기에 미치는 영향이 큰 배기가스들이다.

### a. 인젝터 분사 흡수에 따른 HC의 농도 분석

Table 30은 인젝터에서 연료 분사 흡수에 따른 HC의 농도변화를 보여주고 있다. 탄화수소(HC)는 연소실벽 근처에서 전열에 의한 급격한 온도강하와 소염작용에 의하여 발생하고, 엔진 연소실 온도가 낮은 상태에서 연료가 많이 유입되어 불완전 연소하면서 주로 생성된다. 화학적 성질에 따라 파라핀, 나프틴, 올레핀, 방향족으로 분류된다. HC의 농도는 전체적으로 5홀 보다는 6홀과 7홀에서 적게 검출됨을 확인할 수 있다. 780 rpm에서 5홀 인젝터의 경우 HC 검출량은 28.8 ppm이고, 6홀 인젝터의 경우 21.4 ppm, 7홀 인젝터는 20.6 ppm으로 5홀보다 6홀, 7홀 인젝터가 7.4 ppm과 8.2 ppm 정도 적게 검출되었다. 6홀과 7홀 인젝터의 경우 배출량 차이가 0.8 ppm으로 탄화수소 배출량이 거의 유사함을 확인하였다. 또한 엔진회전수가 증가할수록 모든 인젝터 흡수 조건에서 탄화수소의 배출량이 증가하였고, 5홀 인젝터의 경우 2000 rpm까지 증가정도가 완만하였으나 2500 rpm에서 117.4 ppm으로 780 rpm에 비하여 89.4 ppm 차이가 나며 2000 rpm 이후 크게 증가하는 모습을 보였다. 반면 6홀과 7홀 인젝터는 2500 rpm에서 각각 42.4 ppm과 35.4 ppm으로 다소 낮게 측정되었다. 이는 인젝터의 분사 구멍수가 5홀인 경우 분사의 형태가 고르게 분포하지 못하고 액적의 분사 크기가 크기 때문에 고속연소가 필요한 고속주행시 불완전 연소 및 실린더 벽면에서의 온도변화가 크게 나타나는 것에 기인한 것으로 판단된다.

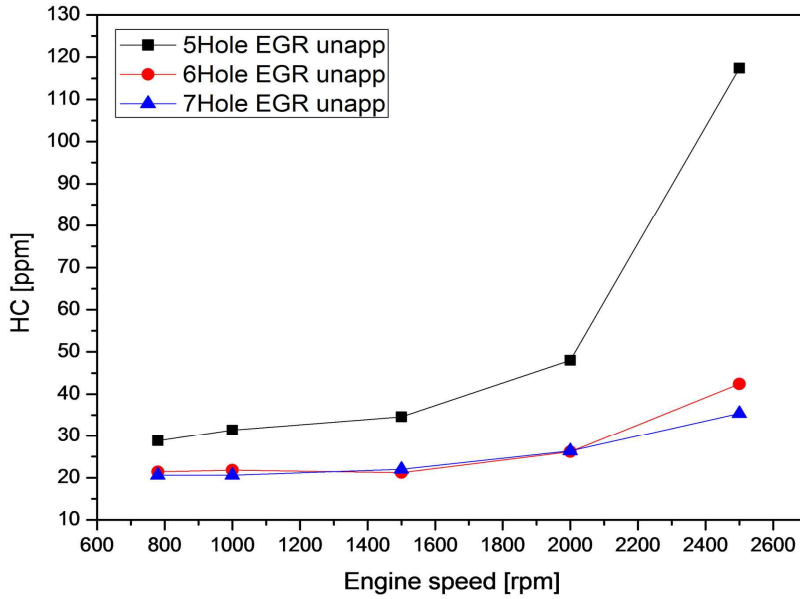
Fig. 35는 EGR 시스템을 적용하지 않았을 때의 HC의 농도의 측정값을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 35(a) 그래프의 5홀 인젝터와 6, 7홀 인젝터의 HC의 농도의 차이를 보면 5홀의 경우 전체적으로 배출량이 증가한 것을 확인할 수 있으며 5홀에 비해 6홀과 7홀의 HC의 배출 저감성능이 우수함을 알 수 있다. 특히 2000 rpm이후의 HC 농도 변화는 Fig. 35(b)에서 확연하게 감소량의 차이를 비교할 수 있다. 2000 rpm에서 5, 6, 7홀의 HC 농도는 각각 48 ppm, 26.2 ppm, 26.4 ppm으로 6, 7홀 인젝터에 비해 5홀 인젝터가 21.8 ppm, 21.6 ppm 더 많이 생성되었다. 그리고 2500 rpm에서 5홀, 6홀, 7홀 인젝터의 HC의 농도는 117.7 ppm, 42.4 ppm, 35.4 ppm로 측정되어 5홀의 인젝터에 비하여 HC 농도 감소율은 6홀의 경우 77.6%, 7홀의 경우 132.4%에 이르는 것으로 나

타났다. HC 배출농도에 대한 5홀, 6홀, 7홀 인젝터의 농도의 변화를 보아 5홀 인젝터에 비하여 6, 7홀 인젝터의 HC 발생에 대한 감소효과가 확인함을 확인하였다.

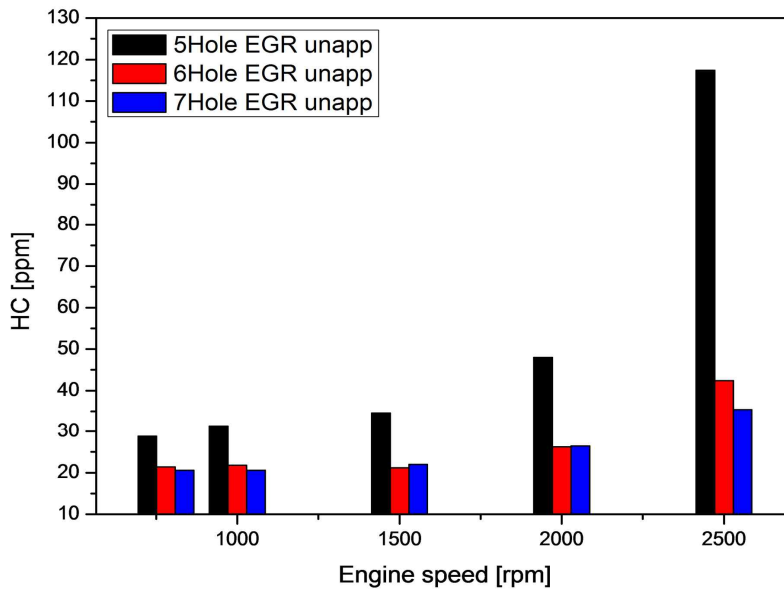
Table 30 HC density according of injector holes

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	HC[PPM] : EGR system unapplied		
	5Hole	6Hole	7Hole
780(Idle)	28.8	21.4	20.6
1000	31.4	21.8	20.6
1500	34.6	21.2	22
2000	48	26.2	26.4
2500	117.4	42.4	35.4



(a) HC density graph : EGR unapp



(b) HC density Column : EGR unapp

Fig. 35 HC density of Exhaust gas without EGR system

## b. 인젝터 분사 홀수에 따른 NO<sub>x</sub>의 농도 분석

Table 31은 인젝터의 연료 분사 홀수에 따른 NO<sub>x</sub>의 농도변화에 대한 측정값을 보여주고 있다. 질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)를 통칭하는 용어로 연소 시 공기 중의 산소와 질소가 높은 열에 의해 반응하여 생성되며, 대기 중에서 탄화수소와 함께 햇빛과 광화학반응하여 오존을 생성한다. NO는 무색, 무취의 기체로 공기와 반응하여 NO<sub>2</sub>로 산화한다. 실험 결과 NO<sub>x</sub>의 농도는 780 rpm 조건에서 5홀 인젝터의 경우 96.2 ppm, 6홀 인젝터의 경우 85.8 ppm, 7홀 인젝터는 84.2 ppm이 측정되었으며 5홀 인젝터보다 6홀 인젝터의 NO<sub>x</sub> 배출량은 약 10.4 ppm이 감소되었고, 7홀의 경우는 약 12 ppm이 감소되는 것으로 확인되었다. 반면에 엔진의 회전속도가 1500 rpm에서 NO<sub>x</sub> 배출 농도는 5홀, 6홀, 7홀 인젝터는 각각 24.4 ppm, 31.4 ppm, 30 ppm으로 측정되었다. 이 때 5홀 인젝터에 비해 6홀 인젝터는 약 7 ppm, 7홀 인젝터는 약 5.4 ppm 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 2000 rpm에서도 동일하게 나타나다가 2500 rpm이 되면 다시 5홀의 인젝터의 NO<sub>x</sub> 배출량이 증가하는 것으로 나타났다.

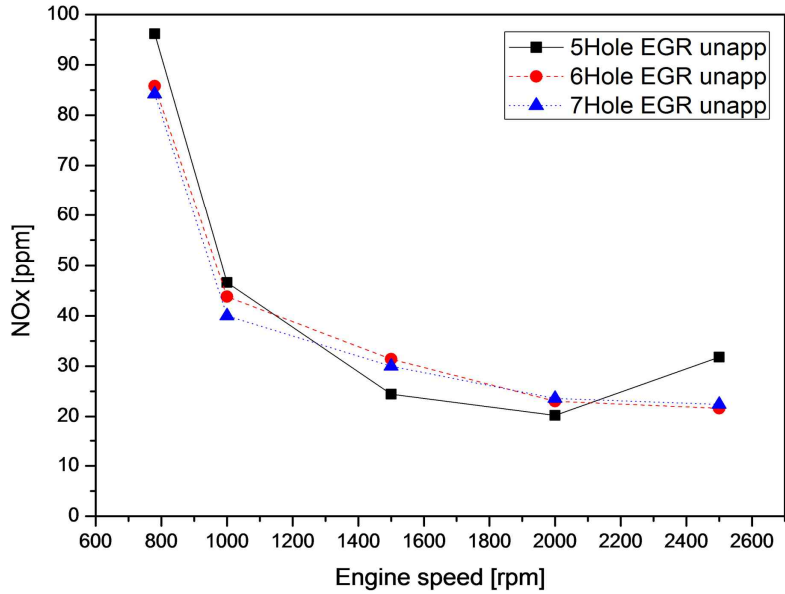
Fig. 36는 NO<sub>x</sub>의 농도의 측정값을 나타낸 그래프이다. Fig. 36(a)에서 5홀 인젝터와 6, 7홀 인젝터의 NO<sub>x</sub>의 배출농도의 차이를 보면 5홀 인젝터가 6홀, 7홀 인젝터에 비하여 1500 rpm과 2000 rpm에서 NO<sub>x</sub>의 농도가 적게 발생하지만 나머지 회전수에서는 6, 7홀 인젝터의 NO<sub>x</sub> 저감효과가 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 특히 2500 rpm에서는 Fig. 36(b)에서 감소량의 차이를 비교할 수 있는데 2500 rpm에서 5, 6, 7홀의 NO<sub>x</sub> 농도는 31.8 ppm, 21.6 ppm, 22.4 ppm으로 5홀 인젝터에 비해 6, 7홀 인젝터가 10.2 ppm, 9.4 ppm 더 적게 생성되었다. 이는 약 7%~27% 이상 감소된 값이다.

NO<sub>x</sub>는 고온에서 공기 중의 질소와 산소의 결합에 의해 생성되므로 연소실 내부의 공기 중 질소와 산소의 비율이 적게 분포될수록 NO<sub>x</sub>의 발생이 적어진다. 이는 연소반응이 이루어질수록 NO<sub>x</sub>가 저감된다. 따라서 5홀보다 6, 7홀 인젝터에서 더 고연소반응이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

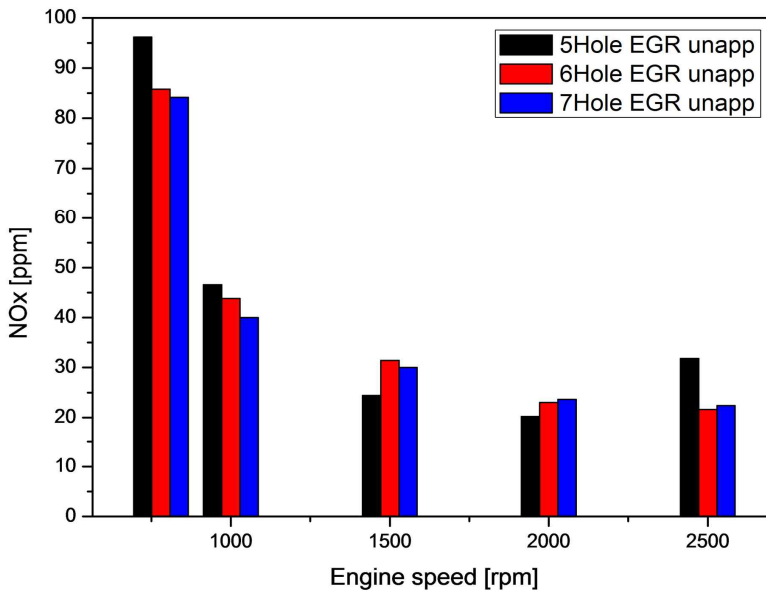
Table 31 NO<sub>x</sub> density according of injector holes

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	NO <sub>x</sub> [PPM] : EGR system unapplied		
	5Hole	6Hole	7Hole
780(Idle)	96.2	85.8	84.2
1000	46.6	43.8	40
1500	24.4	31.4	30
2000	20.2	23	23.6
2500	31.8	21.6	22.4



(a) NOx density graph : EGR unapp



(b) NOx density column : EGR unapp

Fig. 36 NOx density of Exhaust gas without EGR system



### c. 인젝터 분사 홀수에 따른 CO<sub>2</sub>의 농도 분석

Table 32는 인젝터의 연료 분사 홀수에 따른 배출가스 중 CO<sub>2</sub>의 농도에 대한 변화를 측정된 값을 보여주고 있다. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 일반적으로 대기 오염물질로 취급하지 않았다. 이것은 무독성 기체로 막대한 양(~1012 tons)이 해마다 생물권을 통하여 순환하기 때문이다. 19세기 이후 산업의 발달로 CO<sub>2</sub>의 증가로 인하여 기상이변과 기온상승 등 온실효과의 원인으로 주목받으므로 인하여 대기오염 물질로 취급되기 시작하였다. 이러한 CO<sub>2</sub>의 발생은 차량의 연비와 연관성이 있다. CO<sub>2</sub>의 농도가 높을수록 엔진에서의 연소효율이 낮은 것이고 이에 차량의 연비가 낮아지기 때문이다. CO<sub>2</sub>의 생성은 엔진의 연소실의 연소반응에서 인젝터에서 연료를 분사한 후 압축착화에 의한 점화가 발생하며 이때 불꽃과 대기 중의 산소(O<sub>2</sub>)와의 결합으로 생성된다. 일반적으로 엔진에서 점화시간이 짧을수록(고속주행이나 연소효율이 높을수록) CO<sub>2</sub>의 생성률은 감소한다.

CO<sub>2</sub>의 배출농도는 780 rpm일 때 5홀 인젝터의 경우 2.156%, 6홀 인젝터와 7홀 인젝터는 각각 1.768%와 1.796%가 검출되었다. 하지만 CO<sub>2</sub>의 농도가 780 rpm에 비하여 그 증가의 폭이 큰 2000 rpm에서는 5홀 인젝터는 2.42%, 6홀 인젝터는 2.216%, 7홀 인젝터는 2.304%가 생성되었다. 또한 그 증가폭은 5홀 인젝터의 경우 0.264%, 6홀 인젝터는 0.448%, 7홀 인젝터는 0.508%로 점점 증가하는 경향을 나타내었다. EGR 미적용시 엔진의 속도가 780 rpm에서 1500 rpm까지 증가할 때 엔진 회전수증가에 따른 CO<sub>2</sub> 배출 농도의 감소율은 5홀의 경우 1.7%, 그리고 6홀과 7홀의 경우 각각 9.3%와 7.3%를 나타내었다. 하지만 엔진회전수가 2500 rpm이 되면 CO<sub>2</sub> 배출량의 감소율이 5홀, 6홀, 7홀 인젝터에 대하여 각각 31.2%, 57.0%, 56.8%로 급격하게 증가한다.

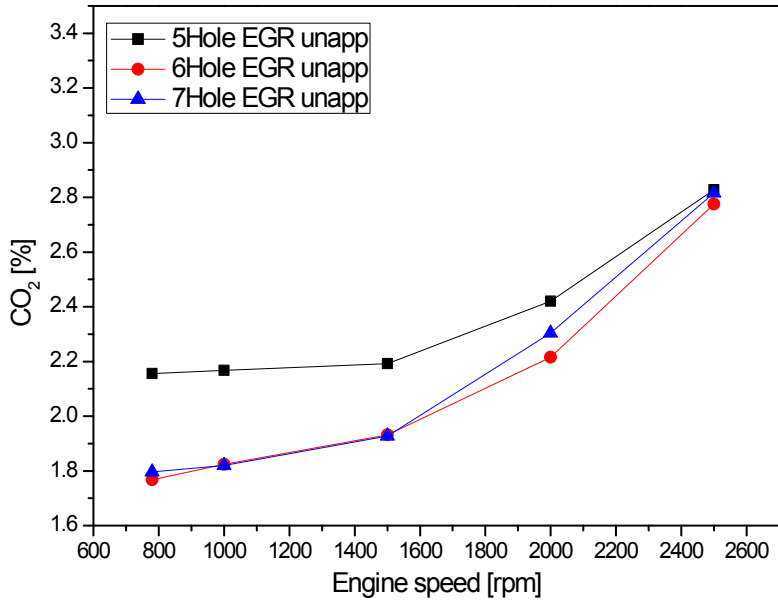
Fig. 36은 엔진회전수의 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 배출비를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 36(a)의 그래프에서 780 rpm에서 5홀 인젝터에 비해 6, 7홀 인젝터의 CO<sub>2</sub> 발생량이 60%정도 적게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 6, 7홀 인젝터의 CO<sub>2</sub> 증가율이 1500 rpm을 기준으로 급격히 증가하여 2500 rpm에서는 CO<sub>2</sub>의 농도가 비슷해지는 것을 확인하였다. 2500 rpm에서의 CO<sub>2</sub> 농도는 5홀 인젝터 2.828%, 6홀 인젝터 2.776%, 7홀 인젝터 2.816%로 CO<sub>2</sub> 발생에 대한 오차가 0.052%~0.012%로 나타났다. 그러므로 CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm에서

는 6, 7홀 인젝터의 성능이 우수하지만 이후 점차적으로 그 값의 차이가 줄어들어 2500 rpm 이후에는 5, 6, 7홀 인젝터의 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 농도는 거의 비슷한 값을 보이는 것으로 확인되었다. 이는 엔진이 고속으로 회전함에 따라 인젝터에서 분사의 형태가 연소에 최적화되어 있지 않음에도 연소속도의 증가로 인하여 인젝터의 분사 효과에 의한 영향이 상대적으로 줄어드는 효과에 기인한 것으로 사료된다.

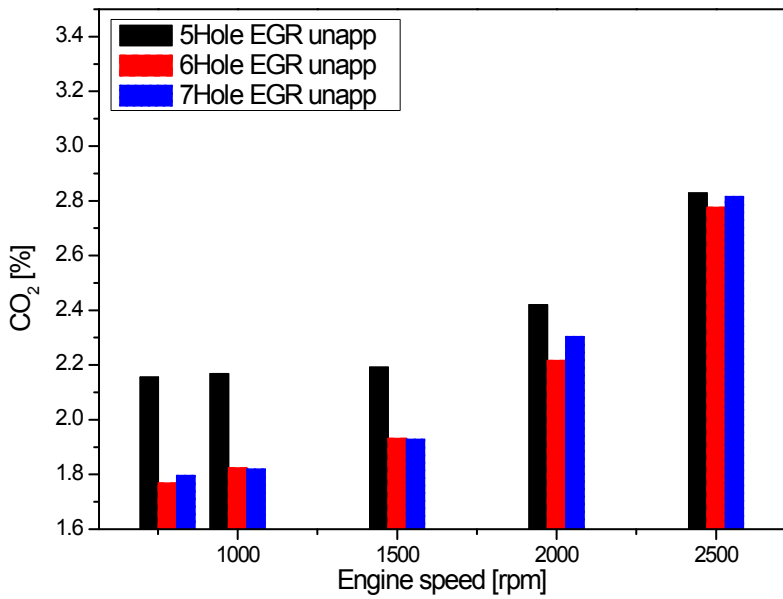
Table 32 CO<sub>2</sub> density according of injector holes

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO <sub>2</sub> [%] : EGR system unapplied		
	5Hole	6Hole	7Hole
780(Idle)	2.156	1.768	1.796
1000	2.168	1.824	1.82
1500	2.192	1.932	1.928
2000	2.42	2.216	2.304
2500	2.828	2.776	2.816



(a) CO<sub>2</sub> density graph : EGR unapp

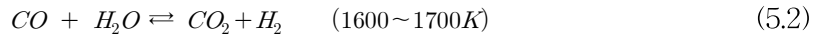


(b) CO<sub>2</sub> density column : EGR unapp

Fig. 37 CO<sub>2</sub> density of Exhaust gas without EGR system

#### d. 배기가스 중 CO의 농도 분석

Table 33은 인젝터의 연료 분사 흡수에 따른 CO의 농도에 대한 변화를 측정한 값이다. 일산화탄소(CO)발생량은 공기연료 혼합비에 가장 크게 좌우된다. 디젤기관은 대부분 희박한 공연비 영역에서 작동하기 때문에 CO는 크게 문제되지 않는다. 기관 작동시의 CO 발생 원인을 살펴보면, 실린더간의 혼합기 불균일성, 저온 시동 시 농후한 연료공급, 과도운전시의 농후한 연료공급을 들 수 있다. 산소가 부족한 영역에서 CO농도는 수기방정식(water gas equation)에 지배되며, 공기가 충분한 영역에서는 산소와의 주반응에 의해 CO<sub>2</sub>로 바뀐다.



단, C는 탄소(Carbon), O는 산소(Oxygen), H는 수소(Hydrogen), CO는 일산화탄소(Carbon monoxide), CO<sub>2</sub>는 이산화탄소(Carbon dioxide), H<sub>2</sub>O는 물(Water, 수증기)이다. 배기관의 배출농도는 연소실내에서 측정된 값보다는 낮으나 화학평형 값보다는 훨씬 높으며, 이것은 실제 기관에서의 CO배출은 비평형에 지배됨을 의미한다. Table 33에서 CO의 농도는 5, 6, 7홀 인젝터의 전체적인 현상은 엔진의 회전수가 증가 할수록 생성되는 CO의 농도는 증가한다. 5홀 인젝터를 기준으로 확인하면 780 rpm은 0.018%, 1000 rpm은 0.02%, 1500 rpm은 0.042%, 2000 rpm은 0.062%, 2500 rpm은 0.08%로 780 rpm에서 1000 rpm의 구간에서는 0.002%의 CO 농도의 증가를 나타내고 있으며, 1000 rpm이후 2500 rpm 사이의 구간에서는 0.02%의 CO 농도가 증가한 것을 확인하였다. 엔진의 회전수에 따라 점진적으로 증가가 이루어지고 780rpm과 1000 rpm의 경우 엔진 회전수의 차이가 220 rpm으로 1000 rpm이후의 증가폭인 5000 rpm과는 그 비교가 다르다. 따라서 1000 rpm이후의 CO 농도의 증가가 정비례의 형태로 증가가 이루어진다. 6홀 인젝터의 경우 780 rpm은 0.01%, 1000 rpm은 0.02%, 1500 rpm은 0.024%, 2000 rpm은 0.052%, 2500 rpm은 0.078%로 CO 농도가 5홀 인젝터에 비하여 1500 rpm에서 0.018%의 차이를 나타내고 있으며, 2000 rpm에서 0.01%의 차이를 나타내고 있다. 또한 2500

rpm에서는 0.002%의 CO 농도의 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 5홀 인젝터에 비해 6홀 인젝터의 1500 rpm 에서 2000 rpm 까지의 CO 농도의 감소량은 0.01%~0.018%의 감소효과를 확인 할 수 있었다. 7홀 인젝터의 경우 780 rpm은 0.01%, 1000 rpm은 0.02%, 1500 rpm은 0.032%, 2000 rpm은 0.05%, 2500 rpm은 0.072%로 CO 농도가 5홀 인젝터에 비하여 1500 rpm에서 0.01%의 차이를 나타내고 있으며, 2000 rpm에서 0.012%의 차이를 나타내고 있다. 2500 rpm에서는 0.008%의 CO 농도의 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 5홀 인젝터에 비해 7홀 인젝터의 1500 rpm 에서 2000 rpm 까지의 CO 농도의 감소량은 0.01%~0.012%의 감소효과를 확인 할 수 있었고, 6홀 인젝터에 비해 7홀 인젝터의 1500 rpm 에서 CO 농도의 측정량은 0.08%가 증가하는 것을 확인 하였다. 2500 rpm에서의 CO의 농도는 5홀 인젝터와 6홀 인젝터 사이에서 0.002% 이고, 5홀 인젝터와 7홀 인젝터 사이에서 0.008%의 차이가 나타나지만 2500 rpm이후의 고 rpm 영역에서의 CO의 농도는 비슷해질 것으로 예측할 수 있었다.

Fig. 37은 인젝터 분사 홀수에 따른 공기의 접촉면적을 나타낸 그래프이다. Fig. 37의 (a)는 5홀, (b)는 6홀, (c)는 7홀로 공기의 접촉되는 부분을 나타내고 있으며, 연료의 분사각에 따라 접촉되는 공기의 양을 확인할 수 있다. 5홀 인젝터에서 연료의 분사각이 72°이고, 6홀 인젝터는 60°, 7홀 인젝터는 52°로 공기와 연료의 접촉면은 5홀 보다 6홀이 많으며, 6홀 보다는 7홀이 많다. 따라서 접촉면이 많을수록 연소실에서의 연소과정 및 연소시간이 단축되어 연소반응 또한 불완전 연소보다 완전연소에 가깝게 이루어지는 것을 확인하였다.

Fig. 38은 Table 33의 측정된 농도를 선 그래프와 막대 그래프로 나타낸 것이다. 6, 7홀 인젝터는 1500 rpm과 2000 rpm에서 0.018~0.01%의 CO농도의 감소 효과를 확인하였다. 6홀과 7홀의 1500 rpm, 2000 rpm에서의 CO농도의 저감원인은 6, 7홀 인젝터의 엔진 연소실 내부의 연료 분사의 분사 패턴의 영향을 들 수 있다. 또한, Fig. 37에서 보는 바와 같이 (a)의 5홀 인젝터에 비해 (b) 6홀 인젝터, (c) 7홀 인젝터가 연료 분사 시 공기와의 접촉면이 더 많으므로 완전연소에 유리한 조건을 가지기 때문이다. CO의 농도는 6, 7홀 인젝터에서 저감효과를 확인하였고, 6홀 인젝터보다 7홀 인젝터의 효율이 더 좋음을 확인하였다. 엔진의 회전수가 증가할수록 CO의 농도가 증가하는 것은 엔진의 회전수가 증가할수록 엔진 연소실에서의 불완전연소의 비율이 증가하고 있다

고 예측할 수 있다.

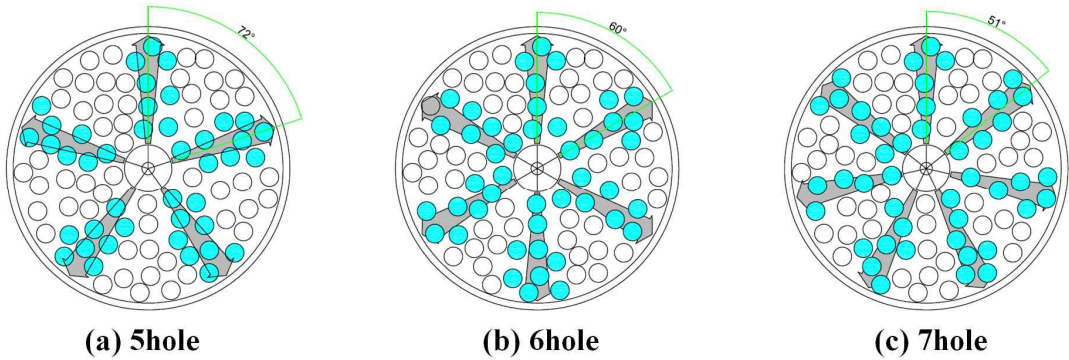
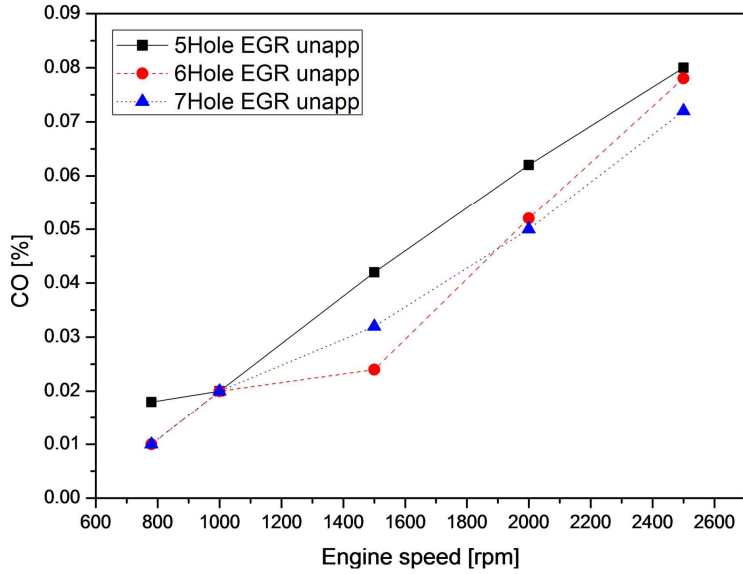


Fig. 38 Spray pattern due to the number of injector holes

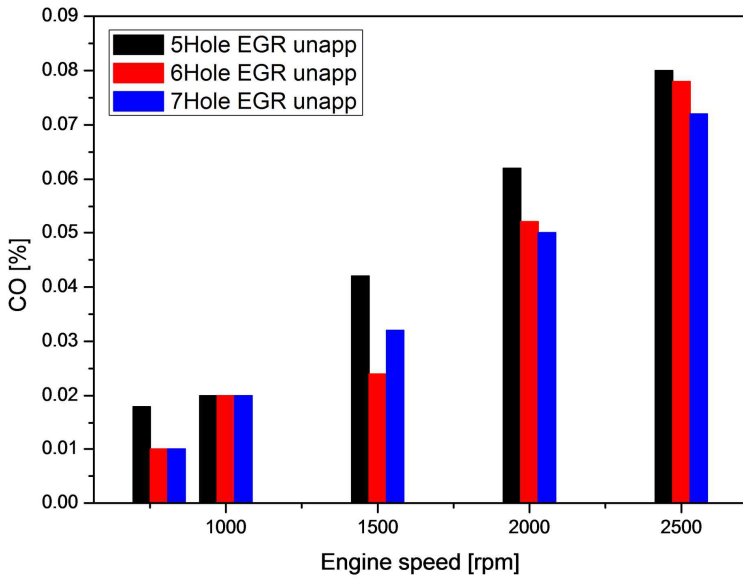
Table 33 CO density according of injector holes

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO[%] : EGR system unapplied		
	5Hole	6Hole	7Hole
780(Idle)	0.018	0.01	0.01
1000	0.02	0.02	0.02
1500	0.042	0.024	0.032
2000	0.062	0.052	0.05
2500	0.08	0.078	0.072



(a) CO density graph : EGR unapplied



(b) CO density column : EGR unapplied

Fig. 39 CO density of Exhaust gas without EGR system

### e. 인젝터의 분사 흡수가 배기가스에 미치는 영향 고찰

본 연구에서 수행한 인젝터 분사 흡수에 따른 배기가스 성분 분석의 실험 결과 HC의 농도는 2000 rpm에서 5, 6, 7홀의 HC 농도는 6, 7홀 인젝터에 비해 5홀 인젝터가 21.8 ppm, 21.6 ppm 더 많이 생성되었고, 2500 rpm에서 5홀, 6홀, 7홀 인젝터의 HC의 농도는 5홀 인젝터에 비하여 HC 농도 감소율은 6홀의 경우 77.6%, 7홀의 경우 132.4%에 이르는 것으로 나타났다. NO<sub>x</sub>의 배출농도의 차이를 보면 5홀 인젝터가 6홀, 7홀 인젝터에 비하여 1500 rpm과 2000 rpm에서 NO<sub>x</sub>의 농도가 적게 발생하지만 나머지 회전수에서는 6, 7홀 인젝터의 NO<sub>x</sub> 저감효과가 더 좋은 것을 확인 할 수 있다. 특히 2500 rpm에서는 5홀 인젝터에 비해 6, 7홀 인젝터가 10.2 ppm, 9.4 ppm 더 적게 생성되었다. 이는 약 7%~27% 이상 감소된 값이다.

CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm에서 5홀 인젝터에 비해 6, 7홀 인젝터의 CO<sub>2</sub> 발생량이 60%정도 적게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 6, 7홀 인젝터의 CO<sub>2</sub> 증가율이 1500 rpm을 기준으로 급격히 증가하여 2500 rpm에서는 CO<sub>2</sub>의 농도가 비슷해지는 것을 확인하였다. 2500 rpm에서의 CO<sub>2</sub> 발생에 대한 오차가 0.052%~0.012%로 나타나고 있다. 그러므로 CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm에서는 6, 7홀 인젝터의 성능이 우수하지만 이후 점차적으로 그 값의 차이가 줄어 2500 rpm 이후에는 5, 6, 7홀 인젝터의 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 농도는 거의 비슷한 값을 보인다.

CO의 농도는 5홀 인젝터에 비해 6홀 인젝터의 1500 rpm 에서 2000 rpm까지의 CO 농도의 감소량은 0.01%~0.018%의 감소효과를 확인 할 수 있었다. 7홀 인젝터의 경우 CO 농도가 5홀 인젝터에 비하여 1500 rpm에서 0.01%의 차이를 나타내고 있으며, 2000 rpm에서 0.012%의 차이를 나타내고 있다. 2500 rpm에서는 0.008%의 CO 농도의 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 5홀 인젝터에 비해 7홀 인젝터의 1500 rpm 에서 2000 rpm까지의 CO 농도의 감소량은 0.01%~0.012%의 감소효과를 확인 할 수 있었고, 6홀 인젝터에 비해 7홀 인젝터의 1500 rpm 에서 CO 농도의 측정량은 0.08%가 증가하는 것을 확인 하였다.

인젝터 분사 흡수에 대한 비교는 5홀 인젝터에 비하여 6, 7홀 인젝터가



HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 저감에 효과적이었으며, 6, 7홀 인젝터 중 7홀 인젝터가 전체적으로 더 좋은 성능을 발휘하는 것을 확인하였다.

따라서 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 저감을 위해서 이 후의 디젤유 혼합과 EGR 시스템의 적용에 따른 실험은 가장 배출가스 저감효과가 좋은 7홀 인젝터를 사용하였으며 Table 26과 Table 27의 실험조건을 활용하여 실시하였다. 하지만 CO<sub>2</sub>와 CO의 경우 2500 rpm이후의 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 농도는 비슷해지는 것을 확인하였다.

## 2. 바이오디젤 혼합유 농도에 따른 배출가스의 성분 고찰

바이오디젤은 재생 가능한 식물자원(바이오매스)에서 생산되므로 에너지자원의 고갈 문제가 없다. 연료의 문제가 되고 있는 이산화탄소는 바이오매스의 생산과정에서 회수되므로 이산화탄소의 순배출량이 매우 적다. 바이오디젤은 산소함유량이 높으므로(산소 10% 이상) 완전연소 비율이 높고, 발암물질인 입자상물질 등을 저감할 수 있다. 특히 독성이 적고, 생분해도가 높아서 유출시 환경오염이 적지만, 성분의 안정성이 떨어진다는 점, 장기 보관시 산소, 수분, 열 및 불순물 등의 노화현상이 나타난다는 점, 원료생산을 위해 사용되는 비료 및 살충제에 의한 장기적인 환경영향이 일어날 가능성, 원료수급이 원활하지 않을 가능성이 매우 높아 경제성이 낮아질 수 있다는 점은 단점으로 지적되고 있다. 이에 따라 본 실험은 폐식용유를 활용한 바이오디젤을 실제 사용 중인 디젤유와 혼합하여 바이오디젤유의 혼합비에 따른 배출가스 변화실험을 수행하였다.

바이오디젤 혼합유에 대한 실험은 ‘제5장 제1절 1. 인젝터 분사 홀수에 따른 배기가스 성분 분석’의 실험결과를 바탕으로 시판중인 디젤연료인 경유와 바이오디젤유의 혼합비율에 따른 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 성분을 측정하여 경유와 바이오디젤의 이상적인 혼합비율을 찾는다. 경유와 바이오디젤유의 혼합비율은 ‘제4장 제2절 경유와 바이오디젤(Biodiesel)유의 혼합연료 사용에 따른 배기가스 성분 변화실험’의 실험조건에 따라 혼합비율 0(경유):100(바이오디젤유)~30(경유):70(바이오디젤유)의 비율로 혼합하여 실험하고, 실험장비는 D-2.0(D4EA)엔진에 배기가스 저감효과가 가장 우수한 7홀 인젝터를 장착하여 배기가스의 농도를 측정하여 비교 분석 하였다.

### a. 바이오디젤 혼합비율에 따른 HC의 농도 분석

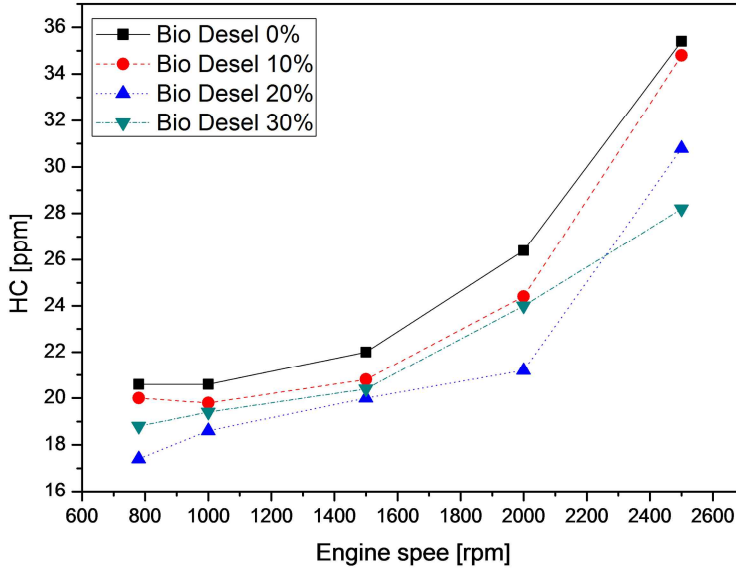
Table 34는 바이오디젤 혼합비율에 따른 HC 농도의 측정값을 표로 나타낸 것이다. 780 rpm에서의 HC 농도는 바이오디젤 함유량에 따라 각각 0%는 20.6 ppm, 10%는 20 ppm, 20%는 17.4 ppm, 30%는 18.8 ppm이었고, 바이오디젤 혼합비율이 높을수록 5%~6%의 배기가스 저감효과가 있음을 확인하였다. 또한 2000 rpm에서는 바이오디젤 혼합비율 20%에서는 21.2 ppm으로 바이오디젤 혼합비율 30%인 24 ppm보다 HC의 농도는 낮게 측정되었다.

Fig. 39은 Table 34를 그래프로 나타낸 것으로 Fig. 39(a) 그래프를 보면 바이오디젤 혼합비율 20%에서 HC의 농도가 낮게 측정된 것을 확인하였다. Fig. 39(b)의 막대그래프로 비교하여 전체적인 농도의 차이가 바이오디젤 혼합비율 20%에서 HC의 생성이 낮음을 확인 하였다. Fig. 39(a) 그래프를 보면 바이오디젤 혼합비율 0%와 10%가 비슷한 수치로 HC의 농도가 낮게 측정되었으며, Fig. 39(b)의 막대그래프로 측정값을 비교하면 2500 rpm을 제외한 구간에서 바이오디젤 혼합비율 20%에서 HC의 농도가 낮게 측정된 것을 확인하였다. 실험결과에서 바이오디젤 혼합비율이 20%에서 30%일 때 HC의 농도가 적게 측정되었다. 하지만 2500 rpm 영역에서의 HC의 농도는 바이오디젤 혼합비율 30%에서 HC의 농도가 적게 검출되었다. 따라서 고속주행 시에는 더 많은 비율의 바이오디젤유의 사용이 HC 저감에 효과적이며 2000 rpm이하에서는 20% 이하의 바이오디젤 혼합비율이 가장 효과적임을 알 수 있다.

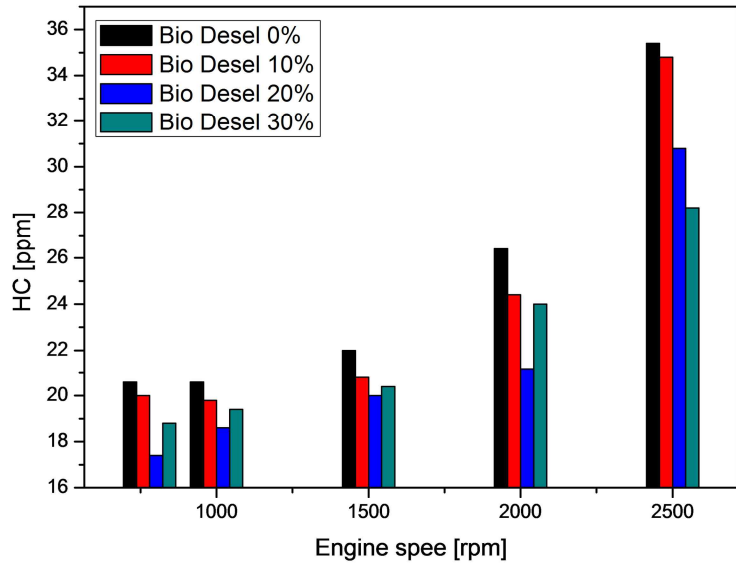
Table 34 HC density according bio-diesel mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	HC[ppm] : Bio-diesel density			
	0%	10%	20%	30%
780(Idle)	20.6	20	17.4	18.8
1000	20.6	19.8	18.6	19.4
1500	22	20.8	20	20.4
2000	26.4	24.4	21.2	24
2500	35.4	34.8	30.8	28.2



(a) HC density graph : EGR unapplied



(b) HC density Column : EGR unapplied

Fig. 40 HC density according bio-diesel mixing rate without EGR system

### b. 바이오디젤 혼합비율에 따른 NOx의 농도 분석

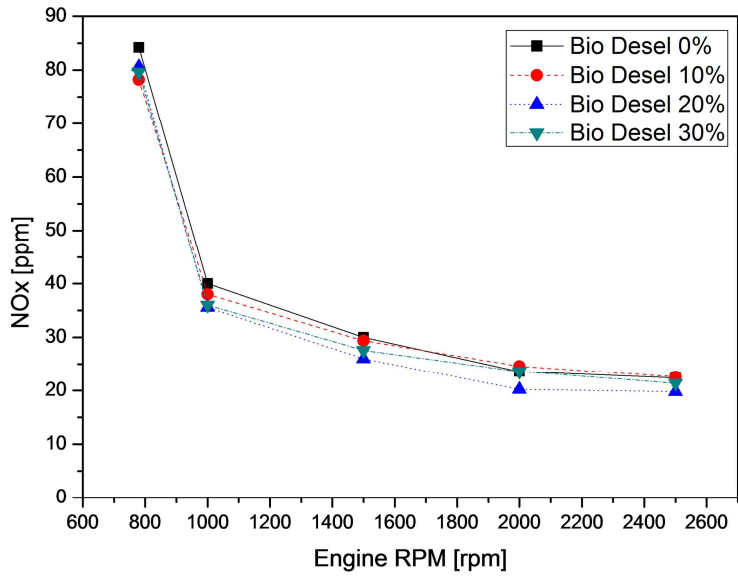
Table 35는 바이오디젤 혼합비율에 따른 NOx 농도의 측정값을 표로 나타낸 것이다. Table 35의 1000 rpm에서의 NOx의 바이오디젤 혼합비율에 따른 NOx의 농도는 각각 0%는 84.2 ppm, 10%는 78.2 ppm, 20%는 80.6 ppm, 30%는 79.6 ppm으로 10%에서 혼합비율 0%보다 평균적으로 6ppm 적게 검출되었으며, 바이오디젤 혼합비율 20%를 기준으로 1000 rpm에서 0%는 40 ppm, 10%는 38 ppm, 20%는 35.6 ppm, 30%는 36 ppm으로 20%에서 0%보다 4.4 ppm 적게 검출되었다.

Fig. 40은 바이오디젤 혼합비율에 따른 NOx의 농도를 그래프로 나타낸 것으로, Fig. 40(a)의 그래프를 보면 780 rpm이고 바이오디젤 혼합비율 0%에서 NOx의 농도는 84.2 ppm이지만 1000 rpm에서는 40 ppm으로 50%이상 감소됨을 확인하였다. 이와 같은 반응은 바이오디젤 혼합비율에 관계없이 모든 조건에서 동일한 결과가 발생하였고, Fig. 40(b)의 막대그래프를 통하여 확인할 수 있다. 바이오디젤의 혼합비율은 Fig. 40(b)에서 보는 바와 같이 혼합비율 20%일 때 NOx의 농도가 적게 검출되는 것을 확인하였다. 다만, Idel 상태 (780 rpm)조건일 때 바이오디젤의 혼합비율이 10%에서 가장 작은 값을 가짐을 확인하였다. 또한, 저속 운전조건에서 바이오디젤을 혼합함으로써 NOx의 저감효과가 평균 50%이상인 반면 엔진의 회전수가 증가할수록 바이오디젤의 적용에 따른 NOx의 저감효과는 감소하여 바이오디젤을 혼합하지 않았을 경우와 거의 유사한 값을 나타냄을 확인하였다.

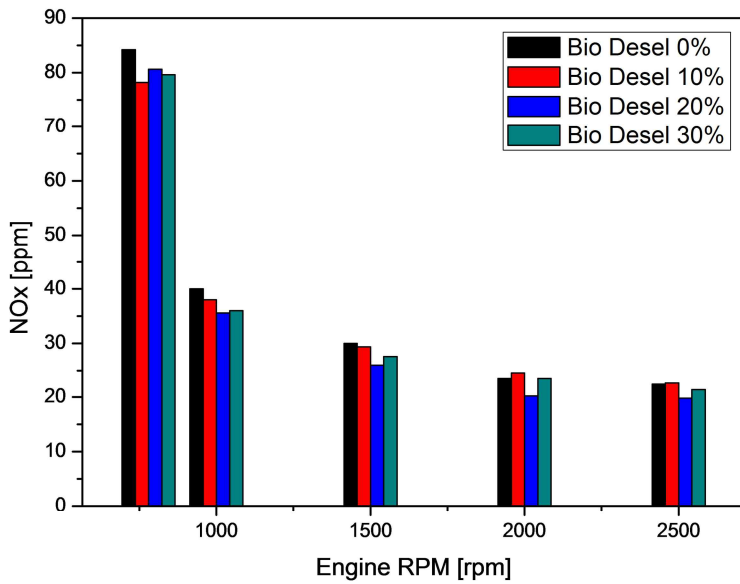
Table 35 NOx density according bio-diesel mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	NOx[ppm] : Bio-diesel density			
	0%	10%	20%	30%
780(Idle)	84.2	78.2	80.6	79.6
1000	40	38	35.6	36
1500	30	29.4	26	27.6
2000	23.6	24.6	20.2	23.6
2500	22.4	22.6	19.8	21.4



(a) NOx density graph : EGR unapplied



(b) NOx density column : EGR unapplied

Fig. 41 NOx density according bio-diesel mixing rate without EGR system

### c. 바이오디젤 혼합비율에 따른 CO<sub>2</sub>의 농도 분석

Table 36은 바이오디젤 혼합비율에 따른 CO<sub>2</sub> 농도의 측정값을 표로 나타낸 것이다. CO<sub>2</sub>는 인젝터 분사 홀수에 대한 실험에서도 언급한 바와 같이 차량의 연비와 연관성이 높다. CO<sub>2</sub>의 농도가 낮을수록 연비가 향상되고, 대기오염 저감에 효과적이다. Table 36의 CO<sub>2</sub>의 농도는 전체적으로 3%를 넘지 않는다. 하지만 가솔린 엔진의 경우 15%부터 많게는 20%이상 CO<sub>2</sub>의 농도가 높게 생성되는데 이와 같은 현상은 가솔린은 옥탄가 높기 때문이다. 여기서 옥탄가란 쉽게 말해서 노킹에 대한 저항능력을 말하며, 바꿔 말하면 쉽게 점화되지 않고, 불꽃 점화 방식을 이용한다. 반면 디젤엔진은 세탄가가 높다. 이는 불꽃 점화가 아닌 압축착화방식을 사용하기 때문이다. Table 36의 CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm에서 바이오디젤 혼합비율에 따라 각각 0%는 1.796%, 10%는 1.8%, 20%는 1.78%, 30%는 1.772%의 농도가 측정되었으며, 바이오디젤 혼합비율이 높을수록 감소효과는 있으나, 그 감소정도는 ±0.1%이내의 범위이다. 이는 측정장비 및 측정횟수의 오차범위 안에 포함된다. 이와 같은 현상으로 보아 바이오디젤 혼합유의 혼합비율은 CO<sub>2</sub>의 생성에 대한 영향이 상대적으로 적다는 것을 확인하였다. 1000 rpm의 경우 0%는 1.82%, 10%는 1.832%, 20%는 1.816%, 30%는 1.824%로 측정되었으며, 1500 rpm의 경우 0%는 1.928%, 10%는 1.92%, 20%는 1.892%, 30%는 1.892%이고, 2000 rpm의 경우 0%는 2.304%, 10%는 2.308%, 20%는 2.276%, 30%는 2.296%로 780 rpm부터 2000 rpm 까지의 감소정도는 ±0.1%이내의 범위이다. CO<sub>2</sub>의 농도가 가장 많이 검출되는 2500 rpm의 경우 CO<sub>2</sub>의 농도는 각각 0%는 2.816%, 10%는 2.8%, 20%는 2.8%, 30%는 2.8%로 780 rpm보다 36% 증가하는 것으로 나타났다.

엔진의 회전수에 따른 CO<sub>2</sub>의 농도는 바이오디젤 혼합유의 비율의 평균값을 적용하여 비교하면, 780 rpm 일 때 1.787%이고, 1000 rpm은 1.823%, 1500 rpm은 1.908%, 2000 rpm은 2.296% 2500 rpm은 2.804%로 나타난다. 780 rpm 과 1000 rpm의 사이의 CO<sub>2</sub>의 증가량은 0.036%이고, 1000 rpm 과 1500 rpm의 사이의 증가량은 0.085%, 1500 rpm 과 2000 rpm의 사이의 증가량은 0.388%, 2000 rpm과 2500 rpm의 사이의 증가량은 0.508%로 나타났다.

Fig. 41은 바이오디젤 혼합비율에 따른 HC의 농도의 변화를 그래프로 나타낸 것으로 Fig. 41(a)의 1500 rpm을 기준으로 CO<sub>2</sub>의 농도의 증가폭이 크게

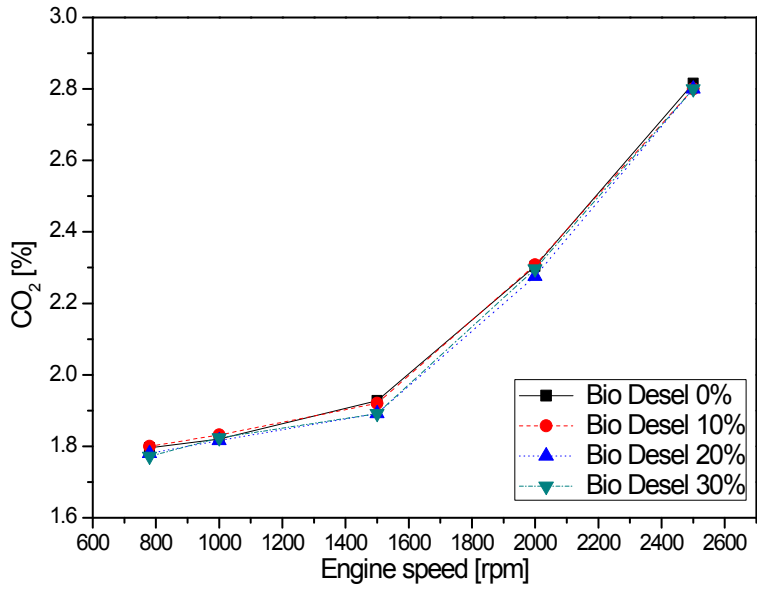
변화한 것을 알 수 있고, Fig. 41(b)의 막대그래프에서 확인할 수 있다. 실험결과 CO<sub>2</sub>의 농도는 바이오디젤 혼합비율에 영향을 받지 않는 것을 확인하였으며 이는 바이오디젤을 디젤유에 혼합하였을 때 분사의 형태나 연소의 효율이 크게 변화하지 않음을 간접적으로 확인할 수 있음을 나타낸다.

Table 36 CO<sub>2</sub> density according bio-diesel mixing rate

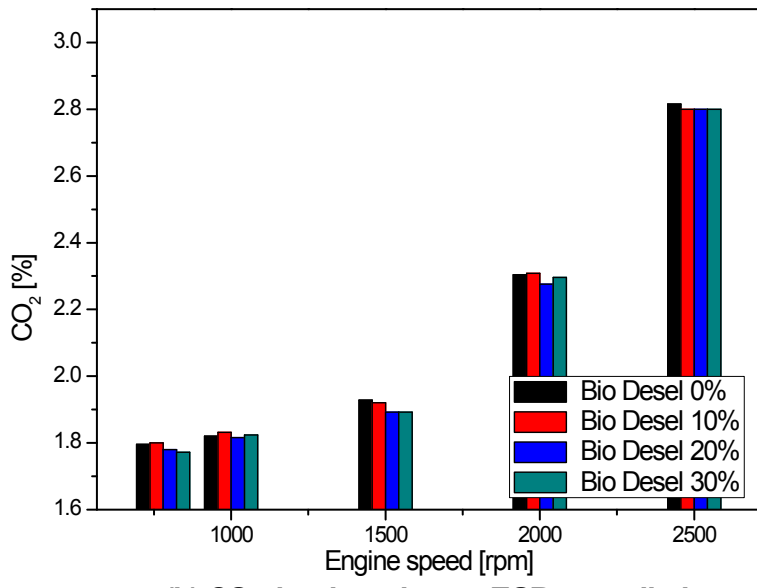
Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO <sub>2</sub> [%] : Bio-diesel density			
	0%	10%	20%	30%
780(Idle)	1.796	1.8	1.78	1.772
1000	1.82	1.832	1.816	1.824
1500	1.928	1.92	1.892	1.892
2000	2.304	2.308	2.276	2.296
2500	2.816	2.8	2.8	2.8





(a) CO<sub>2</sub> density graph : EGR unapplied



(b) CO<sub>2</sub> density column : EGR unapplied

Fig. 42 CO<sub>2</sub> density according bio-diesel mixing rate without EGR system

#### d. 바이오디젤 혼합비율에 따른 CO의 농도 분석

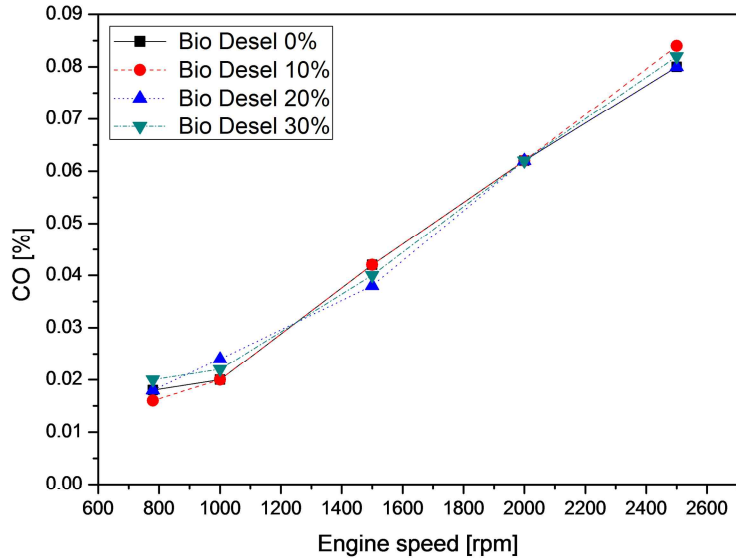
Table 37은 바이오디젤 혼합유의 혼합비율에 따른 CO 농도의 측정값을 표로 나타낸 것이다. 780 rpm에서 바이오디젤 혼합비율에 따른 CO의 농도는 0%에서 0.018%, 10%는 0.016%, 20%는 0.018%, 30%는 0.02%로 바이오디젤 혼합비율 10%에서 CO의 농도가 적게 측정되었으며, 바이오디젤 혼합비율 30%에서 높게 측정되었다. 또한 1000 rpm에서는 바이오디젤 혼합비율 0%와 10%에서 0.02%로 적게 측정되었고, 20%에서 0.024%로 높게 측정되었다. 2500 rpm을 확인하면 바이오디젤 혼합비율 0%와 20%에서 0.08%로 적게 측정되었고 10%에서 0.084%로 높게 측정되었다. 이와 같은 측정치는 0.004%의 차이로 2500 rpm에서 바이오디젤 혼합비율 0%, 20%와 혼합비율 10%의 농도가 5%정도의 증가폭이 있으며, 바이오디젤 혼합비율 30%와는 2.5%의 차이가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 42는 바이오디젤 혼합비율에 따른 CO 농도의 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 42(a)의 그래프의 형상은 바이오디젤 혼합비율에 대하여 오차범위 이내의 형상을 나타내고 있고, Fig. 42(b)의 그래프에서 확인하였다. CO의 농도는 바이오디젤 혼합비율에 영향을 받지 않고, CO의 저감에 큰 영향을 미치지 못함을 확인하였다.

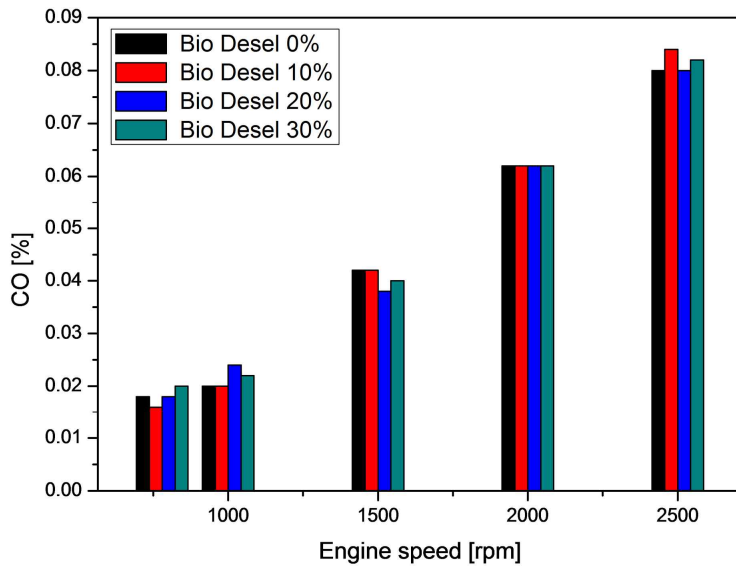
Table 37 CO density according bio-diesel mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO[%] : Bio-diesel density			
	0%	10%	20%	30%
780(Idle)	0.018	0.016	0.018	0.02
1000	0.02	0.02	0.024	0.022
1500	0.042	0.042	0.038	0.04
2000	0.062	0.062	0.062	0.062
2500	0.08	0.084	0.08	0.082



(a) CO density graph : EGR unapplied



(b) CO density column : EGR applied

Fig. 43 CO density according bio-diesel mixing rate without EGR system

### e. 바이오디젤 혼합비율이 배기가스에 미치는 영향 고찰

본 연구에서 수행한 7홀 인젝터에 바이오디젤 혼합비율(0%, 10%, 20%, 30%)에 따른 배기가스 성분분석 결과 HC 농도는 바이오디젤 혼합비율이 높을수록 5%~6%의 효과가 있음을 확인하였다. 바이오디젤 혼합비율 20%와 30%가 비슷한 수치로 HC의 농도가 낮게 측정되었으며, 2500 rpm을 제외한 구간에서 바이오디젤 혼합비율 20%에서 HC의 농도가 낮게 측정된 것을 확인하였다. NO<sub>x</sub> 농도는 엔진 회전수 1000 rpm일 때 바이오디젤 혼합비율 10%에서 0%보다 6ppm 적게 검출 되었으며, 바이오디젤 혼합비율 20%를 기준으로 1000 rpm일 때 바이오디젤 혼합비율 20%에서 0%보다 4.4 ppm 적게 검출 되었다.

CO<sub>2</sub>의 농도는 바이오디젤 혼합유의 비율에 관계없이 780 rpm 과 1000 rpm 사이의 CO<sub>2</sub>의 증가량은 0.036%이고, 1000 rpm 과 1500 rpm의 사이의 증가량은 0.085%, 1500 rpm 과 2000 rpm의 사이의 증가량은 0.388%, 2000 rpm 과 2500 rpm의 사이의 증가량은 0.508%로 나타났다. 반면 CO의 농도는 780 rpm에서 바이오디젤 혼합비율 10%에서 CO의 농도가 적게 측정 되었으며, 바이오디젤 혼합비율 30%에서 높게 측정되었다. 또한 CO의 측정치는 0.004%의 차이로 2500 rpm에서 바이오디젤 혼합비율 0%, 20%와 혼합비율 10%의 농도가 5%의 증가 폭이 있으며, 바이오디젤 혼합비율 30%와는 2.5%의 차이가 있다.

바이오디젤 혼합비율이 0%일 때 보다 바이오디젤유 10%, 20%, 30%일 때 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 저감에 효과적이었으며 그중 바이오디젤유 20%일때가 다른 혼합비율에 비해 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO의 농도가 5~10%의 저감효과가 있는 것으로 확인하였다.

### 3. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 배출가스 성분 고찰

EGR(Exhaust Gas Recirculation)은 배기가스 재순환장치로서 NO<sub>x</sub> 저감을 위한 가장 효과적인 방법의 하나로서 가솔린 엔진에서는 이미 실용화되어 사용되고 있다. 이는 배기가스의 CO<sub>2</sub>나 H<sub>2</sub>O 등과 같은 불활성가스가 흡기의 일부와 치환되어 혼입됨으로써 혼합기의 열용량이 증대되어 실린더 내 연소가스 온도 상승을 억제하며 또한 공기 과잉율을 낮추어 Thermal NO<sub>x</sub> 생성을 억제함으로써 전체 NO<sub>x</sub> 발생량을 줄이는 원리이다. 또한 흡기 일부가 산소농도가 낮은 배기가스로 치환되므로 연소실내 산소가 감소하기 때문에 배출가스 중 NO<sub>x</sub> 생성이 억제된다.

EGR 시스템의 작동이 NO<sub>x</sub>의 배출감소와는 반대로 CO<sub>2</sub>의 생성은 증가시킬 수 있는데 이는 외부의 흡입공기를 연소실에서 연소반응이후 배출되는 배기가스가 EGR 시스템을 이용하여 배기가스를 재순환하기 때문이다. 주로 엔진회전수가 780 rpm은 5%, 1000 rpm은 95%, 1500 rpm은 70%, 2000 rpm은 50%, 2500 rpm은 5%로 EGR 밸브를 개방하여 EGR 시스템을 작동한다.

본 연구에서는 EGR 시스템의 적용 및 미적용이 7홀 인젝터와 바이오디젤 혼합유의 혼합비율 20%에서 배기가스의 성분 중 HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO에 대한 영향을 실험을 통하여 고찰하였다.

### a. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 HC 농도 분석

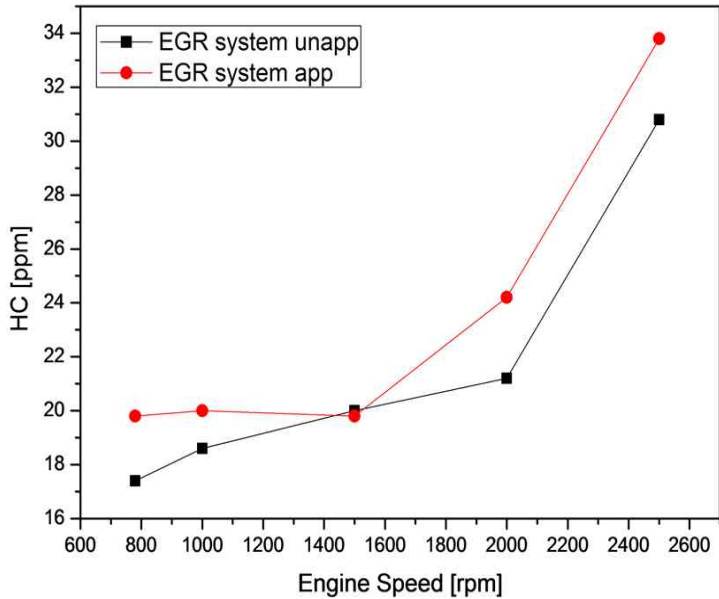
Table 38은 인젝터의 연료 분사 흡수가 7홀인 것과 바이오디젤 혼합비율 20% 일때 EGR 시스템의 미적용 및 적용 대한 HC의 농도 변화를 보여주고 있다. EGR 시스템 미적용시의 HC의 농도는 780 rpm에서 17.4 ppm이고, EGR 시스템 적용시의 HC의 농도 19.8 ppm으로 2.4 ppm이 증가하였다. 또한 1000 rpm부터 2000 rpm까지 EGR 시스템 미적용시의 HC의 농도에 비하여 EGR 시스템을 적용하였을 때 농도는 각각의 실험조건에 대하여 1.2 ppm~1.4 ppm의 차이를 가지며 증가하였다. 즉 EGR 시스템 미적용시의 HC의 농도보다 EGR 시스템 적용시의 HC의 농도가 13%~14% 증가하는 것을 확인하였는데 이는 EGR 시스템을 적용시 EGR valve가 열림으로 배기가스 중 일부가 재혼합되어 연소에 사용됨으로써 연소실 온도가 상대적으로 낮은 상태에서 연료의 흡입으로 불완전연소에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 2500 rpm에서 EGR 시스템 미적용시의 HC의 농도 30.8 ppm이고 EGR 시스템 적용시의 HC의 농도는 33.8%로 9.7% 큰 증가를 나타내는 것을 확인하였다.

Fig. 43은 Table 38의 HC 농도의 측정값을 그래프로 나타낸 것으로 Fig. 43 (a)의 2000 rpm에서 2500 rpm 사이의 증가폭이 780 rpm~1500 rpm의 증가폭보다 큰 폭으로 상승하는 것을 확인하였다. 이는 엔진의 회전수가 증가할수록 연소에 필요한 주위온도가 높아지고 연료의 유입량이 증가하면서 연소효율이 감소하기 때문이다. Fig. 43(b)의 그래프에서는 EGR 시스템 적용보다 EGR 시스템 미적용 일 때 HC의 생성이 적음을 확인하였다. 그러므로 EGR 시스템의 적용은 HC의 저감에 효과적이지 않음을 확인할 수 있었다.

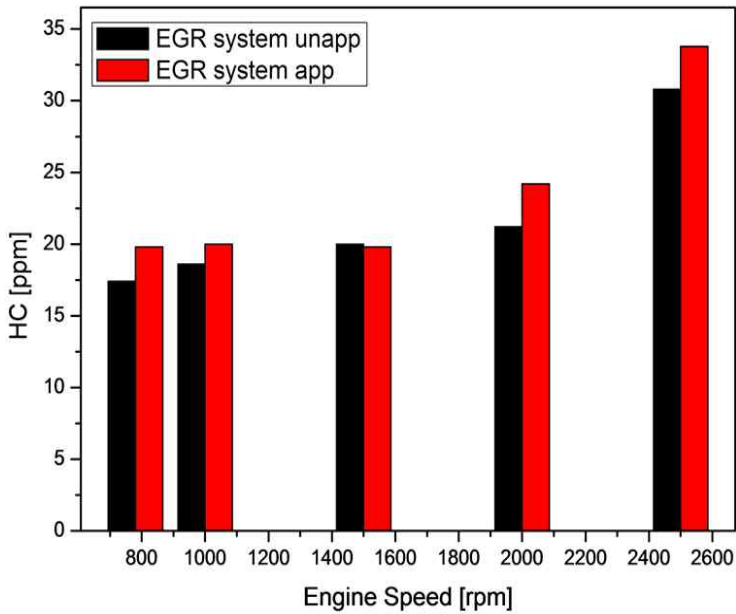
Table 38 HC density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	HC[PPM]	
	7Hole Injector of Bio-diesel mixing rate (20%)	
	EGR system unapp	EGR system app
780(Idle)	17.4	19.8
1000	18.6	20
1500	20	19.8
2000	21.2	24.2
2500	30.8	33.8



(a) HC density graph of EGR unapplied and applied



(b) HC density column of EGR unapplied and applied

Fig. 44 HC density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate



## b. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 NO<sub>x</sub> 농도 분석

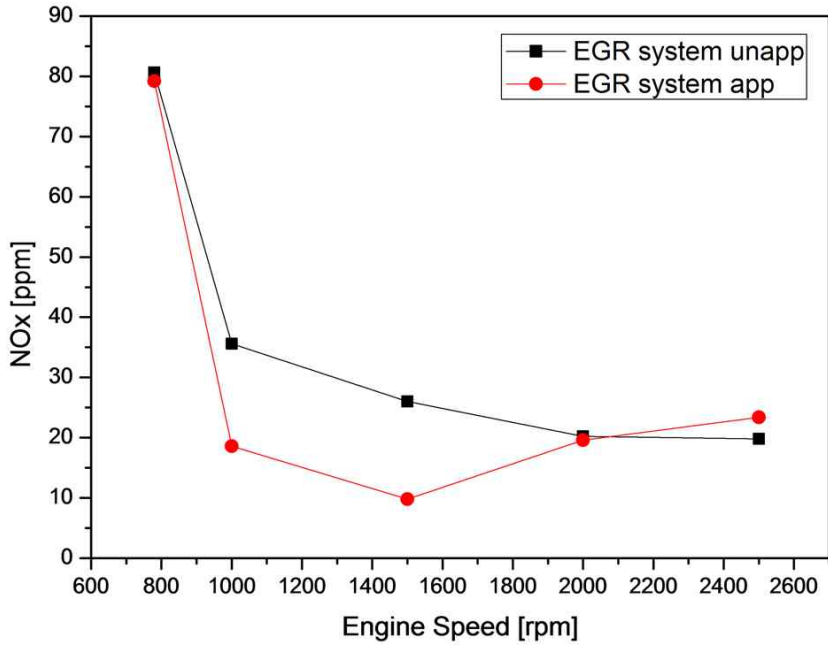
Table 39는 인젝터의 연료 분사 홀수가 7홀인 경우와 바이오디젤 혼합비율 20%일 때 EGR 시스템의 미적용 및 적용 대한 NO<sub>x</sub>의 농도 변화를 보여주고 있다. EGR 시스템 미적용시의 NO<sub>x</sub>의 농도는 780 rpm에서 80.4 ppm이고, EGR 시스템 적용시의 HC의 농도 79.2 ppm으로 약 1.2 ppm이 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 1000 rpm에서 EGR 시스템 미적용시 NO<sub>x</sub>의 농도는 35.6 ppm이고, EGR 시스템 적용시의 NO<sub>x</sub> 농도는 18.6 ppm으로 감소율이 크게 증가하여 약 16ppm의 감소를 확인하였으며 약 45.3% 감소하였다. 또한, 1500 rpm에서의 NO<sub>x</sub> 감소폭은 16.2 ppm으로 62.3%의 감소폭을 확인하였다. 이와 같은 NO<sub>x</sub> 감소현상은 780 rpm을 제외한 전 구간에서 확인할 수 있으며 EGR 적용에 따른 NO<sub>x</sub> 감소정도는 모든 엔진회전수에 대하여 약 21.6% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 엔진의 회전수가 1000, 1500 rpm의 경우 NO<sub>x</sub> 감소율이 각각 52.8%, 53.5%로 크게 나타났으나 엔진 회전수가 2000 및 2500 rpm에서는 NO<sub>x</sub>의 감소율이 00%로 NO<sub>x</sub> 감소에 미치는 EGR 시스템의 영향이 고속으로 갈수록 줄어드는 것으로 확인되었다.

Fig. 44의 그래프를 비교하여 보면 EGR 시스템을 적용하였을 때 NO<sub>x</sub>의 저감효과를 모든 회전수에서 볼 수 있으며, 특히 Fig. 44(a)에서 엔진의 회전수가 1000~2000 rpm일 때 NO<sub>x</sub> 감소효과가 극대화되는 것으로 나타났다. NO<sub>x</sub>는 고온에서 공기 중의 질소와 산소의 결합에 의해 생성되므로 연소실 내부의 공기 중 질소와 산소의 비율이 작게 분포 될수록 NO<sub>x</sub>의 발생이 적어지므로 연소실에 재공급하는 배기가스의 성분은 1차적으로 연소반응이 이루어진 이후 이므로 최종 배출가스의 NO<sub>x</sub>의 발생농도가 감소되게 됨으로 NO<sub>x</sub> 감소는 EGR 시스템을 적용시킴으로써 연소실 내부의 공기중의 질소와 산소의 비율을 줄일 수 있다.

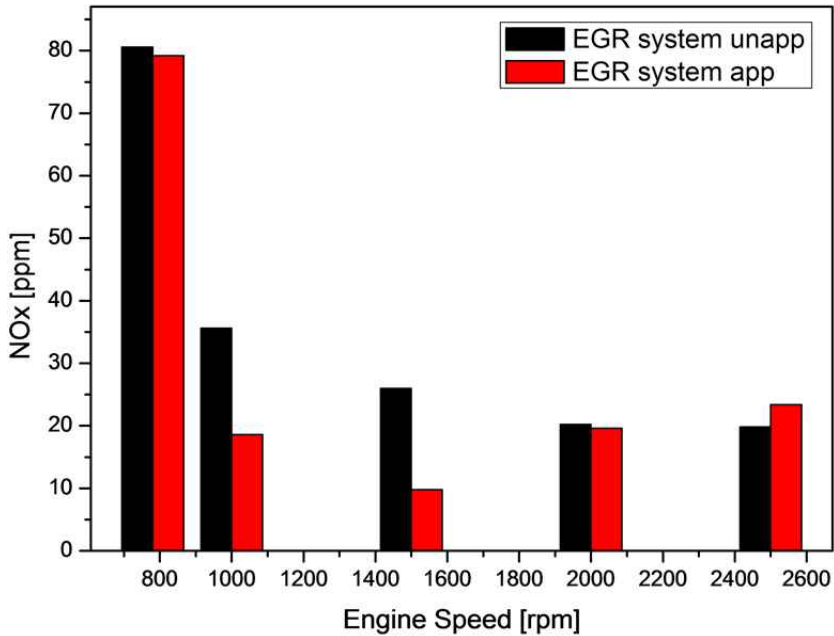
Table 39 NOx density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	NOx[PPM]	
	7Hole Injector pf Bio-diesel mixing rate (20%)	
	EGR system unapp	EGR system app
780(Idle)	80.6	79.2
1000	35.6	18.6
1500	26	9.8
2000	20.2	19.6
2500	19.8	23.4



(a) NOx density graph of EGR unapplied and applied



(b) NOx density column of EGR unapplied and applied

Fig. 45 NOx density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

### c. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 분석

Table 40은 인젝터의 연료 분사 흡수가 7홀인 것과 바이오디젤 혼합비율 20% 일때 EGR 시스템의 미적용 및 적용 대한 CO<sub>2</sub>의 농도 변화를 보여주고 있다. EGR 시스템 미적용시의 CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm은 1.78%, 1000 rpm은 1.1816%, 1500 rpm은 1.892%, 2000 rpm은 2.276%, 2500 rpm은 2.8%이고, EGR 시스템 적용시의 CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm은 1.828%, 1000 rpm은 2.828%, 1500 rpm은 2.996%, 2000 rpm은 2.872%, 2500 rpm은 2.86%로 측정되었다.

Fig. 45의 그래프로 확인할 수 있다. 780 rpm일 때의 CO<sub>2</sub>의 농도는 EGR 시스템 적용 시 0.048%의 증가를 확인할 수 있고, 1000 rpm은 1.012%가 증가하였다. 이는 EGR 시스템 미적용시를 기준으로 56%가 증가한 것이고, 1500 rpm에서는 1.104%가 증가하였고, EGR 시스템 미적용시를 기준으로 58%가 증가하였다. 2000 rpm에서는 0.5964%가 증가하였고, EGR 시스템 미적용시를 기준으로 26%가 증가하였다. 2500 rpm에서는 0.06%가 증가하였고, EGR 시스템 미적용시를 기준으로 2%가 증가하였다. 1000 rpm부터 2000 rpm 사이의 증가폭은 EGR 시스템 미적용시를 기준으로 평균 46%의 증가폭이 나타나는 것을 확인 하였다.

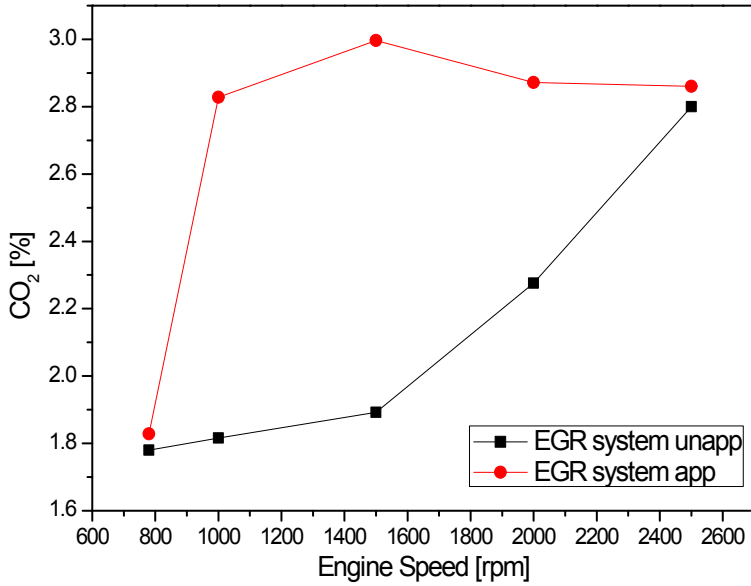
Fig. 45(a)의 780 rpm에서 측정치는 동일한 정도의 CO<sub>2</sub>가 발생하였으나, 1000 rpm에서 2000 rpm의 구간은 EGR 시스템 적용시의 각각 45%와 42%로 CO<sub>2</sub> 농도가 높음을 확인할 수 있다. EGR 시스템 적용 시 CO<sub>2</sub>의 농도가 높은 이유는 외부 공기를 흡입하여 엔진의 연소실에서 연소반응이 이루어진 배기가스가 다시 재순환되어 연소실에 재공급되기 때문이고, 이는 외부에서 흡입된 공기보다 EGR 시스템을 통하여 재순환된 CO<sub>2</sub>의 농도가 높기 때문이다. 2500rpm에서 EGR 시스템 미적용 및 적용시의 CO<sub>2</sub>의 농도가 비슷한 것은 EGR 시스템 적용율이 5%로 같기 때문이다. EGR 시스템은 2500 rpm 이후에서는 작동되지 않기 때문이다. 위와 같은 결과로 인하여 CO<sub>2</sub>의 생성은 엔진의 회전수가 높을수록 발생량이 증가하고, EGR 시스템을 적용하였을 때 CO<sub>2</sub>의 농도 또한 증가함을 확인하였다. CO<sub>2</sub>의 농도가 증가하는 이유는 EGR 시스템은 연소된 공기를 재사용하여 그 성분이 질소(N)와 산소(O)보다 NO<sub>x</sub>와 CO<sub>2</sub>의 성분이 더 많기 때문이다. EGR 시스템 미적용 및 적용시의 측정값 중 780 rpm과 2500 rpm에서 비슷한 농도가 측정되는 이유는 780 rpm과 2500 rpm에서의 EGR 시스템의

적용율이 5%로 EGR 시스템 미적용 시의 적용율과 동일하기 때문이다. 또한 EGR 시스템은 2500 rpm이상의 고속회전수에서는 동작하지 않는다. 고속 회전 수 영역에서의 배기가스를 재순환은 연소실에서 필요한 공기량과 압축비를 EGR 시스템에서 충족시켜주지 못하기 때문이다. 따라서 고속회전시에는 EGR의 작동을 멈추도록 설계하는 것이 바람직하다. 이와 같이 CO<sub>2</sub>의 농도를 낮추기 위해서는 EGR 시스템을 적용하지 않는 것이 효과적이다. 또한 Fig. 45의 그래프에서 7홀 인젝터가 CO<sub>2</sub> 저감에 효과적인 것을 확인하였다. 그러나 EGR 시스템을 사용하는 이유는 EGR 시스템이 CO<sub>2</sub>의 저감을 위한 것이 아닌 NO<sub>x</sub>의 저감을 목적으로 설치되었고, CO<sub>2</sub>보다는 NO<sub>x</sub>가 인체에 유해하기 때문이다.

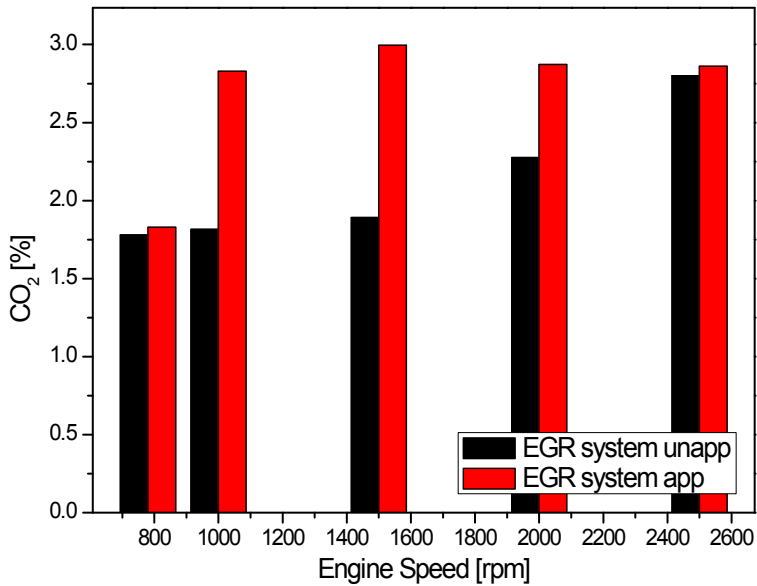
Table 40 CO<sub>2</sub> density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO <sub>2</sub> [%]	
	7Hole Injector pf Bio-diesel mixing rate (20%)	
	EGR system unapp	EGR system app
780(Idle)	1.78	1.828
1000	1.816	2.828
1500	1.892	2.996
2000	2.276	2.872
2500	2.8	2.86



(a) CO<sub>2</sub> density graph : EGR unapplied and applied



(b) CO<sub>2</sub> density column : EGR unapplied and applied

Fig. 46 CO<sub>2</sub> density with/without EGR system in case of 7thole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

#### d. EGR 시스템 적용/미적용에 따른 CO 농도 분석

Table 41은 인젝터의 연료 분사 흡수가 7홀인 것과 바이오디젤 혼합비율 20% 일때 EGR 시스템의 미적용 및 적용 대한 CO의 농도에 변화를 보여주고 있다. EGR 시스템 미적용시의 CO의 농도는 780 rpm에서 0.018%이고, EGR 시스템 적용시의 HC의 농도 0.01%로 0.008%가 감소하였다. 1000 rpm에서는 0.004%가 감소하였고, 1500 rpm에서는 0.008%, 2000 rpm에서는 0.012%, 2500 rpm에서는 0.006% 감소하였다. 이와 같이 EGR 시스템을 적용하였을 때의 CO의 농도는 EGR 시스템을 적용하지 않았을 때보다 모든 엔진회전수에 대하여 0.004%~0.012%의 감소를 확인할 수 있었다.

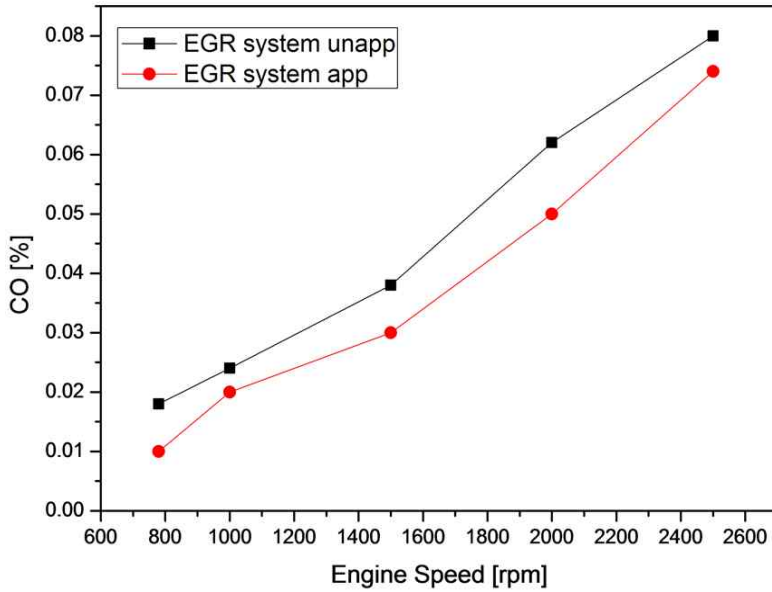
Fig. 46는 7홀 인젝터를 사용하고 바이오디젤 혼합비율 20%일 때 EGR 시스템 미적용 및 적용에 대한 Table 41의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 46(a)를 보면 일정한 차이를 두고 EGR 시스템 미적용 및 적용의 그래프가 평행한 것을 확인 하였고, 엔진의 회전수가 증가 할수록 EGR 시스템 미적용시 780 rpm과 1000 rpm 사이에서 0.006%가 증가하였고, 1000 rpm과 1500 rpm 사이에서 0.014%, 1500 rpm과 2000 rpm 사이에서 0.024%, 2000 rpm과 2500 rpm 사이에서 0.018%가 증가하였다. 이는 평균 0.0155%의 증가치를 나타낸다. 또한 EGR 시스템 적용시 780 rpm과 1000 rpm 사이에서 0.01%가 증가하였고, 1000 rpm과 1500 rpm 사이에서 0.01%, 1500 rpm과 2000 rpm 사이에서 0.02%, 2000 rpm과 2500 rpm 사이에서 0.024%가 증가하였다. 이는 평균 0.016%의 증가치를 나타낸다. 이와 같은 결과를 Fig. 46(b)에서 그 정도의 차이를 확인하였다. 780 rpm에서 80%의 감소효과가 있었으며, 1000 rpm에서는 20%, 1500 rpm에서는 27%, 2000 rpm에서는 24%, 2500 rpm에서는 8%의 CO 저감효과가 있음을 확인하였다.

Table 41 CO density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

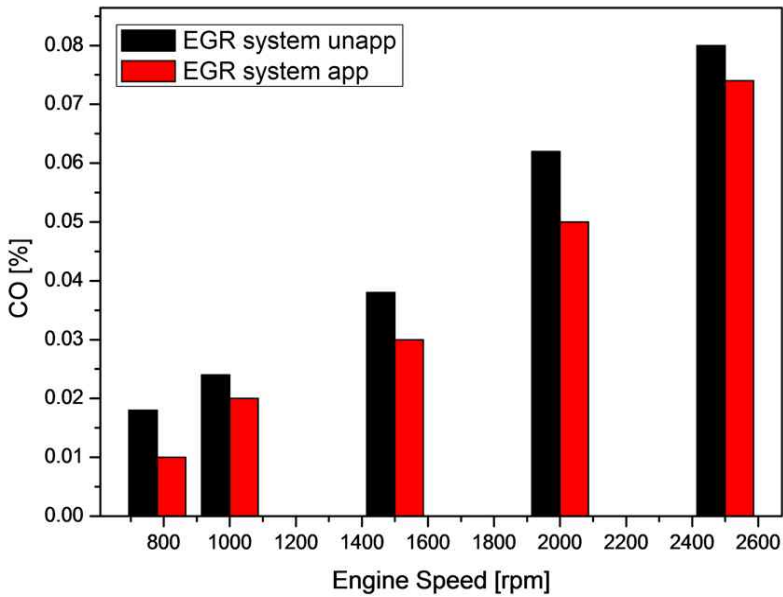
Coolant(82±2℃)

Engine speed [rpm]	CO[%]	
	7Hole Injector pf Bio-diesel mixing rate (20%)	
	EGR system unapp	EGR system app
780(Idle)	0.018	0.01
1000	0.024	0.02
1500	0.038	0.03
2000	0.062	0.05
2500	0.08	0.074





(a) CO density graph of EGR unapp and app



(b) CO density column of EGR unapp and app

Fig. 47 CO density with/without EGR system in case of 7hole injector and Bio-diesel 20% mixing rate

### e. EGR 시스템 적용 및 미적용이 배출가스에 미치는 영향 고찰

본 연구에서 수행한 EGR 시스템 미적용 및 적용에 따른 배기가스 성분 고찰의 결과 EGR 시스템을 적용하고 바이오디젤 혼합비율 20%에서 NO<sub>x</sub>, CO의 저감에는 좋으나 HC와 CO<sub>2</sub>의 농도는 증가하였다. NO<sub>x</sub>의 경우 엔진의 회전수가 1000, 1500 rpm의 경우 NO<sub>x</sub> 감소율이 각각 52.8%, 53.5%로 크게 감소하였으나 엔진 회전수가 2000 및 2500 rpm에서는 감소에 미치는 영향이 적은 것으로 확인되었고, HC의 농도는 전체적으로 1.2 ppm~4.4 ppm이 증가하는 것을 확인하였다.

CO<sub>2</sub>의 농도는 780 rpm에서 EGR 시스템 미적용시를 기준으로 56%가 증가한 것이고, 1500 rpm에서는 58%, 2000 rpm에서는 26%, 2500 rpm에서는 2%가 증가하였다. 1000 rpm부터 2000 rpm 사이의 증가폭은 EGR 시스템 미적용시를 기준으로 평균 46%의 증가폭이 나타나는 것을 확인 하였다. CO의 농도는 780 rpm에서 80%의 감소효과가 있었으며, 1000 rpm에서는 20%, 1500 rpm에서는 27%, 2000 rpm에서는 24%, 2500 rpm에서는 8%의 CO 저감 효과가 있음을 확인하였고, CO의 농도는 0.004%~0.012%의 감소를 확인 할 수 있었다.

이와 같은 결과로 EGR 시스템은 NO<sub>x</sub>와 CO의 저감에 효과적이지만 HC와 CO<sub>2</sub>의 저감에 효과적이지 않음을 확인하였다.

## 제6장 결론

### 제1절 인젝터 클리닝 전·후의 매연 측정 실험

- 인젝터 클리닝 전·후의 매연측정은 전반적으로 배출가스의 매연이 인젝터 클리닝 전에 구간적으로 60~80% 정도의 큰 값을 보이거나 인젝터 클리닝 후는 32%가 최고값으로 나타났으며 전반적으로 약 20% 이하의 수치를 보였다. 매연의 농도가 30%가 넘는 구간 중 13.25초에서 매연의 농도가 72.27%이고, 53.25초에서는 50.138%, 68.5초에서는 81%, 122초는 41.12%의 매연이 발생하였다. 반면 인젝터 클리닝 후의 매연의 농도는 62.25초에서 29%, 64.75초는 12%로 크게 감소하는 것으로 나타났다.
- 차량 10대의 인젝터 클리닝 전·후의 평균매연농도는 46.7%에서 22.5%로 클리닝 전에 비하여 매연의 발생량이 20% 이상 감소하였음을 확인하였다. 오래된 자동차의 매연 검사결과 인젝터에 탄소와 같은 이물질의 영향으로 엔진의 연소실 내에서 불완전연소가 되어 매연의 발생이 크게 증가함으로 오래된 자동차에 인젝터 클리닝이 필요함을 확인할 수 있었다.

### 제2절 운전조건에 따른 배기가스 성분 분석 실험

#### 1. 인젝터 분사 홀수 변화가 배출가스에 미치는 영향

- 탄화수소(HC)는 엔진회전수가 증가할수록 5홀과 6홀, 7홀 인젝터의 탄화수소의 배출량이 증가하였고, 2500 rpm에서 탄화수소 감소율은 5홀 인젝터에 비해 6홀 인젝터는 77.6%, 7홀 인젝터는 132.4%이며 따라서 인젝터 분사 홀수에 따른 감소효과를 확인하였다. HC에 대한 5홀, 6홀, 7홀 인젝터의 농도의 차이로 보아 5홀 인젝터에 비하여 6, 7홀 인젝터의 HC 발생에 대한 감소효과가 더 큼을 확인할 수 있었다.
- NO<sub>x</sub>의 농도는 780 rpm 조건에서 5홀 인젝터의 경우 96.2 ppm, 6홀 인

젝터의 경우 85.8 ppm, 7홀 인젝터는 84.2 ppm로 측정되었으며 5홀 인젝터보다 6홀 인젝터의 NOx 배출량은 약 10.4 ppm이 감소되었고, 7홀의 경우는 약 12 ppm이 감소되었다. 또한 2500 rpm에서 5, 6, 7홀의 NOx 배출농도는 5홀 인젝터에 비해 6, 7홀 인젝터가 약 7%~27% 이상 감소되는 것으로 확인되었다.

- 인젝터 분사 홀수가 5홀인 인젝터에 비하여 6, 7홀 인젝터에서 CO<sub>2</sub>의 발생이 2%~20% 감소하는 것으로 나타났다 CO<sub>2</sub>의 발생은 엔진의 회전수가 높을수록 점차적으로 그 차이가 줄어 2500 rpm 이후에는 5, 6, 7홀 인젝터의 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 농도는 거의 비슷한 값을 보이는 것을 확인하였다.
- 인젝터의 분사 홀수 변화에 따른 CO의 배출농도는 전반적으로 엔진의 회전수가 증가할수록 발생하는 CO의 농도가 증가하는 것으로 확인되었다. 5홀 인젝터의 경우 780 rpm에서 0.018%, 1000 rpm에서 0.02%, 1500 rpm에서 0.042%, 2000 rpm에서 0.062%, 2500 rpm에서는 0.08%로 1000 rpm 이후 0.02%의 CO 농도가 증가하는 것을 확인하였다. 반면에 6, 7홀 인젝터는 1500 rpm과 2000 rpm에서 0.018%~0.01%의 CO 농도의 감소효과를 확인하였다. 또한 CO의 발생은 780 rpm일 때부터 2500 rpm에 이르기까지 회전수에 비례하여 증가하는 것을 확인하였다.
- 인젝터 분사 홀수에 따른 배기가스 성분 분석의 실험결과 5홀 인젝터에 비하여 6, 7홀 인젝터가 HC, NOx, CO<sub>2</sub>, CO의 저감에 효과적이었으며, 6, 7홀 인젝터 중 7홀 인젝터가 분사형태의 고르기와 압력의 유지율이 향상되기 때문에 배출가스에도 더 좋은 성능을 발휘하는 것으로 확인되었다. 따라서 HC, NOx, CO<sub>2</sub>, CO의 저감을 위하여 7홀 인젝터를 사용하여 함을 확인하였다.

## 2. 바이오디젤 혼합유 농도에 따른 배출가스에 미치는 영향

- HC의 농도는 780 rpm에서 바이오디젤 함유량에 따라 각각 0%는 20.6 ppm, 10%는 20 ppm, 20%는 17.4 ppm, 30%는 18.8 ppm이었고, 바이오디젤 혼합비율이 높아질수록 약 5%~6%의 저감효과가 있음을 확인하였

다. 또한 2000 rpm에서는 바이오디젤 혼합비율 20%에서는 21.2 ppm으로 바이오디젤 혼합비율 30%인 24 ppm보다 HC의 농도는 낮게 측정되었다. 전반적으로 바이오디젤 혼합비율 20%에서 HC의 농도가 낮게 생성되는 것으로 나타났다.

- NO<sub>x</sub>의 배출농도는 바이오디젤 혼합비율 20%를 기준으로 1000 rpm에서 0%는 40 ppm, 10%는 38 ppm, 20%는 35.6 ppm, 30%는 36 ppm으로 바이오디젤 혼합비율이 20%에서 0%인 경우보다 NO<sub>x</sub>의 배출량이 4.4 ppm 감소함을 확인하였다. 엔진회전수에 상관없이 전체적으로 바이오디젤 혼합비율이 20%일 때 NO<sub>x</sub>의 농도가 가장 적게 검출됨을 알 수 있었다.
- CO<sub>2</sub> 농도의 경우 780 rpm에서 바이오디젤 혼합비율에 따라 각각 0%는 1.796%, 10%는 1.8%, 20%는 1.78%, 30%는 1.772%의 농도가 측정되었으며, 바이오디젤 혼합비율이 높을수록 CO<sub>2</sub>의 감소효과는 있으나 그 오차 범위는 ±1%이내의 범위이다. CO<sub>2</sub>의 농도가 가장 많이 검출되는 2500 rpm의 경우 CO<sub>2</sub>의 농도는 각각 0%는 2.816%, 10%는 2.8%, 20%는 2.8%, 30%는 2.8%로 780 rpm보다 36%증가하였다. 전반적으로 CO<sub>2</sub>의 농도는 바이오디젤 혼합비율에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다.
- CO의 농도는 0.004%의 차이로 2500 rpm에서 바이오디젤 혼합비율 0%, 20%와 혼합비율 10%의 농도가 5%의 증가폭이 있으며, 바이오디젤 혼합비율 30%와는 2.5%의 차이가 있다. 엔진회전수가 상승할수록 CO의 배출농도도 비례하여 증가하였으며 바이오디젤 혼합비에 따른 CO의 농도 비율의 변화는 ±1%로 모든 운전조건에서 거의 비슷하게 나타나는 것으로 확인되었다. 이에 CO의 농도는 바이오디젤 혼합비율에 영향을 받지 않으며, CO의 저감에 효과적이지 못함을 알 수 있었다.
- 바이오디젤 혼합비율이 0%일 때 보다 바이오디젤유 10%, 20%, 30%일 때 HC, NO<sub>x</sub>의 저감에 효과적이었으며 그중 바이오디젤유 20%일 때가 다른 혼합비율에 비해 HC, NO<sub>x</sub>의 농도에 저감효과가 있는 것으로 확인되었다. 반면 CO, CO<sub>2</sub>의 배출농도의 변화는 바이오디젤의 함유에 별다른 영향을 받지 않음을 확인하였다.

### 3. EGR 시스템 적용 및 미적용에 따른 배출가스에 미치는 영향

- EGR 시스템 적용 및 미적용에 따른 HC의 농도의 차이는 최대 1.4 ppm으로 나타났으며 1.4 ppm은 측정값의 2%~3% 이내의 값으로 측정 데이터의 오차범위 정도로 확인되어 발생에 대한 영향이 작음을 확인하였다. 반면 질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 경우 1000 rpm과 1500 rpm에서 EGR 시스템을 적용하지 않은 경우보다 50% 이상 NO<sub>x</sub>가 저감됨을 확인하였으며 이에 NO<sub>x</sub>의 저감효과에 EGR 시스템이 가장 효과적임을 확인하였다.
- 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 1000 rpm에서 EGR 시스템을 적용하였을 때 EGR 시스템을 적용하지 않은 경우 보다 약 55% 정도 CO<sub>2</sub>가 증가되는데 이는 EGR 시스템에 의해 연소된 공기를 재사용하여 질소(N)와 산소(O)보다 NO<sub>x</sub>와 CO<sub>2</sub>의 성분이 더 많아졌기 때문이다. 그리고 일산화탄소(CO)의 배출농도는 EGR 시스템 적용시에 EGR 시스템을 적용하지 않은 경우보다 전체적으로 10%정도의 감소효과가 있음을 확인하였다.
- 전반적으로 EGR 시스템은 운전조건에 따라 효과가 다르게 나타났으며 NO<sub>x</sub>와 CO의 저감에 효과적이지만 HC와 CO<sub>2</sub>는 상대적으로 크게 증가하여 저감효과에는 효과적이지 않음을 확인하였다.

### 3. 향후 계획

향후계획으로 고속중행상태의 연구가 필요하며, EGR 시스템의 작동과 상관 없이 HC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>의 저감에 관한 연구가 필요하다. 또한 배기가스의 연소과정에 대한 수학적인 모델링의 연구 또한 이루어져야 하며, 배출가스 저감을 위한 향후 연구계획을 제시하면 다음과 같다.

- (1) 본 논문은 커먼레일 엔진 회전수를 780 rpm에서 2500 rpm까지의 배출가스 성분 비율을 실험적으로 얻은 연구 결과이다. 그러므로 엔진회전수를 4000 rpm 이상의 고속운전조건에서의 배출가스 성분 비율에 대한 연구가 필요하다.
- (2) 커먼레일 디젤엔진에 무부하 상태에서 엔진회전수만 상승시켜 얻은 실험적 결과이므로 엔진에 부하를 주어 배출가스 성분 비율이 어떻게 변하는지에 대한 실험이 필요하며 시뮬레이션 엔진이 아닌 실제 차량을 대상으로 한 장기적인 실험이 요구된다.
- (3) 바이오디젤유 (폐식용유)로 실험을 하였으며, 다양한 바이오디젤유 (팜유, 유채유, 옥수수유등)로 실험이 필요하다. 또한 향후 혼합비율을 0%, 10%, 20%, 30%가 아닌 다양한 혼합비율로 실험이 필요하다.

## REFERENCE

- (1) A. Toynbee, Lectures on the Industrial Revolution of the Eighteenth Century in England, Ohio State University Library, americana, 1894.
- (2) 김재휘, 자동차 디젤기관, 골든벨, pp.13~17, 2011.
- (3) Y. C. Han, New Internal Combustion Engine, 문운당, pp.179, 1997.
- (4) K. W. Schol, S. C. Sorenson, Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine, SAE No. 930934, 1934.
- (5) K. H. Ryu., Y. T. Oh., Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel, Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp.32-38, 2004.
- (6) S. H. John., C. Vince., D. Vince., G. Michael., S. Housein., An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles, NREL/TP-580-24772, 1998.
- (7) C. A. Sharp., S. A. Howell., J. Jobe., The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines: Part 1 Regulated Emissions and Performance, SAE Technical Paper No. 2000-01-1967, 2000.
- (8) D. Y. Chang., J. H. Van Gerpen., Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines Fueled with Biodiesel, SAE Technical Paper No. 982527, 1998.
- (9) M. J. Park., An Experimental on Engine Performance, Exhaust gas and DOC Effects by ULSD and Biodiesel, Graduate school of Kookmin university, 2002.
- (10) 오전근, 연속축매채생방식의 경유차 매연제거장치, ENVEX 2002, 국제환경기술 세미나 시리즈, 2002.
- (11) E-나라지표, 2013년 12월 자동차등록현황 통계, 국토교통부, 2013.
- (12) H. J. Dekker., W. L. Sturm., Simulation and Control of a HD Diesel Engine Equipped with New EGR Technology, SAE No. 960871, 1996.
- (13) C. H. Kim., K. S. Lee., J. I. Park., J. H. Beak., Influences of Injector Nozzle Shape on Nozzle Internal Flow and Outlet Characteristics, Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 6, pp.108-116, 2013.
- (14) S. J. Lee., O. T. Lim., An Investigation on the Spray Characteristics of DME with Variation of Nozzle Holes Diameter using the Common Rail Fuel Injection System, Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 4, pp.1-7, 2013.
- (15) K. A. Sung., An Experimental Study on RCCI(Reactivity Controlled Compression Ignition) Combustion of Dual-fuel due to Injector Characteristics, Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 2, pp.110-115, 2012.
- (16) J. G. Hong., K. W. Ku., J. H. Kim., C. W. Lee., Spray characteristics of CRDi



- for injection and ambient pressure, KSAE12-G0011, pp.56-60, 2012.
- (17) S. J. Moon., S. J. Jeong., S. I. Lee., T. H. Kim., A Numerical Study on the Geometry Optimization of Internal Flow Passage in the Common-rail Diesel Injector for Improving Injection Performance, Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 2, pp.91-99, 2014.
  - (18) J. F. Alock., W. M. Scott., Some More Loght on Diesel Combustion, Proc. I Mech. E., No. 5, pp.179-200, 1962.
  - (19) W. M. Scott., Looking in Diesel Combustion, SAE Paper, SP-345, No. 69002, pp.1-6, 1969.
  - (20) T. Ueda., L. Zang., R. Fujino., K. Hamaguchi., Combustion Characteristics of an HSDI Diesel Engine, JSAE, Vol. 28, No. 1, pp.35-40, 1997.
  - (21) J. M. Desantes., R. Payri., F. J. Salvador., A. Gil., Development and Validation of a Theoretical Model for Diesel Spray Penetration, Fuel, Vol. 85, Issues. 7~8, pp.910-917, 2006.
  - (22) Y. Wang., W. G. Lee., R. Reitz., R. Diwakar, Numerical Simulation of Diesel Sprays Using an Eulerian-Lagrangian Spray and Atomization(ELSA) Model Coupled with Nozzle Flow, SAE Technical Paper No. 2011-01-0386, 2011.
  - (23) H. Y. Han., G. B. Kim., J. H. Lee., S. W. Cho., D. S. Jeong., Y. J. Chang., C. H. Jeon., The measurement of soot particle size from the exhaust pipe of a common-rail direct injection diesel engine by TIRE-LII, Proceedings of the KSME 2006 Autumn Annual Meeting, pp.149-154, 2006.
  - (24) J. K. Lim., S. Y. Choi., S. J. Kim., S. G. Cho., Effects of Biodiesel Fuel on Characteristics of Specific Fuel Consumption and Exhaust Emissions in DI Diesel Engine, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 14, No. 1, pp.83-87, 2008.
  - (25) J. D. Kim., G. Ainull., K. K. Song., J. Y. Jung., H. G. Kim., An Experimental Study on Spray Characteristics of Diesel and Bio-diesel Fuel, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 1, pp.53-59, 2011.
  - (26) A. S. Ramadhas., S. Jayaraj., C. Muraleecharan., Characterization and effect if using rubberseed oil as fuel in the compression ignition engines, Renewable energy, Vol. 30, No. 5, pp.795-803, 2004.
  - (27) H. K. Suh., S. W. Park., S. I. Kwon., C. S. Lee., Macroscopic Behavior and Automization Characteristics of Bio-diesel Fuels, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 12, No. 6, pp.23-29, 2004.
  - (28) C. E. Goering., A Schwab., M. Dougherty., M. Pryde., A. Heakin., Fuel Properties of Eleven Vegetable oil, Transaction of the ASAE, Vol. 25,

- pp.1472-1483, 1982.
- (29) J. K. Lim., S. G. Cho., Effects of Fuel Injection Timing on Combustion Characteristics of Biodiesel Blend Oil in Diesel Engine, Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 3, pp.10-15, 2012.
  - (30) S. H. Baek, J. H. Yoon., W. S. Jung., H. S. Ha., S. S. Chung., J. K. Yeom., Estimation of the Exhaust Characteristics of Biodiesel Used in Diesel Engine, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B, Vol. 38, No. 2, pp.129-137, 2014.
  - (31) K. S. Jeong., D. G. Lee., H. G. Roh., C. S. Lee., Effect of Pilot Injection on Combustion and Exhaust Emissions Characteristics in a Biodiesel Fueled Diesel Engine, Journal of The Korean Society of Combustion, Vol. 16, No. 4, pp.1-7, 2011.
  - (32) S. H. Choi., Y. T. Oh., The Durability Characteristics for BDF 20% in a Common Rail Diesel Engine, Transactions of KSAE, Vol. 19, No.4, pp.32-37, 2011.
  - (33) S. H. Yoon., S. W. Park., D. S. Kim., S. I. Kwon., C. S. Lee., Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel Fuel in a Common Rail Diesel Engine, ASME Paper No. ICEF2005-1258, pp.311-316, 2005.
  - (34) Yasafumi Yosimoto., Hiraya Tomaki., Reduction of NOx and Smoke Emission in Diesel Engine Fueled by Biodiesel Emulsion Combined with EGR, SAE Technical Paper Series No. 2001-01-0649, pp.4-10, 2001.
  - (35) R. L. McCormic., C. J. Tennant., Hayes., S. Black and Sharp., Regulated Emissions from Biodiesel Tested in Heavy Duty Engines Meeting 2004 Emission Standard, SAE No. 2005-01-2200, 2005.
  - (36) P. L. Herzog., L. Burgler., E. Winklhofer., P. Zelenka., W. Cartellieri., NOx Reduction Strategies for DI Diesel Engines, SAE Paper No. 920470, 1992.
  - (37) A. Maiboom., X. Tazua., J. F. Hétet., Influence of high rates of supplemental cooled EGR on NOx and PM emissions of an automotive HSDI diesel engine using an LP EGR loop, International Journal of Energy Research, Vol. 32, Issue 15, pp.1383-1398, 2008.
  - (38) J. L. Lázaro., J. L. García-Bernad., C. Pérez., J. Galindo., H. Climent., F. J. Arnau, Cooled EGR Modulation: A Strategy to Meet EURO IV Emission Standards in Automotive DI Diesel Engines, SAE No. 2002-01-1154, 2002.
  - (39) G. D. Neely., S. Sasaki., Y. Huang., J. A. Leet., D. W. Stewart., New diesel emission control strategy to meet US tier 2 emissions regulations, SAE transaction, Vol. 114, No. 4, p.1787, 2005.
  - (40) J. Wang., Air fraction estimation for multiple combustion mode diesel engines

- with dual-loop EGR systems, *Contral Engineering Practice*, Vol. 16, Issue. 12, pp.1479-1486, 2008.
- (41) K. W. Scholl., S. C. Sorenson., *Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine*, SAE No. 930934, 1993.
  - (42) L. G. Schumacher., W. G. Hires., S. C. Borgelt., *Fueling a Diesel Engine with Methylester Soybean Oil, Ligid Fuels from Renewable Resources-Proceedings of an Alternative Energy Conference*, 1992.
  - (43) L. G. Schumacher., S. C. Borgelt., W. G. Hires., *Soydiesel/Biodiesel Blend Research*, ASAE. 93-6523, 1993.
  - (44) K. H. Ryu., Y. J. Yun., Y. T. Oh., *The Characteristics of Performance and Emission of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel*, *Proceeding of the KSAE Gwangju Honam Branch 2002 Spring Conference*, pp.9-16, 2002.
  - (45) F. N. da. Silva., A. S. Prata., J. R. Teixeira., *Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilisaction in Diesel Bus Engines*, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, pp.2857-2878, 2003.
  - (46) M. A. Kalam., M. Husnawan., H. H. Masjuki., *Exhaust Emission and Combustion Evaluation of Coconut Oil-Powered Indirect Injection Diesel Engine*, *Renewable Energy*, Vol. 28, pp.2405-2415, 2003.
  - (47) K. H. Ryu., Y. J. Yun., Y. T. Oh., *A Study on the Usability of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine*, *Proceedings of the KSME 2002 Spring Annual Meeting*, pp.2025-2030, 2002.
  - (48) K. H. Ryu., Y. J. Yun., Y. T. Oh., *The Combustion Characteristics of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel(Ester of Rice Bran Oil)*, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineer*, Vol. 27, No. 2, pp.181-187, 2003.
  - (49) M. H. Hart., *The 100: A Ranking of the Most Influential Persons in History*, Golden Books Centre, 1978.
  - (50) H. S. Zhang., *A Predictive Tool for Engine Performance and NOx Emission*, SAE No. 982462, 1998.
  - (51) K. Komiyama., J. B. Heywood., *Predicting NOx Emissions and Effects of Exhaust Gas Recirculation in Spark-Ignition Engines*, SAE No. 730475, 1973.
  - (52) 엄명도, *CNG혼소기관의 관한 연구*, *국민대학교 기계공학과 박사논문*, p.16, 1997.
  - (53) 엄명도 외 1인, *자동차 미량유해물질 핸드북*, *자동차공해연구소*, p.20, 2003.
  - (54) C. T. Bowman., *Kinetics of Pollutant Formation and Destruction in Combustion*, *Prog. Energy Combust. SCI.*, vol. 1, pp. 33-45, 1975.

- (55) R. C. Yu., S. M. Shahed., Effects of Injection Timing and Exhaust Gas Recirculation on Emissions from a DI Diesel Engine, SAE No. 811234, 1981.
- (56) G. Greeves., I. M. Khan., C. H. T. Wang., I. Fenne., Origins of Hydrocarbon Emission from Diesel Engines, SAE Technical Paper No. 770259, 1977.
- (57) Y. Sato., A. Noda., T. Sakamoto., 1997, Combustion and NOx Emission Characteristics in a DI Methanol Engine Using Supercharging with EGR, SAE No. 971647.
- (58) N. Uchida., Combustion Optimization by Means of Common Rail Injection System for Heavy-Duty Diesel Engines, SAE No. 982679, 1987.
- (59) R. S. Benson., N. D. Whitehouse., Internal Combustion Engines, Vol. 1, Pergamon, 1983.
- (60) C. P. Fenimore., Formation of Nitric Oxide in Premixed Hydrocarbon Flames, Thirteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, pp.373-380, 1970.
- (61) J. C. Street., A. Thomas., Carbon Formation in Pre-mixed Flames, The Fuel, pp.34-36, 1955.
- (62) S. R. Turns., An Introduction to Combustion, pp.145-150, 1999.
- (63) K. Y. Park., A Study on the Characteristics of Engine Performance and Exhaust Gas Emissions with Electronic Controlled EGR Method in Heavy Duty Diesel Engine, Graduate School of Kookmin University, p.25, 2004.
- (64) 정용일, 윤재건, 자동차와 환경, 한성대학교 출판부, pp.55-60, 2000.
- (65) 엄명도, 류정호, 자동차 배출 입경 핸드북, 자동차공해연구소, pp.5-7, 2003.
- (66) I. S. Abdul-Khalek., D. B. Kittelson., B. R. Graskow., Q. Wei., F. Bear., Diesel Exhaust Particle Size : Measurement Issues and Trends, SAE Technical Paper No. 980525, 1998.
- (67) K. J. Baumgard, J. H. Johnson, The Effect of Fuel and Engine Design on Diesel Exhaust Particle Size Distribution, SAE No. 960131, 1996.
- (68) D. B. Kittelson, Engines and Nanoparticles : A Review J. Aerosol Sci, 5/6(29), pp.575-588, 1998.
- (69) EU EURO, 자동차 배기가스 배출과 수리 및 유지 관리에 대한 정보(Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information).
- (70) R L. Chun, H. Y. Young, K. W. Yong, Status and Trends of Diesel Particulate Matters Reduction Technology, KSAE, Vol. 24, No. 4, p.59, 2002.

- (71) 이동인, 대형 디젤엔진의 기술 개발 동향, Journal of the KSME, 2003.
- (72) W. Cartellieri, Worldwide Trend of Heavy Duty Truck Diesel Engine Technologies to Meet Future Stringent Exhaust Emission Legislations, JSME Conference, April, 1998.
- (73) R. Zelenka, W. Cartelleri., Evaluation of future diesel engine technologies, AM-00-56, NPRA, 2000.
- (74) N. Uchida., Y. Daisho., T. Saito., H. Sugano., Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emissions, SAE Paper No. 930601, 1993.
- (75) T. Shiozaki., T. Suzuki., T. Otani., Effect of EGR on Diesel Engine Performance and Its Problems, Technical Review of Hino Motors, Ltd., No. 38, pp.3-15, AUG, 1989.
- (76) N. Ladomatos., S. M. Abdelhalim., H. Zho., Z. Hu., The Dilution, Chemical, and Thermal Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine Emissions-Parts 1, SAE Papers No. 961165, 1996.
- (77) P. M. Torpey., M. J. Whitehead., M. Wright., Experiments in the Control of Diesel Emissions, Conference on Air Pollution Control in Transport Engines, 9-11th Nov, 1971.
- (78) K. Narusawa., M. Odaka., N. Koike., Y. Tsukamoto., K. Yoshida., A EGR Control Method for Heavy-Duty Diesel Engines under Transient Operations, SAE Paper No. 900444, 1990.
- (79) N. Ladommatos., R. Balian., R. Horrocks., L. Cooper., The effect of exhaust gas recirculation on combustion and NOx emissions in a high-speed direct-injection diesel engine, SAE Paper No. 960840, 1996.
- (80) 이진욱, 피에조 인젝터의 구동성능 및 분무특성과 캐비테이션 유동에 관한 연구, 서울대학교 대학원 공학박사학위 논문, 2005.
- (81) H. G. Fujimoto., 2006, No Flame Region in Diesel Combustion in Quiescent Atmosphere, THIESEL 2006 Conference.
- (82) J. Han., T. C. Wang., X. B. Xie., M. C. Lai., N. A. Henein., Dynamics of Multiple-Injection Fuel Sprays in a Small-bore HSDI Diesel Engine, SAE No. 2000-01-1256, 2000.
- (83) [www.biodiesel.co.kr/press\\_release/submission\\_for\\_biofuels\\_2.html](http://www.biodiesel.co.kr/press_release/submission_for_biofuels_2.html).
- (84) Y. Yoshimoto., Horoya. Tamaki., Reduction of NOx and Smoke Emissions in a Diesel Engine Fueled by Biodiesel Emulsion Combined sith EGR, SAE 2001-01-0649, 2001.
- (85) R. C. Yu., S. M. Shahed., Effects of Injection Timing and Exhaust Gas

- Recirculation on Emissions from a D. I. Diesel Engine, SAE Paper No. 811234, 1981.
- (86) S. H. Baek., J. H. Yoon., W. S. Jung., H. S. Ha., S. S. Chung., J. K. Yeom., Estimation of the Exhaust Characteristics of Biodiesel Used in Diesel Engine, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B, Vol. 38, No. 2, pp.129-137, 2014.
- (87) Car General Inspection Training Fellowship, Transportation Safety Authority Operational headquarters inspection Automobile Inspection processed, pp.296, pp.361-389, 2011.
- (88) H. H. Kim., Y. C. Yun., G. H. Choe., Common Rail Diesel Engine, Golden Bell, ISBN, 2009.
- (89) A/S Learning Materials, Electronic control diesel engine, A/S Learning Materials Hyundai-Kia Automotive, Ver1, 2003.
- (90) 국립환경과학원 교통환경연구소, 교통분야 오염물질 관리 자료집, 2012.
- (91) 최병철, 김계연, 김주영, 김화남, 전기전도도법을 이용한 우레아 농도 센서 개발, 한국동력기계공학회지, 제 15권, 제2호, pp.55-60, 2011.

## 감사의 글

REL 실험실에 들어온 지가 엇그제 같은데 박사과정을 마무리하는 글을 쓰게 되니 길게만 느껴지던 시간들이 새삼 짧게 느껴집니다. 지난 4년간의 학위과정을 회상하면 보람도 많고 아쉬움도 많았던 시간이었습니다. 박사학위논문을 쓰기까지 많은 분들의 도움으로 이루어졌기에 도움을 주셨던 모든 분들 위해 감사의 마음을 전하고자 합니다.

지난 학위 과정 동안 부족한 저를 제자로 받아주시고 자동차 분야의 전문적인 역량과 자질을 갖춘 인재로 성장할 수 있도록 아낌없는 지도와 가르침을 주신 조흥현 교수님께 머리숙여 깊은 감사의 말씀을 올립니다. 앞으로도 교수님의 가르침을 마음속 깊이 되새기며 살아가도록 하겠습니다. 학위 과정 동안 많은 격려와 가르침을 주시고 바쁘신 중에도 논문 심사를 흔쾌히 허락해 주시고 반갑게 맞아주신 홍명석 교수님과 오동욱 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 그리고 논문 심사위원으로 많은 충고와 좋은 말씀을 해주신 한국원자력 연구소의 이선일 박사님과 한국에너지 기술연구원의 허재혁 박사님께 감사의 마음을 전하며 논문 심사를 해주신 모든 분들의 좋은 말씀을 마음에 새기며 바른 자세를 가지도록 노력하겠습니다. 그리고 많은 가르침을 주신 기계공학과 모든 교수님들께 감사드립니다.

어려움 속에서도 격려해주시고 위로를 해주신 서영대학교의 홍성인 교수님께서 자리를 빌어 고마움을 표현하고 싶습니다. 그리고 바쁜 직장생활에서도 짬짬히 시간을 내어 논문의 디자인 구성과 편집을 도와준 한지희 친구와 늘 실험실의 중추로 말없이 묵묵히 논문 구성에 도와준 윤찬이에게도 감사의 마음을 전합니다.

실험실의 모든 굵은 일을 도맡아 하고 동생들을 이끌어 준 진현씨에게 감사드리고 REL 실험실을 지키는 든든한 동생들인 지호, 진환, 정균, 광현, 한별, 형민에게 고마움을 표합니다.

실험실에서 동고동락했던 종현, 치욱, 경진, 원석, 은성이를 보면 벌써 석사를 졸업하고 회사의 중추적인 역할을 하고 있으니 앞으로도 파이팅하기 바라고 사회 초년생으로 첫발을 내딛는 상훈, 명석, 재경이에게 논문을 쓰는데 뒤에서 응원해준

동생들에게 고마움을 전합니다.

학위 과정 동안 묵묵히 격려해준 사랑하는 아내 은희와 집안의 보물인 첫째 아현이, 집안의 든직한 기둥인 둘째 승민이 그리고 저 때문에 많이 근심하시고 만학도로 공부에 전념할 수 있도록 지원해주신 아버지, 어머님께 너무 감사드리며 이 논문이 작은 보답이 되었으면 합니다.

2015年 2月

신재생에너지실험실

김 태 중



## 제7장 별 첨

### 제1절 Data sheet

Data sheet-NO.01 : Exhaust gas of 5Hole Injector and EGR system unapplied

Data sheet-NO.02 : Exhaust gas of 5Hole Injector and EGR system applied

Data sheet-NO.03 : Exhaust gas of 6Hole Injector and EGR system unapplied

Data sheet-NO.04 : Exhaust gas of 6Hole Injector and EGR system applied

Data sheet-NO.05 : Exhaust gas of 7Hole Injector and EGR system unapplied

Data sheet-NO.06 : Exhaust gas of 7Hole Injector and EGR system applied

**Title : Exhaust gas of 5Hole Injector and EGR system unapplied**

Table 1. CO density of 5Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.018	0.016	0.018	0.02
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.024	0.022
1500	350		7.8	0.042	0.042	0.038	0.04
2000	400		8.5	0.062	0.062	0.062	0.062
2500	520		10	0.08	0.084	0.08	0.082

Table 2. HC density of 5Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	28.8	25.6	18.2	18.2
1000	300		7.3	31.4	31.4	27	29.6
1500	350		7.8	34.6	33.4	30.4	31.2
2000	400		8.5	48	45.8	39.4	38.6
2500	520		10	117.4	107.6	98.2	98

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 5Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	2.156	2.156	2.14	2.156
1000	300		7.3	2.168	2.184	2.176	2.184
1500	350		7.8	2.192	2.212	2.2	2.212
2000	400		8.5	2.42	2.408	2.472	2.444
2500	520		10	2.828	2.892	2.904	2.904

 Table 4. NO<sub>x</sub> density of 5Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NO <sub>x</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	96.2	98.8	77.4	77.8
1000	300		7.3	46.6	47.8	30	29.8
1500	350		7.8	24.4	26	20	20.2
2000	400		8.5	20.2	19.8	16.4	18.2
2500	520		10	31.8	30.6	24	24.6

**Title : Exhaust gas of 5Hole Injector and EGR system apply**

Table 1. CO density of 5Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.016	0.018	0.018	0.02
1000	300	95	7.3	0.022	0.02	0.022	0.022
1500	350	70	7.8	0.042	0.04	0.034	0.04
2000	400	50	8.5	0.062	0.062	0.064	0.064
2500	520	5	10	0.08	0.082	0.082	0.082

Table 2. HC density of 5Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	28.4	24.6	17.4	18.2
1000	300	95	7.3	31.4	30.2	27.2	30
1500	350	70	7.8	34.6	32.4	30.6	32.4
2000	400	50	8.5	46.6	45.4	38.8	37.6
2500	520	5	10	117	107	96	96.8

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 5Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	2.148	2.132	2.132	2.14
1000	300	95	7.3	2.856	2.852	2.856	2.828
1500	350	70	7.8	2.988	2.988	2.964	2.968
2000	400	50	8.5	2.852	2.848	2.852	2.832
2500	520	5	10	2.868	2.88	2.88	2.868

Table 4. NOx density of 5Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NOx(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	96.2	97.6	78.6	77
1000	300	95	7.3	19.6	18.6	14	15
1500	350	70	7.8	12.6	11.8	8	8.6
2000	400	50	8.5	20.2	20	12.4	15
2500	520	5	10	31.2	30	24.4	24.2

**Title : Exhaust gas of 6Hole Injector and EGR system unapplied**

Table 1. CO density of 6Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.01
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350		7.8	0.024	0.03	0.022	0.038
2000	400		8.5	0.052	0.056	0.046	0.054
2500	520		10	0.078	0.084	0.084	0.078

Table 2. HC density of 6Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	21.4	20.6	19	19.2
1000	300		7.3	21.8	21.2	20.4	19.8
1500	350		7.8	21.2	22.2	20.2	20.8
2000	400		8.5	26.2	24	22	24.4
2500	520		10	42.4	38.4	35.6	30.8

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 6Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	1.768	1.796	1.744	1.756
1000	300		7.3	1.824	1.836	1.828	1.828
1500	350		7.8	1.932	1.924	1.88	1.88
2000	400		8.5	2.216	2.296	2.268	2.276
2500	520		10	2.776	2.784	2.772	2.756

Table 4. NOx density of 6Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NOx(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	85.8	79.6	81.8	80.8
1000	300		7.3	43.8	40.2	37.6	40.2
1500	350		7.8	31.4	31.4	27.4	30.6
2000	400		8.5	23	27.4	19.8	26
2500	520		10	21.6	22.2	19.6	24

**Title : Exhaust gas of 6Hole Injector and EGR system apply**

Table 1. CO density of 6Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.012
1000	300	95	7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350	70	7.8	0.03	0.032	0.034	0.038
2000	400	50	8.5	0.054	0.054	0.054	0.056
2500	520	5	10	0.082	0.08	0.084	0.082

Table 2. HC density of 6Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	21.6	20	19.2	19.4
1000	300	95	7.3	20.6	21.4	20.8	20.4
1500	350	70	7.8	21.2	21.2	20.8	21.4
2000	400	50	8.5	26.4	26.6	25.2	24.2
2500	520	5	10	40.2	37	36.4	33.8

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 6Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	1.788	1.824	1.808	1.756
1000	300	95	7.3	2.868	2.84	2.844	2.832
1500	350	70	7.8	2.92	2.972	2.972	2.956
2000	400	50	8.5	2.804	2.836	2.836	2.86
2500	520	5	10	2.804	2.808	2.848	2.84

Table 4. NOx density of 6Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NOx(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	86.6	82	78.6	81.2
1000	300	95	7.3	22.4	21	19.2	19.8
1500	350	70	7.8	13.8	12.4	10.8	9.2
2000	400	50	8.5	22.6	21.6	19.6	20.4
2500	520	5	10	25.2	26	23.8	23.2

**Title : Exhaust gas of 7Hole Injector and EGR system unapplied**

Table 1. CO density of 7Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.01
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350		7.8	0.032	0.028	0.03	0.03
2000	400		8.5	0.05	0.046	0.052	0.05
2500	520		10	0.072	0.068	0.074	0.07

Table 2. HC density of 7Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	20.6	20	17.4	18.8
1000	300		7.3	20.6	19.8	18.6	19.4
1500	350		7.8	22	20.8	20	20.4
2000	400		8.5	26.4	24.4	21.2	24
2500	520		10	35.4	34.8	30.8	28.2

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 7Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	1.796	1.8	1.78	1.772
1000	300		7.3	1.82	1.832	1.816	1.824
1500	350		7.8	1.928	1.92	1.892	1.892
2000	400		8.5	2.304	2.308	2.276	2.296
2500	520		10	2.816	2.8	2.8	2.8

Table 4. NOx density of 7Hole Injector and EGR unapplied

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NOx(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	84.2	78.2	80.6	79.6
1000	300		7.3	40	38	35.6	36
1500	350		7.8	30	29.4	26	27.6
2000	400		8.5	23.6	24.6	20.2	23.6
2500	520		10	22.4	22.6	19.8	21.4

**Title : Exhaust gas of 7Hole Injector and EGR system apply**

Table 1. CO density of 7Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO(%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.01
1000	300	95	7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350	70	7.8	0.03	0.03	0.03	0.032
2000	400	50	8.5	0.048	0.05	0.05	0.05
2500	520	5	10	0.07	0.07	0.074	0.072

Table 2. HC density of 7Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	HC(ppm)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	21	19.6	19.8	19.6
1000	300	95	7.3	20.8	19.8	20	19.6
1500	350	70	7.8	21	21.2	19.8	21
2000	400	50	8.5	27.4	24.4	24.2	23.6
2500	520	5	10	34.8	34.6	33.8	31

 Table 3. CO<sub>2</sub> density of 7Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	CO <sub>2</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	1.788	1.82	1.828	1.792
1000	300	95	7.3	2.872	2.876	2.828	2.856
1500	350	70	7.8	2.988	2.992	2.996	2.996
2000	400	50	8.5	2.868	2.856	2.872	2.872
2500	520	5	10	2.868	2.836	2.86	2.848

 Table 4. NO<sub>x</sub> density of 7Hole Injector and EGR apply

Engine Speed (rpm)	Fuel Pressure (bar)	EGR Valve (%)	Fuel Inject (cc)	NO <sub>x</sub> (%)			
				Bio-diesel fuel maxing rate			
				0%	10%	20%	30%
780	280	5	6.5	83.6	80.2	79.2	79.8
1000	300	95	7.3	19.4	21.4	18.6	19.4
1500	350	70	7.8	13.2	12	9.8	9.6
2000	400	50	8.5	21.6	20.2	19.6	19.4
2500	520	5	10	24.4	24.4	23.4	22.8

## 제2절 EGR system unapplied

### 1. 5 Hole injector

- 001-001. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system unapplied : HC
- 001-002. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system unapplied : NO<sub>x</sub>
- 001-003. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system unapplied : CO<sub>2</sub>
- 001-004. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system unapplied : CO

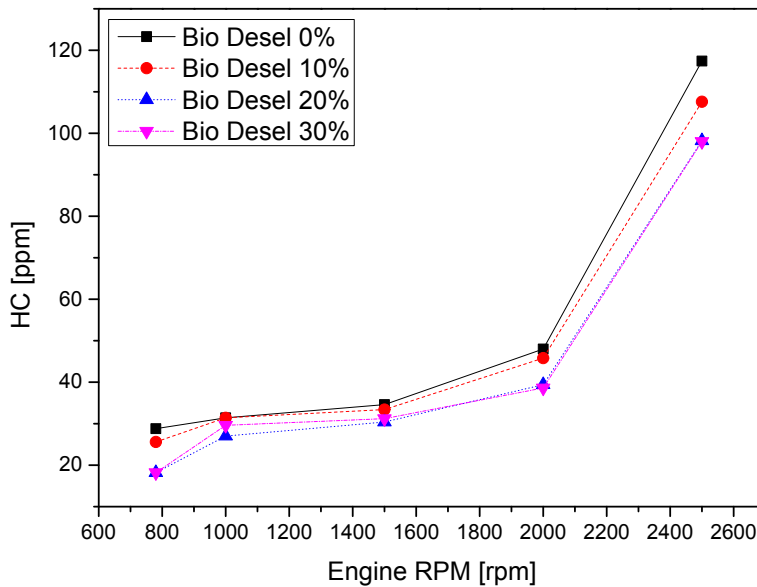


NO.001-001

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system unapplied : HC							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	HC[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	28.8	25.6	18.2	18.2
1000	300		7.3	31.4	31.4	27	29.6
1500	350		7.8	34.6	33.4	30.4	31.2
2000	400		8.5	48	45.8	39.4	38.6
2500	520		10	117.4	107.6	98.2	98



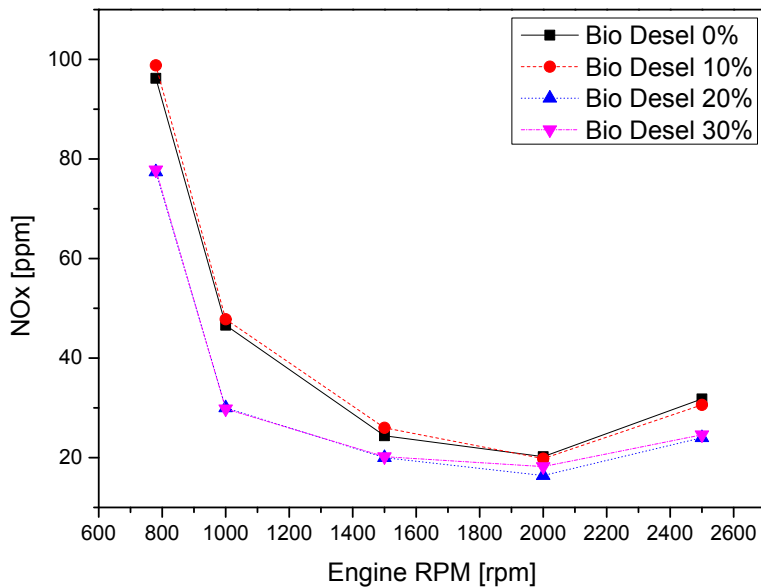
5Hole Injector EGR system unapplied : HC

NO.001-002

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system unapplied : NOx							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	NOx[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	96.2	98.8	77.4	77.8
1000	300		7.3	46.6	47.8	30	29.8
1500	350		7.8	24.4	26	20	20.2
2000	400		8.5	20.2	19.8	16.4	18.2
2500	520		10	31.8	30.6	24	24.6



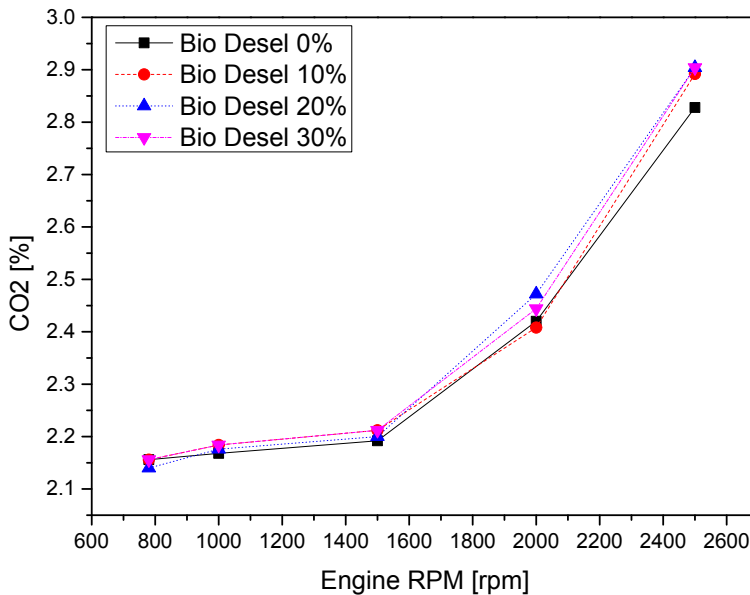
5Hole Injector EGR system unapplied : NOx

NO.001-003

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system unapplied : CO <sub>2</sub>				CO <sub>2</sub> [%]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	7.3	2.168	2.184	2.176		2.184
1500	350	7.8	2.192	2.212	2.2		2.212
2000	400	8.5	2.42	2.408	2.472		2.444
2500	520	10	2.828	2.892	2.904		2.904



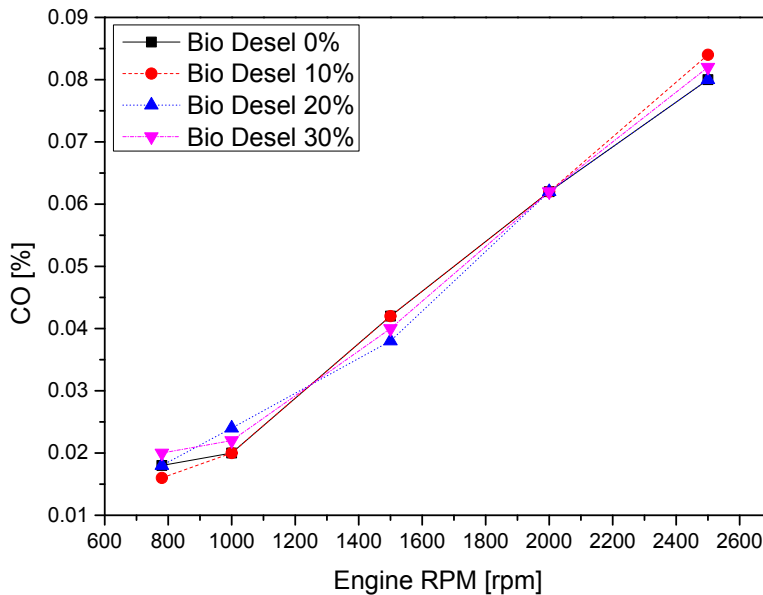
5Hole Injector EGR system unapplied : CO<sub>2</sub>

NO.001-004

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO
Object	Bio-diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system unapplied : CO							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO[%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	0.018	0.016	0.018	0.02
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.024	0.022
1500	350		7.8	0.042	0.042	0.038	0.04
2000	400		8.5	0.062	0.062	0.062	0.062
2500	520		10	0.08	0.084	0.08	0.082



5Hole Injector EGR system unapplied : CO

## 2. 6 Hole injector

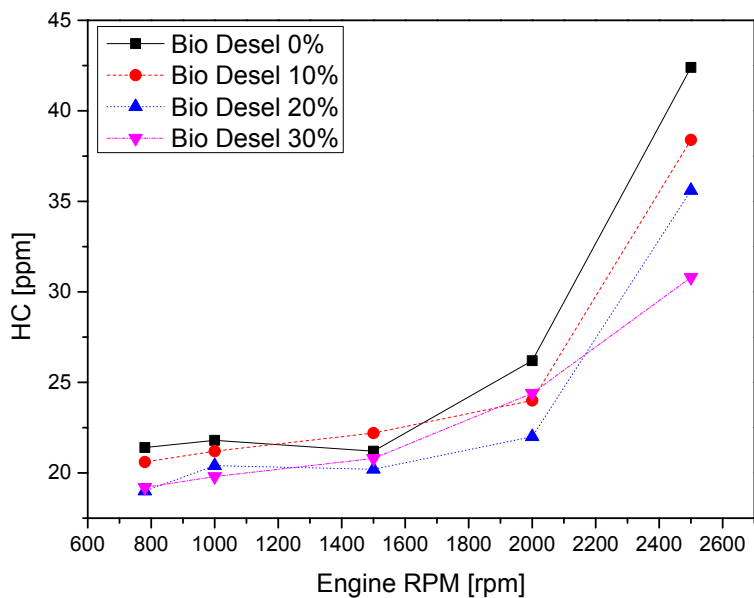
- 002-001. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : HC
- 002-002. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : NO<sub>x</sub>
- 002-003. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO<sub>2</sub>
- 002-004. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO

NO.002-001

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system unapplied : HC				HC[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	7.3	21.8	21.2	20.4		19.8
1500	350	7.8	21.2	22.2	20.2		20.8
2000	400	8.5	26.2	24	22		24.4
2500	520	10	42.4	38.4	35.6		30.8



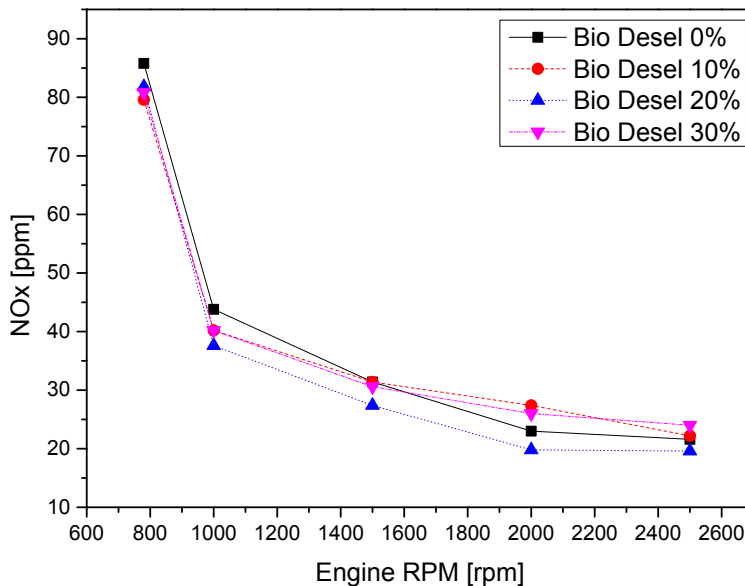
6Hole Injector EGR system unapplied : HC

NO.002-002

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2°C]

6Hole Injector EGR system unapplied : NOx							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	NOx[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	85.8	79.6	81.8	80.8
1000	300		7.3	43.8	40.2	37.6	40.2
1500	350		7.8	31.4	31.4	27.4	30.6
2000	400		8.5	23	27.4	19.8	26
2500	520		10	21.6	22.2	19.6	24



6Hole Injector EGR system unapplied : NOx

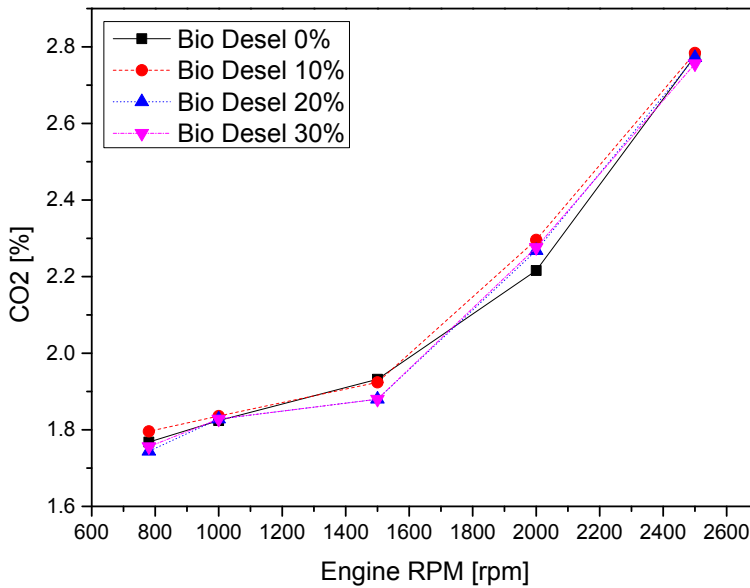
NO.002-003

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system unapplied : CO<sub>2</sub>

Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO <sub>2</sub> [%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	1.768	1.796	1.744	1.756
1000	300		7.3	1.824	1.836	1.828	1.828
1500	350		7.8	1.932	1.924	1.88	1.88
2000	400		8.5	2.216	2.296	2.268	2.276
2500	520		10	2.776	2.784	2.772	2.756



6Hole Injector EGR system unapplied : CO<sub>2</sub>

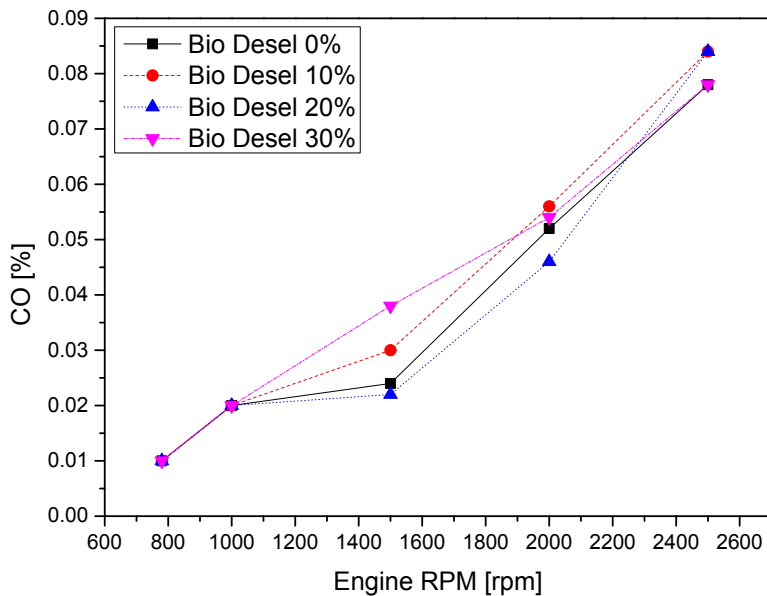


NO.002-004

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system unapplied: CO							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO[%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.01
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350		7.8	0.024	0.03	0.022	0.038
2000	400		8.5	0.052	0.056	0.046	0.054
2500	520		10	0.078	0.084	0.084	0.078



6Hole Injector EGR system unapplied : CO

### 3. 7 Hole injector

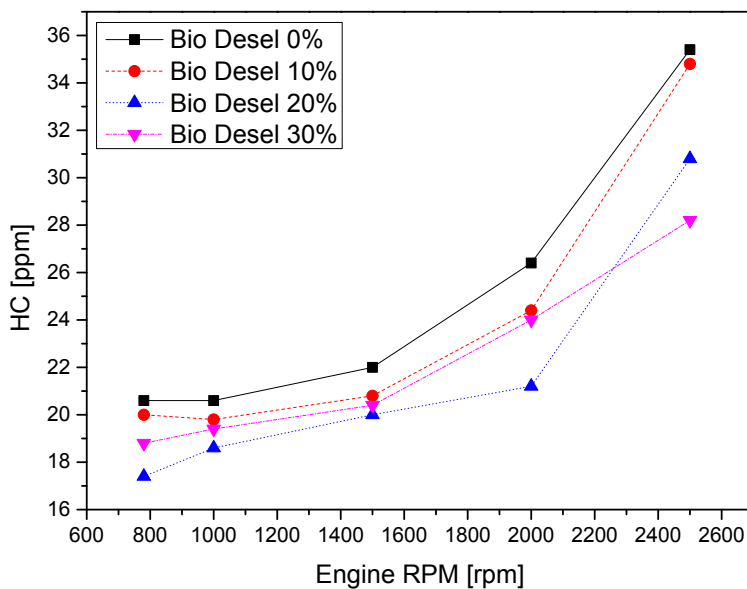
- 003-001. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : HC
- 003-002. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : NO<sub>x</sub>
- 003-003. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO<sub>2</sub>
- 003-004. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO

NO.003-001

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system unapplied : HC							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	HC[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	20.6	20	17.4	18.8
1000	300		7.3	20.6	19.8	18.6	19.4
1500	350		7.8	22	20.8	20	20.4
2000	400		8.5	26.4	24.4	21.2	24
2500	520		10	35.4	34.8	30.8	28.2



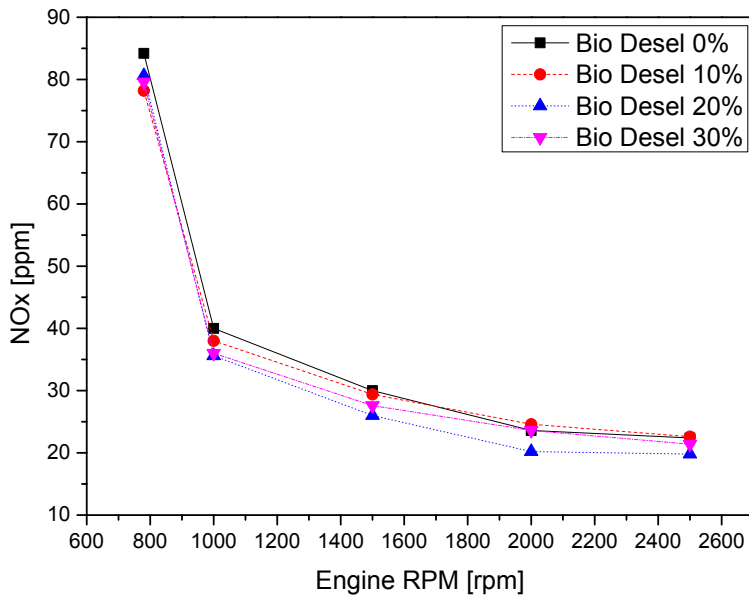
7Hole Injector EGR system unapplied : HC

NO.003-002

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system unapplied : NOx							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	NOx[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	84.2	78.2	80.6	79.6
1000	300		7.3	40	38	35.6	36
1500	350		7.8	30	29.4	26	27.6
2000	400		8.5	23.6	24.6	20.2	23.6
2500	520		10	22.4	22.6	19.8	21.4



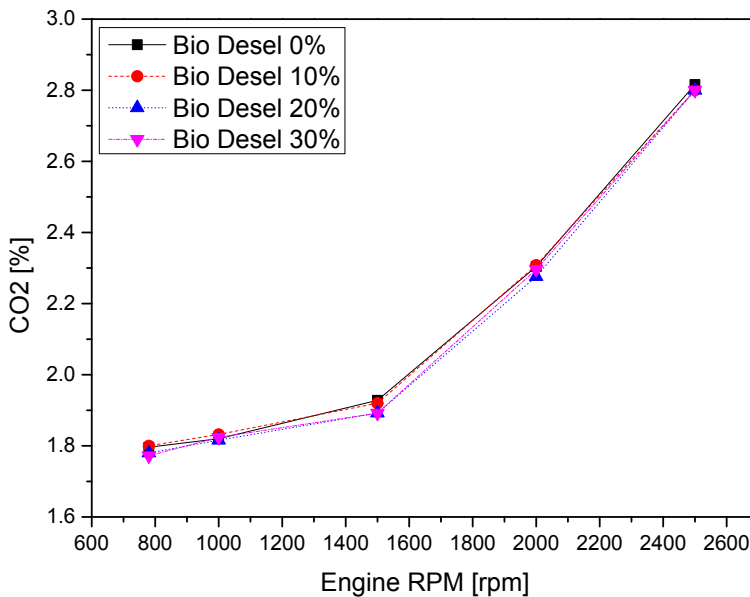
7Hole Injector EGR system unapplied : NOx

NO.003-003

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system unapplied : CO <sub>2</sub>				CO <sub>2</sub> [%]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	7.3	1.82	1.832	1.816		1.824
1500	350	7.8	1.928	1.92	1.892		1.892
2000	400	8.5	2.304	2.308	2.276		2.296
2500	520	10	2.816	2.8	2.8		2.8



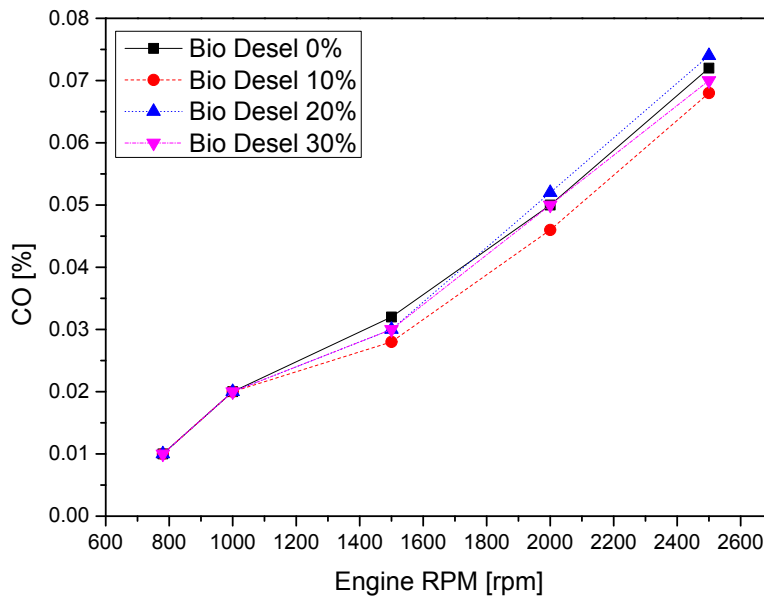
7Hole Injector EGR system unapplied : CO<sub>2</sub>

NO.003-004

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system unapplied : CO
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system unapplied : CO							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO[%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.01
1000	300		7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350		7.8	0.032	0.028	0.03	0.03
2000	400		8.5	0.05	0.046	0.052	0.05
2500	520		10	0.072	0.068	0.074	0.07



7Hole Injector EGR system unapplied : CO

## 제3절 EGR system applied

### 1. 5 Hole injector

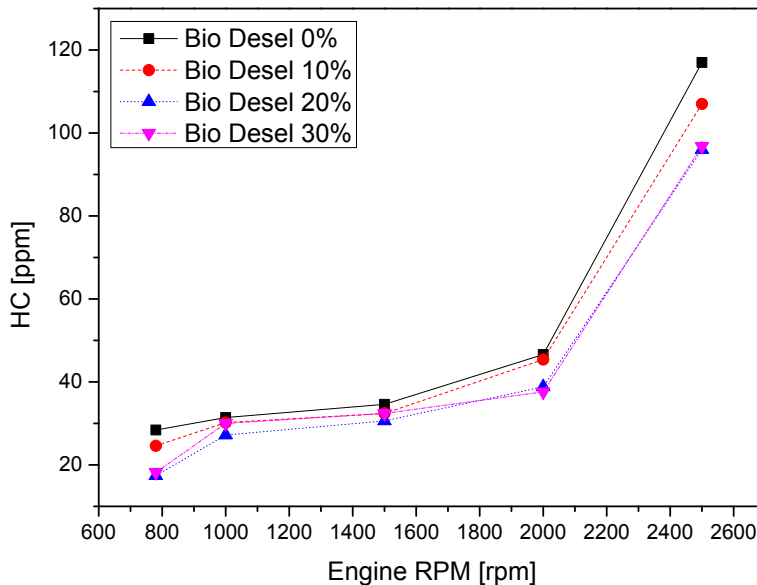
- 004-001. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : HC
- 004-002. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : NO<sub>x</sub>
- 004-003. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO<sub>2</sub>
- 004-004. Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO

NO.004-001

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system applied : HC				HC[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	31.4	30.2	27.2	30
1500	350	70	7.8	34.6	32.4	30.6	32.4
2000	400	50	8.5	46.6	45.4	38.8	37.6
2500	520	5	10	117	107	96	96.8



5Hole Injector EGR system applied : HC

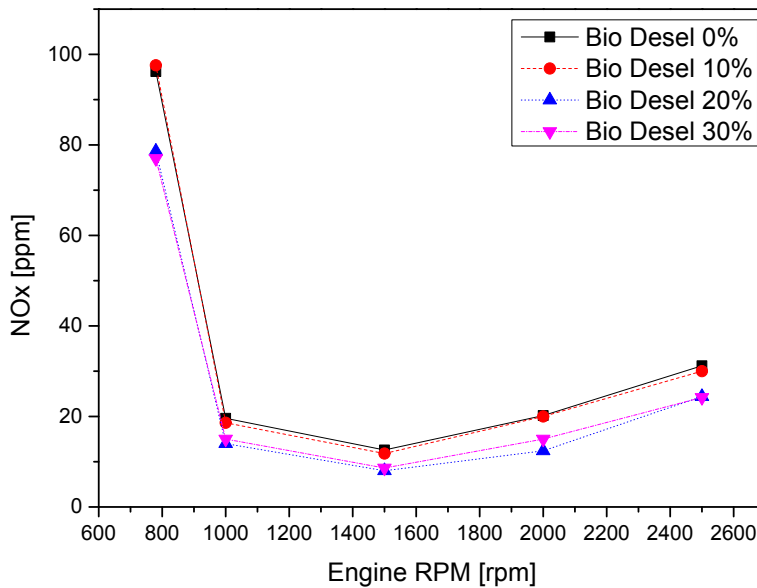


NO.004-002

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system applied : NOx				NOx[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	19.6	18.6	14	15
1500	350	70	7.8	12.6	11.8	8	8.6
2000	400	50	8.5	20.2	20	12.4	15
2500	520	5	10	31.2	30	24.4	24.2



5Hole Injector EGR system applied : NOx

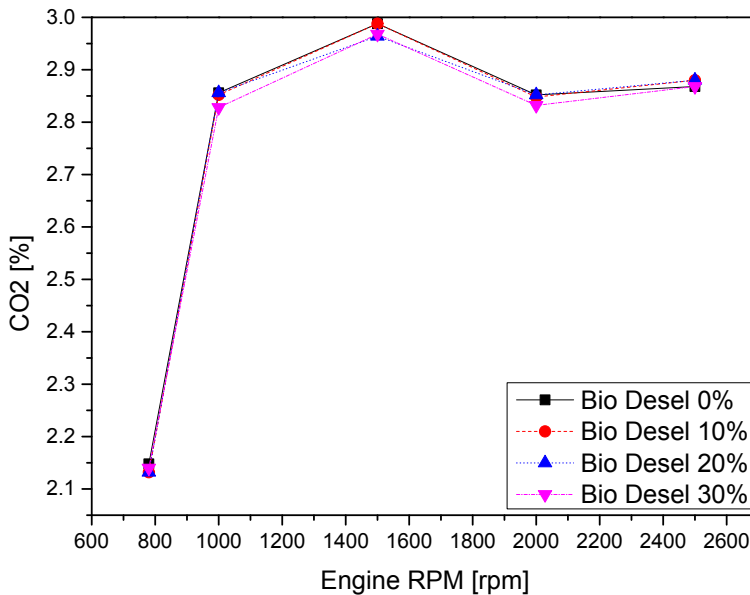
NO.004-003

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system applied : CO<sub>2</sub>

Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO <sub>2</sub> [%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	2.148	2.132	2.132	2.14
1000	300	95	7.3	2.856	2.852	2.856	2.828
1500	350	70	7.8	2.988	2.988	2.964	2.968
2000	400	50	8.5	2.852	2.848	2.852	2.832
2500	520	5	10	2.868	2.88	2.88	2.868



5Hole Injector EGR system applied : CO<sub>2</sub>

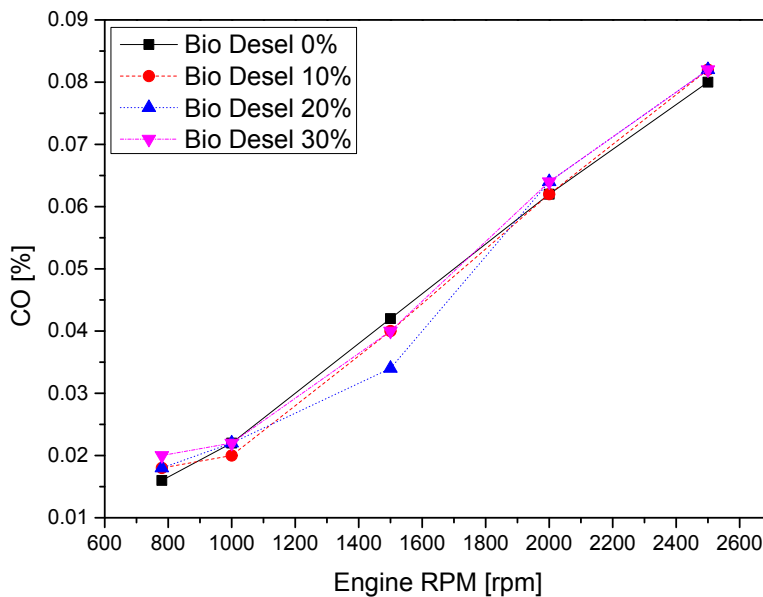
NO.004-004

Subject	Injector nozzle(5Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

5Hole Injector EGR system applied : CO

Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO[%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	0.016	0.018	0.018	0.02
1000	300	95	7.3	0.022	0.02	0.022	0.022
1500	350	70	7.8	0.042	0.04	0.034	0.04
2000	400	50	8.5	0.062	0.062	0.064	0.064
2500	520	5	10	0.08	0.082	0.082	0.082



5Hole Injector EGR system applied : CO

## 2. 6 Hole injector

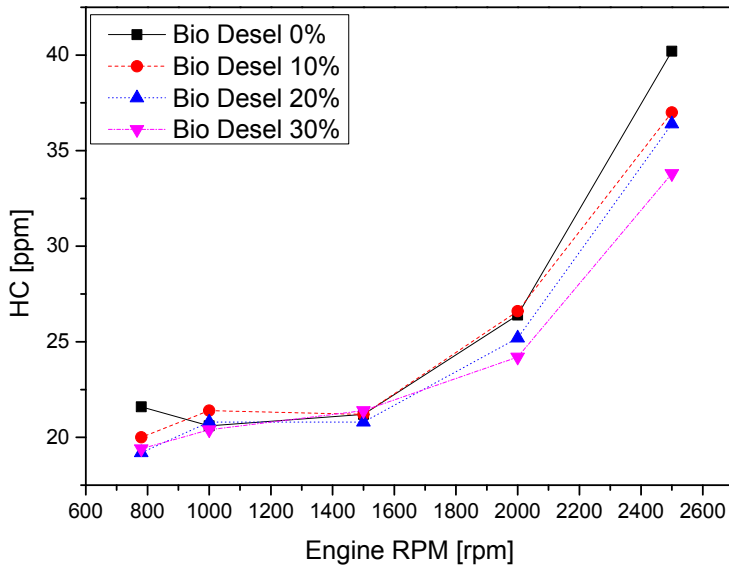
- 005-001. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : HC
- 005-002. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : NO<sub>x</sub>
- 005-003. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO<sub>2</sub>
- 005-004. Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO

NO.005-001

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system applied : HC				HC[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	20.6	21.4	20.8	20.4
1500	350	70	7.8	21.2	21.2	20.8	21.4
2000	400	50	8.5	26.4	26.6	25.2	24.2
2500	520	5	10	40.2	37	36.4	33.8



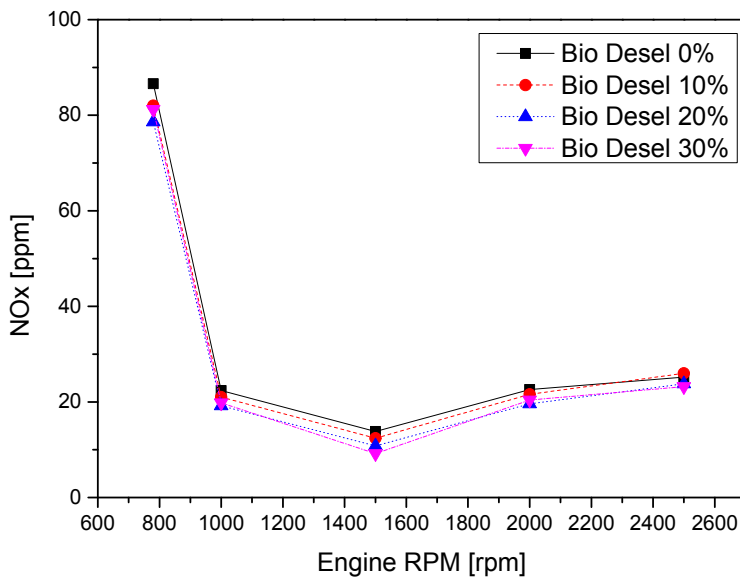
6Hole Injector EGR system applied : HC

NO.005-002

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system applied : NOx							
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	NOx[ppm]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	86.6	82	78.6	81.2
1000	300	95	7.3	22.4	21	19.2	19.8
1500	350	70	7.8	13.8	12.4	10.8	9.2
2000	400	50	8.5	22.6	21.6	19.6	20.4
2500	520	5	10	25.2	26	23.8	23.2



6Hole Injector EGR system applied : NOx

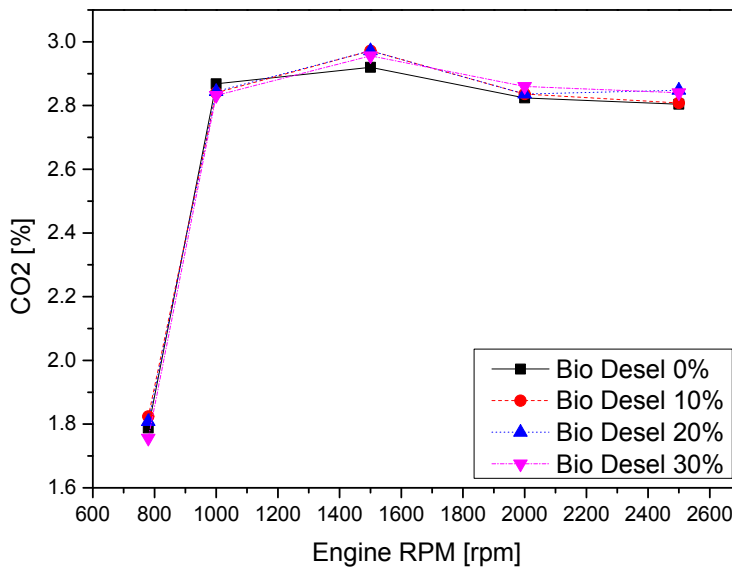
NO.005-003

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system applied : CO<sub>2</sub>

Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO <sub>2</sub> [%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	1.788	1.824	1.808	1.756
1000	300	95	7.3	2.868	2.84	2.844	2.832
1500	350	70	7.8	2.92	2.972	2.972	2.956
2000	400	50	8.5	2.804	2.836	2.836	2.86
2500	520	5	10	2.804	2.808	2.848	2.84



6Hole Injector EGR system applied : CO<sub>2</sub>

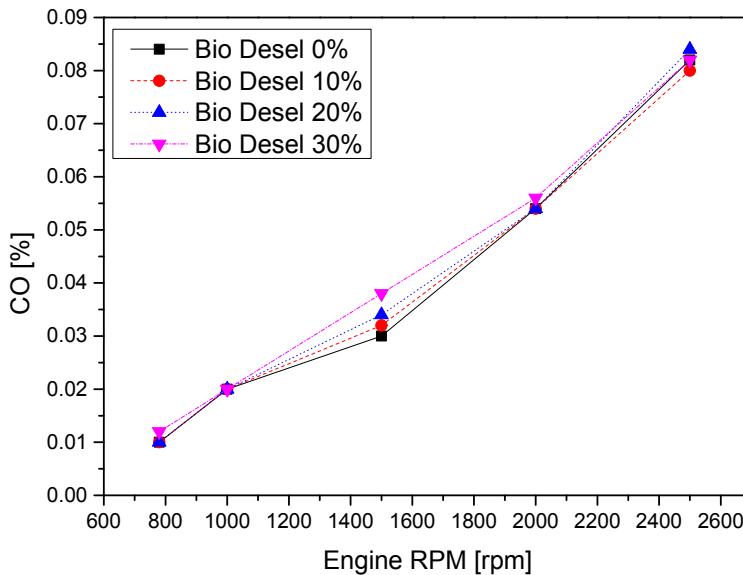
NO.005-004

Subject	Injector nozzle(6Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

6Hole Injector EGR system applied : CO

Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	CO[%]			
				Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
780(idle)	280	5	6.5	0.01	0.01	0.01	0.012
1000	300	95	7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350	70	7.8	0.03	0.032	0.034	0.038
2000	400	50	8.5	0.054	0.054	0.054	0.056
2500	520	5	10	0.082	0.08	0.084	0.082



6Hole Injector EGR system applied : CO



### 3. 7 Hole injector

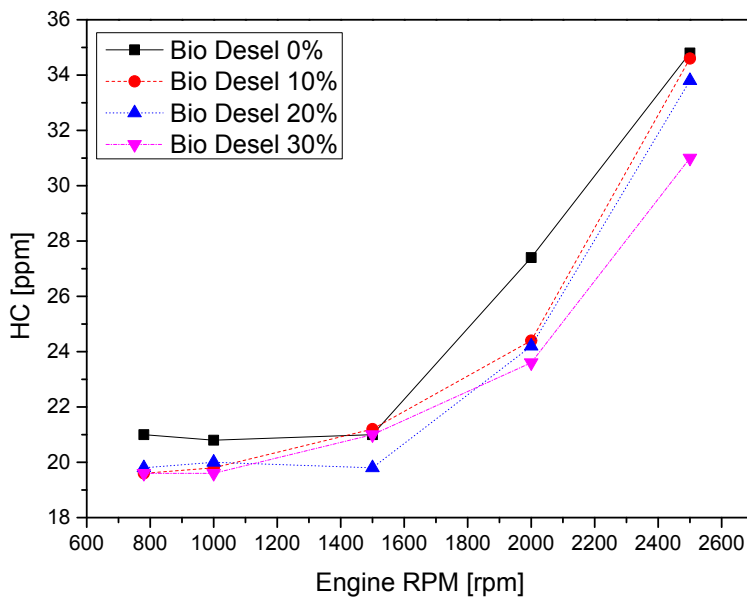
- 006-001. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : HC
- 006-002. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : NO<sub>x</sub>
- 006-003. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO<sub>2</sub>
- 006-004. Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation)  
system applied : CO

NO.006-001

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : HC
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 HC(탄화수소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system applied : HC				HC[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	20.8	19.8	20	19.6
1500	350	70	7.8	21	21.2	19.8	21
2000	400	50	8.5	27.4	24.4	24.2	23.6
2500	520	5	10	34.8	34.6	33.8	31



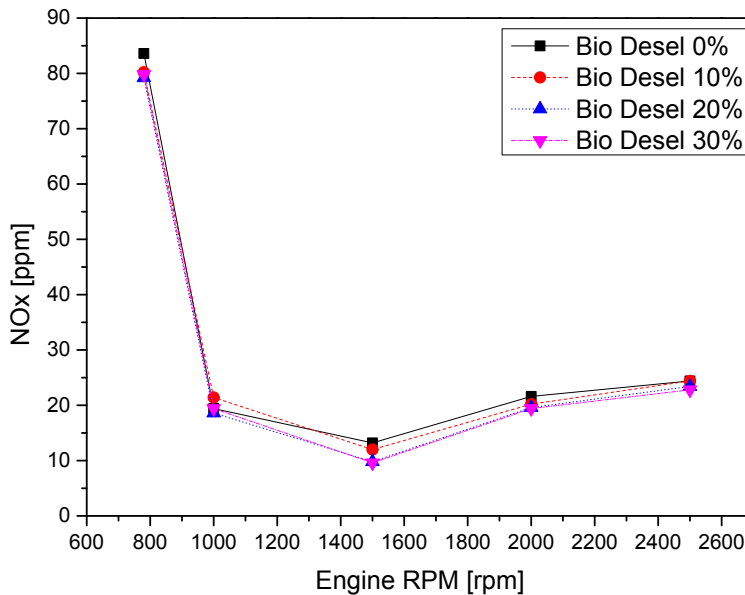
7Hole Injector EGR system applied : HC

NO.006-002

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : NOx
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 NOx(질소산화물)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system applied : NOx				NOx[ppm]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	19.4	21.4	18.6	19.4
1500	350	70	7.8	13.2	12	9.8	9.6
2000	400	50	8.5	21.6	20.2	19.6	19.4
2500	520	5	10	24.4	24.4	23.4	22.8



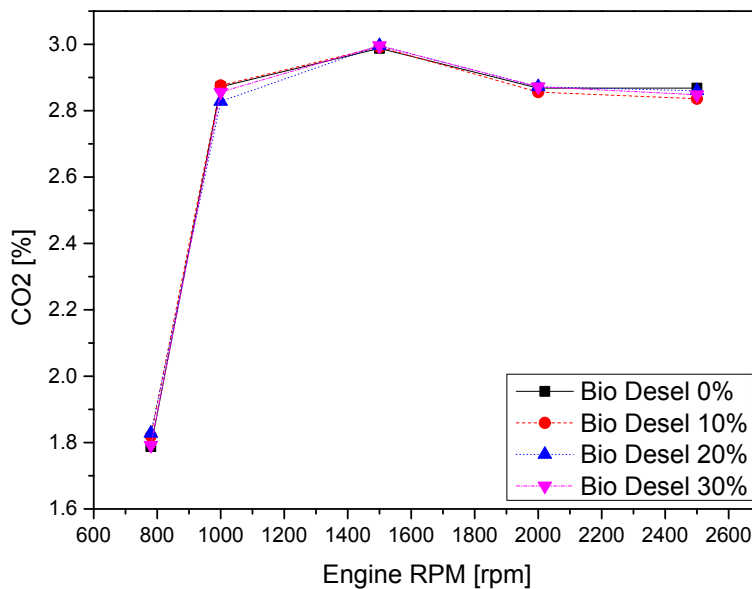
7Hole Injector EGR system applied : NOx

NO.006-003

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO <sub>2</sub>
object	Bio Diesel 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO <sub>2</sub> (이산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system applied : CO <sub>2</sub>				CO <sub>2</sub> [%]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	2.872	2.876	2.828	2.856
1500	350	70	7.8	2.988	2.992	2.996	2.996
2000	400	50	8.5	2.868	2.856	2.872	2.872
2500	520	5	10	2.868	2.836	2.86	2.848



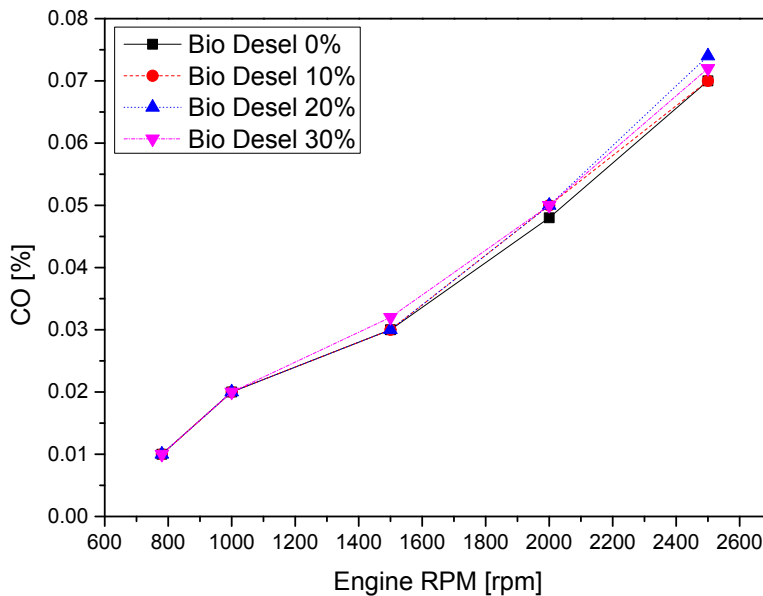
7Hole Injector EGR system applied : CO<sub>2</sub>

NO.006-004

Subject	Injector nozzle(7Hole) EGR(Exhaust gas recirculation) system applied : CO
Object	바이오디젤 0%, 10%, 20%, 30% 변화량에 따른 CO(일산화탄소)의 변화량 측정

[Coolant : 82± 2℃]

7Hole Injector EGR system applied : CO				CO[%]			
Engine Rotation [rpm]	Fuel Pressure [bar]	EGR Valve (%)	Fuel Injection [cc]	Bio Diesel 0[%]	Bio Diesel 10[%]	Bio Diesel 20[%]	Bio Diesel 30[%]
				780(idle)	280	5	6.5
1000	300	95	7.3	0.02	0.02	0.02	0.02
1500	350	70	7.8	0.03	0.03	0.03	0.032
2000	400	50	8.5	0.048	0.05	0.05	0.05
2500	520	5	10	0.07	0.07	0.074	0.072



7Hole Injector EGR system applied : CO