

최 종  
연구보고서

농업용 디젤기관 연료로서의 바이오디젤유 제조 및  
실용화 기술 개발

Development of Technology for the Practical Use  
of Biodiesel Fuel as a Fuel of the Agricultural  
Diesel Engine

연구기관  
전 북 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용 디젤기관 연료로서의 바이오디젤유 제조 및 실용화 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 8 월 19 일

주관연구기관명 : 전북대학교  
총괄연구책임자 : 오 영 택  
연 구 원 : 유 경 현  
연 구 원 : 김 우 상  
연 구 원 : 이 동 식  
연 구 보 조 원 : 황 윤 택  
연 구 보 조 원 : 이 재 호  
연 구 보 조 원 : 김 창 영  
참 여 기 업 : 신양현미유(주)

# 요 약 문

## I. 제 목

농업용 디젤기관 연료로서의 바이오디젤유 제조 및 실용화 기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 석유에너지의 공급불안과 석유에너지에 의한 대기 환경오염으로 농업기계의 연료도 대체에너지원이 절실히 필요한 실정에서 농업 생산물로부터 얻어지는 재생가능한 바이오디젤유의 이용가능성이 제기되고 있지만, 정부의 정책적인 지원이나 연구가 미흡한 실정이다. 특히, 산업화의 진행과 농촌 인력 감소 및 농촌인력의 고령화에 따라 농업 기계화의 확대 보급은 석유계 연료에 의한 농작물의 피해 즉, 식물 뿌리의 활착을 저하, 식물의 성장 저하 및 토양 오염은 물론 농기계와 최근접 상태에서 작업하는 농민들의 건강 문제 등을 야기하는 수단이 되어 왔다. 식물유로부터 얻어지는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 대체연료로 적용한다면 석유계 연료로 인한 각종 문제를 해결할 수 있으리라 판단된다. 하지만, 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용하기 위한 적용 근거가 국내에는 마련되어 있지 않으며, 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용할 경우 기관에 미치는 영향에 대한 평가가 전무한 상태이다. 특히, 국내에서 생산되고 있는 바이오디젤유를 적용할 경우의 배기가스 배출특성 및 기관 내구성 문제에 대한 평가와 적용기술이 부족한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 농업생산물로부터 생산되고 있는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용하였을 경우 기관 성능 및 배기가스 배출 특성을 고찰하고, 바이오디젤유를 적용하기 위한 최적의 이용방법을 개발하며, 이 연료를 장기간 사용하였을 경우 기관의 내구성 문제를 고찰함으로써 농업용 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유의 이용 가능성을 확고히 하는 실용화 기술을 개발하고자 하였다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 대체연료로 이용하기 위한 바이오디젤유의 생산 기술 개발 및 실용화 기술 개발을 목표로 3차 년도로 수립되었으나, 협약을 위한 심사과정 중 당초 1차 년도의 계획으로 수립되었던 바이오디젤유 생산기술 개발 부분은 어느 정도 완성단계에 있다고 평가되어 바이오디젤유 생산 기술과 관련된 계획이 삭제된 것이다. 따라서, 본 연구에서는 농업용 디젤기관의 성능 평가와 내구성 평가를 중심으로 수행한 연구 결과를 나타내었다.

1차년도 연구로는 바이오디젤유에 대한 농업용 디젤기관(단기통과 4기통 디젤기관)의 기관 성능을 평가하기 위하여 경유에 대한 바이오디젤유의 혼합량과 기관의 운전 조건에 따라 기관 출력, 연료소비율, 배기가스 배출 특성 분석하였다. 또한, 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용하기 위한 최적의 혼합량을 도출하였다.

2차년도에는 농업용 디젤기관에 대한 바이오디젤유의 내구특성을 평가하기 위하여 1차년도에 사용한 농업용 디젤기관들을 이용하여 동력계에 의한 일정한 부하 조건하에서 바이오디젤유 20%로 300시간 동안 운전하였을 경우 기관의 연소 특성, 배기 배출물 특성, 윤활유 및 기관 부품의 변화를 파악하고 분석하였다. 또한, 실차에서의 내구성을 평가하기 위하여 단기통 기관을 장착한 경운기와 4기통 트랙터를 임차하여 농작업시에 바이오디젤유를 주유하고 운전한 후 기관에 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 유동점 저하로 인한 연료 공급 문제를 해결할 수 있는 방안을 강구하고자 바이오디젤유의 냉시동 특성을 분석하였다.

### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 연구 개발 결과

- (1) 실험에 사용된 기관 공히 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유를 사용한 경우보다 기관 출력 및 토크는 약간 감소하나, 제동에너지소비율은 전 영역에 걸쳐서 거의 유사하거나 약간 개선되었다.

- (2) 매연의 배출특성은 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유를 사용한 경우보다 두 기관에서 공히 현저히 저감되었다. 전체적인 경향에서는 직접분사식(단기통 기관)인 경우는 기관부하가 증가할수록, 기관회전수가 증가할수록 매연 저감폭이 증가하였으나, 와류실식(다기통 기관)의 경우는 기관부하가 증가할수록 매연 저감폭이 증가하였으며 기관회전수가 증가할수록 매연 저감폭은 비슷하였으나 절대적인 매연량은 약간 감소하였다. 이는 연소실의 특성으로 사료된다.
- (3) NO<sub>x</sub>의 배출 특성은 직접분사식의 경우는 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록, 기관부하가 증가할수록 증가하였으나, EGR 방법을 사용함으로써 저감시킬 수 있었다. 또한, 와류실식(단기통) 기관의 경우에는 바이오디젤유의 혼합량에 관계없이 NO<sub>x</sub>의 배출 특성은 거의 유사하였다.
- (4) 바이오디젤유의 농도에 따른 기관성능 및 배기가스 배출특성은 바이오디젤유 20%를 경유 80%와 혼합(BDF 20)하여 사용할 때가 단기통과 다기통 기관의 출력을 저감하지 않으면서도 배기배출물을 효과적으로 저감시킴을 알 수 있었다.
- (5) 내구성 실험의 경우 동력계에 장착된 단기통과 다기통 디젤기관에서 BDF 20에 대한 연소변동인자의 표준편차와 오차한계가 안정적으로 나타남을 알 수 있어 장기간 운전시에도 연소변동이 없이 안정적인 연소특성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 제동연료소비율은 단기통의 경우에는 BDF 20을 사용할 경우가 경유만의 경우보다 약간 증가함을 알 수 있었으며, 4기통 간접분사식의 경우에는 BDF 20을 사용할 경우가 경유의 경우와 비슷하거나 약간 감소함을 알 수 있었으며 장시간 사용시에도 악화되지 않음을 알 수 있었다.
- (6) BDF 20을 사용하는 내구성 실험에서 단기통 직접분사식 디젤기관에서는 매연이 경유의 경우보다 40% 정도 감소함을 알 수 있었고, 다기통 간접분사식의 경우에는 약 20% 정도 감소함을 알 수 있었으며, 장시간 운행하여도 두 기관의 매연 배출 특성은 변화하지 않았다.
- (7) 단기통 직접분사식 디젤기관에서 BDF 20에 대한 NO<sub>x</sub>의 배출특성은 초기 운전시에는 경유의 경우보다 증가하였지만, 운전시간이 증가함에 따라 점점 감소하는 특성을 보였으며, 배기가스속의 잔류 산소 농도는 BDF 20의 영향으로 경유만의 경우보다는

약간 증가하였다. 배기가스 온도와 CO<sub>2</sub>는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 감소하였고, 운전시간의 증가에 영향을 받지 않았다. 그러나, 간접분사식인 4기통의 경우에는 바이오디젤유에 대한 NO<sub>x</sub>의 배출특성은 전체적으로 경유의 경우와 비슷하였으나, CO 및 CO<sub>2</sub>는 전 운전시간동안에서 경유의 경우보다 감소하였다.

- (8) 농업용 단기통 직분식 디젤기관과 4기통 간접분사식 디젤기관에 BDF 20로 장시간 운전할 경우 연소실 주변, 피스톤링, 흡·배기 밸브 등 기관 각 부품들에 이상이 없었다. 그러나, 분사 노즐을 확인한 결과 간접분사식 디젤기관의 연료 분사기인 핀틀형 인젝터에는 카본이 부착되지 않았으나, 직분분사식 디젤기관의 연료 분사기인 홀형 인젝터에는 연료 분사기의 연료 배출 구멍 주위로 경유만을 사용한 경우에서처럼 약간의 카본이 부착됨을 알 수 있었다.
- (9) BDF 20으로 장시간 운전한 후 엔진오일을 샘플링하여 분석한 결과 바이오디젤유의 윤활특성이 양호한 관계로 윤활유의 특성이 악화되지 않음을 알 수 있었다.
- (10) 바이오디젤유의 냉시동 성능을 평가한 결과, 바이오디젤유의 원자재는 물론 저온유동성향상제의 종류에 따라 냉시동 특성이 다르게 나타남을 알 수 있었다. 특히, 유채유와 미강유의 경우가 기존의 저온유동성향상제의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 농업생산품에서 얻어지며 재상가능한 바이오디젤유는 농업용 디젤기관에 연료로 적용 가능함을 확인할 수 있었으며, 기관 성능 및 배기가스 배출 특성 측면에서도 우수하여 농기계를 운영하는 농민들의 건강보호는 물론 대기환경오염 방지에도 획기적으로 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 활용에 대한 건의

- (1) 농업생산물로부터 얻어지는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용할 수 있도록 정부차원의 법적 규제 정비와 지원대책이 절실히 필요한 실정이다.
- (2) 대체연료로서 바이오디젤유에 대한 인식의 전환을 위하여 바이오디젤유의 우수성을 정부차원에서 홍보하고 권장해 주기를 바란다.

# SUMMARY

## I. Title

Development of Technology for the Practical Use of Biodiesel Fuel as a Fuel of the Agricultural Diesel Engine

## II. Objectives and Necessities

Recently, due to precarious supply of conventional petroleum oil, it is necessary to study the practicality of biodiesel fuel derived from vegetable oil in agricultural diesel engines. But there is no support and interest to study the effect of biodiesel fuel in diesel engine by the government. The rapid increase in the use of agricultural machinery due to industrialization and the manpower problems of agriculture, has resulted in soil and water contamination from petroleum oil spills, reducing the growth of vegetation. Biodiesel fuel is generally more environmentally friendly, ; as it is biodegradable, it will break down quickly, preventing long-term damage to the soil or water sources in the event of a spill. However, there is no basis to use biodiesel fuel to the agricultural diesel engine because of few studies on the effect of biodiesel fuel in agricultural diesel engine.

The objective of this study is to investigate the effects of biodiesel fuel derived from vegetable oils when burned in agricultural diesel engines. The engine performance and the exhaust emissions characteristics of biodiesel fuel were compared with those of conventional diesel fuel in agricultural diesel engines. And the durability test of engines with biodiesel fuel was performed during 300 hours.

### III. Contents and Scopes

In the first year, the engine power output, brake specific fuel consumption, and exhaust emissions to evaluate the performance of engines with biodiesel fuel were measured and analyzed according to the biodiesel fuel content in diesel fuel and engine test conditions. The blending content of biodiesel fuel to diesel fuel was optimized for the use in agricultural diesel engines.

In the second year, to evaluate the durability of engine with biodiesel fuel, agricultural diesel engines used to cultivator and tractor were fueled with 20% biodiesel fuel(BDF 20) in excess of 300 hours. Engine dynamometer testing was completed at regularly scheduled intervals to monitor the engine performance and exhaust emissions. The combustion characteristics and exhaust emissions were sampled at 1 hour interval for analysis. The engine oil and engine parts were also analyzed to investigate the effect of biodiesel fuel. The cold flow test of biodiesel fuel at low temperature condition was performed to improve the pour point and the cold filter plugging point.

### IV. Results of Research Development and Comments for the Applications

#### 1. Results of Research Development

- (1) For all test engines, the torque and power decreased slightly when biodiesel fuel was used, as compared to neat diesel fuel. But, when biodiesel fuel was mixed with diesel fuel, BSEC with biodiesel fuel was similar to or slightly improved than that with diesel fuel.
- (2) For a DI diesel engine with toroidal chamber, the smoke emission increased as the engine load and engine speed increased. But, the smoke emissions of IDI diesel engine with swirl chamber increased as engine load increased, but slightly decreased as engine speeds increased. For all engines, however, the smoke emissions with biodiesel fuel were less than those with diesel fuel.

- (3) The NO<sub>x</sub> emissions for the DI diesel engine increased as the biodiesel content of the diesel fuel and the engine load increased, but improved by EGR method. However, there were no remarkable trends for the IDI diesel engine as the biodiesel content was varied. The NO<sub>x</sub> emissions with biodiesel fuel were similar to those with diesel fuel.
- (4) In the effect of biodiesel fuel concentration in diesel fuel, a blend(BDF 20) of 20% biodiesel fuel and 80% diesel fuel was very effective to reduce the exhaust emissions without any decrease of engine power.
- (5) During the durability test, the combustion characteristics of BDF 20 on all test engines were very stable because the standard deviations and standard errors of combustion variation factors were neglectable. BSFC of DI diesel engine with BDF 20 slightly increased more than that with diesel fuel, but BSFC of IDI diesel engine decreased and it's value was not variable during long-time durability testing.
- (6) The smoke emissions of DI diesel engine and IDI with BDF 20 were reduced by up to 40% and 20% respectively, and the values of smoke were not variable during long-time durability testing.
- (7) For a DI diesel engine, the NO<sub>x</sub> emissions with BDF 20 increased more than those of diesel fuel, but decreased as the engine operating time increased. The oxygen concentration in the exhaust gas with BDF 20 also increased than that with diesel fuel. And the exhaust gas temperature and the carbon dioxide(CO<sub>2</sub>) were reduced by using BDF 20 under all test conditions. For a IDI diesel engines, however, the NO<sub>x</sub> emissions with BDF 20 were similar to those with diesel fuel, but the CO and CO<sub>2</sub> were reduced by using BDF 20 during all test conditions.

- (8) There were no special problems for all engine parts such as piston rings, intake and exhaust valves due to BDF 20 during the durability test, except for the fuel injector of DI diesel engine with a little soot detected. The soot was slightly detected around the hole of fuel injector at the DI diesel engine, but was not at the IDI diesel engine.
- (9) After finishing the durability test with BDF 20, the qualities of engine oil for all test engines were not deteriorated because biodiesel fuel had good lubricity.
- (10) The cold flow characteristics of biodiesel fuel varied with the raw material of biodiesel fuel and the wax anti-settling flow improver(WAFI). The WAFI greatly affected the cold flow characteristics of rapeseed oil and rice-bran oil.

Based on these results, we conclude that biodiesel fuel, which are derived from farm crops, can be utilized effectively as a renewable and low-pollution alternative fuel for agricultural diesel engines. Furthermore, biodiesel fuel can be good for farmer's health and contribute the prevention of air pollution.

## 2. Comments for the Applications

- (1) To use the biodiesel fuel as an alternative fuel for the agricultural diesel engine, the government should improve various laws and regulations to use the biodiesel fuel and to support the industry of biodiesel fuel.
- (2) The government should inform the usability of biodiesel fuel in agricultural diesel engines and encourage farmers to use the biodiesel fuel.

# CONTENTS

Chapter 1 Introduction .....	14
Section 1 Objectives and Necessities .....	14
1. Backgrounds of study .....	14
2. Objectives and necessities of study .....	15
Section 2 Scopes and Contents of Study .....	16
Chapter 2 Research Trends of Biodiesel Fuel .....	19
Section 1 Overseas Research trends .....	19
Section 2 Domestic Research trends .....	21
Chapter 3 Performance Characteristics of Engine with Biodiesel Fuel .....	23
Section 1 Introduction .....	23
1. Evaluation method .....	23
2. Experimental apparatus and method .....	24
Section 2 Performance and Exhaust Emissions of 1 Cylinder Diesel Engine .....	34
1. Engine performance with biodiesel fuel .....	34
2. Exhaust emissions with biodiesel fuel .....	38
3. Analysis of hydrocarbon by GC .....	44
Section 3 Performance and Exhaust Emissions of 4 Cylinder Diesel Engine .....	50
1. Engine performance with biodiesel fuel .....	50
2. Exhaust emissions with biodiesel fuel .....	54
3. Analysis of hydrocarbon by GC .....	62
Section 4 Conclusion .....	68

Chapter 4 Durability Characteristics of Engine with Biodiesel Fuel .....	70
Section 1 Introduction .....	70
1. Experimental apparatus and fuel .....	70
2. Experimental method .....	71
Section 2 Durability Characteristics of 1 Cylinder Diesel Engine .....	72
1. Combustion characteristics and BSFC .....	72
2. Exhaust emissions .....	77
3. Characteristics of engine oil and engine parts .....	80
Section 3 Durability Characteristics of 4 Cylinder Diesel Engine .....	83
1. Combustion characteristics and BSFC .....	83
2. Exhaust emissions .....	87
3. Characteristics of engine oil and engine parts .....	91
Section 4 Field Test of Agricultural Vehicles .....	94
Section 5 Conclusion .....	101
Chapter 5 Cold Flow Test of Biodiesel Fuel .....	103
Chapter 6 Objective Achievement and Contribution .....	107
Section 1 Objective Achievement .....	107
Section 2 Contribution .....	109
Chapter 7 Application Plan of Results .....	111
Chapter 8 Reference .....	112

# 목 차

제 1 장 서론 .....	14
제1절 연구개발의 목적 및 필요성 .....	14
1. 연구 배경 .....	14
2. 연구 목적 및 필요성 .....	15
제2절 연구개발 범위 및 내용 .....	16
제 2 장 바이오디젤유의 연구 개발 동향 .....	19
제1절 국외 기술 개발 현황 .....	19
제2절 국내 기술 개발 현황 .....	21
제 3 장 바이오디젤유에 대한 기관 성능 평가 .....	23
제1절 서언 .....	23
1. 성능 평가 방법 .....	23
2. 실험장치 및 방법 .....	24
제2절 단기통 기관의 성능 및 배기 배출물 특성 .....	34
1. 바이오디젤유를 사용한 경우의 기관 성능 변화 .....	34
2. 바이오디젤유를 사용한 경우의 배기가스 배출 특성 .....	38
3. 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소 분석 .....	44
제3절 다기통 기관의 성능 및 배기 배출물 특성 .....	50
1. 바이오디젤유를 사용한 경우의 기관 성능 변화 .....	50
2. 바이오디젤유를 사용한 경우의 배기가스 배출 특성 .....	54
3. 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소 분석 .....	62
제4절 결 론 .....	68

제 4 장 바이오디젤유에 대한 기관 내구성 평가 .....	70
제1절 서언 .....	70
1. 실험 장치 및 연료 .....	70
2. 실험 방법 .....	71
제2절 단기통 기관의 내구 특성 .....	72
1. 기관의 연소 특성과 제동연료소비율 .....	72
2. 배기 배출물 특성 .....	77
3. 윤활유 특성 및 기관 부품의 변화 .....	80
제3절 다기통 기관의 내구 특성 .....	83
1. 기관의 연소 특성과 제동연료소비율 .....	83
2. 배기 배출물 특성 .....	87
3. 윤활유 특성 및 기관 부품의 변화 .....	91
제4절 실차에서의 기관 내구 특성 .....	94
제5절 결론 .....	101
제 5 장 바이오디젤유의 냉시동 성능 평가 .....	103
제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	107
제1절 목표 달성도 .....	107
제2절 관련분야의 기여도 .....	109
제 7 장 연구개발결과의 활용계획 .....	111
제 8 장 참고문헌 .....	112

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구 배경

수송수단은 물론 열에너지 공급을 위한 연료로서 석유연료의 유한성과 공급의 불안정 그리고 환경오염 문제를 해결하기 위하여 재생연료들을 이용하려는 노력이 전세계적으로 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 또한, 농업기술의 발달과 유전자 조작에 의한 농업생산량이 과잉임에도 적절한 활용방법을 찾지 못하고 있으며, 많은 농업생산량에 따른 농업부산물의 유효 이용방법도 고려해야 할 중요한 과제이다.

이와 같은 시기에 식물유는 디젤기관 연료의 물리적 성질로서 매우 중요한 높은 세탄가와 인화점을 가지고 있어 사용하기 편리한 특성이 있으면서도 점도가 높고, 껌성분이 많으며 유동점이 높을 뿐만 아니라 이용에 관한 인식 부족으로 디젤기관의 연료로 사용하기에는 아직 어려운 점들이 많이 있다.

일반적으로 식물유를 디젤기관의 연료로 이용하기 위하여 식물유의 세탄가와 발열량은 유지하면서 껌성분을 제거하고 점도를 저하시키는 에스테르화 전환 방법과 초고온으로 연료를 가열하여 이용하는 방법, 식물유를 바이오디젤유로 전환하기 위한 적절한 각종 촉매제 및 최적의 에스테르화 전환 방법 등이 개발되어 어느 정도 완성 단계에 있으나, 에스테르화된 바이오디젤유에 대한 디젤기관의 출력 및 배기배출물에 관한 성능평가, 그리고 내구성 시험이 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한, 최근의 석유 연료 공급의 불안정으로 유가가 상승되면서 식물유를 이용한 대체연료들이 개발되고 있는 상황에서 각 식물유를 대체연료로서 적용하기 위한 적절한 기준이 없어 이에 대한 연구가 하루속히 이루어져야 하는 실정이다.

본 연구는 미래 에너지산업을 위한 관건으로 재생 가능하고 환경 친화적이며 지역의 편재성이 적은 식물유로부터 쉽게 전환될 수 있는 바이오디젤유(biodiesel fuel)를 농업용 디젤기관의 대체연료로서 이용하기 위한 기술을 개발하고 상용화하기 위한 기반을 구축하고자 한 것이다.

## 2. 연구 목적 및 필요성

석유공급의 불안정으로 인한 유가 상승으로 에너지 수급에 대한 대책이 절실히 필요함에 따라 대체연료의 개발 특히, 석유비산유국인 국내의 석유의존도 감소가 요구되고 있고 WTO의 압력으로 2004년까지는 UR 농업협정의 이행기간동안 관세화를 유예받은 만큼 매년 최소시장 접근물량을 의무적으로 수입해야 하는 실정이다.

또한, 산업의 발달로 사용되어지는 에너지는 급증하고 있으며, 그 에너지 대부분이 석유연료에 의존하고 있는 상황에서 그 사용량 증가에 따른 지구온난화, 산성비 등 대기환경 오염 문제가 대두되고 있으며, 사람의 건강에도 막대한 지장을 초래하고 있는 실정이다.

그러나, 식물유를 연료화함으로써 안정적인 에너지 정책을 수립하고, 농업정책의 변화를 모색하기 위하여 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 연료로 이용하면, 식물유를 생산함으로써 농촌 경제의 기반을 강화할 수 있으며, 석유연료의 수입대체 효과를 얻을 수 있고, 바이오디젤유를 생산하기 위한 사업자의 등장으로 신규 직업이 창출되고 고용효과를 거둘 수 있다. 더군다나, 식물의 재배로 인한 광합성 작용에 의해 대기오염 정화 효과를 얻어냄으로써 경제적으로 산출할 수 없는 막대한 환경적 이익을 창출할 수 있는 장점을 갖고 있다.

더군다나, 식물유 뿐만 아니라 쓰고 버려지는 폐유지의 이용 가치가 증대됨에 따라 폐유지가 발생하는 가정이나, 일반 음식점을 비롯한 식료품점, 그리고 제과류 공장 등에서 임의로 하수구로 버리거나 방치하지 않는 깨끗한 환경과 문화를 창조할 수 있다. 무단으로 버려지는 1ℓ의 폐유지를 정화하기 위해서는 20ℓ 이상의 물이 필요하다는 보고도 있다. 특히, 일본에서는 현재 1ℓ의 폐식용유를 처리하는데 100엔씩의 부담금을 부여하고 있을 정도로 환경 관리에 만전을 기하고 있는 상황에서 폐유지를 활용할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 또한, 바이오디젤유는 경유보다 배기가스를 현저히 저감시키는 저공해 연료로서 환경 오염을 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

하지만, 최근 석유에너지의 공급불안으로 농업기계의 대체에너지원이 절실히 필요한 실정에서 농업 생산물로부터 얻어지는 재생가능한 바이오디젤유의 이용가능성이 제기되고 있지만, 정부의 정책적인 지원이나 연구가 미흡한 실정이다. 특히, 산업화의 진행에 따라 농촌 기계화로 석유계 연료에 의한 농작물의 피해 즉, 식물 뿌리의 활착을 저하, 식물의 성장 저하 및 토양 오염은 물론 농기계와 최근접 상태에서 작업하는 농민들의 건강 문제 등을 해결할 수 있는 대체연료로 식물유로부터 얻어지는 바이오디젤유에 대한 평가와 적

용기술이 부족한 상황이다.

특히, 쌀, 콩, 유채 등에서 생산되는 미강유, 대두유 및 유채유 등으로 구성된 식물유는 경운기, 트랙터 등 농업용 디젤기관의 연료로서 사용하기에 적합하지만, 식물유의 중합 성분들로 인하여 직접 연료로 사용하는데도 문제가 있었다. 그러나, 이와 같은 식물유를 디젤기관의 연료로 사용하는 방안 중 에스테르화한 바이오디젤유는 현재의 디젤기관에 적합하도록 연료화하는 기술이 개발되어 있으나, 바이오디젤유의 적용 근거가 부족하고, 바이오디젤유를 사용하는 방법, 디젤기관에 적용할 경우 기관성능, 배기 배출물 특성 및 기관 내구성 평가가 부족한 실정이다.

선진 외국에서는 식물유용 기관을 별도로 개발하고 연료를 전처리하지 않고 곧바로 사용할 수 있는 단열엔진 개발 등의 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 국내에서는 바이오디젤유를 기관에 적용하였을 경우 기관에 미치는 영향에 대한 연구 결과조차도 거의 없으며, 사람의 느낌이나 경험을 통해서가 아니라 과학적이고 정밀한 검증이 필요함에도 불구하고 아직까지 신뢰할만한 기관 및 배기가스 성능 실험도 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 농업생산물로부터 생산되고 있는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용하였을 경우 대두되는 문제점을 고찰하고 해결방안을 강구함으로써 농업용 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유의 실용화 기술을 개발하고자한다. 쌀, 콩, 유채 등으로부터 생산된 미강유, 대두유, 유채유 등과 같은 식물유로부터 제조된 바이오디젤유를 디젤기관의 연료로 이용하기 위한 기관 성능 평가, 내구성 평가, 그리고 배기가스 성능 평가를 통해 기존 연료인 경유와 비교·검토하여 대두되는 문제점에 대한 해결방안을 제시함으로써 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 대체연료로 활용하기 위한 기틀을 마련하고자 하는 것이다. 또한, 실제 적용을 위한 연료의 기준을 마련하고 법제화를 꾀함으로써 대체연료로서 뿐만 아니라 저공해 연료로서 이용가능성을 확고히 하고자 하였다.

## 제2절 연구개발 범위 및 내용

농업생산물인 식물유로부터 얻어지는 바이오디젤유는 식물유와 알콜이 축매의 존재 하에 에스테르 반응함으로서 생산된다. 루돌프 디젤이 식물유를 디젤기관의 연료로 이용

하려고 시도한 이래 석유연료의 보급으로 그 가치를 인정받지 못했으나, 재생가능한 대체 에너지 개발, 대기환경오염 방지 등에 의해 최근에 많은 바이오디젤유의 생산 기술이 개발되어 왔고 디젤기관의 연료로 적용하고자 하였다.

바이오디젤유는 현재의 상용화된 디젤기관을 특별한 변경없이 적용가능하나, 현재까지 바이오디젤유에 대한 디젤기관의 성능 및 내구성 평가가 명확하게 이루어지지 않은 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 바이오디젤유를 디젤기관에 적용하기 위한 실용화기술을 개발하기 위하여, 농업용 디젤기관에 적용할 경우 바이오디젤유에 대한 기관 성능 평가 및 내구성 평가를 실시하여 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용하기 위한 법적 근거를 마련하고자 하였다. 1차 년도에는 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용할 경우 각종 운전조건 변화에 따라 바이오디젤유에 대한 기관 성능을 평가하고, 2차 년도에서는 장시간 바이오디젤유로 기관을 운전하였을 경우 대두되는 문제를 파악하기 위한 내구성 평가를 실시하였다.

Table 1-1은 연차별 연구 개발 목표 및 내용을 나타낸 것으로, 1차 년도에는 기관의 성능평가를, 2차 년도에는 기관의 내구성을 평가하고자 하였다.

Table 1-1 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연 구 개 발 목 표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (바이오디젤유의 기관성능 평가)	과학적이고 체계적인 바이오디젤유의 기관 성능을 평가하고, 대두되는 문제점을 파악하여 해결 방안과 최적 운전조건을 제시한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 농업용 단기통과 다기통을 이용한 성능 평가</li> <li>■ 바이오디젤유 혼합량에 따른 기관성능 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 기관 출력 및 연료소비율 측정</li> <li>▷ 배기가스 배출 특성(매연 등)</li> </ul> </li> <li>■ 기관 운전조건에 따른 기관성능 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 기관 부하 변화</li> <li>▷ 기관 회전속도 변화</li> <li>▷ 배기가스 배출 특성</li> </ul> </li> </ul>
2차 년도 (바이오디젤유의 기관내구성 평가)	바이오디젤유에 대한 기관 내구성 실험을 통하여 바이오디젤유의 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 동력계에 의한 기관 Mode운전 시험(300시간)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 단기통과 다기통 엔진의 운전 시험                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10시간/일 × 30일 운전</li> <li>- 기관의 각 부품의 상태 고찰(사진 촬영)</li> </ul> </li> <li>▷ 주기적인 기관출력 측정(1회/시간)</li> <li>▷ 주기적인 연료소비율 측정(1회/시간)</li> <li>▷ 주기적인 기관 배기가스 측정(매연 등)</li> <li>▷ 연료라인(연료필터 등)의 막힘 문제</li> </ul> </li> <li>■ 실제 농기계(경운기 및 트랙터) 적용시 기관 내구성 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 농사철 논갈이 작업(300시간 운행)                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10시간/일 × 30일 운전</li> <li>- 기관의 각 부품의 상태 고찰(사진 촬영)</li> </ul> </li> <li>▷ 기관 각 부품의 정비성(윤활유 변화 등)</li> <li>▷ 모드 운전시와의 특성 비교</li> </ul> </li> <li>■ 냉시동 성능 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 유동점 저하로 인한 연료 공급 문제 해결 방안 강구</li> </ul> </li> </ul>

## 제 2 장 바이오디젤유의 연구 개발 동향

### 제1절 국외 기술 개발 현황

전 세계적으로 바이오디젤유에 대한 인식이 제고되면서 바이오디젤유의 실용화를 위한 기관 성능 및 내구성 평가가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 대부분의 바이오디젤유 생산국에서는 자국에서 생산되는 식물유로부터 바이오디젤유를 생산하고 그 이용에 따른 디젤기관에의 영향을 평가하여 실제 자동차에 적용하고 있는 추세이다.

미국의 경우 콩기름 중심으로 바이오디젤유에 대한 연구가 정부의 막대한 지원하에 바이오디젤유 생산에 관련된 연구뿐만 아니라 기관 실험에 관한 모든 연구가 거의 완성단계에 접어들었으며, 각종 바이오디젤유에 관련된 생산기술 및 적용 기술 획득을 통하여 바이오디젤유의 보급에 앞장서고 있다. 특히, 바이오디젤유에 대한 보고서를 살펴보면 바이오디젤유를 사용할 수 있는 법적 근거를 마련한 실정이고, 바이오디젤유 사용시 세금을 면제해주는 조건을 제시하여 바이오디젤유의 이용을 촉구하면서 1999년 12월에는 2010년까지 현재에 비해 바이오디젤유의 사용을 3배까지 높이기로 결정하기도 하였다.<sup>19), 20)</sup>

하와이(Hawaii)에 있는 Pacific Biodiesel(PacBio)회사에서는 1995년 음식점에서 사용된 후 폐기된 폐식용유를 쓰레기 매립지에 매립할 필요가 없이 연료로 전환할 수 있는 방법을 개발하였으며, 1996년에는 연간 150,000 gallons까지 생산할 수 있는 전환 과정 플랜트를 설립하여 지역 시민들에게 갤론(gallon)당 1.9달러정도에 판매하고 있다.<sup>19)</sup>

시카고에 있는 Columbus Foods 회사는 1996년 식물유 등과 폐유지를 이용하여 연간 200,000 gallons을 생산할 수 있는 플랜트를 제작하고 있는 실정이다.<sup>19)</sup>

유럽의 경우, 바이오디젤유에 대한 기관 성능 및 내구성 평가를 완료하여 실제 대도시를 비롯한 전국의 도시에 보급하고 있는 것을 알 수 있다. Table 1-2는 유럽의 11개국에서 참여하여 OPET 바이오 디젤 성능 조사 연구라는 프로그램으로 바이오디젤유에 대한 성능을 분석한 시험 평가 결과로서, 전체적으로 93번의 실험결과 실패가 4번만 나올 정도로 매우 성공적인 결과를 획득하기도 하였다.<sup>21)</sup>

프랑스에서는 2000년도에 4000대의 시험용 자동차가 총 2억 km의 시험 주행을 완료하였으며, 1996년 대기법에 의하여 공공 차량에 대하여 바이오디젤유를 의무적으로 사용하

Table 1-2 Results of engine performance test with biodiesel fuel<sup>21)</sup>

	성공	만족	실패	시험 중	계
독일	15	2	2	25	44
벨기에	1	0	0	0	1
스페인	2	0	0	0	2
프랑스	18	2	0	5	25
아일랜드	2	1	0	0	3
이탈리아	3	8	2	1	14
네덜란드	1	0	0	1	2
영국	0	1	0	0	1
계	42	15	4	32	93

도록 하였고, 자동차 회사인 푸조, 시트로엥, 르노 및 스카니아가 바이오디젤유의 사용을 승인하였다. 또한, 프랑스의 석유연구소(IFP)에서 4년간 5% 바이오디젤유를 사용한 일반 경유 차량에 대한 장기적 성능을 정밀 관찰하는 프로그램과 19대의 농업용 트랙터에 5-20%의 바이오디젤유를 적용하는 연구에서 연료 분사기에 미소한 스케일이 부착하였으나 미량의 계면 활성제 첨가로 완벽하게 해결할 수 있었으며, 공해 감소효과가 매우 크다는 결론을 얻기도 하였다.<sup>21)</sup>

독일에서도 바이오디젤에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 Bosch가 연료분사 펌프에 미치는 영향을 세밀히 조사한 결과를 발표하기도 하였다. 그 결과에 의하면 바이오디젤연료가 분사펌프에 미치는 영향을 고려하여 바이오디젤 5%(경유 95%)이하로 사용을 제한하고 있다.

오스트리아에서는 유채유는 물론 폐식용유를 중심으로 적극적인 실용화를 실시하고 있고, 바이오디젤유의 규격은 1991년 오스트리아의 첫 규격부터 시작하여 2003년 EU 규격까지 제정되고 있으며, 일본에서도 Murayama 등이 불법 쓰레기 투기를 방지하기 위한 목적으로 폐식용유를 디젤기관의 연료로 이용하기 위한 가치 평가하여 바이오디젤유의 실용화를 꾀하고 있는 실정이다.

## 제2절 국내 기술 개발 현황

국내에서 식물유를 비롯한 바이오디젤유에 대한 연구는 1987년 한국과학재단의 지원에 의한 디젤기관의 대체연료로 바이오연료인 식물유의 이용에 관한 연구를 시작으로, 1996년 폐식용유를 이용한 디젤기관 자동차에 대한 연구를 통하여 상용 디젤기관에 적용할 수 있는 가능성을 제시하기도 하였으며, 식물유를 디젤기관에 이용할 경우 기관의 연소 특성 및 배기가스 배출 특성에 관한 논문을 통해 식물유가 디젤기관의 연료로 쉽고 간편하게 전환될 수 있는 방법 제시하기도 하였다. 또한, 1996년부터 전북대학교와 신양현미유(주)가 산학협동으로 바이오디젤연료(현미유) 생산을 위한 공동연구가 시작되어 2000년 10월에 한국석유품질검사소에서 연료로서 인정을 받았으며, 2000년 11월에는 산업자원부에서 대체에너지로 지정되기도 하였다.

또한, 1998년 광주의 (사)시민생활환경회의에서 식물유를 이용하기 위한 연구 결과를 발표하였으며, 2001년 한국에너지기술연구원 및 (주)신한에너지에서 폐식용유의 연료화 연구 결과를 발표하여 바이오디젤유를 디젤기관의 연료로 적용하기 위한 기초 연구를 진행시켜 왔다. 그 결과 2002년 11월 (주)신한에너지는 평택에 10만톤/년 규모의 생산설비를 준공하였다. 또한, 석유사업 시행령 제30조 제2호의 규정에 의거 산업자원부고시 제2002-109호로 바이오디젤을 에너지 이용효율 향상을 위한 바이오디젤 시범보급사업 추진을 고시하였다.

그러나, 이러한 연구내용들을 통하여 바이오디젤유의 생산 기술이 향상되어 바이오디젤유의 대량 생산 체제를 갖추는데는 성공하였으나, 바이오디젤유의 공식적인 연료로 법제화하기 위한 근거로 제시될 수 있는 과학적이고 정밀한 측정 결과를 얻기 위한 디젤기관에서의 성능 및 내구성 평가에 대한 결과가 미흡한 실정이다.

최근에는 산업자원부 대체에너지 보급 사업의 일환으로 국내에서 생산된 바이오디젤유의 실증연구를 통하여 바이오디젤유에 대한 자동차용 디젤기관의 성능 및 내구성 평가를 실시하고 있으며, 바이오디젤유의 기준(안)을 마련하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 바이오디젤유 시범 보급사업을 진행하여 서울을 비롯하여 경기도와 전라북도 일원에 바이오디젤유를 공급하여 배기가스 저감 효과 등으로 시내버스 회사로부터 각광을 받고 있는 실정이다.

본 연구는 자동차용 디젤기관과는 다른 농업용 디젤기관에 대한 평가는 전무한 실정

에서 본 연구에서 실시한 기관 성능 및 내구성 평가를 통하여 과학적이고 체계적인 실험 결과를 제시함으로써 농업용 디젤기관에 친환경적 디젤유인 바이오디젤유를 적용 및 보급할 수 있는 법적인 근거를 마련하게 될 것으로 사료된다.

## 제 3 장 바이오디젤유에 대한 기관 성능 평가

### 제1절 서언

본 장은 1차년도에 수행된 바이오디젤유에 대한 농업용 디젤기관의 성능을 평가한 것으로, 최근 디젤기관의 대체연료로 각광을 받고 있는 농업 생산물인 식물유로부터 얻은 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 연료로 적용할 경우, 기관 성능 및 배기가스 배출특성을 고찰하고 대두되는 문제의 해결방안을 강구함으로써 실용화 기술을 도출하기 위한 목적으로 수행되었다.

#### 1. 성능 평가 방법

바이오디젤유에 대한 기관성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 일반적으로 디젤기관에 적용하고 있는 아래와 같은 방법을 적용하였다.

##### 1) 기관 성능 특성 평가

실제 농업용으로 사용되고 있는 단기통 디젤기관(경운기용, ND130)과 다기통 디젤기관(트랙터용, TD1700)을 일정한 실험조건으로 실시하기 위하여 엔진 동력계를 설치하여 모든 운전조건에서 각각의 기관으로부터 발생된 출력 및 연료소비율을 검출하였다. 또한, 각 기관의 실린더내에 삽입·설치된 압력센서와 크랭크축 풀리에 설치된 엔코더를 이용하여 실린더내의 압력과 크랭크 각도를 샘플링하고 각종 대기압력 및 온도, 흡입공기량을 측정함으로써 실린더내의 압력, 압력상승율 및 열발생율을 계산하고 기존의 상용 연료인 경유의 경우와 비교·분석함으로써 바이오디젤유의 기관 성능을 확인하였다.

##### 2) 배기 배출물 특성 평가

매연 측정기(GN VDS100) 및 배기가스 분석기(Eurotron Greeline MK)를 각 기관의 배기관으로부터 300mm 하류에 설치하고 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였으며, 각 운전조건에서 매연 및 배기가스 배출 특성을 바이오디젤유와 경유의 경우를 비교·분석하

였다. 분석대상 배기 배출물은 디젤기관에서 가장 크게 문제시되고 있는 매연을 비롯하여 NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, UHC 등에 초점을 맞추었으며, 배기가스중의 미연 탄화수소의 정성적이고 정량적인 성분 분석을 위해 가스 크로마토그래피(HP 6890GC)를 이용하여 각 실험조건에서 탄화수소가 매연 농도에 미치는 영향을 조사하였다. 가스크로마토기법은 임의의 시료를 분리관에 도입시킨 후 그 중에 어떤 성분이 검출될 경우 기록지상에 검량선의 피크(peak)로 나타나는데, 이 값은 각 성분 물질마다 고유한 값을 나타내므로 정성분석을 할 수 있으며, 또한 기록지에 그려진 곡선의 높이 또는 피크의 높이는 시료 성분량과 일정한 관계를 갖고 있기 때문에 정량분석도 할 수 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 1) 실험 기관 및 장치

농업용 디젤기관에 대한 바이오디젤유에 대한 특성을 평가하기 위하여 계획을 수립하고 각종 연구 자료 등의 검색을 통하여 본 실험과 관련된 실험장치를 준비하였다. 실험에 사용된 엔진은 경운기에 사용되고 있는 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관과 트랙터에 사용되고 있는 4기통, 수냉식, 4행정, 간접분사식, 디젤기관으로 주요 사양은 Table 3-1에 나타내었으며, 각 기관의 부하와 회전속도는 각각의 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. Table 3-2과 3-3은 엔진 동력계를 비롯한 기타 부가장치들과 가스 크로마토그래피(GC)의 사양을 나타낸 것이다. Fig. 3-1과 3-2는 실험장치의 개략도를, Fig. 3-3과 3-4는 본 연구에 사용하기 위해 준비한 단기통 디젤기관과 다기통 디젤기관에 대한 실험 장치들을 나타낸 것이며, Fig. 3-5, 3-6, 3-7은 실험에 사용된 가스 크로마토그래피, 매연 측정기, 배기가스 분석기의 사진을 각각 나타낸 것이다.

Table 3-1 Specifications of test engines

Item	Specification	
	1 cylinder engine	4 cylinder engine
Engine model	ND130DIE	TD1700
Bore × stroke	95 × 95(mm)	82 × 82(mm)
Displacement	673(cm <sup>3</sup> )	1732 (cm <sup>3</sup> )
Compression ratio	18	21
Combustion chamber type	Toroidal	Swirl chamber
Injection timing	BTDC 23°CA	BTDC 25°CA
Coolant temperature	80±2℃	80±2℃
Injection type	Direct injection	In-direct injection
Rated power	13PS/2400rpm	35PS/2800rpm

Table 3-2 Specifications of auxiliary apparatus

Description		Specification
Dynamometer	for 1 cylinder engine	RDTek 15kW
	for 4 cylinder engine	HE-130(35kg·m/9000rpm, eddy current type, water cooled)
Torque detector		Load cell type(JW-U2SB), sensitivity 2mV/V, combined error<±0.2%
Speed detector		Contactless magnetic RPM pick up (toothed disc with 60 teeth)
Intake pressure sensor		VPMH-760mmHg
Exhaust pressure sensor		VPRNP-2K
Charge amplifier		KISTLER 5011, sensitivity ±0.2% >
Pressure pick-up		PE-100KJ, engine pressure transducer,
Smoke meter		GN-VDS 100
Exhaust analyzer		Eurotron Greeline MK
Fuel metering gauge		3 bottle type(150cc), stop watch

Table 3-3 Specifications of GC with measurement conditions for C<sub>1</sub> ~ C<sub>6</sub>

GC	Hewlett Packard 6890GC
Column	HP-PLOT/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 30m×0.53mm×15.0μm film thickness
Carrier	He, 3ml/min constant flow
Oven	30°C for 7.5min, Programmed at 20°C/min to 180°C
Injector	Split (15:1), Inlet 250°C
Detector	FID, 250°C

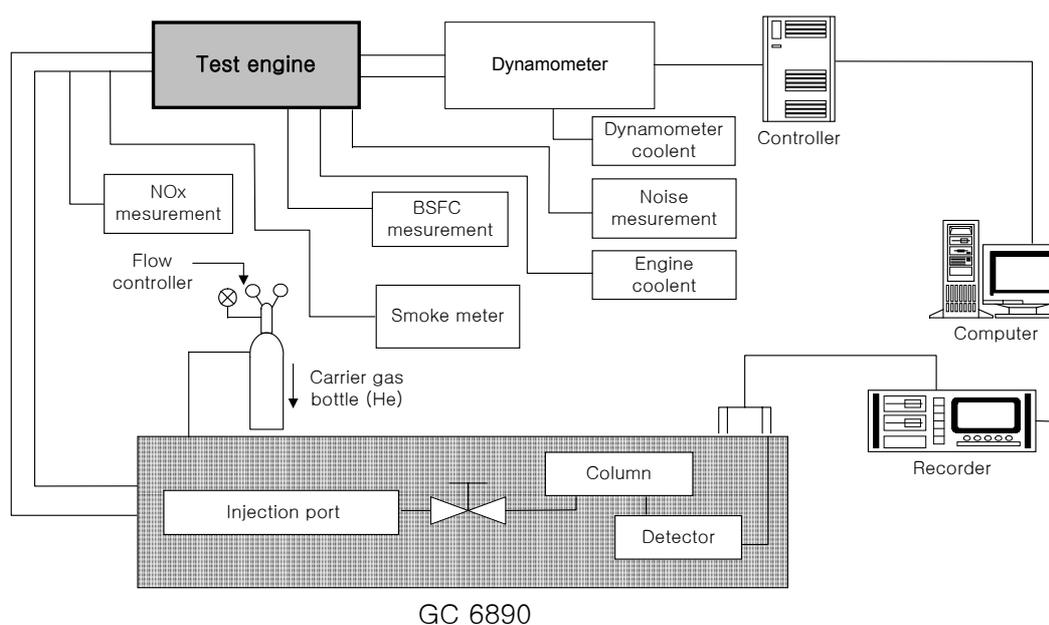


Fig. 3-1 Schematic diagram of experimental apparatus with GC

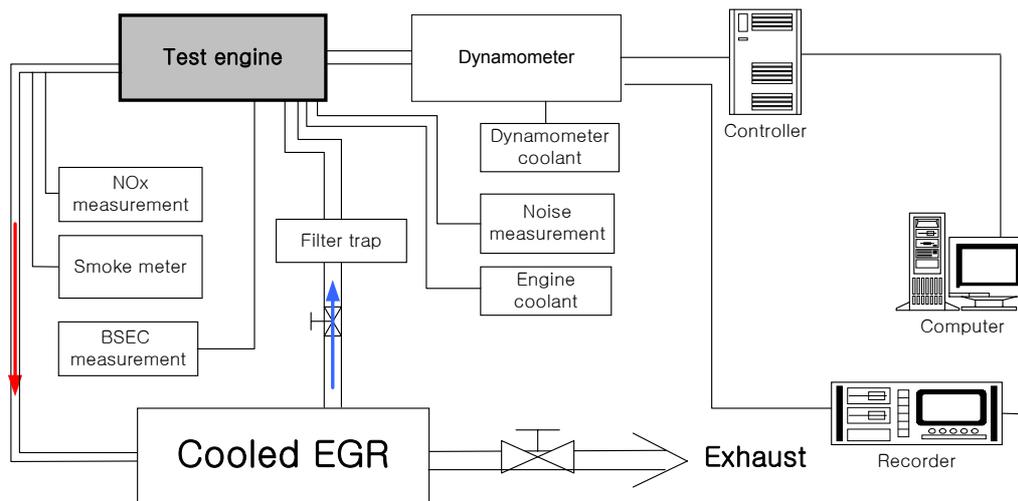


Fig. 3-2 Schematic diagram of experimental apparatus with EGR



Fig. 3-3 Experimental apparatus of 1 cylinder engine(ND130)



Fig. 3-4 Experimental apparatus of 4 cylinder engine(TD1700)



Fig. 3-5 Gas Chromatography(HP 6890)

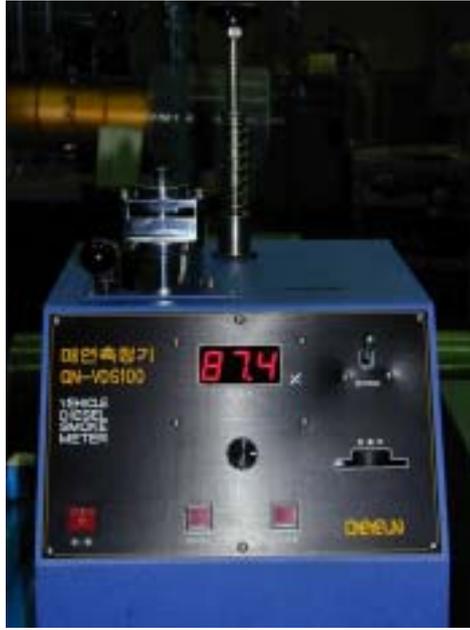


Fig. 3-6 Experimental apparatus(smoke meter)



Fig. 3-7 Experimental apparatus(Exhaust gas analyzer)

2) 실험 연료

실험에 사용된 연료는 참여기업인 신양현미유(주)로부터 생산된 바이오디젤유로서 주로 쌀을 가공한 후 나오는 쌀겨로부터 미강유를 생산하고 나오는 부산물을 이용하여 생산한 것이다. Table 3-4은 실험에 사용된 연료의 자세한 물성치를 나타낸 것으로 바이오디젤유 샘플을 채취하여 석유사업법에 공시된 시험방법과 기준에 의하여 실시하고자 공인시험기관인 한국석유품질검사소에 의뢰하여 분석하였다. 연료특성으로 중요한 세탄가의 경우, 순수 바이오디젤유인 경우와 경유에 바이오디젤유를 혼합한 경우가 경유의 경우보다 더 높아 시동이 용이하게 됨을 알 수 있다. 또한, 인화점은 바이오디젤유 100%의 경우 168℃

Table 3-4 Properties of test fuels<sup>60)</sup>

시험항목	시 험 결 과				시험방법	
	경유	바이오디젤유 20% + 경유 80%	바이오디젤유 50% + 경유 50%	바이오디젤유 100%		
황분(wt. %)	0.031	0.025	0.018	0.008	KSM2027-98	
회분(wt. %)	0.01이하	0.01이하	0.01이하	0.01이하	KSM2044-95	
10%잔유 의 잔류탄소 (wt. %)	0.02	0.02	0.03	0.09	KSM2017-96	
인화점(PM, ℃)	74	78	88	168	KSM2016-97	
비중(15/4℃)	0.8373	0.8464	0.8576	0.8796	KSM2002-96	
유동점(℃)	-20.0	-12.5	-5.0	5.0	KSM2058-95	
동점도(50℃, cSt)	3.0	3.2	3.4	4.2	KSM2014-98	
증류정상 (90%유출온도, ℃)	337	338	338	338	ASTM D 86	
저위 발열량(MJ/kg)	45.88	44.5366	42.5215	39.163	KSM2057-97	
세탄지수	54.8	54.4	54.5	54.6	KSM2610-96	
세탄가	51.4	53.6	53.6	57.9	KSM2040-95	
저온유동성(CFPP, ℃)	-20	-9	-9	8	KSM2411-96	
원소분석 (wt. %)	Carbon	85.83	84.63	81.65	76.22	ASTM D 5291
	Hydrogen	13.82	13.54	13.20	12.38	
	Nitrogen	0.16	0.18	0.17	0.14	
	Oxygen	0	1.61	4.95	11.24	

로 경유의 경우보다 훨씬 높게 나타나 취급상 안전하며, 경유와 혼합하면 경유의 인화점에 상당히 근접하게 낮아짐을 알 수 있다. 특히, 바이오디젤유는 경유가 갖고 있지 못한 산소를 11%정도 함유하고 있어 연소효율 개선에 도움이 될 것으로 예상된다. 실험 연료는 경유, 경유에 바이오디젤유를 20, 30, 50% 혼합한 연료, 그리고 순수 바이오디젤유 100%를 사용하였다.

### 3) 실험 방법

실험은 Table 3-5에 나타낸 것처럼 일반적인 상용 경유와 합산소연료인 바이오디젤유를 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 기관 성능과 배기가스를 측정하였다. 기관부하를 변화시키는 경우에는 인젝션 펌프의 랙을 최대로 당긴 상태를 전부하로 설정하고, 전부하의 토크값을 측정하여, 기관 회전속도를 일정하게 유지시키며 부하를 %별로 변화시키면서 실험하였다. 실험조건이 변경될 때마다 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 기관을 운전한 후 실험을 실시하였다.

기관의 성능을 측정하기 위하여 로드셀(load cell)을 이용한 토크 검출기를 이용하였으며, 실린더내의 연소변동을 해석하기 위하여 실린더내의 압력을 측정하였다. 정확한 압력을 얻기 위해 압력트랜스듀서(P/T)를 4번 실린더 헤드 부분 예열플러그 자리에 설치하였다. 각 각도당 정확한 압력값을 취득할 때의 가장 어려운 점은 TDC점의 정확한 측정이며, 이 TDC점의 정확한 측정이 없으면 결과적인 엔진의 압력 계산에 상당한 오차가 생긴다고 알려져 있다. 본 연구에서는 상사점의 위치를 정확히 하기 위해, 크랭크 축 폴리의 상사점 마크를 로터리 엔코더의 Z (one-pulse)펄스가 발생하는 것과 일치하도록 하였다.

또한, 연료탱크로부터 연료펌프에 의해 공급된 연료는 연료필터를 경유하여 분사노즐을 통해 연소실내로 공급될 수 있도록 하고, 실험 조건이 변경될 때마다 연료필터를 교체

Table 3-5 Test conditions

Operating condition	Variable
BDF content in diesel fuel(vol. %)	0, 20, 30, 50, 100
Engine speed(rpm)	1000, 1200, 1500, 2000, 2500
Engine load(%)	0, 25, 50, 75, 90, 100

하고 연료공급라인을 정비하였으며, 냉각수는 실험조건을 동일하게 하기 위해 별도로 물탱크를 설치하여 엔진으로부터 강제 순환시켰으며, 온도제어기를 설치하여 물탱크에서 기관으로 들어가는 입구의 냉각수 온도가  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지시키면서 실험을 하였다.

Pentium-IV 2MHz 컴퓨터를 이용하여 연소특성 및 엔진성능을 해석하였고, 측정된 압력은 온라인 데이터 처리 시스템(on-line data processing system)을 사용하여 처리하였으며, 이 시스템은 로터리 엔코더로부터 Z 펄스 및 A 펄스에 의해 제어되도록 하였다. 이 신호에 의해 프로그램을 이용하여 P/T로부터의 신호를 A/D 변환기를 통해 데이터화한 후 하드디스크에 저장하였다.

연료소비율은 연료 계량병(150cc)을 사용하여 연료 소비시간을 초시계로 측정한 다음 아래 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{연료 소비량} \quad F = \frac{3.6b}{t} \text{ [}\ell/\text{h]}$$

연료 소비율(brake specific fuel consumption)

$$g = \frac{F\rho}{P} \times 1000 \text{ [g/kW}\cdot\text{h]}$$

여기서,  $b$  : 측정시간 내의 연료 소비량[cm<sup>3</sup>]

$t$  : 연료 소비량의 측정시간[sec]

$\rho$  : 측정온도에서의 연료 밀도[g/cm<sup>3</sup>]

$P$  : 축 출력[kW]

또한, 배기가스재순환(EGR)율은 총 연소실 흡기의 양에 대한 재순환된 배기가스의 비율 즉, 새로운 흡입 공기량의 감소율로 계산되었다. 하지만, 본 논문에서는 다음과 같이 CO<sub>2</sub>농도를 흡배기 매니폴드에서 측정하여 EGR율을 계산하였다.

$$EGR \text{ 율} [\%] = \frac{[CO_2]_m}{[CO_2]_e} \times 100$$

여기서,  $[CO_2]_m$ 은 흡입공기내의 CO<sub>2</sub> 농도

$[CO_2]_e$ 은 배기관 내에서의 CO<sub>2</sub> 농도

를 나타낸다.

매연은 매연 측정기(GN VDS100)를 기관의 배기 매니폴드로부터 약 300mm 하류에

1500mm의 배기가스 샘플링 튜브를 삽입하여 일정량의 배기가스를 흡입하여, 흡입된 가스가 채취부에 삽입된 측정용 여지를 통과하면서 매연여지에 채취되도록 하였다. 이때 채취된 매연여지를 측정부로 옮겨 매연여지에 빛을 투사시켰을 때 반사되는 빛이 광전소자에 흡수하도록 하여 매연의 농도(%)를 측정하였다. 위의 방법으로 매연을 3회 측정하여 최대 값과 최소 값의 편차가  $\pm 5\%$  이상 나타나지 않았을 때 그 평균값을 매연 농도로 정하였다.

또한, 배기 매니폴드로부터 약 300mm 하류에 배기가스 분석기(Eurotron Greenline MK 2)의 샘플링 튜브를 삽입하여 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였고, 분석기의 다이어프램 펌프로 흡입된 배기가스를 측정 셀로 이동시켜 CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub>의 값을 측정하였다. 배기가스분석기와 배기매니폴드 사이의 샘플링 튜브 중간에는 필터를 설치하여 매연입자의 유입을 차단하도록 하였고, 측정 조건의 변화에 따라 새로운 필터로 교환하여 배기가스 농도의 오차를 줄였다.

GC를 이용한 미연 탄화수소 성분의 분석을 위하여 150mm 하류에서 배기가스 샘플링을 실시하였다. 가스 크로마토그래피를 이용한 미연 탄화수소류의 분석 실험에서는 바이오디젤유 20%를 최적의 혼합율로 설정하여 분석하였으며, 크로마토그램의 비교를 위하여 상용 경유와 바이오디젤유 100%를 사용한 경우를 병행하여 분석하였다.

가스 크로마토그래피를 통하여 나타난 크로마토그램의 피크 면적을 비교하여 각 미연 탄화수소가 매연농도에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 3-8은 가스 크로마토그래피의 정량 분석을 위한 검량선을 나타낸 것이다. 탄화수소는 유기물질이므로 화염이온화검출기(FID)를 통과하며 연소되고, 연소되어 이온화된 양이 크로마토그램상의 피크 면적을 이루게 되며, 프로그램상에서 그 면적의 적분이 자동적으로 이루어지게 된다.

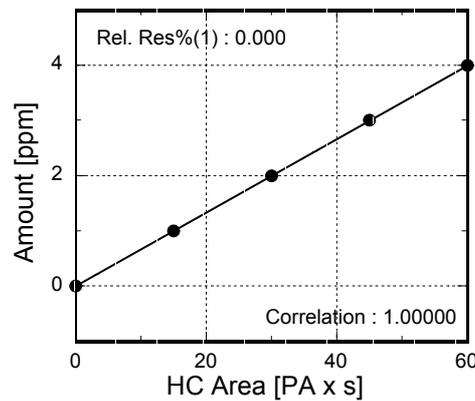


Fig. 3-8 Calibration curve for gas chromatography

## 제2절 단기통 기관의 성능 및 배기 배출물 특성

### 1. 바이오디젤유를 사용한 경우의 기관 성능 변화

일반적으로 기관의 성능은 주로 기관 토크, 출력, 그리고 제동에너지소비율로 표현한다. 본 절에서는 바이오디젤유를 농업용, 단기통 디젤기관에 적용할 경우 바이오디젤유 농도에 따른 기관 성능 변화를 고찰하기 위하여 기관 토크, 출력 및 제동에너지소비율을 경유의 경우와 비교하여 살펴보았다.

Fig. 3-9는 단기통 디젤기관에 바이오디젤유를 적용하였을 경우 전부하시 기관성능의 변화를 나타낸 것이다. 토크 및 출력의 경우 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유를 사용한 경우보다 약간 작게 나타났고, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 점점 감소함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 발열량이 경유의 경우보다 작기 때문에 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 3-10은 각 기관 회전수의 경우, 부하변화에 따른 제동에너지소비율(BSEC)의 변화를 바이오디젤유의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 연료중의 바이오디젤유 함유량의 차이에 따른 에너지 소비율의 변화는 각 회전수별로 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 저회전영역의 경우는 바이오디젤유 100%를 연료로 사용한 경우가 경유의 경우에 비하여 악화되었으나, 고회전영역으로 진행할수록, 바이오디젤유의 함유량이 증가할수록 에너지 소비율은 거의 동일하거나 약간 개선됨을 알 수 있다.

이는 중부하 이하, 또는 저회전영역에서는 혼합기속의 산소성분이 충분하여 연료속의 함산소성분이 커다란 영향을 미치지 못하였지만, 고부하·고회전 영역에서 바이오디젤유속의 산소성분에 기인한 기관의 연소효율이 향상되었기 때문으로 생각된다. 즉, 산소농도가 증가되면 반응속도가 증가되므로 연소범위는 넓어지며 특히, 과농한 영역인 고부하영역에서 반응속도가 증가하고 연소를 안정화시켰기 때문으로 생각한다.

Fig. 3-11은 기관 회전속도 2000rpm, 전부하에서 경유, 바이오디젤유 20% 혼합유 및 바이오디젤유 100%에 대한 압력, 압력상승율( $dP/d\theta$ ), 열발생율( $dQ/d\theta$ )을 나타낸 것이다. 압력, 압력상승율 및 열발생율에서 볼 수 있듯이, 연소 개시시기가 바이오디젤유를 혼합한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 더 빠르게 나타남을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 세탄가가 경유보다 크기 때문에 나타난 것으로 생각된다. 하지만, 바이오디젤유의 발열량이 경유의 경우보다 작기 때문에 압력상승율이나 열발생율의 피크가 작게 나타남을 알 수 있다.

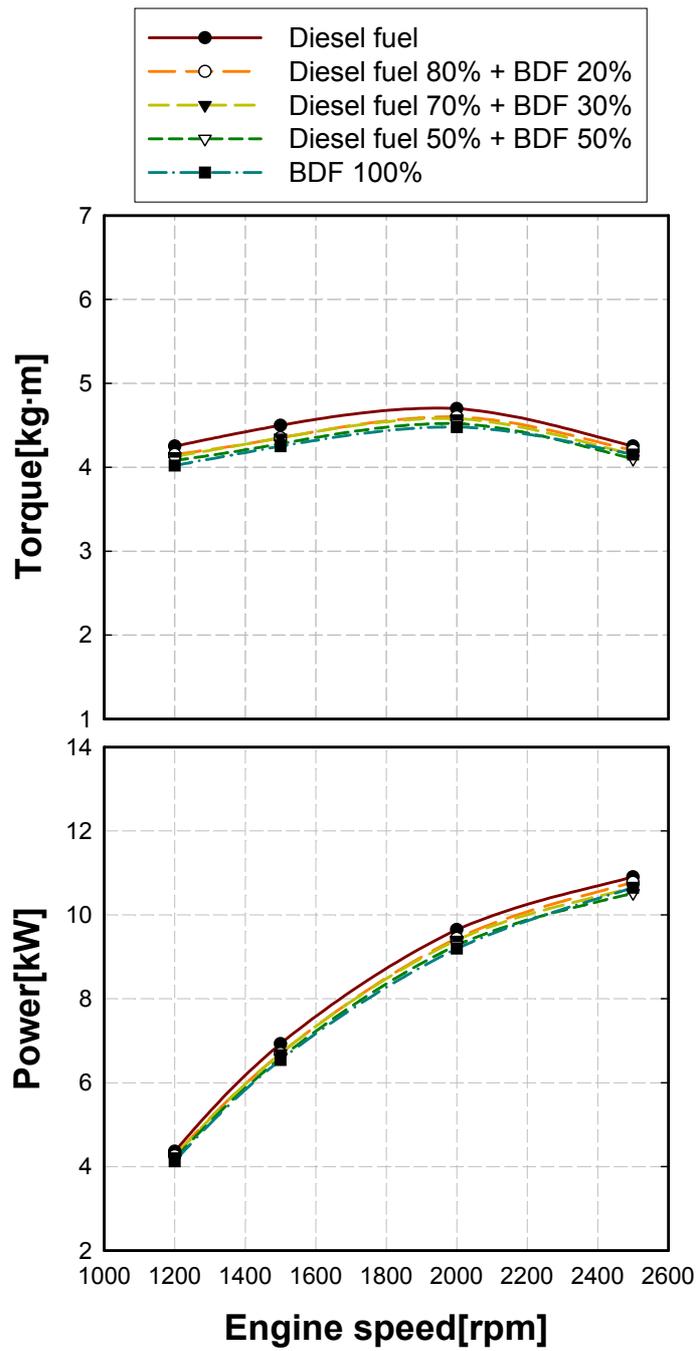


Fig. 3-9 Engine performance versus engine speed

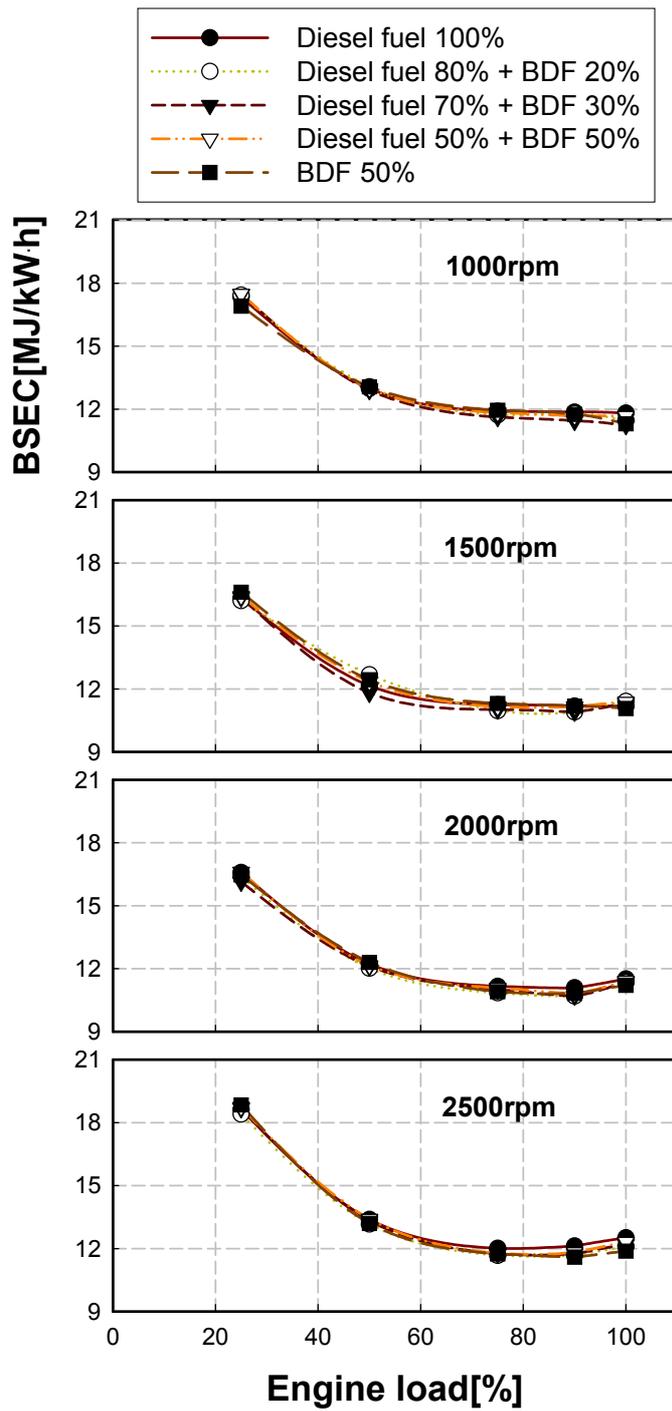


Fig. 3-10 BSEC versus engine load at various engine speed

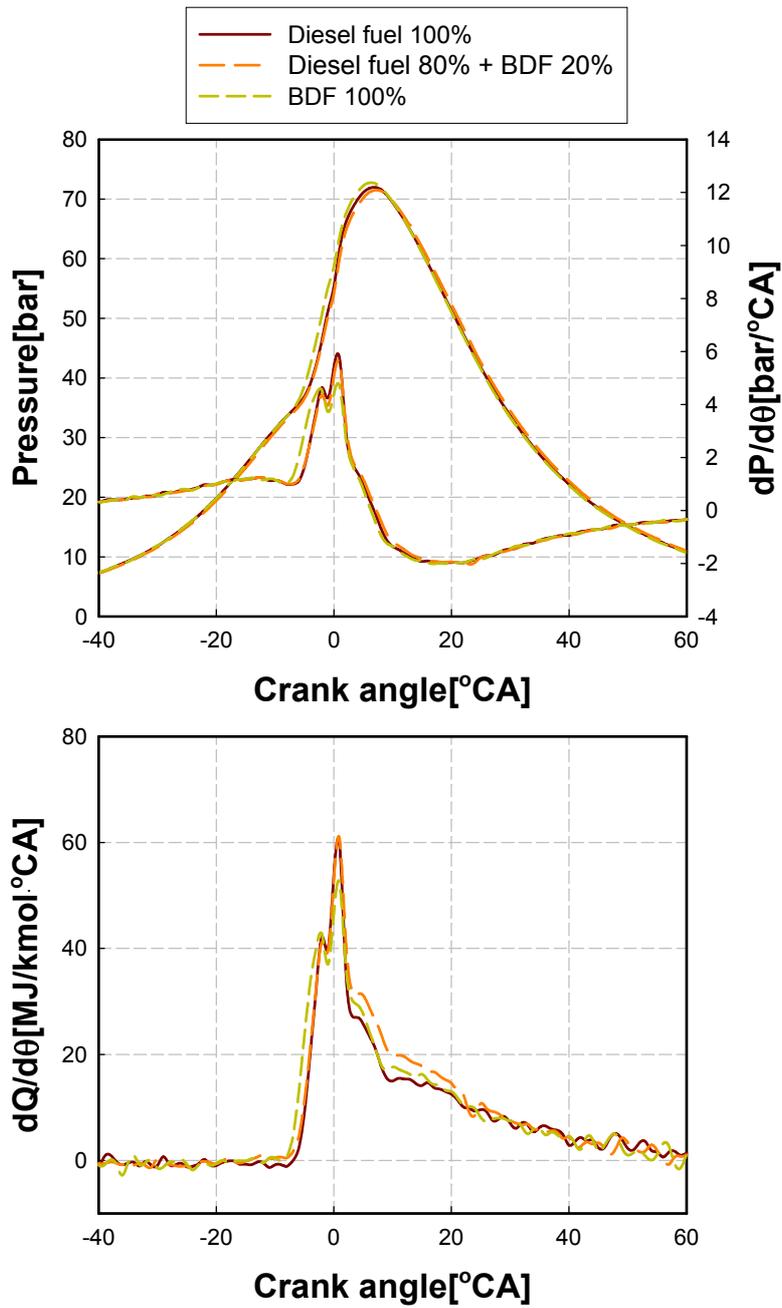


Fig. 3-11 Pressure,  $dP/d\theta$ , and  $dQ/d\theta$  at engine speed 2500rpm and load 100%

## 2. 바이오디젤유를 사용한 경우의 배기가스 배출 특성

Fig. 3-12는 경유와 바이오디젤유, 그리고 경유와 바이오디젤유의 혼합유를 연료로 사용한 경우에, 각 회전수와 부하 변화에 따른 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. 고회전과 고부하 영역으로 갈수록 경유만을 사용한 경우보다 혼합연료 및 바이오디젤유를 사용한 경우가 매연의 배출농도에 현저한 차이를 보이고 있다. 이는 저회전영역 및 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 바이오디젤유와 비교하여 매연 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, 고부하·고회전속도로 갈수록 바이오디젤유 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간 동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

즉, 바이오디젤유를 사용한 경우에 실린더내의 고온상태에서 잔존하는 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 저감되었기 때문이며, 바이오디젤유에 포함된 산소성분이 탄화수소성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜주었기 때문으로 생각된다.

Fig. 3-13은 기관의 부하변화에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출 특성을 기관 회전수별로 나타낸 것이다. NO<sub>x</sub>의 배출특성은 부하가 고부하로 진행할수록 바이오디젤유의 함유량에 따라서 전체적으로 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

또한, 바이오디젤유의 함유량에 따라 살펴보면, 저부하 영역에서의 배출량 차이보다 고부하 영역에서의 배출량 차이가 약간 증가하였는데, 이는 바이오디젤유에 포함된 10% 정도의 산소성분이 연소실내의 온도를 높여주어 NO<sub>x</sub>의 증가를 가져온 것으로 생각된다.

Fig. 3-14는 전부하와 무부하 상태에서 배출되는 매연과 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 연료내의 산소농도에 따라 나타낸 것이다. 저부하에서는 연료속의 산소농도 때문에 매연이 거의 배출되지 않으며, 바이오디젤유를 첨가한 모든 경우에 매연 배출농도가 5%미만임을 알 수 있다. 또한, 전부하 상태에서는 연료속의 산소성분량에 비례하여 매연 배출이 현저하게 저감되며, 저회전인 경우보다 고회전인 경우가 연료속의 산소농도의 영향으로 매연저감효과가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 디젤기관의 연소특성상 바이오디젤연료내의 산소가 흡입과정시 흡입된 공기속의 산소보다는 연소를 위한 탄화수소와의 접촉 속도가 빨라 거의 연소를 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

NO<sub>x</sub>의 경우에는 연료속의 산소농도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있어 매연과는 상반관계가 있음을 알 수 있고, Fig. 3-13과 3-14에서 살펴본 바와 같이 바이오디젤유를 사용할 경우 NO<sub>x</sub>의 배출량이 경유를 사용한 경우보다 증가하는 것을 볼 수 있어, 이에 대한 대

책을 강구하지 않으면 안되는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 일반적으로 NOx의 저감대책으로 사용되고 있는 EGR방법을 적용하여 해결방안을 고찰하였다.

Fig. 3-15는 매연과 NOx가 많이 배출되는 기관회전속도 2500rpm에서 기관부하변화에 따른 바이오디젤유에 EGR을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 매연과 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 일반적으로 매연과 NOx는 상반관계에 있기 때문에 동시에 저감시키기 어려운 실정이지만, 본 그림에서 살펴볼 수 있는 것처럼 바이오디젤유 20%의 혼합유에 EGR을 적용한다면 바이오디젤유가 함유한 산소의 영향으로 매연은 저감되고 NOx가 증가하는 것을 EGR을 10%만 적용하여도 경유만을 사용한 경우보다 매연과 NOx를 동시에 저감시킬 수 있으리라 사료된다.

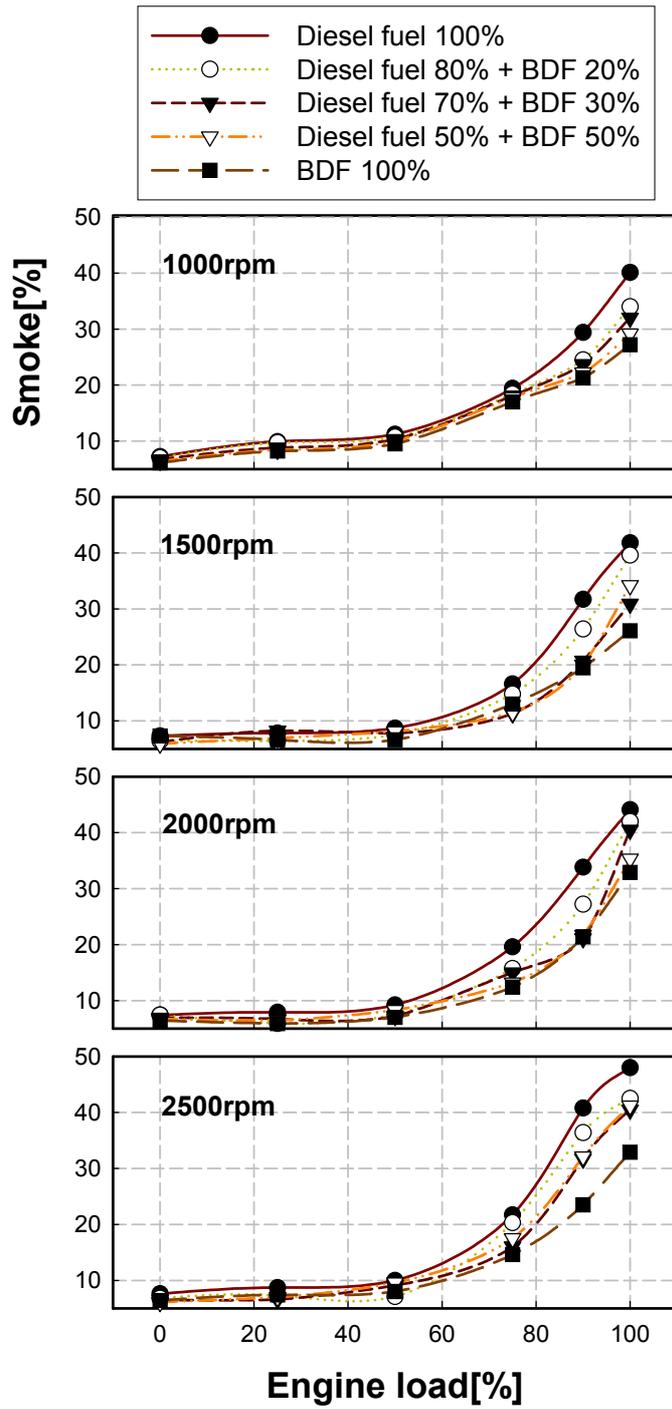


Fig. 3-12 Smoke versus engine load at various engine speed

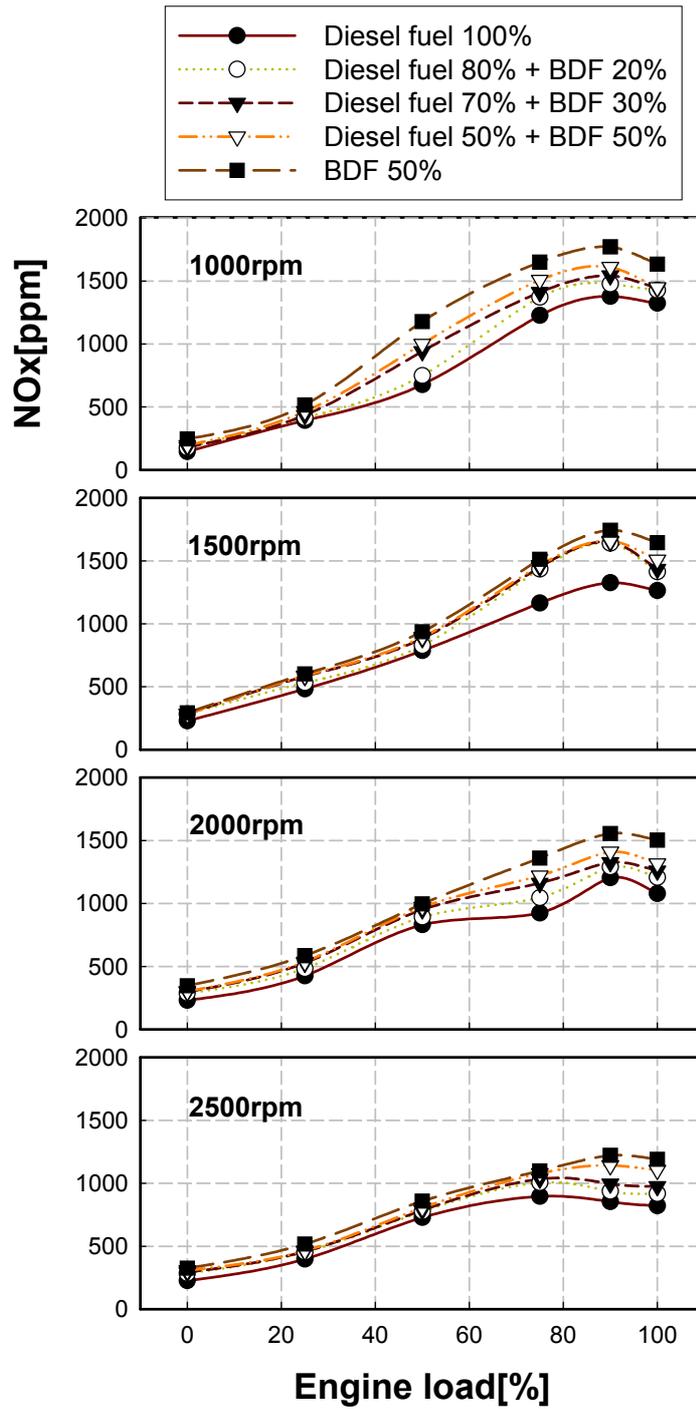


Fig. 3-13 NOx versus engine load at various engine speed

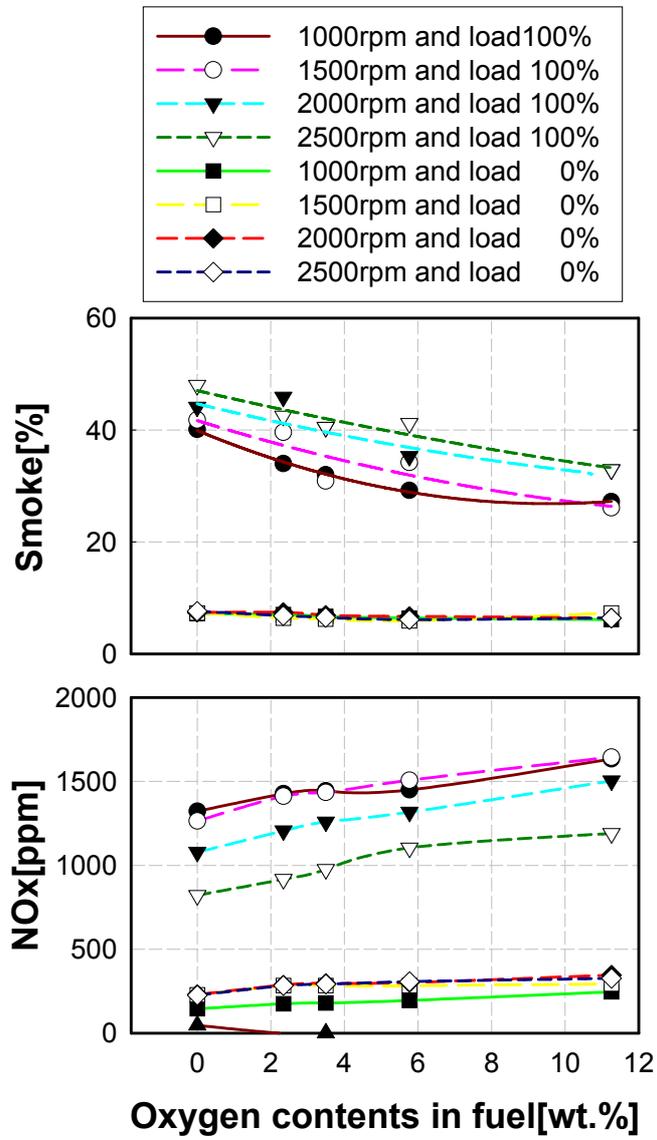


Fig. 3-14 Smoke and NOx versus oxygen contents in fuel

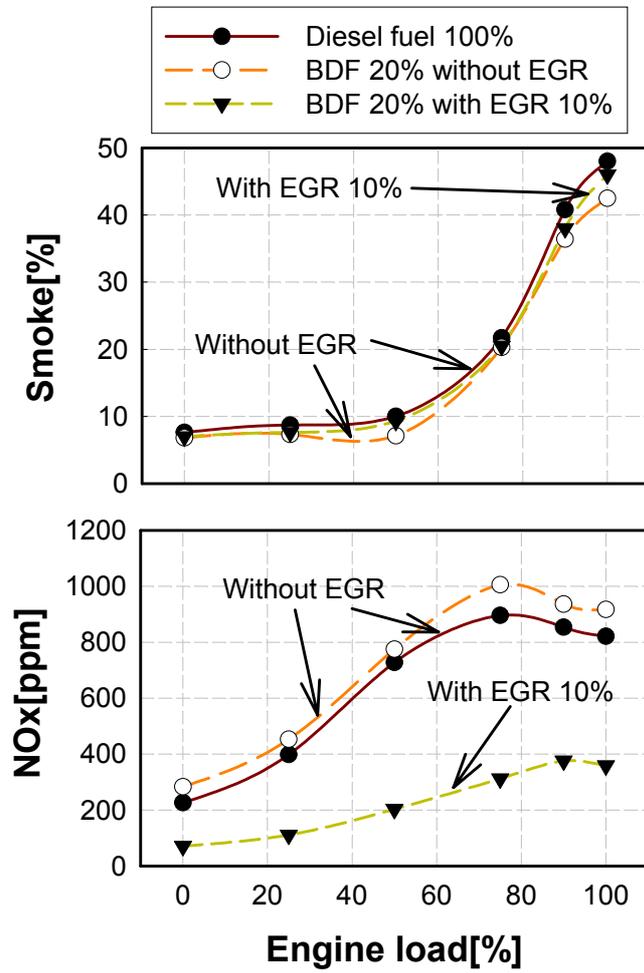


Fig. 3-15 Smoke and NOx with and without EGR versus engine load at engine speed 2500rpm

### 3. 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소 분석

3장 2절에서 다룬 배기가스 배출특성 실험 결과 매연이 현저히 저감되었다. 따라서, 탄화수소의 각 성분이 매연 배출에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 배기가스 성분을 가스 크로마토그래피를 사용하여 C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub>까지의 성분을 분석하였다.

Fig. 3-16은 기관 부하변화에 따른 경유, 바이오디젤유 20% 및 순수 바이오디젤유에 대한 탄화수소 분석 결과로서 크로마토그램상에 나타난 피크 면적을 나타낸 것이다. 75%이상의 고부하에서는 바이오디젤유와 바이오디젤유를 20% 혼합하여 사용할 경우에 탄화수소를 가장 많이 배출하는 2500rpm의 경우가 경유를 사용한 경우에 탄화수소량이 비교적 적게 배출되는 1500rpm의 경우보다도 탄화수소량을 훨씬 적게 배출시킴을 알 수 있다.

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 바이오디젤유속의 산소성분이 매연 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, 고부하·고회전속도로 갈수록 바이오디젤유 자체에 포함된 산소성분 때문에 공기이용률이 경유의 경우와 큰 차이를 보여, 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저감되었기 때문으로 생각된다.

특히, 경유의 경우 75%이상의 고부하에서 기관 회전수가 증가함에 따라 탄화수소량이 갑자기 현격하게 증가됨을 확인할 수 있었으나, 바이오디젤유를 사용한 경우에는 부하변화에 따른 탄화수소 배출특성이 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

2000rpm과 2500rpm의 고회전영역에서는 피스톤의 회전속도가 증가함에 따라 충전효율의 저하로 인해 연소에 필요한 공기가 연소실내로 충분히 공급되지 못하지만, 바이오디젤유를 사용한 경우에는 바이오디젤유속에 포함된 산소성분이 연소에 필요한 부족분을 상당부분 공급하여 미연탄화수소 성분의 산화를 더욱 촉진시키는 것으로 생각된다. 즉, 산소농도가 증가하면 반응속도가 증가하여 연소범위를 확장시키는데, 이 같은 효과는 희박한 영역에서보다 과농한 영역인 고부하영역에서 현저하기 때문으로 생각한다.

Fig. 3-17과 3-18은 무부하(load 0%)와 고부하인 전부하상태(load 100%)에서 기관 회전속도를 변화시켰을 때 각각의 개별탄화수소에 대한 미연탄화수소 배출특성을 나타내고 있다. Fig. 3-17은 무부하 상태의 경우로서, 저비등점 탄화수소는 바이오디젤유, 혼합연료의 경우와 경유의 경우가 큰 차이가 없었으며, 고비등점 탄화수소는 전반적으로 바이오디젤유의 경우가 낮게 나타나며, 특히 고회전으로 갈수록 경유의 경우가 약간 증가하는 추세를 보이고 있다.

Fig. 3-18은 전부하상태의 경우로서, C<sub>1</sub>(methane)을 제외한 모든 경우에 있어서 바이오

디젤유의 경우가 현저하게 저감되는 추세를 보이고 있다. NMOG의 관점에서 전부하 2500rpm의 회전속도에서 경유의 경우와 바이오디젤유를 20%만 혼합한 경우를 살펴보면, C<sub>2</sub>의 경우는 74.4%, C<sub>3</sub>는 63.6%, C<sub>4</sub>는 53.9%, C<sub>5</sub>는 50.2%, C<sub>6</sub>는 43.7%가 저감되고 있음을 알 수 있으며, 바이오디젤유만을 기관에 적용한 경우는 더욱 현저한 저감을 보이고 있음을 알 수 있다.

이는 Fig. 3-12의 전체적인 매연 배출특성과 유사한 관계를 보이고 있어 매연 배출농도에 고비등점 탄화수소의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 디젤기관의 특성상 공기이용율이 부족한 전부하 상태에서는 경유를 연료로 사용한 경우에 전 범위에 걸쳐서 탄화수소가 산화되지 못하고, 그대로 배출되어 바이오디젤유나 혼합연료를 사용한 경우에 비하여 훨씬 더 많은 매연을 생성·배출하는 것으로 생각된다.

이는 저부하시에는 생성된 매연이 연소실내에 잔존해 있는 충분한 산소성분으로 말미암아 85%이상이 산화·소멸되지만, 고부하시에는 매연의 생성이 비교적 늦게 일어나고 산소농도 또한 낮기 때문에 충분한 산화속도에 도달하지 못하여 매연의 배출량이 증가하는 것으로 생각된다.

따라서, 바이오디젤유를 20%정도만 혼합하여 연료 조성 성분에 약간의 변화를 주어 기관에 공급된다면, 연료 내에 함유된 산소성분이 저부하시는 물론, 매연생성이 급격하게 증가하는 고부하시에 매연의 배출량을 크게 억제할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 3-19는 기관 회전속도 2000rpm, 기관 부하 75%에서 바이오디젤유의 혼합량에 따른 매연, NO<sub>x</sub> 및 제동에너지소비율의 특성을 나타낸 것이다. 바이오디젤유의 혼합량이 증가하면서 매연은 감소하는 특성을 나타내고 있으며, NO<sub>x</sub>는 증가하는 경향을 보이고 있고, 제동에너지소비율은 큰 변화를 보이지 않고 비슷한 양상을 보였다. 이상을 종합하여 볼 때 배기가스 배출 특성이나 출력과 같은 기관 성능을 고려하여 살펴본다면 바이오디젤유를 실용화하기 위한 최적의 혼합율은 약 20~30%가 적당한 것으로 판단된다.

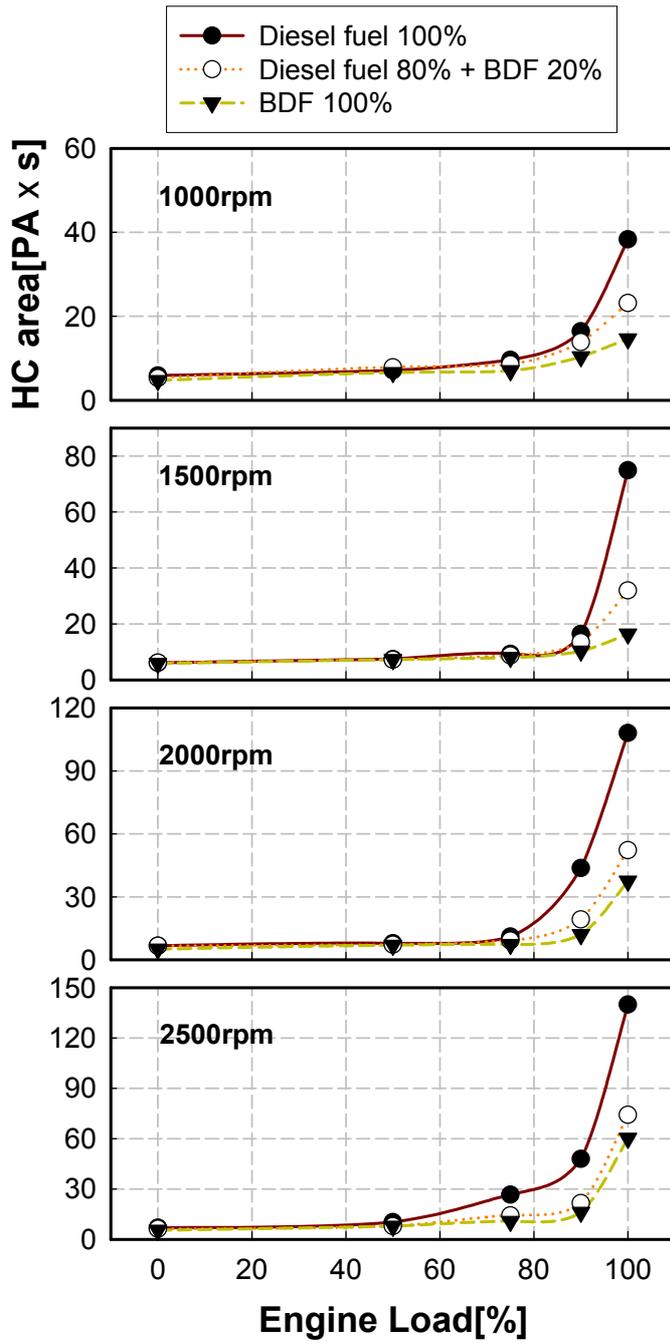


Fig. 3-16 Total area of hydrocarbon by chromatogram analysis versus engine load at various engine speed

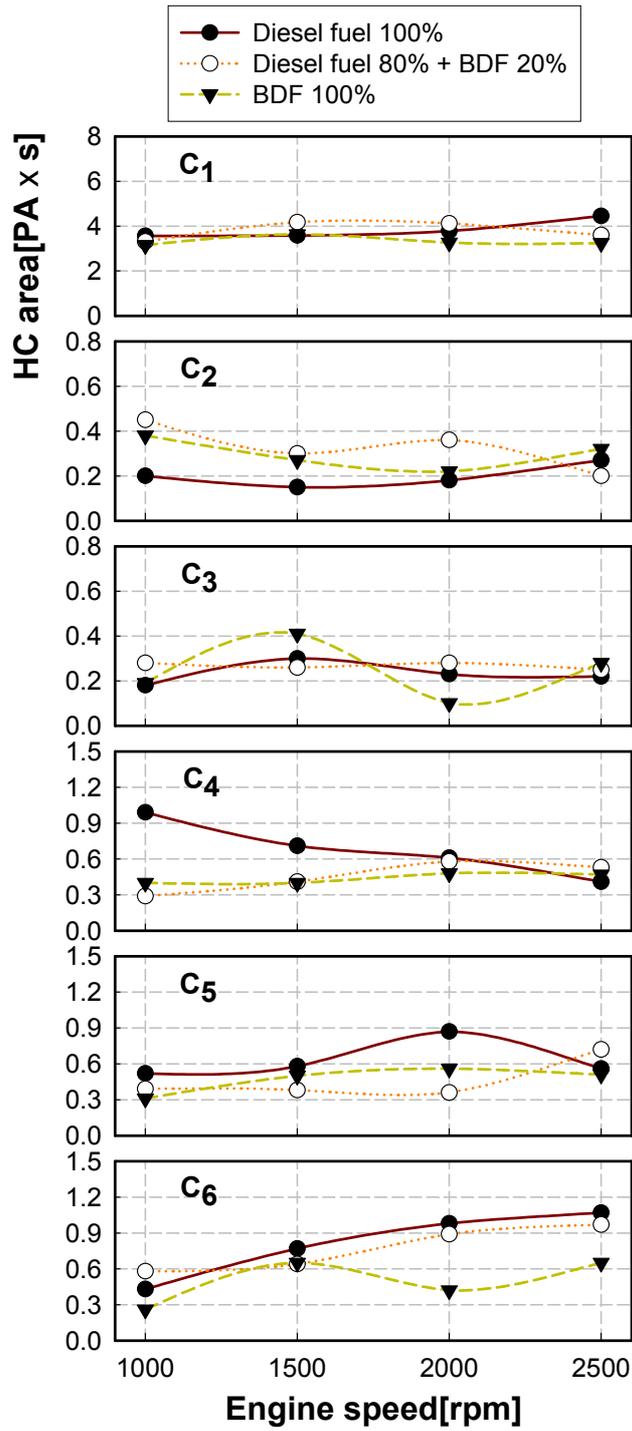


Fig. 3-17 Area of each hydrocarbon by chromatogram analysis versus engine speed at engine load 0%

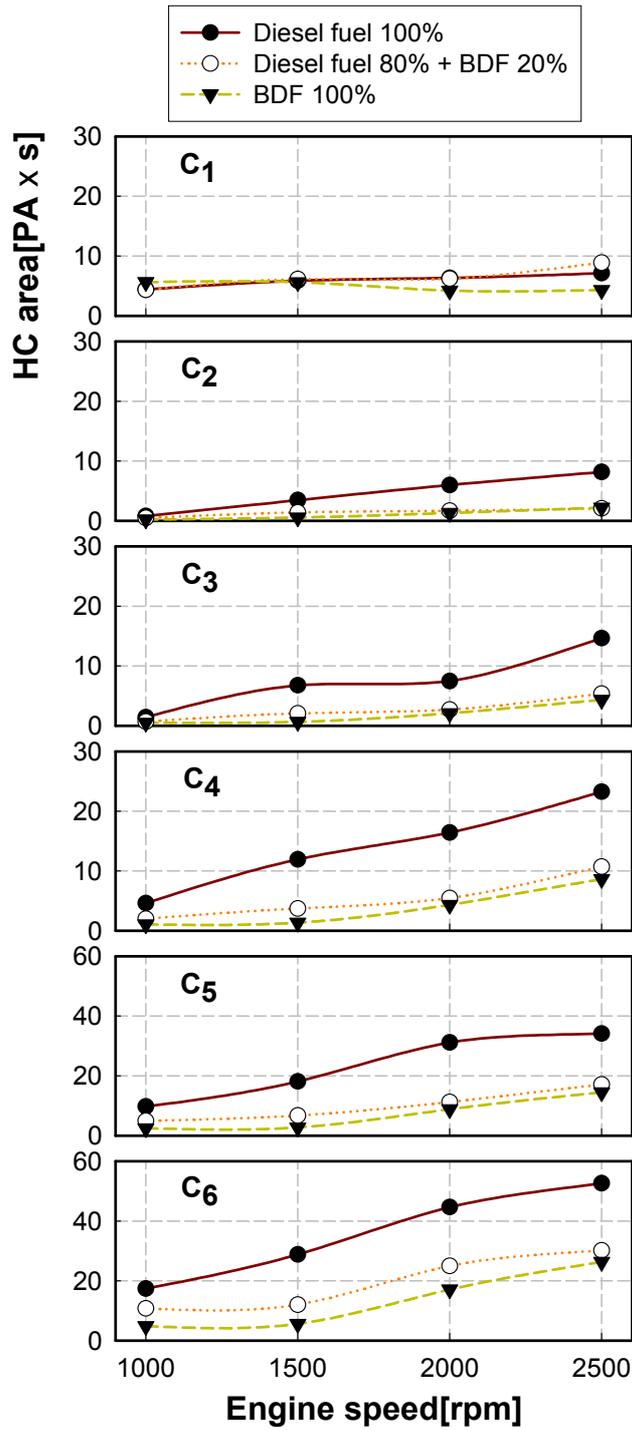


Fig. 3-18 Area of each hydrocarbon by chromatogram analysis versus engine speed at engine load 100%

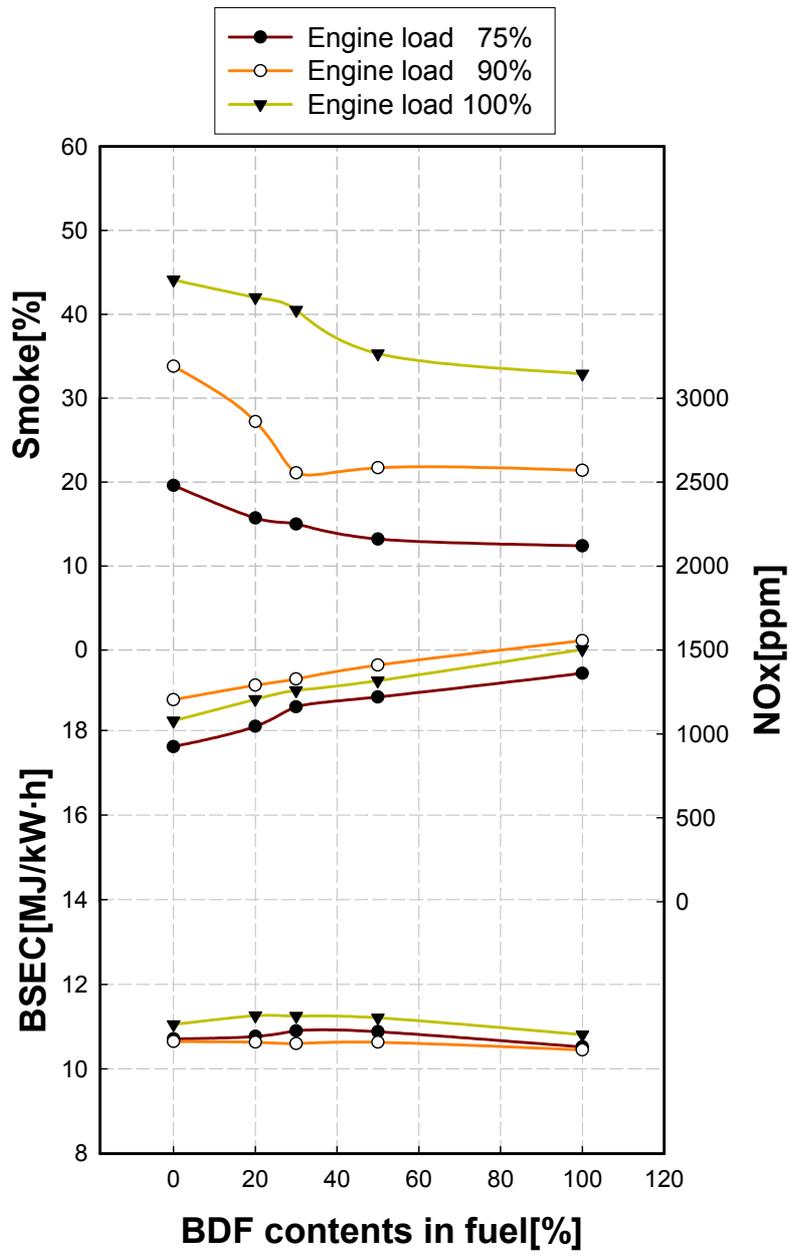


Fig. 3-19 Smoke, NOx, and BSEC versus biodiesel fuel content in fuel

### 제3절 대기통 기관의 성능 및 배기 배출물 특성

#### 1. 바이오디젤유를 사용한 경우의 기관 성능 변화

Fig. 3-20은 전부하(100% load)시 기관 회전속도 변화에 따른 제동 토크, 출력 및 에너지소비율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전회전속도 범위에 걸쳐 토크와 출력은 바이오디젤유를 20% 혼합한 경우가 경유의 경우보다 약간 증가하였고, 그 외의 경우는 혼합량이 증가함에 따라 약간 감소하였지만 BDF 100%를 제외하고는 경유의 경우와 비슷한 경향을 보였다. 에너지소비율은 경유를 사용한 경우보다 바이오디젤유를 혼합하여 사용하였을 때 혼합량이 증가할수록 점점 감소함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 발열량이 경유의 경우보다는 작지만, 세탄가가 높고 연료자체에 산소를 함유하고 있어 연소를 촉진시켜 연소효율 향상에 기인하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 3-21은 Fig. 3-20과 같은 조건에서 실린더내의 압력, 압력상승율 및 열발생율을 나타낸 것이다. 압력의 경우 예혼합연소의 경우 전체적으로 비슷한 경향을 보이지만, 연소 후반부에서는 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록 더 높은 압력이 나타남을 알 수 있어 연소 후반부에 더 활발한 연소를 일으켰음을 알 수 있다. 또한, 열발생율의 후반부를 살펴보면 열발생이 일찍 종료하여 전체적인 연소기간이 단축됨을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유가 약 11%정도의 산소를 함유하고 있어 연소 후반부에 더욱더 활발한 연소를 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

또한, 압력상승율과 열발생율을 살펴보면 초기 피크치의 압력 상승률과 열발생율이 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있는데, 이는 바이오디젤유의 세탄가가 경유의 경우보다 높아 착화지연기간이 단축되었기 때문으로 분석된다.

Fig. 3-22는 각 회전속도에 있어서 기관 부하변화에 대한 에너지소비율을 나타낸 것으로, 전체적으로 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 경유를 사용한 경우보다 에너지소비율이 감소함을 알 수 있다.

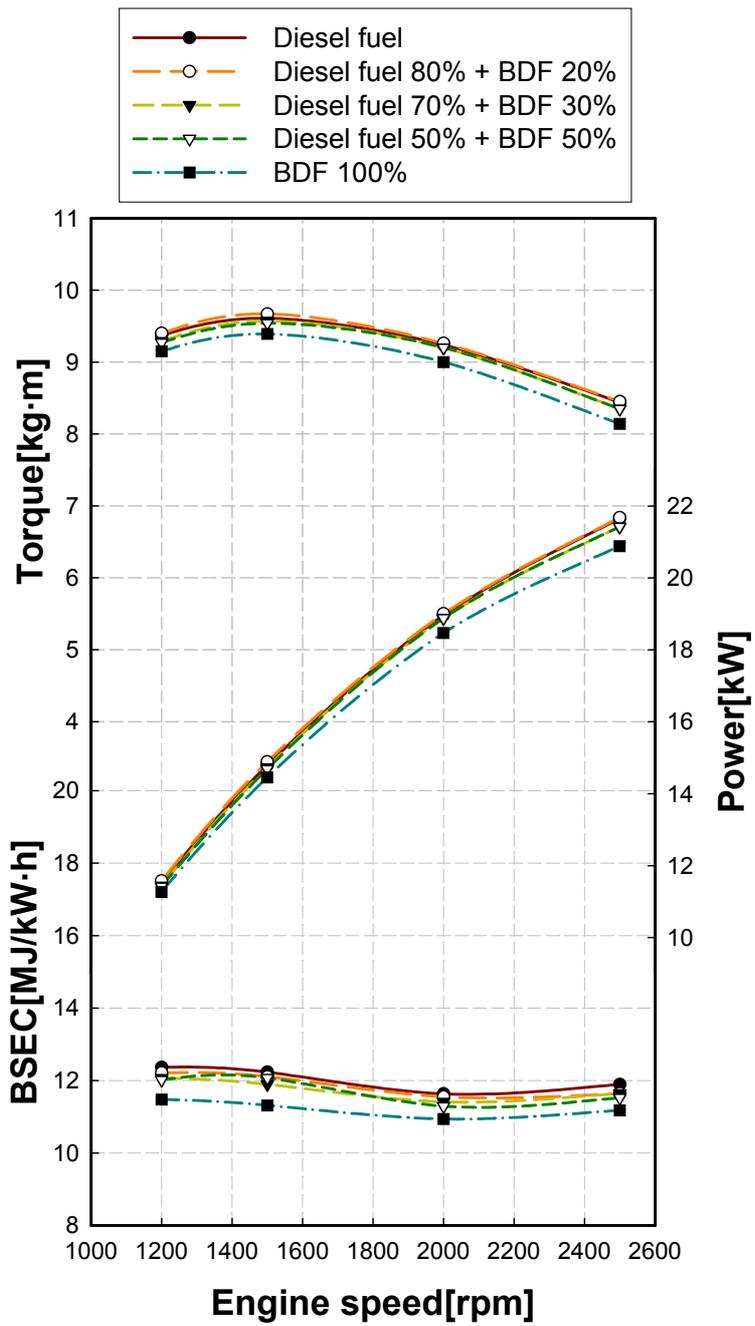


Fig. 3-20 Engine performance versus engine speed at engine load 100%

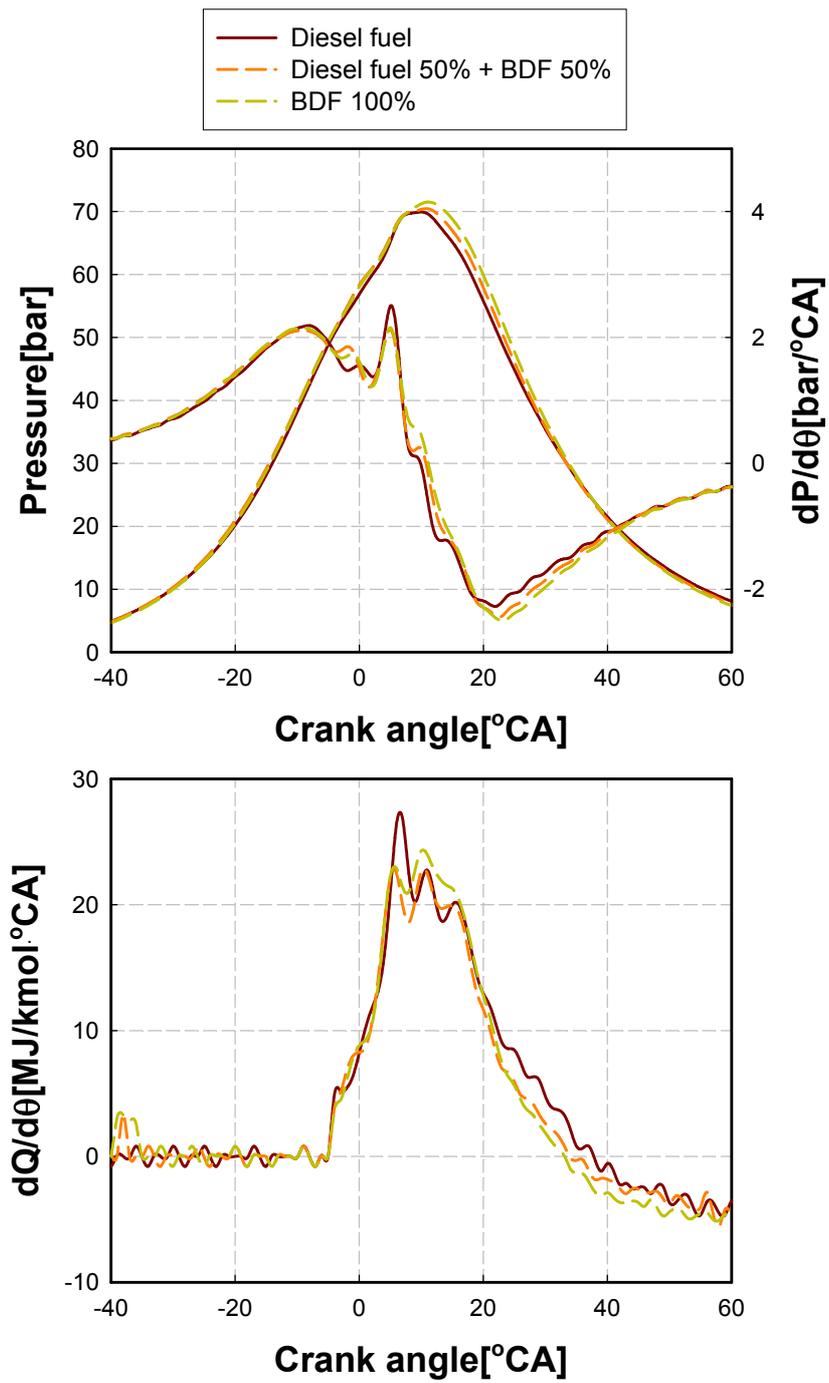


Fig. 3-21 Pressure,  $dP/d\theta$ , and  $dQ/d\theta$  at engine speed 2500rpm and load 100%

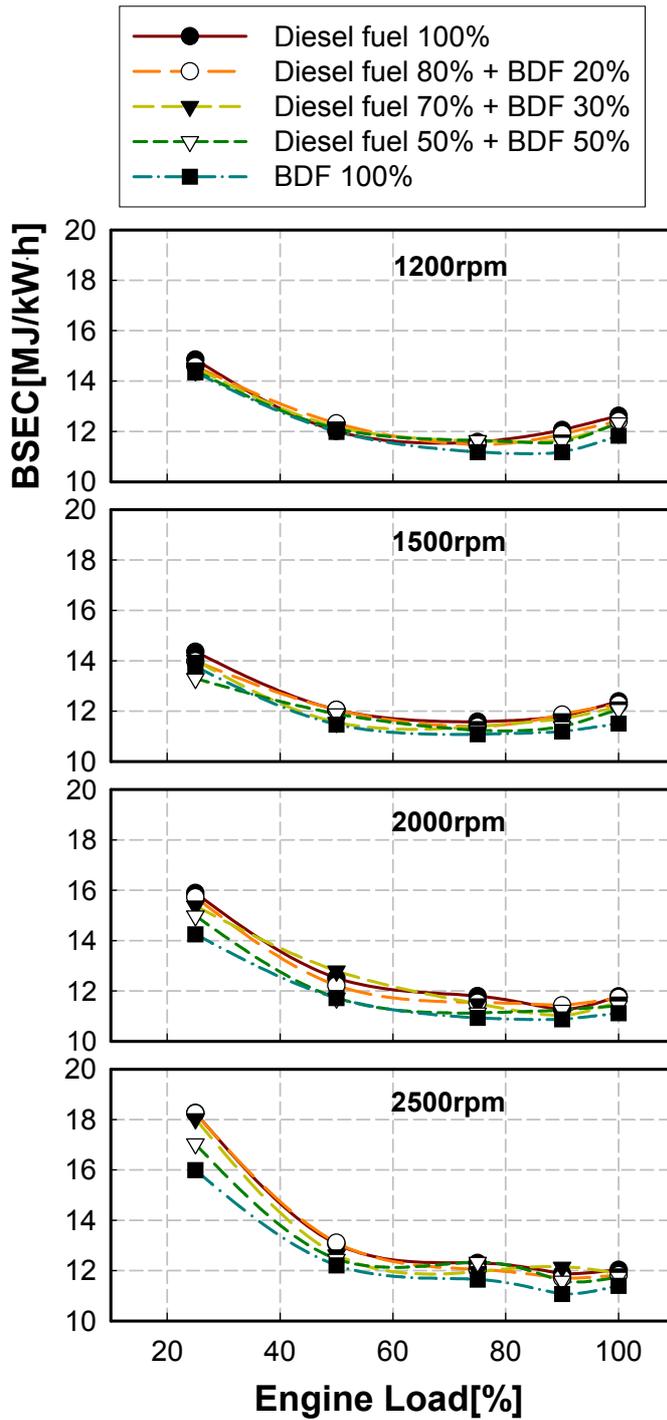


Fig. 3-22 BSEC versus engine load at various engine speed

## 2. 바이오디젤유를 사용한 경우의 배기가스 배출 특성

Fig. 3-23은 각 회전속도에 있어서 기관 부하변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 부하가 증가함에 따라 매연의 배출농도도 증가하였으나, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 전 기관 운전영역에서 경유를 사용한 경우보다 매연의 배출 농도는 감소하였고, 저부하인 경우보다는 고부하영역으로 갈수록 매연의 저감폭이 크게 나타났으며, 바이오디젤유 100%인 경우에는 고부하에서 20~46%의 매연이 감소하였다. 이는 바이오디젤유가 산소를 함유하고 있기 때문에 매연이 주로 생성되는 연소 후반부에 연료입자의 산화를 촉진시키고 Fig. 3-21의 열발생율에서 살펴본 것처럼 연소기간을 단축시켰기 때문으로 생각된다.

그러나, 이는 앞의 단기통 디젤기관에 대한 실험 결과와 약간 다른 매연 배출특성을 나타내었다. 즉, 단기통 디젤기관의 경우는 직접분사식의 연소실을 가지고 있으며, 다기통 디젤기관은 간접분사식의 와류실식 연소실을 가지고 있어 와류실식의 매연 배출 특성이 직접분사식과는 다소 차이가 있었다. 실험한 모든 연료에 있어서 기관 부하가 증가할수록 매연이 증가하는 배출 특성은 유사하나 직접분사식의 경우는 고회전으로 갈수록 저회전영역에서보다 매연이 증가하였으나 와류실식의 경우는 고회전영역에서 상당히 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 3-24는 각 회전속도에 있어서 기관부하변화에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출 특성을 나타낸 것이다. NO<sub>x</sub>의 경우에 있어서는 전체적으로 바이오디젤유를 사용한 경우와 경유만을 사용한 경우가 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 바이오디젤유의 혼합량에 따라서도 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다. 이는 Fig. 20에서 나타난 것처럼 바이오디젤유의 세탄가가 경유보다 커서 열발생율의 피크가 작게 나타났기 때문으로 분석되며, 이것 또한 매연의 경우처럼 연소실 형태에 의해서 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3-25는 각 기관회전속도 및 기관부하에 있어서 CO의 배출특성을 나타낸 것이다. 저 회전속도에 있어서는 중부하보다는 무부하 및 고부하인 경우에 CO의 배출량이 많으며, 2000rpm 이상에서는 기관의 부하가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다. 그러나, 전체적으로 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 CO가 저감됨을 알 수 있고, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 저감폭이 컸으며, 1200rpm과 1500rpm의 고부하에서 감소폭이 크게 나타났다.

Fig. 3-26은 각 기관 운전조건에서 CO<sub>2</sub>의 배출특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 기

관 부하가 증가함에 따라 CO<sub>2</sub>의 배출량은 증가하였으나, 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 감소함을 알 수 있으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소폭은 CO의 경우보다 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 이는 연료의 성분에서 알 수 있듯이 바이오디젤유가 경유보다 더 적은 탄소함량을 가지고 있음에도 완전연소를 촉진시켜 CO<sub>2</sub>가 증가하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 3-27은 Fig. 3-26에서 나타난 CO<sub>2</sub>의 배출특성을 기관 회전수변화에 따라 고부하인 경우만 다시 재정리하여 나타낸 것이다. 고부하에서 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 CO<sub>2</sub>의 배출량이 감소함을 확연히 알 수 있다. 따라서, 바이오디젤유를 디젤기관의 대체연료로 사용할 경우 지구온난화에 크게 영향을 미치는 CO<sub>2</sub>의 저감에도 크게 기여할 것으로 생각된다.

Fig. 3-28은 모든 실험조건에 대한 바이오디젤유를 사용할 경우 연료속의 산소함량에 따른 매연과 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 나타낸 것이다. 매연의 경우 연료속의 산소함량이 증가함에 따라 매연의 최고 배출 농도가 저감함을 알 수 있어 매연의 저감 원인이 연료속의 산소함량에 기인한 것으로 생각된다. 그러나, NO<sub>x</sub>의 경우에는 바이오디젤유를 사용할 경우 산소함량에 따라 특별한 경향을 나타내지는 않고, 경유만을 사용한 경우와 비슷한 배출 특성을 보여 일반적인 매연과의 상반관계를 나타내지 않았다. 이는 NO<sub>x</sub>가 연료속의 산소농도보다는 세탄가와 같은 연료의 물성치에 의한 연소실내의 최고온도와 최고압력에 더 많은 영향을 받았기 때문으로 생각되며, 연소실의 종류에도 영향을 받는 것으로 생각된다.

이처럼, 바이오디젤유를 와류실식 디젤기관에 적용할 경우 NO<sub>x</sub>의 증가없이 매연, CO, 및 CO<sub>2</sub>를 크게 저감시킬 수 있어 인체와 최근접 상태에서 운전되는 농업용 디젤기관을 위한 저공해 연료로서 타당함을 알 수 있다.

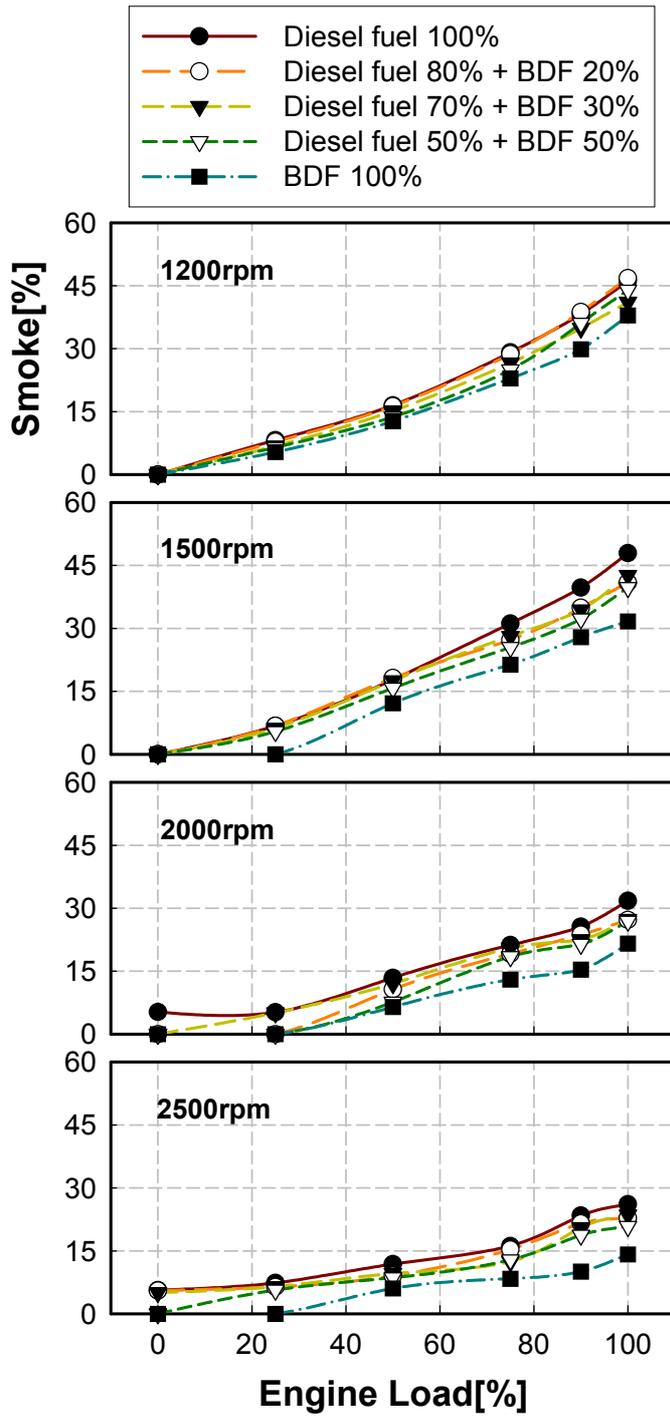


Fig. 3-23 Smoke versus engine load at various engine speed

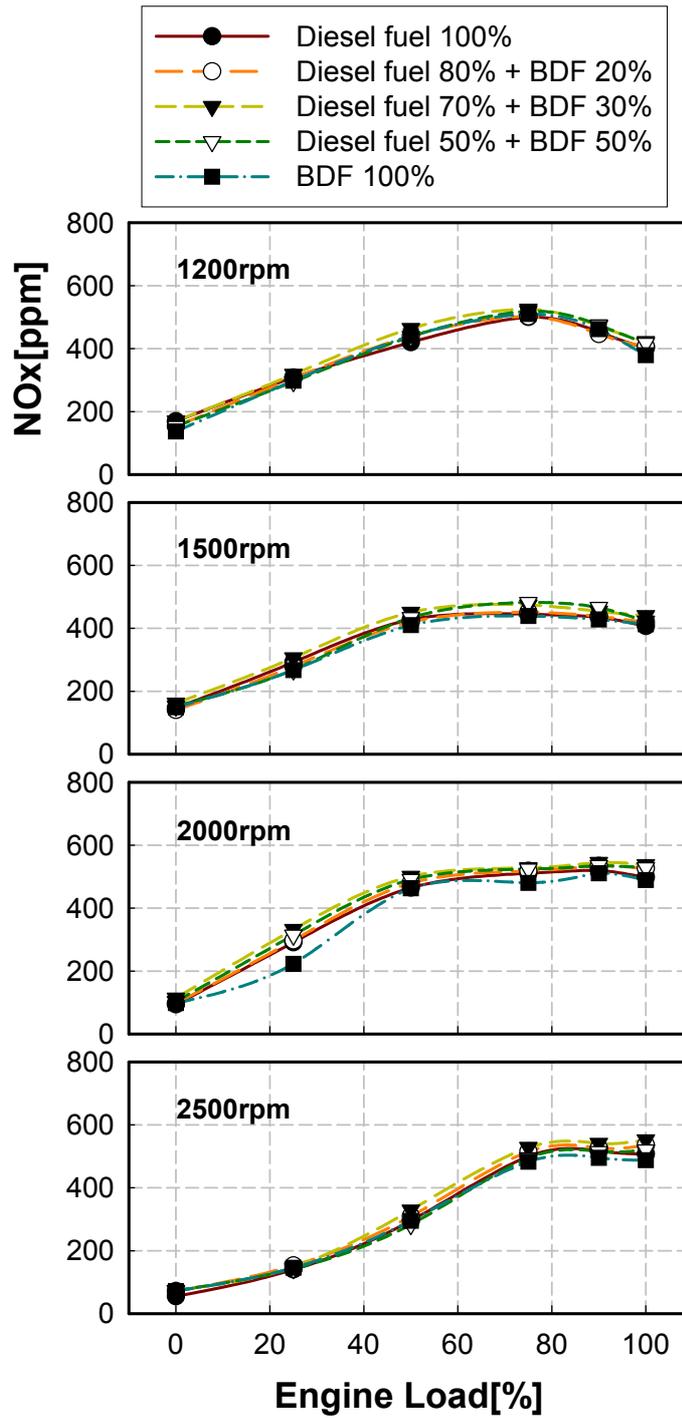


Fig. 3-24 NOx versus engine load at various engine speed

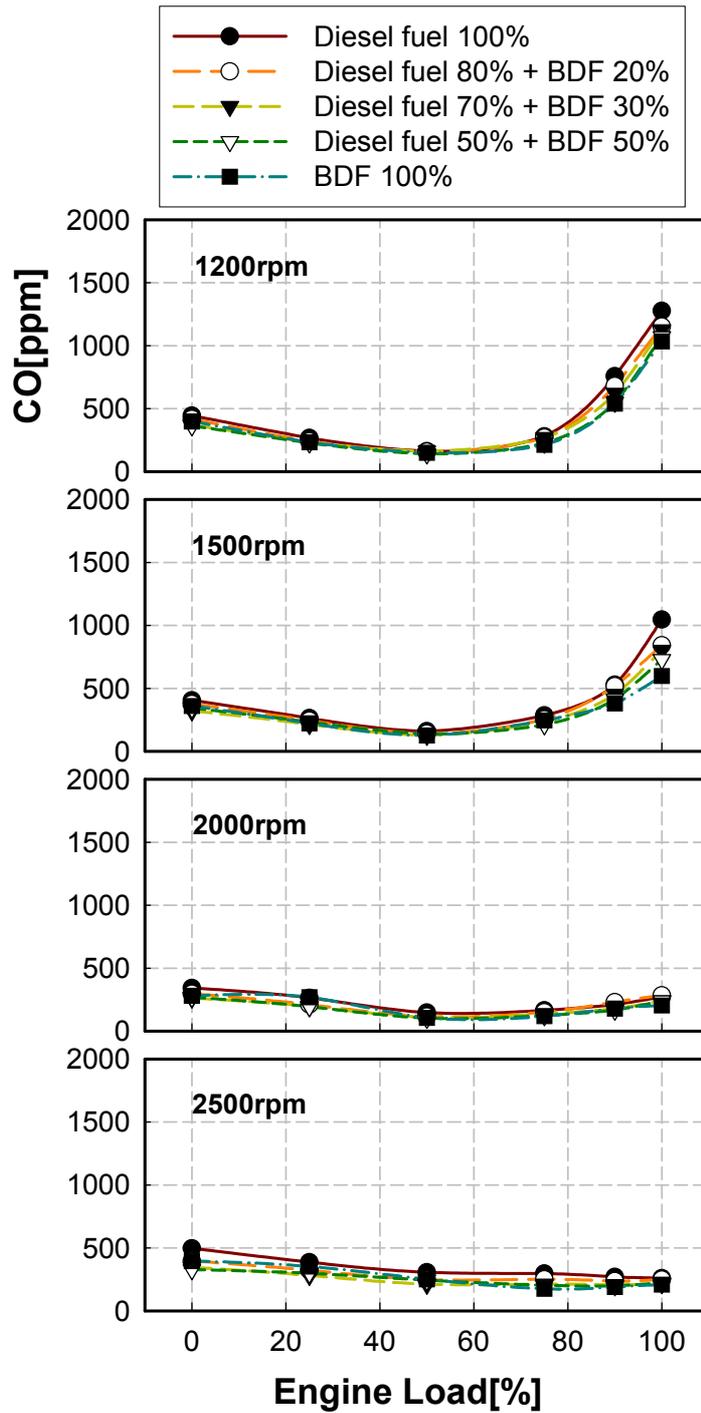


Fig. 3-25 CO emissions versus engine load at various engine speed

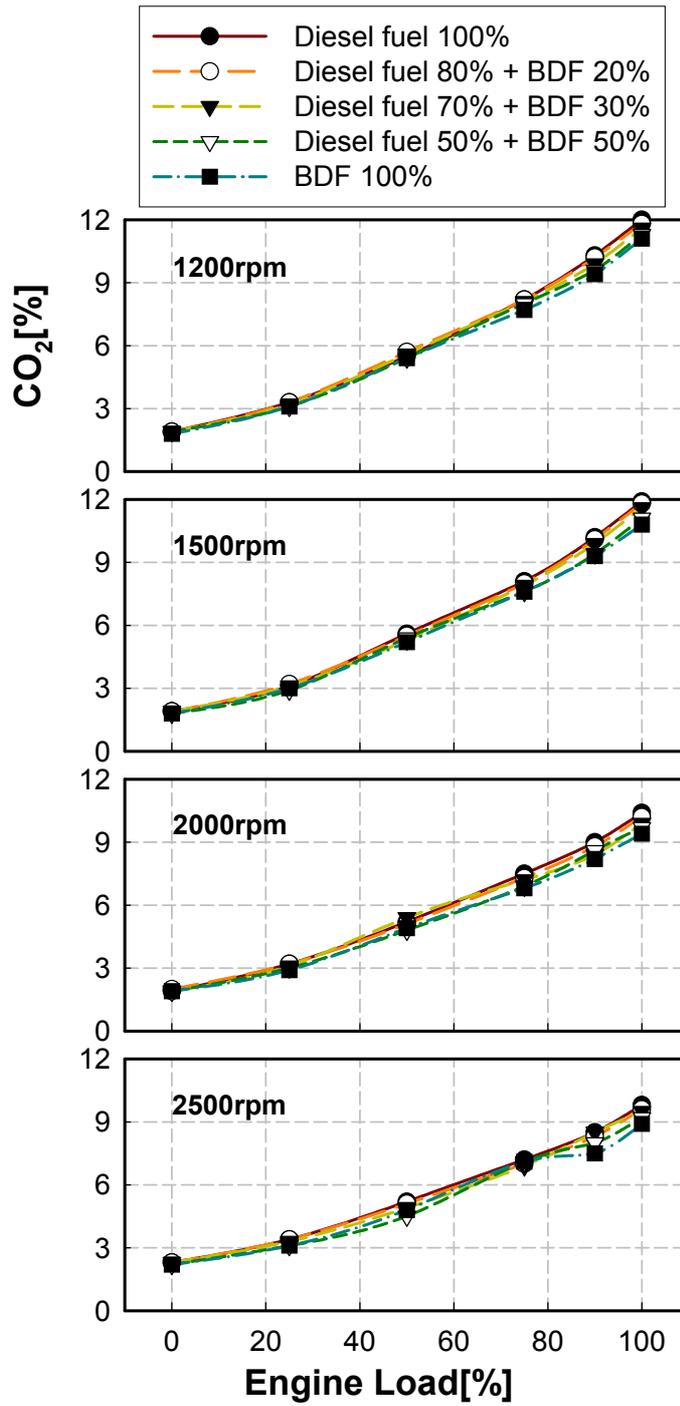


Fig. 3-26 CO<sub>2</sub> emissions versus engine load at various engine speed

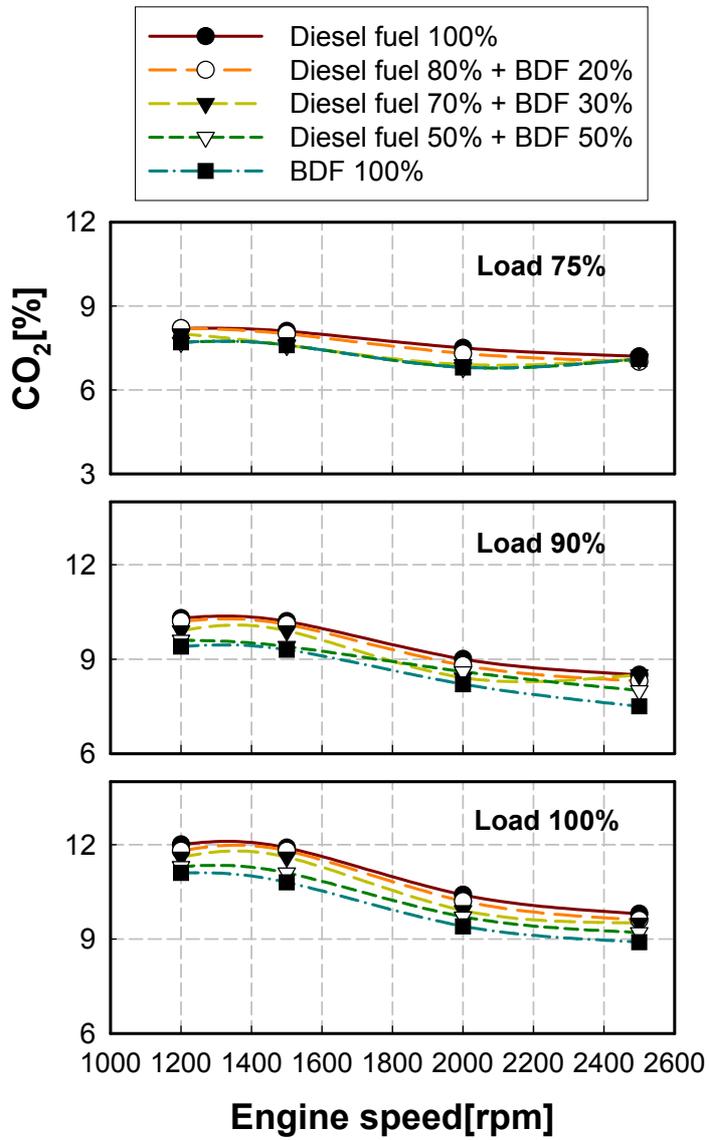


Fig. 3-27 CO<sub>2</sub> emissions versus engine speed at high engine loads

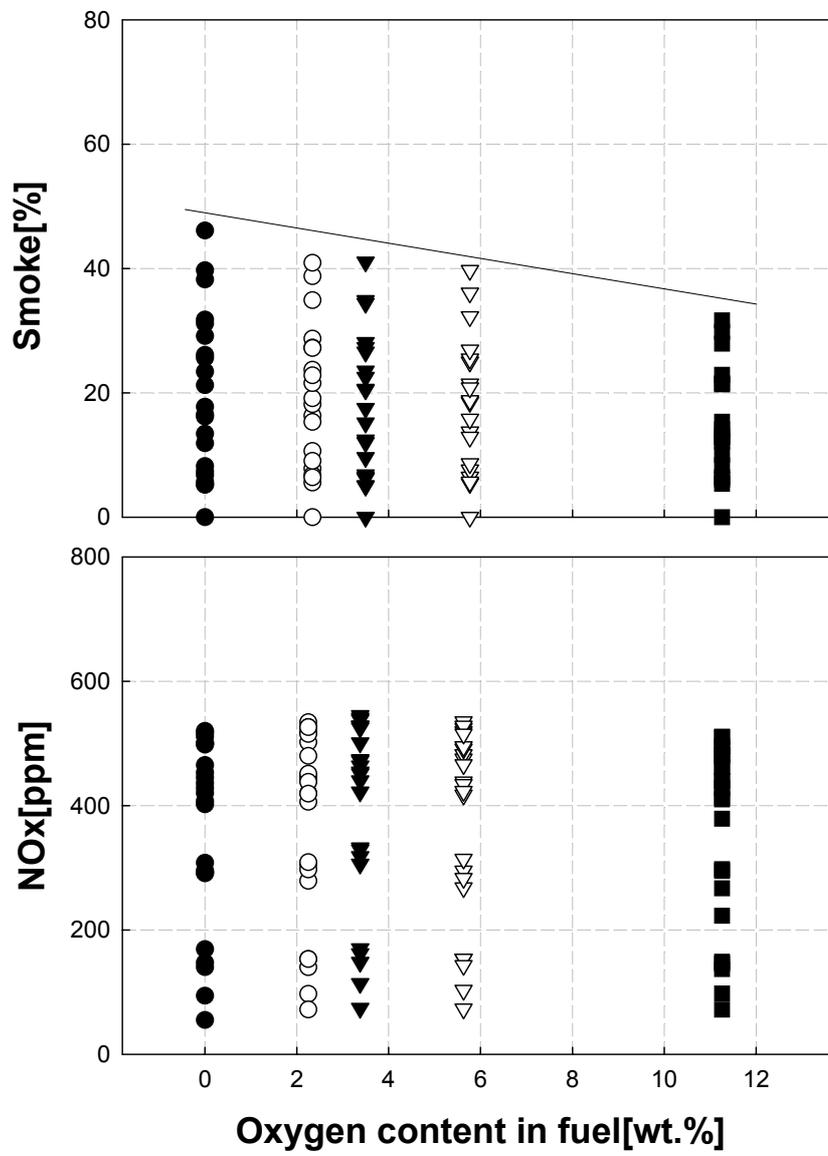


Fig. 3-28 Smoke and NOx versus oxygen content in fuel

### 3. 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소 분석

Fig. 3-29는 대기통 디젤기관에서 기관 부하변화에 따른 경유, 바이오디젤유 20% 및 순수 바이오디젤유에 대한 탄화수소 분석 결과로서, 크로마토그램상에 나타난 피크 면적을 나타낸 것이다. 기관 부하가 증가함에 따라 탄화수소의 배출량은 전체적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 배출량은 감소함을 알 수 있다. 또한, 기관 회전속도가 증가함에 따라 탄화수소 배출량도 증가함을 알 수 있어 고회전, 고부하로 갈수록 미연 탄화수소의 배출량이 큼을 알 수 있으나 바이오디젤유를 사용하면 탄화수소 배출량을 크게 감소됨을 알 수 있다.

이는 바이오디젤유가 연료 자체에 포함된 산소성분 때문에 경유의 경우보다 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

Fig. 3-30과 3-31은 무부하(load 0%)와 전부하상태(load 100%)에서 기관 회전속도를 변화시켰을 때 각각의 개별탄화수소에 대한 미연탄화수소 배출특성을 나타내고 있다. Fig. 3-30은 무부하 상태의 경우로서, 저비등점 탄화수소는 바이오디젤유, 혼합연료의 경우와 경유의 경우가 큰 차이가 없었으며, 고비등점 탄화수소는 전반적으로 바이오디젤유의 경우가 낮게 나타나며, 특히 고회전으로 갈수록 경유의 경우가 약간 증가하는 추세를 보이고 있다.

Fig. 3-31은 전부하상태의 경우로서, 바이오디젤유를 사용한 경우가 전체 탄화수소량이 현저하게 감소하는 추세를 보이고 있다. 2500rpm의 회전속도에서 경유의 경우와 바이오디젤유를 20%만 혼합한 경우를 살펴보면, C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub> 가 13~19%가 저감되고 있음을 알 수 있으며, 순수 바이오디젤유를 적용한 경우에는 28.5~58.6%가 저감하고 있음을 알 수 있다.

여기서 3장 2절에서 언급한 직접분사식 연소실의 결과(Fig. 3-17과 Fig. 3-18)와 와류실식 연소실의 결과(Fig. 3-30과 Fig. 3-31)를 비교할 때 직접분사식 연소실의 경우가 와류실식 연소실의 경우보다 미연 탄화수소 저감율이 현저하여 매연 저감에도 효과적임을 알 수 있다.

이는 디젤기관의 특성상 공기이용율이 부족한 전부하 상태에서는 경유를 연료로 사용한 경우에 전 범위에 걸쳐서 탄화수소가 산화되지 못하고 그대로 배출됨에 따라 바이오디젤유나 혼합연료를 사용한 경우보다 훨씬 더 많은 매연을 생성·배출하는 것으로 생각된다. 즉, 저부하시에는 생성된 매연이 연소실내에 잔존해 있는 충분한 산소성분으로 말미암아 85% 이상이 산화·소멸되지만, 고부하시에는 매연의 생성이 비교적 늦게 일어나고 산소 농도 또한 낮기 때문에 충분한 산화속도에 도달하지 못하여 매연의 배출량이 증가하는 것으로 생각된다.

따라서, 바이오디젤유를 20%정도만 혼합하여 연료 조성 성분에 약간의 변화를 주어 기관에 공급된다면, 연료 내에 함유된 산소성분이 저부하시는 물론, 매연생성이 급격하게 증가하는 고부하시에 매연의 배출량을 크게 억제할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 3-32는 기관 회전속도 2000rpm, 고부하에서 바이오디젤유의 혼합량에 따른 매연, NOx 및 제동에너지소비율의 특성을 나타낸 것이다. 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록, 매연은 전 부하에서 전체적으로 감소하는 특성을 보였으며, NOx는 거의 비슷한 양상을 나타내었고 제동에너지소비율은 약간 감소함을 알 수 있어 기관 출력을 고려하지 않는다면 바이오디젤유 100% 인 경우가 최적의 운전조건임을 알 수 있다. 그러나, 기관 출력을 고려한다면, Fig. 3-20에서 알 수 있는 것처럼 출력이 상대적으로 높게 나타나는 바이오디젤유 20%가 실용화를 위한 최적의 운전조건으로 고려해 볼 수 있다.

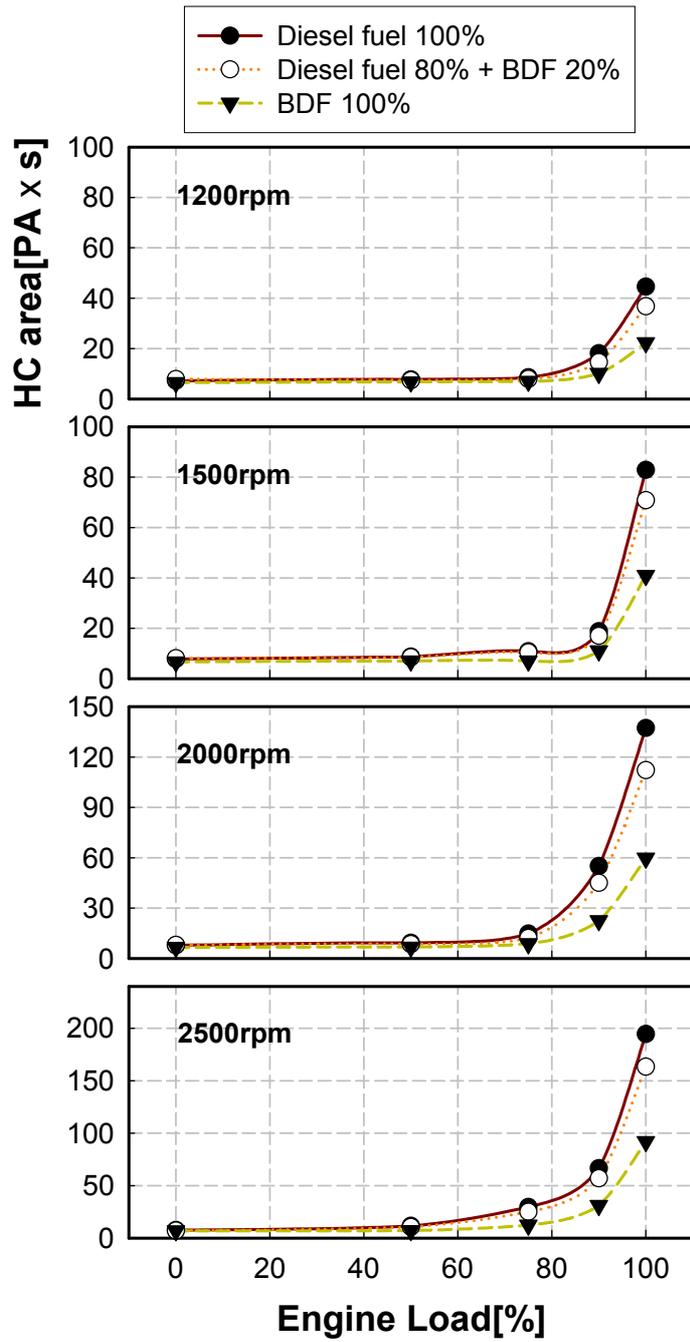


Fig. 3-29 Total area of hydrocarbon versus engine load at various engine speed

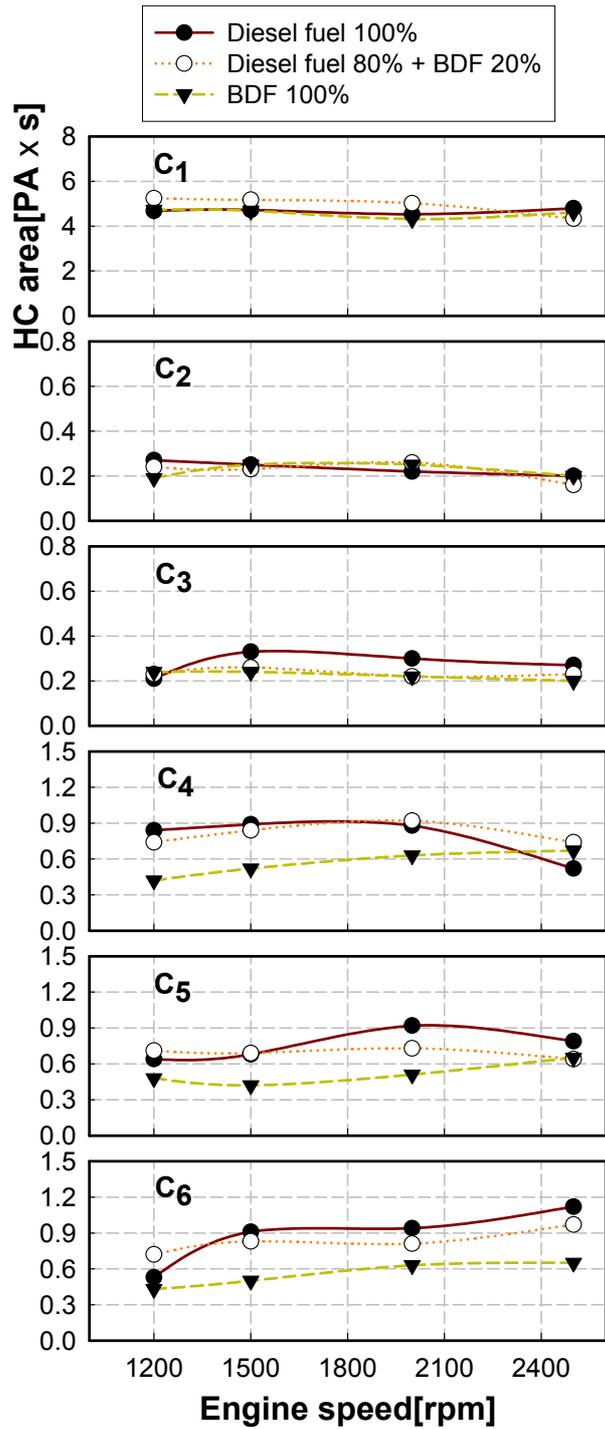


Fig. 3-30 Area of each hydrocarbon versus engine speed at engine load 0%

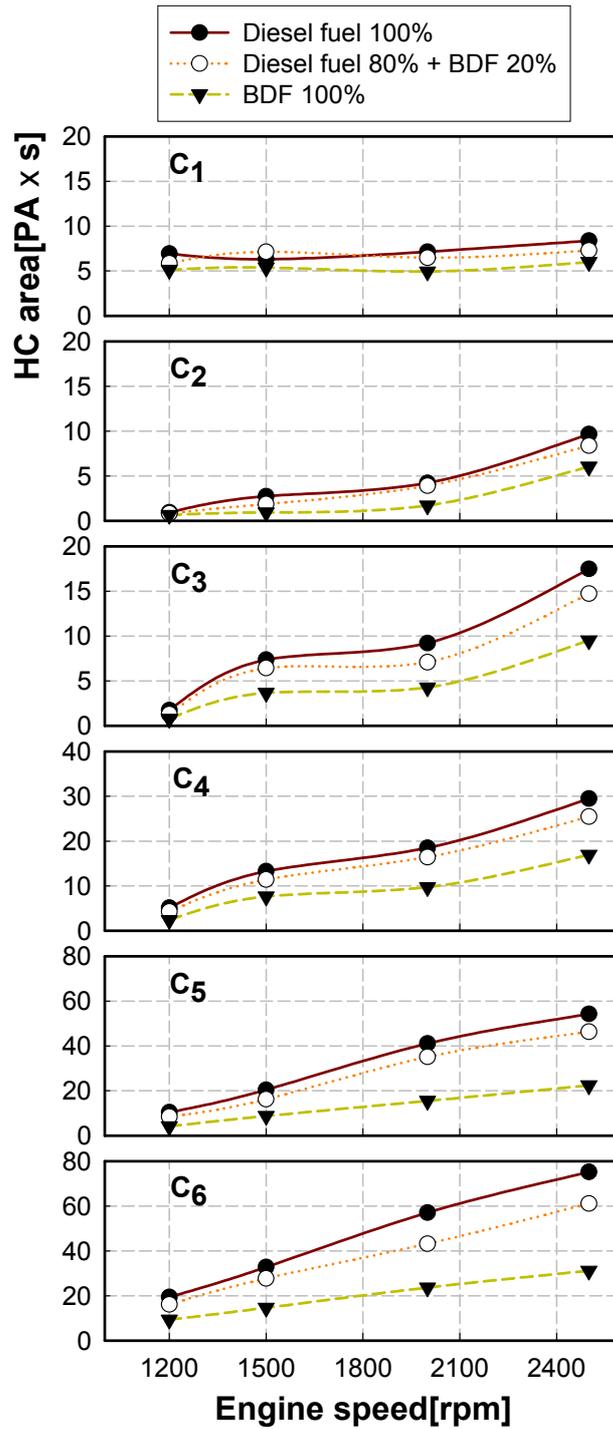


Fig. 3-31 Area of each hydrocarbon versus engine speed at engine load 100%

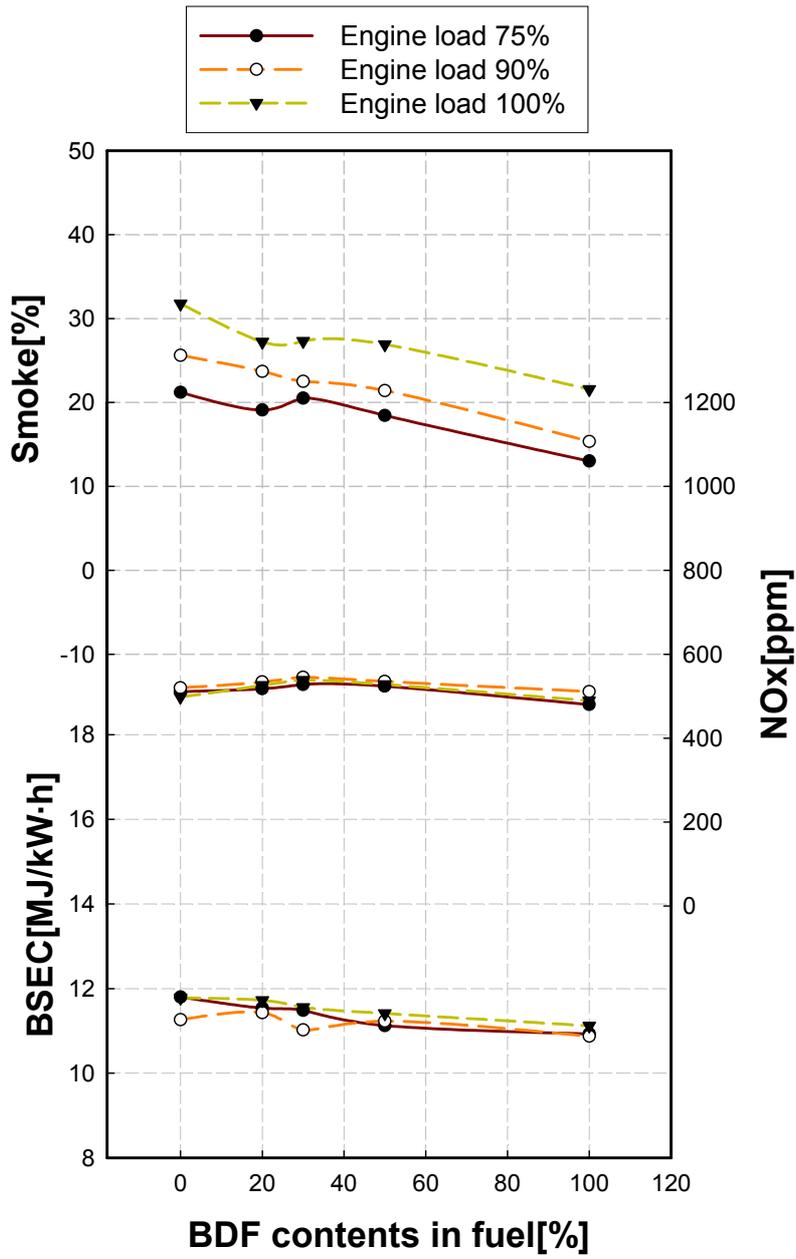


Fig. 3-32 Smoke, NOx, and BSEC versus biodiesel fuel content in fuel at 4 cylinder engine

## 제4절 결 론

농업용 디젤기관의 대체연료로 바이오디젤유의 기관 적용 평가를 위하여 단기통(직접 분사식) 디젤기관인 경운기 엔진과 다기통(간접분사식 : 와류실식) 디젤기관인 트랙터 엔진을 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 기관 공히 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유를 사용한 경우보다 기관 출력 및 토크는 약간 감소하나, 제동에너지소비율은 전 영역에 걸쳐서 거의 비슷하거나 약간 개선되었다.

2. 매연의 배출특성은 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유를 사용한 경우보다 두 기관에서 공히 현저히 저감되었다. 전체적인 경향에서는 직접분사식(단기통 기관)인 경우는 기관부하가 증가할수록, 기관회전수가 증가할수록 매연 저감폭이 증가하였으나, 와류실식(다기통 기관)의 경우는 기관부하가 증가할수록 매연 저감폭이 증가하였으며 기관회전수가 증가할수록 매연 저감폭은 비슷하였으나 절대적인 매연량은 약간 감소하였다. 이는 연소실의 특성으로 사료된다.

3. 미연 탄화수소 분석결과, 직접분사식 연소실의 경우가 와류실식 연소실의 경우보다 미연 탄화수소의 생성량이 현저히 저하되어 매연이 저감됨을 알 수 있었다.

4. NO<sub>x</sub>의 배출 특성은 직접분사식의 경우는 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록, 기관부하가 증가할수록 증가하였으나, EGR 방법을 사용함으로써 저감시킬 수 있었다. 또한, 와류실식(단기통) 기관의 경우에는 바이오디젤유의 혼합량에 관계없이 NO<sub>x</sub>의 배출 특성은 거의 유사하였다.

5. 바이오디젤유의 농도에 따른 기관성능 및 배기가스 배출특성은 바이오디젤유 20%를 경유 80%와 혼합(BDF 20)하여 사용할 때가 단기통 기관과 다기통 기관의 출력을 저감시키지 않으면서도 배기배출물을 효과적으로 저감시킴을 알 수 있었다.

이와 같은 것을 종합하여 볼 때, 바이오디젤유는 농업용 디젤기관의 대체연료로 사용하는데 있어서 기관 성능은 물론, 배기가스 배출 특성도 경유의 경우보다 우수하다는 것을 실험적으로 입증하였다. 따라서, 본 실험에 사용한 바이오디젤유는 농업용 디젤기관의 대체연료로서 충분히 이용할 수 있음을 확인하였다.

그러나, 본 실험을 통하여 바이오디젤유가 단기간의 기관 실험에서는 우수한 특성을 갖고 있는 것으로 나타났으나, 농업용 디젤기관에 대한 실제적인 실용화를 위해서는 장기간 운행시의 문제점으로 예상되는 윤활유 특성, 노즐의 막힘, 냉시동 특성, 기관의 마모 등과 같은 종합적인 내구성 평가가 필요하여 그 결과를 4장에서 언급하기로 한다.

## 제 4 장 바이오디젤유에 대한 기관 내구성 평가

### 제1절 서언

1차년도 연구 결과 바이오디젤유를 사용하기 위한 최적의 혼합율이 경유 80%와 바이오디젤유 20%임을 확인하였다. 본 장에서는 2차년도 연구로서 바이오디젤유에 대한 기관 내구 성능을 평가함으로써 바이오디젤유가 농업용 디젤기관의 대체연료로서 실용화 가능성을 확고히 하고자 한다. 일반적으로 단기간 운행시에는 발생하지 않았던 문제들이 장기간 운행할 경우 노즐 선단부 및 흡·배기 밸브 등에 발생할 수 있는데, 장기간의 내구성 실험을 통하여 바이오디젤유를 상용화시켰을 경우에 대두되는 문제점을 파악하고 그 해결 방안을 강구하고자 하였다.

본 연구를 완성하기 위하여 일차적으로는 실험실내에서 실험용 기관을 엔진 동력계에 장착하여 일정한 부하 조건하에서 바이오디젤유로 장시간 운전할 경우 기관에 미치는 영향을 파악하고, 2차적으로는 실제 운행되고 있는 농업용 기계에 바이오디젤유를 적용하여 농사철(3월부터 6월까지) 농작업시에 운행함으로써 실제 사용시의 문제점을 고찰하고자 하였다.

#### 1. 실험 장치 및 연료

일차적으로 진행된 실험실내에서 동력계에 의한 내구성 실험에 사용된 기관은 1차 년도에서 사용한 단기통, 직접분사식, 디젤기관과 4기통, 간접분사식, 디젤기관을 이용하였으며 주요 사양은 Table 3-1에 나타내었다. 실험 연료는 1차 년도에서 수행한 결과를 토대로 바이오디젤유 20%와 경유 80%를 체적비율로 혼합한 연료(이하 BDF 20)를 사용하였다. 실험에 사용된 연료의 성분 및 특성은 Table 3-4에 나타내었다.

실제 농작업을 수행하는 농기계에 대한 2차 내구성 평가실험에는 농기계 차량으로 배기량이 673cc의 단기통, 수냉, 직접분사식 디젤기관을 장착한 경운기와 배기량이 2197cc인 4기통, 수냉, 와류실식 디젤기관을 장착한 트랙터(D4351)를 임차하여 이용하였다. Table 4-1은 농기계 차량의 사양을 나타낸 것이다.

Table 4-1 Specifications of durability test vehicles

	경운기	트랙터
농기계명	대동	대동 D4351-4WD1
출고년도	2000	1999
차량 총중량 (kg)	383	1828
최대출력 (PS/rpm)	13/2400	43/2600
정격출력 (PS/rpm)	10/2200	-
배기량(cc)	673	2197
실린더 수	1	4
연소실 타입	직접분사식	와류실식
운영 목적	농작업	농작업

## 2. 실험 방법

실험실내에서 진행된 내구성 실험은 엔진 동력계에 장착된 단기통 직접분사식 디젤기관(ND130)과 다기통 간접분사식 디젤기관(TD1700)에 BDF 20을 주유하여 워밍업이 끝난 상태에서 기관의 최대 토오크가 발생하는 기관회전속도 1900rpm과 1800rpm에서 90% 부하로 1일에 10시간씩 30일간 각각 300시간 동안 운전하였다. 각종 기관 성능 변수 및 배기 배출물은 1시간 간격으로 취득하여 운전시간에 따른 기관 특성변화를 모니터링 하였으며, 실험시의 냉각수 온도는  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하였다.

대체연료를 사용할 경우 대체연료에 대한 연소변동 특성을 파악하기 위해, 실린더의 연소 압력을 1회 측정시 200사이클을 취득하여 그 평균값을 얻음으로써 실린더내 최고 연소압력, 최대 압력상승률, 최고 연소압력이 발생하는 크랭크 각도, 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크 각도를 계산하여 연소 변동을 해석하였다.

또한, BDF 20으로 장시간 운전할 경우 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub>는 전기화학적셀 방식의 배기가스분석기(Greenline MK 2)를

이용하여 측정하였으며, 배기가스 분석기 샘플링 중간에 필터를 장착하고 매연 입자를 여과한 후 측정하였고, 실험시간의 진행에 따라 새로운 필터로 교체하여 샘플링 값의 측정오차를 줄였다. 또한, 매연은 배기다기관으로부터 300mm 하류에 설치된 Bosch 타입의 매연측정기를 이용하여 1시간 간격으로 3회 반복 측정하여 최대 값과 최소 값의 편차가  $\pm 5\%$  이상 나타나지 않았을 때 그 평균값을 매연 농도로 정하였다.

실험실에서 내구 시험이 완료된 후 기관을 분해하여 노즐 선단부, 연소실 주변인 실린더 헤드, 피스톤 헤드, 흡·배기 밸브 등의 카본 부착 상태를 조사하였으며, 윤활유도 수거하여 석유품질검사소에 분석·의뢰하였다.

실제 운행되고 있는 농기계차량에 대한 내구성 시험은 봄 농사철에 주로 이루어지는 논갈이, 씨레작업 등의 실제 작업시에 경운기와 트랙터에 BDF 20을 적용하여 운행함으로써 BDF 20에 대한 기관의 내구특성을 고찰하였다. 특히, 농사철 농기계 작업이 완료한 후 기관을 분해한 후, 기관내부의 부품에 대한 평가를 농기계수리 전문가와 함께 살펴봄으로써 기관 부품에 대한 바이오디젤유의 영향을 평가하였다.

## 제2절 단기통 기관의 내구 특성

### 1. 기관의 연소 특성과 제동연료소비율

디젤기관에 대체연료를 적용할 경우 기관의 출력을 결정하는 연소 압력에 대한 평가는 매우 중요하다. 특히, 연소압력의 최대 값, 최고 연소압력이 발생하는 크랭크 각도, 최대 압력상승율 및 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크 각도의 고찰은 얼마나 연소가 안정적으로 이루어졌는지를 평가하는 척도로 사용된다.

Fig. 4-1은 1900rpm, 90%부하에서 BDF 20을 사용할 경우 연소변동특성을 파악하기 위하여 운전시간에 따른 연소실내 최고압력의 변화율을 나타낸 것이다. 최고 연소압력이 300시간 이상 BDF 20으로 운전하여도 오차한계가 0.0663으로 내구성실험 초기시의 압력과 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 4-2는 Fig. 4-1과 동일한 조건에서 운전시간에 따른 최고 연소압력이 발생할 때

의 크랭크각도를 나타낸 것으로, BDF 20으로 운전하여도 최고 연소압력이 발생하는 크랭크각도에 대한 오차한계가 0.0317로 실험 초기와 거의 동일하게 나타났다.

Fig. 4-3과 Fig. 4-4는 Fig. 4-1과 동일한 조건에서 취득한 압력에 대한 최대 압력상승율 값과 최대 압력상승율이 발생한 크랭크 각도를 운전시간에 따라 각각 나타낸 것이다. Fig. 4-3으로부터 최대 압력상승율에 대한 표준편차와 오차한계가 0.2402와 0.0137로 나타났으며, Fig. 4-4로부터 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크 각에 대한 표준편차와 오차한계는 각각 0.5115과 0.0292로 나타났다.

이는 대체연료를 사용할 경우의 연소특성을 살펴볼 수 있는 연소변동인자인 최고 연소압력, 최대 압력상승율, 최고 연소압력이 발생하는 크랭크 각, 그리고 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크 각의 표준편차와 오차한계가 매우 작아서 디젤기관의 연료로 BDF 20을 장시간 사용하여도 특별한 연소 변동없이 매우 안정적인 연소특성을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4-5는 1900rpm, 90%부하로 BDF 20을 사용하여 운전할 경우 운전시간에 따른 제동연료소비율을 BDF 20으로 운전하기 전에 경유만을 사용한 경우에 얻은 데이터와 비교하여 나타낸 것이다. 경유만을 사용한 경우보다 BDF 20의 제동연료소비율이 약간 더 높게 나타났으나 운전시간이 증가함에 따라 약간씩 제동연료소비율이 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 Table 3-4에서 알 수 있는 것처럼 BDF 20의 발열량이 경유만의 것보다 약간 작기 때문에 제동연료소비율이 약간 높게 나타났으나 에너지소비율로 살펴보면 비슷하거나 오히려 BDF 20이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 4-6은 Fig. 4-5에서 살펴본 제동연료소비율을 제동에너지소비율로 표현한 것으로, 에너지소비율로 표현한 경우에는 경유만을 사용한 경우보다 BDF 20을 사용한 경우가 비슷하거나 오히려 감소함을 알 수 있다.

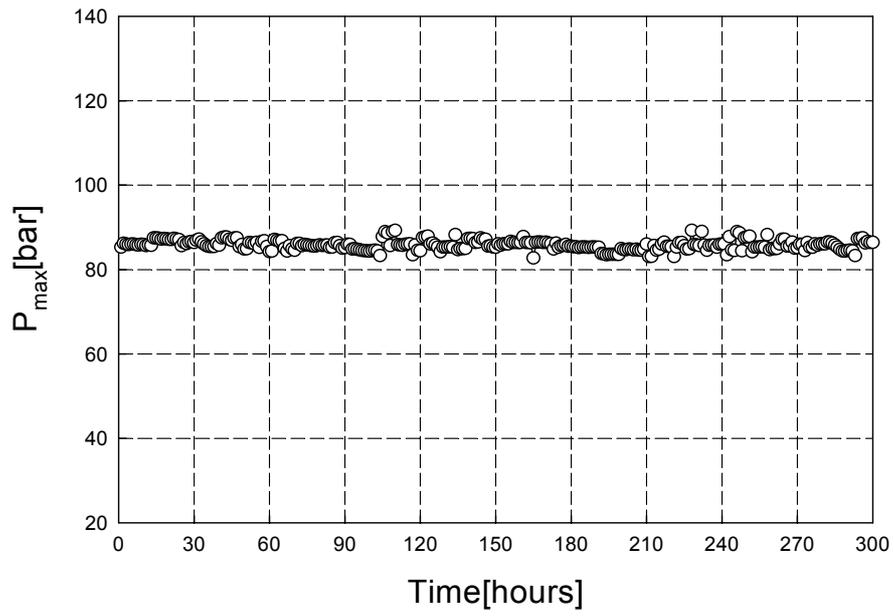


Fig. 4-1 Maximum pressure versus time variation with BDF 20

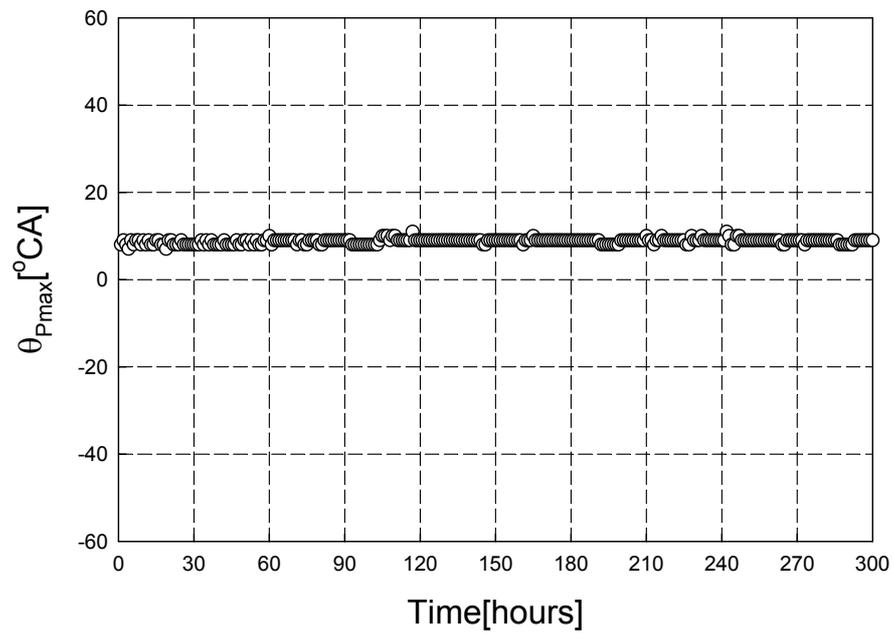


Fig. 4-2 Crank angle at maximum pressure versus time variation with BDF 20

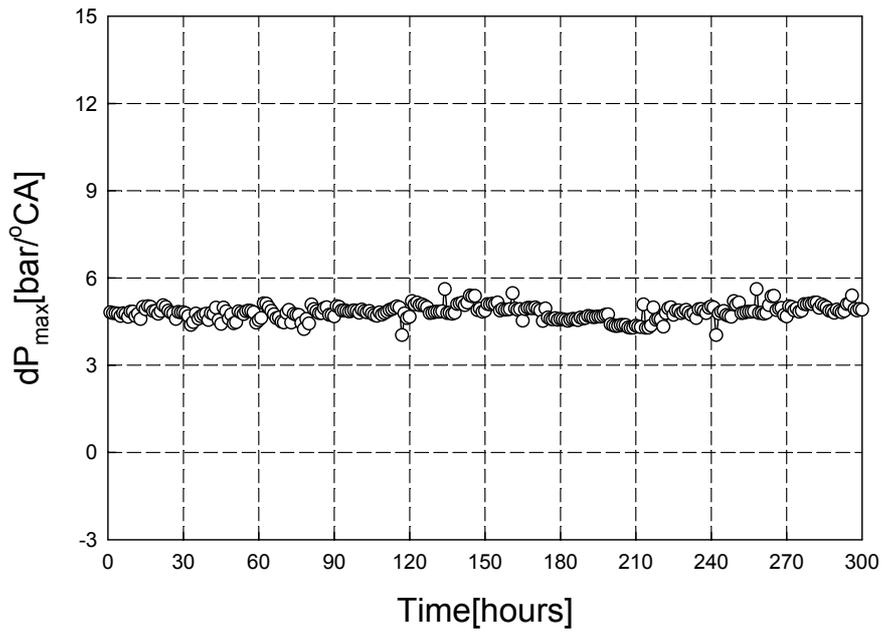


Fig. 4-3 Maximum pressure rise rate versus time variation with BDF 20

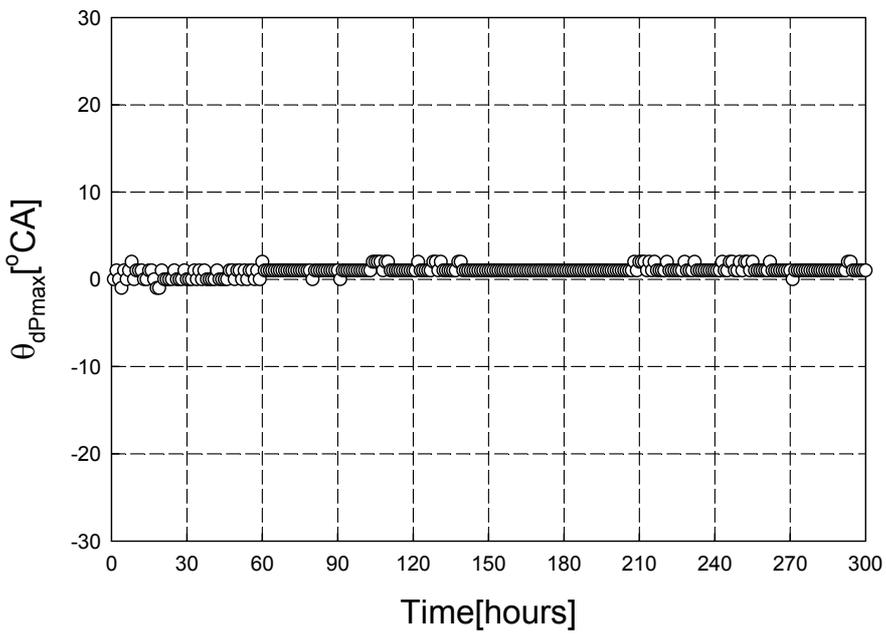


Fig. 4-4 Crank angle at maximum pressure rise rate versus time variation with BDF 20

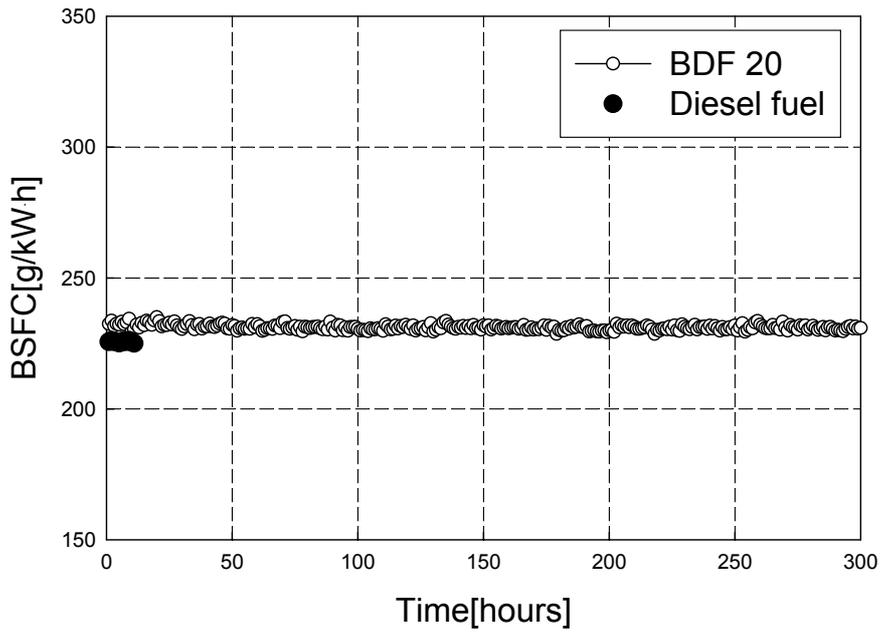


Fig. 4-5 BSFC versus time variation with BDF 20

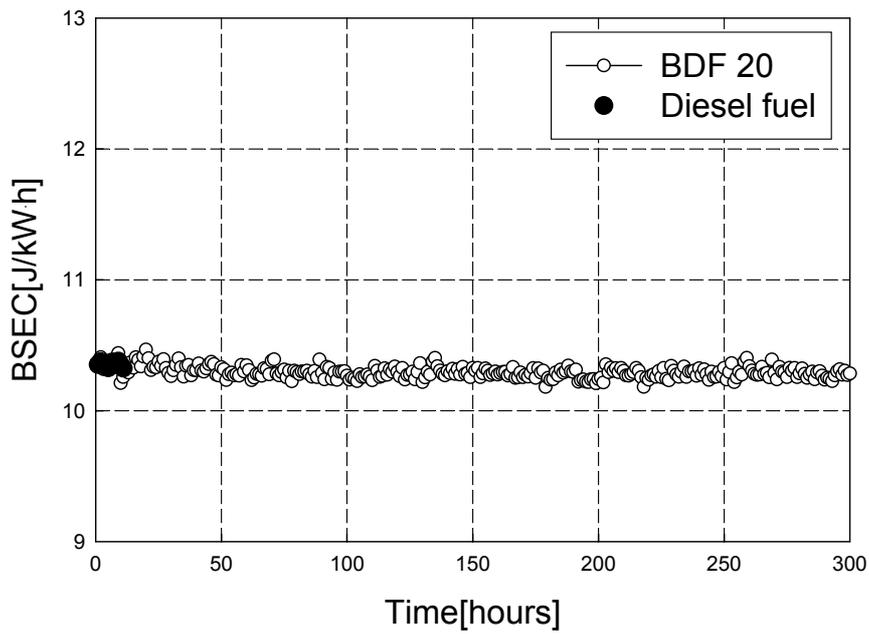


Fig. 4-6 BSEC versus time variation with BDF 20

## 2. 배기 배출물 특성

Fig. 4-7은 1900rpm, 90% 부하로 BDF 20을 사용하여 장시간 운전할 경우 운전시간에 따른 매연의 배출농도를 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 사용한 경우보다 BDF 20을 사용하였을 때 40% 정도의 매연이 저감하였으며, 운전시간이 증가함에 따라서 매연 농도가 특별한 변동없이 일정한 값으로 배출되는 특성을 나타내었다. 이는 BDF 20을 사용할 경우 연료속의 산소함량으로 인하여 연소가 활발히 촉진되어 매연의 농도를 경유만을 사용하는 경우보다 저감시킨 것으로 사료되며, BDF 20의 점도가 경유의 경우보다 약간 높지만 매연 배출농도의 변화가 없는 것으로 보아 장시간 운전시에도 연료분사기의 막힘이나 연료분무의 악화가 초래되지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 4-8은 Fig. 4-7과 동일한 조건에서 BDF 20을 사용한 경우 운전시간에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 나타낸 것이다. 운전 초기에는 BDF 20을 사용할 경우 경유만을 사용한 경우보다는 전체적으로 약간 더 높은 NO<sub>x</sub> 배출특성을 보였다.

Fig. 4-9는 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 배기다기관에서의 배기가스 온도를 나타낸 것이다. 경유만을 사용한 경우보다 BDF 20의 경우에 배기가스 온도가 더 낮게 나타났다. 이는 BDF 20이 함유한 산소의 영향으로 매연이 주로 생성되는 연소 후반부에 연소를 촉진시킴에 따라 전 연소기간을 짧게 하여 경유만을 사용한 경우보다 배기가스 온도가 낮게 나타난 것으로 생각되며, 이러한 결과로 Fig. 4-7에서 매연의 배출 농도가 작게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 4-10은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따라 배기 배출물 중 CO<sub>2</sub>의 배출 특성을 나타낸 것으로, BDF 20을 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 적게 나타났다. 이는 BDF 20의 탄소함유량이 경유의 경우보다 작기 때문에 나타난 것으로 사료된다. 또한, 운전시간이 증가함에 따라 CO<sub>2</sub>의 배출 특성에 약간의 진폭은 있었으나 경유만을 사용하는 경우보다 저감하는 특성을 보여 BDF 20을 사용하는 것이 경유만을 사용한 경우보다 CO<sub>2</sub>의 배출량을 감소시킬 수 있어 지구온난화현상 방지에도 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 4-11은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간의 변화에 따른 O<sub>2</sub>의 배출 특성을 나타낸 것이다. BDF 20속에 함유한 산소의 영향을 배기가스내의 잔존 산소함유량도 경유만을 사용하는 경우보다 더 크게 나타남을 알 수 있고, 운전시간의 증가에 따라 특별한 변동없이 경유만을 사용하는 경우보다 비슷하거나 증가하는 특성을 보였다.

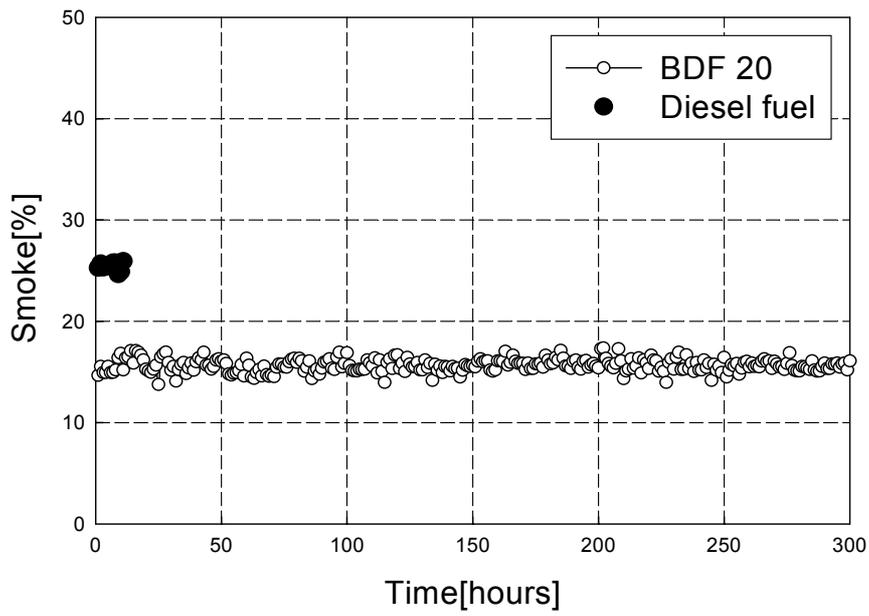


Fig. 4-7 Smoke versus time variation with BDF 20

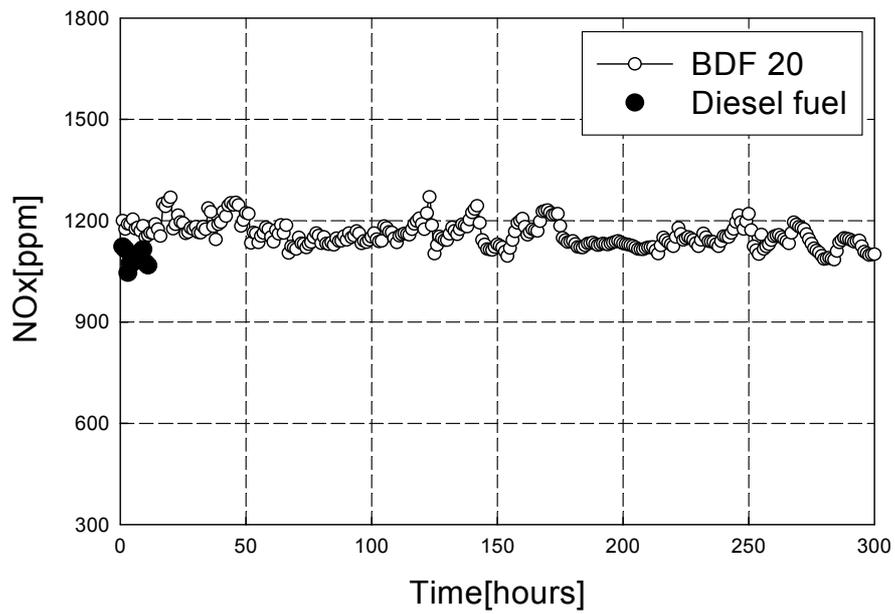


Fig. 4-8 NOx versus time variation with BDF 20

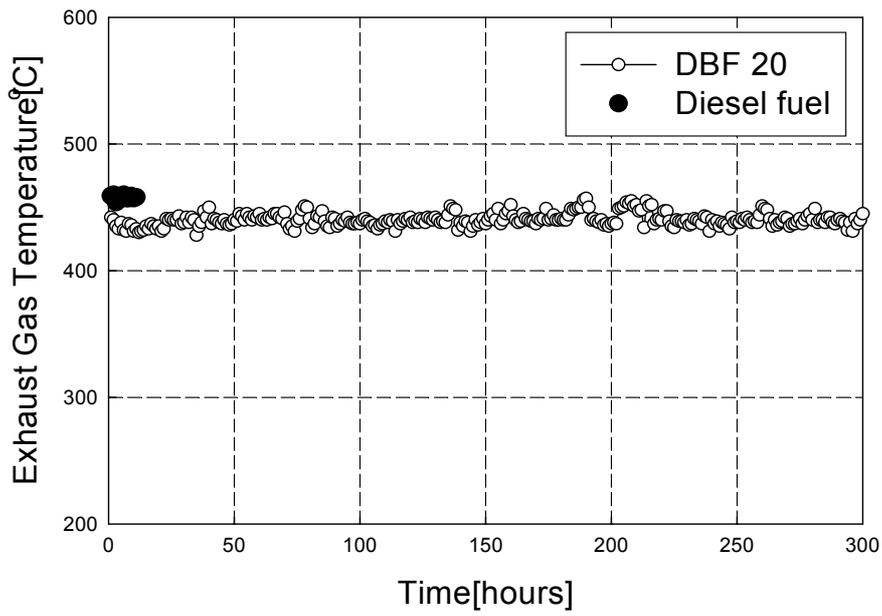


Fig. 4-9 Exhaust gas temperature versus time variation with BDF 20

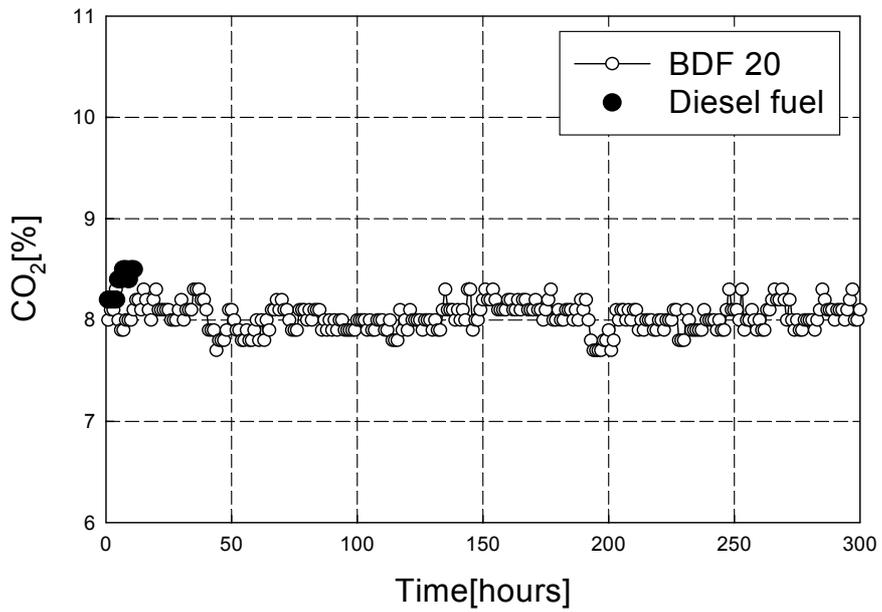


Fig. 4-10 CO<sub>2</sub> versus time variation with BDF 20

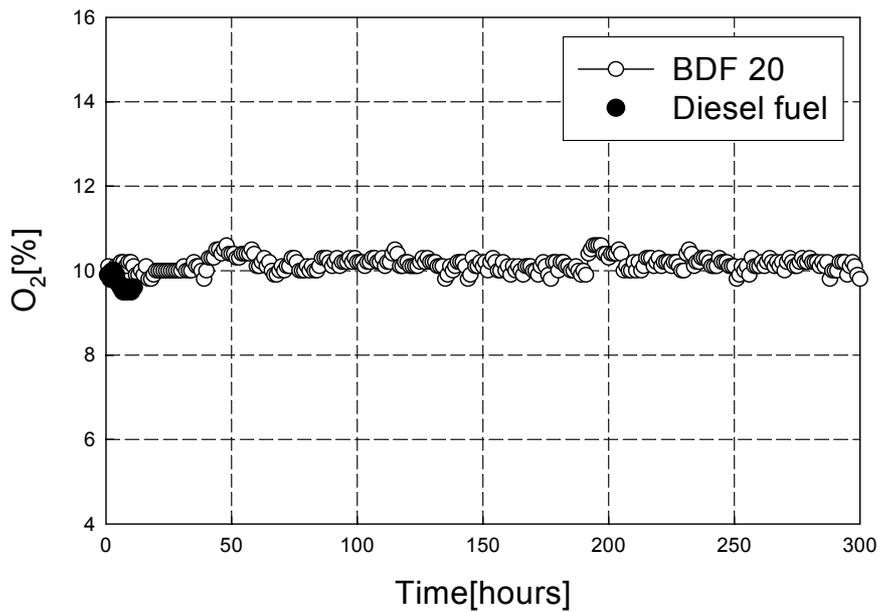


Fig. 4-11 O<sub>2</sub> versus time variation with BDF 20

### 3. 윤활유 특성 및 기관 부품의 변화

Fig. 4-12는 연료유의 윤활성 평가 시험기로 바이오디젤유의 윤활성을 실험한 결과로 경유에 대한 바이오디젤유의 혼합 농도에 따른 마모 흠 직경(wear scar diameter)을 나타낸 것이다. 국내의 경유에 대한 마모 흠 직경은 유럽의 기준치보다 작게 나타났으며, 디젤유에 대한 바이오디젤유의 혼합농도가 커짐에 따라 마모 흠 직경도 작아짐을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 윤활성이 양호하기 때문에 마모를 저감시킨 것으로, 바이오디젤유를 경유에 첨가하는 경우 마찰 손실이 저감됨을 알 수 있다.

Table 4-2는 바이오디젤유가 윤활유에 미치는 영향을 파악하기 위하여 BDF 20으로 300시간동안 운전한 후 윤활유를 샘플링하여 윤활유의 특성을 한국석유품질검사소에 의뢰하여 분석한 것이다. 동급의 육상 내연기관용 윤활유의 품질기관과 비교하여 보았을 때, 300시간 동안 운전한 이후의 윤활유의 품질은 100% 만족하는 수치를 보였으며, 유동점을

비롯한 산화안정도가 매우 양호하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 Fig. 4-11에서 살펴본 바와 같이 높은 윤활성을 갖고 있는 바이오디젤유로 인하여 윤활유의 악화가 방지되었기 때문으로 생각된다.

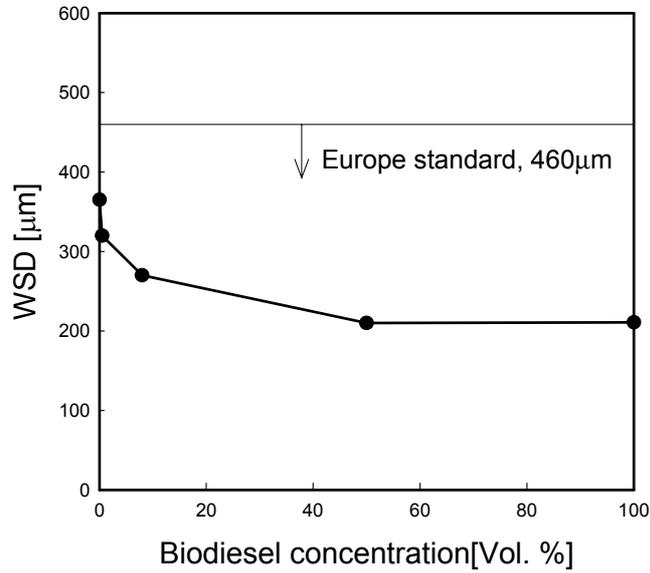


Fig. 4-12 Wear scar diameter versus biodiesel concentration

Table 4-2 Properties of engine oil sample(1 cylinder diesel engine)<sup>(61)</sup>

Item		Test results <sup>(58)</sup>	Standard
Water content(Vol.%)		< 0.05	-
Flash point(COC, °C)		252	> 180
Kinematic viscosity (cSt)	40°C	83.43	-
	100°C	11.62	> 5.6
Viscosity index		131	> 85
Oxidation stability	Viscosity ratio	1.02	< 1.5
	Lacquer	No detect	< thin
Apparent viscosity (-20°C, P)		4.65	< 45.0
Pour point(°C)		-37.5	< -22.5

Fig. 4-13은 BDF 20로 30시간동안 운전한 후 기관의 부품 특성들을 파악하기 위하여 기관을 분해하여 촬영한 실린더와 실린더 헤드의 사진을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤을 비롯한 각 밸브들을 조사하여 본 결과, 연소실을 비롯한 밸브 등은 매우 깨끗하였으며 기관의 마모나 카본 퇴적과 같은 현상을 발견하지 못했다.

Fig. 4-14는 BDF 20으로 장시간 운전한 후 연료분사기의 상태를 파악하기 위하여 연료의 분사기를 분해하여 연료 배출구멍이 위치한 연료분사기의 상단부를 50배 확대하여 찍은 사진들이다. 간접분사식 연료분사기인 쓰로틀형 인젝터와는 다르게 구멍형 인젝터를 사용하는 직접분사식 디젤기관에서는 경유만을 사용한 경우와 마찬가지로 BDF 20을 사용한 경우에도 그림에서처럼 연료 배출 구멍 주위로 카본이 부착되어 있는 것을 알 수 있었으나, 분무의 미립화에 영향을 주어 기관 성능 및 배기 배출물에 악영향을 줄 정도로 연료 배출구멍의 막힘 현상 등은 발생하지 않은 것으로 사료된다.

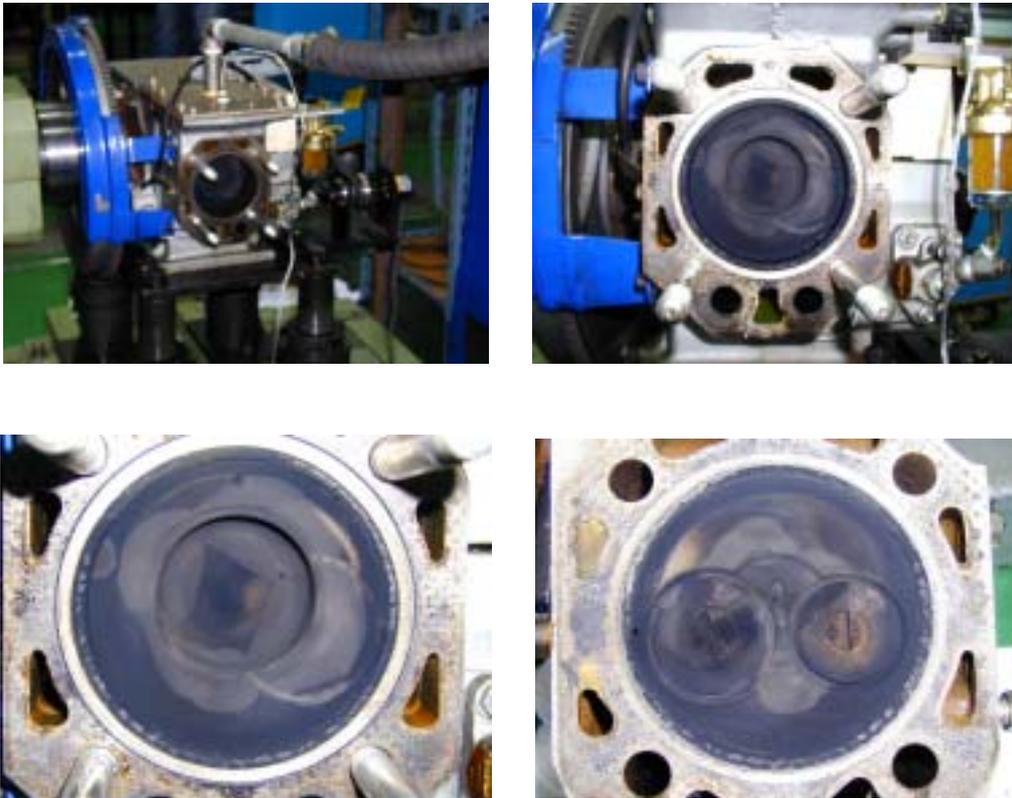


Fig. 4-13 Photography of engine parts after tear-down

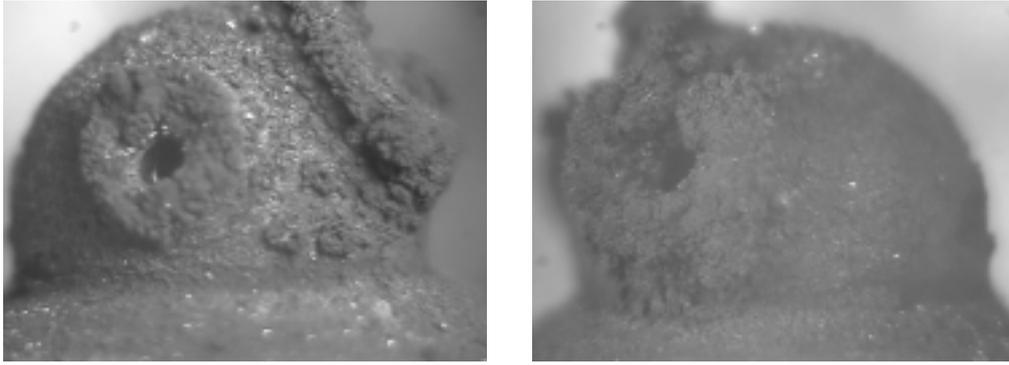


Fig. 4-14 Photography of fuel injector tip

### 제3절 대기통 기관의 내구 특성

#### 1. 기관의 연소 특성과 제동연료소비율

본 절에서는 2절에서 시험한 단기통, 직접분사식, 디젤기관의 경우와 마찬가지로 4기통, 간접분사식, 디젤기관에서 BDF 20으로 300시간 동안 운전하였을 경우에 연소변동 특성과 제동연료소비율이 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

Fig. 4-15와 Fig. 4-16은 1800rpm, 90%부하에서 BDF 20을 사용할 경우 연소변동특성을 파악하기 위하여 운전시간에 따른 연소실내 최고 연소압력과 최대 압력상승율의 변화율을 나타낸 것이다. 최고 연소압력이 내구성실험 초기시의 압력과 300시간정도 BDF 20으로 운전하여도 거의 비슷하며, 최대 압력상승율도 표준편차 0.888과 표준오차 0.0005로 거의 동일한 값으로 일정하게 나타나 특별한 연소변동이 나타나지 않았다.

Fig. 4-17과 Fig. 4-18은 Fig. Fig. 4-15와 동일한 조건에서 운전시간에 따른 최고 연소압력이 발생할 때의 크랭크각도와 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크각도를 나타낸 것으로, BDF 20으로 운전하여도 최고 연소압력이 발생하는 크랭크 각에 대한 표준오차 0.0618로 나타났으며, 최대 압력상승율에 대한 크랭크각도도 표준 오차가 0.1242로 나타남을 알 수 있어 실험 초기시와 거의 동일한 연소특성을 나타냈다.

이처럼 연소변동인자로 살펴볼 수 있는 최고 연소압력, 최대 압력상승율, 그리고 최고 연소압력이 발생하는 크랭크 각의 변화가 BDF 20으로 300시간이상 운전하여도 특별한 변동없이 안정적으로 일정하게 나타난다는 것은 BDF 20이 농업용 간접분사식 디젤기관에 장기간 사용되어도 이상이 없음을 의미한다.

Fig. 4-19는 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 제동연료소비율을 나타낸 것으로, 실험 초기에는 경유만을 사용한 경우와 비슷한 특성을 보였으나 시간이 지나면서 약간씩 감소하는 특성을 보였다. 이는 Table 3-4에서 살펴본 것처럼 BDF 20의 발열량이 경유만의 것보다 작음에도 불구하고 바이오디젤유가 함유하고 있는 산소함량으로 인하여 완전 연소가 촉진되어 Fig. 4-12에서 알 수 있듯이 유효성이 향상되어 기관성능을 향상시킴으로써 제동연료소비율이 감소한 것으로 생각된다. 또한, 장시간 동안 BDF 20으로 운전하여도 제동연료소비율은 악화되지 않았으며, 특별한 변동없이 실험 초기와 비슷한 결과를 나타내었다. 또한, 직접분사식 연소실인 경우에서의 연료소비율 결과(Fig. 4-5)와 와류실식 연소실인 경우에서의 연료소비율 결과(Fig. 4-19)를 비교해 보면, 연료의 발열량 차이가 연료소비율에 미치는 영향이 직접분사식 연소실의 경우가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

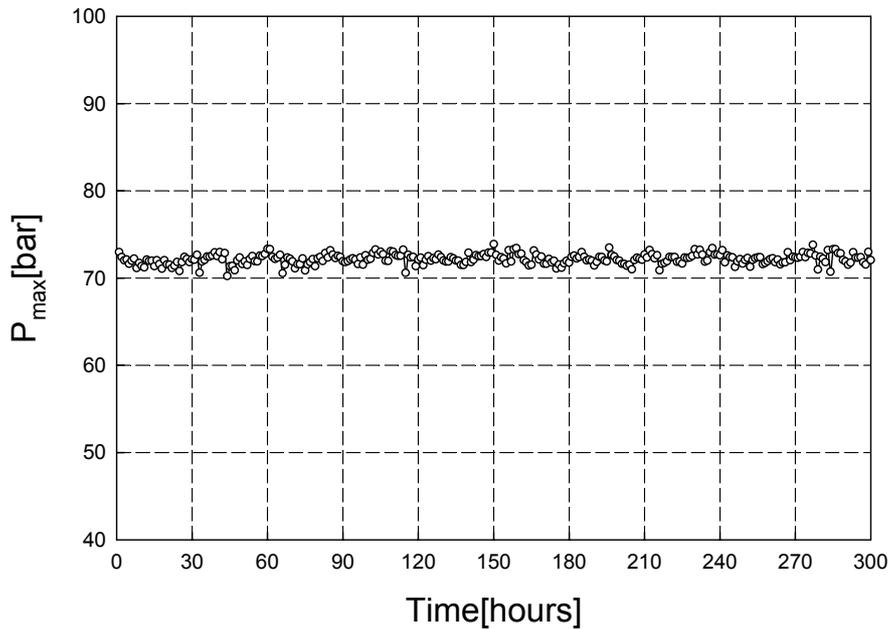


Fig. 4-15 Maximum pressure versus time variation with BDF 20

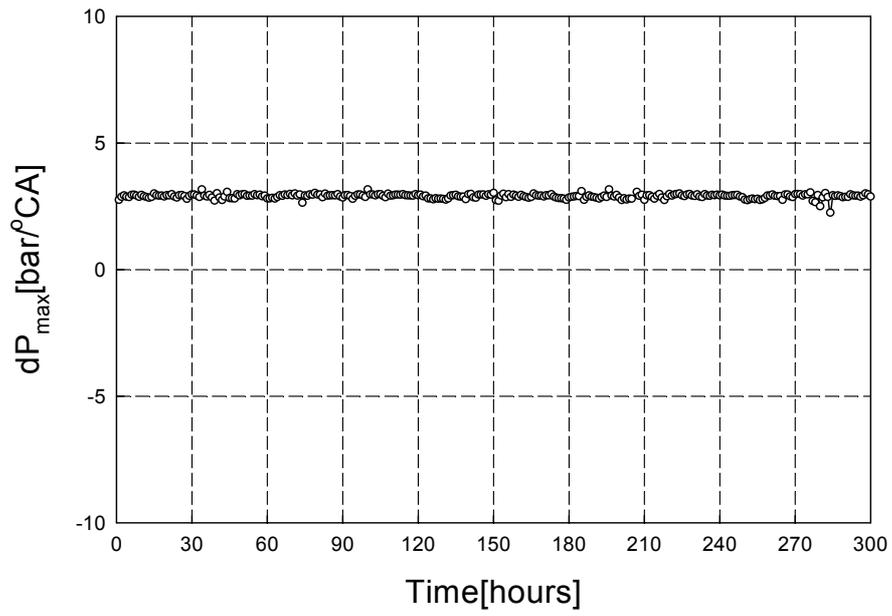


Fig. 4-16 Maximum pressure rise rate versus time variation with BDF 20

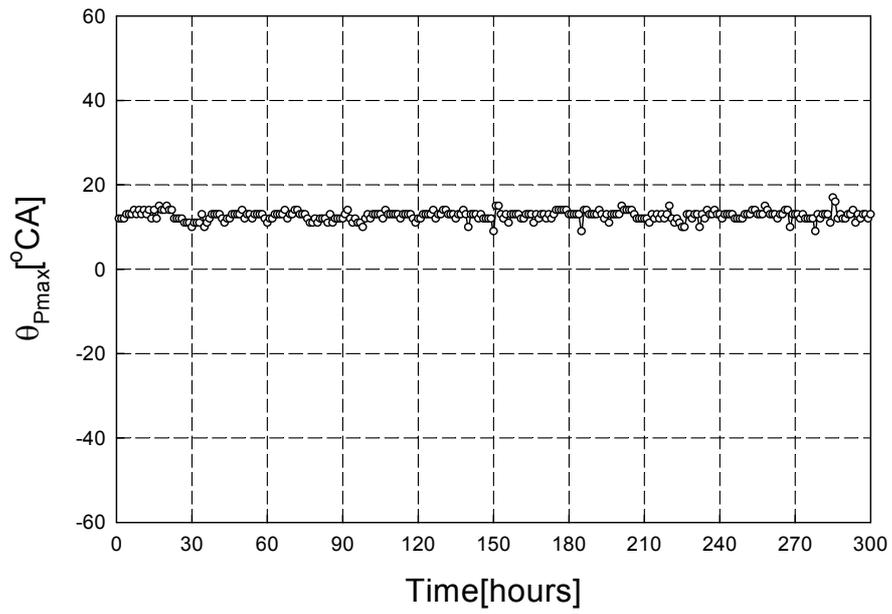


Fig. 4-17 Crank angle at maximum pressure versus time variation with BDF 20

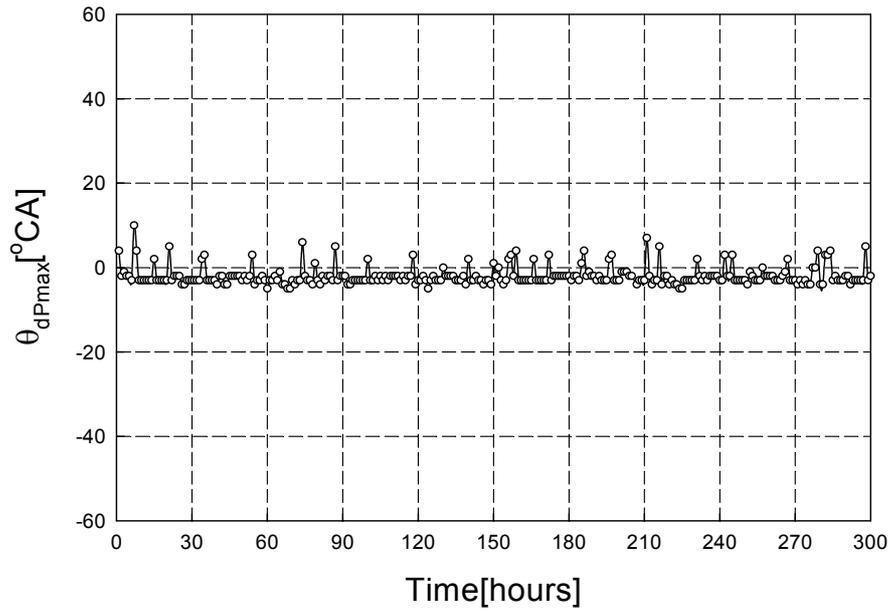


Fig. 4-18 Crank angle at maximum pressure rise rate versus time variation with BDF 20

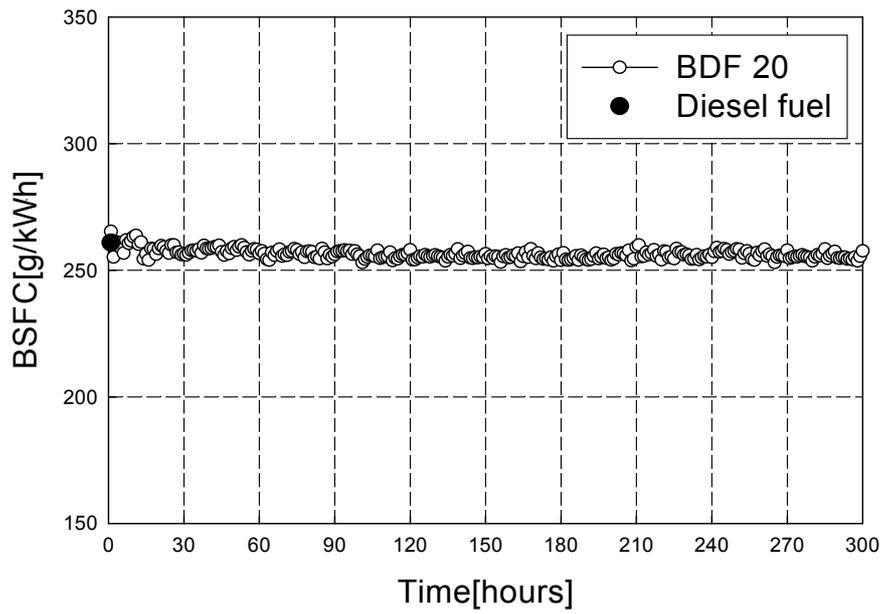


Fig. 4-19 BSFC versus time variation with BDF 20

## 2. 배기 배출물 특성

Fig. 4-20은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 매연의 배출농도를 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 사용한 경우보다 매연농도가 작게 나타남을 알 수 있으며, 장시간 BDF 20을 사용하여 운전하여도 매연 농도는 변화하지 않았다. 이는 BDF 20을 사용할 경우 연료속의 산소함량으로 인하여 활발한 연소가 촉진되어 매연의 농도를 경유만을 사용하는 경우보다 저감시킨 것으로 사료되며, BDF 20의 점도가 경유의 경우보다 약간 높지만 장시간 운전시에도 연료분사기의 막힘이나 연료분무의 악화를 초래하지 않은 것으로 사료된다.

Fig. 4-21은 BDF 20을 사용한 경우 운전시간에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출특성을 나타낸 것이다. BDF 20을 사용할 경우 경유만을 사용한 경우보다는 전체적으로 약간 더 높은 NO<sub>x</sub> 배출특성을 보였으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 이는 BDF 20의 산소함유량에 의해 나타난 활발한 연소로 NO<sub>x</sub>의 생성이 촉진되었기 때문으로 생각되나, 실험에 사용된 기관이 간접분사식 디젤기관이기 때문에 직접분사식 디젤기관처럼 매연과의 상반관계가 크게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 4-22는 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 CO의 배출 특성을 나타낸 것이다. 경유만을 사용한 경우보다 CO의 배출 값이 현저하게 저감되는 것을 알 수 있다. 이는 BDF 20가 경유만의 것보다 적은 탄소함유량을 갖고 있고 연소시 경유보다 더욱 활발한 연소로 완전연소를 하였기 때문으로 사료된다.

Fig. 4-23은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 배기 배출물 중 CO<sub>2</sub>의 배출 특성을 나타낸 것으로, 경유만을 사용한 경우보다 CO<sub>2</sub>의 배출량이 적게 나타남을 알 수 있다. 이는 BDF 20의 탄소함유량이 경유의 경우보다 작기 때문으로 사료된다. 또한, 장시간 BDF 20으로 운전하여도 CO<sub>2</sub> 배출 특성이 일정함을 알 수 있어 BDF 20을 사용하면 경유만을 사용한 경우보다 전체적인 CO<sub>2</sub>의 배출량을 감소시킬 수 있어 지구온난화현상 방지에 큰 역할을 할 것으로 생각된다.

Fig. 4-24는 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 O<sub>2</sub>의 배출 특성을 나타낸 것이다. BDF 20속에 함유한 산소의 영향으로 배기가스내의 잔존 산소함유량도 경유만을 사용하는 경우보다 더 크게 나타남을 알 수 있다.

이상과 같이 배기배출물 특성을 종합하여 보면, BDF 20을 사용할 경우 경유만을 사용한 경우보다 NO<sub>x</sub>를 제외한 다른 배기배출물들이 감소하고, 운전시간이 증가하여도 배기

배출물의 저감 특성에 변화가 나타나지 않음을 알 수 있어, BDF 20을 농업용 간접분사식 디젤기관에 장시간 사용하더라도 배기배출물은 일정한 양상을 가지고 배출함을 알 수 있다.

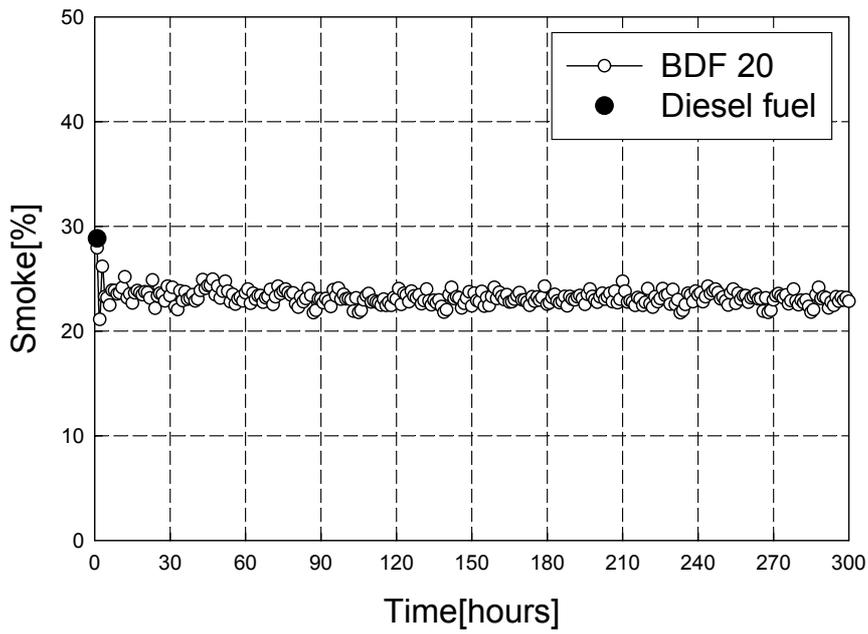


Fig. 4-20 Smoke versus time variation with BDF 20

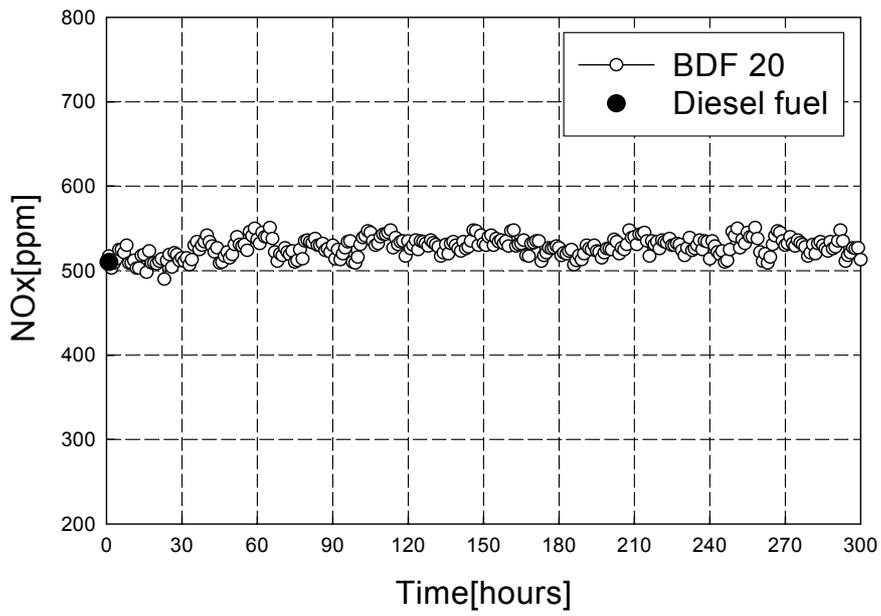


Fig. 4-21 NOx versus time variation with BDF 20

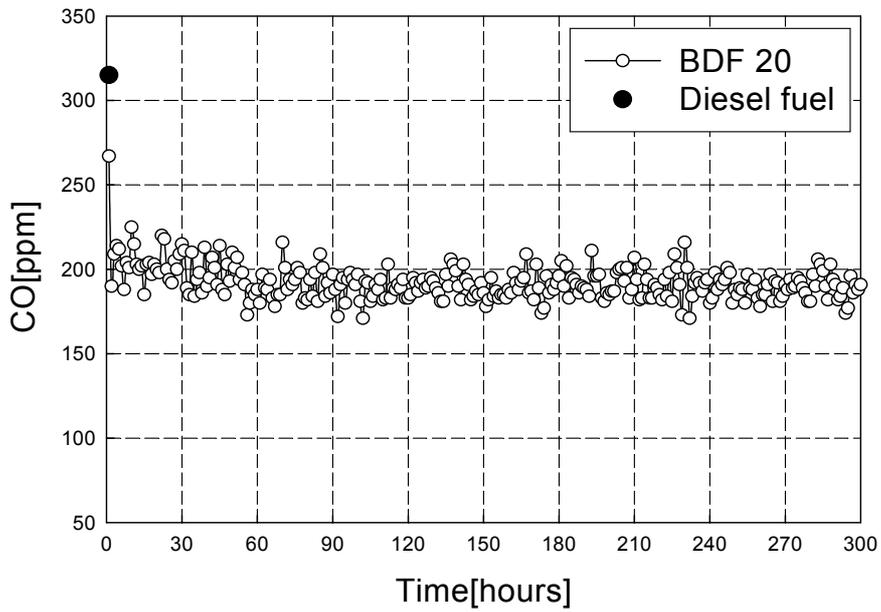


Fig. 4-22 CO versus time variation with BDF 20

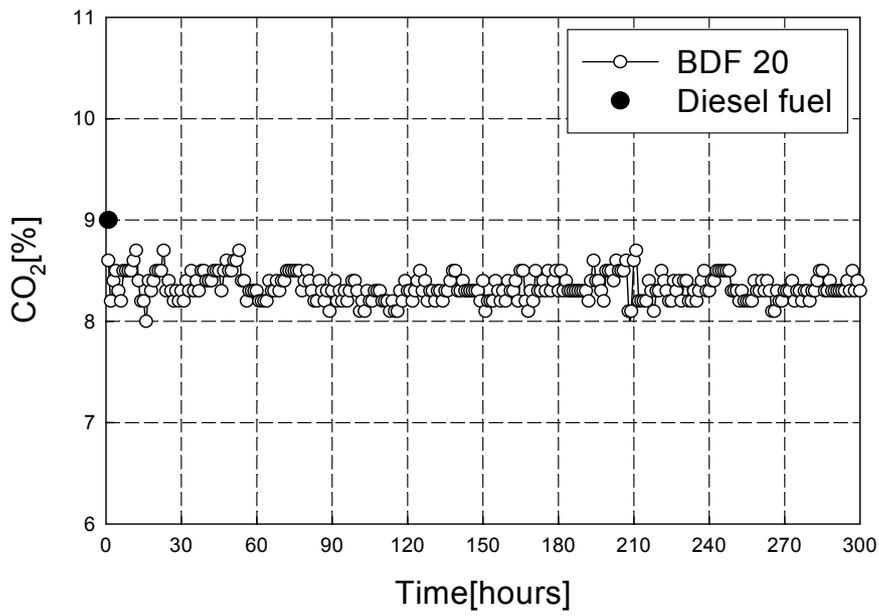


Fig. 4-23 CO<sub>2</sub> versus time variation with BDF 20

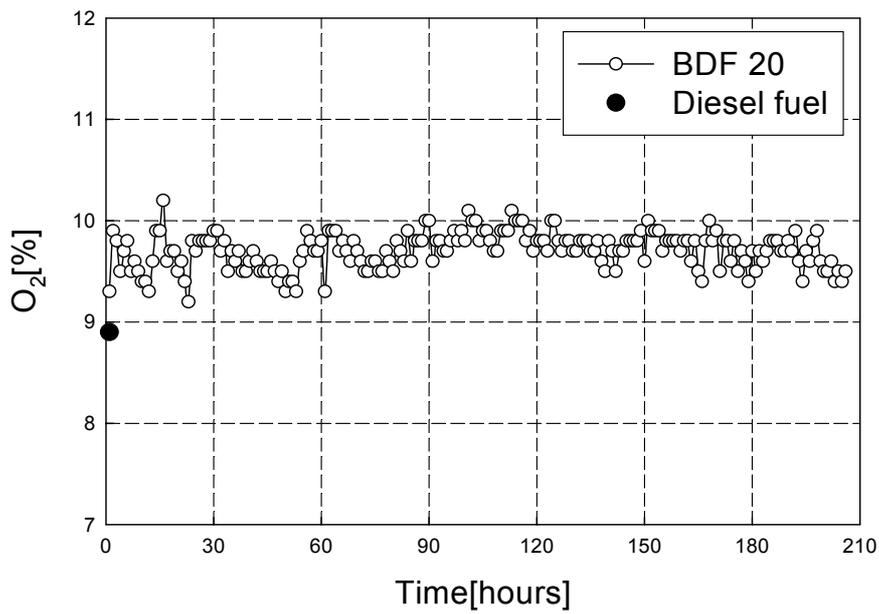


Fig. 4-24 O<sub>2</sub> versus time variation with BDF 20

### 3. 윤활유 특성 및 기관 부품의 변화

Table 4-3은 연료변화로 인한 윤활유의 특성 변화를 파악하고자 BDF 20으로 300시간 동안 운전한 후 엔진 오일을 샘플링하여 한국석유품질검사소에 의뢰하여 분석한 결과이다. BDF 20으로 장시간 운전하였어도 윤활유의 특성이 악화되지 않고 동점도를 비롯한 산화 안정도가 단기통 직접분사식 디젤기관에서의 경우와 같이 매우 양호하게 나타났다. 이는 Fig. 4-11에서 살펴본 바와 같이 바이오디젤유가 연료 자체에 윤활특성을 갖고 있기 때문에 블로바이가스량이 적고, 따라서 엔진오일과 희석량이 적으며, 희석된다고 하더라도 윤활유의 특성을 악화시키지 않기 때문으로 사료된다.

Fig. 4-25는 300시간동안 BDF 20으로 운전한 후 기관의 각 부품에 대한 이상 유무를 파악하기 위하여 기관을 분해하여 촬영한 사진들이다. Fig. 4-25(a)와 Fig. 4-25(b)는 피스톤과 흡·배기 밸브들을 나타낸 것으로, 피스톤 상부나 밸브에 카본이 형성되거나 피스톤이 굽힌 흔적을 찾아볼 수 없었다. 또한, Fig. 4-25(c)와 Fig. 4-25(d)는 연료분사기의 노즐을 50배 확대하여 옆면과 윗면에서 찍은 것으로, 노즐 팁이나 노즐 주변에 카본이 형성되지 않음을 알 수 있다. 이는 농업용 간접분사식 디젤기관에 BDF 20을 사용하여도 연소실 내부에의 카본퇴적 현상이 발생하지 않고 연료분사기를 비롯한 연료계통에의 카본 생성이나 막힘이 존재하지 않는다는 것을 나타낸다.

Table 4-3 Properties of engine oil sample(4 cylinder diesel engine)<sup>62)</sup>

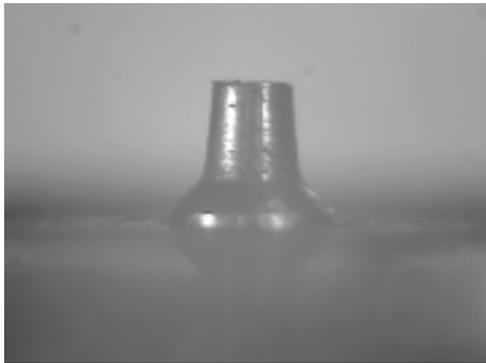
Item		Test results <sup>(14)</sup>	Standard
Water content(Vol.%)		< 0.05	-
Flash point(COC, °C)		226	> 180
Kinematic viscosity (cSt)	40°C	77.14	-
	100°C	11.77	> 5.6
Viscosity index		147	> 85
Oxidation stability	Viscosity ratio	0.99	< 1.5
	Lacquer	No detect	< thin
Apparent viscosity (-20°C, P)		35.0	< 45.0
Pour point(°C)		-37.5	< -22.5



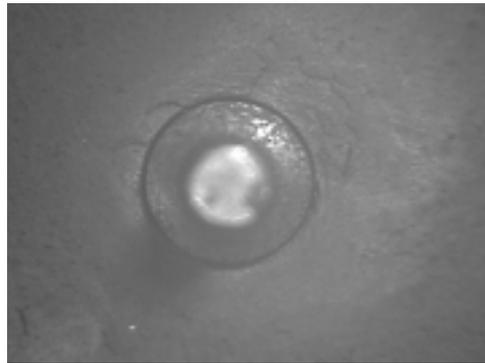
(a) Piston



(b) Valves



(c) Nozzle tip(side)



(d) Nozzle tip(top)



(e) Tear-down engine



(f) Cylinder block 1

Fig. 4-25 Photography of engine parts after tear-down



(g) Cylinder block 2



(h) Piston



(i) Cylinder



(j) Cylinder head



(k) Valves 1



(l) Valves 2

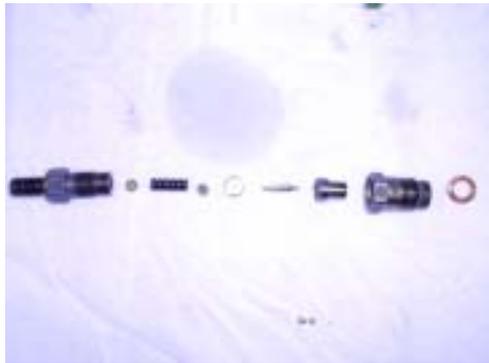
Fig. 4-25 Photography of engine parts after tear-down(continued)



(m) Fuel injectors



(n) Fuel injector tip



(o) Fuel injector parts



(p) Injector needle

Fig. 4-25 Photography of engine parts after tear-down(continued)

## 제4절 실차에서의 기관 내구 특성

실차에서의 내구성 평가는 임차된 차량을 이용하여 봄철 농기계작업을 하는 동안 경유80%와 바이오디젤유를 20%를 혼합한 BDF 20을 주유하여 운전하고 작업을 마친 후 기관을 분해하여 각 기관 부품을 조사하는 방식을 진행하였다. 실차에서의 내구성 실험은 실험실 내에서의 기관 내구성 실험에서처럼 연소압력, 토크, 출력 및 배기 배출물 등에 관한 데이터를 실시간으로 취득하기는 어렵기 때문에 BDF 20으로 운전한 후 기관을 분해하여

기관 부품의 상태를 점검하는 방식으로 진행하였다.

Fig. 4-26은 임차된 차량인 트랙터에 BDF 20을 주유하고 논갈이 작업을 실시하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 농사철에 주로 사용되는 농기계는 항상 고부하상태에서 운전되지만 그림에서 알 수 있듯이 BDF 20으로 운전되는 경우에 매연의 배출이 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 운전자가 느끼기에 경유만을 사용하는 경우보다 기관출력의 저감은 감지할 수 없었으며, 소음이 저감되는 느낌이었다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-26 Cultivating tractor

Fig. 4-27은 BDF 20을 주유한 농업용 트랙터가 썰레작업을 하고 있는 모습을 나타낸 것으로, 논갈이 작업에서와 같이 매연 배출이 발생하거나 출력 저감현상은 느끼지 못했다.

Fig. 4-28은 BDF 20으로 운전되고 있는 단기통 경운기의 모습을 나타낸 것으로, 운전 시에 매연 배출현상이 거의 없었으며, 하중을 싣고 운전할 경우에도 출력 저감은 감지할 수 없었다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4-27 Harrowing tractor



Fig. 4-28 Cultivator fueling BDF 20

Fig. 4-29는 BDF 20으로 운전하여 봄 농사철 작업을 마친 후 기관의 상태를 조사하기 위하여 엔진을 분해하는 모습과 엔진 부품들의 상태를 나타낸 것이다. 기관의 각 부품을 조사한 결과 실린더 블록 및 실린더, 피스톤은 약간의 검댕이 있을 뿐 카본이 퇴적되어 있지는 않았다. 또한, 흡·배기 밸브도 매우 깨끗하였으며, 트랙터용 인젝터도 카본의 퇴적이 없는 매우 양호한 상태임을 확인할 수 있었다.

Fig. 4-30(a)에서부터 Fig. 4-30(d)는 경운기의 연료분사기를 나타낸 것으로, Fig. 4-14에서처럼 경운기의 연료 분사기로 사용되고 있는 구멍형 노즐의 팁에는 연료 분출 구멍 주위로 약간의 카본이 퇴적되어 있음을 알 수 있었다.

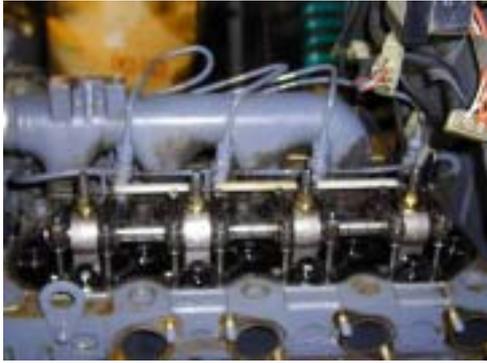


(a) Teardown 1



(b) Teardown 2

Fig. 4-29 Engine parts after tear down



(c) Teardown 3



(d) Teardown 4



(e) Cylinder block 1



(f) Cylinder block 2



(g) Cylinder block 3

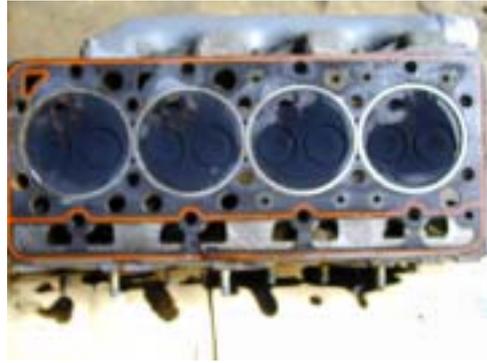


(h) Cylinder

Fig. 4-29 Engine parts after tear down(continued)



(i) Piston



(j) Cylinder head 1



(k) Cylinder head 2



(l) Intake and Exhaust valves



(m) Fuel injector(tractor)



(n) Fuel injector(tractor)

Fig. 4-29 Engine parts after tear down(continued)



(a) Fuel injector 1



(b) Fuel injector 2



(c) Fuel injector 3



(d) Fuel injector 4

Fig. 4-30 Engine parts after tear down(for cultivator)

## 제5절 결론

디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유를 실차에 적용하였을 경우와 엔진동력계에 장착하여 장시간 단기통 직접분사식 디젤기관과 4기통 간접분사식 디젤기관에 적용하였을 경우 기관성능, 배기가스 배출특성 및 기관 부품에 대한 내구특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동력계에 장착된 단기통 및 4기통 디젤기관에서 BDF 20에 대한 연소변동인자로 선택된 최고 연소압력, 최대 압력상승율, 최고 연소압력에서의 크랭크 각도, 최대 압력상승율이 발생하는 크랭크 각도들의 표준편차와 오차한계가 안정적으로 나타남을 알 수 있어 장기간 운전시에도 연소변동이 없이 안정적인 연소특성을 나타낼 수 있었다. 또한, 제동연료소비율은 단기통의 경우에는 BDF 20을 사용할 경우가 경유만의 경우보다 약간 증가함을 알 수 있었으며, 4기통 간접분사식의 경우에는 BDF 20을 사용할 경우가 경유의 경우와 비슷하거나 약간 감소함을 알 수 있었다.
2. 단기통 직접분사식 디젤기관에 BDF 20을 사용할 경우 매연이 경유의 경우보다 40% 정도 감소함을 알 수 있었으며, 장시간 운전하여도 매연의 배출특성은 변화하지 않았다. 단기통 간접분사식의 경우에는 바이오디젤유를 사용할 경우가 경유의 경우보다 약 20% 정도 감소함을 알 수 있었으며, 장시간 운행하여도 매연의 배출특성은 변화하지 않았다. 연료소비율은 직접분사식 연소실의 경우가 간접분사식 연소실의 경우보다 연료 특성에 민감하게 작용하였다.
3. 단기통 직접분사식 디젤기관에서 BDF 20에 대한 NO<sub>x</sub>의 배출특성은 초기 운전시에는 경유의 경우보다 증가하였지만, 운전시간이 증가함에 따라 점점 감소하는 특성을 보였으며, 배기가스속의 잔류 산소 농도는 BDF 20의 영향으로 경유만의 경우보다는 약간 증가하였다. 그런, 배기가스 온도와 CO<sub>2</sub>는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 감소하였고, 운전시간의 증가에 영향을 받지 않았다. 그러나, 간접분사식인 4기통의 경우에는 바이오디젤유에 대한 NO<sub>x</sub>의 배출특성은 전체적으로 경유

의 경우와 비슷하였으나, CO 및 CO<sub>2</sub>는 전 운전시간동안에서 경유의 경우보다 감소하였다.

4. 농업용 단기통 직분식 디젤기관과 4기통 간접분사식 디젤기관에 BDF 20로 장시간 운전할 경우 기관 각 부품들에는 이상이 없었으나, 간접분사식 디젤기관의 연료 분사기인 핀틀형 인젝터에는 카본이 부착되지 않았으나, 직분분사식 디젤기관의 연료 분사기인 홀형 인젝터에는 연료 분사기의 연료 배출 구멍 주위로 경유만을 사용한 경우에서처럼 약간의 카본이 부착됨을 알 수 있었다.
5. BDF 20으로 장시간 운전한 후 엔진오일을 샘플링하여 분석한 결과 바이오디젤유의 윤활특성이 양호한 관계로 윤활유의 특성이 악화되지 않음을 알 수 있었다.

이상에서와 같은 내구성실험 결과를 통하여 BDF 20은 장시간 농업용 디젤기관에 적용하여도 안정된 연소특성을 갖고 기관부품들의 마모와 연소변동이 발생하지 않으며 배기 배출물도 경유만을 사용하는 경우보다 저감됨을 알 수 있어 BDF 20은 농업용 디젤기관에 장시간 적용되어도 문제가 없음을 확인하였으며, 바이오디젤유가 농업용 디젤기관의 대체 연료로서 이용 가능함을 확고히 한 것으로 판단된다.

## 제 5 장 바이오디젤유의 냉시동 성능 평가

차가운 날씨가 계속되는 겨울철에는 주변 온도의 강하로 디젤기관에 사용하는 연료가 응고하게 되어 유동이 어렵게 된다. 따라서, 겨울철에 사용하는 동절기용 디젤유는 여름철에 사용하는 하절기용 디젤유와는 다른 특성을 가지고 제조된다. 디젤유의 저온 작용에 대한 지표는 대개 유동점(Pour point)과 필터막힘점(cold filter plugging point, CFPP)에 의해 특성화되어 있는데, 유동점은 오일을 저어주지 않고 규정된 방법으로 냉각하였을 때 오일이 고형화되지 않고 유동할 수 있는 최저의 온도로 정의되며, 필터막힘점은 온도가 저감됨에 따라 고형화되기 시작하는 연료성분들로 인해 연료필터를 막히게 하는 온도를 말한다.

본 장에서는 바이오디젤유를 디젤기관의 연료로 적용할 경우 겨울철에 발생할 수 있는 바이오디젤유의 냉시동 특성을 평가하여 실용화 방안을 고찰하고자 한다.

바이오디젤유는 Table 3-3에서 살펴본 바와 같이 경유보다도 유동점과 필터막힘점이 높아 겨울철의 저온 환경에서 사용하기에는 많은 문제를 안고 있다. 일반적으로 디젤유로 사용하고 있는 경유도 여름철과 겨울철에 구분되어 생산 판매되고 있으며, 겨울철 주변 환경의 온도 분포에 따라서 저온유동성향상제를 첨가하여 냉시동 특성을 개선시켜 사용하고 있다. 바이오디젤유 혼합물(기본적으로 BDF 20)은 매우 추운 날씨들을 포함한 다양한 기후들에서 사용될 수 있다. 그러나 바이오디젤유도 생산 원재료에 따라 유동점 특성이 많이 다르게 나타나기 때문에 바이오디젤유의 원재료에 대한 특성을 고찰하는 것이 필요하다.

Table 5-1은 바이오디젤유의 원자재로 주로 사용되고 있는 대두유, 채종유, 팜유, 미강유로부터 생산된 바이오디젤유와 신양현미유(주)의 바이오디젤유에 대한 저온 유동성을 평가한 것이다. 여기서, MES, MER, MEP, MERB, BDK는 각각 대두유, 채종유, 팜유, 미강유로부터 생산된 바이오디젤유와 신양현미유(주)에서 생산한 바이오디젤유를 나타내며, MES 20, MER 20, MEP, MERB 20, BDF 20은 경유 80%에 각각의 바이오디젤유를 20% 혼합한 연료를 나타낸다. 각각의 원자재로부터 얻은 바이오디젤유 20%와 동절기용 경유 80%를 체적비율로 혼합한 후 각각의 샘플에 저온유동성향상제(wax anti-settling flow improver, WAFI)를 첨가하여 저온 특성 인자인 유동점 및 필터막힘점을 한국석유품질검사소에 의뢰하여 측정하였다. Table 5-2는 실험에 사용된 저온유동성향상제를 나타낸 것으로, 국내에서 주로 사용되고 있는 저온유동성향상제들을 이용하여 첨가량을 변화시켜가면서 실험하였다. 실험에 사용된 첨가량은 각 종류별로 300ppm과 800ppm을 첨가하였다.

Table 5-1 Test results of biodiesel fuel on pour point and CFPP <sup>63)</sup>

Fuel	Wax anti-settling flow improver	Additive amount(ppm)	Pour point(°C)	CFPP(°C)	비고
MES	-	-	-12.5	-8	
MER	-	-	-15.0	-6	
MEP	-	-	-12.5	-10	
MERB	-	-	-7.5	-12	
BDK	-	-	-7.5	-6	
MES 20	-	-	-15	-	
	R-749	300	-17.5	-9	
		800	-17.5	-12	
	dodiflow 5221	300	-10.0	-7	
		800	-7.5	-10	
	CP-7134	300	-15.0	-10	
800		-7.5	-8		
MER 20	-	-	-15	-	
	R-749	300	-25.0	-17	
		800	-27.5	-20	
	dodiflow 5221	300	-25.0	-18	
		800	-30.0	-19	
	CP-7134	300	-22.5	-17	
800		-25.0	-16		
MEP 20	-	-	-12.5	-	
	R-749	300	-15.0	-9	
		800	-15.0	-7	
	dodiflow 5221	300	-15.0	-9	
		800	-15.0	-10	
	CP-7134	300	-15.0	6	
800		-15.0	-10		
MERB 20	-	-	-7.5	-	
	R-749	300	-20.0	-14	
		800	-20.0	-14	
	dodiflow 5221	300	-7.5	-13	
		800	-10.0	-13	
	CP-7134	300	-7.5	-14	
800		-7.5	-14		
BDK 20	-	-	-10	-	
	R-749	300	-17.5	-16	
		800	-17.5	-18	
	dodiflow 5221	300	-15.0	-16	
		800	-22.5	-17	
	CP-7134	300	-15.0	-16	
800		-20.0	-15		

\* 국내 동절기용 디젤유 규격은 유동점 -17.5°C, 필터막힘점 -16°C 이다.

Table 5-2 Wax anti-settling flow improver

호칭	제 품 명	제 조 사	기 능	추천 첨가량 (wt. ppm)
A	R-749	Infineum	유동점 및 필터막힘점 강하, 왁스침전 방지	250~300
B	Dodiflow 5221	Clariant	유동점 및 필터막힘점 강하, 왁스침전 방지	300~350
C	CP-7134	TotalFinaElf	유동점 강하, 필터막힘점 강하	250~300

Fig. 5-1은 저온유동성향상제의 종류 및 첨가량에 따른 바이오디젤유들의 유동점에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 바이오디젤유의 종류에 따라 저온유동성향상제의 영향을 다르게 받는 것을 알 수 있으며, 신양현미유(주)에서 생산된 바이오디젤유(BDK 20), 미강유와 채종유로부터 생산된 바이오디젤유(MERB20과 MER 20)가 저온유동성향상제의 영향으로 정부의 기준보다 유동점이 강하하는 것을 알 수 있으며, 첨가량이 증가함에 따라 강하폭도 커짐을 알 수 있었다. 또한 저온유동성향상제 B의 경우가 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있어, 저온유동성향상제의 종류와 바이오디젤유의 원재료에 따라 유동점이 크게 다르게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5-2는 저온유동성향상제의 종류 및 첨가량에 따른 바이오디젤유들의 필터막힘점을 나타낸 것이다. 필터막힘점은 팜유로부터 생산된 바이오디젤유를 제외하고는 저온유동성향상제의 영향으로 강하됨을 알 수 있으나, 저온유동성향상제의 종류에 영향을 받음을 또한 알 수 있었으나 첨가량에는 큰 차이가 없었다. 채종유로부터 생산된 바이오디젤유(MER 20)가 가장 낮은 필터막힘점을 나타냈으며, 다음으로는 미강유로부터 생산된 바이오디젤유(MERB 20), 그리고, 대두유로부터 생산된 바이오디젤유(MES 20) 순서로 필터막힘점을 나타냈다. 또한, 저온유동성향상제는 A와 B의 경우가 적절한 첨가제임을 알 수 있었다.

이상과 같이 저온유동성향상제를 바이오디젤유에 첨가함으로써 겨울철 냉시동시에 필요한 바이오디젤유의 저온 유동점 및 필터막힘점을 조사 분석한 결과, 저온유동성향상제를 통하여 채종유로부터 생산된 바이오디젤유(MER 20)와 신양현미유(주)의 바이오디젤유(BDK 20)의 경우에 있어서는 충분히 겨울철에 사용할 수 있으리라 사료된다.

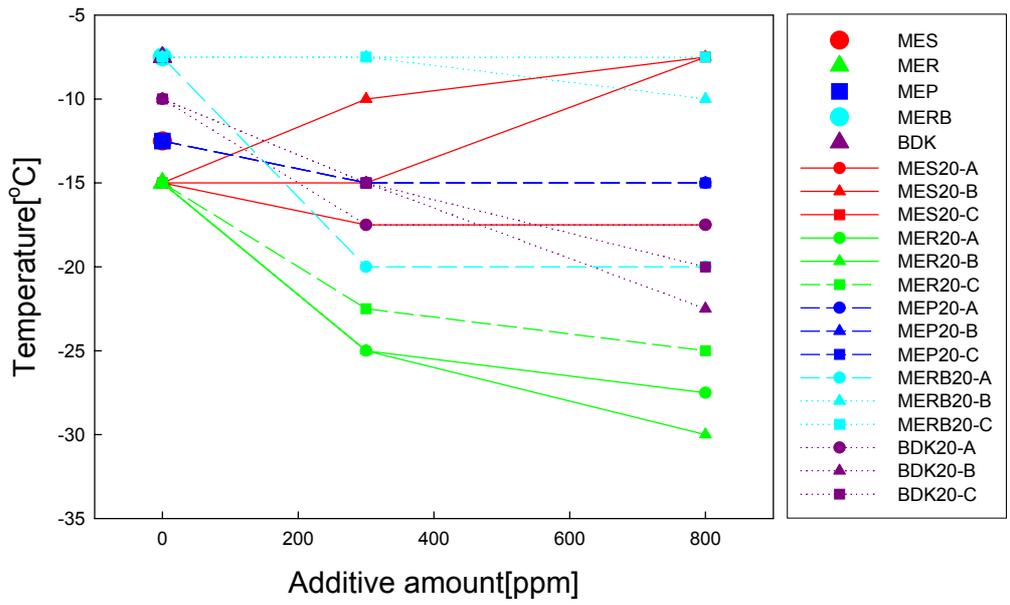


Fig. 5-1 Effect of raw materials and WAFI on the pour point

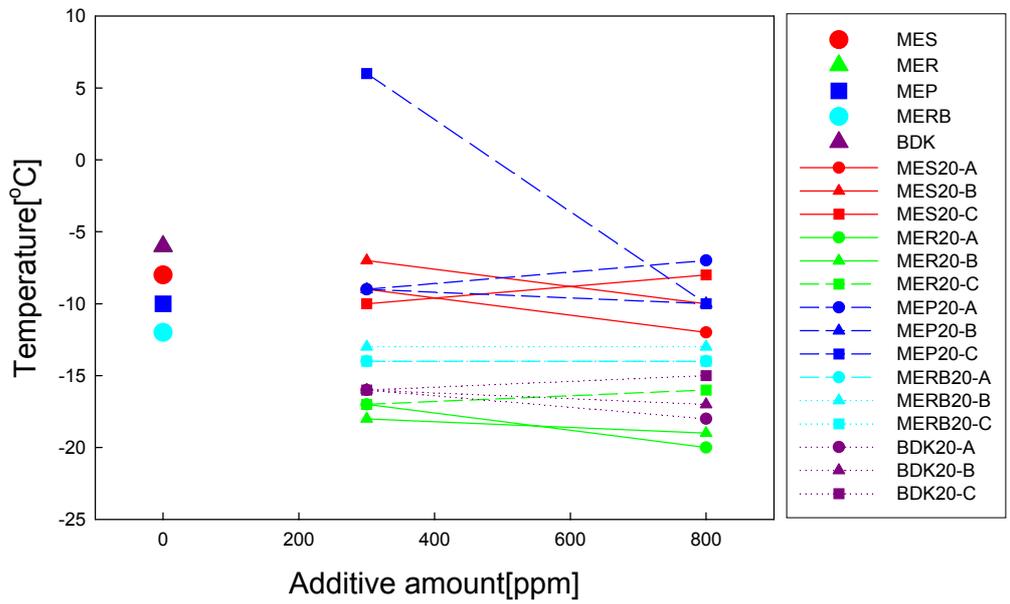


Fig. 5-2 Effect of raw materials and WAFI on the CFPP

## 제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 목표 달성도

Table 6-1은 본 연구의 연도별 연구 목표 및 평가착안점을 나타낸 것이다.

1차년도는 농업용 디젤기관의 대체 연료로서 바이오디젤유의 실용화를 위한 기초 기관 실험에 대한 연구로서 농업용 단기통 기관과 다기통 기관에 대한 기관성능 및 배기가스 배출 특성 평가가 완전하게 이루어졌다. 일반적으로 자동차용 디젤기관과는 다르게 농업용 디젤기관은 흡배기 밸브의 구동방식과 기관 구조 및 형상이 다르기 때문에 바이오디젤유를 디젤기관에 적용할 경우 기관 성능에 미치는 영향과 배기가스 배출 특성이 다르게 나타날 수 있다.

바이오디젤유를 디젤기관에 적용할 경우 기관 출력, 연료소비율 및 매연을 비롯한 배기가스 배출 특성을 기존 상용연료인 경유만을 사용한 경우와 비교하여 그래프화하였다. 실험에 사용된 농업용 기관은 경운기에 사용되고 있는 단기통 직접분사식 디젤기관과 트랙터에 사용하고 있는 4기통 간접분사식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용하였을 경우 각각의 기관에 따라 기관 출력 및 연료소비율의 특성을 분석하였으며, 매연을 비롯한 배기가스의 배출특성을 파악하고 분석하여 최적의 바이오디젤유 혼합량을 도출하였다.

각 운전조건에 따른 기관 성능을 분석한 결과 단기통과 다기통 디젤기관에서는 바이오디젤유를 적용할 경우 토크 및 출력은 경유만을 사용한 경우보다 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 보이지만, 출력당 에너지소비율이 작게 나타나는 결과를 얻어 농업용 디젤기관에 대한 바이오디젤유의 적용을 위한 실험적 목적을 달성하였다. 또한, 배기가스 배출 특성면에서도 단기통과 다기통 디젤기관에 대하여 실시한 결과 바이오디젤유를 사용할 경우가 경유만을 사용한 경우보다 양호한 배기가스 배출 특성 결과를 얻어 바이오디젤유가 저공해 대체연료로 농업용 디젤기관에 적용할 수 있는 실험적인 근거자료를 취득하였다.

2차년도의 연구 목표는 1차년도에서 얻은 결과를 토대로 20% 바이오디젤유(BDF 20)를 농업용 디젤기관에 적용할 경우 기관의 내구 특성을 평가하는 것이었다. 장시간 BDF 20을 적용할 경우 엔진 동력계에 장착된 실험용 기관들에 대한 Mode 시험을 통해 300시간동안 운전하였을 경우, 운전시간에 따른 최고 연소압력, 최대 압력상승율 및 이들이 나

타내는 크랭크 각도를 이용하여 연소변동을 확인하였으며, 연료소비율 변화, 배기가스 배출 특성 변화를 그래프화하여 분석하였다. 실험이 종료된 후 기관을 분해하여 기관 부품들의 변화, 즉, 실린더의 고착, 연료 인젝터의 막힘이나 연료 필터의 막힘 현상 등을 확인하고 사진을 촬영하여 그 증거를 제시하였다. 또한, 실제 운행하고 있는 농업용 디젤기관인 경운기와 트랙터에 BDF 20을 적용하여 봄철 농사철의 농작업시에 운행한 후, 기관을 분해하여 각 기관 부품들의 특성을 농기계수리 전문가와 공동으로 평가하였다. BDF 20으로 내구성 실험을 행한 후 윤활유에 대한 영향을 평가하고자 윤활유를 샘플링하여 공인 기관에 성분을 분석하였으며, 마지막으로 바이오디젤유의 냉시동 특성을 파악하고 개선하기 위한 방안을 제시하기도 함으로써 2차년도 목표를 100% 달성하였다.

본 연구에서는 1·2차년도의 연구 결과를 통하여 디젤기관에 대한 바이오디젤유의 효과 및 바이오디젤유가 농업용 디젤기관의 연료로서 이용 가능하다는 것을 과학적 근거를 가지고 제시하였으며, 실용화에 전혀 문제가 없다는 결론을 도출함으로써 최종 목표를 100% 달성하였다.

Table 6-1 연구 목표 및 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척 도 (점수)
1차년도 (바이오디젤유의 기관 성능 실험)	○ 기관 출력 및 연료소비율 ○ 배기가스(매연) 농도 저감	경유와 비교(30) 경유와 비교(70)
2차년도 (바이오디젤유의 기관 내구성 실험)	○ 연료소비율 변화 ○ 실린더 고착 문제 ○ 윤활유의 오염 ○ 인젝터의 막힘 ○ 냉시동 특성 ○ 기관 부품의 마모	경유와 비교(각 20)
최종평가	○ 농업용 디젤기관의 대체연료로의 실용화 가능성 제시	예 : 농업기계 전문가의 초빙을 통한 시연회 등

## 제2절 관련분야의 기여도

본 연구를 통하여 바이오디젤유에 대한 농업용 디젤기관의 평가가 성공적으로 완성됨에 따라 현재의 농업용 디젤기관의 특별한 변경없이 바이오디젤유를 적용할 수 있는 근거가 마련되었다. 또한, 바이오디젤유의 규격화를 통한 연료의 법제화를 피하고, 나아가 최근의 자동차용 대체연료로서 산업자원부에서 추진하고 있는 바이오디젤유의 보급 사업을 농업용 디젤기관에도 적용할 수 있는 근거가 확립되었다.

기술적 측면에서는 농업용 디젤기관에 대한 기관 성능 평가 및 내구성 평가를 성공리에 마침에 따라 바이오디젤유의 기관 성능 및 내구성 평가 기술을 획득할 수 있었고, 농업 생산품에 의한 연료를 농업기계용 연료로서 사용할 수 있다는 근거를 제시하였다.

경제·산업적 측면으로는 연간 100만톤정도의 식용유 정도로도 바이오디젤유로 전환할 경우에 국내 농업기계를 포함한 디젤기관의 연간 경유소비량(약 126 백만 배럴)의 약 1/20을 감당할 수 있기 때문에 커다란 에너지 수입대체 효과를 볼 수 있으며, 농업 생산물을 연료화하기 위하여 유휴 토지를 활용할 수 있다. 더군다나 유휴 토지 30만ha를 이용하였을 경우 식재된 식물들로부터 생산되는 산소의 양은 평당 2.5kg 정도로 약 22만 5천톤을 생산할 수 있으며, 이것은 경제적 가치로 약 9,000억원(40만원/톤)에 상당하는 이익을 창출할 수 있으며, 식물들이 호흡하여 감소되는 CO<sub>2</sub>의 양은 약 4만톤 정도로 경제적으로 약 224.5억원(53만원/톤)의 가치 획득할 수 있다. 또한, 쌀과 콩에서 생산되는 미강유와 대두유 등과 같은 식물유를 농업용 디젤기관과 디젤 자동차의 연료인 바이오디젤유로 전환되어 사용하면 농업경쟁력 확보와 에너지 자급 자족 측면에서 막대한 이득이 예상되며, 바이오디젤유를 디젤기관에 사용할 수 있는 법적 근거를 마련함에 따라 대체연료 농업기계 및 자동차를 생산하는 업계의 활력을 증진시킬 수 있다. 더불어 농산물 가공업체를 농촌에 유치할 수 있음에 따라 농업과 농촌공업의 기반이 강화되고, 농업 생산물 경작, 운송 및 제조 사업의 확대에 회사의 설립에 따른 고용창출을 유도할 수 있으며, 바이오디젤유 후진국에 제조 기술과 바이오디젤유 판매로 이익을 창출하는데 커다란 기여를 할 수 있다고 판단된다.

환경적으로는 바이오디젤유는 산소를 함유한 합산소 연료이기 때문에 디젤기관에서 가장 문제시되는 매연을 저감하여 저공해 농업용 기관으로 농민들의 건강 보호는 물론 대도시의 환경오염 저감에 기여하여 재원으로는 계산할 수 없는 천문학적인 막대한 이득을

기대할 수 있으며, 국내의 각종 농기계(약 200만대)의 연료로 바이오디젤유를 사용함으로써 식물이나 토양에 친환경적인 효과를 얻을 수 있다.

## 제 7 장 연구개발결과의 활용계획

바이오디젤유의 실용화를 위한 평가가 성공적으로 마쳐짐에 따라 본 연구 결과를 토대로 바이오디젤유를 친환경적 저공해 연료로 공급할 수 있는 법적 제도화를 꾀하고, 바이오디젤유의 규격화를 통해 품질의 안정화를 꾀하고자 한다. 또한, 바이오디젤유를 농업용 디젤기관의 연료로 사용할 수 있도록 정부의 적극적으로 건의하여, 환경 친화적인 연료로 경운기, 트랙터, 콤팩트 등과 같은 각종 농기계에 활용할 수 있도록 한다. 이밖에도 바이오디젤유는 농업용 디젤기관 뿐만 아니라 디젤기관 자동차의 대체연료 및 화력발전소의 연료로 이용할 수 있도록 시장성을 확대하고자 한다.

이와 같은 사항을 완수하기 위해서는 개발된 대체에너지를 시판할 수 있는 법률과 제도상의 변화를 꾀하고, 지방의회와의 협력으로 정부차량부터 저공해 대체연료를 사용할 수 있도록 촉구하며, 농업용기계에도 환경 친화적인 연료로서 농도인 전라북도에서부터 시범적으로 보급하여 사용할 수 있도록 하고자 한다.

하지만, 최근의 농기계를 비롯한 디젤기관이 전자장치들을 비롯한 첨단화로 나아가고 있으며, 연료분사장치도 커먼레일 시스템을 이용한 고압화로 바뀌어감에 따라 최근의 시장 특성에 맞는 기술을 확보하는 것이 바람직하다. 따라서, 최근의 첨단 디젤기관의 대체연료로 적용하기 위해서는 추가적으로 커먼레일 시스템에 대한 바이오디젤유의 특성 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 제 8 장 참고문헌

1. "Standard Specification for Biodiesel Fuel(B100) Blend Stock for Distillate Fuels(D 6751)", Annual Book of ASTM Standards, Vol 05. 02.
2. S. Howell, "Biodiesel Fuel Standard Making Progress", ASTM Standardization News, Vol. 25, No.4, pp. 16~19, 1997.
3. H. Prankl Manfred Worgetter, "Standardisation of Biodiesel", Report of the Federal Institute of Agricultural Engineering Wieselburg, Jan. 1997.
4. WÖRGETTER, M., "Standardization of Biodiesel", Second European Motor Biofuels Forum, Graz, 22-25, Sep. 1996.
5. ÖNORM CI 190, 1. Januar 1995.
6. ÖNORM CI 191, 1. November 1996.
7. DIN V 51505, Flüssige Kraftstoffe - Dieselkraftstoff aus Pflanzenijlmethylester (PME), Mindestanforderungen. Juni 1994.
8. CUNA(1993), Esteri metilici di oli vegetali, Caratteristiche merceologiche, CUNA NC 635-01(23. April 1993).
9. CSN 65 6507, Biopalivo pro vznetove motory, Methylestery Repkoveho Oleje, Technicke pozadavky(November 1994).
10. Linda Cooke McGraw, "Better Cold-Weather Starts for Biodiesel Fuel", Agricultural research, Vol. 46, No. 4, pp. 21, 1998.
11. Luc Pelkmans, "Biodiesel as an alternative motor fuel", CADDET Energy Efficiency Newsletter, Vol. 3, pp. 7~9, 1997.
12. G. Knothe, R. O. Dunn, and M. O. Bagby, "Biodiesel : The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels", ACS symposium series, Vol. 666, pp. 172~208, 1997.
13. "Biodiesel and Fossil Diesel Fuel: Comparative Life Cycle Assessment", International journal of life cycle asse, Vol. 1, No. 3, pp. 127~132, 1996.
14. J. Pan, P. Merritt, T. McIntire, C. Sharp, and H. Haines, "Comparison Of PAH Emission among Diesel Fuel, Biodiesel Fuels and Their Blends on Diesel Engine",

- Proceedings of the ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Vol. 44, pp. 518~519, 1996.
15. "Emissions & Alternative Fuels - Biodiesel Board Files Petition On B20...SwRI Completes Prototyping CNG School Bus...Honda Picks EDO As Fuel Tank Supplier", DIESEL PROGRESS ENGINES AND DRIVES, Vol. 62, No. 11, pp. 6~7, 1996.
  16. "Proposal for a Council Directive on Specifications for Biodiesel(vegetable oil methylester) for use as a motor fuel", Energy in Europe : Energy policies and trends in the European Union, No. 23, pp. 18~, 1994.
  17. P. Bondioli, A. Lanzani, E. Fedeli, M. Sala, and S. Veronese, "Vegetable oil derivatives as diesel fuel substitutes. Analytical aspects. Note 4: determination of biodiesel and diesel fuel in mixture", La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse, Vol. 71, No. 6, pp. 287~289, 1994.
  18. A. Monyem, J. H. Van Gerpen, and M. Canakci, "The Effect of Timing and Oxidation on emissions from Biodiesel-Fueled Engines, Transactions of the ASAE, Vol. 44, No. 1, pp. 35~42, 2001.
  19. <http://www.biodiesel.org>
  20. [http://www.biodiesel.org/resources/pressreleases/gen/20030402\\_biod\\_tax\\_exemption.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/pressreleases/gen/20030402_biod_tax_exemption.pdf)
  21. 유정우, 바이오청정 디젤연료의 유럽사용 현황, KOSEN 수집자료, No. 49313(문서번호 8506)
  22. Y.-F. Lue, Y.-Y. Yeh, and C.-H. Wu, "The Emission Characteristics of a Small D.I. Diesel Engine Using Biodiesel Blended Fuels", Journal of environmental science and health. Part A, Vol. 36, No.5, pp. 845~860, 2001.
  23. C. A. W. Allen, K. C. Watts, and R. G. Ackman, "Predicting the Surface Tension of Biodiesel Fuels from Their Fatty Acid Composition", Journal of the American Oil Chemists' Society, Vol. 76, No. 3, pp. 317~324, 1999.
  24. M. E. Tat and H. Van Gerpen, "The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel", JAOCS, Vol. 77 No. 2, pp. 115~120, 2000.
  25. M. Canakci, A. Monyem, and J. Van Gerpen, "Accelerated Oxidation Processes in Biodiesel", Transactions of the ASAE, Vol. 42, No. 6, pp. 1565~1572, 1999.

26. C. A. W. Allen, and K. C. Watts, "Experimental Analysis of Biodiesel Atomization Characteristics", Canadian agricultural engineering, Vol. 40, No. 4, pp. 281~286, 1998.
27. C. L. Peterson, J. C. Thompson, J. S. Taberski, D. L. Reece, and G. Fleischman, "Long-range On-road Test with Twenty-percent Rapeseed Biodiesel", Applied engineering in agriculture, Vol. 15, No. 2, pp. 91~102, 1999.
28. R. O. Dunn, "Thermal Analysis of Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils", JAOCS, Vol. 76, No. 1, pp. 109~116, 1999.
29. M. Mittelbach and H. Enzelsberger, "Transesterification of Heated Rapeseed Oil for Extending Diesel Fuel", JAOCS, Vol. 76, No. 5, pp. 545~550, 1999.
30. "HNBR for Use in Bio-Diesel Fuel", Kautschuk + Gummi Kunststoffe, Vol. 51, No. 10, pp. 670~677, 1998.
31. E. E. Gavett, D. Van Dyne, and M. Blase, "Biodiesel : A Feasible Domestic Alternative Fuel?", Energy from Biomass and Wastes, Vol. 16, pp 709~719, 1993.
32. S. Saka, " Biodiesel Fuel from Vegetable Oil", Journal of Society of Material Science in Japan, Vol. 49, No. 7, pp. 829~830, 2000.
33. K. Yamane, A. Ueta, and Y. Shimamoto, "Effects of High-Pressure Injection and Biodiesel Fuel Sources on Combustion and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine", JSAE, Vol. 32, No. 2, pp. 25~30, 2001.
34. M. E. Tat and J. H. Van Gerpen, " The Kinematic Viscosity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel", JAOCS, Vol. 76, No. 12, pp. 1511~1513, 1999.
35. G. Knothe, "Determining the Blend of Level of Mixtures of Biodiesel with Conventional Diesel Fuel by Fiber-Optic Near-Infrared Spectroscopy and <sup>1</sup>H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy", JAOCS, Vol. 78, No. 10, pp. 1025~1028, 2001.
36. Y. Watanbe, Y. Shimada, A. Sugihara, and Y. Tominaga, "Enzymatic Conversion of Waste Edible Oil to Biodiesel Fuel in a Fixed-Bed Bioreactor", JAOCS, Vol. 78, No. 7, pp. 703~708, 2001.
37. W. G. Wang, D. W. Lyons, N. N. Clark, M. Gautam, and P. M. Norton, "Emissions from Nine Heavy Trucks Fueled by Diesel and Biodiesel Blend without Engine

- Modification", *Environmental Science & Technology*, Vol. 34, No. 6, pp. 933~939, 2000.
38. B. Siuru, "Biodiesel Remains an Option in Alternative Fuel Mix", *Diesel Progress*, Vol. 67, No. 6, pp. 124~126, 2001.
  39. V. Camobreco, J. Sheehan, J. Duffield, and M. Graboski, "Understanding the Life-Cycle Costs and Environmental Profile of Biodiesel and Petroleum Diesel Fuel", *SAE Conference Proceedings*, No. 353, pp. 173~178, 2000.
  40. A. Serdari, K. Fragioudakis, C. Teas, F. Zannikos, S. Stournas, and E. Lois, "Effect of Biodiesel Addition to diesel Fuel on Engine Performance and Emissions", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 15, No. 2, pp. 224~231, 1999.
  41. G. Knothe, "Analytical Methods Used in the Production and Fuel Quality Assesment of Biodiesel", *Transactions of the ASAE*, Vol. 44, No. 2, pp. 193~200, 2001.
  42. A. Serdari, K. Fragioudakis, C. Teas, F. Sakellaropoulos, F. Zannikos, S. Stournas, and E. Lois, "Adding Biodiesel Corn Oil and Sunflower Oil to Diesel Fuel : The Impact on the Performance of Conventional Road Vehicles", *Journal of the Institute of Energy*, No. 488, pp. 126~136, 1998.
  43. C. L. Peterson and T. Hustrulid, "Carbon Cycle for Rapeseed Oil Biodiesel Fuels", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, No. 2, pp. 91~101, 1998.
  44. M. I. Al-Widyan, G. Tashtoush, and M. Abu-Qudais, "Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines", *Fuel Processing Technology*, Vol. 76, pp. 91~103, 2002.
  45. K. Kaygusuz, "Environmental Impacts of Energy Utilisation and Renewable Energy Policies in Turrkey", *Energy Policy*, Vol. 30, pp. 689~698, 2002.
  46. L. L. stavinoha, E. S. Alfaro, H. H. Dobbs, Jr. and L. A. Villahermosa, "Alternative Fuels : Development of a Biodiesel B20 Purchase Description", *SAE Transactions* Vol. 109, No. 2, pp. 611~628, 2000.
  47. A. K. Agarwal and L. M. Das, "Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engines", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 123, No. 2, pp. 440~447, 2001.

48. C. A. W. Allen and K. C. Watts, "Comparative Analysis of the Atomization Characteristics of Fifteen Biodiesel Fuel Types", Transactions of the ASAE, Vol. 43, No. 2, pp. 207~211, 2000.
49. F. Ma, L. D. Clements, and M. A. Hanna, "Biodiesel Fuel from animal Fat. Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow", Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 37, No. 9, pp. 3768~3771, 1998.
50. L. Schumacher, S. C. Borgelt, W. G. Hires, W. Wetherell, and A. Nevills, "100,000 Miles of Fueling 5.9L Cummins Engines with 100% Biodiesel", SAE 962233, 1996.
51. F. Karaosmanoglu, A. Akdag, and K. B. Cigizoglu, "Biodiesel from Rapeseed Oil of Turkish Origin as an Alternative Fuel", Applied biochemistry and biotechnology, Vol. 61, No. 3, pp. 251~266, 1996.
52. P. G. Roessler, L. M. Brown, T. G. Dunahay, D. A. Heacox, E. E. Jarvis, J. C. Schneider, S. G. Talbot, and K. G. Zeiler, "Genetic Engineering Approaches for Enhanced Production of Biodiesel Fuel from Microalgae", ACS Symposium Series, Vol. 566, pp. 255~270, 1994.
53. "Increasing the Viability of Alternative Fuel Vehicle Use", Public Works, Vol. 133, No. 3, pp. 50~52, 2002.
54. K. Komers, F. Skopal, and R. Stloukal, "Determination of the Neutralization Number for Biodiesel Fuel Production", Fett/Lipid, Vol. 99, No. 2, pp. 52~54, 1997.
55. F. Skopal, K. Komers, and J. Machek, "A New Method of Dealcoholization of Crude Biodiesel Fuel", Fett/Lipid, Vol. 99, No. 3, pp. 87~90, 1997.
56. R. Stloukal, K. Komers, and J. Machek, "Ternary Phase Diagram Biodiesel Fuel - Methanol - Water", Journal Fur praktische Chemie Chemiker-Zeitung, Vol. 339, No. 5, pp. 485~487, 1997.
57. R. D. Abigor, P. O. Uadia, T. A. Foglia, M. J. Haas, K. C. Jones, E. Okpefa, J. U. Obibuzor, and M. E. Bafor, "Lipase-Catalysed Production of Biodiesel Fuel from Some Nigerian Lauric Oils", Biochemical Society Transactions, Vol. 28, No. 6, pp. 979~982, 2000.
58. K. Komers, R. Stloukal, J. Machek, F. Skopal, and A. Komersova, "Biodiesel Fuel from Rapeseed Oil, Methanol, and KOH. Analytical Methods in Research and

- Production", *Fett/Lipid*, Vol. 100, No. 11. pp. 507~512, 1998.
59. K. Yamane, A Ueta, and Y Shimamoto, "Influence of Physical and Chemical Properties of Biodiesel Fuels on Injection, Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a Direct Injection Compression Ignition Engine", *International Journal of Engine Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 249~261, 2001.
  60. Korea Petroleum Quality Inspection Institute, Requested Test Result, No. 17 (Chonbuk 28450-36)
  61. Korea Petroleum Quality Inspection Institute Young-Nam Branch, Requested Test Result, No. 196
  62. Korea Petroleum Quality Inspection Institute, Requested Test Result, No. 10 (Chonbuk 28450-282)
  63. Korea Petroleum Quality Inspection Institute. Requested Test Result, Chonbuk 28450-551
  64. 유경현, 윤용진, 오영택, "바이오디젤유(미강유 에스테르)를 이용한 농업용 디젤기관의 연소 특성", *대한기계학회논문집*, 27권 2호, pp. 181~187, 2003.
  65. 유경현, 윤용진, 오영택, "간접분사식 디젤기관에서 바이오디젤연료의 연소 특성", *한국자동차공학회논문집*, 11권 1호, pp. 72~78, 2003.
  66. 오영택, 유경현, 정규조, "대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구", *전북대학교 공업기술 연구소 공학연구 논문집*, 제 29집, pp. 29~40, 1998.
  67. 유경현, 윤용진, 오영택, "간접분사식 디젤기관에서 바이오디젤연료의 이용에 관한 연구", *대한기계학회 2002년도 춘계학술대회논문집*, pp.2025-2030, 2002.
  68. 유경현, 윤용진, 오영택, "바이오디젤유를 이용한 농업용 디젤기관의 성능 및 배기가스 배출 특성", *한국자동차공학회 2002년 광주·호남지방 춘계학술대회논문집*, pp.9-16, 2002.
  69. 유경현, 윤용진, 오영택, "디젤기관에서 바이오디젤유 사용시 기관성능 및 배기배출물 특성에 관한 분사시기의 영향", 2002년 기계관련 산학연 연합심포지엄(한국자동차공학회 편), pp. 216-221, 2002.
  70. 김창영, 황윤택, 유경현, 오영택, "바이오디젤유를 사용하는 디젤기관의 내구특성", *한국동력기계공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집*, pp. 91~95, 2003.
  71. 유경현, 황윤택, 김창영, 오영택, "바이오디젤유를 사용하는 농업용 디젤기관의 내구성

평가”, 한국자동차공학회 2003년 춘계학술대회논문집, pp. , 2003.

72. 윤석현, 유경현, 김선근, 오영택, 송규근, “디젤기관에서 대체연료 이용시 연소변동 개선에 관한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 356~360, 1996.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.