

# 폐식용유를 이용한 소형 디젤기관의 연소성능 Combustion Performance of the Used Frying Oil on a Small Diesel Engine

김성태*	정형길*	김영복*
정회원	정회원	정회원
S.T.Kim	H.K.Chung	Y.B.Kim

## 1. 서론

기관의 개발 당시부터 植物油를 연료로 사용했던 디젤기관의 경우, 化石연료에 대한 代替연료의 사용을 목적으로 알코올류나 식물유 등을 단독 혹은 혼합유를 기관에 사용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다. 대체유나 첨가유의 활용에는 염가이며 수집이 용이해야 한다는 조건이 있다. 시중에서 튀김용으로 사용 후 폐기되는 콩기름을 원료로 한 폐식용유(이하 폐식용유라 함)는 일부는 비누제조 등의 원료로 재활용되기도 하지만 대부분은 정화되지 않고 하수로 버려지므로 이들은 수질오염의 주요 원인이 되고 있는 것으로 값도 싸고 수집도 어렵지 않다.

본 연구에서 디젤유와 폐식용유를 기유로 하고, 이들을 일정비로 섞은 혼합유를 만들어 시험연료로 하여 연료의 물성을 분석하여 기관 연료로서의 사용 가능성을 확인하고 기관에 나타나는 영향을 예측하였다. 또 단기동 4사이클 디젤기관의 연소실의 형태, 회전수 및 부하의 변동에 따라 나타나는 기관의 출력, 축토크, 연료소비율, 엔진오일의 온도 등의 출력특성을 究明하였으며, 질소산화물, 매연의 배출량과 배기가스의 온도 및 실린더헤드에 고착된 침전물 검출 등의 배기성능을 분석하여 폐식용유의 사용이 가능한 기관 개발의 자료로 활용코자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험에는 NO.2 디젤유(D), 폐식용유(UF)와, 또 이들을 체적비로 혼합한 B-1, B-2, 및 B-3 등의 혼합유를 시험연료로 하였는데, 폐식용유는 체결음을 실시, 불순물을 제거하여 사용하였다. 표 1은 실험연료를 정리한 것이다. 본 연구에서는 ASAE EP552(1996)에 기초를 두고 실험연료의 세탄지수, 동판부식도, 조성, 발열량, 점도, 유동점, 인화점, 비중, 잔류탄소 및 회분, 전산가 등을 측정하였고, 각 연료의 종류특성을 분석하였다. 항목별로 실시한 연료의 물성 측정치는 한국 석유품질검사소에 의뢰하여 분석한 결과와 비교 검토하였다.

---

\* 경상대학교 농과대학 농업공학부 농업기계전공

Table 1. List of the experimental fuels

Symbol	Experimental fuels
D	NO. 2 Diesel oil
UF	Used frying oil
B-1	Diesel 2/3 + UF 1/3
B-2	Diesel 1/2 + UF 1/2
B-3	Diesel 1/3 + UF 2/3

Table 2 Specifications of the tested engine

Items	Specifications	
	Direct injection	Pre-combustion
Combustion chamber		
Bore × stroke (mm)	92 × 95	92 × 95
Displacement (cc)	631	631
Normal output (kW/rpm)	5.9/2200	5.9/2200
Max. output (kW/rpm)	8.1/2200	8.1/2200
Compression ratio	19 : 1	22 : 1

실험에 사용한 기관은 표 2와 같이 수냉식 4사이클 단기통 디젤기관으로 최대출력은 8.1 kW /2200 rpm이었으며, 공시기관의 제원을 정리한 것이다.

기관의 회전수는 교축밸브에 의한 유량조절로 1000 rpm부터 정격회전수인 2200 rpm까지의 구간을 200 rpm씩 7단계, 부하실험은 1/4부하, 2/4부하, 3/4부하, 4/4부하, 11/10부하, 및 최대 부하 등의 6단계로 실시하였다. 연소실의 형식은 직접분사실식과 예연소실식으로 구분하여 기관의 성능을 조사하였다.

측정항목은 축출력, 토크, 연료소비율, 엔진오일의 온도 등의 출력성능과 NOx와 매연의 양, 배기가스의 온도 등의 배기성능이었으며, 30시간 기관의 가동 후 기관을 분해하여 실린더와 피스톤 헤드부의 퇴적물을 검사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

대체연료의 개발을 목적으로, 알코홀, 식물유, 바이오에너지 등에 대한 연구와, 화석연료를 基油로 하고 이들의 혼합유를 기관에 사용하는 연구사례는 다양하며 또 그 수도 많다. 본 연구에 사용한 폐식용유의 原油가 콩기름(soybean oil)이었으므로 여기에서는 콩기름 관련 문헌을 분석하였다. (揭示物 參照)

#### 1. 연료의 물성

실험연료의 물성분석은 실험실에서 구분 실시하고, 한국 석유품질검사소에 의뢰하여 실시한 시료 분석의 결과와 종합하였다. 표 3은 이를 정리한 것이다.

##### 1) 세탄지수(Cetane index) (揭示物 參照)

##### 2) 증류곡선(Distillation curve)

게시물의 그림 1은 본 연구에 사용된 연료의 증류곡선이며, 그림 2는 Scholl 등의 연구에서의 콩기름(SB)과 디젤유(D-1)의 증류특성을 본 연구에서 사용된 폐식용유(UF)와 디젤유(D)의 증류특성과 비교한 것이다. (揭示物 參照)

#### 2. 기관의 성능

##### 1) 기관의 출력

기관의 회전수 변화에 따른 기관의 출력을 연소실의 형식과 연료의 종류별로 측정하였던

Table 3 Physical properties of the experimental fuels

Item	Test Method	D	UF	B-1	B-2	B-3	Limit	
Cetane index	ASTM D4737	47.38	36.34	43.30	41.59	37.66	45 >	
Copper corrosion (100/3h)	KSM2018-97 (ASTM D130)	1	1	1	1	1	1<	
Composition (%)	C	ASTM D5291	86.21	76.87	82.68	80.1	79.5	-
	H	ASTM D5291	13.21	12.0	13.1	12.5	13.8	-
	N	ASTM D5291	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	-
Higher calorific value (cal/g)	KSM2057-97 (ASTM D240)	10,890	9,370	10,390	10,140	9,910	-	
Viscosity (40°C, cSt)	KSM2014-95 (ASTM D445)	3.628	39.19	7.876	11.78	17.63	2.0~5.8	
Pour point (°C)	KSM2016-95 (ASTM D97)	-15.0	5.0	-10.0	-6.5	-2.5	-5<	
Flash point (pm, °C)	KSM2010-94 (ASTM D93)	74	244	82	85	94	45°C>	
Specific gravity (15/4°C)	KSM2002-96 (ASTM D287)	0.8515	0.9203	0.8733	0.8856	0.8974	-	
Carbon residue (10%)	KSM2017-96 (ASTM D524)	0.001	0.56	0.18	0.26	0.34	0.2%<	
Ash (%)	KSM2004-95 (ASTM D482)	0.001	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01%<	
Distillation (90%, °C)	KSM2031-95 (ASTM D1160)	346.7	293	305	331	343	360°C<	
Acid number, Total (mg KOH/g)	KSM2004-95 (ASTM D664)	0.01	0.72	0.29	0.38	0.54	0.40<	

바, 연료의 종류나 연소실의 형식에 무관하게 회전수의 증가에 따라 출력은 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 또 그 차이는 미소하였으나 폐식용유와 혼합유에서의 출력은 디젤유에 비해 낮게 나타났다. 연료의 조성 과 기관의 조건에 따라 차이는 있으나 공기름이나 그 혼합유를 디젤기관의 연료로 사용하면 기관의 출력이 감소하는 것으로 판단된다.

### 2) 축토크

축토크는 일정 회전수까지는 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈으며, 회전수에 따라 연료별, 연소실별 축토크의 차이가 증감되어 일반적인 비교는 어려웠다. 또 변화 경향이 일정하지는 않았으나 두 연소실식 모두에서 디젤유의 축토크가 가장 높았으며, 폐식용유의 함량이 증가하면 축토크는 점감되었다. 기관의 출력과 축토크에 대한 분산분석을 실시한 결과 연료의 종류, 연소실의 종류 및 회전수 모두 1% 이상의 고도의 유의성을 보였으며, 기관의 회전수 > 연료의 종류 > 연소실 형태의 순으로 영향을 미친 것으로 나타났다.

### 3) 연료소비율

기관의 회전수 변화에 따른 기관의 제동연료소비율(이하 연료소비율)의 변화는 회전수의 증가에 따라 어느 범위까지는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타냈다.

전체적으로 예연소실식의 경우에 직접분사실식에서의 연료소비율보다 약 8.2% 높게 나타났으며, 식용유의 첨가 비율에 따른 연료소비율 상승효과가 높게 나타났다. 즉 폐식용유의 혼합비율이 높아짐에 따라 연료소비율은 증가하였는데, 이는 디젤유보다 폐식용유의 발열량이 낮고 비중이 높아 연소실 내에서의 분포성이 낮아지기 때문으로 믿어진다.

연료소비율에 미치는 영향은 연소실형태 > 연료의 종류 > 기관의 회전수의 순이었으며, 기관의 부하를 변수로 하는 경우에는 부하변동 > 연소실 종류 > 연료의 종류의 순이었다.

이상에서의 결과를 연소실별과 연료별로 정리한 기관의 성능곡선은 그림 2와 같다.

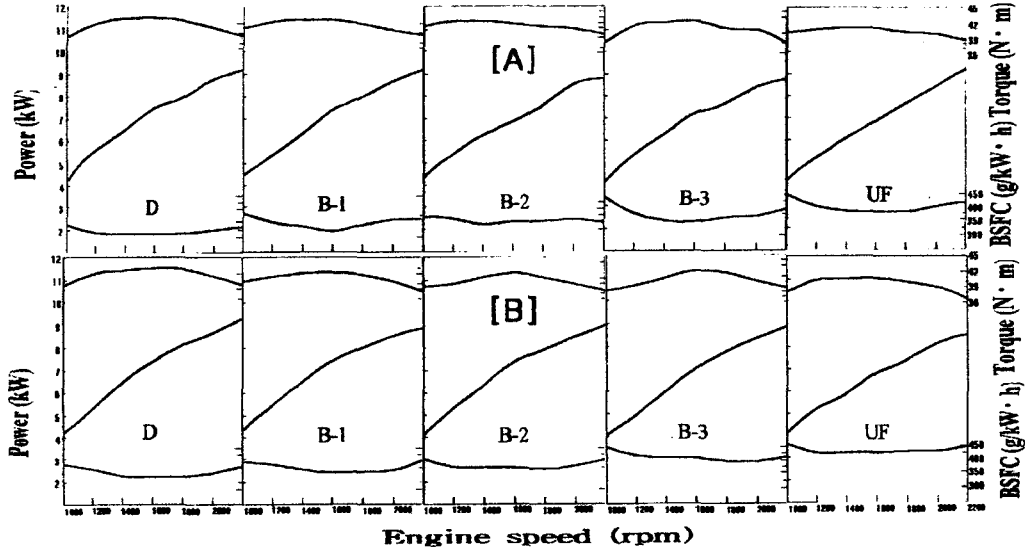


Fig. 2 Engine performance curves on (A) Direct combustion chamber and (B) Pre-combustion chamber.

#### 4) 질소산화물(NOx)

그림 3은 직접분사실식 기관의 회전수 변화와 기관의 부하 변동에 따른 NOx 배출물(이하 NOx) 변화특성을 나타낸 것인데, 중저속에서는 다소 높아지다 감소하는 경향을 나타냈으며, 직접분사실식의 경우 약 450~650 ppm, 예연소실식의 경우 약 230~410 ppm의 범위에 분포하였으며, 전체 부하범위에서 200~885 ppm으로 높게 나타났다.

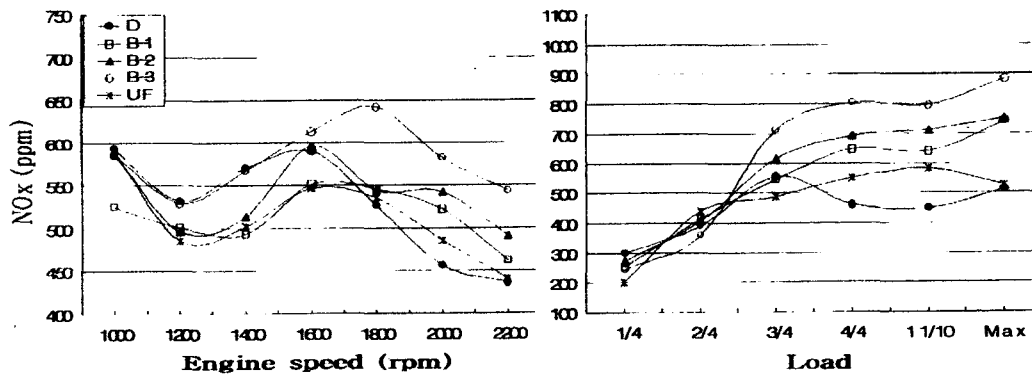


Fig. 3 Variations of the NOx emission on the direct injection chamber.

### 5) 매연

그림 4는 직접분사실식 기관의 회전수 변화와 부하 변동에 따른 매연의 배출 경향을 나타낸 것이다. 직접분사실식에서의 기관회전수의 증가에 따른 매연 발생량은, 전체 연료 종류에 걸쳐서 60~90%의 범위에서 증가하였다. 디젤유의 경우 72~90%로, UF의 경우 61~80%로, 혼합유의 경우 66~70%에서 80~90%로 매연 배출량이 증가하였다. 디젤유를 사용했을 때의 매연 발생량에 비해, UF의 경우 15.3%, 혼합유의 경우 0.7~9.3% 만큼 적게 나타났으며, UF의 혼합율이 높을수록 매연 발생량은 감소하는 경향을 보였다.

예연소실식에서의 기관 회전수 구간에서 10~70% 범위 내에 분포하고 있었으며, 출력면에서는 직접분사실식에 비해 불리하지만 매연이나 NOx의 측면에서는 예연소실식이 유리함을 확인할 수 있었다. 부하의 변동에 따른 매연 배출량은 예연소실식이 직접분사실식에 비하여 전체적으로 30% 정도 낮게 나타났으며 이것은 예연소실식의 주실에서의 연소가 그 구조상 희박연소에 가깝기 때문으로 판단되는데, 매연만을 기준으로 하면 직접분사실식에 비하여 예연소실식이 유리하였다.

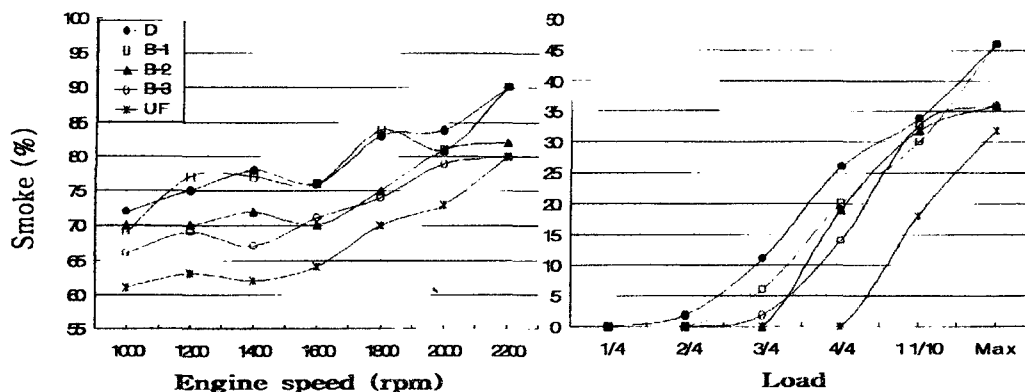


Fig. 4 Variations of the smoke emission on the direct injection chamber.

### 6) 배기가스 온도

모든 연료의 종류나 연소실의 형식에서 회전수가 증가함에 따라 배기가스의 온도는 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 직접분사실식의 경우 연료별로 450~620℃의 높은 배기온도를 나타냈으며, 예연소실식에서는 381~550℃의 상대적으로 낮은 배기온도를 나타냈다. 디젤유를 기준으로 회전수 변화에 따른 연료별 배기온도의 차이는 ±20℃, 폐식용유와 혼합유에서의 배기온도 차이는 디젤유 대비 ±5%로 그리 크지 않았으며 혼합유의 함량에 따른 어떤 일정한 현상을 찾아볼 수 없었다.

### 7) 탄소잔류물(揭示物 参照)

연소 후 탄소잔류물질을 확인하기 위하여 기관을 30시간 가동후 실린더와 피스톤 헤드에 부착된 찌꺼기의 부착상태를 검사하였다. 그림 7의 (A)는 직접분사실식의 실린더헤드와 피스톤헤드를, 또 (B)는 예연소실식의 실린더헤드와 피스톤헤드를 촬영한 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

디젤기관 대체연료로써의 폐식용유 활용방안을 모색하기 위해 NO. 2 디젤유와 폐식용유를 기유로 하고, 이들의 혼합유를 사용하여 연료의 물성을 분석하고 단기통 4사이클 디젤기관의 성능을 분석하였던 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. ASAE EP552 규정에 의한 연료분석을 실시하고 기관 성능을 예측하였다.
2. 기관의 회전수 증가에 따른 기관의 출력은, 디젤유의 경우 4.13~4.27 kW에서 9.08~9.15 kW로, 폐식용유의 경우 4.05~4.19 kW에서 8.44~8.92 kW로 각각 증가하였으며, 혼합유의 경우 4.01~4.48 kW에서 8.69~9.16 kW로 증가하였다. 또 직접분사실식에서의 출력이 예연소실식의 경우에 비해 다소 높게 나타났다.
3. 폐식용유 함량의 증가에 따라 혼합유의 연료소비율은 증가 하였으며, 디젤유의 경우에 비해 직접분사실식에서 21.7%, 예연소실식의 경우에는 18.9% 만큼 폐식용유에서의 연료소비율이 높게 나타났으며, 예연소실식의 경우 직접분사실식 보다 전체적으로 12.0% 높게 나타났다.
4. NO<sub>x</sub> 배출은 고회전시 폐식용유의 경우 디젤유에 비하여 높게 나타났으며 혼합유의 폐식용유 함량이 증가함에 따라 NO<sub>x</sub> 발생량도 증가하였으며, 직접분사실식이 예연소실식에 비하여 58.8% 높게 나타났다.
5. 매연의 농도는 디젤유의 경우에 비해 폐식용유에서 18.0~45.4% 감소하였으며, 폐식용유의 혼합비율이 높을수록 낮게 나타났다. 또 예연소실식의 경우 직접분사실식에 비하여 매연 농도는 46.5% 낮게 나타났다.
6. 종합적으로 직접분사실식 디젤기관의 대체연료로서 혼합유 B-1과 B-2에 대한 사용 가능성을 확인하였다.

#### 5. 참고문헌

1. Chung, H. K., S. T. Kim and Y. B. Kim. 1999. Exhaust Performances of the Used Frying Oil on the Small Diesel Engine. J. of the IARU., Gyeongsang Nat'l. Univ. 33: 41-51(In Korean)
2. Kim, S. T., H. K. Chung and K. H. Cho. 1999. Power Performances of the Used Frying Oil on the Small Diesel Engine. J. of the IARU., Gyeongsang Nat'l. Univ. 33: 29-40(In Korean)
3. Lee, K. M. 1976. A Study on the Operation Performance of Diesel Engine by using of the Soybean Fuel. J. of the KSAE. 18(4): 51-56(In Korean).
4. Suh, S. R. and F.D. Harris. 1984. Rheological Properties of Soybean Oil Ester of the Oil and Their Mixtures with Diesel Fuel and Additives. J. of the KSAM 9(2): 58-64.