

Bio-oil이 디젤기관의 기관성능에 미치는 영향 An Effect in of the Bio-oil as an Alternative Fuel on the Performance of Diesel Engine

조기현*, 정형길**, 강형수***
Ki-Hyon Cho*, Hyung-Kil Chung**, Hyung-Soo Kang***

<Abstract>

This study was carried out to investigate the feasibility of the used frying oil as a bio-oil which was one of the alternative fuel for diesel engine. From tests of engine performance, it was shown that the bio-oil and blends and the sufficient potential as alternative fuels of diesel engine except NOx and Smoke emission.

Key Words : bio-oil

1. 서 론

소비가 급격히 증가하고 가까운 미래에 지하 자원의 고갈이 예상됨에 따라 새로운 에너지 개발의 많은 노력이 이루어지고 있다. 특히 디젤기관의 경우 순수 化石연료에 대한 代替연료의 사용을 목적으로 알코올, 식물류 등을 단독으로 디젤기관에 사용하거나, 化石연료를 己酉로 하고 알코올, 식물류 등을 첨가한 혼합유를 기관에 사용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다.¹⁾ 그러나 실용화까지는 상당한 연구와 투자가 필요하며, 염가이며 쉽게 구할 수 있는 것 이라야 한다.

또 경제적 측면에서도 첨가유의 가격이 높은 관계로 기존 연료에 대해 상대적인 열세이기

때문에 이들의 활용에는 어려움이 많다. 곧 첨가 유는 폐유나 바이오에너지 등과 같이 시중에서 튀김용으로 사용된 후 폐기되는 콩기름을 원료로 한 폐식용유(이하 폐식용유)는 정제, 정화되지 않고 하수로 버려지는 경우가 많아 이들은 수질오염의 주요 원인이 되고 있는 것으로 위의 조건을 만족한다.^{2,4)}

따라서 본 연구에서는 디젤유를 기유로 하고 여기에 일정비의 폐식용유를 섞은 혼합유와 순수폐식용유를 시험연료로 하여 이들의 물성을 분석하여 기관에 미치는 영향과 이용상 문제점을 예측하고, 이를 디젤기관에 적용하여 출력, 연소, 및 배기 등의 제성능을 분석하므로서, 디젤기관 연료로서의 폐식용유의 이용 가능성을 구명하고자 하였다.

* 경북도립 경도대학 차량기계학과 조교수·工博

** 경상대학교 대학원 박사과정

*** 전주공업대학 기계과 교수·工博

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

(1) 연료

실험에 사용한 연료는 표 2-1에 보는 바와 같이 5종의 연료로써 NO. 2 경유(D), 콩기름 폐식용유(이하 폐식용유, UF), 체적비로 UF 1/3과 경유 2/3를 섞은 혼합유(B-1), UF 1/2과 경유 1/2을 섞은 혼합유 (B-2), 그리고 UF 2/3와 경유 1/3을 섞은 혼합유 (B-3) 이다. 폐식용유(UF)는 임의 수집된 것을 커다란 용기에 담아 놓아 침전시키고 그 위 부분을 걷어 채거름을 실시, 불순물을 제거하여 사용하였다.

Table 2.1 Test fuels

Fuel	Composition (volumetric)
D	NO. 2 Diesel oil
UF	Used frying oil
B-1	NO. 2 Diesel (2/3) + UF (1/3)
B-2	NO. 2 Diesel (1/2) + UF (1/2)
B-3	NO. 2 Diesel (1/3) + UF (2/3)

Table 2.2 Specifications of the test engine

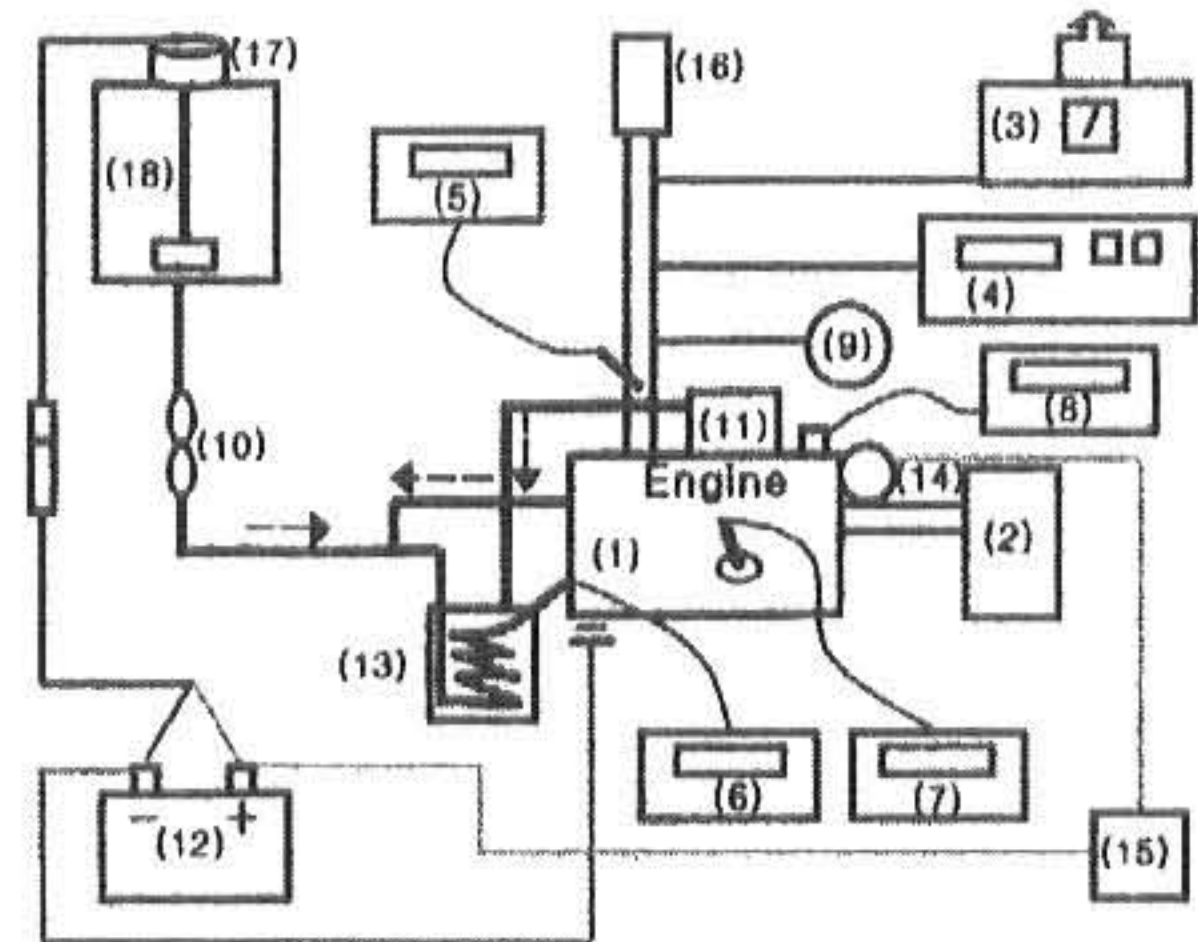
Items	Specifications	
Type	4 cycle, single cylinder	
Combustion chamber	Direct injection	Pre-combustion
Bore × stroke (mm)	92 × 95	92 × 95
Displacement (cc)	631	631
Nominal output (kW/rpm)	5.9/2200	5.9/2200
Max. output (kW/rpm)	8.1/2200	8.1/2200
Max no load speed (rpm)	2400 ± 50	2400 ± 50
Compression ratio	19 : 1	22 : 1
Injection pressure (kg/cm ²)	220	135
Injection timing	BTDC 22°	BTDC 17°
Fuel injection pump	Bosch type	Bosch type
Net weight (kg)	125	125

(2) 기관

본 실험에 사용한 기관은 수냉식 4사이클 단기통 디젤기관이었으며, 최대출력은 정격회전수 2200 rpm에서 8.1 kW이다. 공시기관의 제원은 Table 2.2와 같다.

2.2 실험장치

본 연구의 장치 개략도는 Fig.2.1에 나타낸 바와 같고 기관, 동력측정장치, 연료공급장치, 배기가스 분석장치 및 흡 배기계통과 기관 주요부위의 온도측정장치 등으로 구성되어 있다.



- 1) Engine
- 2) Engine dynamometer
- 3) Smoke tester
- 4) Exhaust gas analyzer
- 5) Exhaust gas temperature indicator
- 6) Fuel temperature indicator
- 7) Oil temperature indicator
- 8) RPM indicator
- 9) Exhaust pressure indicator
- 10) Burette
- 11) Cooling water temperature indicator
- 12) Battery
- 13) Fuel heating tank
- 14) Starting motor
- 15) Starting switch
- 16) Exhaust pipe
- 17) Fuel mixer
- 18) Fuel tank

Fig. 2.1 Arrangement of experimental apparatus.

기관의 동력 측정에는 프로니 동력계(prony dynamometer)를 사용하였는데, 암(arm)의 길이는 0.7 m, 自重은 0.65 kg이다. 기관의 최대 출력은 회전수 2200±20 rpm의 부분에서 측정되었다.

부하별 시험은 기관의 공칭출력(5.9 kW/2200 rpm)을 기준으로 부하를 계산하여 실시하였으며, 배기관경은 35A로 하였고, 압력게이지를 설치하여 배압이 1 kg/cm²을 넘지 않도록 하여 출

력의 변동을 최소화하였다.

기관의 회전수는 엔진에 회전수 감지센서(광소자센서)를 고정하여 디지털지시계(Hanyoung SM3 digital tachometer)로 측정하였고, 연료소비율은 용량식 측정방법을 사용하였다.

기관 위 1.8 m 지점에 연료탱크를 설치하여 중력으로 연료를 공급하는데, 기관의 연료주입구에 유량계(burette type, 100cc)를 설치하여 측정하였다.

본 실험은 디젤유와 폐식용유 및 세 가지의 혼합유를 사용하였는데, 혼합연료는 연료탱크 위에 직류모터를 설치하여 연료를 교반하며 주입하였다.

공급 연료는 냉각수를 이용한 가열탱크를 통과시켜 가열하였다. 또 분사펌프 입구에 온도센서(CA type thermocouple)를 설치하여 전 구간 시험유의 온도를 54℃에서 60℃ 까지 가온됨을 확인하였으며, 냉각수의 유량으로 시험유의 온도를 제어하였다. 시험기간 중 외기온도는 25℃~32℃이었다.

배기가스의 온도는 배기관에서 50mm 떨어진 위치에 온도센서(CA type thermo couple)를 심어서 디지털 지시계로 검출하였으며, 엔진오일의 온도는 오일캡에 위에서와 같은 온도센서를 설치하여 디지털 지시계(Hanyoung AT3 digital indicator)로 측정하였다.

질소산화물 측정기는 독일의 RBR computer tectech GmbH사에서 제작한 rbr-ecom JN 측정기를 사용하였는데, 이것은 NiCr/Ni thermo-element를 장착한 직경13 mm, 길이 250 mm의 Coaxial probe를 기본장치로 하여, O₂, CO, NO 및 NO₂의 동시 측정이 가능하고 NO와 NO₂를 전체 NOx 값으로 표시할 수도 있다.

Photo. 1은 분석에 사용한 배기가스분석기를 나타낸 것이다. 또한, 매연농도측정을 위해 디젤Smoke전용 측정기인 (주)대본제작소에서 제작한 교통부 형식인정 제59호 (MODEL D13C-1000)으로 측정하였다.

2.3 실험방법

기관성능의 측정에 선택한 실험인자와 조건은 Table 2.3과 같다.

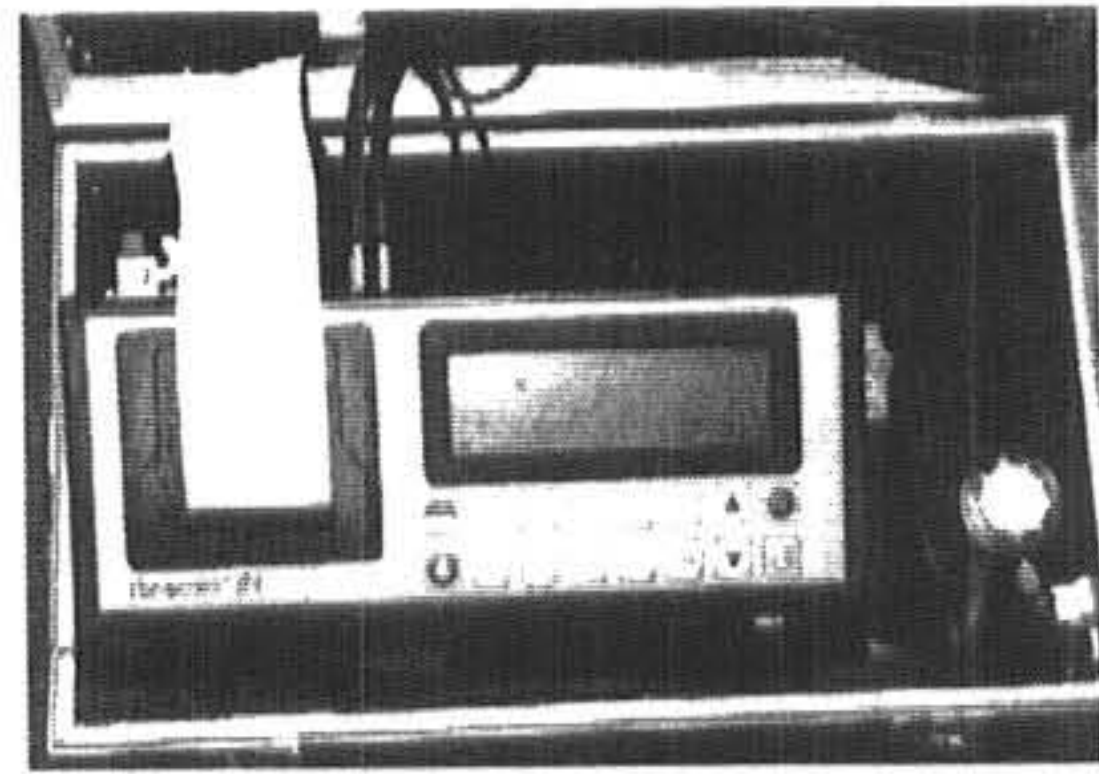


Photo. 1 Exhaust gas analyzer.

Table 2.3 Experimental factors

Fuel	UF, D, B-1, B-2, B-3
Combustion chamber	Direct injection type, Pre-combustion type
Engine speed (rpm)	1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200
Load	1/4, 2/4, 3/4, 4/4, 11/10, Max

3. 결과 및 고찰

3.1 연료의 물성

실험연료의 물성분석은 실험실에서 점도 및 증류실험 등을 구분 실시하고, 한국 석유품질검사소에 의뢰하여 실시한 시료 분석의 결과를 종합하였다. Table 3.1은 이를 정리한 것이다.

3.2 증류곡선

Table 3.2는 본 연구에 사용된 연료의 증류곡선이며, Table 3.3은 Scholl 등²⁴⁾의 연구에서의 쿡기름(SB)과 디젤유(D-1)의 증류특성을 본 연구에서 사용된 폐식용유(UF)와 디젤유(D)의 증류특성과 비교한 것이다. Fig. 3.2와 3.3은 증류곡선을 나타내었다.

3.3 기관성능

본 실험에 사용된 디젤기관의 연소실식은 직접분사실식과 예연소실식이었는데, 기관의 회전수(이하 회전수) 변화에 따른 기관의 출력(이하 출력)과 축토크의 변화를 연소실의 형식과 연료의 종류별로 측정하였고 실선은 직접분사실

식을 나타내었고 점선은 예연소실식을 나타내었다.

Table 3.1 Physical properties of the test fuels

Item	Test Method	D	UF	B-1	B-2	B-3	
Cetane index	ASTM D4737	47.38	36.34	43.30	41.59	37.66	
Copper corrosion (100/3h)	KS M2018 97 (ASTM D130)	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)	KS M2057-97 (ASTM D240)	10,890	9,370	10,390	10,140	9,910	
Viscosity (40°C, cSt)	KSM2014-95 (ASTMD445)	3.628	39.19	7.876	11.78	17.63	
Pour Point (°C)	KS M2016-95 (ASTM D97)	-15.0	5.0	-10.0	-6.5	-2.5	
Flash Point (PM, °C)	KSM2010-94 (ASTM D93)	74	244	82	85	94	
Specific Gravity (15/4°C)	KSM2002-96 (ASTMD1298)	0.8515	0.920	0.8733	0.8856	0.8974	
Carbon residue (10%)	KSM2017-96 (ASTMD524)	0.001	0.56	0.18	0.26	0.34	
Ash (%)	KSM2004-95 (ASTMD482)	0.001	0.03	0.01	0.01	0.01	
Distillation (90%, °C)	KSM2031-95 (ASTM D86)	346.7	293	305	331	343	
Acid Number, Total (mg KOH/g)	KSM2004-95 (ASTMD664)	0.01	0.72	0.29	0.38	0.54	

Fig. 3.3에서 직접분사실식의 경우 회전수가 1000rpm에서 2200rpm으로 증가함에 따른 출력의 변화를 살펴보면, 혼합유 B-1의 경우 디젤유에 비하여 출력이 0.4% 높게 나타났으나, B-2의 경우에는 2.0%, B-3의 경우 3.3%, 또 UF의 경우 3.2% 만큼 디젤유의 출력보다 낮게 나타났다. 예연소실식의 경우 연료별로는 디젤유의 출력에 비해 UF 6.0%, B-1 1.8%, B-2 2.8%, B-3의 경우 4.1% 모두 낮게 나타났다.

직접분사실식에서의 출력이 예연소실식의 경우에 비해 약간 높게 나타났으나 그 차이는 매우 작았다. 따라서 출력의 측면에서는 연소실의

종류보다는 연료의 첨가 비율의 결정이 우선되어야 할 것으로 사료된다. 이것은 UF의 발열량은 디젤유의 약86%에 불과하나 폐식용유는 비중과 전반적인 증류온도가 높은 高沸点溜分, 즉 무거운 탄화수소 성분을 많이 함유하여 기관출력을 증대시켜 디젤유를 사용했을 때의 출력과 비슷하게 나타난 것으로 판단된다.

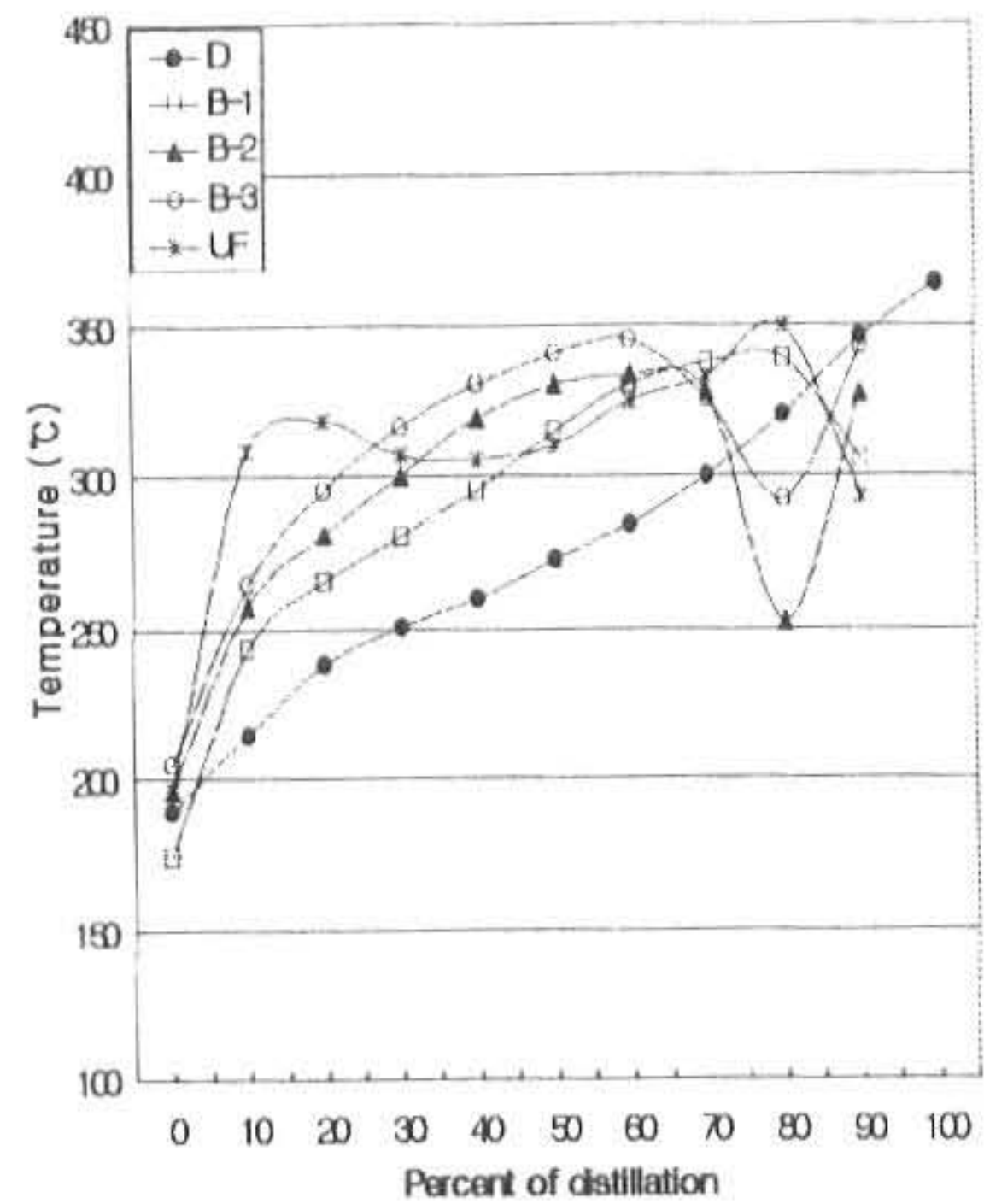


Fig. 3.1 Distillation curves of the test fuels.

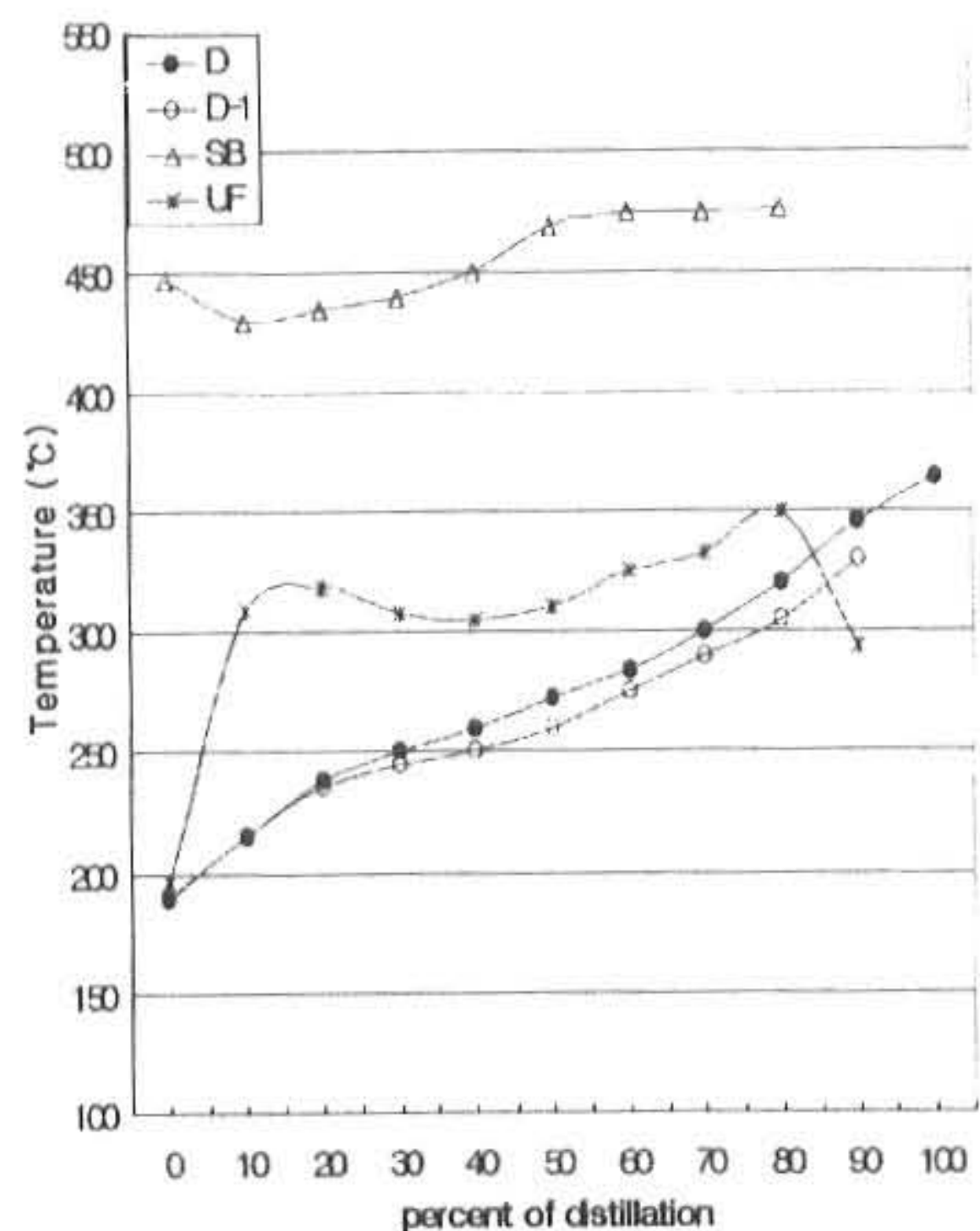


Fig. 3.2 Comparison of the test fuels with reference fuels.

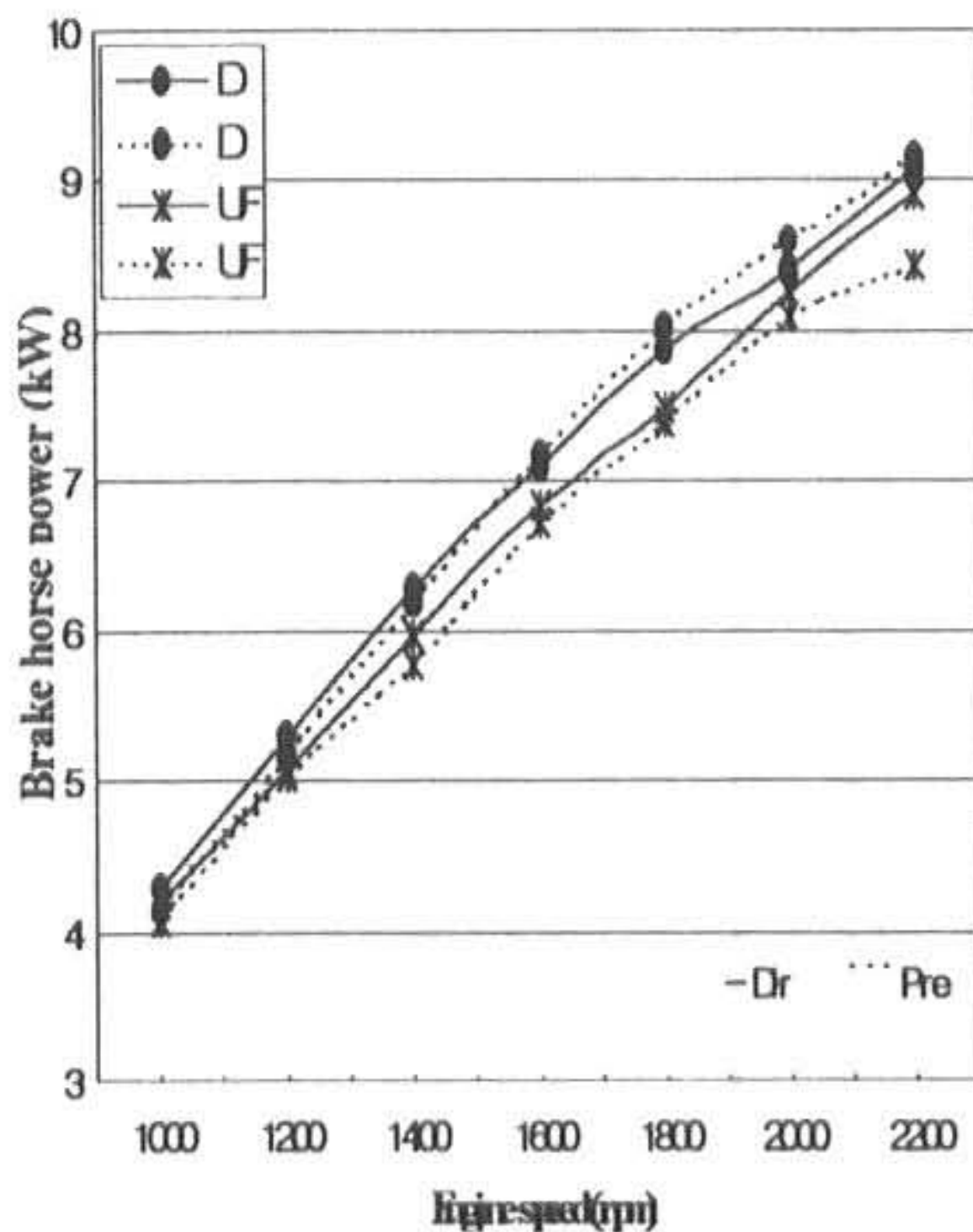
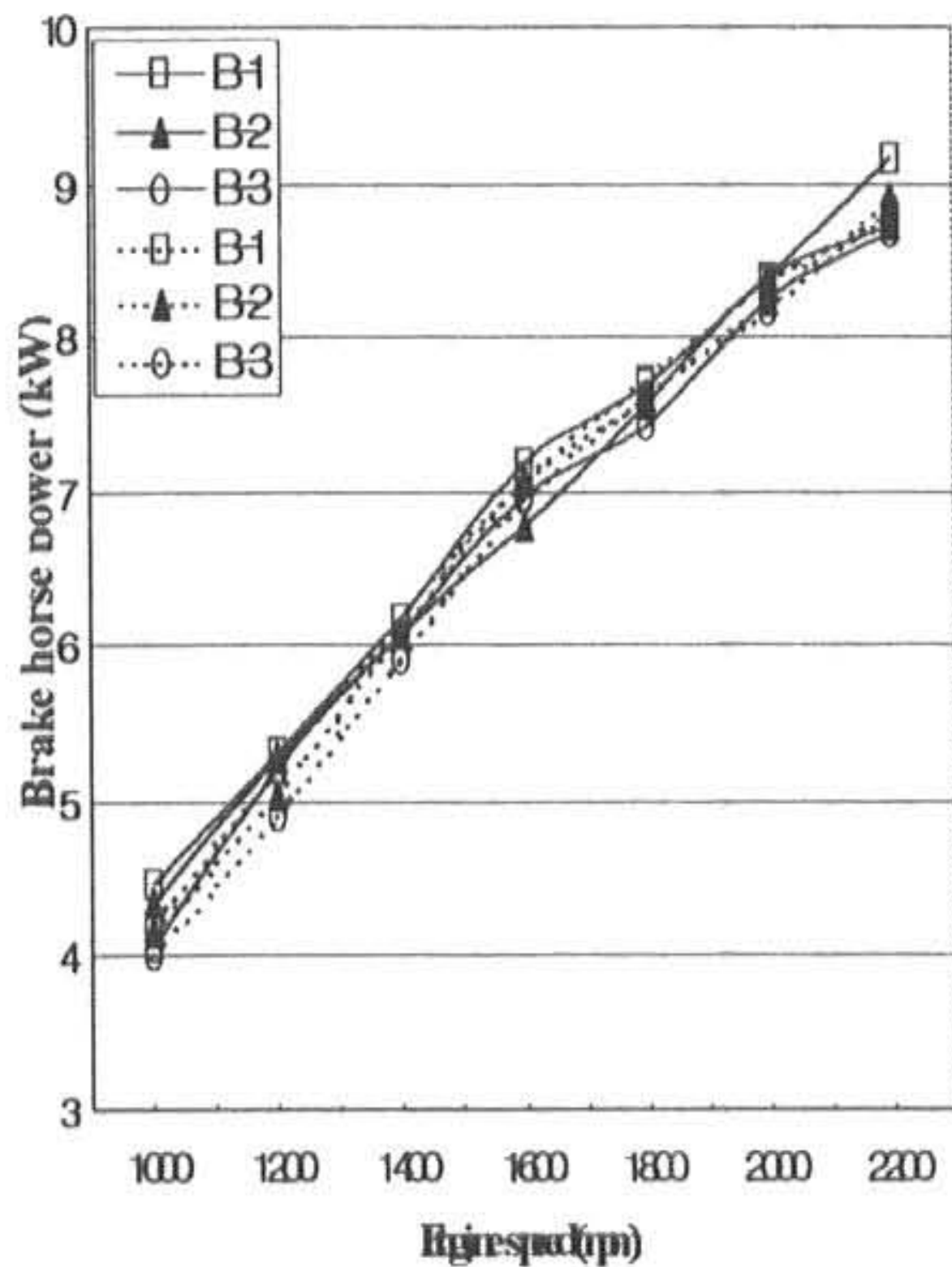


Fig. 3.3 Comparisons of the engine power between combustion chambers.

3.4 연료소비율

기관의 회전수 변화에 따른 기관의 制動燃料消費率 (이하 연료소비율)의 변화를 연소실의 형식과 연료의 종류별로 분석하였다. 그림 3-4 은 연료소비율을 비교한 것이다. 그림과 같이

연료소비율은 회전수의 증가에 따라 어느 범위까지는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 나타냈다.

직접분사실식의 경우 회전수가 1000rpm에서 2200rpm으로 증가할 때 연료소비율의 변화를 살펴보면, 디젤유를 사용했을 경우의 연료소비율에 비해, UF의 경우 17.8%, 혼합유 B-1의 경우 7.0%, B-2의 경우 7.8%, B-3의 경우 15.9% 만큼 디젤의 경우 보다 높게 나타났다.

예연소실식의 경우 연료소비율의 변화를 살펴보면, 여기서 디젤유를 사용시의 연료소비율에 비해, UF의 경우 18.9%, 혼합유 B-1의 경우 5.3%, B-2의 경우 6.6%, B-3의 경우 14.0% 만큼 디젤의 경우 보다 각각 높게 나타났다.

즉, UF의 혼합비율이 높아짐에 따라 연료소비율은 증가하였는데 이것은 디젤유보다 UF의 발열량이 낮고 비중이 높아 연소실 내에서의 분포성이 낮아지기 때문으로 생각된다.

3.5 배기배출물

본 실험에 사용된 직접분사실식과 예연소실식에서의 기관회전수 변화에 따른 NOx 배출물 (이하 NOx) 변화특성을 나타낸 것은 Fig. 3.5 와 같고, 연료와 연소실 형식간의 NOx 발생 경향을 비교한 것이다.

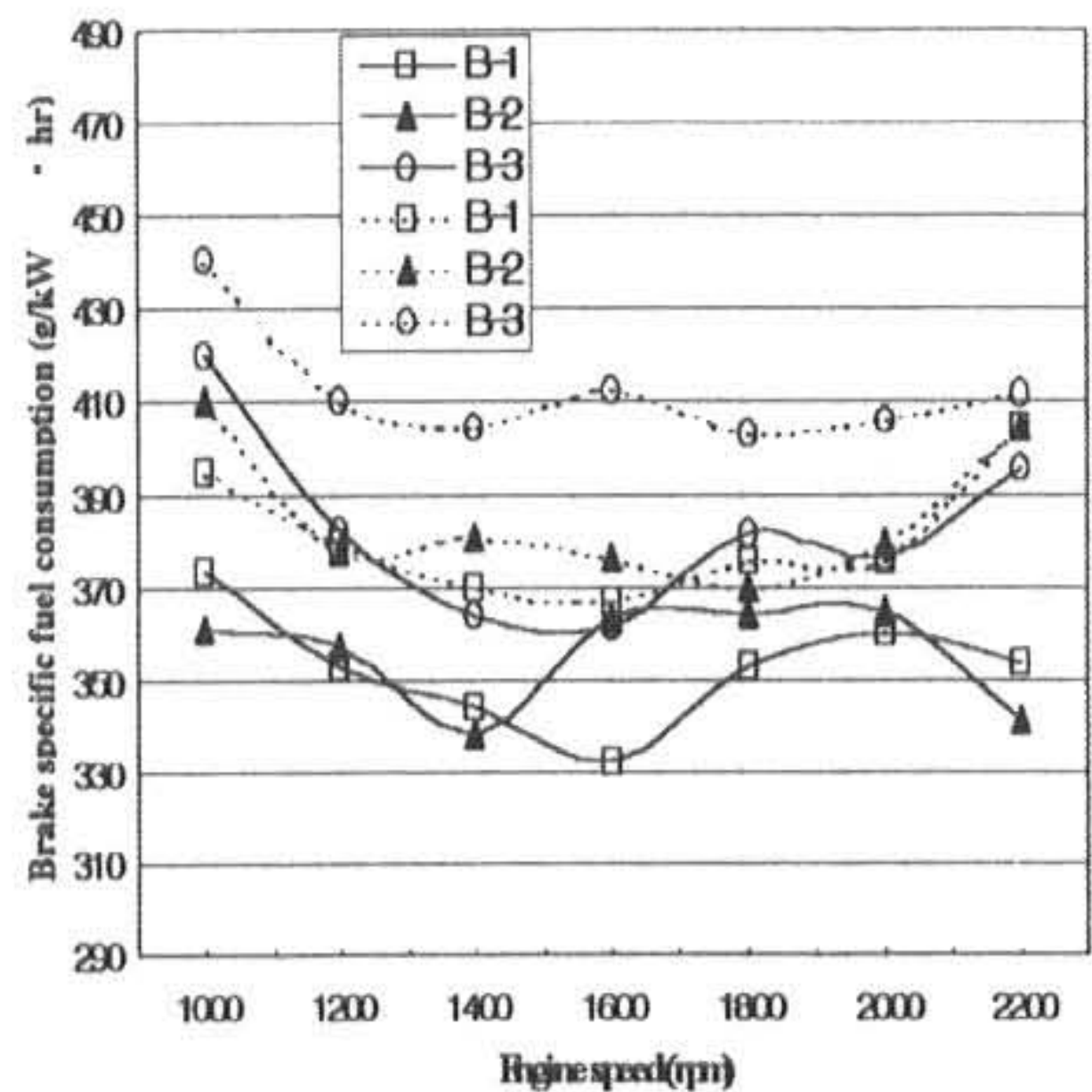


Fig. 3-4 Comparisons of the brake specific fuel consumption between combustion chambers.

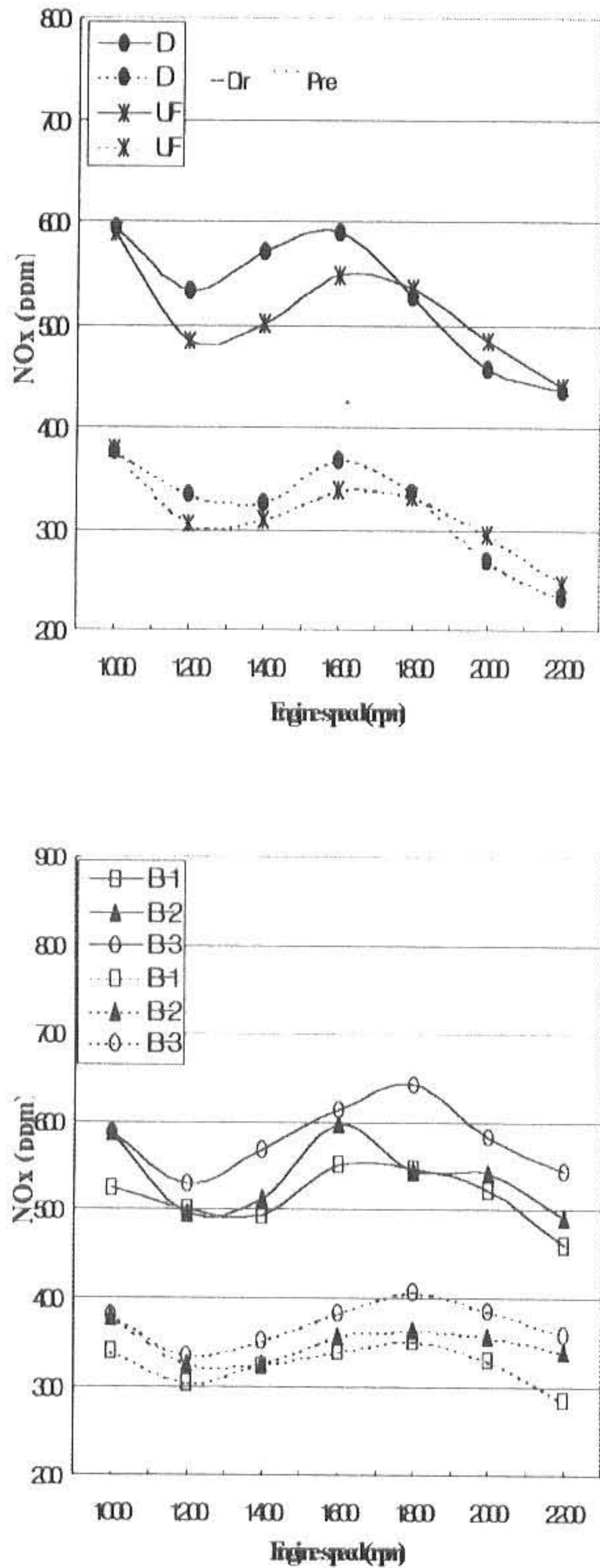


Fig. 3-5 Comparisons of the NOx emission between combustion chambers.

회전수 1000rpm에서 1200~1400rpm까지 감소한 후 상승하여 1600~1800rpm에서 최대치를 보이다가 다시 하강하여 2200rpm까지는 계속 감소하는 경향을 나타냈으며, 직접분사실식의 경우 약 450~650ppm, 예연소실식의 경우 약 230~410 ppm의 범위에 분포하고 있었다.

Fig. 3.5에서, 직접분사실식 디젤유에서의 NOx

배출량에 비하여 폐식용유 UF의 경우에는 2.8%, B-1의 경우에는 1.9% 낮았으나, B-2의 경우와 B-3 첨가의 경우에는 디젤유보다 각각 2.6%, 10.9% 만큼 높게 나타났다. 또 예연소실의 경우, 디젤유의 NOx 배출량에 비하면 UF의 경우에만 1.1% 낮게 나타났으며, B-1에서는 3.8%, B-2에서는 9.5%, 또 B-3의 경우에는 디젤유에서의 NOx 배출량보다 19.0% 높게 나타났다.

연료의 성분분석에서 폐식용유 UF는 질소성분을 포함하고 있고 점도가 높아 UF와 이를 포함하는 혼합유의 경우 저속에서는 연소기간이 길어 NOx 배출량이 감소하였으며, 중속에서는 연소기간이 짧고, 연소온도가 높아 연소에 필요한 산소의 변화가 적기 때문이며 특히, 미연소분이 많아 NOx의 발생이 많았다. 또한, 고속에서의 감소 현상은 흡입공기량의 부족으로 판단된다.¹⁾

연소실과 연료별로 기관의 회전수변화에 따른 매연의 배출특성을 나타낸 것은 Fig. 3.6과 같고, 이것은 매연의 발생 경향을 비교한 것이다.

직접분사식의 경우 기관회전수의 증가에 따른 매연 발생량은, 전체 연료 종류에 걸쳐서 기관의 회전수가 1000rpm에서 2200rpm로 증가함에 따라 매연은 61%에서 90%의 범위에서 증가하였다.

디젤유의 경우 72%에서 90%로, UF의 경우 61%에서 80%로, 혼합유 B-1의 경우 69%에서 90%로, B-2의 경우 70%에서 82%로, B-3의 경우 66%에서 80%로 매연 배출량이 증가하였다. 디젤유를 사용했을 때의 매연 발생량에 비해, UF의 경우 15.3%, 혼합유 B-1의 경우 0.7%, B-2의 경우 6.7%, 또 B-3의 9.3% 만큼 적은 것으로 나타났으며, UF의 혼합율이 높을수록 매연 발생량은 감소하는 경향을 보였다.

예연소실식에서의 기관 회전수 구간에서 12~68% 범위 내에 분포하고 있었으며, 출력면에서는 직접분사실식에 비해 불리하지만 매연이나 NOx의 측면에서는 예연소실식이 유리함을 확인할 수 있었다. 직접분사식의 경우 국부적으로 공기연료비가 농후상태에서 불완전연소 영역이 확대되어 Smoke농도가 증가한 것으로 사료된다.⁶⁾

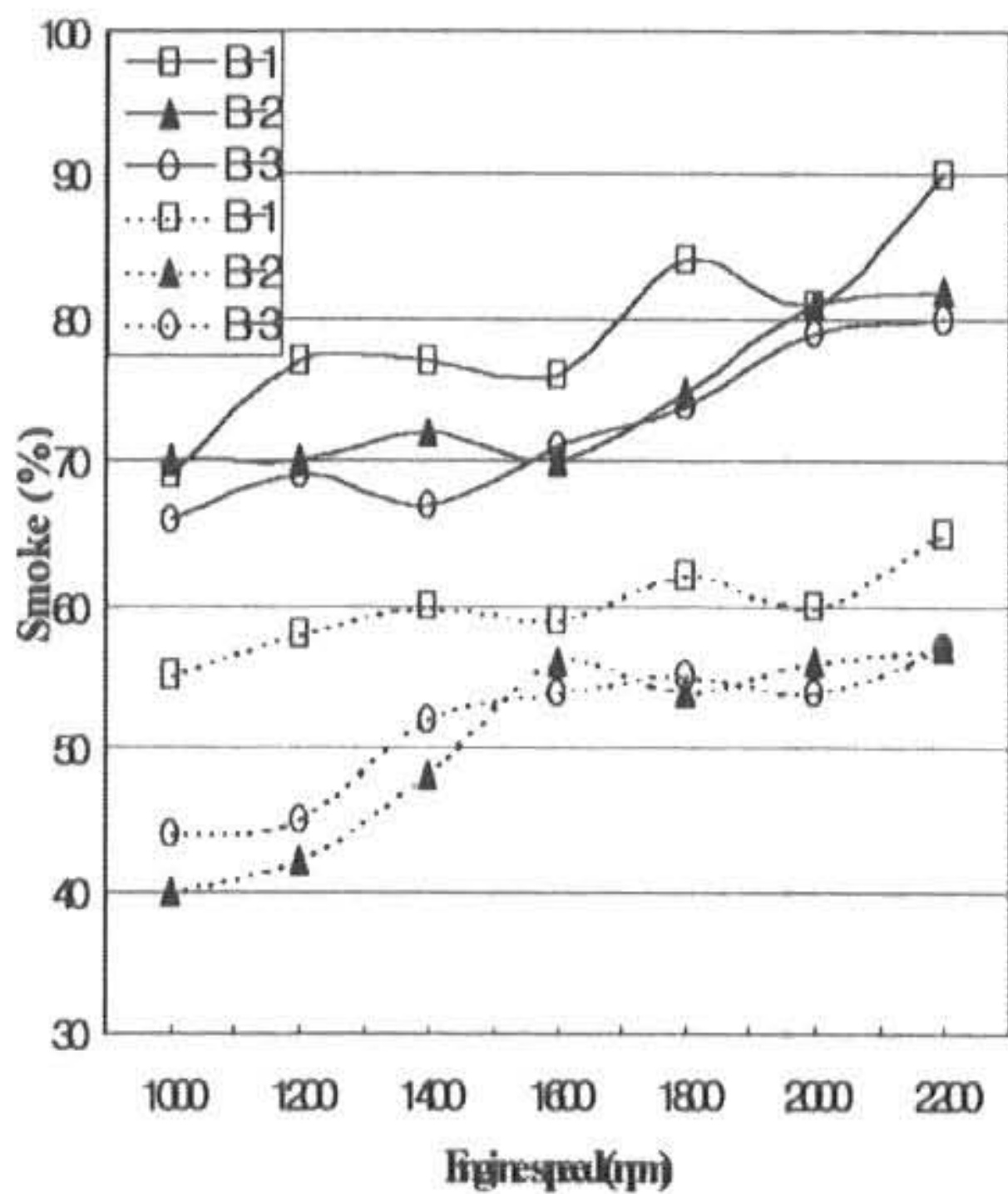
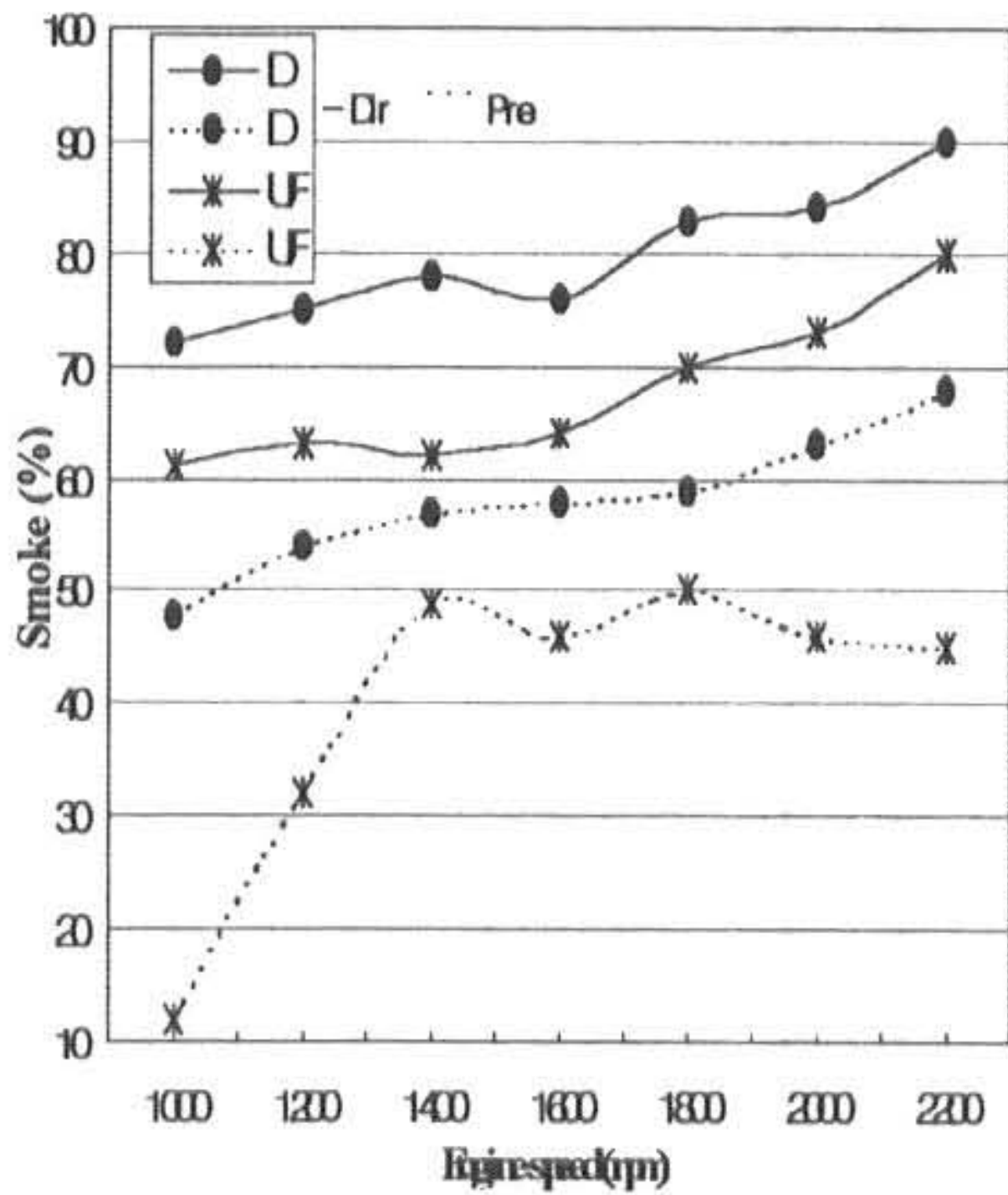


Fig. 3.6 Comparisons of the smoke between combustion chambers.

기관회전수의 증가에 따른 매연량은, 디젤유의 경우 48%에서 68%로, UF의 경우 12%에서 45%로, 혼합유 B-1의 경우 55%에서 65%로, B-2의 경우 40%에서 57%로, B-3의 경우 44%에서 57%로 증가하였다.

디젤유를 사용했을 때의 매연 발생량에 비해 혼합유 B-1의 경우 3.6% 높게 나타났고, UF의 경우에는 32.4%, B-2의 경우 13.4%, 또 B-3의

11.1% 만큼 낮게 나타났다. 약간의 예외는 있었으나 대부분 UF의 혼합율이 높을수록 매연 발생량은 감소하는 것으로 판단된다.

3.6 탄소침전물

기관 내부의 탄소침전은 노킹을 유발하고 흡배기 효율을 감소시켜 출력 저하와 기관의 수명을 단축시키는 요인이 되고 있는데, 연료의 잔류탄소의 양이 많을 수록 높게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 엔진내 탄소잔유 물질을 확인하기 위하여 30시간 가동후 실린더와 피스톤 헤드에 부착된 찌꺼기의 부착상태를 검사하였다. Photo. 2는 직접분사실식의 실린더헤드와 피스톤헤드를, 또 Photo. 3은 예연소실식의 실린더헤드와 피스톤헤드를 촬영한 것이다.

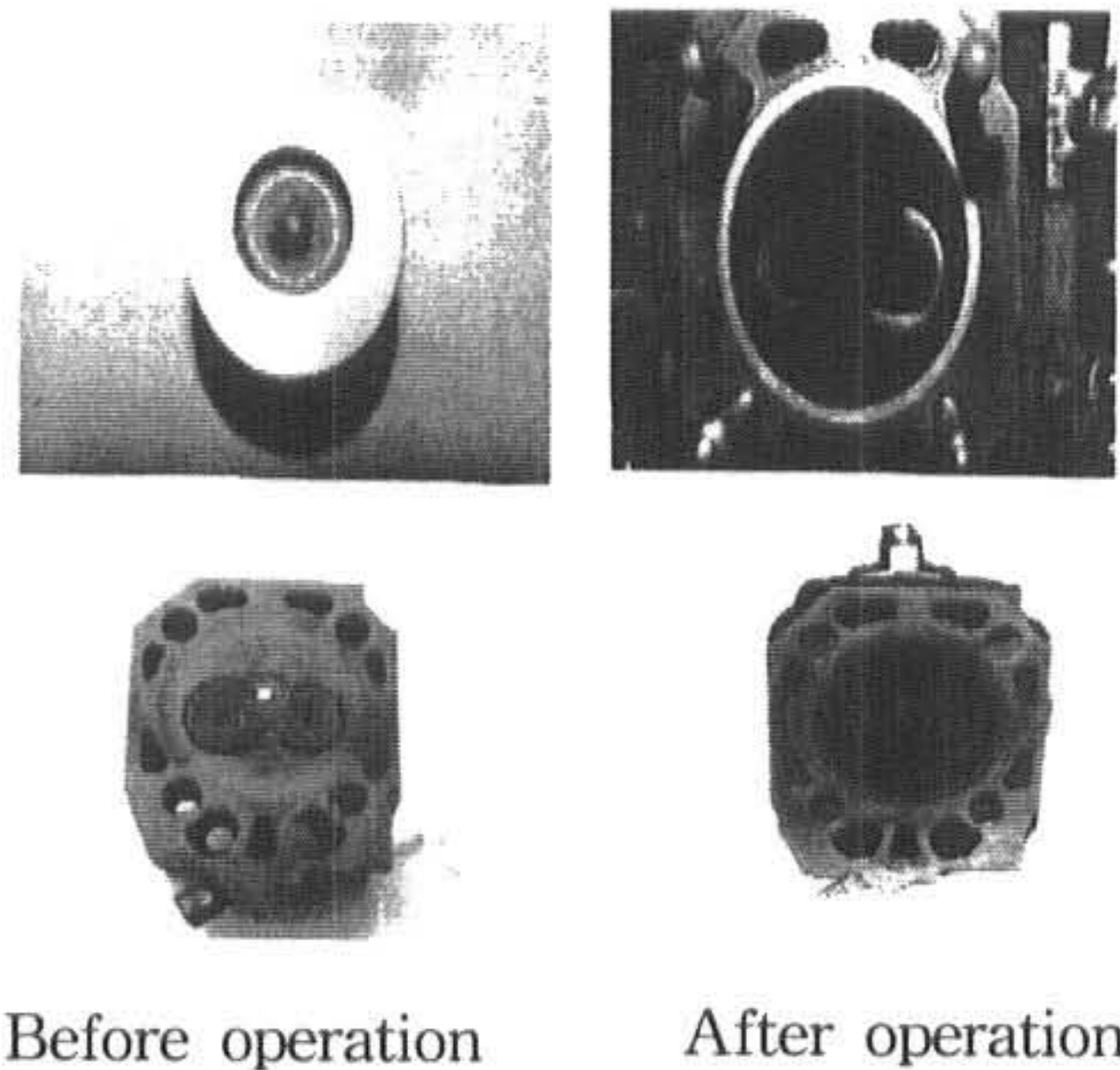


Photo. 2 Sludge of the cylinder head and piston head on direct injection chamber.

연료의 잔류탄소는 일정온도에서 가열하여 휘발성 물질을 모두 날려보낸 후 남아있는 물질의 양을 측정하며, 이것은 연소시 탄소부착물의 생성 경향을 비교하는 척도로서 이용되기도 하는데, 폐식용유 증류실험시 10% 잔유의 잔류탄소분은 0.56%로 높았기 때문에 UF를 연료로 장기운전시에는 기관 내부의 연소계통과 배기물에 상당량의 탄소함유물이 포함될 것으로 예상하였다. 또 디젤유에 비하여 UF와 그 혼합유는 비등점이 높게 나타났었는데, 이것은 고비점

유분이 많은 경우 열에너지의 보유량이 늘어나서 출력면에서 유리하지만, 연소속도가 늦어 분사노즐 주위에 탄소분을 부착시키는 경향이 늘어나서 장기간 사용시 기관의 가동이 불가능하게 되므로, 장기간 운전시 순수폐식용유와 혼합유로 인한 기관의 탄소침착물의 부착이 예측되었다. 이 침착물 중에는 회분이 함유되어 있으므로 회분 형성 물질을 함유한 첨가제가 들어있는 경유에도 나타남을 예상할 수 있다.

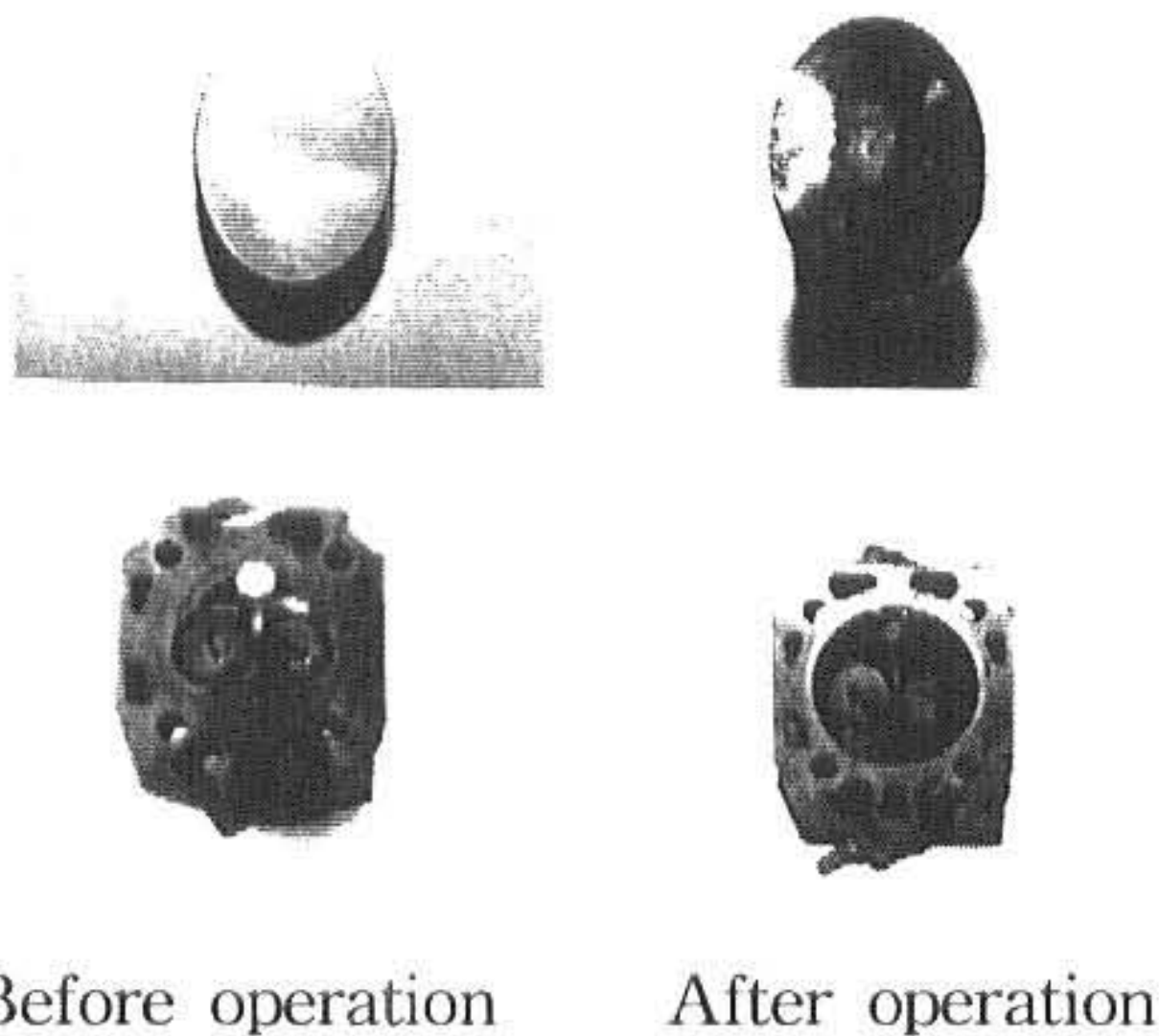


Photo. 3 Sludge of the cylinder head and piston head on pre-combustion chamber.

직접분사실식의 경우에 비하여 예연소실식에서 탄소부착물 양이 적고 연했으므로 이에 의한 노즐 막힘의 영향이 다소 적을 것으로 사료되었지만 장시간 운전 이후의 상태에 대해서는 지속적인 연구를 필요로 하였다.

4. 결론

디젤기관의 대체연료로서 콩기름으로부터 추출되어 튀김용으로 사용된 UF의 활용 가능성을 구명하기 위해 디젤유, UF와 이들의 혼합유를 연료로 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 연료의 물성분석을 실시하고, 기관의 성능실험을 통하여 이를 확인하였으며, 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 출력측면에서 UF와 UF혼합유의 경우 디젤유에 비해 유사한 경향을 나타냄으로 대체연료로써 충분한 가능성을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 연료소비율 측면은 UF와 UF혼합유가 디젤유에 비하여 다소 불리하였으나, 대체연료로써 가능성을 확인하였다.
- (3) NOx와 Smoke 배출량은 UF와 UF혼합유는 디젤유에 비하여 전반적으로 약간 높게 나타났다.
- (4) 탄소침전물량은 UF와 UF혼합유를 사용한 경우 디젤유에 비하여 연소실에 상당한 정도의 미연소 침전물이 잔류함을 확인하였는데, 향후 이 문제에 대한 해결이 요구되었다.

참 고 문 헌

- 1) 高長權 : 代替燃料로서 油菜油를 사용한 小型農用 디젤機關의 性能向上에 關한 實驗的 研究. 慶尙大 博士論. (1987)
- 2) 金成泰, 金榮福, 鄭泰相 : 農用機關 代替燃料 研究에 關한 文獻分析(1)-燃料의 物性分析. 農研報 32: pp.81-90. 慶尙大. (1998)
- 3) 金成泰, 閔泳鳳, 李昇揆, 金海龍. : SI機關用 메탄올-가솔린 混合燃料의 特性評價農研報 30(1): pp.73-82. 慶尙大. (1996)
- 4) 金成泰, 宋大彬, 趙基顯 : 農用機關 代替燃料 研究에 關한 文獻分析(2)-機關性能 分析. 農研報 32: pp.91-100. 慶尙大. (1998)
- 5) 金在輝 : 자동차기관Ⅱ(디젤기관)중원사.(1996)
- 6) 羅又禎, 유병구, 정진도 : 미강유 적용 소형 디젤엔진의 배기배출물 특성. 韓農機誌 23(2): pp.125-134. (1998)
- 7) 裴英煥, 柳寬熙 : 에타놀-石油 混合燃料의 農用石油엔진에의 利用에 關한 研究. 韓農機誌 7(1): pp.53-61. (1982)
- 8) 徐相龍, F.D. Harris : 大豆油를 原料로한 代替 디젤燃料의 粘性學的 性質. 韓農機誌 9(2): pp.60-64. (1984)
- 9) 李基明 : 디젤엔진의 콩기름燃料에 依한 運轉性能에 關한 試驗. 韓農工誌 18(4): pp.51-56. (1976)
- 10) 한국석유품질검사소 : 경유의 품질특성에

관한 조사연구(보고서). (1994)

- 11) 趙基顯, 李昇揆, 金成泰, 金榮福 : 農用 石油 機關의 LPG 利用에 關한 研究. 韓農機誌 22(2): pp.189-198. (1997)
- 12) ASTM D94-97. Standard test methods for flash-point by Pensky-Martens closed cup tester.
- 13) ASTM D97-96a. Standard test method for pour point of petroleum products.
- 14) ASTM D129-95. Standard test method for sulfur in petroleum products (General bomb method).
- 15) ASTM D130-94. Standard test method for detection of copper corrosion from petroleum products by the copper strip tarnish test.
- 16) ASTM D189-97. Standard test method for Conradson carbon residue of petroleum products.
- 17) ASTM D445-96. Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (the calculation of dynamic viscosity).
- 18) ASTM D482-95. Standard test method for ash from petroleum products.
- 19) ASTM D524-97. Standard test method for Ramsbottom carbon residue of petroleum products.
- 20) ASTM D613-95. Standard test method for cetane number of diesel fuel oil.
- 21) ASTM D1552-95. Standard test method for sulfur in petroleum products (high-temperature method).
- 22) ASTM D1983-90 (1995)e1. Standard test method for fatty acid composition by gas-liquid chromatography of methyl esters.
- 23) ASTM D4737-90. Standard test method for calculated cetane index by four variable equation.

(2000년 8월 16일 접수, 2001년 2월 5일 채택)