

<論 文>

직접분사식 디젤기관의 연소실 형상과 화염의 발달(2) — 유화액연료용 연소실의 형상 —

방중철* · 太田幹郎**

(1995년 2월 25일 접수)

The Effect of Air and Spray Turbulence on the Flame Progress in a D.I. Diesel Engine(Ⅱ) —Combustion Chamber Design for the Use of Emulsified Diesel Oil with Water Particles—

Joong Cheol Bang and Motoo Ohta

Key Words : Diesel Engine(디젤기관), Visible Engine(가시화기관), Emulsified Fuel(유화액연료), High-Speed Flame Photography(고속도 화염사진법), Fuel Spray(연료분무)

Abstract

Recently, the improvement of fuel economy and the reduction of exhaust smoke and NOx have been successfully achieved by supplying diesel engines with emulsified diesel oil with water particles. In the present paper, the difference between the combustion of injected emulsified fuel and that of diesel oil spray is clarified by means of taking high-speed and color photographs of the flames in the engine cylinder. As the results, the two kinds of fuels show different combustion behavior each other in the growth of initial flame and in the termination of combustion process in the cylinder. Then, suitable combustion chamber design for the use of emulsified fuel is discussed on the basis of experimental data for various distribution of spray in different kinds of piston cavities. Some methods of clearing troubles caused by emulsified fuel injection are also discussed on the basis of performance tests with a remodeling test engine.

1. 서 론

직접분사식 디젤기관은 열효율이 높기 때문에 중·저속의 디젤기관에는 물론이고, 총 배기량이 10ℓ 미만의 중·고속 디젤기관에도 널리 사용되고 있다. 그러나 직접분사식 디젤기관은 NOx 및 Smoke에 대한 배기정화대책을 세우면 연료소비율이 악화되기 때문에 양쪽 모두 만족시킬 수 있는

대책이 아직 마련되지 못하고 있는 실정이다. 최근 실린더내에 분사하는 연료의 압력을 극단적으로 높이는 고압분사법이 각광을 받아 여러가지 연구가 되고 있다.^(1,2) 한편 연료에 물과 계면활성제를 혼합시켜 만든 유화액연료(emulsified fuel)를 증기발생용 보일러에 사용해서 연료소비율의 개선과 NOx의 저감에 성공한 예가 있어,⁽³⁾ 이 유화액연료를 디젤기관용 연료로서 사용하고자 하는 시도도 눈에 띄게 되었다.^(4,5)

본 논문에서는 연료속에 수적(水滴)이 분산되어 있는 유중수적형(油中水滴形) 유화액연료(체적비로

*정회원, 금오공과대학교 기계공학과

**日本, 大阪府立大學 工學研究科

1%의 계면활성제 혼입)를 디젤기관에 사용함에 있어 경유 및 유화액연료를 분사했을 시의 연소경과에 어떤 차이가 있는지를 고속도 화염사진과 고온 공기류 덕트 내에서의 연소현상⁽⁶⁾으로부터 고찰했다. 그 결과 사용연료에 따라 착화개시시간 및 착화후의 연소경과에 차이가 있어 피스톤 헤드의 cavity 형상 및 연소실 내에서의 분무의 분산상태 등을 여러가지로 변화시켜 유화액연료 사용에 적합한 연소실형상에 대하여 검토하였다. 또 고속도 화염사진으로부터 얻은 결과를 참고하여, 직접분사식 디젤엔진으로 개조시킨 Test용 기관을 사용해서 연료소비율과 배기연 농도, 배기중의 NO농도 등 기관성능에 미치는 노즐 분공수, 노즐 개변압, 과급압 등의 영향을 조사했다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 가시화기관과 피스톤 헤드의 형상

실험기관(AD-8형)은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 실린더의 위에서부터 내부가 관찰될 수 있도록 두장의 강화유리($\phi 110$, $\phi 86$)를 장착하여 가시화시켰으므로 피스톤 헤드 형상의 차이에 따라 연료분사 후로부터 착화개시까지의 혼합기형성과정과 또 그 이후의 연소과정에 서로 다른 공기유동을 제공함으로 인한 영향 등을 조사할 수 있다. 또 분사노즐은 초기연소를 촉진시키기 위해 분사하는 보조연료분 사용과 주연료분사용의 2개를 좌·우에 수평으로

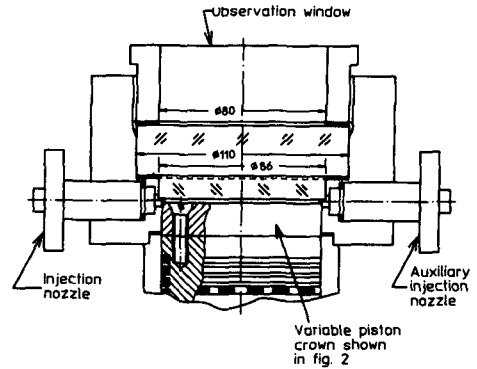


Fig. 1 Visible engine for flame photographing(AD-8)

부착시켰다.

실험에 사용한 피스톤 헤드의 형상은 단순히 분무가 관찰창 유리면과 피스톤표면에 접촉되지 않도록 설계한 Fig. 2(a)의 반달형, 분무가 2개의 부채형 Cavity내에 분사되면서 축방향의 스퀴시(squish)를 발생시킬 수 있도록 설계한(b)형, 그리고 분무가 cavity 벽면에 접선방향으로 분사되어 벽면을 따라 선회하므로써 증발면적이 증가되도록 설계한 (c)형 연소실의 3종류이다.

2.2 성능시험용 기관의 개조 및 피스톤 헤드의 형상

Fig. 1의 가시화기관은 실린더 헤드에 유리를 장착시켰으므로 짧은 시간내의 화염사진 촬영에는 적

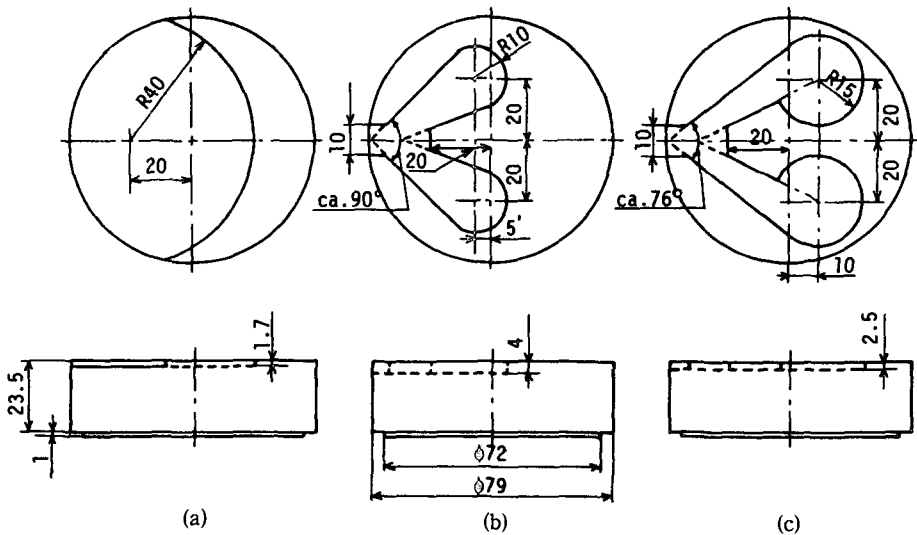


Fig. 2 Various piston crowns for flame photographing

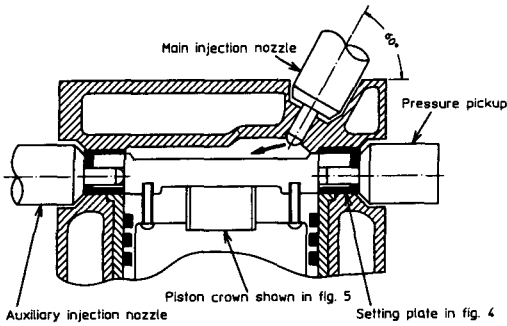


Fig. 3 Remodeling engine for performance test(STD-75)

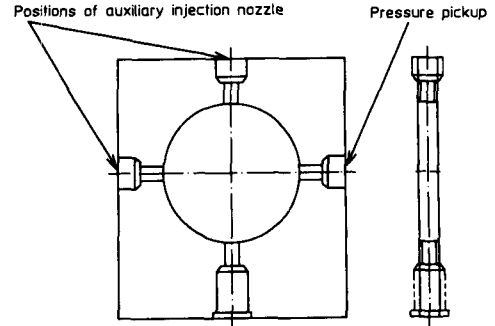


Fig. 4 Setting plate for auxiliary injection nozzle and pressure pickup

합하나, 기관성능을 평가하기 위한 운전에는 적합치 못하다. 따라서 본 연구에서는 가시화기관에 의해 얻어진 연소경과를 참고하여 연료소비율, 배기연농도 등 기관성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 부실식 디젤기관(STD-75형)의 부실부를 떼어내고 연료분무가 직접 피스톤 헤드의 cavity 내에 분사될 수 있도록 개조시켜 직접분사식 디젤기관으로 변형시켰다. 아울러 Fig. 4에 나타난 바와 같이 두께 30 mm의 철판에 보조분사용 노즐을 장착시킬 수 있도록 가공하여 실린더 헤드와 실린더 블록 사이에 삽입시켰다. 이것은 주분무의 선단부 및 중앙부 또는 주분무의 근원부 등에 보조연료에 의한 예혼합기를 미리 배치시켜 주분무의 초기착화과정이 촉진될 수 있도록 하기 위한 수단이기도 하며, 가시화 기관과의 압축비 등 실험조건을 맞추기 위한 수단이기도 하다. 또한 실린더 헤드의 윗쪽에 부착된 주분사노즐의 분사각은, 분무가 피스톤 cavity내에 유효하게 분사될 수 있도록 예비실험을 통하여 하향 15°임을

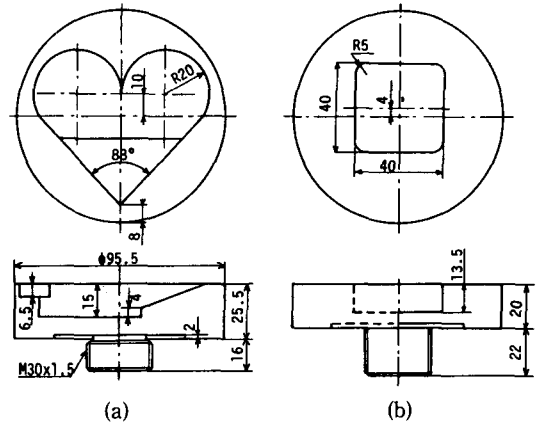


Fig. 5 Piston crowns for performance test engine

확인하였다. 한편, 성능시험용 기관에 사용할 피스톤 헤드의 형상을 Fig. 5에 나타난 바와같이 2종류 시작하였다. (a)형 연소실은 Fig. 2의 (c)처럼 분무가 cavity 측벽을 따라 선회되고, 동시에 실린더 축방향의 스퀴시(squish)도 이용할 수 있도록 깊이

Table 1 Details of two kinds of the test engine

Items,	Engine	AD-8	STD-75
Purpose		Flame photographing	Performance testing
Bore/stroke		80/90 mm	96/105 mm
Stroke volume		452 cm ³	760 cm ³
Compression ratio		15	14
Nozzle holes		2	2 or 3
Spray angle		50 deg.	53 deg. or 2×36 deg.
Nozzle opening pressure		20 MPa	20 MPa

15 mm의 cavity를 가공했다. 그리고 (b)형 연소실은 증발을 촉진시킬 수 있는 분무의 유동이 없고 또한 분무자체가 연소실벽과 접촉되지 않도록 깊이 13.5 mm의 각형 cavity를 가공했다. Table 1은 본 연구에서 사용한 2종류의 실험기관의 주요제원이다.

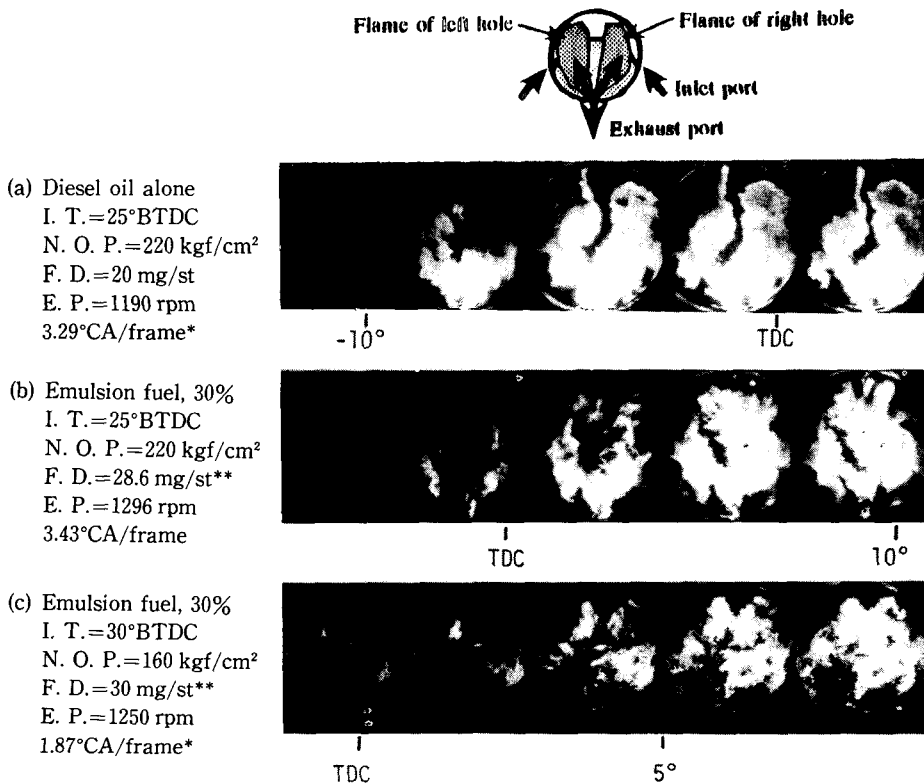
3. 실험결과 및 고찰

3.1 유화액연료의 연소경과

유화액연료에 의한 연소개선 효과가 수적(水滴)의 비 등에 의한 유적(油滴)의 재미립화에 의한 영향인지, 유적속의 과열수증기의 수성가스 반응에 의한 연료성분의 변화때문인지, 아니면 유화액연료의 점성이 변화해서 분무내로 유입되는 공기량이 증가해 연소기간이 단축되고 기관출력이 증가하는 것인지 등의 논의는 별도로 하고 여기에서는 유화액연료를 사용했을 때의 연소특징에 대하여 기술한

다. Fig. 6은 가시화기관을 사용하여 촬영한 고속도 화염사진의 한 예이며, Table 2는 촬영조건을 제시한 것이다. 피스톤 헤드의 형상은 Fig. 2(a)의 반달형이다. 경유를 분사한 통상 운전시의 촬영 예에서는 발화핵이 연소실의 하부, 즉 배기구측의 공기온도가 높은 노즐선단부에서 발생하고 약 5°CA 후에는 2가닥의 분무에 의해 형성된 큰 화염이 노즐부착면의 맞은편 벽까지 퍼진다.

이 큰 화염은 주변의 공기층쪽으로 확대되는 전염부가 밝고, 화염전체가 밝은 빛으로 둘러싸인 형태를 띤다. 한편, 유화액연료를 사용한 경우의 연소경과 사진은 Fig. 6의 (b)와 (c)에 나타난 바와 같이 착화지연기간이 약 5°CA 정도 길어진다. 따라서 분무주변에 형성되는 착화직전의 예혼합기량이 경유 분사시보다 많아지고, 초기화염은 농담이 비교적 뚜렷한 줄무늬 모양의 화염을 포함한 2개의 큰 화염이다. 이 줄무늬 모양의 화염은 분무의 주변부에서 국부적으로 발생된 예혼합기가 매우 빠른



Frame speed, **Gross, I. T.=injection timing, N. O. P.=nozzle opening press, F. D.=fuel delivery, E. P.=engine speed

Fig. 6 Combustion flames for different fuels and operating conditions

Table 2 Operating conditions of flame photography

	Fuel	Injec. T	Injec. P	F Deliv.	E. speed	CA/frame
(a)	D alone	25 BTDC	22 MPa	20 mg/st	1190 rpm	3.29
(b)	E 30%	25	22	28.6	1296	3.43
(c)	E 30%	30	16	30	1250	1.87

*D : Diesel oil, E : Emulsified fuel

속도로 화염 전파되어 생긴 화염덩어리일 것으로 예상된다. 따라서 유화액연료를 사용했을 때의 화염은 경유의 화염보다 전체적으로 어둡고 잔광기간은 짧다.

2공 노즐을 사용하여 이 유화액연료의 화염선단부를 확대시킨 한 예를 경유의 화염과 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7의 (a)처럼 경유를 사용한 경우, 각 가닥의 분무에 의해 형성된 화염의 폭은 좁고 길며 화염의 발달은 거의 좌우대칭이다. 이 파상의 화염을 주목하여 보면 실린더 라이너 벽에 접촉되는부분의 화염회도는 약간 열으며 화염의 일부가 피스톤과 라이너 사이의 간극부에 빨려 들어가는 것처럼 생각된다. 그리고 연소실 가운데에서 발생한 화염은 수 mm로부터 수십 mm에 이르기까지 극단적으로 밝은 화염전면(flame front)을

형성하면서 기연가스의 팽창에 의해 서서히 주변부 쪽으로 확대되어져 가는 것이 이 연소화염의 특징이다.

한편, Fig. 7의 (b)처럼 유화액연료의 경우, 전술한 바와 같이 착화지연기간이 약 5°CA 정도 길어짐에 따라 발화핵이 발생되기 쉬운 분무주변부에 형성되는 예혼합기량이 경유 분사시보다 많아지므로 연소초기의 큰 화염속에는 수많은 작은 화염덩어리가 형성되어 있어 경유만을 분사한 경우의 화염보다 전반적으로 팽창된 큰 화염이 만들어짐을 알 수 있다. 따라서 연소화염의 소멸은 연료를 유화시킨 경우가 빠르고, cycle의 열효율 개선에 기여됨이 예측된다. 이것은 유적속에 함유된 수분이 비등하면서 유적의 재미립화가 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 유적안에 함유된 수적이 비등하면서 발생한 과열증기에 의해 수성반응이 일어났을 가능성에 대해서는 명확한 근거가 없으나, 비등한 수증기에 의해 유적의 재미립화가 단기간에 일어날 가능성이 높고 이로 인해 화염의 중앙부 쪽으로 공기의 도입도 기대된다. 이 때문에 유화액연료를 디젤기관의 연료로서 사용하는 것은 분무중심부에 생기는 국부적인 공기부족의 해소에도 도움이 되고 매연생성도 억제시킬 수 있는 가능성이 예상된다.

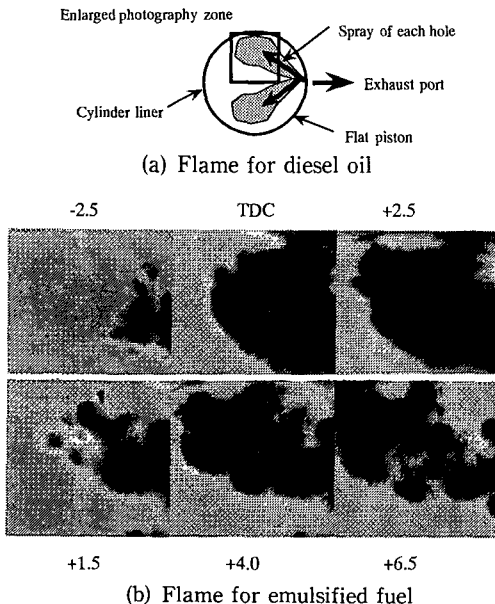


Fig. 7 Enlarged flame photographs for diesel oil and emulsified fuel injection

3.2 연소실 형상과 연소경과

Fig. 2와 같은 3개의 연소실을 사용하여 실험조건을 각각 달리한 15종류의 연소과정을 고속도 카메라로 촬영한 후 이 사진들로부터 착화개시시기 및 발화핵의 발생에서 화염이 소멸될 때까지의 잔광기간 등을 해석하였다.

Table 3은 필름번호 1번에서 15번까지의 수분첨가율, 분사시기, 과급압 등의 운전조건을 나타낸 것이며, Fig. 8은 각각 약 10 cycle분의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8에 의하면 유화액연료의 경우는 연소실의 종류에 관계없이 착화개시시기는 경유

Table 3 Experimental data number in figure 8

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Combustion chamber	Fig. 2(a) type					Fig. 2(b) type					Fig. 2(c) type				
Fuel*(water %)	D	E 30%				D	E 30%	D	E 20% 30%		D	E 30%	D	E 20% 30%	
Fuel delivery(mg/st, gross)	30	28.6	35.3	30	35.3	30	30	25	35	35	30	30	25	35	35
Boost pressure before inlet port(MPa)	0.15					0.15		0.18			0.15		0.18		
Mean ignition timing(deg. ATDC)	-10.4	-5.4	-6.3	-1.8	-2.6	-10.7	-2.0	-12.5	-10.1	-9.4	-11.9	-10.6	-14.5	-12.9	-9.7
Mean flaming duration(deg. CA)	128	77	98	67	57	78	75	134	104	87	126	54	150	87	69
Injection timing(deg. BTDC)	25		30			25					25				

*D: Diesel oil, E: Emulsified fuel

를 분사한 경우보다 늦으나 잔광기간은 매우 짧아짐을 알 수 있다. 예를 들면, Fig. 2(a)와 같은 반달형 연소실의 경우 잔광기간의 단축이 20°CA 이상이다. 또 유화액연료를 사용하면 착화지연기간이 길어지기 때문에 분사시기를 5°CA 정도 앞당겨도 연료가 분사되는 시점에서의 실린더내 공기온도가 너무 낮아 역으로 착화개시 시기는 늦다. 그러나 착화직후에는 격렬한 화염의 분열에 의해 잔광기간은 정규의 분사시보다도 단축되어 경유 사용시의

약 절반으로 줄어든다.

유화액연료를 사용함에 따른 시동성저하와 착화개시시기의 지연 등을 개선하기 위하여 분무주변부에 비말량(飛沫量)의 발생을 증대시킬 수 있는 형상의 연소실, 즉 Fig. 2(b) 및 (c)형 연소실에 있어서의 착화지연기간과 잔광기간을 측정된 No. 6~15를 살펴보았다. 이들의 측정결과로부터는 분무의 비행통로를 상하방향으로 두껍게 한 (b)형 연소실보다는 분무의 선단부가 연소실의 중심쪽으로 말려 들어갈 수 있도록 설계한 (c)형 연소실이 착화시기가 약간 빠르고 잔광기간도 짧아짐을 알 수 있다. 이것은 (b)형 연소실에서는 분무의 선단부가 맞은편 연소실 벽에 충돌해서 착화에 적합한 비말량이 감소되었기 때문인 것으로 생각된다. 예를 들어 과급압력이 0.15 MPa인 운전조건의 No. 7과 No. 12의 착화시기를 비교하여 보면 (b)형 연소실에서는 착화시기가 매우 늦으나 (c)형 연소실에서는 유화액연료를 사용하여도 경유사용시와 거의 같은 시기에 연소가 개시되어 잔광기간도 매우 단축됨을 알 수 있다.

한편, 압축비를 높여 분무가 비행하는 공간의 온도를 높여주는 것도 착화개시시기를 앞당겨 주는 방법의 하나이다. 본 연구에서는 과급압력을 0.18 MPa까지 높여 압축공기 온도를 높이는 방법에 의해 착화지연기간의 단축에 대처하여 보았다. 한 예로 (b)형 연소실에 있어서 과급압력이 0.15 MPa에서 유화액연료를 사용한 No. 7과, 과급압력이 0.18 MPa에서 유화액연료를 사용한 No. 9 및 No. 10을 비교하여 보면 과급압력이 0.18 MPa인 경우

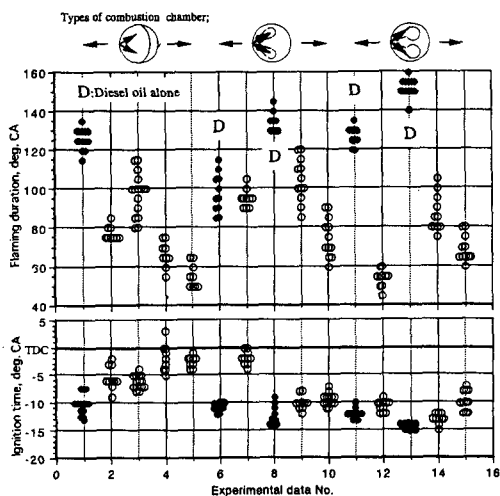


Fig. 8 Ignition timing and flaming duration for different kinds of combustion chambers ignition timing: the time of first appearance of ignition nuclear on the film, flaming duration: duration between first appearance and disappearance of flame on the film

의 착화개시시기가 매우 앞당겨져 0.15 MPa에서 경유를 분사한 No. 6의 경우와 거의 같은 시기까지 착화개시시기를 앞당길 수 있었다. 그러나 유화액연료 사용시의 잔광기간은 과급압력의 증감에 조금도 영향을 받지 않음을 알았다. 이와 같은 실험 결과로부터 유화액연료를 사용할 때는 압축비를 약간 높이든지 아니면 분무의 선단부가 연소실 벽에 접촉되지 않도록 설계한 형상의 연소실이 유효함을 알았다.

3.3 유화액연료의 온도차이에 의한 기관성능

유화액연료 속에 함유된 수적이 연소도중에 과열됨으로 인해 유적의 재미립화가 일어난다면 분사노즐에 공급하는 연료자체의 온도를 높여보는 것도 기관성능에 미치는 영향이 있을 것으로 생각된다. Fig. 9는 분사펌프 직전의 연료온도를 통상의 17°C와 50°C까지 가열시킨 경우에 있어서 기관성능을 비교한 것이다. Fig. 9에 나타난 여러가지 성능곡선중 배기연농도가 연료온도의 영향을 가장 많이 받고 있다. 이것은 온도가 높아질수록 연소초기에 형성되는 예혼합기량이 증대되는 것이 원인이라고

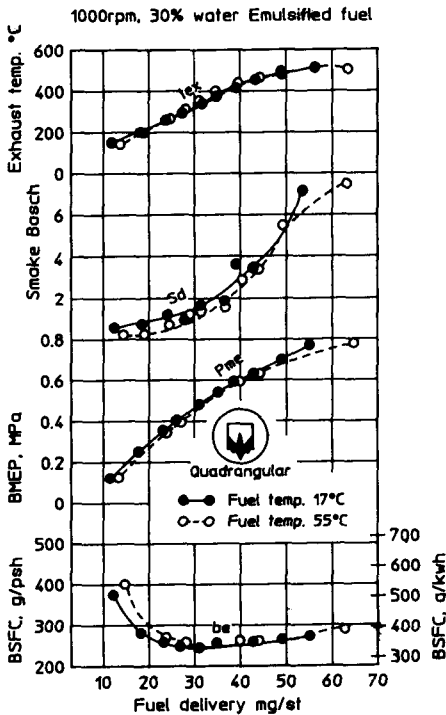


Fig. 9 Effects of the fuel temperature on the engine performance

생각되며, 또한 연료온도의 상승은 점성의 저하를 의미하므로 분무의 평균입경이 감소되어 수적이 과열되기 쉬운 환경이 갖추어진 때문인 것도 하나의 이유라고 생각된다.

3.4 연료속에 함유된 수분량과 기관성능

배기가스중의 NO나 smoke를 제어할 목적이란 연료중의 수분함유량을 늘여 줄필요가 있다. 그러나 연료소비율의 개선까지도 생각한다면 수분량은 20%~30% 정도가 한계이다. Fig. 10은 수분량 20%와 30%의 유화액연료에 있어서 연료소비율과 배기연농도를 기관부하에 따라 나타낸 것으로, 예를 들어 60 mg/st는 기관부하 $pe=0.6$ MPa에 상당한다.

Fig. 10에 의하면 2공 노즐을 사용한 경우는 수분함유량이 많은 편이 연료소비율과 배기연농도가 개선됨을 알 수 있다. 그러나 3공 노즐처럼 분무간격이 좁은 노즐의 경우는 수분량이 20%를 넘으면 배기연 농도 및 연료소비율의 개선에 효과가 없어지게 되어 노즐 분공수의 영향도 중요한 의미를 가짐을 알 수 있다. 또 최량의 연료소비율을 얻을 수 있는 수분량은 저부하에서는 20% 전후, 중·고부하에서는 30% 전후라고 말할 수 있다.

3.5 유화액연료 사용시의 연소실 형상과 기관성능

앞서 고속도 화염사전에 의한 고찰로부터 유화액연료를 사용할 경우는 분무주변의 비말부가 가능한 연소실 벽에 접촉되지 않는 형상의 연소실이 적합함을 알 수 있었다. Fig. 11은 Fig. 5에 나타난 2개의 연소실형상, 즉 분무의 주류부가 Cavity 중심부 쪽으로 말려들어 갈 수 있도록 설계한 연소실과 각형 연소실에 있어서 분사시기를 변화시켜 가면서 기관성능에 미치는 영향을 조사한 한 예이다.

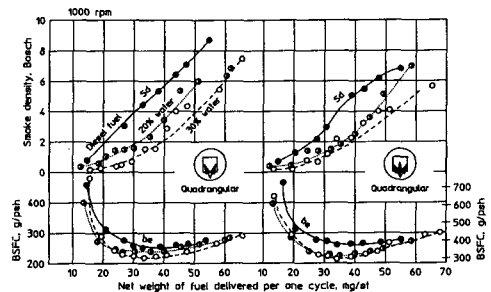


Fig. 10 Effects of water in fuel on the BSFC and smoke density

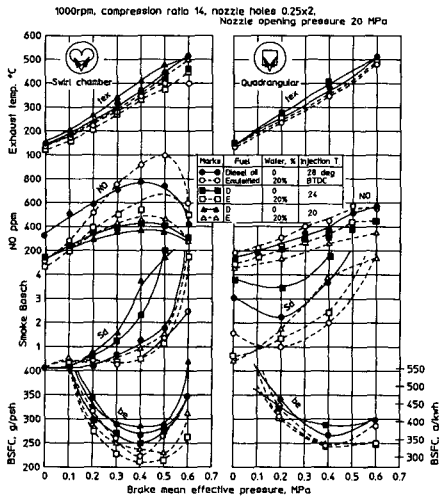


Fig. 11 Engine performance of different chamber at three kinds of injection timing

이 실험에서는 기관의 시동성도 고려하여 수분량 20%의 유화액연료를 사용했다. Fig. 11에 의하면 연료소비율과 배기연농도는 연소실형상에 관계없이 큰폭으로 개선됨을 알 수 있다. 그러나 이와 같은 형상의 연소실에서는 유화액연료를 사용하여도 실린더내의 공기이용도가 큰폭으로 개선되리라고는 기대되지 않으므로 0.6 MPa를 넘는 고부하에서는 스웰 및 스퀴시의 병용 혹은 다공노즐에 의한분무의 분산이 필요할 것으로 생각된다.

한편 NO농도 곡선에 의하면 예혼합연소량이 증대할 것으로 예상되는 와류형의 연소실(Fig. 5(a))에 유화액연료를 사용하여도 동일 분사시기에서는 경유를 사용한 경우보다 NO의 배출이 확실히 많아진다. 특히 연소실 벽의 온도가 유화액연료의 비등, 즉 유적의 재미립화에 적합한 0.3 MPa 이상의 고부하에서는 현저하게 많이 배출된다. 각형 연소실(Fig. 5(b))의 경우는, 와류형 연소실과 비교할 때 체적이 적은 cavity 내에 과농혼합기가 형성되어 일반적으로 NO농도가 낮다. 따라서 연료소비율과 NO농도를 동시에 고려한 각형 연소실기관의 적정 분사시기는 28°BTDC이나, 분사시기를 20°BTDC까지 늦추면 분무가 cavity내의 깊은 부분에 들어와 버려 유화액연료를 사용하여도 배기연 농도는 약간 나빠진다. 또 배기연 온도곡선으로부터 알 수 있는 바와 같이 유화액연료를 사용한 경우는 연소기간이 단축되므로 배기연 온도도 일반적으로 낮다.

이상 기술한 것처럼 유화액연료를 사용하는 경우는 분무가 연소실 벽과 접촉하지 않도록 해서 예혼합기량을 증가시키면 연료소비율과 배기연 농도가 개선된다. 그러나 NO농도가 현저히 증가하고 연소압음도 높아져 마치 스웰류를 강하게 만든경우의 연소상태에 가까워지는 것처럼 생각된다.

그러므로 와류형 연소실에서 NO농도를 경유 사용시와 같은 수준까지 저하시키고 연소압음도 줄이기 위해서는 연료소비율을 약간 희생시키더라도 분사시기를 20°BTDC까지 늦출 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

1%의 계면활성제를 혼입시킨 유중수적형의 유화액연료를 직접분사식 디젤기관에 사용한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 20~30%의 수분을 함유한 유화액연료를 스웰 및 스퀴시의 발생이 약한 기관에 사용하면 약 10%의 연료소비율이 개선된다. 또 유화액연료를 사용한 경우는 일반적으로 예혼합연소량이 증가하여 연소기간이 큰 폭으로 단축된다. 그러나 분사시기를 약 5°CA 늦추지 않으면 연소압음이 의외로 높아진다.

(2) 주 분사시기를 늦추지 않고 유화액연료를 분사하면 NO농도는 경유 분사시보다 역으로 증가한다. 그러나 분사시기를 약 5°CA 늦추면 NO농도가 약간 저하되고 연료소비율과 배기연 농도도 개선된다.

(3) 유화액연료의 분무성상에 관한 기초연구가 적어 단정지을 수는 없으나 일반적으로 유화액연료의 분무는 분산각이 좁고 발화핵의 형성에 필요한 비말부가 부족할 것으로 생각된다. 이와 같이 착화에 필요한 비말부의 부족을 보충시키기 위하여 분무의 주류부가 Cavity 중심부 쪽으로 말려 들어갈 수 있는 연소실을 시작한 결과 착화지연기간이 경유만을 분사한 경우와 거의 같은 정도까지 단축되었다.

(4) 유화액연료에 의한 화염은 경유의 화염보다 확실히 어둡고, 온도는 저온일 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 착화직후에는 큰 팽창을 일으켜 유중(油中)의 수증기가 비등하는 현상을 고속도로 사진으로부터 확인할 수 있었다. 단, 이와 같이 비등을 일으키는 기간은 의외로 짧아 약 2°CA에 지나

지 않는다.

참고문헌

- (1) 小森正憲 외 5名, 1991, “高壓噴射による直噴ディーゼル機關の燃焼改善,” 第9回 内燃機關合同シンポジウム, pp. 103~108.
- (2) 春藤, 茂, 小森正憲, 村欽司, 1992, “高壓噴射によるディーゼル燃焼の改善,” 第10回 内燃機關合同シンポジウム, pp. 199~204.
- (3) 三橋一哉 외 5名, 1978, “内燃機關の水分添加燃焼について,” 日本船用機關學會誌, Vol. 13, No. 8, pp. 601~607.
- (4) Nakagawa, H. et al., 1976, “Application of Fuel Spray Theory to Exhaust Emission Control in a D. I. Diesel Engine,” *SAE Trans.*, Vol. 85, pp. 1002~1018.
- (5) Murayama, T. et al., 1978, “Experimental Reduction of NOx, Smoke, and BSFC in a Diesel Engine Using Uniquely Produced Water(0~80%) to Fuel Emulsion,” *SAE Trans.*, Vol. 87, pp. 946~958.
- (6) 방중철, 太田幹郎, 1984, “고온공기류에 분사한 분무의 자연발화에 관한 연구(경유 및 유화액 연료의 사용),” 대한기계학회논문집, Vol. 9, No. 5, pp. 627~637.
- (7) 방중철, 太田幹郎, 1987, “직접분사식 디젤기관의 연소실 형상과 화염의 발달,” 대한기계학회논문집, Vol. 11, No. 1, pp. 44~52.

* 공고합니다.

大韓機械學會論文集 第19卷 第10號, pp. 2421~2430, 1995

〈論 文〉

AE에 의한 SiC/SiC 세라믹복합재료의 파괴기구 평가

이유태* · 김상태* · 이택순* · 권재도* · 志波光晴** · 岸輝雄**

(1994년 6월 1일 접수)

Evaluation of Fracture Mechanism for SiC/SiC Ceramic Matrix Composites by Acoustic Emission Method

Y.T. Lee, S.T. Kim, T.S. Lee, J.D. Kwon, M. Shiwa and T. Kishi

후 기

이 논문은 1994년도 영남대학교 학술연구 조성비에 의한 것으로 관계자 여러분에게 감사드립니다.