

가시용 직분식 디젤기관의 분무와 화염에 관한 연구

안수길*** · 이덕보** · 라진홍*

A Study on the Spray and Flame by Optically Accessible D. I. Diesel Engine
(Analysis by Schlieren Method and Diffused Background Illumination Method)

S. K. Ahn · D. B. Lee · J. H. Ra

Key words : Diesel spray(디젤분무), Schlieren photograph(슈리렌사진), Diffused background illumination photograph(배경산란그림자사진), Evaporation spray(증발분무), Spray droplets(분무액적군)

Abstract

To analyze the spray and flame in D.I. diesel engine, the visualizing methods by schlieren photograph and diffused background illumination photograph with high speed camera are applied to optically accessible D.I.diesel engine. Evaporating spray, spray droplets and brightness flame are taken with high speed camera by visuallizing method in accordance with various suction air temperature and injection time. The spray and flame image on the film was analyzed by image analyzer. The optically accessible D.I.diesel engine had the similar pressure characteristic to the real D.I. diesel engine.

Experimental results showed that shadow areas of the evaporating spray were extended at higher suction air temperature, spray droplets had a max. penetration length and their penetrating patterns were dependent on the surrounding gas temperature, and flame size after ignition was largely governed by the evaporated fuel quantity at ignition point and by the surrounding gas condition due to piston motion.

1. 서 론

직접분사식 디젤기관은 예연소실식에 비해 구

조가 간단하고 연락공에 의한 열손실이 없기 때문에 낮은 연료소비율과 시동이 용이한 장점이 있다. 이 때문에 최근에는 소형 고속기관에도 이 방식을

* 정회원, 부산수산대학교 교수
** 정회원, 부산수산대학교 조교
*** 정회원, 부산수산대학교 대학원

채용하려고 하고 있지만 예연소실식에 비해 많은 그늘음의 배출과 높은 최고압력으로 소음이나 진동을 일으키는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 실제 기관의 연소실에서 일어나는 간헐분무와 화염의 거동 및 이들의 증발과 연소 등을 주위 분위기조건과 관련하여 보다 정확하게 해석할 필요가 있다. 디젤분무와 화염에 관한 연구의 한 방법으로는 현재 정용연소기¹⁾, 급속압축장치²⁾ 또는 실제의 기관^{3)~5)} 등을 이용한 가시적 방법이 시도되어 지고 있다. 그러나 주위 분위기 조건이 간헐분무와 화염의 거동 및 이들의 증발과 연소에 대해 어떠한 영향을 끼치고 있는지에 대해서는 아직 명확한 해석이 되지 않고 있다. 특히 실제 기관의 운전상황에서와 같이 가변하고 있는 분위기 조건하에 분사된 분무의 증발, 착화 및 착화된 화염의 성장과정 등을 명확하게 해석한 예는 희소하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 현상을 보다 정확히 해석하기 위해 연소실의 압력특성이 실제기관과 유사한 가시용 시험기관⁶⁾을 이용하여, 실린더내에서의 증발분무의 거동을 가시화하기 위한 슈리렌법⁷⁾(Schlieren method)과 증발분무속의 액적 존재영역과 화염을 가시화하기 위한 배경산란그림자사진법⁸⁾(Diffused Background Illumination Method)에 의해 흡입공기온도 및 분사시기변화에 따른 분위기조건 변화속의 간헐분무와 화염의 거동을 고속카메라로 촬영하여 그 화상들을 화상해석장치로 해석함으로써 운전중의 분위기 조건변화에 따른 간헐분무와 화염의 거동 및 이들의 증발과 연소 특성 등을 고찰하였다.

2. 가시화에 의한 화상해석법

평행입사광을 배경광으로 한 슈리렌촬영법은 측정장의 밀도구배의 1차미분에 비례하는 광의 강도가 얻어진다. 이를 실린더내에 분사한 증발분무에 적용했을 경우, 주위공기와 연료증기의 밀도차에 의한 혼합경계층과 증발분무내의 증기밀도구배의 정보가 얻어진다^{7),9)}.

배경산란그림자사진법은 분무의 입경이 과장보다 충분히 클 경우, 산란광의 강도분포는 근사적으로 입자배후에 집중^{10),11)}하며, 이 원리를 이용하여

입사광을 산란막으로 산란시켜 분무의 배경광으로 하고 분무를 반대측 원거리에서 좁은 입체각으로 촬영하면 기체의 밀도구배는 감지되지 않고 액적만의 정보⁸⁾가 얻어지고 자발광에 의한 화염사진으로 화염의 정보를 얻을 수 있다.

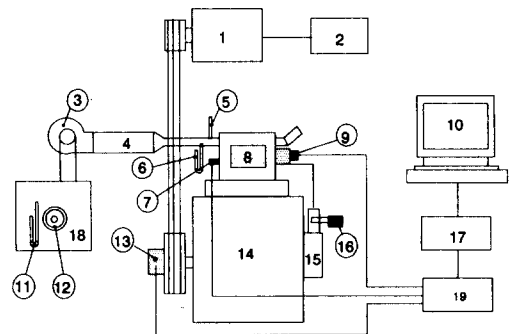
상기 두가지의 촬영방법에 의한 고속사진의 화상을 화상해석함으로써 간헐분무와 화염의 거동 및 증발과 연소특성을 규명하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1. 실험장치

3.1.1. 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 크게 기관구동계, 흡기계, 분사계, 및 데이터수집계로 나누어지며, 사용된 기관은 Fig. 2의 연소실 형상을 갖는 가시용 시험기관으로서 관찰창의 크기는 80×40mm이고, 피스톤이 상사점에 왔을 때 80×40×26mm의 직육면체의 연소실 용적을 갖는 직접분사식 4사이클기관이며 그 주요 사양은 Table 1과 같다.



- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Running motor | 2. Speed controller |
| 3. Air suction fan | 4. Air heater |
| 5. Air temp. indicator | 6. Air press. indicator |
| 7. Pressure transducer | 8. Combustion chamber |
| 9. Fuel valve lift sensor | 10. PC for data acquisition |
| 11. Manometer | 12. Orifice |
| 13. Encoder | 14. Test engine |
| 15. Injection cam | 16. Fuel rack |
| 17. A/D converter | 18. Surge tank |
| 19. Amplifier | |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

기관구동계는 ①의 구동모터와 이를 제어하는 제어기 ②로 이루어져 있고, 흡기계는 가압팬 ③과 흡기가열기 ④로 흡기의 온도와 압력을 조절한다. 분사계는 ⑤의 가변캠으로 분사시기를 임의로 조절할 수 있고, ⑥의 연료분사랙크로 분사량을 조절함과 동시에 외부신호에 의한 원격제어로 연료가 분사되도록 되어 있다. 연소실의 압력을 ⑦의 압력 변환기로, 분사시기 및 분사기간을 밸브 리브터 센서 ⑧로 감지하여 A/D변환기를 거쳐 ⑩의 컴퓨터로 수집한다.

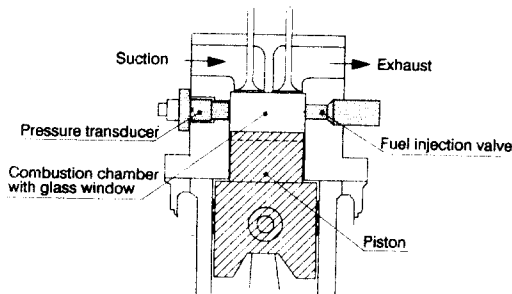


Fig. 2 Sectional view of cylinder head.

Table 1. Engine specifications

Type : 4 stroke, D.I Diesel with rectangular combustion chamber	
Bore	120mm
Stroke	168mm
Displacement	1899cm ³ /cylinder
Compression ratio	17.0
Injection valve	
No. of orifice	1
Orifice diameter	0.2mm
L/D	4
Sight glass size	80 × 40 × 40mm

3. 1. 2. 촬영 시스템

1) 슈리렌사진

증발분무 및 화염거동의 슈리렌 고속촬영을 위한 광학 배열이 Fig. 3에 주어져 있다. 카메라는 Photec의 Rotating prism 16mm용 고속카메라를 사용하였으며, 카메라 반대측에 500 mw Ar이온 레이저(Beam intensity : 200mw)광을 빔 확장기로 빔을 확장하여 만든 준 평행광을 f=68mm의 렌즈로 집광하고 집광한 초점상에 카메라의 내장 조리계를 knife edge로 하여 촬영되도록 했다. 고속카메라의 렌즈 앞에 설치한 셔터는 필름의 전반과 후반을 나누어 촬영할 수 있도록 한 것으로, 촬영 시 고속카메라 작동 후 필름이 1/2정도 달렸을 때 카메라에 내장된 마이크로 릴레이의 동작으로 연료랙크가 투입되어 연소실에 연료를 공급함과 동시에 셔터를 열리게 하여 필름 후반부에 분무와 화염을 촬영하고, 미촬영의 전반부 필름은 다음 촬영시에 사용하도록 했다.

2) 배경산란그림자사진

증발분무내의 액적군 및 화염거동의 배경산란 그림자사진 고속촬영을 위한 광학배열이 Fig. 4에 주어져 있다. 광원은 500W 텅스텐램프를 사용했다. 촬영은 카메라 반대측의 파일렉스 관찰창에 부착된 마이라막(Mylar screen)에 의해 산란된 입사광으로 분무액적군의 그림자를 촬영하고, 착화가 된 후의 화염은 자발광에 의해 직접 촬영되도록 했다. 카메라 구동시스템은 슈리렌사진과 동일하게 하였다.

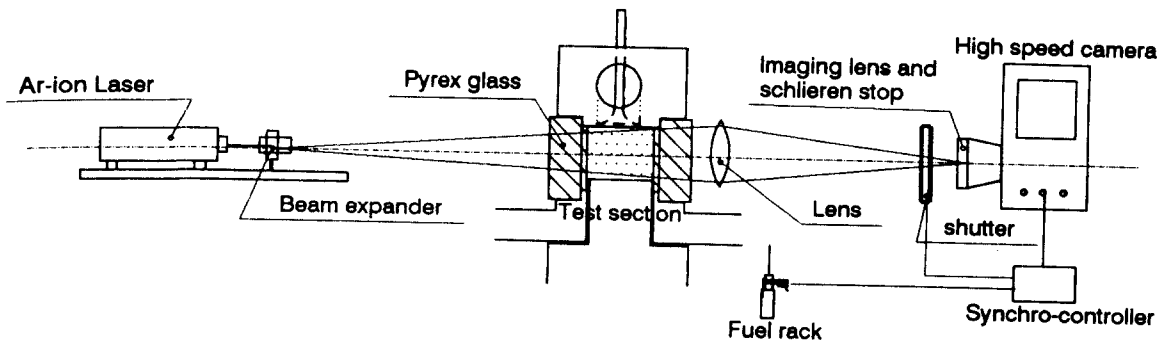


Fig. 3 Optical setup for photographing sprays and flames by schlieren method.

3.2 실험 방법

Table 2는 기관운전 및 실험조건을 나타낸다. 흡입공기 가열기와 흡기팬을 이용하여 흡입공기의 온도와 압력을 일정하게 유지시키면서 기관을 주어진 회전수로 일정 시간 모터링한 후 계측 및 촬영을 하였다. 촬영시 고속카메라는 조리개 8.0, 서

터정수 1/10, 촬영속도 7,000f.p.s로 하고 필름은 코닥 RAR2498인 흑백의 판크로메틱 120ft를 필름을 사용했으며, 필름의 이송속도를 검정하기 위해 필름가장자리에 1KHz의 타임마크를 기록했다. 화상해석장치는 브이텍의 화상처리시스템 (IMAGE - PRO II)을 이용하였다.

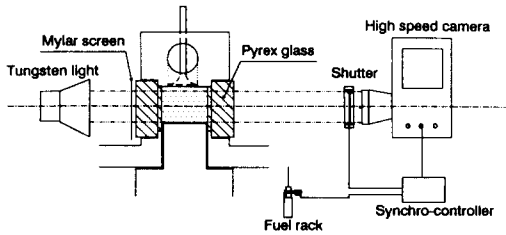
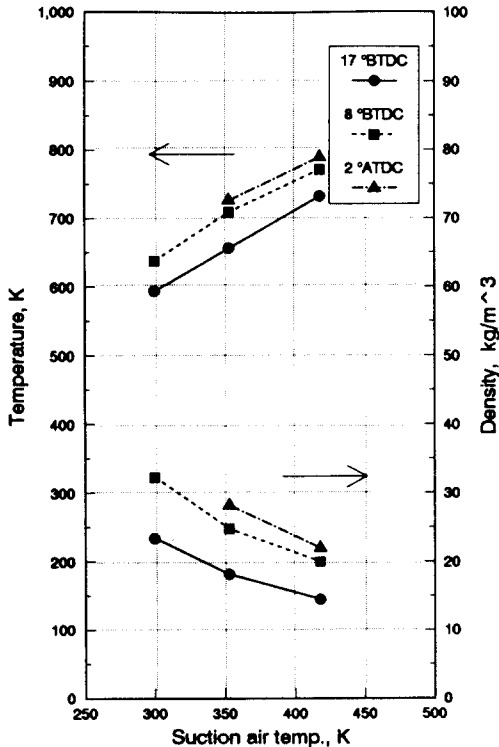


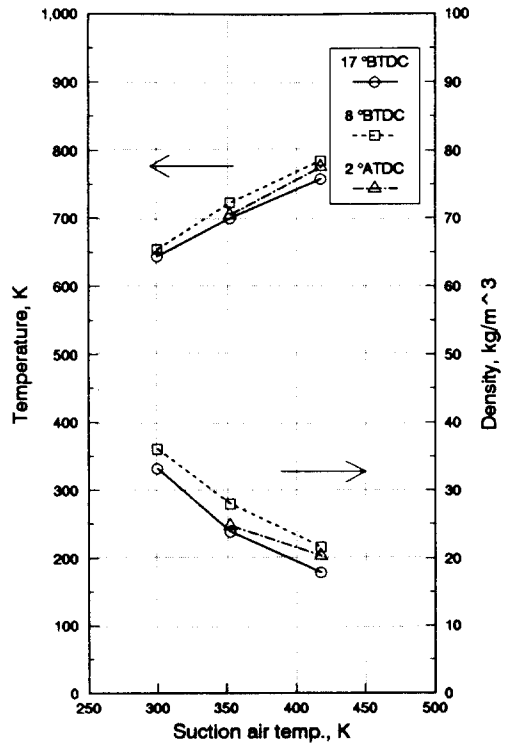
Fig. 4 Optical setup for photographing sprays and flames by diffused background illumination method.

Table 2. Engine test conditions

Speed	500rpm
Injection quantity	44mg/cycle
Injection period	8deg. CA
Injection pressure	20MPa
Injection time	17° BTDC
	8° BTDC
	2° ATDC
Suction air temperture	418K
	353K
	300K



(A) injection



(B) ignition

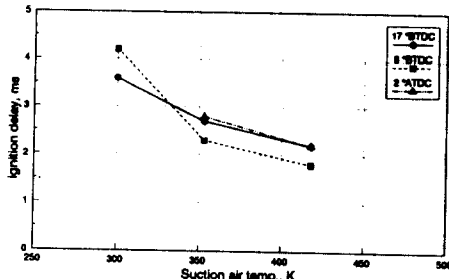
Fig. 5 Temperature and density at injection(A) and ignition point(B) on suction air temperature and injection time.

4. 실험 결과 및 고찰

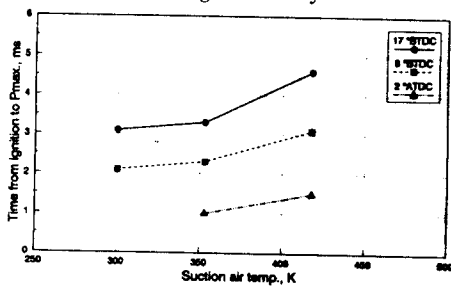
4.1 흡입공기온도 및 분사시기 변화에 따른 시험기관의 특성

Fig. 5은 흡입공기온도와 분사시기를 변경했을 때, 분사시작시(A의 경우)와 착화시(B의 경우)의 실린더내 분위기 온도와 밀도를 나타낸다. 여기서 흡입공기온도가 300K이고 분사시기가 2° ATDC의 경우는 착화하지 않았다. (A)의 분사시작 시의 온도와 밀도는 동일 분사시기의 경우 흡입공기온도가 높을수록 온도는 높고 밀도는 낮았으며, 동일 흡입공기온도의 경우, 분사시기 2° ATDC, 8° BTDC, 17° BTDC순으로 온도 및 밀도의 값은 높

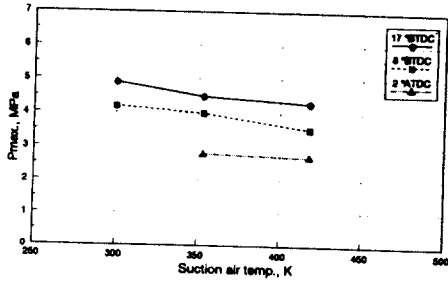
았다. 그러나 흡입공기온도 및 분사시기 변화에 따른 이들 값들의 차이는 비교적 크게 나타났다. 한편 (B)의 착화 시의 온도와 밀도는, 동일 분사시기의 경우, (A)의 경우와 같이 흡입공기온도가 높을수록 온도는 높고 밀도는 낮았으나, 동일 흡입공기온도에서는 분사시기 8° BTDC, 2° ATDC, 17° BTDC순으로 온도 및 밀도는 높으며, 이들 값들의 차이는 분사시작 시에서의 것보다 작았다. 그리고 분사시작에서 착화에 이르는 동안의 온도와 밀도를 비교해 보면, 분사시기 17° BTDC인 경우의 온도와 밀도는 증가하며 그 증가폭이 큰 반면, 8° BTDC의 경우는 증가폭이 전자의 경우보다 작으며, 2° ATDC에서는 감소한다. 이상과같이 흡입공기온도 및 분사시기를 변경시킴에 따라 분사시작시와 착화시의 분위기조건이 상이할 뿐만아니라 연료가 분사되어 착화에 이르는 동안에도 분위기의 온도 및 밀도변화가 다양함을 알 수 있다.



(A) Ignition delay



(B) Time from ignition to Pmax.



(C) Pmax.

Fig. 6 Values of ignition delay(A), time from ignition to Pmax.(B), and Pmax.(C) on suction air temperature and injection time.

Fig. 6은 흡입공기 온도와 분사시기를 변경했을 때, 착화지연과 착화후 최고압력점에 도달하는 시간 및 최고압력값을 나타낸다. 동일 분사시기에서 흡입공기온도가 높을수록 착화지연은 짧아지는 반면, 착화후 최고압력에 이르는 시간은 길어지고 최고압력값은 낮게 나타났다. 이는 흡입공기온도가 높을수록 예혼합기의 양이 적기 때문이라 생각된다. 한편 착화후 최고압력에 이르는 시간과 최고압력값을 착화지연이 비슷한 17° BTDC와 2° ATDC의 경우를 비교하면, 17° BTDC의 경우가 2° ATDC 경우보다 아주 크게 나타났다. 이러한 경향들은 연료분사 시작과 연료분사 기간 중의 분위기 조건이 Fig. 5에 나타난 결과와같이 다양함에 따라, 착화에 이르기까지의 연료의 증발현상과 연소실 공간내 공기와의 혼합과정이 상이하기 때문이라 추정되며, 또한 착화후 연소과정이 이에 상당한 영향을 받기 때문이라 판단된다.

4.2 분무와 화염의 가시화

Photo. 1은 흡입공기온도 418K, 분사시기 17° BTDC에서 분사한 분무와 화염의 슈리렌사진을 나타낸다. 사진에서 알 수 있는 바와같이 분무 외곽과 주위 공기와의 경계가 뚜렷하고, 외주부의 증기영역이 부분적으로 반투명그림자 형태로 나타

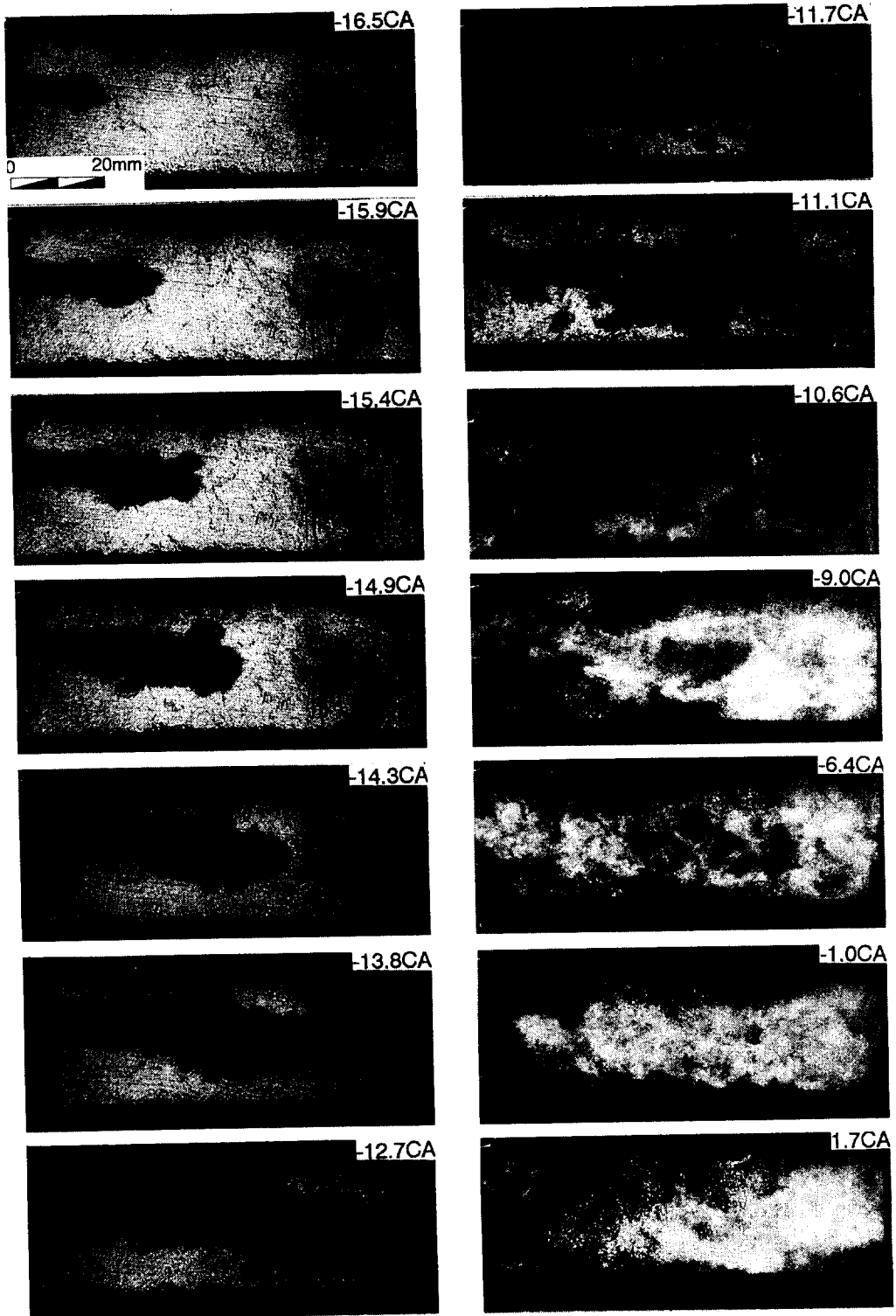


Photo. 1 Photographs of evaporation sprays and flames by schlieren method, injection time = 17° BTDC.

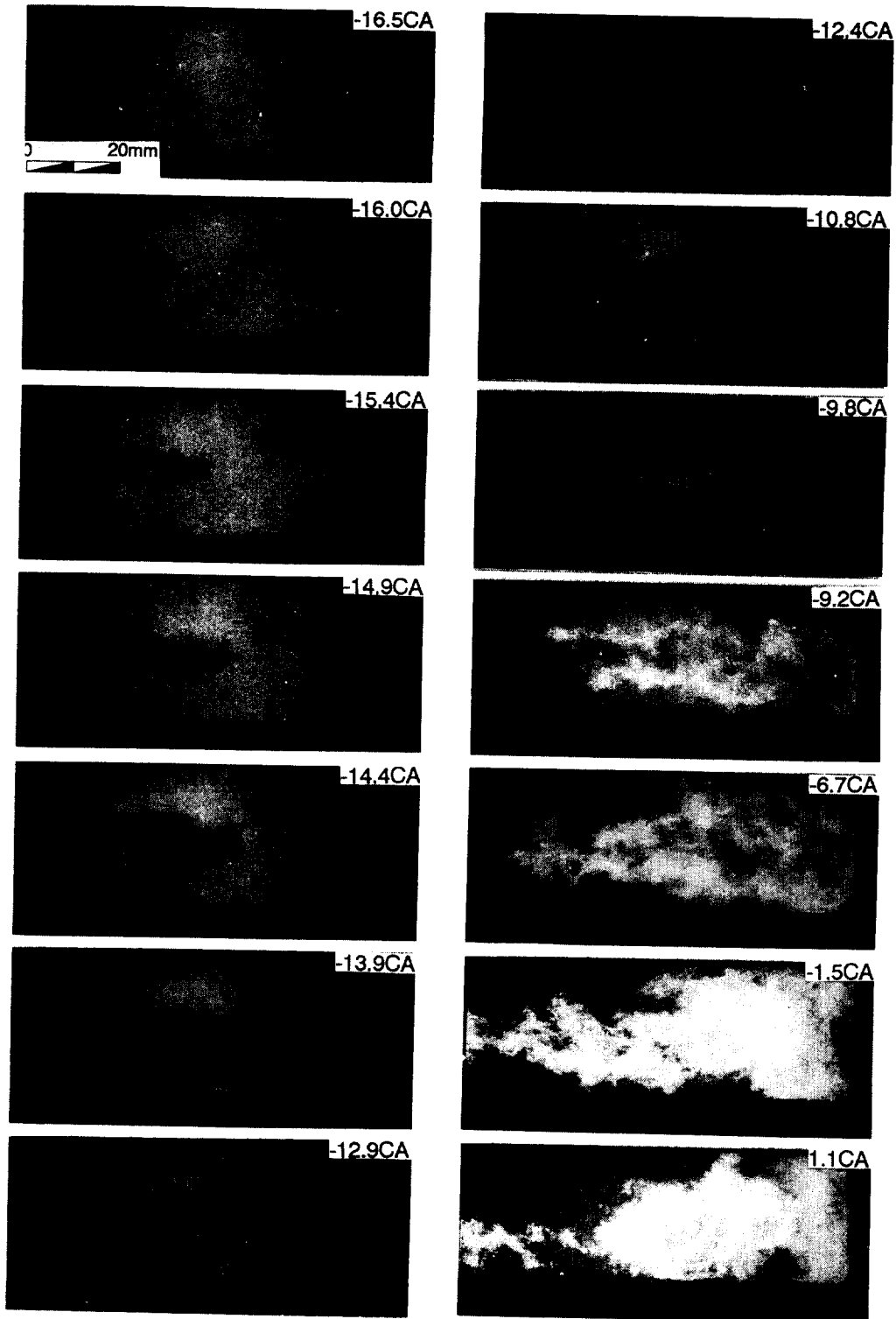


Photo. 2 Photographs of spray droplets and flames by diffused background illumination method, injection time = 17° BTDC.

나며, 증기를 포함한 증발분무 전체가 연소실내로 관통하여 성장해 가는 형상 및 착화후 자발광에 의한 화염의 거동 등을 관찰할 수 있다. 따라서 슈리렌 사진으로 증기를 포함한 증발분무 선단의 관통거리와 공간내 증발분무의 투영면적을 알 수 있으며, 이것과 다음의 배경산란그림자 사진법에 의한 액적 분포영역과 착화위치 및 착화한 후의 화염거동과의 상관관계를 비교함으로써 디젤연소의 연소특성을 파악할 수 있으리라 판단된다.

Photo. 2는 Photo. 1과 동일한 조건에서 배경산란그림자사진법으로 촬영한 사진들이다. 이들 사진과 Photo. 1을 비교해보면, Photo. 2의 사진에서는 연료분무 중 증발된 분무의부의 연료증기는 보이지 않고 내부의 미증발액적군의 형상이 촬영되었음을 보여주고 있다. 또한 액적군의 선단도달거리는 슈리렌법으로 촬영한 증발분무의 선단도달거리와는 달리 최대거리까지 성장한 후 분무끝으로부터의 증발에 의해 감소하고 있다. 따라서 배경산란그림자 사진으로는 증발분무 중 증발되지 않

은 내부의 미증발액적군의 관통거리와 액적분포영역을 알 수 있다. 이와같이 배경산란그림자사진에 의한 미증발액적군의 사진과 슈리렌법으로 촬영한 증발분무의 사진을 비교함으로써 착화전 분무의 증발현상과 증발량을 추정할 수 있다고 생각된다. 또한 배경산란그림자사진에 의하면 착화에 의한 자발광이 선명하게 포착 되므로 착화 위치와 자발광에 의한 화염의 거동을 보다 명확히 파악할 수 있다.

4.3 증발분무의 거동

Fig. 7,8,9는 분사시기와 흡입공기온도 변경에 따른 증발분무의 슈리렌사진을 이미지프로세서로 해석한 분무선단의 관통거리와 투영면적을 나타낸다.

그림에서 알 수 있는 바와같이 관통거리는, 17° BTDC, 흡입공기 온도 418K를 제외하면, 흡입공기온도와 분사 시기 변화에 따른 관통거리의 변화가 미소한 반면, 투영면적은 흡기온도가 높을 수록

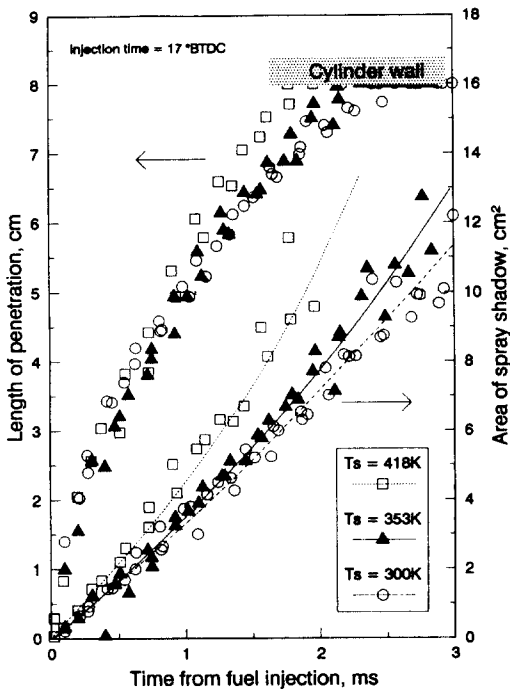


Fig. 7 Length of spray penetration and area of spray shadow for the evaporation spray on suction air temperature, injection time = 17° BTDC.

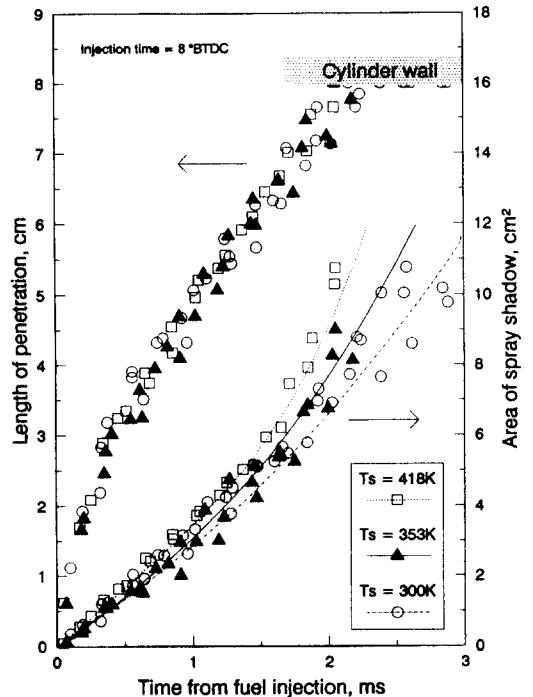


Fig. 8 Length of spray penetration and area of spray shadow for the evaporation spray on suction air temperature, injection time = 8° BTDC.

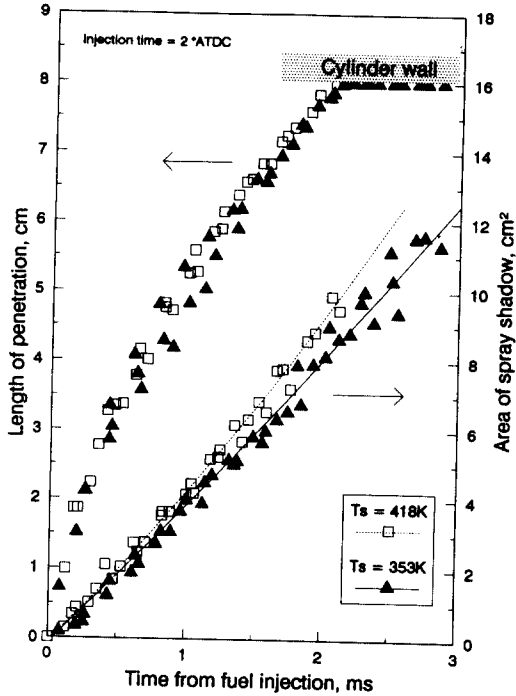


Fig. 9 Length of spray penetration and area of spray shadow for the evaporation spray on suction air temperature, injection time=2° ATDC.

면적증가율이 증대해 가고 분사시기가 빠를 수록 그 경향이 뚜렷하였다.

이는 관통거리의 경우, 비증발분무의 관통거리는 분사초기의 액주상태에서는 시간 t 에 비례해서 증가하지만, 분열후에는 시간 $t^{1/2}$ 와 분열된 액적평균직경 $(dm)^{1/2}$ 및 분위기 밀도 $\rho^{-1/4}$ 에 비례한다고 보고하고 있다. 이에 대해 고온분위기중의 증발분무의 관통거리는 증발에 의해 분무액적직경 $(dm)^2$ 에 비례하여 감소¹³⁾해가므로 이에 준한 운동량보존의 감소효과를 갖는다고 볼 수 있다. 또한 증발분무의 계산모델¹⁴⁾에 의하면 증발분무의 관통거리는 도입공기의 온도가 높을수록 액적증발을 증대와 운동량보존의 감소로 짧아지고, 분위기 밀도가 감소할 수록 항력(Drag force) 감소 및 액적증발의 증대로 길어진다고 보고하고 있다. 따라서 본 실험의 경우 Fig. 5에 나타나 있는 바와같이 흡기 온도가 높을수록 분위기 온도는 증가하고 밀도는 감소한 상태이므로, 증발분무의 관통거리는 온도 증가에 의한 관통거리 감소 효과와 밀도 감소에 의한

관통거리 증가 효과가 서로 상쇄되어 그 길이의 변화가 미소한 것으로 생각된다.

한편 투영면적의 경우, 흡입공기온도의 증가와 더불어 면적증가율이 증대하는 것은 분무 측면 방향으로의 팽창이 관통거리의 변화보다 크기 때문이며, 이는 주로 분무의 증발에 의한 체적팽창에 기인하기 때문이라 생각된다. 즉 고온의 분위기 중에 분사한 분무액적들이 증발함에 따라 관통력을 잃으며 기상으로 상변화함으로써 체적이 증가하여 분무측면으로 팽창되기 때문이다. 또한 분사시기가 빠를수록 면적증가가 뚜렷한 것은 Fig. 5에서 논한 바와같이 분사시기가 빠를수록 분위기온도의 상승폭이 컸으므로 이에 비례하여 증발율이 증대되었기 때문이라 생각된다.

4.4 분무액적군의 거동

Fig. 10은 분사시기를 8° BTDC로 일정히 했을 때, 흡입공기온도 변화에 대한 분무액적군의 관통거리를 나타낸다. 시간경과에 따른 관통거리의 경향을 강조하기 위하여 화살표를 갖는 꺾인 직선으로 그 경향을 나타내었다. 그림에 나타나 있는 바와같이 분열기간인 분사초기에 속도천이점을 거친 후, 분무의 성장과 더불어 최대관통거리에 도달하고, 그 후 감소하고 있으며, 흡기온도가 높을 수록 최대관통거리에 도달하는 시간과 그 길이는 짧았다. 또한 시간경과에 따른 분무액적군 거동의 형태는 흡입공기온도에 관계없이 유사한 경향을 보여주고 있다. 이상과같이, 관통거리가 최대값을 가진 후 감소하는 것은 속도천이점을 지난 분무가 미립화됨에 따라 분무 주위로부터 고온의 공기를 도입하여 증발함으로써 액적운동량이 감소할 뿐 아니라 선행의 분무선단부분이 증발을 보다 빨리 완료하기 때문이라 생각된다. 또한 최대관통거리에 도달하는 시간과 그 길이가 흡입공기온도가 높을 수록 짧게 나타나는 것은, 흡입공기온도가 높을 수록 분사기간 중의 분위기 온도가 높아지기 때문이며, 시간경과에 따른 분무액적군 거동의 경향이 흡입공기온도에 관계없이 유사한 것은 피스톤의 상승에 의한 분위기온도의 증가율이 유사하기 때문이라 생각된다.

Fig. 11는 흡입공기 온도를 418K로 일정히 하고

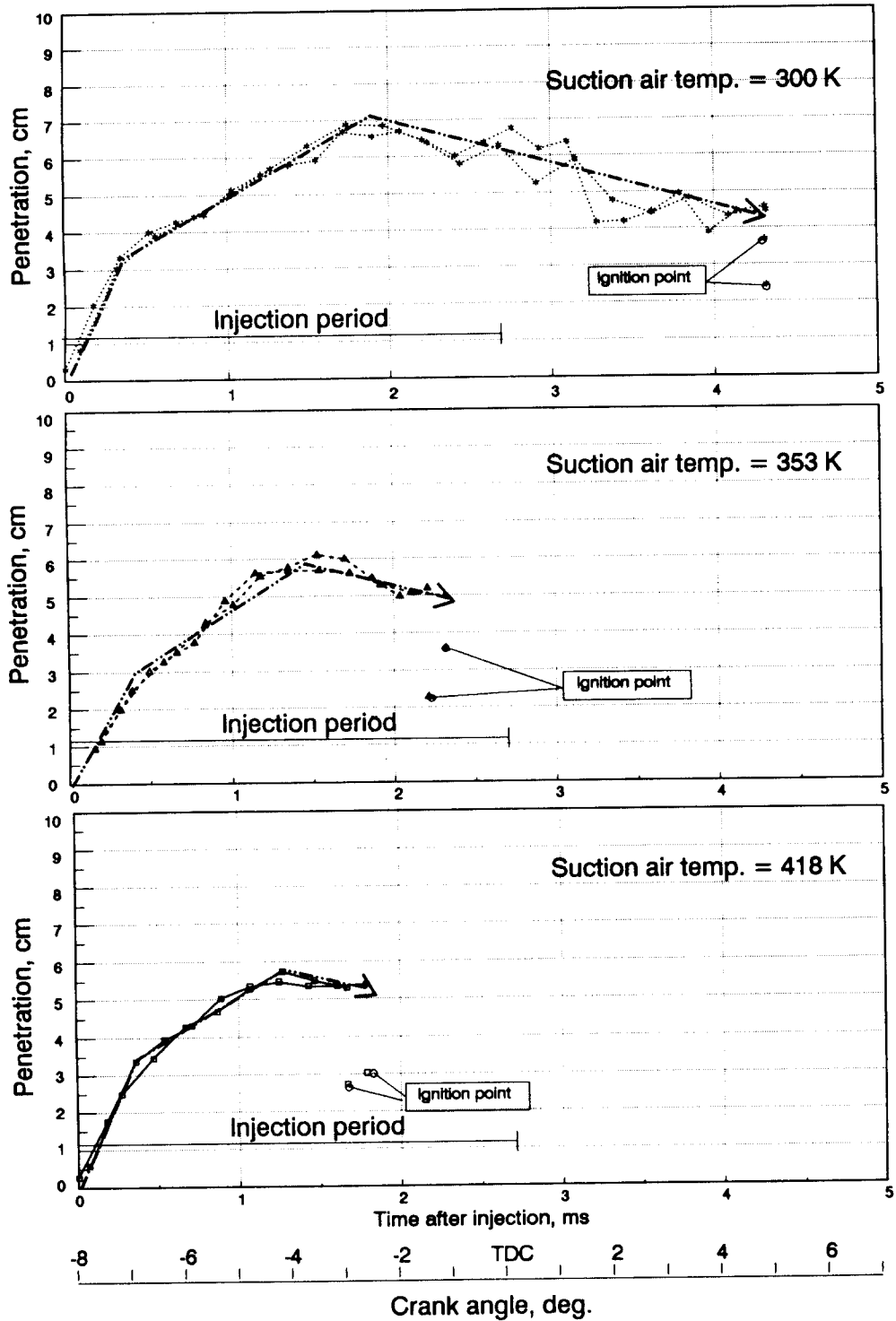


Fig. 10 Spray droplets penetration on suction air temperature, injection time = 8° BTDC.

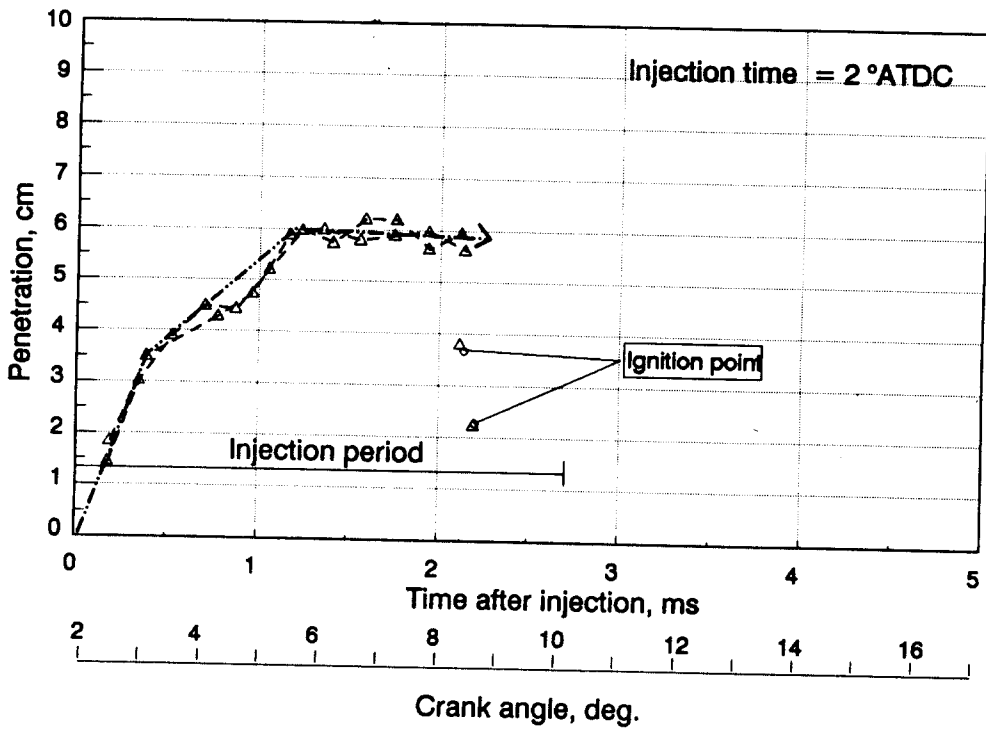
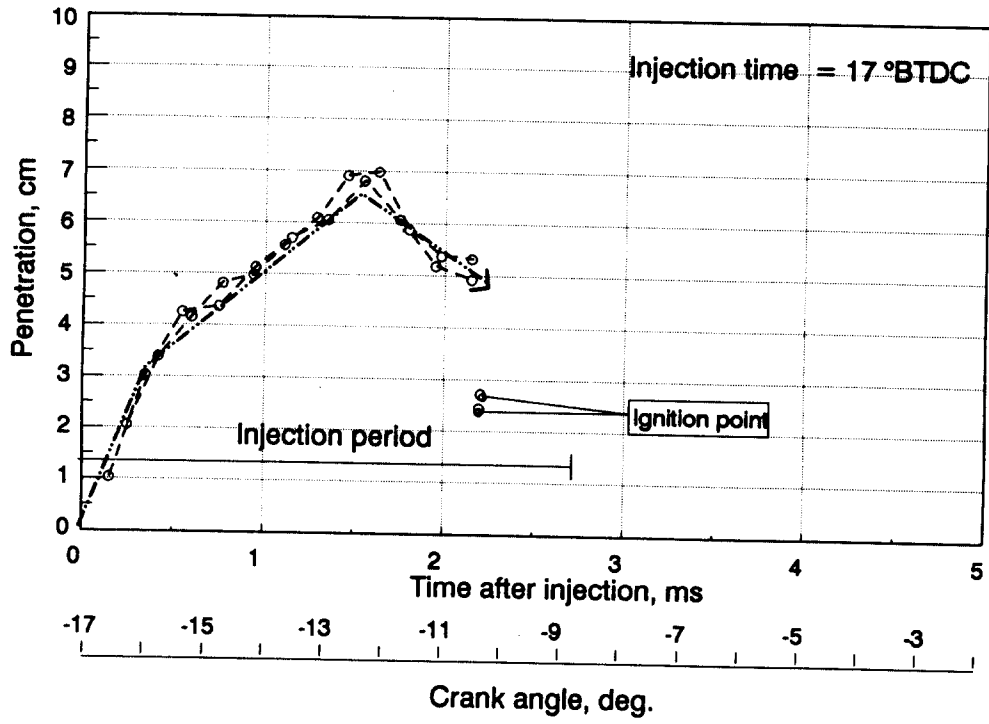


Fig. 11 Spray droplets penetration on injection time, suction air temp. = 418K.

연료분사를 17° BTDC와 2° ATDC로 하였을 경우의 액적군의 관통거리를 나타낸다. 분사초기에는 Fig.10의 경우와 유사한 속도천이점을 가지며, 최대관통거리에 이르는 시간과 그 길이는 17° BTDC에 비해 2° ATDC의 경우가 더 빠르고 짧았다. 또한 최대관통거리에 도달한 후의 관통거리의 거동은 17° BTDC의 경우가 현저한 감소를 나타낸 반면, 2° ATDC의 경우는 감소없이 일정함을 보여주고 있다. 이와같이 관통거리의 거동이 분사시기에 따라 달리 나타나는 것은 피스톤의 운동에 따른 분위온도가 각기 다른 상태, 즉 분사시작 시의 분위온도는 2° ATDC에서 분사할 때가 17° BTDC에서 분사할 때보다 높았으나, 17° BTDC의 경우는 피스톤이 상승함에 따라 분위온도가 증가하는 상태에서 분사가 이루어지는 반면, 2° ATDC의 경우는 피스톤의 하향운동으로 인해 분위온도가 감소하는 상태에서 분사가 이루어지기 때문이라 생각된다.

한편, 착화시의 착화위치는 Fig. 10 및 Fig. 11에서 알 수 있는 바와같이 분위기 조건에 관계없이 노즐팁으로부터 2~4cm범위내 임의 위치에서 착화가 일어나고 있었다.

4.5 증발량 및 연소특성

Fig. 12는 분사 개시 후 착화될 때까지의 액적군의 투영면적과 Fig. 7,8,9에서 구한 증발분무의 투영면적 곡선을 동시에 나타낸 것으로, 분사시기를 일정히 하고 흡입공기 온도를 변화시켰을 경우(A)와 흡입공기 온도를 418K로 일정히 하고 분사시기를 17° BTDC와 2° ATDC로 변경했을 경우(B)이다. 이들 Fig.에서 증발분무의 투영면적과 액적군의 투영면적의 차를 증발에 의한 증기의 양으로 간주하고 이들에 대한 양을 검토하면, 동일 분사시기의 경우(A) 액적군의 투영면적은 흡입공기 온도가 높을수록 증가 후 크게 감소하여 그 면적이 작은 반면, 증발분무의 투영면적은 흡입공기 온도가 높을수록 크게 나타나므로, 흡기온도가 높을수록 증발량은 증가함을 알 수 있다. 그러나 착화지연은 흡입공기 온도가 높을수록 짧게 나타나므로 착화시의 증발량은 흡입공기 온도가 높은 경우가 오히려 적게 나타났다. 한편 (B)의 흡입공기 온도를 일

정히 하고 분사시기를 17° BTDC와 2° ATDC로 변경시켰을 경우를 보면 착화지연기간은 비슷하지만 착화시의 증발분무의 투영면적과 액적군의 투영면적의 차, 즉 증발량은 17° BTDC의 경우가 더 많았다. 이는 앞에서 논의한 바와같이 17° BTDC에서 분사한 경우는 피스톤의 상승운동에 따른 분위온도가 증가하는 상태에서의 증발이고 2° ATDC에서 분사한 경우는 피스톤이 하강함에 따른 분위온도가 감소하는 상태에서 일어나는 증발이기 때문이라 생각된다.

Fig. 13은 Fig. 12와 동일한 실험조건하에서 촬영된 화염사진으로부터 시간경과에 따른 연소실 면적에 대한 화염면적의 비율을 나타낸다. (A)에서, 흡입공기 온도가 418K인 경우의 최대화염면적은 353K때보다 작고, 최대화염면적에 도달한 후의 화염면적의 감소율은 353K인 때보다 둔하다. 이와같이 흡입공기 온도가 높은 418K의 경우가 흡입공기 온도가 낮은 353K의 경우보다 최대화염면적이 작고 그 면적의 감소가 느린 것은 앞에서 논한 바와같이 분위기 온도는 높으나 착화지연이 짧아 분무 주위에 그때까지 증발에 의한 증발혼합기의 양이 적기 때문이며, 또한 연소실내의 분위온도 증가에 따른 동점도의 증가로 연료공기 혼합이 늦어지는 상태에서 확산연소를 하게 되기 때문이라 생각된다. 한편 흡기온도를 300K로 한 경우, 화염면적의 증가와 감소는 가장 작다. 이는 분사기간 중에 착화하는 앞의 경우와는 달리 연소실내 분위기온도 저하로 착화지연이 길어져 분사 종료 후 대부분의 연료가 증발 완료한 상태에서 착화하며, 착화시 연소실의 넓은 공간에 공기와 대체로 희박하게 예혼합된 비휘발의 연소를 하고, 그 중 일부 연료과농부분과 미증발된 국소부에서 소규모로 휘염광을 발하는 연소를 하기 때문이라 생각된다.

한편 (B)에서의 화염면적 변화는 17° BTDC의 경우가 최대화염면적에 도달한 후 크게 감소해가는 반면, 2° ATDC의 경우는 최대화염면적에 도달 후 감소없이 거의 일정하였다. 이는 분사기간 중에 동일한 착화지연을 거친 후 착화되나 Fig. 12(B)에 나타난 바와같이 17° BTDC의 경우는 2° ATDC에 비해 착화시 분무 주위에 증발량이 많아 넓은 부분에 연료가 분포되어 착화되나 후속의 확산연소는

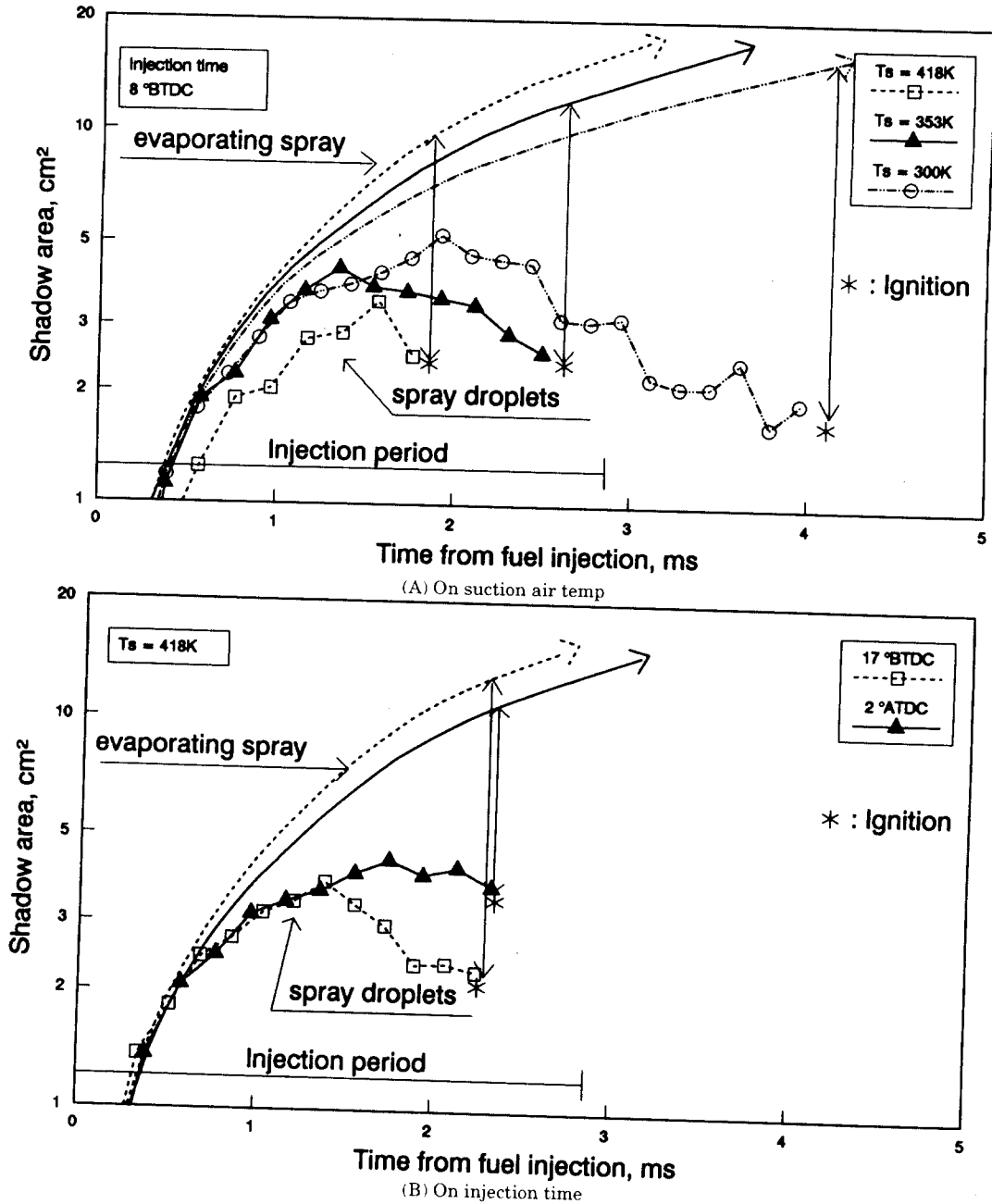


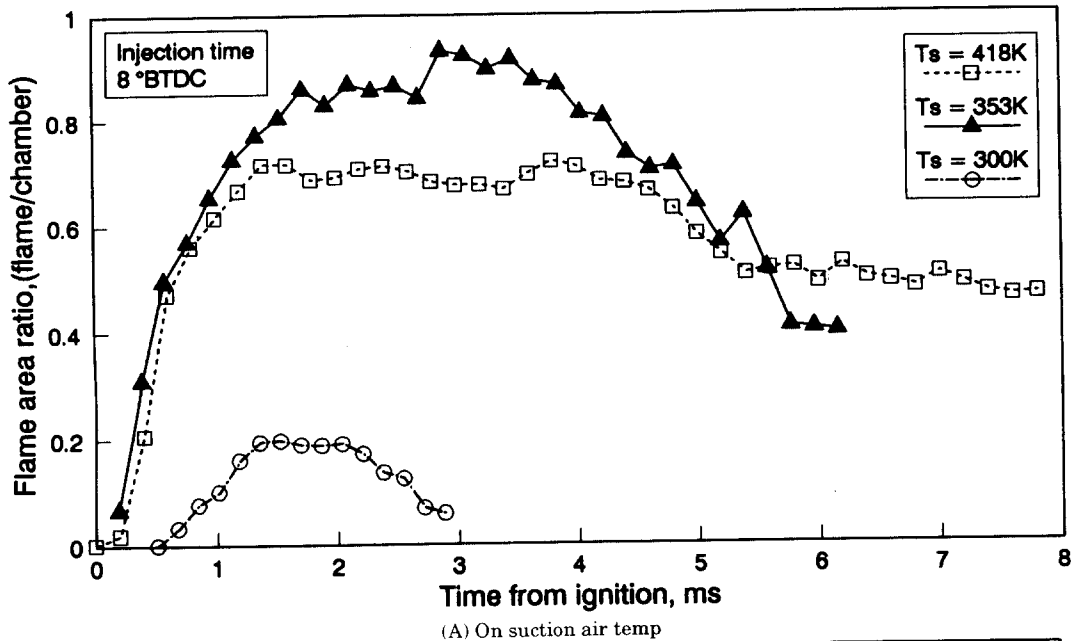
Fig. 12 Shadow area of evaporation spray and droplet on suction air temperature(A) and injection time(B)

피스톤 상승에 의한 재압축효과로 연소가 촉진되어 최대화염면적에 도달 후 그 면적은 급히 감소하게 되는 반면, 2° ATDC의 경우는 착화시의 증발량이 상대적으로 적은 분무가 확산연소하나 피스톤의 하강운동에 의한 온도강하로 연소가 지연되

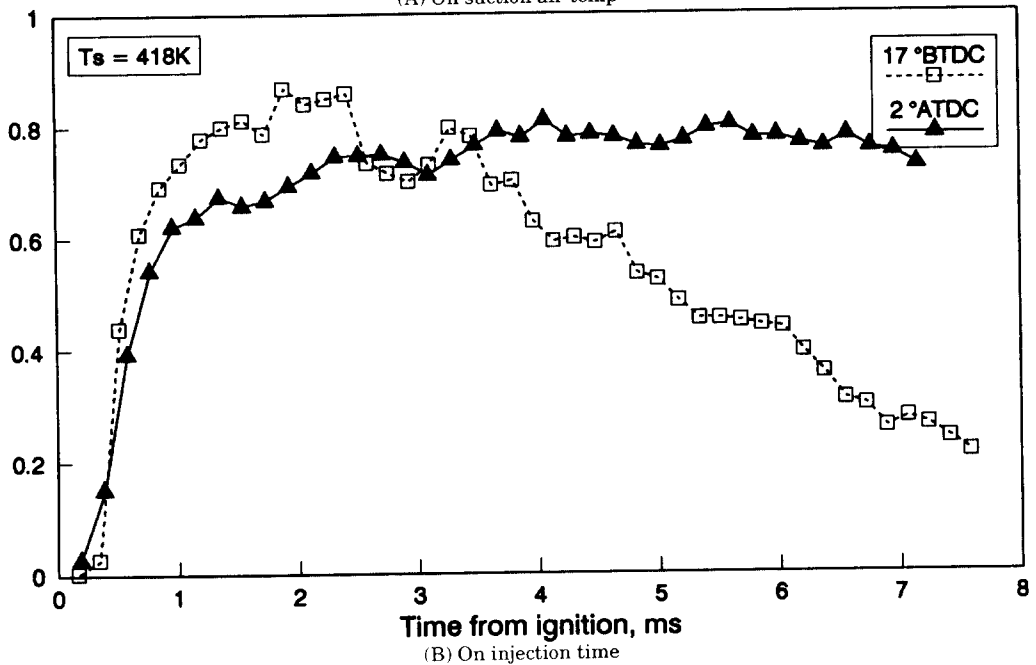
어 거의 일정하게 나타나는 것이라고 생각된다.

5. 결 론

가시용 직분식 디젤기관에 흡입공기온도와 분



(A) On suction air temp



(B) On injection time

Fig. 13 Flame area ratio on suction air temperature(A) and injection time(B)

사시기를 변경하였을 때의 분무 및 화염을 가시화하여 화상해석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 증발분무의 관통거리는 분위기 조건에 크게 의존하지 않았으나, 증발분무의 투영면적은 흡입 공기온도가 높을 수록 증가율이 증대해가고 분사

시기가 빠를수록 그 경향이 뚜렷하였다.

2. 증발분무내 액적군의 관통거리는 분무의 성장과 더불어 최대관통거리에 도달하고 그 후에는 분위기 온도에 의존하여 감소 또는 일정하였다.

3. 증발분무의 투영면적과 액적군의 투영면적의

차로 연료의 증발량을 추정한 결과 동일 분사시기에서 흡입공기 온도가 높을 수록 시간경과에 따른 증발량은 증대하나, 착화시의 증발량은 흡입공기 온도가 높을 수록 착화지연이 짧아 감소하였다. 또한 동일 흡입공기온도에서 분사시기를 17° BTDC와 2° ATDC로 하였을 경우 착화지연은 유사하나 착화시의 증발량은 17° BTDC의 경우가 더 많았다.

4. 착화 후 화염의 크기는 착화시의 증발량과 피스톤의 운동에 따른 분위기 상태에 크게 의존하였다.

참고문헌

- 1) C. F. Edwards, etc., "A study of the autoignition process of a diesel spray via high speed visualization", SAE 920108, 1992.
- 2) 小林, 外, "急速壓縮装置によるディーゼル燃焼に関する研究", 日機論, 48 - 426, 389 - 397, 昭57 - 2.
- 3) 長尾, 外, "直接噴射式ディーゼル機関における燃焼の研究", 日機論, 38 - 311, 1866 - 1883, 昭47 - 7.
- 4) C. Arcoumanis, etc., "Flow and combustion in a hydra direct injection diesel engine", SAE 910177, 1991.
- 5) 和栗雄太郎, 外, "可視化による側方噴射方式ディーゼル機関の噴霧の燃焼特性に関する研究", 日機論, 54 - 504, 2228 - 2235, 昭63 - 8.
- 6) Lee, D.B., "On the characteristics of D.I Diesel Engine with Rectangular Visualized Combustion Chamber", M. thesis, National Fisheries University of Pusan, 1994.
- 7) Wolfgang Merzkirch, Flow Visualization, Academic Press, pp. 115 - 149.
- 8) Ahn, S.K., "Reserch on the diesel spray and flame by means of image analysis method.", PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, 1981.
- 9) H.Ouchi, T. Chikahisa and T. Murayama, "A quantitative analysis of schlieren photography for an internal combustion engine diagnostics", SAE Paper 910730, 1991.
- 10) R.O.Gumprecht, etc., "Angular distribution of intensity of light scattered by large droplets of water", J.Opt.Am., 42 - 4, pp. 226 - 232, 1952.
- 11) Louis E.Ashley, etc., "Single particle scattering functions for latex spheres in watter", J.Opt.Am., 48 - 4, pp. 261 - 268, 1958.
- 12) John B.Heywood, Internal Combustion engine Fundamentals, McGraw - Hill, pp.529 - 532.
- 13) 小林, 外, "液粒の蒸發および燃焼に関する研究", 日機論, 20 - 100, 831 - 843, 昭29.
- 14) T.W.Kuo, etc., "Computation of drop sizes in pulsating sprays and of liquid - core length in vaporizing sprays", SAE Paper 820133, 1982.
- 15) Otto Uyehara, "A Method to Estimate H₂ in Engine Exhaust and Factors that Affect NO_x and Particulate in Diesel Engine Exhaust", SAE Paper 910732, 1991.