

〈논 문〉 SAE NO. 953778

운전조건에 따른 D.I. 디젤기관의 분무·화염의 특성에 관한 연구 (배경산란광그림자사진법에 의한 해석)

A Study on the Characteristics of D. I. Diesel Spray·Flame in Operating Condition (Analysis by Diffused Background Illumination Method)

라 진 홍*, 이 덕 보**, 안 수 길***
J. H. Ra, D. B. Lee, S. K. Ahn

ABSTRACT

Optically accessible D. I. diesel engine with a rectangular combustion chamber was constructed to visualize the behaviors of sprays and flames in the combustion chamber with the close conditions of pressure and temperature in an actual engine. The behaviors of sprays and flames in the combustion chamber as the operating conditions of this engine were photographed with high speed camera by Diffused Background Illumination Method.

With photographs taken by this method, behavior of spray droplets injected into the combustion chamber, ignition points, and flame propagation were observed and analyzed at a time-and space-dependent fashion.

주요기술용어 : Spray·flame(분무·화염), Spray droplets(분무액적군), Ignition point(착화점), Flame propagation(화염전파), Diffused background illumination method(배경산란광그림자사진법)

1. 서 론

직접분사식 디젤기관은 다른 열기관에 비해 높은 열효율과 고 신뢰성 및 저 연료소비율의 특성을 갖는 반면 유해가스(NO_x , Soot 등)의 배출,

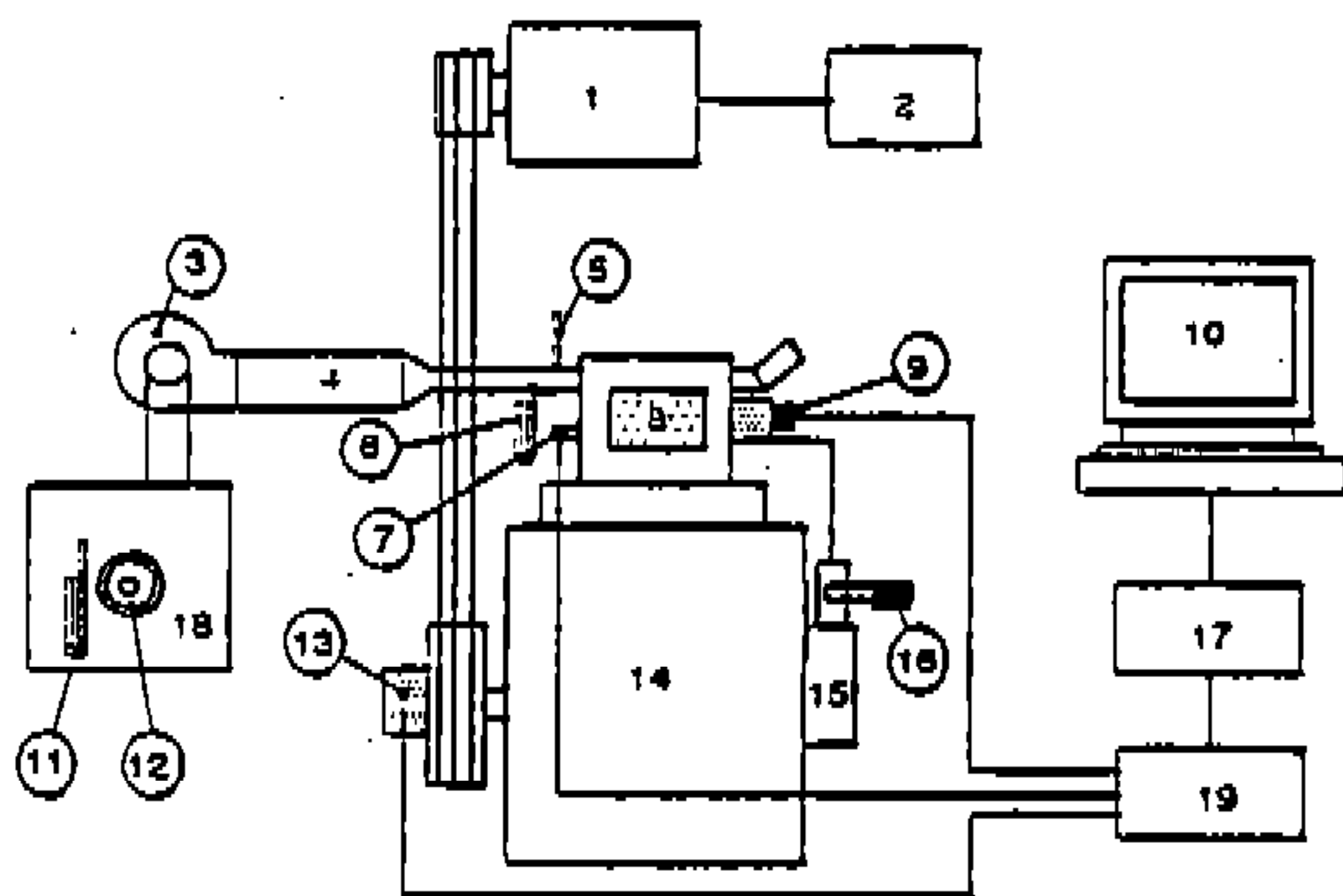
고 소음, 진동 등의 결점을 갖고 있다. 특히 유해가스 배출물은 대기오염의 주 원인이며, 그중 그을음은 가솔린기관의 수십배이상이고 발암물질로도 알려져 있다. 이와 같은 유해가스 배출저감과 효율 향상을 위해서는 기관연소실내에서의 분무·화염을 가시화 하여 분무·화염의 거동과 연소상태를 이해할 필요가 있다.

지금까지 디젤기관 연소실내의 분무·화염을 가시화한 대부분의 장치는 실린더헤드상부에 관

* 정회원, 부산수산대학교 대학원
** 정회원, 부산수산대학교 기관공학과
*** 정회원, 부산수산대학교 기관공학과

찰창을 설치하여 상부에서 관찰하거나 피스톤헤드부에 관찰창을 설치하여 하부에서 관찰함으로써 실린더 단면상의 2차원 정보를 얻는 것^{1),2)}이었다. 그러나 이들은 수평방향의 분사가 아닌 분무·화염의 거동을 정량적으로 평가하는 데는 적합하지 못할 뿐만 아니라 상부 관찰의 경우 벨브기구로 인해, 하부관찰의 경우 피스톤링부까지의 관찰창 설치불가 등으로 시야의 제한을 받는다. 따라서 디젤연소실내의 분무·화염의 거동 전체를 가시화 하여 정량적으로 분석하기 위해서는 연소실의 측면에서 가시화할 필요가 있다.

본 연구에서는 연소실내의 온도와 압력특성이 실제기관과 유사한 특성을 가지면서 연소실내에서의 분무연소거동 전체를 측면에서 가시화할 수 있도록 사각형의 실린더헤드를 제작하여 장착한 가시용 시험 기관³⁾을 이용해서 운전 조건에 따른 분무·화염의 거동을 배경산란광그림자사진법으로 조사하여 흡기온도와 분사시기 조건이 분무액적군의 도달거리와 착화 및 연소에 미치는 영향을 밝힌다.



- 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

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

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 연소실용적을 갖는 직접분사식 4사이클기관이며 그 주요사양은 Table 1과 같다.

기관구동계는 ①의 구동모터와 이를 제어하는 제어기 ②로 이루어져 있고, 흡기계는 가압팬 ③과 흡기가열기 ④로 흡기의 온도와 압력을 조절한다. 분사계는 ⑮의 가변캠으로 분사시기를 임의 조절할 수 있고, ⑯의 연료분사랙크로 분사량을 조절함과 동시에 측정 시 외부신호에 의해

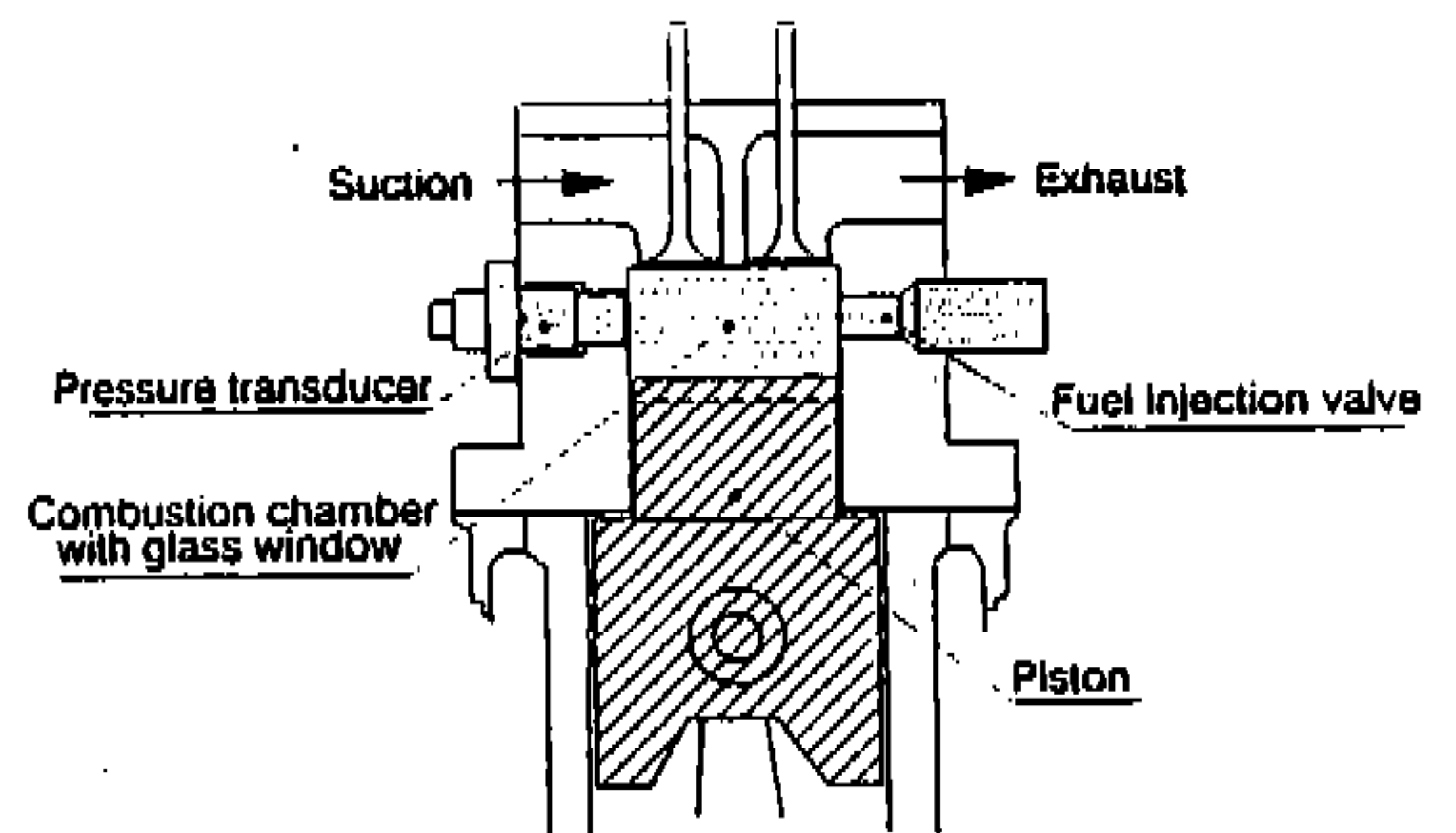


Fig.2 Section at view of cylinder head

Table 1 Engine specifications

Type : 4 stroke, D. I Diesel Engine with rectangular combustion chamber	
Bore × Stroke	120 × 168mm
Displacement	1899cm ³
Compression ratio	18.1
Fuel injection valve	
Nozzle dia.	0.2mm
Nozzle L/D	4
Sight glass size	80 × 40mm

원격제어로 연료가 분사되도록 되어 있다. 데이터는 연소실의 압력을 ⑦의 압력변환기로, 분사시기 및 분사기간을 밸브리프트센서 ⑨로 감지하여 A/D변환기를 거쳐 ⑩의 컴퓨터로 수집한다.

Fig.3은 분무·화염의 고속촬영을 위한 광학계를 나타낸다. 사용한 카메라는 16mm로타리프리즈 고속카메라(PHOTEC IV)로 20,000fps까지 촬영가능하며, 광원은 500W 텅스텐 램프를 사용했다.

촬영은 카메라 반대측의 파이렉스 관찰창에 부착된 마이라막(Mylar screen)에 의해 산란된 입사광을 배경광으로 하여 분무액적군의 그림자를 촬영하고, 착화가 된 휘염은 자발광에 의해 직접 촬영되도록 했다. 또한 고속카메라의 렌즈 앞에 설치한 셔터는 필름의 전반과 후반을 나누어 촬

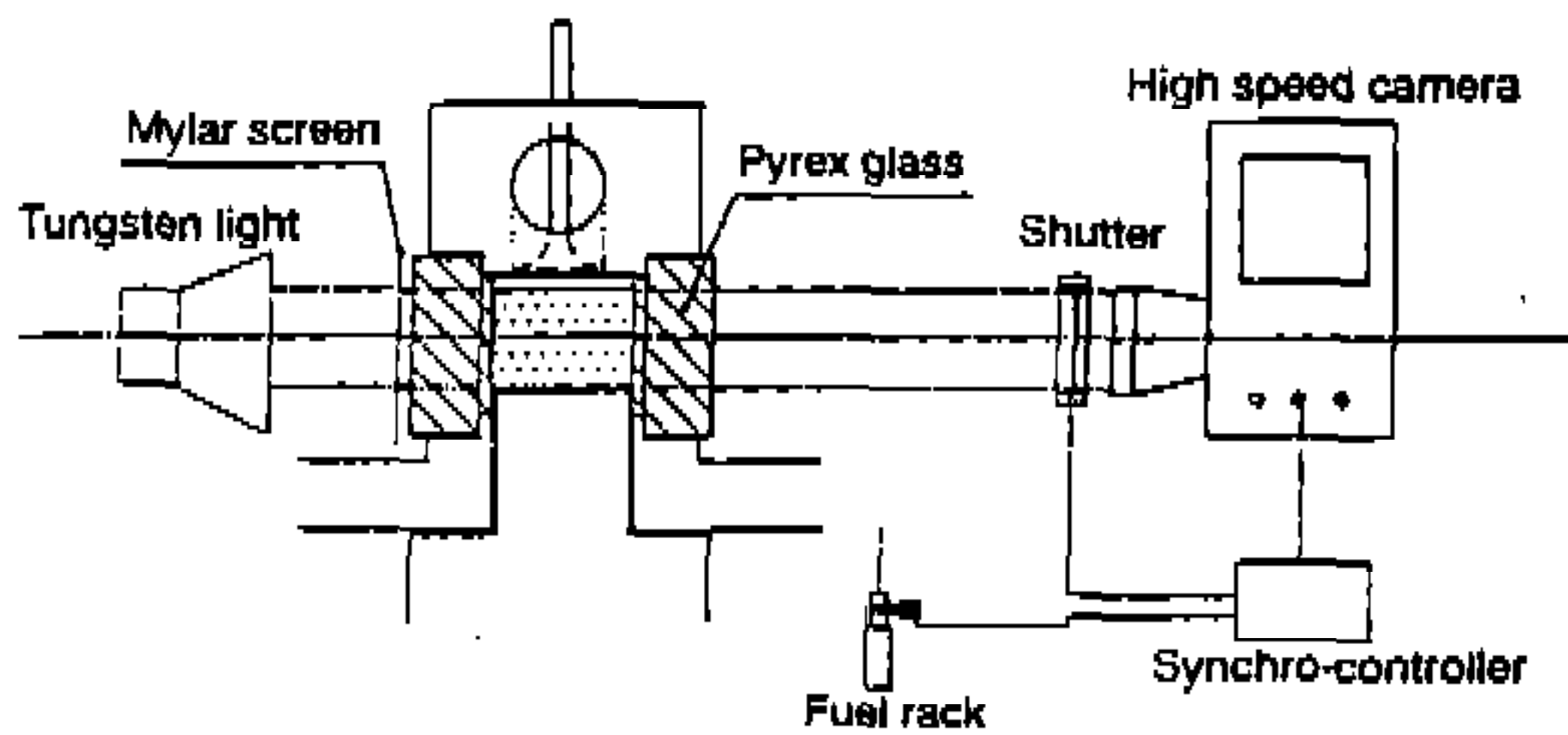


Fig.3 Optical setup for photographing sprays and flames by diffused background illumination method

Table 2 Engine test conditions

Speed	500rpm
Injection quantity	44mg/cycle
Injection period	8CA(2.7ms)
Injection pressure	20MPa
Injection time	17° BTDC
	8° BTDC
	2° ATDC
Suction air temperature	145°C
	80°C
	27°C

영할 수 있도록 한 것으로, 촬영 시 고속카메라 작동 후 필름이 1/2정도 달렸을 때 카메라에 내장된 마이크로릴레이의 동작으로 연료랙크가 투입되어 연소실에 연료를 공급함과 동시에 셔터를 열리게 해서 필름 후반부에 디젤분무·화염을 촬영하고, 미촬영의 전반부 필름은 다음 촬영 시에 사용하도록 했다.

2.2 실험방법

Table 2는 실험조건을 나타낸다. 연료유는 시판 경유를 사용하였고, 기관회전수 및 흡기압력을 각기 500rpm과 0.08MPa로 일정하게 유지시킨 상태에서 흡기온도와 분사시기를 주어진 실험조건과 같이 변경했다. 실험 시 흡기온도를 대기온도인 27°C로 할 경우에는 기관의 난기(warming)없이 주어진 회전수로 운전하면서 실험하였고, 흡기온도를 가열할 경우는 흡기팬과 히터를 이용하여 가열공기를 일정하게 공급하여 실린더헤드 온도를 흡입공기온도와 동일하게 유지시킨 후 실험하였다. 촬영 시 고속카메라는 조리개 8.0, 셔터정수 1/10, 촬영속도 7,000fps로 하고 필름은 코닥 RAR2498인 흑백의 판크로매틱 120ft 롤필름을 사용했으며, 촬영한 분무·화염의 분무액적군의 길이, 화염의 윤곽등은 화상 처리로 해석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연소실내의 압력변화 및 착화지연 특성

Fig.4, 5, 6은 흡입공기를 대기온도인 27°C와 80°C 및 145°C로 가열하였을 경우 분사시기 변화에 따른 연소압력변화 및 착화지연을 나타낸다.

흡입공기온도가 대기온도인 27°C의 경우, 분사시기 17° BTDC에서는 분사개시 후 3.6ms인 6° BTDC에서 착화에 의한 압력상승이 시작되고, 분사시기 8° BTDC에서는 분사 개시 후 4.3ms인 5° ATDC에서 착화에 의한 압력상승이 시작되며, 분사시기 2° ATDC에서는 착화가 일어나지 않아 착화에 의한 압력상승이 없음을 알 수 있다. 따라서 흡입공기온도를 대기온도인 27°C

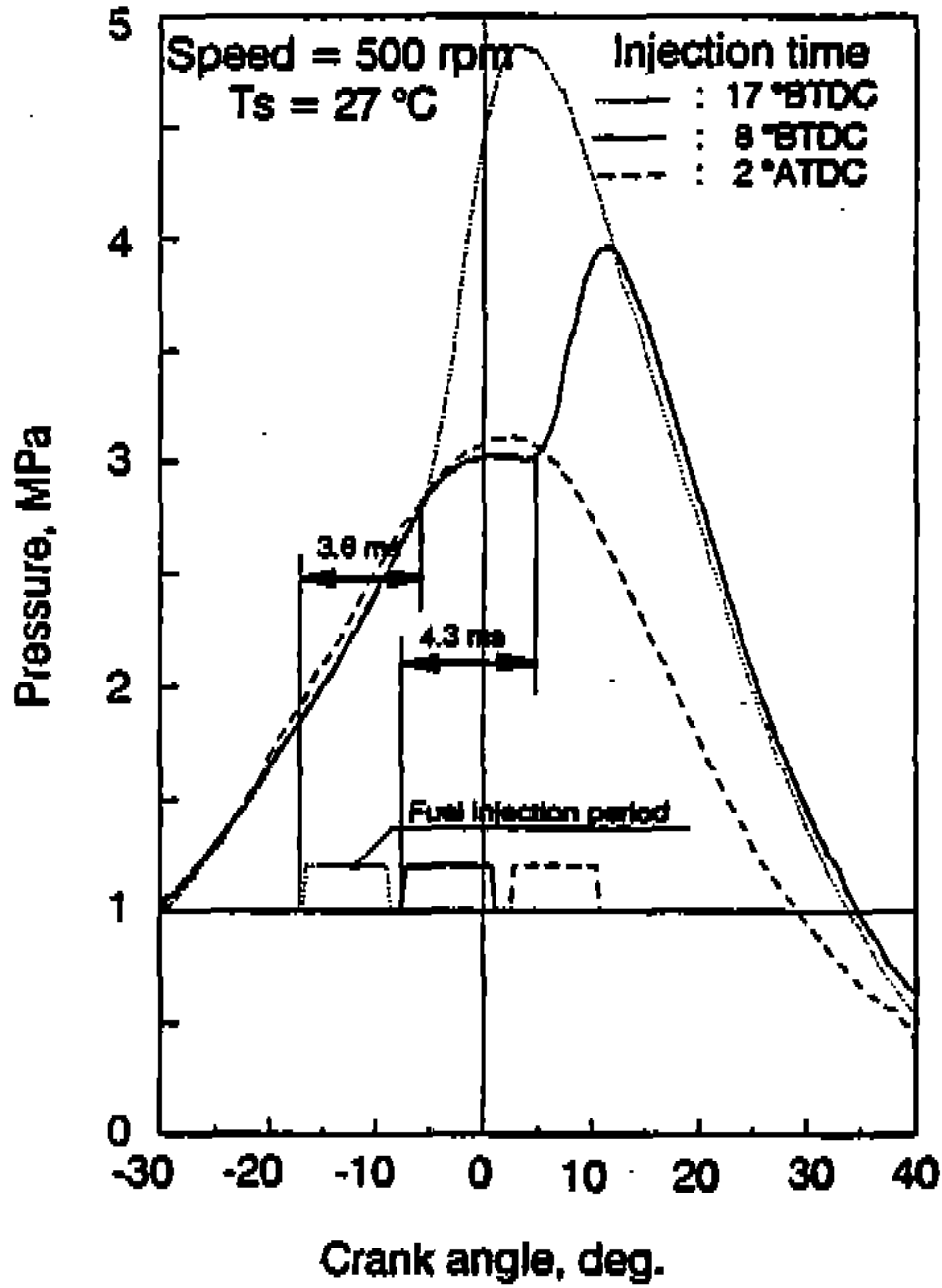


Fig.4 Combustion pressure curves on injection time(suction air temp. $T_s=27^\circ\text{C}$)

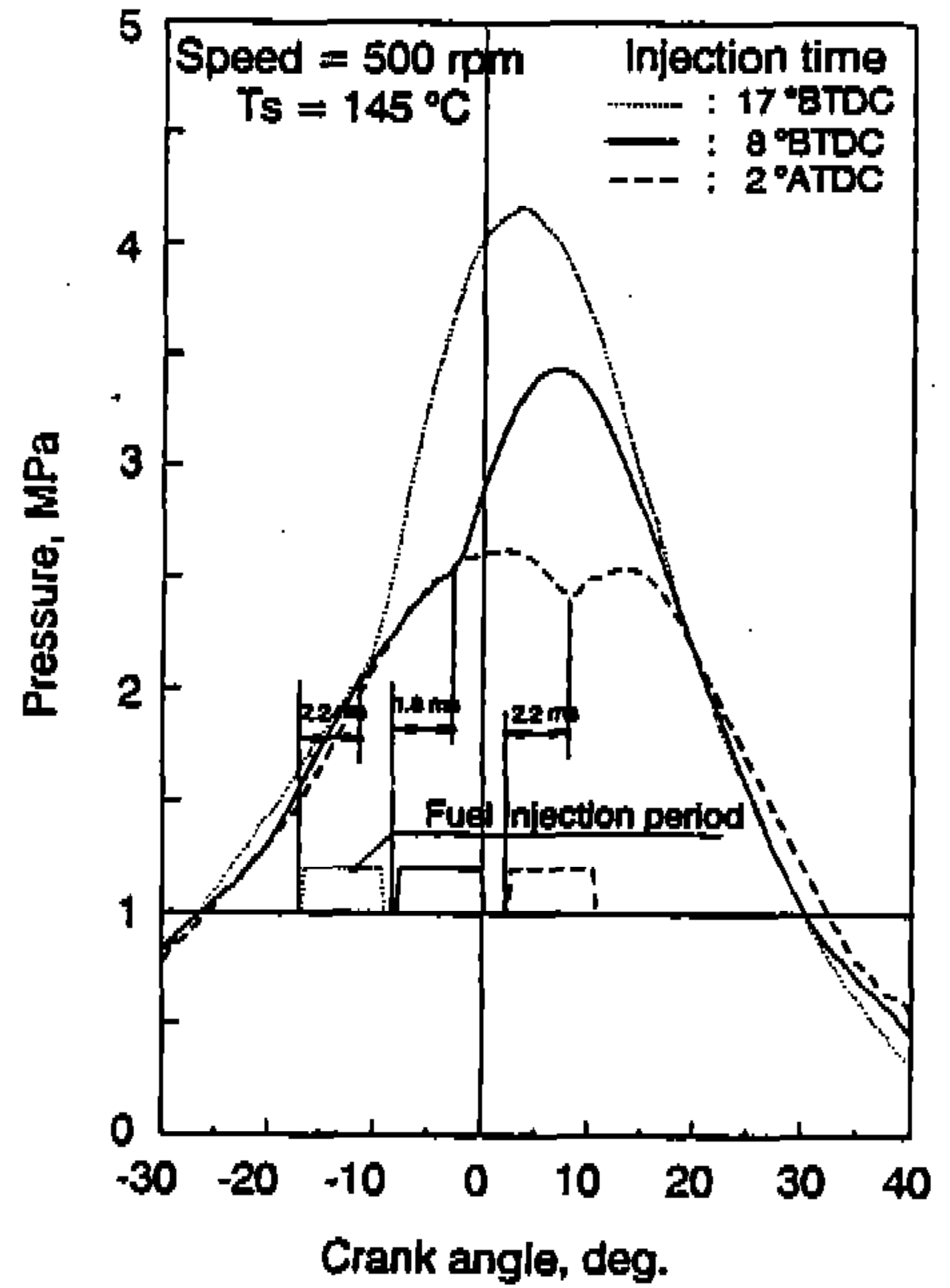


Fig.6 Combustion pressure curves on injection time(suction air temp. $T_s=145^\circ\text{C}$)

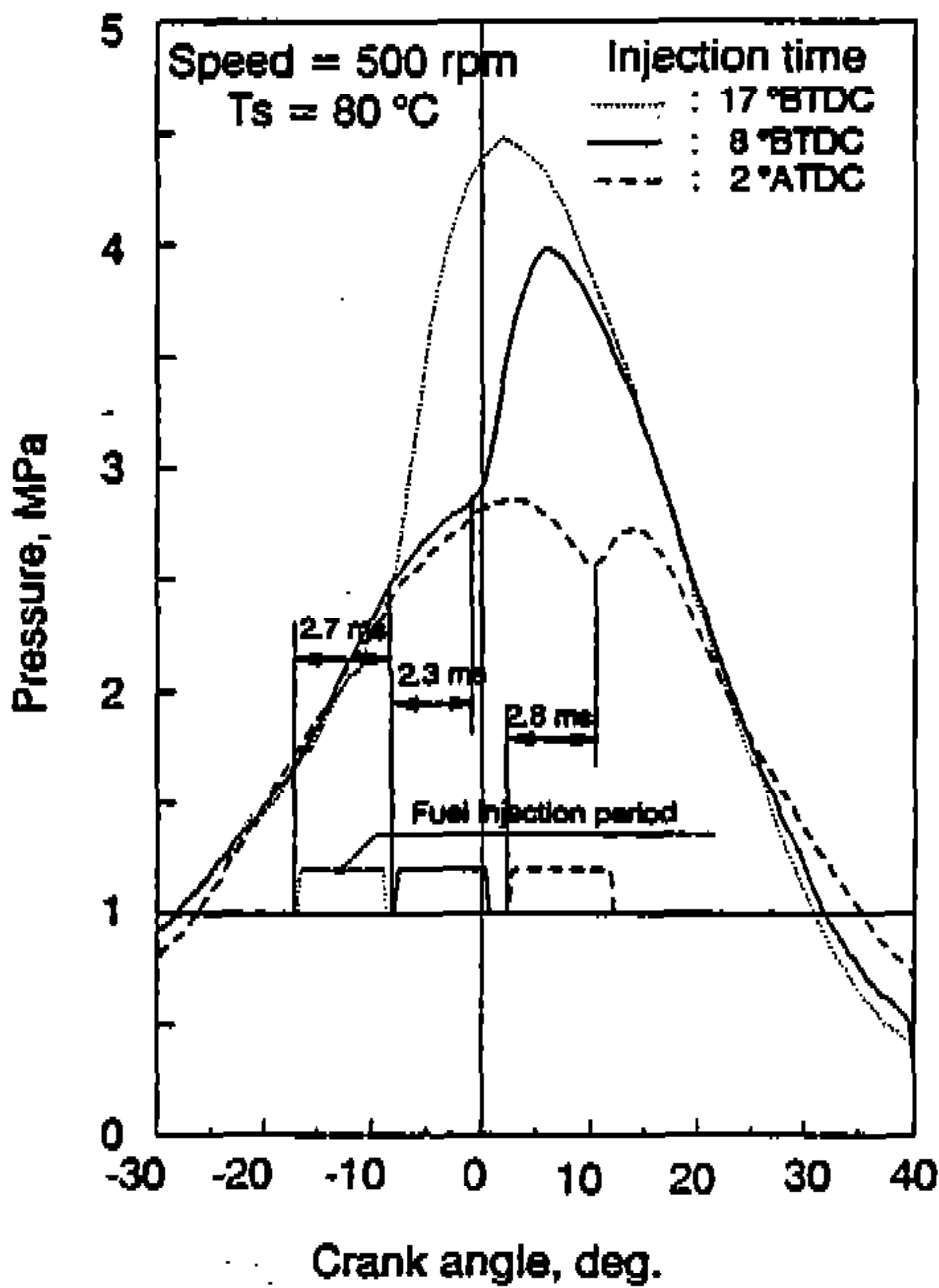


Fig.5 Combustion pressure curves on injection time(suction air temp. $T_s=80^\circ\text{C}$)

로 하였을 경우에는 착화가 분사 종료 후에 일어나므로(분사기간 : 2.7ms) 분사완료될 때까지의 분무의 거동과 분사 완료 후에 착화되는 연소의 특성을 파악하는데 유효하리라 판단된다.

흡입공기온도를 80°C 로 가열하였을 경우의 착화지연은 분사시기가 8°BTDC 에서는 2.3ms이고 분사시기가 17°BTDC 와 2°ATDC 에서는 2.7ms와 2.8ms으로 분사기간 중에 착화가 일어났으며, 최고압력값은 분사시기 순서(17°BTDC , 8°BTDC , 2°ATDC)에 따라 4.5MPa, 4.0MPa 및 2.8MPa의 값을 갖는 반면, 착화 후 최고압력점에 도달하는 시간은 각기 10CA(3.3ms), 7CA(2.3ms) 및 3CA(1ms)로 분사시기가 늦을수록 빨라졌다. 흡입공기온도를 145°C 로 가열했을 경우의 압력변화경향은 80°C 의 경우와 유사한 반면, 착화지연이 약 0.5ms씩 짧았으며, 최고압력에 도달하는 시간은 조금씩 길어지고, 최고압력값은 낮게 나타났다. 따라서 흡입공기온도를 가열한 이 두 경우는 흡기온도 및 분사시기를 변화시켰을 때 분사 중에 착화하는 분무·화염의

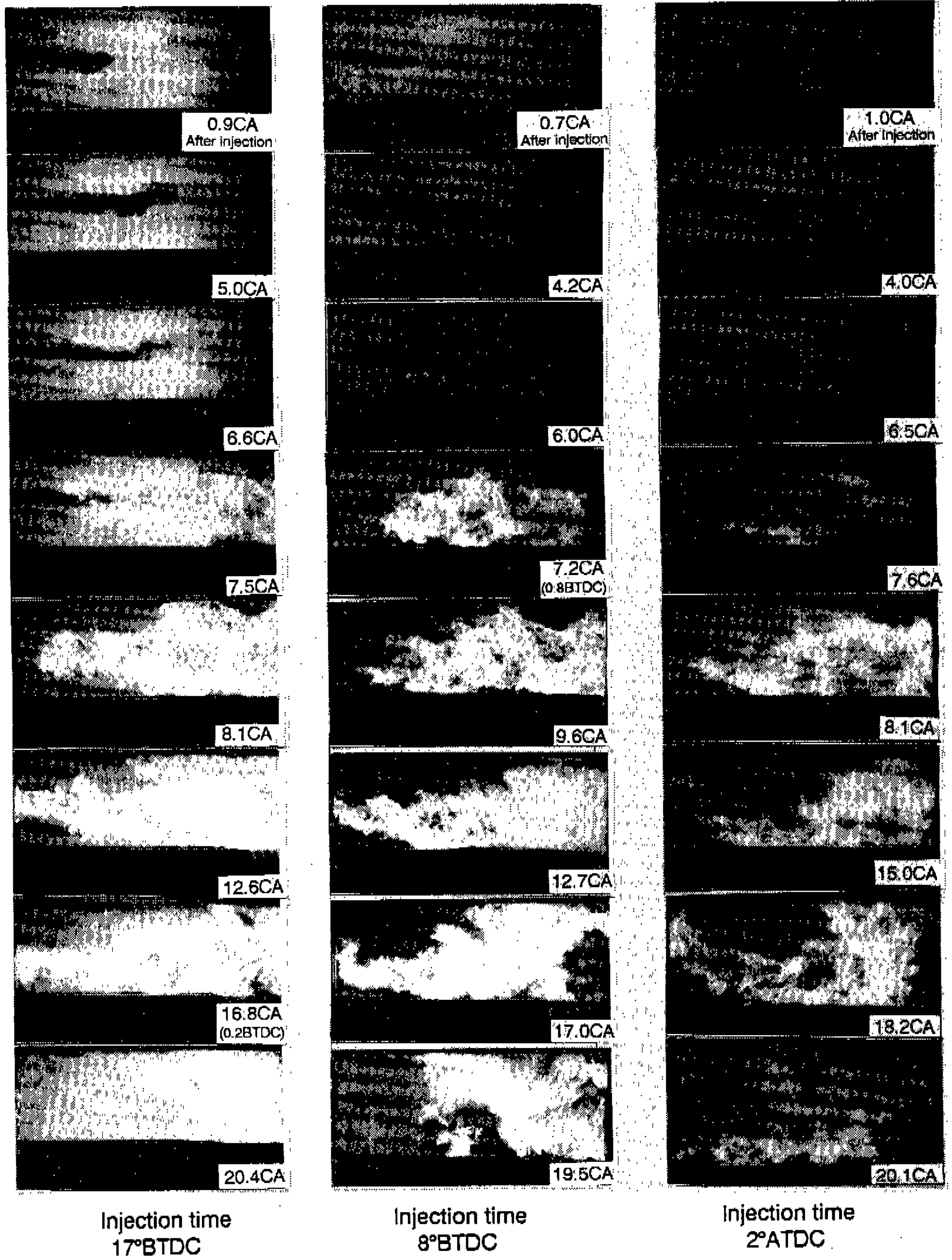


Photo.1 Photographs of diesel sprays and flames in the combustion chamber on injection time (suction air temp. T_s : 145°C)

거동과 착화 및 연소 특성을 해석하는데 유효하리라 판단된다.

3.2 분무·화염 사진

입사광을 산란막으로 산란시켜 산란광을 분무의 배경광으로 하고, 분무를 배경광의 반대측 원거리에서 좁은 입체각으로 그림자사진 촬영을 할 때, 입경파라미터가 파장보다 충분히 큰 경우 연료의 증발에 의한 기체밀도는 감지되지 않고 증발분무중의 액적군만의 그림자사진이 얻어진다⁴⁾.

본 실험에서 촬영된 분무의 사진들은 이에 해당된다. 또한 착화에 의한 화염의 사진들은 착화시 예혼합화염이 내는 청염 또는 화학종들의 발광들은 감지되지 않고^{5), 6)} 확산연소 시 연료유의 탄소화합물 입자의 연소에 의한 광역밴드의 휘염광에 의한 사진이 얻어진다.

Photo.1은 예로서 흡입공기온도를 145°C로 가열한 경우의 분사시기변화에 따른 분무화염의 사진들(촬영속도 : 7,000fps)을 나타낸다. Fig.6의 압력선도에서 설명한 바와 같이, 이 사진에서는 분사기간 중에 착화가 일어나고 착화 후 확산연소과정을 갖는 디젤 분무·화염의 거동을 보여주고 있다.

사진에 의하면 분사된 분무의 액적군의 길이는 분무선단이 연소실내를 관통하여 분사후 약4~5CA까지 증가한 후 성장을 멈춘다. 이는 분무선단에서 비행하는 선행의 연료액적군이 고온의 분위기 중으로 비행하는 동안 증발되어 화상에 나타나지 않고, 후속의 미증발의 분무액적군만이 촬영되기 때문이라 생각된다. 또한 분무액적군의 형상은 선행 액적군의 증발로 인해 선단부가 가늘다.

착화는 휘염이 나타나는 것으로 알 수 있으며, 그 시기는 Fig.6의 압력상승의 순간과 대체로 일치하고, 위치는 분무액적군의 중간지역 가장자리(edge)에서 동시다발로 일어났다. 이는 관성 및 속도운동량을 갖는 초기의 분무액적군이 고온고압의 연소실내를 비행하는 도중, 증발하면서 속도를 잃고 정체(stagnation)하며, 후속의 분무제트(jet)가 연소실내를 관통해감에 따라 분무가 장자리에서 와(eddy)가 형성되면서 미립화 될

때, 초기 증발된 정체연료증기와 미립액적들이 고온의 공기와 서로 혼합된다. 이 상태에서 화학적 발열과정에 의해 착화가 일어나며, 이때 연료 과농 또는 미증발액적들의 연소에 의해 휘염이 출현하는 것이라 보고하고 있다⁷⁾.

착화 후 휘염은 분무제트 선단부를 휩싸 후 노즐 측으로 성장하여 분무전체를 휩싸며 최대 휘도를 나타내고 연소진행과 더불어 소멸되어 간다. 또한 휘염은 노즐 반대측 벽면에서 연소실 중앙부까지 대부분의 공간을 차지한다. 이는 증발된 연료증기가 분무하류의 실린더벽면까지 관통할 뿐만 아니라 화염의 팽창에 의해 휘염이 벽면 구석까지 도달하기 때문이라 생각된다.

연소는 분사시기가 빠른 17°BTDC인 경우에는 분사 후 약 20CA까지 강한 휘염을 발하는 연소가 일어나는 반면 분사시기가 늦은 2°ATDC의 경우는 분사 후 20CA까지 휘도가 낮은 휘염의 연소가 계속되었다. 이와 같이 분사시기가 17°BTDC의 경우 휘도가 강한 것은 연료가 착화한 후 연소진행과 더불어 압축행정외 피스톤 상승운동에 의한 재압축 효과⁸⁾로 분위기온도 및 연소속도가 더욱 더 상승하기 때문이며, 반면에 분사시기가 2°ATDC의 경우의 휘도가 낮은 것은 팽창행정중의 피스톤의 하강운동에 의해 분위기온도 및 연소온도가 저하되기 때문이라 생각된다.

3.3 분무액적군의 거동 및 착화 특성

Fig. 7, 8의 그림은 분무액적군의 도달거리 및 착화위치를 나타낸 것이며 점선은 1회 분사시의 시간경과에 따른 분무액적군의 도달거리를 연결한 것인데 재현성을 확인하는 의미에서 동 조건에서 다른 경우의 1회 분사시의 값을 동시에 표시하였고, 이들의 시간경과에 따른 도달거리의 경향을 알기 위해 꺾인 직선으로 나타내었다.

Fig.7은 분사시기를 8°BTDC로 일정히 했을 때 흡기온도 변화에 대한 연소실내에서의 분무액적군의 도달거리를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 흡기온도에 관계없이 분열기간인 분사초기에는 도달거리가 약 3cm에서 Hiroyasu⁹⁾의 결과와 유사한 속도천이점을 가지며, 분무의

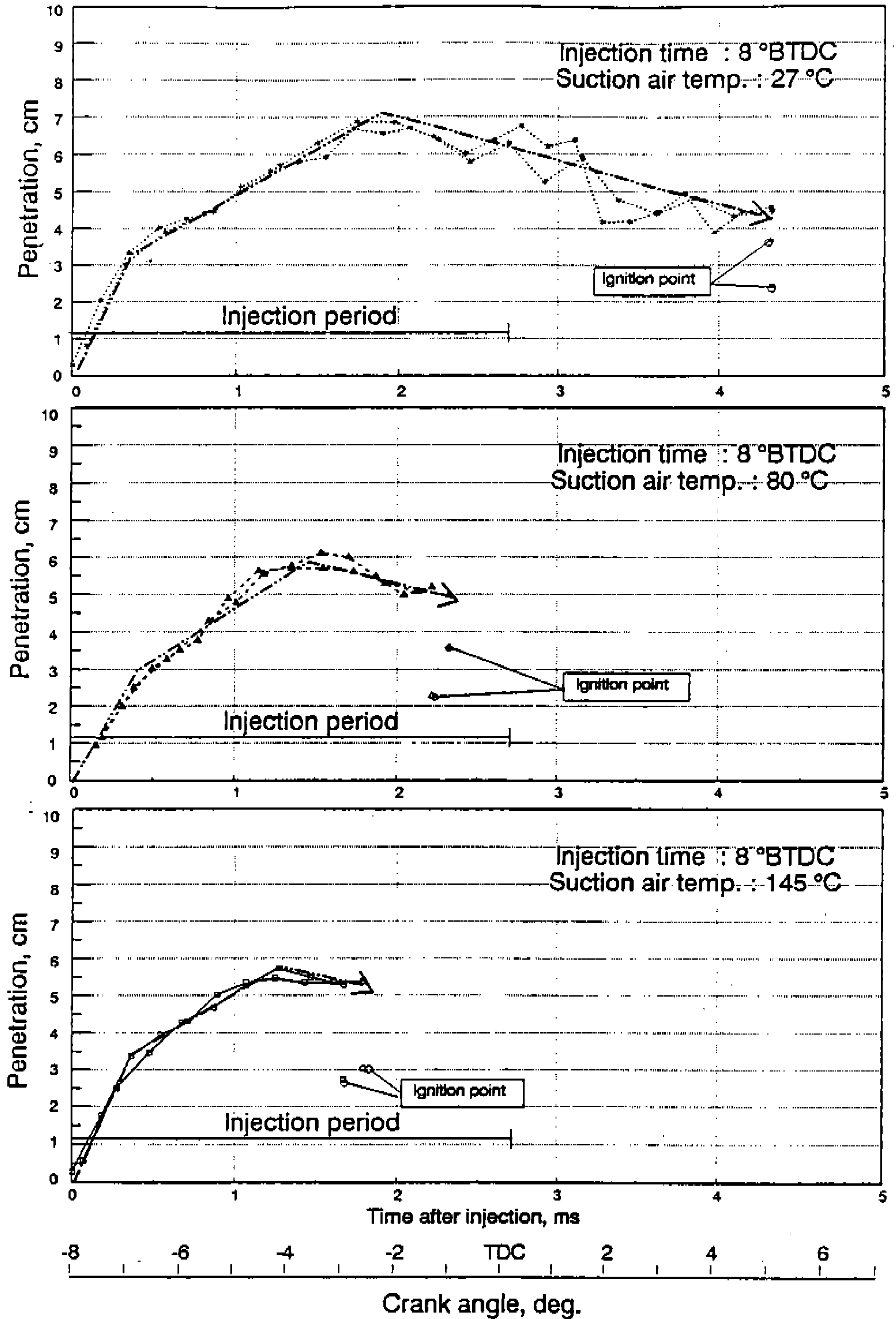


Fig.7 Comparison of spray droplets penetration on suction air temperature (injection time : 8° BTDC)

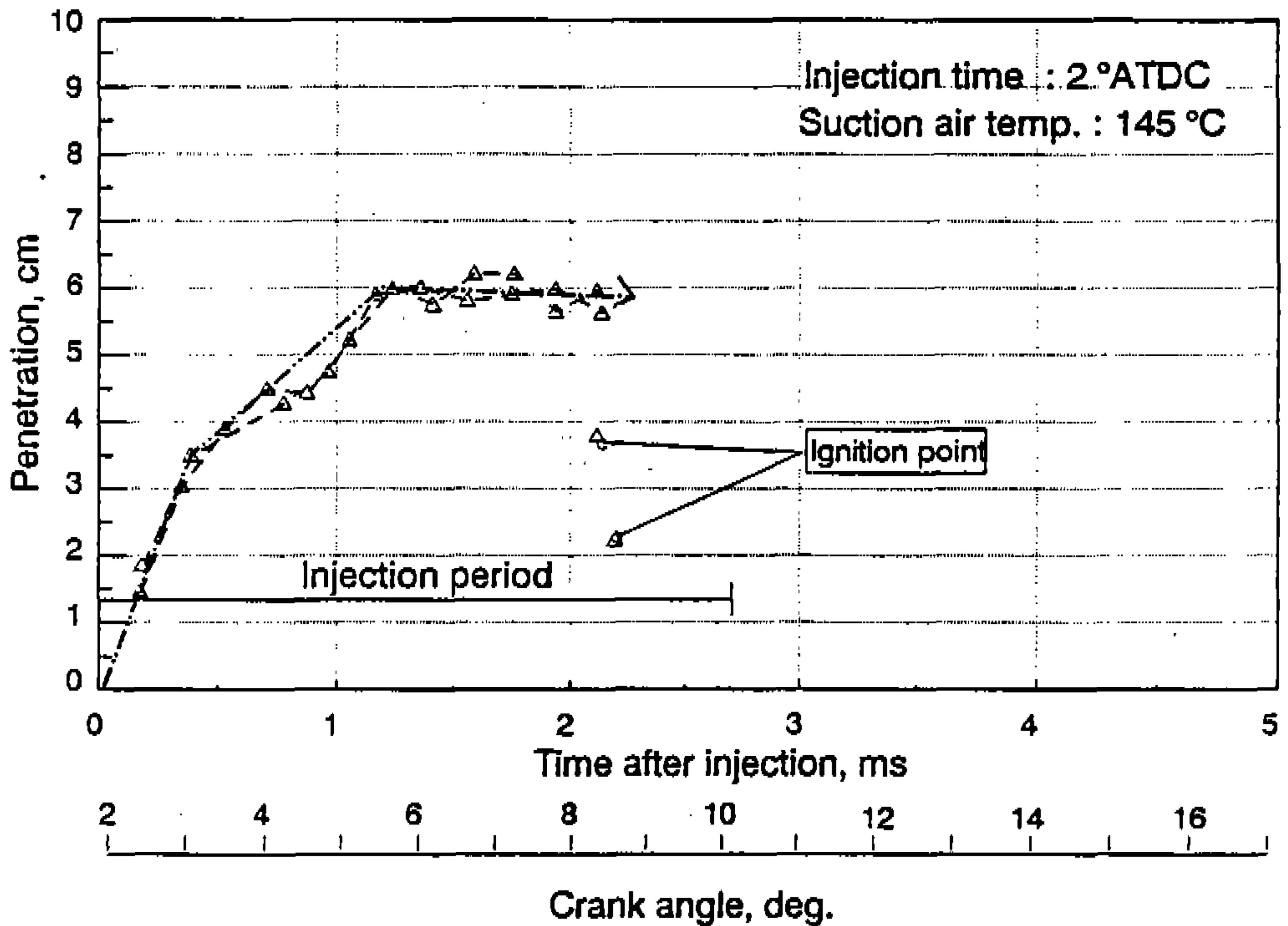
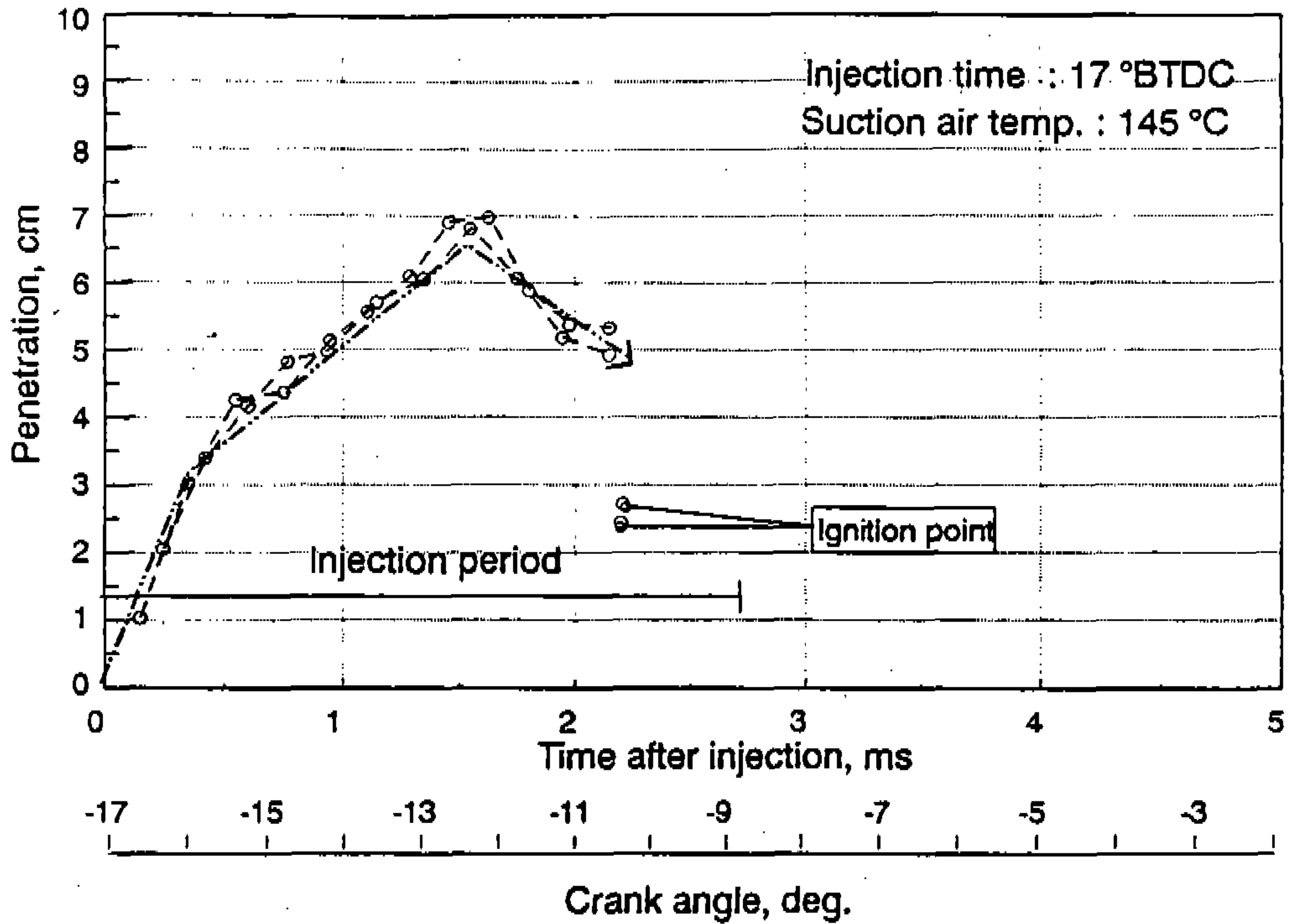


Fig.8 Comparison of spray droplets penetration on injection time (suction air temp. : 145°C)

성장과 더불어 최대도달거리에 도달한 후 감소한다. 최대도달거리의 장단은 분무성장시의 분위기 밀도 및 온도에 좌우된다. 즉 속도천이점을 지난 분무는 미립화 됨에 따라 분무주위로부터 공기를 도입하게 되며, 이때의 도입되는 공기는 피스톤의 상승에 따라 밀도 및 온도가 상승한다. 이에 따라 분무액적군은 도입공기의 밀도 증가에 의해 관통력 및 액적직경이 감소하고, 도입공기의 온도상승에 의해 액적증발율이 증대하여, 그 성장율이 감소한다. 따라서 피스톤의 상승운동에 의해 노즐에서 분출하는 분무액적군의 성장율과 밀도 및 온도상승에 의한 성장감소율이 동일한 점에 이르렀을 때, 분무액적군의 성장은 멈추어 최대 도달거리에 이르게 되며, 이후 피스톤의 상승운동에 의해 분무액적군의 성장율보다 도입공기의 밀도 및 온도상승에 의한 성장감소율이 앞서게 되면 분무액적군의 도달거리는 짧아지게 된다.

최대도달거리는 흡기온도가 대기온도인 27°C의 경우 분사 후 1.9ms에서 약 7cm, 80°C의 경우 1.5ms에서 약 6cm, 145°C의 경우 1.3ms에서 약 5.5cm이었다. 즉 동일 분사조건하에 흡기온도를 높일수록 최대도달거리의 도달시간은 빨라지고 최대도달거리가 짧아짐을 알 수 있다. 이는 흡기온도가 높을수록 도입공기온도가 상승하여 액적증발율이 증대하기 때문으로 판단된다. 한편 본 실험의 경우 동일 흡기압력 하에서 흡기온도를 변화시켰으므로 흡기온도가 높을수록 밀도가 저하하여 액적도달거리의 증대효과도 예측되나, 최대도달거리가 감소하는 경향으로 보아 분무액적의 도달거리는 밀도저하에 의한 분무액적군의 최대도달거리 증대효과보다 도입공기온도 상승에 의한 증발율의 증대효과가 지배적임을 알 수 있다.

Fig.8은 흡입공기온도를 145°C로 일정하게 하고 분사시기를 압축행정 중에 분사한 17°BTDC와 팽창행정 중에 분사한 2°ATDC로 했을 경우의 분무액적군의 도달거리를 나타낸다. 분사초기에는 Fig.7의 경우와 유사한 속도천이점을 갖는 반면, 그 이후 분무액적군의 최대도달거리는 17°BTDC의 경우 약 1.6ms에서 약 7cm, 2°

ATDC의 경우 1.1ms에서 약 6cm로서 2°ATDC의 경우가 빠르게 나타나고 짧았다. 또한 최대 성장 이후의 액적군의 도달거리경향은 17°BTDC의 경우가 현저한 감소를 나타낸 반면, 2°ATDC의 경우는 감소없이 일정함을 보여주고 있다. 이는 분사가 피스톤의 운동에 따라 분위기 밀도 및 온도가 각기 다른 조건하에서 이루어지기 때문이라 생각된다. 즉 17°BTDC에 분사한 분무는 피스톤이 상승함에 따라 분위기 압력과 온도가 증가하는 조건에서 이루어지는 반면, 2°ATDC에 분사하는 경우에는 초기 고온고압하의 분위기가 피스톤의 하향운동에 의해 팽창하면서 압력과 온도는 감소하는 조건하에서 이루어진다. 따라서 분사전반부에서는 2°ATDC의 경우가 17°BTDC보다 상대적으로 고온고압하에 있으므로 분무액적군의 최대도달거리는 더 짧고 빨리 나타났으나 최대도달거리 이후의 도달거리는 17°BTDC의 경우 시간이 경과함에 따라 피스톤의 상승으로 분사압력차의 감소, 분위기 공기의 밀도와 온도의 상승등으로 그 길이가 감소하는 반면, 2°ATDC의 경우는 피스톤이 하향함에 따라 분사압력차의 증대, 분위기공기의 밀도와 온도저하 등으로 인해 그 길이가 감소하지 않는 것으로 판단된다.

착화 시 착화위치는 Fig.7 및 Fig.8에서 알 수 있듯이 분위기 조건에 관계없이 분무액적군의 중간부의 임의 위치에서 일어났다. 초기 분사된 분무선단이 착화 시까지 비행하는 거리는 분사초기의 관성 및 속도 운동량에 주로 의존하고, 착화 시 혼합조건은 분무가장자리의 와를 형성하는 유동장에 주로 의존하나, 본 실험의 범위 내에서는 노즐팁으로부터 2~4cm범위 내 임의위치에서 착화가 일어남을 알 수 있었다.

3.4 화염의 특성

Fig.9는 분사시기가 8°BTDC이고 흡기온도가 27°C, 80°C 및 145°C일 때 착화 후 초기 휘염의 팽창과정을 관찰하기 위해 그 윤곽을 화상해석에 의해 도시한 것으로 착화후 0.2ms간격의 4화면과 최대휘염면적에 도달한 1화면을 나타내며, 그림중의 굵은 점선은 착화 시 분무액적군의

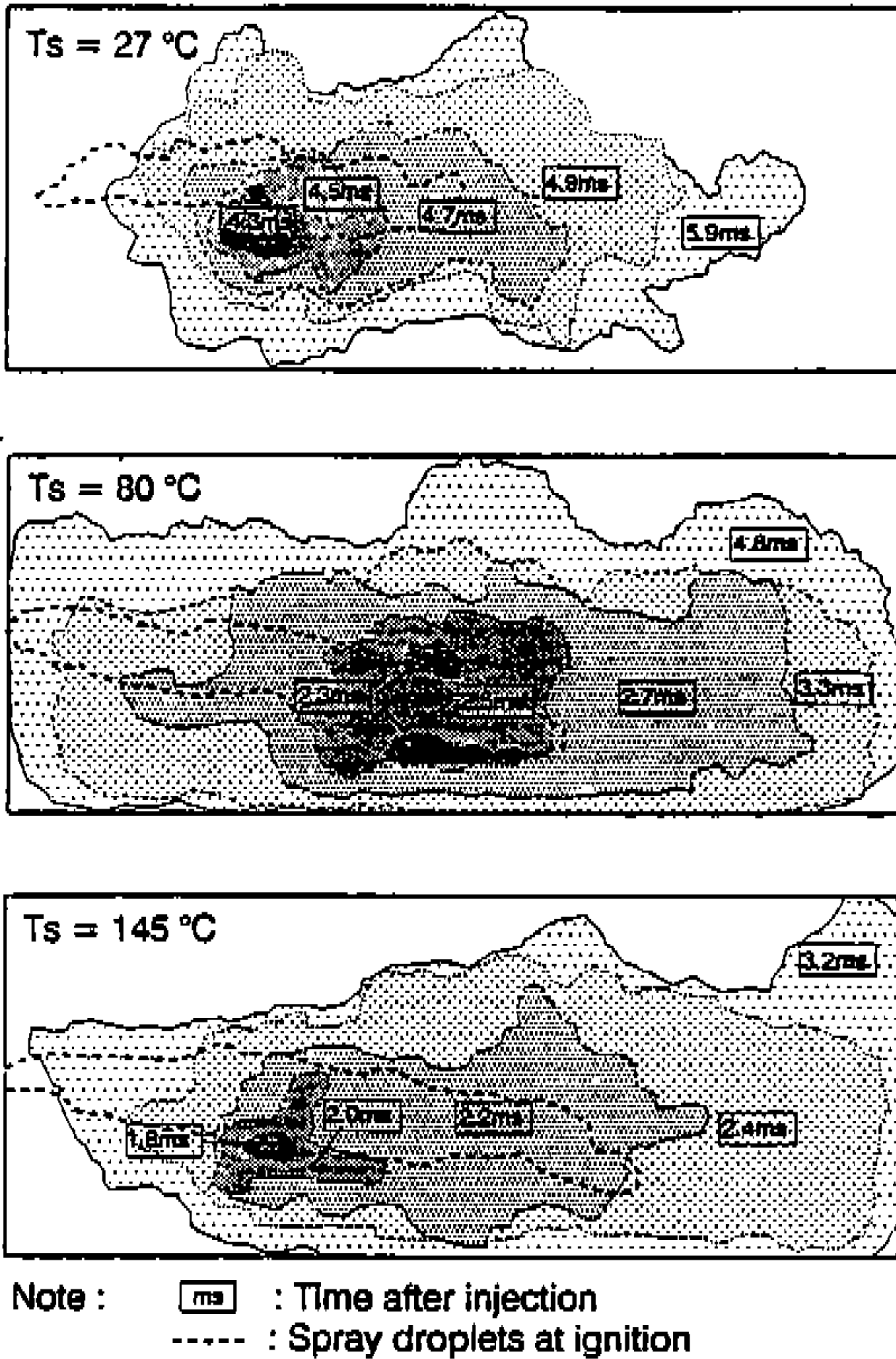


Fig.9 Flame propagation on suction air temperature(injection time : 8BTDC)

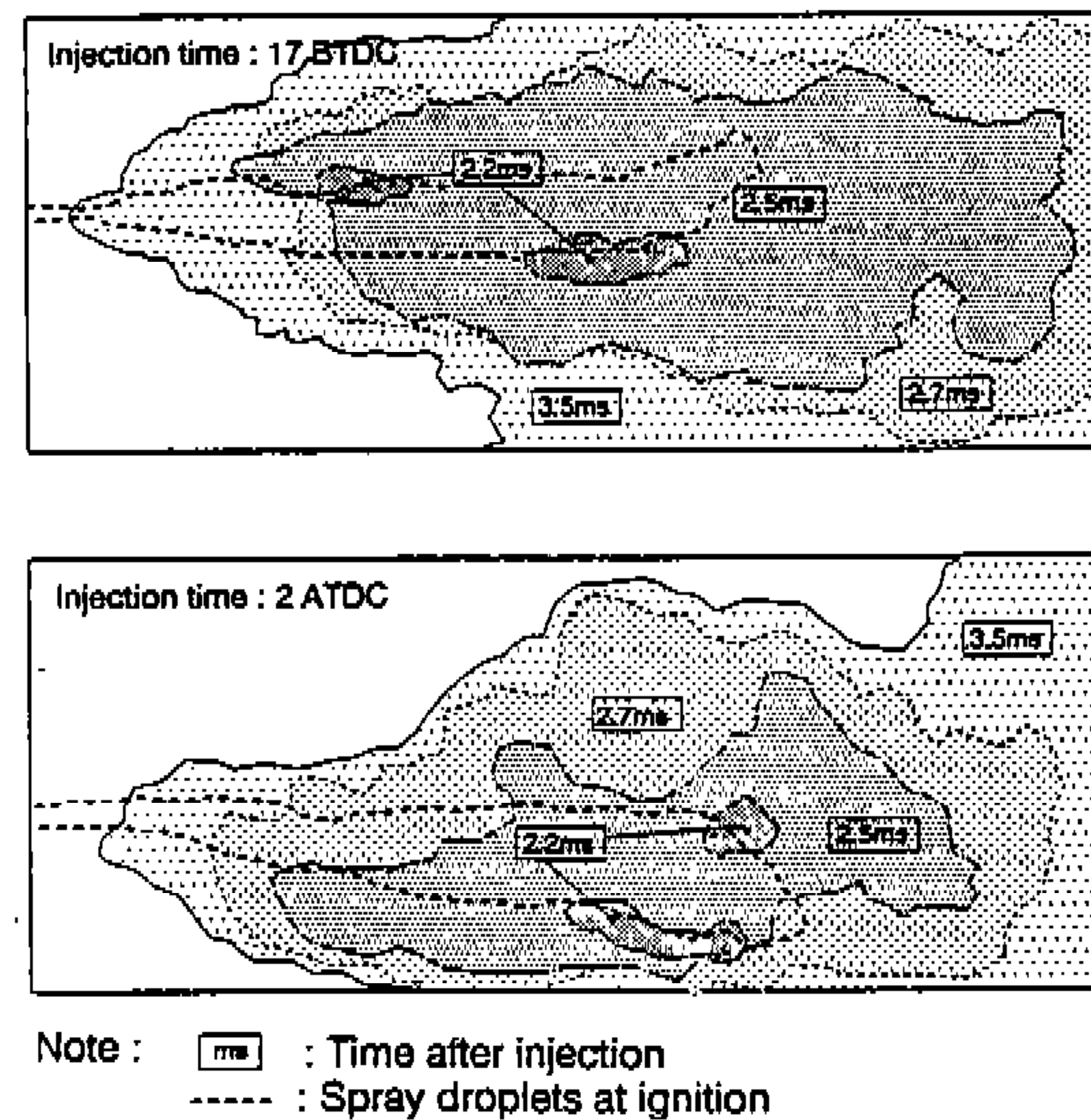


Fig.10 Flame propagation on injection time (suction air temp : 145°C)

윤곽을 나타낸다.

흡기온도가 대기온도인 27°C의 경우 착화는 분사종료 후인 분사개시로부터 4.3ms경과한 분무액적군의 중간부분의 가장자리에서 일어나며 최대휘염면적은 분사개시로부터 약 6.0ms근방에서 일어났다. 휘염면적의 크기와 Fig.4의 압력선도를 비교해 볼 때, 출현한 휘염의 크기는 작은 반면 압력상승은 급격하며 최고압력은 높다. 이는 분사종료 후 착화되므로 연료의 대부분이 증발하여 주위 공기와 혼합된 예혼합기연소에 가까우며, 이때의 화염은 발광강도가 낮은 예혼합염이 대부분이고, 휘염은 부분적으로 불균일한 과농연료혼합 또는 미중발액적들에 의해 출현되므로 휘염주위의 발광강도가 낮은 예혼합염은 촬영되지 않고 휘염광만 촬영되었기 때문이라 생각된다.

흡기온도가 80°C의 경우는 분사말기인 분사개시 후 2.3ms에서 착화되어 4.8ms에서 최대 휘염면적을 가졌고, 휘염의 전개양상은 분무액적군의 줄기인 점선의 윤곽과는 달리 연소실 전체로 확대되었다. 흡기온도 145°C의 경우 분사기간중인 분사개시 후 1.8ms에서 착화되어 3.2ms에서 최대 휘염면적을 가졌고, 휘염의 전개양상은 착화시 분무액적군의 윤곽을 중심으로 전체를 에워싸면서 분류의 상하로 확대되었다. 흡기온도를 가열한 이 두 경우를 착화 후 동일시각에서의 초기 휘염면적의 크기와 최대팽창한 후의 면적을 비교해보면 145°C의 경우가 80°C의 경우보다 작다. 이는 초기 휘염면적의 크기를 화염팽창속도로 최대 휘염면적을 공기이용율로 간주한다면, 145°C의 경우가 80°C보다 화염팽창속도가 느리고 공기이용율이 낮다는 것을 의미한다. 이와 같이 분위기 온도가 높은 쪽이 화염팽창속도가 느리고 공기이용율이 낮은 것은 가열했을 경우 착화지연이 상대적으로 짧아 지연기간중의 혼합기 형성량이 적을 뿐만 아니라 온도상승에 의한 가스동점도의 증가로 유동저항이 증대하여 연료공기 혼합율이 저하하기 때문이라 판단된다.

Fig.10은 흡기온도가 145°C이고 분사시기를 17° BTDC와 2° ATDC로 한 경우이다. 두 경우 모두 동일한 착화지연(2.2ms)을 갖는 반면 착화

후 동일 시각에서의 초기 휘염면적은 17° BTDC의 경우가 더 넓었다. 이는 동일 착화지연의 경우라도 압축행정중인 경우가 팽창행정인 경우보다 연소속도가 빠르다는 것을 의미한다. 그 이유는 Fig.8의 착화순간의 분무액적군의 길이가 팽창행정시보다 압축행정의 경우가 더 짧았으므로 이에 상당하는 만큼 증발된 유증기의 예혼합연소 참여율이 크고, 피스톤 상승운동에 의한 연소실 내의 연소에 유리한 분위기가 조성됨과 아울러 화염팽창에 의한 재압축 효과가 크기 때문이라 생각된다.

4. 결 론

가시용 시험기관의 흡입온도 및 분사시기 변화에 따른 분무 화염의 거동을 가시화한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제작된 본 시험기관은 운전조건에 따른 연소실내에서의 증발분무의 거동과 착화 및 연소현상 전체를 가시화할 수 있었다.
- 2) 실험범위내에서 증발분무액적군의 최대도달거리는 동일 분사시기인 경우 흡기온도가 높을 수록 짧게 나타났다.
- 3) 압축행정에서 분사한 경우의 액적군의 도달거리는 최대도달거리에 도달 후 감소하는 반면 팽창행정의 경우는 최대거리에 도달 후 감소없이 일정했다.
- 4) 착화에 의한 휘염이 최초로 출현하는 위치는 운전조건에 관계없이 분무액적군의 중간부분 2~4cm 범위내의 가장자리였다.
- 5) 압축행정중의 화염이 팽창행정중의 화염보다 휘도가 강하고 연소속도가 더 빨랐다.

참 고 문 헌

1. Christoph Espey and John E. Dec, "Diesel Engine Combustion Studies in a newly Designed Optical-access Engine using High-speed Visualization and 2-D Laser Imaging", SAE Paper 930971.
2. John E. Dec, Axel O. Zur Loye, and Dennis L. Siebers, "Soot Distribution in a D. I. Diesel Engine Using 2-D Laser-Induced Incandescence Imaging", SAE Paper 910224.
3. Lee, D. B., "On the Characteristics of D. I. Diesel Engine with Visualized Rectangular Combustion Chamber", M. thesis, National Fisheries University of Pusan, 1994.
4. Ahn, S. K., "Research on the Diesel Spray and Flame by means of Image Analysis Method.", PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, 1981.
5. J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGRAW-HILL, pp. 491~502.
6. K. Nagase, K. Funatsu, and I. Haga, "Spectroscopic Analysis of Diesel Combustion Flame by means of Streak Camera", JSME Vol55.515, pp. 2067~2072, 1989.
7. C. F. Edwards, D. L. Siebers and D. H. Hoskin, "A Study of the Autoignition Process of a Diesel Spray via High Speed Visualization", SAE Paper 920108.
8. 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
9. M. Arai, M. Tabata and H. Hiroyasu, "Disintegrating Process and Spray Characterization of Fuel Jet Injected by a Diesel Nozzle", SAE Paper 840275.

1. Christoph Espey and John E. Dec, "Diesel