

이 논문은 1993년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.
<논문> SAE NO. 943752

정적 용기내의 직접분사식 스파크 점화 성층 연소에 관한 연구

A Study on Direct Injection Stratified Charge Combustion with Spark Ignition in Constant Volume Bomb.

홍 명 석,* 김 경 석**
M. S. Hong, K. S. Kim

ABSTRACT

The direct-injection stratified-charge engine has the advantages of higher thermal efficiency and less CO and NO_x emission levels than conventional spark ignition engines. However, its actual utilization is prevented by high unburned hydrocarbon emission levels during light-load operations.

In this paper, fundamental studies were carried out using a pancake type constant volume bomb. The effects of intensification of local premixing by tangential and radial fuel injection were examined experimentally. Unburned hydrocarbon emission levels with radial fuel injection were shown to be lower than those of tangential fuel injection cases.

The stratification and mixing process of fuel jet and combustion process were observed by schlieren photography.

주요기술용어 : Direct Injection Stratified Charge(직접분사 성층급기), Spark Ignition(스파크 점화), Unburned Hydrocarbon(미연탄화수소), Local Premixing(국소예혼합), Fuel Injection(연료 분사)

1. 서 론

직접 분사식 성층 급기(Direct Injection Stratified Charge, DISC)기관은 희박 연소를 시키기 위한 기관으로 내노크성이 뛰어나고, 높은 열효율이 기대됨과 동시에 일산화탄소 및 질소 화합물의 배출이 적고 그 위에 다양한 연료를 사용할 수 있다. 그러므로 열효율 향상 뿐만 아니라, 배기가스 정화와 에너지 자원의 다양화를 위한 메

탄을 엔진 개발등에 있어서 DISC 기관의 실용화는 그 의의가 매우 크다.¹⁾

지금까지 많은 DISC 기관을 연구해 오고 있지만 아직 실용화까지는 이르지 못하고 있다. 그 원인은 저부하로 운전할 때 미연탄화수소의 배출량이 많기 때문인데, 같은 운전 조건에서 가솔린 기관의 10배에 달한다.²⁻⁵⁾ 그리고 저부하로 운전할 때에는 배기가스의 온도가 낮기 때문에 촉매에 의한 정화도 쉽지 않다. 이와 같은 문제

* 정회원, 조선대학교 기계공학과

** 정회원, 조선대학교 기계설계공학과

들을 포함해서 성층연소를 최적으로 하기 위한 기초적인 연구가 필요하며, 이를 위해서는 공기 유동, 연료분사, 점화위치, 점화시기 등의 제인자에 대한 영향을 연구해야 한다.⁶⁻⁷⁾ 그러므로 본 연구에서는 성층연소의 기본적인 성질을 명확하게 하는 것을 목적으로 정적 연소 용기에서 프로판가스와 메탄가스를 연료로 사용하여, 연소실 내의 공기유동, 연료분사 방향 및 스파크 점화위치 등의 영향과 상호 관련성에 대해 체계적인 실험을 하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

실험에 사용된 연소 용기는 Fig.1과 같이 직경 110mm, 깊이 30mm의 원판형 정적용기로 체적이 285cm³이다. 양 측면은 연소의 가시화를 위하여 열처리한 강화유리로 직경이 110mm인 관측창을 설치하였다. 연소실 주위에는 연료 분사 밸브, 공기 분사 밸브, 연소 가스 Sampling용 밸브 및 연소 압력을 측정하는 압력 변환기의 센서가 설치되어 있다. 연료분사 밸브는 직경 2.5mm의 고속 전자밸브로 GTO소자를 이용한 여자장치에 의해 구동된다. Fig.2에 실험 장치의 개요를 나타내었다.

혼합기의 성층화 및 연소의 촉진을 위해 Swirl이 발생되도록 연소실 내의 원주벽에서 접선 방향으로 공기를 분사하였다. 공기의 분사 기간은 200ms로 하였으며, 공기 탱크 내의 초기 압력은 0.150MPa로 하고 연소실 내의 초기 압력은 0.04 MPa로 하여 공기 분사 종료 후, 연소실 내의 압력이 대기압(0.101MPa)이 되도록 하였다. 연소 실험은 상온(293K)에서 수행하였다. 열선유속계를 사용하여 연소실 내의 Swirl 속도를 측정된 결과 Fig.3에 나타낸 바와 같이 공기 분사 직후에는 외주 부근이 약간 들출되는 속도 분포를 갖는 Swirl이 형성되나 공기 분사 종료 후로부터 50ms에서는 연소실 중앙에 선회 중심을 갖는 강제 와류에 가까운 속도 분포가 되고, 그 후에는 거의 같은 형태를 유지하면서 감쇠하는 것으로 나타났다.

연료는 프로판 가스와 메탄가스를 사용하였다.

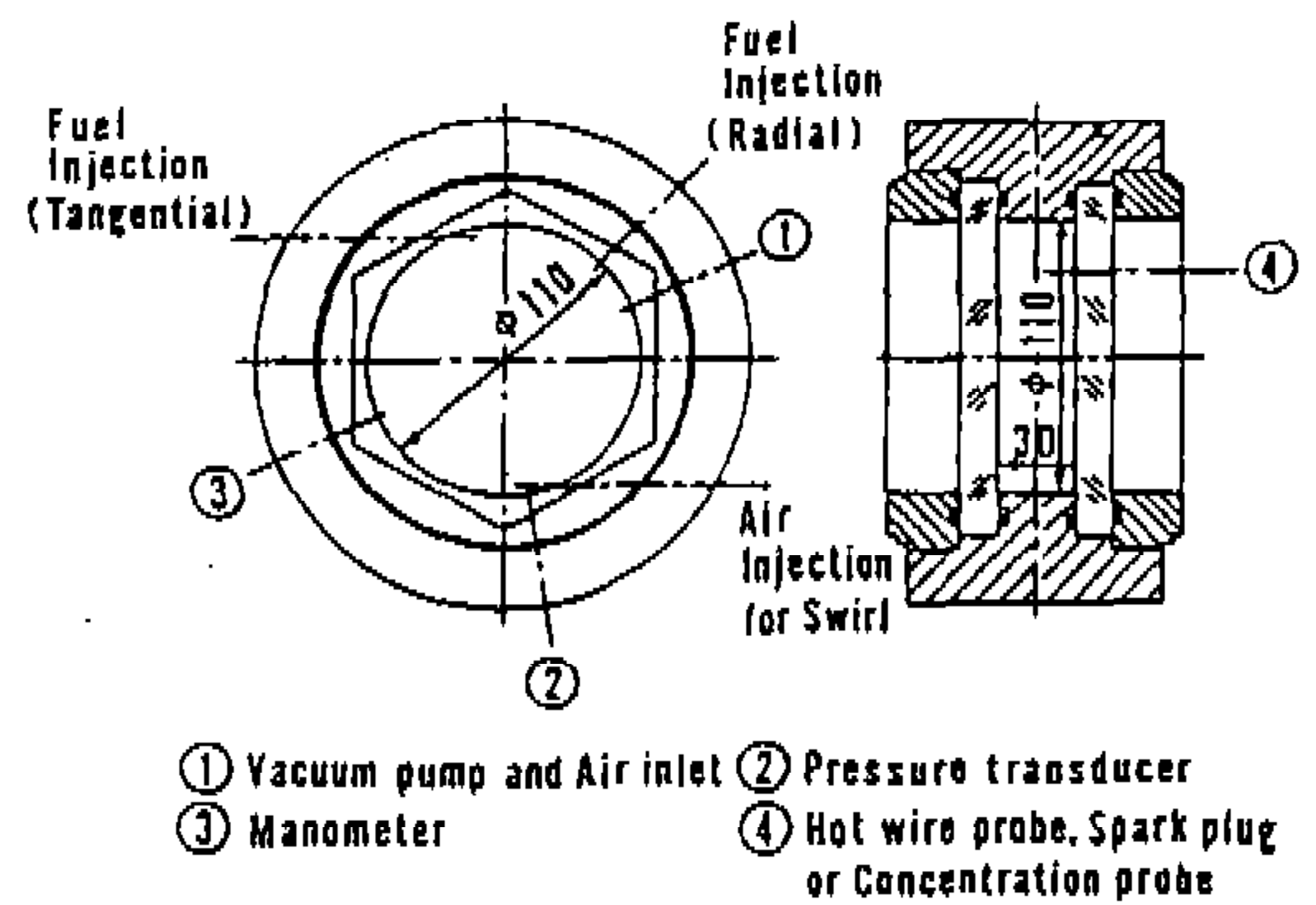


Fig.1 Schematic view of combustion chamber

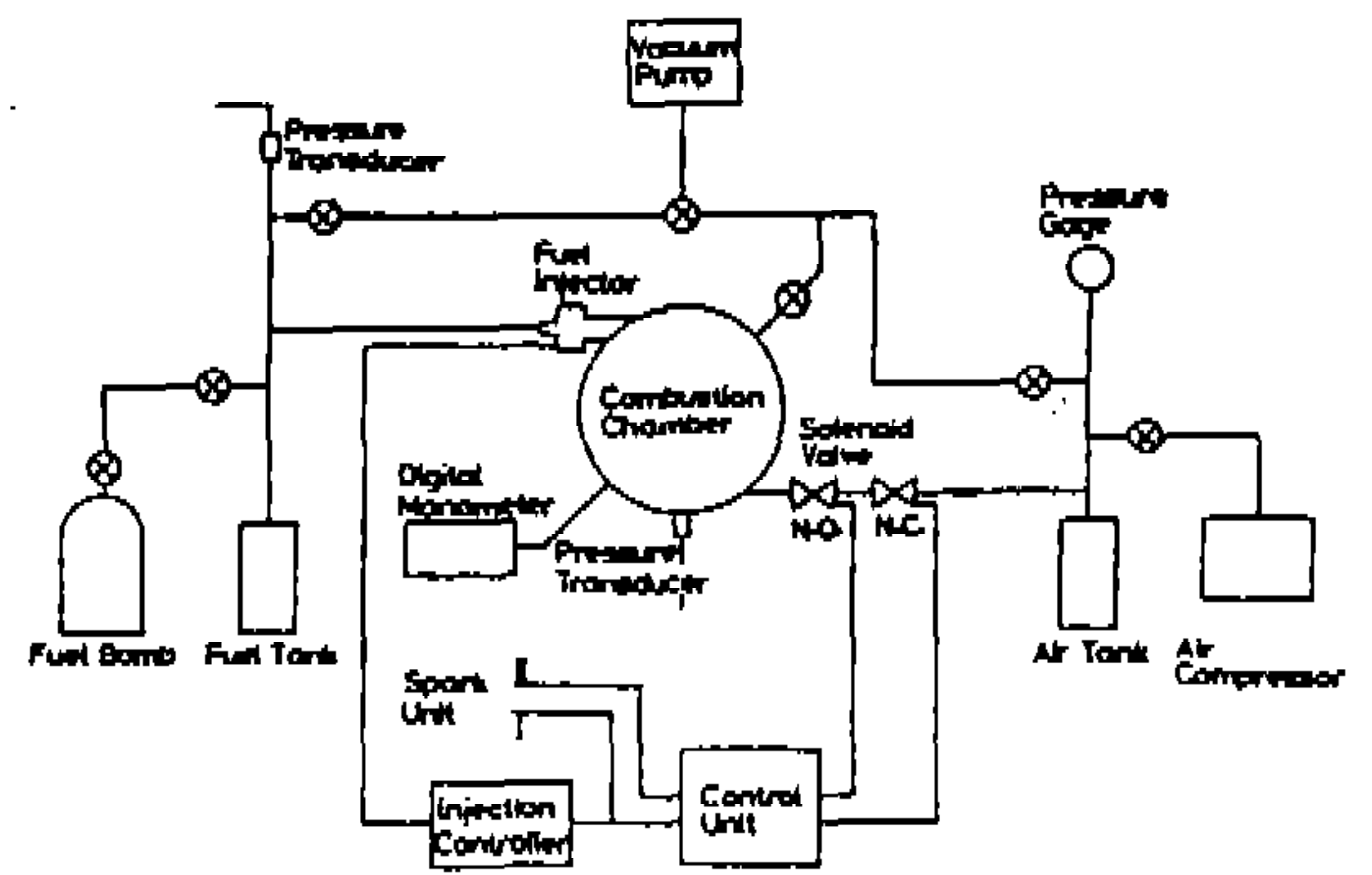
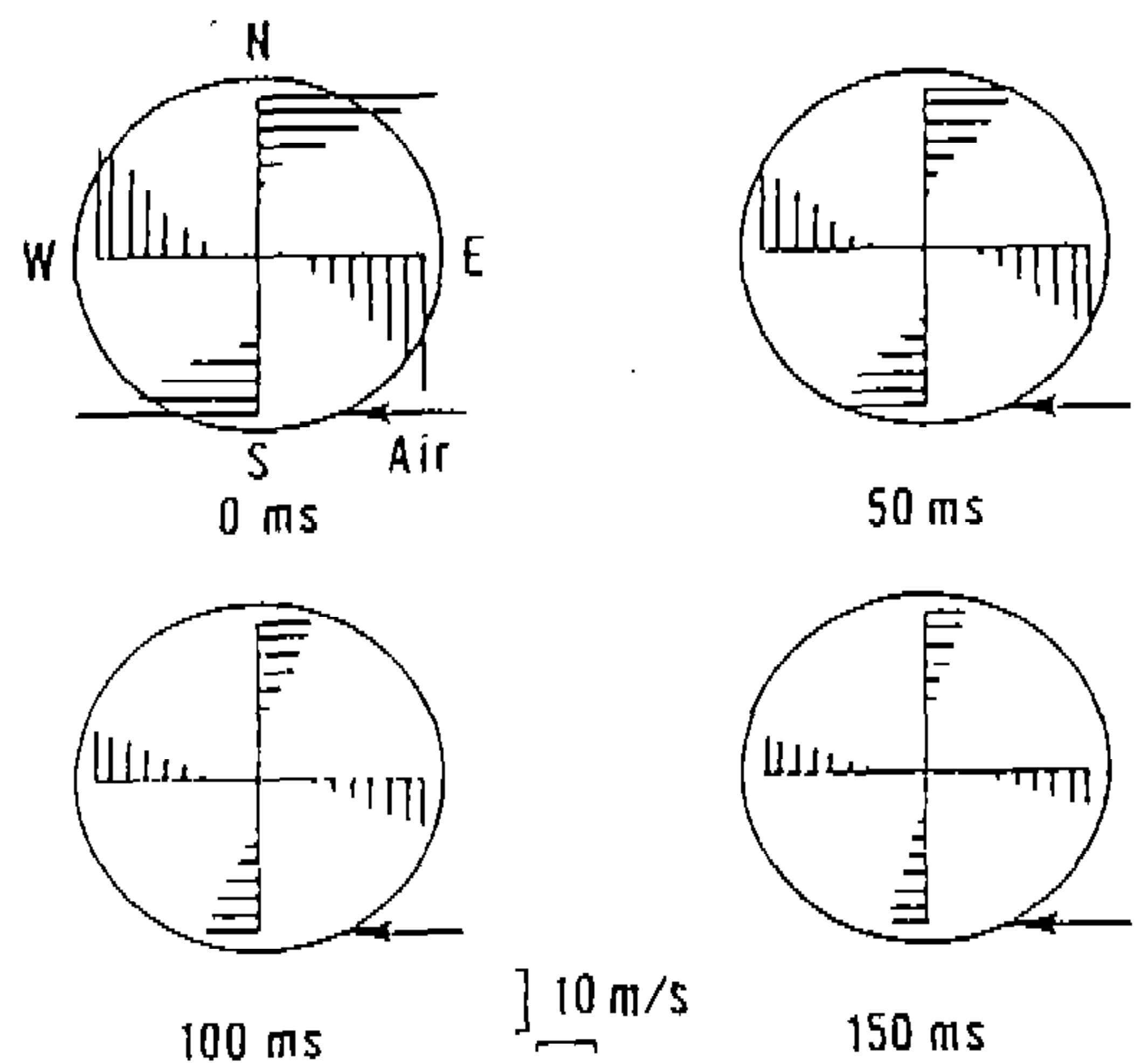


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus



연료 분사 방향은 Swirl 방향과 같은 접선 방향과 연소실 중심을 향한 반경 방향의 두 가지로 하였다. 연료 분사량은 분사 후의 연소실 전체의 평균 당량비가 0.26, 0.52, 0.77 및 0.82가 되도록 연료탱크의 연료분사 압력을 0.145MPa, 0.16MPa, 0.182MPa 및 0.210MPa로 각각 변화시켰다. 연료 분사 기간은 10ms로 일정하게 하였다. 연료분사의 개시시기는 공기분사에 의해 Swirl이 생성되고 연소실의 압력이 대기압이 된 후, 공기 분사 종료로부터 75ms에서 연료분사를 시작하였고, 그때 공기의 Swirl 속도는 10m/s이었다. 연료 jet 선단의 분출 속도는 당량비 0.26에서 약 21m/s이며 당량비 0.52 및 0.77에서 각각 약 26m/s, 30m/s이었다.

분사된 연료가 성층화된 다음 이에 대한 점화는 관측창으로 부터 연소실에 삽입된 점화 전극의 방전에 의해서 하였고, 점화 전극의 간극은 2mm이다. 점화 위치는 Fig.4에 나타난 바와 같이 반경 방향은 11mm에서 44mm까지의 4점, 원주 방향으로는 45° 간격으로 8개 방향으로 하여 합계 32점으로 하였다. 점화 장치는 컨덴서형 방전 점화 장치를 제작하여 사용하였고, 점화 에너지는 1.44J로 하였다. 점화시기 t_i (ms)는 연료 분사 설정 시기로 부터 4, 8, 12, 16 및 20ms의 5가지로 하였다. 여기서 연료분사 설정 시기란 마이크로 컴퓨터 프로그램에 의한 작동 시기를 의미한다. 연료분사 시작 신호로 부터 연료 분

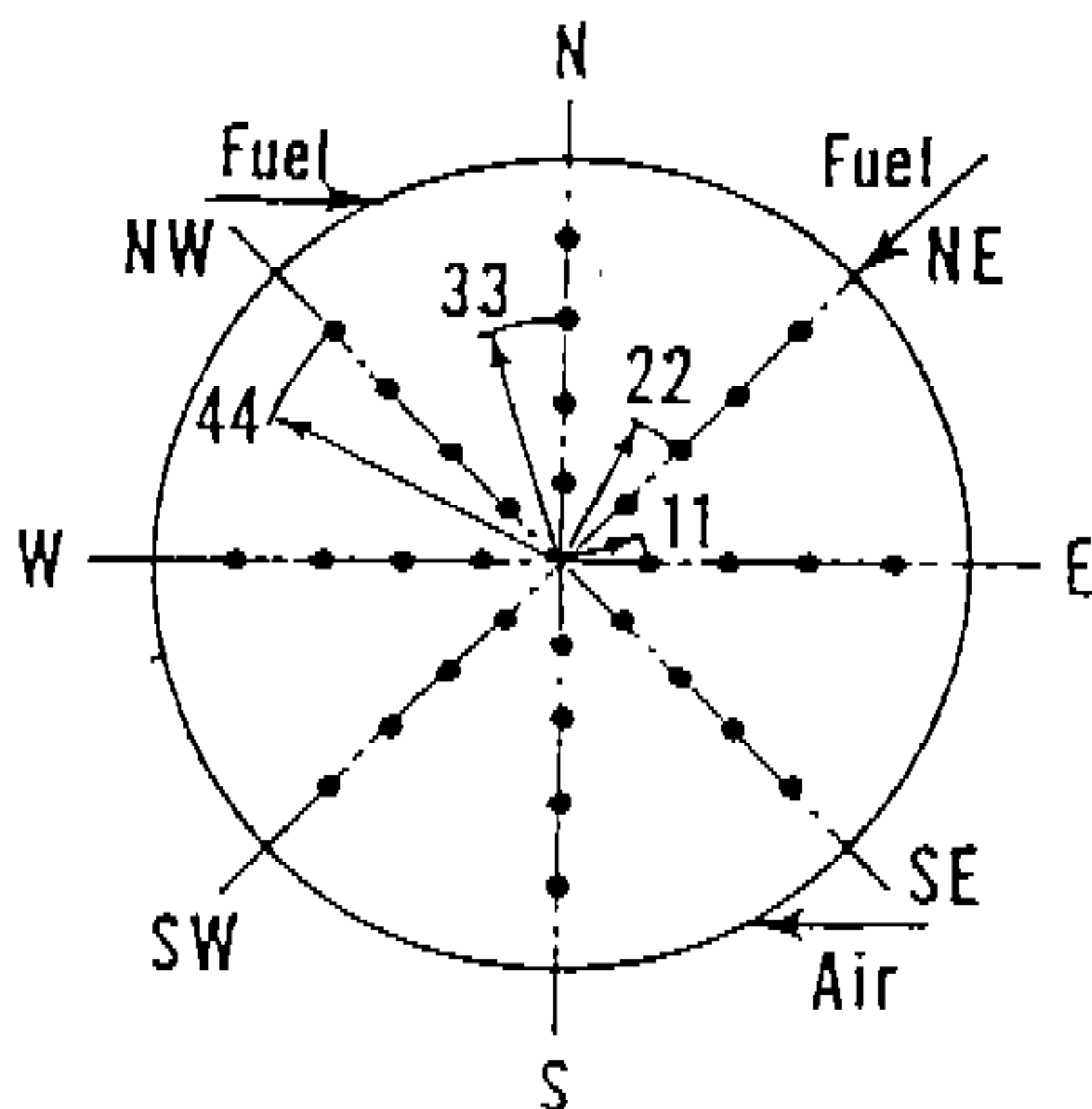


Fig.4 Ignition positions

류가 노즐 출구로부터 연소실 내에 실제로 분출 되기까지는 약 2ms가 소요된다. 그리고 연료는 그 후 10ms 동안 분사되므로 점화 시기 4ms, 8ms는 연료 분사 중에 점화되고, 12ms는 분사 종료시에, 20ms는 분사 종료 후에 점화된다.

공기 분사, 연료 분사, 점화와 슐리덴 사진을 촬영할 때에 광원의 발광은 Z80CPU를 이용한 마이크로 컴퓨터에 의해 제어된다. 슐리덴사진 촬영에 사용한 카메라는 35mm 카메라와 16mm 고속 카메라(500fs)를 사용하였다. 광원은 35mm 카메라를 이용한 경우는 Stroboscope(방전관 입력 10w sec, 섬광시간 12 μ sec)로 하고 고속 카메라를 사용한 경우에는 Xenon램프(500w)로 발광시켰다.

연소 시작 전의 연소실 전체의 평균 당량비 계산을 위한 연료의 농도측정과 연소 후 미연탄화수소 농도의 측정에 사용된 가스분석기는 Yanco G3800이다. Column충진제는 활성 알루미늄이고 Carrier가스는 헬륨이다. 완전 듀얼방식으로 샘플가스의 유입로가 2개로 분할되어 있으며, 검출기는 열전도검출기(Thermal Conductivity Detector)와 수소염이온화 검출기(Falme Ionization Detector)를 함께 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접선 방향 연료 분사

DISC 기관으로 실용화에 가깝다고 여겨지는 Texaco-TCCS엔진은 연료가 연소실의 접선방향에서 Swirl과 같은 방향으로 분사된다. 점화 플러그는 분사구에서 바로 가까운 곳에 있으며, 점화 플러그에 도달되는 혼합기는 반복되는 방전에 의해 연속적으로 점화된다. 그러므로 우선 TCCS 방식과 같은 접선방향 연료 분사에 의한 연소실험을 하였다.

연료분사 방향을 Swirl 방향과 같은 접선방향으로 하고 평균 당량비 0.26, 0.52 및 0.77에 대하여 실험하였다. 당량비 0.26은 프로판-공기 예혼합기에 의한 연소일 경우에는 희박 연소 한계 이하의 농도이며 당량비 0.52도 거의 희박연소 한계 부근으로 예혼합기로서는 연소가 불가능하였다.

당량비 0.77은 가연한계 안에 들어 있다.

먼저 슬리렌사진 촬영에 의해, 연소에 큰 영향을 미치는 연료 분류(Fuel Jet)의 공기와의 혼합 및 확산에 의한 성층화 과정을 조사하였다. Fig5 (a)는 프로판을 사용한 당량비 0.52의 연료분류의 슬리렌 사진으로 여기서 시간은 연료분사 설정 시기로 부터의 시간이다.

이를 보면 연료 분류는 연소실 내의 원주벽을 따라 진행하면서 그 폭은 그다지 변하지 않고 선단 부가 시간이 경과함에 따라 연소실 중앙으로 넓어지고 있으나, 연료분사 개시로부터 20ms가 지난 후에도 연소실 중심부에 연료가 그다지 존재하지 않음을 알 수 있다.

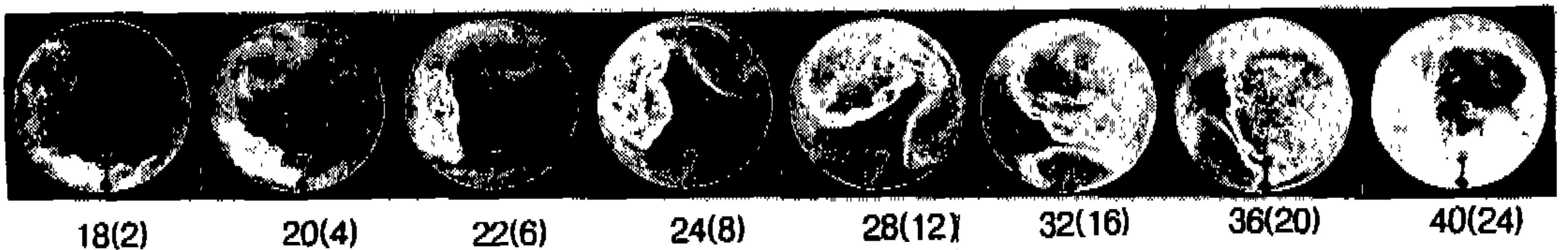
또 연소 사진인 Fig5(b)는 연소실 외주에 형성된 연료 분류안에 점화했을 때의 사진으로 점화 위치는 반경 33mm, S 방향이고, 점화시기는 연료분사 설정시로부터 16ms가 지난 후이다. 여기서 화염은 화염핵으로부터 연료분류의 선단 측으로 전파되나, 점화 전극 부근에서는 보임되고 있지 않으며, 연료분류의 후단 측으로는 전파되지

않는다. 그러므로 연료분류의 선단측에 화염의 미도달 부분이 생기고 후단 측에는 미연소 혼합기가 상당량 남아있게 된다. 이 혼합기가 연소실벽 부근에 남아서 최후에 연소된다. 즉 연소기간이 길어지기 때문에 너무 희박화된 다음 연소되고, 또한 대부분의 혼합기가 벽면 가까이에서 연소되므로 냉각에 의한 소멸작용을 받게 되어 연소가스 중에 미연탄화수소량이 증가되는 것으로 여겨진다. Fig6(a)와 같이 메탄의 경우에는 프로판처럼 연료 분류의 형태가 선명하게 나타나지 않고 있는데 이것은 공기와 메탄의 분자량이 비슷하여 밀도 차가 심하지 않기 때문이다. Fig6(b)는 메탄의 연소사진으로 프로판과 비슷하게 화염이 Swirl를 따라 이동하며 연소실 벽 부근에서 대부분의 연소가 이루어지고 있다.

그러므로 점선방향 연료분사에서는 연료가 원주벽을 따라 환상으로 분포하고 중심부 쪽으로 확산되지 않아서 점화 가능한 위치가 매우 제한된다.



(a) Stratification process of fuel jet

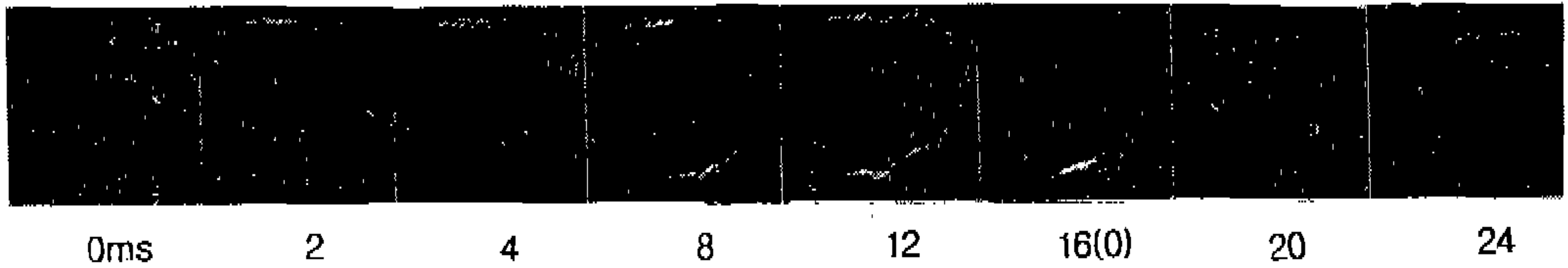


(b) Combustion process for(a)

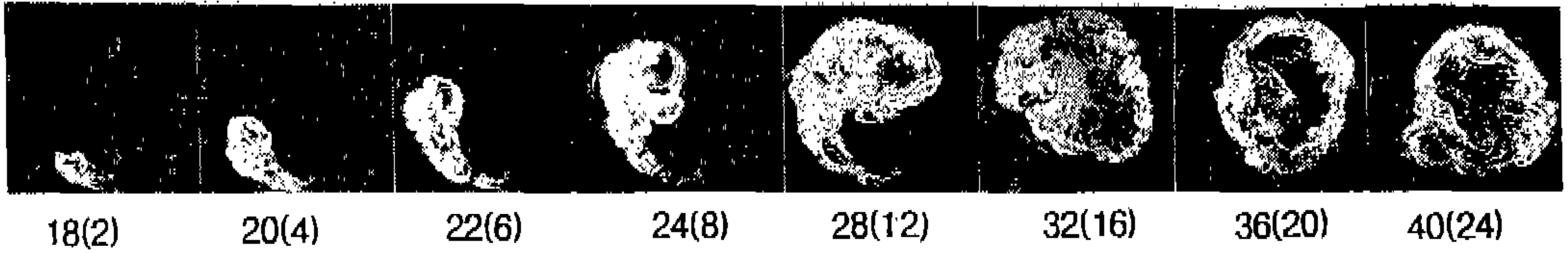
($\phi=0.52$, propane, Ignition position : radius 33mm, S direction, Ignition timing : 16ms from fuel injection)

(Time starts at the starting signal for fuel injection. Additional time in round brackets shows the time from Ignition)

Fig.5 Schlieren photographs of tangential fuel injection



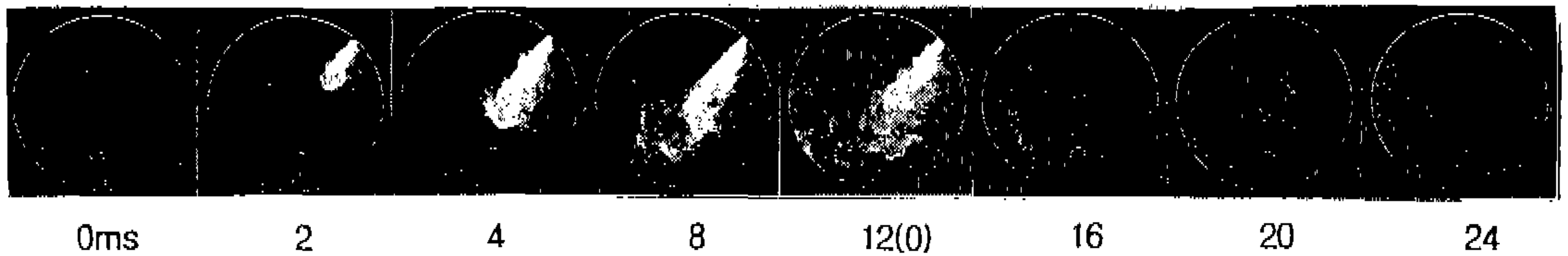
(a) Stratification process of fuel jet



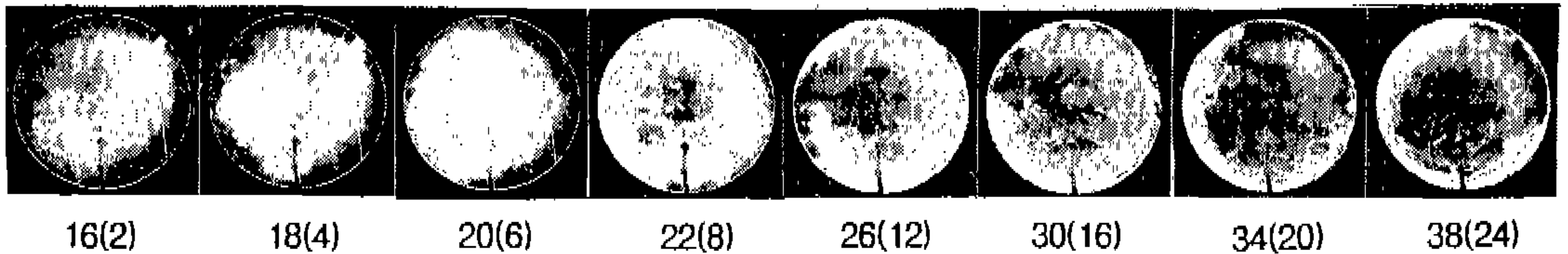
(b) Combustion process for(a)

($\phi=0.52$, methane, Ignition position : radius 44mm, S direction, Ignition time : 16ms from fuel injection)

Fig.6 Schlieren photographs of tangential fuel injection



(a) Stratification process of fuel jet



(b) Combustion process for(a)

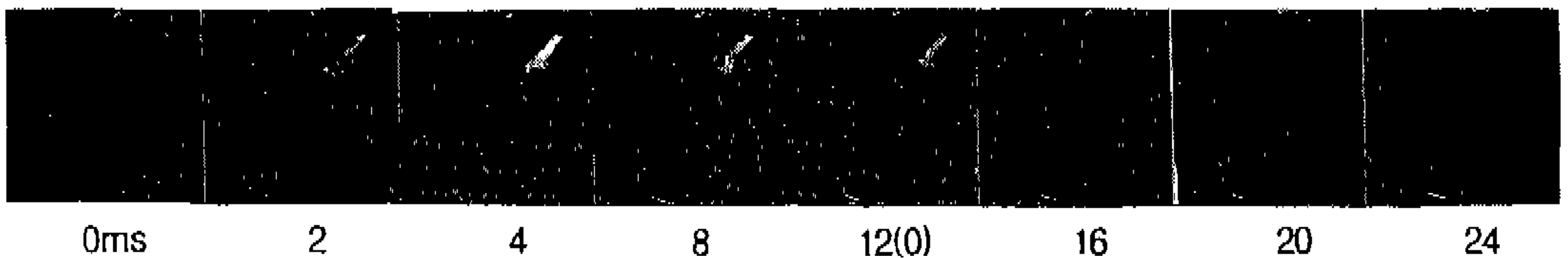
($\phi=0.52$, propane, Ignition position : radius 22mm, S direction, Ignition time : 12ms from fuel injection)

Fig.7 Schlieren photographs of radial fuel injection

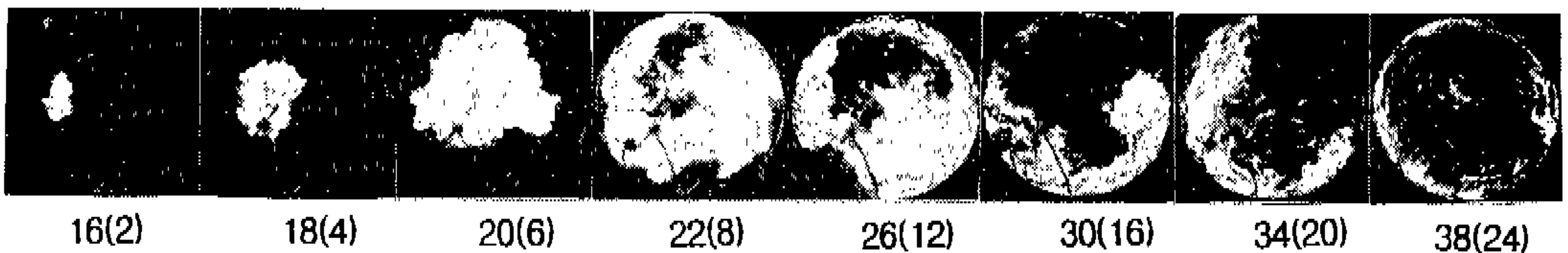
3.2 반경 방향 연료 분사

최적의 연소 조건이 되도록 예혼합화를 시킴과 동시에 벽면 부근에서의 연소율을 줄이기 위해 반경 방향 연료 분사에 의한 성층 연소 실험을 하였다. 연료는 Fig.4에 표시된 바와 같이 NE 방향에서 중심을 향해 분사하였고 평균 당량비는 0.26, 0.52 및 0.82이다. 이때 원주벽 부근의 Swirl 속도는 10m/s이다. 프로판을 사용한 당량비 0.52에서 연료 분류의 성층화 과정을 솔리덴 사진 Fig.7(a)에 나타냈다. Fig.7(b)는 이때의 연소사진으로 점화위치는 반경 22mm, S 방향이고 점화시기는 연료분사 후 12ms이다. 먼저 연료분류의 솔리덴사진을 보면 반경방향에 분사되는 연료 분류는 그 선단이 연소실 중심 부분을 통과할 때까지는 거의 직진한다. 그리고 분사구에 가까운 상류 측의 윤곽은 선명하지만 연소실 중앙에 있는 하류 측은 명확하지 않는데, 이는 하류 측에서는 연료와 공기의 혼합이 활발하기 때문이다. 연료 분류는 연소실 중심 부근을 통과한 후 Swirl과 같은 방향으로 하류 측이 휘어짐을 볼 수 있다. 또한 반경 방향 연료 분사에서는 당량비에 따라

즉 연료 분사 압력에 따라 연료 분류의 궤적이 달라진다. 연료 분사 압력이 낮은 당량비 0.26의 경우 분출 직후 부터 Swirl에 의하여 휘어지고 분사압력이 높은 당량비 0.82의 경우는 연료분류는 거의 직진하여 반대쪽 원주벽에 충돌한 후에 Swirl를 따라 휘어지며 흐른다. 즉 Swirl를 횡단하여 반경방향으로 분사된 연료의 분류는 Swirl에 의해 강한 전단력을 받기 때문에 접선 방향 연료분사에 비해, 보다 많은 연료가 연소실 중심부에 분포하고, 그 안에서 균질화된 국소 예혼합(Local Premixing)이 진행되는 것으로 여겨진다. 그 때문에 Fig.7(b)의 연소사진에서 보이는 바와 같이 연소실 중심부에 점화시키면 화염은 공기와 혼합이 진행되고 있는 연료분류의 선단부에 전파되고, 그 후에 급속하게 연소실 전체로 전파됨과 동시에 대부분의 연소는 연소실 중심부에서 일어나고 있음을 알 수 있다. 메탄을 사용한 Fig.8의 경우도 비슷한 현상을 볼 수 있다. 또 연소 시간을 비교하여 보면 Fig.5(b)와 Fig.7(b)의 연소사진에서 나타난 바와 같이 당량비 0.52일 때 접선방향 연료분사에서는 연소시간이 약 26ms가



(a) Stratification process of fuel jet



(b) Combustion process for(a)

($\phi=0.52$, methane, Ignition position : radius 22ms, SW direction, Ignition time : 12ms from fuel injection)

Fig.8 Schlieren photographs of radial fuel injection

걸리지만 반경방향 연료분사에서는 약 16ms가 지나면 연소가 거의 끝나고 있다. 즉 접선방향 연료분사에 비해서 반경방향의 연료분사의 연소기간이 상당히 짧아지고 있음을 알 수 있다. 이것은 분사된 연료분류와 Swirl의 상호작용에 의하여 연소에 적합한 농도의 혼합기가 연소실 중심부에 빠른 속도로 형성되어 연소되기 때문으로 생각된다.

3.3 점화위치 및 점화시기

접선 방향 연료 분사의 경우에는 점화시기, 점화위치에 따라 점화 확률이 크게 변화하고 있다. 연료 분류가 연소실 내의 외주벽을 따라 반원 환상으로 분포하고 바로 균질화 되지 않아 착화 가능한 농도의 영역이 한정되기 때문이다. 여기에서 점화 확률이란 동일조건에서 5회 이상 연소 실험을 하고 착화 연소하여 압력 상승이 확인된 경우의 확률로 정의한다.

접선방향 연료분사에서 당량비 0.26일 때, 연소가 일어나는 점화 위치는 반경 44mm의 경우로 한정된다. 당량비 0.52와 0.77에서도 점화 확률은 반경 위치 44mm의 경우가 연소실 중심 쪽의 점화위치 보다도 높았다. 그러나 연료분류가 진행함에 따라서 그 선단 부분이 용기 중심부로 확대되기 때문에 점화시기를 늦추면 중심부쪽에서도 점화 확률이 높아지게 된다.

연료 분류 선단이 점화 전극에 도달하는 시간을 고속 사진에서 구하고, 그 후부터 점화할 때까지의 시간을 상대 점화시기 Δt_i 라 하면 Δt_i 에 의해 각 점화 위치가 연료 분류중 어디에 있는가를 표시할 수 있다. 이 상대 점화시기와 점화 확률과의 관계를 나타내면 Fig.9와 같이 되었다. 접선방향 연료분사의 경우 점화 확률은 상대 점화시기가 작을 때, 즉 연료분류의 중심으로부터 선단 측에서 높았다. 이것은 연료분류 선단 측에서 연료와 공기의 혼합이 활발하기 때문이라 생각된다. 점화 확률이 낮은 점화 위치는 연료분사 직후의 연료분류 선단 측이나 연료분류 후단 측에 많았다.

그러므로 접선방향 연료분사에서는 반경 44mm의 점화위치에서 점화해야하고, Fig.5(a)에

나타난 바와 같이 연료분류가 환상으로 이동하고 있으므로 그 연료 분류가 점화 전극을 지난 다음 선단부에 점화해야 점화 확률이 높다.

그러나 반경 방향 연료 분사의 경우에는 연소실 중심 부근에서의 점화가 가능하다. 그것은 당량비에 따라 연료 분류의 궤적은 다르지만 모두 접선방향 연료 분사와 비교해서 많은 연료가 연소실 중심부에 분포하고 있기 때문이다.

3.4 연소 압력

연소 압력도 점화 위치, 점화 시기에 따라 변화하였다. 여기서 연소 압력은 압력 변환기에 의한 압력 Trace에 기록된 값중에서 최대 값으로 하였다. 접선 방향 연료 분사의 경우, 각 점화 위치에서 연소 압력의 평균치 P_m (MPa)를 Fig.10에 당량비와 함께 나타냈다. 여기서 시간은 점화시기를 나타낸다. 당량비 0.25에서는 높은 연소압력이 얻어지는 점화 위치는 연소실 원주벽 부근의 반경 44mm에 한정되고 있는데 이것은

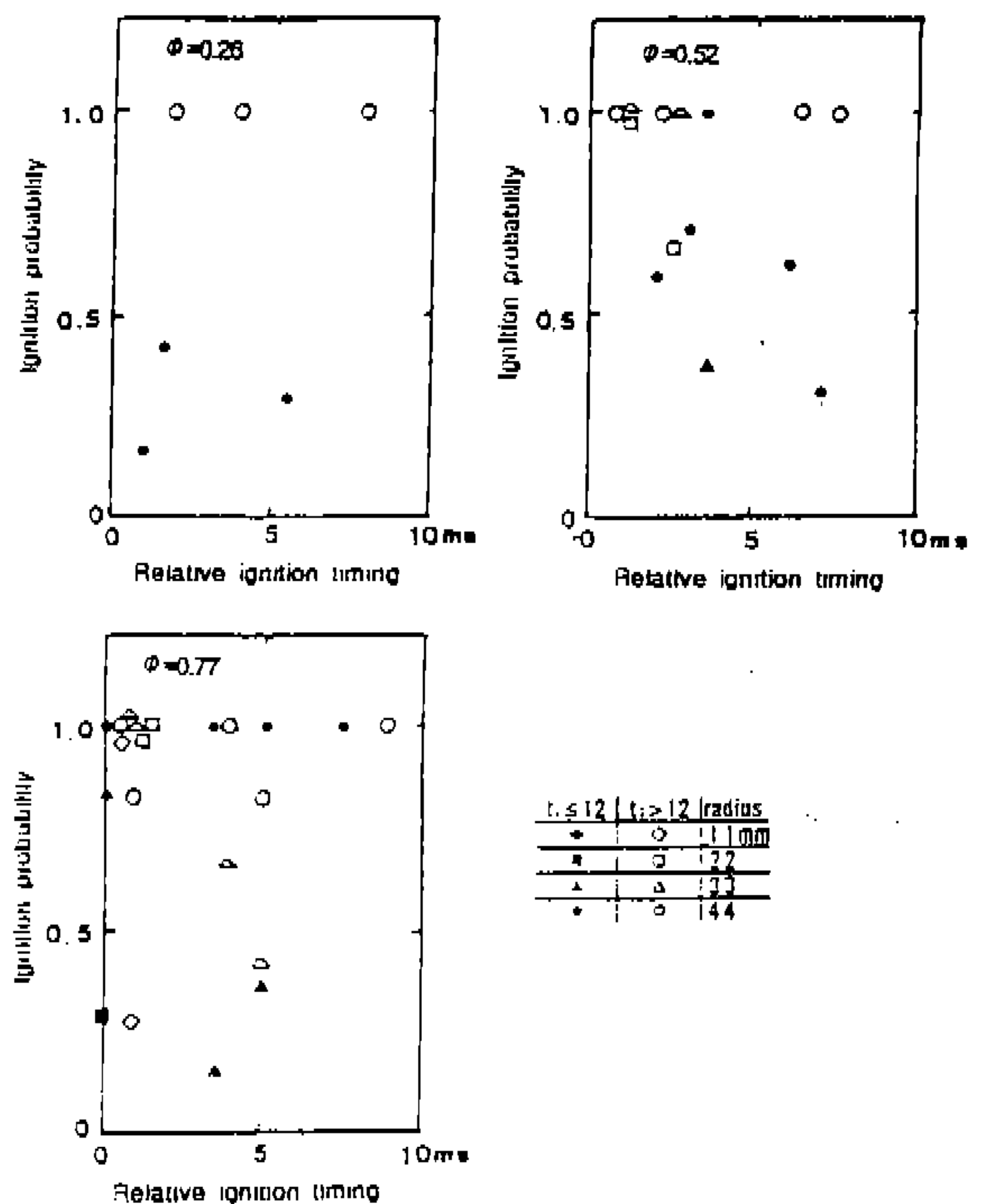


Fig.9 Ignition probability of tangential fuel injection

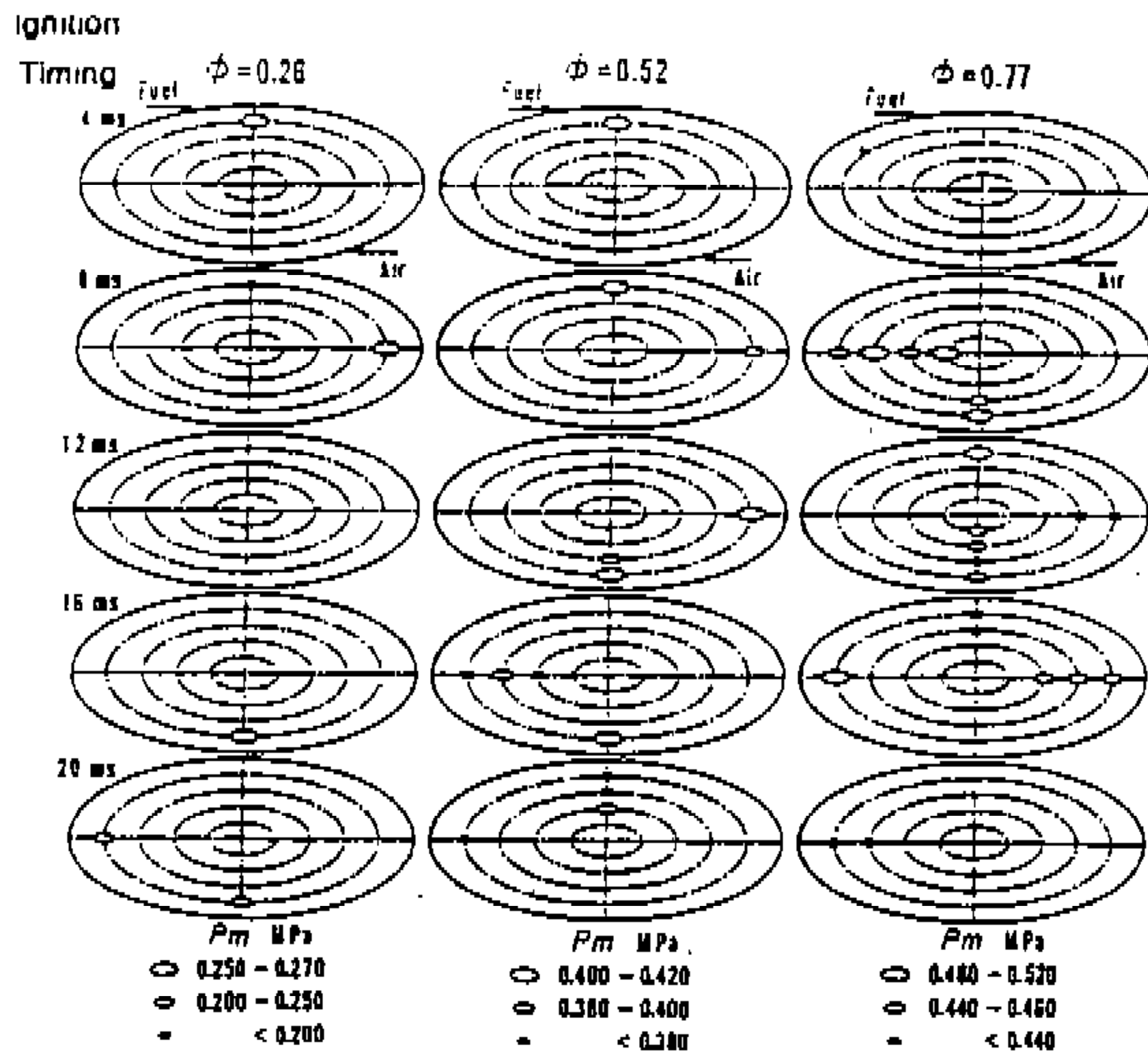


Fig.10 Combustion pressure of tangential fuel injection

연료가 연소실 중심부에는 거의 존재하지 않기 때문이다. 그러나 당량비 0.52의 경우는 높은 연소압력이 얻어지는 점화위치는 연료분류와 함께 이동하고 있으며, 점화시기를 늦추면 연소실 중심부에서도 점화가 가능하였다. 이는 연료분류가 Swirl를 따라 진행하면서 그 선단측이 연소실 중심부로 확산되고 있기 때문이다.

당량비 0.77에서도 당량비 0.52의 경우와 같이 점화시기를 지연함에 따라 높은 연소압력이 얻어지는 점화위치가 증가하고 있다.

연료분류 중 어느 위치에 점화했을 때 높은 연소 압력을 얻을 수 있는가를 알기 위하여 상대 점화 시기와 연소 압력과의 관계를 Fig.11에 나타냈다. 여기에서 상대점화시기 Δt_i 가 작으면 연료분류의 선단측에 점화한 것이고 크면 연료분류의 후단측에 점화한 것이다. 점선방향 연료분사의 경우에 당량비 0.26에서는 점화시기를 빠르게 하고 연료분류의 선단측 즉 상대점화시기 Δt_i 가 작을 때 연소 압력이 높아진다. 이것은 연료분사량이 적어서 연료분류의 선단측이 공기와 의 혼합에 의해 최적의 혼합기가 형성되기 때문이다. 당량비가 0.52일 때에는 점화 시기는 빠르고 연료분류의 후단 즉 상대점화시기가 클 때 높은 연소압력을 얻을 수 있었다. 당량비 0.77에서는 늦은 점화시기에 분류의 후단 측에 점화하면 높은

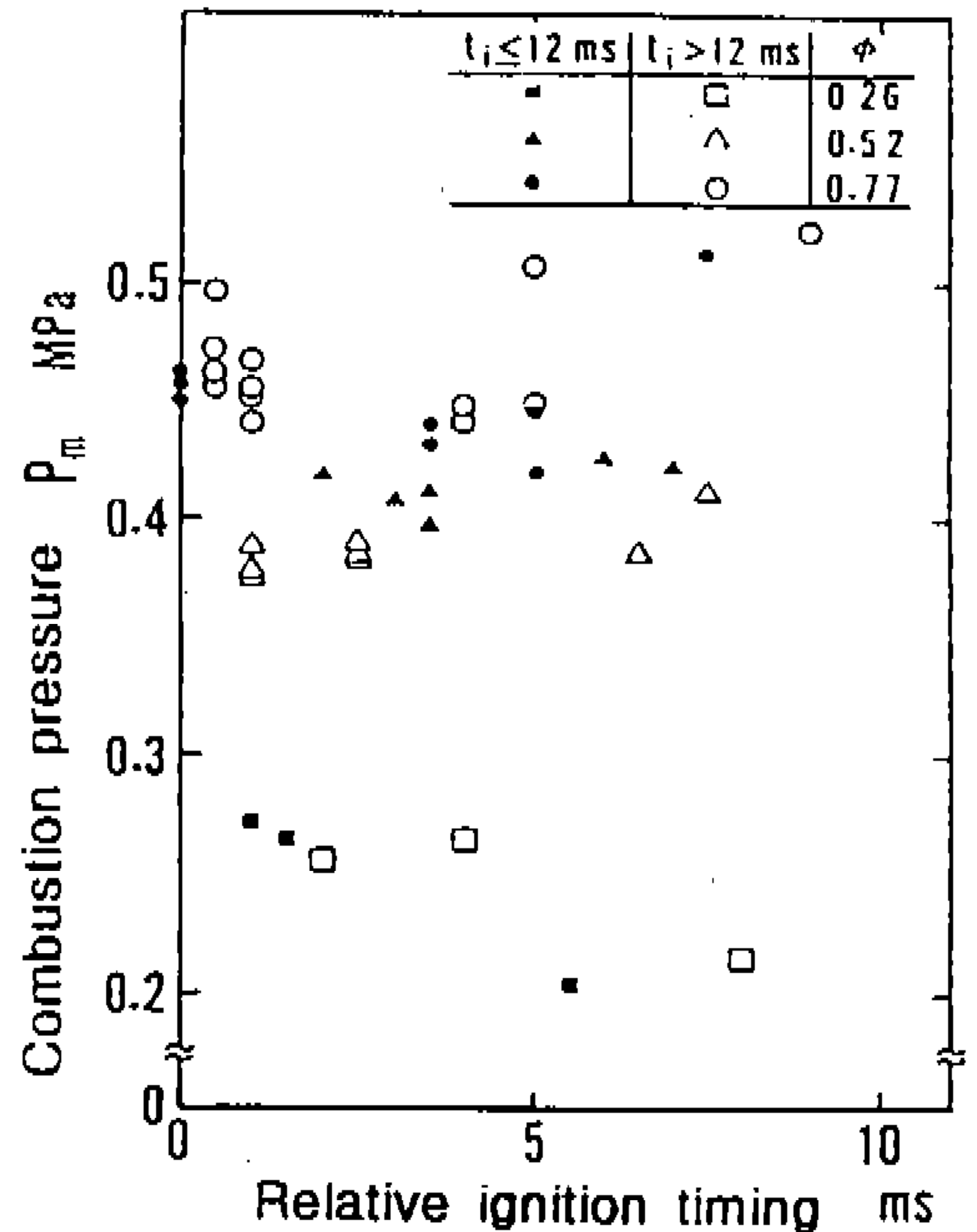


Fig.11 Combustion pressure against relative ignition timing at tangential fuel injection

연소압력을 얻을 수 있었다. 이는 연료분사량에 비해 연료분류가 좁은 영역에 분포하고 있으므로 연소에 적합한 혼합기를 형성하는 데에는 시간이 걸리고 선단측에는 부분적으로 과농부분이 존재하지만 후단 측에는 연소에 적합한 혼합기가 형성되기 때문으로 생각된다.

또 반경 방향 연료 분사의 경우, 점화시기와 각 점화 위치에서 얻어진 연소 압력을 Fig.12에 나타냈다. 당량비 0.26에서는 연료분사압력이 낮아 연료분류가 Swirl에 의해 외주벽을 따라 이동하므로 외주벽 부근에서만 점화가 가능했다. 당량비 0.52 및 0.82에서 연료분사 중에는 분사구 부근의 점화 위치에서는 연료분류의 속도가 크고 과농의 혼합기가 형성되어 점화할 수 없었다. 그러나 연소실 중심부에서는 점화시기에 관계없이 많은 점화위치에서 높은 연소 압력이 얻어졌다.

그러므로 반경방향 연료분사에는 당량비에 따라 분사압력에 증가하고, Swirl과의 상호 작용으로 인하여 분류의 궤적은 달라지지만, 많은 연

료가 연소실 중심부에 균질한 혼합기를 형성하고 있다. 그로 인하여 연료분사 후 16ms, 20ms가 지난 후에도 연소실 대부분의 영역에서 높은 연소압력을 얻을 수 있었다.

반경방향 연료분사에서 연소 압력과 상대점화 시기와와의 관계를 Fig.13에 나타냈다. 당량비 0.26은 점화 시기가 빠름과 동시에 상대점화시기 Δt_i 가 적을 때 높은 연소압력을 얻었다. 당량비 0.52에서는 점화시기가 빠르고 상대점화시기가

Δt_i 가 2-7ms일 때 높은 연소압력이 얻어지고, 당량비 0.82에서는 상대점화시기 Δt_i 에는 거의 영향을 받지 않았고 같은 정도의 높은 연소압력이 얻어졌다.

또한 Fig.14에 나타난 바와 같이 3가지 당량비 모두 반경방향 연료분사가 접선방향 연료분사보다 연소압력이 높은 것을 알 수 있다. 이것은 반경방향 연료분사의 경우가 Swirl과 연료분류의 상호작용에 의한 혼합으로 적당한 속도의 국소 예혼합화가 이루어지고 있으며, 대부분의 연소가 연소실 중심부에서 빠른 속도로 진행되어 희박화된 혼합기가 적기 때문인 것으로 생각된다.

3.5 미연탄화수소 배출량

저부하 운전시 미연탄화수소의 배출량이 많은 것이 성층 연소 기관의 실용화에 커다란 장애물이 되고 있다. 본 실험에서는 연료로 프로판(99.0%)을 사용했을 때, 가스 분석기에 의해 연소 전의 혼합기에서는 프로판과 에탄이 검출되고 연소가스에서는 프로판, 에탄 및 에칠렌 등이 검출되었다. 미연탄화수소의 비율(%)을 계산하기 위하여 연소전 탄화수소의 성분을 측정하고 연소후

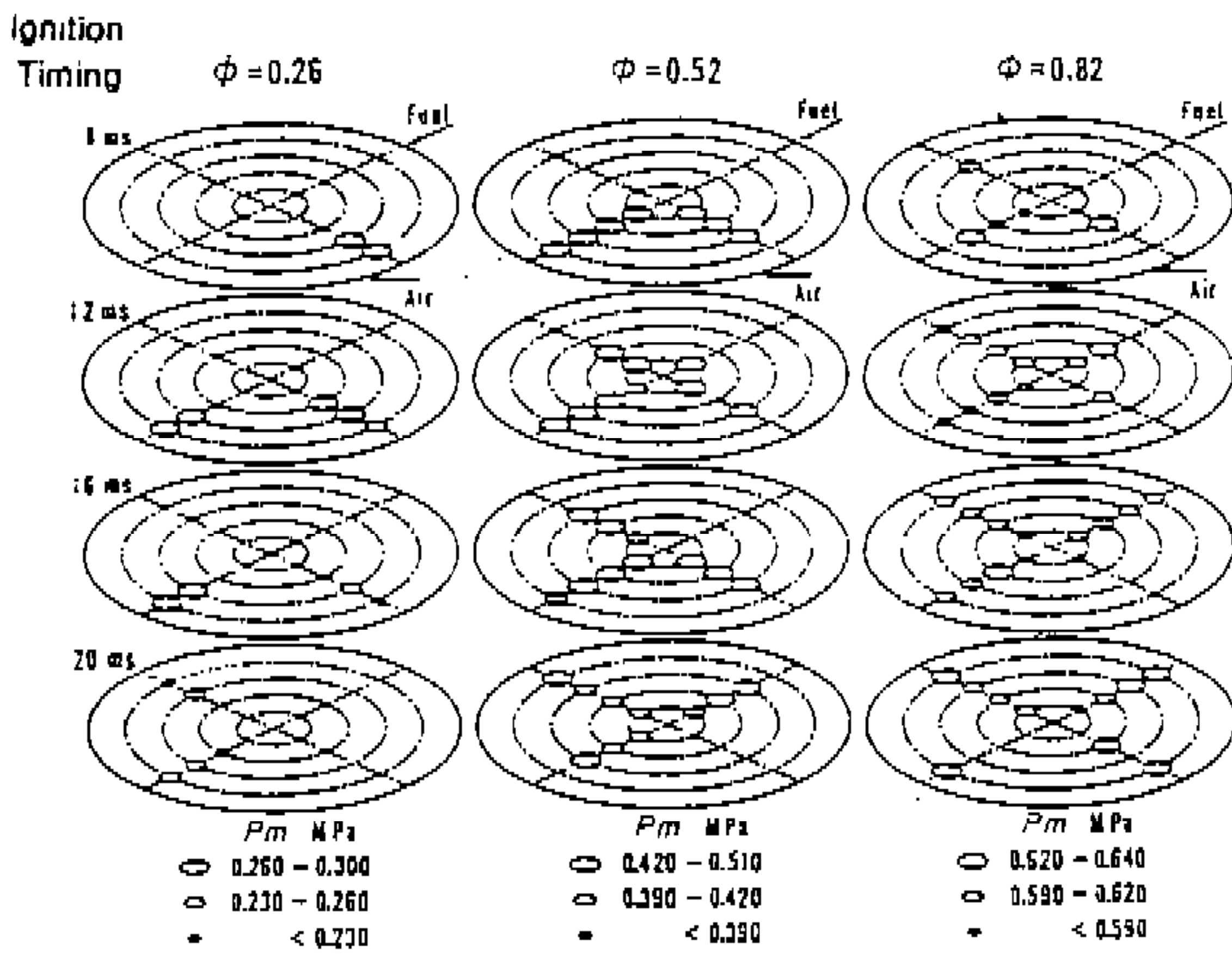


Fig.12 Combustion pressure of radial fuel injection

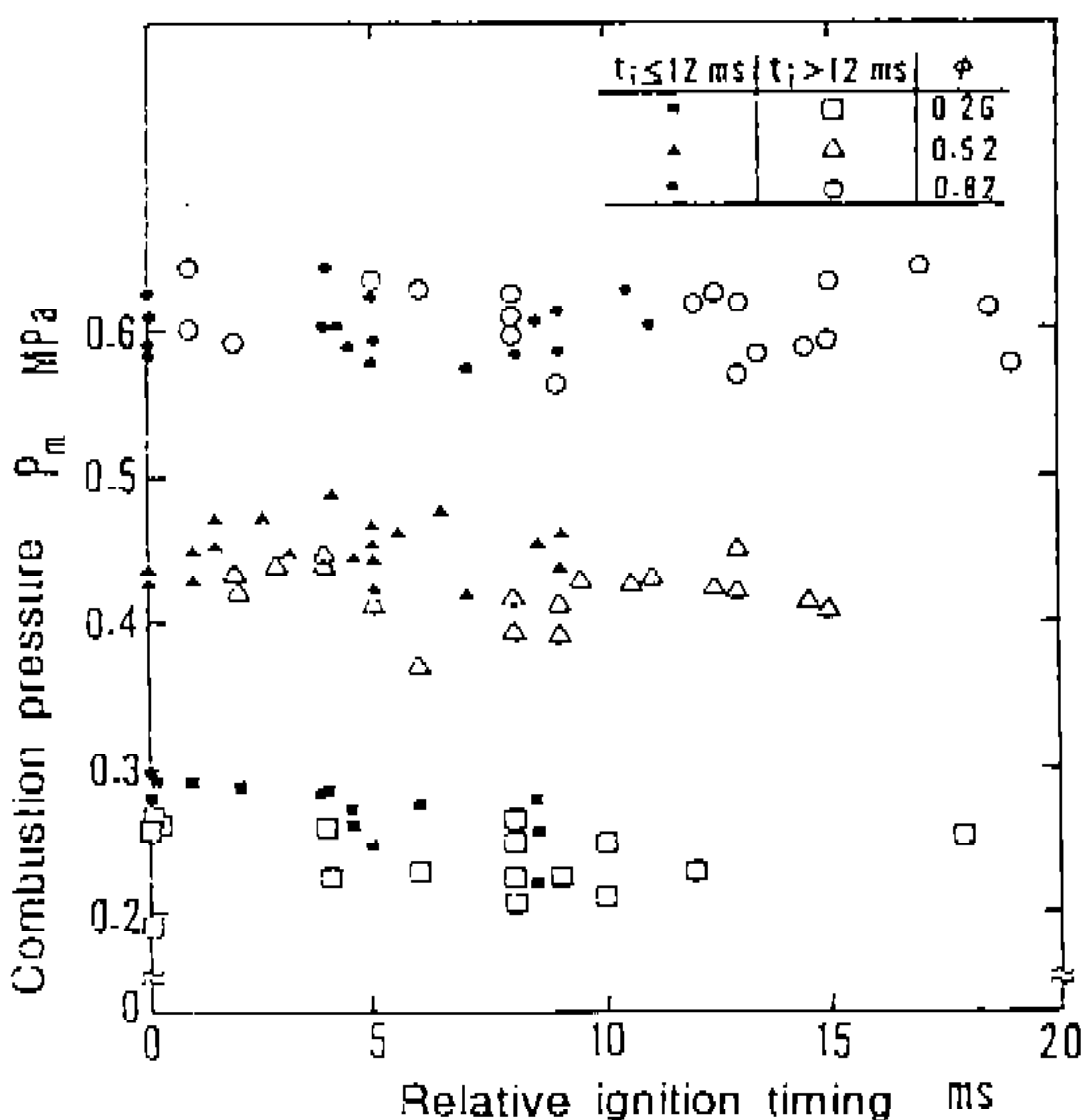


Fig.13 Combustion pressure against relative ignition timing at radial fuel injection

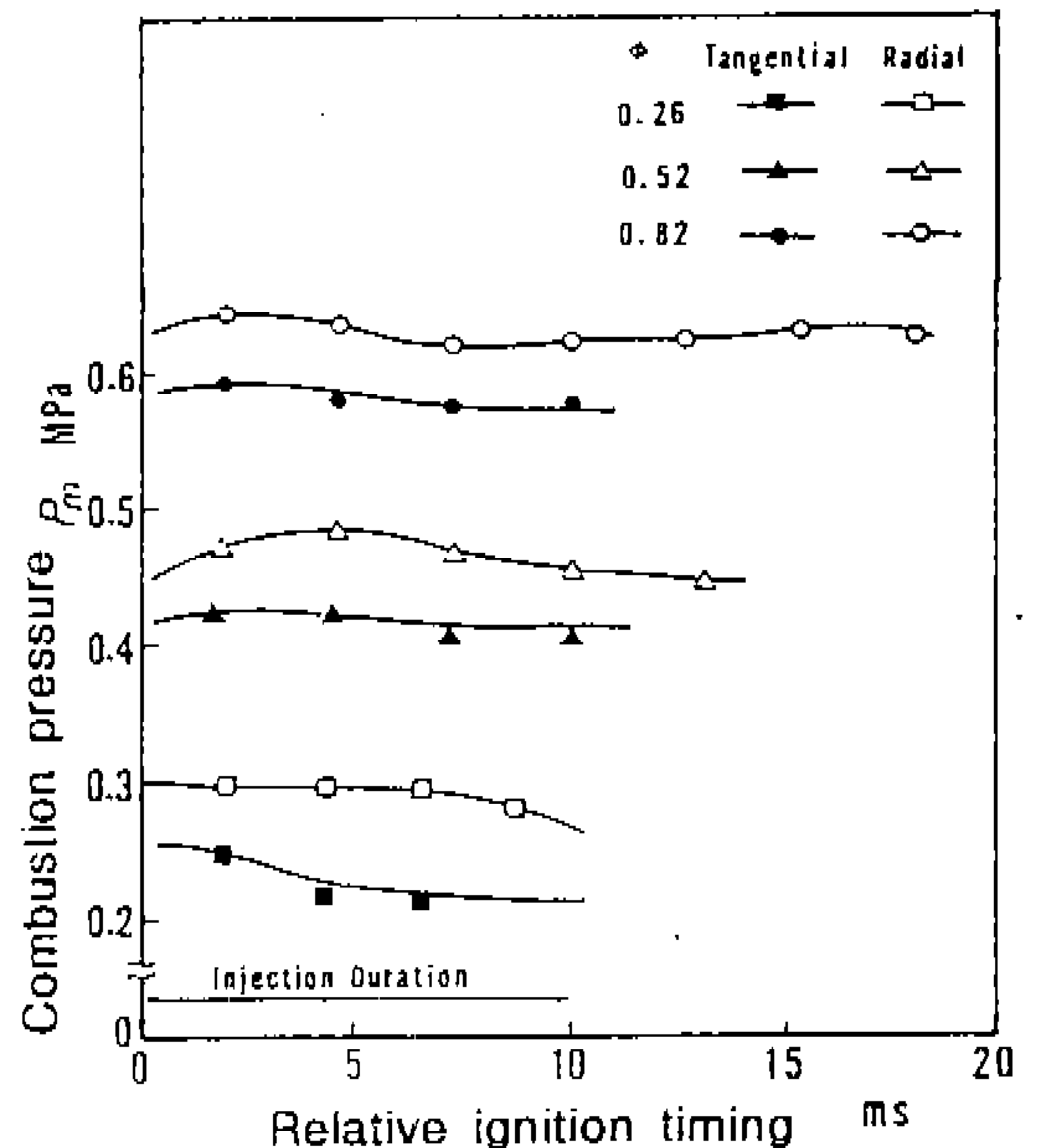


Fig.14 Combustion pressure of tangential and radial injection

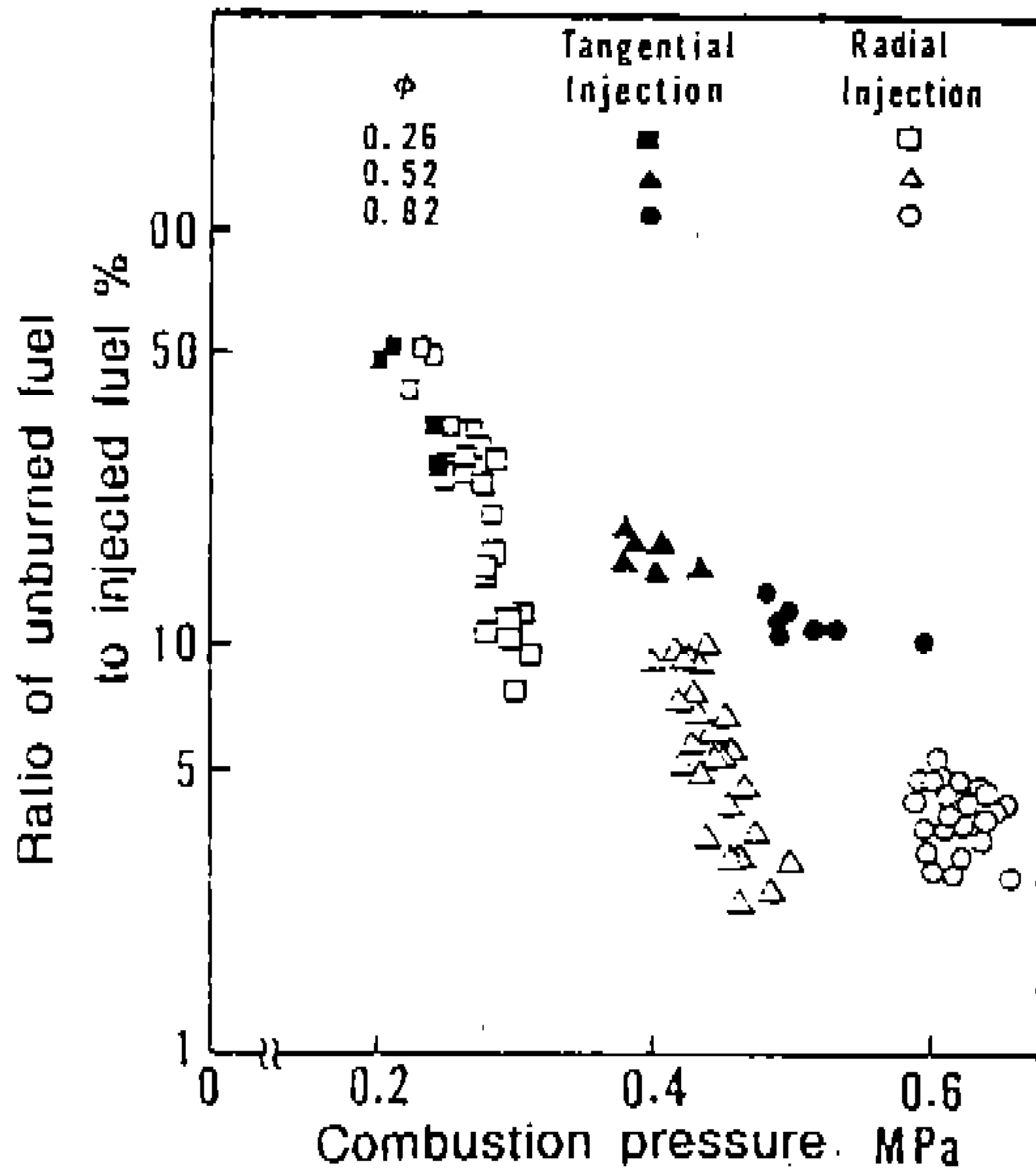


Fig.15 Mass ratio of unburned hydrocarbons against combustion pressure at tangential and radial fuel injection

탄화수소 성분을 측정하여 이들을 각각 프로판 1개의 성분으로 환산하였다. 연소 전 혼합기를 질소에 대해 환산한 프로판 몰수를 n_1 이라 하고 연소가스를 질소에 대해 환산한 프로판 몰수를 n_2 라 하면 미연탄화수소의 배출비율은 n_1/n_2 이 된다. 여기서 질소는 연소에 관여하지 않는다고 가정하였다.

연소압력에 대한 미연탄화수소의 배출비율을 나타내면 Fig.5와 같이 된다. 여기에서 미연탄화수소의 배출비율은 연소압력과 반비례 관계에 있음을 알 수 있다.

접선방향 연료분사인 경우에는 Fig.5의 연소 사진에 나타난 바와 같이 연료분류 중에 점화된 화염이 선단 및 후단에 도달되는 시간이 길어서 혼합기중에 미연소 부분의 회박화가 심하게 되고 또한, 이들이 벽면 부근에서 연소되므로, 특히 당량비가 적은 경우 미연탄화수소량이 증가 되는 것으로 생각된다.

또한 반경 방향 연료 분사의 경우가 접선 방향 연료 분사의 경우보다 연소압력이 높고 미연탄화수소 배출비율이 낮았다. 이것에서 연소 압력의 증대 및 미연탄화수소 배출량의 저감에는 연소실

중심을 향해 연료를 분사하는 방법이 효과적이고 또한 성층화된 혼합기내의 연료 농도를 균질화 하는것이 중요하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 혼합기의 국소에혼합화에 의해 초기의 화염전파가 빨리 이루어져 지나치게 회박하게 되는 혼합기를 감소시키는 것이 중요하다. 또 벽면 부근에서의 연소가 미연탄화수소 배출의 큰 요인이므로 미연탄화수소 배출비율을 저감하기 위해서는 연소가 연소실 중심부에서 이루어지도록 하는 것이 필요하다고 생각된다.

즉 연료분류를 성층화하여 연료가 존재하는 영역은 최적 당량비 부근의 농도로 하여 연소시키고 그 외측은 공기만의 층으로 하여 연소시키면 가장 효과적이라고 생각된다.

4. 결 론

정적 연소실에서 프로판 가스와 메탄 가스를 사용한 성층 연소 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 접선방향 연료분사의 경우, 점화 확률이 높은 점화위치는 연소실 외벽 부근과 연료분류의 선단 측에 분포한다. 그러나 점화 확률이 높은 점화위치와 연소압력이 높은 점화위치와는 항상 일치하지 않는다.
- 2) 접선방향 연료분사에서, 연소 압력은 평균 당량비 0.26에서는 점화시기가 빠르고 연료분류의 선단측에 점화될 경우에 얻어지고, 당량비 0.52에서는 점화시기가 빠르고 연료분류의 후단측에 점화되었을 경우에 얻어진다. 당량비 0.77에서는 늦은 점화시기에 연료분류의 후단 측에 점화하면 높은 연소압력이 얻어진다.
- 3) Swirl 중심을 향하여 반경방향으로 연료를 분사하면 연소실 중앙에 국소에혼합화된 영역이 형성되며, 같은 당량비에서 접선방향 연료분사보다 반경방향 연료분사의 경우에 연소기간이 대폭적으로 단축되고 높은 연소압력이 얻어진다.
- 4) 미연탄화수소 배출 비율은 연소압력에 거의 반비례하며, 반경방향 연료분사의 경우가

접선방향 연료분사에 비하여 미연탄화수소의 배출이 상당히 감소한다.

참 고 문 헌

1. Satoshi Kato and Shigeru Onishi, "New Mixture Formation Technology of Direct Fuel Injection Stratified Charge SI Engine(OSKA) - Test Result with Gasoline Fuel", SAE paper, No.881241, 1988.
2. Richard M.Frank and John B.Heywood, "Combustion Characterization in a Direct-Injection Stratified-Charge Engine and Implications of hydrocarbon Emissions", SAE paper, No.892058, 1989.
3. Richard M.Frank and John B.Heywood, "The Effect of Fuel Characteristics on Combustion in Spark-Ignited Direct-Injection Engine, SAE paper, No.902063, 1990.
4. Richard M.Frank and John B.Heywood, "The Effect of Piston Temperature on Hydrocarbon Emissions from a Spark-Ignited Direct-Injection Engine", SAE paper, No.910558, 1991.
5. R.M.Frank and J.B.Heywood, "The Importance of Injection System Characteristics on Hydrocarbon Emissions from a Direct-Injection Stratified-Charge Engine", SAE paper, No.900609, 1990
6. Masnori Misumi, Rob H. Thring and Susumu Ariga, "An Experimental Study of Low-Pressure Direct-Injection Stratified-Charge Engine Concept", SAE paper, NO.9006453, 1990.
7. H.Kido, K.Nakashima, T.Kitagawa and M.Nishino, "Fundamental Studies on Direct Injection Stratified Charge Combustion in A Constant Volume Bomb", ASME · JSME Thermal Engineering Joint Conference, Honolulu, pp.205-212, 1987.