

<논 문> SAE NO. 953799

초기연소과정에 미치는 난류강도 및 점화에너지의 영향

The Influence of Turbulent Intensity and Ignition Energy Affected on Early Combustion Process

김 문 현,* 김 영 효,** 이 종 태***
M. H. Kim, Y. H. Kim, J. T. Lee

ABSTRACT

The effect of turbulence and ignition energy on flame kernel growth in methanol-air mixtures has been studied in a constant volume vessel. Experiments were made under different turbulent intensity conditions, ignition energy and over a range of equivalence ratio. Characteristics of turbulent flow were grasped by measurements of gas pressure and visualization of flame propagation. Flow velocity was measured by use of hot wire anemometer. A comparison of the effect of turbulence on ignition probability and flame kernel volume variation ratio is also presented.

주요기술용어 : Mean turbulent intensity(평균난류강도, MTI), Central turbulent Intensity(중심난류강도, CTI), Flame kernel(화염핵), Ignition probability(점화성), Equivalence ratio(당량비, ER), Multi frame camera(MFC)

1. 서 론

스파크 점화기관에 있어서의 연소는 점화플러그에서 스파크가 형성된 후 생성된 스파크 핵과 혼합기의 경계부근에서 연소반응이 일어나 화염핵이 형성되고 이 핵은 점차 성장하여 초기화염으로 성장한다. 희박연소시 스파크 점화기관의 연소변동을 줄이기 위해서는 안정된 화염핵을 짧

은 시간에 형성하여 초기 화염핵 성장기간을 안정시키고 단축시켜야 한다.

초기화염핵 성장기간을 안정적으로 단축시키는 가장 효과적인 방법으로 난류유동이 널리 사용되고 있다^{1~8)}. 그러나 희박연소의 경우 강한 난류유동장의 형성은 희박가연 한계를 감소시킴과 동시에 연소의 불안정성이 증가되어 기관출력을 감소시키게 된다^{9,10)}. 희박연소기관을 실현하기 위해서는 초기 화염핵이 형성하여 발달되는 과정에 대한 소상한 내용을 밝힐 수 있는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 화염핵 형성 및 발달에 직접

* 정회원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과
** 정회원, 숭실대학교 대학원 기계공학과
*** 정회원, 성균관대학교 공과대학 기계공학과

적인 영향을 주는 난류강도, 점화에너지, 혼합기 농도 변화가 초기 연소과정에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1은 실험장치의 전체적인 구성도이다. 실

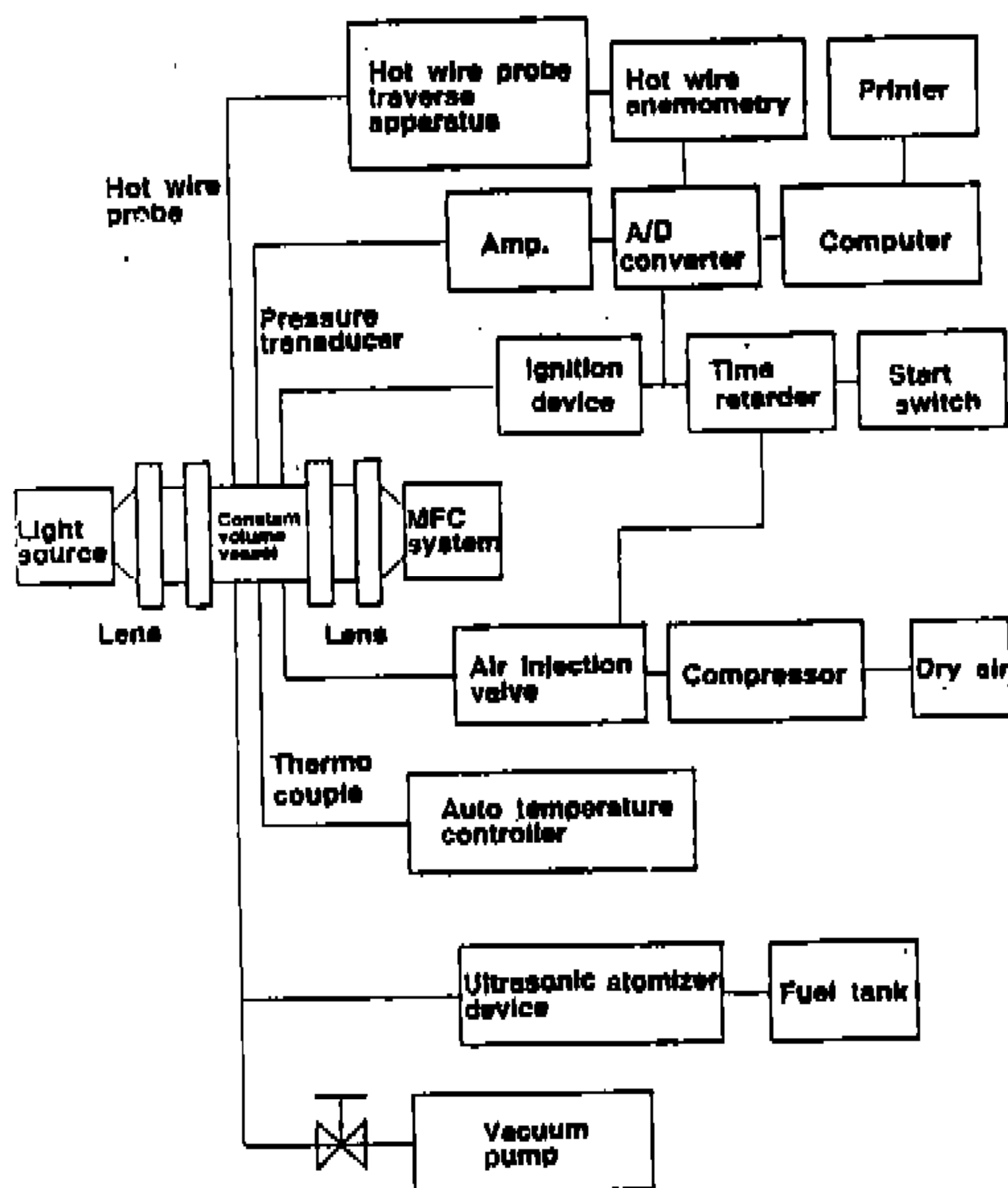


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

험장치는 정적연소기, 열선유속계(KANOMAX, Model No.7116), 용량방전형 점화장치(CDI), 시간지연장치(time retard), 초음파 미립화장치(ultra atomizer), CCD카메라 및 데이터 해석장치로 구성된다. Fig.2는 정적연소기의 개략도를 나타낸 것이다. 정적연소기는 기관의 연소실을 고려하여 지름 80mm, 높이 22mm인 원통형으로 제작하였고 연소실 체적은 110.5cc이다. 정적연소기 외측에는 스파크 플러그, 분사밸브, 배기밸브, 압력변환기(Kistler Co., 601A type) 및 판히터를 설치하였으며, 정적 연소기내의 유동형성은 접선방향으로 공기분사밸브를 삽입하여 공기를 분사함으로써 형성하였다. 또한 정적 연소기내의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 200W 용량의 판히터 2개를 용기의 외측에 설치하였고, 이때 연소기의 온도는 연소기의 내측면으로부터 2mm떨어진 위치에 열전대($\phi 1.6$, K-type)를 삽입하여 확인하고 자동온도 조절장치를 이용하여 일정하게 유지시켰으며, 연소실 측면에는 화염전파를 촬영하기 위하여 두께 19mm의 강화유리를 설치하였다. 스파크 플러그는 통상의 자동차용 점화플러그의 중심전극 끝에 2mm의 황동선을 길게 연장하여 연소실의 중앙에 점화위치를 설정하였고 전극간극은 0.8mm, 전극선단의 방전면은 평면으로 하였다. 연료의 공급은 6개의 초음파 진동자를 설치한 초음파 미립화장치를 제작하여 미

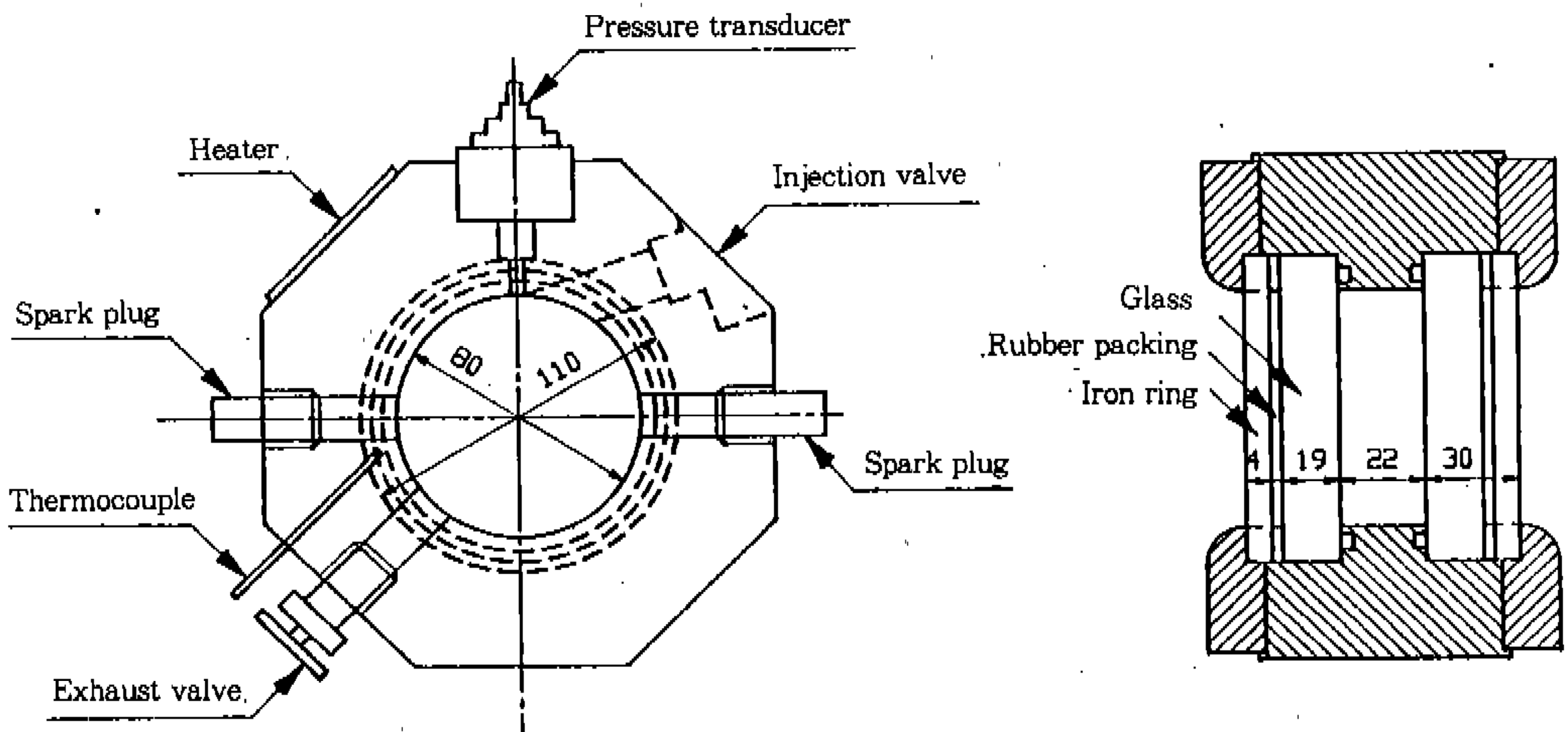


Fig.2 Drawing of constant volume vessel

세하고 충분한 미립화량을 얻을 수 있도록 하였고 플롯실실을 별도로 설치하여 진동에 의한 유면의 파동을 억제시켰으며, 정확한 유량을 측정 한 후 공기분사밸브에서 분사된 공기량에 의해 당량비를 제어하였다. 연소실내의 압력은 압력변환기로 측정하며 유동속도는 온도보상기가 내장 되어 있는 정온도형 열선유속계로 측정하였다. 그리고 측정된 데이터는 A/D변환기(sample speed, 200kHz)를 통하여 컴퓨터에 입력시킨 후 해석하였다¹¹⁾.

2.2 Multi Frame Camera(MFC)를 이용한 화염의 가시화

본 실험에 사용된 MFC는 영상전환관을 사용하여 시간분해 1/μs, 최대 16장까지 촬영할 수 있는 전자관형 고속카메라이다. 연소실내의 화염 핵 형성과정과 난류세기에 따른 화염의 가시화를 위하여 Fig.3과 같은 비접촉법에 의한 고속촬영 광학시스템을 이용하였다. 쉘리렌 광원은 300mW 출력의 Air-Cooled Ar Ion Laser (Mode ILT 5500A-00, USA)를 사용하였으며 광원은 Beam Expander에서 확산되어 Achromatic Lens를 거쳐 정적 연소기로 평행광을 보내고 정적 연소기를 지난 평행광은 다시 Lens에 의하여 MFC 입력 광학계의 다이어프램 위치에서 초점을 맺게 하고 Blade를 이용하여 쉘리렌 상을 얻을 수 있도록 장치를 구성하였다. 촬영조건은 연소의 전과정은 1,000fps, 초기 화염핵 성장기간은 33,300fps로 하였으며 MFC의 인광판(phosphor screen)에 맺힌 화염의 상은 Realy Lens 및 CCD 카메라, Image Board를 통하여 컴퓨터에 저장한 후 해석하였다.

2.3 실험방법

정적 연소기내의 난류형성은 공기분사밸브를 이용하여 분사되는 공기의 분사압력을 2.0~5.0bar까지 0.5bar씩 단계적으로 변화시키며 난류를 형성시켰다. 난류측정 위치는 Fig.4에 나타낸 바와 같이 3방향으로 총 13지점이며 열선프로브의 설치 방향은 공기 분사방향에 수직이 되도록 하였다. 그리고 공기 분사량은 시간지연장치를

이용하여 분사기간을 제어함으로써 분사압력이 변해도 공기 분사량이 일정하도록 하였다. 분사기간은 공기 분사후 용기내 압력이 1.5bar가 되는 시기로 결정하였으며, 2bar일 때 3.8초, 2.5bar일 때 3.0초, 3.0bar일 때 2.4초, 3.5bar일 때 2.02초, 4bar일 때 1.75초, 4.5bar일 때 1.5초이며 5.0bar일 때는 1.31초이다. 또한 매 실험마다의 재연성은 유동속도 변동율과 연소압력 변동율로 각각 평가하였다. 유동속도 변동율 $U_v(t)$ 는 식 (1)과 같이 앙상블 평균유동 속도에 대한 순간유동속도 변동치의 비이며, 압력변동율 $P_v(t)$ 는 식 (2)와 같이 앙상블 평균압력과 용기내 순간압력 변동치의 비로 확인하였고, Fig.5는

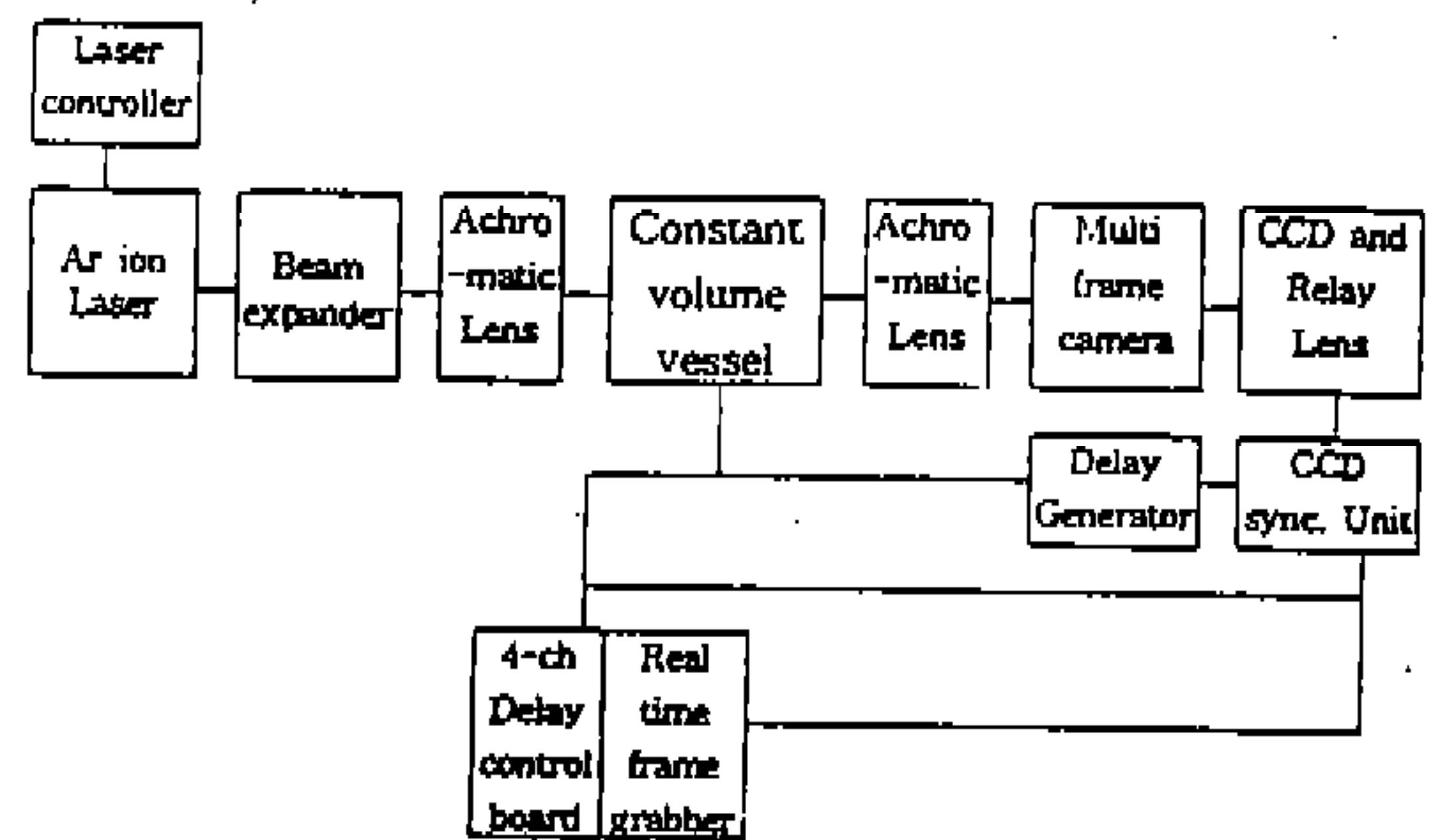


Fig.3 Arrangement of MFC optics photographing system

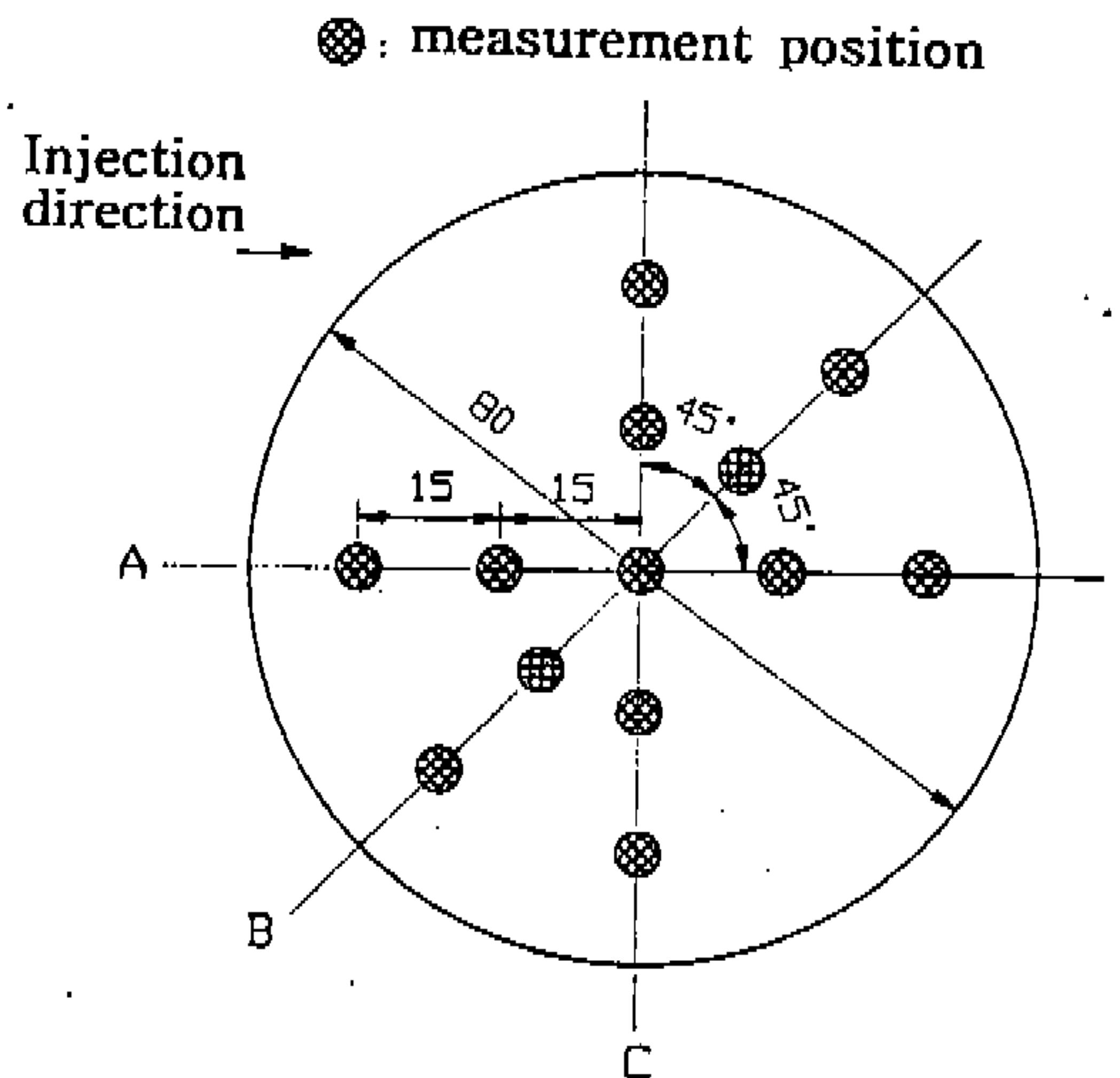


Fig.4 Measurement position

그 결과를 나타내었다.

$$U_v(t) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [U_i(t)^2 - U_m(t)^2]}}{U_m(t)} \quad (1)$$

$$P_v(t) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i(t)^2 - P_m(t)^2]}}{P_m(t)} \quad (2)$$

여기서, $U_i(t)$: 임의시각에 대한 순간 유동속도, $U_m(t)$: 임의시각에 대한 앙상블 평균유동속도, $P_i(t)$: 임의시각에 대한 연소실내 압력, $P_m(t)$: 임의시각에 대한 앙상블 평균압력

그림에서 나타낸 바와 같이 유동속도 변동을 $U_v(t)$ 와 압력변동을 $P_v(t)$ 는 공기분사 및 스파크 후 시간의 경과에 따라 약간의 변동은 있으나 $U_v(t)$ 와 $P_v(t)$ 의 최대치는 약 2~3%이므로 매 실험 마다의 재연성에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 실험에 사용된 혼합기는 희박가연한계 당량비로 부터 $\phi=1.3$ 범위의 메탄올-공기 예혼

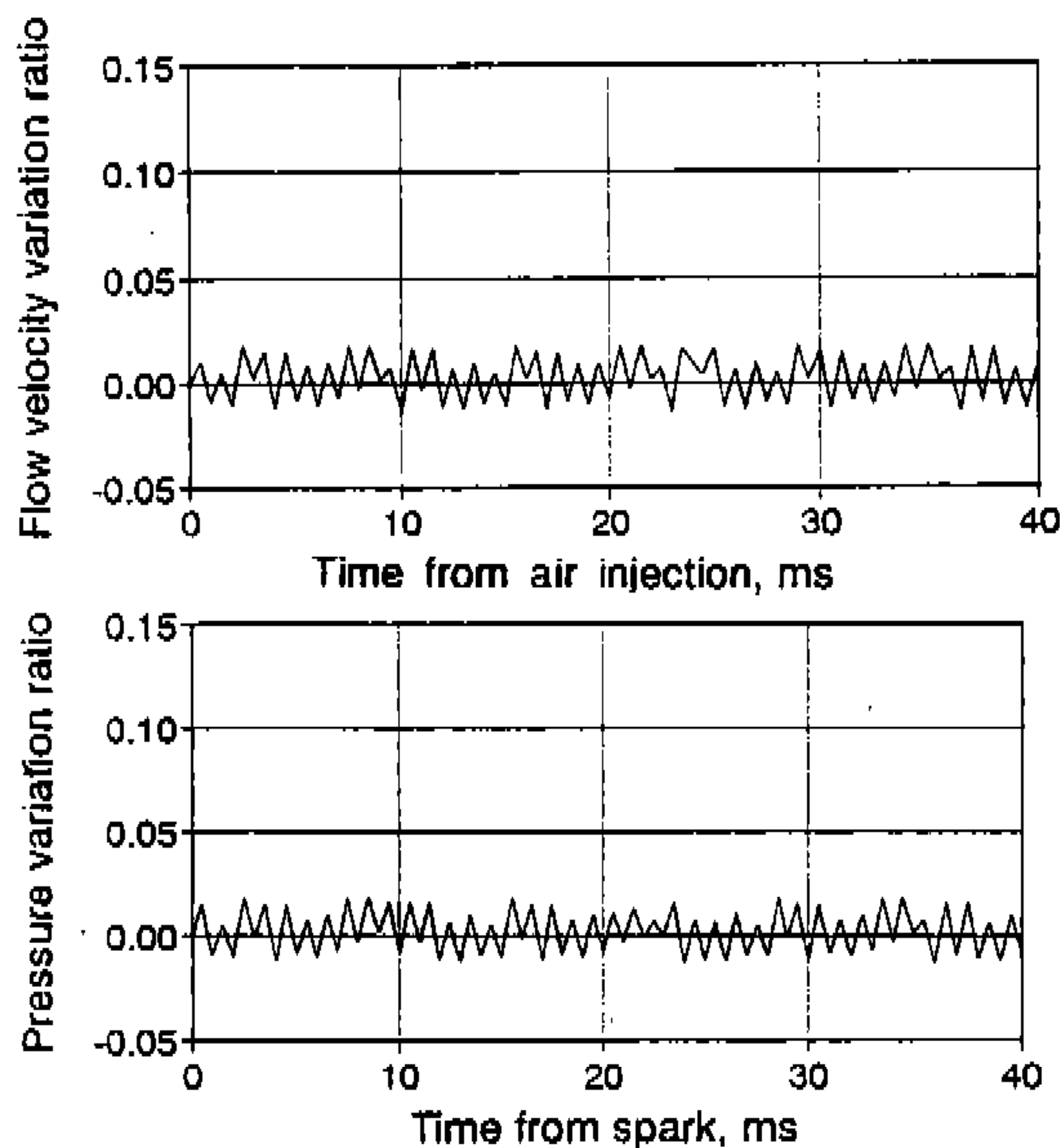


Fig.5 Flow velocity and pressure variation ratio as a function of time from air injection and spark

합기이며 연소실내 초기압력은 1.5bar, 초기온도는 313K로 일정하게 유지시켰다. 또한 점화에너지 변화는 콘덴서의 충전전압을 변화시킴으로서 11.47mJ과 45.88mJ로 하여 실험하였다. 그리고 데이터는 30회 측정하여 그 평균값을 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 유동속도 및 난류강도

유동 중에 수반되는 난류의 세기인 난류강도 $u'(t)$ 는 순간유동속도 $U_i(t)$ 와 앙상블 평균유동속도 $U_m(t)$ 와의 차를 RMS 값으로 정의하여 식 (3)과 같이 결정한다.

$$u'(t) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i(t) - U_m(t))^2} \quad (3)$$

여기서 n 은 측정회수이며 평균유동속도 $U_m(t)$ 는 임의시간에 측정된 순간유동속도를 앙상블 평균으로 식(4)와 같다¹²⁾.

$$U_m(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i(t) \quad (4)$$

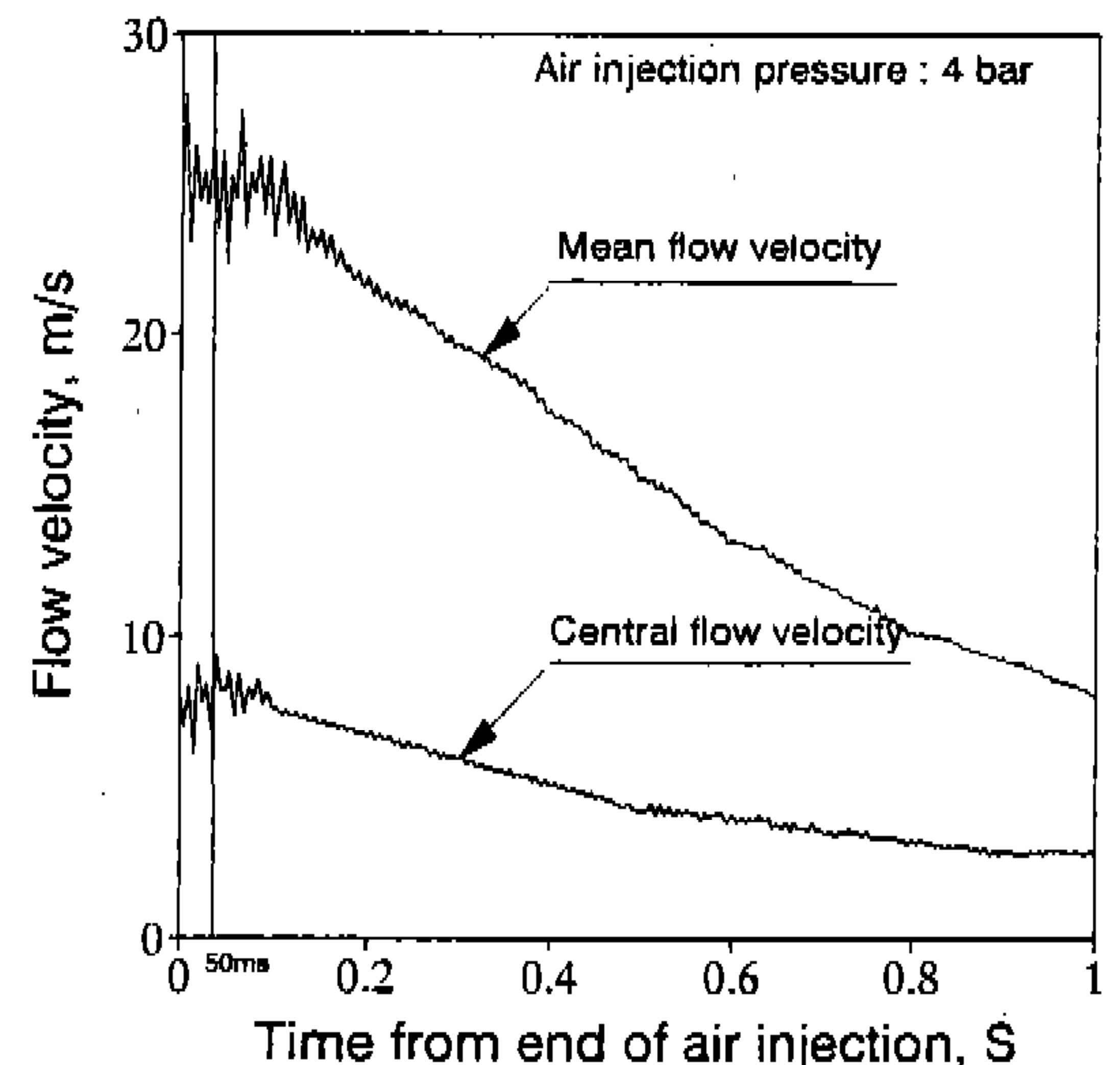


Fig.6 Flow velocity as a function of time after end of air injection

Fig.6은 공기분사 종료후 시간경과에 따른 평균유동속도와 중심유동속도의 변화를 나타낸 것이다. 평균 유동속도는 Fig.3의 총 13개 지점에서 측정된 각 지점의 평균유동속도의 공간평균치이며 중심유동속도는 점화플러그 위치에서 측정된 평균유동속도이다. 이때의 공기분사압력은 4.0bar이다. 연소기내의 유동속도는 시간이 경과함에 따라 운동에너지의 감소로 인해 점차 감소하는 경향으로 나타나고 있으며 평균유동속도가 중심유동속도 보다 크게 나타나고 있다. 난류유동 특성과 연소과정의 해석에 있어서, 점화시기에서의 난류특성은 연소과정에 큰 영향을 미칠 것이므로 점화시기인 공기분사 종료후 50ms를 대표시간으로 설정하여 이 시각에 대한 난류특성을 해석한다. 공기분사압력 4.0bar인 경우 분사 종료후 50ms에서의 평균유동속도는 25.63m/s, 중심유동속도는 8.19m/s로 나타나고 있다.

Fig.7은 공기분사 압력이 4.0bar인 경우의 공기분사 종료후 시간경과에 따른 평균난류강도와 중심난류강도 변화를 나타낸 것이다. 난류강도는 공기분사 종료후 시간이 경과함에 따라 난류감쇄의 영향으로 인하여 유동속도와 마찬가지로 점차 감소하는 것으로 나타나고 있으며 이와 같은 경향은 공기분사압력이 변해도 정성적인 경향은 비

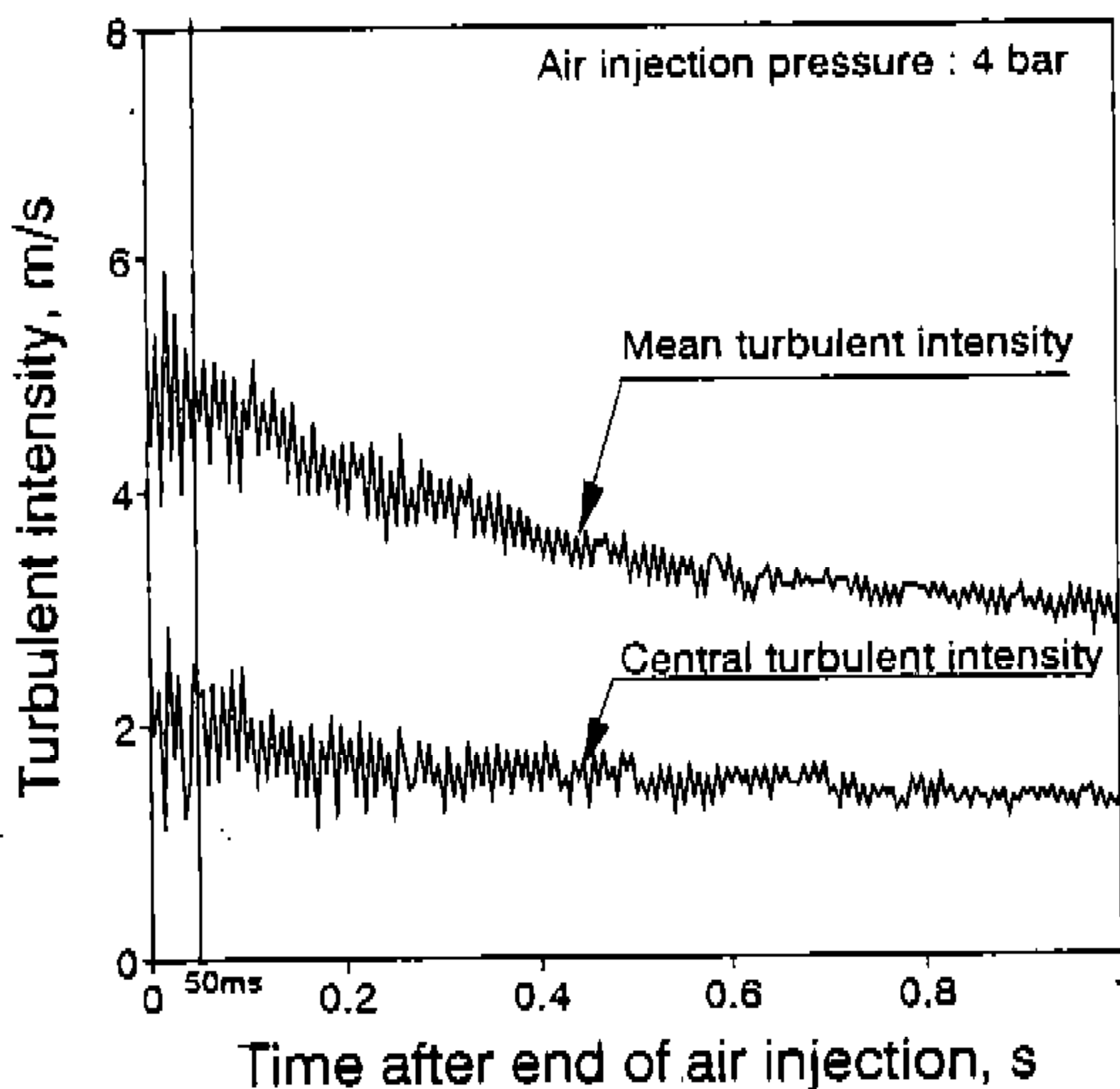


Fig.7 Turbulent intensity as a function of time after end of air injection

슷하다. 대표적으로 공기분사 압력이 4.0bar인 경우 분사종료후 50ms에서 평균난류강도는 5.0m/s이고, 중심난류강도는 2.23m/s이다.

Fig.8은 각 지점에서 측정한 난류강도의 평균치인 평균난류강도(mean turbulent intensity, MTI)와 점화플러그 위치에서의 중심난류강도(central turbulent intensity, CTI)를 공기 분사 압력 변화에 대하여 나타낸 것이며 공기분사 종료후 50ms에서의 측정 값들이다. 난류강도는 공기분사압력 즉, 유동속도가 증가함에 따라 증가하며 평균난류강도는 중심 난류강도보다 크게 나타나고 있다. 대표적으로 공기 분사압력 3.5bar의 경우 평균난류강도는 4.5m/s, 중심난류강도는 2.5m/s 정도이다. 정적 용기내에서 유동해석을 할 경우 전연소기간에 대한 난류강도는 정적 용기내 13개 지점에서 측정된 난류강도를 공간 평균한 평균난류강도(MTI)를 사용하며, 초기 화염핵 성장기간을 해석할 경우에는 중심에서 측정된 중심난류강도(CTI)를 사용하였다.

3.2 압력경과곡선과 난류강도와와의 관계

Fig.9은 점화후 시간 경과에 따른 연소실내의 압력경과를 당량비 변화에 대해 나타낸 것이며, 이 경우 초기온도 313K, 초기압력 1.5bar, 점화

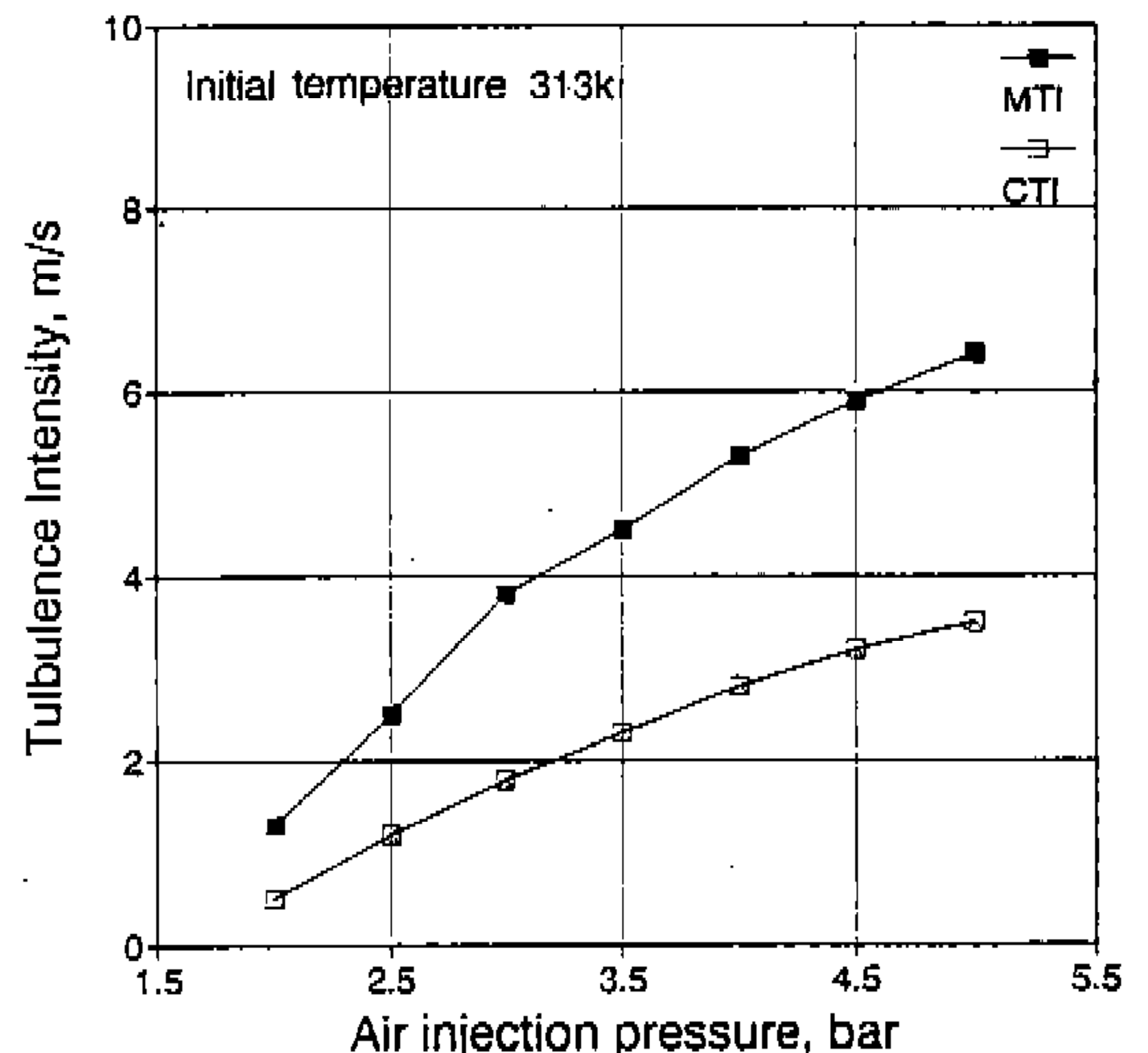


Fig.8 Turbulent intensity as a function of air injection pressure for central turbulent intensity and mean turbulent intensity

에너지는 45.88mJ 및 평균난류강도가 4.5m/s 인 경우이다. 점화후 시간이 경과함에 따라 연소실 내의 압력은 급격히 상승하고 있으며, 당량비 증가에 따라 연소실내의 최고압력은 증가하고 최고압력의 발생시기도 빨라지고 있다. 그러나 당량비 1.1 이상에서는 연소실내의 최고압력은 감소되며 최고압력 발생시기도 늦어진다. 대표적으로 당량비 1.1에서는 점화 후 11.7ms에서 최고압력 19.5bar에 도달하고, 당량비 0.65에서는 점화후 20.4ms에서 최고압력 8.5bar에 도달하고 있다. 최고압력이 나타나는 시기는 연료의 연소가 완료하는 시기와 일치하는 것으로 알려져 있으므로 당량비 1.1의 경우는 당량비 0.65의 경우에 비해 총연소기간이 8.7ms 감소하는 것으로 나타났다.

Fig.10은 점화후 시간 경과에 따른 연소실내의 압력경과를 당량비 1.1에서 평균난류강도 변화에 대해 나타낸 것이다. 평균난류강도가 증가함에 따라 연소 최고압력은 크게 증가하는 것으로 나타나고 있으며 연소최고압력이 나타나는 시기도 빨라지고 있다. 평균난류강도 5.3m/s에서는 점화후 10.8ms에서 최고압력 20.965bar에 도달하고, 난류가 없는 0m/s의 경우에는 점화후 20.7ms에서 최고압력은 10.46bar에 도달하고 있다. 평균난류강도가 증가함에 따라 연소실내 최고압력이 증가하는 이유는 질량 연소기간의 단축으로 인한 빠른 연소에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig.11은 점화후 시간 경과에 따른 압력경과를 희박연소영역인 당량비 0.7에서 평균난류강도변화에 대해 나타낸 것이다. 평균난류강도가 증가함에 따라 최고압력은 증가하고 있으나, 초기 연소구간의 경우 오히려 압력경과가 둔화되는 것으로 나타나고 있다. 이는 희박 혼합기의 경우 난류강도가 증가함에 따라 초기 성장기간에서 열손실이 증가하는 것에 기인하는 것으로 생각된다.

당량비 0.7의 희박연소의 경우 초기연소구간에서의 거동을 좀더 상세히 파악하기 위하여 질량 연소를 곡선으로 나타낸 것이 Fig.12이다. 그림에서 보는바와 같이 평균난류강도가 증가함에

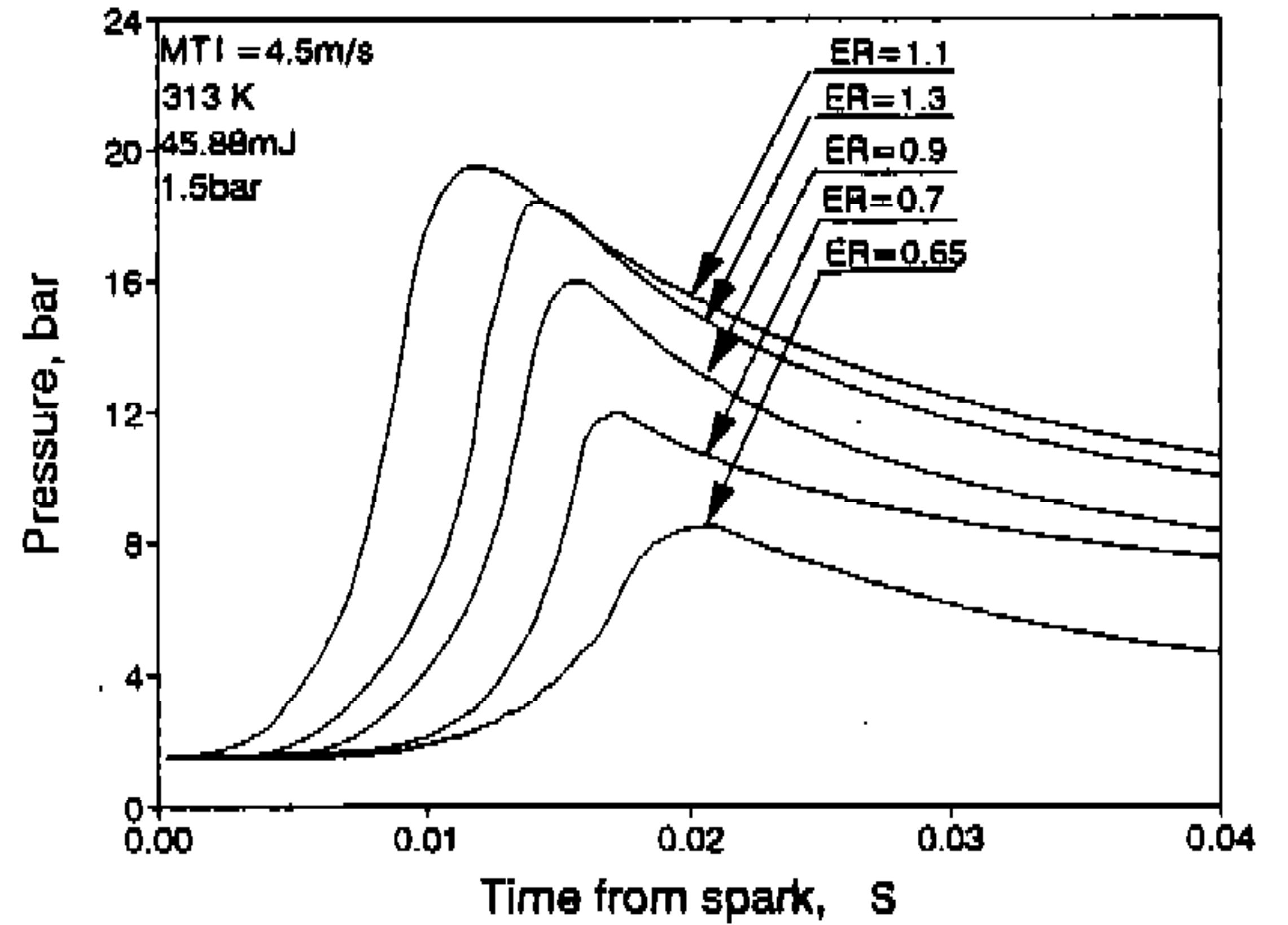


Fig.9 Pressure as a function of time from spark for equivalence ratio

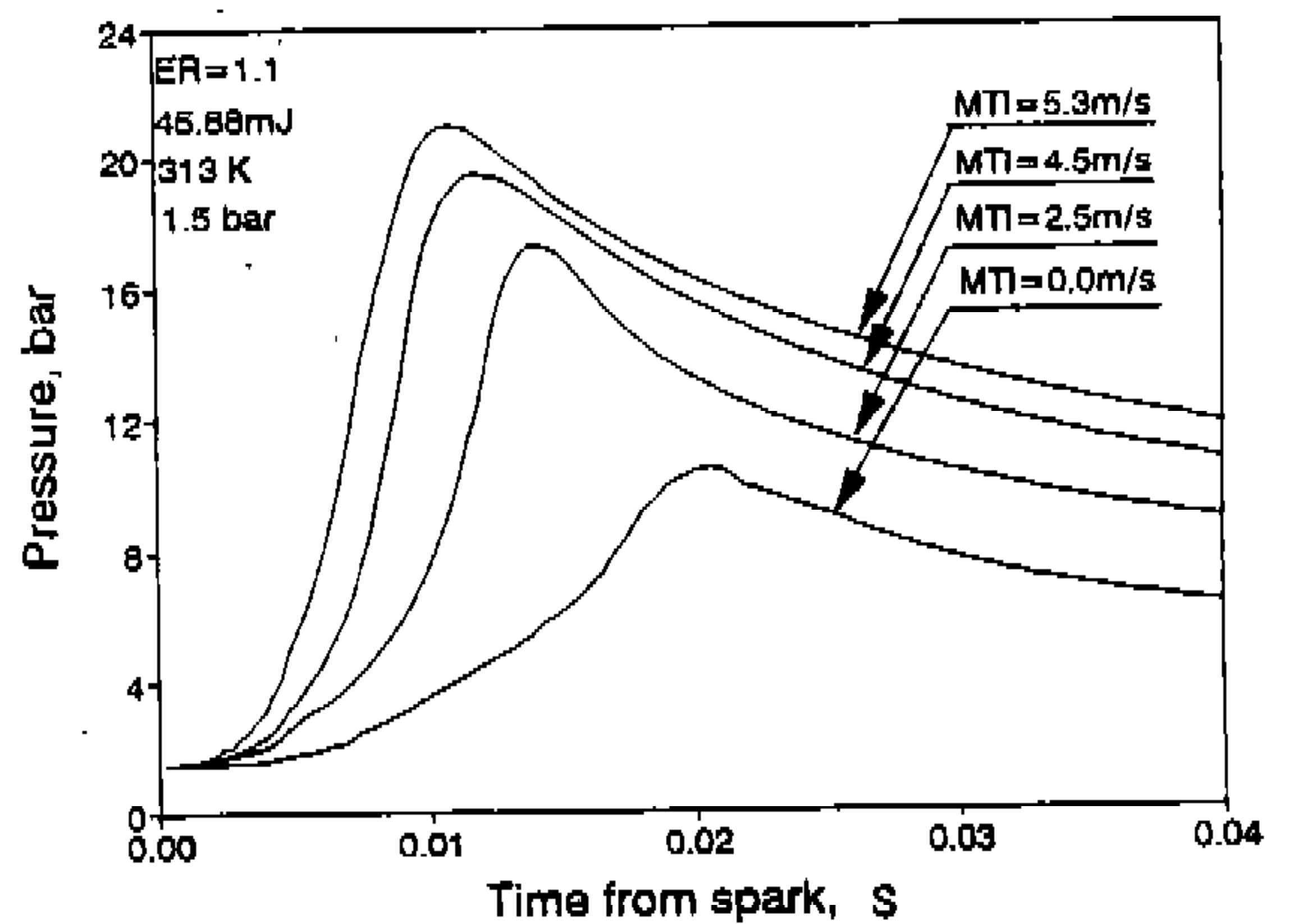


Fig.10 Pressure as a function of time from spark for mean turbulent intensity at equivalence ratio 1.1

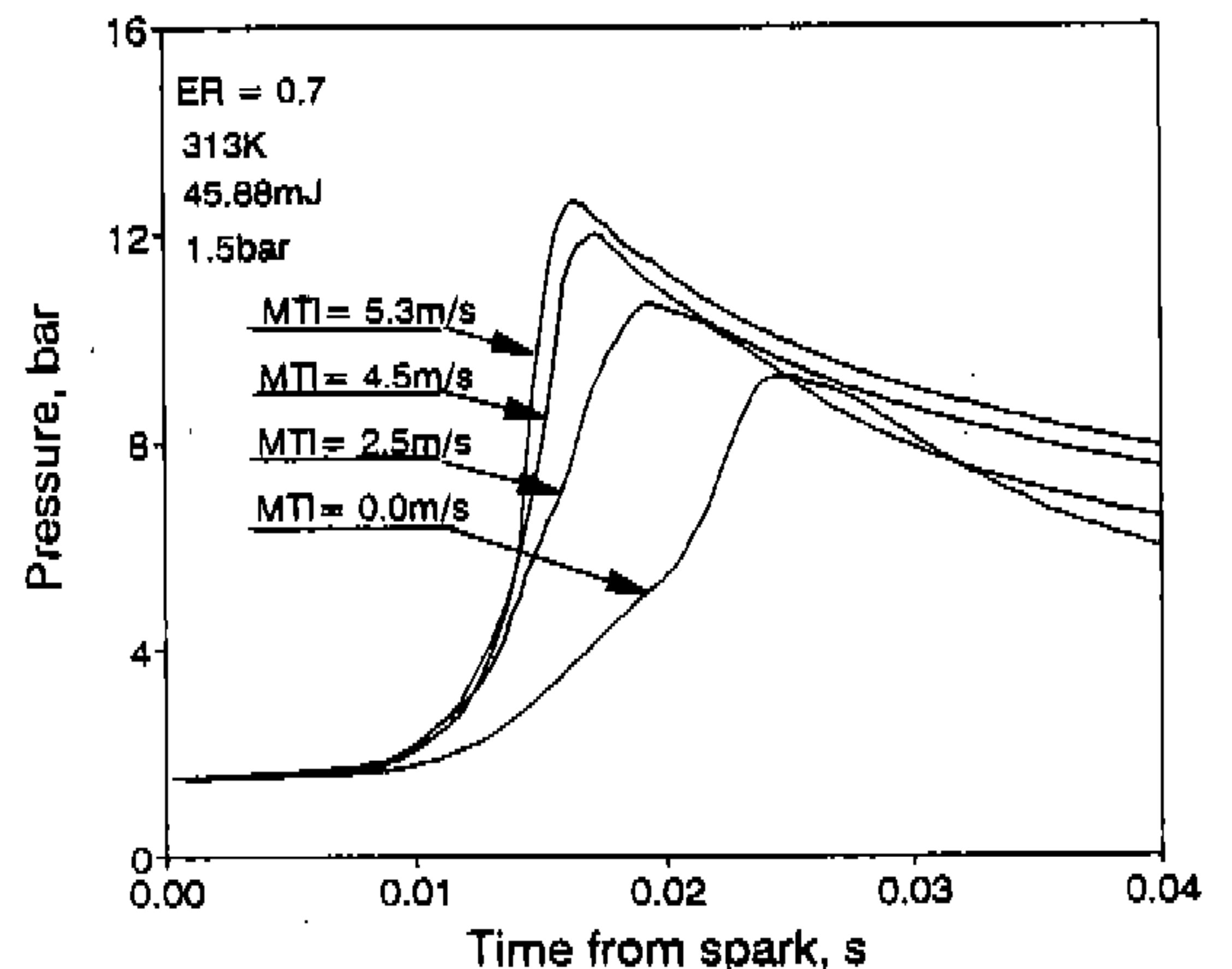


Fig.11 Pressure as a function of time from spark for mean turbulent intensity at equivalence ratio 0.7

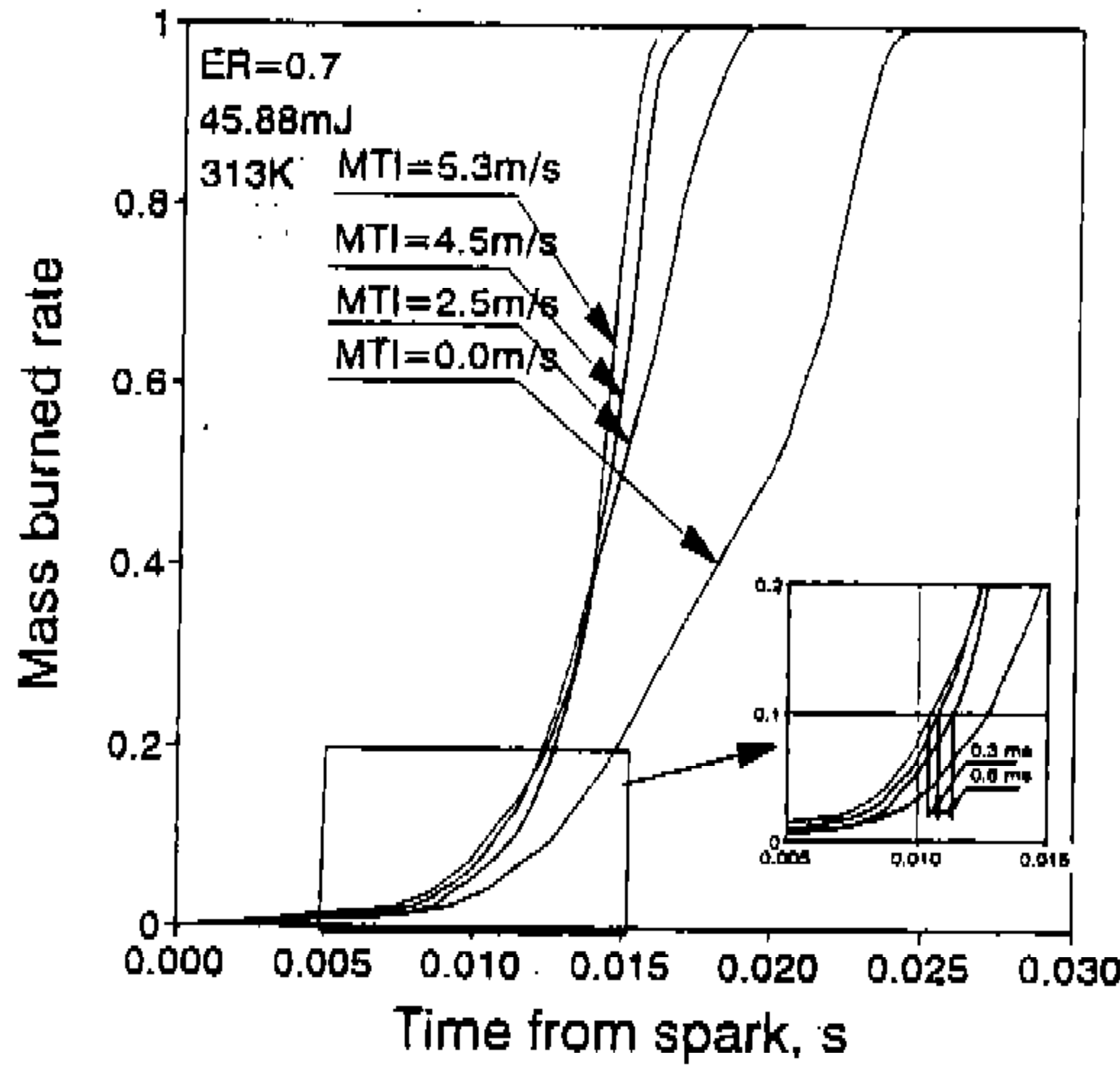
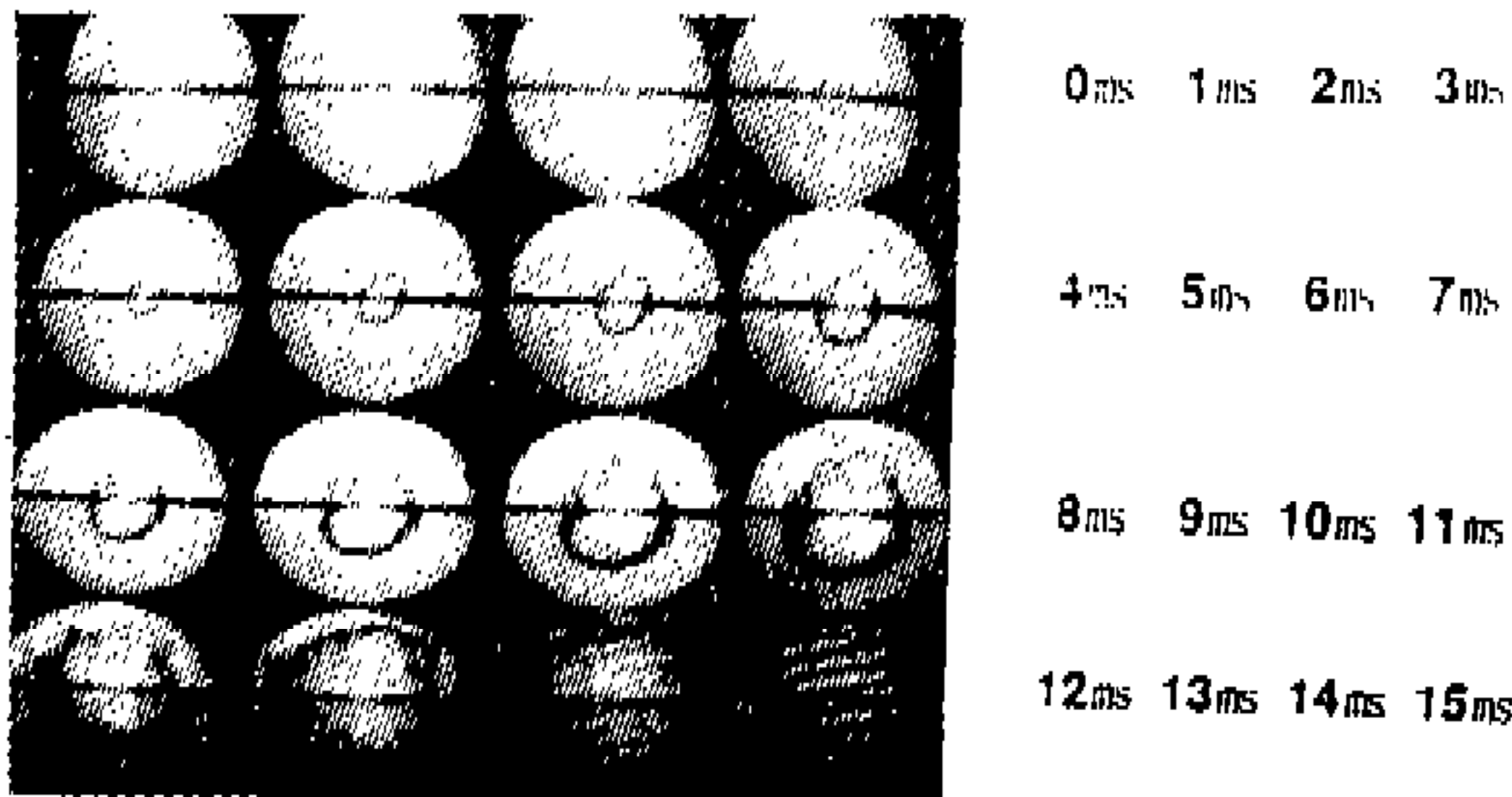
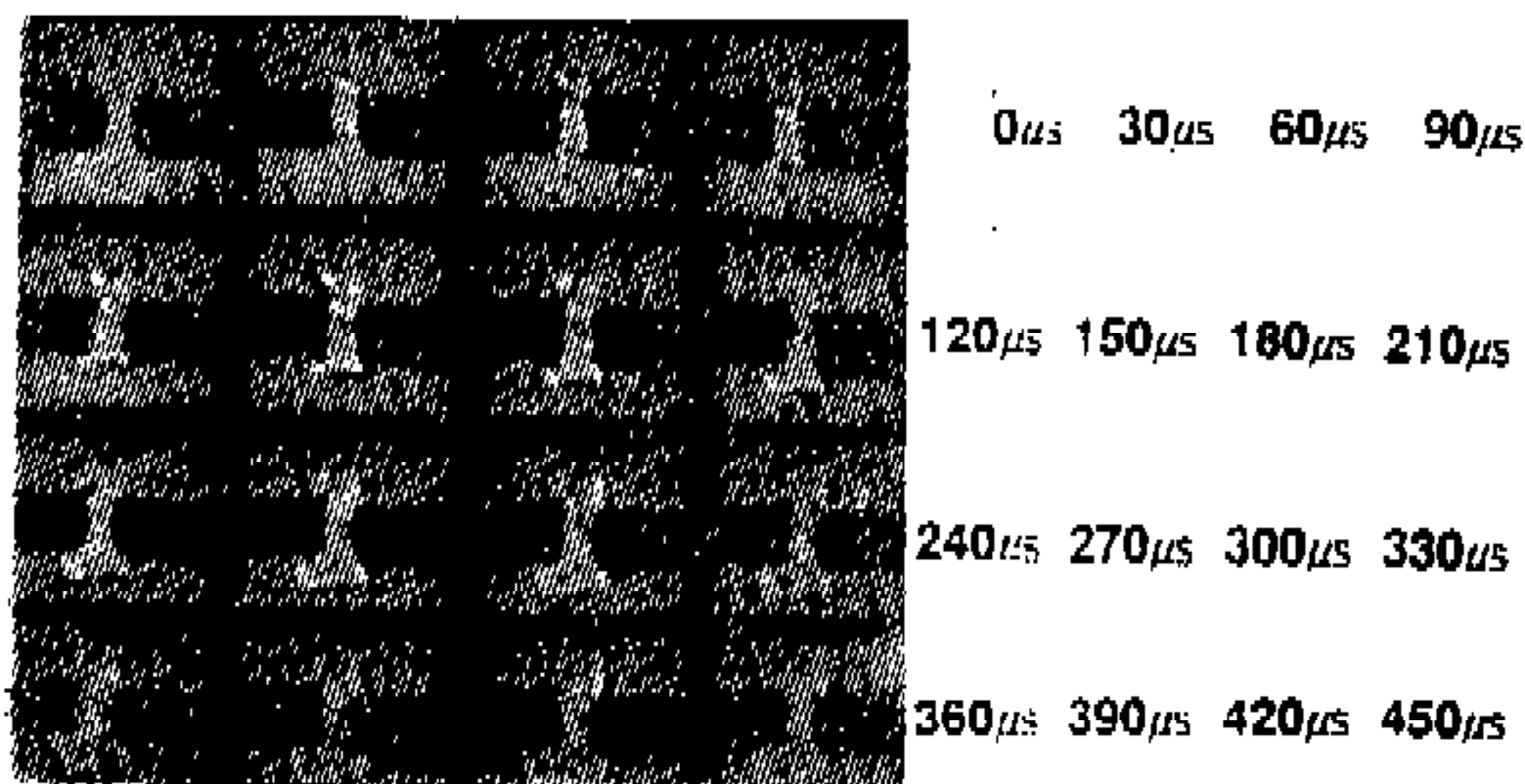


Fig.12 Mass burned rate as a function of time from spark for mean turbulent intensity



(a) Combustion propagation visualization, ER=0.7, MTI=5m/s



(b) Flame kernel visualization, ER=0.7, CTI=2.2m/s

Fig.13 Schlieren photographs of the flame propagation and early flame kernel in the constant volume vessel

따라 질량연소가 종료되는 시점이 점차 빨라지고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 초기연소구간인 질량연소를 10% 지점에서는 평균난류강도가 클수록 연소시간이 짧아지는 것은 아니다. 질량연소를 10% 지점에서 평균난류강도 5.3m/s의 경우가 4.5m/s, 2.5m/s의 경우에 비해 질량연소가 0.6ms, 0.3ms 지연되는 것으로 나타났다. 이것으로 보아 초기연소구간에서는 안정된 연소를 위한 최적난류강도가 존재하고 있음을 알 수 있다.

3.3 화염전파 과정의 가시화 및 화염면적

Fig.13는 전술한 MFC를 이용하여 촬영한 전 연소기간과 초기 화염핵 성장기간의 화염사진을 나타낸 것이다. 당량비 0.7, 평균난류강도 5m/s 일때 화염면의 형상은 전 연소구간의 경우 난류강도가 증가하였으므로 화염면의 찌그러짐이 나타나지만 화염은 대체로 원형 화염의 형상으로 전파한다고 볼 수 있다. 당량비 0.7, 중심난류강도 2.2m/s에서의 초기 화염핵 성장은 난류의 영향으로 인해 화염면에 작은 에디(eddy)가 형성되고 있다. 이렇게 촬영한 화염사진으로부터 연

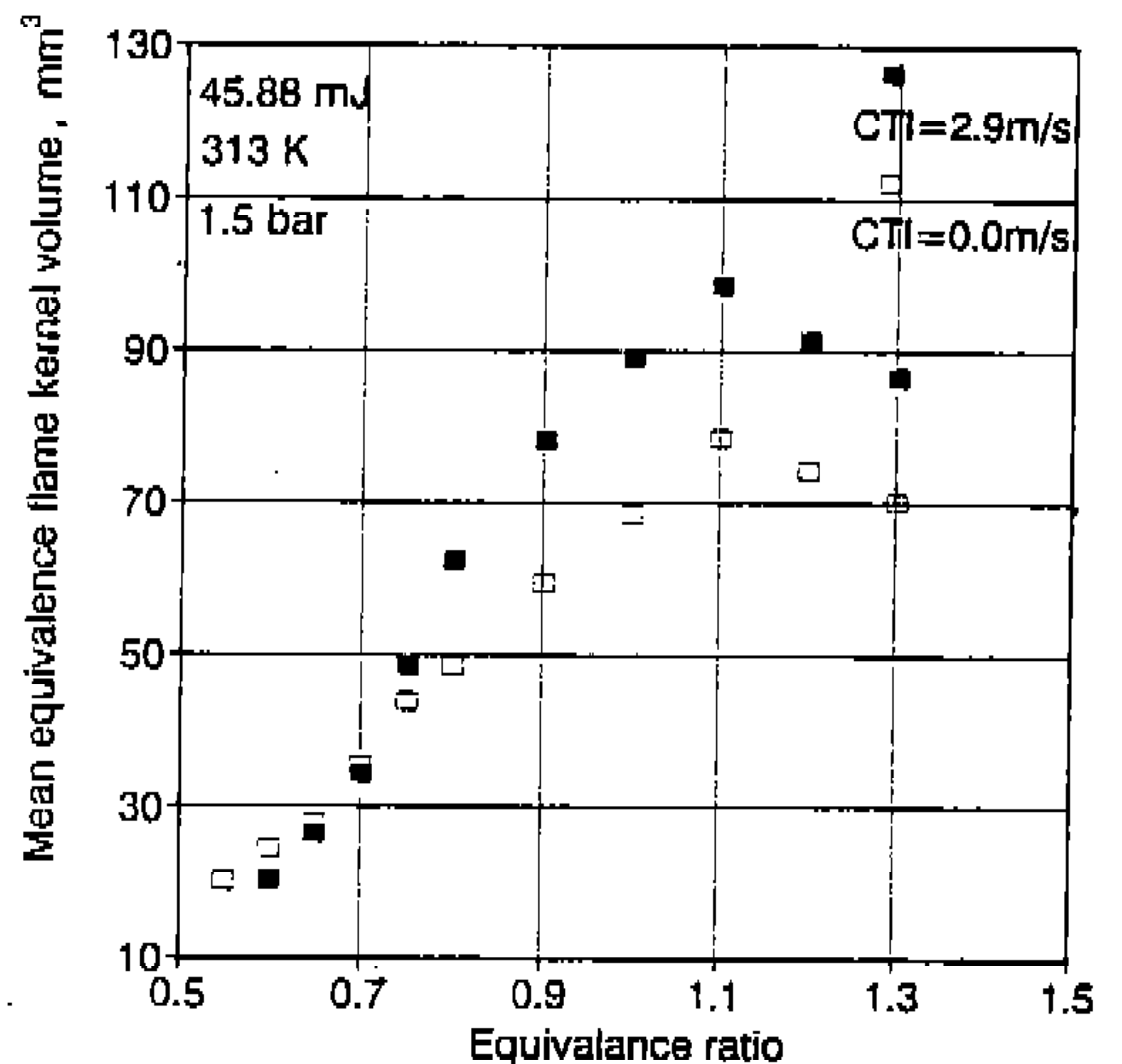


Fig.14 Mean equivalence flame kernel volume as a function of equivalence ratio for central turbulent intensity at 450μs after ignition

소특성을 파악하기 위한 화염면적의 결정은 화염 사진에서 구한 기연 가스체적과 동일한 원형 형상 화염의 등가체적을 작도하여 구하며, 이 때 화염면은 화염사진에서 검게 나타난 부분의 중심으로 결정하였다.

Fig.14은 당량비 변화에 대한 화염핵의 평균 등가체적을 중심난류강도에 대해 나타낸 것이다. 이때 화염핵의 반경은 점화후 450 μ s에서 측정된 것이다. 화염핵의 평균체적은 혼합기가 희박해짐에 따라 감소하는 것으로 나타나고 있으며 당량비 0.65인 경우 중심난류강도 2.9m/s 일때가 0m/s에 비해 화염핵의 평균등가체적의 감소율이 11.7%로 나타나고 있다. 반면에 당량비 0.7이후에서는 중심난류강도가 증가함에 따라 화염의 등가체적이 점차적으로 증가하고 있으며, 당량비 0.8에서는 중심난류강도 2.9m/s인 경우가 0m/s보다 화염핵의 평균등가체적이 14.2% 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 초기화염이 완전히 발달된 화염까지 성장하려면 반응대에서 생성되는 열량이 반응대 표면에서의 열손실량보다 커야하나 당량비 0.7이하의 희박연소구간에서는 난류강도가 증가할수록 반응대 표면에서의 열손실량

이 증가되어 화염체적 증가율이 둔화되는 것으로 판단된다.

Fig.15는 당량비 변화에 대한 화염핵 체적변동율을 중심난류강도에 대해 나타낸 것으로 점화 후 450 μ s에서의 값들이다. 화염핵의 체적변동율은 앙상블 평균체적에 대한 순간체적 변동치의 비이며 이 값이 적을수록 안정된 연소를 이룰 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 중심난류강도가 0m/s인 경우에는 화염핵 체적 변동율이 3~4% 정도로 안정된 연소가 이루어 지고 있으나, 중심난류강도가 2.9m/s인 경우, 당량비 0.7이하에서는 26~28%로 나타나고 있다. 그러나 당량비가 이것보다 증가하면 체적변동율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이것으로 보아 당량비가 0.7이상인 경우에서 난류의 효과가 크게 나타나고 있는 것으로 생각된다.

Fig.16은 당량비 0.7인 희박영역에서의 중심난류강도 변화에 따른 화염핵 평균등가체적과 체적변동율에 대해 나타낸 것으로 이때 화염의 반경은 점화후 450 μ s에서 측정된 것이며, 초기온도 313K, 초기압력 1.5bar 및 점화에너지는 45.88mJ인 경우이다. 그림에서 보는 바와 같이 중

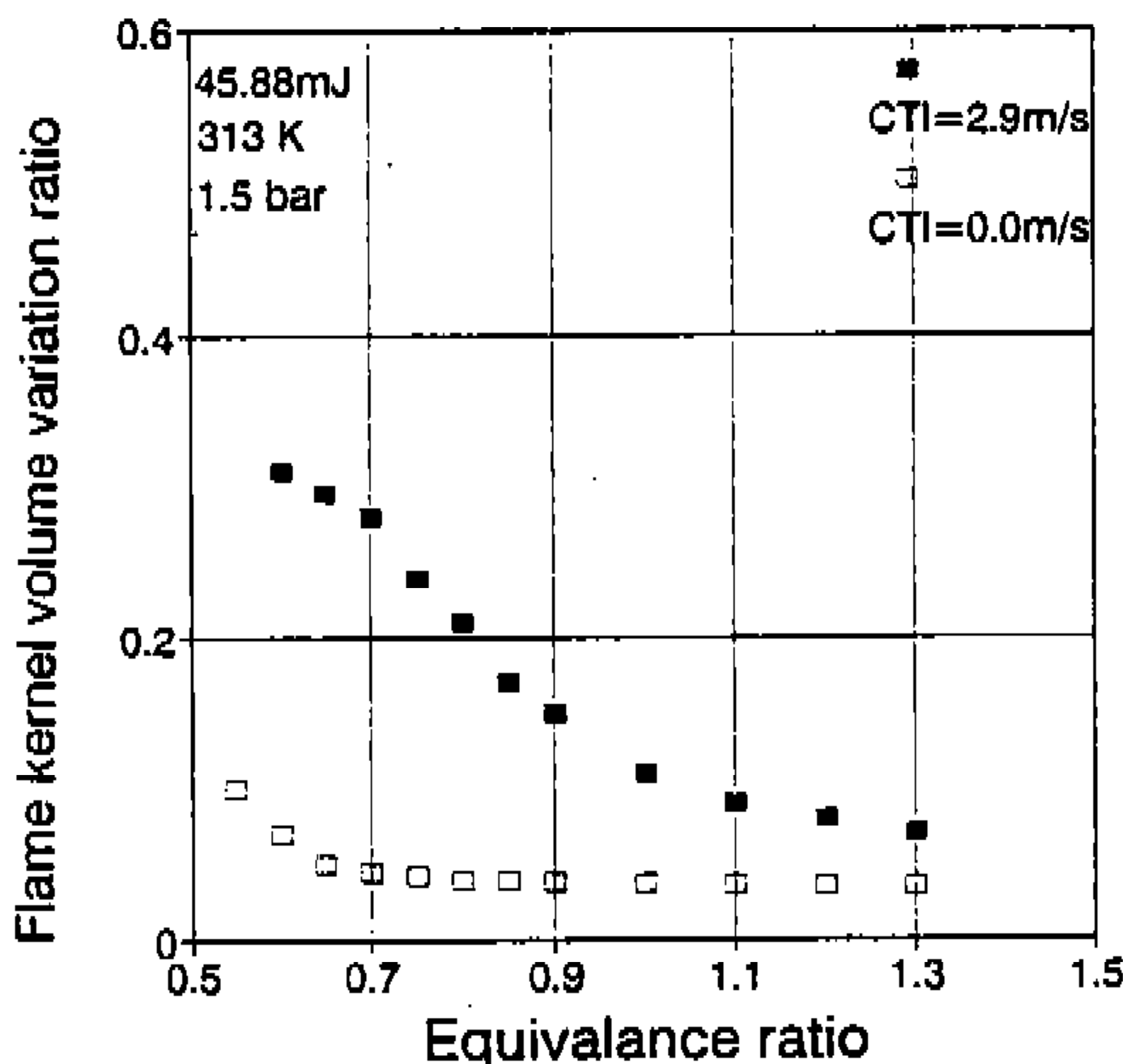


Fig.15 Flame kernel variation ratio as a function of equivalence ratio for central turbulent intensity at 450 μ s after ignition

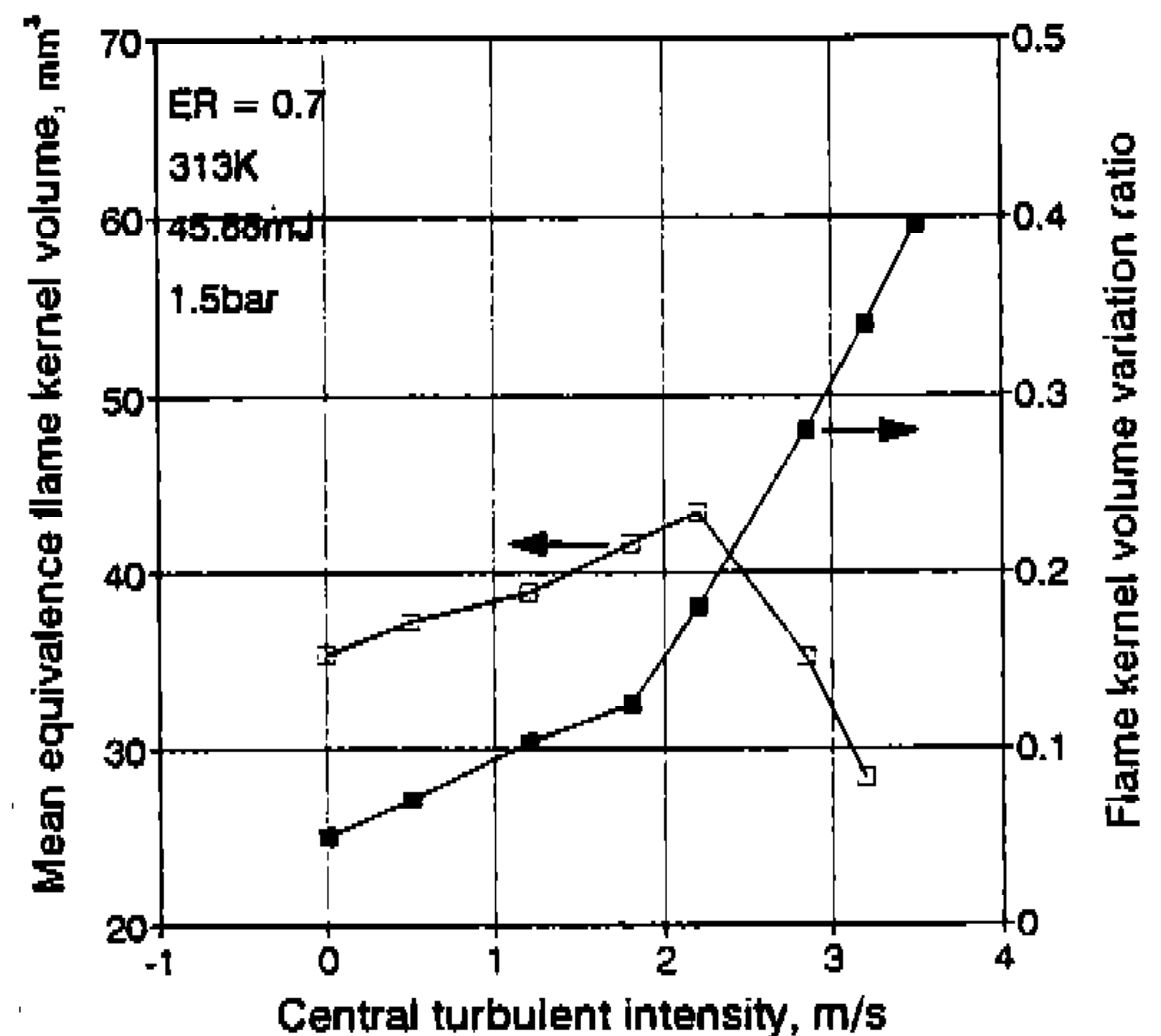


Fig.16 Mean equivalence flame kernel volume and flame kernel volume variation ratio as a function of central turbulent intensity at 450 μ s after ignition and equivalence ratio 0.7

심난류강도가 증가함에 따라 화염핵 평균동가체적은 증가하다가 감소되고 있으며, 평균동가체적이 감소하는 영역에서의 체적감소율은 크게 나타나고 있다. 이것은 회박혼합기의 경우 난류의 영향을 크게 받고 있음을 뜻한다. 한편 화염핵의 체적변동율은 중심난류강도 증가에 따라 완만한 증가율을 보이다가 어떤 난류강도 이상에서는 변동율이 급격히 증가하는 것으로 나타나고 있다. 체적변동율이 30% 이상에서는 점화성이 5% 이하로 점화불능 상태에 도달함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

3.4 점화에너지와 화염핵과의 관계

Fig.17은 점화 후 시간경과에 대한 화염핵 직경을 점화에너지 변화에 대해 나타낸 것이다. 이때 실험조건은 연료-공기 당량비 0.8, 중심난류강도 1.2m/s, 2.9m/s 및 점화에너지가 11.

47mJ, 45.88mJ인 경우이다. 점화에너지가 11.47mJ인 경우에는 초기화염핵 성장이 점화에너지 보다는 난류유동에 지배되고 있음을 알 수 있으며, 점화에너지가 비교적 큰 45.88mJ인 경우에는 난류효과 보다는 점화에너지가 초기화염핵 성장을 지배하여 초기화염핵 성장에 난류강도는 별 영향이 없는 것으로 나타나고 있다.

Fig.18은 당량비 변화에 대한 점화성을 중심난류강도와 점화에너지의 변화에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 중심난류강도가 증가할수록 회박 가연한계는 좁아지는 것으로 나타나고 있으며 중심난류강도 2.9m/s의 경우는 0m/s의 경우에 비해 회박 가연한계가 약 9.2% 감소하는 것으로 나타나고 있다. 한편, 점화에너지가 11.47mJ에서 45.88mJ로 증가하면 중심난류강도 2.9m/s의 경우 회박 가연한계가 약 1.5%가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 난

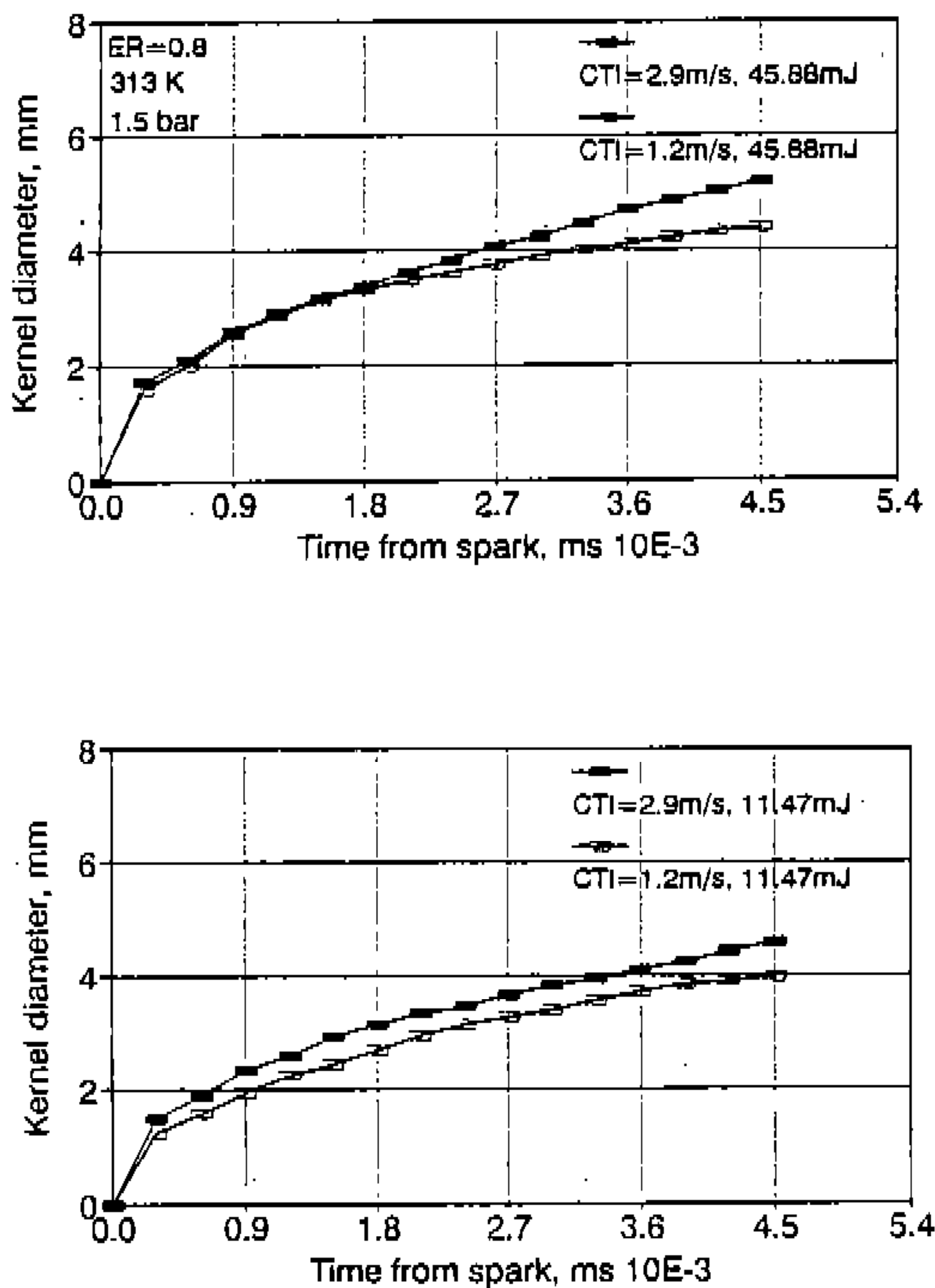


Fig.17 Kernel diameter as a function of time from spark for central turbulent intensity and ignition energy

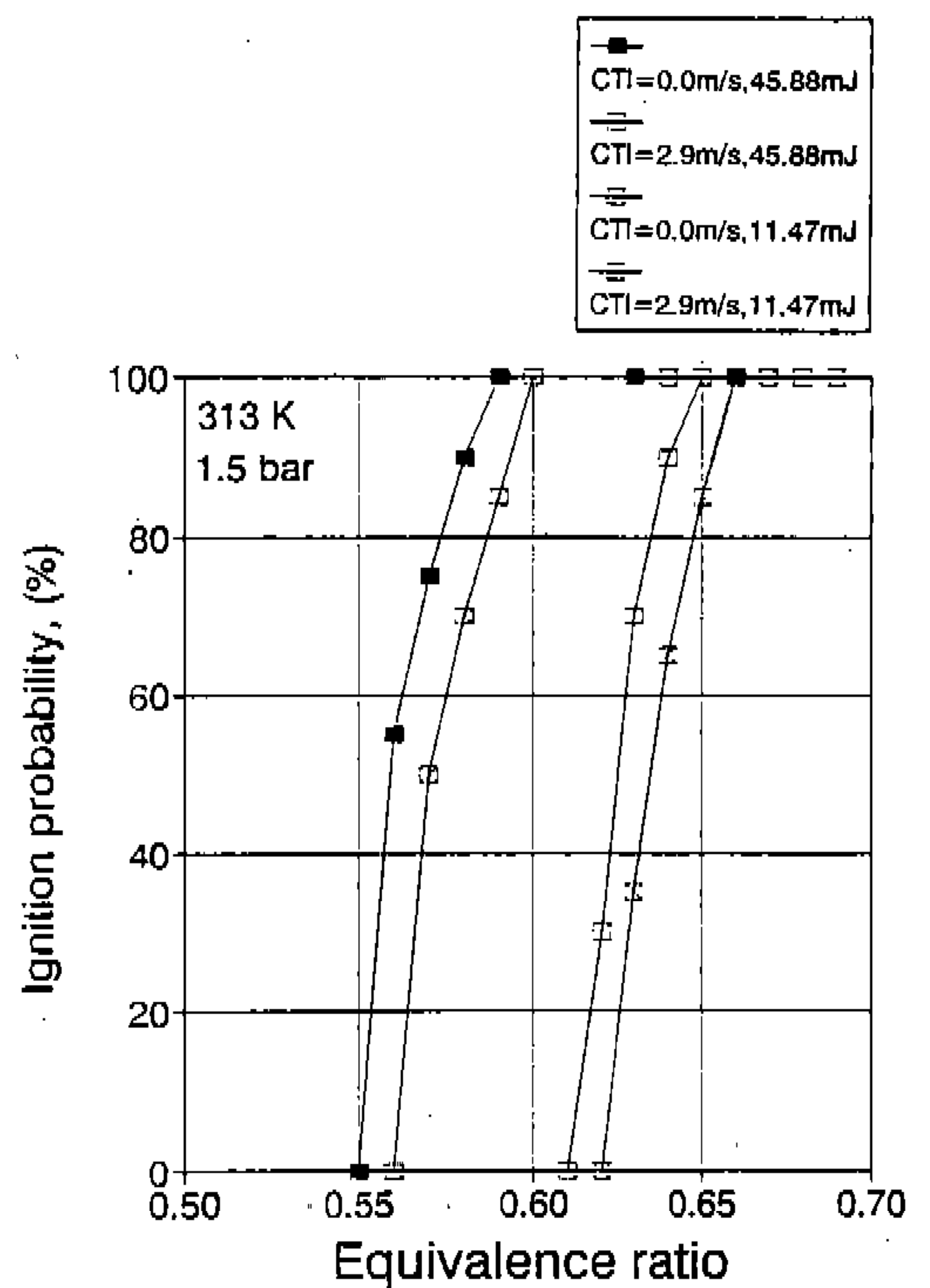


Fig.18 Ignition probability as a function of equivalence ratio for central turbulent intensity and ignition energy

류강도와 더불어 점화에너지가 연소실내에서 일어나는 연소현상을 지배하는 주요 인자임을 알 수 있다.

4. 결 론

정적연소기내에 스윙 유동장을 형성하여 난류강도, 연소압력을 구하고 전연소구간 및 초기연소 구간의 화염전파 가시화를 통해 난류유동, 점화에너지 및 혼합기 농도 변화가 연소과정에 미치는 영향을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 연소기내의 유동속도 및 난류강도는 시간이 경과함에 따라 운동에너지의 감소 및 난류감쇄로 인해 점차 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 난류강도가 증가할수록 연소 최고압력은 증가하나 희박 가연한계는 중심난류강도 2.9m/s가 0m/s에 비해 약 9.2% 감소하는 것으로 나타나고 있으며, 점화에너지가 증가할수록 희박가연한계는 확장되는 것으로 나타났다.
- 3) 초기 화염핵 성장기간에서 당량비 0.7이하의 희박연소에서는 난류강도가 증가하면 반응대 표면에서의 열손실량 증가로 인해 오히려 화염핵 반경이 감소하고 화염핵 체적 변동율도 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 각각의 당량비에 따라 최적의 난류강도가 존재함을 보여준다.
- 4) 중심난류강도가 증가함에 따라 화염핵 평균동가체적은 증가하며, 체적 변동율도 중심난류강도가 증가할 수록 증가한다. 중심난류강도가 2.9m/s인 경우, 당량비 0.7이하에서는 화염핵 체적변동율은 26% 이상이 되고 있으며 화염핵 체적변동율이 30% 이상에서는 점화성이 5%이하로 점화불능상태에 도달함을 실험을 통해 알 수 있었다.
- 5) 초기화염핵 성장기간에서 낮은 점화에너지의 경우에는 난류의 효과가 큰 영향을 미치고 있으며 높은 점화에너지 경우에는 오

히려 난류강도 보다는 점화에너지가 초기 화염핵 성장기간을 지배하고 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 1995년 숭실대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 김영효, 김문헌, 이종태, "메탄올연료의 초기연소과정에 미치는 난류강도 및 점화에너지의 영향", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.13~17, 1994.
2. 김영효, 김문헌, 이종태, "초기연소과정에 미치는 난류유동특성", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, SAE 9473918, pp.318~323, 1994.
3. 오병진, 김영효, 김문헌, 이종태, 이성렬, "미립화 메탄올연료의 총류연소속도", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, SAE 923934, pp.254~259, 1992.
4. 이상준, 이종태, 이성렬, "난류화염속도에 미치는 스윙유동특성의 영향", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp.306~310, 1992.
5. S.P. SHARMA, CHANDER MOHAN, "Fuel and Combustion", TATA McGraw-Hill Co., pp.222~228, 1984.
6. CHARLES K. WESTBROOK and FREDERIC L. DRYER, "Prediction of Laminar Flame Properties of Methanol-Air Mixtures", Combustion and Flame, 37, pp.171~192, 1980.
7. J.T. Lee and A. Saima, "The Effect of Unsteady Inlet Swirl Flow on Combustion in the Constant Volume Chamber", ASME JSME Summer Engineering Joint Conference, pp.261~268, 1987.
8. Michikata KONO, Yoshiyuki WADA, Yasushige UJIE, "Promoting Effect of

- Liquid Explosion Aided by High Energy Spark on Ignition and Combustion of Mixture in a Closed Vessel”, JSAE Review, Vol.9, No.2, pp.10~14, 1988.
9. M.J. Hall, F.V. Bracco, “A Study of Velocity and Turbulence Intensities Measured in Firing and Motored Engine”, SAE Paper, No.870453, pp.1~28, 1987.
 10. 조국환, 김문현, 이성렬, “메탄올기관의 기본 성능 평가”, 한국자동차공학회 춘계 학술대회, SAE 923871, pp.162~168, 1992.
 11. Kazuyoshi Namiyama 외 3인, “Development of Ultrasonic Atomizer and It's Application to S.I. Engines”, SAE Paper, No. 890430, pp.701~711, 1989.
 12. John B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill book Co., pp.330~336, 1988.