

〈논 문〉 SAE NO. 953706

부실식 정적연소실내 층상혼합기의 연소특성(I)

Combustion Characteristics of Stratified Mixture in a Constant Volume Combustion Chamber with Sub-chamber(I)

김 봉 석,* 권 철 홍,* 류 정 인**
B. S. Kim, C.H.Kwon, J. I. Ryu

ABSTRACT

The present study was investigated combustion characteristics of methane-air mixtures at stratified charge in a constant volume combustion chamber. The results indicated that even the very lean mixture, which is normally not flammable in single chamber type, could be burned within a comparatively short time by using sub-chamber with stratified charge method. And the lean inflammability limit of mixture in a main chamber was about $(\phi_m)_{cr}=0.46$, when the equivalence ratio of a sub-chamber was $\phi_s=1.0$. Initial time of pressure increase and total burning times were decreased and maximum combustion pressure was increased as the equivalence ratio of both sub and main chamber approached unity. Specifically, initial time of pressure increase and total burning times were greatly affected rather by the equivalence ratio of sub-chamber than that of main chamber. The maximum combustion pressure was little affected if the total equivalence ratio lies in the same range.

주요기술용어 : Combustion Characteristics(연소특성), Stratified Mixture(층상혼합기), Sub-chamber(부실), Lean Inflammability Limit(희박가연한계)

1. 서 론

최근 인구의 증가와 문명의 발달로 가속화된 석유계 연료의 고갈과 이에 따른 대기오염, 지구온난화, 오존층파괴 등과 같은 지구환경문제에 대응하기 위해 석유대체 에너지원에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 우리나라의 경우, '80년대에 접어들면서부터 급격한 경제성장과

소득수준의 향상에 따라 석유소비가 급격히 증가하게 되었으며, 자가용 승용차의 대중화에 따른 자동차의 급속한 증가로 도심지역의 대기오염에서 자동차 배기가스가 차지하는 비중이 날로 증가하는 추세에 있어 저공해 대체연료의 개발은 필요불가결하다. 특히, 지난 '90년과 '92년 미국에서 개정된 대기정화법(CAAA)과 에너지정책법(EPA)은 자동차 배기가스에 대한 규제강화는

* 정회원, 한국에너지기술연구소 수송기술연구팀

** 정회원, 충남대학교 공과대학 기계공학과

물론 연비규제도 한층 강화하였으며, 이와 유사한 규제안이 캐나다, EC 등을 중심으로 검토되고 있다. 현재까지 선진각국의 자동차 제조업체에서 개발중에 있는 연구결과에 의하면, 배기가스규제와 연비규제를 동시에 만족시켜줄 수 있는 대체연료로는 전기, 메탄올, 에탄올, 수소, 압축천연가스(CNG) 등이, 연소기술로는 희박연소가 가장 유용한 것으로 알려지고 있다.^{1~5)} 그러나, 희박연소를 행할 경우에는 엔진의 출력저하는 물론 착화성이 악화되기 때문에 이를 실용화하기에는 아직 많은 문제점이 따르게 된다.^{6,7)}

이에 본 연구에서는 메탄이 주성분인 천연가스를 층상급기(stratified charge)방식으로 희박연소시키기 위해 원통형의 부실식 정적연소실을 이용, 유동이 정지된 상태에서 주·부실간의 당량비와 연락공의 직경변화에 따른 연소특성을 규명함으로써, 층상급기방식의 천연가스기관 연구개발시 기초자료로 활용하고자 하였다.

먼저 본보에서는 주·부실내에 공급되는 메탄-공기 혼합기의 당량비와 연락공의 직경변화에

따른 층상 급기시의 연소특성에 대해 고찰하고, 다음보에서는 주·부실내에 공급되는 메탄-공기 혼합기의 당량비와 연락공의 형상변화에 따른 층상급기시의 연소특성에 대해 보고하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig.1은 본 실험장치의 개략도로서 정적연소실, 점화장치, 혼합기 제조장치, 압력측정장치, 이온 신호 측정장치, 화염발광량신호 측정장치, 데이터 수집 및 해석장치로 구성되어 있다.

황동제의 원통형 정적연소실은 주실(직경 : 80 mm, 폭 : 40mm)과 부실(직경 : 30mm, 폭 : 40 mm), 주·부실을 연결하는 교환가능한 원통형의 연락공, 그리고 층상급기용 로드로 이루어져 있다 (Fig.2 참조). 연락공은 주·부실 중심선과 일치되게 가공하였으며, 직경 $d=4.6\sim 9.0\text{mm}$, 길이 $l=20\text{mm}$ 이다. 층상급기용 로드는 직경이 2mm인 황동봉의 끝부분에 고무패킹을 설치하여 주실측

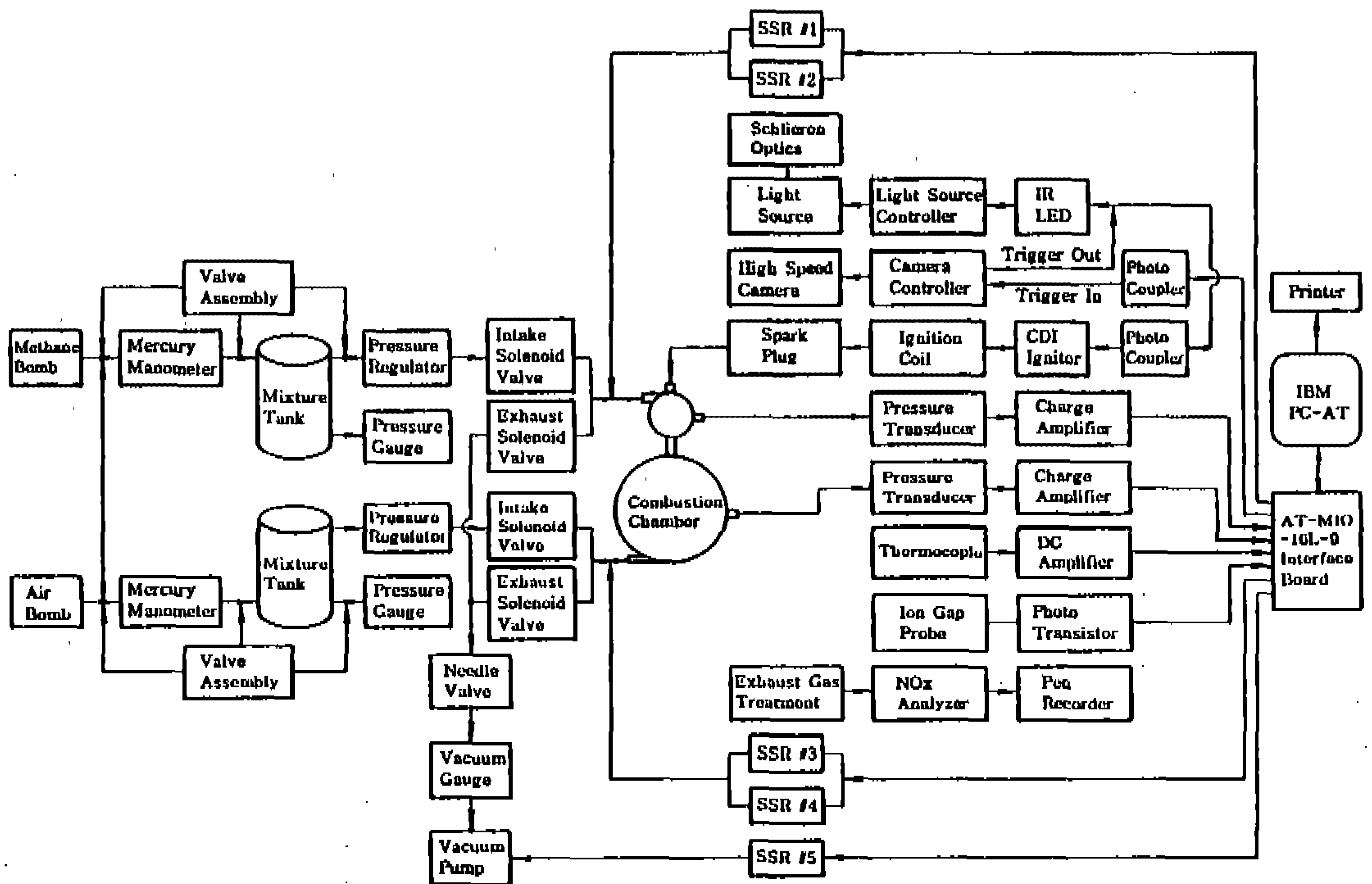


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

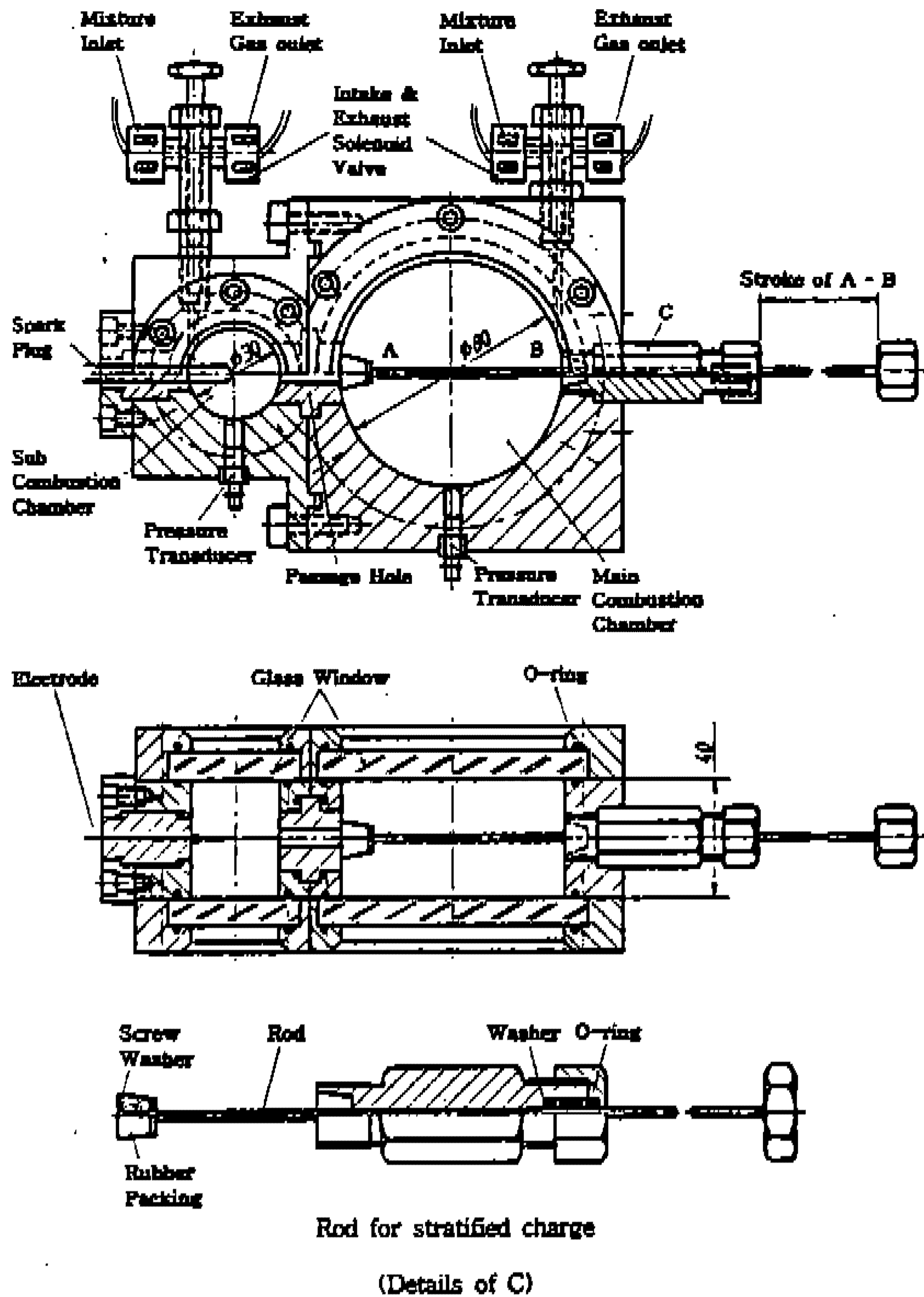


Fig.2 Schematic diagram of combustion chamber with sub-chamber

의 연락공밀을 막도록 설계되었으며, 고무패킹 설치로 인한 연소실의 체적감소를 방지하기 위해 주실하단 중앙에 장착된 어댑터를 고무패킹과 동일한 형상으로 가공하였다. 또 로드직경에 의한 연소실 체적감소(0.2cc)는 주실체적(201cc)의 0.1%에 지나지 않으므로 무시하였다.

부실내 혼합기를 점화시키기 위해 부실의 중앙에 Electrode 직경 1mm, 간극 1mm인 침단형의 점화플러그가 설치되어 있으며, CDI와 자동차용 점화코일에 의해 방전, 점화된다. 부실상단과 주실하단의 접선부위에는 예혼합기 및 배기가스의 흡·배기를 위해 SSR(solid state relay)과 연결된 솔레노이드 밸브(밸브장착으로 인한 연소실의 체적증가 및 이상연소를 방지하기 위해 니들 선단이 연소실벽면에 위치하도록 설계되어 있음)가 부착되어 있으며, 컴퓨터의 제어신호에 의해 온

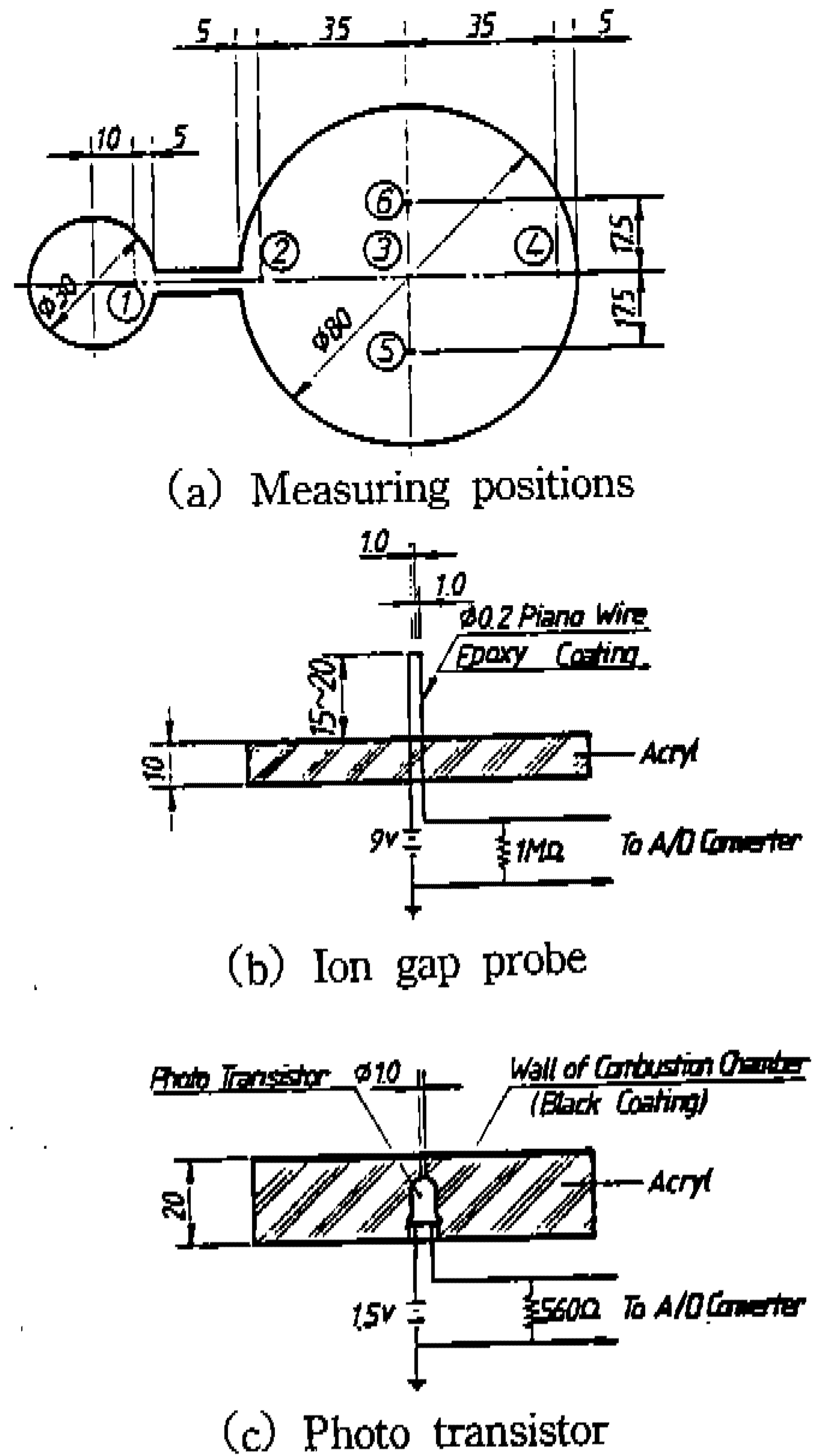


Fig.3 Schematic diagram of ion gap probe and photo transistor

라인으로 작동된다.

연료-공기의 혼합비는 각각의 분압을 기초로 결정하였으며, 메탄(순도 99.99%)과 탈습공기를 혼합용기내에서 팬으로 충분히 교반, 혼합시켜 필요한 예혼합기를 만든다.

연소실내의 압력을 측정하기 위해 주·부실의 중앙측면에 압전식 압력변환기(Kistler사 model 601A)를 각각 설치하였으며, 압력변환기의 출력은 증폭기(Kistler사 model 5007)를 사용하여 증폭시켰다.

이온신호를 측정하기 위해 Fig.3의 (b)와 같이 아크릴판에 제작한 간극 1.0mm, 직경 0.2mm인 한쌍의 피아노 강선제의 Ion probe를 주실 ②~⑥의 위치(Fig.3의 (a)참조)에 설치하였다.

화염발광량신호는 주·부실내 光幅 1.0mm 만의 국소적인 발광을 잡기위해 주실의 Ion probe

대향면위치(②~⑥)와 부실 ①의 위치에 설치된 Phototransistor(FPT 100)로 측정하였으며, Phototransistor의 최대감도파장은 0.8 μ m 부근이다(Fig. 3의 (c)참조).

2.2 실험방법

실험방법 및 순서는 다음과 같다. 먼저 연소실내를 진공상태로 만든 후, 주실측의 연락공 하단을 증상급기용 로드로 막은 상태에서 혼합기 제조장치에 의해 만들어진 예혼합기를 주·부실내로 압력조정기를 통하여 1.5kg/cm²(실온)의 초기압 상태로 각각 충전한다. 3분 후, 연소실내 혼합기의 유동이 정지되고 증상급기용 로드를 주실하단의 어댑터안으로 이동시키고 나면, 컴퓨터로부터 트리거신호가 발생되어 점화가 이루어지게 된다.

Table 1은 주·부실내에 공급되는 혼합기의 당량비를 나타낸 것으로, 주·부실내 혼합기의 총 공급당량비 $\phi_t = 0.5 \sim 1.0$, 부실내 혼합기의 공급당량비 $\phi_s = 0.9 \sim 1.3$ 으로 했으며, 주실내 혼합기의 공급당량비 ϕ_m 은 ϕ_t 와 ϕ_s 가 결정되면 다음(식 1)에 의해 구해진다.

Table 1 Matrix of equivalence ratio

ϕ_t	ϕ_s	ϕ_m	ϕ_t	ϕ_s	ϕ_m
1.0	0.9	1.01	0.7	0.9	0.67
	1.0	1.00		1.0	0.66
	1.1	0.98		1.1	0.64
	1.2	0.97		1.2	0.63
	1.3	0.96		1.3	0.62
0.9	0.9	0.90	0.6	0.9	0.56
	1.0	0.88		1.0	0.54
	1.1	0.87		1.1	0.53
	1.2	0.86		1.2	0.52
	1.3	0.84		1.3	0.51
0.8	0.9	0.78	0.5	0.9	0.44
	1.0	0.77		1.0	0.43
	1.1	0.76		1.1	0.42
	1.2	0.74		1.2	0.40
	1.3	0.73		1.3	0.39

$$\phi_m = \frac{V_s + V_m}{V_m} \left(\phi_t - \frac{V_s}{V_s + V_m} \phi_s \right) \quad (\text{식 1})$$

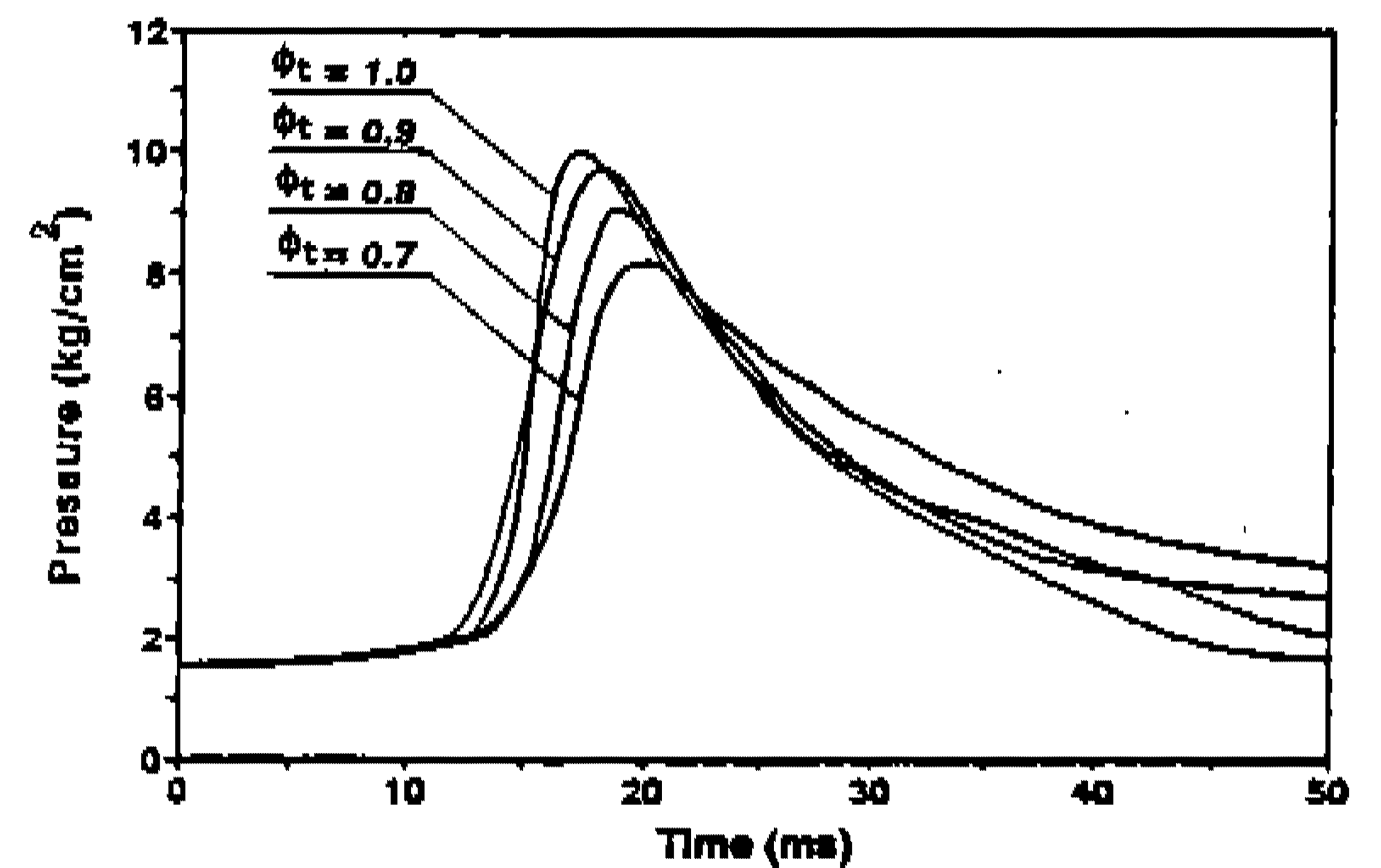
여기서 V_s 는 부실체적(28.3cc), V_m 은 주실체적(201cc)이다.

3. 실험결과 및 고찰

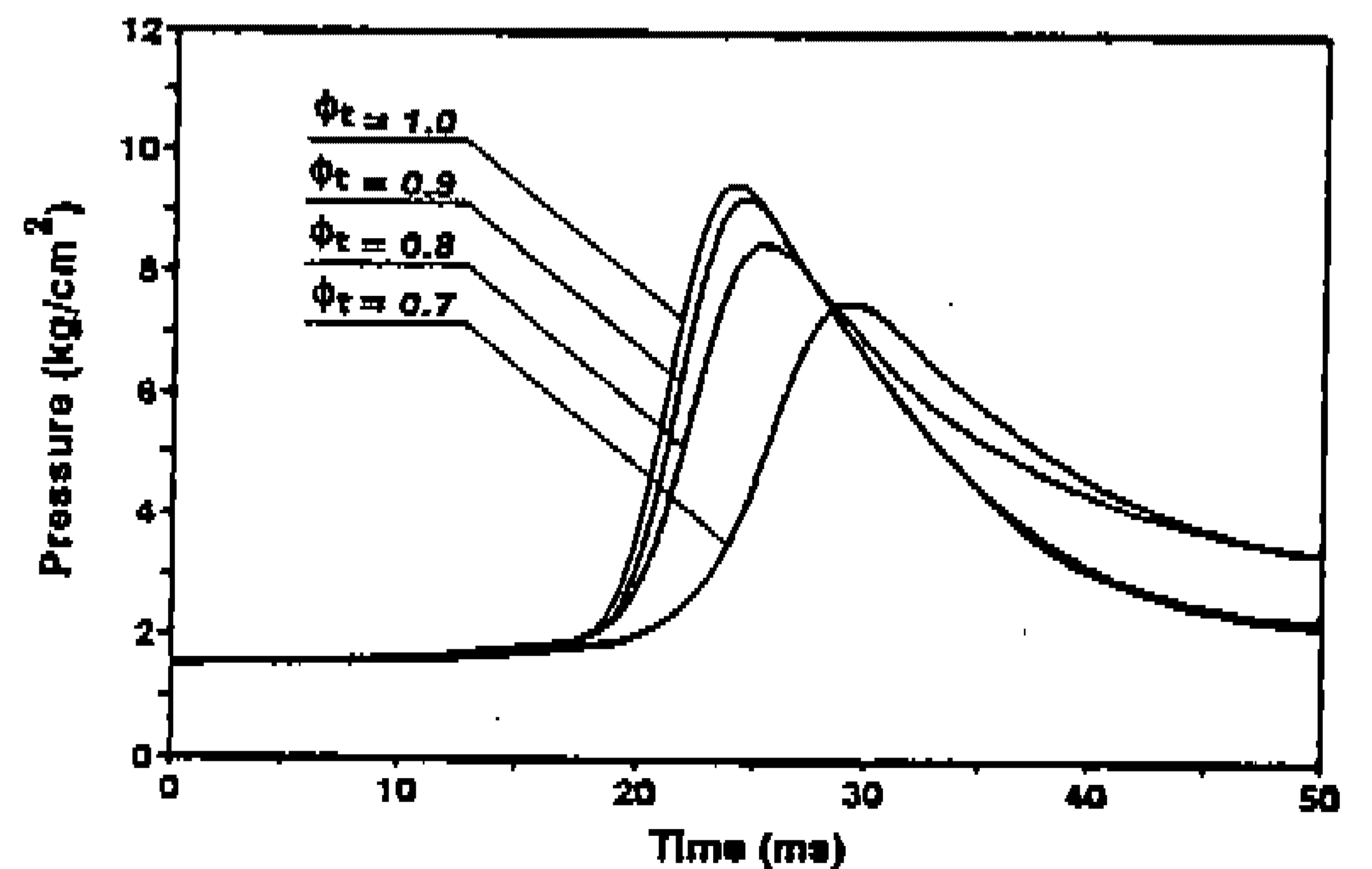
본 실험은 어느정도의 편차를 수반하기 때문에 동일조건에서 10회 이상 실험을 행하고 그 평균치를 측정하였으며, 실험결과를 고찰함에 있어 사용된 열발생을 계산과 연소압력 특성시간은 참고문헌 [8]과 [9]에 상세히 기술하였기 때문에 생략하기로 한다.

3.1 주·부실내 공급당량비에 따른 영향

Fig.4는 연소압력 및 연소시간에 경계가 되는



(a) $\phi_s = 1.0$



(b) $\phi_s = 1.3$

Fig.4 Pressure-time traces of stratified charge ($\phi_s = 1.0, 1.3, \phi_t = 0.7 \sim 1.0, d = 5.5\text{mm}$)

입계직경⁹⁾ ($d=5.5\text{mm}$)의 경우 ϕ_t 의 변화에 따른 주실내 압력선도를 나타낸 것으로, 부실내 공급 당량비가 이론혼합기($\phi_s=1.0$)인 경우와 과농혼합기($\phi_s=1.3$)인 경우를 비교한 것이다. $\phi_s=1.0$ 으로 일정할 때 ϕ_t 가 1.0에 가까울 수록 압력상승 개시시기(t_{p1}), 전연소시간(t_{p2})은 단축되고 최고 연소압력(P_{max})은 증가하고 있으나, ϕ_t 가 희박혼합기측으로 갈수록 t_{p1} , t_{p2} 는 길어지고 P_{max} 도 감소하고 있다. 이와같은 경향은 $\phi_s=1.3$ 인 경우에도 비슷하게 나타나지만, $\phi_s=1.0$ 에 비해 전체적으로 t_{p1} , t_{p2} 는 길어지고 P_{max} 도 더 감소하고 있다.

Fig.5는 상기 Fig.4에 있어서 주·부실내의 열

발생율선도를 나타낸 것으로, 열발생율(dQ/dt)의 최대값은 $\phi_s=1.0$ 과 1.3 모두 $\phi_t=1.0$ 에서 나타나고 있으며 ϕ_t 가 희박혼합기측으로 갈수록 열발생율의 최대값은 저하하고 있다. 또한, 동일 ϕ_t 에서 $\phi_s=1.0$ 과 1.3인 경우의 열발생율의 최대값 및 그 발생시기를 비교하여 보면 $\phi_s=1.0$ 일때가 $\phi_s=1.3$ 일때에 비해 열발생율의 최대값이 크고 그 시기도 단축되고 있다. 따라서, 동일 ϕ_t 를 갖는 희박혼합기측에서 총상연소를 행할 경우, 부실내 혼합기는 화염전파속도가 빠른 이론혼합기 부근의 당량비를 택함으로써 t_{p1} 과 t_{p2} 는 단축되고 열발생율도 상대적으로 크게 될 것이다.

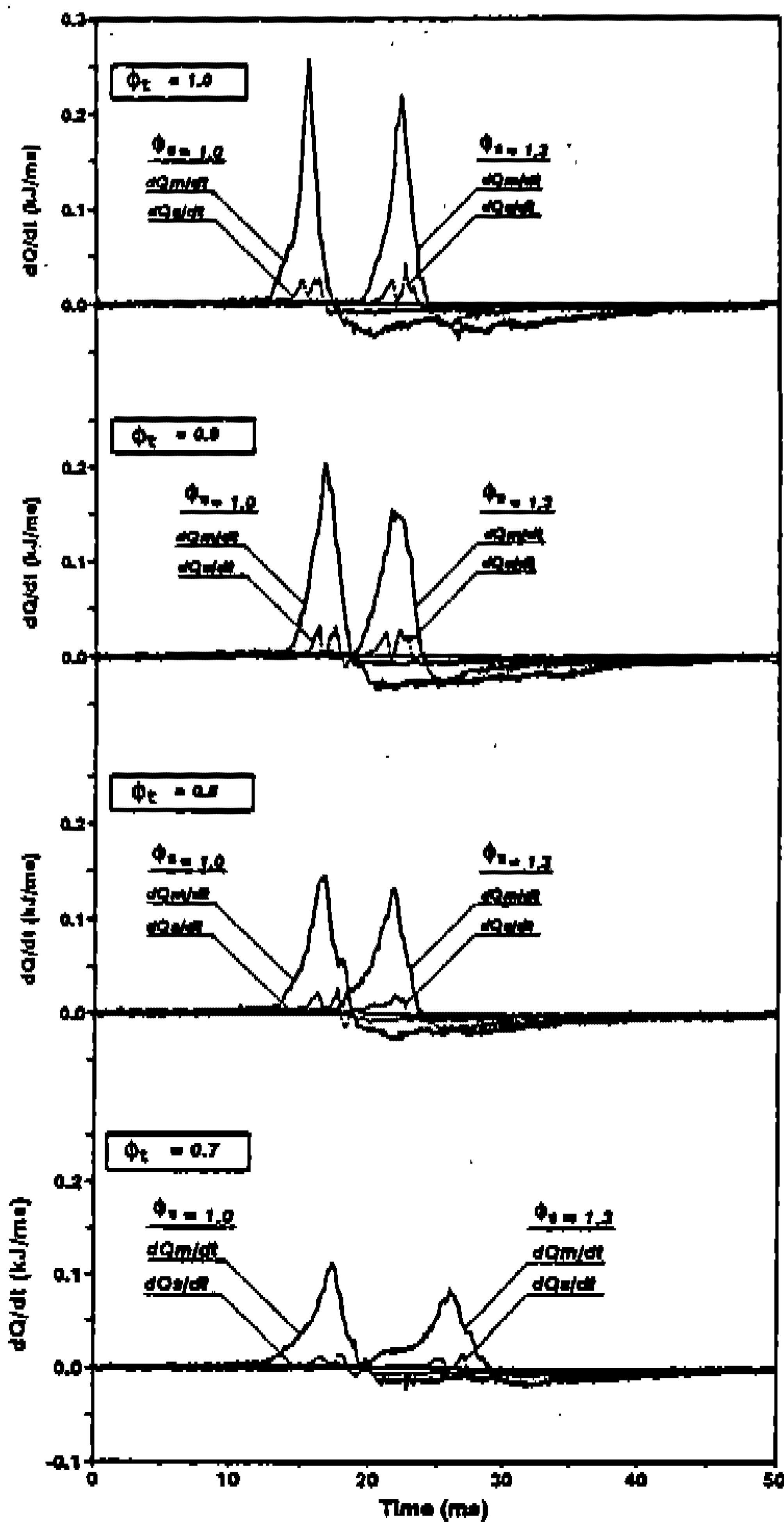
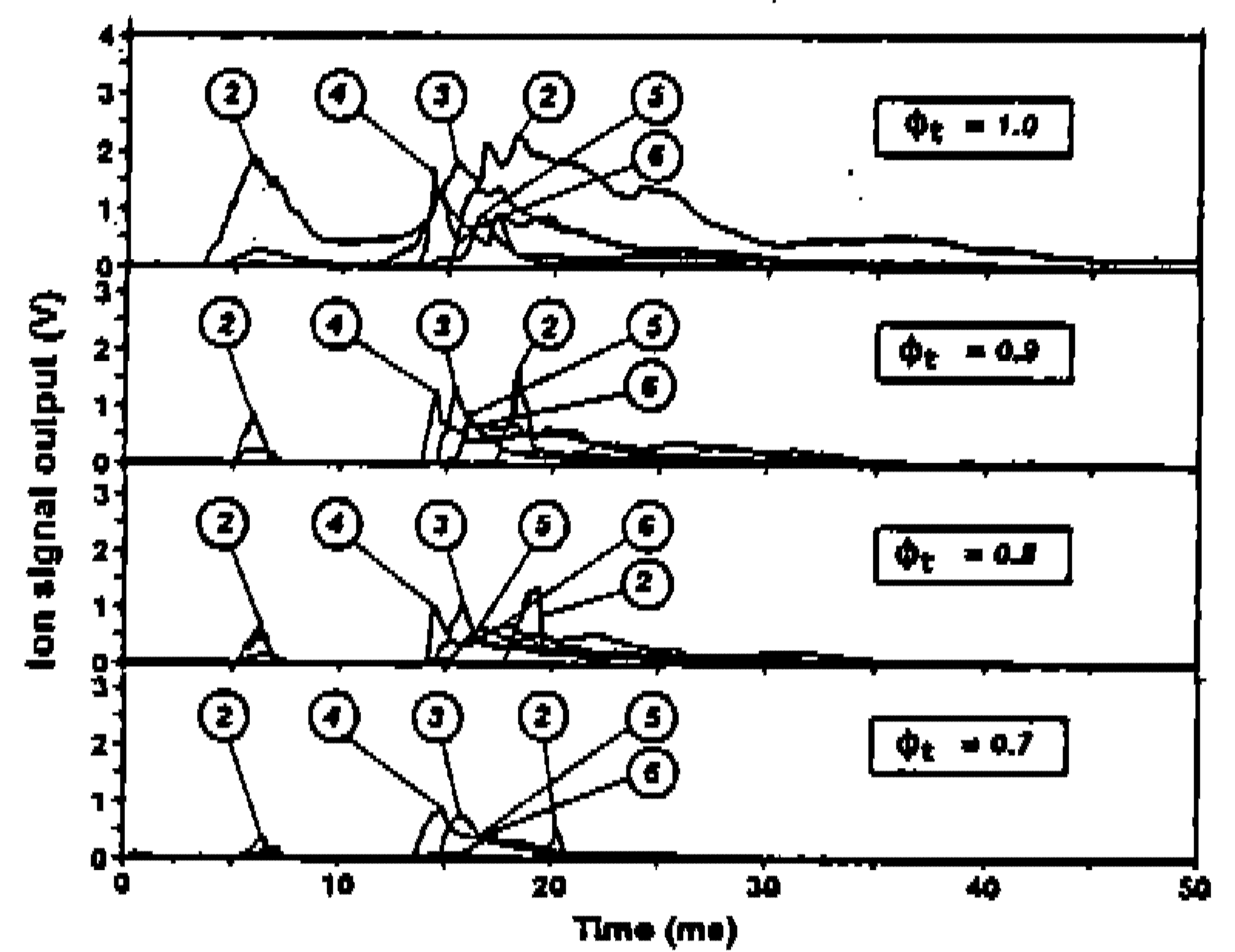
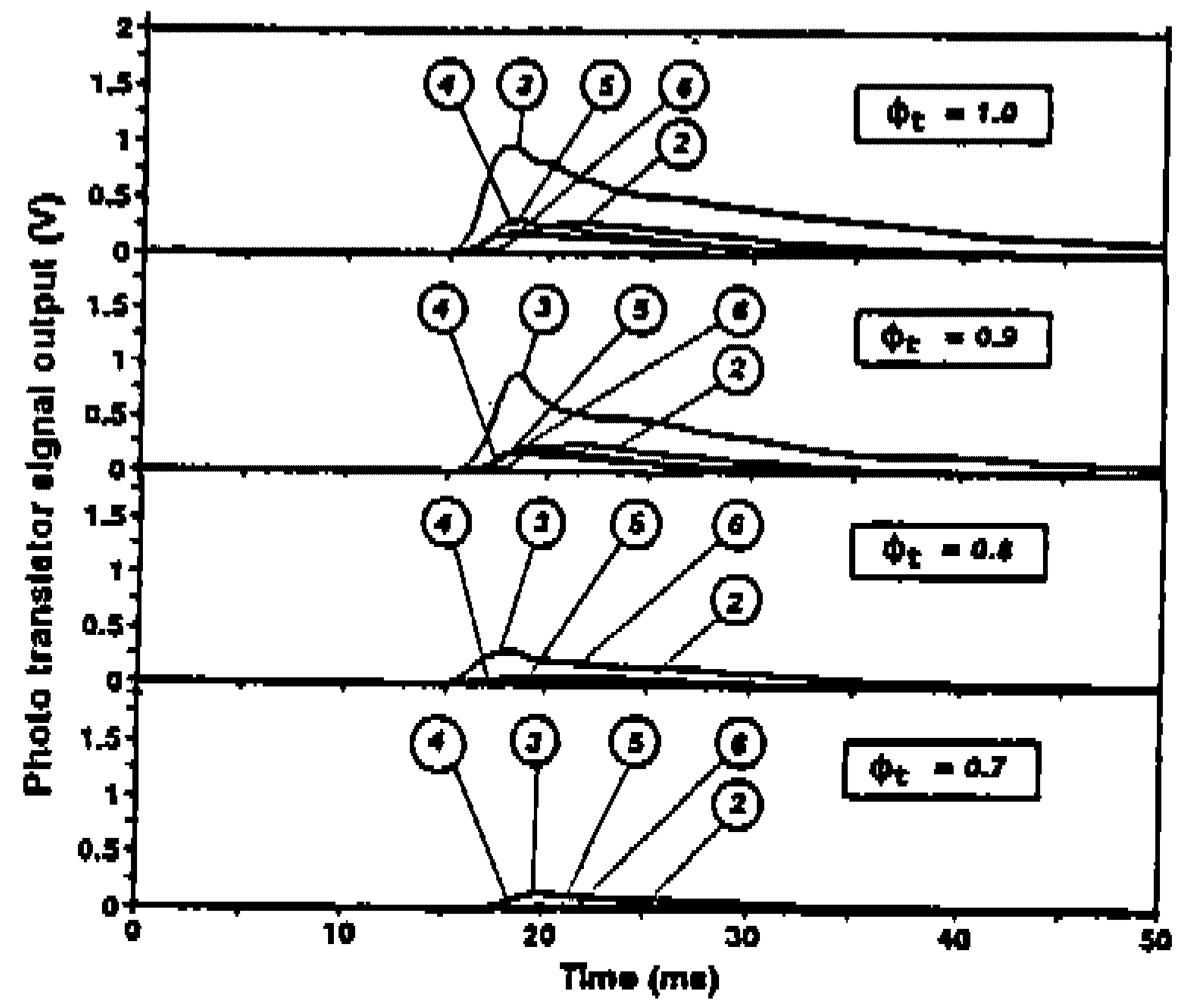


Fig.5 Rate of heat release of stratified charge ($\phi_s=1.0, 1.3, \phi_t=0.7\sim 1.0, d=5.5\text{mm}$)



(a) Ion signal output



(b) Photo signal output

Fig.6 Ion and photo signal output of stratified charge ($\phi_s=1.0, \phi_t=0.7\sim 1.0, d=5.5\text{mm}$)

Fig.6의 (a)와 (b)는 상기의 경우에 있어서 ϕ_i 의 변화에 따른 주실내의 연소상황을 조사하기 위해 이온신호와 화염발광량신호를 각각 나타낸 것으로, $\phi_s=1.0$ 인 경우의 일례이다. 그림 (a)에서 보는바와 같이 연락공 분출구 바로 뒤에 설치된 ②번 위치의 이온신호는 ϕ_i 의 변화에 관계없이 분류의 분출 직후 6ms 부근에서 나타나고 있으며, 이들 신호의 최대치는 $\phi_i=1.0$ 인 경우에 높은 반면 $\phi_i=0.7\sim 0.9$ 인 경우에는 다소 낮게 나타나고 있다. 이는 ϕ_s 가 1.0으로 일정하여 분류화염의 선단이 ②번 위치의 Ion gap probe에 도달하는 시각이 ϕ_i 에 그다지 영향을 받지 않기 때문이다. 또한, 동일 ϕ_s 에서 이온신호의 최대치가 다른 것은 $\phi_i=1.0$ 인 경우의 Ion gap probe의 높이가 연소실 중심까지 위치한 반면, $\phi_i=0.7\sim 0.9$ 인 경우는 총상 급기용 로드의 설치관계로 Ion gap probe의 높이가 연소실 중심으로부터 5mm정도 떨어져 있기 때문이다.

한편, 이후 지연시간을 거친 뒤 주실내 각 측정위치에서의 이온신호는 주실내 혼합기의 착화와 동시에 급격하게 나타나며, ϕ_i 가 1.0에 가까울수록 이온신호의 최대치가 크고 복잡한 형태로 그리고 ϕ_i 가 회박혼합기측으로 갈수록 이온신호의 최대치는 작고 단조로운 형태로 나타나고 있다. 이는 화염전파속도가 빠른 이론혼합기일수록 주실내의 연소가 활발하게 진행되고 있는 반면, 화염전파속도가 느린 회박한 혼합기일수록 주실내의 연소가 덜 활발하게 진행되고 있음을 의미한다. 또한 ϕ_i 의 변화에 관계없이 주실내 각 측정위치에서 최대 이온신호가 발생하는 시기는 분류의 분출 직후 ②번 위치에서 낮은 값으로 나타난 뒤 지연시간을 거친 후 주실후미 벽면근방에서 ④→③→⑤·⑥→②순으로 나타나고 있으며, 최대 이온신호가 발생하는 시기는 ϕ_i 가 회박혼합기측으로 갈수록 점차 지연되고 있다.

그림 (b)는 상기의 Ion gap probe 대향면 위치에 설치한 Photo Tr.의 신호를 나타낸 것으로, 이온신호에서와 같이 주실내 혼합기가 착화한 이후에 화염발광량신호가 발생되고 있으며, 각 측정 위치에서 화염발광량신호의 절대값들은 ϕ_i 가 1.0에 가까울수록 크고 급격한 형태로 그리고 ϕ_i 가

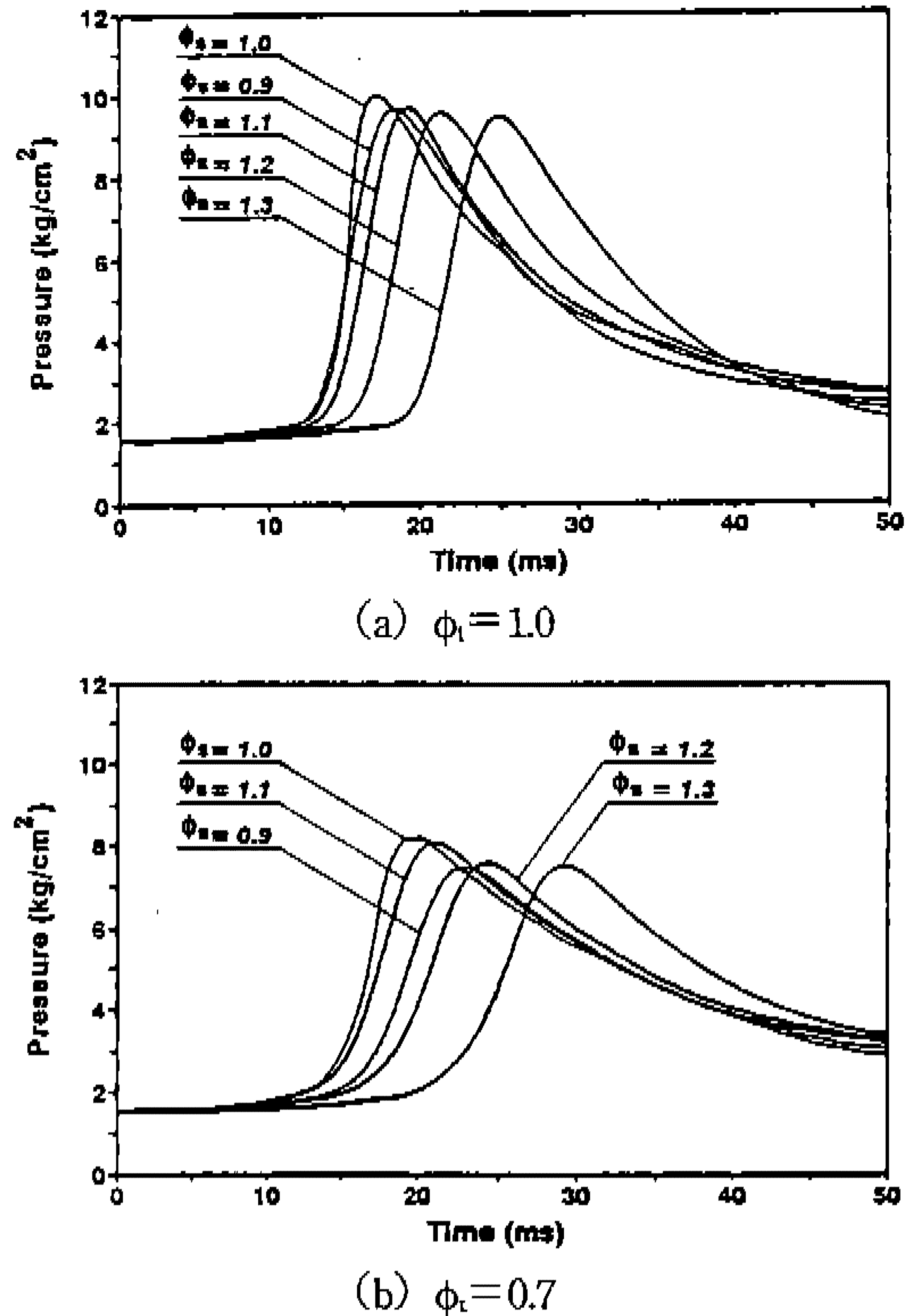


Fig.7 Pressure-time traces of stratified charge ($\phi_s=0.9\sim 1.3$, $\phi_i=0.7, 1.0$, $d=5.5\text{mm}$)

회박혼합기측으로 갈수록 작고 완만한 형태로 나타나고 있다. 또한, 화염발광량신호가 발생하는 시기는 상기의 이온신호와 달리 분류의 분출 직후 아무런 변화가 없이 주실내 혼합기의 착화와 동시에 주실후미 벽면근방에서 ④→③→⑤·⑥→②순으로 나타나고 있으며, 최초의 화염발광량신호가 발생하는 시기는 ϕ_i 가 이론혼합기에서 회박혼합기측으로 갈수록 점차 지연되고 있다.

Fig.7은 임계직경의 경우 ϕ_s 의 변화에 따른 주실내 압력선도를 나타낸 것으로, 주·부실내 혼합기의 총공급 당량비가 이론혼합기($\phi_i=1.0$)인 경우와 과박혼합기($\phi_i=0.7$)인 경우를 비교한 것이다.

그림 (a)로부터 보는 바와 같이, 주·부실내 혼합기의 총공급 당량비가 $\phi_i=1.0$ 으로 동일하다 할지라도 ϕ_s 의 변화에 따라 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 는 약간 영향을 받고 있다. 즉, 화염전파속도가 빠른 $\phi_s=1.0$ 에서 t_{p1} 과 t_{p2} 가 가장 짧고 P_{max} 가 높은 반면,

ϕ_s 가 농후한 혼합기측으로 갈수록 t_{p1} 과 t_{p2} 는 길어지고 P_{max} 도 저하하고 있다. 이는 화염전파속도와 열발생율의 차이에 기인한 것으로, 비록 $\phi_t = 1.0$ 으로 동일하다 할지라도 ϕ_s 에 따라 주실내의 화염전파속도와 열발생율이 변하기 때문이다.

또한, $\phi_t = 0.7$ 인 경우의 주실내 압력선도도 그림 (a)와 비슷한 추이를 보이고 있으나, $\phi_t = 1.0$ 인 경우에 비해 t_{p1} , t_{p2} 는 더 지연되고 있으며, P_{max} 는 다소 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 $\phi_t = 0.7$ 과 1.0 모두 부실내에 동일한 혼합기 $\phi_s = 0.9 \sim 1.3$ 를 공급하더라도 $\phi_t = 1.0$ 인 경우는 주실내 혼합기가 $\phi_m = 0.96$ 이상으로 화염전파속도가 빠른 반면, $\phi_t = 0.7$ 인 경우는 주실내 혼합기가 $\phi_m = 0.67$ 이

하로 화염전파속도가 느리기 때문이다.

Fig.8은 상기 Fig.7의 경우에 있어서 주·부실내의 열발생율 선도를 비교해서 나타낸 것으로, 전 ϕ_s 에 대해 $\phi_t = 1.0$ 인 경우의 열발생율의 절대값이 $\phi_t = 0.7$ 인 경우에 비해 훨씬 높게 나타나고 있다. 또한, $\phi_t = 1.0$ 인 경우에 열발생율의 최대값은 $\phi_s = 1.0$ 에서 나타나고 있으며, 주·부실내에 공급되는 혼합기의 당량비 차이가 작기 때문에 ϕ_s 의 변화에 따른 열발생율의 최대값에는 큰 차이가 나타나지 않는다. 반면, $\phi_t = 0.7$ 인 경우에 열발생율의 최대값은 $\phi_s = 1.0$ 에서 나타나고 있긴 하지만, 주·부실내에 공급되는 혼합기의 당량비 차이가 크기 때문에 ϕ_s 가 농후한 혼합기측으로 갈수록

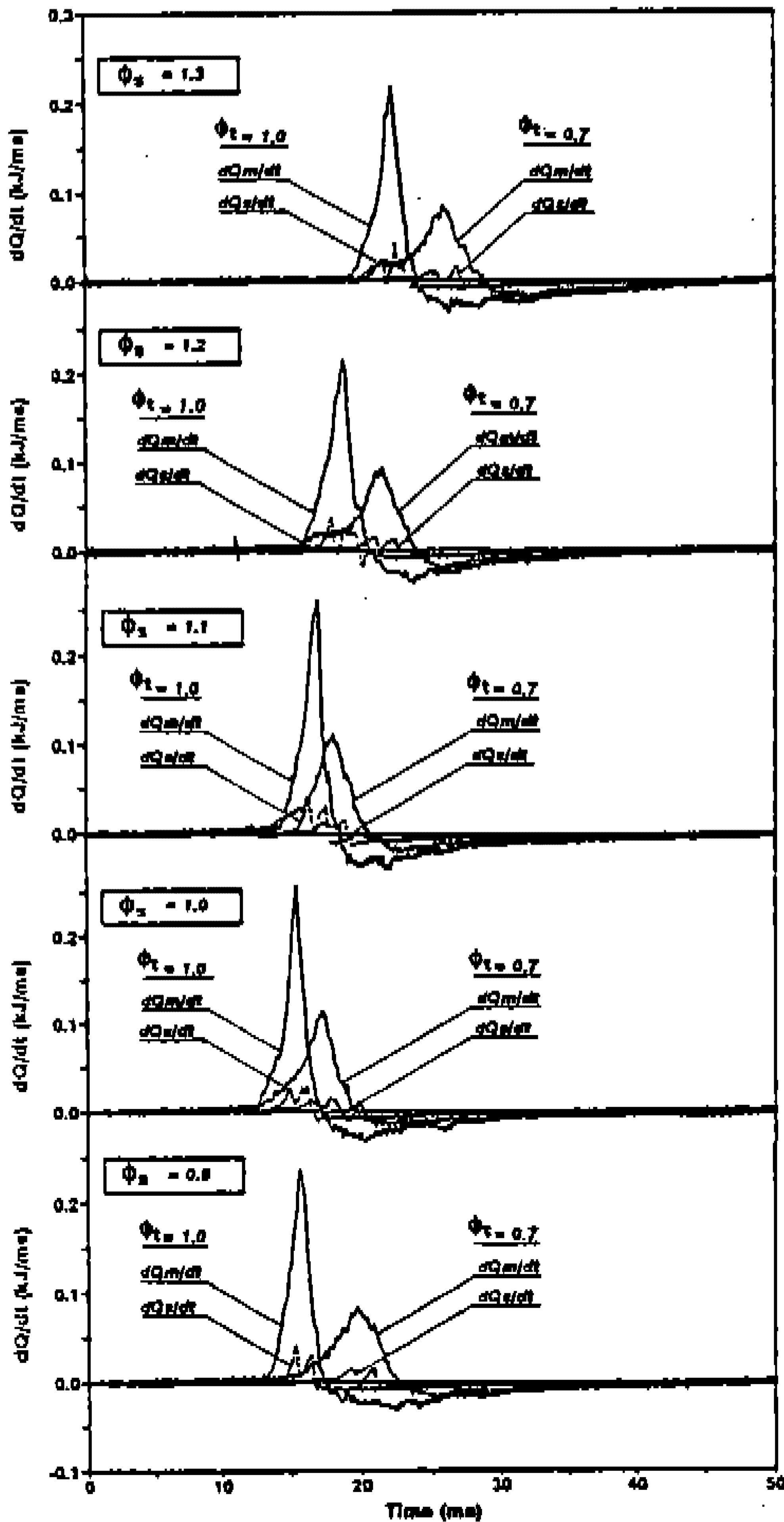
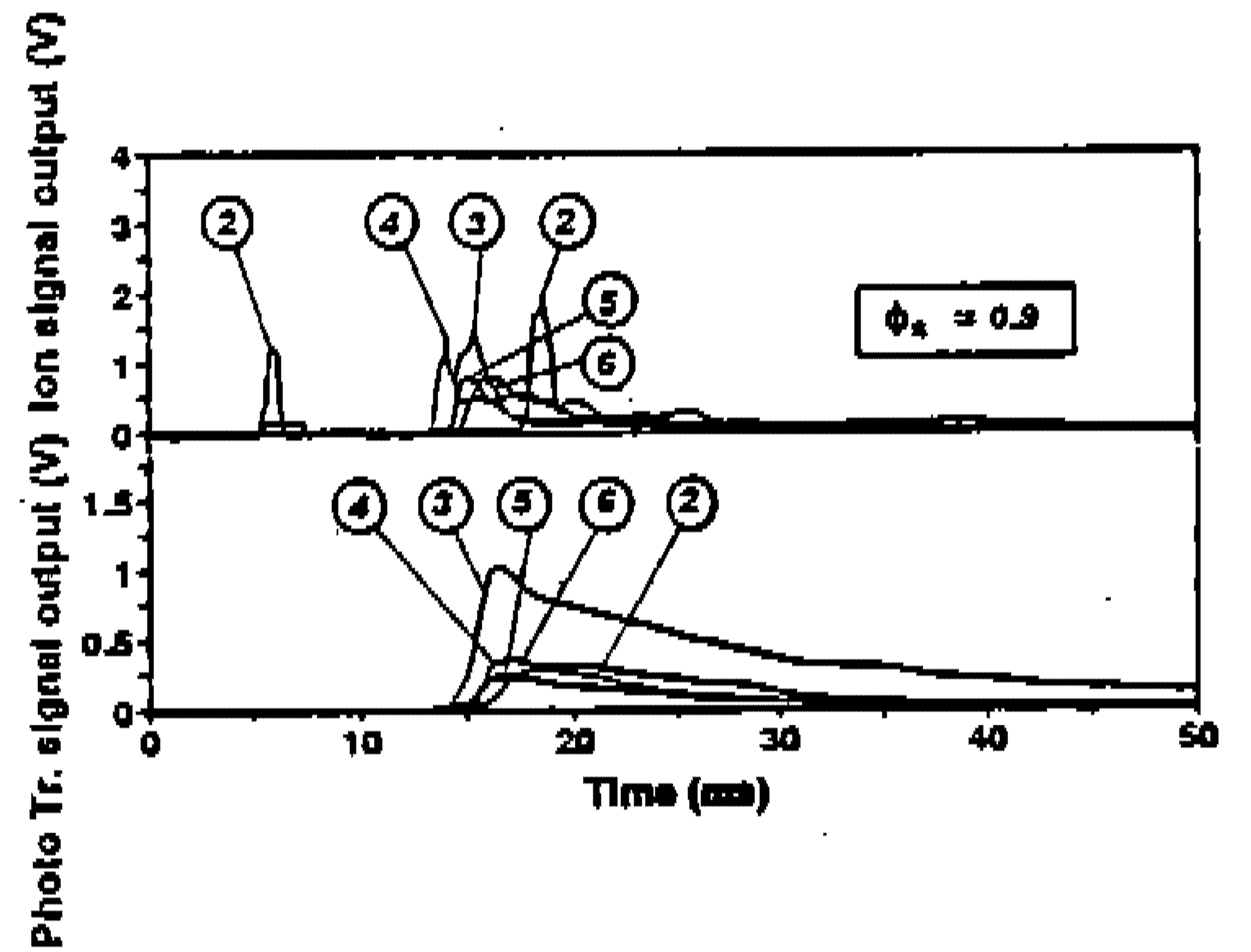
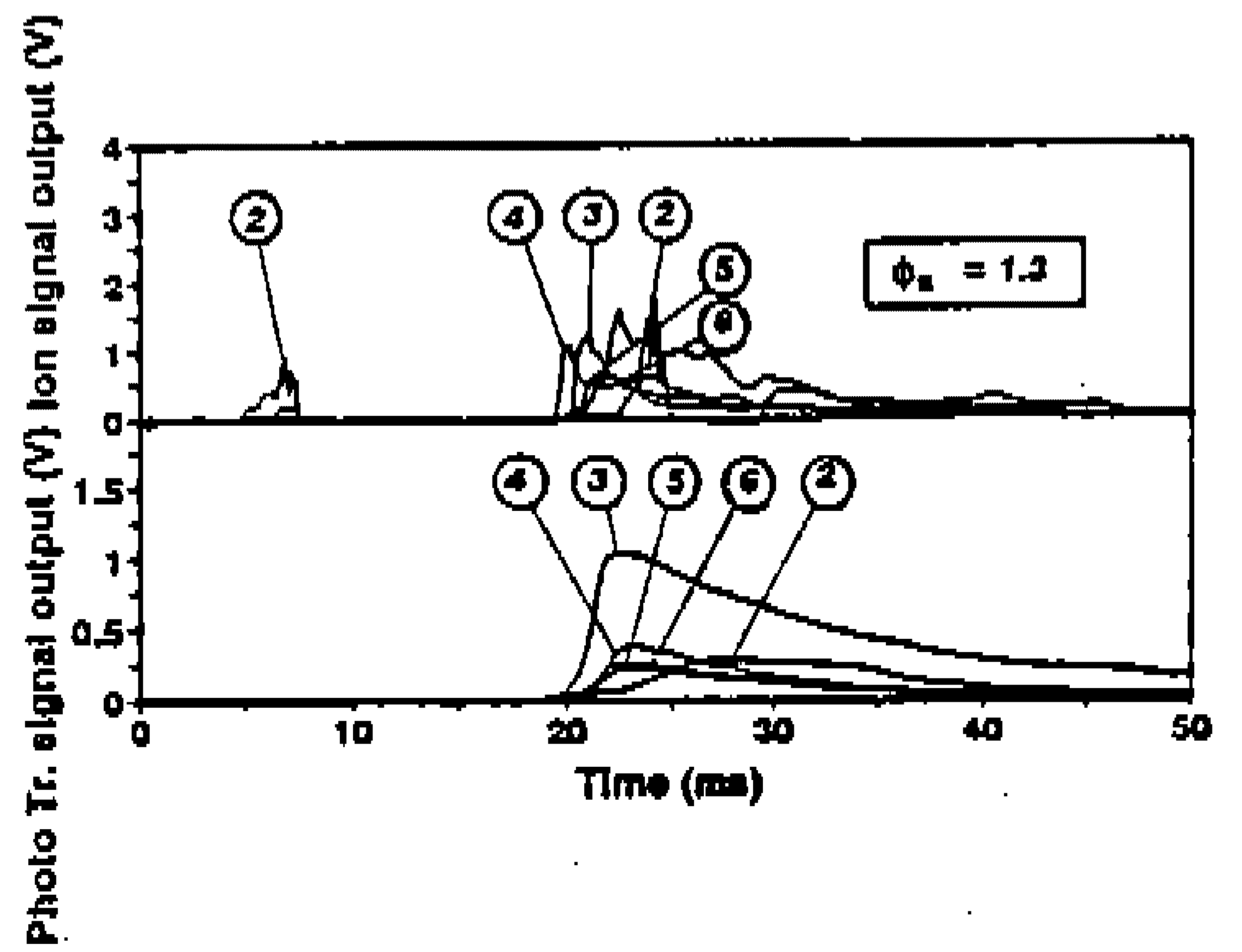


Fig.8 Rate of heat release of stratified charge ($\phi_s = 0.9 \sim 1.3$, $\phi_t = 0.7, 1.0$, $d = 5.5\text{mm}$)



(a) $\phi_s = 0.9$



(b) $\phi_s = 1.3$

Fig.9 Ion and photo signal output of stratified charge ($\phi_s = 0.9, 1.3$, $\phi_t = 1.0$, $d = 5.5\text{mm}$)

열발생율의 최대값은 저하하고 있다.

Fig.9의 (a)와 (b)는 상기의 경우에 있어서 $\phi_t = 1.0$ 으로 일정할 때 ϕ_s 의 변화에 따른 주실내의 연소상황을 조사하기 위해 이온신호와 화염발광량신호를 각각 비교해서 나타낸 것으로, $\phi_s = 0.9$ 와 1.3인 경우의 일례이다. 그림에서 보는바와 같이 주실내 각 측정위치에서의 이온신호의 최대값들은 $\phi_s = 0.9$ 와 1.3 모두 주실내 혼합기의 착화 이후, 주실후미 벽면근방에서 ④→③→⑤·⑥→②순으로 나타나고 있으며, 최초의 착화신호가 발생하는 시기는 비교적 화염전파속도가 빠른 $\phi_s = 0.9$ 의 경우 14ms 근방에서 발생되고 있는 반면, 화염전파속도가 느린 $\phi_s = 1.3$ 의 경우 분류가 분출되고 긴 지연시간이 지난 뒤 19ms 근방에서 발생되고 있다. 그러나 상술한 바와 같이 주·부실내의 혼합기가 큰 차이가 나지 않으므로 $\phi_s = 0.9$ 와 1.3의 최대 이온신호의 절대값에는 큰 차이가 없다.

또한, 이때의 화염발광량신호도 이온신호와 같이 주실내 혼합기의 착화 이후에 나타나고 있으며, 최초의 화염발광량신호가 나타나는 시기는 $\phi_s = 0.9$ 의 경우가 빠른 반면 $\phi_s = 1.3$ 의 경우에는 지연되고 있다.

Fig.10은 입계직경의 경우에 주·부실내 혼합

기의 총공급 당량비 ϕ_t 를 변수로 취해 부실내 혼합기의 공급당량비 ϕ_s 에 대해 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 를 각각 비교해서 나타낸 것이다. 먼저, 그림으로부터 볼 수 있듯이 t_{p1} 은 전 ϕ_s 에 대해 $\phi_t = 1.0$ 에서 가장 짧은 반면 과농혼합기인 $\phi_t = 0.7$ 에서 가장 길게 나타나고 있으며, 동일 ϕ_t 에서는 $\phi_s = 1.0$ 부근에서 가장 단축되고 과농혼합기인 $\phi_s = 1.3$ 에서 가장 길게 나타나고 있다. 이는 부실내 혼합기의 화염전파속도가 빠른 $\phi_s = 1.0 \sim 1.1$ 에서 주실내 혼합기의 착화도 비교적 일찍 일어나기 때문에 ϕ_t 에 관계없이 t_{p1} 이 단축되고 있으나, 부실내 혼합기의 화염전파속도가 느린 $\phi_s = 1.3$ 에서는 주실내 혼합기의 착화시기가 지연되기 때문에 t_{p1} 은 상당히 길어지고 있다. t_{p2} 도 상술한 t_{p1} 에서와 같이 전 ϕ_s 에 대해 $\phi_t = 1.0$ 에서 가장 짧은 반면 $\phi_t = 0.7$ 에서 가장 길게 나타나고 있으며, ϕ_t 의 변화에 따른 t_{p2} 의 단축효과도 크게 나타나고 있다. 또한, 동일 ϕ_t 에서 t_{p2} 는 $\phi_s = 1.0$ 에서 가장 짧고 과농혼합기인 $\phi_s = 1.3$ 에서 가장 길게 나타나고 있다. P_{max} 는 전 ϕ_s 에 대해 $\phi_t = 1.0$ 에서 가장 높은 반면 $\phi_t = 0.7$ 에서 가장 낮게 나타나고 있으며, 동일 ϕ_t 에서 P_{max} 는 $\phi_s = 1.0$ 에서 비교적 높고 이보다 희박하거나 농후한 혼합기측에서 다소 저하하고

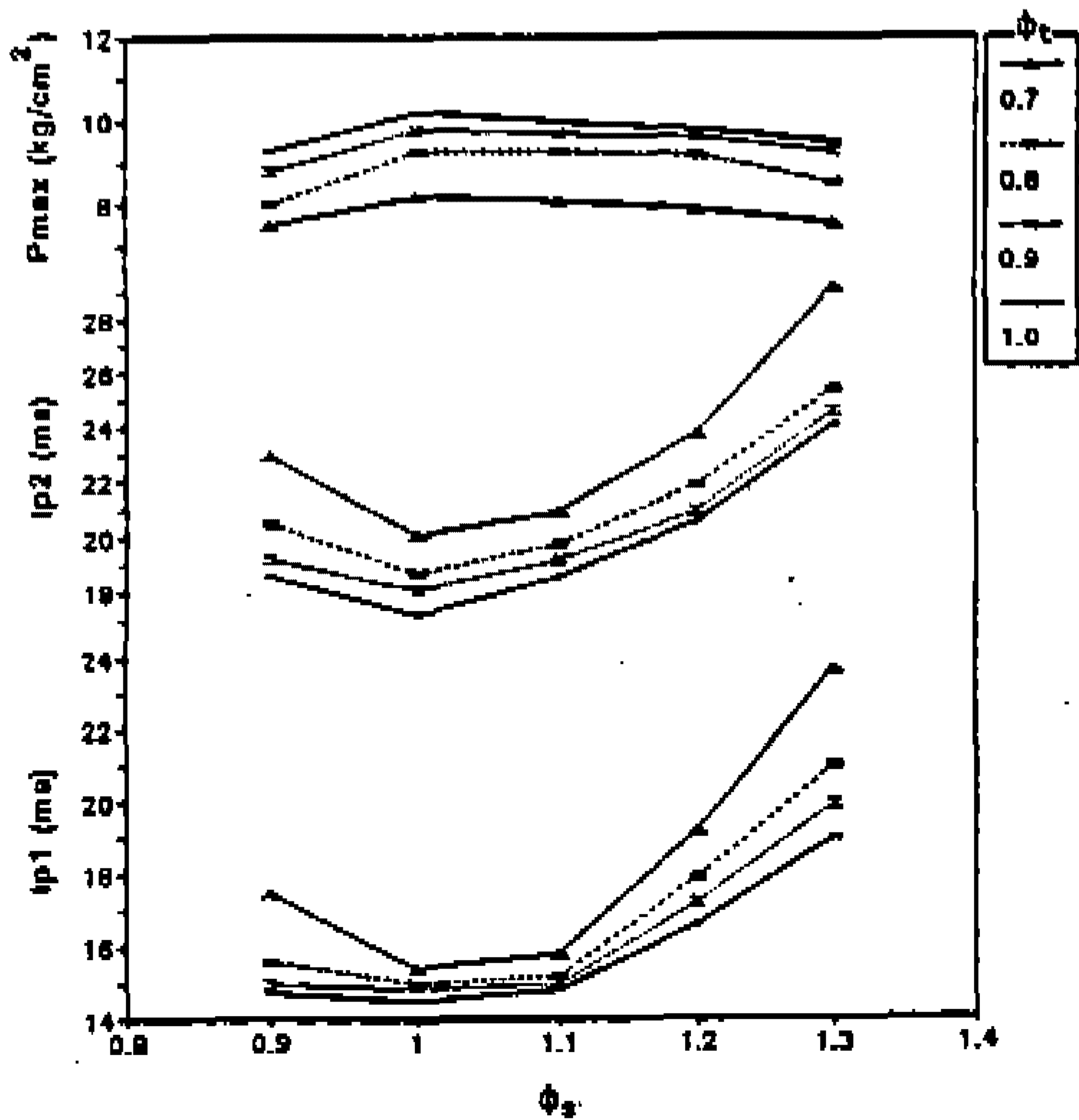


Fig.10 Combustion characteristics of stratified charge ($\phi_s = 0.9 \sim 1.3$, $\phi_t = 0.7 \sim 1.0$, $d = 5.5$ mm)

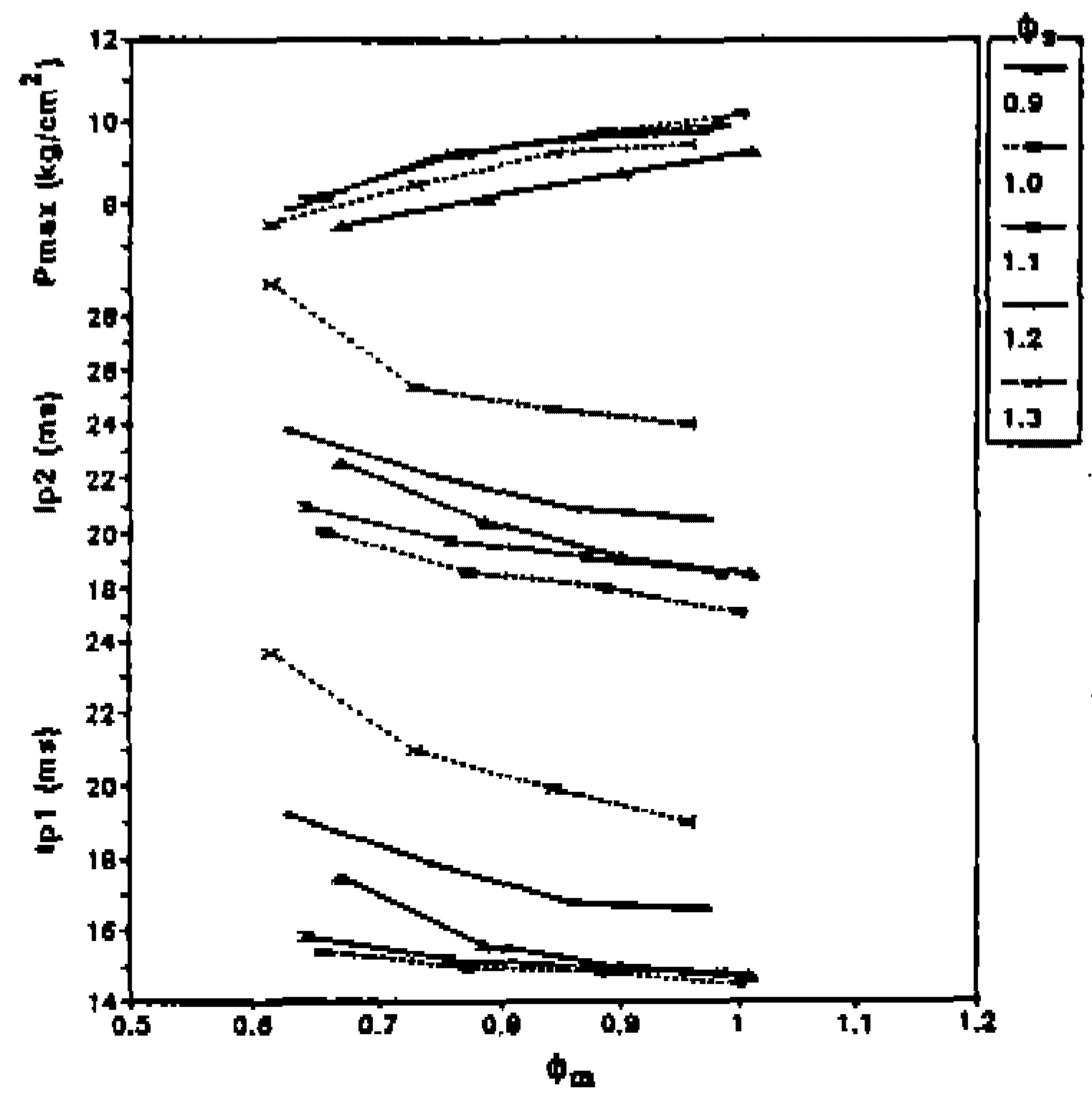


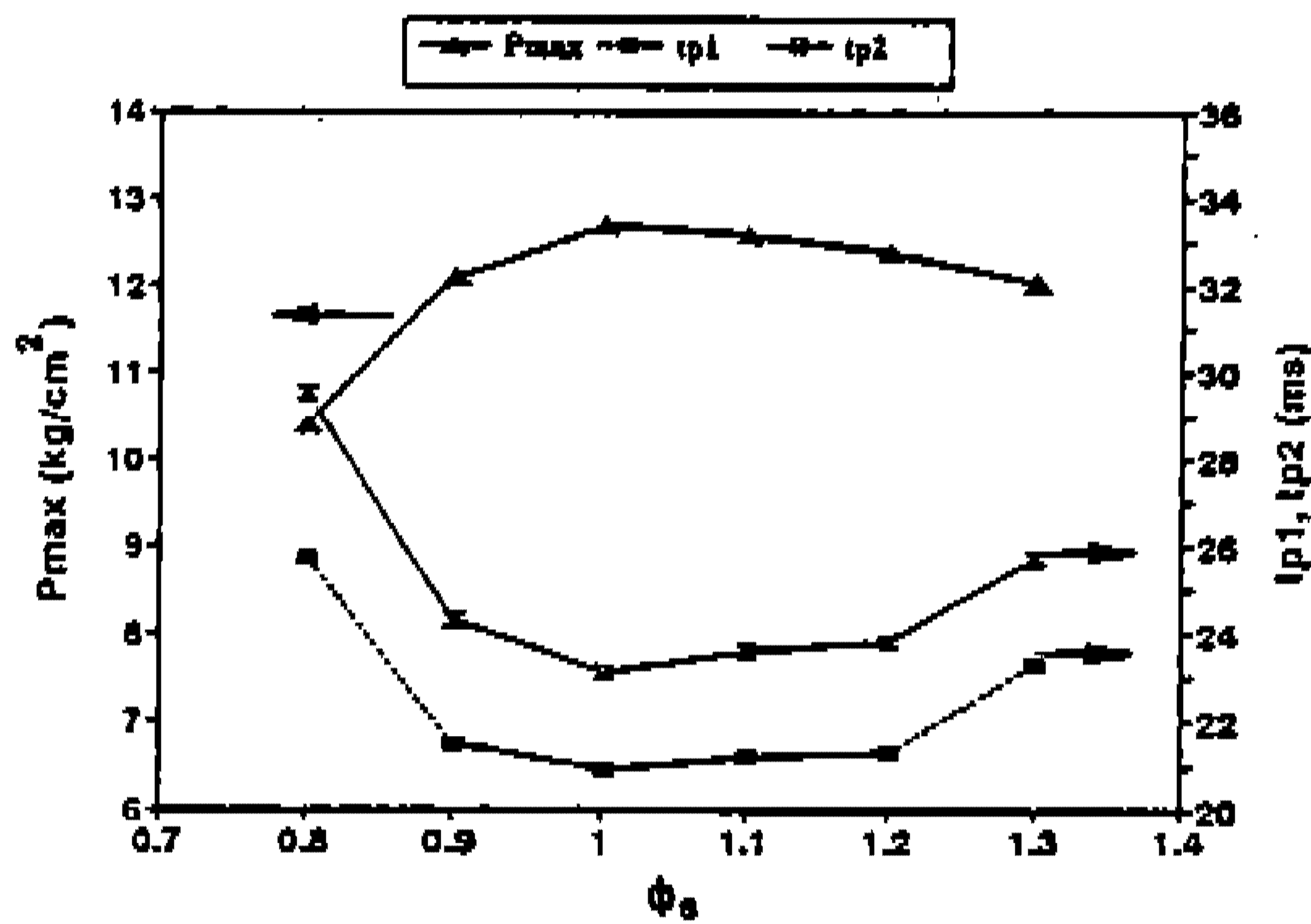
Fig.11 Combustion characteristics of stratified charge ($\phi_s = 0.9 \sim 1.3$, $\phi_m = 0.62 \sim 1.01$, $d = 5.5$ mm)

있으나 그 차이는 적다.

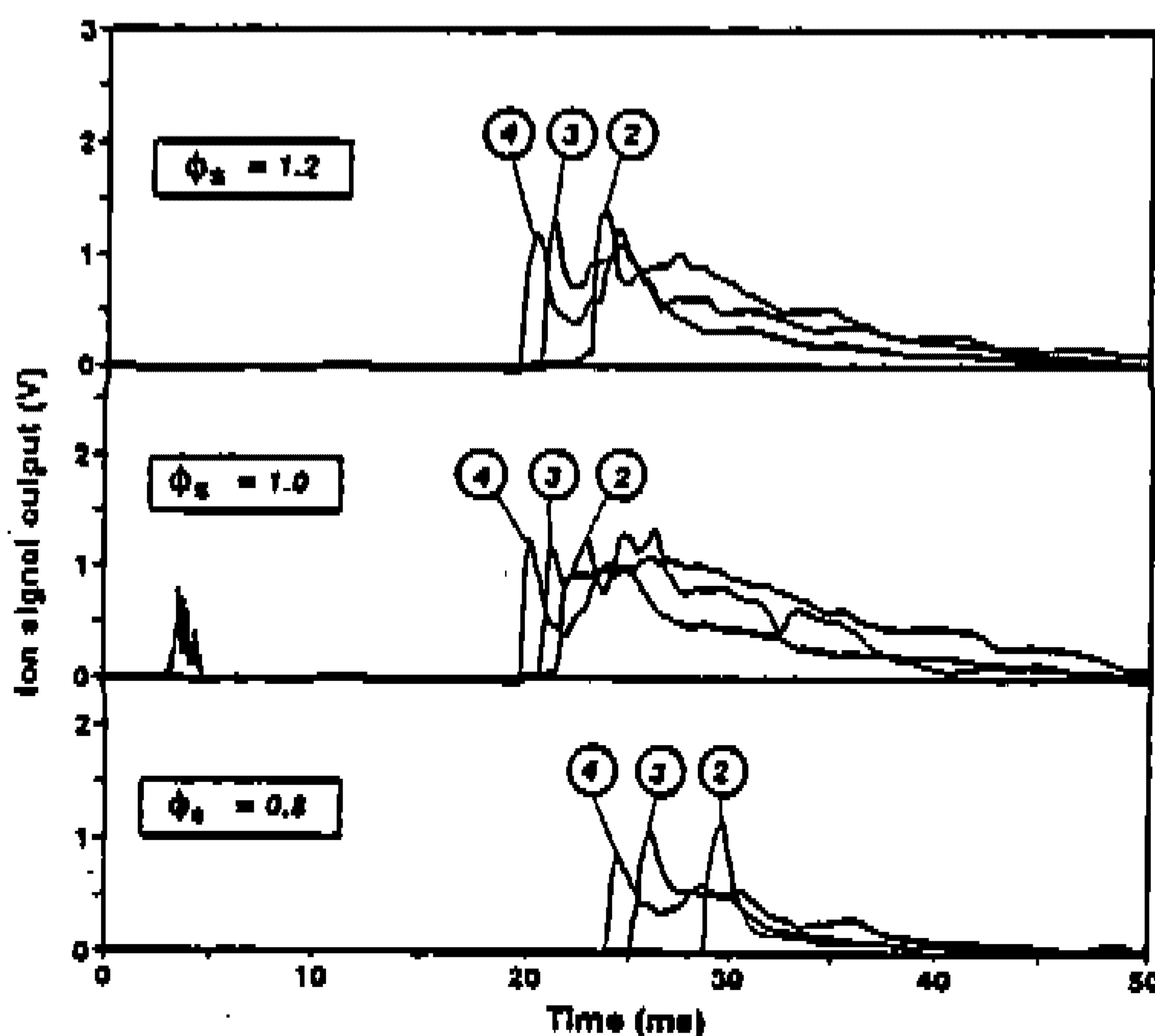
Fig.11은 상기의 경우에 부실내 혼합기의 공급 당량비 ϕ_s 를 변수로 취해 주실내 혼합기의 공급 당량비 ϕ_m 에 대해 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 를 각각 비교해서 나타낸 것이다. 상술한 바와 같이 t_{p1} 및 t_{p2} 는 전 ϕ_m 에 대해 $\phi_s=1.0$ 에 가까울 수록 화염전파속도가 크기 때문에 감소되고 있으며, 동일 ϕ_s 에 대해서는 ϕ_m 이 1.0에 가까울 수록 감소되는 경향을 보이고 있다. 또한, P_{max} 는 전 ϕ_m 에 대해 $\phi_s=1.0$ 에서 높은 반면 $\phi_s=0.9$ 에서 낮게 나타나고 있다.

3.2 회박가연한계 혼합기의 결정

메탄-공기 예혼합기를 층상연소시킬 경우,



(a) t_{p1} , t_{p2} , P_{max}



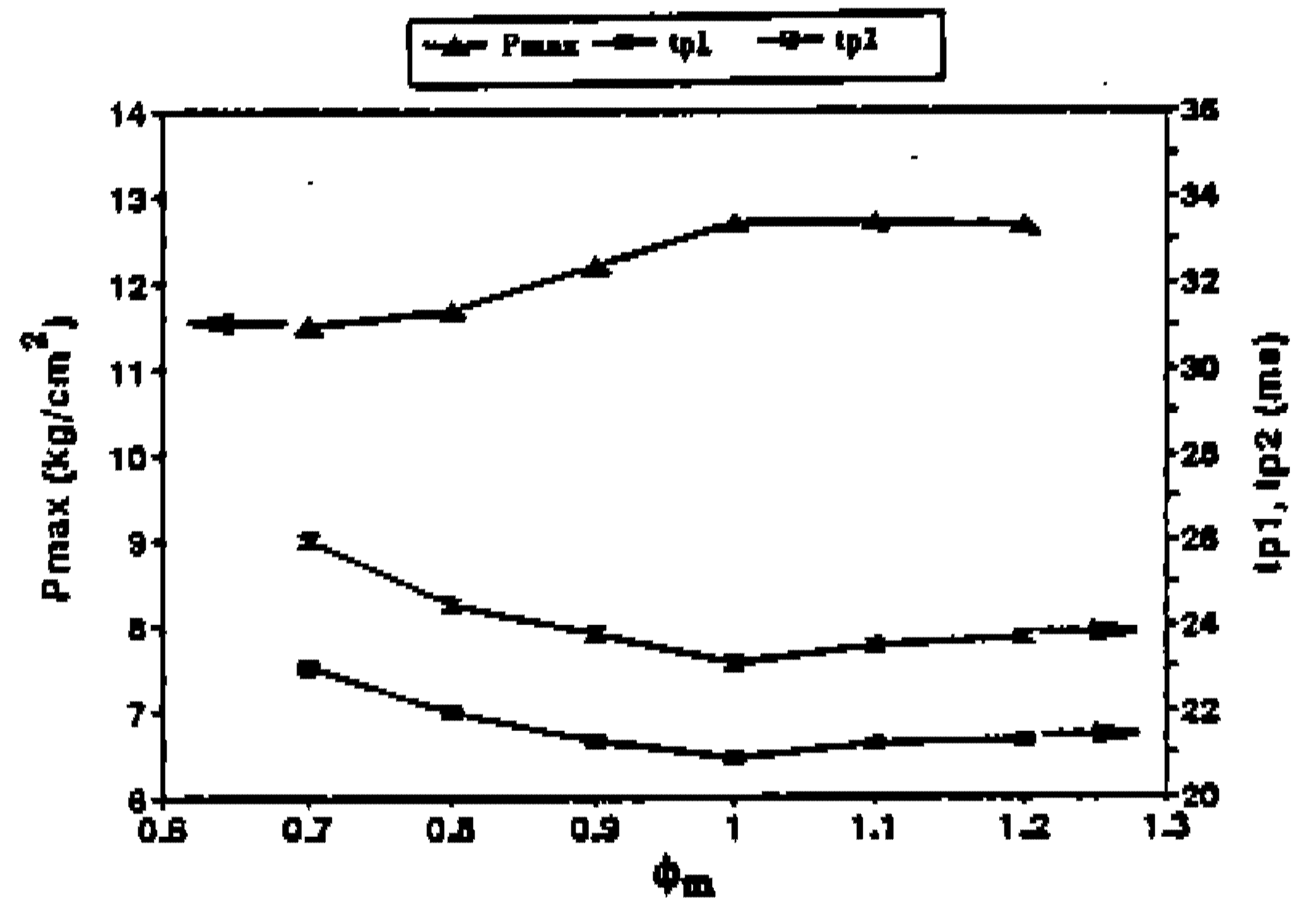
(b) Ion signal output

Fig.12 Combustion characteristics of stratified charge ($\phi_m=1.0$, $\phi_s=0.8\sim 1.3$, $d=4.6\text{mm}$)

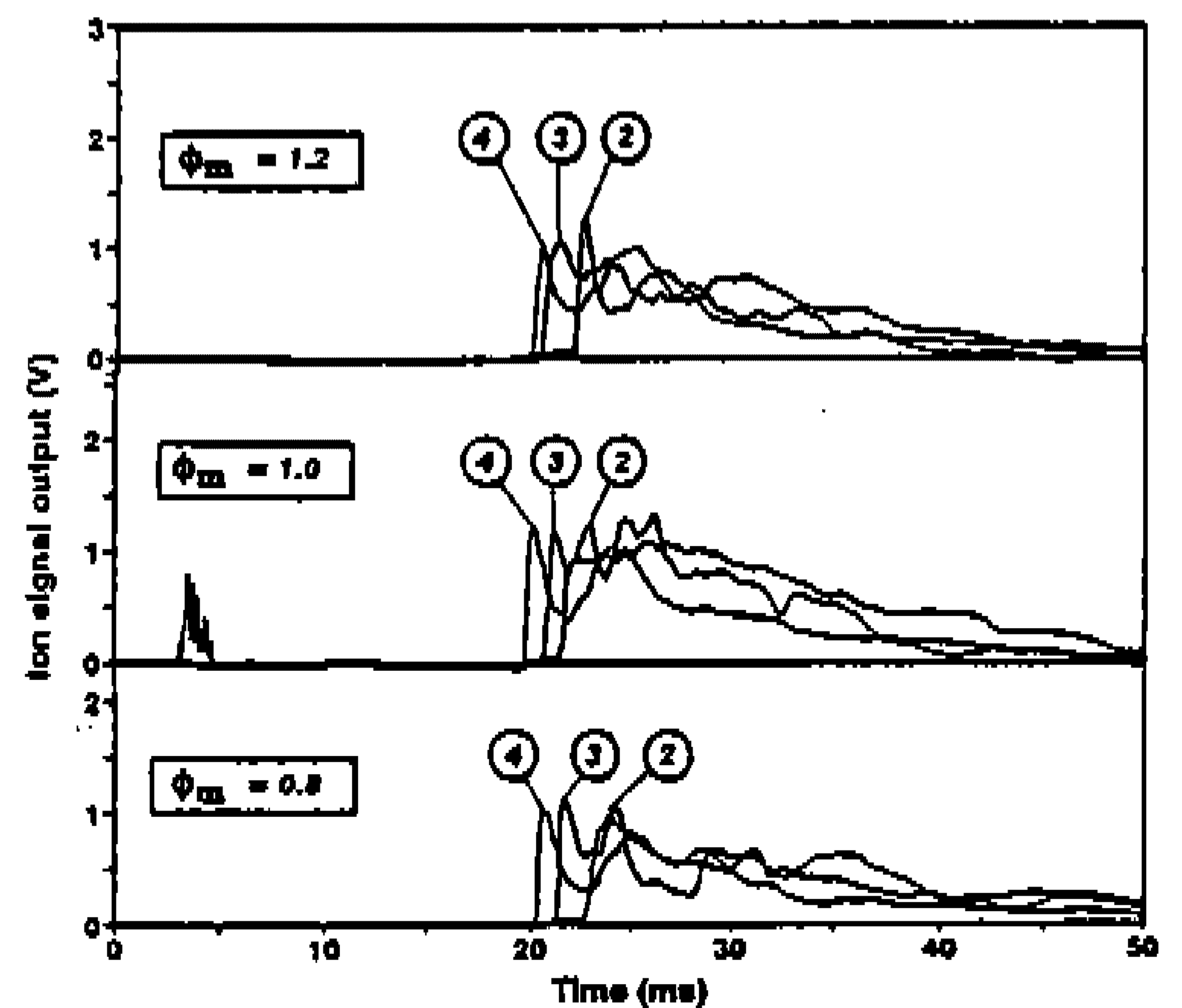
착화특성이 가장 양호한 분류를 얻을 수 있는 부실내 혼합기의 당량비 ϕ_s 를 찾기 위해 소염한계 직경($d=4.6\text{mm}$)에 대해서 $\phi_m=1.0$ 으로 고정하고 ϕ_s 를 변화시킨 경우와 $\phi_s=1.0$ 으로 고정하고 ϕ_m 을 변화시킨 경우의 양자에 대해서 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 그리고 주·부실 중심축상에 설치된 Ion gap probe ②, ③, ④번 위치의 이온신호를 고찰하였다.

Fig.12의 (a)는 $\phi_m=1.0$ 으로 고정하고 $\phi_s=0.8\sim 1.3$ 로 변화시킨 경우의 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 를 나타낸 것이다. 그림으로부터 보는 바와 같이 t_{p1} , t_{p2} 는 $\phi_s=1.0$ 부근에서 가장 단축되고, P_{max} 도 $\phi_s=1.0$ 부근에서 가장 높게 나타나고 있다

그림 (b)는 상기의 경우에서 $\phi_s=0.8, 1.0, 1.2$ 일



(a) t_{p1} , t_{p2} , P_{max}



(b) Ion signal output

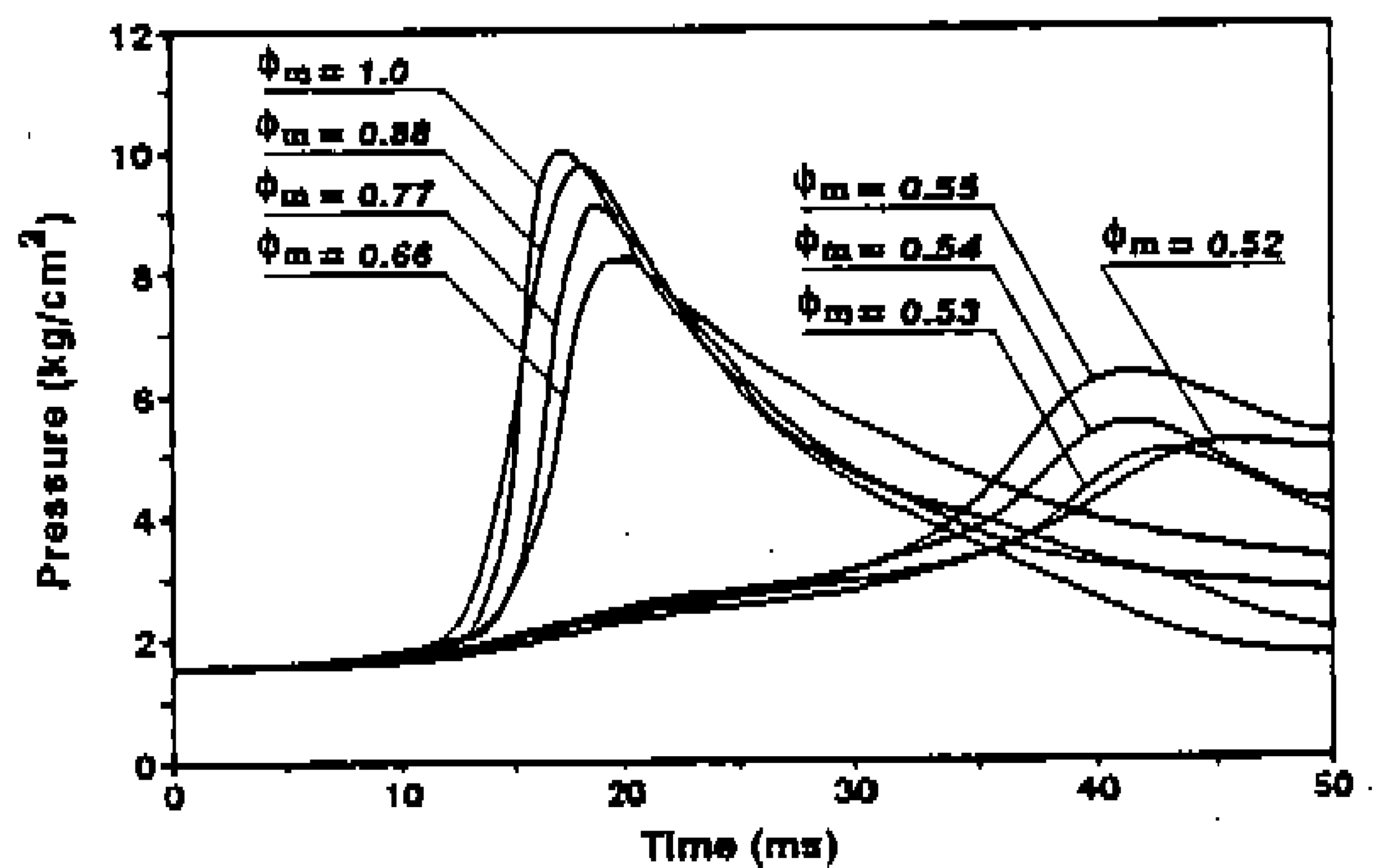
Fig.13 Combustion characteristics of stratified charge ($\phi_s=1.0$, $\phi_m=0.7\sim 1.2$, $d=4.6\text{mm}$)

때 분류 중심축상에 설치된 Ion gap probe ②, ③, ④번의 이온신호를 나타낸 것으로, 주실내 혼합기의 최초 착화시기를 의미하는 ④번 그리고 ③, ②번 위치의 이온신호의 최대값은 $\phi_s=0.8$ 일 때 약간 낮고 늦게 발생된 반면, $\phi_s=1.0$ 일 때 다소 높고 그 발생시기 또한 빠르게 나타나고 있다. 따라서, 상기의 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 와 이온신호의 측정결과를 종합하여 고려해 볼 때, t_{p1} , t_{p2} 가 짧고 P_{max} 가 높으며, 주실내 혼합기의 착화시기가 빠른 $\phi_s=1.0$ 의 혼합기가 착화특성이 양호한 것으로 사료된다. 한편, $\phi_s=0.8, 1.2$ 인 경우 $\phi_s=1.0$ 인 경우와 달리 분류의 분출 직후 ②번 위치의 Ion gap probe에서 아무런 신호가 나타나지 않은 것은 전술한 바와 같이 층상급기용 로드사용에 따른 것이다.

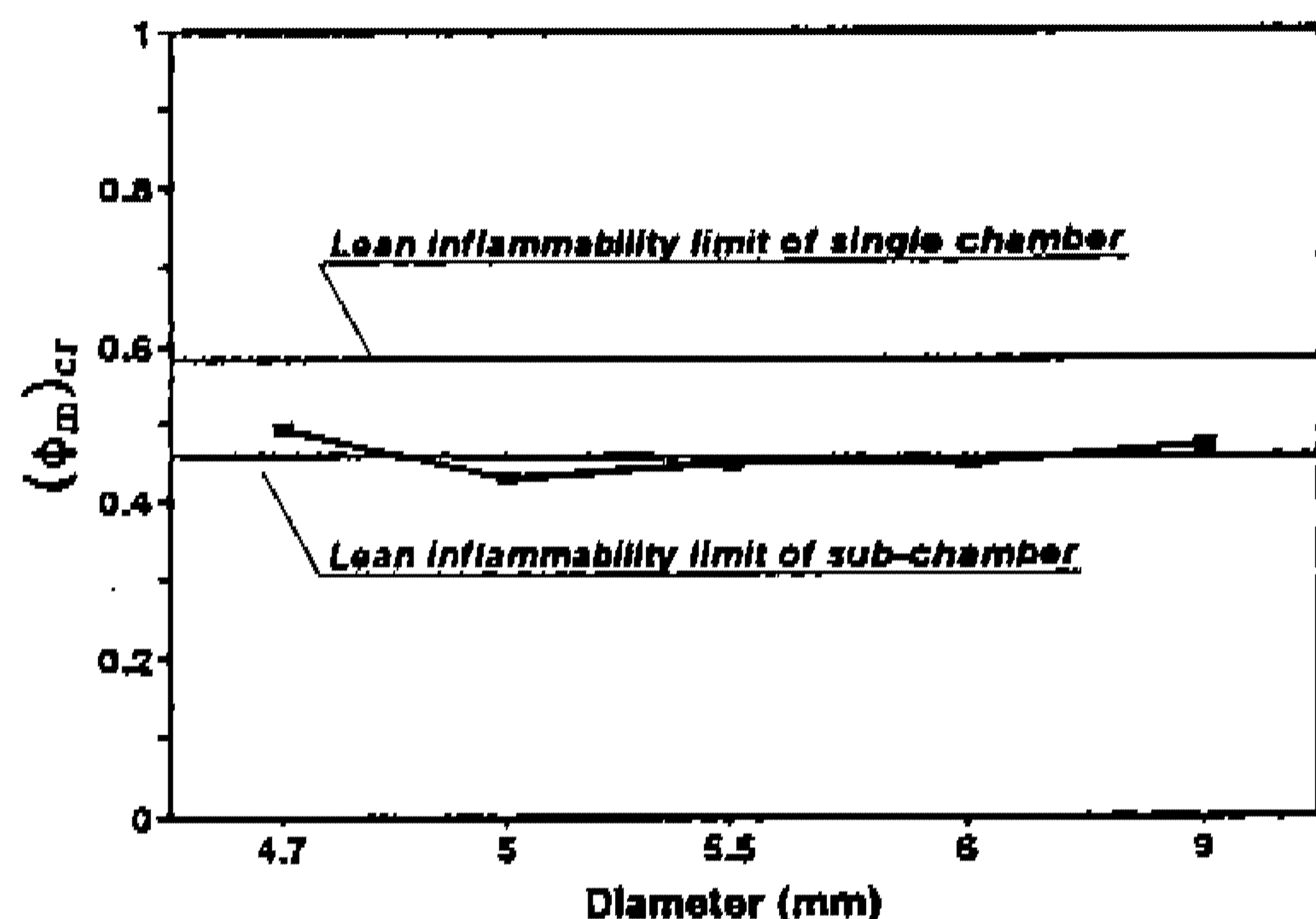
Fig.13의 (a)는 $\phi_s=1.0$ 으로 고정하고 $\phi_m=0.7\sim 1.2$ 로 변화시킨 경우의 t_{p1} , t_{p2} 및 P_{max} 를 나타낸 것이다. 이 경우에 있어서 t_{p1} , t_{p2} 는 $\phi_m=1.0$ 부근에서 가장 단축되나 ϕ_m 을 고정하고 ϕ_s 를 변화시킨 경우에 비해 ϕ_m 의 변화에 따른 t_{p1} , t_{p2} 의 차이는 그리 크지는 않다. P_{max} 또한 ϕ_m 의 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않고 있으며, $\phi_m=1.0\sim 1.1$ 에서 약간 높게 나타나고 있다.

그림 (b)는 상기의 경우에서 $\phi_m=0.8, 1.0, 1.2$ 일 때 Ion gap probe ②, ③, ④번의 이온신호를 나타낸 것으로, ④, ③ 및 ②번 위치의 이온신호의 최대값 및 그 발생시기는 ϕ_m 의 변화에 따라 큰 차이가 없다. 이는 ϕ_m 을 고정하고 ϕ_s 를 변화시킨 경우에 비해 ϕ_s 를 고정하고 ϕ_m 을 변화시킨 경우가 주실내 혼합기의 착화시기에 영향을 덜 미친다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig.14의 (a)는 $\phi_s=1.0$, $d=5.5$ 로 고정하고 주실내 혼합기의 당량비를 변화시켰을 경우의 주실내 압력선도이다. 그 결과, 주실내 혼합기의 당량비가 메탄-공기 혼합기의 회박가연한계 이상인 $\phi_m=0.66\sim 1.0$ 의 범위에서는 부실로부터 분출된 고속분류의 난류 및 교반작용으로 인하여 미연혼합기층으로의 에너지전달이 활발하게 되어 연소가 급격히 진행되는 초분산반응대^{9,10)} (well-dispersed burning zone)와 같은 연소형태를 취하기 때문에 연소압력은 급격히 상승하게 된다.



(a) Pressure-time traces ($d=5.5\text{mm}$)



(b) Lean inflammability limit

Fig.14 Lean inflammability limit of stratified charge ($\phi_s=1.0$)

반면, ϕ_m 이 0.55 이하로 되면 주실내 압력선도는 초분산연소형태가 아닌 회박혼합기 특유의 완만한 곡선을 나타내고 있다. 그러나, 상기의 압력선도에서 메탄-공기 혼합기의 회박가연한계가 $\phi=0.57^{11)}$ 부근인 점을 고려할 때, 부실과 층상급기방식에 의한 연소촉진효과가 있음을 알 수 있다.

또한, 주실내 혼합기의 회박가연한계 $(\phi_m)_{cr}$ 를 나타낸 Fig.14의 (b)에서 보는 바와 같이 $(\phi_m)_{cr}$ 은 연락공 직경에 의해 변하지만 전체적으로 그 값은 0.46 이하이고, 입계직경 근처에서는 0.44까지 주실내 혼합기의 착화가 가능하였다. 이는 각각 $\phi_1=0.53$, $\phi_1=0.5$ ($d=5.5\text{mm}$)에 해당하는 값으로, 따라서 본 층상급기 연소방식에 의해서 단실내 메탄-공기 예혼합기의 회박가연한계 이하의 영역에서도 연소가 가능하였다.

4. 결 론

부실에는 농후한 혼합기를 그리고 주실에는 이론혼합기에서부터 초희박혼합기까지 공급한 총상급기시 부실식 정적연소실내의 연소특성에 대해 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주·부실내 공급당량비 ϕ_m 과 ϕ_s 가 1.0에 가까울 수록 압력상승개시시기 t_{p1} 과 전 연소시간 t_{p2} 는 단축되고, 최고연소압력 P_{max} 도 증가하였다. 그러나, ϕ_m 이 희박혼합기측으로 갈수록 그리고 ϕ_s 가 농후혼합기측으로 갈수록 t_{p1} 과 t_{p2} 는 길어지고 P_{max} 은 저하하였다.
- 2) 주실내 혼합기의 착화는 부실내 혼합기가 $\phi_s=1.0$ 부근일 때 양호하고 주실내 공급당량비 ϕ_m 보다는 부실내 공급당량비 ϕ_s 가 t_{p1} 과 t_{p2} 에 더 크게 영향을 미치며, 동일 ϕ 에서 P_{max} 에 대한 영향은 그리 크지 않았다.
- 3) 연소압력 및 연소시간에 경계가 되는 임계 직경($d=5.5\text{mm}$)의 경우 주실내 혼합기가 $\phi_m=0.55$ 이하로 되면 초분산연소형태가 아닌 희박혼합기 특유의 연소특성이 나타났다.
- 4) 부실식 정적연소실내에 총상혼합기를 공급함으로써 단실내 메탄-공기 예혼합기의 가연한계 이하인 희박혼합기 영역에서도 연소가 가능했으며, 주실내 혼합기의 희박가연한계는 연락공 직경에 의해 변하지만 대략 $(\phi_m)_{cr}=0.46$ 이하로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 吸野眞人, 入江南海雄, “電氣自動車の現代と將來展望”, 自動車技術, 第45卷, 第8號, pp.35~41, 1991.

2. T.S. Suga and Y. Hamazaki, “Development of Honda Flexible Fuel Vehicle”, SAE Paper 922276, 1992.
3. C.E. Wyman et al, “Ethanol : Fundamentals of Production from Renewable Feedstocks and Use of a Transportation Fuel”, App. Biochem. & Biotech., 24/25, pp.735~753, 1990.
4. 浜純, “水素燃料のエンジンへの利用”, 日本機械學會講演會, No.920~48, pp.44~48, 1992.
5. G.J. Waldon and R.G. Allen, “Natural Gas for Vehicles(NGV)”, SAE Paper 912558, 1991.
6. 中園徹, “稀薄ガス機關に關する研究(副室式稀薄燃焼における主室形態の影響)”, 日本機械學會論文集(B編), 第58卷, 第550號, pp.1943~1948, 1992.
7. 卜藏傳郎 外 2人, “YANMAR-NHLG 形稀薄燃焼ガスエンジンの研究と開發”, 内燃機關, 第31卷, 第387號, pp.87~93, 1992.
8. 김봉석, 권철홍, 류정인, “부실식 정적연소실내 연소특성에 관한 연구(I) -연락공의 기하학적 형상이 연소에 미치는 영향-”, 한국자동차공학회 논문집, 제1권, 제1호, pp.66~79, 1993.
9. 김봉석, 권철홍, 류정인, “부실식 정적연소실내 연소특성에 관한 연구(II) -임계연락공의 형상변화에 따른 연소촉진효과-”, 대한기계학회논문집, 제17권, 제10호, pp.2611~2623, 1993.
10. S. Yamaguchi, N. Ohiwa, and T. Hasegawa, “Ignition and Burning Process in a Divided Chamber Bomb”, Combustion and Flame, Vol.59, pp.177~187, 1985.
11. B. Lewis and G. von Elbe, Combustion Flames and Explosions of Gases, 2nd Edition, New York, Academic Press, pp.316, 1961.