

# 電氣點火式 內燃機關에 있어서 火焰傳播에 관한 연구

## “On the Flame Propagation in a Spark-Ignited Gasoline Engine”

李宗元\* 李亨仁\*\*

C. W. Lee, H. I. Lee

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the flame propagation phenomenon in the combustion chamber of spark-ignition gasoline engine for the idling condition. By means of four ion probes located through the cylinder head, the time intervals for the flame to arrive at the respective probes are read on the visicorder chart.

As results, the flame is considered to initiate after some ignition delay and to propagate through the central space of combustion chamber with rather constant speed on the order of 25m/sec, and thereafter to be slowed down approaching the wall. Additionally, the retardation of flame in the wall boundary layer could be inferred. The maximum pressure is developed when the flame nearly touches the wall diagonal to the spark plug. And some features of flame propagation are elucidated.

### 1. 序 論

내연기관에 있어서 燃室內的 火焰 傳播現象은 기관의 動力發生의 측면에서는 물론이거니와 排氣가스에의 영향면에 비추어 보아서도 중요하게 연구되어야 한다. 화염이 傳播되는 현상을 燃燒反應이 활발한 區域이 火焰傳播速度(flame propagation speed)로 움직이는 것이라고 볼 때에, 이 두가지 양을 測定하는 방법중의 하나로 ion gap 方法을 들 수 있다. 이 방법은 趙慶國 등의 論文<sup>(1)</sup>에서 지적된 대로 實際 流動에 攪亂을 준다는 단점을 가지고 있으나, 光學的인 측정방법이 실제의 내연기관에 적용되기 어려움에 비추어서 그 나름대로의 장점도 가지고 있다. 즉, 내연기관內的 연소는 상당히 큰 亂流流動을 등

반하므로 ion probe 에 의한 난류의 증가는 미소하다고 할 수 있다.

Curry<sup>(2)</sup>는 圓筒形 單氣筒 기관의 연소실에 49개의 ion probe 를 裝着하여 火焰面(flame front)의 形象을 구하고 knock 와 swirl 등의 화염전파에 대한 영향을 살폈다. Arrigoni 등<sup>(3,4)</sup>은 실제의 기관에 ion probe 를 裝치하여 亂流火焰傳播速度와 연소반응이 활발한 구역의 두께 등 火焰構造에 대한 實驗的 연구를 수행하였다. 이들은 不完全燃燒가스의 발생에도 注目하고 있다. 그런데 이들의 實驗裝置에서 알 수 있듯이 실제의 內燃機關에는 ion probe 를 여러개 裝착할 수 없는 難點이 발생한다.

본 연구에서는 國產 市販自動車의 電氣點火式 汽油 機關에 ion probe 를 裝치하여 主로 火焰

\* 韓國科學技術院 機械力學 研究室長

\*\* 韓國科學技術院, 機械力學 研究室

傳播의 측면을 살펴 봄으로써 燃燒現象을 診斷하고 問題點을 논의하고자 한다. 부수적으로 壓力을 측정함으로써 유용한 정보를 얻고 있다. 運轉條件으로는 空回轉(idling) 상태를 택하고, 點火進角(spark advance)을 변화시키면서 이에 따른 화염전파상태의 변화를 보고 있다. 實驗結果를 해석함에 있어서는, 화염이 각 ion probe에 到達하는 데에 걸리는 時間으로부터 初期燃燒期間(initial prepropagation period)과 平均 화염전파속도(mean flame propagation speed)를 추산하는 한편, 화염이 각 ion probe를 通過하는 데에 소요되는 시간으로부터 연소반응이 활발한 구역의 두께 등 화염구조를 밝히고 있다.

## 2. 實驗裝置 및 方法

본 실험에서 사용되는 ion gap 방법이란, 가는 중심전극(central electrode)과 이것을 절연물질로 격리하여 둘러싼 환형원통으로 된 ion probe를 화염이 지나가는 곳에 장치하여 화염이 지나에 따른 이온양의 변동에 의한, 위의 두 전극 사이 공간의 전기저항치의 변화를 이용하여 화염전파를 감지하는 것이다.

이와 같은 ion probe 4개를 전기접촉식 가솔린 기관의 cylinder head 부에 장치하였다. 사용된 기관의 제원은 표 1과 같다. 본 기관은 4기통인데, 기화기에 의한 혼합기의 분배를 고려하여 2번째 기통에 ion probe들을 장치하였다. 그림 1은 cylinder head를 아래쪽에서 본 것으로, 흡·배기관이 만곡(curvature)이 나타나 있으며 4개의 ion probe의 위치도 나타나 있다. spark plug로부터 각 ion probe까지의 직선거리는 다음과 같다.

Spark Plug - Ion Probe 1 : 13.6 mm

Spark Plug - Ion Probe 2 : 25.7 mm

Spark Plug - Ion Probe 3 : 47.2 mm

Spark Plug - Ion Probe 4 : 51.1 mm

본 실험에서 쓰이는 각종 계측·신호처리·기록장치들의 계통도는 그림 2와 같으며 특히 ion gap 방법을 위한 회로는 그림 3과 같다. Ion probe의 중심전극은 직경 1mm의 chromel선이며

Table 1. Engine specification

Item	Specification
Maker & Model	Hyundai, 4G33
Type	4 cyl-in-ohc 4 cycle Water Cooled
Combustion Chamber Type	Hemi-Spherical
Piston Displacement, cc	1439
Bore × Stroke, mm	73 × 86
Compression Ratio	9.0
Max. Output, hp/rpm	92/6300
Max. Torque, kg-m/rpm	12.5/4000
Carburetor	Two Barrel
Valve Timing	
In. open.	18° btdc
In. close	50° abdc
Ex. open	48° bbdc
Ex. close	20° atdc

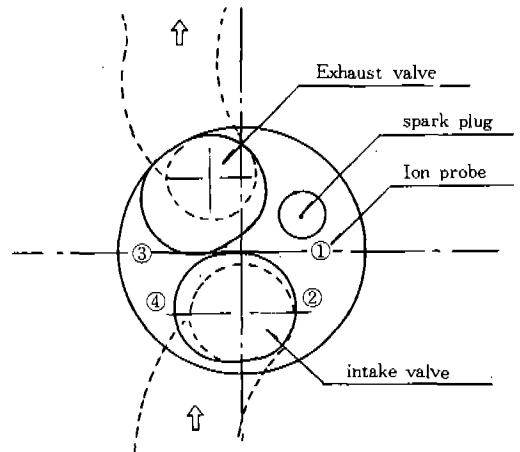


Fig. 1. Location of ion probes and curvature of intake and exhaust manifolds (Looked from below)

그림 3에서 보는 바와 같이 구성은 옴이다.<sup>(4)</sup> 양극으로 쓰는 외부 원통관은 내경 3mm·외경 5mm으로 Al로 만들어서 cylinder head 부에 용접을 하여 earth가 되게 하였다. 두 극 사이에는 전기절연물을 넣었다. 중심극은 연소실 내부로 1mm정도만 돌출하게 하여서 되도록 유동에 영향

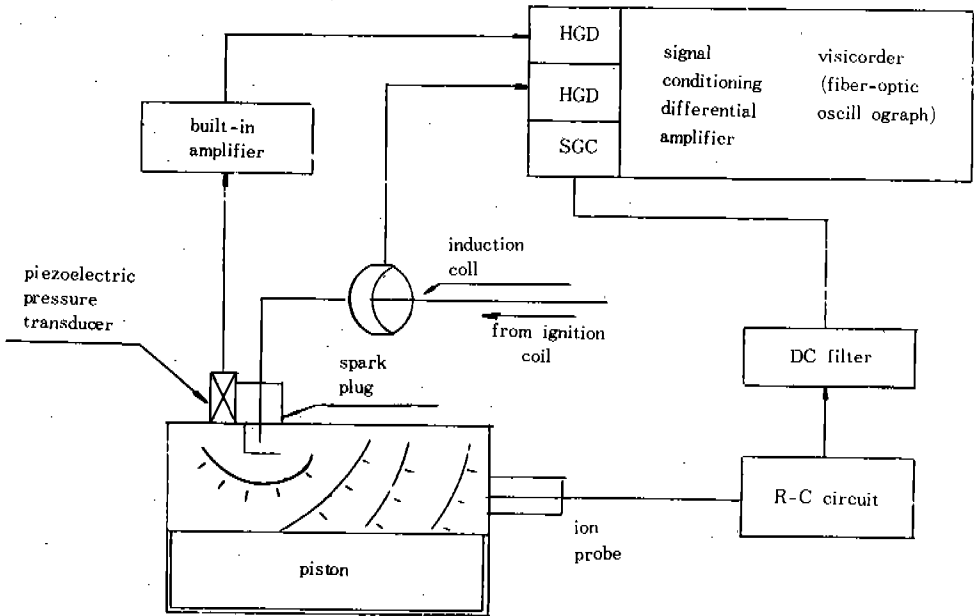


Fig. 2. Schematic of experiment.

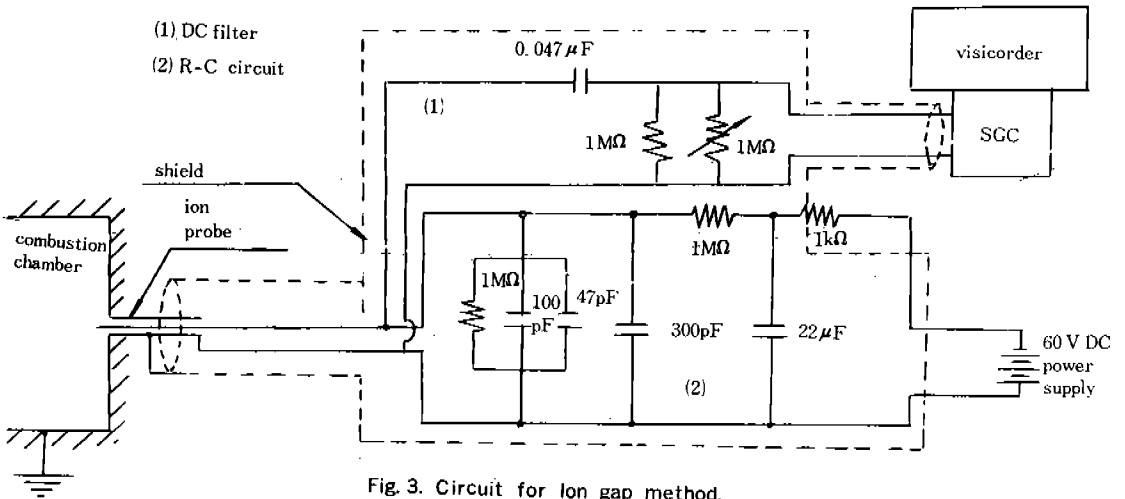


Fig. 3. Circuit for ion gap method.

을 적게 미치도록 주의하였다.

Ion probe의 간극에서 화염전파로 일어나는 저항의 변화는 그림 3에서 보는 바와 같이 power supply에 의하여 전압변화로 바뀌게 된다. 그림 3에서 (2)번 회로는 R-C회로로서, 화염전파에 의한 전압 signal이 본 실험의 회전속도인 2500 rpm 정도에서 time resolution이 될 수 있

도록 구성되었다. (1)번 회로도 R-C회로인데, 화염전파에 의한 전압신호를 처리하는 SGC가 differential amplifier로서 이의 input impedance가 1 MΩ 정도이므로, 이 값과 impedance를 맞추어 주는 한편 signal이 CRT에 나타나도록 DC offset을 줄이기 위한 DC filter로서 작용한다. 이와 같이 조절된 신호는 visicorder에서 시간에

대한 함수로서 photo-sensitive strip chart 에 기록되게 된다. 그런데 ion probe 가 4 개이므로 여기에서 나오는 signal 간에 상호 induction 이 일어날 수 있어서, two-wire shield 선을 써서 이를 배제하고 회로상자는 다시 철상자에 넣어 이를 방지하였다. 결과적으로 (induction noise)/signal 의 값이 1/20 정도로 줄어 들었다.

각종 실험장치에 대한 설명은 표 2 와 같다. 시간적인 기준으로는 spark discharge 로 택하였으며, 이를 위하여 spark plug 로 연결되는 도선에 induction coil 을 감아서 유도된 교류신호를 HGD 에 보내어서 visicorder 에서 기록하였다. 여기에서도 4 기통 각각의 spark discharge 에 의한 induction 을 줄이기 위해 induction coil 을 주석상자에 넣어 격리시켰다. 연소실 압력은 spark plug 에서 adaptor 로 붙어 있는 piezoelectric transducer 로써 측정하여 부착된 증폭기를 거쳐 HGD 로 보내지고 있다.

공기유량은 inclined tube manometer 로 측정하였으며, 연료 소비량은 burette 으로 측정하였다. 공기공급을 균일하게 하기 위하여 기화기로 가는 도중에 surge tank 를 장치하였다.

실험은 기관에 부하를 걸지 않은 공회전상태

Table 2. Specification of measuring instruments

Item	Maker, Model	Specification	Usage
Strain Gage Control Module (SGC)	Honeywell 1885A	Differential Amplifier ±10Vdc or peak ac	Signal Conditioning
High Gain Amplifier (HGD)	Honeywell 1881	Differential Amplifier ±50Vdc or peak ac	Signal Conditioning
Visicorder	Honeywell 1858	Fiber-optic Oscillograph	Signal Recording
Piezoelectric Pressure Transducer	PCB Piezotronics 111A22	Used with Spark-plug Adaptor (#65 Type)	Pressure Measurement
Inclined Tube Manometer	Meriam 40HE35	Used with Laminar Flow Element (50MC2-2F)	Air Flow Rate Measurement

에서 수행하였는데, 점화시기(spark timing)를 바꾸어 가며 이의 영향도 관찰하였다. 즉, 700 rpm 일 때를 기준하여 점화 시기가 TDC, 4° BTDC, 8° BTDC 일 경우에 대하여 실험하였다. 이러한 각각의 경우에 대하여 throttle valve 를 조정하여 2000 rpm 부근과 3000 rpm 부근의 두 속도에서 실험을 진행하였다. 또한 rpm 변화에 따른 화염전파속도의 변화를 관찰하기 위하여 점화시기 TDC 에서 따로 실험을 수행하였다.

### 3. 實驗結果 및 討議

#### (가) Ion gap 方法에 의한 信號

Ion gap 방법에 의한 전압신호의 대표적인 형태가 그림 4 에 주어져 있다. 여기에서는 시간이 지남에 따라서 우측에서 좌측으로 전압신호가 그려지고 있으며, 상하로 그려진 시간축들은 10 msec 를 두고 그려져 있다. 상단의 신호는 2 번 cylinder 의 spark plug 로 가는 도선에 감긴 induction coil 에 의한 것으로, spark discharge 가

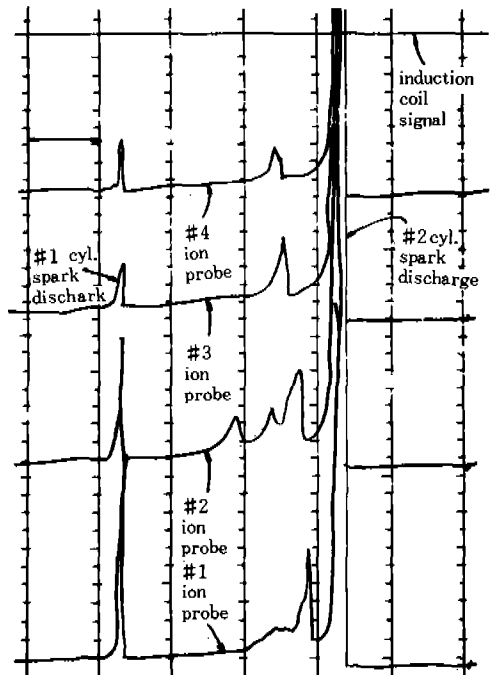


Fig. 4. Ion probe signals and spark discharge signals

일어나는 기간을 알려주고 있다. 즉, discharge 시작시의 큰 신호와 종료시의 약간 작은 신호로서 ignition duration 을 알 수 있다.

다음에 아래로 내려가면서, 4·3·2·1번 순으로 ion probe 에 의한 전압신호가 주어져 있다. 이들 신호에서는, 2번 cylinder 에 spark 가 일 때와 다음 폭발순서에 해당하는 1번 cylinder 에 spark 가 일 때 흐르는 고압전류에 의하여 induction 신호가 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이 두 신호간에 crank angle 은 180°경과한다. 우리가 필요로 하는 화염전파에 의한 전압신호는 점화후 1·2·3·4번 ion probe 에서 차례로 나타나는 것을 볼 수 있다.

Ion probe 에 의한 신호의 크기에는, ion probe 특성들이 4개가 다 같다고 볼 수 없으므로, 서로 비교할 수가 없는 난점은 있다. 각 probe 에서의 신호의 특성을 살펴보면 spark plug 로부터 멀리 떨어진 3·4번 probe 에 있어서는 전압신호의 peak 가 대체로 하나이며 그 폭도 비교적 작

으나, spark plug 주위의 1·2번 probe 에 있어서는 peak 가 2개 이상 생기는 현상이 많고 그 폭도 상당히 길다. 이와 같은 전압신호 data에서 각 probe 로의 화염도달시간을 정하기 위하여 1·2번 probe 의 경우에는 가장 큰 peak 가 나타나거나 대등한 peak 가 여러개 나타날 경우 중간시간을 택하였다. 이렇게 하여 구한 spark discharge 후의 화염도달 시간을 대개 10회의 연속된 cycle 에 대하여 평균치를 구한 것이, 700rpm 일 때의 점화진각에 있어서 고속과 저속의 rpm 에 대하여 표 3에 정리되어 있다. 그리고 각 probe 들이 동일 직선상에 놓인 것처럼 보아서 spark plug 로부터의 위치와 화염도달시간을 관계지은 것이 그림 5 (a)·(b)·(c) 에 주어져 있다.

(나) 火焰傳播速度

그림 5 (a)를 살펴 보면 spark plug 로부터 멀리 떨어진 ion probe 에 일수록 火焰到達 時間이 커짐을 알 수 있다. 이러한 傾向은 대부분의 실험결과에서 볼 수 있다. 그러나, 그림 5 (b)·(c)

Table 3. Flame Arrival Times at Ion probes

Spark Advance (° bt dc)	Engine Speed (rpm)	Air Fuel Ratio	Ignition Duration (msec)	Flame Arrival Time (MSEC)			
				Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
				13.6mm	25.7 mm	47.2 mm	51.1 mm
0°	2063	13.7	1.35	4.78	5.85	6.00	6.76
	2062	13.7	1.42	4.81	5.39	5.94	6.20
	1988	13.7	1.56	4.43	5.82	6.39	6.95
	2663	14.2	1.23	3.60	4.50	4.85	5.02
	2721	14.2	1.33	3.84	4.35	4.64	4.93
4°	2088	14.2	1.44	4.94	5.39	6.90	7.00
	2150	14.2	1.40	4.67	6.64	6.28	6.33
	2141	14.2	1.35	4.17	5.15	5.84	5.64
	3122	14.0	1.23	3.30	3.95	4.00	4.50
	3084	14.0	1.22	4.07	4.15	4.79	4.93
8°	2198	14.2	1.42	5.04	6.49	5.70	6.45
	2142	14.2	1.45	3.88	5.12	4.76	5.16
	2184	14.2	1.44	4.92	5.71	5.82	5.73
	2955	14.1	1.35	3.27	3.93	4.74	4.67
	2947	14.1	1.33	3.69	4.30	4.68	5.15
	2987	14.1	1.38	3.31	4.10	4.92	4.91

Spark Advance = 0° btdc/700rpm

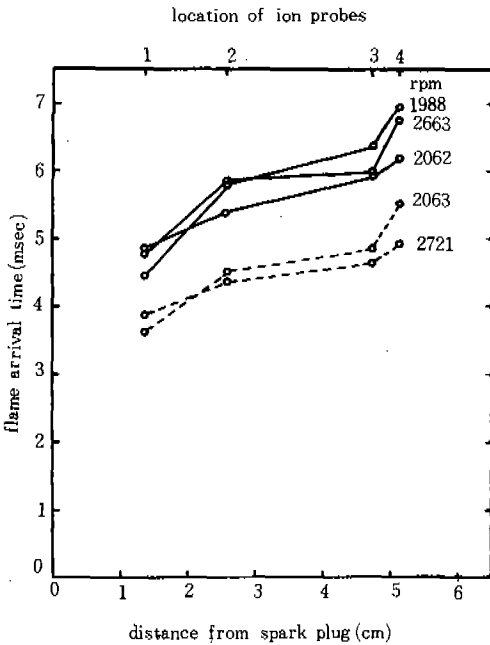


Fig. 5 (a)

Spark Advance = 8° btdc/700rpm

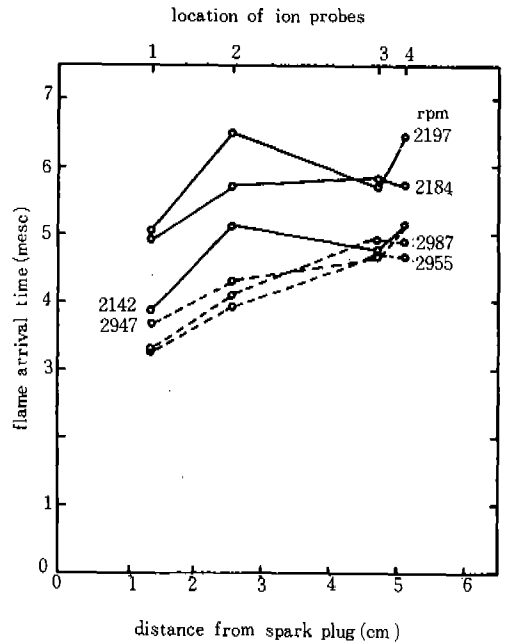


Fig. 5 (c)

Spark Advance = 4° btdc/700rpm

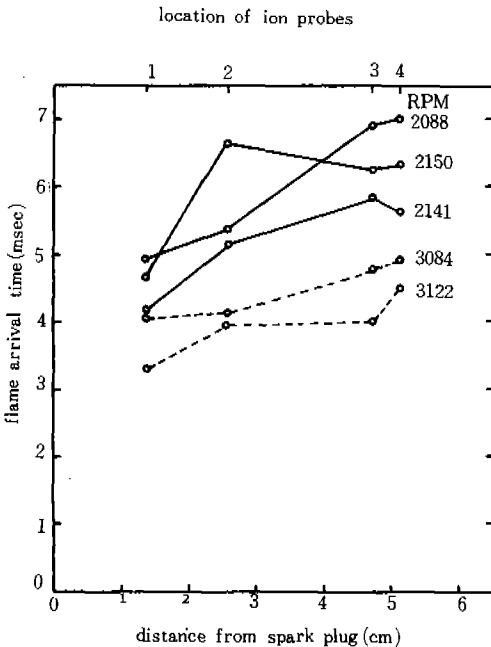
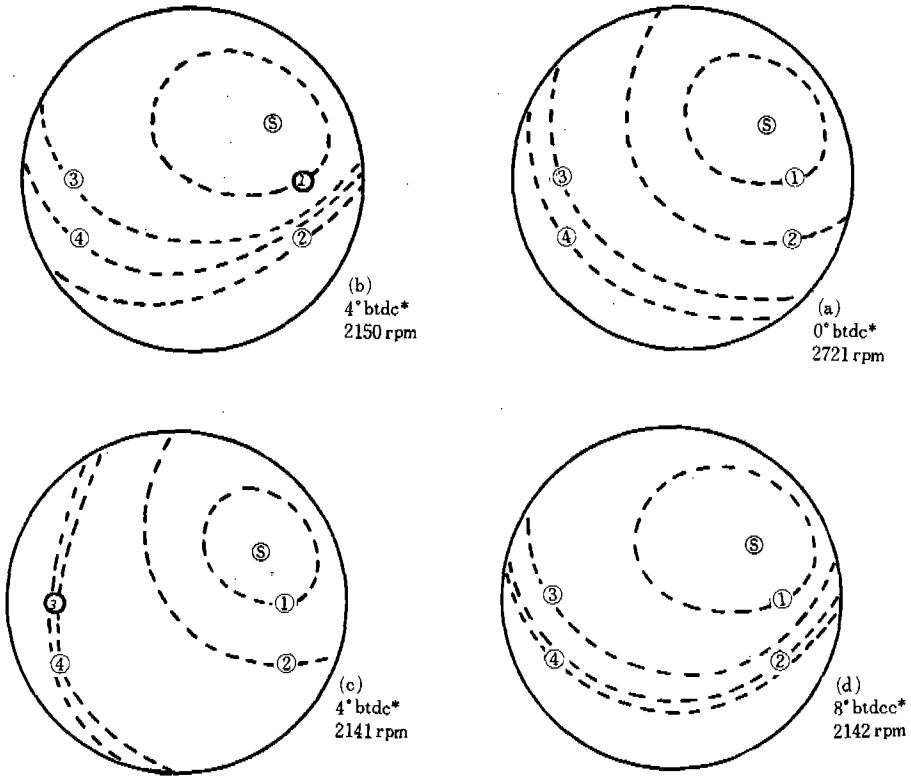


Fig. 5 (b)

에서는 이와 같은 전파순서와 달리 멀리 떨어진 ion probe 에 화염이 먼저 도달되는 경우도 볼 수 있다. 화염전파는 火焰面 (flame front) 이 이동함으로써 이루어 지므로, 火焰面의 形象이 매우 중요하다. Curry<sup>(2)</sup>는 본 실험에서와 거의 같은 형상의 燃燒室에 다수의 ion probe 를 장착하여 火焰面의 형상을 推測하였는데, 결과로서 보통의 open chamber 内の 火焰面의 형상은 spark plug 를 中心으로 한 球狀 (spherical flame geometry) 이라고 보고 있다. 단, 이 모양은 연소실 壁面部에서 다소 일그러지고 있다.

이러한 推測下에, 그림 5 (a) 의 경우에서 2721 rpm 인 때의 火焰面의 형태를 구해 보면 그림 6 (a) 와 같이 된다. 다시 말해서, 이 경우에는 화염면이 1·2·3·4 번 ion probe 의 順序로 도달하고 있는데, 본 실험에서의 大部分의 결과가 이러한 경향을 보이고 있다. 다시 그림 5 (a) 를 보되, 각 실험치를 연결하는 선의 기울기의 逆數가 속도를 가르킬을 고려하면, 1~2 번 probe 사이와 3~4 번 probe 사이에서의 속도가 2~3 번 probe 사이에서의 속도보다 작음을 알 수



\*Initial Setting of Spark Advance at 700 rpm.  
Actual Spark Advance is Determined by Advance Mechanism.

Fig. 6. Flame map

있다. 이것은 Sorenson<sup>(6)</sup>에 의한 解釋的인 논의에서도 볼 수 있듯이, 화염이 처음에는 가속되어 연소실 中央部에서 큰 속도로 진행하다가, spark plug로부터 반대쪽 벽면에 다다르면서 다시 감속된다는 사실을 입증하고 있다. 그림 5 (a)의 경우에 1~4번 probe 간 화염이 전파하는데 걸리는 시간은 대개 1~2 msec 이고, 이때 화염이 전파한 거리는 그림 6 (a)의 火焰圖(flame map)로부터 30~40mm로 보여지므로, 연소실 중앙부에서의 평균화염전파속도는 15~40m/sec로 계산된다. Arrigoni 등<sup>(4)</sup>에 의한 실험에서는 이 값이 21~33m/sec로 나와 있어 거의 일치하고 있다.

그림 5 (b)의 2150 rpm 이나 2141 rpm의 경우에는 spark plug로부터 直線的으로 가까운 ion probe에 반드시 먼저 火焰面이 도달하고 있지 않다.

이러한 현상은 그림 5 (c)의 몇몇 경우에도 볼 수 있는데, 이에 該當하는 火焰圖를 그려 보면 그림 6 (b)·(c)·(d)와 같다. 여기에서, 이 경우에는 火焰面의 형태가 球形과는 약간 다르다는 것을 알 수 있다. 이렇게 火焰傳播가 ion probe의 spark plug로부터의 直線距離의 순서와 달리 이루어져서, 대부분의 실험결과인 그림 6 (a)와 같은 珠形의 火焰圖와 약간 다른 찌그러진 화염도가 얻어지는 경우는, 그림 5 (b)·(c)에서 보듯이 2000 rpm 부근의 相對的인 低速運轉時에 해당된다. 다시 말하면 그림 6 (a)와 같은 구형의 화염도는 3000 rpm 부근의 相對的인 高速상태에서 얻어지고 있다. 이러한 현상은 機関의 回轉速度가 증가함에 따라서 亂流세기(turbulence intensity)가 증가하고(다음절(다)참조), 이에 따라 燃燒가 비교적 均一하게 진행되고 安定性을 띠고 火

焰이 傳播된다고 判斷하게 한다.

(다) 機關回轉數의 影響

機關回轉數(rpm)에 따라서 火焰전파속도가 어떻게 변하는가를 보기 위해 rpm을 변화시키면서 火焰到達時間을 측정하였다. 3번 probe까지의 火焰전파는 전체 燃燒過程의 대부분을 포함한다고 보여지므로 3번 probe까지의 평균火焰전파속도를 구하여 그림 7에 보이고 있다. 이것은 점화전각을 0°로 하였을 경우이며, 속도는 3번 probe까지의 거리 47.2mm를 火焰도달시간으로 나누어 계산하였고, 그림의 data point는 각 cycle에 대한 값이다. 실험치는 상당한 scatter를 보이고 있으나 least square fitting을 하면,

$$V_s = 0.00453 \times \text{rpm} + 0.568 \text{ (m/sec)}$$

를 얻는다. 여기에서  $V_s = (47.2 \text{ mm}) / (3 \text{ 번 probe까지의 도달시간})$ 이다. 이 선은 그림에 직선으로 표시되어 있다.

이 결과를 보면, rpm증가에 따라서 火焰전파속도가 증가한다는 점을 알 수 있다. Lancaster 등<sup>(6)</sup>에 의한 실험에서도 확인된 바와 같이, rpm증가에 따라 亂流세기(turbulence intensity)가 증가하고 이러한 난류성분의 증대에 따라서 화

염전파가 빠르게 되므로 연소에 있어 난류의 중요성을 다시 한 번 알 수 있다. Lancaster 등의 실험에서 흡기 valve에 shroud를 붙이지 않는 경우에, 火焰전파속도가 1000 rpm에서 약 4 m/sec이고 2000 rpm에서 11 m/sec로서 본 결과와 거의 일치함을 볼 수 있다.

본 실험치를 rpm → 0인 경우로 外插(extrapolation)하면, 火焰전파속도는 0.568 m/sec가 되는데, 이 값이 層流火焰傳播速度라고 볼 때 gasoline에 대하여 알려져 있는 값에 가까움을 알 수 있다.<sup>(7)</sup>

내연기관내의 火焰은 강한 난류를 수반하여 전파되므로 난류火焰전파속도를 난류세기와 연관지어 고려하여야 하는데, 이에 대한 이론은 여러가지가 있으나 난류성분이 극히 클 때는 거의 같은 성향을 보여주고 있다.<sup>(8)</sup> Wong과 Hout<sup>(9)</sup>는 원통형 연소실에 spark plug가 중앙에 위치한 model에 대하여 이론과 실험으로 위의 두 양의 관계를 구하고 있다. 이들의 결과를 토대로 하면, 본 실험에서의 난류火焰전파속도를 10 m/sec로 잡는 경우 난류세기는 약 6 m/sec로 추산된다.

(라) 火焰傳播의 初期段階

본 실험결과에서 대부분의 火焰傳播현상은 그림 5(a)와 같고, 이에 해당하는 火焰도는 그림 6(a)와 같으므로, 이제부터 그림 5(a)에서 2721 rpm인 경우를 대표로 삼아서 論議하겠다.

이 경우에 스파크가 계속되는 期間인 點火期間(ignition duration)은 표 3에서 읽으면 1.33 msec이다. 이 기간이 지난 후 火焰이 즉시 전파를 시작하지는 않는다. 그러므로 spark plug로부터 1번 ion probe까지 火焰이 전파되는 속도와 같다고 任意로 놓아서, 點火終了후 본격적인 火焰전파가 始作되기 前까지의 기간인 初期燃燒期間(initial prepropagation period)를 推算해보자. 이러한 假定下에 그림 5(a)에서 2721 rpm의 點線을 spark plug 支點까지 연장하면, 交點으로 3.35 msec의 값을 얻는다. 이 값에서 점화기간인 1.33 msec를 빼면 초기연소기간으로 2.02 msec의 값을 얻는다.

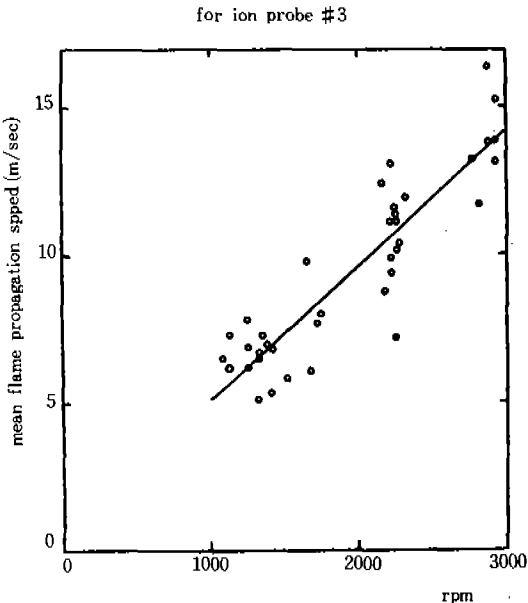


Fig. 7. Effect of engine speed on flame propagation speed.



다음의 (바)절에서 言及되듯이, 火焰이 spark plug로부터 가장 멀리 떨어진 部位의 연소실에 도달하면 燃燒가 거의 끝나는데, 이 時刻이 本 2721rpm 인 경우는 spark discharge 시작후 약 5 msec 이다. 이와 같이 본 경우에서는 全体燃燒 期間에서 점화기간은 약 30%를, 初期 燃燒期間은 약 40%를 차지한다. 따라서 火焰傳播過程에서 매우 初期段階가 重要하다고 結論지을 수 있다.

Hires 등<sup>(10)</sup>은 總 混合氣의 1%가 燃燒할 때 까지의 시간으로 点火遲延(ignition delay)을 定義하고, 燃燒過程의 modeling을 통하여 계산하였다. 이들의 결과에서 점화지연은 기관회전수가 2000~3000 rpm 인 範圍에서 crank angle로 20°~30°가 되므로, 初期燃燒期間이 전체연소기간에서 큰 比重을 차지한다는 점을 다시 한번 확인할 수 있다.

(마) 燃燒反應이 活潑한 區域의 두께

각 ion probe의 위치에 있어 火焰에 의한 電壓信號가 持續되는 것으로 보아서, 燃燒反應이 활발한 區域은 어느 두께를 갖는다고 判斷할 수 있고, 이 두께는 대체적으로 平均火焰傳播 速度와 화염에 의한 전압신호의 지속시간의 곱으로 볼 수 있다.

앞 절(나)에서 연소실 中央部에서의 화염전파 속도는 15~40m/sec이며, 이 곳에서의 전압신호의 지속시간은 그림 4에서 보면 약 1.5 msec 이다. 그러므로 燃燒室 中央部에서 燃燒反應이 活潑한 區域의 두께는 22~60mm이다. Arrigoni 등<sup>(4)</sup>의 실험에서는 이 두께가 8~12mm 정도가 되어 本 실험치보다 작은 값이나, Arrigoni 등의 실험은 負荷가 걸린 상태에서 행하여 졌으며, 負荷가 감소함에 따라서 이 두께가 커지는 경향에 비추어 보면, 無負荷상태의 本 실험결과는 信憑性을 가진다고 판단된다.

그림 4와 같은 결과를 종합하여 보아, 電壓信號가 지속되는 시간이 燃燒反應이 지속되는 시간과 같다고 놓으면, spark plug에 가까운 1·2번 ion probe에서가, 비교적 먼 3·4번 ion probe에서보다 燃燒反應時間이 길다. 이것은 3·4번 ion probe까지의 火焰은 高溫의 燃燒室 中央部를 통과하기 때문에 燃燒反應이 빠르는데 對하여,

1·2번 ion probe까지의 火焰은 주로 燃燒室 壁面을 따라 傳播하기 때문에 冷却효과를 받아서 연소반응이 늦어지는데에 起因한다. Heywood<sup>(11)</sup>에 의하면 spark plug 주위의 壁면에는 quench layer가 形成되어 이 層에서 未燃가스成分인 HC가 發生하기 쉬운데, 本 실험결과에서 1·2번 ion probe 주위에서의 연소가 느리고 이것이 냉각효과에 의한다고 판단되므로, 이 部位가 大氣汚染物質인 未燃物質의 발생에 큰 몫을 차지한다고 볼 수 있다.

(바) 壓力經過와 火焰傳播

그림 8에 壓力의 時間에 대한 經過가 壓力의 cylinder 體積에 대한 관계로 변환되어 주어져 있다. 이들 결과에서 보면 최고압력이 도달되는 시간은 대개 25° ATDC인데, 이 時刻에 火焰은 4번 ion probe에 막 到達하고 燃燒가 거의 끝나가고 있다. Rassweiler와 Withrow<sup>(12)</sup>도 直接寫眞에 의한 燃燒過程의 연구에서 火焰傳播終了와 最高壓力 到達이 거의 同時에 이루어 진다는 점을 報告하고 있다.

또한 1·2번 ion probe에서의 電壓信號에서 처음에 대개 maximum peak가 생기고, 그 후 계속하여 1, 2개의 2次的(secondary) peak가 생기는 현상을 볼 수 있는데, 이들 2次的 peak들은 最高壓力到達時刻이나 약간 後에 생기고 있다.

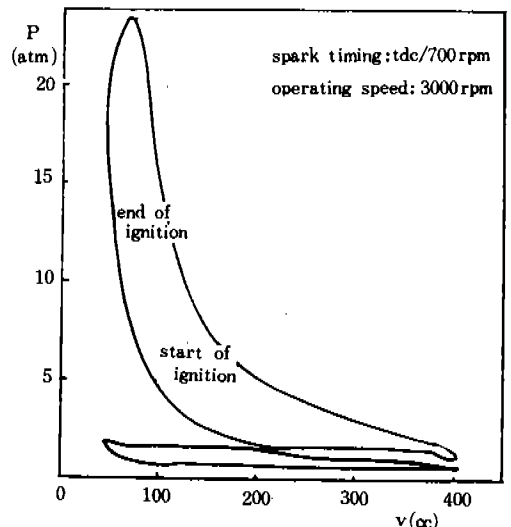


Fig. 8. Pressure-volume relation

## (사) 討 議

그림 1 을 보면 吸氣管에 彎曲(curvature)이져서 吸入時에 流動이 swirl成分을 얻어서, 이 swirl이 ion probe 2-1-3-4번 方向으로 存在할 것이 推測된다. 이 swirl成分은 壓縮 過程을 거치는 동안에 弱화될 것이지만, 火焰傳播에 조금은 영향을 줄 것이다. 그림 6 (b)의 경우 火焰面이 이러한 swirl方向으로 한쪽으로 치우친 듯이 보이나, 본 실험결과와 대부분의 경우는 그림 6 (a)에 該當하므로, swirl成分은 火焰傳播에 그러한 영향을 주지 못한다고 판단된다.

이와 같이, 火焰傳播에 있어서 亂流세기는 큰 영향을 끼치는데 비하여, swirl成分은 비교적 적은 영향을 끼친다. 따라서 火焰傳播에 있어서 亂流現象의 중요성을 고려해 볼 때, 吸氣 valve에 shroud를 붙이든가, 燃燒室의 형상을 변경하든가, piston head部에 recess를 둔다든지 하여 微細亂流成分을 증가시킬 것이 提案된다.

## 4. 結 論

본 實驗의 結果로부터, 다음과 같은 점을 알 수 있다.

- (가) 空回轉時 燃燒室 中央部에서의 火焰傳播速度는 약 15~40 m/sec 이다.
- (나) Spark discharge 後 상당히 긴 初期燃燒期間에 걸쳐 成立된 火焰은 初期의 加速段階를 거쳐, 연소실 중앙부에서 本格的으로 進行하다가 반대편 燃燒室 壁面에 다다름에 따라 減速된다.
- (다) 燃燒時間은 대체로 spark plug 주위에서가 길고, 멀리 떨어질수록 짧아진다.
- (라) Spark discharge가 일어나는 点火期間과, 본격적으로 火焰이 전파되기 전까지의 기간인 初期燃燒期間중 火焰傳播의 初期段階가 전체 燃燒期間의 절반 이상을 차지하므로 이 단계의 제어가 중요하다.
- (마) 機関回轉數가 增加함에 따라 火焰傳播速度가 增加하며, 이로부터 火焰傳播過程에 있어서 亂流의 중요성이 입증된다. 상대적으로 swirl成分은 火焰傳播에 큰 영향을 미

치지 못한다.

## 參 考 文 獻

1. 조경국, 정인석, 허원옥; "화염전파속도 측정에 관한 연구-층류화염에 관하여," 자동차 기술학회지 제 1 권 제 1 호, pp. 28-41, 1979.
2. S. Curry; "A Three-Dimensional Study of Flame Propagation in a Spark Ignition Engine," SAE Transactions, vol. 71, p. 628, 1962.
3. V. Arrigoni et al., "Turbulent Flame Structure as Determined by Pressure Development and Ionization Intensity," SAE Paper 730088.
4. V. Arrigoni et al.; "Chemical Ionization and Carbon in a Spark Ignition Engine," SAE Paper 740192.
5. S. C. Sorenson; "Modeling Turbulent Transient Combustion," SAE Paper 780639.
6. D. R. Lancaster et al.; "Effects of Turbulence on Spark-Ignition Engine Combustion," SAE Paper 760160.
7. E. F. Obert; Internal Combustion Engines and Air Pollution, 3rd Ed., Harper & Row, Publishers, Inc., 1973.
8. J. M. Beer and N. A. Chigier, Combustion Aerodynamics, John Wiley & Sons, Inc., 1972.
9. V. W. Wong and D. P. Hault; "Rapid Distortion Theory Applied to Turbulent Combustion," SAE Paper 790357.
10. S. D. Hires et al.; "The Prediction of Ignition Delay and Combustion Intervals for a Homogeneous Charge, Spark Ignition Engine," SAE Paper 780232.
11. J. N. Mattavi and C. A. Amann; Combustion Modeling in Reciprocating Engines, Plenum Press, 1980, pp. 1-38, "An Overview."
12. G. M. Rassweiler and L. Withrow; "Motion Pictures of Engine Flames Correlated with Pressure Cards, SAE JI. 42, 185 (1938).