

이온전류장치 설계에 의한 화염전파속도 측정

정진도 · 이충섭* · 권병철**

한국전력공사 기술연구원 전력연구실

*대우자동차(주) 기술연구소, **대전산업대학교 기계설계학과

Measurement of Flame Propagation Velocity Using an Ion Current Apparatus Design

Jin-Do Chung, Chung-Sub Lee* and Byung-Cheol Kwon**

Korea Electric Power Corporation, Research Center

*Daewoo Motor Co. Technical Center

**Taejon National University, Department of Machine Design

요 약

화염중에 존재하는 이온 및 전자의 전기적 성질을 이용하여 연소실내의 화염전파속도를 파악하기 위해 실린더 헤드에 이온 프로브를 삽입하여 천연가스 및 가솔린의 화염전파속도를 측정하였다. 본 연구에 이용된 이온전류장치 설계에 의한 방법은 광학적 측정 장비에 비해 간단하며 쉽게 측정할 수 있고 가격도 저렴하고 응답성도 우수하였다. 이온 프로브의 제작과 신호처리에 관한 기초적인 지식을 얻었으며 천연가스 및 가솔린의 연소시 연소압력의 상승지점과 이온발생지점이 일관성있게 나타났다. 기관회전수의 증가에 따라서 연소실내의 화염전파속도가 증가했으며 같은 연소조건이라고 할 수 있는 동일 기관회전수, 당량비의 조건에서 점화시간에 대한 화염전파속도를 비교해 보면 메탄의 경우가 이온치보다 6ms~9ms 정도 늦었다. 또한, 메탄가스 및 가솔린에 대해 이온 전류강도 및 화염 도달 시간을 측정하였으며 연소실 벽면에서는 열전달에 의한 냉각효과로 인해 화염 전파속도 및 이온농도가 감소했다.

Abstract—The flame speed of methane-air mixture is known to be slower than that of gasoline-air mixtures. In this study, to comparatively study combustion characteristics of natural gas engine, the flame speeds of both fuels in the engine have been measured by using ion probe which utilizes the electrical nature of the flame. Due to the physical characteristics of natural gas, the volumetric efficiency and flame speed of a natural gas engine are lower than those of a gasoline engine. The ion probe is applied to measure flame speed of gasoline and methane fuels. This paper describes the results of a research to compare the flame propagation velocity between methane gas and gasoline in order to improve the performance of a natural gas combustion efficiency.

1. 서 론

석유자원의 고갈과 실용에너지 자원의 의존도를 낮추기 위한 에너지 정책의 일환으로 오래 전부터 대체 에너지의 개발이 추진되어 왔다. 그러나, 최근에 와서는 오존층의 파괴와 지구 온난화 및 생태계 파괴 등 환경 보전에 대한 관심이 높아지면서 저공해 연료로서 대체

연료에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이중 자동차의 배기 오염이 차지하는 비율이 상당히 큼으로 인하여 최근 여러 나라에서 연구되고 있는 자동차용 대체연료로는 알콜계 연료(특히 메탄올), 수소, 천연 가스 등이 있다.

기체연료는 가솔린에 비하여 환경오염물질의 배출이 적은데 반하여 체적효율과 압축비가 낮아 출력이 저하

되는 현상이 나타난다. 반면 수소는 발열량이 높고 출력이 높으며 NOx의 배출이 없는 무공해 연료로 적합하지만 연료 보관 방법 등 여러가지 문제가 있다.

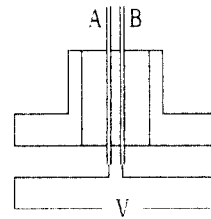
액체 연료인 알콜계 연료는 발열량이 석유계 연료의 약 1/2에 불과하여, 화염의 안정성이 낮고, 또한 저 점도성으로 인하여 기관의 윤활에도 문제가 있다. 그러나 저급 탄화수소물이기 때문에 연소시 발열량이 적고 연소온도도 낮아 NOx와 Soot는 거의 발생하지 않으나 연소상태가 불량하면 중간생성물로서 알데히드를 배출하기 때문에 기관에 대한 연구와 연소기술의 노력이 요구된다.

휘발유를 연료로 사용하는 경우, 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 등 유해성분을 저감시키는 연료로 연료분사장치의 전자 제어화와 배급, 파라듐, 로디움 같은 귀금속 촉매를 허니콕에 넣은 삼원촉매(Three-way catalyst)를 사용하는 방법 등이 배기가스의 저감에는 큰 역할을 하고 있지만 유해성분을 근원부터 감소시킨다는 측면에서 최근의 연구자료를 보면 메탄올, 천연가스, 수소등 저공해 연료에 대해 각국에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 알콜계 연료와 천연가스는 휘발유에 비하여 출력이 떨어지기 때문에 연소특성에 따른 기관개선 연구가 요구된다. 본 연구에서는 연료를 천연가스(메탄)로 사용하였다. 천연가스는 거의 완전연소가 가능하여 대기오염의 발생이 극히 적고 매장량이 풍부한 점 등의 장점을 갖고 있으며, 기존의 가솔린 엔진을 큰 개조없이 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문이다.

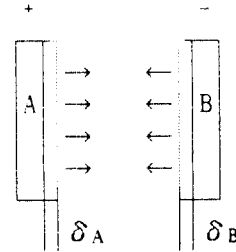
가솔린 기관을 천연가스 이용기관으로 개조할 경우 Pearce¹⁾, Moore와 Roy²⁾, Karim과 Ali³⁾, Baets⁴⁾, Perry⁵⁾ 등의 연구에 의하면 가솔린을 사용할 때 보다 천연가스를 사용하면 W.O.T(Wide Open Throttle)상태의 일정속도에서 한개의 실린더 당 15~20%의 출력이 감소된다고 밝히고 있다.

또한, Evans⁶⁾ 등은 천연가스의 느린 화염전파속도가 가솔린에 비해 열효율의 손실을 가져오며 이 현상은 공연비가 희박해질수록 더욱 심화되는데 천연가스의 화염속도가 가솔린보다 공연비에 더욱 의존성이 민감하기 때문이라고 밝히고 있다. 따라서 기존 가솔린 차량에 천연가스를 이용할 경우 공기-연료비를 조정할 수 있는 Gas air mixer를 개조하여야 한다.

화염전파 속도 측정방법으로는 Laser Doppler Velocimeter등의 광학적인 기술을 이용하여 고속사진 촬영법 및 슈리렌 사진법 등이 있으나, 기관에 장착하기 어렵고 고가여서, 본 연구에서는 간단히 화염의 전도성질을 이용하여 센서에 전원을 공급한 후, 난류화염이 전파될 때 화염중에 있는 이온전류를 측정하는 이온



(a) Power supply in ion sensor



(b) Ion movement in flame

Fig. 1. Ion movement in flame.

전류 측정법을 택하였다.

이 방법은 탄화수소 화염자체가 갖고 있는 복잡한 전기적 성질을 이용하여 발생하는 이온전류 파형이 화염대의 이온농도 분포와 연소실 내에서 전파되는 화염의 속도, 각도, 형상, 온도 등 화염의 각종 특성변동에 따라 상이하게 나타나므로 연소실내에서 연소상태를 탐지하는 한 방법으로는 매우 간단한 실험방법이다. 연료가 연소시 화학 이온화 반응에 따라 이온이 재결합을 함으로써 높은 이온 농도가 화염 반응대 부근에서 비교적 좁은 부분으로 한정 되어져 있어 이온농도 검출을 위한 이온전류 센서는 연소실내를 전파하는 화염의 속도측정, 난류화염과 진동화염의 이온농도 분포, 난류화염의 전기적 노이즈 등 화염전파연구에 이용되어지고 있다.

본 실험에서는 화염전파속도가 혼합기의 와류, 점화시기, 혼합비, 회전속도등에 크게 영향을 받기 때문에, 데이터의 신뢰성을 확인하기 위해 연소실 압력의 상승지점과 이온전류 발생지점의 일관성 여부를 예비실험을 통해 검증했다²⁰⁾. 또, 이온프로브 위치별 이온전류강도의 변화를 파악했으며 가솔린과 메탄가스의 화염전파 속도를 측정하고, 연소 특성을 서로 비교하여 출력향상을 위한 최적 연소실 설계 자료를 얻는데 목적을 두었다.

2. 이온전류의 특성 및 이론

2-1. 전기적 성질에 의한 이온전류의 변화

Fig. 1(a)의 전극선 A, B를 화염중에 삽입하고 전극

선에 전압을 가하면 Fig. 1(b)에서 처럼 이온과 전자는 양극을 향하여 진행한다. 전자는 극부에서 응해되어 즉시 가운데로 침입하지만, 양·음이온은 전극선으로 전하를 보내어 이온이 극판에 접하는 것을 방해하는데, 이것을 이온층(δ_A, δ_B)이라 하며 극판 부근에 생성된다. 이때 이온층 두께의 증가는 전압의 증가에 따라 변화한다.

이온 프로브에 화염면이 도달하면 급격히 증대한 이온농도에 의하여 이온전류의 파형은 피크를 이루는데, 이온농도에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

첫째, 전원전압과 직렬 저항치에 따라서 변한다. 직렬 저항 양단에 생긴 전위차 V 는

$$V = \frac{E \times R}{R + r} \quad (1)$$

이다. 城戶⁷⁾에 의하면 양전압과 음전압을 프로브에 공급하였을때, 음전압의 절대치가 큰 정도에 따라 (-)전류의 신호폭이 크게 검출되는 것은 프로브 주위에 양이온층의 두께가 음전압의 절대치와 함께 증가하기 때문으로 보여지며, (+)전류는 양전압에 의하여 신호폭은 짧게 검출되는 것으로 밝히고 있다.

둘째, 기관의 운전조건에 의해 이온전류가 변한다. 이론 혼합비가 약간 농후할때 최대치가 표시되고, 연료의 종류에 따라서 이온전류의 변화는 그다지 영향을 받지 않는다.

셋째, 탄화수소화염 자신이 전기적 성질을 갖고 있어 이온전류가 연소반응과 직접관련을 갖게 되는 것은 연료의 탄소원자와 수소원자의 화학적 반응에 의하여 영향을 받는 것으로 보여진다.

넷째, 녹크시에는 운전조건과 연료의 종류에 관계없이 녹크음이 증대할 때 이온 전류도 크게 되며, 정상연소 경우와 비교했을 경우 피크치가 크게 되고, 파형은 가파르며, 전류의 단속 시간은 짧다. 그 외에 연소실에 흡입되는 혼합기의 밀도, 화염의 온도, 점화시기 그리고 연소실의 압축압력에 따라 이온전류의 파형은 영향을 받는다^(8,9).

2-2. 메탄의 연소 및 화염중의 이온

메탄의 연소반응은 CH_4 와 O_2 의 화학반응에서



이며, C_mH_n 의 구조식을 갖는 연료는 화염중에서 여러 연쇄반응으로 OH 가 발생하고,

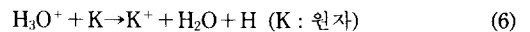


된다. 화학반응에 의해 기관의 성능에 영향을 끼치는

이온화 반응을 보면 탄소와 수소가 주성분인 탄화수소계 연료가 연소될 때 그 예혼합 화염 혹은 확산 화염의 화염대 부근에 존재하는 기체가 열적 평형상태로 있을 경우, 화염대 근방에는 예측하는 것보다 훨씬 많은 이온농도의 영역이 존재한다는 것은 잘 알려진 사실로서, 그 영역중에 이온은 주로 화학이온화 반응에 의해 발생하는데 발생 구조로는 여러가지 설명이 있지만, 일반적으로 양이온과 음이온이 생성되는데 양이온은 Cal-cote¹⁰⁾에 의해



이며, Deckers¹¹⁾ 등은 질량 분석법에 의해 화학식 (4)을 확인했으며 (4)의 결과로 다음과 같은 연쇄반응으로 H_3O^+ 양이온을 제안해 H_3O^+ 은



으로 된다. 그 외에 Knew Stubb¹²⁾은 $C_3H_3^+$ 이온에 대해 제안했으며,



이다. 처음의 CH 와 O 의 반응에서 생성된 1차 이온에 의해 연쇄반응으로 2차 이온 등의 양이온이 생성된다¹³⁻¹⁵⁾. 음이온은 Miller와 Fontign 등이 질량분석법에 의해 C_2H_2/O_2 의 화염중에 O^- , OH^- , C_2^- , C_2H^- , O_2^- , CNO^- , NO_2^- , C_2H^- , C_3HO^- , $HCNO_2^-$ 등이 존재한다고 밝혔으며¹⁶⁾, 음이온의 한 예는



이다. 그러나 일반적으로 음이온은 화염의 반응대 부근에는 적고, 서로 다른 화학반응의 수에 따라 증가하는 것을 볼때 대부분의 음이온은 반응 이외의 다른 매체로 생성되어지는 것으로 생각되어진다. 화염중에 존재하는 이온의 종류로 양이온은 H_3O^+ , $C_3H_3^+$, CHO^+ 등이 있으며, 여러자료를 보면 이 중에 탄화수소의 화염에는 H_3O^+ 가 가장 많이 존재한다.

2-3. 화염 전파 속도식

화염이 전파될 때 평균속도를 구하는 일반적인 이론식¹⁷⁻¹⁹⁾은

$$\text{화염전파속도} = \text{총류연소속도} + \text{난류연소속도} + \text{팽창속도} \quad (9)$$

이지만, 난류연소 속도에 대한 해석이 매우 어려워져서, 최근에는 실험으로 많이 이루어지고 있다. 그 중, 이론

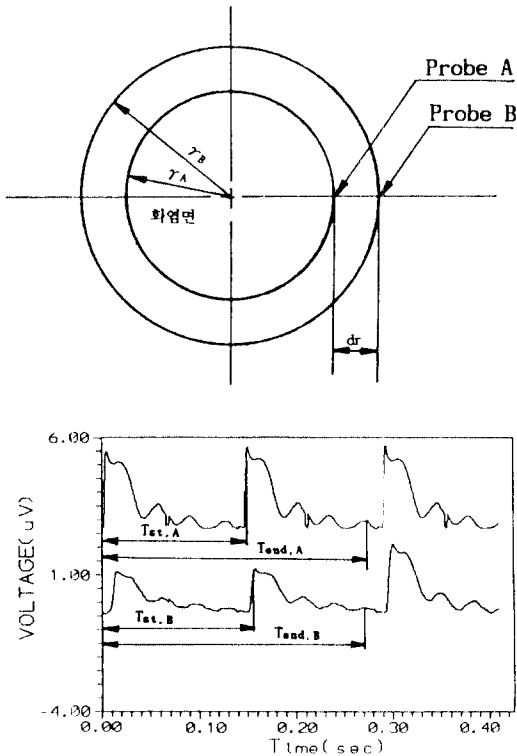


Fig. 2. Flame propagation velocity for ion probe position.

전류 프로브를 이용한 화염전파 속도를 측정하는 기본 방법은 화염면이 일정한 방향으로 전파할 경우, 이온 프로브의 위치를 스파크 플러그를 중심으로 Fig.2와 같이 서로 다른 위치에 2개의 이온 전류 프로브를 반경이 같은 위치에 일정한 거리로 설치하였다. 이때 화염이 센서에 도달하면 이온전류가 급격히 증대하여 이온전류파형은 피크를 이루는데 이온전류파형을 이용한 화염전파속도를 구하는 방법은¹⁹⁾ 두 가지의 방법이 있는데, 하나는 前 화염면의 평균 이동속도를 구하는 방법과 다른 하나는 後 화염면의 평균 이동속도로서 구하는 방법이다. 이들 방법중 화염영역의 前 화염면이 평균이동속도로 쓰여지는 경우가 많고, 後 화염면의 평균이동속도 측정은 거의 쓰여지지 않는다.

前 화염면의 평균 이동속도 방법은 화염영역이 시간 Δt 내에 일정속도 $V_{st}(r)$ 로 프로브를 통과 한다고 가정할 경우, 이때 2개의 프로브에서 검출되는 이온 신호에서 $T_{st,B}$ 는 프로브 B를 지나는 화염 전면의 시간이고, $T_{end,A}$ 는 프로브 A를 지나는 화염 후면의 시간이다. 이때 이온 파형의 위상관계를 두 가지로 나누어 볼 수 있는데,

첫째, $T_{end,A} > T_{st,B}$ 의 경우

전파하는 화염이 프로브 A의 위치를 지나 프로브 B의 위치에 도달되는 순간 프로브 A부분에서의 연소는 거의 끝나며, 다음 화염이 진행된다.

둘째, $T_{end,A} < T_{st,B}$ 의 경우

전파하고 있는 화염이 센서 A의 위치를 지나 센서 B의 위치에 도달되어서도 센서 A부분에서는 아직도 연소가 진행되고 있다. 城戸⁷⁾에 의하면 전파되는 화염의 중심부에도 미연혼합기가 존재하고, 또한 화염속도는 화염 전면보다 후면이 더 빠른 속도로 전파한다고 하였으며, 본 실험에서 구한 Fig.2의 이온전류 파형과도 잘 일치하고 있다. 본 실험에서의 화염전파속도 측정은 Hiroyuki¹⁹⁾의 화염 전면의 식을 다음과 같이 변형하여 계산하였다.

$$V_{fl} = \frac{Y_B - Y_A}{T_{st,B} - T_{st,A}} \quad (10)$$

3. 이온전류 측정장치 및 방법²¹⁾

3-1. 이온전류 측정장치

이온 전류측정을 위한 프로브에서 요구되는 사항은 첫째, 응답성이 좋아야 하고, 둘째, 내열성이 있어야 하며 또, 내산화성, 전도성이 좋아야 한다. 따라서 재질은 백금, 니켈 등이 있지만 백금은 고가이기 때문에 본 실험에서는 니켈($\phi 0.3$ mm, Ni, 99%)을 사용하였다. 실린더에 설치한 이온 프로브는 직경 7 mm인 볼트중심에 3 mm인 구멍을 뚫었다. 프로브는 완전 절연이 되어야 하기에 소선이 꽂힐 수 있는 두개의 구멍이 있는 절연관($\phi 3$ mm)을 사용하였다. 절연관은 수정관을 이용한 것도 있지만, 수정은 1500 K 이상 고온에는 완전절연이 되지 않기 때문에 본 실험에서는 절연에 주의하여 애자관을 사용하였으며, 애자관을 관통한 구멍속에 소선을 끼우고, 내열성 접착제(Devcon)를 사용하여 소선과 절연관을 볼트안에 고정시켜 이온 프로브를 만들었다. 소선(Ni)을 꽂은 프로브 양단에 절연을 위해 접착제를 사용하였다. 그 이유는 프로브의 검출부 이외 전도체는 화염과 절연이 되어야 하기 때문에 화염을 통해 프로브로 전달되어 생기는 미세한 전류의 흐름을 방지하기 위한 조치이다.

센서의 간극에 의한 이온 전류의 차이는 거의 없으나 0.8 mm~1.0 mm가 가장 적합했다²⁰⁾. 절연관을 사용하지 않았을때는 노이즈가 극심하게 생겼으며 절연관을 사용했을 경우는 노이즈의 발생이 거의 없기 때문에 본 실험에 절연관을 사용한 프로브를 이용하였다. 센서를 제작 완성후, 검증을 위하여 600 Ω 까지 측정을 해 본 결과 완전 절연이 된 것을 확인하였다.

센서 사이에는 연소후 탄소막으로 인한 미소한 전류

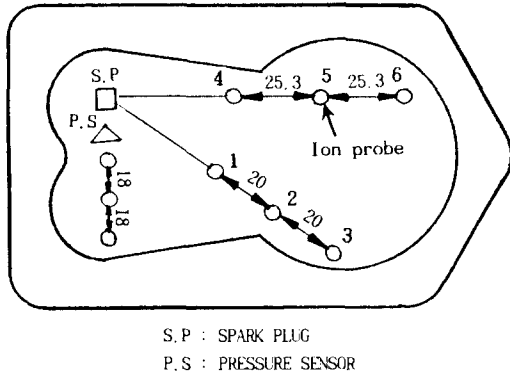


Fig. 3. Location of ion probe inserted in cylinder head.

Table 1. Specification of the test engine.

Engine Type	1 cyl, Air cooled.
Displacement(cc)	433
Compression Ratio	4.5:1
Maximum Output(ps/rpm)	8.0/1800
Valve Arrangement	L-head camshaft
Length of Connecting Rod(mm)	133

가 흘러 이온 전류측정을 방해하기 때문에 자주 탄소막을 벗겨 주어야 한다. 또한 낮은 전압은 미소이온 사이를 침투하기 어렵기 때문에 높은 전원을 공급하여야 하는데, 본 실험에서는 40 V의 전원을 공급하였다²⁰⁾. 화염속을 흐르는 미소한 이온전류 보다 점화플러그에 의해 발생하는 전자계에 의한 노이즈가 클 수 있어 노이즈현상을 제거하기 위하여 잡음제거 필터(LPF)를 사용하였다.

화염이 센서를 지나면 미소 이온전류의 신호가 출력되는데 미약하기 때문에 증폭기(Current amp)에서 증폭을 시킨뒤 I/V Converter에서 전류를 전압으로 변환시켜, 오실로스코프로 전송한 다음 A/D Converter에서 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿔 32Bit 컴퓨터에 데이터를 저장했다. 압력센서로 부터의 신호는 Charge amplifier로 증폭시켜 오실로스코프를 통해 관측하였다.

연소실내에서 점화된 화염은 연소실 전역을 일정한 원형으로 전파되기 때문에 스파크 플러그를 중심으로 실린더 벽면까지 등간격으로 수평방향과 수직방향 그리고 45도 방향으로 센서의 위치를 설정하였다. 이온 프로브의 감지부는 연소실 헤드에서 3 mm가 돌출되어져 있다. 수평방향으로는 센서와 센서의 거리를 25.3 mm, 수직방향으로는 18 mm, 45도 방향으로는 20 mm로 정한 것을 Fig. 3에 보여주고 있다. 수평방향은 센서 아래 흡 배기 밸브가 있으며, 또한 점화플러그부근에 압력

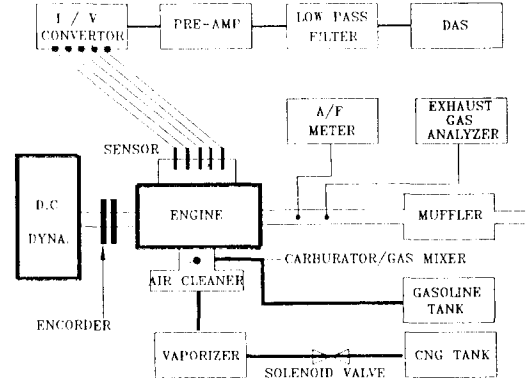


Fig. 4. Schematic diagram of the experimental set up for an ion current.

Table 2. Experimental setup for measurement equipment.

Equipment	Measured property	Model
Dynamometer	Torque, rpm	Plint
A/F Ratio Meter	Excess Air Ratio	Lamdscan III Cussons, England.
Gas Flow Meter	CNG Flow Rate	Tokyo kiki, Japan
Ion Current Analyzer	Ion Current	Ost R&D, Korea

센서를 설치하여 정확한 측정을 할 수 없어 무시하였다.

3-2. 이온전류 실험방법

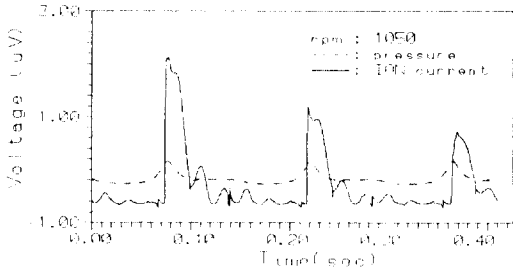
본 실험에 사용된 기관은 단기통 4 사이클 공랭식 기관으로 재원은 Table 1이다.

전체적인 이온전류 측정을 위한 실험장치도가 Fig. 4이다.

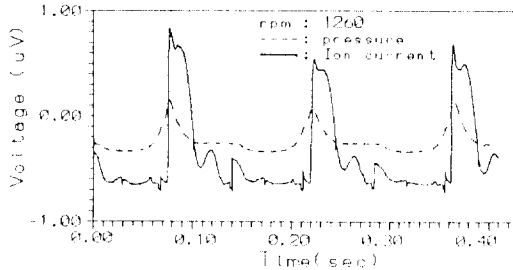
Table 2은 측정에 필요한 장비로서 공연비 측정은 Lamdscan으로 공기과잉률 값을 확인해 가면서 공기량과 연료량을 조절하였다.

기존 가솔린 기관의 연료공급 장치에 천연가스를 공급하기 위하여서는 연료공급장치를 개조하여야 한다. 기존의 기화기를 개조하여 천연가스엔진에 적합토록 N사의 설계기준에 따라서 제작한 가스에어믹서(Gas air mixer)를 사용하였다.

측정된 이온전류 신호로부터 화염속도 산출을 위해 다음의 방법을 사용하였다. 먼저 화염속도는 점화가 시작된 후 화염이 점화플러그로부터 이온 프로브에 도달할 때 까지의 시간을 측정해서 두지점 간의 직선거



(a) Natural gas(methane)



(b) Gasoline

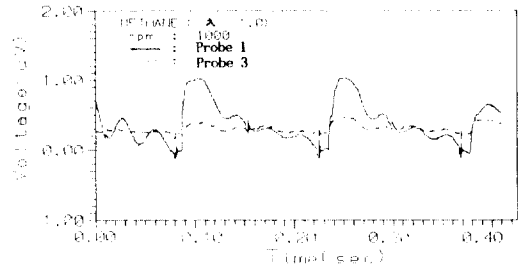
Fig. 5. Comparison of ion current and pressure signal.

리를 나누어줌으로서 평균 화염속도를 구했다. 따라서 화염 전파시간에 점화지연 시간도 포함되어 있으므로 평균 화염속도는 다소 오차를 갖지만 천연가스와 가솔린의 동일조건에서의 상대적인 화염 전파속도의 비교는 가능하다. 사이클 변동에 따른 화염 전파속도의 오차를 줄이기 위해 연속적인 9개 사이클의 앙상블(ensemble) 평균 화염속도를 식 (11)과 같이 계산하여 그 대표값을 정했다. 여기서 N은 사이클 수이며, 첨자 i는 i번째 사이클을, S_i는 화염 전파속도를 나타낸다.

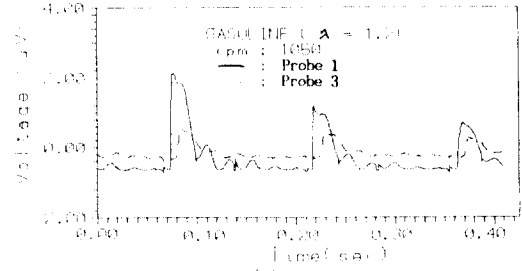
$$\bar{S}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{i_i} \quad (11)$$

4. 실험결과 및 고찰

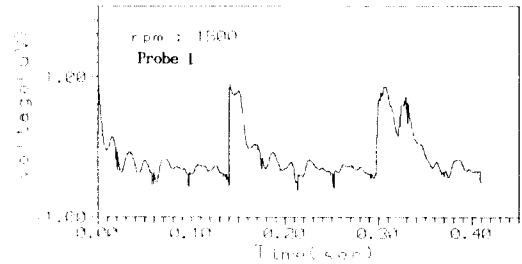
이온프로브 실험으로부터 얻어진 데이터의 신뢰성을 확인하기 위해 다음의 예비실험을 통해 실험데이터를 검증하였다. 먼저 연소진행에 따른 이온전류 신호를 검증하기 위해 연소압력과 이온전류 신호를 동시에 메모리타입 오실로스코프를 통해 관측 함으로서 매 사이클이 진행됨에 따라 연소압력의 상승지점과 이온전류 신호발생 지점이 일관성 있게 나타나는지를 확인하였다^{20,21)}. Fig. 5은 이온 프로브 1에서의 이온전류 신호 도달시 강도를 나타낸 그림이다. 이온전류의 피크치는



(a)Methane



(b)Gasoline



(c) Ion intensity of max. rpm for methane

Fig. 6. Comparison of ion intensity between probe 1 and probe 3.

압력이 최대인 점에서 발생함을 알 수 있다. 이것은 연소실내의 압력이 최고 일때 고밀도의 이온농도가 형성되는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 이온프로브 1과 3에서의 이온전류의 파형을 나타낸 것이다. (a)는 메탄인 경우인데 (b)의 가솔린의 경우에 비하여 피크치는 예리하지 못하다. 프로브 위치에 대한 영향을 보면 점화 플러그에서 가까운 프로브 1은 이온신호의 난동(亂動)이 적고, 높은 이온피크가 형성되어 이루어져 있으며, 먼곳인 프로브 3은 이온농도가 적게 나타났다. 이온 강도를 분석 해 보면, (a)의 메탄의 경우 연소실 중심면의 이온 강도가 벽면보다 약 3.5배 정도 강하게 나타났으며, (b)의 가솔린의 경우는 약 3.7~4.2배 정도 강한 피크치를 보여서 정성적인 경향은 일치하게 나타나고 있다. 이것은 연소실내의 온도분포와 같은 경향을 보이는 것으로 생각된다. (c)는

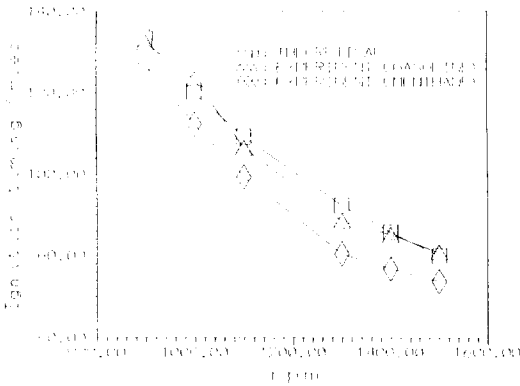


Fig. 7. Comparison of ignition period theoretical and experimental results.

메탄의 경우 이온 프로브 1에서 기관 회전속도에 대해 속도의 영향을 파악 한 것인데 속도가 최대(1800 rpm)일 때 특이하게 이중피크가 출현하며, 이온전류파형이 중복되게 생기는데, 이 원인은 연소실 내 이상연소(異常燃焼)현상이 발생하여 화염이 분할되어 두번 프로브를 통과하는 찌그러짐(Wrinkling)현상 때문으로 생각된다.

가솔린과 메탄을 연료로 사용하였을 때 점화시간(총 연소시간)에 대한 이론 계산치와 실험치와의 비교가 Fig. 7이다. 여기서 이론치는 연소실내에서 회전수별로 계산된 값이며 실험치는 6개의 이온프로브에서 측정된 연속적인 9개 사이클의 평균화염속도를 식(11)와 같이 계산한 값이다. 가솔린의 경우는 이론치와 실험치를 비교해 보면 차이가 적었으며, 메탄의 경우는 약 6 ms~9 ms 정도 늦었다. 이 원인은 메탄 연료의 착화지연기간이라고 판단된다. 고속에서 가솔린과 메탄의 차이가 큰 것은 산화제와 연료와의 화학적인 반응시간의 차이와 착화지연때문이라고 판단되며, 차후 이 분야에 관해서 광학적인 방법과 상호 보완해서 화염의 미세구조와 연소속도와와의 상관 관계를 파악해야 될 것으로 사료된다.

5. 결 론

화염의 전기적 성질을 이용하여 연소실내의 화염전파속도를 파악하기 위하여 이온전류장치 설계에 의해 천연가스 및 가솔린의 화염전파 속도를 측정하였다.

연소압력의 상승지점과 이온 전류 발생지점이 일관성있게 나타나므로 이온 전류신호는 신뢰성이 높았으며 이온 프로브의 제작과 신호처리에 관한 일반적인 지식을 얻었다.

기존 기화기 대신 가스에어믹서(Gas-air mixer)의 제작으로 연료공급장치를 변경하여 가솔린기관에 장착하여

메탄가스를 사용한 경우 기관의 운전특성도 양호했다.

기관 회전수의 증가에 따라서 양 연료 모두 연소실내의 화염전파 속도가 증가했으며 같은 연소조건이라고 할 수 있는 동일 기관회전수, 당량비의 조건에서 가솔린과 천연가스의 점화시간에 대한 화염전파 속도를 비교해 보면 메탄의 경우가 이론치보다 6 ms~9 ms 정도 늦었다.

난류전파 화염에서 화염면이 통과할때 나타나는 이온전류 신호를 상세히 분석하면 난류 특성과 난류 화염의 국부적인 속도와의 관계를 장차 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

감 사

본 논문은 저자들이 한국기계연구원 동력기계연구실에서 근무하는 동안 실험한 결과임을 밝혀둡니다. 연료공급장치 변경등 많은 시설 및 기기의 활용에 배려를 해 주신 정동수 실장님, 서승우 선임연구원, 최교남 연구원의 도움에 매우 감사드립니다.

참고문헌

1. Pearce, M., *Proc. Automobile Div., I. MechE.*, 1949-50, 155 (1949).
2. Moore, N. P. W. and Roy, M. B. N., *Proc. I. Mech. E.*, **170**, 1137 (1956).
3. Karim, G. A. and Ali, I. A., SAE 730084 (1973).
4. Baet, J. E., UBC Report AFL-82-02 (1982).
5. Perry, C., Evans, R. L. and Hill, P. G., UBC Report, AFL-82-05 (1982).
6. Evans, R. L., Goharian SAE 840234 (1984).
7. 城戸裕之 外 2人, 日本機械學會論文集, **56**, 177 (1991).
8. 平野敏右 外 3人, 日本機械學會論文集, **41**, 346 (1975).
9. 飯沼一男 外 2人, 日本機械學會論文集, **56**, 1139 (1960).
10. Calcote, H. F., Aerochem Resea. Lab. Princeton Rep., TP-24, (1960).
11. Deckers, J. and V. Jeggelen, A., *Proc. 7th Symp. (Int.) on Combustion*, 254 (1959).
12. Knewstubb, P. F. and Sugden, T. M., *Proc. 7th Symp. (Int.) on Combustion The Combustion Institute*, 247 (1959).
13. Gaydon, A. G. and Wolfhard, H. S., *Flames.*, 4th ed., Chapman and Hall, 359 (1979).
14. Masahiro, F. et al., *Trans. Japan Soc. Mech. Engrs.*, **57**, 534 (1991).

15. 金原壽郎, 氣體の燃焼物理, 219, 裳華房, 東京, (1985).
16. Miller, W. J. and Fontign, A., *Nature*, **4959**, 679 (1964).
17. Langmuir, I. and M. Smith, H. M., *Gen. Elec. Rev.*, **31**, 358 (1923).
18. Suzuki, T. and Hirano, T., *AIAA Jour.*, **11**, 151 (1973).
19. Hiroyuki, K. *et al.*, *Trans. Japan Soc. Mech. Engrs.*, **56**, 521 (1990).
20. 정진도 외 3인: 한국연소학회 제7회 학술강연회 초록집, 40(1991).
21. Jeong, D. S., Chung, J. D., Seo, S. W. and Choi, K. N., The Sixth Int. Pacific Conf. on Automobile Eng., **2**, 913 (1991).