

# 가솔린기관의 연소현상 진단을 위한 브레이크다운 전압의 특성에 관한 연구

박재근\* · 조민석\* · 황재원\* · 장기현\* · 채재우\*\*  
(1999년 8월 18일 접수)

## A Study on the Characteristic of Breakdown Voltage for Combustion Diagnostic of Gasoline Engine

Jaekyun Park, Minseok Jo, Jaewon Whang, Gihyun Jang and Jaou Chae

### Abstract

A classic examples of the abnormal combustions are the knock and misfire, which raise noxious performance and life of the engine. A heavy knock can also cause severe damages to the engine itself, which gives more reason why it must be detected and corrected. With the response of the today's requirements, we have researched the new diagnostic system which uses the breakdown voltage characteristics between electrodes of spark plug. This breakdown voltage depends on the pressure, temperature and even the shape and material of electrodes. But there is no data of breakdown voltage in case of using the spark plug as a electrodes. So, in this study, we show the breakdown voltage characteristic by pressure and temperature in constant volume bomb, which will make it possible to diagnose the engine combustion phenomenon.

**Key Words:** Breakdown Voltage(절연파괴전압), Engine Diagnostic(엔진 진단), Spark Plug(점화 플러그)

---

### 기호설명

- $a$  : 충돌전리 계수
- $j$  : 전자전류
- $\gamma$  : 정이온 한 개에 해당하는 방출전자수
- $d$  : 전극간의 거리 [cm]
- $\rho$  : 가스의 밀도[kg/m<sup>3</sup>]
- $T$  : 절대온도[K]
- $P$  : 압력[mbar]

### 1. 서론

최근 환경문제와 에너지문제가 대두됨에 따라, 모든 산업분야에서 이를 해결하기 위한 방법을 모색하고 있는 가운데, 자동차 산업 역시 이에 대처하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 특히 자동차로부터 배출되는 유해배기 가스문제는 사회적으로 그 인지도가 높아짐에 따라, 각 국가에서 이를 위한 기구를 설립하고 정책적으로 규제를 가함으로 그 심각성이 더해 가고 있다.

엔진의 배기가스중에서 유해성분은 주로 엔진 연소실내 혼합기의 이상연소에 의한 불완전연소에 기인하며, 이러한 불완전연소는 엔진의 성능

---

\* 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 인하대학교 기계공학과

E-mail : fire@inha.ac.kr

TEL : (032)860-7314 FAX : (032)865-6525

및 효율까지도 저하시킨다. 따라서 이러한 연소실내의 이상연소를 검출하기 위한 여러 엔진진단 방법들이 연구되고 있는데, 본 연구팀도 이러한 차원의 연구로서 별도의 부가적인 센서를 장착하지 않고서 엔진내 연소현상을 진단하는 새로운 시스템을 연구한 바 있다.<sup>(1,7,8)</sup> 이는 엔진내의 기장착된 점화플러그에 바이어스전압을 인가해줌으로 점화플러그의 전극사이에서 브레이크다운전압을 유발시켜, 그 변화를 측정함으로써 연소실내부의 연소특성을 파악하는 시스템으로, 이때 발생하는 브레이크다운전압이 연소실내의 압력과 온도의 지배적인 영향을 받는다는 방전공학에서의 원리를 이용한 것이다. 실제로 브레이크다운전압은 전극사이에 존재하는 가스의 온도와 압력에 지배적인 영향을 받으며, 그 외에도 전극의 형상 및 재질, 가스의 종류 등에 부수적인 영향을 받는다. 따라서 실제 엔진에서 연소로 인한 실린더내의 압력과 온도변화는 브레이크다운전압의 특성을 변화시키게 된다. 이미 본 연구팀은 이러한 브레이크다운전압 측정법을 통하여 실제엔진에서 실험의 검출을 성공적으로 수행한 바가 있으며, 그 외의 가능성을 제시한 바 있다.<sup>(2,3)</sup> 실제로 가스방전공학에서 브레이크다운전압의 압력과 온도에 따른 이론식들과 법칙들이 제시되었으나, 실제에 적용하기에는 그 한계가 있는데, 이는 사용되어지는 점화플러그의 전극이 그 형상과 재질등에서 독특한 조건하에 있기 때문에 브레이크다운전압의 특성이 이론값과 동일하지가 않다는 것이다. 이에 본 연구에서는 점화플러그 및 전열장치가 설치된 정적용기를 제작하여 점화플러그를 전극으로 사용하였을 경우의 압력과 온도에 따른 브레이크다운전압의 특성을 고찰하였고, 이를 통하여 실제 엔진 연소시에 적용할 수 있는 브레이크다운전압의 결과값들을 취득 및 본 이론의 타당성에 대해 입증하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 기체 상태의 절연과괴

Townsent<sup>(9)</sup>는 전극간의 전계가 동일한 조건하에서 기체의 절연과괴에 대해 기초적인 연구를 수행하였는데, 그 현상을 살펴보면, 1개의 전자가 1m 진행하는 사이에 충돌전리를 행하고 원래의 전자 이외에 이온과 전자의 짝이 발생하는 회

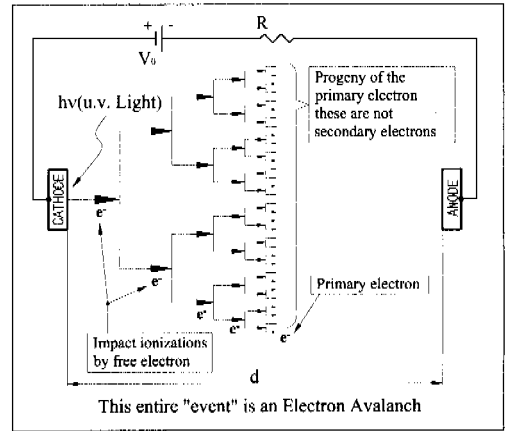


Fig. 1 The phenomenon of electron avalanche

수를  $\alpha$  라하며 이것을 전자의 충돌 전리계수 (coefficient of ionization by collision)라고 부른다. Fig. 1은 이러한 전자의 절연과괴현상을 도시화한 그림이다.

1개의 전자가 미소거리  $dx$ 를 진행하는 사이에 전자의 수는  $\alpha \cdot dx$ 만큼 증가하므로  $N$ 개의 전자에 대한 증가수  $dN$ 은

$$dN = \alpha N dx$$

이다. 매초당 음극면 ( $x=0$ )에서 방출되는 전자의 수를  $N_0$ 이라 하면

$$N = N_0 \exp(\alpha x)$$

를 얻고 양극의 표면( $x=d$ )에는 1초간에

$$N \alpha = N_0 \exp(\alpha d)$$

의 전자가 도달한다. 따라서 양극에 흐르는 전자전류  $j$ 는

$$j = eN_0 \exp(\alpha d)$$

로 나타난다. 즉 매초당 음극에서  $N_0$ 개의 전자가 나오고 양극표면에서는  $N_0 \exp(\alpha d)$ 가 되므로 전자는  $N_0 \exp(\alpha d) - N_0 = N_0 \{ \exp(\alpha d) - 1 \}$ 개 증가하게 되어 전극간의 공간에서 같은 수의 정이온이 생성된다. 그런데 정이온은 음극표면에 충돌하여 그 표면에서 이차전류를 방출한다. 정이온 1개에 해당하는 방출전자수를  $\gamma$ 라 하면,  $\gamma N_0 \{ \exp(\alpha d) - 1 \}$ 개의 이차전자가 방출된다. 이들 전자는 충돌전리 작용 때문에 양극표면에서는  $\gamma N_0 \{ \exp(\alpha d) - 1 \} \exp(\alpha d)$ 로 증식된다. 따라서 이차 전자 방출을 고려하면 양극으로 유입되는 전자전류는

$$j = eN_0 \frac{\exp(\alpha d)}{1 - \gamma \{ \exp(\alpha d) - 1 \}}$$

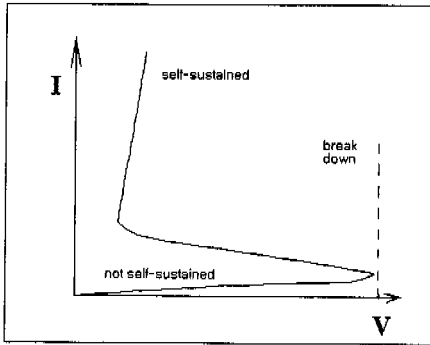


Fig. 2 Voltage-ampere characteristic of gas discharge

로 된다. 초기전자  $N_0$ 가 따로 공급되지 않아도  $j$ 가 부한되는 조건은 위 식의 분모가 0 일 때에

$$\gamma \{ \exp(\alpha d) - 1 \} = 1$$

이다. 위의 식<sup>(9)</sup>을 자속방전 확립조건이라 하며 또 이 조건을 성립시키기 위해서 필요한 전압을 방전개시전압 혹은 브레이크다운전압이라고 한다.

### 2.2 전압-전류 선도

전극 사이의 거리가 일정한 상태에서 양극간에 전압을 인가하면, 초기에는 전류가 전극 사이를 흐르지 못하지만, 계속해서 전압을 상승시키면, Fig. 2에서와 같이 임의의 순간에 급작스러운 전류의 도통으로 방전이 일어나게 된다. 이때의 조건을 스파크 조건(sparking criterion), 또는 자속방전조건(self-sustained discharge criterion) 이라고 부르며, 이러한 스파크 방전조건을 성립시키는데 필요한 인가전압을 절연파괴전압, 즉 브레이크다운전압(BDV, breakdown voltage)이라고 한다.

### 2.3 파선의 법칙

Paschen<sup>(6)</sup>은 평등전계에서 평행평판의 구리전극을 사용하여 방전개시전압  $V$ 가 기체압력  $P$ 와 전극사이의 거리  $d$ 의 곱인  $Pd$ 의 함수로 되는 것을 실험을 통해 보여주었다. 이 방전개시전압  $V$ 를 인가하는 파선의 법칙은 위의 식과  $\alpha$ 의 전계  $E$  및  $P$ 에 대해 표현한 식

$$\alpha / P = A \exp\{-B/(E/p)\}$$

을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln \ln(1 + \frac{1}{\gamma})}$$

여기서  $A, B$ 는 기체교유의 정수이며, 이러한 절연파괴시의 브레이크다운전압은 절대압이 증가할수록 높아지는데, 공기는 1기압에서 약 30kV/cm의 브레이크다운전압을 가지며, 30Pd+1.53(p는 atm, d는 cm단위를 가짐)로 변화한다.<sup>(4,5)</sup>

### 3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 압력과 온도에 따른 브레이크다운전압의 특성을 실험적으로 파악하기 위하여 정적용기를 제작하여 실험하였다. 정적용기 제작시에 브레이크다운전압을 측정하기 위한 탐침으로서 점화플러그를 장착하였으며, 바이어스전압 공급장치를 제작하여 정적용기 내의 점화플러그에 브레이크다운전압을 발생시키기 위한 바이어스 전압을 공급하여 주었다. Fig. 3은 정적용기의 실험장치 개략도를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, 100기압으로 충전되어 있는 가스용기로부터 정적용기로의 파이프에 설치되어 있는 밸브를 개폐함으로써 정적용기내의 압력을 조절하여주었다. 또한 온도는 정적용기의 표면에 판전열기를 설치하여중으로 용기내의 가스온도를 상승시켰다. 이때 정적용기에 판전열기가 접촉되어짐으로 온도측정을 위한 열전대가 용기내의 가스온도만이 아닌 용기표면의 온도까지도 영향을 받으므로 이를 방지하기 위하여 정적용기와 접촉하는 열전대의 탭부분과 열전대 내부의 R type의 백금선사이에 단열재를 이용하여 제작함으로써 정적용기의 표면온도가 열전대 내부에 영향을 미치지 못하도록 하였다. Fig. 4는 정적용기와 판전열기 및 점화플러그의 개략도를 보여주고 있는데, 전열기에 온도제어기를 설치함으로써 정적용기내의 가스온도를 제어하였으며, 온도변화가 안정화 되었을때의 온도를 기준으로 실험의 변수값들을 택하였다.

실험조건은 Table 1에서 보여주는 바와 같이 압력과 온도, 그리고 가스의 종류를 변수로 하였으며, 각각의 경우에서의 브레이크다운전압의 특성을 살펴보았다. 그리고 Table 2는 본 연구에서 사용된 오실로스코프의 사양을 나타낸 것이다.

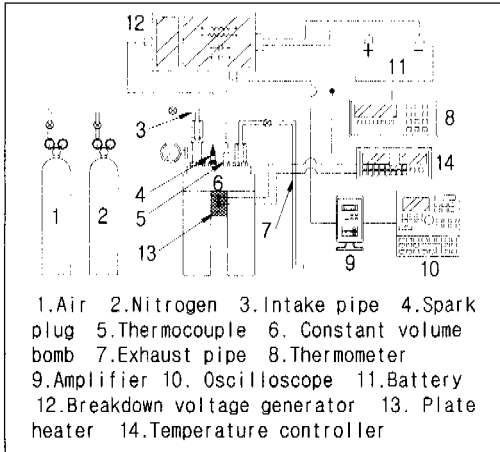


Fig. 3 The schematic diagram of experimental setup

Table 1 The Parameters of Experiment

Parameters	Specification
Pressure	1bar ~ 20bar
Temperature	281K ~ 473K
Kinds of Gas	Air, Oxygen, Nitrogen

Table 2 The Specification of Oscilloscope

Parameters	Specification
Bandwidth	500MHz
Channels	4
Record Length	50K pts
Resolution	8-Bits
Sensitivity	1mV to 10V
BW Limit	20,250MHz
Peak Detection	1ns

본 논문의 이론적 고찰에서 언급한 바와 같이, 파선의 공식으로부터 얻은 브레이크다운전압은 가스의 종류와 전극의 형상 및 재질이 이미 정해진 상태에서 취득한 값을 의미한다. 따라서 실제 엔진에서 브레이크다운전압을 이용한 연소해석을 위해서는 이때 사용되는 전극, 즉 점화플러그의 재질과 형상에 따른 브레이크다운전압을 파악하여야 한다. 따라서 본 정적용기실험에서는 점화플러그를 전극으로 사용하였을 때, 가스의 조건(압력과 온도)에 따른 브레이크다운전압의 특성을 파악하는데 그 의의가 있다.

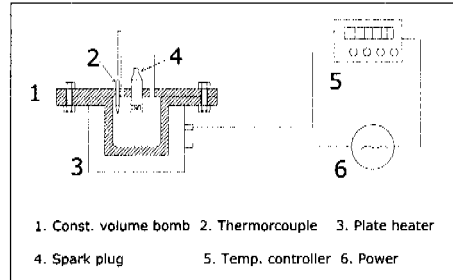


Fig. 4 The schematic diagram of constant volume bomb

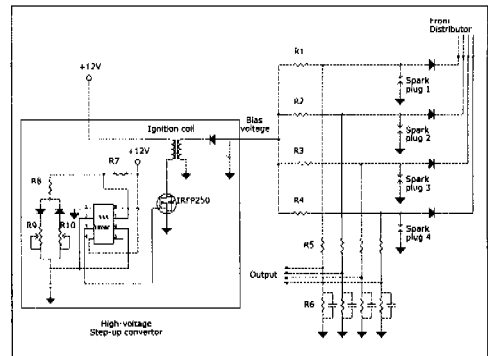


Fig. 5 Breakdown voltage measurement circuit

이는 앞으로의 모든 실린더내에서의 연소특성을 파악하는데 있어서 탐침으로 사용되어지는 것이 바로 점화플러그이기 때문에 매우 유용한 자료를 제공해 주리라고 확신한다.

Fig. 5는 브레이크다운전압 측정회로도를 나타낸 것이다. 회로는 바이어스전압 발생을 위한 승압 변환기(step-up converter)와 전압분배기(voltage divider), 그리고 브레이크다운전압 측정부 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 1차 펄스전압은 자동차용 배터리 전압을 FET(field effect transistor)에 의해 차단함으로써 만들어질 수 있다. 2차 코일에서 만들어진 고전압 펄스는 고전압 다이오드에 의해 정류되며, 리플(ripple)은 콘덴서에 의해 감소된다. 콘덴서에서 형성된 음의 바이어스 전압은 600MΩ의 동일한 저항들을 통하여 4개의 채널(실린더의 수)로 분배된다. 본 회로는 실제 엔진에 적용하기 위하여 제작한 것이므로 4개의 채널을 가지고 있지만, 본 정적용기 실험에서는 그중 한 개의 채널만을 사용하였다. 출력 신호는 스파크플러그 간극에 병렬로 연결되어 있는 전압분배기(voltage divider)를 거쳐 브레이크다

운전압 측정부로부터 얻어지는데, 이 전압분배기는 저항으로 구성되어있으며, 1200배만큼 전압을 감소시킨다.

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 압력에 따른 브레이크다운전압의 특성

압력에 따른 브레이크다운전압의 특성을 파악하고자 공기와 질소의 브레이크다운전압을 측정하였다. 이때 정적용기내의 가스온도는 381K이고 전극으로 점화플러그를 사용하였으며, 전극사이의 거리는 0.2mm로 설정하였는데, 이는 정적용기내의 압력을 높이기 될 경우, 전극사이의 브레이크다운전압이 매우 높아지게 되어 바이어스 전압원이 매우 큰 전압을 공급해 주어야 브레이크다운전압이 발생하므로, 보다 낮은 바이어스 전압으로 브레이크다운전압을 측정하고자 전극간의 거리를 실제 점화플러그의 간극보다 훨씬 작게 한 것이다. 실제로 전극간의 거리에 따른 브레이크다운전압은 선형적으로 변하기 때문에 파선의 법칙으로 인해 구할 수가 있지만, 전극의 형상이나 재질에 따른 브레이크다운전압의 특성은 실험을 통하여 구해야만 하므로, 본 실험에서는 전극간의 거리를 작게 하여 보다 용이하게 브레이크다운전압을 측정하고자 한 것이다. 즉 후에 실제 엔진에서의 점화플러그 간극에 적용할 때에는 브레이크다운전압이 전극 사이의 거리에 선형적으로 변하기 때문에 전극의 재질과 형상에 대한 고유 상수값만을 구하면 그 응용이 가능하다.

Fig. 6은 12bar의 압력하에서 질소의 브레이크다운전압을 측정하는 것인데, -7.8V의 브레이크다운전압을 나타내고 있으며, Fig. 7에서는 동일한 질소가스 상태에서 6bar일때의 브레이크다운전압을 나타낸 것으로 -4.28V의 값을 나타내고 있다. 다음으로 Fig. 8에서는 12bar의 압력하에서 공기의 브레이크다운전압을 측정하는 것인데, -7.56V를 나타내고 있으며, Fig. 9는 역시 전극간의 가스가 공기일 때 6bar에서의 브레이크다운전압을 측정하는 것으로 -4.04V의 값을 나타내고 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 오실로스코프를 통해서 받은 데이터를 정리한 그래프로서, 이들 그림에서 보면, 압력이 높을수록 브레이크다운전압이 상승함을 알 수 있는데, 이는 일정한 온도에서 압력이 높을수록 가스의 밀도가 높아져 그만큼 절연

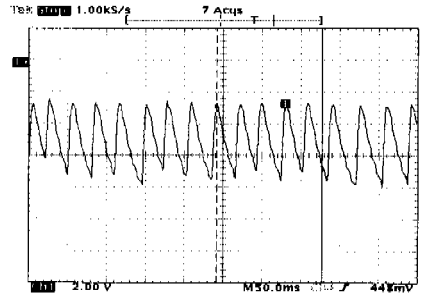


Fig. 6 Breakdown voltage of nitrogen at 12bar

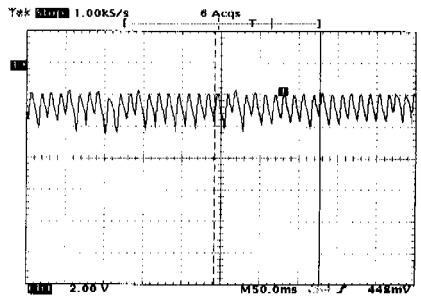


Fig. 7 Breakdown voltage of nitrogen at 6bar

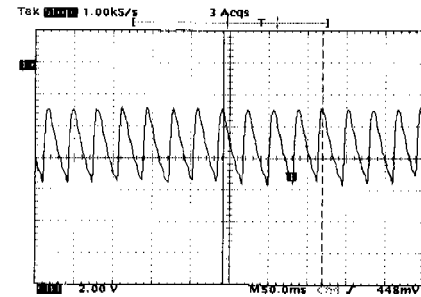


Fig. 8 Breakdown voltage of air at 12bar

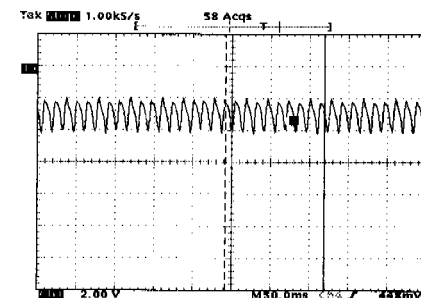


Fig. 9 Breakdown voltage of air at 6bar

파괴가 어려워지기 때문이다. 본 연구에서는 브레이크다운전압 측정을 위한 바이어스전압을 (-)로 인가하여 주었는데, 이는 보다 낮은 바이어스전압으로 브레이크다운전압을 얻을 수 있기 때문이다. 즉 바이어스 전압원이 작아도 충분히 브레이크다운전압을 구할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 본 논문의 모든 실험결과값들이 (-)로 표시되었음을 주의하여야 한다. 즉 질소의 경우 12기압에서 -7.8V가 공기의 -7.56V보다 더 높은 브레이크다운전압임을 의미한다. 그리고 이러한 오실로스코프에서 얻은 결과값들은 실제 브레이크다운전압을 1200배로 감소시켜 측정된 값이다. 따라서 오실로스코프의 7.8V는 실제 회로에서의 9.3kV를 의미한다.

이들 실험결과들을 통하여 비록 전극의 형상과 재질이 다를지라도 압력과 온도에 따른 브레이크다운전압의 변화특성이 파선의 범칙에 따라서 일정하게 변한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이, 전극의 재질과 형상에 따라 브레이크다운전압의 특성이 변하므로, 점화플러그를 전극으로 사용하였을 경우의 브레이크다운전압이 기존의 연구결과와 다른 값을 가지게 된다. 따라서 본 실험을 통하여 파선의 범칙에서 사용되어지는 계수를 본 실험결과를 통하여 보정해 주었다.

본 연구에서는 이러한 압력과 온도에 따른 브레이크다운전압의 특성식을 이용하여 실제 엔진에서의 연소실내 연소가스의 특성을 파악할 수 있는 가능성을 제시하여 주고 있다. 또한 가스조성의 변화에 따라서도 브레이크다운전압의 특성이 약간 변하는데, 이론적 고찰에서 이미 언급하였던 바와 같이 질소가 공기보다도 절연파괴전압이 약간 높다는 사실을 본 실험결과를 통하여 다시 한번 확인할 수 있었다. 그러나 압력이나 온도의 변화에 따른 영향과 비교해 볼 때, 그 영향은 매우 미미하였다.

1957년 Lau<sup>(6)</sup>는 공기에서의 브레이크다운전압을 측정하여 파선의 범칙에 따른 1차의 실험식을 도출해 내었는데, 아래와 같다.

$$V_s = 24.4\rho d + 6.53\sqrt{\rho d}$$

$$\rho = \frac{P}{1013} \cdot \frac{293}{T}$$

여기서  $V_s$ 는 브레이크다운전압으로 단위는 kV이며,  $P$ 는 압력으로 단위는 mb이고  $d$ 는 전극간의 거리로서 단위는 cm, 마지막으로  $T$ 는 가스의 온도로서 단위는 켈빈[K]이다.

이 실험식을 통해 얻어진 그래프가 Fig. 12로서, 파선의 범칙에 따른 브레이크다운전압의 특성을 온도와 압력의 함수로 나타낸 것이다. 이 그림에서도 역시, 온도가 증가할수록, 그리고 압력이 감소할수록 브레이크다운전압이 감소함을 볼 수 있다

Fig. 13은 전극 사이의 기체가 공기인 경우, 정적용기에서 실험한 결과를 나타낸 것이다. 각각의 데이터는 10회의 결과값을 평균하여 나타낸 값들이다.

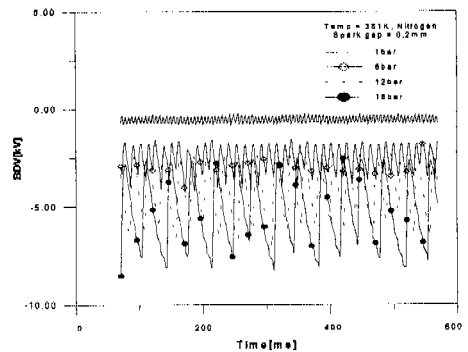


Fig. 10 Breakdown voltage characteristic of Nitrogen by pressure

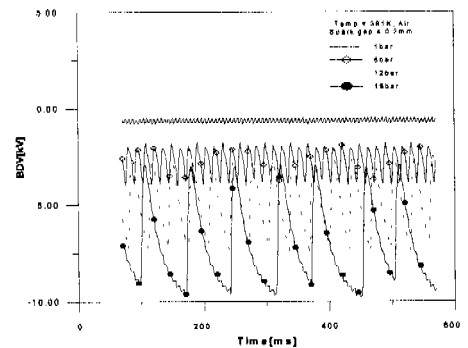


Fig. 11 Breakdown voltage characteristic of Air by Pressure

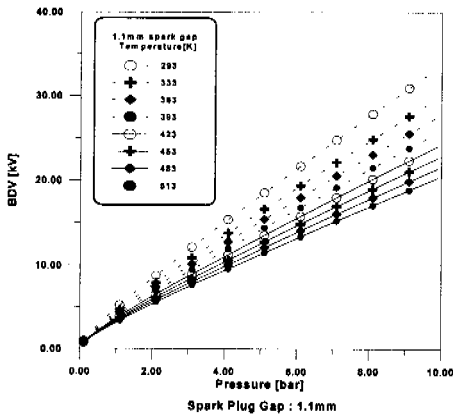


Fig. 12 Breakdown voltage characteristic by Pashen's law (by Pressure)

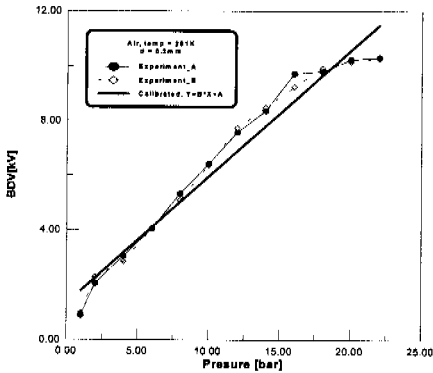


Fig. 13 The calibrated breakdown voltage curve when spark plug is used for electrode

이미 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 점화플러그를 전극으로 사용하였기 때문에 그 전극의 형상이라든지 재질이 달라서 파선의 범칙과 정확히 일치하지 않는다. 따라서 점화플러그를 이용하여 브레이크다운전압을 측정함으로써 연소현상을 파악하려는 시도에 있어서 이를 위한 보정된 공식이 필요하다. 위의 그림에서는 전극간의 기체가 공기인 경우에 간극사이의 거리를 0.2mm로 조정하여 브레이크다운전압을 측정한 결과를 보여주고 있는데, 그림에서 볼 수 있듯이, 압력에 따른 브레이크다운전압 특성을 1차곡선( $Y = bx + a$ )으로 표현할 수 있었으며, 이때 1차곡선의 계수인  $a$ 와  $b$ 는 각각 1.31511와 0.462998의 값을 가진다.

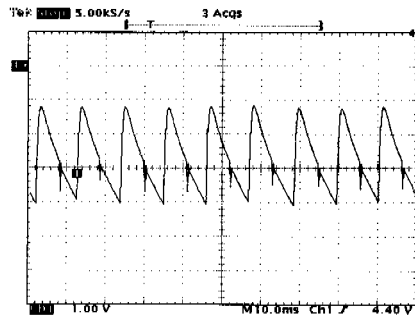


Fig. 14 Breakdown voltage of Oxygen at 423K, 10bar

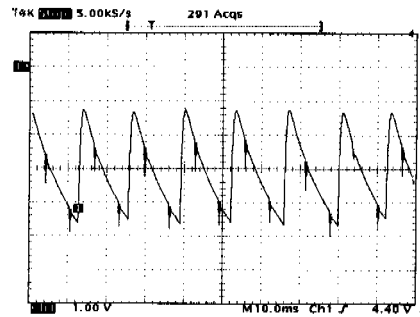


Fig. 15 Breakdown voltage of Oxygen at 373K, 10bar

#### 4.2 온도에 따른 브레이크다운전압 특성

본 연구에서는 브레이크다운전압의 온도에 대한 특성을 알아보기 위하여 정적용기에 판전열기를 설치하여 정적용기내 가스의 온도를 상승시키면서 실험을 하였다. 이때 점화플러그의 간극은 0.1mm로 조정하였으며, 온도는 상온에서부터 473K까지 상승시켰다. 이때도 역시 보다 낮은 바이어스전압으로 브레이크다운전압을 측정하고자 전극간의 거리를 실제 점화플러그의 간극보다 작게 설정하였으며, 전극간의 존재하는 가스는 산소를 이용하였다.

Fig. 14는 용기내 가스의 압력이 10bar이고 온도가 423K인 경우의 브레이크다운전압을 오실로스코프로 측정한 그림이다. Fig. 14에서 보면, 브레이크다운전압이 약 -4.0V인 것을 알 수 있는데, 이때의 브레이크다운전압 역시 1200배로 감소시켜 측정한 것이므로 실제 그 전압은 4.8kV를 의미한다. 그리고 Fig. 15에서는 동일한 압력상태에

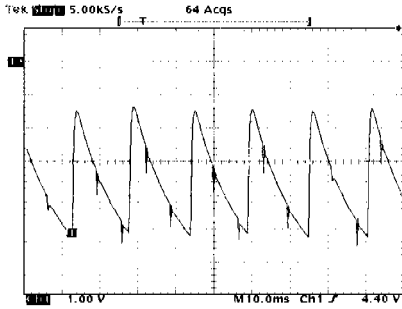


Fig. 16 Breakdown voltage of Oxygen at 333K, 10bar

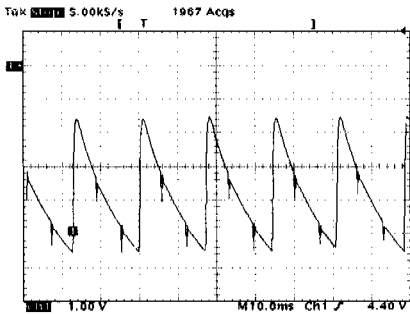


Fig. 17 Breakdown voltage of Oxygen at 303K, 10bar

서 가스의 온도가 373K인 경우의 브레이크다운 전압을 측정 한 것인데, 이때에는 약 -4.5V의 값을 가지고 있는 것을 볼 수 있으며, Fig. 16과 Fig. 17에서는 동일한 압력하에서 가스의 온도가 333K와 303K로 변화할 때 브레이크다운전압이 각각 -5.1V와 -5.4V로 변화함을 보여주고 있다.

마지막으로 Fig. 18은 이와같은 오실로스코프로 받은 여러조건의 브레이크다운전압을 보다 비교하기 쉽도록 동일 축상의 그래프에서 나타낸 것으로, 동일압력에서 온도가 상승할수록 브레이크다운전압은 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 온도의 상승이 전극간의 가스를 보다 쉽게 활성화 할 수 있는 상태로 만들어 주기 때문이다.

본 실험을 통하여 점화플러그를 전극으로 사용하였을 경우, 온도에 따른 브레이크다운전압의 특성을 파악할 수 있었으며, 실제 엔진에서의 연소특성에 대한 해석가능성을 제시할 수 있었다.

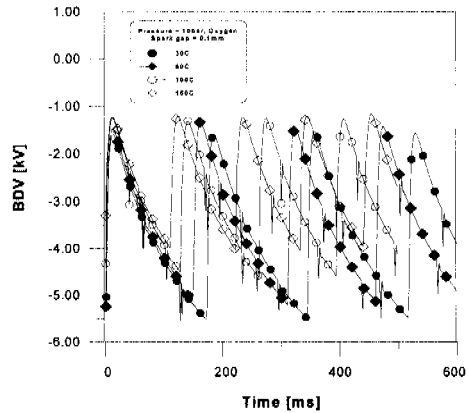


Fig. 18 The breakdown voltage characteristic of oxygen by temperature

### 5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 온도가 상승함에 따라 절연과피가 용이해짐으로 인해 브레이크다운전압이 감소함을 확인할 수 있었으며, 점화플러그를 전극으로 사용하였을 경우의 브레이크다운전압 특성치를 구할 수 있었다.

(2) 압력이 증가함에 따라 전극사이의 가스밀도가 증가함으로 인해 절연과피가 어려워져서 브레이크다운전압이 증가함을 확인할 수 있었으며, 이때도 역시 점화플러그를 전극으로 사용하였을 경우의 브레이크다운전압 특성치를 구할 수 있었다.

(3) 전극간에 존재하는 가스의 종류에 따라 브레이크다운전압이 약간씩 변화함을 알 수 있었는데, 이는 온도나 압력에 의한 영향보다 매우 미미함을 알 수 있었다.

(4) 점화플러그를 전극으로 사용한 경우 압력과 온도에 대한 특성곡선을 확인함으로써, 이를 이용한 실린더 내 브레이크다운전압을 이용한 연소실내의 실화나 노킹과 같은 이상연소 진단에 있어서 그 가능성을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

(1) Jaekeun Park, Martychenko,A.A., Yongsoo Ko, and Jaeou Chae.. 1999. "A Misfire Detection and



- Intensity Interpretation using Breakdown Voltage Characteristic," *Society of Automotive Engineering (SAE)* 1999-01-2934.
- (2) 박재근, 정영식, 이상만, 채재우, 1999, "스파크 플러그를 이용한 트랜지언트상태에서의 실화감지에 관한 연구" *자동차공학회논문집 제7권 제2호*.
- (3) Jaekeun Park, Martychenko, A.A. and Jaeou Chae, 1999, "A Study on the Possibility of Estimation of In-Cylinder Pressure by Means of Measurement of Spark Gap Breakdown Voltage," *Society of Automotive Engineering (SAE)* 1999-01-1115.
- (4) Yuri P. Raizer, 1991, *Gas Discharge Physics*, Springer-Verlag.
- (5) 고전압대전류공학, 1993, 청문각, 이복희 역, 柳父悟 著, pp. 53~104.
- (6) Meek, J.M, and Craggs, J.D., "Electrical Breakdown of Gases," pp. 533~653, 1978 by A Wiley-Interscience Publication.
- (7) Jaeou Chae and Martychenko, A.A., 1996, "The Measurement of Combustion Gas Density in a Cylinder of Internal Combustion Engine by Spark-Plug for Detection of Transient Misfire," II-355, *Proceedings of the 3rd KSME-JSME*, Oct. 20-23.
- (8) Jaeou Chae, and Martychenko, A.A., 1996, "The Measurement of Combustion Gas Density Fluctuation in a Cylinder of Internal Combustion Engine by Spark-Plug for Detection of Detonation," II-351, *Proceedings of the 3rd KSME-JSME*, Oct. 20-23.
- (9) 고전압플라즈마공학, 1997, 동일출판사, 이덕출, 황명환 역, 林 泉 著, pp. 40~52.