

방전전압 측정에 의한 점화플러그의 간극 추정

전 창성*, 김 중일**

* 한국철도기술연구원, ** 다산알앤디 기전연구소

An Estimate of the Spark Plug Gap by Measuring Breakdown Voltage

Chang Sung Jeon*, Jung Il Kim**

* Korea Railroad Research Institute, ** Dasan RND Co., Ltd.

Abstract - This article describes an estimate method of the spark plug gap by measuring breakdown voltage. Breakdown voltage is the function of spark plug gap, pressure, temperature and humidity. However, it is dominated mainly by the spark plug gap. This technique is applied to in-line process test of the spark plug gap in automobile engine production. Breakdown voltage of normal spark plugs slightly scatters in ordinary conditions and if there is dust or burr in the gap, breakdown voltage gets lower. This technique saves repairing time for bad spark plug and attributes to improve the quality of automobile engine.

d = 간극[cm]
 T = 온도[K]
 V = 방전전압[kV]

이 시험관계식은 간극이 수mm에서 수cm정도이고, 평동전계에 관한 실험식이기 때문에 점화플러그 같이 간극이 작고 불평동전계일 경우에는 잘 맞지 않을 수가 있다. 또, 방전전압은 전극의 종류나 형태에 따라서도 많이 달라진다. 평동전계에서 공기 중의 습도가 증가하면 방전전압이 증가하는 경향이 있으나, 불평동전계에서는 이 영향은 미비하다고 알려져 있다.^[2]

1. 서 론

제품의 품질을 높이기 위해 생산과정 중에 단품별로 각종 검사를 실시하고, 불량품을 조기 발견해 수리하면 제품의 품질을 높일 수 있을 뿐만 아니라 조치비용을 절감할 수 있다. 자동차 생산과정에도 이 방법이 적용되어 각종 검사방법(In-line Process Test)이 개발되어 생산라인에 적용되어 품질향상에 기여하고 있다. 예로서 로봇을 이용한 3차원 치수 및 부품결합상태 측정, 엔진 크랭크축의 회전토크를 측정해 조립불량 및 불순물을 검사하는 방법 등이다. 본 연구에서는 자동차 엔진 생산과정 중에 엔진에 장착되어 있는 점화플러그에 고전압을 흘려서, 절연이 파괴되는 순간의 전압(Breakdown Voltage)을 측정하여 점화플러그의 간극을 추정하고, 불량품을 조기 발견하기 위한 장비를 개발하고, 이를 생산라인에 적용하여 품질향상에 기여하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 측정원리 및 시스템개요

2.1.1 측정원리

기체에서 방전전압(V)은 압력(p)과 간극(d)의 곱의 함수이다.

$$V = f(pd) \tag{1}$$

이를 파센의 법칙이라고 하며, 실제 적용시에 압력(p)은 밀도를 의미한다. 공기의 밀도는 압력, 온도, 습도 등의 영향을 받게 되고, 결국 방전전압은 간극(d), 압력(p), 온도(T), 습도(H)등에 의해 결정된다. 기체가 공기일 때 이를 이상기체라고 가정하면간극(d), 압력(p), 온도(T)와 방전전압(V)사이에는 다음의 관계가 있다.^[1]

$$x = \frac{293pd}{760T} \tag{2}$$

$$V = 24.22x + 6.08 \sqrt{x}$$

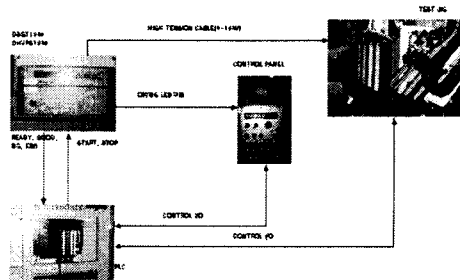
p = 압력[mmHg]

2.1.2 시스템개요

본 시스템은 엔진에 조립된 점화플러그의 간극불량을 검사하는 장비이다. 점화플러그의 간극이 기준치 이하로 작을 때는 실차에서 부조를 일으키게 된다. 따라서, 본 장비는 기준치 이하 간극의 점화플러그를 생산 과정 중에 걸러내어 제품전체의 불량률을 줄이고자 한다.

본 장비에서 간극불량을 검사하는 방법은 점화플러그에 고전압(0-10kV)을 가하여 방전이 일어나는 순간의 전압을 측정한다. 엔진의 생산 주기를 고려하여 전압은 10V를 증가시키는 시간을 설정할 수 있으며(기분값 : 10V/3ms), 시험시작 전압 또한 설정할 수 있다.(기분값 : 1000V) 이 측정된 전압값이 설정한 기준치를 벗어나거나, 4기통 엔진일 경우 4개 방전전압을 측정하여 특정한 것의 방전전압이 나머지 것들의 평균치와 차이가 설정치를 벗어날 때 불량이라고 판정한다.

본 장비는 <그림 1>과 같이 구성되며, 각 구성품의 역할은 <표 1>에 나타내었다. 본 장비는 콘트롤러와 고전압 전원부, 기계장치, 고전압 프루브, PLC 등으로 구성된다. 고전압 프루브는 순동을 이용하여 제작하였으며, 스프링으로 점화플러그와 접촉을 유지되도록 하였다. 고전압 프루브의 절연재로는 테프론을 사용하였다.

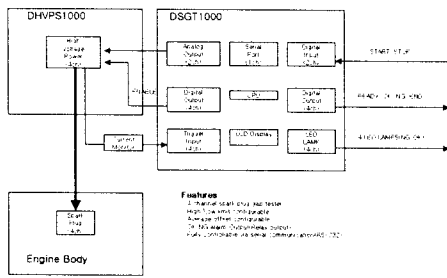


<그림 1> 점화플러그 간극 테스터 시스템 구성도

장비명	용도
DSGT1000 (콘트롤러)	경계값을 설정하며, 테스트를 진행하고, 점화플러그의 간극 불량을 판정한다.
DHVPS1000 (고전압 파워부)	콘트롤러의 아날로그 전압에 따라 고전압 발생시킨다.
기계장치	엔진을 고정하고, 고전압 프루브를 점화플러그에 접촉시킨다.
PLC	기계장치를 제어하고, 테스트의 시작과 중지를 콘트롤러에 명령하고, 테스트 결과를 표시한다.

<표 1> 각 구성품의 역할

콘트롤러를 중심으로 한 신호의 흐름은 다음과 같다.



<그림 2> 신호흐름도

콘트롤러와 PLC간에는 디지털 입력(2ch : START, STOP)과 디지털 출력(4ch : READY, OK, NG, END)으로 연결된다. 콘트롤러와 고전압 파워부는 아날로그 제어 신호(2ch:고전압인가신호[0-10V=0-10kV출력], 전류설정 신호[0-10V=0-3mA 출력])와 디지털 제어 신호(4ch:ENABLE), 트리거 입력 신호(4ch:방전되는 순간의 트리거 입력 4개)로 연결된다. 기계부의 동작은 PLC에 의해서 제어되며, 테스트는 자동으로 원칙이며, 메인 조작반을 이용해서 수동으로 시험하는 것도 가능하다. 데이터의 저장을 위하여 PC가 사용될 수 있다.

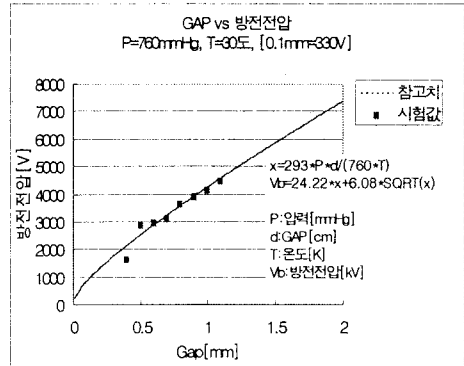
디지털 입력채널을 통하여 테스트 준비 시작 신호를 입력 받으면, 4개의 점화플러그에 고전압(9900V)을 가하여 이물질(기름, 먼지등)을 제거한다. 고전압전원장치는 0-10V의 입력에 의하여 0-10kV를 출력하게 되는데, 콘트롤러는 이물질을 제거한 후 1번 점화플러그부터 순서대로 0-방전이 일어나는 임계전압(V)까지의 전압을 인가한다. 전압을 인가하는 방법은 콘트롤러 내부의 아날로그 출력채널(12bit DA컨버터)을 이용한다. 고전압 전원의 전류검출기능을 사용하여, 방전이 일어나는 순간에 펄스를 발생시킨다. 이 신호를 콘트롤러에서 감지하면 현재의 방전전압 값을 저장한 후, 같은 방법으로 2번 점화플러그의 테스트를 진행한다. 모든 점화플러그에 대한 테스트가 끝난 후 사용자가 정한 상한치 및 하한치와 비교하고, 평균값에서 벗어난 정도를 비교하여 판정(OK, NG)을 한 후 PLC쪽으로 디지털 출력채널을 통하여 테스트 완료 신호를 송출한다.

2.2 결과 및 검토

2.2.1 간극에 따른 방전전압

실제 엔진에서 간극이 다른 8개의 점화플러그에 대한 시험결과를 <그림 3>에 나타내었다. 간극은 0.4mm~1.1mm까지이며, 이는 겹 게이지를 가지고 수작업으로 맞추었기 때문에 오차가 있을 수 있다. 시험관계

식도 참고치로 표시하였는데, <그림 3>에서 보는 바와 같이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 대략적으로 겹 간극 0.1mm당 330V 정도의 전압차이가 나타났다.



<그림 3> 점화플러그 간극과 방전전압

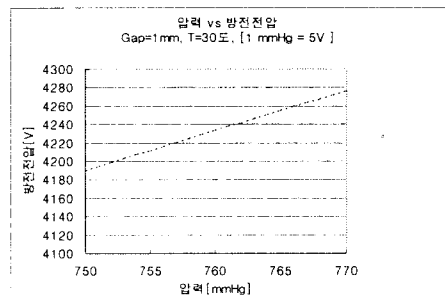
2.2.2 여러 가지 인자들의 영향

식(2)를 보면 방전전압은 점화플러그의 간극(d)외에 압력(p), 온도(T), 습도(H)등의 영향을 받는다. 이 요소들의 영향을 알아보기 위해 다음의 실험들을 수행하였다.

2.2.2.1 압력의 영향

식(2)를 이용하여 압력의 영향에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 <그림 4>에 나타내었다. 대기압을 760mmHg라고 했을 때, 1mmHg당 5V 정도의 전압변동을 보인다. 시뮬레이션 결과를 확인하기 위하여 질소 가스 압력 챔버에서 압력의 영향을 시험하였다. 공기와 질소 가스는 절연내력이 비슷하고, 시험의 여건상 공기 챔버를 사용할 수가 없었기 때문에 질소가스 챔버에서 시험을 수행하였으며 그 결과를 <표 2>에 나타내었다.

간극이 0.8mm, 1.0mm, 1.2mm인 시료 3개에 대해, 작동유체가 공기인 항온항습실(온도 25°C, 상대습도 50%)에서 방전전압을 먼저 측정하였으며, 이를 질소가스 챔버(온도 25도, 상대습도 0.1%)에 넣고 방전전압을 측정하였다. 사정상 챔버내의 상대습도는 거의 0%에 가깝게 제어되어야 하기 때문에 두 시험의 상대습도를 동일하게 할 수 없었다. 질소가스 내에서의 방전전압은 공기 중일 때 보다 1/3정도 낮아지는 결과를 보이며, 이는 습도가 너무 낮기 때문이라고 사료된다. 전체적으로 질소가스 내에서 방전전압이 너무 낮아서 압력에 따른 영향을 보기는 힘들었다. 질소가스 챔버내에서 압력을 753mmHg로 낮추고 방전전압을 측정하였으나 방전전압이 낮고, 또 간극이 작기 때문이었는지 압력에 따른 영향을 확인할 수가 없었다.



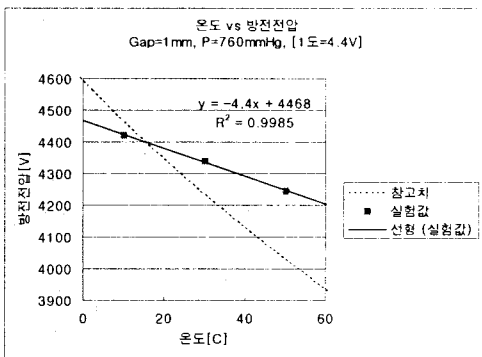
<그림 4> 압력의 영향

간극 [mm]	방전전압 [V] 기체=공기 T=25°C P=760m mHg H=50%	방전전압 [V] 기체=질소 T=25°C P=760m mHg H=0.1%	방전전압 [V] 기체=질소 [1회] T=25°C P=753m mHg H=0.1%	방전전압 [V] 기체=질소 [2회] T=25°C P=753m mHg H=0.1%
0.8	3693	1160	1080	1210
1.0	4233	1260	1290	1270
1.2	4726	1290	1340	1290

<표 2> 질소가스 챔버 내에서의 방전전압 값

2.2.2.2 온도의 영향

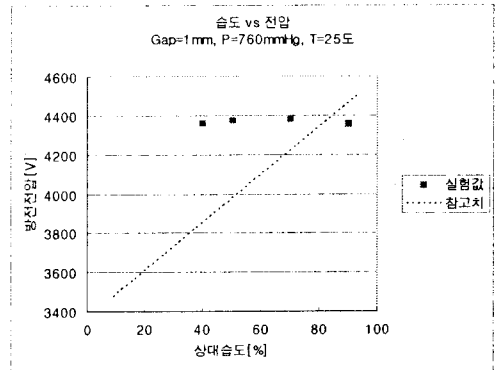
식(2)에 의하면 온도가 1°C 증가할 때마다 방전전압은 10V정도 낮아지는 경향을 보인다. 그러나, 실제 시험결과 1°C당 4.4V정도의 차이를 보이는 결과가 나왔다(<그림 5> 참조). 온도가 변하면 공기의 밀도가 변하고 이에 따라 방전전압이 달라지게 되는데, 항온항습조라는 조건이 온도변화에 따른 밀도의 변화를 정확하게 반영한다고는 볼 수 없을 것이다. 그리고, 갭 간극과 모양의 차이에서 오는 영향들 때문에도 방전전압이 달라진다고 볼 수 있을 것이다.



<그림 5> 온도에 따른 영향

2.2.2.3 습도의 영향

온도를 25°C로 일정하게 유지한 후 상대습도를 변화시키면서 방전전압을 측정하였다. 앞서서도 언급했듯이 습도가 높아지면 방전전압이 증가하는 경향이 있지만, 갭 간극이 작을 경우에는 그 영향이 미비하다고 했는데, 시험결과 습도에 따라서 방전전압이 큰 차이를 보이지 않았다. <그림 6>의 참고치는 간극이 2cm~100cm 정도에 대한 시험관계식이고(갭이 작은 경우의 시험식은 찾을 수가 없었다), 본 시험에서 사용된 점화플러그의 간극은 1mm 정도로 작았기 때문에 상관관계가 없는 것으로 보인다.



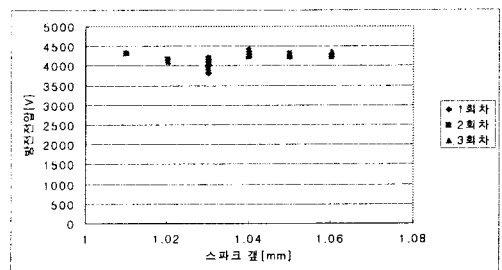
<그림 6> 습도의 영향

이상으로 공기 중에서 방전전압에 영향을 주는 주요한 인자들인 갭 간극(d), 압력(p), 온도(T), 습도(H)의 영향들을 고찰해 보았다. 점화플러그같이 갭의 간극이 작을 때에는 압력, 온도, 습도 등이 방전전압에 미치는 영향이 갭 간극이 그것에 미치는 영향에 비해서는 적음을 알 수 있었다. 갭 간극 0.1mm에 대하여 방전전압은 330V 정도의 차이를 보이며, 압력은 1mmHg에 대하여 5V, 온도는 1°C당 4.4V, 상대습도는 큰 영향을 미치지 않았다.

2.3 정상 간극 점화플러그의 방전전압 분포

정상적인 점화플러그의 간극은 1.0~1.1mm이다. 판정의 기준을 설정하기 위하여 정상적인 점화플러그 12개에 대해 방전전압을 3회에 걸쳐서 측정하였다. <그림 7>에 방전전압 분포 그래프를, <표 3>에 그 값을 나타내었다. 전체적으로 3800V~4500V 정도의 분포를 보이며 평균값은 4224V였다. 최대편차는 평균값대비 10.0%이다.(<표 3>에서 *최소값이라고 표시한 부분)

같은 점화플러그에 대해서도 시험할 때마다 조금씩 방전전압 값이 달라진다. 이는 시험 때마다 방전되는 위치가 조금씩 달라지기 때문으로 사료된다. 데이터의 정확도를 높이기 위해서는 여러 번 측정하여 평균값을 구하는 방법을 사용할 수 있다. 하지만 실제 생산라인 적용 시 엔진의 생산주기(Cycle Time)가 짧기 때문에 여러 번 반복시험을 할 수 있는 시간이 부족하다. 따라서, 어느 정도의 데이터의 산포가 발생할 수 있는 여지가 있다. 따라서 점화플러그 간극의 양호와 불량에 대한 판정 기준은 이런 상황들을 고려하여 사용자와 협의하여 설정하였다.



<그림 7> 정상 간극 점화플러그에 대한 방전전압 분포

번호	간극 [mm]	전압	전압	전압	비고
		[V] 1회차	[V] 2회차	[V] 3회차	
1	1.05	4220	4230	4290	
2	1.04	4370	4360	4270	
3	1.02	4170	4170	4120	
4	1.03	3800	4190	4210	*최소값
5	1.04	4270	4240	4260	
6	1.04	4300	4370	4420	*최대값
7	1.03	4160	4150	4150	
8	1.01	4330	4310	4340	
9	1.03	3820	3940	4090	
10	1.06	4240	4230	4360	
11	1.05	4230	4310	4240	
12	1.04	4280	4260	4350	

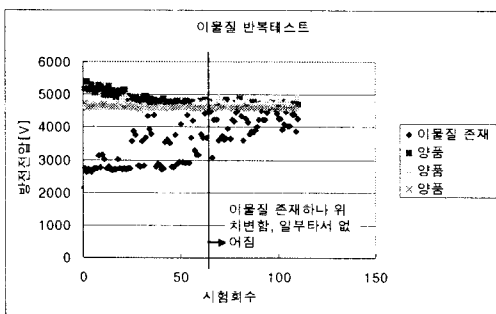
<표 3> 정상 간극 점화플러그에 대한 방전전압값

2.4 점화플러그 간극 사이의 이물질의 영향

상기 데이터는 점화플러그의 간극 사이가 깨끗한 경우 일 때의 시험 결과이며, 하기의 경우 데이터의 산포가 발생할 수 있다. 따라서, 테스트 전에 점화플러그 간극 사이의 이물질을 깨끗하게 제거하여야 한다.

2.4.1 비금속성 이물질이 있는 경우

점화플러그의 조립과정 중에서 면장갑의 실오라기나 먼지등이 간극사이에 남아 있는 경우가 있었다. <그림 8>은 타서 없어지는 이물질이 있는 경우의 점화플러그에 대한 반복시험결과이다. 1번 실린더에 이물질이 있는 점화플러그가 삽입되고, 나머지 실린더에는 양품의 점화플러그가 삽입되어 있다. 1번 실린더의 경우 시험 초기에는 이물질이 타지 않아서 방전전압이 낮다가 시간이 갈수록 이물질이 조금씩 타서 없어지며, 이에 따라 방전전압도 조금씩 높아지는 것을 알 수 있다. 그러나, 이물질이 타고난 후 재 같은 것은 남아 있으므로 데이터의 값은 산포가 심하다.

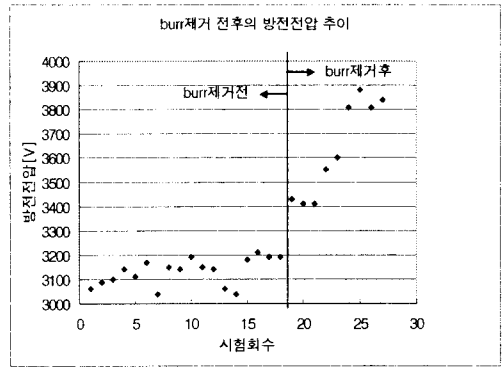


<그림 8> 이물질 반복테스트

이런 종류의 이물질은 시험을 시작하기 전에 어느 정도의 시간동안 고전압(9900V)을 가하면 조금은 사라졌으나, 타고난 후의 재가 남아 방전전압 값의 산포는 양품보다는 컸다.

2.4.2 금속성 이물질이 있는 경우

점화플러그 간극사이에 쇳가루, 가공 후의 버(burr)가 완전히 제거 되지 않은 경우 방전전압 값은 정상품보다 낮게 나왔으며, 이는 물리적인 방법(Air Blowing, Burr 제거작업)으로 제거 한 후에야 정상품 정도의 방전전압 값을 가졌다.



<그림 9> Burr 제거 전후의 방전전압 추이

이상의 실험들로 본 장비의 신뢰도를 높이기 위해서는 점화플러그 간극 사이가 청결하게 유지되어야 함을 알 수 있었고, 이 청결도에 대한 품질기준을 강화하였다.

3. 결 론

공기 중에서 점화플러그의 방전전압은 주로 간극(d)에 의하여 결정되고, 압력(p), 온도(T), 습도(H)의 영향들은 미비함을 알 수 있었다. 점화플러그 간극 0.1mm에 대하여 방전전압은 330V 정도의 차이를 보이며, 압력은 1mmHg에 대하여 5V, 온도는 1°C당 4.4V, 상대습도는 큰 영향을 미치지 않았다.

정상적인 점화플러그에 대해서도 약간의 산포가 발생함을 확인하였고, 점화플러그 간극사이에 이물질이 있을 경우 방전전압 값이 달라짐을 확인할 수 있었다.

실제 생산라인 적용 시 본장비의 신뢰도를 높이기 위하여 점화플러그 입고시점에 갭의 청결상태에 대한 품질기준을 강화하였다. 엔진이 조립된 상태에서 점화플러그 간극 불량에 대한 검사를 실시하기 때문에 불량에 대한 조치를 바로 할 수 있어서, 제품의 품질향상에 기여하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 宅間 董, 柳父 梧 著, 李 福熙 譯, 高電壓大電流工學, 淸文閣, 서울, 1995, p.57-62
- [2] K. Feser, Influence of humidity on the breakdown voltage of d.c. and a.c. voltage in air, Ase 63 (1972) 6, p.278-281