

〈논 문〉 SAE NO. 97370129

# 가솔린관 점화장치의 전자제어에 의한 시동성향상에 관한 연구

## A Study on the Improvement of Engine Starting Performance for Gasoline Engine Ignition System using Electronic Control

김 광 조\*, 김 남 호\*\*  
K. J. Kim, N. H. Kim

### ABSTRACT

The ability of the engine starting performance of conventional ignition system being currently used in automobile gasoline engine is investigated, and the method of improving is discussed and experimented. The conventional ignition system cannot obtain high ignited voltage because its current is limited by decreasing of terminal voltage of battery at starting the engine. also causes irregularity in the starting engine.

This paper shows that problem can be improved practically by control of ignition energy properly according to the engine speed, consequently this experimental ignition system can eliminate to remarkable extent the function of the engine starting, and also enhance the performance of the engine at high speed.

주요기술용어 : Ignition Energy(점화에너지), SCR(실리콘 전력 제어소자), Breaker(단속기), Multivibrator(다조파발전기), CDI(용량방전식점화장치)

———— 기 호 설 명 —————

$t_c$  : 1차전류 통전시간

$E$  : 축전지 전압

$R$  : 저항

$I_1$  : 1차전류 최대치

$i_1$  : 1차전류

$e_1$  : 1차전압

$e_2$  : 2차전압 점화용고전압

### 1. 서 론

가솔린기관을 시동하는데는 기관의 제원과 상태 및 주위여건에 따라 다르지만 많은 전류가 흐른다. 따라서 기관을 시동할 때는 축전지의 단차 전압이 저하하게 되며 이에 따라서 점화용 고전압도 저하하게 되어 시동성능이 저하한다. 더구나 축전지의 성능이 열화된 경우나, 한냉시의 시동에서는 이런 현상이 더욱 심해져서 시동불능

\*정회원, 생산기술연구원

\*\*정회원, 강원대학교

상태로 이어지기도 한다. 본 연구에서는 축전지 전압이 극도로 저하하여도 강력한 점화용고전압이 발생하도록 제어하는 장치를 전자회로를 이용하여 구현하고 그 특성을 기존장치와 비교하고자 한다.

2. 시동시에 필요한 점화용고전압

2.1 시동시의 전원전압, 전류, 점화용고전압 측정

가솔린기관을 시동하는 데는 기관의 종류, 배기량, 압축비 및 외부온도, 윤활유온도 등에 따라서 다르지만 많은 전류가 흐른다. 상태가 양호한 축전지의 모델로 전해액 비중이 20[°C]에서 1.22인 축전지로 2000[cc] 기관을 시동하여, 그 시동 전류의 변화를 CRO로 측정하여 그림 1에 표시하였다.

크랭킹(Craking) 직후 320[A]의 전류가 흘렀고 이때의 단자전압은 7.5[V]까지 저하하였으며 시동이 될 때까지 기관의 회전의 변화에 동기하는 파동(波動)을 이루고 있다. 이때의 점화용고전압은 15[kV]가 측정되었고 그림 2의 ㉓ 커브로 표시한 바와 같이 24[kV]까지 회복하였다가 7000[rpm]에서 18[kV]까지 저하하였다.

이 시험에 사용한 기존의 점화장치와 제원은 표 1과 같고, 측정 장비와 방법은 다음과 같다.

— 측정장비

- ① CRO(Memory기능 있는것)
- ② 고전압계
- ③ 회전계

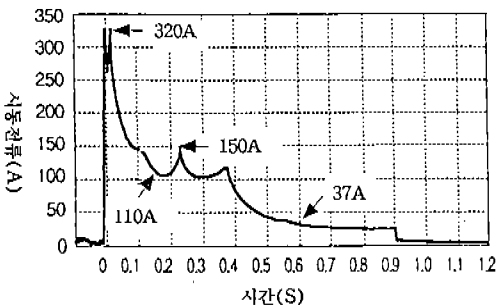
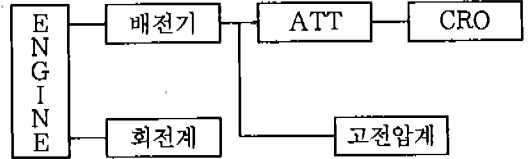


그림 1 시동전류의 변화

④ ATT(Attenuator)

— 측정방법

- ① Graph는 Plot by plot 방법
- ② 부하는 무부하 정치상태



— 회전수별 점화용고전압 측정결과

시동	0.7	1	2	3	4	5	6	7	8
15	21	23	24	23.5	24	23	20.5	18	16

회전수 : ×1000[rpm] 전압 : [kV]

상태가 열악한 축전지 모델로 전해액 비중이

표 1 기존점화장치의 제원

구 분	형 식	제 원
배 전 기	ECU 제어 진각식	4실린더 로타리배전식
점 화 코 일	F-088 HEI type	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 1차저항 0.8[Ω]±10[%]</li> <li>20[°C]</li> <li>* 2차저항 12[kΩ]±10[%]</li> <li>20[°C]</li> </ul>
최초점화시기		BTDC 5°
점 화 플 러 그	무연휘발유 형	BP6ES-11 간극 : 0.7~0.8[mm]
점 화 캐 이 블	저항감쇠형	16[kΩ]/[m]
점 화 용 고 전 압		* 최대 24[kV]/2000[rpm]
전 원 전 압	축전지식	* 최대 13.5[V]

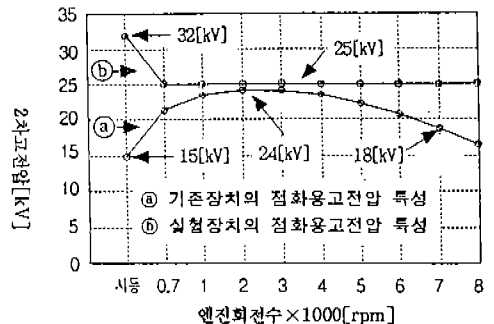


그림 2 2차고전압의 변화

20[°C]에서 1.13인 축전지로 동일한 방법으로 시동 실험을 하였다. 크랭킹 직후 180[A]의 전류가 흘렀고 이때의 단자전압이 4.5[V]까지 저하하였고 점화용고전압은 4[kV]로 측정되었고, 가끔 불완전 폭발이 일어날 뿐 시동이 되지 않았으며, 기관이 3회전 후에 결국 단자전압이 0[V]로 떨어지며 정지하였다.

열악한 축전지의 모델링 : 실험차량의 기관을 3회전시키고 시동시키지 못하고 정지하는 축전지의 비중을 측정하면 20°C에서 1.13이었고, 이것을 열악한 축전지의 모델로 하였다. 같은 비중이라도 축전지의 종류와 용량에 따라 크랭킹 성능에 차이가 났음을 밝혀준다.

2.2 축전지의 온도특성

축전지의 용량은 전해액의 온도가 높을수록 크게되고 온도가 낮을수록 적어진다. 이것은 황산의 분자나 이온 등의 이동이 온도가 저하함에 따라서 감소하기 때문이다. 다시 말하면 묽은황산의 비저항의 증가에 의한 전압강하 등에 의하여 용량이 감소한다. 영하 25[°C]에서 50[%]까지 용량이 저하한다.<sup>1)</sup> 저온에 의한 축전지의 용량 저하는 큰 전류를 필요로 하는 시동전동기의 동작시에 큰 전압강하를 축전시켜, 점화용고전압이 극도로 낮아지고 크랭킹 능력이 저하하여, 동절기나 한냉지역에서의 시동에 큰 지장을 주는 주된 원인으로 된다.

2.3 시동에 필요한 점화용고전압

간극 1[mm]의 보통 점화플러그로 대기 중에서 실험한 결과 2~3[kV]에서 방전이 일어난다. 그러나 이것이 실린더 내에 부착되었을 전극 주위의 압력이 10기압 정도에 달하므로 방전에 필요한 점화용고전압은 10[kV] 이상으로 된다.<sup>1)</sup> 여기에 점화플러그의 누설저항과 점화코일의 누설자속, 점화케이블의 저항 등에 의한 각종의 손실과 전극 및 가스온도, 습도, 혼합기체의 유동강도<sup>3)</sup> 점화플러그 전극의 열화 등에 의한 여유전압을 포함하면, 정상 상태에서의 필요한 점화용고전압은 20~30[kV]정도<sup>1)</sup>가 되는데, 25[kV]정도를 설정한다. 그리고 냉각된 기관을 시동할 경

우에는 :

- 분사된 연료가 흡입매니폴드 내벽에 결로(結露)되고,
- 흡입압력 부족으로 인한 혼합기의 무화(霧化)가 불충분하게 되며,
- 한냉한 기후나 지역에서의 축전지 기능저하의 이유로 인하여 점화에 필요한 전압은 평상시보다 10[%]~30[%]정도<sup>1)</sup> 크게 높아지므로, 25[kV]에 30[%]를 높이면, 약조건 하에서의 시동 등을 포함한 점화에 필요한 점화용고전압은 32[kV] 정도로 제안 설정된다.

그러나 기관의 회전중의 실제의 방전전압은 운전조건(점화각극의 가스성분과 상태)과 전극표면의 미세한 형상등으로 결정되는 값이다. 그리고 이 방전전압 만이 점화의 성공여부를 단독 결정할 것은 아님을 밝혀준다.

3. 점화용고전압 해석

점화장치의 구조는 그림 3과 같고 그 등가회로는 그림 4와 같다.

지금 기관의 회전에 따라 단속기(breaker) TR이 닫히면 1차전류가 흐르는데 1차코일의 인덕턴스 때문에 상승하는데 시정수  $\tau = L_1/R_1$ 로 결정되는 어느 정도의 시간이 걸리는데 최종적으로 식 (1)과 같은 일정치에 도달한다.

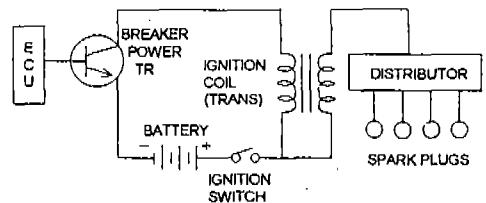


그림 3 점화장치의 구조

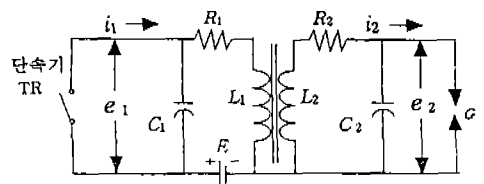


그림 4 점화장치의 등가회로

$$I_1 = \frac{E}{R_1} (A) \quad (1)$$

위식 (1)에 표시된 최종치에 도달하는 사이에, 1차전류의 값은 시간의 경과와 더불어 지수함수적으로 증가하는데 그림 5와 같이 된다.

이 변화는 다음 식 (2)에 의해서 구해진다.<sup>2)</sup>

$$i_1 = \frac{E}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t_c} \right) \quad (2)$$

- $t_c$ : 단속기를 닫은 후 부터의 경과시간(S)
- $i_1$ :  $t_c$ 초후의 1차전류값
- $R_1$ : 1차회로의 저항( $\Omega$ )
- $E$ : 축전지 전압(V)
- $L_1$ : 1차코일의 자기인덕턴스(H)

그림 4에서 점화용고전압인  $e_2$ 를 구해보면 다음과 같다. 먼저 단속기가 닫히고  $i_1$ 이 흐르면 1차코일에는 다음 식과 같이 전자(電磁) 에너지  $P_{C1}$ 가 축적된다.

$$P_{C1} = \int_{t=0}^{t=t_c} L_1 i \frac{di}{dt} = \int_{i=0}^{i_1} L_1 i di = \frac{1}{2} L_1 i_1^2$$

기관의 회전에 따라 단속기 TR이 열리면 1차코일과 2차코일에 각각  $e_1$ ,  $e_2$ 가 발생하고, 이 전압에 의하여  $C_1$ ,  $C_2$ 가 충전되므로 1차코일에 축적되어 있는 에너지  $P_{C1}$ 은 1차회로와 2차회로에 다음 식으로 표시되는 전기에너지로 이행되어 축적된다.

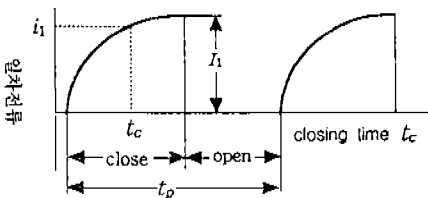


그림 5 1차전류 파형

$$P_{C1} = \frac{1}{2} C_1 e_1^2 \quad P_{C2} = \frac{1}{2} C_2 e_2^2$$

점화플러그의 간극 G에 발전시키지 않은 상태로는 식 (3)이 성립된다.

$$\frac{1}{2} L_1 i_1^2 = \frac{1}{2} C_1 e_1^2 + \frac{1}{2} C_2 e_2^2 \quad (3)$$

$$e_2 = \frac{N_2}{N_1} e_1 \text{이므로}$$

$N_1$ : 1차코일의 권선수  $N_2$ : 2차코일의 권선수

따라서 실용상의 2차전압의 최대치를 구하는 식 (4)가 얻어진다.

$$e_2 = i_1 \sqrt{\frac{L_1}{C}} \quad (4)$$

$$\text{단, } C = C_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 + C_2$$

## 4. 실험

### 4.1 실험방법

3장에서 해석한 바와 같이, 점화용고전압  $e_2$ 의 크기를 제어하려면, 1차전류  $i_1$ , 1차전압  $e_1$ , 1차전류 통전시간  $t_c$ , 점화코일의 1차회로 시정수  $\tau$ 의 크기를 제어하는 것이 효과적이다. 그러나 시정수  $\tau$ 는 이미 제작된 점화코일에 의해 정해지므로, 현재 실험할 수 있는 방법은 1차전류의 통전시간  $t_c$ 를 제어하는 방법과, 1차전압  $e_1$ 의 크기를 제어하는 방법이 가능하다. 1차전류 통전시간  $t_c$ 를 제어하는 방식은, 3장에서 설명한 식 (2)에서의  $t_c$  즉 1차전류의 통전시간을 그림 6의 ㉓커브에서와 같이  $t_{d1} \rightarrow t_{c1} \rightarrow t_{c2}$ 으로 길게 연장하여 1차전류를  $i_{11} \rightarrow i_{12} \rightarrow i_{13}$ 로 되게 하여 보상하고 있는 방법이며 현재 일부의 ECU에 적용되고 있으나, 이 방법은 축전지 등의 상태가 정상인 경우에만 효과가 있으며, 축전지에서 발생시킬 수 있는 전류 자체가 부족한 열악한 전원인 그림 6의 ㉔커브의 경우에는, 통전시간을  $t_{d1} \rightarrow t_{c1}$

$e \rightarrow t_{c3}$ 으로 길게하여도  $i_1' \rightarrow i_2' \rightarrow i_3'$ 로 되어 전류가 효과적으로 증가하지 않는다.

따라서 본 실험에서는 1차전압  $e_1$ 의 크기를 제어하는 방식으로 하였다.

4.2 구 현

장치의 구현은, 콘덴서 방전식 점화장치(CDI)의 콘덴서에 충전되는 1차전압  $e_1$ 의 크기를 제어하는 방식으로하여 시동시에는 2차전압인 점화용 전압  $e_2$ 가 높아지도록 제어하였다. 실험장치의 구성은 그림 7과 같이하였고, 회로는 그림 8과 같이하였다. 멀티바이브레이터(Multivibrator)에서 약 5[kHz]의 발진파를 발진시켜서 변압기로 승압하여 370[V]~430[V]의 교류 전압  $e_1$ 을 발생시켰다.

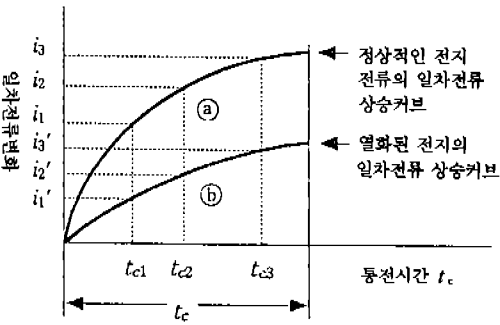


그림 6 통전시간에 따른 1차전류 변화

이 교류전압은 TR1으로 구성된 시동시의 발진 전압 상승을 위한 0회전 검출회로에 의해 발생하는 제어신호가 멀티바이브레이터인 TR2와 TR3의 베이스에 가해져서 콜렉터전류를 제어하는 것에 따라서 변화하도록 구성하였다.

시동시에 기관의 회전수가 0일때는 TR1에 개방되어 TR2와 TR3의 베이스전류를 증가시켜 발진전압을 높여서  $e_1$ 을 크게하여  $e_2$ 를 32[kV]까지 높인다. 시동이 걸려서 기관이 회전하면 TR1은 점차 단락상태로 되며 TR2와 TR3의 베이스전류도 점차 낮아져서 정상 전류로 돌아와서 정규의  $e_1$ 이 되고  $e_2$ 도 정상 상태의 점화용고전압인 25[kV]로 되돌아온다. 이 제어값은 2.1항에서 제안하고 그림 2의 ㉑커브와 같이 설정한 점화용 고전압 25[kV]~32[kV]가 되도록 한 것이다. 이  $e_1$ 의 교류전압을 다이오드로 정류하여 직류로 바꾸어 방전용 탄탈콘덴서에 충전시킨다.

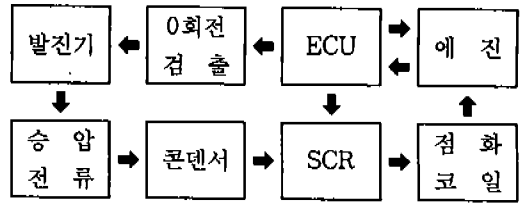


그림 7 실험장치의 구성도

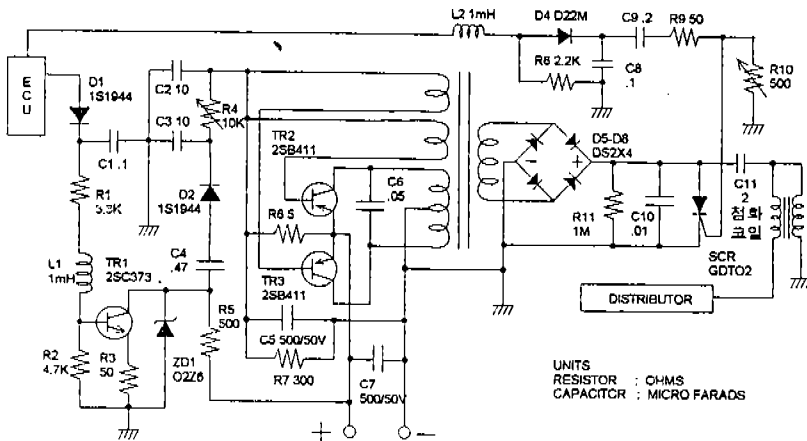


그림 8 실험장치의 회로도

이 충전된 전압을 ECU에서 추출한 점화신호를 SCR의 게이트에 가하여 점화코일의 1차회로를 통하여 방전시켜서 점화코일로 승압하여, 2차 코일에 불꽃방전 점화용 고전압  $e_2$ 를 발생시킨다. 즉 용량방전식 전압이 기관의 회전상태에 따라 적절하게 제어된다는 점에서 상이하다.

5. 결 과

5.1 시동실험결과

2.1항에서와 같은 방법으로 열화된 축전지로 시동한 결과 CRO의 파형이 32[kV]를 지시함과 동시에 즉시 시동이 걸렸다. 이것은 방전용 콘덴서에 충전된 전압이 시동전류에 의한 축전지의 전압 강하에도 불구하고 강력한 점화전압을 발생시킨 결과로 본다. 이 값은 열화된 축전지의 일관성을 유지하기 위하여 1회 실험후에 매번 충전하고 저항부하를 사용하여 비중을 20[°C] 기준 1.13을 유지하면서, 20회 반복 실험하여 평균값을 낸 것이다. 점화전압이 높아짐에 따르는 고압회로의 절연 문제는, 각 부분품의 절연규격을 조사한바 모두 50[kV] 이상의 내압으로 되어있었고, 실제로 측정한바도 이 이상으로 측정되었다. 그러나 시동시간이 짧기는 하지만 절연의 문제는 기존장치의 경우보다 보강할 필요가 있고, 전극의 소손 증가에 의한 내구성도 이론적으로 저하한다. 시동시의 공해배출을 기존장치와 비교 측정한바 다음과 같이 기존방식보다 개선되었으며, 특히 HC 배출이 현저하게 줄어든 것으로 측정되었다.

(1) 시동실험(열악한 축전지) 결과

- 시동실험시의 전원조건 상태
  - 비중 1.13 20[°C]의 열악한 축전지
  - 크랭킹하면 기관이 3회전에 정지하는 상태
- 기존장치로의 시동실험결과
  - 크랭킹시(부하시)의 전원 단자전압 4.5[V]
  - 부부하시의 전원 단자전압 12.8[V]
  - 상기전원상태에서 기존장치의 점화용고전압 4[kV]

- 시동결과 : 시동 불능
- 본 실험 장치로의 시동실험결과
  - 크랭킹시(부하시)의 전원 단자전압 4.5[V]
  - 부부하시의 전원 단자전압 12.8[V]
  - 상기전원상태에서 기존장치의 점화용고전압 32[kV]

- 시동결과 : 기관이 2회전만에 시동됨

(2) 배기가스측정결과

- 기존장치 CO 1.46 HC 470
- 실험장치 CO 0.87 HC 270
- 감소율 CO 40[%] HC 55[%]

5.2 고속에서의 실험결과

기존의 점화장치는 기관의 회전수가 빨라짐에 따라서 식 (2)에서 표시한 1차전류 통전시간  $t_c$ 가 짧아지므로 그림 2의 ㉔커브로 표시한바와 같이 고속이 될수록 점화용고전압이 저하한다.<sup>5)</sup> 그러나 본 실험 장치에서는 방전용 콘덴서의 총방전 시정수가 300[μs] 정도로 매우 짧아서, 4기통 기관의 7000[rpm]에서의 고속 회전시의 점화간격시간<sup>5)</sup> 4300[μs]보다도 14배의 여유가 있으므로, 그림 2의 ㉕커브로 표시한 바와 같이 점화용고전압이 저하하지 않는다.

(1) 점화용 고전압 측정 결과

회전수	시동	0.7	1	2	3	4	5	6	7	8
기존장치	15	21	23	24	23.5	23	22	20.5	18	16
실험장치	32	25	25	25	25	25	25	25	25	25
상승전압	7	4	1	1	0.5	2	3	4.5	7	9

회전수 : ×1000[rpm] 전압 : [kV]

(2) 실험차량의 최고 속도 실험 결과

- 비행기 활주로에서 동일 방향으로 20회 실험한 평균값임
- 기존장치의 최고속도
  - 175[km/h]
- 실험 장치의 최고속도
  - 178[km/h]

일견하여 큰 차이가 나지 않는 것 같으나 최고속도에 영향을 주는 요인이 점화전압의 크기보다 공기저항 등의 다른 요인의 영향이 훨씬 큰 것을 고려하면 고속성능

이 향상된 것으로 사려된다.

(3) 고속에서의 배기가스측정결과

- 5000[rpm]시
  - 기존장치 CO 0.27 HC 95
  - 실험장치 CO 0.24 HC 75
  - 감소율 CO 11[%] HC 21[%]
- 6000[rpm]시
  - 기존장치 CO 0.35 HC 95
  - 실험장치 CO 0.26 HC 80
  - 감소율 CO 25.7[%] HC 15.8[%]
- 7000[rpm]시
  - 기존장치 CO 0.42 HC 95
  - 실험장치 CO 0.30 HC 80
  - 감소율 CO 28.6[%] HC 15.8[%]

5.3 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(HC) 배출량 측정 결과

표 2 CO, HC배기가스 측정결과

rpm	기존장치		본실험장치		개선도%	
	CO	HC	CO	HC	CO	HC
시동시	1.46	470	0.87	210	40	55
600	0.28	130	0.19	110	32.2	15
1,000	0.22	90	0.21	90	4.5	0
2,000	0.17	80	0.17	80	0	0
3,000	0.17	70	0.17	70	0	0
4,000	0.23	70	0.21	70	8.7	0
5,000	0.27	95	0.24	75	11.1	21
6,000	0.35	95	0.26	80	25.7	15.8
7,000	0.42	95	0.30	80	28.6	15.8

- 시험차량 : 2000cc 4기통. SOHC. MPI. 50,000[km] 주행.
- 당시기온 : 20[°C]

6. 결 론

기관을 시동할 때에 필요한 점화용고전압의 크기는, 가장 확보되기 쉬운 상태인 중속영역에서의 점화용고전압에 비하여 7[kV]의 큰 차이가 나는 것으로 조사되었다. 그러므로 기관을 시동할 때는 정상적인 상태에서보다도 높은 32[kV]

의 점화용 고전압이 되게하고 시동 후에는 정상적인 점화용고전압인 25[kV]가 되도록 자동제어 되게 하였다. 단지 시동시의 몇 초를 위하여서나, 드물게 사용하는 최고속에서의 점화를 위하여 항상 높은 점화용고전압을 일정하게 유지하게 하는 것은, 에너지 절약면에서나 고주파 잡음이나 고압회로의 수명 등을 고려할 때 바람직하지 못하다. 본 실험에서 축전지가 심하게 열화되어 기관을 2~3회 밖에 회전시키지 못하는 전원 상태에서 2회전만에 즉시 가동이 걸렸다. 그리고 본 실험장치를 사용하면 열화되어 가는 축전지의 사용가능한 시간을 늘리고, 정상적인 축전지라도 일시적인 충전부족 상태에서나, 극한냉시의 시동을 가능하게 할 것으로 생각한다. 더불어 고속회전에서의 점화용 고전압의 저하를 방지한다. 따라서 본 실험장치의 기능을, 기존의 점화 장치에 포함시켜 설계하면, 콘덴서 충전회로 및 충전전압 제어회로와 SCR 방전회로만 추가하면 되며, 이미 설치되어 있는 각종 센서류와 ECU에서 산출한 각종 데이터를 이용하여 추가로 점화에너지 제어를 위한 연산에 포함시키면 한층 확장된 기능을 갖는 점화장치의 개발이 약간의 추가비용으로 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 田中雄治, 館山輝夫, “自動車電氣裝置” 明現社. pp.28, 174, 142, 141, 1990.
2. 社團法人自動車技術會 “自動車工學 핸드ブック”. pp.10~7, 1991.
3. 이종순, 이태원, 정성식, 하중율, “Effect of Ignition-Energy Characteristics on the Ignition and the Combustion of Premixed Gas.” 한국자동차공학회논문집 제4권제1호, pp.28~35, 1996.
4. PAUL E. GRAY, CAMPBELL L. SEALE “ELECTRONIC PRINCIPLES” Wiley & Sons, Inc. pp.523~615, 1995.
5. 김광조, 김경태, 최용세, “Gasoline Engine 전자점화장치 개발”. 과학기술처. pp.57~63, 1984.