

〈논 문〉

## 희박연소기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 개발에 관한 기초 연구

이상준\* · 나성오\*\* · 이증태\*\*\*

(1996년 5월 17일 접수)

### A Basic Study on Development of Multiple-Spark Capacitor Discharge Ignitor for Lean Burn Engine

Sang Joon Lee, Sung Oh Ra, Jong Tai Lee

**Key Words :** Multiple-Spark Capacitor Discharge Ignitor(용량방전식 다회수스파크 점화장치), Lean Burn Engine(희박연소기관), Spark Times(스파크 횟수), Spark Interval(스파크 간격), Ignitability(점화능력), Lean Limit(희박한계), Cycle Variation(사이클 변동)

#### Abstract

Enhancement of the ignitability was necessary to realize the lean burn engine. The characteristics of multiple-spark capacitor discharge ignitor(MSCDI) usefulness of which for lean burn was examined in constant volume combustion chamber and evaluated in spark ignition engine. Noise of MSCDI for engine was restricted by adoption of low voltage control system. It was found that the adaptability for high engine speed was remarkable. Lean limit in engine with MSCDI was extended 10% than conventional coil ignition system. Also maximum brake thermal efficiency was almost enhanced 1%.

#### 1. 서 론

최근 기관의 개발동향은 배출가스규제 및 연비규제에 대처하기 위하여 희박연소기관에 관심이 집중되고 있다.<sup>(1~4)</sup> 희박연소를 실현시키기 위해 점화장치의 점화성을 향상시키는 것은 매우 중요하다.<sup>(5~11)</sup> 이를 위해 저자들은 희박연소에 최적인 점화방식을 파악하기 위하여 점화에너지를 변화시키는 방식, 다점점화(Multi-point Spark)방식, 다회수 점화(Multiple-Spark) 방식에 대하여 기초연구를

통하여 파악함으로써, 용량방전식 다회수스파크 점화장치(Multiple-Spark Capacitor Discharge Ignitor, MSCDI)가 희박연소의 희박한계를 확장하는데 바람직하다고 밝히고, 또한 이에 관련된 기초사항을 해석한 바 있다.<sup>(12~14)</sup>

본 연구에서는 기관용 MSCDI의 특성을 해석하기 위해 우선 기초적으로 정적연소에서 점화에너지 방출 패턴 및 화염을 가시화하여 해석하였다. 그리고 전기회로에 의한 다회수 스파크를 일으키기 위해서는 노이즈문제가 대두된다. 이를 해결하기 위하여 다수의 방법이 모색되었으며, 저 전압에 의한 충전기간의 제어시스템을 개발함으로써, 노이즈를 억제하고 연속적으로 고속 충전 및 방전이 가능한 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치를 제

\* 회원, 국립기술품질원 산업기계과

\*\* 회원, 성균관대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 회원, 성균관대학교 기계공학과

작하였다. 그리고 고속의 운전속도에 대한 적응성을 검토하기 위하여 MSCDI의 스파크 에너지 방출 패턴과 점화능력과 같은 특성을 파악하였다. 또한 기관에 장착하여 MSCDI에 의한 회박한계확장 및 열효율의 향상을 파악하였다.

## 2. 기초 실험 및 결과

### 2.1 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화기관

Fig. 1에 기관에 사용할 수 있도록 설계한 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 개략을 나타내며, Fig. 2는 기관용 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 사진이다.

기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치는 크게 용량방전식 점화장치부, 충전제어부 및 방전제어부로 구성된다.

용량방전식 점화장치부는 스파크 횟수에 해당하는 수만큼의 용량방전식 점화장치가 다수 병렬로 연결되어 있는 부분이다. 입력된 트리거 신호에 SCR을 작동시켜 콘덴서에 저장된 점화에너지가 방출되어 스파크가 튀게 된다. 점화코일은 통상의 기관에 사용하고 있는 것을 사용하였다. 충전제어부는 12Volt DC 전원으로 부터 용량방전식 점화장치의 콘덴서에 점화에너지를 공급시키는 부분이며, 방전제어부는 요구되는 스파크 간격 및 횟수로 점화시기에 스파크를 튀게 하는 부분이다.

충전제어부는 파형정형회로, 시간지연기, 다회수 신호회로 및 Flip-Flop 회로로 구성된다. 충전기간

의 제어는 고전압의 에너지를 콘덴서에 저장하고 방전하는데 따른 노이즈 발생으로 MSCDI가 파손되는 것을 해결하기 위해 12Volt DC 전압을 제어하는 방식을 채택하였다. 파형정형회로에서 발생된 트리거 신호를 입력 신호로 하여 시간지연기에서 시간을 지연시킨 후 다회수 신호회로와 Flip Flop 회로에 의해 12Volt DC전압이 DC-AC 변환기에 공급되어 교류전압으로 된다. 그리고 1차 승압기와 정류기를 거쳐 고압의 DC로 된 후, 콘덴서에 에너지를 충전시키기 시작하고, 첫번째 스파크가 튀기 직전에 충전을 종료하도록 구성되어 있다.

방전제어부는 전압비교기, 펄스발생기, 펄스발생 제어장치 그리고 계수기로 구성된다. 전압비교기는 스위치 신호의 개폐를 검출하고, 이 비교기의 출력은 파형정형회로를 거쳐 펄스발생 제어장치로 입력되고, 펄스발생 제어장치의 출력은 펄스발생기에 입력됨으로써 펄스가 발생된다.

스파크 횟수와 간격은 2차 전압의 방전시기를 결정하는 펄스의 폭과 횟수를 조절함으로써 결정하였다. 펄스의 간격은 가변저항으로, 스파크 횟수는 계수기와 펄스발생 제어장치로 제어한다. 계수기의 신호는 SCR 게이트용 파형정형회로를 거쳐 SCR의 게이트 신호로 사용되어 콘덴서에 저장된 에너지가 연속적으로 방전하게 된다.

### 2.2 실험장치 및 방법

실험장치는 정적연소기, 가시화장치, 점화장치, 예혼합기 제조장치, 데이터 측정장치 및 해석장치

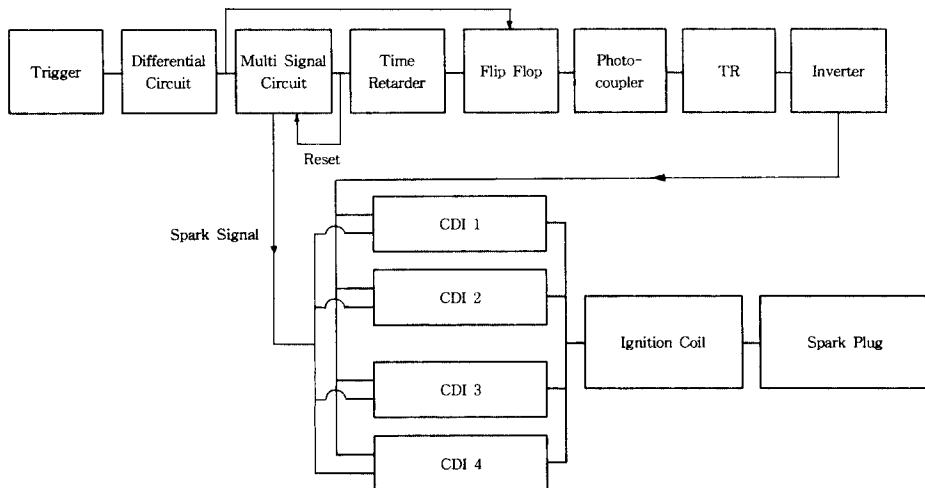


Fig. 1 Schematic diagram of MSCDI

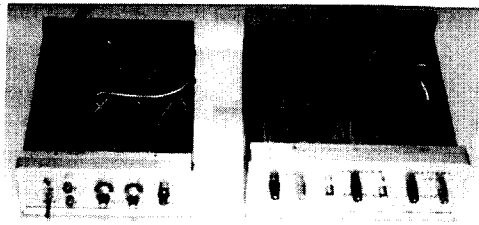


Fig. 2 Charge and discharge control system

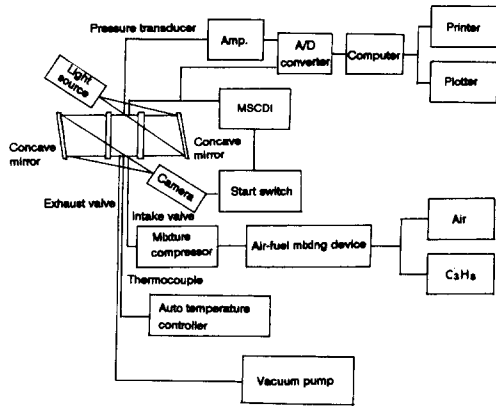


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

로 구성되며, 그 개략은 Fig. 3과 같다.

정적연소기는 기관의 연소실을 고려하여 지름 80 mm, 높이 22mm 원통형으로 하였으며, 연소실 양쪽면에는 화염전파를 슬리렌 촬영하기 위해 두께 19mm의 경화유리를 설치하였다. 또한 정적연소기의 외측에는 스파크플러그, 흡기 및 배기 밸브와 압력변환기가 설치되어 있다. 스파크플러그는 통상의 자동차용 점화플러그의 중심선주 끝에 지름 2 mm의 황동선을 길게 연장하여, 연소실 중앙에 점화위치를 잡도록하였다. 스파크플러그의 전극간극은 0.8mm, 전극선단의 방전면은 평면으로 한다.

연소실온도를 일정하게 유지하기 위하여 200W 용량의 팬히터 두 개를 연소기의 외측 벽에 설치하였다. 이때 연소실의 온도는 연소실의 내벽면으로부터 3mm 떨어진 위치에 삽입된 열전대와 자동 온도조절장치를 이용하여 일정하게 유지한다.

화염전파 촬영은 He-Ne-Laser 광원과 고속카메라(Cordin 350, 최대 촬영속도 35000fps)로 하였다. 고속카메라의 셔터 열림 시기는 점화신호와 동기하여 작동시킨다. 또한 초기의 화염을 촬영하기 위한 가시화에는 초고속 촬영이 가능하고 극부적으

로 해상도가 우수한 전자형 카메라를 사용하였다 이 경우의 가시화장치는 전자형 카메라(Electronic Imaging Camera, frame interval : 1 $\mu$ s), CCD (Charge Couple Device) 카메라, 크세논 광원(Xenon, 500W), 그리고 Image Board(Data translation)로 구성된다. 전자형 카메라는 시간분해능력 1 $\mu$ s, 최대 16프레임의 촬영이 가능하다. 전자형 카메라의 인광판(Phosphor Screen)에 맺힌 화상은 CCD 카메라와 Image Board를 통하여 컴퓨터에 저장한다. 필요한 화상은 화상처리 시스템으로 확인하고, 프린터 등의 출력장치를 사용하여 출력한다.

점화에너지의 방출파형을 파악하기 위하여 고전압 프로브(High Voltage Probe, Tektronics Inc. P6015)와 메모리 스킵(Memory Oscilloscope, Tektronics Inc. 5223)를 사용하였으며, 점화에너지는 콘덴서에 저장된 에너지가 모두 방출되는 것으로 가정하여, 점화에너지  $E=1/2C \cdot V^2$ 로부터 구하였다. 따라서 점화에너지는 공급된 에너지를 의미한다. 여기서 C는 콘덴서의 충전용량, V는 충전 전압이다.

스파크 횟수는 1회부터 4회까지 하였으며, 스파크 간격은 0.05ms, 0.1ms, 0.2ms, 0.5ms와 1ms로 하였다. 스파크 횟수를 증가시키에 따라 점화에너지가 증가하게 되므로, 필요한 경우 스파크 횟수가 증가해도 점화에너지의 총량이 변화하지 않도록 스파크의 점화에너지를 조절할 수 있도록 하였다. 점화위치는 스파크 플러그가 연소실 중앙에 위치하는 중심점화로 하였다.

각각의 실험에서 혼합기는 프로판 공기 예혼합기를 사용하였고, 연료공기당량비는  $\phi=1.1$ 로부터 점화가 용이하지 않은 희박한 혼합기까지 단계적으로 변화시켰다. 연소실의 초기압력은 게이지 압력으로 1.0bar, 초기온도는 313K로 고정하였다.

### 2.3 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 특성 해석

Fig. 4는 스파크 횟수 및 간격의 변화에 따른 점화에너지의 방출 전압 파형을 나타낸다. 여기서 매 스파크마다의 점화에너지는 90mJ이다.

스파크 간격이 0.5ms인 경우는 스파크를 일으킬 때마다 전압이 급격히 상승한다. 그러나 스파크 간격이 0.1ms인 경우는 첫번째 스파크의 경우만 전압이 급격히 상승하고 그후는 방출기간만 길어질

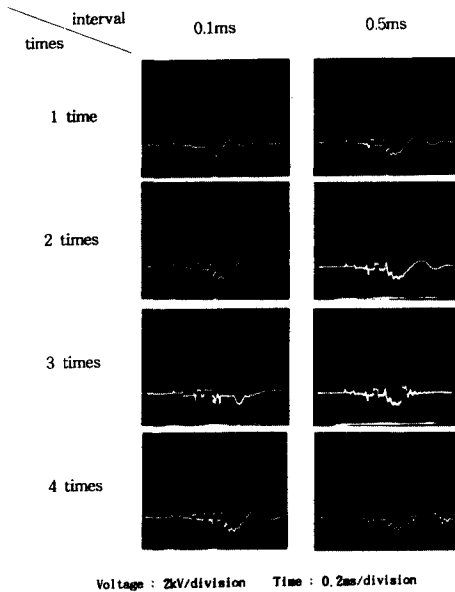


Fig. 4 Discharge pattern of spark interval at each spark times

뿐 전압상승을 나타내지 않는다.

이와 같은 경향은 매 스파크마다의 스파크 간격이 그 전회의 스파크 에너지를 방출하는데 소요되는 시간보다 짧아 스파크 간극 사이에 도전로가 형성되어 있는데 기인하는 것으로 판단된다. 그리고 점화에너지 방출 파형으로부터 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치는 용량성분 및 유도성분의 크기와 그 지속시간을 동시에 증가시키는 특성이 있으며, 이로 인해 회박연소의 점화성을 향상시키는데 더 유리함을 알 수 있다.

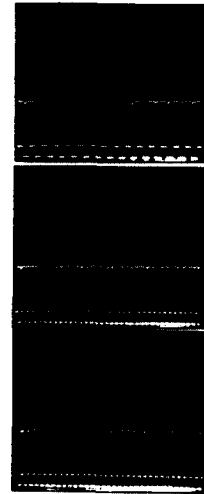
기관의 운전속도에 대응하여 스파크의 총방전시간을 짧게 하여도 동일한 스파크 방출패턴을 나타내는가 파악하기 위해 각각의 기관운전속도에 대한 용량방전식 다회수 스파크점화장치의 에너지 방출 파형을 Fig. 5에 나타낸다. 이 경우 점화장치는 신호 발생기(Function Generator)로 각각의 기관운전속도에 대응하는 신호를 발생시켜 연속적으로 작동시켰다.

점화에너지 방출파형을 보면 매 신호마다 에너지가 안정적으로 방출되는 것을 볼 수 있다. 그리고 방출 간격이 짧아져도 즉, 기관회전속도가 빨라져도 방출전압의 최고치는 변동이 거의 없으며 이것은 콘덴서에 에너지가 충전되는데 시간이 충분하다는 것을 의미한다.

1800 rpm

3600 rpm

7200 rpm



Voltage : 1kV/division Time : 0.1ms/division  
7200rpm → 0.05ms/division

Fig. 5 Discharge pattern of spark energy as a function of engine speed(spark interval: 0.1ms/spark)

상기와 같은 점화에너지 방출파형으로부터 기관용 용량방전식 다회수 스파크점화장치는 용량성분 및 유도성분의 크기와 지속시간을 증가시키는 효과가 있고, 고속하에서도 적응성이 우수함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 기관용 용량방전식 스파크점화장치를 사용한 경우, 스파크가 화염으로 변하는 연소초기 과정을 가시화하여 스파크 간격의 변화에 대해 나타낸 것이다. 여기서 스파크 간격은 0.05, 0.1, 0.2, 0.5ms이고, 총 점화에너지는 360J이며, 연료 공기당량비는 0.9이다.

화염의 형상은 스파크 플러그 전극간극으로부터 발달하며, 초기에는 스파크 플러그 전극으로의 열 전달로 인하여 전극 부근의 화염성장이 지연되는 경향이다. 화염이 성장함에 따라 점차 타원형으로 변하는 형상이다. 그리고 스파크 간격의 변화에 따라 화염의 발달속도에 차이가 있어 스파크 간격이 0.1ms인 경우가 가장 빠르며, 이를 정점으로 하여 스파크 간격이 증가, 감소함에 따라 늦어지는 경향을 나타내고 있다.

전술한 바와 같이 스파크 간격이 0.1ms인 경우가 점화에너지 방출기간이 가장 큰 경향이고, 이때 점화능력도 최대치를 나타내므로, 화염발달에 최적인 스파크 간격은 0.1ms라 생각된다.

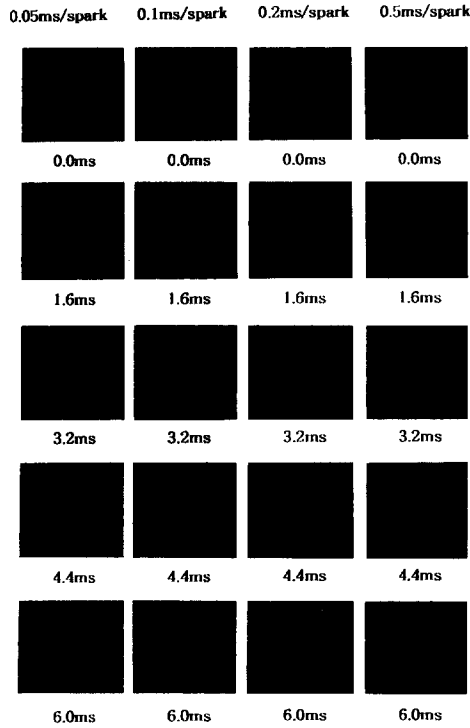


Fig. 6 Photographs of flame as a function of spark interval(spark times: 4)

Fig. 7에 스파크 횟수 변화에 따른 화염전파과정의 가시화한 결과를 나타낸다. 여기서 연료공기당량비는 0.75이며, 매 스파크마다 공급된 점화에너지는 120mJ이다. 스파크 간격은 0.1ms로 고정하였다.

스파크 횟수가 증가함에 따른 점화에너지 및 에너지 방출기간의 증가로 화염전면에서의 화학반응이 활발하게 진행되므로 화염이 성장하는 속도는 스파크 횟수의 증가에 따라 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 기관용 용량방전식 다회수 스파크점화 장치의 점화능력을 파악하기 위해 연료공기당량비 변화에 대한 화염전파과정을 가시화한 결과이다. 여기서 스파크 횟수 및 간격은 각각 4회 및 0.1ms이다. 점화에너지는 매 스파크마다 90mJ를 공급하였으며, 당량비 0.65인 경우에만 120mJ로 증가시켰다.

화염 형상은 전술한 바와 같이 스파크 플러그 전극으로의 열손실로 인하여 연소초기 타원형을 나타낸다. 그리고 연료공기당량비가 감소함에 따라 즉

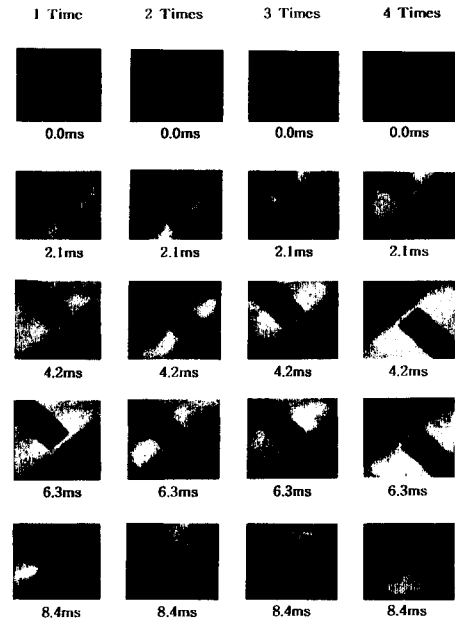


Fig. 7 Photographs of flame as a function of spark times(spark interval: 0.1ms/spark)

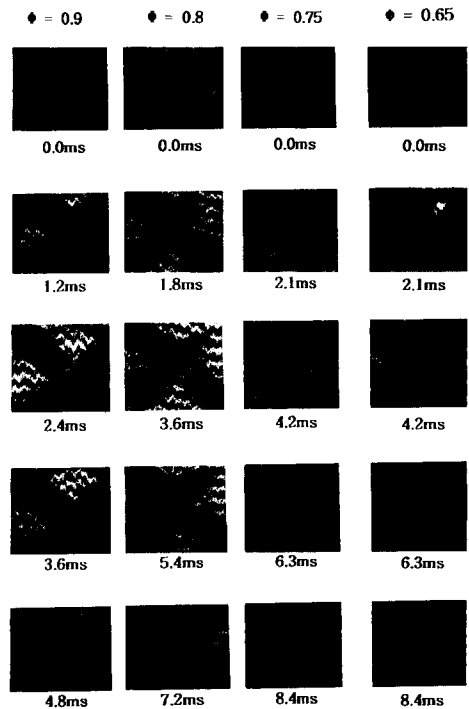


Fig. 8 Photographs of flame vs fuel/air equivalence ratio and case of misfire(spark times: 4, spark interval: 0.1ms/spark)

공기연료비가 희박해짐에 따라 화염의 형상은 화학 반응의 지연으로 인하여 전극 직각방향으로의 전파 길이가 짧아지는 경향을 나타내며, 또한 화염의 성장속도가 느려진다.

연료공기당량비가 0.65인 경우는 스파크가 튕 후 화염이 발생되나 성장하지 못하고 실화가 되는 것을 나타낸다. 가시화 사진으로부터 실화가 되더라도 체적으로 전혼합기의 약 5% 정도가 연소되는 것이 확인되었다.

### 3. 기관 실험 및 결과

#### 3.1 실험 장치 및 방법

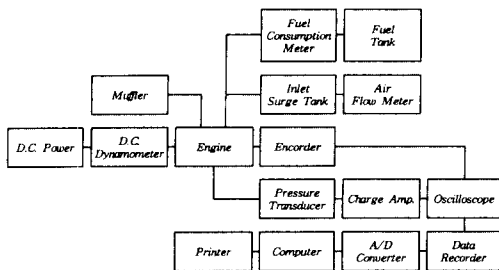
Fig. 9는 기관 실험용 실험장치를 개략적으로 나타낸 것이다. 실험장치는 실험기관, 직류 동력계, 흡입 계통, 배기 계통 그리고 데이터 측정 및 해석 장치로 구성된다.

실험에 사용되는 기관은 가솔린 기관으로 주요 제원을 Table 1에 나타낸다.

실험기관은 직류동력계(7.5kW)에 직결하였다. 기관용 용량방전식 다회수 스파크 점화장치를 작동시키기 위한 Trigger 신호는 트랜지스터 점화장치에서 발생하는 스위치 신호를 사용하여 발생시켰다.

**Table 1** Specification of used engine

Engine type	L-head type four stroke engine
Bore × Stroke	90 × 68mm
Displaced volume	433cc
Compression ratio	5
Number of cylinder	1



**Fig. 9** Schematic diagram of experimental engine

흡입 공기 유량은 총류 유량계(Meriam, 50 MJ10-13)로 측정하였으며, 압력 변환기(Kistler Co, 601A type)에 의해 측정된 실린더내 가스압력 값은 증폭기(Kistler Co, 5011)를 거쳐 데이터레코더(Teac, XR-510)에 저장한 후 A/D 변환기(Data Translation, DT2831G)를 통하여 컴퓨터에서 해석하였다.

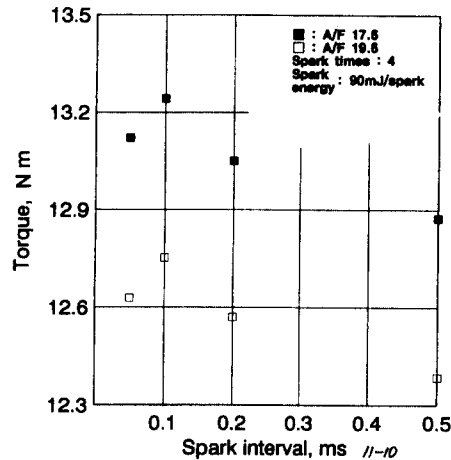
기관 회전속도, TDC 및 크랭크 각을 측정하기 위해서 출력 축에 회전식 Encoder를 타이밍 벨트로 연결하였다. 측정된 데이터들은 컴퓨터를 통하여 해석하였으며, 실험결과는 100 사이클 이상을 평균하여 사용하였다.

실험은 통상의 기관에서 사용하는 점화장치(이후 이를 싱글스파크 점화장치라 칭한다)를 사용하여 운전하는 경우와 전술한 용량방전식 다회수 스파크 점화장치를 사용하여 운전한 경우로 나누어진다. 싱글스파크 점화장치는 통상적으로 사용하는 전류 차단식 점화장치를 사용하였다.

#### 3.2 스파크 간격 및 횟수의 최적 조건

Fig. 10은 최적의 스파크 간격을 결정하기 위해 스파크 간격의 변화에 따른 토크를 각각의 공기연료비에 대하여 나타낸 것이다. 여기서 기관회전수는 1600rpm, 점화시기는 MBT, WOT상태이며, 스파크 횟수는 4회이다.

토크는 스파크 간격이 0.1ms인 경우를 정점으로 하여 이보다 짧거나 길어도 모두 감소하는 경향을 나타낸다. 이와 같은 경향은 공기연료비를 변화시



**Fig. 10** Torque as a function of spark interval at each air-fuel ratio

켜도 동일하다. 이것은 전술한 바와 같이 점화에너지 중 용량성분과 유도성분의 지속시간이 가장 긴데 따른 점화성 향상에 의한 것으로 생각된다.

상기 결과와 전술한 점화에너지 방출패턴 및 화염의 가시화 결과로부터 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 스파크 간격은 0.1ms가 최적인 것으로 판단하였다.

Fig. 11은 스파크 횟수의 변화에 따른 토크를 각각의 공기연료비에 대하여 나타낸 것이다. 여기서 스파크 간격은 0.1ms이다.

스파크 횟수가 증가함에 따라 토크는 전반적으로 증가하는 경향이다. 그러나 스파크 횟수의 증가에 따른 토크의 증가율은 농후한 혼합기보다 희박혼합기로 갈수록 현저히 증가함을 나타낸다. 이것은 다회수 스파크가 희박연소기관의 연소불안정을 안정시키는데 큰 효과가 있고, 또한 스파크 횟수가 증가할수록 유리하다는 것을 입증하는 것이다.

Fig. 12는 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치를 사용한 경우 스파크 횟수와 간격의 변화에 따른 제동열효율(Brake thermal efficiency)과 제동마력(Brake horse power)을 나타낸 것이다. 제동열효율 및 제동마력은 스파크 간격이 0.1ms이고 스파크 횟수가 많을수록 큰 값을 나타낸다.

따라서 본 연구에서 제작한 기관용 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 최적 스파크 간격은 0.1ms이며, 스파크 횟수는 최대 가능 스파크 횟수인 4회로 하였다.

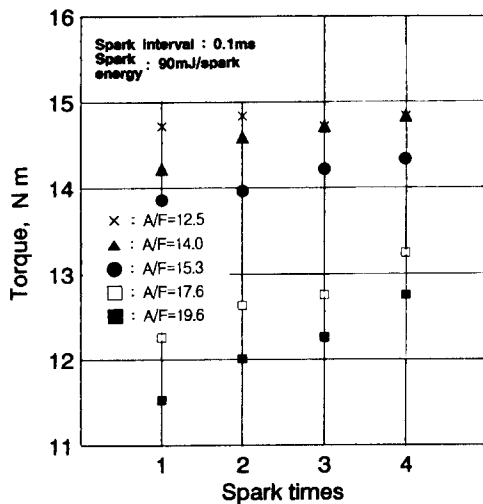


Fig. 11 Torque as a function of air-fuel ratio at each spark times

3.3 MSCDI를 장착한 희박연소기관의 특성

Fig. 13은 용량방전식 다회수스파크 점화장치를 사용한 경우의 지압선도를 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우와 비교한 것이다. 이 경우 공기연료비는 19.6, 기관회전수는 1600rpm 그리고 점화시기는 MBT로 하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 실린더내의 가스 압력은 희박혼합기를 사용하는데 따른 느린 연소에 기인하여 완만한 상승을 나타낸다. 싱글스파크 점화장치와 다회수스파크 점화장치로 1회 스파크한 경우의 압력선도는 거의 동일한 경향이다. 하지만 다회수스파크 점화장치를 사용하여 스파크 횟수를 증가시키는 경우의 실린더 가스 압력은 싱글스파크

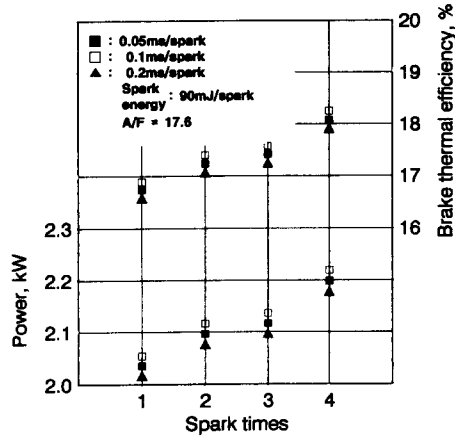


Fig. 12 Power and brake thermal efficiency as a function of spark times at each spark interval

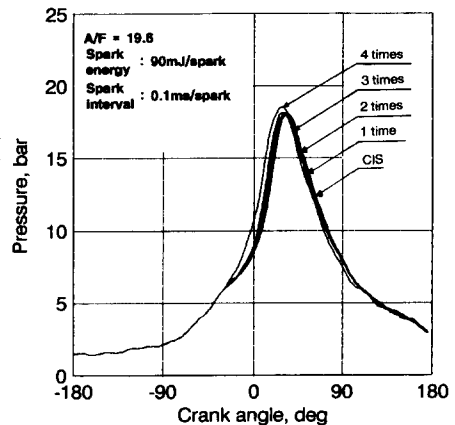


Fig. 13 Gas pressure as a function of crank angle at each spark method

점화장치를 사용한 경우보다 전체적으로 높은 경향이다. 스파크 횟수가 증가함에 따라 실린더내 최고압력이 높아지고, 최고압력의 발생시기도 빨라져 TDC 근방으로 접근한다.

실례로 다회스파크 점화시 스파크 횟수가 4회인 경우의 최고연소압력은 약 18.5bar로 싱글스파크 점화장치의 약 17.9bar보다 약 3% 정도 높은 것을 나타낸다.

Fig. 14는 각각의 점화장치를 사용한 경우 점화지연기간 및 연소기간의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 점화지연기간은 점화로부터 압력이 상승하는데 걸리는 시간이며, 연소기간은 질량연소율 0%에서 100%까지의 기간으로 정의하였다.

싱글스파크 점화장치를 사용한 경우와 다회스파크 점화장치를 1회 스파크한 경우는 점화지연기간 및 연소기간은 거의 동일하다. 하지만 스파크 횟수를 늘려감에 따라 점화지연기간 및 연소기간 모두 감소한다.

스파크 횟수를 4회로 한 경우의 연소기간은 크랭크각 58.5deg로 싱글스파크 점화장치인 경우의 연소기간 64deg보다 약 9% 정도 감소하는 것을 나타낸다.

주지의 사실과 마찬가지로 용량방전식 점화장치는 점화에너지 방출기간이 짧아 회박연소에는 적합하지는 않다. 그러나 다회스파크 점화장치를 사용해 연속적으로 점화에너지를 방출시켜 지속기간을 길게 하면 회박연소에서 초기에 급속연소가 가능하고 연소가 안정된다는 것을 알 수 있다.

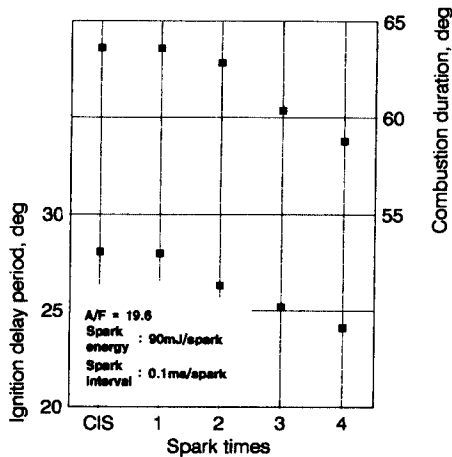


Fig. 14 Ignition delay period and combustion duration as function of spark method

Fig. 15는 용량방전식 다회스파크 점화장치를 사용한 경우 회박한계의 확장범위를 파악하기 위하여 공기연료비에 대한 기관의 토크를 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우와 비교한 것이다. 여기서 다회스파크 점화시 스파크 간격 및 횟수는 각각 0.1ms와 4회로 하였다.

통상의 점화장치를 사용한 경우는 이론 공기연료비보다 약간 능후한 공기연료비에서 최대토크를 나타내며, 회박할수록 토크가 현저히 감소하여 공기연료비 약 19 정도가 되면 운전이 불가능하게 된다.

그러나 다회스파크 점화장치를 사용한 경우는 이보다 회박한계가 확장되어 공기연료비 약 21부근까지 운전이 가능한 것을 나타낸다. 또한 동일 공기연료비라도 싱글스파크 점화장치에 비해 다회스파크인 경우의 토크가 현저히 큰 것을 나타낸다.

회박연소기관에 다회스파크 점화장치를 사용한 경우 확장되는 회박한계를 당량비로 환산하면 약 0.8에서 약 0.73 정도로 변화하므로, 다회스파크 점화장치에 의해 회박한계는 약 10% 정도 확장되는 것을 알 수 있었다.

Fig 16은 기관용 용량방전식 다회스파크 점화장치를 사용한 경우 공기연료비 변화에 따른 제동연료소비율과 제동 열효율을 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우와 비교한 것이다.

연료소비율은 다회스파크 점화장치 및 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우 모두 회박혼합기를 사용하는데 따른 연소실 벽면으로의 냉각 손실 감

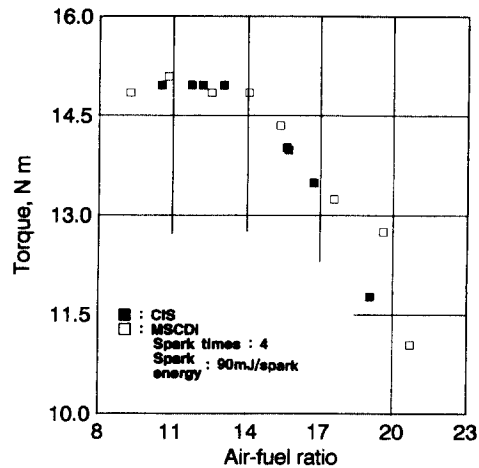


Fig. 15 Torque as a function of air-fuel ratio at each spark method



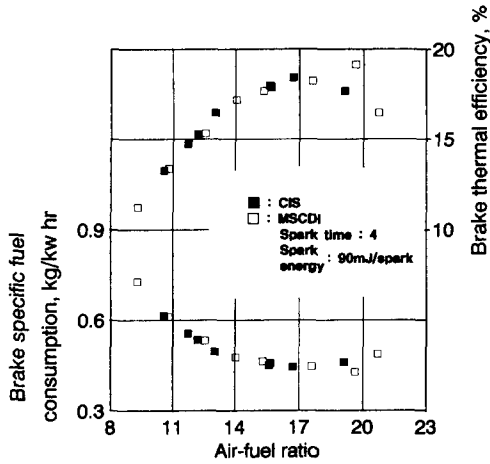


Fig. 16 Brake specific fuel consumption and brake thermal efficiency as a function of air-fuel ratio at each spark method

소로 이론 공기 연료비보다 약간 희박한 혼합기에서 최소치를 보인다. 그리고 이보다 희박하면 연소의 불안정으로 다소 증가하는 경향이다. 연료소비율이 최소치가 나타나는 공기연료비는 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우 16.5 근방인데 비하여, 용량방전식 다회수 스파크 점화장치를 사용한 경우는 이보다 더 희박한 19근방이다.

열효율의 최대치는 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우 약 18%이고, 용량방전식 다회수스파크 점화장치를 사용한 경우 약 19%이다. 따라서 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 사용에 의해 열효율

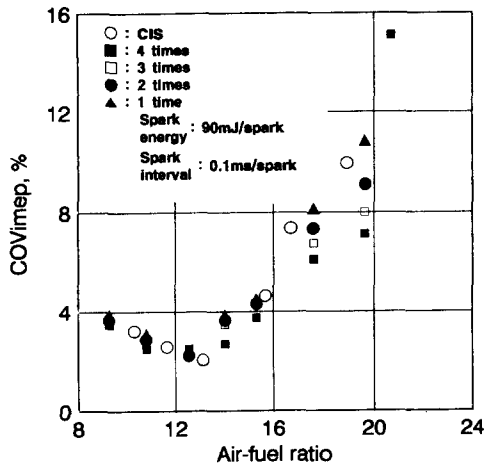


Fig. 17 Cycle of variation as a function of air-fuel ratio at each spark method

은 약 1% 정도가 향상되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 17은 공기연료비 변화에 대한 COVimep (Coefficient of variation in imep)를 싱글스파크 점화장치 및 용량방전식 다회수스파크 점화장치에 대해 나타낸다. 여기서 사이클 변동의 크기를 나타내는 COVimep는 도시평균유효압력(Indicated mean effective pressure, imep)의 표준편차를 다수 측정된 imep의 평균값으로 나누어 백분율로 나타낸 것이다.

COVimep는 최대출력이 나오는 공기연료비 13에서 최소치를 나타내며, 공기연료비가 이보다 농후해지거나 희박해지면 값이 커진다. 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우와 다회수스파크 점화장치의 1회 스파크한 경우의 COVimep는 그리 큰 차이가 없다. 그러나 스파크 횟수가 증가함에 따라 COVimep는 싱글스파크 점화장치의 경우에 비해 감소하는 경향을 나타낸다. COVimep의 감소율은 농후한 영역보다 희박한 영역에서 현저하므로 다회수스파크 점화장치가 희박연소 기관의 연소불안정을 안정시키는데 효과가 있음을 재확인하는 것이다.

공기연료비 약 19.5정도에서 보면 스파크 횟수가 1회에서 4회가 됨에 따른 연소촉진에 의해 COVimep가 11.3%에서 7.5%로 감소하여, 약 35% 정도 감소됨을 나타낸다.

통상 COVimep가 10% 이상에서의 공기연료비에서는 운전이 불안정한 것으로 알려져 있다.<sup>(9)</sup> 이를 바탕으로 안정된 운전이 가능한 공기연료비를 판단하면 싱글스파크 점화장치의 경우는 공기연료비 약 18까지, 또한 다회수 스파크 점화장치로 스파크를 4회 시킨 경우는 공기연료비 약 20까지는 안정된 운전이 가능함을 알 수 있다.

따라서 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 사용에 의해 확장되는 안정된 운전이 가능한 공기연료비는 희박한계의 확장범위와 마찬가지로 약 10% 정도라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치에서 문제가 되는 노이즈를 해결할 수 있는 논리회로식 파형정형회로를 갖는 제어시스템 및 포토커플러를 채택하여, 기관의 운전속도에 대응하여 연속적으로 고속의 충방전이 가능한 기관용 용량방전식 다회수

스파크 점화장치를 제작할 수 있었다.

그리고 제작한 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 스파크 에너지 방출 파형을 해석한 결과, 고속의 운전조건하에서도 1회 작동하는 용량방전식 다회수스파크 점화장치와 마찬가지로 용량성분 및 유도성분의 크기와 지속시간이 증가되고, 점화능력도 대체로 동일하다는 것을 알 수 있었다.

기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 0.1 ms 스파크 간격이 최적이며, 스파크 횟수를 늘려감에 따라 점화능력이 향상되었다.

희박연소기관에 다회수스파크 점화장치를 사용한 경우 확장되는 희박한계를 당량비로 환산하면 약 0.8에서 0.73 정도로 증가하므로, 다회수스파크 점화장치에 의해 희박한계는 약 10% 정도 확장되는 것을 알 수 있었다. 열효율의 최대치는 싱글스파크 점화장치를 사용한 경우 18%이고, 용량방전식 다회수스파크 점화장치를 사용한 경우 약 19%이므로 용량방전식 다회수스파크 점화장치의 사용에 의해 열효율은 약 1% 정도가 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한 사이클 변동치도 현저히 저감되는 것을 알 수 있었다.

상기의 해석 결과로부터, 제작한 기관용 용량방전식 다회수스파크 점화장치는 기관의 연소 불안정을 개선하였고, 희박한계를 확장시키며 고속하에서 적응성이 우수함을 알 수 있었다.

### 후기

본 논문은 G7 과제 "희박연소용 점화시스템 개발 연구"의 일환으로서 수행되었음을 밝힌다.

### 참고문헌

(1) Dale, J. D. and Oppenheim, A. K., 1981, "Enhanced Ignition for I. C. Engines with Premixed Gases," *SAE* 810146, pp. 606~621.  
 (2) Anderson, R. W. and Asik, J. R., 1983, "Ignitability Experimental in a Fast Burn, Lean Burn Engine," *SAE* 830477, pp. 390~404.  
 (3) Swords, M. D., Kalghatgi, G. T. and Watts, A. J., 1982, "An Experimental Study of Ignition and Flame Development in a Spark Ignited

Engine," *SAE* 821220, pp. 3826~3837.

(4) Maly, R., Saggau, B., Wagner, E. and Ziegler, G., 1993, "Prospects of Ignition Enhancement," *SAE* 830478, pp. 405~422.  
 (5) Harrington, J. A., Shishu, R. C. and J. R. Asik, 1974 "A Study of Ignition System Effects on Power, Emmisions, Lean Misfire Limit, and EGR Tolerance of a Single Engine - Multiple Spark Versus Conventional Single Spark Ignition," *SAE* 740188, pp. 837~845.  
 (6) Asik, J. R. and Bates, B., "The Ferrosonant Capacitor Discharge Ignition(FCDI) System," *SAE* 760266, pp. 1123~1140.  
 (7) Johnson, R. W. and Neuman, J. G., 1975, "Programmable Energy Ignition System for Engine Optimization," *SAE* 750348, pp. 847~855.  
 (8) Yamamoto, H., Horita, S. and Matsuoka, T., 1992, "Surrounding Combustion Process (SCP) -New Concept for Lean Burn Engine," *SAE* 920058, pp. 1~12.  
 (9) Heywood, J. B., 1983, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, pp. 413~423.  
 (10) Kuroda, H., Nakajima, Y., Sugihara, K., Takagi, Y. and Muranaka, S., 1978, "The Fast Burn with Heavy EGR, New Approach for Low Nox and Improved Fuel Economy," *SAE* 780006, pp. 12~25.  
 (11) 浜井九五, 中井明朗兒, 中川泰彦, 1985, "火花放電時間と燃焼の安定性," *自動車技術*, Vol. 39, No. 4, pp. 397~403.  
 (12) 이상준, 나성오, 한성빈, 김문헌, 이종태, 1993, "SCP의 연소특성," 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 487~492.  
 (13) 이상준, 나성오, 한성빈, 이종태, 1993, "희박연소용 점화시스템의 점화능력에 관한 연구," 대한기계학회 추계학술대회논문집(II), pp. 498~502.  
 (14) 이상준, 나성오, 한성빈, 이종태, 1994, "용량방전식 다회수스파크 점화장치의 점화능력 및 연소특성," 대한기계학회 춘계학술대회논문집(II), pp. 180~185.