

〈논 문〉

스파크 점화기관의 드웰각 변화에 의한 사이클  
변동에 관한 연구한 성 빈\*  
(1997년 6월 9일 접수)A Study of Cycle-to-Cycle Variations with Dwell Angle in  
Spark Ignition Engines

Sung Bin Han

**Key Words :** Flame Kernel(화염핵), Mean Flame Expansion Speed(평균 화염 팽창속도), Convection Velocity(대류속도), Fiber Optic Spark Plug(광섬유 스파크플러그), Cycle-to-Cycle Variations(사이클변동), Dwell Angle(드웰각)**Abstract**

The diagnostic used to observe the early flame development was a fiber optic spark plug, which enabled measurement of the flame front arrival times on a cycle-to-cycle basis. The data obtained with this fiber optic spark plug were analyzed to obtain two parameters to describe the behavior of the flame kernel: an expansion speed and a convection velocity. In addition, synchronized cylinder pressure data were taken to compare with the fiber optic spark plug data on a cyclic basis. Heat release analysis was performed on the cylinder pressure data to obtain the mass burning profile of the charge for each cycle. There was a significant correlation observed in the initial flame duration and the kernel expansion speed with dwell angle.

## 1. 서 론

초기 연소기간에서의 연소과정은 스파크 플러그에서 스파크 핵(spark kernel)이 형성된 후, 스파크 핵의 표면에서 혼합기가 산화반응을 하여 화염핵이 형성되고 화염핵은 에너지 상태에 따라 소파되거나 혹은 성장하여 초기 화염에 이른다. 화염핵이 성장하여 초기 화염에 이르면 연소실 내의 압력은 점화직전의 혼합기 압력으로부터 급격히 이탈하기 시작한다.<sup>(1)</sup>

특히 스파크 점화기관의 연소변동은 초기연소기

간의 변동에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 왔다. 초기 연소기간에서의 연소양상을 결정 짓는 중요한 단계는 화염핵 형성과정이며 안정된 화염핵 형성은 초기연소기간을 단축시켜 연소기간을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>(2~4)</sup>

그리고 초기화염기간은 2개의 변수로 설명이 되어 질 수 있는데, 첫번째로는 평균화염팽창속도( $S_g$ )이다. 평균화염팽창속도는 화염핵 크기의 성장률을 특징 지워 질 수 있는 요소이다. 두 번째로는 대류속도( $V_c$ )로서 이는 화염핵의 모든 전체 운동을 특징 지워 질 수 있는 요소이다.<sup>(5,6)</sup>

스파크 점화기관에서 초기화염핵의 거동은 전체 기관 성능에 중요한 역할을 한다. 전체 질량연소의 0~2%를 초기화염기간(initial flame duration)라

\*회원, 인덕전문대학 기계과

일반적으로 부르는데, 초기화염기간의 중요성은 단지 전체 질량의 0~2%의 질량을 태우는 정도의 역할이 아니라 초기화염기간의 중요성 면에서 전체 질량의 30% 이상을 좌우하는 가치가 있는 양이 된다고 Young<sup>(7)</sup>은 주장을 하였고, 더욱이 초기연소기간은 사이클 변동에 중요한 변수가 될 수 있다.

사이클 변동의 원인으로는 사이클마다의 공기연료비와 혼합기 조성의 변동, 혼합기 중의 연료, 공기, 흡입유동, 잔류가스의 혼합이 사이클마다 균일하지 못한 것과 또한 점화지연 등을 지적할 수 있다. 또한 연구자들에 의하여 밝혀진 사이클 변동을 줄일 수 방법으로는 다음과 같다. 연료의 종류는 먼저 증류화염속도가 최고인 연료를 사용하는 것이 좋고, 공기연료비는 이론공기연료비에서 운전을 하는 것이 사이클 변동을 줄일 수 있으며, 점화시키는 MBT에서 점화를 하여야 연소변동을 최소화할 수 있다.<sup>(8~11)</sup>

더욱이 최근 대도시 교통의 혼잡으로 인한 기관의 공회전 시간이 증가하는 현재 상황으로 볼 때 공회전 상태에서 기관의 안정성은 운전자에게 매우 중요하며 차량의 신뢰성에도 큰 영향을 미치고 있다고 강조를 했다. 더욱이 아이들링 상태에서의 사이클 변동은 잔류가스를 증대시키며, HC과 CO를 증가시키는 주요 원인이 된다.<sup>(12~14)</sup>

사이클 변동에 관한 연구를 계속적으로 하고 있지만, 점화에너지 방전특성에 따른 사이클 변동은 가치 있는 연구라 생각이 든다.<sup>(15)</sup> 방전특성은 방전패턴을 변화시키든지, 점화에너지를 변화시키는 방법 등을 들 수 있다. 방전패턴을 바꾸든지 점화에너지를 바꾸기 위해서는 회로를 다시 구성을 하여야 한다. 요즘의 전자엔진은 ECU와 연결된 파워TR이 점점의 역할을 하고 있으므로, 드웰각을 조정하여 점화에너지를 변화시키는 것이 가장 간단한 방법으로 생각이 든다. 본 연구에서는 드웰각을 변화시킨 경우에 사이클변동에 영향을 미치는 화염핵의 거동을 해석하고자 한다.

실제기관은 정상운전에 있어서 실린더 내 압력이 사이클마다 변동하기 때문에 꼭 같은 지압선도를 나타내지 못하며, 이것을 사이클 변동이라 한다. 연소 변동을 알려 줄 수 있는 방법에는 크게 나누어 다음의 4가지 방법에 의하여 연소의 변동이 일어났는지의 여부를 알 수 있다고 했다. 즉, 첫 번째 방법으로 압력에 관계된 변수에 의한 방법으로, 연소실 내의 최고 압력값, 연소실 내의 최고 압력

값이 발생하는 크랭크 각, 최고 압력 상승률, 최고 압력 상승률이 발생하는 크랭크 각, 각 사이클의 IMEP을 조사하여 연소의 변동을 해석하는 방법이다. 두 번째 방법으로는 연소에 관계되는 변수로서, 최고 열 발생률, 연소실 내의 최고 질량연소율 또는 최고 질량연소율의 변동을, 점화지연, 연소구간, 점화가 시작되어서 어떠한 질량이 타기 시작하는 순간까지의 경과시간을 이용한 방법이다. 세 번째 방법은 화염면에 관계된 변수를 이용하여, 주어진 시간에 대해 화염 반지름, 화염면 면적, 연소된 체적을 계산하고, 주어진 위치에 대해 화염 도달시간을 얻어 연소의 변동을 식별하는 방법, 네 번째는 배기가스의 조성을 가지고 연소의 변동을 판단하는 방법 등이다. 이러한 방법 중에서 가장 간단한 방법은 첫 번째, 압력에 관계된 변수에 의한 방법을 이용하여 구하는 것이다.<sup>(16)</sup> 압력 데이터로부터 유도되는 사이클 변동의 중요한 기준의 하나는 역시, 평균유효압력 변동계수이다.

본 연구에서는 Sloan Automotive Laboratory에서 Heywood 등이 개발한 "One-Zone Burn-Rate Analysis" 프로그램<sup>(17)</sup>을 이용하여 연소해석을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

Table 1은 본 연구에서 사용한 기관의 제원이다. 본 기관은 전자 제어 연료 분사 기술인 기관으로서 와전류식 동력계에 직결되어 있다.

실험기관을 제어하는 방법으로 기존의 ECU 기능을 하면서 연료 분사 시스템과 점화 시스템을 자유로이 제어가 가능한 엔진 제어 시스템(IC 5460,

Table 1 Specification of test engine

Engine type	4-cylinder, 4 valves/cylinder
Bore	86 mm
Stroke	86 mm
Clearance volume	58.8cc
Displacement	1998cc (499cc/cylinder)
Compression ratio	9.5
Valve timing	IVO 13 BTDC IVC 55 ABDC EVO 57 BBDC EVC 3 ATDC

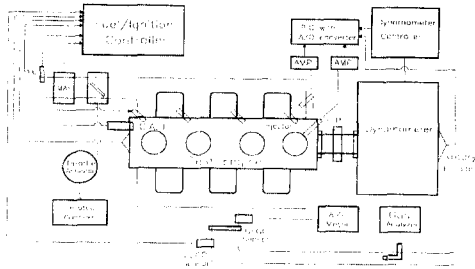


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

INTELLIGENT CONTROLS, INC.)을 사용하였으며, 전반적인 실험장치의 대략도는 Fig. 1과 같다. 그림과 같이 기관의 스톱을 개도는 컴퓨터에서 자동 제어할 수 있도록 구성되었다. 또한 공기 연료비의 측정에는 배기관에 광역 공기 연료비 센서를 삽입하고 공기 연료비 측정기(UEGO Sensor, HORIBA 110λ)를 사용하여 측정하였다.

대표적인 실험변수로는 공회전 상태에서 드웰각을 변화시켜 점화에너지를 변화시키는 실험을 수행한다. 동력계에 부하를 전혀 걸지 않고 엔진을 회전시키는 공회전 상태에서, 이때 회전수는 800 rpm으로 조정하였다.

기존 기관에 부착되어 있는 공회전 자동 조정 장치는 분리하여 작동되지 않도록 하였다. 엔진 냉각수 온도는 기관을 충분히 운전하여 80°C로 일정하게 조정하였다.

점화시기는 30. BTDC로 고정하였으며, 공기연료비는 이론공기연료비로 고정을 시켰다. 연소실내의 연소 압력은 압력 센서(Kistler 6061B)를 4번 실린더에 삽입하여 250사이클씩 측정하였고 흡기관 압력은 절대압 센서(Kistler 4045A2)를 4번 흡기관에 삽입하여 250사이클씩 측정하였고, 배기가스, 연료소비량 등을 측정하였다.

### 3. 광섬유스파크플러그를 이용한 화염핵 거동 해석

광섬유 스파크 플러그는 스파크 플러그 전극 주위에 8개의 광섬유를 가지고 있다. 이는 초기 화염핵 발달을 직접 측정할 수 있는 기구이다. 이는 Sandia National Laboratory의 Peter O. Witze 등이 최초로 개발을 하였고, Barrack Laboratory에서 제품화 시켰다. Fig. 2는 본 연구에 사용한 Barrack-Witze 프로브 장비를 나타내고 있다. 기

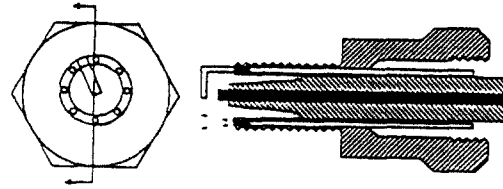


Fig. 2 Fiber optic spark plug probe instrumented with eight optical fibers

존의 연소실 변경 없이 초기 화염핵의 거동을 예측할 수 있는 기구로써, 화염핵 모델 해석, 화염형상 결정, 화염발달을 위한 화염핵 형성 조건 등의 영향 해석, 기관의 사이클 변동 해석 등에 주로 사용할 수 있다.<sup>(18,19)</sup>

또한 광섬유가 연소실에 직접 노출되게 되면 퇴적물로 photomultiplier 신호의 감소가 초래되므로, 사파이어를 광섬유 끝단에 설치하였다.

사이클 동안에 광섬유스파크플러그로부터 얻은 8개의 화염도착시간을 이용하여 평균화염전파시간  $\Delta t$ 를 결정할 수 있다.

$$\Delta t = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (t_i - t_{spark}) \quad (1)$$

$t_i$  : i번째 센서에 화염이 도착한 시간

$t_{spark}$  : 점화시작

또한 8군데에서 나타내는 평균도달시간  $t_a (= t_{spark} + \Delta t)$ 는 다음과 같은 식으로 나타냄으로써 2차원 화염운곽을 그릴 수 있다.

$$R(\theta_i, t_a) = \frac{R_s}{(t_i - t_{spark})} \Delta t \quad (2)$$

여기서  $R_s$ 는 스파크 전극으로부터 각 창까지의 중심거리로서, 본 연구에서는  $R_s$ 는 5.35 mm를 이용하였다. 화염운곽  $R(\theta)$ 는 cubic spline을 이용하여, 8개점을 커브피팅하여 그릴 수 있다. 즉, 화염운곽을 그리기 위해서, 식 (2)에서 정의된 바에 따라 8개의  $R(\theta_i)$  값을 이용하여 cubic spline로 가정하여 그림을 그린다.

$$R_i(\theta) = a_i \theta^3 + b_i \theta^2 + c_i \theta + d_i \quad (3)$$

여기서  $R_i$ 는 크랭크 각에 대한 화염반경이며,  $a_i, b_i, c_i, d_i$ 는 spline 변수를 의미한다. 8개의 측정위치에서 32개의 값을 구한다.

또한 초기화염기간은 화염핵 크기의 성장률을 특정 지워질 수 있는 평균화염팽창속도와 화염핵의

모든 전체 운동을 특징 지워 질 수 있는 대류속도로 나타냄으로 2차원 해석을 할 수 있다.

평균화염도달시간  $t_a$ 에서 화염윤곽의 접수길이(perimeter  $P$ )는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(t_a) = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\Delta t} \dot{R}(\theta, t) \quad (4)$$

여기서  $\Delta t$ 는 식 (1)에서 구할 수 있다. 식 (4)를 이용하여, 평균화염팽창속도는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_g = \frac{P}{2\pi\Delta t} \quad (5)$$

이러한 방법에서 계산된 팽창속도는 평균화염성장률을 의미한다. 또한 본 연구에서  $S_g$ 는 식(6)을 의미하기도 한다.

$$S_g = \frac{2A}{P\Delta t} \frac{\int d\theta \left[ \frac{1}{\Delta t} \int dt \dot{R} \right]^2}{\int d\theta \left[ \frac{1}{\Delta t} \int dt \dot{R} \right]} \quad (6)$$

또한 대류속도  $V_c$ 는 2차원 화염윤곽의 질량의 중심의 평균속도로써 정의되어진다. 스파크 전극으로부터 질량의 중심 OG의 위치 벡터가 다음과 같이 정의된다. 식 (6)의 A는 2차원 flame contour의 면적을 의미하며, P는 flame contour의 접수길이를 의미한다. 식 (6)은 A와 (시간과 방향에 관한 화염반경 평균값)의 항으로 표시한 의미가 쉽다.

$$V_c = \frac{OG}{\Delta t} \dot{R} \quad (7)$$

본 연구에서 실험을 통하여 식 (5)와 (7)로부터 얻어진 팽창속도  $S_g$ 와 대류속도  $V_c$ 를 이용하여 연소변동을 해석하고자 한다. 초기화염은 평균화염팽창속도와 대류속도에 의하여 영향을 받는다. 여기서 평균화염팽창속도는 화염핵의 크기에서 성장률을 특징 지워 줄 수 있고, 대류속도는 화염핵의 전체 운동을 특징 지울 수 있다.

실제기관은 정상운전에 있어서 실린더 내 압력이 사이클마다 변동하기 때문에 꼭 같은 지압선도를 나타내지 못하며, 이것을 사이클 변동이라 한다. 연소 변동을 알려 줄 수 있는 방법에는 크게 나누어 다음의 4가지 방법에 의하여 연소의 변동이 일어났는지의 여부를 알 수 있다고 했다. 즉, 첫 번째

방법으로 압력에 관계된 변수에 의한 방법으로, 연소실 내의 최고 압력값, 연소실 내의 최고 압력값이 발생하는 크랭크 각, 최고 압력 상승률, 최고 압력 상승률이 발생하는 크랭크 각, 각 사이클의 IMEP을 조사하여 연소의 변동을 해석하는 방법이다. 두 번째 방법으로는 연소에 관계되는 변수로써, 최고 열 발생률, 연소실 내의 최고 질량연소율 또는 최고 질량연소율의 변동율, 점화지연, 연소구간, 점화가 시작되어서 어떠한 질량이 타기 시작하는 순간까지의 경과시간을 이용한 방법이다. 세 번째 방법은 화염면에 관계된 변수를 이용하여, 주어진 시간에 대해 화염 반지름, 화염면 면적, 연소된 체적을 계산하고, 주어진 위치에 대해 화염 도달시간을 얻어 연소의 변동을 식별하는 방법, 네 번째는 배기가스의 조성을 가지고 연소의 변동을 판단하는 방법 등이다. 이러한 방법 중에서 가장 간단한 방법은 첫 번째, 압력에 관계된 변수에 의한 방법을 이용하여 구하는 것이다.<sup>(18)</sup> 압력 데이터로부터 유도되는 사이클 변동의 중요한 기준의 하나는 역시, 평균유효압력 변동계수(coefficient of variation in indicated mean effective pressure)이다.

본 연구에서는 Sloan Automotive Laboratory에서 Heywood 등이 개발한 “One-Zone Burn-Rate Analysis” 프로그램<sup>(19)</sup>을 이용하여 연소해석을 수행하였다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3은 점화코일의 1차쪽에서 잡은 전압 파형이다. 드웰각의 변화는 각각 1.5 ms, 2 ms, 3

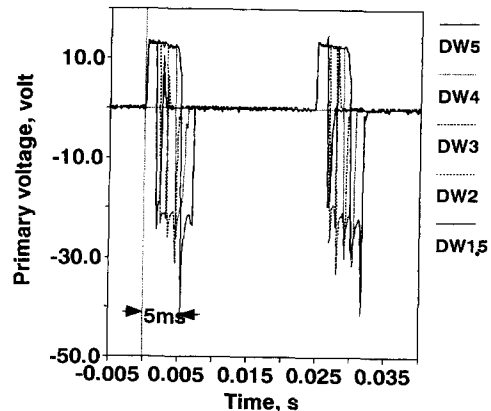


Fig. 3 Primary voltage vs. time of dwell angle

ms, 4 ms, 5 ms를 나타내고 있고, 이론 공기연료비를 택하여 실험했다. 대표적으로 드웰각 5 ms인 경우를 그림에 표시해 두었다.

Fig. 4는 드웰각 변화에 대한 도시평균유효압력

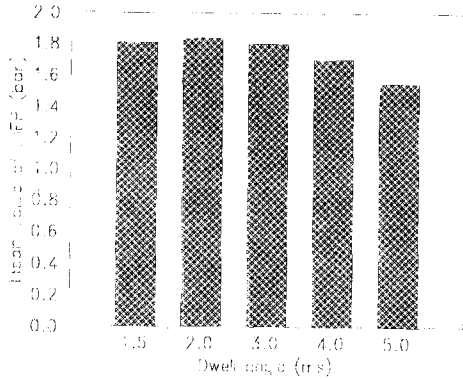


Fig. 4 Mean value of IMEP as a function of dwell angle

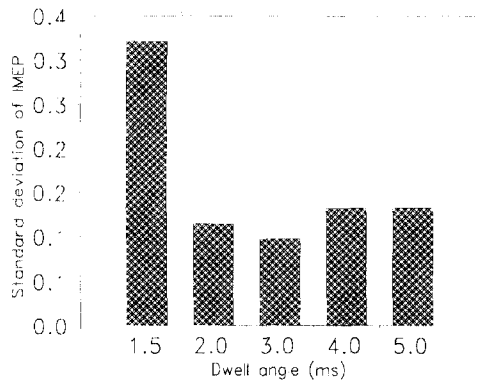


Fig. 5 Standard deviation of IMEP as a function of dwell angle

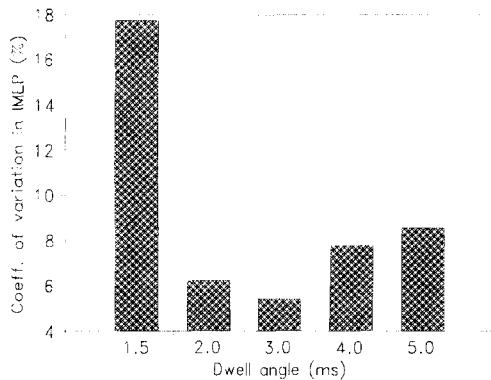


Fig. 6 Coefficient of variation in IMEP as a function of dwell angle

(IMEP)을 나타낸 그림이다. 그림에서 드웰각 2 ms가 가장 큰 1.84 bar의 도시평균유효압력을 나타내고 있고, 이를 중심으로 IMEP는 점차 줄어들다가 드웰각 5 ms에서 본 실험의 조건하에서 최소값인 1.56bar의 IMEP를 나타내고 있다.<sup>(20)</sup> IMEP의 결과만으로는 최고의 IMEP를 원한다면, 드웰각 2 ms의 운전조건이 가장 이상적인 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 도시평균유효압력의 표준편차를 나타낸 그림이다. 이 그림에서는 표준편차가 가장 적은 경우가 드웰각 3 ms에서 0.097을 나타내며, 그 다음이 드웰각 2 ms에서 0.114를 나타내고 있다.

Fig. 6은 도시평균유효압력의 사이클 변동을 나타낸 그림이다. 가장 보편적이고 쉬운 방법으로 IMEP를 이용한 사이클 변동 해석 방법을 사용하는데, 이 경우에 IMEP의 사이클 변동계수는 드웰각 3 ms에서 5.4를 나타내고 있고, 드웰각 2 ms에서는 6.2를 나타내고 있으며, 가장 불안정한 경우인 1.5 ms에서는 17.7을 나타내고 있다. 대개의 경우 IMEP의 사이클변동계수가 10이상이 되면 불안정된 운전영역으로 취급을 한다. 가장 안정된 아

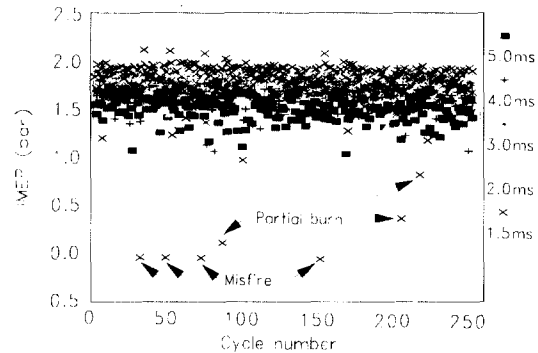


Fig. 7 Indicated mean effective pressure as a function of cycle number

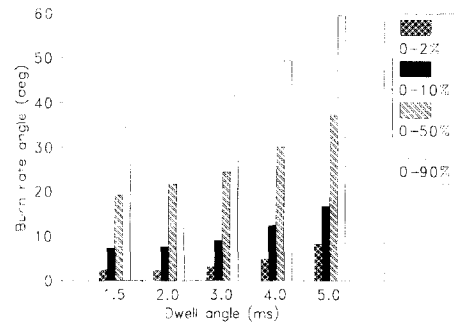


Fig. 8 Burn rate angle as a function of dwell angle

이들링 운전 조건을 원한다면, 드웰각 3.0 ms에서 운전을 하는 것이 바람직하겠지만, Fig. 4에서 IMEP는 다른 운전조건에 비하여 최고의 값을 나타내고 있지는 않는다. 약간의 IMEP의 차를 보이고 있다.

Fig. 7은 250 사이클에 대한 IMEP를 나타낸 선도로서, Fig. 4와 Fig. 6의 평균 IMEP와 IMEP의 사이클 변동을 비교한 것과 좋은 대조를 이룬다. Fig. 7에서 드웰각 1.5 ms에서 실화가 출현되었다. 즉, 전체 250사이클에서 사이클 횟수 32, 49, 72, 151에서 각각 IMEP가 (-)값을 보이고 있다. 또한 드웰각 1.5 ms에서 사이클 횟수 86, 204, 216에서는 partial burn 사이클이 출현되고 있다. 이러한 이유로 1.5 ms에서는 사이클 변동이 다른 드웰각 변화 실험에 비하여 심한 것으로 판단이 된다.

Fig. 8은 드웰각 변화에 대한 질량연소율의 크랭크 각을 각각 나타낸 선도로서, 질량연소율이 0~2%, 0~10%, 0~50%, 0~90%인 경우에 대해서 드웰각 변화에 대해 크랭크 각을 각각 나타냈다. 그림에서 초기연소구간인 질량연소율 0~2%에 대한 드웰각 1.5 ms인 경우가 2.2°를 나타내고 있으며, 2 ms인 경우는 2.2°, 3 ms인 경우는 2.9°를 각각 나타내고 있다. 그리고 초기연소구간이 전체 질량연소율의 0~10%인 경우는 드웰각 1.5 ms인 경우가 크랭크 각 7.1°, 드웰각 2 ms인 경우가 7.5°, 드웰각 3 ms인 경우가 9°인 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8의 해당 질량연소율%에 대한 크랭크각 데이터를 이용하여 표준편차를 나타낸 선도이며, Fig. 10은 Fig. 8의 데이터를 이용하여 크랭크각 사이클 변동을 나타낸 선도이다. Fig. 9에서 드웰각 1.5 ms에서 0~2%의 표준편차는 3.5, 2 ms에 대해서 0~2%의 표준편차는 1.1, 3 ms에 대해서 1.0을 나타내고 있다. 또한 1.5 ms에서 0~10%의 표준편차는 7.4, 2 ms에서 대해서 2.4, 3 ms에 대해서 2.1을 나타내고 있다. 마찬가지로 Fig. 10에서 드웰각 1.5 ms에서 0~2%의 크랭크각 사이클 변동은 157%, 2 ms에 대해서 0~2%의 크랭크각 사이클 변동은 49%, 3 ms에 대해서 35%를 나타내고 있다. 또한 1.5 ms에서 0~10%의 크랭크각 사이클 변동은 104%, 2 ms에서 대해서 34%, 3 ms에 대해서 23%를 나타내고 있다. 이러한 Fig. 9와 Fig. 10의 질량연소율에 대한 표준편차

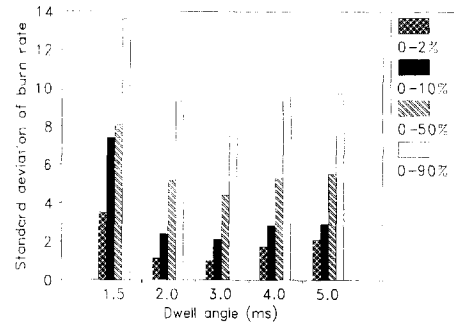


Fig. 9 Standard deviation of burn rate as a function of dwell angle

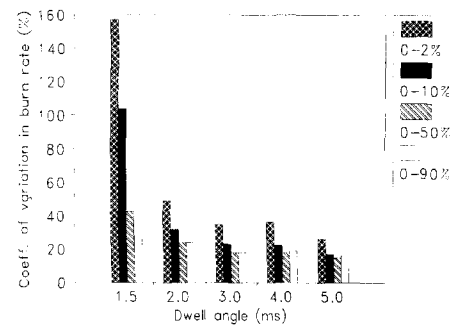


Fig. 10 Coefficient of variation in burn rate as a function of dwell angle

와 사이클 변동의 실험결과를 Fig. 5와 Fig. 6의 IMEP에 대한 표준편차와 사이클 변동과 비슷한 관점에서 이해를 할 수 있을 것으로 본다. Fig. 4에서 Fig. 10까지를 통하여 사이클 변동이 가장 적은 것은 드웰각 3 ms인 경우이며, 그 다음으로 안정되고, IMEP도 비교적 안정된 값을 나타내는 것이 드웰각 2 ms인 것을 알 수 있다. 그리고 드웰각 1.5 ms인 경우는 IMEP는 비교적 큰 값을 나타내고 있지만 사이클 변동이 다른 경우에 비하여 큰 것을 알 수 있었다.

Fig. 11은 드웰각 변화에 대한 전형적인 화염핵의 모양을 선택하여 나타낸 그림이다. 전반적으로 드웰각 1.5 ms인 경우의 화염핵의 모양은 드웰각 2 ms나 3 ms의 화염핵 모양에 비하여 일관성이 없는 모양을 가지고 있다. 그리고 드웰각 2ms의 화염핵의 모양은 드웰각 1.5 ms나 3 ms에 비해서 비교적 작고, 원형에 가까운 모양을 가지고 있다. 그리고 가장 안정된 화염핵의 모양을 가질 것으로 예상되는 드웰각 3 ms인 경우는 화염핵의 모양이 비교적 다른 것에 비하여 크고 일관성 있는 모양을

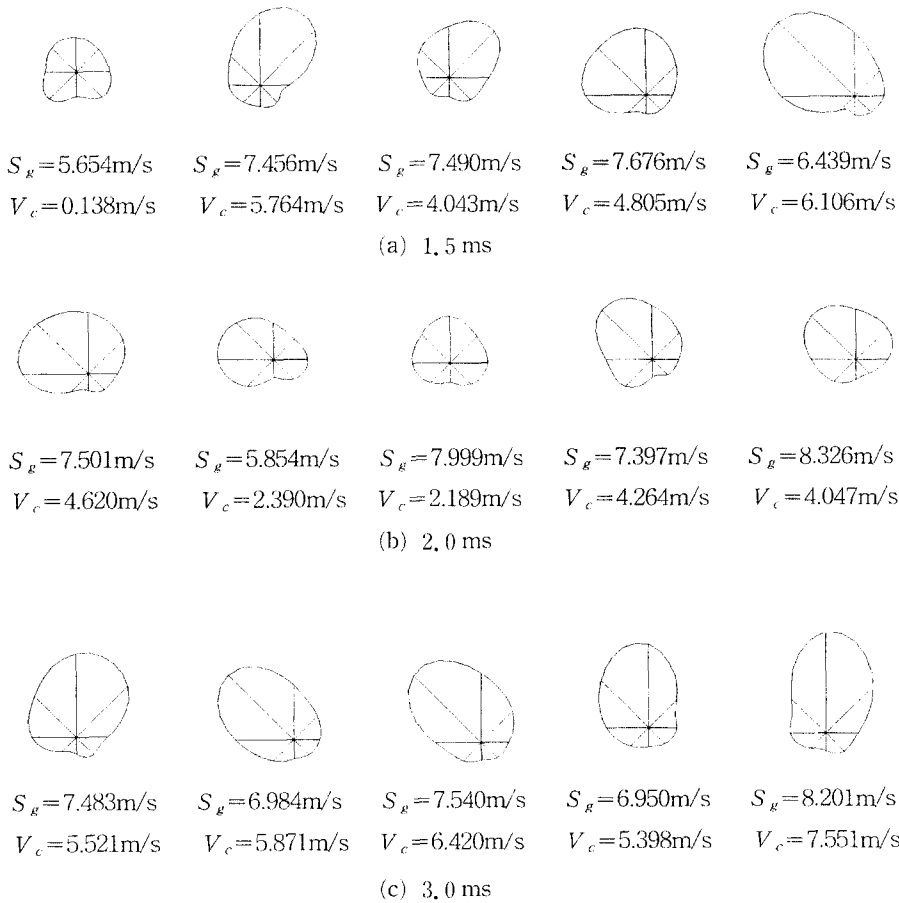


Fig. 11 Typical flame contours : (a) 1.5 ms ; (b) 2.0 ms ; (c) 3.0 ms

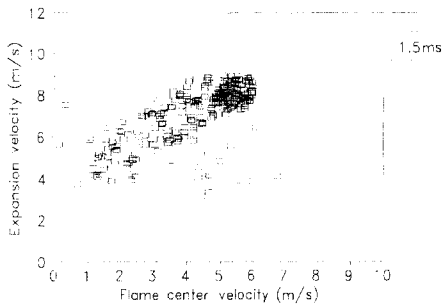


Fig. 12 Expansion velocity vs. flame center velocity: dwell angle, 1.5ms

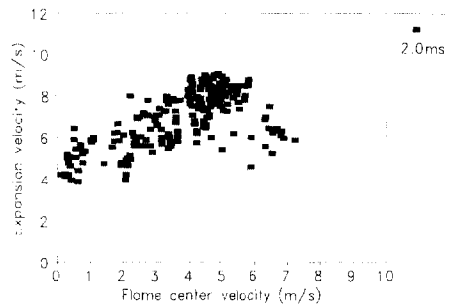


Fig. 13 Expansion velocity vs. flame center velocity: dwell angle, 2ms

가지고 있는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 드웰 각 변화에 따른 사이클 변동 및 이에 따른 화염핵 거동을 해석하는데 있어서, 화염핵 크기와 모양은 연소의 안정성에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14는 각각 드웰각 1.5 ms, 2 ms, 3 ms에 대해서 화염핵 중심위치에서의 속도에 대한 팽창속도를 나타낸 선도들이다. 초기화염 기간은 팽창속도와 화염핵 중심속도로 설명되어질

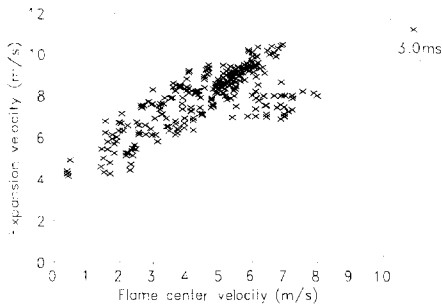


Fig. 14 Expansion velocity vs. flame center velocity: dwell angle, 3ms

수 있는데, 이 선도는 이 두 요소의 상관관계를 나타낸 선도이다. 평균화염팽창속도는 화염핵 크기의 성장률을 특징 지워 질 수 있고, 화염핵 중심속도는 화염핵의 전체 운동을 특징지을 수 있는 요소이다. 대체적으로 드웰각 1.5 ms에서 팽창속도와 화염중심속도는 드웰각 2 ms와 3 ms에 보다 분산되어 출현하고 있다. 또한 드웰각 3 ms인 경우가 2 ms인 경우에 비하여 팽창속도와 화염핵 중심속도가 큰 영역에 집중되어 있는 것으로 보아 연소가 보다 안정된 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

스파크 점화기관의 드웰각 변화에 대한 사이클변동에 관한 연구를 수행하기 위한 하나의 수단으로서, 광섬유스파크플리그를 사용하여, 일반적인 기관 실험을 수행하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 사이클변동이 가장 적은 드웰각은 3 ms이다. 더욱이 사이클변동 면에서는 3 ms보다는 덜 우수하지만, 비교적 IMEP가 크므로 드웰각 2 ms도 비교적 안정된 초기화염 발달을 하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 연소율에 의한 사이클 변동 해석 결과 드웰각 3 ms가 가장 우수하며, 초기연소기간(또는 질량연소율 0~2%)이 가장 짧다. 초기화염기간을 줄임으로 사이클변동을 억제할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 인덕전문대학에서 연구비 일부를 지원 받아 수행하였습니다.

## 참고문헌

- (1) Heywood, J. B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGRAW-HILL International Editions.
- (2) Ozdor, N., Dulger, M. and Sher, E., 1994, "Cyclic Variability in Spark Ignition Engines A Literature Survey," *SAE Paper* 940987.
- (3) Lee, K. H. and Foster, D. E., 1995, "Cycle-by-Cycle Variations in Combustion and Mixture Concentration in the Vicinity of Spark Plug Gap," *SAE Paper* 950814.
- (4) Hinze, P. C. and Cheng, W. K., 1993, "Flame Kernel Development in a Methanol Fueled Engine," *SAE Paper* 932649.
- (5) Bianco, Y., Cheng, W. K. and Heywood, J. B., 1991, "The Effects of Initial Flame Kernel Conditions on Flame Development in SI Engine," *SAE Paper* 912402.
- (6) Pichinger, S. and Heywood, J. B., 1990, "A Model for Flame Kernel Development in a Spark-Ignition Engine," *Twenty-Third Symposium (International) on Combustion*, pp. 1033~1040.
- (7) Young, M. B., 1981, "Cyclic Dispersion in the Homogeneous Charge Spark-Ignition Engine-A Literature Survey," *SAE Paper* 810020.
- (8) Hinze, P. C., 1993, "A Study of Fuel Effects on Early Flame Development in a Spark Ignition Engine," M. I. T. Thesis.
- (9) Hill, P. G. and Kapil, A., 1989, "The Relationship Between Cyclic Variation in Spark-Ignition Engines and the Small Structure of Turbulence," *Combustion and Flame*, Vol. 78, pp. 237~247.
- (10) Han, S. B., Chung, Y. C. and Lee, S., 1995, "Effect of Engine Variables on the Turbulent Flow of a Spark Ignition Engine," *KSME Journal*, Vol. 9, No. 4, pp. 492~501.
- (11) Johansson, B., 1993, "Influence of Velocity Near the Spark Plug on Early Flame Development," *SAE paper* 930481.
- (12) Shen, H., Hinze, P. C. and Heywood, J. B., "A Model for Flame Initiation and Early Development in SI Engine and its Application to Cycle



- to-Cycle Variations." *SAE Paper* 942049.
- (13) Shen, H., Hinze, P. C. and Heywood, J. B., 1996, "A Study of Cycle-to-Cycle Variations in SI Engines Using a Modified Quasi-Dimensional Model," *SAE Paper* 961187.
- (14) Hoard, J. and Rehagen, L., 1997, "Relating Subjective Idle Quality to Engine Combustion," *SAE Paper* 970035.
- (15) Pichinger, S. and Heywood, J. B., 1988, "A Study of Flame Development and Engine Performance with Breakdown Ignition Systems in a Visualization Engine," *SAE paper* 880518.
- (16) Cheng, H. M., 1993, "A Practical Burn Rate Analysis for Use in Engine Development and Design," M. I. T. Thesis.
- (17) Cheng, H. M. and Heywood, J. B., 1993, "Evaluation of a One-Zone Burn-Rate Analysis Procedure Using Production SI Engine Pressure Data," *SAE Paper* 932749
- (18) Kerstein, A. R. and Witze, P. O., "Flame-Kernel Model for Analysis of Fiber-Optic Instrumented Spark Plug Data," *SAE Paper* 900022.
- (19) Meyer, R., Kubesh, J. T. and Shahed, S. M., 1993, "Simultaneous Application of Optic Spark Plug Probe and Head Gasket Ionization Probe to a Production Engine," *SAE Paper* 930464.
- (20) Sztenderowicz, M. L. and Heywood, J. B., 1990, "Cycle-to-Cycle IMEP Fluctuations in a Stoichiometrically-Fueled S. I. Engine at Low Speed and Load," *SAE Paper* 902143.