

광섬유를 이용한 스파크점화 기관에서의 화염전파 검출기술

Flame Propagation Detection Using an Optical Fiber Technique in a Spark-Ignition Engine

전 광 민, 김 성 훈, 김 택 수
K.M.Chun, S. H. Kim, T. S. Kim



전 광 민
• 1955년 6월생
• 내연기관, 노킹특성
• 정회원, 연세대학교 기계공학과



김 성 훈
• 1968년 6월생
• 내연기관
• 현대자동차 마북리연구소



김 택 수
• 1966년 6월생
• 내연기관
• 현대자동차 마북리연구소

1. 서 론

연소실 내의 화염 전파를 검출하는 대표적인 방법으로 High Speed Schlieren Cinematography 방식¹⁾, 광섬유를 이용하는 방법²⁾, 이온화 현상을 이용하는 것³⁾ 등이 있다.

High Speed Schlieren Cinematography 방식은 엔진의 일부를 가시화시켜 고속의 카메라로 촬

영하는 방법이다. 연소실 내의 거시적인 화염 거동은 해석 가능하지만, 필름 길이의 제한과 전산화의 어려움때문에 통계적인 연구나 고속의 자료 취득을 요구하는 연구에는 적합하지 않다.

광섬유를 이용하여 화염 전파를 검출하는 방법은 연소실 벽면에 광섬유를 적절히 배치하고 광섬유에서 나오는 신호를 전기적 신호로 바꾸어 해석하는 것이다. 연소시 화염에서 방출되는 빛을 연소실 벽에 적절하게 배치되어 있는 광섬유를 통하여 포토 다이오드로 전송된다. 포토 다이오드는 빛에너지를 전기 신호로 바꾸고, 이 아날로그 신호는 증폭된다. 전압 비교기는 증폭된 신호를 디지털화하고, 이 신호가 PC에 저장된다. 이 방법은 연소실 벽이나 피스톤 등을 투명화하기 위한 구조변경이나 재질변화로 인한 엔진 특성 변화를 피할 수 있다.

이온화 현상을 이용하는 방법은 연소실 벽에 설치된 이온 프로브를 이용하여 연소실의 화염을 검출해내는데, 화염 전면에서 이온 집중 현상이 발생하여 전기 전도도가 변화하는 원리를 이용한 것이다. 이온 프로브와 전선은 크기가 매우 작기 때문에, 냉각수나 윤활유 통로 등으로 설치에 제한받는 곳에도 설치가 가능하다. 이온 프로브에서 발생하는 전류를 처리하는 방법은 광섬유를 이용하는 방식과 거의 비슷하다.

본 연구에서는 화염 전파를 검출하기 위하여 위의 세가지 방법중 두번째 방법, 즉 광섬유를 이용한 측정 방법에 대해 연구하였다.

2. 실험장치

화염전파 검출장치는 프로브(probe), 광섬유(optical fiber), 포토 다이오드(photo diode), 증폭기(amplifier)와 전압 비교기(voltage comparator)로 이루어지며 그 구성은 그림 1에 나타내었다.

광섬유 프로브는 연소실 내부의 화염으로부터 나오는 빛을 광섬유에 전달해주는 부분으로 큐빅, 광섬유 그리고 두겹의 스테인레스 튜브로 구성되어 있다. 그림 2에 프로브가 설치된 형태가 나타나 있는데, 큐빅은 연소실내부의 화염과 직접

접촉하는 부분으로 연소시 발생하는 실린더내의 고온과 고압으로부터 광섬유를 보호해 준다. 스테인레스 튜브 부분은 두겹으로 안쪽의 튜브는 직경 50~100 μ m의 여러가닥으로 되어 있는 광섬유를 하나로 묶는 역할을 하고, 바깥쪽의 튜브는 광섬유와 큐빅을 일체형으로 연결시키는 역할을 한다. 그림 2에서 보면 실질적인 광섬유의 위치는 실린더 벽면에서 3mm 정도 안쪽에 있다. 프로브가 연소실에 수직으로 설치되어 있고, 프로브를 통하여 빛이 들어오는 범위가 상당히 적으므로 화염의 전면이 프로브가 있는 위치에 도달하는 시각과 프로브를 통하여 화염에서 방출되는 빛이 검출되는 시각은 거의 같다고 볼 수 있다.

3. 실험방법

본 연구에서는 먼저 정상상태의 화염전파 검출 실험 후 노킹상태에서의 화염전파과정을 검출하였다. 연소특성과 화염전파의 관계를 알아보기 위해 화염전파와 함께 실린더내의 압력값도 동시에 취득하였다. 또한 실험에 들어가기 전에 예비실험으로 엔진성능 기초실험과 화염전파 검출 장치의 반응속도 측정 실험을 행하였으며, 본 실험은 2000~3500RPM까지, 500RPM 단위로 화염전파를 검출하는 것으로 실행되었다.

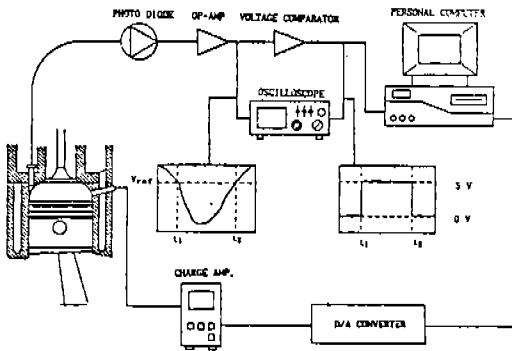


Figure 1 Schematic diagram of data acquisition system

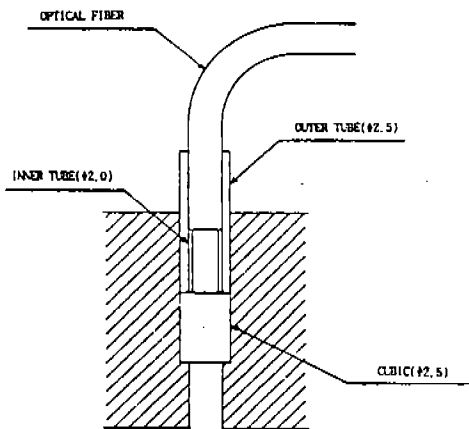


Figure 2 Shape of optical probe

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 기초 실험 결과

엔진 기초 실험에서는 완전 개도 운전 조건하에서 2000RPM에서 부터 4000RPM까지 500RPM 단위로 점화 시기, 토크, 연료 소비량, 흡입 공기량을 측정하였다. 그리고 이 값들을 기초로 하여 엔진 성능을 나타내주는 주요한 요소들을 계산하고 그 결과를 표 1에 나타내었다. 이 값들을 상용엔진의 제원과 비교한 결과 상용엔진에 비해 넓은 엔진회전수 범위에 대해서 토크가 평탄하게 나옴을 알 수 있는데 이는 실험에 사용한 엔진에 커다란 서지탱크를 사용하여 공기의 흐름이 높은 회전수까지 맥동현상이 없이 일정하기 때문이라

Table 1 The basic performance data for the test engine

	Torque	Fuel	Air	A/F	Φ	η_v	Power	BMEP	SFC
RPM	N · m	g/sec	g/sec			%	kW	kP	g/kW · h
2000	112.0	2.03	25.19	12.41	1.18	85.26	23.48	959.6	311.24
2500	118.3	2.74	36.57	13.35	1.09	99.07	31.00	1013.6	318.19
3000	118.7	3.24	43.55	13.44	1.09	98.27	37.32	1016.9	312.54
3500	116.1	3.68	50.12	13.64	1.07	96.93	43.36	1012.7	305.54
4000	114.8	4.40	56.50	12.84	1.14	95.61	48.69	995.0	325.32

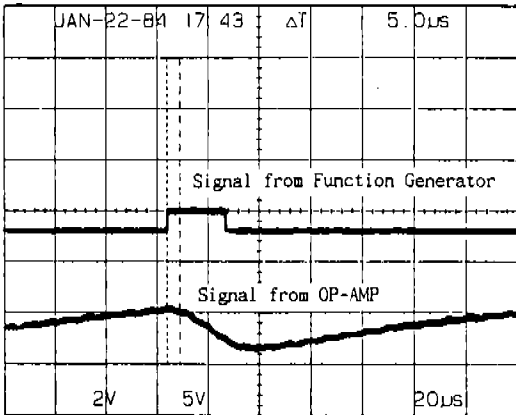


Figure 3 Results of OP-amp circuit response test

생각된다. 또, 4000RPM에서 연료소비율(sfc)이 높아지는데 이는 고 회전수에서 높은 출력을 위해 공연비를 낮추기 때문이다.

4.2 화염 전파 검출 장치의 반응 속도 측정 결과

Function Generator에서 나오는 신호와 증폭기를 거쳐 나오는 신호를 오실로스코프에 입력하여 두 신호사이의 시간차를 출력하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 Function Generator에서 나오는 신호와 증폭기를 거쳐 나오는 신호 사이에는 시간차가 존재하나 약 60ns 미만으로 무시할만하다. 그리고 포토다이오드의 반응속도는 약 4 μ s로 나타나있다. 따라서 화염전파 검출장치 반응속도는 약 5 μ s로 생각할 수 있다. 이와 같이 시간 지연은 정상상태연소는 물론 노킹실험도 가능한 정도이다.

Table 2 Results of flame detection experiment

RPM	1st Detection CA	SD ₁	Duration	SD ₂
2000	16.1	4.10	20.9	4.92
2500	15.5	2.12	16.1	2.92
3000	17.6	2.75	16.4	2.95
3500	20.2	2.45	16.2	3.12
4000	23.1	4.14	17.1	3.91

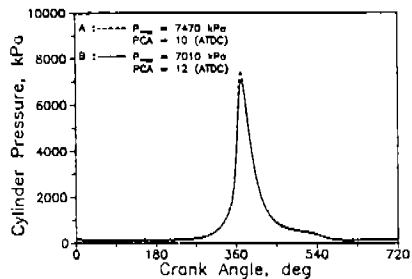
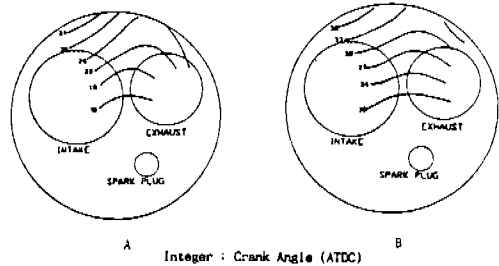


Figure 4 Flame propagation and pressure curves of two cycles at WOT, 2500 RPM
(PCA : crank angle at peak pressure)

4.3 화염 전파 검출 결과

화염 전파 검출 실험에서는 기초 실험과 마찬가지로 완전 개도(WOT) 운전 조건하에서 2000 RPM에서 부터 3500RPM까지 500RPM 단위로 각각에 대해 100 사이클의 자료를 취득하였다. 2500RPM에서의 정상상태 화염전파에 대한 취득 결과를 표2와 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 화염전파 모양은 취득된 자료를 바탕으로 평균적인 화염전파의 모양을 나타낸 것이다. 화염전파 속도는 각 프로브 사이의 직선거리와 그 지점들에서 화염이 발견된 시간차를 가지고 계산하였으며, 처음 화염이 검출되는 크랭크 각도의 표준편차를 구하였다. 그림 4에서 보면 화염은 배기 밸브(exhaust valve)쪽으로 약간 치우치는데 이는 화염이 높은 표면에서 전파속도가 빠르기 때문으로 여겨진다.

4.4 화염 전파 측정시 발생한 문제에 대한 고찰

실험이 계속 진행됨에 따라 광섬유 표면에는 침전물(deposit)이 붙어 빛의 강도가 낮아지게 된다. 따라서 증폭기에서 나오는 전압의 크기와 모양을 오실로스코프로 항상 점검하여 보정해 주어야 한다. 또 매 실험마다 주위의 잡음도 그 모양과 형태가 달라지므로 잡음의 영향을 받지 않도록 기준전압 설정에 주의하여야 한다. 실험이 어느정도 계속 진행되면 더이상의 빛이 나오지 않게 되어 엔진을 분해하고 광섬유의 표면을 깨끗이 닦아 주어야 한다. 이는 광섬유를 이용한

화염 전파 측정 방법의 난점으로 지적될 수 있다. 이를 줄이기 위하여 냉각수와 엔진오일을 정상상태 엔진의 온도까지 미리 예열하는 방법을 사용하고 있으나, 보다 근본적으로 엔진을 분해하지 않고 실린더 내부를 세척할 수 있는 방법이 강구되어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. J. C. Keck, J. B. Heywood, G. Noske, "Early Flame Development and Burning Rates in Spark Ignition Engines and Their Cyclic Variability", SAE 870164, 1987.
2. U. Spicher, G. Schmits, H. P. Kollmeier, "Application of New Optical Fiber Technique for Flame Propagation Diagnostics in IC Engines", SAE 881637, 1988.
3. R. Anderson, "In-Cylinder Measurement of Combustion Characteristics Using Ionization Sensors", SAE 860485, 1985.
4. 김성훈, "광섬유를 이용한 스파크 점화 기관에서의 화염 전파 검출 및 압력 측정", 연세대학교 기계공학과 석사 학위 논문, 1992.
5. 김택수, "광섬유를 이용한 스파크 점화 기관에서의 노킹 검출", 연세대학교 기계공학과 석사 학위 논문, 1993.
6. K. M. Chun, S. H. Kim, and T. S. Kim, "Flame Propagation and Knock Detection Using an Optical Fiber Technique in a Spark-Ignition Engine", SAE 931906, IPC-7, 1993.