

<논문> SAE NO. 933732

흡입 공기 온도변화에 따른 스파크 점화기관의 노킹 특성 변화 The Effect of Intake Air Temperature on Knock Characteristics in a Spark-Ignition Engine

정 일 영*, 전 광 민**
I. Y. Jung, K. M. Chun

ABSTRACT

Spark-ignition engine knock is affected by engine operating conditions such as engine speed, spark timing and intake air temperature. In this study the effect of intake air temperature on knock characteristics was studied experimentally using a 4-cylinder carburetor spark-ignition engine.

The cylinder pressure data at 2000rpm were taken for intake air temperature range of 30°C to 80°C with 10°C interval. And 80 consecutive cycles were taken at each experimental condition.

As the intake air temperature increased, percentage of knocking cycles and knock intensity increased and knock occurrence crank angle approached TDC.

At the same spark timing, as the intake air temperature increased by 50°C, the mean knock intensity increased about 20kPa. This effect corresponds to that of spark timing advance of 3 crank angle degrees.

주요기술용어 : Knock(노킹), Knock characteristics(노킹 특성), Intake air temperature(흡입공기온도), Spark timing(스파크 점화시기), Spark-ignition engine(스파크 점화기관)

1. 서 론

노킹(knock)은 날카로운 금속성음을 동반하는 현상으로서 이는 난류화염의 전단부에 위치한 미연소가스(end-gas)영역에서의 급격한 열방출에 기인하는 것으로 여겨지고 있으며,^{(1),(2)} 현재 가장 신뢰할 수 있는 물리적인 설명은 자발화설(autoignition, spontaneous ignition, self ignition)이다. 이 설이 제창된 뒤 이를 뒷받침

하는 많은 연구 결과가 발표되었으며 발생 메카니즘은 다음과 같다. 초기에 점화플러그에서 발생한 화염핵은 점차 화염면을 형성하게 되고, 이후 화염면에서의 가스 팽창과 피스톤의 상승에 의해 미연소가스(end-gas)는 압축되고, 온도는 증가되다가 화염이 연소실 벽면까지 전파되기 전에 점화지연(ignition delay) 기간을 거쳐 자발화 온도에 도달하게 된다. 미연소가스가 자발화 온도를 넘으면 미연소가스 영역내 한 곳,

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 정희원, 연세대학교 기계공학과

혹은 여러곳에서 거의 동시에 자발화가 일어나 연소실내에서 급격하고 불연속적인 압력상승을 수반하게 되고, 이로인해 연소실내에는 충격파(shock wave)가 형성되어 이 압력파가 초음속으로 연소실내를 왕복하게 된다. 이 되풀이 되는 압력파동이 노킹 현상을 유발한다. 따라서, 다른 조건이 같을 경우, 실린더내로 흡입되는 공기의 온도가 높으면, 미연소가스가 자발화온도에 빨리 도달하게 되므로, 노킹 발생시점이 앞당겨진다.³⁾

현재 대부분의 많은 연구 결과들은 노킹이 미연소가스(end-gas)에서 한곳, 혹은 그 이상의 국부적인 영역에서의 자발화에 기인하고 있음을 보여주고 있어 자발화설이 널리 인정되고 있다.⁽⁶⁾

하지만, 노킹현상에 대한 많은 연구에도 불구하고, 노킹특성이나 그 발생 메카니즘은 아직 정확히 설명되고 있지 않다. 노킹을 이해하는 데 이처럼 어려움이 뒤따르는 것은 노킹발생에 수반되는 복잡한 화학반응 메카니즘과 각 사이클에서 노킹이 발생될 때의 매 사이클마다의 변동, 그리고, 노킹발생시 압력진동과 에너지방출 등이 매 사이클마다 변하기 때문이다. 이처럼 매 사이클마다의 연소차이는 실린더내 가스의 압력과 온도를 매 사이클마다 다르게 만든다.^{(1),(2),(4),(5)}

따라서 스파크 점화기관에서의 노킹이 한계를 확장시키려는 노력은 노킹을 발생시키는 과정 특히 자발화를 유발하는 화학반응 메카니즘에 대한 정확한 이해부족으로 인해 한정되어 왔으며, 또한 노킹특성이 매 사이클마다 변함으로써 더욱 어려움에 직면하고 있다.^{(1),(5)}

스파크 점화기관의 노킹 특성에 영향을 미치는 인자에는 압축비, 운전속도, 점화시기, 흡입 공기 온도, 그리고, 연료의 옥탄가 등이 있는데, 이러한 인자중에 흡입 공기 온도의 영향은 차량이 열대나 사막과 같은 혹서환경에서 운행될 때 특히 문제가 되며, 최근 국산차의 수출시장이 동남아와 중미, 아프리카 등지로 확대됨에 따라 이에대한 관심이 높아지고 있다.

최근에 흡입 공기 온도가 노킹 특성에 미치는 영향에 대한 실험적인 연구가 행하여졌는데, M. Haghgoie는 흡입 공기의 온도와 옥탄가를 변

수로 실험하여 노킹 특성의 변화를 관측하여, 흡입 공기의 온도가 높을수록 그리고 옥탄가가 낮을수록 노킹발생 확률이 높아지고 노킹 강도도 강해짐을 알아냈다.⁽⁶⁾ 또, H. Zhao와 N. Collings도 흡입공기의 온도와 옥탄가를 변수로 실험하였는데, 흡입 공기의 온도가 높을수록 그리고 옥탄가가 낮을수록 점화시기를 조금만 진각시켜도 노킹이 발생함을 알아냈다.⁽⁷⁾

그러나, 위의 두 연구는 옥탄가와 흡입 공기 온도가 노킹 특성에 미치는 영향을 함께 관찰하였기 때문에 흡입 공기 온도만의 영향을 직접적으로 나타내지 못하였다. 그리고, 흡입 공기 온도를 상온에서 80°C정도까지 20°C~30°C의 큰 폭으로 증가시키면서 실험하였기 때문에 온도 증가가 미치는 영향을 세밀하게 관찰할 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 양산되고 있는 배기량 1500cc의 4기통 스파크 점화기관을 대상으로, 흡입 공기 온도만을 변수로 하고 흡입 공기 온도를 30°C에서 80°C까지 10°C간격으로 증가시켜가면서 실험하여, 노킹 특성에 미치는 영향을 좀 더 자세하게 살펴보았다.

2. 실험장치 및 방법

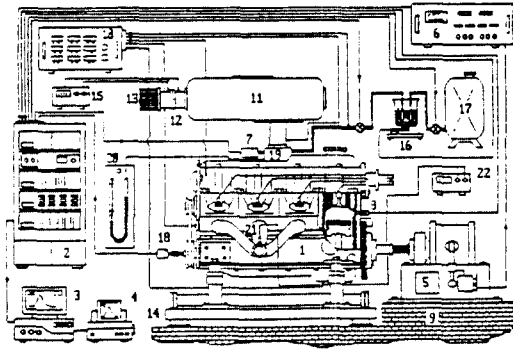
2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험장치는 엔진, 흡입공기 온도 조절장치, 동력계, 압력센서, 연료량 측정장치, 공기량 측정장치, Wide Band λ센서, 온도 측정장치, 자료취득장치 등으로 구성되어 있으며, 실험장치의 개략적인 구성은 Fig 1과 같다.

2.1.1 엔진

실험용 엔진은 OHC 4기통 1498cc 가솔린 엔진을 사용했으며, 카브레터식이다. 연소실의 형상은 욕조형(Bathtub and wedge)이며, 스파크 플러그는 피스톤 중심축으로부터 19mm 떨어진 곳에 위치하고 있다. 공기와 연료는 자연흡입방식(Natural aspiration)이며, 점화는 전자식 점화시스템에 의해 이루어 진다.

2.1.2 압력 측정 센서



- | | | |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Test Engine | 9. Test Bed | 17. Fuel Tank |
| 2. Data Acquisition System | 10. Temp. Indicator | 18. Encoder |
| 3. IBM PC/486 | 11. Surge Tank | 19. Carburetor |
| 4. Printer | 12. Air Flow Meter | 20. U-Type Manometer |
| 5. Dynamometer | 13. Air Cleaner | 21. Wide Band λ Sensor |
| 6. Dynamometer Controller | 14. Heat Exchanger | 22. λ Sensor Indicator |
| 7. Step Motor | 15. Digital Manometer | |
| 8. Pressure Transducer | 16. Fuel Consumption Meter | |

Fig 1 Schematic Diagram of Experimental Equipment

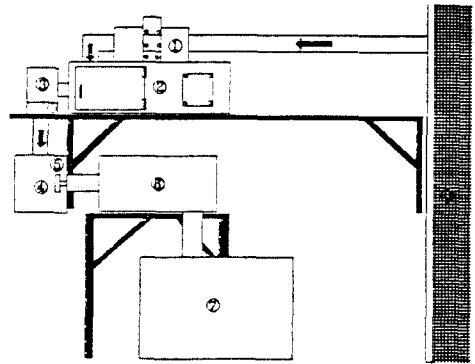
본 실험에서 사용한 센서는 압전형(Piezoelectric Type) 센서로서 Kistler사의 6053 플러쉬 마운트형 센서와 5011 전하증폭기를 사용하여 연소실의 내부압력을 측정하였다. 플러쉬 마운트형 센서는 냉각과 별도의 엔진가공이 요구되긴 하지만 스파크플러그 어댑터형 센서에 비해 압력파동으로 인한 영향을 배제할 수 있으며, 미연소 가스 영역으로 예상되는 지점에 직접 장착함으로써 노킹 측정을 위한 좀더 정확한 실린더내의 압력을 측정할 수 있다.

2.1.3 자료 취득 장치

연소실내에서 발생하는 압력을 측정하는 데에는 압력센서, BNC 케이블, 전하증폭기, A/D 컨버터 그리고, 퍼스널컴퓨터 등이 필요하다.

압력센서에서 발생한 미약한 전류를 전하증폭기로 보내는 데에는 높은 인슐레이션 값을 갖는 BNC 케이블을 이용함으로써 외부로부터 발생할 수 있는 노이즈(noise)의 영향을 가능한 한 배제하였다.

이렇게 전송된 미약한 전류는 5011 전하증폭기를 지나면서 적절한 게인(Gain) 값에 의해 증폭되어 DT2821-G-16SE A/D컨버터로 보내어진다.



- | | |
|---------------|-----------------------|
| ① Heater 1 | ⑤ Humidity Controller |
| ② Heater 2 | ⑥ Surge Tank |
| ③ Humidifier | ⑦ Engine |
| ④ Air Cleaner | ⑧ Floor |

Fig 2 Schematic Diagram of Intake Air Control System

이와 동시에, 샤프트 엔코더(Shaft Encoder)에서 발생된 크랭크각 펄스(1회전 당 3600Pulse)도 A/D컨버터의 외부 펄스(External Clock)으로 보내어지며, A/D컨버터에서는 이 클럭을 기준으로 하여 5011 증폭기로부터 입력되는 아날로그형의 압력 신호를 디지털화하여 퍼스널 컴퓨터의 RAM확장 메모리에 실시간으로 저장되며, 1회의 실험에서 취득할 수 있는 압력 데이터의 양은 7200Data/Cycle로 80사이클이었다.

2.1.4 흡입 공기 온도 조절장치

흡입 공기의 온도를 제어하기 위해 항온장치를 제작하였다. 항온장치는 청정공기의 공급을 위한 필터부, 흡입공기의 온도 조절을 위한 열교환부로 이루어져 있다. 필터부는 일반적인 먼지를 제거하기 위한 전처리 필터와 이온 필터 그리고 활성탄 필터의 3단계로 이루어져 있다. 열교환부에서는 다통로 크로스류브식 열교환기와 밀폐형 압축기를 이용하여 흡입공기의 온도를 조절한다.

항온장치의 제어는 온도센서로부터 읽은 온도값과 제어부의 온도 설정치를 비교하여 on/off 제어 논리를 통하여 이루어진다.

Fig 2는 항온장치의 설치위치와 복도로부터 들어온 공기가 항온장치를 통과해서 엔진으로 흡입될때까지의 흐름을 나타낸 그림이다.

2.2 실험 방법

실험은 엔진의 각 부분이 정상상태로 설정된 온도에 이를때까지 트로틀 개도량을 25~30%로 유지하여 약 15분 정도 운전하였다. 또 흡입 공기의 온도 변화를 주고 흡입 공기 온도가 정상 상태에 이르기까지 대기하는 동안에도 위와 동일한 방법으로 운전하여 엔진의 각 부분이 설정된 온도로 유지되도록 하였다. 이러한 실험 방법을 택한 이유는 아이들링을 하게 되면 실린더 벽면에 탄소 알갱이(deposit)가 퇴적되어 표면연소(surface ignition)를 일으키므로, 이로 인해 생기는 노킹이 실험에 미치는 영향을 방지하기 위해서이다.

본 실험에서는 스파크 점화기관의 노킹 특성을 연소실 내부의 압력 측정을 통해 관찰 규명 하였으며, 흡입 공기의 온도, 점화시기를 변화시키면서 엔진 속도는 2000rpm으로 고정하고, 트로틀을 전개(WOT)한 상태에서 실시하였다. 흡입 공기의 온도는 30°C부터 80°C까지 10°C 간격으로 변화시키고, 각 온도점에서 점화시기를 BTDC 30°, 33°, 36°로 변화시켰다. 이때 흡입 공기의 습도는 제어하지 않았다. 점화시기는 엔진의 디스트리뷰터(Distributor)와 타이밍 라이트(Timing Light)를 이용하여 변화시켰으며, 엔진 회전 속도의 제어는 동력계를 이용하였다.

노킹 실험에서 연소실의 압력 자료는 크랭크 각 0.1°의 해상도로 취득하였으며, 동일 실험 조건하에서 80사이클에 해당하는 연소실의 압력 자료를 연속적으로 취득하였다. 또한 각각의 실험 조건마다 흡입 공기의 온도, 대기의 온도, 습도, 압력 그리고, 엔진 각 부위의 온도, 공기소비율, 연료 소비율, 공연비 등을 측정하였으며, 또한 동력계로부터 토크와 회전속도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 노킹 특성 요소의 결정

노킹 특성 요소로서 노킹이 발생될 때의 크랭크 각도와 노킹강도, 그리고 노킹발생확률을

이용하였다. 노킹의 발생시점은 연소실내의 압력증가율이 급격한 불연속점을 나타낼 때의 크랭크 각도로서 결정된다. 노킹강도는 압력자료를 디지털 밴드패스 필터링(Digital bandpass filtering)을 수행한 뒤 나타나는 압력진동의 최대진폭으로 정의하였다. 그리고 밴드패스 필터의 범위는 스펙트럼 분석 결과 1차 모드가 나타나는 5~10kHz의 주파수 범위를 선택하였다.

실린더내에서 연소가 정상적인 경우 압력곡선은 완만히 변화한다. 그러나 Fig 3에서 보는 바와 같이 노킹이 발생될 때는 압력곡선이 불연속점을 갖게 되며, 이 시점에서 압력이 급격히 상승하고 이후 압력진동이 상당기간 동안 지속되고 있음을 알 수 있다.

본 실험에서는 밴드패스 필터링 결과 정상연소의 경우 noise의 영향으로 평균 4.9kPa(0.049 atm)의 압력진동이 관찰되었으며, 따라서 본 실험에서는 이 압력진동의 4배 이상(20kPa)의 압력상승값을 갖는 경우 노킹발생 사이클로 규정하였다.

노킹이 발생될 때의 압력자료에 대한 스펙트럼 분석(Fast Fourier Transform) 결과가 Fig 4에 나타나 있다. 스펙트럼 분석 결과 나타난 노킹의 주파수 영역은 그림으로부터 제1차 모드가 7.5 kHz 부근에 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 1차 모드가 나타나는 5~10kHz의

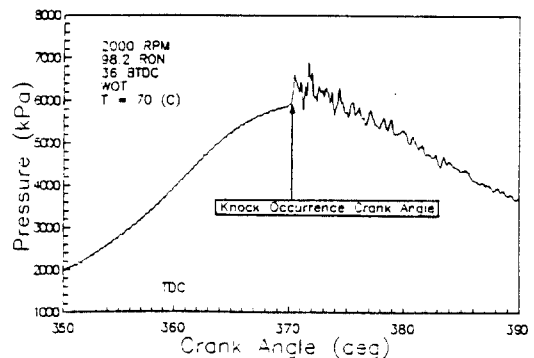


Fig 3 One Cycle Cylinder Pressure vs. Crank Angle for Knocking Combustion (2000RPM, 36BTDC, 98.2RON, WOT, $T_{in}=70^{\circ}C$)

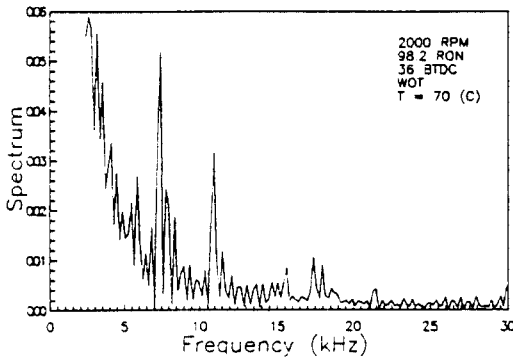


Fig 4 Spectrum of Knocking Pressure (2000RPM, 36BTDC, 98.2RON, WOT, $T_m=70^\circ\text{C}$)

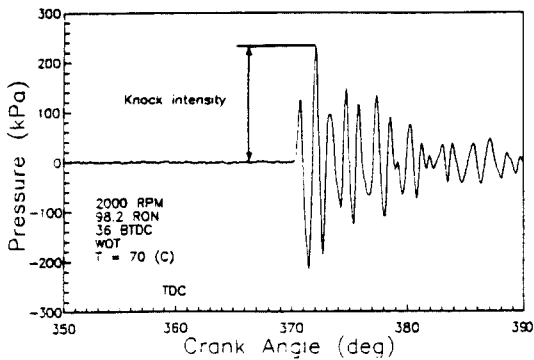


Fig 5 Band-Pass Filtered Pressure of Knocking Pressure (2000RPM, 36BTDC, 98.2RON, WOT, $T_m=70^\circ\text{C}$)

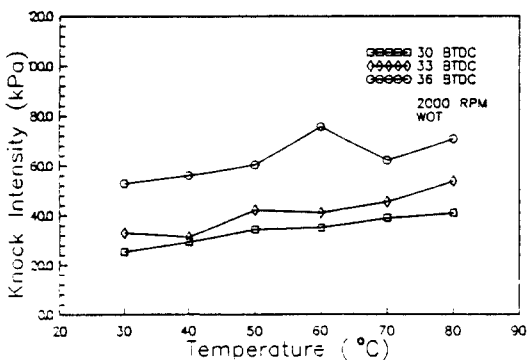


Fig 6 Mean Knock Intensity vs. Intake Air Temperature (calculated by considering only knocking cycles)

주과수 영역 내에서 필터링을 수행하였으며 그 결과가 Fig 5에 나타나 있다. 노킹 발생시점에서 압력은 일반적으로 불연속성을 나타내게 되며, 필터링 결과 나타난 자료에서도 이에 상응하는 급격한 증가율을 보이고 있음을 Fig 6으로부터 확인할 수 있다. 또한 노킹강도는 Fig 5에 나타나 있는 것처럼 필터링 결과 나타난 압력진폭의 최대값으로 결정하였다.

3.2 흡입 공기 온도 변화에 따른 노킹 특성 변화

다음에 설명하는 Fig 6에서 Fig 12까지의 실험조건은 Table 1의 Data set 1-1, 1-2, 1-3이다.

Fig 6는 80 Cycle의 압력 자료중 노킹이 일어난 사이클의 노킹강도를 평균한 것이다. 흡입 공기 온도가 30°C 부터 80°C 까지 50°C 증가함에 따라 평균 노킹강도는 점화시기 BTDC 30° 의 경우 26 kPa에서 41kPa까지 15kPa 증가하였고, BTDC 33° 의 경우 33kPa에서 54kPa까지 21kPa 증가하였으며, BTDC 36° 의 경우 53kPa에서 71kPa까지 18kPa 증가하였다.

또, 점화시기 진각에 따른 변화를 살펴보면 흡입 공기 온도 전반에 걸쳐 평균 노킹강도는 점화시기 BTDC 33° 일때가 BTDC 30° 일때보다 2kPa~13kPa 증가하였고, BTDC 36° 일때가 BTDC 33° 일때보다 17kPa~35kPa 증가하였다.

Fig 7는 80 Cycle의 압력 자료 전체에 대해 노킹강도의 평균을 취한 것이다. 흡입 공기 온도가 30°C 부터 80°C 증가함에 따라 평균 노킹강도는 BTDC 30° 의 경우 6kPa에서 24kPa까지 18kPa 증가하였고, BTDC 33° 의 경우 17kPa에서 45 kPa까지 28kPa 증가하였으며, BTDC 36° 의 경우 46kPa에서 68kPa까지 22kPa 증가하였다. 또, 점화시기 진각에 따른 변화를 살펴보면 흡입 공기 온도 전반에 걸쳐 평균 노킹강도는 점화시기 BTDC 33° 일때가 BTDC 30° 일때보다 5kPa~27 kPa 증가하였고, BTDC 36° 일때가 BTDC 33° 일때보다 23kPa~46kPa 증가하였다.

Fig 6와 Fig 7의 결과는 이 실험에서 발생한 노킹이 전반적으로 약한 노킹이며, 흡입 공기 온도가 30°C 부터 80°C 까지 50°C 증가하는 동안

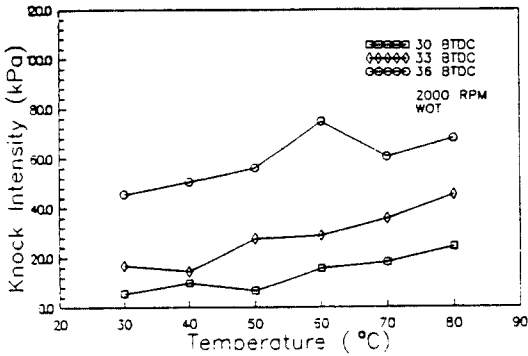


Fig 7 Mean Knock Intensity vs. Intake Air Temperature (calculated from all cycles)

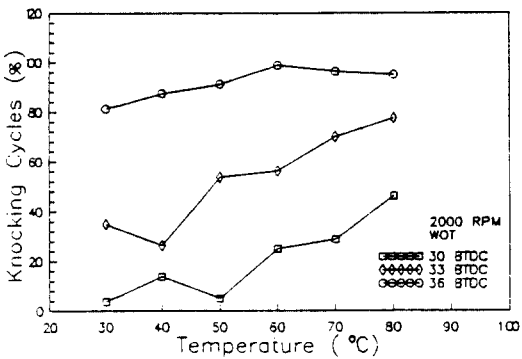


Fig 8 Percentage of Knocking Cycles vs. Intake Air Temperature

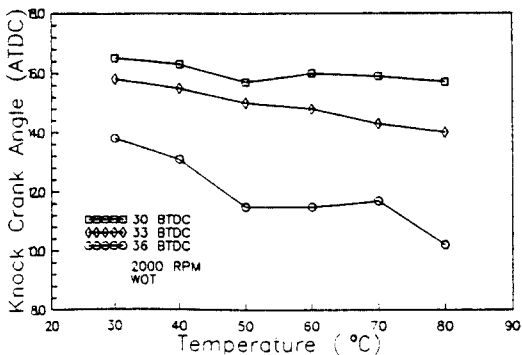


Fig 9 Mean Knock Occurrence Crank Angle vs. Intake Air Temperature

노킹강도는 작은 폭으로 증가함으로 보여준다. 그리고, 평균 노킹강도는 노킹이 일어났다고 규정한 노킹강도 20kPa 이상의 것을 평균한 것이 80 Cycle의 압력 자료 전체에 대해 평균을 취한 것보다 흡입 공기 온도가 50°C 증가 전반에 걸쳐 점화시기 BTDC 30°인 경우 약 20kPa 높게 나타났고, BTDC 33°의 경우 약 10kPa 높게 나타났으며, BTDC 36°의 경우에는 거의 차이가 없었다. 특히 점화시기 30BTDC에서 차이가 크게 나는 이유는 이 점화시기가 노킹이 일부 사이클에서만 일어나는 점화시기로 흡입 공기 온도의 50°C 증가전반에 걸쳐 노킹 발생 확률이 4%~46% 범위로 낮게 분포하고 있기 때문이다. 그러나, 점화시기 BTDC 36°인 경우는 노킹 발생 확률이 81%~99%로 높게 분포하기 때문에 위의 두가지 방법으로 계산한 노킹강도 사이에는 큰 차이가 없다.

Fig 8은 80 Cycle의 압력 자료의 노킹 발생 확률을 나타낸 것이다. 흡입 공기 온도가 30°C 부터 80°C까지 50°C 증가함에 따라 노킹 발생 확률은 점화시기 BTDC 30°의 경우 4%에서 46%까지 42% 증가하였고, BTDC 33°의 경우 35%에서 78%까지 43% 증가하였으며, BTDC 36°의 경우 81%에서 95%까지 14% 증가하였다. 또, 점화시기 전각에 따른 변화를 살펴보면 흡입 공기 온도 전반에 걸쳐 노킹 발생 확률은 점화시기 BTDC 36°일 때가 BTDC 33°일때보다 23%~46% 증가하였다.

Fig 9은 온도 증가에 따른 각 점화시기에서의 평균 노킹 발생 각도를 나타낸 것이다. 점화시기 변화에 따라 평균 노킹 발생 각도는 BTDC 33°일때보다 2.0°~3.8° 정도 TDC 쪽으로 앞당겨져 있다. 또, 동일한 점화시기에 대해서는 온도가 50°C 증가함에 따라 평균 노킹 발생 각도는 BTDC 30°일때 0.8°, BTDC 33°일때 1.8°, BTDC 36°일때 3.6°만큼 TDC 쪽으로 앞당겨졌다. 이상에서의 결과를 살펴보면 흡입 공기 온도의 증가가 연소실내 미연소가스의 온도를 증가시켜 노킹 발생 각도가 TDC 쪽으로 앞당겨지고, 이로 인해 노킹강도와 노킹 발생 확률이 증가함을 알 수 있다.

Fig 10, Fig 11, Fig 12는 각 점화시기에서 흡입 공기 온도 30°C와 80°C의 경우에 대해 각 사이클의 값이 평균 노킹 발생 각도와 평균 노킹강도와 비슷한 값을 갖는 한 Cycle을 선택하여 이것의 압력선도를 크랭크각도에 대해 나타낸 것이다.

Fig 10은 BTDC 30°의 경우로 온도 80°C일때 노킹 발생 각도는 15.5° ATDC이고, 온도 30°C일때에 비해 압력 점프량이 크다. Fig 11는 BTDC 33°의 경우로 온도 80°C일때 노킹 발생 각도는 14.0° ATDC이고 온도 30°C일때 노킹 발생 각도는 16.1° ATDC로, 흡입 공기 온도가 50°C 증가함에 따라 노킹 발생 각도가 2.1° 앞당겨져 있고 압력 점프량도 크다. Fig 12은 BTDC 36°의 경우로 온도 80°C일때 노킹 발생 각도는 10.7° ATDC이고, 온도 30°C일때 노킹 발생 각도는 13.5° ATDC로, 흡입 공기 온도가 50°C 증가함에 따라 노킹 발생 각도가 2.8° 앞당겨져 있고 압력 점프량도 크다. 따라서 흡입 공기온도가 증가하면 노킹 발생 각도가 TDC 쪽으로 앞당겨짐을 알 수 있다.

3.3 고 찰

흡입 공기 온도의 변화가 노킹 특성에 미치는 영향을 관찰하려면 공연비가 매 실험때마다 고정되어야 한다. 그러나, 실험에 사용된 엔진은 카브레터로 연료/공기 혼합기를 공급하기 때문에 매 실험때마다 공연비를 일정하게 유지하기가 어려웠다. 공연비가 변화하면, 이것이 노킹 특성에 미치는 영향이 흡입 공기 온도 변화가 미치는 영향과 중첩되어 노킹 특성이 선형적으로 변화하지 않고 동일한 흡입 공기 온도에서 변화를 보인다. 일반적으로 화염의 속도는 혼합기가 당량비 1.1일때 가장 빠르고, 이때 실린더내 최고압력도 높아지게 되므로, 공연비가 이 값에 가까와질때 노킹이 발생할 확률이 높고, 또 노킹강도도 크게 된다. 따라서 흡입 공기의 온도가 낮더라도 당량비가 1.1에 가까운 경우에는 흡입 공기 온도가 높은 경우보다 노킹 발생 확률이 더 높고, 노킹강도도 더 크게 나타날 수 있다. 이러한 이유로 흡입 공기 온도의 변화가 노킹

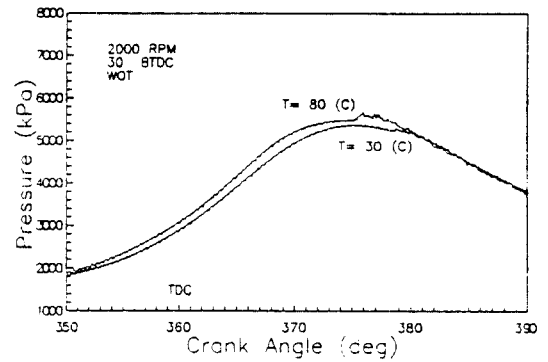


Fig 10 Cylinder Pressure vs. Crank Angle (Spark Timing of 30 BTDC)

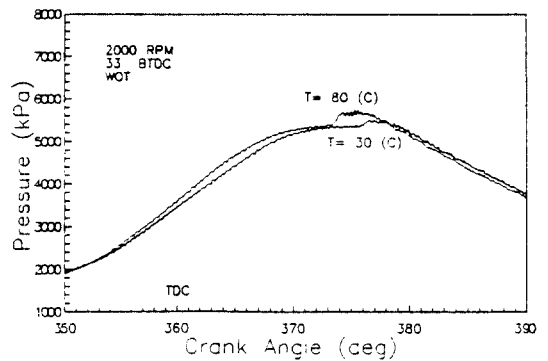


Fig 11 Cylinder Pressure vs. Crank Angle (Spark Timing of 33 BTDC)

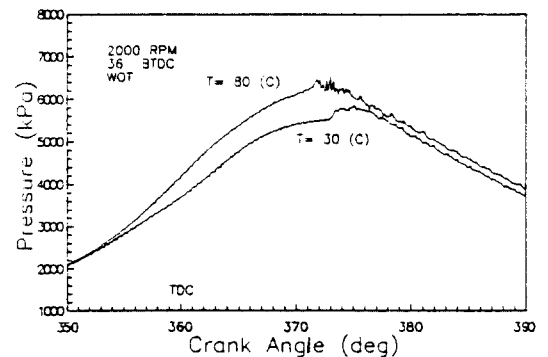


Fig 12 Cylinder Pressure vs. Crank Angle (Spark Timing of 36 BTDC)

Table 1 Experimental Conditions

2000rpm, wide open throttle							
data set no.	spark timing (BTDC)	Room Condition			T _{in} (°C)	H _{in} (R.H.%)	A/F RATIO
		T _R (°C)	H _R (R.H.%)	P _a (mmHg)			
1-1	30	17.6	35	764	31.0	34	13.29
					41.0	32	13.27
					51.0	30	13.50
					61.0	29	13.44
					71.0	29	13.11
					80.0	25	13.16
1-2	33	17.6	35	764	30.0	34	13.77
					41.0	31	13.17
					51.0	30	13.11
					62.0	28	13.61
					71.0	26	13.14
					81.0	24	13.62
1-3	36	17.6	35	764	31.0	34	13.85
					41.0	31	13.02
					52.0	30	12.88
					62.0	28	13.29
					71.0	25	13.31
					79.8	23	13.17
2	30	21.0	40	748	32.0	37	15.30
					43.0	35	14.83
					50.0	34	14.36
					60.0	32	14.47
					70.0	30	14.09
					80.0	28	13.90
3	30	20.0	56	754	30.9	51	14.64
					40.3	45	14.65
					50.0	40	14.82
					59.4	38	14.61
					70.1	35	13.80
					80.1	31	13.59
4	30	19.6	52	751	32.0	42	15.17
					40.0	41	14.44
					50.0	36	14.36
					60.0	34	13.57
					70.0	30	13.46
					81.0	29	13.39
5	30	22.2	48	750	31.3	39	14.70
					40.0	36	14.56
					50.0	34	14.97
					60.0	32	13.97
					72.0	27	14.58
					78.2	26	13.52

* T_R : Room Temperature, H_R : Room Humidity, P_a : Atmospheric Pressure
 T_{in} : Intake Air Temperature, H_{in} : Intake Air Humidity

특성에 미치는 영향이 일정하게 나타나지 않고 동일한 흡입 공기 온도에서 변화를 보이게 된다. 이러한 변화를 보이기 위해 Fig 13과 Fig 14는 점화시기를 BTDC 30°에 고정시키고 흡입 공기 온도를 증가시키면서 동일한 운전조건에서 4차의 반복 실험을 한 것이다. 이 실험의 실험 조건은 Table 3.1의 Data set 2, 3, 4, 5이다.

Fig 13은 4차의 실험에 대해 흡입 공기 온도가 30°C에서 80°C까지 50°C 증가함에 따라 나타나는 평균 노킹강도의 변화이다. 동일한 흡입 공기 온도에서의 평균 노킹강도는 주어진 온도에서 상당한 변화를 보이는데, 예를들어 온도 50°C일때 최소 34kPa에서 최대 49kPa까지 변화한다. Fig 14는 4차의 실험에 대해 흡입 공기 온도가

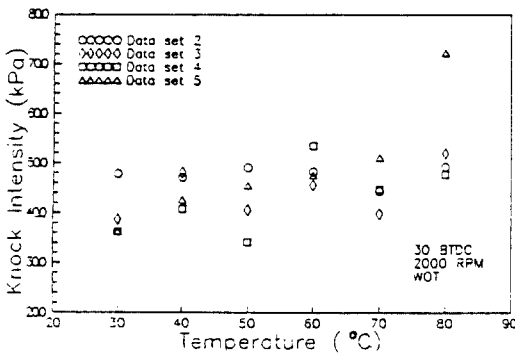


Fig 13 Variation of Mean Knock Intensity vs. Intake Air Temperature (Spark Timing of 30 BTDC)

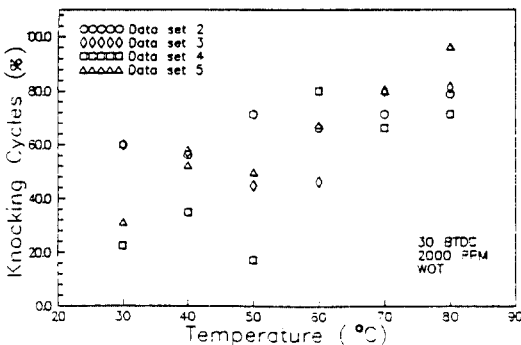


Fig 14 Variation of the Percentage of Knocking Cycles vs. Intake Air Temperature (Spark Timing of 30 BTDC)

30°C에서 80°C까지 50°C 증가함에 따라 나타나는 노킹 발생 확률의 변화이다. 동일한 흡입 공기 온도에서의 노킹 발생 확률도 역시 주어진 온도에서 상당한 변화를 보이는데, 예를들어 온도 50°C일때 최소 18%에서 최대 71%까지 변화한다. 따라서 동일한 흡입 공기 온도에서의 평균 노킹강도와 노킹 발생 확률의 평균값은 흡입 공기 온도의 증가에 따라 대체로 증가하나 동일한 흡입 공기 온도에서 평균 노킹강도와 노킹 발생 확률은 실험마다 상당한 변화를 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 노킹이 일부 사이클에서만 일어나는 점화시기를 선택하여 카브레터식 4기통 스파크 점화기관을 대상으로 흡입 공기의 온도 및 점화시기를 변수로 하여 실험하였다.

- 1) 동일한 점화시기에서 흡입 공기 온도가 30°C부터 80°C까지 50°C 증가함에 따라 평균 노킹강도가 약 20kPa 증가하였으며, 이는 점화시기를 약 3° 진각시킨 효과와 비슷하다.
- 2) 동일한 점화시기에서 흡입 공기 온도가 30°C부터 80°C까지 50°C 증가함에 따라 평균 노킹 발생 각도는 TDC쪽으로 2° 정도 앞당겨졌으며, 노킹 발생 확률은 약 30% 증가하였다.
- 3) 동일한 흡입 공기 온도에서 점화시기를 진각시키에 따라 평균 노킹 발생 각도는 TDC쪽으로 앞당겨졌으며, 평균 노킹강도와 노킹 발생 확률은 증가하였다.

후 기

본 연구는 연세대학교 학술연구비와 (주)대우자동차의 도움으로 이루어졌으며 항온장치를 제작, 지원해 주신 (주)경원세기에 심심한 감사 를 표합니다. 그리고 실험을 도와준 김종진 군 에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G. Benson, E.A. Fletcher, T.E. Murphy, H.C. Scherrer, "Knock(Detonation) Control by Engine Combustion Chamber Shape", SAE 830509, 1983.
2. P.M. Najt, "Evaluating Threshold Knock with a Semi-Empirical Model-Initial Results", SAE 872149, 1987.
3. 長尾不二夫, "內燃機關", 譯者, 李明煥, 金鉉九, 大光書林, 1985.
4. Kwang Min Chun, "Characterization of Knock and Prediction of its onset in a Spark-Ignition Engine", Ph.D Thesis, M.I.T., 1988.
5. W.R. Leppard, "Individual-Cylinder Knock Occurrence and Intensity in Multicylinder Engines", SAE 820074, 1982.
6. M. Haghgooie, "Effects of Fuel Octane Number and Inlet Air Temperature on Knock Characteristic of a Single Cylinder Engine", SAE 902134, 1990.
7. H.Zhao, N.Collings, "Characterization of Knock and Its Effect on Surface Temperature", SAE 920514, 1992.
8. John B. Heywood, "*Internal Combustion Engine Fundamentals*", Mc-Graw Hill, 1988.
9. 이 흥철, 전 광민, "연료의 옥탄가 변화에 따른 스파크 점화기관의 노킹특성의 변화", 자동차공학회지, 제14권, 제5호, pp.61~68, 1992.