

# 노크센서를 이용한 점화시기 피이드백 제어에 관한 연구

## Study on Ignition Timing Feedback Control Using the Knock Sensor

김 연 준,\* 고 상 근\*\*  
Y. J. Kim, S. K. Kauh

**Key Words :** Ignition timing control, spark advance correction, RmS value of knock sensor, knock intensity

### ABSTRACT

The ignition timing feedback control system was studied to enhance the engine power and to reduce the fuel consumption by optimizing the spark timing.

The signal of a piezo-electric vibration transducer attached to the engine block was compared with that of a pressure transducer in order to determine the knock intensity. With the result of comparison the ignition timing feedback control system which detect the knock and correct the spark timing was set up.

The ignition timing could be more advanced with this control system than with the existing system without the continuous knocking, therefore the engine torque was increased.

### 1. 서 론

자동차 산업에 있어 기관의 고출력, 저연비화의 요구는 끊임없이 대두되고 있고, 이를 만족시킬 만한 개선이 또한 이루어지고 있다. 이를 위하여 소형 기관에 터보과급을 장착하여 기관의 출력을 향상시키는 방법, 압축비를 높혀 연소효율을 향상시키는 방법 등을 사용하여 오고 있지만 어느 쪽의 방법에 있어서도 본질적으로 녹킹이 발생하기 쉽다는 문제를 안고 있다. 이때문에 녹킹에 의한 기관

손상을 피하면서 녹킹 한계 근방에 점화시기를 설정하여 연비향상과 출력향상이라는 종래의 목적을 달성할 필요가 있다. 그 목적을 달성하기 위한 수단으로서 점화시기 피이드백 제어시스템이 개발, 사용되고 있다. 점화시기 피이드백 제어는 녹킹 발생을 노크센서로 검출하고 그 발생 여부에 따라 점화시기 진각을 행하는 것으로 노크콘트롤이라 할 수 있다.

이러한 시스템을 채택하게 되면 위에 언급한 출력향상과 저연비화를 위해 새롭게 부가

\* 서울대 대학원 기계공학과

\*\* 정희원, 서울대 공대 기계공학과

되는 장치들로 인한 문제점들의 해결 뿐 아니라 생산 오차와 시간이 지남에 따른 기관의 상태 변화에 적응하여 연속적인 녹킹 발생을 방지할 수 있다. 기존의 기관 제어 시스템은 마이크로프로세서를 중심으로 모듈화된 전자 회로가 기관을 제어하는데 이와 같은 전자 회로의 적용은 위의 시스템을 구성하는데 용이하다.

따라서 본 연구의 목적은 기존의 기관 제어 시스템 중 널리 쓰이고 있는 MPI(Multi-Point Injection)시스템에서 점화시기만을 따로 떼어 내어 피드백 제어를 기초적으로 행하였다. 녹킹 발생시 노크센서의 신호 특성 파악을 위하여 녹킹 강도별 노크센서 신호를 분류하여 점화시기 피드백 제어시 녹킹 판정기준을 정하였다. 제어시스템은 두 대의 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 한 쪽은 노크센서 신호를 처리하고 다른 한쪽은 녹킹 판정과 점화시기 조절을 담당하도록 하였다. 구성된 시스템을 사용하여 특정 운전 조건에서 녹킹 발생을 감지하여 점화시기를 조절하는 점화시기 피드백 제어를 행해 보았다.

## 2. MPI 시스템의 점화 제어

MPI 시스템의 점화 제어방식은 기관 운전 상태에 대한 기준이 되는 점화시기를 미리 ECU내의 메모리에 기억시켜 놓고, 각 센서에서의 신호에 따라 기관 운전 상태(회전 속도, 부하, 율입 상태)를 검출하여 그 상태에 대한 점화시기를 연산한 다음, 1차 전류를 차단하는 신호를 파워 트랜지스터에 보내 점화 코일을 구동해서 점화시기를 제어하는 것이다. 파워 트랜지스터는 점화 코일을 구동하기 위한 스위칭용으로서 점화 코일과 분리되어 흡입 대기관부에 장착되어 있다. 이것은 ECU에 의해 제어되는 단자(베이스)와 점화 코일과 접속되는 단자(콜렉터), 접지된 단자(에미터)로 구성되어 있다. 점화시기는 크랭크 각도 센서 신호에서 측정된 기관 회전 속도 및 공기 유량 센서에서 측정된 공기량으로

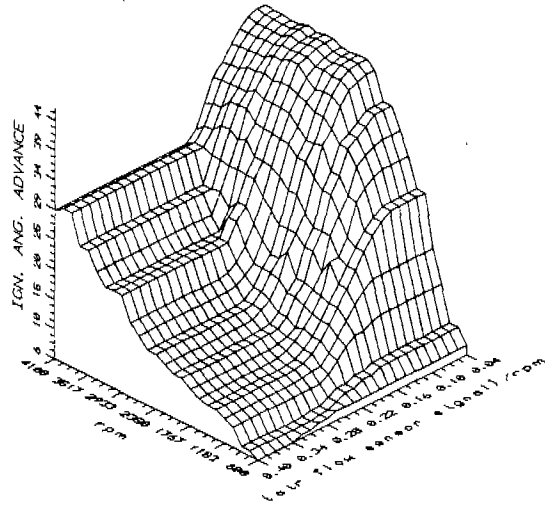


Fig.1 Variation of ignition timing with respect to (air flow sensor signal/rpm) and rpm

부터 기관 부하(단위 회전당 공기량)의 계산과 각종 보정값(수온, 고도 등) 등에 의해 결정된다. Fig.1은 단위 회전당 공기량과 기관 회전수에 따른 점화시기 설정 예이다.

## 3. 노크 콘트롤을 위한 기초 실험

녹킹 현상은 혼합기의 말단가스(end gas)의 자연 착화에 의한 비정상적인 급격한 연소에 기인하는 것이고, 그때 발생한 강력 충격파가 실린더 내를 왕복하게 된다. 이로 인하여 높은 주파수 성분의 압력파와 급속성 음이 발생한다. 압력파의 기본 주파수는 연소가스의 음속에 비례하고 실린더 내경에 반비례하게 된다. 이는 5~10 kHz의 값이지만 기본 주파수 외에 2차, 3차 주파수 성분도 관측된다. 고차 주파수는 기관이 고속 회전시 보다 명확하게 나타나는 경우가 많다. 이러한 녹킹 현상을 검출하는 센서를 노크센서라 할 수 있으며 검출 방법으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- (가) 음향 검출형 : 음으로써 검출하는 방법
- (나) 진동(가속도) 검출형 : 실린더 블록의 진동으로써 검출하는 방법

(대) 압력 검출형 : 연소 압력과의 고주파 압력 변화로서 검출하는 방법

(라) 냉각수 압력 검출형 : 냉각수를 지나는 압력 변동으로 검출하는 방법

위에 언급한 것들 이외에 다른 방법들도 검토되고 있으나 현재 실용화 되고 있는 것들은 (내)와 (대)이다. (대)의 경우는 녹킹 현상을 직접적으로 관측할 수 있는 잇점이 있으나, 압력 센서의 내구성과 가격 문제로 인하여 진동 신호를 이용한 (내)의 방법을 택하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에 사용된 녹크센서도 압진식 진동소자이며 앞으로 부르게 될 녹크센서도 이에 해당된다.

### 3.1 실린더내 압력파형과 녹크센서 신호 비교

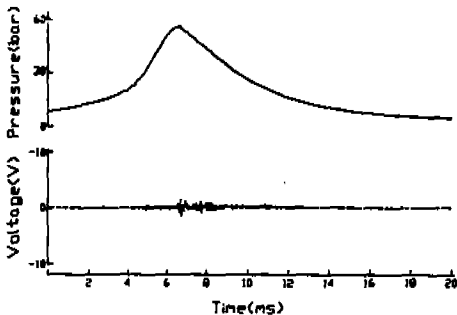
본 실험의 목적은 녹킹 발생시 내부압력과 녹크센서의 신호를 받아, 녹킹 강도에 따른 녹크센서의 신호 차이를 알고자 함에 있다. 녹크센서는 4번 실린더 흡기구쪽 실린더 블록에 부착시켰고, 압력센서는 Kistler 601H를 사용하였다. 데이터는 A/D 컨버터, DT2828 (Data Translation)을 사용하여 동시 샘플링 (sampling)하였다. 녹킹을 인위적으로 발생시키기 위한 점화시기 조절은 전년도에 제작된 PC-ECU를 이용하여 행하였다. PC-

ECU는 현재 상용으로 쓰이는 ECU를 대신하여 IBM PC와 인터페이스 회로를 이용하여 기관을 콘트롤 할 수 있는 장치를 말한다. PC-ECU는 상용 ECU와 마찬가지로 기관에 장착된 센서들로부터 오는 정보를 입력받고 상용 ECU의 출력 신호를 대체하는 동등한 전기적 신호로 액츄에이터들을 구동한다. 본 실험에서는 파워 트랜지스터 구동신호만을 PC-ECU가 대체하여 점화시기를 조절하고 그 밖의 것은 모터링만 한다. 녹크센서로부터 오는 신호 중 저주파 신호는 가변 여파기 (Variable Filter)에 의해 제거되고, 분해능을 높이기 위하여 증폭기를 제작하여 사용하였다.

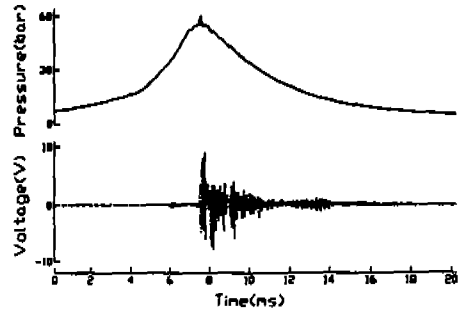
Fig.1가 위의 실험을 통하여 얻은 실린더내 압력과 녹크센서 신호의 출력이다. 녹킹이 강하게 발생하였을 경우의 녹크센서 신호는 그렇지 않을 경우보다 최대값이 상당히 크며 전체적인 진폭 역시 크다.

### 3.2 녹킹강도와 녹크센서 신호

전기 점화 기관의 녹킹강도는 밴드 배스 필터법, 그리고 자연 발화에 의한 연소실 내부 압력 상승량으로 결정하는 방법 등이 있다. 본 실험에서 사용한 녹킹강도는 연소실 내부



(a) Light knock



(b) Heavy knock

Fig.2 Comparison between knock sensor signal with light knock and knock sensor signal with heavy knock

압력 선도를 따라가며, 급격한 압력상승이 나타나는 점에서 최고 압력 차이를 녹킹강도로 정하는 세번째 방법을 택하였다. 노크센서에서 나오는 신호를 실린더 내부압력으로부터 결정된 녹킹강도와 어떻게 비교할 것인지는 여러 방법을 생각할 수 있으나 여기서는 노크센서 신호의 RMS (Root Mean Square) 값으로 하였다.

1500rpm 근방 WOT 에서 점화시기를 변화시키며 발생시킨 녹킹 사이클들을 정리하여 녹킹강도를 정하고, 이 때의 노크센서 신호의 RMS 값을 표시한 것이 Fig.3이다. 같은 녹킹강도라도 RMS 값이 차이를 보이는 것은 녹킹 자체가 불규칙적으로 발생하고, 발생 원인도 어느 한 가지로만 볼 수 없으며, 녹킹강도 정의 자체도 유일하지 않는데 기인하리라 생각된다. 또한 실린더내 미연 가스의 자발화는 실린더내 압력 변동으로 나타나고, 2차적으로 실린더 블록의 진동을 일으키는데, 이의 정확한 상관관계는 본 연구의 범위를 벗어나고 있다.

단, Fig.3으로부터 녹킹강도 강해짐에 따라 RMS 값이 커지는 경향은 알 수 있다. 같은 조건(1500rpm, WOT)에서 녹킹이 발생하지 않았을 때의 RMS 값은 0.25정도이다. 위의 결과는 녹킹판정에 있어 최소한의 경계를 제공한다.

녹킹발생 여부에 관한 또 다른 지표는 압력, 실린더 블록의 진동 그리고 기관에서 발생하는 음향의 주파수 성분을 살펴보는 것이다. 녹킹이 발생하면 실린더내에 발생된 압력파가 음속으로 주파수 성분을 살펴보는 것이다. 녹킹이 발생하면 실린더내에 발생된 압력파가 음속으로 실린더내를 왕복하게 되는데 이의 주파수는 5~10kHz 의 범위이다. 가청 녹킹음(audible knock)과 진동 주파수도 이 영역에 있을 것이며, Fig.4는 노크센서 신호의 주파수를 나타낸 것이다. 녹킹이 발생하였을 경우, 6kHz 에서 7kHz 의 주파수 성분이 크게 증가하며 12kHz 부근에서도 발견된다.

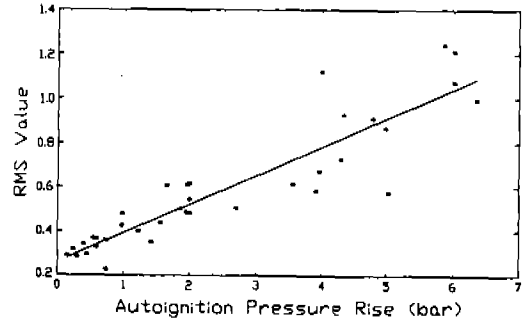


Fig.3 Relation between autoignition pressure rise and knock sensor signal RMS value at 1500 rpm, WOT

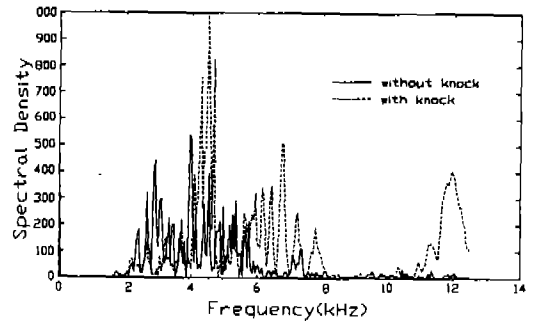


Fig.4 Frequencies of knock sensor signal with knock and without knock

이와 같은 주파수 분석에 의한 녹킹판정은 보다 정확한 정보를 제공해 줄 수는 있으나 계산시간 등에 제약을 받는다. 따라서 위에서 제시한 노크센서 신호의 RMS 값이 녹킹발생의 실시간 판정에서 용이하리라 생각된다.

#### 4. 점화시기 피이드백 제어

##### 4.1 제어 장치 구성

점화시기 피이드백 제어란 점화시기가 각 운전 조건의 녹킹 발생 한계 근방에서 항상 설정되도록 콘트롤하는 것이다. 즉 노크 콘트롤 시스템을 이른다. 녹킹 발생 신호가 피이드백 되면 점화시기를 늦추고 이 신호가 없을 경우 전진시키는 방법이다.

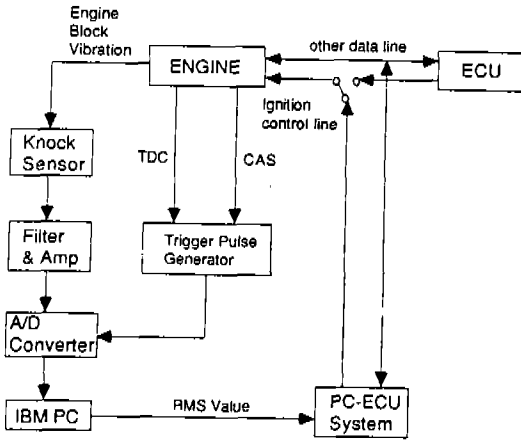


Fig.5 Schematic diagram of ignition timing feedback control system

Fig.5는 본 실험에 사용된 제어 장치의 개략적인 구성도이다. 노크센서 신호는 가변 역파기와 증폭기를 거쳐 A/D 컨버터(DT2828)에 이르고, 4번 실린더 CAS 신호가 떨어지는 점(BTDC 5°)에서 트리거(trigger)되어 25 kHz의 속도로 500개의 데이터를 샘플링하도록 하였다. 데이터 취득속도와 갯수는 기관 회전수에 따라 달라져야 하는데 위의 값은 1500rpm 근방을 기준으로 연소 사이클에서 노크센서 신호를 취득하도록 설정한 것이다. 본 실험은 1500rpm 근방을 목표로 하였으며 4번 실린더의 노크센서 신호만을 사용하였다. 25kHz의 속도로 500개의 데이터를 샘플링하는데 걸리는 시간은 20msec이고 이 데이터를 가지고 RMS 값을 계산하는데, 총 소비 시간은 1500rpm에서 한 사이클이 지나가는 시간인 80msec 미만이다. 매 사이클마다 얻어진 RMS 값은 점화시기를 제어하는 PC-ECU에 전해지며 PC-ECU측 PC가 녹킹 발생 여부와 강도를 판정해 점화시기를 조절하도록 하였다. 즉, 녹킹 검출 정보는 A/D 컨버터측 PC가, 녹킹 발생 여부와 강도 판정 그리고 점화시기 조절은 PC-ECU측 PC가 담당하였다. 트리거 신호 발생 장치는 Fig.6에 나타내었다. 8253 타이머(timer)에 의해 TDC신호를 기준으로

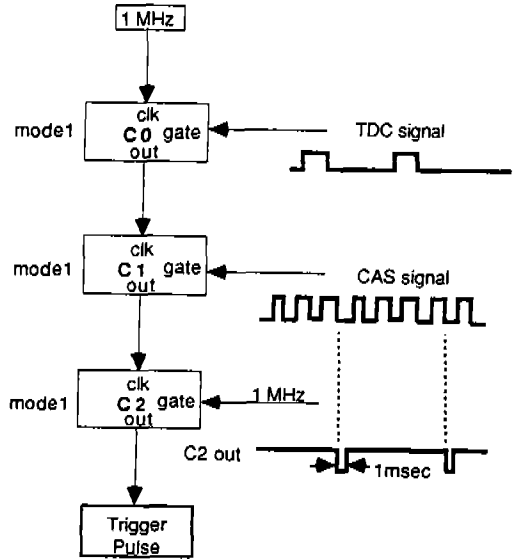


Fig.6 Generating circuit for triggering signal and timing chart

각 실린더 CAS 신호가 떨어지는 점에서 한 점을 선택하여 트리거 신호가 나오도록 하였다.

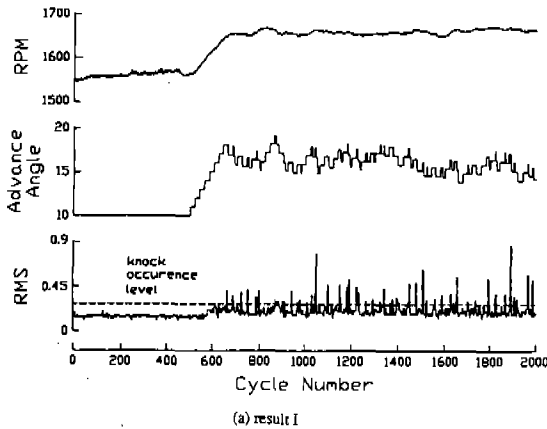
기관 속도가 증가함에 따라 RMS 값이 증가하기 때문에 Fig.3에서 나타난 녹킹 판정을 위한 기준도 1500rpm 근방에서 유효할 뿐이다. 따라서 기관 속도에 따른 기본 RMS 값을 고려하여야 하며 3.1절의 실험을 반복하여야 한다.

#### 4.2 제어 방법 및 고찰

본 실험의 제어 방법은 일정 수정 속도로 점화시기를 전진시키고 지각량은 녹킹 판정 기준레벨과 현재 노크센서 신호의 RMS 값과의 차이를 구해서 강도에 따라 지각량을 달리 하는 방식으로 하였다. 즉, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{점화시기 지각량} = & (\text{현 RMS 값} - \text{보정 기준레벨}) * (\text{지각 수정량}) \\ & + (\text{최소 지각량}) \end{aligned}$$

보정 기준레벨은 기관 회전수와 녹킹 강도를 고려하여 정한 것이고 최소 지각량은 녹킹



(a) result I

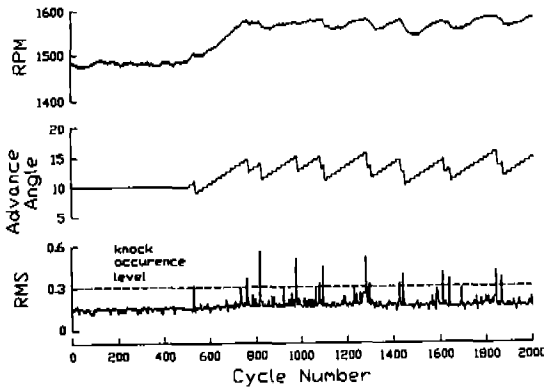


Fig.7 Result of ignition timing feedback control

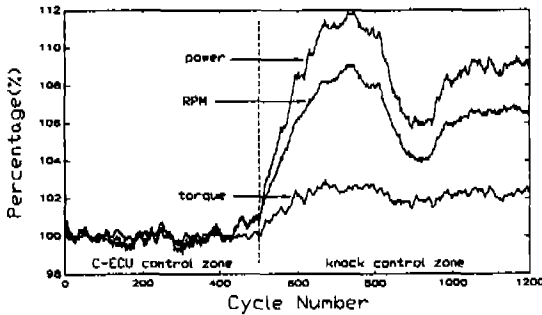


Fig.8 Comparison between power, torque of commercial ECU ignition timing control and that of ignition feedback control

발생 판정이 있기만 하면 지각하여야 할 최소한의 각도이다. 위의 지각량 보정을 여러 경우에 대해 제어를 하였으며 Fig.7은 그 중 두가지 경우를 나타낸 것이다. 녹킹판정 기준 레벨과 지각 수정량(2°) 최소 지각량(1°)은 동일하나 수정 속도에 차이가 있다. (a)는 1°/20cycle이고 (b)는 0.5°/20 cycle 인 경우이다. 이때 스로틀 개도는 80%정도로 고정된 상태이며 다이노모에 걸어준 전압은 일정하다. (a)의 경우는 기관의 회전속도 변동이 그리 크지는 않으나 녹킹 판정 신호가 많고 실제로 녹킹음이 자주 발생하였다. (b)의 경우는 녹킹 판정 신호는 빈번하지 않으나 회전 속도 변동이 크다. 위에 언급한 요소들을 조정하여 최적의 점화시기 조절을 행할 수 있을 것이다. Fig.8은 위와 같은 제어가 행해질 때 구해진 토오크를 표시한 것이다. 상용 BCU가 점화시기를 조절한 영역의 기관 회전수, 토오크 그리고 출력을 기준으로 해서 상대적으로 구한 값들이다. 이와 같이 토오크와 출력이 향상된 현 MPI 시스템의 점화시기 조절이 부하가 클 경우에는 녹킹 발생을 고려하여 최적 점화시기 보다는 다소 늦게 행해지기 때문이다. 따라서 점화시기 피이드백 제어는 이러한 단점을 보완하고 연속적인 녹킹을 피하면서 최적의 점화시기를 설정할 수 있을 것이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 전기 점화 기관의 최적 점화시기 설정을 통해 출력향상, 연비향상을 이룰 수 있는 점화시기 피이드백 제어에 관한 기초적인 연구를 수행하였는데 그 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 녹킹 발생시 압력파형과 노크센서 신호를 비교하여 노크센서 신호특성을 파악하였다.
- 녹킹발생 판정기준을 노크센서 신호의 RMS값으로 설정하고 녹킹강도와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.
- 점화시기 피이드백 시스템을 구성하여 설정된 기준으로 점화시기를 조절하였다.

구성된 시스템은 두대의 PC 를 이용하므로 새로운 기준과 제어방식을 적용하는데 용이할 것이다.

- 기존의 ECU의 점화시기 제어와 비교한 결과 연속적인 녹킹을 피하면서, 출력향상을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

박경석, "다중 분사식 가솔린 엔진의 공연비 제어에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1990.

장원준, "점화시기 변화에 따른 스파크점화 기관의 녹킹특성에 관한 실험적 연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1990.

Toshiharu Iwata, Koji Sakakibara and Hiroshi Haraguchi, "A New Method to Automatically Optimize the Knock Detection Level in the Knock Control System", SAE Paper 891964, 1989.

Y. Boccadoro and T. Kizer, "Adaptive Spark Control with Knock Detection", SAE Paper 840447, 1984.

M. D. Checkel and J. D. Dale, "Testing a Third Derivative Knock Indicator on a Production Engine", SAE Paper 861216, 1986.

Heinz Decker and Hans-Ulrich Gruber, "Knock Control of Gasoline Engines-A Comparison of Solutions and Tendencies, with Special Reference to Future European Legislation", SAE Paper 850298, 1985.

Daisaku Sawada and Takashi Shigematsu, "Improvement of Spark Ignition Knock Detector Performance by Learning Control", SAE Paper 810057, 1981.

Lewis C. Eggerecht, *Interfacing to the IBM PC*, Howard W. Sams & Co., Inc., 1983.