

전자식 가솔린 엔진의 조절 방법에 관한 연구

A Study of Electronic Gasoline Engine Control Technique

성 낙 원*, 정 용 일*, 박 신 현*
N. W. Sung, Y. I. Jeong, S. H. Park

Abstract

The control technique for an electronic engine is studied. For this study an IBM-PC and a throttle body fuel injection system are selected. The computer controls fuel injection, spark timing, exhaust gas recirculation and idle speed. Fuel injection is adjusted either by a feedback signal of a zirconia O_2 sensor or programmed logic for starting, acceleration, deceleration, warming up and idle modes. When a 3-way catalytic converter is used with the electronic engine control system, CO, THC, and NOx were reduced more than 90% simultaneously.

1. 서 론

자동차의 사용이 증가됨에 따라 자동차 배기 가스에 의한 공해가 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며 이에 대비하여 선진 각국에서는 이미 배기가스 공해규제법안을 제정하여 배출 허용 한계를 엄격하게 규제하고 있다. 우리나라도 선진국 수준으로 규제를 강화하고 있어서 자동차 관련 업계에서는 이 규제를 만족시킬 수 있는 기술을 외국으로부터 도입하여 국내 생산을 시작하고 있다. 가솔린 엔진에서 공해 가스의 발생을 줄이기 위해서는 공기 연료 혼합비 및 점화 시기 조절과 연소실 개선 등의 방법을 사용하고 배기 후처리 장치인 3원 촉매를 사용하여 THC, CO, NOx 등의 주요 공해 가스를 산화 및 환원시킨다.^(1,2) 3원

촉매의 효율적인 사용을 위하여는 공연비를 최적으로 맞추어야 하고 점화 시기도 정확히 조절하여야 하는데 기계식 기화기와 점화 장치로는 엔진의 최적 조절에 많은 어려움이 있어 최근에는 컴퓨터를 사용한 엔진 제어 장치를 개발하여 사용하고 있다.^(3,4,5) 본 연구에서는 국내에서 사용하기 시작한 전자식 엔진의 핵심 기술인 전자식 엔진 제어기술을 확립하는 것을 목표로 한다.

2. 전자식 엔진 장치

전자식 엔진은 엔진의 운전에 필요한 여러 가지 조절 기능을 종래 기계식 장치 대신 컴퓨터에 의해 제어하는 방법을 사용한다. Fig. 1은 전자식 엔진 시스템의 개략도를 보이며 컴퓨터는 엔진에 부착된 O_2 센서 및 크랭크 위

* 정회원, 한국기계연구소 수송기계실

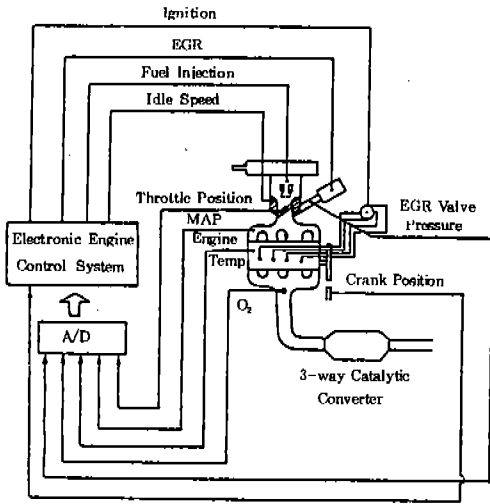


Fig.1 Schematic Diagram of The Electronic Engine

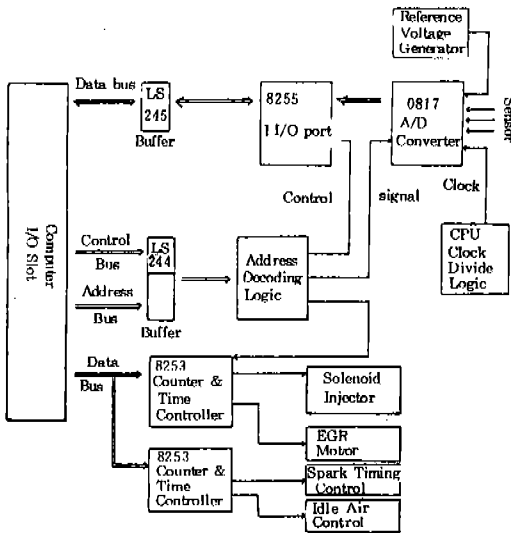


Fig.2 Block Diagram of Input/Output Circuit

치 센서, 드로틀 위치 센서, 냉각수 온도 센서 등을 통하여 엔진 운전 상태를 판단하고 각 엔진조건에 따라 연료 분사량, 점화시기, 배기가스 순환량(EGR)과 공회전 속도 등을 조절한다. 본 연구에서는 기계식 기화기 엔진을 개조하여 전자식으로 연료를 분사하기 위한 시스템 중 개조가 용이한 TBI(Throttle Body Injection)를⁽⁴⁾ 선택하였다. 이 방식은 흡기

부압 센서(MAP)에서 측정된 공기 밀도에 따라 필요 연료 분사량을 결정한다. 엔진의 전자 제어 장치로는 삼성전자의 SPC-3000 컴퓨터를 콘트롤러 본체로 하고, 센서로부터의 신호를 받아 들이고 actuator를 구동하기 위한 입출력 카드를 제작하여 컴퓨터의 확장 슬롯에 끼워 사용하였다. Fig.2에서 입출력 카드의 구성 회로를 보이고 있다. 확장 카드는 센서의 아날로그 신호를 받아들이기 위한 16채널의 analog to digital(A/D) 컨버터와 연료 분사 인젝터, 점화장치, EGR 장치 등을 구동하기 위한 counter & timer controller(CTC) 소자 2개와 8255 I/O 소자와 이들 소자들과 컴퓨터가 상호 자료를 주고 받을 수 있는 부품들로 구성되어 있다.

2-1 연료 분사 제어 장치

TBI시스템에서 연료 분사량을 조절하는 방법은 4사이클 4실린더 엔진에서 크랭크 각도 180° 회전마다 연료를 1회씩 분사하고 매 회 분사시마다 인젝터의 개폐 기간을 컴퓨터로 조정하여 분사량을 제어한다. 컴퓨터의 CPU에서 분사량이 결정되면 확장 카드의 8253 CTC 소자로 분사 명령을 내리게 되며 이 명령에 의하여 CTC는 실제 시간에 해당하는 on-off 신호를 만들어 내게 된다. CTC가 기준 시각으로 사용하는 주파수는 593KHz이며 CTC는 16 bit 데이터를 처리하므로 1회 분사시 프로그램할 수 있는 펄스폭은 1.677 μ sec 단위로 0 sec 부터 109.9 m sec 까지 제어 가능하다. 연료 분사 인젝터 노출의 응답 속도를 고려하여 엔진 회전 속도가 3,500 rpm 이상의 고속이 되면 엔진이 360° 회전마다 1회 연료를 분사하도록 하고 다시 3,500 rpm 이하로 속도가 떨어지면 180° 회전마다 1회씩 연료를 분사하도록 소프트웨어로 처리하게 한다. 컴퓨터의 분사 신호는 트랜지스터를 통하여 배터리 12 V 전원을 on-off하여 직접 분사 노출을 구동한다. 연료분사가 끝나면 즉시 다음 명령을 실행하게 되며 다른 명령이 실행 중에라도 연료 분사 명령이 최우선으로 수행되도록 한다. 본

연구에 사용한 인젝터의 펄스 폭에 대한 연료 분사량 실험 결과를 Fig. 3에 보이며 실제 계산에는 아래 근사식으로 사용하였다.

$$Q(\text{mm}^3/\text{inj}) = 28.2 \times t - 12.8 \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

t : 인젝터의 열림 시간(msec)이다.

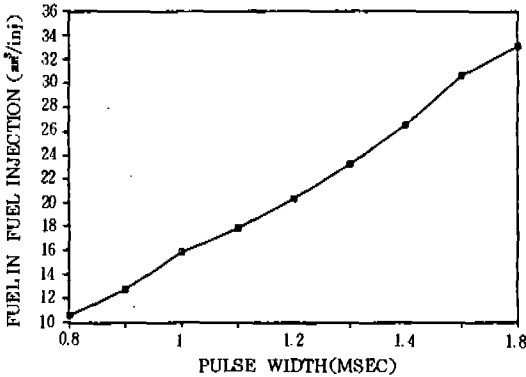


Fig. 3 Injected Fuel Quantity vs. Pulse Width

2-2 점화시기 제어 장치

점화시기를 컴퓨터로 제어하기 위한 장치를 Fig. 4에서 보이며 기계식의 점화장치와 비교하여 기본적인 구조는 같으나 점점 스위치 대신에 반도체 스위치를 사용하고 이를 컴퓨터로 동작시키게 한 점이 다르다. 점화시기는 크랭크의 회전에 대하여 적정 시각에 동작하여야 하는 것이 가장 중요한 기능이며 점화시기의 기준점으로는 TDC 신호를 사용하여 컴퓨터에 인터럽트를 요구하는 신호를 사용하고 이때부터 주어진 엔진 운전조건에 필요한 점화시기를 계산하고, 실제 점화시까지 기다려야 할 시간 값을 8253 CTC로 내보내며 CTC는 프로그램된 정확한 시간에 점화를 실행하도록 점화 코일의 1차 전류에 작동 신호를 내보낸다. 이 신호를 근거로 정확히 3 msec 이후에 자동적으로 동작하는 NE 555 timer 소자가 점화 코일의 1차 전류를 차단시키면 점화가 되게 된다. 고속에서는 크랭크의 인터럽트 신호로부터 CTC가 동작하기 시작하여 점화 작동 신호를 내보내기 전에 또 다른 인터

럽트 신호가 들어오게 되므로 이를 해결하기 위해서는 8253 CTC에서 2개 채널을 사용하여 시간계수 동작이 2개가 동시에 수행될 수 있게 한다. 엔진 회전 속도가 2,300 rpm 보다 저속에서는 CTC를 1개만 사용하고 BTDC55°에서 인터럽트 요구를 하도록 하고 그 이상의 속도에서는 CTC의 2개 채널을 사용하게 한다. Fig. 4의 점화 장치에서 이들 기능을 소프트웨어로 처리하도록 하였고 NE 555 timer로부터 점화 코일의 작동 및 차단 신호가 오면 실제 switch 작용을 하는 장치로는 미국 GM의 High Energy Ignition Module과 점화 코일을 사용하였다.⁽⁶⁾

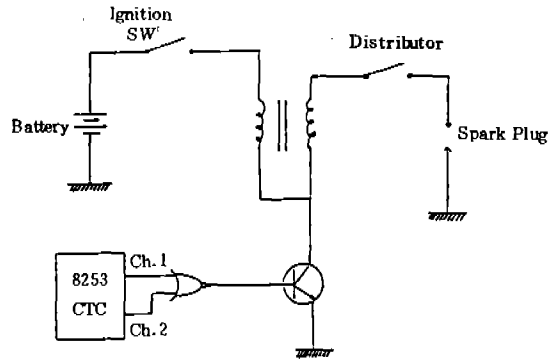


Fig. 4 Ignition Timing Control Circuit

2-3 EGR 제어장치

EGR 율을 전자식으로 제어하기 위해서는 EGR 밸브를 전기식 DC 모터로서 구동할 수가 있으나 실제 엔진 실험 결과 작동이 용이치 않아 EGR 밸브의 구동력으로 진공 펌프를 사용하는 방법을 택하였다. EGR 밸브와 컴퓨터를 연결하는 전자식 EGR 밸브 조절 구성도를 Fig. 5에서 보이고 있다. EGR 밸브의 제어는 컴퓨터에서 EGR 밸브에 작용되는 진공을 조절하도록 하나는 진공 펌프에 다른 하나는 대기와 연결되는 2개의 솔레노이드 밸브의 개폐 duty비를 직접 제어하고 EGR 율과 EGR 밸브에 작용하는 진공도와의 관계는 실험으로 결정하여 데이터로 저장한다.⁽⁷⁾

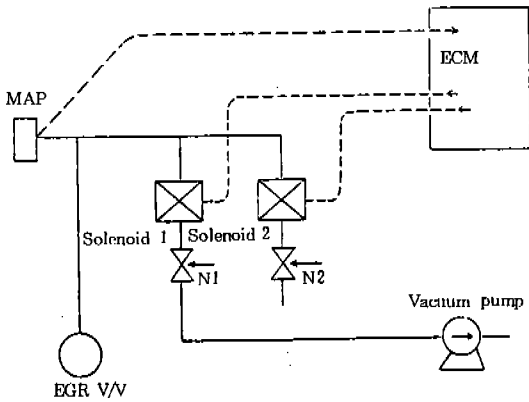


Fig. 5 Electronic EGR Control

2-4 공회전 속도 제어장치

엔진의 공회전 속도 조절을 위하여 드로틀 밸브 외에 핀들이 부착된 linear stepping 모터를 사용하여 공회전 공기 밸브의 개폐도를 조절하여 엔진에 흡입되는 공기 양을 조절한다. 공회전 공기 밸브는 위치 센서가 필요없이 최대 움직일 수 있는 거리를 200 step으로 나누어 컴퓨터로 위치 제어를 한다.

3. 전자식 엔진작동방법

3-1. 시 동

시동시의 엔진특성을 고려하여 최초 회전시부터 엔진 속도가 550 rpm이 될때까지 흡기를 choking 하며 이때를 시동모드로 구분한다.

Choking 시 연료의 량은 엔진이 회전하기 시작한 후 최초로 감지한 냉각수 온도에 따라 결정하고 시동모드가 끝날때까지 같은 연료량을 분사한다. 시동시 냉각수 온도에 따른 연료분사량을 Fig.6에 보인다. 시동시의 연료분사량을 기준량보다 줄일 경우는 시동이 어렵게 됨과 동시에 흡기관쪽으로 역화(back fire)가 발생하고 반대로 시동 연료량을 늘일 경우는 엔진출력이 증가되지 않고 일정속도 이상으로 속도를 높일 수 없다. 엔진속도가 550 rpm을 넘으면 가열모드의 분사량으로 조절되며 급격한 변화가 없도록 분사량을 10회에 걸쳐서 가열모드 값으로 서서히 변화시켜 준다.

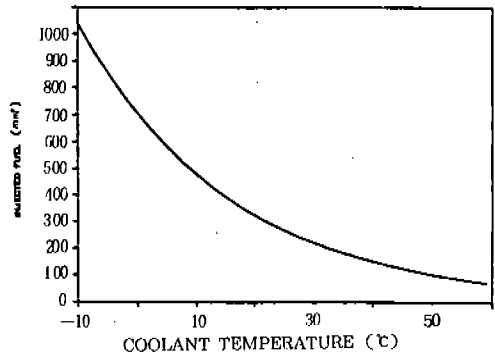


Fig.6 Fuel Control in Start Mode

3-2. 가열모드

가열모드는 시동직후 혹은 정속운전중 엔진 냉각수 온도가 60 °C 이하이거나 O₂ 센서가 정상적으로 동작하지 않을 경우 연료 분사량을 결정하는 모드이다. 이 모드에서는 MAP과 엔진속도에 따라 기본연료 분사량을 결정한 후 엔진냉각수 온도에 따라 기본분사량을 보정하여 실제 분사량으로 한다. 기본분사량의 결정은 speed-density 방식[8]에 의하여 엔진속도와 MAP 값으로부터 결정하며 엔진속도가 3500 rpm 이하에서는 엔진 반바퀴 회전애 1 회씩 (2)식에 의하여 기본분사량을 계산하고, 3500 rpm 이상에서는 엔진의 1 바퀴 회전애 1 회씩 (3)식에 의하여 기본분사량을 계산한다.

$$Q_b = (0.1967 * P_i + 0.001123 * rpm - 13.86) : rpm < 3500 \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_b = (0.3933 * P_i - 0.004540 * rpm + 13.51) : rpm > 3500 \dots\dots\dots (3)$$

여기서

Q_b : 기본분사량 (mm³)

P_i : 흡기절대압력 (mmHg)

기본연료 분사량을 계산한 후 엔진이 가열되는 동안 냉각수 온도에 따라 결정된 연료 보정계수 Kw를 곱하여 실제분사량을 결정한다.⁽⁹⁾

$$Q = K_w * Q_b \dots\dots\dots (4)$$

여기서

$$Kw = (1 + \exp[(8.95 - 0.039 * Tc)/3340])$$

: $Tc < 60^\circ\text{C}$ (5)

$$Kw = 1 : Tc > 60^\circ\text{C} \dots\dots\dots (6)$$

3-3. 정속모드

정속모드는 엔진냉각수 온도가 60℃이상이 되고 O₂ 센서의 출력신호가 정상이라고 판단 되어 연료분사량을 feedback 제어하는 모드로서 O₂ 센서에 의해 공연비가 희박 혹은 농후한지를 판단하고 이 판단에 따라서 연료분사량을 증감 보정한다. 이때의 연료분사량 Q는 다음과 같이 결정된다.

$$Q = Qb + dQ \dots\dots\dots (7)$$

식 (7)에서 dQ는 정속모드에서만 가감작용을 하며 정속모드가 시작되기 이전의 초기치는 0이다. 가열모드나 그외의 모드로부터 정속모드가 되면 먼저 O₂ 센서 신호를 읽고 현재의 공연비가 농후한지 혹은 희박한지를 판정하여 dQ의 증가 혹은 감소방향을 결정하고 dQ를 증가시키기로 결정하였으면 이것이 최초의 증가인지 혹은 두번째 이후의 증가인지를 판별하여 처음이면 dQ에 jump에 해당하는 보정을 하고 두번째 이상이면 0.048mm³의 정수배인 ramp에 해당하는 양을 보정하고 다시 공연비를 판단하여 계속 희박상태에 머물러 있으면 ramp 만큼의 dQ를 증가시킨다. 반복되는 dQ의 증가에 의하여 공연비가 농후로 판단되면 연료분사량에서 jump에 해당하는 양을 줄이고 계속 공연비를 판단하여 희박상태가 될때까지 dQ씩 감소시킨다. Jump의 양은 가장 최근의 연료분사량중 최대와 최소치의 차이인 식(8)로 구한다.

$$Jump = (Q_{max} - Q_{min})/2 \dots\dots\dots (8)$$

정속모드의 제어 algorithm에 의한 Q의 변화를 Fig.7에 보인다. Fig.7에서 dQ는 ramp→jump→ramp 변화를 하며 ramp의 기울기는 dQ에 의하여 결정된다. Jump는 이

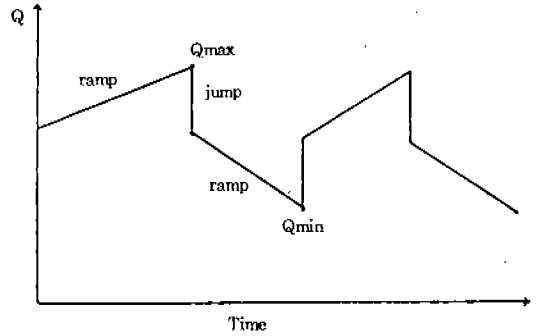


Fig.7 Feedback Fuel Control in Constant Speed Mode

론적으로 jump가 없을때에 비하여 공연비 제어속도를 2배 빠르게 하는 효과가 있다.⁽¹⁰⁾

3-4. 가감속 모드

가감속시의 연료보정은 다른 모드작동중 엔진의 가속 혹은 감속을 판정하면 곧 실행된다. 가속은 48msec동안 드로틀이 1.5°이상 증가 하였으면 가속으로 판정하여 연료분사량에 가속증량, Qacc = 5.2mm³를 더하여 준다. 가속이 끝난것을 감지하면, 가속시의 연료량에서 세번의 감량을 거쳐 서서히 정속제어로 돌아온다. 가속모드가 끝난것을 감지하면 각 회전마다 Qacc가 0이 되게 하였다. 또 48msec 동안 드로틀이 1.5°이상 감소하였으면 감속으로 판정하고 즉시 연료분사를 멈추며 감속이 끝나도 10회 동안은 연료분사를 중지한다. 계속해서 드로틀 위치를 읽어서 공회전 운전위치에 있으면 다시 현재의 엔진속도를 읽고 1500rpm 이상이면 엔진이 계속 감속하여 1500rpm 이하가 될때까지 연료분사를 중지하고 회전속도가 1500rpm 이하로 떨어지게 되면 드로틀 밸브위치가 공회전 운전영역이므로 바로 공회전 모드로 들어가게 된다.

3-5. 공회전 모드

공회전 모드의 판정은 드로틀 위치로서하며 드로틀 점점스위치 사용하는 경우에는 드로틀이 최저 위치에 있음을 쉽게 알 수 있지만

본 연구에서는 드로를 점접스위치 대신에 드로틀위치 센서를 이용하였다. 드로틀위치 신호는 실험결과 드로틀이 완전히 닫힌 위치가 수평으로 부터 약 17°였으므로 드로를 값의 오차범위를 고려하여 드로를 각도가 20°이하이면 공회전 모드로 판단하였다. 공회전 모드에서는 정속모드의 공연비 제어작용과 공회전 속도제어 작용이 동시에 수행된다. 목표회전수 750rpm의 허용 속도범위를 730rpm에서 770rpm까지로 하고 엔진 회전속도가 범위밖일 경우는 공회전 속도제어용 linear stepping 모터를 약 0.5초에 1step씩 보정하도록 동작시켜 주었다.

3-6. 점화시기 제어

엔진의 점화시기는 엔진속도와 흡기부압에 따라 결정한다. 점화시기는 연소실 압력을 관찰하여 노킹을 판별하면서 엔진동력계에서 엔진 출력이 최대가 되는 MBT로 정한다. 실험으로 결정한 점화시기는 Table 1에 보이고 있다. 점화시기 제어방법은 컴퓨터가 엔진속도와 흡기관 압력을 읽고 해당되는 점화시기를 표로부터 찾은후 속도가 2300rpm이 넘는가를 비교하여 넘지않는 경우는 crank mark 신호가 BTDC 55°이내에 들어오므로 점화시기까지의 시간을 계산한다. 엔진속도가 2300rpm 미만인 경우 점화시기를 결정하면 즉시 8253 CTC로 시간계수 명령을 내리고 해당시간이 지난후 점화코일의 1차 회로에 통전이 시작된다. 통전후 3msec가 지나면 코일 1차회로가 단락되며 이때가 점화시기가 된다. 엔진속도가 2300rpm 이상이면 BTDC 55°의 인터럽트 신호로부터 시작하여 다음회전의 점화를 위한 시간을 계산한다. 이때는 CTC의 2개 채널이 사용되며 이들은 번갈아가며 1개의 점화코일을 on-off 시킨다.

3-7. EGR 제어

EGR 제어를 위하여 EGR밸브에 작용하는 진공도를 제어하도록 하고 진공도는 엔진 운전조건에 따라 적절한 EGR율이 되는 진공

Table 1. Optimal Ignition Timing(° BTDC)

Intake vac. (mm Hg) rpm	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
200	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11
400	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11
600	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11
800	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
1000	7	7	8	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1200	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22
1400	13	14	15	16	17	18	20	21	22	24	28	32	33	36
1600	15	16	17	18	20	22	25	28	32	37	42	47	53	57
1800	16	17	18	19	21	22	26	29	32	36	41	47	52	55
2000	17	18	19	20	21	23	26	29	32	36	40	47	50	52
2200	19	19	20	21	23	25	27	31	33	37	41	47	51	53
2400	20	20	21	22	24	26	28	32	34	38	42	48	52	54
2600	21	21	22	23	25	27	29	32	35	39	43	48	53	55
2800	21	22	23	24	26	28	30	33	36	39	43	48	53	55
3000	22	23	23	24	26	28	30	33	36	39	43	48	53	55
3200	22	23	23	24	25	28	30	33	36	40	43	49	53	55
3400	21	22	22	23	25	27	29	32	35	40	44	50	54	55
3600	21	21	22	23	24	27	29	32	35	40	44	50	54	56
3800	21	21	22	23	24	27	30	33	36	40	45	51	53	55
4000	21	21	22	23	25	27	30	34	37	41	46	52	53	54
4200	21	21	22	23	25	27	30	34	37	41	46	52	53	54
4400	21	21	22	23	25	27	30	34	37	41	46	53	54	55
4600	20	20	21	22	24	27	30	34	37	42	47	53	54	56
4800	20	20	21	22	24	27	30	34	37	42	47	54	55	56
5000	20	20	21	22	24	27	30	34	37	42	47	54	56	57

Table 2. Optimal Ignition Timing with EGR

Intake vac. (mm Hg) rpm	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600
1250	19	21	23	24	26	27	28	22	19	20	20	23	24	25	26
1375	19	21	23	25	27	28	29	26	22	24	27	29	31	32	33
1500	20	22	24	28	31	34	33	32	32	35	36	35	37	39	42
1625	23	25	27	30	34	37	38	37	34	35	37	35	38	40	44
1750	25	27	29	32	35	38	40	40	35	34	37	36	39	42	46
1875	26	28	30	32	36	39	41	43	32	35	37	38	41	44	48
2000	27	29	31	33	36	40	43	46	32	35	37	39	42	46	50
2125	27	29	31	33	37	41	44	47	32	35	37	39	42	46	50
2250	27	29	31	33	37	41	43	46	48	45	38	39	43	47	51
2375	26	28	30	33	37	41	45	48	48	41	38	40	43	47	51
2500	26	28	30	34	37	41	45	49	48	41	39	40	44	48	52
2675	25	27	29	33	36	40	43	46	48	47	43	40	44	48	52
2750	25	27	29	31	35	39	42	44	46	46	46	41	45	49	53
2875	24	26	28	30	34	37	41	44	47	49	47	41	45	49	53
3000	24	26	28	31	35	37	39	43	45	49	52	42	45	49	53
3125	23	25	27	29	31	34	39	44	45	45	45	42	45	49	53
3250	25	27	29	31	33	35	39	44	45	45	45	42	45	49	53
3375	23	25	27	29	31	33	38	45	46	45	45	41	45	49	53
3500	25	27	29	31	33	38	42	46	46	45	45	42	46	50	54
3625	24	26	28	30	32	34	38	45	46	44	45	43	47	50	54
3750	26	28	30	32	34	37	41	45	46	44	45	44	47	50	54
3875	24	26	28	30	32	34	37	45	46	45	45	44	48	51	53
4000	26	28	30	32	34	37	40	44	47	45	45	45	48	51	53

센서 값으로 표를 만들어서 엔진제어에 사용한다. MAP센서를 사용하는 엔진제어 시스템에서 EGR 장치를 쓰게되면 MAP센서신호와 엔진 운전조건이 서로 다르게 된다. 연료분사량을 보면 EGR을 시키지 않을때에 비해

여 EGR이 있는 경우, 같은 MAP에서 후자의 연료분사량이 적으며 흡입공기량도 적다. EGR을 시키게 되면 연소실내에서 화염전파 속도의 저하로 연소가 느려지게 되므로 점화 시기도 진각시켜 주어야 하며 EGR 제어 프로그램은 이러한 모든 변화에 대처할 수 있어야 한다. 이 중에서 연료분사량은 정속운전시 O_2 농도 feedback에 의하여 EGR이 있을 경우에는 충분히 제어가 가능하므로 본 연구범위에서는 포함하지 않았으며 점화시기에 대해서는 EGR이 있는 경우와 EGR 밸브 개폐중의 과도상태도 고려하여 적절히 제어한다. Table 2는 EGR이 작용할 때의 점화시기이다.

4. 전자식 엔진의 성능

Fig. 8은 전자식 엔진 실험장치의 개략도이다. 본 연구에서 선정된 엔진은 배기량 1.6L, 압축비 8.5, 그리고 실린더 직경과 행정이 각각 77과 86 mm인 4기통 엔진으로서 TBI 시스템 장착을 위하여 기화기를 제거하고 드로틀 몸체와 흡기다기관을 연결하는 adapter를 제작하였다. 드로틀의 조작은 기계식 기화기와 비슷한 구조로 엔진동력계의 드로틀 actu-

ator에 연결하였고 드로틀 위치센서는 TBI 몸체에 부착하였다. 연료는 연료 유량계로부터 연료펌프를 거쳐서 TBI의 연료입구로 들어가게 하였고 TBI의 return 연료는 연료펌프의 전 단계로 되돌리도록 하였다. 엔진의 4번 연소실에 piezoelectric 압력계를 설치하여 엔진연소실 압력변화를 관찰함으로써 정상 연소가 되는 MBT 점화시기를 결정하였고, 배기가스 측정에는 일본 Horiba 분석계를 사용하였으며 배기가스 채취부는 3원 촉매의 전후와, 각각의 배기밸브 직후의 다기관에 설치하였다. 공급 혼합기의 공연비는 polarographic O_2 센서를 이용하여 배기가스의 잔류산소 농도로부터 공연비를 측정하는 Beckman 공연비계를 사용하였으며 연료소비율은 optical triggering 방식의 체적유량계를 사용하였고 공급공기량의 측정에는 laminar flow meter를 사용하였다. 엔진의 점화시기와 공연비, 공회전 속도, EGR량의 조절은 컴퓨터에서 수동조절자로 하거나 프로그램상에서 조절하였으며 각 실험데이터는 컴퓨터 화면으로 관찰하였다. EGR율의 측정을 위하여 흡기다기관의 4번 연소실 직전에서 흡기공기를 채취하여 CO_2 농도분석을 하였다.

4-1. 3원촉매 온도특성

자동차 배기가스가 3원촉매에서 산화 및 환원반응을 일으켜 감소되는 율은 촉매표면의 온도에 큰 영향을 받는다. 엔진이 저속 저부하 운전시에는 배기온도가 너무 낮아 촉매표면에서 배기가스가 화학반응을 일으키지 못하여 유해가스가 감소되지 않으며 고속 고부하 운전시에는 촉매가 과열되어 촉매성분의 손상을 초래한다.⁽¹¹⁾ 이와같이 엔진의 운전상태에 따라 배기가스의 온도에 큰 차이가 생김으로서 촉매의 효율이 달라지므로 촉매의 효율을 가장 좋게 하기 위하여 촉매의 설치위치를 최적화하고 과열가스의 by-pass 통로를 설치하는 등 여러방법이 강구되고 있다.

Fig. 9는 실험엔진에 설치된 3원촉매기의 성능을 알아보기 위하여 촉매온도에 따른 배

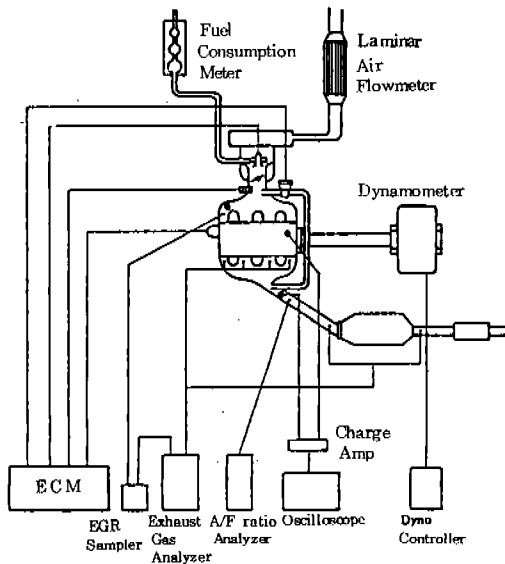


Fig.8 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Fig. 9는 실험엔진에 설치된 3원촉매기의 성능을 알아보기 위하여 촉매온도에 따른 배

기가스의 감소효율을 나타낸 것으로 촉매입구의 가스온도가 300°C 이하에서는 배기가스의 감소가 전혀 나타나지 않고 450°C 이상에서 CO, HC, NOx 3 성분 모두 90% 이상 감

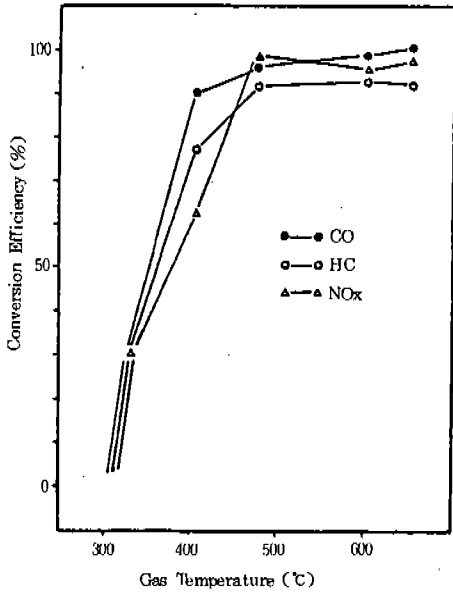


Fig. 9 Conversion Efficiency on Exhaust Gas Temperature

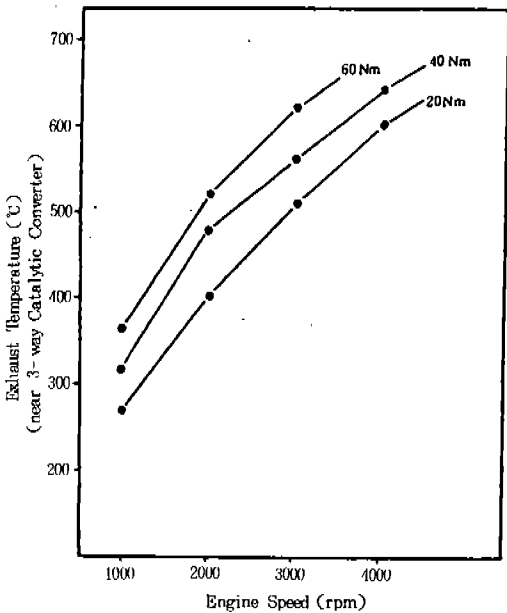


Fig. 10 Exhaust Temperature on Engine Operation

소하는 것을 보여주고 있다.

Fig. 10은 실험엔진의 촉매입구에서의 배기가스 온도를 측정된 것으로 배기가스 온도는 엔진의 부하보다는 속도의 영향이 큼을 알 수 있으며 2000rpm, 30Nm이하의 저속 저부하 영역에서 촉매입구 배기가스 온도가 450°C이하로서 촉매의 배기감소 효율이 낮은 영역이

4-2. feedback 제어시 엔진 성능

엔진 정속운전은 O₂ 센서 신호로서 연료 분사량을 feedback 제어하는 방법으로 제어 변수로는 O₂ 센서 신호에서 농후와 희박을 판정하는 기준 전압인 O_{ref} 값과, 연료의 농후 희박이 판정되었을때 이를 보정하기 위한 연료 가감량 dQ를 사용하며, 먼저 이들 제어 변수가 feedback 성능에 미치는 영향을 살펴 본후 feedback 제어방법을 개발한다.

Fig. 11은 엔진을 2000rpm, 40Nm로 정속 운전하면서 dQ 값을 0.048 mm³, 0.19 mm³, 0.57 mm³, 1.53 mm³으로 바뀌가면서 각각의 경우에 O_{ref}의 변화에 따른 촉매의 배기 감소율을 측정된 것이다. 컴퓨터가 받아들이는 O₂ 센서 신호는 배기가스 농도가 희박한 경우 센서 출력 전압이 0V이며 농후한 경우 0.7V로서 농후와 희박을 판정하는 기준전압 O_{ref}는 센서 출력범위 안에서 임의의 값으로서 0.12V, 0.38V, 0.5V의 3점을 선택하였다. dQ = 0.048 mm³의 경우 O_{ref} = 0.12V에서 CO와 HC는 90% 이상 감소 되지만 NOx는 50% 밖에 줄어들지 않으며 이것은 feedback 제어 결과가 희박 공연비이고 O_{ref} = 0.38V의 경우도 NOx 66% 감소로서 약간 농후해 졌으나 역시 희박 영역이다. O_{ref} = 0.5V의 경우는 CO, HC, NOx 모두 90%이상 감소되어 이른 공연비 영역에서 제어됨을 알 수 있으며 dQ = 0.19 mm³의 경우도 거의 유사하다. dQ = 0.57 mm³의 경우는 O_{ref} = 0.12V에서 NOx 65% 감소로 희박 영역에서 제어되며 O_{ref} = 0.38V에서는 CO, HC, NOx 모두 90%이상 감소되어 이른 공연비 영역으로 제어되지만 O_{ref} = 0.5V에서

는 NO_x 는 99 % 감소되나 CO 는 63 %, HC 는 85 %로 감소되어 능후한 영역에서 제어됨을 알 수 있다. $dQ = 1.53 \text{ mm}^3$ 의 경우도 $dQ = 0.57 \text{ mm}^3$ 의 경우와 비슷한 결과를 보이지만 실제 엔진 작동이 원활하지 못하여 사용하기가 어려운 상태이다. 이상에서 feedback 제어시 O_{ref} 값과 dQ 값이 이상 공연비로의 제어에 영향을 미치는 것을 발견하였으며 O_{ref} 값은 최대 O_{rich} 값의 1/2 정도가 적당하고 dQ 값은 엔진 조건에 따라 조정되어야 하며 연료 분사량에 따라 증가되어야 하는 것을 발견하였다.

Fig. 11 에서 $O_{ref} = 0.38V$ 의 조건에서 $dQ = 0.048 \text{ mm}^3$ 로 부터 $dQ = 1.53 \text{ mm}^3$ 까지 촉매 전환 효율을 살펴보면 dQ 의 증가에 따라 NO_x 의 전환 효율이 높아져서 공연비는 점차 이상 공연비로 된 것을 알 수 있다.

Fig. 12 는 $O_{ref} = 0.38V$, 2000rpm에서 dQ 의 차이에 따르는 인젝터 제어 신호를 보인 것이다. $dQ = 0.048 \text{ mm}^3$ 일때는 인젝터 제어

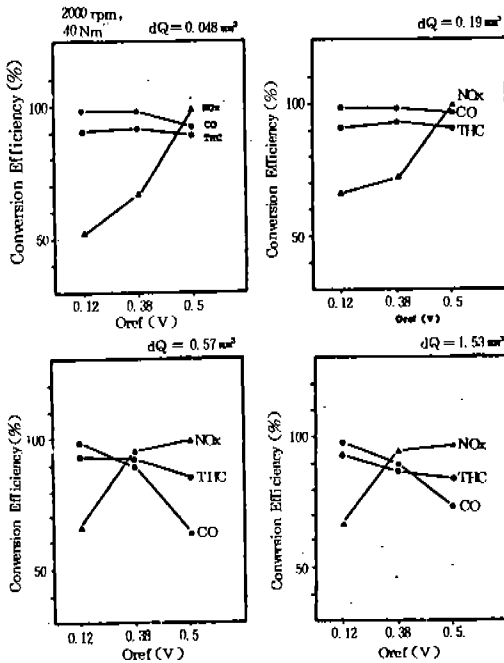


Fig. 11 Conversion Efficiency on O_{ref} and dQ

신호의 진폭이 적어서 매우 정밀하게 제어됨을 알 수 있으나 dQ 의 증가에 따라 O₂ 센서의 feedback이 빨라지고 인젝터의 진폭이 커진다. 이 결과로 부터 dQ 의 값이 적을 수록 정밀한 제어가 가능한 반면 응답 속도가 느리

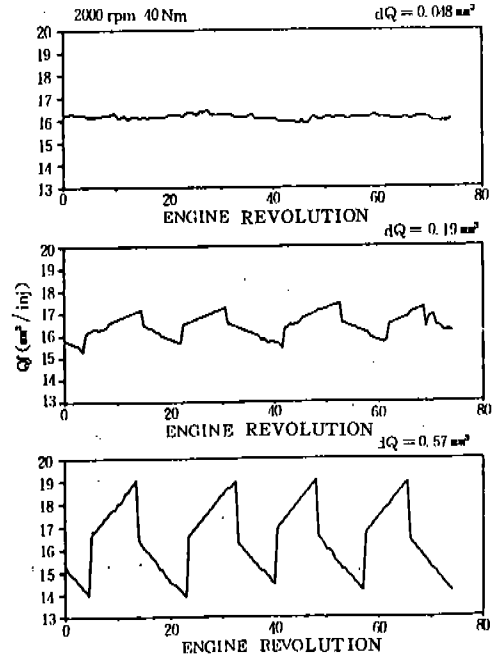


Fig. 12 Fuel Quantity on Various dQ

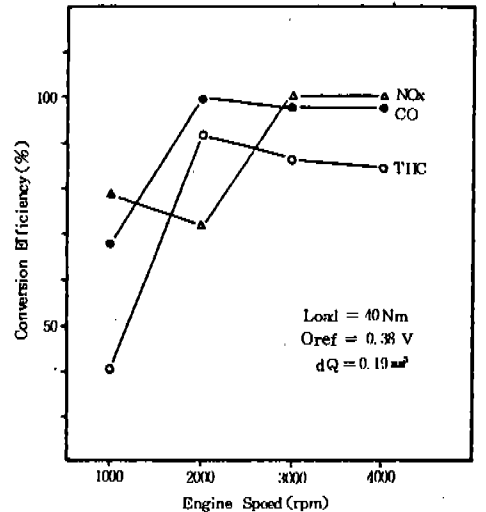


Fig. 13 Feedback Performance on Engine Speed

며 공연비가 희박하게 되고 dQ 가 크게 되면 반대의 경향을 보이는 것을 확인하였다.

Fig. 13에 엔진 부하 40Nm으로 운전할 때 $O_{ref} = 0.38V$ 으로 고정하고 $dQ = 0.19 \text{ mm}^2$ 경우에 엔진 회전 속도에 따른 feedback제어 성능을 나타냈으며, 엔진 회전 속도 1000rpm의 경우는 촉매 입구 가스 온도가 낮아서 촉매 성능이 저하된 상태이고 전반적인 feedback 제어 성능은 엔진 회전 속도에 거의 무관함을 알 수 있다.

Fig. 14는 엔진 회전속도 2000rpm으로 정속 운전하면서 $O_{ref} = 0.38V$ 로 하고 $dQ = 0.57 \text{ mm}^2$ 의 경우에 엔진 부하에 따른 feedback 제어 성능을 보인 것으로 부하 20Nm에서는 CO 76%, HC 85%, NOx 98% 감소로 약간 농후한 영역에서 제어되지만 부하 80Nm에서는 NOx 감소 48%로 감소율이 급격히 떨어지고 CO, HC는 90%이상 감소하여 상당히 희박하게 제어됨을 알 수 있으며 feedback 제어 성능이 엔진 부하에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있고 따라서 부하의 증가에 따라 dQ 를 조절하여야 함을 알 수 있다.

4-3. EGR 효과

Fig. 15에서는 2000rpm, 60Nm으로 운전할 때의 EGR이 진행되는 과정과 이때의 배기 가스 변화를 보인다. EGR이 있는 구간에서 NOx의 감소 효과가 확실하게 보이고 CO 및 THC가 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. CO의 경우는 EGR 밸브가 처음 열리는 순간 배출량이 증가하였으나 EGR이 계속 작동중인 때는 증가량이 크지 않다. 점화 시기는 EGR 율에 따라서 처음에는 직선적으로 변하다가 급격하게 진각되는 것을 볼 수 있다.

4-4. 모드 운전 특성

차량의 가속 성능은 자동차의 성능을 좌우하는 매우 중요한 특성으로서 정속시 feedback 제어와 함께 가장 중점적으로 검토하여야 할 운전 모드이다. Fig. 16은 분사량에

가감속시의 필요 분사량을 보정하는 방법으로 가감속 모드를 구성하여 엔진 동력계 상에서 10모드를 시뮬레이션하여 운전한 결과이다.

Feedback 모드는 $O_{ref} = 0.38V$, $dQ = 0.048 \text{ mm}^2$ 로 하였다. 엔진의 실험중 가속성에 큰 문제가 보이지 않았으며 배기 가스 배출은 가감속시에 많은 HC, CO와 NOx의 3성분이 3원 촉매후에 현저히 감소하는 것을 보여주고 있다.

5. 결 론

엔진 배기 공해 감소에 필수적인 3원촉매

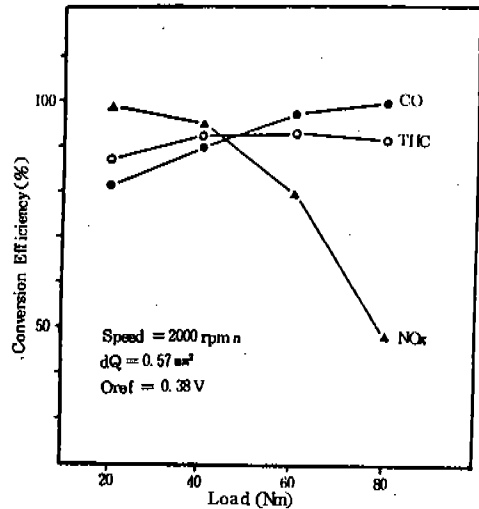


Fig. 14 Feedback Performance on Load

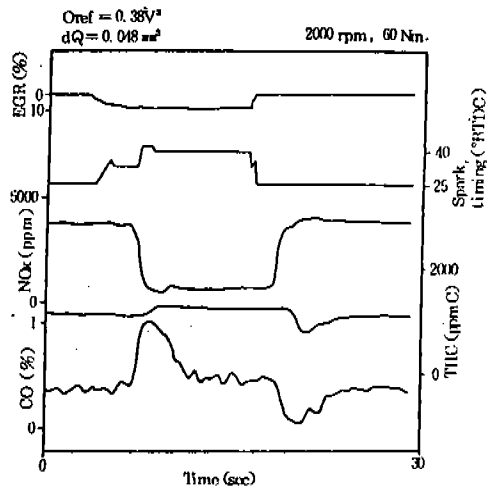


Fig. 15 Responses to EGR activation

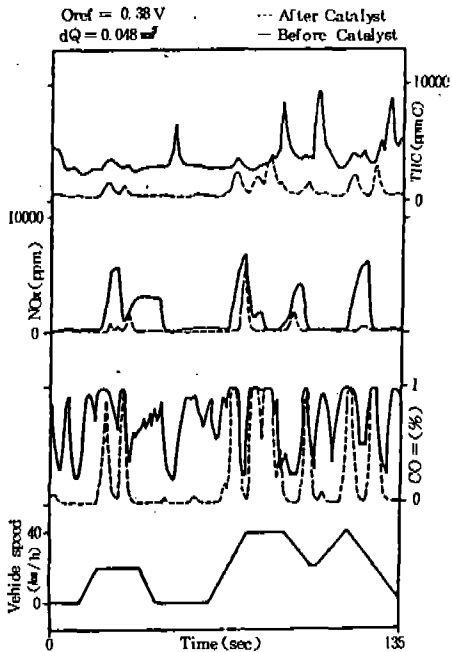


Fig. 16 Exhaust Emission from 10-mode test

의 효율적인 사용을 위하여 엔진을 정밀하게 제어하는 전자식 엔진 제어 기술을 개발하였다. 컴퓨터를 사용하는 제어 장치는 TBI 시스템의 연료 분사량과 점화시기, EGR 유량 및 공회전 속도를 제어할 수 있도록 하였고 엔진 운전 모드에 따라서 엔진을 정밀하게 제어하는 방법을 개발하였다. 엔진 동력계상에서 개발한 제어 장치를 사용하여 엔진 제어 기능과 촉매의 효율을 실험하였으며 실험 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 엔진 운전이 2000rpm, 30Nm 이하의 저속 저부하에서는 촉매의 표면 온도가 450 °C 이하이며 이때는 촉매의 기능이 제대로 발휘되지 못하고 특히 300 °C 이하에서는 배기 가스 감소 효과가 전혀 없다.

2. 정속 운전시의 O₂ 센서의 농후 희박을 판정하는 기준의 영향은 중요하며 최대 O₂ 센서의 출력의 절반 가량이 적당한 수준으로 판단된다.

3. Feedback 제어시 보정 연료량은 이상공 연비로의 제어에 중요하며 엔진 작동 조건에

따라 결정되어야 하며 연료량의 증가에 따라 증가되어야 한다.

4. 동력계상의 10 모드 주행시 가감속 운전이 원활하며 실차의 경우 상당한 배기 가스 감소가 예상된다.

후 기

본 연구는 과학 기술처의 86년도 기업주도 특정연구로 수행되었으며, 참여기업인 삼성 전자 종합 연구소의 윤흥중 과장과 공석찬, 김광석, 염시원 연구원의 실제 software 개발에 대한 노고에 감사드린다.

참 고 문 헌

1. W.H. Crouse, D.L. Anglin, *Automotive Emission Control*, McGraw-Hill, 1983.
2. J.J. Gumbleton, L.L. Bowler, "General Motors Computer Command Control System Development," SAE Paper No. 820901
3. R.A. Grimm, R.J. Bremer and S.P. Stonestreet, "GM Microcomputer Engine Control System," SAE Paper No.800053.
4. H. Manger, "Electronic Fuel Injection," SAE Paper No.820903.
5. H. Hoonhorst and J. Lemonnier, "Fenix: A New Control System for Fuel Injection and Ignition," SAE Paper No.840543.
6. F.C. Derato, *Automotive Ignition Systems Diagnosis and Repair*, McGraw-Hill, 1982.
7. J.W. Hoard, R.D. Berry, "New State-of-the-Art in Engine Controls," SAE Paper No.810061.
8. J.G. Rivard, "The Electronic Control Unit for Production Electronic Fuel Injection Systems," SAE Paper No.760242.
9. F.A. Russo and M.A. Pauwels, "EFI for the 80's - A Base Model Fuel Control System," SAE Paper No.830422.
10. W.R. McDonald, "Feedback Carburetor Control Electronic Design for Improved System Performance," SAE Paper No. 780654.