

국산 가솔린 엔진용 저배기공해 System에 관한 연구

Development of The Low Emission Gasoline Engine

성 나 원*, 정 용 일*, 박 신 현*, 우 세 종*
N.W.Sung, Y.I.Jeong, S.H.Park, S.J. Woo

ABSTRACT

In this study, low emission gasoline engine system is developed utilizing an EGR valve, 3 way catalytic converter and electronic fuel injection system. EGR was controlled by a needle valve and optimized at the engine conditions. Throttle body fuel injection system is used for fueling. When the engine was operated at constant speed by the electronic engine control system with the 3 way catalytic converter, the emissions were reduced by 50 to 90% in volume depending on the engine operating conditions.

1. 서 론

자동차 관련기술중 배기 공해가스 감소에 대한 기술발전을 살펴보면 1970년대 초기에는 연료공급 장치의 조절이나 점화시기의 변경등 비교적 간단한 방법으로 배기 공해가스 생성을 줄였으나 점차 배기 공해가스의 규제가 강화되면서 배기 후처리 방법이 고안되었고, 1970년대 후반부터 마이크로 프로세스의 비약적인 발전에 힘입어 연료의 정확한 공급과 최적 점화시기를 컴퓨터로 제어하는 전자식 엔진이 등장하였으며 지금은 엔진의 전자제어가 필수적인 기술로 사용되고 있다. 현재 사용중인 배기 공해가스 감소기술을 정리하면 다음과 같다.

• 연소 개선

연소시에 발생하는 배기공해 가스로는 미연소된 연료인 탄화수소(HC)와 불완전 연소에 의한 일산화 탄소(CO), 고온에서 발생하는 질소 산화물(NOx)이 있다. 이중 HC와CO의 감소를 위해서는 공기연료 혼합비를 희박하게 하여 완전 연소가 되도록 하는것이 효과적이며 NOx 감소를 위해서는 배기가스의 일부를 연소실에 재순환시켜 연소 최고온도를 낮추는 exhaust gas recirculation (EGR)을 사용하고 있다.

• 배기 후처리

연소를 최적화시키더라도 공해가스의 발생

* 정회원, 한국기계연구소 수송기계실

은 불가피하며 이를 더욱 줄이기 위해서 배기 공해가스를 촉매를 이용하여 재연소시키는 후처리방식이 사용되고 있다. 2원촉매는 CO, HC를 산화반응으로 감소시키는 것으로 NOx의 감소대책이 별도로 강구되어야 하기 때문에 산화반응과 환원반응을 동시에 수행하는 3원촉매가 주로 사용되고 있다. 3원촉매는 귀금속으로 만들어지기 때문에 자동차가격 면에서 상당한 비중을 차지하게 되며 따라서 촉매의 용량을 적게 하기 위하여 많은 노력이 기울어지고 있고 EGR이나 연소실개선 등으로 촉매 전에서 배기를 가능한 한 줄여서 촉매의 부하를 줄이고 촉매효율이 가장 좋은 영역인 이론공기연료비 영역으로 공기연료 혼합기를 공급하도록 하는 전자제어식 연료분사장치를 사용하고 있다.

• 전자식 엔진 제어장치

기존의 기계식 기화기는 엔진의 운전상태 변화에 따른 최적 연료량을 정확하게 공급하기에는 부적당하여 컴퓨터를 이용한 전자식 연료 분사장치를 개발하여 사용하고 있다. (1) (2) (3) 전자식 연료 분사장치 (Electronic Fuel Injection:EFI)는 엔진의 상태를 알려주는 각종 센서신호 (엔진회전수, 냉각수온도, 흡입 공기량, 흡기관 압력, throttle 밸브위치, 공기연료비 등)로 부터 엔진이 필요로 하는 연료량을 ROM에 저장되어 있는 데이터에서 읽거나 또는 계산하여 injector(연료분사밸브)에 명령을 보내며 injector는 주어진 시간만큼 정확하게 열려 요구되는 양을 공급한다. 전자식 엔진에서는 연료분사 이외에도 점화시기 조절장치와 EGR 밸브를 사용하여 EGR 양을 조절하고 있으며 센서와 actuator 개발과 함께 엔진뿐만 아니라 자동차 여러 부문에 계속해서 응용범위가 넓혀지고 있다. (4)

이상으로 살펴본 각종 기술들은 최근 10여 년에 걸쳐 급속히 발전하였으며 엔진성능의 향상과 더불어 현재 배기공해 가스는 1970년 대초의 1/10 수준으로 감소하였다. 그러나 자동차의 기술경쟁은 더욱 치열해지고 있어

보다 나은 장치의 개발이 강력히 요구되고 있으며, 이제 막 자동차 수출국으로 발돋움하고 있는 우리나라의 자동차 산업이 성공적인 해외진출을 성취하기 위해서는 선진국의 배기, 안전, 연료소비율 등 각종 기술적 규제장벽을 통과하지 않으면 안되며 이를 위해서는 먼저 선진국 수준의 자동차 개발기술 확립이 시급하다고 믿어진다.

본 연구에서는 이와같은 상황에 부응하여 지금까지 수행한 EGR 밸브 개발과 국산엔진의 전자화 연구를 바탕으로 국산엔진에 적합한 EGR 밸브와 3원촉매기, 전자제어식 연료 분사장치를 갖춘 국산엔진의 저배기공해 시스템을 개발하고자 하며 국내 엔진개발기술 향상과 고유모델 엔진개발에 기여하고자 한다.

2. 저배기 엔진시스템 개발을 위한 엔진 실험

저배기 엔진 시스템을 개발하기 위하여 먼저 대상 엔진의 기본성능 및 배기가스의 배출 상태등을 파악하여 개선 목표치를 설정하여야 한다. 실험에 사용한 엔진의 제원은 Table 1

Table 1. Engine specifications

Item	Specification
Engine type	4-stroke, overhead camshaft
Cylinder	Inline, 4-cylinder
Total displacement	1597 cc
Bore × Stroke	76.9 × 86 mm
Compression ratio	8.5 : 1
Spark timing	BTDC 5°, at 700 rpm
Carburetor	Stromberg type
Valve timing	Intake valve open 20° BTDC close 48° ABDC Exhaust valve open 51° BBDC close 17° ATDC

에 정리하였다. 실험은 1984 년도에 수행한 Exhaust Gas Recirculation 장치 개발연구⁽⁵⁾에서와 동일한 방법으로 진행하였으며 무연연료를 사용하였다.

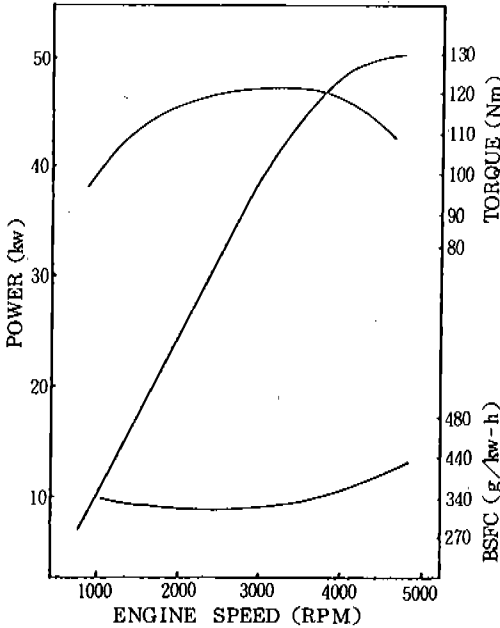


Fig.1 Engine performance

2-1 엔진 기본실험

Fig. 1은 전부하에서의 성능 곡선으로 최대 토크가 3000rpm에서 122Nm이며 최대 출력은 5000rpm에서 50kw이다. Fig. 2의 연료 소비율은 2000rpm, 95Nm에서 285g/kw-h로 가장 좋고 저부하로 갈수록 급격히 나빠지며, Fig. 3의 공기연료비 선도를 보면 토크 80 Nm 근처에서 1500-2000rpm과 2700-3200rpm 구간에서 17:1 이상의 상당히 희박한 공기연료비를 보이며 고부하에서는 급격히 증가하지만 중부하 이하에서는 전반적으로 희박함을 보여준다. Fig. 4에 엔진의 노킹 발생 영역을 표시했으며 110Nm 이상의 고부하에서 상당히 심하고 고속에서는 노킹영역이 넓게 나타난다. 그림에서 C는 아주 심한 상태를 표시하며 A는 경미한 초기상태이고 B는 중간상태로서 B와 C는 노킹대책이 필요하다.

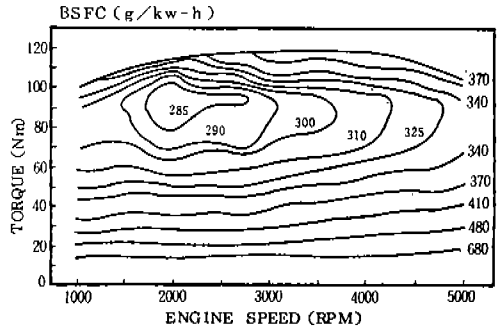


Fig.2 Fuel consumption rate

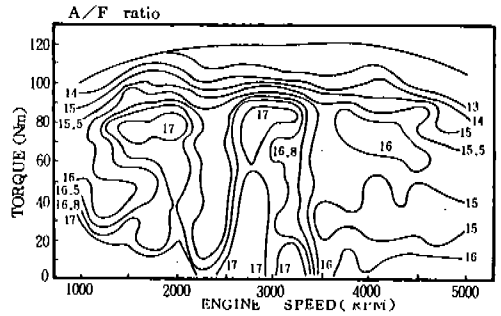


Fig.3 Air fuel ratio variation

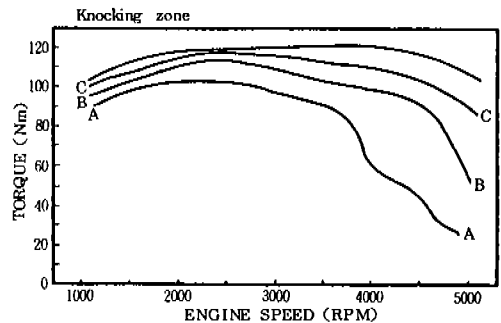


Fig.4 Knocking zone

2-2 EGR 을

엔진의 배기관과 흡기관을 내경 20 mm의 강관으로 연결하여 EGR line을 만들고 중간에 니플밸브를 설치하여 개폐도를 조절함으로써 EGR 율을 임의로 얻었으며 EGR에 의한 연소 지연 때문에 발생하는 출력저하를 막기 위하여 점화시기를 MBT로 하였다. 최적 EGR 율을 결정하기 위해서는 여러 인자들의 서로

상반되는 특질을 잘 조화하여야 하고 특히 EGR 때문에 불리해지는 조건을 최소로 하도록 제한기준을 정하여야 하며 본 연구에서는 다음의 3가지 기준으로 EGR 율을 결정하였다.

- 연료소비 증가율 2% 이내
- HC 증가율 50% 이내, 최대 허용농도 2000ppmc
- CO 증가율 50% 이내, 최대 허용농도 3%

Fig. 5는 위의 기준으로 최적 EGR 율을 엔진의 전 운전영역에 등곡선으로 나타낸 것으로 2000rpm부터 3000rpm까지의 중부하(60 Nm) 영역에서 최대 EGR 13%까지 허용되며 90Nm 이상의 고부하와 2000rpm 이하에서의 저부하 영역에서는 EGR을 시키지 않는다.

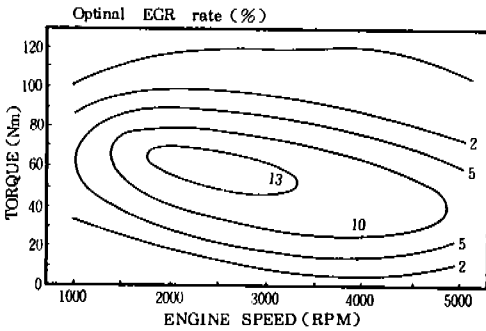


Fig.5 Optimal EGR rate

2-3 3원촉매 성능실험

실험용 3원촉매를 배기관 1.5m 뒤 소음기 전방에 설치하였으며 배기가스 채취부를 촉매기 전후에 연결하여 촉매에서 반응하기 전의 배기가스 농도와 반응후의 배기가스 농도를 비교함으로써 촉매기의 성능실험을 진행하였다.

• 무연연료

3원촉매를 사용하기 위해서는 연료의 옥탄가를 높이기 위하여 첨가제로 사용되는 산화납을 제거하여야 하고 동시에 옥탄가를 90 이상으로 유지하여야 한다. 무연 가솔린에는 옥탄가가 높은 방향족 (aromatic family) 과 올레핀계 (olefin) 의 혼합비율을 증가시키며 보통의 유연 가솔린에는 35-50% 정도의 방향족이 함유되어 있으나 무연연료에는 이보다 10% 정도 더 증량되어 있다. 방향족의 증가는 NOx 와 THC 의 배출농도를 증가시키고 광화학 반응성에 영향을 미치게 되어 배기대책에 상당한 요인으로 작용한다. 연료의 성분은 배기 공해가스의 생성 외에도 엔진 성능에 중요한 요소이므로 본 연구를 수행하기 위해서는 국내 정유회사에 실험용 무연연료를 제조 의뢰하여 사용하였으며 Table 2에 실험용 연료의 특성을 나타내었다. Fig. 6에서는 실험에 주로 사용한 sample 2번 연료와 현재 국

Table 2. Distillation properties of the fuel

항 목	RON	Distillation (°C)							E.P.	Ph (g/gal)
		O.P.	10%	30%	50%	70%	90%			
sample 1	90.2	32	48	69	97	147	167	210	0	
sample 2	92.4	28	44	66	96	138	161	200	0	
sample 3	92.0	27	45	70	103	134	157	192	0	
sample 4	91.6	28	49	71	102	129	157	198	0	
일본 시판 무연연료(*)	90.6 (90-91.5)		49.5 (41-56.9)		97.6 (84-110.5)		159.2 (149-176)			
국내유연연료	86.7		55		92		158			

(*) 일본 1978년도 시판용 (6)

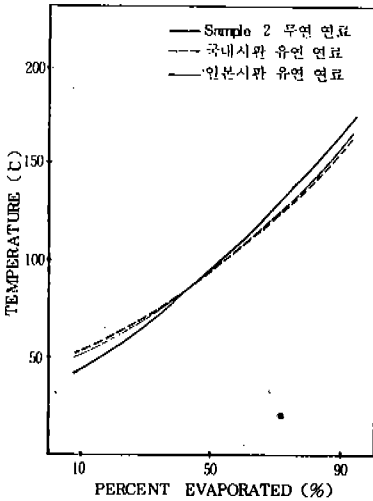


Fig.6 Distillation curve for sample fuel

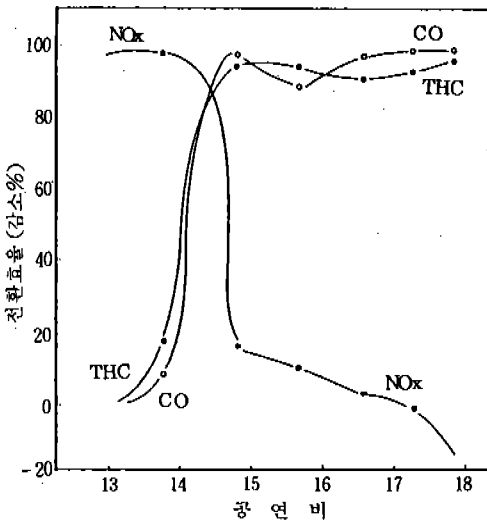


Fig.7 Efficiency of 3-way catalytic converter

내시판 유연연료, 일본 국내시판 무연연료의 증류곡선을 비교 표시하였다.

• 촉매성능 실험결과

엔진을 2000rpm, 40Nm로 운전하고 공기 연료비를 13에서 18로 변화시켜 가면서 3원촉매기의 전후에서 배기가스를 측정하여 촉매전환능력을 실험하였으며 Fig. 7에 촉매전

환효율을 나타낸다. 그림을 보면 공기연료비 14.3 근처에서 CO, THC, NOx의 3성분을 동시에 90% 감소시키고 있어 촉매의 최적 작동점임을 알 수 있다. CO와 THC는 이론공기 연료비보다 농후하면 전환 효율이 급격히 감소하며 NOx는 반대로 희박한 영역에서 감소한다. Fig. 8은 2000rpm, 40Nm에서의 3원 촉매기의 성능을 보여주고 있으며 농도 감소 결과를 보면 촉매 최적 작동점에서 CO는 75%, THC는 65%, NOx는 69% 감소하고 있다.

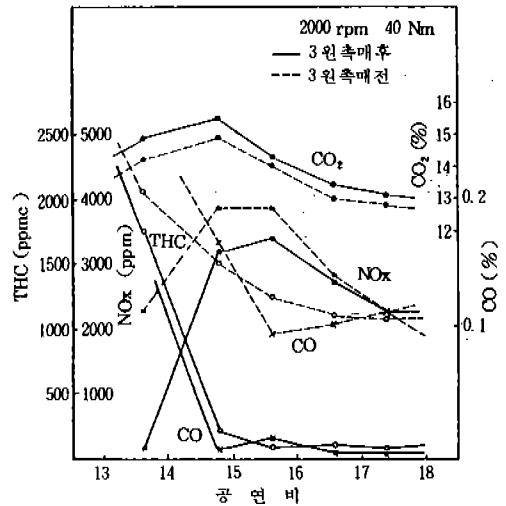


Fig.8 Exhaust gas concentrations after the catalytic converter

3. 저배기공해 엔진시스템의 구성

저배기공해 엔진시스템은 엔진상태를 엔진의 회전속도, 냉각수온도, 흡기압력, throttle 밸브위치로 판단하고 엔진에 필요한연료량을 흡기에 맞추어 정확히 injector 로써 공급한다. 이때 공기연료 혼합비의 농후 혹은 희박을 배기가스중의 산소농도로 판단하여 퍼스날 컴퓨터에서 필요한 연료분사량을 보정하여 최적공기연료비로 맞춘다. 3원촉매기는 연소후의 배기 공해가스를 최대 줄여 저배기공해 기준을 만족한다.

3-1 엔진구조 변경

Throttle body injector (TBI) 설치를 위하여 adapter 를 제작하였으며 실험용 EGR 밸브도 함께 장착하였다. EGR 밸브는 DC 모터와 butterfly 밸브, position 센서를 사용하여 제작하였으나 배기중의 carbon 퇴적으로 butterfly 밸브작동이 불량해져서 사용하기가 어려워 실험도중에 엔진 기본실험에 사용한 니들 밸브로 바꾸어 사용하여 유량을 조정하였다. 엔진 회전속도는 엔진 플라이휠의 TDC 에 부착한 optical 센서 신호로부터 rpm 을 계산하였다. 냉각수 온도측정을 위해 thermostat 를 흡기관의 냉각수 통로에 설치하였고 MAP 센서와 throttle position 센서는 TBI 구조에 맞게 적절히 연결하였다.

3-2 전자 제어장치

엔진의 전자 제어장치는 엔진의 요구조건을 분석하기 위한 센서신호의 입력부와 엔진을 구동하기 위한 actuator 출력부로 나눌수 있으며, 센서신호의 종류는 rpm, MAP, throttle position, 냉각수 온도, O₂ 센서신호 등이 있고 actuator 로는 injector 를 구동한다. 전자 제어장치의 중앙 처리부는 8 bit 의 범용 컴퓨터를 사용하였으며 엔진과 연결된 각종 센서는 16 Channel 의 analog to digital 변환기를 통하여 컴퓨터로 연결하였다. 신호의 변환시간은 single channel 만 사용할 경우 10 μsec 정도 소요되며 dual channel 이상을 사용할때 한 channel 당 약 20 μsec 가 소요된다. 또 digital to analog 변환기를 사용하여 actuator 구동 출력신호를 보내며 변환시간은 각 channel 마다 약 16 μsec 가 소요되고 16 channel 까지 쓸수 있으며 interface 용 입출력 신호전압은 ± 5V range 를 사용한다.

Fig. 9는 저배기공해 엔진의 구성도로서 MAP, throttle position, 냉각수온도, O₂ 센서신호는 직접 A/D converter 에 입력되며 엔진 회전속도는 엔진 플라이휠에 표시된 TDC

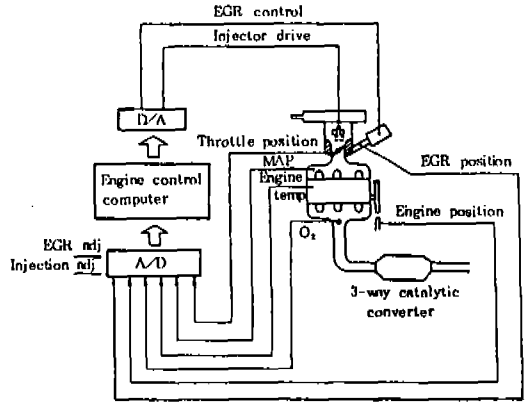


Fig.9 Schematic diagram of experimental setup

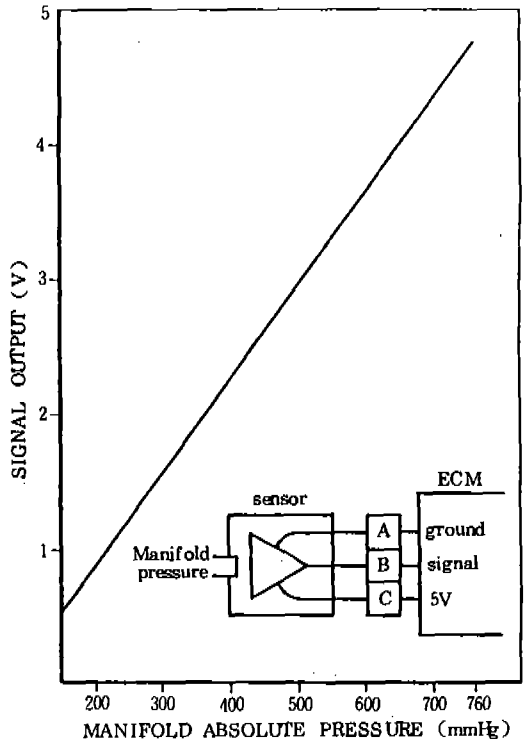


Fig.10 MAP sensor output

신호를 검출하여 그 주파수에 비례하는 전압 신호로 바꾸고 이를 컴퓨터가 읽도록 하였다. 컴퓨터가 결정하여 injector 를 구동하는 pulse 폭은 실제조건에서는 보정이 필요하므로 수동식으로 조정이 가능하도록 수동조절장치를 연결하여 동시에 사용하였다.

• MAP (Manifold Absolute Pressure) 측정

엔진의 흡기관 압력측정을 위하여 미국 GM 사의 Buick 자동차에서 사용하고 있는 1.8 L 엔진의 capacitance type MAP 센서를 이용하였다. 이 센서는 Fig. 10 과 같은 출력특성을 가지며 MAP 센서 신호를 A/D converter 의 입력 전압 범위인 $\pm 5V$ 로 맞추었다.

• 냉각수 온도 측정

냉각수온도 측정에 사용한 센서는 온도에 따라 저항특성이 변하는 thermister 를 이용한 것으로서 온도의 증가에 따른 저항치의 변화는 Fig. 11 과 같이 반비례하여 감소하며 센서의 저항변화를 전압으로 바꾸어 컴퓨터에 입력시켰다.

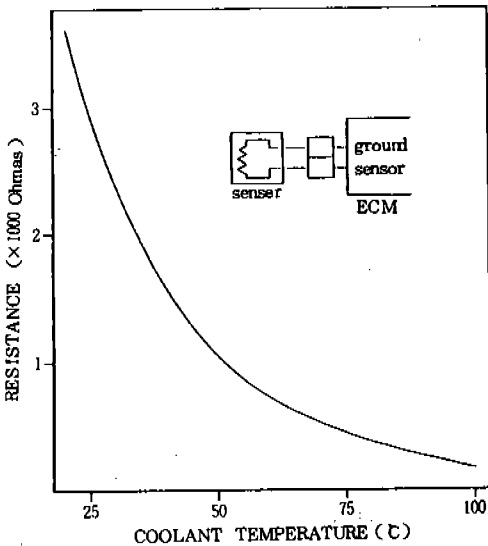


Fig.11 Coolant temperature sensor output

• Throttle Position 측정

Throttle 밸브의 개도를 측정하기 위하여 Buick 자동차에서 쓰이고 있는 throttle position sensor 를 사용하였다. Potentiometer 와 같은 원리로 되어 있어서 구조가 간단하며 엔진용으로 개발된 것이므로 엔진의 나

쁜 환경에서도 어려움없이 사용할수 있다. 사용한 센서의 throttle 개도에 따른 저항변화 특성을 Fig. 12에 표시했다.

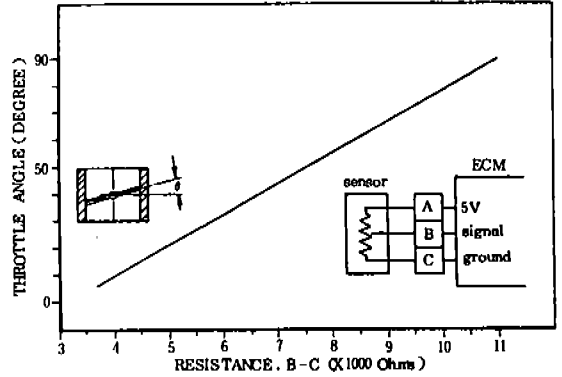


Fig.12 Throttle position sensor output

• 공기연료비 측정

공기연료비 측정에는 배기가스중의 산소농도를 분석하는 zirconia type 의 O₂ 센서를 사용하였으며 공기연료비에 대한 O₂ 센서의 출력특성은 Fig. 13 과 같이 이론공기연료비 근방에서 신호가 급격하게 변하므로 이 센서로는 공기연료비의 농후와 희박만을 판정할수 있다. (7) (8)

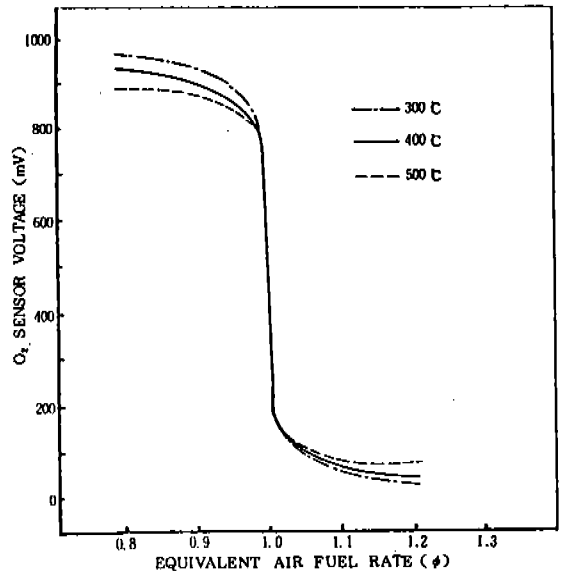


Fig.13 O₂ sensor output

• TDC 측정

Crank 의 TDC 를 읽기 위하여 photo transistor 와 발광 다이오드로 조합된 optical 센서를 엔진 플라이휠에 장치하였다. 발광 다이오드로부터 나온 빛이 플라이휠에서 반사되면 photo transistor 는 반사광으로 인하여 펄스를 만들어 내게 된다. 이를 위하여 플라이휠 원주는 광택이 없게하고 TDC 부분에는 반짝이는 은박지를 부착하였다. 착오동작을 방지하기 위하여 입력신호에 hysteresis 가 필요한 schmidt triggering inverter 를 연결하였다.

• 엔진 회전속도 측정

엔진의 회전속도를 측정하기 위해서는 엔진의 한 회전에 걸리는 시간을 측정하거나 단위 시간당 회전한 수를 세면 된다. 본 실험에서는 단위 시간당 TDC pulse 의 수를 읽는 방법을 사용하였으며 TDC pulse 의 주파수를 frequency to voltage converter 를 사용하여 전압으로 변환하고 이 전압을 A/D converter 로 입력하였다.

• Injector 구동

컴퓨터가 각종 센서를 통하여 받아들인 신호로 엔진의 운전상태에 적절한 연료량을 판단한 후 컴퓨터가 이 값을 digital to analog converter 를 통하여 $\pm 5V$ 범위내의 전압으로 출력하도록 하였으며 injector 구동회로에서 이 전압에 해당하는 펄스폭을 만들도록 하였다. 실제로 TDC 센서에서 연료분사를 하여야 할때를 알려 오면 컴퓨터로부터 하달되는 연료분사량 전압치에 상응하는 펄스폭을 만들고 injector solenoid 를 구동할수 있도록 전류증폭을 한 뒤 injector 로 연결되게 하였다. 전압에 비례하는 펄스폭은 Fig. 14 와 같은 톱니 (saw tooth) 모양의 기준 전압을 만들어서 연료분사량에 비례하여 계산된 전압에 해당하는 펄스폭을 결정하고 이 기간동안 injector 가 구동되도록 한다. 그림에서 V_1 전

압의 경우 PW_1 의 펄스폭이 결정된다. Fig. 15 는 연료분사량 전압치에 대한 실제 펄스폭을 보인 것으로 펄스폭 15msec 이하에서 미세조절을 할수 있도록 전압 분해능을 높였으며, Fig.16 은 injector 의 펄스폭에 대한 연료분사량을 보이고 있는데 펄스폭에 직선적으로 비례하지 않음을 알 수 있다.

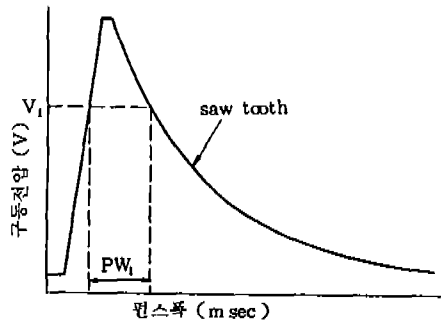


Fig. 14 A reference voltage for pulse width

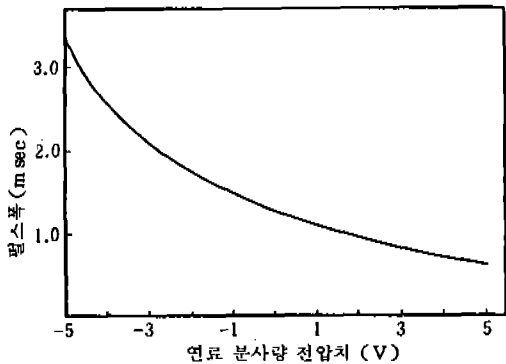


Fig. 15 Injection pulse width

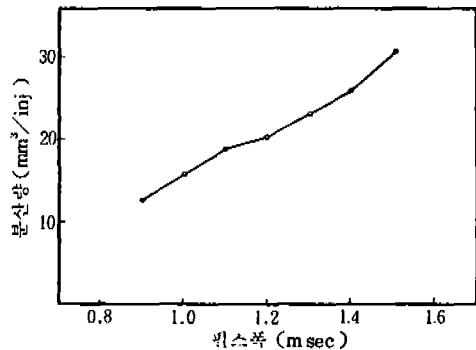


Fig. 16 Injected fuel volume

4. 저배기 공해엔진의 실험

4-1 엔진 실험방법

연료분사 방법은 엔진속도 변화에 대한 연료분사량 보정과 응답속도가 빠른 크랭크각도 180°마다 한번씩 분사하는 synchronized injection 방식을 채택하였다. 분사량의 결정은 기계식 기화기 사용시의 엔진 실험 결과들을 토대로 하여 연료유량을 정하고 여기에 맞는 펄스폭을 계산하여 컴퓨터에 기억시켰으며 엔진 실험으로 적정 연료량을 보정하여 데이터를 수정하였다. 실험의 효율을 위하여 수동조정 knob 을 설치하여 임의로 펄스폭을 변화시킬 수 있도록 적정연료량을 쉽게 구하였다. 컴퓨터에 기록되어 있는 연료 유량에 필요한 데이터는 0 부터 255 까지의 숫자로서 엔진 상태에 따라 연료유량이 결정되면 D/A converter를 통하여 ±5 V 범위의 전압으로 바꾸고 전압을 Fig. 16의 곡선을 이용한 시간동안 analog signal 로 injector 를 구동하도록 하였다.

프로그램의 제어는 interrupt service routine 을 이용하며 엔진이 크랭크각도 180° 회전할 때마다 TDC 펄스를 발생하도록 하여 interrupt 신호로 사용하였으며, CPU 에 interrupt 가 걸리면 프로그램이 한번 실행되고 다음 interrupt 를 대기하였다.

Fig. 17 은 본 연구에서 개발한 프로그램의 흐름도로서 엔진작동을 위한 운전모드로는 크랭킹모드, warming up 모드, 정속모드로 구분했으며 정속모드는 O₂ 센서 신호로서 연료분사량을 조정하는 feedback 콘트롤이고 나머지 모드는 테이블의 데이터 값을 이용하는 open loop 콘트롤이다. (9) (10) (11)

• 크랭킹 모드

엔진을 시동하면 최초의 TDC 신호로서 프로그램 상의 모든 변수들을 reset 하고 크랭킹모드를 시작하여 5회전까지를 크랭킹모드 기간으로 정하였으며 이 모드에서는 연료분사 시간을 최대폭인 3.4ms로 하였다.

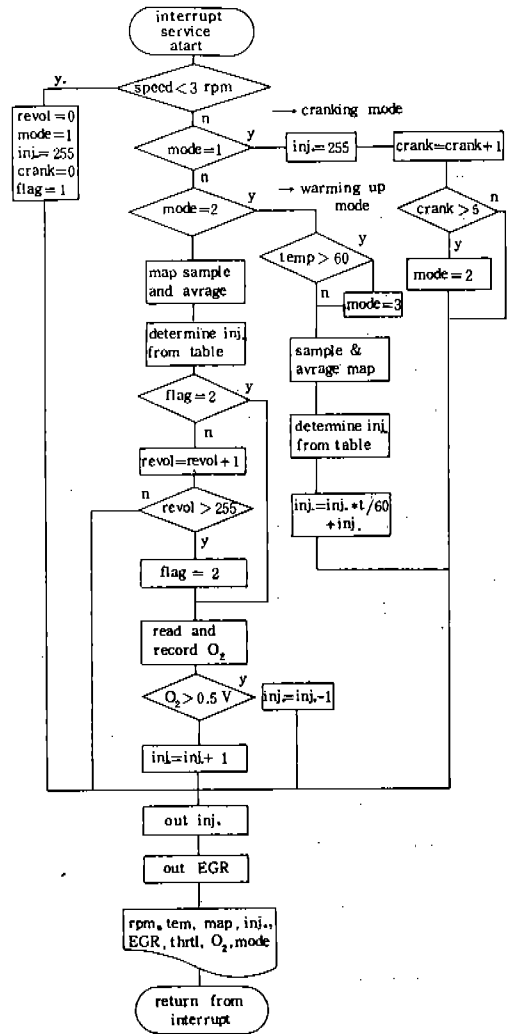


Fig. 17 Flow chart for fuel control

• Warming up 모드

크랭킹모드가 끝나고 엔진이 정상적으로 돌기 시작하여 냉각수 온도가 충분히 더워질 때까지는 warming up 모드로서 연료의 기화에 필요한 충분한 열량이 엔진으로부터 공급되지 못하므로 연료 분사량을 증가시켜 엔진의 안정된 운전을 도모한다. Warming up 모드에서는 엔진의 작동조건중 MAP 과 rpm에 따라 엔진의 기열도 즉 냉각수 온도에 따르는 보정계수를 곱하여 연료 분사량을 결정하며 연

료분사량은 엔진 냉각수 온도 10℃에서 최대 2배로부터 점진적으로 감소되어 냉각수 온도 60℃ 이상에서는 warming up 모드가 끝나고 정속모드로 넘어가게 된다.

• 정속모드

엔진이 충분히 더워지면 일정시간 경과후 정속모드를 시작한다. 정속모드에서는 3원촉매의 전환효율을 최대로 하기 위하여 항상 이론공기연료비로 연료를 공급하여야 하며 O₂ 센서신호로부터 공기연료비의 농후 희박을 판정하여 이론공기연료비로 feedback 콘트롤한다. Fig.13에서 보인대로 O₂ 센서의 신호가 500mV를 기준으로 500mV 이상은 +부호로, 500mV 미만은 -부호로 판단하여 엔진의 20회전 기간동안 부호의 변화가 있으면 feedback 보정을 하지않고, 부호의 변화가 없으면 feedback 보정을 하여 연료분사 데이터에 1bit 를 증감시키는 방법을 사용하였다. 1bit 의 보정에도 실제 공기연료비는 즉시 반대의 부호로 변화하였으며 엔진 4회전시에 한번씩의 보정으로 충분히 최적 공기연료비로의 제어를 할 수 있었다.

위의 모드 이외에도 가감속이나 고부하, idling 등의 제어를 위한 모드방식이 필요하나 본 연구에서는 위의 세 모드로 제한하여정속운전시 EGR과 3원촉매기의 배기 공해가스 감소능력을 실험하였다.

4-2 엔진실험 결과

기화기 대신 TBI 를 장착하고 각종 센서와 interface 회로, 컴퓨터를 연결하여 전자제어 시스템 엔진을 구성하였으나 시동부터가 용이하지 않았다. 엔진기본 실험자료와 경험을 바탕으로 여러번의 시행착오 끝에 엔진을 시동할 수 있었으며 크랭킹모드와 warming up 모드를 거쳐서 feedback 콘트롤된 정속모드까지 촉매 최적작동점을 운전하면서 배기 공해가스 감소결과를 실험 하였다.

엔진실험은 엔진속도 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm에서 각각 토크 40 Nm, 60Nm, 80

Nm 의 9점에서 촉매전후의 배기농도 차이와 연료소비율 등을 측정하였으며 EGR 은 수동 니들밸브를 사용하여 Table 3과 같이 공급하였다.

Table 3. Tested EGR ratio

	40 Nm	60 Nm	80 Nm
2000 rpm	10.0	13.0	8.0
2500 rpm	10.0	14.0	12.0
3000 rpm	10.0	13.0	7.0

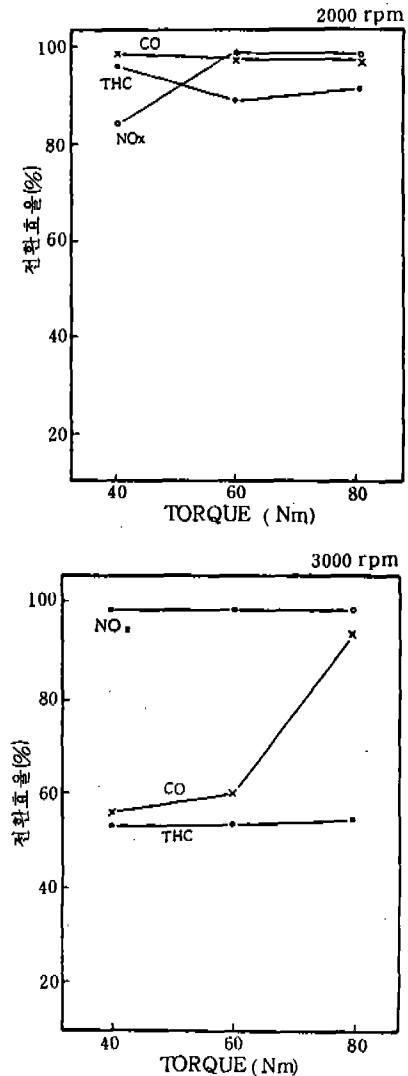


Fig.18 Efficiency of the catalytic converter

Fig. 18은 촉매의 전환효율 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 CO와 THC의 감소율은 저속에서는 90% 이상으로 높으나 고속으로 갈수록 낮아져 3000rpm 40Nm시 THC 50%, CO 55% 감소율을 보이며 이때의 농도는 CO 0.2%, THC 900rpm이다. 한편 NO_x는 200rpm 40Nm시 85% 감소율로 500ppm의 농도로 감소되고 나머지 영역에서는 98%이상의 아주 높은 감소율을 나타내며 10ppm이하의 농도로 줄어든다. 이와같이 속도나 부하에 따라 촉매 전환효율에 차이가 생기는 이유는 공기연료비 조절이 촉매 최적작동범위보다 넓어진 것으로 feedback 콘트롤 방식에 아직도 보완의 여지가 있음을 보여주고 있다. 또 실험에 사용한 injector의 분사량이 엔진에 비해 약간 커서 조절 정도가 나빠 정밀한 조절이 어려웠던 이유도 있었다. 그러나 본 실험 결과 기화기 정착 엔진에 비해 전자식 공기연료비 조절과 EGR, 3원 촉매기를 사용하여 CO, THC, NO_x를 90%이상 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다.

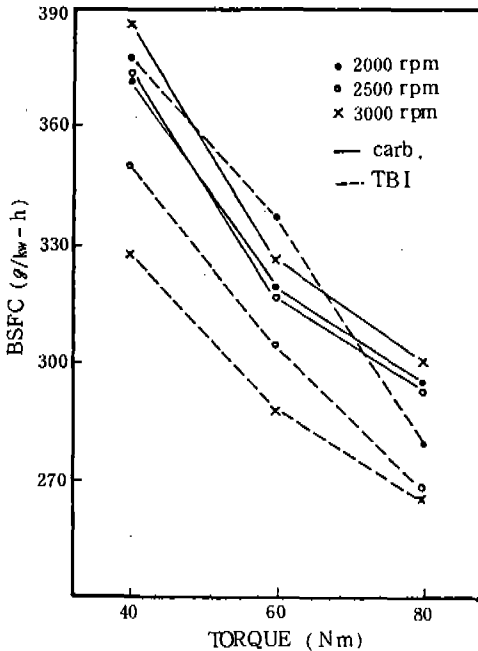


Fig.19 Fuel economy comparison between TBI and carburetor

Fig. 19는 기화기 정착시와 TBI 정착시의 연료소비율을 비교한 것으로 저속 중부하이하에서는 TBI의 연료소비가 약간 나빠며(2000rpm 60Nm에서 5% 증가) 2500rpm이상으로 속도가 높아지면 연료소비율이 개선되어 3000rpm 40Nm의 경우 14%나 좋아진 것을 확인하였고, 공기연료비 조절만으로도 엔진 전체적인 작동영역에서 연료소비를 줄일수 있는 것을 확인하였다.

5. 결 론

1987년부터 국내에서 강화되는 배기규제에 대처하기 위해서는 3원촉매와 EGR 밸브, 전자식 연료 분사장치를 갖춘 저배기공해 엔진의 개발이 필수적이다. 저배기공해 엔진을 개발하기 위해서 먼저 대상 엔진의 기본 성능을 분석하여 목표치를 설정하여야 하고, 시스템을 구성하는 센서 및 actuator의 특성과 엔진관계를 이해하여야 하며, 이를 연결할 수 있는 interface 회로를 제작하고 컴퓨터로서 전체 시스템을 제어하여야 한다.

엔진의 기본 성능 실험을 위하여 3원 촉매기를 장착하고 EGR율을 수동으로 조절하였으며 수동식의 공기연료비와 점화시기 조절을 통한 실험결과에서 다음의 목표치를 얻었다.

(1) 최적 EGR 율의 결정은 CO, THC와 연료소비의 회생을 허용할 수 있는 한계에서 정해지며 2000-3000rpm 중부하 영역에서 최대 EGR 13%까지 허용한다.

(2) 3원 촉매의 최적 작동 영역에서 CO, THC, NO_x의 3성분을 동시에 90%까지 감소시킨다.

저배기공해 엔진 시스템은 MAP, throttle position, rpm, 냉각수온도, O₂센서들을 연결하고 기화기 대신 TBI를 정착하여 컴퓨터로서 연결분사량을 제어하도록 구성하였으며 엔진 운전모드는 크랭킹모드, warming up 모드, 정속모드로 구분하였다. 3원촉매의 최적 작동점으로 공기연료비를 feedback 콘트롤하는 정속운전에서 저배기공해 엔진의 배기와

성능을 실험하였으며 이때의 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(3) CO, THC의 감소율은 고속영역에서 떨어지며 NO_x의 감소율은 저속저부하에서 낮아지지만 기화기 엔진에 비해 배기 공해가스를 90% 이상 감소시킬 수 있도록 촉매의 최적 작동영역으로 엔진을 제어하는 것이 가능하다.

(4) TBI 장착시 저속 저부하에서는 기화기에 비해 연료소비가 약간 나쁘지만 중속이상에서는 향상되어 엔진 전 작동 영역을 고려하면 연료소비를 감소시킬 수 있다.

이번 연구에서는 전자식 연료 분사장치를 사용하여 공기연료비를 3원촉매의 최적작동 영역으로 조절함으로써 촉매의 배기감소 효과를 최대한으로 얻는데에 초점을 두었으며 저배기공해 엔진 시스템을 완성하기 위해서는 점화시기와 EGR을 함께 제어하고 컴퓨터와 interface 회로를 electronic control module로 제작하여 실차에 장착할 수 있도록 하여야 한다. 본 연구가 저배기공해 엔진 시스템을 향한 시작이며 해결해야 할 문제들과 개발방향을 발견할 수 있었던 것에 큰 의의가 있으며, 또 이번 연구에서 얻은 경험과 문제해결 능력을 바탕으로 기업과 공동으로 국산자동차 엔진용 전자식 콘트롤 시스템 개발연구를 계속하게 되었고 여기에서 나머지 문제들을 해결하고자 한다.

후기 : 본 연구는 과학기술처에서 시행한 1985년도 특정연구 사업으로 수행되었으며, 이에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. J.G. Rivard, Closed-Loop Electronic Fuel Injection Control of the Internal Combustion Engine.
2. J.J. Gumbleton, L.L. Bowler, General Motors' Computer Command Control System Development, SAE Paper No. 820901.
3. Hansjorg Manger, Electronic Fuel Injection, SAE Paper No. 820903.
4. William G. Wolber, A Worldwide Overview of Automotive Engine Control Sensor Technology, SAE Paper No. 780207.
5. 성낙원, 정용일, 박신현, 우세종, Exhaust Gas Recirculation 장치 개발, 정부출연 연구보고서, 1985. 4.
6. 신편 자동차 공학편람 제 12편, 자동차 기술회(일본)
7. William J. Fleming, Zirconia Oxygen Sensor an Equivalent Circuit Model, SAE Paper No. 800020.
8. 김은성, 성낙원, 김동성, 이응석, 우세종, 국산엔진의 전자화, 정부출연 연구보고서, 1985. 4.
9. J.W. Hoard and R.D. Berry, New State-of-the-Art in Engine Controls, SAE Paper No. 810061.
10. R.A. Grimm, R.J. Bremer and S.P. Stonestreet, GM Micro-Computer Engine Control System, SAE Paper No. 800053.
11. J.B. Russell and R.G. Nedbal, Air-Fuel Ratio Control Using a Simple Micro-Processor, SAE Paper No. 770006.