

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2008.32.11.884

스로틀 바디가 가솔린 엔진의 출력 및 배기배출물 특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

조승완[†] · 이상석* · 진동규* · 심재준* · 김규보** · 전충환*** · 장영준***
(2008년 8월 4일 접수, 2008년 10월 17일 수정, 2008년 10월 18일 심사완료)

An Experimental Study on the Performance and Emission Characteristics of SI Engine Using New Type of Throttle Body

Seung Wan Cho, Sang Suk Lee, Dong Kyu Jin, Jae Joon Shim,
Gyu Bo Kim, Chung Hwan Jeon and Young June Chang

Key Words: Throttle Body(스로틀바디), Idle Speed Control(공전속도제어), ECU(전자제어유닛), CO(일산화탄소), Throttle Position Sensor(스로틀포지션센서), Injection Time(분사시간)

Abstract

Many researches have been carried out to reduce the emission levels and lower the fuel consumption in SI engines. Recently electronically controlled injection system is widely adapted to a passenger car to achieve these goals. Throttle body is also an important factor which influences on the emissions and engine power. In this study we redesigned a throttle body and conducted an experimental study to see the effects on engine performance and emission characteristics. We could find that idle speed control(ISC) showed stable operation characteristics as the cooling water temperature varied. And CO and HC emissions also satisfied the regulation limit.

기호설명

- λ : 공기과잉률
- α : 스로틀포지션센서 변형각

1. 서론

최근 환경오염이 심각해지면서 전 세계적으로 환경에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 전체 배기배출물에 대한 자동차에서 배출되는 유해 배기배출물들이 높은 비중을 차지하고 있어 환경

및 에너지 문제와 직결되어 있는 엔진에 대한 관심이 날로 증대되고 있다.

이러한 현실에서 환경과 에너지 두 가지 문제를 동시에 해결하고자 서구 유럽 및 선진국에서는 앞 다투어 친환경, 저공해 엔진 개발에 박차를 가하고 있다. 따라서 이러한 지구환경 문제와 엔진의 출력 향상, 저연비 등의 요구조건을 만족하기 위해 자동차에서는 전자제어 연료분사 시스템이 사용되고 있다. 또한 운전 성능에 맞는 엔진 동력 발생이 요구된다. 자동차에서는 운전자의 요구 성능에 맞는 동력발생을 위하여 스로틀(Throttle)각도에 근거를 둔 부하 신호와 가속(Accelerator) 페달의 위치 측정으로서 포텐시오펜터(Potentiometer)를 이용한 스로틀포지션센서(TPS)를 사용하는 스로틀 바디를 사용하고 있다. 스로틀 포지션 센서는 운전자의 주행의지가 내부 입력 회로를 통해 전자제어 유닛(ECU)에 입력되는 센서로서 이 신호를 기준으로 엔진의 가감속 판

[†] 책임저자, 회원, 부산정보대학 자동차기계계열
E-mail : marineboy@bit.ac.kr

TEL : (051)330-7345 FAX : (051)330-7221

* 부산정보대학 자동차기계계열

** 부산대학교 화력발전에너지분석기술센터

*** 회원, 부산대학교 기계공학부

정 및 급가속 판정, 엔진의 부하상태 판정, 공회전 위치 검출을 하여 엔진의 기본 분사량을 결정하게 된다. 즉, 엔진의 운전 상태를 엔진 회전수와 더불어 기본 분사량을 연산하고 점화시기를 결정해 주는 중요한 센서로서 부하범위(공회전, 전 부하 또는 부분부하)의 인식뿐만 아니라 에어 플로센서(AFS) 고장 시 백업(Backup) 신호로서의 정보도 제공하는 기능을 가지고 있다. 또한 스로틀 포지션 센서의 변형각 α 는 흡입공기량의 결정에 사용되고, 안정된 운전 상태와 저 배기 배출물을 유지하게 한다.^(1~3)

따라서 이러한 엔진의 성능뿐만 아니라 유해가스 배출에 큰 영향을 미치는 스로틀 바디에 대한 연구가 국, 내외적으로 많이 수행 되고 있다.^(4~6) 특히 Kim^(5,7,8) 등은 스로틀 밸브의 개도 변화에 따른 밸브 하류에서의 평균속도, 난류강도, 난류응력 등의 유동특성과 스로틀 바디의 표면압력을 측정하여 밸브 개도 변화로 인한 압력 손실에 대해 연구 하였다.

본 연구에서는 새롭게 설계된 스로틀바디의 성능평가를 위해 엔진 시동 직 후 부터 엔진 안정화 과정중의 공전속도제어(ISC)장치의 스텝수(Step number), 분사시간(Injection time), 흡기다기관 절대압력(Manifold absolute pressure), 배기배출물(CO, HC, λ) 등을 측정하여 엔진 상태를 상세하게 분석하였다.

이러한 시험결과와 분석을 통해, 새롭게 설계

고안한 스로틀 바디의 성능을 확인하고, 필드(Field) 적용 가능여부를 확인하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 크게 엔진과 엔진 출력을 측정하기 위한 동력계, 동력계 컨트롤러, 데이터 취득 장치, 연료소비량 측정기, 배기가스 분석기 그리고 각종 센서 및 엔진 스로틀 제어 시스템 등으로 구성되어 있다. 엔진의 회전속도와 축 토크는 크랭크축에 와전류식(Eddy Current type) 동력계를 직결하여 제어, 측정하였으며, 피에조 타입의 압력센서를 이용하여 연소실내 압력을 계측하였다. 냉각수 온도 입, 출구 센서, 흡입 공기 온도 센서, 흡입 공기량 센서, 엔진오일 온도센서, 배기가스 온도센서, 흡기관 절대 압력 센서가 부착되어 엔진의 운전 상태를 파악할 수 있게 되어있다. 컴퓨터(PC)를 이용한 모니터링과 동시에 배기배출물 특성을 파악하였다.

2.2 엔진 및 엔진 동력계

Table 1은 본 연구에 사용된 엔진의 제원이다. 엔진의 출력은 130PS용 와전류식 전기동력계를 사용하여 엔진 회전수(RPM), 토크(Torque) 변화에 따른 엔진의 연료소비율, 흡입공기량 등의 데이터를 취득하여 측정하였다.

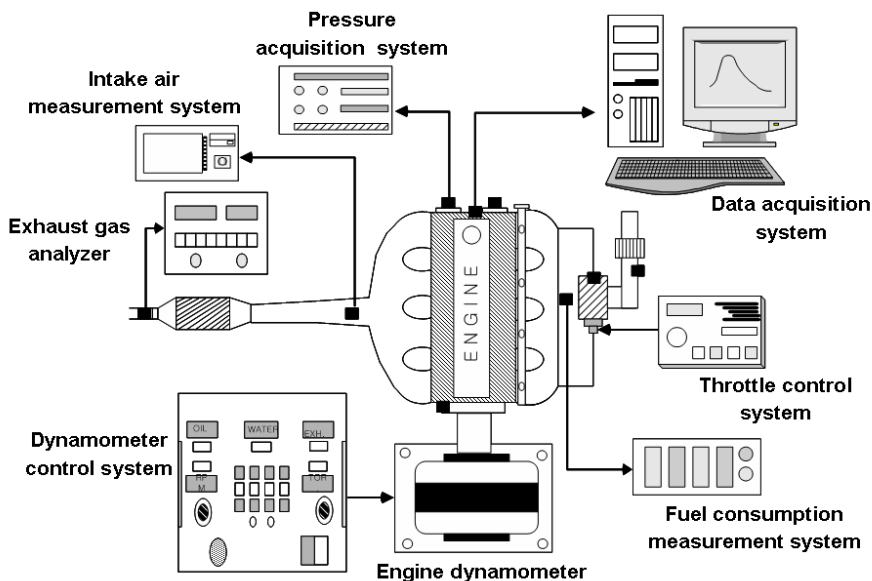


Fig. 1 Schematic of the experimental setup

실험조건은 Table 2에 나타내었다.

2.3 압력센서

연소해석을 위한 기본 데이터로서 연소실내의 압력을 이용하였고, 이를 측정하기 위하여 피에조 타입(Piezo type)의 압력센서를 1번 실린더에 장착하였다. 피에조 압력센서는 다른 종류의 압력센서에 비해 반응이 매우 빠르고, 동적인 압력에 대한 특성이 우수하기 때문에 높은 주파수 응답이 요구되는 경우에 많이 사용된다. 그리고 출력의 선형성과 안정성에 있어서도 우수한 장점을 가지고 있다.

본 연구에 사용된 압력 취득 장치는 키슬러(KISTLER)사의 Type 5011이다. 측정된 압력은 증폭기를 거쳐 증폭되고, 인터페이스를 통하여 컴퓨터에 저장된다. 이 데이터는 연소해석 프로그램을 통하여 연소최고압력 등으로 표현하였다.

2.4 센서출력 신호처리 및 엔진 성능평가

센서 정보들 중 스위치(Switch)를 통한 미소신호는 증폭기를 거쳐 데이터 취득을하였고, 5V정도의 신호는 인터페이스(Interface)를 거쳐 바로

컴퓨터에 저장하고, 센서 파형으로 표현하여 센서의 정보로 이용하였다.

또한, 플루케(Fluke, 100Mhz, 4ch)를 이용하여 냉각수 온도 변화에 따른 각 센서의 출력 특성 즉, 스로틀 바디에 관련된 출력, 공전속도제어장치의 스텝 수(Step number), 엔진 회전수, 냉각수 온도, 스로틀 바디의 몸체온도, 인젝터 분사시간 등을 취득하였으며, 통신 포트(Port)를 사용하여 컴퓨터(PC)에 데이터 전송, 분석하였다.

이상과 같이 엔진으로부터의 출력 신호와 연소실 내의 압력신호, 엔진에 장착된 각종 센서 신호를 통하여 새롭게 설계된 스로틀 바디를 장착한 엔진의 성능평가를 수행 하였다.

2.5 배출가스 분석 장치 및 측정

배출가스 측정은 보쉬(Bosch)사의 자동차 전용 배기가스 분석기인 BEA 150를 이용하여 측정 하였다. 이는 엔진 회전수 측정과 배기가스 분석을 동시에 할 수 있으며, 실시간 자동적으로 저장 및 회전수 및 배기가스 수치를 화면에 디스플레이가 가능하다. 배기가스 분석기의 안정화 되는 시간을 충분히 준 다음 냉각수온도 변화에 따른 엔진회전수, 엔진오일온도(°C), CO(%vol), Lambda, HC(vol), CO₂(%vol), O₂(%vol), 등을 측정, 분석하였다.

2.6 새롭게 설계된 스로틀바디

Fig. 2는 본 연구에서 새롭게 설계된 스로틀 바디의 도면을 나타내고 있다.

2.7 엔진 성능 평가

새롭게 설계된 스로틀 바디를 장착한 엔진의 성능평가를 위해 엔진 시동 후 냉각수 온도의 변화에 따른 엔진 회전수 변화, 공전속도조절장치의 스텝 수 변화, 인젝터의 분사시간 변화 그리고 메니폴더의 압력변화 등의 데이터를 취득하여 분석을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직렬 3기통 오버헤드 캠 샤프트(OHC) 엔진에 새로 설계된 스로틀 바디를 장착하여 엔진 시동 후 냉각수 온도의 변화에 따른 인젝터의 분사시간 변화 등의 데이터를 취득하여 성능평가를 수

Table 1 Engine Specification

Item	Contents
Type	OHC In-line 3 cyliners
Displacement(cc)	795.9cc
Compression ratio	9.4:1

Table 2 Experimental conditions

Case	Condition
With cooling water temperature	- Engine RPM variation - ISC variation - Injection time variation - Manifold pressure variation
Test mode	Md-const. Mode
Total acquisition cycle	300
Test range of cooling water temp.	0°C~100°C
NOx reduction method	CO, CO ₂ , O ₂ , HC, λ, NOx

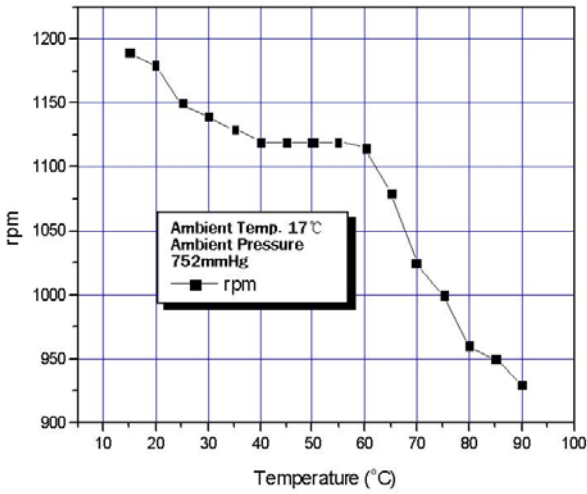


Fig. 3 Engine rpm variation with Cooling water temperature

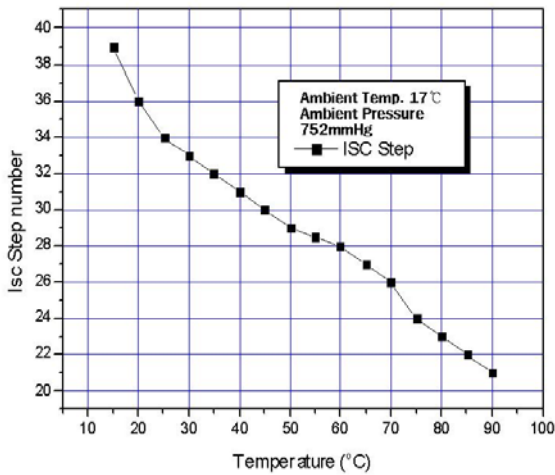


Fig. 4 Variation of idle speed control with Cooling water temperature

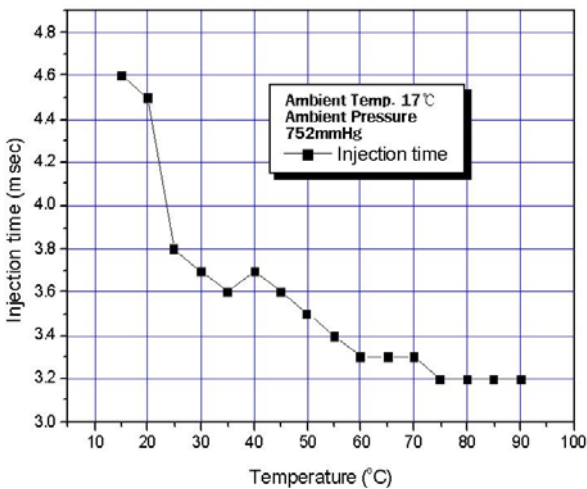


Fig. 5 Injection time with Cooling water temperature at ordinary conditions

회전속도로부터 산출되는 목표 공연비를 실현하는 분사시간이며, 보정 계수는 엔진의 각 센서로부터 입력된 신호에 의해 산출되는 것으로 냉간시동, 급가속 등의 엔진 가동상태에 따라 최적의 혼합기를 공급하기 위한 것이다.

따라서 냉각수 온도에 따른 보정계수의 변화는 엔진 성능에 미치는 영향이 크다. 특히 연료 분사에 있어서 온도의 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

겨울철 낮은 온도에서 시동 시 연료의 무화특성이 좋지 못해 흡입밸브, 흡입다기관 벽, 실린더 벽 등에 부착이 심하다. 이러한 연료들은 연소에 참여하지 못하고 미연소 연료로 배출가스로 배출되므로 배출가스 정화에 나쁜 영향을 미치며, 또한 목표 공연비보다 희박해진다.

Fig. 5는 냉각수 온도 변화에 따른 분사시간의 변화를 나타내고 있다.

분사시간의 경우 시동 증량 및 시동 후 증량 제어를 한다. 엔진 제어 알고리즘에 따라 냉각수 온도가 상승함에 따라 일정한 비율로 감소하다가 엔진 정상 상태에 상당하는 냉각수 온도 80°C부터는 안정화된다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 냉각수 온도 80°C 부근에서부터 인젝터의 분사시간이 3.2ms로 안정화됨을 알 수 있다. 만약 운전자가 출력을 요구하든지(가속페달 작동) 그 외의 동력(Air conditioner, Power steering, Auto transmission 등의 작동)이 요구되면 분사시간을 늘려 분사량을 증가시키고 엔진의 출력증가를 돕는다.

3.4 냉각수온도 변화에 따른 메니폴더 압력 변화

Fig. 6은 동일 조건하에서의 냉각수 온도 변화에 따른 스로틀 밸브 후단부의 절대압력을 나타내고 있다. 엔진이 아이들 안정화됨에 따라 공전 속도 제어 밸브의 단힘에 의한, 즉 스텝 수의 감소에 의한 스로틀 후단부 진공도의 증가, 메니폴더(Manifold) 압력의 변화를 나타내는 것이라 할 수 있다.

냉각수 온도의 증가에 따라 안정화되어 감을 보이고, 90°C 부근에서는 공전 상태에서 필요로 하는 출력 값을 나타내고 있다.

따라서 구조변경을 가한 스로틀 바디를 장착한 엔진에서의 공전속도 제어 밸브의 작동이나, 스로

들 후단부 진공도의 변화, 분사시간의 변화가 정상적인 엔진 조건과 일치하며 안정화되는 시간 변화 또한 적절한 경향을 보이고 있음을 확인 할 수 있다.

3.5 냉각수 온도 변화에 따른 CO 배출특성

Fig. 7은 냉각수 온도의 변화에 따른 CO의 배출 특성을 나타내고 있다. 엔진 시동 후 냉각수 온도 35°C까지는 초기 시동 후의 분사량의 제어에 의한 감소 현상을 보이고, 이후에는 공전속도 제어 밸브의 닫힘에 의해 CO의 배출량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 값은 촉매기를 통과하지 않는 값이지만 그 값이 환경 기준치인 1.2% 값에 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

이는 기존의 스로틀 바디의 경우와 유사한 경향을 보이고 있어 새롭게 설계된 스로틀 바디에 의한 배출가스의 안정화 과정이 냉각수 온도 변화에 따라 적절한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 냉각수 온도 변화에 따른 HC의 배출 특성을 나타낸다. 냉각수 온도가 낮은 초기에는 연소실 벽면의 온도가 낮은 이유로 소염작용이 발생하는 등 연소조건에는 부적절하기에 그 값이 높게 나타난다. 이후 70°C에서 가장 낮은 값을 보이고 80°C에서 90°C까지 증가하는 것을 알 수 있다. 이 값은 배출가스 규제치인 220ppm을 초과하지만 촉매기를 거치지 않은 상태임을 고려할 때 촉매기를 장착한다면 환경 규제치를 만족시킬 것으로 판단된다.

Fig. 9는 냉각수 온도의 변화에 따른 공기과잉율(λ)의 특성을 나타내고 있다. 시동 후 초기값은 Fast Idle을 위한 공기량의 증가로 공기과잉율의 기준값인 1.0 보다 크게 나타나고 있으며, 이후 공전속도제어 밸브의 닫힘에 의하여 80°C에서는 1.06으로 안정화되고 90°C까지 거의 이론 공기과잉율에 가까운 일정한 값을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 새롭게 설계된 스로틀바디를 장착한 엔진의 성능 및 배기배출물 특성 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 냉각수 온도의 변화에 따라서 엔진 공회전

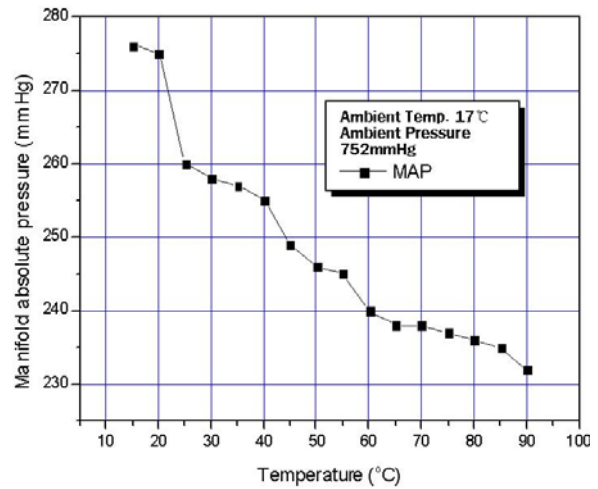


Fig. 6 Manifold absolute pressure after starting with variation of Cooling water temperature

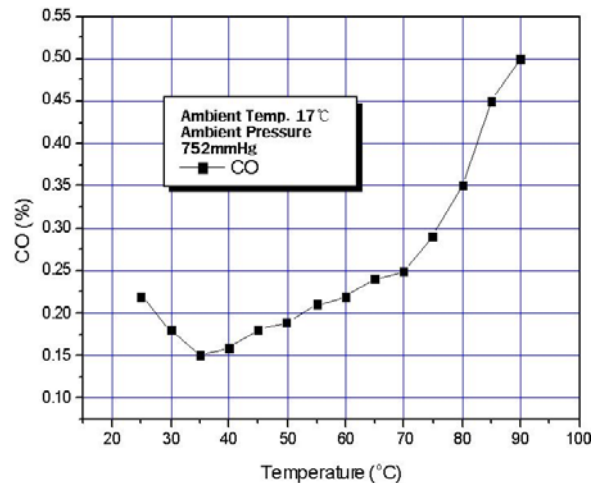


Fig. 7 Variation of CO with Cooling water temperature

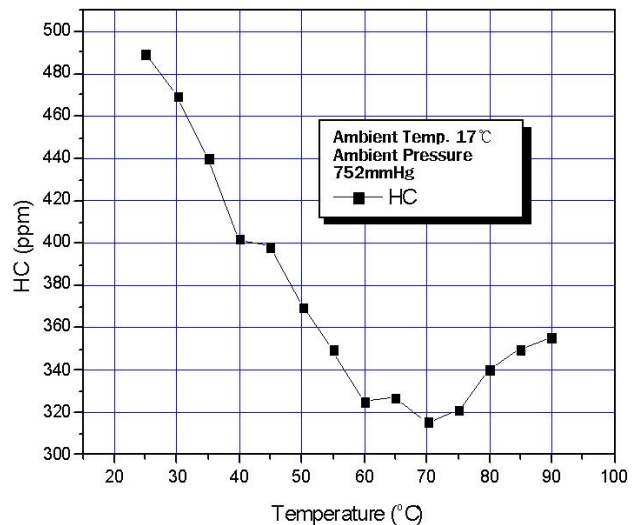


Fig. 8 Variation of HC with Cooling water temperature

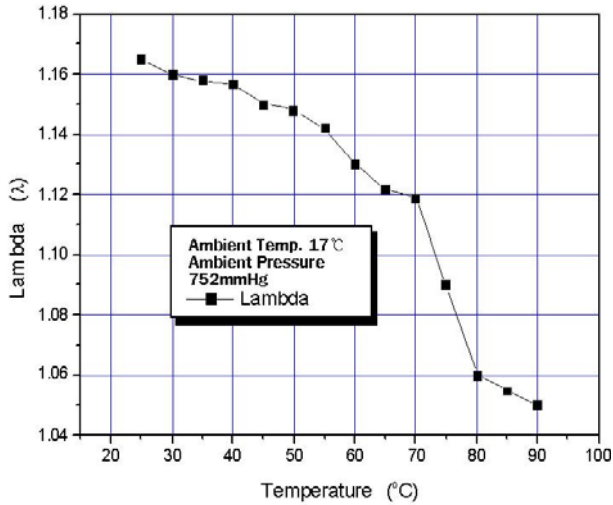


Fig. 9 Variation of lambda with Cooling water temperature

수는 시동 직 후에는 일반적인 규정 범위까지 상승하다가 냉각수 온도 80°C부터 공전 회전수 범위 내로 안정화되어 공전 속도를 유지하는 것으로 나타났으며, 공전속도조절장치 또한 안정적인 특성을 나타내며, 규정된 공전속도 및 스텝수를 보였다.

(2) 냉각수 온도의 변화에 따른 스로틀 후단부의 진공도 및 분사시간의 변화는 정상적인 엔진 조건과 일치하며, 안정화되는 시간 변화 또한 적절한 경향을 보이고 있음을 확인 할 수 있었다.

(3) 배출가스의 시험결과 CO, HC의 경우 모두 환경 규제치를 만족하는 결과를 보였다.

(4) 시동 직 후 Fast Idle을 위한 흡입공기량 증가에 따른 공기과잉율 상승과 냉각수온도 상승에 따른 공기과잉율의 안정화는 공전 시에도 엔진의 부조 없이 작동되고 있음을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 1990, "Car Electronic control Technical: Korea Automobile Manufacturers Association Technical Seminar 3," Korea Automobile Manufacturers Association.
- (2) 1990, "Low Emission Vehicle Essential Dictionary," Korea Automobile Manufacturers Association pp. 130~131.
- (3) Chigier. N., 1991, "Combustion Measurements," Hemisphere Publishing.
- (4) Scattolini. R., Siviero. C., Mazzucco. M., Ricci. S., Poggio. L. and Rossi. C., 1997, "Modeling and Identification of an Electromechanical Internal Combustion Engine Throttle Body," *Control Eng. Practice*, Vol. 5, No. 9, pp. 1253~1259.
- (5) Kim. S. C., Kim. C., Choi. J. G., and Lee. S. J., 2001, "An Experimental Study on a Flow Field Characteristics in a Throttle Valve of SI Engine," *KSME B*, Vol. 25, No. 7, pp. 967~974.
- (6) Sung. N. W., Jeong. Y. I., Park. S. H., and Woo. S. J., 1986, "Development of the Low Emission Gasoline Engine," *KSAE*, Vol. 8, No. 3, pp. 16~27.
- (7) Kim. S. C., Kim. C., 1999, "Flow Characteristics Inside a Throttle Valve Used to Control the Intake Air Flow Rate in Engines," *KSAE*, Vol. 7, No. 8, pp. 91~98.
- (8) Kim. S. C., Kim. C., Choi. J. G., Wee. H. B., 2002, "Flow Measurements at the Exit of a Throttle Valve in Gasoline Engines," *KSAE*, Vol. 10, No. 2, pp. 1~8.