

LPG차량 흡기계통 Cleaning이 엔진 및 배출가스에 미치는 영향

홍성인¹, 이승철^{2*}

¹서영대학교 자동차학과, ²조선이공대학교 선박해양기계과

The Effect of Cleaning the Intake System of LPG Vehicles on Engine and Emissions

Sung-In Hong¹ and Seung-Chul Lee^{2*}

¹Dept. of Automotive Engineering, Seoyeong University

²Dept. of Naval Architecture & Mechanics, Chosun College of Science & Technology

요 약 LPG차량의 공기 흡입 시스템에서 먼지 입자의 대부분은 공기 청정기를 통해 제거되지만, 아주 작은 입자는 제거되지 않고 흡기계통에 축적되게 된다. 이 축적된 카본은 공회전 속도 제어와 센서신호 그리고 배출가스에 영향을 주게 된다. 또한 엔진 채터링 현상이나 자동변속기의 변속시점 불량등을 야기시킨다. 이 연구는 세척액을 사용하여 흡기계통을 세척하는 것에 관한 것이다. 워밍업된 차량에서 흡입호스를 제거하고 세척액을 사용하여 가속시에 세척액을 흡입장치에 분사시켜 흡기계통을 세척하는 것이다. 세척액을 사용하여 스로틀 바디, ISC, 서지탱크, 흡입매니폴드, 흡기밸브, 연소실까지 세척함으로써 다음과 같은 실험결과를 얻을 수 있다. 스로틀 밸브가 정확하게 작동되어 TPS의 센서 신호 전압이 개선되었으며, 차량이 정지하는 경우 ISC 시스템은 공회전 속도 제어를 원활하게 작동하였다. 또한 일산화탄소는 약 0.15 %, 탄화수소는 약 20~100PPM으로 각각 감소되어 배기가스가 현저하게 개선되었다.

Abstract At the LPG vehicle air intake system, most of dust particles in the air cleaner are removed. However very small particles are not removed and accumulated. The accumulation of carbon in air intake system is going to affect the idle speed control and sensor signal. It also causes engine chattering and transmission troubles of automatic transmission. This is study about cleaning up intake system using cleaning chemical. We can clean up the intake system by spraying cleaning liquid onto intake device when the engine is idling after intake hose is removed from warmed up vehicle. We can obtain the following experimental results by cleaning up ISC, surge tank, intake manifold, intake valves and combustion chamber. According to this results, the stroll valve works correctly and power rate of engine is up to the standard, it is smoothly to control the idling speed when a vehicle pulls up. After cleaning up CO grow down about 0.15%, HC does about 20~100 ppm.

Key Words : Air intake system, Carbon, ISC, LPG, Throttle body

1. 서론

21세기 들어 과학기술이나 산업이 고도로 발달함에 따라 인간의 건강과 생활환경이 점차로 악화되어 인류의 생존을 크게 위협하고 있는 공해는 그의 종류가 많으며 원인 또한 복잡 다양하다. 그 중에서도 소위 오늘의 3대

공해로 지목되고 있는 대기오염, 수질오염, 소음 등은 광범위한 사회문제로 대두되었다[1,2]. 발생원인은 공장 같은 산업현장의 매연, 배수에 의한 것, 기계의 진동이나 소음에 의한 것, 자동차와 같은 교통기관의 배출가스에 의한 것 등 다양하다. 특히 현대사회의 필수품이라 여겨지는 자동차 배출가스는 지구 대기환경오염의 50%이상

*Corresponding Author : Seung-Chul Lee(Chosun College of Science & Technology)

Tel: +82-62-230-8200 email: cjf9400@cst.ac.kr

Received October 16, 2013

Revised (1st October 27, 2013, 2nd October 28, 2013)

Accepted March 6, 2014

의 오염원이며, 이로 인하여 스모그현상과 오존층 파괴, 지구의 온실 효과 등으로 인간의 생존을 위협할 수 있는 무서운 재앙으로 다가오고 있다. 따라서 이미 1950년대에 자동차의 배출가스에 의한 공해 문제가 대두되어 배출가스 저감에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 현재도 역시 매년 그 규제가 강화되고 있는 한편 최근 들어 저공해, 저연비도 강렬하게 대두되어 배출가스 저감의 연구는 매우 중요한 문제의 하나가 되었다. 또한 세계 각 지역에서 자동차 배기가스 규제가 강화되고 있는데 그 중 북미 캘리포니아 주에서는 HC(Hydro Carbon)의 배출량을 1992년 기준으로 1996년에 도입된 저공해차 LEV(Low Emission Vehicle)의 1/6로 1999년 도입된 초저공해차 ULEV(Ultra Low Emission Vehicle)에서는 1/9로 낮추는 기준을 도입하였으며, 2009년부터 평균배출량 제도(Fleet Average System)를 도입하여 자동차 제작사에게 Table 1과 같이 배출허용기준을 적용할 수 있도록 하되, 판매된 자동차의 탄화수소 평균배출량이 일정 수준 이하를 만족하도록 하였다[3-5].

[Table 1] Vehicle emission Standards in fleet average system(g/km)

Spec.		Respondents	Percentage
Standard 1 (LEV)	0.054 *(0.045)	2.61	0.044
Standard 2 (ULEV)	0.033 *(0.024)	1.31	0.044
Standard 3 (SULEV)	0.00601 *(0.00601)	0.625	0.0125
Standard 4 (ZEV)	0	0	0

* Values for calculating fleet average

이러한 자동차 배출가스저감에 대한 세계적인 노력으로 인하여 신차에 대한 배출가스 배출량은 감소되고 있지만 중고차에서 발생된 배출가스는 부품의 성능저하 등의 원인들로 배출가스 배출량이 증가함으로 인하여 대기 환경 오염에 악영향을 미치고 있다.

자동차에서 전자제어 시스템 고장의 60%가 흡기계통에서 발생하고 그 중의 50%정도가 스로틀바디에서 발생하고 있다.

SPI(Single Point Injection)나 FBC(Feed Back Carburetor)의 경우 연료분사를 카브레터에서 분사하므로 카브레터부터 흡기관 흡기밸브까지 항상 깨끗하지만 MPI(Multi Point Injection) 경우 인젝터가 흡기밸브 바로 앞쪽에 위치하여 상대적으로 흡기내부가 카본으로 인해 오염이 심하다. 또한 GDI(Gasoline Direct Injection)의 경우도 인젝터가 실린더헤드에 바로 설치되어 흡입밸브 까지도 카본

이 누적된다.

자동차는 출고이후 기계적인 마모, 점화장치의 노후화, 각종 전장품의 기능저하로 출력저하, 매연증가, 연료 소비증가, 응답성저하 현상 등이 발생한다. 이러한 원인으로 인하여 TPS(Throttle Position Sensor)값의 변동으로 오토매틱차량의 경우 변속시점이 틀어지며, ISC(Idle Speed Control)의 듀티값 변동으로 공회전이 불안정한 상태가 되기도 한다. 또한 전기부하나 에어컨 보상이 잘 이루어지지 않고, 매연증가 및 출력저하, ISC의 수명단축, 응답성 저하, ETS차량의 경우 이상시 린프홈 기능이 수행되어 곧 수리를 하지 않으면 사실상 주행이 불가능한 상태에 이르기기도 한다.

일반적으로 공기는 흡기장치를 통하여 엔진에 흡입되고 있으며 1,000km 주행시마다 17.6m³의 공기가 엔진으로 유입된다. LPG 기관은 농후한 혼합기상태에서 모든 탄소와 반응 할 수 있을 만큼 산소량이 충분하지 않으면 배기 생성 물질 속에 HC와 CO가 함유된다. 특히 기관을 사용할 때에는 공기와 연료의 혼합을 농후하게 한다[6]. 흡기 장치의 입구에 있는 공기청정기 에서 공기 속에 들어 있는 먼지를 제거하는데 도로 상에 떠있는 먼지는 산화규소(SiO₂), 산화 알루미늄(Al₂O₃) 및 산화철(Fe₂O₃)등이 주성분이며 도시에서는 카본도 포함되어 있다.

이러한 미세한 먼지의 농도는 도로상황이나 기상조건에 따라 다르지만 포장도로에서는 0.0002~0.0005g/m³이고 비포장도로에서는 0.005~0.013g/m³에 달한다.

이와 같은 먼지는 공기청정기에서 대부분 제거되나 아주 미세한 먼지는 스로틀 바디를 거쳐 연소실로 유입되는데 이와 같은 미세 먼지가 흡기 장치에 퇴적물로 부착된다. 또한 흡기 계통에는 제거하지 못한 공기 중의 미세 먼지뿐만 아니라 배기가스 재순환 장치(EGR)에 의해 흡입 계통에 유입되는 배기가스의 미연소 물질이나 오염물질 그리고, 냉간 시에 과도하게 분사된 연료가 실린더 내로 유입되지 못하고 스로틀바디 및 흡기매니폴드에 카본 퇴적물로 형성된다. 이와 같은 스로틀바디 주위의 카본 스케일은 공회전 제어, 전(全)부하 제어, 그리고 감속 시의 연료 희박분사 및 가속 시의 연료 농후분사 제어 시에 정확한 제어가 불가능하게 된다.

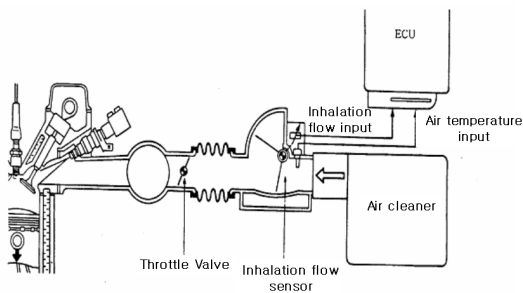
특히 공회전 제어시에 스로틀 바디 주위의 카본 스케일 때문에 스로틀밸브의 개폐 작동이 원활하지 않아 정밀한 속도제어가 되지 않고 공회전이 매우 불안정 하다. 결과적으로 이와 같은 카본 퇴적물로 인하여 매연이 증가하고 출력이 저하된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 차량의 가솔린 연료를 세척분사 장치를 이용해 흡기 장치에 분사해줌으로서 카본퇴적을 방지하고 흡기계통, 특히 스로틀바디의 카본퇴적으로 인해 센서의 출력전압

변동을 막고 아이들장치의 카본으로 인한 보상의 불안정을 막을 수 있다.

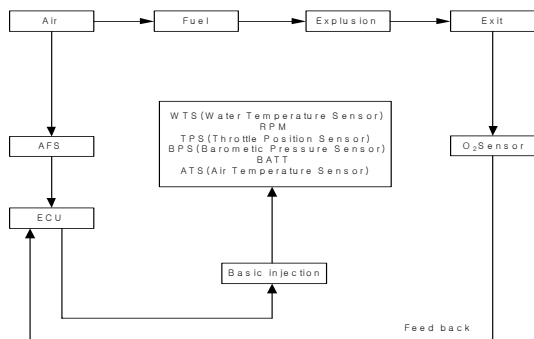
따라서 본 연구에서는 매연증가와 출력저하의 하나의 원인이 되는 카본 퇴적물을 세척하여 중고자동차의 배출가스의 저감과 출력향상 배기가스 저감량, 출력변화 그리고 공회전 속도의 안정성을 분석 검토하는데 그 목적이 있다.

2. 흡기장치

Fig. 1 은 흡기계통의 구성을 나타내고 있다. 자동차의 엔진은 연료와 공기를 혼합한 혼합기를 연소시켜 출력을 내는 내연기관으로 깨끗한 공기를 흡입하여 적정량의 연료를 분사하여 가연한계내의 혼합기를 만드는 것이 중요하다. 공기를 흡입하는 방식에 따라서 일반 에어크리너를 사용하는 자연흡기와 흡입저항이 적은 오픈형 에어크리너를 사용하는 과급기 방식으로 분류할 수 있다. 연소실로 흡입되는 공기량을 계측하여 전기적인 신호로 변환시킨 후 ECU에 입력하는 공기유량센서(AFS-Air Flow Sensor)는 계측방법에 대해서 칼만와류식, 맵센서방식, 핫와이어방식, 베인방식 등이 있다. Fig. 2는 MPI의 제어 흐름도를 나타내고 있다.



[Fig. 1] Schematic diagram of Intake apparatus



[Fig. 2] Diagram of control flow for MPI

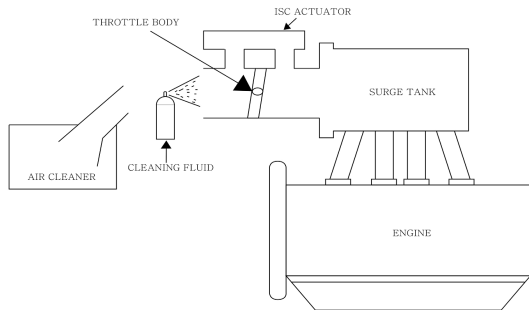
스로틀바디는 멜코 제어 엔진에서는 공회전 속도를 제어하는 ISC(Idle Speed Control) 서보와 TPS(Throttle Position Sensor)가 있다. 스로틀 포지션 센서(TPS-Throttle Position Sensor)는 스로틀 밸브 축과 함께 회전하며 스로틀 밸브 열림각을 감지하는 회전식 가변저항이다. 스로틀 밸브가 회전하면 스로틀 포지션 센서의 출력전압이 변하며 ECU는 이 전압변화를 기초로 하여 스로틀 밸브의 개방을 감지한다. ECU는 출력전압을 토대로 하여 스로틀 밸브의 열림의 변화를 계산하여 엔진 가속 상태를 판단하고 그에 따라 가속 중 연료 분사량을 적절히 제어한다. 또한 출발이나 기어변속 과정에서 시점이 맞지 않을 때나 출발 시 또는 감속 시에 충격이 올 때, 자동미션의 경우 3속으로 Holding되면서 자기진단이 TPS로 나올 시에는 규정 값에 맞게 TPS를 조정해야 한다. 아이들 스피드 액츄에이터(ISA-Idle Speed Actuator)는 스로틀 바디에 바이패스 통로를 설치하여 ECU의 제어신호에 의해 공회전 속도를 제어하는 모터로서 엔진이 공회전할 때 스로틀 밸브가 전폐 상태에서 스로틀 밸브를 바이패스 되는 공기에 의해 공연비가 결정되는데 엔진의 마찰 변동이 있거나 스로틀 밸브 등에 이물질이 부착되면 공회전 속도가 변화되기 때문에 ISA는 이와 같은 문제가 발생되었을 때 항상 최적의 공회전 속도로 제어하여 유지시키는 기능을 한다. 통상 열림 코일의 열림량을 ISA듀티로 표시한다. ISA서보에는 ISC모터와 모터 포지션 센서인 MPS(Motor Position Sensor) 및 아이들 스위치(Idle Switch)가 있다. MPS는 공회전 속도를 조정하는데 있어서 ISC 모터의 플런저 위치를 ECU로 피드백시키는 주요한 센서로서 아날로그 제어방식은 컴퓨터로는 정확히 제어하기 어려운 특성을 갖고 있다. 이러한 이유로 시동 꺼짐 현상도 종종 발생한다. 그래서 DOHC의 경우 디지털 방식인 스텝모터를 쓰게 된 것이다. Idle Speed 컨트롤의 엔진회전수 제어는 엔진 온도에 따라 초기 시동 직후 초기 Idle 속도를 제어하는 Cranking Idle, 정상온도의 엔진에서 정상시의 아이들 제어인 Fast Idle, 에어컨이나 파워윈들로 부하가 걸릴 때의 Idle Up, 액셀러레이터 페달을 급 감속할 때에 스로틀 밸브가 서서히 닫히게 할 목적으로 하는 Dash Port 제어 등이 있다. ISC 모터와 MPS의 관계에서 MPS 값의 변화는 정확히 규정대로여야 하며 측정결과가 규정치와 차이가 나면 결국 커넥터나 스로틀 바디내의 카본 등 외란적 문제가 존재한다. 시동의 꺼짐은 꼭 배선의 접속불량에만 있는 것이 아니고 스로틀 바디에 카본이 끼어도 발생한다. 이때의 특징은 MPS의 값이 높아져서 한계치인 2V 이상으로 나오기 때문에 고장으로 간주되는 것이다. 카본의 영향으로 엔진 회전이 급 감속 되어도, MPS가 이를 인지하지 못하다가

갑자기 회전수를 보정하려할 때에는 이미 엔진 회전수가 복구가 불가능할 정도로 내려가는 상황이 되기도 한다. 엔진에서 연료를 얼마만큼 분사하느냐는 출력과 환경오염에 많은 영향을 미치며 엔진의 수명과도 직접 관련이 되어있다. 따라서 인젝터에서 연료분사를 하는 직접영향을 주는 모든 센서들은 아주 민감하고 정확히 작동되어야 하고 특히 엔진에 흡입되는 공기량의 정확도는 무척 중요하다.

대기압센서(BPS-Barometer Pressure Sensor)는 대기압력을 검출하여 전압으로 변환한 신호를 ECU로 보내면 ECU는 이 신호를 이용하여 차량의 고도를 산출하여 현재 상태에 적절한 혼합비가 되도록 연료분사량을 조정함과 동시에 점화시기를 조정한다.

3. 실험방법

본 실험은 Fig. 3과 같이 Warm-up된 차량에서 Idle중에 Fig. 4와 같이 자기진단기를 이용하여 ISC등 서비스데이터를 확인 기록하고 Fig. 5와 같이 배출가스 측정기를 이용하여 측정 후 가속을 하면서 흡기장치 세척액을 분사시켜 흡기장치를 세척하는 방법으로 실시하였다. 실험에 사용한 세정액은 국내에서 몇 가지 모델이 유통되고 있으나, 본 실험에서는 H사에서 판매하고 있는 제품으로 톨루엔($C_6H_5CH_3$), 자일렌($C_6H_4(CH_3)_2$), 유기용제, 레몬향 등을 함유한 제품을 사용하였습니다.



[Fig. 3] Schematic diagram of Intake cleaning system



[Fig. 4] HI-DS



[Fig. 5] GAS Analyzer

세척 후 일정거리를 주행한 후 Idle상태에서 세척전과 후의 데이터를 분석 그 결과를 그래프로 나타내었다. 본 실험에서 실시한 실험 차량은 국내에서 생산되어 현재 운행 중인 차량들을 대상으로 실험을 실시하였으며 주행거리는 모두 60,000km 이상인 차량이다. Fig. 6,7은 세척액을 분사시키기 전과 후의 사진이다.



[Fig. 6] Throttle body before cleaning

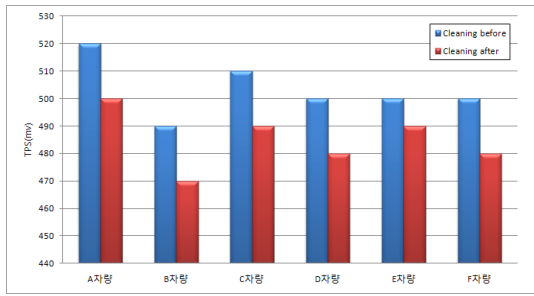


[Fig. 7] After cleaning throttle body

따라서 분사위치의 설정은 실험을 통해서 스로틀 밸브의 전면에 분사를 해야 가장 좋은 세척효과가 나오므로 흡입 인테이크 호스를 제거하고 분사를 실시하였다. 세척 연료가 분사될 때 스로틀 바디 전면을 적시도록 해야만 흡기관성에 의해 연료가 흡기장치로 흡입되어 들어가면서 내부가 세척되게 된다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 자동차는 여러 회사의 다양한 자동차를 대상으로 주행거리가 60,000km 이상인 차들을 선택하여 실험을 실시하였다. Fig. 8은 각 자동차의 세척 분사 전과 분사 후의 TPS값을 측정하여 그래프로 표시하였다. TPS는 스로틀 바디, 스로틀 샤프트와 함께 회전하며 스로틀 밸브각을 감지하는 회전식 가변저항으로 ECU는 이 전압변화를 기초로 하여 스로틀 밸브의 열림을 감지한다. 이 출력전압을 토대로 하여 ECU는 스로틀 밸브 개방의 변화를 계산하여 엔진 가속과 감속상태를 판단하고 그에 따라 가속과 감속 중 연료분사량을 적절히 보정한다.



[Fig. 8] Relationship between TPS and automobiles measured for cleaning injection before and after

또한 엔진의 공회전 영역을 인식하는데 중요한 정보가 된다. 또한 TPS 값은 자동차 변속시점에 매우 중요한 역할을 한다. Fig. 8 나타난 바와 같이 실험된 모든 차종에서 클리닝 분사 전과 후에 따라 많게는 64mV에서 적게는 10mV 정도 TPS 출력 전압이 낮게 발생함을 확인할 수 있다.

흡기장치의 카본 누적시에는 TPS의 출력 전압 상승으로 변속시점의 변화와 쇼크가 일어나는 현상이 발생하게 된다. ISC는 스로틀 밸브를 바이패스하는 공기통로를 제어하여 흡입공기량을 조정한다. 스로틀 바디에 장착되어 있으며 엔진 ECU에서 듀티로 제어하도록 되어있다. 공회전, 전기적 부하, 에어컨 부하, 고도, ATS, WTS, 신호 등을 참고 신호로 운전 전 영역에서 흡입공기량을 보정한다. 가속페달을 밟게 되면 흡입공기는 스로틀 밸브를 통해서 흡입하게 된다. 하지만 공회전 상태에서는 스로틀 밸브가 닫히게 되므로 흡입공기는 바이패스 통로를 통해서 흡입하게 된다. 공회전 조절 밸브는 바이패스에 설치되어 통로를 여닫는 시간을 듀티제어 하게 된다. 따라서 흡기장치에 카본 누적 시 ISC에 의한 RPM 보상불량 및 시동 꺼짐 현상이 발생할 수 있다. Fig. 9는 클리닝 분사 전과 후에 각 자동차에 대한 ISC값이 약 6%정도씩 적게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과로 인하여 클리닝 분사 시 카본이 제거되어 ISC 제어가 정확하고 가속 및 감속 응답성이 향상됨을 알 수 있었다. 또한 흡기장치에 카본 누적 시는 TPS 신호의 부정확성과 ISC 제어의 불안정으로 전체적 엔진의 제어가 불안정으로 전체적 엔진의 제어가 불안정하게 되어 연료소모량이 증가되고 출력저하가 발생하지만 흡기장치 세척 효과로 인하여 연료소모량이 감소되고 출력이 증가될 것으로 기대된다.

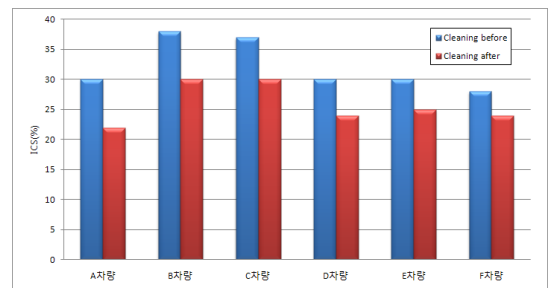
Fig. 10은 세척전과 후에 각 차종의 배기가스 중에 CO를 측정하여 그래프로 나타낸 그림이다. Fig. 10의 그래프에 나타난 바와 같이 세척후의 일산화탄소량은 클리닝 전에 비해 약 0.15%정도 적게 배출된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 첫째 스로틀 바디에 퇴적되었던 카

본이 제거되면서 TPS 값이 규정 값으로 정상화 되었다.

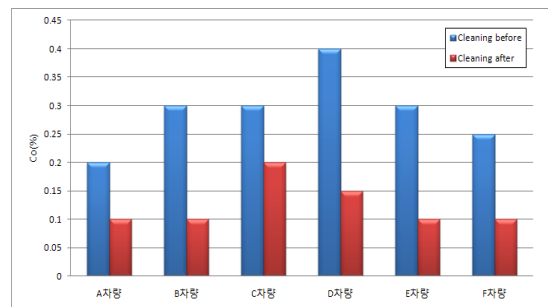
ECU는 TPS의 신호를 받아 열림량을 감지하는데 만약 카본으로 인해 TPS값이 20mV 상승되었다면 ECU는 당연히 인젝터를 통해 연료량을 증가시키기 때문이다.

두 번째는 ISC가 규정 DUTY치에 있다는 것이다. 카본으로 인해 DUTY가 상승 또는 하강했다는 것은 아이들 상태를 안정시키기 위해 ECU가 RPM을 상승시키게 된다.

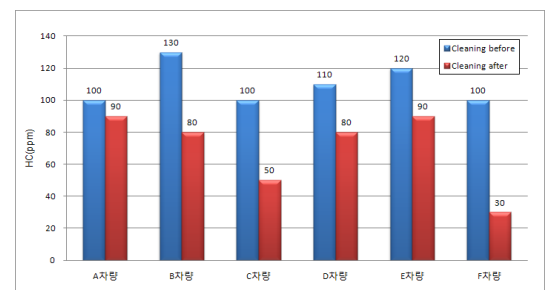
실험 결과 세척 후 RPM이 20~30RPM 정도로 다운된 것도 이를 입증하는 것이다. 당연히 공회전 상태에서 RPM이 상승했다는 것은 연료가 농후하게 공급됐다는 증거라 사료된다.



[Fig. 9] Relationship between ISC and automobiles measured for cleaning injection before and after



[Fig. 10] Relationship between CO and automobiles measured for cleaning injection before and after



[Fig. 11] Relationship between HC and automobiles measured for cleaning injection before and after

Fig. 11은 각 차종의 클리닝 인젝터 분사 전후의 배출 가스인 미연 탄화수소 값을 나타낸 그래프이다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 세척전보다 분사 세척후에 배출된 탄화수소가 약20~100ppm정도 적게 배출된 것을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 일산화탄소가 적게 배출되는 것과 같은 원인으로 세척 인젝터로 인한 스로틀바디의 카본이 제거되면서 TPS값과 ISC값이 규정값으로 정상화되면서 완전 연소율이 증가하여 미연 탄화수소가 적게 배출된다고 생각된다. 미연 탄화수소는 인체에는 수백 ppm 정도가 되어야 영향을 주지만 식물에게는 더 적은 양으로도 큰 피해를 주기 때문에 깨끗하고 쾌적한 환경을 만들기 위해서는 자연과 인간에게 피해를 주는 배출 가스의 공해물질은 제거되어야 한다.

5. 결론

본 논문은 LPG자동차 엔진의 흡기장치 세척에 관한 것으로서 세척액을 흡기장치에 분사시켜 스로틀 바디, 흡기 매니폴드와 흡기포트의 카본 퇴적물을 세척하여 세척 전·후의 공회전 제어, TPS와 ISC의 전압신호와 배기가스 배출량 등을 고찰한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 흡기계에 세척액을 분사시켜 스로틀 바디를 비롯한 흡기장치, 실린더내의 카본퇴적물을 제거함으로써 공회전 속도 제어장치 및 연료 분사장치가 안정화 되었다.
- (2) 스로틀 밸브의 정밀한 작동과 스로틀 위치 센서의 시그널 전압이 정확하게 엔진 ECU에 전달되어 엔진의 성능이 안정 되었다.
- (3) ISC의 정상적인 작동으로 차량 정지시 공회전 속도제어와 규정 공회전 속도제어를 원활하게 하여 신차와 같은 성능이 유지되었다
- (4) 세척액 분사 후에 일산화탄소는 약 0.15%, 탄화수소는 약 20~100ppm으로 각각 감소하였다.
- (5) 엔진오일 교환시에 흡기계를 세척한다면 환경 측면이나 자동차 관리에도 많은 도움이 되 리라 사료된다.

선행연구에서 ASM2525모드 정밀검사법을 이용하여 CO, HC를 비롯 NOX, O₂, CO₂, λ까지 측정하지 못한 점이 아쉽고, 향후 새시디이나모를 이용하여 토크, 마력, 연비 측정 및 카본 누적량에 따른 경보음 발생시점에 대하여 연구하고자 합니다.

References

- [1] C. H. Lee, "An Experimental Study on Characteristics of Emissions and Fuel Economy in LPG Vehicle Applied Liquid phase Injection", *M. S. Thesis, Department of mechanical Engineering, Chungnam National University*, pp. 9-12, 2009.
- [2] S. H. Cho, "A Study on the emission characteristics of four cylinder diesel-LPG dual fuel engine with a mechanical fuel supply" *Ph. D Thesis Department of Mechanical Engineering INHA UNIVERSITY*, pp.3-4, 2012
- [3] Y. C. Lee, "A Study on Performance and Emission Characteristics of a CI LPG Engine With Blending Rates of Cetane Number Enhancing Additive", *Ph. D, Automotive Engineering Kookmin University*, pp. 3, 2011
- [4] J. H. Park, J. T. Sun, S. M. Kim, J. S. Kim, D. I. Kang, Y. S. Lim, B. Y. Han, "Estimation on the Emission Reduction of SULEV LPG Vehicles" *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Vol. 28, No. 1*, pp. 68, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.5572/KOSAE.2012.28.1.068>
- [5] C. U. Kim, M. S. Shin, S. K. Baik, "Improvement of leakage Performance of LPG Injector" *Journal of the Korean Institute of Gas Vol. 16, No. 6*, pp. 23-24, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2012.16.6.23>
- [6] A. Wildgen and J. Straub, "The Boiling Mechanism in Superheated Free Jets", *International Journal of Multiphase Flow, Vol. 15, No. 2*, pp.193-207
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0301-9322\(89\)90070-0](http://dx.doi.org/10.1016/0301-9322(89)90070-0)

홍 성 인(Sung-In Hong)

[정회원]



- 1990년 8월 ~ 1996년 2월 : 기아자동차(주) 엔진부 근무
- 2000년 6월 ~ 2006년 5월 : 자동차정비전문점대표
- 2005년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2009년 8월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 2004년 3월 ~ 2008년 2월 : 서영대학교 자동차과 겸임 교수 2008년 3월 ~ 현재 : 서영대학교 자동차과 교수

<관심분야>

열전달, 자동차배출가스

이 승 철(Seung-Chul Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 조선대학교 기계공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학대학교 선박해양기계과 강 의전담 교수

<관심분야>

기계설계, 기계제조