

論文2002-39TE-1-10

가변실린더시스템을 이용한 차량의 연비향상에 관한 연구

(A study on the fuel economy in the vehicle using variable cylinder system)

李 泰 杓 * , 金 鍾 夫 ** , 朴 俊 勳 ***

(Tae-Pyo Lee, Jong-Boo Kim, and Joon-Hoon Park)

요 약

차량의 폭발적 증가로 인해 저속, 서행형태로 주행시간이 점점 늘어나므로, 본 연구에서는 연비향상을 목적으로 정차상태에서는 일부 실린더만으로 일정한 엔진회전수를 유지하고, 주행상태에서는 전 실린더를 이용하는 가변실린더에 대해 실제 하드웨어로 제작하여 실험해 보았다. 과거에 일부 제작되었던 가변실린더 엔진은 정차상태나 저속상태에서 사용하는 실린더 주위에 열이 집중하여 열응력이 발생하고, 사용하지 않는 실린더는 냉각수의 순환으로 인해 주변의 온도가 더욱 떨어지게 되어, 재점화시에 많은 유해가스가 배출되고 연료 소모량도 많아지게 되며, 엔진회전수가 고르지 못하는 문제가 있었다. 이러한 문제점을 극복하고자 정지상태나 저속주행상태에서와 같이 많은 출력을 요하지 않는 운행조건에서는 새로운 점화방식과 밸브 개폐시기를 이용하여 연비를 향상시키는 방안을 제시하고, 그 타당성을 검증하였다.

Abstract

Because the driving time is increased under the low speed by rapidly increasing of vehicles, this paper is presented a new ignition control system for improvement the fuel economy, which only some of cylinders are using under the idle status or low speed and preserving the engine rpm. is applicable to effective in fuel economy. An actual hardware was made to prove this new control system. The developed variable cylinder engine concentrated the heat near the cylinders in idle status or low speed, so there was a problem in re-ignition. It was the reason of a lot of exhaust gas, high fuel consumption and instability of engine revolution. In this paper, in order to solve above problem to show the improvement fuel economy using the new ignition control system and valve opening period at idle status of low speed.

* 正會員, 現代自動車株式會社

(Hyundai Motors Co. Ltd.)

** 正會員, 仁德大學 制御計測工學科

(Dept. of Control & Instrumentation Engineering
Induk Institute of Technology)

*** 正會員, 忠州大學校 制御計測科

(Dept. of Control & Instrumentation Engineering
Chungju National University)

接受日字:2001年10月25日, 수정완료일:2002年3月14日

I. 서 론

최근들어 경제의 어려움과 유가의 인상으로 인해 자동차의 연료 소모율에 대해 소비자들이 많은 관심을 가지게 되었다. 차량의 폭발적 증가로 차량 1000만대 시대를 맞이한 근래에는 차량의 운행 형태가 많이 바뀌어 출,퇴근 시간 정체는 오히려 당연한 것으로 받아들여지고 있다. 이렇듯 시내 주행시 도로상에서의 정차 시간이나 20~40Km/h 이하의 저속, 서행형태의 주행시

간이 점점 늘어나가만히 서서 연료를 낭비하는 격이 되므로 많은 양의 연료 손실을 가져오게 되어, 시내 주행시 주행연비가 현저히 떨어지게 되는데, 이러한 낭비를 줄이기 위해 독일을 비롯한 유럽 몇몇 나라에서는 신호등 정차시 시동을 끄고 다시 켜는 캠페인을 벌이기도 하였고 엑셀 페달을 밟지 않으면 자동적으로 시동이 꺼지고 다시 밟으면 시동이 켜지는 자동차를 생산하기도 하였다^[1]. 그러나 실험적으로 엔진이 예열된 상태에서는 약80초 이상 엔진을 정지시켜야만 연비 측면에서 유리하고, 재시동시 생성되는 유해가스로 인하여 정차할 때마다 시동을 끄는 것은 오히려 환경측면에서 불리하다^[2].

따라서, 본 연구에서는 연비향상을 목적으로 새로운 점화제어 방식을 이용하여 정차상태에서는 일부 실린더만으로 일정한 엔진회전수를 유지하고, 주행상태에서는 전 실린더를 이용하는 가변실린더 엔진에 대해 고찰하였다. 과거에 일부 제작되었던 가변실린더 엔진^[3]은 정차상태나 저속상태에서 2개의 실린더 또는 3개의 실린더만을 이용하였으나, 저속 주행시간이 길어질수록 사용하는 실린더 주위에 열이 집중하여 열응력이 발생하게 되고, 사용하지 않는 실린더는 냉각수의 순환으로 주변의 온도가 더욱 떨어지게 된다^[4-5]. 이러한 상태에서 운전자가 출력을 위하여 엑셀(Accel) 페달을 밟을 경우 전 실린더를 이용하게 되는데, 이럴 경우 사용하지 않는 1개 또는 2개의 실린더는 재점화시 많은 유해가스가 배출되고 연료 소모량도 많아지게 되며 회전수가 고르지 못한 결과를 가져오게 된다.

이러한 문제점을 극복하고자 새로운 점화방식과 밸브 개폐시기를 이용하여 정차상태나 저속주행상태에서와 같이 많은 출력을 요하지 않는 운행조건에서는 연료소비를 줄여 주행연비를 향상시키는 방안을 구상하였다. 즉, 하나의 실린더가 고정적으로 폭발하지 않음으로 발생하는 진동, 실화, 노킹, 열의 불균형적 분포등을 방지하기 위하여 점화순서 및 동기하는 연료 분사 순서를 새롭게 구성함으로써 상기 문제들을 해결하고, 이를 H/W로 제작하여 연비향상 효과를 확인하였다.

II. 점화순서 제어 방안

먼저 3실린더 엔진, 5실린더 엔진과 같은 홀수 기통의 소형 엔진과 4실린더, 6실린더엔진과 같은 짝수 기통의 엔진을 구분하고, 홀수 실린더는 3기통의 소형엔진

을 기준으로 하고 짝수 실린더는 일반 승용차용의 엔진을 기준한다. 홀수 실린더 엔진의 정상적인 점화 순서는 1번-3번-2번 순서대로 진행되고, 짝수 실린더 엔진은 1번-3번-4번-2번 실린더 순서대로 점화가 이루어진다. 이러한 정상상태에서 가변실린더 작용을 하게 되면 다음과 같이 점화 순서가 변화한다.

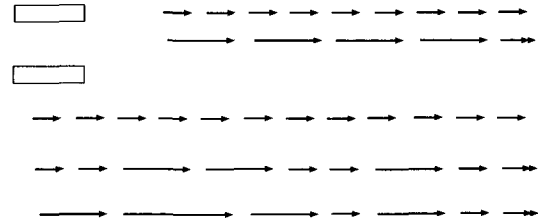


그림 1. 점화순서 제어 방안

Fig. 1. The control method of ignition sequence.

홀수 실린더 엔진에서는 가변 실린더 작동시 점화순서를 1번-2번-3번-1번-2번으로 다시 말하면 한실린더씩 건너 뛰어 점화를 시키는 것이다. 즉 한 개의 실린더는 1440°의 두 사이클동안 1회 점화하는 것으로 모든 실린더가 계속적으로 가동되는 것이고, 짝수 실린더 엔진에서는 3실린더 구동시에는 720°의 한 사이클 동안 하나의 실린더만을 작동시키지 않는 것으로 엔진의 한 사이클을 기준으로 1번, 3번, 4번, 2번을 순차적으로 작동시키지 않는 방식이다.

또한 2실린더 작동시에는 한 사이클(720°)을 기준으로 1번, 4번 실린더가 작동하고 다음 사이클일때는 2번, 3번 실린더가 작동한다. 이러한 방식으로 모든 실린더를 약간의 시간지연을 통해 계속해서 가동시키면서 전체적인 실린더 점화횟수를 현저히 줄일 수 있어 기존의 가변실린더 엔진이 가지는 단점을 많이 보완하였다. 즉, 연료 절감을 목적으로 한 기존의 가변실린더 엔진에 대한 연구는 연료의 분사를 한 실린더만 고정적으로 차단하기 때문에, 엔진의 이상 진동이 발생하고 네 개의 각 실린더 사이에 열발생이 불균형적으로 일어난다. 또, 차단했던 실린더를 재 점화하였을 때 노킹, 실화 문제가 발생하게 되는 문제가 있다. 하지만, 본 연구에서는 압축행정시의 손실을 없애고, 밸브와 인젝터의 제어가 규칙적이므로 시스템이 매우 안정되게 하기 위해 실린더에 또하나의 밸브를 만들어 연료 인젝터와 반대의 경우로 작동하게끔 솔레노이드 밸브로서 타이밍을 조정한다.

III. 실험

1. 시스템 구성

그림 2에서 보는 바와같이 ECU로부터 나오는 연료 분사 신호를 바이패스 제어기를 통해 제어한다. 바이패스 제어기는 정상 구동 상태에서는 ECU로부터의 분사 신호를 인젝터로 그대로 전달하여 엔진은 정상적인 상태로 작동한다. 그러나, 정지상태나 저속주행상태와 같이 많은 출력을 요하지 않는 운전상태에서는 3기통 모드로 변경되어 제어기는 바이패스 경로를 차단하고 각 인젝터의 분사신호를 다섯 번에 한번씩 차단하여 엔진의 유효배기량은 감소하고 연료소모는 줄어 들게 된다. 그러나, 운전자가 에어컨을 켜 경우 또는 가속페달을 밟아 추월을 하거나 급가속을 할 경우 3기통 모드에서 해제되어 정상적인 4기통 모드로 운행하게 된다.

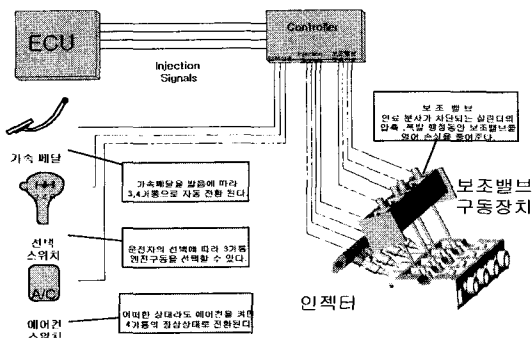


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. System diagram.

2. 인젝터 제어 및 솔레노이드 작동신호

그림 3을 보면 위의 신호는 정상시의 분사 신호이

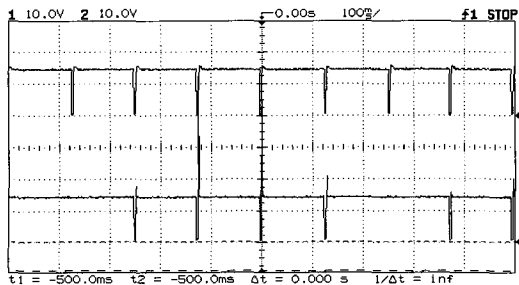


그림 3. 정상시와 제어된 연료분사 비교
Fig. 3. The comparison of injection signal between normal status and controlled status.

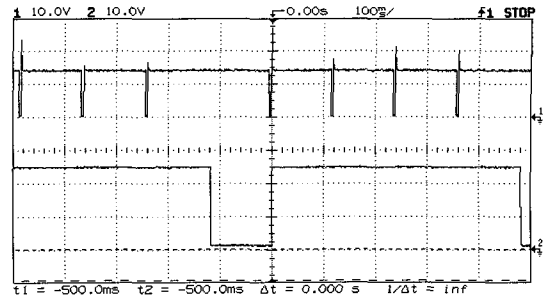


그림 4. 제어된 연료 분사신호와 솔레노이드 작동신호
Fig. 4. Controlled fuel injection signal and active solenoid signal.

며, 아래 신호는 제어된 분사신호를 나타내고 있다. 즉, 인젝터 신호를 제어하여 인젝터 다섯 번에 한번씩 인젝터 신호를 차단하게 된다.

그림 4는 제어된 연료분사신호와 그때의 솔레노이드 작동 신호를 나타낸다. 즉, 인젝터 연료분사가 이루어지지 않는 실린더의 pumping손실을 줄여주기 위해 솔레노이드가 작동되어 보조밸브를 열어주게 된다.

3. 보조밸브 구동부

기존엔진의 실린더 헤드에 설치하여 연소실과 외부의 통로를 개폐해야 하는 장치이므로 장착 위치는 기존에 설치되어 있는 흡기 밸브 2개중 하나를 보조 밸브로 활용하였다. 이를 위해 본 실험에서는 흡기밸브가 2개, 배기밸브가 1개인 현대자동차 엑센트용 4기통엔진을 사용하여 흡입 밸브를 원하는 시기에 전기적으로 개폐할 수 있도록 기존의 로커암을 제거하여 캠에 의해 밸브가 구동되지 못하도록 하고, 실린더 헤드 커버 위쪽에 보조 밸브 구동을 제어하기 위한 별도의 구동장치를 제작하여 장착하였다. 구동장치로는 솔레노이드를 이용하여 원하는 시기에 보조 밸브를 눌러 열어 줄 수 있도록 설계 제작하였다. 보조 밸브의 복귀는 기존

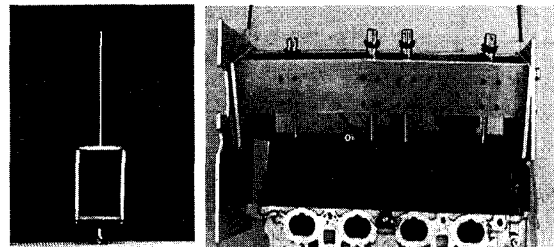


그림 5. 보조밸브 구동용 솔레노이드 구동장치
Fig. 5. The solenoid moving equipment for sub valve control.

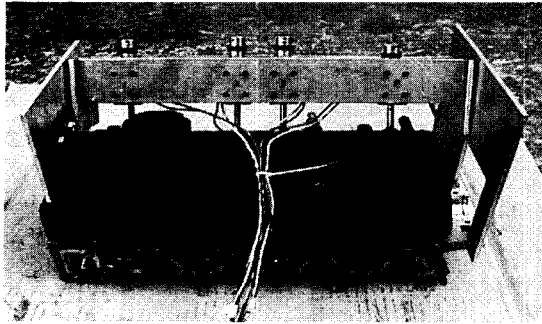


그림 6. 보조밸브의 장착모습
Fig. 6. The installation picture of sub valve.

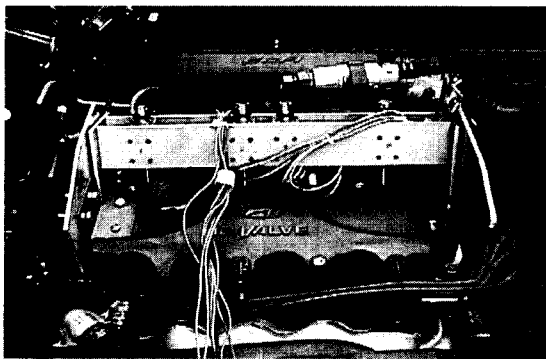


그림 7. 보조 밸브의 실차 장착 모습
Fig. 7. The installation of sub valve in the vehicle.

과 마찬가지로 밸브 스프링에 의한다. 보조밸브를 구동하기 위해 밸브를 밀어주는 로드가 실린더 헤드 커버를 관통하여 외부에 설치되므로 엔진오일의 누출 가능성이 있어 헤드커버에 홀 가공을 하고 밸브 스템을 이용하여 오일의 누출을 막고 보조밸브의 원활한 작동이 이루어지도록 하였다.

다음 그림 5에서는 보조 밸브 구동장치인 솔레노이드 구동장치의 제작 및 장착을 보여주고 있다.

4. 바이패스 제어기

바이패스 제어기는 C-MOS와 스위칭용 일반트랜지스터(Switching transistor)를 이용해 하드웨어로 제작하였다. 본 바이패스 제어기를 이용하여 분사신호를 차단한 결과, ECU에서는 바이패스 제어기에서 분사신호를 차단한 것으로 판단하지 않고, 인젝터의 작동이 불량한 것으로 판단하게 되어 엔진경고등(Malfuction Indicate Lamp)을 점등시킨다. 즉, ECU에서는 인젝터가 불량할 경우 불완전연소 및 엔진실화가 일어나게되어 배기가스가 급격히 증가하게 되므로 이를 방지하기 위해 인젝터의 분사신호를 계속해서 차단하므로, 이를 방

지하는 별도의 회로를 설치하여 ECU로부터 출력되는 분사 신호가 차단되지 않고, 인젝터가 작동되도록 스위칭용 일반 트랜지스터를 이용하였다. 본 실험에 사용된 바이패스 제어기의 중앙처리장치(CPU)로는 자동차에서 많이 사용하고 있는 SIEMENS社의 80C517 IC를 사용하였으며, PC와 차량과의 통신을 위해 MAX232C를 RS232C 케이블로 연결하여 serial통신으로 PC와 차량 간의 데이터를 전송토록 하였다.

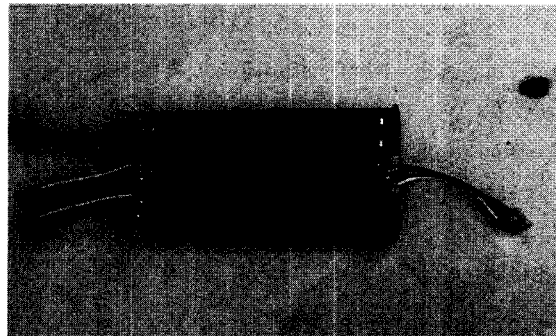


그림 8. 바이패스 제어기 사진
Fig. 8. The picture of by-pass controller.

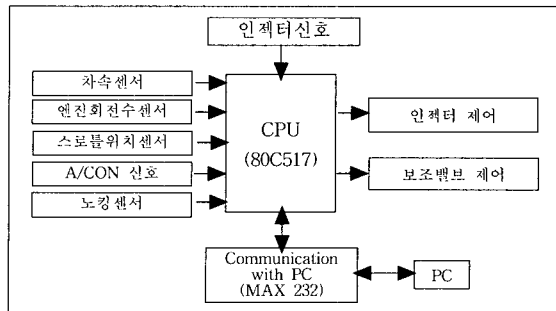


그림 9. 바이패스 제어기 블록 다이어그램
Fig. 9. The block diagram of by-pass controller.

중앙처리장치에서는 출력을 요하지 않는 구간에서만 본 제어가 이루어질 수 있도록 차량의 주행속도를 감지하는 속도센서, 엔진의 회전수를 감지하는 CPS (Crankshaft Position Sensor), 엑셀페달의 개도량을 감지하는 TPS(Throttle Position Sensor), 에어컨스위치등을 입력으로 하여 상기센서들에 의해 감지되는 차량의 주행상태에 따라 각 실린더에 설치된 인젝터의 연료분사동작이 일정주기마다 번갈아가면서 한번씩 분사되지 않도록 제어하며, 연료가 분사되지 않는 실린더의 보조밸브를 개방시켜 실린더내의 공기가 대기상으로 배출되도록 제어한다.

그림8과 그림9에서는 제작한 바이패스제어기의 사진 및 블록 다이어그램을 나타내었다.

5. 비교실험 장치

그림 10은 정상 구동시와 가변배기량 구동시의 연료 소비량을 쉽게 비교할 수 있도록 제작한 연료소비량 비교 측정장치이다. 본 장치의 개발은 본 시스템을 이해하는데 용이하도록 제작된 장치이므로 인젝터의 노즐의 크기를 매우 크게 증대시켰다. 그림에서 왼쪽은 정상구동시 작동상태를 나타내고, 오른쪽은 가변배기량 구동시의 작동상태를 나타내도록 하였다. 따라서, 동일한 연료를 공급했을 때 20cc, 30cc, 50cc의 용기를 이용하여 대략적이거나 기존의 방식대비하여 가변실린더를 작동시켰을 때 연료량 이득을 알 수 있도록 하였다.

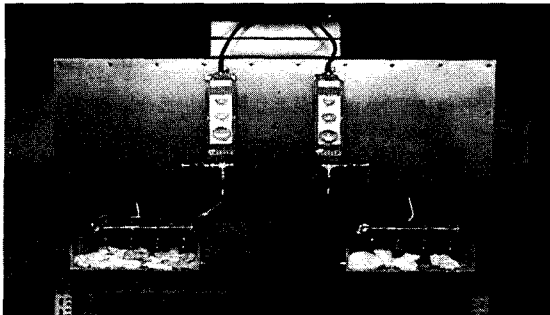


그림 10. 연료소비량 비교 측정장치
Fig. 10. The comparison equipment for fuel consumption.

6. 엔진회전수에 따른 연료소비를 변화

그림 11은 엔진 회전수에 따른 연료 소비율의 변화로써 2실린더 작동시 약 엔진회전수 2400rpm 근처에서 연료이득이 없음을 알 수 있다. 즉, BSFC값이 최저점

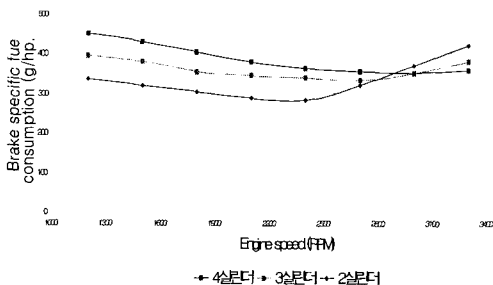


그림 11. 실린더 별 연료 소비율
Fig. 11. The comparison of fuel consumption for each cylinder.

일 때 연비가 가장 좋기 때문에 2실린더 작동시에는 2400rpm까지, 3실린더인 경우는 2600rpm까지 연비측면에서는 효과가 있으며, 그 이상의 엔진회전수를 유지할 경우 기존의 4실린더보다 연비가 더 나빠지므로 최적의 연료이득을 얻기 위해서는 가변실린더 작용에 대한 보다 정밀하게 제어가 되어야한다.

IV. 결 과

정지상태나 저속주행상태에서와 같이 많은 출력을 요하지 않는 운행조건에서 주행연비를 향상시키는 방안으로 새로운 점화방식과 밸브 개폐시기를 이용하였다. 즉, 정확한 분사 신호의 제어를 위해 ECU로부터 출력되는 분사신호를 흡수할 수 있도록 별도의 저항을 설치하고, 인젝터는 ECU의 분사 신호로 작동되는 스위칭용 일반 트랜지스터를 이용하여 구동시킬 수 있는 바이패스제어기를 하드웨어로 제작하였다. 본 실험에 대해 그림10의 비교실험장치를 이용하여 확인한 결과 ECU 로직(Logic)의 변화없이 외부에 장치된 바이패스 제어기만으로 공회전 및 저속상태에서는 2개의 실린더만 구동시켜 모든실린더를 가동하는 경우에 비해 약 30%의 연료를 절감하였으며, 30km~50km정도의 중저속상태에서는 3개의 실린더를 구동시켜 약 15%의 연료를 절감할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] E. Kreyszic, "Advanced Engineering Mathematics", P205-P211, 1992.
- [2] Doyle, J. C. and Stein, G., "Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical/Modern Synthesis", IEEE Trans, Automat. Contr., Vol. AC-26, No. 1, PP 4-16, 1981.
- [3] Meirovitch, L., "Dynamics and Control of Structures", Wiley-Interscience, 1990.
- [4] Yasuhiko Iwamoto, Yoshiaki Danno, Osamu Hirako, Toyooki Fukui, and Nobuaki Murakami, "The 1.5-Liter Vertical Vortex Engine," SAE Paper 920670.
- [5] Kaoru Horie, Kazutoshi Nishizawa, Toru Ogawa, Shusuke Akazaki, and Keiji Miura, "The Development of a High Fuel Economy

and High Performance 4-Valve Leanburn Engine”, SAE Paper 920455.

저 자 소 개

李 泰 杓(正會員)

1992년 : 성균관대공대 전기공학과 졸업. 1994년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 : 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 : 현대자동차 파워트레인연구소 연구원.

朴 俊 勳(正會員) 第36卷 T編 第2號 參照

金 鍾 夫(正會員)

1985년 : 성균관 대학교 졸업. 1988년 : 성균관 대학교 졸업(석사). 1993년 : 성균관 대학교 대학원졸업(박사). 1996년 : Ohio State University 교환교수. 1988~1991년 : LG정보통신(주) 근무. 1991~현재 : 인덕대학 부교수.