

디젤엔진 연료펌프의 솔레노이드 밸브 PWM 제어

신우석*, 이철원*, 진상호*, 권순익*, 강남희**, 김형동**, 이홍배**, 이재기**, 최규하***
두원공업전문대학*, 두원정공**, 건국대학교***

Solenoid Valve PWM Control for Diesel Engines Fuel Pump.

W.S.Shin*, C.W.Lee*, S.H.Jin*, S.I.Kwon*, N.H.Kang**, H.D.Kim**, H.B.Lee**, J.G.Lee**, G.H.Ghoe***
Doowon Technical College*, Doowon Precision Industry Co.**, Konkuk University***

Abstract - This paper describes an study electric injection system for diesel engines. It is needed effective fuel injection which controls the solenoid valve of fuel pump. To solve this, this paper proposes DCC-PWM method which can realize fast reply and low holding current for solenoid valve on/off. For the proposed design method, simulation tools of ACSL are used to analyze the system. And the single-chip microcomputer is used to reduce the size of controller and to improve flexibility. And the system's validity can be verified through the experimental results.

1. 서 론

디젤기관은 가솔린기관에 비해 동력면에서 우수한 반면 진동, 소음 및 환경적 측면에서 불리하여 적용 분야에 제한을 받아왔다. 그 중에서도 자동차 분야에 적용은 배기가스에 의한 대기오염이 심각한 문제로 대두되고 있고 각국의 자동차 배기 규제가 엄격해지고 있다[1].

이러한 요구에 부응하여 최근 디젤엔진의 연료분사를 전자적으로 제어함으로써 연료의 효율적인 공급을 통해 가속시 동력을 증진시키고 매연을 저감시키며 자동차의 진동, 소음을 줄이기 위한 연료분사 제어장치에 관한 연구가 자동차 산업의 발전과 함께 중요성이 대두되고 있다.

그 중에서도 연료 직접분사방식은 열효율 및 연료소비율 측면에서 우수하므로 이에 대한 전자제어 연료분사방식이 연구되고 있다[2][3].

직접분사방식중에서 기계식과 대별되는 전자식 방식은 거버너(Governor)대신 코일과 규소강판 등으로 구성된 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)를 장착한 것으로 이 밸브를 전자기적 힘에 의해 동작시킴으로써 연료 분사량, 분사시기, 분사율 등의 정밀한 제어가 가능하다.

이를 위한 기존의 전자식 방식은 SCR 또는 트랜지스터를 이용한 정전류 제어방식에 의존하였으며 이 방식의 경우 밸브가 닫혔을 경우에도 항상 일정한 직류전압을 솔레노이드 밸브에 공급함으로써 밸브의 개폐조건에 관계없이 일정하게 큰 전류가 흐르는 방식이 연구되었다. 그러나 이러한 방법의 적용은 연료펌프의 밸브와 자동차 배터리(Battery)의 수명을 단축시키고 방열 등의 문제점을 일으킨다.

본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위해 솔레노이드 밸브를 PWM 제어함으로써 밸브에 흐르는 전류를 적절히 제어하여 기존의 문제점을 해결하고자 한다. 이를 위해 전체시스템을 ACSL을 이용하여 해석하고 싱글칩 마이크로컴퓨터(TMS370C756)과 MOSFET를 이용하여 실현하였다.

2. 제안된 방식

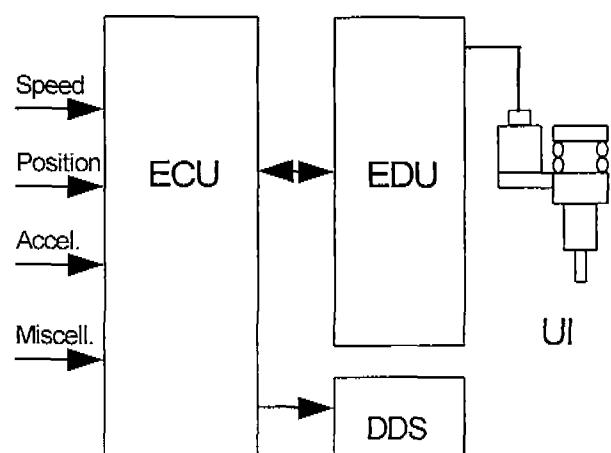


그림 1. 전자식 연료분사장치 구성도

디젤엔진의 전자식 연료분사장치의 구성은 그림 1과 같다. 전체 구성도에서와 같이 ECU(Electronic control unit)와 EDU(Electronic drive unit) 및 연료펌프인 UI(Unit injector)로 구성되어 있다.

ECU에서는 자동차 엔진에 입력되는 여러 운 영상태에 대한 신호를 조합하여 목표 분사량 Q 와 연료분사 시점과 기간을 연산하고 이들에 대한 연료분사 명령을 펄스형태로 EDU에 보낸다. EDU에서는 ECU로 부터 입력된 구동펄스에 신호에 따라 UI의 솔레노이드 밸브를 개폐시킨다.

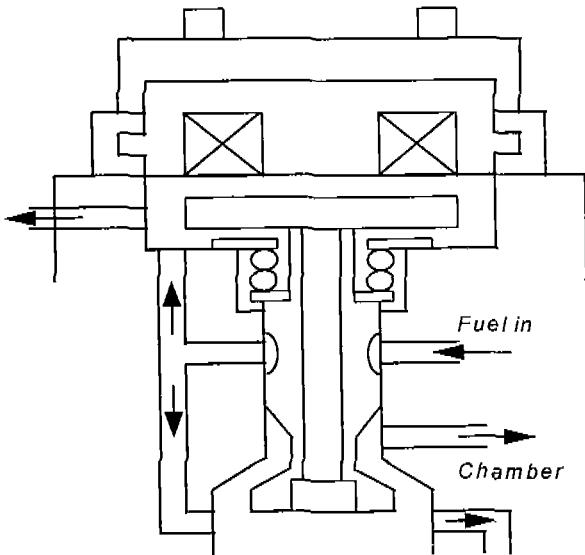


그림 2. 솔레노이드 밸브 구조

솔레노이드 밸브는 그림 2와 같이 구성되는데 윗부분에 위치한 고정자(Stator)는 규소강판으로 적층된 E형 코아(Core), 코일 및 코아 플레이트(Core plate) 등으로 구성된다. 중간부분에는 Armature가 위치하는 데 이것은 니들 밸브(Needle valve)와 연결되어 솔레노이드의 전자기적 힘에 의해 니들 밸브축이 상승하여 아래부분의 밸브를 닫혀지면서 연료의 분사가 유도된다. 여기서 중간부분의 스프링은 밸브의 개폐시 Set력을 유지하기 위한 용도이며 고정자와 Armature 사이에는 공극(Air-gap)이 존재하는 데 밸브의 개폐에 따라 대략 0.3[mm]에서 0.1[mm]까지 변화된다.

이때 발생하는 힘과 공극 및 솔레노이드 밸브에 흐르는 전류의 관계는 그림 3과 같다. 즉, 밸브의 동작을 위해 초기 Set력을 이기는 충분한 전류를 공급후 동일한 힘을 유지하는 데 필요한 전류는 공극이 작아질수록 적어지므로 밸브가 닫혔을 경우 이 힘을 유지하는 데 필요한 전류는

많은 전류가 필요하지 않다.

따라서 본 논문에서 제안된 방식은 EDU에 입력된 구동신호에 따라 그림 4와 같은 방법으로 DCC(DC continuous)와 PWM(Pulse width modulation) 방식을 혼합함으로써 밸브의 속응성과 함께 밸브가 닫혀진 상태를 유지하는 데 최소한의 전류값으로 감소시키자는 것이다.

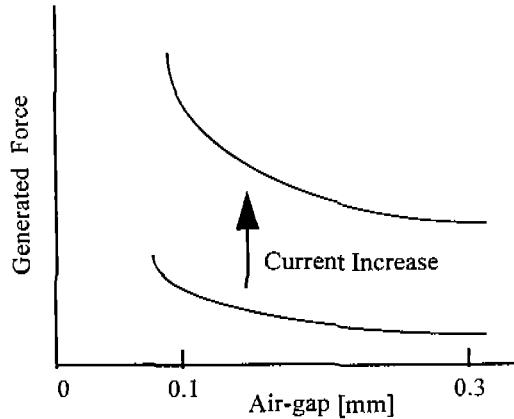


그림 3. 솔레노이드 밸브 특성

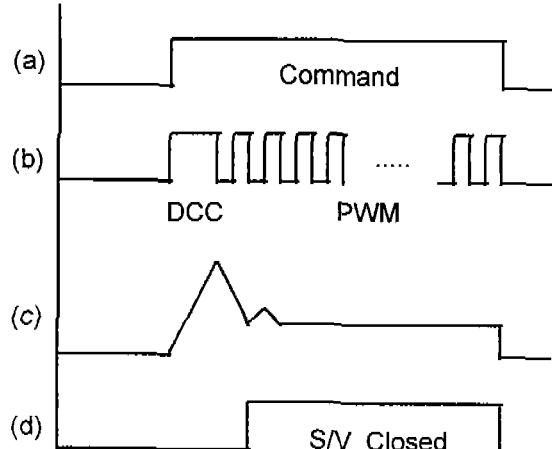


그림 4. 솔레노이드 밸브 제어방식

(a) 솔레노이드(S/V) 밸브 구동신호 (b) DCC-PWM 방식 (c) S/V 전류 (d) S/V 개폐상태

즉, 그림 4의 구동명령(a)에 의해 초기에는 (b)와 같이 DCC를 입력하여 밸브의 속응성을 높이고 그 이후에는 PWM 제어를 통해 유지전류를 최소화하는 것이고 그때의 전류상태와 밸브의 상태는 그림 4(c), (d)와 같다.

이러한 개념의 실현을 위해 구성된 회로 개념도는 그림 5와 같다. 즉, 연료분사 신호에 의해 마이크로컴퓨터에서는 DCC와 PWM 신호를 출력하고 부하감지부에서는 솔레노이드 밸브의 부하상태를 감지하여 제어부에 입력하면 제어부에서

는 부하에 따라 DCC 또는 PWM 신호를 출력한다.

이때의 제어블록도는 그림 6과 같다. 솔레노이드 밸브는 저항과 인덕턴스 성분이고 밸브의 개폐를 위한 전자기적 힘을 위해 전류를 제어해야 하며 이를 위해 전류 피드백 신호에 따라 전압을 제어하는 방식이다.

그림 7은 이 방식 적용에 따른 시뮬레이션 결과이다. 초기 0.6[ms]이하에서는 DC 24[V]를 공급하고 그 이후 5[ms]까지는 스위칭 주파수 30[kHz]로 PWM 제어한 것으로 이 방식 적용시 전류가 20[A]까지 상승후 감소하기 시작하여 9[A]정도에서 유지됨을 알 수 있다.

3. 실험 및 고찰

솔레노이드 밸브를 제어하기 위한 전체적인 제어기의 구성은 그림 5와 같으며 본 논문에서 제시한 DCC-PWM 방식을 적용하였다. 그림 5의 접선으로 표시된 제어부의 구성은 그림 8과 같다.

싱글칩 마이크로컴퓨터에서는 외부의 연료분사 명령을 감지하며 이에 따라 DCC 와 PWM 신호를 발생한다. 이러한 출력은 데이터 셀렉터에서 선택되어지며 이러한 결정은 전력회로부에서 감지된 부하의 상태에 따라 결정된다. 또한 마이크로 컴퓨터의 외부 인터럽트에서는 과전류시 입력을 감지하고 PWM 뉴티를 조정하는 일을 담당한다.

그림 9(a)는 솔레노이드 밸브에 인가되는 게이트 전압과 그때 흐르는 전류 상태를 보여준다. PWM 주파수는 30[kHz]이고 뉴티는 87[%]이며 대략 20[A]까지 상승하는 데 걸리는 시간은 1[ms] 이내임을 알 수 있다. 또한 유지전류는 8-9[A]에서 유지되는데 그림 9(b)의 스위칭주파수 10[kHz]에 비해 유지전류가 안정됨을 알 수 있다.

그림 10은 밸브가 닫히는 상태를 리프트(Lift) 센서에 의해 계측한 것으로 연료분사 명령에 의해 솔레노이드 밸브에 흐르는 전류의 상태와 이로 인한 밸브의 개폐상태를 보여주고 있다. 본 논문에서 적용된 방식이 1[ms]이내의 속응성을 가지고 동작됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 직접분사식 연료분사 제어장치의 제어를 위해 DCC-PWM 방식을 적용하여 그 특성을 해석하고 실험을 통해 그 타당성을 입증하였으며 이로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

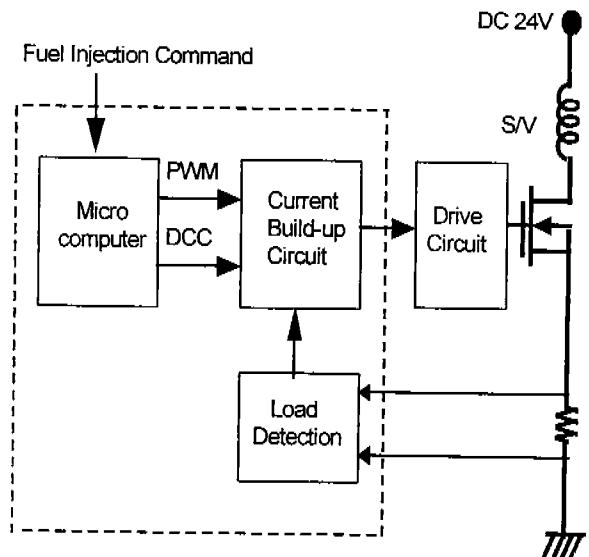


그림 5. EDU 제어 구성도

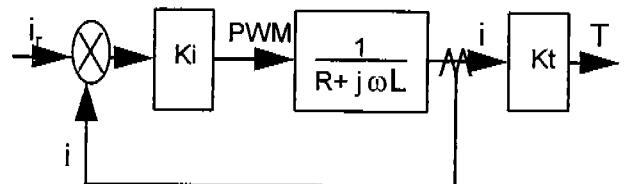


그림 6. EDU 제어 블록도

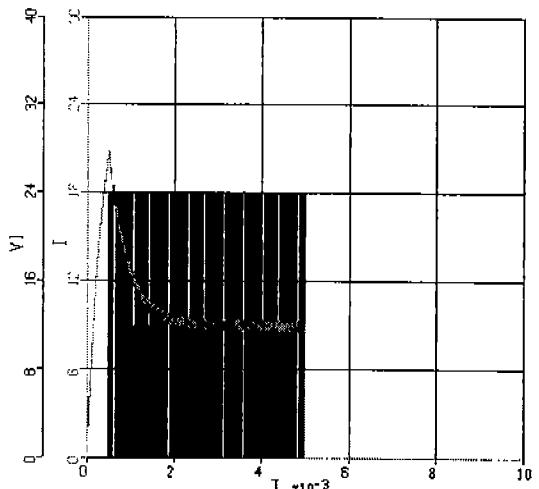


그림 7. DCC-PWM 방식 적용에 따른 S/V 전류특성

- 1) 솔레노이드 밸브의 '속응성을 1[ms]이내로 실현하였다.
- 2) 스위칭주파수와 뉴티의조정을 통하여 솔레노이드 밸브의 유지전류를 최소로 하였다.

이상에서 적용된 방식은 연료펌프의 밸브와 자동차 배터리의 수명 및 방열문제에 있어 개선효과가 기대된다. 더불어 향후 솔레노이드 밸브에 대한 이론적 접근과 함께 속응성 향상에 더욱 더 많은 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

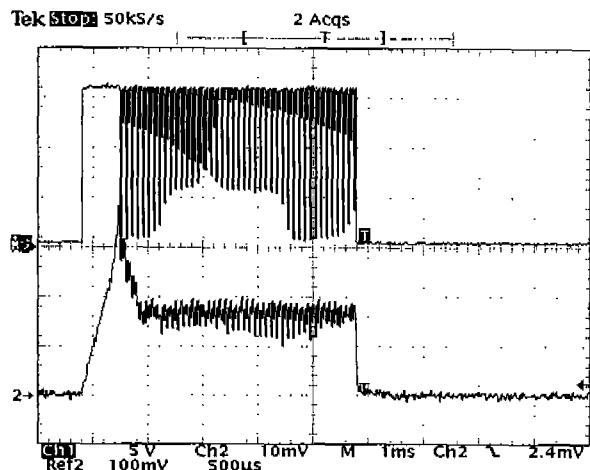


그림 9(a). 솔레노이드 밸브 게이트 전압 및 전류
(스위칭 주파수 30[kHz])

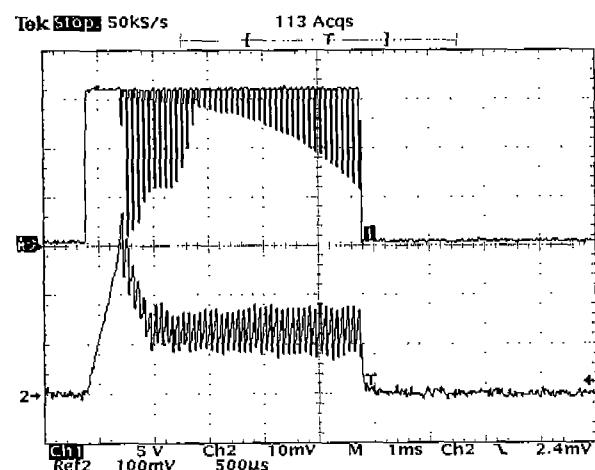


그림 9(b). 솔레노이드 밸브 게이트 전압 및 전류
(스위칭 주파수 10[kHz])

참 고 문 헌

1. M. Yang and S. C. Sorenson, "Direct digital control of the diesel fuel injection," process9, SAE paper 920626, 1992.
2. Pierre Lauvin *et al.*, "Electronically controlled high pressure unit injector system for diesel engines," SAE paper 911819, 1991.
3. J. R. Needham *et al.*, "Injection timing and rate control - A solution for low emissions," SAE paper 900854, 1990.
4. A. M. Pawlak and T. W. Nehl, "Transient finite element modeling of solenoid actuators : The coupled power electronics, mechanical and magnetic field problem," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 24, no. 1, pp. 270-273, 1988.
5. K. Y. Yuan and S. C. Chen, "A new algorithm for coupled solutions electric magnetic and mechanical systems dynamic simulation of solenoid actuators," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 26, no. 3, pp. 1189-1197, 1990.

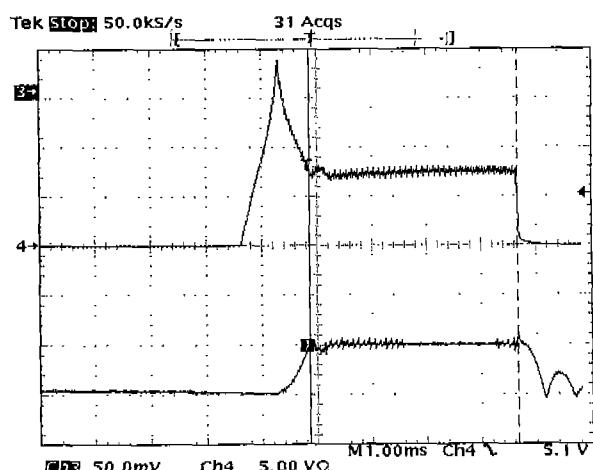


그림 10. 솔레노이드 밸브 전류 및 밸브개폐특성

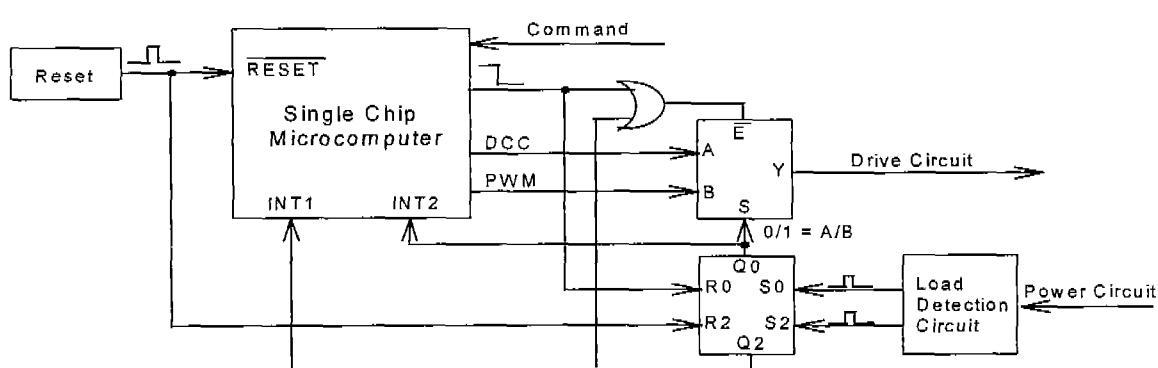


그림 8. DCC-PWM 방식에 따른 제어회로부