

마이크로컨트롤러를 이용한 자동차 엔진의 공회전 속도 제어

장재호 김병국
한국과학기술원 전기및 전자과

Idle Speed control of car engine using microcontroller

J.H. CHANG B.K. KIM
Dept. of EE, KAIST

Abstract

Recently, electronic engine control system is used in many automotives for high efficiency and low pollution. In order to perform these requirements, fuel injection control, spark timing control, knock control, exhaust gas recirculation control and idle speed control should be implemented.

In this paper, idle speed control system using microcontroller is developed, which is compact in hardware, but powerful in software performing efficient control and various compensations for engine condition and environments. If idle speed is low engine operation is not smooth, reversely if high, fuel consumption is increased. Therefore idle speed must be maintained as low as possible within the scope that ensures smooth operation of engine. Also, an engine signal simulator, which generates various signals from engine, is realized for test facility.

1 서론

오늘날 자동차 공업기술은 저공해, 연비향상, 경량화, 그리고 고속화에 비례하는 안전성 확보에 중점이 두어져있다. 특히 자동차 배출가스 규제가 강화되면서 저공해 내지는 무공해 기관에 대한 기술 혁신이 급속도로 진행되고있다. 연비향상과 저공해를 동시에 달성하기 위한 방법으로 혼잡기 형성 장치가 종래의 기화기 방식에서 가솔린 분사 방식으로 전환되고 있다. 그리고 이에따른 자동차 엔진 제어 장치의 개발 또한 주요 관심사가 되고 있다. 최근에는 자동차 엔진 제어기의 효율을 높이기 위해서 마이크로 프로세서를 사용한 전자식 엔진 제어 방식이 사용

되고 있다. 엔진의 전자 제어에는 연료 분사 제어, 점화 시기 제어, 녹(knock) 제어, 배기가스 재순환 제어, 공회전 속도 제어 등이 있으며 이와같은 방식은 기존의 방식에 비해 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 여러가지의 정교한 센서를 사용해 보다 세밀한 제어를 할 수 있다. 둘째, 센서를 사용해 다양한 제어기능을 추가하더라도 제어기의 설치를 위해 자동차 내부에 더 이상의 공간을 필요로 하지 않는다. 셋째, 엔진 제어에 여러가지 고급 제어 알고리즘을 적용하기 쉽다.

자동차에 전자장치가 도입된것은 1960년대 부터이며 마이크로프로세서를 사용해서 엔진 및 기타의 장치를 제어하기 시작한 것은 1976년 미국의 GM이, 1977년에는 미국의 Ford가 엔진 제어에 마이크로프로세서를 사용하는 것을 발표한 이후 부터이다[13]. 그후, 마이크로프로세서를 사용한 전자 제어 방식은 활발한 연구가 진행되었으며[13-21] 1984년에는 통합된 전자식 엔진 제어 시스템(Integrated Electronic Engine Control System)에 관한 문헌이 발표되었으며[17] 국내에서도 1980년도에 마이크로컴퓨터를 사용한 점화 시기 제어에 관한 연구가 수행되었다[5].

본 논문에서는 자동차의 고효율화, 저공해화를 목표로 마이크로 컨트롤러를 사용한 전자식 엔진 제어 시스템을 개발하여 공회전 속도를 제어했으며, 2.1절에서는 공회전 속도의 개념, 공회전 속도 제어 알고리즘에 관해서 서술하며, 전체적인 공회전 속도 제어기의 구성을 그림 2에 보여준다. 2.2절에서는 전자식 엔진 제어 개발 시스템의 소프트웨어 및 하드웨어 개발 환경에 관해 설명하며 다음과 같이 두 가지로 나누어진다. 하나는 제어기 개발의 편리성을 위한 Engine Signal Simulator(ESS)이며 하나는 2.2.1절에서 소개되는 microcontroller를 사용한 Engine Control Unit(ECU)와 2.2.2절에서 소개되는 소프트웨어 개발 환경이며, 다른 하나는 제어기 개발의 편리성을 위해 2.2.3절에서 소개되는 Engine Signal Simulator(ESS)이다. 이를 이용해 솔레노이드식 ISC 밸브를 제어하는 전자식 공

회전 속도 제어를 구현하였으며 2.2.3절에서는 개발된 제어기의 테스트 방식을 보여준다.

2 본론

2.1 공회전 속도 제어기의 구성

2.1.1 공회전 속도제어(ISC)의개요

가솔린 엔진은 운전자가 가속 페달로 드로틀(throttle) 밸브의 개도를 조작하여 기관에 흡입되는 공기량을 조절하는 방식으로 출력을 제어한다. 공회전 속도는 공회전시에 공급된 공기량의 한 출력과 기관 자신의 마찰력이 평형을 이루는 선에서 결정된다. 따라서 기관의 마찰력이 시간에 따라 변화하거나, 흡입 공기량이 변화하는 경우에는 공회전 속도가 변화하게 된다. 공회전 속도는 너무 낮을 경우 기관의 작동이 원활하지 못하며 반대로 너무 높으면 연료 소모율이 증대된다. 따라서 공회전 속도는 가능한 낮을수록 좋으며 기관이 어떠한 상태일지라도 일정속도가 유지되어 기관이 원활하게 작동하도록 제어되어야 한다. 이와 같이 기관의 운전조건이 변화하더라도 공회전 속도를 일정범위로 제어하는 기능을 공회전 속도 제어(ISC)라 한다.

2.1.2 공회전 속도제어 알고리즘

채택된 ISC 밸브는 비례 솔레노이드(solenoid)식 밸브이며, 이는 펄스 폭에 비례하여 밸브의 열림이 결정된다. 따라서 ISC 제어기는 현재 엔진의 상태에 알맞는 적절한 양의 혼합기를 엔진에 공급하기위해 Pulse Width Modulation(PWM) 신호를 발생시켜 ISC 밸브를 제어한다. 이를 위해 제어기는 엔진의 현재 상태를 체크하고 이에 알맞는 목표 회전수를 설정한다. 예를들면, 현재 수온은 어느정도이며, 기아는 중립 상태에 있는가?, 에어콘은 켜져있는가? 등을 검사한 후 이에 해당하는 엔진의 목표 회전수를 산출해낸다. 그 후, 제어기는 공회전(idle) 스위치가 on 상태인가?, 뉴트럴(neutral) 스위치는 on 상태인가?, 차속은 얼마인가?, 엔진 회전 속도는 얼마인가? 등을 검사한후 공회전 속도 제어에 closed loop 제어를 사용할 것인지 open loop 제어를 사용할 것인지를 결정한다. 이 밖에도 제어기는 자동차에 여러가지 장치- 에어콘, 동력 조향장치(power steering), 자동 변속 장치(automatic transmission) -가 부착되어 있을 경우에도 기관의 작동이 원활하도록 적정량의 보정량을 ISC 밸브 구동신호에 더해주는 역할도 한다. 그러므로 ISC 제어기는 크게 다음과같은 3가지의 제어 신호를 ISC 밸브에 내보낸다.

1. Closed loop 제어신호 - PID 제어 신호

2. Open loop 제어신호 - Dash pot 보정량, 시동후 보정량, 학습 보정량
3. 부속 장치에 의한 보정량 - 에어컨 보정량, 동력 조향 장치(power steering) 보정량, 자동 변속 장치(automatic transmission) 보정량

공회전 속도 제어기의 가장 큰 목적은 공회전시 공회전 속도를 기관의 작동이 원활한 범위 이내에서 가능한 낮게 유지하는 것이다. 즉, ISC 제어기는 공회전시 PID 컨트롤러를 사용해 최적의 공회전 속도를 유지한다. 설계된 PID 컨트롤러는 다음과 같다.

1. P 컨트롤러 - 오차(목표 회전수 - 엔진 회전속도)에 비례하는 제어신호를 내보낸다.

$$\text{비례 보정량} = Kp * \text{error}$$

2. I 컨트롤러 - Open Loop 보정량의 총합을 초기치로 하며 매 샘플링 시간마다 다음과같이 수정된다.

$$\text{적분 보정량} = \text{초기치} + \sum(Ki * \text{error})$$

3. D 컨트롤러 - 설계된 D 컨트롤러는 오차의 변화량이 어느 정도 이상일때 동작한다.

$$\text{미분 보정량} = Kd * \Delta \text{error}$$

ISC 제어기는 공회전시가 아닌 경우에는 PID 컨트롤러의 동작을 중지시키고 open loop 컨트롤을 수행한다. Dash pot 란 감속시 CO, HC의 발생을 방지하는 기구로서 주행중에 동작한다. 이에의한 부하현상을 방지하고 기관의 작동을 원활히 하는 것이 dash pot 보정량이다. 시동후 보정량이란 시동 모드에서 벗어날때(시동 모드에서는 제어신호를 최대로 내보낸다.) 제어신호의 급격한 변화를 방지하고 기관의 작동을 원활히 하기위해서 가해지는 보정량이다. 학습 보정량은 ISC 제어기의 상태가 open loop와 closed loop를 왔다 갔다할 경우 제어신호의 급격한 변동을 막아주고 기관의 작동을 원활히 해주는 역할을 한다. 부속 장치에 의한 보정량으로는 에어컨 보정량, 동력 조향 장치 보정량, 자동 변속 장치 보정량 등이 있으며, 이는 각 해당 장치가 작동될 경우 기관의 작동 상태에 미치는 각 장치의 영향을 최소화 하기 위한 보정량이다. 에어컨 보정량이란 에어컨이 가동될 경우 에어컨이 기관의 작동에 미치는 영향을 최소화하기 위한 보정량이다. 동력 조향 장치는 앞바퀴의 큰 접지 저항으로 인해 핸들의 조작력이 크게되고 신속한 조향 조작이 안될 경우 이를 방지하기 위한 장치로서, 이 장치가 기관의 동작에 미치는 영향력을 최소화 하는 것이 동력 조향 장치 보정량이다. 자동 변속 장치 보정량이란 주행중 기어의 변속을 자동적으로 바꾸어주는 자동 변속 장치의 영향을 최소화 하기 위한 보정량이다. 예를들면, 그림 1은 수온에 따른 자동 변속 장치 보정량을 나타내고 있다. 그림에서 세로축은 제어신호에 더해져야하는 PWM 신호의 duty cycle을 나타내고 있다.

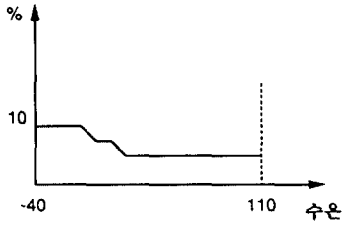


그림 1. 자동 변속 장치 보정량

공회전 속도 제어기의 전체적인 구성은 그림 2와 같다.

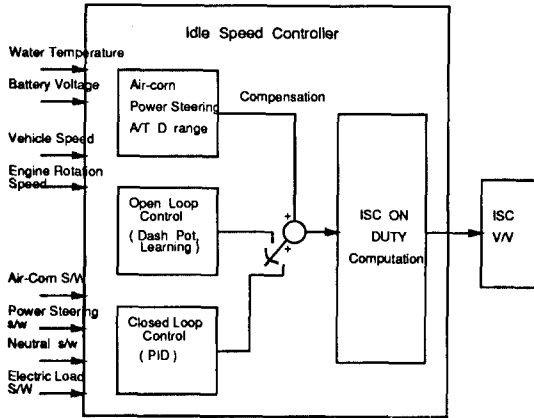


그림 2. Idle Speed Controller

2.2 전자식 엔진 제어 개발 시스템

공회전 속도 제어 시스템은 크게 컨트롤러에 해당하는 Engine Control Unit(ECU)과 엔진의 역할을 담당하는 Engine Signal Simulator(ESS)로 구성된다. ECU와 ESS를 포함한 전체적인 구성도는 그림 3과 같다.

2.2.1 Engine Control Unit(ECU)

ECU는 엔진의 공회전 속도를 제어하는 제어기 부분으로서, 엔진으로부터(여기에서는 ESS에 해당함) 아날로그 신호, 디지털 신호, 펄스 입력등을 받아서 ISC 밸브를 구동시키는 PWM 신호를 발생시킨다. ECU의 구성을 위해서는 Intel 80C196KC single chip microcontroller가 사용되었다. 80C196KC는 레지스터-레지스터 구조의 16비트 프로세서로서 16 MHz로 동작하며 내부에는 232 바이트 레지스터 file, 256 bytes additional RAM, 8채널 A/D 컨버터, 3개의 PWM 출력, 2개의 디지털 I/O 포트, 28개의 인터럽트 소스, 16개의 인터럽트 벡터, 2개의 16비트 타이머, 4개의 16비트 소프트웨어 타이머, 16비트 타이머, High Speed I/O(HSIO) subsystem 등을 가지고 있다.

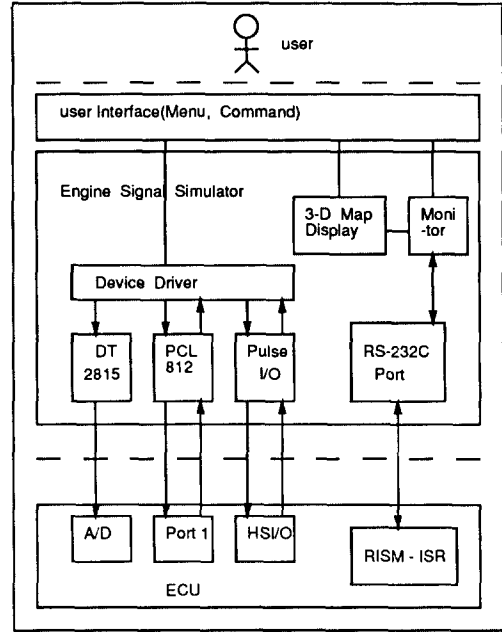


그림 3. Electronic Engine Control Development System

2.2.2 소프트웨어 개발 환경

소프트웨어 개발 환경으로는 EV80C196KC Evaluation Board가 사용되었다. 이 보드(board)는 80C196KC의 모든 기능을 지원, 24K byte SRAM을 이용한 ROM 시뮬레이터 지원, ASM96, C96 등의 고급 언어 지원, target system에 상주하는 모니터 프로그램(RISM) 등을 제공한다. ISC 제어 알고리즘을 구현하기 위해서 사용된 소프트웨어는 80C196KC C cross compiler와 cross assembler가 사용되었다. 프로그램은 PC상에서 작성되며 cross compiler와 assembler를 통해 compile되고 assemble된후 RL96(linker)에 의해 absolute object file로 링크된다. 최종 object file은 ECM96(host system에 상주)이라는 모니터 프로그램에 의해 target system에 download되고 실행되고 디버깅된다.

2.2.3 Engine Signal Simulator(ESS)

ESS는 ECU의 제어 알고리즘을 개발하기 위한 시험환경으로서, 개발된 제어 알고리즘을 가상적인 엔진의 출력 신호를 이용하여 시험해 볼 수 있다. ESS는 엔진을 대신하여 아날로그, 디지털, 펄스 신호를 출력하며 ECU에서 제어신호를 받아 그래픽으로 보여준다. 또한 ECU용 엔진 제어 프로그램의 다운로드 및 실행제어 기능을 가지고 있으며 제어 알고리즘에 사용되는 Map 데이터를 2차원 또는 3차원으로 보여주며 Map 데이터

를 고칠수 있는 기능도 제공하고 있다. ESS를 구성하기 위해서 사용된 하드웨어는 IBMPC 386을 사용하였으며 아날로그, 디지털, 펄스신호의 입/출력을 위해 DT2815, PCL812, 직접 설계 제작된 Pulse I/O 보드가 사용되었다. ESS의 출력 모양은 그림4과 같다.

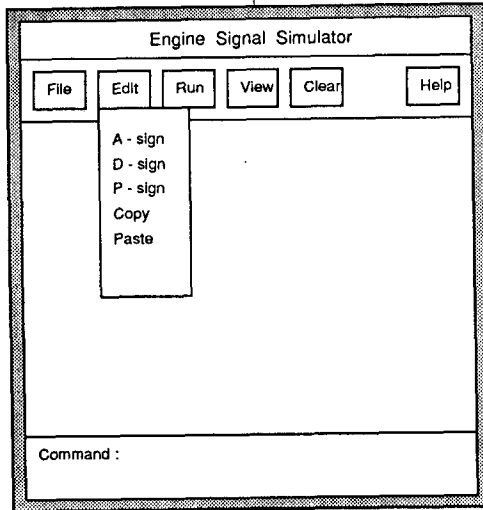


그림 4. Engine Signal Simulator

2.2.4 ESS를 이용한ISC 제어기의 테스트

개발된 ISC 제어기는 ESS를 이용해 테스트 해볼수 있다. 다음은 ESS를 사용해 개발된 ISC 제어기를 테스트하는 과정이다. 공회전 속도 제어는 공전시(아이들링 상태, closed loop 상태)에 일어나므로 ESS의 신호 출력을 closed loop 상태가 되도록 맞춘다. 그리고 엔진 회전 속도가 목표 회전수에 가까워 짐에 따라 ISC 제어기의 출력 상태도 정상 상태에 도달하는것을 확인한다. ESS는 위와같은 방식으로 개발된 ISC 제어기를 테스트한다. 그림 5는 ECU에 입력되는 엔진 회전 속도이며 그림 6은 ECU에서 출력되는 PWM 신호이다.

3 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 마이크로 컨트롤러를 이용한 전자식 엔진 제어 방식을 도입해 공회전 속도 제어 시스템을 개발하였다. 이를 위해서 소프트웨어 및 하드웨어 개발 환경을 구성하였고 엔진에 해당하는 Engine Signal Simulator와 공회전 속도를 제어하는 Engine Control Unit의 구현작업이 이루어졌다. 구현된 전자식 엔진 제어 시스템은 open loop에서는 각종 보정량을 closed loop에서는 PID 제어를 수행함으로써 공회전 속도를

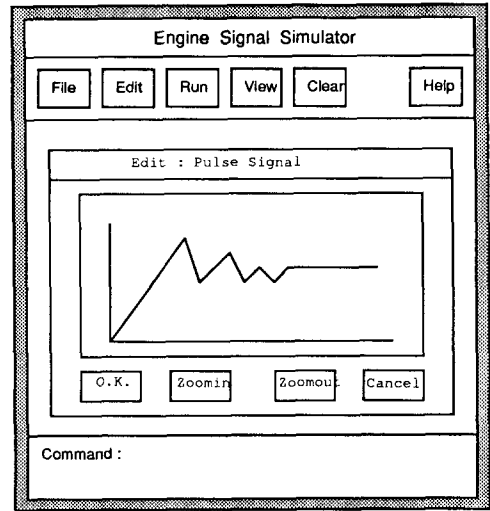


그림 5. Engine Rotational Speed

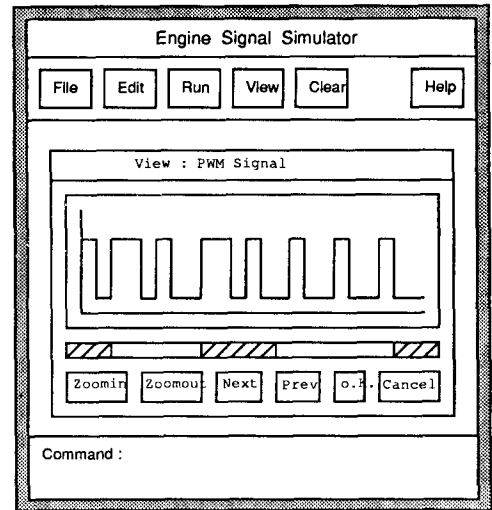


그림 6. PWM signal

제어하였으며, 여러가지 제어기능의 추가, 고급 제어 알고리즘의 적용 용이 등의 장점이 있다, 단점으로는 개발된 제어기가 open loop 상태에서만 테스트된다는 점이며 이는 좀더 정교한 제어기를 개발하는데 분명한 장애요소가 된다. 따라서, 추후의 ESS에는 Dynamic Engine Model이 포함되어야 한다. 이후 fuel injection 제어, spark timing 제어, exhaust gas recirculation 제어 등의 기능이 추가된 통합된 전자식 엔진 제어 시스템(Integrated Electronic Engine Control System)을 구현하는 문제와 고급 제어 알고리즘의 적용 문제 등이 남아있다.

4 참고문헌

- [1]중원사 자동차 연구회, "자동차 공학", 중원사, 1983
- [2]김재휘, "자동차 가솔린 분사장치 - 자동차 전자 제어 이론", 중원사 1991
- [3]김현규, 은정표, "자동차 전자제어 - 가솔린 분사장치 실무편", 중원사, 1989
- [4]김용서, "가솔린 엔진", 세문사, 1983
- [5]김용립, "Microcomputer Based Ignition Timing Control for Automobiles", KAIST, 석사논문, 1980
- [6]"Design of High Energy Ignition Systems", KAIST, 석사논문, 1980
- [7]나종래, 문세홍, 유영재, "인텔 8096 구조와 설계", Ohm사, 1991
- [8]Intel "16bit Emboded Controller Handbook", 1991
- [9]Intel "C-96 Compiler User's Guide", 1985
- [10]Intel "MCS-96 Macro Assembler User's Guide", 1985
- [11]"LPCLAB User Manual", Data Translation 1988
- [12]Michael Tischer "PC System Programming", Abacus, 1990
- [13]Hisatsugu ITO, Takeo SASAKI, "Micro computer for automotive application", 자동차 기술, 1978
- [14]J.J. Mosq and J.K.Hedrick, "Automotive engine modeling for real time control application", Proc, ACC 1987
- [15]T.T Flis, "The use of microprocessor for electronic engine control", IEEE Vol.IE-30, No.2, 1983
- [16]R.L. Woods, D.L Humn and P.D. Dobson, "Development of an idle speed control system for spark-ignition engine", proc.ACC Vol.3, pp. 1445-1450, 1985
- [17]H.Laurent, L.Ang and P.daly "Integrated engine control:The next step in electronic engine technologe" SAE paper, 1984
- [18]P.F.salaman, "Real-time electronic engine control microprocessor software productivity", SAE paper 1984
- [19]D.F.hagen "Electronic engine control at ford motor co." SAE paper, 1978
- [20]R.A. Grinum, R.J. Bremer, S.P. Stonestreet "GM microcomputer engine control system", SAE paper 1980
- [21]J.H.Schlag, "Automatic computer controlled calibration of E.F.I controlled units", SAE paper, 1976