

불꽃점화 기관의 외란에 안정한 제어기 연구

이 영춘*, 정 진호, 윤여홍(전북대 대학원), 이 성철(전북대, 공업기술연구소)

A Study on the Controller having Disturbances in Spark Ignition Engine

Young-Choon Lee*, Jin-Ho Jeong, Yeo-hung Yun (Graduate School, Chonbuk Univ.),
and Seong-Cheol Lee (Chonbuk Univ., RIIT)

ABSTRACT

This paper presents an PID type fuzzy based method for nonlinear engine idle controller. The output is a duty cycle(DC) for driving a idle speed control valve(ISCV). For precise control of SI engine, the CPS sensor and coolant temperature are used. Visual C++ language is used to make simulation panel for the fast and precise idle speed control. The dSPACE board and supported Control desk program is used in experiment to the same purpose as simulation. The experimntal results have a good agreement with simulation ones.

Key Words : Fuzzy controller(퍼지 제어기), Idle speed control(공회전 속도제어), ECU(전자제어장치), MAP sensor(흡기 절대압력 센서), SI engine(불꽃 점화 기관)

1. 서 론

석유 자원이 전무한 국내 실정에서는 연비 향상과 승차감을 동시에 만족할 수 있다면 더할 나위 없이 훌륭한 차량이라 할 수 있을 것이다. 일반적으로 도로 사정상 또는 차량의 상태 점검을 위해서 장시간 공회전 상태에 놓이게 되는데 공회전 상태에서의 엔진 회전수 변동은 연료 소비를 촉진하는 효과를 가져올 수 있으며, 배출가스의 발생이라는 환경적인 문제까지 야기 시킨다.

공회전에 영향을 미치는 부하로는 기계적인 요소로서 파워핸들 오일 펌프 구동과 에어컨 압축기(compressor) 작동이 있고, 전기적인 요인으로는 냉각수 온도 상승에 따른 라디에이터 냉각 팬의 구동 및 전조등의 점멸 등이 있다. 이러한 외부 토크변화의 요인을 제어하기 위해서는 전자제어장치(electronic control unit)의 중요성이 더욱 강조되고 있는데, 안정한 공회전 제어를 실행하기 위해서 더욱 많은 연구가 행해지고 있다.⁽¹⁻⁹⁾

본 논문에서는 엔진 모델링 방정식은 비선형이기 때문에 전문가의 경험에 기초한 PID형 퍼지 제어기를 이용하도록 설계하였으며, Visual C++ 언어를

이용하여 모의 실험을 통한 제어 가능성을 검증하였으며, 실험을 통하여 이의 확인을 시도하였다. 모의 실험과 실험 결과는 모두 안정된 제어 결과를 보였다.

2. 모델 링

엔진 모델링 방정식⁽¹⁰⁾은 다음과 같다.

- 1) 흡기 매니폴드 압력

$$\dot{P}_m = \frac{RT_m}{V_m} (\dot{m}_{in} - \dot{m}_{ac}) \quad (1)$$

- 2) 공기 질량 유동 방정식

$$\dot{m}_{ac} = \frac{V_d P_m}{4\pi R T_m} \omega_e \eta_v \quad (2)$$

- 3) 도시 토크

$$T_i = \frac{\eta_f \cdot \dot{m}_f \cdot Q_{Hv}}{\omega_e} = \frac{\eta_f \cdot \dot{m}_{ac} \cdot Q_{Hv}}{\omega_e \cdot AFR_{stoc}} \quad (3)$$

- 4) 엔진 관성모멘트(engine inertia moment)

$$\dot{\omega}_e = \frac{1}{J} (T_i - T_f - T_L) \quad (4)$$

식(1)-(4)에서 보는 바와 같이, 엔진회전수 ω_e 의 변화율은 도시토크 T_i 및 마찰토크 T_f 와 부하토크 T_L 의 함수이며, 부하토크 T_L 은 외란이고, 엔진의 관성 모멘트 J 는 엔진 내의 회전체 및 질량의 함수이다. 엔진의 회전수 변화를 측정하여 토크 변화를 주기 위해서는 흡기 매니폴드에 홀러 들어가는 공기량을 제어함으로써 가능하다는 것을 알 수 있다.

3. 제어기 설계

Fig 1은 본 연구에서 사용한 퍼지 제어기의 순서도이다. 퍼지 제어 알고리즘의 특징은 비선형 시스템 모델식에 적합하고, 전체부에 다양한 입력 요소를 구성할 수 있으며, 특히 숙련된 전문가의 경험을 바탕으로 플랜트의 최적의 안정을 이룰 수 있다. 본 실험에서는 퍼지 합성 방법으로 최대-최소 합성법(max-min composition)을 사용하고, 추론과정에서는 맘다니(mamdani) 방법을 채택하였다. 엔진 공회전 속도를 제어하기 위하여 출력의 모 집단에서

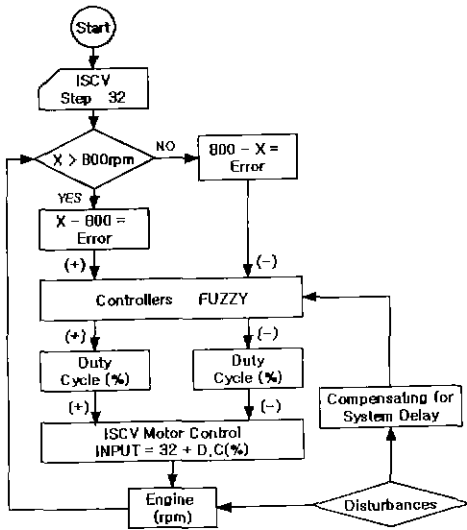


Fig. 1 Flowchart of controller design

매대한 값을 명확한 값으로 변환해 주는 비퍼지화(defuzzification)는 식 (5)의 무게 중심법(center of gravity method)을 사용하였다

$$Y = \frac{\sum Y_i \cdot \mu_B(y_i)}{\mu_B(y_i)} \quad (5)$$

여기서, Y : 비 퍼지화 출력
 Y_i : 소속 함수의 양자화 값

$\mu_B(y_i)$. 퍼지 집합의 소속함수

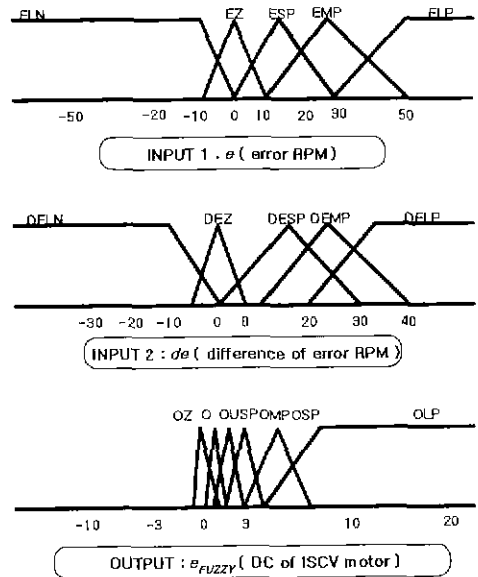


Fig. 2 Membership function of I/O

입력 변수들로 출력된 엔진 회전수와 목표 회전수와의 오차인 $e(t)$ 와 오차의 변화량인 $de(t)$ 를 선택하고 이에 대응하는 멤버쉽 함수를 구성하였다. 한편, 정상 상태의 오차를 개선하기 위하여 오차의 함인 $soe(t)$ 항을 추가하여 PID형 퍼지 제어기를 구성하였다. 입력력 변수의 정의에서 퍼지 제어기의 입출력 관계는 다음과 같다.

$$R(t) : e(t) \times soe(t) \times de(t) \Rightarrow e_{FUZZY} \quad (6)$$

여기서 $R(t)$ 는 t 번째 규칙의 관계 행렬이며, Fig. 2는 본 실험에서 적용된 입력부와 출력부의 멤버쉽 함수이다. e_{FUZZY} 는 퍼지 제어기에 의한 출력 값이며, 목표 듀티율은 식 (7)과 같다

$$DC_{des} = DC + e_{FUZZY} + DC_{AC} + DC_{CV} \quad (7)$$

4. 모의실험

Fig. 3은 시뮬레이션 프로그램의 구성도이며, MS사의 MFC (Microsoft Foundation Class)를 사용하였다. 초기값 설정 화면(initial values dialog)을 별도로 제작하여, 각종 외란 값으로 A/C, P/S, Electric glasses, Lights를 적용할 수 있도록 설계하였다. 주어진 외란의 토크 변화량은 디지털량이다. 출력 값

으로 eFUZZY 흡기압력, RPM 변화치를 보이며, 퍼지 알고리즘의 작동 여부를 직접 확인하여 문제점을 쉽게 찾을 수 있도록 하였다. 보조패널과 그래픽 패널을 이용하여 많은 노력과 시간이 소요되는 이득 값들 사이의 Trade-off을 용이하게 적용할 수 있도록 추가하였다.

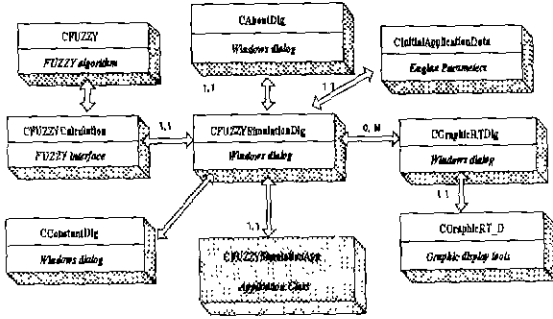


Fig. 3 Structure of Application Program

5. 실험장치

공회전 속도 제어를 위하여 dSPACE사의 입력력 제어 보드(DS1103)를 사용하였다. 입력 요소로는 홀(hall) 센서 신호, 엔진 내부의 냉각수와 엔진 오일 온도, 대기 온도, 에어컨 스위치 On/Off 신호로 구성되어있다. 홀 센서로부터 엔진 공회전수를 감지하고, 외부와 엔진 오일 온도는 K-형 열전대를 이용하였으며, 냉각수 온도는 냉각수 출구쪽의 온도 센서에서 값을 측정하였다. 출력 요소들은 공회전 속도 제어 밸브 내의 직류 모터를 구동하는 신호들로서, 3개의 출력 신호인 CLOSE 및 OPEN 파형, 12V로 구성된다. 한편, 실험상에서 일정한 이득 값을 유지하기 위하여, 별도의 전원 공급기를 설치하였다. 실험 차량의 고유한 공회전 유량을 공급하기 위하여 동일한 타입의 센서를 사용하였으며, 이 경우 공회전 상태에서의 흡입 공기량은 1.0~2.0l/sec, 시동 시는 3.4~3.5l/sec이다. 외란이 작용하지 않는 경우, 800rpm을 유지하기 위한 기본 듀티율 DC는 각각 CLOSE 32%, OPEN 68%로 설정하였다.

실험 차량의 엔진 배기량은 1800cc이며, 동일한 실험 조건을 유지하기 위하여 냉각수 온도는 81 °C 부근으로 하였고, 이는 냉각수 Low 팬의 작동 온도 범위이다. 페루프 제어인 퍼지 알고리즘을 실시간 처리할 수 있도록 PC(CPU-펜티엄III)를 사용하고, ECU내의 EPROM 데이터를 직접 변경하지는 않았다. 공회전 이외의 다른 값들은 ECU의 맵 값을 사용하였으며, 실험의 편리를 위하여 ECU 핀에

서 입출력 값을 구하였다.

6. 모의실험 및 실험 결과

Fig. 4은 공회전 제어를 하지 않는 경우의 에어컨 스위치 On/Off 에 따른 엔진 회전수(rpm)와 목표 듀티율(%)의 변화를 비교한 것으로, 실제의 에어컨 스위치 On/Off 전압치와 듀티율에 각각 100배, 10배의 값을 취하였다. 에어컨 On 상태는 전압이 0V에서 5V로 상승 할 때이며, 에어컨 Off는 반대의 경우를 나타낸다.

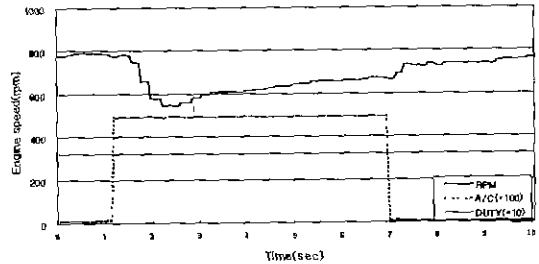


Fig. 4 Rpm change under A/C load(no control)

에어콘 부하가 주어질 경우에 기본 듀티율 32%를 계속 유지함에 따라 토크 손실이 발생하고 있음을 알 수 있다. 에어컨 스위치를 On한 경우에 0.6초 후부터 회전수가 강하하기 시작하여 관성력에 의하여 550rpm 부근까지 떨어진 후 서서히 회복하고 있으며, 이는 에어컨 압축기 구동 토크 10Nm에 해당되는 회전수 손실치이다. 한편, 에어컨 압축기 부하를 제거함에 따라 서서히 800rpm으로 회복하고 있다.

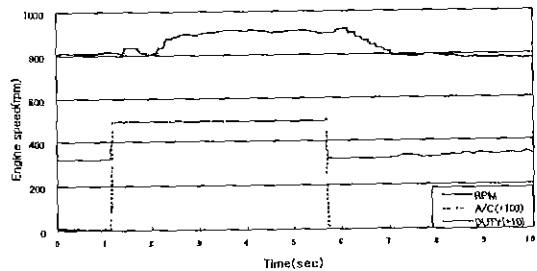


Fig. 5 Rpm change under A/C load (map table)

Fig. 5은 실험 차량의 ECU 공회전 보상 맵에 의한 제어 상태이다. 에어컨 On과 동시에 듀티율을 보상하는 예측 지연 방법을 택하고 있으나 맵 방식에 따른 회전수 상승(920rpm)을 보이고 있다. 이는 ECU 맵 상에서 최적의 보정 값을 선택한 경우

이며, 계속된 부품 노화와 예측치 못한 외란에 대해서는 더욱 불안정한 엔진 공회전 상태를 보일 수 있다.

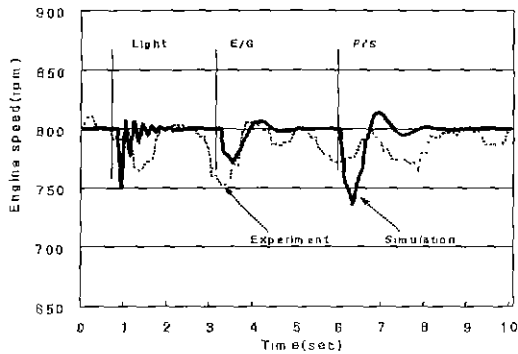


Fig. 6 Comparison of engine speed change by PID controller having disturbances between simulation and experiment

Fig. 6은 전조등 및 자동창문 그리고 파워핸들이 작동될 경우의 PID 제어에 의한 회전수 변동 특성을 설명하고 있으며, 모의 실험 결과와 실차 실험의 결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

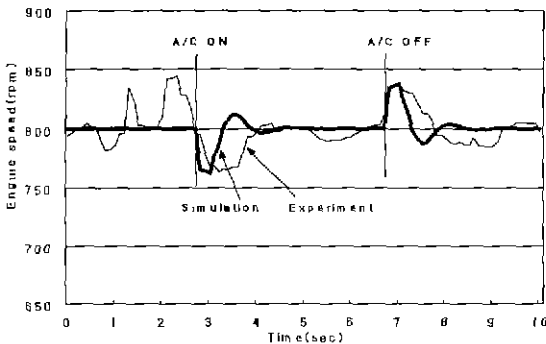


Fig. 7 Comparison of engine speed change by PID type fuzzy controller having A/C compressor torque load between simulation and experiment

Fig. 7은 PID형 퍼지제어기에 의한 모의 실험과 실차 실험 결과이다. 이는 예측지연을 포함하는 제어결과로서 엔진회전수의 변동량이 760rpm-840rpm을 갖고 있어 안정적인 공회전 제어 결과를 보여주고 있다

7. 결론

공회전 중인 엔진에 외란이 주어질 경우에 상용화 되고 있는 ECU의 맵 제어 방식과 페루프 제어기들을 설계하여 엔진 공회전 제어를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 예측 지연을 갖는 PID형 퍼지 제어기는 엔진 회전수 변동량이 760-840rpm의 변화를 보이고 있어, 일정한 상승치 920rpm을 보이는 ECU의 맵보다 안정된 공회전 제어 상태를 보였다
2. 모의실험을 통한 에어컨 외란을 받는 공회전 제어기는 안정적인 결과를 보였으며, 본 연구에 사용한 방정식의 유효함이 판명되었다
3. 모의실험과 실차 실험 결과는 모두 외란에 안정한 제어상태를 보였으며, 같은 유형의 제어 상황을 보였다.

참고문헌

1. John S. Mills, "Multivariable Control of Engine Idle Speed," SAE, 970611, pp. 55-64, 1997.
2. L. Kjergaard, et al, "Advanced Nonlinear Engine Idle Speed Control Systems," SAE, 940974, pp 1490-1501, 1994.
3. Patrick Kaidantzis, Per Rasmussen, Michael Jensen, Thomas Vesterholm, and Elbert Hendricks, "Advanced Nonlinear Observer Control of SI Engines," SAE, 930768, pp. 1029-1037, 1993.
4. Minesh A. Shah, and Matthew A. Franchek, "Nonlinear Modeling and Control of I.C. Engine Idle Speed," SAE, 970512, pp. 125-131, 1997
5. Sei-Bum Choi, and J. K. Hedrick, "Robust Throttle Control of Automotive Engines: Theory and Experiment," Trans of ASME, Vol.118, pp. 92-98, 1996.
6. J. J. Moskwa, "Sliding Mode Control of Automotive Engines," J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.115, pp. 678-693, 1993.
7. C. Y. MO, A. J. Beaumont, and N. N. Powell, "Active Control of Driveability," SAE, 960046, pp. 215-224, 1996.
8. 이영춘, 외 2인, "PID형 퍼지 제어기에 의한 공회전 제어," 한국정밀공학회 '99년도 춘계학술대회 논문집, pp. 230-233, 1999.
9. 이영춘, 외 2인, "공회전 엔진속도의 실시간 PID 제어 시뮬레이션," 한국정밀공학회 '98년도 추계 학술대회 논문집, pp. 490-493, 1999.
10. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals," McGraw-Hill Book, 1988.