

FLC를 이용한 수동 변속 차량을 위한 출발 보조 제어기의 설계

°선권석*, 나승유*
*전남대학교 대학원
*전남대학교 전자공학과

Design of a Start-Aid Controller for Manual Transmission Vehicles Using FLC

°Kwon Seok Seon*, Seung You Na*

*Graduate College, Chonnam National University, Puk Ku, Kwangju 500-757, KOREA
*Dept. of Electronics Eng., Chonnam National University, Puk Ku, Kwangju 500-757, KOREA
Tel: +82-62-520-6394; Fax: +82-62-520-6390; E-mail: syna@orion.chonnam.ac.kr

Abstracts In the operation of a model car, various start operations can be manipulated by a set of fuzzy logic rules. The optimal fuzzy logic rules to control the model car, in various operation conditions, can be obtained by back-propagation algorithms generally used in fuzzy-neural type controller. With the road conditions, start command and desired speed, the start-aid controller provides a set of desirable acceleration and motor input for a smooth operation in the application of the model car. Regardless slope and disturbances, the controller detects current vehicle speed and decides the initial fuzzy rules. And then, the controller generates a command driving signal, based on readings of vehicle's speed and the difference of speed. First, a start-aid controller for manual transmission vehicles using FLC is designed, and then the controller has been tested in the real model car and results obtained are shown. The design of simulations are demonstrated by the real model of a high-performance model car. And a with other control approaches widely used in the plant is performed.

Keywords Fuzzy Logic Control, Manual Transmission Vehicles, Start-Aid Controller

I. 서 론

퍼지 논리 이론은 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 그 중에서 제어 분야의 적용은 상당히 활발한 편이다.^{[1][2]} 또한 그 결과 또한 기대할만 하다. L. A. Zadeh에 의해 개발된 퍼지 집합 이론에 의해 강한 동기가 되어 1974년 E. H. Mamdani가 퍼지 논리 제어의 개념을 소개한 이후, 화학 반응기 제어, 자동차 엔진 제어, 세탁기 등 여러 분야에서 적용되었다. 고전 기술과 비교해서 FLC(Fuzzy Logic Controller)는 제어기를 개발하는데 소요 인력, 비용이 적고, 폭 넓은 운전 영역을 취급할 수 있으며, 인어적 용어로 표현되어지기 때문에 제어기 규칙을 이해하거나 변형하기가 쉽다.^{[3][4][5]} 학습을 참고하는 퍼지 모델을 포함하는 퍼지 제어의 응용으로서, 퍼지 논리 제어기는 G. F. Mauer^[6]에 의해서 설명된다.

본 논문에서는 수동 기어가 부착되어 있는 자동차의 출발을 도와주는 출발 보조 시스템에 대해서 논한다. 수동 기어가 부착되어 있는 자동차의 경우, 운전자는 기어의 중립과 전진 기어를 여러 번 반복해서 수행해야 하며, 이로 인해 피로가 가중된다. 또한, 경사가 급한 곳에서는 출발이 용이하지 않다는 문제점도 있다. 자동 변속기가 장착되어있는 차량을 제외하고는 거의 매년 이와

같은 작업을 수행해야 한다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하는데 있어서 경사와 상관없이 출발 토크를 결정하고, 출발 이후에는 속도와 RPM을 측정하여 운행 토크를 결정해준다. 보통 승용차의 경우 토크 결정을 위해서는 엔진으로 별도의 연료 전송로를 이용하여 연료를 공급하여서 토크를 결정해준다. 실험에서는 모형 자동차의 구동기인 DC모터의 입력 전압을 조절함으로써 제어하고자 한다.

본 논문에서 사용한 시스템에서는 입력에 의해 구동 장치로 출력이 가해져 엔진으로 전해진다 할지라도 엔진에 연료가 공급되어 속도로 나타나기까지는 제어기의 응답을 제한하는 중요한 전송 지연을 포함한다^[7]. 실제 자동차에의 적용의 어려움으로 모형 자동차에 적용한다.

본 논문에서 사용한 실제적인 플랜트 모델을 갖는 학습 제어기를 참조한 퍼지 모델의 성능 연구는 출발 보조용 퍼지 논리 제어기에 대한 이점을 연구하고 분석하는 것이다.

II. 차량 운전 조작과 모형 차량의 구성

1. 차량 운전 조작의 모델

수동 변속기가 장착되어 있는 차량에서 정지 후 출발

할 때 운전자는 클러치, 브레이크, 가속기 그리고 수동 변속기를 적절한 순서 조합에 의해 조작을 해야 한다. 특히 경사가 급하거나 엔진 토크에 비해 부하가 많이 걸리는 경우에는 출발이 용이하지 않다.

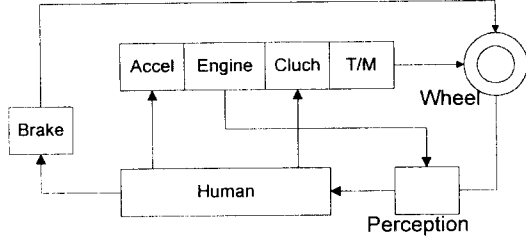


Fig. 1. Real system

그림 1은 실제 자동차 운전시의 필요 조작을 블럭도로 나타낸 것이다. 운전자는 감각에 의해 모든 것을 결정한다. 엔진에 걸리는 부하의 정도, 바퀴로 전달되는 토크의 양에 따른 클러치의 집속 정도 등이 판단 대상이 된다.

2. 모형 자동차

실험에 사용한 장치는 DC 모타가 장착되어 있는 소형 모형 자동차이다. 자동차의 속도 제어는 DC 모타에 공급되는 전압을 조절함으로써 가능하고, 전압 조절은 PWM 방식에 의한다. 이 때 사용한 주파수는 2500Hz이다. 최고 속도는 약 40Km/h이다. 바퀴의 회전 상태를 감지하기 위하여 엔코더를 모형 자동차의 오른쪽 바퀴에 일직선 상으로 장착하였다. 차동 기어의 영향으로 인해 엔코더가 동력을 균일하게 전달받지 못하여, 반대쪽 바퀴에 엔코더와 무게, 모양 및 크기가 비슷한 300g짜리 하중을 설치하여 균일한 동력을 전달 받을 수 있도록 하였다. 엔코더의 출력으로는 1회전당 360개의 펄스가 발생하며, 속도 산출을 위해 카운터의 게이트 입력으로 사용된다.

3. 속도

그림 2은 실험에서 사용한 시스템의 블럭도이다.

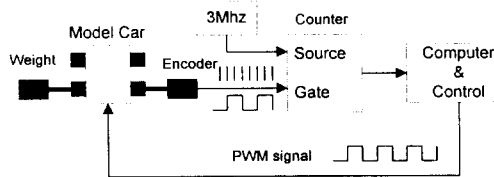


Fig. 2. System block diagram

속도 산출을 위한 바퀴의 1회전당 거리는 식 (1)에 의하여 산출된다.

$$\text{바퀴의 1회전당 거리} = 2\pi r = \pi D \quad (1)$$

지름 D는 85mm이므로 1회전당 움직인 거리는 0.2669m이다. 이때 1Km 주행에 필요한 회전수는 식

(2)에 의해서 계산된다.

$$1\text{Km를 주행하기 위한 바퀴의 회전수} = \frac{1000[m]}{\pi D[m]} \quad (2)$$

즉, 1 Km를 주행하는 데 필요한 회전수는 3746.72 임을 알 수 있다. 이 때 초당 회전수는 식 (3)에 의하여 계산되며, 10.4Hz에 해당된다.

$$\text{초당 회전수} = \frac{1\text{Km주행을 위한 바퀴의 회전수}}{3600\text{sec}} \quad (3)$$

그리고 엔코더 출력이 1회전당 360 펄스이므로 1Km/h의 속도에서 엔코더의 출력의 펄스 수는 식 (4)에 의해 3,744Hz로 계산된다.

$$1\text{Km/h 속도에서 엔코더의 펄스수} = \frac{1\text{Km/h주행을 위한 초당 회전수} \times \text{바퀴 1회전당 엔코더의 펄스수}}{\quad} \quad (4)$$

이 때 펄스의 주기 $T=0.2671 \times 10^3 [\mu\text{sec}]$ 이다. 따라서, 3MHz의 소스 주파수가 공급될 때 1Km/h를 나타내는 카운터의 개수는 다음 식 (5)에 의해서 계산된다.

$$1\text{Km/h에 해당하는 카운터의 개수} = \frac{\text{엔코더 출력의 1 펄스 주기} [\mu\text{sec}]}{\text{소스 주파수의 주기} [\mu\text{sec}]} \quad (5)$$

즉, $0.2671 \times 10^3 / 0.3333 = 801.4$ 개이다. 다시 말해서, 1Km/h를 나타내는 카운터의 개수는 801 개이다.

III. Application of the FLC

본 논문에서 빠르고 안정된 출발과 출발 후 정속 주행을 위한 퍼지 논리 제어를 설계한다. FLC에서 전진부의 멤버십 함수와 후진부의 실수부를 조정하기 위해 Back-Propagation 알고리즘을 이용한다. Back-Propagation 알고리즘에 있어서 퍼지 시스템 $f(x)$ 를 결정하기 위한 입력력 쌍이 식 (6)과 같이 주어질 때,

$$(x^p, d^p), x^p \in U \subset R^n, d^p \in V \subset R \quad (6)$$

다음 식 (7)의 평가 함수 e^p 의 최소화 문제로 정식화할 수 있음이 알려져 있다.

$$e^p = \frac{1}{2} [f(x^p) - d^p]^2 \quad (7)$$

즉, 식 (7)의 e^p 가 최소화 되는 것과 같이 \bar{y}^i, \bar{x}_i^i 그리고 δ_i^i 을 학습시키는 것이다.

전진부의 멤버십 함수 \bar{y}^i, \bar{x}_i^i 과 후진부의 실수치 δ_i^i 을 학습하기 위한 식은 다음 식 (8), (9), (10)이다.

$$\bar{y}^i(k+1) = \bar{y}^i(k) - \alpha \frac{\partial e}{\partial y^i} \Big|_k \quad (8)$$

$$\bar{x}^i(k+1) = \bar{x}^i(k) - \alpha \frac{\partial e}{\partial x^i} \Big|_k \quad (9)$$

$$\bar{\delta}_i^i(k+1) = \bar{\delta}_i^i(k) - \alpha \frac{\partial e}{\partial \delta_i^i} \Big|_k \quad (10)$$

본 논문에서 사용한 학습 알고리즘인 식 (8), (9), (10)은 오차 역전파 알고리즘의 절차를 수행하며, 각 파라미터를 누적한다.

그림 3은 FLC의 멤버십 함수를 나타내고, 그림 4는 FLC에서 사용된 규칙을 보여준다.

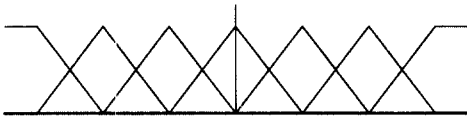


Fig. 3. Membership function

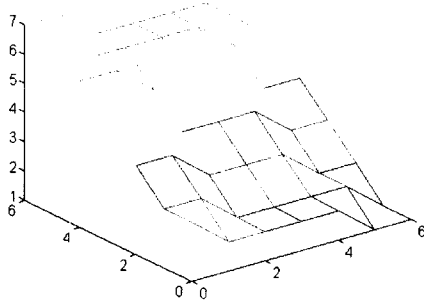


Fig. 4. Rules used in the FLC

그림 5는 전체 시스템의 모델을 보인다.

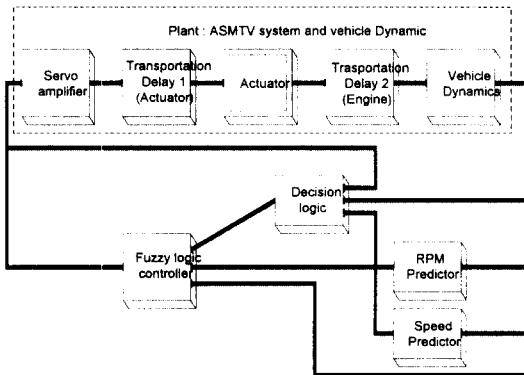


Fig. 5. Closed-loop ASMTV control

IV. 실험결과

본 시스템은 경사각, 부하 그리고 속도와 속도의 변화분을 입력으로하여 모형 자동차를 제어한다. 경사각은 0°에서 +30°까지로 하였고, 부하로는 무게 추를 100g에서 500g단위로 하였다. 무부하 상태에서 모형 자동차의 초기 움직임은 2500Hz의 PWM에 있어서 24%에서 나타났으며, 부하가 500g 이상 일때는 30%가 넘어야 초기 움직임이 나타났다. 속도를 계산하기 위한 엔코더의 출력을 소스 주파수 3MHz로 카운팅할 때, 엔코더 출력 펄스의 시작점이 아닌 그 이후 부분에서 카운팅을 시작하여 현재의 속도와 다른 카운팅 값이 출력될 경우는 제어용 입력으로 사용하지 않고, 정상적인 출력의 경우만을 사용하였다. 즉, 예상한 값 이상의 급격한 변화가 일어나는 것을 감지하여 결정해 주었다.

그림 6은 경사 0°, 부하 0g인 상태일 때의 PWM의 출력 신호와 엔코더 신호를 보여준다. 순간적으로 변화하고 있어서 관찰하기는 어려우나 PWM의 변화가 제어 포인트의 ±2에서 ±3 안에서 제어되고 있으며, 운전 기간동안의 전체 변화분과 이에 따른 속도를 그림 7에서 보여준다. 초기 상태에서 잠시 동안 움직임이 없고 점차 안정된 운전을 시작하고 있으며, 일정 속도에 도달하면 정속 주행을 하기 위해 제어되고 있음을 보여준다. 그림 7은 경사가 0°이고, 부하가 0g인 시스템의 FLC 출력을 보여준다. 그림 8은 경사가 8°이고, 부하가 500g일 때의 PI 제어기의 출력을, 그림 9는 FLC의 출력을, 그림 10은 경사가 20°이고 부하가 1200g일 때의 FLC 출력을 보인 것이다. 각 그림의 첫 번째는 PWM 신호의 Ratio이고 두 번째는 속도이다. 기준 속도는 2Km/h이다.

V. 결론

본 논문에서는 모형 자동차를 플랜트로 하여 자동차의 출발과 정속 주행을 위한 속도 제어를 위해 퍼지 제어를 설계하여 적용하였다. 실제 시스템에서의 전송 지연을 감안하여 시스템을 설계하였으며, 운전 조건 또한 인원 승차에 따른 부하와 도로 조건에 따른 경사를 각각 고려하였다. 입력 조건으로 받는 경사각과 속도 그리고 속도의 변화분에 따라 출발과 운전을 제어하였으며, PWM 제어 방식에 의해 모터에 공급되는 전압을 변화시켜줌으로써 외부 잡음에 대한 저항력이 상당히 강하다는 것을 알 수 있었다. 엔코더 출력에 있어서도 많은 잡음이 카운터에 입력되었으나 펄스 폭을 카운팅하여 속도를 계산함으로써 순간 순간 속도 변화를 알 수 있었다. 따라서 출발시 및 정속 주행시에도 저속도임에도 속도 변화를 볼 수 있었다.

본 논문에서 적용한 퍼지 제어기는 전건부의 멤버십 함수와 후건부 실수치를 조정함으로써 좋은 제어 결과를 보였으며, PI 제어기와 비교해서 더 나은 결과를 볼 수 있었다.

References

- [1] K. M. Passino, "Intelligent Control for Autonomous Systems," *IEEE Spectrum*, pp. 55-62, June, 1995.
- [2] F. R. Rubio, M. Berenguel, and E. F. Camacho, "Fuzzy Logic Control of a Solar Power Plant," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 459-468, 1995.

- [3] J. Yen, "Performance Evaluation of Self-Tuning Fuzzy Controller," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 8, pp. 389-397, 1992.
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Control-Part I," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.
- [5] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Control-Part II," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pp. 419-435, 1990.
- [6] G. F. Mauer, "A Fuzzy Logic Controller for an ABS Braking System," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 381-388, 1995.
- [7] C. V. Altrock, B. Krause and H. J. Zimmermann, "Advanced Fuzzy Logic Control of a Model Car in Extreme Situations," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 48, pp. 41-52, North-Holland, 1992.



Fig. 6. Encoder output and PWM control signal

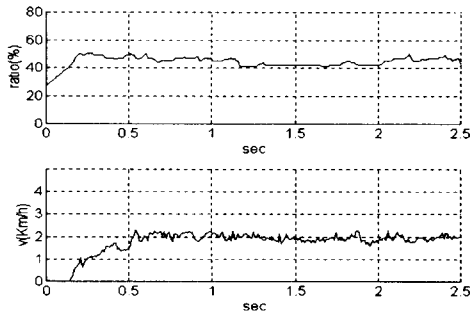


Fig. 7. Output of FLC(slope:0°, weight:0g)

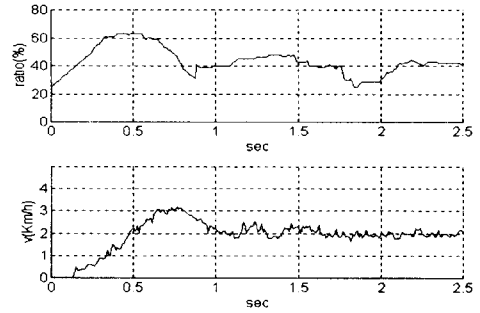


Fig. 8. Output of PI control(slope:8°, weight:500g)

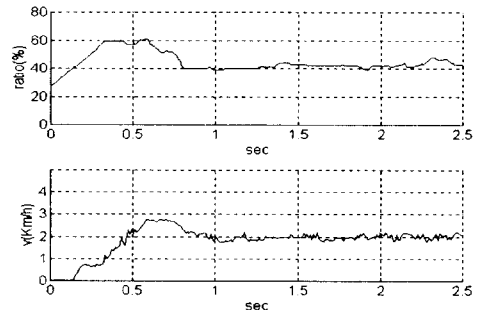


Fig. 9. Output of FLC(slope:8°, weight:500g)

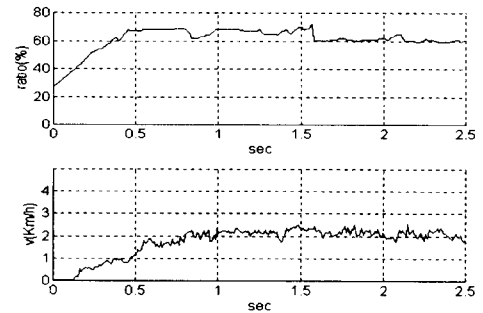


Fig. 10. Output of FLC(slope:20°, weight:1200g)