

강인한 퍼지 디지털 PI+D 제어 시스템의 설계 및 구현

권태익, 김태언, 박윤명, 박재형, 임영도

Design and Implementation for robust Fuzzy Digital PI+D Control system

T.I.Kwon, T.E.Kim, Y.M.Park, J.H.Park, Y.D.Lim

Abstract: In this paper, Fuzzy Digital PI+D Controller plans for load, noise, plant change, Fuzzy Controller makes use of simple four rule and membership function, and plant used three phase Induction Motor. Characteristic of system compared from experimentation respectively the proposed Control System, Digital PID Control and Digital PI+D Control System

I. 서론

디지털 컴퓨터가 만들어지면서 자동제어기법도 디지털화하여 융통성, 제작의 용이성, 잡음의 민감성에서 좋은 효과를 보이고 있다. 일반적인 디지털 PID 제어기는 미분제어기능 때문에 짧은 시간에 오차가 변동하면 미분 제어기는 매우 큰 값을 조절량으로 출력함으로써 제어기능이 너무 민감하게 반응하는 문제가 발생할 수 있다. 오차의 이런 변화가 목표 값의 변동에 의한 것이 아니라 외부에서 들어오는 잡음에 의해 발생하는 것이라면 문제는 더욱더 심각해진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 미분기능을 제어량인 출력에 대한 함수로 만들어 세 가지 제어기능을 합하는 설계사상인 PI+D제어기를 적용하였다. 그리고 시스템의 환경 변화나 부하에 대처하는 방법으로 제어기의 파라미터를 어떻게 변화시켜야 되는지를 추정해야 하는데 이를 위해 디지털 제어기의 PID계수를 입력으로하는 퍼지제어기를 설계함으로써 안정된 직렬성의 제어시스템을 구성하였다.

II. 디지털 제어시스템의 구성

1. 디지털 PI+D 제어시스템

디지털 PI+D 제어기는 그림 1 의 아날로그 PI+D 제어기의 구조에서 유도한다.

1) PI 제어

그림 2 에서 아날로그 PI 제어기의 출력은 식 (1)로 주어진다.

$$u_{PI}(s) = (K_P + \frac{K_I}{s})E(s) \quad (1)$$

여기서 K_P 는 비례이득, K_I 는 적분이득, $E(s)$ 는 오차 신호이다. 식 (1)의 방정식을 $s = \frac{z-1}{Tz}$ backward 근사법으로 역변환 하면 식(2)와 같다.

$$u_{PI}(s) = (K_P + \frac{T k_I}{1-z^{-1}})E(s)$$

$$u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT - T)$$

$$= K_P(e(nT) - e(nT - T)) + TK_I e(nT) \quad (2)$$

2) D 제어

그림 1에서 아날로그 D 제어 알고리즘은 출력만 미분하여 식(3)를 얻는다.

$$u_D(s) = sK_d Y(s) \quad (3)$$

여기서 K_d 는 아날로그 제어이득, $Y(s)$ 는 출력신호이다. 여기서 식(3)를 Backward 근사법으로 역변환하면 식(4)를 얻는다.

$$u_D(s) = \frac{(1-z^{-1})}{T} K_d Y(s)$$

$$u_D(nT) = K_d \frac{(y(nT) - y(nT - T))}{T} \quad (4)$$

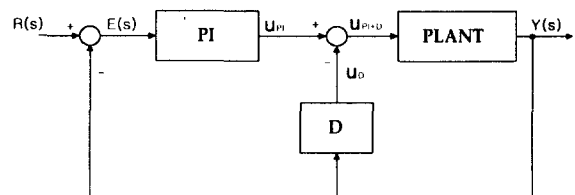


그림 1. 아날로그 PI+D 제어 시스템

2. 퍼지 디지털 PI+D 제어시스템

위 디지털 PI+D 제어기에서 퍼지 입출력 변수를 결정하기 위해 각각의 PI와 D를 수정하여 직렬성 제어시스템을 구성한다.

1) 퍼지 PI 제어

$$u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT - T) = K_P(e(nT) - e(nT - T)) + TK_I e(nT)$$

위 식에서 양변을 주기T로 나누면 좌항은 식(5)이 되고

$$\Delta u_{PI} = \frac{u_{PI}(nT) - u_{PI}(nT - T)}{T} \tag{5}$$

우항에서 식(6)로 치환하면

$$ce(nT) = \frac{e(nT) - e(nT - T)}{T} \tag{6}$$

식(7)와 같이 된다.

$$\Delta u_{PI}(nT) = K_P ce(nT) + K_I e(nT) \tag{7}$$

식(7)에서 우변의 2개 항 $K_P ce$ 와 $K_I e$ 는 퍼지 PI 제어기의 입력변수로 사용된다. 식(5)을 다시 나타내면 식(8)와 같다.

$$u_{PI}(nT) = u_{PI}(nT - T) + T \Delta u_{PI}(nT) \tag{8}$$

$T \Delta u_{PI}(nT)$ 를 퍼지 PI 제어기의 출력을 $K_{PI} \Delta u_{PI}(nT)$ 로 정의하면 식(9)와 같다.

$$u_{PI}(nT) = u_{PI}(nT - T) + K_{PI} \Delta u_{PI}(nT) \tag{9}$$

2) 퍼지 D 제어

$$u_D(nT) = K_D \frac{(y(nT) - y(nT - T))}{T}$$

$$\Delta y(nT) = \frac{y(nT) - y(nT - T)}{T}$$

$$u_D(nT) = K_D \Delta y(nT) \tag{10}$$

식(10)에서 $K_D \Delta y(nT) = K_D ce(nT)$ 로 치환하고, 정확한 퍼지규칙을 위하여 $e(nT) = r(nT) - y(nT)$ 인 $Ke(nT)$ 을 첨가하면 식(11)을 얻을 수 있다.

$$u_D(nT) = K_D ce(nT) + Ke(nT) \tag{11}$$

D 제어기의 입력변수는 $K_D ce$ 와 Ke 이다. 그러므로 전체 퍼지 디지털 PI+D 제어기는 식(12)과 같다.

$$u_{PI+D}(nT) = u_{PI}(nT) - u_D(nT) \tag{12}$$

구성된 퍼지 디지털 PI+D 제어시스템은 그림 2와 같다.

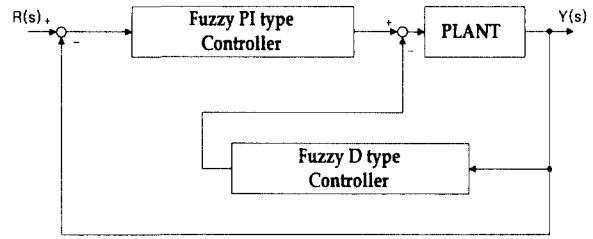


그림 2. 퍼지 디지털 PI+D 제어시스템

III. 퍼지 논리 제어

1. 입력변수의 퍼지화와 소속함수

언어 퍼지집합의 종류는 다음과 같다.

N: Negative P: Positive

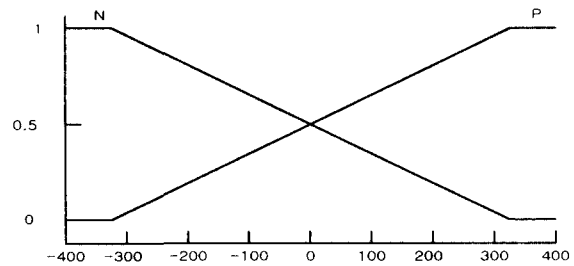


그림 3. 입력 퍼지 소속함수

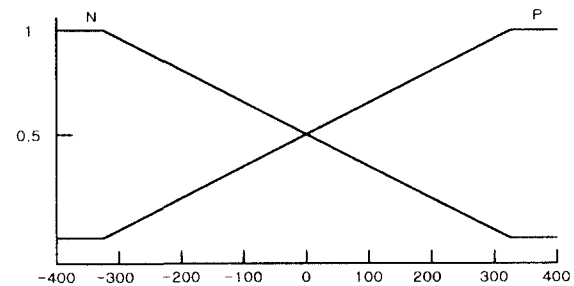


그림 4. 출력 퍼지 소속함수

2. 퍼지 PI의 제어 규칙

- 1) If ce is P, then U_{PI} is P
- 2) If ce is N, then U_{PI} is N
- 3) If e is P, then U_{PI} is P
- 4) If e is N, then U_{PI} is N

3. 퍼지 D의 제어 규칙

- 1) If e is P, then U_D is P
- 2) If e is N, then U_D is N
- 3) If ce is P, then U_D is P
- 4) If ce is N, then U_D is N

퍼지규칙추론에서는 전형적인 (IF-THEN 규칙)형식으로 사용하였으며, 추론방법은 Mamdani가 제안한 Max-Min 방법을 이용하였다. 또한 비퍼지화 방법으로

는 최대값 평균법을 사용하였다.

IV. 3상유도모터의 위상제어

3상 유도모터를 위상제어하는 구조에 관해서 살펴보면, 그림 5과 이 설정값과 궤환되는 실제 출력값과의 오차를 제어기에 입력시켜 제어된 위상제어신호를 출력한다. 이 위상제어신호는 위상제어부에 입력된다. 그리고 3상 Y결선으로 위상검출된 각 위상은 제어신호에 따라 3상의 위상을 제어한다. 이렇게 제어된 3상은 모터에 가해져서 설정 속도로 동작되도록 구성된다. 이때 모터는 궤환신호를 얻는 장치인 엔코더를 통해 다시 모터의 실제출력값을 궤환시켜서 제어기에서 설정값과 비교한다.

본 연구에서 사용된 마이크로 콘트롤러는 Intel사의 프로세서인 N80C196KC를 사용하였다. 그리고 구동부의 전력소자로는 TRIAC BTA16 600B를 사용하였다. 실험에 사용된 모터는 3마력(2.2kW), 최대 회전속도 1800rpm으로 동작된다. 그리고 출력특성을 조사하기 위하여 data acquisition card로 ACL-812PG보드를 이용하였다.

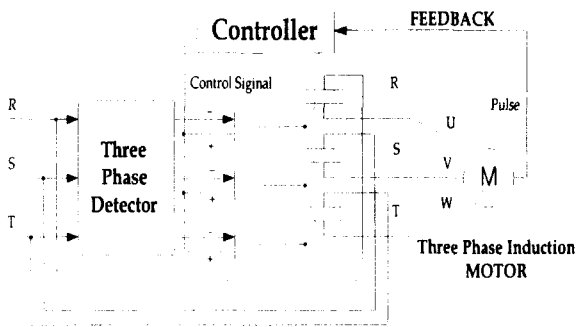


그림 5. 전체 시스템도

V. 실험 결과 및 분석

실험에 사용된 시스템은 위에서 설명한 3상 유도모터이고 샘플링 타임은 2ms이다.

실험은 세가지 제어기에 대한 부하시와 무부하시의 특성에 대해서 비교, 실험하였다.

1. PID제어기의 응답 특성

무부하시 스텝 입력에 대한 응답 특성

320rpm 오버슈트의 값을 가지며 2초후 정상상태에 도달하였다.

부하인가시 응답특성

부하는 같은 모터에 100kg · f · m의 부하토크를 걸었다. 실험하고자 하는 모터에 제동을 걸어주어 실험을 하였다. 그림 7에서 정상상태 후 부하를 걸어주었고 6.9초후 부하를 풀어주었다. 부하인가시 응답특성이 매끄러

럽지 못하고 큰 정상상태 오차를 보였다.

P계수는 35, I계수 3.5 그리고, D계수는 1값을 설정하였다.

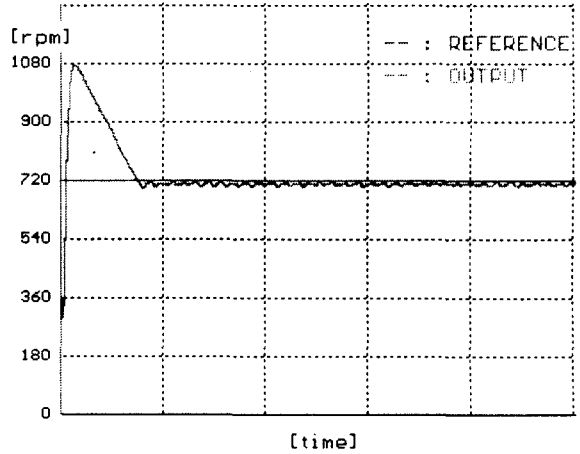


그림 6. PID제어기의 스텝응답에 대한 응답특성

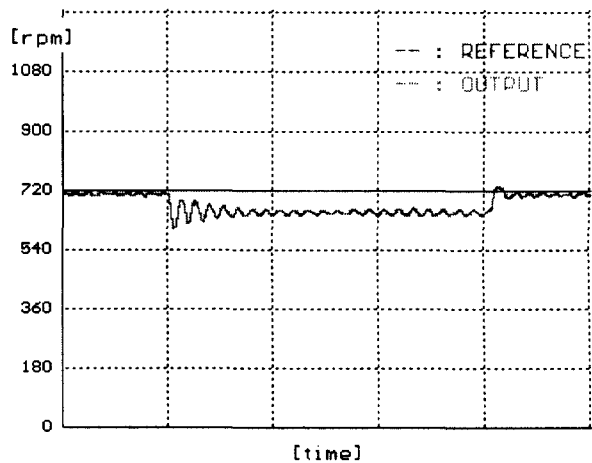


그림 7. 부하인가시 스텝입력에 대한 응답특성

2. PI+D제어기의 응답 특성

무부하시 스텝 입력에 대한 응답 특성

그림 8의 PI+D제어기의 경우 270rpm 오버슈트의 값을 가지며 1.5초후 정상상태에 도달하였다.

부하인가시 응답특성

그림 9에서 부하인가시 정상상태 오차를 보였으며, 플랜트 특성상 부하인가시 미분기능이 큰 효과를 보이지 않았다. P계수는 25, I계수 4.5 그리고, D계수는 1.7값을 설정하였다

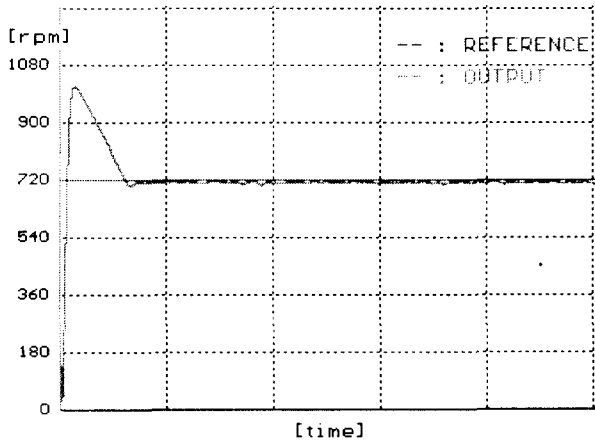


그림 8. PI+D제어기의 스텝입력에 대한 응답특성

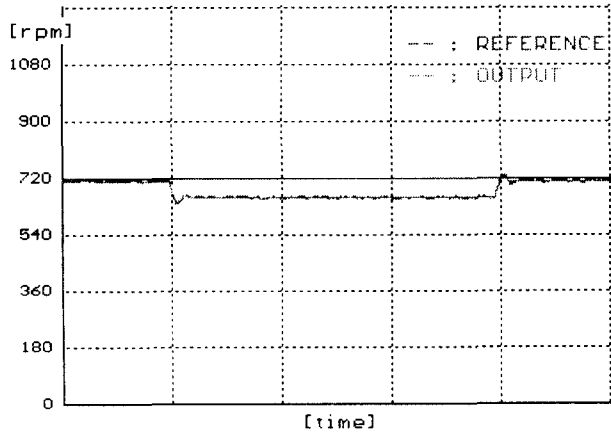


그림 9. 부하인가시 스텝입력에 대한 응답특성

3. 퍼지 디지털 PI+D제어기의 응답 특성

무부하시 스텝 입력에 대한 응답 특성

230rpm의 오버슈트값과 1.2초후 정상상태에 도달하였다. 그러나 정상상태에 도달한 응답특성이 일정하지 못했다.

부하인가시 응답특성

앞의 두 제어기와는 달리 부하에 대한 정상상태 오차는 많이 줄어들었다. P계수는 15, I계수 5 그리고, D계수는 1.5값을 설정하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 디지털 PI+D 제어기와 간단한 퍼지 제어 알고리즘을 결합한 제어시스템을 구성하였다. 제안된 퍼지 제어기는 디지털 PI제어와 D제어의 계수를 퍼지 제어기의 입력변수로 취하고, 각각에 대해 간단한 퍼지규칙을 사용함으로써 수행 시간이 단축되는 장점이 있다. 또한 디지털 PID 제어시스템과 PI+D 제어시스템을 구성하여 잡음, 외란, 플랜트의 변화에 대한 응답특성을 비교하여 퍼지 디지털 PI+D 제어시스템이 더 나

은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그러나 하드웨어구성의 불안정으로 기대했던 출력값을 얻지 못했다,

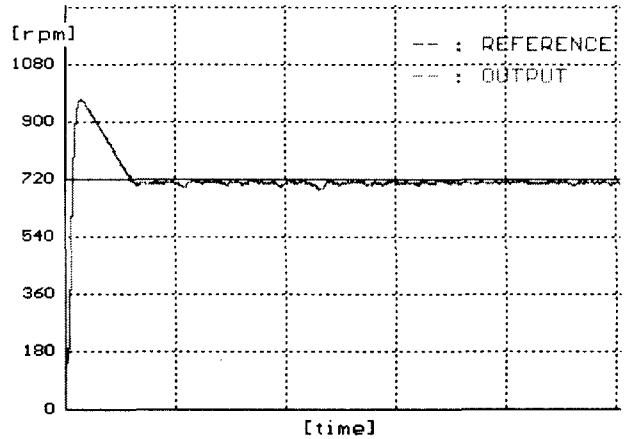


그림 10. 퍼지디지털 PI+D제어기의 스텝입력에 대한 응답특성

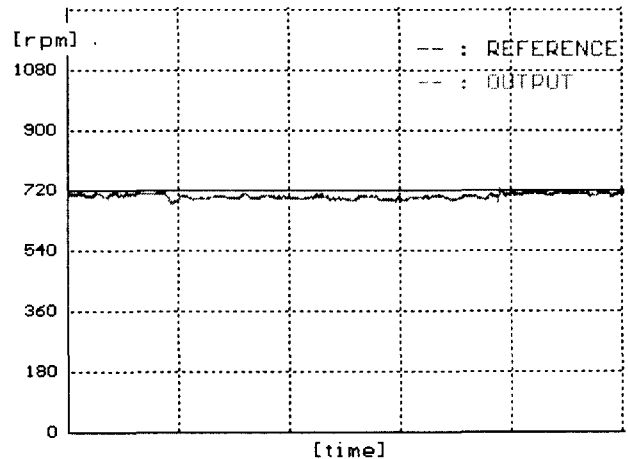


그림 11. 부하인가시 스텝입력에 대한 응답특성

향후 연구 과제로는 직접 프로세서인 N80C196KC로 위상검출 및 정확한 피드백 검출로 퍼지 디지털 PI+D 제어기가 우수함을 알아보고, 제어기 성능을 향상시키기 위한 매개변수 최적선정에 관한 고찰 및 안정도에 관한 연구가 필요하다.

VII. 참고 문헌

[1] D.Misir, H.A.Malki, and G.Chen, "Design and analysis and of a fuzzy proportional-integral-derivative controller," Fuzzy Sets and System, vol 79, pp. 297-314,1997
 [2] A. Ostubo, K Hayashi, S. Murakami, and M.maeda, "fuzzy hybrid control method applying simplified indirect inference method," Fifth IEEE Int Conf. On Fuzzy System, pp. 283-289, 1996