

Fuzzy Logic 제어기의 구성
(The Construction of
the Fuzzy Logic Controller)

김 성호* 박 태홍* 이 동원* 박 귀태* 이 기상**
(S. H. Kim T. H. Park D. W. Lee G. T. Park K. S. Lee)

* 고려대학교 전기공학과 (Korea Univ. ,Dept. of Electrical Eng.)
** 단국대학교 전기공학과 (Dankook Univ. ,Dept. of Electrical Eng.)

Many complex industrial processes cannot be satisfactorily controlled using the results of modern control theory, mainly because their precise structure is unknown. However this is often balanced by a considerable amount of operator's heuristic knowledges for the process which is difficult to quantify and utilize. Fuzzy set theory is a relatively new concept which allows this qualitiveness to be expressed rigorously and therefore in this paper modified PI type fuzzy logic controller is introduced and its usefulness for control is assessed.

1. 서론

복잡한 미지시스템의 제어를 위한 시스템식별 및 적응기법의 놀라운 발전에도 불구하고 많은 산업플랜트는 디지털방식에 의한 자동제어가 산출불가능하게 되어 숙련된 운전자의 판단에 전적으로 제어되고 있다. 그러나 아무리 숙련된 운전자의 판단하더라도 많은 길과를 측각 분석하여 적절한 후속조치를 취하지는 않아서 특이 오조작으로 인한 사고유발가능성등을 배제할 수는 없다. 따라서 80년대 이후 이러한 플랜트의 자동제어를 위해 전문가의 지식을 기반으로 한 Auto-Tuning PID 과 FLC (Fuzzy Logic Controller) 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이중 FLC는 해석적모델이 구해지 않는 경우와 같이 기존의 해석적제어기법의 적용이 불가능한 계통의 제어수단을 제공한다. 이 점에서 PID기법보다 일반적 적용의 가능성에 근거로 판단된다. FLC에 관한 연구로서 제어변수의 편차와 그 증분에 대한 Fuzzy Rule에 근거하여 제어입력을 결정하는 MacVicar-Whelan [1]의 연구와 MacVicar-Whelan이 제시한 제어기 구성과 고전적 PI제어와의 관계를 설정한 Tang [2]의 연구가 있다. 잘 알려진 위장식의 문제점은 Fuzzy Level을 세분화(n-level)함에 따라 입력결정에 요구되는 Fuzzy Rule의 수가 n^n (n:Fuzzy Logic 에 투입된 변수의 수)으로 Rule Base의 구축 및 실시간제어가 어렵다는 점이다. 1988년 Haung[3]은 이 문제의 해결을 위해 Fuzzy Rule을 정량화하여 Look-Up Table화 함으로써 주문과정을 제거하여 이에 필요한 Memory Size 를 감소시키는 동시에 실시간제어의 가능성을 보였다. 그러나 이 기법은 각 정량화단계에 대응하는 미리 설정된 제어입력을 선택함으로써 정량화단계의 세분화 정도와 제어성능이 상충관계를 갖는다는 어쩔 수 없는 단점을 갖고있다. 따라서 본 연구에서는 위의 두 기법이 갖고있는 문제점 즉, Rule Base 방식의 경우 정량화단계의 세분화로 인한 제어편차의 발생을 해결하기 위한 대책을 제안하고 그 성능을 검토함에 목적을 두었다. 제안된 제어기는 Modified PI형의 제어기로서 제어입력의 급격한 변화를 방지하기 위해 Model Following방식을 채택 하였고 Rule의 최소화를 위해 정상상태편차의 강함이 검출된 경우에만 I 동작이 투입되도록 구성하였는데 그 특징이 있다.

2. FLC의 구성

Unknown Complex System의 DDC를 위해 도입할 수 있는 제어규칙은 계통출력과 모델출력간의 편차와 그 편차에 근거한 숙련된 운전자의 판단에 전적으로 의존할 수밖에 없으며 따라서 제어 규칙들은 다음과 같은 IF-THEN, ELSE 구조의 Linguistic 알고리즘으로 표현된다.

R = IF ERROR (e_i) = PB THEN INPUT (u_i) = PB ELSE
IF ERROR (e_i) = PM THEN INPUT (u_i) = PM ELSE
IF ERROR (e_i) = AZ THEN INPUT (u_i) = AZ ELSE
IF ERROR (e_i) = NM THEN INPUT (u_i) = NM ELSE
IF ERROR (e_i) = NB THEN INPUT (u_i) = NB .

위에서 PB, PM 등은 다음 과같은 의미를 갖는다.

- PB ----- Positive Big
- PM ----- Positive Medium
- AZ ----- Approximately Zero
- NM ----- Negative Medium
- NB ----- Negative Big

위의 Linguistic 알고리즘의 PB, PM, AZ, NM, NB 등의 Linguistic Value를 정량화 하기 위해 Membership Function 을 도입해서 이들을 Fuzzy화 한다. 이때 Membership Function 은 Fig.1 과 같은 2차곡선의 형태를 취하도록 선정할 수 있다. 이 함수는 일반적으로 0 에서 1 사이의 값을 가지며 이 값은 편차가 특정 Linguistic Value에 부합되는 정도를 나타낸다.

위의 Linguistic 알고리즘에 Membership function 을 도입한 후 Braae와 Rutherford [4] 가 제시한 Min-Max Composition 을 이용하면 다음과 같은 Membership Function 을 갖는 Fuzzy Relation 을 얻을 수 있다.

$$\mu_R(e_i, u_i) = \max\{\min\{\mu_{PB}(e_i), \mu_{PB}(u_i)\}, \min\{\mu_{PM}(e_i), \mu_{PM}(u_i)\}, \min\{\mu_{AZ}(e_i), \mu_{AZ}(u_i)\}, \min\{\mu_{NM}(e_i), \mu_{NM}(u_i)\}, \min\{\mu_{NB}(e_i), \mu_{NB}(u_i)\}\} \quad (1)$$

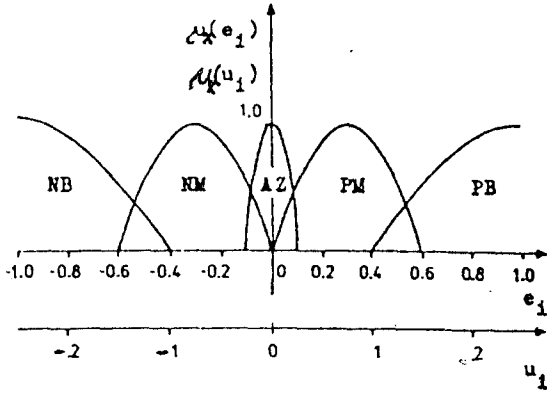


Fig.1 Membership Function

Fuzzy 알고리즘이 제어 목적으로 페루프에서 사용될때 플랜트로 부터 관측된 Non-Fuzzy 표현의 e_i 를 Fuzzy 화 하기 위해 다음과 같은 Fuzzy Set A 를 정의할 수 있다.

$$\mu_A(e_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } e_i = e_{i0} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad -- (2)$$

식 (1) 은 식 (3) 에 의하여 Membership Function으로 표현된 제어편차에 대응하는 제어입력의 Membership Function을 결정하는데 사용된다.

$$\mu(u_i) = \max_{e_i} \{ \min [\mu_A(e_i), \mu_B(e_i, u_i)] \} \quad -- (3)$$

(2) 식 을 (3) 식 에 대입 하면 (4) 식을 얻을 수 있다.

$$\mu(u_i) = \mu_B(e_{i0}, u_i) \quad -- (4)$$

이제 식 (4)로부터 계몽에 투입될 제어입력을 결정하기 위해 u_i 에 대한 Fuzzy 표현을 Non-Fuzzy 화 해야한다. 변환 방법으로 여러 가지가 있으며 여기서는 Bernard[6] 등이 사용한 다음 식을 이용 한다.

$$u_i = \frac{|\sum_{i=1}^N (\text{Action}_i) (\text{Membership value}_i)|}{|\sum_{i=1}^N (\text{Membership value}_i)|} \quad -- (5)$$

여기서 N 은 Rule 의 수이다.

위의 제어는 P-type 으로 Vitecek, Bernard[6] 등이 적용한 바 있다. 그러나 P-type만의 제어기는 고전적인 PID 제어이론에서 잘 알려진 바와 같이 Offset 의 정정능력이 없다. 물론 P 이득을 크게함으로써 편차를 감소시킬 수는 있으나 대부분의 계몽에서 P 이득의 증가는 Overshoot 를 크게할 뿐만 아니라 전제어계의 불안정을 초래하는 요인이 된다. 따라서 외란의 투입, 파라미터의 변동, 지연시간의 변화와 같은 프로세스 자체 및 운전환경의 변화를 전제해야 하는 많은 계몽의 제어 (특히 Unknown system) 를 위해서는 I-action 을 추가해야 한다. I-Action의 도입은 매우 일반적인 것이지만 FLC의 경우에는 한가지 제어동작을 추가함에 따라 Fuzzy Rule이 급격히 증가한다. 예를들어 MacVicar-Whelan이 제안한 FLC의 경우 제어기는 매 sample 간격마다 64개의 Rule을 사용해야하므로 실시간제어에 난점이 있다. 따라서 본 연구에서는 제어편차를 분석하여 Offset발생의 경향이 검출되는 경우에만 I-Action을 추가함으로써 불과 수개의 P-Action 결정 규칙과 Offset 경향검출 Rule 만을 이용하여 외란투입

파라미터변동, DC Gain의 변화에도 불구하고 제어 목적을 효과적으로 수행할 수 있는 변형된 검출 제어방식을 제안한다. 사용한 Offset 경향검출 Rule은 다음과 같은 제어편차 e_i 와 플랜트 출력의 증분 (dy_i)을 이용한 IF-THEN, ELSE 구조이다.

IF $dy_i = AZ$ AND $e_i < AZ$ THEN Trigger I-Action

전제제어계를 나타낸 Block 선도는 Fig.2 와 같다.

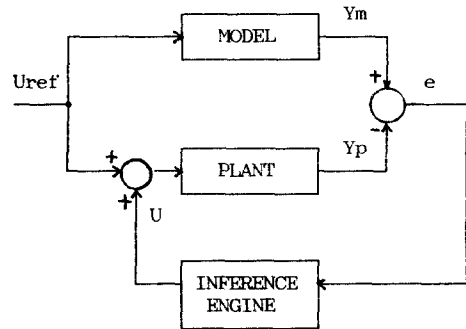


Fig.2 System Block Diagram

Model 및 Plant 는 C language 로 추론부분은 Prolog 로 Program 하여 시뮬레이션 하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

전절에서 제안한 제어 기법의 적용가능성을 검토하기 위해 다음과 같이 주어진 (미지) 단일 입출력 계몽을 고려 하였고

$$\frac{Y_p(s)}{U(s)} = \frac{0.008}{s^2 + 0.18s + 0.008}$$

제어 알고리즘에 속하는 모델은 계단 입력을 매우 잘 추적하도록 다음과 같이 선정 하였다.

$$\frac{Y_m(s)}{R(s)} = \frac{0.1}{s + 0.1}$$

이 모델은 외부로부터 주어진 급격한 Set Point 변화를 Overshooting 없이 임의의 빠른 속도로 추적할 수 있으므로 급격한 Set Point 를 그대로 투입 할 경우 나타날 수 있는 플랜트 출력의 Overshoot 를 제거하는 동시에 제어 입력 결정시 급격한 편차 발생으로 인한 추론의 실패도 방지해주는 역할을 한다. Fig. 3 은 제안된 FLC 의 모델 추종성능을 보인 것이며 이 결과는 제어기 설계시의 사전정보의 제약 (플랜트의 입출력 범위, 대략적 모델 차수 정도) 을 고려 할때 제안된 FLC 가 모델 추종에 매우 효과적으로 사용될 수 있음을 나타낸다. Fig.4, 5는 플랜트의 운전조건이 변화가 발생한 경우 제어계의 특성을 고찰한 것으로서 Fig. 4 는 $T = 100. \text{sec}$ 이후 크기 1 인 바이어스 외란이 투입된 경우, Fig. 5 는 같은 시각에 DC 이득이 1 에서 0.5 로 변화한 경우 각각에 대한 플랜트 입출력과 모델 출력을 나타낸 것이며 모든 경우 제어 목적이 효과적으로 달성됨을 보이고 있다.

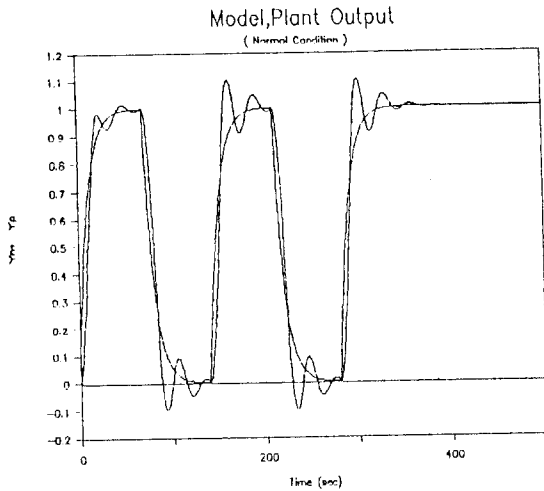


Fig. 3 Model, Plant Output

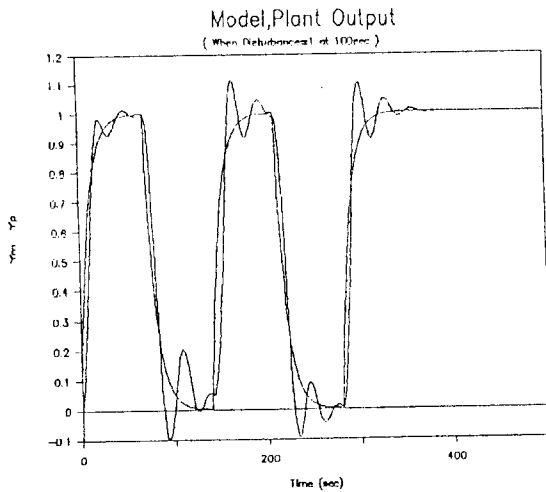


Fig. 4 Model, Plant Output (Disturbance)

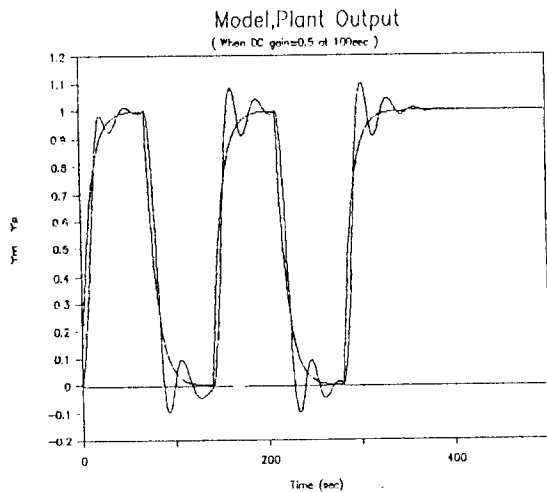


Fig. 5 Model, Plant Output (DC Gain change)

4. 결론

해석적 모델을 구할 수 없는 미지의 Complex System의 DDC를 위한 FLC를 제안하고 그 유용성을 검토했다. 제안된 FLC는 변형된 PI구조로서 기존 FLC에 비해 매우 작은 Rule Base 만으로도 외란 및 파라미터변동, DC gain 변화의 발생에도 불구하고 제어목적에 효과적으로 수행하는 능력을 갖는다. 제안된 FLC는 본연구의 과정에서 고찰한 수개의 수치에 의 적용에서 매우 우수한 성능을 보였으나 그 적용 대상계통에 대한 정확한 규명을 위해서는 더욱 다양한 계통조건 환경에의 성능 검토가 요구된다.

References

- [1] P.J. MacVicar-Whelan, "Fuzzy sets for man-machine interaction," Int.J. Man-Machine Studies, Vol.8 pp.687-697, Nov.1976.
- [2] K.L.Tang, "Comparing Fuzzy Logic with classical controller designs," IEEE Transactions on SYSTEMS, Man, and CYBERNETICS, Vol. SMC-17, No.6, NOVEMBER/DECEMBER 1987.
- [3] F.H.Haung, "Efficient Computer implementation of a rule-based three-term controller," Proceedings of the 27th conference on decision and control, December, 1988.
- [4] Braae, M. and Rutherford, D.A, "Theoretical and Linguistic aspects of the fuzzy logic controller," Automatica, Vol. 15, pp. 553-577.
- [5] E.H.Mamdani, "The application of fuzzy control-systems to industrial processes," Automatica, Vol. 13, pp. 235-242.
- [6] J.A.Bernard, "Use of a Rule-Based system for process control," IEEE control system magazine, October, 1988.
- [7] T.R.Andersen and S.B.Nielsen, "An efficient single output Fuzzy control algorithm for adaptive applications," Automatica, Vol. 15, pp. 539-545, 1985.
- [8] R.R.Yager, "Approximate Reasoning as a basis for Rule-Based expert systems," IEEE Trans. on SMC, Vol. 14, No. 4, 1984.
- [9] L.A.Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of Complex Systems and decision processes," IEEE Trans. on SMC, Vol. 3, No. 1, January
- [10] R.M.Tong, "A control engineering review of fuzzy systems," Automatica, Vol. 13, pp. 559-569.