

PI 및 PD Type Fuzzy Controller의 자기동조에 관한 연구 A study on self tuning fuzzy PI and PD type controller

이 상 석*
Sang-Seock Lee*

<Abstract>

This paper describes a development of self tuning scheme for PI and PD type fuzzy controllers. The output scaling factor(SF) is adjusted on-line by fuzzy rules according to the current trend of the controlled process. The rule-base for tuning the output SF is defined on error and change of error for the controlled variable using the most natural and unbiased membership functions. Simulation results demonstrate the better control performance can be achieved in comparison with Ziegler-Nichols(Z-N) PID controllers.

Key Words : Self Tuning Fuzzy PI and PD Controller

1. 서 론

최근 입출력 관계의 정량적 분석이 어려운 다변위 공정 시스템에 모델을 기준으로 기존 제어기들의 부적합한 점들을 보완 대체하고 기존의 제어 이론으로 제어하기 어려운 대상들에 잘 적응하며 실시간 제어가 가능하다는 특성을 고려한 퍼지 제어기에 대한 많은 연구가 국내외적으로 활발하게 이루어져 왔으며 여러 분야에 이를 응용한 사례가 보고되어 지고 있다.

퍼지제어기에 대한 연구중 일부 연구자들은 퍼지 제어기의 tuning 방법에 대한 최적치를 구하기 위하여 노력하고 있지만 최적치 그 자체가 공정의 모델 사양과 제어 목적에 의존하고 있으므로 연관된 방법을 구한다는 것이 어렵다.

따라서 퍼지제어기의 tuning은 계산에 의해서가 아니라 제어대상인 공정의 전문가 지식을 바탕으로 해야한다.

퍼지제어기의 동조에는 여러 가지 파라메타들이 영향을 미치고 있어 복잡하다. 몇가지 기존 연구에 의하면 퍼지제어기의 성능에 가장큰 영향을 주는것은 SF(scaling factor)로 알려져 있다(1)(2)(3)

본 연구에서는 제어계통에 광범위 하게 적용되어 질수 있는 SF 변환 방식을 이용한 자기동조 방식의 퍼지 PI 및 PD 제어기를 제안하고 몇 종류의 플랜트에 이를 적용하여 그 성능을 입증 하였다.

성능 평가를 위해서는 Ziegler-Nichols 의 한계감도법을 이용한 기존의 PID 제어기와의 성능 비교를 위해 Math Work사의 Matlab을 사용하여 simulation했다.

* 정회원, 영남이공대학 전기과 교수, 工博
영남대학교 대학원 졸업
Tel : (053)650-9262

* Prof. Dept. of Electricity, Yeungnam college of
Science & Thechnology, Ph.D
E-Mail : sslee@yjnet.yeungnam-c.ac.kr

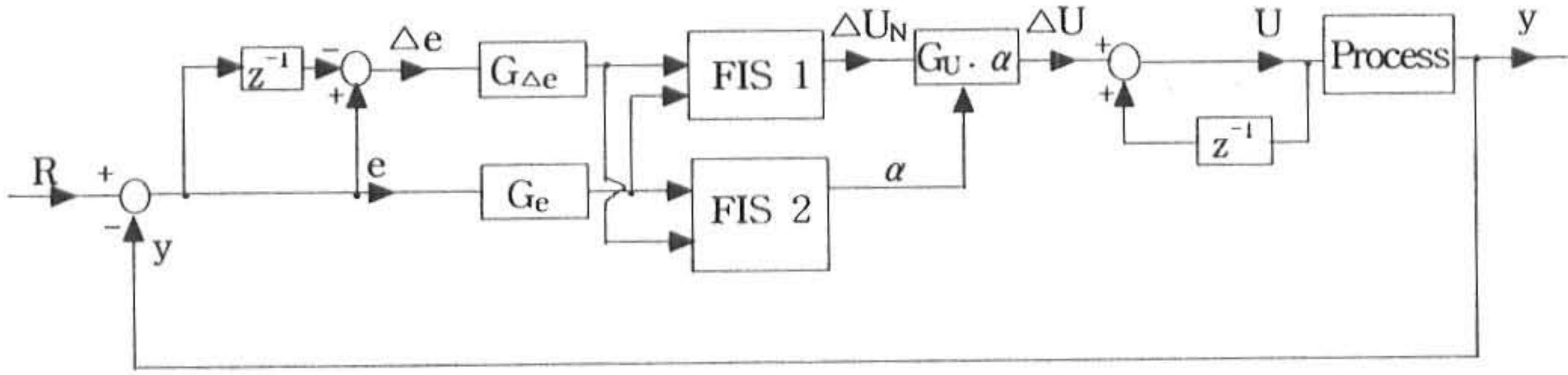


Fig.1. Block diagram of self tuning fuzzy PI and PD type controller

2. 자기동조(self tuning) 퍼지 PI 및 PD 제어기

자기동조 퍼지 PI 및 PD 제어기는 편차를 e , 편차 변화분을 Δe , U 를 제어신호, ΔU 를 제어신호의 변화분이라 할 때 퍼지제어기의 입출력 관계가 식(1)과 같으면 퍼지 PI제어기로 식(2)와 같으면 퍼지 PD 제어기로 한다.

$$e, \Delta e \longrightarrow \Delta U \quad (1)$$

$$e, \Delta e \longrightarrow U \quad (2)$$

k 를 샘플링 주기라 할 때 편차 변화분은 식(3)이며, 제어신호의 변화분은 식(4)와 같다.

$$\Delta e = e(k) - e(k-1) \quad (3)$$

$$\Delta U = U(k) - U(k-1) \quad (4)$$

본 연구에서 사용된 자기동조 퍼지 PI제어기(STFPIC)의 구조는 Fig.1 과 같으며 자기동조 퍼지 PD제어기(STFPDC)는 구조상 STFPIC와 차이가 없다. Fig.1의 Block diagram으로 부터 STFPIC의 경우는 제어기의 출력을 ΔU 로 STFPDC의 경우는 제어기의 출력을 U 로 하된다. 연구에 사용된 자기동조 퍼지제어기는 입출력 SF(scaling factor)를 모두 조정 할수 있으나 구성상 매개변수를 줄이고 강인성을 실현하기 위해 주어진 입력 SF 에 대한 출력 SF의 조정 만으로 소기의 목적을 달성하게 했다.

제어기의 출력 SF는 Fig1의 FIS 2 로서 자기동조방식으로 구현했으며 출력 SF의 이득계수 α 는 식 (5)와 같은 관계를 갖는다.

$$\alpha = F(e, \Delta e) \quad (5)$$

2.1 소속함수(MF)와 Scaling Factors(SF)

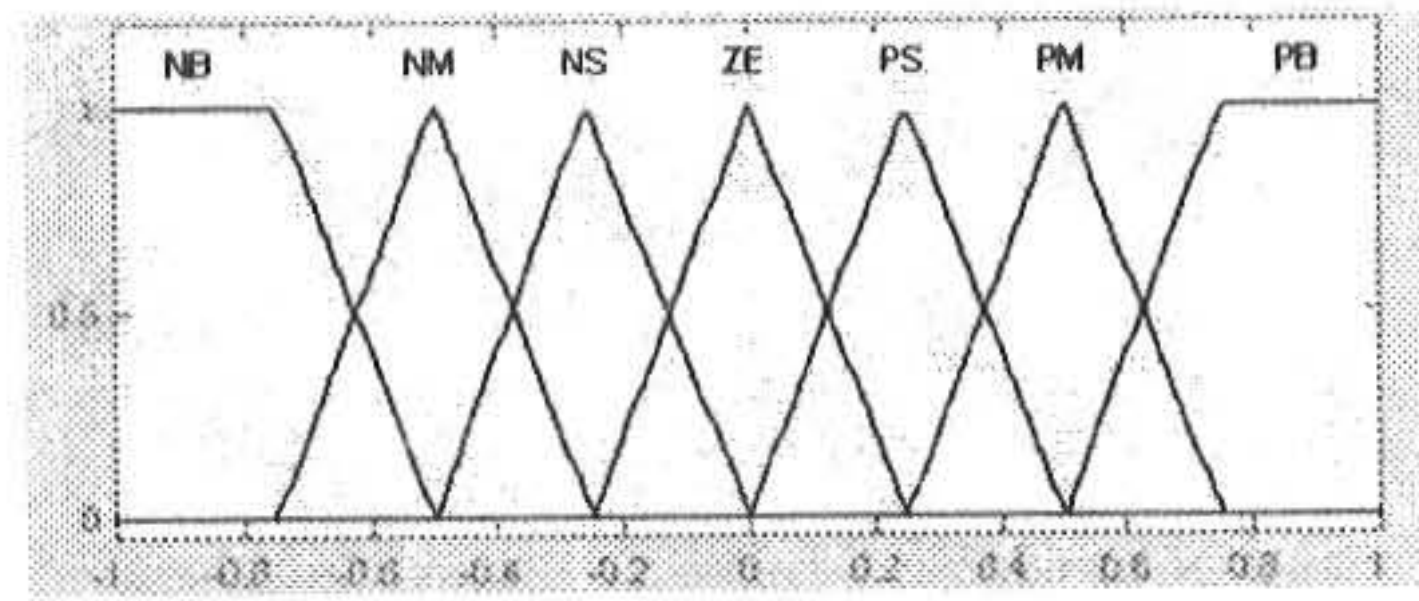


Fig.2. Membership function of $e, \Delta e, U$ and ΔU

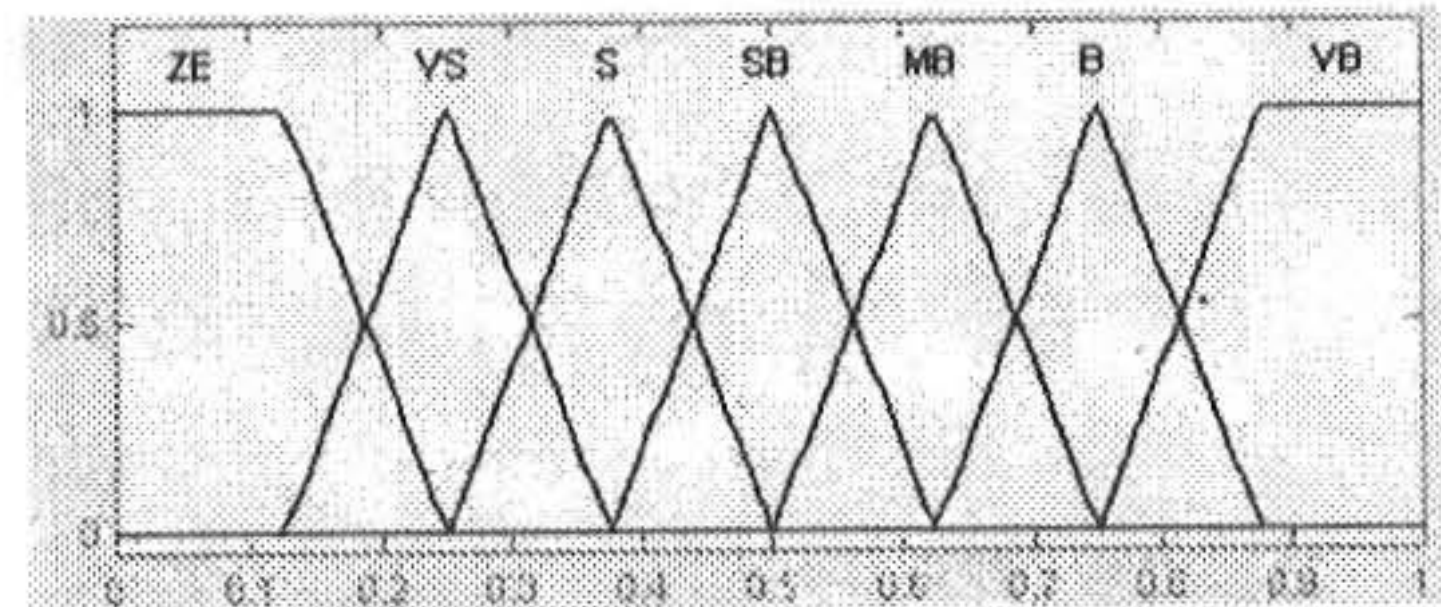


Fig.3. Membership function of gain updating factor(α)

e 와 Δe 에 대한 소속함수와 U 와 ΔU 에 대한 소속함수는 Fig.2와 같으며 구간은 $(-1, 1)$ 로 정의했다. 출력 SF의 이득계수 α 는 $(0, 1)$ 의 구간을 가지며 Fig.3 과 같다. Fig.2에서의 언어변수는 다음과 같은 의미를 갖는다.

NB :Negative Big NM :Negative Medium
 NS :Negative Small ZO :Zero
 PB :Positive Big PM :Positive Medium
 PS :Positive Small

그리고 Fig.3 에서의 언어변수는 다음과 같은 의미를 갖는다.

ZE : Zero VS :Very Small
 S : Small SB :Small Big
 MB :Medium Big B :Big
 VB :Very Big

Fig.1로부터 제어기의 입력과 출력 MF는 공통적으로 (-1, 1)구간으로 정의 되어졌다. 실제 입력 e 와 Δe의 값은 각각 입력SF.Ge와 GΔe에 의해서 (-1, 1)로 변환 되어지며 식(6), 식(7)과 같다.

$$e_n = G_e \cdot e \quad (6)$$

$$\Delta e = G_{\Delta e} \cdot \Delta e \quad (7)$$

제어기의 출력 ΔUn과 Un은 실제로는 출력 SF.Gu에 의해서 ΔU와 U로 변환된다.

제어기의 출력은 Fig.1로부터 STFPIC는 식 (8)로 STFPDC는 식(9)로 주어진다.

$$\Delta U = (\alpha \cdot Gu) \cdot \Delta U_n \quad (8)$$

$$U = (\alpha \cdot Gu) \cdot U_n \quad (9)$$

2.2 규칙베이스

STFPIC의 퍼지규칙은 다음과 같이 주어지며

If e is A and Δe is B then ΔU is C

STFPDC의 퍼지규칙은 다음과 같다.

If e is A and Δe is B then U is C

Table1은 ΔU와 U의 퍼지동조규칙 이다 이득계수 α의 퍼지규칙은 다음과 같으며

If e is A and Δe is B then α is C

Table 2는 α의 동조규칙이다

퍼지동조규칙을 결정하는데는 낮은 초과량과 정정시간의 감소를 위해서, 편차가 크고 e와 Δe의 신호가 서로 반대일 때 제어기의 이득은 낮은 값이 되게 조정하고 설정값 부근에서는 이득의 변화가 폭 넓게 조정될수 있도록 했다.

Δe/e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PS	PM	PB	PB	PB

Table1. Fuzzy rules for computation of ΔU and U

Δe/e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	VB	VB	VB	B	SB	S	ZE
NM	VB	VB	B	B	MB	S	VS
NS	VB	MB	B	VB	VS	S	VS
ZE	S	SB	MB	ZE	MB	SB	S
PS	VS	S	VS	VB	B	MB	VB
PM	VS	S	MB	B	B	VB	VB
PB	ZE	S	SB	B	VB	VB	VB

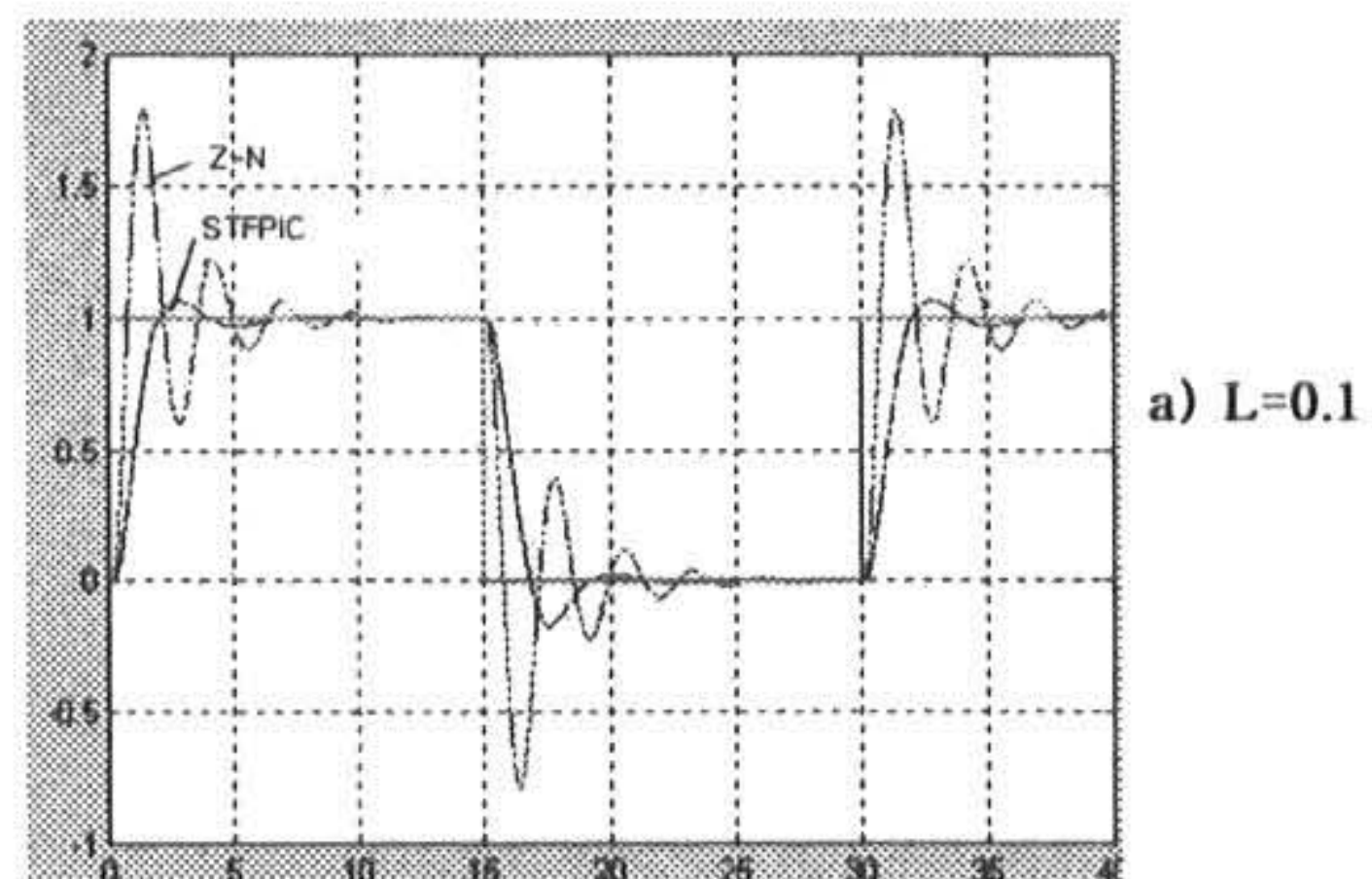
Table2. Fuzzy rules for computation of α

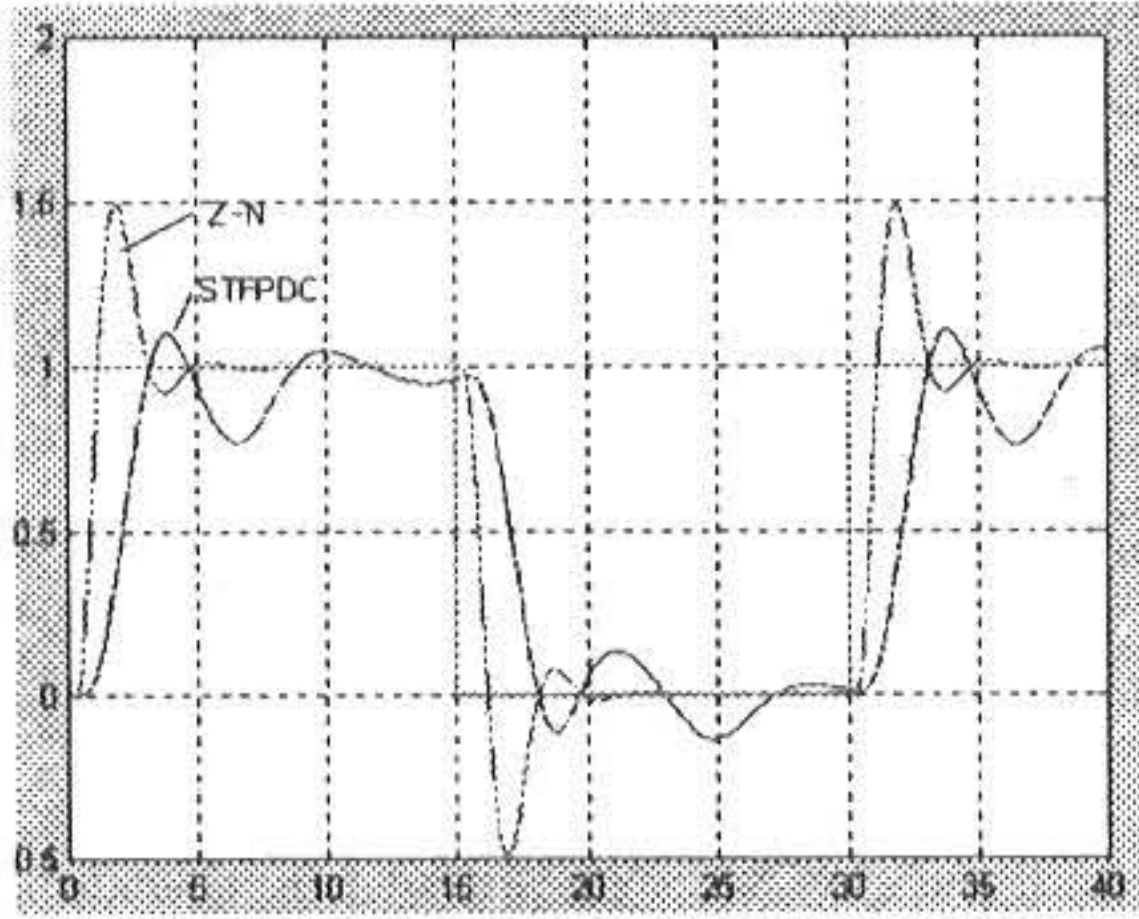
3. 모의실험 결과 및 고찰

설계된 STFC(Self tuning fuzzy controller)를 시험하기 위해서 4개의 플랜트를 선정하였다. 선정된 플랜트는 다음과 같다

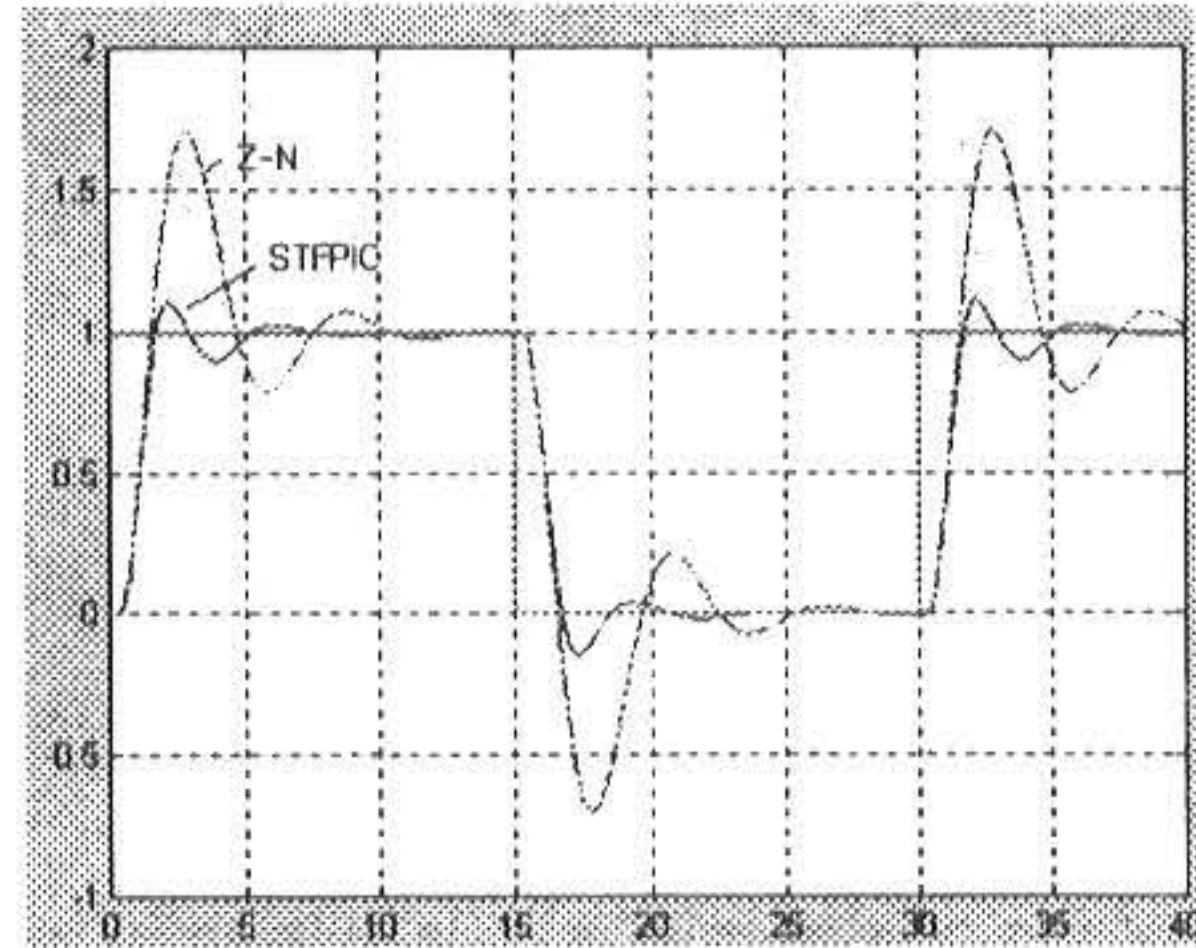
1. $\frac{e^{-Ls}}{s(s+1)}$ 모델 I
2. $\frac{e^{-Ls}}{s(s+1)^2}$ 모델 II
3. $\frac{e^{-Ls}}{(s+1)^2}$ 모델 III
4. $\frac{e^{-Ls}}{5s+1}$ 모델 IV

선정된 플랜트 모델중 I 과 II는 STFPIC에 적용하였고 플랜트 모델 III과 IV는 STFPDC에 적용 하였다. 모든 플랜트의 simulation은 설계된 STFC와 Ziegler-Nichols법으로 동조된 PID controller의 계단응답 특성을 비교 했으며 입력의 변화에 대한 추종상태 확인을 위해서 구형파 입력을 사용하였다





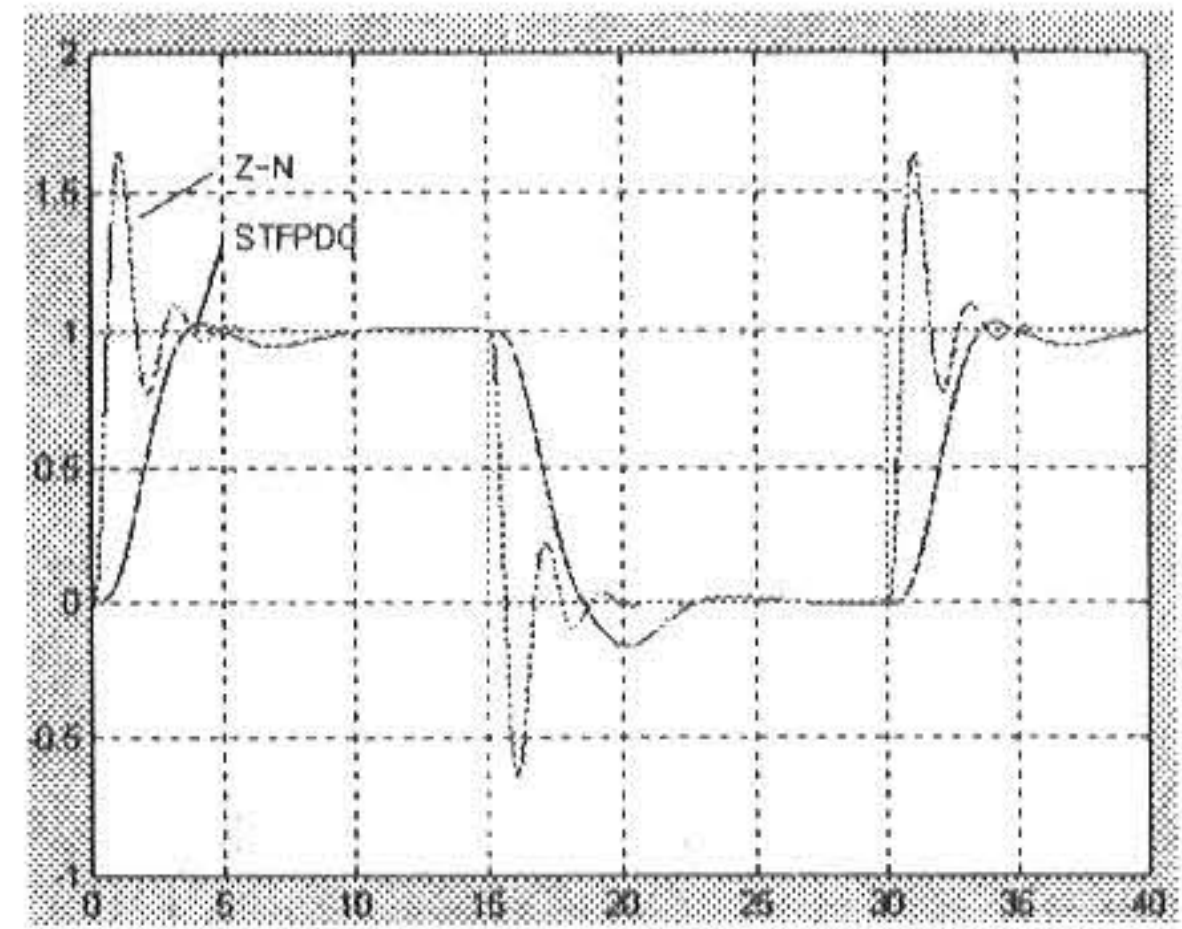
b) L=0.3



a) L=0.1

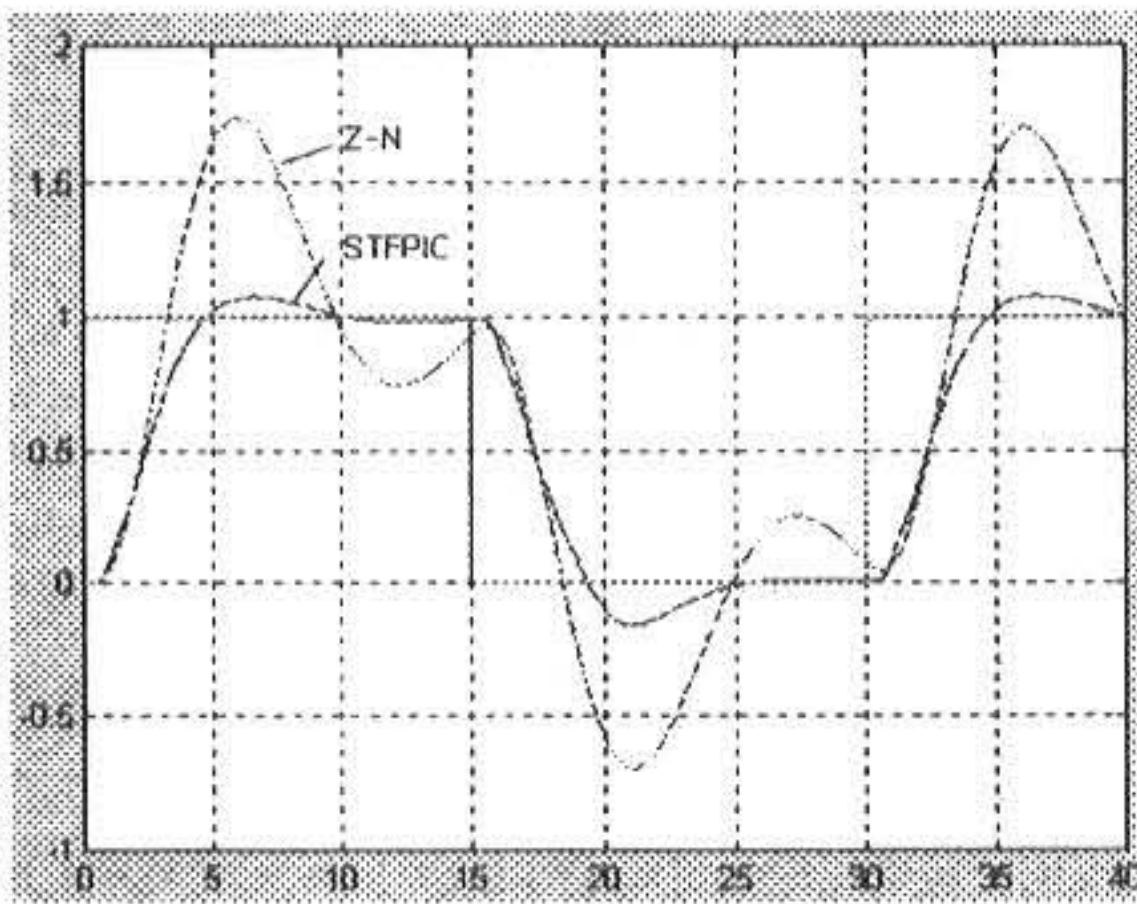
Fig.4. Comparison of response for model I

Fig.4의 a), b)는 STFPIC에서 $G_e=0.9$, $G_{\Delta e}=5$, $G_u=8$ 일 때 플랜트모델 I의 부동작시간 0.1, 0.3에서의 응답특성이며, Fig.5의 a), b)는 STFPIC에서 $G_e=0.9$, $G_{\Delta e}=2.5$, $G_u=2.8$ 일 때 플랜트모델 II의 부동작시간 0.1, 0.3에서의 응답특성이다. Fig.6의 a), b)는 STFPDC에서 $G_e=0.8$, $G_{\Delta e}=9.3$, $G_u=0.39$ 일 때 플랜트모델 III의 부동

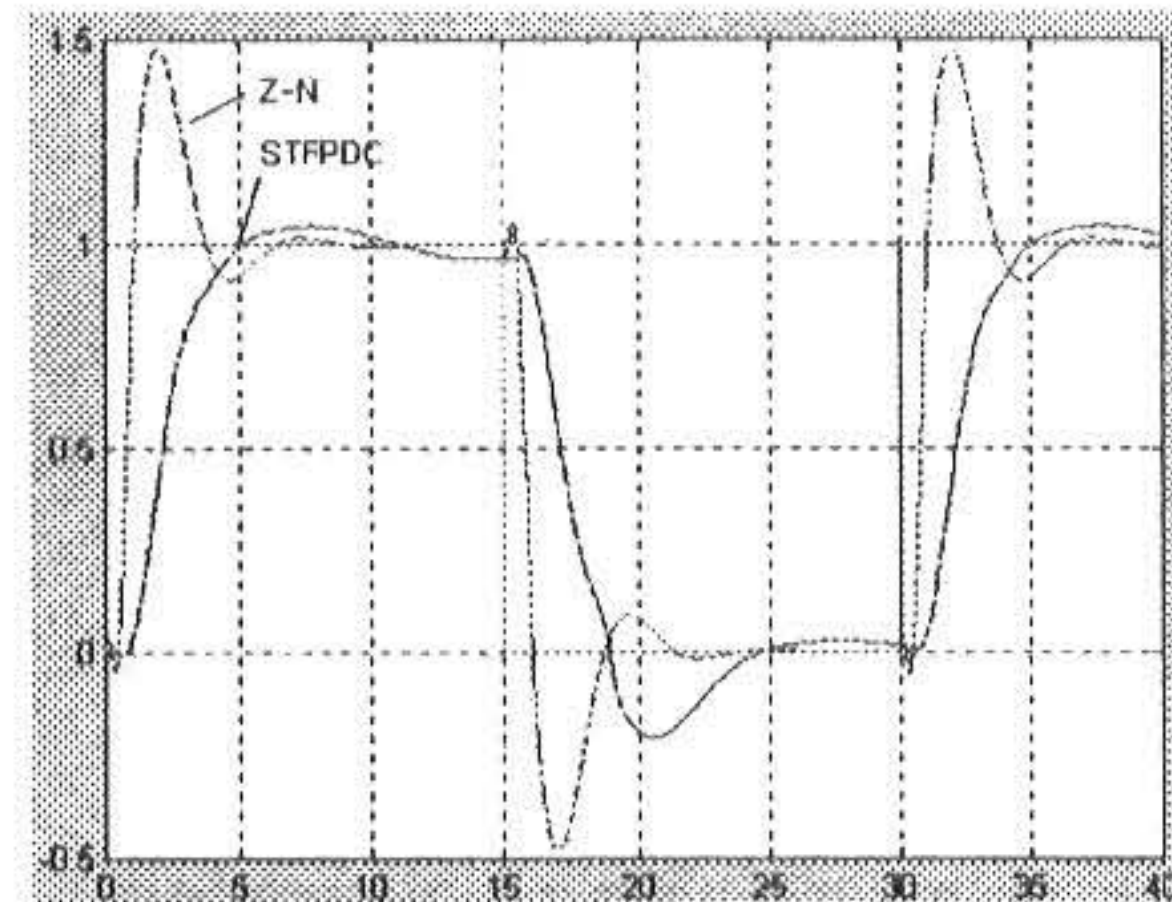


b) L=0.3

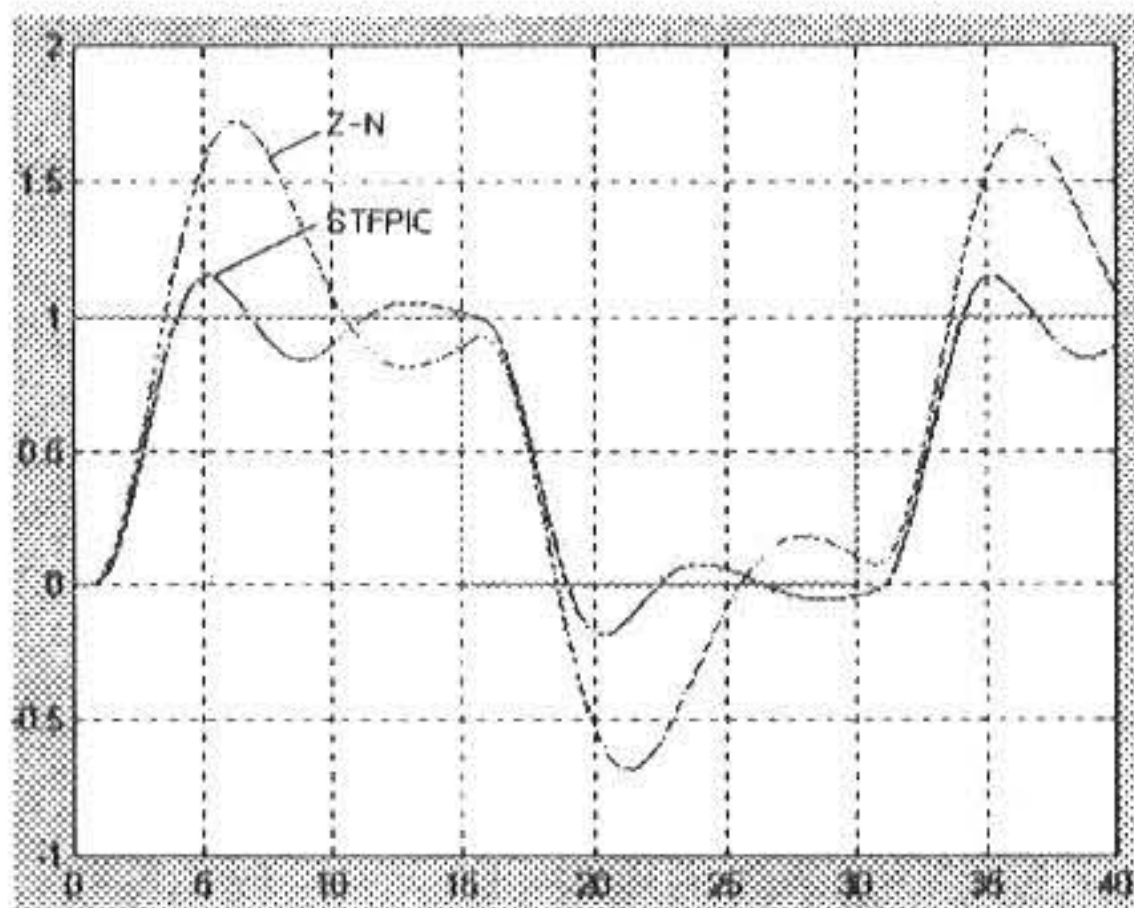
Fig.6. Comparison of response for model III



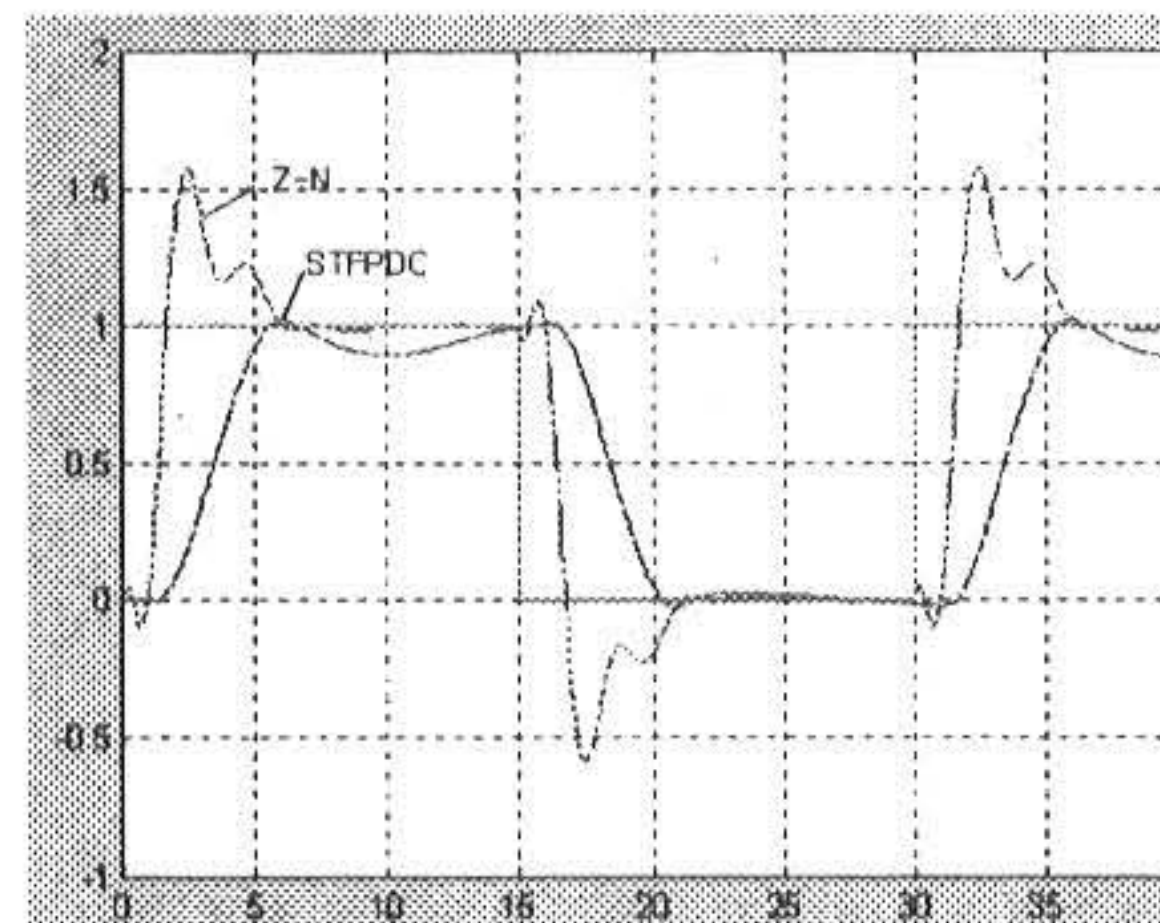
a) L=0.1



a) L=0.5



b) L=0.3



b) L=1

Fig.5. Comparison of response of model II

Fig.7. Comparison of response for model IV

작 시간 0.1, 0.3에서의 응답특성이며 Fig.7의 a), b)는 STFPDC에서 $G_e=0.4$, $G_d=2.4$, $G_u=4.4$ 일 때 플랜트모델 IV의 부동작시간 0.5, 1에서의 응답특성이다.

모의 실험결과 STFPIC는 선정된 모든 플랜트에 대해서 부동작시간의 변화에 대한 강인성과 최대초과량, 정정시간, 상승시간 등에서 우수한 특성을 보여주었으며 입력의 변화에 따른 우수한 추종능력을 갖고있음도 입증됐다.

Table 3. Summary of simulation results on STFPIC

플랜트모델	L	Ziegler-Nichols PID 제어기	STFPDC
$\frac{e^{-Ls}}{(s+1)^2}$	0.1	OS =64(%) Tr =0.67(sec) Ts =6.7(sec)	OS =0(%) Tr =2.67(sec) Ts =11.3(sec)
	0.3	OS =50(%) Tr =0.7(sec) Ts =6(sec)	OS =2(%) Tr =2.7(sec) Ts =15(sec)
$\frac{e^{-Ls}}{5s+1}$	0.5	OS =60(%) Tr =0.7(sec) Ts =5.7(sec)	OS =5(%) Tr =6(sec) Ts =5(sec)
	1	OS =56(%) Tr =0.6(sec) Ts =0(sec)	OS =2(%) Tr =3.3(sec) Ts =9(sec)

Table 4. Summary of simulation results on STFPDC

플랜트모델	L	Ziegler-Nichols PID 제어기	STFPIC
$\frac{e^{-Ls}}{s(s+1)}$	0.1	OS =78(%) Tr =0.25(sec) Ts =13(sec)	OS =15(%) Tr =1 (sec) Ts=6.75(sec)
	0.3	OS =70(%) Tr =1 (sec) Ts =15(sec)	OS =10(%) Tr =3.3(sec) Ts =8.58(sec)
$\frac{e^{-Ls}}{s(s+1)^2}$	0.1	OS =72(%) Tr =2.3(sec) Ts =31.7(sec)	OS =10(%) Tr =2.6 Ts =17.2(sec)
	0.3	Os =72(%) Tr =1.6(sec) Ts =20.5(sec)	OS =16(%) Tr =2 (sec) Ts =15.2(sec)

OS: Maximum Overshoot Tr: Rising Time
Ts: Settling Time

모의실험 결과를 Ziegler-Nichols PID controller와 비교 요약한 것이고 Table4는 플랜트모델 III,IV의 STFPDC에서의 모의실험결과 Ziegler-Nichols PID controller와 비교 요약한 것이다

그러나 STFPDC는 모의실험 결과 선정된 플랜트에 대해서 부동작시간의 변화에 대한 강인성과 최대초과량, 등에서는 Ziegler-Nichols의 PID controller에 비교해서 우수한 특성을 보여주었으나 정정시간,상승시간이 길어지는등의 좋지 못한 몇가지 문제점이 발견 되었으며 추후보완이 필요한 부분으로 사료된다.

4. 결론

사용된 STFC는 적용한 플랜트 모델에 대해서 강인성과 적응력이 뛰어나며 주어진 입력 SF에 대한 출력 SF의 조정만으로 용이하게 여러종류의 플랜트모델에서 소기의 목적을 달성할수 있었으며 SF의 변화가 제어특성에 미치는 영향이 지대함을 확인했다. 모의 실험으로부터 사용된 STFC는 STFPIC와 STFPDC의 성능에 많은 차이가 있었으며 다음과 같았다.

첫째 STFPIC는 적용한 플랜트모델에서 부동작시간과 입력의 변화에 대한 강인성과 적응력이 뛰어나며 최대초과량, 상승시간,정정시간 등에서 우수한 특성을 보여 주었다.

둘째 STFPDC는 적용한 플랜트모델에서 부동작 시간과 입력의 변화에 대한 강인성과 적응력은 뛰어나나 undershoot가 과대하고 상승시간과 정정시간이 길어지는 결점을 가지고 있었다.

상기의 결과로부터 STFPIC는 우수한 특성을 가진 자기동조방식의 제어기임이 확인되었으나 STFPDC는 지적된 몇가지 문제점을 보완하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

그리고 계속해서 STFPIC와 같은 제어기의 개량에 관심을 가져야 할것으로 사료된다.

이 연구는 1999년도 영남이공대학 연구조성비 지원에 의한 것임

Table 3은 플랜트모델 I,II의 STFPIC에서의

참고문헌

- 1) Razani K. Mudi, Nikhil R. pal "A Robust Self-Tuning Scheme for PI and PD Type Fuzzy Controllers" IEEE Transactions on Fuzzy systems Vol.7, No.1, February 1999
- 2) Zhen-yu Zhao, Massayoshi Tomizuka, Satoru Isaka. "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers" IEEE Transactions on systems, man and Cybernetic. Vol.23, No.5. Sep./Oct. 1993
- 3) Li Zheng. "A Practical Guide to Tune of PI Like Fuzzy Controllers." IEEE. 1992
- 4) M.Zhuang, D.P. Atherton, "Automatic Tuning of Optimum PID Controllers" IEE Proceeding Vol.140, No.3, pp216-224, May, 1993
- 5) Hao Ying, "The Simplest Fuzzy Controllers Using Different Inference Methods are Different Nonlinear PI Controllers with Variable Gains." Automatica, Vol.29, No.6, pp.1579-1589, 1993
- 6) Pal P. Wang, Ching Yu Tyan, "Fuzzy Dynamic System and Fuzzy Linguistic Controller Classification." Automatica, Vol.30 No.11, pp.1769-1774, 1994
- 7) T. Hagglund, K.J. Astrom, "Automatic Tuning of PID Controllers." Instrument Society of America, 1988
- 8) S. Hayashi "A Tuning Method of Fuzzy Control System," 6th Fuzzy system Symposium, pp.189-192, Sep. 1990

(1999년 12월1일 접수, 2000년 2월20일 채택)