

미지 시스템에 대한 퍼지 제어기의 자동 조정

Automatic Tuning of Fuzzy Controller for Unknown Systems

李 相 球*, 秋 月 影 雄**

Sang Gu Lee*, Kageo Akizuki**

※본 논문은 1996년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 동작 특성을 알 수 없는 미지의 프로세스를 제어하는 경우에 있어 제어계의 스텝응답으로부터 제어대상의 특성을 파악하여 제어 방법을 수정하는 학습방법을 제안하였다. 제어기는 이러한 목적에 맞는 퍼지 제어기가 선택된다.

본 논문의 주된 목표는 프로세스의 스텝응답으로부터 얻어진 제한된 특성하에서 제어계의 응답을 개선할 수 있는 지식을 얻는 것이다. 이를 위해 많은 제어대상에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 통해 적절한 튜닝 방법을 얻었다. 또한, 최적의 샘플링 간격 선정에 대한 연구도 수행하였다.

ABSTRACT

In this paper, the authors propose a method of stepwise tuning a controller with unknown process properties through its step response. A fuzzy controller is chosen to achieve this aim.

The main object of this paper is to give knowledge for the improvement of the response, under the limited properties obtained from the step response of the process. We obtained the adequate tuning method through simulations of many control objects. And the method of selecting optimal sampling period is also shown.

I. 서 론

피드백 제어 시스템의 설계 방법의 대부분은 프로세스의 동특성과 외란의 성질을 분명히 파악한 후에 설계하여 개발하고 있다. 그러나 실제로는 이러한 정보들을 정확하게 얻는 것이 곤란할 때가 많다. 이러

한 이유로서는 첫째, 모델링할 때에는 예측하기 어려운 외부 외란(disturbance) 및 잡음이 존재하는 것을 들 수 있지만, 실제의 프로세스가 본질적으로 너무 복잡하고 비선형적 특성을 갖고 있기 때문에 모델화할 때에 사용하는 간단한 수식 모델이 적용되지 않는다는 점도 들 수 있다. 이러한 문제에 대해서는 모델의 불확실성을 가정하고, 불확실성이 존재하는 기반에서의 강인한 제어 성능을 보증하는 강인한(robust) 제어, 미지의 파라메터 값을 추정하면서 제어를 행하는

*한남대학교 컴퓨터공학과 교수

**와세다대학 이공학부 교수

적용제어동이 제안되어 있으나, 각각 보통(nominal)의 모델 또는 프로세스의 차수를 이미 알고 있는 상태이므로, 동특성이 완전히 미지상태의 프로세스에 대해서는 적용하기 어려운 결점도 있다.

동작특성이 완전히 미지의 프로세스를 제어하는 경우, 얻어진 정보가 작기 때문에 오퍼레이터의 제어계에 관한 지식에 기반하여 단계적으로 제어성능을 개선하는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 제어계의 스텝응답으로부터 제어대상의 특성을 대강 파악하여 거기에 대응하여 제어방법을 수정하는 단계적인 학습방법을 제안한다. 제어기는 수정지식의 획득과 그의 실현에 적당하다고 생각되어지는 퍼지 제어기를 선택한다. 가장 중요한 것은 퍼지 제어기를 어떻게 수정할까하는 지식을 얻는 것이다. 본 연구에서는 많은 제어대상에 대한 시뮬레이션을 통해 적절한 수정방법을 정리하고, 제어대상의 특성을 대강 파악하여 수정하는 방법을 수행하는 것을 목적으로 하고 있다.

또한 퍼지 제어는 디지털 제어이고, 그의 샘플링 간격의 선정이 문제가 된다. 샘플링 간격은 제어대상의 동특성에 큰 영향을 줄뿐만 아니라 안정성에도 영향을 미치므로 제어대상에 맞는 최적의 샘플링 간격을 선정할 필요가 있다. 따라서 샘플링 간격 고정하에서 조정된 스텝 응답으로부터, 오퍼레이터의 판단에 의해 샘플링 간격을 수정하는 방법의 연구가 필요 절실하다.

II. 퍼지 제어기

제어계의 블럭 다이어그램을 그림 1, 2에 나타내었다. 퍼지 제어기로서는 전건부가 제어 오차 e 와 그의 오차의 변화량 ce 이고, 후건부가 조작량의 변화분 du 인 속도형의 제어기(퍼지 PI 제어기) 및 후건부가 조작량 u 인 위치형의 제어기(퍼지 PD 제어기)를 이용하는 것으로 한다. 조작량은 실제의 제어 시스템에서는 얻을 수 있는 값에 한계가 있는 것을 고려하여, 이 값을 정규화의 기준으로서 구간 $[-1.0, 1.0]$ 으로 제한한다.

퍼지 제어기의 전건부 소속 함수는 e, ce 각각에 대해 정규화된 구간 $[-1.0, 1.0]$ 의 실수상에서 정의된다. 실제의 관측치 데이터 e, ce 에는 적당한 비례상수 $GE,$

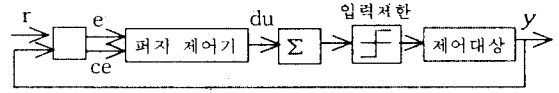


그림 1. 퍼지 PI 제어기
Fig. 1 Fuzzy PI control system

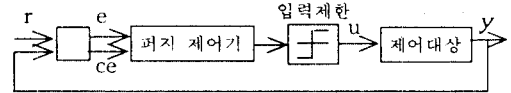


그림 2. 퍼지 PD 제어기
Fig. 2 Fuzzy PD control system

GCE가 곱해진다. 전건부 소속 함수의 모양은 삼각형 형태이고 7가지 형태의 소속 함수들을 정의한다. 전건부 퍼지 변수값은 PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB의 7개이다. 이들은 그림 3에서와 같이 +3에서 -3까지로 레이블되어 있다. 이들 소속함수의 모양은 응답 개선을 위한 튜닝(tuning)시에 중앙으로부터 한단계씩 조밀하게 또는 느슨하게 변형된다.

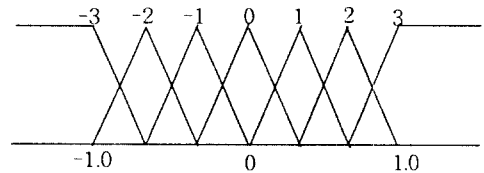


그림 3. 전건부 소속함수(기본형)
Fig. 3 Membership function of condition part(Fundamental type)

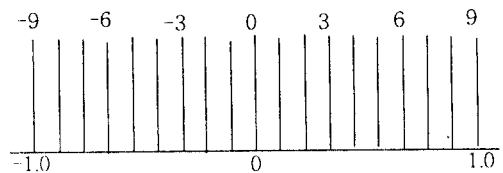


그림 4. 후건부 소속함수(싱글톤)
Fig. 4 Membership function of conclusion part(singleton)

후건부 소속 함수는 -9에서 +9까지의 레이블로 되어 있고 등간격으로 된 19개의 싱글톤(singleton)이다. 후건부 소속 함수도 역시 [-1.0, 1.0]으로 규격화된 구간으로 정의한다. 실제의 du와 u는 후건부 퍼지 추론치에 각각 비례상수 GDU와 GU를 곱하여 얻어진다.(그림 4)

제어규칙의 기본형은 표 1과 같이 주어진다. 수치는 후건부 퍼지 변수의 레이블을 나타낸다. 이 규칙은 제어대상의 특성을 알 수 없는 미지 시스템에 처음 적용되는 규칙이다.

표 1. 제어규칙(기본형)
Table 1. control rule (fundamental type)

ce e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	0	3	6	9	9	9	9
PM	-3	0	3	6	9	9	9
PS	-6	-3	0	3	6	9	9
ZE	-9	-6	-3	0	3	6	9
NS	-9	-9	-6	-3	0	3	6
NM	-9	-9	-9	-6	-3	0	3
NB	-9	-9	-9	-9	-6	-3	0

추론방법으로는 Max-Min 방법을 사용하고 비퍼지화 방법으로는 무게중심법을 사용한다.

제어 시스템의 동작 특성을 개선하기 위한 퍼지 제어기의 수정해야 할 요소들을 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- ① 퍼지 PI 제어와 PD 제어의 선택
- ② 비례상수 GDU, GU, GCE, GE
- ③ 전건부 및 후건부 함수의 모양
- ④ 제어규칙

제어규칙의 수정은 다음과 같이 행한다. 퍼지 PI 제어의 경우에는 표 2에 나타난 것처럼 외측 P성분, 외측 I성분, 내측 P성분, 내측 I성분의 4개로 나누고, 각각 독립적으로 퍼지 변수 레이블을 증감시킨다.

퍼지 PD제어의 경우에는 퍼지 변수 레이블을 작은 것부터 큰것까지 5종류를 준비한다. 또한 퍼지 PI 제어에 관한 GDU 방정식으로서의 다음과 같이 설정한다.

표 2. 퍼지 PI 제어 규칙
Table 2. fuzzy PI control rule

e cc	-3	-2	-1	0	1	2	3
3	○	외P	외P	외P			
2	외I	○	외P	외P			
1	외I	외I	○	내P			
0	외I	외I	내I	○	내I	외I	외I
-1				내P	○	외I	외I
-2				외P	외P	○	외I
-3				외P	외P	외P	○

$$GDU = \text{설정치} \times \frac{\text{샘플링 간격}}{\text{제1 극대치 시간}} \times \frac{\mu \text{의 최대치}}{y \text{의 최대치}}$$

여기서는 높이가 0.5의 스텝입력을 목표치로 하기 때문에, 최초 설정치는 다음과 같이 하였다.

- ① gain GDU = 0.2, GU = 1.0
GCE = 20.0, GE = 2.0
- ② 전건부의 소속 함수 - 기본형
- ③ 제어 규칙 - 기본형
- ④ 샘플링 간격 - 0.1초

III. 응답개선지식

본 연구에서는 제어대상에 대한 지식이 전혀 없을 때, 스텝응답만을 보고 퍼지 제어기를 자동으로 개선하는 방법을 연구한다. 즉, 초기 설정의 제어기의 스텝응답에서 다음의 4가지 항목에 주목하여 설계자의 희망에 합치되도록 제어기의 수정을 행한다.

- ① 상승시간(rising time)
- ② overshoot
- ③ 진동의 진폭
- ④ 진동의 주기

퍼지 제어기의 조정방법에 있어서는 제어대상이 안정계인가 불안정계인가 또는 적분 특성을 갖고 있는가의 유무를 알 필요가 있다. 따라서 초기 설정의 제어기를 갖는 페루프 제어 시스템의 응답에서 이들의 판별을 해야만 한다.

3.1 안정성과 적분특성의 유무의 판별

안정 또는 불안정의 판별 및 적분 특성의 유무의

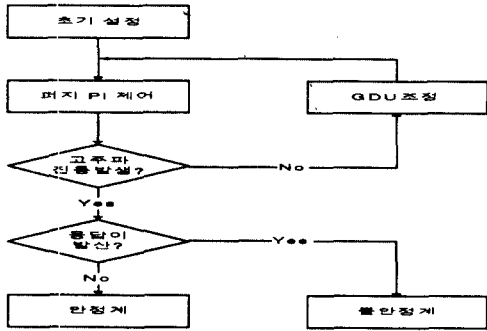


그림 5. 안정계, 불안정계의 판별
Fig. 5 Discriminating method of stability

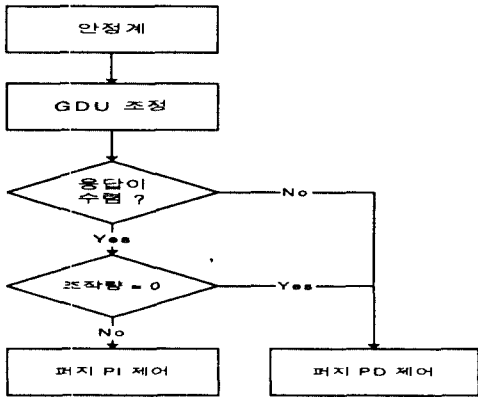


그림 6. 안정계에서의 적분특성의 유무의 판별
Fig. 6 Discriminating method of integral for stable processes

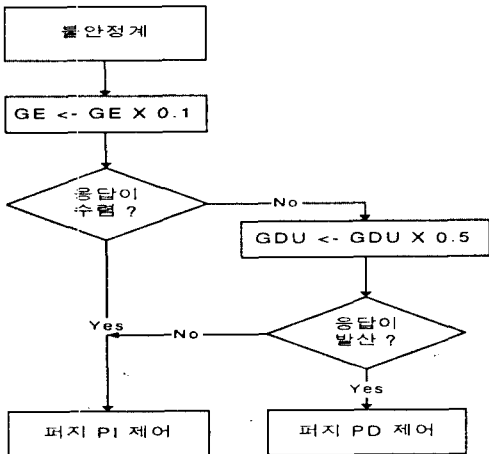


그림 7. 불안정계에서의 적분특성의 유무의 판별
Fig. 7 Discriminating method of integral element for unstable processes

판별은 반드시 정확할 필요는 없다. 이 판정에 근거하여 제어기의 조정이 가능하게 되면 충분하다. 안정계 불안정계의 판별, 안정계에서의 적분특성의 유무의 판별, 불안정계에서의 적분특성의 유무의 판별에 따른 알고리즘은 각각 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같다.

3.2 적분특성을 갖고 있지 않는 경우의 응답지식개선

적분특성을 갖고 있지 않는 대상에 대한 응답개선 지식을 나타낸다. 이 경우에는 안정계, 불안정계 공통이다.

① 상승시간(RT)

표 3. 상승시간 개선 규칙

Table 3. Improving method of rising time

번호	변경점	RT를 짧게	RT를 길게
1	GDU	× 1.5	× 0.6
2	GCE	× 0.6	× 1.5
3	E함수	한단계조밀	한단계느슨
4	CE함수	한단계느슨	한단계조밀
5	외측규칙 I성분	+2	-2
6	외측규칙 P성분	-2	+2

② Overshoot

표 4. Overshoot 개선 규칙

Table 4. Improving method of overshoot

번호	변경점	OV를 짧게	OV를 크게
1	GDU	× 0.6	× 1.5
2	GCE	× 1.5	× 0.6
3	E함수	한단계느슨	한단계조밀
4	CE함수	한단계조밀	한단계느슨
5	외측규칙 I성분	-2	+2
6	외측규칙 P성분	+2	-2
7	내측규칙 P성분	+2	-2
8	내측규칙 I성분	-2	+2

③ 진동의 진폭

표 5. 진동의 진폭 개선 규칙

Table 5. Improving method of amplitude

번호	변경점	진폭을 작게	진폭을 크게
1	GDU	× 0.8	× 1.2
2	GCE	× 1.5	× 0.6
3	E함수	한단계느슨	한단계조밀
4	CE함수	한단계조밀	한단계느슨
5	내측규칙 I성분	-2	+2
6	내측규칙 P성분	+2	-2

④ 진동의 주기

표 6. 진동의 주기 개선 규칙
Table 6. Improving method of frequency

번호	변경점	주기를 길게	주기를 짧게
1	GDU	× 0.8	× 1.2
2	GCE	× 0.6	× 1.5
3	E함수	한단계느슨	한단계조밀
4	CE함수	한단계조밀	한단계느슨
5	내측규칙 I성분	-2	+2
6	내측규칙 P성분	+2	-2

IV. 샘플링 간격의 조정

퍼지 제어기의 설계에 있어서의 샘플링 시간은 0.1 초로 고정한다. 이 간격은 많은 제어대상에 대하여 유효하지만, 일부의 제어대상에 대해서는 수정수준이 복잡하게 되는 등 여러가지 문제를 안고 있기 때문에 샘플링 간격의 선정에 있어서도 고려하여야만 한다.

샘플링 간격의 선정방법으로는 제어대상의 시정수를 고려하여 시정수의 10분의 1정도로 하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 제어대상의 동특성을 완전히 알수 없기 때문에 이러한 방법을 사용할 수 없다. 이를 위해 처음에는 고정 샘플링 간격으로 설계하고 오퍼레이터가 부적절하다고 판단하는 경우에 한해 샘플링 간격을 변경한다.

4.1 샘플링 간격 변화의 효과

고정 샘플링하에서의 제어는 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다.

① 제어성능의 악화

샘플링 간격이 제어대상에 관계없이 고정되어 있으면, 본래의 응답이 빠른 대상에서도 페루프 시스템의 시정수를 늦게하여 제어하기 때문에 응답 특성이 악화된다. 이 경우에는 샘플링 간격을 작게하는 것이 바람직하다.

② 응답개선수준의 복잡화

퍼지 제어기의 이득 등의 파라메타가 부적절하게 되는 것 외에 응답개선이 복잡하게 되고, 개선도중에 샘플링 간격이 부적절해지기 때문에 응답이 진동 또는 발산하는 것이 있다.

③ 제어효율의 악화

제어기의 조작량이 한계치를 넘는 경우 조작량은 전부 포화치에 이르게 된다. 이 경우는 샘플링 간격을 보다 크게하여 제어의 효율을 높여야 한다. 이상에서와 같이 샘플링 간격을 조정하면 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

샘플링 간격을 작게 한 경우에는 제어성능의 향상, 응답개선수준의 간편화, 제어적용 범위의 확대등을 얻을 수 있고, 샘플링 간격을 크게 한 경우에는 제어효율의 향상, 응답개선 수준의 간편화등을 얻을 수 있다.

그러나 이들은 이율배반적인 관계일 수도 있다. 예를 들면 제어성능을 향상시키기 위해 샘플링 간격을 작게하면 제어효율은 악화되어 버린다. 결국 샘플링 간격을 어떻게 변화시킬까는 오퍼레이터의 판단에 의존하게 된다.

4.2 샘플링 간격 변경지식

안정계에 대한 변경지식의 기술에 있어서는 overshoot시간까지의 추론 횟수를 k라고 한다. 샘플링 간격 고정(0.1초)하에서 퍼지 제어기의 설계를 행하고, 추론 횟수를 구한다.

T_s 를 overflow시간이라 할 때 overflow시간까지의 추론 횟수는 다음식으로 표현된다.

$$k = 10 \cdot T_s$$

먼저 고정 샘플링 간격하에서 설계된 경우의 overshoot 시간까지의 추론횟수를 구하고, 샘플링 간격변경지식으로부터 변경해야할지에 대해 판단한다. 안정계에 대한 변경지식을 그림 8, 9에 나타낸다.

불안정계에서는 3.1에 대한 적분특성의 유무의 판별과정에 의한 대상분류에 따라 다음의 변경지식을 사용한다.

(1) 적분특성이 있는 경우

① 샘플링 간격을 작게 변경하는 대상

- $GE \times 0.1$ 이 0.2에서 수렴하는 대상
- $GE = 0.2$ 이고 $GDU \times 0.5$ 에서 수렴하는 대상
- 고주파 진동 때문에 추론이 정지하는 대상
- 발산하여 제어 불가능한 대상

② 샘플링 간격을 변경하지 않는 대상

- $GE = 0.2$ 이고 $GDU \times 0.5$ 에서 지속적으로 진동하는 대상

(2) 적분특성이 없는 경우

① 샘플링 간격을 작게 변경하는 대상

- 초기설정 또는 $GE \times 0.1 = 0.2$ 에서 수렴하는 대상
- 고주파 진동 때문에 추론이 정지하는 대상
- 발산하여 제어 불가능한 대상

② 샘플링 간격을 변경하지 않는 대상

- $GE \times 0.1$ 로 하여도 수렴하지 않는 대상

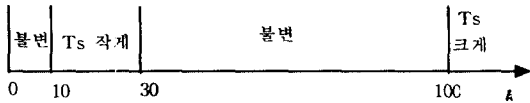


그림 8. 샘플링 간격 변경지식(안정계, 적분특성 없는 경우)
Fig. 8 Knowledge of changing sampling period (stable process, fuzzy PI)

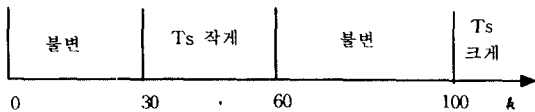


그림 9. 샘플링 간격 변경지식(안정계, 적분특성 있는 경우)
Fig. 9 Knowledge of changing sampling period (stable process, fuzzy PD)

4.3 샘플링 간격 선정 수순

샘플링 간격을 변경해야 할지의 판단이 끝나면, 적절한 t 샘플링 간격을 선정할 필요가 있다. 본 논문에서는 여러 가지 많은 사례의 시뮬레이션을 통하여 다음의 샘플링 간격 선정 수순을 도출하였다. 이들을 그림 10에서 그림 12까지 나타내었다.

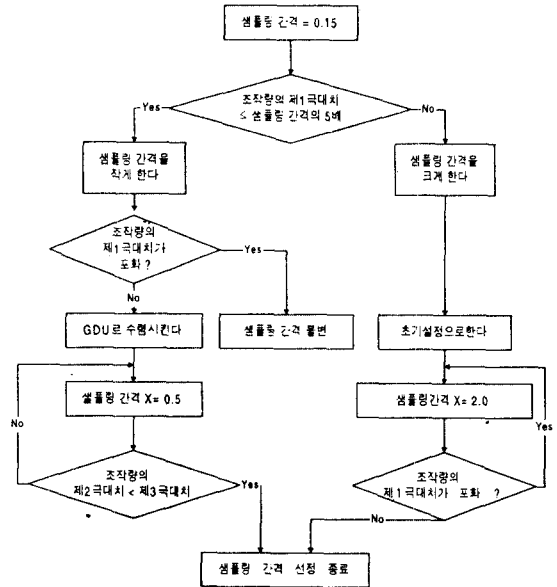


그림 10. 샘플링 간격 선정 수순(안정계, 적분특성 없음)
Fig. 10 Method of tuning sampling period (stable process, fuzzy PI)

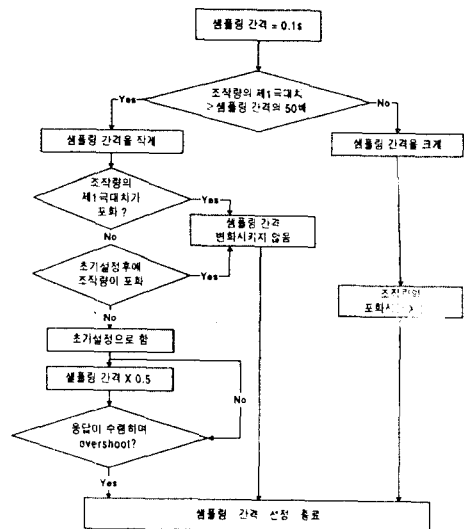


그림 11. 샘플링 간격 선정수순(안정계, 적분특성 있음)
Fig. 11 Method of tuning sampling period (stable process, fuzzy PD controller)

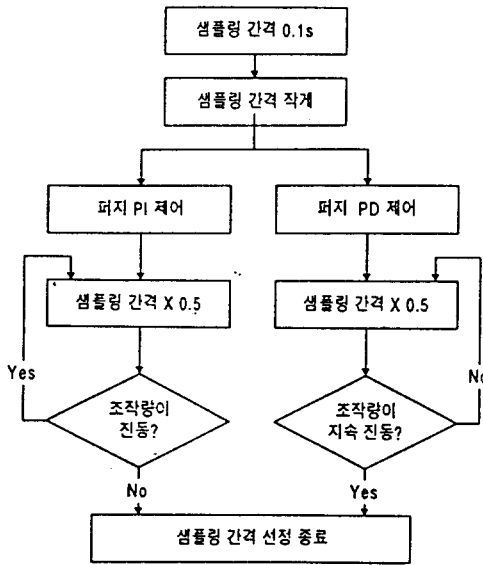


그림 12. 샘플링 간격 선정수준(불안정계)
Fig. 12 Method of tuning sampling period (unstable process)

V. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용한 시뮬레이션의 예를 아래에 나타내었다.

5.1 안정계의 경우

프로세스가 다음 식과 같이 표현된다고 할 때

$$\frac{s^2 + 2.0s + 87.5}{s^3 + 10.0s^2 + 35.3s + 130.1} e^{-0.1s}$$

① 샘플링 간격을 0.1s로 했을때의 설계

먼저 제어변수를 초기설정으로 하여 퍼지 PI 제어를 행하면, 응답은 발산하지 않기 때문에 안정계로 판단된다. 다음에 GDU 조정식을 사용하면 응답은 수렴하기 때문에 적분특성을 갖지 않는다고 판단된다. 따라서, III장에서 보인 적분특성을 갖지 않는 시스템에 대한 지식에 근거하여 응답개선을 행한다. 이때의 응답개선 과정의 모양을 그림 13에 나타내었고, 응답개선 과정을 표 7에 나타내었다.

이 응답에 대하여 OV 추론횟수는 28회이다. 따라서 그림 8에서 샘플링 간격은 작게해야 되는 것을 알

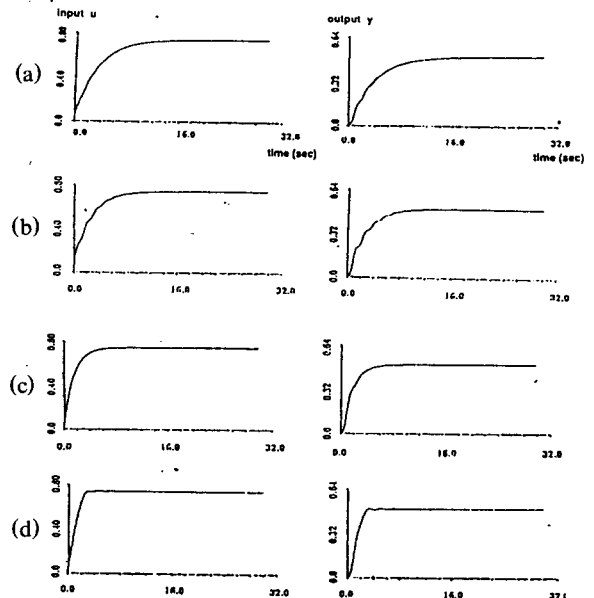


그림 13. 응답개선 과정
Fig. 13 Tuning process

- (a) 초기 응답
- (b) 개선요구(상승시간을 작게)
- (c) 개선요구(상승시간을 작게)
- (d) 개선요구(상승시간을 작게)

표 7. 샘플링 간격이 0.1초 일때의 응답개선 과정
Table 7. Tuning process at sampling period 0.1s

개선요구	GDU	GCE	e함수	ce함수	제어규칙
1.초기 응답	0.027475	20.0	기본형	기본형	기본형
2.RT를 작게	0.041210	20.0	"	"	"
3.RT를 작게	0.041210	1.5552	"	"	"
4.RT를 작게	0.041210	1.5552	+②	"	"

수 있다.

② 샘플링 간격 선정과정

판정에 근거하여 샘플링 간격을 변경한다. 적분특성을 갖고 있지 않은 안정계라는 것으로부터 종료 조건은 "조작량의 제2 극대치 > 제3 극대치"이다. 따라서 그림 10으로부터 적절한 샘플링 간격은 0.03s이라는 것이 판명된다. 샘플링 간격을 변경한 후의 파형은 그림 14와 같이 된다.

또한, 이때의 응답개선과정은 표 8과 같이 된다.

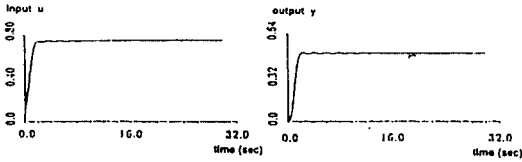


그림 14. 샘플링 간격 0.03s에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 14 Simulation results at sampling period 0.03s

표 8. 샘플링 간격이 0.03초 일때의 응답개선 과정
Table 8. Tuning process at sampling period 0.03s

개선요구	GDU	GCE	e함수	ce함수	제어규칙
1.초기응답	0.022194	20.0	기본형	기본형	기본형
2.주기를 길게	0.017760	20.0	"	"	"
3.RT를 작게	0.017760	2.5920	"	"	"
4.RT를 작게	0.017760	2.5920	+②	"	"

초기의 샘플링 간격이 0.1s에서의 응답파형과 선정된 샘플링 간격 0.03s에서의 응답파형을 비교한 경우를 그림 15에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 샘플링 간격을 0.03s로 했을 때가 제어 성능이 훨씬 좋아진다.

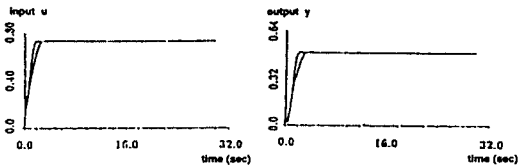


그림 15. 응답파형의 비교
Fig. 15 Comparison of the response

5.2 불안정 시스템의 경우

프로세스가 다음 식과 같이 표현된다고 할 때

$$\frac{2.0}{s(s-1.0)}$$

① 샘플링 간격을 0.1s로 했을 때의 설계

제어변수를 초기 설정으로하여 퍼지 PI 제어를 행하면, 응답은 발산하게 되므로, 불안정 시스템이라고 판단할 수 있다. 다음에 GE를 0.1배로하고 또한 GDU를 0.5배로 하여도 응답은 수렴하지 않기 때문에 적

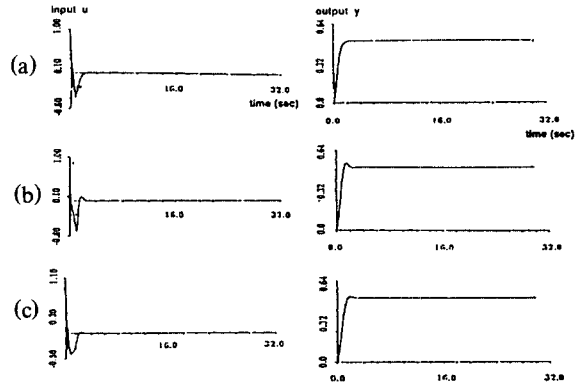


그림 16. 응답 개선 과정
Fig. 16 Tuning process

- (a) 초기응답
- (b) 개선요구(상승시간을 작게)
- (c) 개선요구(overshoot 양을 작게)

분특성을 갖는다고 판단된다. 따라서 적분특성을 갖는 불안정 시스템에 대한 지식에 근거하여 응답개선을 행한다. 이 경우의 응답개선의 모양을 그림 16에 나타내었다.

② 샘플링 간격 선정과정

IV장에서 나타낸 지식을 근거로 하여, 샘플링 간격은 변경되어야만 한다고 판단된다. 적분특성을 갖고 있는 불안정 시스템이므로 이때의 종료조건은 “조각량이 지속적으로 진동한다”이다. 따라서 그림 12로부터 적절한 샘플링 간격은 0.04s이라고 판단된다. 0.1s에서의 응답파형과 선정된 샘플링 간격 0.04s에서의 응답파형을 비교한 것을 그림 17에 나타내었다. 샘플링 간격을 0.04s로 설정한 경우가 제어성능이 우수하다는 것을 알 수 있다.

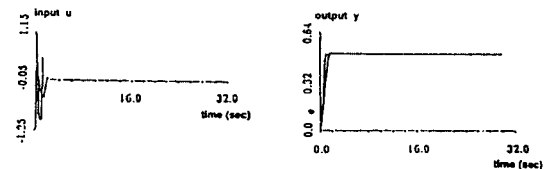


그림 17. 응답 파형의 비교
Fig. 17 Comparison of the response

VI. 결 론

본 논문에서는 동특성이 미지인 제어대상에 대하여 입출력 응답만을 보고 퍼지 제어를 조정하는 방법을 나타내었다. 이를 위해 많은 제어대상들에 대한 시뮬레이션을 수행하여 적절한 알고리즘을 얻었고, 제안한 알고리즘과 시뮬레이션 결과를 통해 다음과 같은 것을 알 수 있다.

- (1) 실제로 미지인 제어대상을 조정하는 제어기로서 이용할 수 있다.
- (2) 퍼지 제어기의 스텝응답으로부터 대상 시스템의 특성을 대강 파악할 수 있는 방법을 나타내었다.
- (3) 퍼지 제어 시스템을 구성함에 있어, 대상에 대해 적어도 안정성, 적분기의 유무와 같은 지식이 없으면, 적절하게 조정하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다.
- (4) 샘플링 간격의 조정에 있어 퍼지 제어 시스템의 응답을 개선할 수 있는 방법을 보였다.
- (5) 퍼지 제어기에 있어서 어떻게 변경하면, 어떠한 응답이 개선된다고 하는 것을 알 수 있다.

특히 본 연구에서는 여러 가지 응답개선지식에 추가하여 최적의 샘플링 간격의 조정에 관한 연구도 수행하여, 샘플링 간격이 제어 성능에 미치는 영향도 실험적으로 분석하였다. 그러나, 본 논문에서 제안한 조정법은 실시간내에 자동적으로 이루어지는 시스템은 아니다. 그러므로, 향후의 연구로서는 동특성이 완전히 미지 시스템인 제어 대상에 대해 실시간에 자동적으로 튜닝할 수 있는 제어기를 설계하여 실제로 구현할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. T. Mita, "A Relation Between Overshoot and Sampling Period in Sampled Data Feedback Control Systems", *IEEE Trans. AC-25*, no. 3, pp. 603-604, Jun., 1980.
2. K. Oura, T. Ishimoto and et al, "Dialogical Tuning of the Sampling Period in Fuzzy Control Systems", *KACC '93*, pp. 385-390, 1993.
3. G. C. Goodwin and et al, *Adaptive Filtering, Prediction and Control*, Prentice-Hall, 1984.

4. J. K. Kim and K. Hagino, "Adaptive Hybrid Control using Fuzzy Set theory", *SOFT*, vol 6-2, pp. 378-401, 1994.
5. H. C. Tseng and V. H. Hwang, "Servocontroller Tuning with Fuzzy Logic," *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 1, no. 4, pp 262-269, Dec. 1993.



李相球(Sang Gu Lee) 정회원
현재: 한남대학교 컴퓨터공학과 교수



秋月 影雄(Kageo Akizuki)
1963년: 와세다대학 대학원 박사
과정수료 공학박사
1972년~현재: 와세다대학 이공학부 교수, 일본전기학회 전자정보시스템 部門長, 일본 전기학회 논문상(1990년), 업적상(1993년) 등 다수 수상