

PID 제어기의 게인 조절을 위한 퍼지 게인 스케줄링 기법 및 응용

(Fuzzy Gain Scheduling for the Gain Tuning of PID controller and Its Application)

全宰弘*, 李鎮局*, 金炳華*, 安鉉植*, 金道鉉*

(Jae-Hong Cheon, Chin-Gook Lhee, Byung-Hwa Kim, Hyun-Sik Ahn, and Do-Hyun Kim)

요 약

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 PID 제어기의 게인 스케줄링(Gain Scheduling)을 수행하며 inverted pendulum의 자세제어를 수행한다. 먼저, 선형화된 inverted pendulum에 대해 극배치방법(Pole Placement)으로 PID 제어기의 게인들을 구한 다음, 이 게인들을 기준으로 퍼지 논리에 의해 PID 제어기의 게인들을 변화시킨다. 이 때 설정값 부근에서는 단순한 PD 제어기만을 사용함으로써 효과적으로 위치제어를 수행할 수 있는 하이브리드 퍼지 제어(Hybrid Fuzzy Control)방법을 적용한다. 모의실험을 통하여 기존의 고정된 PID 제어 게인을 사용하는 경우나 퍼지논리에 의해 게인 조정만을 수행하는 경우보다 본 논문에서 제안된 방법에 의해 빠른 응답과 작은 오버슈트를 얻을 수 있음을 보인다.

Abstract

In this paper, a gain scheduling method of PID controller is proposed using fuzzy logic for balancing control of an inverted pendulum. First, gains of PID controller are calculated using pole-placement technique for the linearized model of an inverted pendulum and these gains are modified by fuzzy logic throughout control operations. A PD controller is used by switching near the set-point to improve the performance. It is illustrated by simulations that the proposed hybrid fuzzy control method yields smaller rising time and overshoot compared to the fixed-gain PID controller or fuzzy logic-based only PID controller.

1. 서 론

PID 제어기는 구조가 간단하여 구현이 용이하고 동작조건 범위가 넓더라도 견실한 성능을 가지기 때문에 산업공정제어에서 가장 많이 쓰이고 있다. 이 PID 제어기의 설계에서 가장 중요한 문제는 제어기의 파라미터인 비례게인, 적분게인, 미분게인을 어떻게 적절하게 설정해야 하는지에 관한 것으로서 대부분의 경우

전문가에 의하여 시행착오적으로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 이를 위하여 많은 시간과 경비가 소요되기 때문에 PID 제어기 파라미터의 자동동조(auto-tuning)에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다^[1]. 그러나 이 방법도 제어기 동조 후에 파라미터들이 고정되기 때문에 과도한 외란이나 플랜트가 비선형성을 가질 때에는 제어기 파라미터가 항상 효과적으로 결정되기 힘들다^[2]. 따라서 제어기 파라미터를 동작조건에 맞게 on-line으로 재동조 할 필요가 생겨났다.

본 논문에서는 퍼지논리를 이용하여 PID 제어기의 게인들을 결정하여 inverted pendulum의 자세제어를 수행한다. 이 때 퍼지제어기만으로 설정값 부근에서의

* 正會員, 國民大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Kookmin University)

接受日字: 1997年7月8日, 수정완료일: 1997年11月20日

정밀성을 향상시키기 위해서는 많은 규칙 및 짧은 샘플링 주기가 필요하므로 설정값 부근에서는 단순한 PD 제어를 사용한다^{[3] [4]}. 이에 따라 막대의 각도 0 [rad]을 설정값으로 하고 미리 지정된 각도 주위에서는 PD 제어를 적용하고 그 이외의 범위에서는 퍼지 게인 스케줄링에 의한 PID 제어를 적용한다. 이와같이 제안된 하이브리드 제어기의 성능을 확인하기 위하여 inverted pendulum의 자세제어에 대한 모의 실험을 수행하고, Ziegler-Nichols에 의한 PID 제어와 극배치방법에 의한 PID 제어, 퍼지 게인 스케줄링만에 의한 PID 제어 등의 결과와 비교 검토함으로써 빠른 응답속도와 작은 오버슈트를 얻을 수 있음을 보인다.

II. Inverted Pendulum의 모델링

Inverted pendulum^{[5] [6]}은 그림 1과 같이 직선 운동을 하는 카트(cart)와 그 위에 xz 평면상에서 회전운동을 하는 폴(pole)로 구성된다.

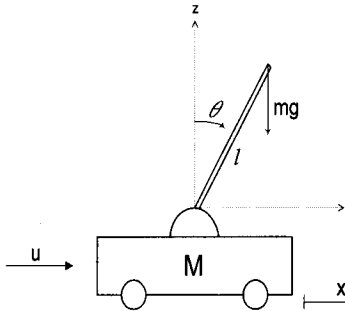


그림 1. Inverted pendulum 시스템
Fig. 1. Inverted pendulum system.

본 논문에서 사용된 inverted pendulum 시스템에 대한 파라미터들을 표 1에 정리 하였다. 그리고, 본 논문의 모델링은 다음과 같은 가정하에 이루어 졌다.

- 1) 모든 질량은 점질량으로 한다.
- 2) 레일을 비롯한 모든 마찰력은 무시한다.

Lagrange의 방법을 이용하여 시스템의 동역학식을 구하면 다음과 같다.

$$(M+m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta}\cos\theta - l\dot{\theta}^2\sin\theta = u \tag{1}$$

$$ml\ddot{x}\cos\theta + ml^2\ddot{\theta} + \dot{x}\dot{\theta}\sin\theta - mgl\sin\theta = 0$$

식 (1)을 막대의 각도 θ 에 대하여 다음과 같이 나

타낼 수 있다.

$$\ddot{\theta} = \frac{ml\dot{\theta}^2\sin\theta\cos\theta - (M+m)g\sin\theta + u\cos\theta}{ml\cos^2\theta - (M+m)} \tag{2}$$

표 1. inverted pendulum 시스템의 파라미터
Table 1. Parameters of inverted pendulum system.

파라미터	의미	수치	단위
M	Cart의 질량	0.455	Kg
m	Pole의 질량	0.210	Kg
l	Pole의 길이	0.610	m
θ	Pole과 z축이 이루는 각		rad
x	x축 방향으로의 Cart의 변위		m
u	Cart에 가해지는 입력		N
g	중력 가속도	9.800	m/sec ²

이제 inverted pendulum에 대한 모델링식 (2)에 표 1의 파라미터 값들을 대입하고, 막대의 각도 $\theta = 0$ 을 설정값으로 한 후, 이 점에서 선형근사화하면^{[7] [8]}, 식 (2)의 inverted pendulum은 다음과 같은 상태공간모델로 표현되어진다.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 25.7341 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ -5.8558 \end{bmatrix} u \tag{3}$$

$$y = [1 \ 0] x$$

여기서, $x = [\theta \ \dot{\theta}]^T$ 이다.

그리고, 식 (3)을 전달함수의 형태로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} G_p(s) &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} s & -1 \\ -25.7341 & s \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ -5.8558 \end{bmatrix} \\ &= \frac{-5.8558}{s^2 - 25.7341} \\ &= \frac{-5.8558}{(s + \sqrt{25.7341})(s - \sqrt{25.7341})} \end{aligned} \tag{4}$$

III. PID 제어기의 퍼지 게인 스케줄링

1. 제어 알고리즘

그림 2는 퍼지 게인 스케줄링을 이용한 PID 제어 시스템을 나타낸다. 이 방법은 제어기 파라미터를 결정하는 게인 스케줄링을 퍼지 논리에 의하여 수행하는 것이다^{[2] [9]}. 즉, 일반적으로 알려진 퍼지 제어기는 퍼지 논리를 이용하여 출력을 낸 후 이 출력을 플랜트에 대한 제어입력으로 직접 사용하나, 여기서는 퍼지

논리에 의한 출력을 플랜트 제어입력이 아닌, PID 제어기의 파라미터 동조에 이용하고 있다.

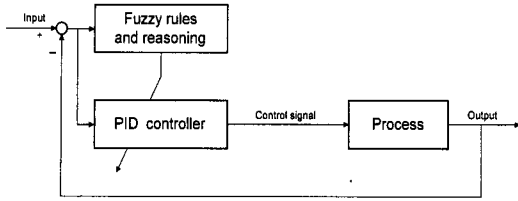


그림 2. 퍼지 게인 스케줄링을 이용한 PID 제어 시스템

Fig. 2. PID control system using fuzzy gain scheduling.

이 게인 스케줄링의 퍼지 제어 규칙은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{if } e(k) \text{ is } A_i \text{ and } \Delta e(k) \text{ is } B_i, \\ &\text{then } K_p \text{ is } C_i, K_i \text{ is } D_i \text{ and } K_d \text{ is } E_i \quad (5) \\ &i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

과도상태 즉 출력오차 및 출력오차의 증분이 클 때에는 K_p 를 크게하여 rising time을 빠르게 하고, 정상상태 즉 출력오차 및 출력오차의 증분의 크기가 작을 때에는 K_p 는 작게, K_i 는 크게하여 큰 overshoot를 피하도록 식 (5)의 제어규칙을 선정하였으며 표 2와 3에 각각 나타내었다.

이제, 식 (5)의 제어기 파라미터들을 0과 1사이로 정규화시켜 다음과 같이 변환하면 [2],

$$\begin{aligned} K_p' &= (K_p - K_{p,\min}) / (K_{p,\max} - K_{p,\min}) \\ K_d' &= (K_d - K_{d,\min}) / (K_{d,\max} - K_{d,\min}) \quad (6) \\ K_i' &= (K_i - K_{i,\min}) / (K_{i,\max} - K_{i,\min}) \end{aligned}$$

여기서, $K_{p,\max}$, $K_{p,\min}$ 은 각각 K_p 의 최대, 최소값들이고, $K_{d,\max}$, $K_{d,\min}$ 은 K_d 의 최대, 최소값, $K_{i,\max}$, $K_{i,\min}$ 은 K_i 의 최대, 최소값들이다. 본 논문에서는 극배치방법에 의하여 구한 PID 제어기의 파라미터 값에 기준하여 inverted pendulum의 비선형 모델에 맞게 최대값을 적정한 값으로 정하였고, 최소값들은 이 최대값들에 준하여 실험적으로 선정하였다. 이제 비례, 미분, 적분 게인들은 식 (6)과 같이 정규화된 이득들로 변조되어 식 (5)의 퍼지 규칙이 적용될 수 있다. 그리고 식 (6)의 PID 제어기의 파라미터들은 식 (7)과 같이 고쳐진다. 그러므로 퍼지 추론과 비

퍼지화에 의해 얻게 되는 K_i' , K_p' , K_d' 을 식 (7)에 대입하여 PID 제어기의 실제 파라미터들을 출력할 수 있다.

$$\begin{aligned} K_p &= (K_{p,\max} - K_{p,\min}) K_p' + K_{p,\min} \\ K_d &= (K_{d,\max} - K_{d,\min}) K_d' + K_{d,\min} \quad (7) \\ K_i &= (K_{i,\max} - K_{i,\min}) K_i' + K_{i,\min} \end{aligned}$$

2. 퍼지 추론 및 비퍼지화

식 (5)의 퍼지 규칙에 따라 inverted pendulum에 대한 입력과 출력의 소속함수를 각각 그림 6, 7과 그림 8과 같이 정하였다. 이 때, 오차는 inverted pendulum에서의 폴의 기준각 0 [rad]에 대한 오차이다. 그리고 설정값인 0부근에서는 PD 제어기의 영향을 주로 받기 때문에 그림 8의 출력 소속함수 모양을 양쪽으로 치우치게 하였다. 입력에 대한 출력의 제어 규칙은 표 2, 3과 같다. 여기에서 N은 negative, P는 positive, ZO는 zero, S는 small, B는 big, M은 medium을 각각 나타낸다. 퍼지 추론법으로는 Mamdani에 의해 제안된 Max-Min합성법을 이용하였다^[10].

Mamdani의 방법에 의해 PID 제어기 파라미터의 멤버십 함수가 결정되는데 이 때의 출력 K_p' , K_i' , K_d' 을 얻기 위해서는 비퍼지화 과정이 필요하다. 이것은 퍼지 추론에 의해 얻어진 출력의 멤버십 함수를 명확한(crisp) 값으로 바꾸는 것이다. 비퍼지화 방법으로는 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 출력 퍼지집합의 무게 중심을 구하여 그에 해당하는 값을 출력값으로 하는 무게중심법을 이용하였다.

이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다^[11].

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n x_j m(x_j)}{\sum_{j=1}^n m(x_j)} \quad (8)$$

여기서, y 는 무게중심법에 의한 출력값, x_j 는 퍼지 추론에 의해 얻어진 출력의 서포트(support)값, $m(x_j)$ 는 각 서포트값에 대한 소속값이다.

IV. 하이브리드 퍼지 제어기

하이브리드 퍼지 제어기는 설정값 부근에서는 PD 제어기를 사용하고 이외의 영역에서는 비선형 시스템

에 양호한 퍼지 제어기를 사용하는 제어기로서 그 구조는 그림 3과 같다^[3].

이 구조의 핵심은 각 제어기 출력에 대한 스위칭 및 가중(weighting) 함수이다. 이 함수의 역할은 퍼지 제어기에 의한 신호 u_1 과 PD 제어기에 의한 신호 u_2 를 합성하여 제어신호 u 를 만들어 내는 것으로, 설정값 부근에서는 PD 제어기를 통한 u_2 에 의해, 설정값에서 많이 벗어난 범위에서는 퍼지 제어기를 통한 u_1 에 의해, 그리고 그 중간 범위에서는 u_1 과 u_2 에 적당한 가중치가 곱해져서 제어신호 u 가 결정된다. 이와 같이 최종적인 제어입력 u 는 u_1 과 u_2 의 조합에 의해 만들어지며, 식(9)와 같이 표현된다.

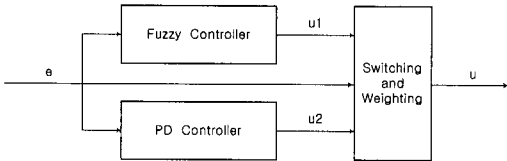


그림 3. 하이브리드 퍼지 제어기의 구성
Fig. 3. Configuration of a hybrid fuzzy controller.

$$u = \frac{close(e) u_2 + faraway(e) u_1}{close(e) + faraway(e)} \quad (9)$$

여기서, $close(e)$ 는 설정값 부근에서 즉, 오차가 비교적 작을 때 u_2 에 곱해지는 웨이트값이며, $faraway(e)$ 는 오차가 비교적 클 때 u_1 에 곱해지는 가중치이다. 이 때 가중치들은 u_1 과 u_2 의 멤버십값이 됨을 그림 4를 통해 알 수 있다.

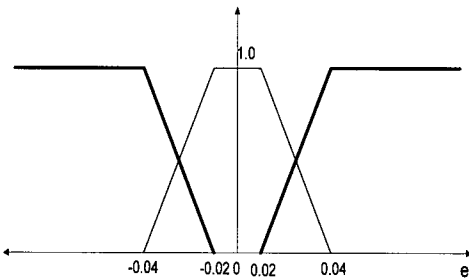


그림 4. 각 제어입력에 가해지는 가중 함수
Fig. 4. Weighting functions applied to each control input.

그림 4에서 굵은 선으로 표시된 것이 퍼지 제어기에 대한 멤버십 함수이고, 가는 선으로 표시된 것이 PD 제어기에 대한 멤버십 함수이다. 한편, 오차의 변

화분에 대해서도 고려할 수 있지만 본 논문에서는 오차에 대해서만 다루었다.

V. 하이브리드 퍼지 게인 스케줄링에 의한 제어

본 논문에서 사용된 퍼지 게인 스케줄링에 대해서 4.2 절에서 설명한 하이브리드 방법을 적용하면 그림 5와 같다. 일반적으로 알려진 하이브리드 퍼지 제어기는 제어 입력을 퍼지 추론과 합성에 의해 직접 만들어 내는 퍼지 제어기와 PID 제어기를 혼합하여 사용하는 것이나, 본 논문에서는 퍼지 논리로 PID 제어기의 게인 파라미터를 조정하여 제어 입력을 만들어 내며, 또한 이와 결합되는 PID 제어기 대신 PD 제어기를 사용하였다.

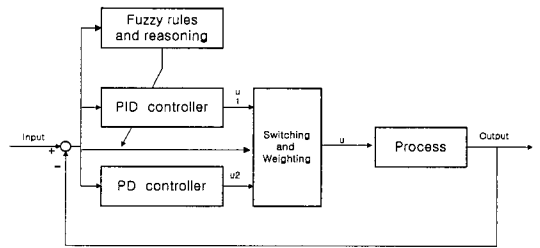


그림 5. 하이브리드 퍼지 게인 스케줄링
Fig. 5. Hybrid fuzzy gain scheduling.

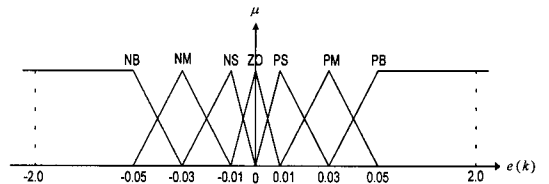


그림 6. 입력 $e(k)$ 의 소속함수
Fig. 6. Membership functions for input $e(k)$.

표 2. K_p' , K_i' 에 대한 퍼지 제어 규칙
Table 2. Fuzzy control rules for K_p' , K_i' .

Δe	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	MB	B	B	B	B	MB
NM	MS	MB	B	B	B	MB	MS
NS	S	MS	MB	B	MB	MS	S
ZO	S	S	MS	MB	MS	S	S
PS	S	MS	MB	B	MB	MS	S
PM	MS	MB	B	B	B	MB	MS
PB	MB	B	B	B	B	B	MB

표 3. K_d' 에 대한 퍼지 제어 규칙
Table 3. Fuzzy control rules for K_d' .

$e \backslash \Delta e$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	MS	S	S	S	S	S	MS
NM	MB	MS	S	S	S	MS	MB
NS	B	MB	MS	S	MS	MB	B
ZO	B	B	MB	MS	MB	B	B
PS	B	MB	MS	S	MS	MB	B
PM	MB	MS	S	S	S	MS	MB
PB	MS	S	S	S	S	S	MS

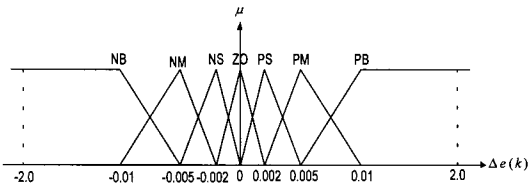


그림 7. 입력 $\Delta e(k)$ 의 소속함수
Fig. 7. Membership functions for input $\Delta e(k)$.

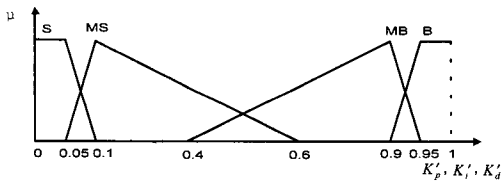


그림 8. 출력 K_p', K_i', K_d' 의 소속함수
Fig. 8. Membership functions for output K_p', K_i', K_d' .

VI. 모의실험

1. 모의실험 조건

모의실험은 식 (2)와 표 1로부터 다음과 같은 inverted pendulum에 대한 모델링 식에 대하여 이루어졌다.

$$\ddot{\theta} = \frac{0.1281 \dot{\theta}^2 \sin \theta \cos \theta - 0.665 g \sin \theta + u \cos \theta}{0.1281 \cos^2 \theta - 0.665} \quad (10)$$

식 (10)에 대한 PID 제어기 게인들의 셋-업값들은 표 4와 같다.

여기서, K_i 값은 41.700에서 20.884로 조정되어진 것인데, 이는 41.700일 경우 inverted pendulum이 진동하여 발산하기 때문이다. 그리고 게인 스케줄링 제어기와 하이브리드 제어기에서의 PID 제어기 게인

들의 최대값들은 극배치방법에 의한 PID 제어기 게인 값을 취하였고, 최소값들은 실험에 의해 적정한 값으로 설정하였다. 극배치방법에 의해 표 4와 같은 게인 값들이 주어졌을 때 식 (4)의 극점들은 $-5, -2.280 + j4.450, -2.280 - j4.450$ 으로 이동하게 된다. 여기서 $\omega = 5, \alpha = 1$ 로 하였으며, 35%의 오버슈트를 가지는 것으로 하여 $\zeta = 0.317$ 이 된다. 그리고 $K_{p, \min}$ 은 폴의 각을 발산하지 않게 하는 적절한 값으로 하였다.

한편 하이브리드 퍼지 게인 스케줄링 제어기에 사용되는 PD 제어기의 파라미터 값은 설정값 부근에서 게인 스케줄링이 될 때의 값인 $K_p = 10.1, K_d = 1.1$ 로 하였다.

본 모의실험은 Mathwork사의 Matlab/Simulink 소프트웨어를 사용하였으며, 폴의 초기 각도는 -10° ($=-0.175$ [rad])로 하였고, 샘플링 주기는 5 [ms]로 하였다.

표 4. PID 제어기의 파라미터 (a) Ziegler-Nichols, 극배치방법 (b) 게인 스케줄링, 하이브리드 방법

Table 4. Parameters for PID controller (a) Ziegler-Nichols, pole placement method (b) Gain scheduling, hybrid method

게인 파라미터	Ziegler-Nichols	Pole placement
K_p	12.635	12.635
K_i	20.884	15.990
K_d	0.960	2.224

(a)

게인 파라미터	값	게인 파라미터	값
$K_{p, \max}$	12.635	$K_{p, \max}$	9.000
$K_{i, \max}$	15.990	$K_{i, \max}$	5.000
$K_{d, \max}$	2.000	$K_{d, \max}$	1.400

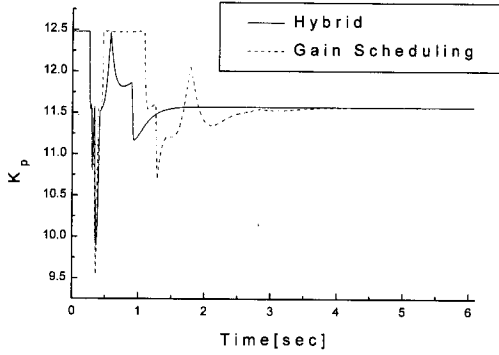
(b)

2. 모의실험 결과

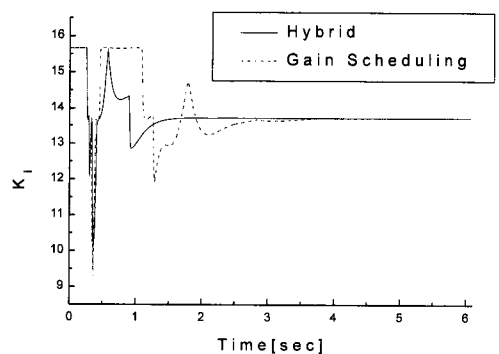
그림 9는 PID 제어기 게인들을 나타내고 있다. 게인들이 시스템의 동작조건에 맞게 동조되고 있음을 볼 수 있다. 이 때 각 파라미터의 최종값은 비례게인은 11.85, 적분게인은 13.7, 미분게인은 1.53으로 귀착되고 있다. 여기에서 Gain Scheduling은 퍼지 논리에 의한 Gain Scheduling을 의미한다(이하의 모든 내용에서도 마찬가지임).

그림 10은 제어입력을 나타내고 있다. 게인 스케줄

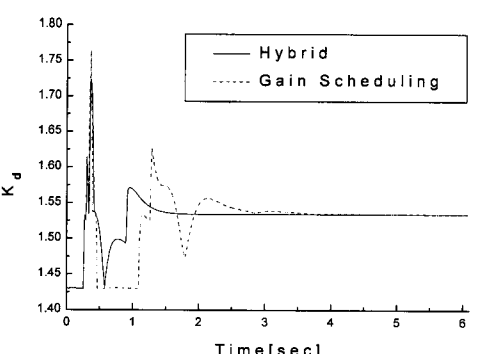
링만을 사용하였을 경우 0.3초 부근에서 피크 현상이 발견되고 있다. 그러나 하이브리드 방법을 사용하였을 경우에는 피크 현상이 매우 감쇠되는 것을 관찰할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. PID 제어기의 파라미터 동조
(a) 출력 K_p , (b) 출력 K_i , (c) 출력 K_d

Fig. 9. Tuning of the PID controller parameters
(a) Output K_p , (b) Output K_i , (c) Output K_d .

그림 11의 자세제어 결과에서 극배치방법에 의한 PID 제어결과는 35%의 오버슈트, 2.5초의 settling time, 0.8초의 peak time을 나타내어 Ziegler-Nichols 방법보다는 향상된 자세제어 결과를 보인다. 그리고 게인 스케줄링만에 의한 제어 결과는 오버슈트가 35%보다 적게 나왔고, 2.2초의 settling time, 0.7초의 peak time을 나타낸다. 또한 하이브리드 방법을 적용하였을 경우 11%의 오버슈트와 1.2초의 settling time, 0.6초의 peak time을 나타내어 더욱 향상된 자세제어 결과를 보이고 있다. 한편, PID 제어기는 비례게인 값이 클수록, 또한 이에 상응하여 미분게인 값이 클수록 향상된 제어 결과를 보이는데, 이때 제어 입력이 커지게 되고 따라서 게인값의 범위가 제한받게 된다. 그러나 퍼지이론에 의한 게인 스케줄링을 하였을 경우에는 일반 PID 제어기보다 작은 게인의 범위에서도 빠른 수렴속도와 작은 오버슈트를 나타낼 수 있다.

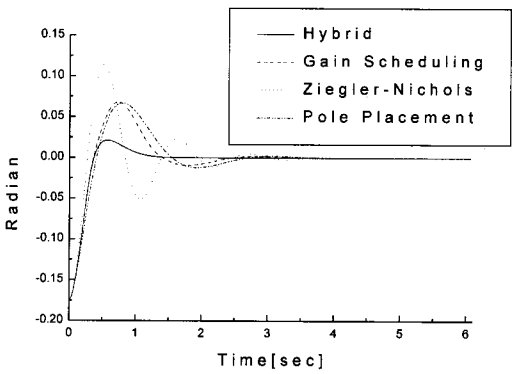


그림 10. Inverted pendulum의 제어 입력
Fig. 10. Control inputs of inverted pendulum.

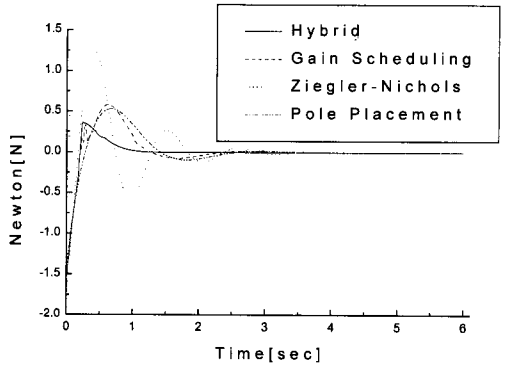


그림 11. Inverted pendulum의 자세제어 결과
Fig. 11. Outputs for balancing control of inverted pendulum.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 산업공정제어에서 가장 많이 쓰이고 있는 PID 제어기의 성능을 게인 스케줄링과 하이브리드 퍼지 제어 이론을 사용하여 개선 시켰다. 이는 PID 제어기의 파라미터들을 동작 조건에 따라 변화시키는 게인 스케줄링을 퍼지 논리에 의하여 구현하고, 이 때 설정값 부근에서는 PD 제어를 사용하고 과도 상태에서는 PID 제어기의 게인 스케줄링을 퍼지논리에 의하여 실행한 것이다. 플랜트로 선정된 inverted pendulum에 대해 제안한 방법에 의한 모의실험을 수행한 결과, 폴 각도의 설정값인 0 [rad]으로의 수렴이 일반적인 PID 제어기나 게인 스케줄링만을 한 제어기보다 더 빠르고 오버슈트가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 설정값 부근에서는 PD 제어기에 의해 제어가 되므로 퍼지 규칙이나 각 소속함수가 최적의 값으로 정하여지지 않더라도 이에 영향을 많이 받지 않고 있다. 그리고 상대적으로 작은 게인값으로도 제어가 가능하므로 게인값의 동작범위가 넓어짐을 알 수 있었다.

추후 연구 과제로 폴의 자세제어 뿐만 아니라, 카트의 위치제어까지 할 수 있는 다변수 제어기의 설계를 생각해 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. C. Kuo, Automatic Control Systems, 5th ed. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1987.
- [2] Zhen-Yu Zhao and Masayoshi Tomizuka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers," IEEE Trans. Sys, Man and Cyber, vol.23, no 5, pp. 1392-1398, 1993.
- [3] Witold Pedrycz, Fuzzy Control and Fuzzy Systems, 2nd ed, RSP,1993.
- [4] 김종식, 선형 제어시스템 공학, 청문각, 1993
- [5] Frank L. Lewis, Applied Optimal Control and Estimation, Prentice-Hall.
- [6] 정영주 외 2인, "Cart Pole 자세제어를 위한 선형모델 추종형 신경망 제어기의 설계," 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, pp729-732, 1994
- [7] J. J. E. Slotine, Applied Nonlinear Control, Prentice-Hall, 1991.
- [8] Bahram Shahian, Control System Design using Matlab, Prentice-Hall, 1993.
- [9] Miguel Strefezza, Daouren Akgmetov and Yasuhiko Dote, "Simple Fuzzy Robust Proportional-Integral-Differential Controller for Alternate Current Servomotor," Proceedings of ACC, pp493-496, 1994.
- [10] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant", Proc. Inst. Elect. Eng. vol 121 , pp 1585 -1588,1974.
- [11] Bart Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice-Hall, 1992.

저 자 소 개



金 宰 弘(正會員)

1995년 국민대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1997). 관심분야는 퍼지 이론 및 응용



李 鎮 局(正會員)

1973년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1980년 명지대학교 대학원 석사. 1995년~현재 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1979년~1987년 삼척공업전문대학 부교수. 1988년~현재 충주산업대학교 전기공학과 전기공학과 교수. 관심분야는 로봇제어, 지능제어, 공장자동화



金 炳 華(正會員)

1955년 10월 25일생. 1982년 2월 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1992년 2월 성균관대학교 경영대학원 정보처리학과 졸업, 1994년 9월 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업. 현재 東園工業專門大學 전자

과 전임교수, 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료, 주관심분야는 신경회로망, 퍼지시스템, 인공지능, 의용생체공학, 동양의학, 超科學, 氣功科學, 易學, UFO, 超心理學 등임

安 鉉 植(正會員) 第 34卷 S編 第 7號 參照

金 道 鉉(正會員) 第 34卷 S編 第 7號 參照