

# PID제어기 자동동조에 관한 연구

조현섭\*

\*청운대학교 디지털방송공학과  
e-mail:chohs@chungwoon.ac.kr

## A Study on the PID controller auto-tuning

Hyun-Seob Cho\*

\*Dept of Digital Broadcast Engineering Chungwoon University

### 요약

The parameters of PID controller should be readjusted whenever system character change. In spite of a rapid development of control theory, this work needs much time and effort of expert. In this paper, to resolve this defect, after the sample of parameters in the changeable limits of system character is obtained, these parametrs are used as desired values of back propagation learning algorithm, also neural network auto tuner for PID controller is proposed by detemring the optimum structure of neural network. Simulation results demonstrate that auto-tuning proper to system character can work well.

### 1. 서론

PID 제어기 매개변수를 결정하기위해 사용되는 방법중에는 Ziegler-Nichols의 계단응답법이 있다. 그러나, 계단응답법은 시스템 특성이 변할 때마다 계속적인 계산을 통해 시스템에 적합한 제어기 매개변수들을 재결정해야 하고 자동화하기 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기위해 계단응답법으로 시스템 특성이 변화가능한 구간에서의 샘플 매개변수를 구한후 백프로파게이션 학습알고리즘의 지도학습값으로 이 매개변수를 사용하여 신경회로망을 학습시키므로써 매개변수 결정에 적합한 신경회로망 구조를 찾고, PID 제어기 매개변수를 자동동조시켰다.

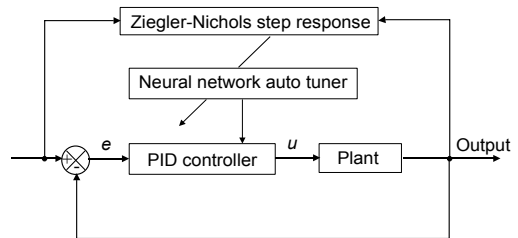
### 2. 본론

#### 2.1 시스템의 구성

그림1에서 플랜트와 PID 제어기는 기본제어루프를 형성한다. PID 제어기의 전달함수는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$G_c(s) = K(1 + 1/T_I s + T_D s) \quad (1)$$

$$G_c(s) = K_P + K_I/s + K_D s \quad (2)$$



[그림 1] 시스템의 구성

시스템에 적합한 PID 제어기 매개변수가 사용될 때 부하변동이나 외란의 존재시 과도응답을 최소화할 수 있다. 이를 위해 그림 1의 시스템에서 계단응답법에 의해 1차적으로 매개변수가 결정되고, 이 값을 신경회로망의 지도학습값으로 사용하였다.

플랜트에 대한 실험 대상은 전동기로 선택하였으며 전달함수는 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$G(s) = K_t / [J \cdot L_a \cdot s^2 + (J \cdot R_a + B \cdot L_a) \cdot s + (K_t \cdot K_b + B \cdot R_a)] \quad (3)$$

GS FMD-E40(정격출력 400[w])의 사양은 다음과 같다.

$$K_t = 2.27 [Kgf \cdot cm / A] : \text{토크 상수}$$

$$J = 3.4 \times 10^{-3} [Kgf \cdot cm \cdot sec^2] : \text{관성 모멘트}$$

$$L_a = 0.89 [mH] : \text{전기자 인덕턴스}$$

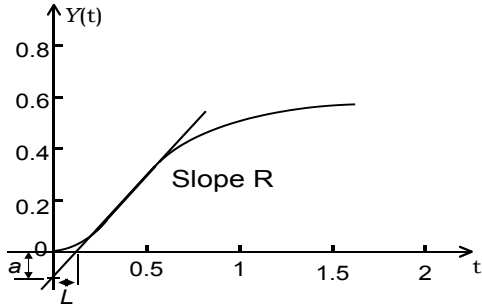
$$R_a = 1.2 [\Omega] : \text{전기자 저항}$$

$$B = 0.75 [Kgf \cdot cm] : \text{마찰토크}$$

$$K_b = 23.33 [V/Krpm] : \text{유기전압 상수}$$

### 2.2 계단응답에 의한 PID 매개변수 결정

Ziegler-Nichols에 의해 제안된 계단응답법은 그림2에서 보여주는 바와 같이 개루프(open loop) 플랜트에 단위계단을 입력시켜 그의 응답을 고찰하므로써 매개변수를 결정하는 방법이다.



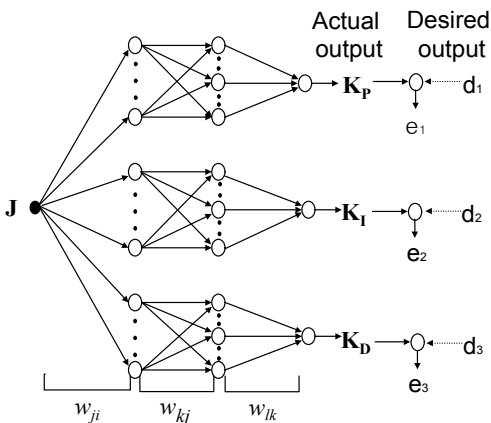
[그림 2] 계단응답에 의한 a 와 L의 결정

계단응답의 기울기가 최대인점에서 접선을 그리고 그림 2에서 보는 바와 같이 축과 접선과의 교차가 나타나지면, 이때 데드타임(dead time) L 과 수직축과의 교차점 a 가 결정된다. 이 값들은 표 1에 적용하므로써 PID 제어기 매개변수를 구하게 된다.

[표 1] Ziegler-Nichols 계단응답법에 의한 PID 제어기 매개변수

controller	K	T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>
P	1/a		
PI	0.9/a	3L	
PID	1.2/a	2L	0.5L

### 2.3 신경회로망 구조의 선택



[그림 3] 신경회로망 구조

신경회로망(neural network)은 상호연결된 신경세포(neuron)에 의해 임의의 입력 N 차원 공간을 출

력 M 차원 공간으로 mapping 하는 것으로 생각할 수 있으며, 입력 및 출력 공간과 mapping 특성에 따라 연상기억, 필터, 변환, 분류, 인식, 최적화 등의 기능을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 3층의 구조를 갖는 백프로파게이션 학습알고리즘을 사용하였다. 그림3에서 신경회로망의 입력값으로는 변화 가능한 구간에서 모터 관성모멘트의 샘플을 추출하여 사용하였고 지도학습값으로는 계단응답법에서 얻어진 매개변수를 사용하였다. 히든층의 뉴런수를 조절해서 제공오차의 합이 가장 작은 구조가 선택되어진다. 다음의 표 2에 각 경우 제공오차를 나타내었다.

[표 2] 각 히든층의 뉴런수에 따른 제공오차의 합

뉴런수	1h	2			
	2h	2	3	4	5
sum	K <sub>P</sub>	174×10 <sup>-6</sup>	51.7×10 <sup>-6</sup>	33×10 <sup>-6</sup>	55×10 <sup>-6</sup>
squared	K <sub>I</sub>	134×10 <sup>-5</sup>	102×10 <sup>-5</sup>	130×10 <sup>-5</sup>	112×10 <sup>-5</sup>
error	K <sub>D</sub>	19.2×10 <sup>-12</sup>	5.27×10 <sup>-12</sup>	5.61×10 <sup>-12</sup>	6.68×10 <sup>-12</sup>
뉴런수	1h	3			
	2h	2	3	4	5
sum	K <sub>P</sub>	88×10 <sup>-6</sup>	36.3×10 <sup>-6</sup>	69×10 <sup>-6</sup>	63.5×10 <sup>-6</sup>
squared	K <sub>I</sub>	55×10 <sup>-5</sup>	115×10 <sup>-5</sup>	126×10 <sup>-5</sup>	96×10 <sup>-5</sup>
error	K <sub>D</sub>	24.56×10 <sup>-12</sup>	12.27×10 <sup>-12</sup>	11.44×10 <sup>-12</sup>	<b>5.13×10<sup>-12</sup></b>
뉴런수	1h	4			
	2h	2	3	4	5
sum	K <sub>P</sub>	59.7×10 <sup>-6</sup>	62.2×10 <sup>-6</sup>	27.5×10 <sup>-6</sup>	<b>8.4×10<sup>-6</sup></b>
squared	K <sub>I</sub>	6×10 <sup>-5</sup>	45.5×10 <sup>-5</sup>	47.1×10 <sup>-5</sup>	10.8×10 <sup>-5</sup>
error	K <sub>D</sub>	5.58×10 <sup>-12</sup>	5.26×10 <sup>-12</sup>	5.30×10 <sup>-12</sup>	6.39×10 <sup>-12</sup>
뉴런수	1h	5			
	2h	2	3	4	5
sum	K <sub>P</sub>	59×10 <sup>-6</sup>	62.6×10 <sup>-6</sup>	32.4×10 <sup>-6</sup>	44×10 <sup>-6</sup>
squared	K <sub>I</sub>	39.8×10 <sup>-5</sup>	<b>4.76×10<sup>-5</sup></b>	7.01×10 <sup>-5</sup>	16.6×10 <sup>-5</sup>
error	K <sub>D</sub>	5.15×10 <sup>-12</sup>	5.22×10 <sup>-12</sup>	8.92×10 <sup>-12</sup>	5.18×10 <sup>-12</sup>

K<sub>P</sub>값에는 4-5, K<sub>I</sub>값에는 5-3, K<sub>D</sub> 3-5 구조가 오차가 가장 적은 구조임을 알 수 있다. 따라서 이러한 구조를 선택하여 사용하였다.

### 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

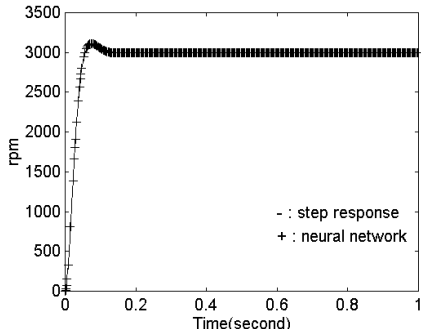
J×20, J×40, J×60, J×80, J×100을 샘플로 하여 계단응답법으로 구한 제어기 매개변수를 신경회로망의 학습에 사용하였다. 그림4, 5는 지도학습값과 신경회로망 학습후의 응답을 비교한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 신경회로망을 학습시키므로써 매개변수를 동조하였을 경우와 지도학습값을 사용했을 경우 같은 결과가 나온다.

그림 6, 7은 임의로 선택된 부하 J×30, J×70에서

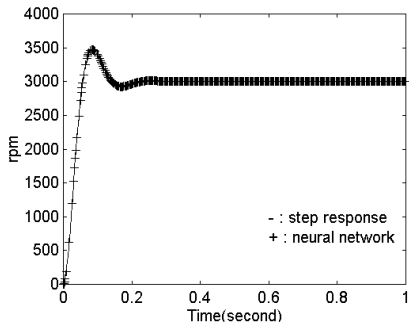
신경회로망을 이용하여 제어기 매개변수를 동조시켰을 경우의 응답곡선이다. 임의의 부하에서는 신경회로망을 이용해 임의구간에도 원하는 응답특성과 동일함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

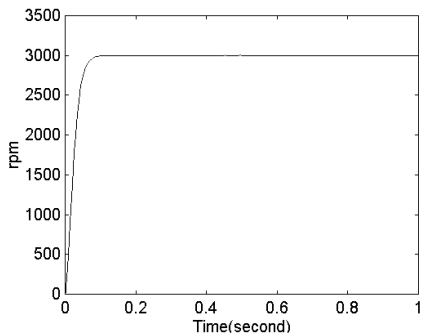
본 연구에서는 계단응답법에 의해 시스템 특성이 변화가능한 구간에서의 샘플 매개변수를 구한후 백프로파게이션 학습알고리즘을 이용해 신경회로망을 학습시키므로써 가변부하시 PID 제어기 매개변수를 자동동조시킬수 있음을 보여주었다. 따라서 제시된 기법은 부하가 변화 할 때 마다 재동조에 수반되는 어려움을 해결할 수 있을 것이라 사료된다.



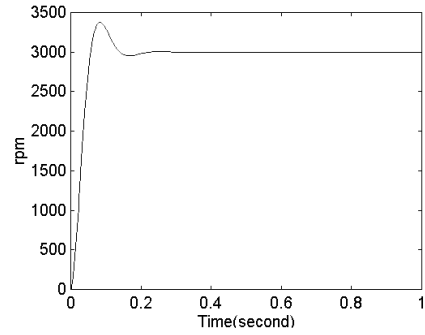
[그림 4] J×40의 비교응답곡선



[그림 5] J×80의 비교응답곡선



[그림 6] J×30의 응답곡선



[그림 7] J×70의 응답곡선

#### 참고 문헌

- [1] J.G.Ziegler and N.B.Nichols, "Optimum settings for Automatic controller", Trans, ASME, 64, pp.759-768, 2004.
- [2] Jr. W. M . Hawk , "A self-tuning, self-contained PID Controller", Procs, pp.838-842, 2006.
- [3] K.J.Åström and T.Hägglund, "Automatic tuning of PID controllers", Instrument Society of America, 2005.
- [4] C. C. Hang, K. J. Åström "Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula" Proc.IEE, Pt.D., vol. 138, pp.111-118, 2004
- [5] J. M. Zurada, "Introduction to artificial neural systems", Info Access Distribution Pte Ltd, 2005.
- [6] Narendra, K. S and Mkhopadhyay, S. "Intelligent control using neural networks", IEEE Control syst. pp.11-18, 2006.