

The PSO-PID Speed Controller Design for the BLDC Motor

김 승 기* · 한 병 조** · 양 해 원†
(Seung-Ki Kim · Byung-Jo Han · Hai-Won Yang)

Abstract - Brushless DC motors applied in many control systems because of the good response characteristic and the easy control characteristic. The speed control of the BLDC motors is important in the systems. This paper has designed PSO-PID speed controller for the speed control of BLDC motors. The PSO algorithm optimized the parameters of the PID controller in the PSO-PID speed controller. The several methods obtained the optimal inertia weight of the PSO algorithm by comparison. The optimal inertia weight of the PSO algorithm optimized the PSO-PID speed controller for BLDC motors. This paper confirmed the performance of proposed PSO-PID speed controller through simulation results.

Key Words : PSO-PID, PSO, Inertia weight, PID controller, BLDC motor speed control

1. 서 론

BLDC(Blushless DC) 모터는 기존의 DC 모터의 단점인 브러시 및 정류자 등의 기계적 접촉부를 제거하고 전자회로로 치환한 제어용 모터이다. BLDC 모터는 가변속 제어가 용이하고, 운전 영역 변화에 따른 효율 변화가 적은 특징이 있다[1]~[3]. 또한 브러시를 사용한 정류를 할 때 발생하는 아크가 없기 때문에 폭발 위험성이 있는 곳에서도 사용이 가능하다. 이로 인해 BLDC 모터는 많은 제어 시스템에 널리 적용되고 있고 자속이 일정하기 때문에 속도제어가 중요하다.

PID(Proportional-Integral-Derivative) 제어기는 간단한 구조와 넓은 범위의 운전환경에서 강인한 성능을 보이기 때문에 산업현장에서 많이 사용되며[4] PSO(Particle Swarm Optimization)[5]~[7]는 경험적 탐색 방법의 하나로 조류나 어류 등의 생물의 무리가 각각의 개체가 가지고 있는 정보를 공유해가며 먹이를 찾아가는 과정을 모의한 방법이다.

PSO는 파티클(Particle)이라는 구성원 개체들이 군집(Swarm)을 이루며 다차원의 탐색공간에서 최적의 해를 찾는다. 생체군집내의 구성원들이 스스로의 경험과 다른 구성원들에게서 얻은 정보로 행동을 결정하는 것과 같이, PSO에서는 각 파티클들은 자신의 경험과 다른 파티클들의 경험을 이용하여 최적의 위치로 이동해 간다. 이를 위해 파티클들은 스스로가 최적의 위치로 이동했었던 자신의 경험을 기억하며, 이를 다른 파티클들과 공유한다. 또한 PSO는 파라

미터의 조절을 통해 파티클의 전역탐색과 지역탐색 능력의 균형을 조절할 수 있다.

본 논문에서는 BLDC 모터를 위한 PSO-PID 속도 제어기를 설계한다. PSO-PID 속도제어기는 최적화된 PID 제어기 파라미터를 탐색하여 BLDC 모터를 제어한다. 2장의 본문에서는 첫 번째로 Blushless DC Motor의 특징과 특성방정식 구한다. 두 번째로 PSO 알고리즘에 대해 설명한다. 세 번째로 최적화된 PSO 관성하중 값을 찾기 위한 6가지 방법을 설명한다[8]. 네 번째로 제안된 PSO-PID 제어기를 제시한다. 다섯 번째로 모의실험을 통해 최적화된 관성하중을 찾고 BLDC 모터를 위한 PSO-PID 속도제어기의 속도제어 결과를 보였다.

2. 본 론

BLDC 모터의 속도제어를 위해 최적화된 PID 제어기를 설계해야한다. 이를 위해 PID 제어기의 파라미터를 PSO 알고리즘을 사용하여 탐색하고 평가 함수를 통해 최적화된 PID 파라미터 값을 결정한다. PSO 알고리즘을 적용할 때 여섯 개의 다른 관성하중을 적용하여 최대 좋은 성능의 관성하중 방법을 결정한다.

2.1 Blushless DC Motor

영구자석형 DC 모터는 기계적인 정류자와 브러시를 사용하나 BLDC 모터는 기계적인 정류자와 브러시 등의 기계적 접촉부를 제거하고 전자회로로 치환하였다. BLDC 모터는 낮은 관성, 빠른 응답, 높은 전력 밀도, 높은 신뢰성을 가지고 있다. BLDC 모터는 자속이 일정하기 때문에 속도제어가 중요하다. 본 논문에서 3상, 2극 BLDC 모터를 이용하였으며 모델식은 다음과 같다.

* 준 회 원 : 한양대 전자전기제어계측공학과 석사과정
 ** 정 회 원 : 한양대 전자전기제어계측공학과 박사과정
 † 교신저자, 펠로우회원 : 한양대 전자컴퓨터공학부 교수 · 공박
 E-mail : hwyang@hanyang.ac.kr
 접수일자 : 2011년 5월 9일
 최종완료 : 2011년 8월 10일

$$v_{app}(t) = L \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) + v_{emf}(t) \quad (1)$$

$$v_{emf} = K_b \cdot w(t) \quad (2)$$

$$T(t) = K_t \cdot i(t) \quad (3)$$

$$T(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + D \cdot w(t) \quad (4)$$

여기서, $v_{app}(t)$ 는 인가전압, $w(t)$ 는 모터속도, L 은 고정자의 인덕턴스, $i(t)$ 는 회로의 전류, R 은 고정자의 저항, $v_{emf}(t)$ 는 역기전력, T 는 모터의 토크, D 는 점성계수, J 는 관성모멘트, K_t 는 모터토크상수, K_b 는 역기전력상수이다.

그림 1은 BLDC 모터의 블록 다이어그램이다. BLDC 모터의 특성방정식으로부터 속도 모델의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{w(s)}{v_{app}(s)} = \frac{K_t}{(Ls+R)(Js+D) + K_t K_b} \quad (5)$$

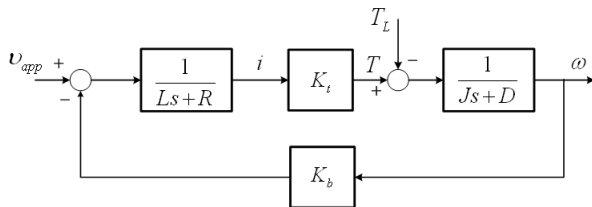


그림 1 BLDC 모터의 블록 다이어그램
Fig. 1 The block diagram of the BLDC motor

2.2 PSO

PSO는 J.Kennedy와 R.Eberhart에 의해 제안되었으며 새나 물고기 무리의 움직임에 관한 연구에서 비롯되었다. 즉, 이러한 무리가 먹이를 찾아가는 과정에서 무리 전체가 정보를 공유한다는 가설과 무리 내부의 파티클이 지금까지의 자기의 경험과 무리 전체에 공유되어있는 정보를 기초로 하여 행동한다는 개념을 최적화 과정에 도입한 방법이라 할 수 있으며 알고리즘이 간단하고, 계산 시간이 짧으며 대량의 메모리가 필요 없다는 장점이 있다.

PSO에서 각 파티클은 지금까지의 탐색 중 최적의 목적함수 $F(pbest_{j,g})$ 를 기억하고 있다. 또한 각 파티클은 전체의 파티클이 이제까지의 탐색과정에서 발견한 해 중에 최적의 해, 다시 말해 집단에서 발견한 해중에 최적의 목적 함수 값 $F(gbest_g)$ 와 그 해의 위치 벡터 $gbest$ 의 정보를 공유한다. 각 파티클은 현재의 위치 벡터와 속도벡터, 그리고 $pbest$, $gbest$ 를 이용해서 식 (6)과 같이 속도가 결정된다. 또한 각 파티클의 위치벡터의 수정은 현재의 위치와 수정된 속도를 이용해서 식 (7)과 같이 이루어진다.

$$v_{j,g}^{(t+1)} = w \cdot v_{j,g}^{(t)} + c_1 \cdot rand() \cdot (pbest_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}) + c_2 \cdot Rand() \cdot (gbest_g - x_{j,g}^{(t)}) \quad (6)$$

$$x_{j,g}^{(t+1)} = x_{j,g}^{(t)} + v_{j,g}^{(t+1)} \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad g = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

n	파티클의 총 수
m	차원수
t	세대수
$v_{j,g}^{(t)}$	반복수 t 에서 파티클 j 의 속도, $V_g^{\min} \leq v_{j,g}^{(t)} \leq V_g^{\max}$
w	관성하중
$c1, c2$	가중치상수
$rand(), Rand()$	0에서 1사이의 임의의 값
$x_{j,g}^{(t)}$	반복수 t 에서 파티클 j 의 위치
$pbest_j$	파티클 j 의 $pbest$
$gbest$	전체 파티클의 $gbest$

식 (6)의 관성하중 w 는 파티클의 다음 속도 값을 변경하는 파라미터 중 하나이다. 관성하중이 큰 값일 경우 전역탐색이 강화되지만 지역극소에 빠질 위험이 있고 관성하중이 작은 값일 경우 지역탐색이 강화되지만 속도가 느려지는 문제점이 발생하여 최적의 값을 찾는 것이 해의 수렴속도를 결정한다.

2.3 관성하중 (Inertia weight)

2.3.1 Lineally decreasing inertia weight(LDIW)

LDIW는 관성하중을 선형감소 함수로 정의 한다. 가장 큰 값부터 가장 작은 값까지 PSO의 세대에 따라 선형적으로 감소한다. 이 방법은 처음에는 전역탐색 과정을 반복하고 끝으로 갈수록 지역탐색 과정을 반복한다.

$$w_k = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter} \times k \quad (8)$$

여기서, w_{\max} 는 관성하중 w 의 최대값, w_{\min} 은 관성하중 w 의 최소값, $iter$ 는 최대 세대수, k 는 현재의 세대수이다.

2.3.2 Simulated annealing inertia weight(SAIW)

SAIW는 다음과 같은 방법으로 관성하중 값을 변경한다.

$$w_k = w_{\min} + (w_{\max} - w_{\min}) \times \lambda^{(k-1)} \quad (9)$$

여기서, w_{\max} 는 관성하중 w 의 최대값, w_{\min} 은 관성하중 w 의 최소값, λ 는 0.95 이다.

2.3.3 Chaotic sequence inertia weight(CSIW)

CSIW의 관성하중은 식 (10)과 같다.

$$w_k = a \cdot w_{k-1} \cdot (1 - w_{k-1}) \quad (10)$$

여기서, w_k 는 0에서 1사이의 값, a 는 0에서 4사이의 값이다. (단 w_0 는 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 이외의 값이다.) 실험에서 a 는 4, w_0 는 0.48을 적용하였다.

2.3.4 Chaotic linealy decreasing inertia weight (CLDIW)

Chaos PSO에서 파라미터를 추정할 때 쓰이는 logistic map을 따르는 방법으로, logistic map은 식 (11)과 같다.

$$\gamma_k = \mu \cdot \gamma_{k-1} \cdot (1 - \gamma_{k-1}) \quad (11)$$

여기서, γ_k 는 0에서 1사이의 값, μ 는 0에서 4사이의 값이다(단 γ_0 는 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 이외의 값).

CLDIW의 관성하중은 식 (12)와 같다.

$$cw_k = w_k \cdot \gamma_k \quad (12)$$

CLDIW는 LDIW에 chaotic 파라미터 값을 곱하여 구할 수 있다.

2.3.5 Fixed inertia weight(FIW)

FIW는 관성하중을 일정한 값에 고정시킨 것으로 식 (13)과 같다.

$$w = \frac{1}{2 \cdot \ln(2)} \quad (13)$$

2.3.6 The presented chaotic-simulated-annealing-based inertia weight(CSAIW)

CSAIW의 관성하중은 식 (14)와 같다.

$$csw_k = w_k \cdot \gamma_k \quad (14)$$

CSAIW는 SAIW에 chaotic 파라미터 값을 곱하여 구할 수 있으며 6가지 관성하중은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 최대 반복 세대수는 20, w_{max} 는 0.9, w_{min} 은 0.4, λ 는 0.95, μ 는 4, γ_0 는 0.48, a 는 4, w_0 는 0.48을 사용하였다.

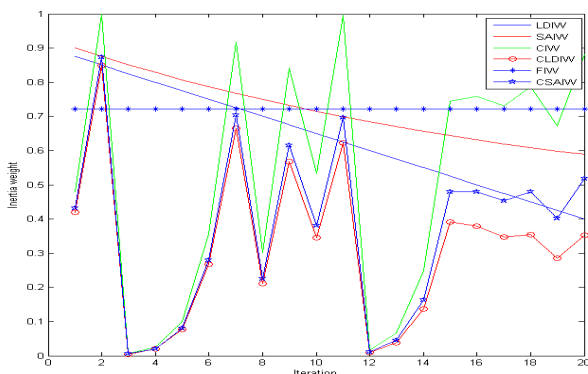


그림 2 관성하중을 위한 LDIW, SAIW, CIW, CLDIW, FIW, CSAIW의 변화

Fig. 2 Change of inertia weights for LDIW, SAIW, CIW, CLDIW, FIW and CSAIW

2.4 PSO-PID 제어기

본 논문은 PSO 알고리즘으로 PID 제어기의 최적의 이득 값을 찾아서 BLDC 모터의 속도를 제어하였다. PSO 알고리즘은 세 가지 최적의 제어기 파라미터 k_p, k_i, k_d 를 결정하는데 사용되며 제어 시스템의 성능을 향상시켰다.

2.4.1 평가 함수

PID 제어기는 시간영역을 기준으로 성능평가가 이루어졌으며 제어기 파라미터 P, I, D 는 시간영역에서 성능기준이 최소화되는 응답을 보인다. 시간영역에서 성능기준은 오버슈트, 상승시간, 정착시간, 정상상태오차를 포함하고 있고 성능기준은 식 (15)와 같이 정의하였다.

$$\min W(K) = (1 - e^{-\alpha}) \cdot (E_{os} + E_{ss}) + e^{-\alpha} \cdot (t_s - t_r) \quad (15)$$

여기서, α 는 가중치요소, E_{os} 는 오버슈트, E_{ss} 는 정상상태 오차, t_s 는 정착시간, t_r 은 상승시간이다. α 값이 0.7보다 크면 오버슈트와 정상상태 오차가 감소하고, 0.7보다 작으면 상승시간과 정착시간이 감소한다.

평가 함수는 성능기준과 상호적이며 식 (16)과 같이 정의하였다.

$$f = \frac{1}{W(K)} \quad (16)$$

2.4.2 PSO-PID 제어기

본 논문에서 PSO 기법은 BLDC 모터 속도 제어 시스템의 최적화된 파라미터를 찾는 데 사용되며 그림 3은 BLDC 모터를 위한 최적의 PSO-PID 제어기의 블록 다이어그램이다.

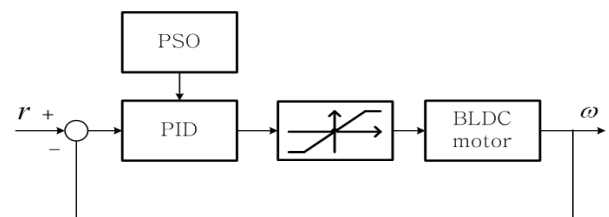


그림 3 제안된 PSO-PID 제어기 블록다이어그램
Fig. 3 The block diagram of the proposed PSO-PID controller

제안된 PSO 알고리즘 각각의 파티클은 PID 값을 포함하며 탐색공간이 3차원이고 파티클이 반드시 3차원 공간을 탐색해야함을 의미한다.

그림 4는 PSO-PID 제어기 시스템의 흐름도를 보여주며 각 단계별로 수행하는 내용은 다음과 같다.

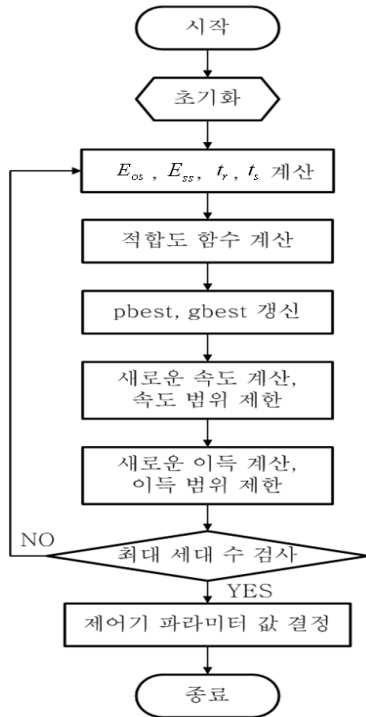


그림 4 PSO-PID 제어기 시스템의 흐름도
Fig. 4 Flow chart of PSO-PID controller system

1단계) 초기화 단계에서 제어기 파라미터의 최대, 최소 범위를 규정하고, 임의의 탐색 지점을 설정, 속도, pbest, gbest 값을 설정한다.

2단계) E_{os}, E_{ss}, t_r, t_s 값을 계산한다.

3단계) 식 (18)의 평가 함수를 이용해서 평가 값을 계산한다.

4단계) 각 세대에서 파티클의 평가 값들은 이전 세대의 각 파티클의 평가 값과 비교하여 이전 세대의 평가 값보다 좋으면 pbest로 저장, 전체 파티클의 pbest중 가장 좋은 평가 값을 gbest로 저장한다.

5단계) PSO 알고리즘의 새로운 속도 값을 계산하고, 식 (17)과 같이 규칙에 맞게 속도 범위를 제한한다.

$$\begin{aligned} \text{If } v_{j,g}^{(t+1)} > V_g^{\max}, \text{ then } v_{j,g}^{(t+1)} &= V_g^{\max} \\ \text{If } v_{j,g}^{(t+1)} < V_g^{\min}, \text{ then } v_{j,g}^{(t+1)} &= V_g^{\min} \end{aligned} \quad (17)$$

$v_{j,g}^{(t+1)}$ 은 j 번째 파티클의 g 번째 차원에서의 새로운 속도 값, V_g^{\max} 는 g 번째 차원에서의 속도 최대값, V_g^{\min} 은 g 번째 차원에서의 속도 최소값이다.

6단계) PSO 알고리즘의 새로운 PID 이득을 계산하고, 식 (18)과 같이 규칙에 맞게 이득 범위를 제한한다.

$$k_g^{\min} \leq k_{j,g}^{(t+1)} \leq k_g^{\max} \quad (18)$$

$k_{j,g}^{(t+1)}$ 은 j 번째 파티클의 g 번째 차원에서의 새로운 이득 값, k_g^{\max} 는 g 번째 차원에서의 이득 최대값, k_g^{\min} 은 g 번째 차원에서의 이득 최소값이다.

7단계) 세대 수가 최대값일 경우 8단계로 이동하고, 그렇지 않을 경우 2단계로 이동한다.

8단계) 마지막 gbest 값을 PID 제어기의 파라미터로 결정한다.

2.5 모의실험

본 논문에서는 PSO-PID 속도 제어기를 이용하여 BLDC 모터를 1000rpm의 속도로 회전 하였다. 최적의 제어를 위해 PSO-PID의 최적의 관성하중 방법을 찾고 최적의 관성하중 방법으로 PSO-PID 제어기를 설계 하였으며 모의실험에 사용된 BLDC 모터의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 BLDC 모터의 파라미터

Table 1 Parameters of the BLDC Motor

Parameter	Values and units
R	21.2Ω
K_b	$0.1433Vsrad^{-1}$
D	$1*10^{-4}Kg-ms/rad$
L	$0.052H$
K_t	$0.1433Kg-m/A$
J	$1*10^{-5}Kg-ms^2/rad$

PSO 알고리즘은 관성하중의 값에 따라 성능의 차이를 보인다. 2.3절에서 제시한 서로 다른 6가지 관성하중 값을 이용하여 PSO-PID 제어기를 적용하였을 경우 각각의 평가 값을 구할 수 있다. 이 값을 이용하여 최적의 관성하중 방법을 찾는다.

반복횟수는 20번, 파티클수는 20개, 가중치상수 C_1, C_2 는 2로 설정한다. 세대별 관성하중은 2.3절에서 구한 값을 사용하며 평가함수의 α 는 0.4로 정의하였다.

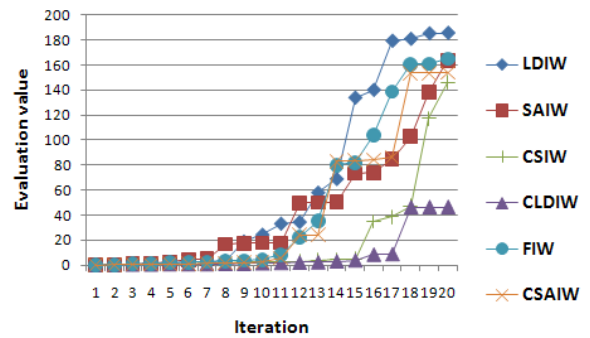


그림 5 각 관성하중의 세대별 평가 값

Fig. 5 Evaluation value of each generation of each Inertia weight

관성하중의 평가 결과 그림 5와 같이 LDIW 방법이 가장 좋은 평가 값을 나타내는 것을 확인하였으며 최대값과 최소값의 크기를 변경하여 더 좋은 성능을 보이는 값을 찾아보았다.

반복횟수는 20번, 파티클 수는 20개, 가중치상수 C_1 , C_2 는 2로 설정한다. 평가함수의 α 는 0.4로 한다. 첫 번째 경우는 관성하중의 최대값을 0.9로 최소값을 0.4로 하였고 두 번째 경우는 관성하중의 최대값을 0.6으로 최소값을 0.1로 하였고 정확도를 높이기 위해 50회 반복하고 평균 평가값은 그림 6과 같이 나타났다.

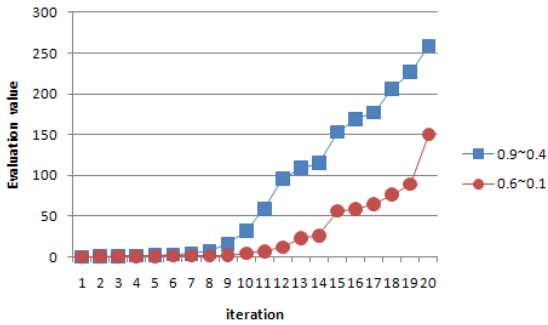


그림 6 관성하중이 0.9~0.4, 0.6~0.1일 때 세대별 평가 값
Fig. 6 Evaluation values of each generation in inertia weight 0.9~0.4 and 0.6~0.1

그림 6과 같은 결과를 나타냈을 때 PSO-PID 제어기 이득의 평균값은 표 2와 같다.

표 2 PSO-PID 제어기 이득의 평균값
Table 2 Average value of PSO-PID controller gains

w_{max}	w_{min}	K_p	K_i	K_D
0.9	0.4	153.7010	60.126	0.0773
0.6	0.1	102.5956	48.0881	0.0510

표 2의 PSO-PID 제어기 이득의 평균값을 이용하여 BLDC 모터를 제어하였을 때의 결과는 그림 7과 그림 9와 같다. 그림 8과 그림 10은 그림 7과 그림 9의 BLDC 모터의 속도 그래프를 확대한 그래프이다. 표 3에 E_{os} , E_{ss} , t_r , t_s , evaluation value의 결과 값을 나타내었다.

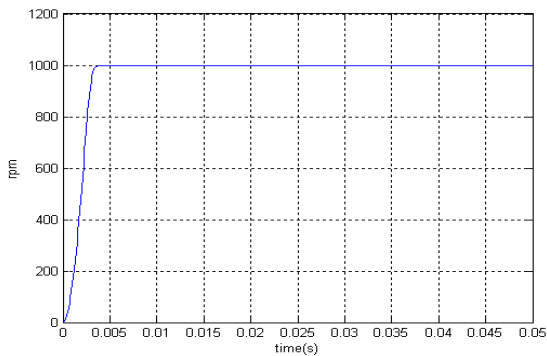


그림 7 관성하중이 0.9~0.4 일 때 BLDC 모터의 속도
Fig. 7 The speed of BLDC motor in inertia weight 0.9~0.4

시뮬레이션 결과 관성하중이 0.9~0.4일 경우 관성하중이 0.6~0.1일 때 보다 상승시간과 정착시간은 느리지만 오버슈트와 정상상태오차는 관성하중이 0.6~0.1일 때 보다 더 작은 값을 가지므로 평가값은 관성하중이 0.9~0.4일 경우가 더 높게 나타난다.

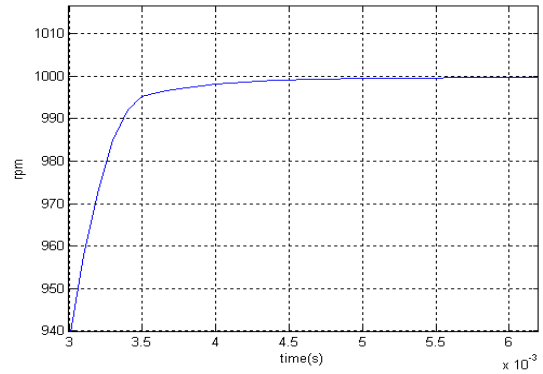


그림 8 그림 7의 확대그래프
Fig. 8 Enlarged graph of Fig. 7

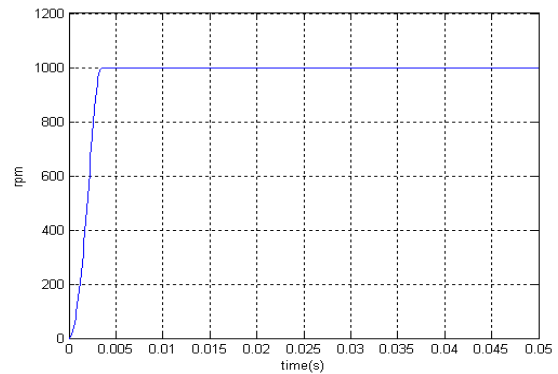


그림 9 관성하중이 0.6~0.1일 때 BLDC 모터의 속도
Fig. 9 The speed of BLDC motor in inertia weight 0.6~0.1

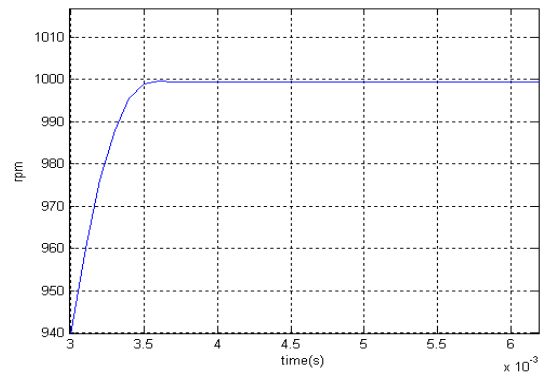


그림 10 그림 9의 확대그래프
Fig. 10 Enlarged graph of Fig. 9

표 3 PID이득이 평균값 일 때 PSO-PID 제어기의 시물레이션 결과

Table 3 Simulation results of the PSO-PID controller in the average value of PID gains

w_{max}	w_{min}	E_{os}	E_{ss}	t_r	t_s	evaluation value
0.9	0.4	-0.028254	0.28254	0.0020473	0.0032445	11.8152
0.6	0.1	0.14729	0.64094	0.0020414	0.0032175	3.8366

3. 결 론

본 논문에서는 BLDC 모터 속도제어를 위하여 PSO-PID 속도 제어기를 설계하였다. PSO-PID의 관성하중의 최적값을 찾기 위하여 LDIW, SAIW, CSIW, CLDIW, FIW, CSAIW 방법을 사용하여 모의실험 한 결과 LDIW 방법이 가장 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다. LDIW 방법을 두 가지 경우로 나누어 PSO-PID 속도 제어기를 설계하였고 그 결과 관성하중이 0.9~0.4로 선형감소 할 때 가장 우수한 제어 성능을 보이는 것을 실험을 통하여 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. Yu, and R. Hwang, "Optimal PID speed control of brush less DC motors using LQR approach," in Proc. IEEE Int. Conf Systems, Man and Cybernetics, pp. 473-478, 2004.
- [2] Z.Y.Pan, and F.L.Luo, "Steady state reference current determination technique for brushless DC motor drive system," IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol. 152, no. 6, pp. 1585-1594, November 2005.
- [3] A. Rubaai, R. Kotaru, and M.D. Kankam, "A continually online-trained neural network controller for brushless DC motor drives," IEEE Transactions on Industry Applivations, vol. 36, no. 2, pp. 475-483, April 2000.
- [4] A. Visioli, "Tuning of PID controllers with fuzzy logic," Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Theory Applicant., vol. 148, no. 1, pp. 1-8, Jan 2001.
- [5] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization," Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [6] Y. Shi, and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," IEEE World Congress on Computational intelligence, Anchorage, Alaska, pp. 69-73, 1998.
- [7] R. Eberhart and J. Kennedy, "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory," Proc.of 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp. 39-43, 1995.
- [8] Wenhua Han, and Ping Yang, "Comparison Study Of Several Kinds Of Inertia Weights For PSO," Progress in Informatics and Computing (PIC), IEEE International Conf., pp. 280-284, 2010.

저 자 소 개



김 승 기 (金 承 起)

1987년 1월 1일생. 2010년 단국대학교 전자공학과 졸업(학사). 2010년~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사과정.
Tel : 031-436-8118
Fax : 031-436-8117
E-mail : kskkind@hanyang.ac.kr



한 병 조 (韓 秉 祚)

1979년 11월 24일생. 2006년 영동대학교 전자공학과 졸업(학사). 2006년~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석·박사 통합과정 박사수료. 관심분야 비선형 시스템.
Tel : 031-436-8118
Fax : 031-436-8117
E-mail : help7@hanyang.ac.kr



양 해 원 (梁 海 元)

1950년 3월 20일생, 1971년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 일본 kyoto대학교 전기공학과 졸업(박사). 1986년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수. 1993년 미국 Yale 대학 방문 교수.
Tel : 031-436-8118
Fax : 031-436-8117
E-mail : hwyang@hanyang.ac.kr