

## 제 3 장 전기적 자동화 기구

### 3.1 개요

#### - 전기 모터

- 1) 스텝모터
- 2) 유도모터
- 3) 서보모터- DC서보  
AC서보  
BLDC서보

#### - 회전 측정 센서

- 1) 엔코더 (encoder)
- 2) 레졸버 (resolver)

### 3.2 모터

\* 단위길이의 전류에 작용하는 힘

$$F_0 = I \times B \text{ [N/m]}$$

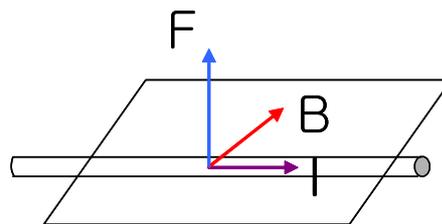
$F_0$ : 단위 길이 도체에 작용하는 힘

$I$ : 전류의 세기

$B$ : 자계의 자속밀도

길이가  $l$  인 도체에 작용되는 힘

$$F_0 = I \times Bl \text{ [N]}$$



Fleming의 왼손 법칙

엄지: 힘 방향

둘째: 자속의 방향

중지: 전류 방향

## 1) 스텝모터

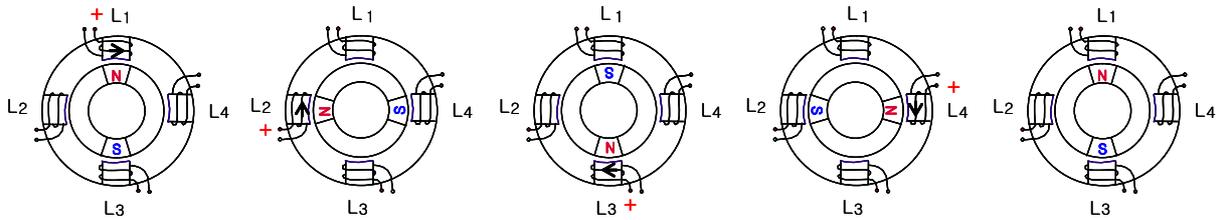
스텝 모터, 스테퍼 모터, 스테핑 모터;

<http://www.inaom.co.kr>

펄스에 의한 디지털 제어, 센서없이 사용- 개회로(open loop) 제어

\* PM (Permanant Magnet) 스텝모터

동작원리



## 2) 유도모터 (induction motor)

유도전류에 의한 힘에 의하여 회전

로터는 케이지 형태로 제작

스테이터에 코일을 설치

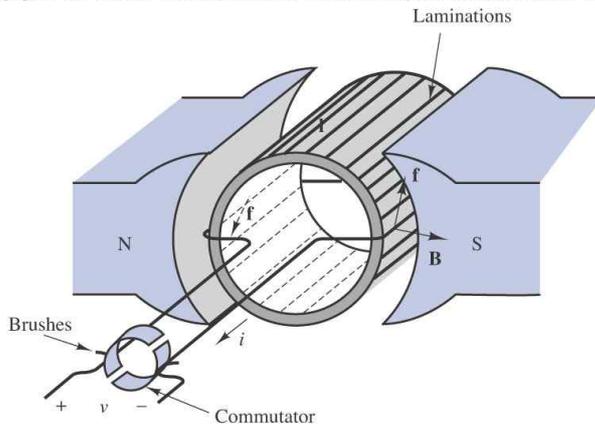
스테이터 코일에 교류 전압이 인가되면 이에 매주 보고 있는 로터 부분에 유도 전류가 발생하고, 이에 따른 자기장에 의하여 회전력이 발생.

선풍기 등에 주로 사용.

### 3) 서보모터- DC서보

영구자석형 모터, driver로 구성  
고속 응답성, 고정도, 고효율, 양호한 제어성  
brush와 commutator(정류자)가 필요; 보수, 점검이 필요  
위치, 속도 센서가 필요- 폐회로(closed loop) 제어

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



\* Principles and applications of electrical engineering, by Giorgio Rizzoni, McGraw-Hill

\* DC 모터의 전기적 모델 (영구자석형)

$$\text{역기전력 ; } E_b = K_e \cdot n_m$$

$$\text{회전자 코일 전압 ; } V_a = R_a \cdot I_a + E_b$$

$$\text{회전토크 ; } T = K_t \cdot I_a$$

전류제어방식

PWM 제어 방식

4) 서보모터- AC서보

AC서보 모터;

영구자석형 모터, driver로 구성

DC서보모터에 비하여 구조가 간단; brush와 commutator 가 없음.

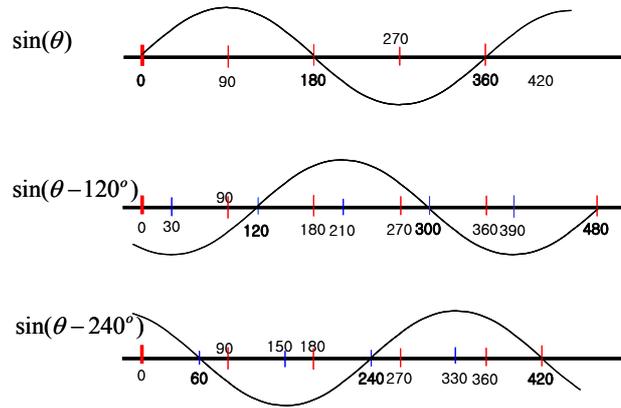
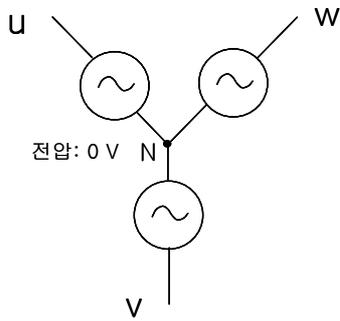
brush에 의한 정류한계가 없음-고속에서 순간 최대 토크를 출력 => 응답특성이 좋다.

고정자에 코일 -> 방열이 양호

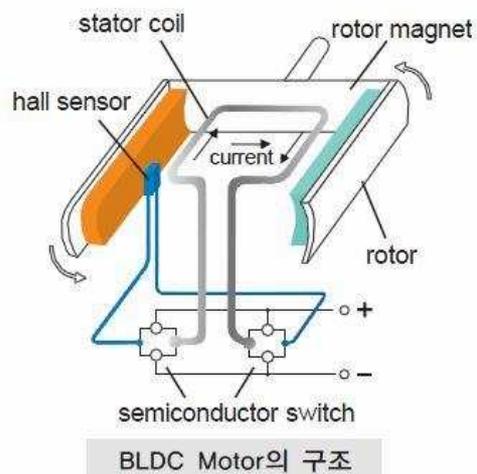
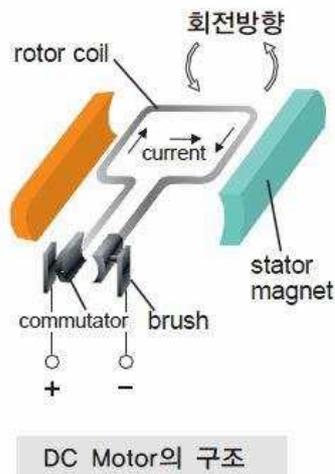
driver의 구조가 복잡

closed loop 제어

고속회전, 대토크, 소형경량화

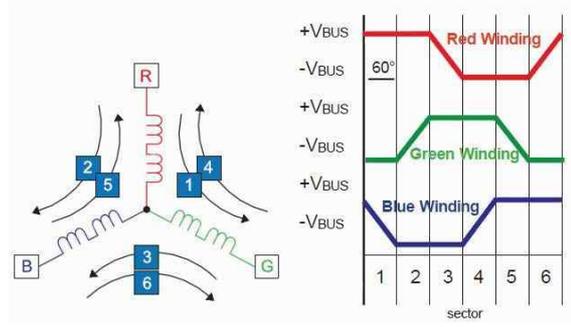
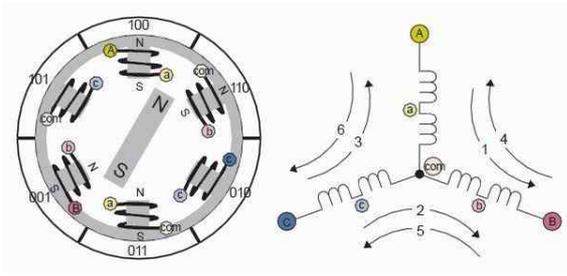


5) 서보모터- BLDC서보



DC모터와 BLDC모터 (외전형)의 비교

출처 \* 엔티렉스



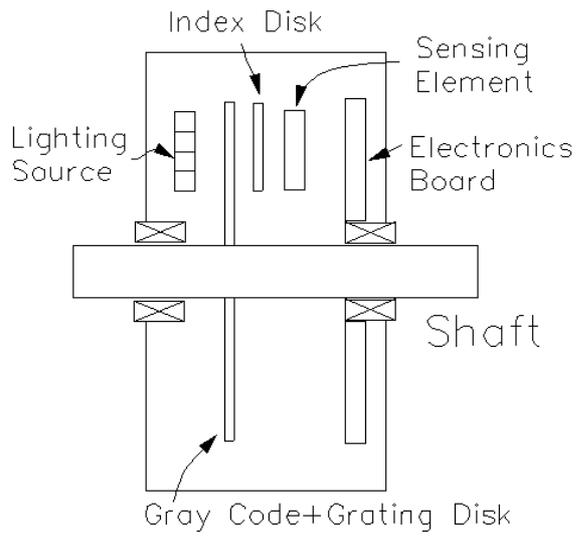
BLDC모터 내부 결선 (내전형) 과 전압인가 방법

출처 \* 엔티렉스

6) encoder

회전각도 및 방향 측정  
 증분식(incremental)  
 절대식(absolute)

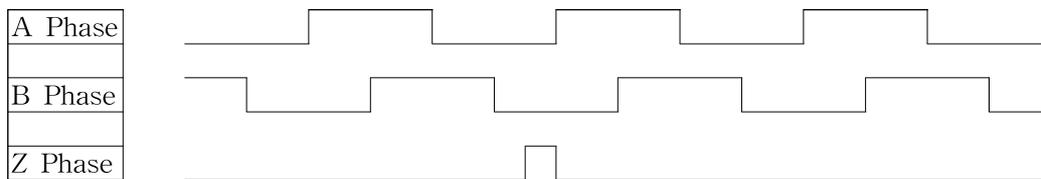
\* 엔코더 구조도



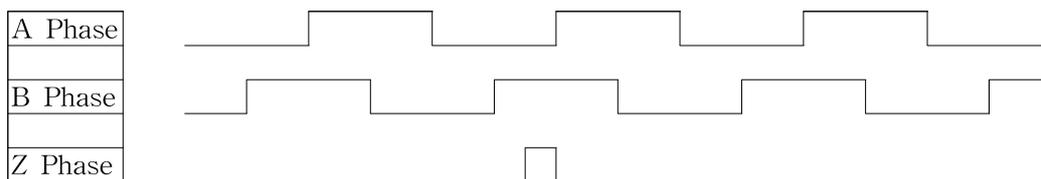
Incremental Encoder

A, B, Z

CW Direction



CCW Direction



# Absolute Encoder

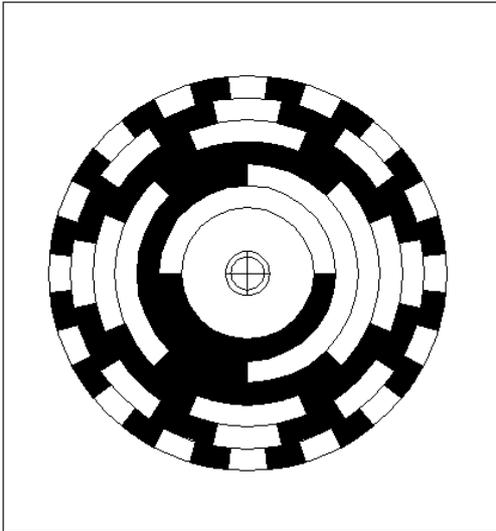
binary code

gray code

이웃한 코드와 1개의 비트만 변화됨

노이즈가 있을 경우 노이즈 여부를 감지하기가 용이함.

\* 6 bit gray code disk



3 bit binary code

	b2	b1	b0
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

3 bit gray code

	b2	b1	b0
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	1
4	0	1	0
5	1	1	0
6	1	1	1
7	1	0	1
8	1	0	0

7) 서보모타/driver의 주요 사양

항 목	단 위	비 고 (예)
정격출력	W	정격회전속도, 온도상승범위이내
정격토크	kgf-cm	
정격전압	V	
정격전류	A	
정격회전속도	rpm	
최대토크	kgf-cm	
최대회전속도	rpm	
토크정수 (Kt)	kgf-cm/A	
유기전압정수 (Kb)	V/rpm	
관성 (Jm)	kgf-cm-s <sup>2</sup>	
마찰토크	kgf-cm	
전기자저항 (Ra)	Ω	
전기자인덕턴스 (La)	mH	
기계적시정수 (τm)	ms	
전기적시정수 (τe)	ms	
감속비	1:R	
허용radial load	kgf	
허용trust load	kgf	
중량	kgf	
엔코더	ppr	

\* Driver

속도제어형

위치제어형 (pulse 입력)

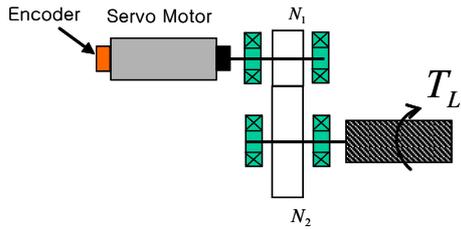
\* Power 부분

liner

PWM

### 3.3 모터를 이용한 운동기구

#### (1) 회전운동



서보모터를 이용하여 회전력을 발생시키고, 엔코더를 이용하여 회전각도와 회전속도를 측정한다. 모터는 토크가 작고, 속도는 높기 때문에 기계의 운동 속도와 부하 토크에 적절하도록 이어 변속기를 사용하여 회전속도와 토크를 변경한다.

로봇과 같이 정밀한 기계의 경우에는 소형이면서 감속비가 큰 harmonic drive, RV drive 등 정밀한 감속기를 사용한다.

작은 기어의 잇수:  $n_1$

큰 기어의 잇수:  $n_2$

모터의 회전속도:  $\theta_m$

모터의 토크:  $T_m$

부하의 회전속도:  $\theta_\ell$

부하의 토크:  $T_\ell$

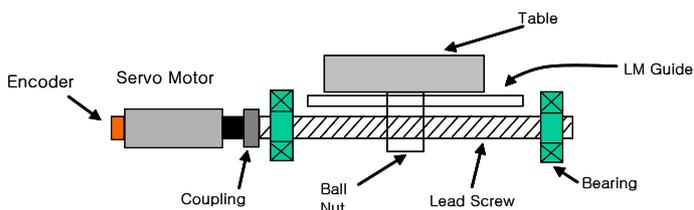
$$\theta_\ell = \frac{n_1}{n_2} \theta_m$$

$$T_\ell = \frac{n_2}{n_1} T_m$$

회전속도 감속비 =  $n_1/n_2$

토크의 증대비 =  $n_2/n_1$

#### (2) 직선운동

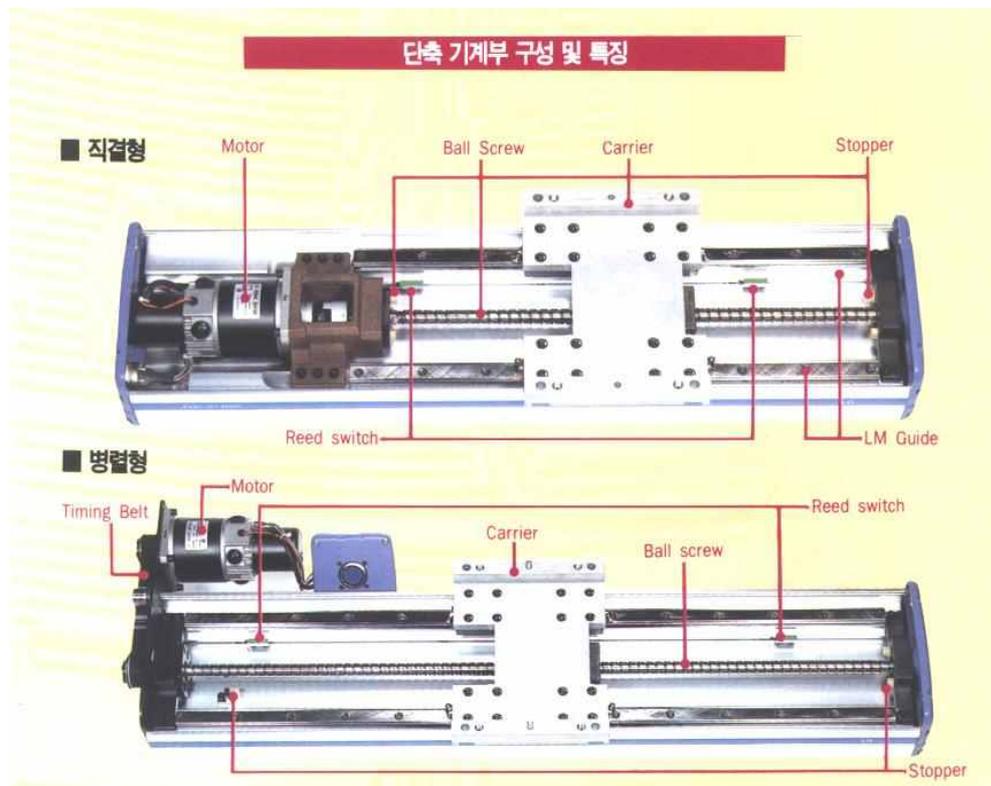


서보모터를 이용하여 회전력을 발생시키고, 엔코더를 이용하여 회전각도와 회전속도를 측정한다. 모터의 회전 운동을 직선운동으로 변환하기 위하여 볼스크류 (ball screw)와 볼너트 (ball nut)를 사용한다. 볼스크류가 회전하면 볼너트가 볼스크류의 회전 방향에 따라서 전진 또는 후진한다. 이때 감속 및 토크 증대가 발생한다.

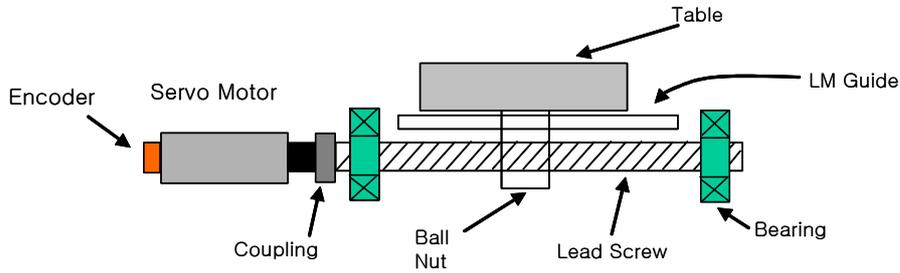
볼스크류와 볼 너트는 정밀한 가공을 하고, 그 사이에는 정밀 가공한 ball이 들어있어서 마찰을 최소화 하면서 정밀한 운동이 가능하다.

다음 그림은 실물 사진을 보여준다. carrier가 정밀한 운동을 하도록 LM guide에 의하여 지지되고 있다. LM guide는 연삭가공되어 있어서 정밀도가 유지되며, ball block와 사이에 정밀가공된 ball이 들어 있어서 마찰을 최소화 하면서 운동의 정밀도를 유지한다.

병렬형의 경우에는 전체 길이를 짧게 할 수 있도록 서보모터를 옆으로 부착하고, 타이밍벨트 등으로 볼스크류와 연결하였다.



예제: 다음 그림에 주어진 직선 운동 테이블을 구동하는 서보모터를 선정하시오.

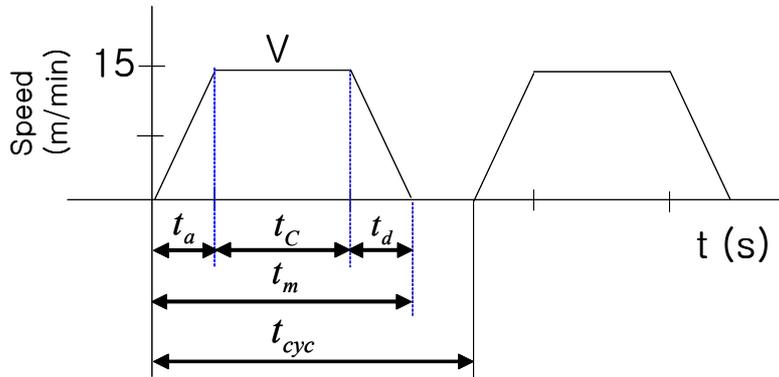


(1) 설계 조건:

부하속도: $V = 15m/min$	이송횟수: $n = 40/min$
직선 운동부 질량: $M = 500kg$	이송거리: $L = 0.275m$
Ball screw 길이: $L_B = 1.4m$	이송시간: $t_m = 1.2s$ or less
Ball screw 직경: $D_B = 0.04m$	마찰계수: $\mu = 0.2$
Ball screw lead: $P_B = 0.01m$	기계효율: $\eta = 0.9$
Coupling 질량: $M_C = 1kg$	
Coupling 외경: $D_C = 0.06m$	

$$\text{cycle time: } t_{cyc} = \frac{60}{n} = \frac{60}{40} = 1.5(\text{sec})$$

속도 선도(Speed Diagram)



위의 속도 선도에서 이송거리:  $L$

$$\frac{1}{2} V \cdot t_a + V \cdot t_c + \frac{1}{2} V \cdot t_d = L$$

가감속 시간을 동일하게, 즉  $t_a = t_d$  이면,

$$\Rightarrow \frac{L}{V} = t_a + t_c, \quad 2t_a + t_c = 1.2 \text{ s}$$

$$\Rightarrow t_a = t_m - \frac{60L}{V} = 1.2 - \frac{60 \times 0.275}{15} = 0.1 \text{ s}$$

(2) 회전속도 (Speed)

- 부하축회전속도:  $N = \frac{V}{P_B} = \frac{15}{0.01} = 1500(r/min)$
- 모터 회전속도: coupling 직결이므로 감속비는  $1/R = 1$

따라서  $N_M = N \cdot R = 1500 \times 1 = 1500(r/min)$

(3) 부하주행 Power

- 부하 토크 (마찰력)

$$T_f = \frac{9.8\mu \cdot M \cdot P_B}{2\pi R \cdot \eta} = \frac{9.8 \times 0.2 \times 500 \times 0.01}{2\pi \times 1 \times 0.9} = 1.73(Nm)$$

$$P_O = \frac{2\pi \cdot N_M \cdot T_f}{60} = \frac{2\pi \times 1500 \times 1.73}{60} = 272(W)$$

(4) 부하가속 Power

- 부하 Inertia

(i) 직선이송테이블:  $J_T = M \times \left(\frac{P_B}{2\pi R}\right)^2 = 500 \left(\frac{0.01}{2\pi \times 1}\right)^2 = 12.7 \times 10^{-4}(kg \cdot m^2)$

(ii) Ball screw:  $J_B = \frac{\pi}{32} \rho \times L_B \times D_B^4 = \frac{\pi}{32} \times 7.87 \times 10^3 \times 1.4 \times 0.04^4 = 27.7 \times 10^{-4}(kg \cdot m^2)$

(iii) Coupling:  $J_C = \frac{1}{8} M_C \times D_C^2 = \frac{1}{8} \times 0.06^2 = 4.5 \times 10^{-4}(kg \cdot m^2)$

=> 모터 축에 인가되는 전체 부하 관성:

$$J_L = J_T + J_B + J_C = 44.9 \times 10^{-4}(kg \cdot m^2)$$

가속토크 =  $J \cdot \alpha$  => 가속파워 =  $J \cdot \alpha \cdot \omega = J \cdot \frac{\omega^2}{t_a}$

$$P_a = \left(\frac{2\pi \times N_M}{60}\right)^2 \frac{J_L}{t_a} = \left(\frac{2\pi}{60} \times 1500\right)^2 \times \frac{44.9 \times 10^{-4}}{0.1} = 1108(W)$$

(5) SERVO MOTOR의 가선택

- 선택조건
- $T_{rms} \leq Motor$  정격 토크
  - $P_a + P_o = (1 \sim 2) \times Motor$  정격 출력
  - $N_M \leq Motor$  정격 회전 속도
  - $J_L \leq Servo Pack$ 의 허용부하 Inertia

선택 조건으로부터

Servo Motor와 Servo Pack을 선정합니다.

<Servo Motor, Servo Pack의 제원>

- 정격출력 : CSMD - 1000(W)
- 정격회전속도 : 2000(r/min)
- 정격 Torque : 4.8(Nm)
- 순시최대 Torque : 14.4(Nm)
- Motor Inertia :  $6.17 \times 10^{-4} (kgm^2)$
- Servo Pack의 허용 Inertia :  $61.7 \times 10^{-4} (kgm^2)$

(6) 가선택 Servo Motor의 Check

(가) 요구된 기동 Torque

$$T_a = \frac{2\pi N_M (J_M + J_L)}{60 t_a} + T_f = \frac{2\pi \times 1500 ((6.17 + 44.9) \times 10^{-4})}{60 \times 0.1} + 1.73$$

$$= 9.75(Nm) < \text{최대 토크}$$

(나) 요구된 정지 Torque

$$T_s = -\frac{2\pi N_M(J_M + J_L)}{60t_a} + T_f = -\frac{2\pi \times 1500((6.17 + 44.9) \times 10^{-4})}{60 \times 0.1} + 1.73$$

$$= -6.29(Nm) < \text{최대 토오크}$$

(다) Torque RMS

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_a^2 \cdot t_a + T_f^2 \cdot t_c + T_s^2 \cdot t_d}{t_{cyc}}}$$

$$= \sqrt{\frac{(9.75)^2 \times 0.1 + (1.73)^2 \times 1.0 + (6.29)^2 \times 0.1}{1.5}}$$

$$= 3.31(Nm) < \text{정격 토오크}$$

(7) 최종 SERVO MOTOR 선정

위의 값으로부터 선택된 AC SERVO MOTOR는 다음과 같이 속도에 따른 torque를 발생합니  
다.

