

Chapter 12 Servo system 설계

1. 동력 전달 기구

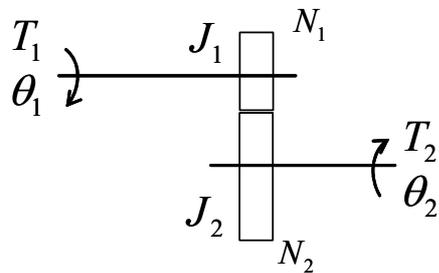
ppt 참조

2. 동력 전달 장치 관계식

2.1) 감속기어

1차 기어: 잇수: N_1 , 회전관성모멘트: J_1 (축의 관성 포함)

2차 기어: 잇수: N_2 , 회전관성모멘트: J_2 (축의 관성 포함)



감속비: $r = \frac{N_1}{N_2}$ 따라서 $\theta_2 = \frac{N_1}{N_2}\theta_1$

(1) 마찰토크

회전 에너지 보존 (마찰력 무시) $T_1\theta_1 = T_2\theta_2$
 $= T_2 \frac{N_1}{N_2}\theta_1$

$\Rightarrow T_2 = \frac{N_2}{N_1} T_1$

(2) 등가관성 (기어 2의 관성이 기어 1에 전달된 것)

회전 에너지 보존 (마찰력 무시)

$$\frac{1}{2} J_{eq} \dot{\theta}_1^2 = \frac{1}{2} J_2 \dot{\theta}_2^2$$

$$J_{eq} = J_2 \frac{\dot{\theta}_2^2}{\dot{\theta}_1^2} = J_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

(3) 전체 관성

$$J_T = J_1 + J_{eq}$$

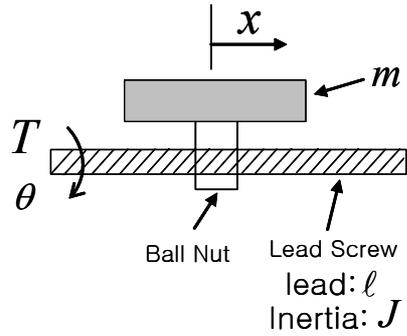
(4) 축 1의 구동 토크

$$T_T = (J_1 + J_{eq})\ddot{\theta}_1$$

2.2) 직선 운동 변환 기구

직선 이송부 질량: m (볼 너트 등 포함)

회전 부: lead= ℓ , 회전관성모멘트: J



$$\text{lead screw: } x = \ell \frac{\theta}{2\pi}$$

(1) 마찰 토크

$$\text{마찰력} = f_f = \mu mg$$

에너지 보존

$$\begin{aligned} T_f \theta &= f_f x \\ &= f_f \ell \frac{\theta}{2\pi} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{\ell}{2\pi} f_f$$

(2) 등가관성 (직선 이송 질량이 회전축에 전달된 것)

회전 에너지 보존 (마찰력 무시)

$$\frac{1}{2} J_{eq} \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \frac{\ell}{2\pi} \dot{\theta}$$

$$J_{eq} = m \left(\frac{\ell}{2\pi} \right)^2$$

(3) 전체 관성

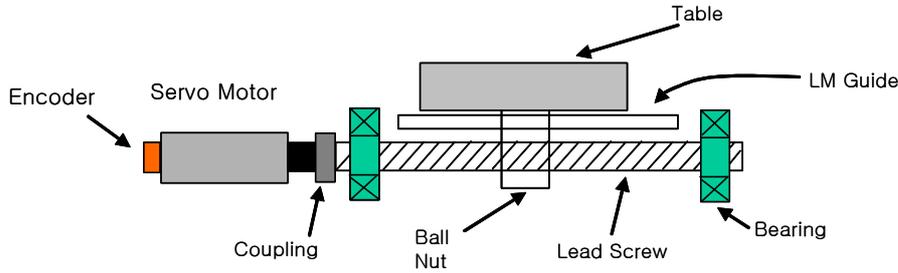
$$J_T = J + J_{eq}$$

(4) 회전축의 구동 토크

$$T_T = (J + J_{eq})\ddot{\theta}_1$$

3. 직선 구동 테이블

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

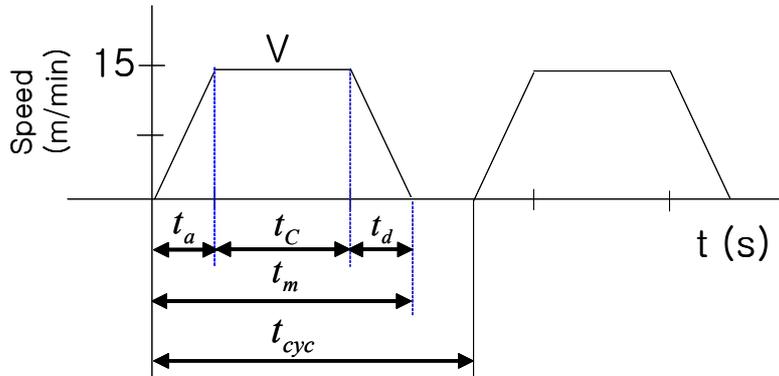


(1) 설계 조건:

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

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

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

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

(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

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

$$= 9.75 (Nm) < \text{최대 토오크}$$

(나) 요구된 정지 Torque

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

$$= -6.29 (Nm) < \text{최대 토오크}$$

(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.

