บทที่ 3

การออกแบบแขนกลหุ่นยนต์

(Designing Industrial Automatics Robot Arm.)

3.1 การออกแบบเบื้องต้น

3.1.1การออกแบบลักษณะรูปร่างของแขนกลหุ่นยนต์อัตโนมัติ

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้เพื่อการศึกษาการออกแบบระบบกลไกของแขนกล และการควบคุมอัตโนมัติด้วยโปรแกรม PLC ในการพิจารณาการออกแบบเบื้องต้นจะแยกออกเป็น 2ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแขนกล และโครงสร้างรับน้ำหนัก

3.1.2การออกแบบส่วนแขนกล

จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ แขนกลส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่มี Function การทำงานเคลื่อนที่ ขึ้น- ลงในแนวดิ่ง ส่วนที่ 2 เป็นแขนกลส่วนที่ 2มี Function การทำงานในการเคลื่อนที่ในแนวระดับ และแขนกลส่วนที่ 3 มีลักษณะการรับภาระแบบเสา มี Function การทำงานในการหมุน 180 องศา ลักษณะโครงสร้างโดยรวมเป็นแบบ Cylindrical Coordinate Robot ซึ่งประกอบด้วย 3 Degree of freedom

3.1.3การออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนัก

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่รับแรงได้ดีเป็นโครงสร้างที่เป็นสามเหลี่ยมและโครงสร้างที่สามารถสร้างได้ง่ายคือโครงสร้างที่เป็น สี่เหลี่ยม ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างรับน้ำหนักเบื้องต้นจึงออกแบบให้เป็นลักษณะ กล่องสี่เหลี่ยม

3.1.4การออกแบบทางด้านวัสดุศาสตร์

ข้อกำหนดในการออกแบบแขนกลหุ่นยนต์อัตโนมัติ กำหนดภาระในการจับยึดชิ้นงานของแขนกลที่น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นภาระที่ไม่มากนัก ในการเลือกวัสดุในการทำโครงการนี้ นอกจากจะพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุแล้ว จะต้องพิจารณาความยากง่ายในการสร้างซึ่งในการเลือกวัสดุจะแยกพิจารณาออกเป็นสองส่วนคือ

1.ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนัก ทำจากอลูมิเนียมฉาก เนื่องจากสามารถสร้างได้ง่าย และความสามารถทางด้านวัสดุอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2. ตัวยึดแขน ทำจากอลูมิเนียมแผ่นเรียบ เนื่องจากต้องการน้ำหนักเบาที่สุด ที่ยังคงความแข็งแรงและมั่นคงเพียงพอ ไม่เกิดการสั่นสะเทือนขณะทำงาน อลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ที่เหมาะสมกับงานนี้ ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม และมีคุณสมบัติทางวัสดุที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลต่างๆ ได้ง่าย

ในการเชื่อมต่อได้มีการออกแบบเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ยึดเกี่ยวเพื่อใช้ในการออกแบบดังนี้

1. Power Supply

เนื่องจากหุ่นยนต์ของโครงงานนี้จะต้องมีการเคลื่อนที่ เพราะฉะนั้น power Supply จึงเลือกใช้ Battery และมีการแยกวงจรอุปกรณ์ PIC ใช้ไฟ 21 V จึงเลือกใช้ Battery 21 V

2. วัสดุยึดโครงสร้าง

ในการยึดเพื่อโครงสร้าง ใช้เกลียวหุนขนาด M3 x 0.5 ยาว 2.5 mm และ 5 mm เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมกับงานที่ใช้งาน และหาซื้อได้ง่าย ประกอบได้ง่าย

3. ล้อ

ล้อที่ใช้เป็นล้อยางตันชนิด Urethane เนื่องจากมีความทนทาน ความยืดหยุ่นสูง ทำให้ยึดเกาะพื้นได้ดี ไม่ลื่นไถล หาซื้อได้ง่าย

4. มอเตอร์

DC Motor Gear 24 V ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีแรงบิด Torque สูง

5. เหล็ก

เป็นวัสดุที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง Steel

6. วัสดุอื่นๆ

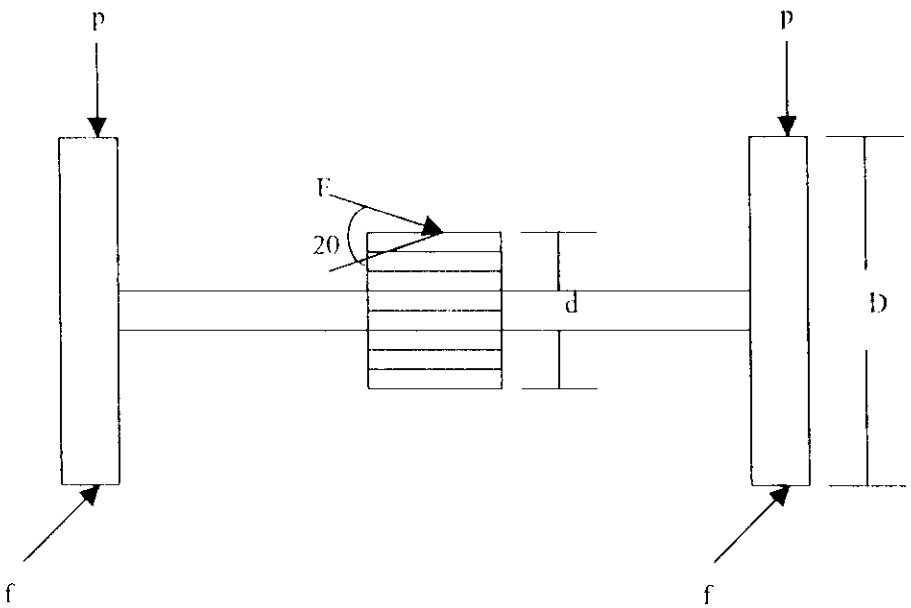
วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมต่อยึดระหว่างแต่ละส่วน คือ ยาง Urethane และวัสดุที่ประกอบกับมอเตอร์ เช่น ยางรัดมอเตอร์ ยางรัดเพลา ฯลฯ

3.2 การออกแบบล้อ (Wheel)

วิเคราะห์ภาระกรรม(Load)และการเลือกใช้วัสดุ

ล้อเป็นส่วนที่ต้องรับน้ำหนักที่ถ่ายเทลงมาจากโครงสร้างทั้งหมดของตัวหุ่นยนต์และพาโครงสร้างทั้งหมดให้เคลื่อนที่ไปได้เนื่องจากแรงต้านการหมุนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวล้อที่สัมผัสกับพื้นดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำล้อจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงจึงจะสามารถวิ่งได้ดี

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน



ออกแบบให้น้ำหนักสูงสุดขณะหุ่นยนต์ทำงาน 20 กิโลกรัม แรงที่ตัวหุ่นยนต์กระทำลงกับล้อมี 3 จุดเท่ากัน น้ำหนักของหุ่นยนต์ทั้งหมดจากสูตรกฎของแรงโน้มถ่วง

$W = mg$

W คือน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์

m คือมวลของหุ่นยนต์

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$W = 20\ kg \times 9.81 m/s^2$

$= 192.2\ N$

แรงที่กระทำลงแต่ละล้อ $P = W/3 = 162.2N/3 = 65.4\ N$

เนื่องจากล้อหน้าเป็น Ball support ถือว่าเกิดแรงเสียดทานกับพื้นน้อยมากดังนั้นตัวหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ได้เพราะแรงต้านการหมุนที่เกิดจากล้อหลัง 2 ล้อ

วิเคราะห์ล้อหลัง

แรงที่มอเตอร์กับทำกับเฟืองส่งกำลังมายังเพลา (Shaft) ทำให้เพลาหมุนส่งกำลังไปยังล้อให้เคลื่อนที่ มอเตอร์ใช้ไฟขนาด 12 โวลต์ขณะทำงานมีกระแสไหลผ่าน 0.1 แอมแปร์ จากสูตรกำลังทางไฟฟ้าคือ

$$P = IV$$

I คือกระแสไฟฟ้า

V คือความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

$$P = 12V \times 0.1A$$

$$= 1.2 \text{ Watt}$$

มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ(N) 90 รอบต่อนาที (rpm)จากสูตรกำลังทางไฟฟ้าเป็นกำลังทางกล คือ $P = T\omega$

T คือโมเมนต์บิด(Toque)

$$P = T \times 2\pi N$$

$$P = T \times 2 \times \pi \times 90 \text{rpm}$$

$$T = 1.2 \text{watt} \times 2 \times \pi \times 1.5 \text{rev/s}$$

$$T = 0.573 \text{ N.m}$$

จาก $T = Fr$

$$0.573 = F \times 0.019 \text{m}$$

$$F = 30.158 \text{ N}$$

เนื่องจากแรงที่เฟืองกระทำกับพินเนียนจากการขาเฟืองทำที่ 20 องศา

ดังนั้น แรงในแนวตั้งฉากกับเฟืองเฟือง

$$F_t = F\cos 20$$

$$F_t = 30.158 \text{ N} \times \cos 20$$

$$F_t = 28.34 \text{ N}$$

แรงที่ใช้ขับเฟืองอย่างน้อยที่สุดจะเท่ากับแรงต้านทานการหมุนของล้อ

เพราะฉะนั้น $2f = F_t$

$$2\mu N = F_t$$

$$\mu = Ft/2N$$

$$\mu = 28.34N/(2 \times 65.4N)$$

$$\mu = 0.217$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นจะต้องมากกว่า 0.217 ขึ้นไปจึงจะสามารถขับหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ได้ ล้อยางเป็นวัสดุที่มีสัมประสิทธิความต้านทานสูงและมีความยืดหยุ่นตัวดีจึงมีความเหมาะสมที่จะเลือกเป็นล้อ

3.3การออกแบบเฟืองตรง(Spur Gear)

วิเคราะห์วัสดุและแรงที่กระทำ

แรงที่กระทำกับเฟืองเป็นแรงบิดที่ได้จากมอเตอร์เพื่อเป็นการผ่อนแรงและทดรอบจำเป็นต้องใช้ เฟืองขับและเฟืองตาม วัสดุที่เลือกใช้ทำเฟืองเป็นเหล็กหล่อเพราะหาซื้อได้ง่ายและราคาถูกดีดูดเสียงได้ดีและงานที่ใช้เป็นงานเบาจึงสามารถใช้เหล็กหล่อได้

คำนวณเฟืองตรง

โดย อัตราส่วนเฟือง = ฟันของเฟือง/ฟันของพิเนียน = 60/20 = 3:1

โดย ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

n = ความเร็วรอบ (rpm)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของพิตช์ (mm)

N = จำนวนฟัน

ขนาดของฟันนอกเป็นโมดุล

โมดุล $M = d/N$ โดย $d = 60$ mm

$M = 60/60 = 1$

และ Circular Pitch $P = d/N = m = 1$

มี Pressure Angle = 20°

เมื่อ Addendum = M =1

ได้ Dedendum = 1.25M = 1.25

Clearance = 0.25M = 0.25

ความสูงใช้งาน = 2M = 2 mm

ความสูงทั้งหมด =2.25M = 2.25 mm

วงกลมพิตช์(Pitch Circle) ของเฟือง

$d_g = mN_g = 1(60) = 60$ mm

วงกลมฐานของเฟืองดอก $d_{be} = d_e\cos\phi = 50\cos 20 = 56.38$ mm

วงกลมแอดเดนดัมของเฟืองดอก $= d_a = d_e + 2a_e$

$= 60+2(1)$

$= 62$mm

ต้องตัดหน้าจานแบ่งขนาด 60 mm

จาก $M = N_e/N_p$

จำนวนฟันของพินเนียน $N_p = 60/3 = 20$

$d_p = mN_p = 20$ mm

$a_p = m = 1$ mm

Circular Pitch $P = \pi d_p/N_p = \pi(20/20) = 3.141$

พิตช์ฐาน $P_b = P\cos\phi$

$= 3.141\cos 20 = 2.952$ mm

3.4 การออกแบบเฟืองสะพาน

เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังในแนวเส้นตรงที่มีลักษณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา รูปร่างของเฟืองมีลักษณะเป็นแผ่นมีฟันตรงเพื่อใช้ขบกับเฟืองตรง ใช้เป็นตัวส่งกำลังในการยื่นและยกของแขนจากการขับของมอเตอร์วัสดุที่ใช้ทำเป็นเหล็กกล้าซึ่งมีความเหนียวสูง หาซื้อตามท้องตลาดได้ง่าย

3.5ออกแบบแขนแนวดิ่ง(Vertical Arm)

3.5.1วิเคราะห์ภาระ(Load) และเลือกวัสดุ

แขนแนวดิ่งจะรับภาระ(Load)จากแรงดึง(Tensile)จากน้ำหนักของวัตถุที่จับและชุดกริปเปอร์ในแนวแกนและมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นวัฏจักรจากการส่งกำลังของมอเตอร์คุณสมบัติทางกลของแขนแนวดิ่งจะมีความต้านทานแรงดึงและความเหนียวสูง ซึ่งเลือกใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความต้านทานแรงดึงสูงหาซื้อได้ง่ายและง่ายต่อการตัดกลึง

3.5.2วิเคราะห์ขนาดของแขนแนวดิ่ง

ภาระ(Load)ที่กระทำกับแขนในแนวดิ่งจะเกิดจากน้ำหนักของชิ้นงานจับซึ่งมีขนาดสูงสุด 0.5 กิโลกรัม และน้ำหนักของชุดกริปเปอร์มีขนาด 0.5 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมวลรวมที่กระทำกล้ามแขนในแนวดิ่งทั้งหมด คือ 1 กิโลกรัมจากการวิเคราะห์จุดที่จะเสียหายคือการถูกเฉือนของเฟืองสะพานเนื่องจากเฟืองสะพานทำจากเหล็กกล้าและสามารถทนแรงที่กระทำได้มาก

3.6 การออกแบบเสา(Column)

3.6.1วิเคราะห์การทำงานและเลือกวัสดุ

เสาเป็นส่วนที่ใช้รับน้ำหนักกดลงและโมเมนต์ดัดจากน้ำหนักของแขนและชิ้นงานที่จับเนื่องจากการยื่นของแขน และรับโมเมนต์บิดจากการขับของเฟืองเพื่อหมุนเสาให้เคลื่อนที่เป็นลักษณะวงกลม ในการรับภาระกรรม(Load) เสาจะต้องไม่เกิดการเสียหายเนื่องจากการโก่งงอของเสา(Buckling) การโก่งงอจากโมเมนต์ดัด(Bending) และการถูกเฉือนจากโมเมนต์บิด(Torsion) การหมุนของเสาเพื่อให้เกิดการคล่องตัวและสูญเสียพลังงานน้อยจึงใช้ตลับลูกปืนเป็นตัวรองรับ(Support) ไว้ 2 จุด ปลายด้านบนปล่อยอิสระวัสดุที่ใช้ทำเสาจะต้องสามารถทนต่อความเค้นกดจากแรงในแนวแกน(Axial Load) ความเค้นดึงจากโมเมนต์ดัด(Bending) และการถูกเฉือนขาดได้ดีวัสดุจะต้องมีคุณสมบัติทางกลดี มีความต้านทานแรงดึงสูง และมีความเหนียว อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความเหนียวสูง น้ำหนักเบา สามารถผ่านขบวนการตัดกลึงได้ง่ายและหาได้จากโรงงานฝึกงานเป็นอะลูมิเนียมเกรด 1100-0- Yield strength 5 ksi หรือ 34 Mpa

3.6.2วิเคราะห์การทำงานและรูปร่าง

เสามีหน้าที่รองรับน้ำหนักของส่วนแขนและชิ้นงานได้รับโมเมนต์ดัดจากน้ำหนักของชุดแขนส่วนที่ยื่นออกไปในแนวราบ(Horizontal Frame) และรับโมเมนต์บิดจากการหมุนของเฟือง หมุน(Rotator Gear) และการบิดจากความเฉื่อยจากการหมุนของแขน รูปร่างเสาควรเป็นเสาตันเพราะสามารถรับภาระกรรม(Load)ได้ดีสะดวกต่อการจับยึด และง่ายต่อการผลิต

3.6.3การวิเคราะห์ขนาดของเสา

เสาจะเกิดการโก่งงอเนื่องจากแรงกดและแรงดัดหาเงื่อนวิกฤติที่จุดรองรับ(Support)พิจารณาการจับยึดเสาจะเป็นแบบยึดแน่นปลายอิสระ(Fixed-Free) พิจารณแรงที่กระทำกับเสาที่ทำให้เกิดการโก่งงอ(Critical Load)

สูตร

Slenderness ratio = L_e/k

L_e = ความยาวสมมูล (Equivalent Length)

K = รัศมีไจเรชั่น = $(I/A)^{1/2}$

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

A = พื้นที่หน้าตัด

เสาจะรับภาระกรรมจากแรงกดดีด

น้ำหนักชิ้นงาน 0.5 กิโลกรัม

$W_1 = (0.5kg)(9.81m/s^2)$

$= 4.905$ N

น้ำหนักจากแขนในแนวดิ่ง(Weight of Vertical Arm)

$W_2 = m_2g$

$= \rho gV$

ρ = ความหนาแน่นของอะลูมิเนียม = $2.7g/cm^3$

V = ปริมาตรของชิ้นงาน

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$V = \pi d^2L/4 = \pi(1.5cm)^2(34cm)/4$

$= 60.08cm^3$

$W_2 = (2.7g/cm^3)(60.08cm^3)(9.81m/s^2)$

$= 1.589$ N

น้ำหนักจากแขนในแนวราบ(Weight of Horizontal Arm)

$W_3 = \rho gV$

$= (2.7g/cm^3)(9.81m/s^2)(\pi(1.5cm)^2(38cm))/4$

$= 1.779$ N

น้ำหนักของกริปเปอร์(Gripper) หนัก 0.5 กิโลกรัม

$W_4 = 0.5kg \times 9.81m/s^2$

$= 4.905$ N

น้ำหนักของตัวเชื่อมแขนแนวดิ่ง(Vertical Connecting Arm) หนัก 0.5 กิโลกรัม

$W_5 = 0.5kg \times 9.81m/s^2$

$= 4.905$ N

น้ำหนักของตัวเชื่อมแขนแนวราบ(Horizontal Connecting Arm) หนัก 0.5 กิโลกรัม

$W_5 = 0.5kg \times 9.81m/s^2$

$= 4.905\ N$

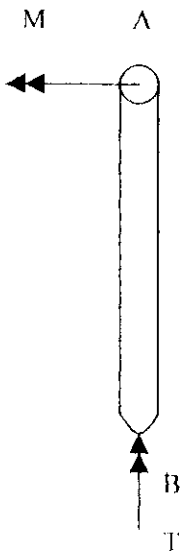
น้ำหนักรวมที่กระทำกับแสาคือ

$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$

$4.905N + 1.589N + 1.779N + 4.905N + 4.905N + 4.905N$

$= 22.988\ N$

พิจารณาโมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิดที่กระทำกับเสา



Column

จากโมเมนต์สูงสุดที่กระทำกับเสาจะเกิดขึ้นเมื่อแขนยื่นออกไปไกลสุด จากสูตร

$M = F_1L + F_2(L/2)$

$F_1 = W_1 + W_2 + W_4 + W_5$

$= 1.589N + 4.905N + 4.905N + 4.905N$

$= 17.604\ N$

$F_2 = 1.779N$

$M = (17.604Nx0.368m) + (1.779Nx0.109m)$

$= 6.883N.m$

พิจารณาโมเมนต์บิด

จากสูตร $T = P/(0) = IV/2\pi N$

แทนค่าลงในสูตร

$T = (0.1A)(12V)(60s) / 2\pi(90rpm)$

$= 0.286N.m$

เนื่องจากโมเมนต์บิดทำงานเป็นวัฏจักรจึงคิดความเสียหายที่เกิดจากการล้า

พิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นก้านสา

ความเค้นดึง(Tensile Stress) $\sigma = Mc/I$

$\sigma = (6.883N.m\ (d/2)\ )/(\pi d4/64)$

$= 70.11d^{-3}$

ความเค้นเฉือน(Shearing Stress) $\tau = Tc/J$

$\tau = (0.286N.m(d/2)) / (\pi d4/32)$

$= 1.46d^{-3}$

เนื่องจากโมเมนต์บิดกระทำก้านสาเป็นแบบ Repeat and reverse

จะได้ $\tau a = 1.46d^{-3}$

$\tau b = 0$

จากตารางภาคผนวก

$\sigma ut = 83$ Mpa ; $\sigma yt = 31$ Mpa

$\sigma n' = 0.5\ \sigma ut = 41.5$ Mpa

ค่าพิกัดความล้าที่แก้ไขแล้วจะได้ดังนี้

$\sigma n = kakbkckdkekf\sigma n'$

ka = 0.85 (จากรูปที่ 10 หน้า 169 หนังสือออกแบบเครื่องจักรกล 1 ของอาจารย์จำลอง ถิ่มตระกูล ที่ $\sigma ut = 83$ Mpa ผิวตัดกลึง)

kb = 0.889 (จากสูตร $1.189d^{-0.097}$ สมมติที่ d = 20mm)

kc = 1 (คิดที่ Reliability 50%)

kd = 1 (อุณหภูมิขณะทำงาน $T<450^{\circ}C$)

ke = 1 ไม่คิดความเค้นหนาแน่น

kf = 1 ไม่คิดความเค้นอื่น ๆ

$\sigma n = 31.79$Mpa

$\tau n = 0.58\sigma n = 18.44$Mpa

$\tau y = 0.58\sigma yt = 17.98$Mpa

$\tau_{eq} = \tau_m/N + (\tau_m/\tau_y)\tau_n + k_s\tau_a$

$\tau_{eq} = 0 + (1.46d^3/18.44Mpa) - 0.0792x10^{-6}d^3$

จากโลหะที่ใช้เป็นโลหะเหนียวค่าความปลอดภัยที่แนะนำใช้ Ny = 2.5

จากสูตร $1/Ny = \{(\sigma_{eq}/\sigma_n)^2 + (\tau_{eq}/\tau_n)^2\}^{1/2}$

$1/2.5 = \{(70.11d^3/31.79Mpa)^2+(0.0792x10^{-6}d^3)^2\}^{1/2}$

$1/2.5 = (4.86x10^{-12}d^6+4.97x10^{-12}d^6)$

$1/2.5 = (9.83x10^{-12}d^6)^{1/2}$

$1/2.5 = 3.135x10^{-6}d^3$

$d^3 = 7.84x10^{-6}$

d = 0.0198 m = 19.8mm

เพราะนั้นเลือกใช้เสาขนาด 20 มิลลิเมตร

วิเคราะห์การเกิดความเสียหายเนื่องจากอิทธิพลของเสา

$Le = L/\sqrt{c}$

การจับยึดของเสาเป็นแบบยึดแน่นปลายอิสระค่า c = 1/4

$Le = 360mm / \sqrt{1/4} = 20mm$

จากตาราง

E = 72Gpa : σ_{yt} = 31Mpa

$Le/k = 20/(I/A)^{1/2}$ = 4

$\sqrt{2\pi^2E/\sigma_{yt}}$ 214

ดังนั้น $Le/k < \sqrt{2\pi^2E/\sigma_{yt}}$ การพิจารณาเสาจึงเป็นเสาสั้น ใช้สูตรของ Johnson ในการคำนวณ

สูตร

$P_{cr} = (\sigma_{yt}A/Ny)\{1-(\sigma_{yt}(Le/k)^2/4\pi^2E\}$

แทนค่าในสมการ

$22.988N = (31MPax\pi20^2 / 4Ny)\{1 - (31Mpax4^2 / 4\pi^2x72Gpa)\}$

N = 423.23

ค่าความปลอดภัยที่ได้เสาจะไม่เกิดการโก่งงอเนื่องจากน้ำหนักของชุดแขนกดลงแน่นอน

3.7 ออกแบบแขนแนวราบ(Horizontal Arm)

3.7.1วิเคราะห์การทำงานและออกแบบชิ้นงาน

แขนในแนวราบจะรับแรงดัดจากน้ำหนักของชุดแขนในแนวดิ่งซึ่งจะทำให้เกิดการโก่งตัวได้ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุเหนียวสามารถรับโมเมนต์ดัดได้ดีชิ้นงานจะเลือกใช้อะลูมิเนียมเพราะน้ำหนักเบา มีความเหนียวสูง สามารถตัดกลึงได้ง่าย และหาซื้อตามท้องตลาดได้ง่ายแขนจะรับโมเมนต์ดัดมากที่สุดเมื่อยื่นออกไปยาวที่สุดในการออกแบบจะให้แขนที่ยื่นเป็นทรงกลมเพราะสามารถผลิตชิ้นส่วนได้ง่ายและประกอบเข้ากับชิ้นงานอื่นง่าย

3.7.2วิเคราะห์ขนาดแขนแนวราบ

ในการทำงานของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เข้าเคลื่อนที่ออกเป็นวัฏจักรทำให้แขนจะเสียหายเนื่องจากความล้าจากการใช้งานน้ำหนักที่กระทำกับแขนคือ

$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

$= 4.905N + 1.589N + 4.905N + 4.905N$

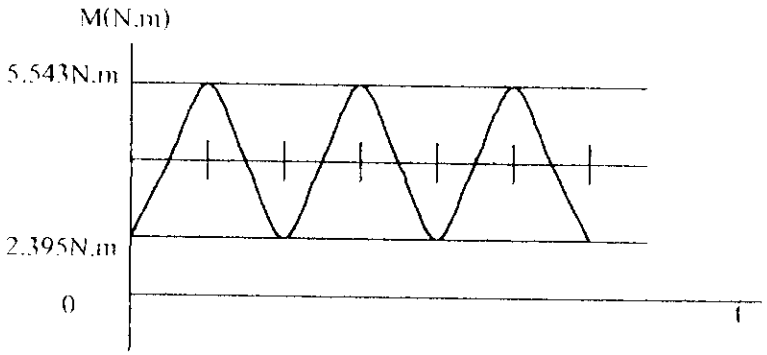
$= 16.304N$

โมเมนต์จะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อแขนเคลื่อนออกไปไกลสุดและน้อยที่สุดเมื่อแขนเคลื่อนที่เข้ามาในสุดมีค่าดังนี้

$M_{max} = 16.304N \times .34m = 5.543\ N.m$

$M_{min} = 16.304N \times .16m = 2.395\ N.m$

ลักษณะของภาระ(Load) ที่กระทำต่อแขนจะเป็นแบบ Repeat แต่ไม่ Reverse



ความเค้นที่เกิดขึ้นคือ

$\sigma_{max} = M_{max}c/I = \{5.543N.m(d/2)\}/(\pi d^4/64) = 56.46d^{-3}$

$\sigma_{min} = M_{min}c/I = \{2.395N.m(d/2)\}/(\pi d^4/64) = 29.89d^{-3}$

σ_m $(56.46d^{-3} + 29.89d^{-3})/2$ $= 43.175d^{-3}$

σ_a $(56.46d^{-3} - 29.89d^{-3})/2$ $= 13.285d^{-3}$

σ_n $0.5\sigma_{ut}$ $0.5x90Mpa$ 45 Mpa

คำนวณขนาดของแขนจากหลักเกณฑ์ของโซเดอร์เบิก

$1/N_y = \sigma_m/\sigma_{ut} + k\sigma_a / \sigma_n$

$1/1.5 = 43.175d^{-3}/\sigma_{ut} + (1)(13.285d^{-3}/45Mpa$

$1/1.5 = (1.27x10^{-6} + 4.428x10^{-7})\, d^{-3}$

$1/1.5 = (1.713x10^{-7})\, d^{-3}$

$d = 11.9$ mm

เลือกใช้แขนที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15 mm เพราะสามารถประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นง่ายและกลึงตัดง่าย

3.8 การออกแบบกริปเปอร์ (Grippers Design)

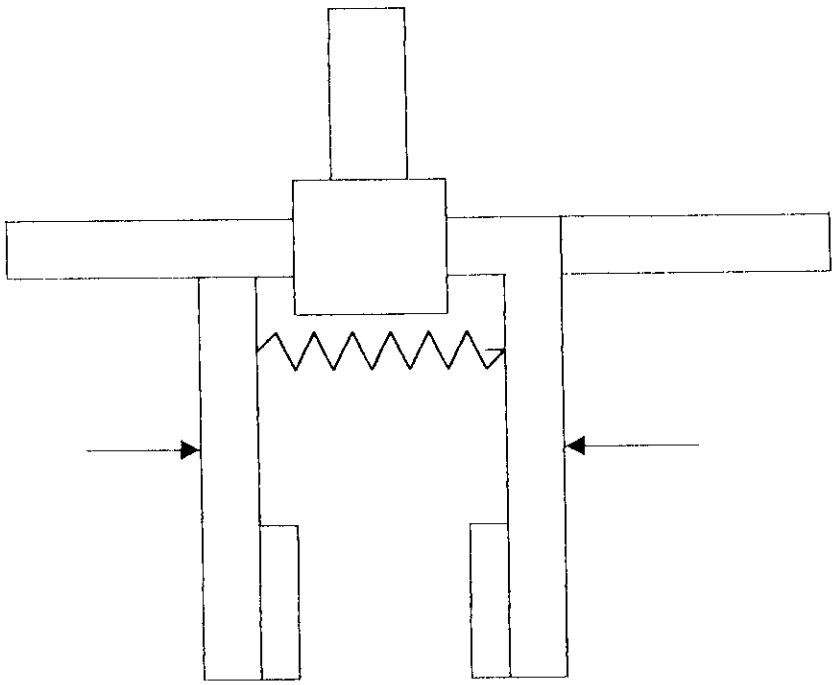
หลักการออกแบบ Gripper จะต้องพิจารณาเงื่อนไขที่ใช้ในการทำงานและสภาวะที่รับภาระ (load) สูงสุดดังนี้

- สามารถจับยึดชิ้นงานสูงสุด 0.5 กิโลกรัม
- สามารถจับยึดชิ้นงานขณะเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก
- สามารถจับยึดชิ้นงานขณะที่ หมุนในแนวนอน
- สามารถจับยึดชิ้นงานขณะที่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ
- สามารถจับยึดชิ้นงานในสภาวะเกิดแรกกระตุกในระหว่างการทำงาน

ซึ่งมีหลักการในการออกแบบดังนี้

3.8.1 Mechanical Gripper

ลักษณะทางกลศาสตร์ของ Gripper ในการออกแบบในการจับยึดชิ้นงานอาศัยการเคลื่อนที่ของส่วน Fingers เข้าจับชิ้นงาน โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของ Fingers จะเคลื่อนที่พร้อมกัน มีทิศทางในการเคลื่อนที่ตรงข้ามกัน ในการศึกษาครั้งนี้จุดประสงค์หลักคือ จับยึดชิ้นงานที่เป็นรูปทรงกลม ซึ่งทำให้ได้ลักษณะของ Gripper ดังนี้

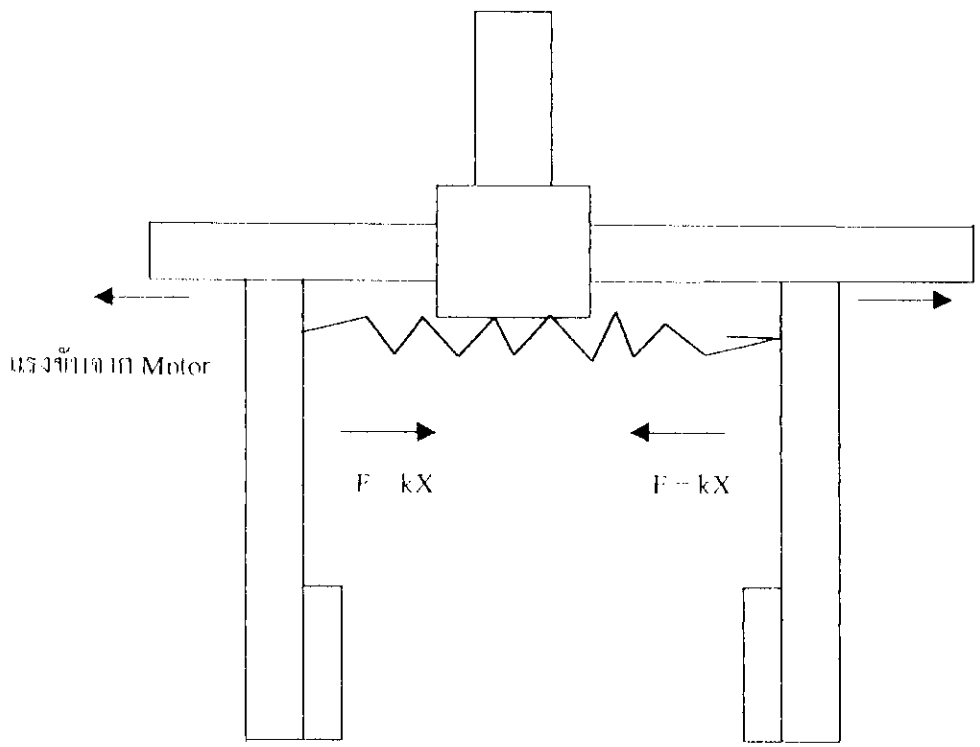


3.8.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ (Transfer type)

ลักษณะการเคลื่อนที่ของ Gripper ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงาน จะวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ

3.8.2.1 สภาวะกริปเปอร์กางออก

ในการเคลื่อนที่นิ้วออกพร้อม ๆ กันทั้งสองนิ้ว โดยอาศัยแรงจากการเคลื่อนของ Motor ส่งผ่าน ชุดเฟืองสะพานให้นิ้วทั้ง 2 ข้างเคลื่อนที่ออก โดยแรงขับจาก Motor จะต้องมากกว่าแรงดึงของสปริงที่ออกแรงต้านการเคลื่อนที่ออก เมื่อ Fingers เคลื่อนที่ถึงขีดจำกัด ส่วนของ Fingers จะสัมผัส micro switch ส่งสัญญาณเป็น สัญญาณ Input เข้า PLC จากเงื่อนไขของโปรแกรมควบคุมที่กำหนดไว้ PLC จะส่งสัญญาณ Output ให้ Motor หยุดการทำงาน ขณะเดียวกันก็ส่งสัญญาณให้ส่วนอื่นทำงานด้วย



3.8.2.2 สภาวะจับยึดชิ้นงาน

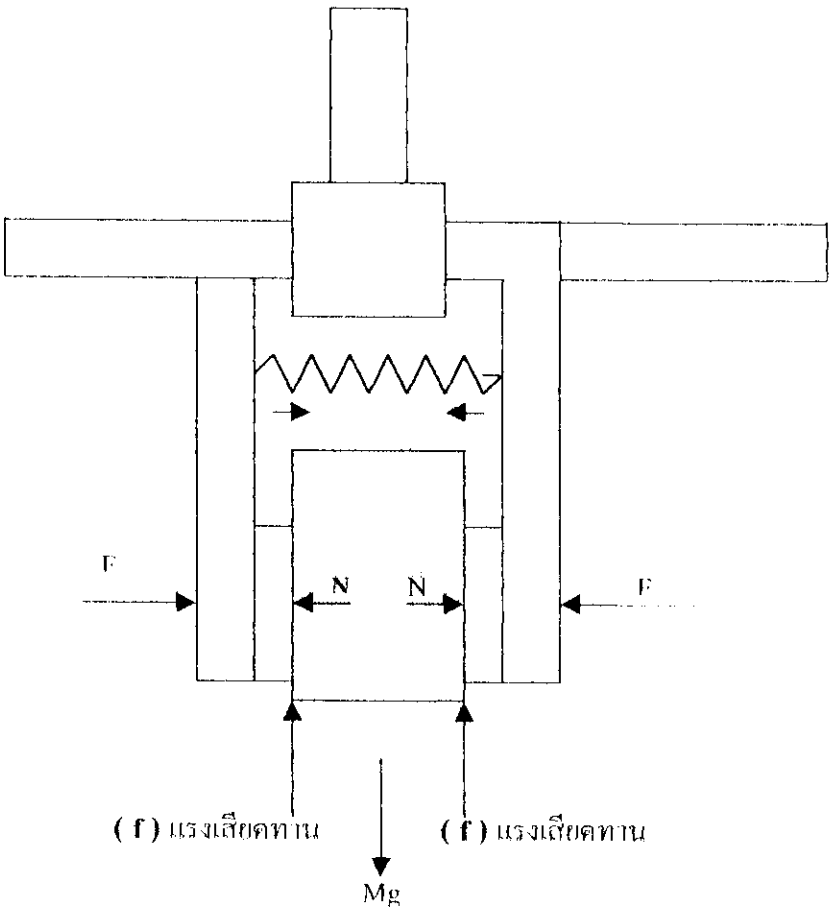
ในการจับยึดชิ้นงาน จะอาศัยแรงจาก 2 ส่วนในการเคลื่อน Fingers เข้ายึดชิ้นงาน คือแรงดึงจากสปริง และแรงขับจาก Motor จนกระทั่งจับยึดชิ้นงานแน่นแล้ว ชิ้นงานจะสัมผัส Micro Switch ที่ยึดอยู่ที่ Finger ส่งสัญญาณ Input เข้า PLC จะทำให้มีสัญญาณ Output จาก PLC สั่งให้ทำงานในสภาวะต่อไป เพราะฉะนั้นแรงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานขณะแขนกลเคลื่อนที่คือแรงที่เกิดจากการหดตัวของสปริงอย่างเดียว

3.8.3 แรงที่ใช้ในการจับยึด (Gripping Force)

ในการหาแรงที่ใช้ในการจับยึด จากการพิจารณาลักษณะการทำงานจะต้องมีการเคลื่อนที่ของแขนกลในทิศทาง ขึ้น - ลง ซึ่งจะต้องพิจารณาความเร่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ในแนวดิ่งของแขนกลด้วย

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(μ) ระหว่างชิ้นงาน กับ Finger pads=0.2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่าง Finger pads ซึ่งเป็นยางกับชิ้นงานต่าง ๆ (ในการทดลองชิ้นงานเป็นไม้)
- พื้นที่ในการจะยึด(Gripping area) = 7 x 2.5 cm^2
- ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก =9.81 m/s^2
- มิติของชิ้นงานทดสอบ = 10 x 10 x 10 cm^3



3.8.3.1 แรงจับยึดชิ้นงานขณะชิ้นงานอยู่นิ่ง

เป็นแรงที่ใช้จับยึดชิ้นงานที่อยู่ในสภาวะเริ่มต้น

$$\sum F_y = 0$$

แรงเสียดทาน = แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$2(\mu N) = Mg$$

$$2 \times 0.2 \times N \text{ (นิวตัน)} = 0.5 \times 9.81 \text{ (นิวตัน)}$$

$$N = 12.265 \text{ (นิวตัน)}$$

N = แรงที่ Finger pads กระทำในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน

3.8.3.2 แรงจับยึดชิ้นงานขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง

ขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ขึ้นจะมีแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงจากความเร่งในการเคลื่อนที่ โดยในการออกแบบจะให้ผลรวมของค่าแฟคเตอร์จากผลของแรงโน้มถ่วงและความเร่งที่เกิดในทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วง - 3 ดังนี้

$$\sum F_y = 0$$

แรงเสียดทาน = แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$2(\mu N) = (Mg)g$$

2 x 0.2 x N (นิวตัน) = 0.5 x 9.81x3 (นิวตัน)

$$N = 36.785 \text{ (นิวตัน)}$$

N = แรงที่ Finger pads กระทำในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน

3.8.3.3 แรงจับยึดชิ้นงานขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง

ขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ขึ้นจะมีแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงจากความเร่งในการเคลื่อนที่ โดยในการออกแบบจะให้ผลรวมของค่าแฟคเตอร์จากผลของแรงโน้มถ่วงและความเร่งที่เกิดในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง - 1 ดังนี้

$$\sum F_y = 0$$

แรงเสียดทาน = แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$2(\mu N) = (Mg)g$$

2 x 0.2 x N (นิวตัน) = 0.5 x 9.81x1.0 (นิวตัน)

$$N = 12.265 \text{ (นิวตัน)}$$

N = แรงที่ Finger pads กระทำในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน

3.8.3.4 แรงจับยึดชิ้นงานขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ในแนวระดับ

ขณะที่แขนกลเคลื่อนที่ขึ้นจะมีแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงจากความเร่งในขณะที่แขนกลหมุนเคลื่อนที่ในแนวระดับ โดยในการออกแบบจะใช้ผลรวมของค่าแฟคเตอร์จากผลของแรงโน้มถ่วงและความเร่งที่เกิดในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง 2 ดังนี้

$$\sum Fy = 0$$

แรงเสียดทาน = แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$2(\mu N) = (Mg)g$$

$2 \times 0.2 \times N$ (นิวตัน) $= 0.5 \times 9.81 \times 2.0$ (นิวตัน)

$$N = 24.525 \text{ (นิวตัน)}$$

N = แรงที่ Finger pads กระทำในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน

สรุป แรงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานในการเคลื่อนที่ขึ้นของแขนกลต้องใช้แรงมากที่สุด = 36.785 นิวตัน

3.8.4 การเลือกสปริงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงาน

ในการวิเคราะห์สภาวะจับยึดชิ้นงาน ในการเลือกใช้สปริงที่จะใช้เป็นชิ้นส่วนของ Gripper มีเงื่อนไขดังนี้

- แรงที่ใช้ในการจับยึดสูงสุดขณะแขนกลเคลื่อนที่ขึ้น 36.785 นิวตัน
- ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีมิติ $10 \times 10 \times 10\ cm^3$
- สภาวะจับยึดชิ้นงานสปริงขยายออก 6cm

เพราะฉะนั้นสามารถวิเคราะห์แรงเพื่อเลือกขนาดของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งานดังนี้

จาก $F = k X$ โดยที่ F คือแรงกระของสปริง, X คือระยะยืดของสปริง

จะได้ $36.785 \times 2 = k \times (6 \times 10^{-2})$

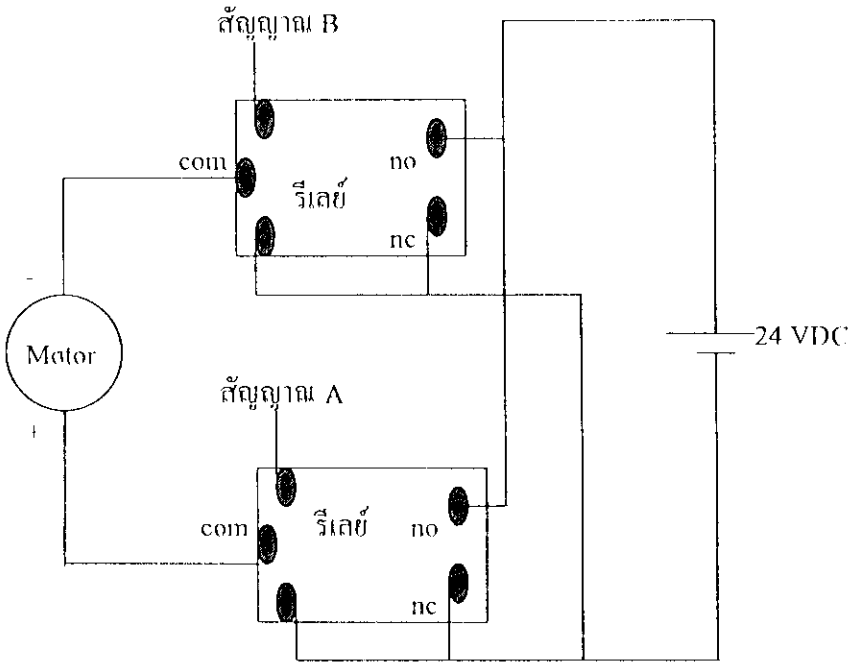
$$k = 1226.16 \text{ N/m}$$

การเลือกใช้ขนาดของสปริงจะใช้ค่า k ไม่ต่ำกว่าที่คำนวณได้

3.9 การออกแบบวงจรทางไฟฟ้า

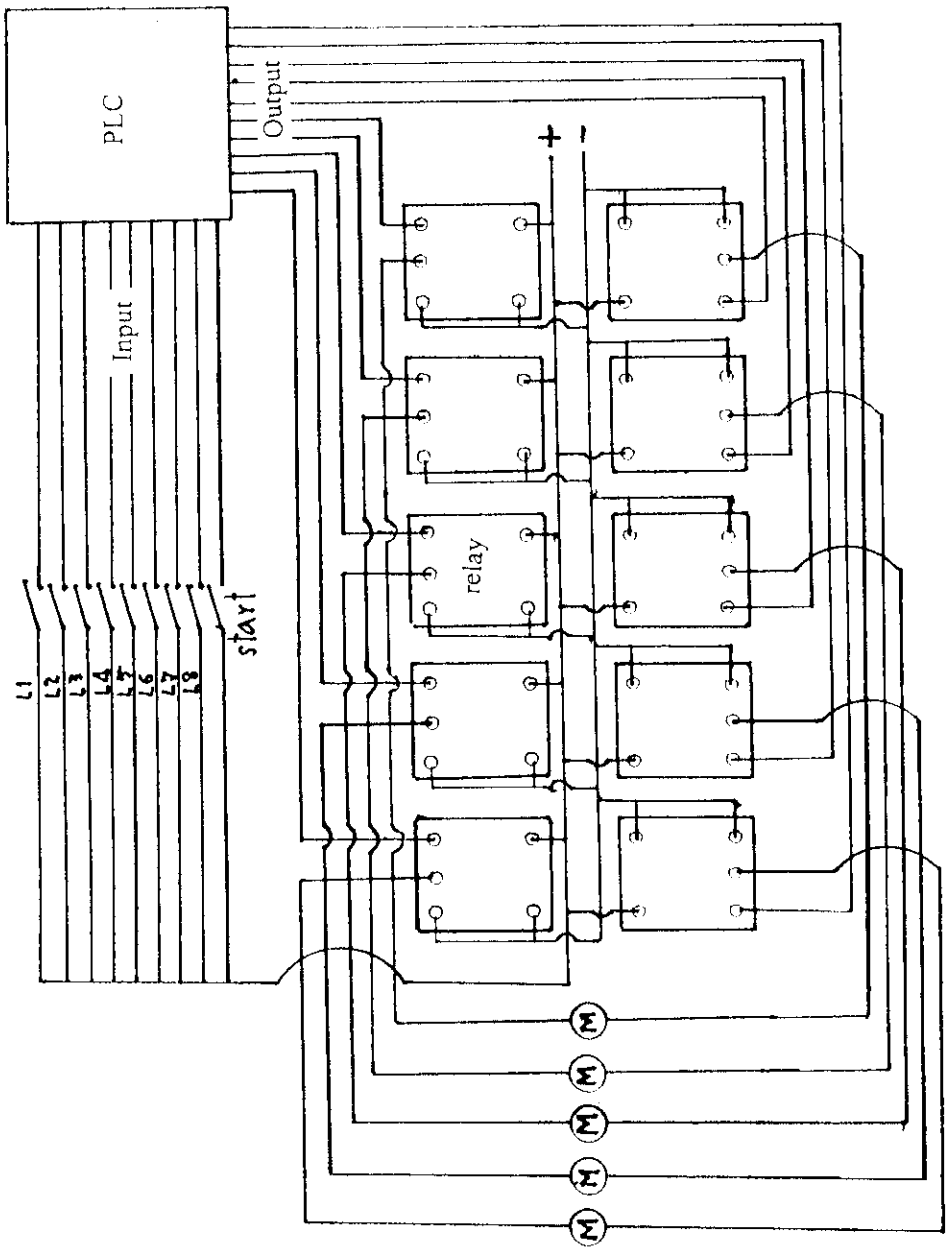
3.9.1 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ในระบบการขับเคลื่อนของแขนกลจะต้องมีการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนกล ในการเลือกใช้มอเตอร์จึงเลือกใช้ DC Motor Gear เพราะสามารถนำมาใช้งานง่าย วงจรไม่ซับซ้อน ในการใช้งานให้ความแม่นยำตรงค่อนข้างสูง การบำรุงรักษาง่าย ในการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงทำได้โดยการกลับขั้วการจ่ายกระแสไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งในที่นี้ได้นำรีเลย์มาช่วยในการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป จะใช้รีเลย์ 2 ตัว สำหรับมอเตอร์ 1 ตัว



จากรูปการทำงานของรีเลย์ สัญญาณ A และสัญญาณ B จะต้องเข้าไม่พร้อมกัน ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีสัญญาณจาก A และ B มอเตอร์จะไม่ทำงานเพราะมีไฟฟ้าที่เป็นลบไหลผ่าน เมื่อมีสัญญาณเข้าที่ A โดยที่ไม่มีสัญญาณ B จะทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และลักษณะเดียวกันเมื่อมีสัญญาณเข้า B โดยไม่มีสัญญาณที่ A จะทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

3.9.2 การต่อวงจรทางไฟฟ้า



3.10 การออกแบบการทำงานของแขนกล

แขนกลที่สร้างตามวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้เป็นแขนกลแบบ Cylindrical Coordinates ที่มี 3 degrees of freedom ซึ่งประกอบด้วยแกนเคลื่อนที่ ขึ้น- ลง (up and- down), แกนเคลื่อนที่ในแนวระดับ เข้า ออก (in-and-out) และแกนที่ใช้ในการหมุน (rotational axis) แขนกลที่สร้างขึ้นสามารถหมุนได้ 180 องศา สามารถจับยึดชิ้นงานได้น้ำหนักสูงสุด 0.5 กิโลกรัม ควบคุมด้วยโปรแกรมแบบ PLC ในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนใช้ Motor เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ในการทำงานจะมีสัญญาณจาก Limit Switch เป็นสัญญาณ Input เข้า PLC ซึ่งเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการเขียนโปรแกรม

3.10.1 การออกแบบการทำงานของมอเตอร์

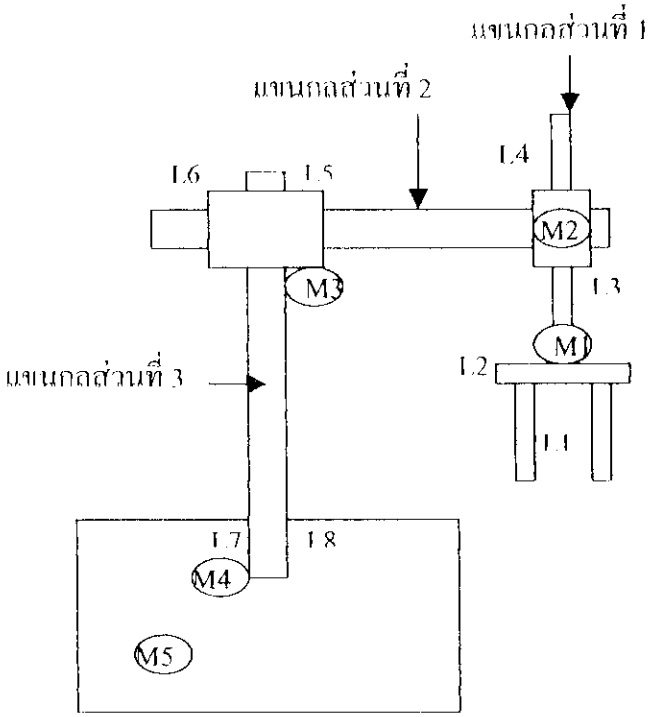
ในการขับเคลื่อนในแต่ละแกนใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนและในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อาศัยการกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการออกแบบทิศทางการหมุนของมอเตอร์กับการทำงานของแขนกล

มอเตอร์ตัวที่	ทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนเมื่อมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา	ทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
1	Gripper ปล่อยชิ้นงาน	Gripper หยิบชิ้นงานชิ้นงาน
2	แขนกลส่วนที่ 1 เคลื่อนที่ขึ้น	แขนกลส่วนที่ 1 เคลื่อนที่ลง
3	แขนกลส่วนที่ 2 เคลื่อนที่ออก	แขนกลส่วนที่ 2 เคลื่อนที่เข้า
4	เสาหมุนตามเข็มนาฬิกา	เสาหมุนทวนเข็มนาฬิกา
5	หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้า	หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

3.10.2การออกแบบติดตั้ง Motor และ Limit Switch

Limit Switch เป็นสัญญาณ Input ที่เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการเขียนโปรแกรม มีตำแหน่งในการติดตั้งดังรูป



I หมายถึง Limit Switch

M หมายถึง Motor

วัตถุประสงค์ของการสร้างคือให้แขนกลสามารถจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่วางในตำแหน่งที่ต้องการได้ การออกแบบขั้นตอนการทำงานของแขนกลและสภาวะเงื่อนไขเบื้องต้นของการทำงานในแต่ละขั้นตอน จะเป็นเงื่อนไขหลักในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานในแต่ละขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม และเนื่องจากเงื่อนการทำงานบางขั้นตอนซ้ำกัน ในการเขียนโปรแกรมอาจจะกำหนดเงื่อนไขลื่นเข้ามาช่วย เช่น เงื่อนไขทางด้านเวลา ซึ่งได้กล่าวถึงในบทการเขียนโปรแกรมในโครงงานนี้ได้ออกแบบการทำงานของแขนกลดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของแขนกล

ขั้นตอนการทำงาน	การทำงานของแขนกล	เงื่อนไขเริ่มต้น
ขั้นตอนที่ 1	กดปุ่มสตาร์ท มอเตอร์ 5 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ตั้งเวลาในการตัดสัญญาณ	Limit Switch 3, 5 ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 2	มอเตอร์ตัวที่ 3 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อนให้แขนกลส่วนที่ 2 เคลื่อนที่ออก จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 6 ถูกกด	Limit Switch 3, 5 ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 3	มอเตอร์ตัว 2 หมุนตามเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อนแขนกลส่วนที่ 1 ให้เคลื่อนที่ลง และขณะเดียวกันมอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อน Gripper กางออก จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 4 และ 2 ถูกกดทั้งคู่	Limit Switch 3, 6 ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 4	มอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนตามเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อนให้ Gripper จับยึดชิ้นงาน จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 1 ถูกกด	Limit Switch 3, 2, 6, 4 ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 5	มอเตอร์ตัวที่ 2 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อนแขนกลส่วนที่ 1 ให้เคลื่อนที่ขึ้น จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 3 ถูกกด	Limit Switch 6, 4, 1 ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 6	มอเตอร์ตัวที่ 4 หมุนทวนเข็มนาฬิกาขับให้แกนเสาหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 7 ถูกกด	Limit Switch 3, 6, ถูกกดอยู่
ขั้นตอนที่ 7	มอเตอร์ตัวที่ 3 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ขับแขนกลส่วนที่ 2 เคลื่อนที่ออก พร้อมกับมอเตอร์ตัวที่ 2 หมุนตามเข็มนาฬิกา ขับเคลื่อนแขนกลส่วนที่ 1 ให้เคลื่อนที่ลง จะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 6, 4 ถูกกด	Limit Switch 3, 6, ถูกกดอยู่

ตารางที่ 3.2(ต่อ) แสดงขั้นตอนการทำงานของแขนกล

ขั้นตอนการทำงาน	การทำงานของแขนกล	เงื่อนไขเริ่มต้น
ขั้นตอนที่ 8	มอเตอร์ 1 ทวนเข็มนาฬิกา ข้ามเคลื่อนให้ Gripper ปล่อยชิ้นงานพร้อมกับมอเตอร์ 2 หมุนทวนเข็มนาฬิกา ข้ามเคลื่อนแขนกลส่วนที่ 1 เคลื่อนที่ขึ้นตัดด้วย Limit Switch 3 ให้มอเตอร์ 1 ข้ามเคลื่อน Gripper เคลื่อนที่เข้า พร้อมทั้งให้มอเตอร์ 4 หมุนตามเข็มนาฬิกาในเวลาเดียวกันจะตัดสัญญาณเมื่อ Limit Switch 2,3 ,8 ถูกกด	Limit Switch 4, 6, ถูกกดอยู่