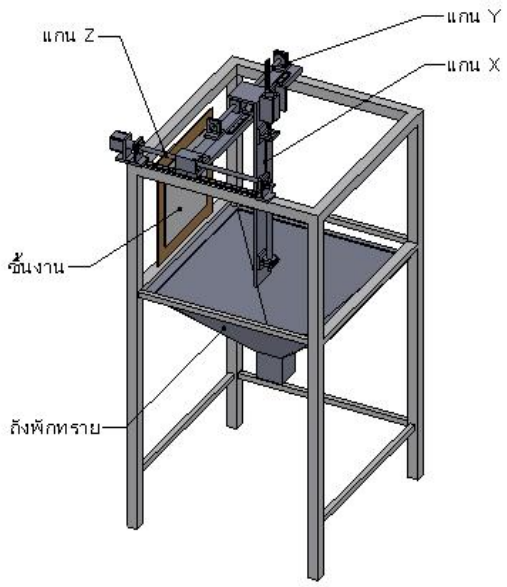
บทที่ 3
การออกแบบเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติขนาดเล็ก

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของเครื่องพ่นทราย การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างและทดสอบเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติขนาดเล็กนี้

3.1 โครงสร้าง

ในการสร้างเครื่องพ่นทรายอัตโนมัตินั้นจำเป็นต้องมีการวางแผนและศึกษาในเรื่องของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสร้างหรือประกอบเป็นตัวเครื่อง ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้เครื่องพ่นทรายอัตโนมัติที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน มีความคงทน และน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ดังนั้นในส่วนของโครงสร้างเกือบทั้งหมดจึงเลือกใช้อะลูมิเนียมโปรไฟล์มาเป็นวัสดุหลักในการประกอบเป็นตัวเครื่อง เพราะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และไม่เป็นสนิม ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย และมีความแข็งแรงกว่าอลูมิเนียมแบบธรรมดา ซึ่งโครงสร้างคร่าวๆ ของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติขนาดเล็กที่ได้ออกแบบไว้แสดงดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 โครงสร้างของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติ

3.2 สเตปปิ้งมอเตอร์

สำหรับการคำนวณเพื่อเลือกขนาดของสเตปปิ้งมอเตอร์ในการขับเคลื่อนกลไกต่างๆ ของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติผ่านบอลสกรูทั้ง 3 แกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z สามารถคำนวณได้โดยการพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- มวลที่สเตปปิ้งมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน X (M_x) เท่ากับ 4.5 kg
- มวลที่สเตปปิ้งมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน Y (M_y) เท่ากับ 10 kg
- มวลที่สเตปปิ้งมอเตอร์ต้องขับเคลื่อนในแนวแกน Z (M_z) เท่ากับ 15 kg
- มวลของตัวจับยึด (M_c) คือ 0.032 kg
- รัศมีวงนอกของตัวจับยึด (r_o) คือ 1.25×10^{-2} m
- รัศมีวงในของตัวจับยึด (r_i) คือ 4.75×10^{-3} m
- เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลสกรู (D) คือ 14×10^{-3} m
- ความหนาแน่นของบอลสกรู (ρ) คือ 7.83×10^{3} kg/m^3
- ความยาวของบอลสกรูในแต่ละแนวแกน (L_i) คือ 53.00×10^{-2} m
- ค่าประสิทธิภาพของบอลสกรู (η) คือ 0.96
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบอลสกรู (μ) คือ 0.003
- ระยะพิตช์ของบอลสกรู (P) คือ 10×10^{-3} m
- ความเร่งเชิงเส้นใช้งาน (a) คือ 500 mm/s^2 และความเร่งเชิงมุม (α) คือ 314 rad/s^2

3.2.1 แกน X

สำหรับการคำนวณเพื่อเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ในการขับเคลื่อนกลไกในแกน X สามารถคำนวณได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$T_{1,x} = T_{friction} + (J_{coupling} + J_{screw} + J_{reflect}) \times \alpha$$

เมื่อ

$$T_{friction} = \frac{F_x \times P}{2\pi\eta}$$

เมื่อ

$$F_x = M_x g + M_x a$$

เมื่อ

$$J_{coupling} = \frac{M_c}{2}\left(r_i^2 + r_o^2\right)$$

เมื่อ

$$J_{screw} = \frac{M_b D^2}{8}$$

$$J_{reflect} = M_x\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการจะได้ว่าค่าแรงบิดรวม $T_{1.x}$ ในแต่ละแนวแกนคือ

$$T_{1.x} = 8.63\times10^{-2}\,\text{N.m}$$

สำหรับการเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์จะต้องเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ที่มีค่า

$$J_{rotor} > \frac{\left(J_{reflect} + J_{coupling} + J_{screw}\right)}{10}$$

ซึ่งในที่นี้ก็คือ

$$J_{rotor} > 2.99\times10^{-6}\,\text{kg.m}^2$$

และสเตปปิ้งมอเตอร์ที่เลือกใช้ต้องมีแรงบิดไม่น้อยกว่า

$$T_{total} > 8.63\times10^{-2}\,\text{N.m}$$

3.2.2 แกน Y

สำหรับการคำนวณเพื่อเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ในการขับเคลื่อนกลไกในแกน Y สามารถคำนวณได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$T_{1,y} = T_{friction} + (J_{coupling} + J_{screw} + J_{reflect}) \times \alpha$$

เมื่อ

$$T_{friction} = \frac{F_y \times P}{2\pi\eta}$$

เมื่อ

$$F_y = \mu M_y g + M_y a$$

เมื่อ

$$J_{coupling} = \frac{M_c}{2}\left(r_i^2 + r_o^2\right)$$

เมื่อ

$$J_{screw} = \frac{M_b D^2}{8}$$

$$J_{reflect} = M_y\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการจะได้ว่าค่าแรงบิดรวม $T_{1.y}$ ในแต่ละแนวแกนคือ

$$T_{1.y} = 2.26 \times 10^{-2}\ \text{N.m}$$

สำหรับการเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์จะต้องเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ที่มีค่า

$$J_{rotor} > \frac{\left(J_{reflect} + J_{coupling} + J_{screw}\right)}{10}$$

ซึ่งในที่นี้ก็คือ

$$J_{rotor} > 4.39 \times 10^{-6}\ \text{kg.m}^2$$

และสเตปปิ้งมอเตอร์ที่เลือกใช้ต้องมีแรงบิดไม่น้อยกว่า

$$T_{total} > 2.26\times10^{-2}\ \text{N.m}$$

3.2.3 แกน Z

สำหรับการคำนวณเพื่อเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ในการขับเคลื่อนกลไกในแกน Z สามารถคำนวณได้จากสมการในด้านล่างคือ

$$T_{1,z} = T_{friction} + (J_{coupling} + J_{screw} + J_{reflect}) \times \alpha$$

เมื่อ

$$T_{friction} = \frac{F_z \times P}{2\pi\eta}$$

เมื่อ

$$F_z = \mu M_z g + M_z a$$

เมื่อ

$$J_{coupling} = \frac{M_c}{2}\left(r_i^2 + r_o^2\right)$$

เมื่อ

$$J_{screw} = \frac{M_b D^2}{8}$$

$$J_{reflect} = M_z\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการจะได้ว่า ค่าแรงบิดรวม $T_{1.z}$ ในแต่ละแนวแกนคือ

$$T_{1.z} = 3.09\times10^{-2}\,\text{N.m}$$

สำหรับการเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์จะต้องเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ที่มีค่า

$$J_{rotor} > \frac{\left(J_{reflect} + J_{coupling} + J_{screw}\right)}{10}$$

ซึ่งในที่นี้ก็คือ

$$J_{rotor} > 5.65 \times 10^{-6}\ \text{kg.m}^2$$

และสเตปปิ้งมอเตอร์ที่เลือกใช้ต้องมีแรงบิดไม่น้อยกว่า

$$T_{total} > 3.09 \times 10^{-2}\ \text{N.m}$$

ดังนั้น เพื่อความเหมาะสมทั้งในส่วนของค่าแรงบิดสูงสุดและค่าความเฉื่อยของสเตปปิ้งมอเตอร์ รวมทั้งความสะดวกในการบำรุงรักษาและการใช้งาน จึงเลือกใช้สเตปปิ้งมอเตอร์เพื่อเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติทั้งสามแนวแกนเป็นของบริษัท Oriental Motors รุ่น Vexta PK266-02A แสดงดังภาพประกอบ 30 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- แรงบิดสูงสุด	1.17 N.m
- มุมองศาในการเคลื่อนที่แต่ละสเตป	1.8°
- ขนาดของมอเตอร์	24 VDC (1.4 A/Phase)
- แรงเฉื่อยของสเตปปิ้งมอเตอร์	300 x 10^{-7} kg.m^2

ภาพประกอบ 30 สเตปปิ้งมอเตอร์ของบริษัท Oriental Motors รุ่น Vexta PK266-02A

3.3 สกรูส่งกำลัง

ในส่วนของสกรูส่งกำลังนั้นเลือกใช้สกรูส่งกำลังแบบบอลสกรู เพราะมีประสิทธิภาพในการส่งกำลังสูง ทราบอายุการใช้งานที่แน่นอน เคลื่อนที่ได้อย่างนิ่มนวล มีผลกระทบทางความร้อนน้อย และมีขนาดเล็กกว่าแบบอื่นๆ เมื่อเทียบภาระน้ำหนักกระทำที่เท่ากัน โดยเลือกใช้บอลสกรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 14 mm ระยะพิตช์ของเกลียวเท่ากับ 10 mm และยาว 530 mm

3.4 รางนำเลื่อน

ในการประกอบแกนของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัตินั้นจำเป็นต้องมีรางนำเลื่อนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งรางนำเลื่อนนี้จะเป็นตัวประคองอย่างดีในการเคลื่อนที่ของแกนและยังสามารถช่วยลดแรงต้านขณะสกรูเคลื่อนที่ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รางนำเลื่อนแบบกลิ้งที่มีการนำลูกกลิ้งเป็นเม็ดลูกปืนหรือเม็ดทรงกระบอกมาใช้ เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีความลื่นมากกว่าแบบไถลและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

3.5 ทรายพ่น

ทรายที่เลือกใช้งานเป็นทรายชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ เพราะเป็นทรายที่มีความคมและแข็งที่สุด ในกลุ่มของทรายพ่นทุกชนิด พ่นผิวได้รวดเร็วกว่าทรายชนิดอื่นๆ ทำจากซิลิกาบริสุทธิ์ และผงถ่านปิโตรเลียมใช้ทำความสะอาดผิวงานที่มีพื้นผิวแข็งมากๆ เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ งานกระจก หรืองานที่ต้องการพ่นลึกลงไปในผิวงาน ใช้แกะสลักกระจก หินแกรนิต และงานที่ต้องการกัดเซาะลึกๆ ใช้ขัดผิวงานทั่วไปได้ทุกชนิด

3.6 ปืนพ่นทราย

ปืนพ่นทรายที่เลือกใช้เป็นปืนพ่นทรายแบบดูด เพราะสามารถใช้กับงานพ่นทรายที่มีแรงดันไม่สูงมากและงานที่ต้องการความละเอียดได้ดี

3.7 เครื่องอัดอากาศ

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดลมในการสร้างแรงดันเพื่อช่วยขับเคลื่อนทรายให้ไปกระทบกับผิวชิ้นงานเป็นรูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเครื่องอัดลมชนิดลูกสูบอัด 2 ขั้น ขนาดความจุ 94 litres 1 HP เพราะสามารถอัดอากาศและให้ความดันที่คงที่ หากลมอัดไม่เพียงพอจะทำให้เครื่องพ่นทรายเกิดการสะดุดและชิ้นงานที่ออกมาอาจเสียหายได้

3.8 ชุดควบคุมเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติ

3.8.1 บอร์ดควบคุมมอเตอร์

สำหรับบอร์ดควบคุมการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติในครั้งนี้เป็นบอร์ดของ Mach Drive NBA แสดงดังภาพประกอบ 31 ซึ่งเป็นบอร์ดร่วมที่สามารถขับสเตปปิ้งมอเตอร์ได้หลายแกน มีคุณสมบัติดังนี้

- บอร์ดเชื่อมต่อแบบแยกไฟแยกกราวด์ (Opto-Isolator Break Out Board)
- บอร์ดขับสเตปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์ และยูนิโพล่าได้จำนวนถึง 5 แกน
- บอร์ดวงจรชาร์จปัมพ์เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานด้วยตัวเอง (Charged Pump)
- บอร์ดโซลิดสเตตรีเลย์แบบซีโร่ครอสซิ่งจำนวน 2 ช่องทาง
- บอร์ดขยายสัญญาณเอาท์พุทเพื่อขับอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น รีเลย์หลอดไฟ

ภาพประกอบ 31 ชุดควบคุมการทำงาน Mach Drive NBA

(**ที่มา:** http://www.cncroom.com/index.php?main_page=products_all&disp_order=7&page=4)

3.8.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องยิงทรายอัตมัติในครั้งนี้ คือ โปรแกรม Mach3 ซึ่งเป็นตระกูลซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท Newfangled Solutions สำหรับงานด้าน CNC เบื้องต้น และในเวลาต่อมาได้รับความนิยมและถูกนำไปใช้อย่างจริงจังในภาคอุตสาหกรรมขนาดย่อม

3.9 แหล่งจ่ายไฟ

สำหรับการใช้งานเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟเพื่อป้อนไฟเลี้ยงระบบต่างๆ ของเครื่อง โดยขนาดของแหล่งจ่ายไฟที่เลือกใช้สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาจากส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- บอร์ดควบคุมสามารถรับแรงดันไฟที่ 12 - 32 VDC และกระแสเท่ากับ 3 A
- สเตปปิ้งมอเตอร์รับแรงดันไฟที่ 24 V และมีกระแสเท่ากับ 1.4 A ดังนั้นจะได้ว่า กำลังของสเตปปิ้งมอเตอร์ 1 ตัว มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{กำลังของสเตปปิ้งมอเตอร์} &= V \times I \\ &= 24 \times 1.4 \\ &= 33.6 \ W \end{aligned}$$

สำหรับการเคลื่อนที่ของเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติพร้อมกันทั้ง 3 แนวแกน กำลังที่ต้องใช้ในการขับสเตปปิ้งมอเตอร์สูงสุดคือ

$$\text{กำลังขับสเตปปิ้งมอเตอร์สูงสุด} = 3 \times 33.6 = 100.8 \ W$$

จากกำลังขับสเตปปิ้งมอเตอร์สูงสุดดังกล่าว และคุณสมบัติของบอร์ดควบคุมที่สามารถทนรับกระแสได้ 3 A จะได้ว่าขนาดของแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสมคือ

$$\text{แรงดันของแหล่งจ่ายไฟ (V)} = 100.8/3 = 33.6 \text{ VDC}$$

อย่างไรก็ตามจากขนาดของแหล่งจ่ายไฟที่คำนวณได้ เพื่อความสะดวกและเหมาะสมในการใช้งานจึงเลือกขนาดของแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 24 - 40 VDC และมีกระแสเท่ากับ 3 A ซึ่งมีความเหมาะสมกับบอร์ดและสเตปปิ้งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้งานและเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เราได้ทำการคำนวณไว้ข้างต้น ซึ่งถ้าใช้แรงดันและกระแสสูงกว่าที่ได้กล่าวมาข้างต้นอาจทำให้บอร์ดและสเตปปิ้งมอเตอร์เกิดความเสียหายได้