

องอาจ วีระชาติยานุกุล

ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ
รองศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พญาไท กรุงเทพฯ 10330

เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ สำหรับการผลิตเปลือก คอมเพรสเซอร์

An Automatic Loading Machine For Compressor Casing Manufacturing

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนากระบวนการควบคุมอัตโนมัติจากห้องปฏิบัติการไปสู่การใช้งานจริงในอุตสาหกรรม โดยทำการสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานเปลือกคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น เข้าและออกจากเครื่องปั๊มขึ้นรูป ประกอบด้วยชุด แขนเคลื่อนที่ในแนวตั้ง 4 แขน ตรงปลายมีแผ่นยางสุญญากาศสำหรับจับชิ้นงานวางรวมอยู่บนแกนเคลื่อนที่ในแนวนอน 1 แกน ใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับแบบไม่ใช้แปรงถ่าน ควบคุมตำแหน่งแกนมอเตอร์ด้วยการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี เป็นชุดขับเคลื่อน ใช้เครื่องควบคุมโปรแกรมมาเบิลโลจิก ควบคุมการทำงานและระบบควบคุมความปลอดภัย

เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติจะช่วยป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นต่อพนักงานประจำเครื่องปั๊มขึ้นรูป ช่วยเพิ่มการยืดหยุ่นในสายการผลิตเปลือกคอมเพรสเซอร์ เพราะการเปลี่ยนรุ่นการผลิตทำได้ทันทีด้วยการเปลี่ยนแนวทางเดินของปลายแขนโดยใช้โปรแกรม จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิต

จากการทดสอบค่าความผิดพลาดของตำแหน่งการเคลื่อนที่ในแนวนอนที่ความเร็วการเคลื่อนที่ 412.5 มิลลิเมตร/วินาที พบว่าความผิดพลาดของตำแหน่งสูงสุดตลอดระยะทางการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 0.070 มม. ซึ่งความผิดพลาดส่วนใหญ่มาจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น และเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติสามารถผลิตคอมเพรสเซอร์ได้เฉลี่ย 2,354 ชิ้นต่อผลัด ประสิทธิภาพการทำงาน 74.4% ซึ่งน้อยกว่าเป้าหมายคือ 2,500 ชิ้นต่อผลัด และ 90% ตามลำดับ การสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากใช้เวลานานการตั้งแม่พิมพ์นานผิดปกติ ซึ่งจะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

Development of an industrial standard automatic loading machine is studied and built for using in a refrigerator industry. The automatic loading machine is for compressor casing manufacturing. It is used for loading and unloading compressor cases from press machine. It consists of 4 y-axis arms with vacuums gripper each gripper installed at the arm tip. These 4 y-axis arms are installed in an x-axis base. The brushless AC-servo motors with PID controllers are used to control the motion in x and y directions. The sequence of the operation and the safety system are controlled by programmable logical controller (PLC) Safety is a major consideration in designing the automatic loading machine. Flexibility of the machine is the selection of the product model by changing the moving path control program. Definitely, the production cost is also reduced.

From the experiments, it has been shown that the position error of the x-axis is less than 0.07 millimeters for 412.5 mm/sec path velocity. Production capacity is 2,354 pcs/shift and the production efficiency is 74.4%. While the design criteria is target at 2,500 pcs/shift and 90% efficiency. The main reason is the long die setting time. With the fine tune, these can be improved.

1) บทนำ

ในอุตสาหกรรมงานที่อันตรายหรือมีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุสูง หากใช้คนเป็นผู้ปฏิบัติงานนั้น ก็จำเป็นต้องมีการออกแบบระบบความปลอดภัย (Safety) เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีระบบความปลอดภัยอย่างเพียงพอ ก็ยังมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นกับพนักงานได้อยู่บ่อย ๆ สาเหตุอาจจะเนื่องจากคน เช่น ความประมาทเลินเล่อ ความอ่อนเพลีย ง่วงนอน ความล้า ความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เป็นต้น และสาเหตุเนื่องจากเครื่องจักรเช่น ระบบความปลอดภัยชำรุดไม่ทำงาน เนื่องจากขาดการตรวจสอบซ่อมบำรุง หรือแม้แต่การออกแบบระบบความปลอดภัยของเครื่องจักรไม่ดีพอหรือไม่เพียงพอเป็นต้น

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง นำมาซึ่งความเสียหายมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของอุบัติเหตุนั้น และในบางครั้งอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับพนักงาน ทำให้ได้รับบาดเจ็บต้องหยุดงานเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาล เกิดผลกระทบต่อการผลิตต้องหยุดชะงักหรือผลิตได้ช้าลง บางครั้งพนักงานอาจถึงกับต้องสูญเสียอวัยวะบางส่วน เช่น นิ้วมือ ดวงตา เป็นต้น และอาจถึงสูญเสียชีวิตได้ ซึ่งความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับคนนี้มีมูลค่ามหาศาลจนไม่สามารถประเมินออกมาเป็นตัวเลขหรือสามารถทดแทนได้ นอกจากนี้ในโรงงานที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นบ่อย ๆ ย่อมมีผลต่อขวัญ และกำลังใจของพนักงาน ในโรงงานด้วย

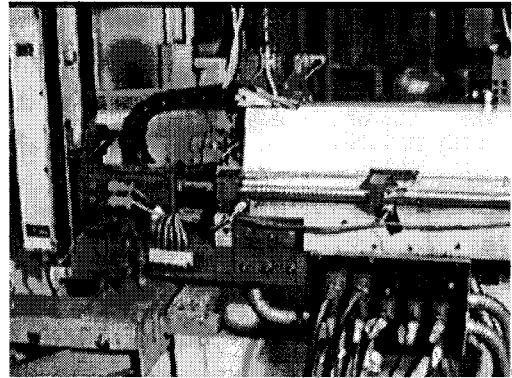
ปัจจุบันในประเทศไทย ถึงแม้ว่าค่าแรงงาน ซึ่งเป็นต้นทุนที่มีอิทธิพลค่อนข้างมาก ต่อราคาค่าต้นทุนของผลิตภัณฑ์ ยังคงค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศอุตสาหกรรมอื่นๆ แต่แนวโน้มของค่าแรง และปัญหาแรงงาน นับวันจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการนำระบบควบคุมอัตโนมัติ มาใช้ทดแทนคนในงานส่วนที่เป็นอันตราย และต้องใช้คนมากก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และน่าลงทุนเป็นอย่างยิ่ง เพราะเป็นการมองการณ์ไกล และการลงทุนในระยะยาวที่สามารถคุ้มทุนในระยะเวลา 4-5 ปี และสามารถลดอุบัติเหตุลงได้อีกทางหนึ่ง

ในงานวิจัยนี้ จะนำทฤษฎีทางด้านควบคุมอัตโนมัติ ไปประยุกต์กับงานจริง โดยสร้างเครื่อง Prototype ที่ใช้งานจริงในกระบวนการผลิต เพื่อประโยชน์ในการลดอุบัติเหตุ ลดต้นทุนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกำลังคน นอกจากนั้นเพื่อให้สามารถกำหนดความสามารถในการผลิตของระบบผลิตได้แม่นยำมากขึ้น และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติ ในงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยต่อไปในอนาคต โดยจะทำการสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ (Automatic loading machine) ทำหน้าที่ป้อนเปลือกคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น โดยอัตโนมัติให้กับเครื่องปั๊มขึ้นรูป (Press) ขนาด 350 ตัน โดยเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ 1 ชุด สามารถลดคนที่ปฏิบัติงานที่เครื่องปั๊มขึ้นรูปได้จาก 4 คน/ผลัด เหลือ 1 คน/ผลัด

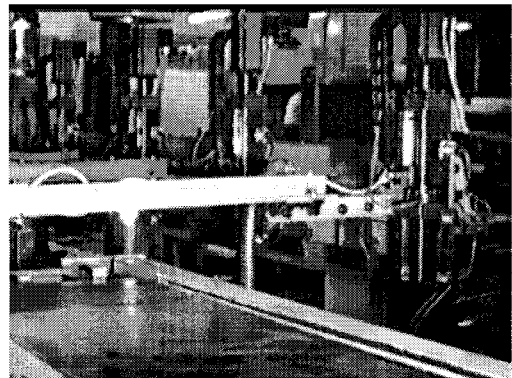
2) การทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ¹

เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติที่ออกแบบและสร้างขึ้นใช้งานจริงมีแขนสำหรับจับชิ้นงาน 4 แขน ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน x หรือแนวนอน และแนวแกน y หรือแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ขับเคลื่อนด้วย Brushless DC servo motor ผ่านชุด Ball Screw ดังแสดง

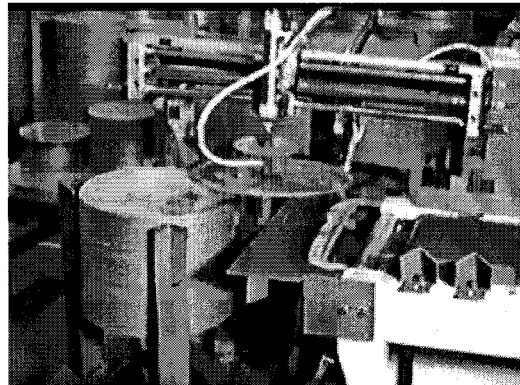
ในรูปที่ 2.2 และควบคุมการทำงานโดยการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี นอกจากนั้นยังมีแขนกลที่ใช้สำหรับนำชิ้นงานจาก Stack ป้อนเข้าสู่สายการผลิตที่ต่อเข้ากับเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติด้วย ใช้ตัว PLC (Programmable logic controller) เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดให้สอดคล้องกับตัวเครื่องปั๊มขึ้นรูปและระบบ sensor เพื่อควบคุมการทำงานให้มีความปลอดภัยสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3-2.4



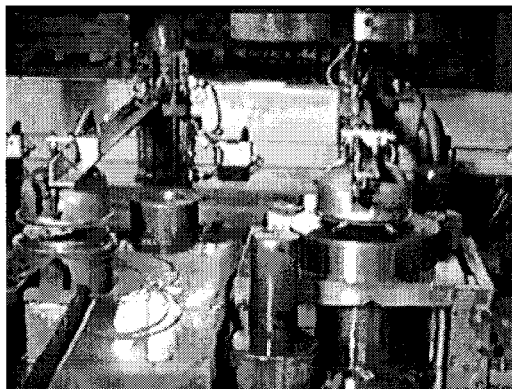
(ก)



(ข)



(ค)



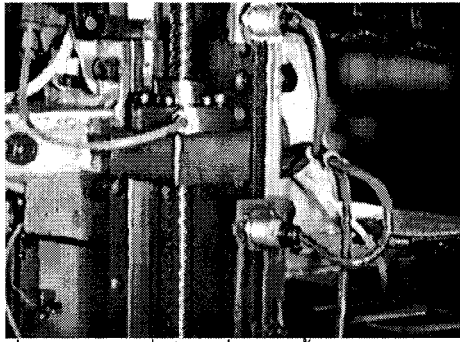
(ง)

รูปที่ 2.1 (ก,ข) แสดงแขนเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

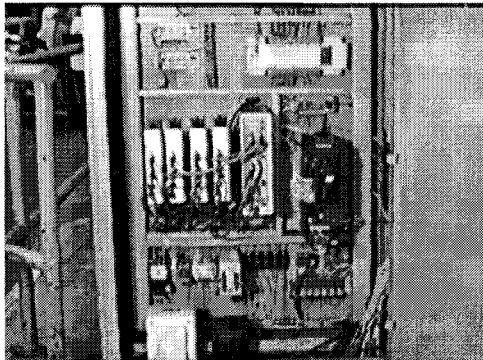
ค) คือชุดแขนนำชิ้นงานใน Stack เข้าสู่ Line

ง) chuck จับชิ้นงานพร้อมแสดงวิธีจับชิ้นงาน

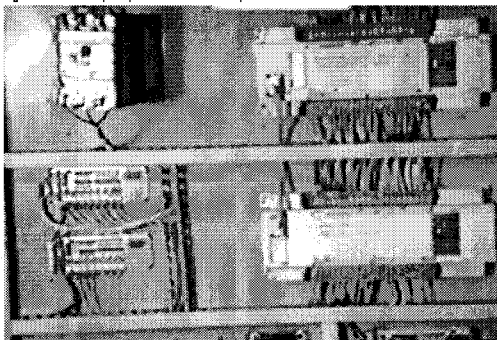
¹ โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทชไนเดอร์เซอร์วิสเซส จำกัด



รูปที่ 2.2 บอลสกรูที่ใช้ในเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ



รูปที่ 2.3 ชุดอุปกรณ์ควบคุมเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ



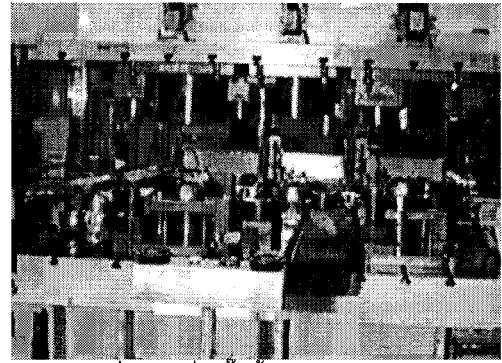
รูปที่ 2.4 ตัวควบคุม PLC สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง

2.1 ขบวนการผลิตเปลือกคอมเพรสเซอร์ การผลิตเปลือกคอมเพรสเซอร์ จะใช้เครื่องปั๊มขึ้นรูปเหล็กขนาดใหญ่(แรงกดแม่พิมพ์สูงสุด 350 ตัน) ปั๊มขึ้นรูปแผ่นเหล็กจากแผ่นเหล็กกลมแบน เป็นเปลือกคอมเพรสเซอร์รูปร่างคล้ายทรงกลมผ่าครึ่ง โดยที่เปลือกคอมเพรสเซอร์แต่ละใบจะต้องผ่านขบวนการขึ้นรูป 3 ขบวนการคือ

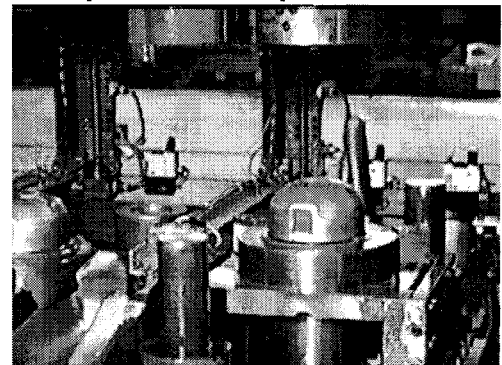
2.1.1 ขบวนการขึ้นรูป (Drawing) ทำบนแม่พิมพ์ขึ้นรูป โดยกดแผ่นเหล็กกลมลงบนกระโหลกพิมพ์ รูปร่างคล้ายครึ่งทรงกลม เพื่อให้ชิ้นงานเกิดส่วนโค้งใกล้เคียงกับชิ้นงานสำเร็จ

2.1.2 ขบวนการตัดขอบ (Triming) ทำบนแม่พิมพ์ตัดขอบโดยกดแม่พิมพ์ตัดขอบให้ตัดขอบชิ้นงาน ส่วนเกินทิ้งไป

2.1.3 ขบวนการจัดรูป (Ironing) ทำบนแม่พิมพ์จัดรูป เป็นการจัดรูปชิ้นงานครั้งสุดท้าย ให้รูปร่างและขนาดควบคุมต่างๆ ได้ตามมาตรฐาน ชิ้นงานที่ออกจากขบวนการนี้ไป เป็นชิ้นงานสำเร็จพร้อมจะนำไปเข้าขบวนการต่อไป โดยที่แม่พิมพ์ทั้งสามขบวนการจะวางอยู่บนแท่นแม่พิมพ์ของเครื่องปั๊มขึ้นรูปเครื่องเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 เครื่องปั๊มขึ้นรูปขนาด 350 ตัน



รูปที่ 2.6 ชิ้นงานและแม่พิมพ์ต่าง ๆ

2.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

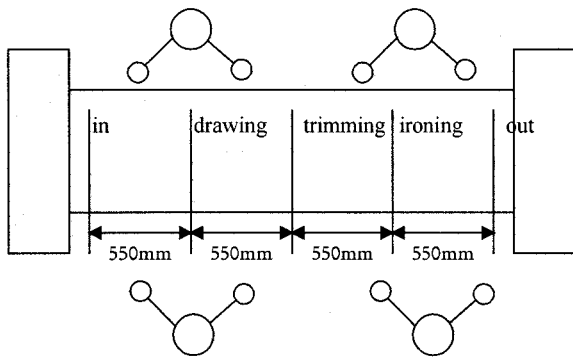
2.2.1 ขั้นตอนการป้อนชิ้นงานโดยใช้คน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เริ่มจากพนักงานคนที่ 4 หยิบชิ้นงานสำเร็จจากพิมพ์จัดรูป ออกไปใส่ตะกร้า พนักงานคนที่ 3 หยิบชิ้นงานที่ตัดขอบแล้ว จากแม่พิมพ์ตัดขอบ มาใส่ลงบนแม่พิมพ์จัดรูป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงพนักงานคนที่ 1 หยิบแผ่นเหล็กกลมเข้าวางบนแม่พิมพ์ขึ้นรูป แล้วกดปุ่มให้เครื่องปั๊มขึ้นรูปเคลื่อนลงมา ปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน ขั้นตอนทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 8 วินาที

$$\therefore \text{กำลังการผลิต (7 ชม)} = (3600 \times 7) / 8 \\ = 3150 \text{ ชิ้น / ผลัด}$$

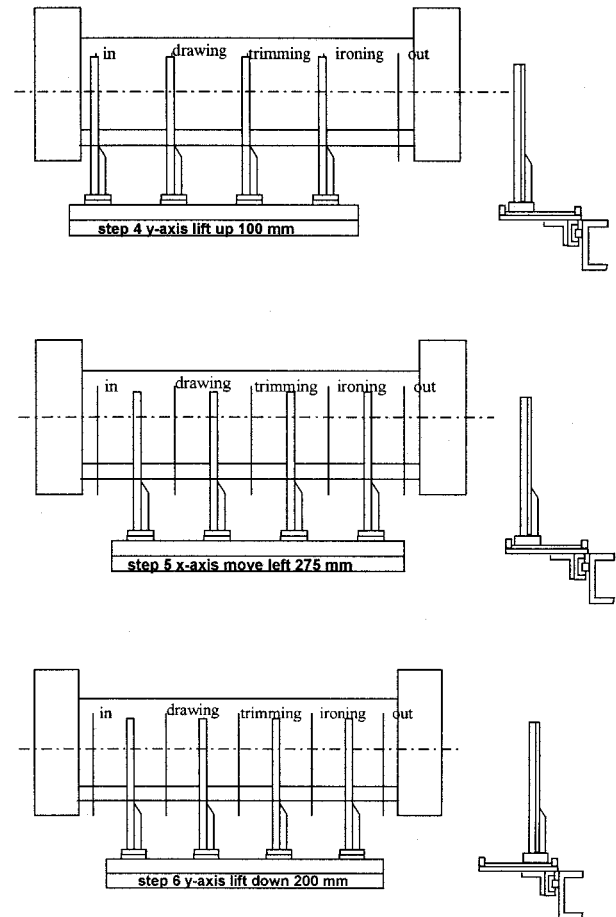
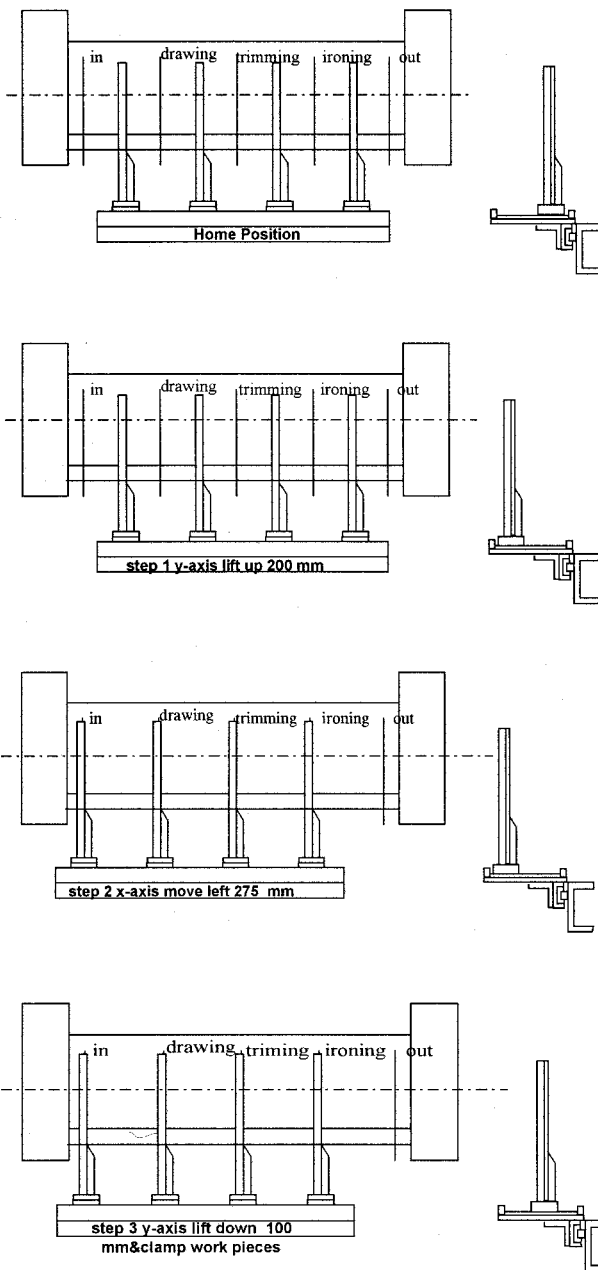
$$\text{ในงานผลิตจริงยอดผลิต / ผลัด} \approx 2400 \text{ ชิ้น / ผลัด}$$

$$\therefore \text{ประสิทธิภาพในการผลิต} = 2400 / 3150 \\ \approx 76.2 \%$$

2.2.2 ขั้นตอนการป้อนชิ้นงานโดยเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ดังแสดงในรูป 2.8 จากตำแหน่งเริ่มต้นแกน Y ซึ่งมี 4 แกน จะยกขึ้นประมาณ 200 มม. จากนั้นแกน X ร่วมซึ่งมี 1 แกน จะเคลื่อนที่ ไปทางซ้าย 275 มม. พาแกน Y ทั้ง 4 แกนมาอยู่ตรงศูนย์กลางจุดแผ่นเหล็กกลมเข้าเครื่องและศูนย์กลางแม่พิมพ์ทั้งสามชุด จากนั้นแกน Y จะเคลื่อนที่ลงมาหยิบชิ้นงานแล้วเคลื่อนที่กลับไปตำแหน่งเดิม จากนั้นแกน X จะเคลื่อนที่ไปทางขวา 550 มม. (เท่ากับระยะห่างของศูนย์กลางแม่พิมพ์แต่ละตัว) จากนั้นแกน Y จะเคลื่อนที่ลงเพื่อวางชิ้นงานใหม่ลงบนแม่พิมพ์ แล้วเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดิมกลับตำแหน่งเริ่มต้น สุดท้ายเครื่องปั๊มขึ้นรูปจะเคลื่อนที่ลงมาปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการทำงานโดยใช้คนป้อนชิ้นงาน



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการทำงานโดยใช้เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

เป้าหมายกำลังการผลิต / ผลัด = 2500 ชิ้น / ผลัด

∴ เวลาทำงาน (Cycle time) ของชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$= (3600 \times 7.5) / 2500$$

$$= 10.8 \text{ วินาที}$$

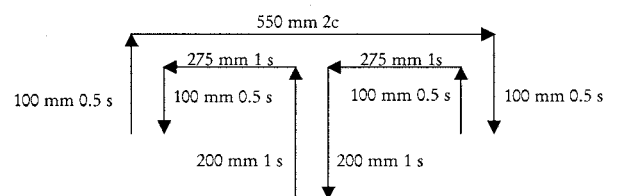
เป้าหมายประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ = 90

∴ เวลาทำงานจริงของชิ้นงาน 1 ชิ้น = 9.72 วินาที

เวลาทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงาน ≈ 1.72 วินาที

∴ เวลาทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ = 8.0 วินาที

รูปที่ 2.9 จะแสดงให้เห็นทางเดินและเวลาของแขนเครื่องป้อนชิ้นงาน 1 แขน



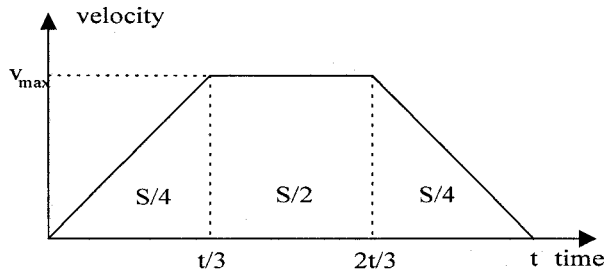
รูปที่ 2.9 แผนภาพทางเดินและเวลา ของแขนเครื่องป้อนชิ้นงาน 1 แขน

2.3 แผนภาพความเร็ว (Velocity profile) การเคลื่อนที่ของแขนในแนวดิ่งหรือแนวนอน จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

-ช่วงแรกเป็นช่วงเร่งความเร็วจากหยุดนิ่ง ด้วยความเร่งคงที่ ให้ได้ระยะทาง S/4 ภายในเวลา t/3

-ช่วงที่สองเป็นช่วงความเร็วคงที่ อัตราเร่ง=0 เป็นระยะทาง S/2 และเวลา t/3

-ช่วงที่สามเป็นช่วงลดความเร็ว ด้วยความหน่วงคงที่ จากความเร็วสูงสุด (Vmax) ให้หยุดนิ่งภายในระยะทาง S/4 และเวลา t/3



รูปที่ 2.10 แผนภาพความเร็วแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ของแกน x และแกน y

แกน Y ต้องการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นระยะทาง 200 mm ภายในเวลา 1 sec

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } a &= 4.5S/t^2 \\ &= 4.5(200)/1^2 \\ &= 900 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } V_{\max} &= at/3 \\ &= 900(1)/3 \\ &= 300 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

แกน X ต้องการเคลื่อนที่ในแนวราบ 550 mm.ภายในเวลา 2 sec

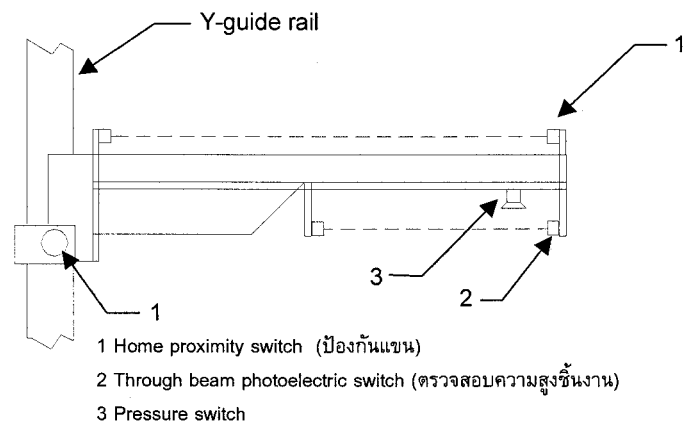
$$\begin{aligned} \text{จากรูป } a &= 4.5 S/t^2 \\ &= 4.5(550)/(2)^2 \\ &= 618.75 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } V_{\max} &= at/3 \\ &= 618.75(2)/3 \\ &= 412.5 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

3) ระบบความปลอดภัยและ แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติใช้ตัวควบคุมแบบพี.แอล.ซี (Programmable Logical Controller, PLC) และโปรแกรมควบคุมทางลอจิก (Logic ladder diagram) ควบคุมระบบความปลอดภัยและลำดับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ทำงานร่วมกัน ภายในเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ให้สามารถป้อนชิ้นงานให้เข้าออกจากเครื่องป้อนชิ้นงานได้สำเร็จและปลอดภัย

3.1 ระบบความปลอดภัย (Safety device system)



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์ความปลอดภัย

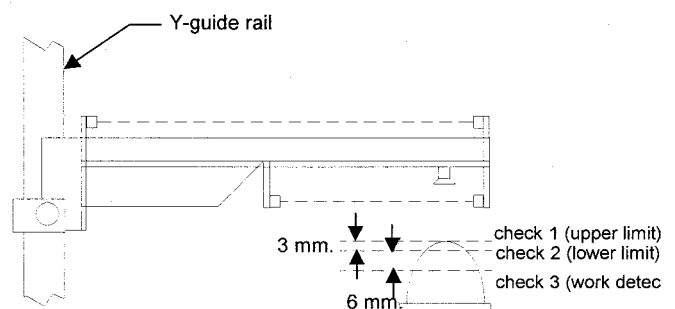
3.1.1. พารอกซีมีตี้สวิตช์ ตรวจจับตำแหน่งเริ่มต้น (Home position) จะส่งสัญญาณ ลอจิก 1 เข้าตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี เมื่อแขนเคลื่อนที่มาหยุดที่ตำแหน่งเริ่มต้น เป็นการตรวจจับตำแหน่งจริงของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อตรวจทานกับสัญญาณตำแหน่งเริ่มต้นที่ส่งออกมาจากชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดย

- ถ้าสัญญาณทั้งคู่ เป็นลอจิก 1 แสดงว่าเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นอย่างแน่นอน ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะอนุญาต (Enable) ให้เครื่องป้อนชิ้นงานทำงานได้

- ถ้าสัญญาณทั้งคู่เป็นลอจิก 0 แสดงว่าเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นอย่างแน่นอน ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะไม่อนุญาต (Disable) ให้เครื่องป้อนชิ้นงานเคลื่อนที่ หรือทำงานใดๆ

- ถ้าสัญญาณทั้งคู่ไม่ตรงกัน แสดงว่าระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ ไปที่แกนบอลสกรูของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติมีปัญหา และตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะต้องสั่งให้เครื่องทั้งหมดหยุดการทำงานทันที แล้วส่งสัญญาณเตือนออกมา

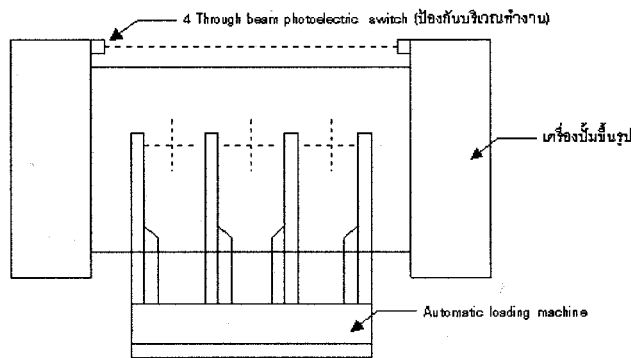
3.1.2. สวิตช์ลำแสง (Photoelectric Switch) วัดความสูงชิ้นงาน เมื่อแขนวางชิ้นงานลงบนแม่พิมพ์แล้ว ขณะที่แขนเคลื่อนที่ขึ้นจะวัดความสูงของงานไปด้วยโดยสวิตช์ลำแสง โดยแบ่งจุดวัดความสูงชิ้นงานออกเป็น 2 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นจุดตรวจสอบความสูงชิ้นงานที่ขอบเขตบน (Upper limit) และขอบเขตล่าง (Lower limit) ชิ้นงานที่วางลงบนแม่พิมพ์อย่างสนิท จะต้องมีความสูงอยู่ระหว่างขอบเขตบนและขอบเขตล่างเท่านั้น



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งตรวจสอบความสูง ของชิ้นงานที่วางบนแม่พิมพ์

3.1.3. สวิตช์ความดันสุญญากาศ (Vacuum pressure switch) สวิตช์ความดันสุญญากาศจะคอยตรวจสอบความดันสุญญากาศตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มยกชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์อันหนึ่งไปจนถึงก่อนปล่อยชิ้นงานลงบนแม่พิมพ์ถัดไป ถ้าความดันสุญญากาศไม่ถึงตามค่าที่ตั้งไว้ แสดงว่าชิ้นงานหลุดออกจากแผ่นดูดงาน (Suction pad) สวิตช์ความดันสุญญากาศจะส่งสัญญาณเข้าตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี และตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะสั่งให้เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติหยุดการทำงานกะทันหัน (Emergency stop) ทันที

3.1.4. สวิตช์ลำแสง (Photoelectric switch) ป้องกันบริเวณทำงานของเครื่องปั๊มขึ้นรูป ที่เครื่องปั๊มขึ้นรูปด้านตรงข้ามกับเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ถ้ามีวัตถุ เช่น มือหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายของคนมาบังลำแสงของสวิตช์ลำแสง สวิตช์ลำแสงจะส่งสัญญาณลอจิก 0 เข้าตัวควบคุมแบบพี. แอล. ซีและตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะสั่งให้เครื่องปั๊มขึ้นรูปหยุดทำงานกะทันหัน (Emergency stop) ทันที



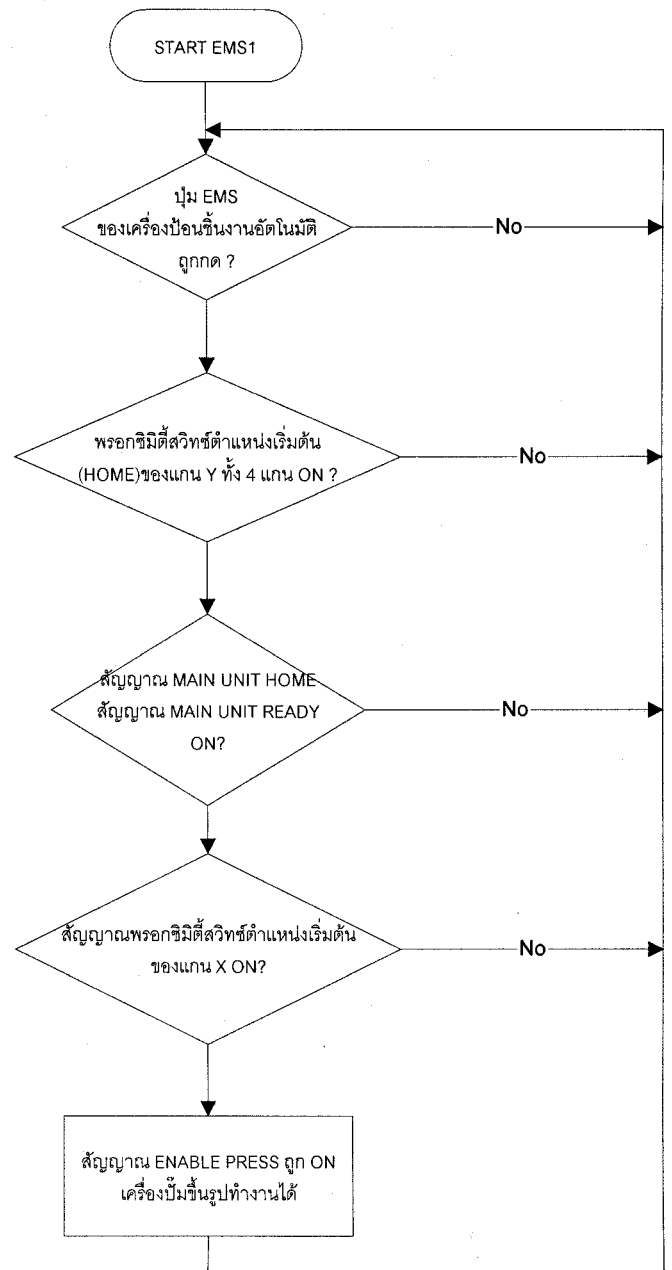
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่ง สวิตช์ลำแสงป้องกันบริเวณทำงานของเครื่องปั๊มขึ้นรูป

3.1.5. สวิตช์ความดันลมอัดในระบบ (Compress air line pressure switch) ถ้าความดันลมอัดในท่อส่งลมอัดตกลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ สวิตช์ความดันจะส่งสัญญาณเข้าตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี และตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี จะสั่งให้เครื่องทั้งหมดหยุดทำงาน

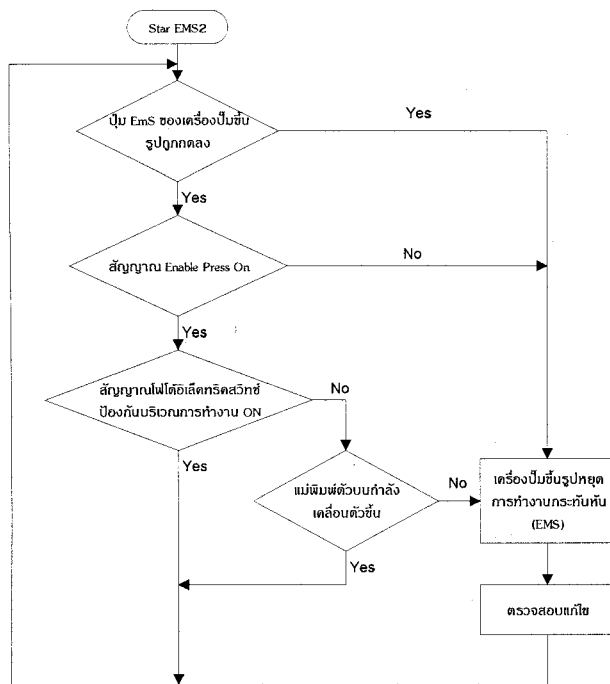
3.2 แผนภูมิการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัย หลักการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัยคือ ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติและเครื่องปั๊มขึ้นรูปจะต้องไม่ทำงานพร้อมกันโดยตรวจสอบจากสัญญาณตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่องจักรทั้งสอง

3.2.1 การทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัยของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ แสดงในรูปที่ 3.4 หลักการทำงานของเครื่องปั๊มขึ้นรูปจะทำงานได้ เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติจะต้องอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นเท่านั้นและปั๊มหยุดฉุกเฉินจะต้องไม่ถูกกด

3.2.2 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัยของเครื่องปั๊มขึ้นรูป เครื่องปั๊มขึ้นรูปจะทำงานได้จะต้องมีสัญญาณอนุญาต (Enable press) ให้ทำงานเข้ามาและปั๊มหยุดทำงานฉุกเฉินจะต้องไม่ถูกกดและในขณะที่เครื่องปั๊มขึ้นรูปกำลังเคลื่อนลงโฟโตอิเล็กทริกสวิตช์ป้องกันบริเวณทำงานจะต้องไม่ถูกกด



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัยของชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ
(Automatic loading machine safety device system flow chart)



รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบควบคุมความปลอดภัยของเครื่องปั๊มขึ้นรูป

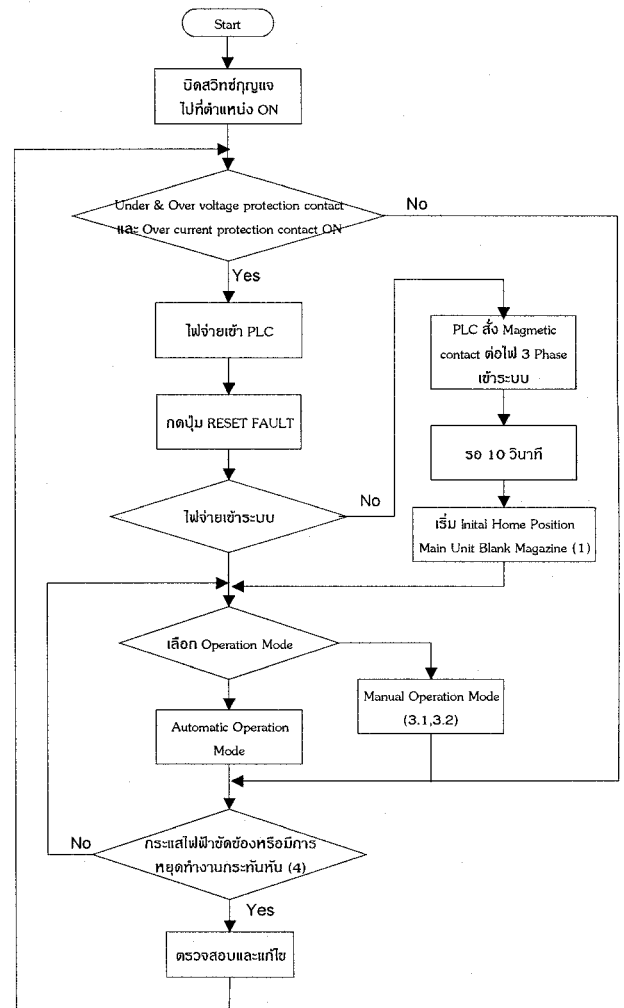
3.3 แผนภูมิการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

เราสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติออกเป็น 3 ส่วน คือการหาตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อเปิดเครื่อง, การทำงานแบบอัตโนมัติและการทำงานแบบควบคุมด้วยมือ

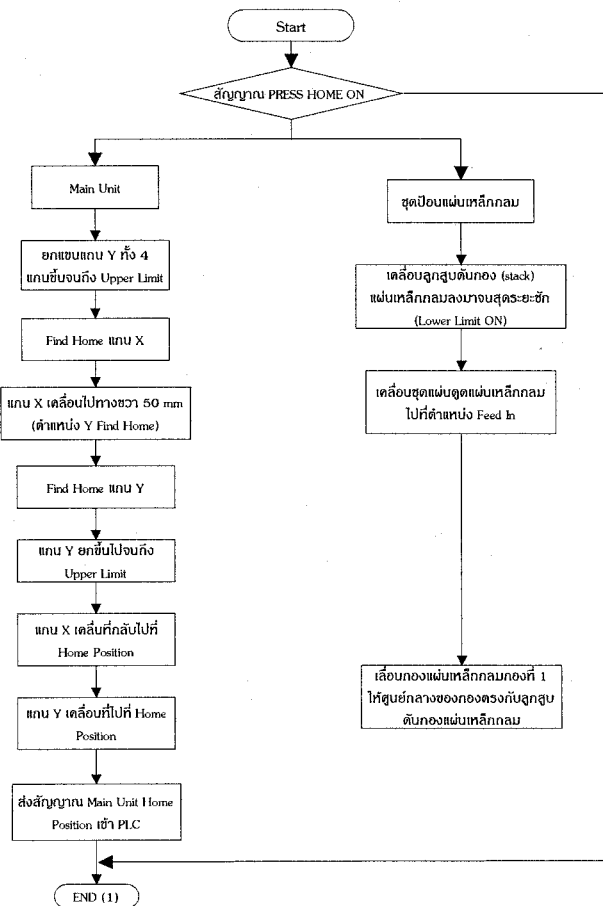
3.3.1 ลำดับการหาตำแหน่งเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติจะทำการหาตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้งที่เปิดเครื่องเนื่องจากตำแหน่งปัจจุบันของการเคลื่อนที่จะหายไปเมื่อปิดเครื่องหรือไฟดับโดยจะทำการหาตำแหน่งเริ่มต้นทั้งชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติและชุดป้อนแผ่นเหล็กกลม

3.3.2 ลำดับการทำงานการป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.10 เริ่มจากตรวจสอบสถานะที่พร้อมที่จะทำงาน ตรวจสอบงานแผ่นเหล็กกลมที่ปลายสายพานส่งแผ่นเหล็กกลม เมื่อพร้อมที่จะส่งให้เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติป้อนชิ้นงานทำงาน เมื่อชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติทำงานเสร็จ และตรวจสอบสถานะตำแหน่งเริ่มต้นแล้วจะสั่งให้เครื่องปั๊มขึ้นรูปทำงาน รอสัญญาณเครื่องปั๊มขึ้นรูปกลับตำแหน่งเริ่มต้นจึงเริ่มขบวนการป้อนชิ้นงานต่อไป

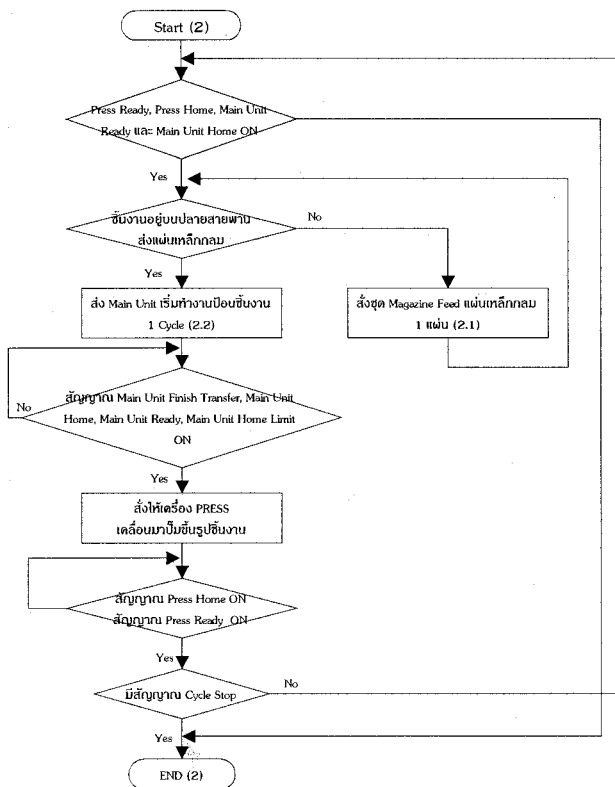
3.3.3 ลำดับการทำงานการควบคุมการทำงานด้วยมือ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ถึง รูปที่ 3.13 เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติและเครื่องป้อนแผ่นเหล็กกลมจะสามารถควบคุมให้ทำงานด้วยมือได้ก็ต่อเมื่อ เครื่องปั๊มขึ้นรูปจะต้องอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นเท่านั้น การควบคุมการทำงานด้วยมือ สามารถเลือกควบคุมการเคลื่อนที่แนวนอน (X-axis operation) และการเคลื่อนที่แนวตั้ง (Y-axis operation) ด้วยปุ่มกดเลือกแกนทำงานการเคลื่อนที่ของแกนที่ขับเคลื่อนด้วยเอซีเซอร์โวมอเตอร์จะไม่เกินระยะทางที่จำกัดด้วยลิมิตสวิทช์



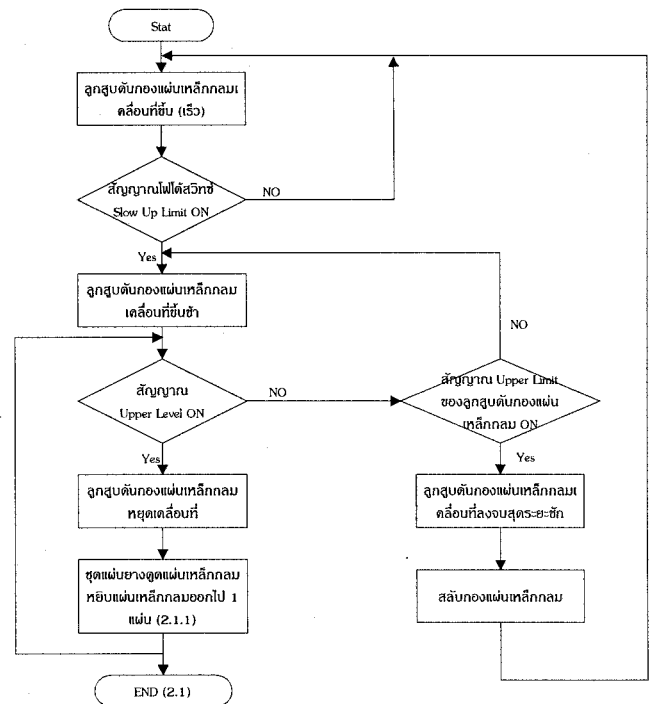
รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ



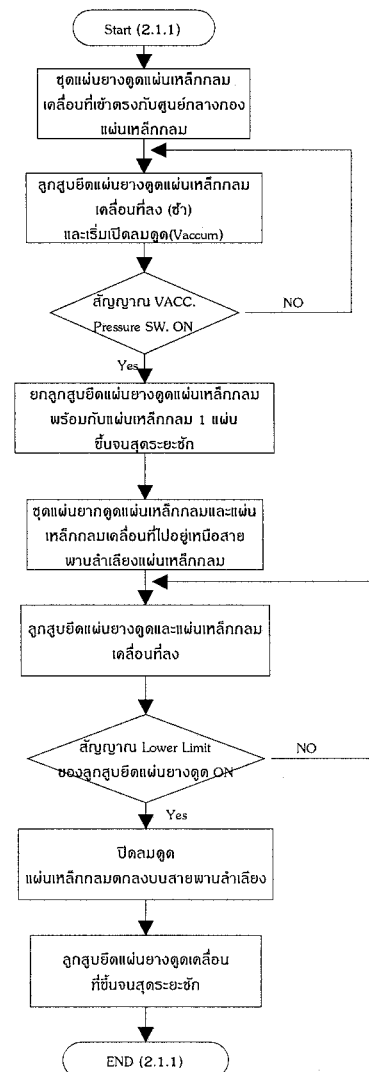
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงลำดับการหาตำแหน่งเริ่มต้น



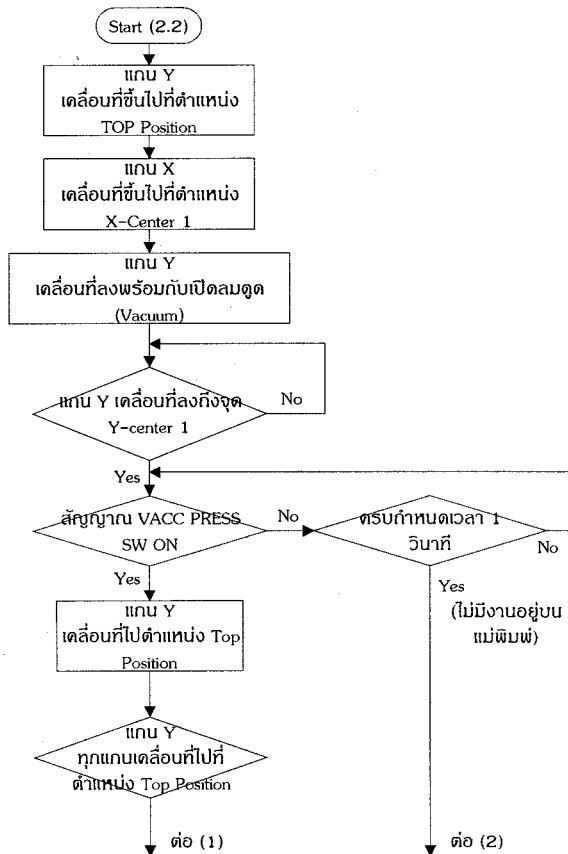
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานการป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ



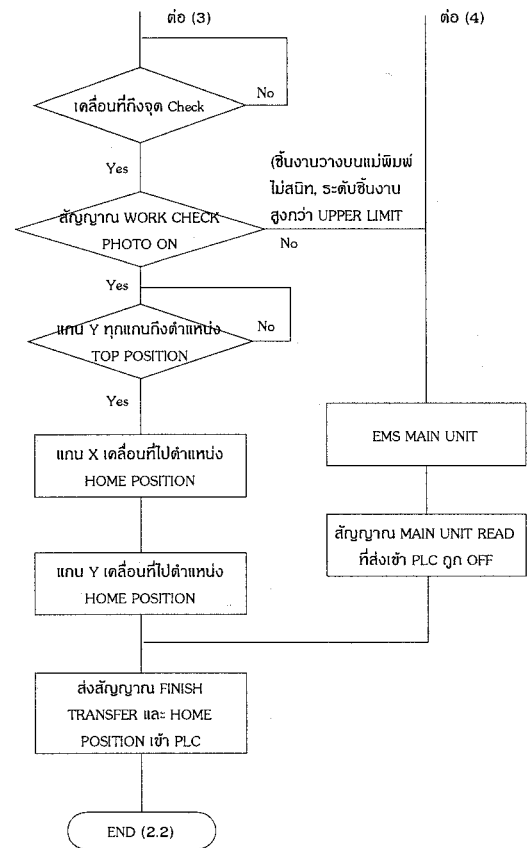
รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานของชุดป้อนแผ่นเหล็กกลมอัตโนมัติ



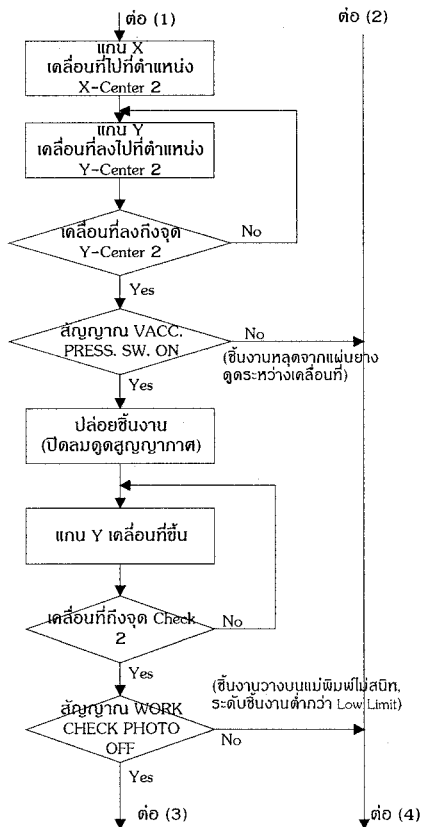
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของชุดป้อนแผ่นเหล็กกลมอัตโนมัติ (ต่อ)



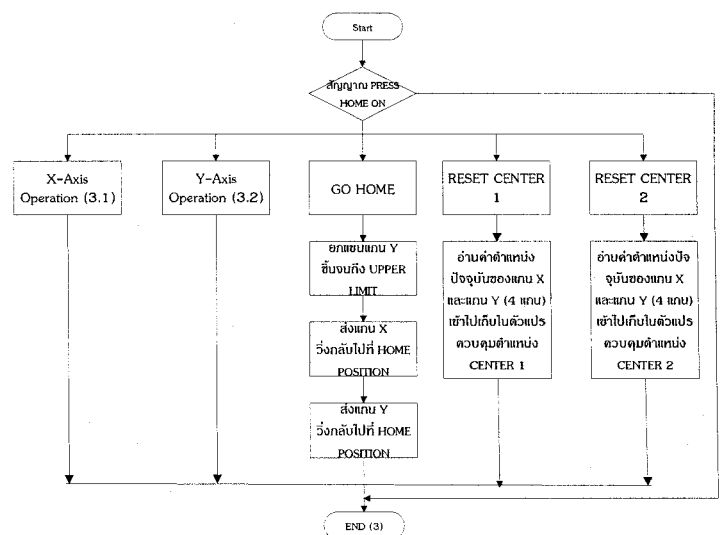
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานของชุดป้อนอัตโนมัติ (ต่อ)



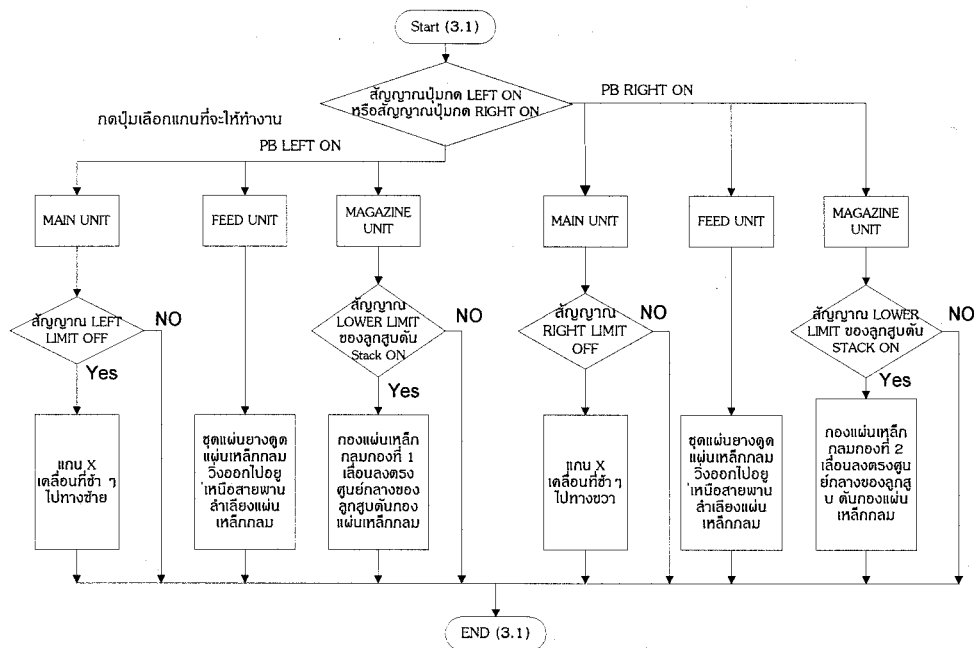
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานของชุดป้อนอัตโนมัติ (ต่อ)



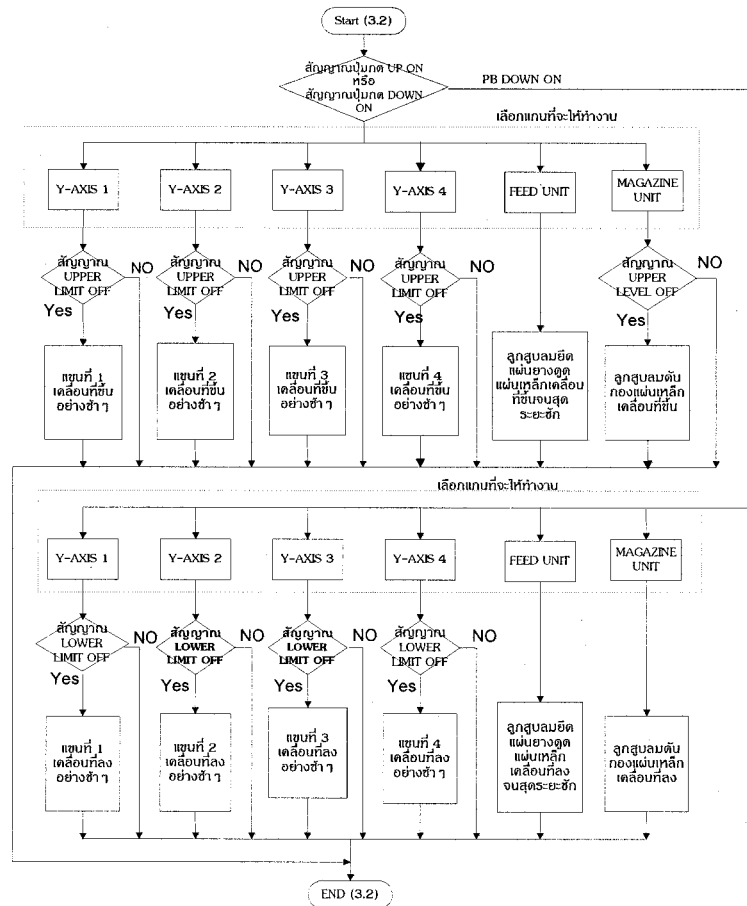
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานของชุดป้อนอัตโนมัติ (ต่อ)



รูปที่ 3.11 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานโดยการควบคุมการทำงานด้วยมือ



รูปที่ 3.12 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานโดยการควบคุมการทำงานด้วยมือของแกน X



รูปที่ 3.13 แผนภูมิแสดงลำดับการทำงานการควบคุมการทำงานด้วยมือของแกน Y

3.4 ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี. (Programmable Logical Controller) เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติใช้ ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี. และโปรแกรมควบคุมทางลอจิก (Logic ladder diagram) ในการควบคุมลำดับการทำงาน (Sequence) ความสัมพันธ์และระบบความปลอดภัยของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบขึ้นมาเป็นเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ให้

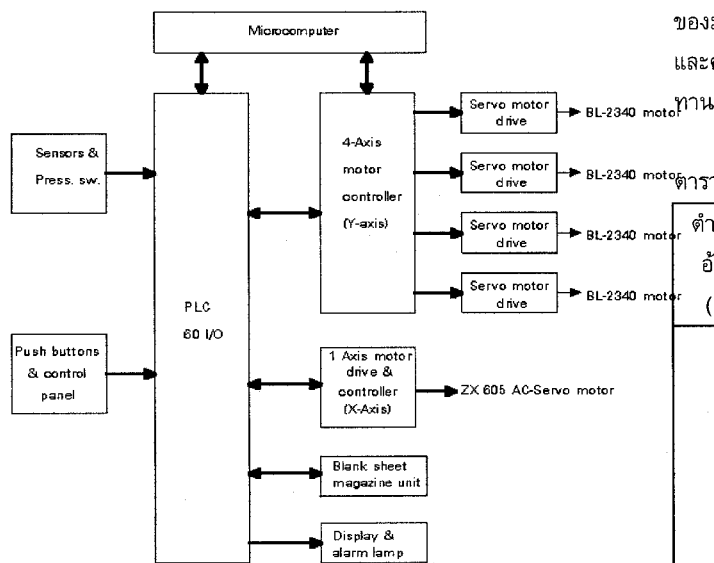
สามารถทำการป้อนชิ้นงานเข้าและออกเครื่องป้อนชิ้นรูปได้สำเร็จ และปลอดภัย

การทำงานของ ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี. จะรับสถานะสัญญาณทางด้านเข้า (Input logic signal) จากเซ็นเซอร์ (Sensor) และอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะมีอยู่ 2 สถานะคือ สถานะเปิด (ON) หรือปิด (OFF)

(Logic 0 หรือ 1) มาทำการประมวลผลทางตรรกศาสตร์ (Logic) ตามโปรแกรมลอจิก (Logic program หรือ Ladder diagram) ที่เขียนไว้ได้ ผลลัพธ์ออกมาปิดหรือเปิด สภาวะทางด้านออก (Output logic signal) เพื่อสั่งให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานหรือหยุดทำงาน แผนภาพแสดงสัญญาณขาเข้าและขาออกของ ตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี. แสดงดังรูปที่ 3.14

4) ผลการทดสอบเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ

ในการทดสอบเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติเราต้องการทดสอบผลการตอบสนองของระบบจริงเปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการออกแบบซึ่งได้แก่ความแม่นยำของการเคลื่อนที่และเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น ซึ่งข้อกำหนดในการออกแบบได้กำหนดไว้ที่ 0.4 มิลลิเมตรและ 9.72 วินาทีตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงสัญญาณขาเข้า และขาออกของตัวควบคุมแบบ พี. แอล. ซี

4.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของตำแหน่งแกน X เพื่อทดสอบหาความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (steady state error) ของ ตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์และเพื่อทดสอบระยะความผิดพลาดเชิงเส้นของภาวะเคลื่อนที่ในแนวแกน X จึงได้ทดลองสั่งให้แกน X เคลื่อนที่ไปหยุดที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงระยะการเคลื่อนที่ 500 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว การเคลื่อนที่ 412 mm/s และวัดตำแหน่งจริงของภาวะตามแนวแกน X ด้วย ลิเนียร์ ออปติคอล เซนเซอร์ (LINEAR OPTICAL SENSOR) ซึ่งมีความละเอียดในการวัดระยะทาง 0.005 มิลลิเมตร ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.1 ความผิดพลาดของตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์สูงสุดเท่ากับ 0.03 เรเดียน และความผิดพลาดของตำแหน่งการเคลื่อนที่เชิงเส้นสูงสุด เท่ากับ 0.070 มิลลิเมตร มีความผิดพลาดตำแหน่งเชิงมุม 0.03 เรเดียน บอลสกรูที่ใช้เป็นขนาด $\varnothing 25 \times 10$ มิลลิเมตร มีความผิดพลาดของตำแหน่งนัดไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตรต่อความยาวบอลสกรู 300 มิลลิเมตร ดังนั้น

ระยะความผิดพลาดเชิงมุม 0.03 เรเดียน

$$= \frac{0.03 \times 10}{2\pi}$$

$$= 0.048 \text{ มิลลิเมตร}$$

ระยะความผิดพลาดเชิงเส้นที่ตำแหน่งเดียวกัน

$$= 0.070 \text{ มิลลิเมตร}$$

ระยะความผิดพลาดเชิงเส้นที่เกิดจากชุดขับเคลื่อน

$$= 0.022 \text{ มิลลิเมตร}$$

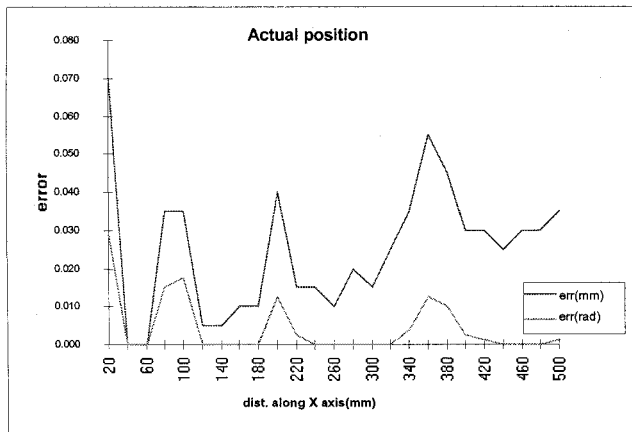
ซึ่งระยะความผิดพลาดที่เกิดจากชุดขับเคลื่อน 0.022 มม.ประกอบ

ด้วยความผิดพลาดของตำแหน่งของบอลสกรู $\varnothing 25 \times 10$ มม.ซึ่งมีความผิดพลาดของตำแหน่งบอลสกรูไม่เกิน 0.025 มม. ต่อความยาวบอลสกรู 300 มม. ระยะฟรีตัว (Backlash) ของบอลสกรู ซึ่งเกิดจากช่องว่างภายในระหว่างเม็ดลูกปัดกับรางวิ่งของบอลสกรู และระยะฟรีตัวตามแนวแกนของตั้บลูกปัดที่รองรับ หัว-ท้าย เฟลาบอลสกรู

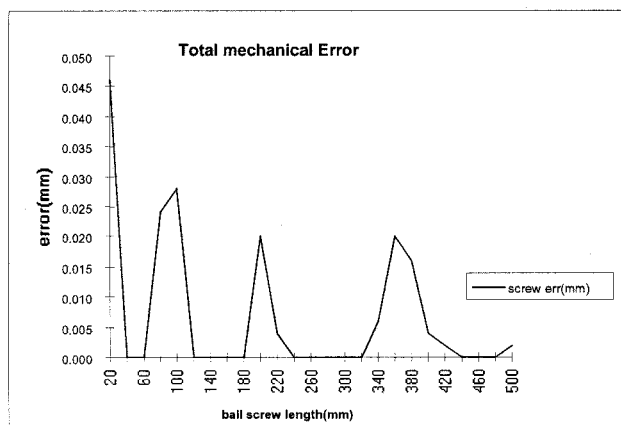
ส่วนความผิดพลาดเชิงมุม 0.03 เรเดียน ประกอบด้วย ความผิดพลาดของมอเตอร์แบบไม่ใช้แปรงถ่าน (กรณีไม่มีภาระ) เท่ากับ 0.0015 เรเดียน และความผิดพลาดจากอุปกรณ์ควบคุม พี. ไอ. ดี อันเนื่องมาจากความเสียด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของตำแหน่งแกน X

ตำแหน่ง อ้างอิง (mm)	ตำแหน่งจริง (mm)	ระยะผิดพลาด เชิงเส้น (mm)	ระยะผิดพลาด เชิงมุม (rad)	ระยะผิดพลาด ของชุดขับเคลื่อน (mm)
20	19.930	0.070	0.029	0.046
40	40.000	0.000	0.000	0.000
60	60.000	0.000	0.000	0.000
80	79.965	0.035	0.015	0.024
100	99.965	0.035	0.018	0.028
120	119.995	0.005	0.000	0.000
140	139.995	0.005	0.000	0.000
160	159.990	0.010	0.000	0.000
180	179.990	0.010	0.000	0.000
200	199.960	0.040	0.013	0.020
220	219.985	0.015	0.003	0.004
240	239.985	0.015	0.000	0.000
260	259.990	0.010	0.000	0.000
280	279.980	0.020	0.000	0.000
300	299.985	0.015	0.000	0.000
320	319.975	0.025	0.000	0.000
340	339.965	0.035	0.004	0.006
360	359.945	0.055	0.013	0.020
380	379.955	0.045	0.010	0.016
400	399.970	0.030	0.003	0.004
420	419.970	0.030	0.001	0.002
440	439.975	0.025	0.000	0.000
460	459.970	0.030	0.000	0.000
480	479.970	0.030	0.000	0.000
500	499.965	0.035	0.001	0.002



รูปที่ 4.1 ความผิดพลาดของตำแหน่งเชิงเส้น และ เชิงมุม ของแกน X



รูปที่ 4.2 ความผิดพลาดของตำแหน่งเชิงเส้นรวม ของแกน X

4.2 เวลาที่ใช้ผลิตเปลือกคอมเพรสเซอร์ต่อชิ้น ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น ประกอบด้วยเวลาทำงานของเครื่องปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ และเวลาทำงานของเครื่องปั๊มชิ้นรูป ซึ่งเท่ากับ 7.32 วินาที และ 1.21 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 เวลา 1 รอบ การผลิตชิ้นงาน

NO.	เวลารวม (S)	เวลาปั๊มชิ้นงาน (S)	เวลา PRESS (S)
1	8.51	7.25	1.26
2	8.47	7.31	1.16
3	8.38	7.34	1.04
4	8.59	7.29	1.3
5	8.55	7.33	1.22
6	8.55	7.39	1.16
7	8.48	7.34	1.14
8	8.58	7.32	1.26
9	8.56	7.29	1.27
10	8.61	7.33	1.28
เฉลี่ย	8.53	7.32	1.21

จะเห็นว่าเวลาเฉลี่ยที่ทำได้จริง 8.53 วินาที เร็วกว่าเวลาที่กำหนดไว้ในแผนภาพการเคลื่อนที่ (9.72 วินาที) ทั้งนี้เนื่องมาจากการได้มีการปรับให้ความเร็วและอัตราเร่ง ของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น เพื่อใช้แรงบิดมอเตอร์ ในส่วนที่เป็นค่าเผื่อแรงบิด (Torque margin) อย่างเต็มที่ เพื่อเพิ่มยอดผลิตชุดเซยส่วนที่ขาดไป เนื่องจากในการออกแบบได้ประเมินกำลังการผลิตของเครื่องปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติไว้ที่ 2500 ชิ้น/ผลัด แต่ในงานผลิตจริงผลิตชิ้นงานเฉลี่ยได้เพียง 2,354 ชิ้น/ผลัด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ยอดผลิตชิ้นงานจริงต่อผลัด

NO.	ยอดผลิต/ผลัด (ชิ้น)
1	2310
2	2310
3	2350
4	2080
5	2480
เฉลี่ย	2354

ยอดผลิตตามเวลา 1 รอบ การผลิตชิ้นงาน = $3600 \times 7.5 / 8.53$
= 3165 ชิ้น

สาเหตุที่ความสามารถในการผลิตจริงต่ำกว่าความสามารถในการผลิตประเมิน เนื่องจากมีปัญหาการสูญเสียเวลาการตั้งแม่พิมพ์ตอนเปลี่ยนรุ่นผลิตมากกว่าปกติ เนื่องจากตัวเครื่องปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติ วางขบวนการทำงานอยู่ซึ่งต้องแก้ไขเวลาต่อไป และเวลาสูญเสียอีกส่วนหนึ่งมาจากเวลาที่ต้องใช้สลับกองแผ่นเหล็กกลม (Blank sheet stack) ช่วงเวลาของแผ่นเหล็กกลมหมดกอง

5) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติจากห้องปฏิบัติการ ไปสู่การใช้งานจริงโดยได้ทำการสร้างเครื่องปั๊มชิ้นงานเปลือกคอมเพรสเซอร์ตู้เย็นเข้าและออกจากเครื่องปั๊มชิ้นรูปขนาดใหญ่ เพื่อช่วยทำงานแทนคนในงานที่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุสูง

ในการออกแบบมีข้อกำหนดจากการใช้งานจริงที่ต้องคำนึงคือความแม่นยำของตำแหน่งการเคลื่อนที่ และความสามารถในการผลิตชิ้นงาน/ผลัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตรและ 2,500 ชิ้น/ผลัด ตามลำดับ งานวิจัยได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนของการสร้างชุดทดลองเพื่อดูหลักการทำงานแนวความคิดในการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมมอเตอร์เช่น ผลการตอบสนอง ความแม่นยำของตำแหน่ง การออกแบบค่าเกนควบคุมที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำการสร้างชุดจริงซึ่งนำผลจากการทดสอบชุดทดลอง มาปรับปรุงใช้ และเพิ่มส่วนของความเชื่อถือได้ (Reliability) ความทนทานและง่ายต่อการบำรุงรักษา และระบบความปลอดภัย ผลการทดสอบชุดจำลองและชุดปั๊มชิ้นงานอัตโนมัติสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ส่วนของชุดทดลอง (Prototype) จากผลของการทดสอบชุดทดลอง ที่ความเร็วการเคลื่อนที่ 117.8 rad/s (300 mm/s) พบว่าค่าขยายหรือเกนควบคุมที่เหมาะสมคือ $K_p=547$, $K_i=1288$, $K_d=4.5$ จากค่าเกนชุดดังกล่าวพบว่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ระหว่างการเดินมีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าค่าที่เรากำหนดเอาไว้คือ 0.137 มิลลิเมตร

แต่อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้งานของเครื่องป้อนชิ้นงานเป็นการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด (Point to point) เราจะสนใจค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ที่สภาวะสิ้นสุดมากกว่า ซึ่งความผิดพลาดของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุดของชุดทดลองมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากผลการควบคุมแบบโอ. ช่วยขจัดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะสิ้นสุดให้หมดไป

5.1.2 ส่วนของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ จากการทดสอบเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ ความผิดพลาดเชิงมุมของแกนมอเตอร์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.03 เรเดียน และความผิดพลาดเชิงเส้นรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.07 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าข้อกำหนด ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร ความผิดพลาดของตำแหน่งเกิดจากระยะฟรีตัว (BACK LASH) ระหว่างลูกปืนกับรางวิ่งของบอลสกรู และระยะฟรีตัวตามแนวแกนของตับลูกปืนรองรับเพลาลูกบอล ความผิดพลาดของตัวมอเตอร์และแรงเสียดทาน

ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติสามารถป้อนชิ้นงาน 1 ชิ้นได้เสร็จภายในเวลา 7.32 วินาที และเวลาผลิตชิ้นงานต่อชิ้น ที่รวมการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานเท่ากับ 8.53 วินาที ซึ่งน้อยกว่าข้อกำหนดที่กำหนดไว้เป็น 8 วินาที และ 9.72 วินาทีตามลำดับ แต่ความสามารถในการผลิตจริงต่อผลผลิตเท่ากับ 2,354 ชิ้นซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดที่กำหนดไว้เป็น 2,500 ชิ้น เวลาสูญเสียส่วนมากเกิดจาก เวลาในการตั้งแม่พิมพ์ตอนเปลี่ยนรุ่นการผลิต ซึ่งต้องแก้ไขต่อไป

เครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติที่สร้างประกอบด้วยชุดเคลื่อนที่แนวตั้ง 4 ชุดและแกนนอน 1 ชุด ขับด้วยเอช. ซี.เซอร์โวมอเตอร์ แบบไม่ใช้แปรงถ่าน ทั้ง 2 แกน การควบคุมตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์ใช้การควบคุมแบบพี.ไอ.ดี ซึ่งกระทำบนชุดโปรแกรมควบคุมทางเดิน ที่อยู่ในชุดเดียวกับชุดขับเคลื่อน ลำดับการทำงานของเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติและระบบควบคุมความปลอดภัย ควบคุมโดยตัวควบคุมแบบพี.แอล.ซี (PLC) การติดต่อกับชุดควบคุมมอเตอร์และชุดควบคุม พี.แอล.ซี และการแสดงผล กระทำผ่านไมโครคอมพิวเตอร์และพอร์ทอนุกรม การเปลี่ยนรุ่นการผลิตสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดความคล่องตัวในสายการผลิตเลือกหุ้มคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น

5.2 ข้อเสนอแนะ ถึงแม้ว่าการวิจัยครั้งนี้จะสามารถสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติสำเร็จ และใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ก็มีความต้องการพัฒนาและปรับปรุงดังนี้

5.2.1 เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการสร้างจริงมีมากกว่างบประมาณที่ประเมินไว้ล่วงหน้ามากพอสมควร คือจาก 1.56 ล้านบาท เป็น 1.9 ล้านบาท ดังนั้นการจะนำผลการวิจัยไปพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปควรนำหลักวิชาทางด้านเศรษฐศาสตร์ เข้ามาพิจารณาร่วมด้วย

5.2.2 อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ควบคุมเฉพาะตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์เท่านั้น ไม่ได้ควบคุมตำแหน่งที่จุดปลายคือภาระโดยตรง ทำให้ต้องเลือกใช้อุปกรณ์เปลี่ยนแนวการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นที่มีความแม่นยำสูงและราคาแพง ในการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม หรืองานที่ต้องการความแม่นยำของตำแหน่งจุดปลายมากกว่านี้ จำเป็นต้องใช้การป้อนกลับของตำแหน่งของจุดปลายโดยตรง เช่นใช้ ลิเนียร์ ออฟ ดีคัล เซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ป้อนกลับตำแหน่งในรูปควบคุมเป็นต้น

5.2.3 งานสร้างเครื่องป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ เกิดความล่าช้ากว่าแผนงานที่กำหนดไว้มาก คือ จาก 1 ปีเป็น 2 ปี เนื่องจากขาดการวางแผนการสร้าง และการประกอบที่ดี มีความเสียหาย มีการแก้ไขค่อนข้างมาก ทำให้เสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

เอกสารอ้างอิง

- 1) วรศักดิ์ มาร์ตัน, การควบคุม พี.ไอ.ดี ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กด้วยแปลงไฟ, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2531
- 2) วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, "การควบคุมระบบพลศาสตร์", พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- 3) William J. Palm, CONTROL SYSTEMS ENGINEERING, John Wiley & sons, Inc, Canada, 1986
- 4) Parker Hannifin Corporation, POSITIONING CONTROL SYSTEM AND DRIVE 1992-1993 CATALOG, Compumotor Division, CA., USA., 1992
- 5) สุพรรณ กุลพาณิชย์, PROGRAMMABLE CONTROLLER เทคนิคและการใช้งานเบื้องต้น, โรงพิมพ์ ทิพย์สุพรรณ, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2533
- 6) ดร.จำลอง ลิมตระกูล, การออกแบบเครื่องจักรกล, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, พ.ศ. 2533
- 7) OMRON Corporation, SYSMAC Mini H-type PCs OPERATION MANUAL, OMRON, 1990