รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยการใช้หุ่นยนต์

Improvement of aluminium die casting process using robot

นายอภิสิทธิ์ เอี่ยมจำปา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยการใช้หุ่นยนต์
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายอภิสิทธิ์ เอี่ยมจำปา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา**วิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.อุนนัต พิณโสภณ
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายวรรณวินิต วิจิตรเตมีย์
สถานประกอบการ บริษัท ไพโอเนียร์ มอเตอร์ จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ภายในแผนกฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมของบริษัท ไพโอเนียร์มอเตอร์ จำกัด (มหาชน) มีสภาวะการทำงานที่ค่อนข้างเสี่ยงอันตรายจากความร้อนและสารเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ทำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานเกิดการลาออก และรับเข้าใหม่อยู่เสมอ ส่งผลให้กระบวนการผลิตไม่มีความต่อเนื่อง การวิจัยพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยการใช้หุ่นยนต์จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์ที่ผลิตด้วยการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมของบริษัท ไพโอเนียร์มอเตอร์ จำกัด (มหาชน) เพิ่มความปลอดภัยแก่พนักงานผู้ที่ปฏิบัติงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียม และเป็นการเริ่มต้นพัฒนาระบบอัตโนมัติภายในสายการผลิตของบริษัท โดยใช้หุ่นยนต์แขนกลมือสองมาออกแบบและติดตั้งชุดมือจับชิ้นงานและหัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ 2 หัว ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลกับเครื่องฉีดอลูมิเนียมด้วย PLC ตรวจจับชิ้นงานด้วยโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ ผลการทดลองใช้งานหุ่นยนต์แขนกลในการผลิตฝามอเตอร์โมเดล W223-9857 สามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์จาก 72.97 วินาทีต่อรอบ ให้เหลือ 61.18 วินาทีต่อรอบ ลดเวลาได้ 11.79 วินาที เท่ากับ 16.16% ทำให้การผลิตชิ้นงานจากที่เคยผลิตได้ 600 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้นเป็น 715 ชิ้นต่อวัน มีระยะเวลาคืนทุน 4.91 เดือน

คำสำคัญ : กระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียม, หุ่นยนต์แขนกล, PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Improvement of aluminium die casting process using robot

Student intern name: Mr. Apisit Aiemjumpa

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Advisor name: Asst.Prof.Dr. Unnat Pinsopon

Mentor name: Mr. Wanwinit Wijittemee

Company: Pioneer Motor Public Company Limited

ABSTRACT

In aluminium die casting section of Pioneer Motor Public Company Limited has working condition that is quite dangerous from heat and chemical substance in the production process, causing the worker resign and always re-enter resulting in discontinuous production process. Improvement of aluminium die casting process using robot is increasing the motor parts production capacity in aluminium die casting process of Pioneer Motor Public Company Limited and safety of operator in this section. This project is the beginning of the development of automation in the company's production line. Gripper and spray nozzle were designed for installation on second hand articulated arm robot. Robot and die casting machine were controlled by PLC and parts were checked by photoelectric sensor. The experimental results of using articulated arm robot in aluminium die casting process to manufacture end head of motor model W223-9857 can reduce time in process from 72.97 seconds per cycle to 61.18 second per cycle as time decrease 11.79 seconds equals 16.16%. Production capacity increases from 600 pieces per day to 715 pieces per day and payback in 4.91 month.

Keywords : Aluminium die casting process, Articulated arm robots, PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยการใช้หุ่นยนต์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยการสนับสนุนจากอาจารย์อุนนัต พิณโสภณ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่จนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นายวรรณวินิต วิจิตรเตมีย์ และพนักงานในแผนก R&D and IE รวมถึงพนักงานท่านอื่นๆภายในบริษัท ไพโอเนียร์มอเตอร์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความร่วมมือ คำแนะนำ และมอบหมายงานให้ได้ศึกษาและลงมือปฏิบัติอย่างจริงจัง ตลอดการทำสหกิจศึกษา จนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

คุณค่าและประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้ ขออุทิศแด่ บิดา มารดา ของผู้วิจัย และ เพื่อนๆ ซึ่งคอยให้กำลังใจในการทำวิจัยและอยู่เคียงข้างกันเสมอมา

อภิสิทธิ์ เอี่ยมจำปา

ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1
1.3 ขอบเขตขอการวิจัย.....2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Die Casting Process).....3
2.1.1.1 น้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ (Mould Release Agent).....4
2.1.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....5
2.1.2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์.....9
2.1.2.2 ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....13
2.1.3 การออกแบบมือจับชิ้นงาน.....13
2.1.4 PLC (Programmable Logic Controller) เบื้องต้น.....14
2.1.4.1 ประเภทของ PLC.....15
2.1.4.2 อุปกรณ์อินพุต.....16
2.1.4.3 อุปกรณ์เอาต์พุต.....18
2.1.4.4 Ladder Diagram และคำสั่งพื้นฐาน.....21
2.1.5 การคิดเวลาทำงาน การจับเวลา.....23
2.1.5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการทำงานที่จะศึกษาเวลา.....25
2.1.5.2 การแบ่งงานเป็นงานย่อย (Dividing Operation into Element).....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5.3 สังเกตและจับเวลาการทำงานของพนักงาน....25
2.1.5.4 หาจำนวณครั้งในการจับเวลา....25
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....27

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....29
3.1 เก็บข้อมูลการทำงานในกระบวนการ Die Casting....29
3.1.1 ขั้นตอนการทำงาน....31
3.1.2 เวลาการทำงาน....32
3.2 ออกแบบหุ่นยนต์และอุปกรณ์เพิ่มเติม....33
3.2.1 การเลือกหุ่นยนต์....33
3.2.2 ออกแบบฐานรองรับหุ่นยนต์....36
3.2.3 ออกแบบมือจับชิ้นงาน....37
3.2.4 ออกแบบอุปกรณ์เพิ่มเติม....41
3.3 การติดตั้ง....42
3.3.1 วัดพื้นที่ในแผนกฉีดอลูมิเนียม....42
3.3.2 กำหนดพื้นที่สำหรับติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ....43
3.3.3 ความปลอดภัยของตัวหุ่นยนต์....44
3.3.4 ระบบลมและน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์....45
3.3.5 ภาพรวมการติดตั้ง....47
3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และเครื่องฉีดอลูมิเนียม....48
3.4.1 เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และชุดจับชิ้นงาน....48

บทที่ 4 ผลการวิจัย....53
4.1 ผลการทำงานของหุ่นยนต์....53
4.2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างหุ่นยนต์และแรงงานคน....55
4.3 งบประมาณและความคุ้มทุน....56

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....57
5.1 สรุปผลการวิจัย....57
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย....57
5.3 ข้อเสนอแนะ....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....59

ภาคผนวก.....60

ภาคผนวก ก. ออกแบบมือจับชิ้นงาน หัวพ่นน้ำยาพ้นหน้าแม่พิมพ์ และอุปกรณ์อื่น ๆ.....61

ภาคผนวก ข. Ladder diagram.....75

ภาคผนวก ค. งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย.....80

ประวัติผู้เขียน.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1-1 วิธีการดำเนินการวิจัย....2
2-1 แกนต่างๆของหุ่นยนต์ (Robot axes)....5
2-2 ระบบโคออร์ดิเนทต่างๆของหุ่นยนต์....6
2-3 สัญลักษณ์ต่างๆสำหรับแสดง Robot....6
2-4 การออกแบบหุ่นยนต์....7
2-5 หลักการเขียน Ladder Diagram....22
3-1 ข้อมูล Part ที่ทำการขึ้นเครื่อง Die Casting Machine....30
3-2 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปโดยแรงงานคน....32
3-3 ข้อมูลทั่วไปของหุ่นยนต์....33
3-4 โซลินอยด์วาล์วและชุดกรองลม....46
3-5 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์....50
3-6 ตัวอย่างคำสั่งการเคลื่อนที่....52
4-1 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมโดยหุ่นยนต์....55
4-2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	กระบวนการฉีดขึ้นรูป	4
2-2	องค์ประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์	9
2-3	ตัวอย่าง Programming Pendent ของหุ่นยนต์ยี่ห้อ Yaskawa XRC UP20	9
2-4	องค์ประกอบของระบบควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ	11
2-5	โครงสร้าง Link ของ Articulate Robot	12
2-6	ข้อต่อของ Articulate Robot	12
2-7	มือจับชิ้นงาน	14
2-8	PLC	15
2-9	องค์ประกอบต่างๆของ PLC	15
2-10	โครงสร้างของสวิตช์ทางกล	16
2-11	สวิตช์ Push Button และลิมิตสวิตช์	16
2-12	โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์	17
2-13	หลักการทำงานเบื้องต้นของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์	17
2-14	โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบตัวรับ/ตัวส่งแยกกัน	17
2-15	โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบใช้แผ่นสะท้อนแสง	18
2-16	โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบตรวจจับวัตถุโดยตรง	18
2-17	ตัวอย่างวาล์วพร้อมโซลีนอยด์	19
2-18	การทำงานของวาล์ว 3/2 ปกติปิดเลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง	19
2-19	วาล์ว 3/2 ปกติปิดเลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง	19
2-20	การทำงานของวาล์ว 5/2 เลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง	20
2-21	วาล์ว 5/2 เลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง	20
2-22	วงจรเอาต์พุตรีเลย์ของ PLC	20
2-23	รีเลย์ไฟฟ้า	21
2-24	ส่วนประกอบและสัญลักษณ์รีเลย์ไฟฟ้า	21
2-25	คำสั่งพื้นฐาน Ladder Diagram	21
2-26	การกระจายตัวปกติของ Gauss	26
3-1	ส่วนประกอบมอเตอร์ที่โครงสร้างภายนอกเป็นอลูมิเนียมหล่อ	29
3-2	โรเตอร์ที่ผ่านกระบวนการฉีดอลูมิเนียม	29
3-3	ขั้นตอนการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์โดยใช้แรงงานคน	31
3-4	แกนต่างๆของหุ่นยนต์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-5	ขนาดของฐานหุ่นยนต์	35
3-6	พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์	35
3-7	ฐานรองรับหุ่นยนต์	36
3-8	Plot of critical stress	36
3-9	กระบอกลม gripper AIRTAC	37
3-10	ตัวอย่างชิ้นงานฝามอเตอร์	37
3-11	การออกแบบมือจับชิ้นงาน	38
3-12	การใช้งานมือจับชิ้นงาน	38
3-13	จำลองแรงที่กระทำกับนิ้วจับชิ้นงาน	39
3-14	simulation วิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของมือจับชิ้นงานและการเสียรูปของวัสดุ โดยโปรแกรม SOLIDWORKS	39
3-15	แรงที่กระทำกับแขน Gripper เมื่อวางตัวในแนวขนานพื้น	40
3-16	แสดง Free Body Diagram ของ Steel Pipe ที่หน้าตัด A – A	41
3-17	รั้วกั้น	41
3-18	รางสไลด์ชิ้นงาน	42
3-19	การวางผังในแผนกฉีด	43
3-20	จำลองการติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆในโปรแกรม SOLIDWORKS	43
3-21	จัดทำเสื้อคลุมกันความร้อนสำหรับหุ่นยนต์แขนกล	44
3-22	ข้อมูลผ้ากันความร้อน	44
3-23	แบบวงจร Pneumatic	45
3-24	sequence diagram การควบคุมระบบ Pneumatic	45
3-25	แสดงพื้นที่ก่อนและหลังการติดตั้ง	47
3-26	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดอลูมิเนียมและหุ่นยนต์	48
3-27	ปุ่มควบคุมบน Programming pendant	49
3-28	การขยับหุ่นยนต์	49
3-29	ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรมบน Programming pendant	52
4-1	ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์	53
4-2	หุ่นยนต์แขนกลจับชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์	54
4-3	หุ่นยนต์แขนกลพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ที่แม่พิมพ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4-4 เซนเซอร์ตรวจสอบว่าชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์.....54
4-5 กราฟเปรียบเทียบการทำงานระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มอเตอร์เป็นชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในชีวิตประจำวันเช่น ปั๊มน้ำ เครื่องปรับอากาศ พัดลม และเป็นต้นกำลังในเครื่องจักรทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมการผลิตมอเตอร์จึงเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่ง มอเตอร์ที่ถูกผลิตขึ้นนั้นจะต้องมีคุณภาพดีได้มาตรฐานและราคาถูก มีความหลากหลายในการใช้งานในประเภทต่างๆเพื่อตอบสนองต่อกลุ่มลูกค้าที่ผลิตสินค้าที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบต่างกัน ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมอเตอร์มีการแข่งขันสูงขึ้นมีคู่แข่งทั้งบริษัทในประเทศไทยและต่างประเทศ เมื่อมีการแข่งขันสูงทุกบริษัทก็ต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองให้มีคุณภาพดีมากขึ้น รวมถึงการจัดส่งสินค้าอย่างรวดเร็วตามกำหนดเวลา

บริษัท ไพโอเนียร์ มอเตอร์ จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทผลิตมอเตอร์ชั้นนำของไทยและมักได้รับเลือกจากลูกค้าให้เป็นผู้ส่งมอบมอเตอร์ไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ รวมถึงมอเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปและเครื่องสูบน้ำ มีการขยายสายการผลิตอย่างต่อเนื่องและมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในกระบวนการการผลิตมอเตอร์ ปัจจุบันบริษัท ไพโอเนียร์ มอเตอร์ จำกัด (มหาชน) มีปัญหาการลาออก-เข้าใหม่ของพนักงานในแผนกฉีดอลูมิเนียมที่ทำให้การผลิตดำเนินการไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์ค่อนข้างมีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการทำงาน ทั้งอุบัติเหตุและการเจ็บป่วยจากสะเก็ดอลูมิเนียมหลอมเหลวที่กระเด็นในขณะทำการฉีด การได้รับความร้อน หรือแก๊สและฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน จึงได้มีโครงการที่จะนำหุ่นยนต์เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและเพิ่มกำลังในการผลิตเพื่อรองรับการสั่งซื้อที่มากขึ้น ทั้งยังทำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานเกิดความปลอดภัยในการทำงานมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์โดยใช้หุ่นยนต์ให้ทำงานทดแทนแรงงานคน ลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตในอนาคต

1.2.2 เพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วางผังการติดตั้งหุ่นยนต์เพื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์ในพื้นที่ที่เหมาะสม

1.3.2 ออกแบบและจัดทำเครื่องมือสำหรับติดที่ปลายแขนหุ่นยนต์ เพื่อจับชิ้นงานออกจากเครื่องฉีดอลูมิเนียมและพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ไปที่แม่พิมพ์เมื่อฉีดเสร็จ

1.3.3 ติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ที่แผนกฉีดอลูมิเนียมบริเวณเครื่องฉีดอลูมิเนียม 280 ตัน

1.3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

ตารางที่1-1 วิธีการดำเนินการวิจัย

No.	Topic	time															
		AUGUST				SEPTEMBER				OCTOBER				NOVEMBER			
1	ศึกษาการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียม																
2	วัดพื้นที่และทำ layout ในแผนกฉีดอลูมิเนียม																
3	กำหนดประเภทของหุ่นยนต์ที่จะใช้																
4	ออกแบบและสั่งทำชิ้นส่วนเพิ่มเติมสำหรับการทำงานของหุ่นยนต์																
5	เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์																
6	ประเมินผลและสรุป																
7	นำเสนอโครงงาน																
8	ทำรายงาน																

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 หุ่นยนต์ทำงานทดแทนแรงงานคนในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 กระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์มีกำลังการผลิตมากขึ้น

1.5.3 ผู้ปฏิบัติงานมีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

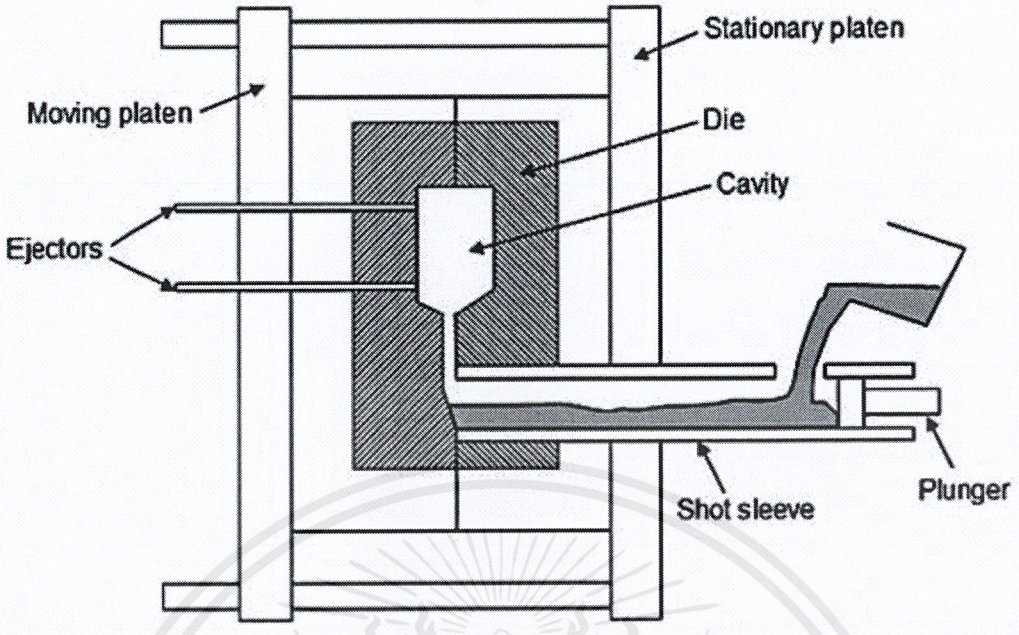
บทที่2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Die Casting Process) [1]

กระบวนการฉีดขึ้นรูป คือกระบวนการหล่อโลหะเช่น เหล็ก อลูมิเนียม ด้วยแรงดันสูง โดยกระบวนการเริ่มจากการเทโลหะเหลวลงในช็อตสลีฟ (shot sleeve) จากนั้นลูกสูบ (plunger) ก็จะเคลื่อนที่เพื่อผลักโลหะเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยในช่วงแรกจะผลักให้โลหะเหลวเคลื่อนที่ช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อโลหะเหลวเคลื่อนที่ไปถึงทางเข้า (gate) แล้วลูกสูบจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นเพื่อ ผลักโลหะเหลวให้เติมเต็มโพรงแม่พิมพ์อย่างรวดเร็วซึ่งขั้นตอนนี้เองทำให้เกิดการกักตัวของอากาศ (air entrapment) ในเนื้อโลหะและนำมาซึ่งปริมาณรูพรุนที่ค่อนข้างสูงในชิ้นงานหล่อเมื่อโลหะเหลวเติมเต็มโพรงแม่พิมพ์เสร็จแล้ว ลูกสูบจะส่งแรงกดอัด (intensification pressure) (สูงสุดถึงประมาณ 120 MPa) เพื่อส่งเนื้อโลหะเข้าไปในโพรงแม่พิมพ์เพิ่มเติมเพื่อลดการเกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อที่เกิดจากอากาศที่กักตัว (entrapped air) ในเนื้อโลหะและการหดตัวเนื่องจาก การแข็งตัว กระบวนการหล่อโลหะด้วยแรงดันสูงเป็นกระบวนการที่เหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่มีผนังบาง (thin-walled) และรูปร่างซับซ้อน นอกจากนั้นการที่สามารถผลิตชิ้นงานหล่อได้รวดเร็ว (ปกติจะใช้เวลาไม่กี่วินาทีหรือไม่เกินหนึ่งนาทีต่อการหล่อแต่ละครั้ง) และค่อนข้างเป็นระบบอัตโนมัติจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ๆ เนื่องจากค่าลงทุนเริ่มต้น (initial cost) ที่สูงสำหรับเครื่องจักรและแม่พิมพ์ แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตแต่ละชิ้น (operating cost) ที่ต่ำ กระบวนการหล่อด้วยแรงดันสูงเป็นกระบวนการหล่อที่ได้รับความนิยมมากโดยชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมเกินกว่า 50% ขึ้นรูปโดยกระบวนการนี้ ข้อจำกัดของกระบวนการหล่อด้วยแรงดันสูงคือ ชิ้นงานหล่อจะมีปริมาณรูพรุนมากกว่าชิ้นงานหล่อจากกระบวนการหล่อแบบอื่นๆ จึงไม่สามารถนำไปผ่านกระบวนการอบชุบ (heat treatment) ตามปกติได้ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานหล่อด้วยแรงดันสูงไม่ดีเท่าชิ้นงานหล่อที่ได้จากกระบวนการอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปอบชุบก่อนนำมาใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป

2.1.1.1 น้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ (Mould Release Agent) [2]

เมื่อทำการฉีดงานเสร็จหน้าแม่พิมพ์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากจะมีระบบหล่อเย็นภายในเครื่องจักรสำหรับลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์แล้ว ยังต้องพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิและหล่อลื่นบริเวณหน้าแม่พิมพ์ด้วย ไม่เช่นนั้นชิ้นงานจะติดหน้าแม่พิมพ์จนเข็มกระทุ้ง (Ejector pin) หัก ทำให้ต้องหยุดซ่อมเครื่อง สูญเสียเวลาในการผลิต น้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์มีหน้าที่หลัก คือ

1. ช่วยหล่อลื่นในการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์(การถอดแบบ)
2. ลดอุณภูมิหน้าแม่พิมพ์หลังกระบวนการฉีด
3. ชำระล้างคราบสิ่งปนเปื้อนที่หน้าแม่พิมพ์หลังการฉีด
4. ช่วยหล่อลื่นในการไหลของน้ำอลูมิเนียมขาเข้าแม่พิมพ์

ปัจจุบันน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ (Die Casting Mold Release Agent) หลักๆมี 2 ชนิด ได้แก่

1. ชนิดมีซิลิโคน (Silicone type) คือ ชนิดที่มีส่วนผสมของซิลิโคนเป็นหลัก เพื่อช่วยในเรื่องของการหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูง

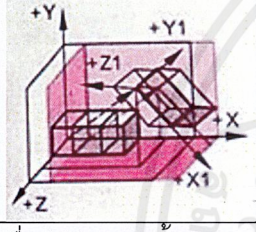
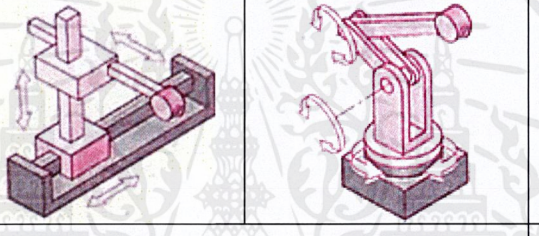
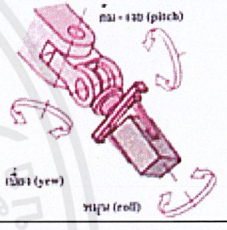
2. ชนิดไม่มีซิลิโคน (Non Silicone type) คือ ชนิดที่ใช้ Additive อื่นๆช่วยในการหล่อลื่นจะด้อยกว่า ซึ่งจะถูกใช้งานกับงานฉีดชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากซิลิโคนที่ตกค้างอาจขัดขวางการนำกระแสไฟฟ้า และชิ้นงานที่ต้องนำไปพ่นสีในกระบวนการต่อไป เนื่องจากซิลิโคนทั่วไปจะเคลือบที่ผิวชิ้นงานทำให้พ่นสีไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม [3,4,5]

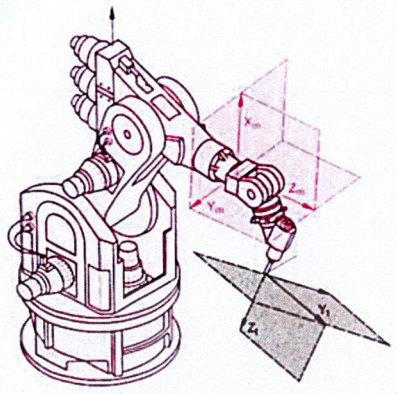
หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ถือเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อการผลิตและเป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มความสามารถในการผลิต หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม เป็นเครื่องจักรกลอัตโนมัติอีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกออกแบบและสร้างมาเพื่อนำมาใช้ทดแทนคนในกระบวนการผลิตต่างๆหรือนำมาใช้เพื่อช่วยในกระบวนการผลิตในลักษณะหุ่นยนต์ทำงานร่วมกับคน ซึ่งหุ่นยนต์ที่ถูกสร้างมามีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการนำมาประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่2-1 แกนต่างๆของหุ่นยนต์ (Robot axes)

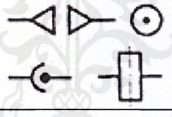
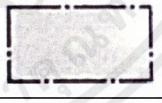
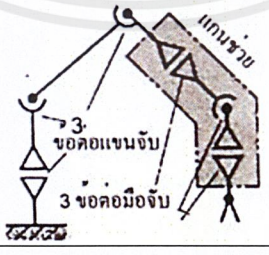
<table>
<tr><td>ระบบโคออร์ดิเนท
(Coordinate system)</td><td colspan="2">แกนหลักของหุ่นยนต์และการกำหนดตำแหน่ง
(Robot main axes for positioning)</td><td>แกนช่วยของหุ่นยนต์สำหรับการทำงาน
(Robot auxiliary axes for orientation)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">เพื่อปรับชดเชยชิ้นงานหรือคมตัดในห้องว่างจำเป็นต้องใช้
• องศาความเป็นอิสระ 3 ทิศทาง สำหรับกำหนดตำแหน่ง และ
• องศาความเป็นอิสระ 3 ทิศทาง สำหรับการทำงาน</td><td colspan="2">เพื่อให้ได้จุดที่กำหนดในห้องว่างจะต้องใช้ Robot ที่มีแกนหลัก 3 แกน</td><td>Robot แบบมีแกนช่วย 3 แกนสำหรับการทำงานในห้องว่าง</td></tr>
<tr><td>Cartesian robots</td><td>แขน robot แบบเป็นข้อ</td><td rowspan="2">• R (หมุน)
• P (ก้ม-เงย)
• Y (เบี่ยง)</td></tr>
<tr><td>แกนเคลื่อนที่ตามยาว 3 แกน (T-axes) กำหนดให้เป็น X, Y และ Z</td><td>แกนหมุน 3 แกน (R-axes) กำหนดให้เป็น A, B และ C</td></tr>
</table>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2-2 ระบบโคออร์ดิเนทต่างๆของหุ่นยนต์

	**ระบบโคออร์ดิเนทฐานเครื่อง** อ้างอิงกับ • ระดับของผิวประกอบสำหรับระนาบ X-Y • ศูนย์กลางของ Robot สำหรับแกน Z
	ระบบโคออร์ดิเนทของหน้าแปลนเครื่อง จะอ้างอิงปลายสุดของแกน Z
	ระบบโคออร์ดิเนทของเครื่องมือ จุดเริ่มต้นของระบบโคออร์ดิเนทของเครื่องมือ จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางเครื่องมือ TCP (Tool Center Point) ความเร็วของจุดศูนย์กลางเครื่องมือจะอิงกับความเร็วของ Robot และเส้นทางเดินของเครื่องมือ ซึ่งจะเป็นทางโคจรของ Robot

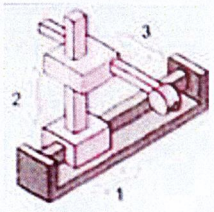
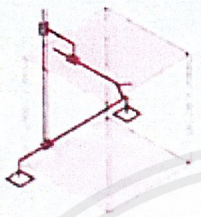
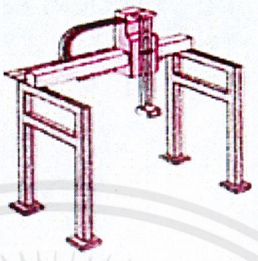
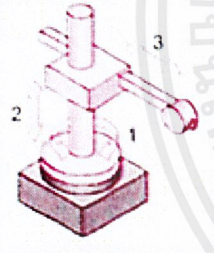
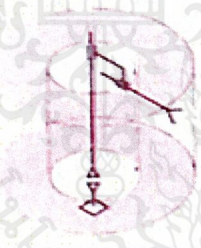
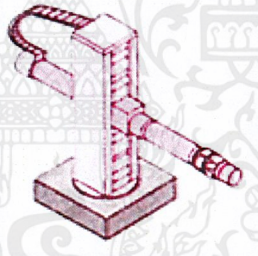
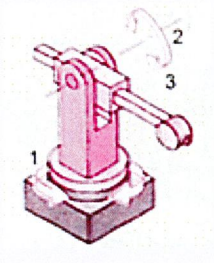
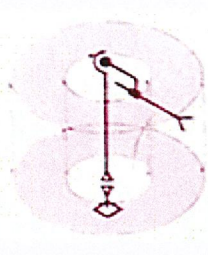
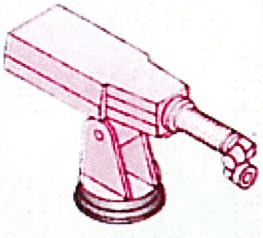
ตารางที่2-3 สัญลักษณ์ต่างๆสำหรับแสดงหุ่นยนต์

ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
แกนเคลื่อนที่ตามยาว (T-axis)[1] การเคลื่อนที่ตามยาวได้ศูนย์(ยืด-หด) การเคลื่อนที่ออกนอกแนวศูนย์	
แกนหมุน (R-axis)[2] การหมุนได้ศูนย์ การหมุนออกนอกศูนย์	
มือจับ	
แกนช่วย (เช่น สำหรับการหมุน, ก้ม-เงย และการเบี่ยง)	
ตัวอย่าง RRR Robot	

[1] Translation = straight line motion [2] Rotation = rotational motion

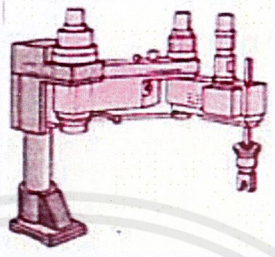
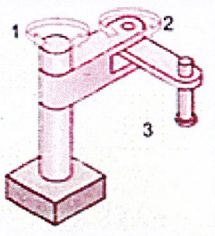
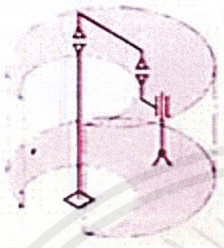
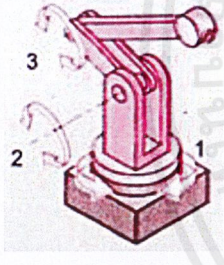
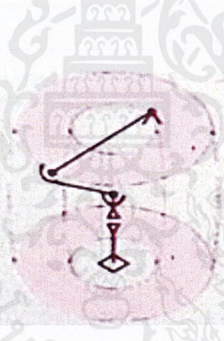
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2-4 การออกแบบหุ่นยนต์

โครงสร้างเชิงกล[1]	การเคลื่อนไหว[2] และพื้นที่ใช้งาน	ตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ, การใช้งาน
Cartesian robots	TTT-Kinematics		แกนหลักต่างๆ : • เคลื่อนที่ตามยาว 3 แกน ขอบข่ายการใช้งาน : • ใช้พื้นที่มาก, ส่วนใหญ่จะใช้ทำงานบนโครงสร้างเหนือศีรษะ • ป้อนคมตัดและชิ้นงานในหน่วยผลิต • การตัดโลหะแผ่นด้วยเลเซอร์หรือแรงดันน้ำ • ทำแผ่นรองรับ
			
Cylindrical robots	RTT-Kinematics		แกนหลักต่างๆ : • หมุน 1 ทิศทาง • เคลื่อนที่ตามยาว 3 แกน ขอบข่ายการใช้งาน : • เหมาะสำหรับงานหนักต่างๆ • เคลื่อนย้ายชิ้นงานหล่อ และทุบขึ้นรูปเหล็ก • เคลื่อนย้ายแผ่นรองรับ และชุดบรรจุเครื่องมือ • ยกและวางของ
			
Polar robot 1	RRT-Kinematics		แกนหลักต่างๆ : • หมุน 2 ทิศทาง • เคลื่อนที่ตามยาว 1 แกน ขอบข่ายการใช้งาน : • ชนิดยืดออกได้ที่แกนที่ 3 ทำให้ทำงานที่ชิ้นงานลึกได้ • เชื่อมจุด และเชื่อมชิ้นงานง่ายๆ เช่นตัวถังรถยนต์ • ยกและวางชิ้นงานที่เครื่อง die casting
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2-4 (ต่อ) การออกแบบหุ่นยนต์

โครงสร้างเชิงกล[1]	การเคลื่อนไหว[2] และพื้นที่ใช้งาน	ตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ, การใช้งาน
Polar robot 2 Type: SCARA[3] robot	RRT-Kinematics		แกนหลักต่างๆ : • หมุน 2 ทิศทางโดยหมุนจุดต่อในแนวระดับ • เคลื่อนที่ได้ 1 แกน ขอบข่ายการใช้งาน : • ส่วนใหญ่จะใช้งานประกอบในแนวตั้ง • เชื่อมจุดและชิ้นงานง่ายๆ • งานยกและวาง
			
Articulated arm robots	RRR-Kinematics		แกนหลักต่างๆ : • หมุนได้ 3 ทิศทาง ขอบข่ายการใช้งาน : • เคลื่อนย้ายในงานประกอบ • การเชื่อมในช่องทางยากๆ • งานพ่นสี • การติดกาว • ใช้พื้นที่น้อยในพื้นที่การทำงานกว้างๆ
			

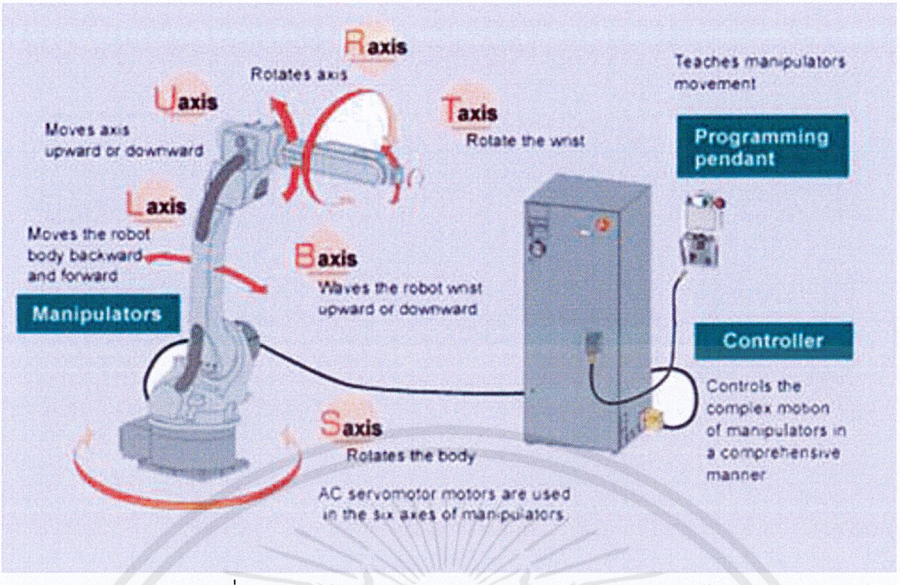
[1] แกนต่างๆจะกำหนดไว้ด้วยตัวเลข โดยแกนที่ 1 คือแกนของการเคลื่อนไหวแรก

[2] R = แกนหมุน ; T = แกนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (ข้อกำหนด R และ T ไม่มีการกำหนดมาตรฐาน)

[3] SCARA = Selective Compliance Assembly Robot Arm

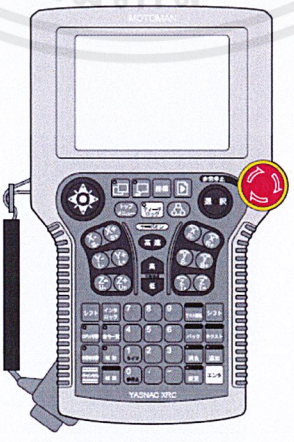
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 องค์ประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์



รูปที่2-2 องค์ประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์

1. Programming Pendant คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการป้อนคำสั่งควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์สั่งให้หุ่นยนต์เกิดการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆที่ต้องการโดยผู้ควบคุม รวมไปถึงทำหน้าที่ในการเขียนโปรแกรมการทำงานของของหุ่นยนต์ ตรวจสอบโปรแกรม, Start/Stop การทำงานของระบบหุ่นยนต์ และยังทำหน้าที่ในการแสดงผลการทำงานต่างๆได้แก่ ข้อความ Alarm, สถานะการทำงานของหุ่นยนต์, Cycle Time ,แสดงข้อมูล Parameter ต่างๆ, จัดเก็บหรือสำรองข้อมูลโปรแกรมการทำงานของตัวหุ่น และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหุ่นยนต์ โดยอุปกรณ์ Programming Pendant จะต้องทำการติดต่อสื่อสารเพื่อส่งและรับข้อมูลต่างๆกับคอนโทรลเลอร์อยู่ตลอดเวลา หุ่นยนต์ทุกตัวจะต้องมีอุปกรณ์นี้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ในปัจจุบันนี้หน้าตาของ Programming Pendant จะแตกต่างกันตามยี่ห้อของผู้ผลิตและได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้งาน



รูปที่2-3 ตัวอย่าง Programming Pendant ของหุ่นยนต์ยี่ห้อ Yaskawa XRC UP20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่2-3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ Programming Pendant ของหุ่นยนต์ยี่ห้อ Yaskawa ซึ่งมีรายละเอียดและปุ่มต่างๆมากมาย ในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับระดับของผู้ปฏิบัติว่ามีการปกป้องระดับของผู้ใช้งานไว้อย่างไร โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตก็จะมีการตั้งค่ามาให้แล้ว เช่น จากตัวอย่างเป็นของ Yaskawa จะมีการตั้งค่าระดับของผู้ใช้งานอยู่ 3 ระดับ ซึ่งในแต่ละระดับก็จะมีการตั้งค่ารหัสผ่านไว้ เพื่อเป็นการปกป้องการใช้งานปุ่มต่างๆ บน Programming Pendant ประกอบด้วย

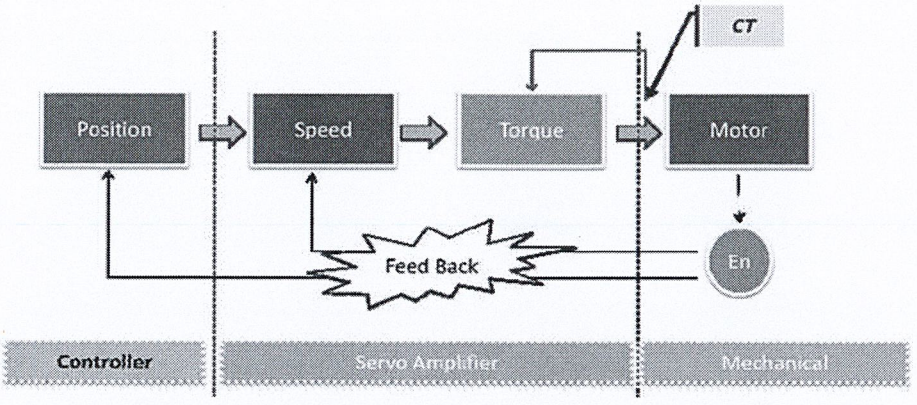
ระดับ Operator คือ กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปที่ไม่เกี่ยวข้องการเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์ ผู้ใช้งานระดับนี้จะสามารถใช้งาน Programming Pendant ได้ในเบื้องต้นเท่านั้น เช่น การสั่ง Start/Stop โปรแกรม และดูการทำงานของโปรแกรม ไม่สามารถแก้ไขหรือกดปุ่มบางปุ่มได้ โดยผู้ใช้ระดับนี้ไม่ต้องใช้รหัสผ่าน

ระดับ Editor คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่ได้รับสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ได้ สามารถทำการเขียนโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ ใช้งานปุ่มคำสั่งต่างๆบน Programming Pendant ได้ แต่จะไม่สามารถเข้าถึงการเปลี่ยนแปลง Parameter ของตัวหุ่นยนต์ได้ ผู้ใช้กลุ่มนี้จะได้รับรหัสผ่านและต้องใช้รหัสผ่านในการเปิดใช้งาน Programming Pendant ระดับ Editor

ระดับ Management คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่ได้รับสิทธิ์ให้สามารถดำเนินการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมหุ่นยนต์ได้ทั้งหมด โดยทั่วไปกลุ่มผู้ใช้งานระดับนี้เมื่อหุ่นยนต์ถูกใช้งานอยู่ในโรงงานจะมีผู้สามารถเข้าถึงได้เพียงไม่กี่คนเท่านั้น เนื่องจากเป็นระดับผู้ใช้งานที่จะต้องทำการรักษาความลับรวมไปถึงการดูแลให้หุ่นยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ผู้ใช้กลุ่มนี้จะได้รับรหัสผ่านและต้องใช้รหัสผ่านในการเปิดใช้งาน Programming Pendant ระดับ Management ซึ่งจะเป็นรหัสผ่านที่ไม่เหมือนกับระดับ Editor

2. Controller & Amplifier Set คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟก่อนเข้า Controller และส่วนที่ รับคำสั่งจากผู้ควบคุม (User) ผ่าน Programming Pendant นำมาประมาณผล เพื่อทำการควบคุมหรือสั่งการทำงานของหุ่นยนต์ โดยทั่วไปเครื่องจักรกลอัตโนมัติทุกรูปแบบจะมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ ชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Unit), ตัวควบคุมการขับเคลื่อน (Drives Unit) และชิ้นส่วนควบคุม (Controller Unit) เมื่อระบบมีการสั่งให้เกิดการทำงาน องค์ประกอบของระบบการทำงานในเครื่องจักรกลอัตโนมัติทั้ง 3 ส่วนจะต้องทำงานในการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันตลอดเวลา เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-4 องค์ประกอบของระบบควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ

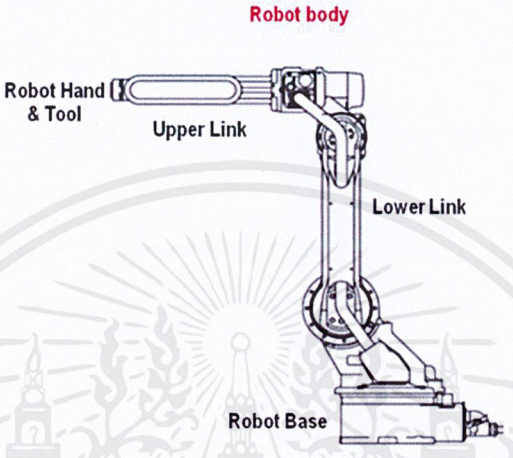
จากรูปที่2-4 แสดงให้เห็นองค์ประกอบของระบบการควบคุมเครื่องจักรกลอัตโนมัติรวมไปถึงระบบการควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ หุ่นยนต์จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่ จึงต้องมีมอเตอร์ (motor) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์นั้นจะอยู่ในส่วนที่เป็นข้อต่อของหุ่นยนต์ สิ่งที่ต้องการในการทำงานของหุ่นยนต์คือหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยสามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ของหุ่นยนต์ให้เร็วหรือช้าได้ด้วยการควบคุมมอเตอร์ นอกจากนี้ตัวหุ่นยนต์เองจะมีน้ำหนักจากอุปกรณ์ประกอบต่างๆรวมถึงน้ำหนักของ Link บนตัวหุ่นยนต์ เป็นภาระของมอเตอร์ มอเตอร์จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมเรื่องของแรงบิด (Torque) เพื่อเอาชนะน้ำหนักและแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดขึ้น และในเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยปกติก็จะต้องมีการหยุดเพื่อทำงานในตำแหน่งต่างๆที่ผู้ควบคุมต้องการ มอเตอร์จึงต้องมีความแม่นยำในการทำงาน สามารถควบคุมตำแหน่ง (Position) เพื่อให้สามารถเคลื่อนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ มอเตอร์ที่นำมาใช้กับระบบหุ่นยนต์จึงต้องเป็นมอเตอร์ชนิดที่สามารถควบคุมได้ คือ Servo Motor ดังนั้นมอเตอร์คือส่วนที่เป็น Mechanical Unit, อุปกรณ์ที่ทำการควบคุมความเร็วและแรงบิดคือ Servo Amplifier หรือ Drives Unit และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการคุมตำแหน่ง (Position) ก็คือส่วนของ Controller Unit และมีเอนโค้ดเดอร์ (En : Encoder) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบเพื่อทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณในการทำงานของมอเตอร์ ให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องในลักษณะของการส่งสัญญาณป้อนกลับ (Feed Back) ระบบการตรวจสอบประมาณกระแส (CT) ที่จ่ายเข้ามอเตอร์เพื่อรักษาความสามารถด้านแรงบิดของมอเตอร์

3. Manipulator คือ ตัวหุ่นยนต์ที่จะทำงานตามคำสั่งที่ผ่านการประมวลผลจาก Controller ในส่วนของ Articulate Robot หรือแขนกล โครงสร้างของหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยท่อนแขน (Link) คือโครงสร้างที่มีหน้าที่ในการเข้าสู่พื้นที่การทำงาน โดยความยาวของ Link จะเป็นตัวบ่งบอกสมรรถนะของตัวหุ่นยนต์และความสามารถในการเข้าสู่พื้นที่การทำงาน หุ่นยนต์อุตสาหกรรมชนิด Articulate Robot จะมี Link อยู่จำนวน 2 Link ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

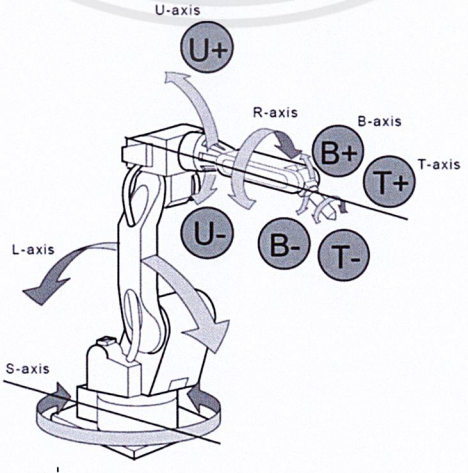
a. Link ท่อนบน หรือ Upper Link เป็นส่วนของท่อนแขนบนสำหรับเข้าสู่พื้นที่การทำงาน และเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับข้อมือ Robot Hand สำหรับติดตั้ง Robot Tool

b. Link ท่อนล่าง หรือ Lower Link เป็นส่วนของท่อนแขนที่ทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักทั้งหมดที่เกิดขึ้นของตัวหุ่นทั้งหมดเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของแขนท่อนบนและเชื่อมต่ออยู่กับฐาน (Base) ของหุ่นยนต์



รูปที่2-5 โครงสร้าง Link ของ Articulate Robot

โครงสร้างของหุ่นยนต์อีกส่วนคือข้อต่อ (Joint) โดยส่วนใหญ่จะใช้ข้อต่อแบบหมุน (Revolute Joint) ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่าง Link ของตัวหุ่นยนต์และทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ การโปรแกรมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ก็คือ การโปรแกรมการทำงานข้อต่อทั้งหมดของหุ่นยนต์ หมายความว่าส่วนของข้อต่อคือส่วนที่ทำการติดตั้ง Servo Motor การโปรแกรมให้ปลายแขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบเส้นตรงจะทำให้ต้องโปรแกรมการทำงานข้อต่อทุกตัวทำงานพร้อมกันและสัมพันธ์กันซึ่งจะถูกควบคุมด้วย Controller โดยปกติแล้วหุ่นยนต์อุตสาหกรรมชนิด Articulate Robot จะมีข้อต่อทั้งหมด 6 ตำแหน่ง มักเรียกว่าหุ่นยนต์ 6 แกน (6 Axis) ดังแสดงในรูปที่2-6



รูปที่2-6 ข้อต่อของ Articulate Robot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

1. ลดค่าใช้จ่ายในการผลิต การนำหุ่นยนต์มาใช้งานทดแทนแรงงานคนจะช่วยลดต้นทุนค่าจ้างแรงงานที่ครอบคลุมถึงเงินเดือน, โบนัสและสวัสดิการต่างๆ แม้ว่าจะลงทุนสูงในช่วงแรก เป็นความคุ้มค่าในระยะยาว และเนื่องจากหุ่นยนต์มีความแม่นยำและความละเอียดสูงในการทำงาน คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะมีมาตรฐานคงที่ ช่วยลดของเสียที่เกิดจากกการทำงานผิดพลาดได้

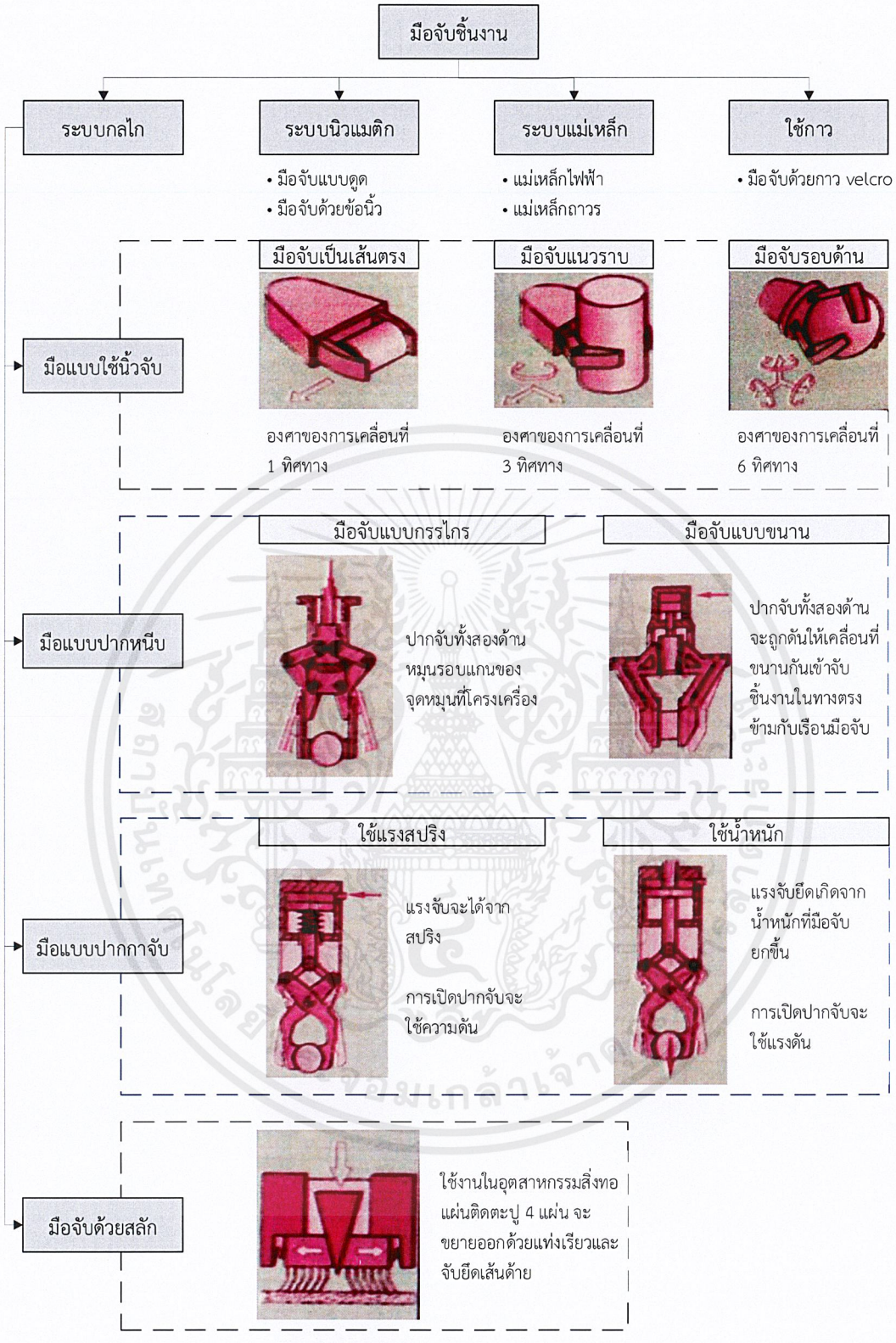
2. เพิ่มกำลังการผลิต หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ มีการทำงานที่ต่อเนื่อง ไม่จำเป็นต้องพักบ่อยเท่าแรงงานคน เช่นงานเชื่อมโลหะ งานพ่นสี แรงงานคนจำเป็นที่จะต้องหยุดพักเมื่อทำงานไประยะเวลาหนึ่งเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพ

3. สามารถทำงานในพื้นที่เสี่ยงอันตรายได้ ลักษณะงานอันตรายเช่น การนำโลหะร้อนๆออกจากแม่พิมพ์ งานเชื่อมโลหะที่มีอันตรายจากความร้อน, สะเก็ดไฟ, แสงที่เป็นอันตรายต่อดวงตาและแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน

2.1.3 การออกแบบมือจับชิ้นงาน [4]

มือจับชิ้นงานจะถูกออกแบบและติดตั้งบนปลายแขนของหุ่นยนต์เพื่อทำงานต่างๆที่มีลักษณะงานเฉพาะอย่าง ตามที่ออกแบบมือจับชิ้นงาน การออกแบบมือจับชิ้นงานสามารถทำได้หลายลักษณขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงาน กลไกการควบคุมมีทั้งแบบระบบนิวเมติก, ไฟฟ้า และไฟฟ้าแม่เหล็ก รูปแบบต่างๆของมือจับชิ้นงานมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



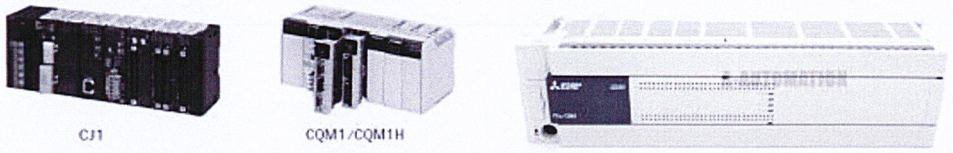
รูปที่2-7 มือจับชิ้นงาน

2.1.4 PLC (Programmable Logic Controller) เบื้องต้น [4,6]

PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือ ระบบต่างๆแทนวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรมีข้อเสียคือการเดินสาย และการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยากเมื่อใช้ไปนานๆ

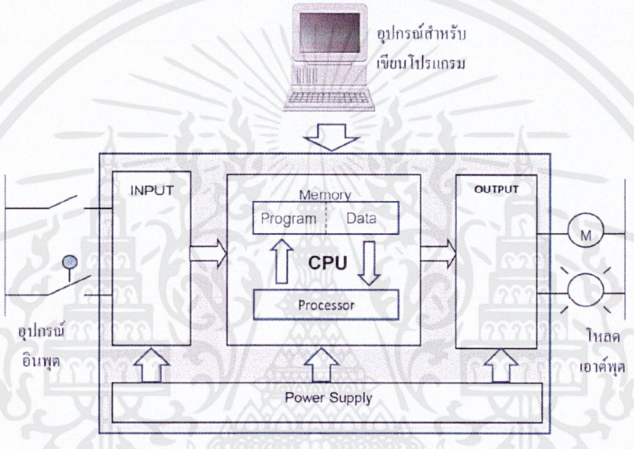
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าสัมผัสจะเสื่อม PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรง หลังจากนั้นเพียงเขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่ สามารถแก้ได้ในโปรแกรม PLC เลย



(ก) PLC ชนิดโมดูล (ข) PLC ชนิด Block Type

รูปที่2-8 PLC



รูปที่2-9 องค์ประกอบต่างๆของ PLC

2.1.4.1 ประเภทของ PLC

PLC สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะหรือรูปลักษณ์ภายนอกได้ 2 แบบ คือแบบบล็อก (Block) และ แบบโมดูลล่าร์

PLC แบบบล็อก จะมีขนาดเล็กและความจำน้อย ส่วนอินพุต เอาต์พุตและแหล่งจ่ายไฟจะรวมอยู่ภายในตัว CPU แต่ผู้ผลิตมักออกแบบให้สามารถเพิ่มอุปกรณ์เสริมได้ PLC ชนิดนี้มีราคาถูกความเร็วต่ำและฟังก์ชันการทำงานไม่สูงมากนัก เหมาะสำหรับงานควบคุมเครื่องจักรขนาดเล็ก

PLC แบบโมดูล่าร์ จะมีอุปกรณ์ต่างๆแยกออกเป็นโมดูล หรือยูนิต เช่น ยูนิตอินพุต ยูนิตเอาต์พุต และยูนิตแหล่งจ่ายไฟ ทำให้ยืดหยุ่นในการออกแบบเพราะสามารถเลือกโมดูลที่ต้องการให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ PLC ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าแบบบล็อก

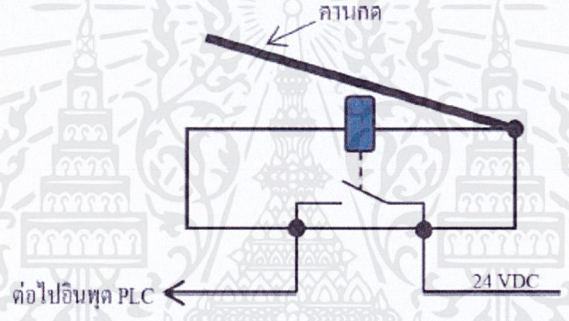
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 อุปกรณ์อินพุต

อุปกรณ์อินพุตที่ช่วยให้ PLC สามารถรับรู้สถานะของการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระบบการผลิตหรือเครื่องจักรเปรียบเสมือนกับระบบประสาทสัมผัสต่างๆของมนุษย์ เช่น ตา หู จมูกและผิวหนัง เป็นต้น อุปกรณ์อินพุตจะใช้เพื่อตรวจสอบสถานะเป็นแบบดิจิตอล (ON/OFF) และแบบอนาล็อก (Analog)

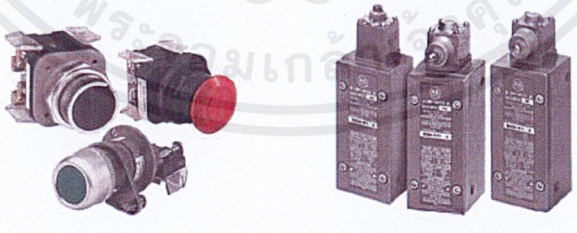
การตรวจจับวัตถุด้วยอุปกรณ์อินพุตว่ามีวัตถุหรือไม่มีวัตถุ ทำได้ 2 วิธี คือ แบบสัมผัส และแบบไม่สัมผัส แบบสัมผัสจะมีการสัมผัสทางกลกับวัตถุโดยตรง ในขณะที่แบบไม่สัมผัสจะทำงานเมื่อวัตถุอยู่ใกล้หรืออยู่ในรัศมีการตรวจจับ ตัวอย่างของอุปกรณ์อินพุตมีดังนี้

1. สวิตช์ทางกล (Mechanical Switches) จะทำงานเมื่อมีแรงมากระทำที่ตัวมัน แรงทางกลจะผ่านกลไกซึ่งอาจเป็นคานหรืออาจเป็นสปริงเพื่อลดแรงที่กระทำต่อสวิตช์ หน้าคอนแทคมีให้เลือกใช้งานทั้งแบบ NO(Normally Open) กับ NC(Normally Closed)



รูปที่2-10 โครงสร้างของสวิตช์ทางกล

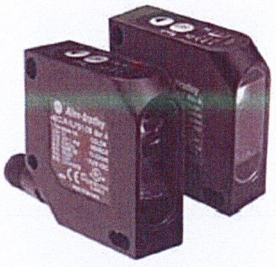
สวิตช์ทางกลที่นิยมในอุตสาหกรรม คือ สวิตช์ Push Button และลิมิตสวิตช์ ลิมิตสวิตช์จะมีตัวรับแรงหลายรูปแบบเช่นลูกกลิ้ง และก้านสัมผัส มีให้เลือกใช้ทั้งกับโหลดหนักและโหลดเบาได้ตามความต้องการ



รูปที่2-11 สวิตช์ Push Button และลิมิตสวิตช์

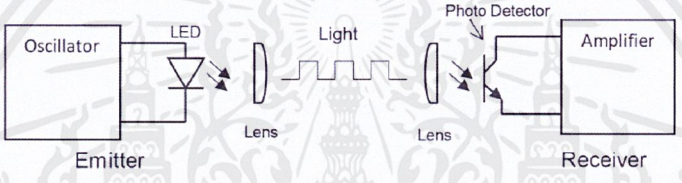
2. โฟโตอิเลคทริกเซนเซอร์ (Photo-Electric sensor) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับความหนาแน่นหรือความเข้มของแสงที่นำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจจับวัตถุในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-12 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์

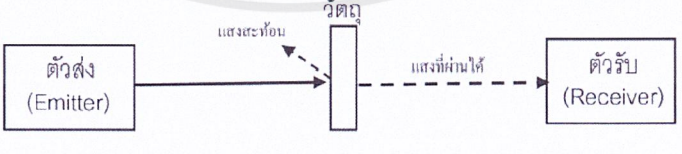
ประกอบด้วยตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Detector หรือ Receiver) ตัวส่งแสงจะส่งลำแสงซึ่งมีทั้งแบบมองเห็นและมองไม่เห็นส่วนใหญ่จะใช้ LED หรือ Laser Diode ส่วนตัวรับจะทำจาก Photo Diode หรือ Photo-transistor เพื่อทำหน้าที่รับแสง ลำแสงที่กำเนิดขึ้นจะมีความถี่คลื่นแสงที่เซนเซอร์สามารถแยกแยะจากแสงปกติทั่วไปได้



รูปที่2-13 หลักการทำงานเบื้องต้นของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์

ลำแสงจะถูกกำเนิดจากตัวส่งด้วย LED ผ่านเลนส์เพื่อโฟกัสแสง ส่วนที่ตัวรับแสงจะมีเลนส์อีกตัวเพื่อโฟกัสแสง ถ้าลำแสงนี้ถูกบังแสงที่ตัวรับจะหายไปบางส่วนทำให้ตัวรับแสงรู้ว่ามีวัตถุบังอยู่ โฟโตอิเล็ก-ทริกเซนเซอร์แบ่งตามลักษณะของตัวส่งและตัวรับแสงได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.1 แบบตัวรับ/ตัวส่งแยกกัน (Through Beam) เหมาะสำหรับวัตถุทึบแสงและวัตถุที่เป็นมันเงา ระยะการตรวจจับจะไกลที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น แต่มีข้อเสียเรื่องการซ่อมบำรุงและการวางแนวของตัวรับและตัวส่งให้ตรงกัน

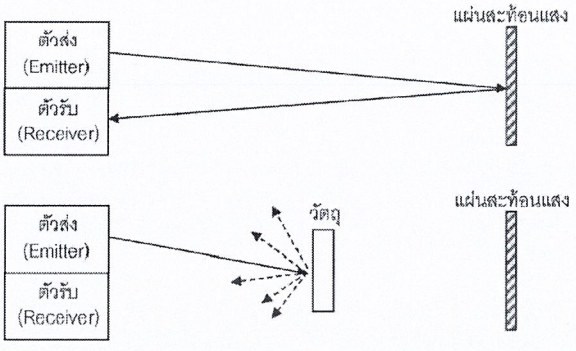


รูปที่2-14 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบตัวรับ/ตัวส่งแยกกัน

2.2 แบบใช้แผ่นสะท้อนแสง (Reto-Reflective) ตัวส่งแสงและตัวรับแสงจะอยู่ในตัวเดียวกัน แต่จะใช้แผ่นสะท้อนแสง ตัวส่งจะส่งแสงออกไปถ้าแสงถูกส่งกลับมาจากแผ่นสะท้อนแสงซึ่งแสงส่วนใหญ่จะกลับมาที่ตัวรับ เมื่อมีวัตถุมาบังลำแสงจะไม่สามารถกลับมาที่ตัวรับได้ ปัญหาของเซนเซอร์นี้คือ วัตถุที่ตรวจจับสามารถสะท้อนแสงได้ดี แก้ไขโดยการจัดขั้วแสงตัวส่งด้วยฟิลเตอร์และใช้ฟิลเตอร์ Polarized ที่

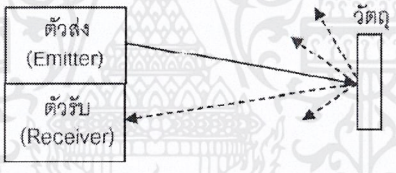
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับ ส่วนตัวแผ่นสะท้อนแสงจะใช้แบบลูกบาศก์ขนาดเล็กอยู่ภายในเมื่อแสงมากระทบมันจะสะท้อนกลับขั้ว 90 องศา ซึ่งต่างกับแสงที่สะท้อนโดยวัตถุจะไม่กลับขั้ว



รูปที่2-15 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบใช้แผ่นสะท้อนแสง

2.3 แบบตรวจจับวัตถุโดยตรง (Diffuse-Reflective) มีตัวรับแสงและตัวส่งแสงภายในตัวเดียวกัน สามารถตรวจจับวัตถุได้โดยตรง (Diffuse) ไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นสะท้อน แต่ใช้แสงโฟกัสแทน สามารถตั้งค่าปรับความไวเพื่อใช้ตั้งระยะทางตรวจจับได้ ซึ่งทำให้ติดตั้งง่ายแต่ต้องมีเงื่อนไขในการใช้งานที่ควบคุมได้ เช่น วัตถุต้องไม่เป็นสีดำเพราะอาจส่งผลต่อการสะท้อนแสง



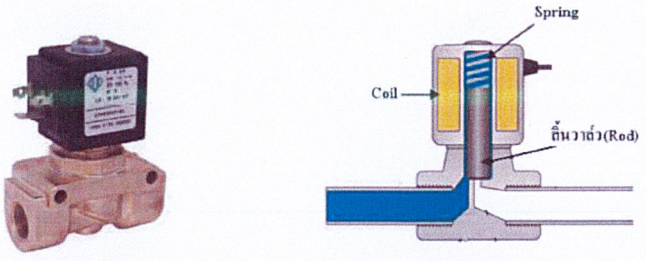
รูปที่2-16 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์แบบตรวจจับวัตถุโดยตรง

2.1.4.3 อุปกรณ์เอาต์พุต

อุปกรณ์เอาต์พุตหรืออุปกรณ์ทำงานแบบ ON/OFF ที่นิยมใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำงาน 2 ตำแหน่ง เช่น ปิดและเปิด อุปกรณ์เหล่านี้มักจะใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล โดยมีหลายประเภทยกตัวอย่างเช่น

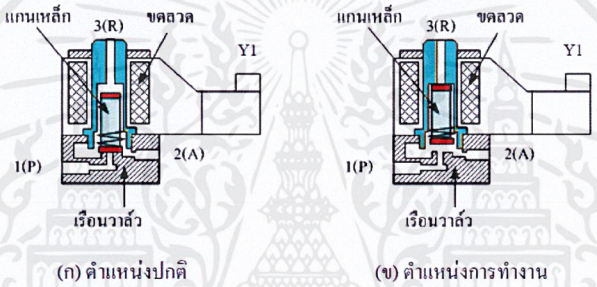
1. โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) การควบคุมการไหลของอากาศหรือของเหลวสามารถทำได้ด้วยโซลีนอยด์ที่ควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว โดยที่ไปเรียก “โซลีนอยด์วาล์ว” โซลีนอยด์จะถูกยึดเข้ากับวาล์วเมื่อจ่ายไฟให้กับโซลีนอยด์จะทำให้แกนเคลื่อนที่ของโซลีนอยด์เคลื่อนไปดันลิ้นของวาล์ให้เคลื่อนที่ซึ่งส่งผลให้ลิ้นวาล์วสามารถเปิดปิดได้ตามการจ่ายกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-17 ตัวอย่างวาล์วพร้อมโซลีนอยด์

วาล์ว 3/2 ปกติปิดเลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (3/2 Way Single Solenoid valve) การทำงานในตำแหน่งปกติ ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวด โซลีนอยด์ Y1 ยังไม่มีอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันให้ลิ้นของวาล์วปิด ทำให้ลมไม่สามารถผ่านจาก 1(P) ไปยัง 2(A) ส่วนลมจาก 2(A) ผ่านไป 3(R) ได้

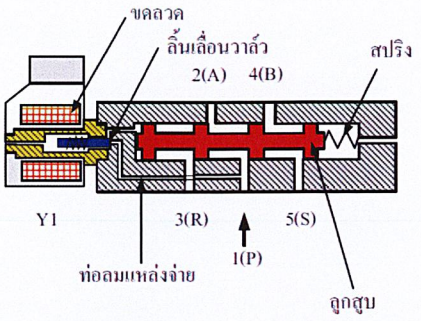


รูปที่2-18 การทำงานของวาล์ว 3/2 ปกติปิดเลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง

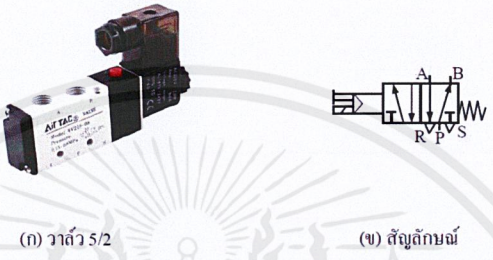
รูปที่2-19 วาล์ว 3/2 ปกติปิดเลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง

วาล์ว 5/2 เลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (5/2 Way Single Solenoid valve) การทำงานตำแหน่งปกติ ยังไม่มีกระแสไฟไหลเข้าขดลวด โซลีนอยด์ Y1 ยังไม่มีอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันลูกสูบของวาล์วอยู่ในตำแหน่งปกติ ลมไหลจาก 1(P) ไปยัง 2(A) และลมจาก 4(B) ไป 5(S) ส่วนท่อลม 3(R) จะถูกปิดตำแหน่งการทำงานเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดโซลีนอยด์ Y1 เกิดอำนาจแม่เหล็กแล้วดูดเอาแกนเหล็กลูกสูบเลื่อนตำแหน่ง ทำให้ลิ้นเลื่อนวาล์วเลื่อนเปิดทางลม ลมจาก 1(P) จะไหลผ่านช่องเล็กไปดันให้ลูกสูบเลื่อนตำแหน่ง ลมไหลจาก 1(P) ไป 4(B) และจาก 2(A) ไป 3(R) ส่วนท่อ 5(S) จะถูกปิด เมื่อตัดกระแสไฟออกจากขดลวดโซลีนอยด์ Y1 สปริงก็จะดันให้ลูกสูบของวาล์เลื่อนกลับตำแหน่งปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-20 การทำงานของวาล์ว 5/2 เลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง

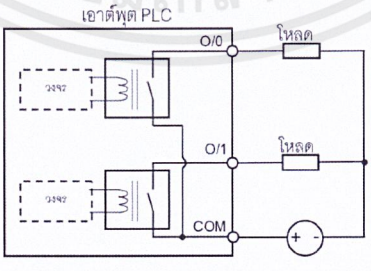


(ก) วาล์ว 5/2 (ข) สัญลักษณ์

รูปที่2-21 วาล์ว 5/2 เลื่อนวาล์วด้วยโซลีนอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง

2. หลอดไฟ (Lamp) มีใช้กับเครื่องจักรเกือบทุกเครื่อง ใช้สำหรับแสดงสถานะของเครื่องจักรและส่งสัญญาณต่างๆให้ผู้ปฏิบัติงานรับรู้ หลอดไฟส่วนใหญ่ส่วนใหญ่มักกินกระแสไฟต่ำจึงต่อเข้ากับเอาต์พุตของ PLC ได้โดยตรง

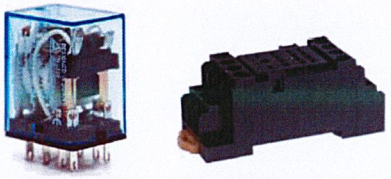
3. รีเลย์ (Relay) เอาต์พุตของ PLC จะทำหน้าที่ตัดต่อไฟที่จ่ายให้อุปกรณ์ภายนอก โดยปกติโมดูลเอาต์พุต จะมีหลายชนิดให้เลือกใช้งาน เช่น รีเลย์ ทรานซิสเตอร์ และไตรแอก (Triac) เป็นต้น เวลาสั่งซื้อจะต้องเลือกว่าเป็นเอาต์พุตชนิดใด เอาต์พุตแบบรีเลย์บางครั้งเรียกว่า “Dry Contract” จะมีความยืดหยุ่นสูงกว่าเพราะใช้ได้ทั้งไฟ AC และ DC แต่มันทำงานช้ากว่าทรานซิสเตอร์นอกจากนั้นหน้าสัมผัสของรีเลย์จะสึกหรอและเสื่อมสภาพตามการใช้งาน



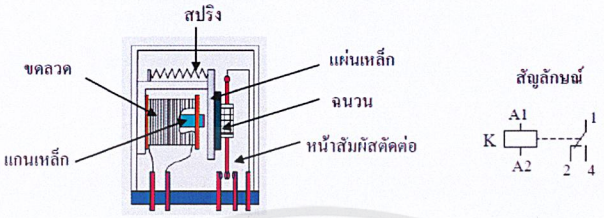
รูปที่2-22 วงจรเอาต์พุตรีเลย์ของ PLC

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้าเป็นลักษณะการทำงานที่อาศัยหน้าสัมผัสเป็นลักษณะคล้ายสวิตช์ โดยหน้าสัมผัสจะทำงานซึ่งอาศัยการเหนี่ยวของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดไฟฟ้า หรือคอยล์ในตัวรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2-23 รีเลย์ไฟฟ้า



รูปที่2-24 ส่วนประกอบและสัญลักษณ์รีเลย์ไฟฟ้า

2.1.4.4 Ladder Diagram และคำสั่งพื้นฐาน

Ladder Diagram จัดเป็นภาษารูปภาพหรือสัญลักษณ์ที่เทียบเคียงมาจากวงจรรีเลย์ แต่เวลาที่ PLC ทำงานจะอาศัยชุดคำสั่ง (Instructions) ต่างๆโดยคำสั่งเหล่านี้จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำลงในหน่วยความจำข้อมูลและในหน่วยความจำที่ว่านี้จะจัดเก็บเป็นรหัส (Code) ไม่สามารถจัดเก็บในสัญลักษณ์หรือรูปภาพของ Ladder Diagram ได้โดยตรง

Ladder diagram (LD) ตาม. DIN EN 61131-3 (1994-08)

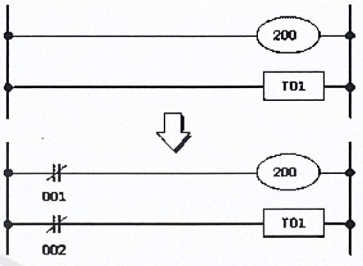
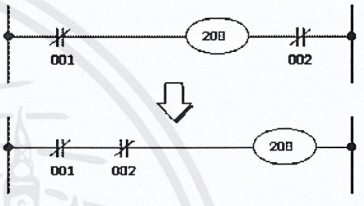
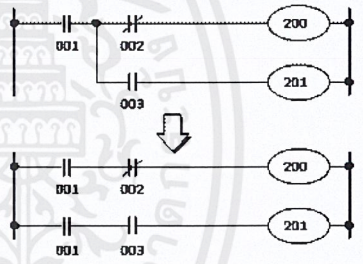
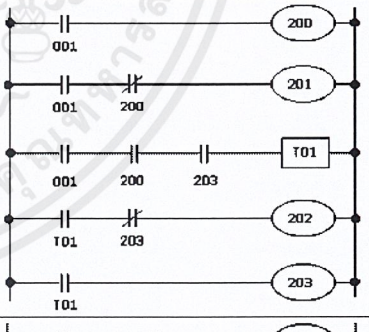
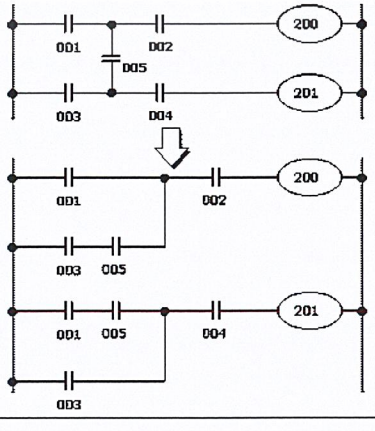
สัญลักษณ์	คำอธิบาย	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
เส้นและบล็อกต่างๆ		Contact ต่างๆ		ขดลวด	
	เส้นในแนวนอน	...1)	Contact ปรกติเปิด ทำงานตาม logic "1"	...1)	Coil output ทำงาน
	เส้นในแนวตั้ง			...1)	Coil output ไม่ทำงาน
	การต่อเส้น	...1)	Contact ปรกติปิด ทำงานตาม logic "0"	...1) (S)	Latching coil stores an operation
	เส้นตัดกันแต่ไม่ต่อกัน			...1) (R)	Unlatching coil
...1)	บล็อกพร้อมเส้นต่อ	...1) P	Contact สำหรับsense ค่าที่เพิ่มขึ้น Signal จาก "0" เป็น "1"	...1) (P)	coil สำหรับจับ positive slopes Signal จาก "0" เป็น "1"
	Bus bar ซ้าย	...1) N	Contact สำหรับsenseค่าที่ลดลง ถึงด้านลบ Signal จาก "1" เป็น "0"	...1) (N)	Coil สำหรับจับ negative slopes Signal จาก "1" เป็น "0"
	Bus bar ขวา			1) ชื่อของชิ้นส่วน	

รูปที่2-25 คำสั่งพื้นฐาน Ladder Diagram

ภาษาแลดเดอร์ ประกอบด้วย เส้นขนานกันทางแนวตั้งจำนวนสองเส้น ซึ่งเปรียบเสมือนสายไฟ 2 เส้น ขนานกันโดยสายไฟเส้นทางด้านซ้าย จะเป็นสายที่มีไฟ (+V/L) ส่วนสายไฟเส้นทางด้านขวา จะเป็นสายนิวตรอนหรือกราวด์ (N/GND) ระหว่างสายไฟสองเส้นนี้จะมีสัญลักษณ์หน้าสัมผัส มีลักษณะคล้ายวงจรรีเลย์ วงจรต่อกันเป็นขั้นบันได (Ladder) มีหลักการเขียนดังต่อไปนี้

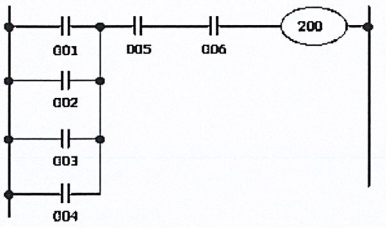
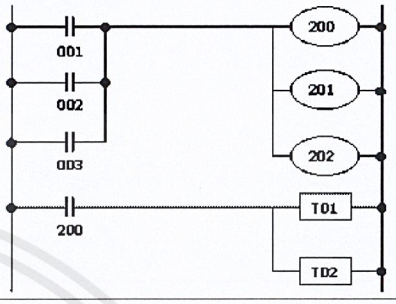
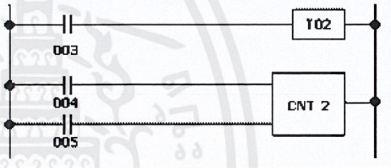
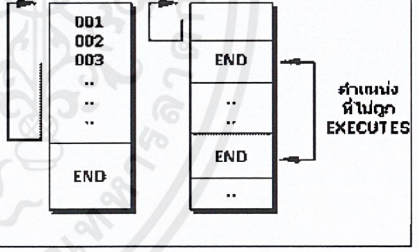
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2-5 หลักการเขียน Ladder Diagram

หลักการ	ตัวอย่างโปรแกรม
1. การกำหนดตำแหน่งอินพุต/เอาต์พุต รีเลย์ภายใน ตัวนับ ตัวตั้งเวลา หรือหมายเลขกำกับหน้าสัมผัส ขึ้นอยู่กับ PLC แต่ละยี่ห้อ โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ	
2. ในการเขียนโปรแกรมไม่สามารถเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างบัส (Bus) กับคอยล์โดยตรงได้ ในกรณีที่ต้องการต่อโดยตรงต้องใช้คำสั่งพิเศษหรือรีเลย์พิเศษช่วย	
3. ตำแหน่งหน้าสัมผัสจะวางหลังรีเลย์ไม่ได้	
4. การเขียนโปรแกรมไม่ควรเขียนโปรแกรมให้สั้นแต่ซับซ้อน เพียงแค่ประหยัดหน่วยความจำเท่านั้น ในการเขียนเขียนโปรแกรมนั้นต้องให้เข้าใจง่ายเพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบ	
5. หน้าสัมผัสของอินพุต เอาต์พุต รีเลย์ภายในตัวตั้งเวลา ตัวนับหมายเลขเดียวกันนั้นสามารถใช้ในโปรแกรมได้หลายครั้งโดยไม่จำกัดจำนวน แต่ใช้หมายเลขเดียวกันในบรรทัดเดียวกันไม่ได้	
6. สัญญาณควบคุมจะไหลจากซ้ายไปขวาเท่านั้นไม่สามารถไหลย้อนกลับได้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2-5 (ต่อ) หลักการเขียน Ladder Diagram

7. หน้าสัมผัสอินพุต เอาต์พุต ตัวนับ ตัวตั้งเวลา รีเลย์ภายใน จะนำมาขนานหรืออนุกรมจำนวนมากเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด แต่อย่าใช้เบอร์เดียวกันขนานหรืออนุกรมกัน	
8. สามารถที่จะนำเอาขดลวดเอาต์พุตรีเลย์ภายใน ตัวนับตัวตั้งเวลามาต่อขนานกันได้แต่อย่าใช้เบอร์เดียวกันมาต่อขนานกัน	
9. การส่งสัญญาณควบคุมมากกว่าหนึ่งครั้งไปยังขดลวดเอาต์พุตที่เป็นหมายเดียวกันไม่ได้ถ้าต้องใช้ต้องใช้ฟังก์ชันพิเศษมาช่วย	
10. ตัวตั้งเวลาและตัวนับใช้หมายเลขเดียวกันไม่ได้และใช้ไม่สามารถใช้หมายเลขเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้งต้องเปลี่ยนหมายเลขใหม่ที่ไม่ซ้ำกัน	
11. โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้น CPU จะทำการ EXECUTED จากบรรทัดแรกถึงบรรทัดคำสั่ง END เป็นคำสั่งแรกที่ถูกใช้โดย END อาจมีหลายตำแหน่งก็เป็นไปได้ ซึ่งต้องใช้คำสั่งหรือฟังก์ชันพิเศษเข้ามาช่วย ที่เป็นเช่นนี้เพื่อจุดประสงค์สำหรับการทดลองโปรแกรม	

2.1.5 การคิดเวลาทำงาน การจับเวลา [7]

การศึกษาเวลาทำงานคือ เทคนิคการวัดผลงานซึ่งมีกระบวนการเพื่อกำหนดหาเวลาในการทำงานโดยคนงานที่เหมาะสม ซึ่งทำงานในอัตราที่ปกติภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานในการวัดผลงาน โดยมีผลลัพธ์ของการวัดผลงานเรียกว่า “เวลามาตรฐาน” หลักการพื้นฐานของการศึกษาเวลาได้แก่

1. การศึกษาเวลาจะต้องใช้กระบวนการในการหาเวลาในการทำงาน จะต้องมีอุปกรณ์การจับเวลา กระบวนการแบ่งแยกย่อยงาน เทคนิคการจับเวลาและขั้นตอนในการ กำหนดเวลามาตรฐาน

2. คนงานที่ใช้ศึกษาในการศึกษาเวลาจะต้องเป็นนคนงานที่มีความเหมาะสม ที่มีความรู้ความสามารถในการทำงานที่จะศึกษาเป็นอย่างดี โดยมีประสบการณ์หรือผ่านการฝึกฝนจนคล่องแคล่วในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คนงานที่ใช้ศึกษาต้องทำงานในอัตราปกติ การทำงานระหว่างการศึกษาเวลาจะต้องไม่ติดขัดจนไม่สามารถจะเก็บบันทึกข้อมูลเวลาทำงานได้อย่างถูกต้อง ทำงานไม่ช้าไม่เร็วเกินไป

4. ต้องมีเงื่อนไขมาตรฐานในการวัดผลงานคือ เครื่องมือวัดเวลาและมาตรฐานการทำงาน การวัดเวลาจะต้องมีความน่าเชื่อถือและมีความมั่นคงสม่ำเสมอ เครื่องมือที่ใช้วัด ถ้าเป็นเครื่องมือที่ทันสมัยและมาตรฐานการวัดที่สอดคล้องกันก็จะยิ่งดี และส่วนสุดท้ายคือมาตรฐานการทำงานซึ่งจะต้องครอบคลุมตั้งแต่วิธีการทำงาน สถานที่ ทำงาน ระยะเวลาทำงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงาน องค์ประกอบของการทำงานเหล่านี้ จะต้องได้มาตรฐานก่อนการศึกษาเวลา

5. ผลลัพธ์ของการศึกษาเวลา คือ เวลามาตรฐานของการทำงาน เมื่อประเมินอัตราความเร็วของการทำงานของคนงานและมีการปรับค่าการประเมินแล้วจะได้เป็น “ค่าเวลาปกติ (Normal Time)” และเมื่อมีการเพิ่มเวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้าจะได้ค่าเวลาเป็น “เวลามาตรฐาน (Standard Time)”

ประโยชน์ของการศึกษาเวลา ได้แก่

1. เพื่อใช้หากำหนดการและการวางแผนการทำงาน/การผลิต
2. ใช้หาค่าใช้จ่ายมาตรฐานและช่วยประมาณงบใช้จ่าย
3. ใช้หาราคาผลิตภัณฑ์ก่อนลงมือผลิต
4. ใช้หาประสิทธิภาพการทำงานของคน-เครื่องจักร
5. ใช้เวลาเป็นข้อมูลในการสมดุลสายการผลิต
6. หาเวลามาตรฐานที่ใช้เป็นตัวฐานในการจ่ายค่าตอบแทน
7. หาเวลามาตรฐานสำหรับใช้ในการควบคุมค่าแรง

วิธีการศึกษาเวลา โดยทั่วไปมีเทคนิคที่นิยม 4 วิธีคือ

1. การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) คือ การจับเวลาพนักงานที่มีการเลือกไว้มาทำการจับเวลาโดยนาฬิกา และต้องมีการคำนวณจำนวณครั้งในการจับเวลาแล้วจึงนำมาหาเวลาทำงานปกติและเวลามาตรฐานต่อไป

2. การศึกษาเวลาโดยระบบหาเวลาก่อนล่วงหน้าหรือการสังเคราะห์เวลา (Predetermined Motion-Time Systems) คือการหาเวลาล่วงหน้าโดยใช้ตารางการคำนวณมาตรฐานต่างๆ ก่อนที่งานจะเกิดขึ้นจริงหรือการสังเคราะห์เวลาโดยใช้ระบบการหาเวลาชนิดต่างๆเช่นระบบ MTM ระบบ Work factor

3. การสุ่มงาน (Work sampling) คือการศึกษาเวลาโดยอาศัยหลักการสุ่มตัวอย่างเชิงสถิติจับเวลาการทำงานจริงของพนักงานในสายการผลิต ต้องใช้เวลาในการศึกษาเป็นเวลานานหลายสัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาเวลาจากข้อมูลเวลามาตรฐานและสูตร (Standard Time Data and Formula) คือ การศึกษาเวลาโดยอาศัยข้อมูลจากอดีต และสูตรบางสูตรช่วยในการคำนวณหาเวลาเทคนิค แต่ละเทคนิค จะมีความเหมาะสมกับงานแต่ละงานแตกต่างกันไป

ในการวิจัยครั้งนี้จับเวลาเพื่อเปรียบเทียบการทำงานสองลักษณะคือการทำงานโดยแรงงานคนและการทำงานโดยหุ่นยนต์ จึงใช้วิธีการศึกษาเวลาโดยตรงหาเวลาปกติของการทำงานมาเปรียบเทียบกัน ขั้นตอนการศึกษาเวลาโดยตรง ได้แก่

2.1.5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของการทำงานที่จะศึกษาเวลา

1. ข้อมูลของสถานที่ทำงาน เครื่องมือและอุปกรณ์

2. ข้อมูลพนักงานที่ต้องเลือกมาศึกษาเวลา พนักงานที่คัดเลือกต้องมีความสามารถในการทำงานนั้นอย่างดี ทำงานสม่ำเสมอ ไม่เร็วหรือช้าเกินไป

2.1.5.2 การแบ่งงานเป็นงานย่อย (Dividing Operation into Element)

งานย่อยคืองานที่เป็นส่วนประกอบของการทำงานหนึ่งๆในรอบการทำงาน รอบการทำงานหรือวัฏจักรการทำงาน (Work Cycle) จะประกอบด้วยงานย่อยหลายๆงานวนซ้ำกัน เมื่อทำงานตั้งแต่แรกและเมื่อสิ้นสุดการทำงานนั้นจะเริ่มงานใหม่ที่จุดเริ่มต้นเดิมซ้ำๆการทำงานครบ 1 รอบมักจะได้ผลงานอย่างน้อยหนึ่งงาน

2.1.5.3 สังเกตและจับเวลาการทำงานของพนักงาน

คือการสังเกตการทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานว่ามีความสม่ำเสมอในการทำงานและจับเวลาวัฏจักรการทำงานในจังหวะเดิมซ้ำ ๆ และบันทึกข้อมูลเวลา

2.1.5.4 หาจำนวณครั้งในการจับเวลา

การหาจำนวนครั้งที่จะจับเวลาก็คือการหาขนาดของตัวอย่างในการบันทึกเวลา ในการจับเวลานั้นโอกาสที่จะจับเวลาในแต่ละวัฏจักรการทำงานให้มีค่าเวลาเดียวกันในทุกๆวัฏจักรเป็นเรื่องยาก เนื่องจากความผิดพลาดในการจับเวลาหรือความไม่สม่ำเสมอในการทำงานของพนักงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บบันทึกข้อมูลเวลาหลายๆวัฏจักร จากนั้นจะเลือกใช้เวลาที่เป็นตัวแทนเวลาของวัฏจักรแต่ละวัฏจักร โดยจะเลือกใช้ค่าเฉลี่ย (Mean)

$$\overline{x} = \frac{\sum x_i}{n} \qquad 2.1$$

เมื่อ $\overline{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ทำการบันทึก

x_i คือ เวลาการทำงานในแต่ละวัฏจักร

n คือ จำนวนวัฏจักรที่จับเวลาในการเก็บข้อมูลเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่บันทึกว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด ใช้หลักการทางสถิติในการแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความแม่นยำ โดยหาจำนวนวัฏจักรที่ทำให้ข้อมูลมีความเชื่อมั่นและความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad 2.2$$

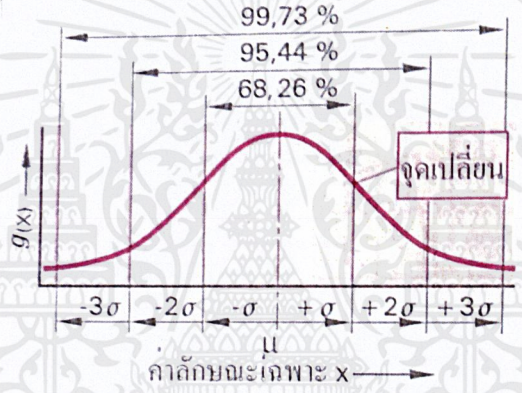
$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \qquad 2.3$$

เมื่อ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเวลา

σ_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

N คือ จำนวนตัวอย่างที่ต้องการหา

การกระจายตัวปกติของ Gauss (Gauss's Normal distribution)



รูปที่2-26 การกระจายตัวปกติของ Gauss

ค่าลักษณะเฉพาะต่อเนื่องแสดงถึงการกระจายตัวของคุณสมบัติเฉพาะที่เกิดขึ้นบ่อยๆซึ่งสามารถเขียนเป็นโมเดลของการกระจายตัวปกติของ Gauss ค่าใกล้เคียงทางคณิตศาสตร์ได้ สำหรับการกระจายตัวของแต่ละค่ามีมากอย่างไม่มีจุดจบ จะได้ความหนาแน่นของความเป็นไปได้ในการกระจายตัวปกติเป็น Curve รูประฆัง Curve กระจายตัวอย่างสมมาตรและต่อเนื่องจะเขียนด้วย Parameter ดังต่อไปนี้ได้อย่างชัดเจน

ค่าเฉลี่ย จะอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดของ Curve และแสดงตำแหน่งของการกระจ่ายตัว

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงถึงการควบคุม ซึ่งหมายถึงลักษณะการเบี่ยงเบนจากค่ากลาง จากรูปที่2-26 ที่ตำแหน่ง ±2 มีข้อมูลกระจายอยู่ 95.44% ดังนั้นหากต้องการระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% และความผิดพลาด ±10% จะตั้งสมการเพื่อหาสูตรหาจำนวนวัฏจักรที่ต้องทำการจับเวลาได้ดังนี้

$$\pm 2\sigma_x = \pm 0.1\bar{x}$$

$$\frac{20}{\sqrt{N}}\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \frac{\sum x_i}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sqrt{N} = \frac{20n}{\sum x_i}\sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$N = \left[\frac{20n}{\sum x_i}\sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}\right]^2 \quad 2.4$$

โดยเปรียบเทียบ N ที่คำนวณได้กับ n ดังนี้

N ≤ n ไม่ต้องจับเวลาเพิ่ม

N > n จับเวลาเพิ่มเท่ากับ N – n ครั้ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาติ พรมมินทร์, สุริยัน อาจหาญ [8] ศึกษาการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเชื่อมแขนกล ประเภทเครื่องเชื่อม Co_2 ของบริษัท ไทยซัมมิทอีสเทิร์นซีบอร์ด โอโตพาร์ท อินดัสตรี จำกัด ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเชื่อมแขนกล ที่สามารถลดเวลาในสายพานการผลิต คานกันกระแทกจากเวลาที่ใช้ในการผลิตจากเดิมคือ 72 วินาที/ชิ้น ให้สามารถผลิตคานกันกระแทกได้ในเวลา 43 วินาที/ชิ้น ซึ่งจะสามารถลดเวลาและต้นทุนในกระบวนการผลิตคานกันกระแทก ขั้นตอนการดำเนินงานการศึกษาการปรับปรุงเครื่องเชื่อมแขนกลแบบหัวเชื่อมเดียวประกอบด้วยการเพิ่มอุปกรณ์การทำงานของเครื่องเชื่อมแขนกล คือ ปรับปรุงเครื่องเชื่อมแขนกลแบบหัวเดียว ให้เป็นระบบหัวคู่โดยการเพิ่มหัวเชื่อม 2 ชุด ตู้ control 2 ชุด ท่อลำเลียงลวดเชื่อม 2 ชุด และได้ทำการตรวจจับเวลาการทำงานของเครื่องเชื่อมแขนกล ที่ได้ทำการพัฒนา เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมแขนกล พร้อมทั้งได้ออกแบบประเมินสอบถามความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญในด้านคุณภาพที่เกี่ยวข้องและสรุปผลจากแบบประเมินสอบถาม ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันว่าเครื่องเชื่อมแขนกลที่ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาขึ้น มีคุณภาพที่ค่า IOC เท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงกล่าวได้ว่า การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเชื่อมแขนกลเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยสามารถผลิตคานกันกระแทกได้ตรงตามวัตถุประสงค์ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

พันศักดิ์ เนระแก [9] ออกแบบหุ่นยนต์แบบหยิบและวางที่ใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร เนื่องจากการทำงานของหุ่นยนต์แบบหยิบและวางในปัจจุบันจะต้องมีการจัดวางตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆทุกส่วนให้ถูกต้องเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในตอนแรก เพราะการที่ชิ้นส่วนใดมีตำแหน่งที่ผิดพลาดไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้กระบวนการประกอบนั้นล้มเหลวได้ ทำให้ในกระบวนการผลิตจริงจะต้องมีการหยุดระบบการผลิตเพื่อปรับตำแหน่งของชิ้นส่วนต่างๆอย่างละเอียด ทั้งในการบำรุงรักษาปกติและการหยุดสายพานการผลิตเป็นเวลานานเพื่อเปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ในการหยิบและวางในกระบวนการประกอบ โดยเพิ่มความสามารถในการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรประกอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

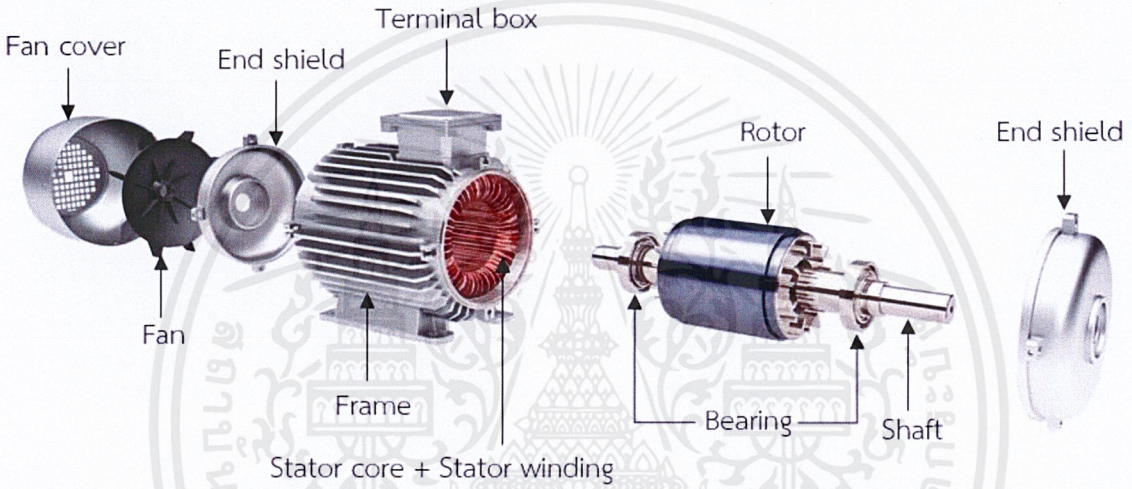
ของหุ่นยนต์ วิธีการออกแบบมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) ระบบลำเลียงชิ้นงานอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม KV STUDIO เขียนระบบการทำงานของชุดลำเลียงชิ้นงาน 2) การใช้โปรกแกรม NI Vision Builder ในการกำหนดรูปแบบจุดศูนย์กลางของรูปแบบ ความเหมือน สีที่ใช้ในการค้นหา ขอบเขตในการค้นหา และส่วนของโปรแกรม NI LabVIEW ร่วมกับโมดูล NI Vision ใช้ในการออกแบบกระบวนการทำงานของระบบการมองเห็นของเครื่องจักร เพื่อค้นหาพิกัดและแนวการวางตัวของชิ้นงาน และควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบ SCARA Robot โดยการจะสั่งให้ Robot เคลื่อนที่ได้นั้น เราจะต้องส่งชุดคำสั่ง Protocol B ซึ่งเป็นชุดคำสั่งเฉพาะในการสั่งการ Robot เพื่อให้ระบบการทำงานทั้งสองส่วนทำงานสอดประสาน และทำงานอย่างถูกต้องไปพร้อมกัน ผลที่คาดว่าจะได้รับ ระบบลำเลียงชิ้นงานสามารถลำเลียงชิ้นงานมาหยุดที่จุดจับยึด และระบบการมองเห็นด้วยภาพของเครื่องจักรที่ได้ทำการออกแบบสามารถตรวจจับตำแหน่งตามแนวแกน X, Y และแนวการวางตัวตามแนวแกน U ได้อย่างถูกต้องตามรูปแบบของชิ้นงานที่ได้รับ และสามารถสั่งการให้หุ่นยนต์หยิบและวางชิ้นส่วนในการประกอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีดำเนินการวิจัย

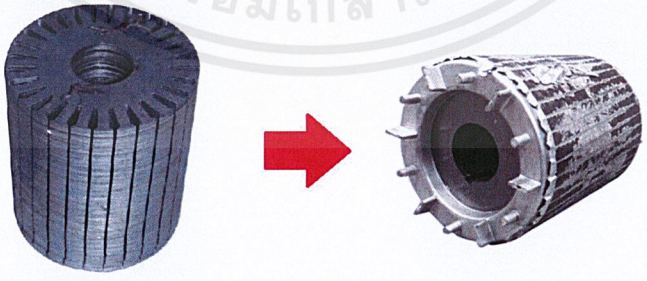
3.1 เก็บข้อมูลการทำงานในกระบวนการ Die Casting

มอเตอร์ทั่วไปมีส่วนประกอบหลักๆที่สำคัญได้แก่ โครงสร้างภายนอก (Frame + End shield) สเตเตอร์ (Stator) โรเตอร์ (Rotor) และเพลา (Shaft) ส่วนเพิ่มเติมอาจจะมีใบพัด (Fan) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน ส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์ที่มีโครงสร้างภายนอกเป็นอลูมิเนียมถูกแสดงในรูปที่3-1



รูปที่3-1 ส่วนประกอบมอเตอร์ที่โครงสร้างภายนอกเป็นอลูมิเนียมหล่อ

การผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีกระบวนการที่ต่างกัน สำหรับส่วนที่ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมได้แก่โครงสร้างภายนอก และโรเตอร์ สำหรับโรเตอร์ชนิดที่เป็นแผ่นโลหะบางซ้อนกันจะถูกนำเข้าเครื่องฉีดอลูมิเนียมเพื่อฉีดอลูมิเนียมเข้าไปในช่องว่างรอบๆด้วยอลูมิเนียมบริสุทธิ์ดังที่ถูกแสดงในรูปที่3-2



รูปที่3-2 โรเตอร์ที่ผ่านกระบวนการฉีดอลูมิเนียม

สำหรับโครงสร้างภายนอกจะใช้แรงในการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปต่างกันไปตามลักษณะรูปร่างที่ถูกออกแบบ ส่วนที่เป็นฝาหน้า-ฝาหลังจะใช้แรงในการฉีดน้อยกว่าเนื่องจากรูปร่างไม่ซับซ้อนเท่ากับส่วนที่เป็นเปลือกและมีขนาดที่เล็กกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3-1 ข้อมูล Part ที่ทำการขึ้นเครื่อง Die Casting Machine 280T

No.	Part No.	จำนวน/เดือน	ขนาดทางน้ำ	Steel ring	NO Steel ring
1	W223-9858	10,000	60 mm.	/	
2	W223-9857	3,000	70 mm.		/
3	W223-6179	1,000	60 mm.		/
4	W223-4397	1,000	60 mm.		/
5	W223-0059	500	60 mm.		/
7	W223-0864	500	60 mm.		/
8	W223-6959	500	60 mm.		/
9	W223-3141	500	60 mm.		/
10	W223-4388	500	60 mm.		/
11	W223-3506	500	60 mm.		/
12	W223-0060	400	60 mm.		/
13	W223-0061	400	60 mm.		/
14	W223-5705	300	60 mm.		/
15	W223-6668	300	70 mm.	/	
16	W223-6669	300	70 mm.	/	
17	W223-3908	300	70 mm.	/	
18	W223-3909	300	70 mm.	/	
19	W223-6784	200	70 mm.	/	
20	W223-6785	200	70 mm.	/	
21	W223-6074	200	70 mm.		/
22	W223-5859	200	60 mm.		/
23	W223-5860	200	60 mm.		/
24	W223-5471	200	60 mm.		/
25	W223-5473	200	60 mm.		/
26	W223-4047	200	60 mm.		/
27	W223-3362	100	70 mm.	/	

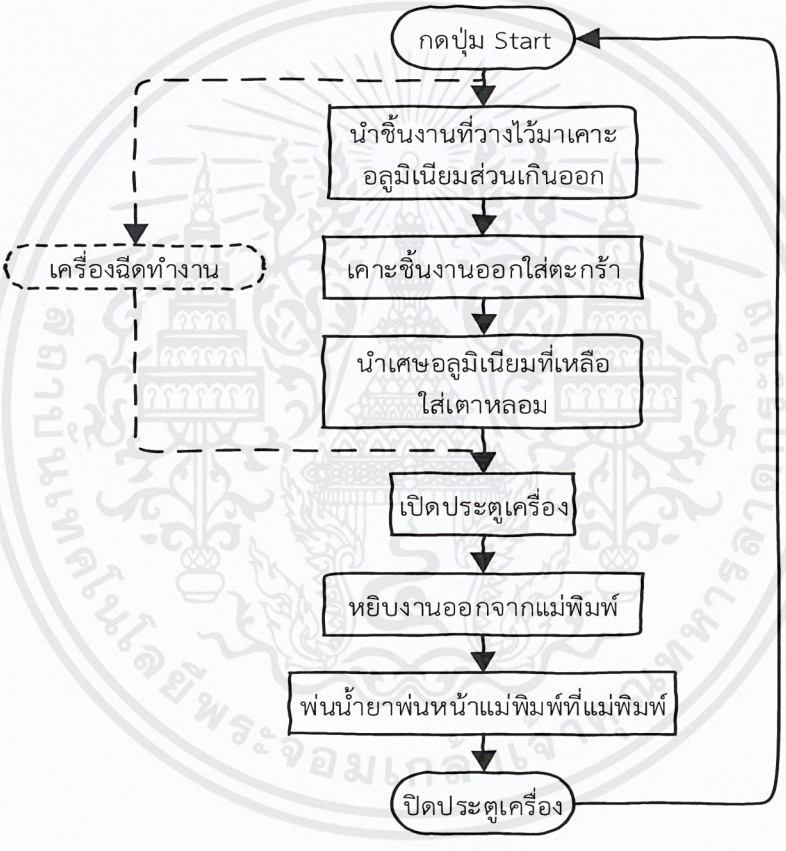
จากตารางที่3-1 แสดงให้เห็นถึงจำนวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปฝามอเตอร์โดยเครื่องฉีดอลูมิเนียมขนาด 280 ตัน รวมทุกรุ่นประมาณ 22,500 ฝาต่อเดือน ในขั้นต้นยังไม่สามารถให้หุ่นยนต์ทำงานรวมกับเครื่องฉีดอลูมิเนียมกับฝามอเตอร์ที่ใส่ Steel ring ได้ เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีชุดป้อนส่ง Steel ring ให้หุ่นยนต์มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยิบใส่แม่พิมพ์ก่อนทำการฉีด ในการใช้งานจริงจะทำการย้ายงานบ้างส่วนที่ไม่ต้องใส่ Steel ring ที่ผลิตโดยเครื่องฉีดอลูมิเนียมขนาด 250 ตันมาทำงานที่เครื่องฉีดขนาด 280 ตัน ในส่วนเครื่องฉีดอลูมิเนียมขนาด 250 ตัน ที่ฝามอเตอร์ต้องใส่ Steel ring จะเป็นการพัฒนาต่อยอดจากหุ่นยนต์ตัวแรกที่ติดตั้งที่เครื่องฉีดอลูมิเนียมขนาด 280 ตันนี้

3.1.1 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์โดยใช้แรงงานคนปฏิบัติงานและควบคุมเครื่องฉีดอลูมิเนียม มีดังนี้



รูปที่3-3 ขั้นตอนการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์โดยใช้แรงงานคน

ชิ้นงานที่ถูกเคาะออกใส่ตะกร้าใส่งานและจะถูกนำไปตัดแต่งเอาครีบส่วนเกินออกโดยนำเข้าเครื่องปั๊มตัดเศษและบางโมเดลของฝามอเตอร์จะถูกนำไปเข้าเครื่องยิงทรายเพื่อปรับปรุงสภาพผิวชิ้นงานให้สวยงามขึ้น ข้อมูลขั้นตอนการทำงานข้างต้น(รูปที่3-3) จะถูกใช้อ้างอิงในการออกแบบขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ที่จำเป็นเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เวลาการทำงาน

ในการฉีดอลูมิเนียม 1 รอบการทำงานข้างต้นจะได้ชิ้นงานฝามอเตอร์ 1 คู่ เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการทำงานแต่ละรอบจะแตกต่างกันไปในแต่ละแม่พิมพ์เนื่องจากรูปทรงและชิ้นส่วนของแม่พิมพ์แตกต่างกันทำให้ตำแหน่งและเวลาการพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ต่างกัน สำหรับฝามอเตอร์โมเดล W223-9857 ที่ทำการผลิตอยู่ในช่วงที่ทำการทดสอบหุ่นยนต์ มีเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่3-2 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปโดยแรงงานคน

รอบการทำงาน	เวลา (วินาที)
1	76.8
2	71.0
3	75.0
4	66.9
5	70.1
6	76.2
7	73.6
8	69.1
9	73.5
10	77.5
เฉลี่ย	72.97

การหาจำนวนครั้งในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% และความผิดพลาด ±10% จากสมการ 2.4

$$N = \left[\frac{20n}{\sum x_i}\sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}\right]^2$$

$$N = \left[\frac{20(10)}{(729.7)}\sqrt{\frac{114.36}{10-1}}\right]^2 = 0.95$$ น้อยกว่า 10 ครั้ง ไม่ต้องจับเวลาเพิ่ม

โดยปกติแล้วการผลิตชิ้นงานฝามอเตอร์โดยเครื่องฉีดอลูมิเนียมที่ควบคุมการทำงานโดยแรงงานคนนี้ มีกำลังการผลิตประมาณ 600 ชิ้นต่อวัน

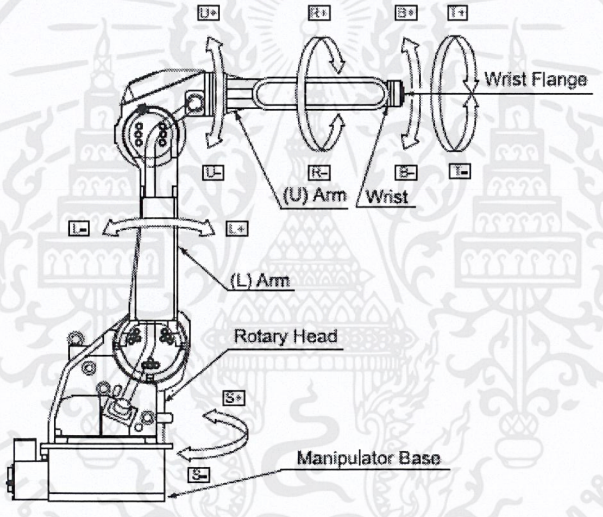
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออกแบบหุ่นยนต์และอุปกรณ์เพิ่มเติม

3.2.1 การเลือกหุ่นยนต์

การเลือกใช้หุ่นยนต์จะเลือกใช้หุ่นยนต์ประเภท Articulated Arm Robot เนื่องจากพื้นที่ในการทำงานค่อนข้างจำกัดและการทำงานที่ซับซ้อนไม่เพียงแค่หยิบชิ้นงานออกจากเครื่อง ยังต้องพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ไปที่แม่พิมพ์ และเพื่อรองรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่จะพัฒนาเป็นแบบอัตโนมัติมากขึ้น เช่นการให้หุ่นยนต์หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ไปวางเข้าเครื่องปั๊มตัดเศษโดยตรง

หุ่นยนต์ที่ทำการจัดซื้อมาใช้ในโครงการนี้เป็นหุ่นยนต์มือสองสภาพดีจากประเทศญี่ปุ่นยี่ห้อ YASKAWA รุ่น UP20 ซึ่งรองรับน้ำหนักที่ปลายแขนหุ่นยนต์ได้ 20 กิโลกรัม สามารถรองรับน้ำหนักของมือจับชิ้นงานที่จะถูกออกแบบและติดตั้งที่ปลายแขนของหุ่นยนต์รวมถึงน้ำหนักของชิ้นงานที่ต้องหยิบออกจากแม่พิมพ์ด้วย โดยข้อมูลทั่วไปของหุ่นยนต์มีดังนี้



รูปที่3-4 แกนต่างๆของหุ่นยนต์

ตารางที่3-3 ข้อมูลทั่วไปของหุ่นยนต์

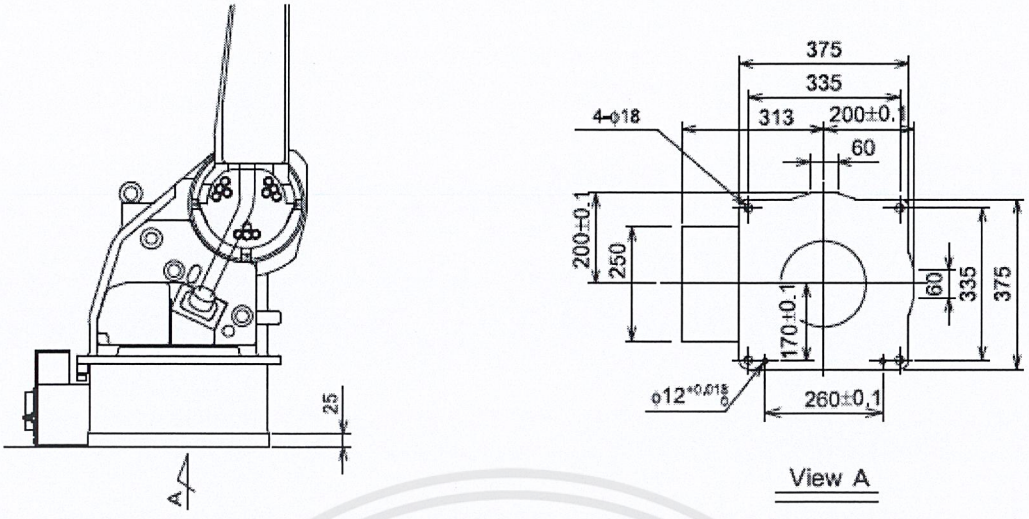
Operation Mode		Vertically Articulated
Degree of Freedom		6
Payload		20kg
Repetitive Positioning Accuracy		±0.08mm
Motion Range	S-Axis (turning)	±180°
	L-Axis (lower arm)	+155°, -110°
	U-Axis (upper arm)	+210°, -80°
	R-Axis (wrist roll)	±190°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

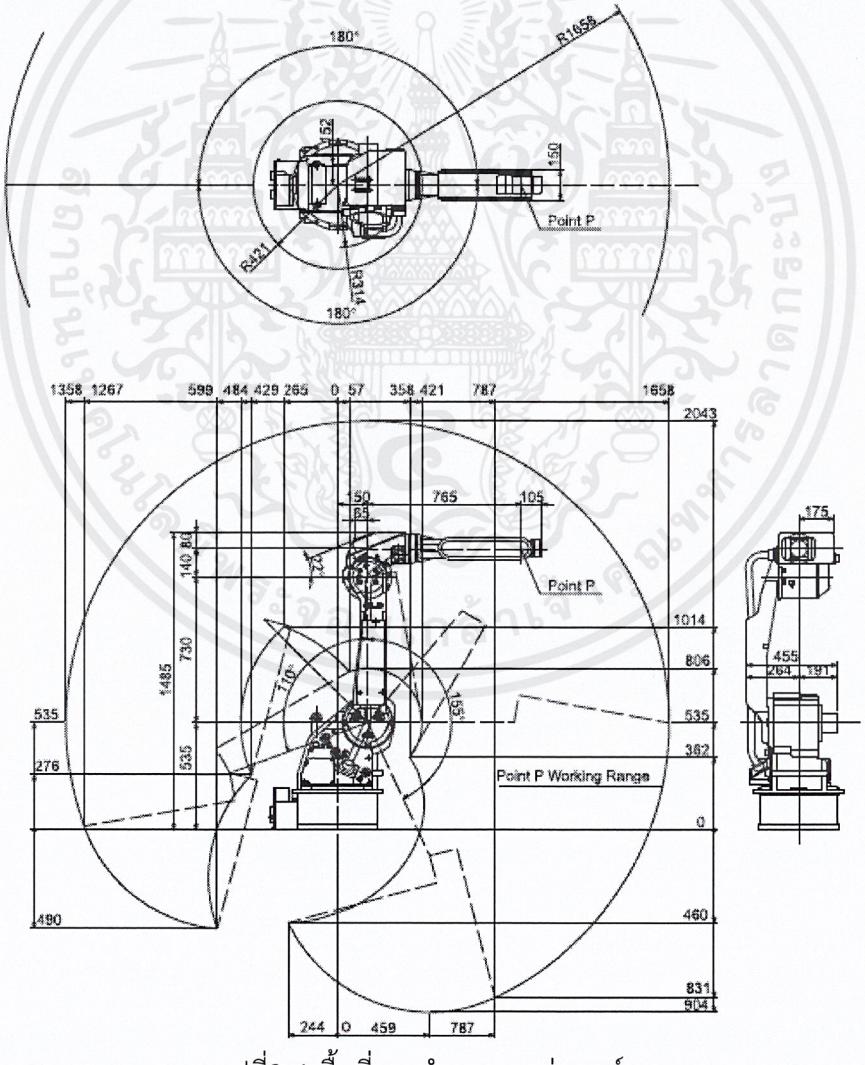
ตารางที่3-3 (ต่อ) ข้อมูลทั่วไปของหุ่นยนต์

Motion Range	B-Axis (wrist pitch/yaw)	+235°, -50°
	T-Axis (wrist twist)	±360°
Maximum Speed	S-Axis	2.88 rad/s, 165°/s
	L-Axis	2.88 rad/s, 165°/s
	U-Axis	2.88 rad/s, 165°/s
	R-Axis	5.85 rad/s, 335°/s
	B-Axis	5.85 rad/s, 335°/s
	T-Axis	8.90 rad/s, 510°/s
Allowable Moment	R-Axis	31.4N•m
	B-Axis	31.4N•m
	T-Axis	15.7N•m
Allowable Inertia	R-Axis	0.7kg•m^2
	B-Axis	0.7kg•m^2
	T-Axis	0.2kg•m^2
Mass		280kg
Ambient Conditions	Temperature	0°c to 45°c
	Humidity	20% to 80% RH (non-condensing)
	Vibration	Less than 4.9m/s^2 (0.5G)
	Others	• Free from corrosive gasses or liquids, or explosive gasses • Clean and dry • Free from excessive electrical noise (plasma)
Power Capacity		2.8kVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3-5 ขนาดของฐานหุ่นยนต์

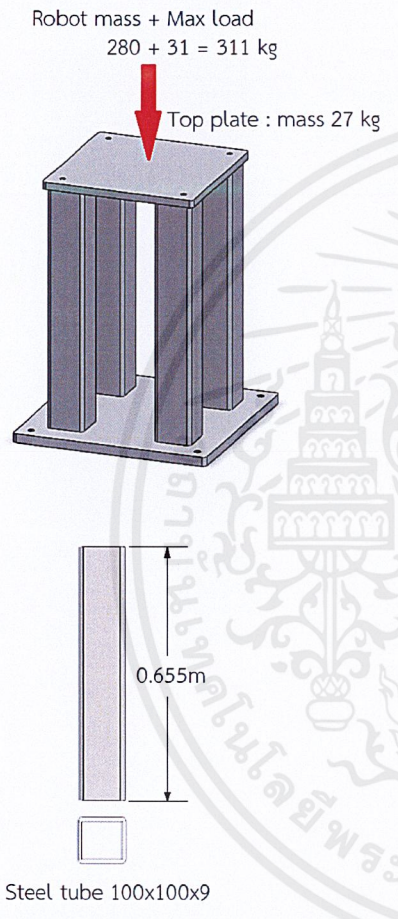


รูปที่3-6 พื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ออกแบบฐานรองรับหุ่นยนต์

ในการติดตั้งหุ่นยนต์จำเป็นจะต้องมีฐานรองรับเพื่อให้ตัวหุ่นยนต์อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่การทำงานโดยจะให้ L-Axis อยู่ที่ระดับความสูงใกล้เคียงกับตำแหน่งของงานที่จะหยิบออกมา เนื่องจากจะทำให้ขอบเขตพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์กว้างที่สุด ใช้ข้อมูลขนาดของฐานหุ่นยนต์ในรูปที่3-5 อ้างอิงในการออกแบบ วัสดุที่ใช้ทำเสาคือเหล็กกล่องขนาด 100x100x9 mm. เป็นวัสดุเหลือใช้ภายในบริษัทนำมาใช้เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการซื้อวัสดุใหม่



รูปที่3-7 ฐานรองรับหุ่นยนต์

Assume คุณสมบัติวัสดุ Structure Steel

Elastic modulus = 200 GPa

Yield strength = 250 MPa

Steel tube 100x100x9 mm

Cross section area = 30.67 cm^2

I = 456.57 cm^4

Radius of gyration = 3.73 cm

Load ที่กระจายลงเสาทั้ง 4 ต้น เท่ากับ 311+27 = 338 kg

เพราะฉะนั้น เสาหนึ่งต้นรับ load 338/4 = 84.5 kg

= 829 N

Slenderness ratio

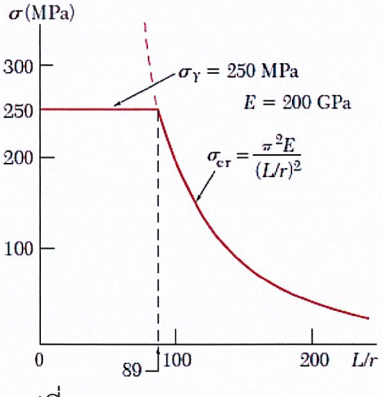
$$\frac{L}{r} = \frac{65.5\ \text{cm}}{3.73\ \text{cm}} = 17.56 < 89$$

เสาสั้นไม่เกิดการ buckling จะเสียหายโดยคุณสมบัติของวัสดุ

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{829\ \text{N}}{30.67 \times 10^{-4}\ \text{m}^2} = 270\ \text{kPa}$$

$$\text{Factor of Safety F. S.} = \frac{\sigma_Y}{\sigma} = \frac{250\times10^6\ \text{Pa}}{270\times10^3\ \text{Pa}} = 926\ \#$$

สรุปได้ว่าเสาเหล็กกล่อง 100x100x9 mm มีความแข็งแรงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักหุ่นยนต์

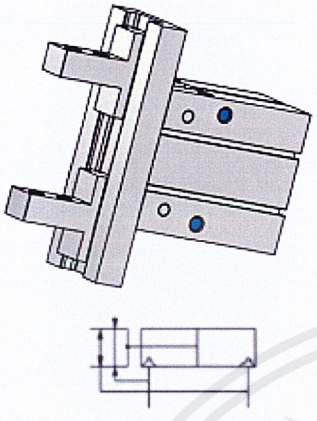


รูปที่3-8 Plot of critical stress.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ออกแบบมือจับชิ้นงาน

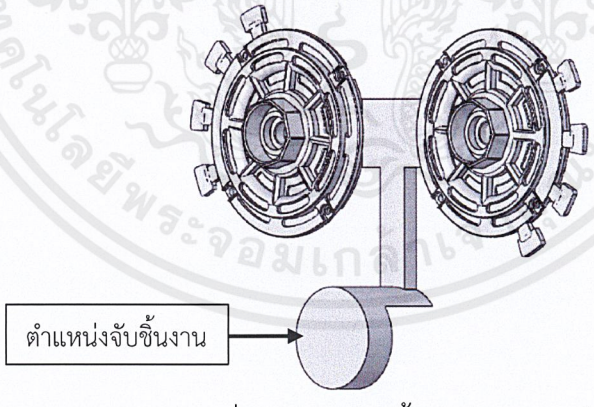
มือจับชิ้นงานจะถูกติดตั้งที่ปลายแขนหุ่นยนต์เพื่อหยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยเลือกใช้มือจับแบบขนานที่ใช้ลมควบคุมที่มีขายอยู่ทั่วไปเพื่อความสะดวกในการออกแบบและจัดทำ



Air Gripper AIRTAC	
รุ่นสินค้า	HFZ40
Ø กระบอกลม	40 mm
แรงของ Gripper	ด้านนอก 255 N ด้านใน 320 N
ระยะเข้า – ออก	30 mm
แรงดันใช้งาน	0.2 ~ 0.7 MPa

รูปที่3-9 กระบอกลม gripper AIRTAC

Air Gripper ที่เลือกใช้ขนาดกระบอกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm แสดงในรูปที่3-8 นอกจากการพิจารณาแรงบีบที่ใช้จับยึดชิ้นงานแล้ว ยังพิจารณาในเรื่องการออกแบบเพื่อรองรับขนาดชิ้นงานที่ต่างกันสองขนาดด้วย โดยชิ้นงานที่จับแสดงในรูปที่3-10 มีน้ำหนักมากที่สุดประมาณ 1 กิโลกรัม ตำแหน่งที่จับมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 – 70 มิลลิเมตร ซึ่งต่างกันมากที่สุด 10 มิลลิเมตร และยังต้องเผื่อระยะสำหรับออกแบบนิ้วจับชิ้นงานด้วย

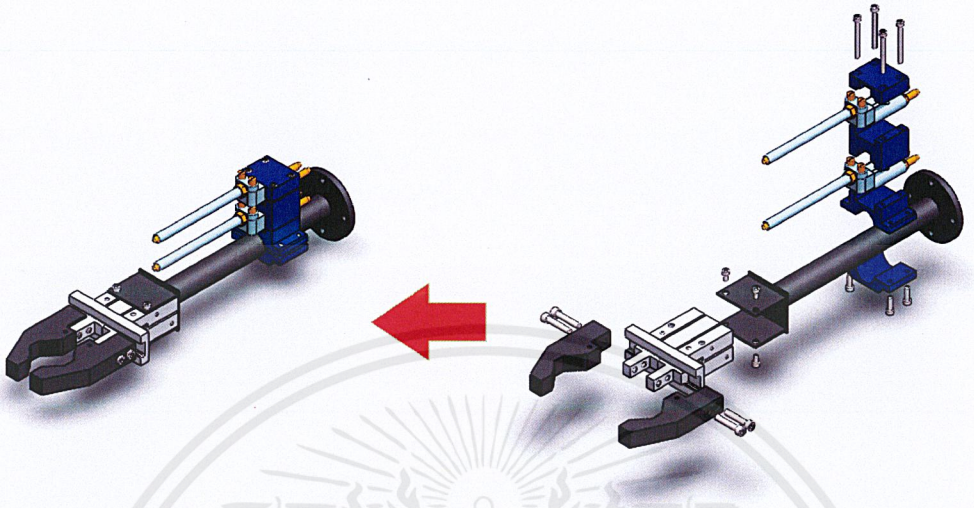


รูปที่3-10 ตัวอย่างชิ้นงานฝามอเตอร์

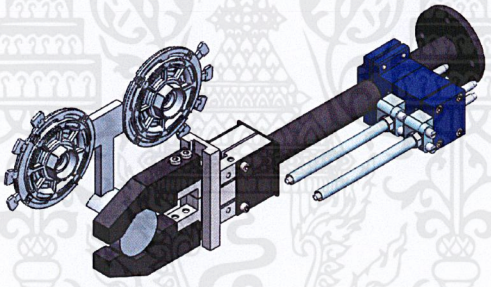
การออกแบบชุดมือจับชิ้นงานจะเริ่มจากหาวัสดุที่มีอยู่แล้วก่อนหรับชิ้นส่วนที่ง่ายๆเช่นโครงสร้าง และจากนั้นจึงสั่งทำที่แผนก tools room หรือ ผู้รับเหมาภายนอก มือจับชิ้นงานที่ถูกออกแบบมีลักษณะดังรูปที่3-11 จะประกอบด้วยปากจับชิ้นงานและชุดหัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ที่ดัดแปลงมาจากหัวพ่นน้ำยาที่ถูกใช้ทั่วไปในแผนกฉีดอลูมิเนียม น้ำหนักของมือจับชิ้นงานประมาณ 5.2 กิโลกรัม มีความยาวรวม 0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร การใช้งานมือจับชิ้นงานจะติดตั้งชุดหัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ในด้านที่ตรงข้ามกับชิ้นงานที่ถูกจับ แสดงในรูปที่3-12 เพื่อไม่ให้ชุดหัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ชนกับแม่พิมพ์ในขณะที่หุ่นยนต์เข้าจับชิ้นงาน



รูปที่3-11 การออกแบบมือจับชิ้นงาน



รูปที่3-12 การใช้งานมือจับชิ้นงาน

ความแข็งแรงของชิ้นส่วน Gripper

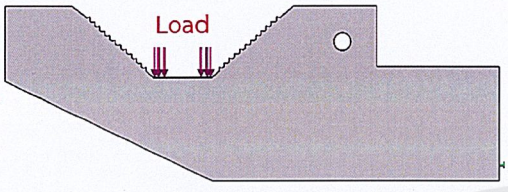
1.นิ้วจับชิ้นงาน ใช้วัสดุ Carbon Steel S50C ที่มีคุณสมบัติทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนงานการเกษตร ชิ้นส่วนแม่พิมพ์จักรกล เช่นลูกกลิ้ง ลูกรีด ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อ และงานอื่นๆที่ต้องการการลดต้นทุน คุณสมบัติของวัสดุ Carbon Steel S50C มีดังนี้

Density	7.85 g/cm^3
Tensile strength	690 MPa
Yield strength	530 MPa
Elastic modulus	190-210 GPa
Poisson's ratio	0.27-0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

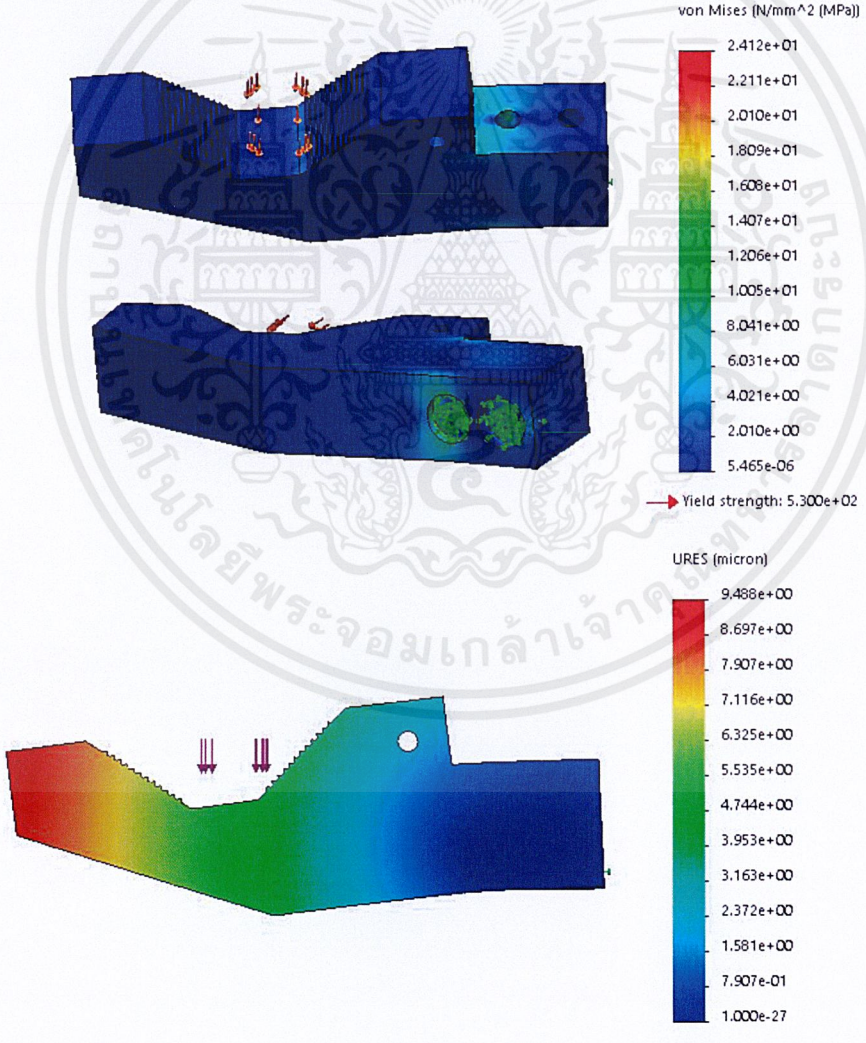
Elongation at break (in 50 mm)	10%
Reduction of area	30%
Thermal conductivity (typical steel)	49.8 W/mK

ใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ในการ simulation วิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนและการเสียรูปของวัสดุ



รูปที่3-13 จำลองแรงที่กระทำกับนิ้วจับชิ้นงาน

Load คือแรงบีบสูงสุดของ Air Gripper (320 N) และน้ำหนักของชิ้นงานที่กดลงมา (≈1 kg) ทำการ simulation โดยให้แรงกดลงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของปากจับ และนิ้วจับชิ้นงาน Fixed ที่ตำแหน่งยึดสกรู



รูปที่3-14 simulation วิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของมือจับชิ้นงานและการเสียรูปของวัสดุ โดยโปรแกรม SOLIDWORKS

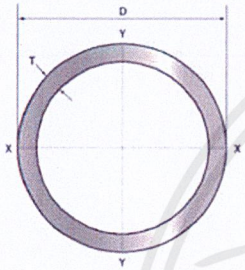
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่3-14 แสดงให้เห็นว่ามี Von Mises Stress เกิดในชิ้นส่วนมากที่สุดที่ตำแหน่งยึดสกรูประมาณ 16.08 MPa หลังจากที่ได้ค่าความเค้นโดยประมาณแล้วนำไปหา Factor of Safety ของชิ้นส่วนนี้ได้คือ

$$\text{Factor of Safety F. S.} = \frac{\sigma_Y}{\sigma} = \frac{530\ \text{MPa}}{16.08\ \text{MPa}} = 33.0\ \#$$

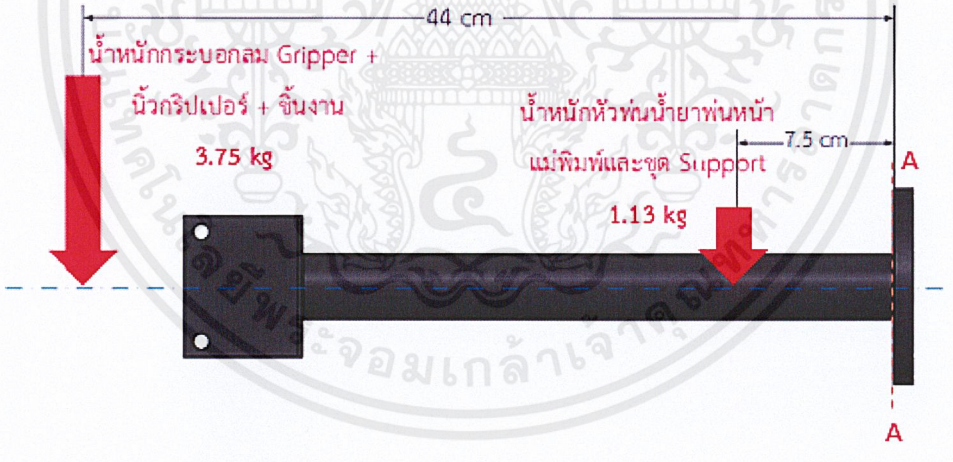
นิ้วจับชิ้นงานเมื่อรับ load ขนาดประมาณ 330 N ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของปากจับแล้วจะมีส่วนที่เบนออกจากตำแหน่งเดิมมากที่สุดที่ปลายของนิ้วจับชิ้นงานเป็นระยะประมาณ 9.49

2.แขน Gripper ใช้วัสดุ Steel Pipe 34mm x 2.3mm ยาว 30 cm. เพื่อให้มือจับชิ้นงานยื่นเข้าไปที่แม่พิมพ์ฉีดอลูมิเนียมโดยที่แบนหุ่นยนต์ไม่ต้องเข้าใกล้แม่พิมพ์มากจนเกินไปเนื่องจากมีความร้อนสูงที่บริเวณหน้าแม่พิมพ์ และเพื่อความสะดวกในการจับชิ้นงาน



Outside Diameter	34mm
Thickness	2.3mm
Cross section area	2.29cm^2
Moment of inertia (I)	2.89cm^4
Radius of gyration	1.12cm

SS400 Properties	
Density	7.86 g/cm^3
Tensile strength	400-510 MPa
Yield strength	205-245 MPa
Elastic modulus	190-210 GPa
Poisson's ratio	0.26

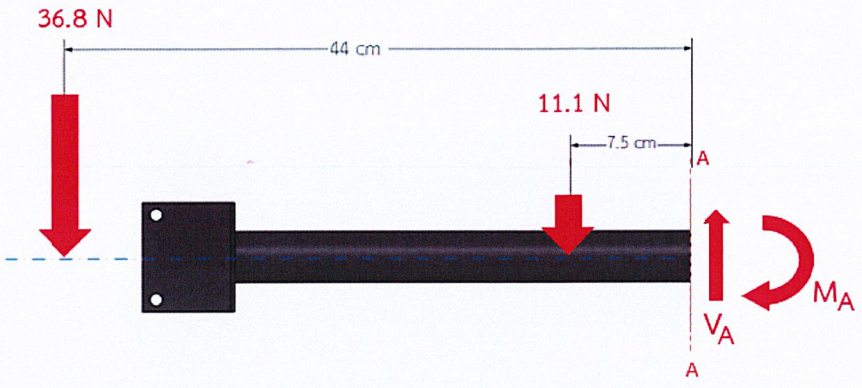


รูปที่3-15 แรงที่กระทำกับแขน Gripper เมื่อวางตัวในแนวขนานพื้น

พิจารณาว่าการเสียหายจะเกิดขึ้นที่หน้าตัด A – A เป็นจุดอ่อนแอเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดรับความเค้นมากและรับโมเมนดัดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shear and Bending Moment.



รูปที่3-16 แสดง Free Body Diagram ของ Steel Pipe ที่หน้าตัด A - A

จากรูปที่3-16 ที่ตำแหน่งหน้าตัด A – A จะได้

$$M_A = (36.8\ N)(0.44\ m) + (11.1\ N)(0.075\ m) = 17.0\ N{\cdot}m$$

$$V_A = 47.9\ N$$

Maximum bending stress

$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$ เมื่อ c คือระยะจากกึ่งกลางท่อกลมถึงผิวนอก

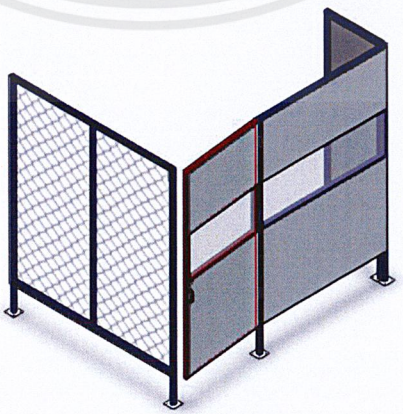
$$\sigma_m = \frac{(17.0\ N{\cdot}m)(0.017\ m)}{(2.89\times10^{-8}m^4)} = 10.0\ MPa$$

$$\text{Factor of Safety F. S.} = \frac{\sigma_Y}{\sigma} = \frac{205\ MPa}{10.0\ MPa} = 20.5\ \#$$

3.2.4 ออกแบบอุปกรณ์เพิ่มเติม

อุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับความสะดวกในการทำงานและเพื่อความเป็นระเบียบปลอดภัยต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ในเบื้องต้นได้แก่

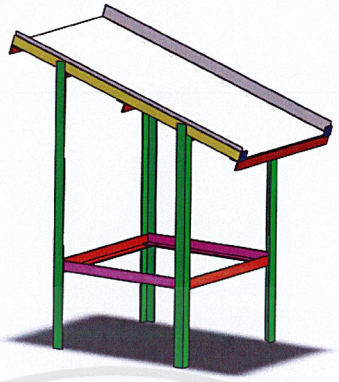
1. รั้วกั้นสำหรับกันพนักงานเข้าไปในพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์และกันเศษอลูมิเนียมที่กระเด็นออกมาในขณะที่เครื่องฉีดอลูมิเนียมทำงาน เนื่องความเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานของเครื่องฉีดอลูมิเนียมและแม่พิมพ์



รูปที่3-17 รั้วกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รางสไลด์สำหรับปล่อยชิ้นงานที่หยิบออกจากเครื่องฉีดอลูมิเนียมให้ไหลลงตะกร้าใส่งานเพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงาน



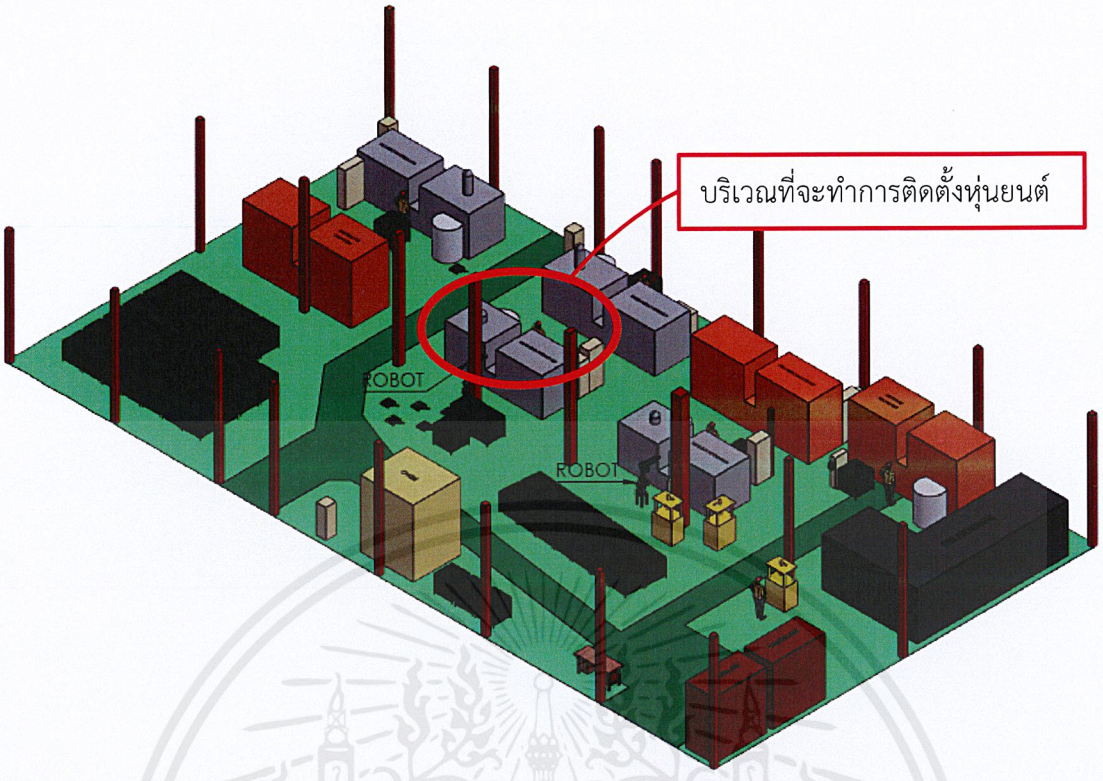
รูปที่3-18 รางสไลด์ชิ้นงาน

3.3 การติดตั้ง

3.3.1 วัดพื้นที่ในแผนกฉีดอลูมิเนียม

ในเบื้องต้นได้ทำการสำรวจในแผนกฉีดอลูมิเนียมว่ามีการผังอย่างไรและบริเวณไหนที่สามารถติดตั้งหุ่นยนต์เพื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดอลูมิเนียมได้สะดวก และเหมาะสมกับปริมาณงานที่ถูกผลิตจากเครื่องฉีดอลูมิเนียมแต่ละเครื่อง ได้ทำการวัดพื้นที่และทำการจำลองคร่าวๆเป็นรูปแบบสามมิติแสดงในรูปที่ 3-19 ในแผนกฉีดอลูมิเนียมในปัจจุบันมีเครื่องฉีดอลูมิเนียม 7 เครื่อง ขนาด 420 ตัน 3 เครื่อง (สีส้ม) ใช้ฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมเป็นชิ้นส่วนมอเตอร์ที่ต้องใช้แรงดันในการฉีดเยอะเช่นฝามอเตอร์ขนาดใหญ่ เปลือกมอเตอร์ โรเตอร์ เครื่องฉีดขนาด 350 ตัน 2 เครื่อง (สีเทาเข้ม) ใช้ฉีดขึ้นรูปโรเตอร์ และฝามอเตอร์ เครื่องฉีดขนาด 250 ตัน 1 เครื่อง 280 ตัน 1 เครื่อง (สีเทาอ่อน) ใช้ฉีดขึ้นรูปฝามอเตอร์รุ่นต่างๆ ได้ทำการจำลองการติดตั้งหุ่นยนต์ที่ตำแหน่งเครื่องฉีดขนาด 250 ตัน และ 280 ตัน บริเวณที่จะทำการติดตั้งหุ่นยนต์ทดสอบตัวแรกจะติดตั้งที่เครื่องฉีดอลูมิเนียม 280 ตัน

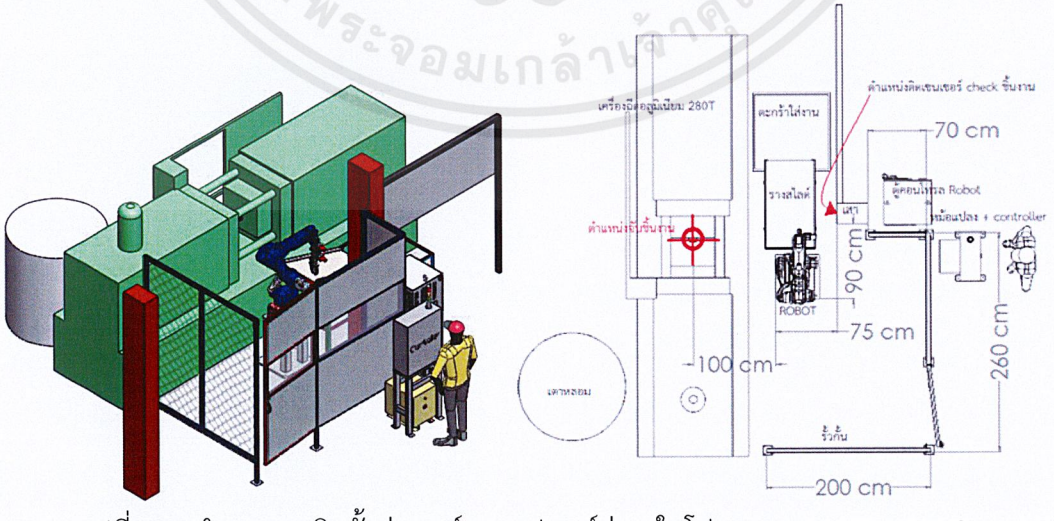
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3-19 การวางผังในแผนกฉีด

3.3.2 กำหนดพื้นที่สำหรับติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ

การวางตำแหน่งหุ่นยนต์จะทำการติดตั้งด้านหลังเครื่องฉีดอลูมิเนียม เพื่อให้บริเวณด้านหน้าที่พนักงานทำงานปกติยังสามารถทำงานได้อยู่เมื่อมีการซ่อมบำรุงหุ่นยนต์ หรือหุ่นยนต์เกิดความเสียหาย จะได้ไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตชิ้นงาน ทั้งนี้ได้ทำการจำลองการติดตั้งในโปรแกรม SOLIDWORKS โดยตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวหุ่นยนต์จะอ้างอิงจากเสา เนื่องจากการอ้างอิงจากเครื่องฉีดอลูมิเนียมนั้นทำได้ยากและด้วยความจำกัดของพื้นที่ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งสำหรับการติดตั้งได้ดังรูปที่3-20



รูปที่3-20 จำลองการติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆในโปรแกรม SOLIDWORKS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ความปลอดภัยของตัวหุ่นยนต์

เนื่องจากในขณะที่เครื่องฉีดอลูมิเนียมทำงานมีเศษอลูมิเนียมหลอมเหลวที่มีความร้อนสูงกระเด็นออกมาทั้งจากเครื่องจักรและจากบริเวณแม่พิมพ์ที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานที่ใช้มาเป็นเวลานาน จำเป็นจะต้องมีเสื้อคลุมกันความร้อนจากเศษอลูมิเนียมที่กระเด็นออกมาโดนตัวหุ่นยนต์อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อสายไฟ สายสัญญาณ รวมถึงเซอร์โวมอเตอร์ จึงได้ทำการจัดหาผ้ากันความร้อนและสะเก็ดโลหะความร้อนสูงที่มีข้อมูลแสดงในรูปที่3-22 มาตัดเย็บเป็นเสื้อคลุมสำหรับหุ่นยนต์แสดงในรูปที่3-21

รูปที่3-21 จัดทำเสื้อคลุมกันความร้อนสำหรับหุ่นยนต์แขนกล

SC1136 SILICA FABRIC are woven from continuous silica yarns, have higher tensile strength than those that leached from E-glass fabric

These fabrics are applicable to all thermal insulation protection, fire and welding blankets, turbine cover, exhaust silencer cover and curtain that encountered high temperature up to 1600 °C melting points.

Silica fabrics are widely use in petrochemical, oil & gas, Chemical, shipyard, aerospace, power generation, steel, aluminum and other metals factory

Product Description	SC1136
Thickness	1.5 (±0.2) mm
SiO2 Content	≥96 (%)
Weight	1,250 g/m2
Warp	420N/cm (1066.8 N/Inch)
Weft	280N/cm (711.2 N/Inch)
Length	50 m
Width	0.92 cm
Appearance color	Golden beige
Service Temp	1000°C

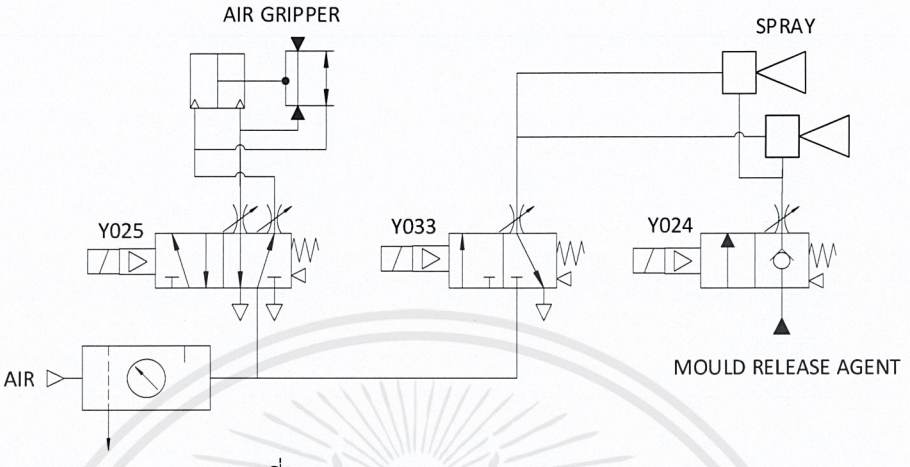
Flammability : Nonflammable
Ignitability : 0 rating
Sprea of flame: 0 rating
Solubility in water: Insoluble
Personal protection: Wear safety glasses or goggles, gloves and respirator

รูปที่3-22 ข้อมูลผ้ากันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

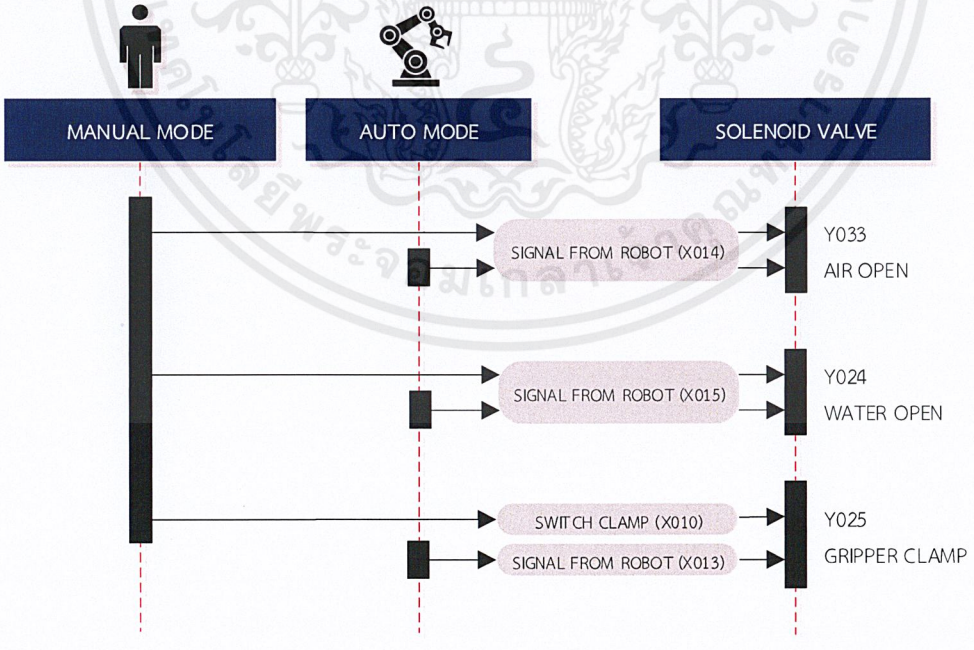
3.3.4 ระบบลมและน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์

มือจับชิ้นงานและการพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ไปที่แม่พิมพ์ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า - นิวเมติก (Electro - Pneumatic controls) มีแบบวงจรแสดงในรูปที่3-23



รูปที่3-23 แบบวงจร Pneumatic

โซลินอยด์วาล์วจะถูกควบคุมการปิด-เปิดด้วยสัญญาณ Y024, Y025 และ Y033 จาก PLC (Programmable Logic Controller) ที่รับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากหุ่นยนต์ และประมวลผลเป็นคำสั่งดังกล่าว ลำดับการทำงานจะแสดงในรูปที่3-26 โซลินอยวาล์วที่ควบคุม Air Gripper จะทำงานในขั้นตอนจับชิ้นงานออกจากและดึงออกจากเครื่องฉีดจนถึงวางชิ้นงานใส่ราง โซลินอยด์ควบคุมลมและน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์จะทำงานในขั้นตอนพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์

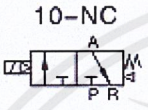
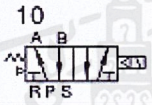
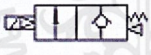


รูปที่3-24 sequence diagram การควบคุมระบบ Pneumatic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

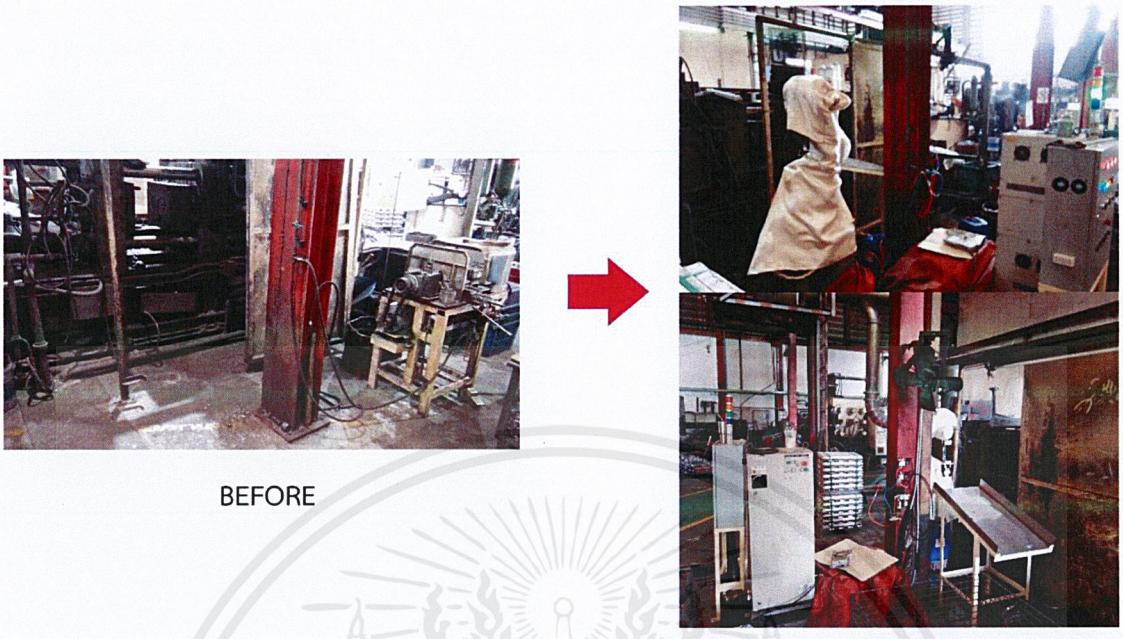
รูปที่3-24 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมโซลินอยด์วาล์วในแต่ละโหมดของการทำงานจะมีการสั่งการที่แตกต่างกันในส่วนของคำสั่ง Gripper clamp เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการทำงานในโหมด Auto ไม่ให้มีการกดสวิตช์สั่งจับชิ้นงานจากคนงานได้ สั่งได้จากโปรแกรมหุ่นยนต์เท่านั้น แรงดันลมที่ใช้ในโรงงานปกติมีความดันประมาณ 0.6 MPa และ ข้อต่อลมที่ใช้ทั่วไปในโรงงานมีเกลียวขนาด 3/8” เพื่อความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์และง่ายต่อการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ จึงได้ทำการเลือกโซลินอยด์วาล์วและชุดกรองลมตามรายการในตารางที่3-4

ตารางที่3-4 โซลินอยด์วาล์วและชุดกรองลม

	**โซลินอยด์วาล์ว 3/2 ทาง 3V310-10** ขนาดเกลียว 3/8” แรงดันไฟฟ้า DC 24 V Orifice 30 mm^2 อุณหภูมิใช้งาน 5 ~ 60°c กินไฟ AC 3.5 VA or DC 2.5 W แรงดันใช้งาน 0.15 ~ 0.8 MPa
	**โซลินอยด์วาล์ว 5/2 ทาง 4V310-10** ขนาดเกลียว 3/8” แรงดันไฟฟ้า DC 24 V Orifice 30 mm^2 อุณหภูมิใช้งาน 5 ~ 60°c กินไฟ AC 3.5 VA or DC 2.5 W แรงดันใช้งาน 0.15 ~ 0.8 MPa
	**โซลินอยด์วาล์วทองเหลือง 2W050-10** ขนาดเกลียว 3/8” แรงดันไฟฟ้า DC 24 V Orifice 15 mm^2 อุณหภูมิใช้งาน -20 ~ 70°c กินไฟ AC 25 VA or DC 10.5 W ลักษณะวาล์ว : Direct ซิลด์FPM แรงดันใช้งาน 0~1 MPa
	ชุดกรองลม 2 UNIT AC3010-03D Auto Drain Port size 3/8” Max Flow rate 1,700 L/min Nominal filtration rate 40 Pressure gauge Port 1/8”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ภาพรวมการติดตั้ง



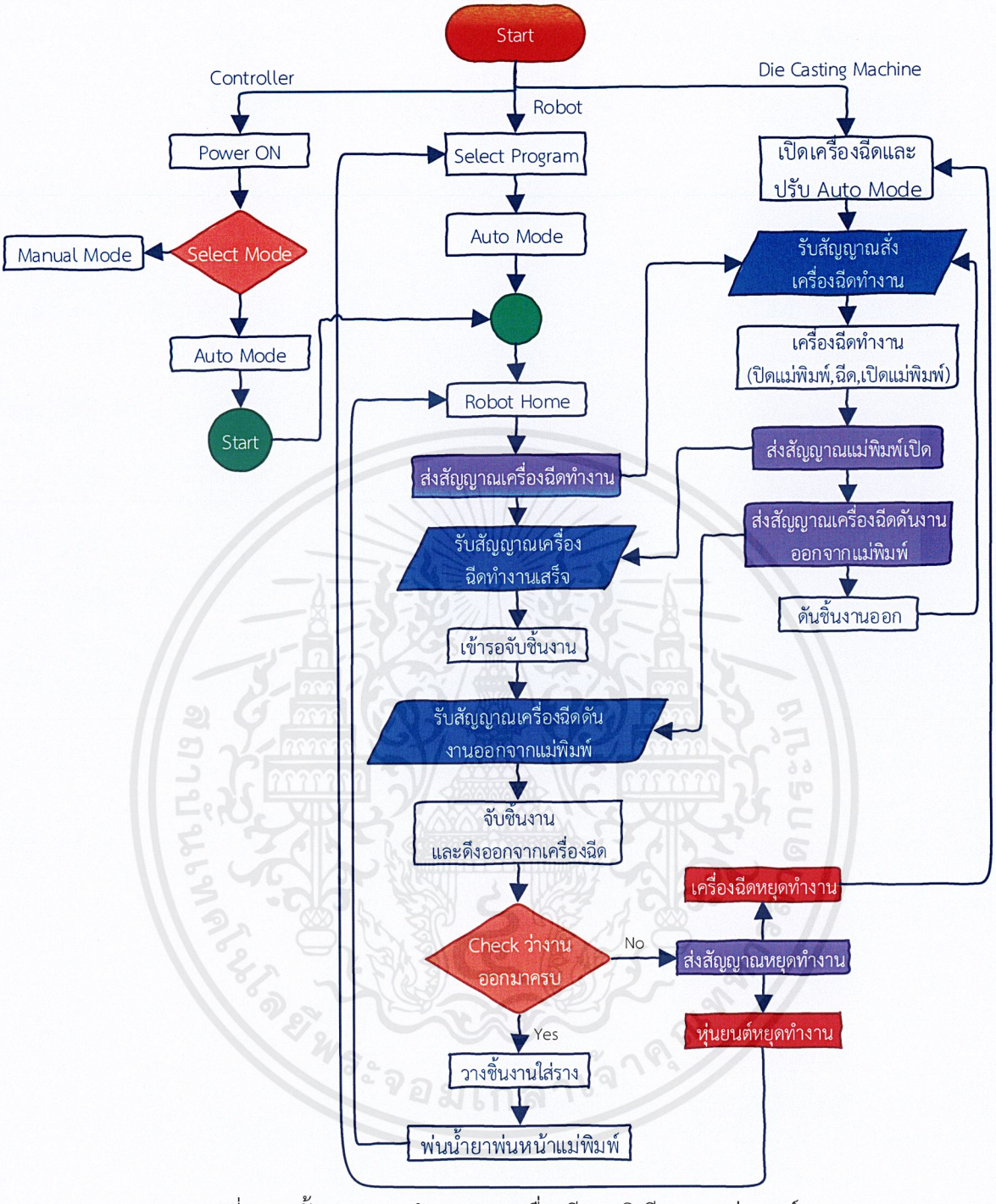
รูปที่3-25 แสดงพื้นที่ก่อนและหลังการติดตั้ง

ในการติดตั้งหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆจำเป็นจะต้องทำไปพร้อมๆกับกระบวนการผลิตเพื่อไม่ให้กระทบต่อกำลังการผลิตชิ้นส่วน ทำให้มีพื้นที่การทำงานที่ค่อนข้างจำกัด มีแผงเหล็กที่ใช้กันเศษอลูมิเนียมกระเด็นออกจากแม่พิมพ์ไปโดนพนักงานขวางอยู่ และเครื่องกลึงเปลือกมอเตอร์ที่วางอยู่ในบริเวณใกล้เครื่องฉีดอลูมิเนียม จึงต้องย้ายออกเพื่อติดตั้งรางสไลด์ชิ้นงานและตะกร้าใส่งาน จากรูปที่3-25 จะเห็นว่ายังไม่มีการติดตั้งรั้วกั้นและมีแผงเหล็กที่วางอยู่ข้างเครื่องฉีดอลูมิเนียม เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายเครื่องฉีดอลูมิเนียมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานออกจากแผนกฉีดอลิเนียมและติดตั้งเครื่องใหม่ทดแทน ทำให้แผนกที่รับผิดชอบในการจัดทำรั้วกั้นต้องเร่งทำงานในส่วนเคลื่อนย้ายและติดตั้งเครื่องจักรก่อน จึงไม่สามารถจัดทำรั้วกั้นได้ทันตามกำหนดเวลาจึงยังไม่ได้ติดตั้งตามแผนผังในรูปที่3-20

3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และเครื่องฉีดอลูมิเนียม

การเขียนโปรแกรมควบคุมเริ่มจากกำหนดขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดอลูมิเนียมและหุ่นยนต์แขนกลรวมทั้งสัญญาณโต้ตอบสั่งการทำงานขั้นตอนต่างๆให้สัมพันธ์กัน สัญญาณที่ส่งเข้า-ออกเครื่องฉีดอลูมิเนียมและหุ่นยนต์จะผ่าน PLC เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ขั้นตอนการทำงานที่กำหนดขึ้นจะอ้างอิงจากการทำงานโดยแรงงานคนในรูปที่3-3 แสดงเป็น Flow chart ในรูปที่3-26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



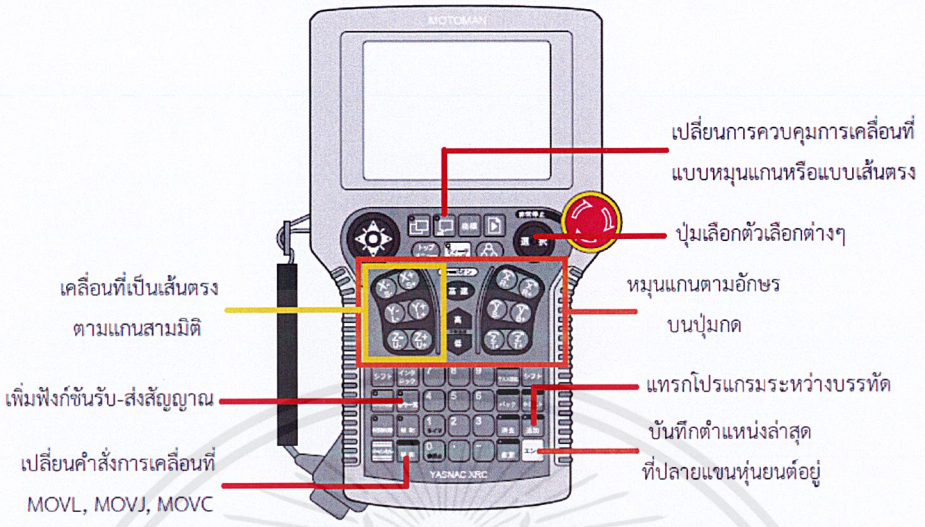
รูปที่3-26 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดอลูมิเนียมและหุ่นยนต์

3.4.1 เขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และชุดจับชิ้นงาน

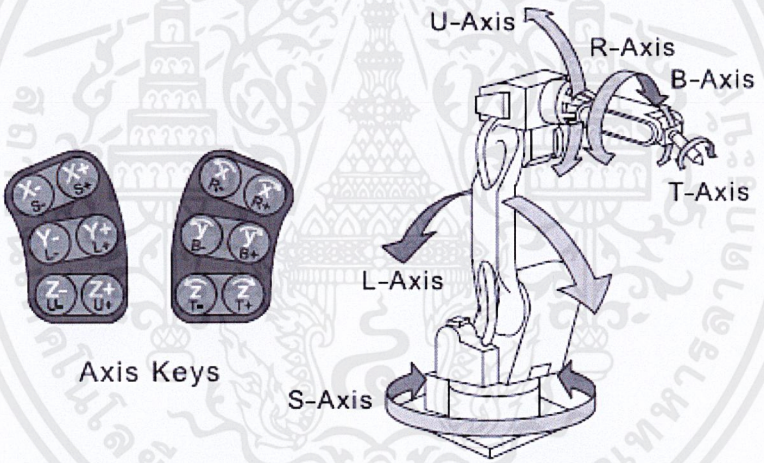
การป้อนคำสั่งควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ทำผ่าน Programming Pendant ทั้งการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ (ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่) รอรับสัญญาณจากภายนอก และส่งสัญญาณออกไปยังภายนอกเพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆปุ่มควบคุมที่ถูกใช้ส่วนใหญ่ในการป้อนคำสั่งบน Programming Pendant แสดงในรูปที่3-27 และ รูปที่3-28 โดยโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ในการทำงานร่วมกับ

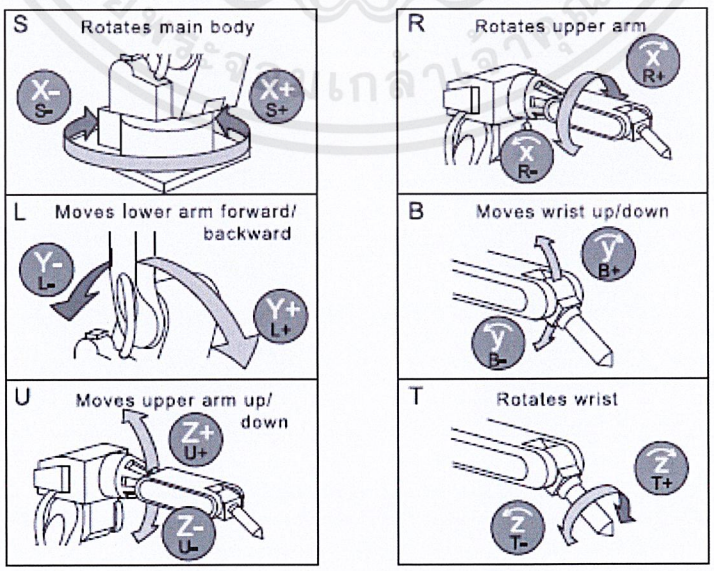
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องฉีดอลูมิเนียมในการผลิตชิ้นงานแต่ละรุ่นจะมีความคล้ายกัน แตกต่างกันที่ตำแหน่งการจับชิ้นงานและพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ มีโปรแกรมดังนี้



รูปที่3-27 ปุ่มควบคุมบน Programming pendant





รูปที่3-28 การขยับหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3-5 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สำหรับชิ้นงานฝามอเตอร์โมเดล W223-9857

คำสั่งที่	โปรแกรม	คำอธิบาย
0000	NOP	เริ่มต้นโปรแกรม
0001	*LABEL	กำหนดให้โปรแกรมกลับมาเริ่มใหม่ที่บรรทัดนี้
0002	MOVJ VJ=50.00	ตำแหน่งเริ่มต้น
0003	DUOT OT#(5) ON	ส่งสัญญาณให้เครื่องฉีดทำงาน
0004	TIMER T=3.00	
0005	DUOT OT#(5) OFF	
0006	MOVJ VJ=50.00	ตำแหน่งรอเข้าจับชิ้นงาน
0007	MOVJ VJ=50.00	
0008	WAIT IN#(1) ON	รอสัญญาณแมพิมพ์เปิด
0009	MOVL V=4500	เข้ารอจับชิ้นงาน
0010	MOVL V=4500	
0011	WAIT IN#(2) ON	รอสัญญาณ Ejector pin ดันงานออกจากแม่พิมพ์
0012	MOVL V=2000	ส่งสัญญาณให้มือจับชิ้นงานทำงาน
0013	DOUT OT#(1) ON	
0014	TIMER T=1.00	
0015	MOVL V=2000	ดึงชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์
0016	MOVL V=4500	
0017	MOVL V=4500	
0018	MOVL V=4500	
0019	DOUT OT#(4) ON	ส่งสัญญาณให้ sensor ตรวจสอบ ว่าชิ้นงานออกมาครบ หากออกมาไม่ครบ จะเรียกโปรแกรม PART_NG ขึ้นมาทำงาน
0020	MOVL V=4500	
0021	TIMER T=1.00	
0022	WAIT IN#(3)=ON	
0023	CALL JOB PART_NG IF IN#(4)=ON	
0024	DOUT OT#(4) OFF	
0025	MOVL V=4500	
0026	DOUT OT#(4) ON	
0027	MOVL V=4500	
0028	TIMER T=1.00	
0029	WAIT IN#(3)=ON	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3-5 (ต่อ) โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

0030 0031	CALL JOB PART_NG IF IN#(4)=ON DOUT OT#(4) OFF	
0032	MOVL V=4500	เคลื่อนที่ไปยังรางสไลด์
0033 0034 0035	TIMER T=0.50 DOUT OT#(1) OFF TIMER T=0.50	ส่งสัญญาณให้มือจับชิ้นงานหยุดทำงานเพื่อปล่อยชิ้นงาน
0036 0037 0038	MOVJ VJ=50.00 MOVL V=6000 MOVL V=6000	เคลื่อนที่เข้าไปที่แม่พิมพ์
0039 0040 0041	DOUT OT#(2) ON DOUT OT#(3) ON TIMER T=4.00	ส่งสัญญาณให้เปิดลมและน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ไปที่หัวพ่น
0042 0043 0044 0045 ... 0071 0072 0073	MOVL V=1000 TIMER T=0.50 MOVL V=1000 TIMER T=0.50 ... MOVL V=1000 MOVL V=500 MOVL V=1000	เคลื่อนที่พ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์
0074 0075	DOUT OT#(3) OFF DOUT OT#(2) OFF	ส่งสัญญาณให้ปิดลมและน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ที่ส่งไปที่หัวพ่น
0076 0077	MOVL V=6000 MOVL V=6000	เคลื่อนที่กลับตำแหน่งเริ่มต้น
0078	*JUMP LABEL	โปรแกรมกลับไปเริ่มที่บรรทัด *LABEL อีกครั้ง
0079	END	สิ้นสุดโปรแกรม

สำหรับโปรแกรมที่แสดงในตาราง3-4 จะใช้สำหรับหุ่นยนต์ยี่ห้อ YASKAWA รุ่น UP20 หุ่นยนต์รุ่นอื่นหรือยี่ห้ออื่นอาจใช้คำสั่งควบคุมแตกต่างกัน และเมื่อทำการเปลี่ยนแม่พิมพ์เพื่อผลิตฝามอเตอร์รุ่นอื่นสามารถคัดลอกโปรแกรมต้นแบบนี้ไปใช้ได้โดยปรับเปลี่ยนในส่วนของตำแหน่งที่จับชิ้นงานและในส่วนที่เคลื่อนที่พ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ ในพื้นที่การทำงานที่ค่อนข้างแคบจะใช้คำสั่ง MOVL (เคลื่อนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

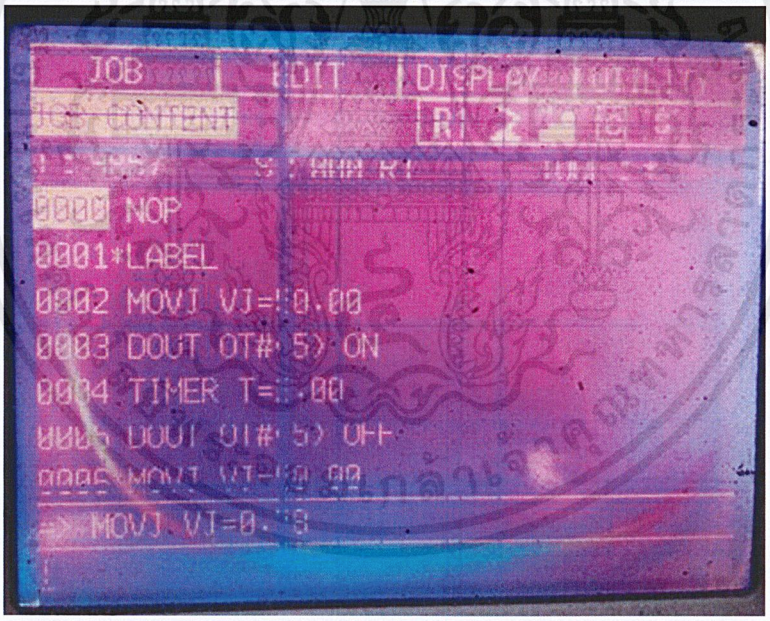
เส้นตรงไปยังจุดที่บันทึก) ส่วนในตำแหน่งที่พื้นที่การทำงานค่อนข้างกว้างจะใช้คำสั่ง MOVJ (เคลื่อนที่ไปยังจุดที่บันทึกโดยไม่สนใจเส้นทางการเคลื่อนที่) เนื่องจากจะทำให้ servo motor ทำงานน้อยกว่าคำสั่ง MOVL เป็นการยืดอายุการใช้งาน servo motor ส่วนหนึ่ง และยังทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วกว่า ข้อเสียคือลักษณะการเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนด อาจทำให้บางส่วนของตัวหุ่นยนต์ไปชนสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความเสียหายได้

V และ VJ คือการกำหนดความเร็วโดยมีหน่วยเป็น cm/min และ % ของความเร็วสูงสุดของแกนตามลำดับ

TIMER คือการสั่งให้หุ่นยนต์หยุดที่ตำแหน่งที่ปลายแขนเคลื่อนที่ไปล่าสุด หน่วยเวลาเป็นวินาที

ตารางที่3-6 ตัวอย่างคำสั่งการเคลื่อนที่

คำสั่ง	ลักษณะการเคลื่อนที่
MOVL	A ——— B
MOVJ	A ⌒ B



รูปที่3-29 ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรมบน Programming pendant

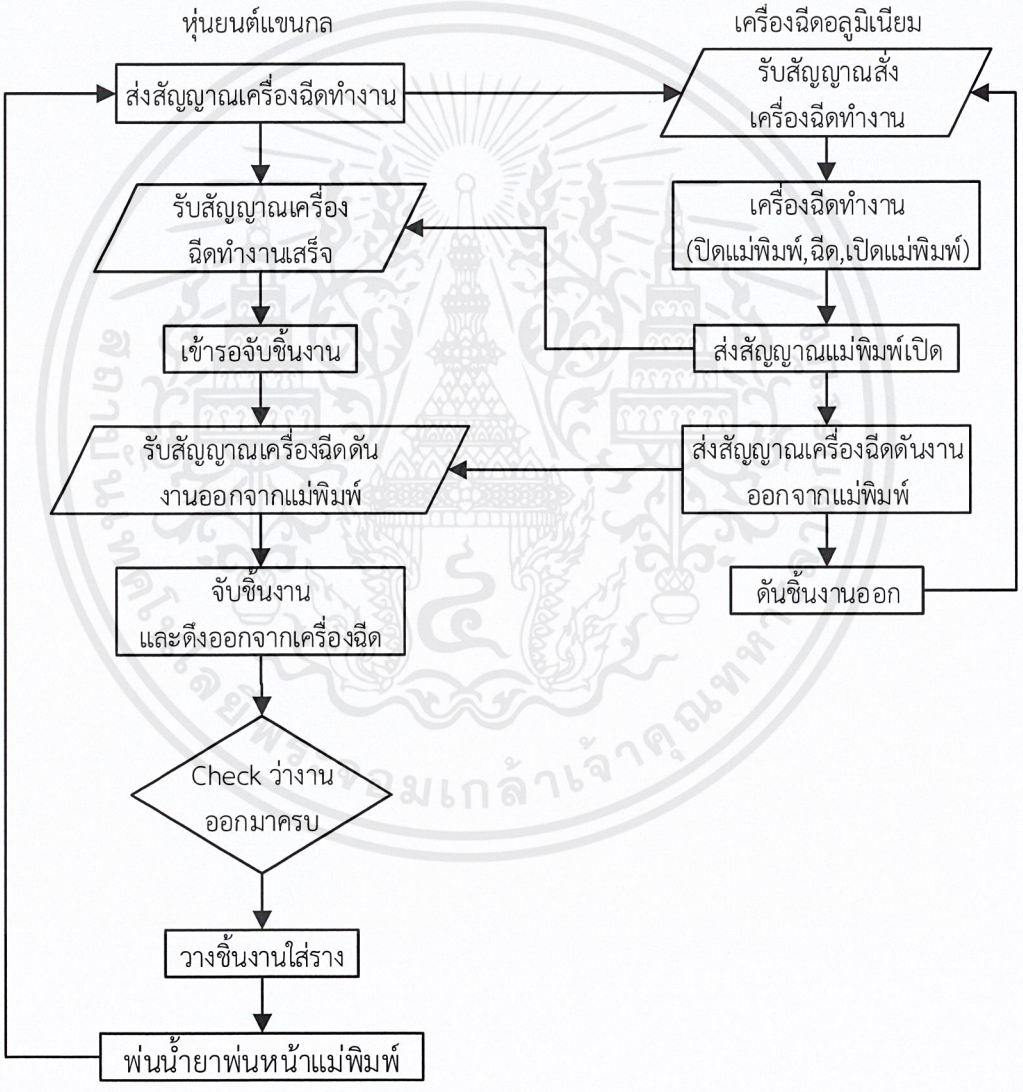
หน้าจอแสดงผลบน Programming pendent ที่แสดงในรูปที่3-29 แสดงให้เห็นหน้าโปรแกรมที่ตั้งไว้ให้ให้ทำงานร่วมกับการผลิตฝามอเตอร์โมเดล W233-9857 เมื่อจะใช้หุ่นยนต์ทำงานร่วมกับการผลิตฝามอเตอร์โมเดลอื่น จำเป็นจะตั้งเลือกโปรแกรมให้ตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการวิจัย

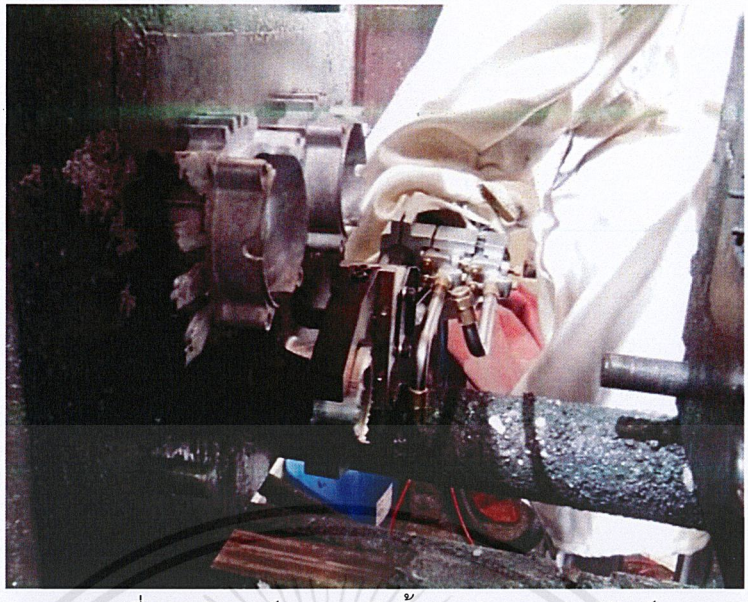
4.1 ผลการทำงานของหุ่นยนต์

การทดลองใช้หุ่นยนต์ทำงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมโดยใช้ Controller ควบคุมการทำงานของเครื่องฉีดอลูมิเนียมแทนแรงงานคน ให้ทำงานสัมพันธ์กับหุ่นยนต์แขนกล มีขั้นตอนการทำงานต่อรอบการทำงานแบบปกติโดยไม่มีปัญหารบกวนเช่น ชิ้นงานติดแม่พิมพ์ ชิ้นงานหัก เพื่อให้ได้ชิ้นงานออกจากเครื่องฉีดอลูมิเนียม 1 ชิ้น แสดงในรูปที่4-1 ถึงรูปที่ 4-4



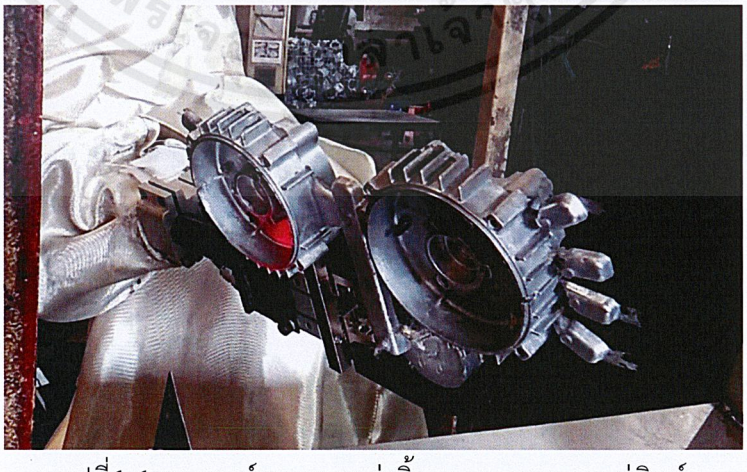
รูปที่4-1 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4-2 หุ่นยนต์แขนกลจับชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

รูปที่4-3 หุ่นยนต์แขนกลพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ที่แม่พิมพ์



รูปที่4-4 เซนเซอร์ตรวจสอบว่าชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4-1 เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมโดยหุ่นยนต์

รอบการทำงาน	เวลา (วินาที)
1	60.5
2	61.0
3	61.2
4	61.3
5	61.1
6	61.5
7	61.2
8	61.2
9	61.1
10	61.7
เฉลี่ย	61.18

เวลาการทำงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมโดยหุ่นยนต์ที่แสดงในตารางที่4-1 มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการจับเวลาโดยผู้ทำการทดลองในการจับจังหวะการทำงานในแต่ละรอบ หุ่นยนต์และเครื่องฉีดอลูมิเนียมถูกควบคุมการทำงานโดย controller มีเวลาการทำงานค่อนข้างคงที่ในแต่ละรอบ

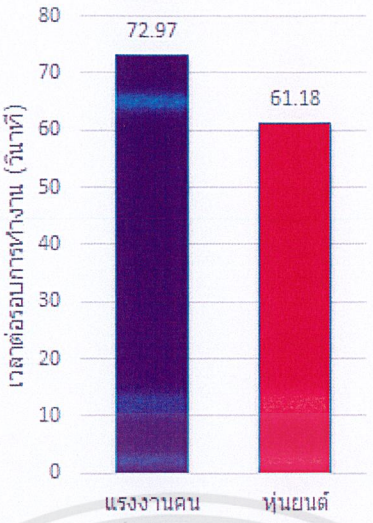
4.2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์

การทดสอบการทำงานโดยหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับแรงงานคนถูกทำในช่วงที่มีการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปฝามอเตอร์โมเดล W223-9857 ทำให้ได้ผลการทดสอบเพียงรุ่นเดียว เนื่องจากการเปลี่ยนแม่พิมพ์ฉีดฝามอเตอร์รุ่นอื่นจะทำให้กระทบต่อกำลังการผลิตมอเตอร์รุ่นนี้ได้ การเปรียบเทียบเวลาการทำงานแสดงในตารางที่4-2 และรูปที่4-5

ตารางที่4-2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์

	แรงงานคน	หุ่นยนต์	ผลต่าง	
เวลาต่อรอบการทำงาน	72.97	61.18	- 11.79 วินาที	- 16.16%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4-5 กราฟเปรียบเทียบการทำงานระหว่างแรงงานคนและหุ่นยนต์

4.3 งบประมาณและความคุ้มทุน

งบประมาณที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมในขั้นต้น เป็นจำนวนเงิน 421,477.28 บาท รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม คำนวณความคุ้มทุนของการวิจัยเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน

ราคาฝามอเตอร์	=	28.7	บาทต่อฝา
จำนวนวันทำงาน	=	26	วันต่อเดือน
แรงงานคนฉีดฝาได้	=	600	ฝาต่อวัน
	=	600 x 26 = 15,600	ฝาต่อเดือน
ใน 1 เดือนแรงงานคนฉีดฝาได้เงิน	=	15,600 x 28.7 = <u>447,720.0</u>	บาทต่อเดือน
ใน 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง	=	28,800	วินาที
โดยเฉลี่ยแรงงานคนใช้เวลาทำงาน		28,800/600 = 48	วินาทีต่อชิ้น
การใช้หุ่นยนต์ลดเวลาได้ 16.16%		48 – 16.16% = 40.24	วินาทีต่อชิ้น
หุ่นยนต์ฉีดฝาได้	=	28,800/40.24 ≈ 715	ฝาต่อวัน
กำลังการเพิ่มขึ้น	=	(715-600)/600 = 19.17%	
	=	715 x 26 = 18,590	ฝาต่อเดือน
ใน 1 เดือนหุ่นยนต์ฉีดฝาได้เงิน	=	18,590 x 28.7 = <u>533,533</u>	บาทต่อเดือน
ผลต่าง	=	533,533 – 447,720.0	
	=	85,813	บาทต่อเดือน
ระยะเวลาคืนทุน	=	ต้นทุน/กำไร	
	=	$\frac{(421{,}447.28 \text{ บาท})}{(85{,}813 \text{ บาทต่อเดือน})} = \underline{4.91}$	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยพัฒนากระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอตอร์โดยใช้หุ่นยนต์ทำงานทดแทนแรงงานคน ใช้หุ่นยนต์ประเภทแขนกลมือสอง ยี่ห้อ YASKAWA UP20 และตู้คอนโทรล YASNAC XRC UP20 มาพัฒนาติดตั้งชุดเครื่องมือมือจับชิ้นงานและหัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์ ในเบื้องต้นสามารถใช้งานได้ในขั้นตอนการสั่งการให้เครื่องเครื่องฉีดอลูมิเนียมทำงานเพื่อฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนมอเตอร์รอสัญญาณเข้าไปจับชิ้นงาน และหยิบงานออกจากเครื่องมาตรวจสอบว่าชิ้นงงานออกมาครบและนำไปใส่รางสไลด์ให้ชิ้นงานไหลลงตะกร้าใส่งานจากนั้นกลับไปพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์เมื่อพ่นเสร็จจะกลับสู่ท่าทางเริ่มต้นสั่งให้เครื่องฉีดอลูมิเนียมทำงานรอบใหม่ทำงานเป็นวัฏจักร และพนักงานที่ควบคุมจะมาตรวจสอบชิ้นงานในภายหลังรวมทั้งตัดชิ้นงานออกจากทางน้ำด้วย

การวิจัยพัฒนากระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปชิ้นส่วนมอตอร์โดยใช้หุ่นยนต์นี้สามารถลดเวลาในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปฝามอเตอร์มอตอร์โมเดล W223-9857 จาก 72.97 วินาทีต่อรอบ เป็น 61.18 วินาทีต่อรอบ ลดเวลาได้ 11.79 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น -16.16% และทำให้ผลิตฝามอเตอร์ได้มากขึ้นจาก 600 ฝา เป็น 715 ฝา เพิ่มขึ้น 115 ฝาต่อวัน คิดเป็น 2,990 ฝาต่อเดือน เท่ากับกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 19.17% ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นในขั้นตอนนี้ 85,813 บาทต่อเดือน ขณะที่งบประมาณที่ใช้ในการวิจัยเบื้องต้นทั้งสิ้น 421,477.28 บาท จะคืนทุนในระยะเวลา 4.91 เดือน

นอกจากนี้พนักงานผู้ที่ปฏิบัติงานบริเวณใกล้เคียงมีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น สามารถลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุจากสะเก็ดอลูมิเนียมที่มีความร้อนสูงกระเด็นมาโดนร่างกาย และอันตรายจากสารเคมีที่ระเหยจากการพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์เข้าสู่ร่างกายเป็นอันตรายต่อดวงตาและระบบทางเดินหายใจ

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

1. พื้นที่ในการติดตั้งหุ่นยนต์แขนกลค่อนข้างจำกัดมาก ทำให้ยากต่อการวางผังการติดตั้ง และยากต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เนื่องจากหุ่นยนต์มีพื้นที่ในการขยับเปลี่ยนท่าทางได้น้อย มักจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งไปชนเข้ากับสิ่งกีดขว้าง

2. เกิดปัญหากับอุปกรณ์ภายในตัวหุ่นยนต์แขนกลเนื่องจากหุ่นยนต์ที่ใช้เป็นสินค้ามือสองมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน เซอร์โวมอเตอร์แกนที่ 2 ของหุ่นยนต์เบรกทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถหยุดอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้ แก้ไขโดยการเปลี่ยนเซอร์โวมอเตอร์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความล่าช้าในการทำอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงการติดตั้ง ในช่วงที่ทำการวิจัย มีการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ภายในบริษัท รวมถึงการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ต้องรอการจัดส่ง ทำให้แผนกที่เกี่ยวข้องไม่สามารถทำงานได้ทันตามกำหนดเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรแก้ไขปรับปรุงแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดขึ้นรูปอลูมิเนียมที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานให้มีสภาพการใช้งานที่ดีขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดการเล็ดลอดของน้ำอลูมิเนียมกระเด็นออกมาโดนพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่บริเวณรอบๆทำให้เกิดการบาดเจ็บ และเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียงอาจเกิดความเสียหายได้ อีกทั้งตัวหุ่นยนต์แม้จะมีเสื้อคลุมจากผ้ากันความร้อนแล้วอาจทำให้เกิดความสกปรกยากต่อการทำความสะอาด

2. เพื่อให้การพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์มีประสิทธิภาพมากขึ้นควรใช้หัวพ่นแบบนอซเซิลและใช้ปั๊มอัดน้ำยาไปที่หัวพ่นแทน เนื่องจากหัวพ่นที่ดัดแปลงไม่สามารถปิด-เปิดน้ำยาได้อย่างทันท่วงทีและการดูดน้ำยาขึ้นไปโดยใช้ลมบางจังหวะไม่เพียงพอทำให้เกิดการขาดช่วงในการพ่นน้ำยาในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปส่งผลให้หน้าแม่พิมพ์ไม่โดนน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์อย่างทั่วถึง เมื่อทำการฉีดอลูมิเนียมเพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วนครั้งต่อไปชิ้นงานอาจติดกับแม่พิมพ์ได้ ส่งผลให้ต้องหยุดการทำงานของเครื่องเพื่อเอางานที่ผิดกับแม่พิมพ์ออก หากเกิดการติดแน่นมากก็จำเป็นจะต้องถอดแม่พิมพ์ออกจากเครื่องฉีดอลูมิเนียมเพื่อทำการแก้ไขซ่อมแซม ทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตอย่างมาก

3. ควรซ่อมแซมระบบหล่อลื่นลูกสูบของเครื่องฉีดอลูมิเนียมที่เสียหาย เนื่องจากการหล่อลื่นปลายลูกสูบที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้อลูมิเนียมแข็งติดกับปลายลูกสูบ ทำให้ต้องหยุดการทำงานเพื่อเคาะเอาชิ้นงานที่ติดปลายลูกสูบออก

4. ควรตรวจสอบการทำงานของหุ่นยนต์อย่างสม่ำเสมอเนื่องจากหุ่นยนต์แขนกลที่ใช้เป็นสินค้ามือสองอาจมีการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนภายใน เช่นสายไฟ สายสัญญาณ เซอร์โวมอเตอร์ ส่งผลให้การทำงานของหุ่นยนต์เกิดความผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.สมบูรณ์ โอตรวรรณะ. (2557). **การหล่อขึ้นรูปอลูมิเนียมผสม (Shape Casting of Aluminium Alloys)**. ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ หน่วยวิจัยการออกแบบและวิศวกรรม ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ,ปทุมธานี. 22-30.

[2] บริษัทแฟ็คทอรี่แม๊กซ์. (2017). **The Efficiency of Die Casting Mold Release Agent**. แหล่งข้อมูล: https://www.factorymax.co.th/?p=5853. ค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2562.

[3] Modern Manufacturing. (2560). **พื้นฐานหุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม**. แหล่งข้อมูล: https://www.mmthailand.com. ค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2562.

[4] รศ.บรรเลง ศรนิล และรศ.สมนึก วัฒนศรียกุล. (2561). **ตารางคู่มืองานโลหะ Tabellenbuch Metall**. (พิมพ์ครั้งที่ 13). กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 39 – 366/5.

[5] Yaskawa Electric Corporation. (2550). **Motoman XRC Controller UP20 Manipulator Manual,** แหล่งข้อมูล https://www.motoman.com/getmedia/08FDDDD5- F274-4636-8D3C-51BD98AA23D0/145965-1.pdf.aspx?ext=.pdf ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2562

[6] บริษัท โซนิค ออโตเมชั่น จำกัด. (2561). **เรียนรู้การใช้งาน PLC เบื้องต้น.** แหล่งข้อมูล: www.sonicautomation.co.th. ค้นเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562.

[7] Asst.Prof.Worawit Chansuvarn, PhD. (2561). **Statistical Evaluation of Analytical Data.** แหล่งข้อมูล: http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=438. ค้นเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม 2562.

[8] สมชาติ พรมมินทร์ และสุริยัน อาจหาญ. (2554). **การศึกษาการปรับปรุงระบบกระบวนการผลิตการทำงานของเครื่องเชื่อมแขนกลในสายพานการผลิตคานกันกระแทกในประตูรถ**. ปริญญานิพนธ์เทคโนโลยีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 109 หน้า

[9] พันศักดิ์ เนระแก. (2558). **การออกแบบหุ่นยนต์แบบหยิบและวางที่ใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. 119 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

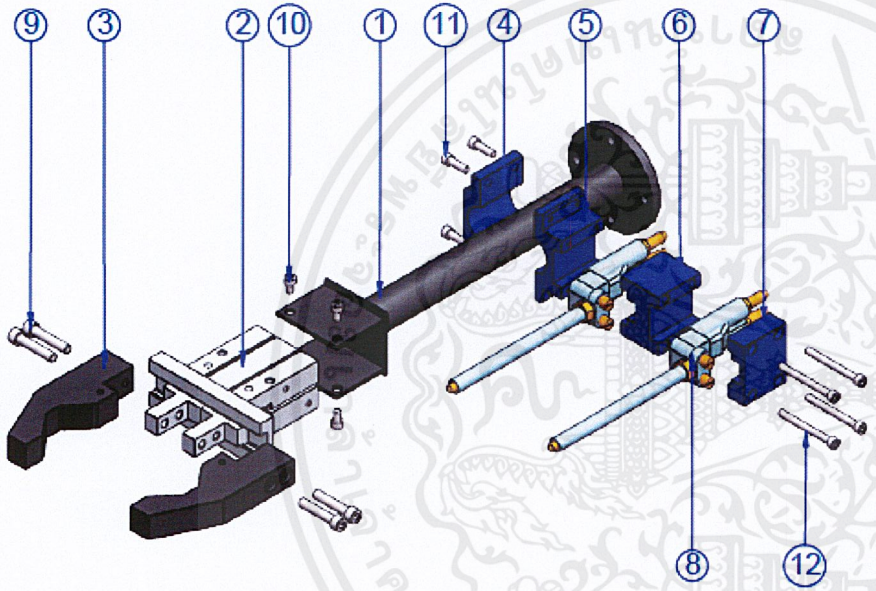
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ออกแบบมือจับชิ้นงาน หัวพ่นน้ำยาพ้นหน้าแม่พิมพ์

และอุปกรณ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.	Part	QTY.
1	Arm Robot	1
2	กระบอกลม gripper AIRTAC	1
3	Finger	2
4	Support1	1
5	Support2	1
6	Support3	1
7	Support4	1
8	หัวพ่นน้ำยาพ่นหน้าแม่พิมพ์	2
9	Socket head cap screw M8x40	4
10	Socket head cap screw M8x10	4
11	Socket head cap screw M6x20	4
12	Socket head cap screw M6x80	4

PIONEER MOTOR

ENGINEERING DEPARTMENT
PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED

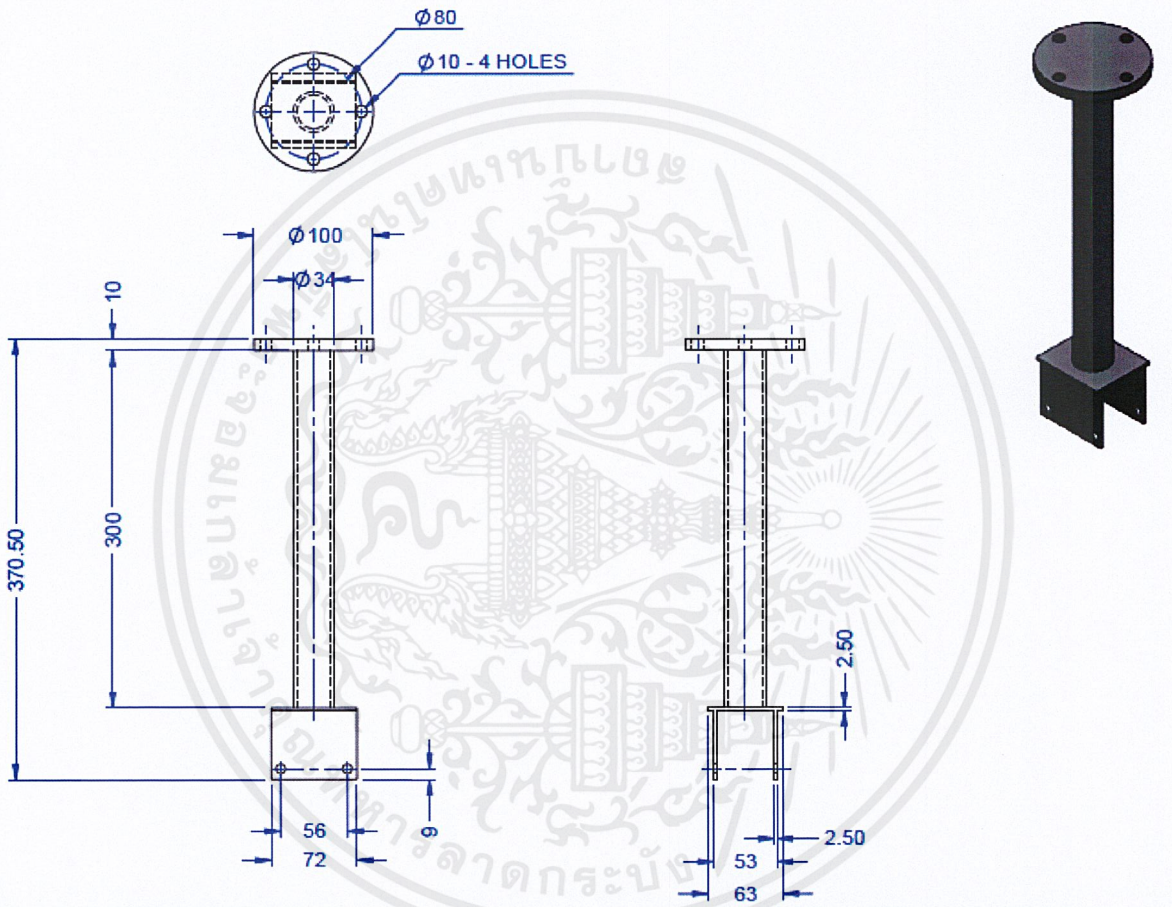
FINISH :	REV :	MATERIAL :

THIRD ANGLE PROJECTION
NON SCALES

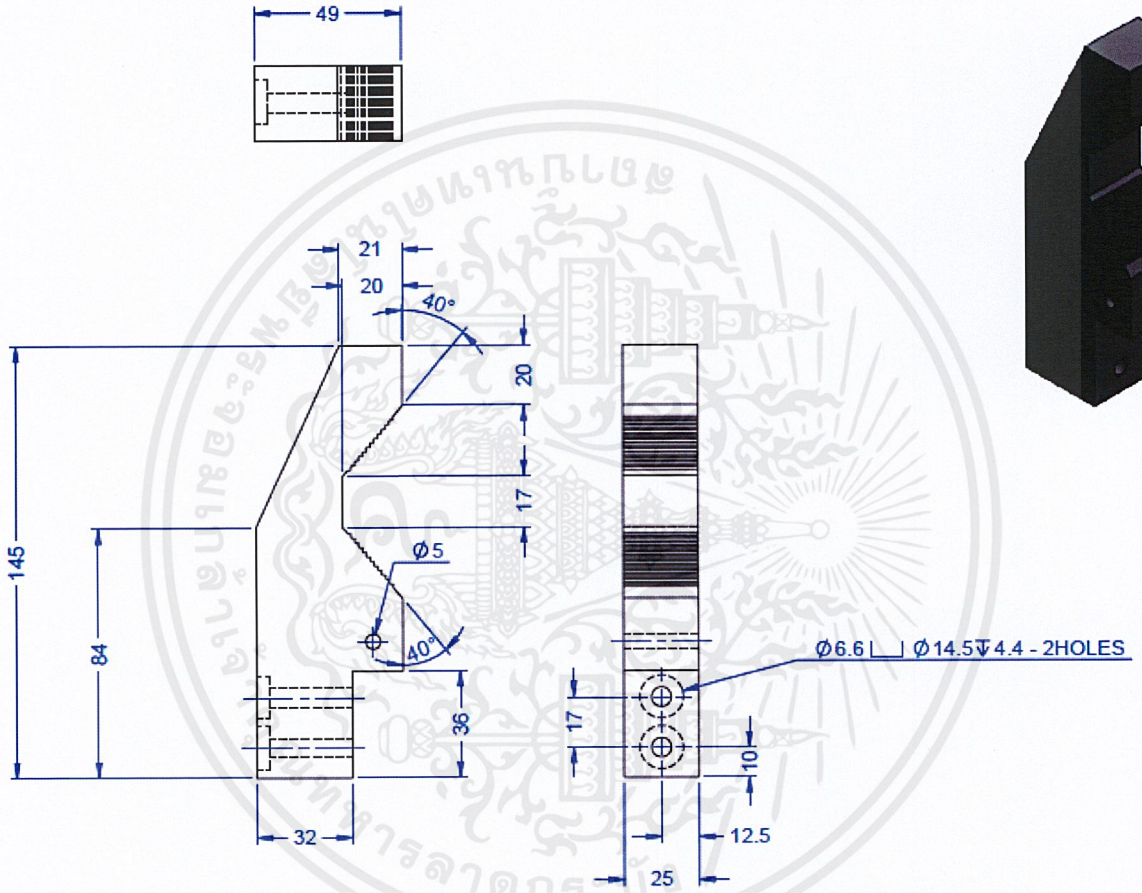
DESCRIPTION : Gripper Die Casting 280T

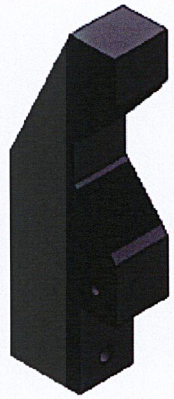
QTY 1

DRAW&DESIGNED	CHECKED	APPROVED	DWG.&Part No.
Apisit	Radchanon	Wanwinit	Gripper

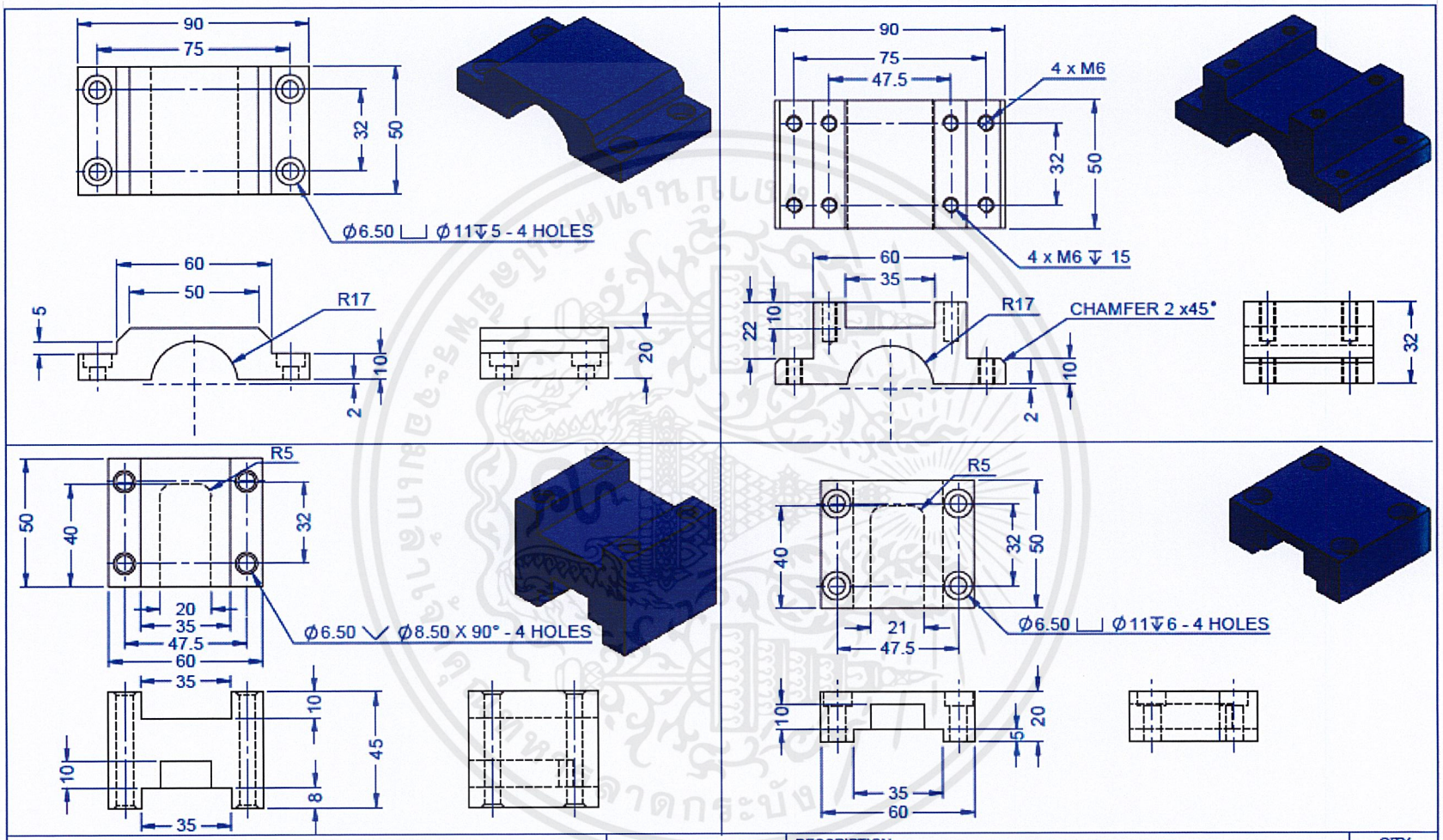


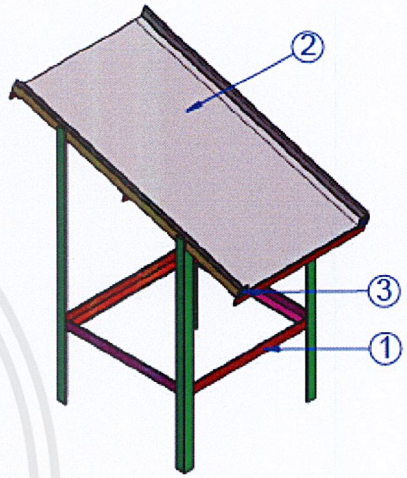
ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED				DESCRIPTION : Gripper Die Casting 280T		QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL : STEEL PIPE 34 mm.	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DRAW&DESIGNED : Apisit	CHECKED : Radchanon	APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. : Arm Robot





ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DESCRIPTION : Gripper Die Casting 280T	QTY 2
FINISH :	REV :	MATERIAL : S50C		DRAW&DESIGNED : Apisit / CHECKED : Radchanon / APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. Finger


90
75
32
50
Ø6.50 ⌴ Ø11↧5 - 4 HOLES
60
50
R17
5
10
2
20
90
75
47.5
4 x M6
32
50
4 x M6 ↧ 15
60
35
22
10
R17
CHAMFER 2 x45°
2
10
32
R5
50
40
32
20
35
47.5
60
Ø6.50 ⌵ Ø8.50 X 90° - 4 HOLES
35
10
45
10
8
35
R5
40
32
50
21
47.5
Ø6.50 ⌴ Ø11↧6 - 4 HOLES
10
5
20
35
60
ENGINEERING DEPARTMENT
PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED
FINISH :
REV :
MATERIAL :
Aluminium
THIRD ANGLE PROJECTION
NON
SCALES
DESCRIPTION :
Gripper Die Casting 280T
Q'TY
1
DRAW&DESIGNED
Apisit
CHECKED
Radchanon
APPROVED
Wanwinit
DWG.&Part No.
Support

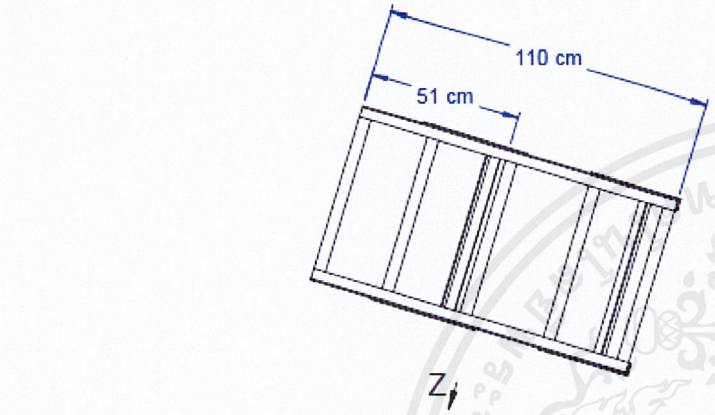


1. structure
2. stainless steel sheet
3. steel plate

PIONEER MOTOR	ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED		DESCRIPTION : SLIDE RAIL		QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DRAW&DESIGNED : Apisit CHECKED : Radchanon APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No.

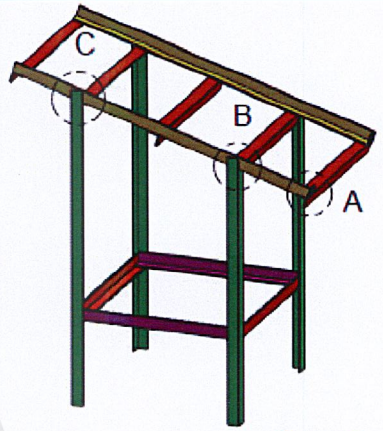
99

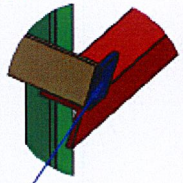
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



DETAIL C

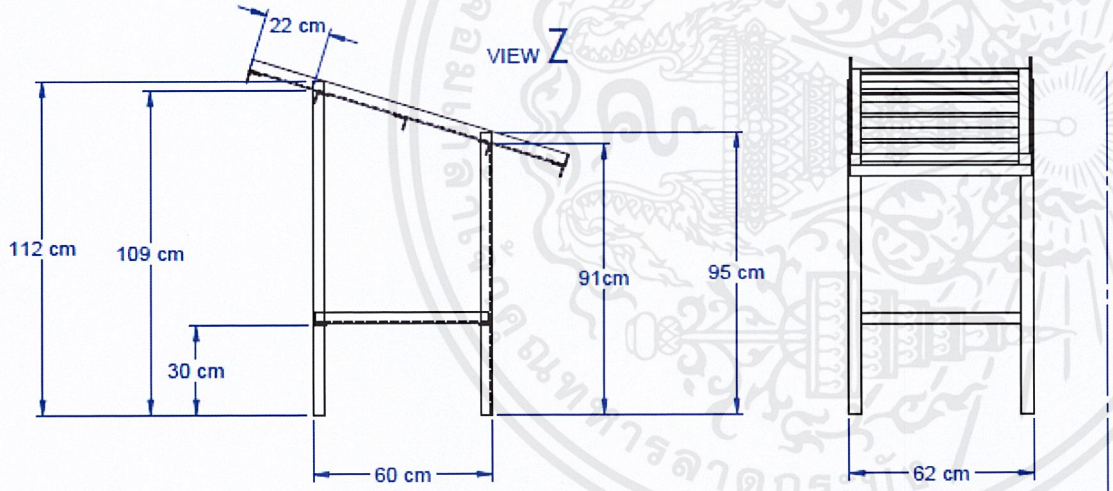
DETAIL B

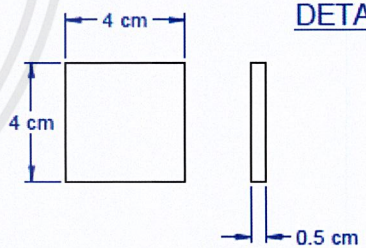




2 x Steel plate 4 x 4 x 0.5 cm

DETAIL A

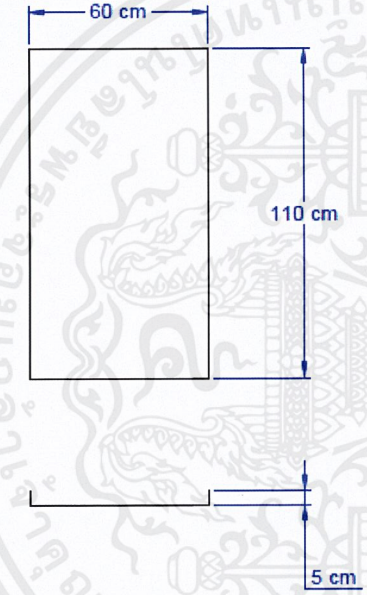


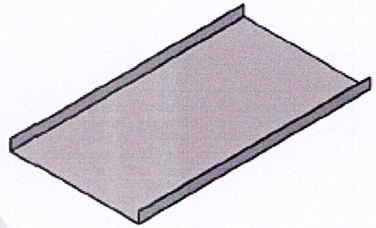


ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			DESCRIPTION : SLIDE RAIL		QTY 1
FINISH : Welding	REV :	MATERIAL : Angle Steel 40 x 40 x 5	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES		

DRAW&DESIGNED	CHECKED	APPROVED	DWG.&Part No.
Apisit	Radchanon	Wanwinit	Structure

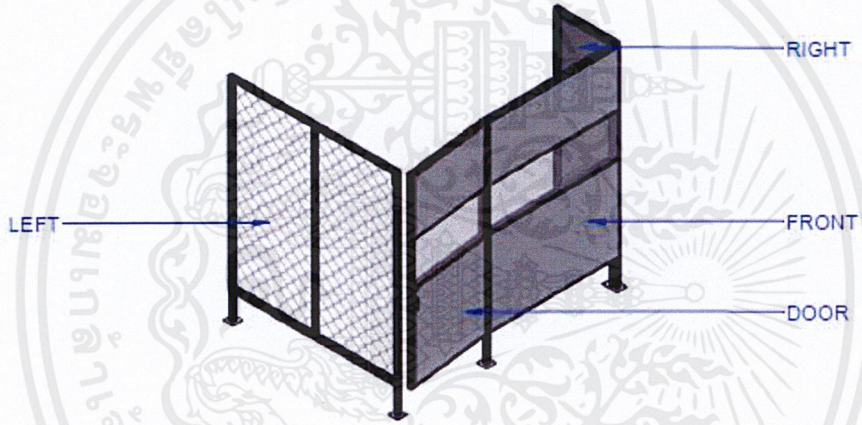
89





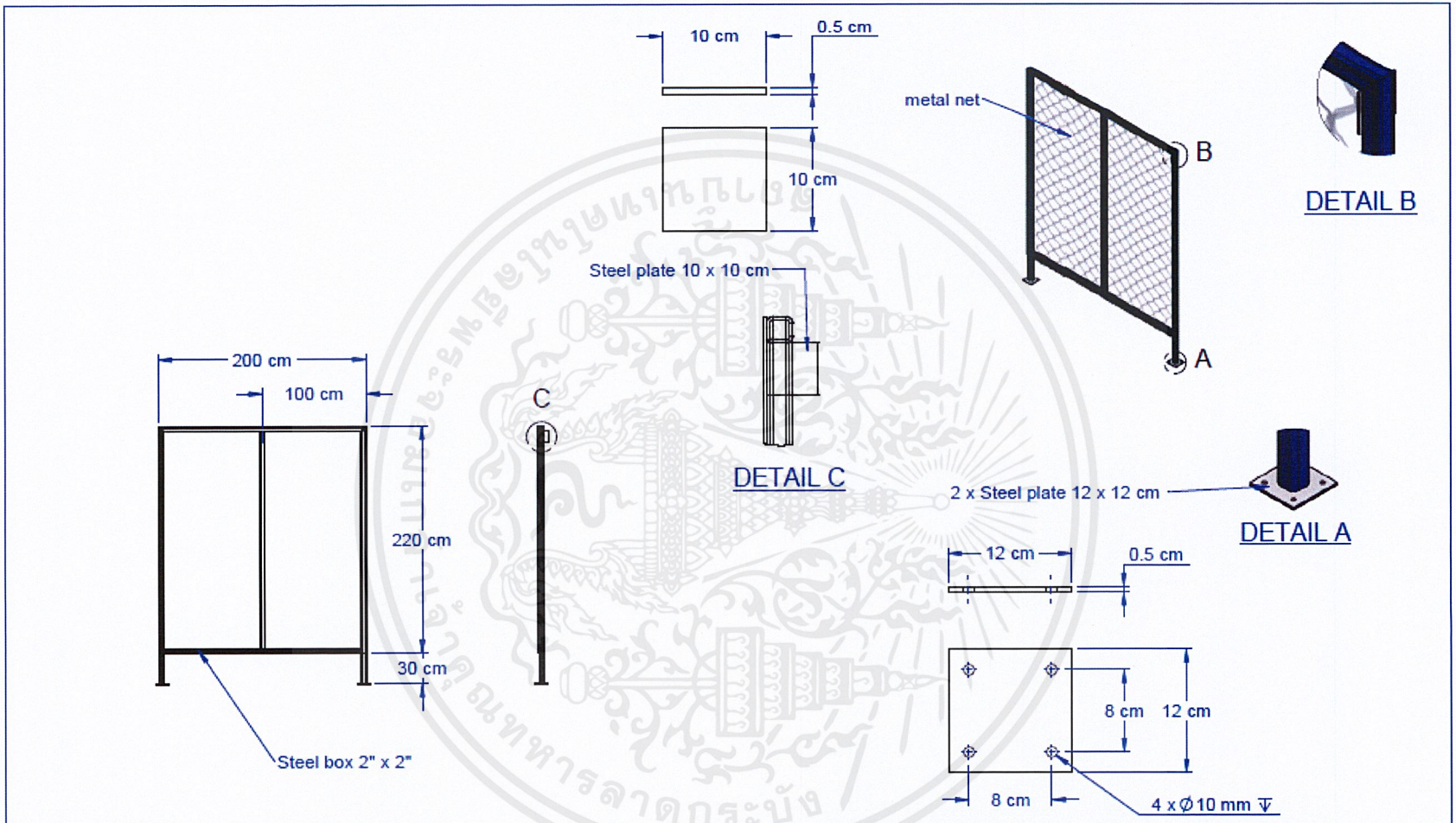
ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED				DESCRIPTION : SLIDE RAIL	QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL : Stainless steel sheet 2 mm	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DRAW&DESIGNED : Apisit CHECKED : Radchanon APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. : Stainless steel sheet

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



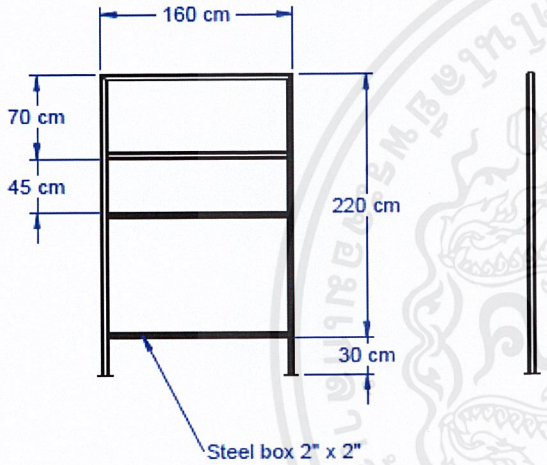
ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DESCRIPTION : FENCE		Q'TY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :		DRAW&DESIGNED : Apisit	CHECKED : Radchanon	APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No.

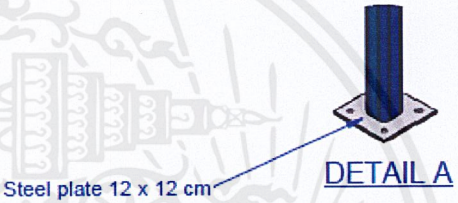
ลิขสิทธิ์ของกรมทหารลาดกระบัง

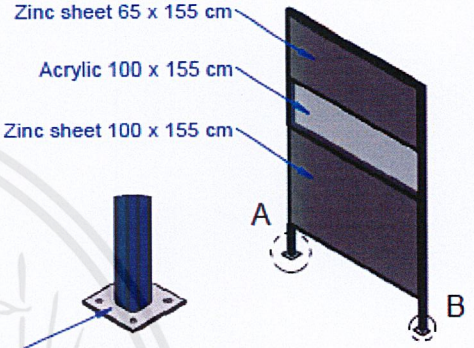


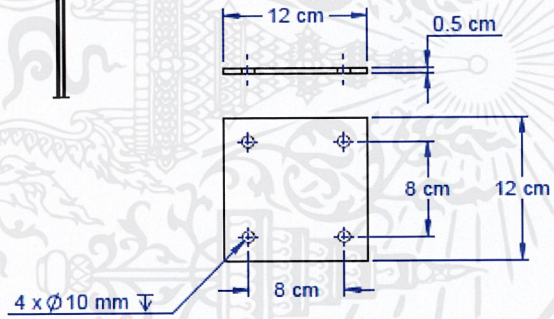
ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DESCRIPTION : FENCE	QTY 1
FINISH : Welding	REV :	MATERIAL :		DRAW&DESIGNED : Apisit CHECKED : Radchanon APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. : Fence left

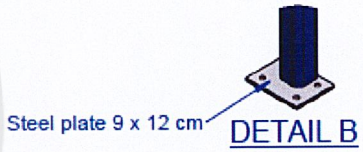
71

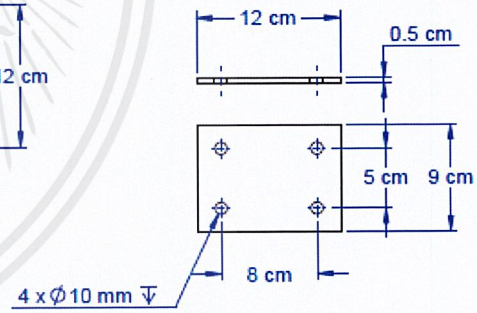






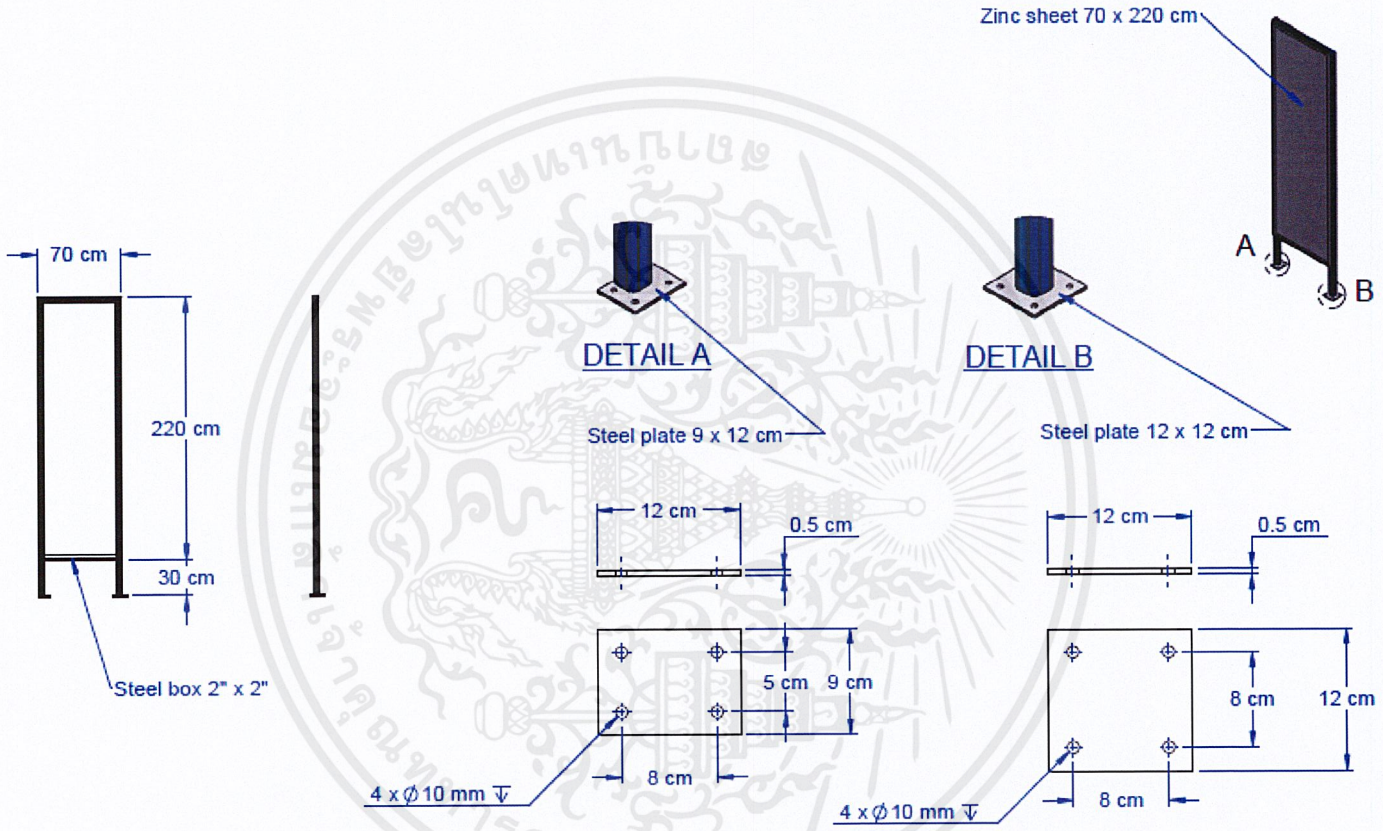




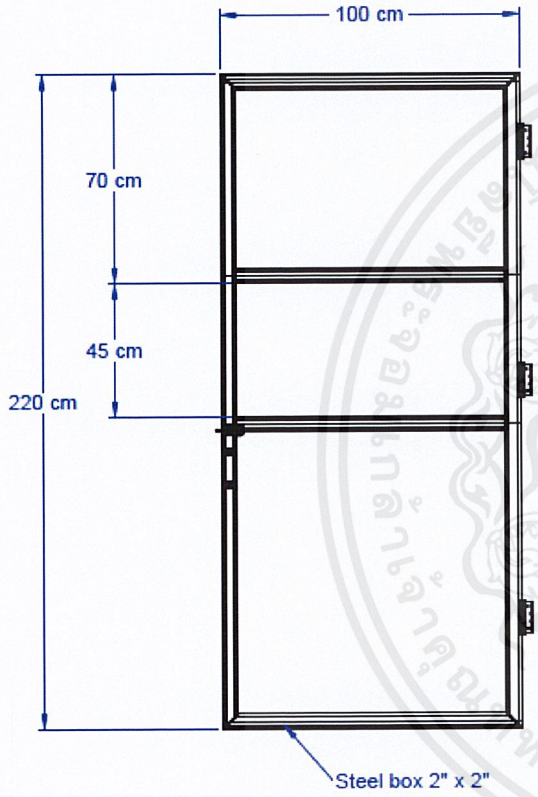


ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DESCRIPTION : FENCE		QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :		DRAW&DESIGNED : Apisit	CHECKED : Radchanon	APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. : Fence front

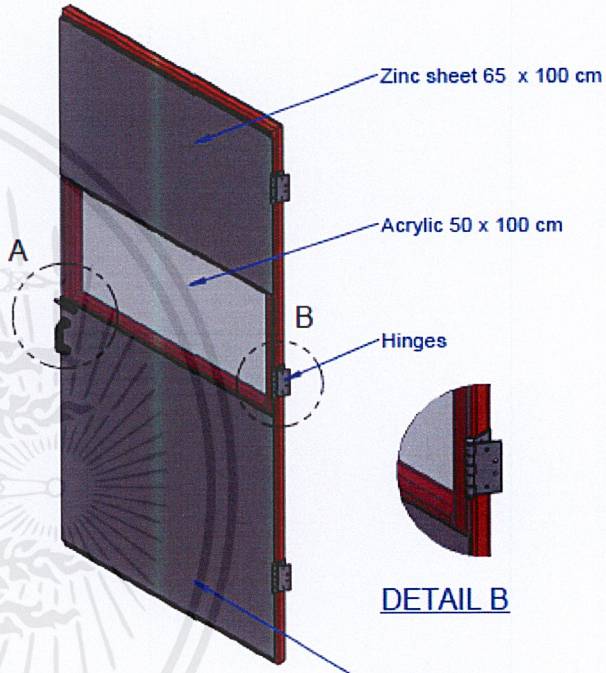
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED				DESCRIPTION : FENCE		QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DRAW&DESIGNED Apisit	CHECKED Radchanon	APPROVED Wanwinit	DWG.&Part No. Fence right

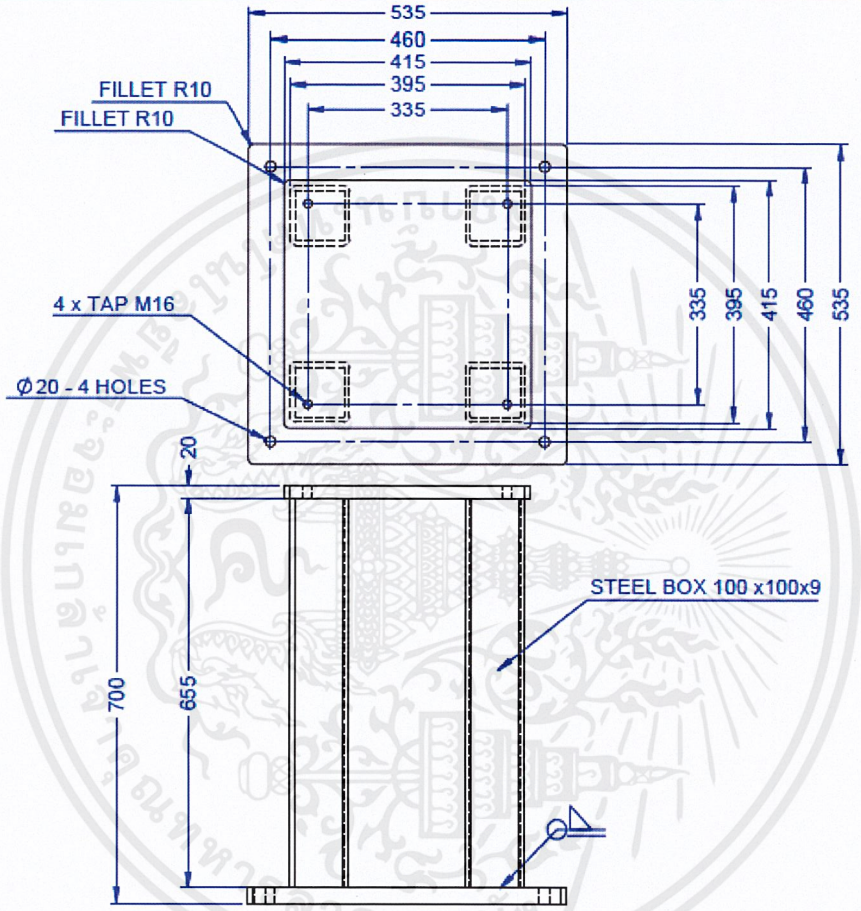


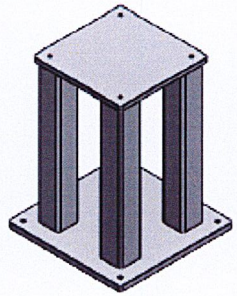
DETAIL A



DETAIL B

ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DESCRIPTION : FENCE	QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :		DRAW&DESIGNED : Apisit CHECKED : Radchanon APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No. : Fence door



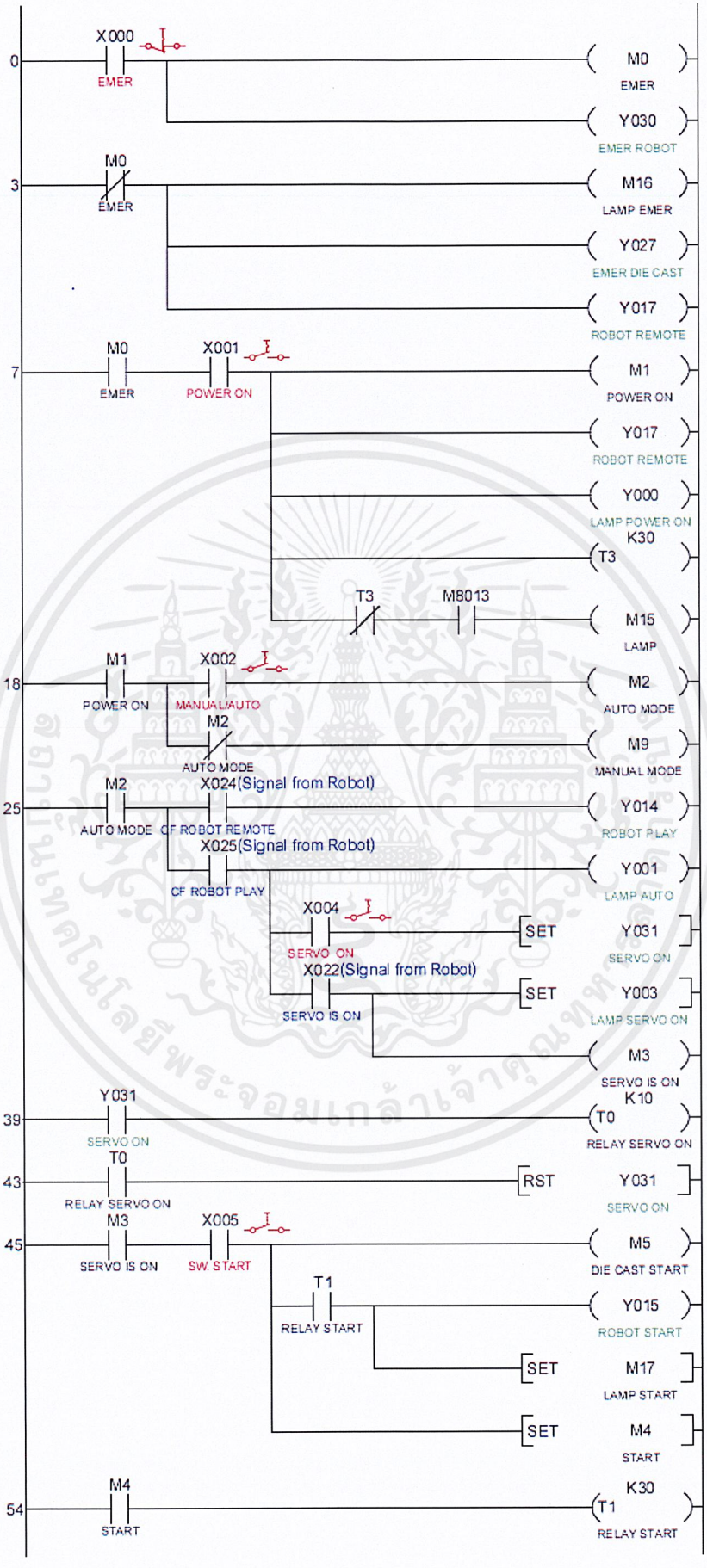


ENGINEERING DEPARTMENT PIONEER MOTOR PUBLIC COMPANY LIMITED			DESCRIPTION : STAND ROBOT		QTY 1
FINISH :	REV :	MATERIAL :	THIRD ANGLE PROJECTION NON SCALES	DRAW&DESIGNED : Apisit CHECKED : Radchanon APPROVED : Wanwinit	DWG.&Part No.

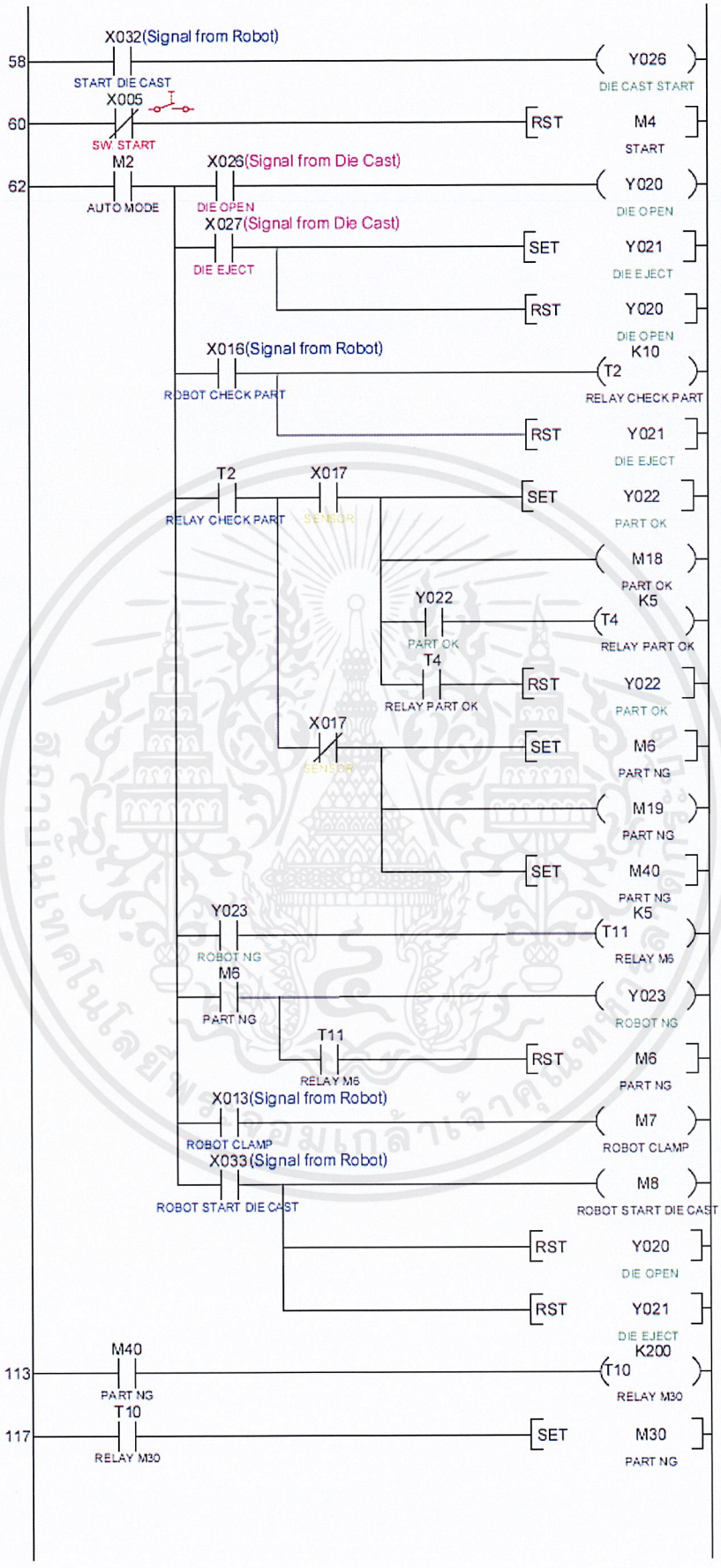
ภาคผนวก ข.

Ladder diagram

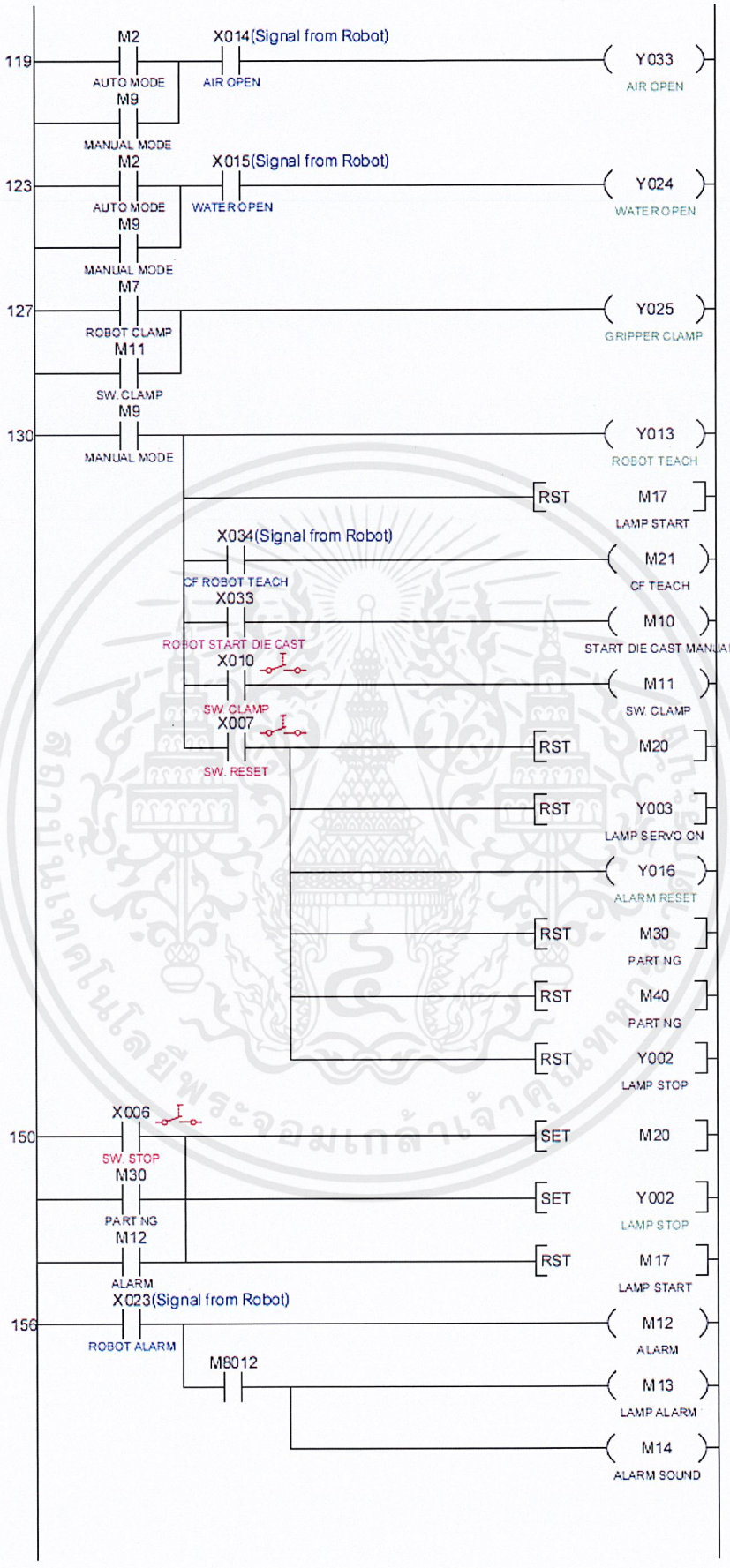
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



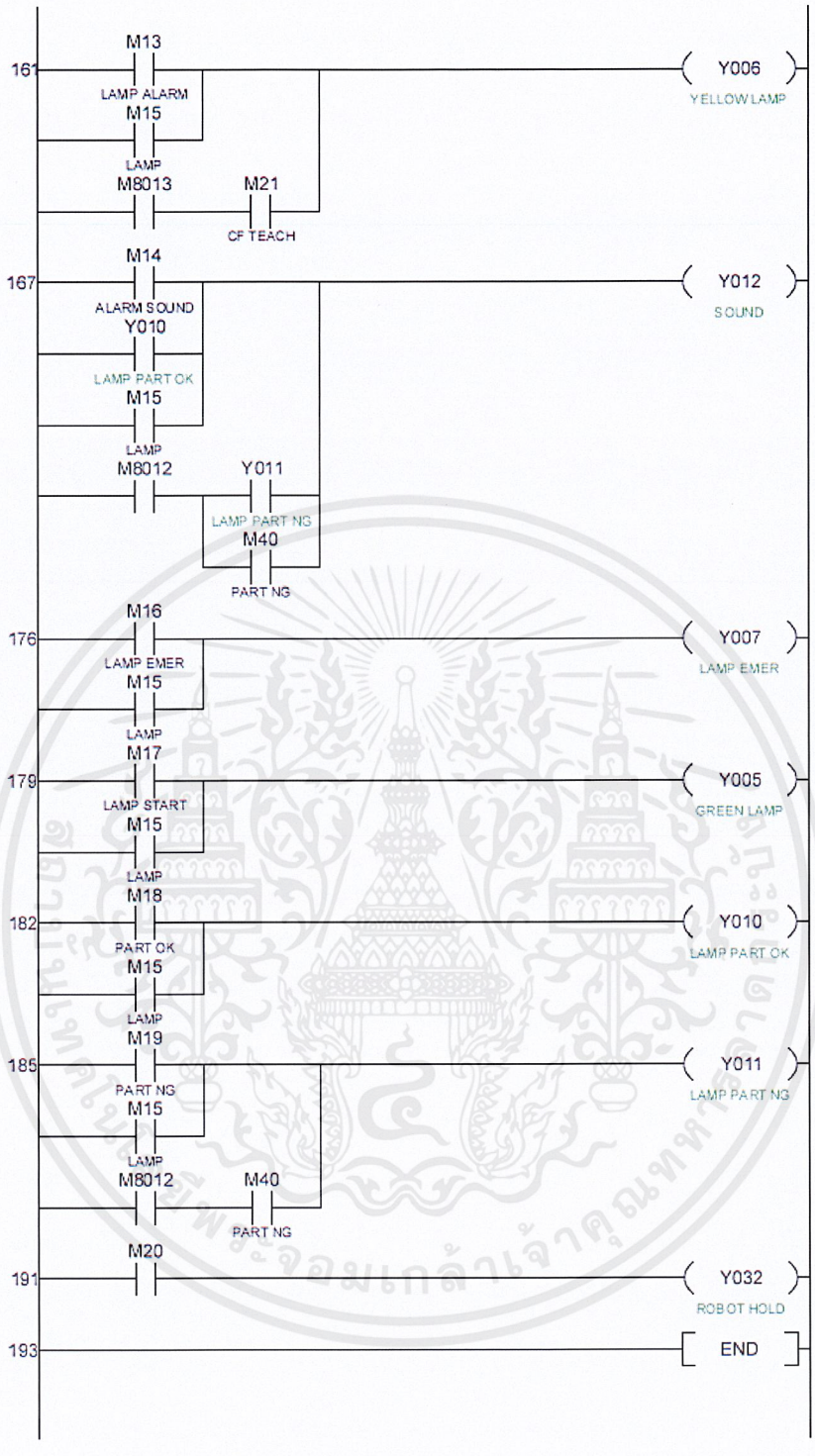
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cost of Project Robot Die Casting						
NO.	List	Number	Unit	Baht / Unit	Total / Baht	หมายเหตุ
	ROBOT Yaskawa Model UP 20 (second hand)	1	SET	250,000.00	250,000.00	
1	หัวพ่นน้ำยาหล่อเย็น	2	SET	5,000.00	10,000.00	
2	Solenoid Valve Brass 24VDC (NC) STAR	1	SET	500.00	500.00	
	Pneumatic					
3	PU wind strap size 6.5x10 mm long (20 meters blue)	1	SET	120.00	120.00	
4	PU wind strap size 8x5 mm black	1	ROLL	1,000.00	1,000.00	
5	PU wind strap 4x6 mm (10 meters blue)	1	SET	120.00	120.00	
6	MAL 16x100 air cylinder	2	EA	450.00	900.00	
7	Air cylinder model sc 32x100	1	EA	800.00	800.00	
8	Pneumatic fitting, 8 mm thread, 1/8 screws	4	EA	25.00	100.00	
9	3 way wind connection, 10 mm wire	6	EA	35.00	210.00	
10	3 way wind connection, 8 mm wire	10	EA	30.00	300.00	
11	Pneumatic Cylinder HFZ GRIPPER SERIES bore size 40, AIRTAC brand	1	SET	6,370.00	6,370.00	
12	Solenoid valve model 4V SERIES 4V310-10 DC 24V	1	SET	620.00	620.00	
13	SOLENOID VALVE 3/2 Model 3V310-10 DC 24V	1	SET	620.00	620.00	
14	Pneumatic fitting, 8 mm. thread, 3/8 screws	10	EA	32.00	320.00	
15	Pneumatic fitting, 10 mm. thread, 3/8 screws	4	EA	37.00	148.00	
16	2-way connector, reduce the size of the wind plug, 2 side wind 8 -6 mm	4	EA	30.00	120.00	
17	Wind speed adjustment Dia 8 3/8 PT OUTFLOW	4	EA	125.00	500.00	
18	Pneumatic fitting, 6 mm. thread, 5 mm screws	4	EA	19.00	76.00	
19	(AC Auto drain) 2 UNIT AC 3010-30 D (port 3/8)	1	SET	1,400.00	1,400.00	
	Control					
20	REALY Omron Model MY4N-24V & PYF 14A-E	20	SET	200.00	4,000.00	
21	PLC MODEL:FX3U-64MR/ES [MITSUBISHI]	1	SET	12,000.00	12,000.00	
22	Power cable box 4 "x4" T202 TTM	2	EA	30.00	60.00	
23	Control Box KBSN 9006 KJL SIZE 600x760x250	1	EA	1,800.00	1,800.00	
24	CABLE CONTROL OPVC-JZ 10x0.5 HELUKABEL	100	m.	54.00	5,400.00	
25	CABLE CONTROL OPVC-JZ 4x0.5 HELUKABEL	20	m.	26.00	520.00	
26	CABLE CONTROL (VSF 1X1 MM.) THAI YASAKI Model VSF	1	ROLL	500.00	500.00	

Cost of Project Robot Die Casting						
NO.	List	Number	Unit	Baht / Unit	Total / Baht	หมายเหตุ
27	Cable VCT 2.5X 4 mm. Fuhrer	1	ROLL	2,900.00	2,900.00	
28	TERMINAL MODEL:TBD-10 [TEND]	2	SET	200.00	400.00	
29	Relay rail	6	EA	60.00	360.00	
30	Pilot lam 24 VDC (Green 1, blue 1, red 1, yellow 1, white 1)	5	EA	30.00	150.00	
31	Selector Switch YW1S/2E10 24VDC	3	EA	140.00	420.00	
32	Push Button Switch 22 mm.YW1B/M1E10 24 VDC (Green 2 red 2 yellow 2 blue 2 white 1 black 1)	10	EA	120.00	1,200.00	
33	Emergency Switch	2	SET	190.00	380.00	
34	22mm. YW Series Pilot Lamp (220-240VAC)	3	EA	70.00	210.00	
35	3 inch ventilation fan, brand WINDSTORM	2	EA	500.00	1,000.00	
36	Circuit breaker NF63 CV 3P 63A, Mitsubishi brand	1	EA	1,200.00	1,200.00	
37	Mitsubishi brand 2P / 10A circuit breaker	1	EA	500.00	500.00	
38	circuit breaker DC	1	set	750.00	750.00	
39	Noise filter 5 amp Brand: TDK Model: ZAC2205-00U	1	EA	1,200.00	1,200.00	
40	Limit Switch Omron Model: WLCA2-2	1	EA	800.00	800.00	
41	POWER SUPPLY OMRON S8JX-G05024CD	1	EA	1,500.00	1,500.00	
42	Wire Duct Model WD6060 PBI	4	EA	120.00	480.00	
43	LED Tower lamps DC24V Safety Stack Lamp Flash Industrial Tower Signal warning Light LTA-502	1	SET	800.00	800.00	
44	Omron Diffuse photoelectric sensor E3JK-DS30M1 แจ้งพัน 12-24Vdc (แถม Bracket)	1	SET	1,000.00	1,000.00	
45	Capacitive proximity switches LJC34A4-K-ZBX NPN NO 3 wires DC6-36V	2	SET	400.00	800.00	
46	Wire way tracks, size 6 "x8" x8 feet (150x200mm)	3	SET	850.00	2,550.00	
47	Flexible Raintight 1-1/2"	25	m.	170.00	4,250.00	
48	Liquid-Tight Flexible Connector size 1-1/2"	30	EA	175.00	5,250.00	
49	LITTLE BEE 200/PC 17,500 Label Printer, Wire Marker BEE200/PC LITTLE BEE	1	SET	16,500.00	16,500.00	
50	SPADE TERMINALS size 1.5-3	5	Pack	80.00	400.00	
51	Wire Marker	1	ROLL	400.00	400.00	
52	Structure				30,000.00	
53	safety				20,000.00	
	All amounts				393,904.00	ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT 7 %
					421,477.28	รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม VAT 7%

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอภิสิทธิ์ เอี่ยมจำปา
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 17 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2540 ที่จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่	21 หมู่ 4 ตำบลดอนพุทรา อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม 73150
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา โรงเรียนพระปฐมวิยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2558
	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้