

การศึกษาแขนกลอุตสาหกรรมสำหรับบรรจุทุเรียนลงกล่อง

THE STUDY OF INDUSTRIAL ROBOT ARM FOR PACKING
DURIAN INTO PACKAGING BOX



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

พ.ศ. 2565

KMITL PRINCE OF CHUMPHON-2022-M-65-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF INDUSTRIAL ROBOT ARM FOR PACKING
DURIAN INTO PACKAGING BOX



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2022

KMITL PRINCE OF CHUMPHON-2022-M-65-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแขนกลอุตสาหกรรมสำหรับบรรจุทุเรียนลงกล่อง
นักศึกษา	นายสรวุฒิ ปั่นศีล
รหัสนักศึกษา	64620027
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2565
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาออกแบบและสร้างกริปเปอร์เพื่อติดปลายแขนกลซึ่งเป็นหุ่นยนต์ชนิด Articulate Robot หุ่นยนต์ได้เข้ามามีความสำคัญอย่างมากในระบบการผลิตปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถในการทำงานที่มีความแม่นยำและความรวดเร็วในการทำงานที่สูง ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนในการผลิตได้ หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องหยุดพักและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานได้โดยการเปลี่ยนปลายแขนกลให้เหมาะสมกับงาน โดยหุ่นยนต์ชนิด Articulate Robot มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ในลักษณะที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์ ทำการหนีบจับทุเรียนและศึกษาการบรรจุทุเรียนใส่กล่องที่ความเร็วต่างๆ โดยการบรรจุทุเรียนใส่กล่อง 2 แบบ คือการบรรจุโดยไม่ใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที การบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียน เป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 100 200 300 400 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ขณะปล่อยทุเรียนเพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งในการวางทุเรียน กำหนดความคลาดเคลื่อนตำแหน่งการวางทุเรียนไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากตำแหน่งเดิม เพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่าการบรรจุโดยไม่ใช้การหน่วงเวลา ใช้ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียนเป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็ว 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: กริปเปอร์, หุ่นยนต์, ทุเรียน, บรรจุกล่อง

Thesis Title	The study of industrial robot arm for packing durian into packaging box
Student	Mr. Sorrawut Punseen
Student ID	64620027
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Panya Daungvilailux

ABSTRACT

This thesis has studied, designed and constructed a gripper attached to the end of an articulate robot. Robots have become an important role in today's production systems. According to the ability to work with high accuracy and speed, it is possible to improve production efficiency and reduce production costs. The robot can work 24 hours a day without a break and can change the working style by changing the end of the robotic arm to suit the work. Articulate robot has the ability to move similar to the movement of a human arm to grasp durians, then study how to pack durians into boxes at different speeds. There are 2 types of containing durians. Firstly, durians were contained without delay at 100 200 300 and 400 mm/second. Secondly, durians were contained with delay during durians were released by using movement speed at 100 200 300 400 500 600 800 and 1000 mm/second during durians were released to compare discrepancy of position that durians were placed, determined discrepancy of position that durians were placed on original position didn't exceed 5 mm. to search for appropriate speed of movement. The experiment showed that durians were contained without delay using speed maximum at 300 mm/second and durians were contained with delay during durians were released by using movement speed maximum at 1000 mm/second which is the most appropriate speed.

Keywords: gripper, robot, durian, boxing

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี โดยการประสิทธิ์วิชาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา
แดงวิไลลักษณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์
และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความอบอุ่นที่ดีต่อกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ
และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่า
และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายสรวุฒิ ปั่นศีล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หุ่นยนต์.....	5
2.2 แขนกล ABB และชุดอุปกรณ์.....	8
2.3 กริปเปอร์.....	29
2.4 หุ่นยนต์.....	31
2.5 ระบบนิวเมติกส์และวาล์วควบคุมทิศทาง.....	35
2.6 ระบายลม.....	38
2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	39
2.8 การคำนวณทางทฤษฎีของการหนีจับหุ่นยนต์.....	45
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	51
3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	51

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.3 เตรียมวัสดุและศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย.....	56
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างกริปเปอร์.....	58
3.5 ขั้นตอนการหาความดันลมในการจับทุเรียน.....	61
3.6 การทดสอบหาความเร็วและวิธีที่เหมาะสมการปล่อยทุเรียนลงกล่อง.....	62
3.7 วิธีการปล่อยทุเรียนลงกล่องที่ใช้ในการทดลอง.....	63
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	65
4.1 การเลือกใช้ประเภทกริปเปอร์.....	65
4.2 การออกแบบและสร้างกริปเปอร์.....	65
4.3 ความดันลมที่เหมาะสมและผลของการหนีทุเรียน.....	67
4.4 ขั้นตอนการทดสอบหนีทุเรียนโดยกริปเปอร์.....	69
4.5 ความคุ้มค่าของการใช้แขนกล.....	71
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก การออกแบบแขนกลครั้งที่ 1.....	80
ภาคผนวก ข การออกแบบแขนกลครั้งที่ 2.....	87
ภาคผนวก ค การออกแบบแขนกลครั้งที่ 3.....	97
ภาคผนวก ง โปรแกรมที่ใช้ควบคุมแขนกล.....	102
ภาคผนวก จ ผลการทดลองระยะห่างของทุเรียนจากเส้นอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก ฉ งานประชุมวิชาการระดับชาติ (IAMBEST).....	111
ประวัติผู้เขียน.....	124

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การดำเนินงานของการสร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและศึกษาความเร็วและความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุทุเรียนลงกล่องโดยวิธีการห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนลงกล่อง	4
2.1	ปริมาณการส่งออกทุเรียนของไทยในช่วง 10 ปี (2553 – 2562)	34
2.2	ส่วนประกอบของระบบวงจรมอเตอร์	36
2.3	DH parameter ของ Articulated Robot	39
4.1	แสดงผลการหนีบจับทุเรียนที่ความดัน 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกะปาสคาล	68
จ1	ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขไม่ใช้การห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100-400 มิลลิเมตรต่อวินาที	108
จ2	ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขใช้การห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100-400 มิลลิเมตรต่อวินาที	109
จ3	ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขใช้การห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 500-1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที	110

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานของการสร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและศึกษาความเร็วและความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุทุเรียนลงกล่องโดยวิธีการหน่วงและไม่หน่วงขณะปล่อยทุเรียนลงกล่อง	3
2.1	องค์ประกอบของระบบที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์	8
2.2	แผง controller	9
2.3	Enabling Device	10
2.4	โรบอท ABB	10
2.5	เบรกมอเตอร์	11
2.6	อุปกรณ์หนีบจับ	11
2.7	singularity	12
2.8	แขนกล	13
2.9	flexpendant	14
2.10	Quickset menu overview	15
2.11	Incremental jogging	15
2.12	Jogging override speed	16
2.13	Controller IRC5	16
2.14	การเคลื่อนที่และการอ้างอิง	18
2.15	การเคลื่อนที่แขนกล	19
2.16	ความหมายของคำสั่ง	19
2.17	Move c	20
2.18	รูปแบบชุดคำสั่งฟังก์ชัน offset	20
2.19	แกนและฟังก์ชันอ้างอิง offset function	21
2.20	Zone data	21
2.21	การสร้างโปรแกรม	22
2.22	การสร้างโปรแกรมสั่งการเคลื่อนที่	22
2.23	โปรแกรมการทำงาน การใช้งาน Debug	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	Tool center point	24
2.25	Tool center point (TCP)	25
2.26	TCP-แบบ Default และ TCP ที่กำหนดทิศทางแกน z	25
2.27	การสร้าง Routines	26
2.28	ชุดคำสั่งที่ใช้ประจำ routines	27
2.29	Modules	28
2.30	โครงสร้าง Modules	28
2.31	โคบอท UR10 ที่ติดตั้งกับกริปเปอร์สุญญากาศ	30
2.32	กริปเปอร์นิวเมติกส์	30
2.33	ทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง	32
2.34	ลักษณะทางกายภาพทุเรียน	32
2.35	การบรรจุทุเรียนหมอนทองสำหรับส่งออกกล่อง	33
2.36	ข้อมูลการส่งออกทุเรียนของไทยในช่วงเวลา 10 ปี	35
2.37	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของระบบนิวเมติกส์ที่ใช้กระบอกลูกสูบ	36
2.38	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของวาล์วควบคุมทิศทาง	37
2.39	การตั้งแกนอ้างอิงของแขนกลแบบ Articulated Robot	39
2.40	วัตถุและแรงเสียดทาน	44
2.41	แรงที่กระทำต่อลูกทุเรียน	45
3.1	แผ่นเหล็ก SS400	51
3.2	ทุเรียนขนาดเกรดB	51
3.3	แขนกล ABB IRB 4600-45/6	52
3.4	กริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและกระบอกลูกสูบลมนิวเมติกส์	52
3.5	Flexpendant	53
3.6	ตู้ controller IRC 5	53
3.7	Tool	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	ชุดควบคุมทิศทางลมเข้าและออก วาล์ววัดความดันลมปรับค่าได้	54
3.9	สายพานลำเลียงทุเรียน	55
3.10	กล่องสำหรับบรรจุทุเรียนส่งออก	55
3.11	เหล็ก ss400	56
3.12	คัตน้ำหนักรูเรียน	56
3.13	วัดขนาดทุเรียนเพื่อทำการออกแบบกริปเปอร์	57
3.14	การเคลื่อนที่ของแขนกลโดยใช้โปรแกรม Robot studio	57
3.15	โปรแกรม Robot studio	58
3.16	การออกแบบครั้งที่ 1	59
3.17	การออกแบบครั้งที่ 2	59
3.18	การออกแบบครั้งที่ 3	59
3.19	การออกแบบครั้งที่ 4	60
3.20	กริปเปอร์ขณะไม่มีลมดันและมีลมดันภายในกระบอกสูบ	60
3.21	ติดตั้งกริปเปอร์และกระบอกสูบลม	61
3.22	ติดตั้งชุดอุปกรณ์กระบอกลมนิวเมติกส์และวาล์วควบคุมลม	61
3.23	ทดสอบความดันลมในการหนีบจับทุเรียน	62
3.24	เคลื่อนแขนกลไปหนีบจับทุเรียนบนสายพานลำเลียง	64
3.25	ตำแหน่งการวางทุเรียนภายในกล่อง	64
4.1	การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1	65
4.2	การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	66
4.3	การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3	66
4.4	การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 4	67
4.5	ลักษณะของเปลือกทุเรียนหลังการหนีบจับโดยกริปเปอร์ที่ความดัน 0.2 เมกะปาสคาล	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทุเรียน ในช่วงความเร็ว 100-400 มม./วินาที โดยไม่ใช้การหน่วงขณะทำการปล่อย ทุเรียน	69
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทุเรียน ในช่วงความเร็ว 100-400 มม./วินาที โดยใช้การหน่วงขณะทำการปล่อยทุเรียน	70
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทุเรียน ในช่วงความเร็ว 500-1000 มม./วินาที โดยใช้การหน่วงขณะทำการปล่อยทุเรียน	71
ก1	แสดงรายละเอียดรวมของกริปเปอร์ครั้งที่ 1	81
ก2	แสดงรายละเอียดด้านข้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1	82
ก3	แสดงรายละเอียดโครงสร้างแกนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1	83
ก4	แสดงรายละเอียดเพลายึดชิ้นส่วนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1	84
ก5	แสดงรายละเอียดเพลาแกนกลางโครงสร้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1	85
ก6	แสดงรายละเอียดการติดตั้งกระบอกสูบจากแกนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ ครั้งที่ 1	86
ข1	แสดงรายละเอียดรวมของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	88
ข2	แสดงรายละเอียดด้านข้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	89
ข3	แสดงรายละเอียดโครงสร้างส่วนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	90
ข4	แสดงรายละเอียดแกนแขนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	91
ข5	แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนระหว่างชิ้นส่วนของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	92
ข6	แสดงรายละเอียดน็อตยึดโครงสร้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	93
ข7	แสดงรายละเอียดน็อตชิ้นส่วนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	94
ข8	แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	95
ข9	แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2	96
ค1	แสดงรายละเอียดรวมออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3	98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค2	แสดงรายละเอียดแกนกลางโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3	99
ค3	แสดงรายละเอียดของน็อตยึดโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3	100
ค4	แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3	101
ง1	แสดงโปรแกรม ABB robot studio ใน workshop	103
ง2	แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio ในคอมพิวเตอร์	104
ง3	แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio โหมดเตรียมความพร้อมแขนกลเพื่อทำงานในคอมพิวเตอร์	105
ง4	แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio เคลื่อนที่แขนกลโดยควบคุมในคอมพิวเตอร์	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

“ทุเรียน” เป็นผลไม้สำคัญของประเทศไทยที่นอกจากบริโภคภายในประเทศแล้วยังเป็นผลไม้ที่ทำได้โดยการส่งออกให้กับประเทศ ซึ่งในแต่ละปีมีการส่งออกทุเรียนสดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยในปี 2553 ประเทศไทยส่งออกที่ 207,501 ตัน เป็นจำนวนเงิน 3,690.3 ล้านบาท ในปี 2564 มีการส่งออกทุเรียนสดมากขึ้น 655,362 ตัน เป็นจำนวนเงิน 45,485.5 ล้านบาท มีอัตราการขยายตัวภาคเศรษฐกิจร้อยละ 68[1] ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ราคาทุเรียนมีการปรับตัวขึ้นลงคือความต้องการบริโภคทุเรียนภายในประเทศเพิ่มขึ้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคชาวจีน ทำให้ปริมาณการส่งออกทุเรียนออกมามีมากขึ้น ประเทศที่มีการปลูกทุเรียนเพื่อการบริโภคภายในประเทศเป็นหลัก เช่น อินโดนีเซีย เวียดนาม ไทย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และทางตอนเหนือของออสเตรเลีย เป็นต้น สายพันธุ์ที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์พื้นเมือง แตกต่างกับประเทศไทยที่นิยมปลูกทุเรียนสายพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกมากกว่าร้อยละ 90 [2]

ราคาการขายทุเรียนหน้าสวนทุเรียนในประเทศไทย กิโลกรัมละ 50-60 บาท ซึ่งประเทศจีนขายราคาขั้นต่ำ 20 หยวน หรือ 110 บาทไทย[3] ราคาสูงขึ้นอย่างมากเนื่องจากมีค่าจ้างแรงงานและค่าใช้จ่ายในกระบวนการส่งออก ผู้ประกอบการต้องการลดต้นทุนด้านแรงงานและเวลาในการส่งออกเพื่อรักษาคุณภาพทุเรียน การใช้เทคโนโลยีแขนกลมาช่วยในกระบวนการส่งออกทุเรียนจึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการ

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการผลิต ได้ถูกนำมาใช้แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง งานที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันตลอดเวลา มนุษย์สามารถทำงานได้ทุกอย่าง แต่ข้อจำกัดของมนุษย์นั้นไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องยาวนานจะเกิดความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า จึงต้องมีการพักผ่อน เมื่อเป็นข้อจำกัดอย่างนี้หุ่นยนต์ก็จะเข้ามามีบทบาทในการทำงานดังกล่าว ข้อดีของการที่มีหุ่นยนต์คือ ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น มีความแน่นอน แม่นยำสามารถทำงานผลิตได้โดยไม่ต้องพัก จำนวนชิ้นงานที่ทำก็มากขึ้น ทำงานได้โดยไม่มีความหยุด และปลายของแขนกล สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อใช้กับประเภทงานที่เหมาะสม ส่วนข้อเสีย เช่น ราคาสูง ต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมหุ่นยนต์ ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานในโรงงานที่มีกำลังการผลิตน้อย

ปัจจุบันมีการนำแขนกลทำการติดกริปเปอร์เพื่อช่วยการทำงานหลายรูปแบบและมีการออกแบบและพัฒนากริปเปอร์อย่างต่อเนื่อง เช่น การออกแบบกริปเปอร์สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่เร็ว[4] และมี

งานวิจัยที่แขนกลติดตั้งกรีปเปอร์ทำงานด้านการเกษตรและการปศุสัตว์มากขึ้นตั้งงานวิจัย การวิจัยกรีปเปอร์หนีบจับชนิดด้านเดียวสำหรับอุตสาหกรรมเนื้อแบบอัตโนมัติ[5] งานวิจัยการพัฒนาและประเมินหุ่นยนต์เก็บเกี่ยวสตอร์เบอร์โดยกรีปเปอร์ ทำการเคลื่อนที่ด้วยสายเคเบิล มีการใช้กล้องเพื่อช่วยในขั้นตอนเก็บเกี่ยว พบว่าเกิดความสำเร็จของการเก็บเกี่ยว 96.8 เปอร์เซ็นต์[6]

โดยงานวิจัยนี้เป็นอีกหนึ่งงานวิจัยที่ใช้แขนกลกับการเกษตรโดยการออกแบบและสร้างกรีปเปอร์สำหรับหนีบจับทุเรียนเพื่อใช้งานร่วมกับแขนกล ทดสอบแรงในการจับที่ทำให้เปลือกทุเรียนเสียหายน้อยที่สุด ทดสอบการบรรจุทุเรียนโดยใช้การห่อและไม่ห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนพร้อมจับเวลา เพื่อเลือกความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการบรรจุทุเรียนใส่กล่องสำหรับทดแทนการใช้แรงงานคนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาออกแบบ และทำการสร้างกรีปเปอร์เพื่อทำการติดที่ปลายแขนกล
- 1.2.2 ทำการทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหนีบจับทุเรียน
- 1.2.3 ทดสอบการบรรจุทุเรียนเงื่อนไขมีการห่อและไม่มีการห่อหุ้มขณะทำการปล่อยทุเรียนเพื่อหาความเร็วที่ดีที่สุดสำหรับบรรจุทุเรียนลงในแต่ละเงื่อนไข

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการวางทุเรียนไม่เกิน 5 มิลลิเมตร
- 1.3.2 ทุเรียนขนาดน้ำหนัก 3-5 กิโลกรัม
- 1.3.3 ขนาดกล่องมาตรฐานการส่งออกทุเรียน 35.3 x 45.3 x 25.5 เซนติเมตร
- 1.3.4 ความสูงขณะปล่อยทุเรียน 1/2 ของกล่อง
- 1.3.5 ความเร็วการเคลื่อนที่แขนกลไม่เกิน 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที
- 1.3.6 ใช้การห่อหุ้มขณะปล่อย และไม่ใช้การห่อหุ้มขณะปล่อย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 การพัฒนากรีปเปอร์และการเป็นต้นแบบการสร้างกรีปเปอร์เพื่อใช้กับแขนกลสำหรับหนีบจับทุเรียนลงในกล่อง
- 1.4.2 ทำให้ทราบถึงค่าความเร็วและความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุทุเรียนลงในกล่องโดยการห่อและไม่ห่อหุ้มขณะปล่อยทุเรียนลงในกล่อง
- 1.4.3 ผู้ประกอบการสามารถมาศึกษางานวิจัยเพื่อนำกรีปเปอร์ติดตั้งที่ปลายแขนกลเพื่อไปใช้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

วิธีการเตรียมความพร้อมและกำหนดวางแผนการทำงานเป็นลำดับขั้นตอนสำหรับการทำงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่1.1 แผนผังการดำเนินงานของการสร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและศึกษาความเร็วและความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุทุเรียนลงกล่องโดยวิธีการห่นวงและไม่ห่นวงขณะปล่อยทุเรียนลงกล่อง

1.6 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินการศึกษาและออกแบบกริปเปอร์เพื่อทำการติดตั้งที่ปลายแขนกลเพื่อใช้สำหรับการวิจัยหนีบจับทุเรียนลงกล่อง ดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการสร้างกริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและศึกษาความเร็วและความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุทุเรียนลงกล่องโดยวิธีการห่วงและไม่ห่วงขณะปล่อยทุเรียนลงกล่อง

การดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ 2563-2566							
	ส.ค.- ต.ค. 63	พ.ย.- ม.ค. 64	ก.พ.- มี.ย. 64	ก.ค.- ก.ย. 64	ต.ค.- ม.ค. 65	ก.พ.- พ.ค. 65	มี.ย.- ส.ค. 65	ก.ย.- เม.ย. 66
1. ศึกษาวิธีการใช้งานแขนกล โปรแกรมสำหรับควบคุมแขนกล และอุปกรณ์ ทำการหาทุเรียนที่ ใช้สำหรับการทดลอง	←→							
2. ศึกษาหลักการทำงานของ ระบบนิวเมติกส์และงานวิจัย หลักการเกี่ยวกับการออกแบบ กริปเปอร์	←→							
3. ทำการออกแบบและสร้าง กริปเปอร์	←→							
4. ติดตั้งกริปเปอร์พร้อมชุด อุปกรณ์และทดสอบการทำงาน	←→							
5. วิเคราะห์และสรุปผลการ ทดลอง/ส่งเล่มโครงการวิจัย ฉบับสมบูรณ์/Draft manuscript	←→							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์ (Robotics)

2.1.1 ความเป็นมาของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์คือเครื่องยนต์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่าง ๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ หรืออาจมีการตั้งค่าให้หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจได้เองในระดับใดระดับหนึ่ง การควบคุมระบบต่างๆ ในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์ สามารถทำได้โดยทางอ้อมและอัตโนมัติ หุ่นยนต์สามารถจำแนกเป็น ๒ ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้งาน คือ หุ่นยนต์ชนิดติดตั้งอยู่กับที่ หุ่นยนต์ประเภทนี้มีลักษณะเป็นแขนกลซึ่งสามารถขยับเคลื่อนไหวได้เฉพาะข้อต่อ นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และหุ่นยนต์ชนิดเคลื่อนที่ได้ หุ่นยนต์ประเภทนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ด้วยตัวเอง โดยการใช้ล้อ ขา หรือการขยับเคลื่อนในรูปแบบอื่นๆ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อสำหรับงานที่มีความยากลำบากหรืออันตราย เช่น งานสำรวจในพื้นที่บริเวณแคบ งานสำรวจในบริเวณที่เกิดภัยพิบัติ ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในหลากหลายด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรมการผลิต ด้านการแพทย์[7]

หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม เป็นเครื่องจักรกลอัตโนมัติรูปแบบหนึ่งที่ถูกออกแบบและสร้างมาเพื่อนำมาใช้ทดแทนคนในกระบวนการผลิตต่างๆ หรือนำมาใช้เพื่อช่วยในกระบวนการผลิตในลักษณะหุ่นยนต์ทำงานร่วมกับคน หุ่นยนต์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมากที่สุด นั่นคือ Articulate Robot อันเนื่องมาจากหุ่นยนต์ชนิดนี้มีความสามารถในการทำงานและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าชนิดอื่นๆ

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งประกอบด้วยประกอบด้วย ฐาน ท่อนชิ้นที่เป็นของแขนกล ข้อต่อจุดหมุน ปลายของแขน โดยแบ่งแขนกลออกเป็น 4 ประเภท แขนกล Articulate ทำงานคล้ายแขนของมนุษย์ นิยมใช้ในงานเชื่อม ประกอบชิ้นงาน และจัดวางสินค้า 2.แขนกล SCARA เหมาะสำหรับงานประกอบชิ้นส่วน 3. แขนกล Cartesian นิยมใช้ในเครื่อง CNC เครื่องพิมพ์ 3D และงานง่ายๆ อย่างเช่น เครื่องเจาะ 4.แขนกล เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอาหารหรือการผลิตที่มีชิ้นงานวิ่งมาตามสายพาน[8] การประยุกต์ใช้งานแขนกล สามารถประยุกต์ได้กับงานหลายประเภทเช่น การเคลื่อนย้ายวัตถุหรือชิ้นงาน การประกอบชิ้นงาน การคัดแยกหรือจัดเรียงชิ้นงาน

2.1.1.1 Articulate Robot หุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบขึ้นให้มีลักษณะการเคลื่อนไหวของแขน เหมือนการเคลื่อนไหวของแขนของมนุษย์ตั้งแต่บริเวณไหล่ลงไป เนื่องจากลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการทำงานและความสามารถในการเคลื่อนที่ในลักษณะที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์ คนนิยมเรียกหุ่นยนต์ชนิดนี้ว่า ‘แขนกล’ โดยแขนกลที่ใช้ในการศึกษา คือ หุ่นยนต์ประเภท Articulate Robot รุ่น ABB IRB 4600 มีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้สูงสุด 40 กิโลกรัม มีระยะการทำงานไกล 2.5 เมตร

2.1.2 โครงสร้างของหุ่นยนต์

โครงสร้างของหุ่นยนต์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนบริเวณลำตัว และส่วนแขนรวมถึงข้อมือ โดยปกติแล้วส่วนบริเวณลำตัวและส่วนแขนจะมีระดับของความเสรี 3 ระดับ ส่วนแขนมีระดับขั้นของความเสรีอยู่ช่วง 2 – 3 ระดับ ขึ้นส่วนของหุ่นยนต์ส่วนปลายแขนจะเป็นส่วนที่มีความสัมพันธ์กับชนิดงานที่ทำ ส่วนลำตัวและข้อมือจะใช้ในการระบุตำแหน่งที่ต้องการของวัตถุและส่วนข้อมือของหุ่นยนต์จะใช้สำหรับจัดรูปแบบการวางตัวที่เหมาะสมของหุ่นยนต์ให้แก่วัตถุเพื่อที่จะวางตำแหน่งของวัตถุให้เหมาะสม ส่วนบริเวณลำตัวและบริเวณแขนของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนวัตถุได้ทิศทางทั้งสามดังต่อไปนี้คือ

1. เคลื่อนที่ในแนวตั้ง (หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน z)
2. เคลื่อนที่ในแนวรัศมี (หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน y)
3. เคลื่อนที่ซ้ายไปขวา (หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน x)

2.1.3 ส่วนประกอบหุ่นยนต์ ส่วนประกอบของหุ่นยนต์มี 4 ส่วน

1. อุปกรณ์ทางกล แมคคานิค (mechanic) คือ ชิ้นส่วนกลไกต่างๆของหุ่นยนต์ เช่น โครงสร้างเพลา เฟือง สกรูส่งกำลัง สายพาน โซ่ สปริง ข้อต่อสวมเพลา คลัตช์ เบรก ข้อต่อ ก้านต่อโยง ตลับลูกปืน และปลอกสวม

- โครงสร้าง (frame) โครงสร้างเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของหุ่นยนต์
- เพลา (shaft) เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นก้านทรงกระบอกที่หมุนได้ ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจากอุปกรณ์ขับเคลื่อน
- เฟือง (gear) เฟืองทำหน้าที่ส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง
- สกรูส่งกำลัง (power screw) สกรูส่งกำลังมีหน้าที่ส่งกำลังโดยเปลี่ยนจากการหมุนเป็นการเลื่อน
- สายพาน (belt) สายพานมีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง
- โซ่ (chain) โซ่มีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง
- ข้อต่อ (joint) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กันของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สปริง (spring) สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่น ทำหน้าที่ได้หลายประเภท
- ข้อต่อสวมเพลลา (coupling) ข้อต่อสวมเพลลาเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงบิดระหว่างเพลลา
- คลัตช์ (clutch) คลัตช์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงบิดระหว่างเพลลาสองเพลลา
- เบรก (break) เบรกเป็นอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโดยการทำให้การเคลื่อนที่ช้า
- ตลับลูกปืนและปลอกสวม (bearing and bush) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับจุดหมุน หรือจุดต่างๆ ที่เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
- ก้านต่อโยง (link) วัสดุที่นำมาเชื่อมต่อเพื่อสร้างการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

2. อุปกรณ์ขับเคลื่อน แอคชูเอเตอร์ (actuator) คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้กลายเป็นการกระจัด การเคลื่อนที่ หรือแรง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ระบบนิวแมติกส์ และระบบไฮดรอลิกส์

- มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้กลไกต่างๆของหุ่นยนต์เคลื่อนไหว
- สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (stepper motor) ใช้งานควบคุมทิศทางหมุนตามตำแหน่งที่ต้องการได้
- เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) ควบคุมให้ทำงานเฉพาะตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งได้
- ระบบนิวแมติกส์ (pneumatic) โดยใช้แรงดันของอากาศ เป็นตัวขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นพลังงานกล
- ระบบไฮดรอลิกส์ (hydraulic) โดยใช้แรงดันของเหลว เป็นตัวขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นพลังงานกล

3. อุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ (electronic) คือ อุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณทางระบบไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ตรวจจับ วงจรขับต่างๆ และอุปกรณ์แสดงผล

- อุปกรณ์ตรวจจับ เซ็นเซอร์ (Sensor) ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณของตัวแปรต่างๆ ใช้ในการรับค่า (input) ปริมาณทางฟิสิกส์ (physic)
- เอนโคเดอร์ (Encoder) มีความสำคัญมากใช้ในการวัดมุมเพลลาของมอเตอร์
- อุปกรณ์แสดงผล (output device) อุปกรณ์ที่ใช้แสดงค่า (output) สถานะต่างๆ ของหุ่นยนต์ให้มนุษย์ทราบ
- ชุดขับมอเตอร์ (motor driver) เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุน

4. อุปกรณ์ควบคุม คอนโทรลเลอร์ (controller) คือสมองกลที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เช่น สมองกลที่ประดิษฐ์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องควบคุมขนาดเล็ก คอมพิวเตอร์ชนิดแผงวงจรสำเร็จรูป เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

- สมองกลที่ประดิษฐ์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)
- คอมพิวเตอร์ชนิดแผงวงจรสำเร็จรูป (SBC : Single Board Computer)
- พีแอลซี (PLC : Programmable Logic Controller)
- คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC : Personal Computer)[6]

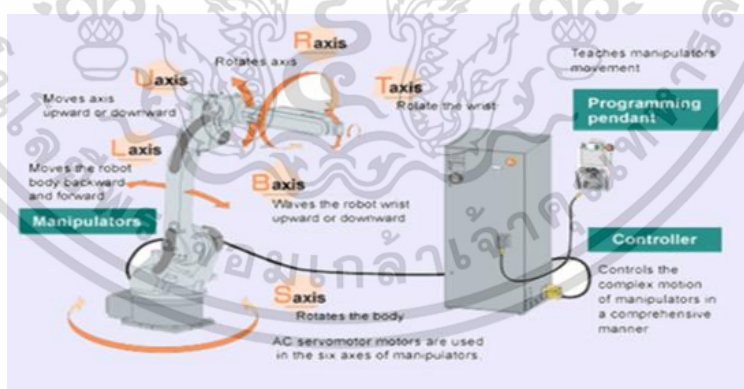
2.2 แขนกล ABB และชุดอุปกรณ์

2.2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแขนกล ABB Articulate Robot

หุ่นยนต์ที่มีรูปแบบการทำงานแบบเดียวกับแขนมนุษย์เริ่มจากชิ้นส่วนบริเวณหัวไหล่ลงไป หุ่นยนต์ชนิดนี้ที่นิยมถูกเรียกว่า แขนกล เนื่องจากการทำงานและลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนกลเหมือนแขนมนุษย์ โดยแขนกลที่ใช้ในการศึกษา คือ หุ่นยนต์ประเภท Articulate Robot รุ่น ABB IRB 4600 มีคุณสมบัติในการรับน้ำหนัก 40 กิโลกรัม ระยะการทำงานไกลสุด 2.5 เมตร

องค์ประกอบของระบบในการควบคุมหุ่นยนต์ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ

1. Programming Pendant : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนชุดคำสั่งต่างๆโดยผู้ควบคุมหุ่นยนต์
 2. Controller : ส่วนที่มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานหุ่นยนต์ผ่าน อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมโปรแกรม (Programming Pendant) หลักจากนั้นประมวลผล เพื่อควบคุมหรือสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานตามระบบ
 3. Manipulator : ตัวหุ่นยนต์ ที่จะทำงานตามคำสั่งที่ได้รับข้อมูลมาจาก Controller
- องค์ประกอบทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์[9]

2.2.1.1 ข้อกำหนดความปลอดภัย ABB ในการทำงานร่วมกับแขนกลผู้ใช้งานควรจะรู้ และเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดความปลอดภัย ของการใช้แขนกล เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรัพย์สินของผู้ใช้งาน โดย 1.ต้องระวังไม่ให้นิ้วมืออยู่ในพื้นที่การหนีบของ gripper jaws เมื่อทำการป้อนชิ้นงาน 2. ต้องยืนอยู่ห่างจากฐานโรบอทเมื่อทำการรันโปรแกรม 3. ต้องทดสอบโปรแกรมที่แก้ไขแล้วในโหมด manual ก่อนเสมอ 4.ต้องการทดสอบโหมด Full speed จะอนุญาตให้ทำได้เมื่อมีผู้สอนอยู่เท่านั้น 5.โปรตรระวังเมื่อปลดล็อกเบรคโรบอท 6. เมื่ออยู่ในพื้นที่การทำงานของโรบอท คุณจะต้องมี Pendant อยู่กับตัวเสมอ

-ปุ่มหยุดกระทันหัน Emergency stop ใช้ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้งานแขนกลหรือผู้ที่อยู่ในระยะการทำงานของแขนกล111111

- โหมดการทำงานแบ่งออกเป็น โหมดการผลิต Production (Auto) ระบบป้องกันล็อกเชื่อมต่อกัน โหมด Manual จำกัดความเร็ว (Teach) ใช้ในการ Jogging หุ่นยนต์ และ ใช้ทดสอบการทำงานของโปรแกรม ใช้ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 250mm/sec

- โหมด Manual full speed สำหรับการทดสอบใช้กับโปรแกรมการทำงานเท่านั้นด้วยความเร็วที่โปรแกรมไว้ โดยกดระดับกลาง + กดคีย์ Play ค้างไว้เพื่อรันโปรแกรม กดระดับกลาง + กดคีย์ FWD หรือ BWD ค้างไว้เพื่อรันโปรแกรม 1 step และปล่อยคีย์เพื่อควบคุมให้โปรแกรมหยุดการทำงาน ดังรูปที่ 2.2

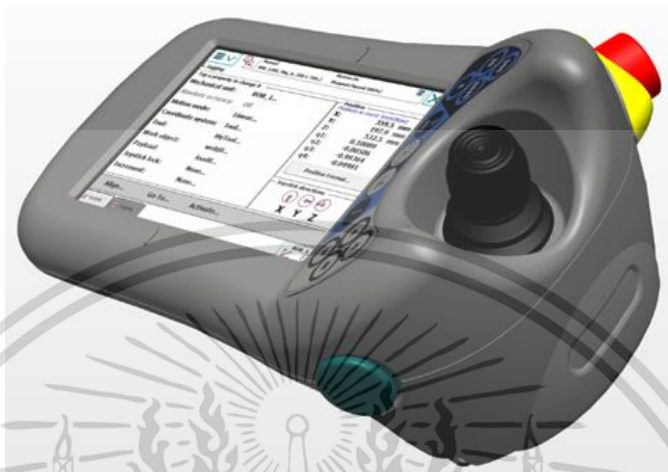


รูปที่ 2.2 แผง controller

2.2.1.2 ระบบความปลอดภัยปุ่มกดขับเคลื่อนโรบอท Enabling Device ปุ่มกดขับเคลื่อนโรบอทนี้ เป็นปุ่มกดที่ทำงานใน 3 ระดับคือแบบปล่อยสุด-กด ระดับกลาง-กด ลงสุดปุ่มกดนี้ จะต้องอยู่ใน

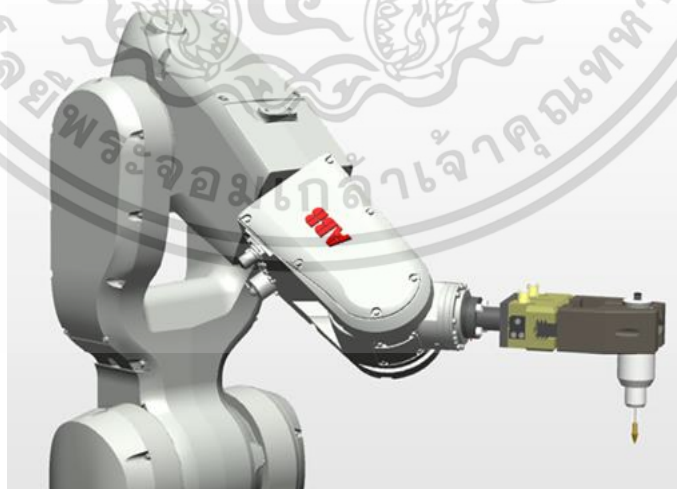
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับกลาง middle position เพื่อที่จะสั่งในมอเตอร์ของ ใบบอทเริ่มทำงานและ การเคลื่อนที่ของใบบอทจะหยุดทันที เมื่อปุ่มกดนี้ อยู่ในตำแหน่ง ปล่อยสุด และ กดลงสุด แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Enabling Device

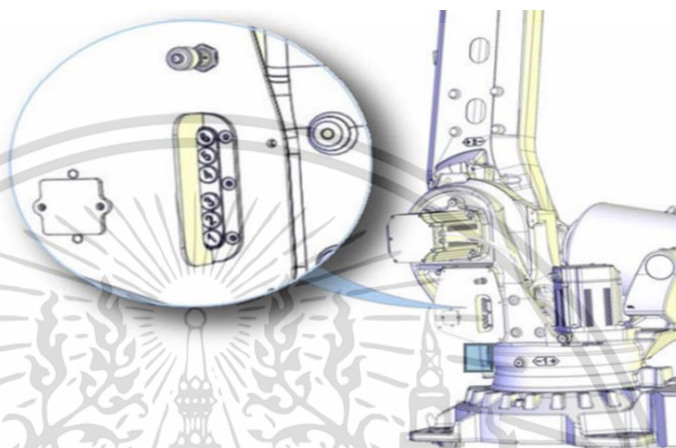
2.2.1.3 ระยะการทำงานของแกนใบบอท robot axis ทุกแกนของใบบอทถูกควบคุม โดยซอฟต์แวร์เพื่อจำกัดระยะการหยุด การหยุดการทำงานโดยซอฟต์แวร์จะป้องกันการชนของแต่ละแกน เมื่อสุดการหยุดของแกนนั้นๆ โดยแกน 1-3 ของ ใบบอทขนาดใหญ่สามารถติดตั้งอุปกรณ์หยุดทางกล แบบปรับได้และใบบอทสำหรับการอบรมถูกตั้งค่าแกนให้หมุนได้ถึงระยะสูงสุด ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ใบบอท ABB

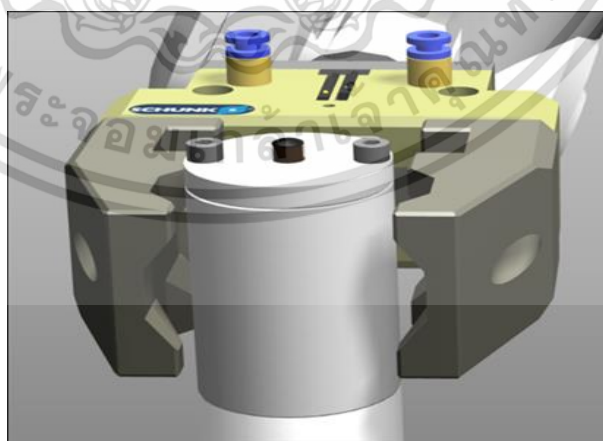
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 อุปกรณ์ปลดเบรคมอเตอร์ (Brakes Release) เบรคของมอเตอร์โรบอทในแต่ละแกนสามารถปลดล็อกด้วยปุ่มกด manually released โดยก่อนปลดเบรคต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีอุปกรณ์ภายนอกที่แข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของโรบอท และอุปกรณ์อื่นๆที่ติดตั้งไว้หรือไม่ หากกดปุ่มเบรคอยู่โรบอทจะไม่มีเบรคและเบรคจะทำงานอีกครั้งเมื่อ ปลดปุ่มปลดเบรค ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เบรคมอเตอร์

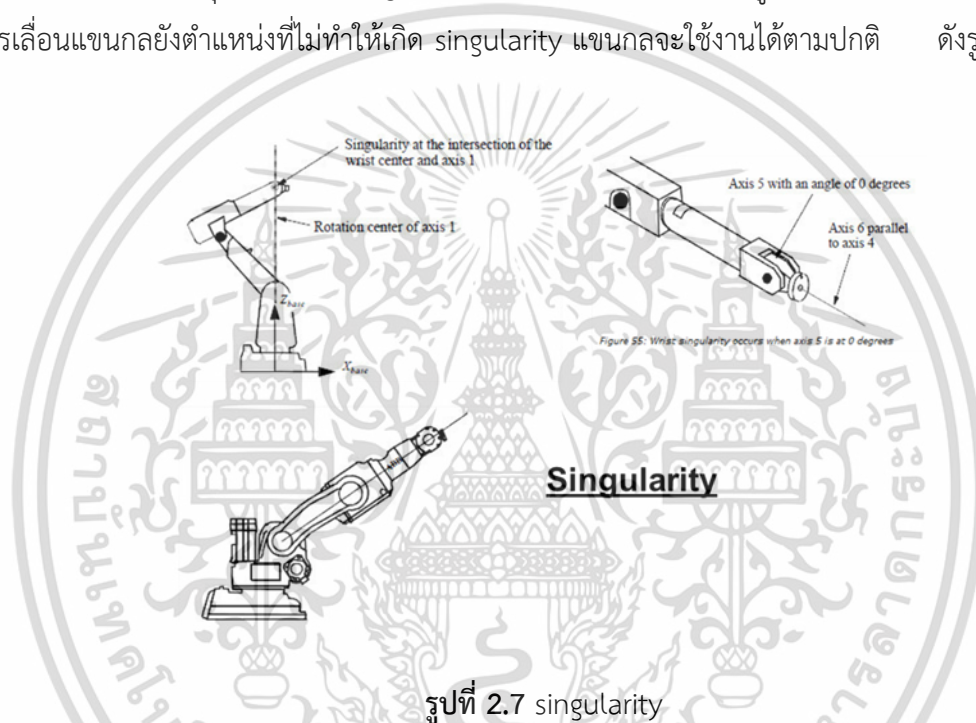
2.2.1.5 ข้อกำหนดความปลอดภัยเมื่อทำงานกับอุปกรณ์หนีบจับ อุปกรณ์หนีบจับ grip devices จะต้องถูกออกแบบให้หนีบจับชิ้นงานเอาไว้แม้ว่าจะเกิดไฟฟ้าดับหรือการรบกวนอื่นๆในระบบของโรบอท โดยอุปกรณ์หนีบจับจะต้องสามารถปล่อยชิ้นงาน แบบควบคุมด้วยมือ ทั้งนี้ผู้ใช้งานแขนกลต้องทำความคุ้นเคยกับปุ่มและคีย์ต่างๆที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์หนีบจับ [10] ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์หนีบจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

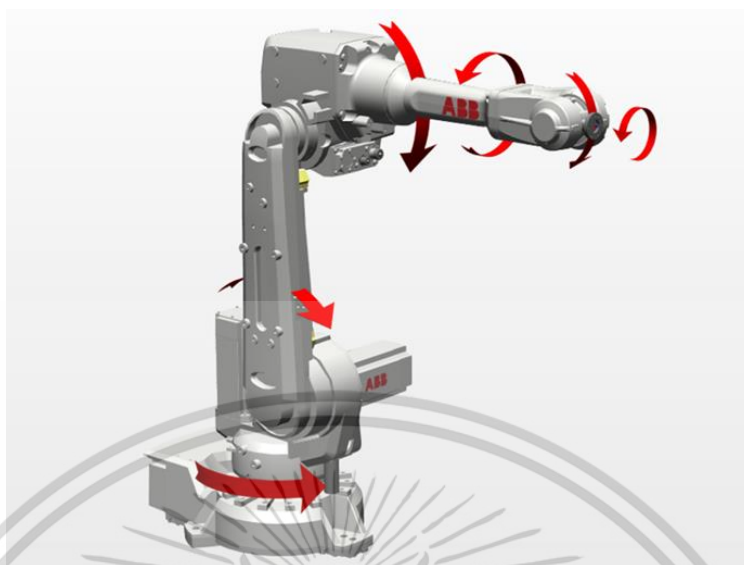
2.2.1.6 การเกิด singularity รั่มดัระวังไมให้โรบอทอยู่ตามแกนดัรงรูปเพระโรบอท รัะยะการจำกััดการท้งานตามแกนที่แตกต่างกัน หากเกิดการเคล่อนที่หรือหมุนรอบแกนรัะยะเกนองศาที่ก้งานดัจะเกิดการแสดงผลบนหน้าจอแสดงค่า error ว่า singularity แชนกลจะไม่สามารถท้งานต่อได้ผู้ใช้งานจ้งควรต้องทราบถึง ตำแหน่งต่างๆและวิธีการเหล่านี้เพื่อการทำให้การทำงานไม่เกิดความผิดพลาด คือควรหลีกเลี่ยงไมให้แกน 5 เคล่อนที่ไปเกนรัะยะตั้งฉากกับแกน1 ควรหลีกเลี่ยงไมให้แกน 6 5 4 ขนานกัน และควรหลีกเลี่ยงไมให้แกน 2 3 5 ขนานในแนวเดยวกัน วิธีการแก้หากเกิด singularity แสดงขึ้นบนหน้าจอ ให้ทำการกดปุ่ม acknowledge เพื่อแสดงผลว่าได้ทำการเรยรรู้ข้อผิดพลาดแล้ว หลังจากนั้นทำการเคล่อนแชนกลยังตำแหน่งที่ไม่ทำให้เกิด singularity แชนกลจะใช้งานได้ตามปกติ ดังรูปที่รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 singularity

2.2.2 เรยรรู้ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของแชนกล

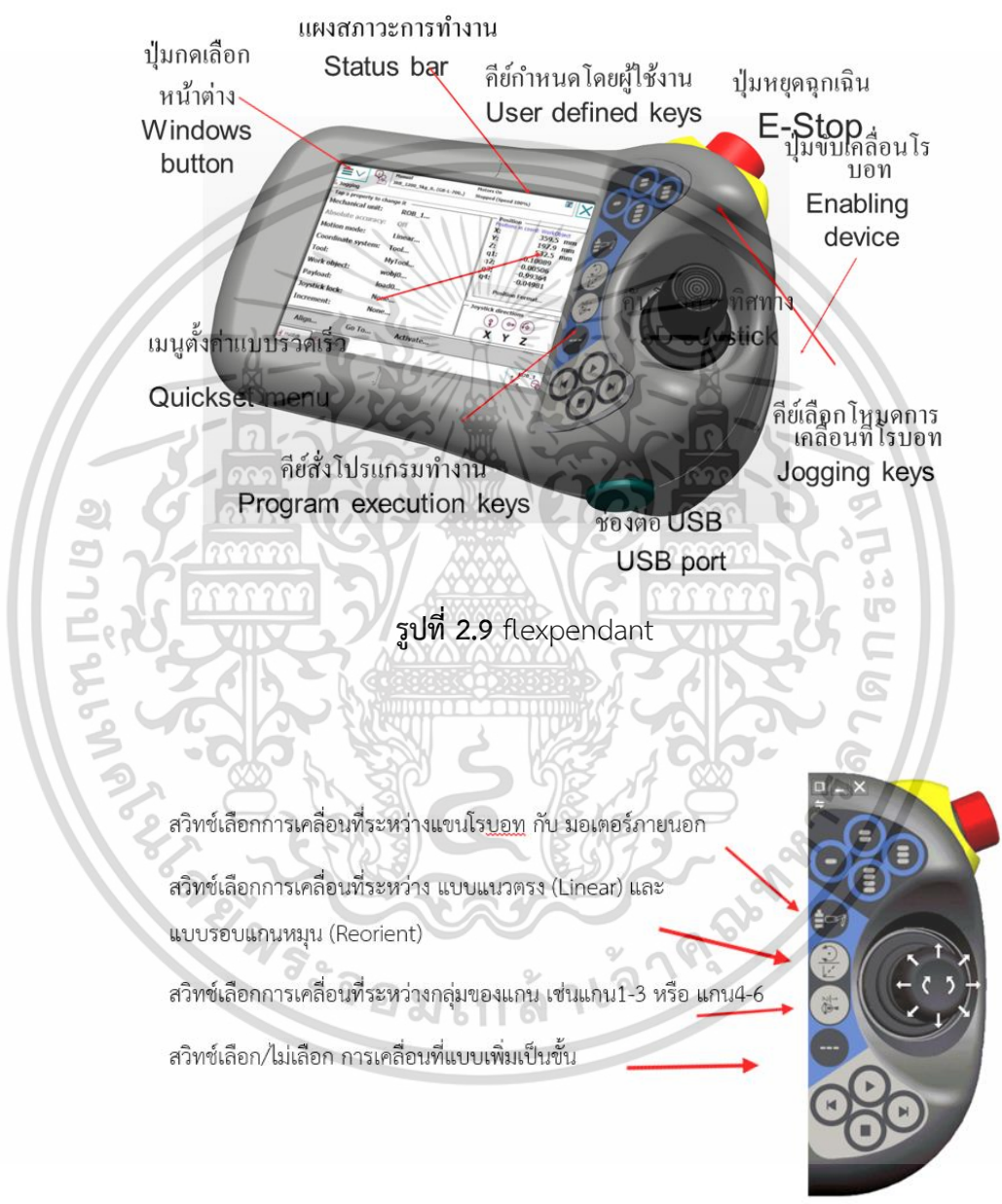
2.2.2.1 แชนกลแชนกล ABB IRB 4600 เป็นหุ่นยนต์ประเภท Articulated robot มีจำนวนแกน 6 แกน Axis Robot โดยตำแหน่งการเคล่อนที่ต่างๆจะเคล่อนไปตามการสั่งการจากการควบคุม flexpendant ตู้ Controller IRC 5 จะทำการจ่ายไฟขนาด 24 volt จากตู้มายังมอเตอร์ที่แชนกล เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้เกิดการหมุนรอบแกนนั้นๆ โดยการนับแกนทั้ง6นั้น เริ่มจากแกน 1คือการหมุนที่ตำแหน่งฐานของแชนกล และเรยรรูแกนขึ้นมาจากแกน1ที่ฐานไปยังปลาย ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แขนกล

2.2.2.2 flexpendant คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียนคำสั่งเขียนโปรแกรมและควบคุมการเคลื่อนที่ของโรบอท ประกอบด้วยภายนอกได้แก่ 1.ปุ่มกดเลือกหน้าต่างWindows buttonทำหน้าที่เป็นปุ่มที่เก็บเมนูต่างๆไว้ 2.แผงสถานะการทำงานStatus barทำหน้าที่แสดงค่าค่าความผิดพลาดเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงข้อผิดพลาดเหล่านั้น 3.คีย์กำหนดโดยผู้ใช้งานUser defined keysทำหน้าที่เป็นปุ่มที่วางเราสามารถโปรแกรมค่ากำหนดได้ว่าต้องการให้ปุ่มเหล่านี้เป็นอะไรเช่น โปรแกรมให้เป็นการป้อนลวดออกมาหรือปุ่มป้อนลวดเข้า 4.ปุ่มหยุดฉุกเฉินE-Stopเป็นปุ่มที่ใช้กรณีที่เกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้งานแขนกลหรือผู้คนบริเวณใกล้หากกดปุ่มนี้แขนกลจะหยุดกระทันหันและหากต้องการให้แขนกลมีรูปแบบการทำงานดั้งเดิมกดปุ่มอีกครั้ง 5.ปุ่มขับเคลื่อนโรบอทEnablingdeviceปุ่มกดเพื่อให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่เปรียบเสมือนตัวอนุญาตแต่ต้องกดในระดับกลางหากหน้าจอขึ้นคำว่า motor on จะสามารถเคลื่อนที่ได้ 6.คันโยกสามทิศทาง3D Joystickทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล 7.คีย์เลือกโหมดการเคลื่อนที่โรบอท Jogging keys ปุ่มที่ทำหน้าที่ช่วยในเรื่องความสะดวกในการใช้ชุดการทำงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 8.ช่องต่อ USB USB port ที่เสียบสายusb 9.คีย์สั่งโปรแกรมทำงาน Program execution keys ปุ่มที่ใช้ในการสั่งให้โปรแกรมทำงานหรือหยุดการทำงานและยังมีปุ่มbackward forwardเป็นปุ่มที่ทำหน้าที่ในการย้ายลูกศรไปยังบรรทัดใหม่หรือย้อนกลับไปบรรทัดเดิมเพื่อทำการแก้ไขโปรแกรมในบรรทัดนั้นๆหากผู้ใช้งานต้องการแก้ไขหรือเกิด

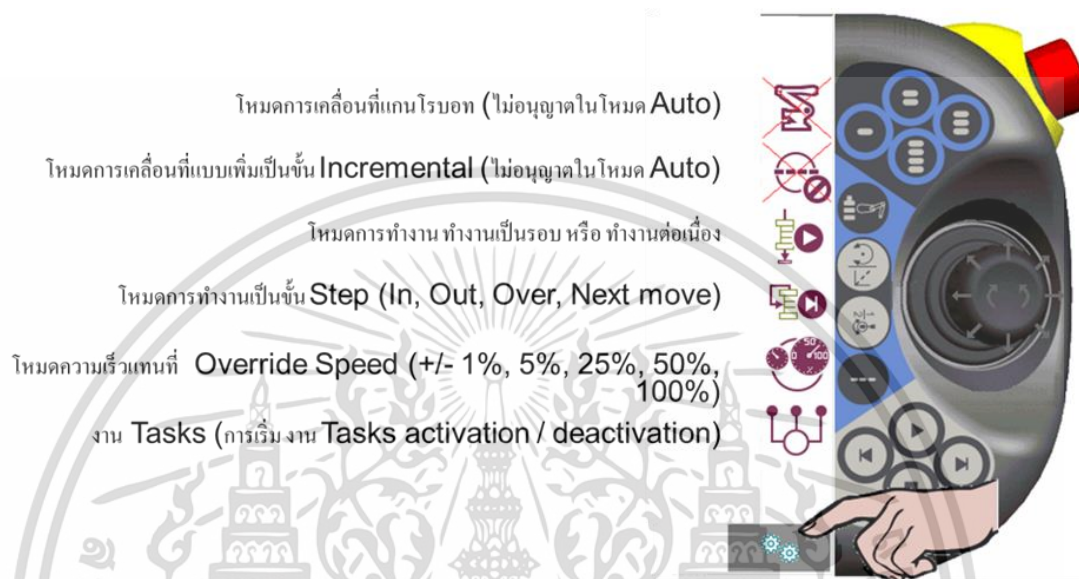
การเขียนคำสั่งในโปรแกรมที่ผิดพลาดสามารถกลับไปแก้ไขได้ 10.เมนูตั้งค่าแบบรวดเร็ว Quickset menu เปรียบเสมือนหน้าต่างที่ช่วยในเรื่องความสะดวกในการเคลื่อนที่เป็นปุ่มที่เก็บการตั้งค่าหรือการเปลี่ยนแปลงค่าที่ใช้ในการเคลื่อนที่รูปแบบต่างๆไว้ ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 flexpendant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

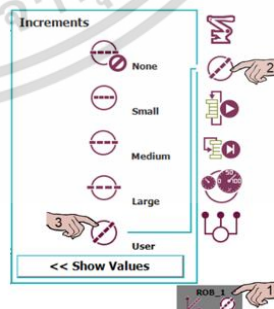
โหมดการเมนูตั้งค่าแบบรวดเร็ว QuickSet menu overview ใช้เพื่อช่วยให้เกิดความรวดเร็วแก่ผู้ใช้งานแขนกลกรณีที่ต้องการทำการเคลื่อนที่แขนกลซึ่งปกติแล้วจะเริ่มที่การเข้าไปที่หน้า menu โหมดนี้สามารถเข้ามาได้เพียงการกดที่ปุ่ม QuickSet menu ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 QuickSet menu overview

โหมดการเคลื่อนที่แบบเป็นขั้นการเคลื่อนที่แบบเพิ่มเป็นขั้น Incremental Jogging ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการทำการเคลื่อนที่แขนกลไปหาชิ้นงานในระยะความละเอียดเล็กๆ สามารถใช้โหมดนี้ในการประยุกต์ใช้งานได้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 2.11

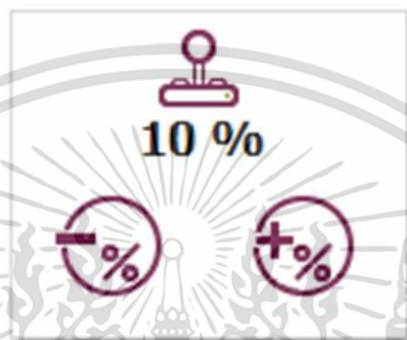
- สามารถควบคุมการเคลื่อนที่โรบอทได้งายขึ้น
- เพิ่มน้อย Small = 0.05mm
- เพิ่มปานกลาง Medium = 1mm
- เพิ่มมาก Large 5mm
- ผู้ใช้กำหนด User from 0 to 5mm
- แสดงค่าให้ผู้ใช้ Show values to edit User



รูปที่ 2.11 Incremental Jogging

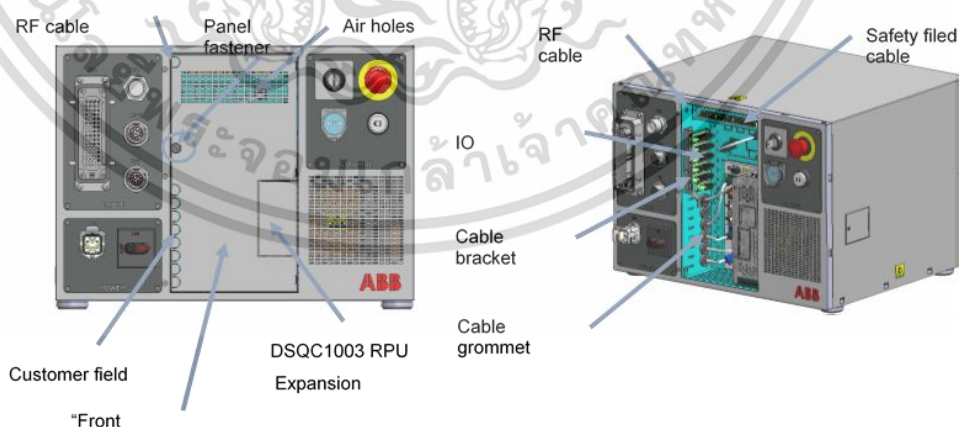
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดการเคลื่อนที่แบบ ความเร็วแทนที่ Jogging Override Speed ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้งาน ต้องการปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนกลโดย ใช้เมื่อค่าความเร็วตั้งต้นที่ 100% มีความเสี่ยงต่อ ความเสียหายจากการชนเราสามารถตั้งค่าให้เป็นสัดส่วน % ของความเร็วตั้งต้น การตั้งค่าสัดส่วน % ที่ น้อยลงจะทำให้ความเร็วลดลงและความไวการชนก็ลดลงด้วย และความเร็วในการเคลื่อนที่โรบอทจะเป็น สัดส่วนกับก้าน joystick ที่บิดไป ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Jogging Override Speed

2.2.2.3 ตู้ Controller IRC5 ใช้ไฟขนาด 380 volt ใช้กับไฟ 3เฟส ทำหน้าที่ควบคุมการ จ่ายไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ที่แขนกลเพื่อทำการขับเคลื่อนแขนกล ยังสามารถควบคุมการเลือกโหมดการ ทำงานของแขนรวมถึงหยุดการทำงานโดยใช้ปุ่ม emergency stop ได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.13



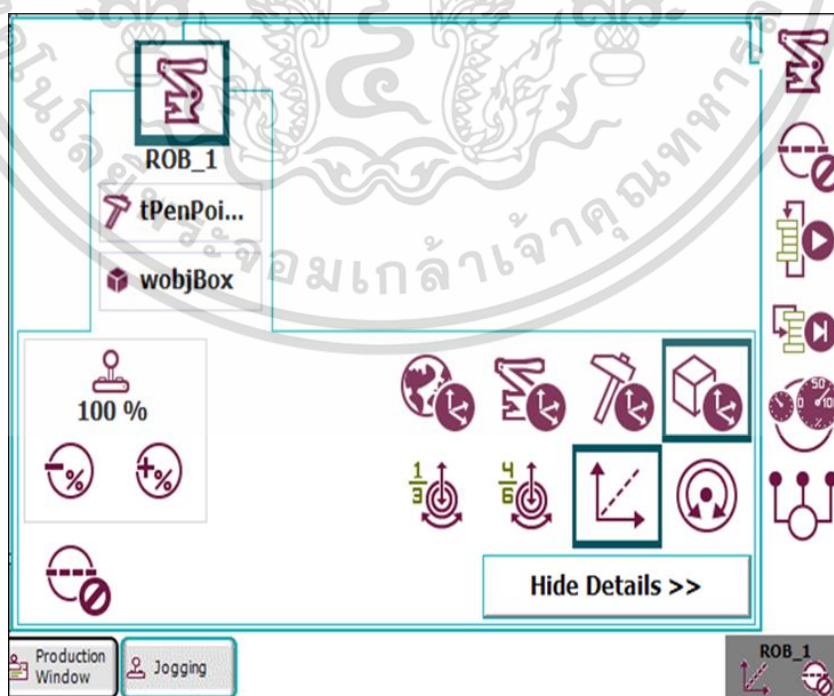
รูปที่ 2.13 Controller IRC5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

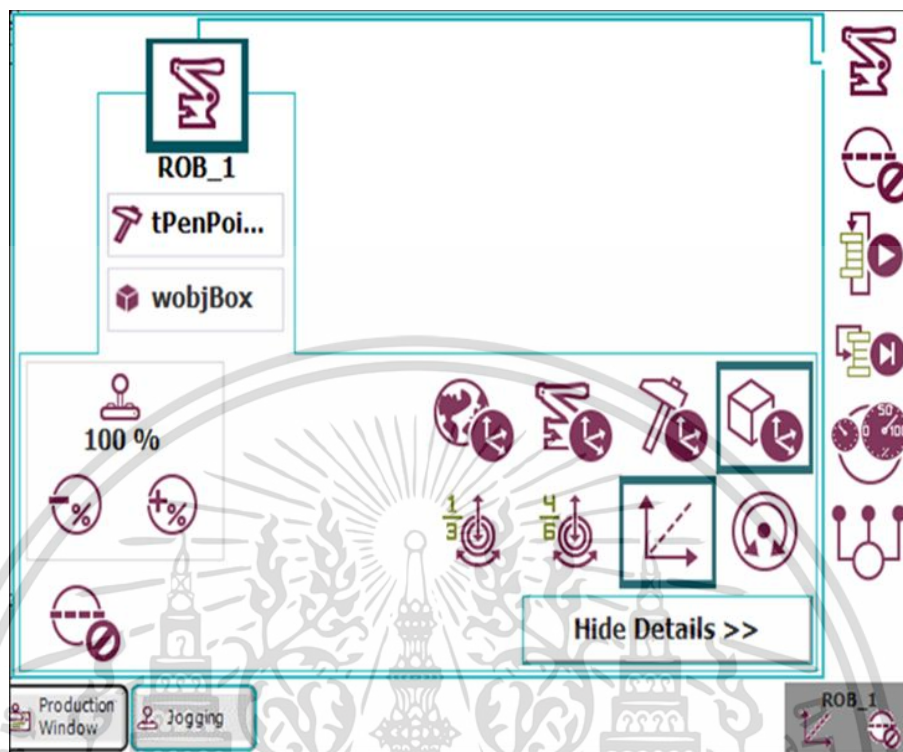
2.2.3 พื้นฐานหลักการเคลื่อนที่ของโรบอท

แขนกลจะเกิดการเคลื่อนที่ได้ด้วยการควบคุมของผู้ใช้งาน แบ่งเป็น 2 โหมด รูปแบบของการเคลื่อนที่ คือ การเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ (Auto mode) เป็นการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยผู้ใช้งานทำการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดงานให้แขนกลทำเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของงาน ผู้ใช้งานสามารถทำการกำหนดจุดเริ่มต้นจุดสิ้นสุดหรือแบบแผนการเคลื่อนที่ที่แขนกลเพียงแค่ครั้งเดียว ก็สามารถทำงานได้ทำให้ประหยัดเวลาในการตั้งค่าต่างๆ โหมดการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ เหมาะกับงานประเภทที่ต้องการการทำซ้ำ อย่างต่อเนื่อง และการเคลื่อนที่โดยการบังคับมือ (manual mode) การเคลื่อนที่ที่สามารถทำได้โดยการใช้แรงมือกดลงไปที่ flexpendant ที่ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่แขนกล (Enabling Device) แล้วทำการหมุนหรือโยกคันโยกสามทิศทางบังคับทิศทาง (3D Joystick) ไปทำงานยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยขณะทำงานผู้ใช้งานต้องบังคับคันโยกสามทิศทาง และดูแขนกลไปพร้อมกันเพื่อไม่ให้เกิดการชนกับชิ้นงานหรือผู้คนในบริเวณการทำงาน

2.2.3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่และการอ้างอิง การเคลื่อนที่ของโรบอทแบ่งประเภทการเคลื่อนที่ออกเป็น 2 ประเภทคือ การเคลื่อนที่โดยการหมุนรอบแกนต่างๆ ซึ่งโรบอทตัวนี้เป็นโรบอท 6 แกนแต่โรบอท ABB IRB 4600 สามารถทำการควบคุมการทำงานได้ที่ละ 3 แกน คือแกน 123 และแกน 456 โดยการเริ่มการเคลื่อนที่โรบอททำได้โดยการเปิดเข้าไปที่ menu แล้วเข้าไปที่ The Jogging Window จะทำให้เห็นถึงทิศทางจะช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนโรบอทไปยังทิศทางการทำงานได้อย่างเป็นแบบเป็นระบบ ดังรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



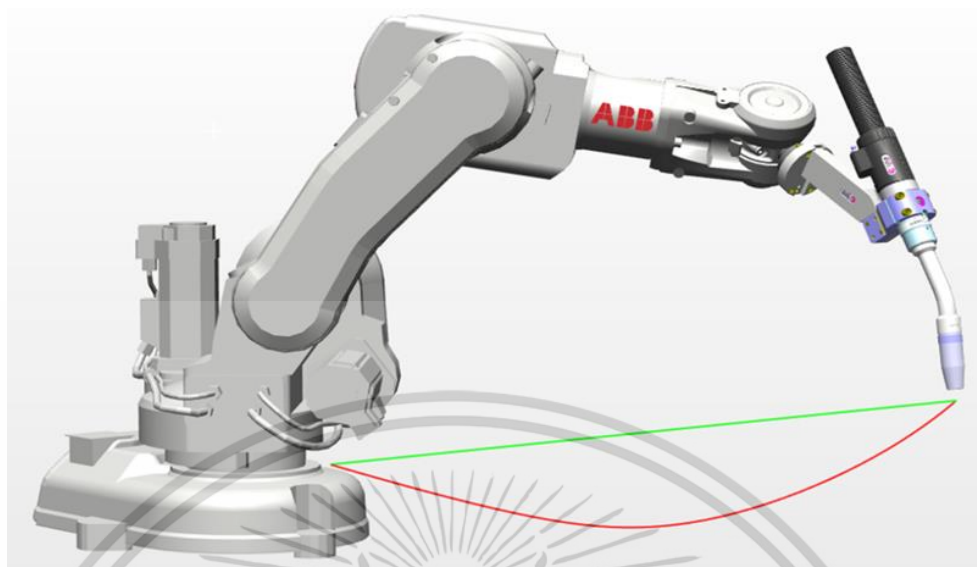
รูปที่ 2.14 การเคลื่อนที่และการอ้างอิง

การเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือเชิงมุมที่มีการอ้างอิง การเคลื่อนที่ของโรบอทจะใช้กฎมือขวา เป็นทิศทางที่ใช้อ้างอิงการเคลื่อนที่ ทิศทางตามแนวแกน x y และ z มีการอ้างอิงที่จุดเริ่มต้นที่จุด 0 ที่ฐานของโรบอท แต่การอ้างอิงสามารถเปลี่ยนได้โดยวิธีการเลือกโหมดการอ้างอิงใน flexpendant โดยมีการอ้างอิง 4 ประเภทได้แก่ อ้างอิงโลก อ้างอิงฐานโรบอท อ้างอิงเครื่องมือ และอ้างอิงวัตถุ ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมของการทำงาน

2.2.4 การเคลื่อนที่โรบอทและการเขียนโปรแกรม

การเคลื่อนที่แขนกลโดยทั่วไปนั้นผู้ใช้งานสามารถทำการเคลื่อนที่ได้โดยการบังคับด้วยมือ แต่หากผู้ใช้งานแขนกลต้องการจะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อจะทำการเคลื่อนที่แขนกลแบบอัตโนมัติเพื่อช่วยในการประหยัดเวลาและใช้ในกรณีที่ทำงานประเภทซ้ำๆจึงต้องเรียนรู้ถึงประเภท ความหมายและชนิดของคำสั่งต่างๆโดย การเขียนโปรแกรมในการเคลื่อนที่แขนกลได้มีการกำหนดการเคลื่อนที่มี 3 ประเภทได้แก่ การเคลื่อนที่แบบ move J การเคลื่อนที่แบบ move L และการเคลื่อนที่แบบ move c ดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่แขนกล

2.2.4.1 ประเภทการเคลื่อนที่ รูปแบบการเคลื่อนที่แขนกลแบบ move J เป็นการเคลื่อนที่ของแขนกลจาก ณ ตำแหน่งใดไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยวิธีการเคลื่อนที่นี้ไม่ได้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแต่จะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายด้วยความเร็วสูงสุดตามที่ได้ตั้งค่าความเร็วไว้ แสดงดังรูป 2.16

MoveJ *, v1000, z50, tool0;

Robtarget Speed Zone Tool (TCP)

ตำแหน่งเป้าหมาย ความเร็ว โซน = ระยะจากตำแหน่งเป้าหมายที่ ไรบอทต้องเข้าถึงก่อนทำการรีนค่าสั่งถัดไป จุดอ้างอิงปลายแขนไรบอท

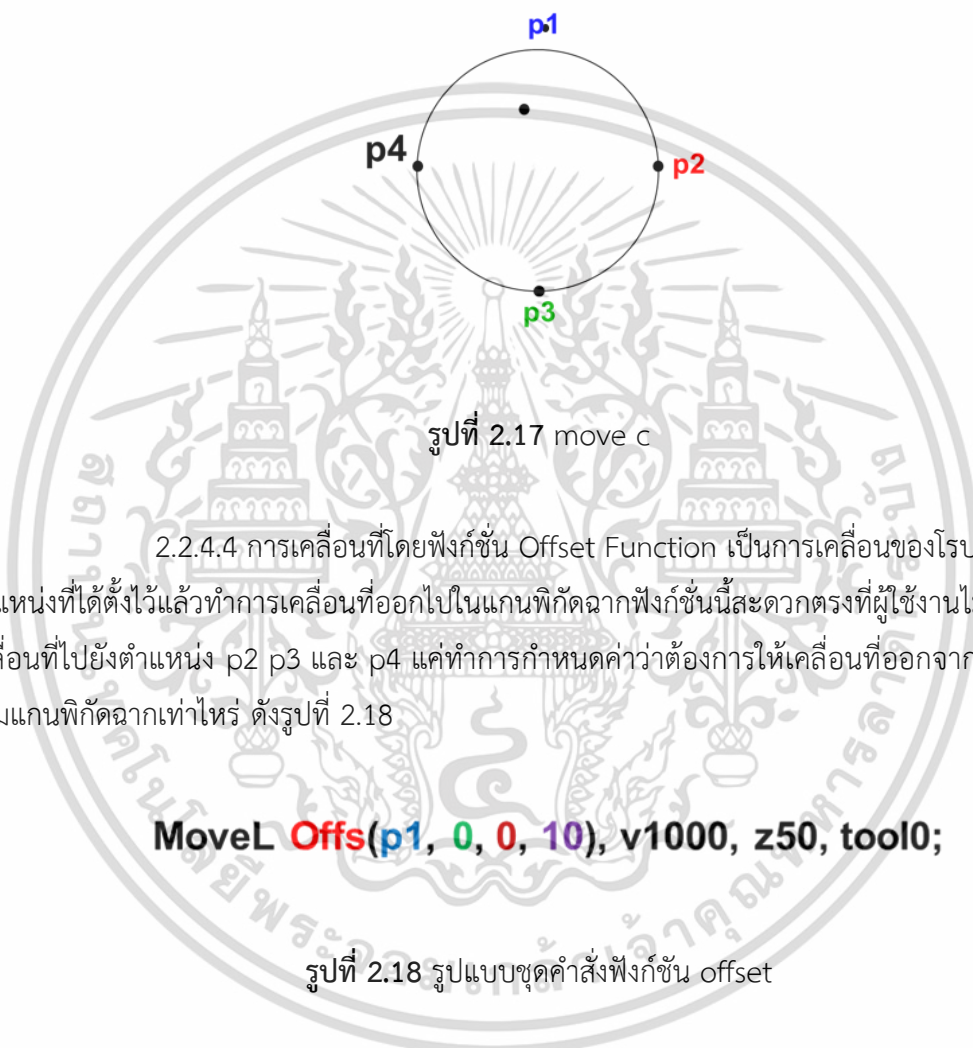
รูปที่ 2.16 ความหมายของคำสั่ง

2.2.4.2 การเคลื่อนที่แบบ move L เป็นการเคลื่อนที่ของแขนกลจาก ณ ตำแหน่งหนึ่งยังตำแหน่งที่ได้เป้าหมาย โดยการเคลื่อนที่นี้จะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

MoveL *, v1000, z50, tool0;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 การเคลื่อนที่แบบ move c เป็นการเคลื่อนที่ของแขนกลจาก ณ ตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งเป้าหมายเป็นแนววงกลม จากรูปจะใช้คำสั่งเคลื่อนที่แนวตรง MoveL มาที่จุด p1 จากนั้นเคลื่อนที่โรบอทมาที่จุด p2 แล้วเลือกคำสั่ง MoveC ในคำสั่ง MoveC จะมี p3 มาด้วย ให้เคลื่อนที่โรบอทมาที่จุด p3 แล้วอัปเดตตำแหน่ง p3 จะได้ครึ่งวงกลม ดังรูปที่ 2.17

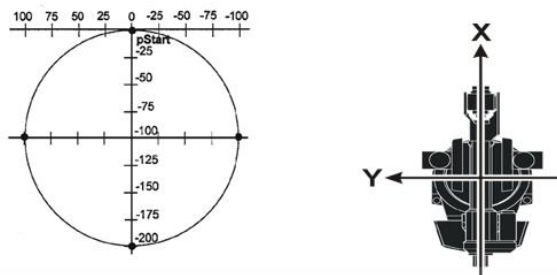


2.2.4.4 การเคลื่อนที่โดยฟังก์ชัน Offset Function เป็นการเคลื่อนที่ของโรบอทจากตำแหน่งที่ได้ตั้งไว้แล้วทำการเคลื่อนที่ออกไปในแกนพิกัดฉากฟังก์ชันนี้สะดวกตรงที่ผู้ใช้งานไม่ต้องทำการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง p2 p3 และ p4 แต่ทำการกำหนดค่าที่ต้องการให้เคลื่อนที่ออกจาก p1 ไประยะตามแกนพิกัดฉากเท่าไร ดังรูปที่ 2.18

MoveL Offs(p1, 0, 0, 10), v1000, z50, tool0;

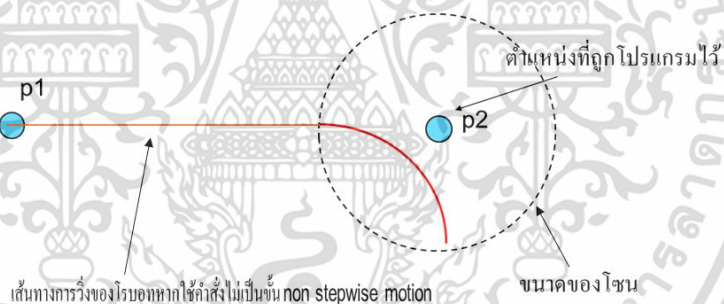
รูปที่ 2.18 รูปแบบชุดคำสั่งฟังก์ชัน offset

โดย p1 แสดงถึงการอ้างอิงการ Offset ออกมาว่าให้ใช้ตำแหน่งนี้เป็นหลักตำแหน่งต่อไปคือ ระยะการเคลื่อนที่ออกมาในแนวแกน x ต่อไปคือการเคลื่อนที่ออกมาในแนวแกน y และแกน z ตามลำดับ โดยการเคลื่อนที่ออกมาระยะต่างนั้นใช้การเคลื่อนที่อ้างอิงแกนพิกัดฉากโดยมีระยะย้ายขวาโดยอ้างอิงรูปด้านล่างนี้ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แกนและพิกัดอ้างอิง offset function

ข้อมูลโซน Zone data อธิบายถึงระยะหนึ่งๆจากตำแหน่งเป้าหมายที่แกนโรบอทจะต้องเข้ามาให้ถึงก่อนที่จะรันคำสั่งถัดไป โดยผู้ใช้งานแขนกลสามารถทำการตั้งค่า Zone data หากต้องการเข้าถึงจุดทำงานที่ตำแหน่งตรงนั้นพอดีควรใช้คำสั่ง zone fine และความกว้างของการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเป้าหมายออกมาจะมากขึ้นเรื่อยๆตามค่า zone ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.20

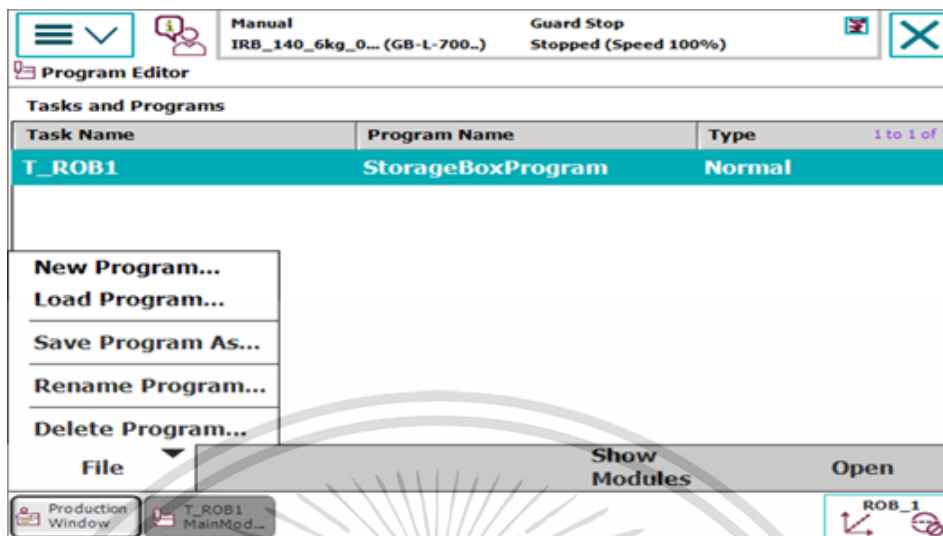


รูปที่ 2.20 Zone data

2.2.5 วิธีการสร้างโปรแกรม

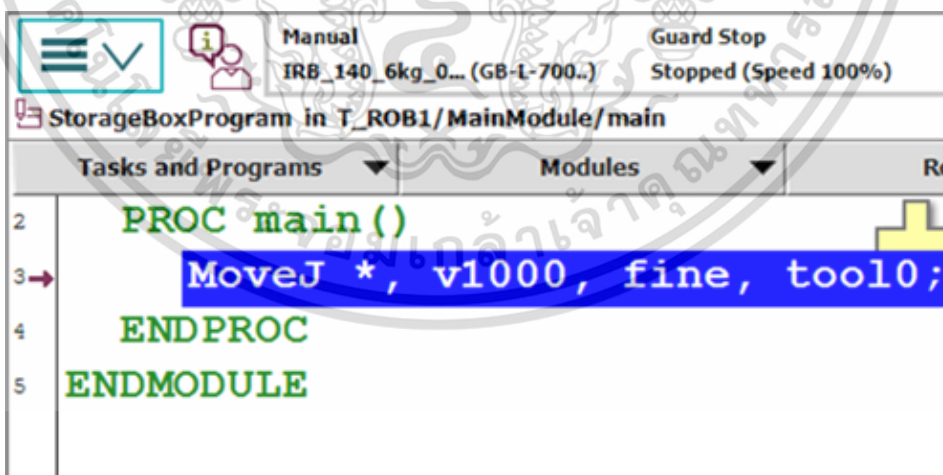
2.2.5.1 ขั้นตอนแรกไปที่เมนู ไปยัง program editor ไปที่ file เลือก new program ทำการตั้งชื่อโปรแกรมาก็จะเป็นโปรแกรมที่เราสามารถใส่ป้อนค่าหรือสร้างคำสั่งเพื่อใช้งานได้ ต้องระวังไม่ให้เพราะเมื่อทำการสร้างโปรแกรมใหม่โปรแกรมในขณะนั้นจะถูกลบออกจากหน่วยความจำโดยโปรแกรมใหม่จะถูกตั้งชื่อชั่วคราวว่า 'NewProgramName' และ โปรแกรมจะสร้าง 'main' routine อยู่ใน 'MainModule' [11] ดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การสร้างโปรแกรม

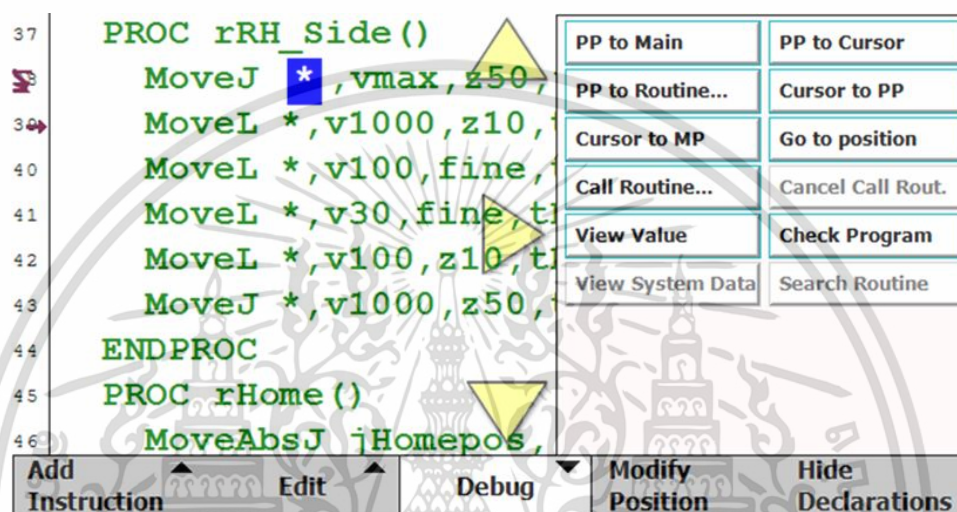
2.2.5.2 การสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ทำได้โดยเข้าไปที่ program data ไปยัง Main module ไปที่ file ไปยัง module เลือก newmodule ทำการตั้งชื่อและกดตกลง ทำการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ กด add instruction กดเลือกประเภทการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ทำขั้นตอนแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบทุกจุดที่ต้องการ จากนั้นไปที่ debug เลือก gpp to routine แล้วกดปุ่ม play เพื่อสั่งการให้ระบบประมวลผลและทำการเคลื่อนที่โรบอท ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การสร้างโปรแกรมสั่งการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.3 โปรแกรมการทำงาน การใช้งาน Debug ตัวชี้ Pointers เป็นลูกชกรที่ใช้ชี้ตำแหน่งที่robotทำงานให้ผู้ใช้งานรู้ว่าการทำงาน ณ ปัจจุบันถึงบรรทัดไหนขั้นตอนไหน ชี้ตำแหน่งของตัวrobot Motion และ ชี้ตำแหน่งโปรแกรม Program (MP / PP) การเริ่มต้นใหม่(reset) โปรแกรม (PP to Main / PP to routine...)เมื่อเริ่มต้นการทำงานโปรแกรมจะต้องระวังrobotเคลื่อนที่ชนกับอุปกรณ์รอบข้าง การเริ่มโปรแกรมจากตัว Cursor (PP to Cursor) ดังรูปที่ 2.23

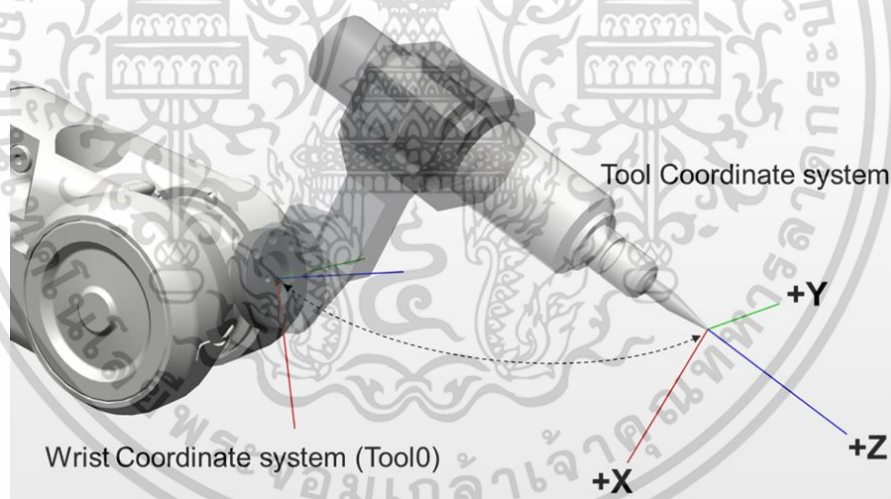


รูปที่ 2.23 โปรแกรมการทำงาน การใช้งาน Debug

2.2.5.4 การแก้ไขตำแหน่ง Modify Position และ Program Edit Menu การทำเขียนโปรแกรมในบางครั้งอาจเกิดการผิดพลาดมาจากผู้ใช้งาน หากใช้การเคลื่อนrobot โดยชุดคำสั่งที่ผิดพลาดอาจเกิดปัญหาตามมา ผู้ใช้งานจึงต้องหาวิธีแก้ไขความผิดพลาดในชุดคำสั่งนั้นโดยผู้ใช้งานสามารถกลับไปแก้ไขข้อมูลการเคลื่อนที่ที่จุดนั้นๆได้โดยใช้การ Modify Position โดยที่ไม่ต้องสร้างโปรแกรมชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ใหม่ทั้งหมด ทำได้โดยการ เลือกคำสั่ง instruction หรือ ตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการแก้ไข หากเลื่อนตำแหน่งให้ใช้คำสั่งเป็นขั้น Step จากนั้นเคลื่อนrobotไปยังตำแหน่งที่ต้องการ กด แก้ไขตำแหน่ง Modify Position แล้ว กด Modify อีกครั้งก็จะได้โปรแกรมที่มีจุดที่ต้องการขณะที่ผู้ใช้งานกำลังทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ขึ้นมาและบรรทัดการเขียนโปรแกรมเกิดความผิดพลาดต้องการลบออก ต้องการตัด ออกหรือต้องการคัดลอกคำสั่งโปรแกรมไปใช้ในบรรทัดต่อไปสามารถกดเข้าไปที่ปุ่ม editได้

2.2.6 การสร้าง tool center point (TCP)

หลักการเคลื่อนที่ของโรบอทจะใช้ปลายแกน 6 เป็นจุดอ้างอิง (tool 0) มีทิศทางพุ่งออกเป็นแกน z ออกจากหน้าวัตถุแต่ปลายแกน 6 เป็นตำแหน่งที่ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากติดกับแขนโรบอทเลยต้องมีการติดเครื่องมือทำงานเข้ากับแกน 6 และทำการย้ายการอ้างอิงไปที่ปลายเครื่องมือโดยการอ้างอิงปลายวัตถุเพื่อให้โรบอทจะสามารถทำการประมวลผลได้ถึงตำแหน่งระยะที่ปลายเครื่องมือที่ใช้ทำงานอยู่ โดยมีหลักการดังนี้ ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของโรบอทจะสัมพันธ์กับอุปกรณ์ที่เลือกไว้ขณะนั้น active TCP โดย TCP's จะถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในบริเวณส่วนปลายของอุปกรณ์หรือทูล ผู้ใช้งานสามารถกำหนดข้อมูล TCP's ได้กับหลายอุปกรณ์แต่มีเพียงข้อมูล TCP ที่เลือกไว้ขณะนั้นเท่านั้นที่ใช้ อ้างอิงกับโปรแกรมการทำงาน ผู้ใช้งานสามารถใส่ข้อมูล TCP แบบแมนนวลได้แต่ต้องรู้ค่า TCP ที่ถูกต้องเท่านั้น หากไม่รู้ให้ทำตามขั้นตอนการกำหนดค่า TCP โดยปกติเราจะใช้ตัวโรบอทเป็นตัวกำหนด TCP ของโรบอทตัวนั้นๆ ตามขั้นตอนการกำหนดค่า TCP และ หากมีการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือทูลของโรบอท หรือ อุปกรณ์เกิดความเสียหายและทำให้จุดอ้างอิงกับ TCP เปลี่ยนไป อย่าแก้ไขตำแหน่งที่อยู่ในโปรแกรม แต่ให้ตั้งค่า TCP ใหม่ (redefine the tool) ดังรูปที่ 2.24

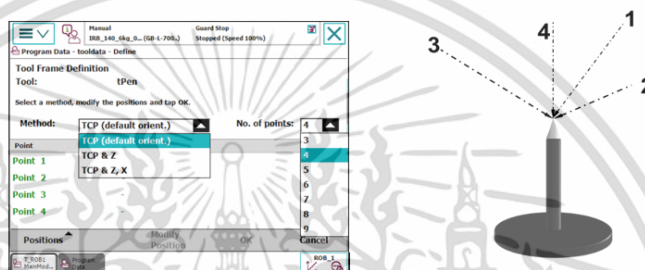


รูปที่ 2.24 tool center point

2.2.6.1 ค่า Tool Centre Point (TCP) ในแบบต่างๆ การสร้าง TCP – แบบ Default Oriet และ TCP ที่กำหนดทิศทางแกน Z เริ่มจากเข้าไปที่หน้าเมนูแล้วไปยัง program data ไปยัง tool data เลือก Define ทำการเลือกประเภทที่เหมาะสมกับการใช้งานในการทำ TCP และเลือกจำนวนจุด ทำการกำสร้าง จุด fix point เพื่อเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการทำให้โรบอทสามารถคำนวณตำแหน่งปลายเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยการนำเหล็กหรือดินสอหรือวัตถุ ปลายแหลมมาตั้งให้ตั้งฉากกับฐานพื้นทำงานแล้วหลักจากนั้นทำการเคลื่อนที่โรบอทไปยังตำแหน่งที่1 และกด modify positionและตามด้วย 2 3 ทำขั้นตอนเดียวกันตามลำดับ ให้เป็นวงกลมมากที่สุด โดยให้แต่ละจุดมีมุมต่างกันราวๆ 120 องศาและให้ระดับของแกน 6 มีความสูงที่ต่างกันทั้ง3จุดเพื่อโรบอทสามารถทำการคำนวณได้และเมื่อสิ้นสุดจุด3 ทำการตั้งฉากปลายเครื่องมือกับฐานแล้วเคลื่อนปลายเครื่องมือไปที่ จุด fix point จากนั้นทำการเคลื่อนที่ปลายเครื่องมือขึ้นไปแนวตั้งฉากให้ห่างจากจุดเดิมแล้วกำหนดเป็นจุด4 ให้เป็น จุด elongator z เพื่อเป็นการกำหนดทิศทางที่ให้แกน z พุ่งออก ดังรูปที่ 2.25

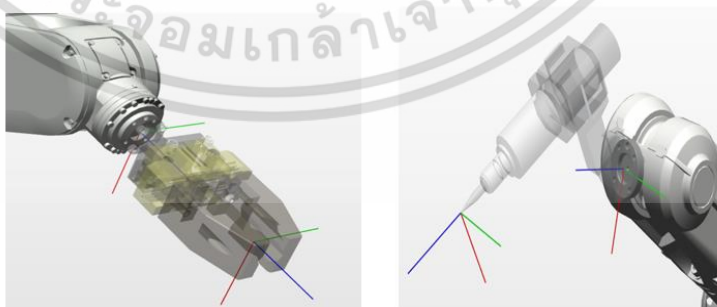


รูปที่ 2.25 Tool Centre Point (TCP)

TCP ที่เป็นแบบ default orient เหมาะกับใช้ใช้ในกรณีที่ใช้กับกริปเปอร์ที่หยิบจับแนวตรงการหมุนแกนของ TCP จะไม่ต่างจากพิกัดปลายแขนโรบอท wrist coordinate system (Tool0)

TCP ที่กำหนดทิศทางแกน Z ระบุแนว XZ ของTCP จะเป็นระนาบเดียวกับพิกัดปลายแขน wrist coordinate เหมาะสำหรับกริปเปอร์ทำงานเชื่อมและงานหยิบจับวัตถุ แสดงดังรูป 2.26

TCP ที่กำหนดทิศทางแกน Z และ X ทิศทางแกน X และ Z ของTCPแต่ละตัวจะหมุนในทิศทางที่ต่างจากพิกัดปลายแขนโรบอท wrist เหมาะสำหรับกริปเปอร์ที่ใช้ในการบีบอัด



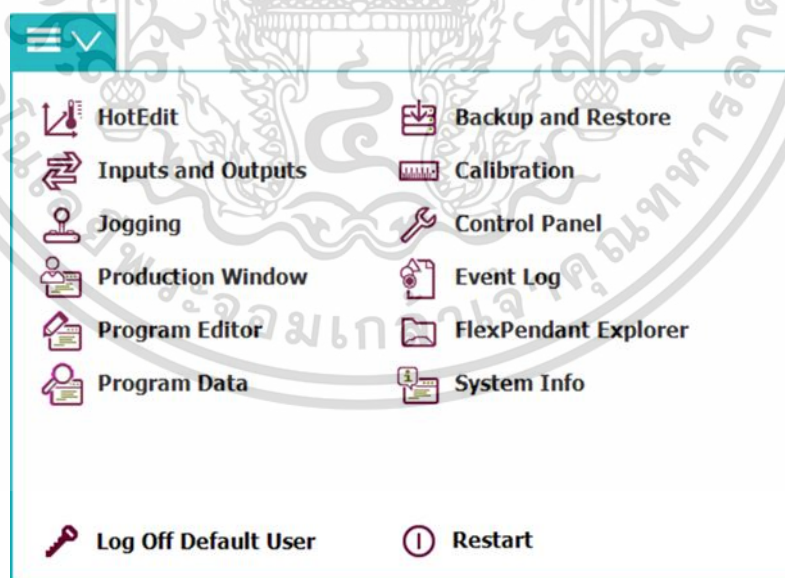
รูปที่ 2.26 TCP – แบบ Defaultและ TCP ที่กำหนดทิศทางแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 สร้างชุดคำสั่งที่ใช้ประจำ Routines เพื่อหยิบและวางชิ้นงาน

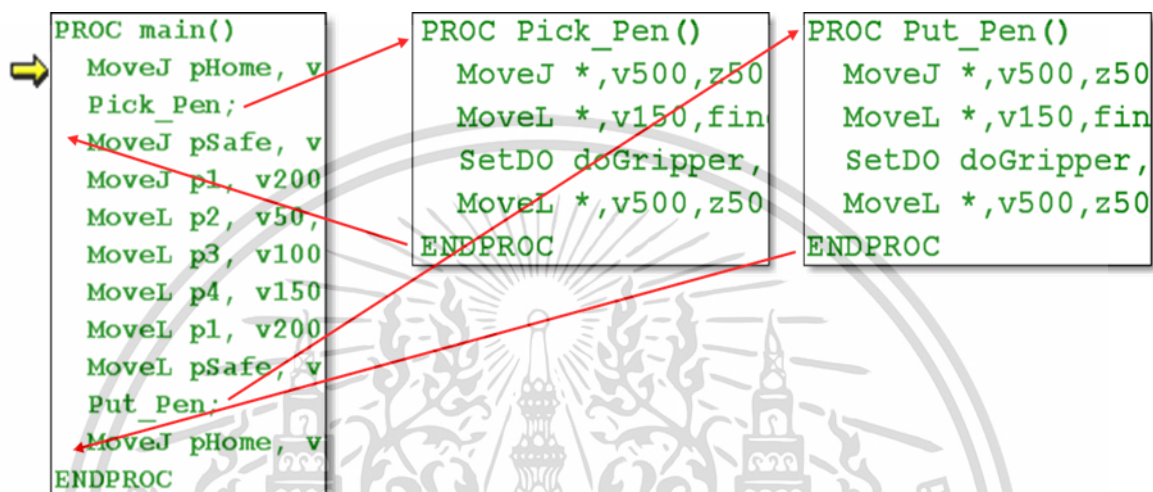
ROUTINES เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ในการเก็บโปรแกรมคำสั่งการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยผู้ใช้งานสามารถสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการบังคับแขนกลในการเดินแขนกลแบบอัตโนมัติ และสามารถสร้างใหม่ได้ตลอดเหมาะใช้กับประเภทงานซ้ำๆ โดยลำดับของคำสั่งที่ทำงานซ้ำๆ นำมาใช้หลายๆครั้งในโปรแกรมควรถูกนำมารวมกันเพื่อตั้งเป็น Routine ชื่อของ Routine จะมีตัวอักษรได้มากที่สุด 16 ตัว การตั้งชื่อที่มีความหมายจะช่วยให้ง่ายต่อการเข้าใจและดำเนินงานตามโปรแกรม Routines สามารถถูกทดสอบโดยการย้าย Program Pointer ไปที่ Routine นั้นๆเพื่อ (Debug การแก้จุดบกพร่อง) และ Routines ถูกเรียกใช้ในโปรแกรมโดยคำสั่ง 'Procall'

2.2.7.1 การสร้าง Routines สร้าง New Routine ตั้งชื่อว่า PickPen แล้วเลือกเปิดใช้งาน TCP ที่ตั้งค่าไว้แล้วจากนั้นเขียนโปรแกรมโรบอทเพื่อให้ไปหยิบปากกา pen ทดสอบชุดคำสั่งนี้ โดยย้าย Program pointer ให้ไปที่ชุดคำสั่งนี้ debug 'Program Pointer(PP) to routine' ทำการ Copy ชุดคำสั่งนี้และแก้ไขสัญญาณ Output ให้วางปากกาลงแล้วทดสอบชุดคำสั่งคัดลอกที่แก้ไขแล้ว โดยย้าย Program pointer ให้ไปที่ชุดคำสั่งคัดลอกนี้ debug 'PP to routine' แล้วทำการเรียกใช้ชุดคำสั่งเหล่านี้ภายในชุดคำสั่งหลักโดยใช้คำสั่ง ProCall instruction แล้วทดสอบ Main Routine โดยย้ายตัว Program pointer ให้ไปที่ชุดคำสั่งหลัก debug 'PP to main' แล้วจัดเก็บโปรแกรมโดยตั้งชื่อว่า 'Exercise_3' ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การสร้าง Routines

2.2.7.2 ชุดคำสั่งที่ใช้ประจำRoutines และตัวอย่างการดำเนินงานโปรแกรม program flowMain Procedure จะควบคุมการดำเนินงานของโปรแกรมทั้งหมด entire program Sub Procedure routines จะทำงานย่อยแต่ในผลงาน ชุดคำสั่งที่ใช้ประจำของกระบวนคำสั่งย่อย คำสั่ง ProCall Instruction จะใช้เรียกชุดคำสั่งที่ใช้ประจำ Routines ดังรูปที่ 2.28

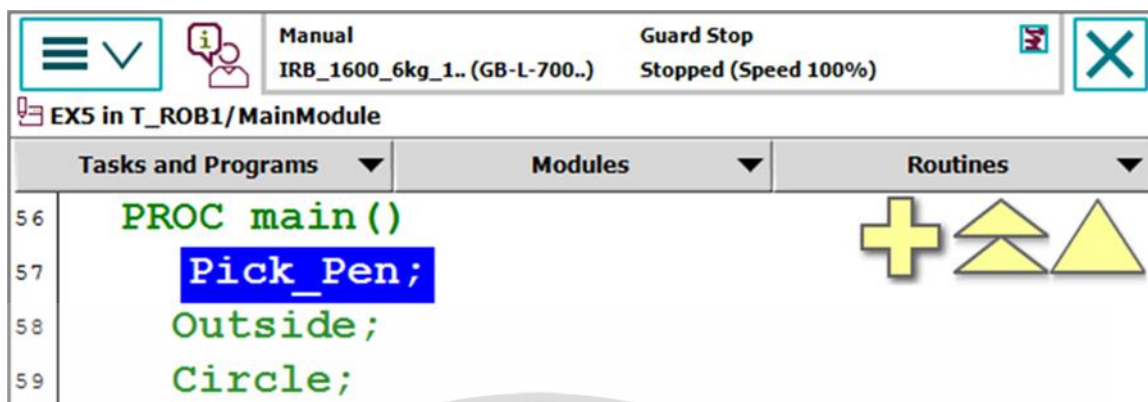


รูปที่ 2.28 ชุดคำสั่งที่ใช้ประจำRoutines

2.2.8 โมดูล Modules

โมดูลเป็นชุดโปรแกรมที่เปรียบเสมือนห้องว่างๆ ไว้ใช้เก็บของคือไว้ใช้เก็บโปรแกรมหากผู้ใช้งานต้องการใช้แขนกลกับหลายงานหลายงานสามารถเขียนโปรแกรมแล้วทำการบันทึกไว้ใน module หนึ่งๆ แล้วไปทำงานชนิดใหม่ได้ หากต้องการใช้แขนกลทำงานแบบเดิมก็สามารถทำการเลือก module ที่ได้ทำการบันทึกไว้ขึ้นมาใช้งานได้ โดยผู้ใช้งานไม่ต้องทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่ ช่วยให้เกิดความสะดวกแก่การทำงาน โดย 1 module จะประกอบด้วยชุดคำสั่งที่ใช้ประจำและข้อมูล โดยโมดูลที่เก็บชุดคำสั่งหลัก Main routine จะเป็นโมดูลหลัก MainModule โมดูลระบบ System modules จะต้องมียู่เสมอในหน่วยความจำและถูกใช้บันทึกข้อมูลเริ่มต้น default data นามสกุลของแฟ้มโปรแกรมจะเป็นดังต่อไปนี้XXXXX.mod Program Module, XXXXX.sysSystem Module, XXXXX.pgProgram Files หากต้องการดูลักษณะของ Modules view ให้ทำการเลือกแถบโมดูล (modules tab) จากหน้าต่างการแก้ไขโปรแกรม (Program Editor) ใช้ไฟล์เมนูเพื่อสร้าง บรรจุ บันทึกหรือ ลบ โมดูลหนึ่งๆ ดังรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 Modules

แสดงโครงสร้างภายในโมดูล Internal Structure of Module ดังรูปที่ 2.30

```

MODULE MainModule
  CONST robtarget pHome:=[[483.84,0.00,300.00],[0.708029,-3.1
  CONST robtarget p1:=[[483.84,97.13,208.75],[0.708029,-3.182
  CONST robtarget p2:=[[592.92,64.72,208.73],[0.708029,5.9975
  CONST robtarget p3:=[[592.92,-63.74,208.73],[0.708029,5.424
  CONST robtarget p4:=[[483.98,-95.79,208.75],[0.708029,-3.44
  PERS num regZ:=0;
  VAR bool bRobotAtHome:=FALSE;
  PROC main()
    MoveJ pHome, v1000, fine, tool0;
    MoveJ Offs(p1,0,0,regZ), v1000, z20, tool0;
    MoveJ p1, v200, fine, tool0;
    MoveL p2, v50, fine, tool0;
    MoveL p3, v100, fine, tool0;
    MoveL p4, v150, fine, tool0;
    MoveL p1, v200, fine, tool0;
    MoveL Offs(p1,0,0,regZ), v1000, z20, tool0;
    MoveJ pHome, v1000, fine, tool0;
  ENDPROC
ENDMODULE

```

รูปที่ 2.30 โครงสร้าง Modules

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กริปเปอร์

อุปกรณ์ที่ทำให้หุ่นยนต์สามารถหยิบและจับวัตถุได้ เมื่อติดตั้งกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ทำงานร่วม (หรือ 'โคบอท') กริปเปอร์ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถดำเนินการสำคัญด้วยระบบอัตโนมัติ เช่น การตรวจสอบคุณภาพ, การประกอบ, การหยิบชิ้นงานเข้า-ออกและการหยิบชิ้นงานเข้าเครื่องจักร หน้าที่หลักของกริปเปอร์ (Gripper) คือ หยิบจับสิ่งของต่างๆ การใช้กริปเปอร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ต้องทำให้กริปเปอร์เคลื่อนที่ได้สามทิศทาง ซึ่งอุปกรณ์ที่จะช่วยให้กริปเปอร์เคลื่อนที่ในทิศทางดังกล่าวได้คือ แกน (Motion axes) หุ่นยนต์ที่ใช้หลักการเดียวกันนี้ โดยใช้แกน 6 แกน แกนแขนจับชิ้นงาน (Hand axes) เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมที่ต้นทุนเป็นปัจจัยสำคัญกริปเปอร์มีลักษณะคล้ายกับมือมนุษย์ เป็นมือจับชิ้นงานสำหรับติดตั้งที่ปลายแขนหุ่นยนต์ สามารถรวมความแข็งแกร่งของแขน เข้ากับความคล่องแคล่วของมือได้ การผสมผสานนี้โคบอทสามารถจัดการกับวัสดุได้หลากหลาย ตั้งแต่การช้อนกล่องขนาดใหญ่ ไปจนถึงการจัดการชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ละเอียดอ่อน แต่ไม่ต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่ที่สูงมากนัก และสามารถใช้แทนหุ่นยนต์ได้ แกนแขนจับชิ้นงานจึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง เพราะสามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วและราคาไม่แพง [12]

2.3.1 ประเภทของกริปเปอร์

กริปเปอร์สามารถแบ่งออกเป็น 5 หรือ 6 ประเภทหลัก ๆ สำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป โดยแต่ละประเภทจะมีความพิเศษด้วยวิธีการใช้พลังงานหรือวิธีการควบคุมกริปเปอร์

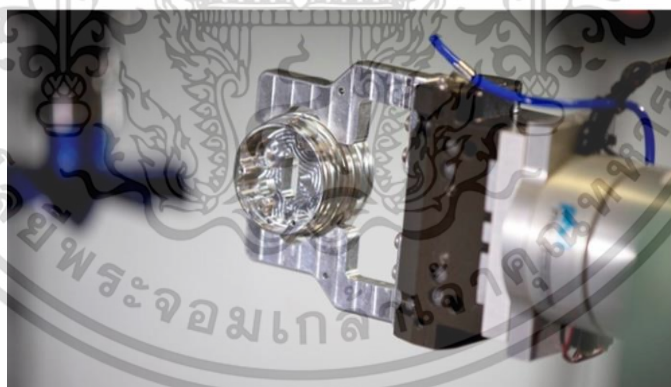
2.3.1.1 กริปเปอร์สุญญากาศ กริปเปอร์สุญญากาศใช้ความแตกต่างระหว่างความดันอากาศและสุญญากาศในการจับยกและเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยปกติสุญญากาศ (หรือ 'การไหลของสุญญากาศ') จะเกิดขึ้นโดยปั๊มไฟฟ้าขนาดเล็กหรือปั๊มที่ขับเคลื่อนด้วยอากาศอัด การไหลของสุญญากาศต้องไม่สะดุดเพื่อให้แน่ใจว่าแขนหุ่นยนต์ของคุณสามารถจับวัตถุที่หยิบขึ้นมาได้อย่างปลอดภัย กริปเปอร์ชนิดอัดอากาศให้กำลังมากกว่าอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้าระหว่างสี่ถึงสิบเท่า ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการยกของที่มีน้ำหนักมาก อย่างไรก็ตามกริปเปอร์สุญญากาศที่ขับเคลื่อนด้วยระบบเครื่องกลไฟฟ้าจะเหมาะในการใช้งานที่ต้องการความคล่องตัวในระดับสูง ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ตั้งโคบอท UR10 ที่ติดตั้งกับกริปเปอร์สุญญากาศ

ข้อดีของกริปเปอร์สุญญากาศ คือ ความสามารถในการจัดการสิ่งของได้หลายประเภท และราคาที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับกริปเปอร์ประเภทอื่น ๆ ข้อเสียของมันคือค่าไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นเมื่อใช้พลังงานลมอัดหรือปั๊มสุญญากาศ นอกจากนี้มันยังมีความไวต่อสถานะที่มีฝุ่นละออง

2.3.1.2 กริปเปอร์นิวเมติก ใช้ลมอัดและลูกสูบเพื่อทำให้ 'ขากรรไกร' (หรือที่เรียกว่านิ้ว) ทำงาน รูปร่างที่พบบมากที่สุดคือ 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว กริปเปอร์ลมเป็นเครื่องมืออเนกประสงค์ที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 กริปเปอร์นิวเมติกส์

ข้อดีของกริปเปอร์นิวเมติกส์ คือ ต้นทุนต่ำ, มีช่วงแรงยึดเกาะขนาดใหญ่, ความสามารถในการทำงานในพื้นที่จำกัด, และเวลาตอบสนองที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตาม กริปเปอร์แบบนิวเมติกเหมาะที่สุดสำหรับการจัดการกับชิ้นส่วนเดียว ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะสมอย่างยิ่งหากโรงงานของคุณผลิตสินค้าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นแต่หลากหลายประเภท กริปเปอร์ประเภทนี้ยังให้การควบคุมแรงและตำแหน่งที่จำกัด และต้องใช้อากาศในการทำงาน

2.3.1.3 กริปเปอร์ไฮดรอลิก กริปเปอร์ไฮดรอลิกขับเคลื่อนด้วยของเหลวไฮดรอลิกให้พลังในการจับมากกว่ากริปเปอร์แบบนิวเมติกทำให้เหมาะสำหรับการทำงานที่เป็นงานหนัก ข้อได้เปรียบหลักของกริปเปอร์ไฮดรอลิก คือ พลังในการจับที่ยืดหยุ่น แต่ด้วยพลังดังกล่าวมีข้อเสียหลายประการ รวมถึงความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นในการจัดการน้ำมัน ปัม และอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นกริปเปอร์ไฮดรอลิกจึงมีการบำรุงรักษาที่สูงกว่ากริปเปอร์ประเภทอื่น ๆ ส่วนใหญ่ยังไม่เหมาะสำหรับห้องคลีนรูม และการใช้งานทางการแพทย์หลายประเภท

2.3.1.4 กริปเปอร์ไฟฟ้า การใช้งานโคบอทส่วนใหญ่กริปเปอร์ไฟฟ้าเป็นตัวเลือกยอดนิยม รวมไปถึงการหยิบชิ้นงานเข้า-ออก และการหยิบชิ้นงานเข้าเครื่องจักร แม้ว่าจะไม่มีกำลังจับในระดับเดียวกับกริปเปอร์ไฮดรอลิก แต่ก็เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง และแรงจับเบา / ปานกลาง กริปเปอร์ไฟฟ้ามักจะมาในรูปแบบสองหรือสามขากรรไกร โดยแบบสามกรรไกรมักจะถูกใช้เมื่อต้องจับวัตถุทรงกลม / ทรงกระบอก คุณลักษณะพิเศษที่เป็นตัวกำหนดกริปเปอร์ไฟฟ้า ในการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ คือ การควบคุมกริปเปอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มาพร้อมกับไมโครโปรเซสเซอร์ที่ช่วยให้คุณปรับแรงและความเร็วในการจับได้หลากหลาย การเพิ่มเซนเซอร์ตรวจจับแรงทำให้กริปเปอร์ไฟฟ้าสามารถจัดการกับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดาย ในทางกลับกัน ถึงแม้ว่ากริปเปอร์ไฟฟ้าเป็นที่นิยมมากขึ้นทุกปี แต่โดยทั่วไปมักจะให้แรงจับน้อยกว่ากริปเปอร์แบบนิวเมติกและมีราคาแพงกว่าด้วย

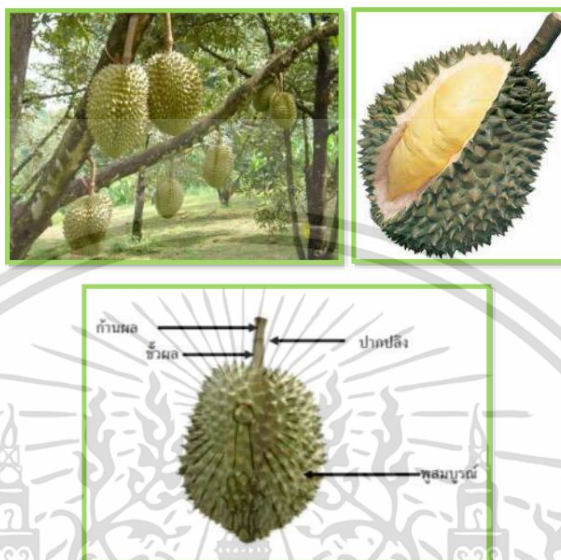
2.3.2 END EFFECTOR

อุปกรณ์ใด ๆ ที่ติดอยู่ที่ปลายแขนหุ่นยนต์ กริปเปอร์เป็น end effector ประเภทหนึ่ง แต่ก็ยังมีอีกหลายประเภท ตัวอย่างเช่น กล้องอัจฉริยะที่ติดอยู่ที่ปลายแขนหุ่นยนต์ สามารถใช้เพื่อช่วยในงานตรวจสอบคุณภาพได้ หรือสามารถติดเครื่องมือเชื่อมที่ปลายแขนหุ่นยนต์เพื่อใช้งานเชื่อมอัตโนมัติได้อย่างปลอดภัย สำหรับ End -effectors อื่น ๆ ยังสามารถใช้สำหรับการจ่ายยาได้ [13]

2.4 ทูเรียน

2.4.1 ทูเรียน เป็นไม้ผลในวงศ์ฝ้าย (Malvaceae) ในสกุลทูเรียน (Durio)[14] เป็นผลไม้ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชาของผลไม้ เจริญเติบโตในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต 10–46 องศาเซลเซียส ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี มีการกระจายตัวของฝนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงประมาณ 75 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 5.5 ถึง 6 ผลของทูเรียนมีลักษณะเปลือกหนา มีหนามแหลมแข็งเป็นรูปปิรามิดตลอดผล ทรงของผลทูเรียนมีหลายรูปแบบแล้วแต่ชนิดพันธุ์ของทูเรียน เช่น พันธุ์กลม (ก้านยาว กระดุม) พันธุ์ก้านปาน

(หมอนทอง ทองย้อย) ฯลฯ เนื้อของทุเรียนมีสีจําปาหรือสีเหลืองอ่อน ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและพันธุ์ของทุเรียน [15] ดังแสดงรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง

2.4.2 ลักษณะทางกายภาพของทุเรียน ทรงผลมีลักษณะทางกายภาพเป็นรูปวงรี ปลายผลแหลม มีหนามแหลมแข็งเป็นรูปปิรามิด พุ่มก้นไม่ค่อยเต็มทุกพู หนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ผลอาจมีขนาดยาวถึง 30 ซม. ผลมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-20 เซนติเมตรความยาวอยู่ที่ลักษณะของทุเรียน ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไปซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่า เขี้ยว ก้านผลใหญ่ แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะอ้วนใหญ่ เนื้อหนาสีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่แฉะติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อยและลีบเป็นส่วนใหญ่ [16] ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ลักษณะทางกายภาพทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การปลูกทุเรียนไทย ประเทศในอาเซียนที่นิยมปลูกทุเรียน ได้แก่ ไทย มาเลเซีย เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย โดยประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอันดับ 1 ของโลก ในปี 2564 มีผลผลิตที่มากขึ้นเป็น 1,017,097 ตัน แตกต่างจากปี 2561 มีปริมาณผลผลิต 759,828 ตัน เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูก มีเทคโนโลยีที่ช่วยในการดูแลผลผลิต มีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทำให้ทุเรียนมีผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

ทุเรียนจะเริ่มให้ผลผลิตหลังจากการปลูกตั้งแต่ปี 5 ขึ้นไป ในประเทศไทยมีการปลูกทุเรียนมากกว่า 200 สายพันธุ์ โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการบริโภคและเป็นที่ต้องการของตลาด มีประมาณ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ชะนี พวงมณี ก้านยาว กระดุม และหมอนทอง พันธุ์ทุเรียนนอกจากใช้เพื่อการบริโภคยังสามารถเป็นสินค้าที่บ่งบอกถึงข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของประเทศ ได้แก่ ทุเรียนหลงลับแลอุตรดิตถ์ ทุเรียนหลินลับแลอุตรดิตถ์ ทุเรียนนนท์ ทุเรียนภูเขาไฟศรีสะเกษ ทุเรียนในวงระนอง ทุเรียนป่าละอู ทุเรียนสาธิตก้างา ทุเรียนปราจีน เป็นต้น รวมถึงทุเรียนสายพันธุ์พื้นบ้านหลายชนิด ที่นิยมปลูกในพื้นที่บริเวณภาคใต้ตอนล่างและพื้นที่สามจังหวัดชายแดน (นราธิวาส ยะลา ปัตตานี) ของประเทศไทย

2.4.4 การบรรจุทุเรียนเพื่อการส่งออก การตัดทุเรียนสำหรับเกษตรกรจะเลือกตัดทุเรียนที่มีค่าความแก่ไม่เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อมีระยะเวลาการสุกหอมและไม่สุกเกินไปเมื่อถึงปลายทาง เมื่อตัดเสร็จแล้วจะส่งไปยังพ่อค้าคนกลาง หรือล้ง เมื่อถึงล้ง แล้วจะมีคนแยกคัดน้ำหนักและเป่าทำความสะอาดผิว ชุบน้ำยาขมิ้นเพื่อป้องกันเชื้อรา เป่าลมให้แห้งแล้วทำการติดสติ๊กเกอร์ เมื่อเสร็จแล้วทำการบรรจุลงกล่อง โดยการบรรจุทุเรียนใส่กล่องใช้แรงงานคนในการบรรจุ สำหรับทุเรียนส่งออกซึ่งใช้ทุเรียนเฉพาะเกรด A และ B เท่านั้น โดยปัจจุบันในล้งจะทำการบรรจุทุเรียนลงกล่องด้วยแรงงานคน กล่องทุเรียน 1 กล่องบรรจุได้ 5-6 ลูก น้ำหนักสำหรับทุเรียนส่งออกต้องมีน้ำหนักต่อกล่องไม่เกิน 18.5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบรรจุเฉลี่ย 90 วินาทีต่อกล่อง ราคาค่าจ้างในการบรรจุขึ้นต่ากล่องละ 12 บาท ดังแสดงรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 การบรรจุทุเรียนหมอนทองสำหรับส่งออกกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 สถานการณ์การส่งออกทุเรียน ทุเรียนมีมูลค่าส่งออกสูงถึง 3.5 พันล้านเหรียญสหรัฐ มีอัตราการขยายตัวของการส่งออกสูงถึงร้อยละ 68 ซึ่งได้รับความนิยมสูงต่อเนื่องในต่างประเทศ แต่มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างคงที่ โดยในปี 2564 การส่งออกทุเรียนและผลิตภัณฑ์ เช่น ทุเรียนแช่แข็ง ทุเรียนอบแห้ง ทุเรียนสด และทุเรียนกวน จำนวน 680,872.5 ตัน เป็นเงินจำนวน 51,035.7 ล้านบาท ประเทศกลุ่มการค้าที่มีการนำเข้าทุเรียนปริมาณมากทุกปี คือ จีน เวียดนาม และฮ่องกง สามารถแบ่งทุเรียนและผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน ผลิตภัณฑ์ทุเรียนแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์ทุเรียนสด และผลิตภัณฑ์ทุเรียนอบแห้ง [16]

การส่งออกในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา (2553 – 2562) ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา (2553 – 2562) พบว่าในแต่ละปีการส่งออกทุเรียนและผลิตภัณฑ์ช่วยสร้างรายได้ให้กับประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การส่งออกมีมูลค่ารวม 186,822.6 ล้านบาท คิดเป็นมูลค่าจากการส่งออกทุเรียนสดมากที่สุด 162,851 ล้านบาท รองลงมา ทุเรียนแช่แข็ง 20,264.9 ล้านบาท ทุเรียนอบแห้ง 2,515 ล้านบาท และทุเรียนกวน 1,191.6 ล้านบาท ทำให้ไทยครองแชมป์ส่งออกทุเรียนอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการส่งออกทุเรียนของไทยในช่วง 10 ปี (2553 – 2562)

ปริมาณ: ตัน มูลค่า: ล้านบาท

ปี	ทุเรียนสด		ทุเรียนแช่แข็ง		ทุเรียนอบแห้ง		ทุเรียนกวน		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2553	207,501	3,690.3	15,440	560.6	366	142.4	3,402	234.5	226,709	4,627.8
2554	271,948	4,662.2	14,323	565.8	323	132.0	3,071	229.2	289,665	5,589.2
2555	351,124	6,195.2	13,895	734.4	392	193.5	500	44.1	365,911	7,167.2
2556	367,056	7,344.5	13,662	879.6	465	279.4	230	28.5	381,413	8,532.0
2557	369,602	12,435.7	17,143	1,131.3	355	218.0	455	58.1	387,555	13,843.1
2558	358,192	13,246.4	22,201	1,945.5	401	289.7	690	82.4	381,484	15,564.0
2559	403,634	17,505.8	20,342	2,170.1	341	282.9	720	90.1	425,037	20,048.9
2560	490,489	22,098.4	13,303	2,275.6	545	431.3	1,089	137.5	505,426	24,942.8
2561	494,068	30,187.0	20,029	4,648.5	418	346.2	1,518	155.5	516,033	35,337.2
2562	655,362	45,485.5	25,932	5,353.5	215	199.7	1,211	131.7	682,720	51,170.4
รวม	3,968,976	162,851.0	176,270	20,264.9	3,821	2,515	12,886	1,191.6	4,161,953	186,822.6

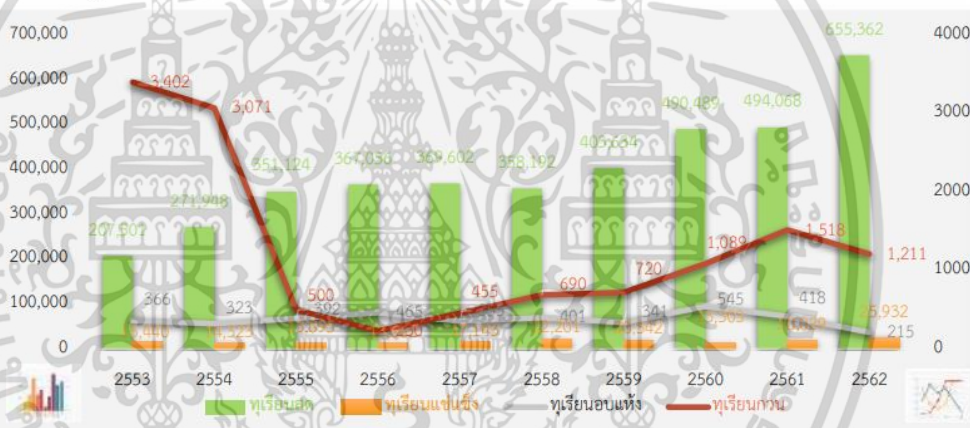
ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร

สาเหตุที่การส่งออกทุเรียนในรูปผลสดมีปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้น แม้จะมีสถานการณ์โควิด-19 เนื่องจากทุเรียนไทยยังคงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคชาวจีน โดย“ล้ง” หรือผู้ประกอบการชาวจีนมีการแข่งขันกันสูงมาก โดยปัจจุบันมีล้งเพิ่มขึ้น ทำให้ราคาทุเรียนปรับตัวสูงขึ้น นอกจากนี้ ปัญหาจากการส่งออกทุเรียนไปจีนที่ติดขัดเรื่องการขนส่งที่ล่าช้า มีรถขนส่งติดอยู่ที่ด่านโหยวอี๋กวน ทำให้ทุเรียนแตกเสียหาย แต่ช่วงปลายเดือนเมษายน 2563 มีการเจรจาให้เปิดด่านเพิ่มอีก 2 แห่ง ระบบขนส่งจึงคล่องตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น จากเดิมรถขนส่งติดค้างที่ใช้เวลาเดินทาง 9 วัน เหลือเพียง 3 วัน ซึ่งผลจากการเปิดด่านเพิ่มเติม ช่วยอำนวยความสะดวกการขนส่งทุเรียนทางบกมากขึ้น โดยเฉพาะช่วงกลางเดือนพฤษภาคม ที่มีปริมาณทุเรียนภาคตะวันออก ออกสู่ตลาดมากที่สุด และมีทุเรียนภาคใต้ออกมาสมทบด้วย ทำให้คาดการณ์ส่งออกทุเรียนไปจีนจะขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี

การส่งออกทุเรียนสดของไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยในปี 2553 ไทยส่งออกที่ปริมาณ 207,501 ตัน มูลค่ารวม 3,690.3 ล้านบาท ในขณะที่ปี 2562 ไทยส่งออกทุเรียนสดเพิ่มขึ้นถึง 655,362 ตัน มูลค่ารวม 45,485.5 ล้านบาท ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่แปรรูปจากทุเรียน ยังไม่ค่อยมีการขยายตัวมากนัก โดยระยะ 3 ปีที่ผ่านมา (2560 – 2562) มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะทุเรียนอบแห้ง เนื่องมาจากมีการส่งออกผลสดไปจำนวนมาก จึงขาดแคลนผลสดสำหรับการผลิตในประเทศ นอกจากนี้จีนมีการนำเข้าทุเรียนผลสด เพื่อนำไปแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มได้หลากหลายมากขึ้นทั้งอาหารและขนมหวาน ดังแสดงในรูปที่ 2.36



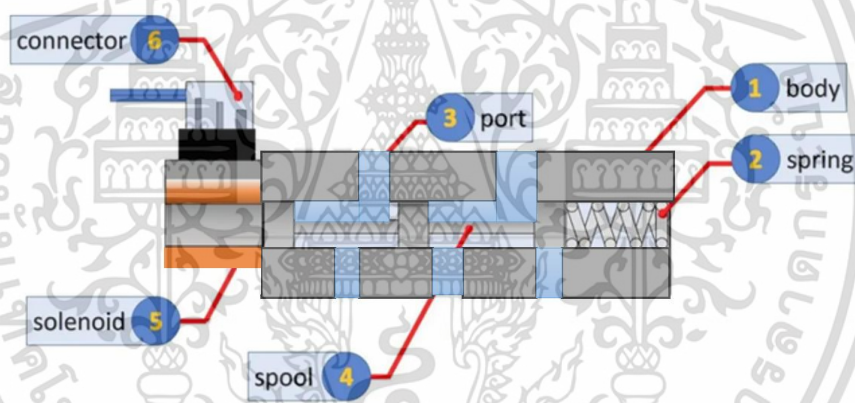
รูปที่ 2.36 ข้อมูลการส่งออกทุเรียนของไทยในช่วงเวลา 10 ปี

2.5 ระบบนิเวติกส์และวาล์วควบคุมทิศทาง

2.5.1 ระบบนิเวติกส์ ระบบที่ใช้การอัดอากาศส่งไปตามท่อที่ประกอบเข้ากับชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร เพื่อทำให้เกิดพลังงานกลในการทำงานสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ระบบนิเวติกส์ในปัจจุบันนี้มีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ตั้งแต่ระบบระบายลม มอเตอร์ลมอย่างง่าย ไปจนถึงการทำงานในเครื่องจักรขนาดใหญ่ ประกอบกับระบบ Automation เพื่อการทำงานแบบอัตโนมัติโดยมีโครงสร้างพื้นฐาน [17] ดังแสดงในรูปที่ 2.37

2.5.2 วาล์วควบคุมทิศทางระบบนิวเมติกส์ (pneumatic system) นั้น มีอุปกรณ์อยู่มากมายหลายชนิด เช่น ปัมลม (air compressor), ชุดกรองลม (F.R.L unit), สายท่อลมและอุปกรณ์เชื่อมต่อ (tubing and fitting) , วาล์วควบคุมความเร็ว (speed controller) และอื่น ๆ อีกมากมาย นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง สำหรับใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบ นั่นก็คือ วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) [18]

วาล์วควบคุมทิศทาง มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันมากมาย เช่น Directional Control Valve (DCV) หรือ Pneumatic solenoid valve เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ของลมอัด ให้ไปยังทิศทางที่ต้องการ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์นิวเมติกส์ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ 1.วาล์วควบคุมทิศทาง แบบ Manual valve 2.วาล์วควบคุมทิศทาง แบบ Air piloted valve 3.วาล์วควบคุมทิศทาง แบบโซลินอยด์ (Solenoid valve) โดยมีส่วนประกอบพื้นฐานของวาล์วควบคุมทิศทาง ดังแสดงในรูป 2.38



รูปที่ 2.38 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของวาล์วควบคุมทิศทาง

2.5.2.1 Housing หรือ Body มีหน้าที่บรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวาล์วควบคุมทิศทาง

2.5.2.2 Holes หรือ ports ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ เช่น ข้อต่อท่อลม (Fitting)

2.5.2.3 Spool เป็นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ด้านใน ทำหน้าที่กำหนดทิศทางการไหลของลม

2.5.2.4 สปริง ทำหน้าที่คืน Spool ให้เคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น

2.5.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการไหลของลม เช่น สวิตซ์เท้า, ก้านคันโยก, น๊อปหมุน ขดลวดโซลินอยด์ เป็นต้น

2.5.2.6 connector เป็นพอร์ตเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (electronic connector)

2.6 กระบอกลม

2.6.1 กระบอกลม

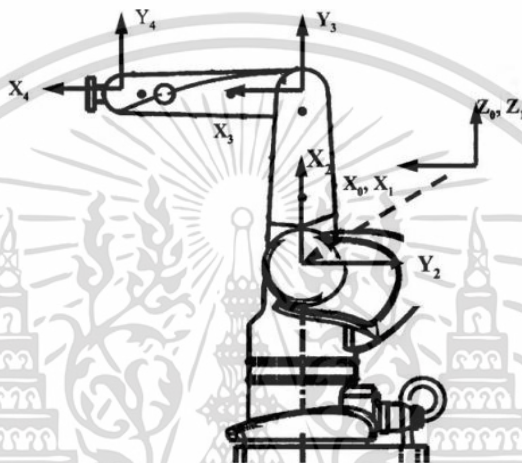
เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยลมทำให้ชิ้นส่วนก้านกระบอกลมเกิดการเคลื่อนที่ มีทิศทางการหมุน 90, 180, 270 หรือ 360 องศา ขึ้นอยู่กับประเภทของกระบอกลม กระบอกลมสามารถเปลี่ยนการทำงานของระบบให้เป็นพลังงานกล สามารถใช้ในโรงงานสำหรับการขับเคลื่อนอุปกรณ์ภายในระบบ นอกจากนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่นิยมมากในภาคของกลุ่มอุตสาหกรรม เพราะมีการวางระบบและการจัดการที่สะดวก ต้นทุนต่ำกว่ารูปแบบของพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น ระบบไฮดรอลิก หรือพลังงานไฟฟ้า ภาคระบบการผลิตในปัจจุบันจึงเลือกใช้มากขึ้น กระบอกลมมักจะทำจากท่อชนิดไม่มีตะเข็บ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง สแตนเลส แตกต่างตามลักษณะงานที่ใช้ ต้องมีการนำมาทำให้เกิดความสม่ำเสมอ เพื่อลดการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นงาน และต้องลดความเสียหายภายในกระบอกสูบ ฝาสูบมักทำมาจากการหล่อขึ้นรูป หรือบางครั้งอาจใช้วิธีอัด การติดกระบอกสูบลมเข้ากับฝาบางครั้งใช้วิธีการขันเกลียว ซึ่งเหมาะสมประเภทของกระบอกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 25 มิลลิเมตร ถ้ามากกว่านิยมใช้วิธีโดยการสกรูร้อยขึ้น บริเวณปลายของชิ้นงานทั้งสองด้าน ก้านสูบอาจทำด้วยสแตนเลสหรือเหล็กชุบผิวโครเมียม บริเวณเกลียวปลายก้านสูบถูกสร้างด้วยวิธีการรีดขึ้นรูปแบ่งลักษณะการทำงานหรือการเคลื่อนที่ได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. กระบอกลูกสูบลม ที่มีรูปแบบการทำงานที่เคลื่อนตามแนวเส้นตรง
2. กระบอกลม ทำงานตามแนวเส้นรอบวง
3. กระบอกลมนิวเมติกส์ที่มีรูปแบบพิเศษ มีลักษณะการทำงานขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน

ระบบนิวเมติกส์ที่มีการใช้กระบอกลมปัจจุบันมีกระบอกลมรูปแบบการทำงาน 2 ประเภทหลักๆ คือ กระบอกลมรูปแบบการทำงานทางเดียว คือกระบอกสูบลมที่อาศัยแรงดันในการทำงานทางเดียวจะมีสปริงภายในเพื่อทำหน้าที่ดันลูกสูบให้กลับเข้าตำแหน่งที่พร้อมใช้งานในรอบต่อไป เหมาะกับงานที่มีภาระงานที่ไม่มาก เพราะสามารถทำงานได้ในกรณีที่ไม่มีไฟฟ้าขณะทำงาน กระบอกลมรูปแบบการทำงานสองทาง คือกระบอกสูบลมที่อาศัยแรงดันของอากาศในทิศทางที่มีการเคลื่อนที่สองทิศทาง ขณะที่ด้านหนึ่งเกิดแรงดัน ด้านตรงข้ามจ่ายแรงดันอากาศเหมาะกับรูปแบบการทำงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตรงและระยะชักยาวเพราะแรงดันอากาศจะมีความสม่ำเสมอมากกว่ากระบอกสูบแบบทางเดียว มีการนำกระบอกสูบมาใช้ในการทำงานที่หลากหลาย เช่น งานตามโครงการก่อสร้าง งานการผลิตในภาคอุตสาหกรรม หรือใช้ในเครื่องมือวัดต่างๆ โดยจะใช้ในการดึง ยก หรือแม้กระทั่งงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การเปิด-ปิดประตู ใช้ในการยึดเก็บหรือนำอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ มาเป็นส่วนประกอบในกรรมมาวิธีการผลิตได้อีกด้วยเป็นการช่วยให้งานผลิตรวดเร็วและมี ประสิทธิภาพมากขึ้น ควบคุมได้ง่ายจากอุปกรณ์นิวเมติกส์ เช่น วาล์วควบคุมแรงดันและยังสามารถเดินท่อเพื่อใช้งานได้ในระยะไกลอีกด้วย

2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.7.1 วิธีการหา DH Parameters เป็นสมการที่ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแปรแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ช่วยการหาจลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward Kinematics) โดยจะตั้งเฟรมอ้างอิงที่แต่ละข้อต่อ แล้วหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแขนและข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.39 และค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ DH parameter แสดงดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.39 การตั้งแกนอ้างอิงของแขนกลแบบ Articulated Robot

ตารางที่ 2.3 DH parameter ของ Articulated Robot

จุดต่อเชื่อมต่อ ลำดับที่	จุดเชื่อมต่อหมุน	จุดเชื่อมต่อแนวยาว	จุดเชื่อมต่อออฟเซต	มุมที่จุดเชื่อมต่อ
1	0	0	0	θ_1
2	-90	0	0	θ_2
3	0	L2	0	θ_3
4	0	L3	0	θ_4

โดยที่ α_{i-1}, a_{i-1}

เป็นค่าคงที่

θ_i, d_i

เป็นตัวแปรตามขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ว่าเป็น Prismatic หรือ

Revolute Joint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีของ denavit-Hartenberg ซึ่งในปี ค.ศ.1955 R. S. Hartenberg และ J. Denavit ได้เสนอวิธี DH parameter จากรูปทั่วไปของ Homogeneous Transformation Matrix ดังนี้

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -d_i \sin \alpha_{i-1} \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.7.2 จลนศาสตร์ไปข้างหน้าและย้อนกลับ (Forward and Inverse Kinematics)

2.7.2.1 จลนศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward Kinematics) เป็นการโอนย้ายความสัมพันธ์ของตำแหน่งแขนกลจากการอ้างอิงเชิงมุมของแต่ละ Joint ในแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อ (Joint Space) มาเป็นการอ้างอิงเชิงเส้น 3 มิติแกน x,y,z (Cartesian Space) เพื่อบอกตำแหน่งปลายแขนกลเทียบกับเฟรมอ้างอิงเริ่มต้น (Base Frame)

$${}^{0_4}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) & -\cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) & -\sin \theta_1 & T14 \\ \sin \theta_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) & -\sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) & \cos \theta_1 & T24 \\ -\sin(\theta_2 + \theta_3) & -\cos(\theta_2 + \theta_3) & 0 & T34 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$L_2 = L_3 = l$$

$$T14 = (l \cos \theta_2 + l \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cos \theta_1$$

$$T24 = (l \cos \theta_2 + l \cos(\theta_2 + \theta_3)) \sin \theta_1$$

$$T34 = -l \sin \theta_2 - l \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

2.7.2.2 จลนศาสตร์ย้อนกลับ (Inverse Kinematics) เป็นการโอนย้ายความสัมพันธ์ย้อนกลับของตำแหน่งแขนกล จากการอ้างอิงเชิงเส้น 3 มิติ แกน x,y,z ใน Cartesian Space ของปลายแขนกล มาเป็นการอ้างอิงในแกนอ้างอิงแบบตัวแปรข้อต่อ (Joint Space) เพื่อบอกตำแหน่งปลายแขนกลเทียบกับเฟรมอ้างอิงเริ่มต้น (Base Frame) ซึ่งจะพบว่าสามารถหาผลเฉลยได้หลายคำตอบขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทำงานของแขนกล เช่น สิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหาผลเฉลยแบบ Geometric

Joint 1

$$\therefore \theta_1 = A \tan 2(y, x)$$

โดยที่

$$x = (l \cos \theta_2 + l \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cos \theta_1$$

$$y = (l \cos \theta_2 + l \cos(\theta_2 + \theta_3)) \sin \theta_1$$

$$z = l \sin \theta_2 + l \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

Joint 2

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{l^2 - l^2 - r^2}{-2lr} \right]$$

$$\psi = \sin^{-1}(z/r)$$

$$\therefore \theta_2 = \beta + \psi$$

โดยที่

$$L_2 = L_3 = l$$

Joint 3

$$\therefore \theta_3 = 180 - \cos^{-1} \left(\frac{l^2 + l^2 - r^2}{2ll} \right)$$

โดยที่

$$L_2 = L_3 = l$$

2.7.3 จาคอบีเยน (Jacobian) การที่หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม คุณลักษณะต่างๆจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง แรงในแนวเชิงเส้นเชิงมุมเมื่อเทียบกับแกนอ้างอิง จึงได้ทำการหาวิธีการโอนย้ายความสัมพันธ์ความเร็ว แรงของตำแหน่งต่างๆบนแขนกล เช่น ความเร็วเชิงมุม ในกรณีที่เป็นข้อต่อแบบหมุน (Revolute Joint) และความเร็วเชิงเส้น ในกรณีที่เป็นข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic Joint) หรือปลายแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.1 จาโคเบียนความเร็ว (Velocity Jacobian) เป็นโอเนอัยความสัมพัทธ์ความเร็วของตำแหน่งต่าง ๆ บนแขนกล เช่น ความเร็วเชิงมุมในกรณีที่เป็นข้อต่อแบบหมุน หรือความเร็วเชิงเส้น ในกรณีที่เป็นข้อต่อแบบเลื่อนหรือปลายแขนระหว่างการอ้างอิงที่ฐานของหุ่นยนต์และการอ้างอิงที่ปลายแขน

$${}^0v_4 = {}^0J(\theta)\dot{\theta}$$

$${}^0v_4 = \begin{bmatrix} -(\cos\theta_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3))\sin\theta_1 l & -(\sin\theta_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3))\cos\theta_1 l & -\cos\theta_1(\sin(\theta_2 + \theta_3))l \\ (\cos(\theta_2 + \theta_3) + \cos\theta_2)\cos\theta_1 l & -(\sin\theta_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3))\sin\theta_1 l & -\sin\theta_1(\sin(\theta_2 + \theta_3))l \\ 0 & -(\cos\theta_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3))l & -\cos(\theta_2 + \theta_3)l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

$$\therefore {}^0J(\theta) = \begin{bmatrix} -(\cos\theta_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3))\sin\theta_1 l & -(\sin\theta_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3))\cos\theta_1 l & -\cos\theta_1(\sin(\theta_2 + \theta_3))l \\ (\cos(\theta_2 + \theta_3) + \cos\theta_2)\cos\theta_1 l & -(\sin\theta_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3))\sin\theta_1 l & -\sin\theta_1(\sin(\theta_2 + \theta_3))l \\ 0 & -(\cos\theta_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3))l & -\cos(\theta_2 + \theta_3)l \end{bmatrix}$$

2.7.3.2 จาโคเบียนแรง (Force Jacobian) เป็นโอเนอัยความสัมพัทธ์แรงของตำแหน่งต่าง ๆ บนแขนกล เช่น แรงบิด (กรณีข้อต่อหมุน) หรือแรงเชิงเส้น (กรณีที่เป็นข้อต่อแบบเลื่อนหรือปลายแขน) ระหว่างการอ้างอิงที่ฐานของหุ่นยนต์และการอ้างอิงที่ปลายแขนกล

$$\therefore \tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & L(\sin(\theta_2 + \theta_3) + \sin\theta_2) \\ L\sin\theta_3 & L(\cos\theta_3 + 1) & 0 \\ 0 & 0 & L(\cos(\theta_2 + \theta_3) + \cos\theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}$$

2.7.4 พลศาสตร์ไปข้างหน้าและย้อนกลับ (Forward and Inverse Dynamics) พลศาสตร์ของแขนกล เป็นความสัมพันธ์ของแรงบิด (Joint Torque) ที่กระทำที่ข้อต่อ กับการเคลื่อนที่ของแขนกลใน Cartesian Space โดยสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี คือ วิธี Lagrangian Formulation และ วิธี Recursive Newton-Euler Formulation ซึ่งในที่นี่ได้คำนวณด้วยวิธี Recursive Newton-Euler Formulation

2.7.4.1 พลศาสตร์ไปข้างหน้า (Forward Dynamics) เป็นการคำนวณหาแรงบิด (Joint Torque) ที่ต้องการเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

$$\tau_1 = \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{3}m_1l^2 + \frac{4}{3}m_2l^2 + m_2 \cos \theta_2 l^2\right)\ddot{\theta}_1 + \left(\frac{1}{3}m_1l^2 + \frac{1}{2}m_2 \cos \theta_2 l^2\right)\ddot{\theta}_2 \\ -m_2 \sin \theta_2 l^2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 - \frac{1}{2}m_2 \sin \theta_2 l^2 \dot{\theta}_2^2 \\ \frac{1}{2}m_1 gl \cos \theta_1 + \frac{1}{2}m_2 gl \cos(\theta_1 + \theta_2) + m_2 gl \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

$$\tau_2 = \left(\frac{1}{3}m_2l^2 + \frac{1}{2}m_2 \cos \theta_1 l^2\right)\ddot{\theta}_1 + \left(\frac{1}{3}m_2l^2\right)\ddot{\theta}_2 + \frac{1}{2}m_2 \sin \theta_2 l^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_2 gl \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\tau_3 = \left(\frac{1}{3}m_3l^2\right)\ddot{\theta}_3 + \frac{1}{2}m_2 (\sin \theta_2) l^2 + \frac{1}{2}m_2 gl \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

2.7.4.2 พลศาสตร์ย้อนกลับ (Inverse Dynamics) เป็นการคำนวณหาความเร่งที่จุดศูนย์กลางมวลของแขน (link) ที่เกิดขึ้นจากการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

$${}^1R_0a_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

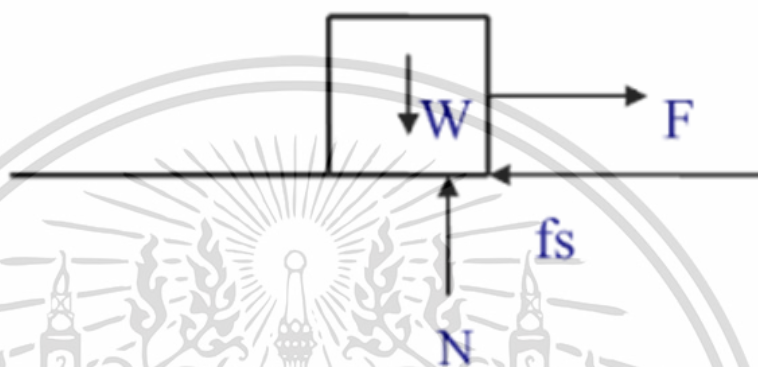
$${}^2R_0a_2 = \begin{bmatrix} \frac{l}{2} \cos \theta_2 (\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} \\ -\frac{l}{2} \sin \theta_2 (\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} \\ \frac{l}{2} (\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{l}{2} \cos \theta_2 (\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) (\dot{\theta}_{12})^2 \\ -\frac{l}{2} \sin \theta_2 (\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) (\dot{\theta}_{12})^2 \\ -\frac{l}{2} (\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) (\dot{\theta}_{12})^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l((\cos \theta_2) \dot{\theta}_{12})^2 + g \sin \theta_2 \\ l((\cos \theta_2) \dot{\theta}_{12})^2 + g \cos \theta_2 \\ -l(\cos \theta_2) \dot{\theta}_{12} \end{bmatrix}$$

$${}^3R_0a_3 = \frac{l}{2} \begin{bmatrix} \sin \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} - (\cos \theta_1) \dot{\theta}_3 + \cos \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) ((\dot{\theta}_{12})^2 + (\dot{\theta}_3)^2) \\ -\sin \theta_1 (\sin(\theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} - (\cos \theta_1) \dot{\theta}_3 - \cos \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) (\dot{\theta}_{12})^2 + \sin \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) \dot{\theta}_{12} \dot{\theta}_3 - \cos \theta_1 S23 (\dot{\theta}_3)^2 \\ \sin(\theta_2 + \theta_3) + \cos(\theta_2 + \theta_3) (\cos \theta_1) \dot{\theta}_{12} + ((\cos(\theta_2 + \theta_3)) - (\sin(\theta_2 + \theta_3) - 2(\cos(\theta_2 + \theta_3)) (\sin(\theta_2 + \theta_3))) \cos \theta_1 \dot{\theta}_{12} \dot{\theta}_3 - \sin \theta_1 (\dot{\theta}_{12})^2 \end{bmatrix}$$

$${}^4R_0a_4 = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} - (\cos \theta_1) \dot{\theta}_3 + \cos \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) ((\dot{\theta}_{12})^2 + (\dot{\theta}_3)^2) \\ -\sin \theta_1 (\sin(\theta_2 + \theta_3)) \ddot{\theta}_{12} - (\cos \theta_1) \dot{\theta}_3 - \cos \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) (\dot{\theta}_{12})^2 + \sin \theta_1 (\cos(\theta_2 + \theta_3)) \dot{\theta}_{12} \dot{\theta}_3 - \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) (\dot{\theta}_3)^2 \\ (\sin(\theta_2 + \theta_3) + \cos(\theta_2 + \theta_3)) (\cos \theta_1) \dot{\theta}_{12} + (\cos(\theta_2 + \theta_3) - \sin(\theta_2 + \theta_3) - 2(\cos(\theta_2 + \theta_3)) \sin(\theta_2 + \theta_3)) (\cos \theta_1) \dot{\theta}_{12} \dot{\theta}_3 - (\sin \theta_1) (\dot{\theta}_{12})^2 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 แรงเสียดทาน แรงเสียดทานเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในบริเวณผิวสัมผัสของวัตถุทั้งสองซึ่งแรงจะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ งานวิจัยเป็นการทดลองหนีบจับทุเรียน โดยจะต้องไม่มีการขยับของวัตถุ ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัตถุนั้นจะเพียงพอที่จะทำให้วัตถุไม่เคลื่อนที่ โดยแรงเสียดทานมี 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 วัตถุและแรงเสียดทาน

2.7.5.1 แรงเสียดทานสถิต (Static Friction : f_s) แรงที่เกิดขึ้นขณะวัตถุหยุดนิ่ง

ถ้า $F < f_s$ หรือ $F < \mu_s N$ แรงเสียดทานขณะนั้น $f = F$ ส่งผลให้วัตถุจะหยุดนิ่ง

ถ้า $F = f_s$ หรือ $F = \mu_s N$ แรงเสียดทานขณะนั้น $f = \mu_s N$ ส่งผลให้วัตถุหยุดนิ่งเตรียมที่จะเคลื่อนที่

จะเคลื่อนที่

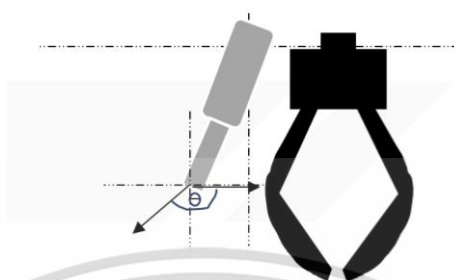
2.7.5.2 แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction : f_k) แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุ

กำลังเคลื่อนที่

$-F > \mu_s N$ ซึ่งแรงเสียดทานขณะนั้นมีค่า $f = \mu_k N$ โดยวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเมื่อ

$\mu_k N =$ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน

2.8 การคำนวณทางทฤษฎีของการหนีบจับทุเรียน



$$F \cos \theta = F_x$$

$$F = ?$$

รูปที่ 2.41 แรงที่กระทำต่อลูกทุเรียน

แรงที่ใช้ในการหนีบทุเรียนที่กระบอกสูบต้นกริปเปอร์มีค่ากี่นิวตัน เมื่อ θ ทำมุม 120 องศา และ ความดันลมที่เหมาะสมที่สุดในการหนีบทุเรียน 0.15 เมกะปาสคาล ดังแสดงในรูปที่ 2.41

การหาแรงมีสูตรดังนี้

$$F = PA$$

$$F = P (\pi R^2)$$

$$F_x = P (\pi R^2) \cos \theta$$

$$F_x = (0.15 \times 10^5 \times 10^6) (\pi) (16 \times 10^{-3})^2 \cos 120^\circ$$

$$F_x = (0.15 \times 10^6) (\pi) (16)^2 \times 10^{-6} (-1/2)$$

$$F_x = 60.32 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงที่ใช้ในการหนีบทุเรียนมีค่า 60.32 นิวตัน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญเลิศ สือเฉย และคณะ [19] ศึกษาวิจัยนำเสนอการพัฒนาการใช้กล้องร่วมกับแขนกลในการมองเห็นแบบ 2 มิติ เพื่อใช้ในการหยิบจับวัตถุ และการศึกษาประสิทธิภาพในการใช้กล้องกับหุ่นยนต์ในการวางวัตถุให้มีความแม่นยำในการวางวัตถุตามจุดที่ได้กำหนดไว้ ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีขนาดความกว้าง 10 x 10 มิลลิเมตร ซึ่งถ้ามองด้วยสายตารู้สึกว่าชิ้นงานมีขนาดเล็ก แต่ในมุมมองวิทัศน์ที่ใช้เลนส์ ระยะโฟกัสที่ 8 มิลลิเมตรจะสามารถเห็นภาพของชิ้นงานได้ชัดเจนจากการทดสอบการควบคุมพบว่าตัวหุ่นยนต์สามารถทำงานได้แม่นยำกว่า และยังสามารถทำงานต่อเนื่อง ซึ่งเป็นจุดที่คุ้มทุนในการทำงาน

ในระยะยาวและสามารถเพิ่มจำนวนการผลิตได้ตามที่ต้องการได้ในเวลาที่กำหนดและจำนวนการผลิตค่อนข้างคงที่

รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชระ [20] ศึกษาการให้แขนกลจับวัตถุ โดยการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุผ่านการประมวลผลภาพ เริ่มจากการออกแบบและสร้างแขนกลตามที่ได้ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับควบคุมแขนกล ซึ่งประกอบด้วยวงจรประกอบการใช้งานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขับมอเตอร์หลังจากนั้นจึงเขียนโปรแกรมการหาตำแหน่งและคัดแยกสีผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ และนำข้อมูลมาประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา ซีชาร์ป ซึ่งเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ให้เหมาะสม และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม พบว่าระบบการทำงานที่ได้ออกแบบสามารถทำให้แขนกลจับวัตถุได้ตามต้องการ

สุกัญญา ทองเชื้อ [21] ศึกษาการพัฒนากระบวนการควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติ ศึกษาผลการทดลองใช้ระบบควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติและ ศึกษาผลประสิทธิภาพของระบบควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติ พบว่า ระบบควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติ พบว่าประกอบด้วยฐานโครงสร้าง เพลาเกลียว ชุดลู่ทรายถ่วงน้ำหนัก มอเตอร์กระแสตรง บีมาทาสี แปรงทาสี ถังสี ล้อเคลื่อนที่ และตู้ควบคุมแบบอัตโนมัติโดยสามารถทำการเคลื่อนที่ทาสีได้แบบอัตโนมัติครบสมบูรณ์ตามขอบเขตของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ ระบบควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติมีการเคลื่อนที่แนวทางซ้าย ทางขวา ขึ้นและลง ใช้ระยะทางที่ 105 เซนติเมตร ใช้เวลาในการขับเคลื่อนอยู่ที่ 0.58 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ที่ 0.28 แอมแปร์ และ ประสิทธิภาพของระบบควบคุมแขนกลทาสีผนังแบบอัตโนมัติของพื้นที่ขนาดที่ 1.08 ตารางเมตร ความสิ้นเปลืองของสี ร้อยละ 10 ขณะที่แรงงานคนใช้เวลา 1.6 นาที แต่มีความสิ้นเปลืองของสี ร้อยละ 25

นายกิตติพงษ์ พุ่มโกชนา และคณะ [22] ศึกษาและพัฒนาแขนกลอุตสาหกรรมแบบจับ-วาง ชนิด 3 แกน ที่ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้โดยแบบป้อนกลับด้วยสัญญาณอนาล็อก ที่ควบคุมการทำงานด้วย พีแอลซี ที่ใช้ในงานการผลิตแบบอัตโนมัติ โดยออกแบบให้แต่ละแกนป้อนกลับแรงดันเพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน เพื่อทดแทนการใช้งานเซอร์โวที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการสร้างแขนจับวางสามแกนถูกลง และยังทำงานได้ใกล้เคียงในลักษณะของการควบคุมตำแหน่ง โดยแต่ละแกนสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ แกน x 82 cm แกน y 60 cm แกน z 30 cm ความเร็วในการเคลื่อนที่สูงสุด 20 cm/วินาที ยกน้ำหนักสูงสุด 0.5 kg

Boonlert Suechoey และคณะ [23] ศึกษาการวิเคราะห์และการประเมินผลการทำงานของแขนกลจับชิ้นงานร่วมกับการทำงานเชิงการมองเห็นอัตโนมัติของวิทัศน์ (Vision) เพื่อใช้ในการหยิบชิ้นงานได้อย่างแม่นยำและลดความเสียหายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากแขนกลหยิบชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่ง ซึ่งเป็นการหยิบชิ้นงานที่มีความร้อนสูงจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ผลการ

ทดสอบความแม่นยำในการหยิบชิ้นงานของแขนกลที่พัฒนาขึ้น สามารถหยิบชิ้นงานขนาด 1.5x18 ซม. ใช้กล้องเลนส์โฟกัส 50 มม. ความละเอียด 5 ล้านพิกเซลได้อย่างแม่นยำ มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสูงสุด 0.11 % ผลจากการประเมินวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง สำหรับการออกแบบแขนกลจับ ชิ้นงานที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในครั้งต่อไป ทำให้ผู้ออกแบบสามารถค้นหาจุดบกพร่องในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุในการผลิต จะทำให้แขนกลที่ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดความเสียหายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการจับชิ้นงาน เพิ่มผลผลิต และลดเวลาในการทำงานได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้

Mr.Chin Wannapruek และคณะ [24] ศึกษาการออกแบบและควบคุมแขนกลโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบทำซ้ำ จนกระทั่งได้คัพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ของการทำงานของแขนกลคือต้องการให้แขนกลเคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุตาม ตำแหน่งที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมแบบการเรียนรู้แบบทำซ้ำมาควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละข้อต่อของแขนกล เพื่อลดค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่และทำให้เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้แม่นยำมากขึ้น และได้อ้างอิงจากสมการที่มีความสำคัญสำหรับการนำไปพัฒนาใช้ในการควบคุมแขนกล ทั้งโดยการ ควบคุมผ่านทางคิเนแมติกส์และทางไดนามิกส์โดยในส่วนของ การ ควบคุมผ่านทางคิเนแมติกส์สามารถควบคุมได้ผ่านสมการอินเวอร์สคิเนแมติกส์และ สมการเชิงความเร็ว และการควบคุมทางด้านไดนามิกส์ สามารถควบคุมผ่านสมการการเคลื่อนที่ที่หามาได้ซึ่งทั้งหมดที่กล่าว มานั้นได้ทำการวิเคราะห์ คำนวณ และทดสอบแบบจำลองการเคลื่อนที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องแม่นยำของสมการต่างๆที่ได้วิเคราะห์มา จึงสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้ในการควบคุมแขนกล ได้อย่างถูกต้องจากการทดลองโดยให้เคลื่อนที่ไปหยิบ จับวัตถุและนำไปปล่อยวางไว้อีกจุดหนึ่ง ตามชุดคำสั่งที่ได้ป้อนค่าพิกัดตำแหน่งลงในโปรแกรม พบว่าส่วนปลายของแขนกลสามารถเคลื่อนที่ไปยังค่า เป้าหมายที่กำหนดได้

Phansak narakhae [25] ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ในการหยิบจับและวางในกระบวนการประกอบ โดยเพิ่มความสามารถในการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการใช้ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรประกอบการทำงานของหุ่นยนต์ วิธีการออกแบบมี 2 ส่วนประกอบสำคัญ คือ 1) ระบบลำเลียงชิ้นงานอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม KV STUDIO เขียนระบบการทำงานของชุดลำเลียงชิ้นงาน 2)การใช้โปรแกรม NI Vision Builder ในการกำหนดรูปแบบจุดศูนย์กลางของรูปแบบ ความเหมือนสีที่ใช้ในการค้นหา ขอบเขตในการค้นหา และส่วนของโปรแกรม NI LabVIEW ร่วมกับโมดูล NI Vision ใช้ในการออกแบบกระบวนการทำงานของระบบการมองเห็นของเครื่องจักร เพื่อค้นหาพิกัดและแนวการวางตัวของชิ้นงานและควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ได้ผลสรุป ได้รับระบบลำเลียงชิ้นงานลำเลียงชิ้นงานมาหยุดที่จุดจับยึด และระบบการมองเห็นด้วยภาพของเครื่องจักรที่ได้ทำการออกแบบสามารถตรวจจับ

ตำแหน่งตามแนวแกน x,y และแนวการวางตัวตามแนวแกน U ได้อย่างถูกต้องตามรูปแบบของชิ้นงานที่ได้รับและสามารถสั่งการให้หุ่นยนต์หยิบและวางชิ้นส่วนในการประกอบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

Chanom Loylom และคณะ [26] การควบคุมหุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรมเพื่อจำลองการทำงานของแขนกลในลักษณะงานหยิบจับวัตถุจึงได้ทำการออกแบบวงจรเพื่อใช้ควบคุมแขนกลโดยใช้ Arduino เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ ในการสั่งงานเซอร์โวมอเตอร์เพื่อควบคุมแขนกล และออกแบบโปรแกรมควบคุมแขนกลสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยหลักการทำงาน ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าตำแหน่งเป้าหมาย (X,Y,Z) ที่ต้องการให้แขนกลหยิบ และวางวัตถุลงบนโปรแกรมควบคุมแขนกล จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลค่าตำแหน่งเป้าหมาย ด้วยสมการจลศาสตร์แบบผกผันออกมาเป็นค่ามุมการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม ของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 5 ตัว แล้วส่งข้อมูลที่ไปยังบอร์ด Arduino ให้ขับเซอร์โวมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในแต่ละแกนของแขนกลไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ผู้ใช้กำหนดไว้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมให้แขนกล ย้ายวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปวางยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้

Nobuaki Nakazawa [27] และคณะ เกี่ยวกับการควบคุมแรงจับชิ้นงาน โดยใช้แขนกลที่ติดตั้ง Strain gage บริเวณมือจับ เพื่อวัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของมือจับ เมื่อยกชิ้นงานขึ้นในแนวตั้ง โดยจะใช้ PD Control ในการประมวลผลค่าแรงที่เกิดขึ้นในการจับวัตถุ ตามกฎของนิวตัน โดยการทดลองได้ทำการสุ่มทั้งหมด 8 แบบ และทดลองกับผู้ร่วมการทดลอง 4 คน ที่มีอายุ 22 -27 ปี ผลการทดลองพบว่าสามารถควบคุมแรงจับวัตถุที่มากเกินไปได้ แต่ระบบที่ออกแบบและวิจัยไม่สามารถทำงานให้เกิดประสิทธิภาพได้อย่างมนุษย์ ดังนั้นการควบคุมแรงจับชิ้นงานโดยใช้แขนกลและระบบควบคุม PD Control ยังมีข้อจำกัดและควรพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเต็มที่

Erika Ottaviano [28] และคณะ ทำการทดลองควบคุมแรงที่มือจับวัตถุ โดยอาศัยหลักการทำงานและความรู้เรื่องนิวเมติกส์ มีระบบเซนเซอร์วัดแรงเพื่อเป็นตัวประมวลผลของรูปแบบสัญญาณ และใช้การควบคุมแบบวิธี PI Control กับโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมรูปแบบการทำงานของมือจับวัตถุ จากผลการทดลองพบว่าระบบในงานวิจัยที่ได้สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยประโยชน์ที่ได้รับจากรูปแบบของการควบคุมแรงจับของมือจับวัตถุที่มาจากงานวิจัยนี้คือการช่วยในการลดความผิดพลาดในการจับวัตถุ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในอุตสาหกรรมและการผลิตอย่างหลากหลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก และต้องการความแม่นยำในการจับชิ้นงานที่ไวใช้งานต่อไป

นายสรวิชัย สิริเกษมสุข [29] ทำการออกแบบมือจับชิ้นงานเพื่อให้ใช้แรงที่เหมาะสมที่สุดในการยกชิ้นงาน ผลการทดลองการการจับยกชิ้นงานของมือจับชิ้นงานที่มีการจับชิ้นงานเคลื่อนที่ขึ้นลงใช้แรง

น้อยกว่าการจับยกชิ้นงานของผู้ร่วมทำการทดลองที่มีการจับชิ้นงานเคลื่อนที่แบบขึ้นลง แต่เมื่อจับชิ้นงานก็ยังใช้แรงมากกว่าวิธีจับยกชิ้นงานของผู้ร่วมทำการทดลองโดยไม่มี การเคลื่อนที่ทิศทางขึ้นลงของชิ้นงาน และในระหว่างที่ยกชิ้นงานของมือจับชิ้นงานนั้น มีการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่มือจับชิ้นงานเล็กน้อยเป็นบางครั้ง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแขนกลนั้นมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น แต่ก็เป็ นแรงที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแรงที่ใช้ในการจับยกชิ้นงานของผู้ร่วมทำการทดลอง

Takashi Maeno [30] และคณะ ทำการทดลองด้านการควบคุมแรงจับของมือจับชิ้นงานใช้ หลักการวัดแรงจาก Strain gage บนแผ่นทองแดงที่ติดตั้งอยู่บนมือจับ และใช้ข้อมูลนี้ในการควบคุมแรงจับของมือจับชิ้นงาน นอกจากนี้ งานวิจัยยังพบว่าการยึดหยุ่นของมือจับชิ้นงานนั้นสามารถนำมาใช้ในการวัดแรงจับได้ด้วย และการใช้งานดังกล่าวยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อีกมากในอนาคต

Ya Xiong [31] และคณะ ทำการทดลองเกี่ยวกับการพัฒนากริปเปอร์สำหรับช่วยในการเก็บเกี่ยวสตอร์เบอร์ โดยใช้กล้อง RGB-D ที่สามารถตรวจจับและเลือกสตอร์เบอร์ได้อย่างรวดเร็วโดยวิธีการใช้กล้องมาช่วยในการเก็บเกี่ยว พบว่าเกิดอัตราความสำเร็จถึง 96.8%

Aswin K Ramasubramanian [32] และคณะ งานวิจัยการออกแบบตามการจำลองแบบอัตโนมัติและการตรวจสอบความถูกต้องของหุ่นยนต์ตรวจสอบประสิทธิภาพของมันในสภาพแวดล้อมจำลอง แพลตฟอร์มซอฟต์แวร์การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (CAD) การจำลองตามหลักฟิสิกส์ถูกนำไปใช้งานควบคู่กันเพื่อออกแบบใหม่และตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบนี้กริปเปอร์เริ่มต้นโดยมีเป้าหมายเพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายโดยรวมที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องทางกายภาพ แนวทางได้รับการตรวจสอบในสถานการณ์จริงของหุ่นยนต์ โดยดำเนินการชุดของงานหยิบและวาง ผลการวิจัยแสดงให้เห็น สภาพแวดล้อมการจำลอง ส่วนประกอบนี้แสดงถึงซอฟต์แวร์หรือเฟรมเวิร์กที่ใช้สำหรับจำลองพฤติกรรมและการโต้ตอบของมือจับกับชิ้นงานต่างๆ ต้องใช้พลังการคำนวณที่เพียงพอเพื่อเรียกใช้การจำลองอย่างมีประสิทธิภาพ CAx APIs: API ของ Computer Aided Platforms ใช้เพื่อรวมสภาพแวดล้อมการจำลองเข้ากับเครื่องมือซอฟต์แวร์อื่นๆ ในกรณีนี้ โมดูลตรวจสอบการออกแบบ โมดูลนี้รวมเอาความสามารถของ FEA ที่จัดทำโดย CAx API ช่วยให้สามารถวิเคราะห์การออกแบบกริปเปอร์ภายใต้สภาวะการโหลด คุณสมบัติของวัสดุ และความแปรผันทางเรขาคณิตที่แตกต่างกัน ผลการจำลองสามารถใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการออกแบบและระบุจุดที่ต้องปรับปรุงได้

S. Ross [33] และคณะ งานวิจัยกริปเปอร์ข้างเดียวสำหรับระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ งานวิจัยนี้พูดถึงกริปเปอร์และวิจารณ์การจับยึดข้างเดียวแบบต่างๆที่มีในระบบอุตสาหกรรม เพื่อที่จะทำการพัฒนาเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดราคาต้นทุน งานวิจัยสนใจกริปเปอร์คู่ด้วยอากาศเนื่องจาก ความสามารถในการจับที่สูงและความเสียหายทางกายภาพต่อผลิตภัณฑ์ ผลงานวิจัยพบว่า กริปเปอร์แบบสูญญากาศ ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและให้มีการวิจัยต่อไปถ้ามี

การรวมกับชิ้นส่วนใหม่เช่น กระบอกกลม แม้จะมีการปรับให้เข้ากับระบบการจับยึดแบบสุญญากาศ การขึ้นรูปและคงไว้ซึ่งวงจรสุนญากาศสำหรับการจับและการจัดการชิ้นเนื้อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น บิดงอได้สูง และมีโครงสร้างที่หลากหลายนั้นยังไม่ได้รับการพิสูจน์ในสถานการณ์จริง ดังนั้น งานในอนาคตที่เน้นไปที่การออกแบบตัดแปลงระบบการจับยึดแบบสุญญากาศและทำการทดลองทางกายภาพเพื่อยืนยันหรือหักล้างแนวคิดความเหมาะสมสำหรับกระบวนการฆ่าเนื้อแดงในอนาคตจึงเป็นสิ่งจำเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

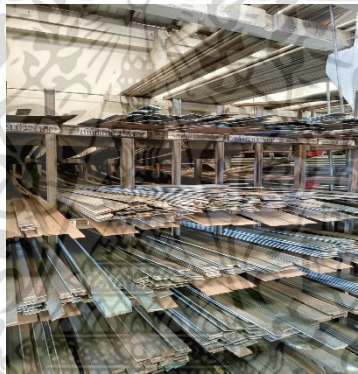
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลอง จะทำการออกแบบและสร้างกริปเปอร์ที่ทำจากเหล็ก ss400 เนื่องจากมีความแข็งแรงตามมาตรฐาน สามารถเชื่อมได้ง่าย แข็งแรง มีความเหนียวและทนต่อแรงยืดพับได้ เมื่อแบบและสร้างกริปเปอร์เสร็จแล้วทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมลมและชุดกระบอกสูบลมนิวเมติกส์

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 แผ่นเหล็ก SS400 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผ่นเหล็ก SS400

3.1.2 ทุเรียน ขนาดน้ำหนักลูกละ 3-5 กิโลกรัม เป็นขนาดทุเรียนมาตรฐานสำหรับการส่งออก แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ทุเรียนขนาดเกรด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 แขนกล ABB 4600

แขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 40 กิโลกรัม มีระยะการยืดของแขนสูงสุด 2.05 เมตร [34] เป็นแขนกลชนิดเคลื่อนที่ 6 แกน ทำงานได้ 2 รูปแบบคือ โดยการเขียนโปรแกรมให้มีการเคลื่อนที่อัตโนมัติและโดยการควบคุมด้วยมือ แขนกลสามารถเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ หรือควบคุมระยะห่างของวัสดุ ทำงานประเภทเชื่อมอุปกรณ์ และสามารถเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ปลายแขนกลเพื่อการใช้งานที่เหมาะสมได้ แสดงดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แขนกล ABB IRB 4600-45/60

3.2.2 กริปเปอร์หนีบจับทุเรียน

ทำจากเหล็ก SS400 หนา 3 มิลลิเมตร น้ำหนักรวม 5 กิโลกรัม ทำการติดตั้งพร้อมชุดกระบอกสูบลมนิวเมติกส์ชนิดทิศทางเดียว ซึ่งมีระยะชักกระบอกยาว 25 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4

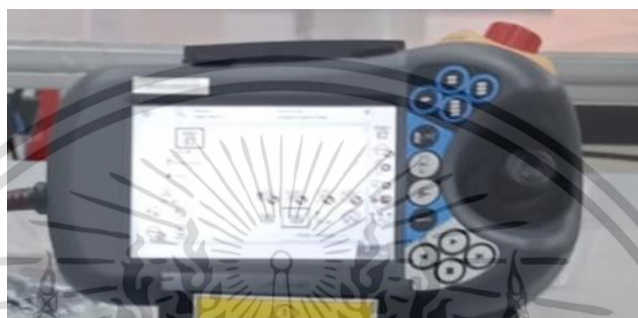


รูปที่ 3.4 กริปเปอร์หนีบจับทุเรียนและกระบอกสูบลมนิวเมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 FlexPendant

อุปกรณ์เขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานแขนกลและใช้บังคับแขนกลให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการในโหมดบังคับมือ และโหมดอัตโนมัติ ในอุปกรณ์ FlexPendant ยังมีปุ่ม emergency stop หยุดการทำงานกระทันหันไว้ใช้กรณี เกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้งานแขนกล แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Flexpendant

3.2.4 ตู้ controller

ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์มีหน้าที่ควบคุมไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังส่วนต่างๆของเครื่องจักร หุ่นจะส่งสัญญาณตอบกลับเป็นตำแหน่งของมอเตอร์แต่ละแกนผ่านทางสาย smb ซึ่งตู้นี้เป็นตู้ controller IRC5 ใช้ไฟหนึ่งเฟส 220/230 v ในการสื่อสารกันใช้ device net ลิ้งไปยังตู้เชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตู้ controller IRC5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 เครื่องมือ(tool)

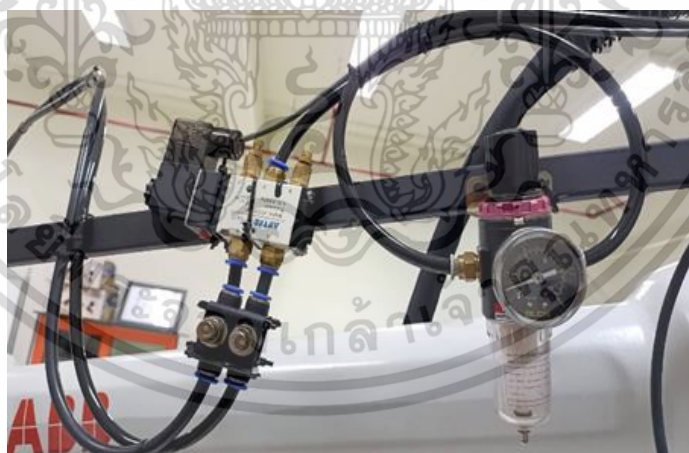
ใช้ทำงานเชื่อมหรือประยุกต์การทำงานเป็นงานหยิบจับ โดยการถอดหัวเชื่อมออกแล้วใส่หัวจับหรือกริปเปอร์แทนได้ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 tool

3.2.6 ชุดระบบนิวเมติกส์ควบคุมทิศทางการ

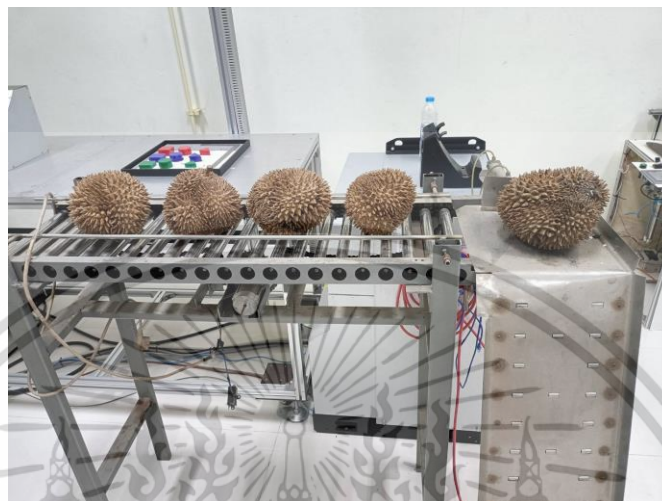
ชุดควบคุมทิศทางการเข้าและออกกระบอกสูบพร้อมมาตรวัดความดันลม แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ชุดควบคุมทิศทางการเข้าและออกและวาล์ววัดความดันลมปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 สายพานลำเลียงทุเรียนอัตโนมัติ สายพานเคลื่อนที่ทำหน้าที่ลำเลียงทุเรียนไปยังปลายสายพาน แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายพานลำเลียงทุเรียน

3.2.8 กล่องสำหรับบรรจุทุเรียน

ขนาดมาตรฐานการส่งออก 35.3 x 45.3 x 25.5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กล่องสำหรับบรรจุทุเรียนส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เตรียมวัสดุและศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 เตรียมเหล็กสำหรับการออกแบบกริปเปอร์ เหล็ก ss400 ได้ถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัย เนื่องจากมีความแข็งแรงตามมาตรฐาน สามารถเชื่อมได้ง่าย มีความเหนียวและทนต่อแรงยืดพับได้ เหมาะกับงานเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เหล็ก ss400

3.3.2 เตรียมทุเรียน การเตรียมทุเรียนใช้ทุเรียนที่มีขนาดใกล้เคียงกับการส่งออกไปขายต่างประเทศในปัจจุบัน การส่งออกใช้ทุเรียนเกรด B และ A ที่มีน้ำหนัก 3-5 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 3.12 ทำการวัดขนาดของทุเรียนแต่ละลูกในแนวแกนนอนและตั้งเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบกริปเปอร์ แสดงดังรูปที่ 3.13



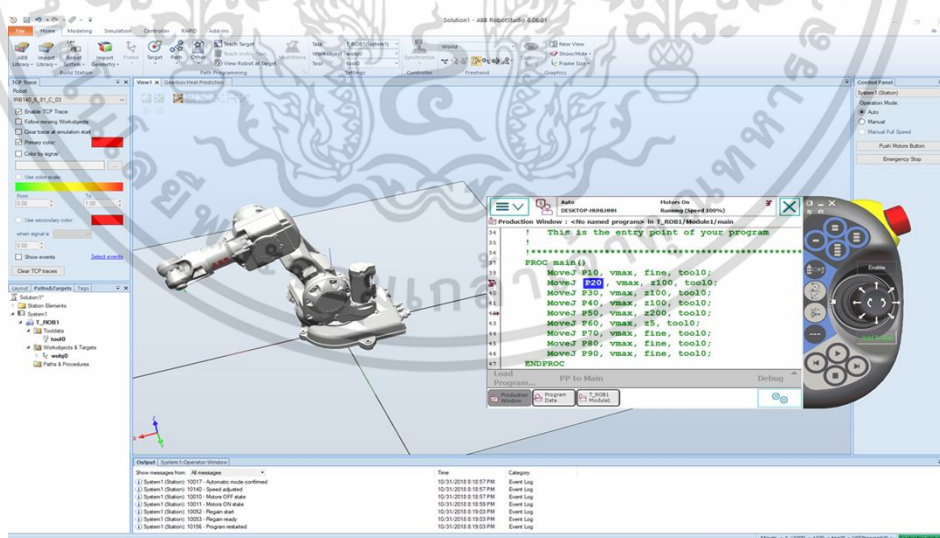
รูปที่ 3.12 คัดน้ำหนักทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วัดขนาดทุเรียนเพื่อทำการออกแบบกริปเปอร์

3.3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม งานวิจัยใช้แขนกลของบริษัท ABB แขนกลทำงานโดยการควบคุมของโปรแกรม robot studio โดยมีรูปแบบการเคลื่อนที่ 2 วิธีคือ การควบคุมด้วยการเขียนโปรแกรมการเคลื่อนที่ในโปรแกรม robot studio และการบังคับมือโดยใช้อุปกรณ์ flexpandant ดังนั้นจึงต้องศึกษาหลักการงานและวิธีการใช้งานโปรแกรมเพื่อการทำการวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



รูปที่ 3.14 การเคลื่อนที่ของแขนกลโดยใช้โปรแกรม Robot studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 โปรแกรม Robot studio

3.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างกริปเปอร์

3.4.1 สร้างกริปเปอร์

ปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาและสร้างกริปเปอร์เพื่อทำงานร่วมกับแขนกลสำหรับการบรรจุทุเรียนลงกล่อง ผู้ทำการวิจัยจึงศึกษาการทำงานของงานวิจัยที่ใกล้เคียง ทำการออกแบบกริปเปอร์โดยใช้วิธีการสังเกตรูปร่างของทุเรียนและลักษณะทางกายภาพของทุเรียน ออกแบบตัวกริปเปอร์ด้วยโปรแกรม Solidwork มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1.1 วัดขนาดผลทุเรียน เพื่อหาขนาดและรูปร่างของกริปเปอร์ที่เหมาะสมกับผลทุเรียน

3.3.1.2 ออกแบบกริปเปอร์ที่มีลักษณะโค้งคล้ายรูปมือคน โดยให้มีพื้นที่สัมผัสผิวที่เพียงพอกับผลทุเรียน

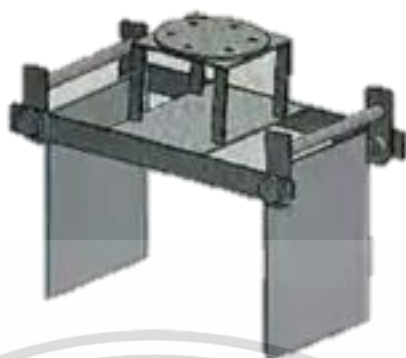
3.3.1.3 คำนวณและออกแบบความกว้างช่องว่างของกริปเปอร์ให้เหมาะสม เพื่อให้หนามของทุเรียนสามารถเข้าไปภายในร่องกริปเปอร์ได้โดยไม่เสียหาย

3.3.1.4 ออกแบบรูปแบบของกริปเปอร์เพื่อให้สามารถสัมผัสผิวของผลทุเรียนได้มากที่สุด โดยให้มีการคำนึงถึงการออกแบบฟันกริปเปอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้มีการหนีบจับที่แน่นหนาแน่นกับผลทุเรียน

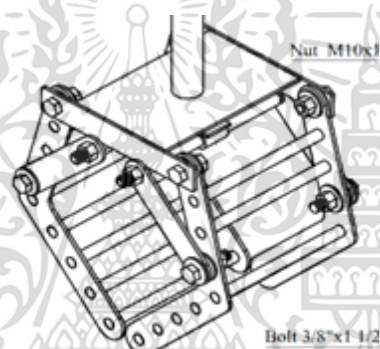
3.3.1.5 ทดสอบการใช้งานกริปเปอร์ โดยใช้ผลทุเรียนจริงเพื่อตรวจสอบว่ากริปเปอร์ที่ออกแบบได้มีประสิทธิภาพในการสัมผัสผิวของผลทุเรียนและการหนีบจับที่เหมาะสม

การออกแบบกริปเปอร์และสร้างกริปเปอร์ผู้วิจัยได้มีการปรับแก้และเปลี่ยนแปลง 4 ครั้งจนได้กริปเปอร์ที่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.16-3.19

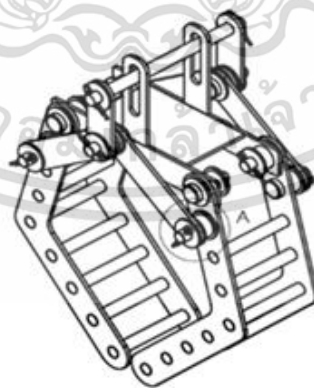
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การออกแบบครั้งที่ 1

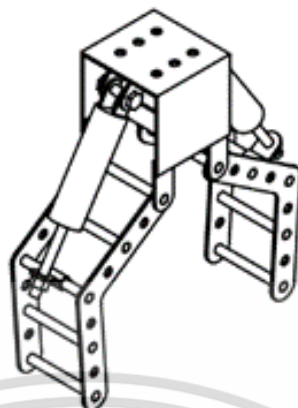


รูปที่ 3.17 การออกแบบครั้งที่ 2



รูปที่ 3.18 การออกแบบครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การออกแบบครั้งที่ 4

3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบกระบอกสูบและติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดของกริปเปอร์เข้ากับปลายแขนกล

กริปเปอร์จะไม่สามารถทำงานได้ถ้าไม่มีแรงดันขึ้นส่วนของ กริปเปอร์ให้หนีบหรือถ่างออกเพื่อจับสิ่งของ ติดตั้งกระบอกสูบลมเข้ากับกริปเปอร์เพื่อการทำงาน หลักจากนั้นติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับปลายแขนกล [35] แสดงดังรูปที่ 3.20-3.22



รูปที่ 3.20 กริปเปอร์ขณะไม่มีลมดันและมีลมดันภายในกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ติดตั้งกริปเปอร์และกระบอกลูกสูบลม



รูปที่ 3.22 ติดตั้งชุดอุปกรณ์กระบอกลมนิวเมติกส์และวาล์วควบคุมลม

3.5 ขั้นตอนการหาความดันลมในการจับทุเรียน

ขั้นตอนหลังจากการติดตั้งกริปเปอร์ทำการทดสอบการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์เพื่อหาความดันลมที่ไม่ทำให้เปลือกทุเรียนเกิดความเสียหาย โดยการทดสอบหนีบจับทุเรียนใช้ความดันลมที่ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกะปาสกาล แสดงดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ทดสอบความดันลมในการหนีบจับทุเรียน

3.6 การทดสอบหาความเร็วและวิธีที่เหมาะสมการปล่อยทุเรียนลงกล่อง

เมื่อได้ความดันลมที่เหมาะสมใช้ความดันลมนั้นทำการหนีบจับทุเรียน ใช้แขนกลเคลื่อนที่หยิบทุเรียนจากสายพานลำเลียงทุเรียน และปล่อยทุเรียนจำนวน 4 ลูก ลงกล่อง ขณะปล่อยทุเรียนให้สูงจากพื้นกล่องเป็นครึ่งของความสูงกล่อง การเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ มีทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่ได้รับ การป้อนข้อมูลเข้าโดยผู้วิจัยให้ทำการเคลื่อนที่เหมือนเดิมทุกรอบและทำการเปลี่ยนค่าความเร็ว การเคลื่อนที่ของแขนกลใช้ความเร็ว 100 200 300 400 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที มีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 เปิดเครื่องแขนกล ทำการเลือกปุ่มที่หน้าจอ flexpendent ไปยัง program editor เลือก module เลือก newmodule

3.5.2 ไปที่ การสร้าง module และทำการสร้างขึ้นมาโดยใช้ชื่อที่ต้องการ

3.5.3 ควบคุมแขนกลแบบ manule ให้ปลายแขนกลไปอยู่ในตำแหน่งที่ บริเวณด้านบนของลูกทุเรียนลูกที่ 1 เหนือสายพานลำเลียงทุเรียน ทำการเลือกใช้คำสั่ง Add instruction เลือก ชุดคำสั่งการเคลื่อนที่แบบ move l บนหน้าจอ

3.5.4 ควบคุมแขนกลด้วยมือ เคลื่อนที่ไปยังทุเรียน เลือก add instruction เลือก การเคลื่อนที่แบบ move l

3.5.5 เลือก add instruction ทำการเลือก ปุ่ม Set local เพื่อทำการหนีบทุเรียน

3.5.6 เลือก ชุดคำสั่ง Wait time เพื่อหน่วงเวลาขณะที่กริปเปอร์หนีบทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7.ควบคุมแกนกลแบบ manule ไปยังตำแหน่งเหนือกล่องทุเรียน เลือก add instructi
เลือก move l

3.5.8.ควบคุมแกนกลแบบ manule ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวาง เลือกคำสั่ง move l

3.5.9.เลือกการทำงาน Reset จะแสดงชุดคำสั่งขึ้นดังนี้ คำสั่งนี้จะเป็นการปล่อยทุเรียน

3.5.10.ต้องการทำการหน่วงขณะปล่อยให้เลือก คำสั่ง WaitTime เพื่อเป็นการหน่วงเวลา

3.5.11.ทำการเขียนโปรแกรมการบรรจุทุเรียนลูกที่ 2 ,3 และ 4 ใช้วิธีการเหมือนทุเรียนลูกที่ 1

3.5.12.เมื่อเขียนโปรแกรมครบทั้ง 4 ลูก ทำการเลือกโหมด Auto โดยการหมุนปุ่มที่หน้าเครื่อง

ควบคุมและกดยอมรับบริเวณหน้าจอ flexpandent

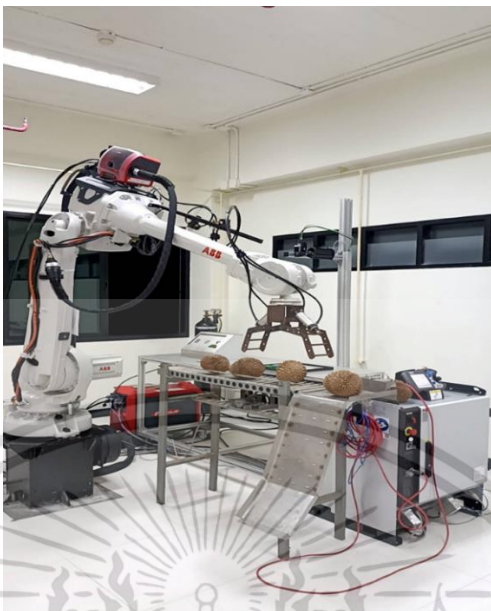
3.5.13.ทำการเคลื่อนที่รูปแบบอัตโนมัติ และทำการจับเวลา

3.5.14.เมื่อวางทุเรียนครบทั้ง 4 ลูก นับเป็น 1 รอบการเคลื่อนที่ ทำซ้ำความเร็วละ 3 รอบ ปรับ
ค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่แกนกลไปวางทุเรียนเป็น 100 200 300 400 500 600 800 และ1000
มิลลิเมตรต่อวินาที เข้าไปเปลี่ยนที่ ชุดคำสั่ง move l* , v1000, fine, tool0; เปลี่ยนค่า v1000
เป็น v100 v200 v300 v400 v500 v600 และ v800 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

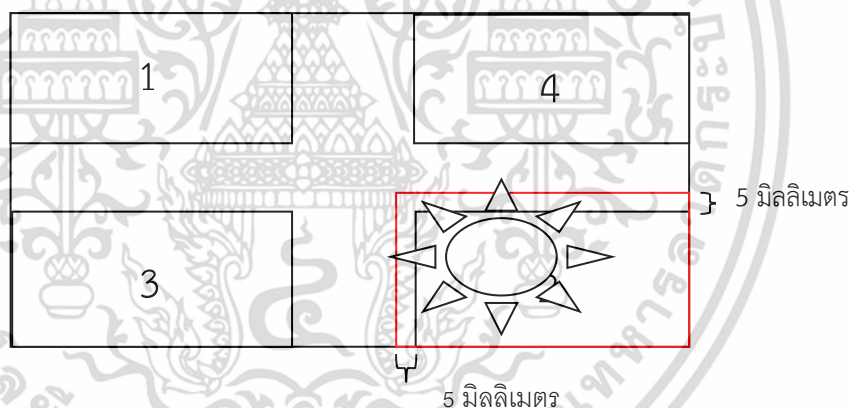
รูปแบบการบรรจุทุเรียนใส่กล่อง แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การบรรจุทุเรียนรูปแบบที่ไม่มีการหน่วง
เวลาขณะปล่อยทุเรียน และการบรรจุทุเรียนรูปแบบที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา 1 วินาที กำหนดให้
ความคลาดเคลื่อนของการวางทุเรียนจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

3.7 วิธีการปล่อยทุเรียนลงกล่องที่ใช้ในการทดลอง

การทดสอบหาความเร็วและวิธีที่เหมาะสมการปล่อยทุเรียนลงกล่องใช้วิธีการปล่อยทุเรียนลงใน
กล่องขนาดมาตรฐานการส่งออก $35.3 \times 45.3 \times 25.5$ เซนติเมตร โดยการหนีบทุเรียนจากสายพานลำเลียง
ทุเรียน แสดงดังรูปที่ 3.24 ทำการเคลื่อนย้ายทุเรียนไปยังตำแหน่งเหนือกล่องบรรจุทุเรียนและทำการ
ปล่อยลงกล่องตามลำดับทุเรียนจนครบทั้ง 4 ลูก แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 เคลื่อนแขนกลไปหนีบจับทุเรียนบนสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการวางทุเรียนภายในกล่อง

การวางทุเรียนใช้การปล่อยทุเรียนที่ความสูง $\frac{1}{2}$ ของกล่อง ปล่อยทุเรียนตามลำดับหมายเลขที่พื้นกล่องทำการตีเส้นขนาดเท่ากันสีดำเป็นเส้นอ้างอิง จำนวน 4 รูปสี่เหลี่ยม รูปที่ 3.25 แสดงการปล่อยทุเรียนตำแหน่งที่ 2 ลงในกล่องและระยะเส้นขอบสีแดงคือระยะที่ใช้กำหนดขอบเขตระยะของทุเรียนที่เกินออกจากกรอบสีดำที่กำหนดระยะ 5 มิลลิเมตร งานวิจัยกำหนดขอบเขตของการปล่อยทุเรียนให้ระยะของทุเรียนเมื่อวางที่พื้นกล่องเกินระยะขอบสีดำไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยเมื่อหนีบทุเรียนและปล่อยลงกล่องที่ตำแหน่งที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ เสร็จสิ้น ทำการวัดค่าระยะห่างจากเส้นอ้างอิงจุดบันทึกค่าระยะห่างจากกรอบสี่เหลี่ยมลงในบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปัจจุบันยังไม่มี การออกแบบและสร้างกริปเปอร์ที่ใช้ติดปลายแขนกลสำหรับการบรรจุทุเรียน งานวิจัยนี้จึงเป็นต้นแบบของการออกแบบและสร้างที่สามารถนำมาใช้งานได้จริงในระบบการผลิต

4.1 การเลือกใช้ประเภทกริปเปอร์

การวิจัยนี้ใช้สำหรับการออกแบบและทำการสร้างกริปเปอร์ เพื่อทำการบรรจุทุเรียนลงกล่อง ซึ่งรูปแบบการทำงานต้องการใช้ต้นทุนต่ำ การทำงานในพื้นที่จำกัด และต้องการเวลาการตอบสนองที่รวดเร็ว ใช้การอัดอากาศในการทำงาน ผู้ทำการวิจัยจึงตัดสินใจเลือกกริปเปอร์ประเภทนิวเมติก สำหรับการวิจัย

4.2 การออกแบบและสร้างกริปเปอร์

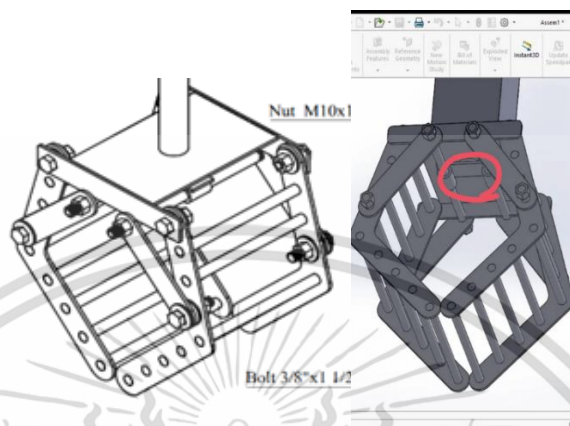
ลักษณะทางกายภาพของทุเรียนเป็นลักษณะกายภาพเป็นทรงรี แต่ละลูกมีลักษณะความโค้งที่ไม่เหมือนกัน การออกแบบจึงต้องใช้ในการจำลองขนาดของทุเรียนและทำการทดสอบเพื่อหาข้อผิดพลาดในการออกแบบและทำการแก้ไข แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1

กริปเปอร์หนีบจับทุเรียนที่ออกแบบมาเมื่อทดลองใช้งานจึงพบว่า เนื่องจากผิวกริปเปอร์มีช่วงสัมผัสผิวทุเรียนที่มีความเรียบ ไม่เหมาะสมเนื่องจากทุเรียนมีความโค้งและเปลือกทุเรียนไม่สม่ำเสมอ ตลอดผล เมื่อทำการทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าทุเรียนหลุด

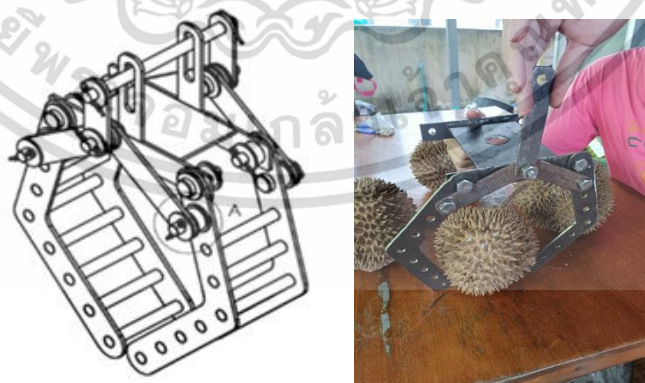
นอกจากกริปเปอร์ การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าลักษณะกริปเปอร์ที่เหมาะสมสำหรับหนีบจับทุเรียน ควรจะมีลักษณะทรงโค้ง แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2

กริปเปอร์มีความโค้งรับกับทุเรียน แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เนื่องจากเมื่อกระบอกสูบนิวเมอริกติดตำแหน่งแกนกลางที่ทำหน้าที่ถ่างกริปเปอร์ออก กริปเปอร์ชนและบีบทุเรียนในแนวตั้ง ทำให้เหลือพื้นที่สำหรับทุเรียนน้อยสามารถใช้หนีบได้เฉพาะทุเรียนผลเล็ก การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าควรทำการปรับให้มีพื้นที่สำหรับทุเรียนมากขึ้น โดยการออกแบบควรให้มีความโค้งของกริปเปอร์มากขึ้น และตัวต้นกริปเปอร์ที่ต่อมาจากกระบอกสูบนิวเมอริกควรอยู่ข้างนอกไม่ใช่ข้างในกริปเปอร์ แสดงดังรูปที่

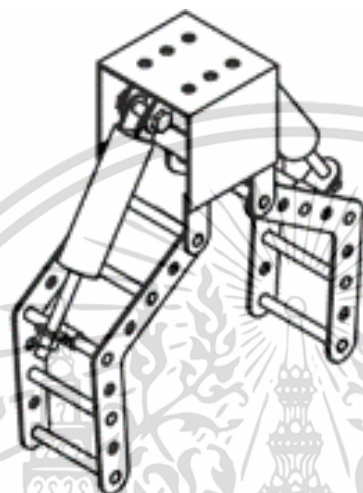
4.3



รูปที่ 4.3 การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กริปเปอร์มีความโค้งรับกับผลทุเรียน แต่จุดเชื่อมต่อ 3 แกนตรงกลางของกริปเปอร์ที่ทำหน้าที่ดึงและดัน กริปเปอร์ที่ (ตำแหน่ง A) ไม่มีแรงในการหนีบจับทุเรียน การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การออกแบบต้องนึกถึงแรงจากกริปเปอร์ที่จะส่งมาดึงและดันกริปเปอร์ควรใช้แรงจากกระบอกลูกสูบในการดึงและดันกริปเปอร์โดยตรง แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 4

กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียน มีพื้นที่สำหรับทุเรียนสามารถหนีบจับทุเรียนรูปทรงโค้งได้อย่างดี การหนีบจับใช้การดึงและดันจากกระบอกลูกสูบนิวเมอรัคโดยตรงพร้อมติดตั้งมาตรวัดความดันลมที่ปรับระดับได้เพื่อปรับระดับแรงที่ใช้ในการหนีบจับทุเรียน

4.3 ความดันลมที่เหมาะสมและผลของการหนีบทุเรียน

การหนีบจับทุเรียนต้องวิจัยถึงผลที่ตามมาของการหนีบจับทุเรียนเพราะทุเรียนมีเปลือกหนาแต่มีรูปทรงหนามเป็นปริมาตรแหลมขึ้นมาในแนวตั้งฉากกับส่วนฐานของผิวทุเรียนตลอดลูก การเกิดรอยบนผิวหรือเกิดความเสียหายบนผิวทุเรียนจะทำให้ทุเรียนเกิดราเป็นสาเหตุทำให้ทุเรียนเน่าและเสียมูลค่าได้โดยการทดลองกับความดันลมที่ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกะปาสคาล ทำการทดลองความดันละ 3 ครั้ง ผลการทดลองเป็น ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการหนีบจับทุเรียนที่ความดัน 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกะปาสคาล

ความดัน (เมกะปาสคาล)	การทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.05	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม
0.1	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม
0.15	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม	ไม่มีตำหนิที่หนาม
0.2	มีตำหนิที่หนาม	มีตำหนิที่หนาม	มีตำหนิที่หนาม

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ความดันลม 0.15 เมกะปาสคาล เหมาะสมที่สุดสำหรับการหนีบจับทุเรียน เนื่องจากไม่ทำให้ผลทุเรียนเสียหายและไม่ใช้เวลานานในการหนีบกรีปเปอร์ ในขณะที่ความดันลมมากกว่านี้จะทำให้เกิดการบิดงอและหักของหนามทุเรียน แสดงดังรูปที่ 4.5



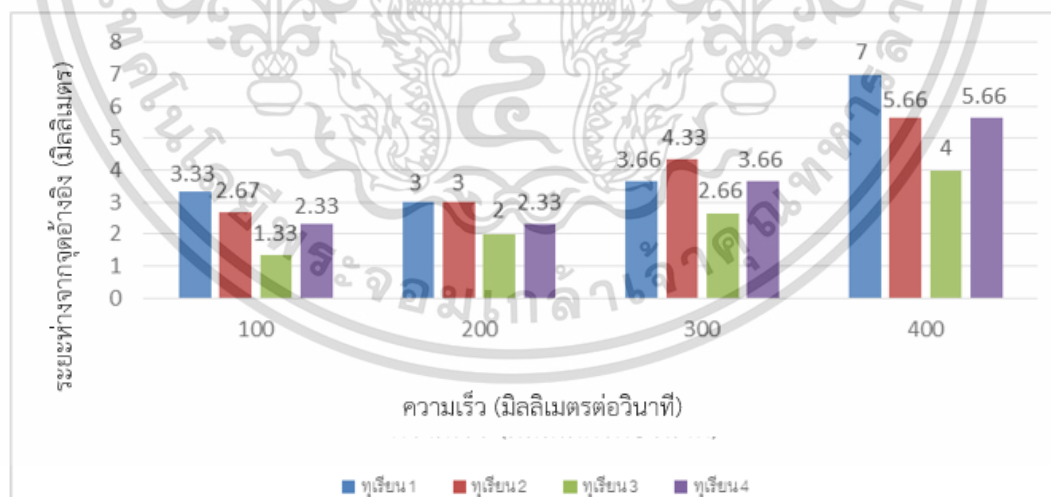
รูปที่ 4.5 ลักษณะของเปลือกทุเรียนหลังการหนีบจับโดยกรีปเปอร์ที่ความดัน 0.2 เมกะปาสคาล

การที่หนามของทุเรียนบางตำแหน่งเกิดการบิดงอเพียงเล็กน้อยและรอยบางตำแหน่งเกิดจากการกระทบกันของทุเรียนกับกรีปเปอร์ขณะหนีบเนื่องจากความดันลม อาจจะสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มวัสดุที่มีความยืดหยุ่นบริเวณผิวกรีปเปอร์ ซึ่งจะช่วยลดแรงกระทบระหว่างกรีปเปอร์กับทุเรียนและลดโอกาสในการบิดงอหนามของทุเรียน นอกจากนี้ในอนาคตยังต้องพัฒนาแขนกลให้สามารถวางกระดาษคั่นระหว่างลูกทุเรียนได้ เพื่อลดโอกาสในการกระทบกันระหว่างลูกทุเรียนภายในกล่อง

4.4 ขั้นตอนการทดสอบหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์

4.3.1 การหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหน่วง

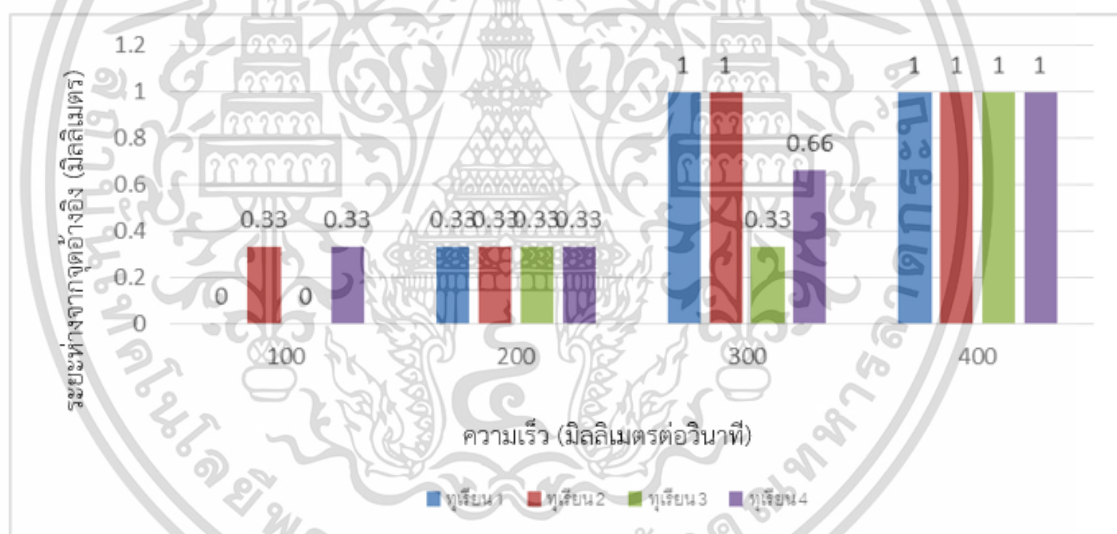
ผลการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 220 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.33 2.67 1.33 และ 2.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 118 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3 3 2 และ 2.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็นการใช้ความเร็วที่ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 84 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.66 4.33 2.66 และ 3.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อใช้ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 65 วินาที ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 7 5.66 4 และ 5.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดสอบทั้งหมด 4 ค่าความเร็วพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แขนกลเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบ ลดลงแต่ค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 และ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนระยะห่างทุเรียนจากจุดเริ่มต้นเกินขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่แขนกลเพื่อทำการหนีบจับทุเรียนด้วยกริปเปอร์โดยไม่ใช้การหน่วงคือ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทุเรียนในช่วงความเร็ว 100-400 มม./วินาที โดยไม่ใช้การหน่วงขณะทำการปล่อยทุเรียน

4.3.2 การหนีบจับทุเรียนโดยใช้การหน่วงขณะปล่อย

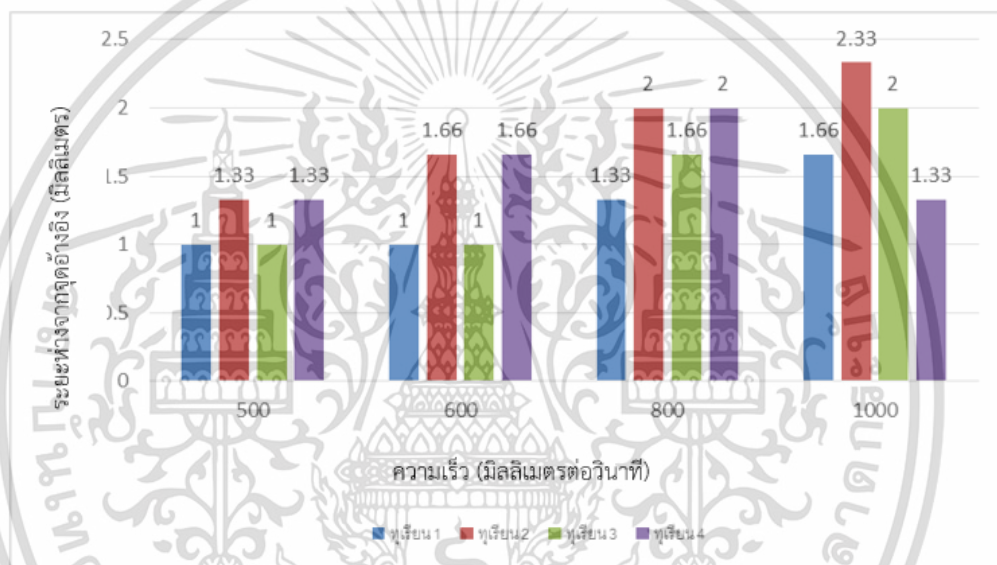
การหนีบจับทุเรียนโดยกรีปเปอร์ที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตร ต่อ วินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 224 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0 0.33 0 และ 0.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนขนากล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 122 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0.33 0.333 0.33 และ 0.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 88 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 0.33 และ 0.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 69 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 1 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทุเรียนในช่วงความเร็ว 100-400 มม./วินาที โดยใช้การหน่วงขณะทำการปล่อยทุเรียน

การหนีบจับทุเรียนโดยกรีปเปอร์ที่ความเร็ว 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้นไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 59 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1.33 1 และ 1.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบ

ด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 600 มิลลิเมตร ต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 53 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.66 1 และ 1.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 800 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 44 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.33 2 1.66 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 39 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.66 2.33 2 และ 1.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็ว 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วสูงสุดในการใช้งานภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัย แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นของผลทูเรียนในช่วงความเร็ว 500-1000 มม./วินาที โดยใช้การห้วงขณะทำการปล่อยทูเรียน

4.5 ความคุ้มค่าของการใช้งานแขนกลร่วมกับกริปเปอร์หนีบจับทูเรียน

งานวิจัยนี้ใช้แขนกลของบริษัท ABB รุ่น ABB IRB 4600 เป็นแขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน มีคุณสมบัติในการยกน้ำหนักได้สูงสุด 60 กิโลกรัมมีระยะยืดสูงสุด 2.05 เมตร ทำความเร็วได้สูงสุดที่ความเร็ว 4,000 มิลลิเมตรต่อวินาที ปัจจุบันมีราคาขายอยู่ที่ 41,620.00 ดอลลาร์สหรัฐ คิดเป็นเงินไทยปัจจุบัน 1,440,052 บาท [36] งานวิจัยนี้ได้ใช้แขนกล ABB IRB 4600 ติดตั้งกริปเปอร์ที่ได้มีการออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลอง การทดลองเป็นต้นแบบการทำงานที่เหมือนการทำงานในภาคอุตสาหกรรมจริง ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้งานร่วมกันได้จริง อนาคตหากผู้ประกอบการต้องการนำแขนกลและกริปเปอร์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบในงานวิจัยไปใช้สามารถทำการลดต้นทุนของแขนกลโดยการวิเคราะห์ถึงประเภทการใช้งานและทำการสั่งซื้อแขนกลที่มีราคาถูกลงมาที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับประเภทงานที่ทำ การใช้อุปกรณ์บรรจุทุเรียนลงกล่องสามารถใช้แขนกล IRB 2600-20/1.65 ได้

4.5.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ราคาของแขนกล (P) มีค่า 865,000 บาท มูลค่าเมื่อสิ้นปีที่ 10 ปี เหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ กำหนดให้ดอกเบี้ยกำหนดเท่ากับ 6.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

$$\text{มูลค่าแขนกล (S)} = 0.1P = (0.1)(865,000) = 86,500 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (D)} = (P-S)/L = (865,000-86,500)/10 = 77,850 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} &= ((P+S)/2)(i/100) \\ &= ((865,000+86,500)/2) \times 0.065 \\ &= 30,923.75 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} &= \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน} \\ &= 77,850 + 30,923.75 \text{ บาท/ปี} \\ &= 108,773.75 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

กำหนดให้อัตราการทำงานปีละ 120 วัน ค่าบำรุงรักษาเฉลี่ยวันละ 500 บาท

$$\begin{aligned} \text{ค่าบำรุงรักษา (M)} &= 120 \times 500 \\ &= 60,000 \text{ บาท/ปี (ต้นทุนแปรผัน VC)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนแปรผัน (VC)} \\ &= 108,773.75 + 60,000 \\ &= 168,773.75 \text{ บาท/ปี} \\ &= 14,064 \text{ บาท/เดือน} \end{aligned}$$

4.5.2 จุดคุ้มทุนของการนำแขนกลมาใช้ในการบรรจุทุเรียนลงกล่อง

ในระยะเวลา 1 เดือน แขนกลทำงานตลอด 24 ชั่วโมง/วัน แขนกลทำงาน 24x30 ชั่วโมง เท่ากับ 720 ชั่วโมง สามารถบรรจุทุเรียนได้ 64,800 กล่อง ค่าจ้างในการใช้แรงงานคนบรรจุทุเรียนลงกล่องกล่องละ 12 บาท

$$\text{จุดคุ้มทุน (BEPS)} = \text{ต้นทุนคงที่} / (108,773.75/12) = 9,064.47 \text{ บาท/เดือน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ระยะเวลาการคืนทุนของการใช้แขนกล

ปัจจุบันการบรรจุทุเรียนลงกล่องใช้แรงงานคนในการบรรจุทุเรียน โดยทุเรียนส่งออก 1 กล่องมีน้ำหนักไม่เกิน 18.5 กิโลกรัม แขนกลใช้เวลาในการบรรจุทุเรียนลงกล่อง 18.5 กิโลกรัม ใช้เวลา 90 วินาที ใน 1 เดือน แขนกลสามารถบรรจุทุเรียนได้ 64,800 กล่อง จะมีรายได้ 777,600 บาท

$$\begin{aligned} \text{กำไร} &= \text{รายได้ (R)} - \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} \\ &= 777,600 - 14,064 \\ &= 763,536 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการซื้อแขนกล (MC)} / \text{กำไร (P)} \\ &= 865,000 / 763,536 \\ &= 1.1 \text{ เดือน} \\ &= 33 \text{ วัน} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ในการใช้แขนกลในการหนีบจับทุเรียนที่มีราคา 865,000 บาท จะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 33 วัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบในการบรรจุเรียนเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดเวลาในขั้นตอนกระบวนการส่งออกทุเรียน ขั้นตอนการบรรจุทุเรียนจึงต้องใช้เวลาน้อยที่สุดและต้องมีความแม่นยำ งานวิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างกริปเปอร์ที่มีโครงสร้างสอดคล้องกับรูปทรงของทุเรียนเพื่อใช้ในการหนีบจับ ทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมสำหรับการดันกริปเปอร์หนีบจับทุเรียน พบว่า 0.15 เมกะปาสคาล เป็นความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้หนีบจับทุเรียน ใช้ค่าความดันลม 0.15 เมกะปาสคาล ทดสอบการบรรจุทุเรียน โดยงานวิจัยกำหนดเกณฑ์ระยะห่างของการวางทุเรียนจากจุดเริ่มต้นของทุเรียนแต่ละลูกไม่เกิน 5 มิลลิเมตร พบว่าการหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหน่วงขณะปล่อยใช้ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการหนีบจับทุเรียนโดยใช้การหน่วงขณะปล่อยใช้ความเร็ว 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุทุเรียนใส่กล่อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตจะมีการเพิ่มวัสดุที่ตัวหนีบเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทุเรียน เพิ่มรูปแบบการทำงานของแขนกลให้สามารถทำการใส่กระดาษระหว่างลูกทุเรียนโดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ที่ได้จากงานวิจัยนี้ในการพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทูเรียน ราชแห่งผลไม้ไทย ถูกใจคนต่างแดน- กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก กองนโยบาย การสร้างความเข้มแข็งทางการค้าสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. มิถุนายน 2563 เข้าถึงได้จาก : http://www.tpsoc.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf
- [2] ทูเรียนเป็นไม้ผลที่ให้ผลที่มีลักษณะแปลก . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://kukr.lib.ku.ac.th>
- [3] รายงานสถานการณ์การค้าสินค้าเกษตร (Situation Report) ประจำเดือนกุมภาพันธ์2566. **ความเคลื่อนไหวด้านการเกษตรและสินค้าเกษตร.**ฝ่ายเกษตรประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นคร เซี่ยงไฮ้ เข้าถึงได้จากเว็บไซต์: www.opsmoac.go.th/shanghai-home
- [4] Tae-Jin Jung , 2013 . Design of a Robot Gripper for a Rapid Service Robot. Mechanical Engineering Department, Korea Advanced Institute of Science and Technology , China .
- [5] Ya Xionga, Cheng Pengb, Lars Grimstada, Pål Johan Froma, Volkan Isler , 2019 . Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper . Computers and Electronics in Agriculture 157 (2019) 392–402
- [6] Chin Wanna, Design and Control Robot armหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ,[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.wichai.pr.trium.ac.th/files/Robot.ppt
- [7] ดุรงค์ฤทธิ ตรีภาค และ พีรยศ ภมรศิลป์ธรรม. 2016. หุ่นยนต์ทางการแพทย์และเภสัชกรรม MEDICAL AND PHARMACEUTICAL ROBOTS ภาควิชาสารสนเทศศาสตร์ทางสุขภาพ คณะ เภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์
- [8] purinatth , 2011.ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม เข้าถึงได้จากเว็บไซต์: <http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/09/robot.html>
- [9] กนต์ธร ขานิประศาสน์ การวัดเชิงกล LabVIEW .สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [10] T.Q. Murphry ,Y.I.,(2001) A Smart Machine Vision System FOR pcb Insection .IEA/AIE.
- [11] National Instruments Hardware Used. Retrieved October 17, 2007, form http://www.psychology.heacademy.ac.uk/etsl/ni_hardware.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Universal robot . 2023 .ประเภทของกริปเปอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เข้าได้จากเว็บไซต์ <https://www.universal-robots.com/th/blog/%>
- [13] Factory max . 2021. “Gripper” จับชิ้นงานได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย รองรับทุกการใช้งาน จาก ZIMMER เข้าได้จากเว็บไซต์ <https://www.factorymax.co.th/zimmer-ripper/> หน้า 31
- [14] "Durio L." Germplasm Resources Information Network. United States Department of Agriculture. 12 March 2007.
- [15] ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ทุเรียน .คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค ,สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) เข้าถึงได้จากเว็บไซต์:
<https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/durian/controller/index.php>
- [16] กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก กองนโยบายการสร้างเสริมความเข้มแข็งทางการค้า สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า มิถุนายน 2563 เข้าถึงได้จากเว็บไซต์:
http://www.tpsa.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf
- [17] Jullakarn (Ham) Ittirattana ,[เจาะลึก] ระบบนิวเมติกส์ (pneumatic system) ,New Business Development of Mitsubishi Intelligent mechanical system (Fukuoka institute of technology) เข้าถึงได้จากเว็บไซต์:
<https://misumitechnical.com/technical/pneumatic/what-is-pneumatic-system/>
- [18] บุลวิซซ์ เจริญยืนนาน , วาล์วควบคุมทิศทาง มีกี่ประเภท มีการใช้งานอย่างไรบ้าง เข้าถึงได้จากเว็บไซต์:
<https://misumitechnical.com/technical/pneumatic/directional-controlvalves/>
- [19] บุญเลิศ สื่อเฉย 2019, Development of Automatic Vision Gripper for Electronic Circuit Board Production , SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY
- [20] รศ.ดร.เกียรติศักดิ์ คมวัชรและคณะ, ROBOT ARM AUTOMATIC : ปรินูญานิพนธ์ ปี 2553
- [21] สุกัญญา ทองเชื้อ และคณะ.(2550). การศึกษาระบบควบคุมแขนกลทาสีอัตโนมัติ, นครปฐม : วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- [22] กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา. การศึกษาและพัฒนาแขนกลอุตสาหกรรมแบบจับ-วาง ชนิด 3 แกนที่ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้แบบป้อนกลับด้วยสัญญาณอนาล็อกที่ควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี, หัวหิน: ปรินูญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] บุญเลิศ สี้อเฉย , Development of Automatic Vision Gripper for Electronic Circuit Board Production , SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY
- [24] Chin Wanna, Design and Control Robot armหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ,[ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.wichai.pr.trium.ac.th/files/Robot.ppt
- [25] พงศ์แสน พิทักษ์วัชร. (2557). จลศาสตร์ผกผันของหุ่นยนต์แบบอนุกรม. พื้นฐานของหุ่นยนต์กลศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบอนุกรม (หน้า 111-124). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [26] Chanom Loylom . (2558). การควบคุมหุ่นยนต์แขนกลโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบทำซ้ำชนิดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด. การวิเคราะห์หาตำแหน่งของมอเตอร์โดยใช้จลศาสตร์ผกผัน (หน้า 83-90). พิษณุโลก: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [27] Nobuaki Nakazawa, Il-hwan Kim, Hikaru Inooka, Ryojun Ikeura. Force Control of a Robot Hand Emulating Human's Grasping Motion. IEEE; 1999. pp. 774-779. หน้า 59
- [28] Erika Ottaviano, Maria Toti, and Marco Ceccarelli. Grasp Force Control in Two-Finger Grippers with Pneumatic Actuation. IEEE; April 2000 pp. 1976-1981. หน้า 11
- [29] สราวุฒิ สิริเกษมสุข ,2018 . การออกแบบมือจับชิ้นงานเพื่อให้ใช้แรงที่เหมาะสมที่สุดในการยกชิ้นงาน .มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .
- [30] Takashi Maeno, Shinichi Hiromitsu and Takashi Kawai. Control of grasping force by detecting stick-slip distribution at the curved surface of an elastic finger. IEEE; April 2000 pp. 3895-3900.
- [31] Ya Xionga, Cheng Pengb, Lars Grimstada, Pål Johan Froma, Volkan Isler , 2019 . Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper . Computers and Electronics in Agriculture 157 (2019) 392–402
- [32] Aswin K Ramasubramanian, 2022 . Automatic simulation-based design and validation of robotic gripper fingers . Laboratory for Advanced Manufacturing Simulation and Robotics, School of Mechanical and Materials Engineering, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland
- [33] S. Ross a,O. Korostynska a, b, L.E. Cordova-Lopez a and A. Mason. 2022. Trends in Food Science & Technology. Norwegian University of Life Sciences (NMBU), Faculty of Science and Technology (REALTEK), Universitetstunet 3, 1430, Ås, Norway

- [34] ABB articulated robot. Specifications | Articulated robot - IRB 4600-45/60 2.05.เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ pneu-hyd.co.th
- [35] Jun Ueda, Member, Atsutoshi Ikeda, and Tsukasa Ogasawara. Grip-Force Control of an Elastic Object by Vision-Based Slip-Margin Feedback During the Incipient Slip. IEEE; December 2005. pp. 1139-1147.
- [36] abb-irb-4600-6 สามารถเข้าถึงได้จากเว็บไซต์ <https://thai.shgongboshi.com/sale-13603576-abb-irb-4600-6-axis-industrial-robot-armarticulated-arm-assembly-reach-2050mm-payload-60kg-armload-.html>



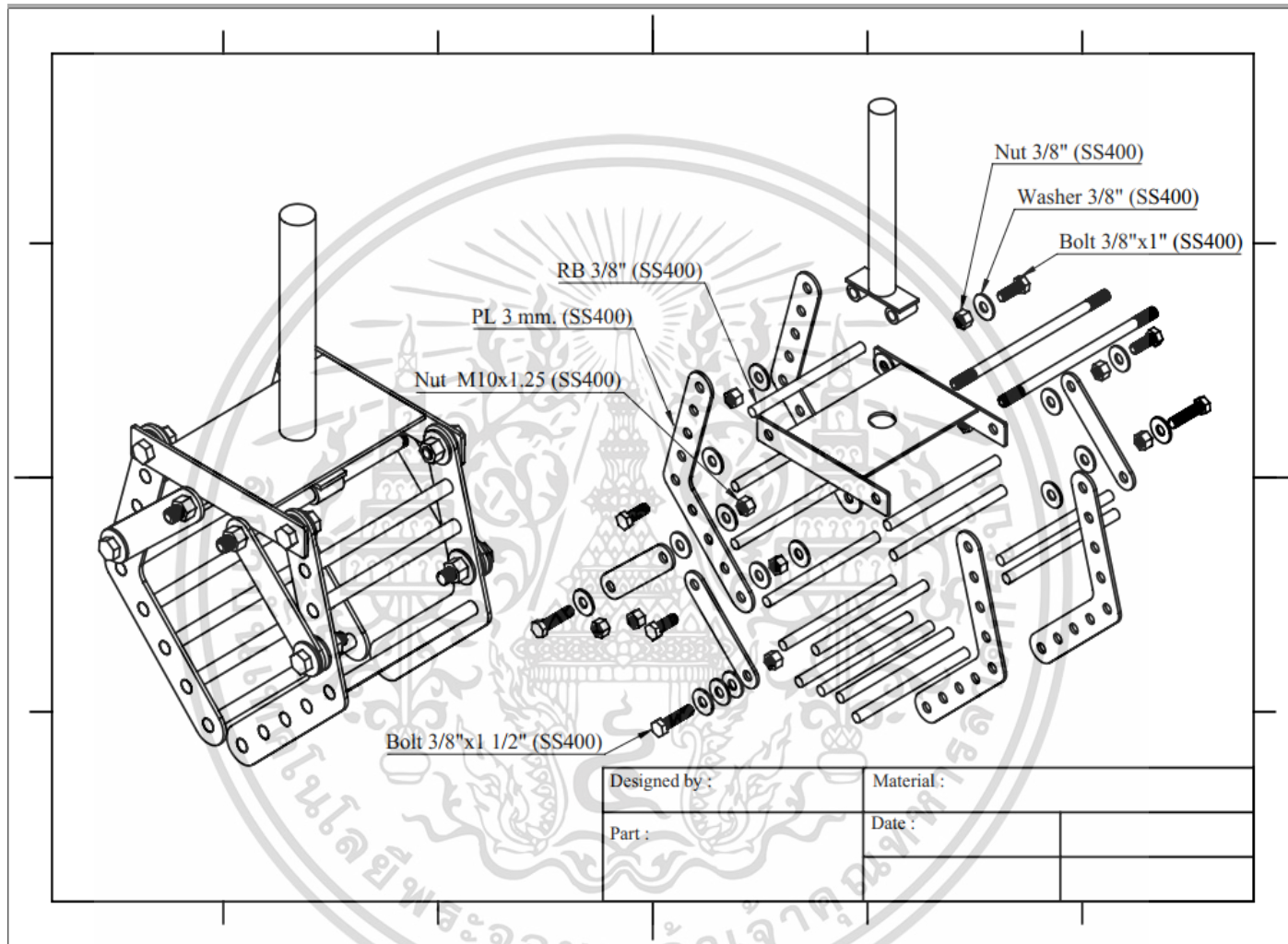
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



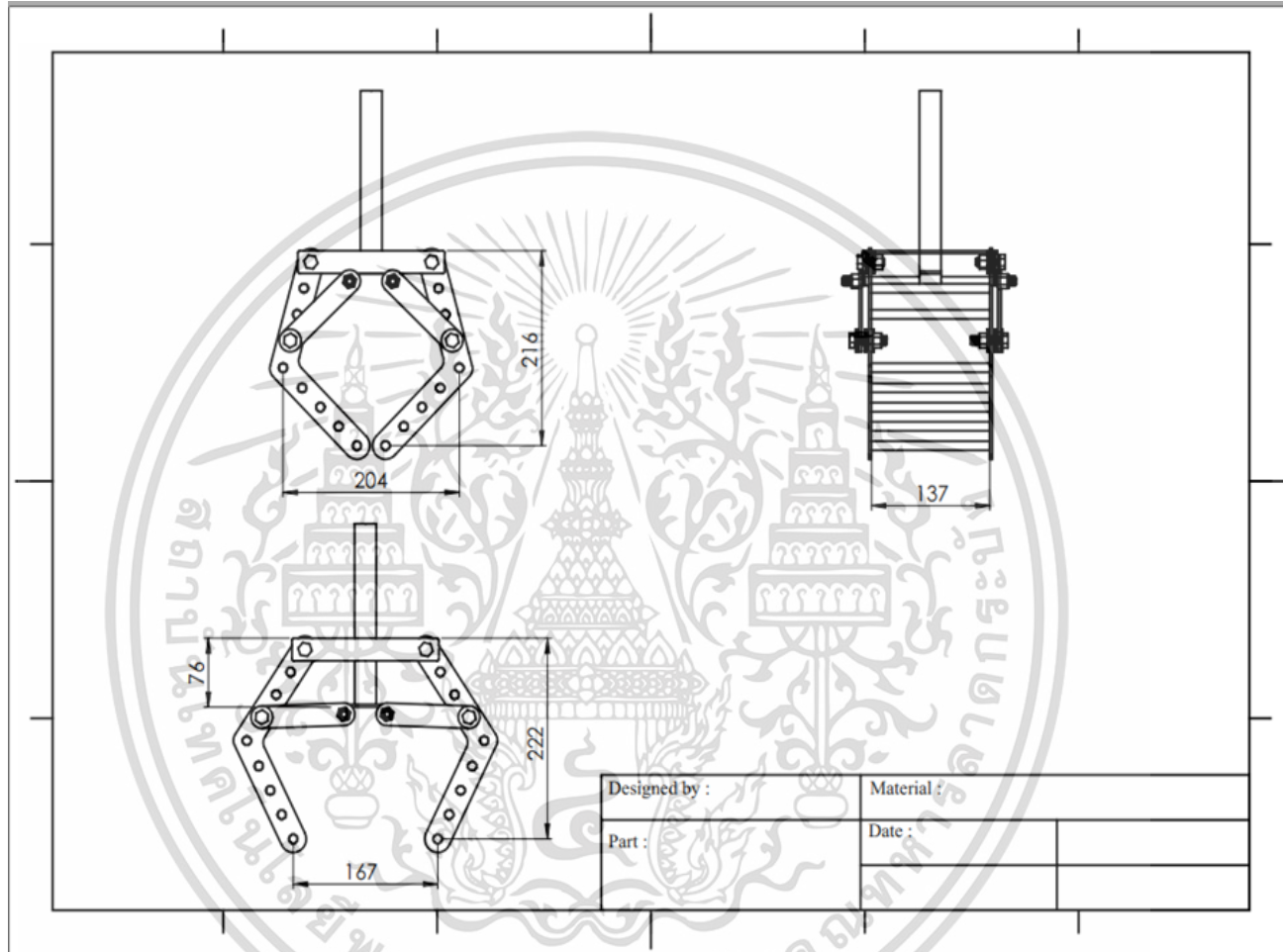
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



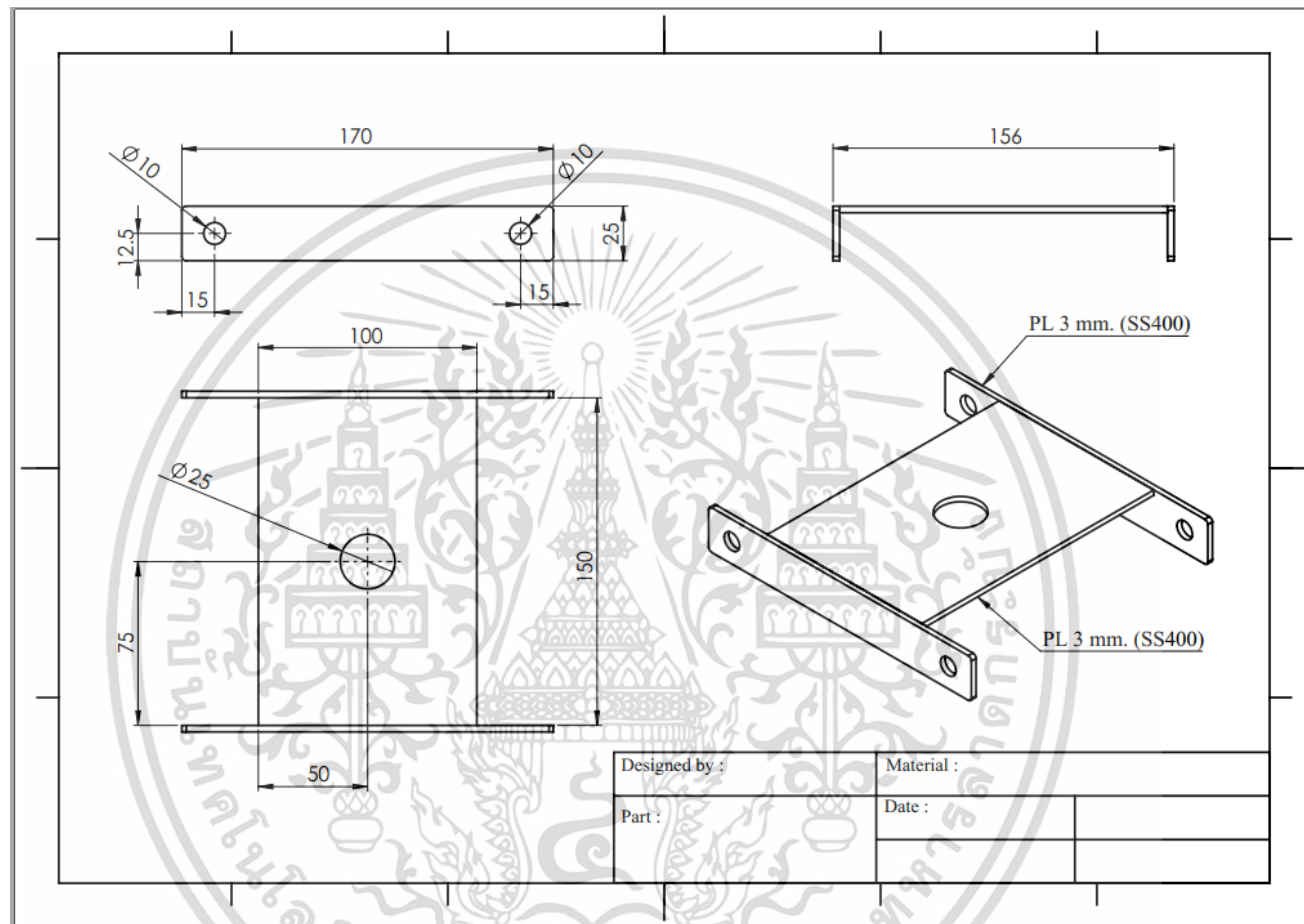
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



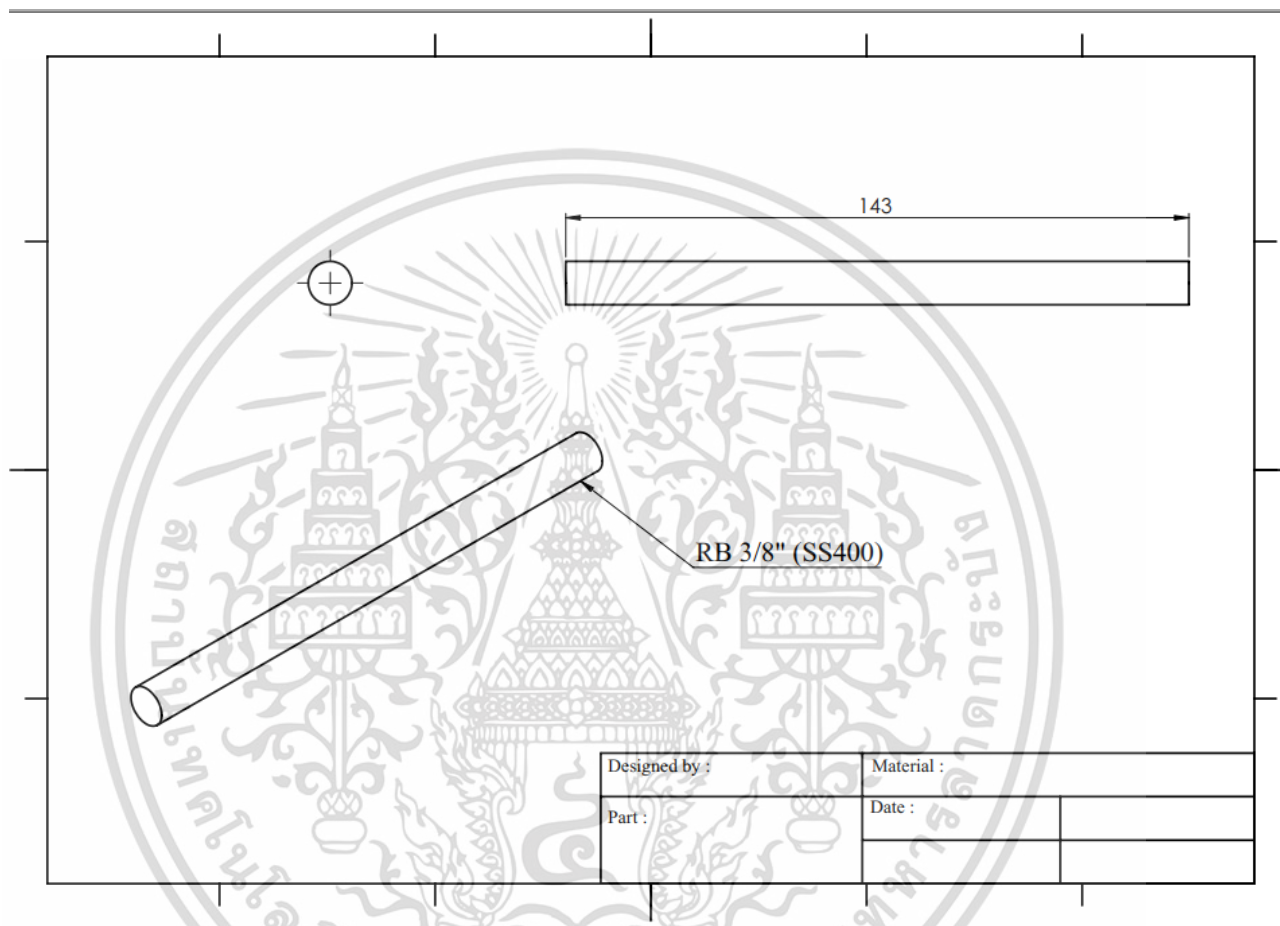
รูปที่ ก1 แสดงรายละเอียดรวมของกริปเปอร์ครั้งที่ 1



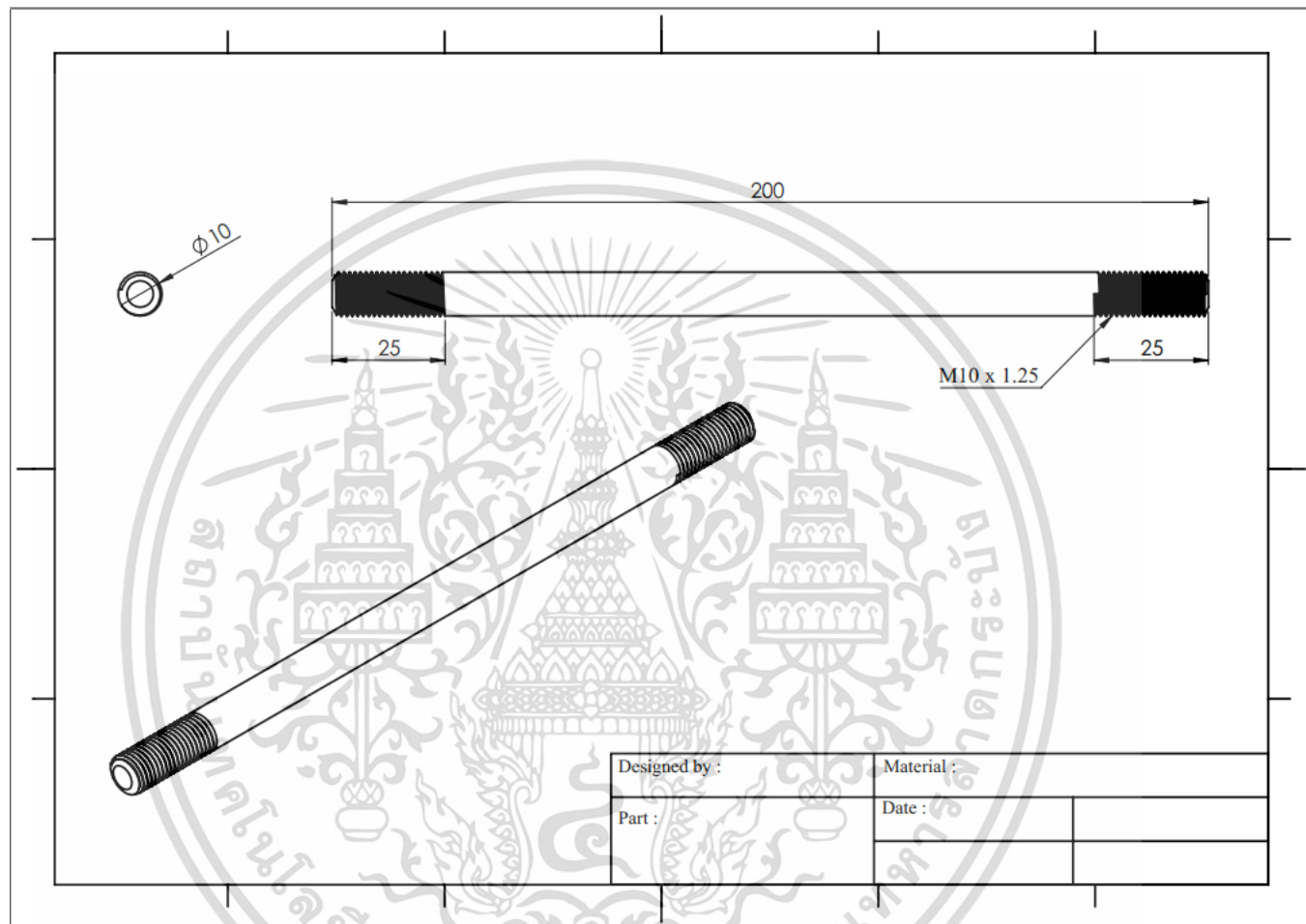
รูปที่ ก2 แสดงรายละเอียดด้านข้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1



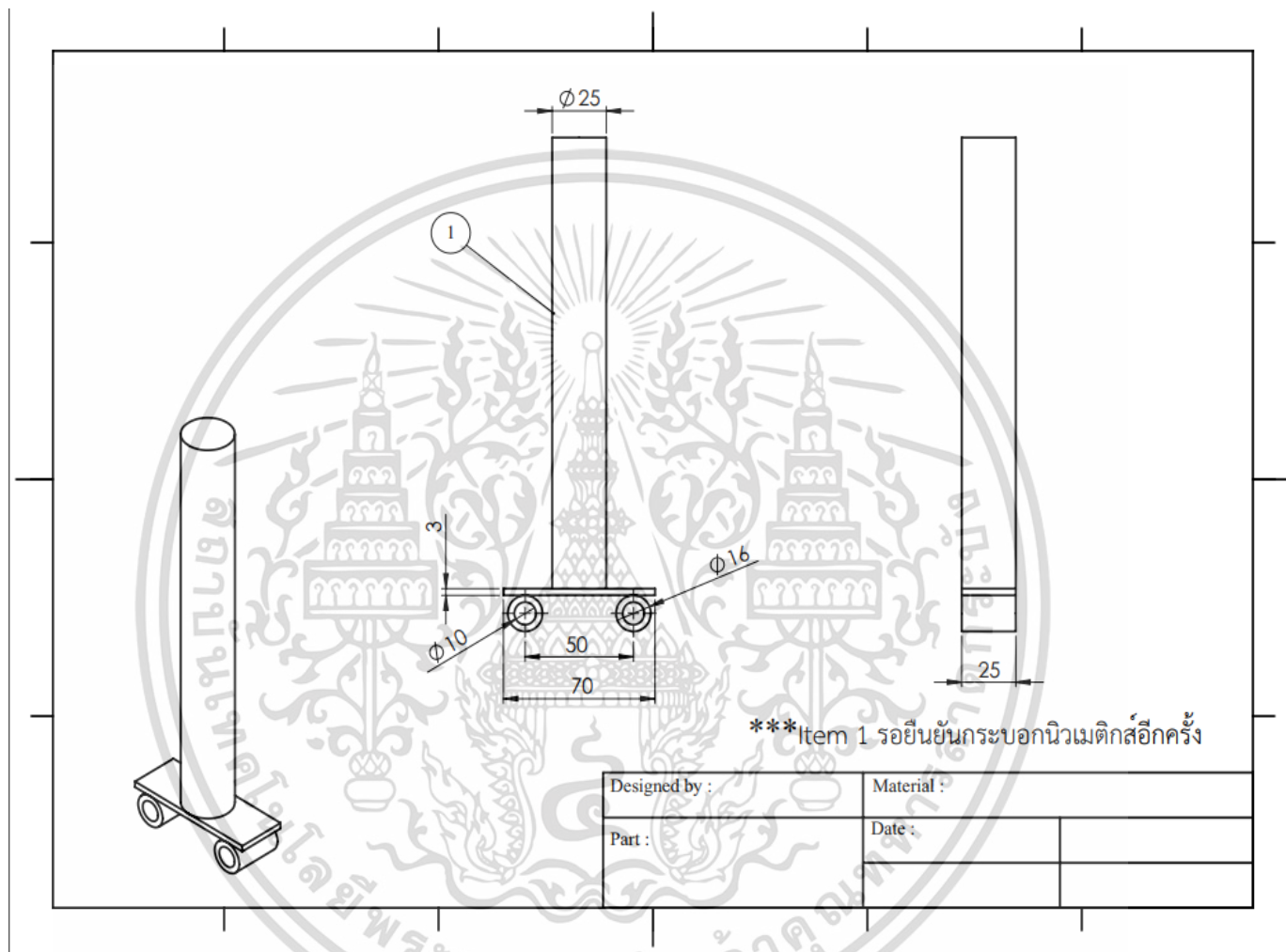
รูปที่ ก3 แสดงรายละเอียดโครงสร้างแกนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1



รูปที่ ก4 แสดงรายละเอียดเพลายึดชิ้นส่วนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1



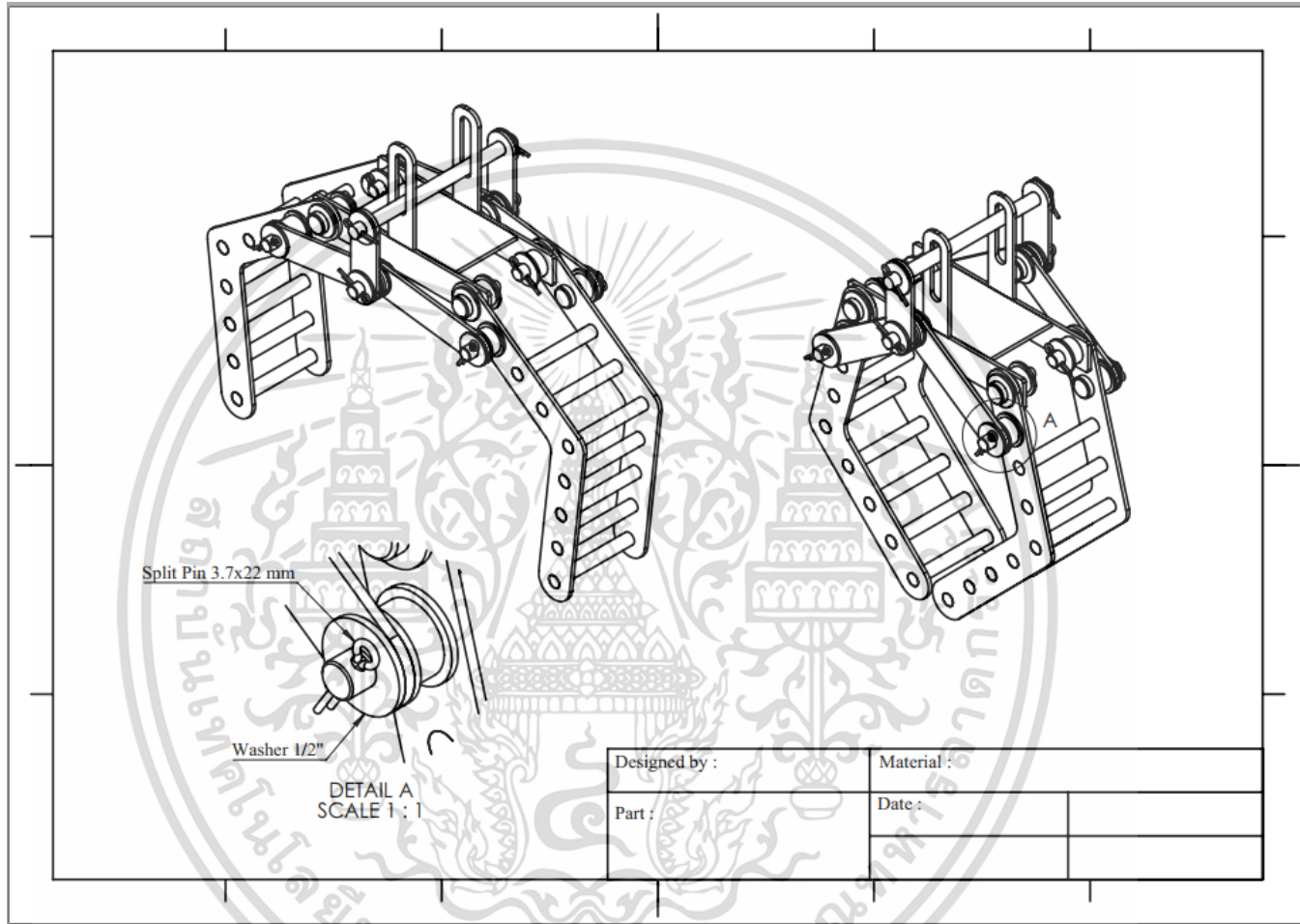
รูปที่ ก5 แสดงรายละเอียดเพลากลางโครงสร้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1



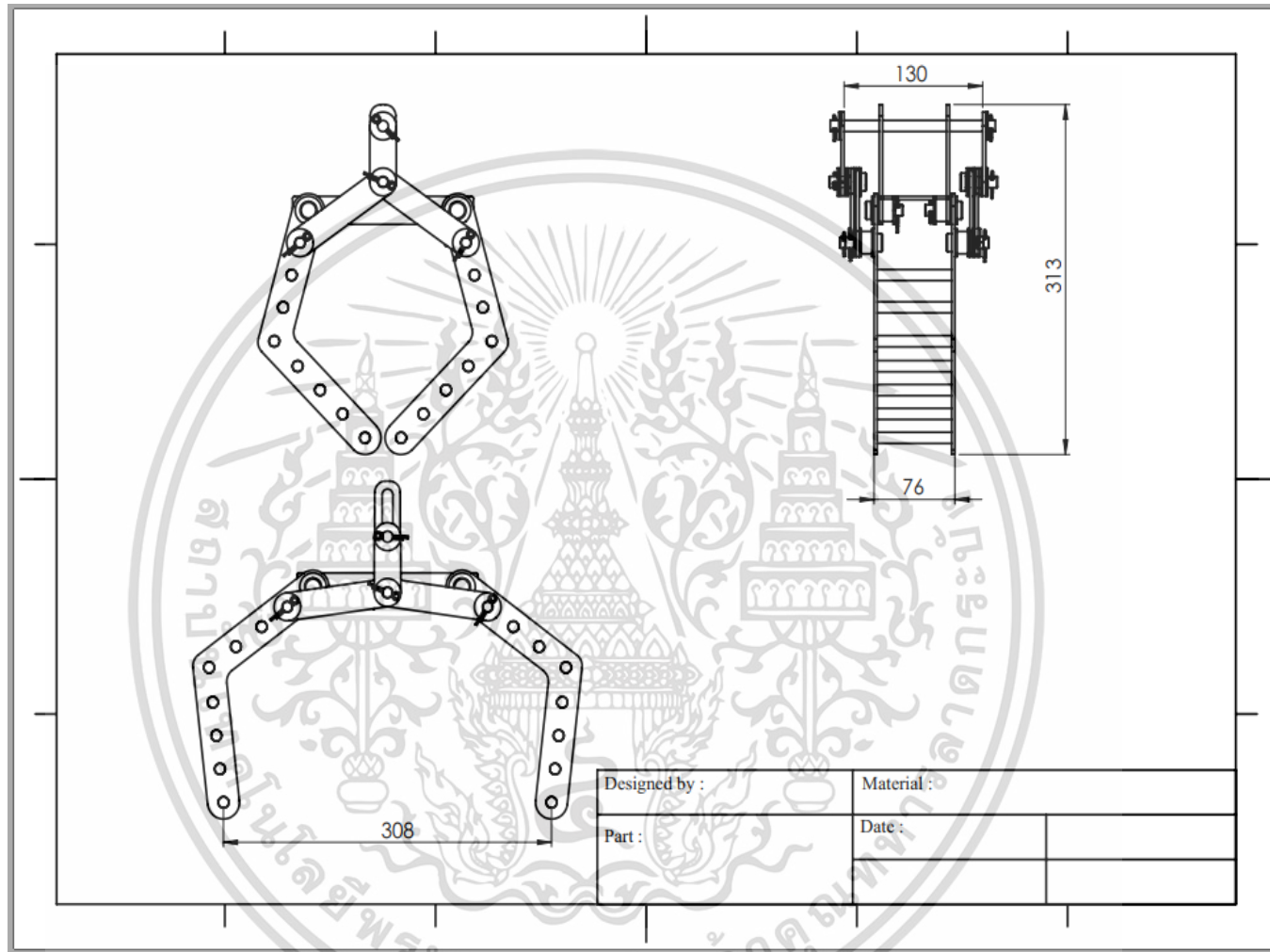
รูปที่ ก6 แสดงรายละเอียดการติดตั้งกระบอกสูบจากแกนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 1



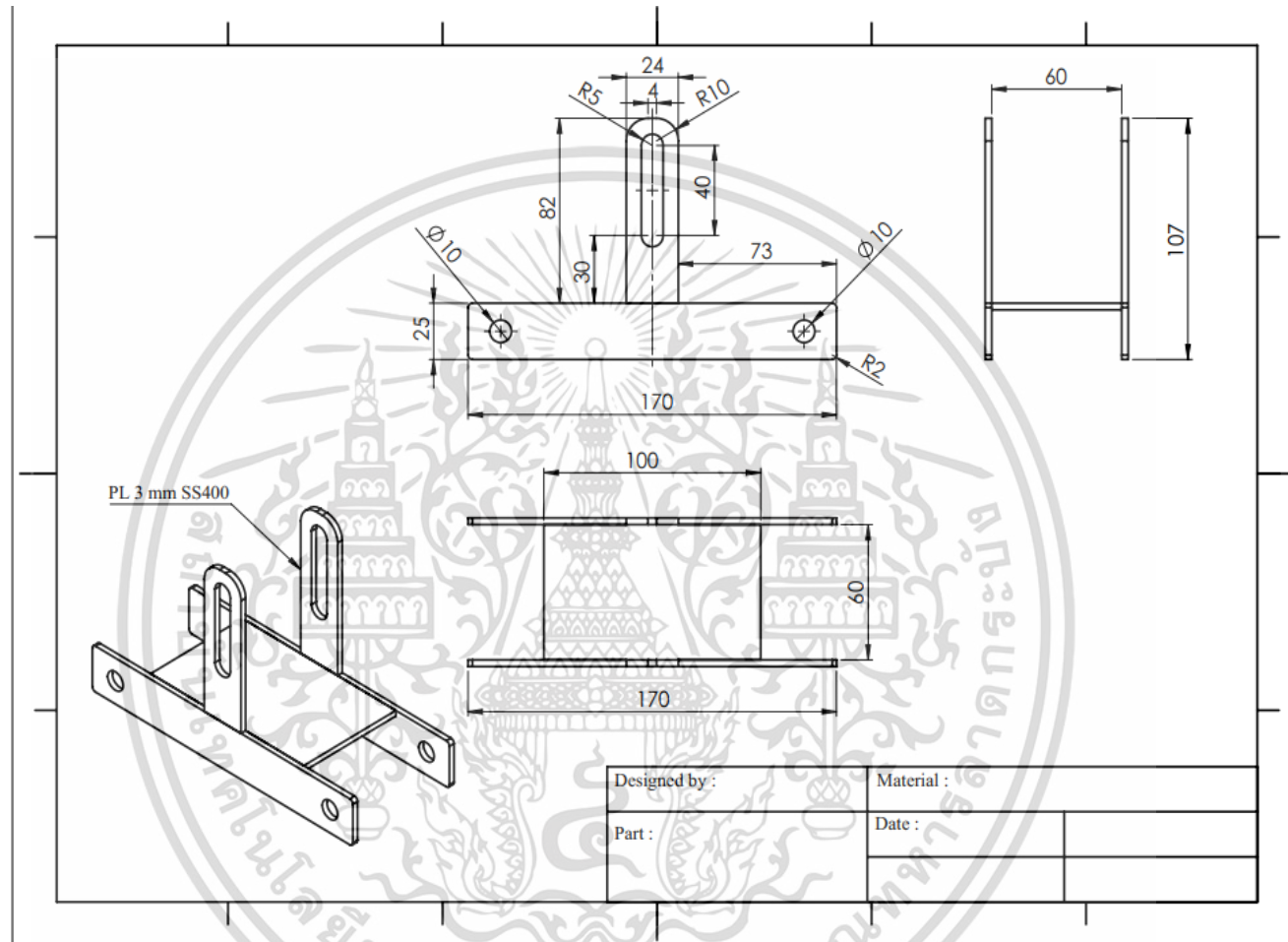
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



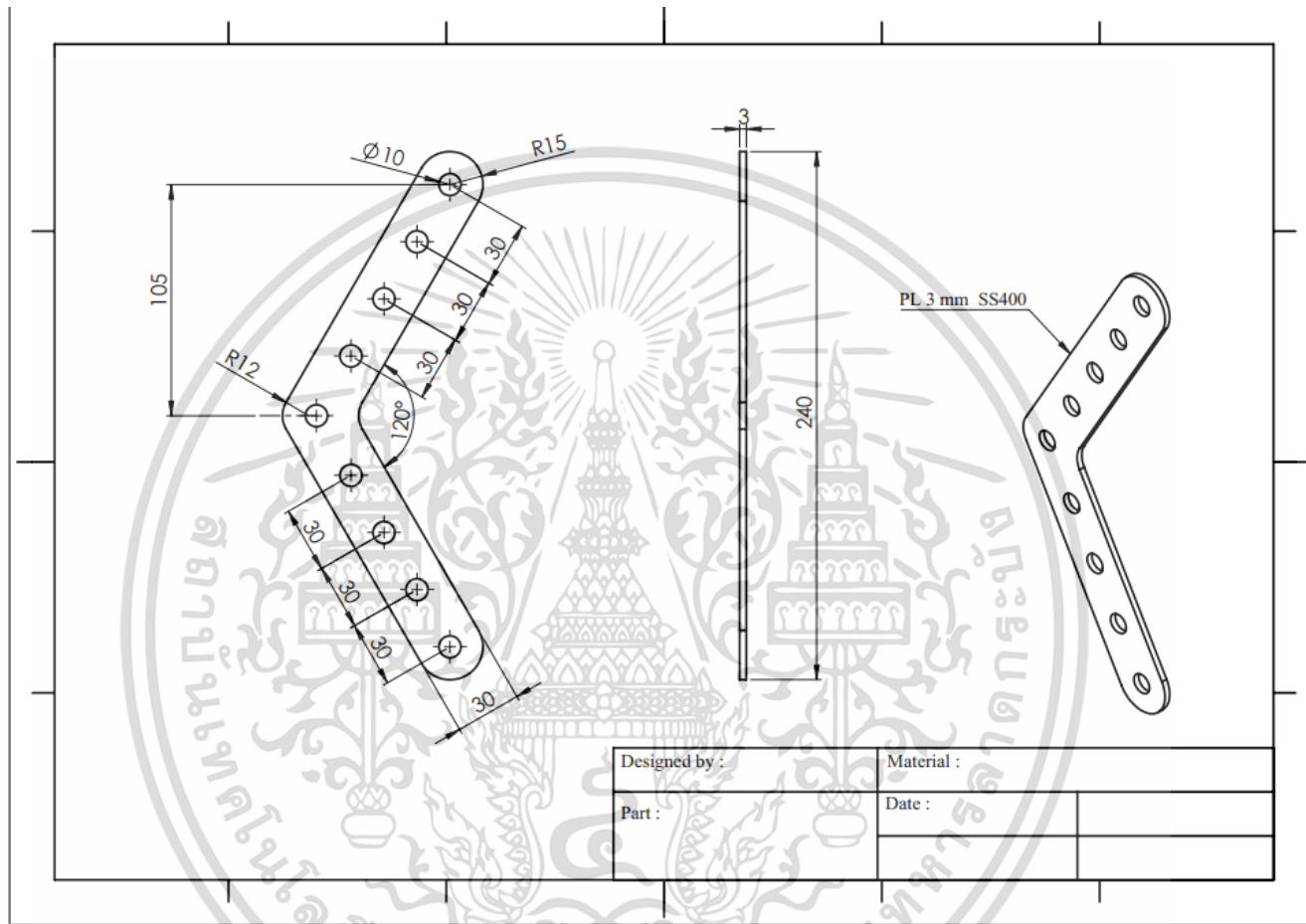
รูปที่ ข1 แสดงรายละเอียดรวมของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



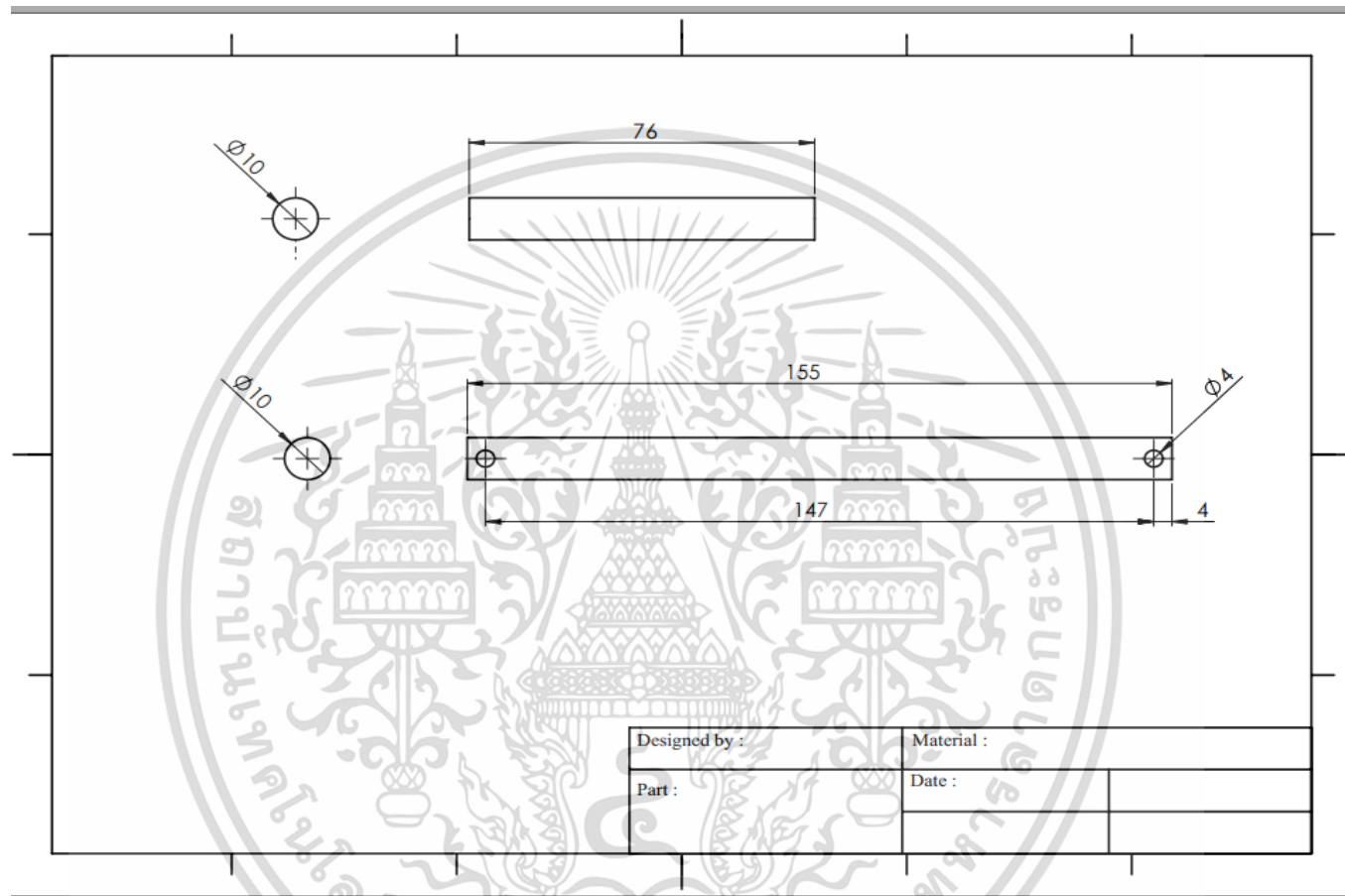
รูปที่ ข2 แสดงรายละเอียดด้านข้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



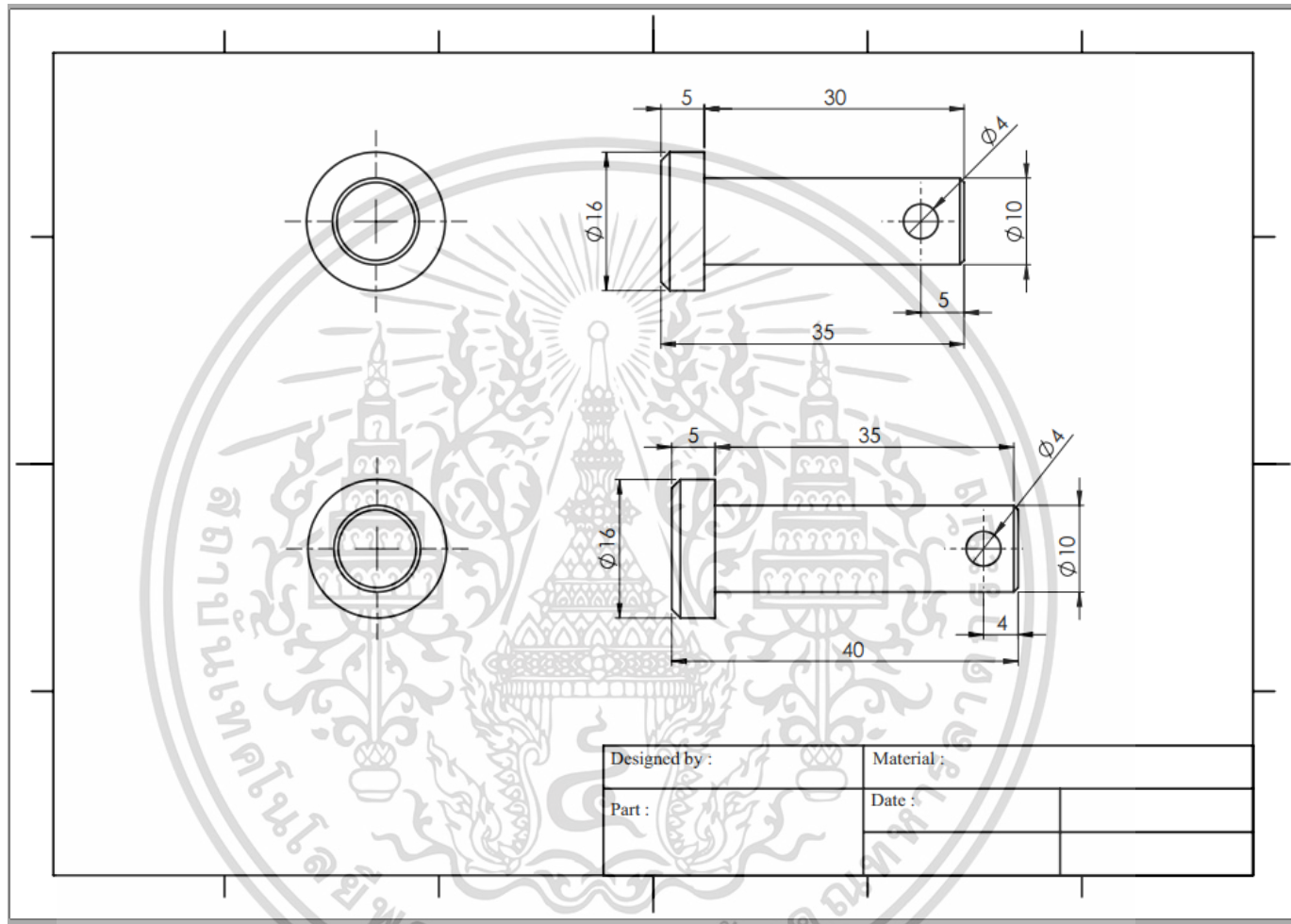
รูปที่ ข3 แสดงรายละเอียดโครงสร้างส่วนกลางของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



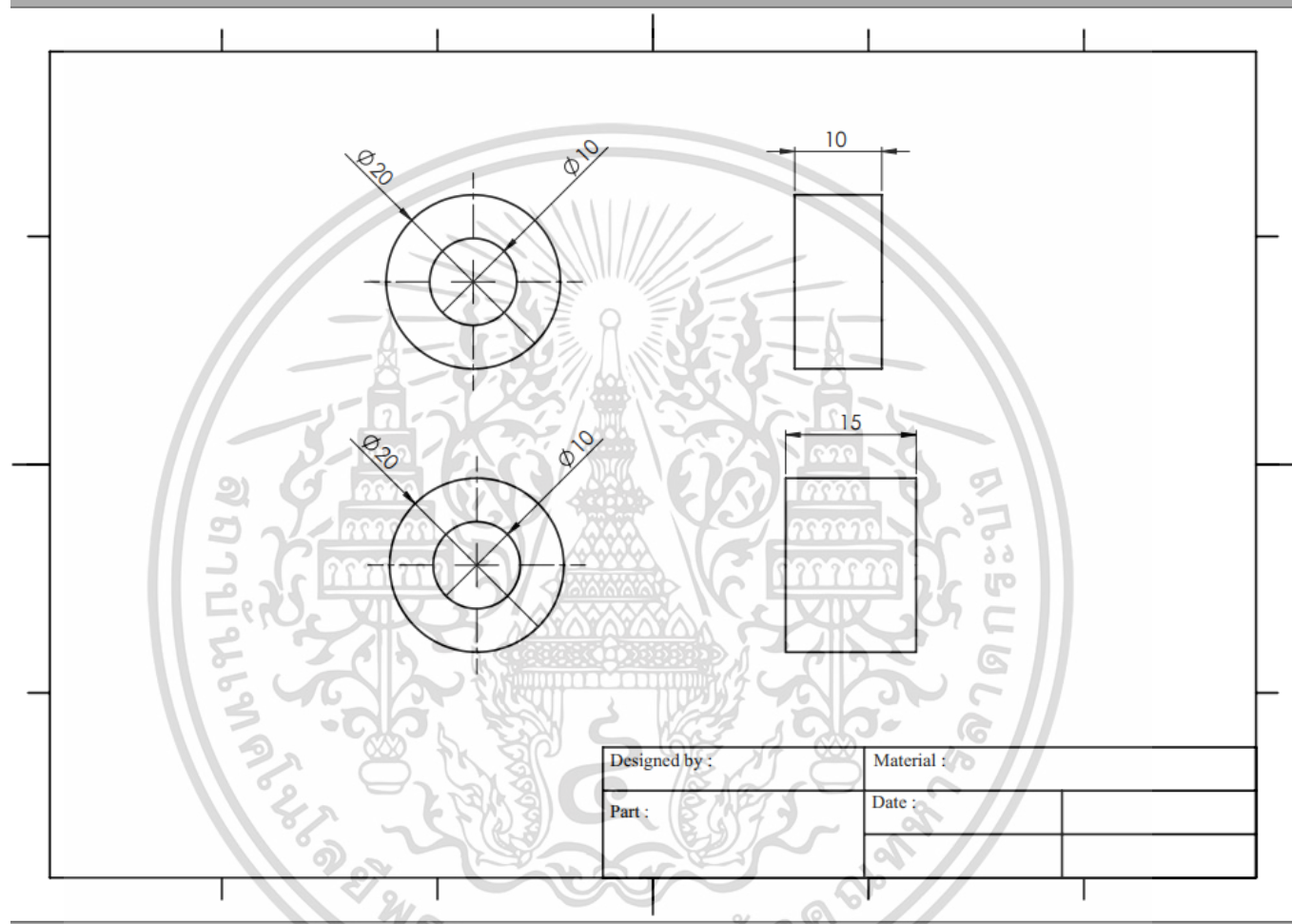
รูปที่ ข4 แสดงรายละเอียดแกนแขนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



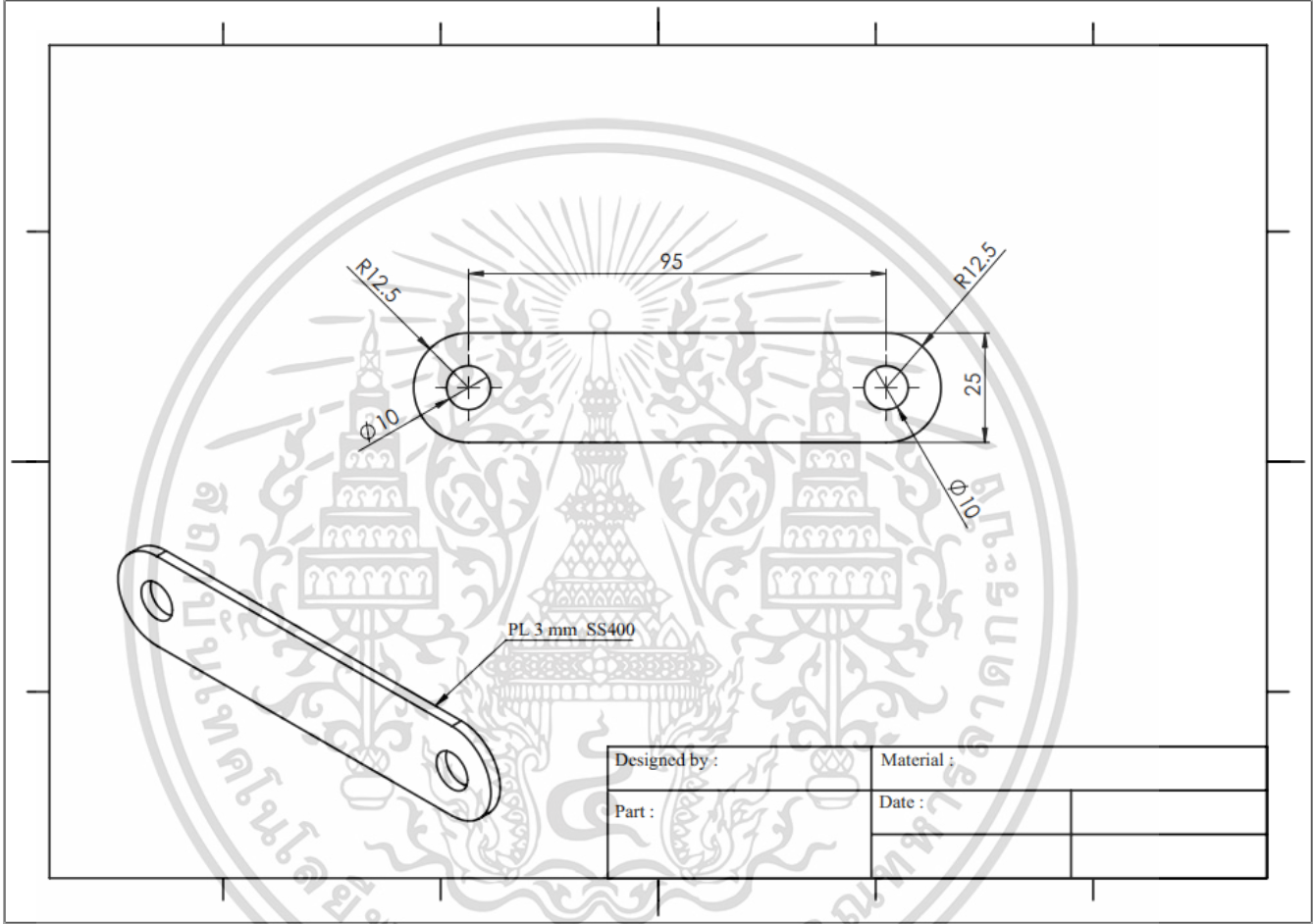
รูปที่ ข5 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนระหว่างชิ้นส่วนของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



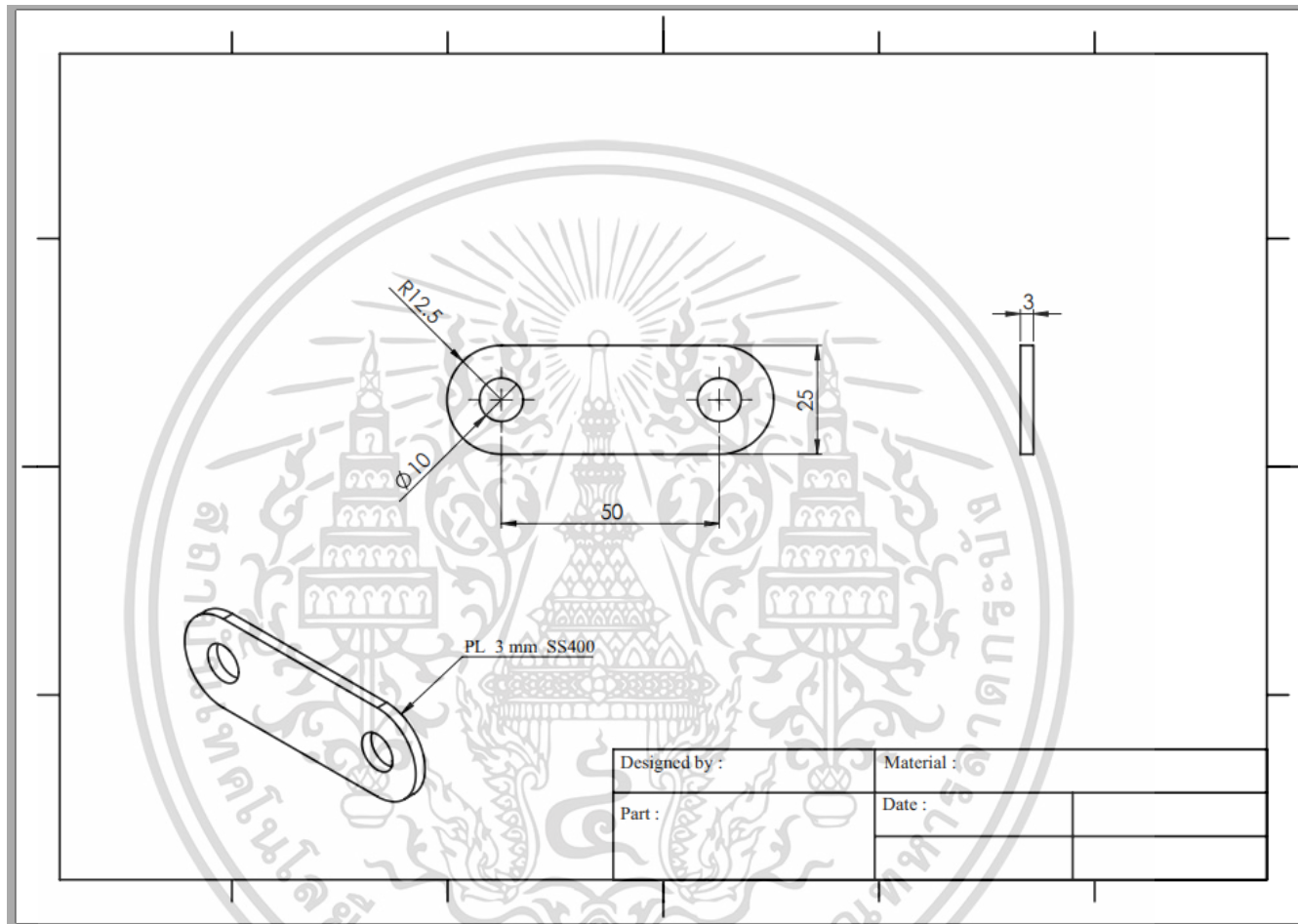
รูปที่ ข6 แสดงรายละเอียดน็อตยึดโครงสร้างของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



รูปที่ ข7 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนกริปเปอร์ของการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



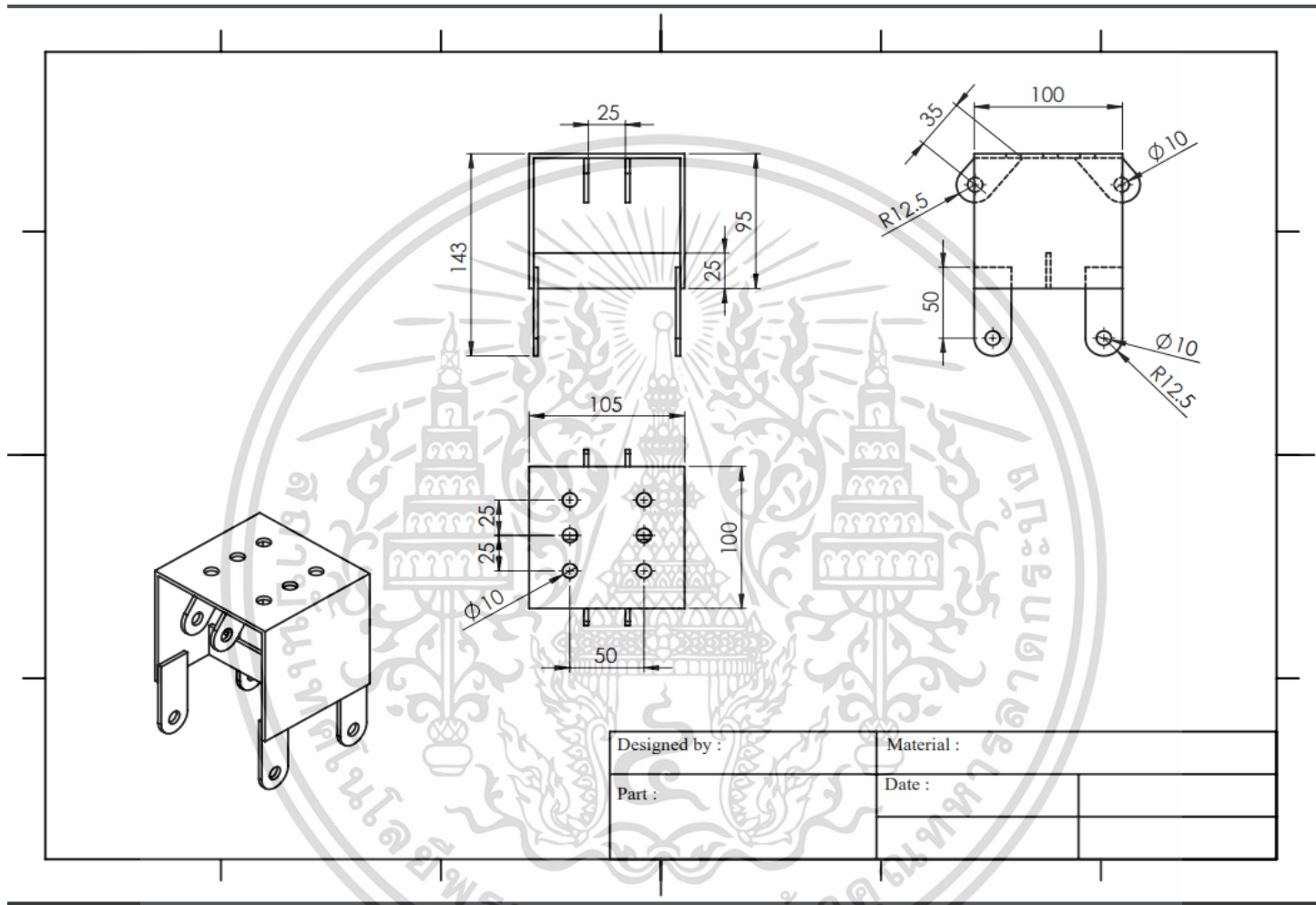
รูปที่ ข8 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนการออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



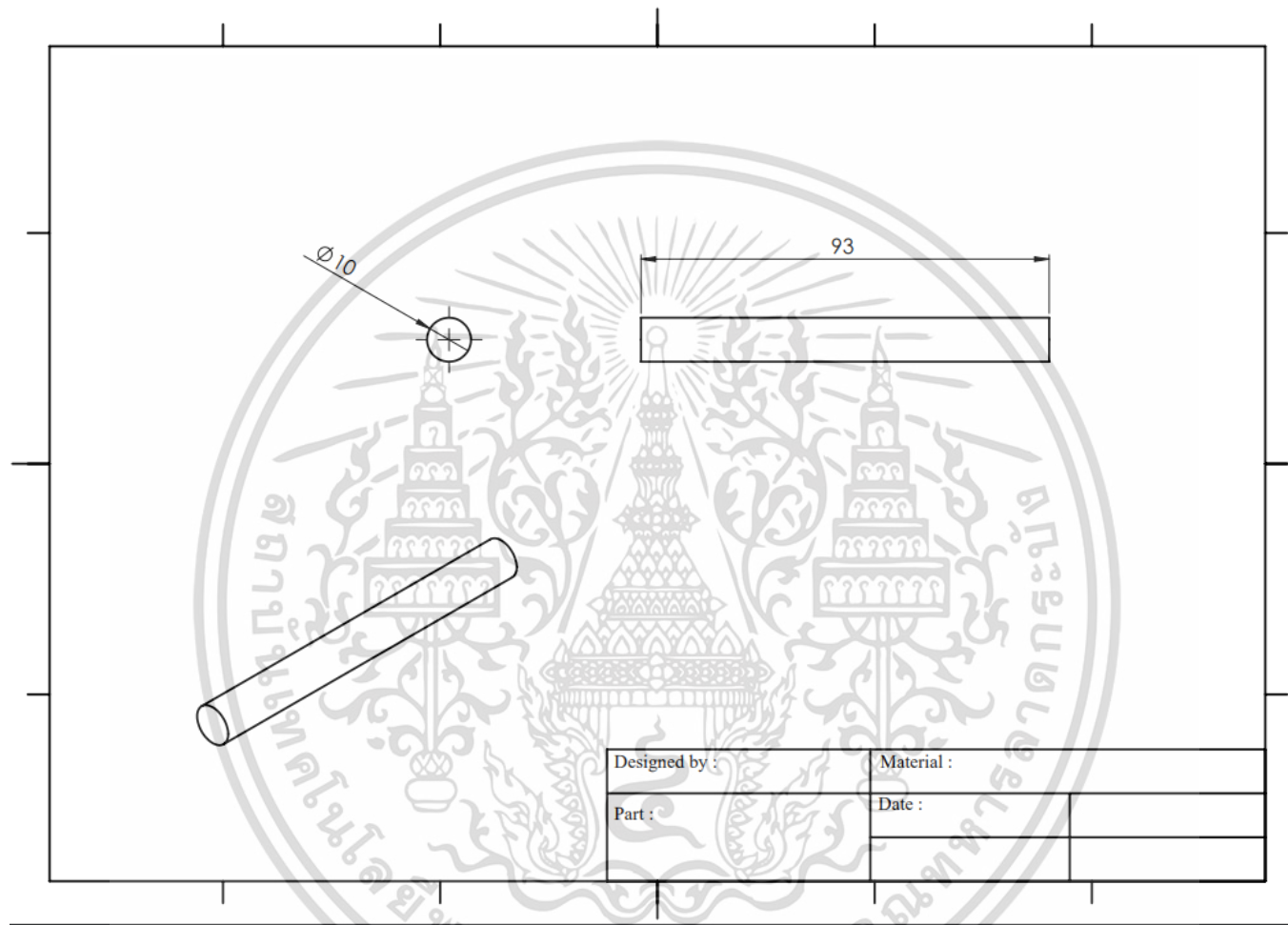
รูปที่ ข9 แสดงรายละเอียดชิ้นส่วนโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 2



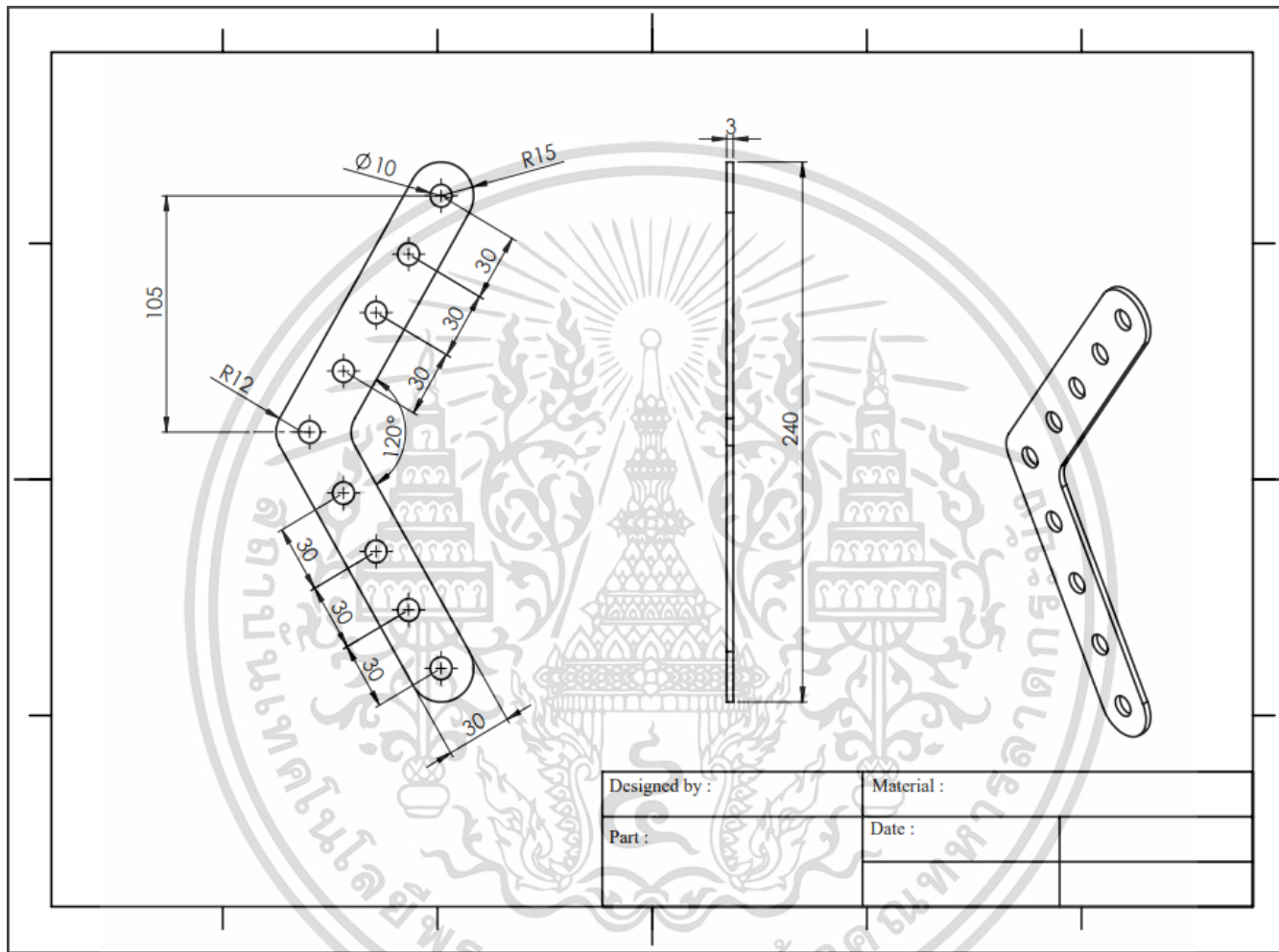
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค2 แสดงรายละเอียดแกนกลางโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3



รูปที่ ค3 แสดงรายละเอียดของน็อตยึดโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3



รูปที่ ค4 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างออกแบบกริปเปอร์ครั้งที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง1 แสดงโปรแกรม ABB robot studio ใน workshop

The screenshot displays the ABB RobotStudio 6.06.01 interface. The main window shows a 3D model of a robot arm in a simulation environment. The interface includes a menu bar (File, Home, Modeling, Simulation, Controller, RAPID, Add-Ins), a toolbar, and a Control Panel on the right. The Control Panel shows the system is in 'Auto' mode and 'Motors On'.

The 'Production Window' is open, displaying the following RAPID program code:

```

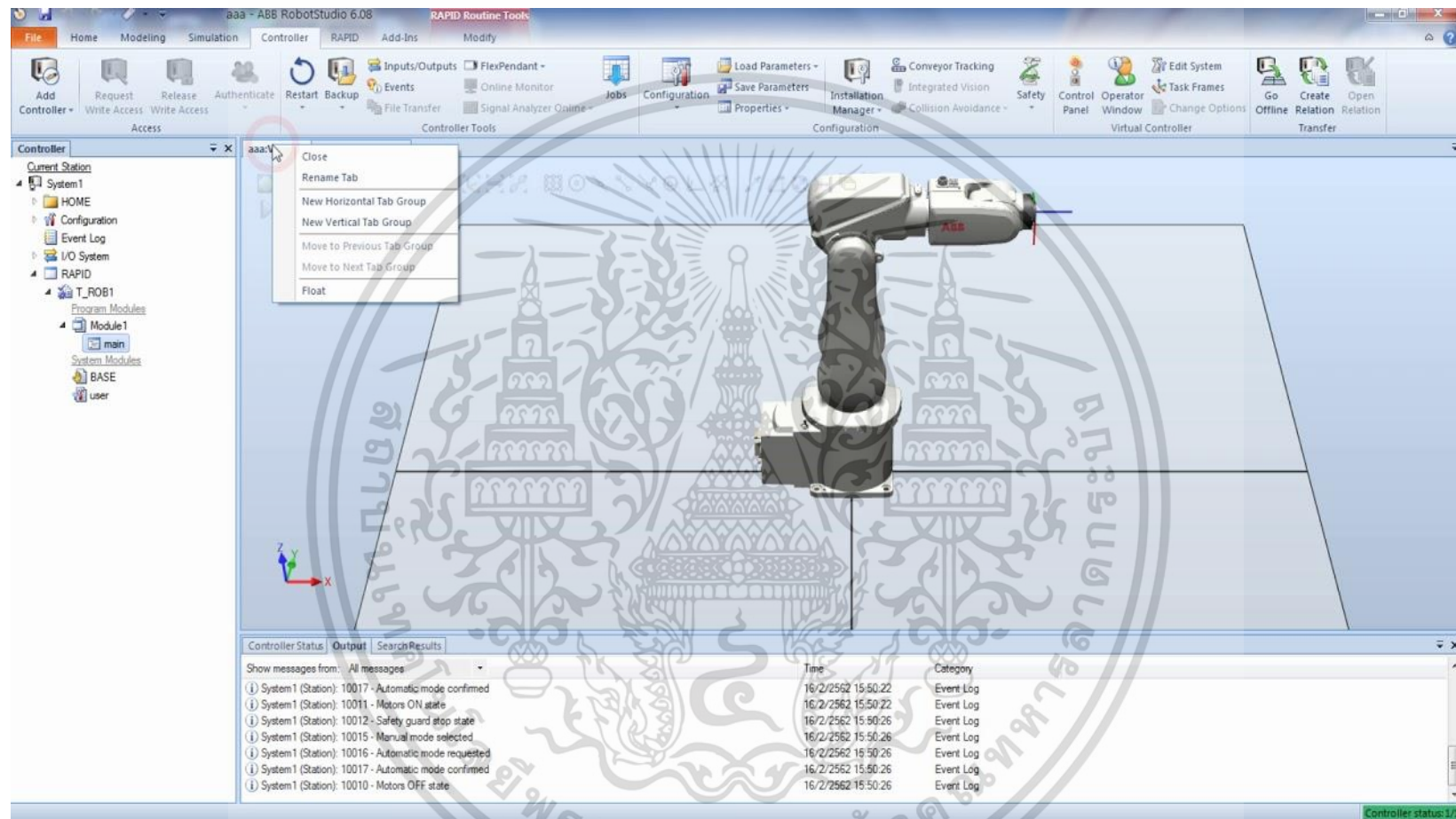
! This is the entry point of your program
! *****
PROC main()
MoveJ P10, vmax, fine, tool0;
MoveJ P20, vmax, z100, tool0;
MoveJ P30, vmax, z100, tool0;
MoveJ P40, vmax, z100, tool0;
MoveJ P50, vmax, z200, tool0;
MoveJ P60, vmax, z5, tool0;
MoveJ P70, vmax, fine, tool0;
MoveJ P80, vmax, fine, tool0;
MoveJ P90, vmax, fine, tool0;
ENDPROC

```

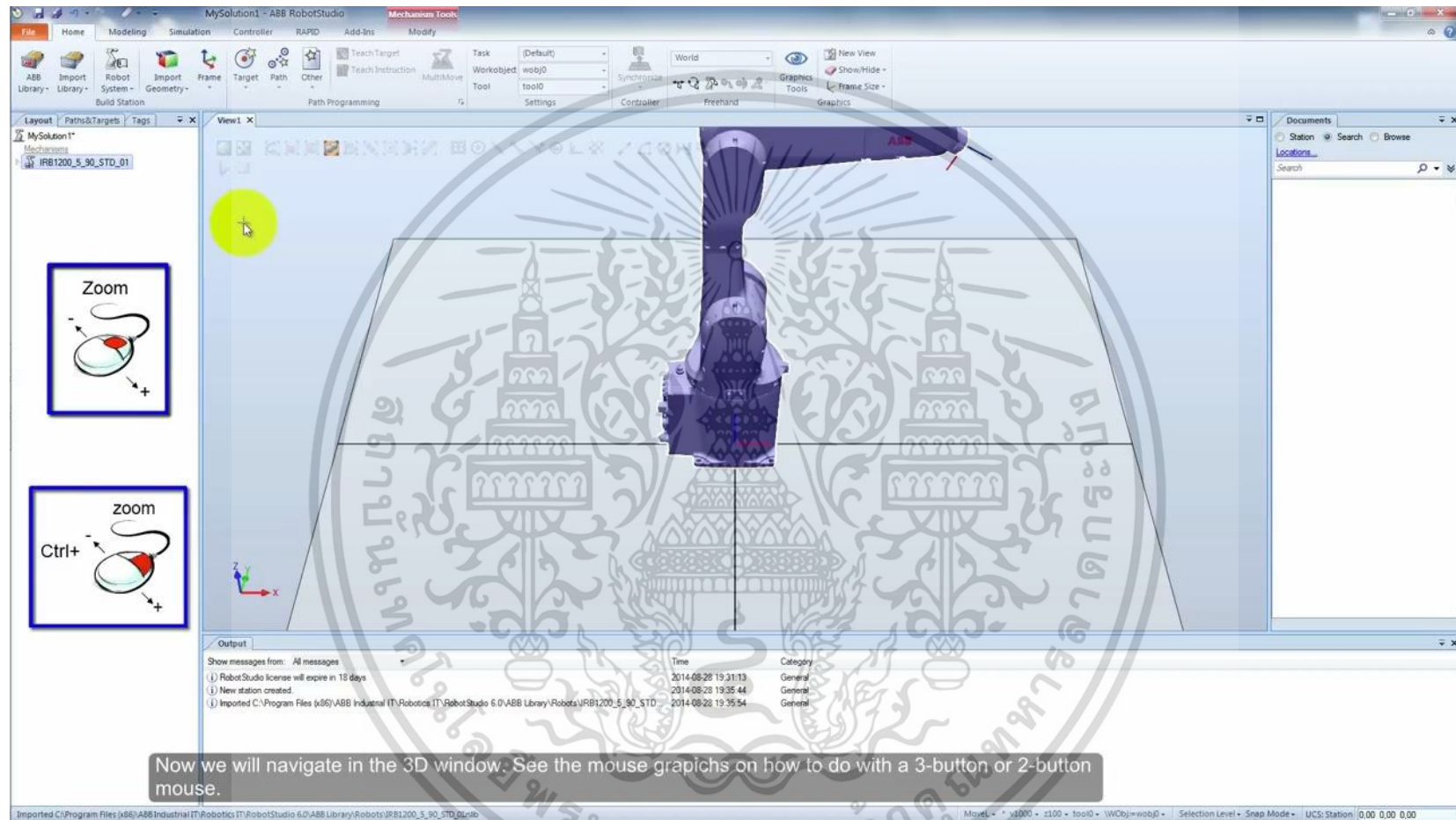
The 'Output' window at the bottom shows a log of system messages:

Message	Time	Category
(i) System1 (Station): 10017 - Automatic mode confirmed	10/31/2018 8:18:57 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10140 - Speed adjusted	10/31/2018 8:18:57 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10010 - Motors OFF state	10/31/2018 8:18:57 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10011 - Motors ON state	10/31/2018 8:18:59 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10052 - Program start	10/31/2018 8:19:03 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10053 - Program ready	10/31/2018 8:19:03 PM	Event Log
(i) System1 (Station): 10156 - Program restarted	10/31/2018 8:19:03 PM	Event Log

รูปที่ ๖2 แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio ในคอมพิวเตอร์



รูปที่ ๓3 แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio โหมตเตรียมความพร้อมแขนกลเพื่อทำงานในคอมพิวเตอร์



รูปที่ ๔๔ แสดงการทำงานของโปรแกรม ABB robot studio เคลื่อนที่แขนกลโดยควบคุมในคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขไม่ใช้การหว่านขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100-400 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อวินาที)	ทุเรียน	ระยะห่างของทุเรียนจากเส้นอ้างอิง			ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	
100	1	3	4	3	3.33
	2	3	3	2	2.67
	3	2	1	1	1.33
	4	3	2	2	2.33
200	1	3	3	3	3
	2	4	3	2	3
	3	2	2	2	2
	4	3	2	2	2.33
300	1	4	3	4	3.66
	2	5	4	4	4.33
	3	3	2	3	2.66
	4	4	3	4	3.66
400	1	7	7	7	7
	2	6	5	6	5.66
	3	4	4	4	4
	4	6	5	6	5.66

ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขใช้การหน่วงขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100-400 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อวินาที)	ทุเรียน	ระยะห่างของทุเรียนจากเส้นอ้างอิง			ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	
100	1	0	0	0	0
	2	0	0	1	0.33
	3	0	0	0	0
	4	1	0	0	0.33
200	1	0	1	0	0.33
	2	0	1	0	0.33
	3	0	1	0	0.33
	4	0	1	0	0.33
300	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	0	1	0	0.33
	4	0	1	1	0.66
400	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
	4	1	1	1	1

ตารางที่ จ.3 ผลการทดลองระยะห่างทุเรียนจากเส้นอ้างอิงเงื่อนไขใช้การหน่วงขณะปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 500-1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อวินาที)	ทุเรียน	ระยะห่างของทุเรียนจากเส้นอ้างอิง			ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	
500	1	1	1	1	1
	2	2	1	1	1.33
	3	1	1	1	1
	4	2	1	1	1.33
600	1	1	1	1	1
	2	2	1	2	1.66
	3	1	1	1	1
	4	2	1	2	1.66
800	1	1	1	2	1.33
	2	1	1	4	2
	3	1	1	3	1.66
	4	1	1	4	2
1,000	1	3	1	1	1.66
	2	5	1	1	2.33
	3	4	1	1	2
	4	2	1	1	1.33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8

Vol.1 ด้านสารสนเทศ การเกษตร
วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

24 - 26 พฤษภาคม 2566

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 8

The 8th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business administration, Engineering, Science and Technology



QA-84	การจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง สมบัติเกียรติ วัฒนสิทธิ์ อนุพันธ์ สมทำนมี ฉัตรพร แก้วจันทร์ ณัฐพร อังวงค์ยอด ศุภกิจ ฉ่ำหิณี สุติมา เกษแก้ว กัญญา อรุณรัตน์ ร่วมจิตร นกเขา สุเชษฐ์ณัฐ จันทนาสิริบุรุษย์ ศศิตรา เจริญศิริ และ ณิชาติ ศุภสุวรรณ	67
QA-86	ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้สารสกัดใบชะมวงต่อเชื้อรา <i>Phytophthora palmivora</i> และ <i>Colletotrichum</i> sp. สาเหตุโรครุ่ยเหียน เสาววิภา ภักดีประทุม นิชาภา วิมลวงษ์ อุษา สุชาชา สิริจันทร์รัมย์ ภักดีพรหมมา และ พรประภา คงประยูร	77
QA-104	การเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรในอำเภอชนอม จังหวัดนครราชสีมา ณัฐรัตน์ บุญวัฒน์ สุวัฒน์ วิจิตร และ ปรัชญา ศิษย์ทอง	85
QA-107	ผลของมูลไก่อัคนีเคลือบด้วยโคโรนาโพลีเอทิลีนต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน ณัฐรัตน์ ศุภกิจ งามไฉนวิเศษย์ วัชรวิบูลย์ และ สุชาติ ศาสตร์	92
QA-119	การส่งเสริมการผลิตเงาะให้ได้คุณภาพแก่เกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี พิชญ์พงศ์ พิศารินทร์ สุวัฒน์ วิจิตร และ ศุภชานู สุวารุณย์	99
กลุ่ม E : Engineering (ด้านวิศวกรรมศาสตร์)		
OE-14	การออกแบบถังบำบัดน้ำเสียบำบัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่ผลิตสัณฐานทางกลของเมล็ดน้ำดื่ม ศุภณัฐ และ อังกรวิเศษ วร กาศาสี และ ปิยัญญา แครวโมลีรักษ์	108
OE-37	ผลของการออกแบบแบบขนานและสกรูช่วยออกแบบห้องสมบัติทางเคมีกายภาพและอนุธาตุนิวเคลียร์ของเตาปฏิกรณ์ อิชชาภา พุทธิ และ ศาสดี ไชยวัฒนกุล และ อังกรณิศา เกษสิทธิ์ นม สุพรรณ	117
OE-53	การออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตัวเบี่ยงปรับตัวสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส สุทธิณี ว่างลงเนิน สุพรรณวงค์ยศ เกศพร อารีวิภา และ สุชาติ ศาสตร์	127
OE-62	การประเมินประสิทธิภาพและอัตราการเสื่อมสภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น ศุภกิตติ มัทธัญฉิมวรา และ วรวิไล บุญประยูร	136
OE-87	การตรวจจับและจำแนกประเภทความผิดปกติในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ AdaBoost เปรียบเทียบกับ Gradient Boosting ณัฐภาณี อึ้งอึ้ง และ วรวิไล บุญประยูร	147
OE-92	การบริหารจัดการพลังงานด้วยระบบควบคุมสภาพอากาศอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกสตรอว์เบอร์รี่ สรวุฒ ศรวงค์ศรี ชวโรจน์ ใจฉิม อัครินทร์ อิศานนิวัฒน์ อังชัย เมธีบุณย สุภาวิญญู พุทธิรักษา และสุภัทณา มงคล	158
OE-110	การศึกษารูปแบบของอุปกรณ์หนีบจับทุเรียนและเวลาการทำงานเพื่อใช้ร่วมกับแขนกลบรรจุทุเรียนลงกล่อง สรวุฒ อึ้งอึ้ง และ ปิยัญญา แครวโมลีรักษ์	168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาารูปแบบของอุปกรณ์หยิบจับทุเรียนและเวลาการทำงานเพื่อใช้ร่วมกับแขนกลบรรจุทุเรียนลงกล่อง
The study of the picking durian machine and its duration when using with
the mechanical arm for packing durians into the box

ศราวุฒิ ปันศึก¹ และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์²
Sorawut Punseen¹ and Panya Daungwilaikul²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 17109 กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

²Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

^{*}Corresponding author: Sorawut Punseen, e-mail: address: pa40619999@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในทางวิศวกรรมการผลิต ทั้งยังช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้า และบริการภายในโรงงาน หรือสถานประกอบการให้เป็นไปอย่างราบรื่น เพื่อตรงแม่นยำ รวมถึงการลดขั้นตอนและเพิ่มความรวดเร็วของกระบวนการผลิต ซ้ำลดต้นทุนของผู้ประกอบการ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้สร้างกริปเปอร์หยิบจับทุเรียนและวิจัยการบรรจุทุเรียนลงกล่องด้วยความเร็วต่างๆ โดยได้มีการบรรจุทุเรียน 2 แบบ คือการบรรจุโดยไม่ใช้การหน่วงของปล่อยทุเรียนที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที การบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียนเป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็วเคลื่อนที่ 100 200 300 400 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ขณะปล่อยทุเรียนเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการวางทุเรียน กำหนดความคลาดเคลื่อนการวางทุเรียนจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน 5 มิลลิเมตร เพื่อหาความเร็วเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่ากริปเปอร์โดยไม่ใช้การหน่วงเวลา ใช้ความเร็วได้สูงสุดที่ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการบรรจุโดยใช้การหน่วงเวลาขณะปล่อยทุเรียน เป็นเวลา 1 วินาที ใช้ความเร็วได้สูงสุดที่ 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: กริปเปอร์, หุ่นยนต์, ทุเรียน, การหน่วง

Abstract

Nowadays, robots plays an important role in reformation of manufacturing system, In addition, it helps manufacturing product process development and industry or organization services to be smoothly, precisely and accurately also reduce manufacturing process and expedite manufacturing. In addition, it helps entrepreneur reduce cost to receive efficient product. In the study created gripper for gripping durians and the study was researching about containing durians into the box with various of speed. There are 2 types of containing durians. Firstly, durians were contained without delay at 100/200/300 and 400 mm/second .Secondly, durians were contained with delay during durians were released by using movement speed at 100 200 300 400 500 600 800 and 1000 mm/second during durians were released to compare discrepancy of position that durians were placed, determined discrepancy of position that durians were placed on original position didn't exceed 5 mm. to search for appropriate speed of movement. The experiment showed that durians were contained without delay using speed maximum at 300 mm/second and durians were contained with delay during durians were released by using movement speed maximum at 1000 mm/second which is the most appropriate speed.

Keywords: gripper, robot, durian, delay



1. บทนำ

“ทุเรียน”เป็นผลไม้ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีเปลือกหนา หนามแหลม มีกลิ่นที่โดดเด่น มีรสชาติอร่อย เป็นที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป และเป็นผลไม้เศรษฐกิจ ที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย โดยในปี 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 837,290 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 1,283,593 ตัน เทียบกับปี 2563 มีพื้นที่ปลูกอยู่ที่ 791,165 ไร่ ผลผลิตทุเรียนใช้บริโภคภายในประเทศร้อยละ 40 และส่งออกร้อยละ 60 ตลาดต่างประเทศที่สำคัญคือ จีน ไต้หวันฮ่องกง และอินโดนีเซีย มูลค่าการส่งออกทุเรียนของไทยในปี ตลอด 2 ปีที่ผ่านมา คือ 6,200,730 และ 12,400 ล้านบาท สำหรับทุเรียนไทยมีความต้องการของตลาดจีนเพิ่มขึ้น ทำให้การส่งออกทุเรียนในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี 2559-2563) มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 14.62 ต่อปี และมูลค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 34.31 ต่อปี(1) ปัญหาสำคัญของการผลิตทุเรียน นอกจากปัญหาทางด้านเกษตรกร และการบำรุงรักษาต้นทุเรียน แล้ว ยังมีปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าของทุเรียนคือ คุณภาพผลผลิต และราคา(2)

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้งานในวงการอุตสาหกรรมการผลิต ได้ถูกนำมาใช้แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง งานที่ต้องทำซ้ำ ๆ กับตลอดเวลา งานที่เป็นอันตราย งานที่หนักและยากเกินที่มนุษย์จะทำได้ ซึ่งแขนกลประกอบด้วยประกอบคือ ฐาน หุ่นจีนที่เป็นของแขนกล ข้อต่อจุดหมุน-ปลายของแขน โดยแบ่งแขนกลออกเป็น 4 ประเภท 1.แขนกล Articulate นำมาใช้คล้ายแขนของมนุษย์ นิยมใช้ในงานเชื่อมประกอบชิ้นงาน และจัดวางสินค้า 2.แขนกล SCARA เหมาะสำหรับงานประกอบชิ้นส่วนและบรรจุภัณฑ์ 3. แขนกล Cartesian นิยมใช้ในเครื่อง CNC เครื่องพิมพ์ 3D และงานง่าย ๆ อย่างเช่นเครื่องเจาะ เป็นต้น 4.แขนกล เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมของอาหารหรือการผลิตที่มีชิ้นงานวิ่งตามสายพาน(3) งานวิจัยในปัจจุบันมีการพัฒนากริปเปอร์บริเวณปลายแขนกลอย่างต่อเนื่องเพื่อประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภท(4) เช่น การลอกแบบและการวิเคราะห์กริปเปอร์แบบปรับความแข็งได้(5) แนวทางการออกแบบสำหรับกริปเปอร์แบบอ่อนสำหรับงานหนัก(6) กริปเปอร์หุ่นยนต์แบบ 2 นิ้วหนักจับหลายจุดเชื่อมต่อ(7) การพัฒนาแขนกลสามารถเพิ่มเทคโนโลยีและพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยด้านการมองเห็นเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรด้วยงานวิจัย การพัฒนาและประเมินภาวการณ์ของหุ่นยนต์เก็บผลเบอร์รี่ด้วยกริปเปอร์ที่จับเคลื่อนด้วยสายเคเบิล มีการใช้กล้อง RGB-D เพื่อช่วยในขั้นตอนเก็บเกี่ยว พบว่าเกิดความสำเร็จของการเก็บเกี่ยว 96.8 เปอร์เซ็นต์ (8)

ผลไม้สดทุกชนิดสามารถคงความสดอยู่ได้ไม่เกิน 20 วัน ดังนั้นต้องใช้การขนส่งที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด โดยการขนส่งหลัก ๆ แบ่งออกเป็น 1.การขนส่งทางบก ระยะเวลารวดเร็วจึงส่งวางตลาดเคลื่อนได้ เหมาะกับการขนส่งสินค้าในระยะทางสั้น 2.การขนส่งทางอากาศ มีค่าขนส่งที่สูงกว่าการขนส่งประเภทอื่น ๆ สะดวกและปลอดภัย เหมาะกับการขนส่งสินค้าประเภทที่สูญเสียง่าย เช่น ผัก ผลไม้ ดอกไม้และสินค้าใช้จ้ำยที่สุกกว่าการขนส่งทางอื่น 3.การขนส่งทางน้ำ สามารถขนส่งได้ปริมาณมากเป็นสินค้าที่หนักแก่การเสียหาย มีอัตราค่าขนส่งถูกกว่าการขนส่งประเภทอื่น สามารถส่งได้ระยะไกล แต่การจัดส่งจะใช้เวลานาน ดังนั้นการขนส่งผลไม้สดทางทะเลจากประเทศไทย ส่วนใหญ่จึงมักจะมีการตั้งตู้คอนเทนเนอร์ที่เป็นบวก ตั้งแต่ 2-15 องศาเซลเซียสและเนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีการคายความร้อนสูง การจัดการทุเรียนในตู้สินค้าที่เย็นเกินไปจึงจำเป็นต้องมีการเปิดช่องระบายอากาศ (Ventilator) รวมทั้งตั้งตู้คอนเทนเนอร์ที่ 13-15 องศาเซลเซียส และตั้งค่า Ventilator Mode ไว้ที่ประมาณ 15 – 20 เปอร์เซ็นต์(9) เพื่อระบายความร้อน จากภายในตู้ภายนอกเพื่อรักษาความสดของทุเรียน

ในปัจจุบันการบรรจุทุเรียนใส่กล่องใช้แรงงานคนในการบรรจุ สำหรับทุเรียนส่งออกใช้ทุเรียนเฉพาะเกรด A และ B เท่านั้น โดยแรงงานคนบรรจุทุเรียนลงกล่องทีละลูก กล่องทุเรียน 1 กล่องบรรจุได้ 5-6 ลูก น้ำหนักสำหรับส่งออกต่อกล่องไม่เกิน 18.5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบรรจุเฉลี่ย 90 วินาทีต่อกล่อง ผู้ประกอบการต้องกรลดต้นทุนด้านแรงงานและเวลาในการส่งออก งานวิจัยนี้จึงสร้างกริปเปอร์หยิบจับทุเรียน ทดสอบแรงในการจับที่ก่อให้เกิดทุเรียนเสียหายน้อยที่สุด ทดสอบการบรรจุทุเรียนโดยใช้กริปเปอร์และไม้พวงขณะปล่อยทุเรียนพร้อมจับเวลา เพื่อเลือกความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการบรรจุทุเรียนใส่กล่องสำหรับทดแทนการใช้แรงงานคนในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์การทดลอง การทดลองนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์การทดลอง ดังนี้

แขนกล ABB 4600 แขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน รองรับน้ำหนักได้สูงสุด 40 กิโลกรัม ระยะยืดไกลสูงสุด 2.05 เมตร [10] แสดงดัง figure 1 แขนกลเคลื่อนที่ 6 แกน เคลื่อนที่โดยการเขียนโปรแกรมเคลื่อนที่อัตโนมัติและ ควบคุมด้วยมือ สามารถควบคุมความเร็ว ในการเคลื่อนที่ ระยะห่างของวัตถุ เชื่อมอุปกรณ์ หรือตัดแปลงอุปกรณ์ที่ปลายแขนกลสำหรับหยิบจับสิ่งของได้

Figure 1 ABB IRB 4600-45/60

2.2 กริปเปอร์เป็นจับเพื่อยึด ทำจากเหล็ก SS400 ขนาด 3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ติดตั้งพร้อมกระบอกสูบลมนิวแมติกส์ ระยะชักกระบอกยาว 25 มิลลิเมตร (Figure 2)



Figure 2 gripper and pneumatic cylinder

ชุดควบคุมระบบที่ทางทีม แสดงดัง Figure 3



Figure 3 Pneumatic Directional Control Valve

2.1.4. สายพานลำเลียงทุเรียน และทุเรียนเกรด B น้ำหนัก 3-4 กิโลกรัม แสดงดัง figure 4



Figure 4 Conveyor Belt and durians grade B

2.1.5. กล่องสี่เหลี่ยมบรรจุทุเรียน ขนาดมาตรฐานสำหรับส่งออก 35.3 x 45.3 x 25.5 เซนติเมตร แสดงดัง figure 5



Figure 5 packaging boxes

2.2 ขั้นตอนการสร้างกริปเปอร์

Figure 6 ในตอนออกแบบกริปเปอร์จากการทดลองออกแบบพบจำ ผลของทุเรียนมีเปลือกหนา มีหนามแหลมแข็ง เป็นรูปปริมาตรกลม [11] ทรงของทุเรียนมีหลายรูปแบบจึงได้ออกแบบโฟมกริปเปอร์สามารถรับน้ำหนักของทุเรียนได้มากที่สุด และสามารถให้หนามของทุเรียนเข้าไปภายในร่องกริปเปอร์โดยส่วนที่สัมผัสกับกริปเปอร์ไม่เกิดการเสียหาย กริปเปอร์หนีบจับต้องมีลักษณะโค้งคล้ายรูปมีด [12] แสดงดัง Figure 6

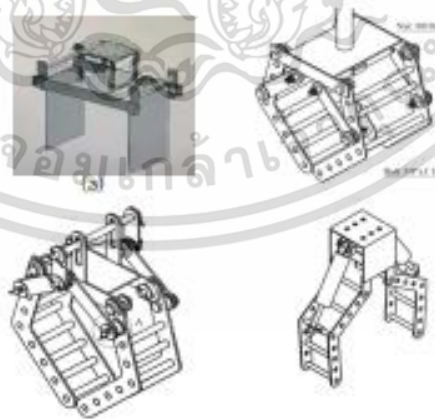


Figure 6 The gripper design process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 8

The 8th National Conference on Informatics, Agriculture, Management,
Business Administration, Engineering, Science and Technology



การออกแบบครั้งที่ 1

Figure 6 (a) กริปเปอร์หนีบจับทุเรียนมีช่วงสัมผัสผิวทุเรียนที่มีความเรียบ ไม่เหมาะสมเนื่องจากทุเรียนมีความโค้งและเปลือกทุเรียนไม่สม่ำเสมอตลอดผล เมื่อทำการทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าทุเรียนหลุดออกจากกริปเปอร์ การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าลักษณะกริปเปอร์ที่เหมาะสมสำหรับหนีบจับทุเรียนควรจะมีรูปทรงโค้ง

การออกแบบครั้งที่ 2

Figure 6 (b) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียนดี แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เนื่องจากเมื่อกระบอกสูบนิวเมติกดันแกนกลางที่ทำหน้าที่อย่างกริปเปอร์ออก กริปเปอร์ชนและบีบทุเรียนในแนวตั้ง ทำให้เหลือพื้นที่สำหรับทุเรียนน้อยสามารถจับได้เฉพาะทุเรียนผลเล็ก การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่าการปรับให้มีพื้นที่สำหรับทุเรียนเพียงพอโดยการออกแบบควรมีความโค้งของกริปเปอร์มากขึ้นและตัวคั่นกริปเปอร์ที่ต่อมาจากกระบอกสูบนิวเมติกควรวางอยู่ข้างนอกไม่ใช่อ้างในกริปเปอร์

การออกแบบครั้งที่ 3

Figure 6 (c) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียน แต่ลักษณะจุดเชื่อมต่อ 3 แกนตรงกลางของกริปเปอร์ที่ทำหน้าที่ดึงและดันกริปเปอร์ที่ (ตำแหน่ง A) ทำให้ไม่มีแรงในการหนีบจับทุเรียน [13] การออกแบบครั้งนี้ทำให้ทราบว่ากริปเปอร์ต้องมีการดึงและดันกริปเปอร์ที่ จะส่งผลดึงและดันกริปเปอร์ควรใช้แรงจากกระบอกสูบในการดึงและดันกริปเปอร์โดยตรง

การออกแบบครั้งที่ 4

Figure 6 (d) กริปเปอร์โค้งรับกับผลทุเรียน มีพื้นที่สำหรับทุเรียนสามารถหนีบจับทุเรียนรูปทรงโค้งได้เป็นอย่างดี การหนีบจับใช้การดึงและดันจากกระบอกสูบนิวเมติกโดยตรงพร้อมสวิตช์ความปลอดภัยที่ปรับระดับได้เพื่อปรับระดับแรงที่ใช้ในการหนีบจับทุเรียน

2.3 วิธีการทดลอง

การทดสอบในการบรรจุทุเรียนใช้แรงหนีบทุเรียนจากแรงลมที่ดันกระบอกสูบลูกปืนในกระบอกสูบนิวเมติกส์ การหนีบจับทุเรียนจะต้องมีแรงที่ไม่ทำให้ผิวทุเรียนเสียหาย โดยทำการปรับค่าความดันลมที่เข้าในกระบอกสูบที่ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 เมกะปาสคาล พบว่าที่ ความดันลม 0.2 เมกะปาสคาล ผิวทุเรียนมีรอยฉีกหรือการหนีบ ใช้ความดันลม 0.15 เมกะปาสคาล หนีบจับและปล่อยทุเรียนตลอดการทดลองเนื่องจากแรงมากกว่า 0.1 และ 0.05 เมกะปาสคาล ส่งผลให้การหนีบและอ้างใช้เวลาน้อยที่สุด

ทำการหนีบทุเรียนจำนวน 4 ลูก จากสายพานลำเลียงทุเรียน วางในตำแหน่งที่ 1 2 3 และ 4 ที่ละลูก โดยปล่อยทุเรียนขณะทุเรียนอยู่สูงจากถังกอง 1/2 ของถกอง กำหนดหัวทางรถเคลื่อนที่ของเซนเซอร์วงล้อทุเรียนตำแหน่งที่ 1 2 3 และ 4 เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยการเขียนโปรแกรม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำหน้าที่เมนูหน้า flexpendent ทำการเลือก program editor เลือก module เลือก newmodule
2. ทำการกรอกร่างชื่อ module ขึ้นมา แล้วกดปุ่ม ok
3. ทำการเคลื่อนที่ แกนกลไปยังตำแหน่งที่อยู่เหนือทุเรียนลูกที่ 1 บนสายพานลำเลียง กด add instruction เลือกคำสั่ง move l และดูจุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
4. ทำการเคลื่อนที่ไปยังทุเรียน เลือก add instruction เลือกคำสั่ง move l และดู จุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
5. กด add instruction ทำการเลือกคำสั่ง set local ปุ่มนี้เป็นปุ่มที่ทำการหนีบทุเรียน จะแสดงจุดคำสั่งขึ้นดังนี้ set local _IO_0_DO3;
6. เลือก คำสั่ง Wait Time เพื่อทำการหน่วงเวลาขณะจับ จะแสดงคำสั่ง waittime 2; ขึ้นที่หน้าจอ
7. ทำการเคลื่อนที่แกนกลไปยัง ตำแหน่งเหนือถกองทุเรียน เลือก add instruction เลือกคำสั่ง move l และดู จุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
8. เคลื่อนแกนกลลง ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวาง เลือกคำสั่ง move l และดู จุดคำสั่งที่เลือกขึ้นดังนี้ move l* , v1000, fine, tool0;
9. เลือกคำสั่ง Reset จะแสดงจุดคำสั่งขึ้นดังนี้ reset local _IO_0_DO3; คำสั่งนี้จะเป็นการปล่อยทุเรียน
10. กรณีต้องการทำการหน่วงขณะปล่อยให้เลือก คำสั่ง WaitTime เสร็จสิ้นการบรรจุทุเรียนตำแหน่งที่ 1
11. ทำการเขียนโปรแกรมการบรรจุทุเรียนลูกที่ 2 ,3 และ 4 ดังวิธีการข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.เมื่อเขียนโปรแกรมครบทั้ง 4 ลูก ทำการเลือกโหมด การเคลื่อนที่เป็นโหมดการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ

13.ทำการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ พร้อมจับเวลา

14.เมื่อวางทุเรียนครบทั้ง 4 ลูก นับเป็น 1 รอบการเคลื่อนที่ ทำซ้ำความเร็วละ 3 รอบ

ปรับค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่แขนกลไปวางทุเรียนเป็น 800 600 500 400 300 200 และ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเข้าไปเปลี่ยนที่ ชุดคำสั่ง move l* , v1000, fine, tool0; เปลี่ยนค่า v1000 เป็น v800 v600 v500 v400 v300 v200 และ v100 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

การหารูปแบบการบรรจุทุเรียนใส่กล่องที่ความเร็วที่เหมาะสม โดยการวางทุเรียนแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การวางทุเรียน โดยไม่มีการหน่วงเวลาขณะวางทุเรียน และวางลูกทุเรียนโดยมีการหน่วงเวลาเป็นระยะเวลา 1 วินาที กำหนดความคลาดเคลื่อนการวางทุเรียนจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

3.1 ขั้นตอนการทดสอบหาความดันที่เหมาะสม

Table 1 แสดงการทดสอบหาความดันที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ดันกริปเปอร์หนีบจับทุเรียน โดยความดันลมมากจะส่งผลให้ใช้เวลานานกว่ากริปเปอร์และอาจออกนอกระยะ และดันกริปเปอร์หนีบจับผลทุเรียนต้องไม่เกิดความเสียหาย ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ความดันลม 0.05-0.1 และ 0.15 เมกะปาสกาล ดันกริปเปอร์หนีบทุเรียนจำนวน 3 ครั้ง ไม่มีรอยเกิดขึ้นที่เปลือกทุเรียน หลังจากเพิ่มค่าความดันเป็น 0.2 เมกะปาสกาล ดันกริปเปอร์หนีบทุเรียนจำนวน 3 ครั้ง มีรอยเกิดขึ้นบริเวณผิวทุเรียนที่สัมผัสกับกริปเปอร์ หนามมีรอยขีดและหัก ดังนั้นความดันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหนีบจับทุเรียนคือ 0.15 เมกะปาสกาล

Table 1 Experiment at different pressure

Pressure (MPa)	Experiment		
	The first time	The second time	The third time
0.05	normal	normal	normal
0.1	normal	normal	normal
0.15	normal	normal	normal
0.2	abnormal	abnormal	abnormal

3.2 ขั้นตอนการทดสอบหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์

การหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหน่วง

Figure 7 แสดงผลการหนีบจับทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 100 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดลองใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 220 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.33 2.67 1.33 และ 2.33 มิลลิเมตร ทำการทดลองด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่แขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 118 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3 3 2 และ 2.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 84 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 3.66 4.33 2.66 และ 3.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อใช้ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 65 วินาที ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 7 5.66 4 และ 5.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดลองทั้งหมด 4 ค่าความเร็วพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แขนกลเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบ ลดลงแต่ค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็ว 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ทุเรียนลูกที่ 1 2 และ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนระยะห่างทุเรียนจากจุดเริ่มต้นเกินขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่แขนกลเพื่อทำการหนีบจับทุเรียนด้วยกริปเปอร์โดยไม่ใช้การหน่วงคือ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

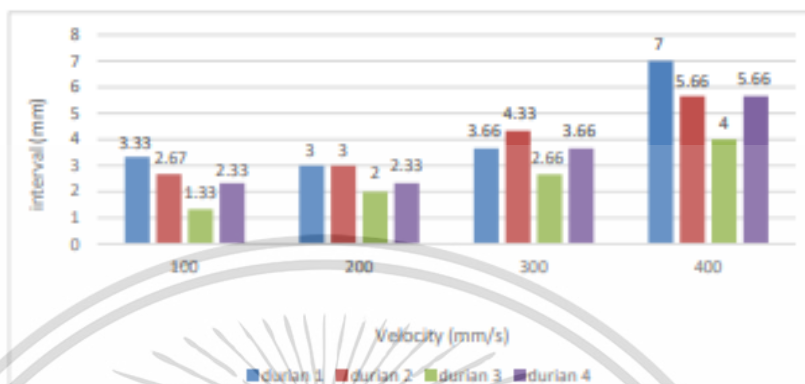


Figure 7 Durians containing in the speed range 100-400 mm/s without delay while releasing .

การหนีจันทุเรียนโดยใช้การพ่วงหนะปล่อย

Figure 8 แสดงผลการหนีจันทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 100-200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 100 มิลลิเมตร ต่อ วินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 224 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0 0.33 0 และ 0.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 122 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 0.33 0.33 0.33 และ 0.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 88 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 0.33 และ 0.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำการเพิ่มความเร็วเป็น 400 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 69 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1 1 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ

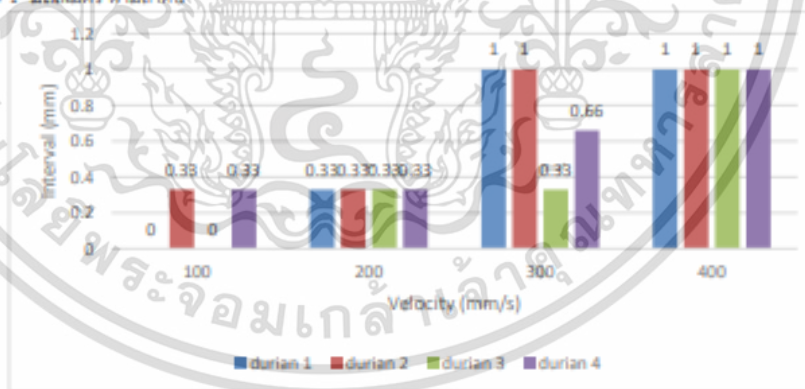


Figure 8 Durians containing in the speed range 100-400 mm/s with delay while releasing .

Figure 9 แสดงผลการหนีจันทุเรียนโดยกริปเปอร์ที่ความเร็ว 500 600 800 และ 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยกำหนดระยะห่างทุเรียนเฉลี่ยจากจุดเริ่มต้น ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เริ่มต้นการทดสอบใช้ความเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อวินาที วางทุเรียน 4 ลูก ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ พบว่าใช้เวลาแต่ละรอบ 59 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 มีค่าระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1.33 1 และ 1.33 มิลลิเมตร ทำการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกันโดยเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนแขนกล เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 600 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 53 วินาที ทุเรียนลูกที่ 1-2-3 และ 4 ระยะห่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1 1.66 1 และ 1.66 มิลลิเมตร ตามลำดับ ฟังก์ชันเพิ่มความเร็วเป็น 800 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 44 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.33 2 1.66 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ฟังก์ชันเพิ่มความเร็วเป็น 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลาแต่ละรอบ 39 วินาที ทูเรียนลูกที่ 1 2 3 และ 4 มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นเฉลี่ยคือ 1.66 2.33 2 และ 1.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเร็ว 1000 มิลลิเมตร เป็นความเร็วสูงสุดในการใช้งานภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัย

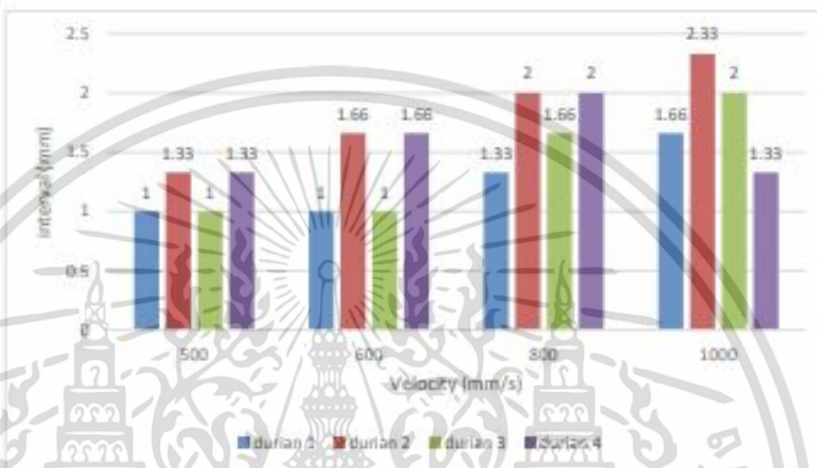


Figure 9 Durians containing in the speed range 500-1000 mm/s with delay while releasing.

3.3 ลักษณะความเสียหายของหนามทุเรียน

Figure 10 แสดงลักษณะหนามของทุเรียนหลังจากทำการหนีบจับด้วยกริปเปอร์และวางใบกล้วยบรรจุทุเรียน พบว่าหนามของทุเรียนบางตัวหนามเกิดการบิดงอเพียงเล็กน้อยสาเหตุเกิดจากตำแหน่งจับกับกริปเปอร์ขณะทำการหนีบทุเรียน และรอยบางตัวหนามเกิดการกระชากเส้นของทุเรียนภายในช่อง โดยความเสียหายสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มวัสดุที่มีความยืดหยุ่นบริเวณหัวกริปเปอร์และเพิ่มน้ำหนักแกนกลไกการวางกระดาษค้ำระหว่างอกทุเรียนได้



Figure 10 Durian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุป

การทดสอบใบการบรรจุเรียนเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดเวลาในขั้นตอนกระบวนการส่งออกทุเรียน ขั้นตอนการบรรจุทุเรียนจึงต้องใช้เวลาน้อยที่สุดและต้องมีความแม่นยำ งานวิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างกริปเปอร์ที่มีโครงสร้างสอดคล้องกับรูปทรงของทุเรียนเพื่อใช้ในการหนีบจับ ทดสอบหาความดันลมที่เหมาะสมสำหรับการดันกริปเปอร์หนีบจับทุเรียน พบว่า 0.15 เมกะปาสคาล เป็นความดันลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้หนีบจับทุเรียน ใช้ค่าความดันลม 0.15 เมกะปาสคาล ทดสอบการบรรจุทุเรียน โดยงานวิจัยกำหนดค่าระยะห่างของการวางทุเรียนจากจุดเริ่มต้นของทุเรียนแต่ละลูกไม่เกิน 5 มิลลิเมตร พบว่าการหนีบจับทุเรียนโดยไม่ใช้การหน่วงขณะปล่อยไ้ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อวินาที และการหนีบจับทุเรียนโดยใช้การหน่วงขณะปล่อยใช้ความเร็ว 1,000 มิลลิเมตรต่อวินาที ภัยความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุทุเรียนใส่กล่อง ในอนาคตจะมีการเพิ่มวัสดุที่ตัวหนีบเพื่อลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับผิวทุเรียน เพิ่มการใส่กระดาษระหว่างทุเรียนโดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ได้จากงานวิจัยนี้ในการพัฒนาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้สถานที่และอุปกรณ์การทดลองในการทำวิจัย ขอขอบคุณนายณัฐพล บัวคำ และนายเชาวลิต แซงู มีช่วยเหลือในการสร้างกริปเปอร์



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทูเวียน ราชานนท์ผลไม่ไทย ถูกใจคนต่างแดน- กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก กองนโยบายการสร้างความเข้มแข็งทางการค้า สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. มิถุนายน 2563 เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ http://www.tpsa.moc.go.th/sites/default/files/thueniyn_240863.pdf
- [2] ทูเวียนเป็นไม้ผลที่ให้ผลที่มีลักษณะแปลก . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://kuar.lib.ku.ac.th>
- [3] หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot Type) .Article-Solid, ARTICLES. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.applicadthai.com/articles-industrial-robot-type/>
- [4] Oliver Jorga, Gualtero Fantonia. 2021. Fast development cycle for the design of industrial grippers. Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 56122 Pisa Mechanical Engineering Department, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- [5] Daniel Cardin-Catalan a, Simon Ceppetelli b, Angel P. del Pobol a,c, Antonio Morales. 2022. Design and analysis of a variable-stiffness robotic gripper. Alexandria University.
- [6] Alexander Müllera, Muhammed Aydemir, Ame Glodde, Franz Dietricha. 2020. Technical University Berlin, Institute for Machine Tools and Factory Management, Chair of Handling and Assembly Technology, Pascalstrasse 8-9, 10587 Berlin, German
- [7] Maxwell Samuels, Lu Lu, and Cong Wang. 2022. Two-finger Multi-DOF Folding Robot Grippers. Industrial Design, Mechanical Engineering, and Electrical and Computer Engineering at New Jersey Institute of Technology, 323 Martin Luther King Blvd, Newark, NJ 07102, USA.
- [8] Ya-Xiong, Cheng Peng, Lars Grimstada, Pål Johan Froma, Volkan Islerb. 2019. Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. Computers and Electronics in Agriculture.
- [9] ชีระเดช วัณใจ 2562. เคสดี (ไม่) สืบ : ล่วงออกทูเวียนอย่างไรให้คงจนขึ้นปลายพวง. เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ <https://logisticsmanager.com/th/how-to-deliver-durian/>
- [10] ABB articulated robot. Specifications | Articulated robot - IRB 4600-45/60 2.05 เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ pneu-hyd.co.th
- [11] ผลิตภัณฑ์ทูเวียน - ศูนย์บริการเพื่อส่งเสริมการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2547. ทูเวียน. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 13/2547.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [12] A. Popic, B. Miloradovic, S. Popic, S. Spasojevic, B. Karan. Development to modular compliant hopomorphic robot hand, In: Mechanisms and Machine Science, vol. 16, Springer, Cham, 2014, pp. 205–219. doi:10.1007/978-3-319-01592-7_15
- [13] R. Maribon-Martín, M.A. Lee, R. Gardner, S. Savarese, J. Bohg, A. Garg. Variable impedance control in end-effector space: An action space for reinforcement learning in contact-rich tasks (2019). arXiv:1906.08880.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสรุทธิ ปันศีล

วัน เดือน ปีเกิด 13 พฤษภาคม พ.ศ.2542 จังหวัดชุมพร

ที่อยู่ 208/31 หมู่ 11 ตำบลบางหมาก อำเภอเมืองชุมพร จังหวัดชุมพร
86000 โทร 0-936-846-127

ประวัติการศึกษา 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
จังหวัดชุมพร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้