

การพัฒนาแผนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**DEVELOPMENT OF A MANIPULATOR FOR
AUTOMATIC PARA-RUBBER TAPPING**



Yongyuth Sengdang

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Agricultural and Food Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การพัฒนาแผนกลสำหรับการกริถยงพารออัตโนมัติ

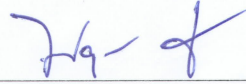
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)

ประธานกรรมการ



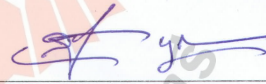
(ผศ. ดร.พวงศักดิ์ จุลยุเสณ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



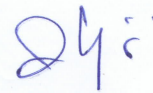
(รศ. ดร.พิพัฒน์ อมตฉายา)

กรรมการ



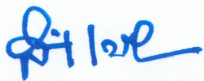
(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



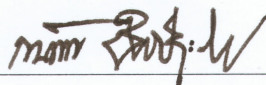
(อ. ดร.พรรษา ลิปลับ)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
และพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ขงยุทธ์ เสียงคัง : การพัฒนาแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ

(DEVELOPMENT OF A MANIPULATOR FOR AUTOMATIC PARA-RUBBER

TAPPING) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสณ, 112 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ ในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทั้งทางคิเนเมติกส์และทางไดนามิกส์โดยการขึ้นรูปตัวขั้วรับเร้าเชิงเส้นทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รอยกริดที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพันรอบต้นยางพาราจากด้านล่างขวามือขึ้นสู่ด้านบนซ้าย ถูกสร้างให้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ ในการทดสอบสมรรถนะจริงแขนกลถูกสร้างจากตัวขั้วรับเร้าเชิงเส้นสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน ตัวขั้วรับเร้าเชิงเส้นของแกน X' จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน ประกอบอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นยางพารา ส่วนตัวขั้วรับเร้าเชิงเส้นของแกน Z จะวางในแนวนอน ต้นก้านจะใช้ดีซีมอเตอร์ถูกควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ที่รับสัญญาณตำแหน่งจากเอ็นโค้ดเดอร์ ชุดมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน Z เส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนเลือกมาจากสมการการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ และใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า เมื่อดันยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีดยาง 30 องศา แขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดของต้นยางพาราได้ แต่การจำลองทางไดนามิกส์ มีค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนไม่เกิน 0.5 mm เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม จากการทดสอบสมรรถนะ โดยให้แขนกลเคลื่อนที่ตามรอยกริดบนต้นยางจำลองและต้นยางจริง พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการเส้นตรงและสมการครึ่งวงกลมเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง การทดสอบกับต้นยางจำลอง เส้นทางการเคลื่อนที่จริงผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการสูงสุดในแนวแกน X' และ Z เท่ากับ 16.39 mm และ 21.85 mm ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์เหมาะสมส่งผลทำให้ค่าผิดพลาดในแนวแกน X' และ Z ลดลงเหลือ 0.001 mm และ 1.48 mm ตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

YONGYUTH SENGDANG : DEVELOPMENT OF A MANIPULATOR
FOR AUTOMATIC PARA-RUBBER TAPPING. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. PAYUNGSAK JUNYUSEN, Ph.D., 112 PP.

PARA-RUBBER TAPPING/ MANIPULATOR/TRAJECTORY

The aims of this study were to fabricate and test a manipulator for automatic para-rubber tapping. In simulation study, the manipulator was designed using both kinematic and dynamic models of three linear actuators. Tapping path was designed to move upward from the right bottom end to the left top end of the para-rubber tree. In experimental study, the manipulator was fabricated from two linear actuators. The x'-axis linear actuator had 30° and was assembled on the top of the tree-grabbing device, while the z-axis linear actuator was in the horizontal. Direct current motors were used as the power source. These DC motors were controlled by computer, which received signals from the encoders. At the end of z-axis was equipped with tapping knife. Trajectories in each axis of the manipulator were selected from designed motion equations. A feedback controller was employed in order to compensate the positional errors. The simulation results showed that when the para-rubber tree was assumed as a cylindrical model and had a tapping angle of 30° , the manipulator could follow the designed trajectory. However, in the simulation study using the dynamic model with PID controller, less than 0.5 mm of the positional error in each axis was found. The performance tests were conducted under the cylindrical model and real para-rubber trees. The tapping path, which was designed by linear and semi-circle equations, were the suitable tapping path. The experimental results under the cylindrical model showed that the maximum positional errors from the desired

trajectories in X' and Z axes were 16.39 mm and 21.85 mm, respectively. However, when the appropriate feedback gains of PID controller were employed, these errors were reduced to 0.001 mm and 1.48 mm, respectively.



School of Agricultural Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature Eggs/5

Advisor's Signature Jh-f

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จล่วงด้วยดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เกิดขึ้นไม่ได้หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลต่าง ๆ ดังรายละเอียดด้านล่าง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ตลอดจนกำลังใจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปสภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ที่ เพื่อนและน้อง ๆ ทั้งที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

คุณพ่ออุทิศ เสียงดั่ง และคุณแม่वासณี เสียงดั่ง

สุดท้ายที่ขาดไม่ได้คือ คุณเด่นดวง เสียงดั่ง เด็กหญิงกุลธิดา เสียงดั่ง และเด็กชายกุลวิษา เสียงดั่ง ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาตลอด

ยงยุทธ เสียงดั่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ยางพารา.....	5
2.1.1 การผลิตและการใช้ยางพารา.....	5
2.1.2 พื้นที่ปลูกยางพารา.....	8
2.1.3 ส่วนประกอบของลำต้นยางพารา.....	8
2.1.4 การกรีดยางพารา.....	10
2.2 การวางแผนการเคลื่อนที่.....	13
2.3 แขนกล.....	16
2.3.1 พื้นฐานของแขนกล.....	16
2.3.2 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์.....	17
2.4 การควบคุมอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	18
2.4.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2	การหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีตามวิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์.....	19
3	การศึกษาแบบจำลองของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ.....	21
3.1	บทคัดย่อ.....	21
3.2	บทนำ	21
3.3	วิธีดำเนินการศึกษา.....	22
3.3.1	แบบจำลองของแขนกล.....	22
3.3.2	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล	24
3.3.3	ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับแบบจำลองทางไดนามิกส์.....	28
3.3.4	การจำลองสถานการณ์	29
3.4	ผลการจำลองและการอภิปรายผล.....	34
3.4.1	ผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคิเนเมติกส์	34
3.4.2	ผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์.....	37
3.5	สรุปผลการศึกษา.....	43
3.5.1	แบบจำลองทางคิเนเมติกส์	43
3.5.2	แบบจำลองทางไดนามิกส์.....	44
3.6	รายการอ้างอิง.....	44
4	การทดสอบแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ.....	46
4.1	บทคัดย่อ.....	46
4.2	บทนำ	46
4.3	วิธีดำเนินการศึกษา.....	47
4.3.1	แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ	47
4.3.2	เส้นทางการเคลื่อนที่	50
4.3.3	ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	53
4.3.4	การทดสอบกับต้นยางพารา.....	54
4.4	ผลการทดสอบและการอภิปรายผล.....	56
4.4.1	เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะ.....	65
4.5 สรุปผลการศึกษา.....	71
4.5.1 การทดสอบเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม.....	71
4.5.2 การทดสอบสมรรถนะ.....	71
4.6 รายการอ้างอิง.....	71
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุป.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554	5
2.2	ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554	6
2.3	มาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยาง	11
2.4	ลักษณะการเจริญของลำต้น	11
2.5	ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมตามวิธีการของซีเกลอร์นิโคล	20
3.1	เงื่อนไขของแต่ละแกน	28
3.2	เงื่อนไขในการจำลองสถานการณ์	30
4.1	เงื่อนไขของแต่ละแกนตามสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม	52

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเปลือกและเซลล์ท่อน้ำยาง.....	9
2.2	โครงสร้างส่วนประกอบลำต้นขนาดเล็ก.....	9
2.3	ทิศทางการเรียงของท่อน้ำยาง.....	10
2.4	เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	14
2.5	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบแบ่งจุด.....	15
2.6	เส้นทางหลายทางเลือกสำหรับจุดหนึ่งจุด.....	16
2.7	รูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่.....	17
2.8	ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	19
2.9	การทดสอบระบบด้วยวิธีการของซีเกลอร์นี โคล.....	19
2.10	ลักษณะของผลตอบสนองที่ได้.....	20
3.1	แบบจำลองทางคิเนแมติกส์ของแขนกล.....	23
3.2	การทำรอยเปิดกรีดใหม่บนต้นยางพารา.....	24
3.3	เส้นทางการเคลื่อนที่.....	25
3.4	แบบจำลองของแขนกลและเส้นทางการเคลื่อนที่.....	29
3.5	แผนผังการจำลองสถานการณ์การควบคุมแบบป้อนกลับของแกน X.....	34
3.6	เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่.....	34
3.7	การขจัดของแขนกล.....	35
3.8	ความเร็วของแขนกล.....	36
3.9	ความเร่งของแขนกล.....	37
3.10	การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน X.....	38
3.11	การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน Y.....	39
3.12	การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน Z.....	39
3.13	เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X.....	40
3.14	เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y.....	40
3.15	เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z.....	41

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.16	ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X.....	42
3.17	ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y	42
3.18	ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z	43
4.1	แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ.....	47
4.2	โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล	48
4.3	โปรแกรมควบคุมแขนกล (ซ้าย) Calculate, (ขวา) PID Control	48
4.4	โพรซีจอร์ทกการเคลื่อนที่	49
4.5	ระบบพิกัดฉาก (ซ้าย) ระบบ XYZ, (ขวา) ระบบ ระบบ X'Y'Z.....	50
4.6	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน X'	51
4.7	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน Q.....	52
4.8	ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่.....	53
4.9	แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่ แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม.....	56
4.10	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	57
4.11	แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่ แบบครึ่งวงกลม	58
4.12	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	59
4.13	แกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม	60
4.14	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	60
4.15	แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสามและแกน Z มีเส้นทาง การเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม.....	61
4.16	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	62
4.17	แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมและแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่ แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม.....	62
4.18	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	63
4.19	แกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม.....	64
4.20	เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21	เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการของแขนกล.....65
4.22	เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวจับเร็วเชิงเส้นทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อไม่ใช้ PID.....66
4.23	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อไม่ใช้ PID.....67
4.24	เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวจับเร็วเชิงเส้นทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อใช้ PID68
4.25	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อใช้ PID68
4.26	รอยกรีดบนต้นยางจำลองเมื่อใช้ PID69
4.27	เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจริงเมื่อใช้ PID.....70
4.28	รอยกรีดบนต้นยางจริงเมื่อใช้ PID.....70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลวิชาการของ พารา 2555 ของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร รายงานว่า ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกตั้งแต่ปี 2550-2554 ขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.7 ต่อปี โดยปี 2554 ประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 70.2 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ประกอบด้วย ไทย ร้อยละ 33.5 อินโดนีเซียร้อยละ 27.1 และมาเลเซียร้อยละ 9.6 ประเทศอื่น ๆ ผลิตยางธรรมชาติ ได้น้อยกว่าปีละ 1 ล้านตัน ปริมาณการส่งออกรวม 7.464 ล้านตัน หรือร้อยละ 92 ของปริมาณการ ส่งออกยางธรรมชาติของโลก โดยไทยส่งออกมากที่สุด 2.952 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 36.4 รองลงมา คือ อินโดนีเซีย 2.543 ล้านตัน หรือร้อยละ 31.4 มาเลเซีย 1.228 ล้านตัน หรือร้อยละ 15.2 และ เวียดนาม 0.741 ล้านตัน หรือร้อยละ 9.1 ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดของโลก ศักยภาพการผลิตยางของไทยมีมากกว่าปีละ 3 ล้านตัน โดยระหว่างปี 2550-2554 ปริมาณการ ผลิตยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 3,056,005 ตัน เมื่อปี 2550 เป็น 3,569,033 ตัน เมื่อปี 2554 หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 16.8 พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของโลกปี 2553 มีประมาณ 72.21 ล้านไร่ ร้อยละ 76.4 เป็นพื้นที่ปลูกที่อยู่ในประเทศกลุ่มอาเซียน สภาพสวนยางส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก ใช้แรงงานในครัวเรือนเป็นหลัก อินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดจำนวน 21.53 ล้านไร่ รองลงมาไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของ ประเทศอื่น ๆ ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ซึ่งมีพื้นที่ 15,362 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 22 โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 11,906,882 ไร่ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3,477,303 ไร่ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง 2,509,644 ไร่ และภาคเหนือ 867,402 ไร่รวมทั้งสิ้น 65 จังหวัด จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด คือ จังหวัด สุราษฎร์ธานี 1,921,698 ไร่ พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศ เป็นพื้นที่ที่ยังอายุมากกว่า 6 ปี จำนวน 12,765,636 ไร่ โดยคิดร้อยละ 76 อยู่ในภาคใต้ การส่งออกยางพาราของไทยส่งออกในรูป วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ยาง ไม้ยางพาราแปรรูปและผลิตภัณฑ์ไม้ คิดเป็นมูลค่า 68,942 ล้านบาท สร้าง รายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยางไทยกว่า 4 ล้านครอบครัว ซึ่งเป็นเกษตรกรรายย่อยมากกว่า 6 ล้านคน และเป็นสวนยางรายเล็กถึงร้อยละ 95 ของสวนยางทั่วประเทศ การปลูกยางพารานอกจาก เป็นการสร้างรายได้แก่เกษตรกรชาวสวนยางแล้วยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวช่วยลดซับก๊าซคาร์บอน

ได้ออกไซด์ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ช่วยสร้างความชุ่มชื้น นอกจากนี้เศษซากใบและเศษไม้ยางพารายังเป็นแร่ธาตุหมุนเวียนในพื้นที่ เนื่องจากยางพารามีอายุการให้ผลผลิต 25-30 ปี จึงก่อให้เกิดรายได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกษตรกรชาวสวนยางมีอาชีพและรายได้ที่มั่นคง

หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีดย การชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากมีโอกาสที่คนกรีดยางจะไปขาดเชื้อเจริญที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญและประสบการณ์กรีดยางทำลายชั้นของเยื่อเจริญ หรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้ หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก (สมจิตร, 2536) การสิ้นเปลืองของรอยกรีดยางเนื่องจากมีความหนาในการกรีดยางในแต่ละครั้งมาก ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกยางเร็วเกินไปจากการแนะนำวิธีการกรีดยางที่ถูกต้อง ความลึกของการกรีดยาง การกรีดยางให้น้ำยางมาก ควรกรีดยางให้ใกล้เยื่อเจริญมากที่สุด ซึ่งหากการกรีดยางเหลือส่วนของเปลือกชั้นในสุด 1.3 มิลลิเมตร จะยังคงเหลือวงท่อน้ำยางที่ยังไม่ได้กรีดยางร้อยละ 50 แต่ถ้ากรีดยางลึกบาดเนื้อไม้ จะทำให้น้ำยางเป็นแผล เปลือกงอกใหม่ขรุขระ ไม่สามารถกรีดยางต่อไปได้ การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดยางควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตร หรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีดยาง 150 เซนติเมตรจากระดับพื้นดิน จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน (กรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยยาง, 2555) มีดกรีดยางที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ มีดเกาซ์และมีดเจ๊ะบง แต่มีดที่นิยมใช้กรีดยางหน้าล่างโดยทั่วไปจะใช้มีดเจ๊ะบง จากการตรวจสอบพบว่ายังไม่มีการกำหนดมาตรฐาน ทำให้ผู้ผลิตมีดกรีดยางให้วัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โครงสร้างจุลภาคไม่สม่ำเสมอ ความแข็งต่ำ และการควบคุมกระบวนการชุบแข็งไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการสึกหรอและแตกหักง่าย (สหรัตน์ วงษ์ศรียะและสมนึก วัฒนศรียกุล, 2546) การใช้มีดกรีดยางเจ๊ะบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้คมมีดเลื่อนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา ศราวุธ กรุณามิตร (2545) ได้ศึกษาและออกแบบมีดกรีดยางใหม่ที่มีความเหมาะสม ช่วยลดปริมาณการทำลายเยื่อเจริญและลดการสิ้นเปลืองเปลือกยางได้มากกว่ามีดกรีดยางพาราแบบเดิมจากการทดลองใช้มีดกรีดยางพาราแบบเดิมในคนกรีดยางที่มีประสบการณ์ 1-5 ปี สิ้นเปลืองเปลือก 439.5 มิลลิเมตรต่อปี มีดกรีดยางพาราแบบปรับปรุง 251.4 มิลลิเมตรต่อปี และมีดกรีดยางแบบสร้างใหม่ 236.7 มิลลิเมตรต่อปี และจากการนับจำนวนแผลที่ทำลายเยื่อเจริญเมื่อใช้มีดกรีดยางพาราแบบเดิม 69 แผล มีดกรีดยาง

ขางพาราแบบปรับปรุง 7 แพลต ยงยุทธ์ เสียงคัง (2551) ได้ทำออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกริด ขางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าควบคุมด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติ มีกลไกควบคุมความลึกและความหนาของการกริด สามารถใช้ทดแทนมีดเจียบงได้ แต่ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงคือ ยังต้องใช้คนควบคุมให้เดินตามรอยกริดบนต้นขาง มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม และเกิดการสั่นสะเทือนในขณะที่ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเมื่อยล้า และเนื่องจากเปลือกขางแต่ละต้นมีความหนาไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมความลึกทำได้ลำบาก ปัญหาเหล่านี้สามารถลดทอนลงได้ หากเครื่องกริดต้นแบบนี้ทำงานร่วมกับกลไกที่สามารถลดความเมื่อยล้าและยังรักษาประสิทธิภาพงานกริด แขนกลเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้

แขนกลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานที่ต้องการความแม่นยำสูงและมีความเสี่ยงอันตรายเพื่อทดแทนแรงงานคน เช่น งานเชื่อม งานขึ้นรูปชิ้นส่วน และงานพ่นสี เป็นต้น เนื่องจากแขนกลมีระดับความอิสระ (degree of freedom) สูง และมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้แขนกลมีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และถูกผลิตออกมาจำหน่ายอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันเริ่มมีการวิจัยและพัฒนาแขนกลสำหรับภาคการเกษตรมากขึ้น เช่น แขนกลปลูกต้นกล้า แขนกลตัดแต่งกิ่งไม้ และแขนกลเก็บผลไม้ เป็นต้น (Hong Y.Jeon and Lei F. Tian, 2009; Kanae et al.,2008; Shigehiko et al., 2010,2011; Zhao De-An et al., 20011) ส่วนปลายของแขนกล (end-effector) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแขนกล เพราะเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน โดยตรง จึงควรถูกออกแบบและพัฒนาให้เหมาะสมกับลักษณะงานนั้น ๆ โดยเฉพาะ

การทําวิจัยในครั้งนี้ต้องการออกแบบและพัฒนาแขนกลกริดขางพาราเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการได้อย่างอัตโนมัติ มีความแม่นยำสูง ส่งผลให้ลดการสิ้นเปลืองเปลือก ลดความเสียหายของหน้าขางพารา และลดความเมื่อยล้าในการกริด งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการพัฒนาหุ่นยนต์กริดขางพาราต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลสำหรับการกริดขางพาราอัตโนมัติ
- 1.2.2 เพื่อสร้างระบบควบคุมแบบป้อนกลับของแขนกลสำหรับการกริดขางพาราอัตโนมัติ
- 1.2.3 เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบแขนกลสำหรับการกริดขางพาราอัตโนมัติ
- 1.2.4 เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของแขนกลสำหรับการกริดขางพาราอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ต้นยางพาราที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้ต้นยางพารา ที่มีเส้นรอบลำต้นไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 150 เซนติเมตร ที่ปลูกในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีหรือที่ปลูกในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1.3.2 มีดกรีดยาง จะใช้เฉพาะใบมีดกรีดยางพาราที่ถูกพัฒนาจากวิทยานิพนธ์เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าของนายชยุตม์เสียงด้ง สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.3 ต้นยางพาราจำลองถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา รอยกรีดบนต้นยางพาราจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์และถูกใช้เป็นเส้นทางเคลื่อนที่ของใบมีดกรีดยาง

1.3.4 แขนกลสร้างมาจากตัวขับเร็วเชิงเส้นที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนถูกสร้างบนพิกัดฉาก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติที่เหมาะสม

1.4.2 มีระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติที่มีความเสถียรภาพ

1.4.3 ได้แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติที่มีสมรรถนะ

1.4.4 ได้ผลทดสอบการทำงานของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติที่เหมาะสม

1.4.5 เป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาหุ่นยนต์กรีดยางพาราต่อไป

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางพารา

2.1.1 การผลิตและการใช้ยางพารา

ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกตั้งแต่ปี 2550-2554 ขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.7 ต่อปี โดยปี 2554 ประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ ไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 70.2 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ประกอบด้วย ไทยร้อยละ 33.5 อินโดนีเซียร้อยละ 27.1 และมาเลเซียร้อยละ 9.6 ประเทศอื่น ๆ ผลิตยางธรรมชาติได้น้อยกว่าปีละ 1 ล้านตัน ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554

ประเทศ	2550	2551	2552	2553	2554
1. ไทย	3,056	3,090	3,164	3,252	3,573
2. อินโดนีเซีย	2,755	2,751	2,440	2,736	2,886
3. มาเลเซีย	1,200	1,072	856	939	1,024
4. อินเดีย	811	811	820	851	885
5. เวียดนาม	606	660	711	755	776
6. จีน	590	560	644	665	685
7. โกตดิวัวร์	183	194	203	227	227
8. ศรีลังกา	118	129	137	153	160
9. ไลบีเลีย	121	84	60	62	76
10. ฟิลิปปินส์	101	103	98	99	101
11. อื่น ๆ	349	604	557	662	266
รวม	9,890	10,128	9,690	10,401	10,659
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	0.64	2.41	-4.32	7.34	2.48

หน่วย : 1000 ตัน

ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของโลกขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 21 ต่อปี โดยมีอัตราการขยายธรรมชาติระหว่าง 9.33-10.78 ล้านตัน เมื่อพิจารณารายประเทศ จะเห็นได้ว่า จีนเป็นประเทศผู้ใช้อย่างธรรมชาติมากที่สุดของโลก โดยปี 2554 มีปริมาณการใช้ 3.610 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 34 ของปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั้งหมดของโลก รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา 0.991 ล้านตัน หรือร้อยละ 9.3 อินเดีย 0.962 ล้านตัน หรือร้อยละ 9.1 และญี่ปุ่น 0.783 ล้านตัน หรือร้อยละ 7.4 โดยปริมาณการใช้ยางของจีนและอินเดียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่นเดียวกับไทยที่มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเป็น 0.488 ล้านตัน เป็นอันดับที่ 5 ของประเทศที่ใช้อย่างมากที่สุดในโลกแทนที่มาเลเซีย ขณะที่สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นมีอัตราการขยายธรรมชาติลดลง เนื่องจากอยู่ในภาวะฟื้นตัวทางเศรษฐกิจหลังจากได้รับผลกระทบจากวิกฤตเศรษฐกิจในช่วงปี 2551-2552 ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ.2550-2554

ประเทศ	2550	2551	2552	2553	2554
1. จีน	2,843	2,947	3,384	3,646	3,610
2. สหรัฐอเมริกา	1,018	1,041	687	926	991
3. อินเดีย	851	881	904	944	962
4. ญี่ปุ่น	887	878	637	750	783
5. ไทย	374	398	399	459	488
6. อินโดนีเซีย	383	413	352	421	428
7. มาเลเซีย	450	469	470	458	423
8. เกาหลีใต้	377	358	330	384	405
9. บราซิล	345	357	279	374	369
10. เยอรมัน	282	247	17	291	307
11. อื่น ๆ	2,368	2,186	2,125	2,125	1,842
รวม	10,178	10,175	9,329	10,778	10,608
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	5.04	-0.03	-8.31	15.53	-1.58

หน่วย : 1000 ตัน

ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลกในช่วงปี 2551-2554 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1 ต่อปี โดยมีอัตราการขยายตัวลดลงในปี 2551-2552 และเพิ่มขึ้นในปี 2553-2554 เมื่อพิจารณารายประเทศ เห็นได้ว่า ประเทศผู้ส่งออกยางเป็นประเทศผู้ผลิตยาง

ธรรมชาติรายใหญ่แถบอาเซียน ประกอบด้วยไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม ปริมาณการส่งออกยางเมื่อปี 2554 รวม 7.464 ล้านตัน หรือร้อยละ 92 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลก โดยไทยส่งออกมากที่สุด 2.952 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 36.4 รองลงมาคือ อินโดนีเซีย 2.543 ล้านตัน หรือร้อยละ 31.4 มาเลเซีย 1.228 ล้านตัน หรือร้อยละ 15.2 และเวียดนาม 0.741 ล้านตัน หรือร้อยละ 9.1

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก ศักยภาพการผลิตยางของไทยมีมากกว่าปีละ 3 ล้านตัน โดยระหว่างปี 2550-2554 ปริมาณการผลิตยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 3,056,005 ตัน เมื่อปี 2550 เป็น 3,569,033 ตัน เมื่อปี 2554 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.8 เมื่อพิจารณาสัดส่วนประเภทยางแปรรูปขั้นต้นที่ผลิตได้ พบว่าไทยผลิตยางแท่งเอสทีอาร์มากที่สุด รองลงมาเป็นยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางผสม และยางประเภทอื่น ๆ ตามลำดับ

ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศของไทยปี 2554 มีจำนวน 486,745 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ซึ่งมีปริมาณการใช้ 373,659 ตัน ร้อยละ 30.3 เมื่อพิจารณาชนิดของยางที่ใช้ในประเทศปี 2554 พบว่าการใช้น้ำยางข้นมากที่สุด สัดส่วนร้อยละ 32.86 รองลงมายางแท่งเอสทีอาร์ ร้อยละ 30.34 ยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 22.46 และยางผสม ร้อยละ 12.96 อุตสาหกรรมผลิตยางยานพาหนะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุด รองลงมาเป็นถุงมือ ยางรถจักรยานยนต์ ยางรัดของ ถุงยางอนามัย โดยปริมาณการใช้ถุงยางธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ยางทั้ง 5 ชนิด มีจำนวน 458,242 ตัน หรือร้อยละ 94.15 ของปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั้งหมดที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ สำหรับสัดส่วนปริมาณการใช้ยางธรรมชาติต่อปริมาณการผลิตยางของประเทศ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.2 เมื่อปี 2550 เป็นร้อยละ 13.6 เมื่อปี 2554

นอกจากไทยผลิตยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกแล้ว ประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลกด้วย ปริมาณการส่งออกยางของไทยเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ในปี 2554 ปริมาณการส่งออกยางของไทยมีทั้งสิ้น 2,952,381 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ที่มีปริมาณการส่งออก 2,703,762 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.2 และคิดเป็นสัดส่วนการส่งออกยางร้อยละ 36.4 ของการส่งออกยางทั้งหมดของโลกส่วนใหญ่เกือบ 1 ใน 3 ส่งออกไปยังตลาดหลัก ได้แก่ จีน รองลงมา มาเลเซีย ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ สำหรับชนิดของยางที่ส่งออกนั้น ในปี 2554 ไทยส่งออกยางแท่งเอสทีอาร์ ร้อยละ 44.06 ยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 25.31 น้ำยางข้น ร้อยละ 17.60 ยางผสม ร้อยละ 11.51 ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมากจากปี 2550 ที่มีสัดส่วนการส่งออกเพียงร้อยละ 5.5 ที่เหลือส่งออกยางชนิดอื่น ๆ เช่น แผ่นผึงแห้ง ยางสกี ยางเครพ ยางแผ่นดิบ สำหรับทำเรือหรือด่านส่งออก พบว่า ปริมาณยางที่ส่งออกรวบรวมแล้ว ส่งออกผ่านจังหวัดสงขลา ทำเรือสงขลา ด่านปาดังเบซาร์ และด่านสะเดา

2.1.2 พื้นที่ปลูกยางพารา

พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของโลกปี 2553 มีประมาณ 72.21 ล้านไร่ ร้อยละ 76.4 เป็นพื้นที่ปลูกที่อยู่ในประเทศกลุ่มอาเซียน สภาพสวนยางส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก ใช้แรงงานในครัวเรือนเป็นหลัก อินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดจำนวน 21.53 ล้านไร่ รองลงมาไทย 18.76 ล้านไร่และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของประเทศอื่น ๆ ทั้งนี้ประเทศในกลุ่มอาเซียนยังมีศักยภาพในการขยายพื้นที่ได้อีกเนื่องจากมีสภาพพื้นที่ที่เหมาะสม โดยเฉพาะไทยและอินโดนีเซียยังมีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกยาง และพื้นที่ปลูกพืชอื่นที่สามารถปรับเปลี่ยนไปปลูกยางได้รวมทั้งยังมีแรงงานในชนบทเพียงพอ เช่นเดียวกับเวียดนาม กัมพูชา พม่า และลาวที่มีการส่งเสริมปลูกยางในประเทศ โดยให้สิทธิแก่นักลงทุนต่างชาติเข้าไปลงทุนปลูกยางเมื่อพิจารณาจากการขยายตัวของประชากร และเศรษฐกิจโลก คาดว่า พื้นที่ปลูกยางของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกเพื่อรองรับความต้องการผลิตภัณฑ์ยางของผู้บริโภค โดยแหล่งผลิตยางที่สำคัญจะยังอยู่ในแถบประเทศอาเซียน นอกจากนี้การเคลื่อนไหวของราคายาง และนโยบายของแต่ละประเทศก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่ม หรือลดพื้นที่ปลูกยางเช่นเดียวกัน

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ซึ่งมีพื้นที่ 15,362 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 22 โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 11,906,882 ไร่ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3,477,303 ไร่ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง 2,509,644 ไร่ และภาคเหนือ 867,402 ไร่ รวมทั้งสิ้น 65 จังหวัด จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1,921,698 ไร่ พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศ เป็นพื้นที่ที่ขางอายุมากกว่า 6 ปี จำนวน 12,765,636 ไร่ โดยคิดร้อยละ 76 อยู่ในภาคใต้

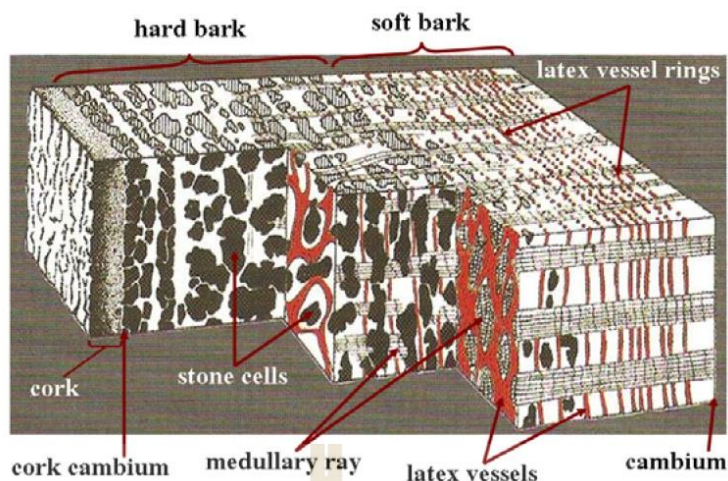
2.1.3 ส่วนประกอบของลำต้นยางพารา

โครงสร้างของลำต้นยาง มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

1) เปลือก (bark) ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ

- เปลือกชั้นนอก หรือเปลือกแข็ง (hard bark) อยู่ถัดจากเปลือกชั้นในออกมาทางด้านนอกเป็นส่วนเนื้อเยื่อที่ถูกออกมาด้านนอกเมื่อเนื้อเยื่อมีการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกส่วนนี้มี stone cell แทรกอยู่ในวงท่อน้ำยาง ทำให้ท่อน้ำยางขาด และไม่สมบูรณ์ความหนาของเปลือกชั้นนี้ประมาณร้อยละ 70-80 ของเปลือกทั้งหมด

- เปลือกชั้นในหรือเปลือกอ่อน (soft bark) อยู่ติดกับเนื้อเยื่อเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะมีเนื้อเยื่อ และท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นใหม่ มีจำนวนท่อน้ำยางที่หนาแน่น และสมบูรณ์ที่สุดมากกว่าเปลือกชั้นนอก ความหนาของเปลือกชั้นนี้ประมาณร้อยละ 20-30 ของเปลือกทั้งหมด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเปลือกและเซลล์ท่อน้ำยาง

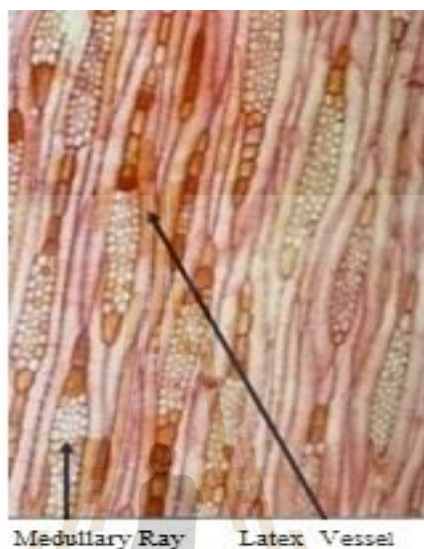
2) เยื่อเจริญ (cambium) เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเปลือกกับเนื้อไม้ ทำหน้าที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยางและมีการแบ่งตัวตลอดเวลาโดยแบ่งตัวเข้าด้านในเป็นเนื้อไม้และแบ่งตัวออกด้านนอกเป็นเปลือกและทำหน้าที่สร้างเปลือกงอกใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกที่ถูกกรีดออกไป หากเยื่อเจริญถูกทำลายเป็นบริเวณกว้าง จะไม่มีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นทดแทนเปลือกเดิม



รูปที่ 2.2 โครงสร้างส่วนประกอบลำต้นยางเล็ก

3) เนื้อไม้ (wood) เป็นแกนกลาง ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของลำต้น เป็นส่วนที่ไม่มีท่อน้ำยาง โครงสร้างท่อน้ำยาง เป็นเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างโดยเยื่อเจริญ จะเรียงตัวเป็นวงรอบต้น ท่อน้ำยางในแต่ละวงจะเชื่อมต่อกันเป็นร่างแห ทำให้น้ำยางในวงเดียวกันสามารถติดต่อกันได้แต่ไม่ติดต่อกันระหว่างวง โดยท่อน้ำยางจะวางตัวเอียงไปทางขวาจากแนวตั้ง

ประมาณ 2-7 องศา ต้นยางที่มีวงท่อจำนวนมากโดยส่วนใหญ่จะให้น้ำยางสูง วงท่อน้ำยางจะมีมากและสมบูรณ์ในบริเวณด้านในสุดของเปลือกชั้นใน ดังนั้น การกรีดยางจะต้องกรีดยางถึงชั้นนี้ จึงจะได้น้ำยางมากที่สุด



รูปที่ 2.3 ทิศทางการเอียงของท่อน้ำยาง

การสังเคราะห์น้ำยางใช้น้ำตาลซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยน้ำตาลซูโครสจะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของลำต้นยางเพื่อสร้างความเจริญเติบโตและสังเคราะห์น้ำยาง ต้นยางที่ถูกกรีดยางจะมีการสังเคราะห์น้ำยางขึ้นมาขนาดเฉลี่ยปริมาณน้ำยางที่ออกมาซึ่งระยะเวลาในการสร้างทดแทนที่เหมาะสมกับการกรีดยาง ต้องใช้เวลาประมาณ 7-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง และความสมบูรณ์ของต้นยาง มาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยางสถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร ได้กำหนดมาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยาง โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง ได้แก่ พันธุ์ยางที่ใช้ปลูก สภาพแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุปลูก การบำรุงรักษาสวนยาง

2.1.4 การกรีดยางพารา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรีดยางที่มีผลต่อผลผลิต ดังนี้

1) ความลึกของการกรีดยาง การกรีดยางให้ได้น้ำยางมาก ควรกรีดยางให้ใกล้เชื้อเจริญมากที่สุด ซึ่งหากการกรีดยางเหลือส่วนของเปลือกชั้นในสุด 1.3 มิลลิเมตร จะยังคงเหลือวงท่อน้ำยางที่ยังไม่ได้กรีดยางถึงร้อยละ 50 แต่ถ้ากรีดยางลึกบาดเนื้อไม้ จะทำให้น้ำยางเป็นแผล เปลือกงอกใหม่ขรุขระไม่สามารถกรีดยางต่อไปได้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยาง

อายุ	ขนาดลำต้นที่ความสูง 150 เซนติเมตรจากพื้นดิน (ซม.)		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
2	12	14	16
3	21	24	27
4	29	33	37
5	36	41	46
6	43	47	52

ตารางที่ 2.4 ลักษณะการเจริญของลำต้น

ลำดับ	สายพันธุ์ยางพารา	ขนาดรอบวงลำต้น (ซม.)					ความหนา		วงท่อน้ำยาง	
		ที่อายุ					เปลือก (มม.)		(มม.)	
		2 ปี	3 ปี	4 ปี	ปี 5	ปี 10.5	ปี 9	ปี 10	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	BPM 24	9.5	21.6	31.6	41.3	59.35	7.71	8.67	12.00	11.67
2	RRI-CH-35-59	8.6	21	30.5	40.3	57.85	5.95	7.17	8.00	6.33
3	RRIT 251	10.6	23.4	33.9	43	64.53	7.08	7.83	6.67	7.67
4	PB 260	9.2	19.1	29.2	38.4	59.12	6.06	8.00	7.33	9.00
5	RRI-CH-35-470	8.4	18.9	26.3	33.7	50.81	5.76	6.83	9.00	8.33
6	RRI-CH-35-499	10.3	18.9	29.1	41.3	66.34	8.25	8.50	9.67	6.33
7	RRI-CH-35-544	10.1	24.7	36.8	48.8	82.63	6.49	7.67	11.67	13.33
8	RRIM 600	9.1	21.2	30.4	40.2	66.47	7.15	8.50	7.67	8.33
9	RRI-CH-35-650	10.9	22.2	32.5	44	72.83	4.96	10.50	5.00	5.33
10	RRI-CH-35-775	7.3	17.1	23.4	33.5	64.48	6.51	7.17	11.33	12.67
11	RRI-CH-35-787	7.5	18	26	35	51.19	5.59	6.00	9.00	7.00
12	RRI-CH-35-1396	8.3	20.8	32.2	43	58.88	7.31	8.00	8.33	9.33
13	RRI-CH-35-1397	9.5	23.4	33.1	42.7	63.00	7.62	7.83	13.67	13.00
14	RRI-CH-35-1403	8.9	19.7	29.8	42	62.72	7.37	7.67	7.67	9.67
15	RRI-CH-35-1461	8.2	21.1	32	43.6	67.62	6.92	8.17	9.33	9.00
16	RRI-CH-35-1757	7.8	16.5	25	35.4	60.83	6.04	7.00	8.00	10.00
17	OP-CH-35-1886	7.6	14.3	20.2	28.8	47.57	5.47	7.17	8.33	7.33
18	OP-CH-35-2010	10.3	22.1	34.4	46.2	74.42	7.62	9.17	11.67	13.67
19	OP-CH-35-2019	10.9	26.6	39	49.7	78.99	5.57	10.00	12.00	11.67
20	OP-CH-35-2086	8.5	21.2	31.7	41.9	68.07	7.89	9.50	6.00	6.67

2) ขนาดของงานกรีต หมายถึงจำนวนต้นยางที่คนกรีตสามารถกรีตได้ในแต่ละวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของต้นยาง ความยาวรอยกรีต ลักษณะของพื้นที่ ความชำนาญของคนกรีต และช่วงเวลาการไหลของน้ำยาง การกรีตครั้งลำต้นสามารถกรีตได้ 450-500 ต้นต่อคน และการกรีต 1 ใน 3 ของลำต้นสามารถกรีตได้ 650-700 ต้นต่อคน หากคนกรีตทำงานเกินศักยภาพ อาจทำให้หน้ากรีตเสียหาย

3) เวลาที่เหมาะสมสำหรับการกรีตยาง สามารถกรีตได้ตั้งแต่กลางคืนถึงเช้าโดยผลผลิตไม่แตกต่างกันมาก จากการทดลองกรีตเวลาต่างกัน พบว่า การกรีตตอนเช้าช่วงเวลา 06.00-08.00 น. ใช้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตตอนกลางคืน (03.00-06.00 น.) เฉลี่ยประมาณร้อยละ 4-5 การกรีตช่วงเวลา 08.00-11.00น. ใช้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตกลางคืนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 16 และการกรีตช่วงเวลา 11.00-13.00 น. ใช้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตกลางคืนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25

4) ความสิ้นเปลืองเปลือกร การกรีตเปลือกหนาหรือบาง ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต การกรีตที่ใช้ความถี่ของการกรีตต่ำจะสิ้นเปลืองเปลือกรน้อยกว่าการกรีตที่ใช้ความถี่ของการกรีตสูง หากความสิ้นเปลืองเปลือกรในรอบปีของการกรีต 1 วัน เว้น 1 วัน คือร้อยละ 100 การกรีต 1 วัน เว้น 2 วัน จะสิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 75 และการกรีต 1 วัน เว้น 3 วัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 60 การกรีต 2 วัน เว้น 1 วัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 140 การกรีต 3 วัน เว้น 1 วัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 150 และการกรีตทุกวัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 190 โดยปกติการกรีต 1 วัน เว้น 1 วัน สิ้นเปลืองเปลือกรแต่ละครั้งกรีตระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตรหรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี

5) ความคมของมีด มีดกรีตยางควรคมอยู่เสมอ เพราะจะทำให้ตัดท่อน้ำยางดี และสิ้นเปลืองเปลือกรน้อยกว่าการใช้มีดกรีตยางที่ไม่คม

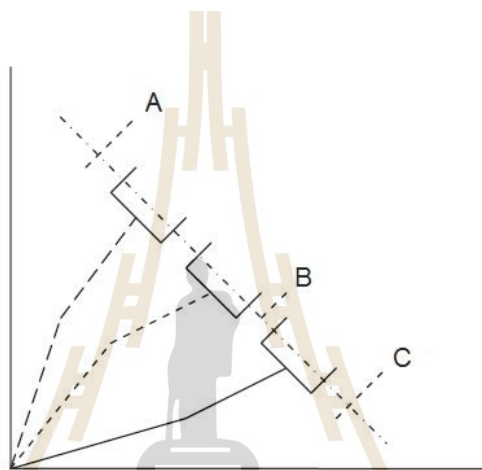
ยางเปิดกรีตเมื่อวัดเส้นรอบวงลำต้นได้ 50 เซนติเมตรที่ความสูง 150 เซนติเมตรจากพื้นดิน หรือกรณีเปิดกรีตหมดทั้งสวน ต้องมีจำนวนต้นยางที่มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตรไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นยางทั้งหมด กรีต โดยใช้อายุของต้นเป็นเกณฑ์ในการเปิดกรีต ความลาดชันของรอยกรีต ใช้รอยกรีตเอียงทำมุมจากด้านซ้ายลงมาด้านขวา ความลาดชันของรอยกรีต 30-35 องศา กับแนวระดับเพื่อให้ น้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีต ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ และควรรักษาระดับความลาดชันตามที่กำหนดไว้ หากมุมกรีตเปลี่ยนจาก 30 องศา เป็น 45 องศา ความยาวของรอยกรีตจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกร และใช้เวลาในการกรีตมากขึ้น แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2-3 หากมุมกรีตต่ำกว่า 30 องศา จะทำให้น้ำยางไหลออกนอกรอยกรีต สูญเสียผลผลิต สภาวิจัยและพัฒนายางระหว่างประเทศ (International Rubber and Development Board : IRRDB) ได้ปรับปรุงให้ใช้สัญลักษณ์ของระบบกรีตใหม่เมื่อปี 2551 ดังนี้

S	=	กริดรอบลำต้น เวียนจากซ้ายลงมาขวา (S ย่อมาจาก Spiral)
S/2	=	กริดครึ่งลำต้น
S/3	=	กริดหนึ่งในสามของลำต้น
S/4	=	กริดหนึ่งในสี่ของลำต้น
S/8	=	กริดหนึ่งในแปดของลำต้น
1P	=	เจาะ 1 รอบ
d	=	วันกริด (d ย่อมาจาก day)
d1	=	กริดติดกันทุกวัน
d2	=	กริดทุก 2 วัน (กริด 1 วัน เว้น 1 วัน)
d3	=	กริดทุก 3 วัน (กริด 1 วัน เว้น 2 วัน)
d1 2d/3	=	กริดติดต่อกัน 2 วัน เว้น 1 วัน
d1 3d/4	=	กริดติดต่อกัน 3 วัน เว้น 1 วัน
$2 \times 1/25$	=	กริดครึ่งลำต้น 2 รอบ
$2 \times 1/45$	=	กริดหนึ่งในสี่ของครึ่งลำต้น 2 รอบ
(t,t)	=	2 รอยกริด สลับรอยกริดทุกครั้งกริด (t ย่อมาจาก tapping)
ET	=	สารเคมีเร่งน้ำยาง (ET ย่อมาจาก Ethephon : เอทธิฟอน ซึ่งเป็นชื่อสามัญของสารเคมีเร่งน้ำยาง)
Ethylene	=	แก๊สเอทธิลีน
U	=	กริดขึ้น

2.2 การวางแผนการเคลื่อนที่

คือการวางแผนให้หุ่นยนต์หรือแขนกลเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดสิ้นสุด โดยทำการควบคุมผ่านผู้ควบคุมหรือโดยการ โปรแกรมและในระหว่างการเคลื่อนที่นั้นหุ่นยนต์ต้องหลบหลีกสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่วางแผนไว้ ส่วนทราเจกทอรี (Trajectory) หมายถึงประวัติของเวลาของตำแหน่งการเคลื่อนที่หรือความเร็วและความเร่งของแต่ละองศาอิสระ (Degree of freedom: DOF) รวมถึงมนุษย์ผู้ควบคุมที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับแขนกลเพื่อสั่งงานให้แขนกลเดินทางไปตามเส้นทางที่กำหนดเพื่ออำนวยความสะดวกการทำงานของมนุษย์ผู้ควบคุมจำเป็นต้องเขียนแสดงในฟังก์ชันของเวลาเพื่อบ่งบอกถึงงานต้องการ และมักบ่งบอกถึงแผนการเคลื่อนที่ในรูปแบบง่าย ๆ ที่ต้องการ จากนั้นปล่อยให้ระบบทำการคิดค้นหาในรายละเอียดยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานอาจจะบอกจุดหรือตำแหน่งที่ต้องการและการหมุนของแขนกลนั้นส่วนระบบที่เหลือจะทำการวิเคราะห์เองในการจัดวางอย่างไรให้ได้ตามระยะเวลา ความเร็ว หรือตัวแปร อื่น ๆ ที่กำหนด การนำเสนอแผนการ

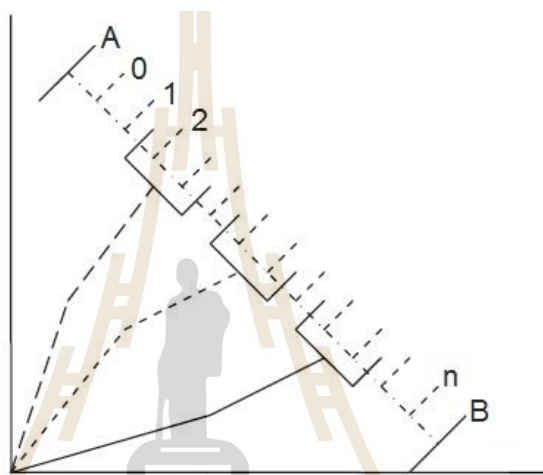
เคลื่อนที่ในคอมพิวเตอร์ ภายหลังจากการวางแผนสุดท้ายในการสร้างแผนการเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาการทำงาน (Run Time) โดยทั่วไปการคำนวณ ตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง จะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ในการคำนวณค่าต่างๆเรียกว่าอัตราการปรับค่า (Path Update Rate) โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20-200Hz คำว่าเส้นทาง (Path) หมายถึง ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นไปตามขั้นที่กำหนด โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลา เช่น หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B และไปยัง จุด C ลำดับขั้นของการเคลื่อนที่จะเรียกว่า “เส้นทาง” หรือ Path ส่วนทราเจกทอรีนั้นมักจะคำนึงถึงระยะเวลาในแต่ละเส้นทางที่เคลื่อนที่



รูปที่ 2.4 เส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

รูปที่ 2.4 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยในกรณีของเส้นทางนั้นไม่คำนึงถึงว่าแขนกลนั้นเคลื่อนที่ไปถึงจุด B และ C ที่เวลาเท่าใด แต่ในกรณีของทราเจกทอรีจะพิจารณาถึงความเร็วและความเร่ง โดยแขนกลนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังจุด B และ C ในเวลาที่ต่างกัน ทำให้เกิดทราเจกทอรีที่แตกต่างกัน ซึ่งจะอธิบายถึงความเร็วและความเร่งของหุ่นยนต์อีกด้วยในมิติแบบข้อต่อและมิติแบบคาร์ทีเซียน การพิจารณาหุ่นยนต์ที่ปลายแขนกลอยู่ ณ ตำแหน่ง A ในระนาบสามมิติ ถูกสั่งให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง B สามารถที่จะคำนวณโดยใช้จลนศาสตร์ผกผันเพื่อหาระยะเวลาเคลื่อนที่ของมุมในแต่ละข้อต่อและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งระยะเวลาเคลื่อนที่ของมุมในแต่ละข้อต่อจะนำไปใช้ในการควบคุมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการใช้ค่าระยะเวลาเคลื่อนที่ของมุมในแต่ละข้อต่อนี้เรียกว่า มิติแบบข้อต่อ (Joint-Space) ถึงแม้ว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแต่การเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายนั้นไม่สามารถพิจารณาได้ในกรณีที่สองถ้าลากเส้นตรงระหว่างจุด A และจุด B และการควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B แต่ในกรณีนี้ต้องบังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามแนว

เส้นตรงที่ลากระหว่างจุดสองจุดนั้นด้วยวิธีแบ่งเส้นตรงนั้นออกเป็นส่วนๆเท่าๆกันแล้วให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังทีละจุดย่อยๆเหล่านั้นที่จุดเริ่มจากจุด A ไปยังจุด 0 ไปยังจุด 1 ไปยังจุด 2 และไปจนถึงจุด B โดยการเคลื่อนที่ไปยังแต่ละจุดนั้นใช้วิธีจลนศาสตร์ผกผันคล้ายกับข้างต้น จะสังเกตว่าวิธีนี้ทราบถึงสถานะของหุ่นยนต์ในขณะที่เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ตลอดเวลาลำดับการเคลื่อนที่วิธีนี้เรียกว่ามิติแบบ ABC คาร์ทีเซียน (Cartesian Space) โดยใช้ในการคำนวณมิติแบบข้อต่อประกอบในการเคลื่อนที่ไปยังจุดแบ่งแต่ละส่วนย่อย ดังรูปที่ 2.5



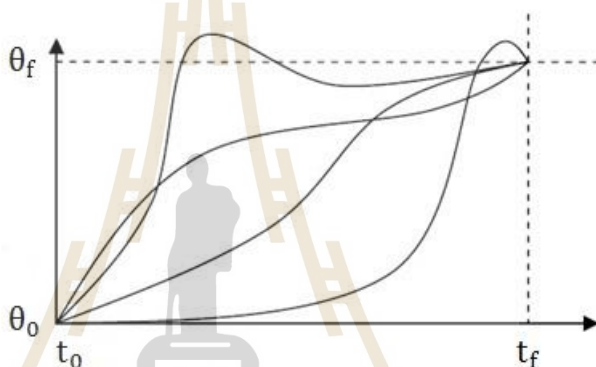
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบแบ่งจุด

แผนการเคลื่อนที่แบบคาร์ทีเซียน อาจจะเป็นที่เข้าใจง่าย เพราะแผนการเคลื่อนที่ที่อยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ใช้การคำนวณมากและการประมวลผลที่รวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะควบคุมการเกิด Singularities ซึ่งเป็นกรณีที่หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้หรือเกินขอบเขตที่สามารถเคลื่อนที่ไปถึงหรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของมุมอย่างกะทันหันในการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในการคำนวณเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ (Space Trajectories) โดยจะพิจารณาในรูปของมุมของการเคลื่อนที่โดยใช้ฟังก์ชัน โพลีโนเมียลกำลังสาม พิจารณาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้นที่เวลา t_0 ไปตำแหน่งสุดท้ายที่เวลา t_f แล้วใช้จลนศาสตร์ผกผันคำนวณหามุมที่ตรงกันกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ที่ต้องการ โดยตำแหน่งที่เริ่มต้นของแขนกลจะทราบค่าในรูปของตำแหน่งเริ่มต้น คือฟังก์ชันแต่ละข้อต่อเริ่มต้นเวลา t_0 และเวลาสุดท้าย t_f ดังแสดงตามรูปที่ 2.6

2.3 แขนกล

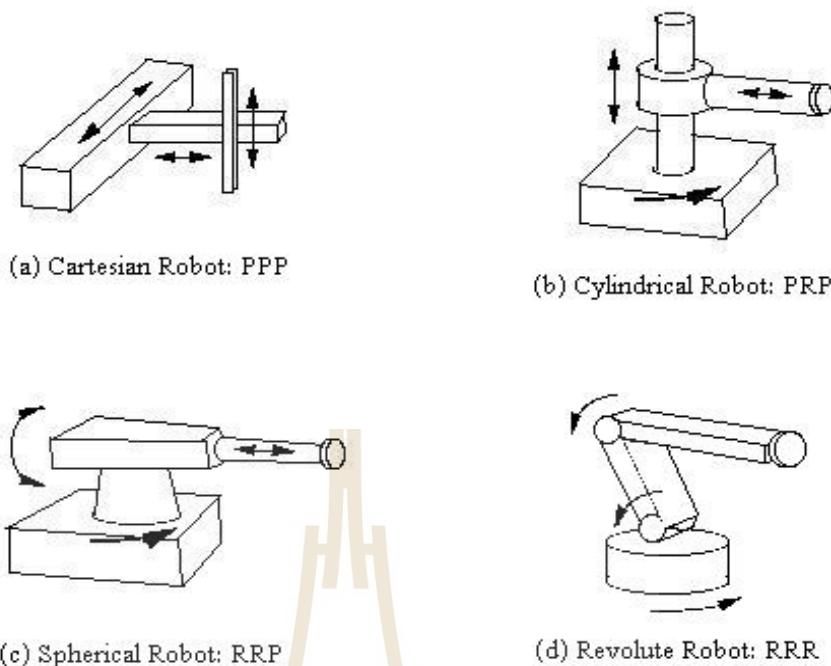
2.3.1 พื้นฐานของแขนกล

หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมประกอบด้วยแขน (Link) หลายอันต่อกันอย่างอนุกรมโดยข้อต่อจะเป็นแบบข้อต่อหมุน (Revolute Joint) หรือ ข้อต่อปริสมatik (Prismatic Joint) หุ่นยนต์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนประกอบของแขน (Arm Subassembly) และ ส่วนประกอบข้อมือ (Wrist Subassembly) โดยที่ส่วนประกอบแขนและส่วนประกอบข้อมือต่างก็มี 3 ระดับขั้นความเสรี (Degrees of Freedom – DOF) และในส่วนประกอบของข้อมือนั้นจะมีรูปแบบของการเคลื่อนที่ 3 รูปแบบ คือ Roll, Pitch และ Yaw



รูปที่ 2.6 เส้นทางหลายทางเลือกสำหรับจุดหนึ่งจุด

รูปแบบของหุ่นยนต์ที่มีใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ตามรูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 2.7 ดังนี้



รูปที่ 2.7 รูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่

- (a) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinates) จะประกอบด้วยแกนเชิงเส้น (Linear Axis) 3 แกน
- (b) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนเชิงเส้น 2 แกน และแกนหมุน (Rotary Axis) 1 แกน
- (c) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดทรงกลม (Spherical Coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนเชิงเส้น 1 แกน และแกนหมุน 2 แกน
- (d) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดหมุน (Revolute or Articulated Coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนหมุน 3 แกน

2.3.2 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

- 1) Manipulator หรือ Rover เป็นส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วน (links) ข้อต่อ (joints) และโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์
- 2) End Effectors เป็นส่วนสุดท้ายต่อกับข้อต่อส่วนสุดท้ายของแขนกลโดยปกติจะใช้หยิบจับวัตถุหรือทำงานเฉพาะทางเช่นที่ติดตั้งเครื่องเชื่อม หรือเครื่องพ่นสี โดยปกติการควบคุมโดยใช้ชุดควบคุม PLC (Programmable Logic Controller)
- 3) Actuators ชุดขับเคลื่อนเหมือนกล้ามเนื้อหรือชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ รูปแบบที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ มอเตอร์ กระจบกลม กระจบอกไฮดรอลิก

4) Sensors คืออุปกรณ์ตรวจวัดค่าโดยแปลงค่าทางกายภาพให้เป็นค่าที่สามารถตรวจวัดได้เช่นแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้วัดข้อมูลของหุ่นยนต์ในการรับรู้สภาพแวดล้อมเช่น ชุดควบคุมที่ต้องการจะทราบตำแหน่งของชิ้นส่วนของแขนกลว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดเมื่อเทียบกับมนุษย์ที่สามารถทราบได้ว่าแขนของเราอยู่ในตำแหน่งใดแม้ว่าจะอยู่ในที่มืดเพราะชุดตรวจวัดของเราอยู่ในกล้ามเนื้อและมีการส่งค่ากลับมาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา หลักการเหมือนหุ่นยนต์โดยใช้ชุดเครื่องมือวัดป้อนกลับ (Feedback Sensors) ส่งข้อมูลจากแต่ละข้อต่อไปยังชุดควบคุมต่อไป

5) Processor and Controller ชุดควบคุมคล้ายกับสมองของมนุษย์โดยได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และสั่งการ ไปยังชุดขับ (Actuators) เพื่อให้เคลื่อนที่ได้ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้

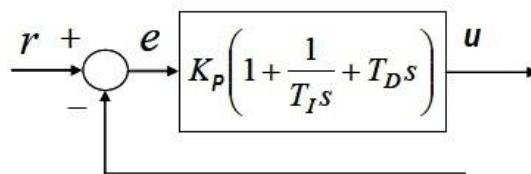
6) Software โปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นระบบปฏิบัติการพื้นฐาน (Operating Systems) กลุ่มที่ 2 เป็นโปรแกรมของหุ่นยนต์ (Robotic Software) ซึ่งจะทำการคำนวณการเคลื่อนที่ของข้อต่อจากสมการจลนศาสตร์ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังชุดควบคุม โปรแกรมที่มีการควบคุมเฉพาะทางเช่นระบบวิทัศน์ (Vision Systems) เป็นต้น

7) Power Supply แหล่งจ่ายพลังงานเป็นส่วนสำคัญที่จ่ายกำลังงานให้ไปยังชุดควบคุมและ Manipulator แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้า และแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อนเช่นในหุ่นยนต์ระบบนิวมติกส์จะต้องมีแหล่งจ่ายลมอัด เป็นต้น

2.4 การควบคุมอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.4.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมทั่วไปเพราะเป็นตัวควบคุมที่ใช้งานง่าย การปรับค่าเกนอาศัยหลักการที่ไม่ได้ซับซ้อนมากนักก็ให้ผลตอบสนองเป็นที่ยอมรับได้ สามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายเมื่อต้องการ ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีตัวควบคุมย่อย 3 ตัว คือ 1) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมพี 2) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมไอ และ 3) ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมดี ในการควบคุมระบบทั่วไปมักใช้งานตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ การควบคุมแบบพีดี และการควบคุมแบบพีไอดี ลักษณะการทำงานก็คือการทำงานร่วมกันของตัวควบคุมแบบสัดส่วน ตัวควบคุมแบบปริพันธ์และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันการทำงานเป็นดังรูป



รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.4.2 การหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์

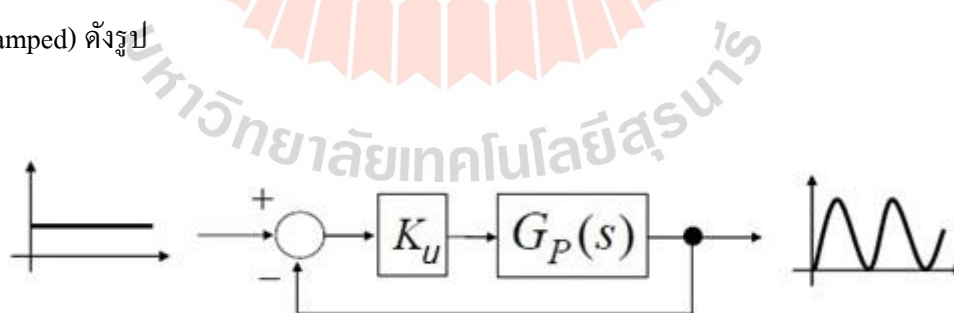
จะเห็นว่า การที่จะได้ผลตอบสนองที่เหมาะสมของตัวควบคุมแต่ละแบบนั้นขึ้นอยู่กับอันดับและชนิดของระบบเป็นสำคัญ และระบบแต่ละระบบมีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมต่างกันไป ทั้งนี้ยังต้องรวมไปถึงข้อกำหนดคุณลักษณะในการออกแบบด้วย เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปดังที่ผู้ใช้และผู้ออกแบบพึงพอใจการให้ได้มาซึ่งค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบทั่วๆไปที่อาจจะมีความซับซ้อน เป็นเรื่องที่ยาก ในที่นี้จะนำเสนอวิธีการทดสอบระบบเพื่อหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่เป็นที่นิยมคือวิธีการของซีเกลอร์-นิโคล (Ziegler-Nichols Compensation)

การทดสอบวิธีนี้มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) ต่อระบบควบคุมเป็นแบบวงปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีด้วยการป้อนกลับแบบหนึ่งหน่วย

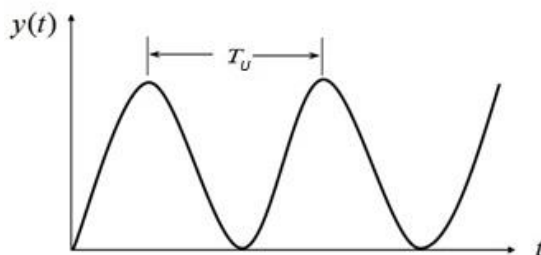
ขั้นตอนที่ 2) ทดสอบระบบด้วยสัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันได

ขั้นตอนที่ 3) ปรับค่าเกณฑ์ให้สูงขึ้น จนกระทั่งเกิดผลตอบสนองแบบไม่มีการหน่วง (Undamped) ดังรูป



รูปที่ 2.9 การทดสอบระบบด้วยวิธีการของซีเกลอร์นิโคล

ขั้นตอนที่ 4) บันทึกค่าเกณฑ์ (K_U) และคาบเวลาของการแกว่งตัว (T_U)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของผลตอบสนองที่ได้

ขั้นตอนที่ 5) นำค่าเกนและคาบเวลาของการแกว่งตัวที่ได้ ไปเข้าสู่สูตรตามตารางที่ 2.5 เพื่อหาค่าเกนที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมพีไอดี ตามฟังก์ชันถ่ายโอนนี้

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (2.1)$$

หรือ

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.2)$$

โดยที่

$$K_I = \frac{K_p}{T_i}, \quad K_D = K_p T_d$$

ตารางที่ 2.5 ค่าเกนที่เหมาะสมตามวิธีการของซีเกลอร์นิกอล

Slow Performance			
Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.13K_U$	-	-
PI	$0.13K_U$	$0.8T_U$	-
PID	$0.15K_U$	$0.5T_U$	$0.12T_U$

บทที่ 3

การศึกษาแบบจำลองของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ

3.1 บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานส่วนนี้คือศึกษาแบบจำลองของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ แขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทั้งทางคิเนแมติกส์และทางไดนามิกส์โดยการขึ้นรูปตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รอยกรีดบนต้นยางพาราที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพันรอบต้นยางพาราจากด้านล่างขวาขึ้นสู่ด้านบนซ้ายถูกสร้างให้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน การจำลองทางไดนามิกส์ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ จำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการจำลองสถานการณ์พบว่า แบบจำลองทางคิเนแมติกส์และไดนามิกส์ของแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา การจำลองทางคิเนแมติกส์ที่รอยกรีดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์และถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ แขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้ แต่การจำลองทางไดนามิกส์ที่รอยกรีดสร้างมาจากสมการโพลีโนเมียลกำลังสามและถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้แม่นยำมากขึ้นถ้าใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

3.2 บทนำ

แขนกลถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตรมากขึ้น โดยเฉพาะงานที่ต้องการความปราณีตเพื่อทดแทนแรงงานคน เนื่องจากแขนกลมีระดับความอิสระ (degree of freedom) สูงและมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้แขนกลมีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น แขนกลปลูกต้นกล้า แขนกลตัดแต่งกิ่งไม้ และแขนกลเก็บผลไม้ เป็นต้น แขนกลประกอบด้วยแขน (Link) หลายอันต่ออนุกรมกันด้วยข้อต่อ จะเป็นแบบข้อต่อแบบหมุนหรือข้อต่อแบบเลื่อน แขนแต่ละแขนจะเคลื่อนที่ได้ต้องได้รับการระบุทราเจกทอรีเพื่อให้การเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ทราเจกทอรีที่ใช้จะได้อาจมาจากการแปลงเส้นทางการเคลื่อนที่ แต่เส้นทางการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบ จึงจำเป็นต้องเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับงาน เพื่อให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการได้ การจำลองทางคิเนแมติกส์ของแขนกลเป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยไม่พิจารณาแรงที่เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่เพื่อ

ให้ผลการจำลองสอดคล้องกับการนำไปใช้ในการออกแบบแขนกลจริงจึงจำเป็นต้องจำลองทางไคเนมติกส์ด้วย เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ไม่ราบเรียบต้องถูกเปลี่ยนให้ราบเรียบมากขึ้น พร้อมออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดทางไคเนมติกส์แต่ยังคงกำหนดให้ต้นยางพารามีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30° เหมือนเดิม

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์ของแขนกลทั้งแบบจำลองทางคิเนเมติกส์และทางไคเนมติกส์ เพื่อนำข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ ไปใช้ในการออกแบบแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ ที่สามารถเคลื่อนที่กรีดเปลือกยางพาราตามการเอียงของการกรีดรอบต้นยางจากจุดเริ่มต้นการกรีดจนถึงจุดสิ้นสุดการกรีดได้อย่างอัตโนมัติ

3.3 วิธีดำเนินการศึกษา

3.3.1 แบบจำลองของแขนกล

1) แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของแขนกล

แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ สามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน x จะยึดติดกับลำต้นยางพาราด้วยชุดจับยึด ชุดมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน z โดยกำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่จุดเริ่มต้นการกรีดแบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของแขนกลสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix}$$

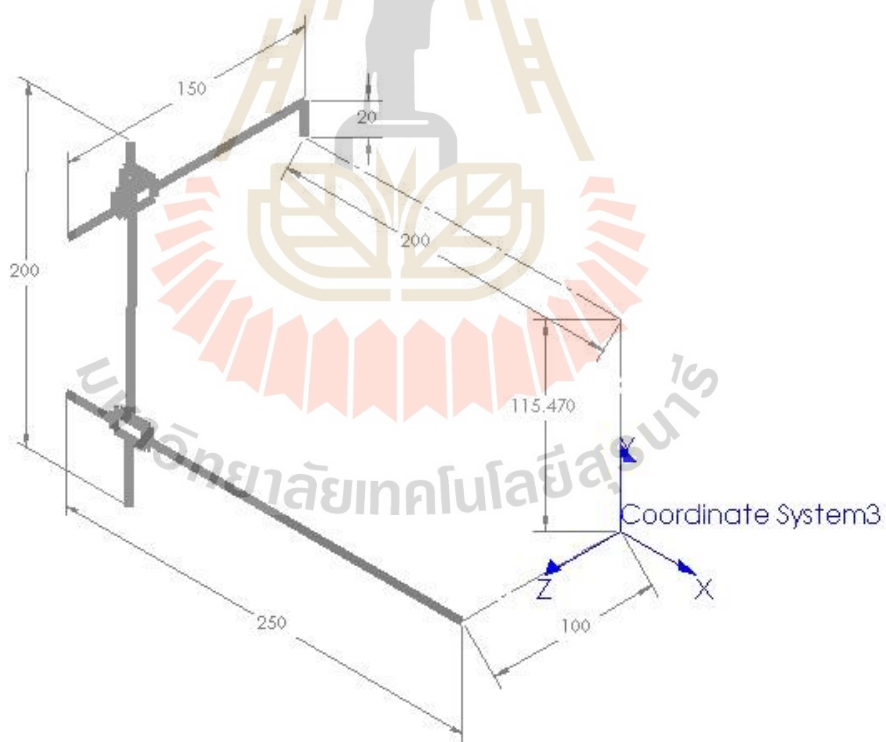
$$d_i = \frac{L_i}{2\pi} \theta_i \quad (3.1)$$

เมื่อ d_i = การขจัดเชิงเส้นของแกน i (mm)
 L_i = ระยะหลิศของแกน i (mm /round)
 θ_i = การขจัดเชิงมุมของแกน i (rad)

ความเร็วเชิงเส้นของตัวขับรื้อเชิงเส้นในแต่ละแกน ได้จากการอนุพันธ์การจัด
เชิงเส้นของแต่ละแกน ดังนี้

$$\frac{d_i}{dt} = \dot{d}_i = \frac{L_i}{2\pi} \omega_i \quad (3.2)$$

เมื่อ \dot{d}_i = ความเร็วเชิงเส้นของแกน i (mm/s)
 ω_i = ความเร็วเชิงมุมของแกน i (rad/s)



รูปที่ 3.1 แบบจำลองทางคิเนติกส์ของแขนกล

2) แบบจำลองทางไดนามิกส์ของแขนกล

แขนกลของแบบจำลองทางไดนามิกส์มีลักษณะเช่นเดียวกับแขนกลของแบบจำลองทางคิเนเมติกส์ การจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์ของแขนกลแต่ละแกนจะพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่แบบเลื่อนด้วยการใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$F(t) = m \frac{d^2 q(t)}{dt^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ F = แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อน (N)
 m = มวลของแต่ละแกน (kg)
 q = การขจัดเชิงเส้น (mm)

3.3.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล

1) การเปิดกริด



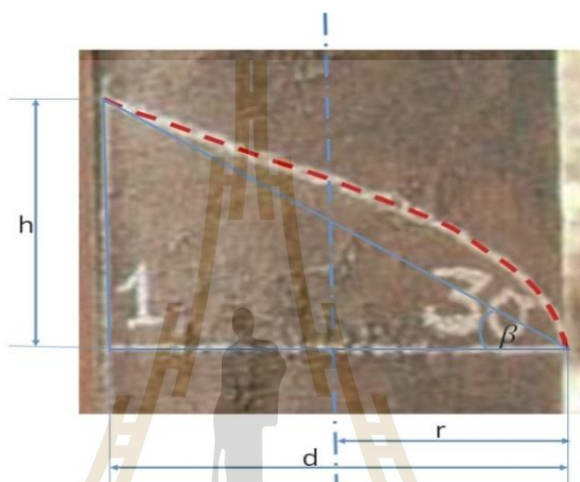
รูปที่ 3.2 การทำรอยเปิดกริดใหม่บนต้นยางพารา

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกริดเมื่อวัดเส้นรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 50 cm ที่ระดับความสูง 150 cm จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเชื้อเจริญรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้น ๆ อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนวตั้งเล็กน้อยประมาณ $2^\circ - 7^\circ$ การกริดยางให้รอยกริดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวา เพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกริดควรทำมุม $30^\circ - 35^\circ$ จากแนวระดับเพื่อให้ให้น้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกริด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ หากมุมกริดเปลี่ยนไปจาก 30° เป็น 45° จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 แต่ความยาวรอยกริด

เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกและใช้เวลาในการกรีตเพิ่มขึ้น หากมุมกรีตต่ำกว่า 30° ทำให้น้ำยางไหลออกนอกรอยกรีต สูญเสียผลผลิต ระบบกรีตยงที่แนะนำมี 5 ระบบ แต่ระบบกรีตครึ่งลำต้นวันเว้นวัน ($1/2S \ d/2$) นิยมใช้กับพันธุ์ยางพาราทั่ว ๆ ไป (สถาบันวิจัยยาง, 2554)

2) การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยสมการเฮลิคซ์

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่ารอยกรีตมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์พันรอบต้นยางพารา จากด้านล่างขวาขึ้นสู่ด้านบนซ้าย



รูปที่ 3.3 เส้นทางการเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาลักษณะรอยกรีตบนต้นยางพาราที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ โดยแยกพิจารณาออกเป็นแต่ละแนวแกน จะได้การกระจัดและความเร็วของแต่ละแนวแกน ดังนี้

การขจัด

$$X(t) = r - r \cos(\omega t) \quad (3.4a)$$

$$Y(t) = \frac{h}{\pi} (\omega t) \quad (3.4b)$$

$$Z(t) = -r \sin(\omega t) \quad (3.4c)$$

เมื่อ	r	=	รัศมีของคันท้ายพารา (mm)
	ω	=	$\frac{\pi}{t}$ = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
	t	=	เวลาที่ใช้ในการกรีด (s)
	h	=	$d \tan \beta$ = ความสูงของรอยกรีด (mm)
	d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของคันท้ายพารา (mm)
	β	=	มุมของรอยกรีด ($^{\circ}$)

ทำการอนุพันธ์สมการ (3.4) จะได้

ความเร็ว

$$\dot{X}(t) = r\omega \sin(\omega t) \quad (3.5a)$$

$$\dot{Y}(t) = \frac{h}{\pi} \omega \quad (3.5b)$$

$$\dot{Z}(t) = -r\omega \cos(\omega t) \quad (3.5c)$$

3) การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม

ในการศึกษานี้เส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนจะถูกสร้างด้วยสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ซึ่งมีสมการการจัด ความเร็วและความเร่ง ตามลำดับดังนี้

$$q(t) = k_0 + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 t^3 \quad (3.6a)$$

$$\dot{q}(t) = k_1 + 2k_2 t + 3k_3 t^2 \quad (3.6b)$$

$$\ddot{q}(t) = 2k_2 + 6k_3 t \quad (3.6c)$$

จากสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ในฟังก์ชันที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบค่าอย่างน้อย 4 เงื่อนไข โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าตำแหน่งเริ่มต้นและค่าตำแหน่งสุดท้าย

$$q(t_0) = q_0 \quad (3.7a)$$

$$q(t_f) = q_f \quad (3.7b)$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันนั้นต่อเนื่อง

$$\dot{q}(t_0) = \dot{q}_0 \quad (3.8a)$$

$$\dot{q}(t_f) = \dot{q}_f \quad (3.8b)$$

แทนค่าเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไข ในสมการที่ (3.6a) และสมการที่ (3.6b) แล้วจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 \\ \dot{q}_0 \\ q_f \\ \dot{q}_f \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

ต้นขางพาราที่เปิดกรีดได้ต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 160 mm ในการศึกษานี้จำลองต้นขางพาราที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm มุมกรีด 30° จากการออกแบบให้แต่ละแกนของแขนกลทำงานอิสระต่อกันทำให้มีการขจัดเชิงเส้นตามสมการที่ (3.6a) แทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละแกนตามตารางที่ 3.1 ลงในสมการที่ (3.9) เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2, k_3

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขของแต่ละแกน

แกน	t_0 (s)	t_f (s)	q_0 (mm)	q_f (mm)	\dot{q}_0 (mm/s)	\dot{q}_f (mm/s)	m (kg)
X	0	10	0	200	0	0	2.453
Y	0	5	0	100	0	0	0.309
Z	0	10	0	115.47	0	0	1.431

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จะพิจารณาครั้งแรกของเวลาทั้งหมดเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปและกลับ ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ในครั้งเวลาหลังจะมีลักษณะตรงข้ามกับครั้งแรก

3.3.3 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับแบบจำลองทางไดนามิกส์

จากสมการที่ (3.3) ให้ $F(t)$ เป็น input และ $q(t)$ เป็น output พังค์ถ่ายโอนของแขนกลแต่ละแกน เมื่อพิจารณาค่าเริ่มต้นทั้งหมดเป็นศูนย์ คือ

$$G_p(s) = \frac{q(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2} \quad (3.10)$$

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ ตามสมการโพลีโนเมียลกำลังสามกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางไดนามิกส์ของแขนกล ณ เวลาเดียวกัน จะถูกป้อนกลับให้กับตัวควบคุม สราวุฒิ (2546) กล่าวว่าตัวควบคุม Proportional-Integral-Derivative (PID) เป็นชื่อของตัวควบคุมอันทรงประสิทธิภาพ กว่าร้อยละ 90 ของปัญหาในการควบคุม สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้ตัวควบคุมชนิดนี้และสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ดังนี้

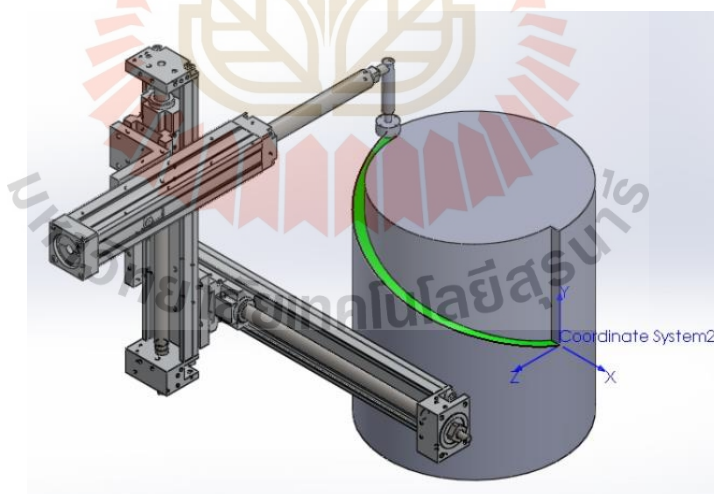
$$G_c(s) = \frac{K_{DS^2} + K_{pS} + K_1}{s} = \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{s} \quad (3.11)$$

การจำลองสถานการณ์ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID จะใช้โปรแกรม Matlab/Simulink[®] กรณีในการพิจารณาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสม จะพิจารณาค่าเกณฑ์ที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm เนื่องจากต้องการกริดให้เหลือเยื่อเจริญของต้นยางพาราประมาณ 1 mm

3.3.4 การจำลองสถานการณ์

1) การจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคิเนเมติกส์

ในการจำลองสถานการณ์ของแขนกลและเส้นทางการเคลื่อนที่ โดยทำการขึ้นรูปแขนกลและรอยกริดด้วยโปรแกรม SolidWorks[®] แต่ละแกนของแขนกลจะใช้ตัวจับเร้าเชิงเส้นประกอบแบบอนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉากได้ ชุดมีดกริดขางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน z ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์แทนรอยกริดบนต้นยางพารา เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกริด 30° กับแนวตั้ง เมื่อพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จะทำให้สมการ (3.2) เท่ากับสมการ (3.5a) แต่ในระบบจริง ต้นกำลังที่เป็นมอเตอร์จะหมุนขับเคลื่อนบอลสกรูของชุดจับเร้าเชิงเส้นเพราะฉะนั้นแกนบอลสกรูจะต้องหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมตามสมการที่ (3.12a)



รูปที่ 3.4 แบบจำลองของแขนกลและเส้นทางการเคลื่อนที่

$$\frac{1}{2\pi} \omega_x = r\omega \sin(\omega t)$$

$$\omega_x = r \left(\frac{\pi}{t} \right) \sin(\omega t) \left(\frac{2\pi}{L} \right) \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (3.12a)$$

ในแกน Y และ Z พิจารณาเช่นเดียวกัน

$$\omega_y = \frac{d \tan 30}{t} \left(\frac{2\pi}{L} \right) \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (3.12b)$$

$$\omega_z = -r \left(\frac{\pi}{t} \right) \cos(t) \left(\frac{2\pi}{L} \right) \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (3.12c)$$

การเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลกับรอยกรีดที่สร้างสมการเฮลิคซ์ ความเร็วเชิงมุมของแต่ละแกนจะถูกป้อนให้กับตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแล้วนำข้อมูลของการขจัดต่าง ๆ ที่ได้จากการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันทั้งสามแนวแกน ไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับรอยกรีดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์ ในการจำลองสถานการณ์จะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการจำลองสถานการณ์

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ขนาด
ระยะชักแกน X	X	250 mm
ระยะชักแกน Y	Y	200 mm
ระยะชักแกน Z	Z	150 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง	d	200 mm
มุมของรอยกรีด	β	30°
เวลาที่ใช้ในการกรีด	t	10 s

จะนำข้อมูลของการขจัด ความเร็วและความเร่งของแต่ละแกนที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขั้วเร้าเชิงเส้นกับรอยกริดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน

2) การจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์

แรงบิดจะถูกป้อนที่แกนเกลียวแต่ละแกนหมุนขั้วให้ตัวสไลด์เคลื่อนที่แบบเลื่อน ในแต่ละแกนจะมีการเคลื่อนที่สองแบบ คือการเคลื่อนที่แบบหมุนที่แกนเกลียวและการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ตัวสไลด์ เพราะฉะนั้นแรงบิดที่ใส่ป้อนจะได้มาจากสมการ

$$T = T_t + T_r \quad (3.13)$$

เมื่อ T_t = แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อน (N-mm)

T_r = แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน (N-mm)

แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อนหามาได้จากการส่งกำลังของเกลียวในตัวขั้วเร้าเชิงเส้นเพื่อให้ตัวสไลด์เคลื่อนที่แบบเลื่อน

$$T_t = \frac{Fl}{2\pi e} = \frac{mal}{2\pi e} \quad (3.14)$$

เมื่อ a = ความเร่งเชิงเส้นของมวล (mm/s^2)

l = ระยะหัดัด (mm)

e = สัมประสิทธิ์ของตัวขั้วเร้าเชิงเส้น (ในการจำลองนี้จะให้มีค่าเท่ากับ 1)

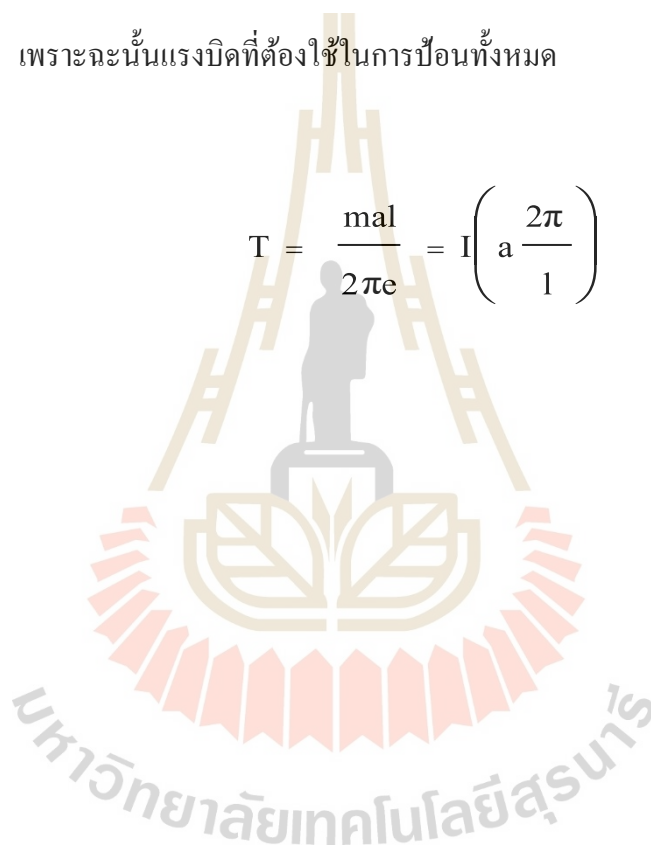
แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน

$$T_r = I\alpha = I\left(a \frac{2\pi}{1}\right) \quad (3.15)$$

เมื่อ I = โมเมนต์ความเฉื่อยของแกนตัวข้อเร้าเชิงเส้น ($\text{kg}\cdot\text{mm}^2$)

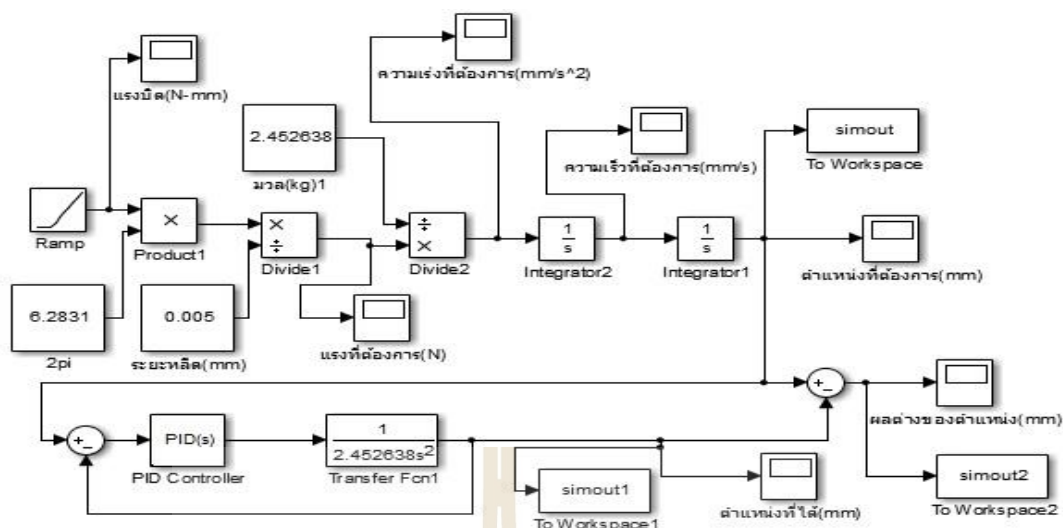
เพราะฉะนั้นแรงบิดที่ต้องใช้ในการบิดทั้งหมด

$$T = \frac{mal}{2\pi e} = I\left(a \frac{2\pi}{1}\right) \quad (3.16)$$



รายละเอียดของแรงบิดแต่ละแกนสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{1x}{2\pi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1z}{2\pi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_x + m_y + m_z & 0 & 0 \\ 0 & m'_y & 0 \\ 0 & 0 & m_y + m_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_y + m_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{1x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2\pi}{1y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2\pi}{1z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I'_x & 0 \\ 0 & 0 & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (3.17)
 \end{aligned}$$



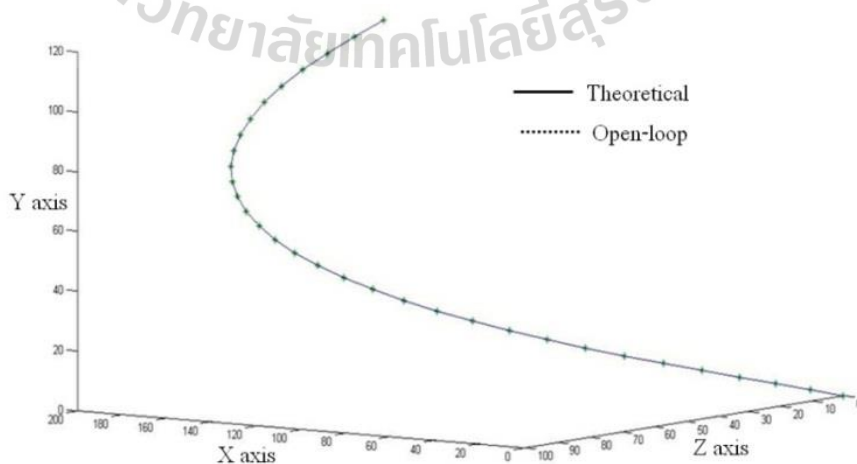
รูปที่ 3.5 แผนผังการจำลองสถานการณ์การควบคุมแบบป้อนกลับของแกน X

3.4 ผลการจำลองและการอภิปรายผล

3.4.1 ผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคินเมติกส์

1) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเฮลิคซ์

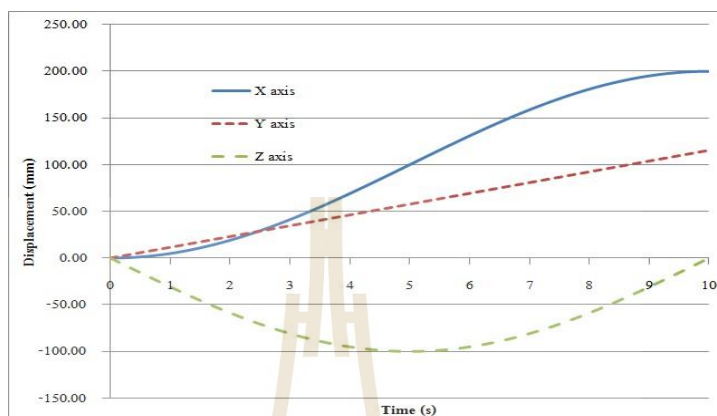
จากกราฟเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่จะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของแกนกลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกริดที่สร้างสมการเฮลิคซ์ เส้นกราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นเคลื่อนที่จากด้านล่างขวามันขึ้นสู่ด้านบนซ้ายทับกันเป็นเส้นเดียวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่

2) การขจัดของแขนกล

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่า การขจัดในแกน X จะเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายเป็นระยะทาง 200 mm เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง



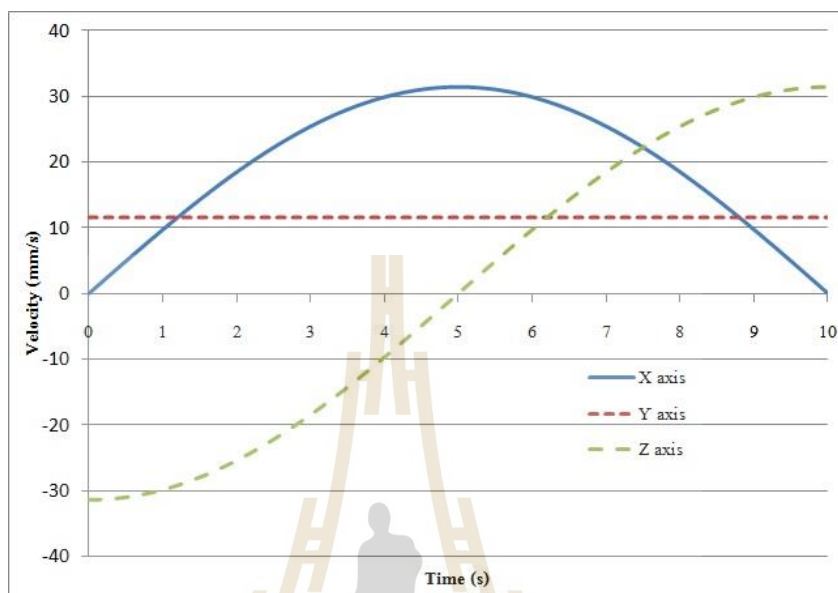
รูปที่ 3.7 การขจัดของแขนกล

ลักษณะของเส้นกราฟจะมีความลาดชันน้อยเมื่อเริ่มต้นเคลื่อนที่ มีความลาดชันเพิ่มขึ้นบริเวณส่วนกลางของเส้นกราฟ และจะมีความลาดชันน้อยอีกครั้งเมื่อจะสิ้นสุดการเคลื่อนที่ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าต้องเคลื่อนที่สัมพันธ์กับแกน Z ที่กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายครึ่งวงกลมรัศมี 100 mm ถ้ามองในแนวระดับของรอยกิริตที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ส่วนโค้งบริเวณหัวและท้ายจะโค้งลึกเข้าไป ทำให้มองเห็นเป็นระยะทางสั้นกว่าส่วนโค้งบริเวณตรงกลาง ส่งผลให้แกน X ต้องเคลื่อนช้า ๆ ในบริเวณดังกล่าว การขจัดในแกน Y เส้นกราฟจะมีลักษณะเอียง ที่มีความลาดชันคงที่เป็นระยะทาง 115.47 mm ถ้ามองในแนวระดับจะเห็นว่าเส้นทางเดินของแกน Y จะเกิดจากฟังก์ชันตรีโกณมิติของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางกับระยะความแตกต่างของความสูงของจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้าย

3) ความเร็วของแขนกล

ความเร็วในแนวแกน X กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคว่ำ ถ้ามองในแนวระดับของรอยกิริตที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ส่วนโค้งบริเวณหัวและท้ายจะโค้งลึกเข้าไป ทำให้มีระยะการเคลื่อนที่สั้นกว่าส่วนโค้งบริเวณตรงกลางส่งผลให้แกน X เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ช้ากว่าบริเวณตรงกลางความเร็วในแกน Y เส้นกราฟจะมีลักษณะเส้นตรง มีความเร็วคงที่ที่ 11.54 mm/s เนื่องจากระยะทางที่แกน Y เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นเส้นเอียงที่มีความลาดชันคงที่ ส่วนความเร็วในแกน Z

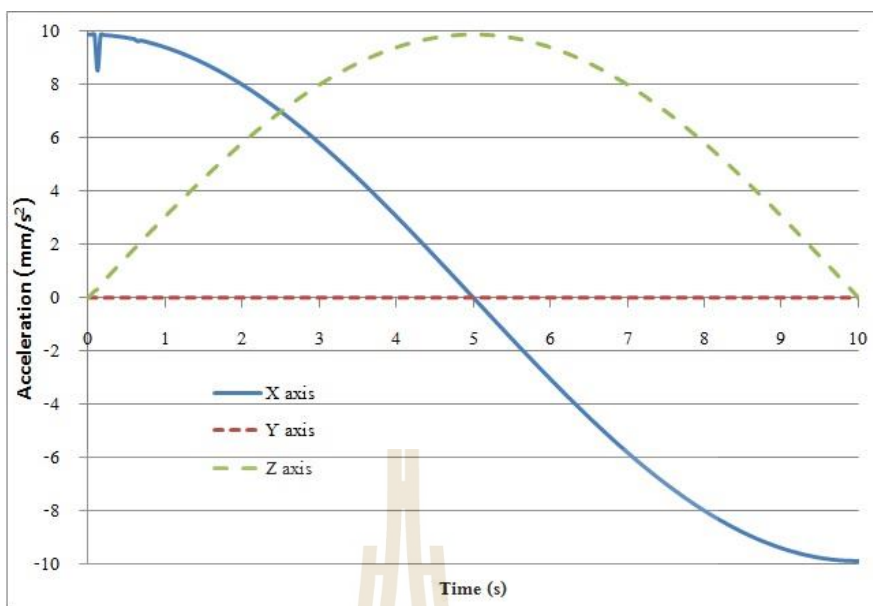
จะมีความเร็วที่ช้า ที่บริเวณจุดเริ่มต้นกับบริเวณจุดสุดท้าย เนื่องมาจากเส้นกราฟตำแหน่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งครึ่งวงกลม ส่งผลให้มีระยะเวลาการเคลื่อนที่บริเวณดังกล่าวน้อย



รูปที่ 3.8 ความเร็วของแขนกล

4) ความเร่งของแขนกล

ความเร่งจะมีผลต่อความนุ่มนวลของการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนและการสั่นสะเทือนของแขนกล ในรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าแกน X และแกน Z จะทำให้เกิดการสั่น โดยเฉพาะแกน X ที่มีความเร่งที่ไม่ได้เริ่มจากศูนย์ ทำให้เกิดการสั่นมากในตอนเริ่มต้นการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนเข้าสู่บริเวณลดลงคงที่ และค่อยเริ่มมีความเร่งอีกครั้งในช่วงท้ายของการเคลื่อนที่ ความเร่งในแนวแกน Z จะมีความเร่งน้อย ๆ บริเวณเริ่มต้นและสิ้นสุดการเคลื่อนที่ แต่มีความเร่งมากช่วงกลางของการเคลื่อนที่ เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ส่วนความเร่งในแนวแกน Y ไม่มีเนื่องจากมีความเร็วคงที่



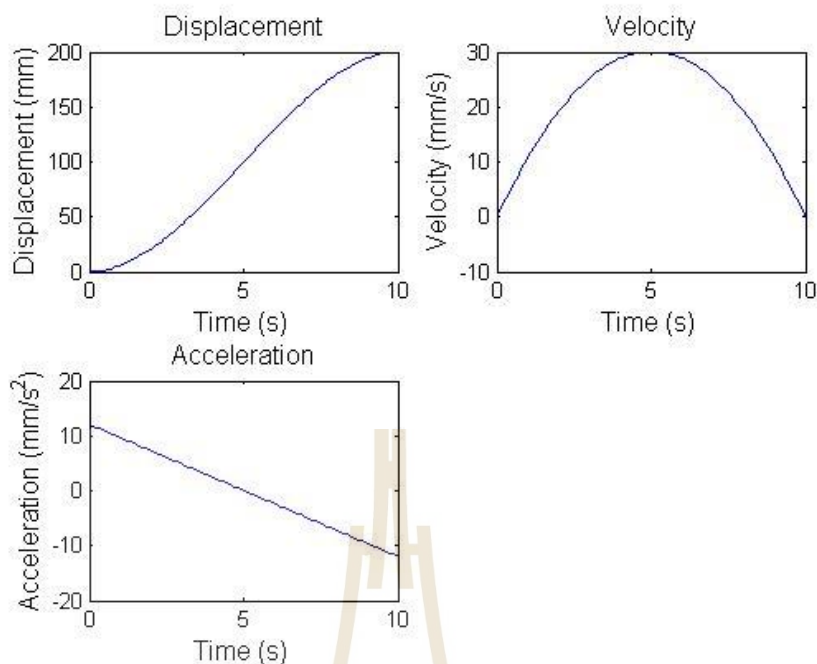
รูปที่ 3.9 ความเร่งของแกนกล

3.4.2 ผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์

1) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม

จากการแทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ในตารางที่ 3.1 ลงในสมการที่ (3.9) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2, k_3 แล้วแทนค่าสัมประสิทธิ์นี้ลงในสมการที่ (3.6a), (3.6b) และ (3.6c) จะได้กราฟการขจัด ความเร็วและความเร่งของแกน X, Y และ Z ดังแสดงในรูปที่ 3.10 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ จากกราฟเส้นทางการเคลื่อนที่จะเห็นว่าการขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ในช่วงต้น ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่ ในช่วงกลางกราฟการขจัดจะมีความชันมากส่งผลทำให้มีความเร็วมากด้วยและมีความเร็วมากที่สุดที่เวลา 5 s

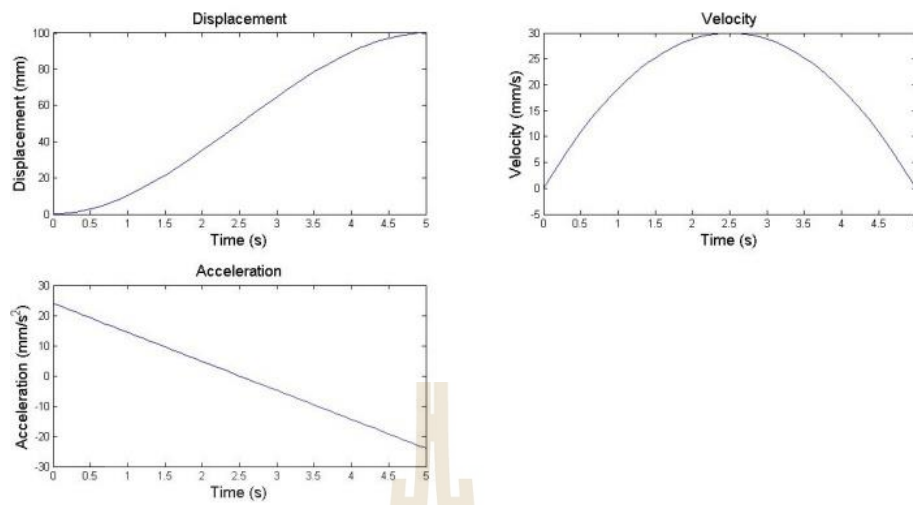
ในช่วงท้ายกราฟการขจัดจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ความเร็วจะลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนความเร่งจะมีค่าเป็นลบเพื่อให้การเข้าสู่เป้าหมายเกิดความแม่นยำ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม



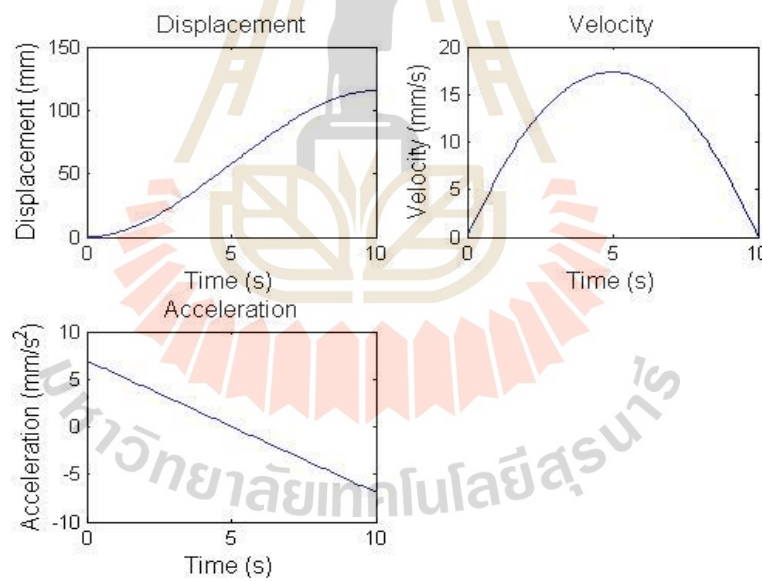
รูปที่ 3.10 การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน X

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จะพิจารณาครั้งแรกของเวลาทั้งหมดเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปและกลับ ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ในครึ่งเวลาหลังจะมีลักษณะตรงข้ามกับครึ่งเวลาแรกดังรูปที่ 3.11 จากกราฟเส้นทางการเคลื่อนที่ที่จะเห็นว่าการขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่เร็วขึ้นและลดความเร็วในช่วงกลาง เพื่อหยุดการเคลื่อนที่และกลับทิศทางการเคลื่อนที่ ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่และเข้าสู่เป้าหมายได้อย่างแม่นยำ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ดังรูปที่ 3.12 จะมีลักษณะเหมือนกับเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จากกราฟเส้นทางการเคลื่อนที่ที่จะเห็นว่าการขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ในช่วงต้น ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่ ในช่วงกลางกราฟการขจัดจะมีความชันมากส่งผลทำให้มีความเร็วมากด้วยและมีความเร็วมากที่สุดที่เวลา 5 s ในช่วงท้ายกราฟการขจัดจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ความเร็วจะลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนความเร่งจะมีค่าเป็นลบเพื่อให้การเข้าสู่เป้าหมายเกิดความแม่นยำ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม



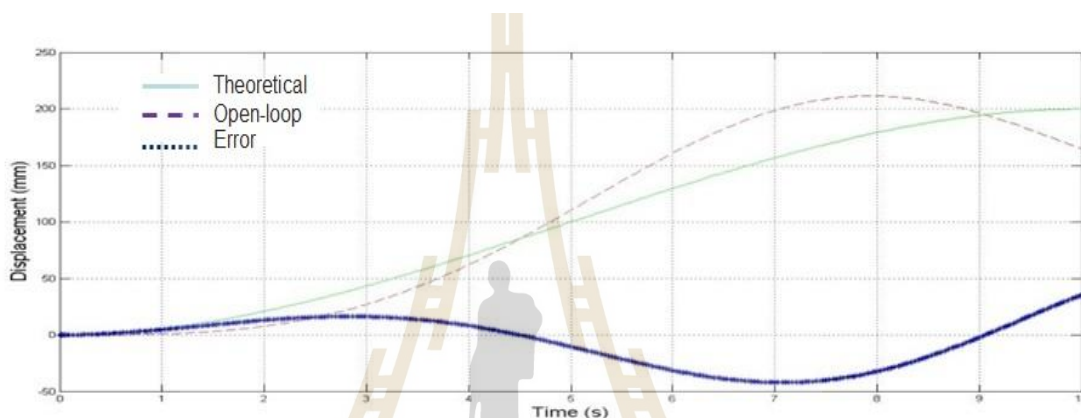
รูปที่ 3.11 การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน Y



รูปที่ 3.12 การขจัด ความเร็วและความเร่งของแขนกลในแนวแกน Z

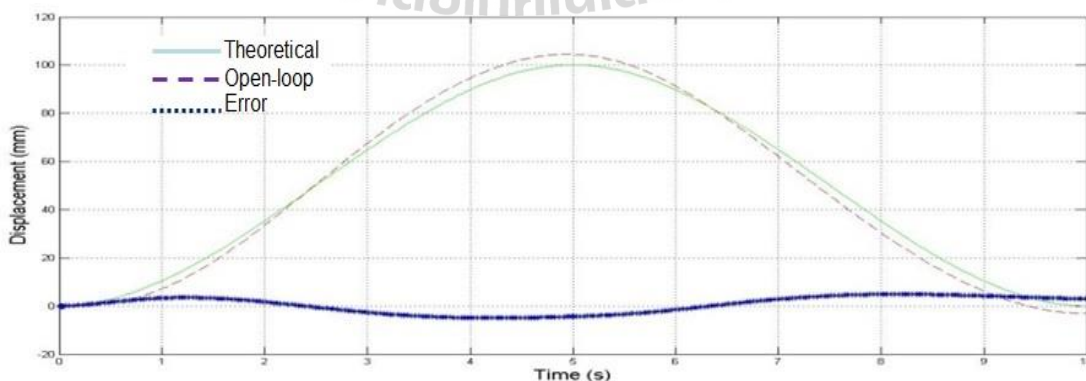
2) เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลเมื่อไม่ใช้ตัวควบคุม

จากการป้อนแรงบิดไปขับแกนเกลียวของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นในแต่ละแนว แกน เพื่อให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการ พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลีโนเมียลกำลังสามของแนวแกน X จะเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 200 mm ภายในเวลา 10 s และจะผ่านจุด 100 mm ที่เวลา 5 s แต่เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางไดนามิกส์จะทับกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลีโนเมียลกำลังสามที่เวลา 0 4.30 และ 9 s ตามลำดับ มีค่าผิดพลาดสูงสุด 40 mm ที่เวลา 7s และ 10 s ตามลำดับ



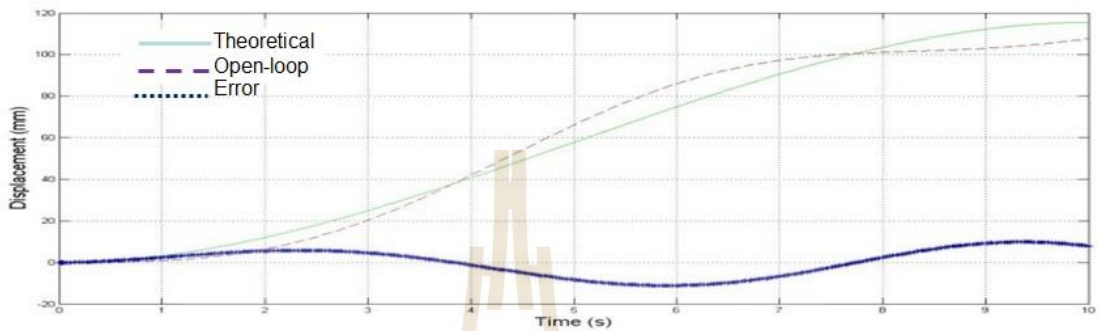
รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ที่ได้จากแบบจำลองทางไดนามิกส์ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม มีค่าความผิดพลาดสูงสุด 5 mm ที่เวลา 5 s



รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

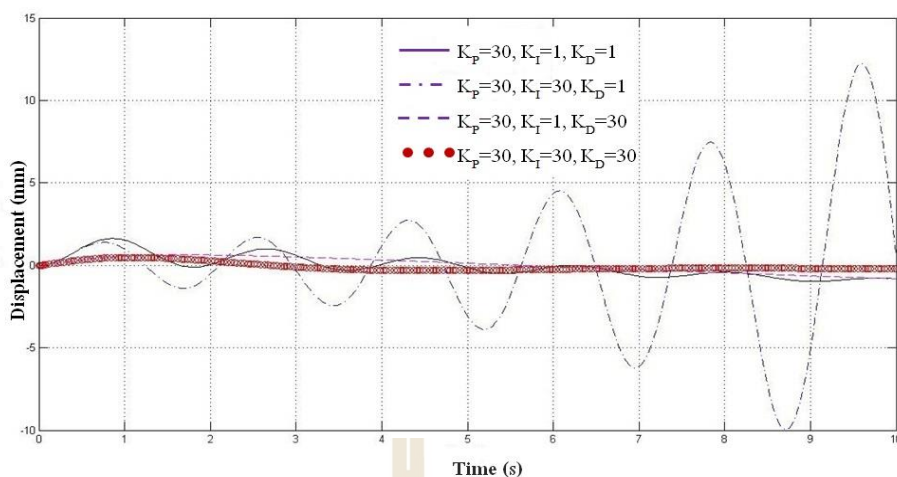
ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสามและเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางไดนามิกส์ของแนวแกน Z มีลักษณะเหมือนกับของแนวแกน X แต่ระยะทางในการเคลื่อนที่จะสั้นกว่าทำให้ค่าผิดพลาดน้อยกว่า มีค่าความผิดพลาดสูงสุด 10 mm ที่เวลา 6 s



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

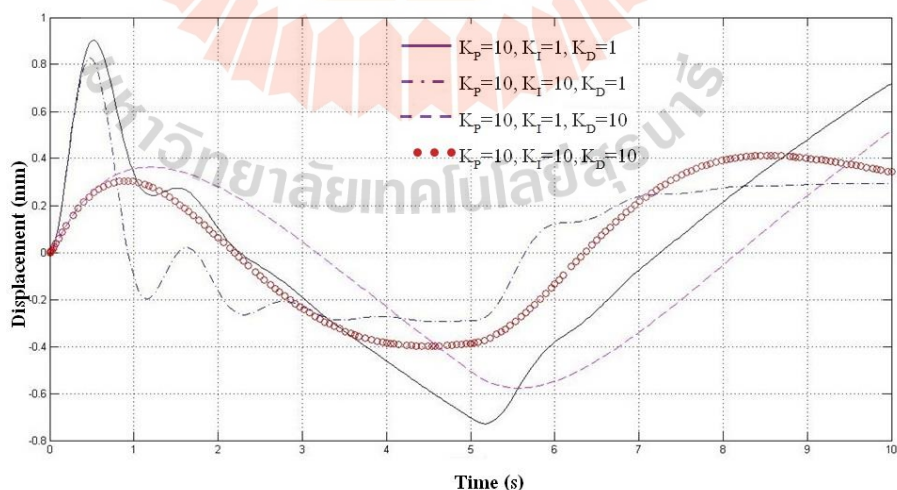
3) เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลเมื่อใช้ตัวควบคุม

จากวิธีการลองผิดลองถูกในการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ PID ของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm พบว่าต้องใช้ค่าเกนของ K_p , K_i และ $K_d = 30$ และเมื่อนำค่าเกนดังกล่าวไปใช้กับตัวควบคุมแบบ P PI และ PD พบว่าที่ตัวควบคุมแบบ P และ PD มีความผิดพลาดใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบ PID แต่มีค่าผิดพลาดบางช่วงที่มากกว่า 0.5 mm และพบว่าที่ตัวควบคุมแบบ PI จะเกิดค่าผิดพลาดน้อยในช่วงต้นแล้วจะมีค่าผิดพลาดสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ



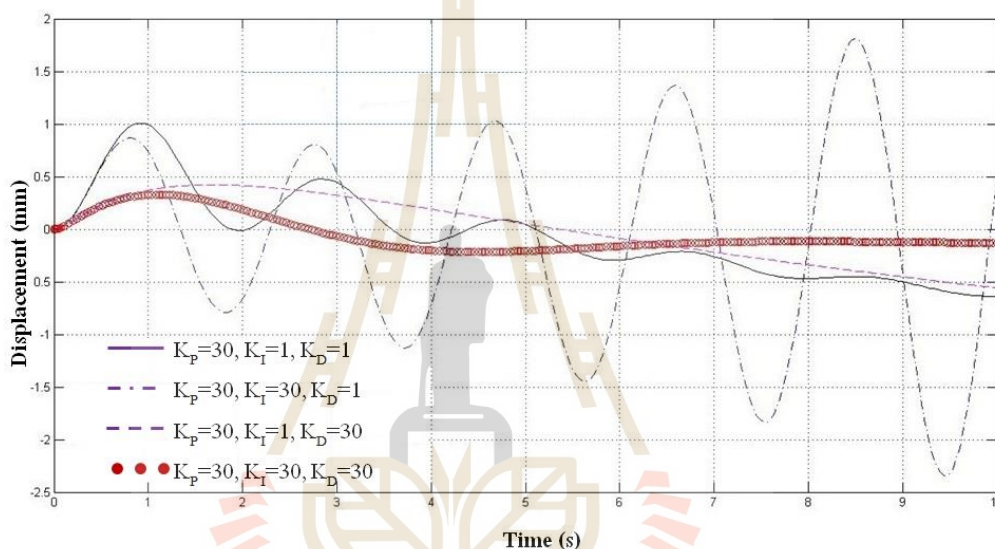
รูปที่ 3.16 ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y น้อยที่สุดเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าเกนของ K_p , K_i และ $K_d = 10$ และพบว่าตัวควบคุมแบบ P และ PI มีลักษณะใกล้เคียงกันคือจะมีค่าค่าผิดพลาดสูงในช่วงแรก เนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y มีลักษณะการเคลื่อนที่ไป-กลับ ทำให้ช่วงเวลาที่ต้องเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เกิดค่าความผิดพลาดมากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ของการใช้ตัวควบคุมทั้งสี่แบบ



รูปที่ 3.17 ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จะมีลักษณะเหมือนกับค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จากวิธีการลองผิดลองถูกในการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ PID ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm พบว่าต้องใช้ค่าเกนของ K_p , K_I และ K_D เท่ากับ 15 และเมื่อนำค่าเกนดังกล่าวไปใช้กับตัวควบคุมแบบ P, PI และ PD พบว่าที่ตัวควบคุมแบบ P มีค่าความผิดพลาดมากในช่วงแรก ตัวควบคุมแบบ PD มีความผิดพลาดใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบ PID แต่มีค่าผิดพลาดบางช่วงที่มากกว่า 0.5 mm และพบว่าที่ตัวควบคุมแบบ PI จะเกิดค่าผิดพลาดน้อยในช่วงต้นแล้วจะมีค่าผิดพลาดสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ



รูปที่ 3.18 ค่าผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

3.5 สรุปผลการศึกษา

3.5.1 แบบจำลองทางคิเนเมติกส์

จากผลการดำเนินการจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกริดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์ เส้นกราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นทับกันเป็นเส้นเดียว การขจัดในการเคลื่อนที่แต่ละแกนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายมีความถูกต้องแม่นยำทั้งสามแกน ส่วนความเร็วและความเร่งแต่ละแกนจะมีผลต่อความนุ่มนวลในระหว่างการเคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลต่อการสิ้นของใบมีดกรีดยางไม่มาก จากผลการดำเนินการจะเห็นว่า แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นขางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีดยาง 30 องศา รอยกริดบนต้นขางพาราจะมีลักษณะ

เป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์และถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของแกนกล จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks® พบว่าแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดของคั่นยางพาราได้

3.5.2 แบบจำลองทางไดนามิกส์

เส้นทางการเปิดกริดของคั่นยางพารา ที่รอยกริดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์พันรอบเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงคั่นยางพารา แขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทางไดนามิกส์โดยการขึ้นรูปตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม ป้อนแรงบิดขับเคลื่อนแกว่งของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแต่ละแกน จำลองสถานการณ์ให้แขนกลเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นทางการออกแบบไว้ การตอบสนองของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการจำลองสถานการณ์พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางไดนามิกส์ผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสามสูงสุดในแนวแกน X เท่ากับ 40 mm ในแนวแกน Y เท่ากับ 5 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 10 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าเกนในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 30, 10 และ 15 ตามลำดับ ทำให้ค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนไม่เกิน 0.5 mm แขนกลสำหรับการกริดยางพาราอัตโนมัติที่สร้างด้วยแบบจำลองทางไดนามิกส์และถูกควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ PID สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนที่ถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสามได้

3.6 รายการอ้างอิง

- โกเมฆนท์ โกลศกิตติอัมพร. (2548). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองภาพการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ขงยุทธ์ เสียงดั่ง. (2552). การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกริดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกริดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 วันที่ 1-4 เมษายน 2556 ประจวบคีรีขันธ์.
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2550). การกริดยางและการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง [ออนไลน์].
ได้จาก: www.Rubberthai.com
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2544). การกริดยาง [ออนไลน์]. ได้จาก: www.Rubberthai.com
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555 [ออนไลน์]. ได้จาก:

www. Rubberthai.com

สราวุฒิ สุจิตจร. (2546). การควบคุมอัตโนมัติ. กรุงเทพมหานคร : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อิน โคไชน่า.

Luigi Biagiotti and Claudio Melchiorri. (2008). **Trajectory Planning for Automatic Machines
And Robors.** Berlin: Springer.

Tilt a jet and Omax. (2010). **Solidworks Motion.** Massachusetts: Dassault System Solidworks Corporation.



บทที่ 4

การทดสอบแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ

4.1 บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมและทดสอบสมรรถนะของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ แขนกลถูกสร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน X' จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน ประกอบด้วยด้านบนของชุดขับเคลื่อนกับลำต้นยางพารา ส่วนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน Z จะวางในแนวนอน ต้นกำลังจะใช้คีมอเตอร์ที่ถูกควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ที่รับสัญญาณตำแหน่งจากเอ็นโค้ดเดอร์ ชุดมีคกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน Z เส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนเลือกมาจากสมการการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ทำการทดสอบสมรรถนะกับต้นยางจำลองและต้นยางจริง ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่

จากการศึกษาโดยให้แขนกลเคลื่อนที่ตามรอยกริดบนต้นยางจำลองและต้นยางจริง พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน X' และของแกน Z ที่สร้างจากสมการเส้นตรงและสมการครึ่งวงกลมเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง แต่ถ้าไม่ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมจะไม่สามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดทั้งบนต้นยางจำลองและต้นยางจริงได้

4.2 บทนำ

จากการศึกษาในบทที่ 3 แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติถูกจำลองทั้งทางคิเนแมติกส์และทางไดนามิกส์ให้มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระ สร้างบนพิกัดฉาก เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลสร้างมาจากสมการเฮลิคซ์และโพลีโนเมียลกำลังสาม ระบบสามองศาอิสระนี้จำเป็นต้องใช้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นจำนวน 3 ชุด ส่งผลทำให้ต้องใช้ระบบควบคุมแขนกลที่ยุ่งยากและซับซ้อน เพื่อเป็นการลดน้ำหนักและง่ายต่อการควบคุมแขนกลจึงลดจำนวนแกนลงหนึ่งแกน กำหนดให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแต่ละแกนทำงานอิสระ ถ้าต้องการให้แขนกลเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการ จำเป็นต้องมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนที่ถูกต้องเพื่อให้ส่วนปลายแขนสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดของต้นยางพารา ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางที่เคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นทางที่ออกแบบไว้ ทดสอบสมรรถนะในการกรีดยางกับต้นยางจำลองและต้นยางจริง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจากสมการการเคลื่อนที่รูปแบบต่าง ๆ และทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานกับต้นขางจำลองและต้นขางจริง เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการกับเส้นทางการเคลื่อนที่จริง ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

4.3 วิธีดำเนินการศึกษา

4.3.1 แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ

1) ส่วนประกอบของแขนกล

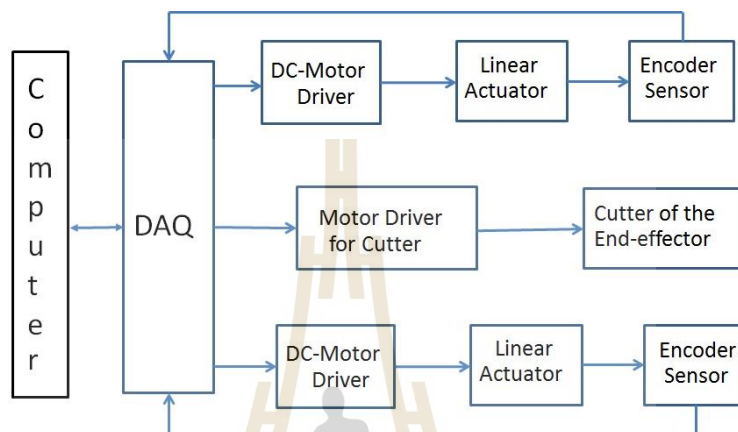
แขนกลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก (1) ส่วนแรกเป็นโครงจับยึดกับต้นขางพาราจะถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งและถอดออกจากต้นขางพาราได้ (2) ส่วนที่สองชุดกลไกการเคลื่อนที่แบบ 2 แกน สร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมกัน ใช้กลไกของเกลิยวนาร่วมกับบอลสกรูเพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน X จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน ประกอบอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นขางพารา ส่วนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน Z จะวางในแนวนอน ต้นขาลังจะใช้เซ็นเซอร์ที่ถูกควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ที่รับสัญญาณตำแหน่งจากเอ็นโค้ดเดอร์ และ (3) ส่วนสุดท้ายเป็นชุดมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนใบมีดผ่านสายพานฟัน จะถูกติดตั้งที่ปลายแกน Z กำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่ตำแหน่งตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นทั้งสองแนวแกนเคลื่อนที่ที่ออกสุด



รูปที่ 4.1 แขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ

2) โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล

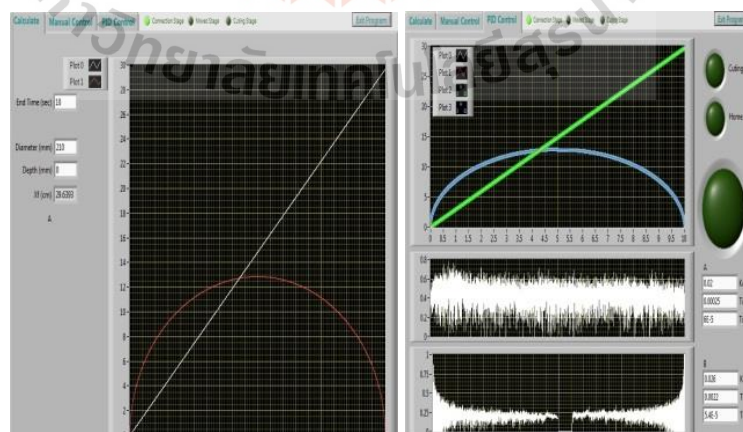
คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการประมวลผลโดยรับ-ส่งข้อมูลผ่านทาง DAQ เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นผ่านทางไดเวอร์ เอ็นโคเดอร์จะทำหน้าที่วัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของระบบควบคุมแขนกล

3) การพัฒนาโปรแกรมควบคุมแขนกล

โปรแกรมควบคุมแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัตินี้ สร้างจากโปรแกรม LABVIEW[®] ประกอบด้วยสามหน้าจอหลัก

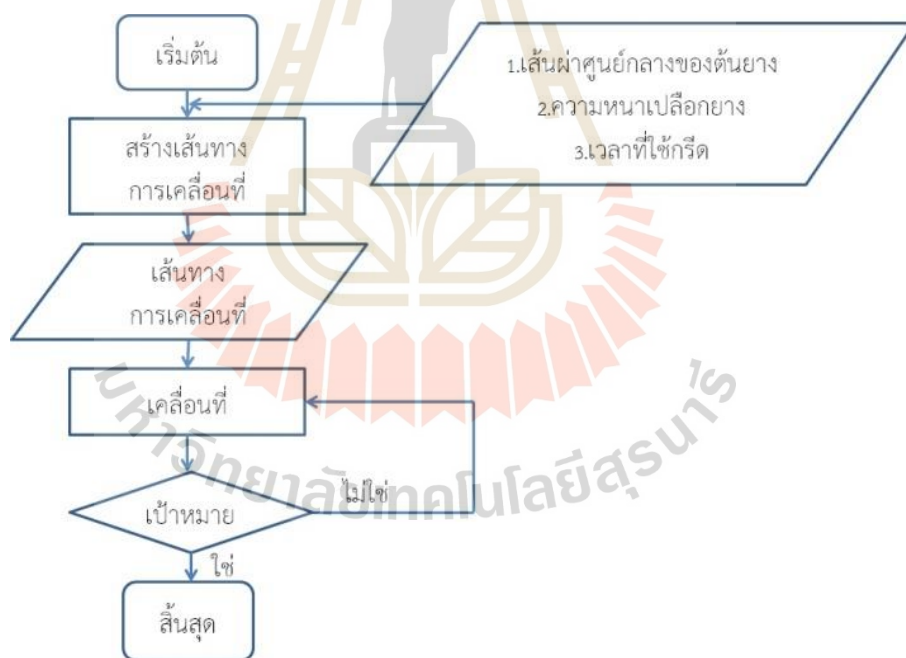


รูปที่ 4.3 โปรแกรมควบคุมแขนกล (ซ้าย) Calculation (ขวา) PID Control

(1) หน้าจอ Calculation สำหรับป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง ความหนาเปลือกยาง และเวลาที่ใช้กรี๊ด หน้าจอจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการตามรูปที่ 4.3 (ซ้าย)
 (2) หน้าจอ Manual Control สำหรับป้อนค่าจำนวนพลัสซ์ต่อรอบของเอ็น โค้ดเตอร์ และตำแหน่งเริ่มต้นกรี๊ด สามารถควบคุมให้แขนกลเคลื่อนที่ตามต้องการได้ และ (3) หน้าจอ PID Control สำหรับป้อนค่าเกน หน้าจอนี้เมื่อแขนกลทำงานเสร็จแล้วจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการและเส้นทางการเคลื่อนที่ได้จริงบนกราฟเดียวกัน รวมทั้งแสดงค่า Duty Cycle ด้วยตามรูปที่ 4.3 (ขวา)

4) ขั้นตอนการทำงานของแขนกล

จากโปรแกรมเมื่อทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โปรแกรมจะทำการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ตามสมการการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนแล้วแสดงที่หน้าจอ Calculate ดัง รูปที่ 4.3 (ซ้าย) เมื่อให้แขนกลเริ่มเคลื่อนที่ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะถูกป้อนให้กับมอเตอร์ เส้นทางการเคลื่อนที่จริงจะถูกเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

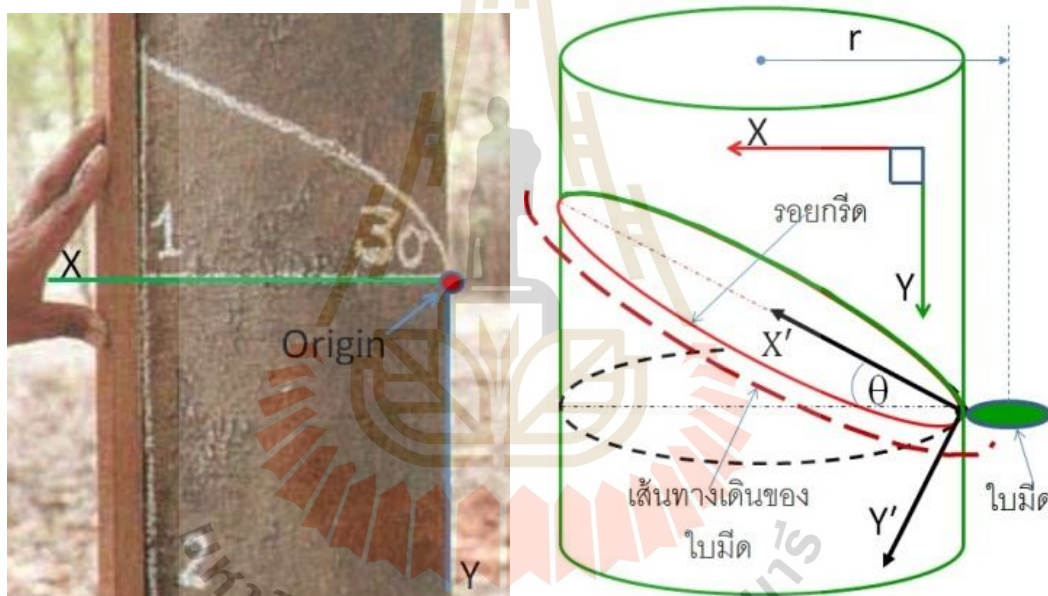


รูปที่ 4.4 โปรแกรมการเคลื่อนที่

4.3.2 เส้นทางเคลื่อนที่

1) เส้นทางเคลื่อนที่บนต้นยางพารา

จากรูปที่ 4.5 เมื่อวางระบบพิกัดฉาก XYZ โดยให้แกน X อยู่ในแนวนอนตัดขวาง ลำต้นยางพารา แกน Y อยู่ในแนวตั้งขนานกับลำต้นยางพารา ส่วนแกน Z พุ่งออกมาตั้งฉากกับหน้ากระดาษ ระบบสามแกนนี้จำเป็นต้องใช้ตัวจับเร้าเชิงเส้นจำนวน 3 ชุด แต่เพื่อเป็นการลดน้ำหนักและง่ายต่อการควบคุมปลายแขนกล จึงลดจำนวนแกนลงหนึ่งแกน โดยการหมุนระนาบ XY รอบแกน Z ทิศทางตามเข็มนาฬิกาเป็นมุม θ ทำให้ได้ระบบพิกัดฉาก $X'Y'Z'$ แทน ดังรูปที่ 4.5 โดยให้ r เท่ากับรัศมีของต้นยางพาราบวกกับรัศมีของใบมีดหมุน (mm) เมื่อมองจากแกน $-Y'$ ที่ตั้งฉากกับระนาบ $X'Z'$ ที่เอียงทำมุม θ กับแนวแกน X จะเห็นพื้นที่หน้าตัดของต้นยางพาราเป็นรูปวงรี

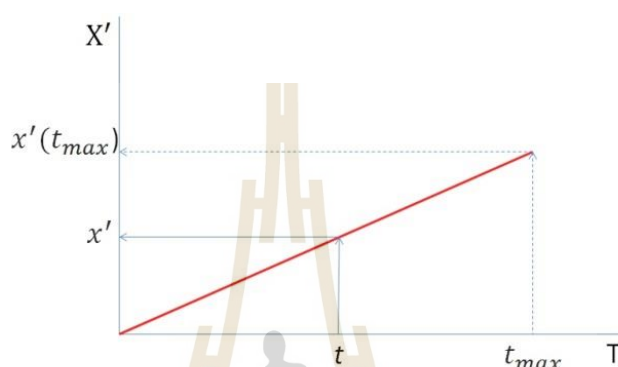


รูปที่ 4.5 ระบบพิกัดฉาก (ซ้าย) ระบบ XYZ , (ขวา) ระบบ $X'Y'Z'$

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาเส้นทางเคลื่อนที่ของตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน X' จาก 3 รูปแบบได้แก่เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง สมการโพลีโนเมียลกำลังสาม และสมการครึ่งวงกลม ส่วนเส้นทางเคลื่อนที่ของตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน Z จะทำการศึกษาจาก 2 รูปแบบได้แก่เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม และสมการครึ่งวงกลม โดยแยกพิจารณาเส้นทางเคลื่อนที่ในแต่ละสมการได้ดังนี้

2) การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยสมการเส้นตรง

การเคลื่อนที่ในแนวแกน X' มีลักษณะเป็นเส้นตรง รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X' กับเวลาที่ใช้ในการก๊อกรีดทั้งหมด เมื่อกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X' สูงสุดเท่ากับ $x'(t_{max})$ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.1)



รูปที่ 4.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน X'

$$x'(t) = \frac{x'(t_{max})t}{t_{max}} \quad (4.1)$$

เมื่อ $x'(t_{max})$ = ระยะทางการเคลื่อนที่สูงสุดในแนวแกน X' (mm)

t = เวลาที่พิจารณา (s)

t_{max} = เวลาที่ใช้ในการก๊อกรีดทั้งหมด (s)

3) การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้กับตัวขับเร้าเชิงเส้นทั้งแกน X' และ Z ซึ่งมีสมการการขจัด ความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่ตามสมการ (3.6a – 3.6c) รวมทั้งสมการเงื่อนไข 4 สมการ โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าตำแหน่งเริ่มต้นและค่าตำแหน่งสุดท้ายตามสมการ (3.7a – 3.7b) และอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันต่อเนื่องตามสมการ (3.8a – 3.8b) แทนค่าเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไข ในสมการ (3.6a) และสมการ (3.6b) แล้วจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ตามสมการ (3.9) ต้นยางพาราจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อไม้ 200 mm และความหนาเปลือกอีกข้างละ 10 mm ใบมีดก๊อกรีดแบบหมุนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47.2 mm

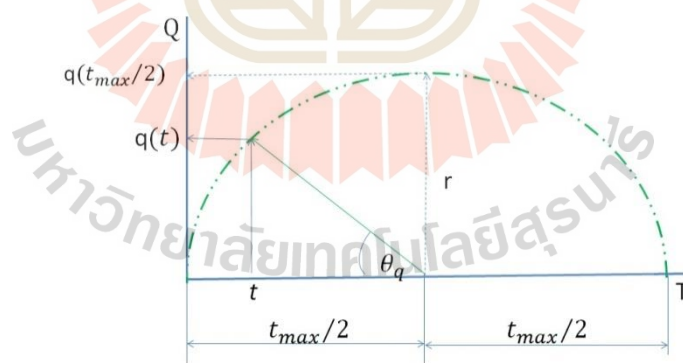
จากการออกแบบให้แต่ละแกนของแขนกลทำงานอิสระต่อกันทำให้มีการจัดเชิงเส้นตามสมการ (3.6a) แทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละแกนตามตารางที่ 4.1 เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k_0 , k_1 , k_2 และ k_3

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขของแต่ละแกนตามสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม

Actuator	t_0 (s)	t_f (s)	q_0 (mm)	q_f (mm)	v_0 (mm/s)	v_f (mm/s)
X'	0	100	0	308.54	0	0
Z	0	100	0	133.60	0	0

4) การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยสมการครึ่งวงกลม

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้ จะใช้กับตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z โดยกำหนดให้ Q เป็นการเคลื่อนที่ในแกนใด ๆ ซึ่งมีสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ดังนี้ การเคลื่อนที่ในแนวแกน Q มีลักษณะเป็นเส้นโค้งครึ่งวงกลม รัศมีของครึ่งวงกลม จะมีค่าเท่ากับรัศมีของต้นยางพารารวมกับรัศมีของใบมีด ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน Q

$$q(t) = r \sin \theta_q$$

จากรูป

$$\theta_q = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{t_{max}}{2} - t}{\frac{t_{max}}{2}} \right)$$

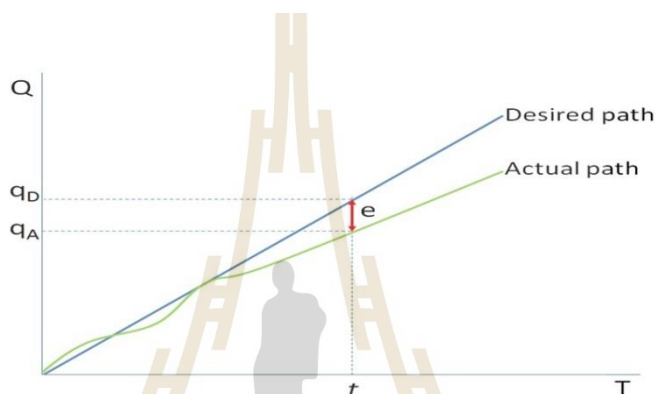
เพราะฉะนั้น

$$q(t) = r \sin(\cos^{-1}(\frac{\frac{t_{max}-t}{2}}{\frac{t_{max}}{2}})) \quad (4.2)$$

เมื่อ θ_q = การกระจัดเชิงมุมของแกน Q (rad)

4.3.3 ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของปลายแขนสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง



รูปที่ 4.8 ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่

$$e(t) = q_D - q_A \quad (4.3)$$

เมื่อ q_D = ตำแหน่งปัจจุบันที่ต้องการเคลื่อนที่

q_A = ตำแหน่งปัจจุบันที่เคลื่อนที่ได้จริง

$e(t)$ = ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งของปลายแขน

ในการกริยงด้วยแขนกลจะให้ความสำคัญในด้านความเร็วของการตอบสนองและความแม่นยำของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขน จึงเลือกใช้ตัวควบคุมแบบ PID อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของตัวควบคุมนี้จะช่วยให้การตอบสนองชั่วคราวได้ดีขึ้นและลดค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวลงแต่ยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบ จากส่วนประกอบของ PID Controller สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม ($u_i(t)$) กับสัญญาณความผิดพลาด ($e_i(t)$) ของ PID ได้ดังนี้

$$u_i(t) = K_P e_i(t) + K_I \int e_i(t) dt + K_D \frac{de_i}{dt} \quad (4.4)$$

เมื่อ $u_i(t)$ = เอาต์พุตของตัวควบคุมของแกน i

K_P = ค่าเกนแบบสัดส่วนของตัวควบคุมของแกน i

K_I = ค่าเกนแบบปริพันธ์ของตัวควบคุมของแกน i

K_D = ค่าเกนแบบอนุพันธ์ของตัวควบคุมของแกน i

ค่าของ K_P K_I และ K_D ของแต่ละแกนสามารถหามาได้จากวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Method) ดังนี้

$$K_P = 0.15K_U \quad (4.5a)$$

$$K_I = \frac{K_P}{T_I} = \frac{0.15K_U}{0.5T_U} \quad (4.5b)$$

$$K_D = K_P T_D = (0.15K_U)(0.12T_U) \quad (4.5c)$$

เมื่อ K_U = ค่าเกนที่เกิดการแกว่งลงของตัวควบคุมของแกน i

T_I = คาบเวลาปริพันธ์ของแกน i

T_D = คาบเวลาอนุพันธ์ของแกน i

T_U = คาบเวลาการแกว่งของแกน i

4.3.4 การทดสอบกับต้นยางพารา

1) การทดสอบเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

การทดสอบเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจะกำหนดให้ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' เคลื่อนที่ด้วยเส้นทางการเคลื่อนที่ครั้งละ 1 รูปแบบจาก 3 รูปแบบ ได้แก่ เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง สมการโพลีโนเมียลกำลังสาม และสมการครึ่งวงกลม ร่วมกับตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ที่เคลื่อนที่ด้วยเส้นทางการเคลื่อนที่ครั้งละ 1 รูปแบบจาก 2 รูปแบบ ได้แก่ เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม และสมการครึ่งวงกลม รวมการทดสอบทั้งหมด 6 การทดสอบได้แก่

- 1) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม
- 2) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการครึ่งวงกลม

- 3) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสามกับสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม
- 4) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสามกับสมการ ครึ่งวงกลม
- 5) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ ครึ่งวงกลมกับสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม
- 6) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ ครึ่งวงกลมกับสมการ ครึ่งวงกลม

การทดสอบจะใช้กับต้นยางพาราจำลองที่แกนในสร้างจากไม้ที่ผ่านการกลึงผิวรอบนอกพอกด้วยดินน้ำมันให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอก วางบนฐานเพื่อความมั่นคงในการใช้งาน ต้นยางพาราจำลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนไม้ 200 mm ความหนาเปลือก 10 mm ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดสุดของต้นยางพาราจำลองจะเท่ากับ 220 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนี้เป็นระยะทางที่วัดไปตามแกน X ระยะการเคลื่อนที่นี้เมื่อรวมกับเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีดหมุนที่มีขนาด 47.2 mm ทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของแกน X เท่ากับ 267.2 mm เมื่อกำหนดให้มุม $\theta = 30^\circ$ ส่งผลทำให้ได้ระยะการเคลื่อนที่ของแกน X' เท่ากับ 308.54 mm เมื่อป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารา ความหนาเปลือกและเวลาที่ใช้ในการกรีดยะเท่ากับ 100 วินาที (หมายเหตุในการจำลองการเคลื่อนที่พิจารณาที่เวลา 10 วินาที เพื่อเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการใช้คนกรีดยะ และสามารถจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ตามรายละเอียดในบทที่ 3 ได้ แต่เมื่อทำการทดสอบจริง ใบมีดหมุนที่ติดตั้งบนแกน Z ไม่สามารถตัดเปลือกยางพาราได้ทันกับการเคลื่อนที่ของแขนกลได้จึงเพิ่มเวลาการทำงานจริงเป็น 100 วินาที) ให้กับโปรแกรมควบคุมแขนกล เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการทั้งสองแนวแกนจะถูกสร้างขึ้นและเมื่อให้แขนกลเคลื่อนที่จริงโดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับช่วยชดเชยค่าผิดพลาดทางตำแหน่ง เส้นทางการเคลื่อนที่จริงจะถูกเปรียบเทียบกับเส้นทางการที่ต้องการ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากเส้นทางการเคลื่อนที่ร่วมกันของทั้งสองแนวแกนที่เคลื่อนที่ทับเป็นเส้นเดียวกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

2) การทดสอบสมรรถนะ

เพื่อยืนยันความถูกต้องของเส้นทางการเคลื่อนที่ที่จะทดสอบสมรรถนะกับต้นยางจำลองและต้นยางจริง แต่ในเบื้องต้นจะทดสอบสมรรถนะกับต้นยางจำลองก่อนเนื่องจากต้นยางพาราจริงมีลักษณะพื้นฐานซับซ้อนจึงจำเป็นต้องใช้ต้นยางพาราจำลองๆ ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะนี้ใช้ต้นยางจำลองเดียวกันกับการทดสอบเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม เมื่อป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารา ความหนาเปลือกและเวลาที่ใช้ในการกรีดยะเท่ากับ 100 วินาที ให้กับโปรแกรมควบคุมแขนกล เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการทั้งสองแนวแกนจะถูกสร้างขึ้นและเมื่อให้แขนกลเคลื่อนที่จริง เส้นทางการเคลื่อนที่จริงจะถูกเปรียบเทียบกับเส้นทางการที่ต้องการ ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ เหน้ในการพิจารณาค่าแกนของตัวควบคุมจะ

พิจารณาค่าเกณฑ์ที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm เนื่องจากต้องการกริดให้เหลือเชื่อเจริญของต้นยางพาราประมาณ 1 mm

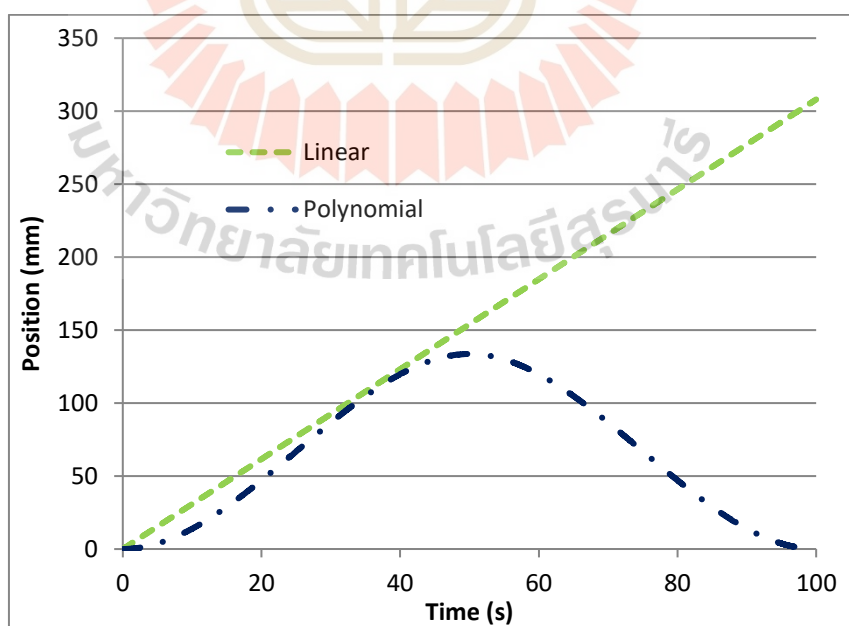
4.4 ผลการทดสอบและอภิปรายผล

4.4.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

จากการนำสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' ร่วมกับสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ไปเขียนโปรแกรมสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่และโปรแกรมควบคุมแขนกล ทำการป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง เวลาที่ใช้ในการกริด รวมทั้งค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความหนาเปลือกยาง จำนวนพลัสซ์ต่อรอบของเอ็นโค้ดเดอร์ โปรแกรมก็จะแสดงรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นทั้งสองแกน ได้ทุกรูปแบบ และเมื่อให้แขนกลเคลื่อนที่จริงตามรูปแบบทั้งหกเพื่อเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จริงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ จะได้กราฟทั้งหมดอีกหกกราฟ ดังนี้

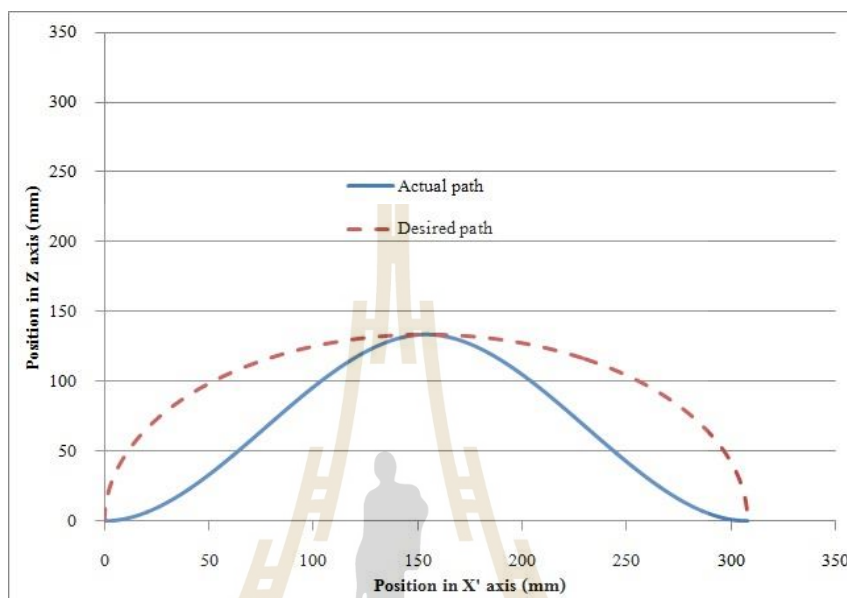
1) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม

เมื่อกำหนดให้ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบ โพลีโนเมียลกำลังสาม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.9 แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม

นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสามของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปด้านล่าง

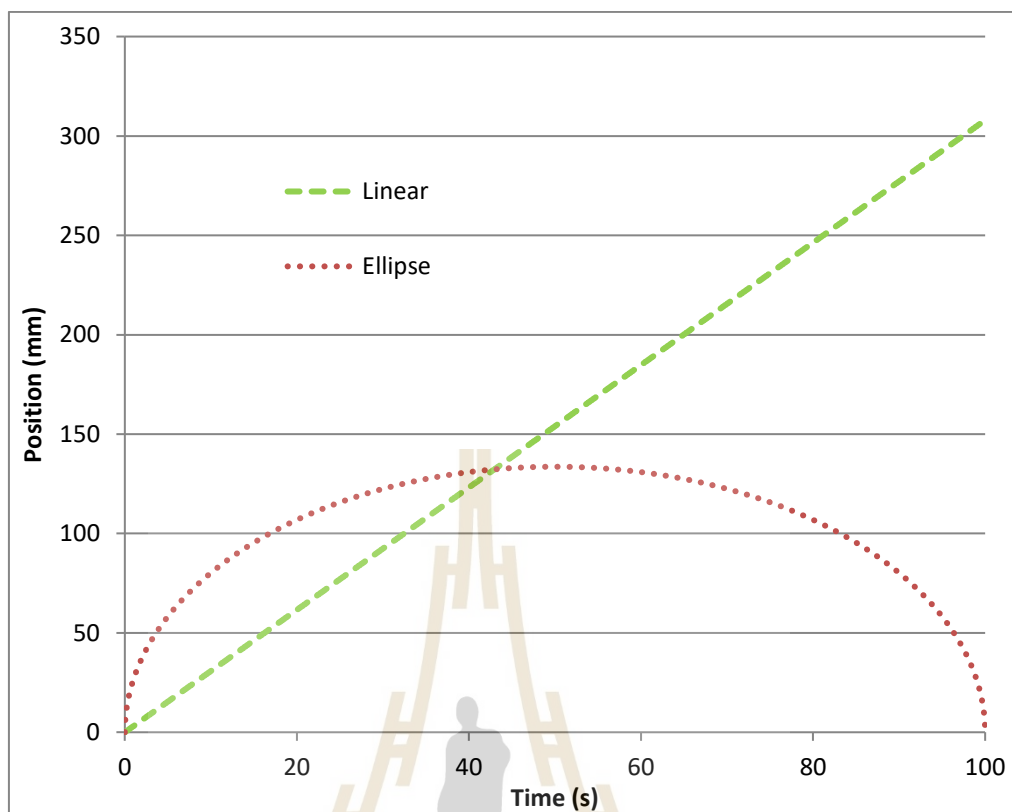


รูปที่ 4.10 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการมีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงรีแต่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการมีลักษณะคล้ายรูปภูเขาเกิดจากความไม่เหมาะสมของเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ที่เคลื่อนที่ไม่สอดคล้องกับความโค้งของต้นยางพาราส่งผลทำให้ไม่สามารถเดินตามรอยเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้

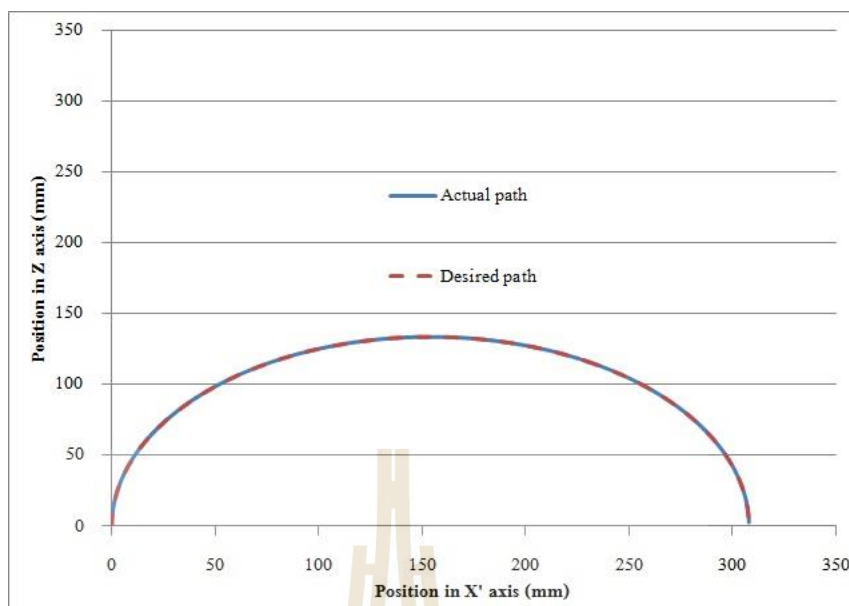
2) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการครึ่งวงกลม

เมื่อกำหนดให้ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.11 แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแกน Z
มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม

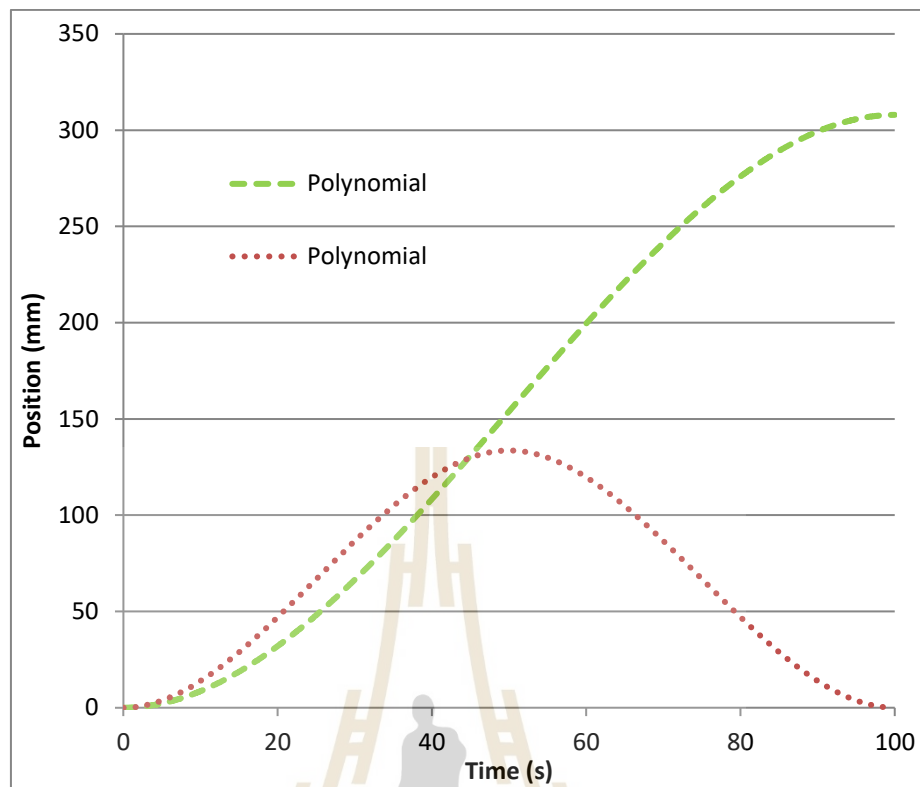
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปด้านล่าง เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการสามารถเดินตามรอยเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ แกน X' เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ส่วนแกน Z เคลื่อนที่เข้า-ออกตามความโค้งของต้นยางพาราก่อให้เกิดความถูกต้องของเส้นทางการเคลื่อนที่



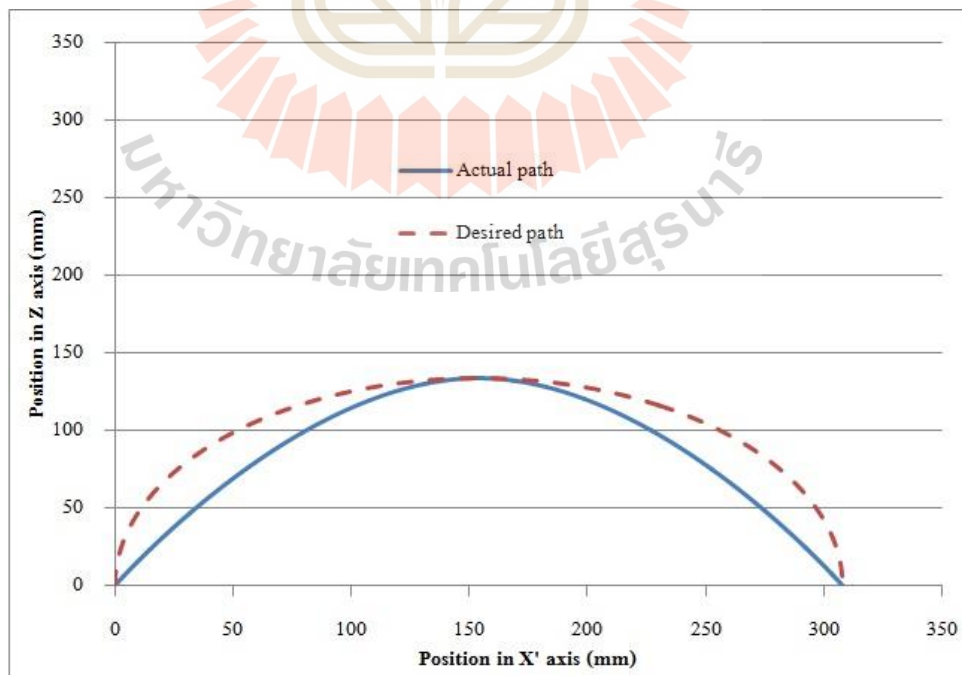
รูปที่ 4.12 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

3) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสามกับสมการ โพลีโนเมียลกำลังสาม

เมื่อกำหนดให้ตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบ โพลีโนเมียลกำลังสาม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน Z ดังรูปที่ 4.13 นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสามของตัวจับเร้าเชิงเส้นแกน X' และแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปที่ 4.14 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการจะมีรัศมีน้อยกว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ส่งผลทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการส่วนใหญ่อยู่ด้านในของรอยก๊อปปี้บนต้นยางพารา ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายที่สามารถเดินตามรอยได้

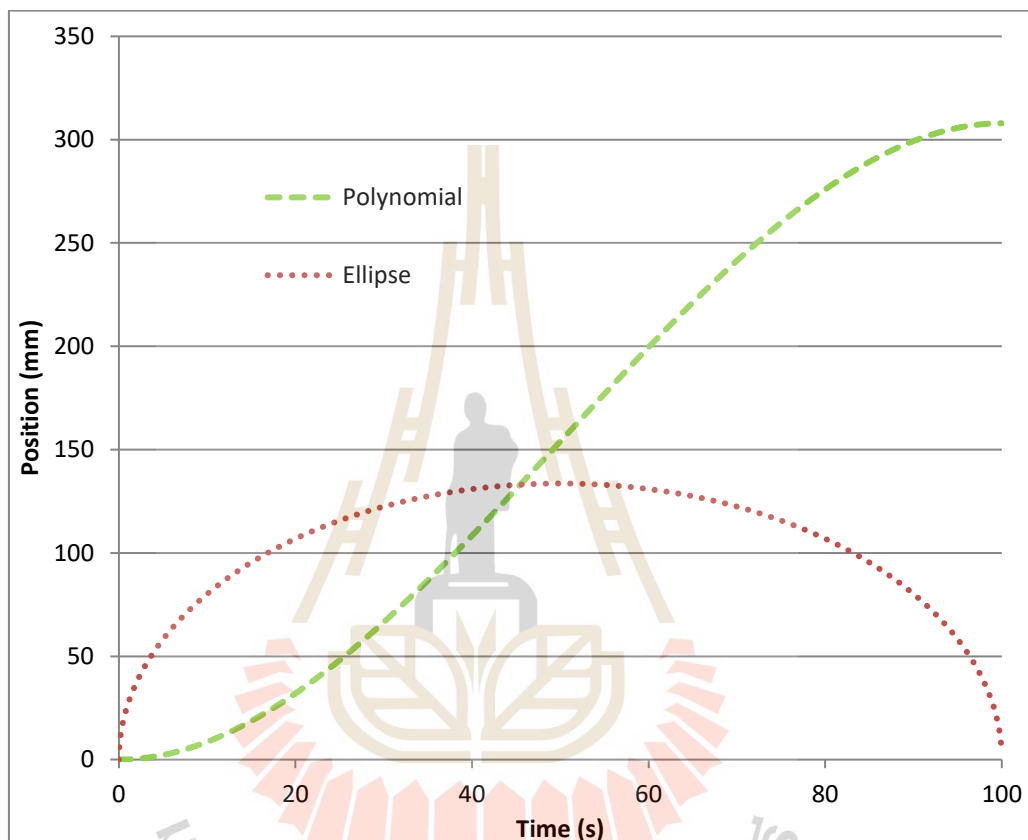


รูปที่ 4.13 แกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม



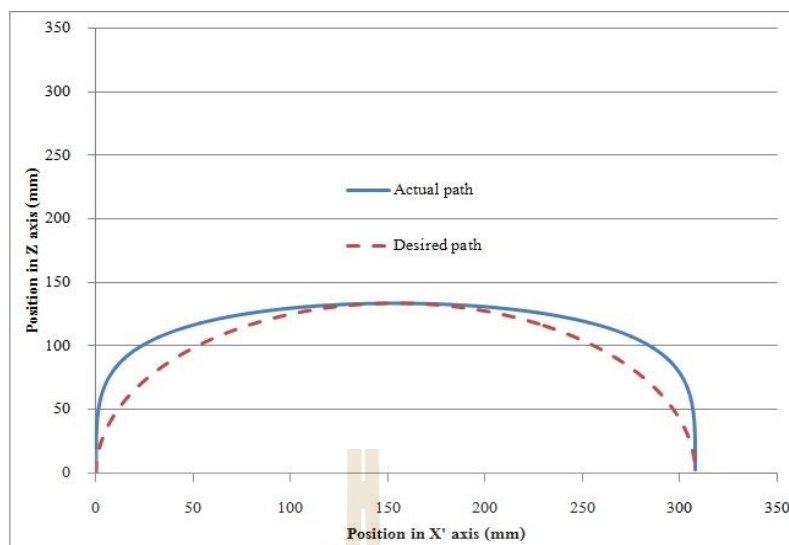
รูปที่ 4.14 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

4) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ โพลีโนเมียลกำลังสามกับสมการครึ่งวงกลม
 เมื่อกำหนดให้ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล
 กำลังสาม ส่วนตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม โปรแกรมจะแสดง
 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.15 แกน X' มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม
 และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม

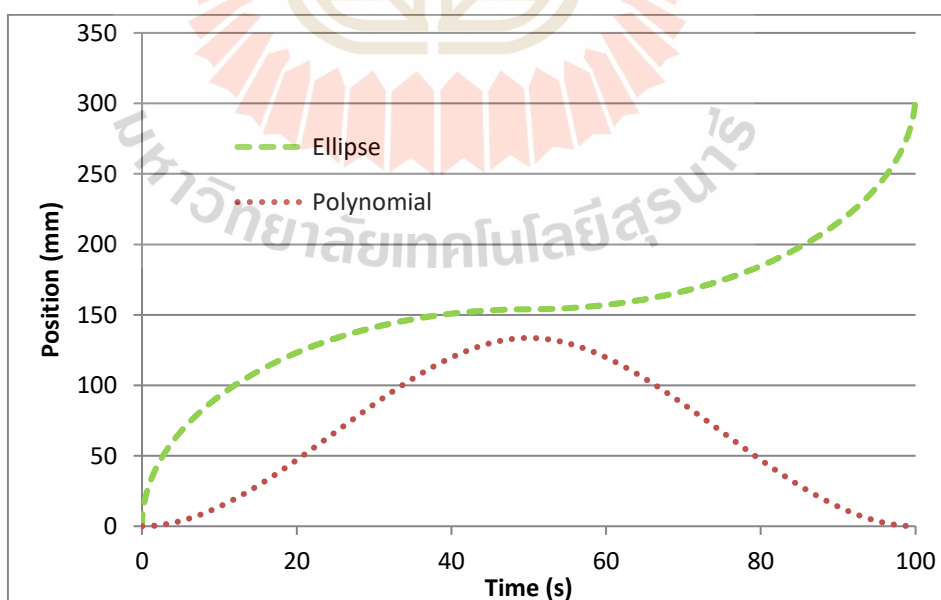
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสามของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X'
 และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและ
 เปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปด้านล่าง เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการ
 จะมีรัศมีมากกว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ส่งผลทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการส่วน
 ใหญ่อยู่ด้านนอกของรอยกรีดบนต้นยางพารา ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายที่
 สามารถเดินตามรอยได้



รูปที่ 4.16 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ที่ต้องการ

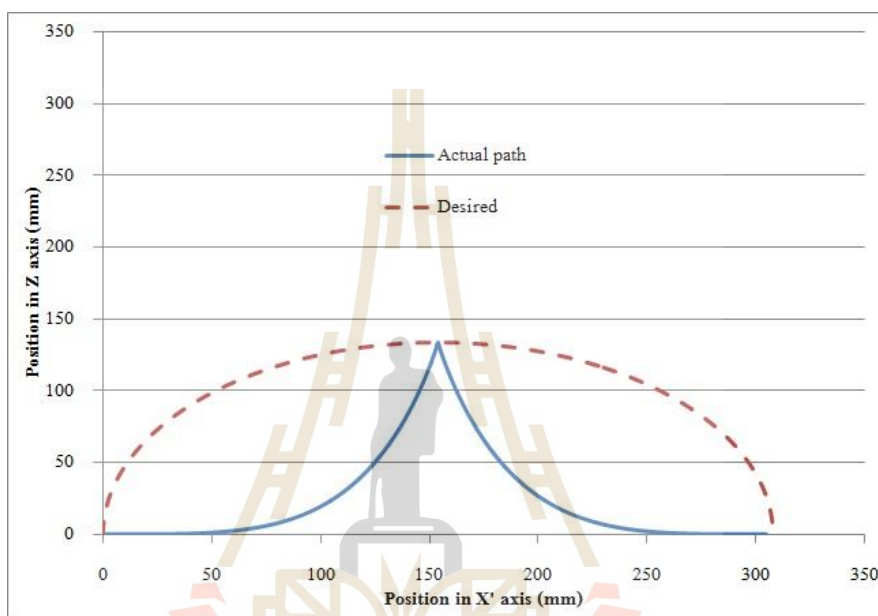
5) เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลมกับสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม

เมื่อกำหนดให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแกน X' มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม และให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแกน Z มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแกน Z ดังรูปที่ด้านล่าง



รูปที่ 4.17 แกน X' มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมและแกน Z มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังสาม

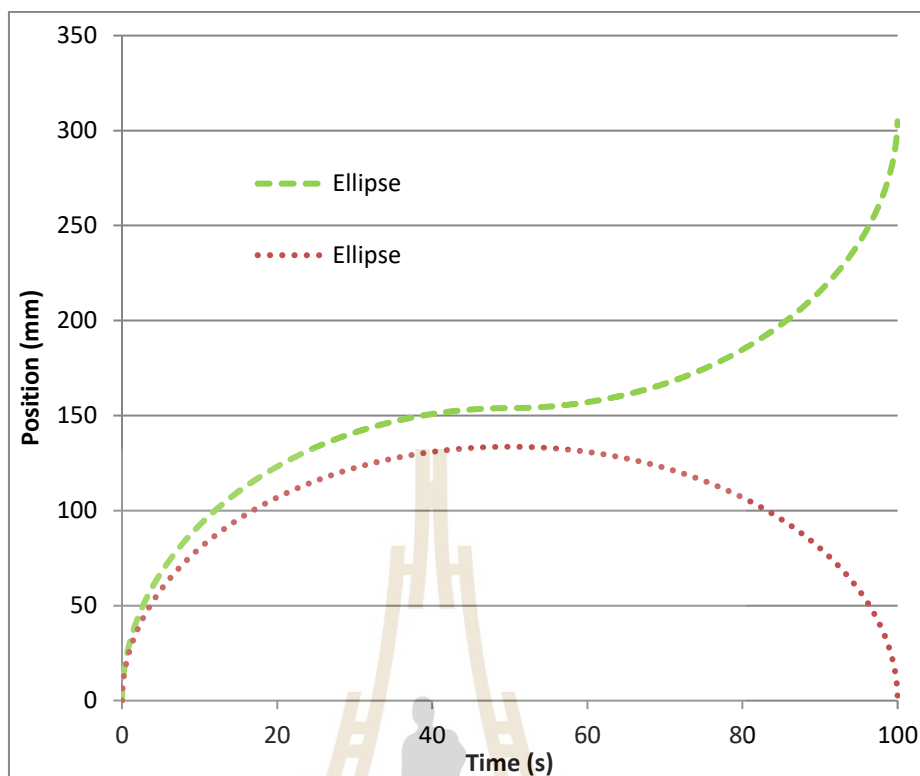
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลิโนเมียลกำลังสามของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปด้านล่าง เป็นรูปแบบที่โบริมิดกริดเข้าไปในเนื้อไม้มากที่สุด เกิดจากตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' เคลื่อนที่เร็วแต่ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z กลับเคลื่อนที่ช้า



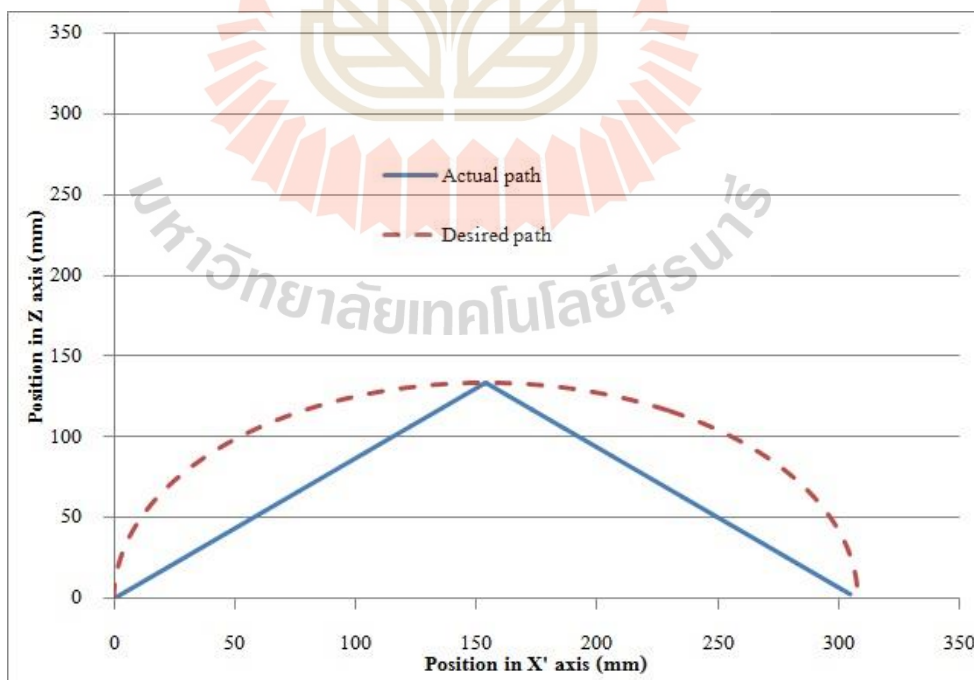
รูปที่ 4.18 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

6) เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลมกับสมการครึ่งวงกลม

เมื่อกำหนดให้ตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ดังรูปที่ 4.19 นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' และแกน Z มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้ดังรูปที่ 4.20 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมเกิดจากตัวขับเร้าเชิงเส้น X' เคลื่อนที่ในลักษณะเส้น โค้งคว่ำในช่วงแรกและโค้งหงายในช่วงท้ายส่งผลทำให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ในช่วงดังกล่าวสูงมาก



รูปที่ 4.19 แกน X' และแกน Z มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม

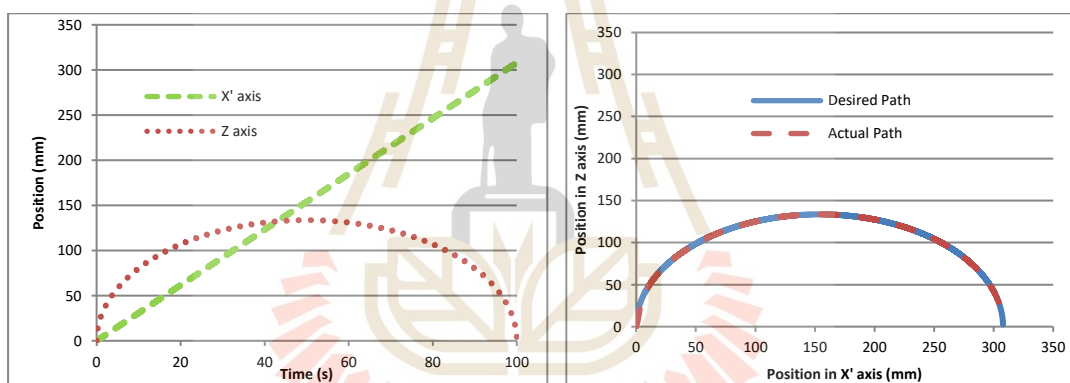


รูปที่ 4.20 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเปรียบเทียบกับ
เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ

4.4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะ

1) เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการของแขนกล

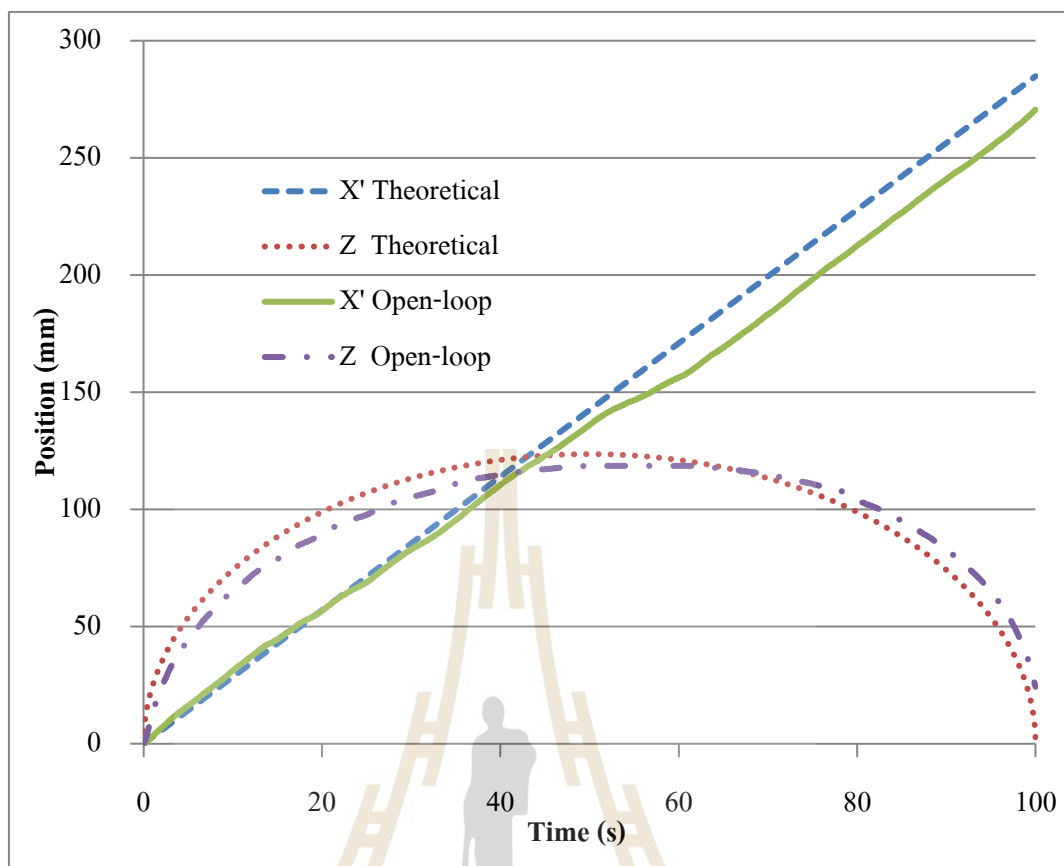
จากการนำสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทั้งสองแนวแกนไปเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกล เมื่อทำการป้อนค่าต่าง ๆ โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวแกนดังรูปที่ 4.21 (ซ้าย) ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน X' จะเป็นเส้นตรงในเวลา 100 s จะเคลื่อนที่ได้ระยะสูงสุด 307.99 mm ส่วนแกน Z จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งครึ่งวงกลม รัศมีสูงสุด 133.60 mm ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวแกนเป็นไปตามสมการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกล และเมื่อนำเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวแกนมาเขียนกราฟรวมกัน จะได้กราฟดังรูปที่ 4.21 (ขวา) ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X' กับเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งครึ่งวงรี เนื่องจากระยะทางการเคลื่อนที่สูงสุดในแนวแกน X' จะยาวกว่าระยะการเคลื่อนที่สูงสุดในแนวแกน Z มากกว่าสองเท่า



รูปที่ 4.21 เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการของแขนกล

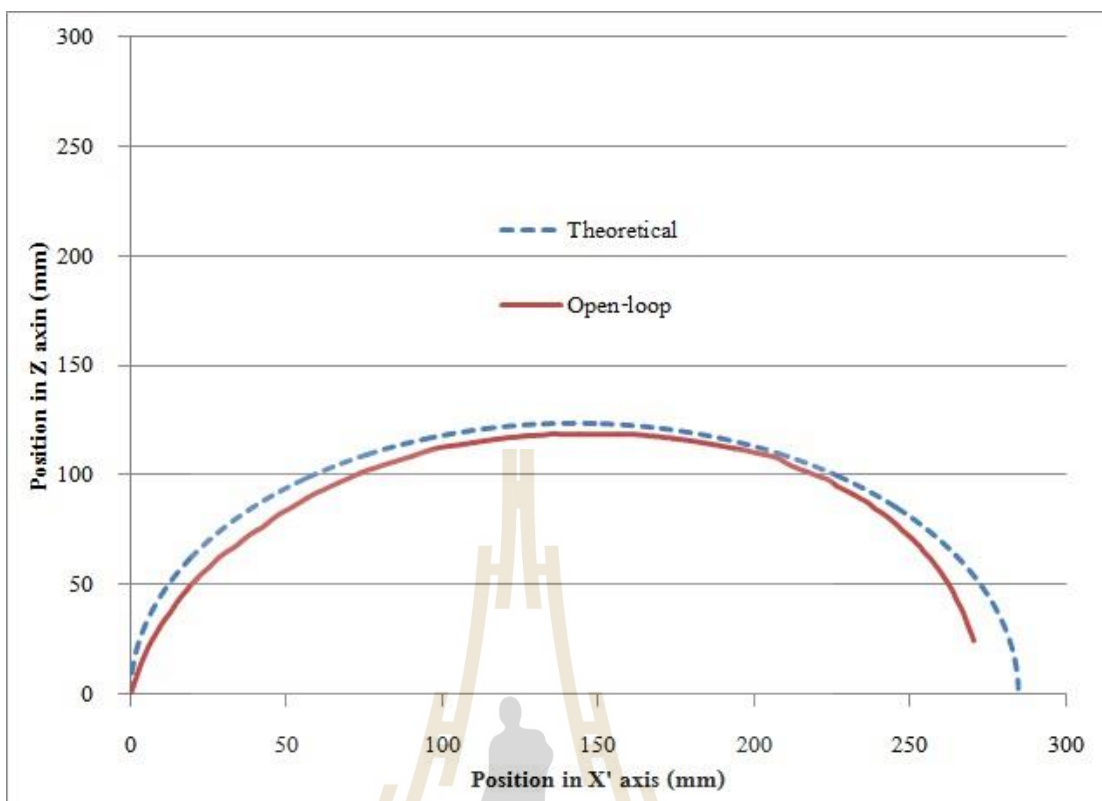
2) ผลการทดสอบสมรรถนะกับดินยางจำลองเมื่อไม่ใช้ตัวควบคุม

เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนได้จริงทั้งสองแกน ไม่สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ ถึงแม้ว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนได้จริงในแกน X' จะสามารถเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการในช่วงแรก แต่ในช่วงหลังกลับเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนได้จริงผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการสูงสุด 16.39 mm ที่เวลา 68.39 s ส่วนในแกน Z จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าทั้งช่วงแรกและช่วงหลัง มีค่าผิดพลาดสูงสุด 21.85 mm ที่เวลา 100 s (เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย)



รูปที่ 4.22 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเร็วเชิงเส้นทดสอบกับต้นขางจำลองเมื่อไม่ใช้ PID

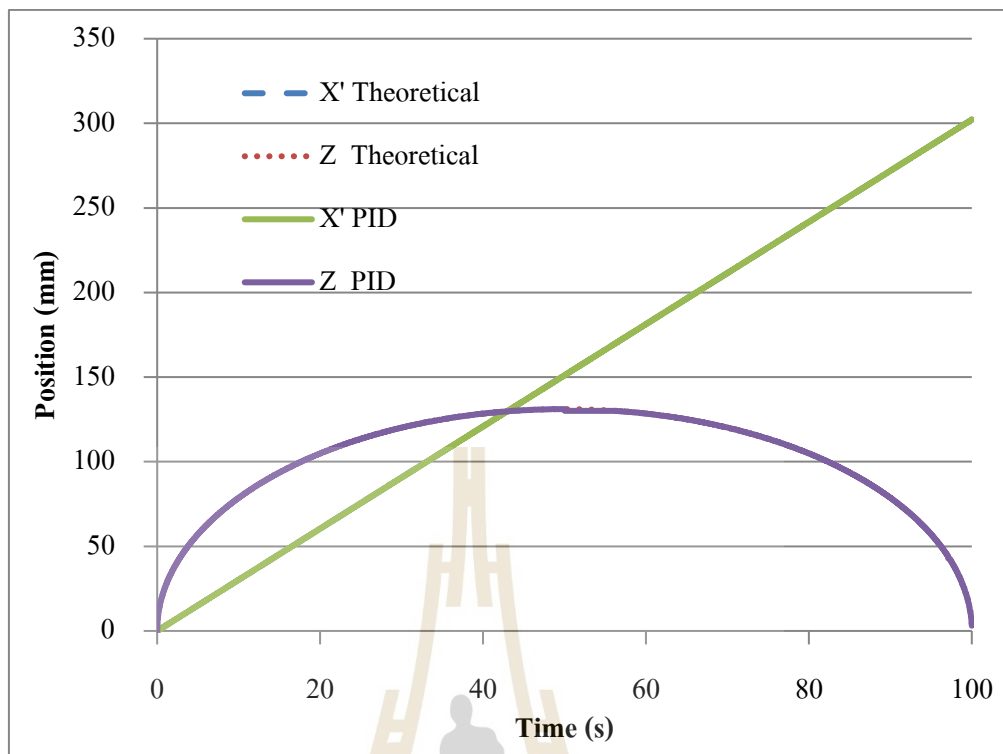
เส้นทางการเคลื่อนที่จริงที่ได้จากการทดสอบกับต้นขางพาราจำลองทั้งสอง แกนแนวนอน ผิดพลาดไปจากสมการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของแกนกล เมื่อนำเส้นทางการเคลื่อนที่ ทั้งสองแกนมาเขียนกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้กราฟ ตามรูปที่ 4.23 เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ได้จริงมีตำแหน่งเริ่มต้นการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่ง เดียวกันกับตำแหน่งเริ่มต้นการเคลื่อนที่ที่ต้องการ แต่เมื่อเคลื่อนที่ต่อไปกลับเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า ทำให้ระยะรัศมีที่เคลื่อนที่ได้จริงน้อยกว่ารัศมีของต้นขาง ส่งผลทำให้ใบมีดหมุนตัดเข้าไปในเนื้อไม้ รวมทั้งตำแหน่งสุดท้ายก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ถึงเป้าหมายได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดมาจาก (1) มีแรงเสียดทานในแต่ละแกนมากพอสมควรเนื่องจากใช้ตัวขับเคลื่อนเร็วเชิงเส้นมือสอง (2) ผลเนื่องมาจาก น้ำหนักที่กระทำบนแกน X' และแกน Z มีน้ำหนักกระทำ 5.14 kg และ 1.40 kg ตามลำดับ ประกอบ กับตัวขับเคลื่อนเร็วเชิงเส้นของแกน X' ถูกวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน และ (3) มีแรงต้านจากคิมน้ำมัน ที่กระทำต่อใบมีด สาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้แกนกลไม่สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการได้



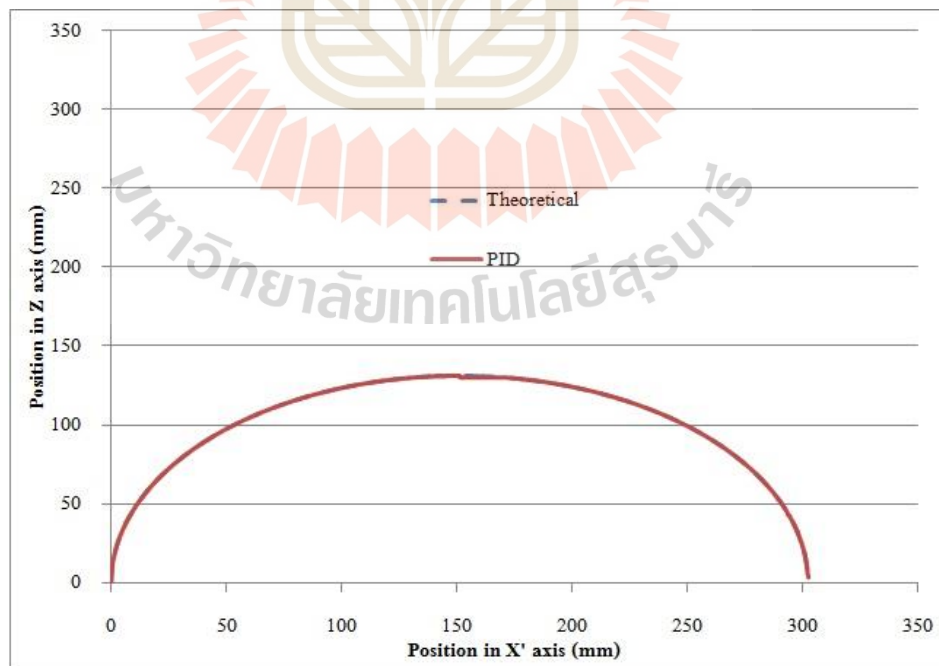
รูปที่ 4.23 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อไม่ใช้ PID

3) ผลการทดสอบสมรรถนะกับต้นยางจำลองเมื่อใช้ตัวควบคุม

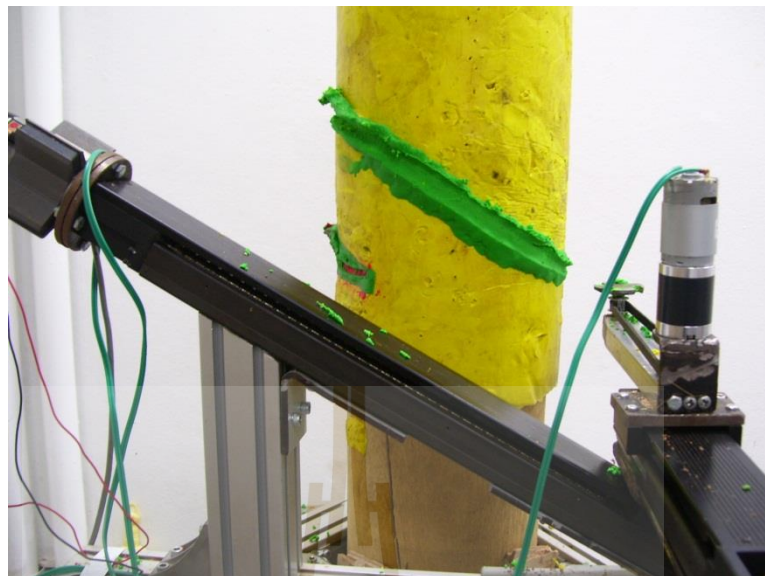
จากการหาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ด้วยวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์จะได้ค่า K_U และ T_U สำหรับแกน X' เท่ากับ 0.133 และ 0.0005 ส่วนค่า K_U และ T_U สำหรับแกน Z จะเท่ากับ 0.173 และ 0.00046 เมื่อแทนค่าในสมการที่ (4.5) จะได้ค่า PID สำหรับแกน X' ที่มีค่า K_P K_I และ K_D เท่ากับ 0.020 80 และ 0.0000012 ตามลำดับ ส่วนค่า PID สำหรับแกน Z มีค่า K_P K_I และ K_D เท่ากับ 0.026 113.04 และ 0.0000014 ตามลำดับ ส่งผลทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนได้จริงสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ เนื่องจากคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบ PID จะช่วยในการปรับปรุงค่าการตอบสนองชั่วคราวและค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว



รูปที่ 4.24 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวจับเร็วเชิงเส้นทดสอบกับต้นยางจำลอง เมื่อใช้ PID



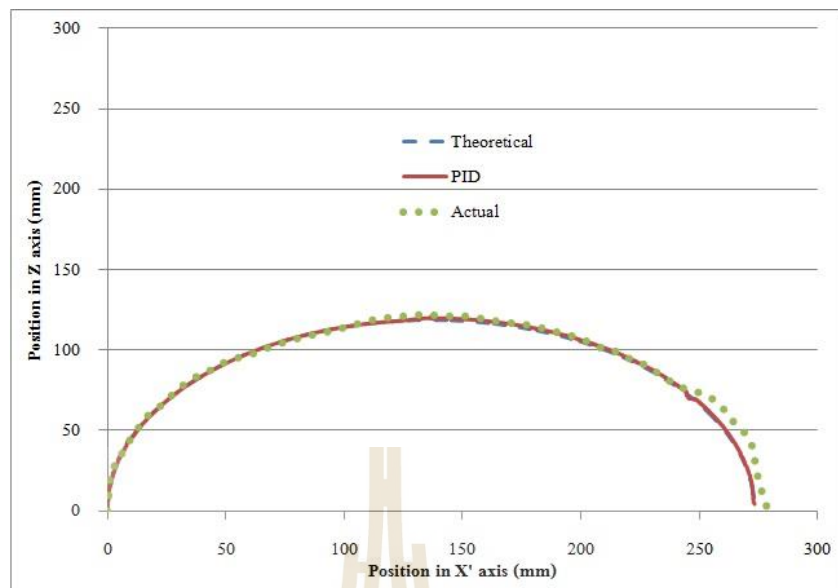
รูปที่ 4.25 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจำลองเมื่อใช้ PID



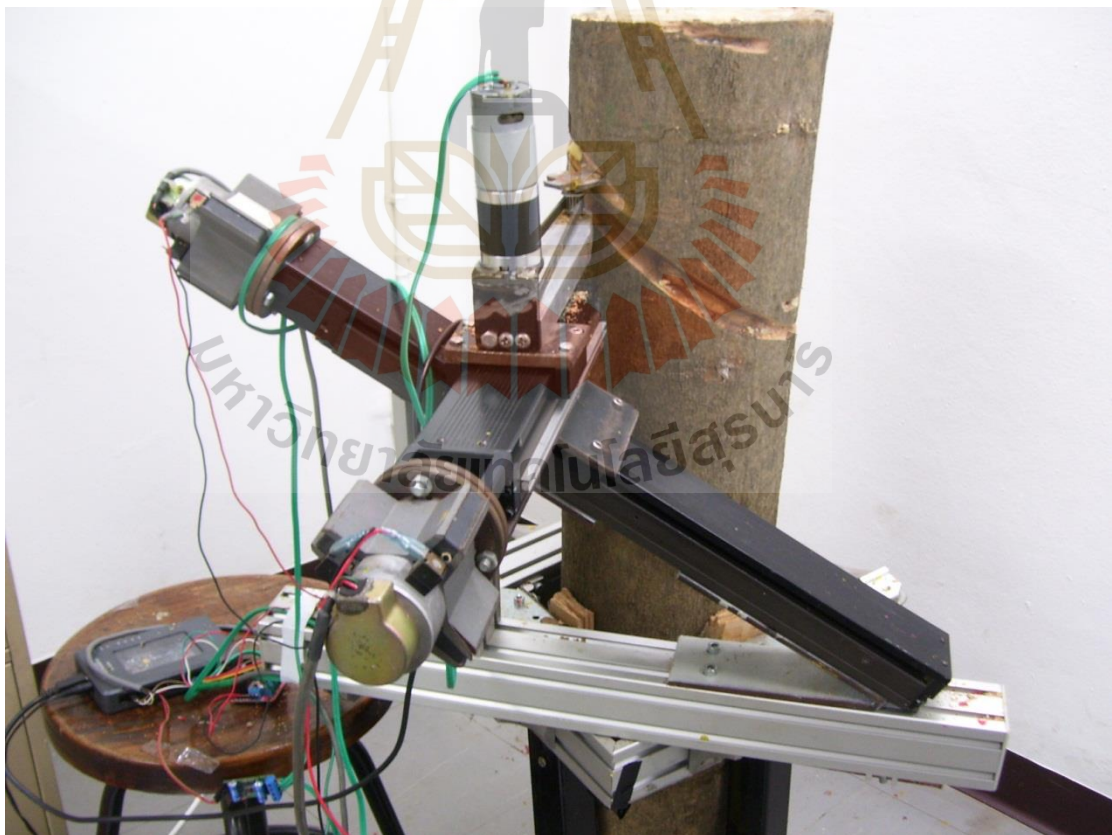
รูปที่ 4.26 รอยกรีดบนต้นยางจำลองเมื่อใช้ PID

4) ผลการทดสอบสมรรถนะกับต้นยางจริงเมื่อใช้ตัวควบคุม

ในช่วงแรกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ได้จริงเป็นเส้นเดียวกันกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ แต่เมื่อเคลื่อนที่ต่อไปใบมีดไม่สามารถกรีดเปลือกขางพาราได้เนื่องจากเปลือกบริเวณดังกล่าวเว้าเข้าไปด้านใน แต่ใบมีดมีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นรูปวงรี ในช่วงท้ายใบมีดกรีดเข้าไปถึงเนื้อไม้เนื่องจากเปลือกบริเวณดังกล่าวนูนออกมาด้านนอก ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากการวัดได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียหลังจากทำการกรีดเสร็จแล้ว ทำการวัดจำนวน 50 จุด เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากการวัดมีแนวโน้มไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ



รูปที่ 4.27 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลทดสอบกับต้นยางจริงเมื่อใช้ PID



รูปที่ 4.28 รอยกรีดบนต้นยางจริงเมื่อใช้ PID

4.5 สรุปผลการศึกษา

4.5.1 การทดสอบเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน X' ที่สร้างมาจากสมการเส้นตรงได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงร่วมกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นแกน Z ที่สร้างมาจากสมการครึ่งวงกลมที่ได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ ส่วนรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่แบบอื่น ๆ สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้เฉพาะตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายเท่านั้น

4.5.2 การทดสอบสมรรถนะ

จากการทดสอบสมรรถนะบนต้นยางจำลอง เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนได้จริงผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการสูงสุดในแนวแกน X' เท่ากับ 16.39 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 21.85 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีค่าเกน P I และ D สำหรับแกน X' เท่ากับ 0.020 80 และ 0.0000012 ตามลำดับ ส่วนค่าเกน P I และ D สำหรับแกน Z เท่ากับ 0.026 113.04 และ 0.0000014 ตามลำดับ ส่งผลทำให้ค่าผิดพลาดในแนวแกน X' และในแนวแกน Z ลดลงเหลือ 0.001 mm และ 1.48 mm ตามลำดับ เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ ส่วนการทดสอบสมรรถนะบนต้นยางจริง เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนที่ได้จริงไม่สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ถ้าต้นยางพาราไม่มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปทรงกระบอก

4.6 รายการอ้างอิง

- ขงยุทธ์ เสียงดั่ง. (2552). การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกริดคยงพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกริดคยงพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 วันที่ 1-4 เมษายน 2556 ประจวบคีรีขันธ์.
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2557). ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกริดคยงพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 2-4 เมษายน 2557 พระนครศรีอยุธยา.

ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2559). เส้นทางที่เหมาะสมของแขนงกลกรีดยางพารา. รายงานการประชุม
วิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ระดับชาติครั้งที่ 3
วันที่ 25-26 พฤศจิกายน 2559 ขอนแก่น.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2554). คำแนะนำการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยางปี 2554
[ออนไลน์]. ได้จาก: [www. Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com)

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555 [ออนไลน์]. ได้จาก:
www. Rubberthai.com



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการศึกษาเรื่องการศึกษาแบบจำลองของแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติและเรื่องการศึกษาทดสอบแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคิเนเมติกส์

จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื้อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา รอยกรีดบนต้นยางพาราจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์และถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ แขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้

5.1.2 การจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์

จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองทางไดนามิกส์ของแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื้อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา รอยกรีดบนต้นยางพาราสร้างมาจากสมการโพลีโนเมียลกำลังสามและถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ ถ้าไม่ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม จะไม่สามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้

5.1.3 การทดสอบสมรรถนะบนต้นยางจำลอง

จากการทดสอบสมรรถนะโดยให้แขนกลเคลื่อนที่ตามรอยกรีดบนต้นยางจำลอง พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการเส้นตรงและสมการครึ่งวงกลมเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง แต่ถ้าไม่ใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับแบบ PID ที่มีค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมจะไม่สามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดบนต้นยางจำลองได้

5.1.4 การทดสอบสมรรถนะบนต้นยางจริง

จากการทดสอบสมรรถนะโดยให้แขนกลเคลื่อนที่ตามรอยกรีดบนต้นยางจริง พบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการเส้นตรงและสมการครึ่งวงกลมเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง เส้นทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่เคลื่อนที่ได้จริงไม่สามารถ

เคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ได้ถ้าต้นยางพาราไม่มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มกลไกที่สามารถสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ตามรูปทรงจริงของต้นยางพารา
2. เปลี่ยนแกนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนจากสององศาอิสระเป็นสามองศาอิสระเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้





ภาควิชา

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2555). การศึกษาตัวแปรของการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 วันที่ 4-5 เมษายน 2555 เชียงใหม่., หน้า 97-105
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 วันที่ 1-4 เมษายน 2556 ประจวบคีรีขันธ์., หน้า 348-353
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2557). การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 2-4 เมษายน 2557 พระนครศรีอยุธยา., หน้า 426-434
- ขงยุทธ์ เสียงดั่งและคณะ. (2559). เส้นทางที่เหมาะสมของแขนกลกรีดยางพารา. รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ระดับชาติครั้งที่ 3 วันที่ 25-26 พฤศจิกายน 2559 ขอนแก่น., หน้า 118-126



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

AME13

การศึกษาตัวแปรของการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ Parametric Study of Blade Design for Automatic Pararubber Tapping Machine

ยงยุทธ์ เสียงดั่ง¹ กนต์ธร ชำนิประศาสตร์² และ พยุงศักดิ์ จุลยุเสน¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ดสุรนารี อมเมือง จนครราชสีมา 30000

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ดสุรนารี อมเมือง จนครราชสีมา 30000

* ติดต่อ: E-mail: yongyuth@rmuti.ac.th โทรศัพท์: 089 8640019, โทรสาร: 044 224610

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรของการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การออกแบบ และทดสอบประเมินผลของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า มีดกรีดยางพาราที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (มีดเจ๊ะบง) มีข้อจำกัด เช่น ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูง จำนวนต้นที่กรีดได้ต่อคนต่อวันน้อย มีการสูญเสียพลังงานในการกระตุกมาก ความสิ้นเปลืองเปลือกลูก และเยื่อเจริญถูกทำลาย จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้ทำการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ออกแบบกลไกควบคุมความหนาและความลึก ออกแบบรูปร่างให้มีขนาดกะทัดรัดและน้ำหนักเบา ขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การหามุมเอียง จำนวนฟัน และอัตราป้อนต่อฟันของใบมีดที่เหมาะสม และ ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดเจ๊ะบง

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ที่มุมเอียงใบมีดบวก 45 องศา จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน และอัตราป้อน 3 มิลลิเมตรต่อฟัน ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และจากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดเจ๊ะบงพบว่าคุณภาพงานกรีดดีกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการกรีดน้อยกว่า 3.02 วินาที ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบเหมาะสำหรับการสร้างใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

คำหลัก: เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ, มีดกรีดยางพารา, ยางพารา

Abstract

The objective of this research was to study the design parameters of blade for automatic pararubber tapping machine. The study was conducted by design and testing of blade for automatic pararubber tapping machine. The preliminary survey showed that there was limitation on using a conventional knife (Je-bong knife) e.g. requiring skillful and experienced operator, low numbers of tapped plants per man-day, loss of pulling energy in use of the knife, high loss of barks and cambium damage. From these mentioned problems, a blade for automatic pararubber tapping machine using electrical motor as power source was designed. Also, the thickness and depth control mechanism and light compact shape was



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

taken into account. This study was divided into two steps. Firstly, the appropriated oblique angle, numbers of teeth and feed rate per tooth of knife edge were determined. Secondary, the efficiencies of blade for automatic pararubber tapping machine and of the Je-bong knife were compared.

From the results, it could be concluded that the minimum specific energy i.e. 0.0115 joule per cubic millimeter was used at the plus oblique angle of 45 degrees with 4 knife teeth and with feed rate of 3 millimeter per tooth. The efficiency comparison showed that the efficiency of using the blade for automatic pararubber tapping machine was better by 8% in slitting quality than the Je-bong knife and the tapping time of the machine was less than of the Je-bong knife 3.02 seconds. Parameters from the test are sufficient for developing blade of automated pararubber tapping machine.

Key words: automatic pararubber tapping machine, pararubber tapping knife, pararubber



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



1. บทนำ

ปี 2549 มีประเทศที่ปลูกยางทั่วโลกรวม 24 ประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 63.157 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางส่วนใหญ่เกือบ 90 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในทวีปเอเชีย ส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็กและเป็นเกษตรกรรายย่อย โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 20.494 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 14.235 ล้านไร่ และมาเลเซีย 7.813 ล้านไร่ รวมเนื้อที่ปลูกยางทั้ง 3 ประเทศ เป็น 67.4 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกยางของโลก ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของประเทศอื่น ๆ อีก 21 ประเทศ สำหรับประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกใน ปี 2549 ได้แก่ ไทย ผลิตได้ 3.137 ล้านตันหรือคิดเป็น 34.1เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย ผลิตได้ 2.515 ล้านตัน ส่วนประเทศมาเลเซียผลิตได้ 1.268 ล้านตัน ปริมาณการผลิตยางทั้งสามประเทศ คือ ไทย อินโดนีเซียและมาเลเซีย รวมกันประมาณ 6.921 ล้านตัน คิดเป็น 75.3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการผลิตทั้งโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยเป็นพื้นที่เปิดกรีดยางได้แล้ว 10,896,957 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 282 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ทำรายได้ให้กับประเทศไทย และการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะมีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่คนมีฝีมือจะไปขาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญ และประสบ การณ์ กรีดทำลายชั้นของเยื่อเจริญ หรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้ หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก (สมคิด แก้วทิพย์ญญาฐ, 2536) การสิ้นเปลืองของรอยกรีดเนื่องจากมีความหนาในการกรีด

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

ในแต่ละครั้งมากขึ้นไป ทำให้หมดเปลืองยางเร็ว จากการแนะนำวิธีการกรีดที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.0 มิลลิเมตร หรือเดือนละประมาณ 2.5-3.0 เซนติเมตร จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีด 150 เซนติเมตร จากระดับพื้นดิน จะทำให้กรีดหมด 1 หน้ากรีดภายใน 4-6 ปี หรือกรีดหมดทั้ง 2 หน้ากรีดภายใน 8-12 ปี จากความจริงที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่มักจะกรีดสิ้นเปลืองเปลือกครั้งละ 2.5-3.0 มิลลิเมตร หรือเดือนละประมาณ 5.0-6.0 เซนติเมตร จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีด 150 เซนติเมตรจากระดับพื้นดิน จะทำให้กรีดหมด 1 หน้ากรีดภายใน 2-3 ปี หรือกรีดหมดทั้ง 2 หน้ากรีดภายใน 4-6 ปีเท่านั้น (สมคิด แก้วทิพย์ญญาฐ, 2536) เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดประมาณ 2 ชั่วโมง ถ้ารวมเวลาเดินจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่ง จะใช้เวลาทั้งหมด 2.5-3.0 ชั่วโมง จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน (กรมวิชาการเกษตรศูนย์ วิจัยยาง, 2538) โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า มีดกรีดยางเจีบบง การใช้มีดกรีดยางเจีบบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะ และความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อหักมีดเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะออกแบบ และสร้างมีดกรีดยาง พาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป และลดความเสียหายของหน้ายางทดแทนการใช้พลังงานจากคนในการออกแรงกระตุกเพื่อเฉือนเปลือกยาง ก็จะทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการกรีดยางได้มากกว่า 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน และอีกอย่างหนึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ และความชำนาญมากนัก ก็สามารถเข้าเป็นแรงงานกรีดยางที่มีความต้องการ ตามปริมาณพื้นที่ปลูกยางที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่ง



1. บทนำ

ปี 2549 มีประเทศที่ปลูกยางทั่วโลกรวม 24 ประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 63.157 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางส่วนใหญ่เกือบ 90 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในทวีปเอเชีย ส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็กและเป็นเกษตรกรรายย่อย โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 20.494 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 14.235 ล้านไร่ และมาเลเซีย 7.813 ล้านไร่ รวมเนื้อที่ปลูกยางทั้ง 3 ประเทศ เป็น 67.4 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกยางของโลก ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกยางของประเทศอื่น ๆ อีก 21 ประเทศ สำหรับประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกใน ปี 2549 ได้แก่ ไทย ผลิตได้ 3.137 ล้านตันหรือคิดเป็น 34.1เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย ผลิตได้ 2.515 ล้านตัน ส่วนประเทศมาเลเซียผลิตได้ 1.268 ล้านตัน ปริมาณการผลิตยางทั้งสามประเทศ คือ ไทย อินโดนีเซียและมาเลเซีย รวมกันประมาณ 6.921 ล้านตัน คิดเป็น 75.3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการผลิตทั้งโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยเป็นพื้นที่เปิดกรีดยางได้แล้ว 10,896,957 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 282 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ทำรายได้ให้กับประเทศไทย และการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะมีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่คนมีฝีมือจะไปขาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญ และประสบ การณ์ กรีดทำลายชั้นของเยื่อเจริญ หรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้ หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก (สมคิด แก้วทิพย์ญญาฐ, 2536) การสิ้นเปลืองของรอยกรีดเนื่องจากมีความหนาในการกรีด

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

ในแต่ละครั้งมากเกินไป ทำให้หมดเปลืองยางเร็ว จากการแนะนำวิธีการกรีดที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.0 มิลลิเมตร หรือเดือนละประมาณ 2.5-3.0 เซนติเมตร จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีด 150 เซนติเมตร จากระดับพื้นดิน จะทำให้กรีดหมด 1 หน้ำกรีดภายใน 4-6 ปี หรือกรีดหมดทั้ง 2 หน้ำกรีดภายใน 8-12 ปี จากความจริงที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่มักจะกรีดสิ้นเปลืองเปลือกครั้งละ 2.5-3.0 มิลลิเมตร หรือเดือนละประมาณ 5.0-6.0 เซนติเมตร จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีด 150 เซนติเมตรจากระดับพื้นดิน จะทำให้กรีดหมด 1 หน้ำกรีดภายใน 2-3 ปี หรือกรีดหมดทั้ง 2 หน้ำกรีดภายใน 4-6 ปีเท่านั้น (สมคิด แก้วทิพย์ญญาฐ, 2536) เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดประมาณ 2 ชั่วโมง ถ้ารวมเวลาเดินจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่ง จะใช้เวลาทั้งหมด 2.5-3.0 ชั่วโมง จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน (กรมวิชาการเกษตรศูนย์ วิจัยยาง, 2538) โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า มีดกรีดยางเจีบบง การใช้มีดกรีดยางเจีบบงนอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะ และความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อหักมีดเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะออกแบบ และสร้างมีดกรีดยาง พาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป และลดความเสียหายของหน้ายางทดแทนการใช้พลังงานจากคนในการออกแรงกระตุกเพื่อเฉือนเปลือกยาง ก็จะทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการกรีดยางได้มากกว่า 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน และอีกอย่างหนึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ และความชำนาญมากนัก ก็สามารถเข้าเป็นแรงงานกรีดยางที่มีความต้องการ ตามปริมาณพื้นที่ปลูกยางที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่ง



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

จะส่งผลให้สามารถลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป และลดความเสียหายของหน้ายาง ทดแทนการใช้พลังงานจากคนเพื่อลดความเหนื่อยล้าในการกรีดยาง และเพื่อเพิ่มความสามารถในการกรีดยาง เพื่อประโยชน์ของเกษตรกรต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อหามุมเอียง จำนวนฟัน และอัตราการป้อนต่อฟันของใบมีดที่เหมาะสม

2.1.1 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

- 1) มุมเอียงของใบมีด วิจัยมุมเอียงใบมีดบวก 45 องศา และลบ 45 องศา
- 2) จำนวนฟันของใบมีด วิจัยจำนวนฟัน 2, 4 และ 6 ฟัน
- 3) อัตราป้อนต่อฟัน วิจัยอัตราป้อนต่อฟัน 1, 2 และ 3 มิลลิเมตรต่อฟัน

2.1.2 ค่าชี้ผล

ค่าชี้ผลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย คือ พลังงานจำเพาะ (จุลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร)
พลังงานจำเพาะ = $\frac{[(\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า} \times \text{กระแสไฟฟ้า}) / \text{เวลาที่ใช้ในการตัด}] \times \text{ปริมาตรของเปลือกยางพาราที่ถูกตัด}}$



รูปที่ 1 แสดงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อหามุมเอียง จำนวนฟันและอัตราการป้อนต่อฟันที่เหมาะสม

2.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

- 1) แขนกล 6 แกน ยี่ห้อ Panasonic รุ่น VR

- 2) ใบมีดที่มีมุมมีดบวก 45 องศา มีมุมเอียงของใบมีดบวก 45 องศา และลบ 45 องศา และมีจำนวนฟัน 2, 4 และ 6 ฟัน

- 3) ดีซีมอเตอร์ ขนาด 12 โวลต์ แรงบิดสูงสุด 21 นิวตันเมตร ที่ 350 รอบต่อนาที

- 4) เครื่องปรับรอบมอเตอร์ ยี่ห้อ Daiwa รุ่น PC-304

- 5) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Tektronic รุ่น DMM157

- 6) ดิจิตอลแคลมป์มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Uni-T รุ่น UT204

- 7) กล้องดิจิตอล ยี่ห้อ Sony รุ่น Cyber-Shot

- 8) เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์แบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

2.2 วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบง

2.2.1 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

ชนิดของมีดกรีดยาง ได้แก่ ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับแบบเจี๊ยะบง

2.2.2 ค่าชี้ผล

- 1) คุณภาพของงานกรีต
- 2) ความสิ้นเปลืองเปลือกที่เกิดจากการกรีดยางพาราแต่ละรอยกรีต
- 3) เวลาที่ใช้ในการกรีดยางในแต่ละรอยกรีต

2.2.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

- 1) ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ
- 2) มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบง
- 3) ต้นยางพารา
- 4) นาฬิกาจับเวลา
- 5) เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์แบบดิจิตอล ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร



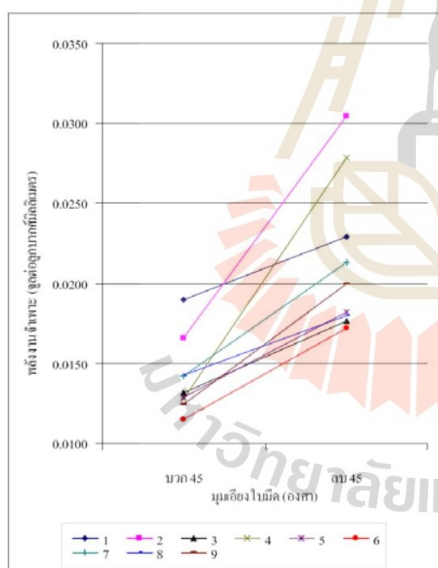
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

3. ผลและการวิจารณ์

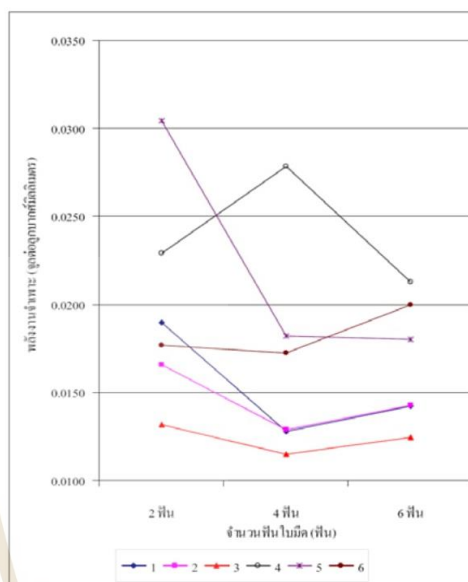
3.1 ผลและการวิจารณ์ที่การดำเนินการวิจัยเพื่อหา
มุมเอียง จำนวนฟันและอัตราการบินต่อฟันของ
ใบมีดที่เหมาะสม

3.1.1 พลังงานจำเพาะที่มุมเอียงใบมีดบวก 45
องศา และลบ 45 องศา

จากรูปที่ 2 พบว่าที่มุมเอียงใบมีดบวก 45
องศา จำนวนใบมีดและอัตราการบินทุก ๆ ค่า ใช้พลังงาน
จำเพาะน้อยกว่าที่มุมเอียงใบมีดลบ 45 องศา ที่จำนวน
ใบมีดและอัตราการบินทุก ๆ ค่า จากการวิจัยพบว่าที่มุม
เอียงใบมีดบวก 45 องศา จำนวนใบมีด 4 ฟันและอัตรา
การบิน 3 มิลลิเมตรต่อฟันใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด
เท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร



รูปที่ 2 แสดงพลังงานจำเพาะที่มุมเอียงใบมีดบวก 45
องศา และลบ 45 องศา



รูปที่ 3 แสดงพลังงานจำเพาะที่จำนวนฟันใบมีด 2, 4
และ 6 ฟัน

รูปที่ 3 จะพบว่าที่จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน มุม
เอียงใบมีดเป็นบวกจะใช้พลังงานจำเพาะน้อยกว่าที่
จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน มุมเอียงใบมีดเป็นลบ จากการ
วิจัยพบว่าที่จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน มุมเอียงใบมีดบวก
45 องศา และอัตราการบิน 3 มิลลิเมตรต่อฟัน จะใช้
พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูก
บาศก์มิลลิเมตร

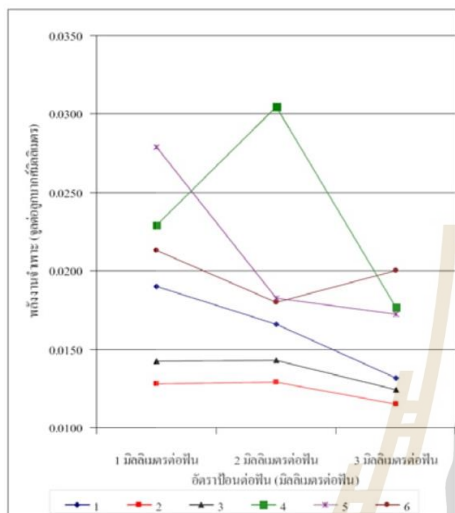
3.1.2 พลังงานจำเพาะที่จำนวนฟันใบมีด 2, 4

และ 6 ฟัน



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

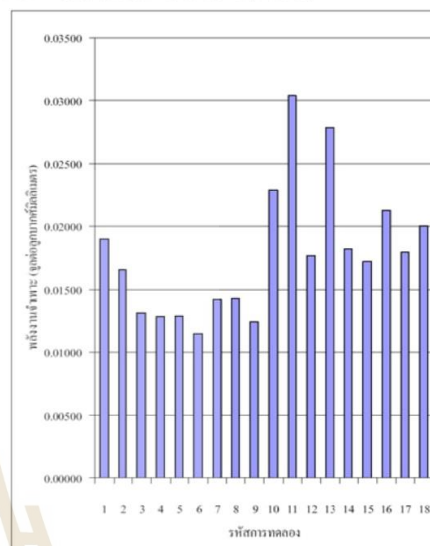
3.1.3 พลังงานจำเพาะที่อัตราป้อน 1, 2 และ 3 มิลลิเมตรต่อพื้นที่



รูปที่ 4 แสดงพลังงานจำเพาะที่อัตราป้อน 1, 2 และ 3 มิลลิเมตรต่อพื้นที่

จากรูปที่ 4 พบว่าที่อัตราป้อน 3 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ มุมเอียงใบมีดเป็นบวก จะใช้พลังงานจำเพาะน้อยกว่าที่อัตราการป้อน 1 และ 2 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ จากการวิจัยพบว่าที่อัตราการป้อน 3 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ มุมเอียงใบมีด 45 องศา และจำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน จะใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

3.1.4 พลังงานจำเพาะที่มุมเอียง จำนวนฟัน และอัตราป้อนต่อพื้นที่ของใบมีดต่างกัน

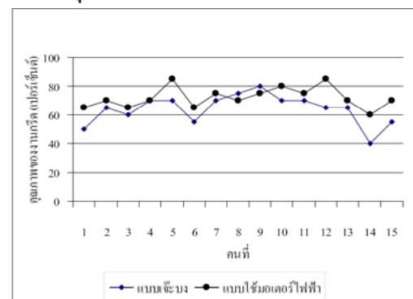


รูปที่ 5 แสดงพลังงานจำเพาะที่มุมเอียง จำนวนฟัน และอัตราป้อนต่อพื้นที่ของใบมีดต่างกัน

รูปที่ 5 พบว่าที่มุมเอียงใบมีดบวก 45 องศา จำนวนฟันใบมีด 4 ฟันและอัตราป้อน 3 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

3.2 ผลและการวิจารณ์การดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจาะแบบ

3.2.1 คุณภาพของงานกรีด



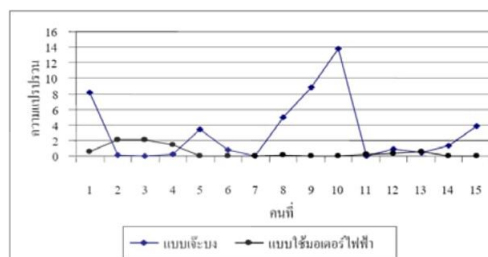
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของงานกรีด



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

จากผลการวิจัย พบว่าคุณภาพของงานกรีดเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบงกับใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติมีความแตกต่างกัน คุณภาพงานกรีดนี้จะให้ผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง เป็นผู้ประเมินให้คะแนน โดยพิจารณาจากระยะความลึกที่กรีดว่ากรีดลึกตามที่กำหนดหรือไม่ และพิจารณาจากจำนวนบาดแผลที่บาดเยื่อเจริญ ในจำนวนผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 15 คน จะมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 12 คน หรือคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบ เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแล้วมีคุณภาพงานกรีดดีกว่าใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบง มีผู้ทำการทดสอบจำนวน 1 คน หรือคิดเป็น 6.67 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแล้วมีคุณภาพงานกรีดเท่ากันกับการใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบง และมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 2 คน หรือคิดเป็น 13.33 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ แล้วมีคุณภาพงานกรีดน้อยกว่าใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบง จากค่าเฉลี่ยของคุณภาพงานกรีดพบว่าเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจาะบง มีค่าเฉลี่ยของคุณภาพงานกรีดเท่ากับ 72 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าคุณภาพงานกรีดเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ดีกว่าคุณภาพงานกรีดยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบง เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์

3.2.2 ความสิ้นเปลืองเปลือกที่เกิดจากการกรีดยางพาราแต่ละรอยกรีด



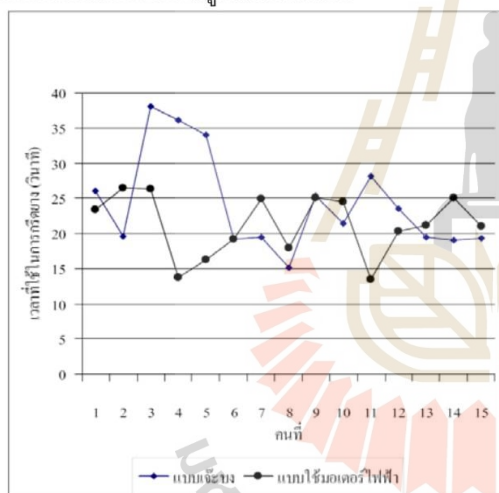
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเปลือก

จากผลการวิจัยพบว่าความสิ้นเปลืองเปลือกยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบงกับใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติมีความแตกต่างกัน ความสิ้นเปลืองเปลือกยางนี้จะวัดความหนาเฉลี่ยของเปลือกที่ถูกกรีดออกไปเทียบกับความหนาที่ต้องการให้กรีด ตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยางคือ 2.00 มิลลิเมตร ในจำนวนผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 15 คน จะมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 9 คนหรือคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบ เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแล้ว มีความสิ้นเปลืองเปลือกยางใกล้เคียง 2.00 มิลลิเมตร มากกว่าใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบง และมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 6 คน หรือคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนผู้ทำการทดสอบ เมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบงแล้วมีความสิ้นเปลืองเปลือกยางใกล้เคียง 2.00 มิลลิเมตร มากกว่าใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางพบว่า เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจาะบง จะมีค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางเท่ากับ 0.74 และ 4.17 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติน้อยกว่าค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจาะบงเท่ากับ 3.43



3.2.3 เวลาที่ใช้ในการกรีดยางในแต่ละรอยกรีด

จากผลการวิจัย พบว่าเวลาที่ใช้ในการกรีดเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงกับใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ มีความแตกต่างกัน เวลาที่ใช้ในการกรีดนี้จะจับเวลาตั้งแต่เริ่มกรีดจนสิ้นสุดการกรีด ในระยะทางเท่ากัน 231 มิลลิเมตร ในจำนวนผู้ทำการทดสอบทั้งหมด 15 คน จะมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 7 คน หรือคิดเป็น 46.67 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบ เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแล้วใช้เวลาในการกรีดน้อยกว่าใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงและมีผู้ทำการทดสอบจำนวน 8 คนหรือคิดเป็น 53.33 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทำการทดสอบ



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกรีดยางเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติแล้วใช้เวลาในการกรีดมากกว่าใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบง จากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการกรีดพบว่าเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบง มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการกรีดเท่ากับ 21.23 และ 24.25 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการกรีด เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการกรีดยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงเท่ากับ 3.02 วินาที

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

4. สรุปผล

จากการดำเนินการวิจัยทั้ง 2 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นตอนที่ 1 การดำเนินการวิจัยเพื่อหามุมเอียง จำนวนฟัน และอัตราป้อนต่อฟันของใบมีดที่เหมาะสม และขั้นตอนที่ 2 การดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติกับมีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 1) ที่มุมเอียงใบมีดบวก 45 องศา ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร
- 2) ที่จำนวนฟันใบมีด 4 ฟัน ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร
- 3) ที่อัตราป้อน 3 มิลลิเมตรต่อฟัน ใช้พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0115 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร
- 4) คุณภาพงานกรีด เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติดีกว่าคุณภาพงานกรีดเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์
- 5) ความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางเมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติน้อยกว่าความแปรปรวนเฉลี่ยของความสิ้นเปลืองเปลือกยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงเท่ากับ 3.43
- 6) เวลาที่ใช้ในการกรีด เมื่อใช้ใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการกรีดยางเมื่อใช้มีดกรีดยางแบบเจี๊ยะบงเท่ากับ 3.02 วินาที

5. เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์วิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร (2550). การผลิต การใช้ และการส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย ต่าง ๆ, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.rubberthai.com/information/wichakan>
- ศูนย์วิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร (2550). การผลิต และการใช้ยางของโลก, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.rubberthai.com/information/wichakan>



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

ศูนย์วิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร (2550).

พื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทย, [ออนไลน์],

แหล่งที่มา: <http://www.rubberthai.com/information/wichakan>

ศูนย์วิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร (2550).

เศรษฐกิจและการตลาดยางของไทย, [ออนไลน์],

แหล่งที่มา: <http://www.rubberthai.com/information/wichakan>





TAM-36

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับ เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

ยงยุทธ์ เสียงดั่ง¹, จรุงศักดิ์ สมพงษ์¹, ศชา วาทกิจ¹ และ พงศ์ศักดิ์ จุลยุเสนา¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: ยงยุทธ์ เสียงดั่ง E-mail: yongyuht@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ามีการกรีดยางพาราที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (มีดเจ๊ะบง) มีข้อจำกัด คือต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสิ้นเปลืองเปลืองและทำลายเยื่อเจริญจากปัญหานี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติที่สามารถเคลื่อนที่กรีดเปลือกยางพาราตามการเอียงของรอยกรีดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดการกรีดและสามารถควบคุมความหนาและความลึกในการกรีดได้อย่างอัตโนมัติ ในเบื้องต้นจะทำการจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ขั้นตอนการวิจัยในครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน 1. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลายแขนกล 2. การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ 3. การจำลองสถานการณ์ และ 4. การประเมินผล แบบจำลองทางคิเนแมติกส์ของปลายแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีมุมมองสามมิติสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา รอยกรีดบนต้นยางพาราจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเอลิปส์และถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks พบว่าปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้

คำสำคัญ: เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ; ปลายแขนกล; มิตกรีดยางพารา; ยางพารา

1. บทนำ

จากข้อมูลทางวิชาการของสถาบันวิจัยยาง รายงานว่าในปี 2553 ทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกยางพาราครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 72.21 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางส่วนใหญ่เกือบ 76.4 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในทวีปเอเชีย ส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก และเป็นเกษตรกรรายย่อย โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 21.53 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ สำหรับประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรกใน ปี 2554 ได้แก่ ไทย ผลิตได้ 3.573 ล้านตันหรือคิดเป็น 33.5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย ผลิตได้ 2.886 ล้านตัน ส่วนประเทศมาเลเซียผลิตได้ 1.024 ล้านตัน ปริมาณการผลิตยางทั้งสามประเทศคิดเป็น 70.2 เปอร์เซ็นต์

ของปริมาณการผลิตทั้งโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยในปี 3553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ ทำรายได้ให้กับประเทศไทยและการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่คนมีดจะไปบาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มี ความชำนาญและประสบการณ์ กรีดทำลายชั้นของเยื่อเจริญหรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยว



ผลผลิตจากเปลือกอกใหม่จะไม่สะดวก [2] การสิ้นเปลืองของรอยกรีดเนื่องจากมีความหนาในการกรีดในแต่ละครั้งมากเกินไป ทำให้หมดเปลือกอย่างรวดเร็ว จากการแนะนำวิธีการกรีดที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตร หรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดประมาณ 2 ชั่วโมง ถ้ารวมเวลาเดินทางจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่ง จะใช้เวลาทั้งหมด 2.5-3.0 ชั่วโมง จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน[2] โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า มีดกรีดยางเงิบง การใช้มีดกรีดยางเงิบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้คมมีดเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา เกิดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป มีความเสียหายของหน้ายางความสามารถในการกรีดยางพารามีขีดจำกัดอยู่ที่ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน



รูปที่ 1 มีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

ยงยุทธ(2552) ได้ทำการออกแบบและสร้างมีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ใบมีดจะเป็นใบมีดหมุน มี 4 ฟัน มุมตัด 45 องศา มีกลไกควบคุมความหนาเพื่อลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไปและลดความเสียหายของหน้ายาง ผู้ใช้งานมีดกรีดยางพารานี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ ก็สามารถใช้งานได้ แต่ก็มีข้อด้อยที่ต้องได้รับการปรับปรุงคือ ต้องใช้คนในการพามีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ตามรอยกรีดเดิม และต้องคอยควบคุมความลึกในการกรีดด้วย

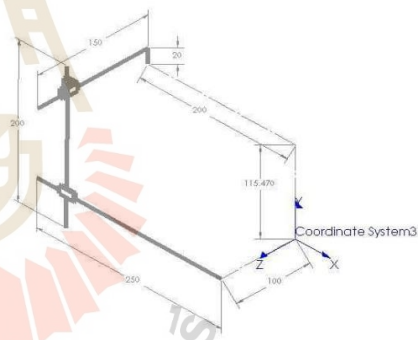
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่อง

กรีดยางพาราอัตโนมัติ เพื่อนำข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ ไปใช้ในการออกแบบปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ที่สามารถเคลื่อนที่กรีดเปลือกยางพารา ตามการเอียงของการกรีด จากจุดเริ่มต้นการกรีดจนถึงจุดสิ้นสุดการกรีด สามารถควบคุมความหนาและความลึกในการกรีดได้อย่างอัตโนมัติ

2. วิธีการดำเนินการ

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลายแขนกล

ปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ สามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น(Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก รางสไลด์ของแกน x จะยึดติดกับลำต้นยางพาราด้วยชุดจับยึด ชุดมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน z โดยกำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่จุดเริ่มต้นการกรีด



รูปที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลายแขนกล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลายแขนกลสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{เมื่อ } d_i = \frac{L_i}{2\pi} \theta_i \quad (1)$$

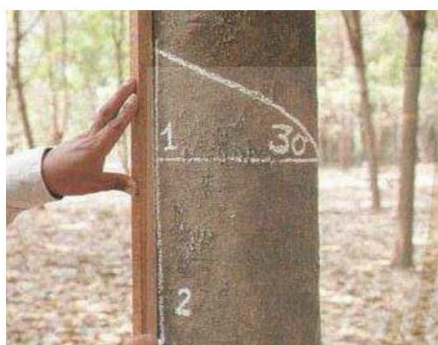
ความเร็วเชิงเส้นของตัวขับเคลื่อนในแต่ละแกนสามารถได้จากการอนุพันธ์การกระจัดของแต่ละแกน ดังนี้

$$\dot{d}_i = \frac{L_i}{2\pi} \omega_i \quad (2)$$

เมื่อ d_i = การกระจัดของแกน i (มิลลิเมตร)
 L_i = ระยะหลังคของแกน i (มิลลิเมตรต่อรอบ)
 θ_i = มุมการหมุนของแกน i (เรเดียน)

2.2 เส้นทางเคลื่อนที่

2.2.1 การเปิดกรีด

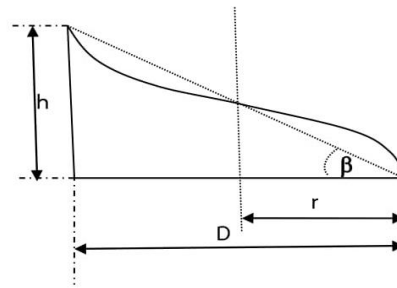


รูปที่ 3 การทำรอยเปิดกรีดใหม่บนต้นยางพารา

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกรีดเมื่อวัดเส้นรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเยื่อเจริญรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้น ๆ อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวา จากแนวตั้งเล็กน้อยประมาณ 2.1-7.1 องศา การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวา เพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกรีดควรทำมุม 30-35 องศา จากแนวระดับเพื่อให้ น้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ หากมุมกรีดเปลี่ยนไปจาก 30 องศา เป็น 45 องศา จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 แต่ความยาวรอยกรีดเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกและใช้เวลาในการกรีดเพิ่มขึ้น หากมุมกรีดต่ำกว่า 30 องศา ทำให้น้ำยางไหลออกนอกรอยกรีด สูญเสียผลผลิตระบบกรีดยางที่แนะนำมี 5 ระบบ แต่ระบบกรีดครึ่งลำต้นวันเว้นวัน (1/2S d/2) นิยมใช้กับพันธุ์ยางพาราทั่ว ๆ ไป [1]

2.2.2 การสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่ารอยกรีดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์พันรอบต้นยางพาราจากด้านล่างขวาขึ้นสู่ด้านบนซ้าย



รูปที่ 4 เส้นทางเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาลักษณะรอยกรีดบนต้นยาง พาราที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์เป็นเส้นทางเคลื่อนที่ โดยแยกพิจารณาออกเป็นแต่ละแนวแกน จะได้ตำแหน่งและความเร็วของแต่ละแนวแกน ดังนี้

ตำแหน่ง

$$X(t) = r - r \cos(\omega t) \quad (3a)$$

$$Y(t) = \frac{h}{\pi} (\omega t) \quad (3b)$$

$$Z(t) = -r \sin(\omega t) \quad (3c)$$

เมื่อ

$$\omega = \frac{\pi}{t}$$

$$h = D \tan \beta$$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารา (มิลลิเมตร)

r = รัศมีของต้นยางพารา (มิลลิเมตร)

t = เวลาที่ใช้ในการกรีด (วินาที)

h = ความสูงของรอยกรีด (มิลลิเมตร)

β = มุมของรอยกรีด (องศา)

ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)

ทำการอนุพันธ์สมการ (3) จะได้

ความเร็ว

$$\dot{X}(t) = r\omega \sin(\omega t) \quad (4a)$$

$$\dot{Y}(t) = h/\pi \omega \quad (4b)$$

$$\dot{Z}(t) = -r\omega \cos(\omega t) \quad (4c)$$

2.3 การจำลองสถานการณ์

2.3.1 การกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสถานการณ์

ในการจำลองสถานการณ์ของปลายแขนกลและเส้นทางเคลื่อนที่ โดยทำการขึ้นรูปปลายแขนกลและรอยกรีดด้วยโปรแกรม SolidWorks แต่ละแกนของปลายแขนกล

เมื่อ d_i = การกระจัดของแกน i (มิลลิเมตร)
 L_i = ระยะหาคัดของแกน i (มิลลิเมตรต่อรอบ)
 θ_i = มุมการหมุนของแกน i (เรเดียน)

2.2 เส้นทางเคลื่อนที่

2.2.1 การเปิดกรีด

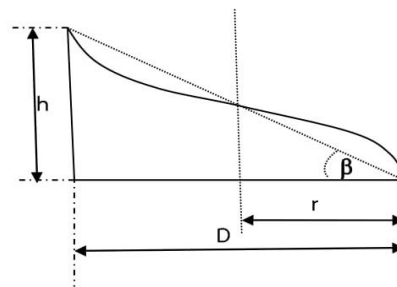


รูปที่ 3 การทำรอยเปิดกรีดใหม่บนต้นยางพารา

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกรีดเมื่อวัดเส้นรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเยื่อเจริญรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้น ๆ อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวา จากแนวตั้งเล็กน้อยประมาณ 2.1-7.1 องศา การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวา เพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกรีดควรทำมุม 30-35 องศา จากแนวระดับเพื่อให้ น้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ หากมุมกรีดเปลี่ยนไปจาก 30 องศา เป็น 45 องศา จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 แต่ความยาวรอยกรีดเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกและใช้เวลาในการกรีดเพิ่มขึ้น หากมุมกรีดต่ำกว่า 30 องศา ทำให้น้ำยางไหลออกนอกรอยกรีด สูญเสียผลผลิตระบบกรีดยางที่แนะนำมี 5 ระบบ แต่ระบบกรีดครึ่งลำต้นวันเว้นวัน (1/2S d/2) นิยมใช้กับพันธุ์ยางพาราทั่ว ๆ ไป [1]

2.2.2 การสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่ารอยกรีดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์พันรอบต้นยางพาราจากด้านล่างขวาขึ้นสู่ด้านบนซ้าย



รูปที่ 4 เส้นทางเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาลักษณะรอยกรีดบนต้นยาง พาราที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์เป็นเส้นทางเคลื่อนที่ โดยแยกพิจารณาออกเป็นแต่ละแนวแกน จะได้ตำแหน่งและความเร็วของแต่ละแนวแกน ดังนี้

ตำแหน่ง

$$X(t) = r - r \cos(\omega t) \quad (3a)$$

$$Y(t) = \frac{h}{\pi} (\omega t) \quad (3b)$$

$$Z(t) = -r \sin(\omega t) \quad (3c)$$

เมื่อ

$$\omega = \frac{\pi}{t}$$

$$h = D \tan \beta$$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารา (มิลลิเมตร)

r = รัศมีของต้นยางพารา (มิลลิเมตร)

t = เวลาที่ใช้ในการกรีด (วินาที)

h = ความสูงของรอยกรีด (มิลลิเมตร)

β = มุมของรอยกรีด (องศา)

ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)

ทำการอนุพันธ์สมการ (3) จะได้

ความเร็ว

$$\dot{X}(t) = r\omega \sin(\omega t) \quad (4a)$$

$$\dot{Y}(t) = h/\pi \omega \quad (4b)$$

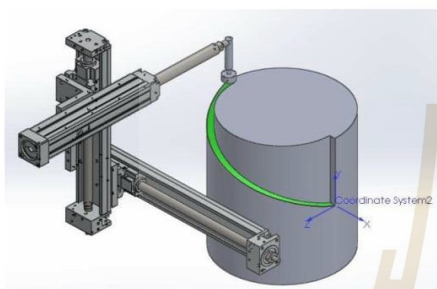
$$\dot{Z}(t) = -r\omega \cos(\omega t) \quad (4c)$$

2.3 การจำลองสถานการณ์

2.3.1 การกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสถานการณ์

ในการจำลองสถานการณ์ของปลายแขนกลและเส้นทางเคลื่อนที่ โดยทำการขึ้นรูปปลายแขนกลและรอยกรีดด้วยโปรแกรม SolidWorks แต่ละแกนของปลายแขนกล

จะใช้ตัวขับเร้าเชิงเส้นประกอบแบบบอนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉากได้ ชุดมีดกรีดแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน z ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์แทนรอยกรีดบนต้นยางพารา เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา กับแนวตั้ง



รูปที่ 5 แบบจำลองของปลายแขนกลและเส้นทางการเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จะทำให้สมการ (2) เท่ากับสมการ (4a) แต่ในระบบจริง ต้นกำลังที่เป็นมอเตอร์จะหมุนขับแกนบอลสกรูของชุดขับเร้าเชิงเส้นเพราะฉะนั้นแกนบอลสกรูจะต้องหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมตามสมการที่ (5a)

$$\frac{L}{2\pi} \omega_x = r \omega \sin(\omega t)$$

$$\omega_x = r \frac{\pi}{t} \sin(t) \left(\frac{2\pi}{L}\right) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (5a)$$

ในแกน y และ z พิจารณาเช่นเดียวกัน

$$\omega_y = \frac{dt \tan 30}{t} \left(\frac{2\pi}{L}\right) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (5b)$$

$$\omega_z = -r \frac{\pi}{t} \cos(t) \left(\frac{2\pi}{L}\right) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (5c)$$

การเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกับรอยกรีดที่สร้างสมการเฮลิคซ์ ความเร็วเชิงมุมของแต่ละแกนจะถูกป้อนให้กับตัวขับเร้าเชิงเส้นแล้วนำข้อมูลของตำแหน่งต่างๆ ที่ได้จากการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันทั้งสามแนวแกน ไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับรอยกรีดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์ ในการจำลองสถานการณ์จะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ขนาด
ระยะชักแกน X	X	250 มิลลิเมตร

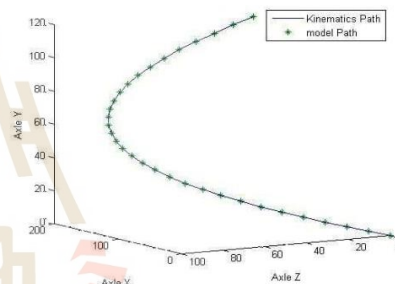
ระยะชักแกน Y	Y	200 มิลลิเมตร
ระยะชักแกน Z	Z	150 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง	D	200 มิลลิเมตร
มุมของรอยกรีด	β	30 องศา
เวลาที่ใช้ในการกรีด	t	10 วินาที

2.3.2 การจำลองทางคณิตศาสตร์

จะนำข้อมูลของตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งของแต่ละแกนที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล กับรอยกรีดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน

3 ผลการดำเนินการและวิเคราะห์ผล

3.1 เส้นทางการเคลื่อนที่



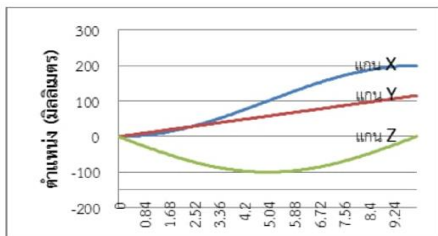
รูปที่ 6 เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่

จากกราฟเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่จะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกรีดที่สร้างจากสมการ

เฮลิคซ์ เส้นกราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นเคลื่อนที่จากด้านล่างขวามือขึ้นสู่ด้านบนซ้ายทับกันเป็นเส้นเดียวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่

3.2 ตำแหน่งของปลายแขนกล

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าตำแหน่งในแกน X จะเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย เป็นระยะทาง 200 มิลลิเมตรเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง ลักษณะของเส้นกราฟจะมีความลาดชันน้อยเมื่อเริ่มต้นเคลื่อนที่ มีความลาดชันเพิ่มขึ้นบริเวณส่วนกลางของเส้นกราฟ และจะมีความลาด

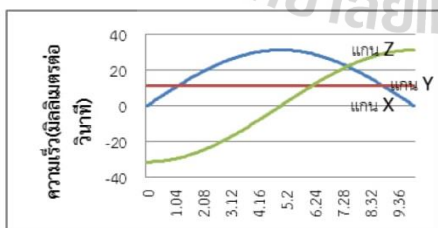


รูปที่ 7 ตำแหน่งของปลายแขนกล

ชั้นน้อยอีกครั้งเมื่อจะสิ้นสุดการเคลื่อนที่ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะถ้ามองในแนวระดับของรอยกริดที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ส่วนโค้งบริเวณหัวและท้ายจะโค้งลึกเข้าไป ทำให้มองเห็นเป็นระยะทางสั้นกว่าส่วนโค้งบริเวณตรงกลาง ส่งผลให้แกน X ต้องเคลื่อนช้า ๆ ในบริเวณดังกล่าว ตำแหน่งในแกน Y เส้นกราฟจะมีลักษณะเอียง ที่มีความลาดชันคงที่เป็นระยะทาง 115.47 มิลลิเมตร ถ้ามองในแนวระดับจะเห็นว่าเส้นทางเดินของแกน Y จะเกิดจากฟังก์ชันตรีโกณมิติของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง กับระยะความแตกต่างของความสูงของจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้าย ส่วนตำแหน่งในแกน Z กราฟจะมีลักษณะเส้นโค้งทรงครึ่งวงกลม รัศมี 100 มิลลิเมตร เนื่องจากแกน Z ต้องเคลื่อนที่ตามส่วนโค้งครึ่งวงกลมของต้นยางพาราที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 200 มิลลิเมตร

3.3 ความเร็วของปลายแขนกล

ความเร็วในแนวแกน X กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคว่ำ ถ้ามองในแนวระดับของรอยกริดที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ส่วนโค้งบริเวณหัวและท้ายจะโค้งลึกเข้าไป ทำให้มีระยะการเคลื่อนที่สั้นกว่าส่วนโค้งบริเวณตรงกลาง

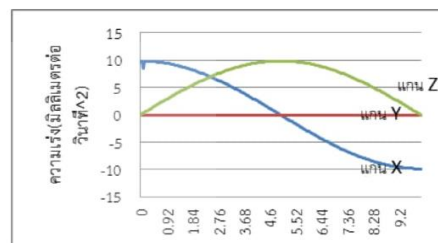


รูปที่ 8 ความเร็วของปลายแขนกล

ส่งผลให้แกน X เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ช้ากว่าบริเวณตรงกลาง ความเร็วในแกน Y เส้นกราฟจะมีลักษณะเส้นตรง มีความเร็วคงที่ที่ 11.54 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจาก

ระยะทางที่แกน Y เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นเส้นเอียงที่มีความลาดชันคงที่ ส่วนความเร็วในแกน Z จะมีความเร็วที่ช้า ที่บริเวณจุดเริ่มต้นกับบริเวณจุดสุดท้าย เนื่องจากเส้นกราฟตำแหน่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งครึ่งวงกลม ส่งผลให้มีระยะการเคลื่อนที่บริเวณดังกล่าวน้อย

3.4 ความเร่งของปลายแขนกล



รูปที่ 9 ความเร่งของปลายแขนกล

ความเร่งจะมีผลต่อความนุ่มนวลของการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนและการสั่นสะเทือนของปลายแขนกล ในรูปที่ 9 จะเห็นว่าแกน X และแกน Z จะทำให้เกิดการสั่น โดยเฉพาะแกน X ที่มีความเร่งที่ไม่ได้เริ่มจากศูนย์ ทำให้เกิดการสั่นมากในตอนเริ่มต้นการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง จนเข้าสู่บริเวณลดลงคงที่ และค่อยเริ่มมีความเร่งอีกครั้งในช่วงท้ายของการเคลื่อนที่ ความเร่งในแนวแกน Z จะมีความเร่งน้อย ๆ บริเวณเริ่มและสิ้นสุดการเคลื่อนที่ แต่มีความเร่งมากช่วงกลางของการเคลื่อนที่ เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ส่วนความเร่งในแนวแกน Y ไม่มีเนื่องจากมีความเร็วคงที่

4 สรุปผลการดำเนินการ

จากผลการดำเนินการจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกริดที่สร้างจากสมการเอลลิปส์ เส้น กราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นทับกันเป็นเส้นเดียว ตำแหน่งในการเคลื่อนที่แต่ละแกนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายมีความถูกต้องแม่นยำทั้งสามแกน ส่วนความเร็วและความเร่งแต่ละแกนจะมีผลต่อความนุ่มนวลในระหว่างการเคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลต่อการสั่นของปลายแขนกลไม่มาก จากผลการดำเนินการจะเห็นว่า แบบจำลองทางคิเนแมติกส์ของปลายแขนกลที่มีข้อต่อ



เป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉาก เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30 องศา รอยกรีดบนต้นยางพาราจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคซ์และถูกใช้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks พบว่าปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้

[6] Luigi Biagiotti and Claudio Melchiorri (2008). Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots, Springer, Berlin.

5 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้เป็นเพียงการพิจารณาการเคลื่อนที่ทางคิเนเมติกส์ ยังไม่ได้พิจารณาการเคลื่อนที่ทางไดนามิกส์ ซึ่งน่าจะมีผลต่อตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งของปลายแขนกล ซึ่งผู้วิจัยกำลังศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เมื่อนำชิ้นส่วนมาประกอบเป็นปลายแขนกลจริง ๆ

6 เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www. Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com), เข้าดูเมื่อวันที่ 19/10/2555.
- [2] ยงยุทธ์ (2552). การออกแบบและสร้างมีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [3] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2550). การกรีดยางและการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www. Rubberthai.com, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/10/2555.
- [4] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2544). การกรีดยาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www. Rubberthai.com, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/10/2555
- [5] Tilt a jet and Omax (2010). Solidworks Motion, Dassault System Solidworks Corporation, Massachusetts.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จออยุธยา .

TAM-22

การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ Feedback Controller Design of an End-effector for Automatic Pararubber Tapping Machine

ยงยุทธ์ เสียงดัง^{1*}, จรุงศักดิ์ สมพงษ์¹, คธา วาทกิจ¹ และ พยุงศักดิ์ จุลยุเสน¹
Yongyuth Sengdang^{1*}, Charoonsak Somphong¹, Kata Vatakit¹ and Payungsak Junyusen¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, 30000

*Corresponding author : Tel: 089-8640019, Fax: 044-224610, E-mail: yongyuth@muti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ามีการกรีดยางพาราที่นิยมใช้ในปัจจุบัน(มีดเจ๊ะบง) มีข้อจำกัดคือ ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะและประสบการณ์สูงซึ่งจะลดความสิ้นเปลืองเปลือกและการทำลายเยื่อเจริญ จากปัญหานี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พลศาสตร์แบบ 3 แกน โดยการใช้รูปตัวข้อรับเชิงเส้น(Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมเขียนแบบ เส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียล สมการความเร่งของเส้นทางการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงบิดเพื่อป้อนให้ตัวข้อรับเชิงเส้นแต่ละแกน จำลองการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ การตอบสนองของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการจำลองพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลสูงสุดในแนวแกน X เท่ากับ 40 mm ในแนวแกน Y เท่ากับ 5 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 10 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีอัตราขยายในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 30, 10 และ 15 ตามลำดับ ทำให้ค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนไม่เกิน 0.5 mm ปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติที่สร้างด้วยแบบจำลองทางพลศาสตร์และถูกควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ PID สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนที่ถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลได้

คำสำคัญ: ปลายแขนกล, เส้นทางการเคลื่อนที่, ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ, การตอบสนองของตัวควบคุม

Abstract

The objective of this research was to design a feedback controller of an end-effector for automatic pararubber tapping machine. Je-Bong knife requires a skillful and experienced labor in order to reduce bark consumption and cambium damage. Therefore the research on the end-effector for the automatic pararubber tapping machine was developed. The end-effector was simply modeled using a dynamic model of 3-axis linear actuator. Trajectory of each actuator was expressed using polynomial function. Input torque used for driving each actuator was calculated from its theoretical acceleration. Performance of this method was verified employing a computer simulation in SolidWorks®. The simulation results showed that the end-effector could not trace the predetermined trajectory. A feedback control using PID controller was introduced to reduce such error. The trajectory control with the PID feedback control could guide the end-effector to destination precisely.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จออยุธยา .

Keywords: end-effector, trajectory, feedback controller, feedback controller responsibility

1. บทนำ

จากข้อมูลทางวิชาการของสถาบันวิจัยยาง รายงานว่า ในปี 2553 ทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกยางพาราครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 72.21 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางส่วนใหญ่เกือบ 76.4 % อยู่ในทวีปเอเชีย ส่วนใหญ่เป็นสวนยางขนาดเล็ก และเป็นเกษตรกรรายย่อย โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 21.53 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ สำหรับประเทศผู้ผลิตรายแรกมาติดกันมากที่สุด 3 อันดับแรกใน ปี 2555 ได้แก่ ไทย ผลิตได้ 3.778 ล้านตัน หรือคิดเป็น 34.5 % ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย ผลิตได้ 2.746 ล้านตัน ส่วนประเทศมาเลเซียผลิตได้ 0.910 ล้านตัน ปริมาณการผลิตยางทั้งสามประเทศคิดเป็น 67.88 % ของปริมาณการผลิตทั้งโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2555) ทำรายได้ให้กับประเทศไทยและการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีดยาง การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่คนมีจิตใจจะไปขาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญและประสบการณ์ กรีดยางทำลายชั้นของเยื่อเจริญหรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก การสิ้นเปลืองของรอยกรีดยางเนื่องจากมีความหนาในการกรีดยางในแต่ละครั้งมากเกินไป ทำให้หมดเปลือกยางเร็ว จากการแนะนำวิธีการกรีดยางที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดยางควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 mm หรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดยางประมาณ 2 hr ถ้ารวมเวลาเดินจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่ง จะใช้เวลาทั้งหมด 2.5-3.0 hr จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อ

วัน โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า มีดกรีดยางเจาะบังการใช้มีดกรีดยางเจาะบัง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและ

ความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้คมมีดเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา เกิดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป มีความเสียหายของหน้ายางความสามารถในการกรีดยางพาราที่มีขีดจำกัดอยู่ที่ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน (สถาบันวิจัยยาง, 2550)

ยงยุทธ (2552) ได้ทำการออกแบบและสร้างมีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ใบมีดจะเป็นใบมีดหมุนมี 4 ฟัน มุมตัด 45° มีกลไกควบคุมความหนาเพื่อลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไปและลดความเสียหายของหน้ายาง ผู้ใช้งานมีดกรีดยางพาราที่ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ ก็สามารถใช้งานได้ แต่ก็มีข้อต่อที่ต้องได้รับการปรับปรุงคือ ต้องใช้คนในการพามีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ตามรอยกรีดยางเดิมและต้องคอยควบคุมความลึกในการกรีดยางด้วย

ยงยุทธ (2556) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากผลการดำเนินการพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลายแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉากเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกรีดยางที่สร้างจากสมการเฮลิคัล เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีดยาง 30° เส้นกราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นทับกันเป็นเส้นเดียว ตำแหน่งในการเคลื่อนที่แต่ละแกนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายมีความถูกต้องแม่นยำ ทั้งสามแกน ถึงแม้ว่าการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks[®] ปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดยางของต้นยางพาราได้ แต่ความเร็วเริ่มต้นและความเร็วสุดท้ายในบางแกนไม่ได้อยู่ที่ศูนย์ ซึ่งจะมีผลต่อความนุ่มนวลในระหว่างการเคลื่อนที่ ก่อให้เกิดการสั่นของปลายแขนกล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกล สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่โดยเส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนจะถูกสร้างด้วยสมการโพลิโนเมียล ป้อนสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ให้กับข้อต่อ



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวียร์ จออยุธยา .

เชิงเส้นแต่ละแกนเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ออกแบบไว้ ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางที่เคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นทางที่ออกแบบไว้ การตอบสนองของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกล

ปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติสามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก รางสไลด์ของแกน X จะยึดติดกับลำต้นยางพาราด้วยชุดจับยึด ชุดมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งที่ปลายแกน Y โดยกำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่จุดเริ่มต้นการกรีด (จุดที่ 1 ใน Figure 3) การจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกลแต่ละแกนจะพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่แบบเลื่อนด้วยการใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$F(t) = m \frac{d^2q(t)}{dt^2} \quad (1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อน (N), m คือ มวลของแต่ละแกน (kg) และ q คือ การขจัดเชิงเส้น (mm)

2.2 เส้นทางกรีดของต้นยางพารา

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกรีดเมื่อวัดเส้นรอบวงได้ไม่น้อยกว่า 50 cm ที่ระดับความสูง 150 cm จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเยื่อเจริญรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้นๆ อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนวตั้งเล็กน้อยประมาณ $2.1-7.1^\circ$ การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวาเพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกรีดควรทำมุม $30-35^\circ$ จากแนวระดับเพื่อให้ท่อน้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่ หากมุมกรีดเปลี่ยนไปจาก 30° เป็น 45° จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 แต่ความยาวรอยกรีดเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ทำให้สิ้นเปลืองเปลือกและใช้เวลาในการกรีดเพิ่มขึ้น หากมุมกรีดต่ำกว่า

30° ทำให้ท่อน้ำยางไหลออกนอกรอยกรีด สูญเสียผลผลิตระบบกรีดยางที่แนะนำมี 5 ระบบ แต่ระบบกรีดครั้งลำต้นวันเว้นวัน ($1/2S d/2$) นิยมใช้กับพันธุ์ยางพาราทั่ว ๆ ไป (สถาบันวิจัยยาง, 2544) ดังแสดงใน Figure 1



Figure 1 Tapped para-rubber tree

2.3 การสร้างเส้นทางเคลื่อนที่

ในงานวิจัยนี้เส้นทางเคลื่อนที่แต่ละแกนจะถูกสร้างด้วยสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ซึ่งมีสมการการขจัด ความเร็วและความเร่ง ตามลำดับดังนี้

$$q(t) = k_0 + k_1t + k_2t^2 + k_3t^3 \quad (2)$$

$$\dot{q}(t) = k_1 + 2k_2t + 3k_3t^2 \quad (3)$$

$$\ddot{q}(t) = 2k_2 + 6k_3t \quad (4)$$

จากสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ในฟังก์ชันที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบค่าอย่างน้อย 4 เงื่อนไข โดย

2 เงื่อนไขมาจากค่าตำแหน่งเริ่มต้นและค่าตำแหน่งสุดท้าย

$$q(t_0) = q_0 \quad (5)$$

$$q(t_f) = q_f \quad (6)$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันนั้นต่อเนื่อง

$$\dot{q}(t_0) = \dot{q}_0 \quad (7)$$

$$\dot{q}(t_f) = \dot{q}_f \quad (8)$$

แทนค่าเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไข ในสมการที่ (2) และสมการที่ (3) แล้วจัดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ดังนี้



$$\begin{bmatrix} 1 & t_0 & t_0^2 & t_0^3 \\ 0 & 1 & 2t_0 & 3t_0^2 \\ 1 & t_f & t_f^2 & t_f^3 \\ 0 & 1 & 2t_f & 3t_f^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 \\ \dot{q}_0 \\ q_f \\ \dot{q}_f \end{bmatrix} \quad (9)$$

ต้นยางพาราที่ปลูกได้ต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 160 mm ในการวิจัยนี้จำลองต้นยางพาราที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 mm มุมกรีต 30° จากการออกแบบให้แต่ละแกนของปลายแขนกลทำงานอิสระต่อกันทำให้มีการจัดเชิงเส้นตาม Table 1 แทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละแกนตาม Table 1 ลงในสมการที่ (9) เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2, k_3

Table 1 Conditions used in each axis

Condition axis	t_0 (s)	t_f (s)	q_0 (mm)	q_f (mm)	\dot{q}_0 (m ms ⁻¹)	\dot{q}_f (m ms ⁻¹)	m (kg)
axis X	0	1	0	200	0	0	2.453
axis Y		5		100			0.309
axis z		1		115.47			1.431

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จะพิจารณาครั้งแรกของเวลาทั้งหมดเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ไปและกลับ ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ในครั้งเวลาลงจะมีลักษณะตรงข้ามกับครั้งแรก

2.4 การจำลองสถานการณ์ทางพลศาสตร์ของปลายแขน

กล

แรงบิดจะถูกป้อนที่แกนเกลียวแต่ละแกนหมุนขับให้ตัวสไลด์เคลื่อนที่แบบเลื่อน ในแต่ละแกนจะมีการเคลื่อนที่สองแบบ คือการเคลื่อนที่แบบหมุนที่แกนเกลียวและการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ตัวสไลด์ เพราะฉะนั้นแรงบิดที่ใช้ป้อนจะได้มาจากสมการ

$$T = T_t + T_r \quad (10)$$

เมื่อ T_t คือ แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อน

(N-mm) และ T_r คือ แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน

(N-mm)

แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเลื่อนหามาได้จาก การส่งกำลังของเกลียวในตัวขับเร็ว

$$T_t = \frac{Fl}{2\pi e} = \frac{mal}{2\pi e} \quad (11)$$

เมื่อ a คือ ความเร่งเชิงเส้นของมวล ($mm\ s^{-2}$), l คือ ระยะหลิตร (mm), e คือ สัมประสิทธิ์ของตัวขับเร็วเชิงเส้น (ในการจำลองนี้จะมีค่าเท่ากับ 1)

แรงบิดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน

$$T_r = I\alpha = I(a \frac{2\pi}{l}) \quad (12)$$

เมื่อ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของแกนตัวขับเร็วเชิงเส้น

($kg\cdot mm^2$) เพราะฉะนั้นแรงบิดที่ต้องใช้ในการป้อนทั้งหมด

$$T = \frac{mal}{2\pi e} + I(a \frac{2\pi}{l}) \quad (13)$$

รายละเอียดของแรงบิดแต่ละแกนสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l_x}{2\pi} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{l_y}{2\pi} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{l_z}{2\pi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_x + m_y + m_z & 0 & 0 \\ 0 & m'_y & 0 \\ 0 & 0 & m_y + m_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_y + m_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{l_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2\pi}{l_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2\pi}{l_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I'_y & 0 \\ 0 & 0 & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (14)$$



2.5 การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

จากสมการที่(1) ให้ $F(t)$ เป็น input และ $q(t)$ เป็น output ฟังก์ชันถ่ายโอนของปลายแขนกลแต่ละแกน เมื่อพิจารณาว่าค่าเริ่มต้นทั้งหมดเป็นศูนย์ คือ

$$G_p(s) = \frac{q(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2} \quad (15)$$

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามสมการโพลีโนเมียลกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกล ณ.เวลาเดียวกัน จะถูกป้อนกลับให้กับตัวควบคุม สราวูฒิ (2546) กล่าวว่าตัวควบคุม Proportional-Integral-Direvativa (PID) เป็นชื่อของตัวควบคุมอันทรงประสิทธิภาพ กว่าร้อยละ 90 ของปัญหาในการควบคุมสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้ตัวควบคุมชนิดนี้และสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ดังนี้

$$G_c(s) = \frac{KDs^2 + KPs + KI}{s} = \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s} \quad (16)$$

การจำลองสถานการณ์การควบคุมแบบป้อนกลับจะใช้โปรแกรม Matlab/Simulink เกณฑ์ในการพิจารณา ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสม จะพิจารณาอัตราขยายที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm เนื่องจากต้องการกรีดให้เหลือเยื่อเจริญของต้นยางพาราประมาณ 1 mm

3. ผลและวิจารณ์

3.1 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกล

แบบจำลองทางพลศาสตร์ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ สร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) จำนวนสามตัวที่ต่ออนุกรมและตั้งฉากกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก จากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 2 แต่ละตัวจะประกอบด้วยรางสไลด์ทำหน้าที่ยึดตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นกับชิ้นส่วนอื่น แกนเกลียวทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่แบบเลื่อน ตัวสไลด์ทำหน้าที่รองรับภาระ

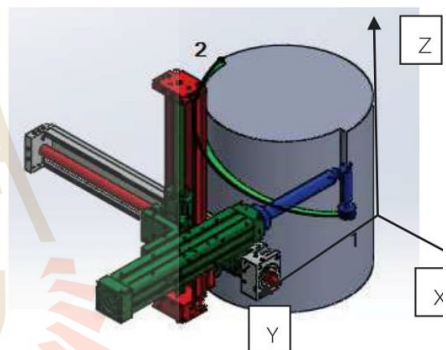


Figure 3 Dynamic model of the end-effector for automatic parareubber tapping machine

3.2 แบบจำลองเส้นทางการเปิดกรีดของต้นยางพารา

จากเส้นทางการเปิดกรีดของต้นยางพารา ที่รอยกรีดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเฮลิคิซพื้นรอบเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงต้นยางพารา จึงได้ขึ้นรูปเส้นทางการเปิดกรีดของต้นยางพาราด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ เมื่อกำหนดให้ต้นยางพารามีลักษณะสี่เหลี่ยมเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm และมีมุมกรีด 30° กับแนวตั้ง

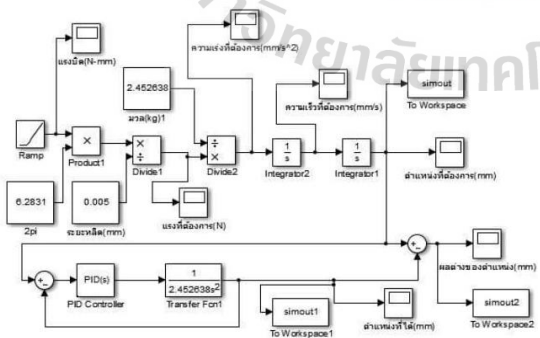


Figure 2 Feedback control diagram for simulations in X axis



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวอร์ จออยุธยา .

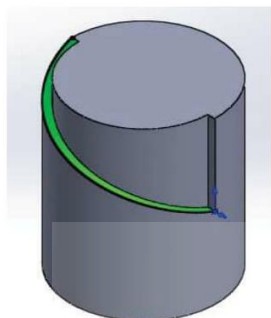


Figure 4 Trajectory for tapping pararubber tree

เพื่อให้การเข้าสู่เป้าหมายเกิดความแม่นยำ เส้นทางเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการพอลิโนเมียลกำลังสาม

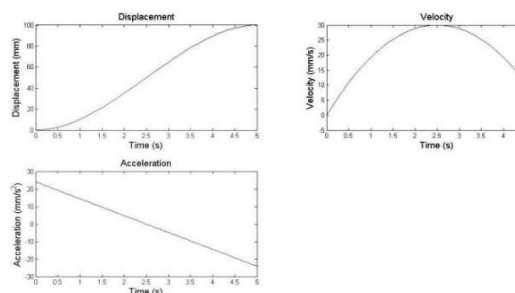


Figure 6 Displacement, velocity and acceleration of the end-effector in Y axis

3.3 เส้นทางเคลื่อนที่

จากการแทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ใน Table 1 ลงในสมการที่ (9) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2, k_3 แล้วแทนค่าสัมประสิทธิ์นี้ลงในสมการที่ (2), (3) และ (4) จะได้กราฟการขจัด ความเร็วและความเร่งของแกน X, Y และ Z ดังแสดงใน Figure 5, 6 และ 7 ตามลำดับ

เส้นทางเคลื่อนที่ในแนวแกน Y จะพิจารณาครึ่งแรกของเวลาทั้งหมดเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ไปและกลับ ส่วนเส้นทางเคลื่อนที่ในครึ่งเวลาหลังจะมีลักษณะตรงข้ามกับครึ่งเวลาแรก จากกราฟเส้นทางเคลื่อนที่ที่จะเห็นว่าการขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่เร็วขึ้นและลดความเร็วในช่วงกลาง เพื่อหยุดการเคลื่อนที่และกลับทิศทางเคลื่อนที่ ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่และเข้าสู่เป้าหมายได้อย่างแม่นยำ เส้นทางเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการพอลิโนเมียลกำลังสาม

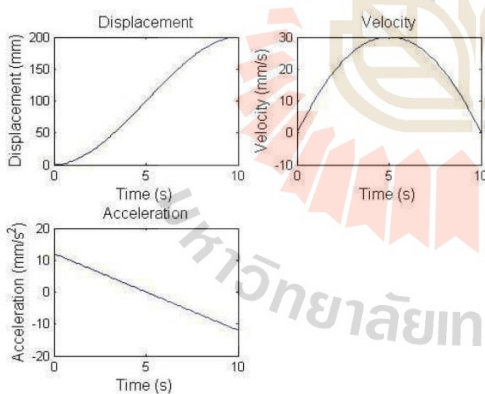


Figure 5 Displacement, velocity and acceleration of the end-effector in X axis

จากกราฟเส้นทางเคลื่อนที่ที่จะเห็นว่าการขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ในช่วงต้น ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่ ในช่วงกลางกราฟการขจัดจะมีความชันมากส่งผลทำให้มีความเร็วมากด้วยและมีความเร็วมากที่สุดที่เวลา 5 s ในช่วงท้ายกราฟการขจัดจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ความเร็วจะลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนความเร่งจะมีค่าเป็นลบ

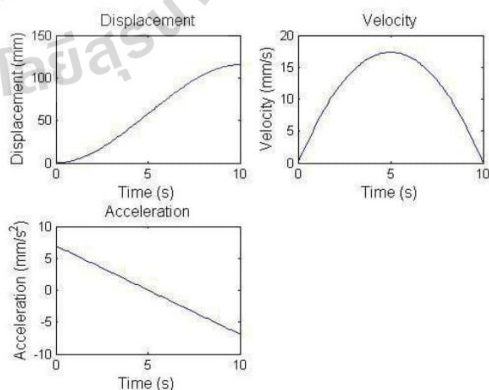


Figure 7 Displacement, velocity and acceleration of the end-effector in Z axis



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จออยุธยา .

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จะมีลักษณะเหมือนกับเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จากกราฟเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เห็นว่า การขจัดและความเร็วเริ่มต้นที่ศูนย์แล้วเริ่มเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ในช่วงต้น ส่งผลทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนที่ ในช่วงกลางกราฟการขจัดจะมีความชันมากส่งผลทำให้มีความเร็วมากด้วย และมีความเร็วมากที่สุดที่เวลา 5 s ในช่วงท้ายกราฟการขจัดจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ความเร็วจะลดลงจนเป็นศูนย์ ส่วนความเร่งจะมีค่าเป็นลบเพื่อให้การเข้าสู่เป้าหมายเกิดความแม่นยำ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไขในสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม

3.4 การจำลองสถานการณ์ทางพลศาสตร์ของปลายแขนกล

จากการป้อนแรงบิดไปขับแกนเกลียวของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น ในแต่ละแนวแกนเพื่อให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการพบว่า

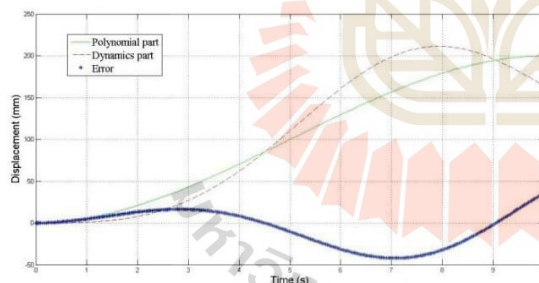


Figure 8 Comparison of the trajectories in the X axis

เส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลิโนเมียลกำลังสามของแนวแกน X จะเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 200 mm ภายในเวลา 10 s และจะผ่านจุด 100 mm ที่เวลา 5 s แต่เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์จะทับกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลิโนเมียลกำลังสามที่เวลา 0 4.30 และ 9 s ตามลำดับ มีค่าผิดพลาดสูงสุด 40 mm ที่เวลา 7 และ 10 s ตามลำดับ

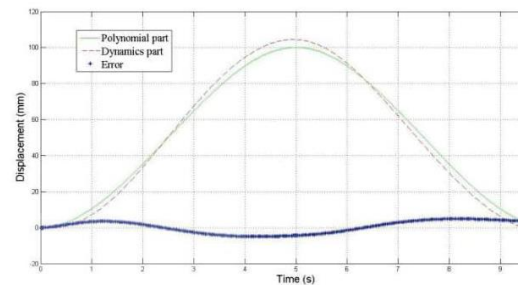


Figure 9 Comparison of the trajectories in the Y axis

เส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลิโนเมียลกำลังสาม มีค่าผิดพลาดสูงสุด 5 mm ที่เวลา 5 s

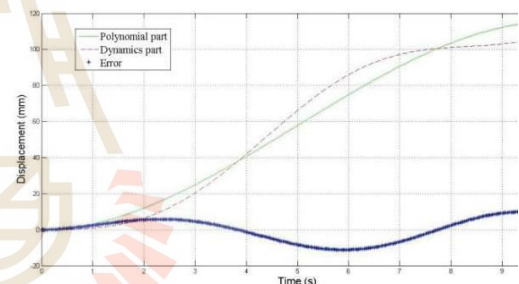


Figure 10 Comparison of the trajectories in the Z axis

ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการโพลิโนเมียลกำลังสามและเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของแนวแกน Z มีลักษณะเหมือนกับของแนวแกน X แต่ระยะทางในการเคลื่อนที่จะสั้นกว่าทำให้ค่าผิดพลาดน้อยกว่า มีค่าผิดพลาดสูงสุด 10 mm ที่เวลา 6 s

3.5 การจำลองสถานการณ์ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

จากการป้อนแรงบิดไปขับแกนเกลียวของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น

ในแต่ละแนวแกนโดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ PID เพื่อให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการพบว่า



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวียร จออยุธยา .

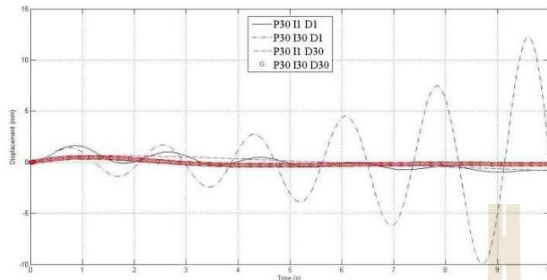


Figure 11 Trajectory error in X axis

จากการทดลองใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm พบว่าต้องใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID=30 และเมื่อนำค่าอัตราขยายดังกล่าวไปใช้กับตัวควบคุมแบบ P, PI และ PD พบว่าที่ตัวควบคุมแบบ P และ PD มีความผิดพลาดใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบ PID แต่มีค่าผิดพลาดบางช่วงที่มากกว่า 0.5 mm และพบว่าที่ตัวควบคุมแบบ PI=30 จะเกิดค่าผิดพลาดน้อยในช่วงต้นแล้วจะมีค่าผิดพลาดสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ

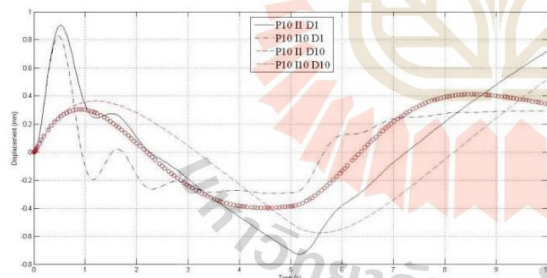


Figure 12 Trajectory error in Y axis

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y เมื่อใช้ค่าอัตราขยายเท่ากับ 10 พบว่าตัวควบคุมแบบ P และ PI มีลักษณะใกล้เคียงกันคือจะมีค่าผิดพลาดสูงในช่วงแรก เนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y มีลักษณะการเคลื่อนที่ไป-กลับ ทำให้ช่วงเวลาที่ต้องเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เกิดค่าความผิดพลาดมากกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ของการใช้ตัวควบคุมทั้งสี่แบบ

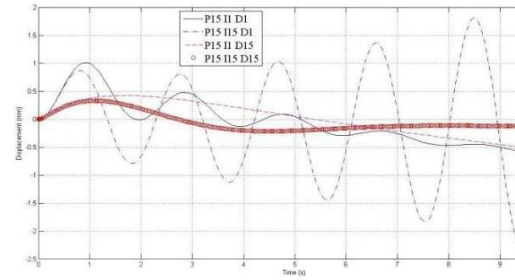


Figure 13 Trajectory error in Z axis

ค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จะมีลักษณะเหมือนกับค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จากการทดลองใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไม่เกิน 0.5 mm พบว่าต้องใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID=15 และเมื่อนำค่าอัตราขยายดังกล่าวไปใช้กับตัวควบคุมแบบ P, PI และ PD พบว่าที่ตัวควบคุมแบบ P มีค่าความผิดพลาดมากในช่วงแรก และตัวควบคุมแบบ PD มีความผิดพลาดใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบ PID แต่มีค่าผิดพลาดบางช่วงที่มากกว่า 0.5 mm และพบว่าที่ตัวควบคุมแบบ PI=15 จะเกิดค่าผิดพลาดน้อยในช่วงต้นแล้วจะมีค่าผิดพลาดสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ

4. สรุป

เส้นทางการเปิดกริดของต้นยางพารา ที่รอยกริดมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเอลิปซึ้นนรอบเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงต้นยางพารา ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทางพลศาสตร์โดยการขึ้นรูปตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมเขียนแบบเส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียล สมการความเร่งของเส้นทางการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงบิดเพื่อป้อนให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแต่ละแกน จำลองการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ตาม

เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางการเคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นทางการออกแบบไว้ การตอบสนองของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการจำลองพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7
255 เมษายน 4-27 โรงแรมกรุงศรีวิเวอร จออยุธยา .

ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลสูงสุดในแนวแกน X เท่ากับ 40 mm ในแนวแกน Y เท่ากับ 5 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 10 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีอัตราขยายในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 30, 10 และ 15 ตามลำดับ ทำให้ค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนไม่เกิน 0.5 mm ปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติที่สร้างด้วยแบบจำลองทางพลศาสตร์และถูกควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ PID สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนที่ถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลได้

5. เอกสารอ้างอิง

ยงยุทธ์ เสียงตั้ง. 2552. การออกแบบและสร้างมิดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ยงยุทธ์ เสียงตั้งและคณะ. 2556. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรม

เกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ประจำปี 2556. 1-4 เมษายน 2556, ประจวบคีรีขันธ์.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2555. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www. Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com), เข้าถึงเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2557.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2550. การกรีดยางและการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www. Rubberthai.com, เข้าถึงเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2555.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2544. การกรีดยาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www. Rubberthai.com, เข้าถึงเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ 2555.

สรารุทธิ สุจิตจร. 2546. การควบคุมอัตโนมัติ. กรุงเทพมหานคร : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

Tilt a jet and Omax. 2010. Solidworks Motion. Dassault System Solidworks Corporation. Massachusetts.



การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3
25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เส้นทางที่เหมาะสมของปลายแขนกลกรีดยางพารา Appropriated Trajectory of End Effector for Para Rubber Tapping

ยงยุทธ์ เสียงตั้ง^{1*}, พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา¹ และ ชีรวัดณ์ เจเอื้อน¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย

ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail yongyuth@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 089-8640019, เบอร์โทรสาร 044-244261

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของปลายแขนกลกรีดยางพารา ปลายแขนกลถูกสร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นสองตัวที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นยางพารา เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลเกิดจากรูปแบบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง พอลิโนเมียล และวงรี ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นทั้งสอง การทดสอบทำโดยการให้ปลายแขนกลเคลื่อนที่ไปตามต้นยางจำลอง ผลการทดสอบพบว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการเส้นตรงและสมการวงรีเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง

คำหลัก: เส้นทางการเคลื่อนที่; ปลายแขนกล; ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น

Abstract

The objective of this study to select an appropriated trajectory of the end effector for Para rubber tapping. The end effector was fabricated from two linear actuators, which was supported by special frame. The trajectories of the end effector were expressed from motion types of both actuators: linear, polynomial and ellipse types. The experimental was done by guiding the end effector on the model of rubber tree. The results showed that the trajectory generated from linear and ellipse equations was appropriated for the rubber tapping.

Keywords: Trajectory; End effector; Linear actuator

1. บทนำ

จากข้อมูลทางวิชาการของสถาบันวิจัยยาง รายงานว่าในปี 2553 ทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกยางพารา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 72.21 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยาง ส่วนใหญ่เกือบ 76.4 % อยู่ในทวีปเอเชีย โดยประเทศ อินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 21.53 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ สำหรับประเทศผู้ผลิตรายธรรมชาติมาก

ที่สุด 3 อันดับแรกใน ปี 2555 ได้แก่ ไทย ผลิตได้ 3.778 ล้านตัน หรือคิดเป็น 34.5 % ของปริมาณการผลิตทั่วโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย ผลิตได้ 2.746 ล้านตัน ส่วนประเทศมาเลเซียผลิตได้ 0.910 ล้านตัน ปริมาณการผลิตยางทั้งสามประเทศคิดเป็น 67.88 % ของปริมาณการผลิตทั่วโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของ ประเทศไทยในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ [1] ทำ รายได้ให้กับประเทศไทยและการจ้างแรงงานเป็น

การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3
25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



จำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่ลมมิตจะไปบาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญและประสบการณ์ กรีดทำลายชั้นของเยื่อเจริญหรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก การสิ้นเปลืองของรอยกรีดเนื่องจากมีความหนาในการกรีดในแต่ละครั้งมากเกินไป ทำให้หมดเปลือกอย่างรวดเร็ว จากคำแนะนำวิธีการกรีดที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตรหรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี เครื่องมือที่ใช้กรีดยางพาราเรียกว่า มีดกรีดยางเงิบง การใช้มีดกรีดยางเงิบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้ลมมิตเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา เกิดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป มีความเสียหายของหน้ายาง ความสามารถในการกรีดยางพารามีขีดจำกัดอยู่ที่ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน [2]

ยงยุทธ (2552) ได้ทำการออกแบบและสร้างมีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ใบมีดจะเป็นใบมีดหมุน 4 ฟัน มุมหน้ามีด มุมมีดและมุมหลังมีดเท่ากับ 45° 30° และ 15° ตามลำดับ มีกลไกควบคุมความหนาเพื่อลดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไปและลดความเสียหายของหน้ายาง ผู้ใช้งานมีดกรีดยางพาราไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ ก็สามารถใช้งานได้ แต่ก็มีข้อต่อที่ต้องได้รับการปรับปรุงคือ ต้องใช้คนในการพามีดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ตามรอยกรีดเดิมและต้องคอยควบคุมความลึกในการกรีดด้วย

ยงยุทธ (2556) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ จากผลการดำเนินการพบว่า แบบจำลองทางคินเมติกส์ของปลายแขนกลที่มีข้อต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบนพิกัดฉากเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรูปร่างรอยกรีดที่สร้างจากสมการเอลลิปส์ เมื่อต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐานเป็นรูปทรงกระบอก และมีมุมกรีด 30° เส้นกราฟของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นทับกันเป็นเส้นเดียว ตำแหน่งในการเคลื่อนที่แต่ละแกนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายมีความถูกต้องแม่นยำทั้งสามแกน ถึงแม้ว่าการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks® ปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้ แต่ความเร็วเริ่มต้นและความเร็วสุดท้ายในบางแกนไม่ได้อยู่ที่ศูนย์ ซึ่งจะก่อให้เกิดการสั่นของปลายแขนกลมีผลต่อความนุ่มนวลในระหว่างการเคลื่อนที่

ยงยุทธ (2557) ได้ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลองทางพลศาสตร์โดยการขึ้นรูปตัวขับเจ้าเชิงเส้น (Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรมเขียนแบบ เส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนถูกสร้างด้วยสมการโพลีโนเมียล สมการความเร่งของเส้นทางการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงบิดเพื่อป้อนให้ตัวขับเจ้าเชิงเส้นแต่ละแกน จำลองการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของเส้นทางที่เคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับเส้นทางที่ออกแบบไว้ การตอบสนองของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการจำลองพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลสูงสุดในแนวแกน X เท่ากับ 40 mm ใน



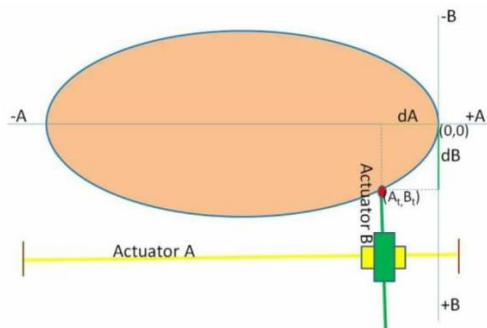
แนวแกน Y เท่ากับ 5 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 10 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีอัตราขยายในแนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 30, 10 และ 15 ตามลำดับ ทำให้ค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนไม่เกิน 0.5 mm แต่งานวิจัยนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ ถ้านำอัตราขยายของตัวควบคุมแบบป้อนกลับไปใช้กับร่วมกับปลายแขนกลจริงจะก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนแตกต่างจากนี้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นสองตัว เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อน A และตัวขับเคลื่อน B ถูกสร้างจากสมการคิเนเมติกส์รูปแบบต่าง ๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมกับต้นยางจำลองที่แทนในสร้างจากไม้ ฝักรอบนอกพอกด้วยดินน้ำมันโดยการเปรียบเทียบตำแหน่งเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากสมการคิเนเมติกส์กับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากต้นยางจำลอง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกล

ปลายแขนกลกรีดยางพารา สามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y ได้พร้อมกัน ส่วนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B จะวางในแนวนอน สามารถเคลื่อนที่เข้าออกตามความโค้งของต้นยางพาราในแนวแกน Z เมื่อมองจากด้านบนตั้งฉากกับแนวเอียง 30 องศาของรอยกรีดจะเห็นพื้นที่หน้าตัดของต้นยางพาราเป็นวงรี ดังรูปที่ 1 กำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่ตำแหน่งบอลสกรูทั้งสองแนวแกนเคลื่อนที่ออกสุด



รูปที่ 1 แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกล

2.2 การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกรีดเมื่อวัดเส้นรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเยื่อเจริญรอบลำต้นตามแนวตั้งเป็นชั้น ๆ อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนวตั้งเล็กน้อย ประมาณ $2.1 - 7.1$ องศา การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวา เพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกรีดควรทำมุม $30 - 35$ องศาจากแนวระดับเพื่อให้ท่อน้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่



รูปที่ 2 การทำเครื่องหมายเปิดกรีดบนต้นยางใหม่

ในการวิจัยได้ทำการศึกษาเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A จาก 3 สมการคิเนเมติกส์ได้แก่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง สมการโพลีโนเมียลและสมการครึ่ง

การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3
25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



วงรี ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลของตัว
ขับเคลื่อนเชิงเส้น B จะทำการศึกษาจาก 2 สมการคิเนแม
ติกส์ได้แก่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโน
เมียลและสมการครึ่งวงรี โดยแยกพิจารณาตำแหน่ง
เส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละสมการได้ดังนี้

2.2.1 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้เฉพาะกับตัว
ขับเคลื่อนเชิงเส้น A เท่านั้น สามารถเขียนสมการของ
ตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$A(t) = mt \quad (1)$$

เมื่อ

m = ความชันของเส้นตรง

t = เวลาที่พิจารณา (วินาที)

2.2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโน

เมียล

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้กับตัวขับเคลื่อน
เชิงเส้น A และตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ซึ่งมีสมการ
ตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ตามลำดับดังนี้

$$q(t) = k_0 + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 t^3 \quad (2)$$

$$v(t) = k_1 + 2k_2 t + 3k_3 t^2 \quad (3)$$

เมื่อ q = ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิง
เส้น i (มิลลิเมตร)

V = ความเร็วการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิง

เส้น i (มิลลิเมตรต่อวินาที)

K = ค่าสัมประสิทธิ์

จากสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม ในฟังก์ชัน

ที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบค่าอย่าง

น้อย 4 เงื่อนไข โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าตำแหน่ง

เริ่มต้นและค่าตำแหน่งสุดท้าย

$$q(t_0) = q_0$$

$$q(t_f) = q_f$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันต่อเนื่อง

$$v(t_0) = v_0$$

$$v(t_f) = v_f$$

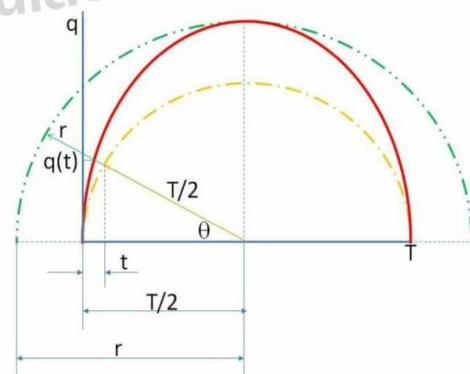
แทนค่าเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไข ในสมการที่ (2)
และสมการที่ (3) ต้นยางพาราจำลองที่ใช้ในการวิจัยจะ
มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อไม้ 220 มิลลิเมตร และ
ความหนาเปลือกอีกข้างละ 10 มิลลิเมตร ใบมีดกรีต
ยางแบบหมุนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47.2 มิลลิเมตร
จากการออกแบบให้แต่ละแกนของปลายแขนกล
ทำงานอิสระต่อกันทำให้มีการจัดเชิงเส้นตามตารางที่
1 แทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละแกนตามตารางที่ 1
เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2 และ k_3

ตารางที่ 1 เงื่อนไขของสมการโพลีโนเมียล

Actuator	t_0 (s)	t_f (s)	q_0 (mm)	q_f (mm)	v_0 (mm/s)	v_f (mm/s)
A	0	10	0	307.92	0	0
B				133.36		

2.2.3 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงรี

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้กับตัวขับเคลื่อน
เชิงเส้น A และตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ซึ่งมีสมการ
ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ดังนี้



รูปที่ 3 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงรี



$$q(t) = r \sin \theta$$

จากรูป

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{(T/2) - t}{(T/2)} \right]$$

เพราะฉะนั้น

$$q(t) = r \sin \left[\cos^{-1} \left[\frac{(T/2) - t}{(T/2)} \right] \right] \quad (4)$$

เมื่อ

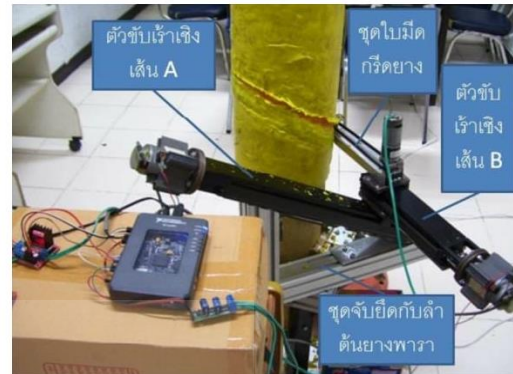
r = รัศมีของต้นยางบวกกับรัศมีของใบมีดของ
ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น i (มิลลิเมตร)

θ = การกระจัดเชิงมุมของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น i
(เรเดียน)

3. ผลและการวิจารณ์

3.1 คิเนเมติกส์ของปลายแขนกล

ปลายแขนกลกรีดยางพาราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นโครงจับยึดกับต้นยางพารา จะถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งและถอดออกจากต้นยางพาราได้ น้ำหนักน้อยแต่มีความแข็งแรง ส่วนที่สองชุดกลไกการเคลื่อนที่แบบ 2 แกน ปลายแขนกลสามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมกัน ใช้กลไกของเกลิยวน่า ร่วมกับบอลสกรู เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน ส่วนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B จะวางในแนวนอน ประกอบอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นยางพารา ต้นก่าลังจะใช้มอเตอร์ที่ถูกควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านเอ็นโค้ดเดอร์และส่วนสุดท้ายเป็นชุดใบมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งบนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B



รูปที่ 4 ปลายแขนกลกรีดยางพารา

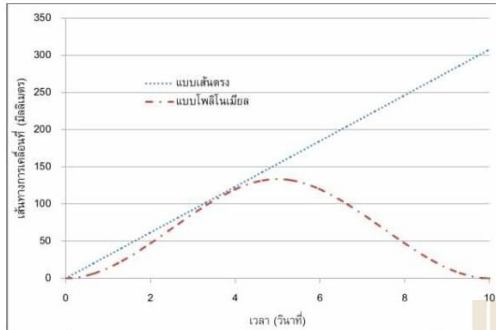
3.2 เส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

จากการนำสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A รูปแบบหนึ่งร่วมกับสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ไปเขียนโปรแกรมเส้นทางการเคลื่อนที่และโปรแกรมควบคุมปลายแขนกล และเมื่อทำการป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง เวลาที่ใช้ในการกรีด รวมทั้งค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความหนาเปลือกยาง จำนวนพลัสซ์ต่อรอบของเอ็นโค้ดเดอร์ โปรแกรมก็จะแสดงรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ดังนี้

3.2.1 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการโพลีโนเมียล

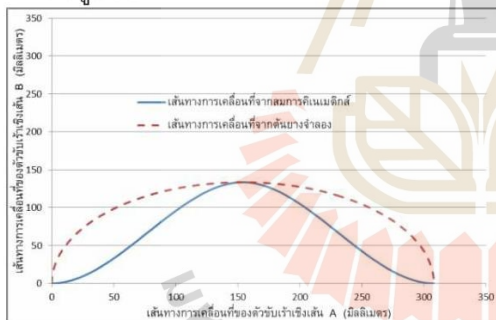
เมื่อให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ดังรูปที่ 5

การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3
 25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 5 ตัวขับเจ้าเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและตัวขับเจ้าเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล

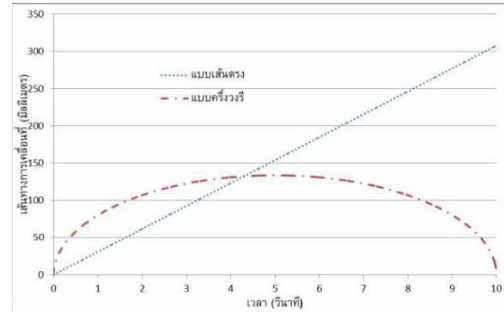
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเจ้าเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเจ้าเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงรวมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

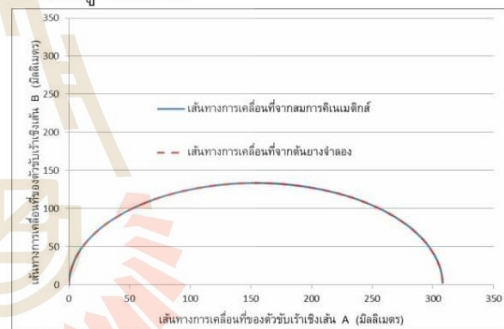
3.2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการครึ่งวงรี

เมื่อให้ตัวขับเจ้าเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและให้ตัวขับเจ้าเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีโปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแบบครึ่งวงรี

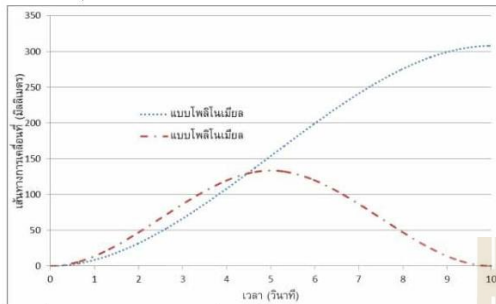
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเจ้าเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีของตัวขับเจ้าเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 8 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงรวมกับแบบครึ่งวงรีเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

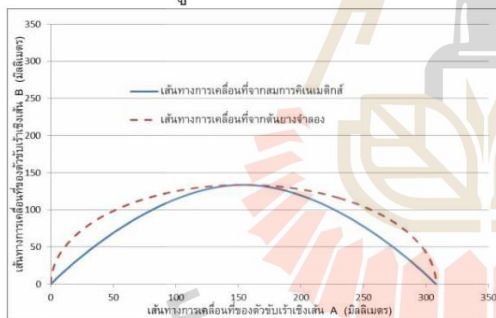
3.2.3 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกับสมการโพลีโนเมียล

เมื่อให้ตัวขับเจ้าเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและให้ตัวขับเจ้าเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและแบบโพลีโนเมียล

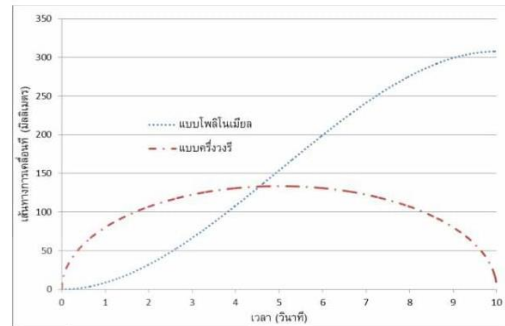
นำเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเคลื่อน A และเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเคลื่อน B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นแบบจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 10 เส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลรวมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นแบบจำลอง

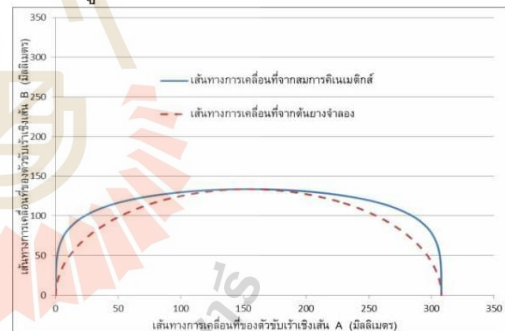
3.2.4 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกับสมการครึ่งวงรี

เมื่อให้ตัวขับเคลื่อน A มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและให้ตัวขับเคลื่อน B มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรี โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและแบบครึ่งวงรี

นำเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเคลื่อน A และเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีของตัวขับเคลื่อน B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นแบบจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง

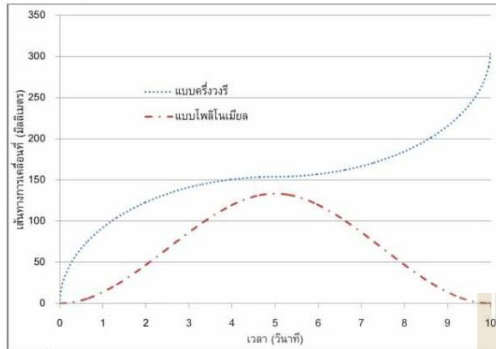


รูปที่ 12 เส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลรวมกับแบบครึ่งวงรีเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นแบบจำลอง

3.2.5 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงรีกับสมการโพลีโนเมียล

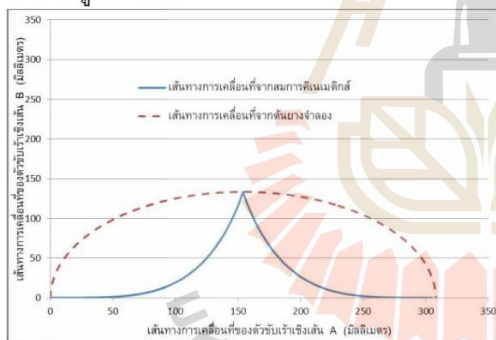
เมื่อให้ตัวขับเคลื่อน A มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีและให้ตัวขับเคลื่อน B มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 13

การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3
 25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 13 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีและแบบโพลีโนเมียล

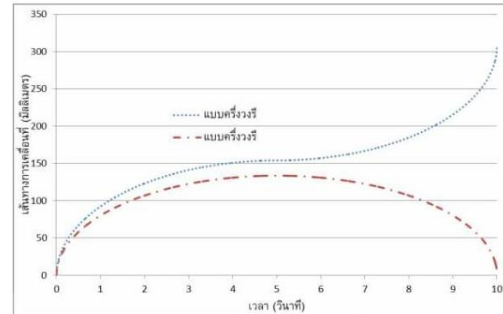
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลอง จะได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 14 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีร่วมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

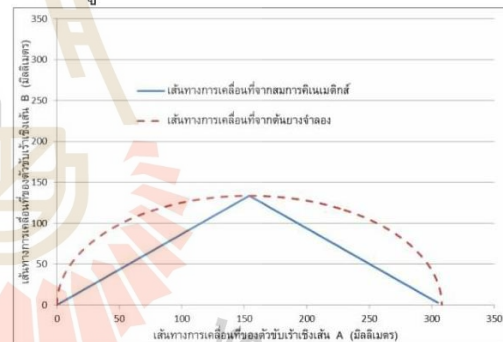
3.2.6 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงรีกับสมการครึ่งวงรี

เมื่อให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีและให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรี โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีและแบบครึ่งวงรี

นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลอง จะได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 16 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรีร่วมกับแบบครึ่งวงรีเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

4. สรุป

จากผลการวิจัยจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A ที่สร้างมาจากสมการเส้นตรงได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงร่วมกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ที่สร้างมาจากสมการครึ่งวงรีที่ได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงรี สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้มาจากต้นยางจำลองได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่



5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.Rubberthai.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/10/2559.
- [2] สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย (2550). การกรีดยาง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.Rubberthai.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/10/2559.
- [3] ยงยุทธ์ เสียงดัง (2552). การออกแบบและสร้าง มัดกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า, นครราชสีมา: วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [4] ยงยุทธ์ เสียงดังและคณะ (2556). แบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล สำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. การประชุม วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ประจำปี 2556, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- [5] ยงยุทธ์ เสียงดังและคณะ (2557). ออกแบบตัว ควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับ เครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 ประจำปี 2557, จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายขงยุทธ เสียงดัง เกิดเมื่อวันพฤหัสบดี ที่ 14 มิถุนายน 2516 ที่จังหวัดสงขลา เริ่มเข้าศึกษา ระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 โรงเรียนวัดบางเจียด จังหวัดสงขลา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนระยองวิทยาคม จังหวัดระยอง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ แผนกวิชาช่างยนต์กลการเกษตร วิทยาลัยเทคนิคสัทหีบ จังหวัดชลบุรี ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาช่างกลเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล จังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษาเมื่อการศึกษา 2539 ภายหลังสำเร็จการศึกษาเข้าทำงานเป็นอาจารย์อัตราจ้าง ที่แผนกวิชาช่างกลเกษตร คณะวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา จากการทำงานเป็นอาจารย์อัตราจ้างมากกว่า 9 ปี จึงเกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาโททางด้านเครื่องกล โดยได้เข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อการศึกษา 2551 ภายหลังสำเร็จการศึกษาเข้าทำงานเป็นพนักงานราชการ กลุ่มงานบริหารงานทั่วไป ตำแหน่งอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ปัจจุบันเป็นพนักงานในสถาบันอุดมศึกษา ตำแหน่งอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน