



## รายงานการวิจัย

การพัฒนาปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ  
(Development of End-Effector for Automatic  
Para-Rubber Tapping Machine)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

# การพัฒนาปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ (Development of End-Effector for Automatic Para-Rubber Tapping Machine)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พยงค์กิต์ จุลยุเสณ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายศธา วาทกิจ

นายยงยุทธ เสี่ยงตั้ง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2564

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2557 ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายธีรวัฒน์ เจ๊ะเถื่อน นายฉัตริน เรืองจอหอ และนางสาวกมลชนน วงศ์สถาน ที่ช่วยทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล



## บทคัดย่อ

การกรีดยางพาราเป็นงานที่ยุ่งยากและต้องการความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ การวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของแบบจำลองทางของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสามแกนและแบบสองแกนถูกทำด้วยการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ ต้นยางพาราถูกสมมติให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกนถูกเลือกใช้งาน เพราะมีน้ำหนักและเกิดการกระตุกน้อยกว่า การทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลทำโดยการกรีดต้นยางพาราจำลองและต้นยางพาราจริง เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางแบบสองแกนถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปวงรี จากผลการทดสอบพบว่า ตัวควบคุมแบบวงเปิดไม่สามารถบังคับปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ออกแบบในสภาวะที่มีสิ่งรบกวนได้ ในขณะที่ตัวควบคุมป้อนกลับแบบ PID สามารถชดเชยความผิดพลาดทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่ได้ อย่างไรก็ตามปลายแขนกลกรีดยางพาราไม่สามารถกรีดต้นยางพาราจริงได้ตลอดช่วงการทำงาน เพราะสัญญาณของต้นยางพาราจริงมีลักษณะไม่แน่นอน และไม่ได้เป็นลักษณะของทรงกระบอก ผลการทดสอบเหล่านี้ยืนยันได้ว่า ปลายแขนกลกรีดยางพาราที่ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสามารถกรีดต้นยางพาราจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้ายได้อย่างน่าพอใจ ดังนั้นปลายแขนกลนี้มีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อการประยุกต์ใช้ในสภาวะการใช้งานจริงได้

**คำสำคัญ:** ปลายแขนกล ยางพารา ตัวควบคุมพีไอดี

## Abstract

Tapping para rubber tree is a difficult task and needs a skillful worker. The aim of this research was to develop an end effector for the automatic para rubber tapping machine. Kinematic analysis of both three-axis model and two-axis model of the end effectors was done using computer simulation in order to compare their movements. Para rubber tree was assumed to be a cylindrical shape. The two-axis end effector was chosen due to less in weight and lower jerks. The performance tests of the developed end effector were conducted by tapping a cylindrical model and real para rubber trees. Moving path of the end effector was generated as an ellipse curve. The experimental results showed that the open loop controller could not guide the end effector along the designed path under disturbed condition precisely, while the PID feedback controller could compensate the positional error. Although, the developed end effector could not tap the real para rubber tree successfully due to uncertain shape of the para rubber tree. These results verified that the developed end effector equipped with the feedback controller could tap the para rubber tree with satisfactory level of acceptance, the developed end effector, therefore, has the potential to be applied for practical use.

**Keywords:** end effector, para rubber, PID controller

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยางพารา	4
2.2 การกรีดยางพารา	7
2.3 แขนกลหุ่นยนต์	9
2.3.1 พื้นฐานของแขนกลหุ่นยนต์	9
2.3.2 ส่วนประกอบของแขนกลหุ่นยนต์	10
2.4 ระบบควบคุม	10
2.5 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ PID	11
บทที่ 3 การวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลกรีดยางพารา	
3.1 แบบจำลองของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสามแกน	14
3.2 แบบจำลองของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกน	16
3.3 การจำลองสถานการณ์	17
3.4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	17
3.4.1 ผลการวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสามแกน	17
3.4.2 ผลการวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกน	21
บทที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกรีดยางพารา	
4.1 การออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา	25
4.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ	25

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การพัฒนาปลายแขนกลกรีดยางพารา	26
4.4 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของปลายแขนกลกรีดยาง	29
4.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์	30
4.5.1 ผลการออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา	30
4.5.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของปลายแขนกลกรีดยางพารา	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	39
เอกสารอ้างอิง	40
ประวัติหัวหน้าโครงการ	41



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยาง	6
ตารางที่ 2.2 ลักษณะการเจริญของลำต้น	7
ตารางที่ 2.3 ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (second method)	12





## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเปลือกยางพารา	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของลำต้นยางต้นเล็ก	5
รูปที่ 2.3 ทิศทางการเอียงของท่อน้ำยาง	6
รูปที่ 2.4 รูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์	9
รูปที่ 2.5 ระบบควบคุม (ก) แบบวงเปิด (ข) แบบวงปิด	11
รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบ PID	12
รูปที่ 3.1 รอยกรีดบนต้นยางพารา	15
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของปลายแขนกลกรีดยางแบบสามแกน	15
รูปที่ 3.3 การกำหนดระบบพิกัดฉากบนต้นยางพาราและทรงกระบอก	16
รูปที่ 3.4 แบบจำลองของปลายแขนกลกรีดยางแบบสองแกน	17
รูปที่ 3.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบสามแกน	18
รูปที่ 3.6 การกระจัดของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z	19
รูปที่ 3.7 ความเร็วของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z	19
รูปที่ 3.8 ความเร่งของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z	20
รูปที่ 3.9 การกระตุกของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z	20
รูปที่ 3.10 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบสองแกน	21
รูปที่ 3.11 การกระจัดของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z	22
รูปที่ 3.12 ความเร็วของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z	22
รูปที่ 3.13 ความเร่งของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z	23
รูปที่ 3.14 การกระตุกของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z	23
รูปที่ 4.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน X'	24
รูปที่ 4.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน Z	25
รูปที่ 4.3 ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่	26
รูปที่ 4.4 แผนภาพบล็อกของระบบควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ	26
รูปที่ 4.5 ปลายแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราอัตโนมัติ	27
รูปที่ 4.6 แผนผังการติดตั้งระบบวัดมุมของปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ	28
รูปที่ 4.7 โปรแกรมควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ	28
รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพารา	29

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 เส้นทางเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นบนแกน $X'$ และแกน $Z$	30
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ $X'Z$	31
รูปที่ 4.11 เส้นทางเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นบนแกน $X'$ และแกน $Z$ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด	32
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ $X'Z$ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด	33
รูปที่ 4.13 เส้นทางเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้นบนแกน $X'$ และแกน $Z$ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID	34
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ $X'Z$ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID	35
รูปที่ 4.15 รอยกริดบนต้นยางพาราจำลอง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID	35
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราจริง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID	36
รูปที่ 4.17 รอยกริดบนต้นยางพาราจริง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID	37

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากข้อมูลของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรรายงานว่า ประเทศไทยเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกยางพารามากที่สุดของโลก ด้วยปริมาณการผลิต 3.16 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 32.91 ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก ซึ่งมีปริมาณ 9.602 ล้านตัน ปริมาณการส่งออก 2.73 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 39.67 ของปริมาณการส่งออกยางพาราของโลก ซึ่งมีปริมาณ 6.882 ล้านตัน มีพื้นที่ปลูกยางรวมทั้งสิ้น 16.89 ล้านไร่ สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง ตลอดจนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องมากมาย ยางพาราจึงมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางมากกว่า 1 ล้านครอบครัว หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากมีโอกาสดึงคีมัดจะไปบาดเยื่อเจริญที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหายที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มีความชำนาญและประสบการณ์กรีดยางทำลายชั้นของเยื่อเจริญ หรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้ หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก (สมจิตร, 2536) การสิ้นเปลืองของรอยกรีดเนื่องจากมีความหนาในการกรีดในแต่ละครั้งมาก ทำให้สิ้นเปลืองเปลือยกยางเร็วเกินไป

จากการแนะนำวิธีการกรีดยางที่ถูกต้อง 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 มิลลิเมตรหรือเดือนละประมาณ 5.0-6.0 เซนติเมตร จากความสูงที่เริ่มเปิดกรีด 150 เซนติเมตรจากระดับพื้นดิน จะทำให้กรีดหมด 1 หน้ากรีดภายใน 2-3 ปี หรือกรีดหมดทั้ง 2 หน้ากรีดภายใน 4-6 ปี เท่านั้น(สมจิตร, 2536) เกษตรกรที่มีความชำนาญสามารถใช้เวลาในการกรีดยางพารา 15 วินาทีต่อต้น ใน 1 วันจะใช้เวลาเฉพาะการกรีดยางประมาณ 2 ชั่วโมง ถ้ารวมเวลาเดินจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่ง จะใช้เวลาทั้งหมด 2.5-3.0 ชั่วโมง จะกรีดยางได้ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน (กรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยยาง, 2538)

มีดกรีดยางที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ มีดเกาจ้และมีดเง้ะบง แต่มีดที่นิยมใช้กรีดยางหน้าล่างโดยทั่วไปจะใช้มีดเง้ะบง จากการตรวจสอบพบว่ายังไม่มีการกำหนดมาตรฐาน ทำให้ผู้ผลิตมีดกรีดยางให้

วัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โครงสร้างจุลภาคไม่สม่ำเสมอ ความแข็งต่ำและการควบคุมกระบวนการชุบแข็งไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการสึกหรอและแตกหักง่าย (สหรินทร์ และ สมนึก, 2546) การใช้มีดกรีดยางเงี๊ยะบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้คมมีดเลื่อนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณ ครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา

ยงยุทธ (2551) ได้ทำออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ควบคุมด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้ใบมีด 4 ฟัน รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า มีกลไกควบคุมความลึกและความหนาของการกรีด สามารถใช้ทดแทนมีดเงี๊ยะบงได้ แต่ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงคือ ยังต้องใช้คนควบคุมให้เดินตามรอยกรีดบนต้นยาง มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม และเกิดการสั่นสะเทือนในขณะใช้งาน ทำให้ผู้ใช้ งานเกิดความเมื่อยล้า และเนื่องจากเปลือกยางแต่ละต้นมีความหนาไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมความลึกทำได้ลำบาก ปัญหาเหล่านี้สามารถลดทอนลงได้ หากเครื่องกรีดต้นแบบนี้ทำงานร่วมกับกลไกที่สามารถลดความเมื่อยล้าและยังรักษาประสิทธิภาพงานกรีด แขนกลเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ ใช้งานได้

แขนกลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานที่ต้องการความแม่นยำสูง และมีความเสี่ยงอันตรายเพื่อทดแทนแรงงานคน เช่น งานเชื่อม งานขึ้นรูปชิ้นส่วน และงานพ่นสี เป็นต้น เนื่องจากแขนกลมีระดับความอิสระ (degree of freedom) สูง และมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้แขนกลมีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และถูกผลิตออกมาจำหน่ายอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันเริ่มมีการวิจัยและพัฒนาแขนกลสำหรับภาคการเกษตรมากขึ้น เช่น แขนกลปลูกต้นกล้า แขนกลตัดแต่งกิ่งไม้ และแขนกลเก็บผลไม้ เป็นต้น การพัฒนาแขนกลสำหรับการกรีดยางพาราเป็นงานที่ท้าทายและสามารถทำงานช่วยเหลือเกษตรกรสวนยางพาราได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาปลายแขนกลต้นแบบสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจำลองการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ
- 2) เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบการทำงานของปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ
- 3) เพื่อทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกรีดยางต้นแบบ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะศึกษา ออกแบบ สร้าง ทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกรีดยางพาราที่ ถูกยึดติดกับต้นยางพาราเท่านั้น โดยต้นยางพาราที่ใช้ในการทดลองจะใช้ต้นยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1) ด้านวิชาการและวิจัย ทำให้ทราบองค์ความรู้สมัยใหม่ในการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตร สำหรับยางพาราให้เหมาะสมกับการทำสวนยางพาราของประเทศ ผลการวิจัยสามารถนำไปตีพิมพ์ใน วารสารวิชาการได้ นอกจากนี้นักศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาของสาขาวิชา วิศวกรรมเกษตรที่เข้ามาช่วยในโครงการวิจัยนี้ จะได้รับความรู้ในการวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ ซึ่ง จะเป็นการสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ต่อไป

2) ด้านบริการวิชาการ นักวิจัยในหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริม การเกษตร บริษัทเอกชน และมหาวิทยาลัยต่างๆ สามารถนำฟังก์ชันการทำงานของแขนกลกรีด ยางพารานี้ไปพัฒนาต่อยอด เพื่อให้แขนกลกรีดยางพาราสามารถทำงานแทนแรงงานคนได้

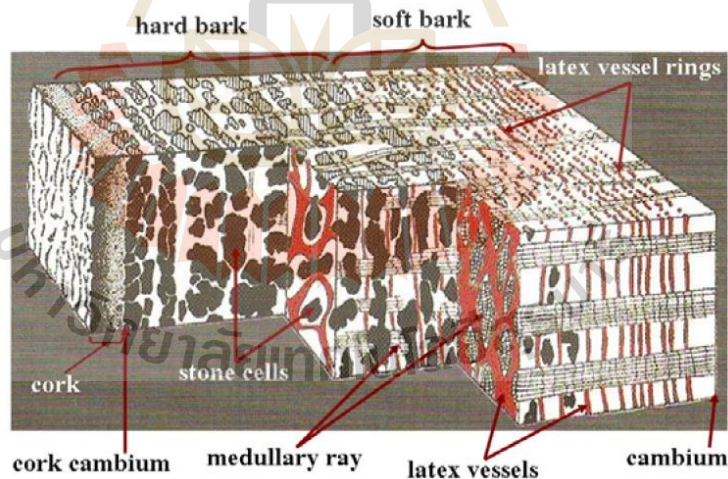
## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นไม้ยืนต้น มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำแอมะซอนในทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นของยางพารามีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ เปลือก เยื่อเจริญ และเนื้อไม้ เป็นต้น

1) เปลือก (bark) แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน โดยเปลือกชั้นนอก หรือเปลือกแข็ง (hard bark) เป็นส่วนเนื้อเยื่อที่ดันออกมาด้านนอกเมื่อเยื่อเจริญมีการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาแทนที่ เปลือกส่วนนี้มี stone cell แทรกอยู่ในวงท่อน้ำยาง ทำให้ท่อน้ำยางขาดและไม่สามารถทนความหนาของเปลือกชั้นนี้ประมาณร้อยละ 70-80 ของเปลือกทั้งหมด ส่วนเปลือกชั้นในหรือเปลือกอ่อน (soft bark) อยู่ติดกับเยื่อเจริญ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเพราะมีเนื้อเยื่อและท่อน้ำยางที่สร้างขึ้นมาใหม่ มีจำนวนท่อน้ำยางที่หนาแน่นและสมบูรณ์ที่สุดมากกว่าเปลือกชั้นนอก ความหนาของเปลือกชั้นนี้ประมาณร้อยละ 20-30 ของเปลือกทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.1

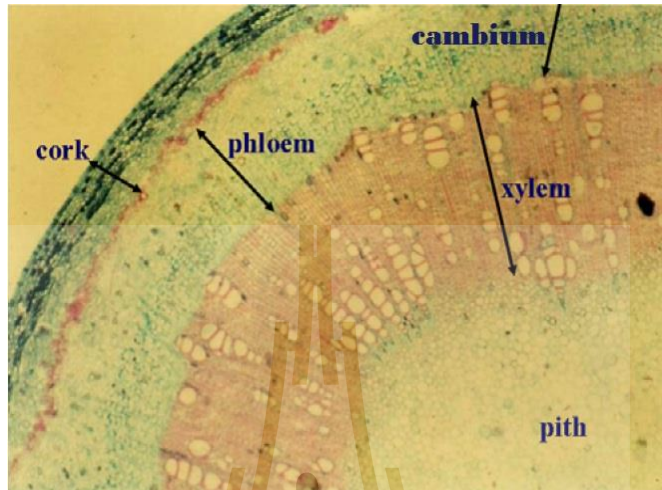


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเปลือกยางพารา

2) เยื่อเจริญ (cambium) เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเปลือกกับเนื้อไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำหน้าที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยาง เยื่อเจริญจะมีการแบ่งตัวตลอดเวลาโดยแบ่งตัวเข้าด้านในเป็นเนื้อไม้และแบ่งตัวออกด้านนอกเป็นเปลือกและทำหน้าที่สร้างเปลือกงอกใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือก



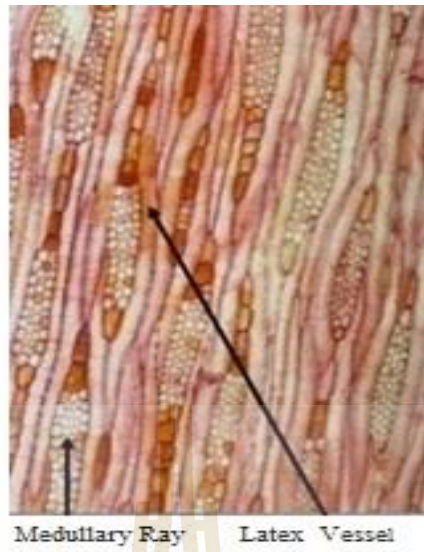
ที่ถูกกรีดออกไป หากเยื่อเจริญถูกทำลายเป็นบริเวณกว้าง จะไม่มีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นทดแทนเปลือกเดิม



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของลำต้นยางต้นเล็ก

3) เนื้อไม้ (wood) เป็นแกนกลาง ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของลำต้น เป็นส่วนที่ไม่มีท่อน้ำยาง

โครงสร้างของท่อน้ำยางเป็นเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างโดยเยื่อเจริญ จะเรียงตัวเป็นวงรอบต้น ท่อน้ำยางในแต่ละวงจะเชื่อมต่อกันเป็นร่างแห ทำให้น้ำยางในวงเดียวกันสามารถติดต่อกันได้แต่ไม่ติดต่อกันระหว่างวง โดยท่อน้ำยางจะวางตัวเฉียงไปทางขวาจากแนวตั้งประมาณ 2-7 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ต้นยางที่มีวงท่อน้ำยางจำนวนมากโดยส่วนใหญ่จะให้น้ำยางสูง วงท่อน้ำยางจะมีมากและสมบูรณ์ในบริเวณด้านในสุดของเปลือกชั้นใน ดังนั้น การกรีดยางจะต้องกรีดถึงชั้นนี้ จึงจะได้น้ำยางมากที่สุด การสังเคราะห์น้ำยางใช้น้ำตาลซูโครสที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยน้ำตาลซูโครสจะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ของลำต้นยางเพื่อสร้างความเจริญเติบโตและสังเคราะห์น้ำยาง ต้นยางที่ถูกกรีดจะมีการสังเคราะห์น้ำยางขึ้นมาชดเชยปริมาณน้ำยางที่ออกมา ซึ่งระยะเวลาในการสร้างทดแทนที่เหมาะสมกับการกรีด ต้องใช้เวลาประมาณ 7-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง และความสมบูรณ์ของต้นยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ได้กำหนดมาตรฐานการเจริญเติบโตของต้นยาง โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง ได้แก่ พันธุ์ยางที่ใช้ปลูก สภาพแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุปลูก การบำรุงรักษาสวนยาง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.3 ทิศทางการเอียงของท่อน้ำยาง

ตารางที่ 2.1 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 2.2 ลักษณะการเจริญของลำต้น

ลำดับ	สายพันธุ์ยางพารา	ขนาดรอบวงลำต้น (ซม.)					ความหนาเปลือก (มม.)			วงท่อน้ำยาง (มม.)	
		ที่อายุ					ที่อายุ			(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	

## 2.2 การกรีดยางพารา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรีตที่มีผลต่อผลผลิต ดังนี้

1) ความลึกของการกรีต การกรีตให้ได้น้ำยางมาก ควรกรีตให้ใกล้เยื่อเจริญมากที่สุด ซึ่งหากการกรีตเหลือส่วนของเปลือกชั้นในสุด 1.3 มิลลิเมตร จะยังคงเหลือวงท่อน้ำยางที่ยังไม่ได้กรีตถึงร้อยละ 50 แต่ถ้ากรีตลึกบาดเนื้อไม้ จะทำให้หน้ายางเป็นแผล เปลือกงอกใหม่ขรุขระ ไม่สามารถกรีตต่อไปได้

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

3) เวลาที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง สามารถกรีตได้ตั้งแต่กลางคืนถึงเช้าโดยผลผลิตไม่แตกต่างกันมาก จากการทดลองกรีตเวลาต่างกัน พบว่า การกรีตตอนเช้าช่วงเวลา 06.00-08.00 น. ได้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตตอนกลางคืน (03.00-06.00 น.) เฉลี่ยประมาณร้อยละ 4-5 การกรีตช่วงเวลา 08.00-11.00น.ได้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตกลางคืนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 16 และการกรีตช่วงเวลา 11.00-13.00 น.ได้น้ำยางน้อยกว่าการกรีตกลางคืนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25

4) ความสิ้นเปลืองเปลือก การกรีตเปลือกหนาหรือบางไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต การกรีตที่ใช้ความถี่ของการกรีตต่ำจะสิ้นเปลืองเปลือกต่อปีน้อยกว่าการกรีตที่ใช้ความถี่ของการกรีตสูง หากความสิ้นเปลืองเปลือกในรอบปีของการกรีต 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 1วัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 140 การกรีต 3 วัน เว้น 1 วันสิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 150 และการกรีตทุกวัน สิ้นเปลืองเปลือกร้อยละ 190 โดยปกติการกรีต 1 วัน เว้น 1วัน สิ้นเปลืองเปลือกแต่ละครั้งกรีตระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตรหรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี

5) ความคมของมีด มีดกรีดยางควรคมอยู่เสมอ เพราะจะทำให้ตัดท่อน้ำยางดี และสิ้นเปลืองเปลือกน้อยกว่าการใช้มีดกรีดยางที่ไม่คม

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

S	=	กรีตรอบลำต้น เวียนจากซ้ายลงมาขวา (S ย่อมาจาก Spiral)
S/2	=	กรีตครึ่งลำต้น
S/3	=	กรีตหนึ่งในสามของลำต้น
S/4	=	กรีตหนึ่งในสี่ของลำต้น
S/8	=	กรีตหนึ่งในแปดของลำต้น
1P	=	เจาะ 1 รอบ
d	=	วันกรีต (d ย่อมาจาก day)

d1	=	กรีดติดกันทุกวัน
d2	=	กรีดทุก 2 วัน (กรีด 1 วัน เว้น 1 วัน)
d3	=	กรีดทุก 3 วัน (กรีด 1 วัน เว้น 2 วัน)
d1 2d/3	=	กรีดติดต่อกัน 2 วัน เว้น 1 วัน
d1 3d/4	=	กรีดติดต่อกัน 3 วัน เว้น 1 วัน
$2 \times 1/25$	=	กรีดครั้งละต้น 2 รอบ
$2 \times 1/45$	=	กรีดหนึ่งในสี่ของครั้งละต้น 2 รอบ
(t,t)	=	2 รอยกรีด สลับรอยกรีดทุกครั้งกรีด (t ย่อมาจาก tapping)
ET	=	สารเคมีเร่งน้ำยาง (ET ย่อมาจาก Ethephon : เอทธิฟอน ซึ่งเป็นชื่อสามัญของสารเคมีเร่งน้ำยาง)
Ethylene	=	แก๊สเอทธิลีน
U	=	กรีดขึ้น

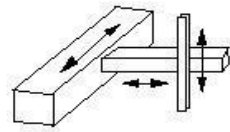
## 2.3 แขนกลหุ่นยนต์

### 2.3.1 พื้นฐานของแขนกลหุ่นยนต์

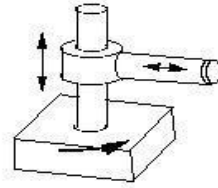
แขนกลหุ่นยนต์ (robot arms) ที่ใช้งานอุตสาหกรรมประกอบด้วยแขน (link) หลายอันต่อกันด้วยข้อต่อจะเป็นแบบข้อต่อหมุน (revolute joint) หรือข้อต่อปริสมาทิก (prismatic joint) แขนกลจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนประกอบของแขน (arm subassembly) และส่วนประกอบข้อมือ (wrist subassembly) โดยที่ส่วนประกอบแขนและส่วนประกอบข้อมือต่างก็มีระดับขั้นความอิสระ (degrees of freedom – DOF) เท่ากับ 3

รูปแบบของแขนกลหุ่นยนต์ที่มีใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ตามรูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

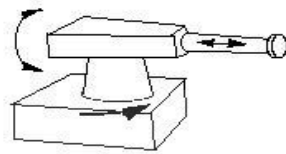
- 1) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดคาร์ทีเซียน (cartesian coordinates) จะประกอบด้วยแกนเชิงเส้น (linear axis) 3 แกน
- 2) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดทรงกระบอก (cylindrical coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนเชิงเส้น 2 แกน และแกนหมุน (rotary axis) 1 แกน
- 3) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดทรงกลม (spherical coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนเชิงเส้น 1 แกน และแกนหมุน 2 แกน
- 4) หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในพิกัดหมุน (revolute or articulated coordinates) จะประกอบไปด้วยแกนหมุน 3 แกน



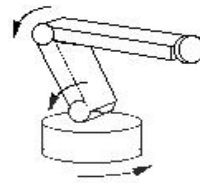
(a) Cartesian Robot: PPP



(b) Cylindrical Robot: PRP



(c) Spherical Robot: RRP



(d) Revolute Robot: RRR

รูปที่ 2.4 รูปแบบของพิกัดและการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์

### 2.3.2 ส่วนประกอบของแขนกลหุ่นยนต์

แขนกลหุ่นยนต์มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) ตัวแขนกล (manipulator) เป็นส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วน (links) ข้อต่อ (joints) และโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์

2) ปลายแขนกล (end effector) เป็นส่วนสุดท้ายต่อกับข้อต่อส่วนสุดท้ายของแขนกลโดยปกติจะใช้หยิบจับวัตถุหรือทำงานเฉพาะทางเช่นที่ติดตั้งเครื่องเชื่อม หรือเครื่องพ่นสี โดยปกติการควบคุมโดยใช้ชุดควบคุม PLC (Programmable Logic Controller)

3) ตัวขับเคลื่อน (actuator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขนกล เปรียบเสมือนกล้ามเนื้อหรือชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ รูปแบบของตัวขับเคลื่อนที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ มอเตอร์ กระจบกลม กระจบกลไฮดรอลิก เป็นต้น

4) เซนเซอร์ (sensor) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าโดยแปลงค่าทางกายภาพให้เป็นค่าที่สามารถตรวจวัดได้เช่น แปลงค่าแรงเป็นแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น เซนเซอร์ถูกนำมาใช้เพื่อวัดข้อมูลของหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อม

5) ตัวประมวลผลและตัวควบคุม (processor and controller) ชุดควบคุมคล้ายกับสมองของมนุษย์โดยได้รับข้อมูลจากเซนเซอร์และสั่งการไปยังชุดขับเคลื่อน เพื่อให้แขนกลเคลื่อนที่ได้ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้

6) โปรแกรม (program) เป็นส่วนที่คำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่และรวบรวมคำสั่งของแขนกล ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น โปรแกรมระบบปฏิบัติการ (operating system program) และ (applied program)

7) แหล่งจ่ายพลังงาน (power supply) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการจ่ายพลังงานให้ส่วนประกอบอื่นๆ

#### 2.4 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมเป็นการเชื่อมโยงกันของส่วนต่างๆ ขึ้นเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในการควบคุมระบบพลวัต (dynamic system) หรือกระบวนการ (process) ให้ได้การตอบสนอง (response) ตามที่ต้องการ โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

1) เพื่อให้เอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับอินพุตอ้างอิง (reference input) เรียกว่า การคุมค่า (regulation) เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมระดับน้ำในถัง เป็นต้น

2) เพื่อให้ output แปรไปตาม reference input ที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เรียกว่า การตามรอย (tracking) และเรียกระบบตามรอยนี้ว่า ระบบเซอร์โว (servo system) เช่น การควบคุมเครื่องจักรกล จรวด รถอัตโนมัติ เป็นต้น

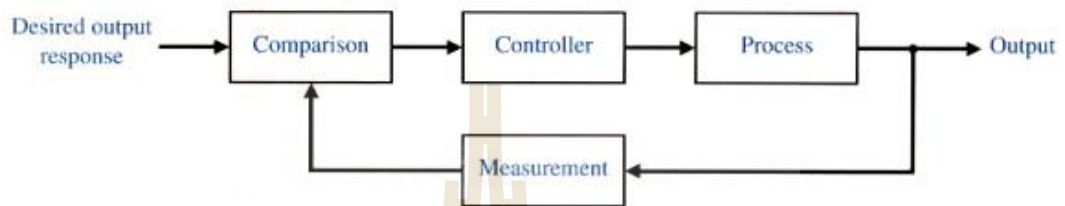
ระบบควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ระบบควบคุมแบบวงเปิด ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการนำเอาต์พุตกลับมาเปรียบเทียบกับ การตอบสนองที่ต้องการ

2) ระบบควบคุมแบบวงปิด ระบบควบคุมแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งเป็นระบบที่มีการนำเอาต์พุตกลับมาเปรียบเทียบกับ การตอบสนองที่ต้องการ เพื่อให้ตัวควบคุมสร้างสัญญาณชดเชยผลต่างระหว่างเอาต์พุตกับอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 2.10



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 ระบบควบคุม (ก) แบบวงเปิด (ข) แบบวงปิด

## 2.5 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ PID

ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ PID เป็นระบบควบคุมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบควบคุมสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป เพราะเป็นระบบควบคุมที่มีความเรียบง่าย และปรับจูนได้ด้วยหลายวิธี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม,  $U(s)$  และสัญญาณความผิดพลาด,  $E(s)$  ของตัวควบคุม PID เป็นดังนี้

$$U(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) E(s) \quad (2.1)$$

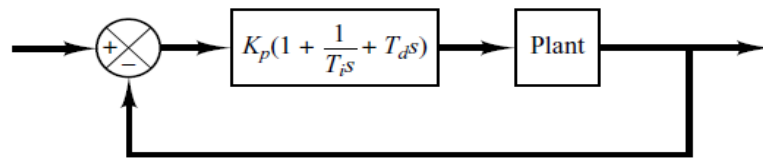
เมื่อ  $K_p$  คือ ค่าเกนแบบสัดส่วน

$T_I$  คือ คาบเวลาปริพันธ์

$T_D$  คือ คาบเวลาอนุพันธ์

ค่าเกน  $K_p$ ,  $T_I$  และ  $T_D$  สามารถหาได้จากการปรับจูนด้วยวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols method) ดังตารางที่ 2.3 โดย  $K_U$  คือ ค่าเกนที่เกิดการแกว่งคงที่ และ  $T_U$  คือ คาบเวลาการแกว่ง ค่าเกนของตัวควบคุม PID แบบปริพันธ์  $K_I$  และ แบบอนุพันธ์  $K_D$  สามารถคำนวณได้

จาก  $K_I = \frac{K_p}{T_I}$  และ  $K_D = K_p T_D$  ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบ PID

ตารางที่ 2.3 ค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมตามวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (second method)

Controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_u$	-	-
PI	$0.45K_u$	$0.8T_u$	-
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.12T_u$



### บทที่ 3

## การวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลกรีดยางพารา

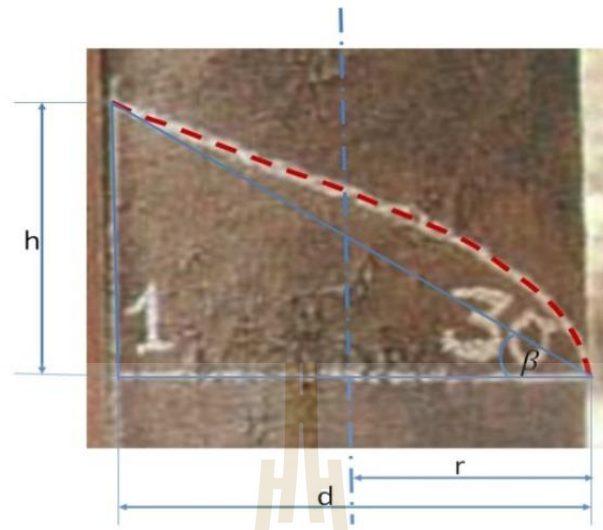
### 3.1 แบบจำลองของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสามแกน

ปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบจะถูกสร้างให้สามารถเกาะติดกับต้นยางพาราและกรีดยางได้อย่างอัตโนมัติ เนื่องจากรอยกรีดของต้นยางพาราจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งฮีลิคซ์พาดผ่านประมาณครึ่งรอบของเส้นรอบต้น โดยรอยกรีดบนต้นยางพาราจะถูกกำหนดให้ทำมุมประมาณ  $30^\circ$  กับแนวระดับ เพื่อให้ น้ำยางไหลลงสู่ภาชนะได้สะดวก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนั้นเส้นทางการเคลื่อนที่ของใบมีดสำหรับการกรีดยางพาราสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 3.2 โดยการสมมติให้ต้นยางพารามีลักษณะเป็นทรงกระบอก เมื่อวางระบบพิกัดฉาก XYZ ตรงตำแหน่งต่ำสุดของรอยกรีด โดยให้แกน X อยู่ในแนวระดับขวงลำต้นยางพารา แกน Y อยู่ในแนวตั้งขนานกับลำต้นยางพารา ส่วนแกน Z พุ่งตั้งฉากออกมา ดังนั้นปลายแขนกลกรีดยางที่สร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแบบบอลสกรูจำนวนสามตัวบนพิกัดฉาก XYZ จะสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดนี้ได้ โดยแยกเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนแต่ละแกนสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

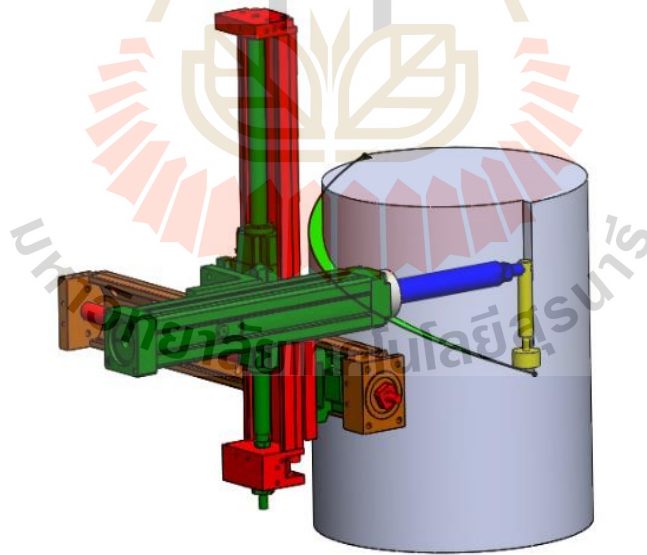
$$\begin{aligned}x &= r - r \cos(\omega t) \\y &= -\frac{h\omega}{\pi} t \\z &= r \sin(\omega t)\end{aligned}\tag{3.1}$$

เมื่อ	$x, y, z$	คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ (mm)
	$r$	คือ รัศมีของต้นยางพารา (mm)
	$\omega$	คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
	$t$	คือ เวลาที่ใช้ในการกรีด (s)
	$h$	คือ ความสูงของรอยกรีด (mm), $h = 2r \tan \beta$
	$\beta$	คือ มุมของรอยกรีด ( $^\circ$ )





รูปที่ 3.1 รอยกรีดบนดินอย่างพารา



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของปลายแขนกรีดดินแบบสามแกน

### 3.2 แบบจำลองของปลายแขนกลกริดยางพาราแบบสองแกน

การพิจารณาให้ปลายแขนกลกริดยางพาราสร้างจากตัวข้อเร้าเชิงเส้นแบบบอลสกรูจำนวนสองแกนบนพิกัดฉาก XYZ สามารถทำได้โดยการหมุนระนาบ XY รอบแกน Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเป็นมุม  $\theta$  ทำให้ได้ระบบพิกัดฉาก X'Y'Z ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เมื่อผู้สังเกตมองในทิศตั้งฉากกับระนาบ X'Z จะเห็นพื้นที่หน้าตัดของต้นยางพาราเป็นรูปวงรี เมื่อพิจารณารอยกริดบนต้นยางพาราพบว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ของใบมีดสามารถสร้างได้จากการกำหนดให้เส้นทางการเคลื่อนที่บนแกน X' และแกน Z เป็นแบบเส้นตรงและแบบครึ่งวงกลม ตามลำดับ ดังนั้นปลายแขนกลกริดยางที่สร้างจากตัวข้อเร้าเชิงเส้นแบบบอลสกรูจำนวนสองตัวบนพิกัดฉาก X'Y'Z จะสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดนี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยแยกเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวข้อเร้าแต่ละแกนสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

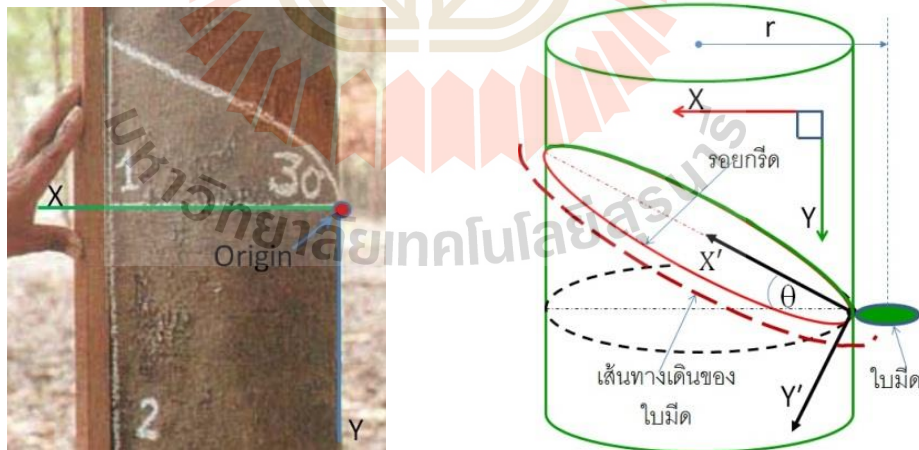
$$x' = \frac{2r}{\cos \theta} t \quad (3.2)$$

$$z = r \sin(\omega t)$$

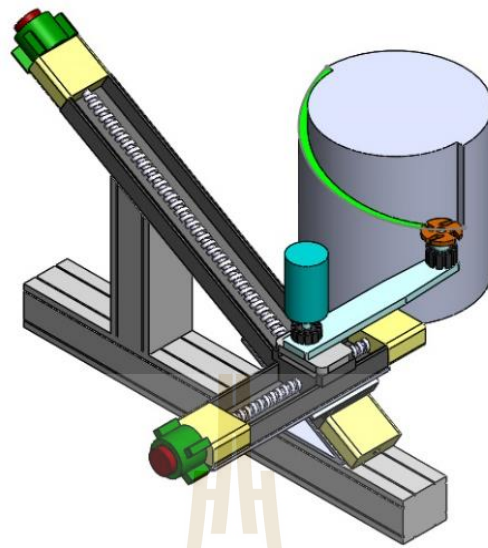
เมื่อ  $x', z$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ (mm)

$r$  คือ ระยะรวมระหว่างรัศมีของต้นยางพาราและรัศมีของใบมีด (mm)

$\theta$  คือ มุมระหว่างแกน X' กับแนวระดับ (deg)



รูปที่ 3.3 การกำหนดระบบพิกัดฉากบนต้นยางพาราและทรงกระบอก



รูปที่ 3.4 แบบจำลองของปลายแขนกลกริดยางแบบสองแกน

### 3.3 การจำลองสถานการณ์

การวิเคราะห์ทางคิเนแมติกส์ของปลายแขนกลกริดยางพาราทำโดยการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks การจำลองสถานการณ์การเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพาราทั้งแบบสามแกนและแบบสองแกนทำโดยใช้เงื่อนไขเดียวกัน ด้วยการสมมติให้ต้นยางพารามีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 220 mm ใบมีดกริดยางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุม  $\pi/10$  rad/s เวลาที่ใช้ในการกริดยางเท่ากับ 10 s

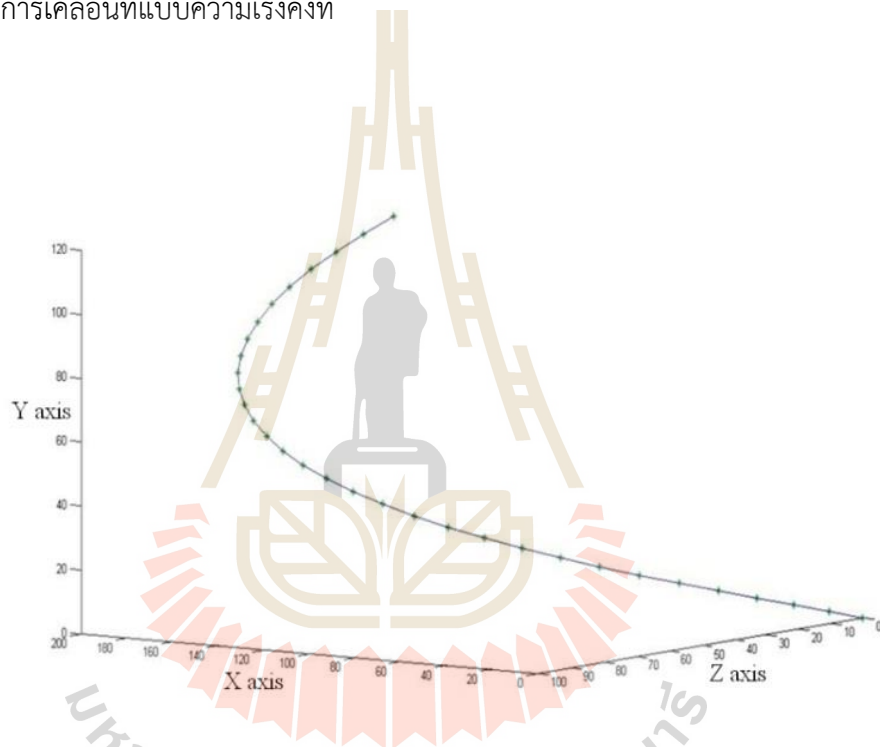
### 3.4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 3.4.1 ผลการวิเคราะห์ทางคิเนแมติกส์ของปลายแขนกลกริดยางพาราแบบสามแกน

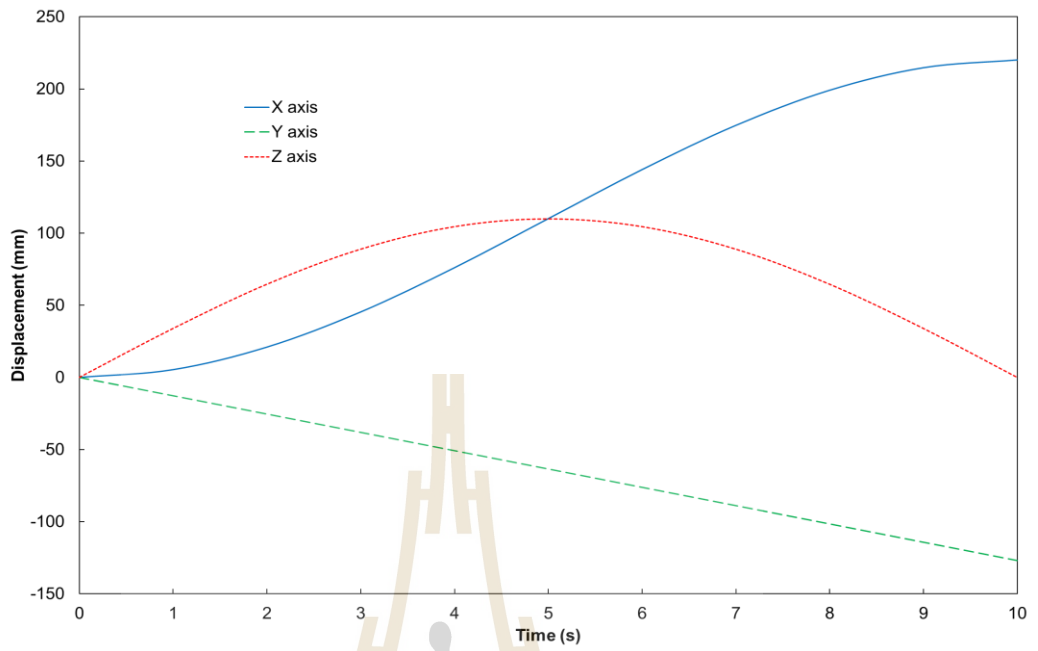
รูปที่ 3.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพาราแบบสามแกนจากตำแหน่งด้านล่างขวาไปยังตำแหน่งบนซ้ายของต้นยางพาราทรงกระบอก จากรูปจะเห็นว่าปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกริดที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งฮิลิกซ์ได้

การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง และการกระตุกของปลายแขนกลกริดยางพาราแต่ละแกนถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.6-3.9 จากรูปจะเห็นว่า ลักษณะการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในแกน X และแกน Z จะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (simple harmonic) ดังนั้นจะเกิดการกระตุกของปลายแขนกลตลอดการเคลื่อนที่ โดยมีค่าการกระตุกสูงสุดของแกน X เกิดขึ้นที่เวลาเท่ากับ 5 s

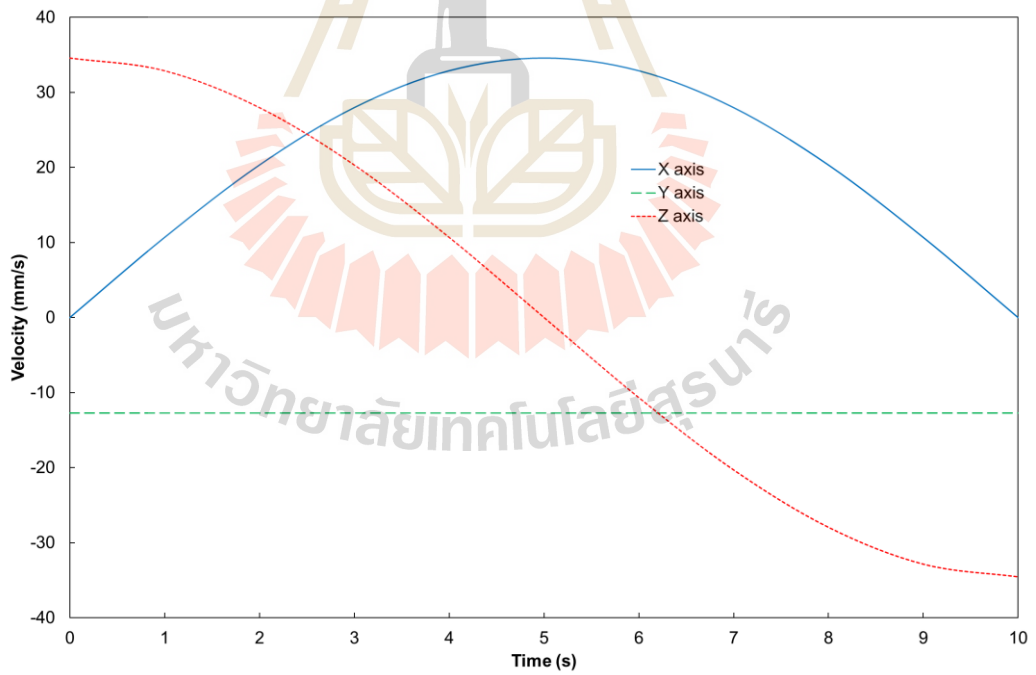
ซึ่งเป็นเวลาครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาการทำงานทั้งหมด ส่วนค่าการกระตุกสูงสุดของแกน Z เกิดขึ้นที่เวลาเท่ากับ 0 s และ 10 s ซึ่งเป็นเวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายของการทำงาน โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ในขณะที่ลักษณะการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในแกน Y เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ ดังนั้นจึงไม่เกิดการกระตุกของปลายแขนกลตลอดการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามการกระตุกที่มีค่ามากจะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายของการทำงาน เพราะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็วจากหยุดนิ่งเป็นความเร็วคงที่ และจากความเร็วคงที่เป็นหยุดนิ่ง ตามลำดับ การลดขนาดของการกระตุกนี้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของช่วงเวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายของการทำงานเป็นการเคลื่อนที่แบบความเร่งคงที่



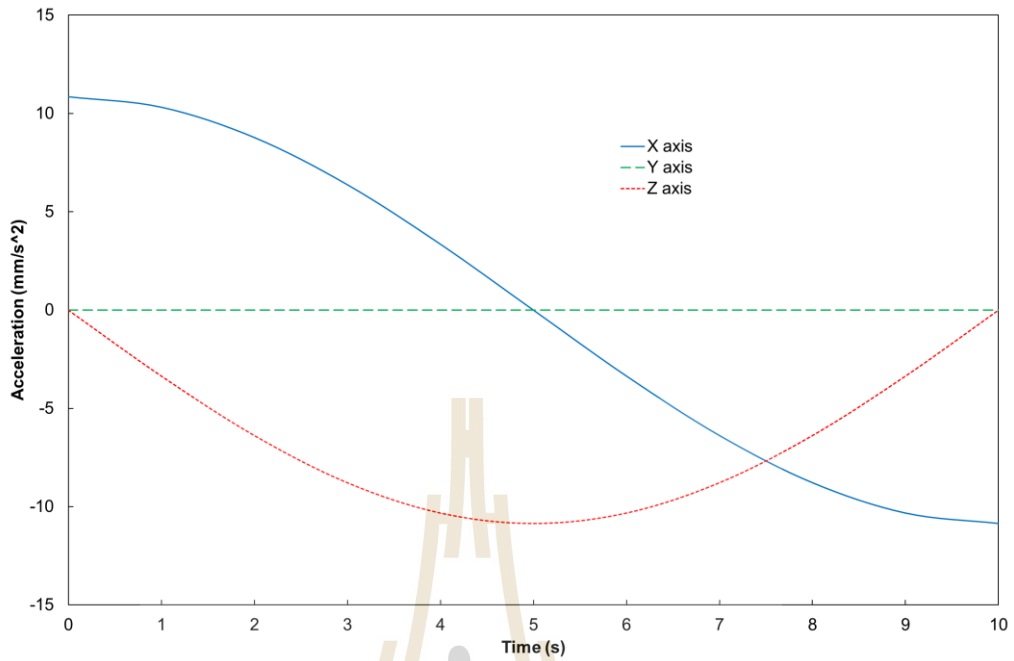
รูปที่ 3.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบสามแกน



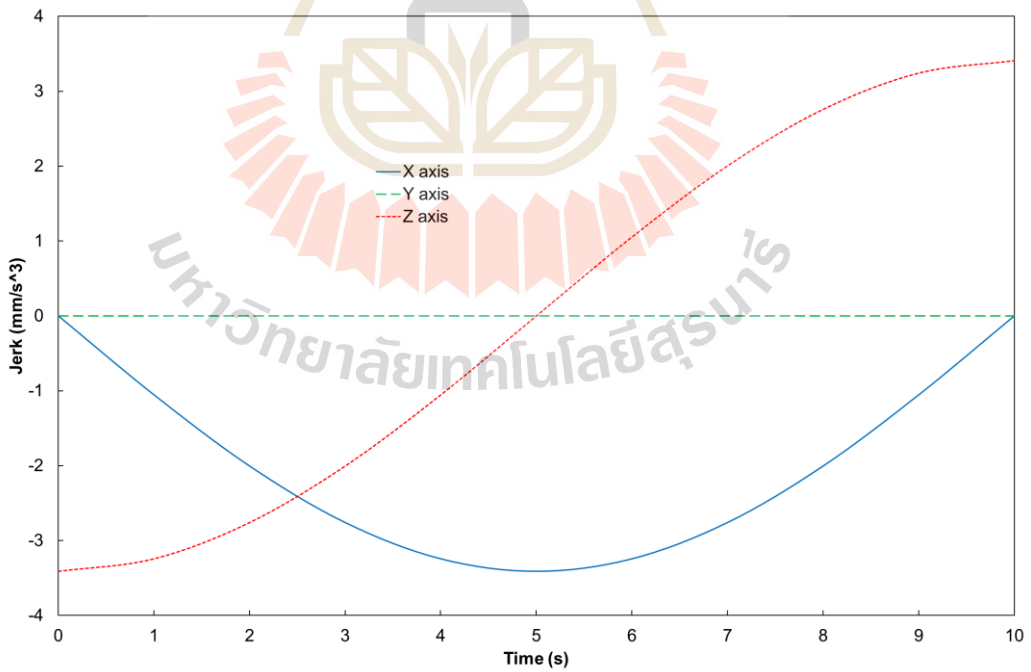
รูปที่ 3.6 การกระจัดของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z



รูปที่ 3.7 ความเร็วของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z



รูปที่ 3.8 ความเร่งของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z



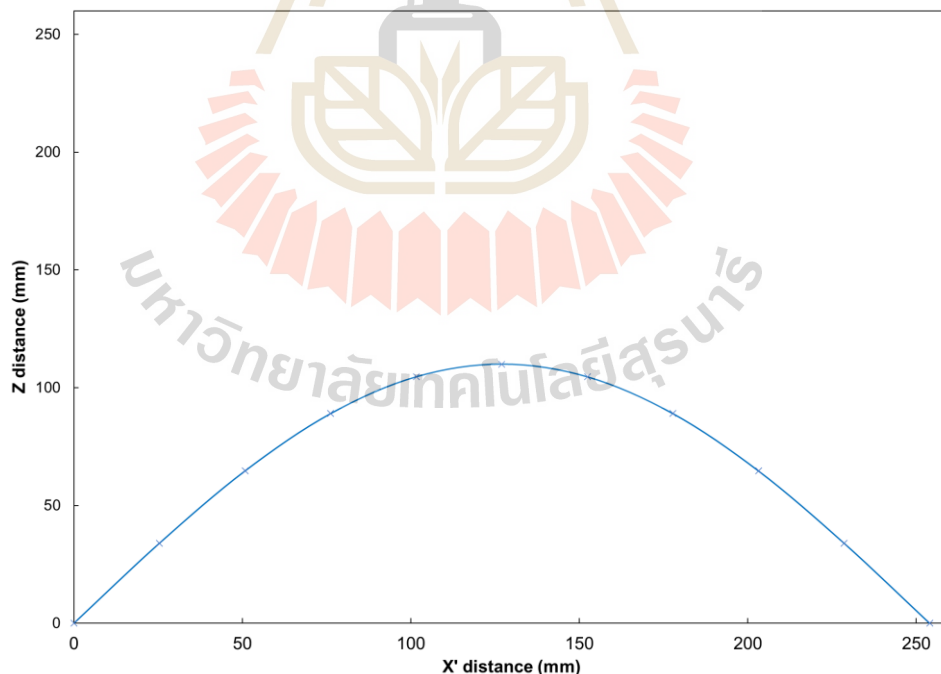
รูปที่ 3.9 การกระตุกของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X แกน Y และแกน Z

### 3.4.2 ผลการวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกน

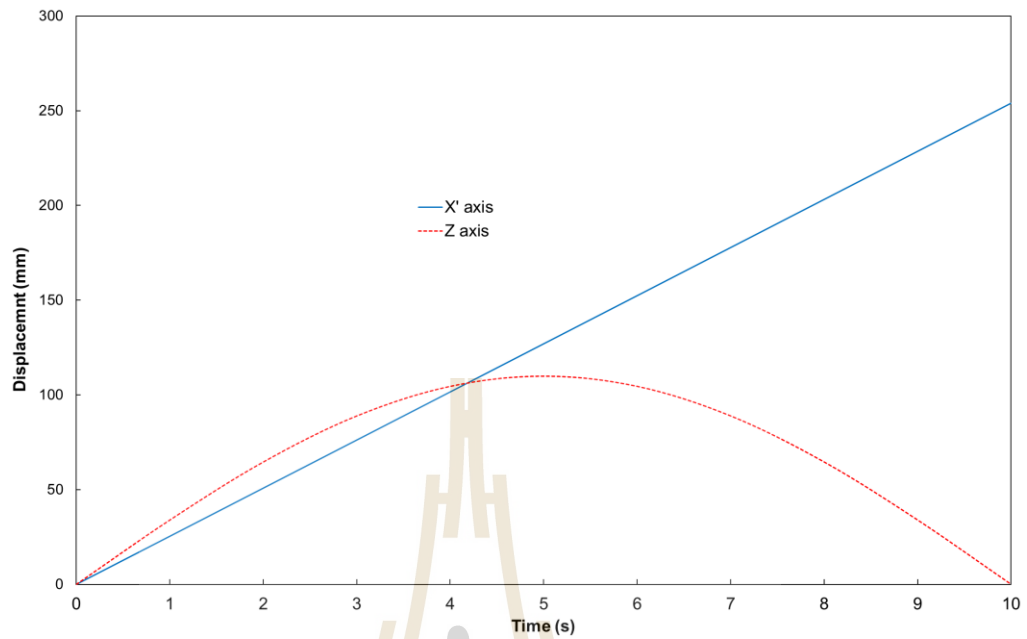
รูปที่ 3.10 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกนจากตำแหน่งด้านล่างขวาไปยังตำแหน่งบนซ้ายของต้นยางพาราทรงกระบอก จากรูปจะเห็นได้ว่าปลายแขนกลสามารถเคลื่อนที่ตามรอยกรีดที่มีลักษณะเป็นวงรีได้

การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง และการกระตุกของปลายแขนกลกรีดยางพาราแต่ละแกนถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.11-3.14 จากรูปจะให้เห็นว่า ลักษณะการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในแกน Z จะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย เหมือนกับกรณีของปลายแขนกลแบบสามแกน ส่วนลักษณะการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในแกน X' เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ คล้ายกับลักษณะการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบสามแกนในแกน Y โดยมีค่าความเร็วที่ต่างกัน

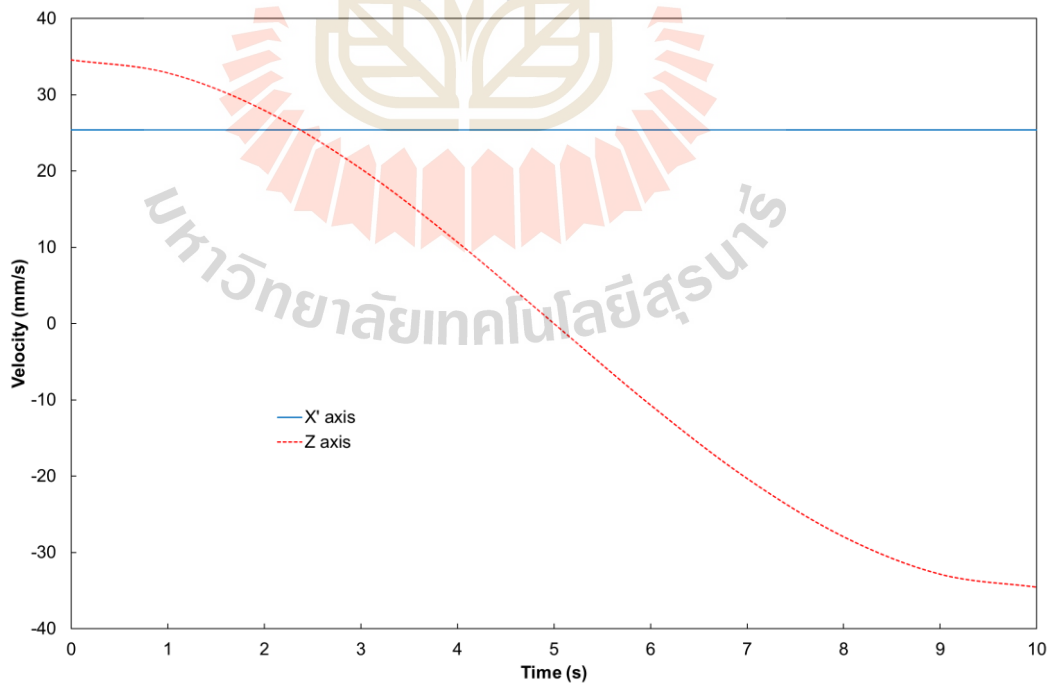
จากผลการวิเคราะห์ทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลทั้งสองแบบพบว่า การลดจำนวนแกนของปลายแขนกลจากสามแกนเหลือสองแกน มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง เพราะสามารถลดผลกระทบจากการกระตุกของปลายแขนกลที่เกิดขึ้นขณะทำงานเหลือเพียงแกนเดียว นอกจากนี้ยังสามารถลดน้ำหนักของปลายแขนกล และความซับซ้อนในการสร้างและการควบคุมปลายแขนกลได้ ดังนั้นปลายแขนกลกรีดยางแบบสองแกนจึงถูกนำเลือกใช้



รูปที่ 3.10 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบสองแกน

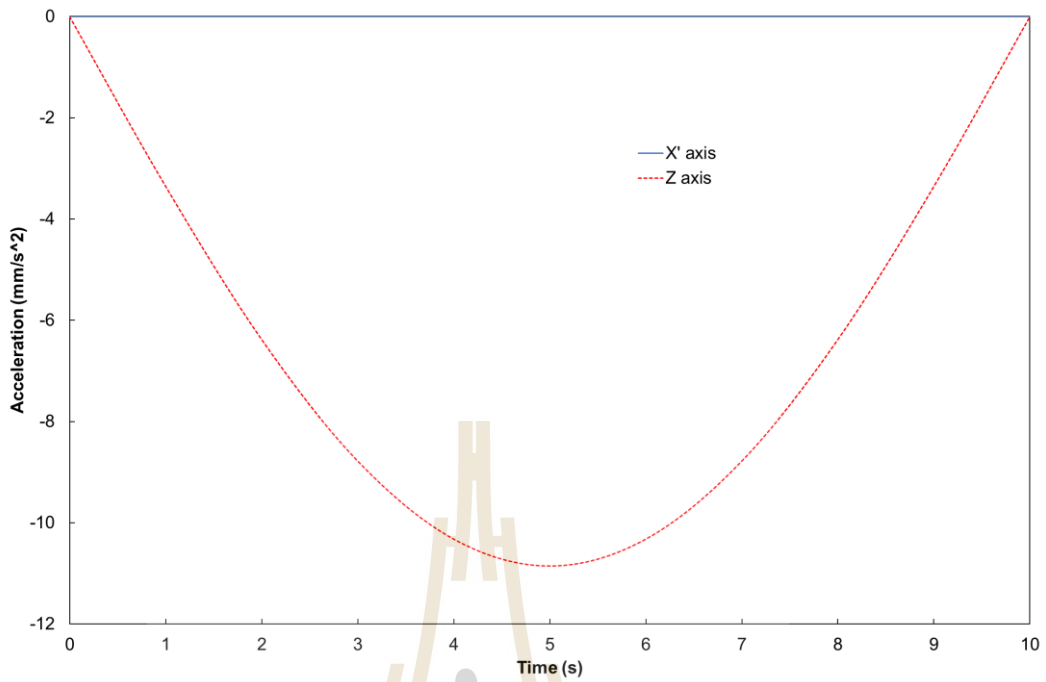


รูปที่ 3.11 การกระจัดของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z

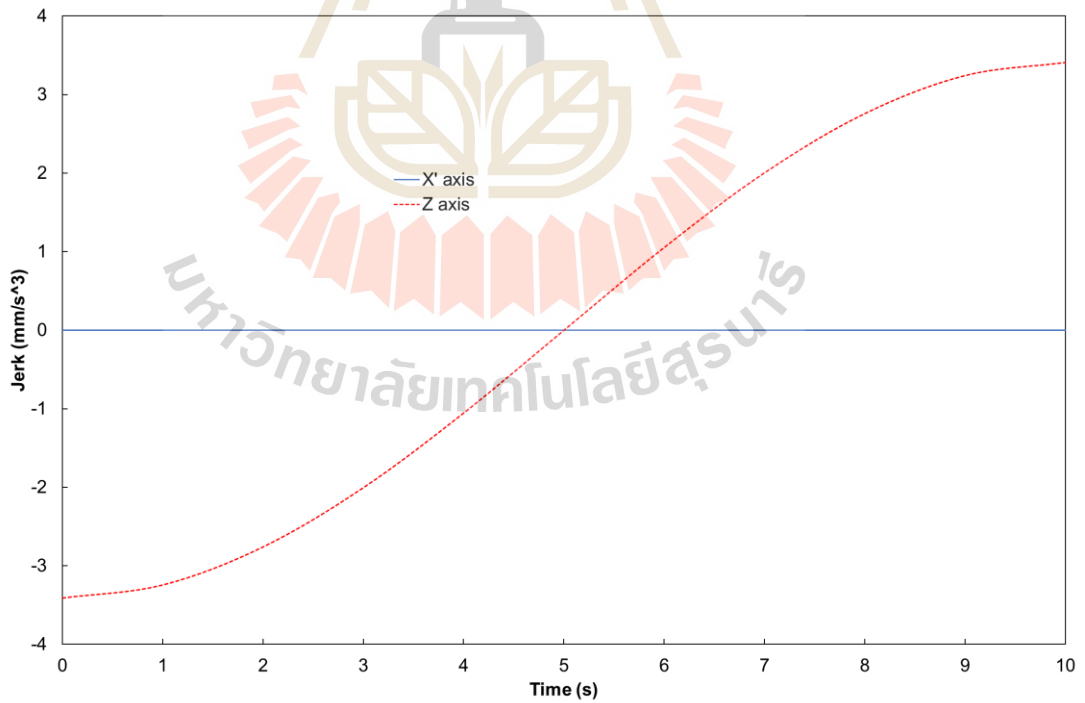


รูปที่ 3.12 ความเร็วของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z





รูปที่ 3.13 ความเร่งของตัวขับเร้าเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z



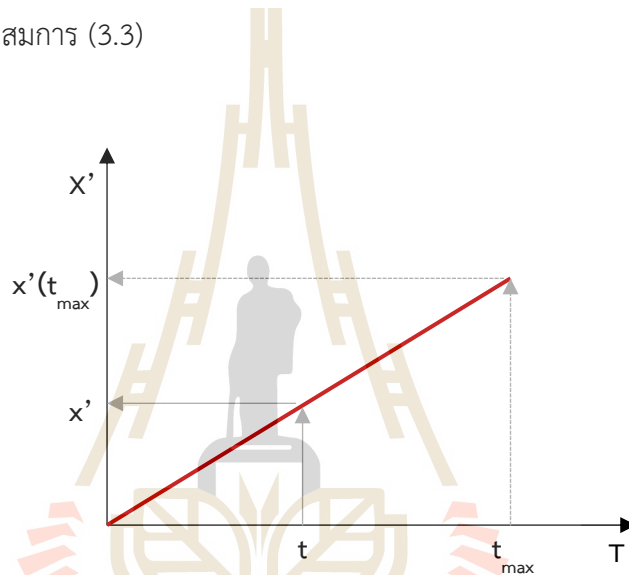
รูปที่ 3.14 การกระตุกของตัวขับเร้าเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z

## บทที่ 4

### การทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกรีดยางพารา

#### 4.1 การออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา

เมื่อปลายแขนกลกรีดยางพาราแบบสองแกนถูกเลือกใช้งาน ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในแนวแกน  $X'$  และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ถูกแสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อกำหนดให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นมีค่าคงที่ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.3)

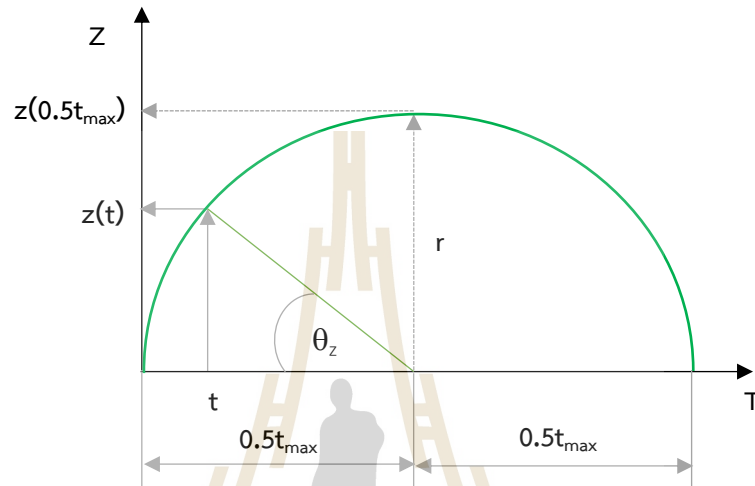


รูปที่ 4.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน  $X'$

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

- เมื่อ  $t$  คือ เวลาที่ใช้ในการกรีด (s)  
 $t_{\max}$  คือ เวลาที่ใช้ในการกรีดทั้งหมด (s)  
 $x'$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ (mm)  
 $x'(t_{\max})$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลา  $t_{\max}$  (mm)

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเส้นทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ถูกแสดงดังรูปที่ 4.2 เมื่อกำหนดให้ความเร่งในการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นมีค่าคงที่ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของแกน Z

$$z = r \sin(\theta_z) \quad (4.2)$$

เนื่องจาก  $\theta_z = \cos^{-1}\left(\frac{0.5t_{\max} - t}{0.5t_{\max}}\right)$  ดังนั้น

$$z = r \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{0.5t_{\max} - t}{0.5t_{\max}}\right)\right) \quad (4.3)$$

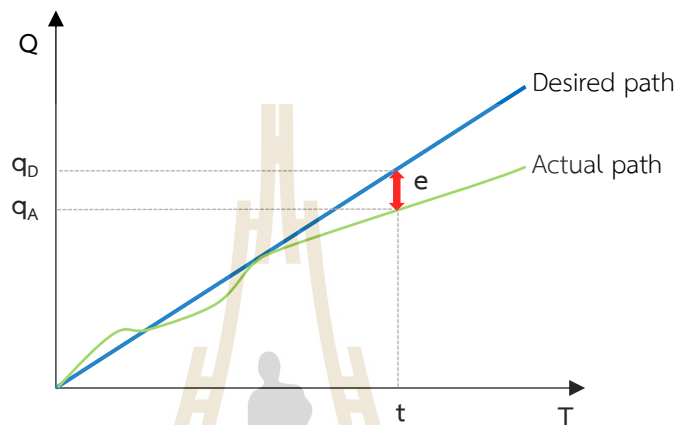
- เมื่อ  $z$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ที่เวลาใดๆ (mm)  
 $r$  คือ ระยะรวมระหว่างรัศมีของต้นยางพาราและรัศมีของใบมีด (mm)  
 $\theta_z$  คือ การกระจัดเชิงมุม (rad)

#### 4.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของใบมีดถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 และสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

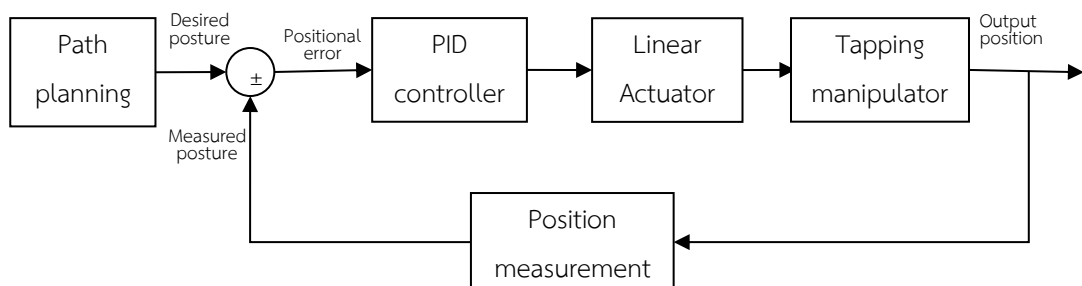
$$e = q_D - q_A \quad (4.4)$$

- เมื่อ  $q_D$  คือ ตำแหน่งที่ต้องการ (mm)  
 $q_A$  คือ ตำแหน่งที่จริง (mm)  
 $e$  คือ ค่าผิดพลาดทางตำแหน่ง (mm)



รูปที่ 4.3 ค่าผิดพลาดทางตำแหน่งในการเคลื่อนที่

รูปที่ 4.4 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ ในกรรติยางด้วยปลายแขนกลจะให้ความสำคัญในด้านความรวดเร็วของการตอบสนองและความแม่นยำของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขน ดังนั้นตัวควบคุมแบบ PID จึงถูกเลือกใช้ เนื่องมาจากคุณสมบัติของตัวควบคุมนี้จะช่วยให้การตอบสนองชั่วคราวดีขึ้นและลดค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวลงแต่ยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบ



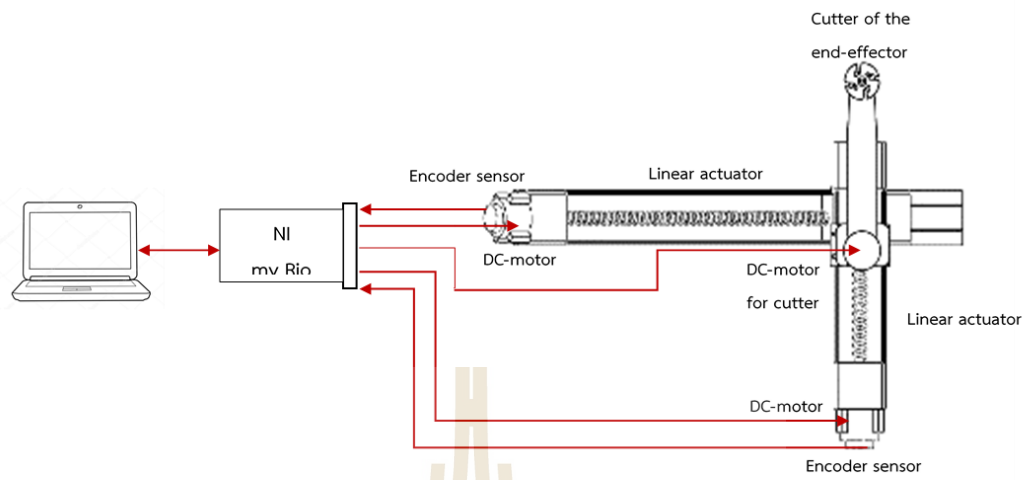
รูปที่ 4.4 แผนภาพบล็อกของระบบควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ

### 4.3 การพัฒนาปลายแขนกลกริดยางพารา

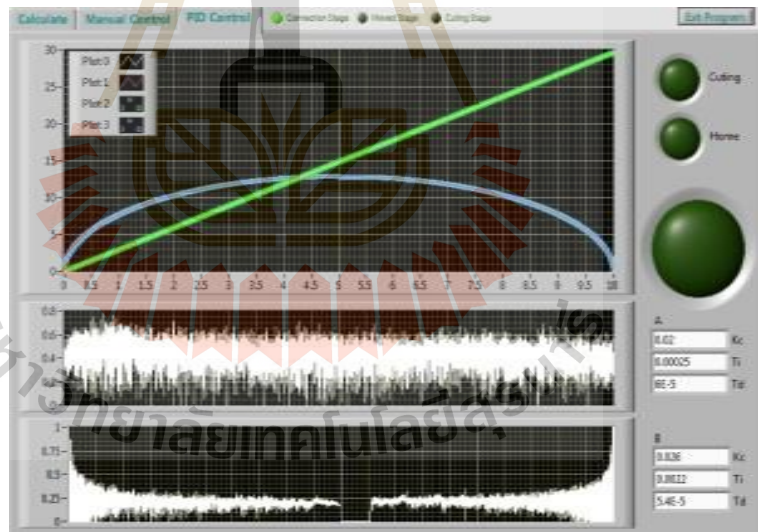
ปลายแขนกลกริดยางพาราที่พัฒนาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ โครงจับยึดต้นยาง ชุดกลไกขับเคลื่อน และชุดมีดกริดยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โครงจับยึดต้นยางถูกสร้างจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยออกแบบให้สามารถติดตั้งและถอดออกจากต้นยางพาราได้ ชุดกลไกขับเคลื่อนสร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (linear actuator) จำนวน 2 แกน ต่อตั้งฉากกันบนโครงจับยึดต้นยาง ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน X' จะวางเอียงเป็นมุม  $30^{\circ}$  กับแนวระดับ ส่วนตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นของแกน Z จะวางในแนวระดับ ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นเป็นแกนสำเร็จรูปที่ทำจากรางสไลด์และบอลสกรู ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง ชุดมีดกริดยางแบบใช้มอเตอร์กระแสตรงขับเคลื่อนผ่านสายพานแบน จะถูกติดตั้งที่ปลายแกน Z คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานของปลายแขนกลผ่านทาง NI myRIO เอ็นโค้ดเดอร์จะทำหน้าที่วัดการหมุนของมอเตอร์ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น แผนผังของระบบควบคุมของปลายแขนกลถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมปลายแขนกลกริดยางพาราพัฒนาโดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมปลายแขนกลกริดยางพาราถูกแสดงดังรูปที่ 4.8



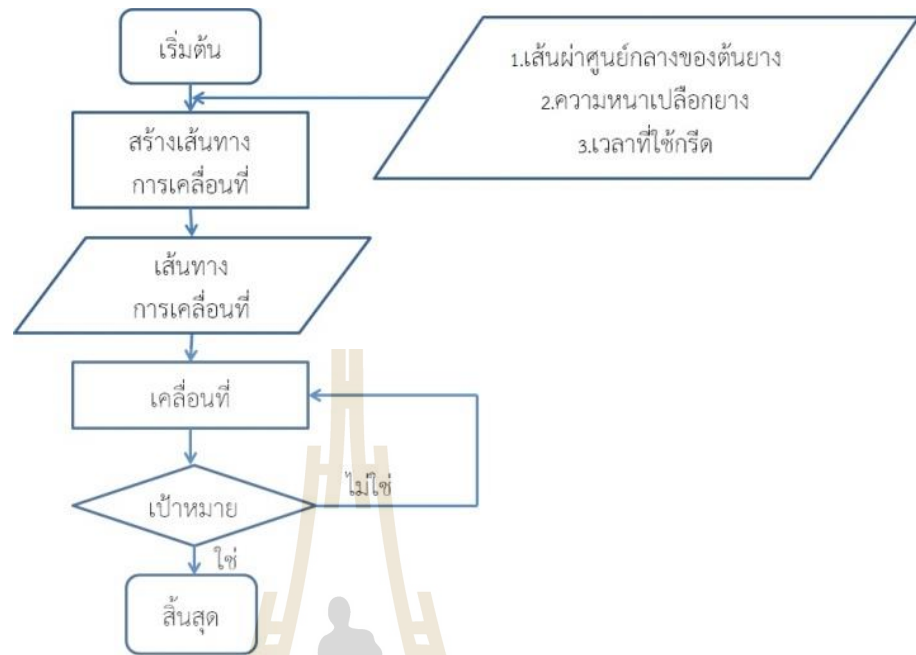
รูปที่ 4.5 ปลายแขนกลสำหรับการกริดยางพาราอัตโนมัติ



รูปที่ 4.6 แผนผังการติดตั้งระบบวัดคุมของปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ



รูปที่ 4.7 โปรแกรมควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพาราต้นแบบ



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมปลายแขนกลกรีดยางพารา

#### 4.4 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของปลายแขนกลกรีดยาง

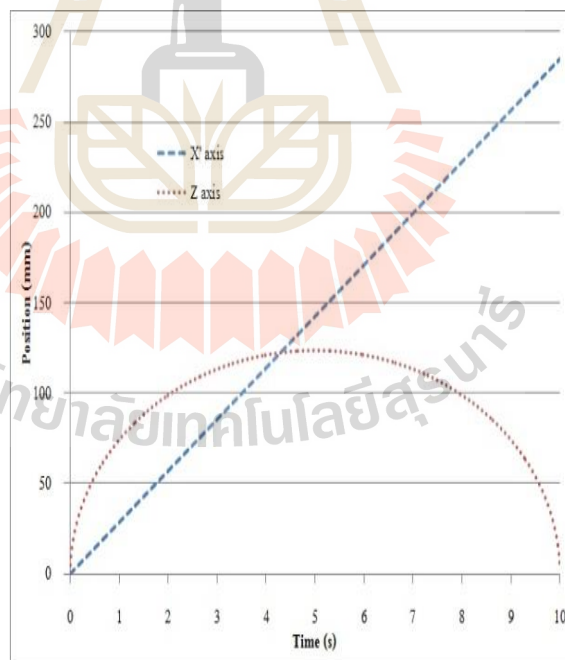
การทดสอบการทำงานของปลายแขนกลกรีดยางทำบนตัวยางพาราจำลองและตัวยางพาราจริง เนื่องจากตัวยางพาราจริงมีลักษณะสัญญาณที่ซับซ้อนและไม่แน่นอน ดังนั้นตัวยางพาราจำลองจึงถูกนำมาใช้เพื่อความสะดวกในการวิจัย ตัวยางพาราจำลองถูกสร้างโดยการนำไม้ที่ผ่านการกลึงผิว ปอกด้วยดินน้ำมันให้มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปทรงกระบอก ตัวยางถูกติดตั้งบนฐานเพื่อความมั่นคงในการใช้งาน ตัวยางพาราจำลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกนไม้ 200 mm ความหนาเปลือก 10 mm ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดของตัวยางพาราจำลองจะเท่ากับ 220 mm ส่วนตัวยางพาราจริงที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 220 mm ใบมีดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 47.2 mm เมื่อกำหนดความลึกในการกรีดเท่ากับ 10 mm ดังนั้นระยะการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน  $X$  จะเท่ากับ 247.2 mm เมื่อกำหนดมุมกรีดเท่ากับ  $30^\circ$  ทำให้มีระยะการเคลื่อนที่บนแกน  $X'$  เท่ากับ 285.4 mm ในการทดสอบการทำงานของปลายแขนกลกรีดยางจะถูกกำหนดเวลาที่ใช้ในการกรีดเท่ากับ 10 s เพื่อให้มีความเร็วในการทำงานใกล้เคียงกับการใช้แรงงานคน ตัวควบคุมแบบวงเปิดและตัวควบคุมแบบป้อนกลับถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบสมรรถนะ ค่าเกน  $K_p$ ,  $K_I$  และ  $K_D$  สำหรับตัวควบคุมป้อนกลับแบบ PID ของแกน  $X'$  เท่ากับ 0.020 80 และ

0.0000012 ตามลำดับ ส่วนค่าเกินของแกน Z มีค่าเท่ากับ 0.026 113.04 และ 0.0000014 ตามลำดับ

#### 4.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์

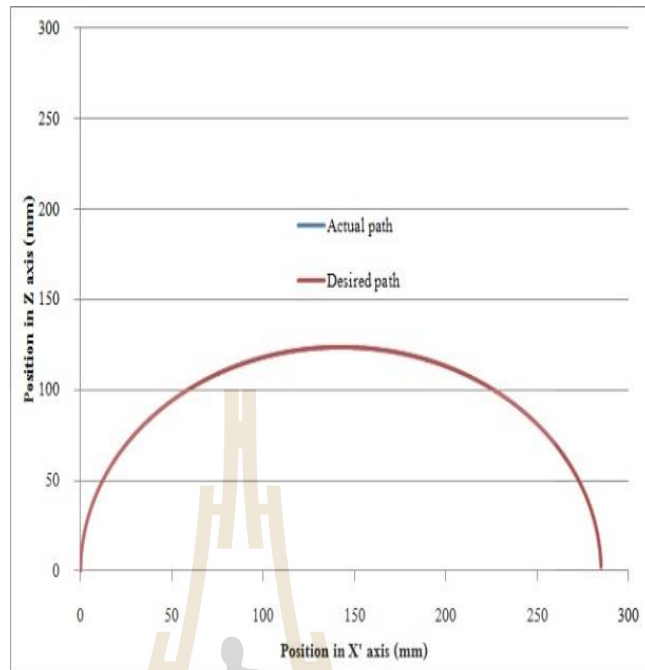
##### 4.5.1 ผลการออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา

เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพาราบนต้นยางทรงกระบอกสามารถพิจารณาได้จากการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นแกน X' และแกน Z รูปที่ 4.9 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแต่ละแกน ขณะกรีดต้นยางพาราที่เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 220 mm เมื่อกำหนดความลึกของการกรีดและเวลาในการกรีดเท่ากับ 10 mm และ 10 s ตามลำดับ ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' จะเคลื่อนที่เป็นแบบเส้นตรงด้วยระยะ 285.4 mm ส่วนตัวขับเคลื่อนบนแกน Z จะเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม ซึ่งมีระยะทางสูงสุด 123.6 mm ณ เวลา 5 s ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพาราถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 จากรูปจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนบนแกน X' และแกน Z มีลักษณะเป็นรูปวงรี โดยมีขนาดเท่ากับรูปวงรีที่เกิดจากการโปรเจกต์เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพาราที่อยู่บนแกน X มาบนแกน X'



รูปที่ 4.9 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z



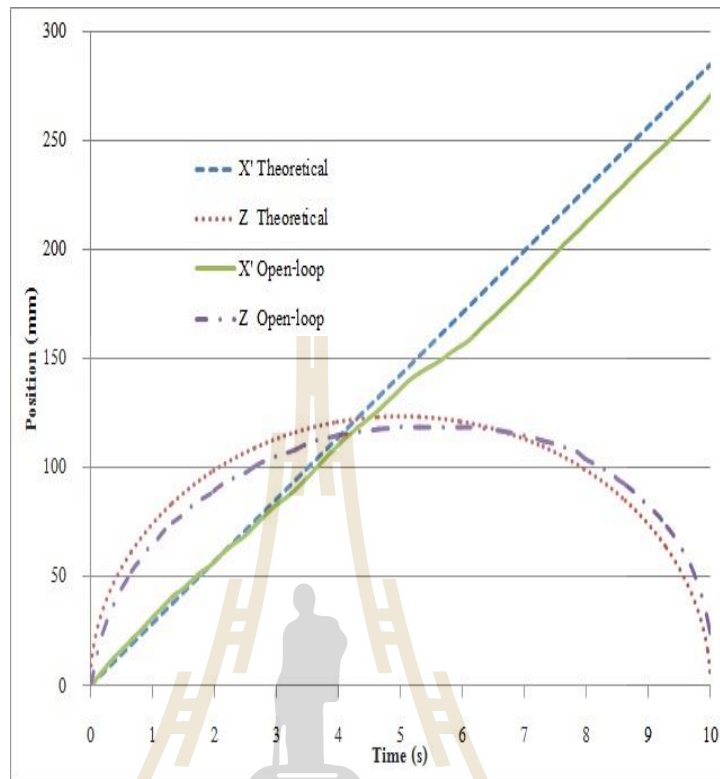


รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ  $X'Z$

#### 4.5.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของปลายแขนกลกริดยางพารา

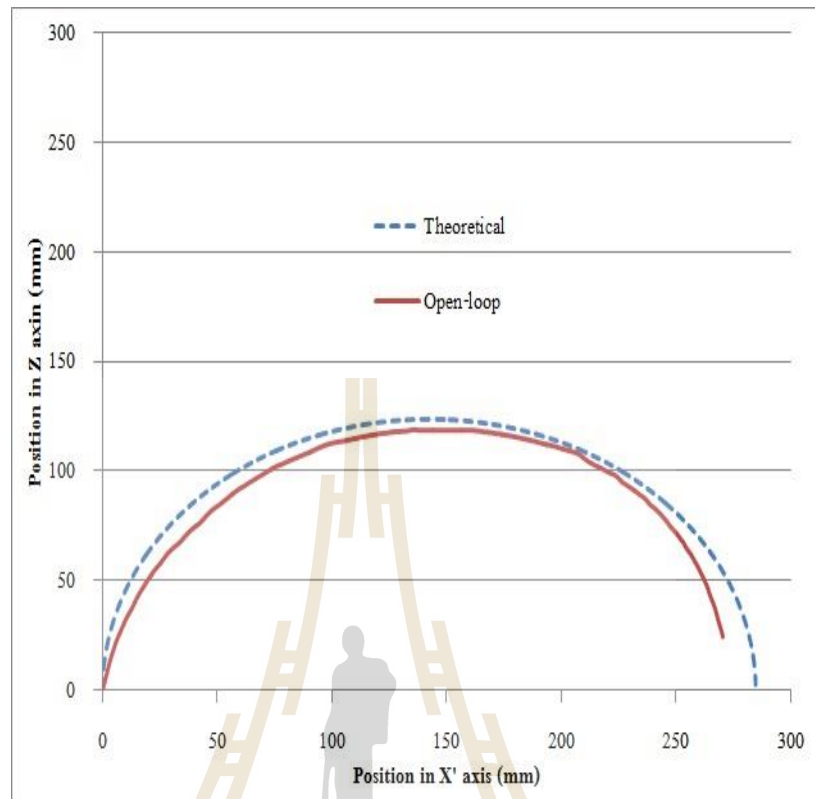
(ก) ผลการทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ ต้นยางจำลองเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน  $X'$  และ แกน  $Z$  เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ของ ปลายแขนกลที่เคลื่อนได้จริงทั้งสองแกน ไม่สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้ ถึงแม้ว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่เคลื่อนได้จริงในแกน  $X'$  จะสามารถเคลื่อนที่ได้ ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการในช่วงแรก แต่ในช่วงหลังกลับเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า เส้นทาง การเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่เคลื่อนได้จริงผิดพลาดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการสูงสุด 16.39 mm ที่เวลา 6.8 s ส่วนในแกน  $Z$  จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าทั้งช่วงแรกและช่วงหลัง มีค่าผิดพลาด สูงสุด 12.16 mm ที่เวลา 10 s



รูปที่ 4.11 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z  
เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด

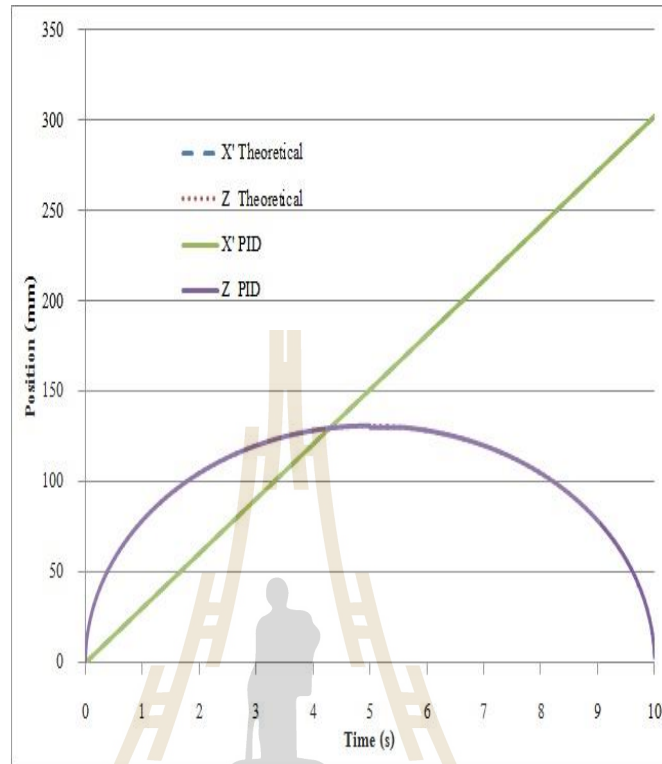
เส้นทางการเคลื่อนที่จริงที่ได้จากการทดสอบกับต้นแบบพาราจาลองทั้งสองแนวแกน ผิดพลาดไปจากสมการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล เมื่อนำเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวแกนมาเขียนกราฟรวมกันและเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการจะได้กราฟตามรูปที่ 4.12 เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ได้จริงมีตำแหน่งเริ่มต้นการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งเดียวกับกับตำแหน่งเริ่มต้นการเคลื่อนที่ที่ต้องการ แต่เมื่อเคลื่อนที่ต่อไปกลับเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า ทำให้ระยะรัศมีที่เคลื่อนที่ได้จริงน้อยกว่ารัศมีของต้นแบบ ส่งผลทำให้ใบมีดหมุนตัดเข้าไปในเนื้อไม้ รวมทั้งตำแหน่งสุดท้ายก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ถึงเป้าหมายได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดมาจากแรงต้านจากดินน้ำมันทำให้ตัวขับเคลื่อนบนแกน Z เคลื่อนที่ได้ช้ากว่าเส้นทางที่ออกแบบไว้ ซึ่งทำให้ใบมีดตัดโดนแกนไม้ในบางครั้งของการทดสอบ



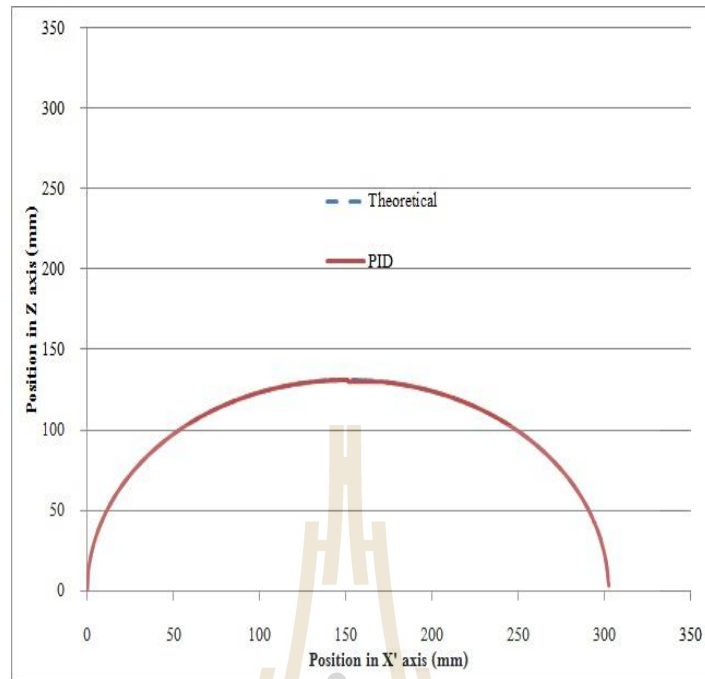
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ  $X'Z$  เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบวงเปิด

(ข) ผลการทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ ต้นยางจำลองเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

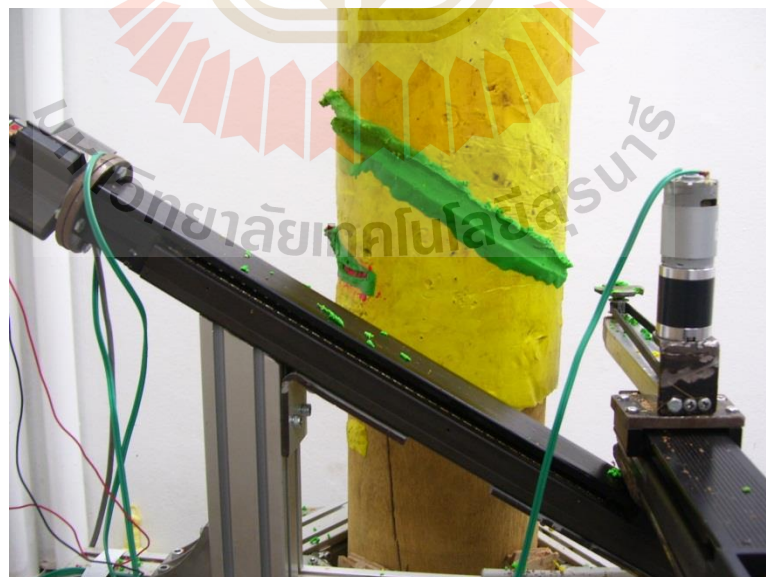
รูปที่ 4.13-4.14 แสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน  $X'$  และแกน  $Z$  จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ปลายแขนกลกริดยางพาราสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง รอยกริดที่เกิดขึ้นบนต้นยางพาราถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นบนแกน X' และแกน Z  
เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับ รอยกริดของต้นยางพาราบนระนาบ  $X'Z$  เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID

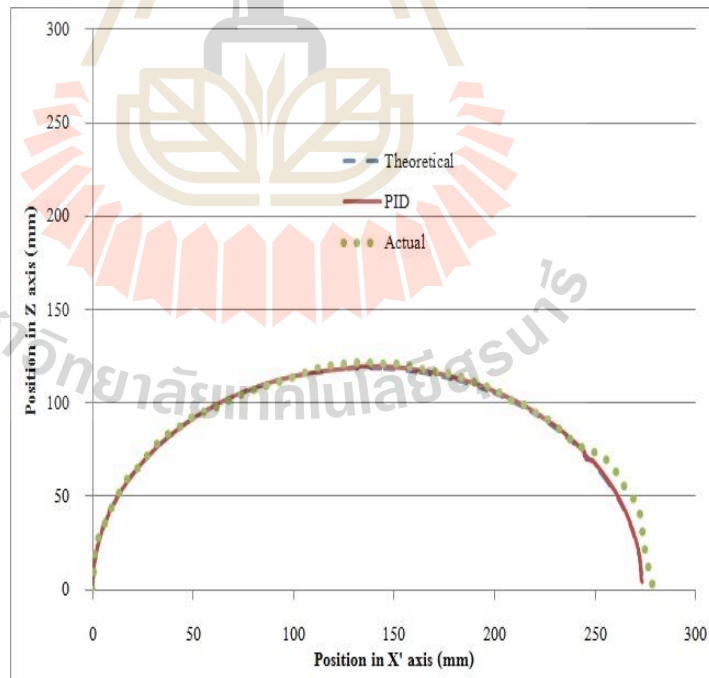


รูปที่ 4.15 รอยกริดบนต้นยางพาราจำลอง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID

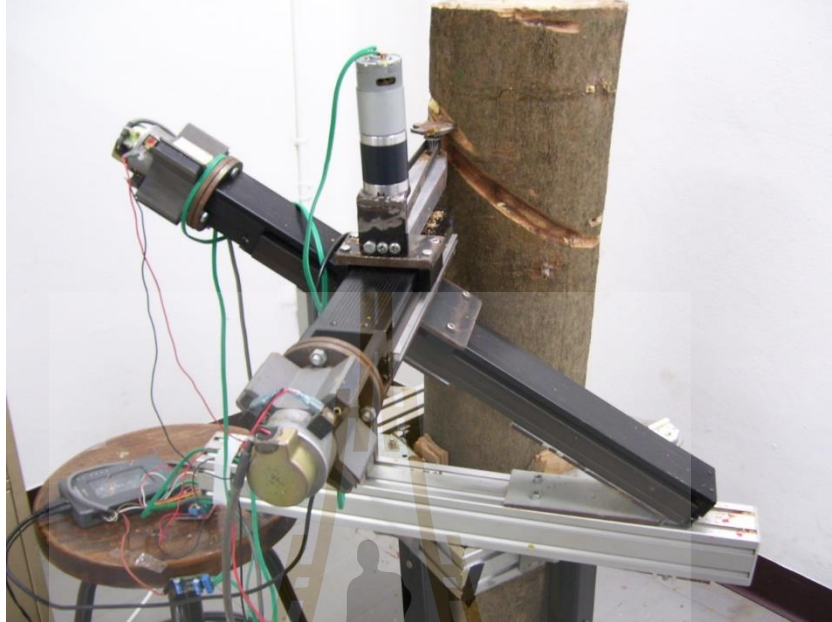
(ค) ผลการทดสอบสมรรถนะของปลายแขนกลกริดยางพารา กับต้นยางจริงเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ

รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ เมื่อใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบ PID จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ปลายแขนกลกริดยางพาราสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารอยกริดที่เกิดขึ้นบนต้นยางพาราจริงที่ถูกสุมวัดด้วยเวอร์เนียพบว่า ปลายแขนกลไม่สามารถกริดเปลือกยางพาราได้ตลอดการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะบริเวณสุดท้ายของการทำงาน เพราะว่าต้นยางพาราจริงมีลักษณะนูนออกมาด้านนอก ทำให้ใบมีดกริดเข้าไปไม่ถึง ดังแสดงในรูปที่ 4.17

เนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพาราถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปวงรี แต่สัณฐานของต้นยางพาราจริงมีลักษณะไม่แน่นอน และไม่ได้เป็นลักษณะของทรงกระบอก ดังนั้นการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลตามลักษณะสัณฐานของต้นยางพาราจริงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกริดยางพารา กับรอยกริดของต้นยางพาราจริง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID



รูปที่ 4.17 รอยกรีดบนต้นยางพาราจริง เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

- 1) ปลายแขนกลกรีดยางแบบสองแกนถูกเลือกใช้งานแทนปลายแขนกลแบบสามแกน เพราะมีน้ำหนักและเกิดการกระตุกระหว่างการเคลื่อนที่น้อยกว่า
- 2) เส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางแบบสองแกนถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปวงรี
- 3) ตัวควบคุมแบบวงเปิดไม่สามารถบังคับปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ออกแบบได้ในสถานะที่มีสิ่งรบกวน ในขณะที่ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสามารถชดเชยความผิดพลาดทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่ได้
- 4) ปลายแขนกลกรีดยางพาราไม่สามารถกรีดเปลือกยางพาราได้ตลอดช่วงการทำงาน เพราะสัญญาณของต้นยางพาราจริงมีลักษณะไม่แน่นอน และไม่ได้เป็นลักษณะของทรงกระบอก
- 5) ผลการทดสอบยืนยันได้ว่า ปลายแขนกลกรีดยางพาราที่ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสามารถกรีดต้นยางพาราจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้ายได้อย่างน่าพอใจ ดังนั้นปลายแขนกลนี้มีศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อการประยุกต์ใช้ในสถานะการใช้งานจริงได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรพัฒนาระบบออกแบบเส้นทางเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพาราให้สามารถสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ตามลักษณะสัญญาณของต้นยางพาราจริงได้
- 2) ควรออกแบบโครงสร้างของปลายแขนกลให้มีขนาดกระทัดรัด เพื่อให้สามารถติดตั้งบนต้นยางพาราจริงได้อย่างสะดวก



## การเผยแพร่ผลงานวิจัย

- ยงยุทธ์ เสียงตั้ง, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์, คธา วาทกิจ และพยุงค์กิติ์ จุลยุเสณ. (2555). การศึกษาตัวแปรของการออกแบบใบมีดสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 โรงแรมอิมพีเรียล แมงปิง จ.เชียงใหม่, วันที่ 4-5 เมษายน 2555, หน้า 97-105
- ยงยุทธ์ เสียงตั้ง, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์, คธา วาทกิจ และพยุงค์กิติ์ จุลยุเสณ. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ, รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ. ประจวบคีรีขันธ์, วันที่ 1-4 เมษายน 2556, หน้า 348-353
- ยงยุทธ์ เสียงตั้ง, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์, คธา วาทกิจ และพยุงค์กิติ์ จุลยุเสณ. (2557). การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพาราอัตโนมัติ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ. พระนครศรีอยุธยา, วันที่ 2-4 เมษายน 2557, หน้า 426-434
- ยงยุทธ์ เสียงตั้ง, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์, คธา วาทกิจ และพยุงค์กิติ์ จุลยุเสณ. (2559). เส้นทางที่เหมาะสมของแขนกลกรีดยางพารา, รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ระดับชาติ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น, วันที่ 25-26 พฤศจิกายน 2559 ขอนแก่น, หน้า 118-126

## เอกสารอ้างอิง

- โกเมธท์ โกศลกิตติอัมพร. (2548). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองภาพการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ยงยุทธ์ เสียงดั่ง. (2552). การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกรีดยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2544). การกรีดยาง [ออนไลน์]. ได้จาก: [www.Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com)
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2550). การกรีดยางและการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง [ออนไลน์]. ได้จาก: [www.Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com)
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2554). คำแนะนำการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยางปี 2554 [ออนไลน์]. ได้จาก: [www.Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com)
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555 [ออนไลน์]. ได้จาก: [www.Rubberthai.com](http://www.Rubberthai.com)



## ประวัติหัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงค์ศักดิ์ จุลยเสน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำเร็จการศึกษา  
ระดับปริญญาโท M.S. (Agricultural Science) และระดับปริญญาเอก Ph.D. (Agricultural  
Science) จาก University of Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง  
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มี  
ผลงานวิชาการและผลงานวิจัยด้านเครื่องจักรกลเกษตรและพลังงานทดแทน

