



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

เส้นทางที่เหมาะสมของปลายแขนกลกรีดยางพารา

Appropriated Trajectory of End Effector for Para Rubber Tapping

ยงยุทธ เสียงดัง* พยุงศักดิ์ จุลยเสน และ คงเดช พะสีนาม

Yongyuth Sengdang* Payungsak Junyusen and Khongdet Phasinam

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

School of Agricultural and Food Engineering, Faculty of Food and Agricultural Technology,

Pibulsongkram Rajabhat University.

Received: 1 พ.ย. 59

Accepted: 9 ก.พ. 60

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของปลายแขนกลกรีดยางพารา ปลายแขนกลถูกสร้างจากตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นสองตัวที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นยางพารา เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง โพลีโนเมียล และวงกลม ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้นทั้งสอง การทดสอบทำโดยการให้ปลายแขนกลเคลื่อนที่ไปบนต้นยางจำลอง ผลการทดสอบพบว่า เส้นทางการเคลื่อนที่ที่สร้างจากสมการเส้นตรง และสมการวงกลมเป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการกรีดยาง

คำสำคัญ : เส้นทางการเคลื่อนที่ ปลายแขนกล ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น การกรีดยางพารา

Abstract

The objective of this study was to select an appropriated trajectory of 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 circle 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 circle equations was appropriated for the rubber tapping.

Keywords: Trajectory, End effector, Linear actuator, rubber tapping

*ติดต่อ: อีเมล : yongyuth@rmuti.ac.th, โทรศัพท์ : 089-8640019, โทรสาร : 044-244610

1. บทนำ

จากข้อมูลทางวิชาการของสถาบันวิจัยยาง รายงานว่าในปี 2553 ทั่วโลกมีพื้นที่ปลูกยางพารา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 72.21 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางส่วนใหญ่เกือบ 76.4 % อยู่ในทวีปเอเชีย โดยประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุด 21.53 ล้านไร่ รองลงมาคือ ประเทศไทย 18.76 ล้านไร่ และมาเลเซีย 6.38 ล้านไร่ สำหรับประเทศผู้ผลิตรายกรรมชาติมากที่สุด 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 % ของปริมาณการผลิตทั้งโลก พื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศไทยในปี 2553 ทั้งสิ้น 18,761,231 ไร่ ทำรายได้ให้กับประเทศไทยและการจ้างแรงงานเป็นจำนวนมาก หนึ่งในแรงงานที่มีความสำคัญคือ คนงานกรีดยาง เนื่องจากการกรีดยางต้องใช้แรงงานที่มีทักษะ มีความชำนาญ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำยางที่กรีด การชั่งการเจริญเติบโต เนื่องจากมีโอกาสที่คนมีดจะไปบาดเยื่อเจริญ ที่อยู่ติดกับบริเวณเปลือกของต้นยางพารา เป็นความเสียหาย

ที่เกิดจากเกษตรกรที่ไม่มี ความชำนาญ และประสบการณ์ กรีดยางหลายชั้นของเยื่อเจริญหรือเกิดบาดแผลที่บริเวณเยื่อเจริญ เนื่องจากเยื่อเจริญเป็นส่วนที่สร้างเนื้อเยื่อใหม่มาทดแทน ถ้าหากถูกทำลาย ก็จะไม่สามารถสร้างเปลือกใหม่ในบริเวณนั้นได้หรือทำให้เปลือกงอกใหม่ไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นรอยตะปุ่มตะป่ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่จะไม่สะดวก การสิ้นเปลืองของรอยกรีดยางเนื่องจากมีความหนาในการกรีดยางในแต่ละครั้งมากเกินไป ทำให้หมดเปลือกยางเร็ว จากการแนะนำวิธีการกรีดยางที่ถูกต้อง การสิ้นเปลืองเปลือกในแต่ละครั้งกรีดยางควรอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 มิลลิเมตรหรือไม่เกิน 25 เซนติเมตรต่อปี เครื่องมือที่ใช้กรีดยางพาราเรียกว่า มีดกรีดยางเจี๊ยะบง การใช้มีดกรีดยางเจี๊ยะบง นอกจากผู้ใช้จะต้องมีทักษะและความชำนาญแล้ว จะต้องสูญเสียพลังงานในการออกแรงกระตุกเพื่อให้คนมีดเฉือนเปลือกยางเป็นระยะทางยาวประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของต้นยางพารา เกิดการสิ้นเปลืองเปลือกที่เร็วเกินไป มีความเสียหายของหน้ายาง ความสามารถในการกรีดยางพารามีขีดจำกัดอยู่ที่ 400-500 ต้นต่อคนต่อวัน

[1] ได้ทำการออกแบบและสร้างมีดกรีด ยางพาราแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ใบมีดจะเป็นใบมีด หมุน 4 ฟัน มุมหน้ามีด มุมมีด และมุม หลังมีดเท่ากับ 45° 30° และ 15° ตามลำดับ มี กลไกควบคุมความหนาเพื่อลดการสิ้นเปลือง เปลือกที่เร็วเกินไปและลดความเสียหายของหน้า ยาง ผู้ใช้งานมีดกรีดยางพาราไม่จำเป็นต้องใช้ แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ ก็สามารถ ใช้ งานได้ แต่ก็มีข้อด้อยที่ต้องได้รับการปรับปรุงคือ ต้องใช้คนในการพามีดกรีดยางพาราแบบ ใช้ มอเตอร์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ตามรอยกรีดเดิมและต้อง คอยควบคุมความลึกในการกรีดด้วย

[2] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ การเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีด ยางพาราอัตโนมัติ จากผลการดำเนินการพบว่า แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกลที่มีข้อ ต่อเป็นแบบเลื่อนและมีสามองศาอิสระถูกสร้างบน พิกัดฉากเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ ของรูปร่างรอยกรีดที่สร้างจากสมการเฮลิคซ์ เมื่อ ต้นยางพาราถูกกำหนดให้มีลักษณะพื้นฐาน เป็นรูปทรงกระบอกและมีมุมกรีด 30° เส้นกราฟ ของเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองเส้นทับกันเป็น เส้นเดียว ตำแหน่งในการเคลื่อนที่แต่ละแกนจาก จุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายมีความถูกต้องแม่นยำทั้ง สามแกน ถึงแม้ว่าการจำลองสถานการณ์ด้วย โปรแกรม SolidWorks® ปลายแขนกลสามารถ เคลื่อนที่ตามรอยกรีดของต้นยางพาราได้ แต่ ความเร็วเริ่มต้นและความเร็วสุดท้ายในบางแกน

ไม่ได้อยู่ที่ศูนย์ ซึ่งจะก่อให้เกิด การสั่นของปลาย แขนกลมีผลต่อความนุ่มนวลในระหว่างการ เคลื่อนที่

[3] ได้ออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ของปลายแขนกลสำหรับเครื่องกรีดยางพารา อัตโนมัติ ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยแบบจำลอง ทางพลศาสตร์โดยการขึ้นรูปตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น (Linear Actuator) ทั้งสามแนวแกนด้วยโปรแกรม เขียนแบบ เส้นทางการเคลื่อนที่แต่ละแกนถูก สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียล สมการความเร่งของ เส้นทางการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงบิด เพื่อป้อนให้ตัวขับเคลื่อนแต่ละแกน จำลองการ เคลื่อนที่ของปลายแขนกลให้เคลื่อนที่ตามเส้นทาง การเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ ออกแบบตัวควบคุม แบบป้อนกลับเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของ เส้นทางการเคลื่อนที่ได้ให้เป็นเส้นทางเดียวกันหรือ ใกล้เคียงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ การตอบสนอง ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกตรวจสอบโดย ใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการ จำลองพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จาก แบบจำลองทางพลศาสตร์ผิดพลาดจากเส้นทาง การเคลื่อนที่ที่สร้างด้วยสมการโพลีโนเมียลสูงสุดในแนวแกน X เท่ากับ 40 mm ในแนวแกน Y เท่ากับ 5 mm และในแนวแกน Z เท่ากับ 10 mm แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีอัตราขยายใน แนวแกน X, Y และ Z เท่ากับ 30, 10 และ 15 ตามลำดับ ทำให้ค่าความผิดพลาดในแต่ละ แนวแกนไม่เกิน 0.5 mm แต่งานวิจัยนี้เป็นการ

จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ ถ้านำอัตราขยายของตัวควบคุมแบบป้อนกลับไปใช้กับร่วมกับปลายแขนกลจริงจะก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดในแต่ละแนวแกนแตกต่างจากนี้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลกรีดยางพารา ปลายแขนกลถูกสร้างด้วยตัวขับเคลื่อนสองตัว เส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อน A และตัวขับเคลื่อน B ถูกสร้างจากสมการคิเนเมติกส์รูปแบบต่างๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมกับต้นยางจำลองที่แกนในสร้างจากไม้ ผิวรอบนอกพอกด้วยดินน้ำมันโดยการเปรียบเทียบตำแหน่งเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากสมการคิเนเมติกส์กับเส้นทางการเคลื่อนที่ได้จากต้นยางจำลอง

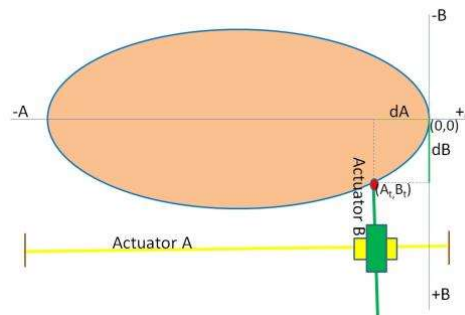
2. วิธีการวิจัย

2.1 แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของปลาย

แขนกล ปลายแขนกลกรีดยางพาราสามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อน (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดฉาก ตัวขับเคลื่อน A จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y ได้พร้อมกัน ส่วนตัวขับเคลื่อน B จะวางในแนวนอน สามารถเคลื่อนที่เข้าออกตามความโค้งของต้นยางพาราในแนวแกน Z เมื่อมองจากด้านบนตั้งฉากกับแนวเอียง 30 องศาของรอยกรีดจะเห็นพื้นที่หน้าตัดของต้นยางพาราเป็นวงรี ดังรูปที่ 1 กำหนดให้จุดออริจินอยู่ที่ตำแหน่งบอลสกรูทั้งสองแนวแกนเคลื่อนที่ออกสุด

2.2 การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

ต้นยางพาราพร้อมเปิดกรีดเมื่อวัดเส้นรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร จากพื้นดิน ท่อน้ำยางจะเรียงตัวออกมาจากเยื่อเจริญรอบลำต้น ตามแนวโค้งเป็นชั้น ๆ



รูปที่ 1 แบบจำลองทางคิเนเมติกส์ของปลายแขนกล

อยู่ในลักษณะเอียงไปทางขวาจากแนววงรีเล็กน้อยประมาณ $2.1 - 7.1$ องศา การกรีดยางให้รอยกรีดเอียงจากด้านบนซ้ายลงด้านล่างขวา เพื่อให้ตัดท่อน้ำยางให้มากที่สุด ความชันของรอยกรีดควรทำมุม $30 - 35$ องศาจากแนวระดับเพื่อให้ให้น้ำยางไหลได้สะดวก ไม่ไหลออกนอกรอยกรีด ทำให้ได้ผลผลิตเต็มที่



รูปที่ 2 การทำเครื่องหมายเปิดกรีดบนต้นยางใหม่

ในการวิจัยได้ทำการศึกษาเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลของตัวขับเร้าเชิงเส้น A จาก 3 สมการคิเนเมติกส์ได้แก่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง สมการโพลีโนเมียลและสมการครึ่งวงกลม ส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลของตัวขับเร้าเชิงเส้น B จะทำการศึกษาจาก 2 สมการคิเนเมติกส์ได้แก่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลและสมการครึ่งวงกลม โดยแยกพิจารณาตำแหน่งเส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละสมการได้ดังนี้

2.2.1 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรง

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้เฉพาะกับตัวขับเร้าเชิงเส้น A เท่านั้น สามารถเขียนสมการของตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

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

เมื่อ

m = ความชันของเส้นตรง

t = เวลาที่พิจารณา (วินาที)

2.2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียล

เส้นทางการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะใช้กับตัวขับเร้าเชิงเส้น A และตัวขับเร้าเชิงเส้น B ซึ่งมีสมการตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ตามลำดับดังนี้

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

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

เมื่อ q = ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้น i (มิลลิเมตร)

V = ความเร็วการเคลื่อนที่ของตัวขับเร้าเชิงเส้น i (มิลลิเมตรต่อวินาที)

K = ค่าสัมประสิทธิ์

จากสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม ในฟังก์ชันที่ราบเรียบ (Smooth Function) ต้องทราบอย่างน้อย 4 เงื่อนไข โดย 2 เงื่อนไขมาจากค่าตำแหน่งเริ่มต้นและค่าตำแหน่งสุดท้าย

$$q(t_0) = q_0$$

$$q(t_f) = q_f$$

ส่วนอีก 2 เงื่อนไขมาจากกรณีฟังก์ชันนั้นต่อเนื่อง

$$v(t_0) = v_0$$

$$v(t_f) = v_f$$

แทนค่าเงื่อนไขทั้ง 4 เงื่อนไข ในสมการที่ (2) และสมการที่ (3) ตันยางพาราจำลองที่ใช้ในการวิจัยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อไม้ 220 มิลลิเมตร และความหนาเปลือกอีกข้างละ 10 มิลลิเมตร ไบมีดกรีดยางแบบหมุนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47.2 มิลลิเมตร จากการออกแบบให้แต่ละแกนของปลายแขนกลทำงานอิสระต่อกันทำให้มีการขจัดเชิงเส้นตามตารางที่ 1

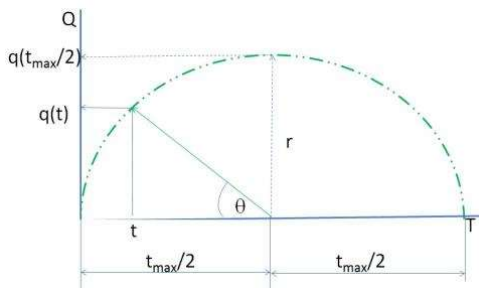
แทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละแกนตามตารางที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k_0, k_1, k_2 และ k_3

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 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลม

เส้นทางเคลื่อนที่ที่รูปแบบนี้จะใช้กับตัวขับเคลื่อน A และตัวขับเคลื่อน B ซึ่งมีสมการตำแหน่งในการเคลื่อนที่ดังนี้



รูปที่ 3 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลม

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

จากรูป

$$\theta = \cos^{-1} [((T_{max}/2)-t)/(T_{max}/2)]$$

เพราะฉะนั้น

$$q(t) = r \sin [\cos^{-1} [((T_{max}/2)-t)/(T_{max}/2)]] \quad (4)$$

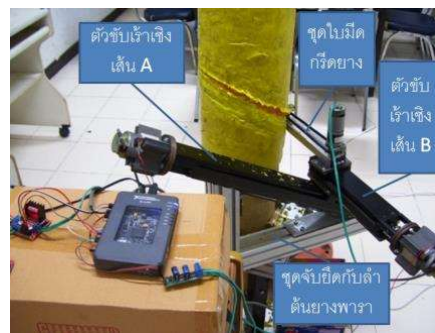
เมื่อ $r =$ รัศมีของต้นยางบวกกับรัศมีของใบมีดของตัวขับเคลื่อน i (มิลลิเมตร)

$\theta =$ การกระจัดเชิงมุมของตัวขับเคลื่อน i (เรเดียน)

3.ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 คินเมติกส์ของปลายแขนกล

ปลายแขนกลกรีดยางพาราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นโครงจับยึดกับต้นยางพาราจะถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งและถอดออกจากต้นยางพาราได้ น้ำหนักน้อยแต่มีความแข็งแรง ส่วนที่สองชุดกลไกการเคลื่อนที่แบบ 2 แกน ปลายแขนกลสามารถสร้างได้จากตัวขับเคลื่อน (Linear Actuator) ที่ต่ออนุกรมกัน ใช้กลไกของเกียร์ย่นำ ร่วมกับบอลสกรูเพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่แบบเลื่อนในระบบพิกัดจาก ตัวขับเคลื่อน A จะวางเอียงเป็นมุม 30° กับแนวนอน ส่วนตัวขับเคลื่อน B จะวางในแนวนอน ประกอบอยู่ด้านบนของชุดจับยึดกับลำต้นยางพารา ต้นกำลังจะใช้มอเตอร์ที่ถูกควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านเอ็นโค้ดเดอร์และส่วนสุดท้ายเป็นชุดใบมีดกรีดยางแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะถูกติดตั้งบนตัวขับเคลื่อน B



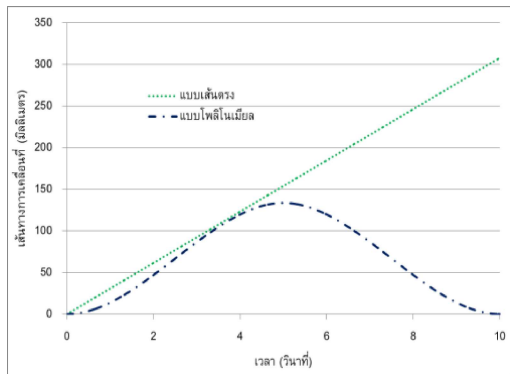
รูปที่ 4 ปลายแขนกลกรีดยางพารา

3.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล

จากการนำสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A ร่วมกับสมการเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ไปเขียนโปรแกรมสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่และโปรแกรมควบคุมปลายแขนกล และเมื่อทำการบอณาณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยาง เวลาที่ใช้ในการกรีด รวมทั้งค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ความหนาเปลือกยาง จำนวนพลัสต์ต่อรอบของเอ็นโค้ดเดอร์ โปรแกรมก็จะแสดงรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B จะได้ทั้งหมดหกรูปแบบ ดังนี้

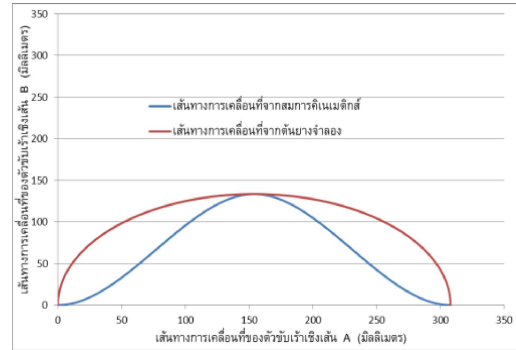
3.2.1 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการโพลีโนเมียล

เมื่อให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล

และเมื่อนำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง

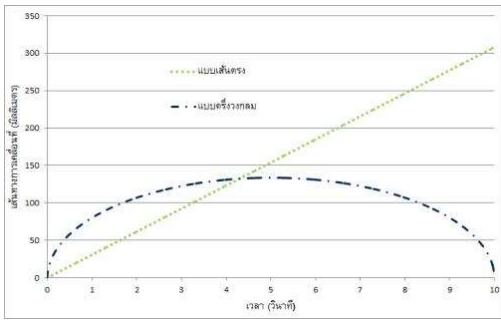


รูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงรวมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

เส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงรีแต่เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการคิเนติกส์มีลักษณะเป็นรูปภูเขาเกิดจากความไม่เหมาะสมของเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ส่งผลทำให้ไม่สามารถเดินตามรอยเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางพาราได้

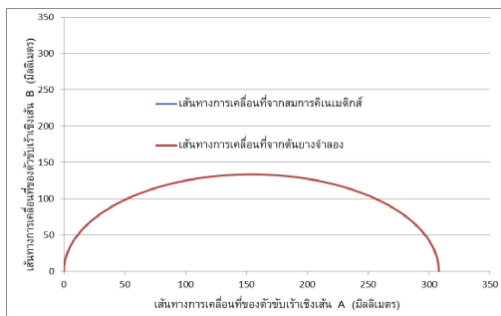
3.2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการเส้นตรงกับสมการครึ่งวงกลม

เมื่อให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและให้ตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมโปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและแบบครึ่งวงกลม

นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของตัวขับเข้าเชิงเส้น A และเส้นทางการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเข้าเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง



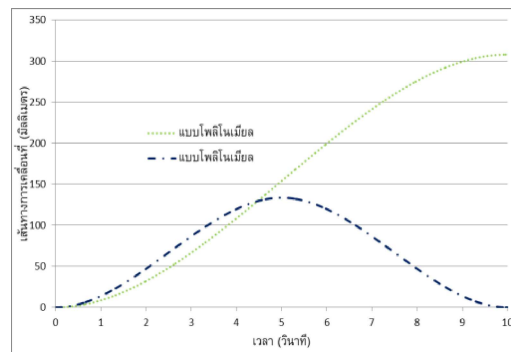
รูปที่ 8 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงรวมกับแบบครึ่งวงกลมเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการคิเนเมติกส์สามารถเดินตามรอยเส้นทางการเคลื่อนที่จากต้น

ยางพาราได้ เกิดจากความถูกต้องของรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวแกน

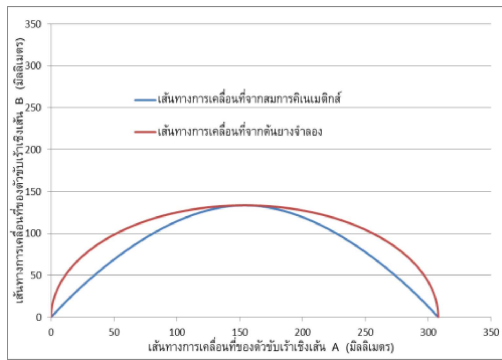
3.2.3 เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกับสมการโพลีโนเมียล

เมื่อให้ตัวขับเข้าเชิงเส้น A และ B มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและแบบโพลีโนเมียล

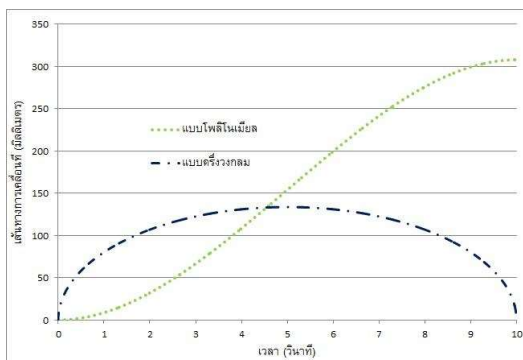
นำเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเข้าเชิงเส้น A และ B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง เส้นทางการเคลื่อนที่จากสมการคิเนเมติกส์จะมีรัศมีน้อยกว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของต้นยางจำลอง ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายที่สามารถเดินตามรอยได้



รูปที่ 10 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโพลีโนเมียลรวมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

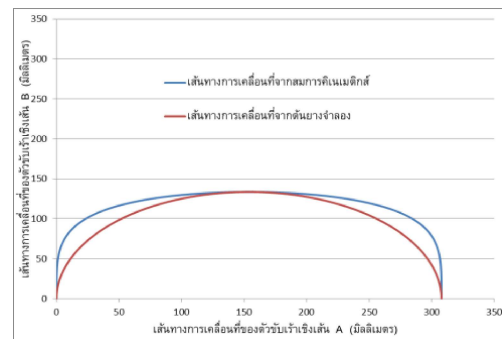
3.2.4 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการโพลีโนเมียลกับสมการครึ่งวงกลม

เมื่อให้ตัวขับเร้าเชิงเส้น A มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลและให้ตัวขับเร้าเชิงเส้น B มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโพลีโนเมียลและแบบครึ่งวงกลม

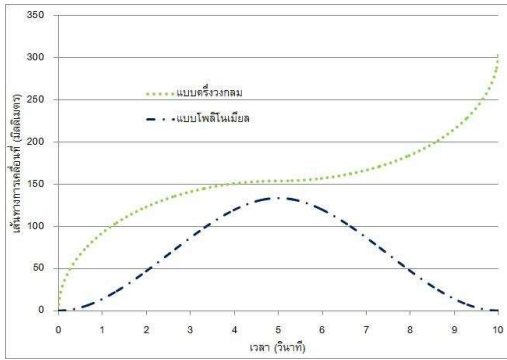
นำเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเร้าเชิงเส้น A และเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง เส้นทางเคลื่อนที่ที่จากสมการคิเนเมติกส์จะมีรัศมีมากกว่าเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นยางจำลอง ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายที่สามารถเดินตามรอยได้



รูปที่ 12 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโพลีโนเมียลรวมกับแบบครึ่งวงกลมเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

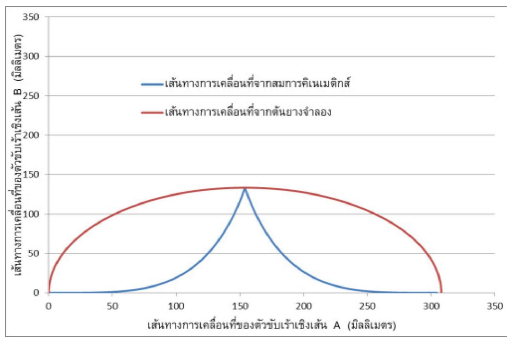
3.2.5 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลมกับสมการโพลีโนเมียล

เมื่อให้ตัวขับเร้าเชิงเส้น A มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมและให้ตัวขับเร้าเชิงเส้น B มีเส้นทางเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียล โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโค้งวงกลมและแบบโพลีโนเมียล

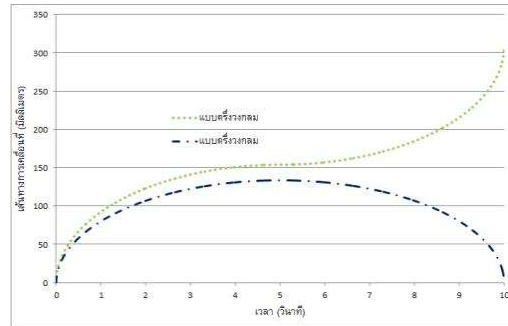
นำเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโค้งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้น A และเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโพลีโนเมียลของตัวขับเร้าเชิงเส้น B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่างเป็นรูปแบบที่ไม่มีดกริดเข้าไปในเนื้อไม้มากที่สุดเกิดจากตัวขับเร้าเชิงเส้น A เคลื่อนที่เร็วแต่ตัวขับเร้าเชิงเส้น B กลับเคลื่อนที่ช้า



รูปที่ 14 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโค้งวงกลมรวมกับแบบโพลีโนเมียลเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

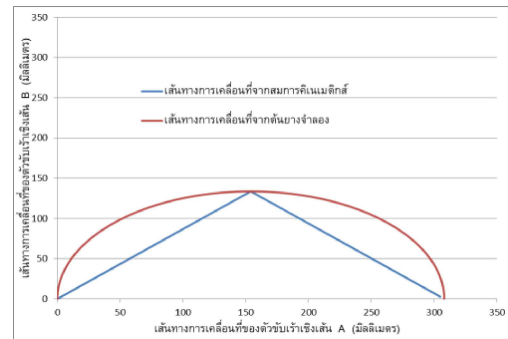
3.2.6 เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการครึ่งวงกลมกับสมการครึ่งวงกลม

เมื่อให้ตัวขับเร้าเชิงเส้น A และ B มีเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบครึ่งวงกลม โปรแกรมจะแสดงเส้นทางเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโค้งวงกลมและแบบครึ่งวงกลม

นำเส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบครึ่งวงกลมของตัวขับเร้าเชิงเส้น A และ B มาเขียนเส้นกราฟรวมกันและนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่ของต้นยางจำลองจะได้ดังรูปด้านล่าง เส้นทางเคลื่อนที่จากสมการคิเนแมติกส์เป็นรูปสามเหลี่ยมเกิดจากตัวขับเร้าเชิงเส้น A เคลื่อนที่เร็ว



รูปที่ 16 เส้นทางเคลื่อนที่ที่แบบโค้งวงกลมรวมกับแบบครึ่งวงกลมเปรียบเทียบกับเส้นทางเคลื่อนที่จากต้นยางจำลอง

4.สรุป

จากผลการวิจัยจะเห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น A ที่สร้างมาจากสมการเส้นตรงได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงร่วมกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น B ที่สร้างมาจากสมการครึ่งวงกลมที่ได้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้มาจากต้นยางจำลองได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ ส่วนรูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่แบบอื่น ๆ สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ได้มาจากต้นยางจำลองได้เฉพาะตำแหน่งเริ่มต้น ตรงกลางและสุดท้ายเท่านั้น

5.เอกสารอ้างอิง

[1] Sengdang Y. Design and Prototyping of the Para rubber Tapping Machine by Using Electrical Motor [MSc thesis]. Nakhonratchasima: Suranaree University of Technology; 2009.

[2] Sengdang Y and et al. Mathematical Modeling of an End-effector Motion for Automatic Para rubber Tapping Machine. Proceedings of the 14th Conference on Thailand Society of Agricultural Engineering; 2013 Apr 1-4; Prachuap Khiri Khan ; 2013.

[3] Sengdang Y and et al. Feedback Controller Design of an End-effector for Automatic Para rubber Tapping Machine. Proceedings of the 15th Conference on Thailand Society of Agricultural Engineering; 2014 Apr 2-4; Ayutthaya; 2014.