



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่สำหรับรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ ด้วยฟังก์ชันโพลิโนเมียล

Trajectory Planning for Autonomous Tractor using Polynomial Function

ธีรวัฒน์ เจเถื่อน พยุงศักดิ์ จุลยุเสน* กวี คงมั่น และ ยงยุทธ์ เสี่ยงดัง

Teerawat J-thaun Payungsak Junyusen* Kawee Khongman and Yongyuth Sengdang

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 30000

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200

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

Agricultural Land Reform Office, Khet Phra Nakhon ,Bangkok, 10200

Received: 11 พ.ย. 59

Accepted: 19 ธ.ค. 59

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางการเคลื่อนที่สำหรับรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ ฟังก์ชันโพลิโนเมียลถูกนำมาใช้ในการสร้างเส้นทางที่ครอบคลุมเงื่อนไขของตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งเป้าหมาย สมรรถนะของระบบออกแบบเส้นทางถูกตรวจสอบโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ระบบออกแบบเส้นทางสามารถนำรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างราบเรียบทั้งกรณีเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและเคลื่อนที่ถอยหลัง อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของมุมเลี้ยวทำให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้

คำหลัก: เส้นทางการเคลื่อนที่, รถแทรกเตอร์อัตโนมัติ, ฟังก์ชันโพลิโนเมียล

Abstract

The objective of this study was to design trajectory for an autonomous tractor. The polynomial equation was employed to generate the trajectory, which fulfilled conditions at both of the initial point and the final point. The performance of the trajectory planner was examined through computer simulation in LabVIEW. Simulation results showed that the planner could steer the tractor

to final position smoothly in both forward and backward movements. However, limitation of steering angle could affect the performance of the planner.

Keywords: Trajectory, Autonomous tractor, Polynomial function

*ติดต่อ: อีเมลล์: payungs@sut.ac.th, โทรศัพท์: 044-224-580, โทรสาร: 044-224-610

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากร การลดลงของพื้นที่เกษตรกรรม และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การทำเกษตรแบบดั้งเดิมที่มีการใช้แรงงานคนหรือสัตว์ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการอาหารและพลังงานที่เพิ่มขึ้นได้ รถแทรกเตอร์จึงถูกนำเข้ามาใช้แทนแรงงานคนและสัตว์ เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิต ลดระยะเวลาการทำงาน และลดการใช้แรงงานด้วย รถแทรกเตอร์ถูกนำมาใช้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตทางการเกษตร ตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การอารักขาพืช การเก็บเกี่ยว ตลอดจนการขนส่งผลผลิต รถแทรกเตอร์จึงถือเป็นต้นกำลังหลักในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม บางสถานการณ์เกษตรกรต้องเผชิญกับอันตรายจากสารเคมีที่มีอยู่ในปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช เพื่อสร้างความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการทำงานให้แก่เกษตรกร จึงมีความพยายามในการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

งานวิจัยเกี่ยวกับแทรกเตอร์อัตโนมัติเกิดขึ้นอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ[1],[2],[3] เพราะว่ามี การนำเอาอุปกรณ์ไฮดรอลิกและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ควบคุมการทำงานของ

เครื่องยนต์ ระบบถ่ายทอดกำลัง และระบบอื่นๆ ของรถแทรกเตอร์มากขึ้น รวมไปถึงการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น เลเซอร์เซ็นเซอร์ กล้องวิดีโอ CCD และระบบระบุพิกัดบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) มาใช้ในการเกษตร ปัจจัยเหล่านี้เอื้ออำนวยต่อการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการสร้างรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ (Autonomous tractor) ได้ง่ายขึ้น

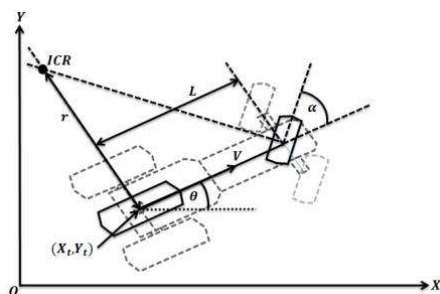
โดยทั่วไประบบนำวิถีสำหรับรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ (guidance system for autonomous tractor) จะประกอบด้วยส่วนออกแบบเส้นทางและส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ไปบนเส้นทาง เส้นทางสามารถถูกสร้างได้ด้วยฟังก์ชันต่างๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์สมการโพลิโนเมียลเป็นฟังก์ชันที่ง่ายและสามารถสร้างเส้นทางได้หลายรูปแบบด้วยการกำหนดค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแต่ละพจน์ จึงมีความสะดวกในการนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเส้นทางของรถแทรกเตอร์อัตโนมัติที่อาจจะมีรูปแบบการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ เช่น เส้นตรง เส้นโค้ง หรือ เส้นทางแบบตัว S เป็นต้น ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางเคลื่อนที่สำหรับรถแทรกเตอร์อัตโนมัติให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียล

สมรรถนะของตัวออกแบบเส้นทางจะถูกทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพของระบบออกแบบจึงทำการพัฒนาโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางที่ออกแบบโดยใช้ฟังก์ชันโพลีโนเมียล และทำการสมมติสถานการณ์เสมือนจริงให้แก่ระบบโดยกำหนดให้มุมเลี้ยวไม่เกินมุมเลี้ยวสูงสุดหรือไม่เกิน 40 องศา

2. วิธีการวิจัย

2.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตร

การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตร เป็นการเคลื่อนที่แบบ น็อนโฮโลโนมิก (Nonholonomic motion) เพราะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของรถนั้นรถไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้โดยตรง ทำให้รถไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทุกทิศทางได้อย่างอิสระ แต่การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของรถนั้นจะขึ้นอยู่กับมุมของการเลี้ยว และความเร็ว ที่ป้อนให้แก่รถ สมมติให้การเคลื่อนที่ของล้อทั้งสี่ไม่เกิดการลื่นไถลรูปที่ 1 ซึ่งมีสมการการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (1) ถึง (4)



รูปที่ 1 แบบจำลองคิเนติกของรถแทรกเตอร์ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = V \cos \theta \quad (1)$$

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = V \sin \theta \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{V \tan \alpha}{L} \quad (3)$$

$$r = \frac{\tan \alpha}{L} \quad (4)$$

เมื่อ X_t คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางเพลาล้อหลังถึงจุด (0,0) บนแกน X (m)

Y_t คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางเพลาล้อหลังถึงจุด (0,0) บนแกน Y (m)

α คือ มุมการหักเลี้ยว (deg)

θ คือ ทิศทางของหน้ารถเทียบกับแกนอ้างอิง X (deg)

L คือ ระยะห่างของล้อหน้าและล้อหลัง (m)

r คือ รัศมีการเลี้ยว (m)

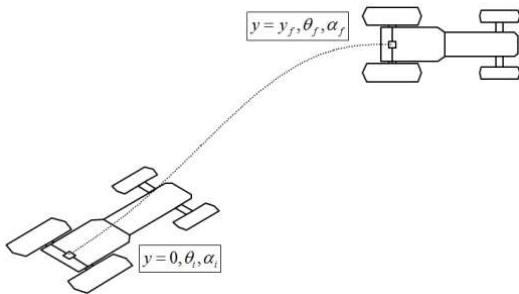
ICR คือ จุดศูนย์กลางวงเลี้ยว (m)

2.2 การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยฟังก์ชันโพลีโนเมียล

เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ มักจะถูกออกแบบให้ขึ้นกับเวลา ทำให้ต้องออกแบบตัวควบคุมการเคลื่อนที่ที่สามารถควบคุมมุมเลี้ยวและความเร็วในการเคลื่อนที่ แต่ในการศึกษานี้ได้ปรับเปลี่ยนเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ให้ขึ้นกับระยะการกระจัด x (ไม่ขึ้นกับเวลา) โดยเมื่อกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ให้คงที่ตัวควบคุมจะควบคุมเฉพาะมุมเลี้ยว ทำให้เกิดความง่ายในการออกแบบตัวควบคุม

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จากตำแหน่งเริ่มต้น x_i, y_i ไปตำแหน่งสุดท้าย x_f, y_f

โดยตำแหน่งเริ่มต้นของรถแทรกเตอร์ จะทราบค่าทิศทางของหน้ารถเริ่มต้น θ_i และมุมการหักเลี้ยวเริ่มต้น α_i และที่ตำแหน่งสุดท้ายของรถแทรกเตอร์ จะทราบค่าทิศทางของหน้ารถสุดท้าย θ_f และมุมการหักเลี้ยวสุดท้าย α_f แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถ

แทรกเตอร์

จากสมการที่ 1 2 และ 3 สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์บนแกน X ได้ตามสมการที่ 5 และ 6

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta \quad (5)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d\theta}{dt} \frac{dt}{dx} = \frac{\tan \alpha}{l \cos \theta} \quad (6)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\tan \alpha}{l \cos^3 \theta} \quad (7)$$

ในกรณีออกแบบเส้นทางสำหรับการเคลื่อนที่ถอยหลัง ค่ามุมเลี้ยวในสมการที่ 7 จะมีทิศทางตรงกันข้าม เพื่อลดความซับซ้อนในการนำเสนอการเคลื่อนที่ทั้งกรณีเดินหน้าและถอยหลัง สมการที่ 7 จึงถูกปรับปรุงเป็นสมการที่ 8

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \pm \frac{\tan \alpha}{l \cos^3 \theta} \quad (8)$$

หากพิจารณาการเคลื่อนที่ตรงตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้ายทำให้ทราบเงื่อนไขของการเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขจากการพิจารณาที่ตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย

ตำแหน่งเริ่มต้น	ตำแหน่งสุดท้าย
$y = 0$	$y = y_f$
$\frac{dy}{dx} = \tan \theta_i$	$\frac{dy}{dx} = \tan \theta_f$
$\frac{d^2 y}{dx^2} = \pm \frac{\tan \alpha_i}{l \cos^3 \theta_i}$	$\frac{d^2 y}{dx^2} = \pm \frac{\tan \alpha_f}{l \cos^3 \theta_f}$

สมการโพลิโนเมียลถูกนำมาใช้ในการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ เนื่องจากมี 6 เงื่อนไขจากการพิจารณาที่ตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย ดังนั้นสมการโพลิโนเมียลลำดับที่ห้าเพียงพอในการสร้างเส้นทาง แต่เพื่อให้การหักเลี้ยวมีความราบเรียบขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้สมการโพลิโนเมียลลำดับที่หก

สมการโพลิโนเมียล

$$y = \frac{a}{x_f} x + \frac{b}{x_f^2} x^2 + \frac{c}{x_f^3} x^3 + \frac{d}{x_f^4} x^4 + \frac{e}{x_f^5} x^5 + \frac{f}{x_f^6} x^6 \quad (9)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a}{x_f} + \frac{2b}{x_f^2} x + \frac{3c}{x_f^3} x^2 + \frac{4d}{x_f^4} x^3 + \frac{5e}{x_f^5} x^4 + \frac{6f}{x_f^6} x^5 \quad (10)$$

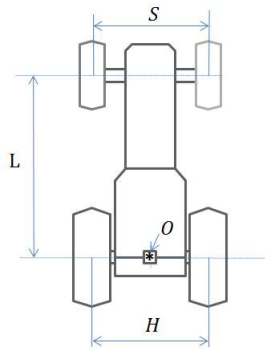
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{2b}{x_f^2} + \frac{6c}{x_f^3} x + \frac{12d}{x_f^4} x^2 + \frac{20e}{x_f^5} x^3 + \frac{30f}{x_f^6} x^4 \quad (11)$$

เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์และค่าตัวแปรของสมการโพลิโนเมียลแล้ว สามารถหามุมเลี้ยวได้จากสมการที่(12)

$$\alpha = \tan^{-1} \left(l \cos^3 \theta \left(\pm \left(\frac{2b}{x_f^2} + \frac{6c}{x_f^3} x + \frac{12d}{x_f^4} x^2 + \frac{20e}{x_f^5} x^3 + \frac{30f}{x_f^6} x^4 \right) \right) \right) \quad (12)$$

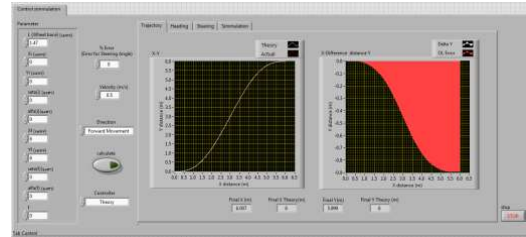
2.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางที่ออกแบบโดยใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียล

การแสดงผลพฤติกรรมของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางการเคลื่อนที่ ได้ทำการสร้างแบบจำลองรูปลักษณะสองมิติของรถแทรกเตอร์เกษตรขึ้น[4] แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปลักษณะสองมิติของรถแทรกเตอร์เกษตร

เมื่อสร้างโปรแกรมออกแบบเส้นทางโดยใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลและโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตร ต่อมาได้นำแบบจำลองรถแทรกเตอร์เกษตรมาจำลองสถานการณ์การเคลื่อนที่บนเส้นทางที่ออกแบบโดยใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลเพื่อดูพฤติกรรมของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางที่ออกแบบไว้ และทำการออกแบบหน้าจอแสดงผลข้อมูล และรับค่าข้อมูลจากผู้ใช้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผล

2.4 การกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสถานการณ์

จากพารามิเตอร์ที่มีผลต่อเส้นทาง เมื่อค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนไป เส้นทางการเคลื่อนที่ก็เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ผู้ใช้งานให้แก่โปรแกรม ในการจำลองสถานการณ์เพื่อดูการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางการเคลื่อนที่นั้นได้ทำการสมมติให้ค่าพารามิเตอร์มีค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขของการจำลองสถานการณ์

ตัวแปร	กรณี	
	เดินทาง	ถอยหลัง
ΔT_k	0.01 s	0.01 s
X_i	0	0
Y_i	0	0
θ_i	0°	180°
α_i	0	0
X_f	5 m	5 m
Y_f	5 m	5 m
θ_f	0°	180°
α_f	0	0
f	0	0
V	0.5 m s ⁻¹	-0.5 m s ⁻¹
L	1.47 m	1.47 m

จากตารางที่ 2 แบ่งการจำลองสถานการณ์ออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและกรณีรถเคลื่อนที่ถอยหลัง สมมติตำแหน่งเป้าหมายไว้ที่พิกัด (5,5) เมตร โดยทั้งสองกรณีมีกรณีย่อยดังนี้

1. Theoretical คือเส้นทาง ทิศทางหน้ารถและมุมเลี้ยวตามทฤษฎี

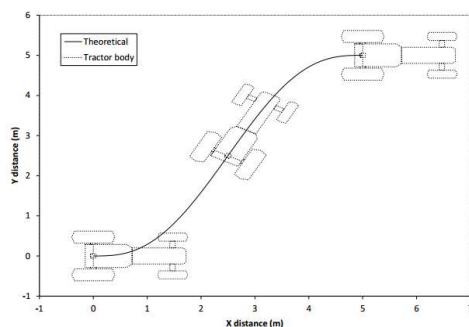
2. Open loop คือจำลองสถานการณ์โดยป้อนมุมเลี้ยวตามทฤษฎีให้แก่ Kinematic model ของรถแทรกเตอร์

3. Open loop & Max steering 40 deg. คือ จำลองสถานการณ์โดยป้อนมุมเลี้ยวตามทฤษฎีที่มีข้อจำกัดของมุมเลี้ยวไม่เกินมุมเลี้ยวสูงสุดหรือไม่เกิน 40 องศา ให้แก่ Kinematic model ของรถแทรกเตอร์

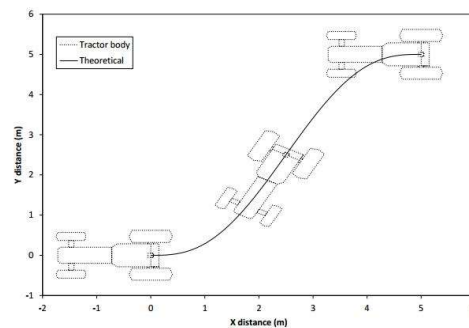
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์

จากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะเห็นพฤติกรรมของรถแทรกเตอร์เกษตรบนเส้นทางการเคลื่อนที่ จะเห็นว่ารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้ากับเคลื่อนที่ถอยหลังเส้นทางการเคลื่อนที่เหมือนกัน แต่ทิศทางหน้ารถทั้งสองจะทำมุมกัน 180 องศา



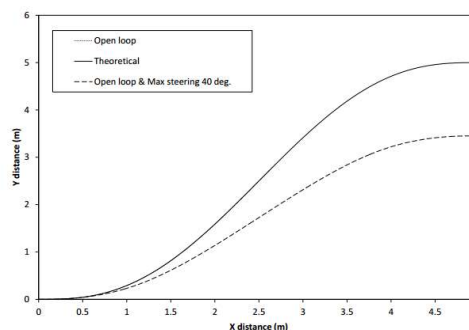
รูปที่ 5 พฤติกรรมขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของรถแทรกเตอร์เกษตรจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไปจุดเป้าหมาย (5,5) เมตร



รูปที่ 6 พฤติกรรมขณะเคลื่อนที่ถอยหลังของรถแทรกเตอร์เกษตรจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไปจุดเป้าหมาย (5,5) เมตร

3.2 เส้นทางการเคลื่อนที่

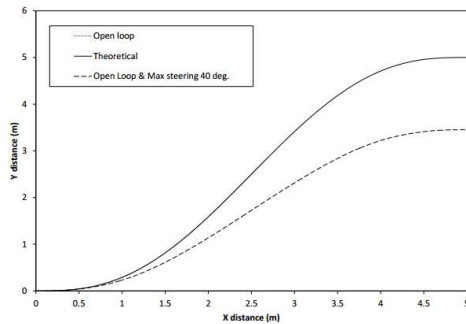
จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 จะเห็นว่าเมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและเคลื่อนที่ถอยหลัง แต่ละกรณีมีเส้นทางเหมือนกัน เส้นทางกรณี Open loop มีเส้นทางการเคลื่อนที่เกือบทับกันพอดีกับเส้นทางกรณี Theoretical เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ว่าเส้นทางจะไม่ทับกันพอดี เนื่องมาจากการผิดพลาดของการคำนวณเชิงตัวเลข ส่วนเส้นทางกรณี Open loop & Max steering 40 deg. ไปไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้ มีความคลาดเคลื่อนในแนวแกน Y เท่ากับ 1.55 เมตร



รูปที่ 7 เปรียบเทียบเส้นทางของรถแทรกเตอร์เกษตรเมื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไปจุดเป้าหมาย (5,5) เมตร

3.3 ทิศทางของรถแทรกเตอร์

จากเงื่อนไขในการจำลองสถานการณ์ที่กำหนดว่าทิศทางหน้ารถเริ่มต้น และทิศทาง

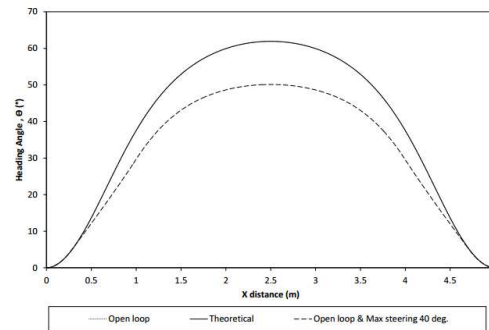


รูปที่ 8 เปรียบเทียบเส้นทางของรถแทรกเตอร์เกษตรเมื่อเคลื่อนที่ถอยหลังจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไป จุดเป้าหมาย (5,5) เมตร

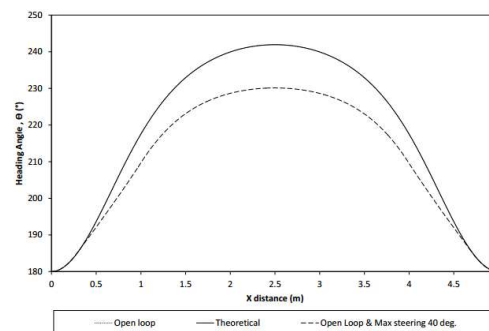
หน้ารถสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 0 องศาและ 180 องศา จากการจำลองพบว่าทิศทางหน้ารถสุดท้ายของกรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในทุกกรณีมีค่าประมาณ 0 องศา ดังแสดงในรูปที่ 9 ในกรณีที่รถถอยหลังได้กำหนดทิศทางหน้ารถเริ่มต้นที่ 180 องศา เพื่อให้รถหันท้ายเข้าสู่เส้นทาง พร้อมทั้งที่จะเคลื่อนที่ถอยหลัง จากการจำลองพบว่าทิศทางหน้ารถสุดท้ายของกรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ถอยหลังในทุกกรณีมีค่าประมาณ 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 10

3.4 มุมเลี้ยวของรถแทรกเตอร์

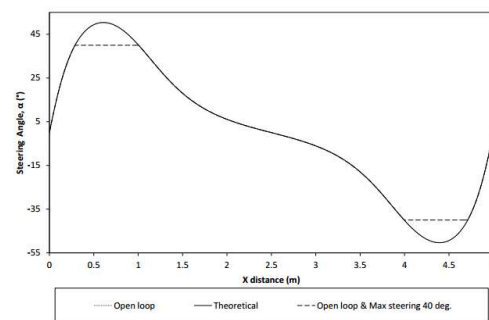
จากผลการจำลองพบว่ามุมเลี้ยวของรถแทรกเตอร์ทั้งกรณีรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและกรณีรถเคลื่อนที่ถอยหลัง จะมีมุมเลี้ยวที่ตรงข้ามกันเสมอในภาพสะท้อนในทุกกรณี แสดงดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12 กรณีมุมเลี้ยวรถกรณี Open loop & Max steering 40 deg. จากรูปจะเห็นว่ามุมเลี้ยวถูกกำหนดให้ไม่เกิน 40 องศา



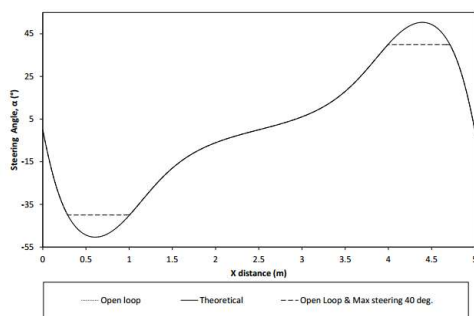
รูปที่ 9 เปรียบเทียบทิศทางของรถแทรกเตอร์เกษตรขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไป จุดเป้าหมาย (5,5) เมตร



รูปที่ 10 เปรียบเทียบทิศทางของรถแทรกเตอร์เกษตรขณะเคลื่อนที่ถอยหลังจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไป จุดเป้าหมาย (5,5) เมตร



รูปที่ 11 เปรียบเทียบมุมเลี้ยวของรถแทรกเตอร์เกษตรขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร ไป จุดเป้าหมาย (5,5) เมตร



รูปที่ 12 เปรียบเทียบมุมเลี้ยวของรถแทรกเตอร์
เกษตรขณะเคลื่อนที่ถอยหลังจากจุดเริ่มต้น (0,0)
เมตร ไป จุดเป้าหมาย (5,5) เมตร

4. สรุป

สมการโพลิโนเมียลถูกนำมาใช้ในการสร้าง
เส้นทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ เมื่อจำลอง
สถานการณ์ให้รถเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (0,0) เมตร
ไปจุดเป้าหมาย (5,5) เมตร พบว่า รถแทรกเตอร์
สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่าง
ราบเรียบทั้งกรณีเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและเคลื่อนที่
ถอยหลัง เมื่อจำลองสถานการณ์โดยป้อนมุมเลี้ยว
ตามทฤษฎีที่มีข้อจำกัดของมุมเลี้ยวไม่เกินมุมเลี้ยว
สูงสุดให้แก่ ระบบทำให้รถไปไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้
มีความคลาดเคลื่อนใน แนวแกน Y เท่ากับ
1.55 เมตร

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัย
แห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการ
ทำวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีรวัดณ์ เจเถื่อน, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, ครธา วาท
กิจ, จริญญาศักดิ์ สมพงษ์. การจำลองระบบ
ออกแบบเส้นทางของรถแทรกเตอร์อัตโนมัติ
เพื่อการเลี้ยวกลับรถที่หัวแปลง.การประชุม
วิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17, 8-10 กันยายน
2559, กรุงเทพฯ; 2559.
- [2] Keicher R, Seufert H. Automatic guidance
for agricultural vehicles in Europe.
Computers and Electronics in Agriculture.
2000; 25 (1-2), 169–194.
- [3] Reid JF, Zhang Q, Noguchi N, Dickson M.
Agricultural automatic guidance
research in North America. Computers
and Electronics in Agriculture. 2000; 25
(1-2), 155–167.
- [4] Torii T. Research in autonomous
agriculturevehicles in Japan.
Computers and Electronics in
Agriculture. 2000; 25 (1-2), 133–153.