ออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ
สำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

นายอัครชัย โกสิยานุรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2567

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTONOMOUS NAVIGATION VEHICLE FOR CHAFF TURNING IN CHICKEN HOUSE

AKKHARACHAI KOSIYANURAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2024

ออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ
สำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)
ประธานกรรมการ

.....
(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....
(ผศ. ดร.โศรฎา แข็งการ)
กรรมการ

.....
(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

.....
(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อัครชัย โกสิยานุรักษ์: ออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ (DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTONOMOUS NAVIGATION VEHICLE FOR CHAFF TURNING IN CHICKEN HOUSE)
อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 91 หน้า

คำสำคัญ: การนำทางแบบอัตโนมัติ/ การพลิกกลับแกลบ/ ระบบขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล/ โมดูล ESP32 ร่วมกับระบบระบุตำแหน่งแบบอัลตราไวด์แบนด์ (UWB)/ การระบุตำแหน่งด้วยวิธีไตรลาเทอเรชัน/ การควบคุมแบบพีไอดี (PID)

ในปัจจุบันมีการเลี้ยงไก่เนื้อในประเทศไทยมีจำนวนมากกว่า 300 ล้านตัว โดยการผลิตและจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโดยการใช้สารชีวภาพที่ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพของไก่เนื้ออย่างไรก็ตามการเลี้ยงไก่เนื้อก็ต้อง พบปัญหาที่มีความซับซ้อนเกี่ยวกับการจัดการโรค การควบคุมสิ่งแวดล้อม หรือการจัดการอาหารให้เหมาะสม ซึ่งปัญหาประการหนึ่งคือการเกิดแก๊สแอมโมเนีย เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดโรคจากการควบคุมสิ่งแวดล้อม โดยเกิดจากความชื้นในวัสดุรองของพื้นที่เลี้ยงทำให้เกิดการหมักของวัสดุ เป็นสาเหตุให้แบคทีเรียกลุ่ม Ammonifying bacteria จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว และจะย่อยสารอินทรีย์จำพวกไนโตรเจนจากสารอาหารจำพวกโปรตีนในเศษอาหารที่หกหล่นและจากมูลไก่ในรูปของกรดยูริกทำให้เกิดเป็นแก๊สแอมโมเนีย ในฟาร์มเลี้ยงไก่แก๊สแอมโมเนียภายในฟาร์มต้องไม่เกิน 25 ppm ถ้าค่าของแก๊สเกินระดับจะส่งผลต่อไก่ โดยทำให้ไก่แสดงอาการป่วยของระบบทางเดินหายใจ และระบบผิวหนังมากขึ้น เป็นผลให้ไก่กินอาหารลดลง น้ำหนักจับขายต่ำกว่าเป้าหมาย คุณภาพเนื้อไก่ไม่ดี ในการแก้ไขปัจจุบันที่จะทำให้พื้นไม่มีความชื้นหรือมีความชื้นน้อยที่สุดในฟาร์ม ปัจจุบันใช้มนุษย์เข้าไปพลิกแกลบหรือการพรวนวัสดุรองของพื้นที่ และถ้าแก๊สแอมโมเนียเกินระดับที่มนุษย์รับได้จะได้รับอันตรายได้เช่นกัน งานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในระบบฟาร์ม ดังนั้น จึงออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติในโรงเลี้ยงไก่ เป็นรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติที่ทำการพรวนวัสดุรองของพื้นที่ในโรงเลี้ยงไก่ เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากแก๊สแอมโมเนีย นอกจากนี้ การลดความเสี่ยงต่อมนุษย์ที่อาจต้องเข้าไปดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่มีแก๊สแอมโมเนียมากเกินไป และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของไก่เนื้อ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา .....อัครชัย.....

ปีการศึกษา 2567 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

AKKHARACHAI KOSIYANURAK: DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTONOMOUS NAVIGATION VEHICLE FOR CHAFF TURNING IN CHICKEN HOUSE ADVISOR: ASSOC PROF. JIRAPHON SRISERTPHOL, Ph.D., 91 PP.

Keyword: AUTOMATED NAVIGATION/ CHAFF TURNING/ DIFFERENTIAL DRIVE SYSTEM/ ESP32 UWB/ TRILATERATION POSITIONING/ PID CONTROL

Currently, Thailand raises over 300 million broiler chickens annually, both for domestic consumption and international export, continuously seeking enhancements in production efficiency through biological agents aimed at mitigating poultry health issues. However, broiler chicken production faces complex challenges in disease management, environmental control, and nutrition management, particularly concerning ammonia gas accumulation resulting from excessive moisture in bedding materials. These conditions promote rapid growth of ammonifying bacteria, metabolizing proteins from spilled feed and uric acid in chicken manure, thus producing ammonia gas. Poultry housing regulations require ammonia concentrations to remain below 25 ppm to avoid significant health impacts, including respiratory and dermatological conditions, reduced feed consumption, lower market weights, and poorer meat quality. Current manual bedding management practices expose workers to hazardous ammonia levels; hence, this research introduces an autonomous navigation vehicle designed for automated chaff turning, effectively reducing ammonia production, minimizing human risk, and improving overall broiler production efficiency.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2024

Student's Signature Akkharachai.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ทั้งในด้านทฤษฎี ด้านองค์ความรู้ และด้านการดำเนินงานวิจัย และยังเป็นตัวอย่างในการใช้ชีวิตทางด้านการให้ ความพากเพียร และความอดทนอดกลั้น ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณท่านเป็นอย่างสูง และจะนำเอาวิชาความรู้และการดำรงชีวิตไปประยุกต์ใช้กับการทำงานในภายภาคหน้าต่อไป

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้คำสั่งสอน คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในกลุ่มวิจัย System and Control Engineering Laboratory ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาทั้งด้านงานวิจัยและการดำรงชีวิต

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมเกียรติ คุณแม่ชัญญ์ญาณ์ สมาชิกครอบครัวโกสิยานุรักษ์ และครอบครัวปานกลางรวิพันธุ์ ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูด้วยความรัก ความอบอุ่น อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี กตัญญูรู้คุณ ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา และคอยสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน จนกระทั่งผู้วิจัยประสบความสำเร็จตลอดมา

อัครชัย โกสิยานุรักษ์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

อักษรย่อ

R_r	คือ	แรงต้านการหมุนของล้อ (N)
K_r	คือ	สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ
m_{car}	คือ	มวลของรถ (kg)
M_t	คือ	มวลของรถรวมกับมวลของน้ำหนักที่บรรทุก (kg)
m_{load}	คือ	มวลของน้ำหนักที่บรรทุก (kg)
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
T	คือ	แรงต้านเนื่องจากการหมุนของล้อรถ (N)
R_a	คือ	แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ (N)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
V^2	คือ	ความเร็ว (m/s)
A	คือ	พื้นที่ (m^2)
R_g	คือ	แรงต้านเนื่องจากความชัน (N)
G	คือ	ความชันในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)
P_e	คือ	กำลังของมอเตอร์ (W)
F	คือ	แรงต้านทั้งหมด (N)
η_t	คือ	ประสิทธิ์ภาพการถ่ายทอด (%)
E_p	คือ	พลังงาน (W)
V_P	คือ	แรงดันไฟฟ้า (V)
I_P	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)
θ	คือ	มุมที่เลี้ยวได้ (°)
S_0	คือ	ระยะจากจุดหมุนถึงล้อนอกสุด (m)
r	คือ	ระยะจากจุดหมุนถึงล้อในสุด (m)
b	คือ	ระยะล้อด้านขวาถึงล้อด้านซ้าย (m)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันมีการเลี้ยงไก่เนื้อในประเทศไทยมีจำนวนมากกว่า 300ล้านตัว (ข้อมูลจากกรมปศุสัตว์ไก่เนื้อ ปี2566) โดยการผลิตและจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศ การเลี้ยงไก่เนื้อในปัจจุบันได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตทั้งในด้านการปรับปรุงสายพันธุ์ และใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงที่สั้นลง ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยการใช้สารชีวภาพที่ช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพของไก่เนื้อ

รูปที่ 1.1 โรงเลี้ยงไก่ที่ปูแกลบผสม

ที่มา: www.consumerthai.org

อย่างไรก็ตามการเลี้ยงไก่เนื้อก็มักจะพบปัญหาที่มีความซับซ้อนเกี่ยวกับการจัดการโรค การควบคุมสิ่งแวดล้อม หรือการจัดการอาหารให้เหมาะสม ซึ่งปัญหาประการหนึ่งคือการเกิดแก๊สแอมโมเนีย เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดโรคจากการควบคุมสิ่งแวดล้อม โดยเกิดจากความชื้นในวัสดุรองของพื้นที่เลี้ยงทำให้เกิดการหมักของวัสดุ (สพ.ญ.ชลธิดา บรรเทากุล บริษัท เอเชีย สตาร์ แอน

นิมัล เฮลธ์ จำกัด) เป็นสาเหตุให้แบคทีเรียกลุ่ม Ammonifying bacteria เช่น Pseudomonas และ Proteus จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว และจะย่อยสารอินทรีย์จำพวกไนโตรเจนจากสารอาหารจำพวกโปรตีนในเศษอาหารที่หกหล่นและจากมูลไก่ในรูปของกรดยูริกทำให้เกิดเป็นแก๊สแอมโมเนีย (Budiarto et al., 2020) ในฟาร์มเลี้ยงไก่แก๊สแอมโมเนียภายในฟาร์มต้องไม่เกิน 25 ppm ถ้าค่าของแก๊สเกินระดับจะส่งผลต่อไก่ โดยทำให้ไก่แสดงอาการป่วยของระบบหายใจและระบบผิวหนังมากขึ้น เป็นผลให้ไก่กินอาหารลดลงน้ำหนักจับขายต่ำกว่าเป้าหมายคุณภาพเนื้อไก่ไม่ดี ในการแก้ไขปัจจุบันที่จะทำให้พื้นไม่มีความชื้นหรือมีความชื้นน้อยที่สุดในฟาร์ม ปัจจุบันใช้มนุษย์เข้าไปพลิกแกลบหรือการพรวนวัสดุรองของพื้นที่ และถ้าแก๊สแอมโมเนียเกินระดับที่มนุษย์รับได้จะได้รับอันตรายได้เช่นกัน

งานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในระบบฟาร์มดังนั้นจึงออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติในโรงเลี้ยงไก่เป็นรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติที่ทำการพรวนวัสดุรองของพื้นที่ในโรงเลี้ยงไก่เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากแก๊สแอมโมเนียนอกจากนี้การลดความเสี่ยงต่อมนุษย์ที่อาจต้องเข้าไปดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่มีแก๊สแอมโมเนียมากเกินไปและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของไก่เนื้อ

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานของรถแบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตและข้อตกลงงานวิจัย

1. ขนาดรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการออกแบบมีขนาดความกว้าง 0.5 เมตร ความยาว 0.5 เมตร และสูง 0.3 เมตร ความเร็วของรถอยู่ที่ 0.2-0.5 เมตรต่อวินาที
2. เวลาทำงานต่อรอบ 20 นาทีต่อ 1 รอบการการชาร์จ
3. การชาร์จแบบระบบหน้าสัมผัส
4. อุปกรณ์พลิกแกลบใช้ผานไถ่หรือลูกกลิ้งสำหรับพรวนดิน
5. ขนาดโรงเลี้ยงที่ใช้ในการออกแบบมีขนาดความกว้าง 24 เมตร ความยาว 105 เมตร และสูง 5 เมตร ตั้งอยู่ที่จังหวัดบุรีรัมย์
6. การขับเคลื่อนแบบ Differential Drive
7. การควบคุการทำงานผ่านอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์
8. การป้องกันการชนโดยใช้เซ็นเซอร์ ultrasonic

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยจากวารสารหนังสือ เอกสารต่าง ๆ ที่เชื่อถือได้ ได้แก่ ทฤษฎีการคำนวณหากำลังมอเตอร์ ทฤษฎีการเลี้ยวของรถ ผลเสียของก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในโรงเลี้ยง และทฤษฎีการควบคุม
2. ศึกษาโครงสร้างและออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้
3. งานในโรงเลี้ยงไก่และแบบจำลองโครงสร้างความแข็งแรง
4. สร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ
5. ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ใช้ในการทำงาน
6. นำพารามิเตอร์ต่างๆทำหาการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
7. ทำการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์
8. ทำการทดลองเพื่อการรับส่งข้อมูลไร้สายและการควบคุมรถ
9. ออกแบบการทดลองเพื่อเก็บผลจากรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่
10. วิเคราะห์และสรุปผล
11. จัดทำเอกสารและรายงานการวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

1. บอร์ดควบคุม Arduino DUE
2. บอร์ด ESP32 UWB
3. มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 200 วัตต์
4. Encoder
5. Ultrasonic Sensor
6. โปรแกรม MATLAB 2022 ในส่วนของ Simulink สำหรับสร้างการจำลองการทำงาน
7. ของตัวควบคุมที่ออกแบบและใช้ทดสอบกับชุดทดสอบจริง
8. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดความชื้นและแก๊สแอมโมเนียในโรงเลี้ยงไก่ได้
2. ลดการเกิดโรคทางเดินหายใจและโรคผิวหนังของไก่
3. ไก่สุขภาพดีได้น้ำหนักตามเป้าหมาย
4. สามารถลแรงงานคนในการพลิกแกลบลงได้
5. สามารถเพิ่มการออกกำลังกายให้ไก่เพื่อให้สามารถกินอาหารได้มากขึ้น

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติและการออกแบบระบบควบคุมที่นำมาใช้ในในการขับเคลื่อนของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ระดับแอมโมเนียภายในโรงเลี้ยง การลดแอมโมเนียในโรงเลี้ยง และผลกระทบของแอมโมเนีย
2. การออกแบบและคำนวณของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ
3. การคำนวณพลังของทั้งหมดของรถซึ่งจะนำมาขนาดของแบตเตอรี่
4. ระบบขับเคลื่อนและการเลี้ยว
5. ระบบควบคุม
6. ประเภทแผนที่ต่าง ๆ
7. การสื่อสารไร้สายผ่าน WI-FI

2.1 ความเป็นมาโดยรวมของไก่เนื้อเชิงพาณิชย์

อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ทั้งในด้านจำนวนฟาร์มและปริมาณการส่งออกเนื้อไก่ อันเป็นผลจากความต้องการโปรตีนที่เพิ่มขึ้นทั้งในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ปัจจัยสำคัญที่เอื้อให้อุตสาหกรรมดังกล่าวเติบโตอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ การพัฒนาสายพันธุ์ไก่เนื้อเชิงพาณิชย์ โดยบริษัทผู้ปรับปรุงพันธุกรรมขนาดใหญ่ได้ดำเนินงานวิจัยและคัดเลือกสายพันธุ์อย่างเข้มงวด ส่งผลให้ได้สายพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการใช้อาหาร และให้เนื้อส่วนต่าง ๆ ในสัดส่วนที่ตลาดต้องการ

สำหรับประเทศไทย สายพันธุ์ไก่เนื้อที่ได้รับความนิยมเป็นหลัก ได้แก่ Ross, Cobb, Arbor Acres, Hubbard และ Avian ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าหรือพัฒนาต่อจากบริษัทต้นสังกัดในต่างประเทศ ทั้งนี้ สายพันธุ์ Ross และ Cobb เป็นที่พบได้บ่อยในฟาร์มขนาดใหญ่ เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีอัตราแลกเนื้อ (FCR) ต่ำ สายพันธุ์ Arbor Acres ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับ Ross มีข้อดีในด้านความแข็งแรงและการปรับตัวได้ดีต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ขณะที่ Hubbard ซึ่งพัฒนาจากประเทศฝรั่งเศส มีสายพันธุ์ย่อยหลายรูปแบบ ให้ผู้เลี้ยงสามารถเลือกใช้ได้ตามความ

เหมาะสมของระบบฟาร์มและสภาพอากาศ ในขณะที่ Avian เป็นอีกหนึ่งสายพันธุ์ที่ให้ความสำคัญกับการเติบโตเร็วและการผลิตเนื้อในปริมาณที่สม่ำเสมอ การตัดสินใจเลือกสายพันธุ์ของเกษตรกรและผู้ประกอบการมักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นสภาพภูมิอากาศ การจัดการโภชนศาสตร์ รวมถึงความต้องการของตลาด ทั้งตลาดในประเทศที่นิยมบริโภคเนื้ออกหรือชิ้นส่วนเฉพาะ และตลาดต่างประเทศที่ให้ความสำคัญกับคุณภาพและมาตรฐานการเลี้ยงที่เข้มงวด เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ปลอดภัยและมีคุณภาพสูง นอกจากนี้ การใช้โรงเรือนแบบปิด (Evap) ซึ่งมีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพ ยังมีส่วนสนับสนุนการเลี้ยงไก่เนื้อเชิงพาณิชย์ที่เติบโตเร็ว ได้แก่ Ross และ Cobb ขณะที่ผู้ผลิตบางรายอาจเลือกใช้สายพันธุ์ที่มีความยืดหยุ่นสูง เช่น Hubbard หรือ Arbor Acres เพื่อรับมือกับความผันผวนของสภาพอากาศ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในการเลี้ยงไก่เนื้อในระยะยาว

รูปที่ 2.1 ไก่พันธุ์ ross 308 และการจำแนกเพศ

ที่มา: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_PS

2.1.1 การอนุบาลและจัดการลูกไก่ (Brooding Management)

กระบวนการเลี้ยงไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 เริ่มต้นตั้งแต่การอนุบาลลูกไก่แรกเกิด (Day-old chicks) ซึ่งเป็นช่วงสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในระยะต่อมา ผู้เลี้ยงจะต้องควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือนให้อยู่ในช่วงที่ลูกไก่สบาย โดยใช้ฮีตเตอร์หรือเครื่องควบคุมอุณหภูมิ การวางไฟกก (Brooder) อย่างเหมาะสม และรักษาความหนาแน่นของลูกไก่

ตามมาตรฐาน นอกจากนี้ ต้องจัดเตรียมน้ำและอาหารสูตรอนุบาล (Pre-starter feed) ที่มีโปรตีนและพลังงานสูง เพื่อให้ลูกไก่ได้รับสารอาหารที่เพียงพอตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ช่วงอนุบาลยังต้องให้ความใส่ใจในการตรวจเช็กระบบน้ำดื่ม (Water line) และทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรค การฉีดวัคซีนพื้นฐาน เช่น วัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (ND) และโรคหลอดลมอักเสบติดต่อ (IB) ในบางกรณี อาจมีการหยดวัคซีนหรือผสมวัคซีนลงในน้ำดื่ม ซึ่งเป็นอีกแนวทางในการป้องกันโรคระบาดในลูกไก่ด้วย

2.1.2 การจัดการโภชนาการ (Nutrition Management)

ไก่ Ross 308 มีอัตราการเจริญเติบโตสูง จึงต้องการโภชนาการที่สมดุลระหว่างโปรตีน พลังงาน แร่ธาตุ และวิตามินในปริมาณที่เหมาะสม สูตรอาหารสำหรับไก่เนื้อจะแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ เช่น อาหารระยะ Pre-starter, Starter, Grower และ Finisher โดยแต่ละระยะจะปรับสัดส่วนของสารอาหารให้เหมาะสมกับอัตราการเจริญเติบโตและความต้องการของร่างกายไก่

1. Pre-starter/Starter: โปรตีนค่อนข้างสูง (เช่น 21-23%) และพลังงานเพียงพอ เพื่อให้ไก่ช่วงแรกสร้างกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกที่แข็งแรง
2. Grower: ลดสัดส่วนโปรตีนลงเล็กน้อยแต่ยังคงระดับพลังงาน เพื่อให้การเจริญเติบโตต่อเนื่องสมดุล
3. Finisher: ลดสัดส่วนโปรตีนลงอีกเล็กน้อย และเพิ่มความสมดุลของพลังงาน เพื่อให้ไก่พัฒนาเป็นซากที่มีคุณภาพ

การใช้อาหารที่มีคุณภาพดีและปราศจากสิ่งปนเปื้อนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากไก่ได้รับสารพิษตกค้างหรือเชื้อราจากวัตถุดิบอาหาร จะกระทบต่อสุขภาพและลดอัตราการเจริญเติบโต ในปัจจุบัน ฟาร์มขนาดใหญ่หลายแห่งในประเทศไทย เริ่มให้ความสำคัญกับมาตรฐานอาหาร เช่น การผลิตอาหารตามหลัก GMP (Good Manufacturing Practice) และ HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) เพื่อให้มั่นใจได้ถึงคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

2.1.3 การจัดการโรงเรือน (Housing and Environment Management)

การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ Ross 308 แสดงศักยภาพได้สูงสุด โรงเรือนมักถูกออกแบบเป็นแบบปิด (Evaporative Cooling System) หรือ “Evap” ซึ่งมีผนังและเพดานที่ป้องกันความร้อนจากภายนอก รวมถึงพัดลมและแผงรังผึ้ง (Cooling Pad) ที่ช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน นอกจากนี้ ยังมีระบบระบายอากาศ (Ventilation) ที่ดี ทำให้ก๊าซแอมโมเนียหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมได้น้อยลง ส่งผลให้ไก่ไม่เครียดและมีสุขภาพแข็งแรงการควบคุมความหนาแน่นของไก่ (Stocking Density) ให้เหมาะสมเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อ

สุขภาพไก่ หากแน่นเกินไป ไก่อาจเกิดความเครียด เพิ่มโอกาสในการแพร่กระจายเชื้อโรค และเกิดอาการเจ็บเท้า (Footpad Dermatitis) อีกทั้งยังต้องบริหารจัดการแสงสว่าง (Lighting Program) ให้เพียงพอและเหมาะสมกับช่วงอายุของไก่ โดยทั่วไปในระบบอุตสาหกรรมอาจกำหนดช่วงเวลาที่เปิดไฟยาว (เช่น 23 ชม.) และพักไฟสั้น (เช่น 1 ชม.) ในช่วงแรก เพื่อกระตุ้นให้ไก่กินอาหารได้มากขึ้น จากนั้นค่อยปรับเวลาเปิด-ปิดไฟให้สมดุลตามอายุ

2.1.4 การดูแลสุขภาพและการป้องกันโรค (Health and Biosecurity)

การดูแลสุขภาพไก่ Ross 308 จำเป็นต้องมีระบบป้องกันโรค (Biosecurity) ที่ดี ซึ่งหมายถึงการควบคุมและตรวจสอบการเข้า-ออกของบุคลากร ยานพาหนะ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันการนำเชื้อโรคเข้าสู่ฟาร์ม ควรมีจุดล้างล้อรถ จุดพ่นยาฆ่าเชื้อ รวมถึงมาตรการเปลี่ยนชุดและรองเท้าสำหรับคนงานก่อนเข้าพื้นที่เลี้ยงไก่ ตารางการให้วัคซีนไก่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ไม่ควรมองข้าม ฟาร์มส่วนใหญ่จะปฏิบัติตามโปรแกรมวัคซีนพื้นฐานที่จำเป็น เช่น นิวคาสเซิล (ND) หลอดลมอักเสบติดต่อ (IB) และกัมโบโร (IBD) เพื่อเสริมภูมิคุ้มกันต่อโรคระบาดรุนแรง นอกจากนี้ การวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลการกิน-การดื่ม การชั่งน้ำหนักไก่แบบสม่ำเสมอ ล้วนเป็นวิธีติดตามสุขภาพและอัตราการเจริญเติบโตของฝูงไก่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.5 ระยะเวลาในการเลี้ยงและเก็บผลผลิต (Production Cycle)

สำหรับไก่ Ross 308 ที่มีอัตราการเติบโตเร็ว ระยะเวลาเลี้ยงเพื่อเก็บผลผลิตมักอยู่ในช่วง 35-42 วัน โดยทั่วไป ฟาร์มในประเทศไทยที่ผลิตเนื้อไก่ป้อนตลาดภายในประเทศ มักขุนไก่จนถึงอายุประมาณ 35-38 วัน เพื่อให้ได้น้ำหนักตัวอยู่ราว 2.0-2.5 กิโลกรัม แต่หากเป็นฟาร์มที่ผลิตเพื่อส่งออก หรือต้องการชิ้นส่วนไก่ขนาดใหญ่ เช่น อกไก่หรือสะโพก อาจขุนไก่ให้ถึง 40-42 วัน เพื่อให้ได้โครงสร้างซาก (Carcass) ที่ใหญ่ขึ้นและให้เปอร์เซ็นต์เนื้อออกสูงขึ้น เมื่อถึงกำหนดเก็บผลผลิต ไก่จะถูกจับส่งโรงชำแหละที่มีมาตรฐานสุขอนามัย และกระบวนการผลิตตามหลัก GMP/HACCP เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ที่ปลอดภัย ปราศจากสิ่งปนเปื้อน รวมถึงสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในตลาดส่งออกหลายประเทศ

2.1.6 ความสำคัญของ Ross 308 ต่ออุตสาหกรรมและผู้บริโภค

ความนิยมในการเลี้ยง Ross 308 ไม่ได้จำกัดอยู่แค่ในประเทศไทยเท่านั้น แต่ยังแพร่หลายไปทั่วโลก เนื่องจากคุณลักษณะการเจริญเติบโตที่ดีเยี่ยม ให้เนื้อคุณภาพสูง ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมต่ำ และประหยัดอาหาร ผู้เลี้ยงจึงสามารถทำกำไรได้ในระดับที่น่าพอใจ สำหรับผู้บริโภค เนื้อไก่สายพันธุ์นี้มีความนุ่มพอเหมาะ โดยเฉพาะเนื้ออกที่มีปริมาณโปรตีนสูง ไขมันต่ำ ตอบสนองเทรนด์การบริโภคของคนรุ่นใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพ อีกทั้ง การผลิตเนื้อไก่ Ross 308 ยังก่อให้เกิดการจ้าง

งานในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น การแปรรูปเนื้อสัตว์ การขนส่งสินค้า และการตลาดอาหารแปรรูป ซึ่งเสริมสร้างรายได้และกระตุ้นเศรษฐกิจในชนบทและในระดับประเทศ จึงกล่าวได้ว่า Ross 308 เป็นตัวขับเคลื่อนหนึ่งที่ทำให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันในตลาดเนื้อไก่โลก และรักษาตำแหน่งผู้ส่งออกเนื้อไก่ชั้นนำมาอย่างต่อเนื่อง

2.2 ผลกระทบของแอมโมเนียและความชื้นที่ไม่เหมาะสมต่อสุขภาพไก่

การเลี้ยงไก่ให้ประสบความสำเร็จนั้น ปัจจัยสำคัญนอกเหนือจากสายพันธุ์ อาหาร และการจัดการโรค คือ คุณภาพอากาศภายในโรงเรือน ซึ่งประกอบด้วยสองตัวแปรหลักที่ต้องควบคุมได้แก่ ปริมาณก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และ ระดับความชื้น (Humidity) หากโรงเรือนขาดการระบายอากาศที่ดีและมีค่าทั้งสองสูงเกินกำหนด จะส่งผลต่อสุขภาพไก่อย่างรุนแรง ทั้งในด้านระบบทางเดินหายใจ การเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคต่าง ๆ

2.2.1 ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia) ในโรงเรือนเลี้ยงไก่

1.แหล่งที่มาของแอมโมเนีย

- มูลไก่และน้ำในโรงเรือน: มูลไก่ที่สะสมบนพื้นคอกหรือวัสดุรองพื้นเมื่อเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา

- อาหารตกค้าง: หากอาหารเหลือเน่าเสีย รวมถึงน้ำที่หกลงพื้น จะกระตุ้นให้ความชื้นสูงขึ้น และกระตุ้นการย่อยสลาย จนเกิดการก่อตัวของแอมโมเนีย

2.ค่าที่เหมาะสมและผลกระทบหากเกินกำหนด

- ค่าที่แนะนำ: ควรรักษาระดับแอมโมเนียในอากาศให้ต่ำกว่า 20-25 ppm (ส่วนในล้านส่วน) เพื่อสุขภาพและสมรรถภาพของไก่

3.ผลกระทบเมื่อแอมโมเนียสูงเกิน

- โรคระบบทางเดินหายใจ: แอมโมเนียเข้มข้นสูงจะระคายเคืองทางเดินหายใจและเยื่อบุตา ส่งเสริมให้ไก่ติดเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสได้ง่าย เช่น โรคหลอดลมอักเสบติดต่อ (Infectious Bronchitis, IB) โรคหลอดลมอักเสบจากเชื้อ E. coli หรือการเกิด CRD (Chronic Respiratory Disease) ร่วมกับเชื้อ Mycoplasma

- การอักเสบของตาและเยื่อบุตา (Conjunctivitis): ไก่จะแสดงอาการตาแดงน้ำตาไหลหรือหลับตาบ่อย

- การกินอาหารลดลง: ไก่ที่อยู่ในสภาพอากาศไม่ดีจะไม่สบายตัว กินอาหารลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตช้าลง

- ภูมิต้านทานลดลง: ไก่ที่เครียดจากก๊าซแอมโมเนียมักมีภูมิคุ้มกันลดลง เปิดโอกาสให้โรคติดเชื้ออื่น ๆ เกิดได้ง่าย

2.2.2 ความชื้น (Humidity) ในโรงเรือนเลี้ยงไก่

1.ที่มาความชื้น

- การหายใจและการคายน้ำของไก่: ไก่ปล่อยไอน้ำออกจากทางเดินหายใจและผิวหนังอย่างต่อเนื่อง

- น้ำในมูลไก่หรือน้ำหก: วัสดุรองพื้นเปียก การรั่วซึมของระบบน้ำ จะเพิ่มความชื้นในโรงเรือน

- อากาศภายนอก: หากสภาพอากาศภายนอกชื้นมาก และการระบายอากาศในโรงเรือนไม่เพียงพอ ก็ยิ่งเพิ่มความชื้นภายใน

2.ค่าที่เหมาะสมและผลกระทบหากเกินกำหนด

- ระดับความชื้นที่แนะนำ: ควรรักษาความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity; RH) ในช่วงประมาณ 50-70% โดยอาจปรับตามอุณหภูมิและอายุของไก่

3.ผลกระทบหากความชื้นเกินกำหนด

- พื้นคอกชื้นและอับ: อาจเกิดการสะสมของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราต่าง ๆ เช่น เชื้อรา Aspergillus spp. ซึ่งอาจทำให้ไก่เป็นโรคระบบทางเดินหายใจ (Aspergillosis)

- ส่งเสริมการเกิดโรคบิด (Coccidiosis): เชื้อโคคซิเดียชอบสภาพแวดล้อมที่อุ่นและชื้นสูง ทำให้แพร่กระจายและเพิ่มจำนวนได้รวดเร็ว

- วัสดุรองพื้นจับตัว: เมื่อวัสดุรองพื้น (เช่น แกลบ ขี้เลื่อย) เปียกชื้นและจับตัวเป็นก้อน จะยิ่งเกิดการสะสมของแบคทีเรียและปลดปล่อยแอมโมเนียเพิ่มขึ้น

- ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง: เมื่อความชื้นสูง อากาศจะระบายความร้อนได้ยาก ไก่อาจเครียดจากความร้อน ทำให้กินอาหารน้อยลง โตช้า หรืออาจตายได้ในกรณีรุนแรง

การปล่อยให้ก๊าซแอมโมเนียและระดับความชื้นในโรงเรือนสูงเกินไป เป็นสาเหตุสำคัญที่บั่นทอนสุขภาพและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่ โดยเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินหายใจ โรคบิด โรคจากเชื้อรา และทำให้ภูมิคุ้มกันของไก่แย่ลง เกษตรกรจึงควรให้ความสำคัญกับการจัดการโรงเรือนทั้งในด้านการระบายอากาศ การควบคุมแอมโมเนียไม่ให้เกิน 20-25 ppm และรักษาระดับความชื้นในช่วงประมาณ 50-70% ให้เหมาะสมกับอายุของไก่ การจัดการที่ดีเหล่านี้จะนำไปสู่ฝูงไก่ที่แข็งแรง เติบโตได้อย่างเต็มศักยภาพ ลดต้นทุนการรักษาโรค และสร้างผลกำไรอย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่

2.3 ความชื้นในดิน (Soil Moisture)

ความชื้นในดินมีลักษณะทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 สถานะหลัก คือส่วนที่เป็นของแข็งหรือเนื้อดินที่ประกอบด้วยแร่ (mineral matter) และสารอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ส่วนที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยน้ำ (water) และส่วนที่เป็นก๊าซที่ประกอบด้วยอากาศ (air) และไอน้ำ (water vapor) ตามรูปที่ 2.2 (ก) ดังนั้นส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำในดินจะเป็นความชื้นในดิน (soil moisture) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้ ทำให้น้ำที่แทรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่องของเนื้อดิน (capillary water) หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน (hygroscopic water) ตามรูปที่ 2.2 (ข) ถ้าในส่วนของช่องว่างในเนื้อดินมีน้ำอยู่เต็มและไม่มีก๊าซอยู่เลย เรียกว่า ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ด้วย เรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil)

(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 (ก) แผนภาพส่วนประกอบของดิน (ข) แผนภาพปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้

ที่มา: Training on Climate Smart Irrigation Technology, 22 May 2018

2.3.1 การพรวนดิน

การพรวนดินหมายถึงการใช้ส้อมพรวนจอบเสียมหรืออุปกรณ์การเกษตรอื่น ๆ ขุดพลิกหน้าดินที่แห้งกรังให้มีความร่วนซุยทำให้ดินมีความชื้นระบายน้ำและอากาศได้ดีตามรูปที่ 2.2 (ก) รถที่ใช้ในโรงเลี้ยงไก่ที่ใช้สำหรับระบายความชื้นที่สถานประกอบการใช้จริงดังรูปที่ 2.2 (ข) เพื่อทำให้ความชื้นที่อยู่ใต้พื้นปูรองระบายความชื้นออกมา

(ก)

(ข)

รูปที่ 2.3 (ก) ภาพตัวอย่างการพรวนดิน (ข) ภาพรถพลิกแกลบที่ใช้งานจริง

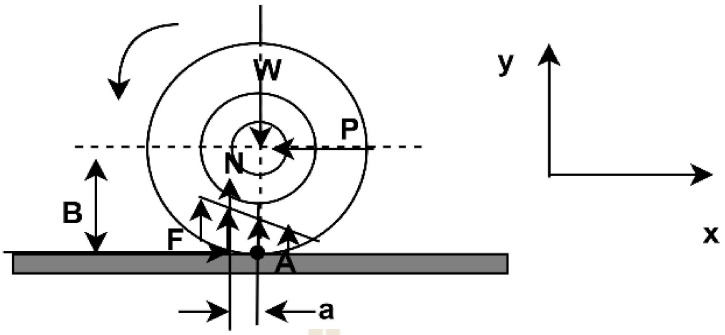
ที่มา: www.mitrpholmodernfarm.com

โดยกำหนดรายละเอียดดังนี้ รถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติขนาดความกว้าง 0.5 เมตร ความยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.3 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อขนาด 0.075 เมตร มีมวล 20 กิโลกรัม และมีภาระโหลด 20 กิโลกรัม และพิจารณาที่ค่า factor safety 1.3 ดังนั้นจะพิจารณามวลรวมทั้งหมด 52 กิโลกรัม ดังรูปที่ 2.4 โดยวิ่งที่ความเร็ว 0.2 – 0.5 เมตรต่อวินาที ใช้มอเตอร์ขับหน้าสองตัวโดยใช้การขับเคลื่อนแบบ Differential Drive ระหว่างล้อกับมอเตอร์จะใช้โซ่ในการขับเคลื่อนเพื่อไม่ให้แกลบหรือเศษต่างๆเข้ามารบกวนการทำงานของมอเตอร์ โดยใช้การควบคุม ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านการสื่อสารแบบไร้สาย ใช้ Dc motor ติด encoder ในการขับเคลื่อนการทำงาน และใช้ ultrasonic ทำระบบป้องการชนของตัวรถ สำหรับชุดพลิบแกลบเพื่อทำให้ความชื้นในแกลบหรือพื้นปูในโรงเลี้ยงไก่ลดลงจะใช้หลักการเหมือนการพรวนดินซึ่งชุดพลิกแกลบที่ออกแบบมามี 2 แบบด้วยกัน 1. ผานไถ่ 2. ลูกกลิ้ง

2.4 การออกแบบและคำนวณของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ

หาขนาดมอเตอร์โดยแรงต้านทั้งหมดมีอยู่ 3 แรง แรงต้านการหมุนของล้อม แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ และแรงต้านทางชัน

2.4.1 แรงต้านการหมุนของล้อ



รูปที่ 2.4 แรงต้านการหมุนของล้อที่เกิดจากการยุบตัวของยางซึ่งกลิ้งบนถนน

แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่าง a/b และเรียกสัดส่วนนี้ว่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (coefficient of roiling resistance) ใช้สัญลักษณ์ Kr ดังนั้นถ้ายางรถยนต์แบนมาก ค่า a/b จะมีค่าสูงขึ้น แรงต้านการหมุนของล้อจะมีค่าสูงขึ้น ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่า Kr จะลดลง แรงต้านการหมุนของล้อ ดังรูปที่ 2.4 และสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ (Kr) ตามชนิดและสภาพของถนนเราจึงเลือกค่าที่มีความใกล้เคียงดังตารางที่ 2.1 จึงหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$R_r = (K_r \times W) + T = (K_r \times M_t g) \qquad (2.1)$$

เมื่อ R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ หน่วยเป็น N

K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ = a/b

m_{car} = มวลของรถ หน่วย kg

M_t = มวลของรถรวมกับมวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

m_{load} = มวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย m/s^2

T = แรงต้านเนื่องจากการหมุนของล้อรถ หน่วย N

ในทางปฏิบัตินั้น ค่า R_r จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร็วของรถเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรในที่นี้จะถือว่าค่า R_r มีค่าคงที่ โดยคำนวณจากสมการที่ (2.1)

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ ตามชนิดและสภาพของถนน

ชนิดและสภาพของถนน	K_r (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต	
สภาพดีเยี่ยม	0.014-0.018
สภาพดีพอใช้	0.018-0.020
ถนนหินปูพื้น	0.023-0.030
ถนนลูกรัง	0.020-0.025
ถนนดิน	
ดินแห้งอัดแน่น	0.025-0.035
ดินเปียกหลังฝนตก	0.050-0.150
ถนนทราย	0.10-0.30

ที่มา: www.scopus.com

2.4.2 แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ

แรงต้านอากาเป็นแรงที่มีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่หรือทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายาม จะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านกระแสอากาศแรงต้านอากาศ คำนวณและหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ(Drag Coefficient) จากตารางที่ 2.2 และหาค่าความหนาแน่นของอากาศ จากตารางที่ 2.3 คำนวณแรงต้านอากาศจากสมการ 2.2

$$R_a = 0.5\rho V^2 A C_D \tag{2.2}$$

เมื่อ R_a = แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ หน่วยเป็น kg/m^3

V^2 = ความเร็วลมเมื่อวัตถุหยุดนิ่งหรือความเร็วของวัตถุเมื่อลมหยุดนิ่ง หน่วยเป็น m/s

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

A = พื้นที่หน้าตัดรถ หน่วยเป็น m^2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ(Drag Coefficient) ในรูปร่างต่างๆ

รูปร่าง (shape)	Drag Coefficient (C_D)
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Long-Cylinder	0.82
Shot-Cylinder	1.15
Streamlined-Body	0.04
Streamlined Half-Body	0.09
Car	0.27-0.45

ที่มา: www.researchgate.net

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Temperature (^{o}C)	Density, ρ (kg / m^3)	Dynamic viscosity, μ ($N \bullet s / m^2$)	Kinematic viscosity, ν (m^2 / s)	Specific heat ratio, γ
-40	1.514	1.57 E-5	1.04 E-5	1.401
-20	1.395	1.63 E-5	1.17 E-5	1.401
0	1.292	1.71 E-5	1.32 E-5	1.401
5	1.269	1.73 E-5	1.36 E-5	1.401
10	1.247	1.76 E-5	1.41 E-5	1.401
15	1.225	1.80 E-5	1.47 E-5	1.401
20	1.204	1.82 E-5	1.51 E-5	1.401
25	1.184	1.85 E-5	1.56 E-5	1.401
30	1.165	1.86 E-5	1.60 E-5	1.400
40	1.127	1.87 E-5	1.66 E-5	1.400
50	1.109	1.95 E-5	1.76 E-5	1.400
60	1.060	1.97 E-5	1.86 E-5	1.399
70	1.029	2.03 E-5	1.97 E-5	1.399

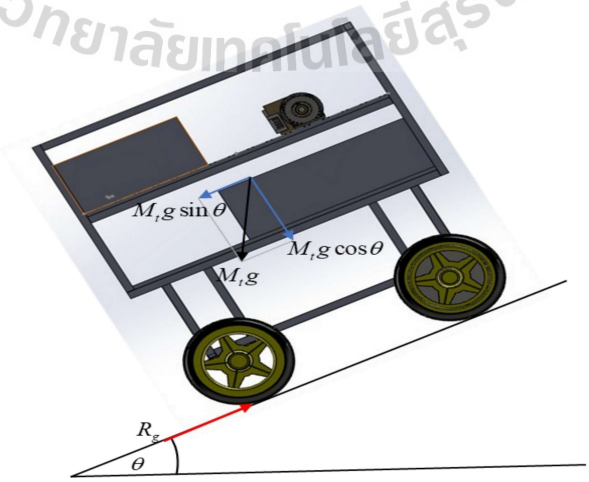
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ต่อ)

Temperature (^{o}C)	Density, ρ (kg / m^3)	Dynamic viscosity, μ ($N \bullet s / m^2$)	Kinematic viscosity, ν (m^2 / s)	Specific heat ratio, γ
80	0.9996	2.07 E-5	2.07 E-5	1.399
90	0.9721	2.14 E-5	2.20 E-5	1.398
100	0.9461	2.17 E-5	2.29 E-5	1.397
200	0.7461	2.53 E-5	3.39 E-5	1.390
300	0.6159	2.98 E-5	4.84 E-5	1.379
400	0.5243	3.32 E-5	6.34 E-5	1.368
500	0.4565	3.64 E-5	7.97 E-5	1.357
1000	0.2772	5.04 E-5	1.82 E-4	1.321

ที่มา: (R.D. Blevins)

2.4.3 แรงต้านทางชัน

ในกรณีที่รถวิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์(หรือมอเตอร์) บางส่วนเพื่อถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน (Gradient Resistance) ทำให้เครื่องยนต์(หรือมอเตอร์) ต้องทำงานหนักมากกว่าการวิ่งบนถนนระดับ แต่ทางกลับกันถ้ารถยนต์(หรือรถอัตโนมัติ) วิ่งลงทางลาดเครื่องยนต์(หรือมอเตอร์) จะทำงานน้อยลงเพราะมีแรงเสริมจากแรงโน้มถ่วงของโลกแรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ 1.น้ำหนักของรถอัตโนมัติ 2.ความชันของถนน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดแรงต้านทานจากความชัน

จากรูปที่ 2.5 สามารถเขียนสมการแรงต้านทางชันได้ดังนี้

$$R_g = W\sin\theta \tag{2.3}$$

ในกรณีที่ θ มีค่าน้อย(น้อยกว่า20°) จะได้ว่า $\sin\theta = \tan\theta$ ดังนั้น

$$R_g = W\tan\theta \tag{2.4}$$

ถ้าให้ค่า G = ความชันในหน่วยเปอร์เซ็นต์ $= \tan\theta \times 100\%$ ดังนั้นได้สูตรหาแรงต้านความชันหน่วยเป็น N

$$R_g = \frac{WG}{100} = (M_t g \times G)/100 \tag{2.5}$$

เมื่อ R_g = แรงต้านเนื่องจากความชัน หน่วย N

G = ความชันในหน่วยเปอร์เซ็นต์ %

M_t = มวลของรถรวมกับมวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย m/s^2

2.4.4 แรงต้านทั้งหมด (R_2)

จากสมการ

$$R_t = R_r + R_a + R_g \tag{2.6}$$

POLE ของมอเตอร์ไฟฟ้า คือส่วนประกอบที่เป็นขดลวดพันอยู่รอบแกนของโลหะจะอยู่บริเวณระหว่างขั้วแม่เหล็กภายในมอเตอร์ POLE ของ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นตัวบ่งบอกความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า ถือเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า หากจำนวน POLE ยิ่งมาก ความเร็วรอบของมอเตอร์จะยิ่งต่ำ แต่จะมีแรงบิดที่สูง ในทางกลับกัน หากจำนวน POLE ยิ่งน้อย จะทำให้มีความเร็วรอบของมอเตอร์ที่สูง แต่ขณะเดียวกันแรงบิดของมอเตอร์จะน้อย แต่ในความเป็นจริงความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละตัวจะไม่เท่ากันและไม่มีสูตรตายตัวในการคำนวณหา เนื่องจากการออกแบบของผู้ผลิตแต่ละแห่งไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ยังพอมีสูตรคำนวณหาความเร็วรอบต่อนาทีของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อนำไปคำนวณและเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้อยู่

โดยคำนวณจากสมการ

$$N = 120 \times f / P \tag{2.7}$$

เมื่อ $N =$ ความเร็วรอบต่อนาที หน่วย rpm

$f =$ ความถี่ของกระแสไฟขนาด 50 Hz หรือ 60 Hz

$P =$ จำนวน pole ของมอเตอร์

2.4.5 กำลังมอเตอร์

จากการขับเคลื่อนที่ล้อเราสามารถหากำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้ เนื่องจากการถ่ายทอดกำลังจะมีการสูญเสียกำลังไปบางส่วน ดังนั้นเมื่อหาย้อนกลับไปที่มอเตอร์กำลังของมอเตอร์จะต้องมีค่ามากกว่ากำลังขับเคลื่อนที่ล้อ ดังนั้นจะได้ดังสมการ

$$P_e = 100FV / \eta_t \tag{2.8}$$

เมื่อ $P_e =$ กำลังของมอเตอร์ หน่วย วัตต์ (W)

$F =$ แรงต้านทั้งหมด หน่วย นิวตัน (N)

$V =$ ความเร็วของรถ หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

$\eta_t =$ ประสิทธิ์ภาพการถ่ายทอด (%)

2.4.6 อัตราการทดเกียร์

$$N_1 G = N_2 Z \tag{2.9}$$

เมื่อ $N_1 =$ อัตราเร็วของเฟืองขับ หน่วย รอบต่อวินาที (rpm)

$N_2 =$ อัตราเร็วของเฟืองท้าย หน่วย รอบต่อวินาที (rpm)

$Z =$ อัตราการทดเกียร์

$G =$ อัตราการทดเกียร์

2.4.7 การคำนวณหาทอร์กที่มอเตอร์ส่งให้ล้อ

$$T_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) T_1 \tag{2.10}$$

เมื่อ $T_2 =$ แรงบิดที่มอเตอร์ส่งให้ล้อ หน่วย นิวตันเมตร (Nm.)

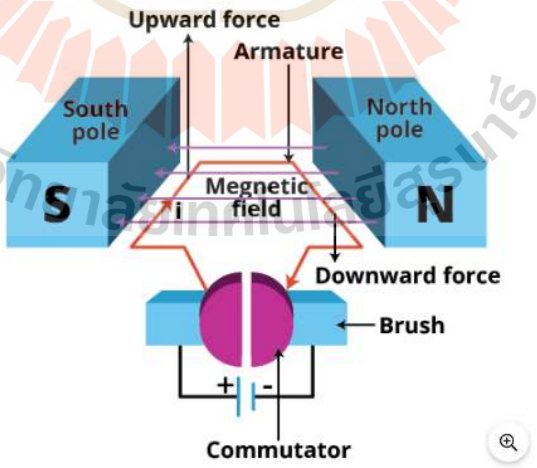
T_1 = แรงบิดของมอเตอร์ หน่วย นิวตันเมตร (Nm.)

การออกแบบแบตเตอรี่จะคิดจากพลังงานทั้งที่รถใช้พลังส่วนใหญ่จะมาจากมอเตอร์ โดยจะใช้จากสมการ 2.14 มาคูณกับเวลาเวลาทำงานซึ่งเป็นเวลา 20 นาที ต่อ1รอบการชาร์จมาคำนวณย้อนกลับไปขนาดของแบตเตอรี่

2.5 การคำนวณพลังของทั้งหมดของรถซึ่งจะนำมาขนาดของแบตเตอรี่

2.5.1 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงทำงานโดยการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่ตั้งอยู่ในสนามแม่เหล็ก นี้ทำให้เกิดแรงที่ทำให้สนามแม่เหล็กกำเนิดขึ้น โดยแรงนี้ขึ้นอยู่กับกระแส (I) และความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กและแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้นที่มีรูปแบบโค้งยึดติดกับตัวถัง (Stator) เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ แรงนี้จะวิ่งจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ของขั้วแม่เหล็ก ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กวิ่งบนตัวถังโลหะกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่มีการพันกับทุ่นโรเตอร์ (Rotor) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร นี้ทำให้เกิดแรงบิด เพื่อหมุนทุ่นโรเตอร์ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่ากระแสก็จะไหลผ่านไปยังทุ่นโรเตอร์ผ่านแปรงถ่าน (Brush) ซึ่งสัมผัสกับแหวนตัวนำในทุ่นโรเตอร์และแหวนคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เพื่อนำกระแสเข้าไปในขดลวดอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ที่มา: www.sciencefacts.net

2.5.2 กฎของโอห์ม

กฎของโอห์มเป็นกฎที่กำหนดขึ้นมาจากความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าทั้งสามประการ คือ แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) และความต้านทาน (R) ในวงจรไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไฟฟ้าเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดจะทำให้วงจรไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามกฎของโอห์ม ความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าเหล่านี้ มีหน่วยเป็นดังนี้

1.กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมป์ (A)

2.แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

3.ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

ความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นดังนี้

$$I \propto V \quad \text{เมื่อ R คงที่} \tag{2.11}$$

และ

$$I \propto \frac{1}{R} \quad \text{เมื่อ V คงที่} \tag{2.12}$$

2.5.3 กำลังไฟฟ้ากับกฎของโอห์ม

กำลังไฟฟ้าสามารถนำมาใช้งานร่วมกับกฎของโอห์มได้

$$P = VI \tag{2.13}$$

เมื่อ $P =$ กำลังไฟฟ้า หน่วย วัตต์ (W)

$V =$ แรงดันไฟฟ้า หน่วย โวลต์ (V)

$I =$ กระแสไฟฟ้า หน่วย แอมแปร์ (A)

ที่มา: วงจรไฟฟ้ากระแสตรง พันธ์ศักดิ์ พุฒมานิตพงศ์

การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่หาจากพลังงานที่ใช้ไปคูณด้วยเวลาจะได้พลังของระบบที่ต้องใช้

$$E_p = V_p I_p \tag{2.14}$$

เมื่อ $E_p =$ พลังงานของแบตเตอรี่ หน่วย วัตต์ (W)

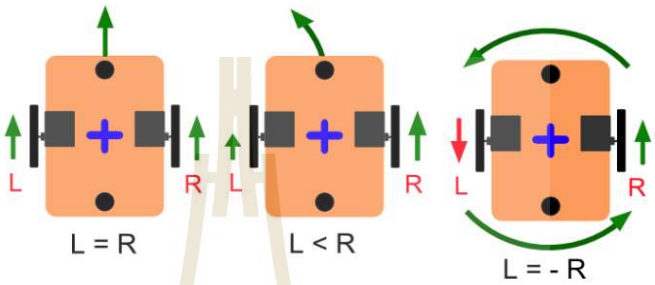
$V_p =$ แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ หน่วย โวลต์ (V)

$I_p =$ กระแสไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ หน่วย แอมแปร์ (A)

ที่มา: (John Warner)

2.6 ระบบขับเคลื่อนและการเลี้ยว

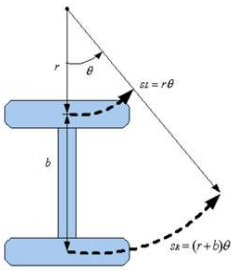
ระบบขับเคลื่อนและการเลี้ยวใช้เป็น Differential Steering โดยเรามีสองมอเตอร์คู่หน้าถ้ารถจะไปข้างมอเตอร์ทั้งสองจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากันหรือไปข้างหลังจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากันถ้าจะเลี้ยวซ้ายมอเตอร์ข้างซ้ายจะหมุนช้ากว่าด้านขวาจะทำให้ตัวรถไปทางด้านซ้ายหรือถ้าจะเลี้ยวขวามอเตอร์ด้านขวาจะหมุนช้ากว่าด้านซ้ายจะทำให้ตัวรถไปทางด้านขวาดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวรถ

ที่มา: https://42bots.com

Differential Steering คือกลไกควบคุมรถที่ต้องอาศัยการหมุนเฟืองท้ายของล้อซ้ายและขวาเพื่อให้สามารถเลี้ยวได้ ด้วยการปรับความเร็วของล้อเหล่านี้อย่างอิสระ ยานพาหนะสามารถเปลี่ยนทิศทางและหมุนรอบจุดศูนย์กลางได้ วิธีการบังคับทิศทางนี้มักใช้ในหุ่นยนต์ รถถัง และรถเข็นวีลแชร์ มันเกี่ยวข้องกับการใช้แหล่งแรงบิดที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละล้อหรือกลไกเกียร์ที่ซับซ้อน ความเรียบง่ายของการออกแบบ โครงสร้างน้ำหนักเบา และความคุ้มค่าทำให้ Differential Steering เป็นตัวเลือกยอดนิยม ช่วยให้ยานพาหนะสามารถหมุนรอบจุดศูนย์กลางได้อย่างคล่องตัวและง่ายดาย เราจะหามุมเลี้ยงได้จากรูปที่ 2.8 และสมการ 2.15



รูปที่ 2.8 การคำนวณระยะทางที่ครอบคลุมในระบบขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล

ที่มา: Ahmad et al., 2014

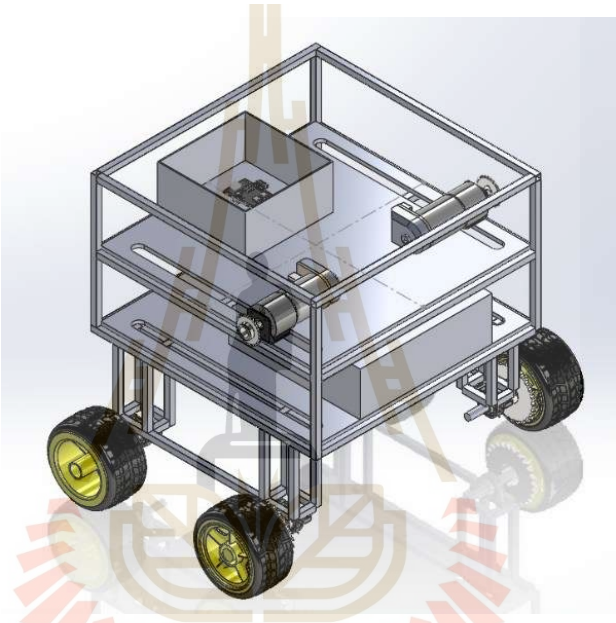
$$\theta = \frac{S_0}{r + b/2} \tag{2.15}$$

เมื่อ $\theta =$ มุมที่เลี้ยวได้

$S_0 =$ ระยะจากจุดหมุนถึงล้อนอกสุด

$r =$ ระยะจากจุดหมุนถึงล้อในสุด

$b =$ ระยะล้อด้านขวาถึงล้อด้านซ้าย



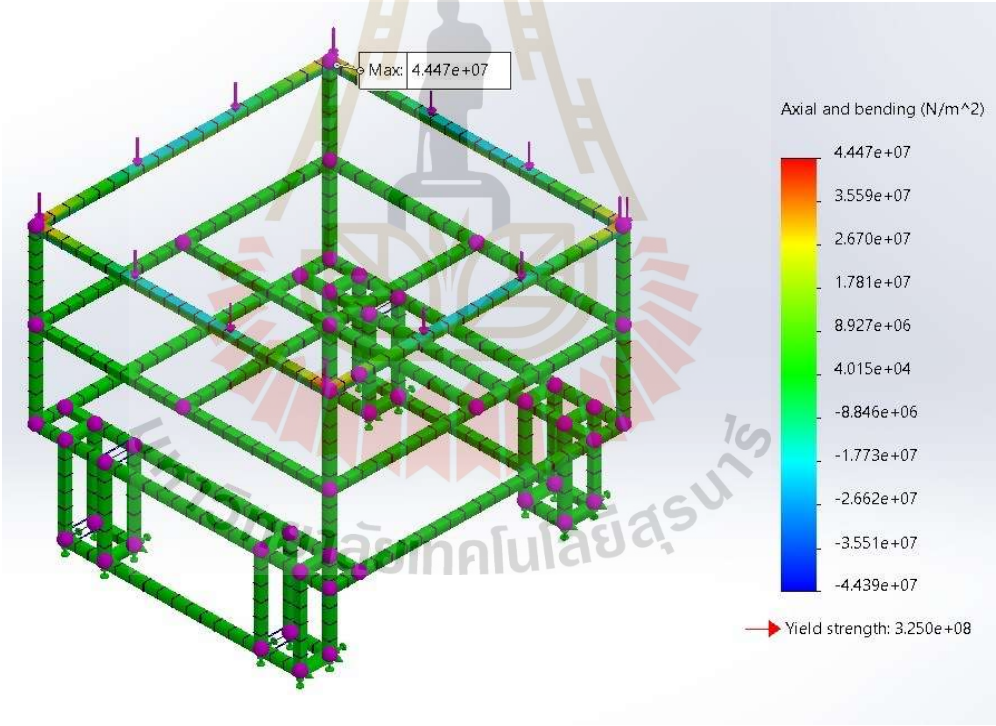
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ

2.7 แบบจำลองโครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์

Finite Element Method (FEM) หรือที่มักเรียกย่อว่า “FEM” เป็นเทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Method) สำหรับการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างหรือระบบทางวิศวกรรมหลายประเภท อาทิ สะพาน อาคาร เครื่องยนต์ ใบพัดกังหันลม หรือแม้กระทั่งการจำลองทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) ในมนุษย์และสัตว์ FEM ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายตั้งแต่ระดับการศึกษาไปจนถึงการประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและช่วยประหยัดเวลา ต้นทุนในการออกแบบ รวมถึงการทดสอบต้นแบบ (Prototype) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.7.1 Finite Element Method

Finite Element Method เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำสมการทางฟิสิกส์หรือสมการอนุพันธ์ (Differential Equations) มาผ่านกระบวนการประมาณค่า (Approximation) ด้วยการแบ่งโดเมนหรือชิ้นส่วนของโครงสร้างวัตถุออกเป็นองค์ประกอบย่อยจำนวนมาก เรียกว่า “Element” (เอลิเมนต์) ซึ่งแต่ละเอลิเมนต์จะสะท้อนความสัมพันธ์ของปริมาณทางวิศวกรรมที่สนใจ อาทิ ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) อุณหภูมิ หรือการกระจัด (Displacement) ตัวอย่างที่เข้าใจได้ง่าย คือ การแบ่งคานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยหลาย ๆ ส่วน โดยแต่ละส่วนจะมีโหนด (Nodes) ตั้งอยู่ที่ปลายหรือจุดที่กำหนดไว้ เมื่อได้สมการความสมดุล (Equilibrium Equations) ของแต่ละเอลิเมนต์แล้ว จึงนำมารวมเข้าด้วยกันเพื่อหาผลโดยรวมของโครงสร้าง ทำให้สามารถทราบได้ว่า เมื่อมีโหลด (Load) หรือแรงภายนอกกระทำ จุดใดจะเกิดความเค้นสูงสุด หรือมีค่าการโก่งตัว (Deflection) สูงสุด



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการจำลอง Finite Element Method

2.7.1.1 หลักการพื้นฐานของ Finite Element Method (FEM)

1. การสร้างแบบจำลอง (Discretization)

- นำโครงสร้างหรือโดเมนที่สนใจมาแบ่งออกเป็นองค์ประกอบขนาดเล็ก (Element) หลากหลายรูปทรง เช่น สามเหลี่ยม (Triangle), สี่เหลี่ยม (Quadrilateral), เตตระฮีดรอน (Tetrahedron) หรือเฮกซาฮีดรอน (Hexahedron)

- การเลือกชนิดและความละเอียดของเอลิเมนต์ส่งผลต่อความแม่นยำของผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

2. การกำหนดสมการ (Formulation)

- ในแต่ละเอลิเมนต์ จะมีสมการหรือตัวแปร (Degrees of freedom) เช่น การกระจัด (x, y, z) ในปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) หรืออุณหภูมิ (T) ในปัญหาการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

- อาศัยหลักสมดุลทางฟิสิกส์ เช่น กฎของฮุก (Hooke's Law) หรือสมการการนำความร้อน (Fourier's Law) ควบคู่กับทฤษฎีอื่น ๆ เพื่อสร้างเมทริกซ์ความแข็ง (Stiffness Matrix) หรือเมทริกซ์การนำความร้อน (Conductivity Matrix)

3. การประกอบสมการ (Assembly)

- เมื่อได้เมทริกซ์ของเอลิเมนต์แต่ละชิ้นแล้ว ต้องนำเมทริกซ์เหล่านั้นมารวมกันเป็นเมทริกซ์รวม (Global Matrix) ที่แสดงพฤติกรรมทั้งหมดของโครงสร้างหรือระบบ

4. การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions)

- ในการวิเคราะห์ด้วย FEM ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions) เช่น การยึดจับ (Fixed, Pinned) หรือแรงกระทำ (Load, Pressure) เพื่อให้สมการของระบบมีความสมบูรณ์และสามารถแก้ไขได้

5. การแก้ระบบสมการ (Solution)

- ใช้วิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Methods) เช่น วิธีการกำจัดแบบเกาส์ (Gaussian Elimination) หรือการทำซ้ำ (Iterative Methods) ในการแก้สมการขนาดใหญ่ที่ได้จากกระบวนการประกอบเมทริกซ์ เพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น การกระจัด ความเครียด ความเค้น หรืออุณหภูมิ

6. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Post-Processing)

- ภายหลังการแก้สมการ ค่าในแต่ละโหนดจะสามารถนำมาแสดงผลเป็นภาพ (Contour Plot) หรือในรูปแบบตาราง เพื่อแสดงบริเวณที่มีความเค้นสูงสุดหรือค่าการกระจัดสูงสุด เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจทางวิศวกรรม

2.7.1.2 ข้อดีและข้อจำกัดของ Finite Element Method (FEM)

ข้อดี

1. ความยืดหยุ่น: FEM สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาหลากหลายสาขา เช่น กลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics), กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer), คลื่นและการสั่นสะเทือน (Vibration), แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics) เป็นต้น

2. ความแม่นยำ: หากมีการสร้างเมช (Mesh) ที่มีความละเอียดและกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions) อย่างถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงเป็นอย่างยิ่ง

3. การประหยัดต้นทุนและเวลา: ช่วยลดปริมาณการทดลองทางกายภาพ (Physical Testing) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง เพราะสามารถจำลองเงื่อนไขต่าง ๆ ได้ภายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ข้อจำกัด

1. ความซับซ้อนในการเตรียมโมเดล: ต้องอาศัยความรู้ทั้งทางทฤษฎีและการใช้ซอฟต์แวร์ FEM อีกทั้งบางปัญหาต้องอาศัยเวลาและความเชี่ยวชาญในการสร้างเมชและกำหนดโหนดอย่างเหมาะสม

2. ข้อจำกัดเชิงตัวเลข: ในบางกรณี เช่น ปัญหาที่มีระดับความแปรปรวนสูง (High Gradient) หรือเมื่อโปรแกรมแก้สมการไม่ลู่เข้าค่า (non-convergence) อาจจำเป็นต้องใช้เมชที่มีความละเอียดมากหรือนำเทคนิคเฉพาะมาใช้ ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์สูง

3. ต้องการข้อมูลวัสดุที่แม่นยำ: คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) เช่น โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือความแข็งแรงของวัสดุ ต้องมีความถูกต้อง หากข้อมูลไม่ถูกต้อง ผลการวิเคราะห์อาจคลาดเคลื่อนมาก

2.7.2 จุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity)

จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity) นับเป็นแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สะพาน ยานพาหนะ หรือหุ่นยนต์ เพราะจุดศูนย์ถ่วงเป็นตำแหน่งสมมุติที่รวม “มวล” ของระบบทั้งหมดไว้ที่จุดเดียว เมื่อมีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุ วิศวกรจำเป็นต้องทราบว่าจุดศูนย์ถ่วงตั้งอยู่ตรงไหน เพื่อคาดการณ์หรือวิเคราะห์ว่าโครงสร้างจะรับแรงอย่างไร และมีความเสถียรเพียงใด ในกระบวนการออกแบบโครงสร้างโดยทั่วไป เช่น อาคารสูงหรือสะพาน วิศวกรจะคำนึงถึงการกระจายน้ำหนักของโครงสร้าง และแรงต่าง ๆ ที่อาจกระทำต่อมัน เช่น แรงลม แรงสั่นสะเทือนจากการใช้งาน หรือแม้แต่แรงกระทำจากแผ่นดินไหว หากจุดศูนย์ถ่วงของโครงสร้างอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและไม่เลื่อนไปนอกฐานรองรับ โอกาสการล้มเอียงหรือวิบัติ (Failure) ก็จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งอาคารมีความ

สูงมากเท่าไร การวิเคราะห์ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงยิ่งเป็นสิ่งที่ไม่อาจมองข้ามไปได้ ยานพาหนะ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก หรือแม้แต่เครื่องบิน ล้วนต้องอาศัยหลักการเกี่ยวกับจุดศูนย์ถ่วงมาใช้ในการวางตำแหน่งเครื่องยนต์ ระบบบรรทุกน้ำหนัก และผู้โดยสารให้เกิดความสมดุลมากที่สุด หากจุดศูนย์ถ่วงถูกออกแบบให้ต่ำและกระจายมวลอย่างเหมาะสม รถจะทรงตัวดีขึ้นขณะเลี้ยว หรือเปลี่ยนความเร็วกะทันหัน ช่วยลดความเสี่ยงในการพลิกคว่ำ ส่วนในเครื่องบิน การกำหนดจุดศูนย์ถ่วงระหว่างส่วนหัว (Nose) ส่วนปีก (Wing) และส่วนหาง (Tail) มีความสำคัญในการควบคุมให้เครื่องบินบินได้อย่างมีเสถียรภาพ หากจุดศูนย์ถ่วงไม่เหมาะสม ตัวเครื่องอาจจะเสียการทรงตัวระหว่างบินหรือขณะลงจอด

ในสายงานหุ่นยนต์และเมคาทรอนิกส์ หลักการจุดศูนย์ถ่วงมีบทบาทชัดเจนในเรื่องการทรงตัวของหุ่นยนต์หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ หุ่นยนต์เดินสองขา หรือโดรน (Drone) ที่ต้องลอยอยู่ในอากาศอย่างสมดุล ผู้พัฒนาและวิศวกรจำเป็นต้องคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของหุ่นยนต์เพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อมีการเคลื่อนแขนกลหรือเปลี่ยนทิศทางการบิน หุ่นยนต์หรือโดรนจะไม่โคลงเคลงจนตกลงมา นอกจากนี้ ในงานอวกาศก็ต้องวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงเพื่อให้ยานอวกาศเคลื่อนที่ได้อย่างสมดุลขณะโคจรรอบโลกหรือระหว่างลงจอดบนพื้นผิวดาวเคราะห์

สำหรับหลักการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ จุดศูนย์ถ่วงมักหาได้โดยการแบ่งวัตถุหรือโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อย ๆ (Discrete Elements) แล้วหาค่าเฉลี่ยของพิกัดตำแหน่งแต่ละส่วนตามน้ำหนักหรือมวล ซึ่งในเชิงวิศวกรรมสมัยใหม่ มีการใช้ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ (CAD) และซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE) เป็นตัวช่วยคำนวณ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูภาพรวมของโครงสร้าง ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง และผลกระทบของแรงต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

สูตรทางคณิตศาสตร์ในการหาจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity) สำหรับกรณีวัตถุที่แบ่งออกเป็นส่วนย่อย (Discrete Masses) แต่ละส่วนมีมวล m_i และมีตำแหน่งศูนย์กลางของส่วนนั้น ๆ ที่ (x_i, y_i, z_i) สามารถคำนวณจุดศูนย์ถ่วง (x_{cg}, y_{cg}, z_{cg}) ของวัตถุทั้งระบบได้โดยใช้หลักการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ของตำแหน่งและมวล ดังนี้

$$x_{cg} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i x_i)}{\sum_{i=1}^{n} m_i},\ y_{cg} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i y_i)}{\sum_{i=1}^{n} m_i},\ z_{cg} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i z_i)}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad (2.16)$$

เมื่อ n คือ จำนวนส่วนย่อยที่แบ่งของวัตถุ

m_i คือ มวลของส่วนที่ i

(x_i, y_i, z_i) คือ พิกัดของศูนย์กลางมวลของส่วนนั้นๆ

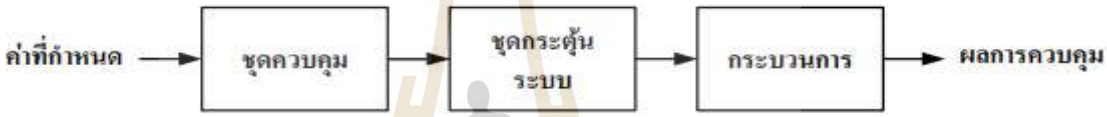
$\sum_{i=1}^{n} m_i$ คือ ผลรวมของมวลทุกส่วน

ระบบการควบคุมที่จะใช้เข้ามาควบคุมตำแหน่งตามเส้นทางรถในการหมุนของมอเตอร์เราจะใช้เป็นระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System) ถ้าระบบเกิดการรบกวนเกิดขึ้นระบบจะใช้ค่าความผิดพลาด (error) ที่เกิดขึ้นเข้ามาเปรียบเทียบส่งให้ระบบควบคุมเพื่อชดเชยตำแหน่งที่หายไปให้มอเตอร์รักษาตำแหน่งได้ค่าที่ Set point

2.8 ระบบควบคุม

2.8.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม

ในการพิจารณางานที่ต้องการประยุกต์ใช้การควบคุมสามารถเขียนองค์ประกอบในรูปแบบของระบบดังนั้นพื้นฐานของระบบควบคุมจะมีองค์ประกอบดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมพื้นฐานองค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุม

ที่มา: Franklin, G. F

กำหนดเป้าหมายของการควบคุม (Set Point) คือการกำหนดค่าเป้าหมายหรือค่าอ้างอิง (Reference Input) ของการควบคุมงานที่ต้องการเช่น การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้อยู่ที่อุณหภูมิ 25 °C การควบคุมความเร็วของมอเตอร์สายพานลำเรียงที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณเข้า(Input) ให้กับระบบ

ชุดควบคุม (Controller) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประมวลผลระบบซึ่งจะประกอบด้วยชุดฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และชุดซอร์ฟแวร์ประกอบด้วยโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีเป้าหมายให้เกิดการตอบสนองค่าเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งมีทั้งระบบควบคุมที่เป็นอนาล็อกและระบบควบคุมดิจิตอล

ชุดกระตุ้นระบบ (Actuator) คือส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้อยู่ในรูปของ สัญญาณที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมไปเป็นพลังงานต่างๆ ที่ระบบต้องการเช่นเครื่องทำความร้อน (Heating System) โดยทำการเปลี่ยนสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน การปรับความเร็วรอบของระบบสายพานลำเลียง (Conveyor System)

กระบวนการ (Process) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ดำเนินการ (Operation) เมื่อได้รับสัญญาณจากชุดกระตุ้นเช่น ตัวทำความร้อน (Heater) มอเตอร์(Motor) เป็นต้น

ผลการควบคุมระบบ (Output System) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลของการควบคุมระบบซึ่งอาจแสดงในรูปแบบผลตอบสนองของระบบ ทำให้ทราบค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าความคาดเคลื่อนของระบบ (Error) เพื่อใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบควบคุม

2.8.2 ประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

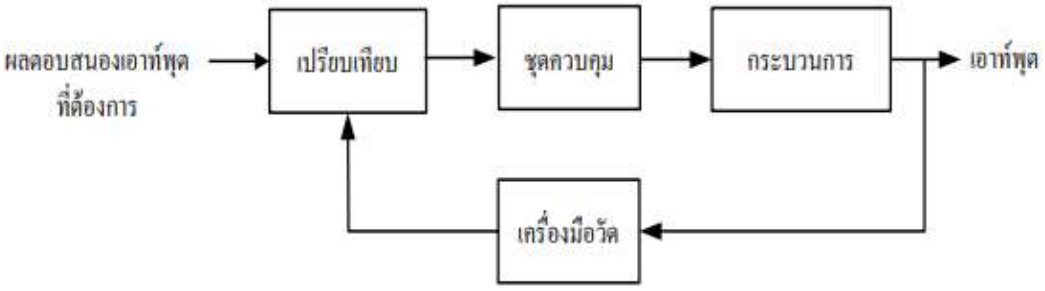
1. ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)
2. ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) คือระบบที่มีการป้อนอินพุตซึ่ง อาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ (System) และได้สัญญาณออกหรือเอาต์พุตโดยไม่มีการ นำสัญญาณป้อนกลับมาที่ระบบซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

ที่มา: Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (n.d.). Feedback control of dynamic systems (4th ed.). Pearson Prentice Hall.

ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System) คือระบบที่มีการป้อนอินพุต ซึ่งอาจอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าที่ระบบ (System) และมีอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement) นำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับสู่ระบบเพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

ที่มา: Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (n.d.). Feedback control of dynamic systems (4th ed.). Pearson Prentice Hall.

2.8.3 ตัวควบคุม PID

สิ่งสำคัญอันดับแรกของระบบควบคุมก็คือเสถียรภาพ เพราะถ้าระบบไม่มีเสถียรภาพเราก็ไม่สามารถควบคุมระบบได้ สำหรับลักษณะผลตอบสนองนั้น เรามักต้องการให้ได้ผลตอบสนองที่เร็ว นั่นคือ ช่วงเวลาขึ้น (Rise time) ช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) ส่วนพุ่งเกิน (Overshoot) ที่ยอมรับได้ ส่วนความคลาดเคลื่อนในสถานะอยู่ตัวนั้นต้องให้มีค่าเป็นศูนย์หรือต่ำที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะระบุเฉพาะในแต่ละระบบ

คุณสมบัติของตัวควบคุมแบบ PID ตัวควบคุมในระบบควบคุมมีหลายชนิด แต่ที่ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการส่วนใหญ่ เป็นตัวควบคุมแบบ PID

รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมป้อนกลับ

ที่มา: Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (n.d.). Feedback control of dynamic systems (4th ed.). Pearson Prentice Hall.

เมื่อพิจารณา รูปที่ 2.14 เรากำหนดให้ $R_{(s)}$ คือสัญญาณอ้างอิง $Y_{(s)}$ คือสัญญาณออกที่วัดได้ $E_{(s)}$ คือ สัญญาณคลาดเคลื่อนออกจากค่าอ้างอิง

$$E_{(s)} = R_{(s)} - Y_{(s)} \tag{2.17}$$

และ $U_{(s)}$ คือ สัญญาณควบคุมที่ออกจากตัวควบคุม เมื่อใช้ตัวควบคุม PID เราจะได้ว่า

$$C_{(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \tag{2.18}$$

ดังนั้น สัญญาณควบคุมสามารถบรรยายในโดเมนเวลาได้ดังนี้

$$u(t) = K_p(e_{(t)} + \frac{1}{T_i})\int_0^t e(\tau)d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.19}$$

ตัวควบคุม PID ประกอบไปเทคนิคการควบคุมพื้นฐาน 3 แบบ แบบสัดส่วน (Proportional หรือ P) แบบอินทิกรัล (Integral หรือ I) และแบบอนุพันธ์ (Derivative หรือ D) แต่ละแบบสามารถนำมาประกอบกันเพื่อให้ได้ตัวควบคุมที่ต้องการ ตัวควบคุมมีพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ ค่าอัตราขยายแบบสัดส่วน (K_p) ค่า integral time (T_i) และ derivative time (T_d) รายละเอียดของการควบคุมพื้นฐานแต่ละแบบมีดังนี้

Proportional Action (P) เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุด หลักการก็คือสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมป้อนเข้ากระบวนการ มีค่าเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาด (error = setpoint-output) ที่เกิดขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง Proportional Action ทำหน้าที่เป็นอัตราขยายเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ K_p การควบคุมเชิงสัดส่วนนี้สามารถควบคุมระบบได้ดีระดับหนึ่ง เหมาะสมกับกระบวนการที่ต้องการผลตอบสนองรวดเร็ว ในขณะเดียวกันยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนขนาดคงที่ค่าหนึ่ง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานหรือพารามิเตอร์บางตัวในระบบ ก็อาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น ความคลาดเคลื่อนในสภาวะอยู่ตัว (steady state error) หรือที่เรียกว่า“offset” ตัวควบคุมแบบ P ไม่สามารถแก้ไขให้หมดไปได้ แต่สามารถลดผลได้ โดยเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุมเพื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณควบคุม ทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตาม หากเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุมมากเกินไปก็อาจจะทำให้ผลตอบแกว่งได้ เนื่องจากระบบจะไวต่อการเปลี่ยนแปลง

Integral Action (I) สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมแบบ PI สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$U_{(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s})\ E_{(s)} = (K_p + \frac{K_p}{s})E_{(s)} \tag{2.20}$$

เมื่อ T_i คือ Integral time (วินาที) วิธีนี้จะสามารถแก้ความคลาดเคลื่อนในสภาวะอยู่ตัวได้ เนื่องจากเสมือนเพิ่มขั้วที่จุดกำเนิดให้กับระบบวงเปิด แต่ก็จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพ

สัมพัทธ์ลดลง โดยทั่วไปแล้วระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะมีช่วงเวลาการแกว่งนานกว่าช่วงเวลาที่ใช่ตัวควบคุมแบบสัดส่วน 50% หรือ

$$T_{(PI)} = 1.5T_{(p)} \tag{2.21}$$

เมื่อ T_{pi} คือ ช่วงเวลาในการแกว่งของระบบที่ใช่ตัวควบคุมแบบ PI และ $T_{(p)}$ คือ ช่วงเวลาในการแกว่งของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ P อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลา (time constant) น้อย ปัญหานี้จะไม่มีผลมากนัก แต่สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลามาก ปัญหานี้จะใหญ่มากและอาจทำให้ระบบเข้าสู่จุดวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับได้ (เช่น ระบบควบคุมระดับ)

Derivative Action (D) การควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัลต่างก็มีข้อจำกัด และอาจทำให้เกิดปัญหาต้อการควบคุมกระบวนการเนื่องจากการแกว่งมาก อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขด้วยการเพิ่มตัวอนุพันธ์ สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมแบบ PID สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$U_{(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)\ E_{(s)} = (K_p + \frac{K_p}{s} + K_d s)E_{(s)} \tag{2.22}$$

ในทฤษฎีระบบควบคุม Derivative action ทำหน้าที่เสมือนกับการเพิ่มศูนย์ (zero) หนึ่งตัวให้กับระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพสัมพัทธ์ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม K_d มากเกินไปอาจจะทำให้ระบบมีผลตอบที่ช้า (Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (n.d.). Feedback control of dynamic systems (4th ed.). Pearson Prentice Hall)

2.9 การระบุเอกลักษณ์ระบบ

System Identification หรือการระบุเอกลักษณ์ระบบ คือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) จากข้อมูลที่ได้จากระบบจริง (Real System) โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลอง (Experimental Data Analysis) เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถพยากรณ์พฤติกรรมหรือการตอบสนองของระบบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำที่สุดแบบจำลองที่ได้จาก System Identification มักอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์หรือสมการผลต่าง (Differential or Difference Equations) ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Functions) หรือในรูปแบบของโมเดลเชิงสถานะ (State-Space Models) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในด้านการออกแบบตัวควบคุม (Controller Design) หรือในการวิเคราะห์ความเสถียรและสมรรถนะของระบบควบคุม

2.9.1 ขั้นตอนของกระบวนการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

1. การเก็บข้อมูล (Data Acquisition) เป็นการดำเนินการเก็บข้อมูลจากระบบที่สนใจ โดยเลือกสัญญาณอินพุตและวัดสัญญาณเอาต์พุต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและเหมาะสมในการวิเคราะห์ต่อไป โดยสัญญาณอินพุตที่นิยมใช้ ได้แก่ Step Input, Impulse Input, Ramp Input และ Random Input เป็นต้น

2. การเลือกโครงสร้างของแบบจำลอง (Model Structure Selection) เลือกโครงสร้างของแบบจำลองที่เหมาะสมกับระบบที่ศึกษา ตัวอย่างโครงสร้างที่นิยมได้แก่

แบบจำลองเชิงเส้น (Linear Models) โดยทั่วไปนิยมแสดงในรูปของสมการถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

$$G(s)=\frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + b_2 s^{m-2} + \ldots + b_m}{a_0 s^m + b_1 s^{m-1} + b_2 s^{m-2} + \ldots + a_n} \tag{2.23}$$

เมื่อ G(s) คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

S คือ ตัวแปรเชิงซ้อน (Complex Frequency)

a_i,b_i คือพารามิเตอร์ของระบบ (Coefficients)

แบบจำลองเชิงไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Models) โดยทั่วไปนิยมแสดงในรูปของสมการถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

สมการสถานะเชิงไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear State Equation)

$$\dot{x}(t)=f(x(t),u(t),t) \tag{2.24}$$

สมการเอาต์พุตเชิงไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Output Equation)

$$y(t)=g(x(t),u(t),t) \tag{2.25}$$

เมื่อ x(t) คือ ตัวแปรสถานะของระบบ (State Variables) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

u(t) คือ ตัวแปรอินพุตของระบบ (Input Variables) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

y(t) คือ ตัวแปรเอาต์พุตของระบบ (Output Variables) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

t คือ เวลา (Time)

f() และ g() คือ ฟังก์ชันที่แสดงลักษณะเชิงไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ

แบบจำลองเชิงสถานะ (State-Space Models) โดยทั่วไปนิยมแสดงในรูปของสมการถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

สมการสถานะ (State equation)

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \tag{2.26}$$

สมการเอาต์พุต (Output equation)

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \tag{2.27}$$

เมื่อ x(t) คือ เวกเตอร์สถานะ (State vector)

u(t) คือ เวกเตอร์อินพุต (Input vector)

y(t) คือ เวกเตอร์เอาต์พุต (Output vector)

A คือ เมทริกซ์สถานะ (State matrix)

B คือ เมทริกซ์อินพุต (Input matrix)

C คือ เมทริกซ์เอาต์พุต (Output matrix)

D คือ เมทริกซ์ป้อนตรง (Direct transmission matrix)

โดยที่เมทริกซ์มีขนาดดังนี้:

A: n×n

B: n×m

C: p×n

D: p×m

(โดย n คือจำนวนสถานะ, m คือจำนวนอินพุต, p คือจำนวนเอาต์พุต)

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Parameter Estimation) ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองที่เลือก โดยใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น

Least Squares (LS) Method เป็นวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยมีแนวคิดหลักคือการลดค่าผลรวมของกำลังสองของข้อผิดพลาด (Sum of Squared Errors) ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลอง วิธีนี้เหมาะสมกับแบบจำลองเชิงเส้นและมีข้อดีคือความง่ายในการคำนวณ

Recursive Least Squares (RLS) Method เป็นวิธีที่มีลักษณะเป็นการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์อย่างต่อเนื่องแบบเรียลไทม์ (Real-time) ทำให้สามารถใช้กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ตามเวลาได้

Maximum Likelihood Estimation (MLE) เป็นวิธีที่มองหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ความน่าจะเป็น (Likelihood) ของข้อมูลที่วัดได้มีค่าสูงที่สุด วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการระบุระบบที่มี Noise หรือความไม่แน่นอนสูง

4. การนำไปประยุกต์ใช้งาน แบบจำลองที่ได้จากการทำ System Identification สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น

- การออกแบบระบบควบคุม PID (PID Controller Tuning)
- การออกแบบระบบควบคุมเชิงพยากรณ์ (Model Predictive Control, MPC)
- การวิเคราะห์และคาดการณ์พฤติกรรมระบบเชิงพลวัต (Dynamic Systems)
- การตรวจสอบสุขภาพและการวิเคราะห์ความผิดปกติของระบบ (System Health Monitoring and Fault Diagnosis)

2.10 รีโมทวิทยุเครื่องบิน (Aircraft Radio Remote Control)

รีโมทวิทยุเครื่องบิน (Radio Control: RC) คือระบบควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลโดยใช้สัญญาณคลื่นวิทยุ มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการควบคุมอากาศยานไร้คนขับ (UAV) และเครื่องบินบังคับ เพื่อให้ผู้ควบคุมสามารถบังคับทิศทางการบินและการทำงานของระบบต่างๆ ของเครื่องบินได้จากระยะไกลระบบรีโมทวิทยุเครื่องบินมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

2.10.1 ส่วนประกอบของรีโมทวิทยุเครื่องบิน

ระบบรีโมทวิทยุมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือตัวส่งสัญญาณ (Transmitter: TX) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องบิน โดยผู้ควบคุมสามารถสั่งงานผ่านคันโยก (Stick) และสวิตช์ (Switch) ตัวรับสัญญาณ (Receiver: RX) ติดตั้งอยู่บนตัวเครื่องบิน มีหน้าที่รับสัญญาณจากตัวส่งและส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เช่น Servo Motor หรือ ESC เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของเครื่องบิน

2.10.2 หลักการทำงานของระบบรีโมทวิทยุ

เมื่อผู้ควบคุมขยับคันโยกบนรีโมท ตัวส่ง (Transmitter) จะเปลี่ยนตำแหน่งของคันโยกเป็นสัญญาณวิทยุ ส่งออกไปยังตัวรับ (Receiver) ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบิน จากนั้นตัวรับจะนำสัญญาณนั้นมาแปลงเป็นคำสั่งทางไฟฟ้า (สัญญาณ PWM หรือสัญญาณดิจิทัล) ส่งไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครื่องบินเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวตามต้องการ

2.10.3 คลื่นความถี่ที่นิยมใช้ในการควบคุมรีโมทวิทยุ

ปัจจุบันความถี่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ความถี่ 2.4 GHz เนื่องจากมีการรบกวนน้อย มีช่องสัญญาณมาก และส่งข้อมูลได้แม่นยำ โดยใช้เทคโนโลยีหลักสองแบบ ได้แก่

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) เป็นระบบที่เปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ เพื่อลดการรบกวนจากสัญญาณอื่น
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เป็นการส่งข้อมูลที่มีความปลอดภัยและความเสถียรสูง ใช้ในการส่งสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

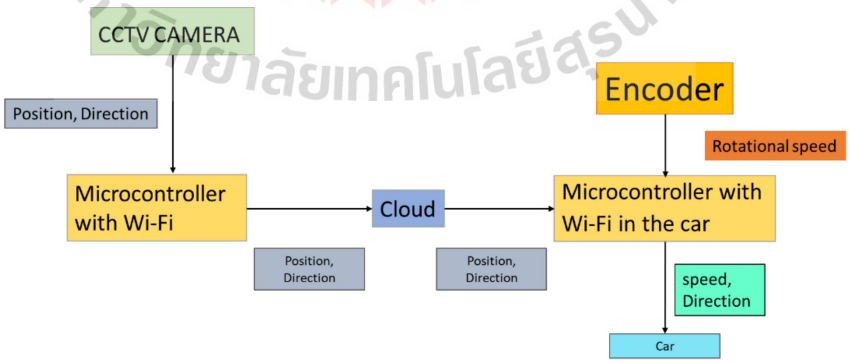
2.10.4 รูปแบบของสัญญาณควบคุม

การควบคุมเครื่องบินด้วยรีโมทวิทยุโดยทั่วไปจะใช้สัญญาณ 2 แบบ คือ

1. สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) สัญญาณนี้จะใช้ควบคุม Servo หรือ ESC โดยมีการส่งสัญญาณความกว้างของพัลส์ในช่วงประมาณ 1000–2000 ไมโครวินาที เพื่อควบคุมตำแหน่งหรือความเร็วของอุปกรณ์

2. สัญญาณดิจิทัล (Serial Protocol) เป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบอนุกรม ตัวอย่างเช่น SBUS หรือ IBUS ซึ่งจะสามารถส่งข้อมูลหลายช่องพร้อมกันด้วยความเร็วสูง ทำให้ควบคุมได้แม่นยำมากขึ้น

การรับส่งข้อมูลผ่านWi-Fi โดยข้อมูลที่รับส่งมาจะมาจากกล้องจะมี ตำแหน่ง,ทิศทาง และเส้นทางในการเดินรถโดยจะทำงานโดยกล้องจะส่งข้อมูลไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วจะส่งข้อมูลขึ้นไปที่ คลาวด์ (Cloud) แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ที่ตัวรถจะทำการดึงข้อมูลมาจาก คลาวด์ (Cloud) และทำการสั่งมอเตอร์ให้ทำงาน ดังรูปที่ 2.15



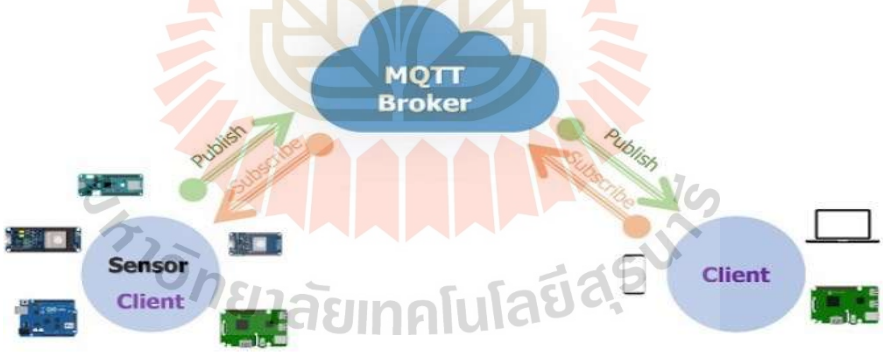
รูปที่ 2.15 หลักการรับส่งข้อมูล

2.11 การสื่อสารไร้สายผ่าน WI-FI

ระบบเครือข่ายไร้สายหรือ WLAN (Wireless Local Area Network) คือระบบการสื่อสารข้อมูลที่ไม่ต้องการใช้สายสื่อสาร โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุและคลื่นอินฟราเรดในย่านวิทยุ RF เพื่อการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ที่ต่อกัน โดยใช้ทางอากาศโดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้สายสื่อสารเพื่อการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายมีความสามารถที่ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งที่อยู่ในระยะทางที่ทะลุผ่านกำแพง ฝ้า เพดาน หรือวัตถุก่อสร้างอื่น ๆ โดยที่ไม่ต้องการการติดตั้งสายสื่อสารเพิ่มเติม

2.11.1 เอ็มคิวทีที โปรโตคอล (MQTT Protocol)

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) เป็นโปรโตคอลที่ถูกออกแบบมีขนาดเล็กเพื่อการสื่อสารแบบ M2M (Machine to Machine) ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยวิศวกรจาก IBM และ Eurotech ในปี 1999 เพื่อใช้ในระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ในการเชื่อมต่อท่อส่งน้ำมันบนเครือข่ายที่ไม่มีความเสถียรอย่างอินเตอร์เน็ตดาวเทียม ซึ่งหลังจากนั้นก็ถูกบริจาคและกลายเป็น Open Standard ในปี 2014 โดย OASIS MQTT เป็นสถาปัตยกรรมแบบ Client/Server ที่มี topology แบบ hub-and-spoke โดยที่ปลายทางทำหน้าที่เป็น Client และเชื่อมต่อแบบ TCP ไปยัง Server ที่รู้จักว่า Broker ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล ระหว่าง Client ที่เป็น Publisher และ Subscriber ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การรับส่งข้อมูลของ MQTT

ที่มา: www. blog.thaieasyelec.com

MQTT แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก:

1. Broker: Broker เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่าง Client โดยมีการสร้างเส้นทาง (Routing) ด้วยหัวข้อ (Topic) โดย Client ต้อง Subscribe ใน Topic ที่ต้องการ จากนั้น Broker จะส่งข้อมูลทั้งหมดที่ถูก Publish ใน Topic นั้นให้ โดยที่ Client สื่อสารกันโดยที่ไม่รู้จักกัน

2. Client: Client เป็นได้ทั้ง Publisher และ Subscriber ที่เชื่อมต่อไปยัง Broker สามารถเชื่อมต่อแบบ persistent ที่ทำการสร้าง session ค้างไว้เปิดตลอดเวลาเพื่อติดต่อกับ Broker หรือแบบ transient ที่ Broker ไม่สามารถติดตามสถานะได้

3. Topic: Topic เป็นเหมือนที่อยู่หรือ endpoint บน Broker ที่ Client เชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อความระหว่างกัน

2.11.2 Ultra-wideband (UWB)

ในยุคที่เทคโนโลยีไร้สายก้าวไกลและเชื่อมต่อทุกสิ่งทุกอย่างเข้าด้วยกัน การหาวิธีส่งผ่านข้อมูลอย่างรวดเร็ว แม่นยำ และปลอดภัยได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ Ultra-wideband (UWB) จึงกลายเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีมานี้ เนื่องจากมีศักยภาพในการระบุตำแหน่ง (Positioning) ในระดับเซนติเมตร ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน (Interference) ได้ดี UWB ไม่ได้เป็นเทคโนโลยีใหม่ในแวดวงวิศวกรรมคลื่นความถี่ หากแต่เคยถูกนำไปใช้ในงานทางทหารและเรดาร์มาก่อนหลายสิบปี กระทั่งปัจจุบัน มีการพัฒนาและย่อส่วนให้มีขนาดเล็กพอจะฝังลงในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สมาร์ตโฟน สมาร์ตวอทช์ หรือแท็กติดตามของหาย จึงส่งผลให้ UWB มีแนวโน้มจะกลายเป็น “ตัวจุดประกาย” ที่ทำให้การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IoT ทั่วโลกพัฒนาก้าวกระโดด

Ultra-wideband (UWB) คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่อาศัยการกระจายคลื่นในช่วงความถี่ (Bandwidth) ที่กว้างเป็นพิเศษ (เกินกว่า 500 MHz ขึ้นไป) ทำให้สามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยรูปแบบพัลส์ (Pulse) สั้น ๆ ซึ่งมี กำลังส่งต่ำ แต่ครอบคลุมคลื่นความถี่กว้างอย่างต่อเนื่อง ความแตกต่างของ UWB เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ เช่น Wi-Fi, Bluetooth หรือ Zigbee คือ วิธีการสร้างสัญญาณที่กระจายออกไปในย่านความถี่ที่กว้างกว่า ซึ่งให้ข้อดีทั้งด้านการส่งข้อมูลความเร็วสูง ระยะเวลาดีเลย์ที่ต่ำ และความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

1. หลักการทำงานของ Ultra-wideband (UWB)

- Pulse-based Transmission

UWB ไม่ได้ใช้คลื่นความถี่แคบหรือช่องสัญญาณแคบ ๆ แบบ Wi-Fi หรือ Bluetoothแต่จะส่งสัญญาณพัลส์ในช่วงกว้างหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์หรือมากกว่า ทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงและสามารถแยกแยะสัญญาณได้ดี

- Time of Flight (ToF) & Time Difference of Arrival (TDoA)

การตรวจวัด “เวลาที่ใช้เดินทาง” ของพัลส์จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ช่วยคำนวณระยะได้แม่นยำในระดับเซนติเมตรยิ่งมีจุดรับหลายจุด (เช่น การใช้ Anchor หลายตัวในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร) ก็สามารถคำนวณตำแหน่ง 2 มิติหรือ 3 มิติได้อย่างละเอียด

- Low Power & Short Range

UWB จะกระจายคลื่นไปในย่านความถี่กว้าง แต่กำลังส่ง (Power) ค่อนข้างต่ำ ทำให้เหมาะกับงานระยะใกล้ถึงระยะปานกลางความถี่กว้างยังช่วยลดสัญญาณรบกวนและการชนสัญญาณ (Collision) กับอุปกรณ์อื่น ๆความสามารถและข้อดีของ Ultra-wideband (UWB)ความละเอียดในการระบุตำแหน่ง (High-precision Positioning) สามารถวัดระยะผิดพลาดได้ในระดับเซนติเมตร ทำให้ UWB เหมาะกับการใช้ติดตามตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning) หรือระบบ Asset Tracking ในคลังสินค้า โรงงาน หรือห้างสรรพสินค้า

2. ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล (High Data Rate)

ด้วยแบนด์วิดท์กว้าง UWB สามารถรองรับการส่งผ่านข้อมูลที่มีอัตรารับ-ส่งสูงแม้ภายในระยะทางไม่ไกลมากตอบสนองได้ฉับไว (Low Latency) เหมาะกับงานที่ต้องการการตอบสนองเรียลไทม์

3. สัญญาณรบกวนต่ำ (Low Interference)

กำลังส่งต่ำกระจายความถี่กว้าง ทำให้สัญญาณของ UWB ไม่เข้มข้น (Spectral Density ต่ำ) และรบกวนอุปกรณ์อื่นในย่านใกล้เคียงน้อยลง

4. ความปลอดภัย (Security)

วิธีการส่งแบบพัลส์และการวัดเวลาที่แม่นยำ ทำให้เกิดการปลอมแปลงหรือขโมยสัญญาณได้ยากกว่าสัญญาณไร้สายทั่วไปส่งเสริมให้ UWB ถูกนำไปใช้ในระบบความปลอดภัย เช่น การเข้าถึงสถานที่หรือการปลดล็อกอัจฉริยะ (Smart Access Control)

2.12 การหาตำแหน่ง

ในยุคปัจจุบัน การระบุตำแหน่ง (Positioning) ไม่ได้จำกัดเพียงแค่การใช้งานระบบ GPS เพื่อหาพิกัดบนพื้นโลกอีกต่อไป แต่ยังรวมถึงการหาตำแหน่งในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor) อีกด้วย เนื่องจากสัญญาณ GPS ไม่สามารถเจาะทะลุผนังและสภาพภายในอาคารได้ดีเท่าที่ควร จึงทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยี การหาตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning) ขึ้นมา เพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ทั้งในด้านธุรกิจ การบริการ และความปลอดภัย

2.12.1 การหาตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning)

การหาตำแหน่งในอาคาร หมายถึงกระบวนการกำหนดหรือระบุตำแหน่งของวัตถุหรือบุคคลภายในพื้นที่ที่มีการปิดล้อม เช่น อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม หรือคลังสินค้า ระบบที่ให้บริการดังกล่าว เรียกว่า Indoor Positioning System (IPS) ซึ่งโดยหลักแล้ว มีเป้าหมายเพื่อระบุตำแหน่งให้มีความแม่นยำในระดับเมตรหรือเซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี) และสนับสนุนการทำงานแบบเรียลไทม์ เทคโนโลยีหลักที่ใช้ใน Indoor Positioning มีดังต่อไปนี้

1. Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon

ใช้ Beacons หรือเครื่องส่งสัญญาณขนาดเล็กที่กระจายคลื่น BLE เป็นระยะ เมื่อสมาร์ตโฟนเข้ามาอยู่ในระยะ ก็จะจับสัญญาณและคำนวณระยะหรือความแรงของสัญญาณ (RSSI) ข้อดีคือ ราคาถูก ติดตั้งง่าย พลังงานต่ำ และรองรับโทรศัพท์สมาร์ตโฟนรุ่นใหม่ได้ทันที ข้อจำกัดคือ ความแม่นยำอาจต่ำกว่าระบบอื่น หากสภาพแวดล้อมมีสัญญาณรบกวนหรือมีการสะท้อนสัญญาณสูง

2. Wi-Fi Positioning

ใช้จุดกระจายสัญญาณ Wi-Fi (Access Point) หลายจุด เพื่อให้สมาร์ตโฟนหรืออุปกรณ์จับสัญญาณและคำนวณตำแหน่งจากข้อมูลความแรงของสัญญาณ หรือละติจูด/ลองจิจูดจากฐานข้อมูลแผนที่ของผู้ให้บริการติดตั้งง่าย เพราะหลายอาคารมีจุด Wi-Fi อยู่แล้ว แต่ความแม่นยำอาจไม่สูงนัก (ระดับ 5-10 เมตร) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของ Access Point และความซับซ้อนของอาคาร

3. Ultra-wideband (UWB)

ใช้เทคโนโลยีคลื่นความถี่กว้างพิเศษ ส่งผลให้วัดเวลาเดินทางของสัญญาณ (Time of Flight) ได้แม่นยำระดับเซนติเมตรเหมาะกับสถานที่ที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น คลังสินค้าอัตโนมัติ การติดตามการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ราคาแพงแต่มี ข้อจำกัดคือต้องใช้ฮาร์ดแวร์เฉพาะและต้นทุนติดตั้งสูงกว่าระบบ BLE หรือ Wi-Fi

4. Radio Frequency Identification (RFID)

ใช้คลื่นวิทยุและแท็ก (Tag) แบบพาสซีฟหรือแอคทีฟ เพื่อระบุตัวตนของวัตถุ โดยมีเครื่องอ่าน (Reader) ที่ส่งสัญญาณเข้าไปกระตุ้นแท็กนิยมใช้ในระบบคลังสินค้าขนาดใหญ่ แต่จะระบุพิกัดอย่างละเอียดได้น้อยกว่าระบบอื่นที่คำนวณระยะได้

5. Geomagnetic Positioning

ใช้เซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กของสมาร์ตโฟน และเปรียบเทียบกับข้อมูล “ลายเซ็นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Fingerprint)” ที่บันทึกไว้ล่วงหน้าในพื้นที่อาคารไม่ต้องติดตั้งฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม แต่ต้องมีการทำแผนที่สนามแม่เหล็ก (Mapping) ภายในอาคาร ซึ่งอาจยุ่งยากและใช้เวลานาน

6. Sensor Fusion (IMU, Gyroscope, Accelerometer)

ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีข้างต้นโดยประมวลผลกับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ในสมาร์ตโฟน เช่น การหมุน (Gyroscope), ความเร่ง (Accelerometer), ทิศทาง (Compass) เพื่อปรับปรุงความแม่นยำมากขึ้น เหมาะกับการเดินทางในพื้นที่ระยะสั้นหรือเชื่อมโยงกับระบบนำทาง (Dead Reckoning)

2.12.2 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI ย่อมาจาก Received Signal Strength Indicator หมายถึง “ค่าความแรงของสัญญาณ (ไร้สาย) ที่ตัวรับวัดได้” ในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละแพ็กเกจของการรับสัญญาณ ยิ่งค่าของ RSSI สูง แสดงว่าสัญญาณที่รับได้มีความแรงมาก (ซึ่งหมายถึงตัวรับอยู่ใกล้แหล่งส่งสัญญาณมากหรือไม่มีการสูญเสียระหว่างทางมากนัก) ในทางกลับกัน หาก RSSI มีค่าน้อย แสดงว่าสัญญาณที่รับมีความแรงน้อย อาจเนื่องมาจากระยะทางที่ไกลขึ้น สิ่งกีดขวาง หรือการรบกวนจากสภาพแวดล้อม โดยส่วนมาก ค่า RSSI ถูกแสดงเป็นหน่วย dBm (เดซิเบลมิลลิวัตต์) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้บอกความเข้มของสัญญาณในเชิงล็อก (Logarithm) ยกตัวอย่างเช่น ค่า -30 dBm หมายถึงสัญญาณที่แรงมาก (อยู่ใกล้แหล่งส่ง) ในขณะที่ค่า -90 dBm ถือว่าอ่อนมาก อาจใกล้ระดับที่อุปกรณ์รับไม่ไหว

1. หลักการทำงานของ Received Signal Strength Indicator (RSSI)

การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ (Radio Propagation) สัญญาณที่ถูกปล่อยจาก Access Point (AP) หรือ Beacon จะแพร่กระจายในทุกทิศทาง และค่อย ๆ ลดทอนความแรงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นตามกฎการสูญเสียกำลังของสัญญาณ (Path Loss)ปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้สัญญาณลดทอน เช่น ผนัง พื้น วัสดุสะท้อน หรือการรบกวนจากคลื่นความถี่ใกล้เคียงกัน

การวัดค่า (Measurement) อุปกรณ์รับ (เช่น สมาร์ตโฟนหรือแท็ก) จะจับสัญญาณไร้สายจาก AP หรือ Beacon ที่อยู่รอบ ๆ และวัดระดับความแรงของสัญญาณ (RSSI) แต่ละแบรนด์และรุ่นของอุปกรณ์อาจมีการรายงาน RSSI ต่างกันไปตามมาตรฐานฮาร์ดแวร์และเฟิร์มแวร์

การอนุมานระยะทางจากค่า RSSI

เมื่อทราบความแรงของสัญญาณ (RSSI) เราสามารถประมาณ “ระยะทาง” ระหว่างตัวส่งกับตัวรับได้ โดยใช้สมการการสูญเสียสัญญาณ (Path Loss Model)ตัวอย่าง Path Loss Model ทั่วไป เช่น

$$\text{Distance} = 10\left(\frac{MeasuredPower - RSSI}{10 \times n}\right) \tag{2.28}$$

เมื่อ *Distance* คือ ระยะทาง มีหน่วยเป็น เมตร

RSSI คือ ค่าความแรงของสัญญาณ มีหน่วยเป็น dBm

n คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อยู่ในช่วง 2-6

Measured Power คือค่าความแรงของสัญญาณมาตรฐานได้ในระยะ 1เมตร

2.12.3 Trilateration

Trilateration หมายถึง วิธีการทางเรขาคณิตในการระบุตำแหน่งของจุดหนึ่งในระนาบสองมิติ (2D) หรือในอวกาศสามมิติ (3D) โดยอาศัย “ระยะทาง” จากจุดดังกล่าวไปยังแหล่ง

อ้างอิง (Reference Points) ที่ทราบพิกัดแน่นอนอย่างน้อย 3 จุด (ในกรณี 2D) หรือ 4 จุด (ในกรณี 3D) จากนั้นจึงนำค่า “ระยะทาง” เหล่านี้มาไขว้กันเพื่อให้ทราบว่าจุดที่ต้องการอยู่ตรงไหนใน 2D: ต้องใช้ Anchor อย่างน้อย 3 จุดใน 3D: ต้องใช้ Anchor อย่างน้อย 4 จุดการรู้ “ระยะทาง” อาจได้จากการวัดเวลาการเดินทางของคลื่นวิทยุ (Time of Flight) หรือการคำนวณจากความแรงของสัญญาณ (RSSI) เป็นต้น

- หลักการทำงานของ Trilateration

การกำหนดพิกัดของ Anchor ต้องทราบพิกัดที่แน่นอน (X, Y หรือ X, Y, Z) ของจุดอ้างอิงอย่างน้อย 3 หรือ 4 จุดยกตัวอย่างเช่น เรามี Anchor 3 จุดในระนาบ 2D ที่ตำแหน่ง $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ วัดระยะทางจากจุดที่จะระบุตำแหน่งอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง (เช่น สมาร์ตโฟน) จะวัด “ระยะทาง” จากการรับคลื่นสัญญาณของ Anchor แต่ละตัวระยะทางอาจได้จากหลายเทคนิค เช่น Time of Flight (ToF): ใช้ความเร็วแสงคูณเวลาที่คลื่นใช้เดินทางหรือ Received Signal Strength Indicator (RSSI) ประเมินระยะจากค่าความแรงของสัญญาณ แต่แม่นยำน้อยกว่าวิธีวัดเวลา

- สร้างสมการทางเรขาคณิต

ใน 2D การทราบระยะทาง d_1, d_2, d_3 จาก Anchor 3 จุด สามารถเขียนสมการวงกลมรัศมี d_i ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (x_i, y_i) จุดตัดของวงกลมทั้งหมดจะเป็นคำตอบของตำแหน่ง (x, y) ของอุปกรณ์ในอุดมคติ (หากจุดตัดไม่สนิทเพราะมีความคลาดเคลื่อน ก็หาจุดเหมาะสมที่สุด) โดยคำนวณตำแหน่งสุดท้ายใช้อัลกอริทึมทางคณิตศาสตร์ (เช่น Least Squares) เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่วัดได้ สุดท้ายจะได้พิกัด (x, y) ที่เป็นคำตอบดีที่สุด

- ข้อดีและข้อจำกัดของ Trilateration

ข้อดี

1. เข้าใจง่าย: เป็นหลักการเรขาคณิตที่ตรงไปตรงมา ใช้ระยะทางมาไขว้ (Intersect)

2. ประยุกต์หลากหลาย: สามารถนำไปใช้กับระบบ GPS, UWB, Wi-Fi, BLE หรือเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่น ๆ ได้

3. ใช้จุดอ้างอิงน้อย: ใน 2D ต้องการ Anchor เพียง 3 จุดเท่านั้น

ข้อจำกัด

1. ต้องวัดระยะทางได้แม่นยำ: หากการวัดระยะมีความคลาดเคลื่อนมาก หรือมี Noise สูง ตำแหน่งสุดท้ายจะผิดเพี้ยน

2. ต้องรู้ตำแหน่ง Anchor อย่างถูกต้อง: หากจุดอ้างอิงไม่ถูกต้อง หรือปรับเปลี่ยนตำแหน่งโดยไม่อัปเดต ระบบจะให้ค่าตำแหน่งผิด

3. ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม: ในการใช้งาน Indoor ข้อมูลระยะทางอาจโดนรบกวนด้วยผนังหรือการสะท้อนสัญญาณ ทำให้ Trilateration ไม่แม่นยำ

- ตัวอย่างสมการคำนวณ Trilateration (กรณี 2 มิติ)

ในการคำนวณตำแหน่ง (x,y) บนระนาบ 2 มิติ เราจำเป็นต้องมีจุดอ้างอิง (Anchor) อย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละจุดมีพิกัด (x_i, y_i) และระยะทาง (หรือรัศมี) จากจุดอ้างอิงไปยังจุดที่เราต้องการหาตำแหน่งคือ rir_iri (ได้จากการวัดหรือคำนวณด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น Time of Flight หรือ RSSI) ดังนั้น หากสมมติให้มี 3 Anchor ได้พิกัดและระยะดังนี้

$$Anchor\ A:(x_1, y_1), r1$$

$$Anchor\ B:(x_2, y_2), r2$$

$$Anchor\ C:(x_3, y_3), r3$$

ตำแหน่ง (x,y) ที่ต้องการหาจะต้องทำให้เป็นไปตามสมการระยะของวงกลมทั้ง 3 วง ดังนี้

$$(x-x_1)^2+(y-y_1)^2=r_1^2 \tag{2.29}$$

$$(x-x_2)^2+(y-y_2)^2=r_2^2 \tag{2.30}$$

$$(x-x_3)^2+(y-y_3)^2=r_3^2 \tag{2.31}$$

- การลดรูปสมการ (Linearization)

เพื่อลดความซับซ้อน มักใช้วิธี “ลบสมการ” (Subtracting Equations) ให้เหลือรูปเชิงเส้น (Linear) แล้วแก้ระบบสมการ ซึ่งทำได้โดยลบสมการ (2.25) ออกจากสมการ (2.24) และลบสมการ (2.25) ออกจากสมการ (2.24) ตามลำดับ

สมการที่ (2.24) - (2.25)

$$2(x_2-x_1)x+2(y_2-y_1)y=(r_1^2-r_2^2)-(x_1^2-x_2^2)-(y_1^2-y_2^2) \tag{2.32}$$

สมการที่ (2.24) - (2.26)

$$2(x_3-x_1)x+2(y_3-y_1)y=(r_1^2-r_3^2)-(x_1^2-x_3^2)-(y_1^2-y_3^2) \tag{2.33}$$

- แก้ระบบสมการเชิงเส้น (A) และ (B)

หลังจากได้สมการ (A) และ (B) ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นในตัวแปร x และ y สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$a_1x+b_1y=c_1$$

$$a_2x+b_2y=c_2$$

โดยเปรียบเทียบ

$$a_1 = 2(x_2 - x_1),\ b_1 = 2(y_2 - y_1),\ c_1 = (r_1^2 - r_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2)$$

$$a_2 = 2(x_3 - x_1),\ b_2 = 2(y_3 - y_1),\ c_2 = (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)$$

จากนั้นใช้วิธีการแก้สมการเชิงเส้นทั่วไป (เช่น Cramer's Rule หรือ Inverse Matrix) เพื่อหาคำตอบ (x, y) นี้ก็คือตำแหน่งของจุดที่ต้องการในระบบพิกัด 2 มิติ

$$x = \frac{c_1 b_2 - b_1 c_2}{a_1 b_2 - b_1 a_2},\ y = \frac{a_1 c_2 - c_1 a_2}{a_1 b_2 - b_1 a_2} \tag{2.34}$$

2.13 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.13.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเลี้ยงไก่

(Dsouza & Arumugam MuthuKumaraswamy, 2023) เสนอระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะการใช้หุ่นยนต์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นอยู่ที่ดีของปศุสัตว์และการตรวจหาโรคตั้งแต่เริ่มต้นในฟาร์มสัตว์ปีกโดยใช้ Raspberry Pi 4 และ Arduino UNO โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับค่าต่างๆเช่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของสิ่งชีวิต ระดับแอมโมเนียภายในฟาร์มจะต้องจำกัดอยู่ที่ 25 ppm ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ควรเกิน 3000 ppm อุณหภูมิควรอยู่ภายใน 30-35°C และความชื้นควรอยู่ที่ประมาณ 65-70%

(*Teddy*, n.d.) พัฒนาฟาร์มสัตว์ปีกไก่อัจฉริยะที่ใช้ระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ (RTOS) บน Arduino โดยจะมีการวัดค่าต่างๆเช่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิและความชื้น มีการทำงานโดย ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะเปิดหลอดไฟ ถ้าค่าของแอมโมเนียสูงขึ้นเกิน 0.5 ppm จะทำการเปิดพัดลม และได้ทำการเปรียบเทียบระบบที่มี RTOS และไม่มี RTOS ระบบที่มี RTOS ทำงานได้ดีกว่าเนื่องจากสามารถกำหนดลำดับความสำคัญของงานได้ใน RTOS ซึ่งงานที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าจะทำก่อน

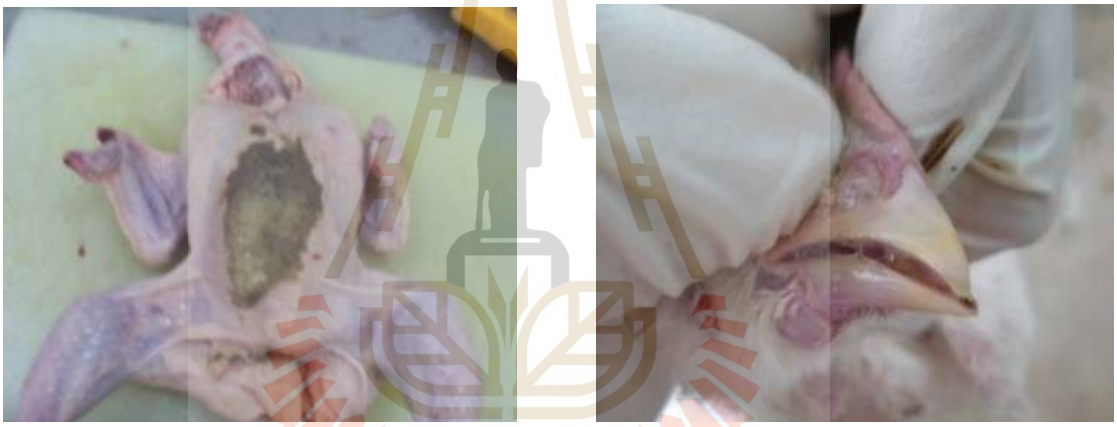
(Budiarto et al., 2020) ทำการออกแบบระบบฟาร์มไก่โดยมีการวัดค่าของแอมโมเนียและอุณหภูมิ ระดับแอมโมเนียภายในฟาร์มจะต้องจำกัดอยู่ที่ 25 ppm ดังตารางที่ 2.4 อุณหภูมิของไก่จะมีอุณหภูมิเฉพาะตามอายุของไก่ในฟาร์มนั่นๆ ถ้าค่าของ แอมโมเนียและอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ระบบจะทำงานและส่งSMS ให้กับผู้ใช้งานหรือจะของฟาร์มว่ามีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้น

ตารางที่ 2.4 ระดับแอมโมเนียและผลกระทบต่อไก่

Ammonia (ppm)	Smelled	Egg production effect	Weight loss effect
20-25	Began to smell	No	No
25-30	Smells	Slight	Slight
50-60	strong smell	Yes (+)	Yes (+)
100	Nasal irritation	Yes (++)	Yes (++)
200	Eye irritation	Yes (+++)	Yes (+++)

ที่มา: Budiarto et al., 2020

ถ้าระดับแอมโมเนียเกินค่ามาตรฐานจะทำให้ไก่เกิดโรคระบบหายใจและระบบผิวหนังและทำให้น้ำหนักตัวของไก่ลดลงเนื่องจากป่วยยังทำให้แบคทีเรียเชื้อราเติบโตได้ดีด้วยดัง รูปที่ 2.17 (ก) และ (ข)



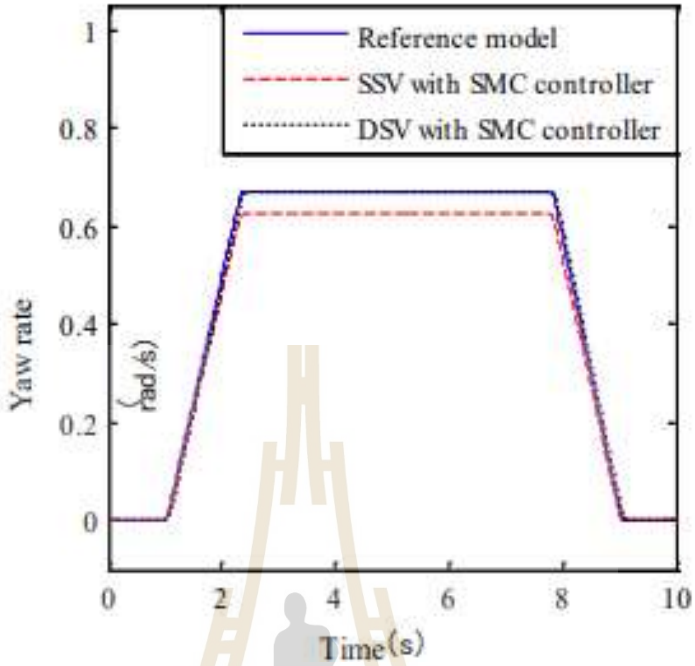
(ก) (ข)

รูปที่ 2.17 (ก) ภาพตัวอย่างผิวหนังช่วงอกไก่อักเสบ (ข) ภาพตัวอย่างไก่มีน้ำมูก

ที่มา: www.betagro-agro.com

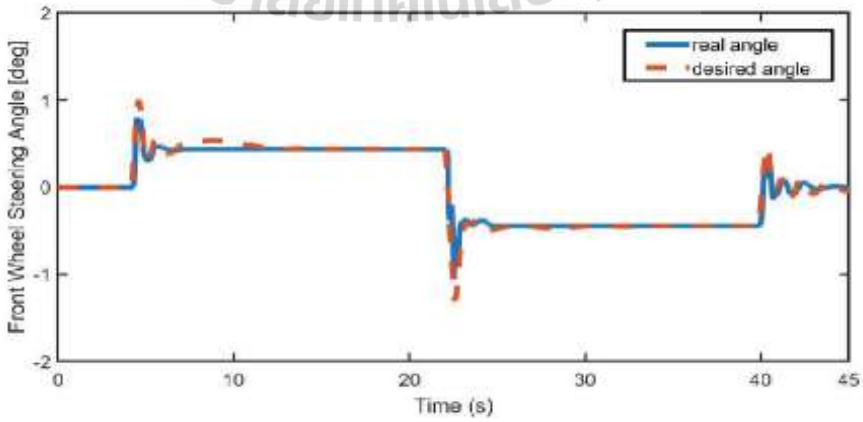
2.13.2 งานวิจัยเกี่ยวกับออกแบบระบบควบคุมและการเลี้ยว

(Tian et al., 2018) ทำการออกแบบการเลี้ยวทั้ง4ล้อของรถไฟฟ้า โดยมีการเลี้ยงแบบ skid steering vehicle (SSV) และ differential steering vehicle (DSV) ทำการจำลองร่วมของ Casim และ Simulink และใช้ตัวควบคุม sliding mode controller ผลจากการทำแบบจำลองการเลี้ยวแบบ differential steering ได้ผลดีกว่าแบบ skid steering. เพราะว่าการเลี้ยวแบบ differential steering แรงบิดในการขับขี่แบบเฟืองท้ายที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับ skid steering และยังทำการควบคุมอัตราการหันเหและมุมด้านข้างของรถได้อย่างแม่นยำ ดังรูปที่ 2.18



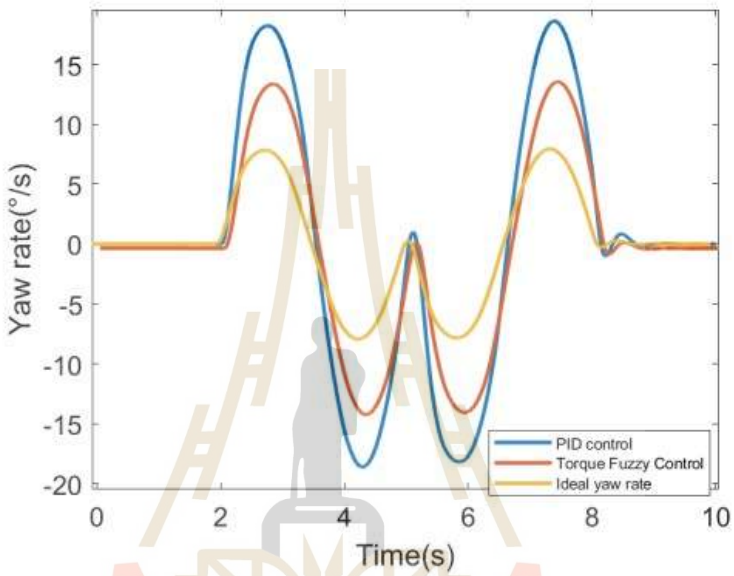
รูปที่ 2.18 Yaw rate curves with k_{r0} increased by 5% (Tian et al., 2018)

(Yang et al., 2021) ออกแบบระบบสำรองการเลี้ยวแบบ differential steering รถไฟฟ้าไร้คนขับถ้าเกิดข้อผิดพลาดในการวิ่งตามเส้นทางที่กำหนดไว้ระบบที่ออกแบบไว้จะทำงานโดยใช้ตัวควบคุม Feedforward Controller และ Anti-Integral-windup SMC Controller มาช่วยในการควบคุม เขาได้ทำการจำลองใน Carmaker, Simulink ผลการจำลอง การบังคับ differential steering สามารถติดตามมุมล้อหน้าที่ต้องการและเส้นทางอ้างอิงได้อย่างแม่นยำและเสถียร ดังรูปที่ 2.19



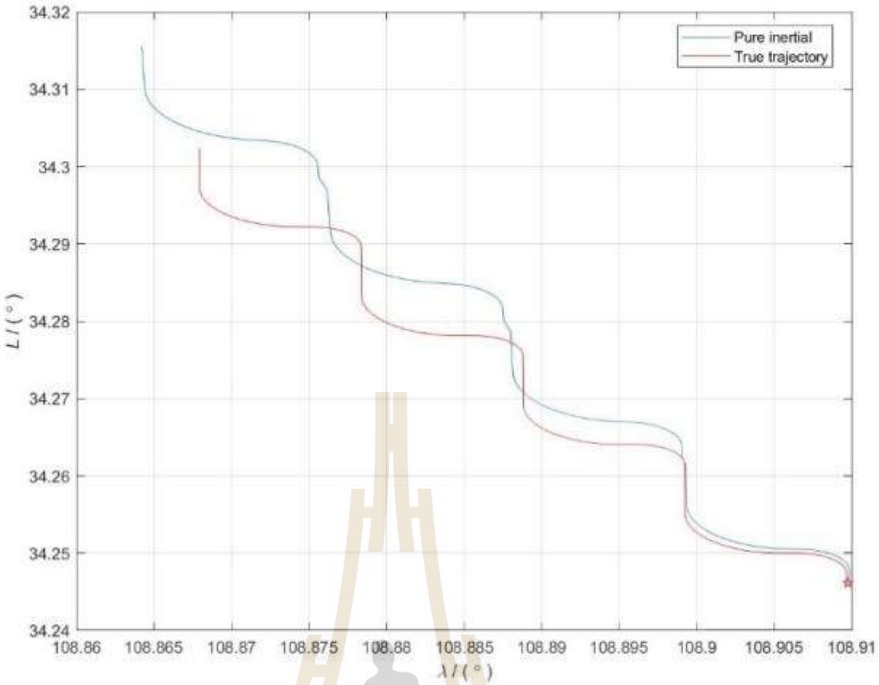
รูปที่ 2.19 Front wheel steering angle (Yang et al., 2021)

(Yuan & Xun, 2022) ออกแบบระบบควบคุมการเลี้ยวแบบ differential steering โดยเปรียบเทียบตัวควบคุม 2 ตัว ได้แก่ fuzzy controller และ PID controller สร้างแบบจำลองจาก Recurdyn, Simulink จำลองการบังคับเลี้ยวในสภาวะคงที่และการวิเคราะห์การจำลองการเปลี่ยนเลนอย่างรุนแรง ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมการประสานแรงบิดแบบฟัซซี่มีผลการควบคุมที่ดี รักษาเสถียรภาพการควบคุมในระหว่างการขับขี่ยานพาหนะได้ดีกว่า PID controller ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 Comparison diagram of vehicle yaw rate (Yuan & Xun, 2022)

(Kang, 2022) ทำการออกแบบการทำงานของระบบ Strapdown Inertial Navigation System (SINS) และ Couple Odometer ทำงานด้วยกัน โดยเอาใช้ในการบังคับเลี้ยวแบบ differential steering ได้การจำลองใน MATLAB ผลการจำลองการใช้อัลกอริทึมแบบผสมผสานให้ความแม่นยำมากกว่าการใช้ Strapdown Inertial Navigation System (SINS) อย่างเดียวดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 Navigation result of pure inertial navigation (Kang, 2022)

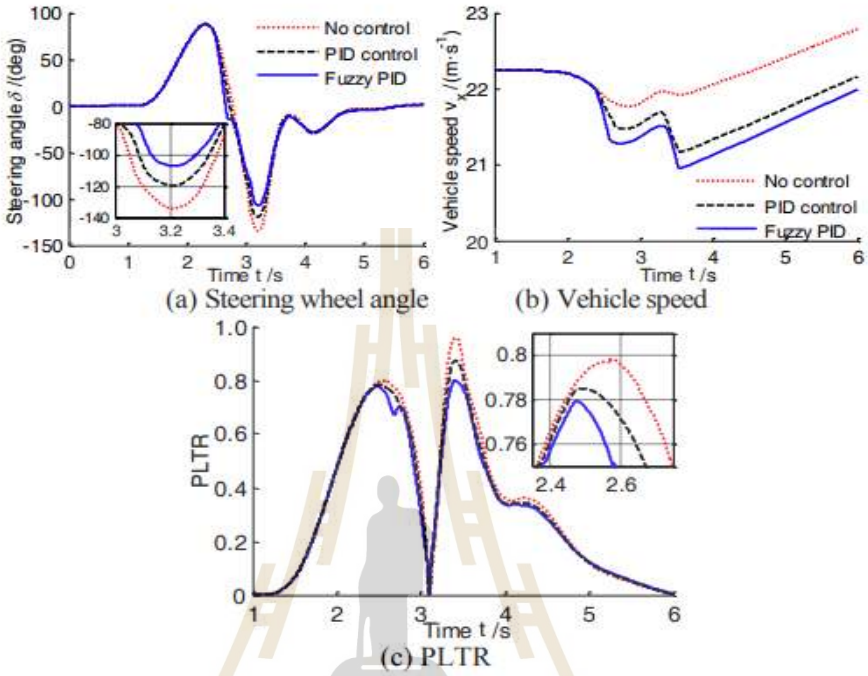
แผนที่และเส้นทางในการใช้จะรับมาจากกล้อง CCTV สิ่งที่ได้ออกมาจากคือตำแหน่งและทิศทางโดยจะรับส่งข้อมูลผ่าน Wi-Fi ที่ตัวรถจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถรับ Wi-Fi ได้ โดยที่ตัวรถจะมี sensor คือ encoder ซึ่งสามารถรู้ความเร็วได้สามารถคำนวณหาระยะทางได้และตำแหน่งได้ โดยจะกำหนดจุดหนึ่งในแผนที่ของเราให้มีค่า 0,0 เมื่อรถเดินทางเราจะสามารถเอาความเร็วรถมาคำนวณหาระยะทางทำให้รู้ว่าระยะและตำแหน่งของรถถึงจุดหมายหรือยัง

2.13.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแผนที่

(Yenginer et al., n.d.) ออกแบบจำลองการวางแผนเส้นทาง การติดตามเส้นทางและการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์โดยหุ่นยนต์จะใช้หุ่นยนต์ 4 ล้อที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์สร้างแบบจำลองใน Gazebo เพื่อดำเนินการวางแผนเส้นทางตามภาคสนามและการติดตามเส้นทางที่เป็นไปได้โดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ (ROS) อัลกอริทึมที่ใช้มีอัลกอริทึม A* สำหรับการวางแผนเส้นทาง และวิธีไดนามิกวินโดว์ (DWA) สำหรับการติดตามเส้นทาง ผลการทำแผนที่แม่นยำ การวางแผนเส้นทางแม่นยำ และการติดตามเส้นทางในสภาพแวดล้อมจำลองแม่นยำ

(Haiqing Li al. 2020) ออกแบบและจำลองเส้นทางและระบบควบคุมของยานพาหนะอัตโนมัติโดยการสร้างเส้นทางได้ใช้ อัลกอริทึมฝูงมด (ant colony algorithm) ส่วนการควบคุมความเร็วและเบรกใช้ fuzzy PID controller โปรแกรมที่ใช้ MATLAB ผลที่ได้ อัลกอริทึมฝูงมดสามารถวางแผนเส้นทางที่ไม่มีการชนกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและ fuzzy PID controller

ทำงานได้ดีทั้งในด้านความเร็วและการติดตามเส้นทางช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามเส้นทางและการจัดการภายใต้การหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางฉุกเฉิน ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 Response comparisons output from vehicle control model

ที่มา: Haiqing Li al. 2020)

(Jiang et al., n.d.) ออกแบบและทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ กล้องที่สามารถวัดความลึกได้ (RGBD Sensor) การวางแผนเส้นทางได้ใช้ the probabilistic roadmap algorithm (PRM) ในการทำแผนที่ขึ้นมากล้องเจออุปสรรคที่มีความสูงจะตรวจจับแล้วทำการแปลงรูปภาพเป็น binary imageแล้วนำไปเข้าสู่PRMจากการทดลองสามารถหลบสิ่งกรีดขวางได้และวิ่งตามเส้นทางที่วางไว้ได้ดี

2.14 สรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า จึงควรให้ความสำคัญกับการจัดการโรงเรือนทั้งในด้านการระบายอากาศ การควบคุมแอมโมเนียไม่ให้เกิน 20-25 ppm และรักษาระดับความชื้นในช่วงประมาณ 50-70% ให้เหมาะสมกับอายุของไก่และการออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ได้คำนวณแรงต้านต่างๆเพื่อนำไปใช้เลือกขนาดของ

มอเตอร์นำไปสู่การเลือกแบตเตอรี่ของระบบทั้งหมดและได้ทำเลือกการเลี้ยวแบบ Differential Drive ช่วยให้เลี้ยวและเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำ โดยปรับความเร็วของล้อซ้ายและขวาอย่างอิสระ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่เพื่อลดก๊าซแอมโมเนีย และทดสอบสมรรถนะของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ในโรงเลี้ยงไก่ รถพลิกแกรบขับเคลื่อนแบบ Differential Drive โดยใช้การควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ Dc motor ติด encoder ในการขับเคลื่อนการทำงานและติดตั้งอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบพรวนดินสำหรับการพลิกแกลบและขั้นตอนดำเนินงานวิจัยแสดงในรูป 3.1

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 รถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

หาขนาดมอเตอร์โดยแรงต้านทั้งหมดมีอยู่ 3 แรง 1. แรงต้านการหมุนของล้อ 2. แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ 3. แรงต้านทางชัน

1. แรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = (K_r \times W) + T = (K_r \times M_t g) \tag{3.1}$$

เมื่อ R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ หน่วยเป็น N

K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ = a/b

m_{car} = มวลของรถ หน่วย kg

M_t = มวลของรถรวมกับมวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

m_{load} = มวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย m/s^2

T =แรงต้านเนื่องจากการหมุนของล้อรถ หน่วย N

2. แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ

$$R_a = 0.5 \rho V^2 A C_D \tag{3.2}$$

เมื่อ R_a = แรงต้านอากาศหรือแรงฉุดอากาศ

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ หน่วยเป็น kg/m^3

V^2 = ความเร็วลมเมื่อวัตถุหยุดนิ่งหรือความเร็วของวัตถุเมื่อลมหยุดนิ่ง m/s

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (*Drag Coefficient* : C_D)

A = พื้นที่หน้าตัดรถ หน่วยเป็น m^2

3. แรงต้านทางชัน

$$R_g = \frac{WG}{100} = (M_t g \times G) / 100 \tag{3.3}$$

เมื่อ R_g = แรงต้านเนื่องจากความชัน หน่วย N

G = ความชันในหน่วยเปอร์เซ็นต์ $= \tan\theta \times 100\%$

M_t = มวลของรถรวมกับมวลของน้ำหนักที่บรรทุก หน่วย kg

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย m/s^2

ได้แรงต้านทั้ง 3 แรงนำมาหาแรงต้านทั้งหมดมาหากำลังของมอเตอร์ขั้นต่ำที่เราต้องการโดยใช้สมการ

กำลังมอเตอร์

$$P_e = 100FV / \eta_t \tag{3.4}$$

เมื่อ P_e = กำลังของมอเตอร์ หน่วย วัตต์ (W)

F = แรงต้านทั้งหมด หน่วย นิวตัน (N)

V = ความเร็วของรถ หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

η_t = ประสิทธิ์ภาพการถ่ายทอด (%)

อัตราการทดเกียร์

$$N_1 G = N_2 Z \tag{3.5}$$

เมื่อ N_1 = อัตราเร็วของเฟืองขับ หน่วย รอบต่อวินาที (rpm)

N_2 = อัตราเร็วของเฟืองท้าย หน่วย รอบต่อวินาที (rpm)

Z = อัตราการทดเกียร์

G = อัตราการทดเกียร์

การคำนวณหาทอร์กที่มอเตอร์ส่งให้ล้อ

$$T_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) T_1 \tag{3.6}$$

เมื่อ T_2 = แรงบิดที่มอเตอร์ส่งให้ล้อ หน่วย นิวตันเมตร (Nm.)

T_1 = แรงบิดของมอเตอร์ หน่วย นิวตันเมตร (Nm.)

การออกแบบแบตเตอรี่จะคิดจากพลังงานทั้งที่รถใช้พลังส่วนใหญ่จะมาจากมอเตอร์ โดยจะใช้จากสมการ 2.36 มาคูณกับเวลาเวลาทำงานซึ่งเป็นเวลา 20 นาที ต่อ1รอบการชาร์จมาคำนวณย้อนกลับไปขนาดของแบตเตอรี่

$$E_p = V_p I_p \tag{3.7}$$

เมื่อ E_p = พลังงานของแบตเตอรี่

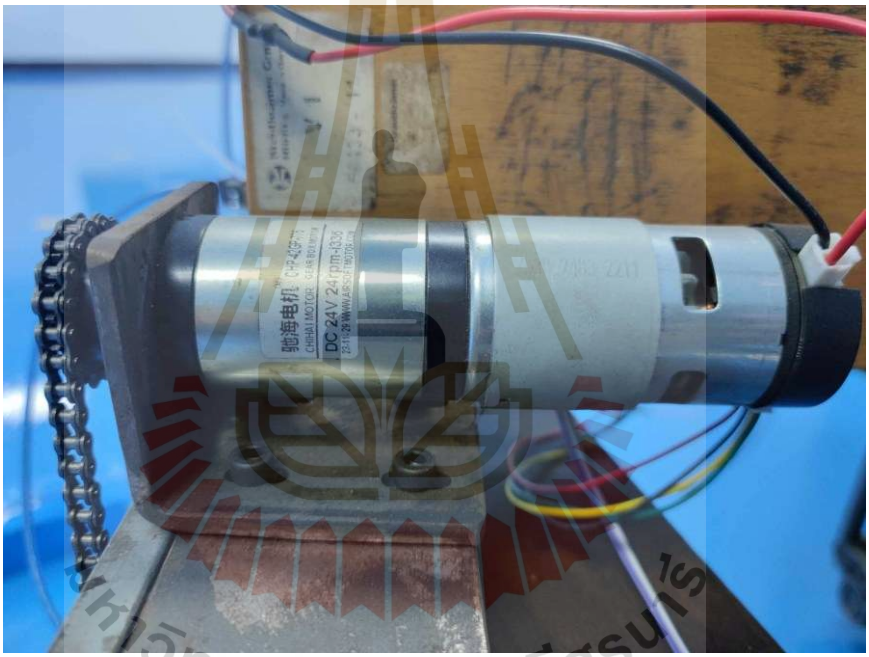
V_p = แรงดันไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

I_p = กระแสไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

งานวิจัยนี้ออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ โดยใช้อุปกรณ์ดังนี้

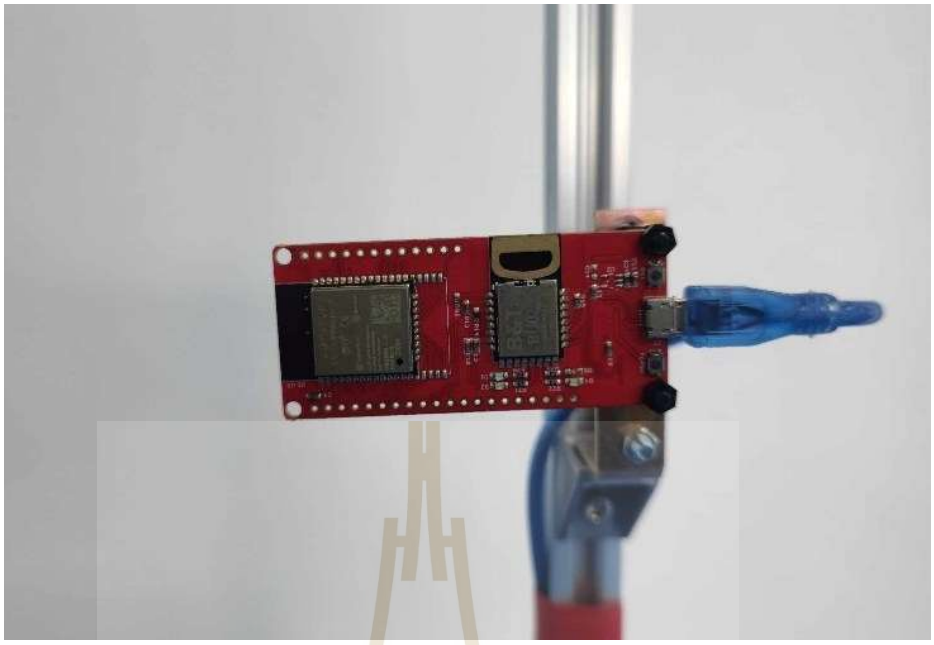
3.2.1 มอเตอร์กระแสตรงและเอนโค้ดเดอร์

เป็นมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ มีทอร์คที่ 9 นิวตันเมตร ใช้ในการขับเคลื่อนของรถโดยใช้ 2 ตัว ฝั่งซ้ายและฝั่งขวา



รูปที่ 3.2 มอเตอร์กระแสตรงและเอนโค้ดเ บอร์ด ESP32 with Ultra-wideband

เป็นบอร์ด ESP32 ที่ติดตั้งโมดูลUltra-wideband รุ่น DW1000 เป็นเซ็นเซอร์ในการใช้ระบุตำแหน่งของรถโดยหลักการความแรงของคลื่นสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ESP32 UWB DW1000 (Ultra-Wideband)

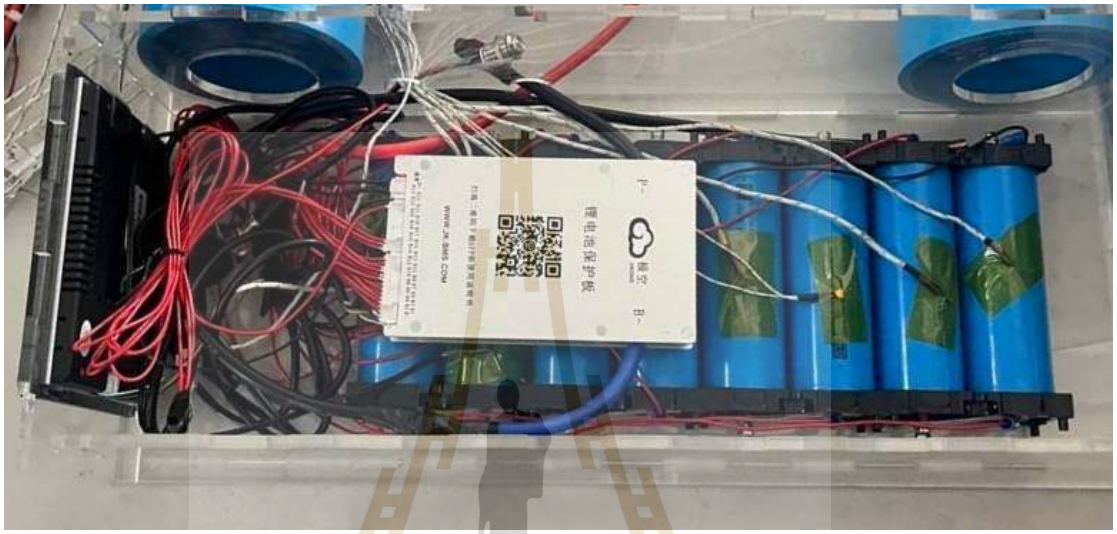
3.2.2 เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับวัตถุต่างๆ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นความถี่เสียงมาใช้ในการป้องกันการชนของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

รูปที่ 3.4 HC-SR04 Ultrasonic Sensor

3.2.3 แบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออน ฟอสเฟต (LFP)

ได้ทำการแพ็คแบตเตอรี่ระบบ 24 โวลต์ (v) มาใช้กับรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ โดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออน ฟอสเฟต มาต่ออรุกรมทั้งหมด 8 ก้อน จึงทำให้แพ็คแบตเตอรี่เป็นระบบ 24 โวลต์ (v) และมีความจุที่ 15 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)



รูปที่ 3.5 แพ็คแบตเตอรี่ระบบ 24 โวลต์

3.3 การระบุตำแหน่งรถในโรงเลี้ยงไก่

การระบุตำแหน่งใช้ ESP32 UWB DW1000 โดยหลักการ Received Signal Strength Indicator (RSSI) จะได้ค่าความแรงสัญญาณระหว่างตัวรับและตัวส่งจะนำมาแปลงเป็นระยะจากสมการ

$$\text{Distance} = 10\left(\frac{MeasuredPower - RSSI}{10 \times n}\right) \tag{3.8}$$

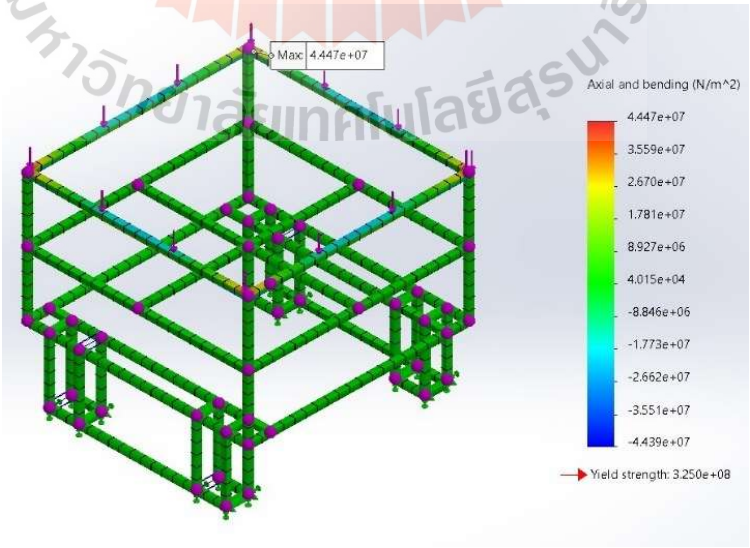
จากได้ระยะทางของระหว่างตัวรับและตัวส่งโดยจะเอาระยะทางที่ได้จากตัวส่งและตำแหน่งของตัวส่งมาคำนวณหาสมการเพื่อหาตำแหน่งของตัวรับโดยใช้หลักการ Trilateration การใช้เรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยมเพื่อหาตำแหน่งเป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดจุดเป้าหมายบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสองมิติ (แกน x และแกน y) โดยต้องอ้างอิงตำแหน่งอย่างน้อยสามจุดเป็นหลัก

รูปที่ 3.6 พื้นที่จำลองหาตำแหน่งรถ

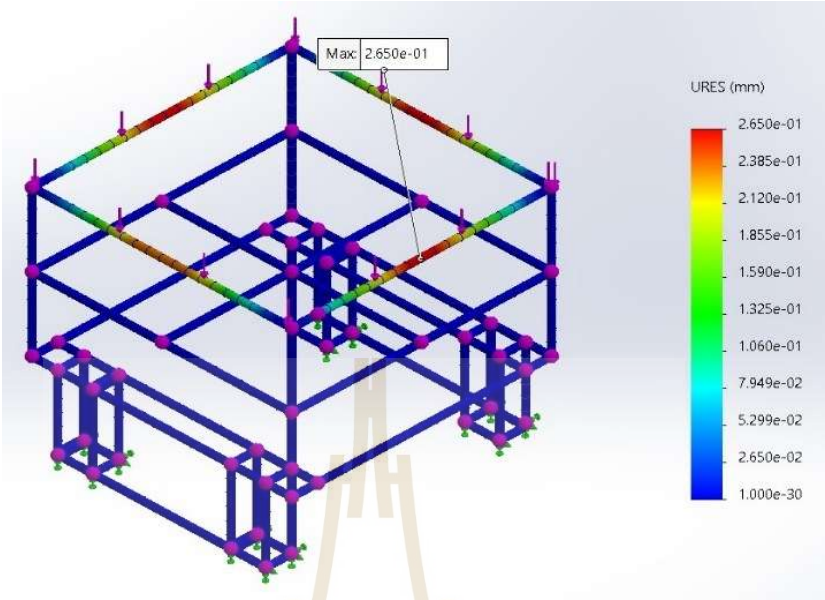
รูปที่ 3.7 การทดสอบหาตำแหน่งรถ

3.4 ทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างและหาจุดศูนย์ถ่วง

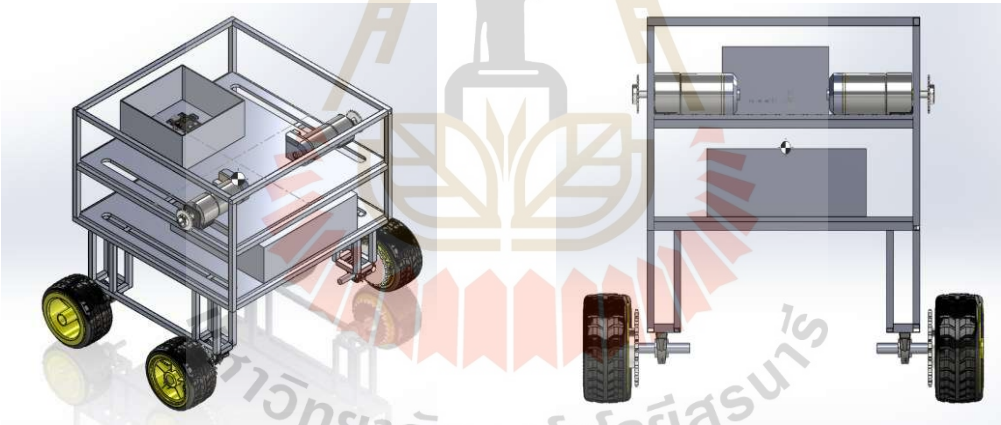
ทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างและหาจุดศูนย์ถ่วงโดยจะใช้โปรแกรม SOLIDWORK 2022 วัสดุที่ใช้เป็น AISI 1015 Steel โดยใส่แรงกระทำต่อตัวรถ 60 กิโลกรัม เพื่อดูว่าโครงสร้างของรถสามารถรับน้ำหนักของภาระโหลดได้หรือว่ามีการเสียรูปและมีระยะยุบเป็นเท่าไหร่ ค่าที่ได้ออกมา Yield strength ที่โครงสร้างของรถรับได้อยู่ที่ 325 Mpa ซึ่งที่โหลด 60 กิโลกรัม สร้างภาระโหลดที่ 44.47 Mpa ทำให้ตัวโครงสร้างไม่เกิดการเสียรูป ดังรูปที่ 3.8 และระยะยุบที่เกิดรูปเป็น 0.265 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.9 และจุดศูนย์ถ่วง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 แบบจำลองโครงสร้าง Yield strength



รูปที่ 3.9 แบบจำลองโครงสร้างของระยะยุบ



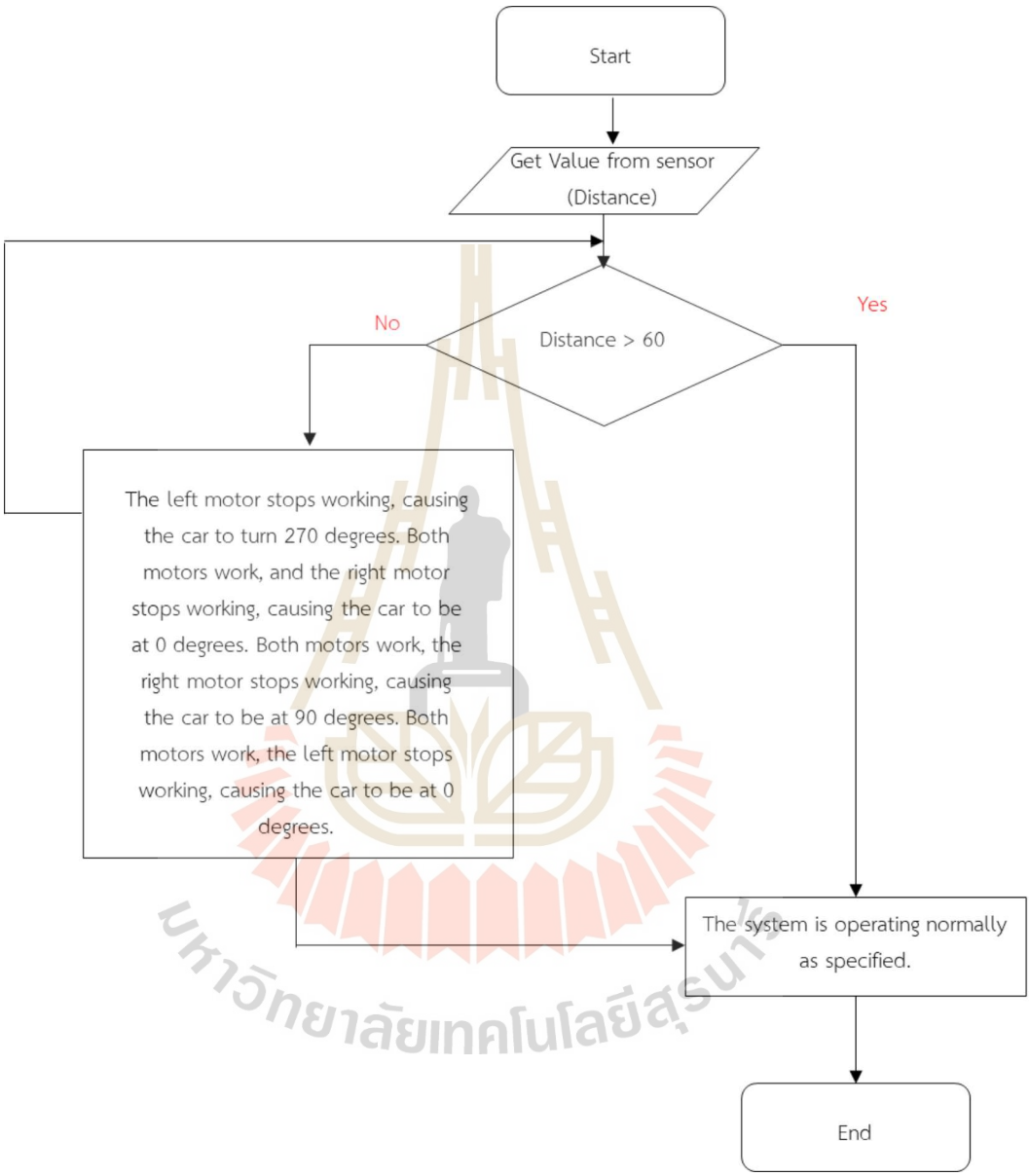
รูปที่ 3.10 จุดศูนย์ถ่วง

3.5 การออกแบบระบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและระบบตรวจสอบแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะให้รถกลับไปยังพื้นที่กำหนดไว้

3.5.1 ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

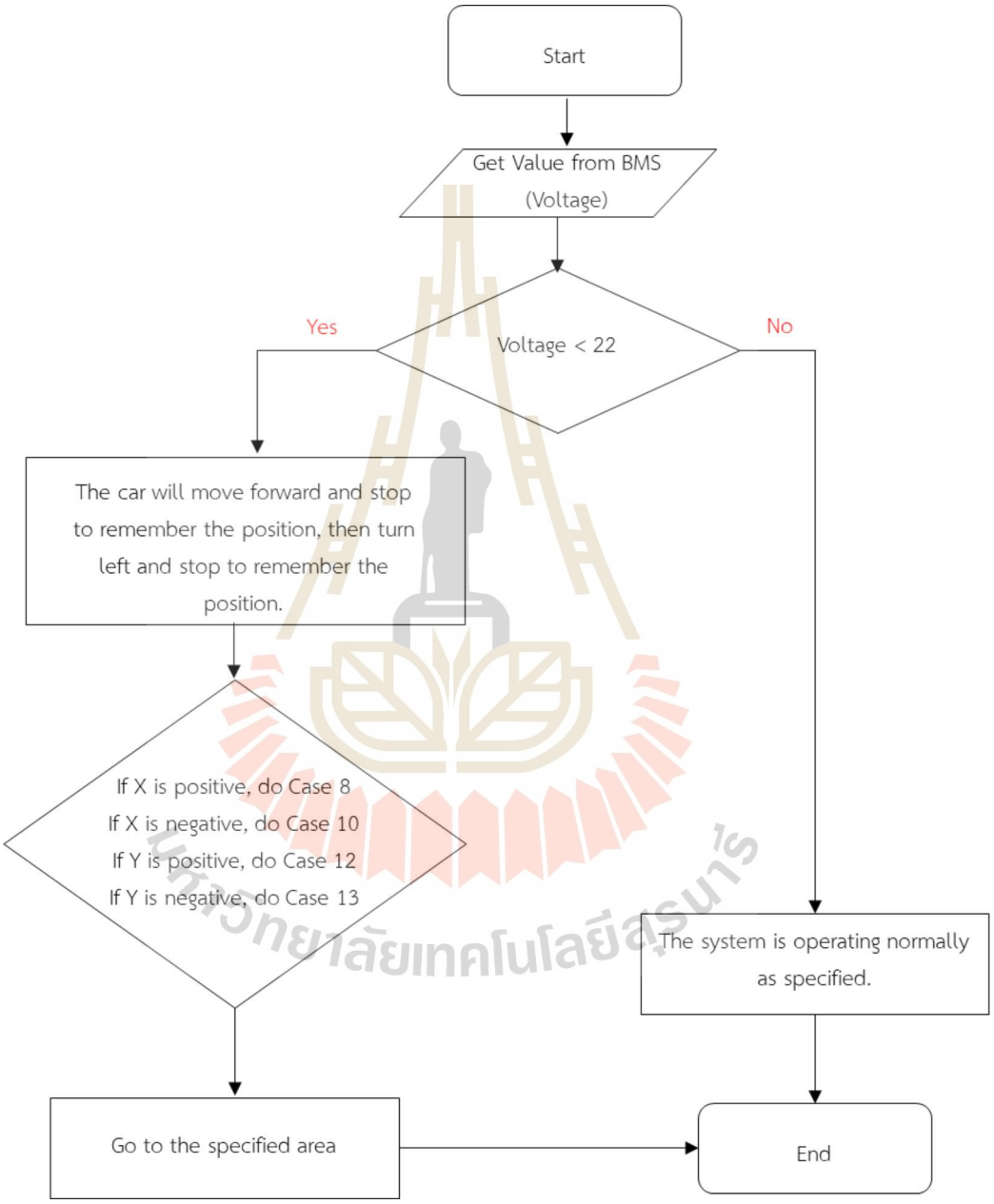
โดยจะใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคในการตรวจจับในระยะ 60 เซนติเมตร โดยหลักการทำงานจะเป็นรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

3.5.2 ระบบตรวจสอบแบตเตอรี่

โดยจะรับค่ามาจาก Battery Management System (BMS) โดยจะส่งแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ถ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดรถต้องเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ที่กำหนดไว้ โดยหลักการทำงานจะเป็นรูปที่ 3.12



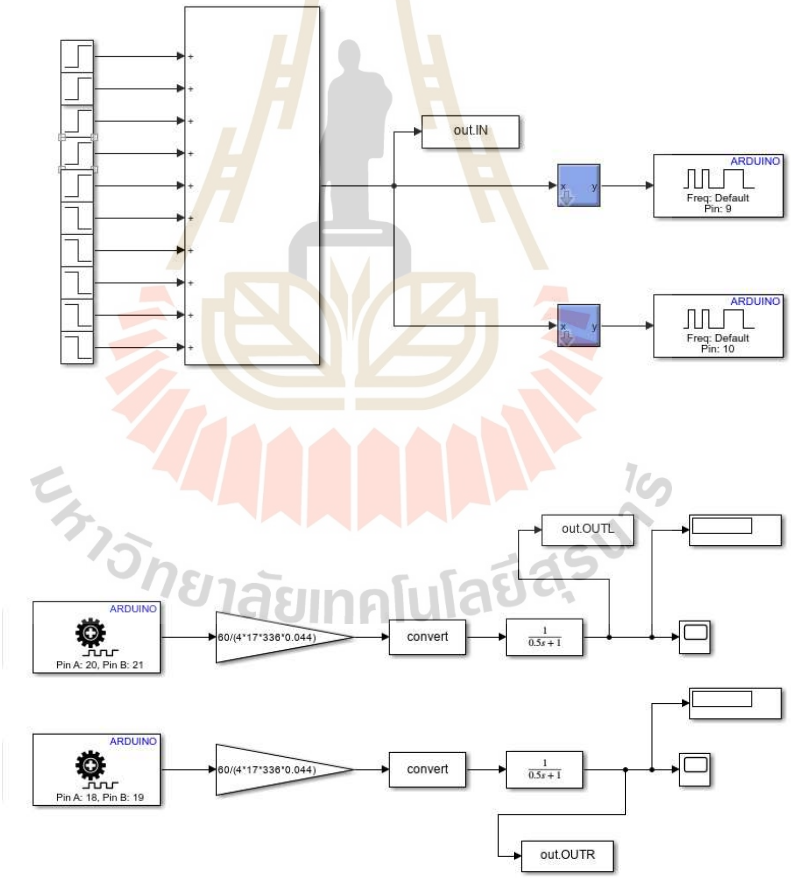
รูปที่ 3.12 แผนผังระบบตรวจสอบแบตเตอรี่

3.6 ออกแบบระบบควบคุม PI

ในการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ PI ควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ให้อยู่ในความเร็วรอบที่ต้องการ เริ่มจากเก็บข้อมูลค่า Volt (Input) กับค่า Speed (Output) เพื่อทำการ System Identification เพื่อหา Transfer Function

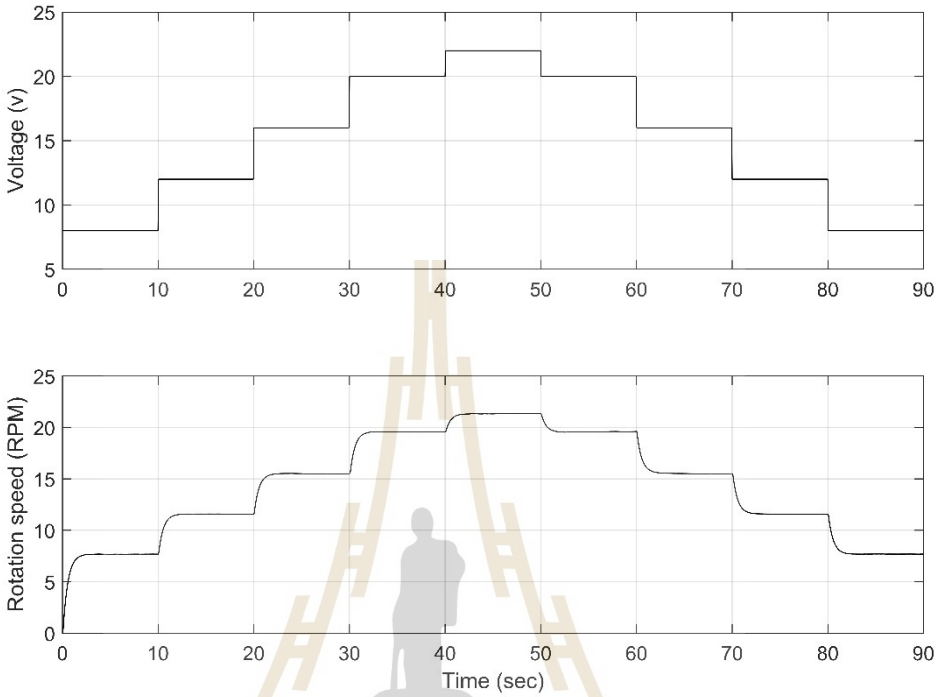
3.6.1 วิธีการทำSystem Identification

สร้างบล็อกไดอะแกรม ในโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตอย่างเป็นระบบเริ่มจากการเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (Volt) ซึ่งใช้เป็นสัญญาณอินพุต (Input) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (Speed) ซึ่งเป็น เอาต์พุต (Output) ของระบบทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ DC โดยเปลี่ยนค่าในช่วง 8 ถึง 22 โวลต์วัดและบันทึกความเร็วรอบที่ได้จากมอเตอร์ดังรูปที่ 3.13



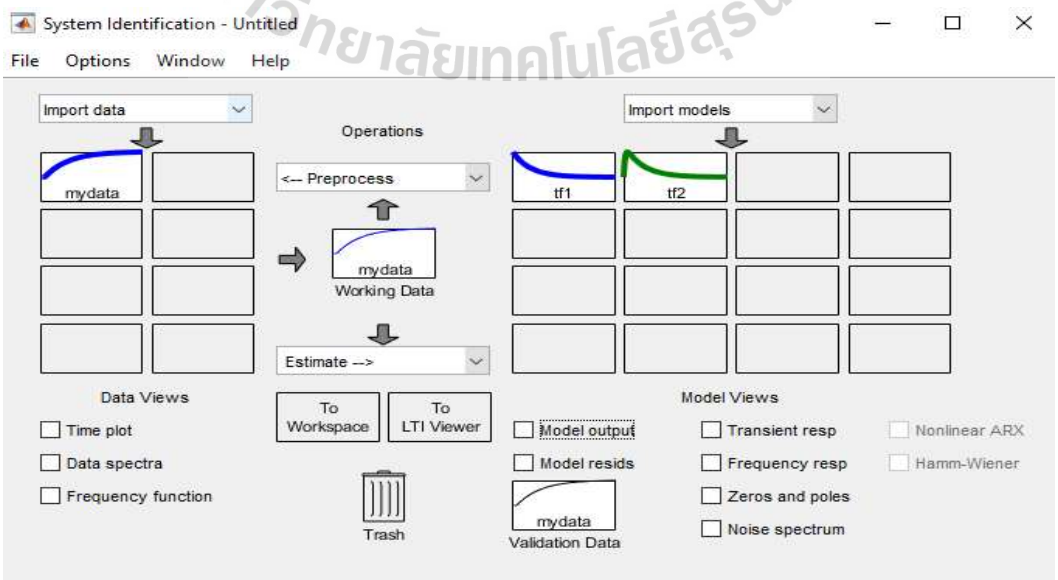
รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้เก็บข้อมูลใน Simulink

นำข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ได้มากรอกลงใน System Identification Toolbox ของ MATLAB เพื่อทำการวิเคราะห์และจำลองระบบแสดงดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



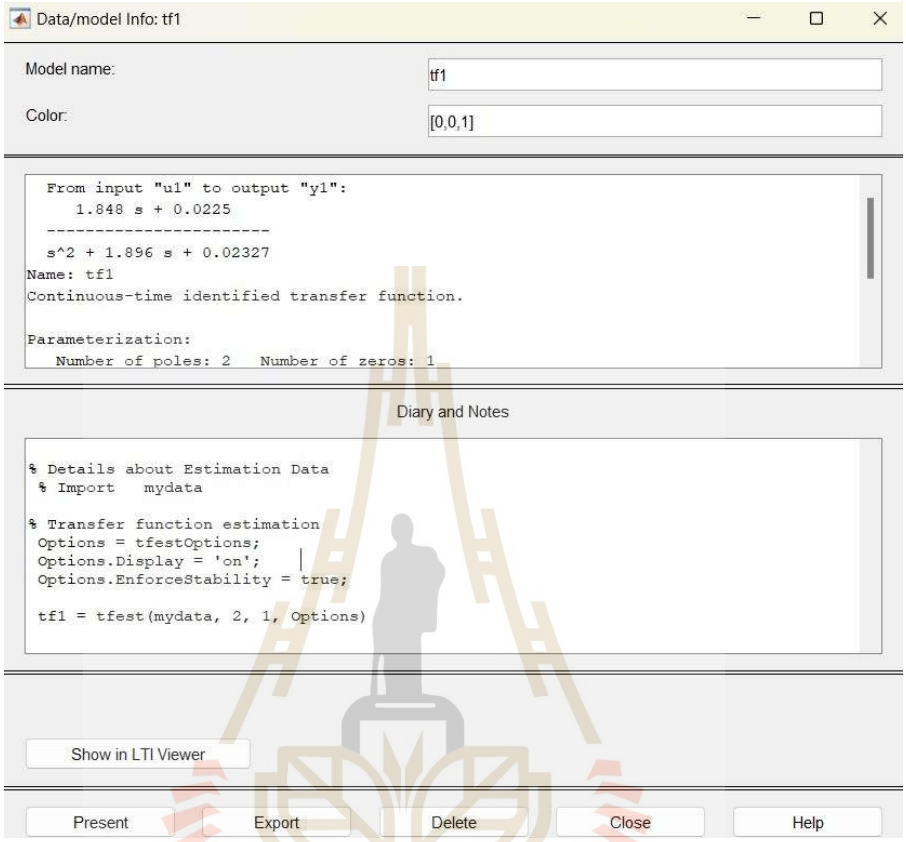
รูปที่ 3.14 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบสำหรับทำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

จากที่ได้สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบจะมาทำ System Identification เพื่อ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของระบบ



รูปที่ 3.15 System Identification

ได้เลือก Pole 2 , Zero 1 ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.16 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทำ System Identification

$$\frac{1.848s + 0.0225}{s^2 + 1.896s + 0.02327}$$

เมื่อได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ทำการหาระบบควบคุมโดยใช้ PI ที่เหมาสมกับระบบโดยดูค่า overshoot, settling time ในการตอบสนองที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง

3.7 สรุป

การดำเนินงานวิจัยในการออกแบบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ ระบบขับเคลื่อนของรถใช้แบบ Differential Drive ซึ่งควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ ที่มีแรงบิด 9 นิวตันเมตร พร้อมติดตั้งอุปกรณ์พรวนดิน และเซนเซอร์ที่จำเป็นต่อการนำทางและหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง การคำนวณกำลังที่จำเป็นสำหรับมอเตอร์พิจารณาจากแรงต้านหลัก 3 ประเภท ได้แก่ แรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านจากทางลาดชัน โดยนำผลรวมของแรงต้านทั้งหมดมาคำนวณหากำลังขั้นต่ำที่มอเตอร์ต้องการ รวมถึงแรงบิด อัตราทดเกียร์ และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ซึ่งเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LFP) ขนาด 24 โวลต์ ความจุ 15 แอมแปร์–ชั่วโมง ระบบนำทางของรถใช้บอร์ด ESP32 ที่ติดตั้งโมดูล Ultra-wideband (UWB) รุ่น DW1000 ซึ่งใช้หลักการ Received Signal Strength Indicator (RSSI) ในการคำนวณระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ จากนั้นใช้เทคนิค Trilateration เพื่อคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของรถในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนแบบสองมิติ การทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างรถดำเนินการผ่านโปรแกรม SolidWorks 2022 โดยใช้วัสดุ AISI 1015 Steel และโหลดทดสอบขนาด 60 กิโลกรัม ผลการวิเคราะห์แสดงว่าโครงสร้างสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย โดยมีค่า Yield Strength เท่ากับ 325 MPa และค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 44.47 MPa โดยมีการยุบตัวสูงสุดเพียง 0.265 มิลลิเมตร พร้อมทั้งได้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง ระบบการทำงานของรถแบ่งออกเป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกที่สามารถตรวจจับวัตถุในระยะไม่เกิน 60 เซนติเมตร และระบบตรวจสอบสถานะแบตเตอรี่ผ่าน Battery Management System (BMS) ซึ่งจะส่งสัญญาณให้รถกลับไปยังจุดที่กำหนดหากแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ สำหรับระบบควบคุมมอเตอร์ มีการพัฒนาโดยใช้ตัวควบคุม PI (Proportional-Integral) โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (อินพุต) และความเร็วรอบของมอเตอร์ (เอาต์พุต) เพื่อดำเนินการ System Identification และสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของระบบในรูปแบบ Transfer Function ผ่านซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพ โดยแบ่งขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้าความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยจาก วารสาร หนังสือ และเอกสารต่างๆที่เชื่อถือได้ ได้แก่ ทฤษฎีการคำนวณหากำลังมอเตอร์ ทฤษฎีการเลี้ยวของรถ ผลเสียของก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในโรงเลี้ยง ทฤษฎีการควบคุม

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาโครงสร้างและออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่และแบบจำลองโครงสร้าง

ขั้นตอนที่ 3 สร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสอบเทียบ sensor ใช้ในการทำงาน

ขั้นตอนที่ 5 นำพารามิเตอร์ต่างๆมาทำการหาเอกลักษณ์ หรือ Math Model

ขั้นตอนที่ 6 ทำการออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 7 ทำการทดลองเพื่อการรับส่งข้อมูลและการควบคุมรถ

ขั้นตอนที่ 8 ออกแบบการทดลองเพื่อเก็บผลจากรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่

ขั้นตอนที่ 9 วิเคราะห์และสรุปผล

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอผลการทดลองและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาและออกแบบระบบควบคุมสำหรับรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากกระบวนการ System Identification รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของตัวควบคุม PI ที่ออกแบบไว้ เปรียบเทียบผลการตอบสนองระหว่างแบบจำลองและระบบจริง เพื่อยืนยันความสามารถในการควบคุมมอเตอร์และการนำทางของรถนอกจากนี้ ยังนำเสนอผลการประเมินความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งโดยใช้เซนเซอร์ ESP32 UWB DW1000 เพื่อสนับสนุนการนำทางอัตโนมัติ และผลการทำงานของระบบอัตโนมัติในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการกลับเข้าสู่ตำแหน่งชาร์จพลังงานอัตโนมัติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้นในการทำงานจริงอย่างมีประสิทธิภาพ

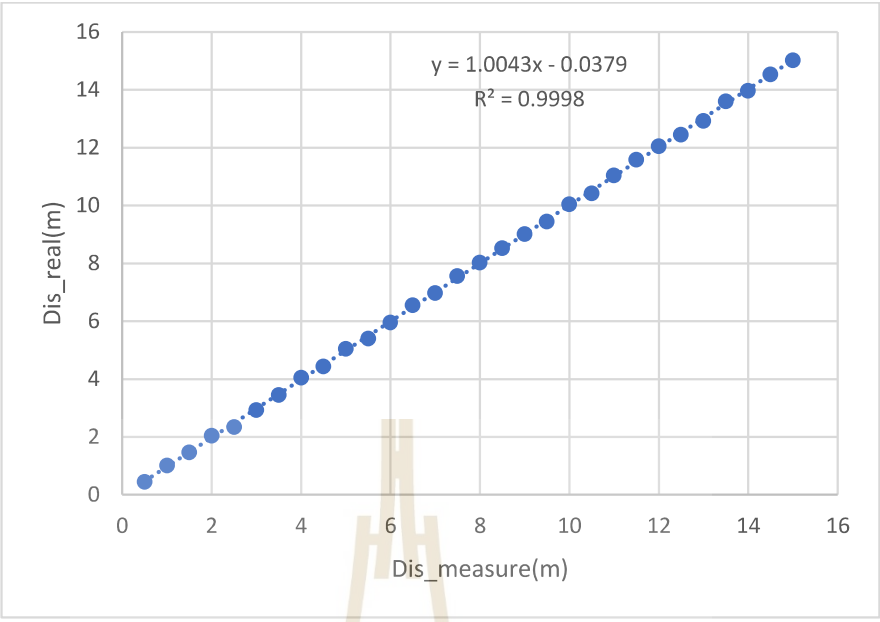
4.2 ความสามารถระบุตำแหน่งเซ็นเซอร์ ESP32 UWB DW1000

สำหรับส่วนที่ 1 ได้ทำการวัดค่าระยะทางตั้งแต่ 0.5 เมตร ถึง 15 เมตร โดยใช้ เซนเซอร์ ESP32 UWB DW1000 ตัวส่งสัญญาณจะวางไว้ที่ตำแหน่ง 0.5 เมตร และตัวรับสัญญาณจะขยับออกไปครั้งละ 0.5 เมตร จนถึง 15 เมตร ความสูงของตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณจะเท่ากันโดยใช้ความสูงที่ 0.5 เมตร ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 การวัดเซ็นเซอร์ ESP32 UWB DW1000 ระหว่างจุด

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดระยะตัวรับและตัวส่งของเซ็นเซอร์

Actual distance (m)	Measured distance (m)	Actual distance (m)	Measured distance (m)
0.5	0.45	8	8.03
1	1.01	8.5	8.53
1.5	1.47	9	9.02
2	2.04	9.5	9.45
2.5	2.34	10	10.05
3	2.93	10.5	10.42
3.5	3.45	11	11.04
4	4.05	11.5	11.59
4.5	4.44	12	12.05
5	5.05	12.5	12.45
5.5	5.4	13	12.93
6	5.96	13.5	13.6
6.5	6.55	14	13.97
7	6.98	14.5	14.53
7.5	7.56	15	15.02
		AVG	7.745
Error Max (%)	10.0	Standard Deviation	4.421
Error Min (%)	0.13	Uncertainty	0.807



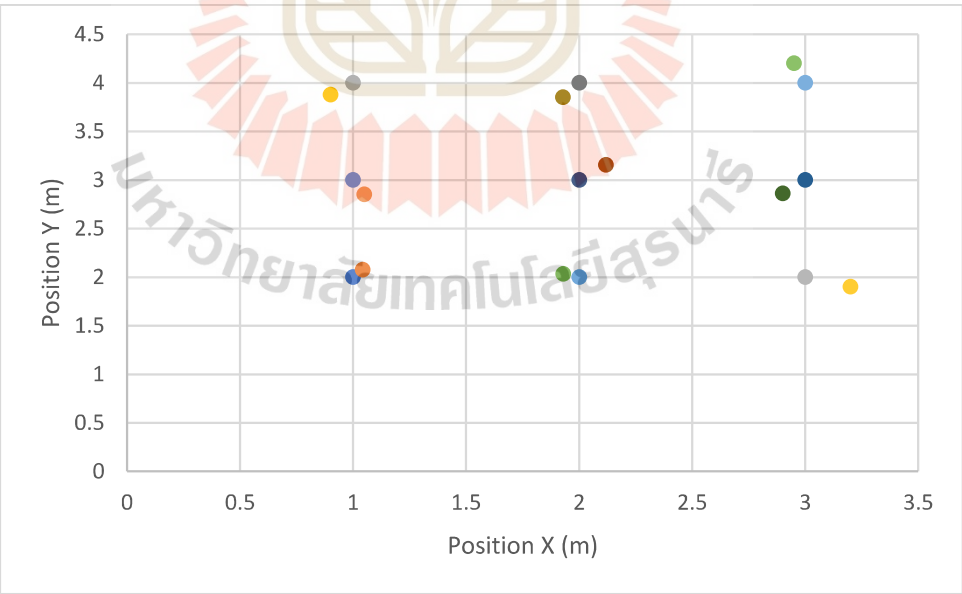
รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบระยะจริงที่และค่าเซ็นเซอร์ที่วัดได้

ส่วนที่ 2 ได้วัดตำแหน่งของรถในแต่ละตำแหน่งโดยใช้ตัวส่งสัญญาณ 4ตัว จะวางไว้ที่ตำแหน่ง 0,0 4,0 0,8 และ 4,8 ตัวรับสัญญาณใช้ 1ตัว จะไปวางยังตำแหน่งต่างๆที่กำหนดไว้ โดยตอนหาตำแหน่งจะใช้สัญญาณของตัวส่ง 3ตัว จะเป็น 3ตัวที่อยู่ใกล้กับตัวรับสัญญาณที่สุดมาคำนวณหาตำแหน่งดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ระบุตำแหน่งเซ็นเซอร์ ESP32 UWB DW1000

ตารางที่ 4.2 ผลการระบุตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration

Actual Position (m)		Trilateration Position (m)		Error Position (m)
x	y	x	y	
1	2	1.04	2.07	0.087
1	3	1.05	2.85	0.158
1	4	0.90	3.88	0.157
2	2	1.92	2.03	0.077
2	3	2.11	3.15	0.195
2	4	1.92	3.84	0.166
3	2	3.20	1.90	0.224
3	3	2.90	2.86	0.172
3	4	2.95	4.20	0.206
			Error Max (m)	0.224
			Error Min (m)	0.077

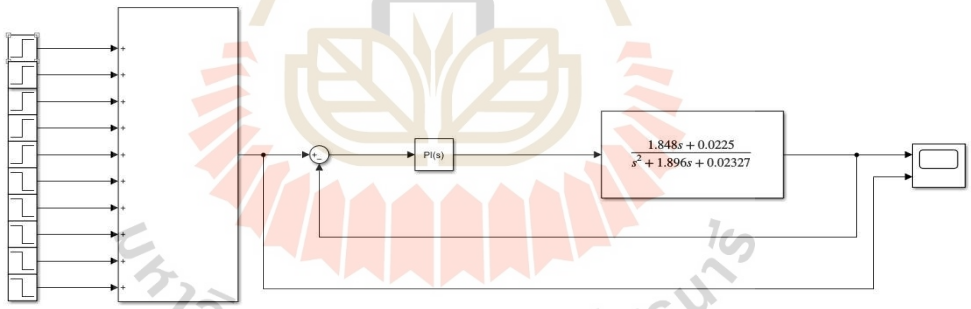


รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบตำแหน่งจริงที่และค่าเซ็นเซอร์ที่วัดได้

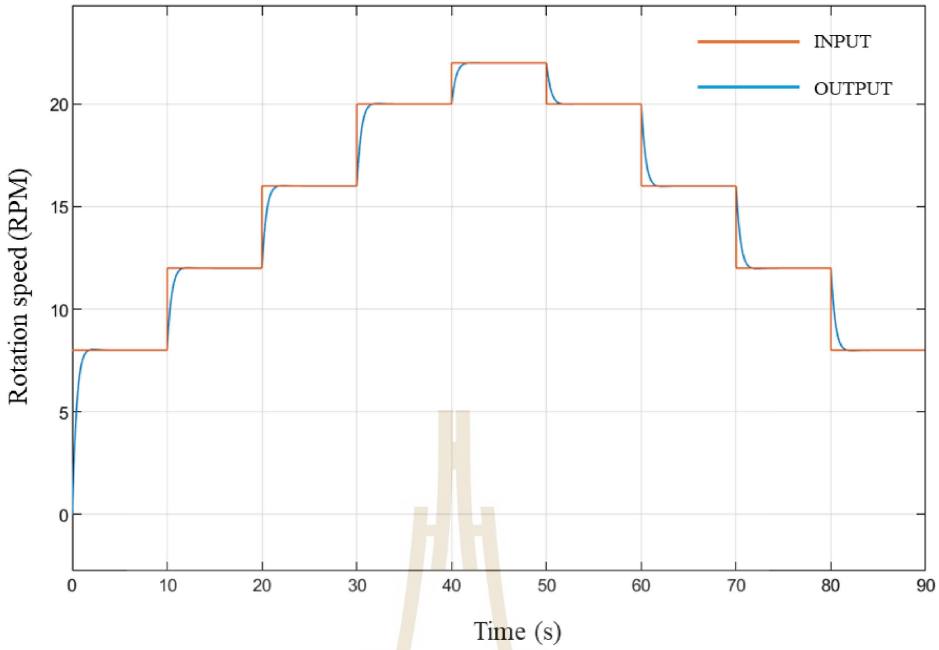
จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการวัดระยะทางของ ESP32 UWB DW1000 ทั้งสองตัวที่มีตัวรับและตัวส่ง R Square อยู่ที่ 0.998 และมีค่าผิดพลาดมากที่สุดที่ 10% และค่าผิดพลาดที่น้อยที่ 0.13% จะเห็นได้ว่าค่าผิดพลาดมากที่อยู่10% เกิดที่ 0.5เมตร ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นจะเห็นได้ว่า 10% นั้นแปลงเป็นระยะทาง มีความคลาดเคลื่อนที่ 0.05เมตร เป็นระยะที่ยอมรับได้และการรับส่งระหว่างสองตัวนั้นมีความแม่นยำ ส่วนที่ 2 ที่นำระยะทางทั้ง 3 ตัวของตัวส่งและตำแหน่ง มาคำนวณหาตำแหน่งของตัวรับจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ามีค่าผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.224เมตร และค่าผิดพลาดที่น้อยที่ 0.077เมตร เกิดค่าที่ผิดพลาดที่ในแต่ละตำแหน่งค่าที่ผิดพลาดเกิดจากการรับส่งสัญญาณนั้นมีความอ่อนไหวในการรับส่งอาจจะเกิดสิ่งรบกวนค่าจึงทำให้เกิดค่าที่ผิดพลาดของตำแหน่ง

4.3 ผลการทดสอบตัวควบคุม

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ทำการออกแบบตัวควบคุมPI ที่ P มีค่า 1.15 ที่ I มีค่า 2.55 ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวควบคุมไปทดสอบใน Simulink ใน MATLAB ผลตอบสนองเป็นไปต้องการไม่มี overshoot แสดงในรูปที่ 4.8 และบล็อกไดอะแกรมในการทดสอบตัวควบคุมแสดงในรูปที่ 4.5

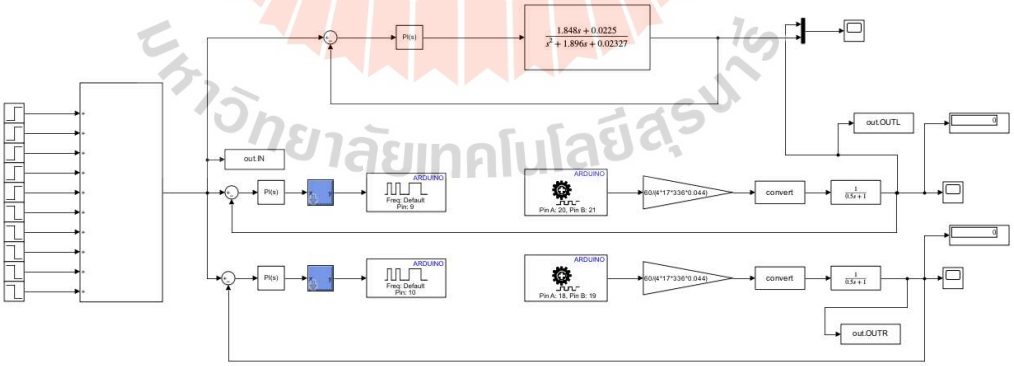


รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบตัวควบคุม

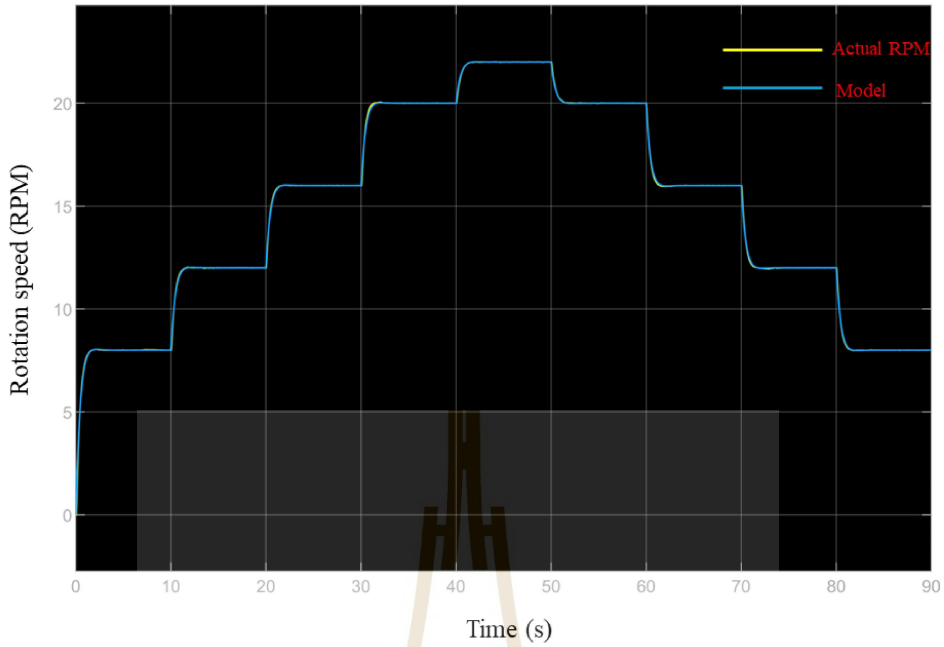


รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุม

หลังจากทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวควบคุมได้ทำการไปทดลองกับระบบจริงของรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่โดยใช้ Simulink ใน MATLAB สื่อสารอ่านค่าและเก็บค่า บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบตัวควบคุมในระบบจริงแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบตัวควบคุมในระบบจริง



รูปที่ 4.8 Step response and system performance with PI-Controller (Simulation vs real system)

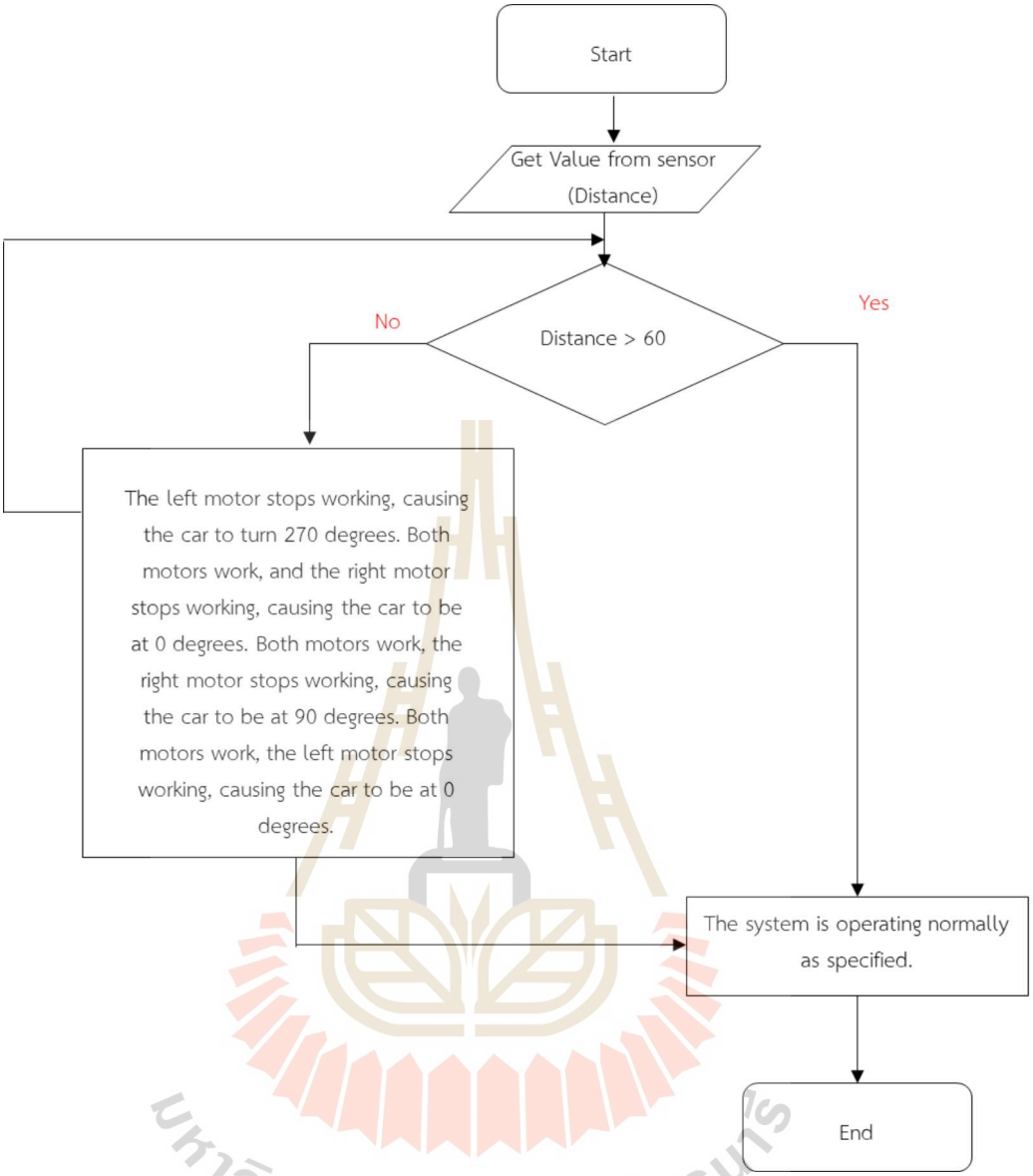
จากรูปที่ 4.8 ได้ทำการกำหนดความเร็วรอบที่ 8 rpm ถึง 22 rpm แล้วลดจาก 22 rpm เหลือ 8 rpm ดูการตอบสนองของระบบที่ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และระบบจริงที่มีตัวควบคุม PI ให้ได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการในการควบคุมรถ จากผลตอบสนองจะเห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับระบบจริงและตัวควบคุมที่ออกแบบทำให้ระบบมีเสถียรภาพและไม่มี overshoot

4.4 ผลการออกแบบระบบทำงานอัตโนมัติ

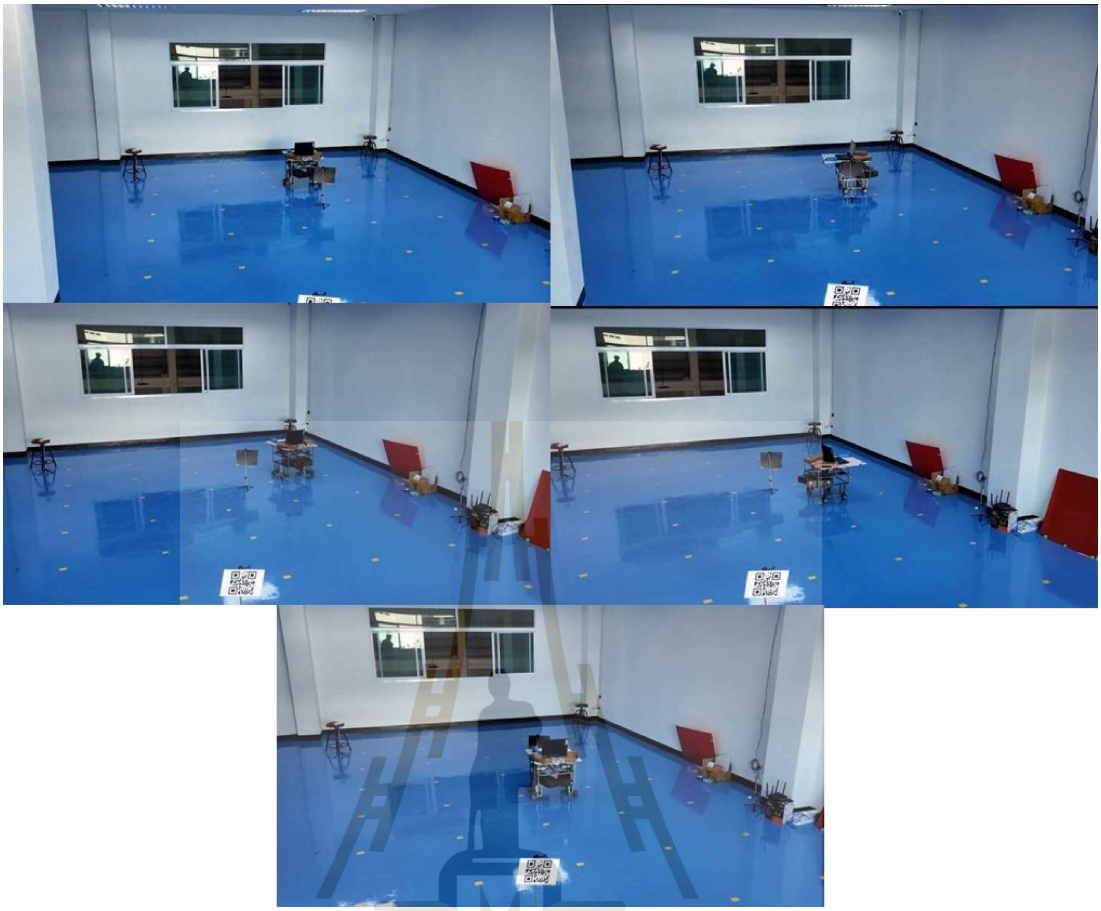
แบ่งออกด้วยกัน 2 ระบบ 1.ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและ2.ระบบตรวจสอบแบตเตอรี่

4.4.1 ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

โดยจะใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคในการตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยถ้าตรวจเจอสิ่งกีดขวางจะให้รถหันซ้ายที่มุม90องศา แล้วให้รถตรงไปให้พ้นระยะของตัวรถแล้วทำการเลี้ยงขวามาที่ 90องศา แล้วให้รถตรงไปให้พ้นสิ่งกีดขวางแล้วให้รถกลับมายังเส้นทางเดิมดังรูปที่ 4.9และรูปที่ 4.10



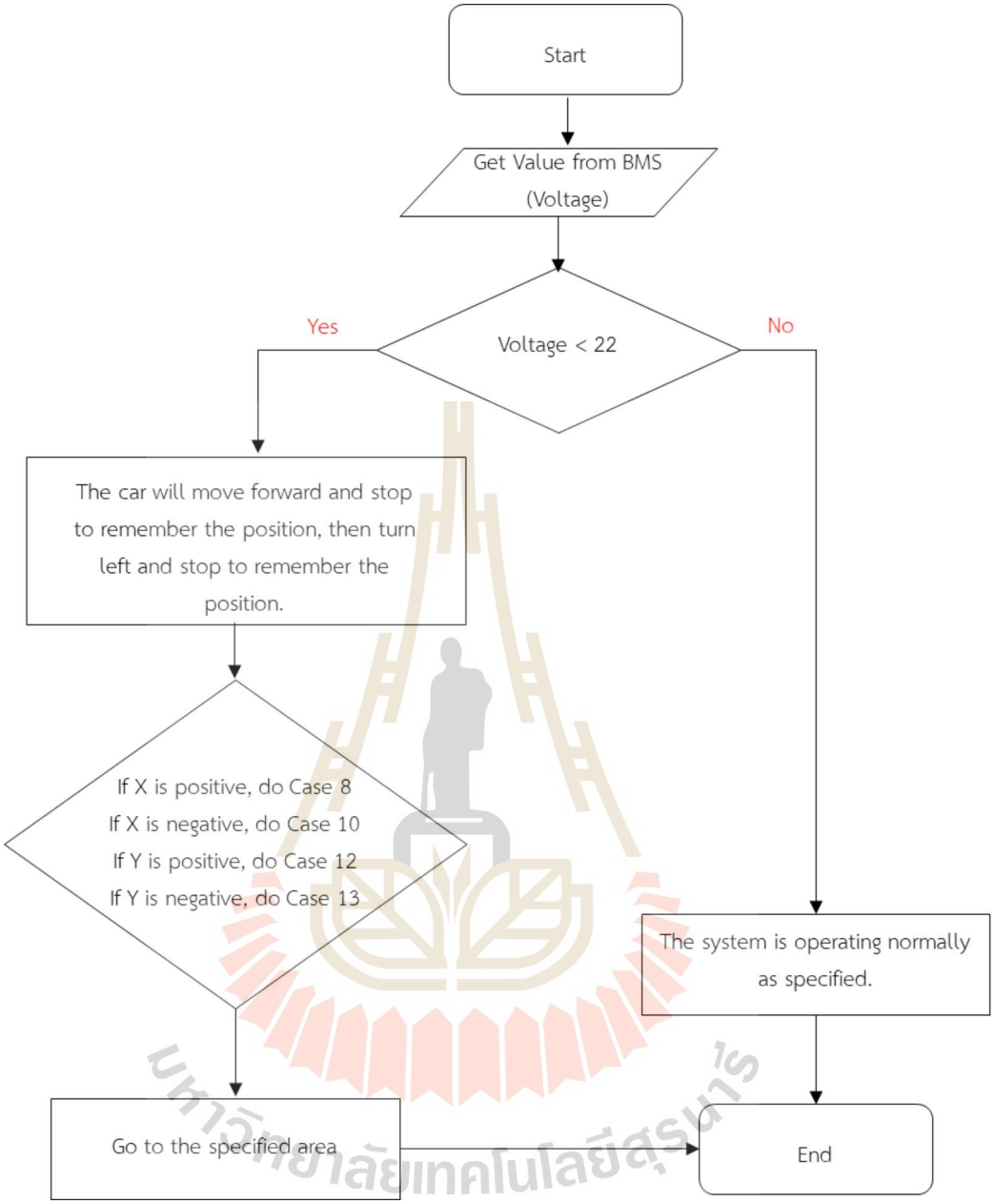
รูปที่ 4.9 แผนผังระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง

4.4.2 ระบบตรวจสอบแบตเตอรี่

เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะหมดหรืออยู่ในค่าที่กำหนดเราจะให้รถวิ่งไปยังพื้นที่ที่เรากำหนดให้เตรียมพร้อมสำหรับการชาร์จของรถ ซึ่งจะนำตำแหน่งของรถมาใช้ในการบอกทิศทางที่รถควรจะไปยังตำแหน่งที่เรากำหนดไว้โดยเราจะให้รถเดินหน้าไปแล้วหยุดเพื่อเก็บค่าตำแหน่งไว้แล้วก็ทำการเลี้ยวซ้ายเดินตรงไปเพื่อเก็บค่าตำแหน่งอีกครั้งเพื่อมาทำการเปรียบเทียบกับพื้นที่กำหนดไว้เพื่อจะให้รถหันรถไปให้ถูกทาง ดังรูปที่ 4.11และรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แผนผังระบบตรวจสอบแบตเตอรี่

รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบเมื่อแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด

4.5 ผลการทดสอบรถพลิกแกลบและการควบคุมระยะทางไกล

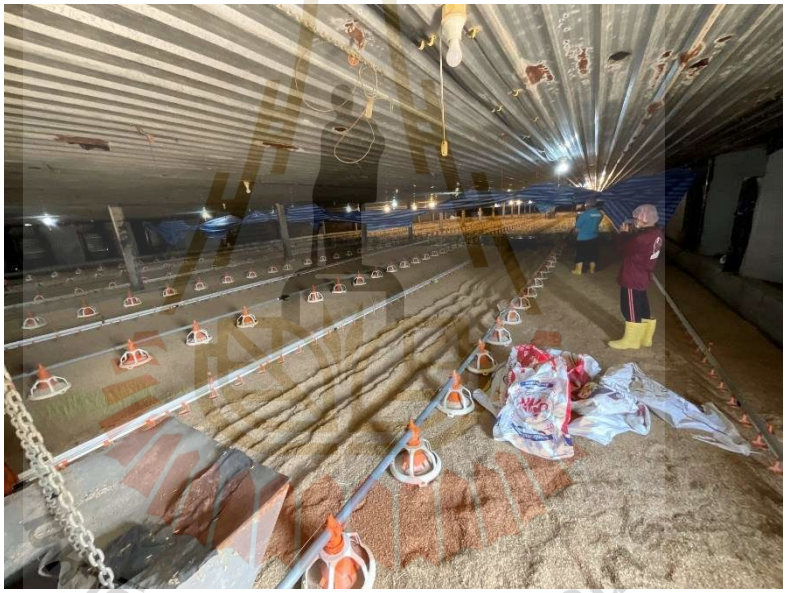
ทำการทดสอบบังคับรถระยะทางไกลโดยได้ทำควบคุมตัวรถในระยะทางต่างๆที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบรีโมทควบคุมรถ

ระยะทาง (เมตร)	จำนวนครั้งที่ควบคุม (ครั้ง)				
	1	2	3	4	5
50	/	/	/	/	/
75	/	/	/	/	/
100	/	/	/	/	/
125	/	/	/	/	/

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบรถพลิกแกลบ

เวลา (นาที)	พื้นที่การทำงาน (ตารางเมตร)	แบตเตอรี่คงเหลือเฉลี่ย (%)
0	0	100
10	110	96
20	220	91
30	330	87
40	440	83
50	550	78



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติ

จากตารางที่ 4.4 พบว่า รถได้ทำการทดสอบทำงานที่ 50 นาที โดยสามารถไถพื้นที่ 550 ตารางเมตร ในช่วงเวลาทำงานแบตเตอรี่จาก 100% ลดลงเหลือ 78% ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ถูกใช้ไป 22% จากเวลาที่ทำงาน 50 นาที

4.6 สรุปผล

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูดต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากกระบวนการ System Identification โดยการทดลองเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าในช่วง 8 ถึง 22 โวลต์ และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองในรูปแบบ Transfer Function ผ่าน

โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยเลือกโครงสร้างที่มี 2 โพล และ 1 ซีโร่ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมของระบบได้ใกล้เคียงกับระบบจริงได้ทำการออกแบบตัวควบคุม PI ด้วย PID Tuner โดยได้ค่าพารามิเตอร์คือ P = 1.15 และ I = 2.55 และทดสอบใน Simulink พบว่าไม่มี Overshoot และตอบสนองตามความเร็วที่กำหนดอย่างมีเสถียรภาพ ทั้งในช่วงเพิ่มและลดรอบมอเตอร์ จากนั้นได้นำไปทดลองกับระบบจริงซึ่งให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงแบบจำลองอย่างชัดเจน

นอกจากนี้ยังมีการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ ESP32 UWB DW1000 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการวัดระยะในช่วงตั้งแต่ 0.5 เมตรจนถึง 15 เมตร ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 10% ที่ระยะสั้นสุด (0.5 เมตร) และต่ำสุดที่ประมาณ 0.13% ในภาพรวมมีค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2) เท่ากับ 0.998 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ ส่วนการทดสอบส่วนที่สองใช้เทคนิค Trilateration พบว่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอยู่ระหว่าง 0.077 ถึง 0.224 เมตร อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ระบบนำทางอัตโนมัติสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะ 60 ซม. และหลบหลีกได้อย่างถูกต้อง รวมถึงสามารถนำรถกลับสู่จุดชาร์จเมื่อแบตเตอรี่ต่ำได้อย่างแม่นยำ โดยใช้ตำแหน่งจากเซนเซอร์ในการกำหนดทิศทาง ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีความน่าเชื่อถือและพร้อมสำหรับการใช้งานจริง รถได้ทำการทดสอบทำงานที่ 50 นาที โดยสามารถไถพื้นที่ 550 ตารางเมตร ในช่วงเวลาทำงานแบตเตอรี่จาก 100% ลดลงเหลือ 78%

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาออกแบบและสร้างรถพลิกแกลบนำทางแบบอัตโนมัติสำหรับใช้งานในโรงเลี้ยงไก่ โดยใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการหลบสิ่งกีดขวางและใช้ ESP32 UWB DW1000 ในการระบุตำแหน่ง การควบคุมรถโดยตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งขั้นตอนของการวิจัยและผลงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ออกแบบโครงสร้างและสร้างรถพลิกแกลบที่สามารถรับโหลด 60 กิโลกรัมและทำการประมาณความแข็งแรงโครงสร้างของตัวรถ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าที่ได้ Yield strength ที่โครงสร้างของรถรับได้อยู่ที่ 325 Mpa ซึ่งที่โหลด 60 กิโลกรัมสร้างภาระโหลดที่ 44.47 Mpa ทำให้ตัวโครงสร้างไม่เกิดการเสียรูป และระยะยุบที่เกิดรูปเป็น 0.265 มิลลิเมตร

2. คำนวณหาขนาดมอเตอร์และแบตเตอรี่ จากการคำนวณแรงบิดต่ำสุดของตัวรถอยู่ที่ 15 นิวตันเมตร จึงเลือกมอเตอร์กระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้า 24 โวลท์ 150วัตต์ แรงบิด 9 นิวตันเมตร 2 ตัว ในการขับเคลื่อนรถจากข้อหนดในการทำงานของรถพลิกแกลบต้องทำงาน 20 นาทีต่อ 1รอบการชาร์จ และความเร็วอยู่ที่ 0.2-0.5 เมตรต่อนาทีจึงทำการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ได้แบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออน ฟอสเฟต มาต่ออนุกรมทั้งหมด 8 ก้อน จึงทำให้แพ็คแบตเตอรี่เป็นระบบ 24 โวลต์ (v) และมีความจุที่ 15 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)

3. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์ในการขับเคลื่อน โดยทำการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธี System Identification ในโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยเก็บแรงดันไฟฟ้า (Volt) ซึ่งใช้เป็นสัญญาณอินพุต (Input) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (Speed) ซึ่งเป็น เอาต์พุต (Output) และได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เลือก Pole 2 , Zero 1 ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำเปรียบเทียบกับระบบจริงดูผลตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกันจึงนำแบบจำลองไปสร้างระบบควบคุมโดยใช้ P มีค่า 1.15 ที่ I มีค่า 2.55 ในการควบคุมความเร็วของตัวรถให้ทั้ง2ฝั่งอยู่ในค่าที่กำหนดไว้

4. ระบบสื่อสารได้ทำการใช้ ระบบสื่อคลื่นวิทยุในการทำงานในโหมดของการทำงานแบบโหมด manual ในการบังคับรถ และได้ใช้ ESP32 UWB DW1000 มาระบุตำแหน่งของตัวรถในการทำงานในโหมดอัตโนมัติในการทำงานตามแผนที่ที่ออกแบบไว้และตรวจสอบตำแหน่งตัวรถให้อยู่ในแผนที่เดินรถกำหนดไว้

5. การทดสอบการทำงานของรถพลิกแกลบไว้ 3 รูปแบบการทำงาน 1.การวิ่งแบบสุ่ม (random) คือการปล่อยวิ่งไปอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) ในการตรวจจับการชน 2.การวิ่งตามแผนที่กำหนดไว้คือการปล่อยวิ่งที่กำหนดไว้เมื่อเจอสิ่งกีดขวางจะสามารถหลบสิ่งกีดขวางได้แล้วจะกลับมาในเส้นทางการเดินรถได้ตัวเอง โดยจะใช้ ESP32 UWB DW1000 ในการระบุตำแหน่งและใช้ เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) ในการตรวจจับการชน 3. การใช้รีโมทวิทยุในการบังคับรถโดยสามารถบังคับไกลสุดในที่โล่ง 125เมตร และได้ออกแบบระบบป้องการชนโดยใช้ เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) ในการตรวจสอบระยะสิ่งกีดขวางที่ในระยะ 60 เซนติเมตร โดยการหลบหลีกจะมี 2อย่าง 1. หลบหลีกแบบจะทำการเลี้ยวซ้ายเสมอจะใช้ในการวิ่งแบบสุ่ม (random) 2.หลบหลีกสิ่งกีดขวางแล้วรถกลับสู่แผนที่เดินรถที่ตั้งไว้ และได้ออกแบบระบบตรวจแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ต่ำกว่า 20 % จะนำตัวรถเองกลับไปยังจุดที่มีการชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้ ESP32 UWB DW1000 มาระบุตำแหน่งของตัวรถและจุดชาร์จและให้ตัวสามารถกลับไปยังจุดชาร์จได้

6. ทำการทดสอบในการใช้งานจริงของรถในสภาวะในสิ่งแวดล้อมจริงได้ทำงานทั้งหมด 50 นาที พื้นที่การทำงานททั้งหมด 550 ตารางเมตร และใช้แบตเตอรี่ไปเพียง 22% ซึ่งสามารถทำงานได้มากกว่า 20นาที ต่อ1รอบการชาร์จ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการระบุตำแหน่งของรถโดยใช้ ESP32 UWB DW1000 ในขณะรถเคลื่อนที่จะเกิดการผิดพลาดของตำแหน่งเนื่องจากการส่งสัญญาณถูกรบกวนได้ควรมีอุปกรณ์อื่นมาช่วยในการระบุตำแหน่งในการทำงานควบคู่กันไปเช่นกล้องวงจรปิดหรือIMU

2. ที่รถควรมีอุปกรณ์ที่สามารถไล่ไก่ไม่ให้มาขวางทางของรถได้เนื่องจากไก่เห็นรถจนเคยชินจะไม่เดินหลบรถเป็นอุปสรรคในการทำงานของรถได้

3. การป้องการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆของตัวรถรวมถึงแบตเตอรี่เพราะว่าในโรงเลี้ยงไก่มีความชื้นและก๊าซแอมโมเนียในโรงเลี้ยงไก่

รายการอ้างอิง

Ahmad, O., Ullah, I., & Iqbal, J. (2014). A multi-robot educational and research framework. *International Journal of Academic Research*, *6*(2), 217–222. https://doi.org/10.7813/2075-4124.2014/6-2/a.32

Budiarto, R., Gunawan, N. K., & Nugroho, B. A. (2020). Smart chicken farming: Monitoring system for temperature, ammonia levels, feed in chicken farms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *852*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012175

Dsouza, K. J., & Arumugam Muthukumaraswamy, S. (2023). A Robotics-Based Surveillance System for Livestock Wellbeing and Early Disease Detection in Poultry Farms. *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy, ICCIKE 2023*, 221–225. https://doi.org/10.1109/ICCIKE58312.2023.10131735

Jiang, X., Institute of Electrical and Electronics Engineers Sapporo Section, International Conference on Information Science, E. and E. E. 2014. 04. 26-28 S., & ISEEE 2014.04.26-28 Sapporo. (n.d.). *International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering (ISEEE), 2014 26-28 April 2014, Sapporo City, Hokkaido, Japan ; proceedings*.

Kang, J. (2022). Research on SINS/ Couple Odometer Integrated Navigation Technology Based on Two-wheel Differential Steering Robot. *2022 9th International Forum on Electrical Engineering and Automation, IFEEA 2022*, 842–845. https://doi.org/10.1109/IFEEA57288.2022.10037793

Teddy. (n.d.).

Tian, J., Tong, J., & Luo, S. (2018). Differential steering control of four-wheel independent-drive electric vehicles. *Energies*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/en11112892

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Yang, C., Leng, B., Xiong, L., & Yang, X. (2021). Fault-tolerant Path Tracking Control of Distributed Electric Unmanned Vehicle Based on Differential Steering. *Proceedings of the 33rd Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2021*, 1875–1880. https://doi.org/10.1109/CCDC52312.2021.9601799

Yenginer, H., Marmara Üniversitesi, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *Proceedings, 2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) : 15-17 October 2020, Istanbul, Turkey*.

Yuan, W., & Xun, L. (2022). Research on differential steering control of an articulated steering vehicle via fuzzy-PID control. *2022 IEEE 4th International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems, ICPICS 2022*, 867–872. https://doi.org/10.1109/ICPICS55264.2022.9873569

G.F. Franklin, J.D. Powell, and A. Emami-Naeini. Feedback control of dynamic systems. Pearson Prentice Hall, 4 editions, 2002

R.D. Blevins, Applied Fluid Dynamics Handbook, Van Nos-trand Reinhold Co. Inc, New York, 1984

สพ.ญ.ชลธิดา บรรเทากุล บริษัท เอเชีย สตาร์ แอนนิมัล เฮลธ์ จำกัด (2024). ธุรกิจการเลี้ยงไก่เนื้อ สืบค้นจาก http://www.asah.co.th/download/file/351d5c53.pdf

John Warner. The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design,2015

พันธ์ศักดิ์ พุฒมานิตพงศ์. วงจรไฟฟ้ากระแสตรง,2566

ภาคผนวก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

วารสารวิชาการนานาชาติ

A. Kosin, A. Kosiyanurak, T. Sri-on, N.Pothi and **J. Srisertpol** (2024), Efficiency and Control: Modelling and Validation of an Electric Fan Bus Cooling System. ***Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering***, Vol.12(2), 2024.

ประชุมวิชาการนานาชาติ

Akkharachai Kosiyanurak, Nattachai Pothi, Natthawut Prasoetkarn, and **Jiraphon Srisertpol**, "Estimated Mathematical Model for Controlling Distance of AGVs with Differential Drive Systems", in Proceeding of 2nd International Conference on Mechanics, Electronics, Automation and Automatic Control (MEAAC2024), Ordos, Inner Mongolia, China, June 15 - 17, 2024.

Mechanics, Electronics, Automation and Automatic Control
T. Xia (Ed.)

doi:10.3233/SAEM240013

Estimated Mathematical Model for Controlling Distance of AGVs with Differential Drive Systems

Akkharachai Kosiyanurak, Nattachai Pothi, Natthawut Prasoetkarn and Jiraphon Srisertpol[1]
Mechatronics Engineering Program, School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
ORCiD ID: Jiraphon Srisertpol https://orcid.org/0000-0002-4341-3708

Abstract. This paper investigates the estimation of a straightforward mathematical model tailored for overseeing and regulating the motion of an AGV (Automated Guided Vehicle) equipped with differential drive systems. The mathematical model delineates the correlation between the input voltage signal of the DC motor and the resultant distance output, empirically tested within an open-loop system. This methodology facilitates the development of precise mathematical models aimed at mitigating errors in powertrains and mechanical motion components, including gears, chains, and ground-contacting tires, along with system friction. Moreover, a P controller system is devised to oversee the AGV motion. The stability and control efficacy are assessed through practical experimentation on the AGV's ability to attain predefined distances. Tests were conducted under two distinct conditions: case 1) AGV operation without any payload and case 2) AGV operation while bearing a 14 kg payload. The system's response to the input distance was meticulously observed. The average distance error is calculated at 1.74% of the designated control distance (2m, 3m, and 4m) across all cases. In the absence of a load (case 1), the average distance error remains consistent at 1.74% of the control distance, showcasing a motor speed response of 23.76 RPM (with a rise time of 2.1 s). Conversely, when subjected to a 14 kg payload (case 2), the average distance error marginally increases to 1.76% of the control distance, with a corresponding motor speed response of 23.71 RPM (and a rise time of 2.2 s). These results show the effectiveness of the control system, facilitated by the estimation of a simplistic mathematical model tailored specifically for AGV operations.

Keywords. Mathematical model of AGV, differential drive, control system design

1. Introduction

AGVs have emerged as integral assets in modern industries, revolutionizing the transportation of goods and enhancing production efficiency. Their applications extend beyond industrial domains, finding utility in healthcare settings for tasks such as delivering food, medication, and medical supplies to patients [1]. This widespread adoption of AGVs not only streamlines operations reduces labor requirements, and optimizes time management but also fosters automation, thereby bolstering overall operational efficiency. The past decade has witnessed significant strides in AGV research

[1] Corresponding Author: Jiraphon Srisertpol, jiraphon@sut.ac.th.

and development, resulting in substantial enhancements in their performance and capabilities. Among the myriad challenges confronting AGVs, trajectory tracking stands out prominently, particularly in industrial environments where precise adherence to planned paths is paramount. Research endeavors in control methodologies have explored various avenues, including the utilization of PID controllers in tandem with optimization techniques, adaptive control strategies, and integration of AI and machine learning algorithms [2]. These endeavors aim to address diverse facets of AGV motion, such as predictive maintenance scheduling, adaptation to dynamic environments, and decision-making in complex operational landscapes. Specifically concerning AGVs equipped with kinematic models of differential drive systems, studies have delved into differential steering control strategies aimed at mitigating risks of sideslip and rollover on sloped terrains, stemming from load asymmetry and ground concavity [3, 4, 5]. The realm of Localization and Mapping has also witnessed notable advancements, with techniques leveraging sensors such as LIDAR, cameras, and odometry to accurately ascertain AGV positions within their operational environments [6]. Furthermore, research endeavors in Human-Robot Interaction and Safety and Regulations have sought to enhance collaborative dynamics between AGVs, humans, and other robots. This encompasses the development of user-friendly interfaces, formulation of safety protocols, and adherence to regulatory standards to facilitate seamless collaboration and ensure operational safety [7, 8]. Efforts to optimize energy consumption in AGV operations have also garnered attention, encompassing route planning, speed control, and utilization of regenerative braking mechanisms [9, 10].

Collectively, these research endeavors underscore the multifaceted efforts aimed at advancing AGV technologies, addressing diverse operational challenges, and enhancing their efficacy across industrial and healthcare sectors while ensuring safety, regulatory compliance, and environmental sustainability. To ensure that AGV can operate in various conditions or complex environments suitable for real-world use, ongoing research and development are necessary. Therefore, this study investigates the mathematical modeling, system validation, and motion control of AGV in the form of a differential drive system. This system has the simplest control structure and requires minimal energy for control. The mathematical model of the system is derived from testing control signals (input voltage) and output responses as distance of AGV of the actual system, designed and tested in an open-loop configuration. Additionally, a feedback control system is designed to regulate the motion of the AGV and to assess the stability and performance of the control system under different payload conditions and varying motion distances toward target positions.

2. System modeling and validation

First paragraph. This study evaluated the control signals and response results of an AGV system with differential drive to create a mathematical model. This model was created by evaluating the connection between the input voltage signal and the system's position output response. Figure 1 depicts the open-loop setup used for designing and testing these signals.

Table 1 presents the results of the signal tests, which show how the system responds to control signals.

An accurate calculation of the settling time of a linear system using new expressions and iterative algorithms [11]. In a critically damped system at a 5% error of final response value, the equation of settling time is related to natural frequency (ω_n) as given by

$$t_s = \frac{4.74}{\omega_n} \tag{1}$$

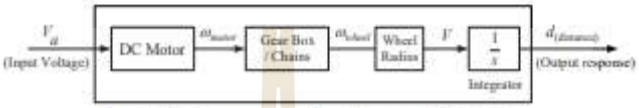


Figure 1. System open loop block diagram of AGV system.

Table 1. Experimental results of the open-loop control system of AGV.

Voltage; V_a (v)	Time (s)	Motor speed; ω_{motor} (RPM)	Open loop Gain (K)	Distance; d_{avg} (m)
6	60	6.1	1.02	1.45
10	60	10.5	1.06	2.50
14	60	14.9	1.07	3.52
18	60	19.4	1.08	4.56
22	60	23.8	1.08	5.45
			Avg = 1.06	

From the experimental data, average of settling time at 5% error of final response value is 1.58 s. Substitute t_s = 1.58 s in Equation (1), then natural frequency (ω_n) is 3 rad/s. Based on the system response obtained from testing, it is possible to estimate the system's parameters using Equation (2), which is presented in the standard form of a second-order system.

$$\text{System modeling} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\omega_n\zeta s + \omega_n^2} = \frac{(1.06)3.06^2}{s^2 + 2(3.06)(1)s + 3.06^2} \tag{2}$$

The system was then validated (System Validation) by comparing the actual system's response results with those predicted by the mathematical model. This comparison showed consistent results, as illustrated in Figure 2.

(a) Real system (b) Speed (RPM) at input 10V

Figure 2. Response of System modeling and validation.

3. Controller design and system performance

In designing the controller for the AGV (Automated Guided Vehicle) robot system, this study implemented a feedback controller configured as a Proportional (P) Controller. This setup is depicted in the control system's block diagram shown in Figure 3. The objective was to manage the AGV's movement so that its actual moving distance, or Output Response (distance), matches a predetermined reference distance (Ref. distance). This reference distance represents the specific distance the robot is required to travel.

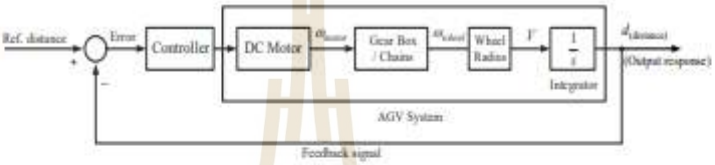
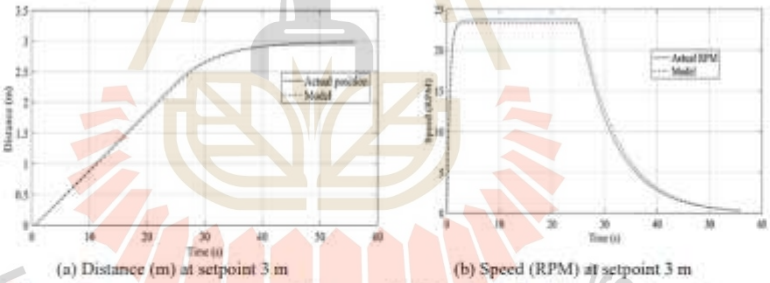


Figure 3. Block diagram of close loop feedback control for AGV system.

The controller designed for this study can illustrate the system's response to a step input signal (Ref. distance = 3 m), showcasing the system's control performance through simulation results as depicted in Figure 4. These results indicate the system's ability to achieve the desired moving distance with a rise time of 45 s, without any overshoot. Additionally, the system exhibits a steady-state error of 0.045 m and maintains a steady-state motor speed of 23.7 RPM.



(a) Distance (m) at setpoint 3 m (b) Speed (RPM) at setpoint 3 m

Figure 4. Step response and system performance with P-Controller (Simulation vs real system).

4. System modeling and validation

After designing the controller to interface with the AGV System, this study employed MATLAB & Simulink software, alongside an Arduino Board (Mega 2560), to manage the operation of a 24 Vdc Permanent Magnet DC Motor actuator. This motor, characterized by a gear ratio of 1:336 and paired with an Absolute Encoder of 17 PPR resolution, along with a mechanical power transmission system, facilitates the movement of the AGV robot over a specified distance. The interfacing setup between the controller and the AGV System is depicted in the block diagram in Figure 5.

To evaluate the performance of the control system and examine the system's response, this study conducted tests under two scenarios: Case 1 involved operating the

AGV robot without any load (No Load) and Case 2 involved operating it with a payload (equipped with a 14 kg mass). The tests measured the system's response to input distances (reference control distances) set at three different lengths: 2m, 3m and 4m. These tests were designed to assess both the Motor Speed and the moving distance of the AGV robot, yielding the following results.

The results of the system's response when the AGV operates without any load (No Load) are presented in Table 2 and visually illustrated in Figure 6.

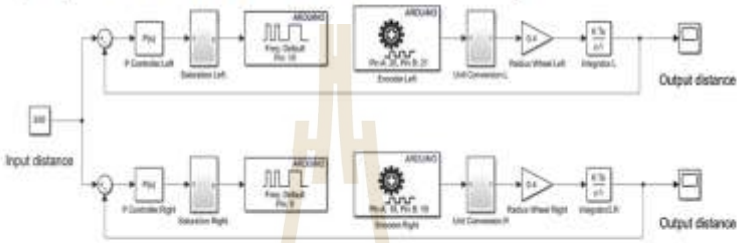


Figure 5. Interfacing block diagram with AGV system integration (differential drive).

Table 2. Experimental results of closed-loop control with P-controller of AGV (No Load).

Input distance; d_{ref} (m)	Output distance; d_{avg} (m)	%Error
2.00	1.962	1.90
3.00	2.951	1.63
4.00	3.932	1.70

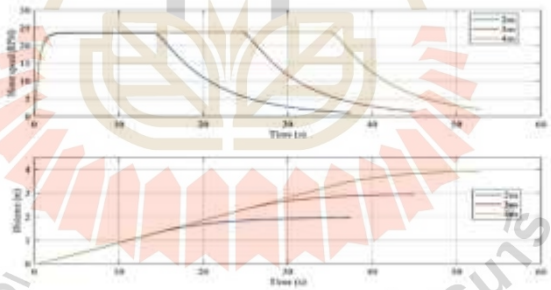
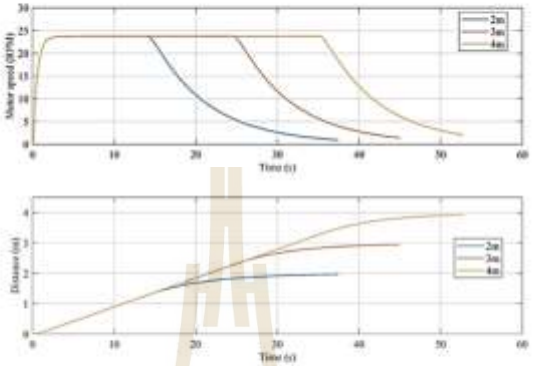


Figure 6. Top: Motor speed (No Load), Bottom: Distance of AGV (No Load).

The response results of the system, when the AGV robot carries a payload (with a mass of 14 kg), are displayed in Table 3, and further illustrated in Figure 7.

Table 3. Experimental results of closed-loop control with P-controller of AGV payload with a mass of 14 kg.

Input distance; d_r (m)	Output distance; d_{avg} (m)	%Error
2.00	1.964	1.80
3.00	2.946	1.80
4.00	3.932	1.70



#

Figure 7. Top: Motor speed with payload, Bottom: Distance of AGV with payload.#

5. Conclusions

This research explores the development of mathematical models by examining the motion control signals of actual systems through open-loop testing. This approach enables the estimation of a mathematical model that minimizes prediction errors in the power transmission unit and mechanical system stiffness. Additionally, the accuracy of the mathematical model is validated by comparing its response results with those of the actual system (System Validation). This validation process includes designing controller for the AGV robot's movement distance, utilizing a differential drive and a Proportional (P) controller for system regulation. The study assesses the system's stability and control performance by conducting tests on the AGV movement over specified distances. These tests are categorized into two scenarios: case 1) the AGV robot operating without any load (No Load) and case 2) the AGV robot operating with a payload (having a mass of 14 kg). The investigation includes analyzing the system's response to three predefined control distances (2m, 3m and 4m) to evaluate the Motor Speed and the actual moving distance of the AGV robot.

The test results indicated that the designed controller is capable of directing the AGV to move to a controlled distance with stability and high performance. When the AGV operates without any load (No Load), the average distance error was found to be 1.74% of the target distance that the robot was set to cover. Additionally, the motor speed response was recorded at 23.76 RPM, with a rise time of 2.1 s.

In scenarios where the AGV robot was loaded with a 14 kg payload, the average distance error slightly increased to 1.76% of the intended distance, and the motor speed response slightly decreased to 23.71 RPM, with a rise time of 2.2 s. These findings underscore the load's impact on the control system's performance. Therefore, to enhance efficiency and minimize control position errors, particularly considering the load's effect, future work may involve developing a more suitable controller or designing a robust control system for the AGV.

References

[1] Moshayedi AJ, Li J, Liao L. Simulation study and PID tune of Automated Guided Vehicles (AGV). 2021 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments or Measurement Systems and Applications (CIVEMSA); 2021; Hong Kong, China. p.1-7, doi: 10.1109/CIVEMSA52099.2021.9493679.

[2] Nguyen TH, Nguyen HN, Pham HKK, Pham QP. A method for trajectory tracking for differential drive type of automatic guided vehicle. J Technol Innov. 2021; 1(2):51-53, doi: 10.26480/jtin.02.2021.51.53.

[3] Heinrich H, Deutschländer A, Zoghlami F, Sen OK. The Long Journey From Standardization to Fully Fab Automation and More. IEEE Trans Semicond Manuf. 2019 Nov; 32(4):408-14, doi: 10.1109/TSM.2019.2945352.

[4] Han J, Wang F, Wang Y. A control method for the differential steering of tracked vehicles driven independently by a dual hydraulic motor. Appl Sci. 2022; 12:6355, doi: 10.3390/app12136355.

[5] Liu W, Li M, Liu C. AGV dual-wheel speed synchronous control based on adaptive fuzzy PID. 2022 IEEE 5th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC); 2022; Chongqing, China. p.564-569, doi: 10.1109/IMCEC55388.2022.10020073.

[6] Jiang Y, Leach M, Yu L, Sun J. Mapping, Navigation, Dynamic Collision Avoidance and Tracking with LiDAR and Vision Fusion for AGV Systems. 2023 28th International Conference on Automation and Computing (ICAC); 2023; Birmingham, United Kingdom. p.1-6, doi: 10.1109/ICAC57885.2023.10275259.

[7] Stimming C, Krengel A, Boehning M, Vatavu A, Mandici S, Nedevschi S. Multi-level on-board ata fusion for 2D safety enhanced by 3D perception for AGVs. IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP); 2015; Cluj-Napoca, Romania. p.239-244, doi: 10.1109/ICCP.2015.7312636.

[8] Jost J, Kirks T, Chapman S, Rinkenauer G. Keep distance with a smile - User characteristics in human-robot collaboration. 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA); 2021; Vasteras, Sweden. p.1-8, doi: 10.1109/ETFA45728.2021.9613601.

[9] Shi X, Li X, Zhao B, Guo Y, Zhang Y, Fang H. Comparison of Stability and Energy Consumption of AGV System based on Clouding Server and Physical Servers methods. International Conference on Mobile Internet, Cloud Computing and Information Security (MICCIS); 2023; Nanjing, China. p.43-48, doi: 10.1109/MICCIS58901.2023.00013.

[10] Lian Y, Zhang L, Xie W, Wang K. An Improved Heuristic Path Planning Algorithm for Minimizing Energy Consumption in Distributed Multi-AGV Systems. International Symposium on Autonomous Systems (ISAS); 2020; Guangzhou, China. p.70-75, doi: 10.1109/ISAS49493.2020.9378876.

[11] Chagra W. Accurate Calculation of the Settling Time of a Linear System Using New Expressions and Iterative Algorithms. Circuits Syst Signal Process. 2018; 37:408-431, doi: 10.1007/s00034-017-0560-3.

ประวัติผู้เขียน

นายอัครชัย โกสิยานุรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย เริ่มการศึกษาในระดับมัธยมปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนนางรอง และสำเร็จศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2565 และได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ในขณะที่ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตได้มีประสบการณ์เป็นผู้สอนปฏิบัติการและผู้ช่วยสอนของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจำนวน 6 รายวิชา ดังนี้

1. ทักษะพื้นฐานของวิศวกรรมเครื่องกล
2. เขียนแบบวิศวกรรม 1
3. ปฏิบัติการเครื่องกล 1
4. ปฏิบัติการเครื่องกล 2
5. การออกแบบและการผลิตด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิศวกรรม
6. ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมเผยแพร่ผลงานวิชาการของการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ดังนี้

Akkharachai Kosiyanurak, Nattachai Pothi, Natthawut Prasoetkarn, and Jiraphon Srisertpol, “Estimated Mathematical Model for Controlling Distance of AGVs with Differential Drive Systems”, in Proceeding of 2nd International Conference on Mechanics, Electronics, Automation and Automatic Control (MEAAC2024), Ordos, Inner Mongolia, China, June 15 - 17, 2024.