ST-03

# การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง

# The Development of Automatic Systems for Vertical Garden

จุฑารัตน์ วิวิจไชย[1*] ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ[2] และปิยวดี ยาบุษดี[3]

Jutharat Wiwitchai[1*], Phubet Phiphithirankarn[2], and Piyawadee Yabosdee[3]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

อีเมล: hongjutarat@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง และหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง โดยมีโครงสร้างเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม มีถาดปลูกพืชวางในฐานรองถาดปลูกพืชจำนวน 12 ถาด ควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน และระบบน้ำ โดยเขียนโปรแกรมสั่งการผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดสอบพบว่าผลการเคลื่อนที่ของถาดปลูกพืช จำนวน 1 รอบ ถึง 20 รอบ มีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเฉลี่ย 0.14 ถึง 0.92 เซนติเมตร มีความแม่นยำในการเคลื่อนที่ และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับค่าความชื้นในดินเฉลี่ย เปรียบเทียบระหว่าง Soil Moisture Sensor Module และ Moisture Meter-MT10 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.30 Soil Moisture Sensor Module มีความแม่นยำ

**คำหลัก**: ระบบอัตโนมัติ การปลูกพืชแนวตั้ง

**Abstract**

The objectives of the research were to design and build a vertical planting and evaluate the effectiveness of the developed automatic systems for the vertical garden. The structure was a square shape containing 12 planting trays placed in the planting tray base. The operation of the propulsion system and the water system were controlled by the program written through a microcontroller. The findings showed that the average position deviation for the movement of planting trays throughout 1 to 20 rounds, ranged from 0.14 to 0.92 centimeters. The movement of planting trays was accurate, and the average variation in the relationship between average soil moisture and water content between the Soil Moisture Sensor Module and the soil Moisture - MT10 was 3.30. This indicated that the Soil Moisture Sensor Module was accurate.

**Keywords:** Automatic Systems Vertical Garden

**บทนำ**

ภาคเกษตรกรรมของโลกเข้าสู่ยุคปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ (Paradigm Shift) หรือการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ครั้งใหญ่ ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญของภาคเกษตรกรรมใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การเปลี่ยนจากเกษตรกรรมที่พึ่งพาสารเคมี สู่การเกษตรแบบชีววิทยาสังเคราะห์ (Bio-agriculture) และการเปลี่ยนจากเกษตรกลางแจ้ง (Outdoor Farming) ซึ่งเป็นเกษตรแบบดั้งเดิมที่ต้องอาศัยสภาพดิน ฟ้า อากาศ สู่เกษตรในร่ม (Indoor Farming) ที่ทำการเพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์ในสิ่งปลูกสร้างที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม อาทิ การทำไร่ในอาคารสูง (Vertical Farming) การทำเกษตรในแนวดิ่ง การทำฟาร์มในเมืองเพื่อเป็นแหล่งผลิตอาหารได้เองทั้งปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ (ณัฏฐกิตติ์ ปัทมะ, 2563)

การทำการเกษตรในร่ม (Indoor Farming) เป็นรูปแบบการเกษตรภายในโรงเรือนหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้น ปริมาณน้ำ ปุ๋ย เป็นต้น ซึ่งมีรูปแบบการเพาะปลูกพืชที่หลากหลาย ช่วยประหยัดการใช้ทรัพยากร ทั้งน้ำ ปุ๋ย พื้นที่เพาะปลูก และแรงงาน รวมถึงยังสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้ตามที่ต้องการ (กัญญารัตน์ กาญจนวิสุทธิ์, 2562) ปัจจุบันพบว่าระบบการปลูกพืชแนวตั้งได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสามารถเพาะปลูกพืชในพื้นที่จำกัดตามที่อยู่อาศัยของประชากรในเขตพื้นที่เมืองได้ดี อย่างไรก็ตาม ระบบการปลูกพืชในแนวตั้งที่มีการเพาะปลูกในระดับครัวเรือนยังต้องใช้คนในการให้น้ำ อาหาร และแสงแดดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งบางครั้งกลายเป็นความยุ่งยากในการดูแล (Sabeh, 2019) ซึ่งการทำเกษตรกรรมแนวตั้ง เป็นการเพาะปลูกพืชในอาคารหรือโรงเรือนลักษณะเป็นชั้น โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการเพาะปลูก ทั้งการควบคุมแสง ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ความอุดมสมบูรณ์ของวัสดุปลูก ระบบการให้น้ำ การควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งการคัดเลือกพันธุ์พืช การทำเกษตรกรรมแนวตั้งบางรูปแบบยังมีการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์เข้ามาบริหารจัดการโรงเรือนอย่างเต็มรูปแบบ ได้แก่ การติดตามและควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การวิเคราะห์แสงและควบคุมปริมาณแสง การควบคุมความชื้น และการควบคุมระบบการให้น้ำแบบเรียลไทม์ (Real-Time) ส่งผลให้การทำเกษตรกรรมแนวตั้งสามารถเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี ในพื้นที่ขนาดจำกัด และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสูงกว่าการทำเกษตรกรรมทั่วไป (เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม, 2561) โดยในประเทศสิงคโปร์ ได้มีนวัตกรรมคือ สิงคโปร์ สกายกรีน ฟาร์ม มีการดำเนินการฟาร์มปลูกผักแนวตั้งในเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลก ใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อเพาะปลูกพืชในอาคารด้วยระบบไฮดรอลิค โดยสร้างเป็นโครงสร้างอะลูมิเนียมแนวตั้ง ความสูง 9 เมตร จำนวน 120 หลัง (Lori Zimmer, 2012) มีการปลูกพืช 38 ชั้น ในแต่ละชั้นจะมีรางสำหรับปลูกพืชที่สามารถหมุนรอบโครงอะลูมิเนียม มีการออกแบบระบบการให้น้ำและการควบคุมพลังงานโดยใช้ระบบไฮดรอลิค ที่ดึงน้ำฝนที่เก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำใต้ดินมาเป็นพลังงานในการหมุนรางปลูกผักให้ได้รับแสงแดดโดยรอบและสม่ำเสมอ มีการควบคุมปริมาณน้ำและอัตราการไหลของน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดได้ (Mold Editors, 2015) และ Siregar et al. (2020) ได้เสนอแบบจำลองการปลูกพืชแนวตั้ง โดยการปลูกพืชหลายชั้นเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งรองรับด้วยซอฟต์แวร์ในตัวและประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น, เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน, โมดูล WiFi และรีเลย์ สามารถสั่งการผ่านมือถือและแสดงการเก็บข้อมูลแบบ Real-Time

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้งที่มีประสิทธิภาพ ทำงานแบบอัตโนมัติได้ โดยควบคุมการทำงานของระบบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

**วัตถุประสงค์**

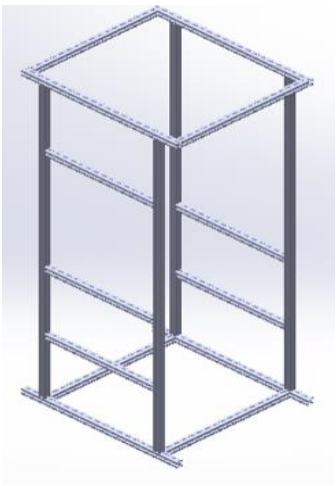
1. เพื่อออกแบบและสร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง
2. เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง

**วิธีดำเนินการวิจัย**

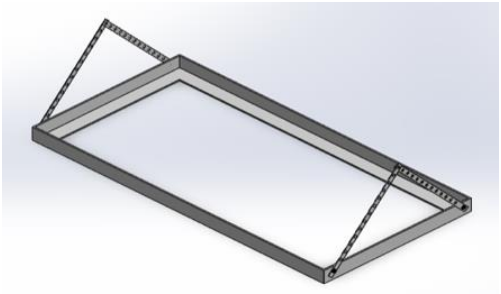
การดำเนินการวิจัยการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง มีขั้นตอนดังนี้

1. การออกแบบแปลงปลูกพืชแนวตั้งและวงจรควบคุม ได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างของแปลงปลูกพืชแนวตั้งด้วยโปรแกรม SolidWorks และวงจรควบคุม

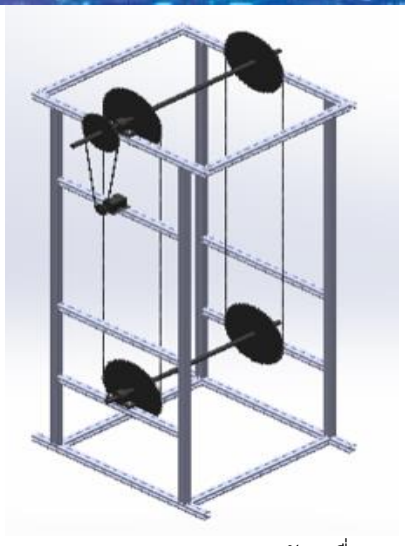
1.1 ออกแบบแปลงปลูกพืชแนวตั้ง ประกอบด้วย โครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม กว้าง 0.88 เมตร ยาว 1.00 เมตร สูง 2.18 เมตร (ดังภาพที่ 1-ก) ฐานรองถาดปลูกพืช เป็นโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 0.31 เมตร ยาว 0.61 เมตร สูง 0.025 เมตร ด้านกว้างติดกับหูห้อยเป็นรูปสามเหลี่ยม (ดังภาพที่ 1-ข) ระบบขับเคลื่อน ประกอบด้วยเฟืองจำนวน 5 ชิ้น โดยมีโซ่คล้องผ่านเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.33 เมตร จำนวน 4 ชิ้น และแกนเพลาด้านบนถัดจากเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.33 เมตร มีเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.205 เมตร มีโซ่คล้องมายังเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร ซึ่งติดกับแกนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (ดังภาพที่ 1-ค) ระบบน้ำเป็นท่อกลมติดตั้งหัวพ่นน้ำ จำนวน 3 ชุด แล้วต่อกับปั๊มน้ำ (ดังภาพที่ 1-ง) และออกแบบการติดตั้งตู้ควบคุมกับแปลงปลูกพืชแนวตั้ง (ดังภาพที่ 2-ก และ 2-ข)



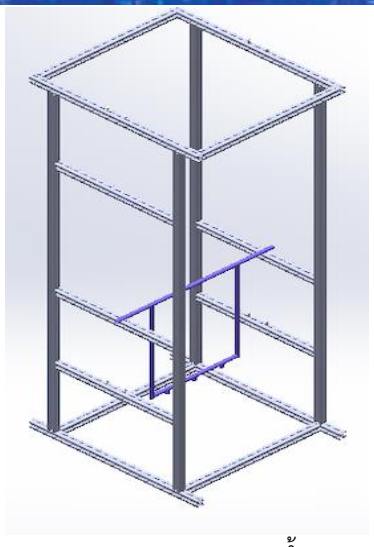
ก. การออกแบบโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม



ข. การออกแบบฐานรองถาดปลูกพืช



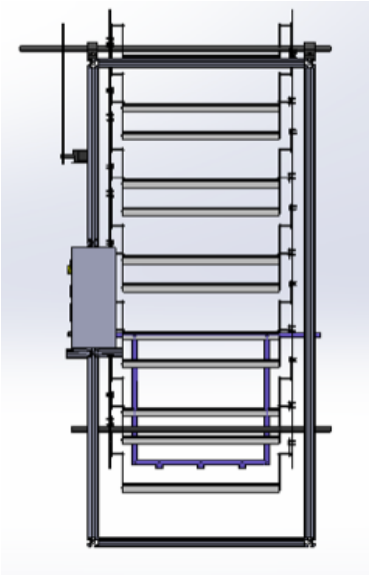
ค. การออกแบบระบบขับเคลื่อน



ง. การออกแบบระบบน้ำ

**ภาพที่ 1** การออกแบบแปลงปลูกพืชแนวตั้ง

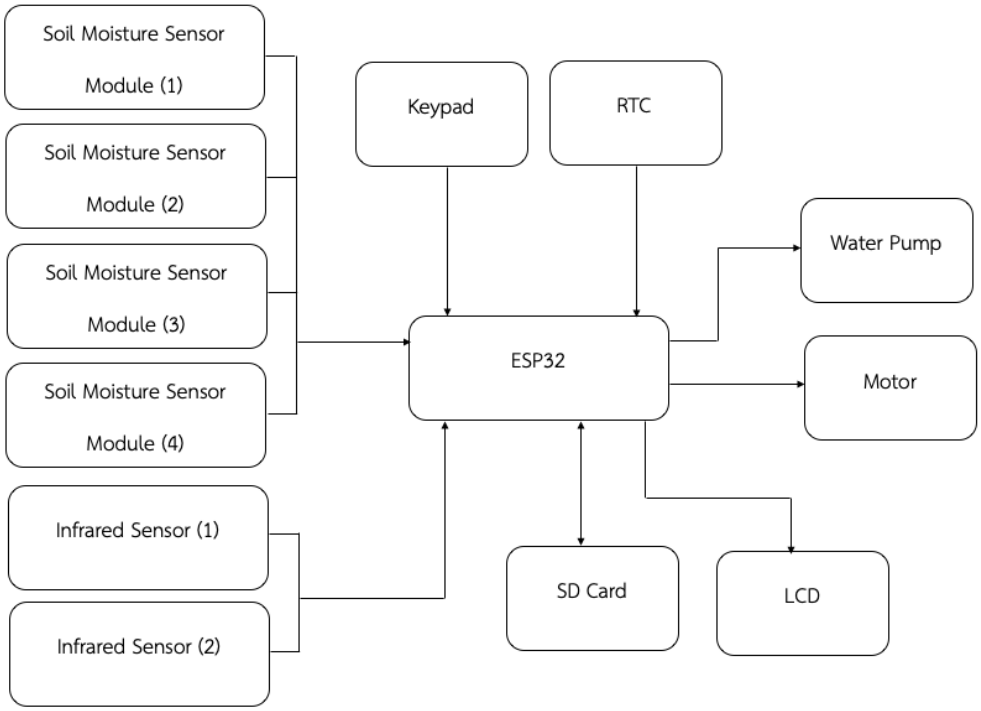
ก. ด้านหน้า



ข. ด้านข้าง

**ภาพที่ 2** การออกแบบแปลงปลูกพืชแนวตั้งและตู้ควบคุม

1.2 การออกแบบวงจรควบคุม ประกอบด้วย บอร์ด ESP32 ต่อกับปุ่มกด โมดูลนาฬิกา ปั๊มน้ำ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จอ LCD และ SD Card จากนั้นต่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดสะท้อนแสง ตัวที่ 1 และ 2 เข้ากับบอร์ด ESP32 และต่อโมดูลเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ตัวที่ 1-4 กับบอร์ด ESP32 (ดังภาพที่ 3) แล้วเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Arduino IDE โดยรับข้อมูลจากโมดูลเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor Module) เซ็นเซอร์อินฟราเรดสะท้อนแสง (Infrared Sensor) รุ่น TCRT5000 โมดูลนาฬิกา (RTC Module) รุ่น DS 1302 และปุ่มกด (Keypad) เพื่อควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Motor) และปั๊มน้ำ (Water Pump) แล้วแสดงผลผ่านจอ LCD พร้อมบันทึกข้อมูลไว้ที่ SD Card




**ภาพที่ 3** แผนภาพการทำงานของระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง

2. การสร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง

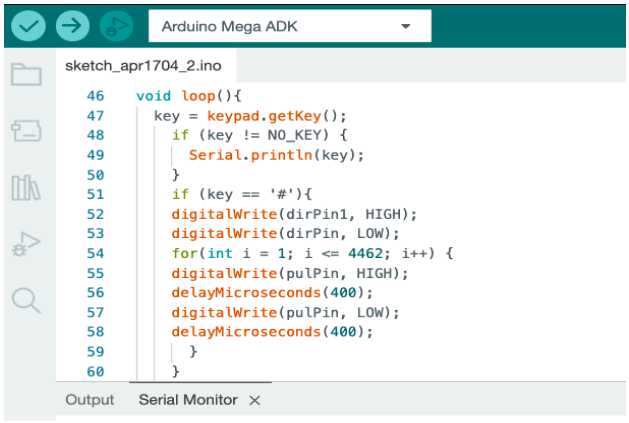
การสร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง นำอะลูมิเนียมโปรไฟล์มาประกอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม เมื่อได้โครงสร้างแล้วติดตั้งกลไกการขับเคลื่อน โดยติดตลับลูกปืนตุ๊กตาเข้ากับอะลูมิเนียมโปรไฟล์ด้านยาว 1.00 เมตร ด้านละ 1 อัน แล้วประกอบเฟืองขับโซ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.33 เมตร ใส่ในแกนเพลา นำเพลาใส่ตลับลูกปืนตุ๊กตา คล้องโซ่เข้ากับเฟืองขับโซ่ จากนั้นนำฐานรองถาดปลูกพืชพร้อมหูห้อยรูปสามเหลี่ยม จำนวน 12 อัน ติดกับโซ่ แล้วนำเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.205 เมตร ใส่แกนเพลาด้านบนส่วนที่อยู่นอกโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม คล้องโซ่เข้ากับเฟืองขับโซ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร ซึ่งติด

กับแกนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ และระบบน้ำ ติดหัวพ่นน้ำจำนวน 3 ชุด เข้ากับท่อกลม ประกอบเข้ากับอะลูมิเนียมโปรไฟล์ ต่อสายยางเข้ากับปั๊มน้ำ (ดังภาพที่ 4)

**ภาพที่ 4** แปลงปลูกพืชแนวตั้งพร้อมตู้ควบคุม

3. การติดตั้งระบบควบคุม

การติดตั้งระบบควบคุมแปลงปลูกพืชแนวตั้ง เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรม Arduino IDE (ดังภาพที่ 5) ทำงานแบบอัตโนมัติ และผ่านปุ่มกดที่ติดอยู่หน้าตู้ควบคุม ภายในตู้ควบคุมมีบอร์ด ESP32 ต่อกับอุปกรณ์ภายใน ได้แก่ ตัวขับมอเตอร์ โมดูลนาฬิกา โมดูลรีเลย์ และ SD Card หน้าตู้ควบคุมประกอบด้วยสวิตช์เปิด - ปิดการทำงาน ปุ่มกด จอ LCD และไฟแสดงสถานะการทำงาน นอกจากนี้บอร์ด ESP32 ยังเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกตู้ควบคุม ได้แก่ โมดูลเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ที่อยู่ในถาดปลูกพืช เซ็นเซอร์อินฟราเรดสะท้อนแสง ที่ติดกับโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม และปั๊มน้ำ โดยเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์อินฟราเรดสะท้อนแสง และโมดูลนาฬิกา จะส่งข้อมูลผ่านบอร์ด ESP32 ไปเก็บที่ SD Card และแสดงผลผ่านจอ LCD (ดังภาพที่ 6)




**ภาพที่ 5** การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ก. ด้านหน้าตู้ควบคุม ข. ด้านในตู้ควบคุม

**ภาพที่ 6** ตู้ควบคุมระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง

4. การทดสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องมือระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของถาดปลูกพืช โดยกำหนดตำแหน่งอ้างอิง สั่งจำนวนรอบที่กำหนดผ่านปุ่มกด ระบบขับเคลื่อนทำงาน เมื่อครบรอบตามจำนวนที่กำหนด วัดระยะตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง

4.2 วัดค่าความชื้นในดินเฉลี่ย โดยใช้ Moisture Meter-MT10 เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการเปรียบเทียบค่าความชื้นในดิน โดยวัดค่าความชื้นในดินผ่าน Soil Moisture Sensor Module เปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินที่วัดด้วย Moisture Meter-MT10 เพื่อทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์

**ผลการวิจัย**

จากการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง ได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 1** ผลการเคลื่อนที่ของถาดปลูกพืช

| จำนวนรอบ | ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (cm) | | | | | เฉลี่ย (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | |
| 1 | -0.10 | 0.20 | 0.50 | 0.10 | 0.00 | **0.14** |
| 5 | 0.40 | 0.20 | -0.10 | 0.10 | 0.30 | **0.18** |
| 10 | 0.10 | 0.30 | 0.90 | 0.90 | 0.70 | **0.58** |
| 15 | 0.80 | 0.60 | 0.40 | 0.40 | 0.60 | **0.56** |
| 20 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | **0.92** |

หมายเหตุ ค่าเป็นลบ หมายถึง ถาดปลูกพืชเคลื่อนที่ไม่ถึงตำแหน่งอ้างอิง
ค่าเป็นบวก หมายถึง ถาดปลูกพืชเคลื่อนที่เกินตำแหน่งอ้างอิง

จากตารางที่ 1 ผลการเคลื่อนที่ของถาดปลูกพืช โดยวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ถาดปลูกพืชเคลื่อนที่ครบตามจำนวนรอบที่กำหนด เทียบกับตำแหน่งอ้างอิง ทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งถาดปลูกพืชเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จำนวน 1 รอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.14 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนที่ของตำแหน่งถาดปลูกพืชเฉลี่ยที่มากที่สุด จำนวน 20 รอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.92 เซนติเมตร

**ตารางที่ 2** ผลการวัดค่าความชื้นในดินเฉลี่ยโดยใช้ Moisture Meter-MT10 เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยที่ได้จาก Soil Moisture Sensor Module

| ปริมาณน้ำ (ml) | ค่าความชื้นในดินเฉลี่ย (%) | | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|
| | Soil Moisture Sensor Module | Moisture Meter-MT10 | |
| 0 | 89.75 | 92.30 | 2.76 |
| 100 | 91.75 | 93.95 | 2.34 |
| 200 | 92.75 | 94.78 | 2.14 |
| 300 | 92.75 | 95.43 | 2.81 |
| 400 | 92.80 | 96.88 | 4.21 |
| 500 | 93.50 | 99.00 | 5.56 |
| | เฉลี่ย | | 3.30 |

จากตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความชื้นในดินเฉลี่ยโดยใช้ Moisture Meter-MT10 เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินเฉลี่ยที่ได้จาก Soil Moisture Sensor Module โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับค่าความชื้นในดินเฉลี่ย แล้วหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน พบว่าปริมาณน้ำ 200 มิลลิลิตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.14 และปริมาณน้ำ 500 มิลลิลิตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 5.56 และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.30

**สรุปและอภิปรายผลการวิจัย**

การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง และหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแนวตั้ง โดยทำการออกแบบแปลงปลูกพืชแนวตั้ง ประกอบด้วยโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม ฐานรองถาดปลูกพืชเป็นโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ระบบขับเคลื่อน ระบบน้ำ และตู้ควบคุม และออกแบบวงจรควบคุม โดยมีบอร์ด ESP32 ต่อกับอุปกรณ์ เซ็นเซอร์อินฟราเรดสะท้อนแสง และโมดูลเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน จากนั้นสร้างแปลงปลูกพืชแนวตั้ง โครงสร้างทำจากอะลูมิเนียมโปรไฟล์ และฐานรองถาดปลูกพืชมีโครงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากอะลูมิเนียมฉาก ด้านกว้างฐานรองถาดปลูกพืชติดกับหูห้อยเป็นรูปสามเหลี่ยม ถัดจากนั้นติดตั้งระบบควบคุมโดยเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า ผลการเคลื่อนที่ของถาดปลูกพืช จำนวน 1 รอบ ถึง 20 รอบ มีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเฉลี่ย 0.14 ถึง 0.92 เซนติเมตร มีความแม่นยำในการเคลื่อนที่ และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับค่าความชื้นในดินเฉลี่ย เปรียบเทียบระหว่าง Soil Moisture Sensor Module และ Moisture Meter-MT10 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.30 Soil Moisture Sensor Module มีความแม่นยำ

**ข้อเสนอแนะ**

1. ควรปรับขนาดถาดปลูกพืชให้เล็กลง เนื่องจากขนาดของถาดเดิมมีขนาดใหญ่ การรับน้ำหนักในเวลานาน ๆ อาจทำให้เครื่องมือมีการเสื่อมสภาพได้เร็ว

2. การใช้พลังงานทดแทน เช่น การต่อโซลาร์เซลล์แทนการใช้ไฟฟ้ากระสลับในบ้านของตู้ควบคุม เพื่อป้องกันเหตุสุดวิสัยจากไฟฟ้าดับ

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยฉบับนี้ ผศ.ดร. ปิยวดี ยาบุษดี ผศ.ดร. ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

**เอกสารอ้างอิง**

กัญญารัตน์ กาญจนวิสุทธิ์. (2562). *Indoor farming ปลูกพืชยุคใหม่ ไทยพร้อมหรือยัง?.* สืบค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2565, จาก https://www.salika.co/2019/06/14/indoor-farming-innovation-agriculture/.

ณัฏฐกิตติ์ ปัทมะ. (2563). การพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทย (The development of Smart Farming Systems in Thailand). *บทความสำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 10*(9), 1-22.

เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม. (2561). เรื่องน่ารู้ : การทำเกษตรกรรมแนวตั้ง (Vertical Farming). *วารสารสิ่งแวดล้อม, 22*(2), 56-63.

Lori Zimmer. (2012). *The World's First Commercial Vertical Farm Opens in Singapore.* Retrieved October 15,2022 from https://inhabitat.com/the-worlds-first-commercial-vertical-farm-opens-in-singapore/.

Mold Editors. (2015). *Sky Urban Vertical Farming System Wins 2015 INDEX: Award.* Retrieved October 15,2022 from https://thisismold.com/space/farm-systems/sky-urban-vertical-farming-system-wins-2015-index award.

Sabeh, N. (2019). *3 challenges of growing in a vertical farm.* Retrieved November 28,2022 from https://www.producegrower.com/article/3-challenges-of-growing-in-a-vertical-farm.

Siregar, R. R. A. et al. (2020). *Automatic Watering Systems in Vertical Farming Using the Adaline Algorithm.* International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT).