การพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

Development of water culture planting kit with the energy - saving

วราภรณ์ วุฒิวงค์

วุฒิชัย ทาร่อน

ธันวา มาอ่อง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

ชื่อ นามสกุล วราภรณ์ วุฒิวงค์

วุฒิชัย ทาร่อน

ธันวา มาอ่อง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรินธร บุญยะโรจน์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ได้เห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว)

.....กรรมการ

(ผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วรินธร บุญยะโรจน์)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

วันที่ ๑๗ เดือน มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

ชื่อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน
ชื่อ นามสกุล วราภรณ์ วุฒิวงค์
วุฒิชัย ทาร่อน
ธันวา มาอ่อง
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งควบคุมด้วยบอร์ดอาดุยโน่ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และศึกษาประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำ โดยการเปรียบอัตราการใช้ไฟฟ้าระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยชุดการทดลอง 4 ชุดการทดลอง คือ ชุดเพาะปลูกในน้ำที่ไม่มีการติดตั้งชุดการสั่งการ 2 ชุดการทดลอง และมีการติดตั้งชุดการสั่งการ 2 ชุดการทดลอง โดยใช้ผักสลัดกรีนคอสในการวิจัย โดยศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโต 45 วัน ประกอบด้วย ความยาวและความกว้างใบ ความยาวราก จำนวนใบ และความสูงของผักสลัดกรีนคอส นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง เพื่อลดการใช้สารเคมี จากการวิจัยพบว่าการใช้ฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีอัตราการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสมากกว่า ปุ๋ย AB เนื่องจากฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีธาตุอาหารหลายชนิดแต่มีในปริมาณที่น้อย เมื่อใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับปลูกผักสลัดกรีนคอสจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนธาตุอาหารทุกวัน เมื่อพิจารณาจากความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การใช้ปุ๋ย AB เป็นธาตุอาหารจะมีความคุ้มค่ามากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง สำหรับการติดตั้งชุดการสั่งการและหลอดไฟ LED เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดกรีนคอสมากกว่าการไม่ติดตั้งชุดการสั่งการและหลอดไฟ LED อีกทั้งสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 85 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ : ชุดเพาะปลูกในน้ำ การประหยัดพลังงาน
ไฮโดรโพนิกส์ ผักสลัดกรีนคอส

Thesis title Development of water culture planting kit with the energy - saving

Author Waraporn Wuttiwong
Wuttichai Taron
Tanwa Ma - ong

Degree Bachelor of Science

Major program Environment Science and Natural Resources
Faculty of Science and Technology

Academic Year 2019

ABSTACT

This research is the development of an energy - saving water planting kit. The objective is to develop a prototype of an energy - saving water planting kit by applying solar energy as an energy source that is controlled by the Arduino board through a blynk application and study the efficiency of the water culture planting kit. By comparing electricity usage rates between solar energy and electric power from the household. In this study, there were 4 experimental sets. The experiment was water cultivation without installation, 2 experimental sets and 2 experimental sets were installed using green salad vegetables. In research, the 45 days growth period consisted of leaf length and width, root length, number of leaves and height. There is also a comparison of the efficiency of AB fertilizer and soy milk hormones to reduce chemical usage. The research has shown that the use of the soybean milk hormone provided a high growth rate of *Lactuce sativaVar. Longifolla* than AB fertilizer. There are many nutrients, but only in small amounts. When used as a nutrient for plant growth needs to be changed daily. Considering the economic value, using AB fertilizer as a nutrient will be worth more than soy milk hormones. For the installation of the instruction set and the LED lamp was suitable for *Lactuce sativaVar. Longifolla* growing than not installing the instruction set and the LED lamp. These can save electricity cost of 85 baht per month.

Keywords : Water culture planting kit, Energy – saving,
Hydroponics, Lactuce sativaVar. Longifolla

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ของคณาอาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. วรินธร บุญยะโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร. คณาวุฒิ อินทร์แก้ว ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และ ผศ. ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาและข้อเสนอแนะ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัยตลอดจนให้ความรู้ทางวิชาการและวิชาชีพแก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณทุนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตาอบรมสั่งสอนและช่วยสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน รวมถึงเพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยตลอดมา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

วราภรณ์ วุฒิวงค์
วุฒิชัย ทาร่อน
ธันวา มาอ่อง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 กรอบแนวคิด	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์	4
1.7 คำสำคัญ	4
1.8 ระยะเวลาในการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	23
3.1 การออกแบบต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน	23
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	29
3.3 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปราย	38
4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน	38
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส	40
4.3 ผลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร	47
4.4 เปรียบเทียบการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน	51
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส	58
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร	71
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (T-Test)	74
ภาคผนวก ง ข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน	92
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 รูปของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้	12
2.2 สารที่ใช้ปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหาร	20
3.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับโครงสร้างชุดเพาะปลูกในน้ำ	26
3.2 วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	27
3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารที่เติมเข้าระบบ	37
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน	38
4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดเพาะปลูกในน้ำที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน	51
4.3 ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ	52
ภาคผนวก ก.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1	59
ภาคผนวก ก.2 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1	60
ภาคผนวก ก.3 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1	61
ภาคผนวก ก.4 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2	62
ภาคผนวก ก.5 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2	63
ภาคผนวก ก.6 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2	64
ภาคผนวก ก.7 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3	65
ภาคผนวก ก.8 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3	66
ภาคผนวก ก.9 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3	67
ภาคผนวก ก.10 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4	68
ภาคผนวก ก.11 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4	69
ภาคผนวก ก.12 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4	70
ภาคผนวก ข.1 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารของผักสลัดกรีนคอส	72
ภาคผนวก ข.2 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารของผักสลัดกรีนคอส	73
ภาคผนวก ค.1 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	75
ภาคผนวก ค.2 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ค.3 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4	76
ภาคผนวก ค.4 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3	76
ภาคผนวก ค.5 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4	77
ภาคผนวก ค.6 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4	77
ภาคผนวก ค.7 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	78
ภาคผนวก ค.8 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3	78
ภาคผนวก ค.9 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4	79
ภาคผนวก ค.10 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3	79
ภาคผนวก ค.11 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4	80
ภาคผนวก ค.12 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4	80
ภาคผนวก ค.13 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	81
ภาคผนวก ค.14 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3	81
ภาคผนวก ค.15 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ค.16 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูง ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3	82
ภาคผนวก ค.17 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูง ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4	83
ภาคผนวก ค.18 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูง ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4	83
ภาคผนวก ค.19 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูง ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3	84
ภาคผนวก ค.20 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4	84
ภาคผนวก ค.21 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3	85
ภาคผนวก ค.22 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4	85
ภาคผนวก ค.23 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบ ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4	86
ภาคผนวก ค.24 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2	86
ภาคผนวก ค.25 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3	87
ภาคผนวก ค.26 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4	87
ภาคผนวก ค.27 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3	88
ภาคผนวก ค.28 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ค.29 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวราก ของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4	89
ภาคผนวก ค.30 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร	89
ภาคผนวก ค.31 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายธาตุอาหาร	90
ภาคผนวก ค.32 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร	90
ภาคผนวก ค.33 วิเคราะห์ค่า T-Test ของอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร	91

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	กรอบแนวคิด	3
3.1	แบบจำลองชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานชุดที่ 1 และ 2	24
3.2	แบบจำลองชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานชุดที่ 3 และ 4	25
3.3	โครงสร้างชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน	29
3.4	โค้ดคำสั่งการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk	30
3.5	โค้ดเชื่อมต่อแม่ข่ายเวลา	31
3.6	โค้ดเชื่อมต่อแม่ข่ายเวลา	32
3.7	โค้ดคำสั่งการทำงานของเซนเซอร์	33
3.8	โค้ดคำสั่งการทำงานของเซนเซอร์	34
3.9	แผนผังคำสั่งการทำงานของระบบ	35
3.10	แผนผังคำสั่งย่อยการอ่านค่าความเข้มแสง	36
4.1	อัตราการไหลของน้ำ	39
4.2	การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง	40
4.3	ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส	41
4.4	ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส	43
4.5	จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส	44
4.6	ความสูงของผักสลัดกรีนคอส	46
4.7	ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	47
4.8	ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	48
4.9	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	49
4.10	ค่าอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเทคโนโลยีก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจในหลาย ๆ ด้าน โดยปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทต่อเศรษฐกิจและสังคมมากขึ้น (สำราญ, 2562) เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ประเทศไทยเป็นเมืองเกษตรกรรม แต่ด้วยการทำเกษตรแบบดั้งเดิมทำให้ผลผลิตต่ำ ในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้เกิดการขยายตัวของสังคมเมือง ส่งผลให้พื้นที่ในการเพาะปลูกลดลง เนื่องจากความต้องการทางการเกษตรสูงขึ้น การเพาะปลูกแบบดั้งเดิมจึงทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ ส่งผลให้นวัตกรรมการเกษตรเข้ามามีบทบาทมากขึ้น จึงถือว่าเป็นเกษตรกรรมของอนาคต และเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านเกษตรกรรมให้ดีขึ้น รวมไปถึงส่งเสริมให้เป็นรากฐานการผลิตทางการเกษตร (นวัตกรรมการเกษตร, 2563)

การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์เป็นเกษตรยุคใหม่ที่เข้ามามีบทบาททางการเกษตรในประเทศไทย ซึ่งการปลูกพืชแบบนี้เป็นการปลูกบนวัสดุอื่นที่ไม่ใช่ดินหรือปลูกบนสารละลายธาตุอาหาร หรือรดด้วยสารละลายธาตุอาหารแทนการปลูกพืชในดิน การปลูกพืชดังกล่าวเหมาะสำหรับการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อย ผลผลิตค่อนข้างสม่ำเสมอ และสามารถประกอบอาชีพเสริมได้ การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์นิยมปลูกในระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique : NFT) เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางตามความลาดชันของรางปลูกอย่างช้า ๆ เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) วิธีนี้จะสามารถใช้ประโยชน์จากสารละลายธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการนำสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ เป็นวิธีที่ประหยัดและไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากสารละลายธาตุอาหารเหลือใช้ (สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้, 2563)

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมการเกษตรโดยประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์ในระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง และการจ่ายแสงให้กับพืช โดยควบคุมระบบผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยมีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน และศึกษาประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานของชุดเพาะปลูกในน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สถานที่ทำการวิจัย บ้านเลขที่ 8 นครอินทร์ ซอย 8 แยก 2/10 อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 และห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.3.2 แหล่งพลังงานของชุดเพาะปลูกในน้ำ คือ พลังงานแสงอาทิตย์

1.3.3 ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารเป็นการให้แบบ NFT

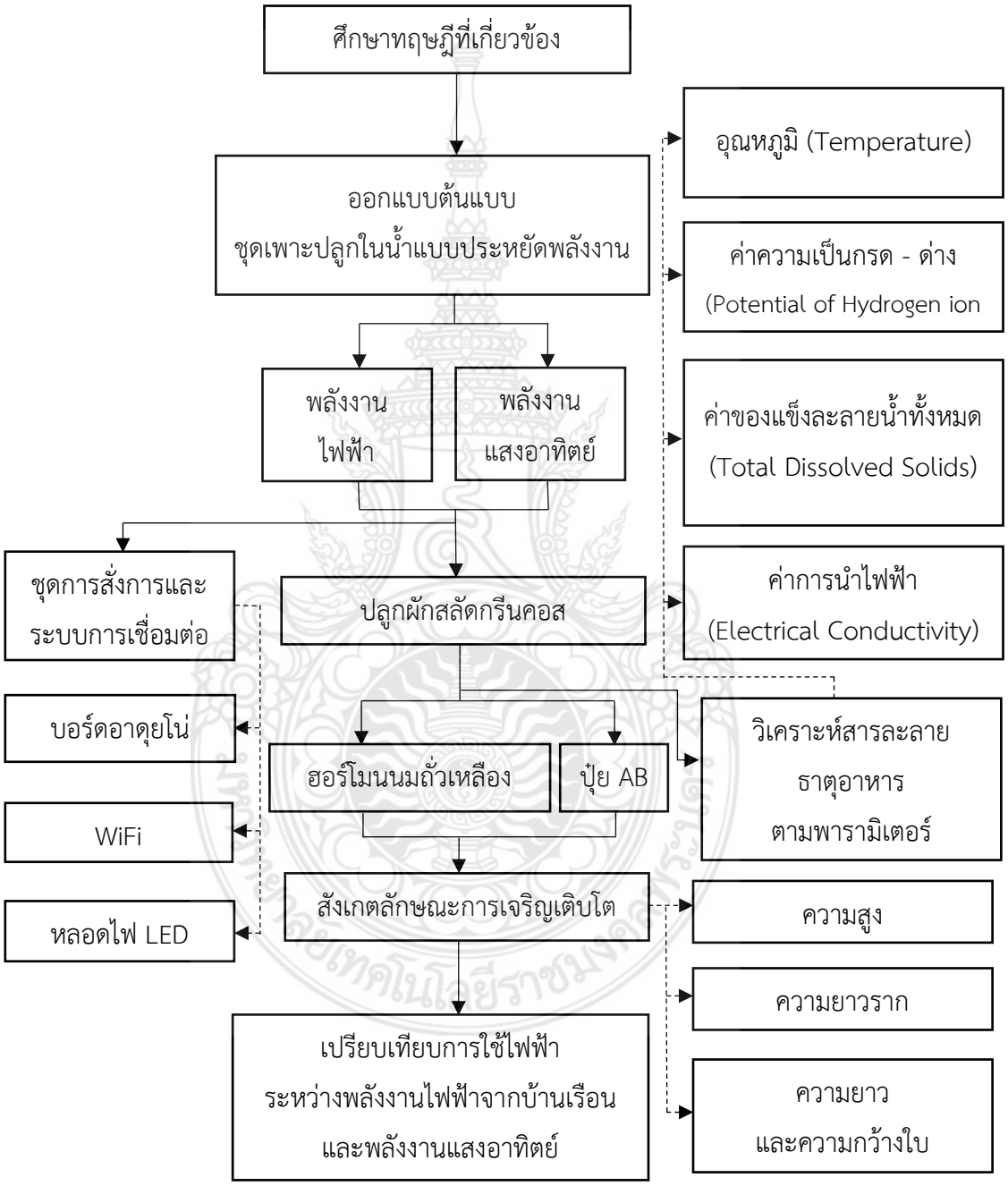
1.3.4 ชุดเพาะปลูกนี้มีระบบสั่งการเปิด - ปิดการทำงานของระบบ และควบคุมความเข้มแสงโดยใช้บอร์ดอาดุยโน่ ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟน

1.3.5 พืชที่ใช้ในการวิจัย คือ ผักกรีนคอส (*Lactuce sativaVar. longifolla*)

1.3.6 ชุดเพาะปลูกนี้เปรียบเทียบการใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองเพื่อลดการใช้สารเคมี

1.4 กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและออกแบบต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำ จากนั้นสร้างต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำ และดำเนินงานตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังภาพ 1.1



ภาพ 1.1 กรอบแนวคิดการพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

1.5.2 ทราบวิธีประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานของชุดเพาะปลูกในน้ำ

1.5.3 ทราบประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 ชุดเพาะปลูกในน้ำ หมายถึง การปลูกผักในระบบการให้ธาตุอาหารเป็นระบบน้ำไหล ซึ่งในการทดลองครั้งนี้เป็นระบบที่มีการติดตั้งการให้แสงและการสั่งการระยะไกลได้

1.6.2 ไฮโดรโพนิกส์ หมายถึง การปลูกผักสลัดกรีนคอสในรูปแบบของการให้สารละลายธาตุอาหารแทนการปลูกในดิน

1.6.3 การปลูกพืชระบบ NFT หมายถึง การปล่อยให้น้ำที่ผสมธาตุอาหารไหลลงไปในรางปลูก ซึ่งช่วยให้น้ำมีการสัมผัสกับอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารให้มากขึ้น

1.6.4 ปุ๋ย AB หมายถึง ปุ๋ยที่ใช้สำหรับการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์หรือปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

1.6.5 ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง หมายถึง นมถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์และเติมน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์

1.7 คำสำคัญ

ภาษาไทย ชุดเพาะปลูกในน้ำ การประหยัดพลังงาน ไฮโดรโพนิกส์ ผักสลัดกรีนคอส

ภาษาอังกฤษ Water culture planting kit, Energy – saving, Hydroponics, *Lactuce sativaVar. Longifolla*

1.8 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

1.8.1 ออกแบบและเตรียมอุปกรณ์การพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน
ตั้งแต่เดือนตุลาคม – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

1.8.2 ระยะเวลาในการทดลอง
ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน คณะผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ผักสลัดกรีนคอส

2.1.2 ปลูกผักแบบไม่ใช้ดิน

2.1.3 สารละลายธาตุอาหาร

2.1.4 พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.5 ระบบการสั่งการ

2.1.6 แอปพลิเคชัน Blynk

2.1.7 พารามิเตอร์ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในระบบ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ผักไฮโดรโพนิกส์

2.2.2 ระบบการสั่งการ

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ผักสลัดกรีนคอส

ผักสลัดกรีนคอส เป็นผักที่สามารถทำอาหารได้หลากหลายประเภท มีรสหวานและกรอบ ในทางสมุนไพรเป็นผักที่มีวิตามินสูง และมีธาตุเหล็กช่วยเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดแดงในร่างกาย แก้โรคโลหิตจางได้ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับผู้เป็นโรคเบาหวาน (เดลินิวส์, 2558) มีสรรพคุณช่วยบำรุงสายตา บำรุงผม บำรุงกล้ามเนื้อ บำรุงผิว และลดคอเรสเตอรอล นิยมรับประทานเป็นผักสลัด บางแห่งเรียกว่า ผักสลัดกรีนคอส ผักชนิดนี้มีชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อสามัญ ชื่อท้องถิ่นและชื่อวงศ์ (องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาที่สูงอย่างยั่งยืน, 2559) ดังนี้

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuce sativaVar. longifolla*

ชื่อสามัญ Cos Lettuce, Romain Lettuce

ชื่อท้องถิ่น ผักกาดหวาน

ชื่อวงศ์ Asteraceae

2.1.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1) ลำต้น เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก มีอายุสั้นฤดูเดียว ลำต้นเดี่ยว มีลักษณะกลม ๆ อ้วน มีข้อสั้นๆ จะมีก้านใบหนาและอวบฉ่ำน้ำหุ้มอยู่ กาบใบห่อซ้อนกันแน่น ออกเรียงสลับโดยรอบ ๆ ปกคลุมที่โคนลำต้น ไม่ห่อหัว ก้านมีสีเขียวอ่อน

2) ใบ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยวออกตรงโคนลำต้น ออกตามข้อสั้น กาบใบห่อซ้อนกันแน่นออกเรียงสลับรอบ ๆ ใบอยู่ด้านนอกใหญ่กว่าใบข้างในเล็กกว่า มีลักษณะทรงกลมเรียวรี โคนใบกว้างใหญ่กว่า มีใบหนา เห็นเส้นใบชัดเจน ใบด้านนอกสีเขียวเข้มด้านในสีเขียว อมเหลือง มีก้านใบใหญ่ เป็นกาบหนาและอวบฉ่ำน้ำ ก้านมีสีเขียวอ่อน รสชาติหวานกรอบ

3) ราก เป็นระบบรากแก้ว มีลักษณะอวบกลม ๆ แทงลึกลงในดิน มีรากฝอยและรากแขนงเล็ก ๆ ออกรอบ ๆ บริเวณลำต้นมีสีน้ำตาล

4) ดอก ออกเป็นช่อ ก้านช่อดอกใหญ่ยาว มีแขนงก้านย่อยมาก แบบเชิงหลั่น มีดอกย่อยออกโคนไปที่ปลายยอด ดอกมีลักษณะเล็ก ๆ กลีบดอกมีสีเหลือง กลีบเลี้ยงสีเขียวอ่อน

5) ผล มีผลเป็นเมล็ดอยู่ในรังไข่ มีเมล็ดจำนวนมาก มีลักษณะทรงหอก แบนยาวรี มีเปลือกหุ้มเมล็ด มีสีเทานวล

2.1.1.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผักสลัดกรีนคอส เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10 - 24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลงและพืชสร้างสารคล้ายน้ำนมหรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกควรร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรียวัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรด – ด่าง ของดินอยู่ระหว่าง 6.0 - 6.5 พื้นที่ปลูกควรโล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ เนื่องจากใบผักสลัดกรีนคอส มีลักษณะบาง ไม่ทนต่อฝน ดังนั้นในช่วงฤดูฝนควรปลูกใต้โรงเรือน

2.1.1.3 การปลูก

1) การเตรียมกล้า เพาะกล้าในถาดหลุมที่มีขุยพร้าว ในถาดหลุมที่ใช้เพาะควรระบายน้ำและอากาศได้ค่อนข้างดี อายุกล้าประมาณ 3 – 4 อาทิตย์

2) การปลูก เมื่อย้ายกล้าลงแปลงปลูกแล้ว ต้องดูแลอย่างสม่ำเสมอ

3) การให้น้ำ ควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ไม่ควรมากเกินไป อาจทำให้เกิดโรคโคนเน่า

4) การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

4.1) ช่วงเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 45 - 60 วัน

4.2) การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวด้วยมีด เมื่อตัดแล้วทาปูนแดงบริเวณแผลที่ตัด เหลือใบนอกไว้ 3 – 4 ใบ เพื่อป้องกันการช้ำของหัวระหว่างขนส่ง ถ้าผักเปียกน้ำ ต้องผึ่งให้แห้งเพื่อป้องกันการเน่าเสีย

2.1.1.4 ข้อกำหนดเรื่องคุณภาพ คุณภาพขั้นต่ำ ต้องเป็นผักที่ถูกจำหน่ายทั้งต้น มีรูปร่างและสีตรงตามพันธุ์ ไม่มีอาการปลายใบไหม้ ไม่แคระแกร็น ต้นไม่บิดงอ ปลอดภัยจากสารเคมี

2.1.1.5 การใช้ประโยชน์และคุณค่าทางอาหาร ผักสลัดกรีนคอสเป็นผักที่นิยมบริโภคสด โดยเฉพาะในสลัด หรือกินกับยำ สามารถนำมาตกแต่งในจานอาหาร ประกอบอาหารได้ในบางชนิด เช่น นำไปผัดกับน้ำมันโดยใช้ไฟแรงอย่างรวดเร็ว ผักสลัดกรีนคอสมีน้ำเป็นองค์ประกอบและมีวิตามินซีสูง นอกจากนี้ยังให้ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง บรรเทาอาการท้องผูก เหมาะสำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน

2.1.2 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือวิธีไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) นับเป็นวิธีการใหม่ในการปลูกพืช โดยเฉพาะการปลูกผักและพืชที่ใช้เป็นอาหาร เนื่องจากประหยัดพื้นที่และไม่ปนเปื้อนกับสารเคมีต่าง ๆ ในดินทำให้ได้พืชผักที่สะอาดเป็นอาหาร (นิรันดร์, 2555) นักวิจัยด้านเมตาบอลิซึมของพืชได้ค้นพบว่า พืชจะดูดซึมสารอาหารเป็นแหล่งสารอาหารจากดินเพื่อการเจริญเติบโตแต่ดินไม่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช เมื่อสารอาหารในดินละลายไปกับน้ำรากของพืชก็จะสามารถดูดซึมสารอาหารนั้นได้ เมื่อใส่สารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชไว้ในแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ดินเพื่อเป็นแหล่งอาหารของพืช ซึ่งพืชส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตด้วยวิธีไฮโดรโพนิกส์ได้ แต่จะเจริญเติบโตได้ดีมากน้อยแตกต่างกัน ดังนั้นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนี้ทำได้ง่าย สะดวก และประหยัดพื้นที่แต่ต้องมีอุปกรณ์ที่จำเป็น คือ สารอาหารสำหรับพืชที่ละลายอยู่ในน้ำแล้ว (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563)

ไฮโดรโพนิกส์มาจากภาษากรีก คำว่า “Hydro” แปลว่า น้ำ รวมกับคำว่า“Ponos” ที่แปลว่า งาน เมื่อรวมกันจึงหมายถึง การทำงานของน้ำ (สารละลายธาตุอาหาร) ผ่านรากพืช โดยปกติแล้วการที่พืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น แสงแดด อุณหภูมิของน้ำ และธาตุอาหารพืช การที่พืชจะนำธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเรื่องความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของดินหรือสารละลายธาตุอาหารใช้ปลูกพืช การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ พืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลายเรียกว่า สารละลายธาตุอาหาร ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา การปลูกพืชแบบนี้ช่วยให้หลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องโรคต่าง ๆ ทำให้ได้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ ผลผลิตมีความสม่ำเสมอ สามารถวางแผน

การปลูกได้ กำหนดปริมาณการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมาย หรือความต้องการของตลาดได้ดีกว่าที่สำคัญ คือ สามารถขายได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

2.1.2.1 ประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การจัดกลุ่มประเภทของการปลูกโดยไม่ใช้ดินโดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืชสามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558) คือ

1) ประเภทของการปลูกในน้ำ (Water Culture) หมายถึง ลักษณะของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่รากพืชจะต้องสัมผัสหรือแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรงและตลอดเวลา ซึ่งมีหลากหลายเทคนิค ได้แก่

1.1) การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique : NFT) เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางตามความลาดชันของรางปลูกอย่างช้า ๆ เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 1 - 3 มิลลิเมตร พืชที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักกินใบจำพวกผักสลัด มีอายุยาวประมาณ 45-50 วัน

1.2) การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักในระดับลึก (Deep Flow Technique : DFT) การปลูกผักโดยวิธีนี้เหมือนการปลูกแบบลอยน้ำ ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่ที่มีแดดจัด โดยวิธีนี้จะมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร เพื่อให้รากผักบางส่วนถูกอากาศและบางส่วนอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ผักที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักไทย (ผักกินใบที่มีอายุสั้น ประมาณ 20 - 30 วัน) เช่น ผักคะน้า ผักบุ้ง ผักโขม เป็นต้น

1.3) การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากผักในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก (Dynamic Root Floating Technique : DRFT) ระบบนี้พัฒนามาจากระบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหาร ผักที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูก ได้แก่ ผักไทย

2) ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate Culture) เป็นวิธีการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ ทราย กรวด ขี้เลื่อย พีท ขุยมะพร้าว ร็อควูลล์ ฯลฯ การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันอย่างแพร่หลาย วิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกส่วนใหญ่จะแตกต่างกันทางด้านของเทคนิคการให้น้ำ และสารละลายธาตุอาหาร (ความถี่และปริมาณสารละลายที่ให้แต่ละครั้ง และองค์ประกอบของสารละลาย) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ใช้ ซึ่งจะต้องมีการทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม

3) ประเภทการปลูกในอากาศ (Aeroponics) เป็นระบบที่ทำให้รากพืชอิ่มตัวอย่างต่อเนื่องด้วยการพ่นสารละลายที่มีธาตุอาหารพืชเป็นระยะในรูปคล้าย ๆ แปลงพ่นหมอก ระบบนี้รากพืชไม่ได้จุ่มอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นสารละลายธาตุอาหาร แต่จะมีความชื้นอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับ 95 - 100 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการนี้พืชได้อาหารครบถ้วนและพอเพียง ระบบนี้รากจะลอยอยู่ในอากาศในระบบปิดที่กันแสง แต่การปลูกด้วยระบบแอโรโพนิกส์ต้องใช้ระบบควบคุมการฉีดพ่นธาตุอาหารแบบอัตโนมัติ วิธีการนี้ใช้น้ำน้อยมาก การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์นี้ ความชื้นจากการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 วัน และต้นพืชโดยเฉพาะพืชผักสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลา 30 วันเท่านั้น โดยรูปแบบการปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศนี้ จะนิยมสำหรับพืชหัวที่ไม่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรืออยู่ในดินที่เสี่ยงต่อโรคทางดิน เมื่อมีระยะการปลูกนานเกิน 2 เดือน

2.1.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ภิญญพร, 2562)

1) น้ำ อาจใช้น้ำประปาแทนได้โดยการพักน้ำไว้ก่อน ปรับค่า pH ประมาณ pH 6.0 - 6.5 ถ้าไม่มีการปรับค่า พอพืชโตไประยะหนึ่งรากพืชจะตาย ควรเปลี่ยนน้ำทุกสัปดาห์

2) ธาตุอาหารและสารละลายธาตุอาหาร การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ปัจจัยหลักที่ทำให้ต้นพืชเจริญเติบโต คือ ธาตุอาหารที่เป็นวัตถุดิบในการให้ต้นพืชเจริญเติบโตในกระบวนการสร้างสารอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง วัตถุดิบที่ใช้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อได้รับแสงบนคลอโรฟิลด์จะได้สารคาร์โบไฮเดรต และออกซิเจน (O_2)

3) ออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีมากพอในอุณหภูมิต่ำ และการไหลตกของน้ำขากลับลงถังหรือในรางปลูกเอง และอาจใช้ปั๊มช่วยในกรณีที่น้ำในถังอุณหภูมิสูงเกินไป อุณหภูมิน้ำในถังไม่ควรเกิน 35 องศาเซลเซียส (ควรรักษาให้อุณหภูมิต่ำไว้ก่อน) ถังน้ำควรมีที่กันฝนกันแดดได้ดี

4) แสงแดด จำเป็นต่อพืชมาก ควรให้พืชได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอตามชนิดของพืชนั้น ๆ ถ้าแสงแดดไม่เพียงพอ พืชจะยืดเสียทรง อ่อนแอ และเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ซึ่งในกระบวนการสร้างสารอาหารโดย กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

5) สภาพแวดล้อม มีการถ่ายเทอากาศที่ดี ถ้าอุณหภูมิอากาศสูง ความชื้นต่ำ พืชจะคายน้ำมากเกินไป จะเกิดการเหี่ยวเฉา ช่วงที่มีอากาศร้อนควรจะพรางแสง หรือให้น้ำทางใบโดยใช้สเปรย์น้ำฉีดจะช่วยไม่ให้ใบเฉาได้ ช่วงที่มีฝน ในระยะต้นอ่อนฝนจะชะวัสดุปลูกทำความเสียหายกับรากพืชได้ ควรมีที่กันฝนในระยะนี้ ฝุ่นจะจับใบ ทำให้การสังเคราะห์แสงและคายน้ำได้ไม่ดี ใบไม่สวย ดังนั้นการใช้สเปรย์น้ำฉีดจึงสามารถลดการคายน้ำและล้างใบพืชได้

2.1.2.3 การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique : NFT)

หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การปลูกพืชด้วยระบบน้ำไหลบาง พัฒนาขึ้นโดย Allen Cooper แห่งสถาบันวิจัยการปลูกพืชในเรือนกระจก (GCRI) ในประเทศอังกฤษ ปี ค.ศ. 1965 (ธรรมศักดิ์, 2562)

1) องค์ประกอบของระบบปลูกพืชแบบ NFT ส่วนควบคุมสารละลาย ประกอบด้วย

1.1) ถังเก็บสารละลาย โดยทั่วไปจะฝังอยู่ใต้ดินเพื่อป้องกันความร้อน และขณะที่น้ำจากรางปลูกพืชไหลตกลงในถังจะเป็นการเพิ่มการละลายตัวของออกซิเจนอีกทีหนึ่ง ขนาดของถังเก็บสารละลายขึ้นกับปริมาณพืชในระบบ และชนิดพืชที่ปลูก และความถี่ในการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า ถ้าถังที่ใช้มีขนาดเล็กจะต้องมีการเติม และปรับสารละลายบ่อย และโอกาสที่พืชจะได้รับสารละลายที่มีองค์ประกอบเหมาะสมจะมากด้วย (อาจจำเป็นต้องใช้ระบบเตรียมสารละลายโดยอัตโนมัติ) โดยทั่วไปถ้าถังสารละลายมีขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของสารละลายจะช้าลง พืชจะเจริญเติบโตได้ดีแต่จะเปลืองสารละลายมาก โดยเฉพาะ เมื่อต้องมีการเปลี่ยนสารละลายทั้งหมดถังสารละลายที่ใช้อาจเป็นถังไฟเบอร์ขนาดความจุ 4,000 ลิตร หรือก่อเป็นถังปูนฝังอยู่ใต้ดิน แต่จะมีราคาแพง ถ้าเป็นระบบขนาดเล็กอาจใช้ถังพลาสติก

1.2) ปั๊มสารละลายธาตุอาหาร อาจเป็นแบบปั๊มแช่อยู่ในสารละลาย หรือเป็นแบบอยู่นอกถัง ถ้าเป็นแบบแช่ ได้แก่ ปั๊มไดโว ข้อดี คือ ราคาถูกหาซื้อได้ทั่วไป ข้อเสีย คือ ถ้าปั๊มไม่ดีจะเสียหายง่าย และเกิดการถ่ายเทความร้อนให้สารละลายโดยตรง ทำให้สารละลายร้อน หรืออาจใช้เป็นปั๊มอยู่นอกถังจะต้องเป็นปั๊มที่สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ และต้องทนการกัดกร่อนของสารละลายธาตุอาหารจึงทำให้มีราคาแพง

1.3) ระบบเตรียมสารละลายธาตุอาหารโดยอัตโนมัติ ถ้าเป็นการปลูกระบบใหญ่ ๆ อาจจำเป็นต้องมีระบบเตรียมสารละลายธาตุอาหารโดยอัตโนมัติ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในถังค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการตลอดเวลา เช่น ในการปลูกผักสลัดจะต้องควบคุมให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 5.5 - 6.0 และค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1,000 – 1,200 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตลอดเวลา

1) ข้อดีของการปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง

1.1) ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องควบคุมการให้น้ำ เนื่องจากระบบนี้จะให้น้ำแก่พืชตลอดเวลา

1.2) ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชไม่ยุ่งยาก

1.3) ทำการป้องกันและกำจัดเชื้อโรคพืชต่าง ๆ ในสารละลายได้ง่าย

1.4) เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

1.5) ไม่มีวัสดุปลูกที่ต้องกำจัด

1.6) สามารถปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี ไม่เสียเวลาในการเตรียมระบบปลูก เช่น สามารถปลูกผักสลัดได้ถึง 8 - 10 ครั้งต่อปี

2) ข้อเสียของการปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากผักเป็นแผ่นบาง ๆ อย่างต่อเนื่อง

2.1) ราคาค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงมาก โดยเฉพาะถ้าใช้ขาตั้งทำจากโลหะ

2.2) เป็นระบบที่ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะมีโอกาสที่ระบบจะเสียได้ง่าย และพืชจะถูกกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงและรวดเร็ว

2.3) ต้องใช้น้ำที่มีสิ่งเจือปนอยู่น้อย (สารละลายต่าง ๆ) ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่มาก จะเกิดการสะสมของเกลือบางตัวที่พืชใช้น้อยหรือไม่ดูดใช้เลยสะสมอยู่ในสารละลาย ทำให้จำเป็นต้องเปลี่ยนสารละลายบ่อย ๆ ทำให้สิ้นเปลือง

2.4) มีปัญหามากเกี่ยวกับการสะสมของอุณหภูมิของสารละลาย โดยเฉพาะในเขตร้อนมีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายลดลง จะทำให้พืชอ่อนแอ รากถูกทำลายโดยโรคพืชได้ง่าย การเจริญเติบโตลดลง จนถึงไม่สามารถปลูกพืชได้เลย

2.5) มีการแพร่กระจายของโรคพืชบางชนิดอย่างรวดเร็ว

2.1.3 สารละลายธาตุอาหาร

สารละลายธาตุอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากพืชต้องใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต ซึ่งสารละลายธาตุอาหารสามารถให้ปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการได้

2.1.3.1 มหธาตุ (Macronutrient elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยทั่วไปแล้ว คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) พืชได้รับจากน้ำและอากาศ เพราะฉะนั้นจะมีเพียง 6 ธาตุ ในมหธาตุที่ต้องจัดให้พืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K)

ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), กำมะถัน (S)

2.1.3.2 จุลธาตุ (Micronutrient elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โบรอน (B), โมลิบดีนัม (Mo), คลอรีน (C) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องในปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปัจจุบันได้มีการรวมธาตุนิกเกิล (Ni) มาอยู่ในจุลธาตุ

ตาราง 2.1 รูปของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้

ธาตุอาหารพืช	รูปที่พืชนำไปใช้
ธาตุอาหารที่ไม่ต้องให้พืช	
มหธาตุ	
1. คาร์บอน	ได้จากน้ำและอากาศ
2. ไฮโดรเจน	
3. ออกซิเจน	
ธาตุอาหารที่ต้องให้พืช	
มหธาตุ	
4. ไนโตรเจน	NO_3^-, NH_4^+
5. ฟอสฟอรัส	$H_2Po_4^-$, HPO_4^{2-}
6. โพแทสเซียม	K^+
7. แคลเซียม	Ca^{2+}
8. แมกนีเซียม	Mg^{2+}
9. กำมะถัน	SO_4^{2-}
จุลธาตุ	
10. เหล็ก	Fe^{2+}, Fe^{3+}
11. แมงกานีส	Mn^{2+}
12. สังกะสี	Zn^{2+}
13. ทองแดง	Cu^{2+}
14. โบรอน	BO_3^-
15. โมลิบดินัม	MoO_3^{2-}
16. คลอรีน	Cl^-

ที่มา: เอกสารการออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562

2.1.3.3 ปุ๋ย AB คือ ปุ๋ยเฉพาะสำหรับการปลูกไฮโดรโพนิกส์หรือผักที่ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สาเหตุที่ต้องแยกการเก็บเป็น Stock A และ B เนื่องจากเคมีบางตัวเมื่อผสมกันในความเข้มข้นที่สูงอาจทำให้เกิดการตกตะกอนได้จึงต้องจำแนกออกจากกันเก็บเป็น 2 กลุ่ม (เอกสารการออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562) ได้แก่

1) Stock A ประกอบด้วย

1.1) แคลเซียม (Ca) เป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช ทำให้พืชมีความแข็งแรง และช่วยในการสร้างโปรตีน ช่วยขยายขนาดของผล และป้องกันไม่ให้ผลเถา หรือผักแตก ทำให้เนื้อแน่น ป้องกันไส้นิ่ม รสชาติและสีดีขึ้น ช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากลำต้น ใบ มาสู่ผลและเมล็ดสามารถเก็บสะสมอาหาร ผลมีการพัฒนาเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ ลดปัญหาการหลุดร่วงของผลได้

1.2) เหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และเป็นตัวสำคัญในกระบวนการหายใจของพืช

2) Stock B ประกอบด้วย

2.1) แมกนีเซียม (MgO) เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ หรือสีเขียวที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ช่วยให้ใบพืชมีสีเขียวเข้มมากขึ้น ช่วยในการสร้างพลังงาน ดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ไปใช้ได้มากขึ้น ช่วยการเจริญเติบโตของต้นพืช และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัสในพืช

2.2) กำมะถัน (S) ช่วยการเจริญเติบโตของพืช ช่วยสังเคราะห์โปรตีน เพิ่มการสังเคราะห์แสง เพิ่มการสร้างแป้ง และน้ำตาล ช่วยเพิ่มรสชาติ สีสัน และความหวานให้แก่ผล ช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพให้มากขึ้น ช่วยสร้างน้ำมันในใบพืช และกลิ่นสำหรับพืชบางชนิด

2.3) เหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด และเป็นตัวสำคัญในกระบวนการหายใจของพืช

2.4) แมงกานีส (Mn) ธาตุนี้มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง มีส่วนในเมตาบอลิซึมของเหล็ก และไนโตรเจน

2.5) ทองแดง (Cu) ธาตุนี้จะช่วยในกระบวนการหายใจของพืช ทำให้พืชใช้ธาตุเหล็กได้มากขึ้น มีหน้าที่ทางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ โดยช่วยเพิ่มโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และช่วยป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชมีอายุยาวขึ้น

2.6) สังกะสี (Zn) สร้างสารควบคุมการเจริญเติบโต (Auxin) ที่ปลายยอด ช่วยให้พืชแตกตาดอก และตายอด เพิ่มคุณภาพของผลผลิต แก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสี แก้อาการใบแก้ว ใบลายส้ม ช่วยให้พืชทนทานต่อสภาวะอากาศหนาวได้ดีขึ้น

2.7) โบรอน (B) ประโยชน์ ช่วยในการผสมเกสรดี ป้องกันเมล็ดลีบ เพิ่มน้ำหนักทำให้พืชนำธาตุโพแทสเซียม และธาตุแคลเซียมไปใช้ได้ดีขึ้น มีบทบาทในการย่อยและสังเคราะห์โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต จำเป็นในการแบ่งเซลล์พืช ช่วยการขนย้ายน้ำตาลทางท่ออาหารในพืชจำเป็นสำหรับการงอกของละอองเรณู และการเจริญของท่อนิวเคลียสของเรณู มีส่วนเกี่ยวข้อง กับการดูด การคายน้ำ และการสังเคราะห์แสง

การผสมปุ๋ย A และปุ๋ย B ดูดสารละลายเข้มข้น A และ B ในอัตราส่วนที่ 1:1 เช่น ต้องเตรียมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกผักสลัด 100 ลิตร จะต้องดูดสารละลายเข้มข้น A ปริมาตร 1 ลิตร เติมลงในน้ำและผสมให้เข้ากันทั้งหมด จากนั้น ให้ดูดสารละลายเข้มข้น B ปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงไปแล้วผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักสลัดปริมาตร 100 ลิตร แต่ถ้าต้องการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผัก ต้องเตรียมโดยเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของผักสลัด อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมของผักแต่ละชนิดด้วย (เอกสาร การออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562)

2.1.3.4 ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง เป็นกระบวนการหมักนมถั่วเหลืองด้วยจุลินทรีย์ เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย และเติมน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ และเพื่อป้องกันการเน่าเสีย เมื่อนำไปใช้พืชจะสามารถนำธาตุอาหารที่อยู่ในฮอร์โมนนมถั่วเหลืองไปใช้ในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตได้ทันที ถ้านำไปใช้กับผักทานใบจะช่วยให้ผักมีรสชาติหวานและกรอบขึ้น

ประโยชน์ต่อพืชของฮอร์โมนนมถั่วเหลือง เป็นธาตุอาหารพืชทั้งธาตุหลักและธาตุรอง พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารไปใช้ได้โดยง่าย เร่งการเจริญเติบโต ทำให้พืชแข็งแรง โตเร็ว เร่งการแตกยอดใหม่ และเพิ่มการแตกกอของพืช เพิ่มจำนวนการออกดอก ทำให้ก้านดอกแข็งแรง ไม่ร่วงหล่นง่าย ทำให้ไม้ผลมีผลรสหวานกรอบอร่อย และผักกินใบทำให้ใบกรอบหวาน และเป็นอาหารเสริมพืช เป็นโปรตีนสำหรับพืชราคาถูก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดอ่างทอง, 2563)

2.1.4 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทน สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูงในการใช้งาน (สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, 2562)

โซลาร์เซลล์ สามารถแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ใช้งานได้ทุกมุมโลกที่ได้รับแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ ขณะทำงานไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวจึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง อีกทั้งต้องการการบำรุงรักษาน้อย เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนชนิดอื่น (อมรรัตน์, 2558)

2.1.4.1 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ (คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์, 2557) คือ

1) โซลาร์เซลล์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

2) โซลาร์เซลล์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึงอุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

3) โซลาร์เซลล์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบโซลาร์เซลล์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบโซลาร์เซลล์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการ

2.1.4.2 อุปกรณ์ในระบบโซลาร์เซลล์ (อมรรัตน์, 2558)

1) แผงโซลาร์เซลล์ ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงมีหน่วยเป็นวัตต์ ในการติดตั้งเป็นระบบจะนำแผงมาต่อกันเป็นชุด (Array) โดยต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันตามความต้องการและต่อแบบขนานเพื่อให้ได้กระแสตามต้องการ

2) เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่แบตเตอรี่ รวมถึงควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ ด้วยระบบผลิตไฟฟ้าโซลลาร์เซลล์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

3) แบตเตอรี่ ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อใช้งานในเวลาที่ต้องการ เช่น เวลาไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกตามความเหมาะสม

4) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (อินเวอร์เตอร์) ทำหน้าที่แปลงกระแสตรง (Direct current : DC) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ให้เป็นกระแสสลับ (Alternating current : AC) เพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับได้

2.1.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของโซลาร์เซลล์ (อมรรัตน์, 2558)

1) ความเข้มแสงอาทิตย์ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ประสิทธิภาพสูงขึ้น

2) อุณหภูมิของโซลาร์เซลล์ เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลง ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง

3) ทิศและมุมเอียงของการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ปริมาณของพลังงานโซลาร์เซลล์ที่ได้รับ ณ ที่แห่งหนึ่งนั้น นอกจากเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและแต่ละช่วงเวลาแล้วยังแปรเปลี่ยนตามทิศทางและองศาของพื้นผิวที่รับแสงอีกด้วย เพื่อให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีสูงสุด ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จึงควรตั้งแผงทำมุมเท่ากับละติจูดของพื้นที่โดยประมาณและหันแผงไปทางเส้นศูนย์สูตร ประเทศไทยอยู่ฝั่งซีกโลกเหนือละติจูดที่ 14 - 15 องศา จึงควรหันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณ 14 องศา สถานที่ที่อยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมาก ๆ ค่าละติจูดจะใกล้เคียงศูนย์ มุมที่เหมาะสม คือ การวางราบไปกับพื้น แต่ในแง่การใช้งานจริงควรวางแผงทำมุมเอียงเล็กน้อย เพื่อให้น้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างความสะอาดหน้าแผงได้

4) อื่น ๆ เช่น เงาบังและฝุ่นละอองหน้าแผงที่ทำให้เกิดการสูญเสียทางแสง

2.1.5 ระบบการสั่งการ

ระบบการสั่งการ เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2.1.5.1 อาดุยโน่

อาดุยโน่ เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ตัวบอร์ดอาดุยโน่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดได้ง่ายทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย บอร์ดอาดุยโน่สามารถนำมาต่อกับอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่าง ๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ดอาดุยโน่ แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้ (ฐากร, ปิยะราช และอารียา, 2561)

2.1.5.2 เซนเซอร์

เซนเซอร์ (Sensor) คือ ชุดอุปกรณ์ วงจร หรือระบบที่ทำหน้าที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือลักษณะของสิ่งต่าง ๆ โดยรอบวัตถุเป้าหมาย

ปัจจุบันมีการนำระบบเซนเซอร์มาใช้บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในหลายรูปแบบ เช่น G-sensor ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว Accelerometer Sensor ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ, Orientation Sensor เซนเซอร์ปรับมุมมองหน้าจอ, Sound Sensor เซนเซอร์ตรวจวัดระดับเสียง, Magnetic Sensor ตรวจวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก, Light Sensor ตรวจจับแสงสว่างสำหรับการปรับแสงบนหน้าจออัตโนมัติ และ Proximity Sensor ระบบเปิดหรือปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนาแนบหู เป็นต้น ซึ่งเรามักพบคุณสมบัติเหล่านี้ได้กับโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนทั้งในระบบ iOs และ Android OS นอกจากนี้ในต่างประเทศยังมีการนำระบบเซนเซอร์มาใช้ในการเกษตรด้านการควบคุมโรคและศัตรูพืช โดยการนำระบบ Pre Devine ซึ่งเป็นระบบการตัดสินใจภายใต้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สำหรับพยากรณ์ล่วงหน้าเพื่อดูสภาพอากาศของไร่องุ่น และทำนายการเกิดโรคหรือศัตรูพืช และด้านการตรวจสอบสถานะน้ำและคุณภาพดิน โดยนำระบบ Internet of Things คือ การใช้ฮาร์ดแวร์เซนเซอร์ทำงานร่วมกับซอฟท์แวร์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจผ่านเทคโนโลยี Cloud การผสมผสานเซนเซอร์ต่าง ๆ สำหรับเรื่องอุณหภูมิ ความชื้นของดิน สารอาหาร อากาศ และอีกมากมาย ทำให้เกิดระบบการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2563)

2.1.5.3 แสง

แสง (Light) คือ คลื่นชนิดหนึ่งและมีพลังงานการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น หรือบางครั้งอาจรวมถึงการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีอินฟราเรดถึงรังสีอัลตราไวโอเลต แสงช่วงที่ตาสามารถมองเห็นมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร และมีความถี่อยู่ในช่วง 103 - 105 เฮิรตซ์ โดยแสงสีม่วงซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด หรือ ความถี่สูงสุด ส่วนแสงสีอื่น ๆ ให้สเปกตรัมของแสงในช่วงนี้มีความยาวคลื่นสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดหรือมีความถี่ต่ำที่สุด (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2563)

การใช้แสงของพืช แสงแดดประกอบด้วยรังสีในช่วงต่าง ๆ เช่น แสงสีขาวที่ตามองเห็นรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น การสังเคราะห์แสงในพืชส่วนใหญ่เกิดจากการกระตุ้นของแสงสว่างบางช่วงความยาวคลื่น แสงสีขาวที่ตามนุษย์มองเห็นเป็นแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 - 800 นาโนเมตร ขณะที่พืชสามารถดูดกลืนแสงได้มากเป็นพิเศษที่ 2 ช่วงความยาวคลื่น คือ แสงช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 - 500 นาโนเมตร ซึ่งประกอบด้วย

แสงสีม่วง สีน้ำเงิน และสีเขียว กับแสงสีแดงที่มีความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 600 - 800 นาโนเมตร โดยแสงสีแดงเป็นแสงที่พืชสามารถดูดกลืนไว้ได้มากที่สุด และมีอิทธิพลต่อการออกดอกของพืชด้วย ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดและสายพันธุ์จะตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน สำหรับรังสีอัลตราไวโอเลต หรือรังสียูวี เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 400 นาโนเมตร ซึ่งพืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้แต่อย่างใด ส่วนรังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนเป็นรังสีมีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตร พืชสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นใกล้ 700 - 800 นาโนเมตร และนำไปใช้ประโยชน์ได้เล็กน้อย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำแสงเทียมไปใช้ทดแทนแสงธรรมชาติในบางงานวิจัยและการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกล้วยไม้ ยูคาลิปตัส และการปลูกผักสลัดเรดโอ๊ค โดยใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือแสงจาก LED และยังมีการทดลองใช้แสงจาก LED ในการศึกษาการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ และพืชสวนครัว เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้มีการสร้างนวัตกรรมปลูกพืชในอาคารที่ใช้หลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงทดแทนแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ทำให้คนที่อาศัยอยู่ในเมืองก็สามารถปลูกพืชหรือทำเกษตรเพื่อผลิตผักไว้ทานเองในครอบครัว โดยสามารถควบคุมได้ทั้งคุณภาพและปริมาณ นอกจากนี้ยังควบคุมและดูแลด้วยระบบอัจฉริยะ สามารถสั่งการได้ผ่านแอปพลิเคชัน ทำให้การทำเกษตรสามารถทำได้ง่ายและเหมาะสมกับงบประมาณที่มี (ชัยรัตน์, 2562)

2.1.6 แอปพลิเคชัน Blynk

Blynk เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับงาน IOT ซึ่งมีความน่าสนใจ คือ การเขียนโปรแกรมที่ง่าย ไม่ต้องเขียนโปรแกรมเอง สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับอินเทอร์เน็ตได้อย่างง่ายไม่ว่าจะเป็น Esp8266, Esp32 นำมาแสดงบนแอปพลิเคชันได้อย่างง่าย แล้วที่สำคัญแอปพลิเคชัน Blynk สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้ฟรี และรองรับในระบบ IOS และ Android อีกด้วย (ศณุตม์ และสุรชัย, 2561)

ปัจจุบันมีการนำชุดควบคุมฟาร์มเมล่อนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ทำงานผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk ควบคุมด้วยบอร์ด ESP 32 โดยทำการเก็บค่าความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง อุณหภูมิ และน้ำฝน ส่งไปที่แอปพลิเคชัน Blynk และทำการแจ้งเตือนไปยัง Line application แล้วนำค่ามาควบคุมปริมาณน้ำ แสงสว่าง พัดลม ระบบพ่นควันไล่แมลง และเครื่องทำความร้อน เกษตรกรได้ผลผลิตที่ดีขึ้น สะดวกสบายมากขึ้น มีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นการวางแผนในการเก็บเกี่ยวรอบต่อไป สามารถป้องกันและแก้ปัญหาในการปลูกเมล่อนได้ทันที ลดความเสียหายจากปัจจัยต่าง ๆ ที่รบกวนได้ (วุฒิชาติ และคณะ, 2562)

2.1.7 พารามิเตอร์ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในระบบ

2.1.7.1 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

มีหน่วยเป็น ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรหรือมิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร หรือเดซิซีเมนต์ต่อเมตร ที่นิยมใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เป็นเครื่องวัดเพื่อแสดงถึงความเข้มข้นของเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำโดยรวมโดยไม่สามารถแยกหรือบ่งบอกความเข้มข้นของเกลือแต่ละตัวได้ โดยทั่วไปน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังนั้นเมื่อน้ำมีเกลือละลายอยู่ เกลือเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ซึ่งประจุบวกและลบที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้สารละลายดังกล่าว มีค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำเพราะฉะนั้น เราจึงสามารถใช้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นตัวบอกปริมาณเกลือที่ละลายในสารละลายตัวอย่างการละลายของเกลือแกงในน้ำ การแตกตัวของเกลือในสารละลายดังสมการ 2.1

$$NaCl\text{-------}> Na^{+} + Cl^{-} \qquad (2.1)$$

มีสารบางประเภท เช่น น้ำตาลและยูเรียสามารถละลายน้ำได้เหมือนกัน แต่เมื่อละลายแล้วจะไม่แตกตัว ดังนั้นก็จะไม่เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจึงไม่สามารถวัดความเข้มข้นด้วยค่าการนำไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารที่สามารถแตกตัวได้ สารที่มีประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ทุกตัวจึงสามารถวัดความเข้มข้นโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ โดยใช้เครื่อง Electric Conductivity Meter หรือ EC Meter (เอกสารการออกแบบระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562)

2.1.7.2 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (Potential of Hydrogen Ion)

ความเป็นกรด - ด่างหรือที่เรียกกันว่า ความเป็นกรดและด่าง เป็นค่าที่แสดงปริมาณหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ (Hydrogen or Hydronium Ion; H^{+} or H_3O^{+}) ซึ่งเกิดจากสารที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลกรด (H^{+}) หรือด่าง (OH^{-}) ได้ ความเป็นกรด – ด่างมีค่าตั้งแต่ 0 - 14 ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำกว่า 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นกรด ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด - ด่างสูงกว่า 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นด่าง และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นกลาง ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำไม่ได้บอกความเป็นพิษต่อร่างกายแต่บอกให้ทราบถึงประเภทของสิ่งเจือปนในน้ำในรูปของสารที่ให้อนุมูลกรดหรือด่างได้ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด – ด่างนี้จะเป็นดัชนีที่มีประโยชน์ในการวัดคุณภาพน้ำโดยที่ภาวะความเป็นกรด – ด่างของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนั้นยังบอกถึงคุณสมบัติในการกัดกร่อนของน้ำด้วย ค่ามาตรฐานความเป็นกรด – ด่างของน้ำจะอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ แต่โดยทั่วไปแล้วน้ำควรจะมีความเป็นกรด – ด่างอยู่ในช่วง 6.0 – 8.0 กรณีของน้ำดื่มควรมีค่าความเป็นกรด – ด่าง

อยู่ในช่วง 6.8 – 7.3 และในกรณีน้ำทิ้งจะต้องมีความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 5.0 – 9.4 (ไพฑูรย์, 2562)

การตรวจสอบค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารอาจทำได้โดยการใช้เครื่องวัด pH หรือ pH Meter มาทำการวัด ส่วนในกรณีที่ไม่มีเครื่องหมายดังกล่าวอาจใช้นำชุดตรวจที่เรียกว่า pH-Kit ทำการตรวจสอบ ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมีความเป็นกรด - ด่างมากเกินจำเป็นจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ความเป็นกรด - ด่าง โดยแสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 สารที่ใช้ปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหาร

สารเคมีที่ใช้สำหรับลดค่า pH	สารเคมีที่ใช้สำหรับเพิ่มค่า pH
KOH (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์)	H_2SO_4 (กรดซัลฟูริก)
NaOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์)	HNO_3 (กรดไนตริก)
$NaHCO_3$ (โซเดียมไบคาร์บอเนต)	HCl (กรดไฮโดรคลอริก)
NH_4OH (แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์)	H_3PO_4 (กรดฟอสฟอริก)

ที่มา: เอกสารการออกแบบระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน, 2562

2.1.7.3 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)

ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) คือ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและผักไฮโดรโพนิกส์ โดยทั่วไปการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์จะให้ความสำคัญในการตรวจเช็คค่าสารละลายธาตุอาหารโดยการวัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำปุ๋ยหรือน้ำที่ใช้กับการเพาะปลูก โดยมีแนวทางหลาย ๆ วิธีในการตรวจวัดแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะตรวจสอบค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร หากค่าน้ำมีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหรือค่าความเค็มที่สูงจะทำให้น้ำนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าสูงไปด้วย โดยค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของน้ำปุ๋ย หรือน้ำที่ใช้กับการปลูกผักว่าธาตุอาหารในน้ำนั้นเพียงพอหรือไม่สำหรับการเพาะปลูก ซึ่งหากไม่เพียงพอเกษตรกรหรือผู้ปลูกผักไฮโดรโพนิกส์สามารถเพิ่มหรือเติมธาตุอาหารลงไปในน้ำก่อนนำไปใช้ (โปรโทรนิกส์, 2558)

2.1.7.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่เริ่มงอกจนกระทั่งออกดอกติดผล อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับกระบวนการงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัว เป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืชมีทั้งอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิกลางวัน และอุณหภูมิกลางคืน โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจกระบวนการทั้งสองจะค่อย ๆ เพิ่มอัตราตามการเพิ่มของอุณหภูมิถึงระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ประมาณ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิจะไม่เพิ่มอัตราการเกิดกิจกรรมของกระบวนการทั้งสองนี้ ส่วนอุณหภูมิในดิน มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากและมีผลต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ถ้าอุณหภูมิในดินต่ำการดูดน้ำจะลดลงต้นพืชจะเหี่ยว (ธนากร, 2562)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ผักไฮโดรโพนิกส์

วรพจน์ และอานนท์ (2561) ได้ศึกษาการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์แบบใช้สารละลายหมุนเวียนน้ำ โดยใช้ระยะเวลาการปลูก 4 สัปดาห์ ผักกรีนโอ๊ค (13 เปอร์เซ็นต์) และเรดโอ๊ค (2 เปอร์เซ็นต์) มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกแบบใช้สารละลายที่ไม่หมุนเวียนน้ำ

ศุภฤกษ์ (2561) ได้ศึกษาการปลูกผักสลัดด้วยวิธีการปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ เมื่อนำมาปลูกในคอนโดหรือห้องเช่าแล้ว พบปัญหา คือ แสงแดดไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักสลัด ซึ่งผักสลัดนั้นเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดในปริมาณที่มาก สาเหตุที่ในคอนโดหรือห้องเช่าแสงแดดไม่เพียงพอเกิดจากในบางห้องอยู่บริเวณที่ไม่มีสัญญาณ ทำให้ผู้ทำวิจัยนำเทคโนโลยีหนึ่งมาใช้ คือ อาดุยโน่ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานง่าย และมีราคาที่ถูก เพื่อให้คนในคอนโด หรือห้องเช่าสามารถปลูกผักสลัดได้ โดยไม่ต้องกังวลในเรื่องแสงแดด เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้งาน ทั้งยังทำให้ได้ผักสลัดที่มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับผักที่ปลูกในกลางแจ้ง โดยศึกษาระบบที่มีอยู่แล้ว ผู้ที่นำเทคโนโลยีนี้มาใช้ประยุกต์กับการเกษตรกรรม

2.2.2 ระบบการสั่งการ

กรมวุฒิ (2561) ได้ศึกษาระบบควบคุมการทำงานผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน เพื่อสนับสนุนการผลิตผักไฮโดรโพนิกส์นั้น มีผลการดำเนินงานในการพัฒนาระบบสั่งงานด้วยเสียงบนเทคโนโลยีสรรพสิ่งเพื่อประยุกต์ควบคุมมอเตอร์ในงานด้านการเกษตรกรรม ได้มีการทดลองและใช้งานพบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่สวนทั้งหมด 2 ไร่ เนื่องจากระบบการไหลเวียนของน้ำในสวนเดิมอาจไม่เพียงพอต่อการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง พื้นที่สวนติดคลองอ้อมในพื้นที่จังหวัดนนทบุรีในหน้าแล้งทำให้มีน้ำเค็มเข้ามาในลำคลองเกิดปัญหาน้ำจากด้านนอกเข้ามาในพื้นที่สวนต้องใช้น้ำประปาในการเจือจางไม่ให้น้ำมีค่าความเป็นด่างเกินไป

เมธา (2556) ศึกษาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการผลิตผักในระบบไฮโดรโพนิกส์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการนำระบบสารสนเทศเข้ามาช่วยในการวางแผนและติดตามการปลูกผักในระบบไฮโดรโพนิกส์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพลดระยะเวลา และเพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนและการติดตามการดำเนินงานมากกว่าการดำเนินงาน โดยไม่มีระบบสารสนเทศ ดังนั้นการนำระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการผลิตผักเข้ามาช่วยในการจัดการด้านข้อมูลและด้านการดำเนินงานสามารถสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น สามารถมองเห็นภาพรวมและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

วีระชาติ, ภิญโญ และขจร (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์ พบว่า ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสามารถใช้ในพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง สำหรับควบคุมและแสดงผลการนั้น เลือกใช้ Netpie ซึ่งเป็นรูปแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บนอินเทอร์เน็ต เป็นระบบพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกและมีสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ในทุกองค์ประกอบของระบบทำให้เกิดความยืดหยุ่นและคล่องตัวสูง และช่วยให้แพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือสูง และมีการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนให้สามารถควบคุมและจัดระบบได้ ส่วนบอร์ดประมาณผลเลือกใช้ NodeMCU ที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ มีข้อมูลเข้ามาจากเซนเซอร์วัดความชื้นดิน และเซนเซอร์วัดความชื้นอุณหภูมิอากาศ และผลการทดสอบระบบนั้นสามารถควบคุมประมวลผล สามารถสั่งการอุปกรณ์ให้ทำงานตามสภาวะที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน และประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน โดยมีรายละเอียดการศึกษาทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

3.1 การออกแบบต้นแบบชุดเพาะปลูกแบบประหยัดพลังงาน

ชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน ออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ที่ต้องการปลูกผักในพื้นที่จำกัดและยังเหมาะสมสำหรับผู้ที่ไม่มีเวลาในการดูแลผัก เนื่องจากชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานมีการออกแบบให้มีการเปิด-ปิดด้วยระบบ WiFi อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

3.1.1 ต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

ชุดเพาะปลูกน้ำแบบประหยัดพลังงาน มี 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินระบบ ดังภาพ 3.1 ประกอบด้วย

3.1.1.1 ช่องปลูกผักไฮโดรโพนิกส์

3.1.1.2 ท่อส่งปุ๋ยน้ำ

3.1.1.3 ท่อระบายปุ๋ยลงสู่ถัง

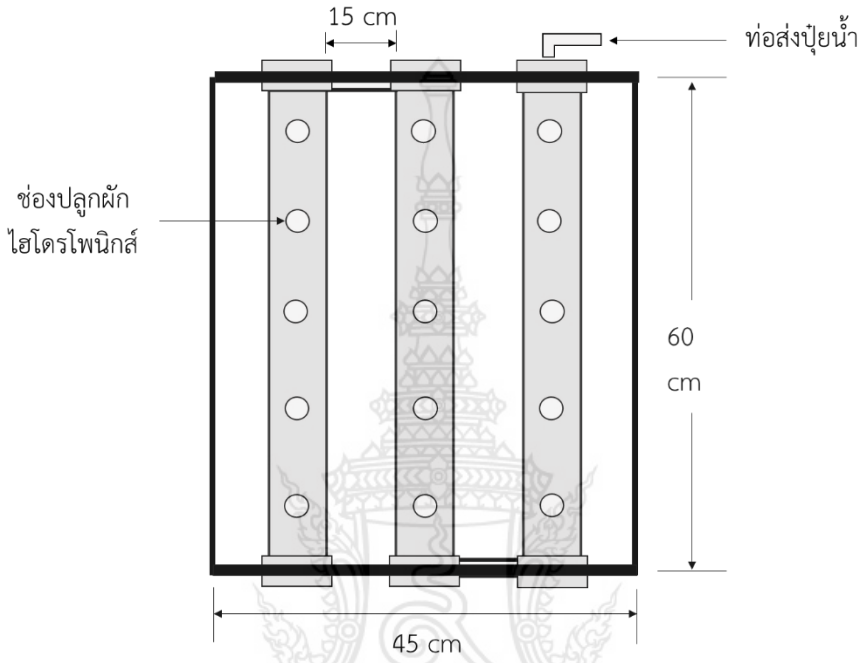
3.1.1.4 ถังน้ำหรือปุ๋ยน้ำ

3.1.1.5 ปั๊มน้ำ

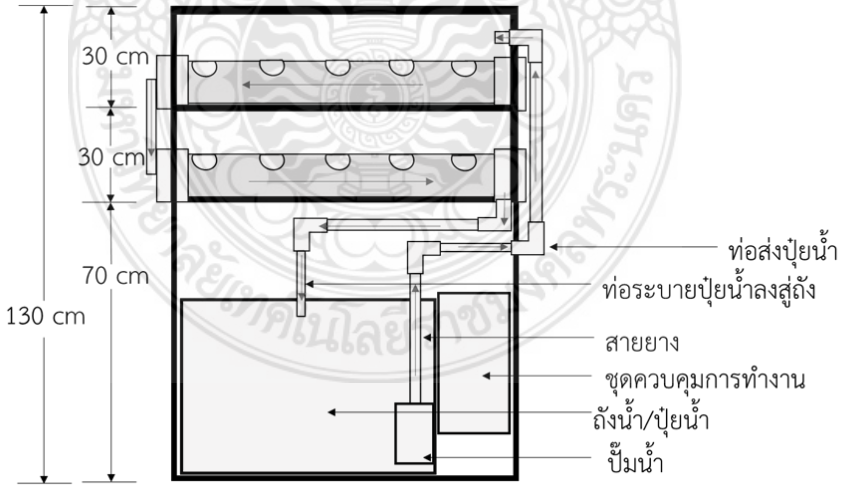
3.1.1.6 สายยาง

3.1.1.7 ชุดการสั่งการ

ชุดการทดลองที่ 3 และ 4 มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการเดินระบบ ดังภาพ 3.2 ประกอบด้วยอุปกรณ์เหมือนชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ต่างกันที่มีการติดตั้งหลอดไฟ LED และแผงโซลาร์เซลล์

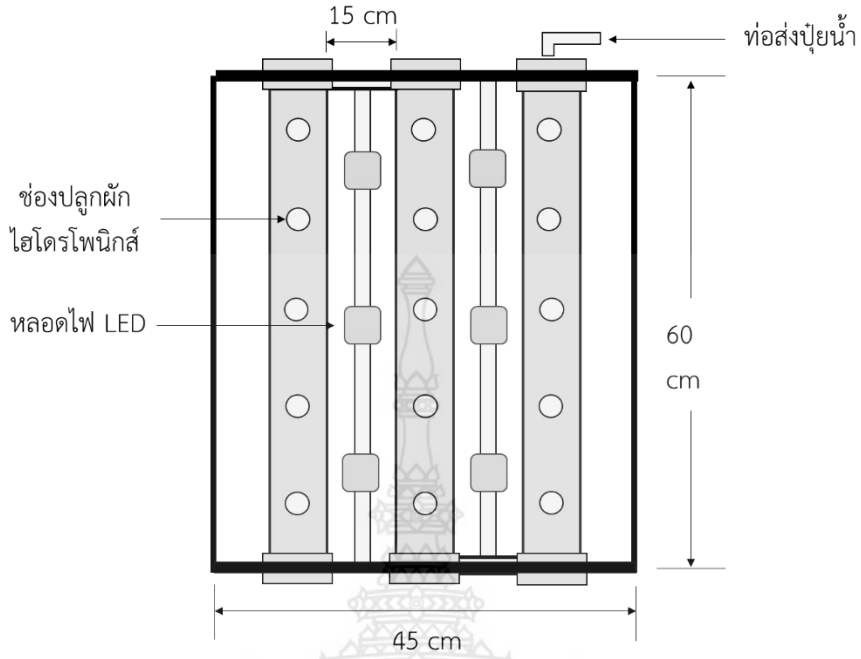


(ก) ด้านบนของชุดการทดลองที่ 1 และ 2

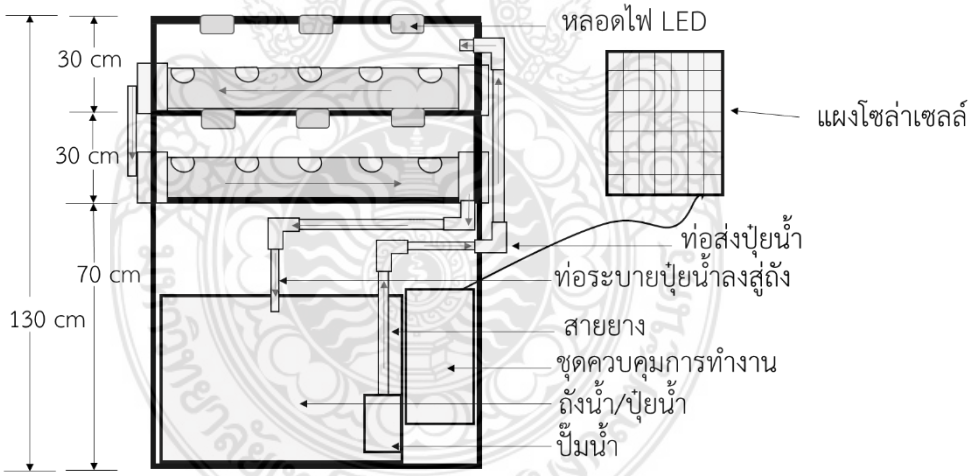


(ข) ด้านข้างของชุดการทดลองที่ 1 และ 2

ภาพ 3.1 แบบจำลองชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานชุดการทดลองที่ 1 และ 2



(ก) ด้านบนของชุดการทดลองที่ 3 และ 4



(ข) ด้านข้างของชุดการทดลองที่ 3 และ 4

ภาพ 3.2 แบบจำลองชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานชุดการทดลองที่ 3 และ 4

3.1.2 ชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

มีวัสดุและอุปกรณ์สำหรับโครงสร้างชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน แสดงดังตาราง 3.1 และวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับโครงสร้างชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

วัสดุ/อุปกรณ์	ขนาด	ความยาว (เซนติเมตร)	จำนวน
ท่อ PVC	1/2 นิ้ว	6.5	2 ชิ้น
		25	4 ชิ้น
	3/4 นิ้ว	30	6 ชิ้น
		50	6 ชิ้น
		75	4 ชิ้น
	2.5 นิ้ว	60	6 ชิ้น
ข้องอ	1/2 นิ้ว	-	6 ตัว
	3/4 นิ้ว	-	1 ตัว
	2.5 นิ้ว	-	6 ตัว
ข้องอสามทางฉาก	3/4 นิ้ว	-	8 ตัว
ข้องอสี่ทางฉาก	3/4 นิ้ว	-	8 ตัว
ข้องอสี่ทางบวก	1/2 นิ้ว	-	1 ตัว
ฝาปิดท่อ	1/2 นิ้ว	-	1 ตัว
	3/4 นิ้ว	-	1 ตัว
	2.5 นิ้ว	-	6 ตัว
สายยาง	7 มิลลิเมตร	150	1 เส้น
ถังน้ำ	50 ลิตร	-	1 ถัง

ตาราง 3.2 วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

วัสดุ/อุปกรณ์	ขนาด	จำนวน
โซลาร์เซลล์	50 วัตต์	1 แผง
แบตเตอรี่	12 โวลต์ / 12 Ah	1 ก้อน
อาดุยโน่	-	1 ชิ้น
โซลาร์ชาร์จเจอร์	10 แอมป์	1 ชิ้น
หลอดไฟ LED	3 วัตต์	12 หลอด
ปั๊มน้ำ	4.2 วัตต์	1 ตัว

3.1.3 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ในระบบ

การคำนวณปริมาณไฟฟ้า จะทำให้ทราบถึงปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการเดินระบบภายใน 1 วัน เพื่อใช้ในการเลือกซื้อขนาดของแผงโซลาร์เซลล์และความจุของแบตเตอรี่ โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

3.1.3.1 วิธีการคำนวณระบบโซลาร์เซลล์

จำนวนกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED = 3

จำนวนของหลอดไฟ LED ที่ใช้ = 12

จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน = 18

จำนวนกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ = 4.2

จำนวนปั๊มน้ำที่ใช้ = 1

จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน = 24

$$\text{ขนาดของแผง} = \frac{\text{ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด}}{\text{ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้ใน 1 วัน)}} \quad (3.1)$$

$$= \frac{[(\text{จำนวนวัตต์} \times \text{จำนวนที่ใช้}) \times \text{ชั่วโมง}] + (\text{จำนวนวัตต์} \times \text{ชั่วโมง})}{\text{ชั่วโมง}} \quad (3.2)$$

$$= \frac{[(3 \times 12) \times 24)] + (4.2 \times 24)}{5}$$

$$= \frac{748.8}{5}$$

$$= 149.76 \text{ โวลต์}$$

3.1.3.2 วิธีการคำนวณขนาดกระแสไฟฟ้าต่อชั่วโมงของแบตเตอรี่

จำนวนกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ LED = 3

จำนวนของหลอดไฟ LED ที่ใช้ = 12

จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน = 18

จำนวนกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ = 4.2

จำนวนปั๊มน้ำที่ใช้ = 24

จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน = 12

$$\text{ขนาดของแบตเตอรี่} = \frac{\text{ค่าพลังงานรวม}}{[\text{แรงดันไฟฟ้า} \times 0.6\ (\text{เปอร์เซ็นต์ไฟฟ้า} \times 0.85]} \quad (3.3)$$

$$= \frac{[(\text{จำนวนวัตต์} \times \text{จำนวนที่ใช้}) \times \text{ชั่วโมง}] + (\text{จำนวนวัตต์} \times \text{ชั่วโมง})}{[12\ \text{โวลต์} \times 0.6 \times 0.85]} \quad (3.4)$$

$$= \frac{[(3 \times 12 \times 18)]+(4.2 \times 24)}{[12\ \text{โวลต์} \times 0.6 \times 0.85]}$$

$$= \frac{50.4}{6.12}$$

$$= 8.23\ \text{แอมแปร์}$$

3.1.3.3 เครื่องควบคุมกระแสไฟฟ้า

ควรมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากแผงโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ โดยแผงโซลาร์เซลล์ที่มีใช้ขนาด 3.27 แอมแปร์ ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องควบคุมกระแสไฟฟ้าขนาด 10 แอมแปร์

3.1.3.4 วิธีการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในระบบ

การคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในระบบ เป็นการคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่เราต้องใช้ไปใน 1 เดือน เพื่อใช้ในการคำนวณค่าไฟในแต่ละเดือน

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1{,}000 \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน}}$$

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การประกอบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

ตัดท่อ PVC ขนาด 1/2 นิ้ว และท่อ PVC ขนาด 3/4 นิ้ว เพื่อประกอบเป็นโครงสร้างของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน ดังภาพ 3.3

ภาพ 3.3 โครงสร้างชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

ตัดท่อ PVC ขนาด 2.5 นิ้ว และทำการเจาะรูที่ท่อ PVC จำนวน 5 ช่อง เพื่อทำแปลงปลูกผัก จากนั้นติดตั้งล้อเลื่อนที่ฐานทั้ง 4 ด้าน แผงโซลาร์เซลล์ ชุดอุปกรณ์สั่งการการทำงานปั๊มน้ำต่อสายยางเข้ากับชุดเพาะปลูกในน้ำ และติดตั้งหลอดไฟ LED เพื่อใช้สำหรับการให้แสงแก่พืช

3.2.2 การติดตั้งและเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino IDE

3.2.2.1 ติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE

3.2.2.2 ติดตั้ง USB Driver "CH340G drivers

3.2.2.3 เพิ่ม Additional Board Manager URLs ที่รองรับ ESP8266 ใน Arduino IDE Preference

3.2.2.4 เพิ่ม Board ESP8266 ด้วย Board Manager โดยไปที่เมนู Tool -> Board Manager และพิมพ์ค้นหา "esp8266 of ESP8266 Community"

3.2.2.5 ทดสอบบอร์ดด้วยโปรแกรม โดยเลือก Tool -> board ->Wemos D1 R1 และเลือก Port ที่ถูกต้อง

3.2.2.6 เลือกโปรแกรม Example -> Blink เพื่อทำการทดสอบบอร์ด จากนั้นทำการอัพโหลดโปรแกรม เมื่ออัพโหลดเสร็จจะเห็นบอร์ดมีไฟกระพริบ

3.2.2.7 ทดสอบ WiFi เพื่อต่อเชื่อมต่อ WiFi และทำตัวเป็น Webserver โดยไปที่ Example ->WiFi Webserver

3.2.2.8 เขียนโค้ดคำสั่งลงในบอร์ดอาดุยโน่

รายละเอียดชุดคำสั่งแบ่งออกเป็นแต่ละส่วน 3 ส่วน ดังนี้

1) ทำการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อใช้ในการสั่งการการทำงานของระบบการสั่งการ โดยกำหนดค่าพอร์ตที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลลงบอร์ดอาดุยโน่ ใส่รหัส Token จากแอปพลิเคชัน เลือกสัญญาณ WiFi ที่ต้องการเชื่อมต่อและใส่รหัสผ่าน

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

char auth[] = "cdCE7I4CuBR29GBI26MKsDNP2JI1wMwA"; // กำหนด Token
char ssid[] = "HUAWEI nova 3i";  // wifi ที่จะเชื่อมต่อ
char pass[] = "knt260712"; //รหัส wifi
void setup () {
Serial.begin(115200);  //เริ่มการเชื่อมต่อ Blynk Server
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}
void loop() {

Blynk.run();
}
```

ภาพ 3.4 โค้ดคำสั่งการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk

2) กำหนดค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ หากค่าความเข้มแสงน้อยกว่า 2,000 lux ระบบจะสั่งการให้เปิดหลอดไฟ LED และหากค่าความเข้มแสงมากกว่า 2,000 lux ระบบจะสั่งการให้ปิดหลอดไฟ LED

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <time.h>
char ssid[] = "HUAWEI nova 3i";  // wifi ที่จะเชื่อมต่อ
char pass[] = "knt260712"; //รหัส wifi

int timezone = 7 * 3600;         //TimeZone
int dst = 0;                     //Date Swing Time

 void setup() {
 Serial.begin(115200); // Setup Serial
 WiFi.disconnect();
   WiFi.mode(WIFI_STA);
   if (WiFi.begin( ssid, pass)) {
     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
       delay(1000);
       Serial.print(".");
     }
     Serial.println("WiFi connected");
     Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
             configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");
             Serial.println("\nWaiting for time");
   while (!time(nullptr)) {
             Serial.print(".");
            delay(1000);
     }
```

ภาพ 3.5 โค้ดเชื่อมต่อแม่ข่ายเวลา

```
void loop() {
configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov"); //ดึงเวลาปัจจุบันจาก
Server
time_t now = time(nullptr);
struct tm* p_tm = localtime(&now);
Serial.print(p_tm->tm_year + 1900);
Serial.print(':');
Serial.print(p_tm->tm_mon + 1);
Serial.print(':');
Serial.print(p_tm->tm_mday);
Serial.print(':');
Serial.print(p_tm->tm_hour);
Serial.print(':');
Serial.print(p_tm->tm_min);
Serial.print(':');
Serial.println(p_tm->tm_sec);
delay(1000);
}
```

ภาพ 3.6 โค้ดเชื่อมต่อแม่ข่ายเวลา

3) ทำการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์เพื่อดึงเวลามาใช้ในการตั้งเวลาเปิด – ปิด การทำงานของชุดการสั่งการ

```
#include <BH1750FVI.h>
BH1750FVI lightMeter(BH1750FVI::k_DevModeContLowRes);

void setup()  {

Serial.begin(115200); // Setup Serial
lightMeter.begin();
  Serial.println(F("BH1750FVI Test"));

 }

void loop()  {

uint16_t lux = lightMeter.GetLightIntensity();
  Serial.print("Light: ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  delay(1000);
  Blynk.virtualWrite(V5, lux); // Display value to V5

 boolean openLED = false;
    openLED = setRelay1((int)lux);
 if(openLED){
    digitalWrite(relay1, HIGH);
 }else{
   digitalWrite(relay1, LOW);
  }
  delay(1000); // Working every 1 seconds
```

ภาพ 3.7 โค้ดคำสั่งการทำงานของเซนเซอร์

```
}
boolean setRelay1(int rightSensor){
 int result = false;
 if(rightSensor >= 2000){
    result = true;
 }
  else{
     result = false;
  }
```

ภาพ 3.8 โค้ดคำสั่งการทำงานของเซนเซอร์

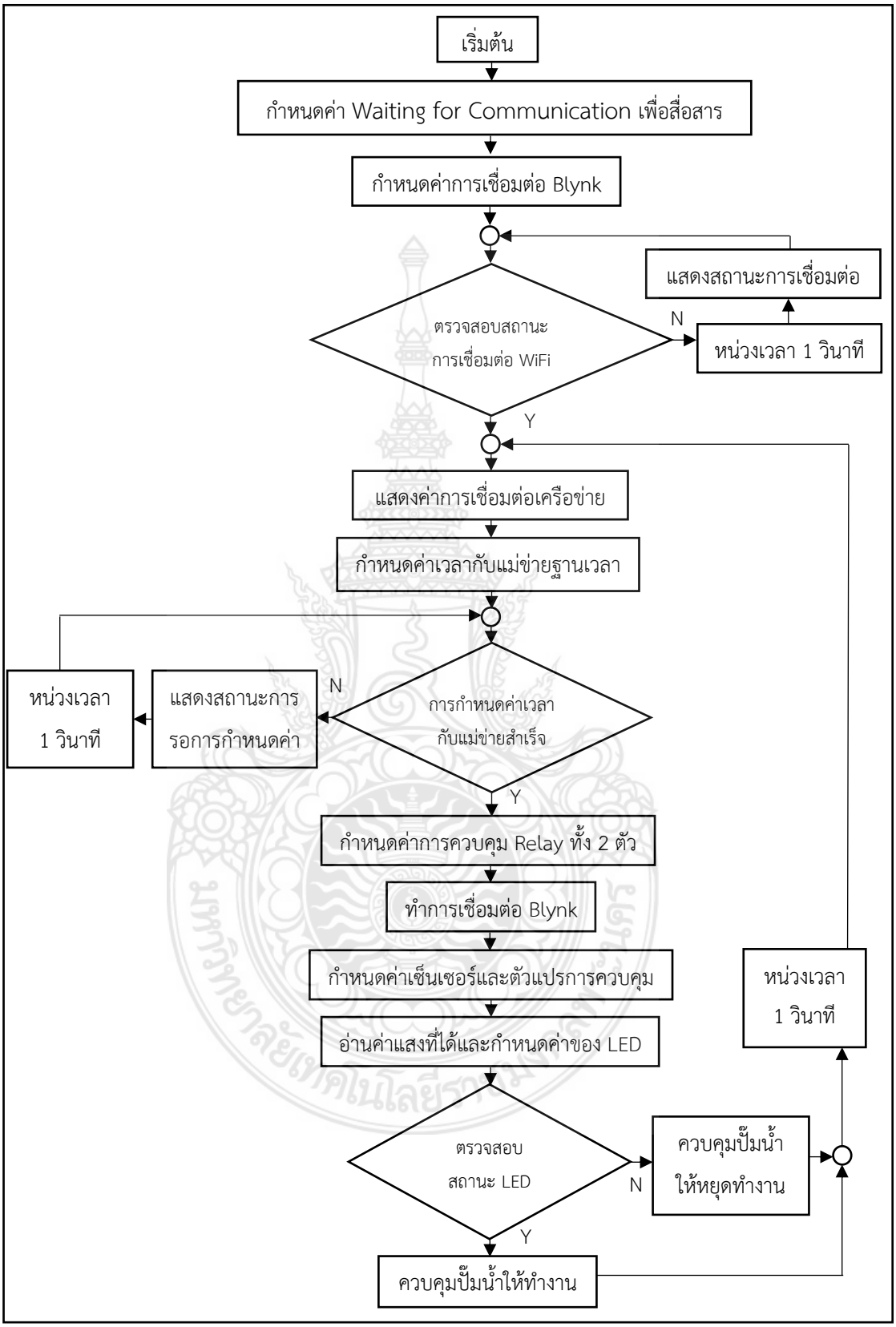
3.2.2.9 เขียนโค้ดการวัดค่าความเข้มแสงด้วยเซนเซอร์ให้แก่บอร์ด

3.2.2.10 เขียนโค้ดคำสั่งเพื่อเชื่อมต่อกับแอพพลิเคชั่น Blynk

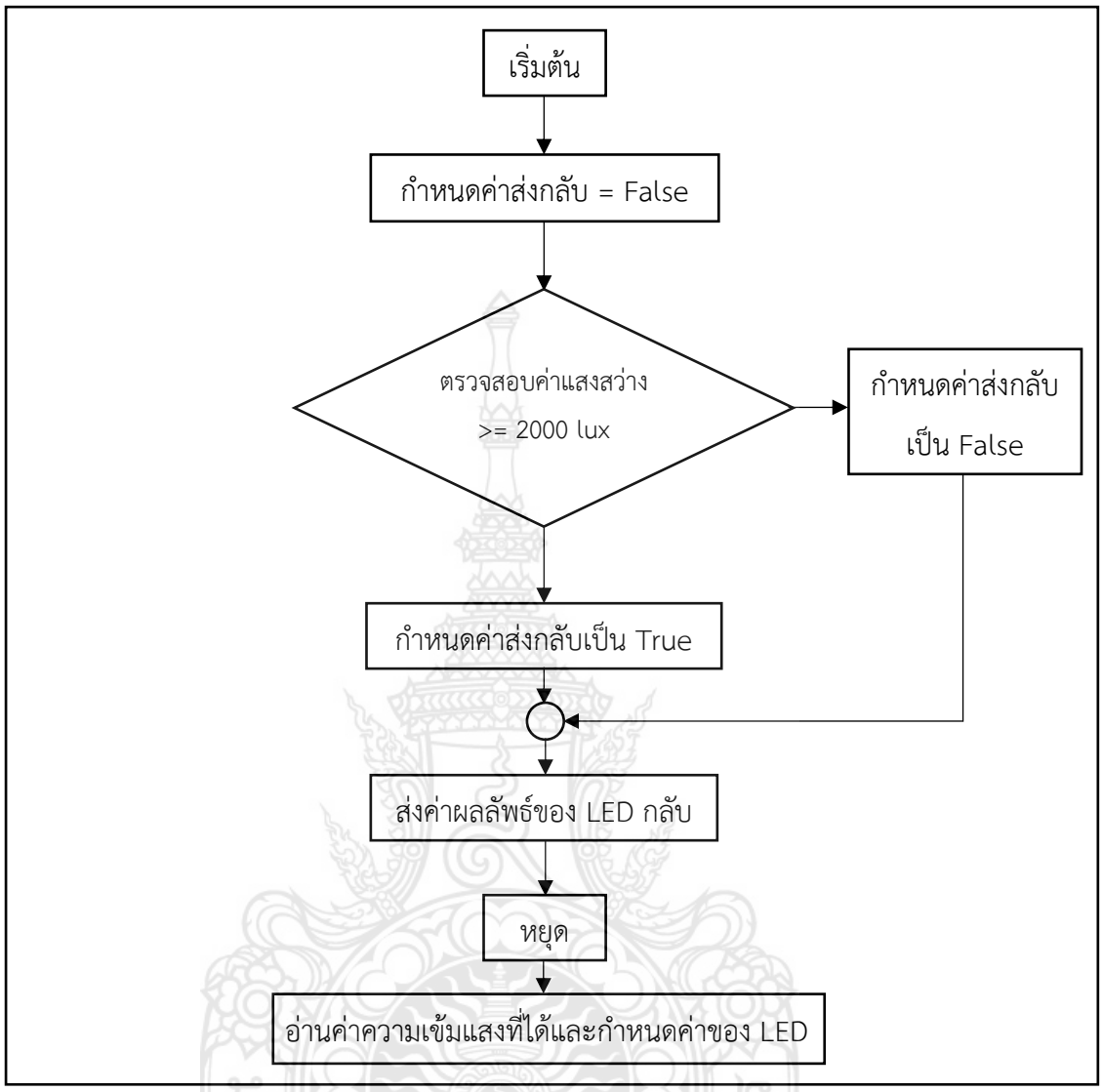
3.2.2.11 ล็อคอินและตั้งค่าการใช้งานภายในแอพพลิเคชั่น

3.2.3 กระบวนการทำงานของระบบ

เขียนแผนผังคำสั่งการทำงานของระบบ โดยเริ่มจากการกำหนดค่า Waiting for Communication เพื่อสื่อสาร จากนั้นกำหนดค่าการเชื่อมต่อ Blynk ดังภาพ 3.13 และเขียนแผนผังคำสั่งย่อยการอ่านค่าความเข้มแสง ดังภาพ 3.14



ภาพ 3.9 แผนผังคำสั่งการทำงานของระบบ



ภาพ 3.10 แผนผังคำสั่งย่อยการอ่านค่าความเข้มแสง

3.2.4 การวัดอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบ

การวัดอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบ เริ่มต้นรองน้ำจากปลายท่อน้ำออกให้ได้ 600 มิลลิลิตร พร้อมจับเวลา (ทำซ้ำ 5 ครั้ง) และนำระยะเวลาที่ได้มาคำนวณความเร็วของการไหล ซึ่งเป็นการวัดค่าการไหลจากปลายท่อออกจะได้ค่าอัตราการไหล (ปนียาพร, 2562) คือ ลิตรต่อนาที

$$Q = vA$$

Q = อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อวินาที)

v = ความเร็วของการไหล (วัตต์)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลวิ่งผ่าน (เซนติเมตร)

3.2.5 การเพาะต้นกล้าผักสลัดกรีนคอส

เริ่มต้นจากการนำเมล็ดเพาะในถาดหลุมที่มีฟองน้ำรองอยู่ (ฟองน้ำควรมีการระบายอากาศได้ดี) แสงแดดส่องไม่ถึง และมีความชุ่มชื้น เมื่อต้นกล้าโตขึ้นให้ทำการวัดค่าความสูง ความยาวใบ ความยาวราก ความกว้างใบ และจำนวนใบ หลังจากอายุกล้าประมาณ 3 – 4 สัปดาห์ ให้นำต้นกล้าเข้าสู่ระบบการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน และดูแลอย่างสม่ำเสมอจนต้นกรีนคอสเจริญเติบโต

3.3 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดสารละลายธาตุอาหาร ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เมื่อค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าสูงเกินมาตรฐานธาตุอาหารจะขาดสมดุลมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ค่าการนำไฟฟ้า (EC) คือ ค่าปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่เติมลงไป เมื่อค่าการนำไฟฟ้าเกินมาตรฐานจะมีผลกระทบต่อผลผลิตของพืช และความเป็นกรด - ด่าง (pH) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการดูดซึมธาตุอาหารแต่ละประเภทของพืช โดยทำการตรวจวัดทุกวัน เป็นระยะเวลา 45 วัน โดยมีแผนการเก็บตัวอย่างสารละลายธาตุอาหาร ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารที่เติมเข้าระบบ

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	Electrometric Method	ทุกวัน
อุณหภูมิ (Temp)	องศาเซลเซียส	Electrometric Method	ทุกวัน
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร	Electrometric Method	ทุกวัน
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)		Electrometric Method	ทุกวัน

ที่มา : การประปานครหลวง (2553)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน ประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานของชุดเพาะปลูกในน้ำและศึกษาประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

4.3 ผลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

4.4 เปรียบเทียบการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

4.1 ประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน จากการวัดอัตราการไหลของน้ำ และการทำงานของชุดควบคุมการทำงานของระบบ โดยทดสอบประสิทธิภาพของชุดเพาะปลูกในน้ำ 4 ชุดการทดลอง และมีรายละเอียดดังตาราง 4.1

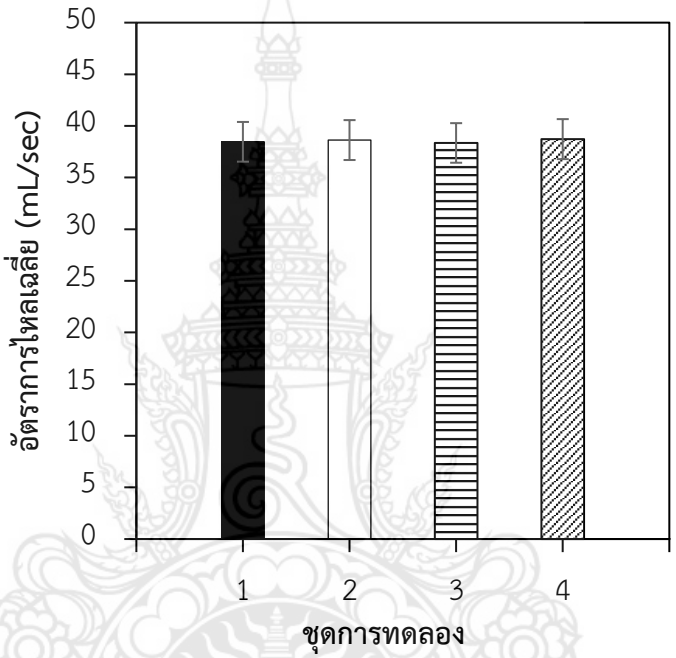
ตาราง 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

การทดสอบ ประสิทธิภาพการทำงาน	**เกณฑ์ที่ใช้ในการ ทดสอบประสิทธิภาพ**	**การทำงาน (ชุดการทดลอง)**			
		1	2	3	4
1. อัตราการไหลของน้ำ	38 mL/sec	✓	✓	✓	✓
2. การทำงานของปั๊มน้ำ	38 mL/sec	✓	✓	✓	✓
3. การทำงานของหลอดไฟ LED	<2,000 lux	-	-	✓	✓
4. การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าแสง	<2,000 lux	-	-	✓	✓
5. การทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Blynk	เช็คระบบการทำงานได้	-	-	✓	✓

จากตาราง 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน พบว่า การทำงานของชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลองนั้นสามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ในการทดสอบประสิทธิภาพที่ได้กำหนดไว้

4.1.1 อัตราการไหลของน้ำ

อัตราการไหลของน้ำ (ทำซ้ำ 5 ครั้ง) ของชุดการทดลองที่ 1 มีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 38.46 มิลลิลิตรต่อวินาที ชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 38.63 มิลลิลิตรต่อวินาที ชุดการทดลองที่ 3 มีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 38.35 มิลลิลิตรต่อวินาที และชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 38.72 มิลลิลิตรต่อวินาที ดังภาพ 4.1

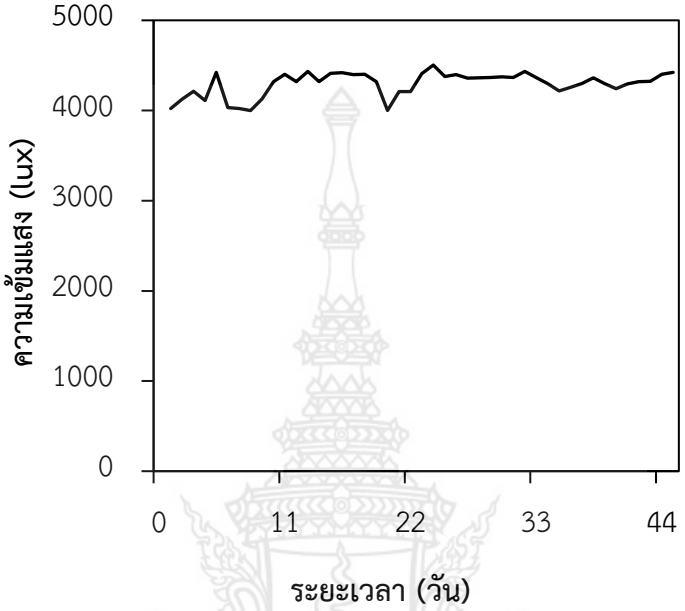


ภาพ 4.1 อัตราการไหลของน้ำ

จากภาพ 4.1 การวัดอัตราการไหลของน้ำ 4 ชุดการทดลอง พบว่า อัตราการไหลของชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด มีค่าตามเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ ให้มีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 38 mL/sec

4.1.2 การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง

การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงของชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 4 ดังภาพ 4.2



ภาพ 4.2 การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง

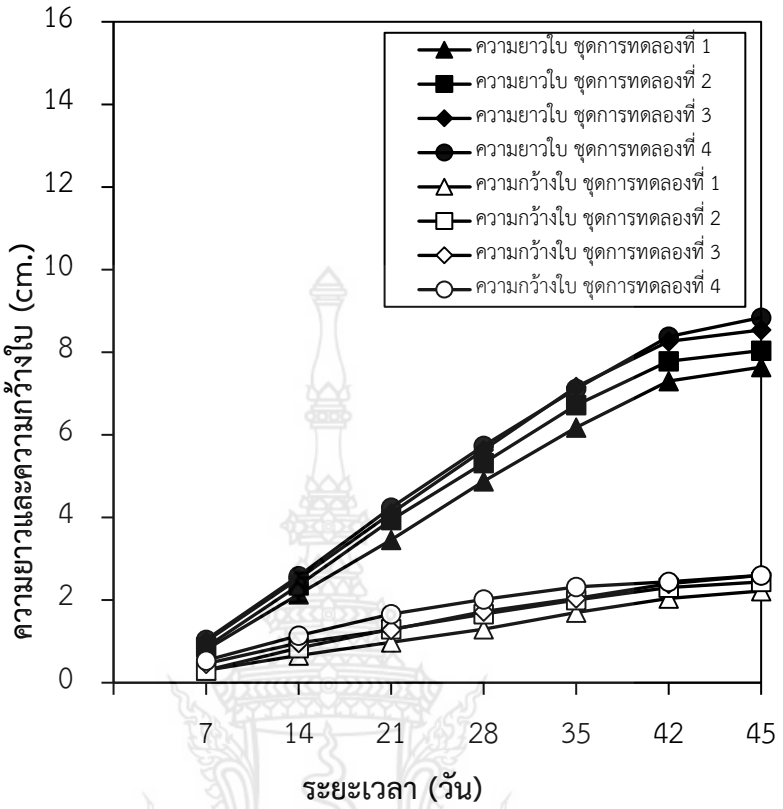
จากภาพ 4.2 การทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงในช่วงเวลาต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงต่อวันเท่ากับ 4,295 lux

4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 และสังเกตการณ์เจริญเติบโตจากการวัดความยาวและความกว้างใบ ความยาวราก จำนวนใบ และความสูงของผักสลัดกรีนคอส

4.2.1 ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส

ศึกษาความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอสของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส

จากภาพ 4.3 ความยาวและความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอสทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ความยาวใบของผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องอย่างคงที่ ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 42 วัน และการเจริญเติบโตเริ่มจะคงที่เมื่อวันที่ 42 ถึงวันที่ 45 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ -5.760 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -6.046 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอสโดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -2.5802 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -5.0275 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส ในชุดการทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของความกว้างใบของต้นกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ -5.1724 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2

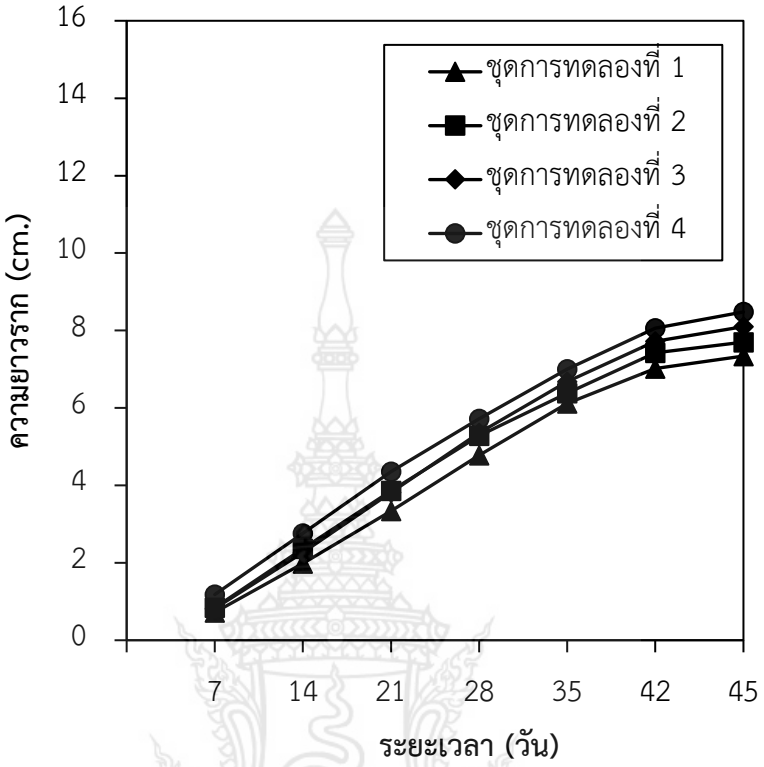
เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -5.1724 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -3.2811 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -7.8243 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส ในชุดการทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

4.2.2 ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส

ศึกษาความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส

จากภาพ 4.4 ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องอย่างคงที่ ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 42 และการเจริญเติบโตเริ่มจะคงที่เมื่อวันที่ 42 ถึงวันที่ 45 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ -6.9422 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2

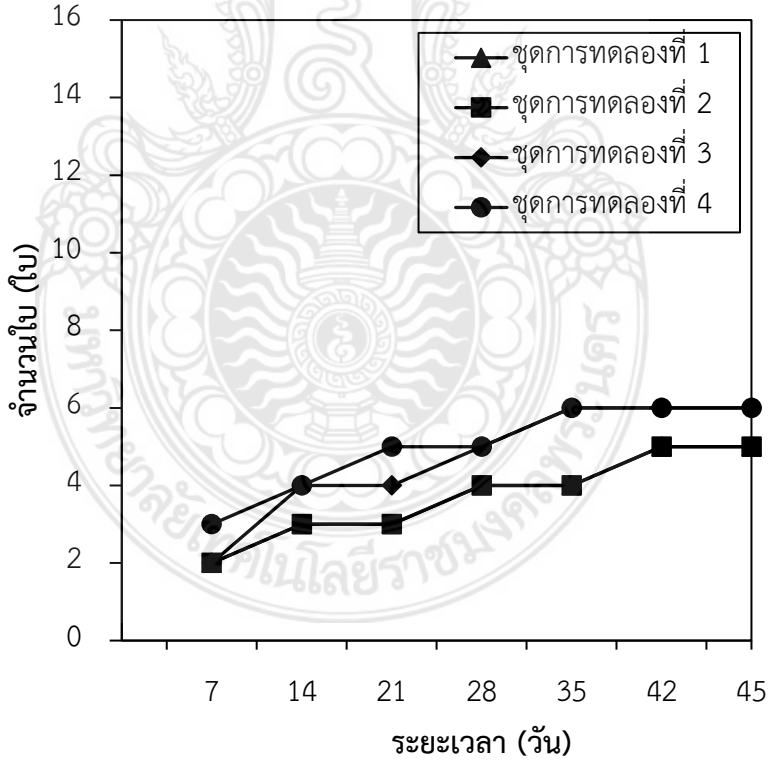
เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -5.6089 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสโดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -12.4722 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวรากของของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -9.0543 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 ดังนั้นจึงคล้อยตามสมมติฐาน และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

4.2.3 จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส

ศึกษาจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีการเจริญเติบโตของจำนวนใบที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส

จากภาพ 4.5 จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า จำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องอย่างคงที่ ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 42 และการเจริญเติบโตเริ่มจะคงที่เมื่อวันที่ 42 ถึงวันที่ 45 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 คือ การเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 เท่ากับชุดการทดลองที่ 2

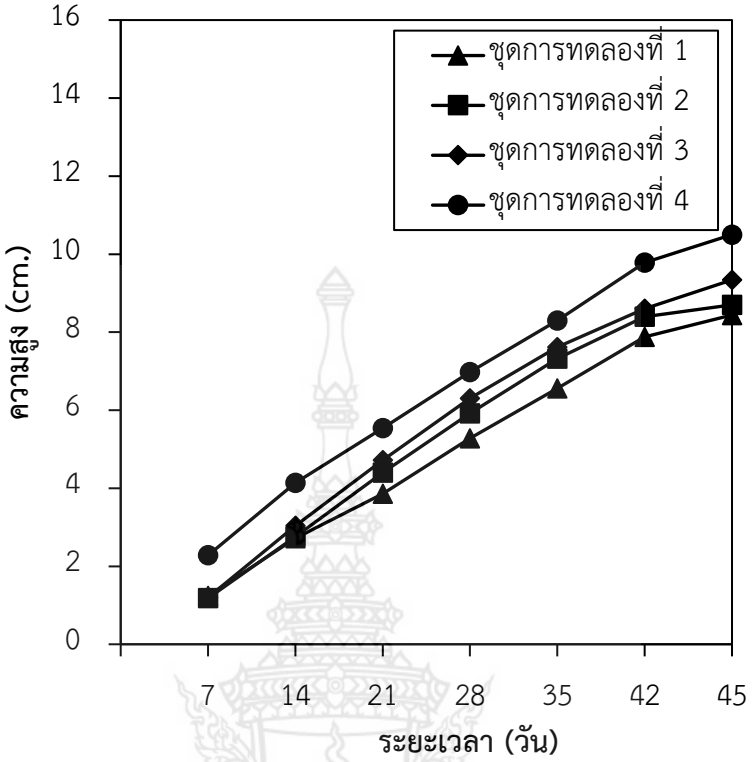
เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -4.5826 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -1.5492 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -6.9713 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

4.2.4 ความสูงของผักสลัดกรีนคอส

ศึกษาความสูงของผักสลัดกรีนคอสของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพ 4.6



ภาพ 4.6 ความสูงของผักสลัดกรีนคอส

จากภาพ 4.6 ความสูงของผักสลัดกรีนคอสทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ความสูงของผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องอย่างคงที่ ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 42 และการเจริญเติบโตเริ่มจะคงที่เมื่อวันที่ 42 ถึงวันที่ 45 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ -3.2807 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -4.5047 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -11.3489 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส โดยใช้ปุ๋ย

AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

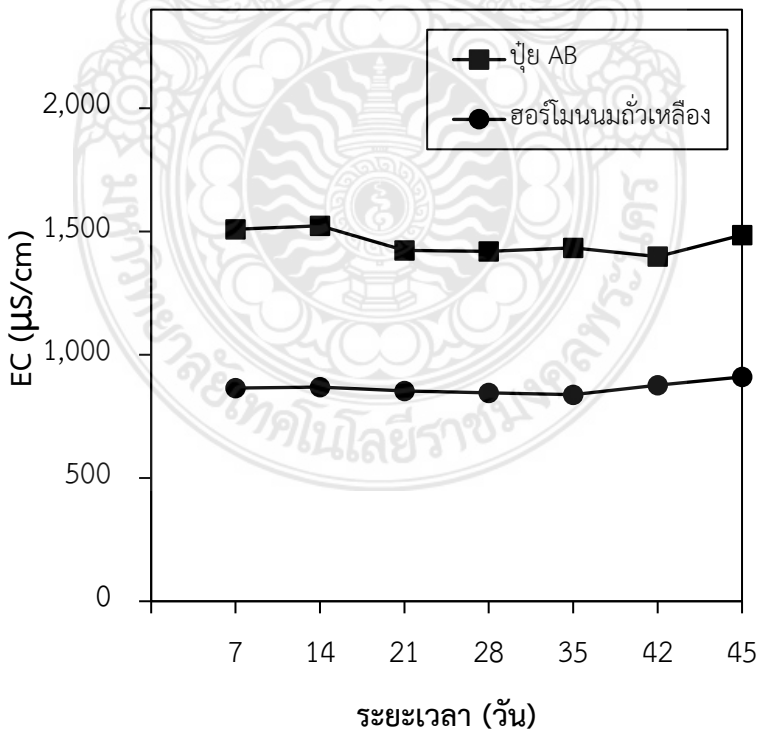
เมื่อพิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -11.8284 ซึ่งน้อยกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของความสูง โดยไม่ใช้หลอดไฟ LED และใช้หลอดไฟ LED เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4

4.3 ผลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

จากการศึกษาสารละลายธาตุอาหารเป็นเวลา 45 วัน โดยมีสารละลายธาตุอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ซึ่งมีการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และอุณหภูมิ

4.3.1 ค่าการนำไฟฟ้า

ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีค่าแตกต่างกับชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ดังภาพ 4.7



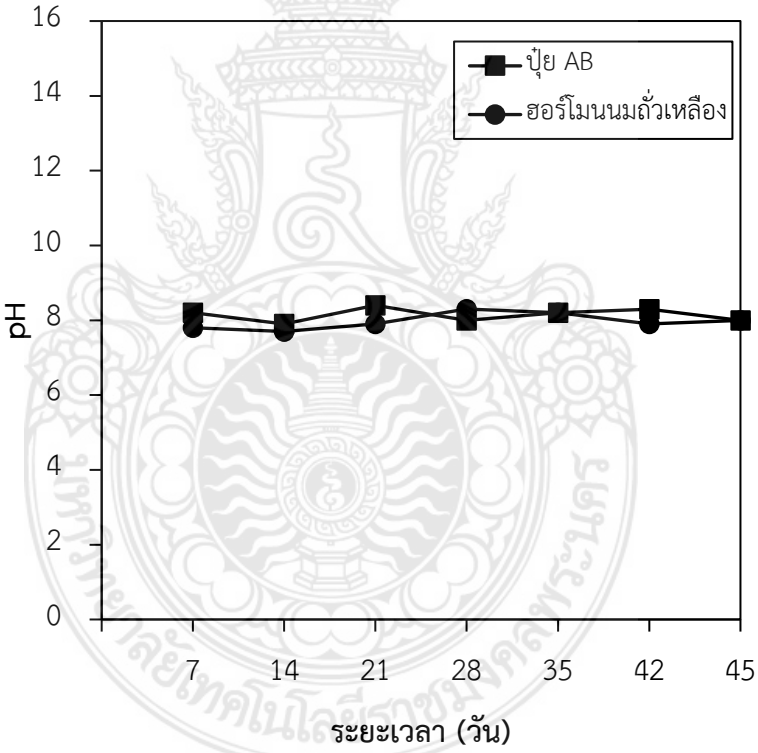
ภาพ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

จากภาพ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง พบว่า ผักสลัดกรีนคอสมีการเจริญเติบโตแบบต่อเนื่องอย่างคงที่ ในช่วงวันที่ 7 ถึงวันที่ 42 วัน และการเจริญเติบโตเริ่มจะคงที่เมื่อวันที่ 42 ถึงวันที่ 45 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ 34.1914 ซึ่งมากกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การใช้ปุ๋ย AB มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

4.3.2 ค่าความเป็นกรด – ด่าง

ศึกษาค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ดังภาพ 4.8



ภาพ 4.8 ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

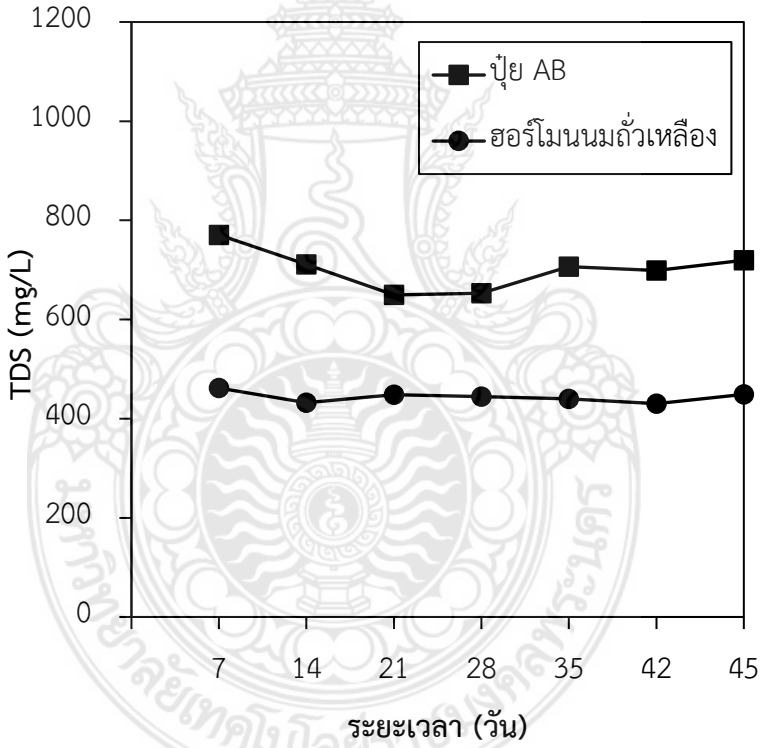
จากภาพ 4.20 ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง สามารถสรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ย AB เป็นระยะเวลา 45 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.14 และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.97 ค่าความเป็นกรด – ด่างของฮอร์โมนนมถั่วเหลืองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดกรีนคอสมากกว่าปุ๋ย AB ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมีความเป็น

กรด - ด่างมากเกินจำเป็นจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ความเป็นกรด - ด่าง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง พิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ 1.5802 ซึ่งมากกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การใช้ปุ๋ย AB มีค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

4.3.3 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ศึกษาค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ดังภาพ 4.9



ภาพ 4.9 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

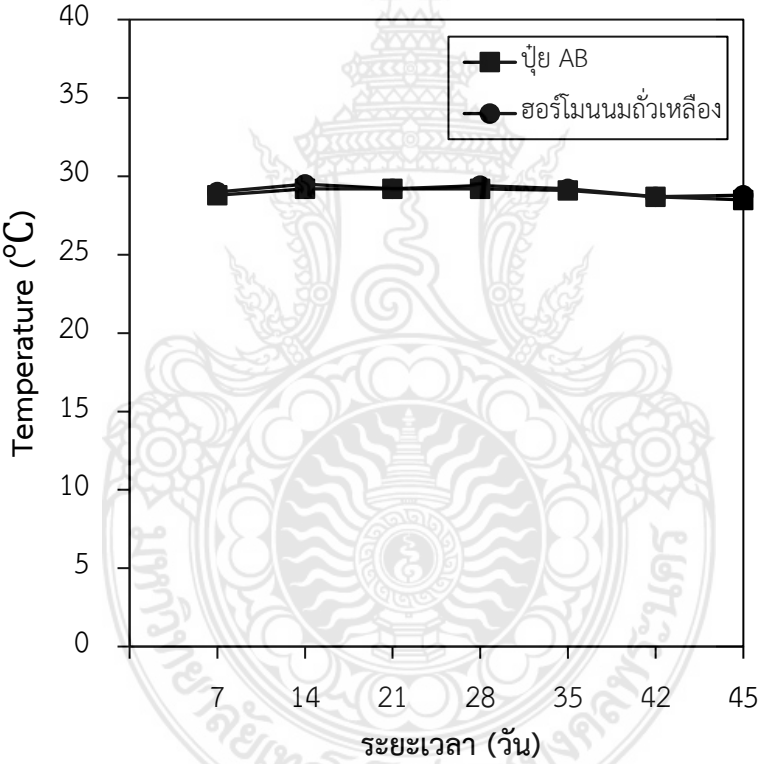
จากภาพ 4.21 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง สามารถสรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ย AB เป็นระยะเวลา 45 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 701.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 443.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดกรีนคอสมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง โดยค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด จะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของน้ำปุ๋ย หรือน้ำที่ใช้กับการปลูกผักว่า

ธาตุอาหารในน้ำนั้นเพียงพอหรือไม่สำหรับการเพาะปลูก ซึ่งหากไม่เพียงพอเกษตรกรหรือผู้ปลูกผักไฮโดรโพนิกส์สามารถเพิ่มหรือเติมธาตุอาหารลงไปในน้ำก่อนนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง พิจารณาจาก ค่า t Stat เท่ากับ 17.4929 ซึ่งมากกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การใช้ปุ๋ย AB มีของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

4.3.4 อุณหภูมิ

ศึกษาอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ดังภาพ 4.10



ภาพ 4.10 ค่าอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

จากภาพ 4.22 ค่าอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง สามารถสรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ย AB เป็นระยะเวลา 45 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.96 องศาเซลเซียส และฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.11 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิของปุ๋ย AB อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการปลูกผักสลัดกรีนคอสมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง พิจารณาจากค่า t Stat เท่ากับ -3.2675 ซึ่งมากกว่าค่า t Critical two – tail เท่ากับ 2.4470 และสรุปว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การใช้ปุ๋ย AB มีอุณหภูมิมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

4.4 เปรียบเทียบการทำงานของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน

ศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดทดลองที่มีการติดตั้งชุดควบคุมแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดเพาะปลูกในน้ำที่มีการติดตั้งชุดควบคุมแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน

อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในชุดควบคุม	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)**	
	1 วัน	**1 เดือน**
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์	0.03	1.04
ปั๊มน้ำ	0.10	3.00
หลอดไฟ LED	0.65	19.44

จากตาราง 4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดเพาะปลูกในน้ำที่มีการติดตั้งชุดการสั่งการแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากบ้านเรือน พบว่า ในระยะเวลา 1 วัน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.03 กิโลวัตต์ ปั๊มน้ำใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.10 กิโลวัตต์ หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.65 กิโลวัตต์ และในระยะเวลา 1 เดือน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 1.04 กิโลวัตต์ ปั๊มน้ำใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 3 กิโลวัตต์ หลอดไฟ LED ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 19.44 กิโลวัตต์

สามารถสรุปได้ว่าในระยะเวลา 1 วัน ชุดควบคุมมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.78 กิโลวัตต์ และในระยะเวลา 1 เดือน ชุดควบคุมมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าฟ้าเท่ากับ 23.40 กิโลวัตต์

4.4.1 การศึกษาปริมาณค่าไฟฟ้าของชุดควบคุม

ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบของชุดการสั่งการ เปรียบเทียบจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบ ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ปริมาณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ

ระยะเวลา	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
1 วัน	0.78	2.83
1 เดือน	23.40	84.79

มีอัตราการใช้ค่าไฟเท่ากับ 2.83 บาท และในระยะเวลา 1 ปี ชุดการสั่งการมีอัตราการใช้ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 1,018 บาท

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดเพาะปลูกในน้ำที่ไม่มีการติดตั้งชุดการสั่งการ 2 ชุดการทดลอง และมีการติดตั้งชุดการสั่งการ 2 ชุดการทดลอง โดยใช้ผักสลัดกรีนคอสในการวิจัย ซึ่งศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 45 วัน

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสโดยใช้ปุ๋ย AB ในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 เจริญเติบโตได้น้อยกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.02 และ 0.1 ตามลำดับ การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสโดยไม่ใช้หลอดไฟ LED ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 เจริญเติบโตได้น้อยกว่าใช้หลอดไฟ LED ในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เหมือนกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.002 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่ดีที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ 4

5.1.2 ผลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

จากการศึกษาสารละลายธาตุอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ย AB และฮอร์โมนนมถั่วเหลือง โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสซึ่งมีปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำ ความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมิ จากการศึกษา พบว่า ฮอร์โมนนมถั่วเหลืองมีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสมากกว่าปุ๋ย AB โดยค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 ซึ่งปุ๋ย AB มีค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมิ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสมากกว่า

ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า ปุ๋ย AB มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสมากกว่าฮอร์โมนนมถั่วเหลือง

5.1.3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงาน ซึ่งมี 4 ชุดการทดลอง โดยมีการเปรียบเทียบจาก ค่าไฟฟ้า ค่าการลงทุน ค่าปุ๋ย และค่าแรงงาน พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ชุดการทดลองที่ 4 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นลำดับที่ 2 ชุดการทดลองที่ 1 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นลำดับที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นลำดับสุดท้าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาชุดเพาะปลูกในน้ำในระดับอุตสาหกรรม

5.2.2 หากเลือกใช้ฮอร์โมนนมถั่วเหลืองควรมีการดูแลความสะอาดของชุดเพาะปลูกในน้ำแบบประหยัดพลังงานให้สม่ำเสมอ เนื่องจากหากทิ้งไว้นานจะทำให้ชุดเพาะปลูกมีเมือกบริเวณรากพืช รางปลูก สายยาง และอาจอุดตันในปั๊มน้ำ

5.2.3 ควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

การประปานครหลวง. 2553. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2563 จาก https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=1503

กรมวุฒิ นงนุช. 2561. **“ระบบสั่งงานด้วยเสียงบนเทคโนโลยีสรรพสิ่งเพื่อประยุกต์ควบคุมมอเตอร์ในงานด้านเกษตรกรรม**”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2558. **การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ

เกรียงศักดิ์ หนูชู. 2550. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบประหยัด**.สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2563 จาก http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=258&pageid=22&read=true&count=true

กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2563. **ข้อมูลการจัดการดิน**. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2563 จากhttp://www.ldd.go.th/Web_Soil/Page_02.htm.

คู่มือการพัฒนาและการลงทนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์. 2562. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. หน้า 16.

คมธัช วัฒนศิลป์ และศิวลักษณ์ปฐวีรัตน์. 2561 “**การพัฒนาการส่งข้อมูลไร้สายสำหรับต้นแบบระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์ แบบอัตโนมัติ แบบอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการผลิตผักกวางตุ้งที่มีประสิทธิภาพ.**” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 19 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 26-27 เมษายน 2561.

ชัยรัตน์ บูรณะ. 2562. **LED นวัตกรรมแสงเทียมเพื่อการผลิตพืชยุค 4.0**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2563 จาก https://talad.co/blog/led-artificial-light/.

ฐากร สุขสิษฐ์, ปิยะราช วงชะศรี และอารียา ซื่อตรง. 2561. “**ระบบตรวจสอบสถานะภายในบ้าน (Smart Home**).” วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแมคคาทอนิกส์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เดลินิวส์. 2558. **ผักสลัด กรีนคอส – เรื่องน่ารู้**. สืบค้นเมื่อ 22 พ.ย. 2562 จาก https://www.dailynews.co.th/agriculture/368846.

นวัตกรรมการเกษตร. 2563. เทคโนโลยีบัณฑิต. สาขานวัตกรรมการเกษตร. มหาวิทยาลัยรังสิต

ธนากร น้ำหอมจันทร์. 2562. **โรงงานผลิตพืช**. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 13 (ฉบับที่ 2), 46-62

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ธรรมศักดิ์ ทองเกต. 7 ธันวาคม 2562. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture)**. สืบค้นเมื่อ 22 พ.ย. 2562 จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf

นิรันดร์ นูเพ็ง. 2555 . **การปลูกพืชแบบไร้ดิน**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2562 จาก https://bezza001.wordpress.com/2012/09/17/การปลูกพืชไร้ดิน/.

ปิยะดา บำรุงเขตต์ คมสัน แสงอรุณ และชลกานต์ มาตรมณีวงศ์. 2554. **ระบบเฝ้าระวังแปลงผักไฮโดรโพนิกส์ด้วยเซ็นเซอร์ไร้สายผ่านระบบ GSM**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โปรโทรนิกส์. 2558. **ค่า EC PH TDS สำหรับ ไฮโดรโพนิกส์**. สืบค้นเมื่อ 13 ธ.ค. 2562 จาก https://www.ponpe.com/tech/119-ph-meter/169-ph-ec-hydroponics.html

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. (2562). **สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) และความเค็ม (Salinity)**. สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2562 จาก http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/5-Conductivity-w.pdf

ปนียาพร. 2562. **สมการต่อเนื่อง**. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2563 จาก http://eng.sut.ac.th/ce/download/homwork/HydraulicHandout_AllCh_Book02withLOGO_Ch3.pdf.

ภิญญพร นิยมโชค. 2562. **การปลูกผักไฮโดรโพนิกส์**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2562 จาก https://sites.google.com/site/karplukphak7862/home.

เมธา โล่กันไฟ. 2556. **ระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการผลิตผักในระบบไฮโดรโพนิกส์**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วรพจน์ ไพธาเจริญ และอานนท์ ผัดแฝง. (2561). “**การพัฒนาระบบไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบปั๊มสารละลายและระบบควบคุมอุณหภูมิของพืชไฮโดรโพนิกส์**.” วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

วีระชาติ จริตงาม, ภิญโญ ชุมมณี และขจร อนุดิตย์. 2561 “**การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ.**” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 28 – 30 พฤศจิกายน 2561.

วุฒิชาติ ภู่พิมล และคณะ. (2562) **แอปพลิเคชัน Blynk**. วิจัยและพัฒนานวัตกรรมอาชีวศึกษาร่วมกับคณะกรรมการจัดการนวัตกรรมอาชีวศึกษา. 1 ตุลาคม 2559

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ศณุตฆ์ แซ่ม้า และสุรชัย แซ่จ๋าว. 2561. “**ระบบรดน้ำแปลงผักอัตโนมัติ**.” อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ศุภฤกษ์ เชาวลิตตระกูล. 2561. **ระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. 2563. **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://www.lesa.biz/astronomy/light/em-waves.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. 2563. **ความชื้นสัมพัทธ์**. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563 http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/humidity.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor Technology).** สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563 จาก https://www.ops.go.th/main/index.php/knowledge-base/article-pr/1520-sensor.html.

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. **พลังงานแสงอาทิตย์**. สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2562, http://www.reca.or.th/library-solar-energy.aspx

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดอ่างทอง. 2563. **วิธีทำฮอร์โมนนมสด ฮอร์โมนไข่ สำหรับพืช**. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563 จาก https://www.opsmoac.go.th/angthong-article_prov- preview421891791860?fbclid=IwAR2Qd6_2KewBgyxSpEBAk2H12AsGBwgsxNUqqUx2vMcM7rZRGB0hhYeYLF4. 5 กุมภาพันธ์ 2563

สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้. **ผักไฮโดรโพนิกส์**. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://www.okmd.or.th/upload/pdf/2560/KC/vegetables-hydroponics.pdf.

สำราญ สาราบรรณ์. 2563. **การส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่เพื่อเกษตร 4.0**. กรมส่งเสริมการเกษตร

อมรรัตน์ ลิ้มมณี. 2558. “**เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**.” การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน. หน้า 10

องค์ความรู้เพื่อการพัฒนาพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน. **ผักกาดหวาน**. สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2562 จาก https://hkm.hrdi.or.th/knowledge/detail/24.

เอกสารการออกแบบระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน. 2562. สาขาวิศวกรรมชลประทานและการจัดการน้ำ คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

ตารางภาคผนวก ก.1 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0	2	2	0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	2	2	2	2	2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
6	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	2	2	2	2	2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	0.8	0.7	1.1	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.8	0.9	0.6	0.6	2	2	2	2	2	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2
8	1.3	0.9	1.3	0.9	0.8	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.9	0.9	1.1	0.8	0.7	2	2	2	2	2	1.4	1.4	1.6	1.5	1.5
9	1.5	1.1	1.5	1.2	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	1	1.3	0.9	0.9	2	2	2	2	2	1.6	1.6	1.8	1.7	1.7
10	1.7	1.3	1.7	1.3	1.0	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	1.4	1.2	1.5	1.1	1.1	2	2	2	2	2	1.8	1.8	2.0	1.9	1.9
11	1.9	1.5	1.9	1.5	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.6	1.3	1.7	1.3	1.3	2	2	3	2	2	2.0	2.0	2.2	2.1	2.1
12	2.1	1.7	2.2	1.7	1.3	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	1.8	1.4	1.9	1.4	1.5	2	2	3	2	2	2.3	2.3	2.5	2.4	2.4
13	2.3	1.9	2.4	1.8	1.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	2.0	1.5	2.1	1.6	1.7	2	2	3	3	2	2.6	2.6	2.7	2.5	2.5
14	2.4	2.1	2.6	2.0	1.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	2.2	1.7	2.3	1.8	1.9	2	3	3	3	2	2.7	2.8	2.9	2.6	2.6
15	2.6	2.3	2.8	2.2	1.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	2.4	1.9	2.5	2.0	2.1	3	3	3	3	3	2.9	2.1	3.0	2.7	2.7

ตารางภาคผนวก ก.2 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
16	2.8	2.5	3.0	2.5	2.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	2.5	2.0	2.7	2.2	2.3	3	3	3	3	3	3.1	2.3	3.2	2.9	2.9
17	3.0	2.7	3.2	2.7	2.1	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	2.6	2.2	2.9	2.4	2.5	3	3	3	3	3	3.4	2.5	3.5	3.1	3.1
18	3.2	2.9	3.4	2.8	2.3	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	2.8	2.4	3.2	2.6	2.7	3	3	3	3	3	3.6	2.6	3.7	3.3	3.3
19	3.4	3.2	3.6	2.9	2.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	3.0	2.5	3.5	2.8	3.0	3	3	3	3	3	3.8	2.8	3.9	3.5	3.5
20	3.6	3.4	3.8	3.2	2.5	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	3.2	2.7	3.6	3.0	3.2	3	3	3	3	3	3.9	3.0	4.2	3.6	3.6
21	3.7	3.6	4.0	3.3	2.7	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	3.5	2.9	3.8	3.1	3.4	3	3	3	3	3	4.2	3.2	4.5	3.7	3.7
22	3.9	3.7	4.2	3.5	2.9	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	3.7	3.1	4.0	3.4	3.6	3	3	4	3	3	4.4	3.4	4.7	3.9	3.9
23	4.2	3.9	4.5	3.7	3.0	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	3.9	3.3	4.2	3.6	3.8	4	3	4	3	3	4.6	3.6	4.9	4.1	4.1
24	4.5	4.1	4.7	3.9	3.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	4.1	3.5	4.5	3.8	3.9	4	4	4	3	3	4.8	3.8	5.2	4.3	4.3
25	4.7	4.3	4.9	4.2	3.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	4.3	3.6	4.7	4.0	4.1	4	4	4	4	3	5.0	4.0	5.4	4.5	4.5
26	4.9	4.5	5.2	4.4	3.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	4.5	3.8	4.9	4.2	4.3	4	4	4	4	3	5.2	4.2	5.6	4.7	4.7
27	5.1	4.6	5.4	4.6	3.7	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	4.8	4.0	5.2	4.4	4.5	4	4	4	4	4	5.4	4.4	5.8	4.9	4.9
28	5.3	4.8	5.6	4.8	3.9	1.4	1.2	1.2	1.4	1.3	5.0	4.2	5.4	4.6	4.7	4	4	4	4	4	5.6	4.6	6.0	5.1	5.1
29	5.5	5.0	5.8	5.0	4.0	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3	5.2	4.4	5.6	4.8	4.9	4	4	4	4	4	5.8	4.8	6.2	5.3	5.2
30	5.7	5.1	6.0	5.2	4.1	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	5.4	4.6	5.7	5.0	5.2	4	4	4	4	4	6.0	5.0	6.4	5.5	5.3

ตารางภาคผนวก ก.3 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 1

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
31	5.9	5.3	6.1	5.4	4.3	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	5.6	4.8	5.9	5.3	5.4	4	4	4	4	4	6.2	5.2	6.6	5.7	5.5
32	6.1	5.5	6.2	5.6	4.5	1.7	1.5	1.5	1.5	1.4	5.8	5.0	6.2	5.5	5.7	4	4	4	4	4	6.4	5.4	6.9	5.9	5.6
33	6.3	5.7	6.3	5.8	4.7	1.8	1.6	1.6	1.5	1.5	6.0	5.2	6.4	5.7	5.9	4	4	4	4	4	6.6	5.7	6.9	6.1	5.8
34	6.5	5.9	6.5	6.1	4.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	6.1	5.4	6.5	5.9	6.0	5	4	5	4	4	6.8	5.9	7.0	6.3	5.9
35	6.7	6.2	6.6	6.2	5.2	1.8	1.8	1.8	1.6	1.5	6.3	5.6	6.6	6.0	6.1	5	4	5	4	4	7.0	6.2	7.1	6.5	6.0
36	6.8	6.4	6.7	6.4	5.4	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	6.4	5.8	6.7	6.2	6.2	5	5	5	4	4	7.2	6.4	7.2	6.7	6.2
37	6.9	6.6	6.8	6.5	5.7	2.0	1.9	1.9	1.7	1.7	6.5	6.0	6.9	6.3	6.3	5	5	5	5	4	7.4	6.7	7.3	6.9	6.4
38	7.0	6.7	6.9	6.7	6.0	2.0	1.9	1.9	1.7	1.7	6.6	6.2	7.0	6.5	6.4	5	5	5	5	5	7.6	6.9	7.6	7.1	6.6
39	7.2	6.9	7.0	6.8	6.1	2.0	2.0	2.0	1.8	1.8	6.7	6.4	7.1	6.7	6.5	5	5	5	5	5	7.7	7.2	7.7	7.2	6.8
40	7.3	7.0	7.2	7.0	6.3	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	6.8	6.5	7.2	6.9	6.6	5	5	5	5	5	7.8	7.3	7.9	7.3	7.0
41	7.5	7.2	7.3	7.1	6.5	2.1	2.0	2.1	1.9	1.8	6.9	6.6	7.3	7.0	6.7	5	5	5	5	5	7.9	7.5	8.0	7.5	7.2
42	7.6	7.4	7.5	7.2	6.8	2.2	2.1	2.1	1.9	1.9	7.0	6.8	7.4	7.1	6.8	5	5	5	5	5	8.2	7.8	8.2	7.8	7.4
43	7.7	7.4	7.6	7.3	6.9	2.2	2.1	2.2	2.0	1.9	7.2	7.0	7.5	7.2	6.9	5	5	5	5	5	8.4	8.2	8.5	8.0	7.6
44	7.8	7.5	7.8	7.4	7.1	2.3	2.2	2.3	2.1	2.0	7.4	7.1	7.6	7.2	7.0	5	5	5	5	5	8.6	8.4	8.6	8.2	7.8
45	7.9	7.6	7.9	7.5	7.3	2.3	2.2	2.4	2.2	2.0	7.5	7.3	7.6	7.3	7.0	5	5	5	5	5	8.7	8.5	8.7	8.3	8.0

ตารางภาคผนวก ก.4 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	2	2	2	0	0	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6
5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0	0.4	0.4	0.5	2	2	2	2	0	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8
6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.6	0.5	0.8	2	2	2	2	2	0.8	0.8	1.0	1.1	1.0
7	0.6	0.7	0.9	0.9	1.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.8	0.6	1.0	2	2	2	2	2	1.1	1.0	1.2	1.3	1.3
8	0.8	0.9	1.1	1.1	1.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	1.3	1.1	1.0	0.8	1.2	2	2	2	2	2	1.4	1.2	1.4	1.5	1.5
9	1.0	1.2	1.3	1.3	1.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	1.6	1.3	1.2	1.0	1.3	2	2	2	2	2	1.8	1.5	1.5	1.7	1.8
10	1.3	1.4	1.5	1.5	1.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	2.0	1.5	1.4	1.2	1.4	2	2	2	2	2	2.2	1.7	1.7	1.9	1.9
11	1.4	1.6	1.8	1.8	2.0	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	2.4	1.7	1.6	1.4	1.5	2	2	2	2	2	2.5	1.9	1.9	2.1	2.1
12	1.6	1.8	2.0	2.0	2.3	0.8	0.8	0.5	0.6	0.6	2.6	1.9	1.8	1.5	1.5	2	2	2	2	2	2.8	2.1	2.1	2.3	2.4
13	1.8	2.1	2.2	2.2	2.5	0.9	0.9	0.6	0.7	0.7	2.8	2.1	2.0	1.8	1.8	3	3	3	2	2	3.0	2.3	2.3	2.5	2.6
14	2.0	2.3	2.4	2.4	2.7	1.0	0.9	0.7	0.8	0.8	3.1	2.4	2.3	2.0	2.0	3	3	3	2	2	3.3	2.5	2.5	2.7	2.8
15	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	1.0	1.0	0.7	0.8	0.9	3.4	2.6	2.5	2.2	2.2	3	3	3	3	2	3.6	2.7	2.8	2.9	3.1

ตารางภาคผนวก ก.5 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
16	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	1.1	1.1	0.8	0.9	1.0	3.7	2.8	2.7	2.4	2.4	3	3	3	3	2	3.9	2.9	3.0	3.1	3.3
17	2.8	2.9	3.1	3.1	3.3	1.2	1.2	0.8	1.0	1.0	3.9	3.0	2.9	2.6	2.6	3	3	3	3	3	4.0	3.2	3.2	3.3	3.5
18	3.0	3.2	3.4	3.3	3.5	1.3	1.3	0.9	1.0	1.1	4.0	3.1	3.1	2.9	2.9	4	3	3	3	3	4.3	3.5	3.5	3.5	3.6
19	3.2	3.5	3.7	3.4	3.7	1.3	1.4	0.9	1.1	1.2	4.1	3.3	3.3	3.2	3.2	4	3	3	3	3	4.5	3.7	3.8	3.7	3.8
20	3.4	3.7	4.0	3.6	3.9	1.4	1.5	1.0	1.1	1.3	4.3	3.5	3.5	3.5	3.5	4	3	3	3	3	4.7	3.9	4.1	3.9	4.0
21	3.6	3.9	4.2	3.8	4.2	1.4	1.5	1.0	1.2	1.4	4.6	3.6	3.7	3.7	3.7	4	3	3	3	3	4.9	4.2	4.4	4.2	4.3
22	3.8	4.1	4.3	4.0	4.5	1.5	1.6	1.1	1.2	1.4	4.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	3	3	3	5.1	4.5	4.6	4.3	4.6
23	4.0	4.2	4.5	4.2	4.7	1.6	1.6	1.2	1.3	1.5	5.0	4.1	4.1	4.2	4.1	4	4	3	3	3	5.3	4.8	4.8	4.5	4.9
24	4.3	4.4	4.7	4.3	4.9	1.7	1.6	1.2	1.4	1.5	5.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4	4	4	3	3	5.5	5.1	5.0	4.6	5.2
25	4.6	4.6	4.8	4.5	5.1	1.8	1.7	1.3	1.4	1.6	5.4	4.6	4.6	4.4	4.5	4	4	4	3	3	5.8	5.4	5.2	4.8	5.5
26	4.9	4.8	5.0	4.8	5.2	1.8	1.7	1.3	1.5	1.6	5.6	4.8	4.8	4.5	4.7	4	4	4	3	3	6.0	5.7	5.5	5.0	5.7
27	5.2	5.0	5.2	5.0	5.3	1.9	1.7	1.4	1.5	1.7	5.9	5.0	5.0	4.7	4.7	4	4	4	4	3	6.2	5.8	5.6	5.2	5.8
28	5.4	5.1	5.4	5.2	5.5	1.9	1.7	1.4	1.6	1.7	6.2	5.2	5.2	4.9	4.9	4	4	4	4	3	6.5	5.9	5.8	5.4	6.0
29	5.6	5.4	5.6	5.4	5.7	1.9	1.8	1.5	1.6	1.8	6.4	5.3	5.4	5.1	5.1	4	4	4	4	4	6.7	6.2	6.0	5.5	6.2
30	5.7	5.7	5.7	5.6	5.9	2.0	1.8	1.5	1.7	1.9	6.4	5.5	5.6	5.3	5.3	4	4	4	4	4	6.9	6.5	6.2	5.7	6.3

ตารางภาคผนวก ก.6 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 2

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
31	5.9	6.0	5.9	5.7	6.2	2.0	1.8	1.6	1.7	1.9	6.5	5.7	5.7	5.4	5.4	4	4	4	4	4	7.1	6.7	6.4	5.9	6.5
32	6.2	6.2	6.1	5.9	6.4	2.1	1.9	1.6	1.8	2.0	6.6	5.9	5.9	5.5	5.5	4	4	4	4	4	7.3	6.9	6.6	6.1	6.8
33	6.4	6.3	6.3	6.1	6.6	2.1	1.9	1.6	1.8	2.0	6.8	6.1	6.2	5.7	5.7	5	4	4	4	4	7.5	7.1	6.8	6.3	7.0
34	6.6	6.5	6.5	6.3	6.7	2.1	1.9	1.7	1.9	2.0	6.8	6.2	6.4	5.9	5.9	5	4	5	4	4	7.6	7.3	7.0	6.6	7.2
35	6.8	6.7	6.7	6.5	6.9	2.2	2.0	1.8	1.9	2.1	6.9	6.3	6.6	6.1	6.0	5	4	5	4	4	7.8	7.4	7.2	6.9	7.3
36	7.0	6.9	6.9	6.7	7.0	2.2	2.0	1.9	1.9	2.1	7.1	6.5	6.8	6.2	6.2	5	5	5	4	4	8.0	7.5	7.4	7.2	7.4
37	7.2	7.1	7.2	6.9	7.2	2.3	2.1	1.9	2.0	2.2	7.3	6.5	6.9	6.4	6.3	5	5	5	5	4	8.2	7.7	7.6	7.4	7.5
38	7.3	7.2	7.3	7.0	7.4	2.3	2.1	2.0	2.0	2.2	7.4	6.8	7.0	6.5	6.5	5	5	5	5	4	8.3	7.9	7.8	7.6	7.7
39	7.5	7.3	7.5	7.2	7.6	2.3	2.1	2.1	2.0	2.3	7.5	7.0	7.2	6.6	6.6	5	5	5	5	5	8.4	8.1	8.0	7.8	7.9
40	7.6	7.4	7.7	7.3	7.7	2.4	2.2	2.2	2.1	2.3	7.7	7.2	7.3	6.8	6.7	5	5	5	5	5	8.5	8.3	8.2	7.9	8.0
41	7.8	7.5	7.9	7.5	7.8	2.4	2.2	2.2	2.1	2.3	7.7	7.3	7.5	7.0	6.9	5	5	5	5	5	8.6	8.4	8.4	8.0	8.1
42	7.8	7.6	8	7.6	7.9	2.4	2.3	2.3	2.1	2.4	7.8	7.5	7.6	7.1	7.1	5	5	5	5	5	8.7	8.5	8.5	8.1	8.2
43	7.9	7.7	8.1	7.7	7.9	2.5	2.3	2.3	2.2	2.4	7.8	7.5	7.6	7.3	7.2	5	5	5	5	5	8.8	8.5	8.6	8.2	8.3
44	8.0	7.9	8.2	7.8	8.0	2.5	2.4	2.4	2.2	2.5	7.9	7.6	7.7	7.4	7.4	5	5	5	5	5	8.9	8.6	8.7	8.3	8.4
45	8.1	8.0	8.2	7.9	8.0	2.5	2.4	2.5	2.3	2.5	7.9	7.7	7.8	7.5	7.6	5	5	5	5	5	9.0	8.7	8.9	8.4	8.5

ตารางภาคผนวก ก.7 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2	2	2	2	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2	2	2	2	2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	2	2	2	2	2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	2	2	2	2	2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
6	1.0	0.7	0.8	0.8	0.7	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	3	3	2	2	2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9
7	1.2	0.9	1.0	1.0	0.9	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	3	3	2	2	3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.0
8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	1.1	1.1	0.9	1.0	1.0	3	3	3	3	3	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3
9	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	1.4	1.3	1.0	1.3	1.2	3	3	3	3	3	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
10	1.8	1.7	1.5	1.6	1.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	1.7	1.6	1.1	1.5	1.4	3	3	3	3	3	2.2	2.2	2.1	1.8	1.8
11	2.0	2.0	1.7	1.8	1.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	2.0	1.9	1.2	1.6	1.6	3	3	3	3	3	2.5	2.6	2.4	2.0	2.1
12	2.2	2.3	1.9	2.0	1.9	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	2.3	2.2	1.4	1.7	1.9	4	4	3	3	3	2.8	2.9	2.5	2.2	2.2
13	2.3	2.7	2.1	2.2	2.1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	2.5	2.4	1.5	1.9	2.1	4	4	3	3	3	3.2	3.3	2.6	2.5	2.4
14	2.4	3.0	2.4	2.4	2.4	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	2.7	2.6	1.7	2.1	2.2	4	4	4	4	4	3.5	3.6	2.9	2.7	2.5
15	2.6	3.2	2.7	2.6	2.3	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	2.9	2.9	1.9	2.3	2.4	4	4	4	4	4	3.7	3.9	3.4	2.9	2.7

ตารางภาคผนวก ก.8 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
16	2.8	3.4	3.0	2.8	2.6	0.9	0.9	0.9	1.1	1.1	3.2	3.2	2.0	2.6	2.6	4	4	4	4	4	3.9	4.2	3.7	3.1	2.9
17	3.0	3.6	3.2	3.0	2.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	3.5	3.4	2.1	2.7	2.8	5	4	4	4	4	4.2	4.5	4.0	3.4	3.2
18	3.3	3.8	3.3	3.3	3.2	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	3.7	3.6	2.2	2.9	3.0	5	4	4	4	4	4.3	4.7	4.2	3.5	3.5
19	3.6	4.0	3.5	3.6	3.4	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	4.0	3.8	2.4	3.2	3.3	5	5	4	4	4	4.5	4.9	4.4	3.7	3.8
20	3.9	4.2	3.6	3.9	3.7	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	4.2	4.0	2.6	3.5	3.4	5	5	4	4	4	4.8	5.2	4.6	4.0	4.1
21	4.0	4.4	3.9	4.2	4.0	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	4.5	4.3	2.8	3.7	3.8	5	5	5	4	4	5.0	5.3	4.8	4.2	4.3
22	4.4	4.6	4.2	4.4	4.2	1.3	1.3	1.3	1.5	1.4	4.7	4.5	3.1	3.9	4.0	5	5	5	4	4	5.2	5.5	5.0	4.5	4.6
23	4.8	4.8	4.3	4.6	4.5	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	4.9	4.7	3.4	4.1	4.2	5	5	5	4	4	5.4	5.8	5.2	4.7	4.8
24	5.1	5.0	4.5	4.8	4.8	1.4	1.5	1.4	1.6	1.6	5.2	4.9	3.6	4.2	4.4	5	5	5	5	4	5.6	6.0	5.4	5.0	5.0
25	5.3	5.3	4.7	5.0	5.0	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	5.4	5.2	3.9	4.5	4.6	5	5	5	5	5	5.8	6.2	5.6	5.2	5.3
26	5.6	5.5	4.9	5.1	5.1	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	5.7	5.5	4.2	4.8	4.8	6	5	5	5	5	6.0	6.5	5.9	5.4	5.5
27	5.8	5.7	5.1	5.3	5.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	5.8	5.7	4.4	5.0	5.0	6	5	5	5	5	6.2	6.7	6.2	5.6	5.7
28	6.1	5.8	5.3	5.5	5.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.9	5.9	5.9	4.6	5.2	5.2	6	5	5	5	5	6.5	6.9	6.5	5.7	5.9
29	6.4	6.1	5.5	5.7	5.7	1.7	1.7	1.7	1.8	2.0	6.2	6.2	4.8	5.4	5.3	6	5	5	5	5	6.8	7.0	6.7	5.9	6.1
30	6.7	6.3	5.8	5.8	5.9	1.7	1.8	1.8	1.8	2.1	6.3	6.4	5.0	5.6	5.4	6	6	5	5	5	6.9	7.2	6.9	6.0	6.3

ตารางภาคผนวก ก.9 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 3

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
31	6.9	6.5	6.0	6.1	6.1	1.8	1.8	1.8	1.8	2.1	6.5	6.6	5.2	5.7	5.7	6	6	5	5	5	7.2	7.3	7.2	6.3	6.5
32	7.0	6.8	6.2	6.4	6.4	1.8	1.9	1.9	1.9	2.2	6.7	6.8	5.4	5.9	5.9	6	6	5	5	5	7.4	7.5	7.3	6.5	6.8
33	7.2	7.1	6.5	6.6	6.6	1.8	1.9	1.9	1.9	2.3	6.8	7.0	5.6	6.1	6.2	6	6	5	5	5	7.6	7.6	7.5	6.7	6.9
34	7.3	7.3	6.7	6.7	6.8	1.9	2.0	2.0	1.9	2.3	7.0	7.2	5.8	6.2	6.4	6	6	6	5	6	7.7	7.8	7.7	6.9	7.1
35	7.4	7.4	6.9	7.0	7.1	1.9	2.0	2.0	2.0	2.3	7.1	7.3	6	6.5	6.5	6	6	6	5	6	7.8	7.9	7.9	7.2	7.3
36	7.5	7.6	7.1	7.2	7.3	1.9	2.1	2.1	2.0	2.4	7.2	7.4	6.3	6.7	6.8	6	6	6	6	6	7.9	8.0	8.0	7.4	7.5
37	7.6	7.8	7.2	7.5	7.6	2.0	2.1	2.1	2.1	2.4	7.3	7.4	6.5	6.9	7.0	6	6	6	6	6	8.0	8.2	8.2	7.7	7.8
38	7.8	8.0	7.4	7.6	7.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.5	7.4	7.5	6.8	7.0	7.2	6	6	6	6	6	8.2	8.3	8.3	7.9	8.0
39	7.9	8.1	7.6	7.9	7.9	2.0	2.3	2.2	2.2	2.5	7.5	7.5	7.0	7.2	7.4	6	6	6	6	6	8.4	8.5	8.5	8.1	8.1
40	8.0	8.2	7.8	8.0	8.0	2.1	2.3	2.3	2.3	2.6	7.5	7.6	7.2	7.4	7.6	6	6	6	6	6	8.6	8.7	8.6	8.3	8.3
41	8.1	8.3	8.0	8.0	8.1	2.2	2.4	2.4	2.3	2.6	7.6	7.7	7.4	7.5	7.8	6	6	6	6	6	8.7	8.9	8.7	8.4	8.5
42	8.3	8.5	8.2	8.1	8.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	7.6	7.8	7.6	7.6	8	6	6	6	6	6	9.0	9.2	8.9	8.5	8.7
43	8.4	8.6	8.3	8.1	8.3	2.3	2.5	2.5	2.4	2.7	7.8	7.9	7.7	7.8	8.1	6	6	6	6	6	9.2	9.4	9.2	8.6	8.8
44	8.5	8.8	8.4	8.2	8.4	2.4	2.6	2.6	2.5	2.7	7.9	8.0	7.9	7.9	8.2	6	6	6	6	6	9.4	9.6	9.4	8.7	8.9
45	8.6	8.9	8.5	8.2	8.5	2.5	2.7	2.6	2.5	2.7	8.0	8.2	8.1	7.9	8.3	6	6	6	6	6	9.5	9.8	9.6	8.8	9.0

ตารางภาคผนวก ก.10 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	2	2	2	2	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	2	2	2	2	2	0.9	0.9	0.9	0.4	0.4
4	0.6	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	3	3	3	3	2	1.6	1.5	1.5	0.6	0.6
5	0.8	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2	0.9	0.8	0.8	0.5	0.6	3	3	3	3	2	2.0	2.0	2.0	0.8	0.8
6	1.1	0.8	0.7	0.9	0.6	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	1.2	1.1	1.0	0.6	0.8	3	3	3	3	3	2.5	2.5	2.5	1.0	1.0
7	1.5	1.0	0.9	1.1	0.7	0.9	0.6	0.6	0.3	0.3	1.4	1.3	1.4	0.8	1.0	4	3	3	3	3	3.0	3.0	3.0	1.2	1.2
8	1.8	1.2	1.0	1.4	0.9	1.0	0.7	0.7	0.3	0.3	1.6	1.5	1.6	1.0	1.1	4	3	3	3	3	3.2	3.2	3.2	1.4	1.4
9	2.3	1.3	1.2	1.6	1.1	1.1	0.8	0.8	0.4	0.4	1.8	1.7	1.8	1.2	1.3	4	3	3	3	3	3.5	3.6	3.4	1.6	1.6
10	2.5	1.5	1.4	1.8	1.1	1.2	0.9	0.9	0.4	0.4	2	1.9	2.1	1.5	1.5	5	3	3	3	3	3.8	3.9	3.7	2.0	2.0
11	2.8	1.6	1.6	2.0	1.3	1.3	1.0	1.0	0.5	0.5	2.3	2.2	2.5	1.6	1.6	5	4	4	4	3	4.2	4.3	4.0	2.4	2.4
12	3.0	1.8	1.8	2.1	1.5	1.4	1.2	1.1	0.5	0.5	2.6	2.5	2.7	1.8	1.8	5	4	4	4	3	4.4	4.5	4.3	2.7	2.6
13	3.4	2.0	2.1	2.2	1.8	1.5	1.3	1.3	0.6	0.6	2.9	2.8	2.9	2.0	2.0	5	4	4	4	3	4.5	4.7	4.6	2.9	2.8
14	3.8	2.4	2.4	2.3	2.0	1.5	1.4	1.5	0.7	0.6	3.2	3.1	3.2	2.1	2.2	5	4	4	4	4	4.7	4.8	4.8	3.2	3.2
15	4.0	2.6	2.6	2.5	2.3	1.5	1.5	1.7	0.8	0.7	3.5	3.4	3.5	2.3	2.3	5	4	4	4	4	4.9	5.0	4.9	3.5	3.4

ตารางภาคผนวก ก.11 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
16	4.2	2.9	2.8	2.7	2.6	1.5	1.5	1.7	0.9	0.8	3.8	3.6	3.8	2.5	2.4	5	4	4	4	4	5.1	5.2	5.1	3.6	3.6
17	4.3	3.2	3.1	2.9	2.8	1.6	1.6	1.8	1.0	0.9	4.0	3.9	4.0	2.8	2.7	5	4	5	5	4	5.3	5.4	5.3	3.8	3.8
18	4.5	3.6	3.5	3.2	3.1	1.6	1.6	1.8	1.1	1.0	4.2	4.2	4.2	3.0	2.9	6	4	5	5	4	5.5	5.6	5.5	4.0	4.0
19	4.7	4.0	3.9	3.5	3.3	1.6	1.7	1.9	1.2	1.1	4.4	4.4	4.5	3.4	3.2	6	5	5	5	4	5.7	5.8	5.7	4.2	4.2
20	4.7	4.2	4.3	3.7	3.5	1.7	1.7	1.9	1.3	1.2	4.6	4.6	4.6	3.7	3.4	6	5	5	5	4	5.8	6.0	6.0	4.4	4.4
21	4.8	4.4	4.5	3.8	3.7	1.8	1.8	2.0	1.4	1.3	4.8	4.7	4.7	4.0	3.6	6	5	5	5	5	6.0	6.2	6.2	4.7	4.6
22	4.9	4.6	4.7	4.3	4.0	1.8	1.8	2.0	1.5	1.4	5.0	4.9	4.9	4.2	3.9	6	5	6	5	5	6.1	6.3	6.3	4.9	4.8
23	4.9	4.9	4.9	4.5	4.3	1.8	1.9	2.1	1.6	1.5	5.1	5.0	5.0	4.4	4.2	6	5	6	5	5	6.2	6.5	6.5	5.3	5.2
24	5.0	5.1	5.1	4.8	4.6	1.8	1.9	2.1	1.7	1.6	5.2	5.1	5.2	4.7	4.5	6	5	6	5	5	6.3	6.7	6.7	5.7	5.6
25	5.1	5.3	5.3	5.1	4.9	1.9	2.0	2.2	1.8	1.7	5.4	5.2	5.4	5.0	4.7	6	6	6	5	5	6.4	6.9	6.9	5.9	5.8
26	5.2	5.5	5.5	5.3	5.2	1.9	2.0	2.2	1.8	1.7	5.5	5.4	5.6	5.2	4.9	6	6	6	5	5	6.5	7.0	7.1	6.2	6.2
27	5.4	5.6	5.7	5.6	5.6	2.0	2.1	2.3	1.8	1.7	5.6	5.5	5.8	5.4	5.3	6	6	6	5	5	6.6	7.2	7.3	6.4	6.4
28	5.5	5.7	5.9	5.8	5.8	2.0	2.1	2.3	1.9	1.8	5.7	5.6	6.0	5.6	5.7	6	6	6	5	5	6.8	7.4	7.5	6.6	6.6
29	5.7	5.8	6.1	6.0	6.1	2.1	2.2	2.4	1.9	1.8	5.9	5.7	6.1	5.8	5.9	6	6	6	6	5	7.0	7.6	7.7	6.8	6.8
30	5.8	5.9	6.3	6.2	6.4	2.1	2.2	2.4	1.9	1.9	6.1	5.9	6.3	6.0	6.2	6	6	6	6	5	7.1	7.8	7.9	6.9	7.0

ตารางภาคผนวก ก.12 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอสในชุดการทดลองที่ 4

วันที่	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					ความกว้างใบ (เซนติเมตร)					ความยาวราก (เซนติเมตร)					จำนวนใบ (ใบ)					ความสูง (เซนติเมตร)				
	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5	ต้น 1	ต้น 2	ต้น 3	ต้น 4	ต้น 5
31	6.0	6.0	6.5	6.5	6.7	2.2	2.2	2.5	2.0	1.9	6.3	6.1	6.4	6.2	6.5	6	6	6	6	5	7.2	7.9	8.1	7.3	7.3
32	6.2	6.2	6.6	6.7	6.9	2.2	2.3	2.5	2.0	2.0	6.5	6.3	6.5	6.3	6.7	6	6	6	6	5	7.4	8.0	8.3	7.5	7.5
33	6.4	6.4	6.7	6.9	7.0	2.3	2.3	2.5	2.0	2.0	6.7	6.4	6.6	6.5	6.9	6	6	6	6	5	7.6	8.2	8.5	7.7	7.7
34	6.6	6.6	6.9	7.2	7.2	2.3	2.3	2.6	2.1	2.1	6.9	6.5	6.8	6.7	7.1	6	6	6	6	6	7.7	8.4	8.7	7.9	7.9
35	6.9	6.8	7.0	7.4	7.5	2.4	2.4	2.6	2.1	2.1	7.2	6.6	7.0	6.9	7.3	6	6	6	6	6	7.8	8.6	8.9	8.1	8.1
36	7.2	7.0	7.2	7.4	7.6	2.4	2.4	2.6	2.2	2.2	7.4	6.8	7.1	7.2	7.5	6	6	6	6	6	8.0	8.8	9.1	8.3	8.3
37	7.4	7.2	7.4	7.6	7.7	2.4	2.4	2.7	2.2	2.2	7.5	6.9	7.2	7.3	7.7	6	6	6	6	6	8.2	9.0	9.3	8.5	8.5
38	7.6	7.4	7.6	7.8	7.8	2.4	2.5	2.7	2.3	2.3	7.6	7.0	7.4	7.4	7.8	6	6	6	6	6	8.5	9.2	9.5	8.7	8.7
39	7.8	7.6	7.8	8.0	8.0	2.5	2.5	2.7	2.4	2.3	7.8	7.2	7.6	7.7	7.9	6	6	6	6	6	8.7	9.3	9.7	8.9	8.9
40	8.0	7.8	8.0	8.2	8.1	2.5	2.6	2.8	2.4	2.4	7.9	7.3	7.8	7.8	8.1	6	6	6	6	6	9.0	9.4	10	9.1	9.1
41	8.2	8.0	8.2	8.4	8.3	2.5	2.6	2.8	2.4	2.4	8.1	7.5	8.0	7.9	8.2	6	6	6	6	6	9.4	9.6	10.2	9.3	9.3
42	8.4	8.2	8.4	8.5	8.4	2.6	2.7	2.9	2.5	2.4	8.2	7.6	8.2	8.1	8.2	6	6	6	6	6	9.7	9.8	10.4	9.5	9.5
43	8.6	8.4	8.6	8.6	8.4	2.6	2.7	2.9	2.5	2.5	8.4	7.8	8.4	8.2	8.3	6	6	6	6	6	9.9	10.0	10.6	9.8	9.7
44	8.8	8.6	8.8	8.7	8.5	2.7	2.8	3.0	2.5	2.5	8.5	8.0	8.5	8.3	8.3	6	6	6	6	6	10.3	10.2	10.8	10.0	10.1
45	9.0	8.8	9.0	8.8	8.6	2.7	2.8	3.0	2.6	2.5	8.6	8.2	8.7	8.5	8.4	6	6	6	6	6	10.5	10.4	11.0	10.4	10.2

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหาร

ตารางภาคผนวก ข.1 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารของผักสลัดกรีนคอส

วันที่	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนนติเมตร)		ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		pH		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย A,B	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง
1	1,462	841	782	488	9.0	7.2	29.0	29.0
2	1,587	899	759	471	7.3	7.5	29.0	30.0
3	1,591	954	800	433	8.3	7.8	28.0	29.0
4	1,342	920	782	498	8.4	8.1	29.0	30.0
5	1,519	879	812	483	8.0	8.4	30.0	30.0
6	1,584	730	762	398	8.4	8.1	30.0	29.0
7	1,484	833	698	461	8.2	7.9	29.8	29.8
8	1,598	783	712	345	8.3	8.2	30.0	30.0
9	1,588	709	709	343	7.8	7.8	28.8	28.8
10	1,474	923	673	472	7.8	7.3	29.0	29.0
11	1,509	890	700	466	8.0	8.1	29.3	29.3
12	1,584	880	712	468	8.4	7.9	30.0	30.0
13	1,492	910	672	432	7.8	7.3	28.8	28.8
14	1,457	990	798	498	7.8	7.8	29.0	29.0
15	1,412	798	782	392	8.2	8.2	30.1	30.1
16	1,560	890	792	487	8.0	8.1	30.0	29.0
17	1,458	932	601	494	8.4	7.9	29.0	30.0
18	1,382	910	583	478	9.0	8.2	28.0	28.0
19	1,322	898	600	492	9.1	7.8	29.0	30.0
20	1,422	834	598	409	8.3	7.3	28.0	29.0
21	1,411	709	591	387	7.8	8.1	30.0	30.0
22	1,386	732	518	384	8.0	7.9	29.0	29.0
23	1,398	822	520	433	8.4	7.8	29.0	29.0

ตารางภาคผนวก ข.2 การวิเคราะห์สารละลายธาตุอาหารของผักสลัดกรีนคอส

วันที่	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนนติเมตร)		ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		pH		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง	ปุ๋ย AB	ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง
24	1,472	923	701	502	7.8	8.2	30.0	30.0
25	1,415	808	761	411	7.8	8.0	29.0	29.0
26	1,398	913	672	498	8.2	8.4	29.0	30.0
27	1,377	923	698	487	8.0	9.0	28.0	29.0
28	1,487	798	700	398	8.4	9.1	30.0	30.0
29	1,410	723	709	399	9.0	8.3	28.0	29.0
30	1,522	832	761	410	9.1	8.4	30.0	30.0
31	1,501	923	782	475	8.3	8.0	29.0	29.0
32	1,483	978	689	488	7.8	8.4	29.0	29.0
33	1,426	879	699	467	7.9	8.2	28.0	28.0
34	1,374	821	687	454	7.6	8.3	28.0	30.0
35	1,316	710	619	388	7.7	7.8	29.0	30.0
36	1,466	900	712	497	7.7	8.3	29.0	29.0
37	1,382	938	672	476	8.2	8.1	29.0	28.0
38	1,322	956	678	410	8.0	7.9	28.0	29.0
39	1,422	811	732	398	8.4	8.2	29.0	29.0
40	1,411	809	762	399	9.0	7.8	28.0	28.0
41	1,386	823	666	387	9.1	7.3	28.0	29.0
42	1,398	899	672	445	8.3	8.1	29.0	29.0
43	1,472	921	728	478	7.8	7.9	29.0	28.0
44	1,415	931	713	498	8.0	7.8	30.0	30.0
45	1,474	932	722	480	8.4	8.2	28.0	30.0

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (T-Test)

1. การวิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนคอส

ตาราง ค.1 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 2***
Mean	4.628571429	5.002857143
Variance	6.815314286	7.54392381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999228449	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-5.759517001*	
P(T<=t) one-tail	0.000597066	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.001194133	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.2 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	4.628571429	5.317142857
Variance	6.815314286	8.41512381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999569154	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-6.046452576*	
P(T<=t) one-tail	0.000463124	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000926247	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.3 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	4.628571429	5.42
Variance	6.815314286	8.682133333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999701101	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-6.109963787*	
P(T<=t) one-tail	0.000438339	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000876679	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.4 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	5.002857143	5.317142857
Variance	7.54392381	8.41512381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999864145	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-5.160661631*	
P(T<=t) one-tail	0.001046688	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.002093376	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.5 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	5.002857143	5.42
Variance	7.54392381	8.682133333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999492141	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-5.027513235*	
P(T<=t) one-tail	0.001193097	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.002386195	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.6 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 3	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	5.317142857	5.42
Variance	8.41512381	8.682133333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.99947127	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-2.580219806*	
P(T<=t) one-tail	0.020878557	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.041757114	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.7 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 2***
Mean	1.314285714	1.548571429
Variance	0.510761905	0.616380952
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.99162127	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-5.172360742*	
P(T<=t) one-tail	0.00103483	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.00206966	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.8 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	1.314285714	1.637142857
Variance	0.510761905	0.60832381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.997551507	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-10.21659173*	
P(T<=t) one-tail	2.56257E-05	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	5.12513E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.9 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	1.314285714	1.817142857
Variance	0.510761905	0.568190476
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.972408509	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-7.525216597*	
P(T<=t) one-tail	0.000142628	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000285256	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.10 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	1.548571429	1.637142857
Variance	0.616380952	0.60832381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.996444414	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-3.540449492*	
P(T<=t) one-tail	0.006106129	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.012212258	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.11 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	1.548571429	1.817142857
Variance	0.616380952	0.568190476
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.993860229	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-7.824282685*	
P(T<=t) one-tail	0.000115051	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000230103	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.12 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความกว้างใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 3	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	1.637142857	1.817142857
Variance	0.60832381	0.568190476
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.982665896	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-3.281131327*	
P(T<=t) one-tail	0.008399409	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.016798817	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.13 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 2***
Mean	5.14	5.525714286
Variance	7.189733333	8.252361905
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.996095107	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-3.280669943*	
P(T<=t) one-tail	0.008404252	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.016808504	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.14 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	5.14	5.831428571
Variance	7.189733333	8.978514286
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.995913972	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-4.504713786*	
P(T<=t) one-tail	0.002041696	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.004083392	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.15 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	5.14	6.788571429
Variance	7.189733333	8.990914286
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999339716	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-13.08101952*	
P(T<=t) one-tail	6.15344E-06	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	1.23069E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.16 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	5.525714286	5.831428571
Variance	8.252361905	8.978514286
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.998846732	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-4.313487628*	
P(T<=t) one-tail	0.002509132	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.005018264	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.17 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	5.525714286	6.788571429
Variance	8.252361905	8.990914286
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.996286936	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-11.82844668*	
P(T<=t) one-tail	1.1036E-05	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	2.20721E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.18 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความสูงของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 3	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	5.831428571	6.788571429
Variance	8.978514286	8.990914286
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.997229394	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-11.34887056*	
P(T<=t) one-tail	1.40159E-05	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	2.80317E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.19 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	3.714285714	4.714285714
Variance	1.238095238	2.238095238
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.944013787	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-4.582575695*	
P(T<=t) one-tail	0.001880154	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.003760309	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.20 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	3.714285714	5
Variance	1.238095238	1.333333333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.908030413	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-6.971370023*	
P(T<=t) one-tail	0.000216501	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000433002	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.21 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	3.714285714	4.714285714
Variance	1.238095238	2.238095238
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.944013787	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-4.582575695*	
P(T<=t) one-tail	0.001880154	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.003760309	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.22 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	3.714285714	5
Variance	1.238095238	1.333333333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.908030413	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-6.971370023*	
P(T<=t) one-tail	0.000216501	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000433002	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.23 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของจำนวนใบของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 3	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	4.714285714	5
Variance	2.238095238	1.333333333
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.964806231	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-1.549193338*	
P(T<=t) one-tail	0.086154148	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.172308297	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.24 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 2

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 2***
Mean	4.471428571	4.834285714
Variance	6.516247619	6.751961905
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.998716288	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-6.942205925*	
P(T<=t) one-tail	0.000221476	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000442951	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.25 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	4.471428571	4.965714286
Variance	6.516247619	7.720761905
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999766194	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-5.608926462*	
P(T<=t) one-tail	0.000684789	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.001369577	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.26 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 1 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 1	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	4.471428571	5.365714286
Variance	6.516247619	7.512628571
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.998942322	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-10.55722798*	
P(T<=t) one-tail	2.12402E-05	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	4.24804E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.27 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 3

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 3***
Mean	4.834285714	4.965714286
Variance	6.751961905	7.720761905
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999507007	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-1.747815906*	
P(T<=t) one-tail	0.065542974	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.131085947	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.28 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 2 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 2	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	4.834285714	5.365714286
Variance	6.751961905	7.512628571
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999731937	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-9.054338333*	
P(T<=t) one-tail	5.0879E-05	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.000101758	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.29 วิเคราะห์ค่า T-Test ของการเจริญเติบโตของความยาวรากของผักสลัดกรีนคอส ชุดการทดลองที่ 3 และ 4

	ชุดการทดลองที่ 3	***ชุดการทดลองที่ 4***
Mean	4.965714286	5.365714286
Variance	7.720761905	7.512628571
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.999620661	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-12.47219129*	
P(T<=t) one-tail	8.11804E-06	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	1.62361E-05	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

2. การวิเคราะห์ค่า T-Test ของสารละลายธาตุอาหาร

ตาราง ค.30 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร

	ปุ๋ย AB	***ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง***
Mean	1456.042857	865.3285714
Variance	2418.91619	571.232381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.383145839	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	34.19143138*	
P(T<=t) one-tail	2.08417E-08	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	4.16835E-08	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.31 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายธาตุอาหาร

	ปุ๋ย AB	***ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง***
Mean	8.142857143	7.971428571
Variance	0.032857143	0.045714286
Observations	7	7
Pearson Correlation	-0.049147319	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	1.580224613*	
P(T<=t) one-tail	0.082568624	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.165137248	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.32 วิเคราะห์ค่า T-Test ของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของสารละลายธาตุอาหาร

	ปุ๋ย AB	***ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง***
Mean	701.2714286	443.7428571
Variance	1717.535714	118.0561905
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.353604581	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	17.49289727*	
P(T<=t) one-tail	1.11934E-06	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	2.23867E-06	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง ค.33 วิเคราะห์ค่า T-Test ของอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

	ปุ๋ย AB	***ฮอร์โมนนมถั่วเหลือง***
Mean	28.95714286	29.11428571
Variance	0.082857143	0.088095238
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.905717746	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	-3.267486892*	
P(T<=t) one-tail	0.008543939	
t Critical one-tail	1.943180281	
P(T<=t) two-tail	0.017087879	
t Critical two-tail	2.446911851*	

*นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ภาคผนวก ง
ข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน

1. วิธีการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในระบบ

การคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในระบบสามารถคำนวณได้โดยการนำกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้นมาคำนวณ

<u>วิธีคำนวณ</u>

ปั๊มน้ำ	ขนาด 4.2 วัตต์	จำนวน 1 ตัว
หลอดไฟ LED	ขนาด 3 วัตต์	จำนวน 12 หลอด
บอร์ดอาดุยโน่	ขนาด 1.44 วัตต์	จำนวน 1 ชิ้น

สูตรการคำนวณ

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1{,}000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน}$$

1. จำนวนการใช้ไฟฟ้าของปั๊มน้ำ

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{4.2 \times 1}{1{,}000} \times 24$$

$$= 0.1008 \text{ ยูนิตต่อวัน}$$

คิดเป็นรายเดือน = 3.024 ยูนิตต่อเดือน

คิดเป็นค่าไฟฟ้า = 10.96 บาทต่อเดือน

2. จำนวนการใช้ไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{3 \times 12}{1{,}000} \times 18$$

$$= 0.648 \text{ ยูนิตต่อวัน}$$

คิดเป็นรายเดือน = 19.44 ยูนิตต่อเดือน

คิดเป็นค่าไฟฟ้า = 70.44 บาทต่อเดือน

3. จำนวนการใช้ไฟฟ้าของบอร์ดอาดุยโน่

$$\text{จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)} = \frac{1.44 \times 1}{1{,}000} \times 24$$

$$= 0.0346 \text{ ยูนิตต่อวัน}$$

คิดเป็นรายเดือน = 1.04 ยูนิตต่อเดือน

คิดเป็นค่าไฟฟ้า = 3.76 บาทต่อเดือน

4. รวมอัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด

$$= 10.96 + 70.44 + 3.76$$

$$= 85.16$$

$$\approx 85 \text{ บาทต่อเดือน}$$

2. วิธีการคำนวณค่าแรงงาน

การคำนวณค่าแรงงานสามารถคำนวณได้โดยการนำค่าแรงงานขั้นต่ำมาคำนวณ

<u>วิธีคำนวณ</u>

ค่าแรงงานขั้นต่ำชั่วโมงละ 37.50 บาท

คิดจากการระยะเวลาในการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร

ระยะเวลาในการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหาร AB 15 วัน วันละ 1ชั่วโมง

= 15 × 37.50

= 562.50 บาท

ระยะเวลาในการเปลี่ยนฮอร์โมนนมถั่วเหลือง 45 วัน วันละ 1ชั่วโมง

= 45 × 37.50

= 1,687.50 บาท

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาววราภรณ์ วุฒิวงค์

วัน เดือน ปีเกิด 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2562
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนสอาดเผดิมวิทยา	2558

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นายวุฒิชัย ทาร่อน

วัน เดือน ปีเกิด 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2562
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนแวงใหญ่วิทยาคม	2558

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นายธันวา มาอ่อง

วัน เดือน ปีเกิด 2 ธันวาคม พ.ศ. 2537

ภูมิลำเนา เขตตลิ่งชัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2562
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนสุวรรณพลับพิทยาคม	2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร