



วิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้

A Research and Development of Environmental-Controlled Plant Growth Chamber

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนุพันธ์ กุศลสถิตย์

นายสุริยา อติเรก

นางสาวอิสรี ศรีคุณ

นายนพต ชุ่มอินทร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

2561

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัย คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัย หวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อย ต่อการปลูกพืชไม้ใช้ดิน สำหรับผู้ที่สนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนุพันธุ์ กุศลสถิตย์
นายสุรียา อติเรก
นางสาวอิสรี ศรีคุณ
นายนพดล ชุ่มอินทร์

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) วิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้
(ภาษาอังกฤษ) A Research and Development of Environmental-
Controlled Plant Growth Chamber

ชื่อผู้วิจัย นายทัศนพันธ์ุ กุศลสถิตย์¹ นายสุรียา อติเรก² นางสาวอิสรี ศรีคุณ³ และ
นายนพดล ชุ่มอินทร์⁴

หน่วยงานที่สังกัด มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ หมายเลขโทรศัพท์ 081-886-4521
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท การวิจัยประยุกต์ ประจำปี 2555 จำนวนเงิน 499,500 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึง กันยายน พ.ศ. 2555

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบ พัฒนา และทดสอบตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้ เพื่อใช้ปลูกพืช โครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชทำด้วยอะลูมิเนียม 69 x 188 x 157 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ชุดควบคุมและระบบการปลูกพืชของตู้เพาะเลี้ยงพืช ชุดควบคุมประกอบด้วย ควบคุมความชื้นชั้นหรือการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ความเป็นกรด ด่าง (pH) ของสารละลายอาหาร ควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง และพัดลมระบายอุณหภูมิ ส่วนระบบการปลูกพืชของตู้เพาะเลี้ยงพืช แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ขนาดเท่าๆกัน โดยชั้นล่างเป็นถังพักสารละลายอาหาร ถัดขึ้นไป 2 ชั้น ใช้สำหรับปลูกเพาะเลี้ยงพืชระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินแบบปลูกในสารละลาย โดยรากพืชแช่ในสารละลายอาหารที่ไหลหมุนเวียน เมื่อทดสอบการเจริญเติบโตของพืชผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม พบว่า ผักสลัดสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยการเจริญเติบโตจะตอบสนองต่อความเข้มแสง คือ ผักสลัดมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ ความกว้างใบและน้ำหนักสด เพิ่มมากขึ้นจากภายใต้แสง LED ความเข้มแสง 600, 800 ลักซ์ และแสงหลอด Fluorescent 60 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งผักสลัดปลูกภายใต้แสงหลอด Fluorescent มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับการปลูกในแปลงปกติ

คำสำคัญ : ตู้เพาะเลี้ยงพืช ควบคุมการนำไฟฟ้าสารละลายอาหาร ความเป็นกรดต่าง สารละลายอาหาร ควบคุมแสงสว่าง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 08-1886-4521

² อาจารย์ สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 08-5874-6069

³ อาจารย์ สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร โทรศัพท์ 08-1822-1978

⁴ อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 086-1147797

Abstract

Title (ภาษาไทย) วิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้
(ภาษาอังกฤษ) **A Research and Development of Environmental-
Controlled Plant Growth Chamber**

Researchers Thassanupan Gusolsatit¹, Suriya Adirek², Isaree Srikun³ and Noppadol Chumin⁴

The main objectives aim to design and develop of plant growth chamber which controlled environmental and tested plant growth chamber, to provide a general overview of greenhouse production. Aluminum is used mainly to build and frame growth chamber structures, 69 x 188 x 157 cm. (width x length x high), consistently a control system and plant growth system. The control system were electrical conductivity (EC) and pH of nutrient solution, arrays of light emitting diodes (LEDs). The plant growth system is separated into 3 trays, nutrient solution tank, two growing areas trays. Approximately 50 L of nutrient solution is sufficient to prime the system (given above-listed tray size), and provide nutrient solution for plants growth, hydroponics system. A small (1/50 h.p.) pump is used to pump the solution to the growing tray. Lettuce plants were grown under these conditions for 45 days. Shoot fresh mass and number of leaves per plant were determined at the final harvest. Concerning the growth of plant is responded to intensity of light, LEDs (600, 800 lux) and Fluorescent (60 w) same as field growth.

Key words: Plant Growth Chamber, electrical conductivity, nutrient solution, pH, lighting controlled

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 08-1886-4521

² อาจารย์ สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 08-5874-6069

³ อาจารย์ สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร โทรศัพท์ 08-1822-1978

⁴ อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โทรศัพท์ 086-1147797

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาคผนวก	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	36
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	48
ประวัติผู้วิจัย	56

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงจำนวนปริมาณการปลูกพืชไร่ดินด้วยระบบต่างๆ	11
4.1	ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค	31
4.2	ค่าเฉลี่ยของจำนวนใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค	33
4.3	ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค	34
4.4	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค	34
5.1	ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อตู้เพาะเลี้ยงพืช	43

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความยาวคลื่นแสงและประสิทธิภาพ	6
2.2	หลอดไฟเปล่งแสง	7
2.3	เซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ	8
2.4	เซนเซอร์วัดความชื้นแบบความต้านทาน	9
2.5	เซนเซอร์วัดความชื้นด้วยการนำความร้อน	10
2.6	ระบบปลูกพืชในน้ำ แบบ DFT	11
2.7	ระบบปลูกพืชในน้ำ แบบ NFT	12
2.8	ระบบปลูกในวัสดุปลูกแทนดิน	12
2.9	ระบบปลูกในวัสดุปลูกแทนดิน ให้สารละลาย แบบท่วมและระบายออก	13
2.10	ระบบปลูกในอากาศ	14
3.1	กรอบแนวคิดการพัฒนาตู้ปลูกพืช	19
4.1	การออกแบบชุดควบคุมความเข้มข้นหรือการนำไฟฟ้า	22
4.2	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืช	23
4.3	ตู้เพาะเลี้ยงพืชเป็นการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน	24
4.4	ออกแบบโครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช	25
4.5	โครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชทำด้วยอะลูมิเนียม	26
4.6	ติดตั้งแผงหลอดแอลอีดีกับโครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช	26
4.7	ทดลองจ่ายไฟให้กับแผงวงจร	27
4.8	กล่องควบคุม (Control box)	27
4.9	ออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งกล่องควบคุม	28
4.10	ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์จริง	29
4.11	ตำแหน่งท่อน้ำไหลเวียน	29
4.12	ตำแหน่งปั้มน้ำ	30
4.13	ตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม	30
4.14	ต้นกล้าผักสลัดกรีนโอ๊คปลูกในตู้เพาะเลี้ยงพืชภายใต้แสงจากหลอด LED	31
4.15	ผักสลัดกรีนโอ๊คปลูกในตู้เพาะเลี้ยงพืช ภายใต้หลอดไฟ Fluorescent	35

สารบัญภาคผนวก

ตาราง ภาคผนวกที่		หน้า
1	สูตรสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น	49
2	ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก	50
3	ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก	50
4	ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก	50
5	ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก	51
6	ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	51
7	ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	51
8	ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก	52
9	ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก	52
10	ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก	52
11	ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก	53
12	ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก	53
13	ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก	53
14	ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	54
15	ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	54
16	ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก	54
17	ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	55
18	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก	55
19	ความแปรปรวนของน้ำหนักสดของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก	55

บทที่ 1

บทนำ

จากการผลักดันนโยบายครัวของโลก (Kitchen of the world) ตั้งแต่ปี 2541 เป็นต้นมาในปี 2548 รัฐบาลได้กำหนดเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาประเทศไทยประการหนึ่ง คือ การเป็นครัวของโลกเนื่องจากไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารที่อุดมสมบูรณ์ อีกทั้งอาหารไทยยังมีชื่อเสียงระดับโลกและเป็นที่ยอมรับของต่างชาติ ในปี 2551 ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอาหารอันดับที่ 13 ของโลก ส่งออกอาหารมูลค่า 23,864 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 8 แสนล้านบาท (ร้อยละ 2.4 ของมูลค่าการส่งออกอาหารโลก) ภาคเกษตรเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญของประเทศ โดยในปี 2552 ประเทศมีรายได้จากภาคเกษตร 9% และภาคอุตสาหกรรมอาหาร 13% ของ GDP รวม (สถาบันอาหาร, 2553) พร้อมกับนี้ทั้งผลักดันเพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันทั้งภายในประเทศและเวทีโลก ภาคการผลิตจะต้องได้รับการพัฒนาซึ่งควรมีลักษณะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพิ่มผลผลิต เพิ่มคุณภาพ เพิ่มความปลอดภัยของผู้ผลิต ผู้บริโภคและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมกับรวมให้เกิดความเชื่อมั่นในคุณภาพ

การผลิตพืชในโรงเรือนเพื่อควบคุมปริมาณและคุณภาพของผลผลิต จึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะผลักดันให้ประเทศไทยก้าวสู่เวทีโลกได้ แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางด้านนี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูง นอกจากนี้ยังต้องปรับให้เหมาะสมทั้งทางด้านสภาพแวดล้อมและจุดคุ้มทุนของประเทศไทยด้วย จากการศึกษาคณะกรรมาธิการ (2547) โดยศึกษาสถานภาพของการใช้โรงเรือนสำหรับผลิตพืชสวนในสภาพควบคุมเพื่อการค้าในประเทศไทย จำนวน 86 แห่ง ในพื้นที่ 13 จังหวัด พบว่าแนวโน้มการผลิตพืชผักและกล้วยไม้ภายในโรงเรือนมีบทบาทมากขึ้น เริ่มมีการนำเข้าจากต่างประเทศมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโรงเรือนจึงเป็นสิ่งที่ควรเร่งดำเนินการ โดยมีประเด็นหนึ่งในหลายประเด็นที่น่านำไปประกอบการวิจัยและพัฒนา ได้แก่ สภาพแวดล้อมในโรงเรือนได้แก่ แสง อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ รวมทั้งได้เสนอเชิงนโยบายสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการเรียนการสอน ทางด้านการสร้างเทคโนโลยีระบบโรงเรือนผลิตพืชสวน และการบริหารโรงเรือนผลิตพืชสวนในระดับอุดมศึกษา ซึ่งอนาคตอันใกล้ การผลิตพืชสวนในโรงเรือนจะมีบทบาทมากขึ้น ดังนั้นการผลิตบุคลากรขึ้นมารองรับจึงนับว่ามีความสำคัญยิ่ง

ในต่างประเทศนั้นมีการศึกษาและวิจัยมากมายเกี่ยวกับผู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และได้สร้างผู้ออกมาจำหน่ายมากมายหลายบริษัทเช่นเดียวกัน แต่มีราคาสูงมากทำให้สถาบันการศึกษาทั้งในระดับมัธยมศึกษา และอุดมศึกษา มีผู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอแก่นักเรียน นักศึกษาที่จะใช้ในการเรียนรู้เกี่ยวกับเรื่อง การเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในหลักสูตรการศึกษาปัจจุบันได้บรรจุหลักสูตรการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืชไว้กระทรวงศึกษาธิการ (2551) กล่าวว่า ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นระดับการศึกษาที่มุ่งเน้นการเพิ่มพูนความรู้และทักษะเฉพาะด้าน สนองตอบความสามารถ ความถนัด และความสนใจของผู้เรียนแต่ละคน ทั้งด้านวิชาการ และวิชาชีพ มีทักษะในการใช้วิทยาการและเทคโนโลยี ทักษะกระบวนการคิดขั้นสูง สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาต่อ และการประกอบอาชีพ มุ่งพัฒนาตนเองและประเทศตามบทบาทของตน สามารถเป็นผู้นำ และผู้ให้บริการชุมชนในด้านต่าง ๆ

ด้วย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ได้ เปิดหลักสูตรและผลิตบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช ได้เห็นความสำคัญนี้ ดังนั้นจึงศึกษาและหาแนวทางเพื่อสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อม (Growth Chamber) เป็นการจำลองเพื่อการศึกษาวิจัยด้านสภาพแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของพืชในโรงเรือน ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เพาะเลี้ยงพืช โดยระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน และส่วนที่ 2 ควบคุมสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสง (ทั้งชนิด และปริมาณของแสง) ความชื้นในอากาศ ธาตุอาหารพืชในส่วนของความเข้มข้น และความเป็นกรดเป็นด่าง และอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร นวัตกรรมนี้จะสามารถแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ และยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้ของประเทศได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชที่เป็นต้นแบบของการพัฒนา
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืชต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ศึกษาสภาพ และปัญหา ของโรงเรือนปลูกพืช และสิ่งแวดลอมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้าน อิเล็กทรอนิกส์ และด้านการเจริญเติบโตของพืช
2. สร้างแนวทางการพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อม เมื่อศึกษาสภาพ และปัญหาของโรงเรือนปลูกพืช และสิ่งแวดลอมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้ง 2 ด้าน คือ ด้าน อิเล็กทรอนิกส์ และด้านการเจริญเติบโตของพืช แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้
3. การทดสอบตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อม
ทำการทดสอบตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยทำการทดสอบในด้านอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) การควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในตู้ และทดสอบการเจริญเติบโตของพืช เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่กำหนด ในขั้นตอนนี้หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานก็จะต้องกลับไปศึกษาสภาพ และปัญหาในส่วนงานที่ 1 อีกครั้ง จนกว่าจะเป็นไปตามมาตรฐานการควบคุมสภาพแวดล้อม และการเจริญเติบโตของพืช

ขอบเขตระยะเวลา

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ตั้งแต่ ตุลาคม 2555-กันยายน 2556

ขอบเขตประชากร

ผักสลัดที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืช และในสภาพแปลงปลูกปกติ จำนวน 90 ต้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ดูแลควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต้นแบบ เพื่อใช้ในการศึกษา และการพัฒนาต่อไป
2. ได้รับการจดสิทธิบัตร นวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ใหม่
3. ได้รับการตีพิมพ์ผลการวิจัยในระดับชาติ
4. เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนให้นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างตู้เพาะปลูกพืช จึงต้องให้ความสนใจและให้ความสำคัญกับข้อมูล ประเด็นดังนี้ คือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การออกแบบสำหรับตู้เพาะปลูกพืชการใช้หลอด LED เป็นแหล่งแสงเพื่อการปลูกพืช และการปลูกพืชไม่ใช้ดิน

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ แสง อุณหภูมิ น้ำ และดิน แต่ละปัจจัยมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชแตกต่างกันไปเริ่มตั้งแต่การงอกของเมล็ด การเจริญทางกิ่งใบ การเจริญทางสืบพันธุ์ จนถึงสิ้นสุดชีวิตของพืช (McMahon, M.J., Kofranek, A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

1. แสง

ปัจจัยด้านความต้องการแสงของพืชมีข้อที่พิจารณาถึงบทบาทต่อการเจริญเติบโต คือ คุณภาพแสง ความเข้มแสง และช่วงแสง

1.1 คุณภาพแสง คือ ช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช คือ แสงสีน้ำเงิน (400-480 นาโนเมตร) และสีแดง (630-680 นาโนเมตร)

1.2 ความเข้มของแสง หมายถึง พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ โดยทั่วไปการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เกิดขึ้นถ้าความเข้มของแสงพลังงานแสงต่ำกว่า 0.4 ฟุต-แคนเดิล พืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตไม่เหมือนกัน (McMahon, M.J., Kofranek, A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

ความต้องการแสงของพืชในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อแสงของพืช โฟตอนของแสงที่พืชตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงคือช่วงคลื่น 400-700 นาโนเมตร เรียกว่า Photosynthetically Active Radiation (PAR) ในช่วงคลื่นแสงนี้ความเข้มของแสงถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในช่วงระยะเวลาที่พืชได้รับแสง คลื่นแสงนี้วัดได้ในรูปของ Photosynthetic Photon Flux (PPF) มีหน่วยวัดเป็น ไมโครโมล/ตร.ม/วินาที) $\mu\text{Mole}/\text{m}^2/\text{s}$ โดยปกติทั่วไปวัดแสงในรูปของ foot-candles (1ft-c = 10.76 lux) ข้อสังเกต PPF คูณด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ แปลงเป็น foot-candles ตัวอย่างเช่นวัดค่าแสง PPF = 2000 $\mu\text{Mole}/\text{m}^2/\text{s}$ หรือ 10,020ft-c (นั่นคือ $2000 * 501$ หรือ 107,815.20lux) เครื่องมือวัดแสง (light meters) หน่วยวัดเป็น ลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot candle) ซึ่งสามารถแปลงค่าเป็นหน่วย PAR ได้ (DeGannes, A., K.R. Heru, A. Mohammed, C. Paul, J. Rowe, L. Sealy and G. Seepersad. 2014)

1.3 ช่วงแสง เป็นความยาวระหว่างระยะสว่างกับระยะมืด หมายถึง ระยะได้รับแสงกับระยะมืดในวันที่มี 24 ชั่วโมง มีผลต่อการออกดอกของพืช (photoperiodism) และการสร้างหัวของพืชบางชนิด (Freeman, S., 2002)

ดังนั้นการออกแบบนี้จึงใช้หลอด LED เพื่อให้แสงสีแดง และสีน้ำเงิน ติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมความเข้มของแสง และการตั้งเวลาการปิดเปิดการให้แสงในรอบ 24 ชั่วโมงได้ เพื่อสอดคล้องกับปัจจัยด้านแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 400-480 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630-680 นาโนเมตร (แสงสีแดง)

2. อุณหภูมิ

ปัจจัยด้านอุณหภูมิ มีผลต่อกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะมีผลต่อกิจกรรมทางสรีรวิทยาภายในต้นพืช เช่น อุณหภูมิมีผลต่ออัตราแพร่กระจายของก๊าซและของเหลวในต้นพืช เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำมีความหนืดเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนไปมีผลต่อพลังงานจลน์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และก๊าซอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารแตกต่างกันไปด้วย อุณหภูมิมีผลกระทบต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ดังนั้นย่อมมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต พืชทั่ว ๆ ไปสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 – 50 องศาเซลเซียส พืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเหมาะสมแตกต่างกัน (McMahon, M.J., Kofranek ,A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

3. น้ำ

บทบาทที่สำคัญของน้ำต่อพืชมีดังต่อไปนี้ คือน้ำเป็นส่วนประกอบของโพรโทพลาซึม (protoplasm) โดยทั่วไปน้ำหนักของพืชมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ คือ น้ำ น้ำจึงจำเป็นต่อการรักษาสภาพโครงสร้างและกิจกรรมต่าง ๆ ของพืช น้ำมีส่วนร่วมปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ เป็นตัวทำละลายสารที่ลำเลียงไปตามท่อน้ำและท่ออาหารของพืช

4. ดิน

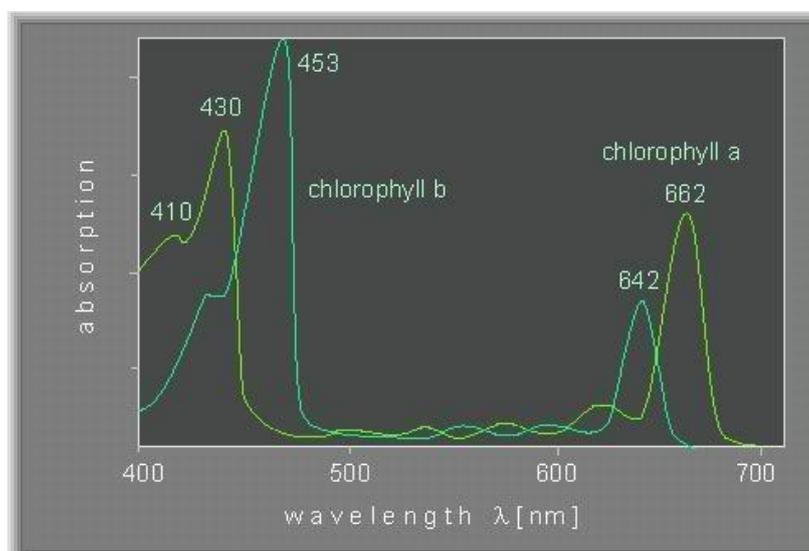
ความสำคัญของดินที่มีต่อพืช ดินมีความสำคัญต่อพืชพอที่จะกล่าวอย่างกว้าง ๆ 4 ประการ คือ ดินเป็นที่ยึดเหนี่ยวค้ำยันให้แก่พืช ดินเป็นแหล่งเก็บกักและให้น้ำแก่พืช ดินเป็นแหล่งให้อากาศสำหรับรากพืชหายใจ ดินเป็นแหล่งสะสมและให้แร่ธาตุอาหารแก่พืช ดินที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือมีความอุดมสมบูรณ์นั้นจะต้องทำหน้าที่พื้นฐานได้ครบ 4 ประการ หน้าที่ 3 ประการแรก มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ส่วนประการสุดท้ายเป็นผลจากคุณสมบัติทางเคมีของดิน ถ้าดินขาดความอุดมสมบูรณ์ก็สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ เช่น การเติมอินทรีย์วัตถุ การไถพรวน การเติมแร่ธาตุอาหารในรูปของปุ๋ย เป็นต้น

การออกแบบสำหรับตู้เพาะปลูกพืช

แสงมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กล่าวคือพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับน้ำเป็นตัวตั้งต้น เมื่อมีแสงเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา คลอโรฟิลล์ในพืช จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารตั้งต้นนี้เป็นพลังงานในรูปน้ำตาลและได้ออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างกันย่อมทำให้มีคุณภาพต่างกัน โดยมากแล้วพืชมักต้องการแสงสีน้ำเงินและแดงเป็นหลัก แต่สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อแดงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดพืชเป็นหลัก คุณสมบัติสำคัญของแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืช คือ ความเข้มแสง (Light Intensity) และช่วงความยาวคลื่นแสง (Light Spectrum) ค่าความเข้มของแสงที่มากจะส่งผลให้อัตราการ

สังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ความยาวคลื่นแสงจะมีผลกับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช

ในปัจจุบันได้มีการใช้แสงประดิษฐ์สำหรับการเพาะปลูกพืช การเกษตรและชีวภาพสมัยใหม่ มีการเพาะปลูกในเรือนปลูกพืช (Greenhouse) หรือในอาคาร แทนการปลูกในสภาพธรรมชาติแบบดั้งเดิม และยังมีการใช้เทคโนโลยีให้น้ำ ให้อากาศ ให้แสงแดด เพื่อเร่งการเจริญเติบโตและป้องกันศัตรูพืช เป็นการเพิ่มช่วงเวลากลางวันให้กับพืช (Effective Day Length) ให้อายุยืนขึ้น หลอดไฟสำหรับเพิ่มความเจริญเติบโตให้พืช (Plant Grow Lights) คือ หลอดไฟที่ถูกรอกแบบเพื่อเพิ่มความเจริญเติบโตของพืช โดยอาศัยการปล่อยสเปกตรัมของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงของพืช สเปกตรัมของคลื่นแสงที่ปล่อยออกมา นั้นจะมีคุณสมบัติคล้ายกับแสงจากดวงอาทิตย์ การใช้ค่าดัชนีเปรียบเทียบสี (Color Rendering Index) จะทำให้สามารถเปรียบเทียบสีของหลอดไฟกับสีของแสงจากธรรมชาติได้ ซึ่งความต้องการของสีแดงและน้ำเงินเป็นสีที่ต้นไม้ใช้ในการสังเคราะห์แสงมากที่สุด จากความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นแสงกับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช ดังแสดงในรูปที่ 1 จะทราบได้ว่าที่ความยาวคลื่นขนาด 470 นาโนเมตร จะเป็นช่วงแสงสีน้ำเงิน ส่วนความยาวคลื่นแสงในช่วง 650-675 นาโนเมตร จะเป็นช่วงของแสงสีแดง



ภาพที่ 2.1 ความยาวคลื่นของแสงและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช

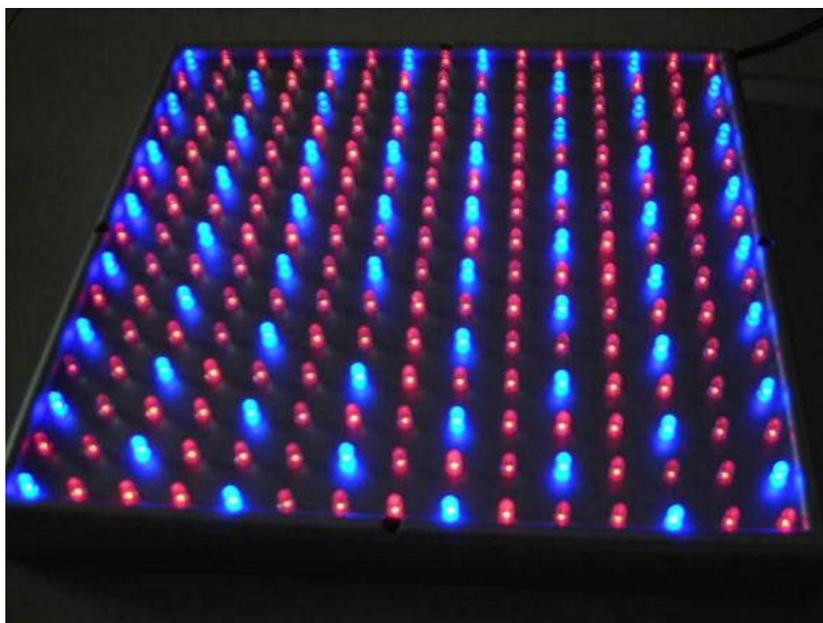
1. ชนิดของหลอดไฟเป็นแหล่งแสงสำหรับเจริญเติบโตของพืช

ชนิดของหลอดไฟที่ใช้สำหรับเพิ่มความเจริญเติบโตให้พืชนั้น ประกอบด้วย หลอดไส้ (Incandescent) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamps) หลอดไฟชนิด H.I.D (High Intensity Discharge Lamps) หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มสูง และหลอด LED หรือหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อเพิ่มปริมาณแสงสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงดังแสดงในภาพที่ 2.1 มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเทียมเพื่อให้

แสงสว่างสำหรับการเติบโตของพืช หลอดไฟโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอด ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ โดยมีข้อดีที่ต่างจากหลอดไฟชนิดอื่น ดังนี้

1. มีราคาถูกกว่าหลอดไฟแบบอื่น
2. สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าน้อย
3. สามารถเปิดได้ตลอด 24 ชั่วโมง
4. ลดมลพิษ เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟธรรมดา
5. สามารถกำหนดคลื่นสีย่านที่พืชต้องการ
6. ผลิตความร้อนน้อยมาก

นภัทร และไชยยันต์ (2560) ได้กล่าวว่า ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช อธิบายคุณลักษณะของแสง ความยาวคลื่นแสง สีของแสง และความเข้มของแสง ที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไดโอดเปล่งแสง เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์เพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการเจริญเติบโตของพืช ว่าแสงสีเหล่านั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร และหากต้องการเลือกไดโอดเปล่งแสง ควรเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าไร จึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตดีที่สุดสำหรับช่วงเพาะกล้า ช่วงเวลาการเจริญเติบโตและช่วงเวลาการออกดอก



ภาพที่ 2.2 หลอดไฟเปล่งแสงสีแดงและสีน้ำเงิน

2. การวัดค่าความชื้นของตู้เพาะปลูกพืชควบคุมด้วยวงจรถออิเล็กทรอนิกส์

ในการออกแบบตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช จำเป็นต้องศึกษาหลักการการทำงานของอุปกรณ์และวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะเซนเซอร์วัดค่าความชื้นชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1. เซนเซอร์วัดค่าความชื้น (Humidity Sensor)

เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณทางกายภาพแล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณที่สามารถอ่านหรือตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือ สำหรับเซนเซอร์วัดค่าความชื้นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ แบบคาปาซิทีฟ, แบบนำความร้อน และแบบความต้านทาน ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- เซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Humidity Sensor)
- เซนเซอร์ชนิดนี้มักนิยมใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) โดยมีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในภาพที่ 2.3 มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ งานวิจัยหรือทดลองทางฟิสิกส์



ภาพที่ 2.3 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ

เซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์ หรือเมทัลออกไซด์ (Metal Oxide) ถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง โดยพื้นผิวของฟิล์มบางดังกล่าวถูกเคลือบด้วยอิเล็กโทรดโลหะแบบมีรูพรุนเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปัญหาจากแสง เซนเซอร์แบบคาปาซิทีฟสามารถตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมได้เกือบจะเป็นเชิงเส้น หรือมีการตอบสนองได้อย่างเป็นสัดส่วนที่ดี โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ก็จะเปลี่ยนไป 0.2 ถึง 0.5 พิโกฟารัด เซนเซอร์แบบคาปาซิทีฟถูกกำหนดให้มีคุณลักษณะเฉพาะคือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้ทำงานได้ดีแม้ในอุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส การกลับสู่สภาวะเดิมจากสภาวะการควบแน่นและยังทนต่อไอระเหยของสารเคมีอีกด้วย

2.2 เซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทาน (Resistive Humidity Sensor) เซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทานใช้วัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าของตัวกลางดูดความชื้น (Hygroscopic Medium) อย่างเช่น โพลีเมอร์ เกลือหรือสารสังเคราะห์ทั้งนี้อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนจะแปรผันกับค่าความความชื้นในลักษณะของกราฟเอกซ์โปเนนเชียลกลับด้าน



ภาพที่ 2.4 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบความต้านทาน

โครงสร้างของเซนเซอร์แบบความต้านทานมีลักษณะภายนอกดังแสดงในรูปที่ 4 ประกอบด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 2 ส่วนวางอยู่บนฐานด้วยเทคนิคการวางแบบโฟโตรีซิส (Photoresist) การทำงานของเซนเซอร์ คือดูดซับไอน้ำและไอออนที่แตกตัวเป็นผลให้ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลางเพิ่มขึ้น

2.3 เซนเซอร์วัดความชื้นด้วยการนำความร้อน (Thermal Conductivity Humidity Sensor) เซนเซอร์ชนิดนี้มักนิยมใช้วัดค่าความชื้นสมบูรณ์ โดยอาศัยการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนของอากาศแห้ง (Thermal Conductivity) กับการนำความร้อนของอากาศที่มีไอน้ำอยู่ เซนเซอร์วัดความชื้นด้วยการนำความร้อน ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ 2 ตัว ต่ออยู่ในวงจรบริดจ์โดยเทอร์มิสเตอร์ตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในแคปซูลที่มีก๊าซไนโตรเจน และเทอร์มิสเตอร์อีกตัวหนึ่งถูกวางอยู่ในบรรยากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เซนเซอร์วัดความชื้นด้วยการนำความร้อน

เซนเซอร์วัดความชื้นด้วยการนำความร้อนมีความทนทานสูงและทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงถึง 300 องศาเซลเซียส และยังทนต่อไอระเหยสารเคมีได้เป็นอย่างดีจากคุณสมบัติที่ดีของวัสดุโครงสร้างเครื่องที่ไม่มีปฏิกิริยาทางสารเคมี เช่น แก้ว สารกึ่งตัวนำ ที่ใช้สร้างเทอร์มิสเตอร์ พลาสติกทนอุณหภูมิสูงหรืออะลูมิเนียม

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน หรือ ไฮโดรโปนิกส์ หมายถึง เทคโนโลยีการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ตรงกับคำในภาษาอังกฤษ คือ Hydroponics โดย W.F.Gericke มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เป็นคนตั้งขึ้นจาก

คำในภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro แปลว่า น้ำ และ Ponos แปลว่า ทำงานหรือแรงงาน รวมกันเป็นการทำงานที่เกี่ยวกับน้ำ เขาเป็นคนแรกที่นำเทคนิคการปลูกพืชแบบนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อปลูกพืช ในราวต้นศตวรรษที่ 19 จากการทดลองของเขาพบว่าวิธีนี้สามารถปลูกพืชได้เกือบทุกชนิด อาจแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การปลูกพืชโดยให้ส่วนของรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง หรือปลูกบนวัสดุอื่นที่ไม่ใช่

ดิน และรดด้วยสารละลายธาตุอาหารหรือน้ำปุ๋ย วัสดุที่ใช้ปลูกพืชอาจจะเป็นสารอนินทรีย์เช่น กรวดทราย หิน ที่ได้จากธรรมชาติหรือที่มนุษย์ทำขึ้นมา เช่น เพอร์ไลท์ (Perlite) เวอร์มิคิวไลท์ (Vermiculite) ร็อกวูล (Rockwool) หรือสารอินทรีย์เช่น พีท (Peat) มอส (Moss) ขี้เลื่อย เปลือกไม้ เปลือกมะพร้าวสับ ขุยมะพร้าว แกลบสดและถ่านแกลบ เป็นต้น โสระยา(2544)

1.ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชไร้ดินจำแนกออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1 ระบบปลูกในน้ำ เป็นระบบที่รากพืชแช่ในสารละลายอาหารโดยตรง การปลูกแบบนี้ไม่ใช้วัสดุปลูก หรือใช้เพียงเล็กน้อยเพื่อการเกาะยึดค้ำต้นพืชเท่านั้น ระบบนี้มีการให้สารละลายอาหารต่าง ๆ กัน คือ ให้สารละลายอาหารไหลแบบเป็นฟิล์มบาง (NFT) ไหลแบบมีระดับน้ำลึก (DFT) แช่น้ำหรือลอยน้ำ (ภาพที่ 1, 2) ระบบนี้จะต้องพิจารณาการจัดการ เรื่องการถ่ายอากาศให้แก่รากพืชเป็นอย่างดี มิฉะนั้นรากพืชจะสำลักน้ำทำให้เจริญเติบโตไม่ดี หรือชีวิตได้

1.2.ระบบปลูกในอากาศ เป็นระบบที่รากพืชแขวนลอยอากาศอยู่ในภาชนะปิดทึบ ฉีดพ่นสารละลายอาหารช่วงจังหวะสั้นๆ อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ (ภาพที่ 5) ระบบนี้จะต้องพิจารณาการจัดการเรื่องความชื้นของรากอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนถึงดูแลเรื่องการอุดตันของหัวฉีดพ่น

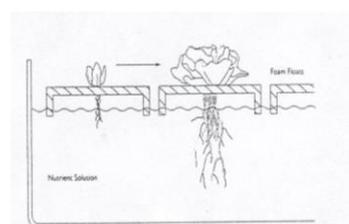
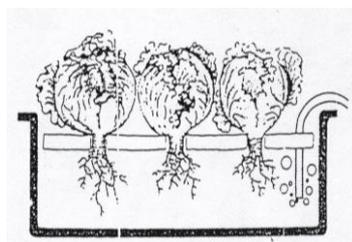
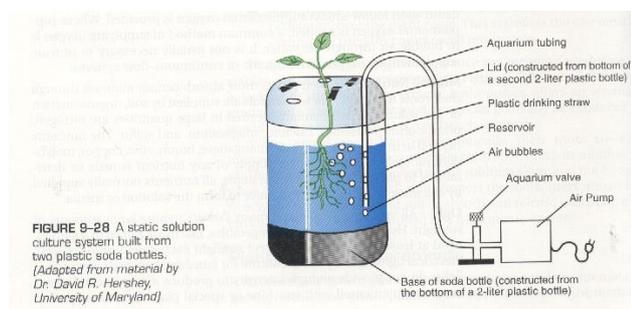
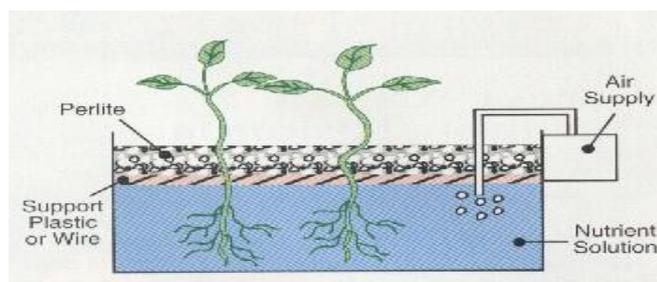
1.3.ระบบปลูกในวัสดุปลูกแทนดิน เป็นระบบที่ใช้วัสดุปลูก ซึ่งวัสดุนี้ไม่มีสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชจะได้รับสารอาหารในรูปสารละลายที่จัดให้ วัสดุปลูกเป็นประเภท อนินทรีย์สาร ได้แก่ กรวด ทราย โยหิน เพอร์ไลท์ และเม็ดดินเผา ส่วนวัสดุปลูกประเภทอินทรีย์สาร ได้แก่ เปลือกไม้ ขี้เลื่อย กาบมะพร้าว ขุยมะพร้าว พีท แกลบ ถ่านแกลบ เป็นต้น

การปลูกพืชในวัสดุปลูกแทนดินนี้ มีวิธีการให้สารละลายอาหารในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น แบบให้ทางผิวหน้าวัสดุปลูก แบบซึมขึ้นมาจากด้านล่าง แบบใส่ตะเกียง แบบท่วมแล้วระบาย และแบบหยด (ภาพที่ 3, 4) ระบบนี้ต้องพิจารณาเลือกวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับวิธีการให้น้ำ และสารละลายอาหาร มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาการอุ้มน้ำ และการระบายอากาศ ตลอดจนการสะสมของเกลือจากสารอาหารที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

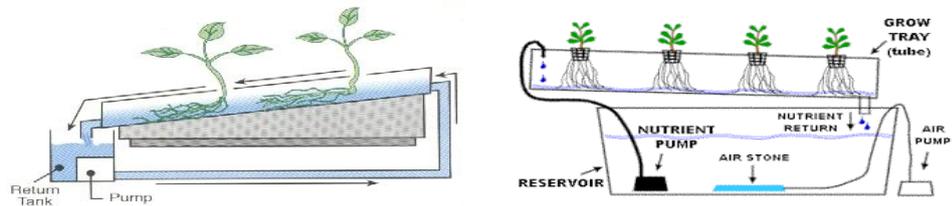
แต่ละระบบมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ดังนั้นการตัดสินใจเลือกระบบปลูกใดนั้นควรพิจารณาจาก ชนิดพืชปลูก การลงทุนและความสะดวกในการจัดการ การปฏิบัติดูแลรักษา จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบใช้วัสดุปลูกทดแทนดินมีปริมาณการปลูกมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนปริมาณการปลูกพืชไร้ดินด้วยระบบต่างๆ (Donnan, 1998)

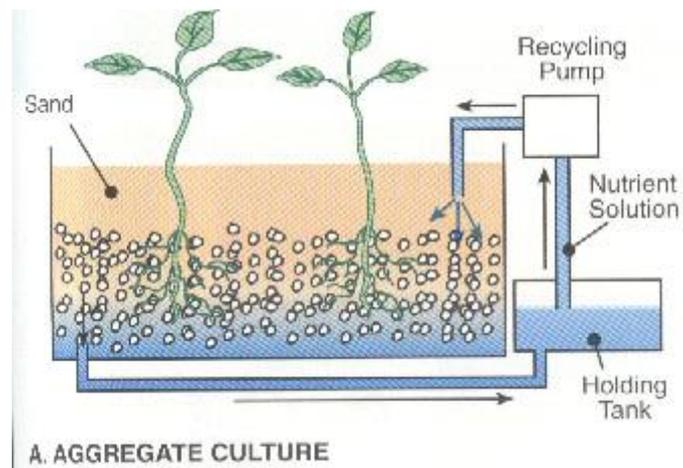
ระบบปลูก	จำนวนปริมาณการปลูกพืชไร้ดิน (หน่วยเปอร์เซ็นต์)
ระบบใช้วัสดุปลูกด้วยใยหิน	57%
ระบบใช้วัสดุปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ	22%
ระบบใช้วัสดุปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์	12%
ระบบปลูกในน้ำแบบ NFT	5%
ระบบปลูกในน้ำแบบลอยน้ำ	3%
ระบบใช้วัสดุปลูกด้วยกรวด	1%
รวม	100%



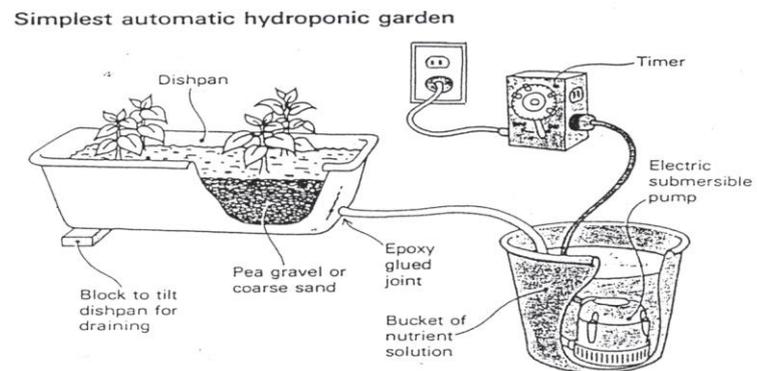
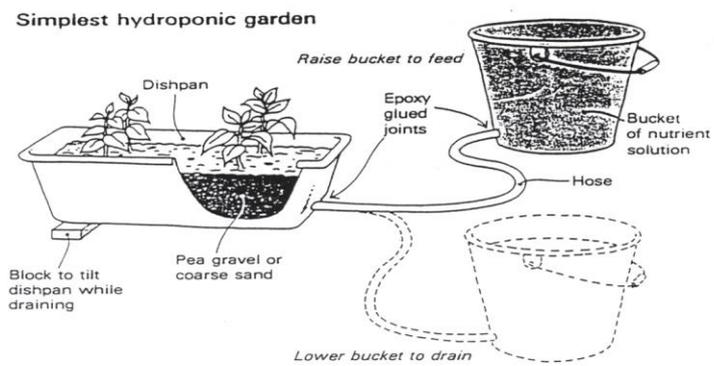
ภาพที่ 2.6 ระบบปลูกพืชในน้ำ ที่ใช้วัสดุเพื่อเกาะยึดค้ำต้นพืชเท่านั้น รากพืชแช่ในสารละลายอาหารโดยตรง และปั๊มพ้อากาศลงในสารละลายเพื่อให้ก๊าซออกอกซิเจนแก่รากพืช



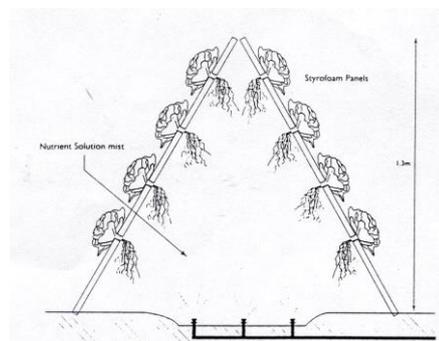
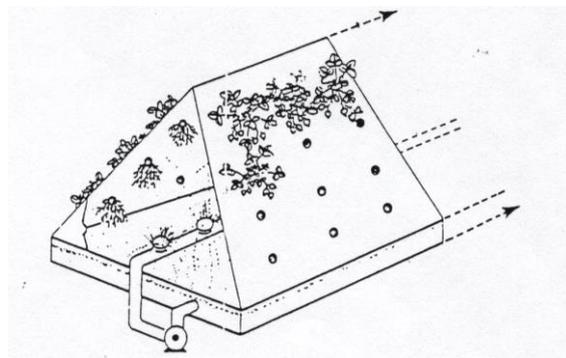
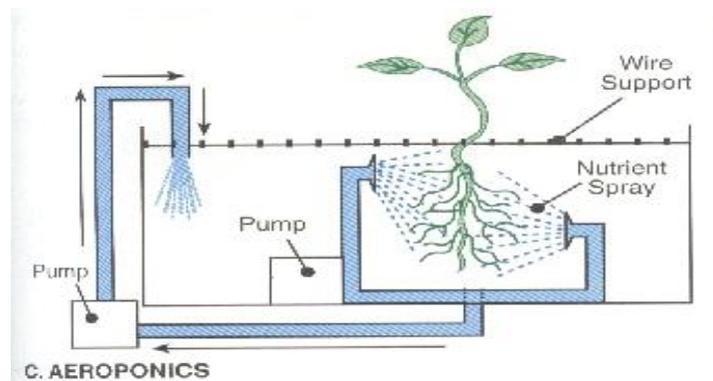
ภาพที่ 2.7 ระบบปลูกพืชในน้ำ ที่ใช้วัสดุเพื่อเกาะยึดค้ำต้นพืชเท่านั้น รากพืชแช่ในสารละลายอาหารที่มีการไหลหมุนเวียนเพื่อให้ก๊าซออกซิเจนแก่รากพืช ปริมาณการไหลมีทั้งแบบปริมาณมากหรือเป็นแผ่นเยื่อบาง ๆ



ภาพที่ 2.8 ระบบปลูกในวัสดุปลูกแทนดิน เป็นระบบที่ใช้วัสดุปลูก ให้สารอาหารในรูปสารละลายไหลหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.9 ระบบปลูกในวัสดุปลูกแทนดิน เป็นระบบที่ใช้วัสดุปลูก ให้สารอาหารในรูปสารละลาย แบบท่วมและระบายออกอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.10 ระบบปลูกในอากาศ เป็นระบบที่รากพืชแขวนลอยอากาศอยู่ในภาชนะปิดทึบ ฉีดพ่นสารละลายอาหารช่วงจังหวะสั้นๆ อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ระบบนี้จะต้องพิจารณาการจัดการเรื่องความชื้นของรากอย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนถึงดูแลเรื่องการอุดตันของหัวฉีดพ่น

2. ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไม่ใช้ดิน

2.1. ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม

ยีน (gene) เป็นตัวกำหนดลักษณะการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็นส่วนของราก ลำต้น กิ่ง ก้านใบ ตลอดจนดอกและผล การสะสมมวลชีวภาพได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชเอง พันธุ์พืชที่จะใช้กับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์โดยเฉพาะยังไม่มีหรือมีน้อยมาก

2.2. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

1) แสง ตามธรรมชาติพืชจะใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ใบหรือส่วนที่มีสีเขียว โดยมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่เป็นตัวรับแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) และก๊าซออกซิเจน (O_2) พืชที่ปลูกในบ้านหรือเรือนทอลอง อาจใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าทดแทนแสงอาทิตย์ได้แต่ก็เป็นทางเลือกและไม่สมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมชาติ

2) อากาศ พืชจำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีอยู่ประมาณ 0.033 เปอร์เซ็นต์ ในบรรยากาศในการผลิตกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เริ่มต้น เหตุการณ์ที่พืชจะขาดคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเหลือเฟือ

3) น้ำ คุณภาพน้ำเป็นเรื่องสำคัญมากเรื่องหนึ่ง การปลูกพืชเพียงเล็กน้อยเพื่อการทดลองจะไม่มีปัญหาแต่การปลูกเป็นการค้า จะต้องพิจารณาเรื่องของน้ำก่อนอื่น หากใช้น้ำคุณภาพไม่ดีทั้งองค์ประกอบทางเคมีและความสะอาด จะก่อให้เกิดความล้มเหลว น้ำเป็นตัวประกอบที่สำคัญ

4) วัสดุปลูก วัสดุปลูก หมายถึงวัตถุ (Material) ต่างๆ ที่เลือกสรรมา เพื่อใช้ปลูกพืชและทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้เป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกัน ชนิดของวัสดุปลูกอาจเป็นอินทรีย์วัตถุก็ได้

5) สารละลายธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต มีทั้งหมด 16 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ และอีก 13 ธาตุ ได้จากการดูดกินผ่านทางราก ทั้ง 13 ธาตุแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากและธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อย

3. การควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุ

อาหารพืช

การรักษาหรือควบคุมความเป็นกรดต่าง และค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอาหารนี้เพื่อให้พืช

สามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารพืชได้ดี และเพื่อให้ปริมาณสารอาหารแก่พืชตามที่ต้องการ

3.1. การรักษาหรือควบคุม pH

เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างในสารละลายจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ปกติแล้วควรรักษาความเป็นกรดต่างที่ 5.8-7.0 เพราะเป็นค่าหรือช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆสามารถคงรูปในสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้ดี ค่าความเป็นกรดต่างในสารละลายธาตุอาหารพืชเปลี่ยนแปลงได้หลายสาเหตุ เช่น การ

เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหาร แล้วพืชปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) จากรากสู่สารละลายธาตุอาหารพืชทำให้ pH เปลี่ยนแปลงไป

3.2. การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)

เนื่องจากปุ๋ยที่ละลายในน้ำที่ค่าของไอออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าของการนำกระแสไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงมีการวัดเป็นค่าที่มีหน่วยเป็นมิลลิโมห์/เซนติเมตร (milliMhos/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารอาหารการวัดค่าการนำไฟฟ้าจะทำให้เราทราบเพียงค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (คือน้ำกับปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารพืชทั้งหมดในถังที่ใส่สารอาหารทั้งหมด) เท่านั้น แต่ไม่ทราบค่าของสัดส่วนของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งที่อยู่ในถัง ที่อาจเปลี่ยนไปตามเวลาเนื่องจากพืชนำไปใช้หรือตกตะกอนดังนั้นหลังจากมีการปรับค่าการนำไฟฟ้าไปได้ระยะหนึ่งแล้วจึงควรเปลี่ยนสารละลายในถังใหม่เป็นระยะๆ โดยเฉพาะประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ควรเปลี่ยนสารละลายใหม่เป็นระยะๆ เช่น ทุก 3 สัปดาห์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมนึก (2557) ได้ประดิษฐ์เครื่องดูแลไม้กระถางควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Z8Encore เพื่อให้หน้าและปุ๋ยไม้กระถางอัตโนมัติ พบว่า เครื่องดูแลไม้กระถางเครื่องต้นแบบ สามารถควบคุมการให้น้ำด้วยมือได้ ในการควบคุมอัตโนมัติทำการทดสอบโดยให้น้ำเพื่อรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในช่วงระดับ 3-5 เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ระดับความชื้นของดินสูงกว่าระดับ 3 และสูงกว่าระดับ 6 เล็กน้อย ซึ่งเป็นค่าที่ไม้กระถางเจริญเติบโตได้ดี

ธนพงศ์พันธ์ และคณะ (มปป.) ประดิษฐ์ชุดควบคุมการให้แสงสว่างและน้ำสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ในอาคารที่ร่มใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ทำการจดบันทึกการเจริญเติบโตของผักที่ปลูกด้วยวิธีตามธรรมชาติ กับชุดทดลอง โดยชุดควบคุมที่สร้างขึ้นเป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทดลองให้ใกล้เคียงกับวิธีตามธรรมชาติ โดยควบคุมการให้น้ำ และการให้แสง พบว่า ผักที่ปลูกตามธรรมชาติเจริญเติบโตมากกว่าผักที่ปลูกด้วยชุดทดลอง เนื่องจากแสงสว่างจากหลอดไฟแอลอีดี ที่ไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโตของผัก จากค่าเฉลี่ย จำนวนกิ่ง จำนวนใบ ความสูง และขนาดของใบ

Chiu, A.J. (1996) ได้ศึกษาการออกแบบการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับการผลิตผักสลัดแบบไม่ใช้ดิน ในสภาพโรงเรือนพบว่า ในการออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชนี้ใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิสำหรับผักสลัดแนะนำ อุณหภูมิกลางวัน 24 องศาเซลเซียส /กลางคืน 19 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิของน้ำไม่ควรสูงเกิน 25 องศาเซลเซียส และไม่ต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส pH 5.6-6 ความชื้นในอากาศ อย่างน้อย 50 และไม่เกิน 70 %

Kobayashi, K., T. Amore and M. Lazaro (2013) พบว่า การออกแบบให้แสงกับต้นพืชนี้ใช้หลอด LED เพื่อให้แสงสีแดง และสีน้ำเงิน ติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมความเข้มของแสง และการตั้งเวลาการปิดเปิดการให้แสงในรอบ 24 ชั่วโมงได้ เพื่อสอดคล้องกับปัจจัยด้านแสงที่มีต่อการ

เจริญเติบโตของพืช ได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 400-480 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630-680 นาโนเมตร (แสงสีแดง)

Jonas, P., A. Maskara, A. Salguero and A. Truong (2017) ได้ศึกษาระบบปลูกพืชแขวนลอยในอากาศด้วยกลไกการควบคุม ปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในสภาพอาคาร พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีโดยควบคุมการให้น้ำ ความชื้น แสงและอุณหภูมิ ภายในตู้ปลูก อย่างไรก็ตามบางครั้งปัจจัยทั้ง 3 อาจจะมีสูงและต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมโดยการปิด เปิดปั๊ม และการให้แสงแบบอัตโนมัติ ออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชที่เป็นต้นแบบของการพัฒนานี้ จะต้องสร้างกล่องควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย แสง พัดลมระบายอากาศ การให้น้ำ การให้สารละลายแร่ธาตุอาหารและการควบคุม pH สำหรับควบคุมการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืช นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงระดับความสูงของพืชและการใช้พัดลมในการระบายอากาศ การทดสอบการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืชแล้วจึงทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืชต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

โครงการวิจัย วิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

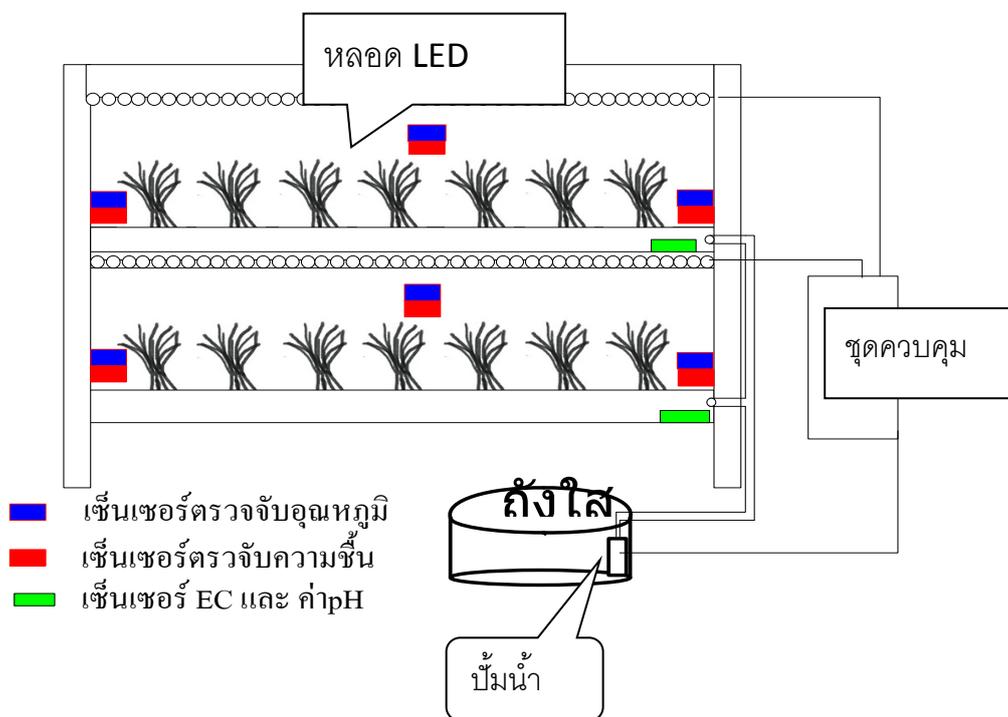
ตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้

1. สืบหาข้อมูลเบื้องต้น และความต้องการในการพัฒนาเครื่องฯ

สืบหาข้อมูลศึกษาเบื้องต้นและความต้องการในการพัฒนาตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ปริมาณก๊าซออกซิเจนและน้ำ และ รวมถึงทฤษฎีเกี่ยวกับความเข้มแสง ความยาวคลื่นแสงและคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของสสาร หลักการพื้นฐานของการออกแบบตู้ควบคุมการเติบโตของพืชด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไดโอดเปล่งแสง และการวิเคราะห์ทางสถิติวิธีต่างๆ ที่นักวิจัยจะนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาตู้ควบคุมการเติบโตของพืชต่อไป

2. วิเคราะห์และออกแบบตู้ควบคุมการเติบโตของพืช

- ออกแบบวงจรเซนเซอร์แสงสว่างที่ใช้ในการควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง
- ออกแบบโครงสร้างและระบบการทำงานภายในเครื่องฯ วงจรเซนเซอร์ควบคุมความชื้น ระดับน้ำ ค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิภายในตู้ควบคุมฯ รวมถึงวงจรควบคุมแรงดันและป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน ให้เป็นไปตามกรอบแนวคิด ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวคิดการพัฒนาตู้ปลูกพืช

การออกแบบระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน โดยการใช้ข้อมูลร่วมกับการพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช ประกอบด้วย

- ชั้นปลูกพืช ทั้งระดับความสูง ความลาดเอียง และวัสดุ
- ระบบการไหลของน้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่
- การให้สารละลายธาตุอาหารพืช
- การให้สารปรับความเป็นกรด-เป็นด่าง

3. พัฒนาตู้ควบคุมการเติบโตของพืช

พัฒนาตู้ควบคุมการเติบโตของพืชหลังจากที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยการนำเอาความสามารถของเทคโนโลยีต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เครื่องฯสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ทดสอบประสิทธิภาพของตู้ควบคุมการเติบโตของพืชและประเมินผล

เป็นขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของตู้ควบคุมการเติบโตของพืชและความถูกต้องของระบบการทำงาน โดยการตรวจสอบการทำงานของวงจรควบคุมเซ็นเซอร์ต่างๆ โดยประเมินผลประสิทธิภาพของตู้ควบคุมการเติบโตของพืชที่พัฒนาขึ้นในด้านต่างๆ

ตอนที่ 2 การทดสอบการเจริญเติบโตของพืชผักสลัดในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตโดยการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ในระบบที่คณะวิจัยประดิษฐ์ขึ้น แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเพาะเมล็ด (1 สัปดาห์) นำเมล็ดผักสลัดมาเพาะเมล็ดในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต นับจำนวนเมล็ดที่งอกทุกวันเป็นเวลา 7 วัน

ขั้นตอนที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นกล้า (2 สัปดาห์) นำต้นกล้าผักสลัดที่มีอายุ 1 สัปดาห์ มาปลูกในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต และในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินที่ได้รับ การออกแบบมาให้เหมาะสมกับตู้ควบคุมการเจริญเติบโต วัดการเจริญเติบโตของผักสลัด นับจำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ความยาวราก จำนวนราก สีของราก

ขั้นตอนที่ 3 การเจริญเติบโต ถึง เก็บเกี่ยว (3 สัปดาห์) นำต้นกล้าผักสลัดที่มีอายุ 3 สัปดาห์ มาปลูกในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต และในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินที่ได้รับ การออกแบบมาให้เหมาะสมกับตู้ควบคุมการเจริญเติบโต วัดการเจริญเติบโตของผักสลัด ความสูง ความกว้างใบ ความยาวราก และน้ำหนักสด

การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์

นำข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชที่ได้ไปวิเคราะห์หาความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสิ่งทดลอง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการวิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ขั้นตอนการออกแบบและสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช และการทดสอบการ เจริญเติบโตของพืชผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม พบว่า มีผลการทดลอง ดังนี้

ตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช

1. สำรวจข้อมูลเบื้องต้น และความต้องการในการพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช

การสำรวจข้อมูลศึกษาเบื้องต้นและความต้องการในการพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช โดยศึกษา ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ แสง อุณหภูมิ น้ำ และแร่ธาตุอาหารพืช ทฤษฎีเกี่ยวกับความเข้มแสง ความยาวคลื่นแสงและคุณสมบัติการดูดกลืนแสง ของสสาร หลักการพื้นฐานของการออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืช ด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกไดโอดเปล่งแสง และการวิเคราะห์ทางสถิติวิธีต่างๆ ที่นักวิจัยจะนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางใน การออกแบบและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืชต่อไป

2. วิเคราะห์และออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม

การวิจัยนี้ได้จัดแบ่งวิเคราะห์ และออกแบบดังนี้

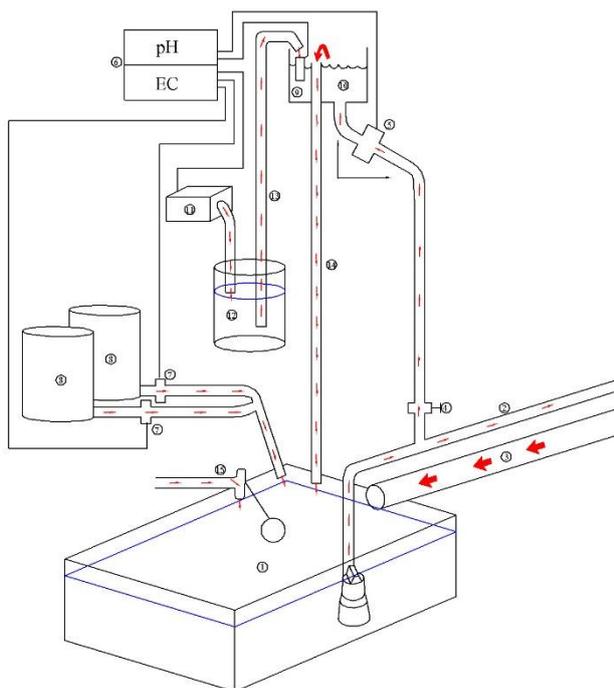
2.1 ชุดควบคุมความเข้มข้นหรือการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) และ ความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลาย

ตู้เพาะเลี้ยงพืชนั้น มีส่วนที่ต้องให้แร่ธาตุอาหารพืชในรูปของเหลวไปพร้อมกับการให้น้ำ เรียกว่า สารละลายแร่ธาตุอาหาร ซึ่งจะต้องการจัดการควบคุมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช การจัดการดังกล่าวได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายอาหารซึ่งประเมินโดยการวัดการนำไฟฟ้า (electrical conductivity ; EC หรือ CF) ของสารละลาย และความเป็นกรด ต่าง (pH) ของ สารละลายอาหาร ซึ่ง pH มีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุอาหาร สำหรับการปลูกพืช ทั่ว ๆ ไป EC ควรอยู่ระหว่าง 2.8-1.2 และ pH ควรอยู่ระหว่าง 5.6 – 6.0

ชุดควบคุมออกแบบดังแสดงในภาพที่ 4.1เริ่มจากสารละลายธาตุอาหารจากถังพัก (1) ไหล ส่งไปกระเบบปลูกพืชไปตามท่อส่ง (2)แล้วระบายไหลกลับสู่ถังพักทางท่อไหลกลับ (3)โดยอัตโนมัติ เหมือนระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินทั่วไป ท่อส่งสารละลายอาหารจะมีท่อแยกออกมาสำหรับส่งสารละลาย ตัวอย่างเพื่อตรวจวัดด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ ท่อแยกนี้มีวาล์วปิดเปิด (4) เมื่อต้องการหยุดระบบ อัตโนมัติ ท่อส่งสารละลายตัวอย่างนี้มีจุดติดตั้งหัววัด EC (5) โดยทำมุมเอียง 45องศา เพื่อป้องกัน เกิดฟองอากาศจะทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้ หัววัดจะบอกอ่านค่าให้ตัวควบคุม EC อัตโนมัติ (6) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอาหารเจือจางลงตัวควบคุมจะส่งสัญญาณให้เปิดวาล์ว (7)เพื่อปล่อย สารละลายที่เข้มข้นจากถังเก็บสารอาหาร (8) ลงไปในถังพัก

ค่า pH ของสารละลายอาหารวัดโดยใช้หัววัด pH (9) ที่ติดตั้งในอ่างพักสารละลายตัวอย่าง (10)หลังจากผ่านหัววัด EC เมื่อ pH มีค่าสูงขึ้นเกินกำหนด ตัวควบคุม pH จะส่งสัญญาณให้ปั๊มฟลัม

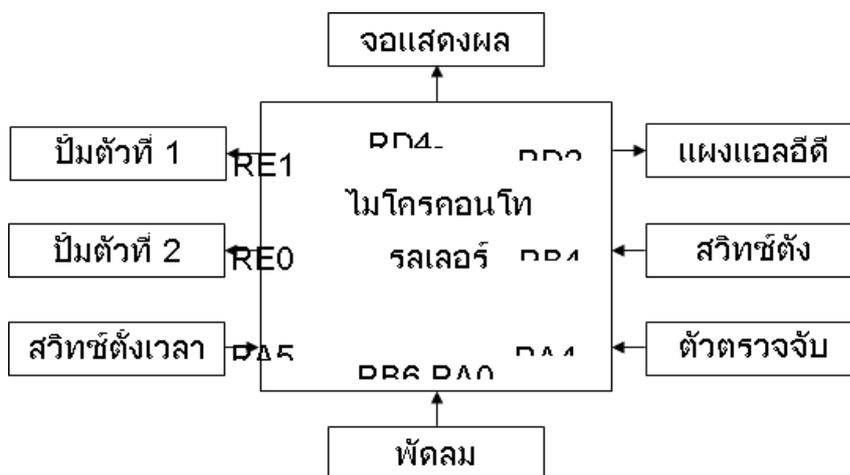
(11) ทำงาน ให้เกิดแรงดันอากาศเพิ่มขึ้นภายในกระบอกบรรจุกรด (12)อัดดันให้กรดไหลตามท่อ (13) ไปยังอ่างพักสารละลาย เพื่อปรับ pH ในสารละลายอาหารในอ่างพัก เป็นการไหลอย่างต่อเนื่อง กลับลงไปตามท่อน้ำล้น (14) สู่อ่างพักสารละลายอาหาร นอกจากนี้ในระบบนี้มีวาล์ว (15) ควบคุมเติมน้ำเมื่อระดับน้ำในอ่างพักลดลง



ภาพที่ 4.1 การออกแบบชุดควบคุมความเข้มข้นหรือการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) และความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลายอาหาร

2.2 ชุดควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง

ระบบควบคุมการทำงานแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงใช้กับตู้เพาะเลี้ยงพืชด้วยแสงแอลอีดี ออกแบบระบบจะเริ่มที่ทำงานที่เวลา 06.00 น. และหยุดทำงานที่เวลา 18.00 น. นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำหน้าที่ตรวจเช็คอุณหภูมิภายในเครื่องจะทำการส่งข้อมูลที่ได้ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีการออกแบบระบบควบคุมการทำงาน ดังภาพที่ 4.2



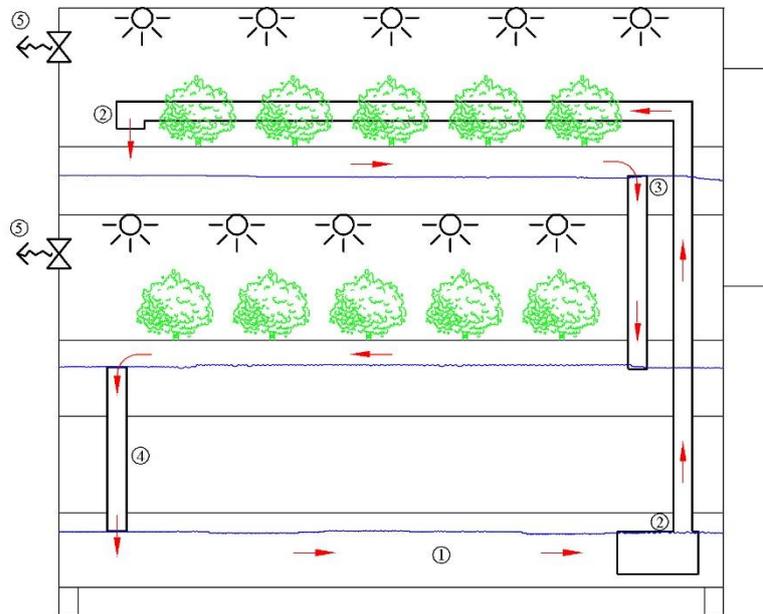
ภาพที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม

จากภาพที่ 4.2 เป็นการออกแบบบล็อกไดอะแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืชด้วยแสงแอลอีดี โดยจะมีการทำงานอยู่ 8 อย่าง คือ จอแสดงผล ปั๊มติวที่ 1 ปั๊มติวที่ 2 สวิทซ์ตั้งเวลา พีดลม แผงแอลอีดี สวิทซ์ตั้งอุณหภูมิ และตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยอุปกรณ์ทุกอย่างจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มแรกการทำงานจะจ่ายไฟตรง 5 โวลต์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เอาต์พุตและอินพุตที่เชื่อมต่ออยู่ ได้แก่ สวิทซ์ตั้งเวลา RA5 สวิทซ์ตั้งอุณหภูมิ RA4 พีดลม RA6, RA0 และตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ RA4 ว่ามีการทำงานหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการส่งคำสั่งออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุตให้ทำงานแสดงผลไปยังขาต่างๆ ได้แก่ ปั๊มน้ำตัวที่ 1 ขา RE1 ปั๊มน้ำตัวที่ 2 ขา RE0 แผงแอลอีดี RA2 และจอแสดงผล RA4-RD7, RE2 เริ่มทำงานตามคำสั่งที่ได้ตั้งค่าไว้

2.3 ระบบการปลูกพืชของตู้เพาะเลี้ยงพืช

ตู้เพาะเลี้ยงพืชได้ออกแบบเป็นชั้น มี 3 ชั้น โดยชั้นด้านล่างเป็นชั้นถังพักสารละลายอาหาร ชั้นถัดขึ้นไป 2 ชั้น ใช้สำหรับปลูกเพาะเลี้ยงพืช เป็นการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ระบบปลูกพืชในน้ำ ที่ใช้วัสดุเพื่อเกาะยึดค้ำต้นพืช โดยรากพืชแช่ในสารละลายอาหารที่มีการไหลหมุนเวียนเพื่อให้ก๊าซออกซิเจนแก่รากพืช

ภาพที่ 4.3 เริ่มจากปั๊มน้ำส่งสารละลายธาตุอาหารจากถังพัก (1) ไหลตามท่อส่ง (2) ขึ้นไปปล่อยสารละลายอาหารให้กระบะปลูกพืชชั้นบนสุด เมื่อปริมาณของระดับสารละลายมากเกินไปจะไหลระบายออกทางท่อน้ำล้น (3) ตกลงในกระบะปลูกพืชด้านล่างคือชั้นที่ 2 ในทำนองเดียวกันเมื่อปริมาณของระดับสารละลายของชั้นที่ 2 มีมากเกินไปจะไหลระบายออกทางท่อน้ำล้น (4) ไหลกลับสู่ถังพักคือกระบะด้านล่างสุด เป็นการไหลหมุนเวียนตลอดเวลาเพื่อให้ก๊าซออกซิเจนแก่รากพืช

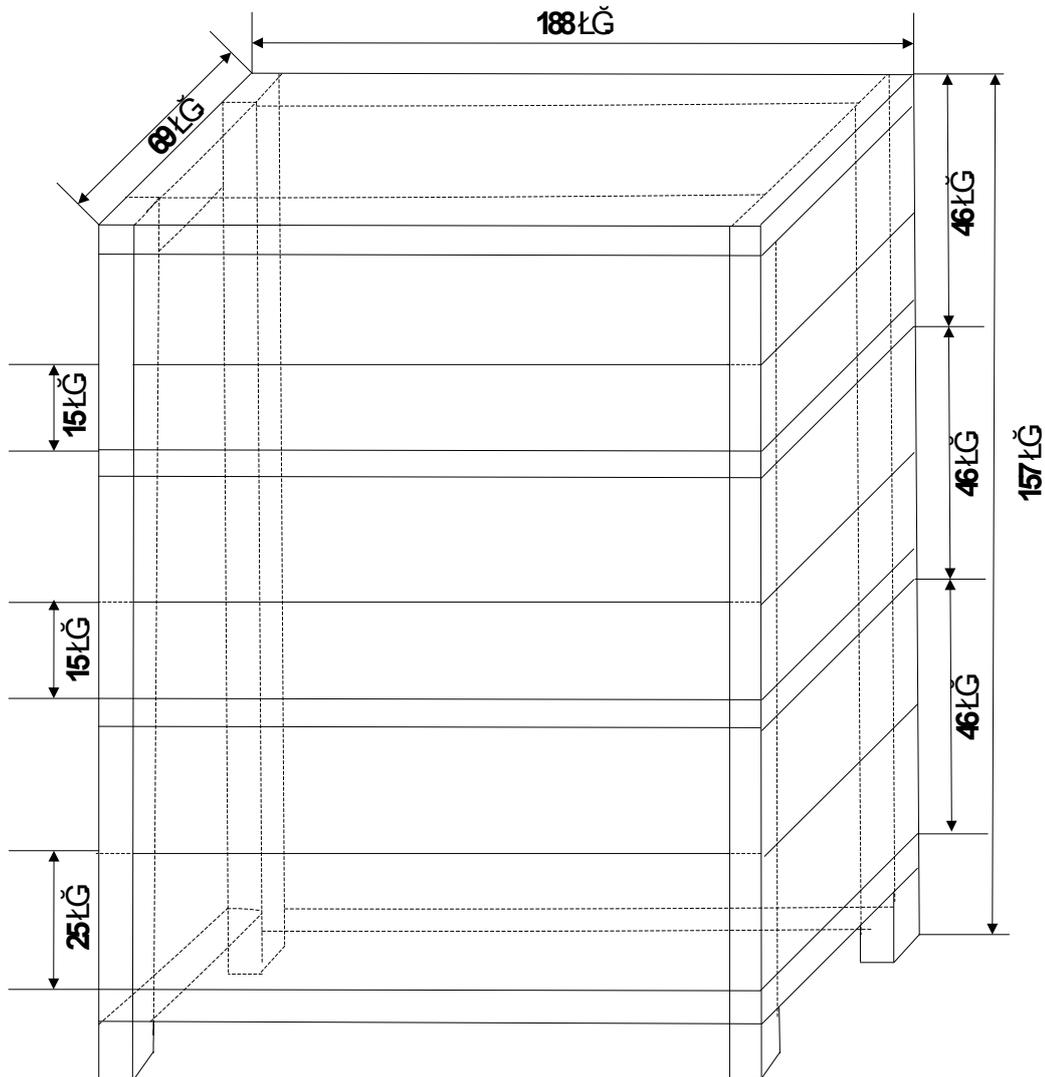


ภาพที่ 4.3 ตู้เพาะเลี้ยงพืชเป็นการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ระบบปลูกพืชในน้ำ ที่ใช้วัสดุเพื่อเกาะยึดค้ำต้นพืช โดยรากพืชแช่ในสารละลายอาหารที่มีการไหลหมุนเวียนเพื่อให้ก๊าซออกซิเจนแก่รากพืช

3. การพัฒนาสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช

หลังจากที่ได้ออกแบบเสร็จแล้วจึงดำเนินการพัฒนาสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช ประกอบด้วย ชุดควบคุมความเข้มข้นหรือการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) และความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารละลายอาหารระบบ ชุดควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงและระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินโดยการนำเอาความสามารถของเทคโนโลยีต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้เครื่องฯ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงสร้างของตู้เพาะเลี้ยงพืชนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงการนำมาใช้งาน ต้องมีลักษณะและโครงสร้างของเครื่องที่เหมาะสมกับการใช้งาน



ภาพที่ 4.4 ออกแบบโครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช

จากภาพที่ 4.4 โครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชทำด้วยอะลูมิเนียม โดยจะมีขนาดความสูงจากพื้นถึงฝา 157 เซนติเมตร ความกว้าง 69 เซนติเมตร และมีขนาดความยาวของโครงสร้าง 188 เซนติเมตร มีทั้งหมด 3 ชั้น โดยในแต่ละชั้นจะสูง 46 เซนติเมตร กว้าง 69 เซนติเมตรและยาว 188 เซนติเมตร และทุกชั้นจะมีกระบะน้ำซึ่ง ชั้นที่ 1 และ 2 มีความสูง 15 เซนติเมตร กว้าง 62 เซนติเมตร ยาว 188 เซนติเมตร ส่วนชั้นที่ 3 จะมีความสูง 25 เซนติเมตร กว้าง 62 เซนติเมตร ยาว 188 เซนติเมตร ชั้นที่ 1 และ 2 จะเป็นชั้นที่มีไว้สำหรับปลูกพืช ส่วนชั้น จะเป็นชั้นถังพัก ชั้นที่ 3 ที่ใส่น้ำสารละลาย จึงต้องมีความสูงมากกว่าชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2

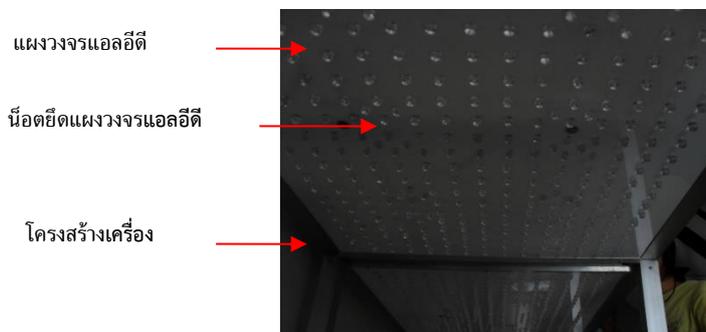
3.1 ขั้นตอนการสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม

3.1.1 การประกอบโครงสร้าง ทำการประกอบโครงสร้างอะลูมิเนียมตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วให้ได้ขนาด โดยมีความสูง 157 เซนติเมตร กว้าง 69 เซนติเมตร และยาว 188 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.5



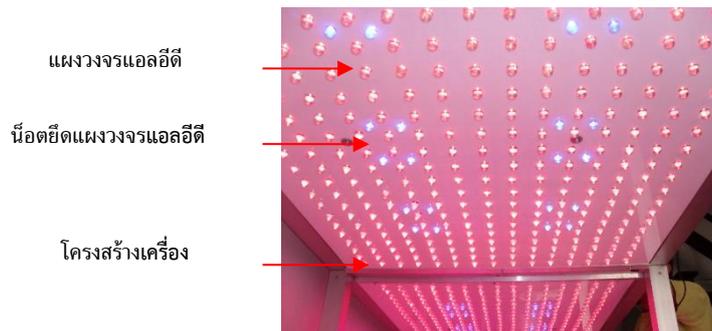
ภาพที่ 4.5 โครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชทำด้วยอะลูมิเนียม

3.1.2 ติดตั้งแผงวงจรแอลอีดีกับโครงสร้างของเครื่อง หลังจากติดหลอดแอลอีดีกับแผ่นอะคาสิคทั้ง แผงเรียบร้อยแล้วก็ทำการยึดแผงติดกับโครงสร้างของเครื่องดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ติดตั้งแผงหลอดแอลอีดีกับโครงสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช

จากภาพที่ 4.7 ติดตั้งแผงหลอดแอลอีดีกับโครงสร้าง โดยแผงหลอดจะมีเหล็กฉากที่คอยึดให้ติดกับโครงสร้างอะลูมิเนียมและบริเวณตรงกลางของแผ่นอะคาสิคจะมีนอตยึดตั้งตรงกลางเพื่อไม่ให้แผงหลอดหักอีกที่ แผงหลอดแอลอีดีจะอยู่สูงจากถาดน้ำ 20 ซม. เมื่อประกอบเสร็จก็ทำการทดลองจ่ายแรงดันไฟให้กับแผงวงจรแอลอีดี ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 4.7 ทดลองจ่ายไฟให้กับแผงวงจร

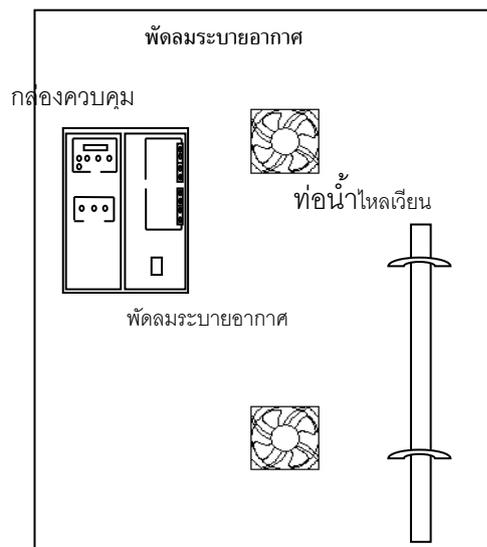
3.1.3 ติดตั้งกล่องควบคุม



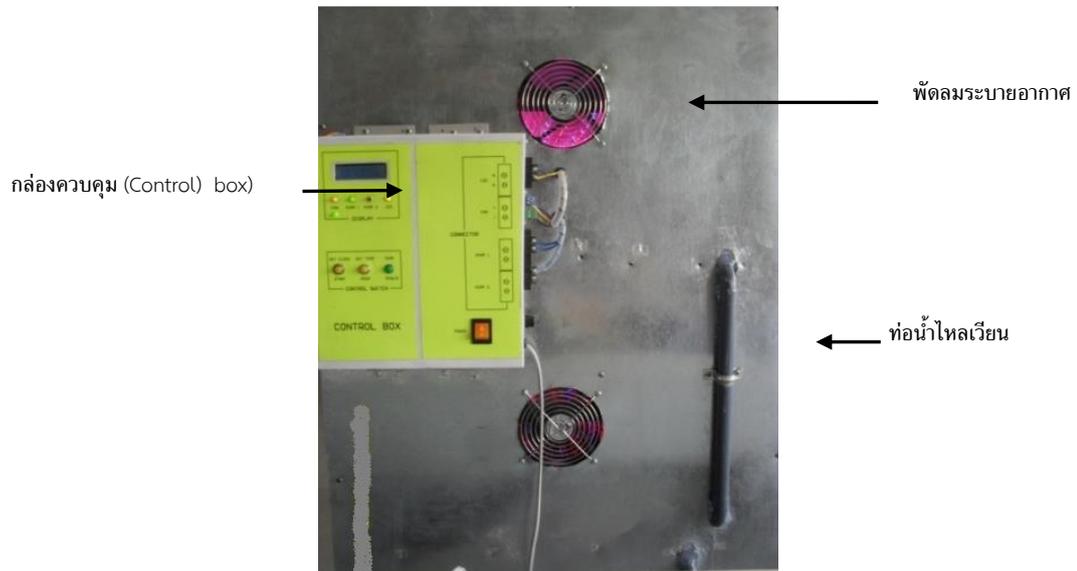
ภาพที่ 4.8 กล่องควบคุม (Control box)

จากภาพที่ 4.8 กล่องควบคุม (Control box) จะแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆบนกล่องควบคุมโดยจะมีหน้าจอแอลอีดีที่ทำหน้าที่แสดงผล เวลา อุณหภูมิ เป็นตัวเลข หลอดแอลอีดีแสดงผลจะเป็นตัวบอกถึงการทำงานของอุปกรณ์ภายในเครื่องควบคุมตู้เพาะเลี้ยงพืช หลอดแรกสี่สี จะแสดงการทำงานของพัดลมชั้นที่ 1 ด้านล่างจะเป็นหลอดสีเขียวแสดงการทำงานของพัดลมชั้นที่ 2 หลอดสีเขียวถัดจากหลอดแสดงผลพัดลมชั้นที่ 1 จะเป็นหลอดที่แสดงการทำงานของปั้มน้ำตัวที่ 1 หลอดแอลอีดีสีแดงจะแสดงการทำงานของปั้มน้ำตัวที่ 2 หลอดแอลอีดีสีเหลืองจะเป็นหลอดที่แสดงการทำงานของแผงแอลอีดีถ้าหลอดแอลอีดีแสดงผลติดก็แสดงการทำงานของอุปกรณ์นั้น ส่วนต่อมาจะเป็นสวิตซ์ จะมีอยู่ทั้งหมด 3 ตัว ตัว 4 จะเป็นพุ่มบัทตอนสวิตซ์ 1 ตัวจะเป็น Power switch พุ่มบัทตอนสวิตซ์ทั้ง 3 ตัวจะทำงานร่วมกันอยู่ คือ ตัวแรกจะเป็นสวิตซ์ตั้งเวลา เมื่อกดแล้วมันจะขึ้นให้ตั้งเวลา 00.00 ถ้าจะตั้งชั่วโมงก็ให้กดที่พุ่มบัทตอนสวิตซ์ตัวที่สอง แต่ถ้าตั้งนาที่ก็กดพุ่มบัทตอนสวิตซ์ตัวที่สาม เมื่อตั้งค่า

เสร็จก็กดตัวที่หนึ่งเพื่อตั้งค่า ถ้ากดปุ่มทอนสวิทซ์ของตัวที่สองก็จะเป็นการตั้งอุณหภูมิ จากนั้นก็กดปุ่มทอนสวิทซ์ตัวที่สามเพื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่จะตรวจวัดภายในเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี เมื่อตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วก็มากดตั้งค่าที่ปุ่มทอนสวิทซ์ตัวที่สอง ส่วน Power switch จะเป็นสวิทซ์ที่เปิดปิดเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี ส่วนต่อไปของกล่องควบคุม คือ พอร์ตต่อไฟ พอร์ตแรกจะเป็นพอร์ตต่อแผงหลอดแอลอีดี ซึ่งจะมี 2 ขั้ว แอนโอด และแคโทด K พอร์ตที่สองจะต่อพอร์ตพัดลม ซึ่งพอร์ตต่อพัดลมจะมีทั้งหมด 2 (พอร์ต คือ พอร์ตที่หนึ่งจะต่อกับพัดลมชั้นบน) พอร์ตที่สองจะต่อกับพัดลมชั้นล่าง พอร์ตสุดท้ายจะเป็นพอร์ตที่ต่อกับปั๊ม จะแบ่งเป็น 2 พอร์ตเช่นเดียวกับพอร์ตต่อพัดลม เพราะการทำงานของเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดีจะมีการหมุนเวียนของน้ำตลอด 24 ชั่วโมงดังนั้นจึงต้องมีการสลับการทำงานของปั๊ม 2 ตัว เพื่อถนอมอายุการใช้งาน



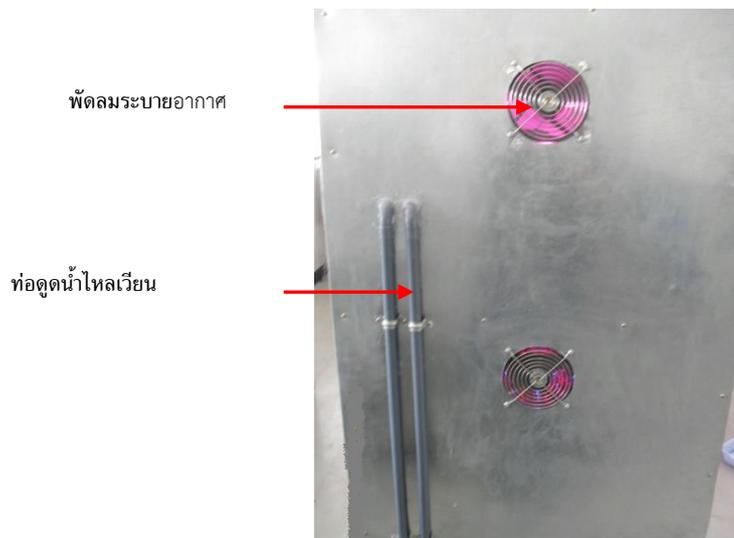
ภาพที่ 4.9 ออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งกล่องควบคุม



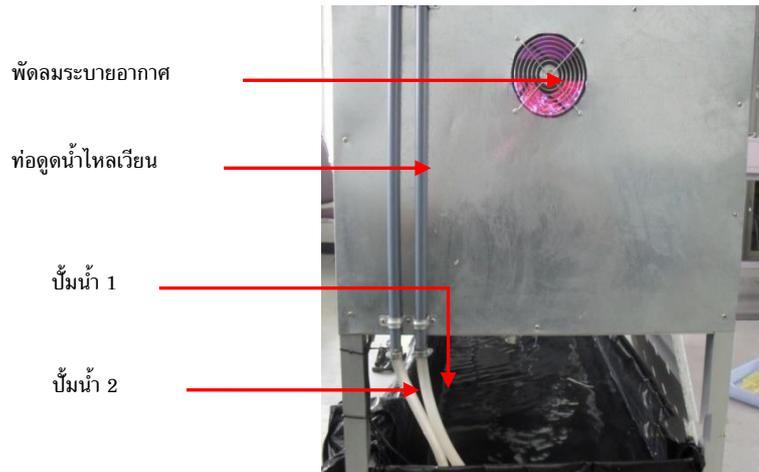
ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์จริง

จากภาพที่ 4.9 และ 4.10 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ทางด้านข้างของตู้เพาะเลี้ยงพืช โดยจะมีการติดตั้งกล่องควบคุม พัดลมระบายอากาศ และท่อน้ำไหลเวียน

3.1.4 ติดตั้งปั้มน้ำและท่อน้ำไหลเวียน ทำการออกแบบท่อน้ำไหลเวียนโดยต้องวัดระดับของน้ำให้สามารถหมุนเวียนได้พอดีดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ตำแหน่งท่อน้ำไหลเวียน



ภาพที่ 4.12 ตำแหน่งปั้มน้ำ

จากภาพที่ 4.12 ตำแหน่งปั้มน้ำ จะแสดงตำแหน่งการติดตั้งปั้มน้ำ และท่อน้ำไหลเวียน โดยปั้มน้ำจะถูกติดตั้งไว้ที่ถาดน้ำชั้นล่างสุด และดูดน้ำขึ้นไปเก็บชั้นที่หนึ่งเมื่อน้ำเต็มก็จะไหลเวียนลงมาตามท่อน้ำไหลเวียนอีกฝั่งเพื่อมาเก็บไว้ที่ชั้นล่างสุด

3.1.5 รูปแบบของตู้เพาะเลี้ยงพืชที่พัฒนาสร้างสำเร็จ หลังจากที่ทำกรประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้เพาะเลี้ยงพืชเสร็จครบเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถทำการเปิดเครื่องและเพาะเลี้ยงพืชได้ดังแสดง ภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.13 ตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม

ตอนที่ 2 การทดสอบการเจริญเติบโตของพืชผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม

1. การทดสอบการเจริญเติบโตของพืชผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม

เมื่อทำการทดลองปลูกพืชคือผักสลัดได้ผลการทดลอง ดังนี้

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ภายในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม ภายใต้แสงแอลอีดี โดยปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค แล้วทำการเก็บผลการทดลอง เนื่องจากเป็นผักที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตที่สั้น ทั้งยังมีความสูงไม่มากนัก

1.1 ผลการทดลองผักสลัดกรีนโอ๊ค การทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืช ครั้งที่ 1

เมื่อทดลองปลูกผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืช ดังภาพที่ 4.14 พบว่า ผักสลัดสามารถเจริญเติบโตได้ แล้วทำการเก็บผลการทดลองผักสลัดกรีนโอ๊ค จะเก็บผลเป็นรายสัปดาห์ จำนวน 9 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยจะหาจากความสูงของลำต้นความยาวของราก และจำนวนใบ ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.14 ต้นกล้าผักสลัดกรีนโอ๊คปลูกในตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม ภายใต้แสงจากหลอด LED

ตารางที่ 4.1 ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

อายุ สัปดาห์	รูปผักสลัดกรีนโอ๊ค	ผลการเจริญเติบโต		
		ความสูง (เซนติเมตร)	ราก (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
1		0.5	0.2	2
2		1	0.2	3

อายุ สัปดาห์	รูปผักสลัดกรีนโอ๊ค	ผลการเจริญเติบโต		
		ความสูง (เซนติเมตร)	ราก (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
3		2.2	0.2	4
4		3.8	2.5	6
5		4	2.5	6
6		6	2.6	8
7		8.7	2.7	8
8		11	2.7	9
9		13	2.8	10
เฉลี่ย		5.57	1.82	6.22

ความเข้มแสงจากหลอดแอลอีดี เท่ากับ 600-800 ลักซ์ อุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.1 เป็นการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค จำนวน 9 สัปดาห์ซึ่งมีการเจริญเติบโต คือ มีความสูงเฉลี่ย 5.57 เซนติเมตร รากยาวเฉลี่ย 1.82 เซนติเมตร มีจำนวนใบทั้งหมดเฉลี่ย 6.22 ใบ

1.2 ผลการทดลองผักสลัดกรีนโอ๊ค ในการทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืช ครั้งที่

2

จากการทดลองทดสอบประสิทธิภาพของตู้ปลูกพืช ในครั้งที่ 1 พบว่า ผักสลัดกรีนโอ๊ค มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติที่อยู่ในแปลงปลูก จากการวัดค่าความเข้มแสง เท่ากับ 600 ลักซ์ จึงได้ทำการปรับความเข้มแสงของตู้ให้มากขึ้น และทำการวางแผนการทดลองเปรียบเทียบ ความเข้มแสง ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (C.R.D.) โดยมีทั้งหมด 4 สิ่ง

ทดลอง คือ 1. แผลงปลุก ระบบ NFT (control) 2. ตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 600 ลักซ์ 3. ตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 800 ลักซ์ และ 4. ตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด Fluorescents ได้ผลการทดลองดังนี้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนใบ พบว่า จำนวนใบ ที่อายุ 1 สัปดาห์หลังปลุก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนที่อายุ 2-4 สัปดาห์หลังปลุก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.3) และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของจำนวนใบ พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลุกในแปลงมีจำนวนใบมากที่สุด ในทุกสัปดาห์ รองลงมาคือ ปลุกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด Fluorescents ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน ตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 800 ลักซ์ ไม่แตกต่างกับแปลงปลุกที่อายุ 1-2 สัปดาห์หลังปลุก แต่เมื่ออายุ 3-4 สัปดาห์หลังปลุก กลับมีจำนวนใบแตกต่างกับการปลุกในแปลงปลุก และตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 600 ลักซ์ แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบน้อยที่สุดในทุกอายุหลังปลุก (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของจำนวนใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 1 - 4 สัปดาห์หลังปลุก

สิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ยของจำนวนใบ (ใบ)			
	อายุ 1 สัปดาห์หลังปลุก	อายุ 2 สัปดาห์หลังปลุก	อายุ 3 สัปดาห์หลังปลุก	อายุ 4 สัปดาห์หลังปลุก
control	3.00A	4.75A	6.75A	9.75A
LED 600	1.50B	2.25B	2.75C	4.50C
LED 800	2.50AB	3.50AB	4.75B	7.00B
Fluorescent	2.75AB	4.50A	5.50AB	8.75AB
F-test	*	**	**	**
C.V.%	25.81	18.05	13.39	11.22

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า ทุกสัปดาห์หลังปลุกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.2) และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความกว้างใบ พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลุกในแปลงมีความกว้างใบมากที่สุด ในทุกสัปดาห์ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด Fluorescents แต่แตกต่างกันทางสถิติกับตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 800 ลักซ์ และตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 600 ลักซ์ แสดงค่าเฉลี่ยความกว้างใบน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 1 - 4 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ยของความกว้างใบ (มิลลิเมตร)			
	อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก	อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก	อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก	อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก
control	10.25A	14.25A	40.50A	62.75A
LED 600	4.50C	5.50C	12.50C	15.00C
LED 800	6.75BC	8.75B	32.25B	54.75B
Fluorescent	8.50AB	12.00A	35.25AB	61.25A
F-test	**	**	**	**
C.V.%	16.10	13.52	8.10	4.62

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักสดของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) (ตารางที่ 4.5) ซึ่งการปลูกผักสลัดในแปลงปลูกให้น้ำหนักสดมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด Fluorescents แต่แตกต่างกันทางสถิติกับตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 800 ลักซ์ และตู้ปลูกพืชที่มีความเข้มแสงจากหลอด LED เท่ากับ 600 ลักซ์ แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เมื่ออายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดทั้งต้น (กรัม)
	อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก
control	295.00A
LED 600	60.00C
LED 800	187.25B
Fluorescent	251.50AB
F-test	**
C.V.%	16.59



ภาพที่ 4.15 ผักสลัดกรีนโอ๊คปลูกในตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม ภายใต้หลอดไฟ
Fluorescent จะมีการเจริญเติบโตได้ดี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการวิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้ สามารถสรุปผลการทดลองและวิจารณ์ได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืช

การออกแบบและสร้างตู้เพาะเลี้ยงพืชครั้งนี้มีเป้าหมายคือ การเพาะเลี้ยงพืชในสภาพที่สามารถควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม และใช้ศึกษาเจริญเติบโตของพืชภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ แสง อุณหภูมิ น้ำ และดิน แต่ละปัจจัยมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชแตกต่างกันไปเริ่มตั้งแต่ การงอกเมล็ด การเจริญทางกิ่งใบ การเจริญทางสืบพันธุ์ จนถึงสิ้นสุดชีวิตของพืช (McMahon, M.J., Kofranek, A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

ปัจจัยด้านความต้องการแสงของพืชมีข้อที่พิจารณาถึงบทบาทต่อการเจริญเติบโต คือ คุณภาพแสง ความเข้มแสง และช่วงแสง คุณภาพแสง คือช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช คือ แสงสีน้ำเงิน (400-480 นาโนเมตร) และสีแดง (630-680 นาโนเมตร) ความเข้มของแสง หมายถึง พลังงานแสงที่ตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ โดยทั่วไปการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เกิดขึ้นถ้าความเข้มของแสงพลังงานแสงต่ำกว่า 0.4 ฟุต – แคนเดิล พืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตไม่เหมือนกัน (McMahon, M.J., Kofranek, A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

ความต้องการแสงของพืชในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อแสงของพืช โฟตอนของแสงที่พืชตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงคือช่วงคลื่น 400 700 –นาโนเมตร เรียกว่า Photosynthetically Active Radiative (PAR) ในช่วงคลื่นแสงนี้ความเข้มของแสงถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในช่วงระยะเวลาที่พืชได้รับแสง คลื่นแสงนี้วัดได้ในรูปของ Photosynthetic Photon Flux (PPF) มีหน่วยวัดเป็น ไมโครโมล/ต.ร.ม/วินาที(MMole/m²/s) โดยปกติทุกๆไปวัดแสงในรูปของ foot-candles(1ft-c = 10.76 lux) ข้อสังเกต PPF คูณด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ แปลงเป็น foot-candles ตัวอย่างเช่นวัดค่าแสง PPF = 2000 MMole/m²/s หรือ 10, 020ft-c (นั่นคือ 2000 * 501 หรือ 107, 815.20lux) เครื่องมือวัดแสง (light meters) หน่วยวัดเป็น ลักซ์(lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot candle) ซึ่งสามารถแปลงค่าเป็นหน่วย PAR ได้ (DeGannes, A., K.R. Heru, A. Mohammed, C. Paul, J. Rowe, L. Sealy and G. Seepersad, 2014)

ช่วงแสงเป็นความยาวระหว่างระยะสว่างกับระยะมืด หมายถึง ระยะได้รับแสงกับระยะมืด ในวันที่มี 24 ชั่วโมง มีผลต่อการออกดอกของพืช (photoperiodism) และการสร้างหัวของพืชบางชนิด (Freeman, S., 2002)

ดังนั้นการออกแบบนี้จึงใช้หลอด LED เพื่อให้แสงสีแดง และสีน้ำเงิน ติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมความเข้มของแสง และการตั้งเวลาการปิดเปิดการให้แสงในรอบ 24 ชั่วโมงได้ เพื่อสอดคล้องกับปัจจัยด้านแสงที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 400-480 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) และระหว่าง 630-680 นาโนเมตร (แสงสีแดง) (Kobayashi,K., T. Amore and M. Lazaro., 2013)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้แสงสว่างที่แนะนำเป็นรังสีที่ให้ผลต่อการสังเคราะห์แสง *Photosynthetically Active Radiation (PAR)* เพื่อทดแทนแสงธรรมชาติ โดยคิดเป็นรังสีที่ได้รับต่อวัน สำหรับผักสลัดแนะนำให้ได้รับรังสีปริมาณ 17 mol/m²/d. หลอดไฟชนิดนี้ถือว่าค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ปกติมีอายุประมาณ 25, 000 ชั่วโมง และสูญเสียลดลง 1 % ทุกๆ 1000 ชั่วโมง และเสื่อมสภาพอย่างช้าๆตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องหมั่นตรวจสอบ ด้วย quantum sensor วัดปริมาณ PAR. ถ้าต่ำกว่า 200 μmol/m²/s ก็ควรจะเปลี่ยนหลอดใหม่ (Brechner, M. and A.J. Both, 2017)

การวัดแสงด้วย a quantum sensor เป็นการวัด *Photosynthetically Active Radiation (PAR)* มีหน่วยเป็น μmol/m²/s. ซึ่งเป็นแสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วน การวัด Foot-candle sensors และ lux meter นั้น ไม่ค่อยจะเหมาะสมเนื่องจากไม่ได้เป็นการวัดแสงที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง (DeGannes, A., K.R. Heru, A. Mohammed, C. Paul, J. Rowe, L. Sealy and G. Seepersad, 2014)

ปัจจัยด้านอุณหภูมิ มีผลต่อกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะมีผลต่อกิจกรรมทางสรีรวิทยาภายในต้นพืช เช่น อุณหภูมิมีผลต่ออัตราแพร่กระจายของก๊าซและของเหลวในต้นพืช เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำมีความหนืดเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนไปมีผลต่อพลังงานจลน์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และก๊าซอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารแตกต่างกันไปด้วย อุณหภูมิมีผลกระทบต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ดังนั้นย่อมมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต พืชทั่ว ๆ ไปสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 – 50 องศาเซลเซียส พืชแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเหมาะสมแตกต่างกัน (McMahon, M.J., Kofranek ,A.M. & Rubatzky, V.E., 2002)

ในการออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชนี้ใช้พัดลมระบายอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิสำหรับผักสลัด แนะนำ อุณหภูมิกลางวัน 24 องศาเซลเซียส /กลางคืน 19 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิของน้ำไม่ควรสูงเกิน 25 องศาเซลเซียส และไม่ต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส pH 5.6-6 ความชื้นในอากาศ อย่าน้อย 50 และไม่เกิน 70 % (Chiu, A.J., 1996)

ปัจจัยด้านน้ำและดิน พืชได้รับน้ำจากดิน และดินเป็นแหล่งให้แร่ธาตุอาหารแก่พืช ด้วยระบบการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารโดยผ่านทางรากพืช ในการออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชนี้ พิจารณาแล้วว่า ควรใช้การปลูกพืชระบบไม่ใช้ดิน เนื่องจาก ระบบนี้ สามารถควบคุมและจัดการ การให้น้ำ และแร่ธาตุอาหารพืชได้ดีกว่าระบบปลูกในดิน (Brechner, M. and A.J. Both,2017) ตู้เพาะเลี้ยงพืชนั้น มีส่วนที่ต้องให้แร่ธาตุอาหารพืชในรูปของเหลวไปพร้อมกับการให้น้ำเรียกว่า สารละลายแร่ธาตุอาหาร ซึ่งจะต้องการจัดการควบคุมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช การจัดการดังกล่าวได้แก่ ด้วยเครื่องมือตรวจวัดแร่ธาตุอาหารพืชในสารละลาย ได้แก่ pH เพื่อวัดความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุอาหารพืชต่อ

พืช โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 6.0-6.3 และความเข้มข้นของสารละลายอาหารซึ่งประเมินโดยการวัดการนำไฟฟ้า คือ electric conductivity ; EC มีหน่วยวัดคือ มิลลิโฮมต่อเซนติเมตร (mmho/cm) หรือ มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) เป็นเกลือที่ละลายน้ำได้บริเวณรากพืชมีผลต่อการดูดกินอาหารของรากพืชโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 2.0-0.5 mS/cm (Morgan,L., 1999)

ออกแบบตู้เพาะเลี้ยงพืชที่เป็นต้นแบบของการพัฒนานี้ จะต้องสร้างกล่องควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วย แสง พัดลมระบายอากาศ การให้น้ำ การให้สารละลายแร่ธาตุอาหารและการควบคุม pH สำหรับควบคุมการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืช นอกจากนี้จะต้องคำนึงถึงระดับความสูงของพืชและการใช้พัดลมในการระบายอากาศ การทดสอบการทำงานของตู้เพาะเลี้ยงพืชแล้วจึงทดสอบประสิทธิภาพของตู้เพาะเลี้ยงพืชต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดต่อไป

ตอนที่ 2 การทดสอบการเจริญเติบโตของผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืชควบคุมสิ่งแวดล้อม

การทดสอบการเจริญเติบโตของผักสลัดภายในตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อมได้แบ่งออกเป็น 2 ครั้ง เนื่องจากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า ความเข้มของแสงที่ให้กับผักสลัดไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโต และใช้ระยะเวลาเวลานานกว่าปกติ จึงได้ดำเนินการทดสอบการเจริญเติบโตของผักสลัดในตู้เพาะเลี้ยงพืช ครั้งที่ 2 โดยการเพิ่มความเข้มแสงให้มากขึ้น จาก 600 เป็น 800 lux พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มแสงให้มากขึ้นทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับการปลูกภายใต้แสงฟลู และการปลูกสภาพธรรมชาติ สอดคล้องกับ ธนพงศ์พันธ์ และคณะ (มปป.) ผักที่ปลูกตามธรรมชาติเจริญเติบโตมากกว่าผักที่ปลูกด้วยชุดทดลอง และ Kent *et al.* (2013) ปลูกผักสลัดภายใต้แสง 3 ชนิด คือ หลอด fluorescent หลอด LED สีน้ำเงิน และหลอด LED สีแดง พบว่า การเจริญเติบโตของผักสลัดภายใต้แสง fluorescent ทุกลักษณะดีกว่าหลอด LED ทั้งสองสี

เป็นไปได้ว่า ถึงแม้ว่าจะจัดการให้แสงเป็น ชนิดของแสงสีแดงและน้ำเงินตามที่พืชต้องการใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงก็ตาม แต่ความเข้มของแสงก็ถือว่ามีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วยเช่นกันโดยทั่วไปการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เกิดขึ้นถ้าความเข้มของแสงพลังงานแสงต่ำกว่า 0.4 ฟูต – แคนเดิล หรือ 4.3lux พืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตไม่เหมือนกัน ต้นกล้าผักสลัด ต้องการแสง 17 mol/m²/d. (Brechner, M. and A.J. Both, 2017) การทดสอบครั้งนี้ใช้ความเข้มแสงที่ 600 และ 800 lux และความเข้มแสงจากหลอด Fluorents พบว่า ผักสลัด สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ที่ความเข้มแสงสูงจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า

ดังนั้นถ้าต้องการให้พืชเจริญเติบโตมากกว่าก็ควรปรับให้ตู้เพาะเลี้ยงสามารถเพิ่มความเข้มแสงให้มากกว่านี้

ข้อเสนอแนะการทดลอง

1. การกำหนดสัดส่วนของหลอด LED สีน้ำเงิน และสีแดง ให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแล้วจะต้องพิจารณาถึงความเข้มของแสงด้วยอย่างน้อย $17 \text{ mol/m}^2/\text{d}$.
2. การพัฒนาตู้ปลูกพืชที่สามารถปรับความเข้มของแสงให้มีช่วงความเข้มแสงที่มากพอที่จะทำการทดลองและเปรียบเทียบพืชผักหลากหลายชนิด พืชในร่ม กิ่งร่ม และพืชกลางแจ้ง

ข้อเสนอแนะทั่วไป

การบูรณาการกระบวนการวิจัยหรืองานสร้างสรรค์กับการจัดการเรียนการสอน

ข้อเสนอแนะทั่วไป

การบูรณาการกระบวนการวิจัยหรืองานสร้างสรรค์กับการจัดการเรียนการสอน

1. การกำหนดให้นักศึกษาระดับปริญญาตรีทำโครงการวิจัย หรืองานสร้างสรรค์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ของอาจารย์

งานวิจัยนี้มีส่วนหนึ่งที่ให้นักศึกษาได้ทำวิจัยเป็นปัญหาพิเศษ โครงการ เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี (Plant Growth Machine With LED) โดย นายจักริน ศักดิ์ดี นายนิภัทร์ ทรายแก้ว นายวรวัฒน์ ทาคง นายฉัตรชัย ผังมาลีและนางสาวรุจินันท์ จันทร์ทอง ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม) คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีการศึกษา 2556 โดยมี อาจารย์สุรียา อติเรก เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี

Plant Growth Machine With LED Lighting

นายจักริน สักดิ์ดี
นายณิชากร หงษ์แก้ว
นายวรัฒน์ หาดง
นายฉัตรชัย นังมาลี
นางสาวรุจิรินทร์
จันทร์ทอง

บทคัดย่อ
เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องทดลองการปลูกพืช หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี จะใช้หลอดแอลอีดีแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินซึ่งจะเป็นแสงที่พืชสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงแทนแสงอาทิตย์ได้ โดยหลอดแอลอีดีจะเปิด-ปิดเองอัตโนมัติเริ่มเปิดเวลา 06.00 น. และปิดเวลา 18.00 น. มีขีมนำที่ทำให้น้ำไหลวนในถังตลอดเวลาและพัดลมที่ทำหน้าที่กระจายอากาศในห้องปลูกพืช

ผลการทดลองปลูกพืช
ผลการเจริญเติบโตระยะต้นกล้า

สปีดไลท์	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ทรงพุ่ม (cm)	จำนวนใบ
1	1.52	1.22	2.8	5
2	1.69	1.28	3.09	6
3	1.84	1.52	3.94	6.86
4	2.9	1.8	7.3	8.2

ผลการเจริญเติบโตระยะต้นกล้า

สปีดไลท์	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ทรงพุ่ม (cm)	จำนวนใบ
1	2.4	1.006	3.02	5.2
2	2.8	1.33	3.62	5.86
3	3.3	1.44	4.98	7.4
4	5.7	1.96	8.25	8

ผลการทดลองสปีดไลท์และสปีดคอส ความยาวใบ

ผลการทดลองสปีดไลท์และสปีดคอส ความกว้างใบ

ผลการทดลองสปีดไลท์และสปีดคอส ลักษณะทรงพุ่ม

หลักการทำงาน

สรุปผล
เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี ใช้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี โดยจะใช้หลอดแอลอีดีรูปโปปเปอร์ใบขนาด 10 มม. สวมกับสีน้ำเงินเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างให้กับพืชและมีการทำงาน คือ เปิดปิดแสงสว่างอัตโนมัติ เริ่มสว่างเวลา 6.00 น. และดับ 18.00 น. มีระบบหมุนเวียนอากาศและปั้มน้ำโดยควบคุมการไหลของน้ำด้วยหลอด 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลองกับผักกาดฮ่องเต้ และมะเขือเทศ เป็นเวลา 4 สปีดไลท์ ผลลัพธ์จะแสดงดังต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง	เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี	
ผู้วิจัย	นายจักริน	ศักดิ์ดี
	นายนิภัทร์	ทรายแก้ว
	นายวรวัฒน์	ทาคง
	นายฉัตรชัย	ผิงมาลี
	นางสาวรุจินันท์	จันทร์ทอง
ปริญญา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	
โปรแกรมวิชา	เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม)	
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรียา อติเรก	
ปีการศึกษา	2556	

บทคัดย่อ

เครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องทดลองการปลูกพืช หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี จะใช้หลอดแอลอีดีแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมาผสมแสงกัน ทำให้เกิดแสงสีออกม่วง ซึ่งจะเป็นแสงที่พืชสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงแทนแสงอาทิตย์ได้ โดยหลอดแอลอีดีจะเปิด-ปิดเองอัตโนมัติเริ่มเปิดเวลา 06.00 น. และปิดเวลา 18.00 น. มีปั้มน้ำที่ทำให้น้ำไหลเวียนได้ตลอดเวลาและพัดลมที่ทำหน้าที่ถ่ายเทอากาศ โดยการทำงานทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวและจะแสดงผลการทำงานที่หน้าจอแสดงผลบนกล่องควบคุม

การทดสอบเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดี พบว่าเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดีสามารถทำงานเปิด-ปิดตามเวลาได้ ด้วยการจะให้แสงสว่างจากหลอดแอลอีดีตั้งแต่ 6.00 น. ถึง 18.00 น. แล้วจะปิดแสงสว่างอัตโนมัติ สามารถควบคุมการหมุนเวียนของน้ำ โดยเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงแอลอีดีจะทดสอบการเจริญเติบโตของพืชโดยทำการปลูกผักสลัดเรดโอ๊คและคอส ซึ่งผักสลัดเรดโอ๊คและคอสสามารถเจริญเติบโตได้ภายในเครื่องควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแสงสว่างจากหลอดแอลอีดี ผักสลัดเรดโอ๊คและผักสลัดคอสสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 2 สัปดาห์แรก ความยาวเฉลี่ยสัปดาห์ที่สอง 1.69 ซม. ความกว้างของใบ 1.28 ซม. ลักษณะทรงพุ่ม 3.09 ซม. จำนวนใบ 6 ใบ ซึ่งมีการเจริญเติบโตที่ดีตั้งแต่เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 3 ผักสลัดเกิดอาการยืด แต่ยังสามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากผักทุกชนิดเมื่อทำการเจริญเติบโตถึงระยะที่จำเป็นต้องใช้ปริมาณแสงสว่างค่อนข้างมาก เพื่อสำหรับการปรุงอาหารของพืช

2. การส่งเสริมให้อาจารย์นำผลลัพธ์ที่เกิดจากการวิจัยไปเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในการเรียนการสอน

การบูรณาการงานวิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อม กับการเรียนการสอนนั้น ได้นำผลลัพธ์ที่เกิดจากการวิจัยไปเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในการเรียนการสอน โดยนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบปฏิบัติการในวิชา เทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรือน (Plant Production Technology in Greenhouse) รหัส 5233704 ซึ่งวิธีการปลูกในโรงเรือนนี้ได้รับความนิยมและสนใจมากขึ้น ดังเป็นประเด็นหนึ่งในกลยุทธ์วิจัยตามนโยบายส่งเสริมของรัฐบาลด้านการผลิตพืชปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

ในเนื้อหาวิชา (มคอ. 3) ได้กล่าวถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช สภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีความแตกต่างจากภายนอกโรงเรือนซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมปกติ เช่น สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน มีความเข้มของแสงน้อยกว่า อุณหภูมิสูงกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงกว่า ตลอดจนการจัดการน้ำและธาตุอาหารพืชหรือปุ๋ยที่ต้องการความถูกต้องและแม่นยำตามความต้องการของพืชมากกว่า ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการดูแลแตกต่างจากการปลูกพืชปกติทั่วไป

ตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อมเปรียบเสมือนแบบจำลองโรงเรือนปลูกขนาดเล็ก ส่งผลให้เกิดความสะดวกและสามารถติดตามได้อย่างใกล้ชิด ตลอดเวลา ใช้เป็นต้นแบบเพื่อศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช เป็นแนวทางการบริหารจัดการปลูกและดูแลพืชในโรงเรือน ต่อไป

หลังจากนักศึกษาเรียนวิชานี้ (30 คน)ภาคเรียนที่ 2/2559 โดยมีตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อมเป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติการทดลองแล้วประเมินผลความพึงพอใจ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนวิชเทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรียนต่อตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสภาพแวดล้อม

ลำดับ	คำถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	ความจำเป็นหรือความสำคัญของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช	4.29
2	ความจำเป็นหรือความสำคัญของสิ่งแวดล้อมด้านแสงที่มีต่อพืช	4.45
3	ความจำเป็นหรือความสำคัญของสิ่งแวดล้อมด้านน้ำที่มีต่อพืช	4.38
4	ความจำเป็นหรือความสำคัญของสิ่งแวดล้อมด้านอุณหภูมิที่มีต่อพืช	4.22
5	ความจำเป็นหรือความสำคัญของสิ่งแวดล้อมด้านธาตุอาหารที่มีต่อพืช	4.16
6	สิ่งแวดล้อมในโรงเรียนเพาะปลูกมีความแตกต่างจากภายนอก	4.35
7	ความจำเป็นหรือความสำคัญที่จะต้องมีความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของพืช	4.09
8	ความจำเป็นหรือความสำคัญที่จะต้องมีตู้เพาะปลูก จำลอง ที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อม เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจเรื่องสิ่งแวดล้อม มีประโยชน์	4.16
9	ความรู้จากตู้เพาะปลูกพืชใช้เป็นแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่พืชต้องการ เจริญเติบโต	4.09
10	ประโยชน์ของตู้เพาะปลูกพืช จำลอง ที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมได้	4.09

)คะแนน 0-0.99 หมายถึง ความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด, คะแนน 1-1.99 หมายถึง ความพึงพอใจระดับน้อย , คะแนน 2.00- 2.99 หมายถึงความพึงพอใจ ระดับปานกลาง, คะแนน 3.00-3.99 หมายถึงความพึงพอใจระดับมาก และคะแนน 4.00-5.00 หมายถึงความพึงพอใจระดับ มากที่สุด)

ตารางที่ 5.1 พบว่า นักศึกษาให้ความสำคัญและความจำเป็นด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แสง น้ำ อุณหภูมิ และธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโต ในระดับ มากที่สุด (4.09 - 4.45) ยอมรับว่าสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนปลูกพืชแตกต่างจากภายนอกมากที่สุด (4.35) ดังนั้นการที่มีตู้เพาะเลี้ยงพืชแบบควบคุมสิ่งแวดล้อมได้เพื่อใช้การศึกษามีความสำคัญและจำเป็นมากที่สุด (4.16) ได้รับความรู้จากตู้เพาะปลูกพืชใช้เป็นแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่พืชต้องการ เจริญเติบโต และเห็นว่าตู้เพาะปลูกพืช จำลอง ที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมได้นั้นมีประโยชน์มาก (4.09)

สรุป งานวิจัยและพัฒนาตู้เพาะเลี้ยงพืช แบบควบคุมสภาพแวดล้อม ได้นำงานวิจัยบูรณาการกับการเรียนการสอนวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชในโรงเรียน โดยงานวิจัยตู้เพาะปลูกพืชแบบควบคุม

สภาพแวดล้อมนี้ ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนเพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจด้าน
สิ่งแวดล้อมและแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่พืชต้องการเจริญเติบโต

บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ .2551. **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**
กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด .
- ไกรเลิศ ทวีกุล, ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2547. **โครงการสถานภาพของการใช้โรงเรือนสำหรับผลิตพืชสวนในสภาพควบคุมเพื่อการค้าในประเทศไทย** .
สำนักงานกองสนับสนุนงานวิจัย. กรุงเทพมหานคร. 74 น.
- จिरยุทธ์ มหัทธนกุล. 2550. **อิเล็กทรอนิกส์**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหา
นคร.กรุงเทพมหานคร.
- นพดล เรียบเลิศศิริชัย. 2550. **การปลูกพืชไร้ดิน** .กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น. 169 น.
- นภัทร วจนเทพินทร์ และไชยยงค์ บุญมี. 2560 .**ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช**.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 25 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์.
ธนพงศ์พันธ์ ชูพงศ์ ชัยณรงค์ คล้าสุข และอับดุลราเสบ ยะ โภบ. มปป. ชุดควบคุมการให้แสงสว่าง
และน้ำสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในอาคารที่รื้อใช้พลังงานแสงอาทิตย์. **ปัญหา
พิเศษ**. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- ปัญญา มัชชะสร. 2552. **เครื่องต้นแบบแหล่งกำเนิดแสงเทียม สำหรับการปลูกต้นไม้ด้วยระบบการ
ควบคุมการเปิดและปิดแสงแบบอัตโนมัติ**. การประชุมวิชาการ ระบบเกษตรแห่งชาติ
ครั้งที่ 5: พลังงานทดแทนและความมั่นคงทางอาหารเพื่อมนุษยชาติ
- มนูญ ศิริบุษงค์. 2544. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย** .เจริญรัฐการพิมพ์.
90 น.
- วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2552. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ :ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการ
วัดและระบบควบคุม**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีศูนย์
ทดสอบวิชาการและวิชาชีพอุตสาหกรรม.
- วิทยา สุริยาภณานนท์. 2534. **อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน** .กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 188 น.
- วรรณภา เสนาดี .2548 **เทคโนโลยีระบบโรงเรือนปลูกพืชสำหรับเขตร้อนชื้น**. วารสารเคห
การเกษตร ปีที่ 29ฉบับที่ 2กุมภาพันธ์ 2548
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน
(Soilless Culture)**. พิมพ์ครั้งที่ 2 .กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 35 น.
- สถาบันอาหาร. 2553. **สถานการณ์ค้าอาหารของไทย** .แหล่งข้อมูลออนไลน์ [เข้าถึงข้อมูลได้ที่]
<http://fic.nfi.or.th/th/home/default.asp> (1 ตุลาคม 2553)
- โสระยา ร่วมรังสี. 2544. **การผลิตพืชสวนแบบไร้ดิน** .กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 88 น.

- สมนึก เครือสอน .2557 .เครื่องดูแลไม้กระถางควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Z8Encore. การประชุมสัมมนาวิชาการ มทร.ตะวันออก มรภ.กลุ่มศรีอยุธยา และราชชนครินทร์วิชาการ และวิจัย วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557.
- อารักษ์ อีร้อพณ. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน .นครราชสีมา: โชคเจริญมาร์เก็ตติ้ง. 130 น.
- Acquaah, G. 2002. **Horticulture : principles and practices.** (2nd ed.). New Jersey : Pearson Education.
- ASAE. 2002. **Heating Ventilating Cooling Greenhouses.** ASAE STANDARDS, ANSI/ASAE EP406.3MAR98, American Society of Agricultural Engineers. 703-710.
- Brechner, M. and A.J. Both,2017 (December,1)**Hydroponic Lettuce Handbook.** Cornell UniversityCEAProgram. [Online]. Available URL: <http://www.cornellcea.com/attachments/Cornell%20CEA%20Lettuce%20Handbook%20.pdf>.
- Chiu, A.J. 1996. TITLE: **Computer control of shade and supplemental lights for greenhouse hydroponic lettuce production.** WHERE: MEng Report. Department of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University, Ithaca, NY 14853.
- Ciolkosz, D.E. and J.C. Sager. 1998. **Imaging of LED array flux densities.**Journal of Life Support and Biosphere Science Vol. 5:00-00. 15 pp. In Press.
- Cunningham, W.P., Cunningham ,M.A. & Saigo, B.W. 2003. **Environmental science : a global concern.** (7 th ed.). New York : MacGraw-Hill.
- DeGannes, A., K.R. Heru, A. Mohammed, C. Paul, J. Rowe, L. Sealy and G. Seepersad. 2014. **Tropical Greenhouse Growers Manual for the Caribbean.** The Caribbean Agriculture Research and Development Institute, UWI Campus, St. Augustine, Trinidad and Tobago.
- Freeman, S. 2002. **Biological science.** New Jersey : Prentice-Hall. 540.
- Jonas, P., A. Maskara, A. Salguero and A. Truong. 2017. (December,1) **Garduino: A Cyber-Physical Aeroponics System.** [Online]. Available URL: https://ecal.berkeley.edu/files/ce186/projects/truonganders_4941954_63829747_Garduino-1.pdf.
- Kittas, C., N. Katsoulas, T. Bartzanas and S. Bakker. 2013. **Greenhouse climate control and energy use.** In Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops; Principles for Mediterranean climate areas. Ruth Duffy. Editor. FAO Rome. 63-96 . E-ISBN 978-92-5-107650-7 (PDF).
- Kobayashi, K., T. Amore and M. Lazaro. 2013. Light-Emitting Diodes (LED) for Miniature Hydroponics Lettuce. **Optics and Photonics Journal (3)** 74-77 P.

- McMahon, M.J., Kofranek ,A.M. & Rubatzky, V.E. 2002. **Hartmanns Plant Science** : Growth, Development and Utilization of Cultivated Plant. (3rd ed.). New Jersey : Pearson Education.
- Morgan, L.1999. **Hydroponic Lettuce Production**. Casper Publications Pty Ltd, Narrabeen, NSW. AUSTRALIA.
- Nelson, P.V. 1991. **Greenhouse Operation and Management**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

ภาคผนวก

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

การให้สารละลายธาตุอาหารพืชจะให้ไปพร้อมกับน้ำ โดยใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่เตรียมได้จากสูตรอาหารต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ 1 สูตรสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น

แม่ปุ๋ย	สารละลายธาตุอาหาร A	สารละลายธาตุอาหาร B
แคลเซียมไนเตรต	80 กรัม	-
โพแทสเซียมไนเตรต	20 กรัม	20 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต	-	40 กรัม
โพแทสเซียมฟอสเฟต	-	10 กรัม
จุลธาตุ	-	8 กรัม
เหล็กคีเลต	-	8 กรัม
	ละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตร	ละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตร

อัตราการให้สารละลายธาตุอาหาร จะทำการให้สารละลายธาตุอาหารทุกวัน โดยการใส่ลงไป
ในน้ำที่อยู่ในชั้นล่างสุด โดยใช้เครื่องวัดค่า EC โดยกำหนดความเข้มข้นของค่า EC ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 หลังปลูก ให้ค่า EC เท่ากับ 0.4 mS/cm

สัปดาห์ที่ 2 หลังปลูก ให้ค่า EC เท่ากับ 0.6 mS/cm

สัปดาห์ที่ 3 หลังปลูก ให้ค่า EC เท่ากับ 0.8 mS/cm

สัปดาห์ที่ 4 หลังปลูก ให้ค่า EC เท่ากับ 1.0 mS/cm

สัปดาห์ที่ 5 หลังปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวจะให้ค่า EC เท่ากับ 1.2 mS/c

ตารางผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	จำนวนใบ (ใบ)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	3.00	4.00	3.00	2.00	3.00
LED 600	2.00	1.00	2.00	1.00	1.50
LED 800	3.00	2.00	3.00	2.00	2.50
Fluorescent	3.00	3.00	2.00	3.00	2.75

ตารางผนวกที่ 3 ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	5.1875	1.7292	4.37*	3.49	5.95	0.0266
Ex.Error	12	4.7500	0.3958				
Total	15	9.9375	0.6625				
C.V. %	25.8114 %						

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	จำนวนใบ (ใบ)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	4.00	6.00	5.00	4.00	4.75
LED 600	2.00	2.00	3.00	2.00	2.25
LED 800	4.00	3.00	4.00	3.00	3.50
Fluorescent	5.00	4.00	5.00	4.00	4.50

ตารางผนวกที่ 5 ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	15.5000	5.1667	11.27**	3.49	5.95	0.0011
Ex.Error	12	5.5000	0.4583				
Total	15	21.0000	1.4000				
C.V. %	18.0534 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 6 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	จำนวนใบ (ใบ)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	6.00	8.00	7.00	6.00	6.75
LED 600	3.00	2.00	3.00	3.00	2.75
LED 800	5.00	5.00	5.00	4.00	4.75
Fluorescent	6.00	5.00	6.00	5.00	5.50

ตารางผนวกที่ 7 ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	33.6875	11.2292	25.67**	3.49	5.95	0.0001
Ex.Error	12	5.2500	0.4375				
Total	15	38.9375	2.5958				
C.V. %	13.3962 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 8 ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	จำนวนใบ (ใบ)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	10.00	9.00	11.00	9.00	9.75
LED 600	4.00	4.00	5.00	5.00	4.50
LED 800	7.00	8.00	6.00	7.00	7.00
Fluorescent	8.00	9.00	10.00	8.00	8.75

ตารางผนวกที่ 9 ความแปรปรวนของจำนวนใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	63.5000	21.1667	29.88**	3.49	5.95	0.0000
Ex.Error	12	8.5000	0.7083				
Total	15	72.0000	4.8000				
C.V. %	11.2217 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความกว้างใบ (มิลลิเมตร)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	10.00	8.00	11.00	12.00	10.25
LED 600	5.00	4.00	4.00	5.00	4.50
LED 800	6.00	7.00	6.00	8.00	6.75
Fluorescent	7.00	8.00	9.00	10.00	8.50

ตารางผนวกที่ 11 ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 1 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	72.5000	24.1667	16.57**	3.49	5.95	0.0003
Ex.Error	12	17.5000	1.4583				
Total	15	90.0000	6.0000				
C.V. %	16.1015 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 12 ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความกว้างใบ (มิลลิเมตร)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	12.00	15.00	14.00	16.00	14.25
LED 600	6.00	5.00	5.00	6.00	5.50
LED 800	8.00	10.00	8.00	9.00	8.75
Fluorescent	11.00	10.00	14.00	13.00	12.00

ตารางผนวกที่ 13 ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 2 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	175.2500	58.4167	31.16**	3.49	5.95	0.0000
Ex.Error	12	22.5000	1.8750				
Total	15	197.7500	13.1833				
C.V. %	13.5240 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 14 ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความกว้างใบ (มิลลิเมตร)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	35.00	40.00	42.00	45.00	40.50
LED 600	12.00	13.00	12.00	13.00	12.50
LED 800	30.00	32.00	33.00	34.00	32.25
Fluorescent	33.00	35.00	37.00	36.00	35.25

ตารางผนวกที่ 15 ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	1796.2500	598.7500	100.49	3.49	5.95	0.0000
Ex.Error	12	71.5000	5.9583				
Total	15	1867.7500	124.5167				
C.V. %	8.1028 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 16 ค่าเฉลี่ยความกว้างใบของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	ความกว้างใบ (มิลลิเมตร)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	60.00	62.00	64.00	65.00	62.75
LED 600	15.00	14.00	15.00	16.00	15.00
LED 800	55.00	50.00	56.00	58.00	54.75
Fluorescent	61.00	59.00	63.00	62.00	61.25

ตารางผนวกที่ 17 ความแปรปรวนของความกว้างใบของผักสลัด อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	6107.6875	2035.8958	405.49**	3.49	5.95	0.0000
Ex.Error	12	60.2500	5.0208				
Total	15	6167.9375	411.1958				
C.V. %	4.6260 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 18 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

สิ่งทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)				ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
สภาพธรรมชาติ (control)	250.00	300.00	350.00	280.00	295.00
LED 600	50.00	70.00	65.00	55.00	60.00
LED 800	150.00	230.00	180.00	189.00	187.25
Fluorescent	200.00	250.00	270.00	286.00	251.50

ตารางภาคผนวกที่ 19 ความแปรปรวนของน้ำหนักสดของผักสลัด อายุ 4 สัปดาห์หลังปลูก

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01	F-Prob
Treatment	3	125720.1875	41906.7292	38.66**	3.49	5.95	0.0000
Ex.Error	12	13007.7500	1083.9792				
Total	15	138727.9375	9248.5292				
C.V. %	16.5915 %						

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ. ดร.ทัศนุพันธ์ กุศลสถิตย์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assist. Prof Dr Thassanupan Gusolsatit

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.

เมือง จ. นครสวรรค์ 60000 โทรศัพท์ 0-5621-9100 ต่อ 2521 มือถือ 081-8864521

โทรสาร 0-56882523 e-mail address: thassanupan@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2545)

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2531)

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2524)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมหาบัณฑิต) ระบุสาขาวิชาการ

ปุ๋ยและธาตุอาหารพืช และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2. ผู้ร่วมวิจัยที่ 1

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุริยา อติเรก

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Suriya Adirek

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.

เมือง จ. นครสวรรค์ 60000 โทรศัพท์ 0-5621-9100 ต่อ 2521 มือถือ 08-5874-6069

โทรสาร 0-56882523 e-mail address: ecsuriya@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วท.บ(เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ค.ม (ไฟฟ้าอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมหาบัณฑิต) สาขาวิชาไฟฟ้า

3. ผู้ร่วมวิจัยที่ 2

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวอิสรี ศรีคุณ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Isaree Srikun

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 6

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราช
ภัฏพระนคร เขตบางเขต จ. กรุงเทพมหานคร 10220 มือถือ 08-1822-1978 e-mail
address: isaree@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (ไฟฟ้า)

วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (ไฟฟ้ากำลัง)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ปัญญาประดิษฐ์ วิศวกรรม
อิเล็กทรอนิกส์

4. ผู้ร่วมวิจัยที่ 3

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายนพดล ชุ่มอินทร์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr Noppadol Chumin

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.

เมือง จ. นครสวรรค์ 60000 โทรศัพท์ 0-5621-9100 ต่อ 2521 มือถือ 086-1147797

โทรสาร 0-56882523 e-mail address: thassanupan@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 วท.ม. พีชไร่ (ปรับปรุงพันธุ์พีช)

พ.ศ. 2546 วท.บ. เกษตรศาสตร์ (พีชศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) สาขาสถิติการเกษตร