ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DYNAMIC ROOT FLOATING โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOLAR POWERED HYDROPONICS SYSTEM IN DYNAMIC ROOT FLOATING TECHNIQUE

โดย

นายนิทัศน์ เสือเมือง
นายอภิวาท งาหอม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 033181
วัน, เดือน, ปี 29 MA 2556

ซ้ำ ma
b.12555934
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
แขนงวิชา เทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตพืช
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ma สมบูรณ์

ปัญหาพิเศษ
ปีการศึกษา 2555

ชื่อเรื่อง	**การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ Dynamic Root Floating โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์** **A Design and Construction of a Solar Powered Hydroponics System in Dynamic Root Floating Technique**
ชื่อ-สกุล	นายนิทัศน์ เสือเมือง นายอภิวาท งาหอม
แขนงวิชา	เทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตพืช **สาขาวิชา** ครุศาสตร์เกษตร
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วันทนี โชติสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ สุเมธ ตรีศักดิ์ศรี

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ Dynamic Root Floating โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์ ณ สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร การออกแบบประกอบด้วยการออกแบบสร้างชุดพลังงานแสงอาทิตย์และการออกแบบสร้างชุดไฮโดรโปนิกส์ ชุดพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงโซลาเซลล์ 40 W จำนวน 1 แผง เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ (controller) ขนาด 10 A จำนวน 1 เครื่อง แบตเตอรี่ 12 V 18 A จำนวน 1 เครื่อง ชุดไฮโดรโปนิกส์ประกอบด้วย ปั๊ม 12 V จำนวน 1 ตัว รางปลูกระบบ DRFT กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 1 ราง ถังเก็บสารละลายจำนวน 1 ถัง ท่อน้ำกลับจำนวน 1 ท่อ หัวจ่ายน้ำเข้าราง 1 ชุด โดยใช้ผักกวางตุ้งฮ่องเต้จำนวน 240 ต้น ทำการปลูกเป็นระยะเวลา 45 วัน แล้วเลือกเก็บต้นที่ดีที่สุดจำนวน 150 แล้วทำการเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้า พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง และ ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง มีความไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดทรงพุ่ม และ ความยาวราก มีความแตกต่างกัน โดยในด้านของน้ำหนักสดนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 64.12 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 61.49 กรัม/ต้น ค่านัยสำคัญของการทดสอบ (ค่าsig) เท่ากับ 0.408 ด้านน้ำหนักแห้งนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 3.31 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 3.21 กรัม/ต้น ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.584 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 60.80 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง น้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 58.29 กรัม/ต้น ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.401 ด้านของความยาวรอบทรงพุ่มนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.88 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 28.26 เซนติเมตร/ต้น ค่านัยสำคัญของการทดสอบ (ค่าsig) เท่ากับ 0.00 ด้านของความยาวรากนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.97 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 17.92 เซนติเมตร/ต้น ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.00 ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปในระบบปกติ คือ 82.08 บาท ชุดโซลาเซลล์ 3,540 บาท ระยะเวลาคืนทุนของระบบโซลาเซลล์ คือ 5 ปี หลังจากนำมาปรับปรุงแก้ไขแล้วพบว่า ชุดโซลาเซลล์เหลือเพียงแค่ 1,300 บาท และระยะเวลาคืนทุนลดลงเหลือแค่ 2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์วันทนี โชติสกุล และ อาจารย์สุเมธ ตรีศักดิ์ศรี ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่เสียสละเวลา คอยให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือติดต่อประสานงานในส่วนที่ต้องค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม ในเรื่องของการออกแบบระบบโซลาเซลล์ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบโซลาเซลล์ การปลูกพืชไร้ดิน การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ให้คำชี้แนะในการเขียนภาคเอกสาร ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องและข้อผิดพลาดของปัญหาพิเศษ จนทำให้ปัญหาพิเศษเรื่องนี้เสร็จสมบูรณ์ ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่าน ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาครุศาสตร์เกษตรทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และคอยให้คำแนะนำช่วยเหลือ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการปฏิบัติงาน

คุณความดีทั้งหมดที่ได้เพียรพยายามในการทำปัญหาพิเศษ เรื่องการออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ Dynamic Root Floating โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ คุณพ่อแม่ ครูอาจารย์ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และนักศึกษารุ่นน้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำปัญหาพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายนิทัศน์ เสือเมือง
นายอภิวาท งาหอม
เมษายน 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปัญหา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหมายของการปลูกพืชไร้ดิน	4
2.2 ประวัติของการปลูกพืชไร้ดิน	4
2.3 ประเภทของการปลูกพืชไร้ดิน	6
2.4 การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลผ่านราก พืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก (DRFT)	8
2.5 พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	9
2.6 ระบบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell: PV)	9
2.7 การออกแบบระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์	14
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการสร้างอุปกรณ์	17
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้	17
3.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์	17
3.3 สถานที่สร้างอุปกรณ์	19
3.4 ระยะเวลาในการสร้างอุปกรณ์	19
บทที่ 4 ผลการสร้างอุปกรณ์	20
4.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพ	20
4.2 ผลการทดสอบ	20
4.3 การปรับปรุงแก้ไข	23
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	25
5.1 สรุปผลการทดลอง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	26
บรรณานุกรม.....	27
ภาคผนวก.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบ..... 22

2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ระหว่างระบบปกติ กับระบบโซลาเซลล์..... 23

3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบ หลังปรับปรุง..... 24

ตารางภาคผนวกที่

1 ผลของการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า) 29

2 ผลของการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์) 34

3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติที่เป็นค่าเฉลี่ยของ ความยาวทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ระหว่างระบบโซลาเซลล์กับระบบปกติ..... 39

4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ผลต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้ง..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์..... 11
2 ขนาดของโซลาเซลล์..... 11
3 Charge Controller 12
4 แบตเตอรี่..... 13
5 Inverter..... 13

ภาพผนวกที่

1 รูปแบบและระบบการเพาะเมล็ด..... 41
2 การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้..... 42
3 การวัดค่าต่าง ๆ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในอดีตประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีทรัพยากรเหมาะสมสำหรับทำการเกษตรมากประเภทหนึ่ง แต่ขณะเดียวกันก็เป็นประเทศที่มีอัตราการเพิ่มของประชากรมากขึ้น ทำให้พื้นที่เพื่อทำการเกษตรลดลง นอกจากนี้ในสภาพปัจจุบันคนไทยส่วนใหญ่ห่วงใยในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น และให้ความสำคัญกับเรื่องการผลิตที่ปลอดภัยจากสารพิษตกค้างเป็นอย่างมาก

การปลูกพืชไร้ดิน เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านกลุ่มของผู้ผลิตและผู้บริโภค เพราะผักที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดิน ไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่และแรงงานมาก ดูแลรักษาง่าย ผลผลิตที่ได้ปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง โรค แมลงต่าง ๆ และได้ผลผลิตในปริมาณที่แน่นอน (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 : 348)

ประเภทของการปลูกพืชไร้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1. ประเภทการปลูกในน้ำ (Water culture)
2. ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture)
3. ประเภทการปลูกในอากาศ (Aeroponics)

เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึก แบบ Dynamic Root Floating Technique หรือ DRFT เป็นการปลูกพืชในน้ำ (Water culture) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคแบบ Deep Flow Technique หรือ DFT ที่ดัดแปลงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรางปลูกที่กว้างและมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลาย ๆ ร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง คือ ผ่านร่องจากหัวรางไปยังปลายรางก่อนที่จะล้นลงสู่ถังพักใต้โต๊ะ ก่อนที่จะถูกดูดกลับขึ้นมาไหลวนอย่างต่อเนื่อง ระดับของสารละลายในรางจะสูงไม่เกินสันราง คือ ประมาณ 6 ซม. ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นช่องเพื่อสอดต้นกล้าผักที่เพาะอยู่ในก้อนฟองน้ำ รากผักจะเจริญและทอดตัวอยู่ในร่องน้ำ ได้รับแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง เมื่อผักมีอายุมากขึ้นและรากเริ่มยาวปลายรากไปอยู่ในระดับน้ำที่ลึกลง ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยลง ก็จะมีการลดระดับของน้ำลง โดยการปรับลดความสูงของท่อดักน้ำล้นที่ท้ายราง เมื่อระดับน้ำลดลง จะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม เรียกว่า Air gap ที่ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศอีกทางหนึ่ง (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2553 : www.eto.ku.ac.th)

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจำแนกได้เป็น 2 วิธี คือ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเรียกว่า กระบวนการโฟโตวอลเทอิก (Phovoltaic conversion system) และการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนแล้วเปลี่ยนต่อเป็นไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ เรียกว่า กระบวนการความร้อน (Solar thermodynamic conversion system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการโฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic conversion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแสงตกกระทบผ่านอุปกรณ์เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) (วรนุช แจ้งสว่าง, 2553 : 77)

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซลาเซลล์ (Solar Cell) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ แผงโซลาเซลล์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่ เป็นอย่างน้อย ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาเซลล์ต้องมีการคำนวณค่า เพื่อให้พอเพียงต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวยังมีขนาด รูปลักษณะ และการทำงานที่หลากหลาย ตามความต้องการของผู้ใช้ ในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ ความเข้าใจ ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ (บรรจบ สุขประภาภรณ์, 2553 : www.ind.cru.in.th)

ระบบการปลูกพืชไร้ดินระบบ DRFT นี้ เป็นแบบใช้น้ำวนเพื่อเติมอากาศโดยใช้ปั๊มน้ำเพื่อสูบน้ำเข้าระบบแล้วน้ำจากรางปลูกจะล้นจนถึงท่อน้ำกลับมายังถังที่เก็บน้ำ จะเกิดฟองอากาศเป็นการเติมอากาศให้กับน้ำซึ่งจะต้องใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ปั๊มทำงานได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการหาวิธีการที่จะลดต้นทุนในการผลิตในด้านของการลดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าโดยใช้โซลาเซลล์เข้ามาช่วย จึงเห็นควรทำการวิจัยออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดิน แบบ Dynamic Root Floating โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการศึกษาต้นทุนของการใช้โซลาเซลล์เปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าในการปลูกพืชไร้ดินระบบ DRFT
2. เพื่อสร้างระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้โซลาเซลล์
3. เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาภาคปฏิบัติ วิชาเทคนิคการปลูกพืชไร้ดิน ของนักศึกษาสาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร แขนงวิชาเทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตพืช

1.3 ขอบเขตของปัญหา

1. ศึกษาต้นทุนของการใช้โซลาเซลล์เปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าในการปลูกพืชไร้ดินระบบ DRFT
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์
3. ทดสอบประสิทธิภาพระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้โซลาเซลล์ ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ระบบไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นักศึกษาสาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร สามารถใช้ประโยชน์จากระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้โซลาเซลล์ทดแทนการใช้ระบบไฟฟ้าในการศึกษาภาคปฏิบัติ วิชาเทคนิคการปลูกพืชไร้ดิน และต่อยอดการทำงานวิจัยต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดิน หรือ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หมายถึง การปลูกพืชที่เลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยการใช้วัสดุปลูกต่าง ๆ ในการปลูก เช่น น้ำ ทราย กรวด ดินเผา หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ใช้ดิน ซึ่งพืชจะสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกได้จากการได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีน้ำผสมกับปุ๋ย หรือธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชต้องการผ่านทางรากพืช (กองทัพเรือ, ม.ป.ป. : www.navy.mi.th)

2.2 ประวัติของการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีประวัติความเป็นมาโดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับพืช และธาตุอาหารพืชและได้มีการศึกษาค้นคว้าทดลองอย่างต่อเนื่องยาวนาน โดยนักวิทยาศาสตร์ต้องการทราบว่าพืชประกอบด้วยอะไร และมีสิ่งใดบ้างที่สามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ เชื่อกันว่าการศึกษาเรื่องธาตุอาหารพืชเริ่มต้นมีมาตั้งแต่สมัยอริสโตเติล (Aristotle) หรือเมื่อประมาณ 238-322 ปีก่อนคริสตศักราช

ในปี ค.ศ. 1600 (พ.ศ. 2143) งานทดลองครั้งแรกที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ งานของ วัน เฮลมอนต์ (Jan Baptist Van Helmont) แพทย์ชาวเบลเยี่ยมที่สนใจเกี่ยวกับการปลูกพืช ต่อมาบุตรชายของเขาได้นำไปตีพิมพ์ในวารสาร Ortus Medicinae โดยเขาได้ทดลองปลูกต้นหลิวน้ำหนัก 5 ปอนด์ ในกระถางซึ่งมีดินแห้ง

ในช่วงปลายทศวรรษที่ 17 ก็ได้มีผู้สนใจ ศึกษาทดลองทำนองเดียวกันหลายคน เช่น งานของกลูเบอร์ (Glauber) ในปี ค.ศ. 1656 (พ.ศ. 2199) งานของบอยล์ (Robert Boyle) ในปี ค.ศ. 1661 (พ.ศ. 2204) และงานของมาโย (Mayow) ในปี ค.ศ. 1674 (พ.ศ. 2217) ซึ่งการศึกษาต่างก็มีความคิดเห็นขัดแย้งกับการทดลองของเฮลมอนต์

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1870 (พ.ศ. 2413) เป็นต้นมาได้มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับความต้องการของธาตุอาหารพืชกันอย่างมาก งานทดลองครั้งแรกที่ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จำนวนมากเริ่มขึ้นที่สถานีทดลองโรด ไอส์แลนด์ (Rhode Island) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทดสอบปลูกมะเขือเทศในน้ำผสมธาตุอาหารตามสูตรที่ค้นพบ ผลปรากฏว่าต้นมะเขือเทศเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี มีการออกดอกและติดผลเหมือนการปลูกพืชตามปกติ ตั้งแต่นั้นมาก็มีการศึกษาค้นคว้าหาสูตรอาหารที่เหมาะจะใช้ในการปลูกพืชแต่ละชนิดและให้ได้ผลมากขึ้น

จากต้นแบบการปลูกพืชโดยให้สารอาหารพืชจากการทดลองเบื้องต้นของศาสตราจารย์เกอริค (Gericke) จะเห็นว่ามีช่องว่างของอากาศจากรากที่งอกมาจากเมล็ดเหนือส่วนที่เป็นสารละลายธาตุอาหาร เพื่อให้รากส่วนที่ทำหน้าที่เป็นรากอากาศเพื่อดูดออกซิเจนจากอากาศส่วนราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารเรียกการปลูกพืชโดยวิธีนี้ว่า “Hydroponics” หรือ “ไฮโดรโพนิกส์”

แม้ว่าการปลูกพืชไร้ดินแบบที่เรียกว่า Hydroponics จะเป็นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ไม่ต้องใช้ดินจริง ๆ ตามที่นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นขึ้นมาก็ตาม แต่พืชก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ในวัสดุปลูกชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดิน เช่น ทราย กรวด หินเกล็ด ด้วยการให้น้ำที่ผสมธาตุอาหารที่ค้นคิดขึ้น จึงเรียกการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนี้เป็นคำรวมว่า “Soilless Culture” หรือ “ซอยเลส คัลเจอร์”

ในปี ค.ศ. 1936 (พ.ศ. 2479) ในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มมีการผลิตพืชเชิงธุรกิจโดยการใช้กรวดเป็นวัสดุปลูก

ในปี ค.ศ. 1939-1945 (พ.ศ. 2482-2488) โฮกแลนด์และอาร์มอน (Hoagland and Amon) ได้มีการพัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชขึ้นมา ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานของนักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังใช้ในการศึกษาต่อมาและรู้จักกันในนามว่า “สูตรสารอาหารเพื่อการปลูกพืชของโฮกแลนด์ (Hoagland’s Solution)”

ในช่วงปี ค.ศ. 1946-1948 (พ.ศ. 2489-2491) ดักลาส (J. Sholto Douglas) ได้ทำการทดลองปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่สถานีค้นคว้าวิจัยเบงกอล เมืองดาร์จีลิง (Darjeeling District) ซึ่งเป็นพื้นที่ตั้งอยู่ในเขตมรสุมในประเทศอินเดีย ได้มีการพัฒนาระบบปลูกที่มีวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียสาร เช่น กรวด ทราย ซึ่งเรียกว่า “ระบบเบงกอล (The Bengol System)” โดยการปลูกพืชที่ให้สารอาหารพืชจากใต้วัสดุปลูก (Subirrigation System)

ในปี ค.ศ. 1979 (พ.ศ. 2522) ดร. อัลเลน คูเปอร์ (Dr. Allen Cooper) นักสรีรวิทยาทางพืชและคณะได้แนะนำเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยการให้สารอาหารไหลอย่างช้า ๆ บาง ๆ แบบฟิล์มผ่านรากและเรียกวิธีนี้ว่า การปลูกพืชแบบระบบ “Nutrient Film Technique” หรือ “NFT” อันเป็นรูปแบบของระบบที่นิยมกันในยุโรปและแพร่หลายไปยังภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก เทคนิคการปลูกดังกล่าวเป็นที่นิยมการปลูกพืช โดยเฉพาะการปลูกผักสลัดกันในประเทศไทยในปัจจุบัน

นับแต่มานั้นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินก็ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีการทดลองใช้วัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ประกอบกับมีการพัฒนาระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการปลูกรวมถึงระบบที่ใช้ควบคุมการผลิตโดยอัตโนมัติ เช่น การพัฒนาในเรื่องของพลาสติกเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กและการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมการปลูก เป็นต้น (ดิเรก ทองอร่าม, 2546 : 5-9)

สำหรับความเป็นมาของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย นั้น อาจกล่าวได้ว่าในยุคแรกเป็นช่วงของการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย เพื่อการพัฒนาเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่มีความเหมาะสมกับประเทศไทย เริ่มต้นที่ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาตั้งแต่ปี 2500 จนกระทั่งถึงปี 2530 ด้วยความสนพระทัยของ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และการสนับสนุนขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ หรือ FAO จึงได้มีการจัดทำโครงการวิจัยและพัฒนาการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อการผลิตพืชขึ้น ณ งานสวน พระราชวังสวนจิตรลดา พร้อม ๆ ไปกับการศึกษาวิจัย ณ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน และวิทยาเขตกำแพงแสน เป็นเวลา 2 ปี (ปี 2530-2532) และในส่วนของสวนจิตรลดา ยังได้ดำเนินการต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน และจากช่วงเวลาดังกล่าวจนมาถึงปัจจุบัน หน่วยงานของรัฐอีกหลายหน่วยงานได้เริ่มมีการศึกษาและพัฒนางานด้านการปลูกพืชโดยไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ดินมาเป็นลำดับ หน่วยงานเหล่านั้นที่เป็นที่รู้จักกันดี ก็ได้แก่ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร และสถานีวิจัยหนองหอย มูลนิธิโครงการหลวง เป็นต้น สำหรับยุคที่สอง เป็นยุคของการทำการธุรกิจการค้าของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย ซึ่งเพิ่งเริ่มต้นได้เพียงไม่นานนัก คือในปี 2530 มีฟาร์มไฮโดรโพนิกส์เกิดขึ้นเป็นแห่งแรกในประเทศไทย คือ นาดีตะฟาร์ม ตั้งอยู่ที่ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ได้ทำการปลูกผักกินใบชนิดต่าง ๆ ออกมาจำหน่าย ต่อมาในปี 2538 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในภาคเอกชนเริ่มเป็นที่รู้จักแพร่หลายมากขึ้น เมื่อบริษัทแอกเซนท์ไฮโดรโพนิกส์ ประเทศไทย จำกัด ได้ก่อตั้งขึ้น และนำเอาเทคโนโลยีไฮโดรโพนิกส์จากประเทศออสเตรเลีย เรียกว่าระบบ Nutrient Film Technique หรือ NFT มาสาธิตการปลูกผักสลัดสายพันธุ์ต่างประเทศ พร้อมทั้งจัดจำหน่ายระบบการปลูกแบบ NFT นี้ จนเป็นที่แพร่หลายและมีฟาร์มปลูกผักสลัดด้วยระบบ NFT นี้ เกิดขึ้นพร้อมทั้งมีบริษัทเอกชนอื่นจำหน่ายระบบการปลูกพืชแบบ NFT นี้อีกหลายบริษัท นอกจากระบบ NFT แล้ว ก็มีบริษัทศูนย์เกษตรกรรมบางไทร ที่พัฒนาต่อยอดระบบการปลูกโดยไม่ใช้ดิน แบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) ที่เกิดขึ้นที่ไต้หวันจำหน่าย มาเป็นรูปแบบของตนเอง และเป็นต้นแบบให้อีกหลายบริษัทได้นำไปพัฒนาโต๊ะปลูกแบบ DRFT นี้ต่อ ๆ ไปอีก จนแพร่หลายใช้ในการปลูกผักจีนกินใบหลายชนิดในประเทศไทยในขณะนี้ (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2553 : www.eto.ku.ac.th)

2.3 ประเภทของการปลูกพืชไร้ดิน

จากการที่มนุษย์ค้นพบว่าสามารถปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เพียงแต่จัดการให้พืชได้รับ น้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจน และที่ยึดเกาะพยุงลำต้น จากภายนอกเพื่อทดแทนที่ไม่ได้รับจากดินนั้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการต่าง ๆ ในการที่จะให้น้ำ ธาตุอาหารแก่รากพืช ในการเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำ และในการให้ที่ยึดเกาะแก่ต้นและรากพืช ทำให้เกิดเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่าง ๆ ได้มากมาย หากจัดกลุ่มประเภทของการปลูกโดยไม่ใช้ดินโดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืชแล้ว สามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

2.3.1 ประเภทการปลูกในน้ำ (Water culture) หมายถึงลักษณะของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่รากพืชจะต้องสัมผัส หรือแช่อยู่ในน้ำซึ่งก็คือน้ำสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) โดยตรงและตลอดเวลา ซึ่งยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็นเทคนิคต่าง ๆ ตามวิธีของการให้น้ำสัมผัสกับรากพืชและวิธีการเติมอากาศให้กับน้ำได้ อีกหลายวิธี สำหรับเทคนิคที่มีการนำมาใช้ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน มีดังนี้คือ

2.3.1.1 เทคนิคน้ำไหลบาง หรือ รู้จักกันดีในชื่อย่อว่า NFT (เอ็น-เอฟ-ที) ซึ่งย่อมาจากคำว่า Nutrient Film Technique เป็นเทคนิคการปลูกพืชลงในน้ำโดยการปล่อยสารละลายธาตุอาหารให้ไหลเป็นแผ่นบาง ๆ หนาเพียง 2-3 มม. ไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางปลูกที่ทำจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย เช่น พลาสติก เป็นต้น เทคนิคนี้ไม่ต้องมีการเติมอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง แต่อาศัยการที่น้ำสารละลายอาหารจะต้องมีการเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ระบบ เมื่อไหลกลับมาตกสู่ถังพักจะทำให้เกิดฟองอากาศแทรกเข้าไปในสารละลายโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกไหลล้น หรือเรียกกันย่อ ๆ ว่า DFT (ดี-เอฟ-ที) ย่อมาจากคำว่า Deep Flow Technique เป็นการปลูกพืชลงในภาชนะบรรจุน้ำที่มีความลึก 5 – 10 ซม.ภาชนะที่ใช้อาจเป็นกระบะ ราง หรือรูปทรงอื่น ๆ โดยที่ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีท่อสำหรับน้ำไหลออก ตำแหน่งหรือความสูงของท่อน้ำออกที่เจาะไว้เป็นตัวกำหนดความลึกหรือความสูงของน้ำที่จะขังอยู่ในราง เมื่อน้ำไหลท่วมภาชนะจนสูงเกินกว่าท่อน้ำออก น้ำจะไหลล้นออกไปสู่ท่อน้ำออก และไหลสู่ระบบท่อน้ำไหลกลับเข้าสู่ถังพัก เมื่อตกลงสู่ถังพักจะเกิดฟองอากาศ อากาศจึงถูกเติมลงไปในน้ำโดยอัตโนมัติและน้ำก็จะถูกสูบกลับเข้าวนเวียนกลับเข้ามาในภาชนะอีกอยู่เช่นนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไหลของน้ำผ่านภาชนะที่รากพืชอาศัยอยู่โดยไม่ต้องมีการเป่าอากาศให้กับน้ำในภาชนะนั้นโดยตรงอีก

2.3.1.3 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึก แบบ Dynamic Root Floating Technique หรือ DRFT เป็นเทคนิคแบบ DFT ที่ดัดแปลงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรางปลูกที่กว้างและมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลาย ๆ ร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง คือผ่านร่องจากหัวรางไปยังปลายรางก่อนที่จะล้นลงสู่ถังพักใต้โต๊ะ ก่อนที่จะถูกดูดกลับขึ้นมาไหลวนอย่างต่อเนื่อง ระดับของสารละลายในรางจะสูงไม่เกินสันราง คือ ประมาณ 6 ซม. ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นช่องเพื่อสอดต้นกล้าผักที่เพาะอยู่ในก้อนฟองน้ำ รากผักจะเจริญและทอดตัวอยู่ในร่องได้รับแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง เมื่อผักมีอายุมากขึ้นและรากเริ่มยาว ปลายรากไปอยู่ในระดับน้ำที่ลึกลงซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยลง ก็จะมีการลดระดับของน้ำลง โดยการปรับลดความสูงของท่อดักน้ำล้นที่ท้ายราง เมื่อระดับน้ำลดลง จะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม เรียกว่า Air gap ที่ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศอีกทางหนึ่ง

2.3.1.4 เทคนิคการปลูกพืชในน้ำนิ่งแบบต้องเติมอากาศ หรือ Deep Water Technique (DWT) เป็นการปลูกพืชในภาชนะที่บรรจุน้ำที่มีความลึก ตั้งแต่ 15 ซม. (สำหรับผักกินใบ) ขึ้นไป ขึ้นกับขนาดของต้นพืชและรากที่ปลูก รากพืชต้องแช่ตลอดเวลาอยู่ในน้ำสารละลายที่ไม่มีการหมุนเวียนวิธีการปลูกแบบนี้จึงต้องมีการเติมอากาศให้กับน้ำตลอดเวลา โดยใช้ปั๊มลม ขนาดของปั๊มอากาศขึ้นกับขนาดของภาชนะและปริมาณน้ำที่ใช้นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วควรต้องเติมอากาศให้น้ำสารละลายมีปริมาณออกซิเจนอยู่ไม่น้อยกว่า 6 - 8 มก./ลิตร จึงจะเหมาะสมกับความต้องการของรากพืชโดยทั่วไป ปั๊มอากาศขนาด 45 w 220 v ความถี่ 50 Hz แรงดันอากาศประมาณ 0.06 Mpa พอสำหรับให้ออกซิเจนแก่โต๊ะปลูกขนาด 2.50 x 1.75 เมตร ความสูงของน้ำประมาณ 15 ซม. ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 650 ลิตร/โต๊ะ

2.3.2 ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture) หมายถึงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ปลูกพืชลงในวัสดุอื่น ๆ แทนที่จะเป็นดิน วัสดุอื่น ๆ ในที่นี้หมายถึงทั้งที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ที่จะต้องไม่มีธาตุอาหารพืชสะสมอยู่ การปลูกพืชลงในวัสดุปลูกแบบนี้เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการปลูกพืชในดินที่เป็นการปลูกพืชลงในกระถาง หรือในภาชนะโดยใช้น้ำหยดมากที่สุดแตกต่างกันตรงที่ถ้าปลูกลงในดิน พืชจะได้รับอาหารที่มีอยู่แล้วในดิน หรือจากปุ๋ยที่ใส่ให้แต่ละครั้งและได้รับน้ำจากการให้น้ำแบบน้ำหยด ส่วนถ้าเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบใช้วัสดุปลูกนี้ พืชจะได้รับธาตุอาหารไปพร้อม ๆ กับการให้น้ำหยด เพราะน้ำที่ให้เป็นน้ำสารละลายธาตุอาหารในแบบของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั่นเอง หัวใจสำคัญของวิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้สารละลายธาตุอาหารในปริมาณและความถี่ที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต และยังต้องมีวิธีการวางระบบระบายน้ำส่วนเกินออกจากวัสดุปลูกด้วย

2.3.3 ประเภทการปลูกในอากาศ นิยมเรียกกันว่า แอโรโพนิกส์ (Aeroponics) หมายถึงการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในลักษณะรากพืชไม่ได้แช่อยู่ในน้ำ หรืออยู่ในวัสดุปลูกใด ๆ แต่ปล่อยให้รากเปลือยอยู่ในอากาศ ไม่สัมผัสกับสิ่งใดเลย ดังนั้นจึงต้องมีการจับยึดส่วนโคนของลำต้นพืชให้ตั้งตรง และรากลอยอยู่ในอากาศได้ จากนั้นจะมีการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารในรูปของละอองน้ำไปที่รากพืชโดยตรงเป็นระยะ ๆ และต้องมีการกำบังรากไม่ให้ได้รับแสง จึงมักสร้างเป็นภาชนะรูปทรงต่าง ๆ ภายในกลวงให้เป็นที่อยู่ของรากและระบบพ่นละอองน้ำสารละลาย ส่วนต้นพืชจะเจริญเติบทรงต้นอยู่ด้านบนกล่องข้อดีของระบบนี้คือสามารถประหยัดสารละลายธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี เหมาะสำหรับการปลูกพืชในที่ที่มีพื้นที่จำกัด และมีน้ำน้อย เช่น ชายคาบ้าน หรือยอดอาคารตึก แต่มีข้อเสีย คือ ค่อนข้างยุ่งยากในการติดตั้งระบบ และสำหรับประเทศในเขตร้อน ยังพบปัญหาการสะสมความร้อนภายในภาชนะที่เป็นที่อยู่ของราก ยิ่งระบบมีขนาดใหญ่ยิ่งมีปัญหาการระบายอากาศภายในระบบราก จึงยังไม่เหมาะที่จะทำเป็นระบบใหญ่เพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย ยกเว้นในพื้นที่ที่มีอากาศค่อนข้างเย็น เช่น อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เป็นต้น (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, 2553 : www.eto.ku.ac.th)

2.4 การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก (DRFT)

ระบบปลูกแบบ DRFT นี้ พัฒนาเพิ่มเติมจากแบบที่นิยมใช้กันในประเทศไต้หวัน (Dynamic Root Floot Floating Hydroponics Technique หรือ DRF ซึ่งพัฒนามาจากระบบ DFT แต่เพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารอาหาร) คือมีถาดปลูกทำด้วยโฟมเจาะรูปลูกพืช และมีอุปกรณ์สำหรับระดับของสารอาหารเป็นระบบปลูกที่มีลักษณะเหมือนระบบ DET แต่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อการผลิตพืชเชิงการค้า โดยต้องการให้พืชได้รับทั้งอากาศและสารละลายธาตุอาหารที่มีการหมุนเวียนที่รากพืชอย่างต่อเนื่องกล่าวคือ จะมีระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบหมุนเวียน (Closed System) จาก 2 ส่วนคือ

1) ในถาดปลูกพืชที่ทำจากโฟม (ส่วนด้านบนของถาดปลูกจะถูกปิดด้วยแผ่นโฟมที่มีรูสำหรับปลูกพืช) ที่ตั้งอยู่บนโครงเหล็กที่มีระดับสูงกว่าพื้นดิน

2) จากถังใส่สารอาหารที่มีปริมาณมากกว่าถาดปลูก ซึ่งปกติถังนี้มักจะวางอยู่ต่ำกว่าถาดปลูกหรือฝังดินใต้ถาดปลูก พื้นที่ของถาดปลูกจะถูกออกแบบให้เป็นร่องและมีอุปกรณ์สำหรับ

- ปรับระดับสารอาหารในถาดปลูกพืชตามอายุของพืช เพื่อให้ รากพืช ลอยอยู่ทั้งในอากาศและสารละลายธาตุอาหารพืช

- อุปกรณ์นี้จะมีรูให้สารละลายธาตุอาหารไหลแบบหมุนเวียนลงสู่ถังปลูกข้างล่าง สารละลายธาตุอาหารจากถังใส่สารอาหารที่อยู่ข้างล่างจะถูกส่งขึ้นไปยังถาดปลูกพืชที่อยู่ข้างบนแบบหมุนเวียนเป็นระยะ ๆ โดยใช้ปั๊มน้ำ บนถาดปลูกด้านต้นทางที่สารละลายไหลขึ้นนี้จะมีอุปกรณ์สำหรับเพิ่มอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารพืช ก่อนที่จะไหลวนผ่านรากพืชกลับลงสู่ถังใส่สารละลายข้างล่างที่อยู่ด้านปลายทางของถาดปลูก และตรงจุดที่สารละลายจะไหลลงนี้ จะไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายในถาดปลูกที่ปรับได้ตามการเจริญเติบโตของพืช (กองทัพเรือ, ม.ป.ป. : www.navy.mi.th)

2.5 พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดวงอาทิตย์ แล้วส่งกระจายพลังงานมายังโลกในรูปคลื่นรังสี (Solar Radiation) ซึ่งมีค่าพลังงานประมาณ 1368 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศของโลกจะลดลงเหลือประมาณ 70 % หรือเหลือค่าพลังงานประมาณ 958-1000 วัตต์ต่อตารางเมตรเท่านั้น พลังงานที่โลกได้รับจะอยู่ในรูปของความร้อนและแสง พลังงานที่ได้เป็นพลังงานปฐมภูมิที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานชนิดอื่น ๆ ต่อไปอีกหลายชนิด ได้แก่ การเกิดพลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานจากมหาสมุทร รวมถึงการเกิดพลังงานจากฟอสซิล (Fossil) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซชีวภาพ ชีวมวลต่าง ๆ ซึ่งพลังงานเหล่านี้ก็เกิดมาจากสัตว์ และพืช ซึ่งเมื่อพืช สัตว์ ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์แล้ว ก็ทำการสร้างเซลล์ สร้างเนื้อเยื่อโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) แล้วทับถมเป็นระยะเวลานานหลายล้านปี การนำพลังงานจากฟอสซิลมาใช้งานในระยะเวลานาน ก็จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมของโลกมากมาย เนื่องจากมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลับคืนสู่บรรยากาศของโลก พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มนุษย์ใช้งานนั้นเป็นไปแบบที่ไม่ค่อยรู้สึกตัวว่ามีการใช้พลังงานอยู่ตลอดเวลา เช่น แสงสว่าง พลังงานความร้อน ซึ่งหากปราศจากพลังงานจากดวงอาทิตย์แล้ว มนุษย์สัตว์ และพืช ก็จะดำรงชีพอยู่ไม่ได้ ดังนั้นการนำพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรง ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ และแสงอาทิตย์ จึงเป็นวิธีการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สามารถใช้งานได้ทุก ๆ ที่ สะดวก รวดเร็ว ไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

มนุษย์มีการนำมาใช้ตั้งแต่โบราณกาลนานมาแล้ว เมื่อโลกมีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้น ก็มีการค้นพบพลังงานใหม่ ๆ อีกมากมายหลายชนิด พลังงานไฟฟ้าก็เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์มากมาย สามารถทำการควบคุม การส่งกระจายไปในระยะไกล ๆ ได้ สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของพลังงาน จากรูปแบบหนึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ง่าย เช่น การเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน และการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือ จากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เป็นต้น

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยตรงในปัจจุบันมีการใช้งาน 2 รูปแบบ ใหญ่ ๆ ได้แก่ การผลิตด้วยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ และการผลิตจากแสงอาทิตย์โดยตรง ส่วนการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงในปัจจุบัน ก็มีการนำมาใช้งานในสองรูปแบบ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน (Solar Thermal) และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสง (Solar Radiation)

2.6 ระบบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell: PV)

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาเซลล์ (Solar Cell) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ แผงโซลาเซลล์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่ เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างน้อยซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาเซลล์ต้องมีการคำนวณค่า เพื่อให้พอเพียงต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวยังมีขนาด รูปลักษณะ และการทำงานที่หลากหลาย ตามความต้องการของผู้ใช้ ในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

ในการใช้งานของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีอุปกรณ์ในระบบที่จำเป็นหลายชนิด ซึ่งในการเลือกใช้งานต้องมีความเหมาะสม และสมดุลกันจึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโซลาเซลล์ จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ คือ

2.6.1 แผงโซลาเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดย แชปปิน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuler) และเพียสัน (Pearson) ในปี ค.ศ. 1954 ซึ่งทำงานที่บริษัท เบลเทโลโฟน (Bell Telephone) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% โดยในระยะเวลาต่อมามีการพัฒนามาขึ้นมากกว่า 15 % ในระยะแรกเริ่มมีการนำไปใช้งานในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านอวกาศ ดาวเทียม ระบบสื่อสารต่าง ๆ จนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งานอย่างแพร่หลาย มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพสูงขึ้น (บรรจบ สุขประภาภรณ์, 2553 : www.ind.cru.in.th)

2.6.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และ**ชนิดผลึกรวม** (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

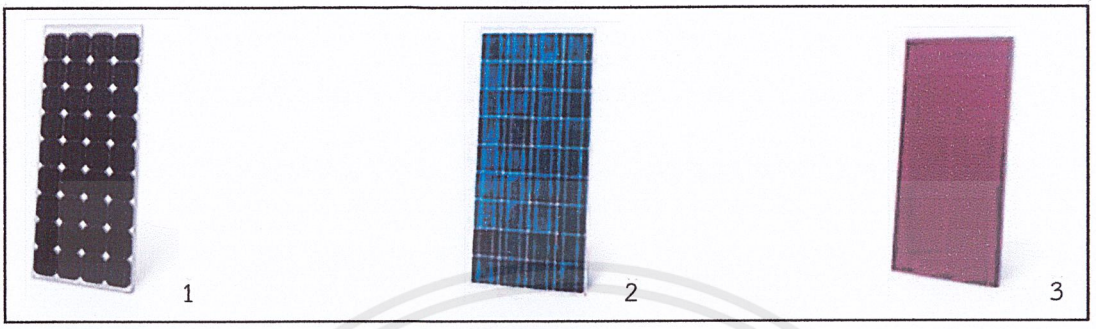
2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10 %

3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25 (ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์, 2556 : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน กับการผลิตจากสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น แกลเลี่ยมอาเซไน แคดเมียมเทลูไลด์ เป็นต้น กลุ่ม เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก ยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเป็นก้อนผลึก (Bulk) และแบบฟิล์มบาง (Thin film) โซลาเซลล์ชนิดผลึกทั้งสองชนิดยังแบ่งออกเป็นชนิดเดี่ยวซิลิคอน (Mono Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ส่วนแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ เป็นชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

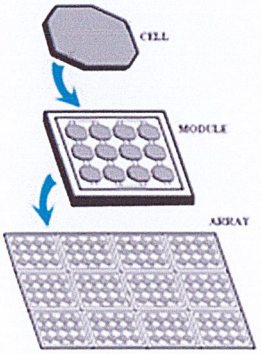


ภาพที่ 1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ (ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. ม.ป.ป. : http://www.leonics.co.th)

1. Single Crystalline Silicon Solar Cell
2. Polycrystalline Silicon Solar Cell
3. Amorphous Silicon Solar Cell

ส่วนกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทำมาจากซิลิคอน เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ซึ่งมีราคาแพง จึงไม่นิยมนำมาใช้ทั่วไปบนพื้นโลก จึงเหมาะสำหรับใช้งานบนดาวเทียม หรืออวกาศ สามารถร่วมกับระบบรวมแสงที่มีความเข้มของแสงสูง ๆ ปัจจุบันมีการพัฒนาด้วยกระบวนการผลิตที่ทันสมัยใหม่ ทำให้มีราคาถูกลง และคาดว่าจะมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันมีใช้เพียง 7 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

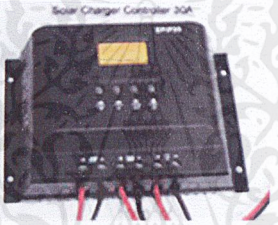
เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกผลิตให้เป็นแผ่นเล็ก ๆ ก่อนแล้วจึงนำเซลล์มาต่อเชื่อมเป็นวงจรสำเร็จรูปที่เรียกว่าโมดูล (Module) หรือ พาแนล (Panel) ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดค่ากำลังวัตต์ ที่มีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสามารถต่อเชื่อมออกไปใช้งานได้ทันที แต่เมื่อหากต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีกำลังวัตต์สูง ๆ ก็สามารถทำได้โดยนำแผงโซลาเซลล์มาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรขนาดใหญ่ (Array) การต่อเชื่อมกันนี้อาจจะต่อเป็นวงจรแบบขนาน หรือแบบอนุกรมก็ได้ โดยสามารถกำหนดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกันกับการต่อเซลล์แบตเตอรี่



ภาพที่ 2 ขนาดของ Solar Cell (Gil Knier. 2002. : http://science.nasa.gov)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 Charge controller เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชาร์จประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงโซลาเซลล์ มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด ทำให้เสื่อมสภาพเร็ว และเมื่อแบตเตอรี่ มีประจุเต็มแล้วก็จะต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปสัญญาณเป็นพัลล์ (Pulse) และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ประมาณ 15-20 % เนื่องจากมีค่าตัวแปรที่มาเกี่ยวข้องในกระบวนการชาร์จแบตอรี่ ได้แก่ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ ความไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้โดยเฉพาะจากแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น แผงโซลาเซลล์ จากกังหันลม หรืออื่น ๆ จึงต้องใช้อุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller) มาทำการประมวลผล และควบคุมการทำงานวงจรชาร์จประจุ และใช้วงจร PWM (Pulse Width Modulation) มาสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้การประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



ภาพที่ 3 Charge Controller (Charge Controller. ม.ป.ป. : http:// www.true-solar.com)

2.6.3. Battery เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จัดเก็บประจุไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าออกไปใช้งานได้ทันที ประดิษฐ์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1859 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส แกสตัน พลองค์ (Gaston Plante') ที่เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type) ต่อมาก็พัฒนาเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ในปี ค.ศ.1957 ออตโต จาเช (Otto Jache) ได้ประดิษฐ์แบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ง่ายไม่ต้องคอยเติมน้ำกลั่น และจัดวางได้ทุกแบบ ไม่จำกัดวิธีวางแบบตั้งเพียงอย่างเดียว ในหลักการจะใช้วัสดุดูดซับน้ำกรดไว้ และผนึกไม่ให้กรดไหลออกมา ทำให้ไม่ต้องคอยเติมน้ำกลั่น หรือเรียกได้ว่าเป็นเซลล์แบบแห้ง หรือแบตเตอรี่แบบแห้ง ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ดูดซับกรดได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซับเรียกว่า แบบ AGM (Absorbed Glass Mats) และแบบที่ใช้เจลเป็นตัวดูดซับกรดเรียกว่า แบบเจล (Gel Battery หรือ Gel cell) ซึ่งเป็นหลักการต้นแบบของแบตเตอรี่ที่พัฒนาต่อ ๆ มาในปัจจุบัน

แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้า ก็สามารถใช้งานได้ทั้งสองแบบ แต่จะมีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งานมากขึ้นโดยที่จะออกแบบให้สามารถจัดเก็บประจุได้มาก ๆ และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นาน ๆ ยิ่งขึ้นที่เรียกว่า เป็นแบบ Deep cycle โดยการออกแบบให้แผ่นธาตุตะกั่วมีความหนาเป็นพิเศษ เป็นผลทำให้ค่าความต้านทานภายในสูง สามารถจัดเก็บได้สูง แต่จะจ่ายกระแสออกมาได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง ๆ ในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การใช้กับรถยนต์ ซึ่งมีความต้องการกระแสที่สูงมากใน

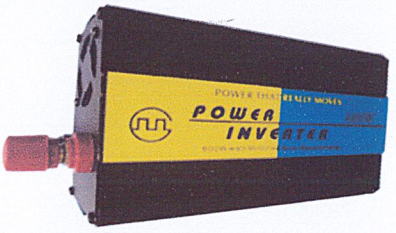
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาการสตาร์ทเครื่องยนต์ จึงไม่เหมาะในการนำใช้งาน จึงต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้อง ส่วนแบตเตอรี่แบบ Deep cycle จะเหมาะสำหรับรถไฟฟ้า รถยกของ (Flock lift) เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply : UPS) หรือการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ รวมทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วย แบตเตอรี่ทั้งสองแบบนี้จะมีราคา ขนาด และน้ำหนักที่ต่างกันมาก ถึงแม้ว่ากำลังวัตต์ต่อชั่งโมง (Watt Hour : WH) หรือความจุของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันก็ตาม

ในการใช้งานแบตเตอรี่ต่าง ๆ ให้ทนทาน จะต้องทราบข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิ และระดับความลึกในการคายประจุ (Depth of Discharge : DOD) ในระหว่างการทำงานด้วย ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การใช้งานจนพลังงานไฟฟ้าหมด จะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างมาก ๆ ดังนั้นการใช้งานจึงไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ และแบตเตอรี่ควรเก็บไว้ในที่ ๆ อากาศเย็น ในส่วนการประจุไฟฟ้าจะต้องไม่ประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด ทำให้เสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

ภาพที่ 4 แบตเตอรี่ (แบตเตอรี่ Deep Cycle. ม.ป.ป. : http://www.topintertech.com)

2.6.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จากแบตเตอรี่ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไป อินเวอร์เตอร์ จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็ก ๆ ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์ เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Charger and Controller) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20 % ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 % เช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น



ภาพที่ 5 Inverter (Inverter. ม.ป.ป. : http://www.topintertech.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การออกแบบระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

ในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กต้องทำการเลือกระบบตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ก่อนจากนั้นจึงทำการหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องแล้วจึงเลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้ คือ

1. ขั้นตอนแรกต้องทำการหาค่ากำลังวัตต์สูงสุดที่ใช้งานในการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ในบางครั้งต้องทำการหาค่าพลังงานสูงสุดที่ต้องการใช้งานก่อน โดยประมาณการคำนวณมาจากภาระงานกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ทุก ๆ ชนิดรวมกัน เพื่อให้ได้ค่าเป็นกำลังวัตต์ต่อชั่วโมงใช้งาน (W/h) หาค่าเป็นกำลังวัตต์ต่อวัน (W/d) เพื่อนำค่าที่ได้ไปเป็นโจทย์ในการหาค่าอื่น ๆ ต่อไป เช่น อินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ ตลอดจนแผงโซลาเซลล์ หรือ หาค่ากำลังวัตต์ต่อเดือน (W/m) ในกรณีต้องการหาค่าใช้จ่ายค่าพลังงานต่อเดือน เพื่อเปรียบเทียบราคาค่าหน่วยกับระบบไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้า ในการหาค่ากำลังวัตต์สูงสุดนี้ต้องเป็นระบบไฟฟ้าชนิดเดียวกัน การออกแบบระบบไฟฟ้าใช้งานสามารถเลือกระบบได้ 2 แบบ คือ

1.1 การเลือกใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 V ซึ่งมีอุปกรณ์ใช้งานได้มาก แต่ก็อาจจะออกแบบให้ใช้ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามที่ต้องการได้ เช่น ขนาด 24 V หรือ 48 V ก็ได้

1.2 การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ประเทศไทยใช้ระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน 220 V 50 Hz ซึ่งมีความเหมาะสมและสะดวกสามารถหาอุปกรณ์สนับสนุนได้ง่าย หรือสามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปได้

2. ขั้นตอนที่ 2 การเลือกใช้อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าชนิดกระแสสลับกับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน จะต้องให้ค่ากำลังวัตต์ของอินเวอร์เตอร์ สูงกว่าค่ากำลังวัตต์ที่ใช้งานจริงเสมอ รวมทั้งต้องเผื่อค่าสำหรับการสูญเสียกำลังภายในอินเวอร์เตอร์ด้วย ซึ่งจะมีค่าประมาณ 15 -20 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น มีหลอดไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้ารวม 80 วัตต์ จะต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดไม่น้อยกว่า 100 วัตต์จ่ายไฟฟ้าให้

ในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่โดยตรงมากขึ้น เพื่อทำให้ลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอินเวอร์เตอร์ลงได้มาก ถ้าหากมีความจำเป็นต้องใช้ก็อาจจะเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก ๆ ใช้งานเฉพาะจุดที่ต้องการ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดความสูญเสียกำลังงานได้มาก สิ่งที่ต้องคำนึงสิ่งหนึ่ง คือ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ดีต้องมีการป้องกันการใช้กำลังงานของ แบตเตอรี่ที่มากเกินไป หรือ DOD (Dept of Discharge) ซึ่งจะเป็นผลทำให้อายุแบตเตอรี่สั้นลง โดยปกติจะใช้แบตเตอรี่ที่ค่า DOD ไม่ต่ำกว่า 60 %

3. ขั้นตอนที่ 3 การเลือกใช้ Charge controller เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ในการออกแบบวงจรการจัดเก็บประจุแบตเตอรี่ ต้องใช้อุปกรณ์สำหรับควบคุมการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ซึ่งมีการออกแบบให้ทำการชาร์จประจุที่มีลักษณะเป็นลูกพัลส์ ที่สามารถปรับเปลี่ยนคาบเวลาและขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ย่านกว้าง เพื่อให้การชาร์จประจุได้ประสิทธิภาพสูงสุด ตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ จึงมีการใช้วงจรควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุม ข้อที่ควรพิจารณาการเลือกใช้งานได้แก่ เครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงมีการสูญเสียต่ำ และค่าพลังงานที่กำหนดต้องมีค่ากำลังวัตต์ที่ไม่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าค่าของแผงโซลาเซลล์ แต่โดยส่วนมากการบอกค่าของโซลาเซลล์จะบอกค่าเป็นกำลังวัตต์ แต่การบอกขนาดของเครื่องชาร์จจะบอกพิกัดกำลังโวลต์ และค่ากระแส จากตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องชาร์จประจุแรงเคลื่อนขนาด 12 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ ก็จะสามารถใช้กับแผงโซลาเซลล์ขนาดไม่เกิน 120 วัตต์ แต่หากแผงโซลาเซลล์ มีกำลังไฟฟ้าต่ำเกินไปก็จะเกิดการสูญเสียภายใน และมีราคาแพงกว่า ในการเลือกใช้งานต้องเลือกให้มีความเหมาะสม

4. ขั้นตอนที่ 4 การเลือกใช้แบตเตอรี่สำหรับจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบโซลาเซลล์เป็นแบบ Deep Cycle ซึ่งจะมีลักษณะที่ต่างจากแบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่สำหรับรถยนต์จะมีแผ่นตะกั่ว ที่บางกว่าทำให้ค่าความต้านทานภายในต่ำ จึงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงในระยะสั้น ๆ ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แต่แบตเตอรี่สำหรับใช้งานกับพลังงานแสงอาทิตย์ แผ่นตะกั่วภายในจะมีขนาดที่หนาทำให้ความต้านทานภายในสูง จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ไม่สูงแต่จะจ่ายได้ในระยะเวลาที่นานกว่า จึงเป็นผลทำให้ราคาสูงกว่าแบตเตอรี่รถยนต์ 3-4 เท่าในขนาดเดียวกัน และเนื่องจากการใช้ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้ในลักษณะจัดเก็บประจุไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ในตอนกลางวัน แล้วนำมาใช้งานในตอนกลางคืน การเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่ต้องมีความเหมาะสมกับขนาดแผงโซลาเซลล์ ซึ่งขนาดที่เหมาะสม คือ ประมาณ 6-8 เท่าขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ ตามชั่วโมงการรับแสง ดังตัวอย่างเช่น แผงโซลาเซลล์ขนาด 120 วัตต์ จะใช้แบตเตอรี่ขนาด 72-96 แอมแปร์/ชั่วโมง แต่แบตเตอรี่ที่จำหน่ายจะมีค่าที่คงที่ตายตัว จึงควรเลือกใช้ขนาดที่สูงกว่า คือ 100 แอมแปร์/ชั่วโมง การใช้ขนาดแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กเกินไป นอกจากทำให้เก็บประจุได้น้อยแล้ว ยังทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ไม่สามารถประจุไฟฟ้าเก็บไว้ใช้ได้

5. การเลือกใช้แผงโซลาเซลล์ แผงโซลาเซลล์มีหลายชนิดแต่ที่มีการนำมาใช้งานจริงแบ่งออกได้ เป็น 3 แบบ ได้แก่

5.1 แบบ Amorphous เป็นแผงโซลาเซลล์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อน ๆ ได้ รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอก ฝุ่นละออง มีฝนตกชุก เป็นต้น แต่ก็มีผลเสีย คือ พลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนัก จึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก แผงมีน้ำหนักมาก แตกหักได้ง่าย และยังหาอุปกรณ์ประกอบเพื่อต่อเชื่อมระบบได้ยาก จึงนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เป็นต้น

5.2 แบบ Crystalline เป็นแผงโซลาเซลล์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟิล์มชั้นบาง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบ Mono crystalline หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยว และแบบ Poly crystalline หรือ ผลึกผสม หรืออาจมีชื่อเป็นอย่างอื่น เช่น Single Crystalline และ Multi Crystalline เป็นแผงโซลาเซลล์ที่ใช้งานมากที่สุด แผงแบบ Mono crystalline จะมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบ Poly crystalline เล็กน้อย

ทั้งสองชนิดมีข้อดี คือ หาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ทนทาน ใช้พื้นที่น้อยกว่า มีน้ำหนักเบา แต่มีข้อจำกัด คือ ทำงานประสิทธิภาพต่ำในสภาพอากาศที่มีแสงน้อย

5.3 แบบ Super amorphous หรืออาจเรียกว่า เป็นแบบ Amorphous Triple Junction แผงโซลาเซลล์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของทั้ง Amorphous และ Crystalline มาไว้ด้วยกัน โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Amorphous สามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบ Crystalline ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัว ม้วนได้ มีน้ำหนักเบา การขนส่งสะดวก สามารถติดตั้งตามพื้นผิวของวัสดุต่าง ๆ ได้หลากหลายชนิด มีความทนทานสูงต่อสภาวะอากาศ สิ่งแวดล้อม มีอายุการใช้นานเกิน 20 ปี แต่มีข้อเสียคือมีราคาแพงกว่าชนิดอื่น ๆ 30-40 % ในอนาคตเมื่อมีราคาถูกลงก็จะได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไป

การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยการใช้แผงโซลาเซลล์ หากมีการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก จะมีข้อจำกัดทางด้านพลังงานที่ได้รับอาจไม่คงที่ หรือมีความเสถียรต่ำ การรับแสงอาทิตย์จะไม่คงที่แน่นอน ในวันที่มีฝนตก มีเมฆหมอกมาก ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้การรับแสงอาทิตย์ก็รับได้เพียงตอนกลางวันเท่านั้น หากต้องการความเสถียรของระบบก็จะต้องต่อเชื่อมกับระบบอื่น ๆ เป็นระบบไฮบริดจ์ (Hydride System) โดยใช้เป็นผลิตพลังงานร่วมกับระบบอื่น ๆ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม หรือกับเครื่องยนต์ต่าง ๆ เป็นต้น ในส่วนต้นทุนการผลิตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าพลังงานที่ได้รับจะเป็นพลังงานที่ฟรีจากดวงอาทิตย์ แต่ก็มีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การลงทุนทางด้านอุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีราคาแพงถึงกว่าวัตต์ละ 150 บาท อุปกรณ์การติดตั้งต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุมระบบการทำงาน ชาร์จคอนโทรล และ อินเวอร์เตอร์ต่าง ๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ แบตเตอรี่ ซึ่งอุปกรณ์ทุก ๆ ชนิดดังที่กล่าวแล้ว ล้วนมีอายุการใช้งาน ที่ต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาทั้งสิ้น จึงเป็นภาระค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมาคำนวณเป็นต้นทุนของระบบ ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่า ความคุ้มทุนต่าง ๆ

ดังนั้นการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยการใช้แผงโซลาเซลล์ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่ที่มีความจำเป็น หรือ การแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าเฉพาะจุดเท่านั้น ตามจุดต่าง ๆ ที่ต้องการ การใช้ไฟฟ้าที่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากนัก หรือเป็นการลดการใช้สายส่งระบบไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ จึงนิยมนำไปใช้งานในที่ต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้าระบบจราจร ไฟประดับสวน ไฟประภาคาร หรือทุ่นลอยน้ำต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งเมื่อทำการคำนวณต้นทุนการผลิตที่คุ้มค่าแล้ว จึงจะเหมาะสมในการใช้งาน (บรรจบ สุขประภาภรณ์, 2553 : www.ind.cru.in.th)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อังคณา ธนกัญญา และ อภิรัฐ ปิ่นทอง (2547 : บทคัดย่อ) ออกแบบและสร้างชุดไฮโดรโปรนิกส์แบบใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะ ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยการทดลองปลูกแตงกวาญี่ปุ่นจำนวน 40 ต้น โดยใช้วัสดุปลูก 2 ชนิด คือ เพอร์ไลท์ผสมเวอร์มิคูไลท์ อัตราส่วน 1:1 และขุยมะพร้าวผสม ขี้เถ้าแกลบอัตราส่วน 1:1 วัดกระแสไฟที่ผลิตได้ วันละ 3 ช่วงเวลาคือ 8.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอตลอดอายุการเจริญเติบโตของพืช กระแสไฟที่สามารถผลิตได้สูงสุดคิดเป็น 93.09 % ของความสามารถสูงสุดของแผง โดยในรอบวันแผงโซลาเซลล์จะผลิตกระแสไฟได้สูงสุดในเวลา 12.00 น. รองลงไปคือ 10.00 น. 14.00 น. 8.00 น. และ 16.00 น. ตามลำดับ ส่วนการเจริญเติบโตของพืชในวัสดุปลูก 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

วิธีการสร้างอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ชุดรางปลูก

1. Battery 18 A	1	ลูก
2. โซลาเซลล์ ชนิด Monocrystalline 40 W	1	แผง
3. ปั๊มน้ำ DC 12 V 0.8 A	1	ตัว
4. Controller 10 A	1	ตัว
5. โต๊ะปลูกขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร	1	ตัว
6. ถังบรรจุน้ำธาตุอาหาร	1	ใบ

วัสดุและอุปกรณ์ในการเพาะเมล็ด

1. เมล็ดผักกวางตุ้งฮ่องเต้	1	ถุง
2. ฟองน้ำ	480	ช่อง

อุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูล

1. ไม้บรรทัด	1	อัน
2. ตู้อบแห้ง	1	ตู้
3. กระดาษวัดค่า pH	1	กล่อง
4. EC meter	1	เครื่อง
5. เครื่องชั่งแบบละเอียด	1	เครื่อง
6. ถุงกระดาษ	1	ชุด
7. สมุดบันทึก ปากกา	1	ชุด
8. กล้องถ่ายรูป	1	ชุด

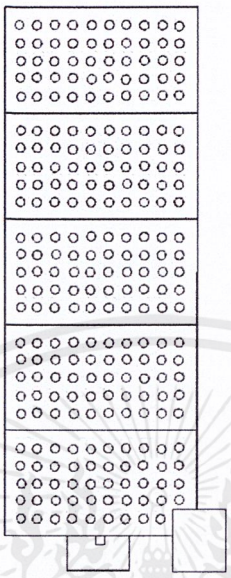
3.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์

ออกแบบและสร้างระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ระบบโซลาเซลล์ จำนวน 1 โต๊ะ ขนาดกว้าง 1 เมตร ความยาว 3 เมตร และสูง 1 เมตร ช่องปลูกผัก จำนวน 250 ช่อง

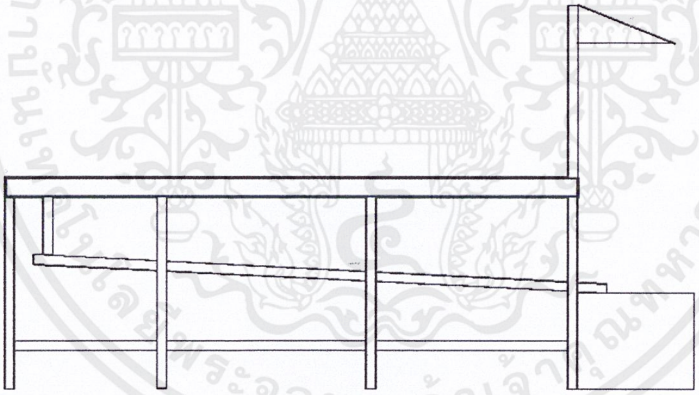
033131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

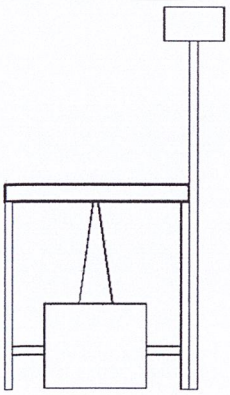
3.2.1 รูปแบบโต๊ะปลูก



ภาพที่ 6 มุมมองโต๊ะปลูกด้านบน (1 นิ้ว : 1 เมตร)



ภาพที่ 7 มุมมองโต๊ะปลูกด้านข้าง (1 นิ้ว : 1 เมตร)



ภาพที่ 8 มุมมองโต๊ะปลูกด้านหน้า (1 นิ้ว : 1 เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สถานที่สร้างอุปกรณ์

ลานเกษตร ชั้น 3 อาคารครุศาสตร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4 ระยะเวลาในการสร้างอุปกรณ์

เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2555 ถึงเดือนมกราคม 2556 รวมระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการสร้างอุปกรณ์

การออกแบบประกอบด้วยการออกแบบสร้างชุดพลังงานแสงอาทิตย์และการออกแบบสร้างชุดไฮโดรโปนิกส์ ชุดพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงโซลาเซลล์ 40 W จำนวน 1 แผง เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ (controller) ขนาด 10 A จำนวน 1 เครื่อง แบตเตอรี่ 12 V 18 A จำนวน 1 เครื่อง ชุดไฮโดรโปนิกส์ประกอบด้วย ปั๊ม 12 V จำนวน 1 ตัว รางปลูกระบบ DRFT กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 1 ราง ถังเก็บสารละลายจำนวน 1 ถัง ท่อน้ำกลับจำนวน 1 ท่อ หัวจ่ายน้ำเข้าราง 1 ชุด

4.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพ

ทำการเพาะเมล็ดในฟองน้ำก่อนขึ้นรางเป็นเวลา 7 วัน ในวันที่ 8 นำขึ้นรางปลูก โดยใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายไฟและโซลาเซลล์จ่ายไฟเข้าแบตเตอรี่โดย controller เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสไฟเข้าและออกไปยังตัวปั๊มน้ำเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้น controller เสียไม่มีการตัดกระแสไฟที่เกินจึงทำให้มีกระแสไฟเกินเข้าสู่แบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่เสียไม่สามารใช้งานได้ ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนระบบมาเป็นต่อตรงจนถึงวันที่เก็บเกี่ยวผักกวางตุ้งฮ่องเต้ รวมระยะเวลาที่ทำการทดสอบระบบแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีแบตเตอรี่รวมแล้วได้ 14 วัน ช่วงที่ต่อเป็นระบบตรงได้ 24 วัน รวมระยะเวลาปลูกทั้งหมด 45 วัน จากนั้นทำการเก็บคัดเลือกผักกวางตุ้งฮ่องเต้จำนวน 150 ต้น วัดขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบกับผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT ที่ใช้ไฟฟ้า

4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 ต้นทุนทั้ง 2 ระบบ

4.2.1.1 ระบบโซลาเซลล์

ชุดโซลาเซลล์		
1. Battery 18 A 1 ลูก	1,400	บาท
2. โซลาเซลล์ Monocrystalline 40 W 1 แผง	2,990	บาท
3. ปั๊มน้ำ DC 12 V 0.8 A 1 ตัว	550	บาท
4. Controller 10 A 1 ตัว	1,300	บาท
รวม	6,240	บาท
ชุดรางปลูก		
1. โฟมราง	1,040	บาท
2. แผ่นปลูก	650	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โฟมหัวท้าย	350	บาท
4. พลาสติกดำ	160	บาท
5. สะดือน้ำ	400	บาท
6. หัวจ่ายน้ำ	100	บาท
รวม	2,700	บาท
(ไม่รวมค่าวัสดุปลูก เมล็ดพันธุ์ เครื่องวัด pH EC และสารอาหาร)		
รวมต้นทุนที่ทำการทดลองระบบ	8,940	บาท

4.2.1.2 ระบบปกติ

ชุดรางปลูก

1. โฟมราง	1,040	บาท
2. แผ่นปลูก	650	บาท
3. โฟมหัวท้าย	350	บาท
4. พลาสติกดำ	160	บาท
5. สะดือน้ำ	400	บาท
6. หัวจ่ายน้ำ	100	บาท
รวม	2,700	บาท
อุปกรณ์ไฟฟ้า		
1. ปั๊มน้ำ AC 220-240 V 30-32 W	250	บาท
(ไม่รวมค่าวัสดุปลูก เมล็ดพันธุ์ เครื่องวัด pH EC และสารอาหาร)		
คิดค่าไฟในช่วง 38 วันที่ทำการทดลอง	82.08	บาท

* หมายเหตุ คิดหน่วยค่าไฟละ 3 บาท โดยคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าขายปลีกของ กฟภ. ที่ 36-100 หน่วยต่อเดือน (คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2556 : www.erc.or.th)

สมการการคิดหน่วยไฟฟ้า

$$\text{จำนวนหน่วย (ยูนิต) ใน 1 วัน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในหนึ่งวัน}$$

(การคำนวณไฟฟ้า. แหล่งที่มา : http://www.thaigoodview.com)

Unit = (30x1/1000) x 24 = 0.72 Unit

ดังนั้น ระยะเวลา 38 วัน จะใช้ไฟทั้งหมด 38x0.72 = 27.36 ยูนิต
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมด คือ 27.36x3 = 82.08 บาท
รวมต้นทุนในช่วงทำการทดลองทั้งหมดของระบบปกติ คือ = 3,032.08 บาท
ผลต่างต้นทุนระยะการทดลอง 38 วัน ระหว่างระบบโซลาเซลล์กับระบบปกติคือ
8,940-3,032.08 = 5,908 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนของระบบโซลาเซลล์โดยจะคำนวณแค่ค่าไฟ ส่วนระบบโซลาเซลล์จะไม่คำนวณค่าแบตเตอรี่ เพราะผู้วิจัยได้เปลี่ยนระบบโดยตัดแบตเตอรี่ออกจึงไม่นำมาคำนวณ ดังนั้น ในส่วนของค่าไฟฟ้าโต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์จึงไม่นำมาคำนวณ

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบ

รายการ	โซลาเซลล์	ปกติ
1. ค่าแผงโซลาเซลล์	2,990 บาท	-
2. ปั๊มน้ำ	550 บาท	250 บาท
3. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไป	-	82.08 บาท
รวม	3,540 บาท	332.08 บาท

1 รอบปลูก ใช้ไฟไป 82.08 บาท

เพราะฉะนั้น ค่าไฟ 3,540 บาท จะใช้เวลาในการปลูก 43 รอบปลูก

1 รอบปลูก ใช้เวลา 45 วัน

43 รอบปลูก ใช้เวลา 1,935 วัน หรือประมาณ 5 ปี

4.2.2 ผลการทดสอบระบบ

ระบบปกติไม่มีปัญหาอะไรในตลอดช่วงทำการทดลอง ส่วนระบบโซลาเซลล์หลังจากที่เปลี่ยนระบบมาเป็นต่อตรงแล้วพบว่าผักในโต๊ะปลูกยังมีการเจริญเติบโตตามปกติ ไม่แตกต่างจากตอนใช้แบตเตอรี่

4.2.3 ผลการทดสอบการเจริญเติบโตของพืช

ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.88 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 28.26 เซนติเมตร/ต้น เมื่อทดสอบความแตกต่างของขนาดทรงพุ่มทั้ง 2 ระบบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปผลการทดสอบขนาดทรงพุ่มของทั้ง 2 ระบบนี้ว่ามีความแตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.97 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 17.92 เซนติเมตร/ต้น เมื่อทดสอบความแตกต่างของความยาวรากทั้ง 2 ระบบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปผลการทดสอบความยาวรากของทั้ง 2 ระบบนี้ว่ามีความแตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 64.12 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 61.49 กรัม/ต้น เมื่อทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักสดทั้ง 2 ระบบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่านัยสำคัญของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.408 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปผลการทดสอบน้ำหนักสดของทั้ง 2 ระบบนี้ว่าไม่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 3.31 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 3.21 กรัม/ต้น เมื่อทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งทั้ง 2 ระบบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.584 จึงสรุปผลการทดสอบน้ำหนักแห้งของทั้ง 2 ระบบนี้ว่าไม่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 60.80 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 58.29 กรัม/ต้น เมื่อทดสอบความแตกต่างของความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งทั้ง 2 ระบบที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 พบว่า ค่านัยสำคัญของการทดสอบครั้งนี้ (ค่าsig) เท่ากับ 0.401 จึงสรุปผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของทั้ง 2 ระบบนี้ว่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ระหว่างระบบปกติกับระบบโซลาเซลล์

วิธีการปลูก	ค่าเฉลี่ย (150 ต้น)				
	ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนัก (กรัม)
ระบบปกติ	25.88±0.41	25.97±0.61	64.11±2.29	3.31±0.14	60.80±2.17
ระบบโซลาเซลล์	28.26±0.32	17.92±0.32	61.49±2.17	3.20±0.12	58.29±2.06
t-test	S 1/	S 1/	NS 1/	NS 1/	NS 1/

1/ ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%
S แตกต่าง
NS ไม่แตกต่าง

4.3 การปรับปรุงแก้ไข

ระบบโซลาเซลล์ จากที่ทำการทดลองพบว่า หลังจากที่เปลี่ยนระบบมาเป็นระบบต่อตรงโดยใช้ปั๊มน้ำต่อเข้ากับโซลาเซลล์โดยตรงแล้ว ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ยังมีการเจริญเติบโตได้ตามปกติและไม่แตกต่างจากตอนที่ใช้แบตเตอรี่ แต่โซลาเซลล์ที่ทำการทดลอง 40 W สามารถต่อกับปั๊มน้ำ 4 ตัว ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเงินทุนมากขึ้น จึงคำนวณการทำงานของปั๊มน้ำเพียง 1 ตัว และโซลาเซลล์ที่ใช้กับปั๊มน้ำ 1 ตัว เป็นการเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าเพื่อให้เห็นความแตกต่างของทั้ง 2 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบ หลังปรับปรุง

รายการ	โซลาเซลล์	ปกติ
1. ค่าแผงโซลาเซลล์	750 บาท	-
2. ปั๊มน้ำ	550 บาท	250 บาท
3. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไป	-	82.08 บาท
รวม	1,300 บาท	332.08 บาท

	1	รอบปลูก	ใช้ไฟไป	82.08	บาท
เพราะฉะนั้น	ค่าไฟ 1,300	บาท	จะเวลาในการปลูก	16	รอบปลูก
	1	รอบปลูก	ใช้เวลา	45	วัน
	16	รอบปลูก	ใช้เวลา	720	วัน หรือ ประมาณ 2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

1. การออกแบบประกอบด้วยการออกแบบสร้างชุดพลังงานแสงอาทิตย์และการออกแบบสร้างชุดไฮโดรโปนิกส์ ชุดพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงโซลาเซลล์ 40 W จำนวน 1 แผง เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ (controller) ขนาด 10 A จำนวน 1 เครื่อง แบตเตอรี่ 12 V 18 A จำนวน 1 เครื่อง ชุดไฮโดรโปนิกส์ประกอบด้วย ปั๊ม 12 V จำนวน 1 ตัว รางปลูกระบบ DRFT กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร จำนวน 1 ราง ถังเก็บสารละลายจำนวน 1 ถัง ท่อน้ำกลับจำนวน 1 ท่อ หัวจ่ายน้ำเข้าราง 1 ชุด

2. ผลการทดสอบระบบพบว่าระบบโซลาเซลล์จ่ายกระแสไฟได้ปกติตลอดระยะเวลาการทดสอบ มีช่วงท้ายของการทดสอบ ที่เครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ (controller) เสีย จึงทำให้การจ่ายกระแสไฟจากตัวแผงโซลาเซลล์มายังแบตเตอรี่มีปัญหามีกระแสไฟเกินเข้าแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอร์รี่ที่เก็บไฟเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้ต้องเปลี่ยนระบบเป็นต่อตรงจากแผงโซลาเซลล์มายังปั๊มโดยตรงและพบว่าระบบสามารถทำงานได้ดี เมื่อคำนวณค่าไฟในระบบปกติจะคำนวณในส่วนของค่าไฟฟ้า ส่วนในระบบโซลาเซลล์จะคำนวณในส่วนของค่าใช้จ่ายในเรื่องของชุดโซลาเซลล์ ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปในระบบปกติ คือ 82.08 บาท ชุดโซลาเซลล์ 3,540 บาท ระยะเวลาคืนทุนของระบบโซลาเซลล์ คือ 5 ปี หลังจากนำมาปรับปรุงแก้ไขแล้วพบว่า ระยะเวลาคืนทุนลดลงเหลือแค่ 2 ปี

3. จากการทดสอบระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับระบบปลูกที่ใช้ไฟฟ้า สรุปได้ว่า ผักกวางตุ้งที่ใช้ในการทดลองพบว่ามีการเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างกันในเรื่องของ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และ ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ส่วนในเรื่องของทรงพุ่ม และ ความยาวราก พบว่า มีความแตกต่างกัน โดยในด้านของน้ำหนักสดนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 64.12 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 61.49 กรัม/ต้น ด้านน้ำหนักแห้งนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 3.31 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 3.21 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 60.80 กรัม/ต้น ค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 58.29 กรัม/ต้น ด้านของความยาวรอบทรงพุ่มนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.88 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มของโต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 28.26 เซนติเมตร/ต้น ด้านของความยาวรากนั้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า เท่ากับ 25.97 เซนติเมตร/ต้น ค่าเฉลี่ยความยาวรากของผักกวางตุ้งฮ่องเต้โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์ เท่ากับ 17.92 เซนติเมตร/ต้น

แสดงว่า ระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ DRFT โดยใช้ระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบโซลาเซลล์นี้ สามารถปลูกผักได้ผลดีเหมือนกับระบบไฟฟ้า จึงเป็นผลดีในเรื่องของการประหยัดต้นทุนการผลิตในเรื่องของค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ผักชนิดอื่นในการทดสอบด้วย เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตในระบบโซลาเซลล์
2. ควรทำการทดลองเรื่องของออกซิเจนในสารละลายเพิ่มเติมต่อไป
3. สำหรับอุปกรณ์ทั้งระบบโซลาเซลล์ และ ระบบไฟฟ้า เป็นสิ่งสำคัญมาก ควรมีการจัดเตรียมไว้สำรองหนึ่งชุด หรือใช้ของที่มีคุณภาพสูงที่น่าเชื่อถือได้สำหรับอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กองทัพเรือ. ม.ป.ป. “ความรู้ทั่วไปการปลูกผักไฮโดรโพนิกส์”. กองทัพเรือ. แหล่งที่มา : www.navy.mi.th/elecwww/km/kmhit/pdf/3.pdf., 1 กันยายน 2555.

การคำนวณไฟฟ้า. แหล่งที่มา : http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type1 /science03 /11/Electricity-web/html/content-html/cal.html., 1 พฤษภาคม 2556

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2556 “อัตราค่าไฟฟ้า”. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. แหล่งที่มา : www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Download/PEA-Tariff.pdf., 1 พฤษภาคม 2556.

ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. แหล่งที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/ aboutpower /solar_knowledge.php., 3 มกราคม 2556.

ดิเรก ทองอร่าม. 2546. การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. ราชบุรี : ธรรมรักษ์การพิมพ์. 640 น.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2553. “การปลูกพืชไม่ใช้ดิน”. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. แหล่งที่มา : http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliess%20plants.pdf., 28 สิงหาคม 2555.

บรรจบ สุขประภาภรณ์. 2553. “พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาเซลล์”. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. แหล่งที่มา : www.ind.cru.in.th/articleind/33.pdf., 28 สิงหาคม 2555.

แบตเตอรี่. แหล่งที่มา : http://www.topintertech.com., 29 สิงหาคม 2555.

ไฟฟ้าเพื่อชีวิต

วรนุช แจ้งสว่าง. 2553. พลังงานหมุนเวียน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 247 น.

อินเวอร์เตอร์. แหล่งที่มา : http://www.topintertech.com., 29 สิงหาคม 2555.

อังคณา ธนกัญญา และ อภิรัฐ ปิ่นทอง. 2548. การออกแบบและสร้างชุดไฮโดรโปนิกส์แบบใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะ. โครงการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมดินและน้ำ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปีงบประมาณ 2547. 9 น.

Gil Knier. 2002. “How do Photovoltaics Work?”. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. แหล่งที่มา : http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/., 3 มกราคม 2556.

Solar Charge Controller. แหล่งที่มา : http:/ www.true-solar.com., 3 มกราคม 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลของการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (โต๊ะปลูกระบบไฟฟ้า)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
1	22	22	43.71	2.88	40.83
2	26	36	65.54	2.74	62.80
3	22	24	42.48	1.89	40.59
4	23	29	67.36	3.19	64.17
5	23	19	70.25	3.72	66.53
6	22	38	50.12	2.35	47.77
7	26	23	101.35	4.57	96.78
8	26	36	83.64	4.10	79.54
9	20	60	89.66	5.11	84.55
10	22	18	57.73	3.23	54.50
11	22	16	35.68	1.45	34.23
12	20	17	48.08	2.35	45.73
13	27	26	94.16	3.72	90.44
14	22	22	80.50	3.84	76.66
15	21	21	77.98	3.88	74.10
16	20	24	49.53	2.32	47.21
17	30	36	80.10	3.79	76.31
18	23	31	76.17	4.38	71.79
19	22	16	43.14	2.10	41.04
20	21	11	57.38	3.26	54.12
21	26	23	57.13	2.91	54.22
22	20	23	46.04	3.60	42.44
23	29	25	93.52	3.81	89.71
24	22	18	67.34	3.60	63.74
25	27	45	81.84	4.70	77.14
26	24	29	78.02	5.15	72.87
27	30	26	128.84	8.36	120.48
28	24	25	104.63	3.09	101.54
29	25	38	42.78	2.82	39.96
30	23	23	60.33	2.96	57.37
31	27	25	105.16	5.43	99.73
32	25	20	56.30	2.64	53.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
33	26	17	45.57	2.68	42.89
34	27	23	117.18	5.72	111.46
35	29	35	99.34	5.58	93.76
36	24	30	51.92	2.95	48.97
37	26	27	60.14	3.19	56.95
38	27	21	84.05	5.16	78.89
39	26	22	60.91	2.40	58.51
40	21	18	62.43	3.02	59.41
41	23	25	51.27	2.06	49.21
42	23	25	64.15	2.38	61.77
43	22	33	57.75	2.82	54.93
44	19	25	37.75	1.59	36.16
45	23	24	42.22	1.82	40.40
46	23	12	44.46	2.10	42.36
47	26	32	59.49	3.49	56.00
48	26	27	41.73	2.64	39.09
49	24	18	34.57	1.55	33.02
50	21	30	44.37	2.35	42.02
51	24	22	47.40	2.36	45.04
52	24	15	35.57	1.81	33.76
53	21	20	41.89	2.78	39.11
54	27	32	57.26	2.53	54.73
55	26	28	72.31	4.45	67.86
56	25	22	66.17	3.66	62.51
57	26	38	64.99	3.86	61.13
58	22	16	42.23	2.36	39.87
59	30	33	129.11	5.09	124.02
60	24	32	71.14	3.79	67.35
61	23	23	50.50	2.43	48.07
62	29	17	85.93	4.60	81.33
63	31	37	98.92	5.23	93.69
64	22	22	53.55	2.44	51.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
65	26	26	74.73	3.76	70.97
66	31	34	67.57	3.33	64.24
67	24	40	61.30	2.90	58.40
68	28	30	73.41	3.23	70.18
69	26	33	52.11	2.70	49.41
70	29	29	67.64	3.19	64.45
71	28	18	57.78	2.01	55.77
72	24	21	55.87	2.93	52.94
73	32	21	62.50	3.19	59.31
74	28	30	54.95	2.35	52.60
75	21	21	43.31	2.14	41.17
76	16	15	24.34	1.01	23.33
77	21	21	28.51	1.60	26.91
78	21	22	52.68	2.73	49.95
79	21	25	31.12	1.46	29.66
80	23	17	28.55	1.30	27.25
81	25	24	39.20	2.26	36.94
82	27	26	58.95	3.35	55.60
83	27	21	82.61	5.61	77.00
84	28	28	60.80	3.60	57.20
85	27	29	49.74	2.16	47.58
86	22	20	45.20	1.36	43.84
87	17	18	40.55	2.30	38.25
88	23	28	42.86	1.96	40.90
89	18	29	44.75	1.96	42.79
90	14	20	25.19	1.01	24.18
91	29	31	77.81	3.90	73.91
92	29	28	64.55	3.27	61.28
93	32	29	137.73	7.99	129.74
94	29	15	78.90	4.24	74.66
95	24	22	62.48	2.78	59.70
96	27	32	62.15	2.89	59.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
97	25	27	52.01	3.01	49.00
98	25	26	49.09	3.20	45.89
99	19	15	26.70	1.74	24.96
100	31	32	96.40	4.28	92.12
101	28	27	111.80	6.43	105.37
102	33	32	140.54	5.55	134.99
103	31	22	83.94	3.43	80.51
104	25	27	44.83	1.86	42.97
105	29	28	80.09	5.04	75.05
106	30	17	53.29	1.99	51.30
107	18	22	35.72	1.61	34.11
108	25	16	50.74	1.83	48.91
109	25	32	56.57	2.42	54.15
110	18	24	36.74	2.34	34.40
111	25	25	31.75	1.37	30.38
112	30	26	113.41	4.88	108.53
113	27	20	64.86	3.14	61.72
114	29	35	61.55	2.28	59.27
115	27	28	103.87	5.08	98.79
116	29	41	169.83	11.03	158.80
117	20	25	31.59	1.50	30.09
118	24	23	35.94	1.59	34.35
119	28	21	48.52	2.67	45.85
120	24	32	61.40	3.23	58.17
121	23	32	48.89	2.40	46.49
122	26	17	25.20	0.95	24.25
123	27	23	27.43	1.35	26.08
124	26	16	25.02	1.36	23.66
125	21	18	35.07	1.27	33.80
126	31	20	43.61	2.47	41.14
127	23	28	49.07	1.93	47.14
128	23	31	43.64	1.88	41.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
129	20	33	72.13	4.44	67.69
130	22	39	59.30	3.87	55.43
131	24	24	64.85	3.54	61.31
132	27	24	62.81	3.64	59.17
133	35	43	68.85	3.91	64.94
134	46	45	112.06	7.32	104.74
135	29	30	92.08	5.32	86.76
136	28	23	81.37	4.01	77.36
137	37	33	85.96	5.14	80.82
138	29	15	38.76	2.59	36.17
139	33	30	62.71	3.42	59.29
140	36	34	56.78	3.97	52.81
141	32	30	60.19	3.38	56.81
142	37	30	66.23	3.86	62.37
143	46	18	193.49	11.58	181.91
144	30	27	70.15	3.71	66.44
145	28	18	35.78	1.80	33.98
146	33	21	56.91	3.57	53.34
147	45	29	135.02	7.10	127.92
148	31	34	65.05	3.59	61.46
149	25	25	36.37	1.86	34.51
150	35	34	77.79	4.26	73.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลของการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (โต๊ะปลูกระบบโซลาเซลล์)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
1	29	17	49.95	2.85	47.10
2	29	22	71.71	4.29	67.42
3	28	15	59.95	2.74	57.21
4	31	20	76.64	3.59	73.05
5	31	12	50.18	2.40	47.78
6	29	18	84.32	4.12	80.20
7	37	16	115.98	7.10	108.88
8	30	15	50.50	2.85	47.65
9	30	13	63.87	2.92	60.95
10	24	12	27.98	1.72	26.26
11	35	26	108.65	6.12	102.53
12	28	14	57.02	2.65	54.37
13	33	18	93.64	4.42	89.22
14	33	15	47.67	2.50	45.17
15	26	18	44.34	2.34	42.00
16	28	11	29.60	1.32	28.28
17	30	18	25.76	1.00	24.76
18	29	16	84.29	3.72	80.57
19	27	17	91.67	4.53	87.14
20	28	15	32.52	1.30	31.22
21	32	21	82.13	4.27	77.86
22	38	22	102.39	3.97	98.42
23	31	18	69.73	2.41	67.32
24	32	18	91.38	4.12	87.26
25	30	17	81.15	3.26	77.89
26	33	20	65.81	2.79	63.02
27	31	32	65.49	3.27	62.22
28	26	21	44.02	2.71	41.31
29	27	16	37.98	1.80	36.18
30	33	19	73.26	5.04	68.22
31	30	16	38.64	1.74	36.90
32	27	15	44.02	2.01	42.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
33	32	17	56.92	3.28	53.64
34	28	15	34.03	1.83	32.20
35	29	19	50.04	2.64	47.40
36	28	15	45.65	2.01	43.64
37	26	16	61.20	2.81	58.39
38	33	14	68.71	3.74	64.97
39	27	15	39.75	2.37	37.38
40	26	14	25.36	1.41	23.95
41	39	22	94.63	4.49	90.14
42	26	14	31.77	1.64	30.13
43	28	16	56.43	2.73	53.70
44	34	17	96.19	4.88	91.31
45	29	19	52.22	2.12	50.10
46	30	19	67.43	3.31	64.12
47	29	20	70.68	3.04	67.64
48	29	19	66.28	2.86	63.42
49	29	15	53.59	2.15	51.44
50	35	18	72.47	3.33	69.14
51	33	16	90.45	4.20	86.25
52	28	13	43.68	3.10	40.58
53	30	15	46.15	1.81	44.34
54	31	23	67.43	3.60	63.83
55	25	21	56.16	2.82	53.34
56	28	21	47.27	2.45	44.82
57	37	33	109.39	4.49	104.90
58	30	15	54.62	2.88	51.74
59	26	16	62.49	2.83	59.66
60	32	27	124.18	5.26	118.92
61	27	16	62.71	3.08	59.63
62	22	22	59.27	2.57	56.70
63	27	20	34.86	1.69	33.17
64	32	18	45.15	1.92	43.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
65	24	25	72.75	3.09	69.66
66	29	21	48.32	1.99	46.33
67	31	22	87.59	4.39	83.20
68	30	19	78.34	4.31	74.03
69	32	21	76.58	4.11	72.47
70	30	31	106.46	5.51	100.95
71	30	17	64.03	3.49	60.54
72	34	18	118.62	7.13	111.49
73	32	18	49.94	2.43	47.51
74	34	22	70.33	3.47	66.86
75	33	19	63.30	2.86	60.44
76	24	18	32.68	3.14	29.54
77	23	19	38.02	1.51	36.51
78	31	14	92.65	4.15	88.50
79	28	19	84.83	6.69	78.14
80	23	21	46.18	2.76	43.42
81	27	14	49.35	2.67	46.68
82	30	21	67.83	3.40	64.43
83	32	20	57.07	3.06	54.01
84	29	16	102.08	4.38	97.70
85	19	17	43.86	2.49	41.37
86	28	20	47.35	2.07	45.28
87	25	15	43.80	2.08	41.72
88	25	14	44.06	1.69	42.37
89	26	15	31.16	1.29	29.87
90	31	21	62.44	3.82	58.62
91	30	14	106.03	4.47	101.56
92	33	25	165.42	9.32	156.10
93	31	22	62.76	3.18	59.58
94	25	19	68.41	5.61	62.80
95	28	20	99.02	6.72	92.30
96	25	21	59.81	4.10	55.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
97	31	21	109.13	4.72	104.41
98	29	22	57.09	3.98	53.11
99	27	16	42.48	2.15	40.33
100	24	19	60.17	2.57	57.60
101	28	22	88.69	3.46	85.23
102	27	20	69.32	4.32	65.00
103	25	19	84.16	5.01	79.15
104	26	15	46.88	2.18	44.70
105	29	15	67.83	3.44	64.39
106	31	27	57.33	3.08	54.25
107	30	16	47.01	2.18	44.83
108	26	16	27.74	1.11	26.63
109	22	16	45.06	1.98	43.08
110	22	16	43.12	2.30	40.82
111	25	16	30.56	1.82	28.74
112	27	16	56.80	3.01	53.79
113	27	20	50.67	2.36	48.31
114	26	20	53.90	2.49	51.41
115	33	26	123.92	7.86	116.06
116	32	20	118.96	6.71	112.25
117	29	19	70.78	4.00	66.78
118	29	15	79.83	5.16	74.67
119	32	18	90.83	4.36	104.41
120	31	17	74.92	4.21	53.11
121	32	21	110.29	5.71	40.33
122	28	19	86.54	5.10	57.60
123	25	19	34.04	2.05	85.23
124	31	10	23.48	1.64	65.00
125	27	17	33.36	2.36	79.15
126	23	15	22.18	0.84	44.70
127	18	11	23.16	1.73	64.39
128	25	16	29.38	2.01	54.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้นที่	ความยาวรอบทรงพุ่ม (ซม.)	ความยาวราก (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ผลต่างน้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง (กรัม)
129	27	19	40.53	2.17	38.36
130	26	21	63.48	3.47	60.01
131	23	17	32.65	1.96	30.69
132	23	14	34.80	1.97	32.83
133	24	22	60.56	3.39	57.17
134	29	20	107.92	5.86	102.06
135	23	14	32.72	1.60	31.12
136	23	11	30.95	1.97	28.98
137	23	17	47.80	2.37	45.43
138	28	16	56.60	4.24	52.36
139	36	18	73.15	4.90	68.25
140	23	17	51.80	2.88	48.92
141	31	13	89.78	5.67	84.11
142	22	13	18.26	0.96	17.30
143	23	11	22.26	1.14	21.12
144	22	20	44.84	2.83	42.01
145	24	23	62.03	3.51	58.52
146	22	12	31.88	1.62	30.26
147	23	14	38.87	2.49	36.38
148	21	11	20.07	1.05	19.02
149	21	12	27.70	1.39	26.31
150	23	17	25.24	1.28	23.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

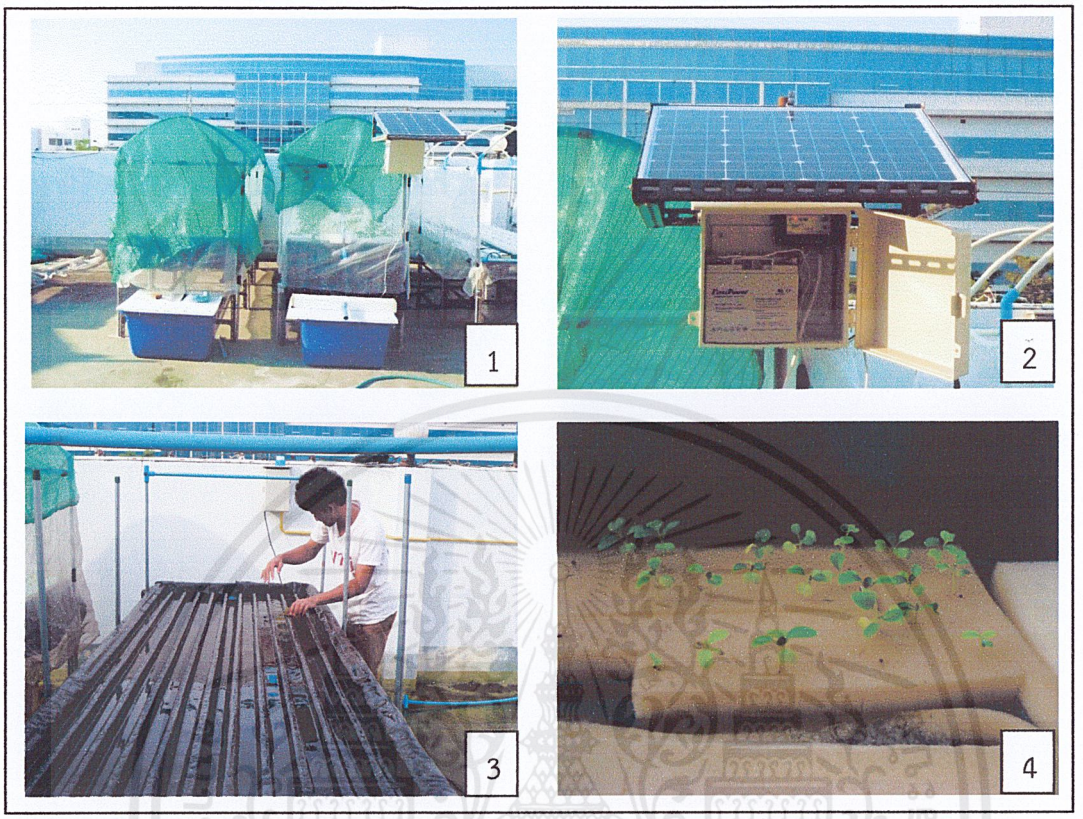
ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติที่เป็นค่าเฉลี่ยของ ความยาวทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลต่างระหว่างน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ระหว่างระบบโซลาเซลล์กับระบบปกติ

	system	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ทรงพุ่ม	power	150	25.8800	5.04732	.41211
	solar	150	28.2600	3.90393	.31875
ความยาวราก	power	150	25.9733	7.44280	.60770
	solar	150	17.9200	3.96549	.32378
นน.สด	power	150	64.1090	28.08878	2.29344
	solar	150	61.4931	26.57372	2.16973
นน.แห้ง	power	150	3.3086	1.66818	.13621
	solar	150	3.2081	1.50669	.12302
นน.สด-นน.แห้ง	power	150	60.8004	26.54267	2.16720
	solar	150	58.2851	25.20061	2.05762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของขนาดทรงพุ่ม ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ผลต่างระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้ง

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
ทรงพุ่ม	Equal variances assumed	2.779	.097	-4.568	298	.000	-2.38000	.52100	-3.40530	-1.35470
	Equal variances not assumed			-4.568	280.290	.000	-2.38000	.52100	-3.40557	-1.35443
ความยาวราก	Equal variances assumed	42.333	.000	11.696	298	.000	8.05333	.68858	6.69825	9.40842
	Equal variances not assumed			11.696	227.285	.000	8.05333	.68858	6.69653	9.41014
นน.สด	Equal variances assumed	.100	.753	.829	298	.408	2.61587	3.15715	-3.59727	8.82901
	Equal variances not assumed			.829	297.088	.408	2.61587	3.15715	-3.59735	8.82908
นน.แห้ง	Equal variances assumed	.006	.937	.548	298	.584	.10053	.18354	-.26066	.46173
	Equal variances not assumed			.548	294.963	.584	.10053	.18354	-.26068	.46174
นน.สด-นน.แห้ง	Equal variances assumed	.119	.730	.842	298	.401	2.51533	2.98840	-3.36572	8.39638
	Equal variances not assumed			.842	297.201	.401	2.51533	2.98840	-3.36578	8.39645



ภาพผนวกที่ 1 รูปแบบระบบและการเพาะเมล็ด

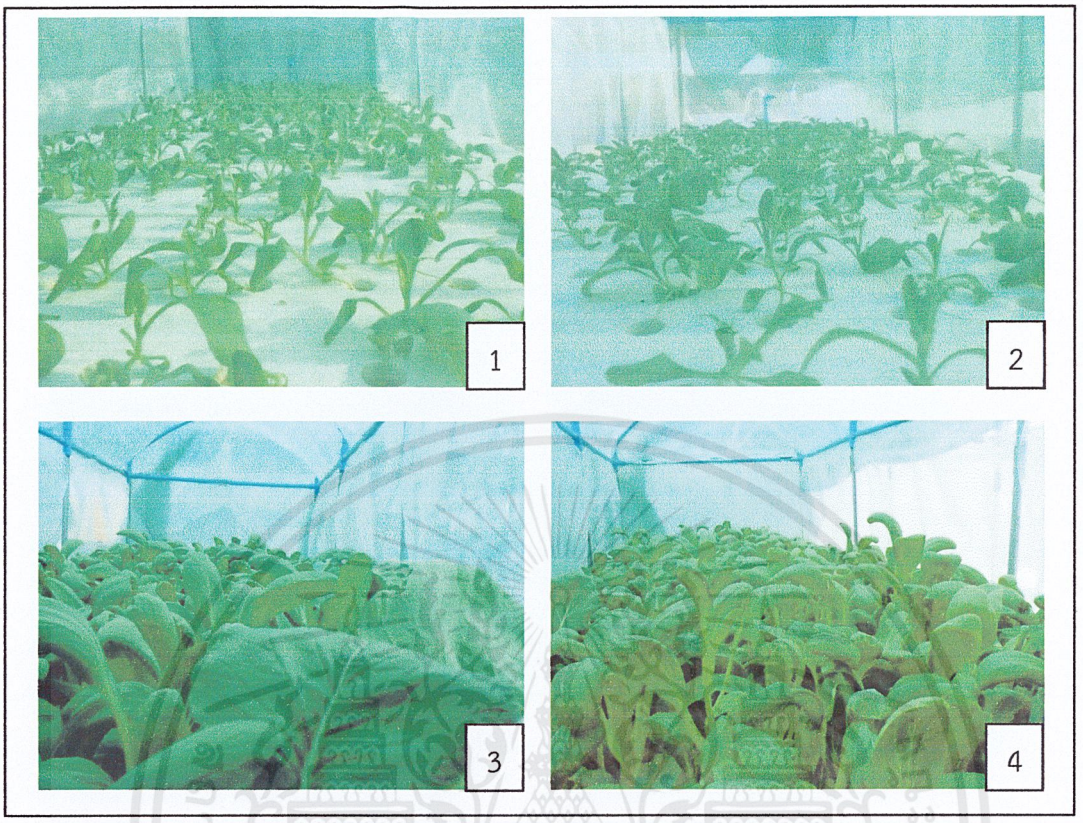
1 รูปแบบการวางโต๊ะทั้ง 2 ระบบ

2 ชุดไฟระบบโซลาเซลล์

3 รางปลูกระบบ DRFT

4 ลักษณะต้นที่ขึ้นจากฟองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 2 การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้

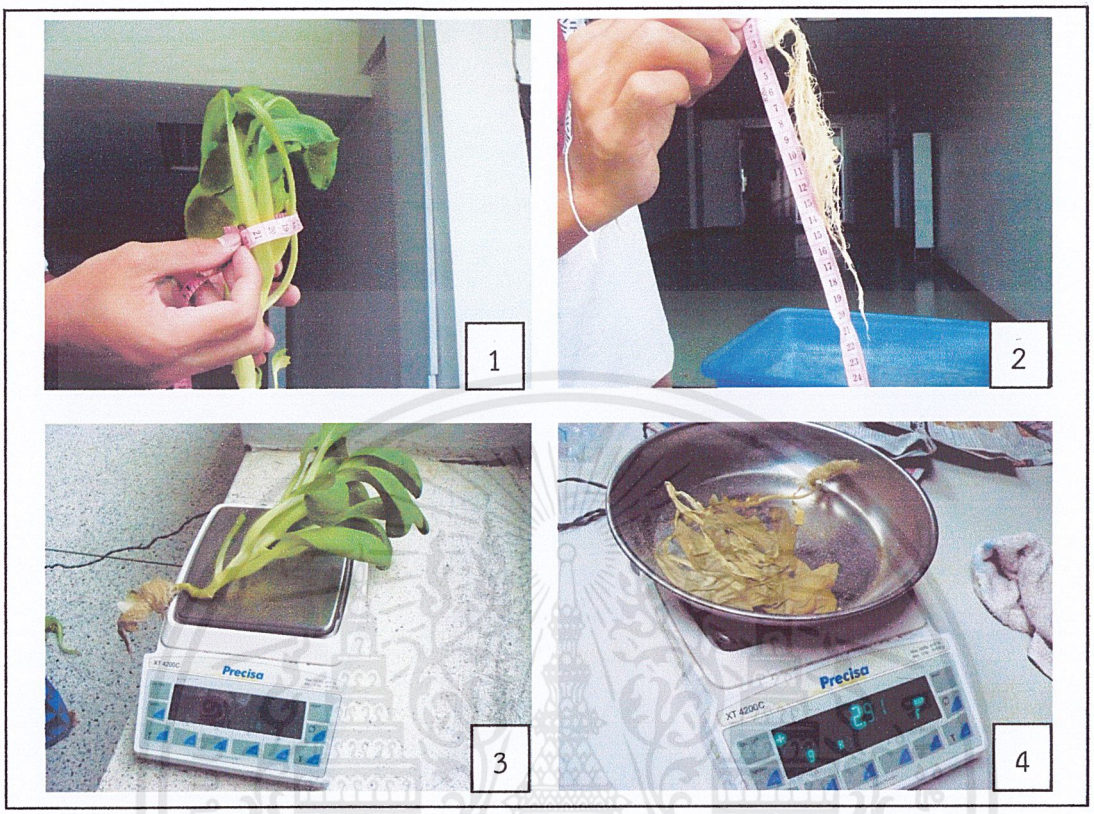
1 ระยะการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ วันที่ 20 โต๊ะปลูกไฟฟ้า

2 ระยะการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ วันที่ 20 โต๊ะปลูกโซลาเซลล์

3 ระยะการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ วันที่ 35 โต๊ะปลูกไฟฟ้า

4 ระยะการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ วันที่ 35 โต๊ะปลูกโซลาเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 3 การวัดค่าต่าง ๆ

1 วัดความยาวรอบทรงพุ่ม

2 วัดความยาวราก

3 ชั่งน้ำหนักสด

4 ชั่งน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้