

# ระบบปลูกพืชแบบไร้ดินที่ใช้ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร

## A Hydroponics System Using a Solar Pump for Recirculating Nutrient Solution

ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์\* จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขามเรียง กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

E-mail:songchai.w@msu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0814998303, เบอร์โทรสาร: 043754316

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายในการพัฒนาและทดสอบระบบปลูกพืชแบบไร้ดินซึ่งใช้ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร โดยได้เลือกปลูกผักกาดกวางตุ้ง การทดสอบระบบปลูกพืชไร้ดินใช้วัสดุปลูก 2 ชนิด (ฟองน้ำและใยบัว) และเก็บข้อมูลความสูงของต้นพืชในทุกๆ สัปดาห์เป็นเวลา 3 สัปดาห์รวมถึงเก็บข้อมูลน้ำหนักของต้นพืชที่อายุ 3 สัปดาห์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ได้ถูกเชื่อมต่อเข้ากับปั๊มเพื่อใช้ในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร จากข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ชนิดของวัสดุปลูกส่งผลกระทบต่อทั้งความสูงและน้ำหนักของต้นพืช จากการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพช่วงอยู่ในช่วง 8.42 – 10.19 % และมีประสิทธิภาพรายวันเท่ากับ 9.13 % เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันอยู่ในช่วง 680 – 923 วัตต์ต่อตารางเมตร

คำสำคัญ : ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพช่วงขณะ ประสิทธิภาพรายวัน เซลล์แสงอาทิตย์ การปลูกพืชไร้ดิน

### Abstract

This research aimed to develop and test a hydroponics system using a solar pump for recirculating nutrient solution. Flowering cabbage (*Brassica chinensis* Justl var. *parachinensis* (Bailey)) was a target plant. Two types of planting materials (sponge cube and luffa fiber) were tested. Plant growth rate in terms of height and weight were recorded every week for three weeks and at the third week, respectively. A 40 W PV panel connecting to a circulating pump was used to circulate the nutrient solution. Observation of the plant growth showed that planting materials had strong influences on the height and the weight of plants. Performance tests of the PV panel revealed that instantaneous efficiencies were in the ranges of 8.42 – 10.19 % and the daily efficiency was found to be 9.13 % when the daily global solar irradiation was ranging on 680 – 923 W/m<sup>2</sup>.

**Keywords** : Solar pump, Instantaneous efficiency, daily efficiency, Solar cell, Hydroponics

## 1. บทนำ

การปลูกพืชแบบไร้ดินซึ่งเป็นเทคนิคการปลูกพืชในน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารมักจะให้ผลผลิตที่สูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการปลูกพืชในดิน ปัจจุบันพืชปลอดสารพิษที่ปลูกด้วยระบบปลูกไร้ดินได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ผักกาดกวางตุ้ง (Pak choy) เป็นผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ชนิดหนึ่ง ที่นิยมปลูกแบบไร้ดินและบริโภคกันแพร่หลาย ใบผักกาดกวางตุ้งมีคุณค่าทางอาหารสูงและมีสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) หลายชนิด เช่น เบต้า-แคโรทีน (Beta-carotene) กรดโฟลิก (Folic acid) และลูทีน (Lutene) เป็นต้น [1]

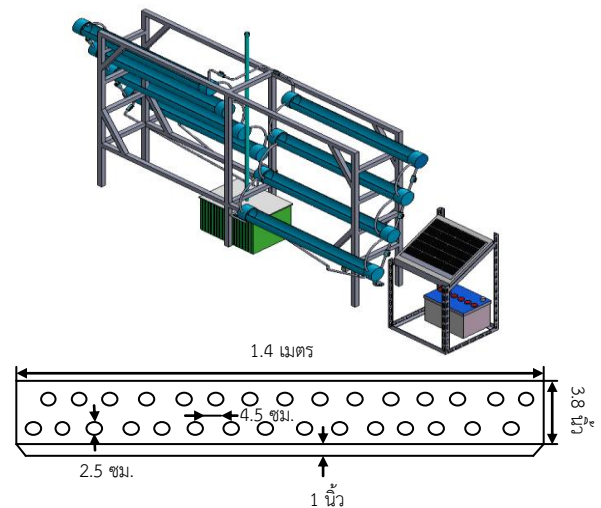
การให้สารละลายธาตุอาหารพืชจะต้องใช้เครื่องสูบน้ำดูดจากถังเก็บสารละลายธาตุอาหารพืช แล้วปล่อยให้ไหลเป็นแผ่นบางๆ ผ่านรากพืชด้วยอัตราความเร็วประมาณ 2 ลิตรต่อนาที รากจะได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ด้านปลายลำรากจะมีรูรองรับสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้แล้วไปรวมที่ถังเพื่อดูดกลับไปใช้ใหม่ การปลูกพืชเทคนิคนี้ต่อมาได้รับการพัฒนาให้มีวัสดุรองรับรากพืช เพื่อช่วยลดปัญหาการที่รากมีการเจริญแล้วจับตัวเป็นแผ่นหนาแน่น ทำให้เกิดการกีดขวางลำราก สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านไม่สะดวกเป็นผลให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของพืชในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแท่งปลูก เช่น ร็อกวูล (Rockwool) และมีการนำมาใช้ในการปลูกผักเป็นเชิงพาณิชย์ในหลายประเทศ [2]

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย รวมถึงระบบปลูกพืชแบบไร้ดินด้วย ที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่และป้อนเข้าสู่ปั๊มสารละลายเพื่อใช้เลี้ยงต้นพืชผ่านระบบหยดน้ำ ซึ่งควบคุมโดยสวิตช์ตั้งเวลา ทำให้พืชได้รับสารละลายในปริมาณที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต [3] ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม โดยใช้กังหันลมขนาด 1000 วัตต์ 48 โวลท์ จำนวน 1 ชุด และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 80 วัตต์ จำนวน 4 แผง ทำเป็นระบบผสมผสานได้อย่างลงตัว [4] ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในนิวยอร์ก

ประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น ในวันท้องฟ้าโปร่งของฤดูร้อนสามารถสูบน้ำได้สูงสุด 1000-1120 แกลลอนต่อวัน แต่ยังคงมีปัญหาในวันที่มีเมฆมากและวันที่ฝนตก [5] การศึกษาของห้องทดลองแห่งชาติแซนเดย์ รายงานว่าระบบสูบน้ำด้วยแผง PV ในชนบทหรือสถานที่ห่างไกล มีค่าใช้จ่ายอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับเครื่องปั๊มไฟฟ้า ถึงแม้เงินลงทุนเริ่มแรกจะสูงกว่าถึง 5 เท่า [6] งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบปลูกพืชไร้ดินโดยใช้ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร และมีการศึกษาในส่วนการนำวัสดุเหลือทิ้งในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปลูก

## 2. วัสดุและวิธีการทดลอง

แนวคิดในการออกแบบระบบปลูกพืชแบบไร้ดินนี้คือใช้ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร และออกแบบโครงสร้างระบบให้เป็นแบบชั้นบันไดเพื่อประหยัดพื้นที่ใช้สอยและให้ต้นพืชรับแสงแดดได้เต็มที่ โดยในส่วนของรางปลูกนั้นออกแบบไว้ 8 รางๆ ละ 30 หลุมปลูก ระยะห่างระหว่างหลุมปลูก 5 เซนติเมตร แบบระบบปลูกพืชแบบไร้ดินที่ได้แสดงในภาพประกอบ 7



รูปที่ 1 ระบบปลูกพืชแบบไร้ดินที่ใช้ปั๊มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร

ระบบปลูกพืชแบบไร้ดินประกอบด้วย รางปลูกทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 0.3 มิลลิเมตร ความยาว 1.5 เมตรนำมาผ่าให้มี ความสูง 3 เซนติเมตร จำนวน 8 ท่อ เชื่อมต่อแต่ละรางปลูกด้วยสายยางใสและ วาล์วน้ำปรับอัตราการไหลสารละลายธาตุอาหาร ไหล หมุนเวียนกลับมาถึงพักสารละลายธาตุอาหาร ขนาด 50 ลิตร ระบบปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 แผง ปั้มน้ำขนาด 30 วัตต์ จำนวน 1 ตัว แบตเตอรี่ ขนาด 70 แอมป์ 1 ลูก

## 2.1 การทดสอบระบบปลูกพืชแบบไร้ดินที่ใช้ปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร

การอนุบาลต้นพืช เริ่มจากนำเมล็ดผักกวางตุ้งมาหยอด ลงวัสดุปลูกฟองน้ำและใยบัวในแต่ละหลุมๆละ 5 เมล็ด วัสดุปลูกที่หยอดเมล็ดแล้วนำมาวางลงในแผ่นโฟมเพื่อรองรับวัสดุปลูก จากนั้นวางแผ่นโฟมที่ รองรับวัสดุปลูกลงใน รางปลูกแล้วเปิดน้ำให้เต็มรางปลูก ฉีดพ่นน้ำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้วัสดุปลูกที่หยอดเมล็ดแล้วได้รับความชุ่มชื้นเป็นเวลา 5 วัน แล้วผสมสารละลายธาตุอาหารด้วยอัตราส่วน 250 มิลลิกรัม ต่อ น้ำ 100 ลิตร ลงในถังพักสารละลาย เปิดปั้มน้ำ ที่ต่อกระแสไฟฟ้าจากชุดเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อปั้มน้ำให้ สารละลายธาตุอาหาร หมุนเวียนตามรางปลูกในตอน กลางวัน ส่วนตอนกลางคืนจะใช้แบตเตอรี่ ถึง 08.00 น. แล้ว นำแบตเตอรี่มาชาร์จ จากนั้นวัดความสูงของลำต้นพืชทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยใช้ไม้บรรทัดวัดจากโคนจนถึงส่วนปลายของ ใบวัดทุกหลุมปลูก โดยในแต่ละหลุมปลูกจะใช้ค่าเฉลี่ยของ ความสูงแต่ละต้น เมื่อครบ 3 สัปดาห์แล้วจะนำต้นพืชมาชั่ง น้ำหนักรวม และน้ำหนักเฉพาะราก

## 2.2.การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2555 ตั้งแต่เวลา 10.00 ถึง 15.00 นาฬิกา ผู้เขียนได้ทำการตรวจวัดความเข้มของรังสีอาทิตย์รวม อุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 จุด อุณหภูมิอากาศ แวดล้อม กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เซลล์ แสงอาทิตย์ผลิตได้ จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 3.1 อิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อความสูงของพืช

การทดสอบนี้ ได้ทดลองปลูกพืชไร้ดินในภาชนะซึ่ง บรรจุน้ำโดยไม่ได้หมุนเวียนน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับการปลูก พืชไร้ดินในสารละลายธาตุอาหารที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งใช้ปั้มน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุ อาหาร ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชแสดงไว้ ดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 การใช้สารละลายธาตุอาหารจะได้พืชที่มี อัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าการใช้น้ำธรรมดาทั้งกรณีการ ใช้วัสดุปลูกฟองน้ำและใยบัว โดยความแตกต่างของความ สูงพืชจะมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้ในสารละลายธาตุ อาหารจะมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่พืชต้องการ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม ซึ่ง หมุนเวียนอยู่ในระบบปลูกพืชไร้ดินด้วยปั้มน้ำพลังงาน แสงอาทิตย์สามารถช่วยในการเจริญเติบโตของพืชได้เป็น อย่างดี

### 3.2 อิทธิพลของชนิดวัสดุปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

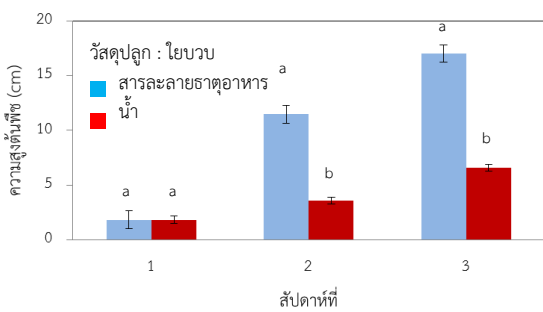
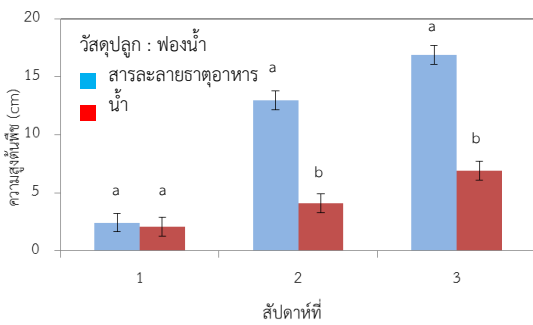
ฟองน้ำถือเป็นวัสดุปลูกที่นิยมใช้สำหรับระบบปลูกพืช ไร้ดินทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง และไม่ทำ ปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหาร แต่เนื่องจากเป็นวัสดุ สักระยะจึงไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการนำใยบัวซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพมาทดลองใช้ และ เปรียบเทียบกับวัสดุฟองน้ำ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงใน รูปที่ 3

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า ต้นพืชซึ่งปลูกในวัสดุปลูกทั้งสอง ชนิดมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงในจากสัปดาห์ที่ 1 ไป สัปดาห์ที่ 2 ค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลา ดังกล่าวรากพืชมีความยาวและแข็งแรงมากขึ้นทำให้สามารถ รับสารอาหารได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วง สัปดาห์ที่ 1-2 นั้นการปลูกพืชในวัสดุปลูกฟองน้ำจะให้พืชที่ มีความสูงมากกว่าการปลูกในวัสดุปลูกใยบัวเล็กน้อย เมื่อ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า วัสดุปลูกฟองน้ำและใยบัว ได้พืชที่มีความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ

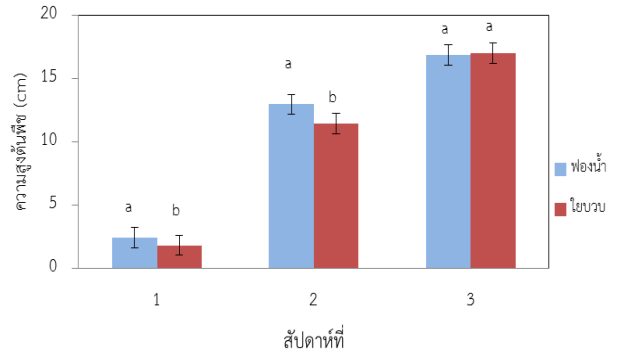
เชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง สัปดาห์ที่ 3 พบว่า ความสูงของต้นพืชในวัสดุปลูกทั้งสอง ประเภทมีค่าใกล้เคียงกันมาก

นอกจากความสูงของต้นพืชแล้ว น้ำหนักถือเป็นตัวชี้วัด ที่สำคัญสำหรับการแสดงการเจริญเติบโตของพืช ตามปกติ ต้นกวางตุ้งมักใช้ระยะเวลาในการปลูกรวมประมาณ 45 วัน จึงทำการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามด้วยระยะเวลาการ ดำเนินงานที่จำกัด จึงมีระยะเวลาในการปลูกเพียง 3 สัปดาห์ เมื่อนำต้นพืชที่ได้มาชั่งน้ำหนัก ได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4

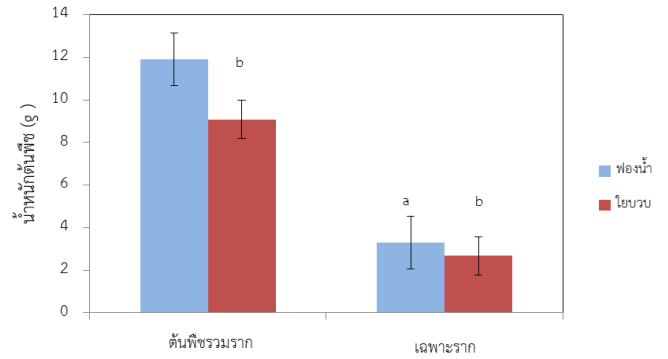
จากรูปที่ 4 พบว่า แม้ความสูงของต้นพืชที่ปลูกในวัสดุ ปลูกทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกัน (ดูรูปที่ 3) แต่เมื่อพิจารณา น้ำหนักของต้นพืชจะพบว่า วัสดุปลูกฟองน้ำให้ต้นพืชที่มี น้ำหนักมากกว่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า ฟองน้ำสามารถดูดซับ สารละลายธาตุอาหาร ได้ดีกว่าไบบบ รากจึง ได้รับ สารละลายธาตุอาหาร ได้อย่างสม่ำเสมอและเพียงพอต่อ ความต้องการ



รูปที่ 2 อิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อความสูง ของพืช



รูปที่ 3 อิทธิพลของวัสดุปลูกที่มีผลต่อความสูงของพืช



รูปที่ 4 น้ำหนักของต้นพืช (รวมราก) และน้ำหนักราก ที่ ระยะเวลาการปลูก 3 สัปดาห์



ผักกวางตุ้งอายุ 1 สัปดาห์



ผักกวางตุ้งอายุ 2 สัปดาห์



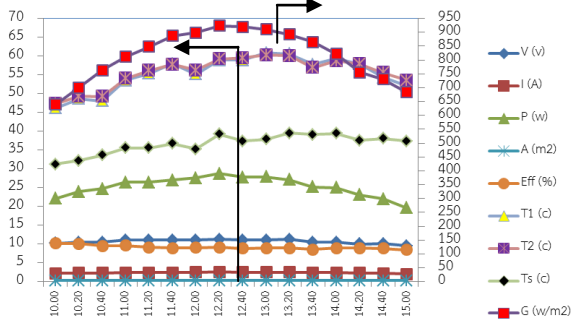
ผักกวางตุ้งอายุ 3 สัปดาห์



ผักกวางตุ้งที่ใช้ฟองน้ำเป็น วัสดุปลูก

รูปที่ 5 ภาพถ่ายผักกวางตุ้งในระบบปลูกพืชไร้ดินซึ่งใช้ปี้ม พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หมุนเวียนสารละลายธาตุ อาหาร

3.3 กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังไฟฟ้าและความเข้มของแสงอาทิตย์ วันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2556

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงได้ทำการทดลองวัดกำลังไฟฟ้า อุณหภูมิที่แผง อุณหภูมิอากาศ แวดล้อม และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดช่วงระยะเวลาที่มีแดดของวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2555 ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6 จากรูปดังกล่าว พบว่า อุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมประมาณ 14.41 – 21.22°C กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มเป็นไปตามความเข้มแสงอาทิตย์ คือ มีค่าสูงสุดที่เวลา 12.20 น. โดยที่เวลาดังกล่าวมีค่ากำลังไฟฟ้าและความเข้มแสงอาทิตย์ เท่ากับ 28.78W และ 922.92 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ในส่วนของประสิทธิภาพช่วงขณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 8.42 – 10.19 % ในขณะที่ประสิทธิภาพรายวันมีค่าเท่ากับ 9.13 %

4. สรุปผลการทดลอง

ระบบปลูกพืชแบบไร้ดินที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยรางปลูกซึ่งทำจากท่อพีวีซีจำนวน 8 รางปลูก วางเป็นลักษณะขั้นบันได แต่ละรางปลูกประกอบด้วยหลุมปลูกจำนวน 30 หลุม ระยะห่างระหว่างหลุมปลูก 5 เซนติเมตร โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการแปลงพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารเข้าสู่รางปลูก จากนั้นสารละลายธาตุอาหารจะไหลลงจากรางปลูกด้านบนสู่รางปลูกด้านล่างโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก และไหลเข้าสู่ถังเก็บสารละลายธาตุอาหารด้านล่าง การใช้สารละลายธาตุอาหารจะให้พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าการใช้น้ำธรรมดา

ทั้งกรณีการใช้น้ำรดปลูกพองน้ำและโยบวบ นอกจากนี้ชนิดของวัสดุปลูกส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในแง่ของความสูงและน้ำหนัก โดยที่ปั๊มแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน ประสิทธิภาพช่วงขณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 8.42 - 10.19 % และประสิทธิภาพรายวันมีค่าเท่ากับ 9.13 % ดังนั้นการใช้ปั๊มที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร ช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตและประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับปั๊ม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นอย่างยิ่งที่ให้ทุนสนับสนุนในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Tongaram, Soilless culture, Sukhothai Thammathirat Open University (STOU) Book, 3<sup>rd</sup> edition, 2007.
- [2] R. Visutthipat, S. Sinsawat, S. Singtho, and P. Photisawat, Soilless Culture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) Training Handbook, Bangkok, 2005.
- [3] A. Tanakanya and A. Pinthong, A solar powered non-circulating-solution hydroponics set, Institute of Research and Development, Rajamangala University of Technology Tanyaburi, Pathum Thani, 2010.
- [4] ENGINEO, Windmill & solar hybrid system for water pump. Available at: URL: <http://www.engineo.co.th/The%20solution/solution%2015/solution%2015%20hybrid%20system%20for%20water%20pump.html>. Accessed on June 30, 2015.
- [5] C.W. Sinton, R. Butler, and R. Winnett, Guide to solar powered water pumping systems in New York state, New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA), New York, n.d.

- [6] K. Stokes, P. Saito and C. Hjelle, Photovoltaic Power as a Utility Service: Guidelines for Livestock Water Pumping, Sandia National Laboratories Report SAND93-7043. 1993.