บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือตอนล่างหรือภาคกลางตอนบนของประเทศไทย มีประชากรทั้งสิ้น 849,692 คน [1] (สำรวจเมื่อปีพ.ศ. 2553) ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยเฉพาะการทำนาซึ่งถือเป็นอาชีพหลักและเป็นรายได้ส่วนใหญ่ของเกษตรกร หากในช่วงปีใดเกิดสภาวะฝนแล้ง น้ำท่วม หรือเกิดปัญหาด้านราคาข้าว เกษตรกรเหล่านี้ย่อมได้รับผลกระทบโดยตรง ดังเช่นกรณีการเกิดสภาวะฝนแล้งและน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2553 หรือจะเป็นสถานการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้น ในนี้ปี พ.ศ. 2554 ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ทำการเกษตรกรรม เช่น การทำนา การเพาะปลูกพืชไร่ พืชสวน ของเกษตรกรที่มีพื้นที่ตั้งอยู่ในบริเวณเขตประสบภัยพิบัติเป็นอย่างยิ่ง ชาวบ้านกลุ่มพัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพหลักคือการทำเกษตรกรรมการทำนา และมีอาชีพเสริม คือ การเลี้ยงปลา และการปลูกผัก เช่น กุยช่าย กระเพรา ถั่วฝักยาว เป็นต้น สำหรับการปลูกผักที่ชาวบ้านทำโดยส่วนใหญ่จะเป็นการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม คือ การใช้ดินเพาะปลูกโดยอาศัยความรู้ในการทำการเกษตรแบบ เก่าทำให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่ในปริมาณต่ำ บางครั้งมีการใช้สารเคมีเข้าช่วยในการกำจัดศัตรูพืช ซึ่ง อาจเป็นอันตรายต่อตัวเกษตรกรและผู้บริโภค

การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์จึงเป็นทางเลือกที่ชาวบ้านให้ความสนใจ เนื่องจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูกได้ ใช้พื้นที่ในการปลูกน้อยแต่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ในการเพาะปลูกสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ สามารถปลูกพืชได้ทุกพื้นไม่ว่าจะเป็นการปลูกบริเวณรอบบ้าน เช่น หลังบ้าน หรือในสวน การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์สามารถปลูกได้ต่อเนื่องตลอดปี เพราะไม่ต้องทำการพักดิน ตากดิน กำจัดวัชพืช และยังเป็นการลดค่าแรงงานในกิจกรรมต่างๆ อีกทั้งพืชไฮโดรโปนิกส์ยังมีราคาสูงกว่าการปลูกพืชผักแบบ ปกติทั่วไป กระบวนการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์จะใช้น้ำเป็นตัวพาสารอาหารต่างๆ (สารละลายธาตุอาหาร) และออกซิเจนไปเลี้ยงรากพืช แต่ปัญหาที่พบจากระบบการปลูกพืชแบบนี้โดยเฉพาะในประเทศแถบเขตร้อนอย่างประเทศไทย คือ การสะสม ความร้อน ของสารละลายธาตุอาหาร ในช่วงเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิสูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ไม่ควรเกิน 35°C) จะมีผลทำให้การละลาย ของออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหาร ลดลงและไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อีกทั้งอุณหภูมิสูงจะเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดโรคพืชได้ง่าย อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร ที่เพิ่มขึ้นมีนี้จะมีผลในการเร่ง กระบวนการทางเคมีต่างๆ ในพืช ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ถ้าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารสูง หรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในพืชลดหรือหยุดลง ซึ่งถ้ามาถึงจุดนี้พืชจะอยู่ในสภาวะเครียดหยุดการเจริญเติบโต และอาจตายได้ในที่สุด

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์โดยการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนด้วยการระบายความร้อนลงใต้ผิวดิน ซึ่งเป็นวิธีการที่

น่าสนใจเพราะเป็นการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารโดยใช้ธรรมชาติเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้ลดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ จึงถือได้ว่าการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลน้อยลง อีกทั้ง การวิจัยนี้ยังมุ่งส่งเสริมให้เกษตรกรได้นำองค์ความรู้หรือเทคโนโลยีที่ได้ไปใช้เพื่อสร้างเป็นอาชีพที่สามารถสร้างรายได้ที่มั่นคงต่อเกษตรกรต่อไป

2. วัตถุประสงค์

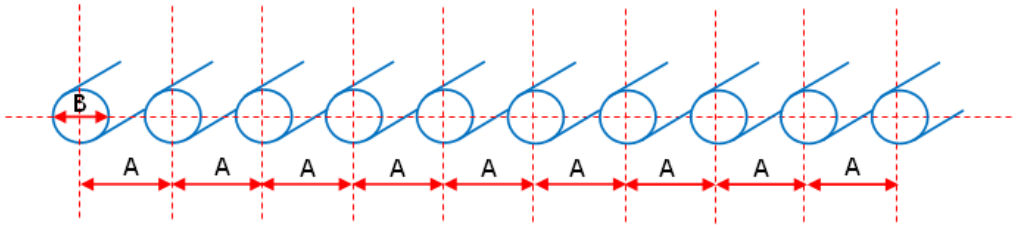
2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

2.2 เพื่อทราบถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

2.3 เพื่อนำเทคโนโลยีไปถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ชุมชน และขยายผลสู่ การพัฒนาผลิตภาพ (Productivity) ของท้องถิ่นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต ด้านสังคม-เศรษฐกิจ ผ่านกลไกการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับภาคประชาสังคม (Civil Society) อย่างเป็นระบบ

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 โรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ขนาด 12.04 ตารางเมตร (8.60 เมตร × 1.40 เมตร) คลุมด้วยมุ้งพีวีซีขาว (PVC) ประกอบไปด้วยรางปลูกทำจากท่อพีวีซีสีฟ้า 10 ราง ยาวรางละ 8 เมตร แต่ละรางปลูกห่างกัน 101.6 มิลลิเมตร จากจุดศูนย์กลางท่อ (A) ท่อแต่ละท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (B) ดังภาพ 1 คลุมโรงเรือนทดลองปลูกด้วยมุ้งไนลอนสีขาวทั้งโรงเรือน



ภาพ 1 แสดงรูปแบบรางปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

3.2 ระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่ศึกษาเป็นแบบ NFT (Nutrient film technique) คือ การปลูกพืชโดยให้ระบบรากพืชแช่อยู่ในสารละลายอาหารโดยตรง ซึ่งสารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านระบบรากพืชลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) การไหลของสารละลายเป็นแบบต่อเนื่องโดยอัตราไหลอยู่ในช่วง 2 ลิตร/นาที

3.3 งานวิจัยนี้ใช้น้ำเป็นตัวแทนของสารละลายธาตุอาหารสำหรับการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

3.4 กระบวนการถ่ายเทความร้อนใต้ผิวดินเกิดจากการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว

3.5 การนำความร้อนในดินเป็นแบบ 1 มิติ ตามแนวรัศมี (Redial) ในระนาบของดิน

3.6 กำหนดค่าความดันสม่ำเสมอทุกๆ ภาคตัดขวาง

3.7 กำหนดค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่ ณ ที่ผนังท่อ

3.8 คุณสมบัติของของไหลมีค่าคงที่ตลอดการไหล

3.9 ดินเป็นเนื้อเดียวกันหมด แห้ง ไม่มีสิ่งปกคลุมและไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในดิน

3.10 สมบัติทางกายภาพของดินเป็นอิสระต่ออุณหภูมิ

3.11 วัสดุสำหรับสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ คือ ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว หรือ 0.0095 เมตร

3.12 ระดับความลึกของผิวดินที่ใช้ในการฝังชุดระบายความร้อน 1.10 เมตร

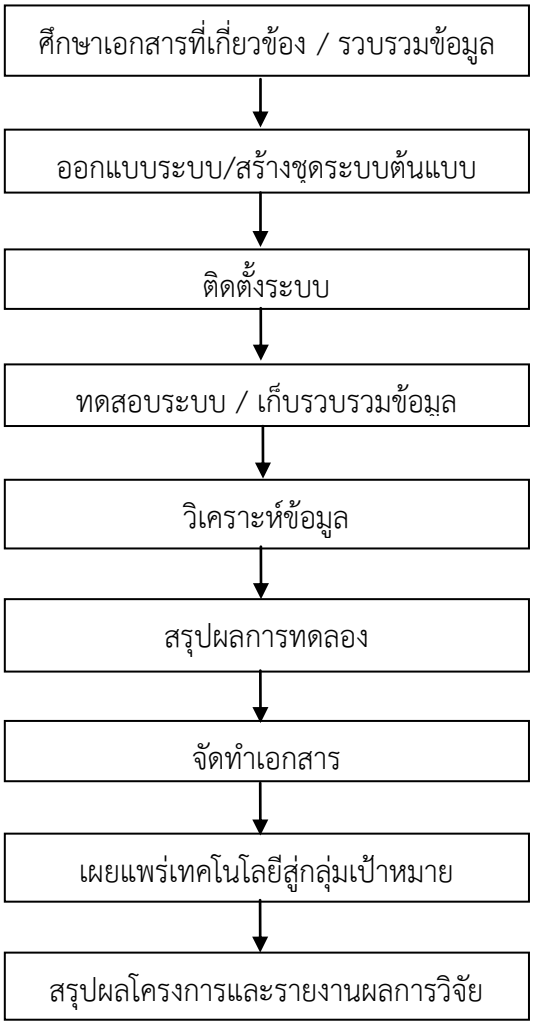
3.13 พืชที่ใช้ปลูกเพื่อทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน คือ ผักบุ้งจีน

3.14 ดำเนินการทดลองชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

4. นิยามศัพท์เฉพาะ

การระบายความร้อนใต้ผิวดิน หมายถึง การใช้ผิวดินเป็นแหล่งระบายความร้อนของปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในระบบสารละลายธาตุอาหาร

5. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics)

ไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า Hydro ซึ่งแปลว่าน้ำ และคำว่า Ponos แปลว่าทำงานหรือแรงงาน เมื่อรวมกันจึงมีความหมายว่าการทำงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำ การปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชโดยใช้หลักวิชาการแบบวิทยาศาสตร์สมัยใหม่โดยเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน แต่ไม่นำดินมาใช้เป็นวัสดุปลูก พืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายลงในน้ำเพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน [2]

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless culture) คือ การปลูกพืชโดยให้พืชได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการจากราก โดยพืชที่ปลูกจะอยู่บนวัสดุปลูกหรือไม่มีวัสดุปลูกก็ได้ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้แบ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน [3] ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการแบ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์
ก. การปลูกพืชในสารละลาย ข. การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูก 1) วัสดุปลูกที่เป็นสารเฉื่อย เช่น ทราย กรวด ร๊อควูลล์ ฯลฯ 2) วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยหมัก ขี้เลื่อย ฯลฯ	ก. การปลูกพืชในสารละลาย ข. การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูก 1) วัสดุปลูกที่เป็นสารเฉื่อย เช่น ทราย กรวด ร๊อควูลล์ ฯลฯ

โดยวัสดุปลูกนี้มีความหมายถึงวัสดุที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะของระบบรากพืช โดยวัสดุนี้จะต้องไม่ใช่ดิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความหมายของไฮโดรโปนิกส์ตามคำจำกัดความของ FAO ไม่ได้หมายถึงแค่การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียวแต่มีความหมายรวมถึงการปลูกพืชบนวัสดุปลูกบางชนิด เช่น ทราย กรวด ร็อกวูลล์ ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยด้วยเช่นกัน ดังนั้นระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ คือ ระบบการปลูกพืชที่พืชได้รับธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมจากสารละลายที่มนุษย์เตรียมให้ 100%

2. การจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน [3]

ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบ คือ

2.1 การปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช (Water culture)

2.1.1 เอ็นเอฟที (Nutrient film technique; NFT) คือ ระบบที่น้ำไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ผ่านราก

2.1.2 ดีเอฟที (Deep floating technique; DFT) คือ ระบบที่ให้พืชลอยบนระดับน้ำที่ลึกประมาณ 5-10 นิ้ว

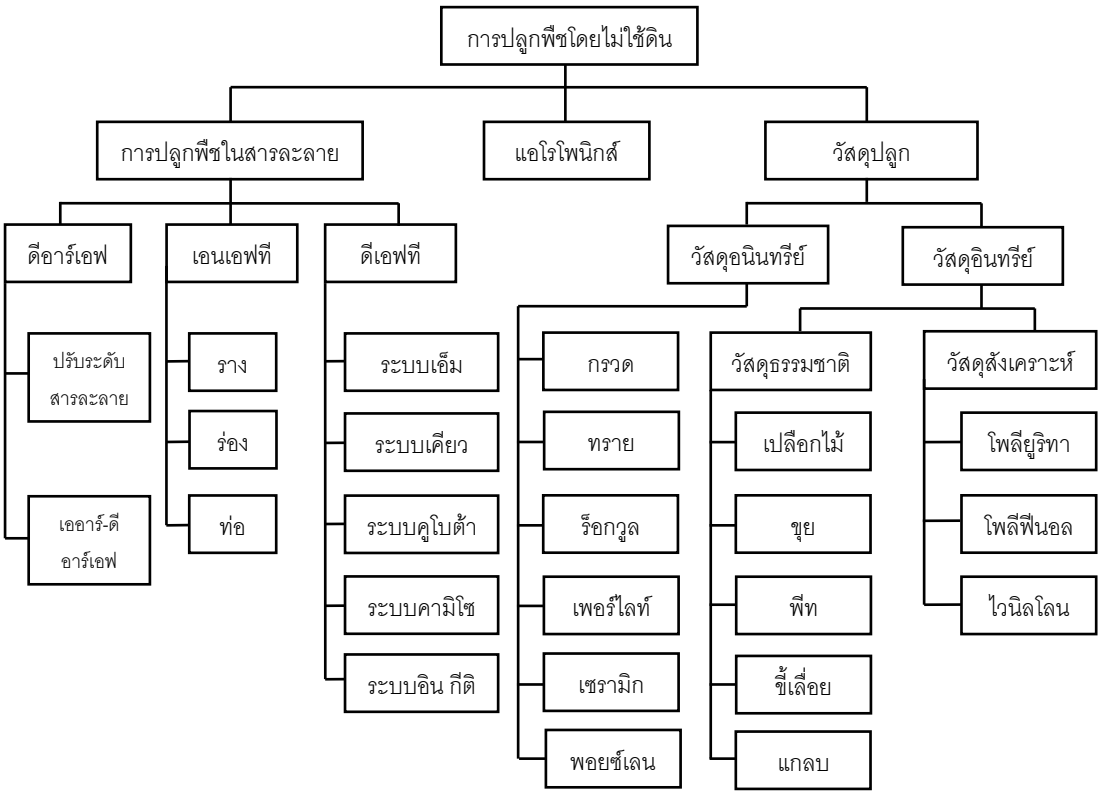
2.1.3 ดีอาร์เอฟ (Dynamic root floating; DRF) คือ บนที่ปรับระยะห่างระหว่างรากกับสารละลายโดยให้มีรากส่วนบนลอยอยู่ในอากาศในขณะที่มีรากส่วนปลาย 4 เซนติเมตร แช่อยู่ในสารละลาย

2.2 แอโรโพนิคส์ (Aeroponic) คือ ระบบที่รากลอยอยู่ในอากาศ ในห้องที่รากอยู่ในความมืด และมีการพ่นสารละลายธาตุอาหารพืชเป็นระยะๆ เพื่อควบคุมความชื้น

2.3 วัสดุปลูก (Substrate culture)

2.3.1 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร (Organic substrate)

2.3.2 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร (Inorganic substrate)



ภาพ 2 แผนผังการจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

3. ข้อดีของการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

3.1 สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปี เมื่อเก็บผลผลิตพืชแล้วสามารถปลูกพืชรุ่นต่อไปได้ทันที เนื่องจากไม่ต้องทำการพักดิน ตากดิน กำจัดวัชพืช และเตรียมแปลงปลูกใหม่ อีกทั้งแหล่งอาหารของพืชได้จากสารละลายธาตุอาหารจึงสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูกาล [2]

3.2 สามารถปลูกพืชในพื้นที่ที่ดินไม่เหมาะสม หรือพื้นที่ไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้เนื่องจากดินขาดความอุดมสมบูรณ์ เช่น ดินทะเลทราย พื้นที่เป็นหิน ภูเขา ดินเค็ม ดินเป็นกรดด่าง อยู่ในเขตแห้งแล้ง หรือขาดแคลนน้ำ นอกจากไม่ต้องใช้ดินเป็นแหล่งอาหารสำหรับพืชแล้วยังเป็นวิธีใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 พืชเจริญเติบโตได้เร็ว ให้ผลผลิตสูง และได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ มีคุณภาพดีกว่าการปลูกพืชแบบใช้ดินทั่วไป และการปลูกพืชแบบใช้ดินทั่วไปไม่สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้พอดีกับความต้องการของพืชได้ทั้งยังมีการสูญเสียธาตุอาหารจากกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดินและในอากาศ ตลอดจนการแย่งธาตุอาหารจากวัชพืช แต่การปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้ตรงกับความต้องการของพืชได้ และพืชได้รับสารอาหารในรูปอนินทรีย์โดยตรงทำให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [4]

3.4 ลดค่าแรงงาน เนื่องจากในระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ไม่ต้องมีการเตรียมแปลงปลูกขนาดใหญ่จึงไม่ต้องจ่ายค่ารถไถเตรียมดิน ค่ากำจัดวัชพืช งานดินต่างๆ ทั้งการใส่ปุ๋ยและยกร่อง เป็นต้น

3.5 ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ประหยัดน้ำกว่าการให้น้ำกับพืชที่ปลูกทางดินไม่น้อยกว่า 10 เท่า ซึ่งจะมีผลทำให้การปลูกพืชในฤดูแล้งหรือนอกฤดูปลูกปกติสามารถทำได้ และยังมีผลตอบแทนสูงกว่า [3]

3.6 ลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูกและสามารถควบคุมศัตรูพืชได้ง่ายเพราะการไม่ใช้ดินในการปลูกพืชทำให้ไม่มีปัญหาโรคแมลงที่อยู่ในดินตลอดจนไม่มีปัญหาวัชพืช สำหรับโรคแมลงที่ระบาดทางอากาศก็สามารถลดใช้สารเคมีกำจัดได้โดยใช้โรงเรือนตาข่าย [2]

4. สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้แตกต่างกันไม่ว่าจะปลูกพืชด้วย การใช้ดินโดยทั่วไป หรือวิธีไฮโดรโปนิกส์ ปัจจัยที่สำคัญที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ มีดังต่อไปนี้ [3]

4.1 อุณหภูมิ โดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำ ถ้าสูงกว่า 30°C จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) ลดลงต่ำกว่าปริมาณความต้องการออกซิเจนของรากพืชปกติ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีความสำคัญต่อการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์เพราะรากพืชมักจะมีปัญหาการขาดออกซิเจนและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อย ค่าการละลาย (Solubility) อยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 0°C และ 7 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 35°C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ และสิ่งเจือปนในน้ำ (Impurities) ออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20°C จะไม่สามารถดูดธาตุอาหารบางชนิดไปใช้ประโยชน์ได้โดยเฉพาะ K, Fe และ Mn [5]

4.2 ช่วงแสง แสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหรือต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวของคลื่นแสงอยู่ระหว่าง 400–700 นาโนเมตร (nm) ซึ่งเป็นแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา (Light หรือ Visible light) แสงนี้ประกอบด้วยแสงสีต่างๆ 6 สีคือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง ซึ่งมีความแตกต่างกันในความยาวของคลื่น และให้พลังงานไม่เท่ากัน แสงสีต่างๆ ดังกล่าวจะถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ของพืชไม่เท่ากันหรือมีผลต่อการสังเคราะห์แสงไม่

4.3 ความเข้มของแสง นอกจากช่วงแสง (คุณภาพ) แล้วความเข้มของแสง (ปริมาณ) ยังมีผลต่อการดำรงชีวิตของพืชมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง การสะสมน้ำหนักแห้งและการสร้างผลผลิต เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นพืชสามารถสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ที่จุดนี้แม้จะเพิ่มความเข้มของแสงขึ้นอีกก็ไม่ทำให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น และถ้าความเข้มของแสงสูงเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพืชได้

4.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ภายในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ในเขตร้อนส่วนใหญ่จะมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 10–20% ซึ่งน้อยกว่าสภาพเปิดในธรรมชาติ และโดยในตอนกลางวันจะมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า

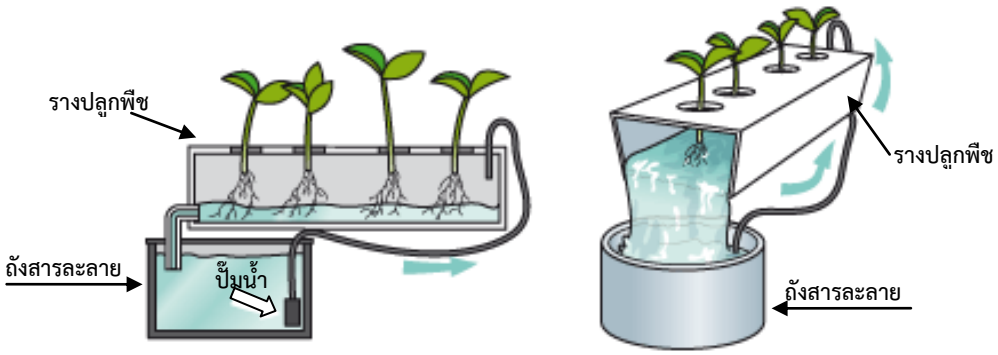
ในตอนกลางคืน ซึ่งจะเห็นอาการพืชเหี่ยวในตอนกลางวันและฟื้นตัวในตอนกลางคืน โดยถ้าเกิดขึ้นบ่อยๆ พืชจะตาย ดังนั้นในเขตร้อนไม่ควรใช้โรงเรือนแบบปิดเหมือนในเขตหนาวควรเป็นโรงเรือนแบบเปิดด้านข้าง มีเฉพาะหลังคาเพื่อกันน้ำฝน และทำหลังคาให้มีความสูงต่ำไม่เท่ากันเพื่อระบายความร้อน แต่ถ้าจะทำโรงเรือนแบบระบบปิดในเขตร้อนจะต้องใช้พัดลมช่วยซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

5. การปลูกพืชในระบบ Nutrient film technique (NFT)

ผู้ที่ริเริ่มนำระบบการปลูกพืชแบบ Nutrient film technique (NFT) หรือการปลูกพืชในสารละลายที่ไหลเป็นฟิล์มบาง เป็นคนแรกคือ Allen Cooper ในปีค.ศ.1965 [6]

Nutrient film technique crop production เป็นวิธีการผลิตพืชโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านระบบรากซึ่งอยู่ในรางเป็นฟิล์มบางๆ โดยมีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้อีก ระบบรากพืชจะเจริญเติบโตอยู่ในรางปลูกแผ่สานกันเป็นแผ่นหนาเรียกว่า Root mat ซึ่งบางส่วนจะสัมผัสอยู่กับสารละลายธาตุอาหารและส่วนบนจะสัมผัสกับอากาศโดยตรง รากพืชบริเวณที่อยู่เหนือระดับสารละลายขึ้นมาจะได้รับธาตุอาหารด้วยแรง Capillary ผ่าน Root mat [7]

การปลูกพืชในสารละลายระบบ Nutrient film technique (NFT) เป็นการปลูกพืชโดยให้ระบบรากพืชแช่อยู่ในสารละลายอาหารโดยตรง ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านระบบรากพืชมีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราไหลอยู่ในช่วง 2 ลิตร/นาที โดยที่รากพืชจะได้รับสารอาหารและออกซิเจนที่ช่วยในการหายใจของพืชโดยตรงอย่างเต็มที่ การไหลเวียนของน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสมสำหรับปลูกพืชกินใบได้หลายชนิด เช่น ผักสลัดพันธุ์ต่างประเทศ อย่างเช่น Green oak Red oak Red coral และผักของไทย เช่น คะน้า กวางตุ้ง ผักบุ้ง คื่นฉาย เป็นต้น



(ก) (ข)

ภาพ 3 การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในระบบ Nutrient film technique (NFT)
(ก) ภาพด้านหน้า และ (ข) ภาพด้านข้าง

5.1 องค์ประกอบของระบบปลูกพืชแบบ Nutrient film technique (NFT)

5.1.1 ส่วนควบคุมสารละลาย ประกอบด้วย

1. ถังเก็บสารละลาย โดยทั่วไปจะฝังอยู่ใต้ดินเพื่อป้องกันความร้อนและ ในขณะที่น้ำจากรางปลูกพืชไหลตกลงในถังก็จะเป็นการเพิ่มการละลายออกซิเจน ในน้ำ ขนาดของถังเก็บ

สารละลายขึ้นกับปริมาณพืชในระบบและชนิดพืชที่ปลูก ถังสารละลายที่ใช้อาจเป็นถังไฟเบอร์หรือก่อเป็นถังปูนฝังอยู่ใต้ดินแต่จะมีราคาแพง ถ้าเป็นระบบขนาดเล็กอาจใช้ถังพลาสติก ส่วนความถี่ในการปรับค่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) กรณีถังที่ใช้มีขนาดเล็กจะต้อง ทำการปรับและเติมสาร ละลายบ่อยเพราะโอกาสที่พืชจะได้รับสารละลายที่มีองค์ประกอบไม่เหมาะสมนั้นมีสูง

2. ปั๊มสารละลาย สามารถใช้เป็นปั๊มแบบแช่อยู่ในสารละลาย หรือเป็นแบบอยู่นอกถัง ถ้าเป็นปั๊มแบบแช่ ได้แก่ ปั๊มไดโว ข้อดีคือราคาถูก และหาซื้อได้ทั่วไป ข้อเสียคือถ้าปั๊มไม่มีคุณภาพจะเสียหายง่าย และเกิดการถ่ายเทความร้อนให้สารละลายโดยตรงทำให้สารละลายร้อน แต่ถ้าใช้เป็นปั๊มอยู่นอกถังจะต้องเป็นปั๊มที่สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ และต้องทนการกัดกร่อนของสารละลาย จึงทำให้มีราคาแพง หรืออาจใช้ปั๊มตู้ปลาในกรณีที่เป็นระบบขนาดเล็ก ข้อดีคือมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี

3. ระบบเตรียมสารละลายโดยอัตโนมัติ ถ้าเป็นการปลูก เพื่อการค้าอาจจำเป็นต้องมีระบบเตรียมสารละลายโดยอัตโนมัติโดยจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในถัง ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายให้อยู่ในช่วงที่ พืชต้องการอยู่ตลอดเวลา ข้อดีคือสารละลายจะมีค่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) คงที่อยู่เสมอ ข้อเสียคือราคาแพงและต้องมีการดูแลรักษาอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าเป็นระบบขนาดเล็กไม่จำเป็นต้องมีระบบเตรียมสารละลายอัตโนมัติ แต่จะใช้คนเป็นผู้วัดและปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ตามที่ต้องการซึ่งโดยทั่วไปจะทำในตอนเช้า [2]

5.1.2 ระบบท่อนำสารละลายและรางปลูกพืช

1. ระบบท่อนำสารละลายสู่รางปลูก ท่อที่นำสารละลายจากปั๊มไปสู่หัวรางปลูกพืชโดยทั่วไปจะฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่พ้นดินจะใช้ท่อสีขาวเพื่อป้องกันการสะสมความร้อน

2. รางปลูกพืช สำหรับปลูกพืชและยึดส่วนของพืชไว้ ตัวรางจะทำด้วย Polythene, PVC, Fiber glass, โลหะ หรือคอนกรีต เป็นต้น [8] ขนาดรางมีตั้งแต่ 10-30 เซนติเมตร ความยาวมีตั้งแต่ 5-50 เซนติเมตร ควรใช้รางทำจากวัสดุ PVC และไม่ควรยาวเกิน 20 เมตร เพื่อป้องกันการสะสมความร้อนทำให้รากพืชขาดออกซิเจน

6. การจำแนกประเภทของพืชผักตามฤดูปลูก [9]

การใช้เกณฑ์ฤดูปลูกในการจำแนกพืชผักจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ซึ่งมีผลเนื่องจากลักษณะทางสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศของพื้นที่นั้นๆ สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ตลอดปีมี 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน ฤดูหนาว อยู่ในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม ฤดูร้อนอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม โดยทั่วไปพืชผักสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ในปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ให้สามารถปลูกในแต่ละฤดูได้อย่างเหมาะสม สามารถจำแนกพืชผักที่เจริญเติบโตได้อย่างปกติในสภาพอุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

6.1 พืชผักฤดูหนาว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 18- 30°C พืชผักกลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงในฤดูหนาว ได้แก่ ผักกวางตุ้ง ผักบุ้ง ผักกาดเขียวปลี กระหล่ำดอก กะหล่ำปลี กระเทียม แครอท บรอคอลี ผักกาดหัว ผักกาดหอม มันฝรั่ง และหอมหัวใหญ่

6.2 พืชผักฤดูร้อน สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-35 °C การปลูกในประเทศไทยสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงตลอดปี ได้แก่ กระเจี๊ยบเขียว ข้าวโพดหวาน ผักตระกูลแตงทุกชนิด ผักตระกูลมะเขือทั้งหมด ยกเว้น พริกยักษ์ พริกหวาน สำหรับผักตระกูลถั่ว ยกเว้น ถั่วลันเตา

6.3 พืชผักฤดูฝน สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-35 °C ได้แก่ ผักตระกูลแตงทั้งหมด ยกเว้น แตงเทศ ผักตระกูลมะเขือ และถั่วฝักยาว พืชผักกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ผลดีในทุกฤดู

7. ดิน (Soil)

7.1 ความหมายและความสำคัญของดิน

7.1.1 ความหมายของดินตามหลักปฐพีวิทยาธรรมชาติ (Pedology) หมายถึง เทหวัตถุธรรมชาติ (Natural body) ที่ปกคลุมผิวโลกอยู่บางๆ เกิดขึ้นจากการแปรสภาพหรือผุพังของหินแร่ และอินทรีวัตถุผสมคลุกเคล้ากัน

7.1.2. ความสำคัญของดิน

ดินเป็นระบบนิเวศ (Ecological system) มีพลวัต (Dynamic) ที่มีความสำคัญดังนี้

- ดินเป็นแหล่งผลิตปัจจัย 4 ของมนุษย์ อันได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค ซึ่งอาจได้มาจากดินทั้งทางตรงและทางอ้อม
- ดินเป็นเครื่องกรองที่มีชีวิต จึงมีผู้ใช้กำจัดของเสียและของเหลวและกักไม่ให้สารมลพิษ (Pollutant) ตลอดจนเชื้อโรคลงไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน
- ดินทำหน้าที่เป็นที่เกาะยึด (Anchorage) ของรากพืชเพื่อยึดลำต้นให้แน่น ไม่ให้ล้มเอียง เป็นที่กักเก็บน้ำแก่พืช ให้อากาศแก่รากพืชในการหายใจ และให้ธาตุอาหารแก่พืชเพื่อการเจริญเติบโต ทนทานต่อโรค แมลง และภัยธรรมชาติ

7.2 ส่วนประกอบของดิน และหน้าตัดดิน

ส่วนประกอบของดิน (Soil component) แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

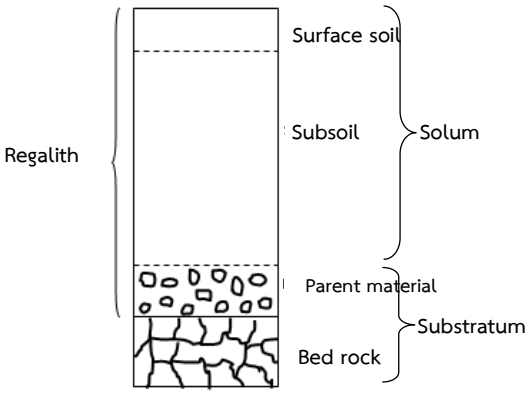
7.2.1 อนินทรียวัตถุ (Mineral matter) เป็นส่วนที่เกิดจากชิ้นเล็กชิ้นน้อยของแร่และหินต่างๆ ที่สลายตัวโดยทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวเคมี

7.2.2 อินทรียวัตถุ (Organic matter) ส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังหรือการสลายตัวของเศษเหลือของพืชและสัตว์ที่ถับถมกันอยู่บนดิน

7.2.3 น้ำ น้ำที่อยู่ในดินจะพบอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (Aggregate) หรืออนุภาคดิน (Particle) ที่เรียกช่องหรือที่ว่างนี้ว่า Pore space

7.2.4 อากาศ ที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดินนั้นมีอากาศอยู่ ก๊าซที่พบโดยทั่วไปในอากาศในดินนั้นมีไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ดินมี 3 มิติ (Dimension) สำหรับมิติที่ 1 และที่ 2 รวมกันนั้นเป็นเพียงแผ่นหรือพื้นผิวเท่านั้น ถ้าพิจารณาถึงมิติที่ 3 จะเห็นว่าดินมีความลึกหรือความหนา แต่ถ้ามองความลึกนั้นลงไปตามแนวดิ่งจะเห็นว่าดินนั้นทับถมกันเป็นชั้นๆ (Horizon) ดินที่ทับถมกันเป็นชั้นๆ ตามแนวดิ่งนั้นเรียกว่า หน้าตัดดิน (Soil profile) [10] ดังภาพ 4



ภาพ 4 แสดงภาพหน้าตัดดิน (Soil profile)

ตามปกติดินที่ไม่ได้รับการกระทบกระเทือน มักจะมีอินทรียวัตถุสะสมอยู่ที่ดินชั้นบน (Surface soil) ส่วนอินทรียวัตถุจะมีในดินชั้นล่าง (Subsoil) น้อย ลึกลงไปตามแนวหน้าตัดของดินจะพบหินบางชนิดที่กำลังสลายตัวอยู่ในล่างเรียกว่า วัตถุต้นกำเนิดดิน (Parent material) ใต้ของส่วนที่ให้กำเนิดดินลงไปเรียกว่า หินพื้น (Bed rock) ทั้งส่วนที่ให้กำเนิดดินหรือหินพื้นนั้นเรียกรวมกันว่า ซับสตราตัม (Substratum) และส่วนที่อยู่เหนือหินพื้นนับตั้งแต่หินที่ให้กำเนิดดินขึ้นมารวมทั้งส่วนที่สลายตัวเป็นดินเรียกว่า เรโกลิท (Regolith) หรือตะกอนพื้นผิว แต่ส่วนที่เหนือวัตถุต้นกำเนิดขึ้นมานั้นเรียกว่า โซลัม (Solum) ซึ่งในสภาพธรรมชาติโซลัมจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ เรียกว่าชั้นดิน (Soil horizon)

7.3 สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ของดินมาจากพื้นฐาน 2 ประการ คือ เนื้อดิน (Soil texture) และโครงสร้างดิน (Soil structure)

7.3.1 เนื้อดิน (Soil texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ขั้นมูลฐานซึ่งจะมีผลควบคุมสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆ ของดิน เนื้อดินในด้านปฐพีวิทยาถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์

- Sand หรืออนุภาคทราย จัดเป็นกลุ่มขนาดโตที่สุดในดิน
- Silt หรืออนุภาคทรายตะกอน หรืออนุภาคทรายแป้ง จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง
- Clay หรืออนุภาคดินเหนียว จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน

สัดส่วนของอนุภาคหลายกลุ่มขนาดนี้จะมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์หลายประการ ดังนี้

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ซึ่งหมายถึงสมบัติของดินในการบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย

2. ความสามารถในการถ่ายเทอากาศ (Aeration) ซึ่งหมายถึงความสามารถของดินในการบรรจุอากาศ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างดินและบรรยากาศ

3. ความแข็งของดิน (Soil strength) หมายถึงความหนาแน่นของการเกาะตัวกันของอนุภาคดินเป็นก้อนดิน หรือเป็นหน้าตัดดิน

7.3.2 โครงสร้างดิน (Soil structure)

โครงสร้างดิน หมายถึง การจับตัวเป็นเม็ดของอนุภาคเดี่ยว โดยกลไกตามธรรมชาติ เม็ดดินที่ได้อาจเรียกว่าหน่วยโครงสร้าง (Structure unit) หรือ Ped ซึ่งมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกโครงสร้างดินโดยอาศัยสมบัติต่อไปนี้

- ประเภท (Type) ประเภทโครงสร้าง หมายถึง รูปร่างที่ปรากฏของเม็ดดินว่าเป็นประเภทใด
- ขนาด (Size) หมายถึง ขนาดของหน่วยโครงสร้าง (Structural unit) ที่ตรวจพบในดิน
- ระดับ (Grade) ของโครงสร้าง ซึ่งมีความหมาย 2 แบบ คือ ความชัดเจนของหน่วยโครงสร้างเมื่อมองด้วยตาเปล่า และความแข็งแรงของเม็ดดินเมื่อถูกกระทบ

7.4 อุณหภูมิและกระบวนการส่งผ่านความร้อนของดิน

7.4.1 ความสำคัญของอุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินมีความสำคัญในการกำหนดอัตรา และทิศทางของการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพในดิน กระบวนการที่สำคัญทางฟิสิกส์ ได้แก่ กระบวนการแลกเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างในชั้นหน้าตัดดินและบรรยากาศ มวลที่แลกเปลี่ยนระหว่างดินและบรรยากาศ เช่น ก๊าซต่างๆ ที่มีอยู่ในชั้นหน้าดิน ส่วนพลังงานความร้อนสำหรับกระบวนการทางเคมีที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิดิน ได้แก่ กระบวนการแตกตัว (Chemical speciation) และการรวมตัว (Chemical complex or compound formation) ของสารในดิน

ผิวดินนับเป็นจุดที่มีความสำคัญที่สุดในเรื่องอุณหภูมิเพราะที่ผิวดินเป็นรอยต่อระหว่างดินกับชั้นบรรยากาศ ที่มีการถ่ายเทกลับไปกลับมาของพลังงานความร้อนระหว่างภายในชั้นหน้าดินและชั้นบรรยากาศ การถ่ายเทพลังงานเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิของดินภายในชั้นหน้าดินสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาได้ พลังงานที่ผิวดินได้รับรังสีแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินมีค่าสูงขึ้น พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ที่ผิวดินจะถูกเคลื่อนย้ายลงไปในชั้นหน้าตัดดิน ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในชั้นหน้าตัดดินสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันเวลากลางคืนผิวดินไม่ได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มเติม แต่พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ภายในชั้นหน้าตัดดินในเวลากลางคืน จะมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายในชั้นหน้าตัดดินสู่บรรยากาศ จึงมีผลให้อุณหภูมิดินในชั้นหน้าตัดดินในช่วงเวลากลางคืนลดลง [10] ซึ่งในแต่ละวันขณะที่อุณหภูมิอากาศมีค่าความแปรปรวนสูงตามสภาพอากาศแต่อุณหภูมิดินจะมีการแปรปรวนน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยความแปรปรวนของอุณหภูมิจะลดลงตามความลึกของดิน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างวัน (Diurnal swing) มีผลกับอุณหภูมิดินที่ความลึกเพียง 0.6 เมตรเท่านั้น ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างฤดูกาล (Seasonal swing) จะมีผลต่ออุณหภูมิที่อยู่ลึกลงไปหลายเมตร สีของดินเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งทำให้อุณหภูมิในเนื้อดินมีความแตกต่างกัน หากไม่มีวัสดุปกคลุมดินแล้ว ดินที่สีมีเข้มจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีได้ดี ดินที่มีสีอ่อนจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยลงและจะมีค่าสะท้อนรังสีความร้อนมากขึ้นตามลำดับ หน่วยวัดความเข้มสีของดินใช้ค่า Hue เป็นเกณฑ์ สำหรับในประเทศไทยสีของดินชั้นบนส่วนใหญ่คล้ายกัน คือ สีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม สีเทา และน้ำตาลปนเทา สำหรับดินชั้นล่างขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของดินแต่โดยมากพบตั้งแต่สีเทา หรือสีน้ำตาลปนเทาจนถึงน้ำตาลในบริเวณที่ลุ่ม ส่วนในที่ดอนดินในระดับล่างมักเป็นสีน้ำตาลแกมแดง หรือสีปะปนระหว่างแดงและเหลือง อย่างไรก็ตามในการพิจารณาสีของดินซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิของดินควรเลือกพิจารณาดินชั้นบนเป็นเกณฑ์

เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับมวลสาร [11]

7.4.2 กระบวนการส่งผ่านความร้อนของดิน (Heat transfer processes)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวดินอาจเกิดจากกระบวนการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน และการนำความร้อน แต่กระบวนการเหล่านี้จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิชั้นหน้าตัดดินมากนัก กระบวนการที่มีความสำคัญและมีบทบาทมากในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นหน้าตัดดิน คือ การะบวนการนำความร้อน

กระบวนการนำความร้อน เป็นกระบวนการที่สำคัญในการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน แต่การที่ดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจากเดิมมากน้อยเพียงไรขึ้นกับความแตกต่างอุณหภูมิภายในชั้นหน้าตัดดินเอง และยังขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนของดิน และความสามารถของดินที่จะยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ ความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity of soil) และความจุความร้อนของดิน (Thermal heat capacity of soil) สำหรับความสามารถในการนำความร้อนของดิน จะกำหนดความสามารถของดินในการนำความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนความจุความร้อนจะทำหน้าที่ในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

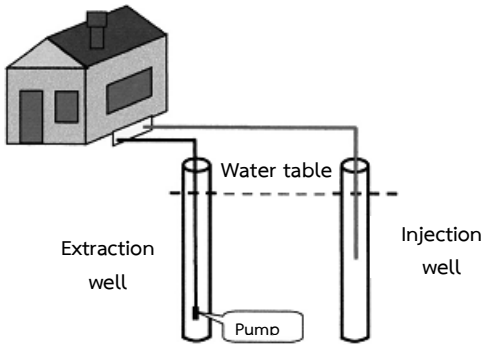
1. ความจุความร้อนของดิน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความร้อนของดินปริมาตรหนึ่งเมื่อดินนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปหนึ่งองศา ซึ่งหน่วยของความจุความร้อนเป็นพลังงานต่อหน่วยปริมาตรและหน่วยอุณหภูมิ เช่น $Joule{\cdot}m^{-3}{\cdot}K^{-1}$ เป็นต้น ความจุความร้อนของดินจะขึ้นกับองค์ประกอบของดินที่มีสถานะเป็นของแข็งและของเหลวเป็นหลัก ซึ่งสถานะของแข็ง ได้แก่ ปริมาตรอนุภาคทราย ซิลท์ ดินเหนียว และปริมาณอินทรียวัตถุ ส่วนของเหลว ได้แก่ ปริมาณน้ำในดิน ส่วนก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของดินนั้น เนื่องจากความจุความร้อนของก๊าซมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความจุความร้อนของของแข็งและของเหลว จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบนี้ของดินเมื่อต้องการทราบความจุความร้อนของดิน [10]

2. ค่าการนำความร้อนของดิน หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ถูกส่งผ่านในตัวกลางที่มีหน้าตัดหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งหน่วยเวลาและต่อหนึ่งหน่วยเกรเดียนส์ของอุณหภูมิ ใช้สัญลักษณ์ k ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าสภาพการนำความร้อนคูณกับเกรเดียนส์ของอุณหภูมิ เมื่อค่าสภาพการนำความร้อนของวัตถุใดๆ จะมีหน่วยเป็น W/m°C สำหรับเกรเดียนส์ของอุณหภูมิจะหมายถึง ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุดต่อความยาวในแนวแกนตั้งฉากระหว่างจุดสองจุดนั้น มีหน่วยเป็น °C/m

8. ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดิน

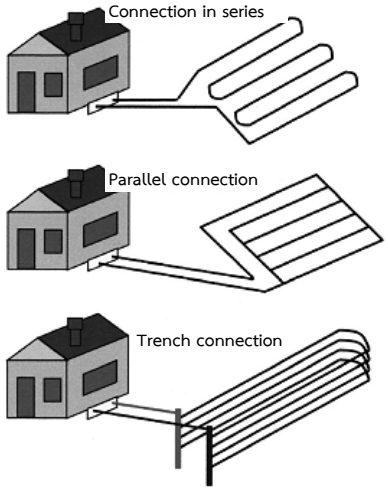
8.1 ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

8.1.1 ระบบเปิด (Open systems) ในกรณีของไหลเป็นน้ำ น้ำที่อยู่ใต้ดินจะถูกดึงขึ้นมาใช้ (Extraction well) จากนั้นจึงปล่อยน้ำกลับมายังพื้นใต้ดิน (Injection well) เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอีกครั้ง ดังภาพ 5

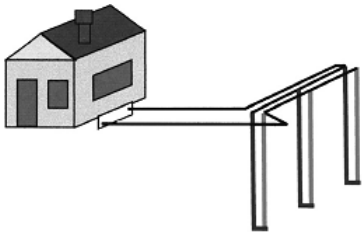


ภาพ 5 ระบบการทำความเย็นของน้ำใต้ดินในระบบเปิด

8.1.2 ระบบปิด (Close systems) คือ ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนใต้พื้นดินทั้งแบบแนวระนาบกับพื้นดิน (Horizontal) ดังภาพ 6 และแนวตั้งกับพื้นดิน (Vertical) หรือแนวทแยงกับพื้นดิน (Oblique) ดังภาพ 7 โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนจากพื้นดินสู่ของไหลในท่อ หรือจากของไหลในท่อสู่พื้นดิน โดยของไหลจะเคลื่อนที่ผ่านท่อในระบบปิด ระดับความลึกควรอยู่ที่ 1-2 เมตร [12]



ภาพ 6 ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนตามแนวระนาบใต้พื้นดิน (Horizontal) ในระบบปิด



ภาพ 7 ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนตามแนวตั้งใต้พื้นดิน (Vertical) ในระบบปิด

8.2 ท่อและการวางท่อสำหรับระบบระบายความร้อนใต้ผิวดิน

ท่อที่ใช้ในระบบการระบายความร้อนใต้ผิวดินจะใช้เป็นท่อทองแดง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี และทนต่อสภาพการผุกร่อนของสภาพสิ่งแวดล้อมใต้พื้นดิน โดยทั่วไปแล้วการต้านทานความร้อนของดินมีค่าสูงมากดังนั้นชนิดของวัสดุที่ใช้จึงไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างดินกับสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในท่อ การระบายความร้อนระหว่างดินและสารละลายธาตุอาหารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งท่อที่ฝังอยู่ใต้ผิวดินไม่ควรจะเป็นแค่ท่อๆ เดียวที่มีความยาวมากแต่ควรเป็นท่อที่ประกอบกันหลายๆ ท่อ ดังนั้นท่อที่ใช้จึงไม่ควรยาวเกิน 15 เมตรต่อ 1 ท่อ และเพื่อให้ได้อัตราการไหล (Flow rate) ที่ต้องการสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนท่อให้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบของการวางท่อโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบรัศมี (Radius) และแบบขนาน (Parallel) [11] สำหรับช่องว่างระหว่างท่อกับท่อไม่ควรน้อยเกินไปเพราะจะมีผลทำให้อุณหภูมิดินบริเวณรอบๆ สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนลดต่ำลง เช่น ในกรณีที่ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ควรมีปริมาตรดินที่รัศมีโดยรอบ 1 เมตร เพื่อการระบายความร้อนที่ดี

9. การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (Conduction heat transfer) การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer) และการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer)

9.1 การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (Conduction heat transfer) หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็งและของเหลว [13], [14]

$$q = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ได้แก่ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal conductivity; k) และค่าการต้านทานความร้อน (Thermal resistance; R) [11]

9.2 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer) หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนที่ของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็ง (h, $W/m^2°C$) พลังงานความร้อนถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุลและผลจากการเคลื่อนที่ไปทั้งปริมาตรของของไหล

$$q = hA\frac{T_w}{T_\infty} \quad (2)$$

การพาความร้อนจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

9.2.1 การพาความร้อนโดยธรรมชาติ (Natural convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ

9.2.2 การพาความร้อนโดยบังคับ (Forced convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นผลมาจากแรงกระทำจากภายนอก เช่น เครื่องสูบ เครื่องเป่าลม ปั๊ม เป็นต้น

9.3 การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer) หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้

10. สมการที่ใช้ในการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

จากกฎการทรงพลังงานที่กล่าวไว้ว่า “พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้” แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้ “พลังงานมีค่าคงที่เสมอ” ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบรวมกับ พลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ จะเท่ากับพลังงานความร้อนที่ออกจากระบบรวมกับพลังงานความร้อนที่สูญเสีย เมื่อไม่คิดพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในระบบ และพลังงานความร้อนที่สูญเสียจะได้ [15]

$$Q_{in} = Q_{out} \tag{3}$$

สมการที่ใช้หาภาระความร้อนสูงสุดของระบบสารละลายธาตุอาหารภายในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์

$$Q_{in} = \dot{m}C_p\Delta T \tag{4}$$

สมการที่ใช้หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบสารละลายธาตุอาหารของโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์

$$Q_{out} = AU\Delta T \tag{5}$$

จากสมการ (3) จะได้

$$\dot{m}C_p(\Delta T_{hydro}) = AU(\Delta T_{model}) \tag{6}$$

10.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient)

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการนำความร้อนและการพาความร้อน ในลักษณะตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน $Q = hA\Delta T$ โดยจะแทนค่า h ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $\cup$ จากระบบที่เป็นผนังราบและทรงกระบอก

พิจารณาระบบทรงกระบอกประกอบด้วย ชั้นวัสดุชั้นเดียวที่มีการพาความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านในโดยมีของไหลไหลผ่าน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านชั้นความหนาของท่อโดยการนำความร้อน ดังนั้นจะได้

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + (\frac{D_i}{2k}) \ln\frac{D_o}{D_i} + (\frac{D_o}{2k}) \ln\frac{D_{soil}}{D_o}} \quad (7)$$

เมื่อ $\cup$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2{}^oC$)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2{}^oC$)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (W/m^oC)

10.2 รูปแบบของการไหล

การหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลได้มีการกำหนดกลุ่มตัวเลขไร้หน่วยขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทางกายภาพของการไหล ตัวเลขไร้หน่วยทางพลศาสตร์ของไหลที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านความร้อนแบบการพา มีดังนี้

10.2.1 เลขเรย์โนลดส์ (Reynold number; Re) เป็นตัวเลขไร้หน่วยที่กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Re = \frac{D_i V}{\nu} \quad (8)$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

ν คือ ความหนืดไคนิเมติกส์ (m^2/s)

10.2.2 เลขพรันด์เทิล (Prandtl number; Pr) เป็นตัวเลขไร้หน่วยที่กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (9)$$

เมื่อ μ คือ ความหนืดพลวัต (kg/m·s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg^oC)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (W/m^oC)

ν คือ ความหนืดไคนิเมติกส์ (m^2/s)

α คือ การแพร่ของความร้อน (m^2/s)

10.2.3 เลขนัสเซลต์ (Nusselt number; Nu) เป็นตัวเลขไร้หน่วยที่กำหนดให้มีค่าเป็น

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (10)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2{}^oC$)
L คือ ความยาวของท่อ (m)
k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (W/m^oC)

ในการวิเคราะห์การแก้ปัญหาเกี่ยวกับการพาความร้อนที่จะให้ได้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลอง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำตัวเลขไร้หน่วยดังกล่าวมาจับกลุ่มเขียนเป็นสมการสหสัมพันธ์ (Correlation equation) ขึ้น กล่าวคือ เลขไร้หน่วยตัวหนึ่งจะเป็นฟังก์ชั่นของเลขไร้หน่วยอื่นๆ เช่น Nu = f(Re,Pr), Nu = f(Gr,Pr) เป็นต้น

ค่าของเลขเรย์โนลดส์ (Re) ถือเป็นตัวเลขที่มีความสำคัญมากในทางพลศาสตร์ของของไหล เพราะจะใช้เป็นตัวบ่งบอกรูปแบบในการไหลของของไหล ถ้าค่า Re<2,300 จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ และถ้า Re>2,300 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

10.3 การไหลภายใน (Internal flow)

เมื่อการไหลของความร้อนเป็นแบบการพา และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวมีค่าคงที่ ในกรณีที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่าของเลขนัสเซลต์ (Nu) จะมีค่าดังนี้

$$Nu = \frac{hL}{k} = 4.364 \quad (11)$$

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน ค่าของเลขนัสเซลต์ (Nu) จะมีค่าดังนี้ [14]

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad (12)$$

ซึ่ง n = 0.4 เป็นกรณีที่ให้ความร้อนแก่ของไหล
n = 0.3 เป็นกรณีที่ให้ความเย็นแก่ของไหล
เมื่อ $0.6<Pr<100$ และ $2,500<Re<1.25X10^5$

- ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายใน (h_i) คำนวณได้จาก

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad (13)$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (W/m°C)

Nu คือ เลขนัสเซลต์

11. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มี ความสำคัญในการพิจารณาและตัดสินใจลงทุนในโครงการต่างๆ ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการพิจารณา [16]

11.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value; NPV)

เนื่องจากผลตอบแทนของโครงการมักเป็นผลตอบแทนในระยะยาว คือ เราจะได้ผลตอบแทนจากโครงการเป็นเวลานานหลายปีแต่การลงทุนหรือค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่มักจะเกิดในช่วงเริ่มต้นของโครงการ ดังนั้นการที่จะ เปรียบเทียบถึงผลตอบแทนและรายจ่ายที่ต้องเสียไปในโครงการจะต้องทำการปรับค่า เวลาของค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนให้อยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบันของโครงการเสียก่อน

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \qquad (14)$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ t

r = อัตราดอกเบี้ย (Discount rate, %)

t = ระยะเวลาของโครงการคือปีที่ 0, 1, 2,..., n

n = อายุของโครงการ (ปี)

หลักในการตัดสินใจ ที่ยอมรับโครงการ ถ้าค่าของ NPV ที่ได้ออกมามากกว่า 0 หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการนั้นมีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้ แต่ถ้าค่า NPV มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าโครงการนั้นไม่มีความเหมาะสมที่จะลงทุน

11.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) คือมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

$$BCR = \frac{PVB}{PVC} \qquad (15)$$

โดยที่ BCR = อัตราส่วนผลตอบแทนที่ได้ต่อต้นทุนของโครงการ

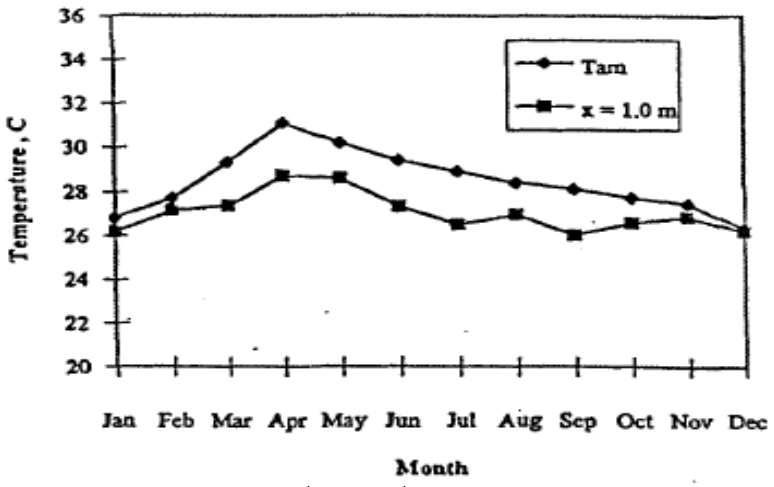
PVB = มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวม (บาท)

PVC = มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (บาท)

หลักในการตัดสินใจที่ยอมรับโครงการถ้าค่าของ BCR ที่ได้ออกมามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่าโครงการนั้นมีความเหมาะที่จะลงทุน แต่ถ้าค่า BCR มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าโครงการนั้นไม่มีความเหมาะ ที่จะลงทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัชระ เพิ่มชาติ [17] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวดูดซับความร้อนที่ระบายทิ้งจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ โดยขั้นตอนแรกได้ศึกษาถึงสภาพการเก็บความร้อนของดินที่กรุงเทพฯ ตลอดทั้งปี พบว่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 1 เมตร เป็นต้นไป จะค่อนข้างคงที่ในรอบวัน และอุณหภูมิดินเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าอยู่ระหว่าง 27-29°C จากนั้นจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าอุณหภูมิดิน ซึ่งผลการทำนายให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริง ในขั้นตอนที่สองได้ทำการดัดแปลงคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศให้สามารถระบายความร้อนทิ้งลงสู่ดินได้ โดยการฝังคอยล์ร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดงยาว 67 เมตร (เครื่องปรับอากาศแบบเดิมใช่ท่อยาว 22 เมตร) ลงในดินที่ความลึก 1.1 เมตร แทนการใช้พัดลมระบายอากาศที่คอยล์ร้อน ความยาวของท่อคอยล์ร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้ปริมาณสารทำความเย็น R-22 เพิ่มขึ้นถึง 5.8 กิโลกรัม (เครื่องปรับอากาศแบบเดิมใช้ 1.2 กิโลกรัม) แล้ววัดค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient of performance; COP) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบเดิม พบว่า เครื่องปรับอากาศแบบใหม่มีค่า COP เฉลี่ยระหว่าง 2.8 ในเวลากลางวันถึง 3.1 ในเวลากลางคืน โดยขณะทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบใหม่นี้ อุณหภูมิดินบริเวณใกล้กับท่อคอยล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก และการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่ลดลง 13.47% เนื่องจากไม่ได้ใช้พัดลมระบายอากาศที่คอยล์ร้อน และการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ลดลง



ภาพ 8 การทำนายอุณหภูมิดินเฉลี่ยรายปีที่ระดับความลึก 1 เมตรโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมที่ จ.กรุงเทพฯ

นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ [18] ได้ศึกษาการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายอุณหภูมิดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยการอาศัยสมการสมดุลพลังงานซึ่งมีพื้นฐานจากกลไกการถ่ายเทความร้อนเป็นสมการควบคุม และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิท้องฟ้า และอัตราเร็วลมสำหรับเป็นอินพุทของเงื่อนไขสภาพอากาศ รวมทั้งอาศัยสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของดิน ได้แก่

ความหนาแน่น ความจุความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อน การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และสภาพเปล่งรังสีในการจำลองแบบ ผลจากแบบจำลองพบว่า อุณหภูมิดินซึ่งเป็นดินเหนียวในจังหวัดพัทลุง มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระดับความลึก 0-0.5 เมตร และที่ระดับความลึกมากกว่า 0.5 เมตร อุณหภูมิดินมีค่าคงที่ โดยมีอุณหภูมิที่ผิวดินสูงสุดเท่ากับ 65°C และมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 28°C

ฉกาจ ดำรงเกียรติ [19] กล่าวว่า ดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ คือ ประมาณ 27–29°C และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดปีค่อนข้างน้อย จึงมักพบแนวคิดทางทฤษฎีเกี่ยวกับออกแบบเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยให้อากาศภายนอกไหลผ่านท่อใต้ดินก่อนเข้าสู่อาคารเพื่อทำให้อากาศเย็นลง

สุพจน์ ตวงสินทวีกุล [20], ธนรัชน์ ลิมปคุปตถาวร [11] และวีระวุฒิ อรุณวรรธนะ [21] กล่าวว่า ในขณะที่อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงแตกต่างกันมากตลอดทั้งวัน แต่อุณหภูมิใต้ดินที่ระดับความลึก 1.10 เมตร ค่อนข้างคงที่ที่ระดับ 28-29°C และการนำอากาศผ่านระดับความลึกดังกล่าวก่อนนำมาใช้ภายในอาคาร จะทำให้อุณหภูมิอากาศเย็นลงเนื่องจากการถ่ายเทแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับดิน

Givoni B. [22] กล่าวว่า ที่ระดับความลึก 2-3 เมตร อุณหภูมิดินจะมีค่าประมาณ 22°C จึงสามารถใช้เป็นแหล่งระบายความร้อนสำหรับอาคารโดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อน

Bharadwaj และBansal [23] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินที่เมืองนิวเดลฮี ประเทศอินเดีย ในสภาพต่างๆ กัน 4 แบบ ทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว คือ ดินแห้งถูกแสงแดด (Dry sunlit) ดินเปียกชื้นถูกแสงแดด (Wet sunlit) ดินแห้งไม่ถูกแสงแดด (Dry shaded) และดินเปียกชื้นไม่ถูกแสงแดด (Wet shaded) ซึ่งพบว่าไม่ว่าดินจะอยู่ในสภาพแวดล้อใดก็ตาม อุณหภูมิดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดินจะค่อนข้างคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลามากเหมือนกับอุณหภูมิอากาศด้านบน โดยดินที่อยู่ในสภาพที่เปียกชื้นนั้น ความชื้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าดินที่อยู่ในสภาวะแห้ง เมื่อเปรียบเทียบที่ความลึกเท่ากัน และพบว่าอุณหภูมิดินที่ความลึกตั้งแต่ 0.15 เมตร จะคงที่ในรอบวัน และในรอบปีอุณหภูมิดินจะคงที่ที่ความลึกประมาณ 4 เมตร

Givoni B. [24] เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดที่ 34°C พื้นดินโล่งที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร จะมีค่าอุณหภูมิสูงถึง 38°C และที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร จะมีค่าอุณหภูมิที่ 28°C แต่ภายใต้พื้นดินที่ถูกปกคลุมด้วยกรวดอุณหภูมิสามารถลดลงได้ถึง 22°C

Hayeem E. [25] ทำการศึกษาอุณหภูมิดินที่มีการปกคลุมพื้นดินด้วยกรวด และไม่มีการปกคลุมพื้นดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร, 1 เมตร, 2 เมตร และ 3 เมตร ตลอดทั้งปี พบว่าในช่วงกลางฤดูร้อนอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1 เมตร และ2 เมตร ของพื้นดินโล่งจะอยู่ที่ 28 และ 25.5°C ตามลำดับ ส่วนของพื้นดินที่ปกคลุมด้วยกรวดที่ระดับความลึกเดียวกันจะอยู่ที่ 22-23°C

เบญจวรรณ เลิศวิจิตรจรัส [26] ศึกษาการกระจายอุณหภูมิดินที่แต่ละระดับความลึก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งในการศึกษาได้ทำการสร้างแท่นวัดค่าสภาพการนำความร้อนและทดสอบอุณหภูมิของดินเหนียว จากการศึกษาพบว่าสามารถวัดค่าสภาพการนำความร้อนของดินเหนียวได้ 0.844 W/m°C

นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ [18] ได้ศึกษาการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายอุณหภูมิดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการรันโปรแกรมมีค่าสภาพการนำความร้อน 0.9 w/m°C ค่าความจุความร้อนจำเพาะ 2200 J/kg°C และค่าความหนาแน่น 1,500 kg/m3

Xinguo Li [27] นำทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนเชิงมวลของดินมาใช้ศึกษาถึงแหล่งสะสมความร้อนใต้ดิน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเคลื่อนที่ของความชื้นในดิน ชนิดหรือประเภทของดิน และคุณสมบัติ

ต่างๆ ของดิน ซึ่งสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวที่นำมาใช้ในการคำนวณมีค่าสภาพการนำความร้อน 0.9 W/m°C และค่าความจุความร้อนจำเพาะ 2200 J/kg°C และค่าความหนาแน่น 1,500 kg/m^3

ธรรมนูญ หุตากรณ์ [28] ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับโครงการปลูกพืชไร้ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงขั้นตอน กรรมวิธีของการปลูกพืช Nutrient film technique (NFT) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคและการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการตลาดสำหรับธุรกิจปลูกพืชไร้ดิน ในการศึกษาจะใช้อัตราคิดลดร้อยละ 7 และโครงการมีอายุ 5 ปี ผลการศึกษาพบว่า ในด้านความเป็นไปได้ทางการตลาด ผลผลิตที่ได้จากกการปลูกพืชไร้ดินจะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ สะอาด และปลอดสารพิษตกค้าง สามารถทดแทนพืชผักที่นำเข้ามาจากต่างประเทศได้ ในด้านความเป็นไปได้ทางการเงินจากการวิเคราะห์โครงการมีระยะการคืนทุนประมาณ 2 ปี NPV เท่ากับ 172,000 บาท

กอบกุล แต่งประกอบ [16] ได้ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกผักกาดหอมพันธ์บัตเตอร์เฮด โดยใช้ระบบ Deep flow technique (DFT) และ Nutrient film technique (NFT) ซึ่งผลการศึกษาสภาพทั่วไปด้านเทคนิค ขั้นตอน และวิธีการผลิตของระบบ DFT และ NFT พบว่า ระบบ DFT เป็นระบบที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่องโดยใช้ระดับความลึกของสารละลาย 5-10 เซนติเมตร เหมาะสำหรับปลูกพืชสวนครัว เช่น กระเพรา ผักชี ส่วนระบบ NFT เป็นระบบที่น้ำไหลเป็นแผ่นบางๆ โดยปล่อยให้สารละลายสัมผัสกับรากของพืชที่ระดับความลึก 1-2 เซนติเมตร เหมาะสำหรับปลูกผักสลัดต่างประเทศ เช่น ผักกาดหอมพันธ์บัตเตอร์เฮด พร้อมทั้งใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ค่อนข้างแพง เช่น รางปลูก วัสดุอุปกรณ์สำหรับปลูก สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงินใช้อัตราคิดลดร้อยละ 7.1 และอายุโครงการ 10 ปี ผลการศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของ DFT และ NFT พบว่า ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี 7 เดือน 21 วัน และ 4 ปี 29 วัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 11,269,056.69 และ 3,728,543.49 บาท ตามลำดับ

ธีรินมาศ บางชวด [29] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์เชิงพาณิชย์ในประเทศไทยเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่และยังไม่แพร่หลายมากนัก การลงทุนในระยะแรกมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากจึงยังไม่เป็นที่สนใจแก่เกษตรกรโดยทั่วไป จากการใช้ข้อมูลการสัมภาษณ์และสอบถามผู้ประกอบการจำนวน 2 ราย ได้แก่ บริษัท เฟรชไฮโดรฟาร์ม จำกัด ซึ่งเป็นกิจการที่ใช้อุปกรณ์การปลูกนำเข้าจากต่างประเทศ และบริษัท แม่กลองพืชผัก จำกัด ซึ่งเป็นกิจการที่ใช้เครื่องมืออุปกรณ์จากการดัดแปลงวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศ โดยใช้ข้อมูลการเพาะปลูก ปี 2544 ผลการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์ของ บริษัท เฟรชไฮโดรฟาร์ม จำกัด และบริษัท แม่กลองพืชผัก จำกัด พบว่า ต้นทุนในการก่อสร้างโรงเรือนและเครื่องมืออุปกรณ์การเพาะปลูกต่างๆ เท่ากับ 3,654,400 และ 4,690,280 บาท มีต้นทุนในการซื้อวัสดุการเกษตรเพื่อใช้ในการผลิต เท่ากับ 14,143.67 และ 19,907.93 บาทต่อรุ่น ได้รับผลผลิตเฉลี่ย 400 และ 500 กิโลกรัมต่อรุ่น ขายผลผลิตได้ราคาเฉลี่ย 70.12 และ 68.40 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีกำไรสุทธิเหนือต้นทุนเงินสดเท่ากับ 33.94 และ 24.31 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ด้านผลการศึกษาวิเคราะห์ทางการเงินในการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ของ บริษัท เฟรชไฮโดรฟาร์ม จำกัด และบริษัท แม่กลองพืชผัก จำกัด โดยใช้อัตราคิดลดร้อยละ 8.5 และอายุโครงการ 10 ปี พบว่ามีความเป็นไปได้ในการลงทุนในเชิงธุรกิจ เมื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการลงทุน โดยให้ราคาผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 50 บาทต่อกิโลกรัม และให้ผลผลิตคงที่ โครงการของ บริษัท เฟรชไฮโดรฟาร์ม จำกัด ไม่สามารถยอมรับได้ แต่ของ บริษัท แม่กลองพืชผัก จำกัด สามารถยอมรับโครงการได้

จรินทร์ทิพย์ จงใจรักษ์ [30] ได้ศึกษาถึงผลตอบแทนจากการลงทุนปลูกผักไฮโดรโปนิกส์เพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินทั้ง 2 ระบบ โดยใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์

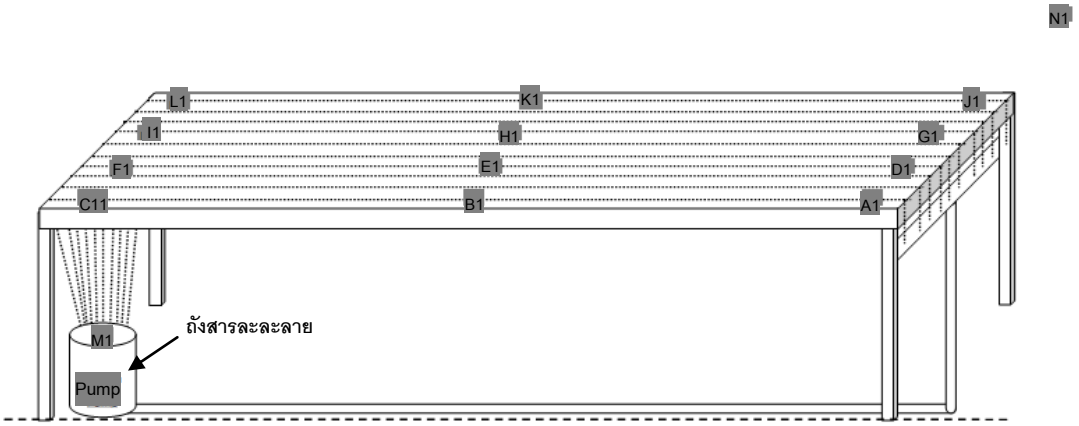
ผู้ประกอบการที่ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ พบว่าต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ของฟาร์มตัวอย่างที่ผลิตด้วยระบบ DRFT และระบบ PC มีต้นทุนคงที่เท่ากับ 9,717.95 บาท และ 1,090.92 บาท ตามลำดับ ต้นทุนแปรผันเท่ากับ 47,434.08 บาท และ 17,410.11 บาท ตามลำดับ ราคาเฉลี่ยของผักไฮโดรโปนิกส์เท่ากับ 42.99 บาท และ 40 บาท ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้กำไรสุทธิเท่ากับ 8,001.04 บาท และ 15,948.97 บาท ตามลำดับ โดยใช้อัตราคิดลดร้อยละ 6.25 และอายุโครงการ 10 ปี พบว่ามีความเหมาะสมที่จะทำการลงทุน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์

การเก็บข้อมูลเบื้องต้นของค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนที่มีสภาวะอากาศที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย [31] เพื่อหาปริมาณภาระความร้อนสะสมของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากโรงเรือนทดลองปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ขนาด 12.04 ตารางเมตร และทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล แบบ Teflon ชนิด T เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร และใช้อุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูล โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในรางปลูกที่ 1 ตำแหน่ง A1, B1, C1 รางปลูกที่ 4 ตำแหน่ง D1, E1, F1 รางปลูกที่ 7 ตำแหน่ง G1, H1, I1 และรางปลูกที่ 10 ตำแหน่ง J1, K1, L1 ซึ่งแต่ละรางปลูกจะวัดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร 3 จุด คือ ตำแหน่งต้นราง กลางราง และท้ายราง และวัดค่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารภายในถังบรรจุสารละลายที่ตำแหน่ง M1 และวัดค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ตำแหน่ง N1 ดังภาพ 9 เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์



ภาพ 9 แสดงตำแหน่งการเก็บค่าอุณหภูมิเบื้องต้นของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์

2. การออกแบบและทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

การออกแบบ การสร้าง การติดตั้ง และทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ

2.1 การหาคุณสมบัติของเนื้อดิน (Soil texture)

การหาคุณสมบัติของเนื้อดินจะทำให้ทราบถึงชนิดของเนื้อดินในพื้นที่ๆ ทำการวิจัยเพื่อนำมาหาค่าสภาพการนำความร้อนของเนื้อดิน ค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนจำเพาะของดินในพื้นที่นั้นๆ การเก็บตัวอย่างดินเพื่อไปทำการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ [32] จะใช้อุปกรณ์เก็บ

ตัวอย่างดิน (Auger) เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 3 จุด ที่ระดับความลึก 1.10 เมตร ในพื้นที่การทดลอง ดังภาพ 10

ภาพ 10 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดิน

พื้นที่สำหรับที่ฝังชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อดินเพื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดของเนื้อดิน ค่าสภาพการนำความร้อนของเนื้อดิน ค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนจำเพาะของดินในพื้นที่

2.2 การคำนวณเพื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

2.2.1 การคำนวณปริมาณภาระความร้อนสูงสุดของระบบสารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์

จากสมการ (4)

$$Q_{in} = \dot{m} C_p \Delta T$$

จะได้

$$Q_{in} = \dot{m} C_p (\Delta T_{hydro}) \quad (16)$$

$$Q_{in} = \dot{m} C_p (T_{out,\,hydro} - T_{in,\,hydro}) \quad (17)$$

เมื่อ Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนที่สะสมในสารละลายธาตุอาหารของระบบไฮโดรโปนิกส์ (W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารละลายธาตุอาหาร (kJ/kg°C)

$T_{out,\,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ออกจากระบบไฮโดรโปนิกส์ (°C)

$T_{in,\,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่เข้าสู่ระบบไฮโดรโปนิกส์ (°C)

ผลการคำนวณพบว่า ปริมาณภาระความร้อนสูงสุดที่สารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ได้รับเป็น 1,660 W (ภาคผนวก ค)

2.2.2 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์โดยผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็น 2 ระบบ คือ การพาความร้อนของสารละลายธาตุอาหารในท่อที่ฝังใต้ผิวดินและการนำความร้อนของดิน โดยวางท่อในแนวระนาบกับพื้นดิน

จากสมการ (5)

$$Q_{out} = AU\Delta T$$

จะได้

$$Q_{out} = AU\Delta T_{model} \quad (18)$$

$$Q_{out} = AU(T_w - T_\infty) \quad (19)$$

เมื่อ Q_{out} คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากสารละลายธาตุอาหารไปสู่ผิวดิ น (W)

A คือ พื้นที่ผิวท่อของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่ต้องการออกแบบ (m^2)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2{}^oC$)

T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง

T_∞ คือ อุณหภูมิใต้ผิวดิน

<u>การคำนวณค่าเรย์โนลดส์ (Reynolds number; Re)</u>

จากสมการ (8)

$$Re = \frac{D_i V}{\nu}$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว (m)

V คือ ความเร็วของสารละลายธาตุอาหารในท่อทองแดง (m/s)

ν คือ ความหนืดไคนิเมติกส์ของสารละลายธาตุอาหารที่อุณหภูมิ 40°C (m^2/s)

ผลการคำนวณค่าเรย์โนลดส์ (Re) มีค่าเท่ากับ 7,599 (ภาคผนวก ค) ซึ่งมีค่า Re>2,300 จึงจัดว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งสามารถหาค่าของเลขนัสเซลต์ (Nu) ได้ดังนี้

จากสมการ (12) จะได้

$$Nu = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{0.3} \quad (20)$$

เมื่อ Pr คือ ค่าพรันด์เทิล (Prandtl number) ที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ 40°C

ผลการคำนวณค่านัสเซลต์ (Nu) มีค่าเท่ากับ 45.4360 (ภาคผนวก ค)

<u>การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ</u> (h_i)

จากสมการ (13)

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i}$$

จะได้

$$h_{Soln} = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad (21)$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว (m)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของสารละลายธาตุอาหารที่ 40°C (W/m°C)

ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (h_{Soln}) มีค่าเท่ากับ 3,419.83 W/ °C (ภาคผนวก ค)

<u>การคำนวณพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม</u>

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{2\pi r_i L h_{Soln}} + \frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi L k_{Cu}} + \frac{\ln(\frac{r_{Soil}}{r_o})}{2\pi L k_{Soil}}} \quad (22)$$

เมื่อ r_i คือ รัศมีภายในท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว (m)

r_o คือ รัศมีภายนอกท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว (m)

r_{Soil} คือ ระยะห่างของท่อระบายความร้อน (m)

h_{Soln} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ ($W/m^2°C$)

k_{Cu} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของท่อทองแดง (W/m°C)

k_{Soil} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของดิน (W/m°C)

L คือ ความยาวท่อระบายความร้อน (m)

ดังนั้น พื้นที่การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเป็น 138.45 W/°C (ภาคผนวก ค)

จากสมการ (19)

$$Q_{out} = AU(T_w - T_\infty)$$

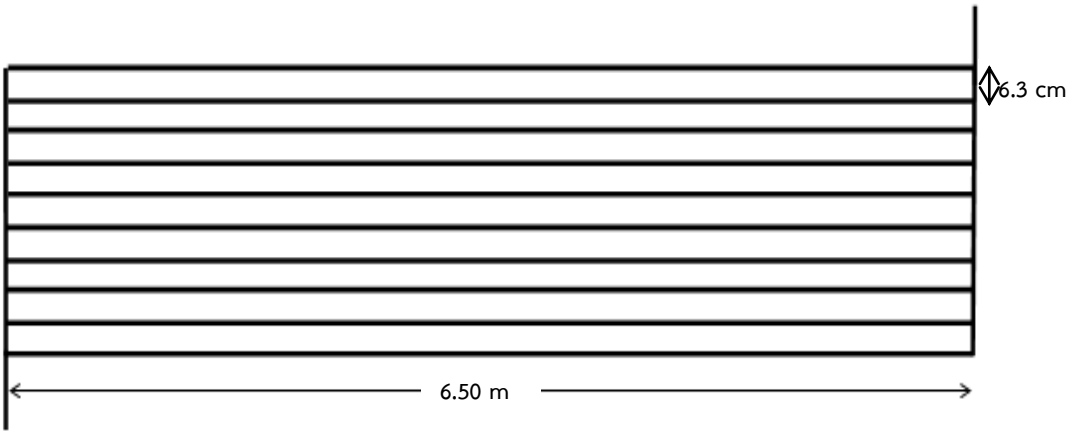
$$Q_{out} = 1,661.46 \text{ W}$$

และจากสมการ (6)

$$\dot{m}C_p(\Delta T_{hydro}) = AU(\Delta T_{model})$$

$$1,660 \text{ W} \approx 1,661.46 \text{ W}$$

ดังนั้น ผลจากการคำนวณเพื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์พบว่าชุดระบายความร้อนฯ สามารถระบายหรือถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารได้ 1,661.46 W ซึ่งมากกว่าปริมาณภาระความร้อนที่สะสมอยู่ในระบบสารละลายธาตุอาหารที่ 1,660 W (ภาคผนวก ค) จึงนำผลการคำนวณดังกล่าวมาออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ต่อไป ดังภาพ 11



ภาพ 11 แสดงรูปแบบของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

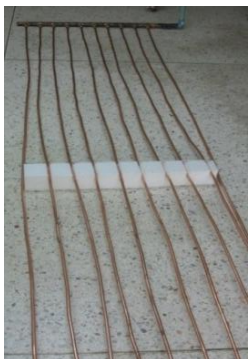
ซึ่งผลการออกแบบเป็นดังนี้

1. ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว หรือ 0.0095 m
2. ความยาวทั้งหมดของท่อทองแดงที่ต้องใช้เพื่อระบายความร้อน 64.80 m
3. ระยะห่างระหว่างท่อทองแดง 0.063 m [11]
4. วางท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาวท่อละ 6.50 m ขนานกันทั้งหมด 10 ท่อ

2.2.2 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์โดยผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็น 2 ระบบ คือ การพาความร้อนของสารละลายธาตุอาหารในท่อที่ฝังใต้ผิวดินและการนำความร้อนของดิน โดยวางท่อในแนวระนาบกับพื้นดิน (ภาคผนวก ค)

2.3 การสร้างและการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ จากผลการคำนวณและออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์จึงเริ่มดำเนินการสร้างและติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินดังต่อไปนี้

2.3.1 การสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์



ภาพ 12 ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ พร้อมที่จะนำไปฝังใต้ดิน เพื่อทดสอบการทำงานในการระบายความร้อนของสารละลายธาตุอาหารไปสู่ดิน

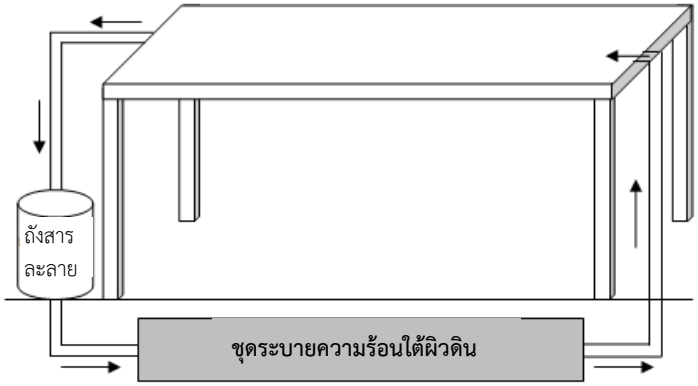
2.3.2 การเตรียมพื้นที่และการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

ภาพ 13 แสดงพื้นที่ฝังชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินฯ ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 1.10 เมตร

การขุดดินจากระดับผิวดินลึกลงไป 1.10 เมตร กว้าง 1.5 เมตร และยาว 7 เมตร เพื่อใช้เป็นพื้นที่ฝังชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

ภาพ 14 การติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

สำหรับการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ เมื่อดำเนินการขุดดินตามระดับความลึกที่กำหนดแล้วจะต้องรีบทำการติดตั้งหรือฝังชุดระบายความร้อนฯ ดังกล่าวอย่างรวดเร็วเพื่อพยายามให้ดินกลับสู่สภาพเดิมมากที่สุด และในขณะติดตั้งควรพยายามเกลี่ยดินให้สัมผัสกับผิวของชุดระบายความร้อนฯ ให้ทั่ว จากนั้นจึงทำการกลบดินกลับดังเดิม



ภาพ 15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

ไดอะแกรมแสดงตำแหน่ง หรือลักษณะการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินฯ คือสารละลายธาตุอาหารบนรางปลูกที่ได้รับความร้อนจะไหลลงสู่ถังรวมสารละลาย จากนั้นปั๊มสารละลายในถังซึ่งมีหน้าที่หมุนเวียนสารละลายอยู่จะขับเคลื่อนให้สารละลายในถังไหลผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินเพื่อระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายออก ก่อนที่จะกลับไปบนรางปลูกอีกครั้ง

2.4 การทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

การทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และ 2) การทดสอบการทำงานชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินภายใต้สภาวะที่มีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

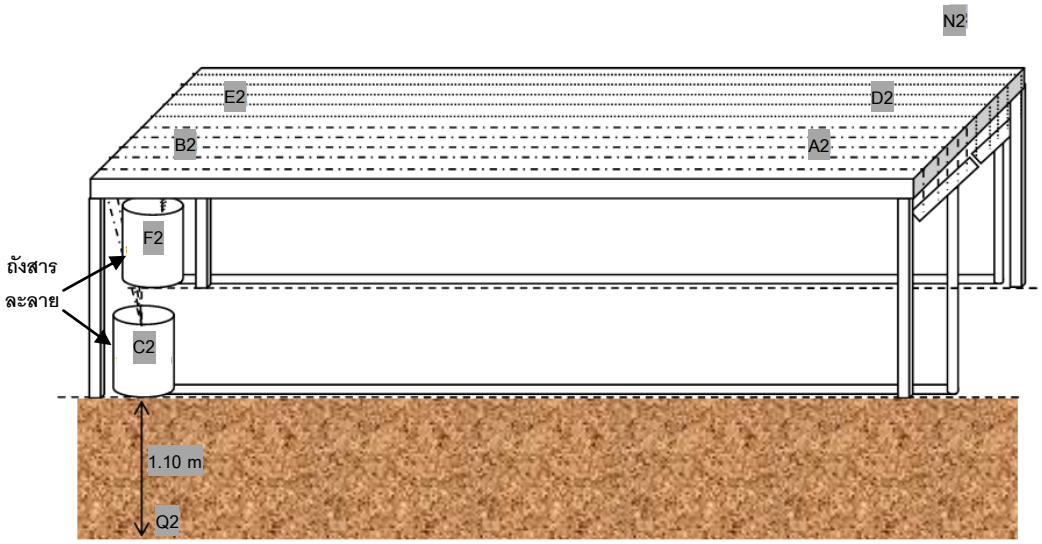
2.4.1 การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

การทดสอบนี้กำหนดตัวแปรควบคุม คือ ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ไหลเข้าสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน โดยเริ่มตั้งแต่ 32°C จนกระทั่งเมื่อวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาออกที่ผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินแล้วไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และทำการเก็บข้อมูลโดยการวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่สุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาออกเมื่อผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ซึ่งการวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ และใช้อุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูล

2.4.2 การทดสอบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินภายใต้สภาวะที่มีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

การทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินภายใต้สภาวะที่มีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ โดยทำการเปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป ซึ่งพืชที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้คือ ผักบุ้งจีน และศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร บันทึกค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร และใช้อุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูล โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป ในรางปลูกที่ 3 ตำแหน่ง A2, B2 และ C2 และวัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ในรางปลูกที่ 8 ตำแหน่ง D2, E2 และ F2 และวัดค่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.10 m ที่ตำแหน่ง Q2 และวัดค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ตำแหน่ง N2 ดังภาพ 16 เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 14 วัน หรือเมื่อนำต้นกล้าผักผักบุ้งจีนลงปลูกในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ จึงเริ่มบันทึกข้อมูล



ภาพ 16 แสดงตำแหน่งการเก็บค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร สำหรับเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

2. ความกว้างใบ (Leaf width) โดยใช้เวอร์เนียวัดค่าความกว้างใบเป็นมิลลิเมตร วัดที่ส่วนของใบล่างบริเวณที่กว้างที่สุดของใบนั้น วัดจากขอบด้านซ้ายของใบไปจนถึงขอบด้านขวาของใบ และนับจำนวนใบ เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 14 วัน หรือเมื่อนำต้นกล้าผักบุ้งจีนลงปลูกในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ จึงเริ่มบันทึกการเจริญเติบโต

3. การวัดความสูงของลำต้น โดยใช้ไม้บรรทัดวัดค่าความสูงของลำต้นเป็นเซนติเมตร วัดจากส่วนของโคนต้นจนถึงส่วนยอด เมื่อผักบุ้งจีนมีอายุ 14 วัน หรือเมื่อนำต้นกล้าผักบุ้งจีนลงปลูกในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ จึงเริ่มบันทึกการเจริญเติบโต

4. น้ำหนักสด (Fresh weight) บันทึกค่าน้ำหนักสดเมื่อผักบุ้งจีนอายุประมาณ 35 วัน โดยชั่งน้ำหนักสดทั้งต้นพืช น้ำหนักสดที่ได้มีหน่วยเป็นกรัม

5. น้ำหนักแห้ง (Dry weight) บันทึกค่าน้ำหนักแห้งเมื่อผักบุ้งจีนอายุประมาณ 35 วัน โดยนำผักบุ้งจีนที่ชั่งน้ำหนักสดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนกระทั่งแห้ง นำใส่โถดูดความชื้น นำตัวอย่างผักบุ้งจีนที่อบแห้งแล้วมาชั่ง น้ำแห้งที่ได้มีหน่วยเป็นกรัม

3. การจัดอบรมถ่ายเพื่อทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

การดำเนินการจัดอบรมเพื่อ นำความรู้ที่ได้เผยแพร่สู่กลุ่มเกษตรกร กลุ่มเป้าหมาย หรือกลุ่มผู้ประกอบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ โดยจะถ่ายทอด ความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และทำการสาธิตเพื่อให้ลงมือปฏิบัติจริง (Training) ให้กับชุมชน เป้าหมาย จำนวน 1 ครั้ง ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 ใช้ระยะเวลา 1 วัน โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นชาวบ้านกลุ่มพัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก หรือชุมชนใกล้เคียง จำนวนไม่น้อยกว่า 15 คน โดยมีเนื้อหาในการอบรมดังนี้

3.1 ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

3.2 ข้อดีของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์สำหรับเป็นแนวทางหรือส่งเสริมสำหรับการประกอบอาชีพ

3.3 สาเหตุหรือความสำคัญของการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

3.4 วิธีการสร้าง และติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

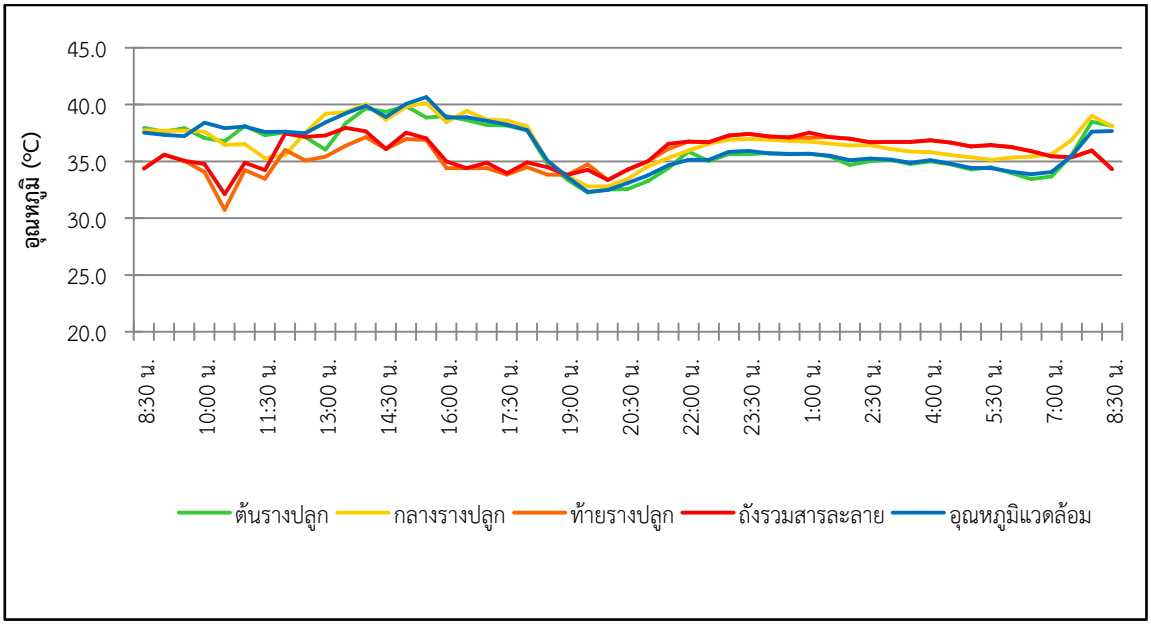
3.5 วิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (ลงมือปฏิบัติจริง (Training))

ทั้งนี้เพื่อให้เป็นกลุ่มคนต้นแบบสำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ขยายผลสู่ชุมชนใกล้เคียงต่อไป ซึ่งจะเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิต ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจ และสร้างเครือข่ายความปรองดอง ความสามัคคีระหว่างหมู่บ้านโดยผ่านกลไกการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับภาคประชาสังคม (Civil Society) อย่างเป็นระบบ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

1. ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์



ภาพ 17 แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน

จากการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิเบื้องต้นของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน ดังภาพ 17 พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารที่ต้นรางปลูก (ตำแหน่ง A1, D1, G1, J1) กลางรางปลูก (ตำแหน่ง B1, E1, H1, K1) และท้ายรางปลูก (ตำแหน่ง C1, F1, I1, L1) เป็น 36.1, 36.8, 35.6°C ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุในถังสารละลาย (ตำแหน่ง M1) เป็น 35.9°C และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อม (ตำแหน่ง N1) เป็น 36.3°C แต่จากภาพ 17 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิสูงที่สุดจากการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ของทั้ง 7 วัน อยู่ที่ประมาณ 40°C ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณภาระความร้อนสะสมสูงที่สุดของระบบสารละลายธาตุอาหารจึงเลือกใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ 40°C มาคำนวณเพื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

2. ผลการหาคุณสมบัติของเนื้อดิน (Soil texture)

ผลการหาคุณสมบัติของเนื้อดิน (Soil texture) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ เพื่อหาชนิดของเนื้อดินซึ่งจะนำไปสู่การหาค่าสภาพการนำความร้อนของดิน ค่าความหนาแน่น และค่าความจุความร้อนจำเพาะของดินใน

พื้นที่เพื่อใช้สำหรับออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นไปดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดิน (Soil texture)

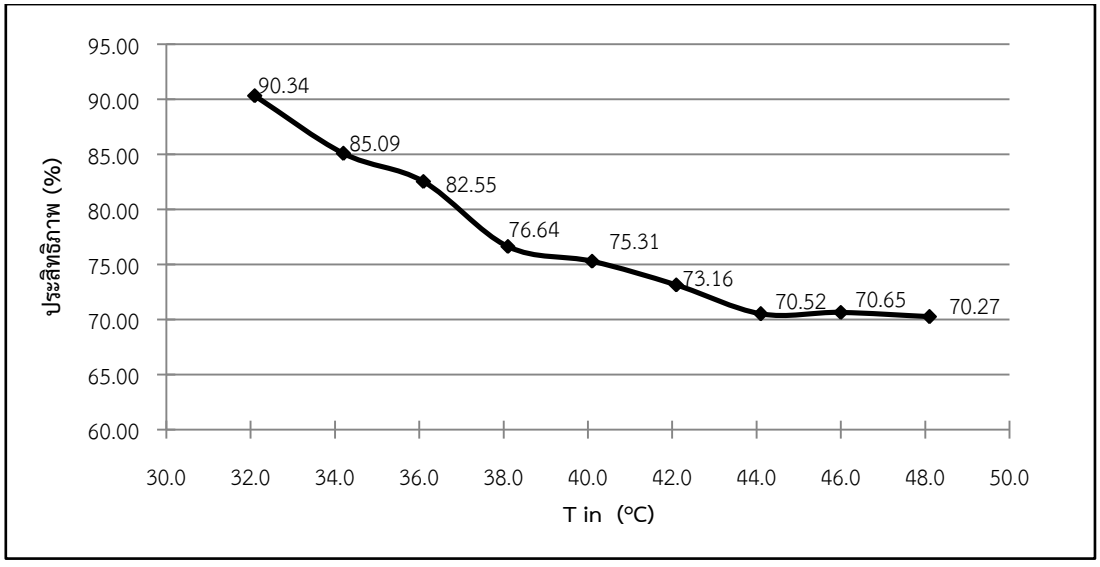
ตัวอย่าง	พารามิเตอร์		
	%Clay (ดินเหนียว)	%Sand (ดินทราย)	%Silt (ดินตะกอน)
ตำแหน่งที่ 1	65.92	20.08	14.00
ตำแหน่งที่ 2	55.92	21.36	22.72
ตำแหน่งที่ 3	59.92	26.08	14.00

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดิน (Soil texture) ในพื้นที่การทดลองทั้ง 3 ตำแหน่ง ณ ที่ระดับความลึก 1.10 เมตร พบว่าเมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ของเนื้อดินตัวอย่างดินทั้ง 3 ตำแหน่งมาวิเคราะห์และอ่านค่าจากไดอะแกรมสามเหลี่ยมแสดงประเภทของเนื้อดินตามภาพ 28 แล้ว พบว่าลักษณะของเนื้อดินทั้ง 3 ตำแหน่งจัดได้ว่าเป็นลักษณะของดินเหนียว (Clay) ซึ่งมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ 0.9 W/m°C ค่าความจุความร้อนจำเพาะของดิน 2,200 J/kg°C และค่าความหนาแน่น 1,500 kg/m^3 [18, 26, 27]

ดังนั้นจึงนำค่าสภาพการนำความร้อนของดินเหนียวดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณหาขนาดพื้นที่ผิวของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

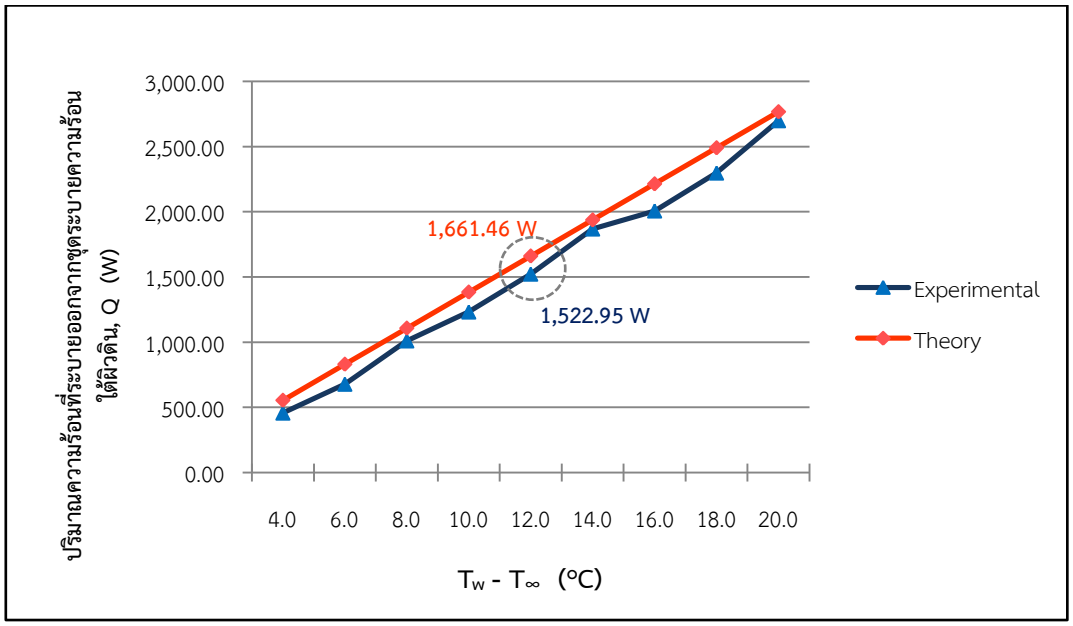
3. ผลการทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

3.1 การหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน



ภาพ 18 ประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

ผลการหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่าปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารสามารถถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนไปสู่ดินได้ซึ่งจากภาพ 18 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในระบายความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน จะมีค่าลดลงจนถึงที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่ 44°C หรือที่ปริมาณความร้อนสะสม 2,007.53 W ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนหรือถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนไปสู่ดินจะเริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าดินสามารถรับการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดที่ปริมาณความร้อนสะสม 2,007.53 W หรือที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่ 44°C ดังนั้นเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่ามีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 70



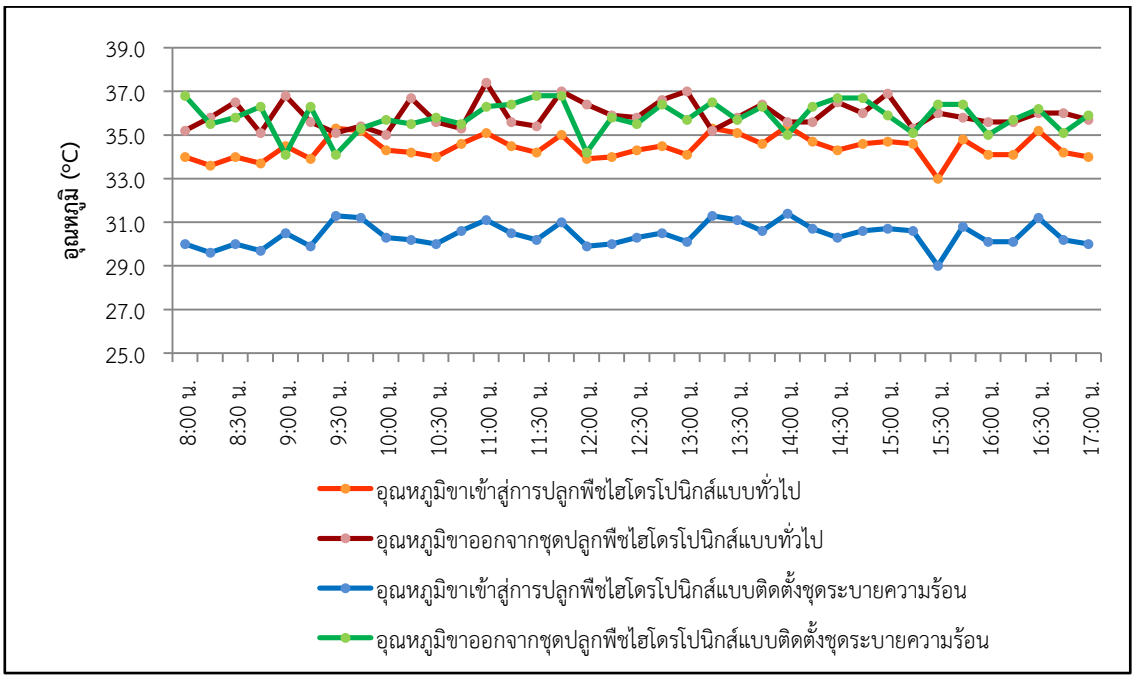
ภาพ 19 การเปรียบเทียบผลการออกแบบและผลการทดลองของปริมาณความร้อนที่สามารถระบายออกจากชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

จากผลการทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดระบายความร้อนที่ 40°C ตามที่ออกแบบไว้ พบว่าปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารถูกระบายหรือถูกถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน 1,522.95 W ซึ่งน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ต้องการระบายหรือถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ที่ 1,661.46 W หรือคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 8.33 แสดงดังภาพ 19

3.2 การทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินภายใต้สภาวะที่มีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

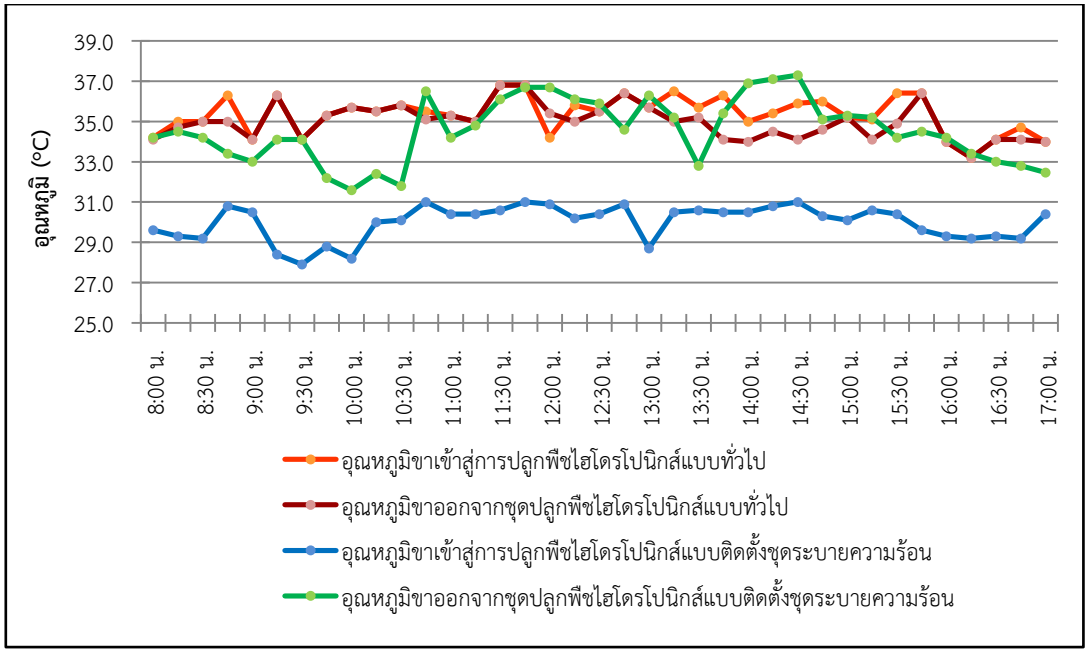
ผลการทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ภายใต้สภาวะที่มีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์โดยเปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

3.2.1 ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร



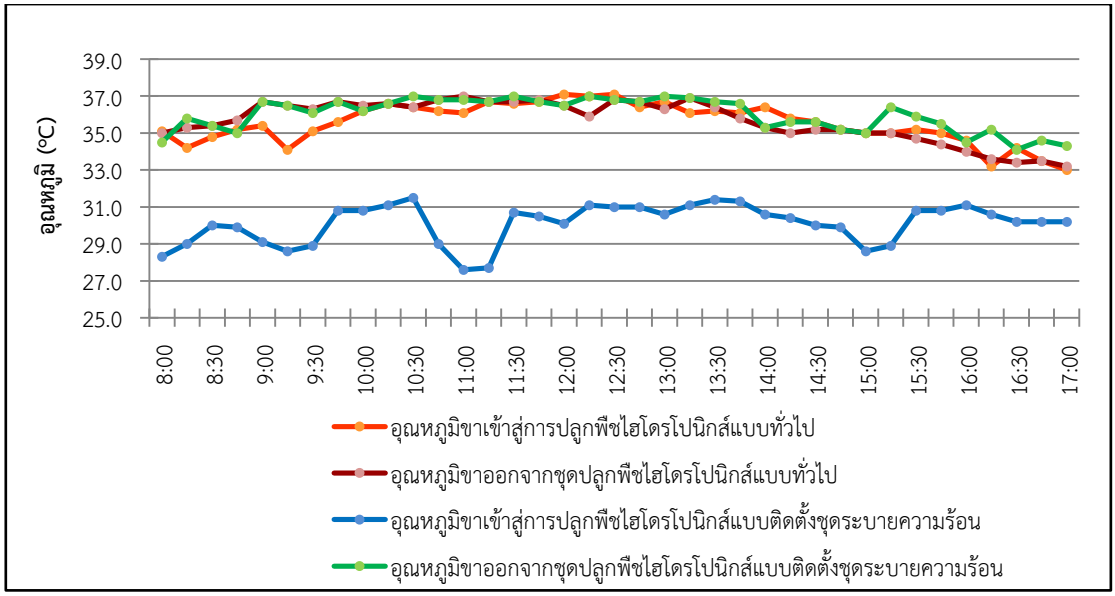
ภาพ 20 เปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่ออายุพืชครบ 2 สัปดาห์

ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่อพืชอายุครบ 2 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 34.4 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 30.4 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.9 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 35.8 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำสารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสามารถลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารได้ประมาณ 5.4 °C ดังภาพ 20 จึงมีผลให้ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการที่รากพืชที่จะสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้



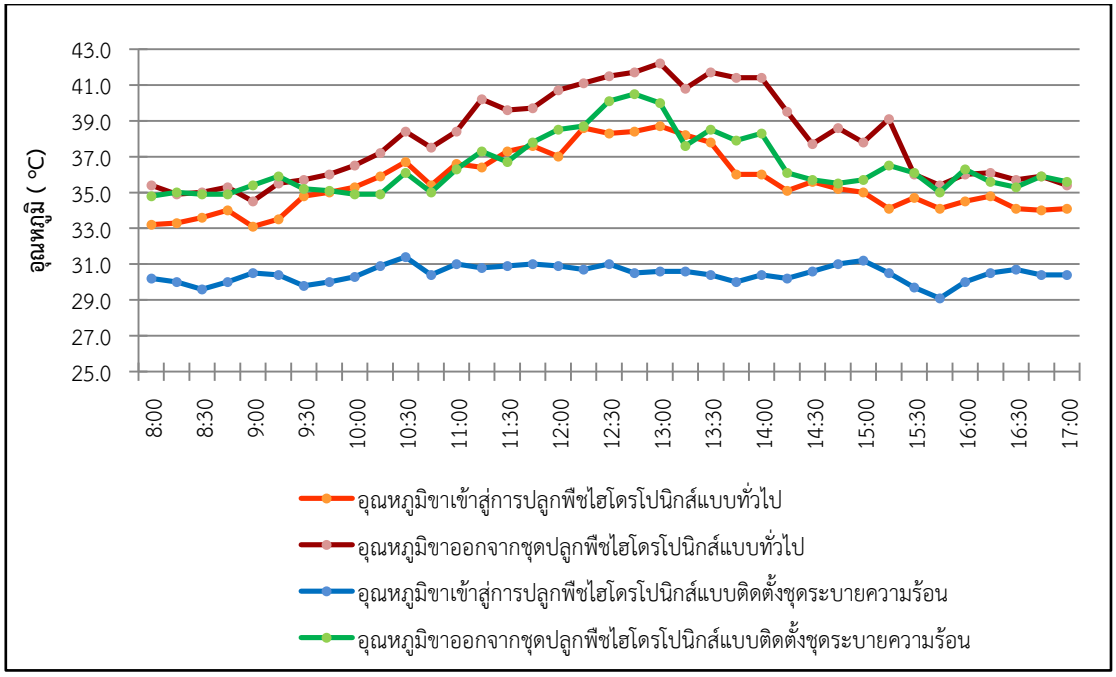
ภาพ 21 เปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่ออายุพืชครบ 3 สัปดาห์

ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่อพืชอายุครบ 3 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.4 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 30.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.0 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 34.5 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำสารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสามารถลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารได้ประมาณ 4.5 °C ดังภาพ 21 จึงมีผลให้ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการที่รากพืชที่จะสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้



ภาพ 22 เปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่ออายุพืชครบ 4 สัปดาห์

ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืช ไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่อพืชอายุครบ 4 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 30.1 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.7 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 36.0 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำสารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสามารถลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารได้ประมาณ 5.9 °C ดังภาพ 22 จึงมีผลให้ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการที่รากพืชที่จะสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้



ภาพ 23 เปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่ออายุพืชครบ 5 สัปดาห์

ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เมื่อพืชอายุครบ 5 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 35.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 30.4 °C อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่ที่ 38.0 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ 36.5 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำสารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสามารถลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารได้ประมาณ 6.1 °C ดังภาพ 23 จึงมีผลให้ค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการที่รากพืชที่จะสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้

จากผลการทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์โดยทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์และขาออกจากชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินตลอดทั้ง 5 สัปดาห์ หรือตลอดหนึ่งรอบการปลูกอยู่ที่ 30.2 และ 35.7 °C ตามลำดับ ซึ่งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารลงได้ประมาณ 5.5 °C ส่งผลให้ช่วงอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการที่รากพืชที่จะสามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืชได้

3.2.2 จำนวนใบ

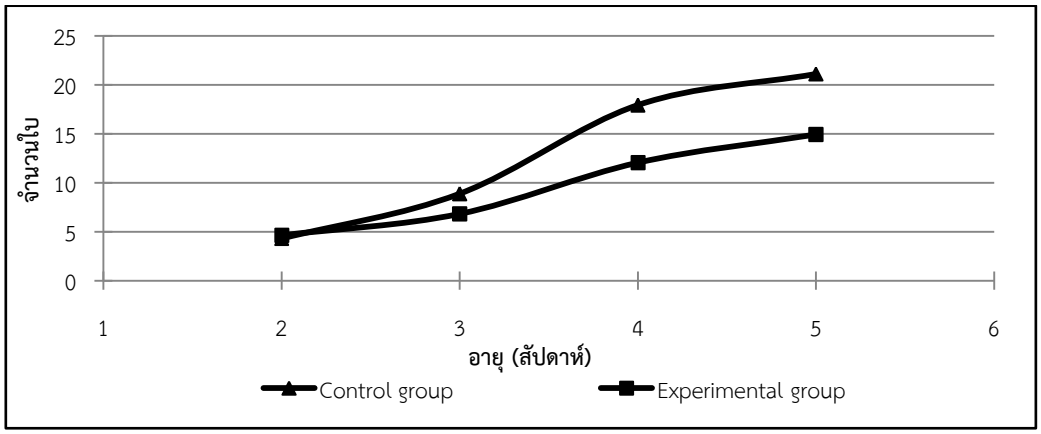
ผลการศึกษาจำนวนใบของผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ โดยให้สารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (Experimental group) เปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป

(Control group) พบว่าหลังทำการย้ายต้นกล้าผักบุ้งจีนอายุ 2 สัปดาห์ลงในรางปลูก จำนวนใบที่นับได้ยังไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่ออายุครบ 3 สัปดาห์ เริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และแตกต่างกันเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น โดยผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปจะมีจำนวนใบมากกว่าการปลูกผักบุ้งจีนโดยวิธีผ่านสารละลายธาตุอาหารไปสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และเมื่อเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีนที่อายุ 35 วัน หรือ 5 สัปดาห์ ผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปและการปลูกโดยวิธีผ่านสารละลายธาตุอาหารไปสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน มีจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 คือ 21.12 ± 6.14 และ 14.93 ± 1.06 ใบ ตามลำดับ ดังตาราง 3 และภาพ 24

ตาราง 3 จำนวนใบของผักบุ้งจีน

Group	จำนวนใบ			
	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Control	4.31 ± 0.94	8.87 ± 1.99	17.93 ± 4.32	21.12 ± 6.14
Experimental	4.62 ± 0.61	6.81 ± 0.98*	12.06 ± 1.43*	14.93 ± 1.06*

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยของจำนวนใบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 24 แสดงจำนวนใบของผักบุ้งจีน

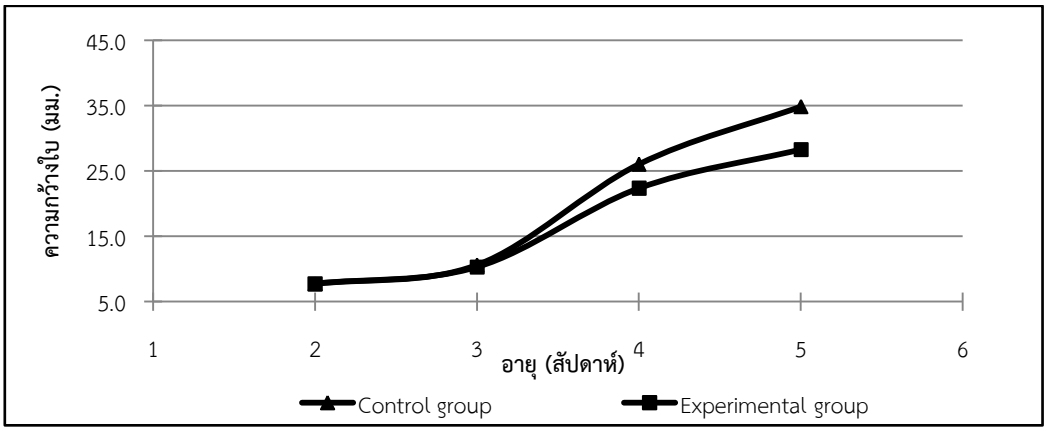
3.2.3 ความกว้างใบ (Leaf width)

การศึกษาความกว้างใบของผักบุ้งจีน ที่ปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (Experimental group) เปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป (Control group) พบว่าการเจริญเติบโตของความกว้างใบผักบุ้งจีนไม่มีความแตกต่างกันเมื่อนำต้นกล้าลงปลูกในรางในสัปดาห์ที่ 2 แต่เมื่อผักบุ้งจีนอายุ 3-5 สัปดาห์ พบว่าความกว้างใบผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกแบบพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปกับการปลูกโดยวิธีผ่านสารละลายธาตุอาหารไปสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความกว้างใบเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 หรือที่อายุ 35 วัน เป็น 34.86 ± 5.10 และ 28.31 ± 0.72 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังตาราง 4 และภาพ25

ตาราง 4 ความกว้างใบของผักบุ้งจีน

Group	ความกว้างใบของผักบุ้งจีน (มิลลิเมตร)			
	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Control	7.69 ± 1.54	10.60 ± 0.21	26.01 ± 6.03	34.86 ± 5.10
Experimental	7.76 ± 1.79	10.31 ± 0.20*	22.36 ± 1.28*	28.31 ± 0.72*

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยของความกว้างใบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P < 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 25 แสดงความกว้างใบของผักบุ้งจีน

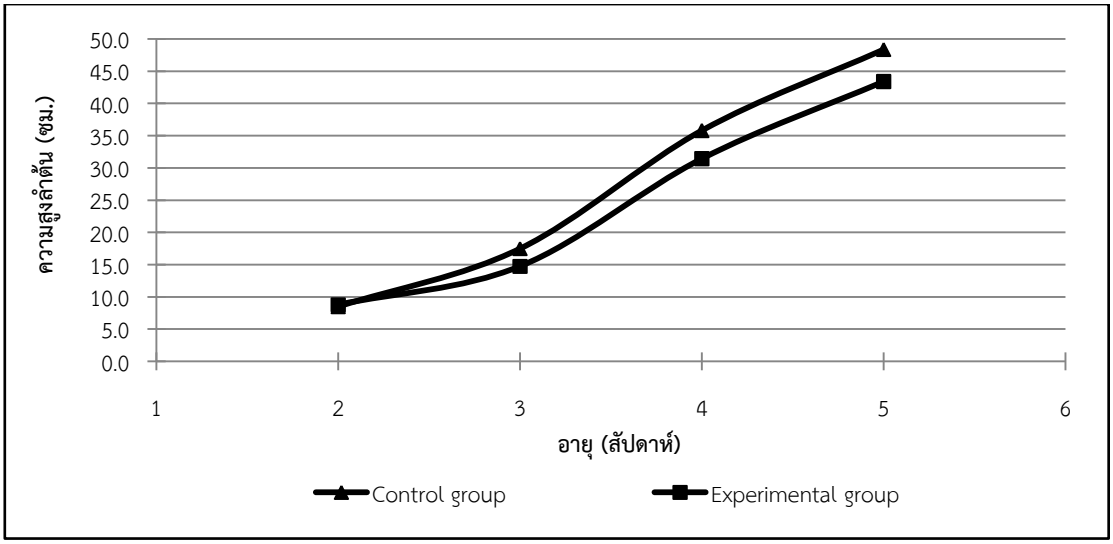
3.2.4 ความสูงของลำต้น

การศึกษาความสูงของลำต้นผักบุ้งจีน ที่ปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (Experimental group) เปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป (Control group) พบว่าเมื่อทำการวัดความสูงของลำต้นผักบุ้งที่อายุ 2 สัปดาห์ การเจริญเติบโตของลำต้นผักบุ้งสำหรับวิธีการปลูกทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 3, 4 และ 5 พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกแบบพืชไฮโดรโปนิกส์ทั่วไปมีความสูงเฉลี่ยของลำต้นมากกว่าการปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความสูงของลำต้นผักบุ้งเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 48.59 ± 6.16 และ 43.36 ± 1.15 ตามลำดับ ดังตาราง 5 และภาพ 26

ตาราง 5 ความสูงของลำต้นผักบุ้งจีน

Group	ความสูงของลำต้นผักบุ้งจีน (เซนติเมตร)			
	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Control	8.48 ± 1.75	17.48 ± 2.83	35.79 ± 4.16	48.59 ± 6.16
Experimental	8.80 ± 2.27	14.76 ± 0.98*	31.42 ± 0.58*	43.36 ± 1.15*

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P < 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพ 26 แสดงความสูงของลำต้นผักบุ้งจีน

3.2.5 น้ำหนักสด (Fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (Dry weight)

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีนโดยใช้พารามิเตอร์ของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ซึ่งเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 5 (35 วัน) ที่ทำการปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินดิน (Experimental group) เปรียบเทียบกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป (Control group) พบว่าน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักที่แท้จริงของผักบุ้งจีนในกลุ่ม Control group ของการทดลอง 3 ครั้ง เป็น 165.9, 155.4 และ 187.8 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 169.7 ±16.5 กรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่หายไปหลังจากการอบผักบุ้งจีนเพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริงพบว่า ปริมาณน้ำที่หายไปของผักบุ้งจีนของทดลองทั้ง 3 ครั้ง เป็น 11.56, 10.27 และ 12.87% ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่หายไปเป็น 11.57% สำหรับกลุ่ม Experimental group พบว่าน้ำหนักแห้งของการทดลอง 3 ครั้ง เป็น 158.4, 148.1 และ 192.2 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 166.2 ±23.1 กรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่หายไปหลังจากการอบผักบุ้งจีนพบว่าปริมาณน้ำที่หายไปของผักบุ้งจีนของทดลองทั้ง 3 ครั้ง เป็น 12.78, 11.27 และ 14.30% ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่หายไปเป็น 12.78% ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของกลุ่ม Control และกลุ่ม Experimental มาเปรียบเทียบกันพบว่าน้ำหนักแห้งมีค่าแตกต่างกัน 3.5 ±6.6 กรัม ดังตาราง 6

ตาราง 6 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีน (กรัม)

การทดลอง	สัปดาห์ที่ 5 (อายุ 35 วัน)			
	Control group		Experimental group	
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
1	1,434.5	165.9	1,239.2	158.4
2	1,512.9	155.4	1,313.8	148.1
3	1,458.7	187.8	1,344.0	192.2
เฉลี่ย	**1,468.7**	**169.7**	**1,299.0**	**166.2**

ดังนั้นสามารถสรุปผลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป และแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่า ผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปมีค่าเฉลี่ยของจำนวนใบ ความกว้างใบ ความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้ง มากกว่าการปลูกพืชไฮโดรนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน แต่เมื่อพิจารณาถึงช่วงอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ที่ 28-30°C แต่สาเหตุที่ทำให้ผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยวิธีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินมีผลการเจริญเติบโตที่ช้ากว่า เนื่องจากเมื่อนำสารละลายธาตุอาหารในถังรวมสารละลายของชุดปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไป และแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินไปวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณทองแดงไอออน (Cu^{2+}) ในสารละลายธาตุอาหารของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปมี 0.082 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm) ส่วนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินมี 0.750 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm) ซึ่งเมื่อนำมาผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับองค์ประกอบมาตรฐานของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ พบว่า ผักรับประทานใบหรือลำต้นควรจะมีปริมาณทองแดงไอออน (Cu^{2+}) ในช่วง 0.02-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm) [3, 5] ซึ่งอาการของพืชที่เกิดขึ้นเนื่องจากการมีปริมาณทองแดงไอออน (Cu^{2+}) มากเกินไปคือมีการเจริญเติบโตลดลง ใบมีสีซีดจาง และรากลดการแตกพุ่ม ดังภาพ 27

(ก) (ข)

ภาพ 27 ผลผลิตผักบุ้งจีนไฮโดรโปนิกส์ (ก) การปลูกแบบติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และ(ข) การปลูกแบบทั่วไป

ผลผลิตของการปลูกผักบุ้งจีนไฮโดรโปนิกส์ ภาพ 27 (ก) การปลูกผักบุ้งจีนไฮโดรโปนิกส์แบบที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน สังเกตได้ว่าใบของผักบุ้งจีนจะมีสีซีดจาง และมีขนาดของใบเล็กกว่าการปลูกผักบุ้งจีนไฮโดรโปนิกส์แบบทั่วไปอยู่เล็กน้อย ภาพ 27 (ข)

4. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ที่เกิดขึ้นเป็นการประเมินต้นทุนและรายได้ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อที่จะนำมาคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) โดยมีเงื่อนไขสำหรับการประเมินดังนี้

- ผลผลิตและรายได้ของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ จะคงที่ตลอดเวลา 10 ปี [30]
- ราคาผลผลิตเป็นราคาคงที่โดยใช้ราคาเฉลี่ยสูงสุดของราคาขายส่งสินค้าตลาดสี่มุมเมือง ปีพ.ศ. 2555 เป็นปีฐาน

• อายุโครงการเท่ากับ 10 ปี [30]

• อัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 8.62 ซึ่งเป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของลูกค้าชั้นดี ในปีพ.ศ.2555 [33]

• การใช้ปัจจัยการผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุของโครงการ

• พืชไฮโดรโปนิกส์ที่นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นตัวอย่างพืชที่เจริญเติบโต ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 28-30°C คือ กวางตุ้งดอก (Brassica chinensis Jusl var parachinensis (Bailey) Tsen & Lee) และคะน้าฮ่องกง (Brassica oleracea var. alboglara)

• โรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ระบบปิด (Evaporative cooling system) ที่นำมาศึกษาเป็นโรงเรือนระบบ Evaporator รุ่น EP 80 สำหรับใช้ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ณ จังหวัด ฉะเชิงเทรา ซึ่งมีพื้นที่โรงเรือน 340 ตารางเมตร (8 เมตร × 42.5 เมตร) สามารถให้ผลผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์ได้ 8,100 ต้น ซึ่งมีโต๊ะปลูกจำนวน 20 โต๊ะ ให้ผลผลิตพืชได้ 405 ต้น/โต๊ะ มีพัดลมระบายอากาศ ยี่ห้อ Euroemme EM 50 ขนาด 50 นิ้ว 1 แรงม้า จำนวน 3 ตัว และใช้แผง Cooling Pad ยี่ห้อ Munters ขนาด 180x30x15 เซนติเมตร จำนวน 36 ก้อน

• โรงเรือนไฮโดรโปนิกส์แบบติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (โรงเรือนทดลอง) มีพื้นที่โรงเรือน 12.04 ตารางเมตร (8.60 เมตร × 1.40 เมตร) สามารถให้ผลผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์ได้ 640 ต้น/โรงเรือน ซึ่งเมื่อนำมาคิดเทียบกับพื้นที่ของโรงเรือนในระบบ Evaporator พบว่าสามารถสร้างโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์แบบติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินได้ 20 โรงเรือน

4.1 การประมาณผลผลิต

กวางตุ้งดอก อายุการเก็บเกี่ยว อยู่ที่ประมาณ 5 สัปดาห์ หรือ 35 วัน สามารถให้ผลผลิตได้ปีละ 10 รอบ

คะน้าฮ่องกง อายุการเก็บเกี่ยว อยู่ที่ประมาณ 6 สัปดาห์ หรือ 45 วัน สามารถให้ผลผลิตได้ปีละ 8 รอบ

4.2 รายได้จากการผลิต

รายได้จากการผลิตสามารถคำนวณได้จากน้ำหนัก (กิโลกรัม) ของพืชไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกได้คูณราคาที่ขายได้ แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 รายได้ทั้งหมดจากการผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์

รายการ	ชนิดผักไฮโดรโปนิกส์	ลักษณะการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์	
		โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) (1 โรงเรือน*)	โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (20 โรงเรือนย่อย*)
จำนวนผลผลิต (ต้น/รอบการผลิต)	กวางตุ้งดอก	8,100	12,800
	คะน้าฮ่องกง	8,100	12,800
ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/รอบการผลิต)	กวางตุ้งดอก	4,455	6,995.2
	คะน้าฮ่องกง	1,158.3	1,785.6
ราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัม (กิโลกรัม/รอบการผลิต)	กวางตุ้งดอก	23	23
	คะน้าฮ่องกง	80.83	80.83
รายได้ทั้งหมด (บาท/รอบการผลิต))	กวางตุ้งดอก	102,465	160,889.60
	คะน้าฮ่องกง	93,625.39	144,330.05

หมายเหตุ: * พื้นที่ผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์ (พื้นที่โรงเรือน) 340 ตารางเมตร

4.3 ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร ดังตาราง 8

ตาราง 8 ต้นทุนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

รายการ	**ลักษณะการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์**	
	โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) (1 โรงเรือน*)	โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (20 โรงเรือนย่อย*)
ชนิดผักไฮโดรโปนิกส์	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง
ต้นทุนแปรผัน		
เมล็ดพันธุ์ (15บาท/ซอง)	45	60
ฟองน้ำเพาะต้นกล้า	1,785	2,751.20
สารละลายธาตุอาหาร A และ B	1,488	2,976
ค่าไฟฟ้า [38]		
1. โรงเรือนระบบปิด ประกอบไปด้วย - ปั๊มสารละลาย กำลังไฟ 2,000 W จำนวน 1 ตัว - พัดลมระบายอากาศ ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 3 ตัว	12,240	4,320
2. โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ประกอบไปด้วย - ปั๊มสารละลาย กำลังไฟ 75 W		
ค่าน้ำ	150	150
รวมต้นทุนแปรผัน	**15,708**	**10,257.20**

ตาราง 8 ต้นทุนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ (ต่อ)

รายการ	ลักษณะการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์	
	โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) (1 โรงเรือน*)	โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (20 โรงเรือนย่อย*)
ชนิดผักไฮโดรโปนิกส์	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง
ต้นทุนคงที่		
ระบบ Evaporative cooling	78,600	-
ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน	-	180,000
โครงสร้างโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ระบบ Evaporator (3,000 บาท/ตารางเมตร)	1,020,000	-
โครงสร้างโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์แบบติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (12,000บาท/โรงเรือน)	-	240,000
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	3,600	3,600
เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	3,600	3,600
ปั๊มสารละลายธาตุอาหาร		
- โรงเรือนระบบปิด ใช้ปั๊มขนาด 2,000 W	29,000	
- โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ใช้ปั๊มขนาด 75 W (850บาท/เครื่อง)		17,000

ตาราง 8 ต้นทุนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ (ต่อ)

รายการ	**ลักษณะการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์**	
	โรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) (1 โรงเรือน*)	โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (20 โรงเรือนย่อย*)
ชนิดผักไฮโดรโปนิกส์	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง	กวางตุ้งดอก / คะน้าฮ่องกง
ถังบรรจุสารละลายธาตุอาหาร		
- โรงเรือนระบบปิด ใช้ถังขนาด 800 ลิตร	6,000	-
- โรงเรือนที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ใช้ถังขนาด 80 ลิตร/โรงเรือนย่อย (380บาท/ใบ)	-	7,600
ถ้วยปลูก (2บาท/ใบ)	22,800	30,400
ค่าเสื่อมโรงเรือน และอุปกรณ์ [18]	116,360	48,220
รวมต้นทุนคงที่	**1,279,960**	**530,420**
รวมต้นทุนการผลิตทั้งหมด	**1,295,668**	**540,677.20**

(หน่วย: บาท/พื้นที่ผลิตพืช/รอบการผลิต)

หมายเหตุ: * พื้นที่ผลิตพืชไฮโดรโปนิกส์ 1 โรงเรือน หรือ 20 โรงเรือนย่อย เท่ากับ 340 ตารางเมตร

จากตาราง 8 พบว่าต้นทุนแปรผันและต้นทุนคงที่ของการปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) มีค่าเท่ากับ 15,708 และ 1,279,960 บาท ตามลำดับ ส่วนโรงเรือนที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินมีค่าต้นทุนแปรผันและต้นทุนคงที่ของการปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงไฮโดรโปนิกส์เท่ากับ 10,257.20 และ 530,420 บาท ตามลำดับ จากอายุโครงการเท่ากับ 10 ปี การปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงในโรงเรือนระบบปิด มีต้นทุนแปรผันตลอดอายุโครงการ 157,080 บาท รวมมูลค่าเงินลงทุนที่ต้องการ 1,437,040 บาท ส่วนการปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงในโรงเรือนที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินมีต้นทุนแปรผันตลอดอายุโครงการ 102,572บาท รวมมูลค่าเงินลงทุนที่ต้องการ 632,992 บาท เมื่อพิจารณาถึงผลประโยชน์ตอบแทนของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่สามารถให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง มีคุณภาพดี ลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และราคาของผลผลิตที่ปลูกด้วยวิธีนี้สูงกว่าราคาของการปลูกพืชแบบใช้ดินตามปกติ พบว่ารายได้ของการปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิดจะสร้างรายได้ปีละ 1,024,650.00 และ 749,003.12 บาท ตามลำดับ ส่วนการปลูกผักกวางตุ้งดอก และคะน้าฮ่องกงไฮโดรโปนิกส์ใน โรงเรือนที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินจะสร้างรายได้ปีละ 1,608,896.00 และ 1,154,640.40 บาท ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิตามสมการ (14) จะได้ข้อมูลดังตาราง 9

ตาราง 9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

ปีที่	การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system)				การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน			
	NPV		Fixed Cost	Variable cost	NPV		Fixed Cost	Variable cost
	กวางตุ้งดอก	คะน้าฮ่องกง			กวางตุ้งดอก	คะน้าฮ่องกง		
1	-249,510.22	-503,281.97	1,279,960.00	15,708.00	983,445.77	565,239.55	530,420.00	10,257.20
2	855,158.48	735,689.34	-	15,708.00	1,354,973.35	1,145,946.61	-	10,257.20
3	787,293.75	736,745.91	-	15,708.00	1,247,443.70	1,146,636.54	-	10,257.20
4	724,814.72	737,718.64	-	15,708.00	1,148,447.52	1,147,271.72	-	10,257.20
5	667,293.98	738,614.16	-	15,708.00	1,057,307.61	1,147,856.49	-	10,257.20
6	614,338.04	739,438.62	-	15,708.00	973,400.49	1,148,394.86	-	10,257.20
7	565,584.65	740,197.65	-	15,708.00	896,152.17	1,148,890.50	-	10,257.20
8	520,700.28	740,896.45	-	15,708.00	825,034.22	1,149,346.81	-	10,257.20
9	479,377.91	741,539.79	-	15,708.00	759,560.14	1,149,766.90	-	10,257.20
10	441,334.84	742,132.07	-	15,708.00	699,282.02	1,150,153.66	-	10,257.20
รวม	5,406,386.44	6,149,690.67	1,279,960.00	157,080.00	9,945,046.99	10,899,503.65	530,420.00	102,572.00

จากตาราง 9 เป็นการแสดงให้เห็นถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) และการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของทั้งสองรูปแบบเป็นบวก จึงสรุปได้ว่าการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) และแบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินมีความเหมาะสมในการลงทุน นอกจากนั้นผลการคำนวณ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) พบว่าผักกวางตุ้ง และคะน้าไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกใน โรงเรือนระบบปิด มีค่าเท่ากับ 5.22 และ 3.82 ตามลำดับ ส่วนผักกวางตุ้ง และคะน้าไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกในระบบที่มีการติ ดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน มีค่า BCR เท่ากับ 18.91 และ 13.57 ตามลำดับ แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไป ดังนั้นการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ทั้งสองรูปแบบจึงมีความเหมาะสมที่จะลงทุน

5. ผลการจัดอบรมถ่ายเพื่อทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

การดำเนินการจัดอบรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ดำเนินการภายใต้ชื่อโครงการ “การถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยีการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน” โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นชาวบ้านกลุ่มพัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก หรือชุมชนใกล้เคียง จำนวนไม่น้อยกว่า 15 คน

4.1 การบรรยายถ่ายทอดองค์ความรู้

4.1.1 การให้ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสถานการณ์พลังงาน -ผลกระทบของภาวะโลกร้อนในประเทศไทย และการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ภายในชุมชน

เป็นการบรรยายถึงสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในปัจจุบัน และผลกระทบอันเกิดจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน) ที่มีผลต่อปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติ เช่น ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลง สภาพอากาศที่เลวร้าย สภาพความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น เป็นต้น และแนะนำถึงรูปแบบของการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ภายในชุมชนเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน)

ภาพ 28 การบรรยายในหัวข้อสถานการณ์พลังงาน-ผลกระทบของภาวะโลกร้อนในประเทศไทย และการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ภายในชุมชน

4.1.2 การให้ความรู้เกี่ยวกับการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

เป็นการบรรยายให้ความรู้เกี่ยวกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ข้อดี -ข้อเสียของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ วิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ และความจำเป็นที่ต้องสร้างและติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพ หรือเป็นอาชีพเสริมซึ่งจะเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิต ด้านสุขภาพ และด้านเศรษฐกิจของครัวเรือนหรือชุมชน สำหรับการบรรยายหัวข้อนี้ได้จัดทำแบบทดสอบก่อนและหลังการบรรยายเพื่อเป็นการประเมินถึงความเข้าใจของผู้เข้าร่วมรับการอบรม

ภาพ 29 การบรรยายในหัวข้อการการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

(ก) **(ข)**

ภาพ 30 การทำแบบทดสอบก่อน (ก) และหลังการบรรยาย (ข) เพื่อเป็นการประเมินความเข้าใจของผู้เข้าร่วมรับการอบรม

4.2 กิจกรรมการสาธิตการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และการลงมือปฏิบัติจริง (Training)

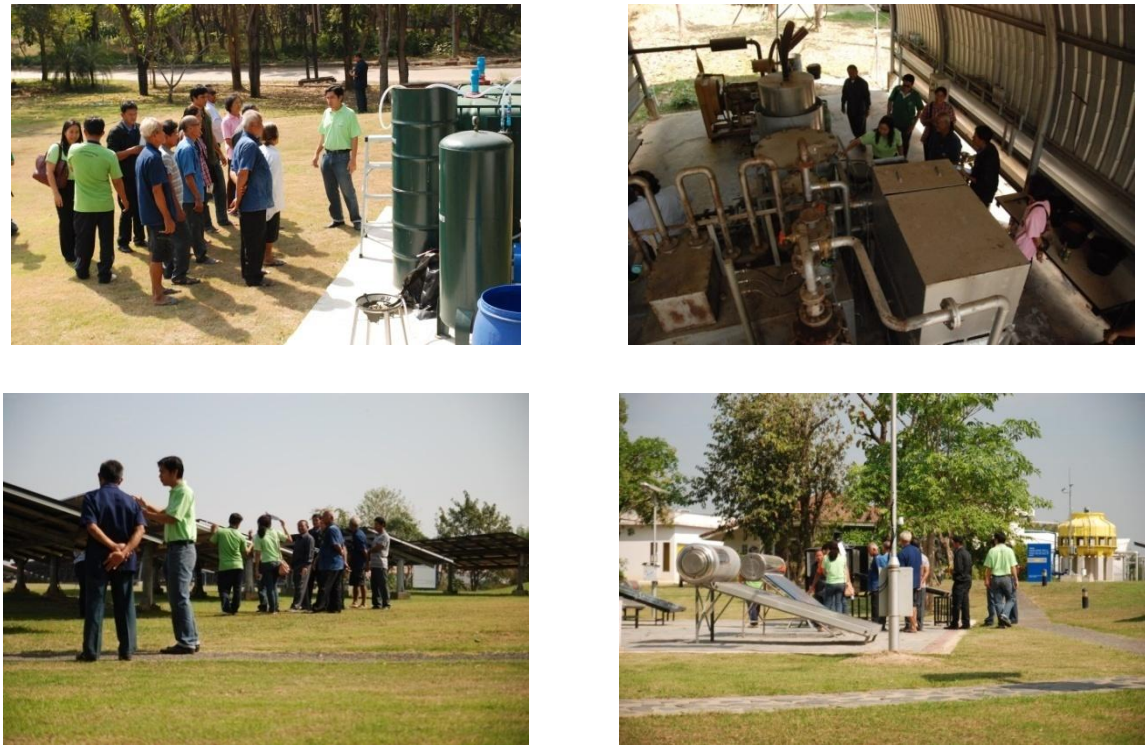
สำหรับกิจกรรมการสาธิตการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน และการลงมือปฏิบัติจริง (Training) นั้นจะเน้นให้ผู้เข้าร่วมรับการอบรมได้ร่วมแสดงความคิดเห็น และลงมือปฏิบัติจริง (Training) เพื่อให้เกิดทักษะและความเข้าใจในขั้นตอนหรือวิธีการของการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างและการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินนั้น ได้จัดทำคู่มือการสร้างและติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (เอกสารประกอบการอบรม) และอธิบายถึงวิธีการดำเนินการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งกิจกรรมหลักๆ ที่เกิดขึ้นในการสาธิตวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ คือ ผู้วิจัยและคณะได้แสดงขั้นตอนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ โดยเริ่มตั้งแต่การเพาะเมล็ด การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร จนกระทั่งการเก็บผลผลิตเพื่อส่งขาย จากนั้นเป็นขั้นตอนของการให้ผู้เข้าร่วมอบรมลงมือปฏิบัติจริงเพื่อให้ทักษะและความเข้าใจดังที่กล่าวมาแล้ว

ภาพ 31 กิจกรรมการสาธิตการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

4.3 การให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในด้านต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับชุมชน

กิจกรรมการเดินชมสวนพลังงานทดแทนเพื่อศึกษาและเรียนรู้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ในชุมชน กิจกรรมนี้ได้รับเกียรติจาก ดร.บงกช ประสิทธิ์ เจ้าหน้าที่วิจัยหน่วยพลังงานชีวมวล วิทยาลัยพลังงานทดแทน เป็นวิทยากรหลักในการแนะนำและบรรยาย ซึ่งแหล่งเรียนรู้ที่ได้พาผู้เข้าร่วมอบรมเดินชมและเรียนรู้ประกอบไปด้วย

1. เทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas)
2. เตาเผาประสิทธิภาพสูง (Gasification)
3. การเผาถ่านคุณภาพสูง
4. การประยุกต์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เช่น เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์



ภาพ 32 การเดินชมสวนพลังงานทดแทน และให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในด้านต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยมุ่งศึกษาถึงการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ และการหาจุดคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่าผลการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ในพื้นที่เพาะปลูก 12.04 ตารางเมตร (8.60 เมตร × 1.40 เมตร) มีปริมาณสารละลายธาตุอาหารทั้งระบบเท่ากับ 80 ลิตร และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ 2 ลิตร/นาที ต้องใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.52 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) วางขนานกัน 10 ท่อ แต่ละท่อยาว 15 เมตร ระยะห่างระหว่างท่อ 6.30 เซนติเมตร ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนสูงสุดที่ร้อยละ 70 ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ 29-30°C

การหาความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์ ได้ศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาจุดคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) และการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่า การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ในโรงเรือนระบบปิดของผักกวางตุ้งดอกและคะน้าฮ่องกงมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิเป็นบวก (NPV) ที่ 5,406,386.44 และ 6,149,690.67บาท ตามลำดับ และผลการคำนวณ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) มีค่าเท่ากับ 5.22 และ 3.82 ตามลำดับ ส่วนการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินของผักกวางตุ้งดอกและคะน้าฮ่องกงมีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิเป็นบวก (NPV) ที่ 9,945,046.99 และ 10,899,503.65 บาท ตามลำดับ และผลการคำนวณ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) มีค่าเท่ากับ 18.91 และ 13.57 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาและทดลองใช้วัสดุชนิดอื่นสำหรับสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนที่ผิววัสดุซึ่งเกิดจากเมื่อสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง

บรรณานุกรม

[1] http://203.113.86.149/xstat/p5365_01.html. สืบค้นเมื่อ 21 กันยายน 2554

[2] รัตนา เอิบกิ่ง. (2552).**การใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศทดแทนสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์ .** วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3] อานัฐ ตันโช. (2548). **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.** เชียงใหม่: พิมพ์ที่ Trio Advertising&Media Co.,Ltd.

[4] ดิเรก ทองอร่าม. (2550). **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน:หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. ราชบุรี**: ธรรมรักษ์การพิมพ์.

[5] ถวิล สุขวงษ์. (2546). **การปลูกพืชไม่ใช้ดิน.** กรุงเทพฯ: แม็ค.

[6] Resh, H.M. (1991a). **Hydroponic Food Production.** California. Woodbridge Press Publishing Company. 432 pp.

[7] Cooper, A. (1979). **The ABC of NFT**. London. Grower Books. 184 pp

[8] โสระยา ร่วมรังสี. (2544). **การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

[9] ฐานข้อมูลพืชผัก บทความเกษตร . (พ.ศ. 2551-2555). การจำแนกประเภทของผัก. **Vegetweb.** สืบค้นเมื่อ 29 พฤษภาคม 2555, http://www.vegetweb.com/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%97%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9C%E0% B8%B1%E0%B8%81/

[10] ยงยุทธ โอสถสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจู. (2541). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[11] ธนรัชต์ ลิมปคุปตถาวร. (2545). **ประสิทธิผลของการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดิน ในการออกแบบอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น : กรณีศึกษา บ้านพักอาศัย จ.ชัยภูมิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] Georgios Florides, Soteris Kalogirou.(2007). Ground heat exchangers—A review of systems,models and applications. **Renewable Energy.** (32), 2461–2478.

[13] มนตรี พิรุณเกษตร. (2542). **การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.

[14] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2547). **การถ่ายเทความร้อน.** กรุงเทพฯ : ท้อป/แมคกรอ-ฮิล.

[15] ศิริรัตน์ กาญจนวชิรกุล. (2552). **การผลิตน้ำร้อนด้วยความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[16] กอบกุล แต่งประกอบ. (2545). **การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกผักกาดหอมพันธุ์บัตเตอร์เฮดโดยใช้ระบบ Deep Flow Technique (DFT), Nutrient Film Technique (NFT).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[17] วัชระ เพิ่มชาติ . (2541). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวระบายความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย .** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[18] นฤทธิ์ กล่อมพงษ์, จอมภพ แววศักดิ์ และกรวิกา ก้องกุล. (2552). การจำลองแบบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนในดินโดยระเบียบวิธีผลต่างอันตะแบบชัดแจ้ง . **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.** 12 (2) (กรกฎาคม–ธันวาคม), 2552.

[19] ฉกาจ ดำรงค์เกียรติ. (2553). **ประสิทธิผลในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดินกรณีศึกษา : หอสมุดเฉลิมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์ .** การนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[20] สุพจน์ ตวงสินทวีกุล. (2537). **การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน .** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[21] วีระวุฒิ อรุณวรรธนะ .การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย. **วารสารเทคโนโลยีสุรนารี.** 12 (4) (ต.ค.-ธ.ค. 2548) : 332-342.

[22] Baruch Givoni. (2007). Cooled soil as a cooling source for buildings. **Solar Energy.** (81), 316-328.

[23] Bharadwaj, S.S. and Bansal, N.K. (1981). Temperatures distribution inside ground for various surface condition. **Building and Environment.** (16), 183-192.

[24] Baruch Givoni. (1998). **Climate Consideration in Building and Urban Design.** John Wiley and Sons.

[25] Hayeem, E. (1984). **An Experimental Study of Earth Temperature Modification in a Semi Arid Desert Region.** M.Sc. Thesis. Trinity University. San Antonio, Texas.

[26] เบญจวรรณ เลิศวิจิตรจรัส. (2547). **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิดิน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[27] Xinguo Li, Jun Zhao, Qian Zhou. (2005). Inner heat source model with heat and moisture transfer in soil around the underground heat exchanger. **Applied Thermal Engineering.** (25), 1565–1577.

[28] ธรรมนูญ หุตากรณ์. (2544). **การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับโครงการปลูกพืชไร้ดิน .** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[29] ธีรินมาศ บางชวด. (2544). **การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์ .** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[30] จรินทร์ทิพย์ จงใจรักษ์. (2548). **การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการลงทุนในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์โดยใช้ระบบ Dynamic root flow technique (DRFT) และระบบ PC.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์การเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[31] ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา . **สถิติอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2494–2553.** สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2555, http://www.weather.go.th/programs/uploads/tempstat/max_stat_latest.pdf

[32] สุวรรณา สาสนรักกิจ. **การวิเคราะห์เนื้อดิน. บทเรียนเว็บช่วยสอน [WBI] วิชาดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน รหัส 2502-2003.** สืบค้นเมื่อ 5 เมษายน 2555, จาก http://118.175.21.24/wbi1/3.html

[33] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (8 มิถุนายน 2555). อัตราดอกเบี้ยประจำวันของธนาคารพาณิชย์ . **ธนาคารแห่งประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2555, http://www.bot.or.th/thai/statistics/financialmarkets/interestrate/_layouts/application/interest_rate/IN_Rate.aspx

[34] Joseph Kestin, Mordechai Sokolov and William A. Wakeam. (1978). **Viscosity of liquid water in the range -8°C to 150 °C.** 3(7), 941-948

[35] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar. (2007). **Heat and mass transfer.** 4th. Singapore.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายงานผลการวิเคราะห์

หน่วยห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะเกษตร ศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
โทร. (055)962750, (055) 962841 โทรสาร (055) 962750

ใบรายงานผลการวิเคราะห์

เลขที่วิเคราะห์ 3/2555
ชนิดของตัวอย่าง ดินจำนวน 3 ตัวอย่าง
ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง นางสาวจิราพร ตั้งใจ
วันที่ส่งตัวอย่าง 23 เมษายน 2555

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์			
	%Clay	%Sand	%Silt	Soil Texture
1 ต้น	65.92	20.08	14.00	Clay
2 กลาง	55.92	21.36	22.72	Clay
3 ท้าย(ติดตู้)	59.92	26.08	14.00	Clay

รวมอัตราค่าวิเคราะห์ทั้งสิ้น 300 บาท (สามร้อยบาทถ้วน)

ลงชื่อ.....ผู้วิเคราะห์
(นางสาวนฤมล สิงห์กวาง)
นักวิทยาศาสตร์

ลงชื่อ.....ผู้ตรวจ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภิรมย์ อ่อนเส็ง)
หัวหน้าภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
วันที่ 18 พ.ค. 2555

ภาพ 33 รายรายงานผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ภาคผนวก ข สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชไฮโดรโปนิกส์

ตาราง 10 แสดงสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชไฮโดรโปนิกส์

ชนิดแม่ปุ๋ย A	เปอร์เซ็นต์ธาตุ	ความเข้มข้น (ppm)	ผลรวมธาตุอาหาร (ppm)
แมกนีเซียมซัลเฟต	Mg 9.35%	46.75	N 101.4 + 15.6 + 151.5
	Mg 9.35%	65	รวม N = 268.5
โปแตสเซียมไนเทรต	N 13%	104	
	K 38.2%	305.6	รวม P = 56.724
โมโนแอมโมเนียม ฟอสเฟส	N 12%	15.6	K 297.96 + 28.23
	P 26.18%	34.034	รวม K = 326.19
โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟส	P 22.69%	22.69	
	K 28.23%	28.23	Ca 181.8
แมงกานีส	Mn 13%	1.04	S 65
จุลธาตุ			
B 2%	Cu 1.9%	0.2 (B)	
		0.19 (Cu)	
Zn 2%	Mo 0.023%	0.2 (Zn)	
		0.0023 (Mo)	
Mn 2%	Fe 1.8%	0.2 (Mn)	Mg 46.75 + 0.45 + 0.135
		0.18 (Fe)	
Mg 4.5%		0.45 (Mg)	รวม Mg = 47.335

ชนิดแม่ปุ๋ย B	เปอร์เซ็นต์ธาตุ	ความเข้มข้น (ppm)	ผลรวมธาตุอาหาร (ppm)
แคลเซียมไนเทรต	Ca 18%	181.8	Mn 1.04 + 0.2 + 0.06
	N 15%	151.5	รวม Mn = 1.3
ธาตุเหล็ก	Fe 13.2%	3.96	Fe 3.96 + 0.18 + 0.054
			รวม Fe = 4.194
จุลธาตุ			
B 2%	Cu 1.9%	0.06 (B)	B 0.2 + 0.06 = 0.26
		0.114 (Cu)	Cu 0.19 + 0.114 = 0.304
Zn 2%	Mo 0.023%	0.06 (Zn)	Zn 0.2 + 0.06 = 0.26
		0.00069 (Mo)	Mo 0.0023 + 0.00069 = 0.30699
Mn 2%	Fe 1.8%	0.06 (Mn)	
		0.054 (Fe)	
Mg 4.5%		0.135 (Mg)	

ที่มา: บจก.ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร กรุงเทพฯ

ภาคผนวก ค การคำนวณเพื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์

- **การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหาร**

จากระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่ศึกษาเป็นแบบ Nutrient film technique (NFT) ที่สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านระบบรากพืชอย่างต่อเนื่องและอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2 ลิตร/นาที

<u>กำหนด</u> ค่าความหนาแน่นของสารละลายธาตุอาหาร 1 g/cm^3
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารละลายธาตุอาหาร 4.184 kJ/kg°C
จากอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วง 2 ลิตร/นาที = 2,000 cm^3/min

จากสูตร

$$\rho = \frac{\dot{m}}{V} \tag{23}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V$$

$$= (1 \ \frac{g}{cm^3}) \cdot (2{,}000 \ \frac{cm^3}{min})$$

$$= 2{,}000 \ \frac{g}{min}$$

$$= 2 \ \frac{kg}{min}$$

จากอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ 2 kg/min เมื่อคิดเทียบที่เวลา 1วินาที (s) จะได้
$\frac{(1\,s) \times (2\,kg)}{60\,s} = 0.033$ kg/s
ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์เป็น 0.033 kg/s

- **การคำนวณปริมาณภาระความร้อนสูงสุดของระบบสารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์**

จากสมการ (4)

$$Q_{in} = \dot{m} C_p \Delta T$$

จะได้

$$Q_{in} = \dot{m} C_p (\Delta T_{hydro}) \quad (16)$$

$$Q_{in} = \dot{m} C_p (T_{out,\,hydro} - T_{in,\,hydro}) \quad (17)$$

$$Q_{in} = (0.033\ kg/s)(4.184\ kJ/kg°C)(40 - 28°C)$$

$$Q_{in} = 1,660\ W$$

ดังนั้น ปริมาณภาระความร้อนสูงสุดที่สารละลายธาตุอาหารในโรงเรือนไฮโดรโปนิกส์ได้รับเป็น 1,660 W

เมื่อ Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนที่สะสมในสารละลายธาตุอาหารของระบบไฮโดรโปนิกส์ (W)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์ (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารละลายธาตุอาหาร (kJ/kg°C)

$T_{out,\,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ออกจากระบบไฮโดรโปนิกส์ (°C)

$T_{in,\,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่เข้าสู่ระบบไฮโดรโปนิกส์ (อุณหภูมิที่ต้องการ) (°C)

- **การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิกส์โดยผ่านชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็น 2 ระบบ คือ การพาความร้อนของสารละลายธาตุอาหารในท่อที่ฝังใต้ผิวดินและการนำความร้อนของดิน โดยวางท่อในแนวระนาบกับพื้นดิน**

จากสมการ (5)

$$Q_{out} = AU\Delta T$$

จะได้

$$Q_{out} = AU(\Delta T_{model}) \quad (18)$$

$$Q_{out} = AU(T_w - T_\infty) \quad (19)$$

เมื่อ Q_{out} คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากสารละลายธาตุอาหารไปสู่ผิวดิน (W)

A คือ พื้นที่ผิวท่อของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่ต้องการออกแบบ (m^2)

$\cup$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2{}^oC$)

T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง (กำหนดค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่ๆ ผนังท่อ) (^oC)

T_∞ คือ อุณหภูมิใต้ผิวดิน (^oC)

- **การคำนวณค่าเรย์โนลดส์ (Reynolds number, Re) ของท่อทองแดงขนาดต่างๆ**

จากสมการ (8)

$$Re = \frac{D_i V}{\nu}$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดง (m)

V คือ ความเร็วของสารละลายธาตุอาหารในท่อ (m/s)

ν คือ ความหนืดไคนิเมติกส์ของสารละลายธาตุอาหารที่อุณหภูมิ 40^oC (m^2/s) [34]

ตาราง 11 แสดงผลการคำนวณค่าเรย์โนลดส์ของท่อทองแดงขนาดต่างๆ

Reynolds number; Re					
Outside diameter (m)		Inner Diameter (m)	v (m/s)	ν (m^2/s)	Re
3/8"	0.009525	0.008407	0.594731	0.658×10^{-6}	7,599.00
1/2"	0.012700	0.011430	0.321775	0.658×10^{-6}	5,589.49
5/8"	0.015875	0.014453	0.201258	0.658×10^{-6}	4,420.51
3/4"	0.019050	0.017526	0.136861	0.658×10^{-6}	3,645.32
7/8"	0.022225	0.020599	0.099068	0.658×10^{-6}	3,101.44

- **การคำนวณค่านัสเซลต์ (Nusselt number, Nu)**

จาก การคำนวณค่าเรย์โนลดส์แล้วพบว่าการไหลของสารละลายธาตุอาหารในท่อทองแดงมีค่ามากกว่า 2,300 ดังนั้นจึงจัดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ค่านัสเซลต์ (Nu) สามารถหาได้ดังนี้

จากสมการ (18)

$$Nu = 0.023\ Re^{0.8}Pr^{0.3}$$

เมื่อ Pr คือ ค่าพรันด์เทิล (Prandtl number) ที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ 40°C [35]

ตาราง 12 แสดงผลการคำนวณค่านัสเซลต์ของท่อทองแดงขนาดต่างๆ

Nusselt number; Nu					
Outside diameter (m)		Inner diameter (m)	Pr	Re	Nu
3/8"	0.009525	0.008407	4.334	7599.00	45.4360
1/2"	0.012700	0.011430	4.334	5589.49	35.5379
5/8"	0.015875	0.014453	4.334	4420.51	29.4559
3/4"	0.019050	0.017526	4.334	3645.32	25.2454
7/8"	0.022225	0.020599	4.334	3101.44	22.1843

➢ **การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (h_i)**

จากสมการ (13)

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i}$$

จะได้

$$h_{Soln} = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad (21)$$

เมื่อ Nu คือ ค่านัสเซลต์ (Nusselt number)

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของสารละลายธาตุอาหาร (W/m°C) [35]

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดง (m)

ตาราง 13 แสดงผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (h_{Soln})

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายใน (h_{Soln})					
Outside diameter (m)		Inner diameter (m)	Nu	k (W/m°C)	h_{Soln} (W/°C)
3/8"	0.009525	0.008407	45.4360	0.6328	3,419.8307
1/2"	0.012700	0.011430	35.5379	0.6328	1,967.4897
5/8"	0.015875	0.014453	29.4559	0.6328	1,289.7125
3/4"	0.019050	0.017526	25.2454	0.6328	911.52091
7/8"	0.022225	0.020599	22.1843	0.6328	681.48682

■ **การคำนวณพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม**

จากสมการ (22)

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{2\pi r_i L h_{Soln}} + \frac{\ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi L k_{Cu}} + \frac{\ln(\frac{r_{Soil}}{r_o})}{2\pi L k_{Soil}}}$$

เมื่อ r_i คือ รัศมีภายในท่อทองแดงขนาด (m)

r_o คือ รัศมีภายนอกท่อทองแดง (m)

r_{Soil} คือ ระยะห่างของท่อระบายความร้อน (m) [11]

h_{Soln} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ ($W/m^2°C$)

k_{Cu} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของท่อทองแดง (W/m°C)

k_{Soil} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของดิน (W/m°C)

L คือ ความยาวท่อระบายความร้อน (m)

ตาราง 14 แสดงผลการคำนวณพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของท่อทองแดงขนาดต่างๆ

พื้นที่การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม								
Outside diameter	r_o (m)	r_i (m)	r_{Soil} (m)	h_{Soln} (W/m^2)	k_{Cu} (W/m°C)	k_{Soil} (W/m°C)	L (m)	UA (W/°C)
3/8"	0.0047625	0.0042037	0.0630	3419.8307380	386	0.90	64.80	**138.46**
1/2"	0.0063500	0.0057150	0.0833	1967.4897364	386	0.90	64.80	**137.98**
5/8"	0.0079375	0.0072263	0.1036	1289.7125348	386	0.90	64.80	**137.39**
3/4"	0.0095250	0.0087630	0.1250	911.5209127	386	0.90	64.80	**136.29**
7/8"	0.0111125	0.0102997	0.1450	681.4868228	386	0.90	64.80	**135.80**

จากสมการ (19)

$$Q_{out} = AU(T_w - T_\infty)$$

$$Q_{out} = (138.46\ W/°C)(40 - 28°C)$$

$$Q_{out} = 1{,}661.46\ W$$

และจากสมการ (6)

$$\dot{m}C_p(\Delta T_{hydro}) = AU(\Delta T_{model})$$

$$1{,}660\ W \approx 1{,}661.46\ W$$

ภาคผนวก ง

สรุปโครงการ “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”

สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการ “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”

ใน วันพุธที่ 26 เดือน ธันวาคม 2555

โดย วิทยาลัยพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประจำปี 2555

โครงการ : “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มี
การติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”
ใน วันพุธที่ 26 เดือน ธันวาคม 2555
ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

---

1. **ชื่อโครงการ** การถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยีการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน
2. **หน่วยงาน/ชื่อ** วิทยาลัยพลังงานทดแทน
   ผู้รับผิดชอบ ดร.สหัถยา ทองสาร
3. **หลักการและเหตุผล**

จังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือตอนล่างหรือภาคกลางตอนบนของประเทศไทย มีประชากรทั้งสิ้น 849,692 คน (สำรวจเมื่อ ปีพ.ศ. 2553) ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยเฉพาะการทำนา ซึ่งถือเป็นอาชีพหลักและเป็นรายได้ส่วนใหญ่ของเกษตรกร หากในช่วงปีใดเกิดสภาวะฝนแล้ง น้ำท่วม หรือเกิดปัญหาด้านราคาข้าว เกษตรกรเหล่านี้ย่อมได้รับผลกระทบโดยตรง ดังเช่นกรณีการเกิดสภาวะฝนแล้งและน้ำท่วมในปี พ.ศ.2553 หรือจะเป็นสถานการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในขณะนี้ ปี พ.ศ. 2554 ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ทำการเกษตรกรรม เช่น การทำนา การเพาะปลูกพืชไร่ พืชสวน ของเกษตรกรที่มีพื้นที่ตั้งอยู่ในบริเวณเขตประสบภัยพิบัติเป็นอย่างยิ่ง ชาวบ้านกลุ่มพัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพหลักคือการทำเกษตรกรรมการทำนา และมีอาชีพเสริม คือ การเลี้ยงปลา และการปลูกผักแบบดั้งเดิม เช่น กุยช่าย กระเพรา ถั่วฝักยาว เป็นต้น การปลูกผักที่ชาวบ้านทำโดยส่วนใหญ่จะเป็นการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม คือ การใช้ดินเพาะปลูกโดยอาศัยความรู้ในการทำการเกษตรแบบดั้งเดิมทำให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่ในปริมาณต่ำ บางครั้งมีการใช้สารเคมีเข้าช่วยในการกำจัดศัตรูพืช ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อตัวเกษตรกรและผู้บริโภค

การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์จึงเป็นทางเลือกที่ชาวบ้านให้ความสนใจ เนื่องจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูกได้ ใช้พื้นที่ในการปลูกน้อยแต่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ในการเพาะปลูกสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ สามารถปลูกพืชได้ทุกพื้นไม่ว่าจะเป็นการปลูกในบริเวณรอบบ้าน เช่น หลังบ้าน หรือในสวน การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์สามารถปลูกได้ต่อเนื่องตลอดปี เพราะไม่ต้องทำการพักดิน ตากดิน กำจัดวัชพืช และยังเป็นการลดค่าแรงงานในกิจกรรมต่างๆ อีกทั้งพืชไฮโดรโปนิกส์ยังมีราคาสูงกว่าการปลูกพืชผักแบบทั่วไป กระบวนการ ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์จะใช้น้ำเป็นตัวพาสารอาหารต่างๆ (สารละลายธาตุอาหาร) และออกซิเจนไปเลี้ยงรากพืช แต่ปัญหาที่พบจากระบบการปลูกพืชแบบนี้โดยเฉพาะในประเทศแถบเขตร้อนอย่างประเทศไทย คือ การสะสม ความร้อน ของ สารละลายธาตุอาหาร ในช่วงเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิสูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ไม่ควรเกิน 35°C) มีผลทำให้การละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารลดลงและไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อีกทั้งอุณหภูมิสูงจะเป็นสภาวะ ที่ทำให้เกิดโรค พืชได้ง่าย อุณหภูมิของ สารละลายธาตุอาหาร ที่เพิ่มขึ้นมีนี้จะมีผลในการเร่งกระบวน การทางเคมีต่างๆ ในพืช กระบวน การเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ถ้าอุณหภูมิของ สารละลายธาตุอาหารสูง หรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในพืชลดหรือหยุดลง ซึ่งถ้ามาถึงจุดนี้พืชจะอยู่ในสภาวะเครียดหยุดการเจริญเติบโต และอาจตายได้ในที่สุด

การลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีการนี้ ซึ่งการลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารโดยการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนด้วยการระบายความร้อนลงใต้ผิวดินจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจ เพราะเป็นการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารจากพลังงานที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติโดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า จึงถือได้ว่าการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนเป็นการนำพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

4. ผู้รับผิดชอบโครงการ

4.1 ดร.สหัถยา ทองสาร

4.2 นางสาวจิราพร ตั้งใจ

5. วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้แก่ชาวบ้านกลุ่ม พัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโล ก สำหรับเป็นกลุ่มคนต้นแบบในการถ่ายทอดองค์ความรู้ขยายผลสู่ชุมชนใกล้เคียงต่อไป

6. กลุ่มเป้าหมาย

ชาวบ้านกลุ่ม พัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวนไม่น้อยกว่า 15 คน

7. ระยะเวลาดำเนินโครงการ

วันพุธที่ 26 ธันวาคม 2555

8. สถานที่ดำเนินโครงการ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ชาวบ้านกลุ่ม พัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโล ก สามารถปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ได้ผลผลิตที่ดีแม้ว่าจะทำการเพาะปลูกในฤดูร้อนที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย และชาวบ้านจะมีแนวทางในการประกอบอาชีพเพิ่มขึ้น

10. ตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการ

ตัวชี้วัดเชิงปริมาณ

จำนวนชาวบ้านกลุ่ม พัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง หมู่ที่ 10 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ไม่น้อยกว่า 15 คน

ตัวชี้วัดเชิงคุณภาพ

1. แบบประเมินความพึงพอใจ อยู่ในเกณฑ์มาก โดยมีค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.51

เกณฑ์การแปลความหมาย

ค่าเฉลี่ย	4.51 – 5.00	แปลความหมายว่า	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.51 – 4.50	แปลความหมายว่า	มาก
ค่าเฉลี่ย	2.51 – 3.50	แปลความหมายว่า	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.51 – 2.50	แปลความหมายว่า	น้อย
ค่าเฉลี่ย	1.00 – 1.50	แปลความหมายว่า	น้อยที่สุด

2. แบบทดสอบก่อนการอบรม โดยใช้แบบทดสอบแบบปรนัยจำนวน 10 ข้อ และแบบทดสอบหลังการอบรม โดยใช้แบบทดสอบแบบปรนัยจำนวน 10 ข้อ เพื่อประเมินความเข้าใจ โดยรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของจำนวนข้อที่ตอบถูก

กำหนดการ
โครงการ “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์
ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”

วันพุธที่ 26 เดือน ธันวาคม 2555
ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

9:00 – 9:30 น. ลงทะเบียน

9:30 – 9:40 น. กล่าวรายงานโครงการ “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดร โปนิกส์ ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”
โดย ดร.สหัถยา ทองสาร
หัวหน้าโครงการ

9:40 – 9:50 น. กล่าวเปิดโครงการ “การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดร โปนิกส์ ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน”
โดย ดร.สุขฤดี สุขใจ
ผู้อำนวยการวิทยาลัยพลังงานทดแทน หรือตัวแทน

9:50 – 10:15 น. แนะนำวิทยาลัยพลังงานทดแทน
โดย ดร.สหัถยา ทองสาร
หัวหน้าโครงการ

10:15 – 11:15 น. อบรมการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิว ดิน (ภาคบรรยาย)

11:15 – 12:00 น. อบรมการปลูก พืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิว ดิน (ภาคปฏิบัติ)

12:00 – 13:00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

13:00 – 14:30 น. อบรมการปลูก พืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิว ดิน (ภาคปฏิบัติต่อ)

14:30 – 15:30 น. เดินชมสวนพลังงานทดแทน เพื่อศึกษาแหล่งเรียนรู้ต่างๆ เช่น การผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas), เตาเผาประสิทธิภาพสูง (Gasification), การเผาถ่านคุณภาพสูง และการประยุกต์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เช่น เครื่องทำน้ำ

ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ , เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบผลิต
ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น

15:45 น. ปิดโครงการ

สรุปผลการประเมินโครงการ

โครงการ“ การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน” มีชาวบ้านเข้าร่วมโครงการจำนวน 15 คน ประกอบไปด้วยตัวแทนชาวบ้านหมู่ 1, หมู่ 4, หมู่ 8 และหมู่ 10 (ชาวบ้านกลุ่ม พัฒนาเลี้ยงปลาบ้านหนองจอก ตามโครงการพระราชดำริ เศรษฐกิจพอเพียงชุมชนพึ่งตนเอง) ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโล ก จากผลการดำเนินงานพบว่าชาวบ้านให้ความสนใจและให้ความร่วมมือในการรับฟังการบรรยายถ่ายทอดความรู้รวมถึงในขั้นตอนของการลงมือปฏิบัติที่ได้จัดเตรียมขึ้นไว้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สรุปผลความพึงพอใจของโครงการฯ จากแบบประเมินความพึงพอใจ

ในการประเมินความพึงพอใจของโครงการฯ มีผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด 15 คน เป็นเพศชาย จำนวน 12 คน และเพศหญิง จำนวน 3 คน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของโครงการฯ

หัวข้อ	ระดับความคิดเห็น (%)					ค่าเฉลี่ย	ระดับ
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
1. รูปแบบและกิจกรรมของโครงการฯ	53.3	46.7	0.0	0.0	0.0	4.53	มากที่สุด
2. ความพอใจของท่านต่อการดำเนินการของผู้จัดโครงการ	73.3	26.7	0.0	0.0	0.0	4.73	มากที่สุด
3. ความพอใจของท่านต่อวิทยากรที่มาจัดโครงการ	66.7	33.3	0.0	0.0	0.0	4.67	มากที่สุด
4. ความพร้อมของวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ในการจัดกิจกรรม	66.7	33.3	0.0	0.0	0.0	4.67	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมของระยะเวลาในการจัดกิจกรรม	46.7	26.7	20.0	6.7	0.0	4.13	มาก
6. อาหารและเครื่องดื่ม	60.0	33.3	6.7	0.0	0.0	4.53	มากที่สุด
7. การแสดงออกของผู้จัดในระหว่างการจัดกิจกรรม เช่น กิริยามารยาท การพูด การตอบข้อซักถาม การแต่งกายเป็นต้น	60.0	40.0	0.0	0.0	0.0	4.60	มากที่สุด
8. ความสำเร็จ/ประโยชน์ที่ได้รับจากกิจกรรมต่างๆ ที่จัดขึ้น	46.7	40.0	13.3	0.0	0.0	4.33	มาก
9. ผู้เข้าร่วมโครงการฯสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ได้	40.0	46.7	6.7	6.7	0.0	4.20	มาก
โดยภาพรวม						**4.49**	**มากที่สุด**

จากตาราง 15 พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินความพึงพอใจจากโครงการ “ การถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ” โดยภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.49 และความพอใจของท่านต่อวิทยากรที่มาจัดโครงการ ฯ มีความพึงพอใจ

มากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.73 รองลงมาคือ ความพอใจของท่านต่อวิทยากรที่มาจัดโครงการ และความพร้อมของวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ในการจัดกิจกรรม ที่ค่าเฉลี่ย 4.67 และความพึงพอใจน้อยที่สุด คือ ความเหมาะสมของระยะเวลาในการจัดกิจกรรม

2. สรุปผลเพื่อประเมินความเข้าใจจากแบบทดสอบก่อนและหลังการอบรม

การทำแบบทดสอบก่อนและหลังการอบรม โดยใช้แบบทดสอบแบบปรนัยจำนวนอย่างละ 10 ข้อ มีผู้ตอบทำแบบทดสอบทั้งหมด 15 คน ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ตาราง 16 แสดงผลการประเมินความเข้าใจจากแบบทดสอบก่อนและหลังการอบรมฯ

ลำดับ	รายชื่อ	ผลการทดสอบ				ผลต่าง (%)
		ก่อนเข้ารับการอบรมฯ		หลังเข้ารับการอบรมฯ		
		คะแนนเต็มสิบ	%	คะแนนเต็มสิบ	%	
1	นายจุ่น สายคำแต่ง	6	60	7	70	+10
2	นายกำพล อยู่เย็น	5	50	8	80	+30
3	นายสงคราม นาคท่าโพธิ์	5	50	2	20	-30
4	นายตูม วงค์สวรรค์	3	30	9	90	+60
5	นายเชื้อ โตผันปี	0	0	8	80	+80
6	นายนงนุช	7	70	7	70	0
7	นายลำพูน ทับหุ่น	3	30	6	60	+30
8	นายอนุรักษ์ โพธิ์ราชา	9	90	10	100	+10
9	นายประทุม สุขดี	4	40	8	80	+40
10	นางเจียร พรมส้มซ่า	9	90	10	100	+10
11	นางดวงฤดี โพธิ์ทอง	10	100	10	100	0
12	นางนงค์ น้อยแสง	8	80	8	80	0
13	นายรังสรรค์ สุวรรณศรี	6	60	9	90	+30
14	นายสมถพ ขวัญเงิน	5	50	10	10	-40
15	นายสำเริง พูลทวี	1	10	10	10	+90
โดยภาพรวม		**ทำได้ 54%**		**ทำได้ 69.3%**		**+15.3**

จากตาราง 16 พบว่า ผลการประเมินการทำแบบทดสอบก่อนการอบรมมีผู้สามารถตอบแบบทดสอบได้โดยภาพรวม อยู่ที่ 54% โดยมีผู้ที่ไม่ตอบแบบทดสอบได้เลย จำนวน 1 คน แต่เมื่อเข้ารับการอบรมแล้ว

พบว่าผู้เข้าร่วมรับการอบรมสามารถตอบแบบทดสอบได้เพิ่มขึ้น 15.3% โดยมีผู้ที่สามารถตอบแบบทดสอบได้คะแนนเต็ม จำนวน 5 คน และโดยภาพรวมพบว่าหลังผ่านการอบรมผู้เข้าร่วมการอบรมสามารถตอบแบบสอบถามได้ 69.3% แสดงให้เห็นว่าผู้ที่ผ่านการอบรมในโครงการ “การถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยีการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน ” มีความรู้ความเข้าใจเทคโนโลยีดังกล่าวเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ควรเพิ่มเวลาการจัดอบรมเพื่อให้ได้ความรู้มากขึ้น
2. ควรขยายผลของโตรางการสู่ชุมชนอย่างต่อเนื่อง

ภาคผนวก จ

การนำเสนองานวิจัยตามตัวชี้วัด

Department of Alternative Energy Development and Efficiency
MINISTRY OF ENERGY

คำหนดการและบทความ

การประชุมสัมมนาวิชาการ พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5

The 5th Thailand Renewable Energy For Community Conference

TREC-5

18 - 20 ธันวาคม 2555

จัดโดย สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน(แห่งประเทศไทย)
ณ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

adiCET

17.00 – 17.20	MT006
	การทำนายค่าแรงกระทำต่อใบพัดกังหันลมโดยการเชื่อมโยงระหว่างพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณกับแบบจำลองโครงสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์
	สุรศักดิ์ แสนทรัพย์ชุบ กิตติชัย โสพันนา และ เทพกร ลีลาเต็ม
	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
15.20 – 16.20	**สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน(CE)**
15.20 – 15.40	CE001
	ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก
	บุษรารัตน์ พันธุรินทร์ ประพิธาร์ ธนาจักษ์ และ จารุวรรณ แดงบุบผา
	มหาวิทยาลัยนเรศวร
15.40 – 16.00	CE002
	การวิเคราะห์สมรรถภาพแวดล้อมและศักยภาพชุมชนต้นแบบหลังจากสึนามิ
	วุฒิสาครศร์ โชคเกื้อ ลบุสรณ์ แสงประจักษ์ ปริชา ศรีประภาตาร และณัฐชิดา สมพงศ์
	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
16.00 – 16.20	CE003
	เครื่องผลิตน้ำกลั่นแบบผสมผสานระหว่างพลังงานจุฬชัยนิมิตร์ ดันโพธิ์ รุ่งเพชร ก่องบก และรุ่งเรือง ใจใฝ่ธรรม
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

วันพุธที่ 19 ธันวาคม 2555	
08.00 – 09.00	ลงทะเบียน
09.00 – 10.00	[illegible]
10.00 – 10.20	รับประทานอาหารว่าง
10.20 – 12.00	**ไฟฟ้าชุมชน 2 (CP)**
10.20 – 10.40	CP007
	การทดสอบประสิทธิภาพเชื่อมต่อไฟฟ้า[illegible]
	ชาตรี จินดลอ วิรชัย โรยนริมพร์ และเสรา อินทร์ไทโส่
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
10.40 – 11.00	CP008
	การวิเคราะห์ด้านเทคนิคการใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับเกษตรกรในเขตพื้นที่ห่างไกล
	โสรรัตน์ ประทิ
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
	กฤษณ์ชนม์ ภูมิศิริพิชญ์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.00 – 11.20	CP009
	การศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าจากจุดพักของระบบการจราจรด้วยเทคโนโลยีซิกบี
	บัญญัติ นิยมวาส และ เสรี ทองชุม
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
11.20 – 11.40	CP010
	การศึกษาการสับเปลี่ยนไฟฟ้าในระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำ
	บัณฑิต เสรีวกิจ วิรชัย โรยนริมพร์ และเสรา อินทร์ไทโส่
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.40 – 12.00	CP011
	การวิเคราะห์เสถียรภาพและชั่วคราวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อขนานกับระบบไฟฟ้า[illegible]
	วชิรา เชยวลัย์ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิศิริพิชญ์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

10.20 – 11.20	ความร้อนชุมชน 2 (C1)
10.20 – 10.40	C1005
	การออกแบบชุดควบคุมความร้อนให้กับตัวเก็บสำหรับระบบไฮบริดโซลาร์
	อดิศยา ทองสาร ศราวุฒิ วัชวุฒิ
	สมชาย เมืองจันต์สวัสดิ์ และ จิราพร ตั้งใจ
	มหาวิทยาลัยบูรพา
10.40 – 11.00	C1007
	การประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนสำหรับการพักอาศัยขนาดเล็ก
	อนุสรณ์ แสงประจักษ์ ภาคภร บุญชม
	ภัทรวุฒิ อวิจงษ์ ธีรพงษ์ ทุหธีกิจวิจงส์
	วุฒิศาสตร์ โยคเกื้อ และปริชาสรี ประสาสาร
	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
11.00 – 11.20	C1008
	ฟิล์มไฟเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเม็ดสีไวแสงที่ใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดเป็นสารไวแสง
	ปริชา ศรีสุวรรณ บัณฑิต กฤตลาญ และ
	สมภพ ลือหงส์พิมาย
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
10.20 – 12.00	การประหยัดพลังงาน 2 (EC)
10.20 – 10.40	EC007
	ระบบตรวจวัดกำหนดตำแหน่งโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
	อำนวย เมืองงาม พงษ์ศักดิ์ ดำนา
	และ ปิติคานต์ กล้ำมาตร
	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
10.40 – 11.00	EC008
	การพัฒนาอุปกรณ์การให้ไฟฟ้าสถานีประชาชนและประยุกต์ใช้งานในชุมชนห่างไกลความ
	แบบมีส่วนร่วม
	วัชณุ บัวเทศ และ วสันต์ เทพรพินุช
	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
11.00 – 11.20	EC009
	ระบบควบคุมและจัดเก็บข้อมูลจากโซลาร์เซลล์
	อนุรักษ์พลังงาน
	อำนวย เมืองงาม ชัชชัย ต่อสกุล และ
	วารุณี เปรมานนท์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
11.20 – 11.40	EC010
	แนวคิดและทางเลือกในการลดการปล่อยคาร์บอนในอุตสาหกรรมเหล็กไทย
	ชัชชัยชัย ชนโช และ พุรมา แย้มอาสโต
	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
11.40 – 12.00	EC011
	การคำนวณหาค่าความต้านทานของพื้นดินแบบสี่จุดออกเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณโดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ของโหล
	สมพงษ์ ห้าแก้วหมอแปง ภิติพง
	บุญฤทธิ์ ปันดาส์ และ บารมี ช่างศรี
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ วิทยาเขตบางพระ
13.00 – 15.00	ไฟฟ้าชุมชน 3 (CP)
13.00 – 13.20	CP012
	การออกแบบเครื่องให้อากาศในน้ำด้วยใบพัดกังหันน้ำชนิดพลังงานแสงอาทิตย์
	วัชณุ์ ทองอ่อน ประสงค์ ทองขัย และองอาจ แดดไหม่
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
13.20 – 13.40	CP013
	การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยใช้เทคนิคการเหลื่อมกันของสัญญาณพัลส์กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
	วีระชาติ ขัดทิม
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
13.40 – 14.00	CP014
	การวิเคราะห์ลักษณะและลักษณะทางพลังงานของระบบปั๊มสูบน้ำเข็นไฮบริดโซล่าร์
	วสันต์ รินยะมล ทวงทอง ดังโพนทอง
	แม้ญาณี พุทธปู่ และทองพ่วยงค์ มีชะนิสัยโรจน์
	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
14.00 – 14.20	CP015
	การพัฒนาระบบไฮบริดโซล่าร์
	รัฐพร เงินมีศรี ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์
	ดรงฤทธิ์ แย้มศิริ และ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด
	มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญ

บทความ		หน้า
กลุ่มที่ 2 ความร้อนชุมชน (CT)		
CT001	การผลิตน้ำด้วยระบบเหลังลาเทอร์ไมอิเล็กทริกสำหรับใช้งานในเวลากลางวัน *อุดรณา ทองทัน*	134
CT002	การเปรียบเทียบแบบจำลองการอบแห้งระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายจลศาสตร์การอบแห้ง *ปฏิวัติ วรานิตร ปัณฑิต กฤตาคม ปิยพัฒน์ ประยูรยง อำไพพิมพ์ พันธุมา โยธิน ลิมสร้าง*	143
CT003	ผลกระทบของยูเรียในแวนเกาต่อการเผาของหัวเผาไมโครแก๊สแพร่ไร้เปลว *ศิวะ จันทร์เอี่ยม ธนพล ชูจิตร์จารุนนท์ พิชิฐ องอาจพิชัยวงศ์ บุญชัย โรจนตระกูล*	153
CT004	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย *ภัทรพล ทิพย์สุนา ปัณฑูร เรืองมูล ศิรินุช จันตาวัฒน์*	161
CT005	หัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็ดและชนิดแผ่นที่ใช้เบอร์พีบีเป็นเชื้อเพลิง *ศาสตรา บุญมาก สมเกษ ล้อหงส์พัฒนะ ปัณฑิต กฤตาคม*	167
CT006	การลดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ผิวดินสำหรับระบายความร้อนโดยใช้น้ำ *สหัชญา ของสาร ศราวุธ วัชรวุฒิ สมชาย เจียวิทย์ศรัสดิ์ จิรายุ ตั้งโน*	176
CT007	การประยุกต์ใช้แผงสลิดไฟฟ้าและความร้อนร่วมเพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก *อนุสรณ์ แสงประจักษ์ ภาคภร บุญชม ภัทรวุฒิ ธวัชชัย อิรพงษ์ ทุมสีภูถาวรชัย วุฒิชาชาติ โชคเกื้อ ปรัชชาชัย ประมาคม*	185
CT008	หัวพ่นไฟแก๊สแบบวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น *ปริชา ศรีสุวรรณ ปัณฑิต กฤตาคม สมเกษ ล้อหงส์พัฒนะ*	195

แบบประเมินข้อเสนองานวิจัย

ผู้วิจัย : สริตรา ทองสาร์ ศรายุทธ วิรัญญู และนาย เวียงวิทย์ชัยสิทธิ์ จิราพร ครั้งก่า
ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) : ชานยอกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิกส์
ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ ถ้ามี) : Underground thermal dissipation for a hydroponic system
ท่านเข้าท่านเชี่ยวชาญงานวิจัยโดยตรงหรือไม่ ให้ประเมินและแสดงข้อคิดเห็นดังนี้

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับคุณภาพที่ท่านพิจารณาตามเกณฑ์

5 หมายถึง มีระดับคุณภาพ ดีมาก
4 หมายถึง มีระดับคุณภาพ ดี
3 หมายถึง มีระดับคุณภาพ พอใช้
2 หมายถึง มีระดับคุณภาพ ควรปรับปรุง
1 หมายถึง มีระดับคุณภาพ น้อยมาก
0 หมายถึง มีระดับคุณภาพ ไม่มีข้อมูล

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ						สังเคราะห์
	5	4	3	2	1	0	
บทคัดย่อให้ความชัดเจนและครอบคลุมเนื้อหา	✓						
ชื่อเรื่องวิจัยมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์และเนื้อหางานวิจัย		✓					
ความถูกต้องของข้อมูล วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์การดำเนินงาน		✓					
ความชัดเจนของขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย		✓					
ความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย		✓					
ความเหมาะสมและน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล		✓					
ความถูกต้องและชัดเจนในการอภิปรายผลการวิจัย ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ		✓					
ความเหมาะสมและทันสมัยของเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงข้อมูล			✓				
คุณค่าของงานวิจัยและประโยชน์ที่ได้รับ การสร้างองค์ความรู้เครื่องวิจัยรายใหม่ ไม่มีเนื้อหาซ้ำกับงานวิจัยที่มีอยู่แล้ว		✓					
ความถูกต้องเรียบร้อย ความถูกต้องและความสม่ำเสมอของการใช้ภาษา การเรียงลำดับหัวข้อและประเด็นเนื้อหา การจัดรูปแบบ และการอ้างอิง		✓					
รวมคะแนน (50)	40						

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

สรุปผลการประเมิน

☑ ผ่าน โดยไม่ต้องแก้ไข

☐ ผ่าน โดยแก้ไขตามที่ได้ระบุ .....

.....

.....

☐ ไม่ผ่าน เนื่องจาก .....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....) ตำแหน่ง

...21 / 10 / 2563... วันที่ประเมิน