

การออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ A design of underground heat dissipation for a hydroponic system

สัทธยา ทองสาร^{*} ศรายุทธ วิทยุฒิ สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ จิราพร ตั้งใจ
วิทยาลัยพลังงานทดแทน คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
โทร 0-5596-3180 E-mail: Sahatayal@nu.ac.th, Longnumhug@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดต้นแบบระบบระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ ผลจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของสารละลายธาตุอาหารในช่วงเวลากลางวันของเดือนเมษายน พ.ศ. 2555 มีค่าประมาณ 40°C เมื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินพบว่าต้องใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาวทั้งหมด 64.80 เมตร โดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 10 ท่อ ระยะห่างระหว่างท่อ 6.30 เซนติเมตร และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ 2 ลิตร/นาที่ ซึ่งผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนดังกล่าวพบว่า สามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารได้ร้อยละ 70 ทั้งนี้เพื่อให้อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 28-30°C

คำสำคัญ: การระบายความร้อนใต้ผิวดิน, การลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร, ไฮโดรโปนิคส์

1. บทนำ

การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ หรือการปลูกพืชในสารละลายเป็นเทคนิคการปลูกพืชรูปแบบหนึ่งของการปลูก พืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูกได้ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่ในการเพาะปลูกสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ สามารถปลูกได้ต่อเนื่องตลอดปี ปัจจุบันธุรกิจพืชไฮโดรโปนิคส์เติบโตอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลของ ผศ.ดร.ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ [1] รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่การผลิตพืชไฮโดรโปนิคส์ประมาณ 800 ไร่ มีผลผลิตพืชไฮโดรโปนิคส์รวมประมาณ 30 ตัน/วัน แนวโน้มในอนาคต สำหรับธุรกิจนี้ในประเทศไทย สามารถดำเนินไปได้อีกไกล เนื่องจากความพร้อมในด้านเทคโนโลยี ผู้เชี่ยวชาญ มีตลาดรองรับ และจำนวนผู้ผลิตที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวจากกระแสของการเอาใจใส่ในเรื่องการบริโภคผักและอาหารเพื่อสุขภาพเมื่อ 4-5 ปีที่ผ่านมาจึงส่งผลให้มีผู้บริโภคเพิ่มขึ้น

กระบวนการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์จะใช้น้ำเป็นตัวพาสารอาหารต่างๆ (สารละลายธาตุอาหาร) และออกซิเจนไปเลี้ยงรากพืช แต่ปัญหาที่พบจากระบบการปลูกพืชแบบนี้โดยเฉพาะในประเทศไทยคือ การสะสมความร้อนของสารละลายธาตุอาหารในช่วงเวลากลางวันทำให้อุณหภูมิสูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ไม่ควรเกิน 35 °C) มีผลทำให้การละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารลดลง และไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อีกทั้งอุณหภูมิสูงจะเป็นสภาวะ ที่ทำให้เกิดโรค พืชได้ง่าย อุณหภูมิของ สารละลายธาตุอาหาร ที่เพิ่มขึ้นนี้ จะมีผลในการเร่งกระบวนการทางเคมีต่างๆ ในพืช กระบวนการเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยเอนไซม์ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ถ้าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในพืชลดหรือหยุดลง ซึ่งถ้ามาถึงจุดนี้พืชจะอยู่ในสภาวะเครียดหยุดการเจริญเติบโต และอาจตายได้ในที่สุด

การลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นยิ่งสำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีกรีนเฮาส์ ซึ่งการลดอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนด้วยการระบายความร้อนลงใต้ผิวดินจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจ เพราะเป็นการลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารจากพลังงานที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติโดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า จึงถือได้ว่าการใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนเป็นการนำพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของอุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินมีความสำคัญในการกำหนดอัตรา และทิศทางของการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพในดิน ผิวดินเป็นจุดที่มีความสำคัญที่สุดในเรื่องอุณหภูมิเพราะที่ผิวดินเป็นรอยต่อระหว่างดินกับชั้นบรรยากาศ ที่มีการถ่ายเทกลับไปกลับมาของพลังงานความร้อนระหว่างภายในชั้นหน้าดินและชั้นบรรยากาศ การถ่ายเทพลังงานเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิของดินภายในชั้นหน้าดินสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาได้ พลังงานที่ผิวดินได้รับรังสีแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แล้วมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินมีค่าสูงขึ้น พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ที่ผิวดินจะถูกเคลื่อนย้ายลงไปในชั้นหน้าตัดดินซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในชั้นหน้าตัดดินสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันเวลากลางคืนผิวดินไม่ได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มเติม แต่พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ภายในชั้นหน้าตัดดินในเวลากลางคืน จะมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายในชั้นหน้าตัดดินสู่บรรยากาศ จึงมีผลให้อุณหภูมิในชั้นหน้าตัดดินในช่วงเวลากลางคืนลดลง [2] ซึ่งในแต่ละวันขณะที่อุณหภูมิอากาศมีค่าความแปรปรวนที่สูงโดยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศแต่อุณหภูมิดินจะมีการแปรปรวนที่น้อยกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยความแปรปรวนของอุณหภูมิจะลดลงตามความลึกของดิน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างวัน (Diurnal swing) มีผลกับอุณหภูมิที่ความลึกเพียง 0.6 เมตรเท่านั้น ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างฤดูกาล (Seasonal swing) จะมีผลต่ออุณหภูมิที่อยู่ลึกลงไปหลายเมตร [3]

จากผลการรายงานของวัชรฯ เพิ่มชาติ [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวดูดซับความร้อนที่ระบายทิ้งจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ โดยขั้นตอนแรกได้ศึกษาถึงสภาพการเก็บความร้อนของดินที่กรุงเทพฯ ตลอดทั้งปี พบว่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 1 เมตรเป็นต้นไป จะค่อนข้างคงที่ในรอบวัน และอุณหภูมิดินเฉลี่ยตลอดทั้งปี มีค่าอยู่ระหว่าง 27-29 °C จากนั้นจึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าอุณหภูมิดิน ซึ่งผลการทำนายให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริง ในขั้นตอนที่สองได้ทำการดัดแปลงคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศให้สามารถระบายความร้อนทิ้งลงสู่ดินได้ โดยการฝังคอยล์ร้อนที่ทำด้วยท่อทองแดงยาว 67 เมตร ลงในดินที่ความลึก 1.1 เมตร แทนการใช้พัดลมระบายอากาศที่คอยล์ร้อน วัดค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient of performance, COP) และปริมาณการใช้ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบเดิม พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบใหม่ มีค่า COP เฉลี่ยระหว่าง 2.8 ในเวลากลางวัน ถึง 3.1 ในเวลากลางคืน โดยขณะทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบใหม่นี้ อุณหภูมิดินบริเวณใกล้กับท่อคอยล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก และการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบใหม่ลดลง 13.47% เนื่องจากไม่ได้ใช้พัดลมระบายอากาศที่คอยล์ร้อน และการใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ลดลง แสดงให้เห็นว่าดินมีความสามารถดูดซับความร้อนที่ระบายทิ้งได้ดี ซึ่งฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ [5] ได้ศึกษาการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายอุณหภูมิดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยมีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และอาศัยสมการสมดุลพลังงานซึ่งมีพื้นฐานจากกลไกการถ่ายเทความร้อนเป็นสมการควบคุม และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิท้องฟ้า และอัตราเร็วลมสำหรับเป็นอินพุตของเงื่อนไขสภาพอากาศ รวมทั้งอาศัยสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของดินในการจำลองแบบพบว่าอุณหภูมิดินที่เป็นดินเหนียวในจังหวัดพัทลุงมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระดับความลึก 0-0.5 เมตร และที่ระดับความลึกมากกว่า 0.5 เมตร อุณหภูมิดินมีค่าคงที่ ผลจากแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ดินเป็นแหล่งระบายความร้อนทิ้งให้กับอุปกรณ์ทางด้านความร้อน และจากการรายงานของ ฉกาจ ดำรงเกียรติ [6] กล่าวว่าดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ คือ ประมาณ 27-29 °C และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดปีค่อนข้างน้อย จึงพบแนวคิดทางทฤษฎีเกี่ยวกับออกแบบเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยให้อากาศภายนอกไหลผ่านท่อใต้ดินก่อนเข้าสู่อาคารเพื่อให้อากาศเย็นลง นอกจากนี้

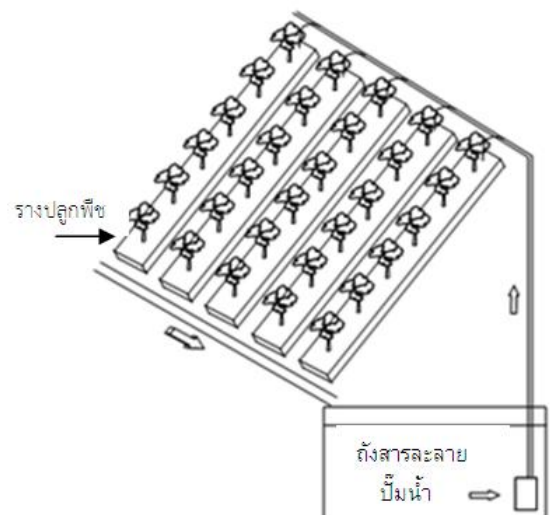
พจน์ ดวงสินทวีกุล [7], ธนรัชน์ ลิ้มปศุฒถาวร [3] และ วีระวุฒิ อรุณวรรณนะ [8] ได้กล่าวว่าในขณะที่อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงแตกต่างกันมากตลอดทั้งวัน แต่อุณหภูมิใต้ดินที่ระดับความลึก 1.10 เมตร ค่อนข้างคงที่ที่ระดับ 28-29 °C และการนำอากาศผ่านระดับความลึกดังกล่าวก่อนนำมาใช้ภายในอาคาร จะทำให้อุณหภูมิอากาศเย็นลงเนื่องจากการถ่ายเทแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับดิน

2.2 กระบวนการส่งผ่านความร้อนของดิน (Heat transfer processes)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวดินอาจเกิดจากกระบวนการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน และการนำความร้อน แต่กระบวนการเหล่านี้จะไม่มีผลต่ออุณหภูมิชั้นหน้าตัดดินมากนัก กระบวนการที่มีความสำคัญและมีบทบาทมากในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นหน้าตัดดิน คือ กระบวนการนำความร้อน กระบวนการนำความร้อนเป็นกระบวนการที่สำคัญในการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน แต่การที่ดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจากเดิมเล็กน้อยเพียงไรขึ้นกับความแตกต่างอุณหภูมิภายในชั้นหน้าตัดดินเอง และยังขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนของดิน และความสามารถของดินที่จะยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ ความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity of soil) และความจุความร้อนของดิน (Thermal heat capacity of soil) สำหรับความสามารถในการนำความร้อนของดิน จะกำหนดความสามารถของดินในการนำความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนความจุความร้อนจะทำหน้าที่ในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จากรายงานของเบญจวรรณ เลิศวิจิตรจรัส [9] ได้ศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิดินที่แต่ละระดับความลึก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งในการศึกษาได้ทำการสร้างแท่นวัดค่าสภาพการนำความร้อนและทดสอบอุณหภูมิของดินเหนียว จากการศึกษาพบว่าสามารถวัดค่าสภาพการนำความร้อนของดินเหนียวได้ 0.844 W/m°C ซึ่งนฤฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ [5] ได้ศึกษาการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายอุณหภูมิดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทยเช่นกัน โดยสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการรันโปรแกรมมีค่าสภาพการนำความร้อน 0.9 W/m°C และค่าความจุความร้อนจำเพาะ 2200 J/kg°C นอกจากนี้ Xinguo Li [10] ได้นำทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนเชิงมวลของดินมาใช้ศึกษาถึงแหล่งสะสมความร้อนใต้ดินโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเคลื่อนที่ของความชื้นในดิน ชนิดหรือประเภทของดิน และคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ซึ่งสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวที่นำมาใช้ในการคำนวณมีค่าสภาพการนำความร้อน 0.9 W/m°C และค่าความจุความร้อนจำเพาะ 2200 J/kg°C

2.3 การปลูกพืชในระบบ Nutrient film technique (NFT)

การปลูกพืชในสารละลายระบบ Nutrient film technique (NFT) เป็นการปลูกพืชโดยให้ระบบรากพืชแช่อยู่ในสารละลายอาหารโดยตรง ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ สารละลายธาตุอาหารพืชจะไหลผ่านระบบรากพืชลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราไหลอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/นาที่ โดยที่รากพืชจะได้รับสารอาหารและออกซิเจนที่ช่วยในการหายใจของพืชโดยตรงอย่างเต็มที่ การไหลเวียนของน้ำจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสมสำหรับปลูกพืชกินใบได้หลายชนิด เช่น ผักสลัดพันธุ์ต่างประเทศ อย่างเช่น Green oak, Red oak, Red coral และผักของไทย เช่น คะน้า, กวางตุ้ง, ผักบุ้ง, คีนฉ่าย



รูปที่ 1 การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ในระบบ Nutrient film technique (NFT) [11]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์

วัดค่าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยเก็บข้อมูลในช่วงเดือนที่มีสภาวะอากาศที่ส่งผลให้อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารสูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย [12] เพื่อหาปริมาณการความร้อนสะสมของระบบสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งจะนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนทำการออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์

3.2 การออกแบบและทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์

3.2.1 การออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ พิจารณาภายใต้เงื่อนไข :

1. ระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ที่ศึกษาเป็นแบบ Nutrient film technique (NFT) อัตราไหลของสารละลายอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/นาที่
2. งานวิจัยนี้ใช้น้ำเป็นตัวแทนของสารละลายธาตุอาหารสำหรับการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ เนื่องจากอัตราส่วนสำหรับการผสมสารละลายธาตุอาหารคือ สารละลายธาตุอาหารเข้มข้น 1 ส่วนต่อน้ำ 200 ส่วน และต้องปรับค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายธาตุอาหารหลังผสมอยู่ในช่วง 6-6.5 ซึ่งเป็นค่ากรดต่างที่ใกล้เคียงน้ำปกติที่ประมาณ 7
3. พิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนของของไหลในท่อด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ และกระบวนการถ่ายเทความร้อนใต้ผิวดินเกิดจากการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว
4. การนำความร้อนในดินเป็นแบบ 1 มิติ ตามแนวรัศมี (Radial) ในแนวระนาบของดิน
5. กำหนดค่าความดันสม่ำเสมอทุกๆ ภาคตัดขวาง
6. กำหนดค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่ ณ ที่ผนังท่อ
7. คุณสมบัติของของไหลมีค่าคงที่ตลอดการไหล
8. ดินเป็นเนื้อเดียวกันหมด แห่ง ไม่มีสิ่งปกคลุมและไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในดิน
9. สมบัติทางกายภาพของดินเป็นอิสระต่ออุณหภูมิ
10. วัสดุสำหรับสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ คือ ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว หรือ 0.0095 เมตร
11. ระดับความลึกของผิวดินที่ใช้ในการฝังชุดระบายความร้อน 1.10 เมตร
12. พืชที่ใช้ปลูกเพื่อทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินคือ ผักบุ้งจีน

จากกฎการทรงพลังงานที่กล่าวไว้ว่า “พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้” แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้ “พลังงานมีค่าคงที่เสมอ” ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบรวมกับพลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ (Q_{in}) จะเท่ากับพลังงานความร้อนที่ออกจากระบบรวมกับพลังงานความร้อนที่สูญเสีย (Q_{out}) จะได้ [13]

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (1)$$

ดังนั้นปริมาณการความร้อนสูงสุดของระบบสารละลายธาตุอาหารภายในโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์จะเท่ากับปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกจากระบบสารละลายธาตุอาหารของโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์

$$m C_p(T_{out,hydro}-T_{in,hydro}) = AU(T_w-T_\infty) \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิิกส์ (kg/s)
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารละลายธาตุอาหาร (kJ/kg°C)
 $T_{out,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่ออกจากระบบไฮโดรโปนิิกส์ (°C)
 $T_{in,hydro}$ คือ อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่เข้าสู่ระบบไฮโดรโปนิิกส์ (°C)
 A คือ พื้นที่ผิวต่อการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน (m²)
 U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m²°C)
 T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง (°C)
 T_∞ คือ อุณหภูมิใต้ผิวดิน (°C)

แต่การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับการนำความร้อนและการพาความร้อนในลักษณะตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน $Q = hA\Delta T$ โดยจะแทนค่า h ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคือ U และจากระบบที่เป็นทรงกระบอกประกอบด้วยชั้นวัสดุชั้นเดียวที่มีการพาความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านในโดยมีของไหลไหลผ่าน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านชั้นความหนาของท่อโดยการนำความร้อนดังนั้นจะได้สมการ

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{2\pi r_i L h_{Soln}} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi L k_{Cu}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{Soil}}{r_o}\right)}{2\pi L k_{Soil}}} \quad (3)$$

เมื่อ r_i คือ รัศมีภายในท่อทองแดง (m)
 r_o คือ รัศมีภายนอกท่อทองแดง (m)
 r_{Soil} คือ ระยะห่างของท่อระบายความร้อน = 0.063 m [3]
 h_{Soln} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ (W/m²°C)
 k_{Cu} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของท่อทองแดง (W/m°C)
 k_{Soil} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของดิน (W/m°C)
 L คือ ความยาวท่อระบายความร้อน (m)

ซึ่งการหาค่าการพาความร้อนของสารละลายธาตุอาหาร (h_{Soln}) สามารถหาได้จาก

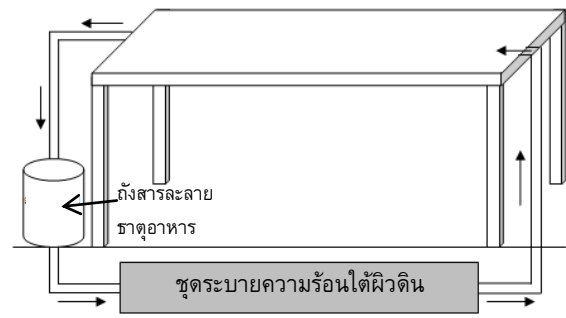
$$h_{Soln} = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad (4)$$

โดยที่
$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (5)$$

เมื่อ Nu คือ ค่านัสเซลต์ (Nusselt number)
 Re คือ เลขเรย์โนลด์ส์ (Reynold number)
 Pr คือ เลขพรันด์เทิล (Prandtl number)
 k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของสารละลายธาตุอาหารที่ 40 °C = 0.6328 W/m°C
 D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดง (m)



รูปที่ 2 การติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์

3.2.2 การทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์

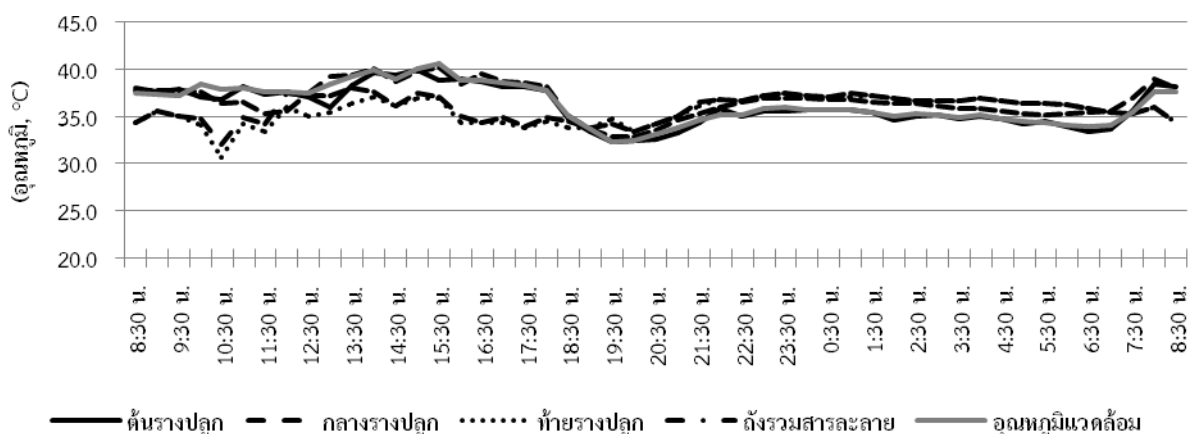
การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน กำหนดตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไหลเข้าสู่ชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน โดยเริ่มตั้งแต่ 32-48°C และวัดค่าอุณหภูมิขาเข้าและออกของสารละลายธาตุอาหารเมื่อผ่านชุดระบายความร้อน โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type T เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร และใช้อุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูล



รูปที่ 4 ถังควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อน

4. ผลการวิจัย และอภิปรายผล

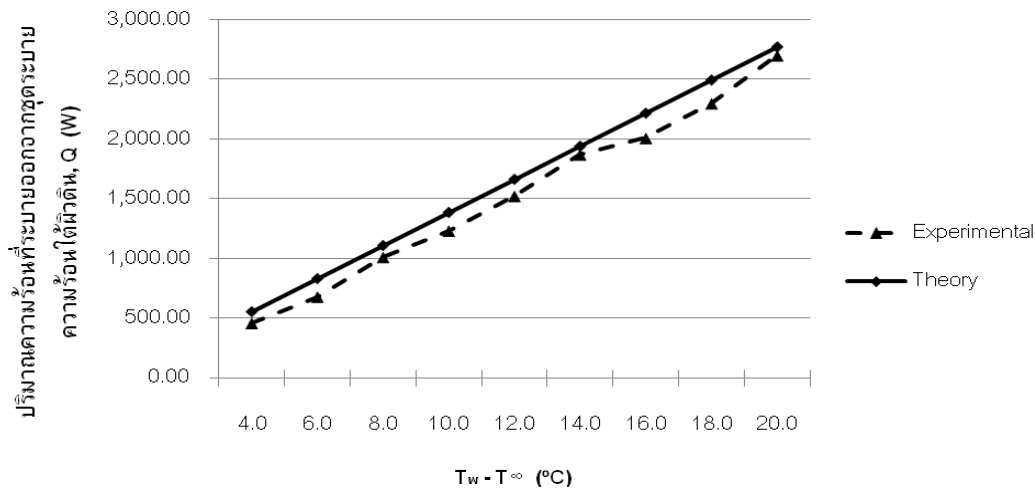
4.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์



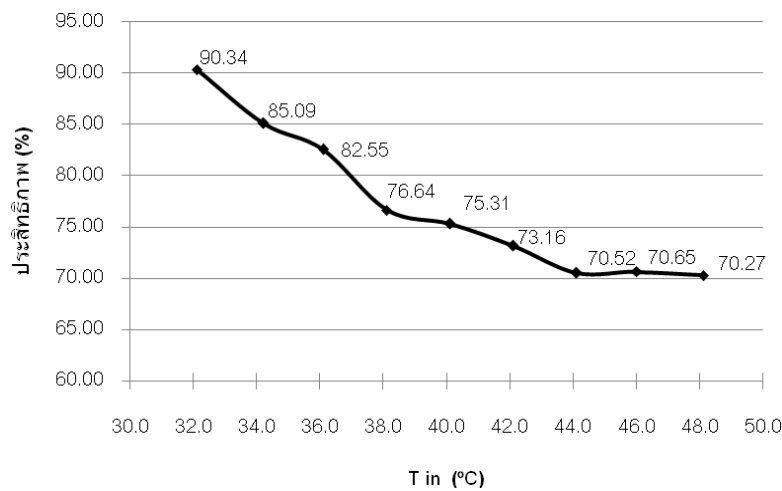
รูปที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน

จากการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิเบื้องต้นของสารละลายธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุอาหารที่ตำแหน่งต้นรากปลูก กลางรากปลูก และท้ายรากปลูก เป็น 36.1, 36.8, 35.6 °C ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายธาตุในถังสารละลายเป็น 35.9°C และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อม 36.3°C แต่จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิสูงที่สุดจากการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ทั้ง 7 วัน อยู่ที่ประมาณ 40°C ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณการระเหยความร้อนสะสมสูงที่สุดของระบบสารละลายธาตุอาหารจึงเลือกใช้ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ 40°C มาคำนวณเพื่อออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์

4.2 ผลการทดสอบการหาประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์



รูปที่ 6 ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายออกจากชุดระบายความร้อนใต้ดิน



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน

ผลการทดสอบการทำงานของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดิน พบว่าปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ถูกถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนไปสู่ผิวดินได้ จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารของชุดระบายความร้อนดังกล่าว จะมีค่าลดลงจนถึงที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารขาเข้าสู่ชุดระบายความร้อนที่ 44 °C หรือที่ปริมาณความร้อนสะสม 2,007.53 W ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อนไปสู่ผิวดินจะเริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าดินสามารถรับการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุดที่ปริมาณความร้อนสะสม 2,007.53 W หรือที่

อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเข้าสู่ชุดระบายความร้อนที่ 44 °C ดังนั้นเมื่อพิจารณากระบวนการของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินทั้งระบบพบว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารอยู่ที่ร้อยละ 70

จากผลการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินที่อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารเข้าสู่ชุดระบายความร้อนที่ 40 °C พบว่าปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารถูกถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนเพียง 1,522.95 W ซึ่งน้อยกว่าปริมาณความร้อนสะสมที่ต้องถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ 1,661.46 W หรือคิดเป็นร้อยละ 8.33 และปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่ถูกถ่ายเทออกจากชุดระบายความร้อนจากการทดลองมีค่าน้อยกว่าที่ได้ออกแบบและคำนวณไว้ โดยเฉลี่ยร้อยละ 9.68 แสดงดังรูปที่ 7

5. สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์เพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 28-30°C พบว่าต้องใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาวทั้งหมด 64.80 เมตร โดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 10 ท่อ ระยะห่างระหว่างท่อ 6.30 เซนติเมตร และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ 2 ลิตร/นาที นำผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดระบายความร้อนมาเปรียบเทียบกับผลการออกแบบ ณ ที่อุณหภูมิเข้าสู่ชุดระบายความร้อน 40°C หรือที่ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชุดระบายความร้อน 1,661.46 W พบว่าปริมาณความร้อนขาออกจากชุดระบายความร้อนที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าปริมาณความร้อนขาออกที่ได้จากการออกแบบร้อยละ 8.33 และประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุดของชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินอยู่ที่ร้อยละ 70

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่าย การวิจัยภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดา [นามแฝง]. สรุปสัมมนาการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่งานพืชสวนโลก. Hydrowork The Hydroponics (DRFT) System Center. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2554, จาก http://www.higreenfarm.com/hydrowork/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- [2] ยงยุทธ โอสดสภา, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถดิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชัยสิทธิ์ ทองจุ. (2541). ปฏิวัติวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] ธนรัชต์ ลิ้มปดุงถาวร . (2545). ประสิทธิภาพของการทำความเย็นด้วยท่อใต้ดินในการออกแบบอาคารพักอาศัยในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น :กรณีศึกษา บ้านพักอาศัย จ.ชัยภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] วัชรระ เพิ่มชาติ . (2541). การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินเป็นตัวระบายความร้อนทั้งของเครื่องปรับอากาศในประเทศไทย . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] นฤฤทธิ์ กล่อมพงษ์, จอมภพ แวศักดิ์ และกรวิกา ก้องกุล. (2552). การจำลองแบบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนในดินโดยระเบียบวิธีผลต่างอันดับแบบชัดแจ้ง . วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 12(2)(กรกฎาคม – ธันวาคม), 2552.
- [6] ฉกาจ ดำรงค์เกียรติ . (2553). ประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่ออากาศฝังดิน กรณีศึกษา : หอสมุดเฉลิมราชกุมารี วัดจันเสน จังหวัดนครสวรรค์ . การนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- [7] สุพจน์ ดวงสินทวีกุล.(2537). การทำความเย็นให้กับอาคารด้วยระบบท่อใต้ดิน . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] วีระวุฒิ อรุณวรรณะ.การปรับอากาศภายในอาคารที่อยู่อาศัยโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนใต้ดินสำหรับฤดูร้อนในประเทศไทย. วารสารเทคโนโลยีสูรนารี, 12,(4) (ต.ค.-ธ.ค. 2548) : 332-342.
- [9] เบญจวรรณ เลิศวิจิตรจรัส. (2547). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [10] 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.
- [11] อานัฐ ดันโช. (2548). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เชียงใหม่: พิมพ์ที่ Trio Advertising&Media Co.,Ltd.
- [12] ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. สถิติอุณหภูมิสูงสุดในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ระหว่าง พ.ศ. 2494 – 2553. สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2555,
http://www.weather.go.th/programs/uploads/tempstat/max_stat_latest.pdf
- [13] ศิริรัตน์ กาญจนวชิรกุล. (2552). การผลิตน้ำร้อนด้วยความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.