

การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบอัตโนมัติ

Salt Separation by Automation Control System

อุกฤษฏ์ ธรรมะ¹ นราธิป แสงชัย¹ ภาวิธ จันทสร¹ และอรรถสิทธิ์ วงศ์เจริญ^{1*}
Ukrit Thamma¹, Naratip Sangsai¹, Pawat Jantasorn¹ and Athasit Wongcharoen^{1*}

¹เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Corresponding author: athasit.w@cit.kmutnb.ac.th

Received: July 25, 2023

Revised: September 8, 2023

Accepted: September 14, 2023

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการนำน้ำทะเลมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เป็นเกลือออกมานั้น ต้องใช้วิธีการต่าง ๆ หลายกระบวนการ ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีในการลดต้นทุนการแยกน้ำและเกลือของน้ำทะเลออกจากกันโดยใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบและสร้างระบบการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ ใช้หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกและอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเก็บข้อมูลต่าง ๆ โดยมี 4 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรก คือ ประกอบโครงสร้างและอุปกรณ์ทั้งหมด ขั้นที่สอง คือ เริ่มการใช้โปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์และเปิดการใช้งานอุปกรณ์ทั้งหมด ขั้นตอนที่สาม คือ วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลแต่ละการทดลอง ขั้นตอนที่สี่ คือ คำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการผลิตเกลือและสรุปผล ส่วนสำคัญคืออัลตราโซนิกฟอกเกอร์จะสร้างหมอกโดยการสั่นของคลื่นความถี่สูงบริเวณพื้นผิวน้ำจนทำให้น้ำกลายเป็นหมอกที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอน ส่วนเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำหน้าที่ในการสร้างเกลือโดยด้านร้อนทำหน้าที่ในการระเหยหมอกที่มีเกลือปนอยู่ให้กลายเป็นเกลือ ส่วนด้านเย็นจะทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ได้จากด้านร้อนให้เป็นน้ำ จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ปริมาณน้ำที่หายไปและอุณหภูมิที่ด้านร้อนมีความใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดอนุภาคของหมอกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตเกลือ ซึ่งทำให้ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. มีความร้อนเกิดที่อัตราสูงสุดเกิดประสิทธิภาพการระเหยเกลือได้สูงที่สุด

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก อัลตราโซนิกฟอกเกอร์ การแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบการทำนาเกลือ

Abstract

At present, the process of transforming seawater into salt employs a range of diverse methods and techniques. Researchers have introduced an approach aimed at cost reduction in the separation of water and salt from seawater, leveraging contemporary technologies. The primary goal of this investigation is to examine the design and implementation of an automated control system for separating salt from seawater, grounded in the principles of thermoelectricity coupled with ultrasonic technology. Data collection by the researchers unfolded in four main phases. Initially, the complete structure and equipment are assembled. Next, software programs are written to gather data from various sensors. The subsequent step involved data analysis in order to compare experimental results. Finally, the researchers computed the efficiency percentage of salt production and summarized their findings. Key components of this process include the ultrasonic vibration generator, which generates micron-sized water droplets through high-frequency vibrations on the water surface, resulting in smaller mist particles measuring less than 5 microns. Simultaneously, the thermoelectric component is responsible for producing salt by heating the mist containing salt impurities, while the cold side condenses the steam from the hot side back into water. In experiments conducted with water layer thicknesses of 3 cm, 4 cm, and 5 cm, it was observed that the volume of lost water and the temperature of the hot side were similar. However, the particle size of the mist varied, impacting the efficiency of salt production. Consequently, the 5 cm water layer exhibited the highest temperature on the hot side, leading to the greatest effectiveness in salt water evaporation.

Keywords: Thermoelectric, Ultrasonic fogger, Heat exchange, Salt farming system



บทนำ

ในปัจจุบันการนำน้ำทะเลมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เป็นเกลือและน้ำบริสุทธิ์ออกมานั้น ต้องใช้วิธีการต่าง ๆ หลายกระบวนการ เช่น การทำรีเวิร์สออสโมซิส (Cerci, 2002) การทำระบบกลั่นด้วยอัลตราโซนิก (Hosseingholiloua, Banakara & Mostafaeib, 2019) การทำระบบกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Shatat, Worall & Riffat, 2013) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกและระบบแยกเกลือโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการ (Aberuee, Baniasadi & Ziaei-Rad, 2017) สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะสนใจในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลเพื่อการทำนาเกลือ โดยการทำนาเกลือต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ใช้แรงงานคนและมีต้นทุนสูง (Moossa, Trivedi, Saleem & Javaid Zaidi, 2022) สภาพอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญ

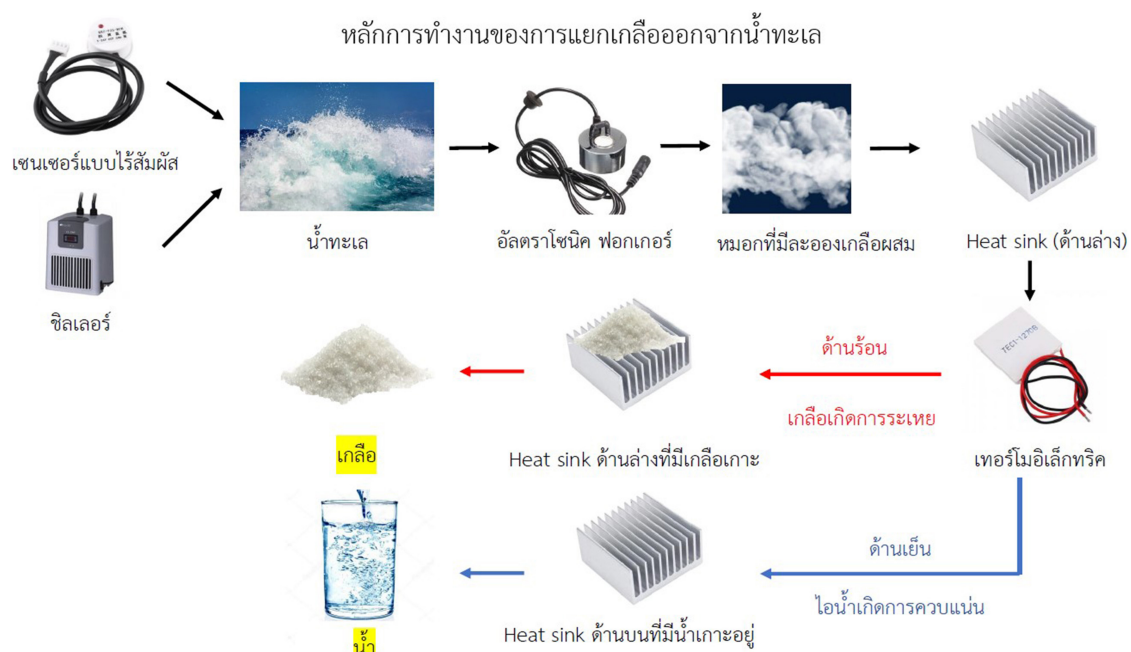
ต่อปริมาณผลผลิต คุณภาพและราคา (El-Dessouky & Ettouney, 2002) นอกจากนี้การทำนาเกลียวยังส่งผลต่อทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง แม้สถานการณ์การผลิตเกลือจะมีแนวโน้มลดลง แต่ในหลายพื้นที่ของจังหวัดที่ติดชายฝั่งทะเลยังคงมีการทำนาเกลืออย่างต่อเนื่อง การทำนาเกลือเป็นการใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งทะเลรูปแบบหนึ่งที่เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเล เช่น การขยายพื้นที่ทำนาเกลือรุกเข้าไปยังพื้นที่ของป่าชายเลน ส่งผลให้พื้นที่ของป่าชายเลนลดลง นอกจากนี้การทำนาเกลียวยังส่งผลทำให้ดินกลายสภาพเป็นดินเค็ม ส่งผลทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม และไม่สามารถนำดินมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีในการลดต้นทุนการแยกน้ำและเกลือของน้ำทะเลออกจากกันโดยใช้

เทคโนโลยีสมัยใหม่มาปรับใช้ (Ahmadi, Khanmohammadi, Musharavati & Afrand, 2020) อีกทั้งยังมีผู้ที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและได้ทดลองออกมาก่อนหน้านี้ คือ นวัตกรรมการทำนาเกลือด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและอัลตราโซนิก ในระบบปิด โดยจะใช้หลักการของเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) เพื่อสร้างความต่างของอุณหภูมิของ ทั้ง 2 ด้านจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป (Miller, Hendricks & Peterson, 2009) และอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ (Ultrasonic Fogger) เทคโนโลยีการเปลี่ยนน้ำให้กลายเป็น ไอ โดยใช้หลักการเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ทำให้น้ำกลายเป็นไอ ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน จนได้ผลผลิตเกลือที่แยกตัวออกมาจากน้ำทะเลโดยหลักการดังกล่าวได้นำไปจดอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 21754 (Athasit & Ukrit, 2023) ซึ่งการทดลองเป็นเพียงการเริ่มต้น ยังมีข้อผิดพลาดหลายจุด ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำการทดลองนี้มาทำการศึกษาและทดลองมาปรับปรุงเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นและยังเป็นการต่อยอดเพื่อให้เกิดความรู้ และเป็นตัวอย่างให้กับผู้ที่สนใจที่อยากจะทำงานวิจัยที่คล้ายกันนำไปทดลองต่อเพื่อลดข้อผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด

จากการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้กล่าวถึงปัญหาไว้มากมายที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้สรุปปัญหาที่เกิดขึ้นและคิดว่าควรนำมาแก้ไขต่อ ได้แก่ การแก้ปัญหาทำให้น้ำทะเลนั้นคงระดับเท่าเดิม ในระหว่างการทำปฏิกิริยากับอัลตราโซนิกฟอกเกอร์เนื่องจากการสร้างอนุภาค

หมอกจากน้ำโดยใช้อัลตราโซนิกฟอกเกอร์นั้นจะทำให้ปริมาณน้ำเกิดการลดลงได้ การแก้ปัญหาหลมตกลับจากภายในท่อลำเลียงละอองเกลือที่มาจากหมอกดังกล่าวข้างต้น แก้ไขโดยการออกแบบโครงสร้างระบบท่อใหม่ การแก้ปัญหาการควบคุมอุณหภูมิให้น้ำทะเลให้คงที่ระหว่างการทำปฏิกิริยากับอัลตราโซนิกฟอกเกอร์นั้นเนื่องจากการสร้างอนุภาคหมอกจากน้ำโดยอัลตราโซนิกฟอกเกอร์นั้นจะทำให้อุณหภูมิของน้ำนั้นร้อนขึ้นได้ซึ่งส่งผลเสียต่อการทำงานในระบบการผลิตเกลือได้ แก้ไขโดยการใช้อุปกรณ์ปรับควบคุมอุณหภูมิทำให้อุณหภูมิ น้ำทะเลคงที่ และปัญหาการควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกควบคุมการกรองเกลือที่ได้จากการผลิตโดยใช้แผงระบายความร้อน (heat sink) ที่ผู้วิจัยทำก่อนหน้านั้นระบายอากาศของเทอร์โมอิเล็กทริกและกรองเกลือได้ไม่ดีพอ แก้ไขโดยการเปลี่ยนโครงสร้างใหม่แทน ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น จะทำให้ระบบการผลิตเกลือของนวัตกรรมการทำนาเกลือด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและอัลตราโซนิกในระบบปิดนั้นมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น โดยหลักการทำงานของการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ดังภาพ 1 มีการควบคุมระบบให้คงที่มากยิ่งขึ้นโดยผ่านการควบคุมแบบอัตโนมัติสามารถนำไปต่อยอดการทำเกลือที่มาจากน้ำทะเลได้ นำเอาระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการศึกษาเพื่อให้ระบบการผลิตเกลือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพ 1 หลักการทำงานของระบบแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบอัตโนมัติ

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานจะต้องเริ่มจากกรอบแนวคิดของงานวิจัย การออกแบบระบบต่าง ๆ ของงานวิจัย และการดำเนินงานในด้านต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงาน ดังนี้

1 แนวคิดในการออกแบบการทำงาน

เนื่องจากผู้วิจัยได้เห็นว่าการทำงานานาเกลือต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ใช้แรงงานในการทำงาน ใช้ต้นทุนต่าง ๆ และยังมีสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงต้องการสร้างนวัตกรรมชุดจำลองแบบใหม่สำหรับอุตสาหกรรมเกลือ เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ของการทำงานานาเกลือในปัจจุบันและยังเป็นทางเลือกใหม่ในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจึงนำมาศึกษา ซึ่งทางผู้วิจัยจะอธิบายขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและการทดลองดังภาพ 2

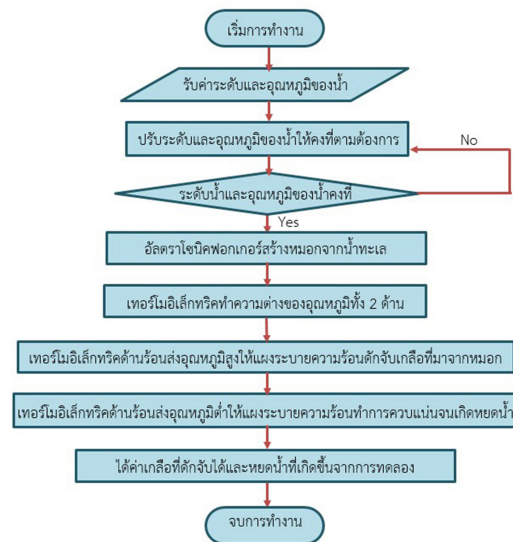
2 การกำหนดขอบเขตการทำงาน

ผู้วิจัยจะแสดงวิธีการออกแบบในด้านต่าง ๆ ของงานวิจัยนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีการออกแบบ ดังนี้

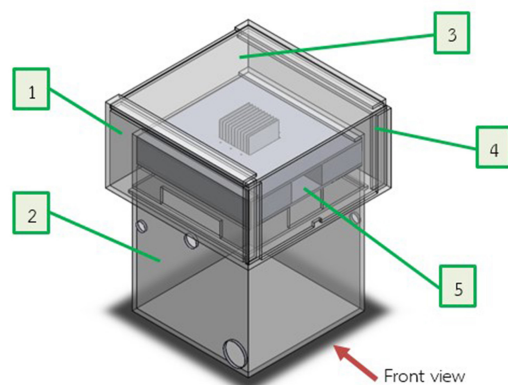
2.1 การออกแบบโครงสร้างของงาน

โครงสร้างของนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติจะเน้นไปที่การออกแบบขนาดที่ไม่ใหญ่มาก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ในส่วนของตัวชิ้นงานทั้งหมดนั้นจะใช้แผ่นวัสดุประเภทพลาสติกอะคริลิก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีลักษณะที่ใส มองเห็นการทำงานได้ชัด โดยผู้วิจัยจะบรรจุน้ำทะเลไว้ภายในกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสพร้อมทั้งอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ ที่จะใช้ในการทำงานในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ด้านข้างกล่องจะมีการเจาะรูเพื่อเป็นรูทางเข้าของสวิตช์กลอยที่ใช้ในการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ และมีการทำช่องเพื่อเป็นที่ระบายหมอกมายังโซนฝาครอบด้านบนกล่องที่ครอบแผงระบายความร้อนฝั่งเย็นเพื่อทำการควบแน่นน้ำที่ฝั่งเย็น ส่วนของฝาปิดกล่องด้านในใช้เพื่อทำเป็นระบบปิดภายในระบบ ในฝาจะประกอบ

ด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แผงระบายความร้อนฝั่งเย็น ประกอบด้านบนและโคมโลหะประกอบด้านล่าง ประกอบอยู่ด้วยกัน และจะมีการออกแบบให้แผงระบายความร้อนด้านบนของฝามีพื้นผิวที่เฉียงลงเพื่อเป็นการระบายน้ำที่มาจากการควบแน่นลงสู่กล่องเก็บน้ำด้านล่างข้างอีกด้วย



ภาพ 2 ตัวอย่างของโฟลว์ชาร์ตการทำงาน



ภาพ 3 การออกแบบโครงสร้างของกล่อง

จากภาพ 3 หมายเลข 1 คือ ฝาครอบปิดกล่อง ทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 19x19 ซม. สูง 10 ซม. ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิด้านเย็นให้ควมน้ำให้ดีขึ้น หมายเลข 2 คือ ส่วนของกล่องทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. สูง 20 ซม. ทำหน้าที่เก็บน้ำในการทดลองพร้อมใส่อัลตราโซนิกฟ็อกเกอร์และฐานท่อพีวีซี (PVC) ไว้ภายใน โดยมีรูด้านข้างกล่องต่าง ๆ ได้แก่ รูด้านซ้ายกล่องจะมี 3 รู รูดึงน้ำออกเพื่อไปปรับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ รูสายไฟของอัลตราโซนิกฟ็อกเกอร์ และรูท่อระบายน้ำทั้ง ส่วนอีก 2 รูด้านขวาของกล่องเป็นรูเติมน้ำที่มาจากเครื่องปรับอุณหภูมิและรูเติมน้ำเพื่อปรับระดับน้ำภายในให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีช่องอีก 2 ช่อง ได้แก่ ช่องระบายหมอก 2 ช่องทำหน้าที่ระบายหมอกที่ลอยขึ้นมาจากการทำงานของอัลตราโซนิกฟ็อกเกอร์ไปยังบริเวณฝาครอบด้านบนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกฝั่งเย็นไม่ให้เย็นจนเกินไป และอีกช่องเป็นช่องลอดของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน หมายเลข 3 คือ แผ่นสไลด์อะคริลิกด้านบน มีขนาดประมาณ 18.5x18.5 ซม.หนา 3 มม. ทำหน้าที่ปิดฝาครอบให้เป็นระบบปิด สะดวกในการทดลองแต่ละครั้ง หมายเลข 4 คือ แผ่นสไลด์อะคริลิกด้านหน้า มีขนาดกว้าง 9 ซม. และยาว 18.5 ซม. หนา 3 มม. ทำหน้าที่ปิดฝาครอบให้เป็นระบบปิด และสะดวกในการทดลองแต่ละครั้ง จะมีรูขนาดเล็กเพื่อเป็นช่องสำหรับสายไฟของเทอร์โมอิเล็กทริก และสายไฟของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD รุ่น PT100 ทั้ง 3 ตัว หมายเลข 5 คือ ฝาปิดแบบสไลด์ทำจากอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. หนาประมาณ 3 ซม. ทำหน้าที่ปิดการทำงานภายในให้เป็นระบบปิด ภายในฝาดจะมีช่องที่เก็บแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนทั้ง 2 ฝั่งอยู่ตรงกลาง ช่องมีขนาดกว้างและยาว 4x4 ซม. ซึ่งเท่ากับขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนทั้ง 2 ฝั่งพอดี โดยระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนจะมีกาวซิลิโคนระบายความร้อนทำหน้าที่เชื่อมและยึดไม่ให้หลุดออกจากกัน และยังมีรูด้านหน้าของฝาดำเนินการตัดไว้เพื่อเป็นทางออกของสายไฟของเทอร์โมอิเล็กทริก และสายไฟของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD ทั้ง 3 ตัว นอกจากนี้ยังมีรูขนาดเล็กอีก 6 รูอยู่ใกล้ ๆ ช่องเก็บแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนทำหน้าที่เป็นรูใส่สไลด์เพื่อทำการยึดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนให้อยู่ตัวติดกับแผ่นฝาดีกด้วย

2.2 การออกแบบระบบการใช้พลังงาน

ในการออกแบบและการเลือกใช้ระบบพลังงาน ความร้อน จะอาศัยหลักการเดียวกับการทำนาเกลือรูปแบบการต้มให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ โดยจะเหลือแต่เกลือที่ตกผลึกอยู่ ซึ่งหลักการนี้สามารถแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 3 ส่วน ได้ ดังนี้

(1) เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) มาจากการนำคำสองคำมารวมกันได้แก่ เทอร์มอล (Thermal) และ อิเล็กทริกซิตี (Electricity) หรือ ความร้อน + อุณหภูมิ ส่วนองค์ประกอบภายนอก คือ เซรามิกสีขาว ขนาดเท่ากันสองด้านต่อกับสายไฟ 2 เส้น ขั้วบวกและขั้วลบ (Khanmohammadi, Saadat-Targhi, Ahmed & Afrand, 2020) องค์ประกอบด้านในนั้นทำมาจากสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น (P-N Type) วัสดุที่ใช้ในเทอร์โมอิเล็กทริก คือ บิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth Telluride) เทอร์โมอิเล็กทริก หรือ TEC เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ (Saadat-Targhi & Khanmohammadi, 2019) และในทางกลับกันก็ยังสามารถเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน (Demir & Dincer, 2017) โดยลักษณะการทำงานที่ใช้ในการทดลอง คือ เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแผ่นที่สามารถสร้างความเย็นได้ที่ด้านหนึ่ง (Seyed, Mohammad, Milad, Soroush, Fathollah, Lingen, Mohammad & Ravinder, 2019) และปล่อยความร้อนออกมาที่อีกด้านหนึ่ง ซึ่งด้านร้อนจะเป็นด้านที่ทำให้หมอกเกลือเกิดการตกผลึก ส่วนด้านเย็นจะเป็นด้านที่ทำให้เกิดการควบแน่นของน้ำ ตามภาพ 4



ภาพ 4 เทอร์โมอิเล็กทริก 12 VDC 6 A (Windsolargadget, 2016)

(2) แผงระบายความร้อนหรือฮีตซิงก์ (Heat Sink) ใช้แผงระบายความร้อนจำนวน 2 ชิ้นเพื่อประกบด้านบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ชิ้นและประกบด้านล่างแผ่นอีก 1 ชิ้น โดยมีขนาด 4x4 ซม. และสูงประมาณ 3.5 ซม. ทั้ง 2 ชิ้น

(3) กาวซิลิโคนระบายความร้อน (silicone thermal paste) ใช้ในการติดเชื่อมระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงระบายความร้อนเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการถ่ายเทอุณหภูมิที่มาจากเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังแผงระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย

2.3 การออกแบบระบบการเปลี่ยนขนาดโมเลกุลน้ำ

นวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้ใช้วิธีเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลน้ำทะเลให้เล็กลงเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลน้ำทะเล ให้ระเหยเป็นหมอกที่อุณหภูมิที่ต่ำลง โดยทางผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์ที่มีชื่อว่าอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ (Chen, Weavers & Walker, 2006) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของน้ำให้เล็กลง โดยการสั่นด้วยความถี่อย่างต่อเนื่อง จากหลักการของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Doosti, Kargar & Sayadi, 2012) แต่ยังคงสถานะเป็นของเหลวเช่นเดิม เมื่อขนาดโมเลกุลเล็กลง ทำให้มีมวลที่เบาลง จะสามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้ระยะเวลานาน ๆ ก่อนที่จะตกลงมาในภาชนะหรืออาจลอยไปตามทิศทางลม โดยอัลตราโซนิกฟอกเกอร์จะสร้างหมอกโดยใช้ตัวแปลงสัญญาณแบบเพียโซอิเล็กทริก สะท้อนความถี่ 1.6 MHz ในการผลิตการสร้างการสั่นของคลื่นความถี่สูงบริเวณบนพื้นผิวของน้ำทะเล จะทำให้น้ำทะเลนั้นกลายเป็นหมอกที่มีเกลือผสมอยู่ ซึ่งอนุภาคน้ำในหมอกจะมีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน และลอยไปเจอกับแผงระบายความร้อนฝั่งร้อนจนเกลือเกิดการตกผลึก

2.4 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิของน้ำทะเล

ในส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำทะเล ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องปรับอุณหภูมิน้ำซิลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำทะเลให้มีอุณหภูมิคงที่ตามที่ต้องการ โดยขณะที่อัลตราโซนิกฟอกเกอร์ทำงานอุณหภูมิของน้ำทะเลจะสูงขึ้น ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ RTD ในการตรวจจับ

อุณหภูมิเป็นตัวควบคุม เมื่อใดที่อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดที่ผู้วิจัยต้องการ RTD จะส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำดีซีทำงานเพื่อที่จะดึงน้ำทะเลเข้าเครื่องปรับอุณหภูมิน้ำและปล่อยกลับมาเหมือนเดิมเป็นการทำงานแบบวนลูปซ้ำไปเรื่อย ๆ เพื่อปรับให้อุณหภูมิน้ำเป็นไปตามที่ต้องการ โดยปั๊มน้ำดีซีจะมีการควบคุมมอเตอร์ตามอุณหภูมิของน้ำแบบอัตโนมัติ คือ เมื่อน้ำทะเลถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะสั่งการให้ปั๊มหยุดทำงานในการนำน้ำทะเลเข้ามา แต่ถ้าอุณหภูมิกลับไปสูงขึ้นอีกครั้งปั๊มก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำช่วยตรวจจับความเร็วของน้ำเข้าขณะเข้าสู่เครื่องซิลเลอร์อีกด้วย

2.5 การออกแบบระบบไฟฟ้าที่ต้องใช้ในระบบ

ระบบไฟฟ้าผู้วิจัยจะใช้แรงดันไฟฟ้าซึ่งจะมาจากไฟบ้าน คือ 220 โวลต์ แล้วจึงผ่านเข้าอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง และลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าลง โดยจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ตามแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ (1) สวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์ ดีซี 15 แอมป์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกและบอร์ดชุดขับเคลื่อนมอเตอร์รุ่น L298N (2) อะแดปเตอร์ 24 โวลต์ ดีซี 2 แอมป์ จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อัลตราโซนิกฟอกเกอร์

3 การดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

ในส่วนของกล่องที่จะใช้ทดลองในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล จะใช้กล่องที่ทำมาจากพลาสติกอะคริลิก มีขนาดประมาณ 15x15 ซม. สูง 20 ซม. ทำหน้าที่เก็บน้ำในการทดลองพร้อมใส่อัลตราโซนิกฟอกเกอร์และฐานท่อพีวีซี (PVC) ไว้ภายใน โดยมีรูด้านข้างกล่องได้แก่ รูด้านซ้ายกล่องจะมี 3 รู รูตั้งน้ำออกไปปรับอุณหภูมิ น้ำ รูสายไฟของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ และรูท่อระบายน้ำทั้ง ส่วนอีก 2 รูด้านขวาของกล่องเป็นรูเติมน้ำที่มาจากเครื่องปรับอุณหภูมิ น้ำ และรูเติมน้ำเพื่อปรับระดับน้ำภายในให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีช่องอีก 2 ช่อง ได้แก่ ช่องระบายหมอก 2 ช่องทำหน้าที่ระบายหมอกที่ลอยขึ้นมาจากการทำงานของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ไปยังบริเวณฝาด้านบนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกฝั่งเย็นไม่ให้เย็นจนเกินไป และอีกช่องเป็นช่องลอดของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน โดยทางผู้จัดทำได้ตัดสินใจที่จะผลิตโดยผ่านร้านอะคริลิก ซึ่ง

ใช้เลเซอร์ในการตัดแผ่นอะคริลิกที่ละชิ้นส่วนและประกอบแต่ละชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้กาวประสานอะคริลิกจนได้กล่องทดลองที่เสร็จสมบูรณ์

ในส่วนของการระบายความร้อนนั้นจะแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกจะอยู่ด้านบนที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งเย็นทำหน้าที่ควบแน่นน้ำ และอีกชั้นจะอยู่ด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นด้านเดียวกับฝั่งร้อนทำหน้าที่ดักเกลือที่มาจากหมอก โดยทั้ง 2 ชั้นส่วนจะต่อกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD รุ่น PT100 แบบหัวสกรูอย่างละ 1 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทั้งฝั่งร้อนและฝั่งเย็น

นอกจากนี้ในตอนแรกการระบายความร้อนนั้นยังมีขนาดที่ใหญ่เกินไป ไม่ได้ขนาดที่ต้องการ ทำให้ต้องทำการกัดการระบายความร้อนเพื่อให้ได้ขนาด 4x4 ซม. สูง 3.5 ซม. และทำการเจาะรูเพื่อที่จะเป็นรูเสียบตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD โดยเจาะขนาด M6 ลึกประมาณ 2-3 ซม. เมื่อทำการกัดและเจาะแล้วนำไปประกอบเข้ากับตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD หลังจากนั้นนำไปประกอบเข้ากับในช่องของฟาสต์ลัดด์ปิดระบบขนาด 4x4 ซม. หนา 3 ซม. และทำยึดด้วยเส้นลวด 3 เส้นที่ลอดรูซ้ายและขวาที่ได้เจาะไว้

4 การดำเนินงานด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าภาคกำลังจะทำการดึงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 220 โวลต์เอซีเข้าไปจ่ายให้กับตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า 2 ขนาด ขนาดแรกจะเป็นสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์ดีซี โดยจะเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงจนเหลือ 12 โวลต์ดีซีไปยังเทอร์โมอิเล็กทริกและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์รุ่น L298N และอีกขนาด คือ อะแดปเตอร์ 24 โวลต์ดีซี โดยจะเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงจนเหลือ 24 โวลต์ดีซีไปยังอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุมโดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุมจะเป็นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์และต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ เริ่มจากเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์เอซีต่อเข้ากับตัวแปลงไฟอะแดปเตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้าเหลือ 20 โวลต์ดีซีเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนเมกา 2560 (Arduino MEGA2560) จะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อไปยังเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้แรงดัน 5 โวลต์ดีซี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนเมกา

2560 จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ (Arduino, 2019)

5 การดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์

การติดตั้งและทดสอบการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยอาดูโนไอดีอี (Arduino IDE) ในเบื้องต้นจะเริ่มจากการติดตั้งโปรแกรมอาร์ดูโนไอดีอี (Arduino IDE) และทดสอบการทำงานพื้นฐานของอาร์ดูโนเมกา 2560 โดยทำการติดตั้งอาร์ดูโนไอดีอี ในคอมพิวเตอร์เสร็จสิ้นแล้ว ทำการทดสอบการใช้งานของบอร์ดโดยการกดปุ่ม “Upload” ที่หน้าต่าง “Sketch” ของโปรแกรมบลิงค์ (Blink) ถ้าอัปโหลดเสร็จสมบูรณ์ ไฟจะแสงข้อความบนบอร์ดอาร์ดูโนเมกา 2560 จะกะพริบเป็นจังหวะทุก 1 วินาที (Adafruit, 2017) เมื่อเห็นแล้วว่าโปรแกรมสามารถทำตามข้อมูลที่ผู้วิจัยอัปโหลดได้สำเร็จ (Tabletop Robotics, 2019) จากนั้นเขียนโค้ดโปรแกรมเพื่อทำระบบควบคุมของวงจรการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้เลย

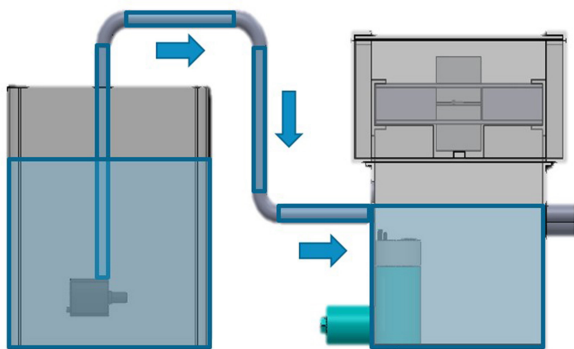
วิธีการทดลอง

ในการทดลองจริงนั้นไม่สามารถหาน้ำทะเลจริง ๆ มาใช้งานจึงได้ใช้น้ำเปล่าผสมเกลือเพื่อใช้ทดสอบแทนน้ำทะเล โดยน้ำเกลือที่ผสมนั้นจะอ้างอิงจากค่าความเค็มของน้ำทะเลจริง ๆ ซึ่งเท่ากับ 35 ppt หรือเท่ากับเกลือ 35 กรัมต่อน้ำเปล่า 1,000 กรัม นำน้ำเกลือที่ผสมแล้วมาใส่ในกล่องบรรจุน้ำที่รอการเติมน้ำเข้าสู่กล่องทดลองเพื่อควบคุมระดับน้ำ และทำการชั่งน้ำหนักโดยจะใช้น้ำเกลือจำนวน 3,200 กรัม จากนั้นนำปั้มน้ำขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าไปในกล่องแล้วปิดฝาเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำทำการเปิดปั้มน้ำเพื่อเติมน้ำเกลือเข้าไปในกล่องทดลอง โดยปั้มน้ำจะทำการเติมน้ำเกลือให้มีระดับความสูงตามระดับที่ได้ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจกระดับน้ำไว้ เมื่อถึงระดับที่ติดตั้งไว้ปั้มน้ำจะหยุดการทำงานทันที และทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้หลังเติมน้ำเข้าไป ดังภาพ 5

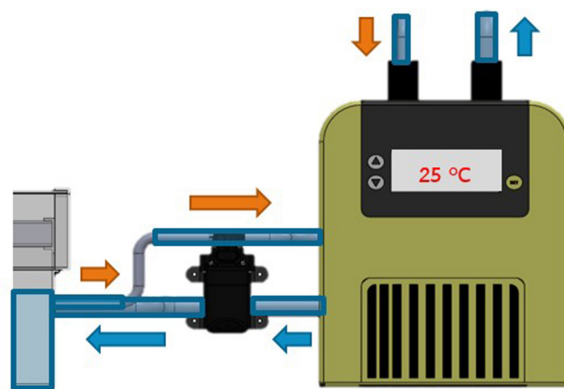
หลังจากเติมน้ำเกลือเข้าไปในกล่องทดลองแล้ว จะทำการปรับอุณหภูมิของน้ำเกลือให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยวนน้ำภายในเครื่องซิลเลอร์โดยปั้มน้ำขนาดใหญ่ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสูบน้ำภายในกล่องทดลองไปยังเครื่องซิลเลอร์แล้ววนน้ำกลับมายังกล่องทดลอง โดยจะทำการวนน้ำเรื่อย ๆ จนกว่าเครื่องซิลเลอร์

จะทำการปรับอุณหภูมิน้ำให้ตรงตามต้องการ เมื่อได้อุณหภูมิน้ำตามที่ต้องการแล้วเครื่องซิลเลอร์จะทำการตัดการทำงานของเครื่องอัตโนมัติทันที ดังภาพ 6

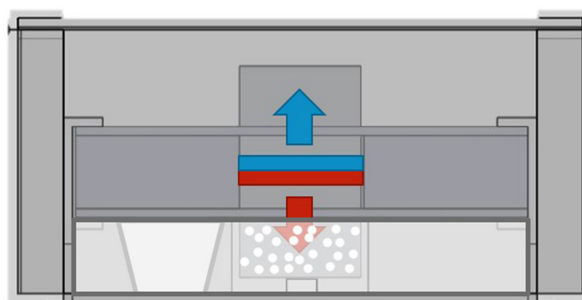
เมื่อทำการควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือได้คงที่ตามต้องการแล้ว สามารถเริ่มการทดลองนวัตกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติได้ทันที ทำการประกอบอุปกรณ์ ได้แก่ อัลตราโซนิกฟอกเกอร์ฐานท่อพีวีซี (PVC) และฟาส์ไลด์ที่มีแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเข้าไปยังกล่องทดลอง จากนั้นปิดฟาส์ไลด์ของกล่องทดลองทั้ง 2 ด้านให้เรียบร้อย และสามารถเริ่มการทดลองได้โดยผู้วิจัยจะวางอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ไว้ที่มุมซ้ายและซิดเข้าไปข้างในกล่องทดลองเพื่อป้องกันน้ำที่กระเด็นมากจากการทำงานของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ จากนั้นนำที่ครอบที่ทำมาจากขวดพลาสติกนำมาครอบบริเวณที่มีน้ำกระเด็นเพื่อป้องกันน้ำไปโดนแผงระบายความร้อนฝั่งร้อนซึ่งจะส่งผลเสียต่อการระเหยเกลือได้ เมื่อทำการเริ่มการทดลองแล้วอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ จะทำการสร้างหมอกเทอร์โมอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างแผงระบายความร้อน 2 ชั้นนั้นจะสร้างความต่างอุณหภูมิให้ทั้ง 2 ฝั่งและแผงระบายความร้อนชั้นล่างที่ติดกับด้านร้อนนั้นจะทำการดักเกลือจากหมอกที่ลอยขึ้นมาจนได้ผลึกเกลือออกมา และแผงระบายความร้อนชั้นบนที่ติดอยู่กับด้านเย็นจะทำหน้าที่ในการควบแน่นน้ำโดยจะมาจากปฏิกิริยาระหว่างอุณหภูมิที่เย็นและหมอกที่ผ่านการดักเกลือแล้วลอยขึ้นมาตามรูด้านข้างของกล่องจนควบแน่นเกิดเป็นหยดน้ำ ดังภาพ 7 นอกจากนี้ยังเปิดระบบควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือควบคู่ไปด้วยเพื่อควบคุมระดับและอุณหภูมิของน้ำเกลือให้คงที่ตลอดการทดลองอีกด้วย



ภาพ 5 ภาพจำลองการทำงานการควบคุมระดับของน้ำเกลือ



ภาพ 6 ภาพจำลองการทำงานการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเกลือ



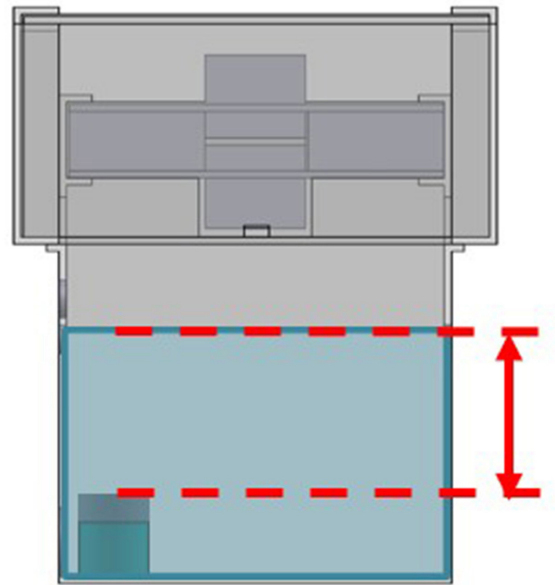
ภาพ 7 ภาพจำลองแสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกและการดักเกลือของแผงระบายความร้อนฝั่งร้อน

หลังจากทำการทดลองตามเวลาที่กำหนดแล้วให้หยุดการทำงานทันที จากนั้นนำฟาส์ไลด์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ออกมา นำแผงระบายความร้อนฝั่งอุณหภูมิร้อนหันเข้าหาขวดฉีดน้ำกลั่น ซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่ 250 ml ทำการฉีดน้ำกลั่นลงบนแผงระบายความร้อนเพื่อทำการล้างเกลือที่ติดอยู่บริเวณแผงระบายความร้อน ดังภาพ 8 เมื่อล้างเสร็จแล้วให้ทำการวัดน้ำกลั่นเพื่อหาค่าเกลือที่ได้จากการทดลองว่าได้ปริมาณเกลือเท่าใด ดังภาพ 9

หลังจากได้ค่าเกลือที่มาจากการทดลองแล้ว จึงมาหาค่าปริมาตรของน้ำเกลือที่หายไปหลังจากการทำงานของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ว่าในแต่ละการทดลองนั้นใช้ปริมาณน้ำไปเท่าใด แตกต่างกันหรือไม่ แล้วบันทึกผลที่ได้ เมื่อทำการทดลองทั้งหมดแล้วทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อค่าตัวแปรในการสนับสนุนผลการทดลองของการศึกษานี้เพิ่มเติม นั่นคือ การทดลองหาจำนวนอนุภาคของหมอกแต่ละขนาด จะเป็นการหาขนาดอนุภาคของหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ โดยจะใช้ไมคูลตรวจจับฝุ่นละอองในอากาศขนาดเล็ก (Laser Dust Sensor PMS7003) ซึ่งถึงแม้จะไม่ใช่มิคูลที่สามารถวัดค่าอนุภาคของหมอกได้โดยตรงแต่สามารถนำมาใช้เพื่อการเปรียบเทียบ

เทียบในการทดลองได้ โดยการทดลองจะทดลองในรูปแบบของระบบเปิด และจะวางตัวเซนเซอร์ให้สูงเหนือระดับน้ำประมาณ 16 ซม. เพื่อป้องกันการโอเวอร์โหลดของหมอกภายในเซนเซอร์ทำให้วัดค่าออกมาเกินช่วงที่เซนเซอร์สามารถวัดได้ และจะใช้แก้วขนาดเล็กที่ทำจากอะคริลิกทำหน้าที่บังน้ำที่กระเด็นออกมาจากอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ ซึ่งจะแบ่งการวัดขนาดได้เป็น 3 ขนาดได้แก่ PM 1 PM 2.5 และ PM 10 และนำผลการทดลองที่ได้มาใช้สรุปผลต่อไป

เมื่อได้ทดสอบระบบและกำหนดวิธีการทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าตัวแปรต่าง ๆ ของระบบนิวตริกรรมการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยตัวแปรในการทดลองในการศึกษานี้ จะใช้การเปลี่ยนความหนาของชั้นน้ำระหว่างผิวน้ำจนถึงเหนืออัลตราโซนิกฟอกเกอร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับความหนาของชั้นน้ำเหนืออัลตราโซนิกฟอกเกอร์ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ดังภาพ 10



ภาพ 10 ความหนาของชั้นน้ำเหนืออัลตราโซนิกฟอกเกอร์



ภาพ 8 นำแผงระบายความร้อนมาล้างด้วยน้ำกลั่น



ภาพ 9 วัดค่าเกลือที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลอง

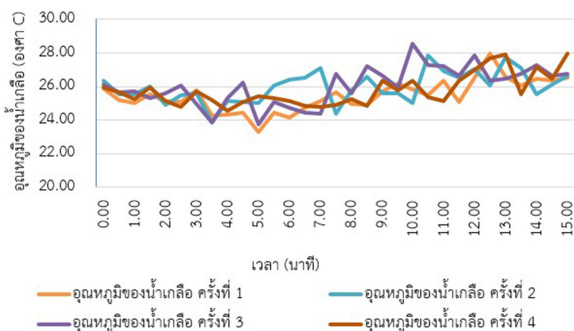
1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

เมื่อทราบถึงการกำหนดตัวแปรในการทดลอง ตัวแปรควบคุมและตัวแปรที่ใช้ในการวัดแล้ว ต่อไปจะเป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการผลิตเกลือ แบ่งเป็น 3 การทดลองหลัก และ 3 การทดลองย่อย รวมเป็น 6 การทดลอง โดยการทดลอง 3 การทดลองหลัก จะเป็นการทดลองการผลิตเกลือที่มีการควบคุมตัวแปรการทดลอง การทดลองการผลิตเกลือที่มีความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ซึ่ง จะทดลองซ้ำการทดลองละ 4 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที และมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเกลือที่ 25 องศาเซลเซียส และระดับของน้ำเกลือให้คงที่ที่ 12 ซม. ตลอดการทดลองทุกครั้ง

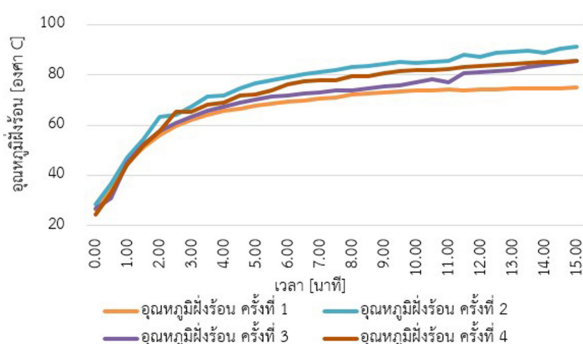
ต่อมาการทดลองอีก 3 การทดลองย่อยจะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าขนาดของหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิกฟอกเกอร์ โดยเป็นการทดลองเพื่อหาเหตุผลไปสนับสนุนทฤษฎีต่าง ๆ ในการทดลอง 3 การทดลองหลัก และมีการควบคุมตัวแปรการทดลอง การทดลองหาขนาดของหมอกที่มีความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ซึ่ง จะทดลองซ้ำการทดลองละ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที และจะเป็นการทดลองแบบระบบเปิด ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและระดับน้ำเกลือ โดยจะกำหนดให้เซนเซอร์อยู่ห่างเหนือจากผิวน้ำ 16 ซม.

1.1 การทดลองการผลิตเกลือที่มีความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

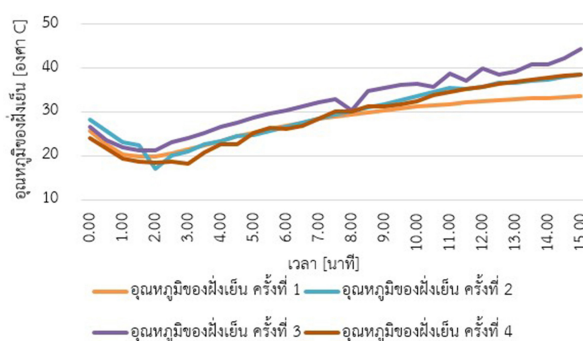
การหาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งหมด 4 ครั้งละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังภาพ 11-13 และตาราง 1-2



ภาพ 11 กราฟของอุณหภูมิของน้ำเกลือทุก ๆ 30 วินาที ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.



ภาพ 12 กราฟของอุณหภูมิผิวน้ำที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.



ภาพ 13 กราฟของอุณหภูมิผิวน้ำที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

จากภาพ 11 จะเห็นอุณหภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.93 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 12 จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71.92 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หม้อกระเหยเป็นไอได้ดี จากภาพ 13 จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.73 องศาเซลเซียส แสดงว่า ระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

จากตาราง 1 และ 2 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไปและปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่มีความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. และ 5 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป จากภาพ 14 จะเห็นเกลือที่ตกได้ที่ฮีตซิงก์ผิวน้ำ

ตาราง 1

ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่มีความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.8
ครั้งที่ 2	6.6
ครั้งที่ 3	6.4
ครั้งที่ 4	6.3
เฉลี่ย	6.28

ตาราง 2

ปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่มีความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ตกได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.21
ครั้งที่ 2	0.23
ครั้งที่ 3	0.28
ครั้งที่ 4	0.28
เฉลี่ย	0.25



ภาพ 14 คราบเกลือที่ตกได้จากการทดลองที่ความหนา
ชั้นน้ำ 3 ซม.

1.2 การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของ น้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

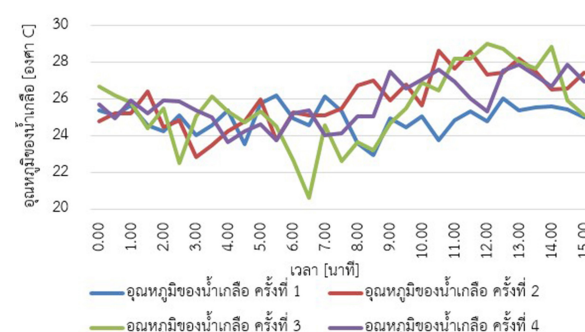
หาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปร
ได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะของ
ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง
ละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังรูปที่ 15-17
และตาราง 3-4

จากภาพ 15 จะเห็นอุณหภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูล
ทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.62 องศาเซลเซียส
แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่
ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 16 จะเห็นว่าอุณหภูมิ
ฝั่งร้อนที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72.44
องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หม้อกระเหยเป็นไอ
ได้ดี จากภาพ 17 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เก็บข้อมูลทุก ๆ
30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.62 องศาเซลเซียส แสดง
ว่าระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

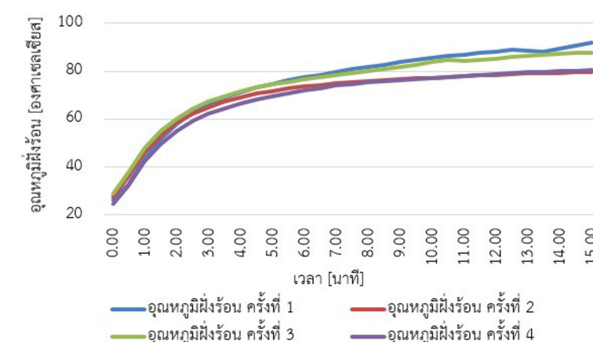
จากตาราง 3 และ 4 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไป
และปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.
เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. และ
5 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป
จากภาพ 18 จะเห็นเกลือที่ตกได้ที่ฮีตซิงก์ฝั่งร้อน

1.3 การทดลองการผลิตเกลือที่ความสูงของ น้ำเกลือ 12 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

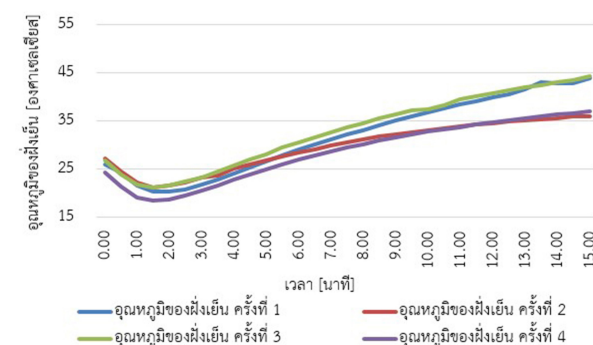
การหาค่าเกลือจากการทดลองที่มีการควบคุม
ตัวแปรได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 12 ซม. และระยะ
ของความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง
ละ 15 นาที โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ดังภาพ
19-21 และตาราง 5-6



ภาพ 15 กราฟอุณหภูมิของน้ำเกลือทุก ๆ 30 วินาทีที่
ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 16 กราฟของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 17 กราฟของอุณหภูมิฝั่งเย็นที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

ตาราง 3

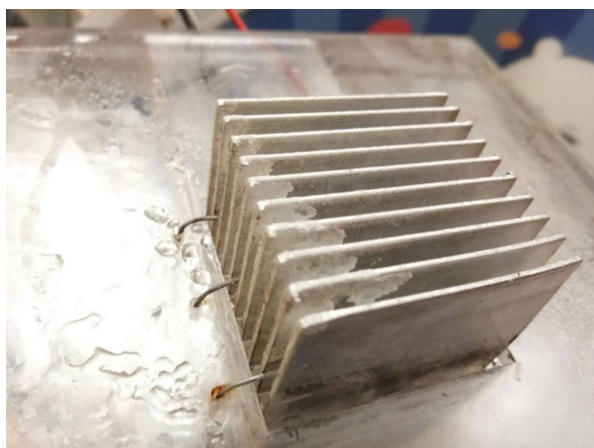
ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.4
ครั้งที่ 2	6.4
ครั้งที่ 3	5.6
ครั้งที่ 4	5.8
เฉลี่ย	5.8

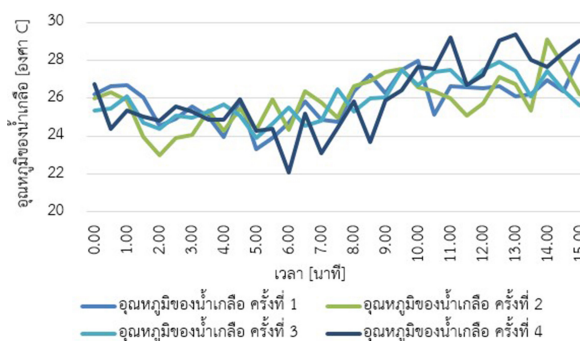
ตาราง 4

ปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

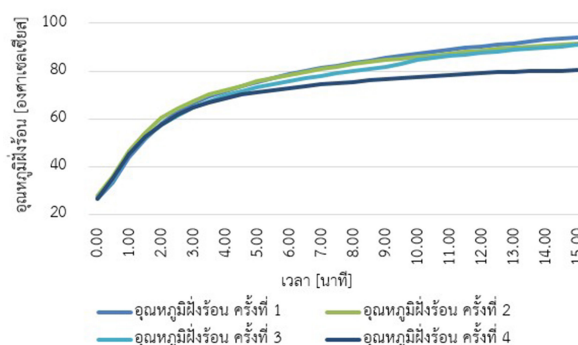
ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ตกได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.21
ครั้งที่ 2	0.31
ครั้งที่ 3	0.22
ครั้งที่ 4	0.28
เฉลี่ย	0.26



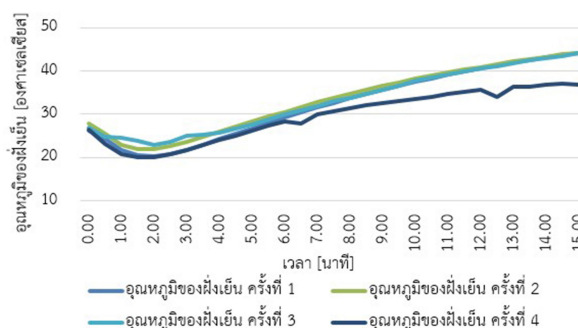
ภาพ 18 คราบเกลือที่ตกได้จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.



ภาพ 19 กราฟของอุณหภูมิของน้ำเกลือทุก ๆ 30 วินาทีที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.



ภาพ 20 กราฟของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.



ภาพ 21 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่งเย็นที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

จากภาพ 19 จะเห็นอุณหภูมิของน้ำเกลือที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.94 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบยังสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส จากภาพ 20 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งร้อนที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 74.43 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้หม้อกระเหยเป็นไอได้ดี จากภาพ 21 จะเห็นว่าอุณหภูมิฝั่งเย็นที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.74 องศาเซลเซียส แสดงว่าระบบจะทำให้ไอน้ำควบแน่นได้

จากตาราง 5 และ 6 จะได้ปริมาณของน้ำที่หายไปและปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. และ 4 ซม. โดยจะหาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่อไป จากภาพ 22 จะเห็นเกลือที่ตกได้ที่ฮีตซิงก์ฝั่งร้อน

ตาราง 5

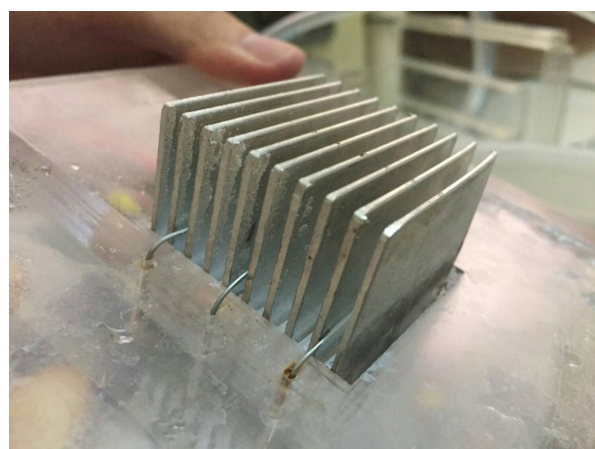
ปริมาตรของน้ำที่หายไปที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

ครั้งที่	ปริมาตรของน้ำที่หายไป [g]
ครั้งที่ 1	5.4
ครั้งที่ 2	6.4
ครั้งที่ 3	5.6
ครั้งที่ 4	5.8
เฉลี่ย	5.8

ตาราง 6

ปริมาณของเกลือที่ตกได้ที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

ครั้งที่	ปริมาณของเกลือที่ตกได้ [ppt]
ครั้งที่ 1	0.15
ครั้งที่ 2	0.16
ครั้งที่ 3	0.16
ครั้งที่ 4	0.18
เฉลี่ย	0.17



ภาพ 22 คราบเกลือที่ตกได้จากการทดลองที่ความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

1.4 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

การหาขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปรได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 7

1.5 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 4 ซม.

เป็นการหาขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปรได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 4 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 8

1.6 การทดลองหาขนาดของหมอกที่ความสูงน้ำเกลือ 7 ซม. และความหนาชั้นน้ำ 5 ซม.

การหาขนาดหมอกที่มาจากการผลิตของอัลตราโซนิคฟอกเกอร์ที่มีการควบคุมตัวแปรได้แก่ ระดับความสูงของน้ำเกลือ 7 ซม. และระยะของความหนาชั้นน้ำ 5 ซม. ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งละ 10 นาที ดังตาราง 9

จากตาราง 7-9 แสดงขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม. 4 ซม. และ 5 ซม. ตามลำดับ เป็นการทดลองย่อยในระบบเปิดเพื่อแสดงขนาดอนุภาคหมอกที่ PM1 PM 2.5 และ PM 10 ของแต่ละระดับชั้นน้ำ เพราะยังเกิดอนุภาค PM 1 มากก็จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการระเหยกลายเป็นไอของอนุภาคหมอกมาก

ตาราง 7

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาชั้นน้ำ 3 ซม.

ที่ 3 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	129.9	164.4	158.9
ครั้งที่ 2	147.2	200.2	198.7
ครั้งที่ 3	109.6	138.6	134
ค่าเฉลี่ย	128.9	167.7	163.9
STD	18.84	30.92	32.64

ตาราง 8

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาแน่นน้ำ 4 ซม.

ที่ 4 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	158.6	200.8	198.5
ครั้งที่ 2	176.8	238.4	235.8
ครั้งที่ 3	134.5	168.9	163.8
ค่าเฉลี่ย	156.6	202.7	199.4
STD	21.22	34.78	36.01

ตาราง 9

ขนาดอนุภาคของหมอกที่ความหนาแน่นน้ำ 5 ซม.

ที่ 5 ซม.	ขนาดอนุภาคของหมอก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	PM 1	PM 2.5	PM 10
ครั้งที่ 1	108.8	132.4	126.4
ครั้งที่ 2	134	171.5	167.1
ครั้งที่ 3	150.5	192	187
ค่าเฉลี่ย	131.1	165.3	160.1
STD	20.99	30.27	30.88

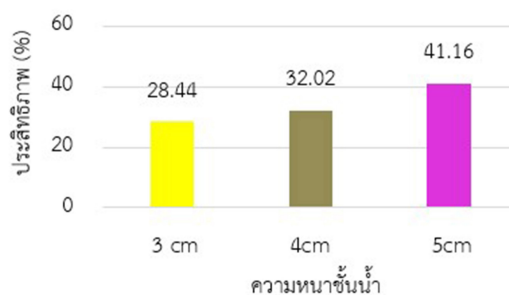
สรุปผลการทดลอง

เมื่อได้ผลของปริมาตรน้ำที่หายไปและความเข้มข้นเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์แล้ว สามารถทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละระดับความหนาแน่นน้ำได้ ที่ความหนาแน่นน้ำ 3 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.2198 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.0625 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 28.44% ที่ความหนาแน่นน้ำ 4 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.203 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.065 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 32.02% ที่ความหนาแน่นน้ำ 5 ซม. ปริมาณเกลือที่ได้จากน้ำที่หายไป 0.10325 กรัม ปริมาณเกลือที่ได้จากฮีตซิงก์ 0.0425 กรัม ประสิทธิภาพการทำงาน 41.16% ดังภาพ 23

สุดท้ายเมื่อได้ผลการทดลองและประสิทธิภาพทั้งหมดของการทดลองในนวัตกรรมการแยกเกลือออกจาก

น้ำทะเลด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติแล้วสามารถบันทึกผลรวมทั้งหมดเป็นตารางและสรุปผลได้ดังตาราง 10

จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ความหนาแน่นน้ำ 3 ซม. กับ 4 ซม. ปริมาตรน้ำที่หายไปและอุณหภูมิฮีตซิงก์ด้านร้อนมีความใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดอนุภาคของหมอกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตเกลือ โดยจะเห็นว่าขนาดอนุภาคของหมอก <PM 1 และ PM 1 ถึง PM 2.5 ที่ 4 ซม. นั้นมีจำนวนของหมอกมากกว่า 3 ซม. จึงทำให้ที่ความหนาแน่นน้ำ 4 ซม. ได้ค่าเกลือมากกว่าและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 3 ซม. ต่อมาที่ความหนาแน่นน้ำ 4 ซม. กับ 5 ซม. ขนาดอนุภาคของหมอก <PM 1 และ PM 1 ถึง PM 2.5 ที่ 4 ซม. นั้นมีจำนวนของหมอกมากกว่า 5 ซม. ทำให้ได้ค่าเกลือมากกว่าแต่จะเห็นว่า 4 ซม. มีประสิทธิภาพต่ำกว่า 5 ซม. เนื่องจากที่ความหนาแน่นน้ำที่ 4 ซม. มีอุณหภูมิด้านร้อนน้อยกว่าความหนาแน่นน้ำที่ 5 ซม. ซึ่งมีผลมาจากปริมาตรของน้ำที่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ใช้ในการผลิตหมอกนั้นที่ 4 ซม. ใช้ไปมากกว่า 5 ซม. ส่งผลทำให้อุณหภูมิด้านร้อนของ 4 ซม. ต่ำกว่า 5 ซม. ซึ่งทำให้ความหนาแน่นน้ำ 5 ซม. ที่มีความร้อนเกิดที่ฮีตซิงก์มากที่สุด เกิดประสิทธิภาพการระเหยเกลือได้ดีกว่า ประสิทธิภาพเลยสูงที่สุด และที่ความหนาแน่นน้ำ 3 ซม. นั้นมีประสิทธิภาพน้อยสุดไม่เหมาะสมในการผลิตเกลือ เนื่องจากมีอุณหภูมิด้านร้อนน้อยที่สุดและปริมาตรของน้ำที่อัลตราโซนิคฟอกเกอร์ใช้ในการผลิตหมอกนั้นใช้มากเกินไป ทำให้เกิดการโอเวอร์โหลดที่ฮีตซิงก์และมีความร้อนไม่เต็มที่จึงทำให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด



ภาพ 23 ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละความหนาแน่นน้ำ

ตาราง 10

สรุปผลการทดลอง

ความหนา ชั้นน้ำ	ปริมาณน้ำ ที่หายไป (g)	ปริมาณเกลือ ที่ได้จากอิเล็กโทรลิซิส		ประสิทธิภาพ ที่ทำให้เกิดเกลือ (%)	อุณหภูมิอิเล็กโทรลิซิส (°C)	จำนวนอนุภาคของหมอก (µg/m ³)		
		(ppt)	(g)			<PM1	PM1 - 2.5	PM2.5 -10
3 ซม.	6.28	0.25	0.0625	28.44	71.93	128.89	38.83	3.87
4 ซม.	5.8	0.26	0.065	32.02	72.45	156.63	46.06	3.29
5 ซม.	2.95	0.17	0.0425	41.16	74.44	131.1	34.22	5.18

ข้อเสนอแนะ

ออกแบบระบบที่สามารถแก้ไขปัญหาน้ำค้างท่อและกาลักน้ำ ให้มีระบบการทำงานให้ดียิ่งขึ้นและไม่เกิดปัญหานี้ขึ้นอีก และควรออกแบบระบบการวางสายไฟรวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้องและปลอดภัย เพื่อป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานได้



References

- Aberuee, M. J., Baniasadi, E., & Ziaei-Rad, M. (2017). Performance analysis of an integrated solar based thermo-electric and desalination system. *Applied Thermal Engineering*, 110, 399-411. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.199.
- Adafruit. (2017). *MAX31865 PT100 and ARDUINO MEGA2560*. Retrieved from <https://forums.adafruit.com/viewtopic.php?t=127049>.
- Arduino. (2019). *SPI library*. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>
- Ahmadi, P., Khanmohammadi, S., Musharavati, F., & Afrand, M. (2020). Development, evaluation, and multi-objective optimization of a multi-effect desalination unit integrated with a gas turbine plant. *Applied Thermal Engineering*, 176, 115414. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115414>
- Athasit, W., & Ukrit, T., (2023). *Salt-water Phase-separation Method for Indoor Salt Farming Using Thermoelectric and Ultrasonic Atomization Technology*. Thai Petty Patent No. 21754. Bangkok: Department of Intellectual Property
- Cerci, Y. (2002). Exergy analysis of a reverse osmosis desalination plant in California. *Desalination*, 142(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00207-2)
- Chen, D., Weavers, L. K., & Walker H.W. (2006). Ultrasonic control of ceramic membrane fouling: Effect of particle characteristics. *Water Research*, 40(4), 840-850. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.031>
- Demir, M. E., & Dincer, I. (2017). Development of an integrated hybrid solar thermal power system with thermoelectric generator for desalination and power production. *Desalination*, 404, 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.016>
- Doosti, M., Kargar, R., & Sayadi, M. (2012). Water treatment using ultrasonic assistance: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(2), 96. https://www.researchgate.net/publication/268393705_Water_treatment_using_ultrasonic_assistance_A_review
- El-Dessouky, H. T., & Ettouney, H. M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

- Hosseingholiloua, B., Banakara, A., & Mostafaeib, M. (2019). Design and evaluation of a novel ultrasonic desalination system by response surface methodology. *Desalination and Water Treatment*, 164, 263–275. doi: 10.5004/dwt.2019.24458.
- Khanmohammadi, S., Saadat-Targhi, M., Ahmed, F.W., & Afrand, M. (2020). Potential of thermoelectric waste heat recovery in a combined geothermal, fuel cell and organic Rankine flash cycle (thermodynamic and economic evaluation). *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(11), 6934-6948. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.12.113
- Miller, E. W., Hendricks, T. J., & Peterson, R. B. (2009). Modeling energy recovery using thermoelectric conversion integrated with an organic rankine bottoming cycle. *Journal of Electronic Materials*, 38(7), 1206-1213. <https://doi.org/10.1007/s11664-009-0743-1>
- Moossa, B., Trivedi, P., Saleem, H., & Javaid Zaidi, S. J. (2022). Desalination in the GCC countries-a review. *Journal of Cleaner Product*, 357, 131717. doi:10.1016/j.jclepro.2022.131717
- Saadat-Targhi, M., & Khanmohammadi, S. (2019). Energy and exergy analysis and multi-criteria optimization of an integrated city gate station with organic Rankine flash cycle and thermoelectric generator. *Applied Thermal Engineering*, 149, 312-324. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.12.079
- Seyed, M. P., Mohammad, H. A., Milad, S., Soroush, M., Fathollah, P., Lingen, C., Mohammad, A. Y., & Ravinder, K. (2019). Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials. *Energy*, 186, 115849. doi: 10.1016/j.energy.2019.07.179
- Shatat, M., Worall, M., & Riffat, S. (2013). Economic study for an affordable small scale solar water desalination system in remote and semiarid region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 543–551. doi:10.1016/j.rser.2013.05.026
- Tabletop Robotics. (2019). *How to save Arduino Serial data to TXT file*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=lz_AETY9o5E
- Windsolargadget. (2016). *Thermoelectric Cooler Peltier*. Retrieved from <https://www.windsolargadget.com/article/2/thermoelectric-cooler-peltie>

