

การศึกษาการใช้พลังงานในวิธีการต่าง ๆ ในการดึงไอน้ำออกจาก สารละลายลิเทียมโบรไมด์

The Investigation of the Energy Inputs used to Drive the Water Vapor off the Lithium Bromide solution.

อัญญรัตน์ ชัยโฮง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรุงเทพ 10900

โทร 02-9428555, โทรสาร 02-5794576, E-Mail : daungta@hotmail.com

Anyarat Saihong

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

Bangkok 10900, Thailand

Tel : 662-9428555, Fax : 662-5794576

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการใช้พลังงานในการดึงไอน้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 วิธีคือ 1) โดยการสันสะท้อนของโมเลกุลโดยพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก, 2) โดยการใช้พลังงานความร้อน, และ 3) โดยการใช้เครื่องไมโครเวฟ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในวิธีการต่าง ๆ ในการดึงไอน้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์

วิธีการวิจัยจะศึกษาค่าความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน การทดลองส่วนที่ 1 เริ่มจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่มีปริมาณ 900 กรัม บรรจุในภาชนะที่ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ กำลังไฟฟ้าของชุดทดลองนี้มีค่า 42.18 วัตต์ หลังจากเปิดเครื่องทรานสดิวเซอร์แล้วทำการเก็บสารตัวอย่างที่ได้ทำการควบแน่นแล้วจากชุดทดลอง ปริมาณ 60 mL ในช่วงเวลา 235 นาที พลังงานที่ใช้ (Power Input) คำนวณได้เท่ากับ 594.738 KJ และเมื่อนำสารตัวอย่างที่ได้ไปตรวจหาปริมาณลิเทียมไอออน (Li^+) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer วัดค่าการดูดกลืน

แสง (absorbance) ของเปลวไฟที่ได้จากการเผาสารตัวอย่าง พบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีสีแดงเข้ม ซึ่งสีแดงเป็นสีเปลวไฟเฉพาะของลิเทียมไอออนและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบเป็นค่าความเข้มข้นของลิเทียมไอออนได้อยู่ในช่วง 0.9288% ถึง 1.0297% โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ได้อยู่ในช่วง 11.6217% ถึง 12.8842% โดยน้ำหนัก การทดลองส่วนที่ 2 ให้พลังงานความร้อนแก่สารละลายลิเทียมโบรไมด์ที่บรรจุในขวดแก้วกันกลม ปริมาณ 250 กรัม ที่มีความเข้มข้นเท่าเดิม ขดลวดความร้อน ที่ใช้มีขนาด 301.92 วัตต์ หลังจากเปิดเครื่องแล้วทำการเก็บสารตัวอย่างที่ได้ทำการควบแน่นแล้ว ปริมาณ 60 mL ในช่วงเวลา 80 นาที พลังงานที่ใช้คำนวณได้เท่ากับ 1,449.216 KJ และเมื่อนำสารตัวอย่างที่ได้ไปตรวจหาปริมาณลิเทียมไอออนโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer พบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีสีแดง แต่ระดับความเข้มของสีเปลวไฟมีระดับต่ำกว่าสีเปลวไฟในการทดลองส่วนที่ 1 มาก ซึ่งทำให้เครื่องไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงมีค่าต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่น้อยที่สุดที่เครื่องสามารถวัดได้ การ

ทดลองส่วนที่ 3 ใช้เครื่องไมโครเวฟ นำภาชนะที่บรรจุสารละลายลิเทียมโบรไมด์ปริมาณ 250 กรัม ที่มีความเข้มข้นเท่าเดิม วางไว้ในเครื่องไมโครเวฟ เครื่องไมโครเวฟที่ใช้มีขนาด 128.76 วัตต์ หลังจากเปิดเครื่องแล้วทำการเก็บสารตัวอย่างโดยใช้หลอดดูดเก็บสารที่ควบแน่นเกาะบนฝาของภาชนะ ปริมาณ 60 mL ในช่วงเวลา 450 นาที พลังงานที่ใช้คำนวณได้เท่ากับ 3,476.52 KJ และเมื่อนำสารตัวอย่างที่ได้ไปตรวจหาปริมาณลิเทียมไอออนโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer พบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีสีแดง แต่ระดับความเข้มของสีเปลวไฟมีระดับต่ำกว่าสีเปลวไฟในการทดลองส่วนที่ 1 มาก ซึ่งทำให้เครื่องไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

จากการศึกษาการทดลองทั้ง 3 ส่วน สามารถสรุปได้ว่าชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรไมด์มีค่าเท่ากับ 8.56902×10^3 KJ/Kg ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง ชุดขดลวดความร้อนใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรไมด์มีค่าเท่ากับ 23.87569×10^3 KJ/Kg ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง และเครื่องไมโครเวฟใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรไมด์มีค่าเท่ากับ 57.82635×10^3 KJ/Kg ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง

Abstract

The investigation of the energy inputs in 3 methods that was used to drive the water vapor off the Lithium Bromide (LiBr) solution was proposed in this paper. The methods are as follows, 1) Producing the molecular vibration by ultrasonic wave energy, 2) Heating the solution by thermal energy, and 3) Using microwave oven. The destination of this research was the investigation of the energy inputs in each methods.

The experimental methods were arranged in order to study the concentration of the 10% weight by weight LiBr solution. The methods are as follows, the first part of experiment was started by filling the 900 grams solution in the container which was installed with the ultrasonic transducer. The power consumption of this test section is 42.18 watts. After transducer had been

operated, the sample was collected. The sample was the condensed solution from this test section. The 60 mL sample condensed in 235 minutes, so the calculated power input was 594.738 KJ. Then the sample was brought to investigate the Lithium ion (Li^+) concentration by using Atomic Absorption Spectrometer to measure absorbance of electromagnetic radiation of an atomic vapor sample that vaporized by aspiration of solution into a flame. The result showed the radiation was red light that is the especial color light of Lithium ion and the measured absorbance was proportional to concentration interval between 0.9288% and 1.0297% weight by weight, so the calculated LiBr solution concentration was in interval between 11.6217% and 12.8842% weight by weight. The second part of experiment was started by heating the 250 grams solution that was contained in the rounded flask. The power consumption of the adjusted heater is 301.92 watts. After heater had been operated, the sample was collected. The sample was the condensed solution from condenser. The 60 mL sample condensed in 80 minutes, so the calculated power input was 1,449.216 KJ. And the Atomic Absorption Spectrometer analysis showed that the radiation was red light but the light intensity was very slight than the light intensity of the first part sample, so this instrument could not measure the proportional concentration from measured absorbance because of the measured absorbance was below the minimum ability measured absorbance. The last part of experiment was started by turning on the adjustable microwave oven, there was the 250 grams solution container inside the oven. The power consumption of the adjusted oven is 128.76 watts. After oven had been operated, the sample was collected. The sample was the condensed solution on the cover of container. The 60 mL sample was collected in 450 minutes, so the calculated power input was 3,476.52 KJ. And the Atomic Absorption Spectrometer analysis showed that the radiation was similar to the second part

sample, so this instrument could not measure the proportional concentration.

The experimental conclusions were the average specific consumed energy of ultrasonic transducer test section for evaporating the solution was 8.56902×10^3 KJ/Kg of condensed sample, the average specific consumed energy of adjusted heater test section was 23.87569×10^3 KJ/Kg of condensed sample, and the average specific consumed energy of adjusted microwave oven was 57.82635×10^3 KJ/Kg of condensed sample.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในอัตราที่ค่อนข้างสูง โดย 60% ของ พลังงานที่ใช้ในอาคารสำนักงานส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ [3] งานวิจัยครั้งนี้จึงเน้นการลดพลังงานโดยศึกษาระบบทำความเย็นแบบดูดซับที่ใช้สารละลายลิเทียมโบรไมด์ - น้ำเป็นสารทำงาน โดยศึกษาการใช้พลังงานวิธีการต่างๆ ในการดึงไอน้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ 1) โดยการสันสะท้อนของโมเลกุลโดยพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก, 2) โดยการใช้พลังงานความร้อน, และ 3) โดยการใช้เครื่องไมโครเวฟ

การใช้การสันสะท้อนของโมเลกุลโดยพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อไล่น้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์อาศัยหลักการการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับโมเลกุลของสารละลายโดยตรง โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งกำเนิดคลื่น เมื่อเราส่งผ่านการสันสะท้อนให้แก่สารละลายจากบริเวณก้นของภาชนะไปยังผิวหน้าของสารละลายแล้วจะทำให้เกิดคลื่นแคพิลลารี (capillary waves) ขึ้นบนผิวหน้าของสารละลาย และอนุภาคของเหลวที่อยู่บริเวณยอดของคลื่นแคพิลลารีหลุดออกจากผิวหน้าของสารละลาย อนุภาคเหล่านี้จึงเป็นอนุภาคที่มีพลังงานจลน์สูง หากเราใช้พัดลม (blower) เป่าลมผ่านบริเวณผิวหน้าของสารละลายจะทำให้เกิดกระแสอากาศ (air flow) ที่จะพัดนำอนุภาคที่หลุดลอยออกมาให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ เมื่ออนุภาคที่มีความเร็วหรือพลังงานจลน์สูง เคลื่อนที่ปะทะหรือกระทบกับแผ่นโลหะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เราจะพบหยดของเหลวขนาดเล็กๆ ที่สามารถรวมตัวกันเป็นหยดของเหลว

ขนาดใหญ่ เกาะบนแผ่นโลหะนั้น เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้ถูกทำให้มีความเร็วเป็นศูนย์ (พลังงานจลน์เป็นศูนย์) และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนร่วมด้วย หรือเกิดการควบแน่นนั่นเอง คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่สูงกว่า 20,000 Hz หรือช่วงความถี่เสียงที่หูคนเราสามารถได้ยิน คลื่นเสียงเป็นคลื่นกล (Mechanical waves) ตามยาวที่สามารถจะเคลื่อนที่ไปได้ในสารทั้ง 3 สถานะ เรามักจะใช้เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (the piezoelectric transducer) เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก โดยทรานสดิวเซอร์ประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือแผ่นวัสดุที่สามารถเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (the piezoelectric effect) หรือ เกิดจากการสั่นพ้อง (resonate) กับสนามไฟฟ้าสลับที่ได้รับ เนื่องจากทรานสดิวเซอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับไปเป็นพลังงานคลื่นอัลตราโซนิกที่สามารถส่งผ่านการสันสะท้อนให้กับสารละลายได้ โดยค่าความเครียดดลพิ์ ; L (the result strain) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ; V ระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของแผ่นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก สามารถหาได้จาก

$$d = V / L \quad (1)$$

เมื่อ d คือ สัมประสิทธิ์วัดระดับปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกที่เกิดขึ้น โดยมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก หากทรานสดิวเซอร์ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ เช่น ผลึกแควอดซ์ จะมีค่าสัมประสิทธิ์ d อยู่ในช่วง 2×10^{12} ถึง 3×10^{12} coulombs / newton (CN⁻¹) และหากทรานสดิวเซอร์ทำจากวัสดุเซรามิค หรือวัสดุที่ผ่านกระบวนการปรับคุณสมบัติพิเศษ (special treatment) เช่น แบเรียมไททาเนต (Barium titanate) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ d อยู่ในช่วง 60×10^{12} ถึง 190×10^{12} CN⁻¹ และ เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (Lead zirconate titanate) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ d อยู่ในช่วง 80×10^{12} ถึง 320×10^{12} CN⁻¹ [7]

การใช้ความร้อน เพื่อไล่น้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ อาศัยหลักการการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับโมเลกุลของสารละลายเช่นกัน แต่พลังงานจลน์นี้ได้จากการเปลี่ยนรูปของพลังงานความร้อน เมื่อโมเลกุลของสารละลายได้รับความร้อนจากขดลวดความร้อน (heater) จะทำให้แต่ละโมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ที่เร็วขึ้นและเกิดการชนกัน หากพลังงานจากการชนกันของโมเลกุลในชั้นผิวหน้าของสารละลายมีค่ามากกว่าแรงตึงผิว (surface tension) ของสาร

ละลาย จะทำให้โมเลกุลเหล่านี้หลุดออกจากผิวหน้าของสารละลายไปกลายเป็นโมเลกุลของไอของเหลวลอยอยู่เหนือผิวของเหลว นั้น โมเลกุลเหล่านี้จึงเป็นโมเลกุลที่มีอุณหภูมิและความดันสูง หากเราต่อเชื่อมบริเวณผิวหน้าของสารละลายที่มีโมเลกุลเหล่านี้ลอยอยู่กับชุดควบแน่น (condenser) ซึ่งภายในมีอุณหภูมิและความดันต่ำกว่าแล้ว จะทำให้โมเลกุลเหล่านี้เคลื่อนที่เข้ามาในชุดควบแน่น และเกิดการควบแน่น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นหยดของเหลวออกจากชุดควบแน่นนี้ในที่สุด ค่ากำลังทางไฟฟ้า ; P_H (หน่วยวัตต์) ของขดลวดความร้อน สามารถหาได้จากการนำค่าแรงดันหรือค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (V_H) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า มาคูณกับ ค่ากระแสไฟฟ้า (I_H) ที่ขดลวดความร้อนต้องการ หรือ $P_H = V_H \times I_H$

การใช้คลื่นไมโครเวฟ เพื่อไล่น้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ อาศัยหลักการการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารละลายที่ดูดซับคลื่นไว้ โดยพลังงานจลน์ที่สารละลายได้รับจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารละลายในที่สุด เนื่องจากสารละลายที่สามารถดูดซับคลื่นไว้ จะถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (Ionic polarization) และความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสารประกอบที่มีขั้ว หรือ polar (Dipole rotation) เมื่อโมเลกุลของสารละลายได้รับความร้อน จะทำให้แต่ละโมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ที่เร็วขึ้นและเกิดการชนกัน หากพลังงานจากการชนกันของโมเลกุลในชั้นผิวหน้าของสารละลายมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของสารละลาย จะทำให้โมเลกุลเหล่านี้หลุดออกจากผิวหน้าของสารละลายไปกลายเป็นโมเลกุลของไอของเหลวลอยอยู่เหนือผิวของเหลว นั้น ซึ่งเหมือนกับการให้ความร้อนแก่สารละลายที่ได้กล่าวผ่านมา ดังนั้นโมเลกุลเหล่านี้จึงเป็นโมเลกุลที่มีอุณหภูมิและความดันสูงแต่ไม่สูงเท่ากับค่าของโมเลกุลที่ได้รับความร้อนโดยตรง หากโมเลกุลเหล่านี้ลอยขึ้นไปกระทบฝาของภาชนะที่บรรจุสารละลายไว้ โมเลกุลเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นหยดของเหลวเกาะบนฝาของภาชนะ เนื่องจากไม่มีความร้อนเกิดขึ้นภายในและบริเวณรอบนอกของฝาก็ทำให้ฝามีอุณหภูมิต่ำกว่าโมเลกุลเหล่านี้ เมื่อโมเลกุลเหล่านี้ลอยขึ้นมากระทบกับฝา จึงถูกทำให้มีความเร็วเป็นศูนย์ (พลังงานจลน์เป็นศูนย์) และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน หรือเกิดการควบแน่นเป็นหยดของเหลวในที่สุด คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) ที่มี

ความถี่ในช่วง 915 ถึง 2,450 MHz ซึ่งคลื่นประเภทนี้ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ส่วนประกอบที่สำคัญของตู้อบไมโครเวฟคือ แมกนีตรอน (magnetron) ที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยคลื่นไมโครเวฟตามการสั่งงานจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมจังหวะ (pulse) การทำงานของแมกนีตรอน และใบพัด Stirrer ที่ทำหน้าที่ช่วยกระจายคลื่นให้เคลื่อนที่ทั่วถึงทุกจุดในตู้อบ ปริมาณพลังงานที่เกิดจากไมโครเวฟสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในสารประกอบไดอิเล็กทริก คำนวณได้จาก

$$P_D = 55.61 \times 10^{-14} E^2 f k' \tan \delta \quad (2)$$

เมื่อ P_D = พลังงานที่สารประกอบไดอิเล็กทริกดูดซับไว้ (watt / cm³)

E = ความเข้มสนามไฟฟ้า (Volt / cm)

f = ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (Hz)

k' = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ หรือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบไดอิเล็กทริกที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณน้ำในสารประกอบไดอิเล็กทริก

$\tan \delta$ = loss tangent = k'' / k' โดย k'' คือแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก [2]

ที่สภาวะสมดุลของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดที่มีความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ สารละลายจะแยกอยู่ภายในภาชนะเป็นทั้งของเหลวและไอ โดยส่วนที่เป็นไอจะเป็นไออิ่มตัวของไอน้ำเท่านั้น เพราะสารประกอบลิเทียมโบรไมด์ไม่ระเหยเป็นไอ (Nonvolatile) ดังนั้นหากเราสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในสารละลายลิเทียมโบรไมด์เจือจางหลุดออกไป จะทำให้สารละลายเจือจางมีความเข้มข้นสูงขึ้นในที่สุด เราสามารถหาความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ได้โดยการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่าง 1 mL ที่ดวงโดยใช้ Micropipette ซึ่งเราจะนำค่าความหนาแน่นนี้ไปคำนวณหาหน้าหนักของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกมา ดังนั้นหากเราควบแน่นสารตัวอย่างออกจากชุดทดลองทั้ง 3 ในปริมาตรเท่ากันและนำค่าพลังงานจำเพาะต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกมาจากแต่ละชุดทดลองใช้ไปมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าวิธีการใดที่ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุดไปจนถึงสูงที่สุด

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ในการวิจัย

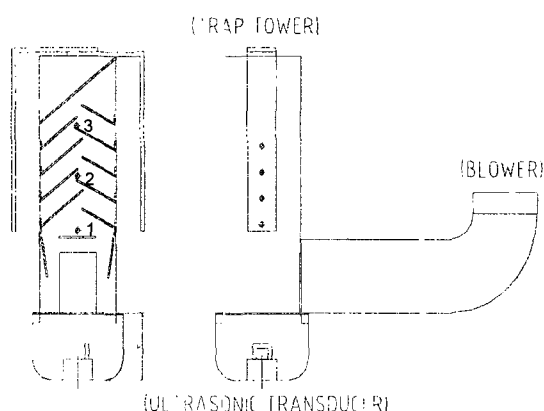
สารละลายลิเทียมโบรไมด์ทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัยนี้สารละลายลิเทียมโบรไมด์ทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งการเตรียมสารละลายลิเทียมโบรไมด์ทำได้โดย นำสารประกอบลิเทียมโบรไมด์บริสุทธิ์ (Lithium Bromide Extra Pure) ปริมาณ 200 กรัม ตวงใส่บีกเกอร์ หลังจากนั้นเติมน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water) ลงไปในบีกเกอร์จนกระทั่งสารละลายมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 2,000 กรัม หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้เทใส่ไว้ในขวดใส่สาร

เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในการดึงไอน้ำออกจากสารละลายลิเทียมโบรไมด์ในแต่ละวิธี ในงานวิจัยนี้จึงแบ่งออกเป็น 3 ชุดทดลอง ดังนี้คือ

1) ชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย ภาชนะใส่สารที่ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer : Aquarium Mist Maker ยี่ห้อ Cosmo) ไว้บริเวณก้นของภาชนะ, ชุดดักไอ (Trap tower), และพัดลม

2) ชุดขดลวดความร้อน ประกอบด้วย ขดลวดความร้อน (Adjustable Heater), ขาตั้ง (Stand) พร้อมทั้งยึดอุปกรณ์ (Utility Clamp), ขวดแก้วกันกลม (Rounded Flask), และชุดควบแน่น (Condenser)

3) ชุดเครื่องไมโครเวฟ ประกอบด้วย เครื่องไมโครเวฟ (Adjustable Microwave Oven), และภาชนะใส่สารพร้อมฝาปิด



รูปที่ 1 ชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

1) การวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในชุดทดลองทั้ง 3 : ทำการวัดอุณหภูมิภายในชุดทดลองทั้ง 3 ดังนี้คือ (1) ทำการวัดอุณหภูมิภายในชุดอัลตราโซนิก ทรานสดิวเซอร์ โดยใช้เทอร์โมคัปเพิล (thermocouple) RTD Pt-100 ทั้งหมด 4 ตัว โดยใช้เทอร์โมคัปเพิลวัดอุณหภูมิของสารละลาย จำนวน 1 ตัว และใช้เทอร์โมคัปเพิลวัดอุณหภูมิของกลุ่มละอองของเหลวที่ลอยขึ้นมาในชุดดักไอ จำนวน 3 ตัว โดยวางในตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 1, (2) ทำการวัดอุณหภูมิภายในชุดขดลวดความร้อน โดยใช้เทอร์โมคัปเพิล แบบ K (type K) จำนวน 1 ตัว วัดอุณหภูมิของสารละลาย และใช้เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) พรอท จำนวน 1 ตัว วัดอุณหภูมิของไอในชุดทดลอง, และ (3) ทำการวัดอุณหภูมิของสารละลายในภาชนะที่วางอยู่ในเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้เทอร์โมคัปเพิล แบบ K จำนวน 1 ตัว วัดอุณหภูมิของสารละลายในภาชนะ

2) การเก็บสารตัวอย่างจากชุดทดลองทั้ง 3 : ทำการเก็บสารตัวอย่างจากชุดทดลองทั้ง 3 ดังนี้คือ (1) การเก็บสารตัวอย่างจากชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ทำได้โดยหลังจากกลุ่มละอองของสารตัวอย่างลอยเข้าไปในชุดดักไอแล้วสารตัวอย่างจะลอยขึ้นมากกระทบแผ่นสแตนเลส และเกาะเป็นหยดของเหลวรวมตัวไหลลงสู่หลอดเก็บสารตัวอย่าง, (2) การเก็บสารตัวอย่างจากชุดขดลวดความร้อน ทำได้โดยหลังจากสารละลายที่อยู่ในภาชนะบรรจุจะเหี่ยวตัวเนื่องจากความร้อนที่ได้รับ ผ่านเข้าไปในชุดควบแน่นแล้วจะเกิดการควบแน่นของหยดของเหลวไหลลงสู่หลอดเก็บสารตัวอย่าง, และ (3) การเก็บสารตัวอย่างจากภาชนะในเครื่องไมโครเวฟ ทำได้โดยใช้หลอดดูดสารดูดเก็บสารตัวอย่างที่ควบแน่นเกาะบริเวณฝาของภาชนะบรรจุสารละลาย แล้วใส่ไว้ในหลอดเก็บสารตัวอย่าง

3) การวัดพลังงานป้อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 3 ชุด : ทำการวัดค่าพลังงานป้อนเข้าของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชุด โดยใช้ มัลติมิเตอร์ (Multi Meter) วัดค่าความต่างศักย์หรือแรงดัน (V หน่วย โวลต์) ของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า และปริมาณกระแสไฟฟ้า (I หน่วย แอมแปร์) ที่ไหลเข้าไปในชุดทดลองทั้ง 3 ชุด แล้วนำค่าที่วัดได้ทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ค่าพลังงานป้อนเข้าในหน่วยวัตต์

4) การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ในสารตัวอย่าง : ทำการวิเคราะห์วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ตัวอย่าง โดยแบ่งสารตัวอย่างที่

ได้จากแต่ละชุดทดลองออกเป็น 5 หลอดทดลอง หลอดละ 12 mL แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณลิเทียมไอออน (Li^+) ตามวิธีการใน Standard Methods [6] โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของเปลวไฟที่ได้จากการเผาสารตัวอย่าง แล้วเครื่องจะนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เทียบเป็นค่าความเข้มข้นของลิเทียมไอออน โดยอาศัย Calibration curve ซึ่งหากเปลวไฟที่ได้จากการเผาสารตัวอย่างเป็นสีแดง แสดงว่าในสารตัวอย่างมีลิเทียมไอออน เนื่องจากเปลวไฟสีแดงเป็นสีเปลวไฟเฉพาะที่เกิดจากการเผาลิเทียมไอออน หลังจากนั้นจะนำสารตัวอย่างที่สามารถวัดปริมาณลิเทียมไอออนได้ไปทดสอบว่ามีโบรมไนด์ไอออน (Br^-) หรือไม่ เพื่อตรวจสอบว่าปริมาณลิเทียมไอออนที่เครื่องนี้สามารถวิเคราะห์ได้อยู่ในรูปใด ระหว่างสารประกอบลิเทียมโบรมไนด์หรือลิเทียมไอออนอิสระ

3. ผลการทดลอง

3.1 ค่าพลังงานป้อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 3

1) เราสามารถเก็บสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ปริมาตร 60 mL ในช่วงเวลา $T_T = 235$ นาที ค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า $V_T = 222$ โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดทดลองนี้ต้องการ $I_T = 0.19$ แอมแปร์ ค่ากำลังทางไฟฟ้าของชุดทดลองนี้เท่ากับ

$$P_T = V_T \times I_T = 222 \times 0.19 = 42.18 \text{ วัตต์}$$

$$\therefore E_T = P_T \times T_T = 42.18 \times (235 \times 60)$$

$$= 594,738 \text{ จูล หรือ } 594.738 \text{ กิโลจูล}$$

เราสามารถวัดค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลองนี้ได้เท่ากับ 1.15676 กรัม / mL

$\therefore$ น้ำหนักของสารตัวอย่าง 60 mL เท่ากับ 69.4056 กรัม หรือ 69.4056×10^{-3} กิโลกรัม

ดังนั้นชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรมไนด์มีค่าเท่ากับ

$$594.738 / 69.4056 \times 10^{-3} = 8.56902 \times 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง

2) เราสามารถเก็บสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลองความร้อนปริมาตร 60 mL ในช่วงเวลา $T_H = 80$ นาที ค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า $V_H = 222$ โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดทดลองนี้ต้องการ $I_H = 1.36$ แอมแปร์ ค่ากำลังทางไฟฟ้าของชุดทดลองนี้เท่ากับ

$$P_H = V_H \times I_H = 222 \times 1.36 = 301.92 \text{ วัตต์}$$

$$\therefore E_H = P_H \times T_H = 301.92 \times (80 \times 60)$$

$$= 1,449,216 \text{ จูล}$$

$$\text{หรือ } 1,449.216 \text{ กิโลจูล}$$

เราสามารถวัดค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลองนี้ได้เท่ากับ 1.01164 กรัม / mL

$\therefore$ น้ำหนักของสารตัวอย่าง 60 mL เท่ากับ 60.6984 กรัม หรือ 60.6984×10^{-3} กิโลกรัม

ดังนั้นชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรมไนด์มีค่าเท่ากับ

$$1,449.216 / 60.6984 \times 10^{-3} = 23.87569 \times 10^3 \text{ KJ/Kg}$$

ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง

3) เราสามารถเก็บสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดเครื่องไมโครเวฟปริมาตร 60 mL ในช่วงเวลา $T_M = 450$ นาที ค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า $V_H = 222$ โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ชุดทดลองนี้ต้องการ $I_H = 0.58$ แอมแปร์ ค่ากำลังทางไฟฟ้าของชุดทดลองนี้เท่ากับ

$$P_M = V_M \times I_M = 222 \times 0.58 = 128.76 \text{ วัตต์}$$

$$\therefore E_M = P_M \times T_M = 128.76 \times (450 \times 60)$$

$$= 3,476,520 \text{ จูล}$$

$$\text{หรือ } 3,476.52 \text{ กิโลจูล}$$

เราสามารถวัดค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลองนี้ได้เท่ากับ 1.002 กรัม / mL

$\therefore$ น้ำหนักของสารตัวอย่าง 60 mL เท่ากับ 60.12 กรัม หรือ 60.12×10^{-3} กิโลกรัม

ดังนั้นชุดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรมไนด์มีค่าเท่ากับ

$3,476.52 / 60.12 \times 10^{-3} = 57.82635 \times 10^3 \text{ KJ/Kg}$ ของสารตัวอย่างที่ควบแน่นออกจากชุดทดลอง

3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชุดทดลองทั้ง 3

1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในชุดทดลองที่ 1

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
0	0	25.49
1031	43.48758	29.72
1302	54.91836	30.58
1991	83.98038	32.29

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
2509	105.82962	32.72
3092	130.42056	34.87
3721	156.95178	36.16
4299	181.33182	36.59
4897	206.55546	37.88
5485	231.3573	38.31
6084	256.62312	39.60
6682	281.84676	39.72
7275	306.8595	39.87
7889	332.75802	40.45
8477	357.55986	40.45
9065	382.3617	40.45
9679	408.26022	40.45
10287	433.90566	40.45
10901	459.80418	40.45
11474	483.97332	40.45
12067	508.98606	40.45
12655	533.7879	40.45
13254	559.05372	40.45
13832	583.43376	40.45
14118	595.49724	40.45
14435	608.8683	40.45
15018	633.45924	40.45

2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในชุดทดลอง

ที่ 2

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
0	0	28
150	45.288	33
300	90.576	43
450	135.864	49
600	181.152	56
750	226.44	64
900	271.728	70
1050	317.016	77

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
1200	362.304	84
1350	407.592	92
1500	452.880	98
1650	498.168	102
1800	543.456	103
1950	588.744	104
2100	634.032	104
4800	1,449.216	105

3) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายในชุดทดลอง

ที่ 3

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
0	0	28
1080	139.0608	40
2160	278.1216	47
3240	417.1824	54
4320	556.2432	54
5400	695.304	56
6480	834.3648	59
7560	973.4256	59
8640	1,112.4864	61
9720	1,251.5472	64
10800	1,390.608	64
11880	1,529.6688	69
12960	1,668.7296	69
14040	1,807.7904	71
15120	1,946.8512	71
16200	2,085.912	71
17280	2,224.9728	76
18360	2,364.0336	76
19440	2,503.0944	78
20520	2,642.1552	80
21600	2,781.216	80
22680	2,920.2768	80
23760	3,059.3376	82

เวลา (วินาที)	พลังงานป้อนเข้า (KJ)	อุณหภูมิ (C)
24840	3,198.3984	84
25920	3,337.4592	86
27000	3,476.5200	87

3.3 ความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ในสาร

ตัวอย่างที่ได้จากชุดทดลองทั้ง 3

จากผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ความแน่นอนจากชุดทดลองทั้ง 3 โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer พบว่า สารตัวอย่างที่ได้จากชุดทดลองที่ 1 มีค่าความเข้มข้นของลิเทียมไอออนอยู่ในช่วง 0.9288% ถึง 1.0297% โดยน้ำหนัก และตรวจพบว่ามิโบรไมด์ไอออนด้วย ซึ่งแสดงว่าสารตัวอย่างนี้อยู่ในรูปของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ และจากค่าความเข้มข้นของลิเทียมไอออนที่วัดได้สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายลิเทียมโบรไมด์ได้อยู่ในช่วง 11.6217% ถึง 12.8842% โดยน้ำหนัก แต่สารตัวอย่างที่ได้จากชุดทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นของลิเทียมไอออนอยู่ในช่วงต่ำกว่าระดับที่เครื่องสามารถวัดได้ และตรวจไม่พบโบรไมด์ไอออน

4. สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ชุดอัลตราโซนิก-ทรานสดิวเซอร์ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรไมด์ เมื่อเทียบกับพลังงานจำเพาะเฉลี่ยที่เครื่องไมโครเวฟใช้ มีค่าคิดเป็น 14.82% และ ชุดขดลวด-ความร้อนใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการระเหยสารละลายลิเทียมโบรไมด์ เมื่อเทียบกับพลังงานจำเพาะเฉลี่ยที่เครื่องไมโครเวฟใช้ มีค่าคิดเป็น 41.29%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิ่งแก้ว ศิริวิทยากร, 2535, "ฟิสิกส์พื้นฐานของความร้อน เทอร์โมไดนามิกส์ คลื่นกลและเสียง", ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 48, 90, 115

- [2] คณะจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, "วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร", 490 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 175-177
- [3] ดร.ดุสิต เครืองาม, 2542, "การประหยัดพลังงานในสถานที่ทำงาน", หน้า 2 ใน เอกสารเผยแพร่ ชุดสารานุกรมเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย
- [4] พรพล รมย์นุกูล, 2542, "การถนอมอาหาร", ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครราชสีมา, หน้า 157
- [5] สัมพันธ์ ไชยเทพ, 2524, "การทำความเย็น", ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 208
- [6] American Public Health Association, 1995, "Standard methods for the examination of water and wastewater. 9th ed. / Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation", American Public Health Association, pp.3.13-3.15, 3-73.
- [7] Blitz, J., 1971, "Ultrasonics : Method and Applications", Butterworth and Co. Ltd., pp.32-33.
- [8] Lang, R.J., 1962, "Ultrasonic Atomization of Liquids", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.34, pp.6-8.