การใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นแคลอริมิเตอร์อย่างง่าย เพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากสมบัติคอลลิเกตีฟ

Using vacuum flask as a simple calorimeter for determination of molecular weight of compounds from colligative properties

เกษศิรินทร์ พลหาญ,[1] มะลิวรรณ อมตธงไชย,[2] สุภาพ ตาเมือง,[2] ปุริม จารุจำรัส,[2] เสนอ ชัยรัมย์ [2]*

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

*Email: sanoe.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาปฏิบัติการทดลองสาธิตทดลองเพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากการติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งโดยใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นแคลอริมิเตอร์อย่างง่าย สมบัติคอลลิเกตีฟขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตัวละลายแต่ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลายที่กำลังทำการวัด สารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ล้วนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตัวละลายทั้งหมดเป็นเกลือแกง ผงชูรส และน้ำตาลทราย มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ในการทดลอง ตัวทำละลายหรือสารละลายจะบรรจุอยู่ในขวดแก้วที่มีเทอร์โมมิเตอร์ ใส่ลงในกระติกน้ำสุญญากาศที่มีเกลือแกงโรยบนน้ำแข็ง และบันทึกอุณหภูมิที่ลดลงทุกๆ นาที จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเพื่อหาจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย (T_f°) หรือ สารละลาย (T_f) นอกจากนี้ วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบในสีผสมอาหารสีแดงหรือสีเหลือง มวลโมเลกุลที่คำนวณได้ของตัวละลายทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเกลือแกง ผงชูรส น้ำตาลทราย สีแดง และสีเหลือง เท่ากับ 0.53%, 1.12%, 1.86%, 0.31%, และ 0.11% ตามลำดับ ปฏิบัติการทดลองสาธิตทดลองนี้น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูวิทยาศาสตร์ทุกระดับชั้นในการนำไปสอนสมบัติคอลลิเกตีฟในห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ : สมบัติคอลลิเกตีฟ การลดลงของจุดเยือกแข็ง มวลโมเลกุล กระติกน้ำสุญญากาศ แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย

Abstract

This research aimed to develop an experimental demonstration in the laboratory to determine the molecular weight of compound from freezing point depression by using a vacuum flask as a simple calorimeter. Colligative properties depend on the number, not the identity of molecule be measuring. All the substances used in this study were environmental-friendly: water was used as a solvent, while all solutes were rock salt, monosodium glutamate and sugar. In experiment, the solvent or solution was placed in a vial with a thermometer, put into a vacuum flask containing sprinkle rock salt on the ice, and then record the decreasing temperature every minute. The relationship between the temperature and time was plotted to determine the freezing point of the solvent (T_f°) or solution (T_f). Furthermore, this approach was applied to determine the molecular weight of compound in red or yellow food colour. The calculated molecular weight of all solutes was closed to the actual value. The percentage error of rock salt,

monosodium glutamate, sugar, red food colour and yellow food colour was 0.53%, 1.12%, 1.86%, 0.31%, and 0.11% respectively. This experimental demonstration ought to be interesting to science teachers for the instruction of colligative properties at all levels in laboratory.

Keywords: Colligative properties; Freezing point depression; Molecular weight; Vacuum flask; Simple calorimeter

1. บทนำ

สารละลาย (solution) เป็นของผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างสารสองชนิดหรือมากกว่าขึ้นไปมาผสมจนเป็นเนื้อเดียว (homogeneous mixture) โดยที่องค์ประกอบแต่ละชนิดในตัวทำละลายไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกัน สารละลายประกอบด้วยตัวละลาย (solute) และตัวทำละลาย (solvent) ในสารละลายหนึ่ง ตัวทำละลายมีปริมาณมากกว่าตัวละลายเสมอ ตัวทำละลายที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเรียกว่า สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (aqueous solution) เช่น สารละลายเกลือแกงประกอบด้วยน้ำและเกลือแกง น้ำซึ่งมีปริมาณมากกว่าเป็นตัวทำละลาย ส่วนเกลือแกงซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าเป็นตัวละลาย [1] โดยทั่วไป สารละลายแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสถานะของสารละลาย ได้แก่ สารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง สถานะของสารละลายจะขึ้นอยู่กับสถานะของตัวทำละลาย ส่วนสถานะตัวละลายอาจเป็นของแข็งของเหลว หรือแก๊สก็ได้ ตัวอย่าง อากาศจัดเป็นสารละลายแก๊สโดยมีแก๊สไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเป็นตัวทำละลาย ส่วนแก๊สอื่นๆ รวมทั้งไอน้ำและฝุ่นละอองเป็นตัวละลาย เป็นต้น

ถึงแม้สารละลายประกอบด้วยสารต่างๆ หลายชนิด แต่สารละลายยังคงแสดงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแต่ละสารองค์ประกอบ สำหรับสมบัติทางเคมี ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่เกิดในสารละลาย ในสารละลายแก๊สหรือของเหลว ปฏิกิริยาเคมีในสารละลายแก๊สหรือของเหลวเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสารละลายของแข็งเพราะโมเลกุลหรือไอออนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ สำหรับสมบัติทางกายภาพ สมบัติบางประการของสารละลายจะแตกต่างไปจากตัวทำละลายที่เป็นของเหลวบริสุทธิ์ เช่น จุดเยือกแข็ง (freezing point, fp) จุดเดือด (boiling point, bp) ความดันไอ (vapor pressure) และแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) สมบัติที่แตกต่างไปนี้จะขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายและจำนวนอนุภาคของตัวละลายในสารละลาย แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย เราเรียกสมบัตินี้ว่า “สมบัติคอลลิเกตีฟ (colligative properties)” [2] สมบัติคอลลิเกตีฟจะมีค่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลายแต่อย่างใด ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการ

$$\Delta T = K \cdot m$$

เมื่อ ΔT เป็นผลต่างของจุดเดือด (ΔT_b) หรือจุดเยือกแข็ง (ΔT_f) ระหว่างตัวทำละลายบริสุทธิ์และสารละลาย มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

K เป็นค่าคงที่การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (K_b) หรือการลดลงของจุดเยือกแข็ง (K_f) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำละลาย มีหน่วยเป็น $^{\circ}C\ mol^{-1}\ kg$

m เป็นความเข้มข้นของตัวละลายในหน่วยโมแลลิตี (molality, m) เรียกสั้นๆ ว่า โมแลล ซึ่งหมายถึงจำนวนตัวละลาย 1 mol ในตัวทำละลาย 1 kg หรือ $mol\ kg^{-1}$ นั่นเอง

มนุษย์ได้อาศัยประโยชน์จากสมบัติคอลลิเกตีฟในชีวิตประจำวันหลายอย่าง เช่น แพทย์จะแนะนำให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงควรลดการบริโภคอาหารที่มีรสเค็มจัด การเติมเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ลงในหม้อน้ำรถยนต์จะช่วยป้องกันการแข็งตัวของน้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็นของเครื่องยนต์ในประเทศที่มีอากาศหนาวจัดได้ และการเติมเกลือแกง (sodium chloride, NaCl) ลงไปในถังน้ำแข็งก็

เป็นวิธีการที่นิยมนำมาทำไอศกรีม ในทางวิทยาศาสตร์ ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของสมบัติคอลลิเกตีฟ คือ การหามวลโมเลกุล (molecular weight, MW) ของสารประกอบที่ละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม การทดลองเพื่อหามวลโมเลกุลของตัวละลายจะมีความถูกต้องสำหรับสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ แต่ถ้าตัวละลายมีมวลโมเลกุลสูง อยู่ในช่วง 1,000-100,000 g/mol การหามวลโมเลกุลสูงด้วยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายอย่าง เช่น สารที่ต้องการหามวลโมเลกุลไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้มีอัตราการระเหยที่ค่อนข้างสูงเกินไปหรือน้ำหนักบางส่วนของสารตัวอย่างเกิดการสูญหายระหว่างการวิเคราะห์ สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ทำให้การทดลองมีความผิดพลาด [3] ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์นิยมวิเคราะห์มวลโมเลกุลของสารที่ไม่รู้ (unknown) ในตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “แมสสเปกโทรมิเตอร์ (mass spectrometer)” เพราะให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีการที่อาศัยสมบัติคอลลิเกตีฟ อย่างไรก็ตาม สมบัติคอลลิเกตีฟยังเป็นหลักการพื้นฐานที่จำเป็นต่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของสารละลาย

โดยทั่วไป การบันทึกอุณหภูมิของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต้องอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า “แคลอริมิเตอร์ (calorimeter)” แต่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงดัดแปลงแคลอริมิเตอร์อย่างง่ายซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดเข้ากับภาชนะที่สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิให้คงที่ การพัฒนาปฏิบัติการทดลองเพื่อพิสูจน์หลักการทางทฤษฎีจากสมบัติคอลลิเกตีฟและการนำการทดลองไปประยุกต์ใช้มีดังต่อไปนี้ ในปี 1989 Sund [4] ได้นำเสนอการทดลองเพื่อสาธิตสมบัติคอลลิเกตีฟโดยศึกษาการลดลงของจุดเยือกแข็งของน้ำจากการเติมเกลือแกง (sodium chloride, NaCl) ลงไปในบีกเกอร์แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของตัวละลายในหน่วยโมแลลของเกลือแกงที่เติมลงไป จากนั้น นำการทดลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการสาธิตการทำไอศกรีมโดยใช้กระป๋องกาแฟ (coffee can) แทนบีกเกอร์ในชั้นเรียน ผลการทดลองที่ได้พบว่า จุดเยือกแข็งของน้ำจากการเติมเกลือแกงมีค่าต่ำกว่าที่คาดเดาไว้และนักเรียนมีความสนใจในการทำไอศกรีมเป็นอย่างมาก

ในปี 2005 McCarthy และ Gordon-Wylie [5] ได้พัฒนาปฏิบัติการทดลองโดยเน้นการใช้สารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การทดลองนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาจุดเยือกแข็ง (freezing point, fp) ระหว่างกรดสเตียริกซึ่งเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ กับสารละลายของกรดสเตียริกกับกรดไขมันตัวอย่างที่เติมลงไป กรดสเตียริก (steric acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ส่วนกรดไขมันตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ กรดลอริก (lauric acid) กรดปาร์มิติก (palmitic acid) หรือ กรดไมริสติก (myristic acid) ซึ่งทั้งหมดก็เป็นกรดไขมันอิ่มตัวเช่นเดียวกัน จากนั้น นำหลอดทดลองที่บรรจุตัวทำละลายบริสุทธิ์หรือสารละลายไปวางในน้ำร้อน (85-90 $^{\circ}$C) เมื่อสารละลายสมบูรณ์ ให้ติดตามอุณหภูมิของสารโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แอลกอฮอล์ การทดลองนี้ใช้เวลาประมาณ 8-10 นาที สุดท้ายนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหามวลโมเลกุลของสารประกอบตัวอย่าง ผลการทดลองที่ได้พบว่า มวลโมเลกุลของสารตัวอย่างที่คำนวณได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับกับค่าจริง เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 5-10% แสดงให้เห็นว่า วิธีการทดลองในปฏิบัติการนี้สามารถนำไปสาธิตทดลองเพื่อหามวลโมเลกุลและระบุชนิดกรดไขมันโดยอาศัยสมบัติคอลลิเกตีฟได้

ในปี 2007 Novo และคณะ [6] ได้พัฒนาปฏิบัติการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติคอลลิเกตีฟโดยใช้ Fiske osmometer เป็นเครื่องมือในการทดสอบคุณภาพของนม (milk) และคำนวณหามวลโมเลกุลของนมผง (powdered milk) โดยอาศัยการลดลงของจุดเยือกแข็ง (freezing point depression) ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของนมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็งของนม ถ้ามีน้ำและกรดแลกติก (lactic acid) เป็นสารปลอมปน แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยจะทำให้จุดเยือกแข็งลดลงกว่านมที่ไม่มีการเติมสารปลอมปนลงไป ในการคำนวณหามวลโมเลกุลของนมผงตัวอย่าง มวลโมเลกุลของนมตัวอย่างระหว่างนมผงธรรมดา (whole milk)

มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากกว่านมผงขาดมันเนย (skim milk) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากไขมัน (fat) ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งยังไม่ได้กำจัดออกไปจากนมผงธรรมดา จึงทำให้มวลโมเลกุลที่คำนวณได้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ประมาณ 21% อย่างไรก็ตาม ปฏิบัติการนี้ก็สามารถนำไปสาธิตทดลองเพื่อหามวลโมเลกุลของนมโดยอาศัยสมบัติคอลลิเกตีฟได้เช่นเดียวกัน

ถึงแม้ว่าการทดลองจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบโดยอาศัยสมบัติคอลลิเกตีฟได้ แต่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่คำนวณได้ยังมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนในที่จะพัฒนาปฏิบัติการทดลองสาธิตทดลองอย่างง่ายเพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากการติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งโดยใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นแคลอริมิเตอร์อย่างง่าย จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่พบบทความวิจัยที่นำกระติกน้ำสุญญากาศมาพัฒนาเป็นปฏิบัติการทดลองเพื่อพิสูจน์หลักการทางทฤษฎีจากสมบัติคอลลิเกตีฟแต่อย่างใด แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสาร ซึ่งก็คือการวัดความร้อนของปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เนื่องจากแคลอริมิเตอร์ถูกออกแบบให้ไม่มีความร้อนเคลื่อนที่เข้าและออกจากระบบโดยการหุ้มด้วยฉนวน จึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสารจัดเป็นระบบ (system) ส่วนที่เหลือของแคลอริมิเตอร์จัดเป็นสภาวะแวดล้อม ซึ่งแคลอริมิเตอร์รูปแบบง่ายๆ ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ติดเข้ากับภาชนะที่สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ผู้วิจัยจึงนำกระติกน้ำสุญญากาศ (vacuum flask) ต่อเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ให้เป็นแคลอริมิเตอร์อย่างง่าย เพราะกระติกน้ำสุญญากาศจัดว่าเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ทั้งร้อนและเย็น ประสิทธิภาพในการเก็บรักษาอุณหภูมิของกระติกน้ำสุญญากาศที่ขายตามท้องตลาดจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิต และเพื่อลดการใช้สารที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำ ส่วนตัวละลายเป็นสารในชีวิตประจำวัน ได้แก่ เกลือแกง ผงชูรส และน้ำตาลทราย จากนั้น นำการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้สมบัติคอลลิเกตีฟในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากสีผสมอาหาร (food colour) ที่ขายตามท้องตลาด การทดลองนี้น่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในการนำไปสอนในหัวข้อสมบัติคอลลิเกตีฟของสารละลายในห้องปฏิบัติการได้

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1. สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 1

2.2. วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์

ขั้นตอนการทดลองของการใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นอุปกรณ์แช่เย็นเพื่อหาจุดเยือกแข็งแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตวงน้ำกลั่น ปริมาตร 25 mL บรรจุลงในขวดแก้ว ขนาดบรรจุ 30 mL แล้วปิดขวดแก้วด้วยจุกยางที่มีช่องตรงกลางสำหรับตรึงเทอร์โมมิเตอร์ ให้ปลายเทอร์โมมิเตอร์อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของตัวทำละลายน้ำ

บรรจุน้ำแข็งลงในกระติกน้ำสุญญากาศที่มีช่องตรงกลาง โรยเกลือแกงบนน้ำแข็งเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำแข็งต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (ประมาณ -7 $^{\circ}$C) นำขวดแก้วที่มีตัวทำละลายและเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในกระติกน้ำสุญญากาศ บันทึกอุณหภูมิที่ลดลงทุกนาที ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง สุดท้ายนำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ลดลงกับเวลาเพื่อหาจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายเกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทราย

เพื่อพิสูจน์หลักการทางทฤษฎีจากสมบัติคอลลิเกตีฟในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบจึงเลือกสารประกอบในชีวิตประจำวันที่รู้มวลโมเลกุลมา 3 ชนิด ได้แก่ เกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทราย โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยชั่งเกลือแกง 2.5 g (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) เทลงในขวดแก้ว

ละลายเกลือแกงด้วยตัวทำละลายน้ำ ปริมาตร 25 mL เมื่อเกิดเป็นสารละลายสมบูรณ์แล้ว นำขวดแก้วที่มีสารละลายเกลือแกงและเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในกระติกน้ำสุญญากาศ บันทึกอุณหภูมิที่ลดลงทุกนาที ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นเปลี่ยนตัวละลายจากเกลือแกงเป็นผงชูรสหรือน้ำตาลทราย ใช้น้ำหนักของผงชูรสหรือน้ำตาลทราย 9 g นำขวดแก้วที่มีสารละลายและเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในกระติกน้ำสุญญากาศ บันทึกอุณหภูมิที่ลดลงทุกนาที นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ลดลงกับเวลาเพื่อหาจุดเยือกแข็งของสารละลายเกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทราย สุดท้ายคำนวณหามวลโมเลกุลของเกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทราย และหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่คำนวณได้

ตอนที่ 3 การประยุกต์ใช้สมบัติคอลลิเกตีฟในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบในสีผสมอาหาร

สุ่มเลือกตัวอย่างจากสีผสมอาหารที่ขายตามท้องตลาดที่ผลิตโดยบริษัท อดินพ จำกัด มา 2 ชนิดสี ได้แก่ สีผสมอาหารสีแดงและสีผสมอาหารสีเหลือง สีผสมอาหารทั้งสองชนิดสีนี้มีสารสีที่เป็นองค์ประกอบหลักในเปอร์เซ็นต์ที่สูง ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยชั่งสีผสมอาหารแต่ละชนิดสี 7.5 g (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) เทลงในขวดแก้ว ละลายสีผสมอาหารด้วยตัวทำละลายน้ำ ปริมาตร 25 mL เมื่อเกิดเป็นสารละลายสมบูรณ์แล้ว นำขวดแก้วที่มีสารละลายสีผสมอาหารและเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในกระติกน้ำสุญญากาศ บันทึกอุณหภูมิที่ลดลงทุกนาที ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ลดลงกับเวลาเพื่อหาจุดเยือกแข็งของสารละลายสีผสมอาหารแต่ละชนิดสี สุดท้ายคำนวณหามวลโมเลกุลของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลักในสีผสมอาหารแต่ละชนิดสี และหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่คำนวณได้

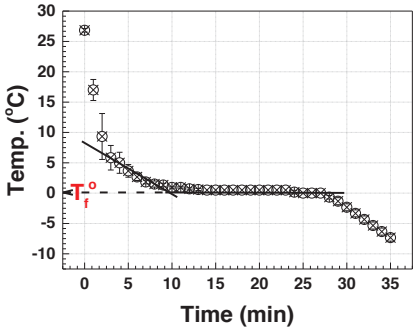
รูปที่ 1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 ขั้นตอนการทดลองของการใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นอุปกรณ์แช่เย็นเพื่อหาจุดเยือกแข็ง

3. ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์

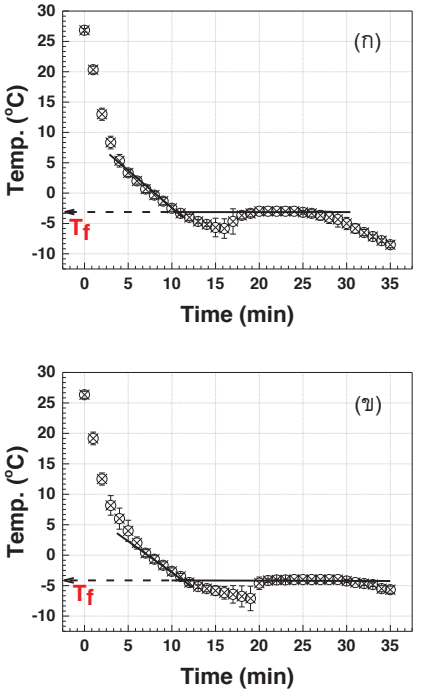
การหาจุดเยือกแข็งทำได้โดยการนำสารไปแช่ในน้ำแข็งที่โรยด้วยเกลือ (อุณหภูมิของน้ำแข็งที่วัดได้จะต่ำกว่า 0 °C) จนกระทั่งสารนั้นเย็นตัวลงกลายสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง เมื่อนำอุณหภูมิของสาร ณ เวลาใดๆ ในขณะที่สารกำลังเย็นลง ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จะได้กราฟการเย็นตัว (cooling curve) McCarthy และ Gordon-Wylie [5] ได้แสดงวิธีการหาจุดเยือกแข็งจากกราฟการเย็นตัวของสารโดยการลากเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเย็นตัวของเหลว (liquid cooling line) ไปตัดกับเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเยือกแข็งของเหลว (liquid freezing line) ณ จุดตัดของเส้นตรงทั้งสอง เมื่อลากเส้นไปตัดกับแกน y จะทราบอุณหภูมิของจุดเยือกแข็ง และเมื่อลากเส้นไปตัดกับแกน x จะทราบเวลาที่สารกลายสภาพเป็นสารเยือกแข็ง ดังนั้นจากรูปที่ 3 น้ำจะกลายสภาพจากของเหลวเป็นสารเยือกแข็งที่เวลาประมาณ 10 นาที จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ (T_f°) จะอยู่ที่ประมาณ 0 °C

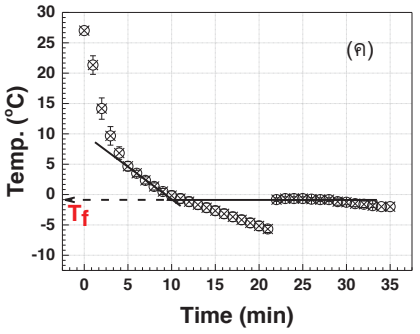


รูปที่ 3 การติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งเทียบกับเวลาของน้ำ (ตัวทำละลายบริสุทธิ์)

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายเกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทราย

จากกราฟการเย็นตัวของสารละลายที่แสดงในรูปที่ 4 อุณหภูมิของสารละลาย ณ เวลาใดๆ มีค่าต่ำลงเรื่อยๆ (อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ) จากนั้นอุณหภูมิของสารละลายจะสูงขึ้นเล็กน้อยก่อนที่จะคงที่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเย็นยวดยิ่ง (supercooling) ลักษณะเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลของตัวทำละลายและตัวละลายมีแรง (แรงดึงดูด/แรงผลัก) ระหว่างโมเลกุลที่แตกต่างไปจากเดิมแรงระหว่างโมเลกุลของสารชนิดเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เรายังสามารถใช้วิธีการในทำนองเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในการหาจุดเยือกแข็งของสารละลายได้ เมื่อลากเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเย็นตัวของเหลว (liquid cooling line) ไปตัดกับเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเยือกแข็งของเหลว (liquid freezing line) สารละลายทั้งสามชนิดจะใช้เวลามากกว่า 10 นาที ในการกลายสภาพจากของเหลวเป็นสารเยือกแข็ง จุดเยือกแข็งของสารละลาย (T_f) ของเกลือแกง ผงชูรส น้ำตาลทรายจะอยู่ที่ประมาณ -3, -4 และ -2 °C ตามลำดับ





รูปที่ 4 การติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งเทียบกับเวลาของ (ก) สารละลายเกลือแกง (ข) สารละลายผงชูรส และ (ค) สารละลายน้ำตาลทราย

จากผลการทดลอง จุดเยือกแข็งของสารละลาย (T_f) จะมีค่าต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ (T_f°) เมื่อหาผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย เราจะได้ ΔT_f ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณหามวลโมเลกุลของตัวละลายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta T_f = K_f \cdot m \qquad (1)$$

และ

$$m = \frac{w_1 \times 1000}{MW \times w_2} \qquad (2)$$

เมื่อ w_1 เป็นมวลตัวละลาย (g), MW เป็นมวลโมเลกุลตัวละลาย (g/mol) และ w_2 เป็นมวลตัวทำละลาย (g)

เมื่อแทนค่า m ในสมการ (1) จะได้ว่า

$$\Delta T_f = K_f \cdot \frac{w_1 \times 1000}{MW \times w_2} \qquad (3)$$

ในกรณีของสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้หรือสารอิเล็กโทรไลต์เราสามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของตัวละลายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta T_f = i K_f \cdot m \qquad (4)$$

เมื่อ i คือ van't Hoff factor หรือ i factor

ตารางที่ 1 มวลโมเลกุลของเกลือแกง ผงชูรสและน้ำตาลทรายที่คำนวณได้

ตัวทำละลาย	ตัวละลาย	ΔT_f ($^\circ$C)	MW ที่คำนวณได้ (g mol^{-1})	MW ค่าจริง (g mol^{-1})	ความผิดพลาด (%)
น้ำ	เกลือแกง*	3	58.75	58.44	0.53
น้ำ	ผงชูรส*	4	167.21	169.11	1.12
น้ำ	น้ำตาลทราย	2	335.92	342.30	1.86

*สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ คำนวณ MW จาก $\Delta T_f = i K_f \cdot m$

เมื่อนำผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายน้ำกับจุดเยือกแข็งของสารละลาย (ΔT_f) ไปคำนวณหามวลโมเลกุลของเกลือแกง ผงชูรส และน้ำตาลทราย ค่าที่คำนวณได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.53-1.86%ดังตารางที่ 1

ตอนที่ 3 การประยุกต์ใช้สมบัติคอลลิเกตีฟในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบในสีผสมอาหาร

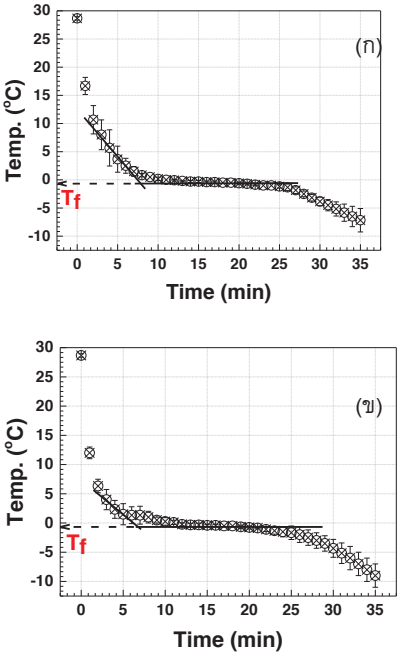
จากกราฟการเย็นตัวที่แสดงในรูปที่ 5 เมื่อลากเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเย็นตัวของเหลว (liquid cooling line) ไปตัดกับเส้นตรงตามแนวกราฟช่วงของเส้นการเยือกแข็งของเหลว (liquid freezing line) สารละลายทั้งสองชนิดจะใช้เวลาน้อยกว่า 10 นาที ในการกลายสภาพจากของเหลวเป็นสารเยือกแข็ง จุดเยือกแข็งของสารละลาย (T_f) ของสีผสมอาหารทั้งสีแดงและสีเหลืองอยู่ที่ประมาณ -1.0 ºC ซึ่งต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ (T_f°) จากนั้นนำผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย

บริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย (ΔT_f) ไป คำนวณหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากสมการ $\Delta T_f = K_f \cdot m$ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มวลโมเลกุลของสารประกอบในสีผสมอาหารที่คำนวณได้

ตัวทำละลาย	สีผสมอาหาร	ΔT_f (°C)	MW ที่คำนวณได้ (g mol^{-1})	MW ค่าจริง (g mol^{-1})	ความผิดพลาด (%)
น้ำ	สีแดง[†]	1	500.86	502.42	0.31
น้ำ	สีเหลือง[‡]	1	534.97	534.36	0.11

[†]คาร์โมอีซีน (carmosine) ความบริสุทธิ์ของสี ≥ 85% และ [‡]ตาร์ตราซีน (tartasine) ความบริสุทธิ์ของสี ≥ 85% สารประกอบทั้งสองเป็นสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ คำนวณ MW จาก $\Delta T_f = i K_f \cdot m$



รูปที่ 5 การติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งเทียบกับเวลาของ (ก) สารละลายสีผสมอาหารสีแดง และ (ข) สารละลายสีผสมอาหารสีเหลือง

จากข้อมูลบนฉลาก สารประกอบคาร์โมอีซีน (carmosine) เป็นสารองค์ประกอบหลักที่อยู่ในสีผสมอาหารสีแดงมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 502.42 g mol^{-1} ส่วนสารประกอบตาร์ตราซีน (tartasine) เป็นสารองค์ประกอบหลักที่อยู่ในสีผสมอาหารสีเหลืองมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 534.36 g mol^{-1} มวลโมเลกุลของสารประกอบในสีผสมอาหารทั้งสองที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.31% ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งโดยใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นแคลอริมิเตอร์อย่างง่ายให้ผลที่ดีในการหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากสมบัติคอลลิเกตีฟ

4. สรุปและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาปฏิบัติการทดลองสาธิตทดลองอย่างง่ายโดยใช้กระติกน้ำสุญญากาศเป็นแคลอริมิเตอร์เพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากสมบัติคอลลิเกตีฟโดยการติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง สารทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ล้วนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นสารที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน จากการทดลอง จุดเยือกแข็งสารละลาย (T_f) มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ (T_f°) จากผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายน้ำบริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย (ΔT_f) มวลโมเลกุลที่คำนวณได้ของตัวละลายทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของเกลือแกง ผงชูรส น้ำตาลทราย สีแดง และสีเหลือง เท่ากับ 0.53%, 1.12%, 1.86%, 0.31%, และ 0.11% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปฏิบัติการทดลองสาธิตทดลองเหมาะที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการให้

นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองเพื่อพิสูจน์หลักการทางทฤษฎีสมบัติคอลลิเกตีฟ

นอกจากการติดตามการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งโดยใช้กระติกน้ำสุญญากาศแล้ว ผู้ที่สนใจสามารถพัฒนางานวิจัยต่อจากบทความงานวิจัยนี้โดยการสร้างชุดอุปกรณ์แคลอริมิเตอร์อย่างง่ายเพื่อหามวลโมเลกุลของสารประกอบจากการติดตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือด (T_b) เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือดก็เป็นหนึ่งในสมบัติคอลลิเกตีฟของสารละลาย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2556-2561) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. บรรณานุกรม

[1] Cracolice, M. S; Peters, E. I. **/ntroductory Chemistry: An Active Learning Approach**. Brooks/Cole: CA, 2011.

[2] Chang, R. **Chemistry**, McGraw-Hill: New York, 2010.

[3] Slowinski, E. J; Wolsey, W. C.; Rossi, R. C. **Chemical Principles in the Laboratory,** Brooks/Cole: CA, 2012.

[4] Sund, R. *J.* **Chem**. **Educ**. 1989, 66(8): 669.

[5] McCarthy, S.M.; Gordon-Wylie, S. W. *J.* **Chem. Educ**. 2005, 82(1): 116.

[6] Novo, M; Reija, B.; Al-Soufi, W. 2007. *J.* **Chem. Educ**. **2007**, 84(10): 1673.