วารสาร Mahidol R2R e-Journal ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-เมษายน 2568
Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

การออกแบบเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกของผสมอะซิโตนกับโทลูอีน เพื่อนำสารกลับมาใช้ในการทำปฏิบัติการ

Distiller design to separate acetone and toluene mixtures for reuse in lab operations

กาญจณา ขันทกะพันธ์[1*] และ จันทิมา ชั่งสิริพร[1]
Kanjana kantakapun[1*] and Juntima Chungsiriporn[1]

บทคัดย่อ

ของเสียสารเคมีจากเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการในการทดลองเรื่องการแยกของเหลวด้วยของเหลว (Liquid – Liquid Extraction) แต่ละสัปดาห์จะมีของเสียมากถึง 10 ลิตร ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างอะซิโตนกับโทลูอีน โดยปกติจะไม่มีการดำเนินการเพื่อนำของเสียเหล่านี้กลับมาใช้ซ้ำ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการออกแบบ สร้างเครื่องกลั่น และทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ เพื่อแยกสารผสมระหว่างอะซิโตนกับโทลูอีน โดยทำการศึกษาช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation Curve) ด้วยเครื่องกลั่นตามมาตรฐาน ASTM-D86 เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบและกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของการกลั่น แล้วทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น จากการกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

พบว่า ปริมาณอะซิโตนที่อยู่ในของเสียตัวทำละลายมีน้อยมาก เมื่อจัดสร้างชุดกลั่นลำดับส่วนสำหรับการกลั่นแยกของเสียตัวทำละลาย ซึ่งมีสัดส่วนโดยโมลของอะซิโตนในโทลูอีนประมาณ 0.07 โดยกำหนด Reflux Ratio เท่ากับ 4:1 และความสูงของ Packing media เท่ากับ 40 เซนติเมตร พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการคือ อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ โดยส่วนกลั่น 100 มิลลิลิตรแรก มี Mole Fraction เท่ากับ 0.9835 และส่วนที่เหลือในหม้อต้มมีสัดส่วนโดยโมลของอะซิโตนในโทลูอีนเท่ากับ 0.0460 แสดงให้เห็นว่า ชุดกลั่นนี้สามารถแยกตัวทำละลายทั้งสองชนิดออกจากกันได้ โดยคอลัมน์ของชุดกลั่นมีจำนวนเพลตทางทฤษฎีเท่ากับ 6

คำสำคัญ: การกลั่นลำดับส่วน; ของเสียตัวทำละลาย; โทลูอีน; อะซิโตน

[1*] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[1*] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
* Corresponding Author:e-mail: kjutharat@eng.psu.ac.th

วารสาร Mahidol R2R e-Journal ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-เมษายน 2568
Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

Abstract

Every week, a chemical engineering laboratory used for teaching has to dispose of 10 litres of chemical waste. Such waste includes chemicals like acetone and toluene, which cannot be recycled. The purpose of this study was to collect data in order to design, assemble and optimized the stage-wise refining of acetone and toluene mixtures by distillation. This process used the ASTM-D86 standard method.

The data from the standard process was then used to design and define specific distillation conditions. A distillation refinery was designed and implemented for the specific mole fraction of 0.07 acetone in toluene, with a 4:1 reflux ratio and 40 cm length of packing. At the optimized temperature, the heating efficiency was estimated at 1,200 W. The results showed that the first 100 mL of production had molar purity of about 0.9835, while the rest in the boiler had a mole fraction of about 0.0460. The McCabe-Thiele method was used to estimate the theoretical number of plates (trays) at 6.

Keywords: Fractional distillation; chemical waste; toluene; acetone

บทนำ

การเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการมีความสำคัญต่อการฝึกปฏิบัติจริง ซึ่งทำให้นักศึกษาได้เข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีในห้องเรียนมากขึ้น โดยของเสียจากสารเคมีเป็นสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นหลังทำปฏิบัติการ เช่น การทดลองเรื่องการแยกของเหลวด้วยของเหลว (Liquid – Liquid Extraction: LLE) เป็นการศึกษาหลักการสกัดของเหลวด้วยของเหลวใน Reciprocating Plate Extraction Column โดยใช้โทลูอีน (Toluene) ในการสกัดอะซิโตน (Acetone) จากสารผสมระหว่างน้ำและอะซิโตน เนื่องจากอะซิโตนสามารถละลายได้ดีในโทลูอีน (Weires et al., 2011) จากการทดลองนี้จึงมีของเสียเกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างอะซิโตนกับโทลูอีน และอะซิโตนกับน้ำ โดยอะซิโตนเป็นของเหลวที่ระเหยง่าย, ไม่มีสี, จุดเดือด 56.53°C, ความหนาแน่น 0.784 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, ละลายได้ดีในน้ำ เอทานอล และอีเทอร์ และเป็นตัวทำละลายที่มีราคาสูงถึง 80 บาทต่อลิตร ส่วนโทลูอีน เป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นสารระเหย กลิ่นคล้ายสีทาบ้าน และเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่อุตสาหกรรมนิยมใช้เป็นสารตั้งต้นและเป็นตัวทำละลาย โดยโทลูอีนมีความหนาแน่น 0.867 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, จุดเดือด 110.6 °C, และมีราคาสูงถึง 75 บาทต่อลิตร และส่วนสุดท้าย คือน้ำ ซึ่งมีความหนาแน่น 0.997 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และจุดเดือด 100°C (“คุณสมบัติของสารอะซิโตนและโทลูอีน,” 2566) พบว่า การเรียนการสอนในแต่ละสัปดาห์ จะมีของเสียเหล่านี้มากถึง 20 ลิตร ปกติแล้วจะไม่มีการดำเนินการเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ และหากปล่อยทิ้งจะเป็นการสิ้นเปลืองโดยสูญเปล่า อีกทั้งในการกำจัดก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

ปัจจุบันการแยกสารเนื้อเดียวที่อยู่ในรูปของสารละลายสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่นแบบง่าย (Simple distillation) การกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation) การกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) การตกผลึก (Crystallization) และโครมาโตกราฟี (Chromatography) เป็นต้น (Chaniago & Lee, 2018) โดยแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

กับชนิด คุณสมบัติ ปริมาณของสารที่ต้องการแยก และข้อจำกัดด้านงบประมาณ หากกล่าวถึงการกลั่นแบบง่าย เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของเหลวที่สามารถระเหยได้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยใช้การกลั่นของเหลวผสมที่มีจุดเดือดต่างกันมาก ๆ (ชาคริต ทองอุไร และคณะ, 2542; Zweckmair et al., 2017) การกลั่นแบบง่าย จึงมีประสิทธิภาพสูงในการกลั่นของเหลวที่ระเหยได้ง่ายออกจากของเหลวที่ระเหยได้ยาก หรือกลั่นของเหลวผสมที่มีจุดเดือดต่างกันอย่างน้อย 50°C (Barolo & Berto, 1998) ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดเครื่องกลั่นแบบง่ายในการดำเนินการแบบกะ (Batch) ได้แก่ ฮีทเตอร์ คอลัมน์ และเครื่องควบแน่น ซึ่งจะต้องเลือกใช้งานให้เหมาะกับการกลั่นสารแต่ละชนิด ส่วนการแยกสารที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องใช้กรวยแยก โดยนำของเหลวใส่ในกรวยแยก แล้วไขของเหลวที่อยู่ในชั้นล่าง ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าออกสู่ภาชนะจนหมด แล้วจึงค่อย ๆ ไขของเหลวที่เหลือใส่ภาชนะใหม่ (จันทิมา ชั่งสิริพร, 2543; Diwekar & Madhavan, 1991)

จากการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการพัฒนาชุดการทำระเหยแบบฟิล์มบางที่ชำรุดและไม่สามารถซ่อมแซมได้ แต่ยังคงมีส่วนที่สามารถพัฒนาเป็นชุดเครื่องกลั่นลำดับส่วนสำหรับแยกตัวทำละลายที่เป็นของเสียจากการทดลองในรายวิชาปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี โดยกำหนดค่าการออกแบบเครื่องกลั่นลำดับส่วนที่มี Theoretical plate จำนวน 6 plate และ Reflux ratio เป็น 4:1 โดยใช้หม้อต้มขนาด 20 ลิตร มีระบบป้อนเติมตัวทำละลายเข้าหม้อต้มได้ในระหว่างการกลั่น สามารถอ่านอุณหภูมิการกลั่นและมีเครื่องให้ความร้อนแก่หม้อต้มที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการกลั่นได้ ผู้วิจัยศึกษาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกลั่นของเสียที่ต้องการแยกด้วยชุดเครื่องกลั่นแบบง่ายตามมาตฐาน ASTM-D86 เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบการกลั่น และหาความบริสุทธิ์ของสารที่กลั่นได้ ซึ่งประเภทของการกลั่น ได้แก่ การกลั่นอย่างง่าย การสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ และการกลั่นลำดับส่วน

การดำเนินการทดลองนี้จะเป็นชุดสาธิตการกลั่นลำดับส่วน เนื่องจากการกลั่นลำดับส่วนเหมาะสำหรับกลั่นแยกของเหลวที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน หรือแยกสารละลายที่ตัวทำละลายและตัวถูกละลายเป็นสารที่ระเหยง่ายทั้งคู่ จึงเหมาะแก่การหาความบริสุทธิ์ของสารที่กลั่นได้ โดยวัสดุทำจากแก้วใส นักศึกษาสามารถมองเห็นการทำงานภายใน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการจัดการของเสียที่เกิดจากการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในงานด้านบริการวิชาการ สำหรับการแยกของเหลวผสมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดปริมาณของของเสีย และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้เป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาชุดทดลองการทำระเหยแบบฟิล์มบางที่ชำรุดและไม่สามารถซ่อมแซมได้ เป็นชุดกลั่นตัวทำละลายแบบลำดับส่วน

2) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแยกของเสียตัวทำละลายที่เกิดจากวิชาปฏิบัติการให้สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้

3) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของเครื่องกลั่น ASTM-D86 และตรวจวัดคุณสมบัติของตัวทำละลายที่กลั่นแยกได้

4) เพื่อพัฒนาเครื่องกลั่น ASTM-D86 สู่การทำงานบริการวิชาการให้สามารถนำของเสียตัวทำละลายที่ผ่านการใช้งานของหน่วยงานต่างๆ กลับมาใช้ใหม่

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลองเรื่อง การออกแบบเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกของผสมอะซิโตนกับ

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

โทลูอีน ได้แก่ อุปกรณ์การกลั่นตามมาตรฐาน ASTM-D86 และอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน ซึ่งประกอบด้วย เครื่องให้ความร้อน หม้อต้ม ชุดคอลัมน์กลั่น เครื่องควบแน่น วัสดุบรรจุ ถังเก็บส่วนกลั่น หัววัดอุณหภูมิ อุปกรณ์แบ่งส่วนกลั่น และเครื่องทำน้ำเย็น

วิธีการวิจัย

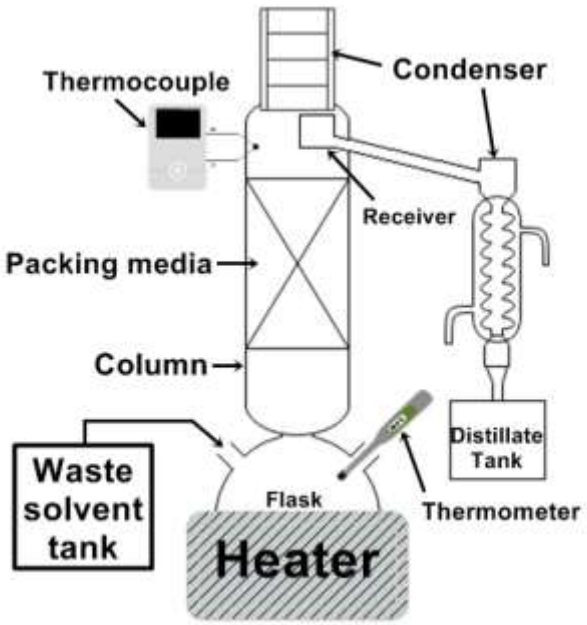
การวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกของผสมอะซิโตนกับโทลูอีน มีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาช่วงอุณหภูมิการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

การกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86 จะใช้อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ และคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ขณะที่เกิดหยดแรกของส่วนที่กลั่นได้ทุก ๆ 10% ของส่วนที่กลั่นได้ และขณะที่เกิดหยดสุดท้ายของส่วนที่กลั่นได้ และบันทึกปริมาตรส่วนที่เหลือในขวดกลั่น แล้วนำแต่ละ 10% ของส่วนที่กลั่นได้ไปวัดความหนาแน่นโดยใช้พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) จากนั้นสร้างกราฟอุณหภูมิการกลั่น

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นลำดับส่วน

ออกแบบและจัดสร้างเครื่องกลั่นลำดับส่วนสำหรับการกลั่นแยกของเสียตัวทำละลาย ซึ่งดำเนินการโดยนำชุดเครื่องแก้วของภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว มาประยุกต์ใช้งานในการกลั่นลำดับส่วน โดยใช้หม้อต้มขนาด 20 ลิตร, ชุดให้ความร้อนขนาด 1,200 วัตต์, ชุดคอลัมน์กลั่นเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.6 เซนติเมตร และความสูง 65 เซนติเมตร, เครื่องควบแน่นพร้อมเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 2 ชุด, วัสดุบรรจุทำจากหลอดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 เซนติเมตร ความสูง 1 เซนติเมตร และบรรจุสูง 40 เซนติเมตร, อุปกรณ์แบ่งส่วนกลั่นทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม โดยจะออกแบบให้มี Reflux ratio เท่ากับ 4:1 โดยถังเก็บส่วนกลั่นขนาด 3 ลิตร และติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ส่วนบนของคอลัมน์กลั่น เพื่อวัดค่าอุณหภูมิการกลั่น (Distillation temperature) โดยสามารถแสดงแผนภาพของการออกแบบเครื่องกลั่นลำดับส่วนได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพการออกแบบเครื่องกลั่นลำดับส่วน

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

ขั้นตอนที่ 3 สร้าง Calibration curve ระหว่าง Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนกับความหนาแน่น

การสร้าง Calibration curve ทำได้โดยผสมสารระหว่างอะซิโตนและโทลูอีน โดยออกแบบให้มี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีน เท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 ตามลำดับ แล้ววัดค่าความหนาแน่นโดยใช้พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาสร้าง Calibration curve ระหว่าง Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนกับ ความหนาแน่น แล้วหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนกับความหนาแน่น

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นของเสียตัวทำละลาย

กลั่นของเสียตัวทำละลายปริมาตร 500 มิลลิลิตร ด้วยอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน โดยการปรับค่าอัตราการให้ความร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 300, 600, 900 และ 1,200 วัตต์ ตามลำดับ แล้วอ่านค่าและบันทึกอุณหภูมิการกลั่น จากนั้นเก็บส่วนกลั่นที่เป็นส่วนของสารเบาเข้าถังเก็บ (Distillation tank) แล้วนำส่วนกลั่นที่ได้และส่วนที่เหลือในหม้อต้มไปหาคุณสมบัติของสาร โดยการวัดค่าความหนาแน่นด้วยพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) และการหาช่วงการกลั่น (Boiling range) ด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาจำนวน Theoretical plate ของคอลัมน์กลั่น

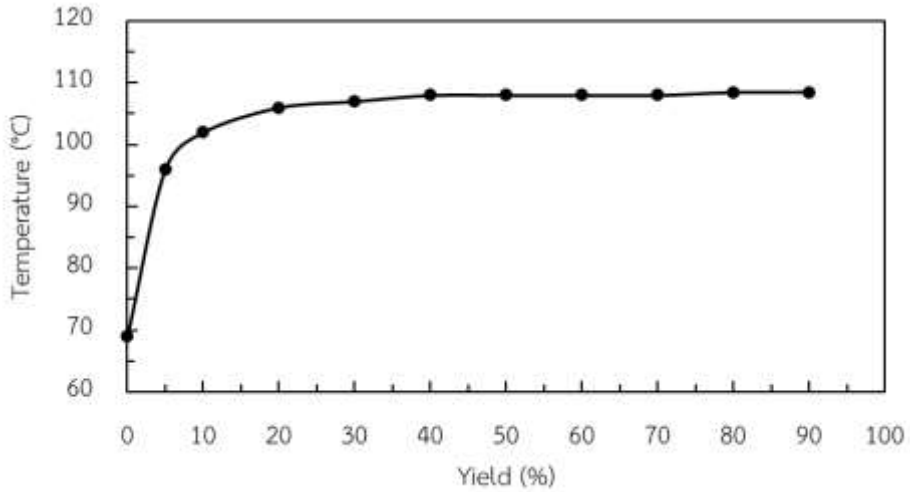
การทดลองนี้ศึกษาโดยการกลั่นตัวทำละลาย 5 ลิตร ซึ่งมี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีน เท่ากับ 0.07 ด้วยอุปกรณ์การกลั่นลำดับส่วน โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 แล้วเก็บส่วนกลั่นได้ 100 มิลลิลิตรแรก และ Bottom product เพื่อนำมาหา Mole fraction ของอะซิโตน จากนั้นสร้าง Operating line และหาจำนวน Theoretical plate ของคอลัมน์กลั่น ด้วย McCabe-Thiele diagram

ผลการวิจัย

จากการทดลอง เรื่อง การออกแบบเครื่องกลั่นเพื่อกลั่นแยกของผสมอะซิโตนกับโทลูอีน สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ผลขั้นตอนที่ 1 ศึกษาช่วงอุณหภูมิการกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

ผลของการกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86 ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ระดับ 600 วัตต์ และคงที่ สามารถแสดงเป็น Distillation curve ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Distillation curve ของการกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

จากรูปที่ 2 พบว่า จุดเดือดของเสียตัวทำละลายเริ่มต้นเท่ากับ 69 ℃ โดยที่ 5 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 96 ℃ และ 102 ℃ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของอะซิโตนที่อยู่ในของเสียตัวทำละลายมีน้อยมาก เนื่องจากอุณหภูมิเข้าสู่จุดเดือดของโทลูอีนอย่างรวดเร็ว โดยที่ 20 มิลลิลิตร อุณหภูมิเริ่มคงที่ที่ 108 ℃ ซึ่งใกล้เคียงกับจุดเดือดของโทลูอีน คือ 110.6 ℃ โดยคุณสมบัติของสารประกอบแสดงดังตารางที่ 1

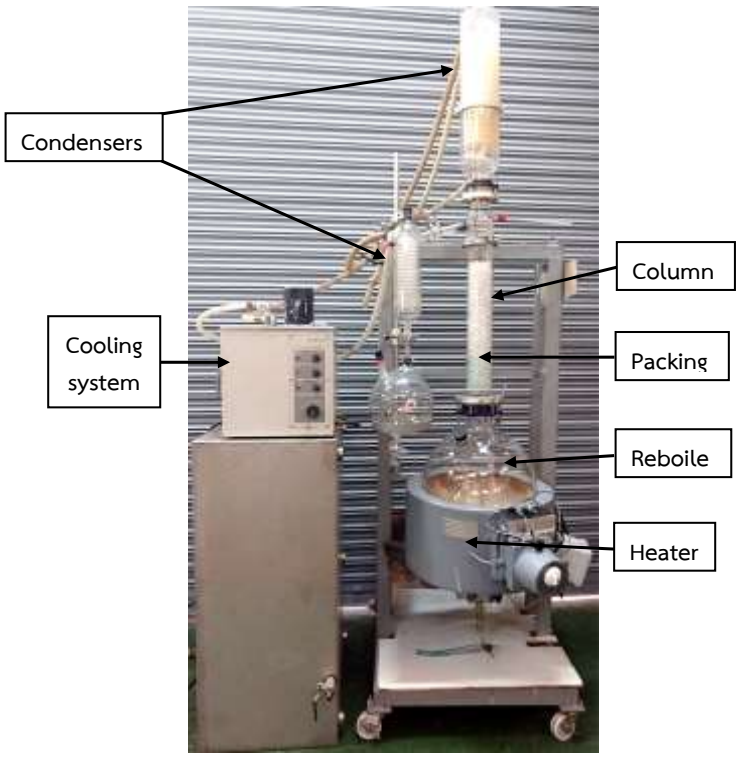
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอะซิโตนและโทลูอีน

สถานะ	อะซิโตน	โทลูอีน
จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (℃)	56.53	110.60
จุดหลอมเหลว (℃)	-94.7	-95.0
จุดวาบไฟ (℃)	-20	6
ความดันไอที่ 20 ℃ (mmHg)	229.52	21.85
ความถ่วงจำเพาะ	0.784	0.867

ที่มา: คุณสมบัติของสารอะซิโตนและโทลูอีน. (2566)

2) ผลขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นลำดับส่วน

การสร้างเครื่องกลั่นลำดับส่วนสำหรับการกลั่นแยกของเสียตัวทำละลาย แสดงดังรูปที่ 3

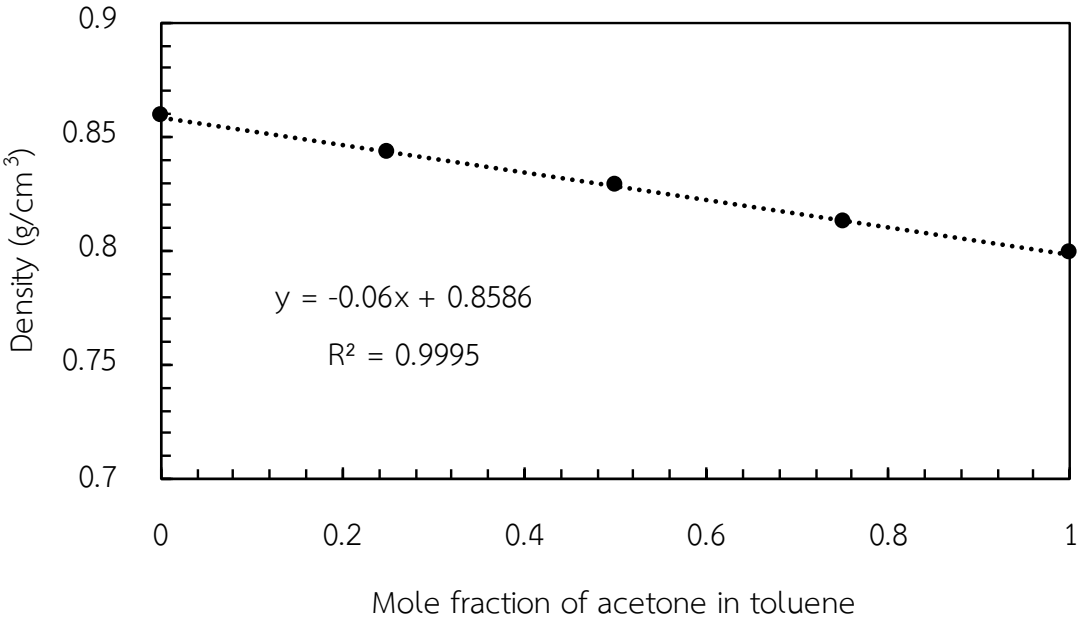


รูปที่ 3 เครื่องกลั่นลำดับส่วน

วารสาร Mahidol R2R e-Journal ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-เมษายน 2568
Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

3) ผลขั้นตอนที่ 3 สร้าง Calibration curve ระหว่าง Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนกับความหนาแน่น

การสร้าง Calibration curve จะใช้สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการหา Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีน จากความหนาแน่นที่วัดได้จากการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4

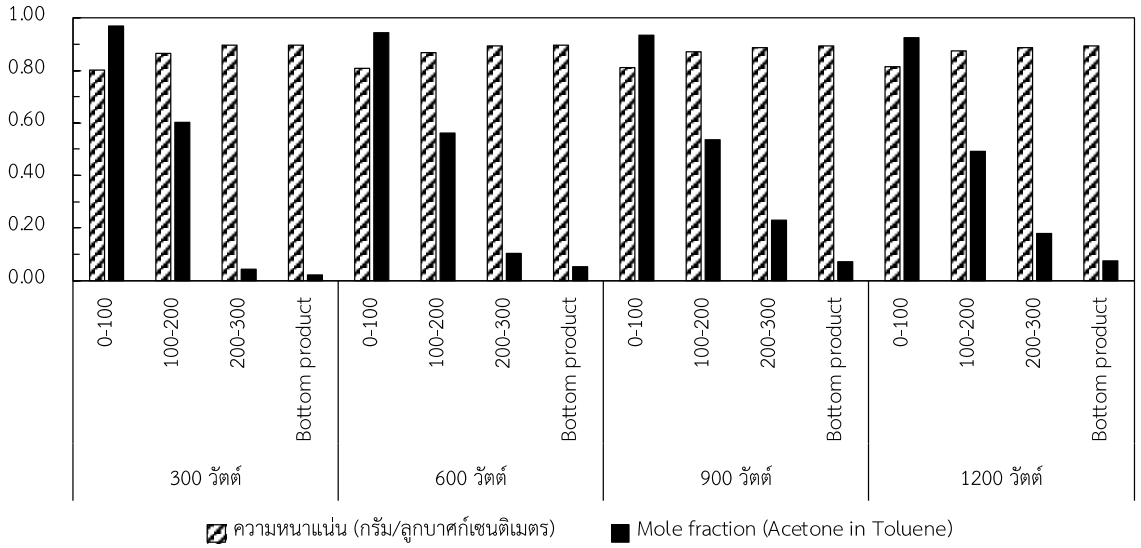


รูปที่ 4 Calibration curve ระหว่าง Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนกับความหนาแน่น

4) ผลขั้นตอนที่ 4 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นของเสียตัวทำละลาย

การกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86 ที่อัตราการให้ความร้อน 4 ระดับ ได้แก่ 300, 600, 900 และ 1,200 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 5

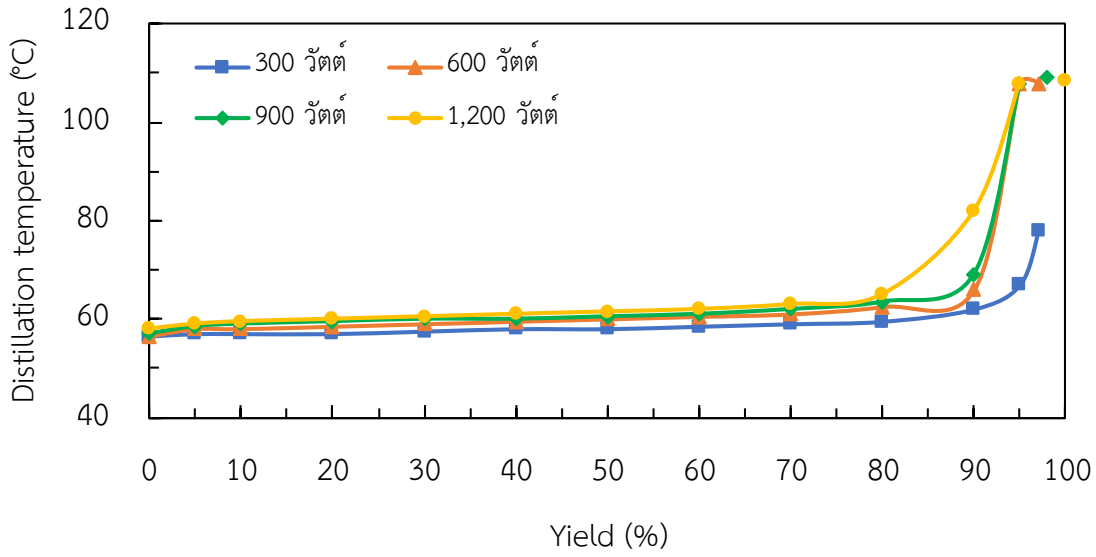
Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5



รูปที่ 5 ผลของการกลั่นของเสียตัวทำละลายด้วยการปรับค่าอัตราการให้ความร้อนที่ระดับ 300, 600, 900 และ 1,200 วัตต์

จากรูปที่ 5 พบว่า อัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร และ 100-200 มิลลิลิตร มี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนลดลง และส่วนที่กลั่นได้ที่ Bottom product มี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ส่วนที่กลั่นได้ 200-300 มิลลิลิตร จะมี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนเพิ่มขึ้นที่อัตราการให้ความร้อน 300, 600 และ 900 วัตต์ แต่สังเกตได้ว่าที่อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ จะส่งผลให้ส่วนที่กลั่นได้ 200-300 มิลลิลิตร มี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีน ลดลง โดยที่อัตราการให้ความร้อน 300 วัตต์ ส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร ในการกลั่นของเสียตัวทำละลาย มี Mole fraction เท่ากับ 0.9686 แสดงให้เห็นว่าในของเสียตัวทำละลายมีส่วนประกอบของสารชนิดอื่นอยู่ด้วย เนื่องจากการเตรียมสารมี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนเท่ากับ 0.07 ซึ่งการกลั่นของเสียตัวทำละลายที่อัตราการให้ความร้อนระดับต่าง ๆ สามารถแสดงเป็น Distillation curve ดังรูปที่ 6 พบว่า จุดเดือดเริ่มต้นของส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร ที่อัตราการให้ความร้อน 300, 600, 900 และ 1200 วัตต์ สามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้เท่ากับ 56.5, 56.5, 57 และ 58 ℃ ตามลำดับ

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

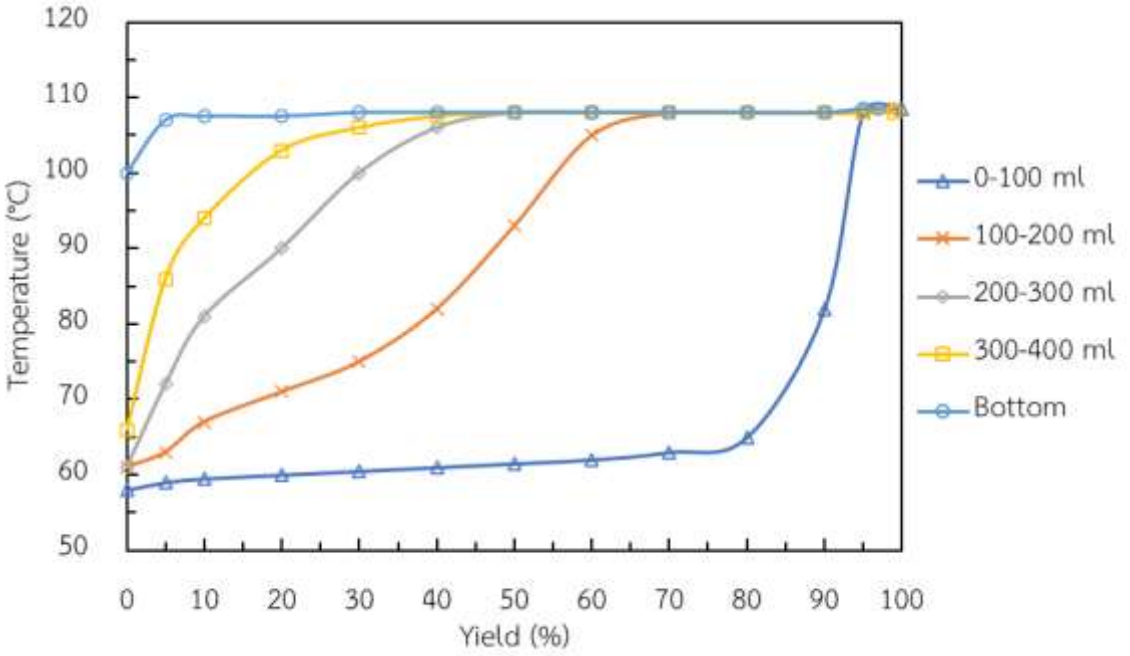


รูปที่ 6 ช่วงอุณหภูมิของการกลั่นส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร ที่อัตราการให้ความร้อน 300, 600, 900 และ 1,200 วัตต์ ด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

เมื่อพิจารณาแต่ละระดับอัตราการให้ความร้อน พบว่า การทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 300 วัตต์ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งส่วนที่กลั่นได้ประมาณ 97 มิลลิลิตร อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า ส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร โทลูอีน มีอยู่ในปริมาณน้อยมาก สำหรับการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ และ 900 วัตต์ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งส่วนที่กลั่นได้ประมาณ 95 มิลลิลิตร อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า อะซิโตนได้ถูกกลั่นจนหมดแล้ว ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปสู่จุดเดือดของโทลูอีน และการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งส่วนที่กลั่นได้ประมาณ 90 มิลลิลิตร อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า ส่วนที่กลั่นได้ 0-100 มิลลิลิตร อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ จะมีโทลูอีนในส่วนผสมที่กลั่นได้อยู่เป็นปริมาณสูงที่สุด หรือโทลูอีน มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากอะซิโตนผสมอยู่ในส่วนที่กลั่นได้น้อย ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นของเสียตัวทำละลายให้ได้สารบริสุทธิ์ คือ อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์

หากพิจารณา Boiling range ของการกลั่นลำดับส่วนของส่วนที่กลั่นได้ 300 มิลลิลิตร ที่อัตราการให้ความร้อนต่าง ๆ พบว่า การทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 300 วัตต์ อุณหภูมิจะคงที่จนได้ส่วนกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และเมื่อได้ส่วนกลั่นประมาณ 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิจะกลับมาเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิการกลั่นจะอยู่ในช่วง 57-75 °C สำหรับการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ อุณหภูมิจะคงที่จนได้ส่วนกลั่นประมาณ 150 มิลลิลิตร หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 57-99 °C และการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 900 และ 1,200 วัตต์ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 57-99 °C เช่นเดียวกับที่อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ แต่จะไม่มีช่วงที่อุณหภูมิคงที่ โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยที่อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ จะทำให้อุณหภูมิช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วจะลดลงหลังจากส่วนที่กลั่นได้ประมาณ 200 มิลลิลิตร นอกจากนี้ เมื่อนำส่วนที่กลั่นได้จากการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ ไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86 ที่อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ และคงที่สามารถแสดง Distillation curve ได้ดังรูปที่ 7

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5



รูปที่ 7 Distillation curve ของการกลั่นส่วนที่กลั่นได้ของการทดลองที่อัตราการให้ความร้อน 600 วัตต์ ด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86

จากรูปที่ 7 พบว่า จุดเดือดเริ่มต้นของส่วนที่กลั่นได้ 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร เท่ากับ 58, 61, 61 และ 66 ℃ ตามลำดับ และ Bottom product เท่ากับ 100 ℃ ส่วนที่กลั่นได้ 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งกลั่นได้ประมาณ 90 มิลลิลิตร อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะเห็นว่าส่วนที่กลั่นได้ 100 มิลลิลิตร จะมีโทลูอีน ปริมาณน้อยที่สุด สำหรับส่วนที่กลั่นได้อื่น ๆ และส่วนที่กลั่นได้ถัดไปจะมีปริมาณโทลูอีนมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าส่วนที่กลั่นได้ก่อนหน้า และสังเกตได้ว่า Bottom product มีอะซิโตนอยู่ปริมาณน้อยมากทำให้จุดเดือดเริ่มต้นสูงถึง 100℃

5) ผลขั้นตอนที่ 5 ศึกษาจำนวน Theoretical plate ของคอลัมน์กลั่น

จากการทดลองที่ 4 พบว่า อัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นของเสียตัวทำละลาย ในการทดลองนี้ผู้วิจัยจึงกลั่นตัวทำละลาย 5 ลิตร ด้วยอัตราการให้ความร้อน 1,200 วัตต์ พบว่าส่วนที่กลั่นได้ 100 มิลลิลิตร มี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนเท่ากับ 0.9835 และส่วนที่เหลือในหม้อต้มมี Mole fraction ของอะซิโตนในโทลูอีนเท่ากับ 0.0460 ซึ่งวิธีการ McCabe-Thiele diagram จำเป็นต้องทราบ mole fraction ของอะซิโตนและโทลูอีน สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (1) – (3)

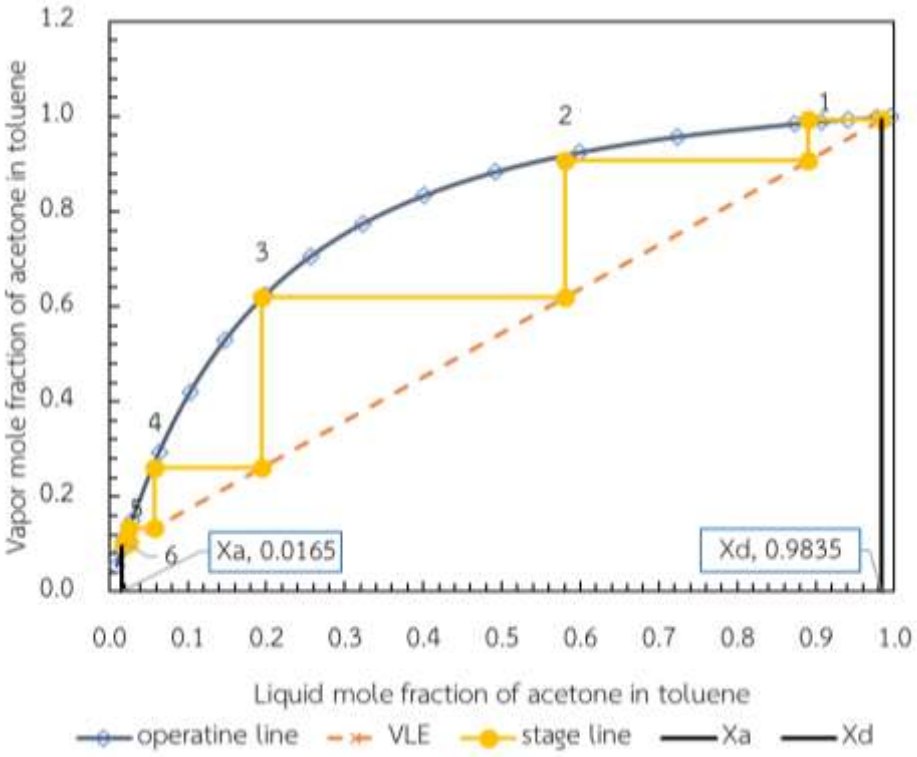
$$\text{Mole fraction of Acetone: } x_d = \frac{n_d}{n_{total}} \quad (1)$$

$$\text{Mole fraction of Toluene: } x_a = \frac{n_a}{n_{total}} \quad (2)$$

$$\sum x_i = x_d + x_a = 1 \quad (3)$$

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

ดังนั้น จะได้ค่า Xa = 0.0165 และ Xd = 0.9835 เมื่อใช้วิธีการ McCabe-Thiele diagram สร้าง Operating line และหาจำนวน Theoretical plate ของคอลัมน์กลั่น ดังรูปที่ 8 พบว่า จำนวน Theoretical plate เท่ากับ 6



รูปที่ 8 McCabe-Thiele diagram สำหรับหาจำนวน Theoretical plate

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการพัฒนาชุดเครื่องกลั่นลำดับส่วนสำหรับการนำของเสียตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ด้วยการดัดแปลงจากชุดทดลองการทำระเหยแบบฟิล์มบางเก่าที่ชำรุด โดยปฏิบัติตามขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นแยกของเสียตัวทำละลายโทลูอีนอะซิโตนที่เกิดจากวิชาปฏิบัติการการแยกของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction) ให้สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของเครื่องกลั่นและตรวจวัดคุณสมบัติของตัวทำละลายที่กลั่นแยกได้ พบว่า

1) จุดเดือดเริ่มต้นเท่ากับ 69°C โดยที่ส่วนที่กลั่นได้ 5 และ 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 96°C และ 102°C ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณอะซิโตนที่อยู่ในของเสียตัวทำละลายมีปริมาณน้อยมาก หลังจากนั้นอุณหภูมิจะคงที่ที่ 108°C ซึ่งใกล้เคียงกับจุดเดือดของโทลูอีน

2) การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลั่นโดยทดลองกลั่นของเสียตัวทำละลายโทลูอีนอะซิโตนปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยจุดเดือดเริ่มต้นของส่วนที่กลั่นได้ 100, 200, 300, และ 400 มิลลิลิตร เท่ากับ 58, 61, 61, 66 °C ตามลำดับ และ Bottom product เท่ากับ 100°C แสดงให้เห็นว่า ส่วนที่กลั่นได้ 100 มิลลิลิตร อัตรา

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

การให้ความร้อน 1,200 วัตต์ จะมีโทลูอีนในส่วนผสมที่กลั่นได้อยู่ปริมาณสูงที่สุด หรือโทลูอีนมีความบริสุทธิ์สูง สำหรับส่วนที่กลั่นได้อื่น ๆ พบว่า ส่วนที่กลั่นได้ถัดไปจะมีโทลูอีนอยู่ในปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าส่วนที่กลั่นได้ก่อนหน้า ส่วน Bottom product พบว่า อะซิโตนมีปริมาณน้อยมาก ทำให้จุดเดือดเริ่มต้นสูงถึง 100 ℃

3) ผลของการหาจำนวน Theoretical plate ของคอลัมน์กลั่นด้วยวิธี McCabe-Thiele diagram พบว่า จำนวน Theoretical plate เท่ากับ 6

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า สามารถพัฒนาชุดทดลองการทำระเหยแบบฟิล์มบางที่ชำรุดและไม่สามารถซ่อมแซมได้ เป็นชุดกลั่นตัวทำละลายแบบลำดับส่วน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการจัดการของเสียที่เกิดจากการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการที่สภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นสารบริสุทธิ์ได้ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในงานด้านบริการวิชาการ สำหรับการแยกของเหลวผสมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ว่าจะเป็นการบริการนักเรียน ชุมชน หรือหน่วยงานอื่นๆ เพื่อลดปริมาณของของเสีย และยังลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้ นอกจากนี้ การนำสารบริสุทธิ์กลับมาใช้ใหม่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้เช่นเดียวกัน เช่น โทลูอีน ราคา 75 บาทต่อลิตร ซึ่งในการเรียนการสอน จะต้องใช้จำนวน 10 ลิตร ดังนั้น หากกลั่นด้วยเครื่องกลั่น ASTM-D86 ได้สารโทลูอีนบริสุทธิ์ จะสามารถลดจำนวนเงินได้ 750 บาท เป็นต้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1) งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กลั่นแยกของเสียตัวทำละลายชนิดอื่น เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในวิชาปฏิบัติการ

2) ส่งเสริมการกลั่นแยกสารประกอบให้มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น น้ำมันหอมระเหย

3) ส่งเสริมและร่วมมือกับการพัฒนาชุมชน เพื่อสร้างชุดกลั่นต้นแบบต้นทุนต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการทำโครงการวิจัยนี้ ทั้งในส่วนของวัสดุอุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำการวิจัย และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต ทองอุไร รองศาสตราจารย์ ดร. กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์ สำหรับคำแนะนำ และขอขอบคุณวิศวกรวัธน์ชรินทร์ รัตนพงศ์ ครูช่างสมคิด จีนาพงษ์ สำหรับความช่วยเหลือในต่อเครื่องกลั่น

เอกสารอ้างอิง

จันทิมา ชั่งสิริพร. (2543). *การผลิตตัวทำละลายจากแนฟทาโดยการกลั่นแบบจุดเดือดจริง*. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]

ชาคริต ทองอุไร สุธรรม สุขมณี และ สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล. (2542). *การวิจัยพัฒนาการผลิตตัวทำละลายจากแนฟทาโรงกลั่นน้ำมันฝาง* (รายงานวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

คุณสมบัติของสารอะซิโตนและโทลูอีน. (2566, 11 กุมภาพันธ์). https://www.tccchemecal.com/

Barolo, M., & Berto, F. (1998). Composition Control in Batch Distillation: Binary and Multicomponent Mixtures.

Received: February 14, 2023, Revised: January 8, 2024, Accepted: January 25, 2024
http://doi.org/10.14456/jmu.2025.5

Industrial & Engineering Chemistry Research, 37(12), 4689-4698.

Chaniago, Y. D., & Lee, M. (2018). Distillation design and optimization of quaternary azeotropic mixtures for waste solvent recovery. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 67*, 255-265.

Diwekar, U. M., & Madhavan, K. P. (1991). Multicomponent batch distillation column design. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 30*(4), 713-721.

Weires, N. A., Johnston, A., Warner, D. L., McCormick, M. M., Hammond, K., & McDougal, O. M. (2011). Recycling of Waste Acetone by Fractional Distillation. *Journal of Chemical Education, 88*(12), 1724-1726.

Zweckmair, T., Hell, S., Klinger, K. M., Rosenau, T., Potthast, A., & Böhmdorfer, S. (2017). Recycling of Analytical Grade Solvents on a Lab Scale with a Purpose-Built Temperature-Controlled Distillation Unit. *Organic Process Research & Development, 21*(4), 578-584.