

การพัฒนาเครื่องต้นแบบของกระบวนการดูดซับ ด้วยวิธีสลับความดันที่ใช้ตัวดูดซับจากมันสำปะหลัง สำหรับแยกน้ำออกจากไอเอทานอล



ดร.พนารัตน์ โทมณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่รัฐบาลไทยรณรงค์ให้มีการใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลซึ่งเป็นของเหลวประเภทแอลกอฮอล์ที่มีลักษณะใส ไม่มีสี จุดไฟติดระเหยง่าย มีค่าออกเทนสูง สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินโดยใช้เอทานอล 1 ส่วนต่อน้ำมันเบนซิน 9 ส่วน ได้เป็นเชื้อเพลิงที่เรียกว่าแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์เบนซินในปัจจุบันนี้ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เอทานอลสามารถผลิตได้จากกระบวนการหมักวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีน้ำตาลและแป้ง เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และข้าว น้ำหมัก (Fermentation broth) ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีเอทานอลอยู่ประมาณ 5-12 % โดยน้ำหนัก และจะต้องผ่านขั้นตอนการแยกและทำบริสุทธิ์ให้เอทานอลมีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 99.5 โดยน้ำหนัก จึงสามารถใช้สำหรับผลิตแก๊สโซฮอล์ได้

กระบวนการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์แบบดั้งเดิม คือกระบวนการกลั่นลำดับส่วนซึ่งเตรียมเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่จุดเอซีโอโทรป (azeotrope) ของสารละลายเอทานอลในน้ำ คือที่ร้อยละ 95.6 % โดยน้ำหนักเท่านั้น การเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลให้สูงกว่าจุดนี้ จะต้องใช้กระบวนการกลั่นเอซีโอโทรป (azeotropic distillation) ซึ่งมีการเติมเอนเทรนเนอร์ (entrainer) เพื่อสลายอะซีโอโทรปและทำให้สามารถกลั่นแยกน้ำออกจากเอทานอลได้ เอนเทรนเนอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane), เบนซีน (benzene), โทลูอิน (toluene), อีเทอร์ (ether) หรือคีโตน (ketone) หลังจากนั้นจะต้องทำการกลั่นลำดับส่วนอีกครั้ง เพื่อกลั่นแยกเอทานอลและเอนเทรนเนอร์ที่เหลืออยู่ในระบบสำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการกลั่น 3 ขั้นตอนนี้เมื่อใช้ร่วมกันสามารถเตรียมเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ได้มากกว่า 99 % โดยน้ำหนัก แต่มีข้อด้อยคือต้องใช้พลังงานมหาศาลในการกลั่นเอทานอลเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์สูงๆ และสารที่ใช้เป็นเอนเทรนเนอร์ทุกชนิดเป็นสารอินทรีย์มีพิษ และบางชนิดอาจเป็นสารก่อมะเร็ง

งานวิจัยหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่า แนวทางใหม่ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วย การกลั่นลำดับส่วนน้ำหมักจนกระทั่งความเข้มข้นของเอทานอลอยู่ที่ประมาณ 75-90 % โดยน้ำหนัก แล้วผ่านสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปบนตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำ จะทำให้ สารละลายที่ผ่านการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นของเอทานอลสูงกว่า 99% โดยน้ำหนัก ตัวดูดซับที่สามารถดูดซับน้ำได้และมีการนำมาใช้งานแล้ว ได้แก่ โมเลคิวลาร์ซีฟ (molecular sieve) ซิลิกาเจล (silica gel), แบเรียมออกไซด์ (barium oxide) หรือวัสดุชีวมวลที่มีแป้งหรือเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เช่น แป้งข้าวโพด ข้าวโพดบดหยาบ ข้าวโพดบดละเอียด ชังข้าวโพด และแป้งสาลี กระบวนการดูดซับ น้ำด้วยวัสดุชีวมวลนี้จัดได้มีความน่าสนใจและมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะพัฒนาขึ้นสำหรับการ ผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ภายในประเทศไทย เนื่องจากมีวัตถุดิบทางการเกษตรประเภทแป้งและเซลลูโลส อยู่หลายชนิด เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด หรือข้าว เป็นต้น

งบประมาณ

จำนวน 296,000บาท งบประมาณปี 2550 จากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลา 1 ปี (20 กันยายน 2550 – 19 กันยายน 2551)

วิธีดำเนินการ

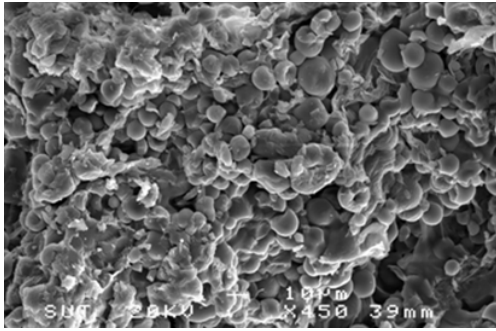
ผู้วิจัยต้องการพัฒนาเครื่องต้นแบบของระบบดูดซับแบบสลับความดัน (pressure swing adsorption) ที่ใช้ตัวดูดซับชีวมวลซึ่งผลิตขึ้นจากกากมันสำปะหลังสำหรับแยกน้ำออกจากเอทานอลให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นมากกว่า 99.5% โดยน้ำหนัก เนื่องจาก กากมันสำปะหลังซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังภายในประเทศ เป็นวัสดุที่ยัง มีปริมาณแป้งหลงเหลืออยู่ในปริมาณพอสมควร มีราคาถูก คือราคาประมาณตันละ 100-400 บาท งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประโยชน์ใช้สอย และเพิ่มมูลค่าให้กับกากมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องถึงความสามารถของวัสดุชีวมวลในการดูดซับน้ำ

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมตัวดูดซับจาก กากมันสำปะหลัง องค์ประกอบที่สำคัญของ ตัวดูดซับนี้ คือแป้งมันสำปะหลังและกากมัน สำปะหลังในอัตราส่วนที่เหมาะสม เตรียมได้ ด้วยการผสม อบ และบดให้มีลักษณะเป็นเม็ด (pellet) ก่อนจะถูกร่อนคัดขนาดและเก็บใน ภาชนะปิดสนิทสำหรับใช้งานต่อไป



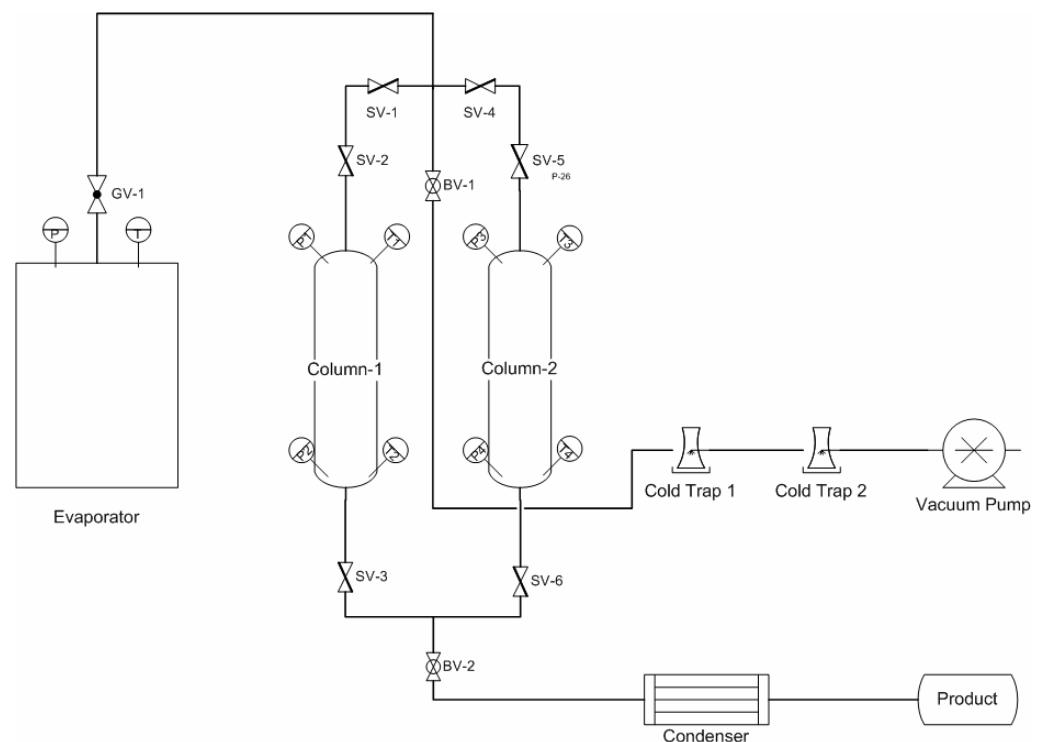


การวิเคราะห์ตัวดูดซับจากกากมันสำปะหลังที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) พบว่า บนพื้นผิวของตัวดูดซับมีอนุภาคลักษณะค่อนข้างกลมเกาะอยู่โดยทั่ว อนุภาคนี้คือแป้งมันสำปะหลังซึ่งจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้น้ำถูกแยกออกจากเอทานอล

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่เตรียมได้ในการดูดซับน้ำออกจากไอเอทานอลในระบบดูดซับแบบเบตนิ่ง (fixed bed adsorption) เพื่อศึกษาผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำของตัวดูดซับที่เตรียมได้ ซึ่งแสดงในรูปของปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ และปริมาณเอทานอลซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า 99.5 % โดยน้ำหนักที่ผลิตได้ต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ ($\text{g}_{\text{น้ำ}}/\text{g}_{\text{ตัวดูดซับ}}$ และ $\text{g}_{\text{เอทานอล}}/\text{g}_{\text{ตัวดูดซับ}}$ ตามลำดับ) โดยตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษา ได้แก่

- ความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายเริ่มต้น
- ขนาดของตัวดูดซับ
- วิธีการเตรียมตัวดูดซับ
- อุณหภูมิในการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบ จัดสร้างเครื่องต้นแบบของระบบดูดซับแบบสลับความดัน โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากระบบดูดซับแบบเบตนิ่งในขั้นตอนที่ 3 ระบบนี้มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่



- ถังบรรจุสารละลายเอทานอลเริ่มต้น ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของสารละลายเอทานอลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ (evaporator)
- คอลัมน์บรรจุตัวดูดซับ 2 คอลัมน์ ซึ่งจะทำงานสลับกัน โดยขณะที่คอลัมน์ที่ 1 ถูกเพิ่มความดันเพื่อให้เกิดการดูดซับ คอลัมน์ที่ 2 จะถูกลดความดันเพื่อให้เกิดการคายซับ
- หน่วยควบแน่น (condenser) สำหรับควบแน่นไอของเอทานอลที่ผ่านคอลัมน์ดูดซับ
- วาล์วโซลินอยด์ (solenoid valve) สำหรับควบคุมการไหลเข้าออกของสารในท่อและคอลัมน์
- หน่วยควบคุม (control unit) สำหรับควบคุมการทำงานของวาล์วโซลินอยด์ให้เป็นตามระยะเวลาและรูปแบบที่กำหนด
- ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) สำหรับควบคุมการเปลี่ยนแปลงความดันในระบบ
- หน่วยดักความชื้น (cold trap) สำหรับดักความชื้นไม่ให้เข้าสู่ปั๊มสุญญากาศ



ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ โดยทำการทดลองการดูดซับด้วยตัวดูดซับจากกากมันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับการดูดซับด้วยสารดูดซับน้ำโมเลคิวลาร์ซีฟ ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาในขั้นตอนนี้ ได้แก่

- อุณหภูมิในการดูดซับ
- ความดันในการดูดซับและคายซับ
- อัตราการไหลของไอสารในระบบ
- ระยะเวลาของวัฏจักรการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 6 ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานและข้อจำกัดของระบบ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับสร้างระบบที่มีขนาดใหญ่ สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 เผยแพร่ผลงานวิจัยในลักษณะของเอกสารงานวิจัย และยื่นจดสิทธิบัตรกรรมวิธีการเตรียมตัวดูดซับจากกากมันสำปะหลัง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับจากกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล ทำให้สารละลายเอทานอลที่ผ่านขั้นตอนการดูดซับแล้วมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อใช้สภาวะการดำเนินการที่เหมาะสม ผลผลิตเอทานอลที่เตรียมได้จะมีความเข้มข้นสูงกว่า 99.5% โดยน้ำหนัก โดยเมื่อใช้สารละลายเอทานอลเข้มข้น 90 % โดยน้ำหนักเป็นสารตั้งต้น ระบบดูดซับแบบเบตนิ่งซึ่งสามารถบรรจุตัวดูดซับจากกากมันสำปะหลังได้สูงสุด 60 กรัม สามารถดูดซับน้ำ

ได้ 0.45 g_{น้ำ}/g_{ตัวดูดซับ} และสามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 99.5 % โดยน้ำหนักได้ 0.31 g_{เอทานอล}/g_{ตัวดูดซับ} มีอัตราการไหลโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อพัฒนากระบวนการดูดซับจากระบบเบตนิ่งเป็นระบบสลับความดันซึ่งสามารถบรรจุตัวดูดซับได้สูงสุด 300 กรัมต่อคอลัมน์พบว่าประสิทธิภาพของตัวดูดซับเพิ่มสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิการดูดซับ 120 °C ความดันสัมบูรณ์การดูดซับ 3 บาร์ สามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 99.5 % โดยน้ำหนักได้ 1.95 g_{เอทานอล}/g_{ตัวดูดซับ} อัตราการไหลโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ 10.2 มิลลิลิตรต่อนาที

ประโยชน์

ผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับเตรียมเอทานอลความบริสุทธิ์สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์หรือกระบวนการอื่นๆ ที่เอทานอลเป็นวัตถุดิบ กระบวนการที่ทำการศึกษายังเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อยกว่า ทำให้มีต้นทุนในการดำเนินกระบวนการต่ำกว่ากระบวนการกลั่นลำดับส่วน และกระบวนการกลั่นเอซีโอโทรมที่ใช้กันแต่ดั้งเดิม เครื่องต้นแบบที่ทำการศึกษาก่อเกิดจากการออกแบบและจัดสร้างขึ้นภายในหน่วยงาน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้สามารถจัดสร้างและดำเนินงานได้โดยบุคลากรภายในประเทศ นอกจากนี้ ผลงานวิจัยที่ได้ยังเป็นการพัฒนาเพิ่มประโยชน์ใช้สอยและมูลค่าให้กับกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรภายในประเทศซึ่งมีราคาถูก

สถานที่ติดต่อ	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	เลขที่ 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000
	โทรศัพท์ 044-224591, 044-224491 มือถือ 0817532815 โทรสาร 044-224609