บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากรายงานการแยกกรดมะนาวมี 4 วิธี คือ 1. การตกตะกอนกรดมะนาวโดยวิธี ไลม์-ซัลฟิวริก 2. การแยกกรดมะนาวด้วยเรซินหรือโพลีเมอร์ที่มีความจำเพาะจับกับกรดมะนาว 3. การสกัดแยกกรดมะนาวด้วยตัวทำละลาย และ 4. การแยกกรดมะนาวด้วยวิธีอิเล็กโตรไดอาไลซีส ซึ่งวิธีที่ 2 และ 3 นี้เหมาะกับน้ำหมักกรดมะนาวที่ได้จากกลูโคสหรืออัลเคนเป็นแหล่งคาร์บอน (Mattey , 1992 ; Beniel et al., 1983) ขณะที่วิธีที่ 4 นั้นอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างราคาแพงและอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่มีการแยกกรดมะนาวด้วยวิธีนี้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกวิธีที่ 1 ในการแยกกรดมะนาวซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะกับการหมักกรดมะนาวที่น้ำหมักมีสารปนเปื้อนมาก อย่างไรก็ตามข้อมูลรายละเอียดในการแยกและตกผลึกกรดมะนาวในประเทศไทยยังมีน้อย จึงได้เลือกที่จะทำการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ และผลของการแยกและตกผลึกกรดมะนาวจากแคลเซียมซิเทรตจากการหมักด้วยยีสต์ *C. oleophila* ในอาหารเหลวโดยใช้น้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งเป็นแหล่งคาร์บอน จะมีดังนี้ คือ

1. ในขั้นตอนการละลายตะกอนแคลเซียมซิเทรต 100 กรัม (ความชื้น 50 %) ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 50 , 60 และ 70 (w/v) โดยที่ pH สุดท้ายของการละลายตะกอนแคลเซียมซิเทรตของแต่ละความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเป็น 1.5 , 1.7 และ 2.0 พบว่าการละลายตะกอนแคลเซียมซิเทรตด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 70 และ pH ของสารละลายกรดมะนาวเป็น 1.7 เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือสามารถละลายตะกอนแคลเซียมซิเทรตได้กรดมะนาวในสารละลายเท่ากับ 94.34 % ของปริมาณกรดมะนาวที่มีในแคลเซียมซิเทรต มีปริมาณซัลเฟตที่เกิดจากการละลายตะกอนแคลเซียมซิเทรตเท่ากับ 0.20 กรัม และจากภาวะดังกล่าวเมื่อนำมาหาค่าสมดุลมวลจะมีอัตราส่วนของ แคลเซียมซิเทรต : กรดซัลฟิวริก : กรดมะนาว : แคลเซียมซัลเฟต คือ 2.65 : 2.26 : 1 : 3.97

2. ในขั้นตอนการลดไอออนปนเปื้อน (แคลเซียม , เหล็ก , ซัลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น) ที่มีในสารละลายกรดมะนาวด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน Idion FF – 1P , Idion 850 N และ Dowex 66 ด้วย space velocity ของการไหล

เป็น 3 , 6 และ 9 ชม $^{-1}$ โดยที่อุณหภูมิของคอลัมน์ขณะสารละลายกรดมะนาวผ่าน คือ อุณหภูมิระหว่าง 28 – 80 องศาเซลเซียส พบว่าเรซิน Dowex 66 เป็นเรซินที่สามารถลดไอออนปนเปื้อนได้ดี โดยที่ space velocity ของการไหลเป็น 3 ชม $^{-1}$ อุณหภูมิของคอลัมน์ขณะที่สารละลายกรดมะนาวผ่านประมาณ 60 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณกรดมะนาวเท่ากับ 46.39 กรัมต่อเรซินปริมาตร 10 มิลลิลิตร คิดเป็นผลผลิตกลับคืนมาเท่ากับ 91.76 % ของปริมาณกรดมะนาวที่มีในแคลเซียมซิเทรต และเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพความสามารถ (capacity) ของเรซินที่ผู้ผลิตระบุไว้ จะพบว่าเรซินมีความสามารถในการจับซัลเฟตไอออนได้เท่ากับ 33.65 % นอกจากนี้ค่า selectivity coefficient ซึ่งเป็นค่าที่บอกประสิทธิภาพของการเกาะระหว่างเรซินกับสารที่ทดลอง พบว่า ค่า selectivity coefficient ของเรซินต่อซัลเฟตไอออนจะสูงกว่าค่า selectivity coefficient ของเรซินต่อกรดมะนาวที่ทุก ๆ อุณหภูมิ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.88 สำหรับการแลกเปลี่ยนแคทไอออนด้วยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน Dowex HCR-S , Dowex monosphere และ Ionac C – 249 ณ ภาวะเดียวกันกับการลดไอออนปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออน พบว่า Dowex HCR-S เป็นเรซินที่สามารถลดแคทไอออนปนเปื้อนได้ดี โดยภาวะที่เหมาะสมคือที่ space velocity ของการไหลเป็น 3 ชม $^{-1}$ อุณหภูมิของคอลัมน์ขณะที่สารละลายกรดมะนาวไหลผ่านประมาณ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณกรดมะนาวเท่ากับ 27.97 กรัมต่อเรซินปริมาตร 10 มิลลิลิตร และเมื่อเทียบประสิทธิภาพความสามารถของเรซินที่ผู้ผลิตระบุไว้ พบว่าเรซินมีความสามารถในการจับแคลเซียมไอออน 38.84 % แต่เนื่องจากอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปที่จะทำให้อายุการใช้งานของเรซินนั้นสั้นลงเร็วรวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่เหมาะกับอุณหภูมิที่สูง จึงเลือกอุณหภูมิที่คอลัมน์ขณะที่สารละลายกรดมะนาวผ่าน 60 องศาเซลเซียสแทน 80 องศาเซลเซียส และได้ผลผลิตกลับคืนหลังผ่านเรซินเท่ากับ 88.57 % ของปริมาณกรดมะนาวที่มีในแคลเซียมซิเทรต

3. ในขั้นตอนการฟอกสีสารละลายกรดมะนาวด้วยถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ถ่านกัมมันต์ในการฟอกสี เพราะถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดลองนั้นไม่เหมาะสมกับการฟอกสีสารละลายกรดมะนาวที่ค่อนข้างเป็นเป็นกรด และสารละลายกรดมะนาวที่ได้หลังผ่านการลดไอออนปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนค่อนข้างใส เนื่องจากเรซินที่ใช้ลดไอออนปนเปื้อนในสารละลายกรดมะนาวนอกจากจะทำหน้าที่ลดไอออนปนเปื้อนในสารละลายกรดมะนาวแล้วยังทำหน้าที่การดูดซับสีออกจากสารละลายกรดมะนาว ดังนั้นจึงนำสารละลายกรดมะนาวที่ผ่านขั้นตอนการลดไอออนปนเปื้อนไปทำการตกผลึกในขั้นต่อไป

4. ในขั้นตอนการตกผลึกกรดมะนาวจากสารละลายกรดมะนาว โดยการระเหยน้ำออกด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบสุญญากาศแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ความเข้มข้นประมาณ 60^{0} brix จะเกิดผลึกของกรดมะนาว เมื่อนำผลึกไปปั่นแยกออกจากสารละลาย พบว่า ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะเป็นภาวะที่สามารถตกผลึกกรดมะนาวได้ดี โดยสามารถตกผลึกกรดมะนาวได้ 57 % ของปริมาณกรดมะนาวที่มีในแคลเซียมซิเทรต ผลึกมีขนาด 0.7 มิลลิเมตร มีความบริสุทธิ์ของกรดมะนาวคำนวณในสภาพแห้งร้อยละ 99.95 และมีจุดหลอมเหลวในช่วง 152 – 154 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นผลึกที่มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมีต่าง ๆ ของกรดมะนาวที่เตรียมได้ก็ได้มาตรฐานตรงตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 464. , 2535)