

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ6.1 สรุปผลการวิจัย

โซเดียม แอลจีเนต ($C_6H_7O_6Na$) เป็นเกลือสำคัญที่สุดของกรกแอลจีนิค ($C_6H_8O_6$) ซึ่งเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์พบในบริเวณผนังเซลล์ของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล, ผลิตภัณฑ์ในสภาพแห้งจะมีสีขาวหรือเหลืองแกมน้ำตาลใช้เป็น emulsifying, stabilizing และ thickening agent ในอุตสาหกรรมทอผ้า, เภสัชภัณฑ์, เคมีภัณฑ์ และอาหาร ฯลฯ วิธีการสกัดโซเดียม แอลจีเนต โดยทั่วไปกระทำได้โดยการย่อยสลายสาหร่ายในสารละลายโซเดียม คาร์บอเนต (pH มากกว่า 10) จะให้สารละลายโซเดียม แอลจีเนต แยกออกจากของสาหร่ายออกจากสารละลาย, ตกตะกอนกรกแอลจีนิคจากสารละลายนี้ด้วยกรกเกลือหรือกรกซัลฟูริก (pH ประมาณ 3) เปลี่ยนนกรกนี้ให้เป็นโซเดียม แอลจีเนต อีกครั้งหนึ่ง ทำการตกตะกอน แล้วทำให้แห้ง

ปัจจุบัน, วิธีทางอุตสาหกรรม 2 วิธีใหญ่ในการสกัดคือ Green's "Cold" Process ซึ่งเหมาะกับสาหร่าย (kelp หรือ Macrocystis) สด ๆ, ไม่มีการเกิด depolymerisation ของกรกแอลจีนิค เพราะใช้อุณหภูมิในการย่อยสลายต่ำ (ประมาณ $10^{\circ}C$), และ Le Gloahec-Herter Process เหมาะกับสาหร่าย (kelp) แห้ง, ใช้เวลาในการสกัดสั้นกว่าวิธีแรก เพราะใช้อุณหภูมิในการสกัดสูง (ประมาณ $40^{\circ}C$) วิธีหลังนี้, ถูกเลือกใช้เป็นวิธีการสกัดโซเดียม แอลจีเนต ในรูปกรกแอลจีนิค สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เพราะวัตถุดิบที่ได้มาเป็นสาหร่ายแห้ง, การทดลองสกัดโดยการปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นกระทำได้ง่ายกว่าการปรับอุณหภูมิให้ต่ำลงจากอุณหภูมิปกติ และสามารถทราบผลการทดลองได้ภายในระยะเวลาอันสั้นกว่าวิธีแรก

เพื่อเป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการวิจัย, สิ่งสำคัญที่สุดของโครงการวิจัยนี้คือ ผลการสำรวจแหล่ง, ชนิดสาหร่ายทะเลและเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสกัดโซเดียม แอลจีเนต, ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

ผลการสำรวจแหล่ง, ชนิดสาหร่ายทะเล พบว่าสาหร่ายทะเลสกุล *Sargassum* sp. สามารถพบได้ง่ายและมีปริมาณมากที่สุดในบริเวณอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี สาหร่ายที่สำรวจนี้มีขนาดความยาวลำต้นประมาณ 60 เซนติเมตร ขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล น้ำตื้น (4-5 เมตร) ที่มีความลาดเอียงน้อยกว่า 10 องศา เท่าที่ตรวจพบ *Sargassum* sp. จะพบ *Padina* sp. ค่อยเสมอ ข้อมูลที่ได้จากสถานีประมงทะเลสงขลาได้ยืนยันความจริงนี้เช่นกัน ดังนั้นน่าจะเชื่อได้ว่าแหล่งที่พบ *Padina* sp. ในตารางที่ 3-4 ก็ควรจะพบ *Sargassum* sp. โคคาย สรุปได้ว่า *Sargassum* sp. สามารถพบได้ในปริมาณมากและพบได้ง่ายที่สุดในบริเวณอ่าวไทย

ผลการทดลองสกัด โซเดียม แอลจีเนต ในรูปกรดแอลจีนิค ผลการทดลองนำสาหร่ายทะเลสกุลต่าง ๆ มาสกัดโดยวิธี Le Gloahec-Herter พบว่า *Sargassum* sp. ให้ปริมาณกรดแอลจีนิคสูงสุด กล่าวคือระหว่าง 14-17.4% (ตารางที่ 4-1) เนื่องจาก *Sargassum* sp. มีปริมาณมากและพบได้ง่ายที่สุด อีกทั้งสามารถให้ % yield กรดแอลจีนิคสูง สาหร่ายทะเลชนิดนี้จึงถูกเลือกใช้ในการทดลองสกัดเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป และพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสกัดคือปริมาณโซเดียม คาร์บอเนต ที่ใช้, 60% ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ; โดยมีช่วง pH ระหว่าง 10-11 ; ระยะเวลาในการแช่หมักสาหร่ายในสารละลายโซเดียม คาร์บอเนต, 30 นาที ; ระยะเวลาในการย่อยสลายด้วยการกวน, 1 ชั่วโมง ; อุณหภูมิขณะย่อยสลาย, 70-75°C ; กรดและ pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนกรดแอลจีนิคคือกรดซัลฟูริกที่ pH ระหว่าง 2-3 ตามลำดับ โดยเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นจะได้ % yield ของกรดแอลจีนิคสูงสุดคือ 18.75% อย่างไรก็ตาม, ผลที่ได้นี้ต่ำกว่าการใช้โซเดียม คาร์บอเนต เท่ากับ 40% ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ซึ่งให้ % yield กรดแอลจีนิคเท่ากับ 31% (ตารางที่ 4-3) ค่าที่แตกต่างกันนี้ไม่สามารถจะนำมาเปรียบเทียบกันได้ เพราะตัวอย่างสาหร่ายที่นำมาทดลองสกัดแตกต่างกันไปตั้งแต่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 5.2.6

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของกรดแอลจีนิคที่สกัดได้พบว่าค่าความเป็นกรด (acid value) เท่ากับ 174.1 และ 272.8 เมื่อใช้อุณหภูมิขณะย่อยสลายที่ 70-75°C และ 40°C ตามลำดับ แสดงว่าเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ทำให้ % yield ของกรดแอลจีนิคที่ได้สูงสุดนั้นไม่เป็น

เงื่อนไขที่เหมาะสมเสมอไปหากคุณภาพของกรดแอลจีนิคที่โคไคต่ำ ผลการทดลองแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่โคไค สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่าที่ช่วงอุณหภูมิสูง ๆ ($70-75^{\circ}\text{C}$ หรือมากกว่า 75°C ขึ้นไป) ช่วงหนึ่งจะสามารถทำให้กรดแอลจีนิคที่โคไคสลายตัว (degradation) เป็นสารประกอบอื่นมากกว่าอัตราการเกิดกรดแอลจีนิคจากปฏิกิริยาเคมี ข้อบกพร่องนี้อาจแก้ไขโดยการใช้น้ำร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) การเกิดกรดแอลจีนิคให้มากกว่าอัตราการสลายตัว หรือจำเป็นต้องลดอุณหภูมิในการย่อยสลายลงเพื่อให้ได้คุณภาพของกรดแอลจีนิคตามต้องการ แม้จะได้ % yield กรดแอลจีนิคต่ำลงก็ตาม อย่างไรก็ตาม กรดแอลจีนิคที่มีคุณภาพสูงจะมีราคาดีกว่ากรดแอลจีนิคที่มีคุณภาพต่ำซึ่งเป็นสิ่งชดเชยกันได้หรือไม่นั้นจะต้องศึกษาถึง optimization ในขั้นตอนการผลิตและมูลค่าผลิตภัณฑ์โคไคอย่างละเอียดต่อไป

อนึ่ง ผลการวิจัยทั้งในด้านการสำรวจ, แหล่งวัตถุดิบ และขบวนการผลิต ยังไม่สมบูรณ์พอที่จะสรุปเกี่ยวกับการที่จะนำเอาวิทยากรนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมโคไค จึงได้ทำข้อเสนอแนะต่าง ๆ ไว้ใน 6.2 โดยหวังว่าเมื่อข้อมูลต่าง ๆ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น คงจะสามารถประเมินคุณค่าทางอุตสาหกรรมของการผลิต alginate โคไคได้ดียิ่งมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

ข้อเสนอแนะต่อไปนี้เป็นการค้นคว้าทดลองซึ่งผู้เขียนเห็นว่ามีความสำคัญต่อการวิจัยในขั้นต่อไป

6.2.1 การหาผลของฤดูกาลต่อ % yield กรดแอลจีนิคที่โคไค

ทำโคไคโดยการทดลองสกัดโซเดียม แอลจีเนต จาก *Sargassum* sp. ซึ่งเก็บในฤดูกาลต่าง ๆ กัน เทียบกับปริมาณ % yield ของกรดแอลจีนิค ผลการทดลองนี้จะทำให้ทราบผลของฤดูกาลที่เหมาะสมในการสกัดแอลจีเนต เท่าที่ผู้เขียนเคยทำการทดลองมาบ้างแล้ว (ระหว่างเดือนเมษายน-พฤศจิกายน) เชื่อว่า % yield ของกรดแอลจีนิคไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก คงเป็นเพราะอุณหภูมิในฤดูกาลดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงมากนักก็เป็นได้

6.2.2 การสำรวจแหล่ง, ปริมาณของ Sargassum sp.

ผลการสำรวจนี้จะบอกให้ทราบถึงปริมาณเฉลี่ยตลอดปีและปริมาณในฤดูกาลต่าง ๆ ของสาหร่ายชนิดนี้ บริเวณริมฝั่งทะเลของอ่าวไทย อนึ่งการสำรวจนี้ควรจะครอบคลุมถึงการเลือกแหล่งของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลชนิดอื่นซึ่งอาจจะพบในปริมาณมากด้วยเพื่อนำมาทดลองสกัดต่อไป ผู้เขียนคิดว่าควรจะมีการศึกษาถึงผลของขนาด Sargassum sp. หรือสาหร่ายชนิดอื่นที่ใช้ในการสกัดด้วย ซึ่งกระทำได้โดยการพยายามหาแหล่งของ Sargassum sp. ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เท่าที่ทราบจากการสอบถาม¹ คาดว่าสามารถจะพบ Sargassum sp. ที่มีขนาด 1-2 เมตร ใต้อ่าวบริเวณจังหวัดชลบุรี

ผลการสำรวจนี้ ทำให้สามารถที่จะตัดสินใจได้ว่าสมควรจัดตั้งโรงงานผลิตแอลจีเนทขึ้นในประเทศไทยหรือไม่ และกำหนดให้มีการดำเนินงาน, ความสามารถในการผลิตอย่างไร

6.2.3 การลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการฟอกสีกรกแอลจีนิค

กระทำได้โดยการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการฟอกสี เช่น อุณหภูมิ, ระยะเวลาฟอกสี, ปริมาณสารฟอกสีที่ใช้, วิธีการในการฟอกสี สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการฟอกสีดีขึ้น การหาวิธีที่ใดผลในการแยกสารเคมีที่ใช้ในการฟอกสีออกจากสารละลายโซเดียม แอลจีเนท เช่น หากค่าใช้จ่ายในการแยกสารฟอกสีด้วยวิธีการกรองด้วยความกดดัน (filter press), ด้วยเครื่องแยกอาศัยแรงเหวี่ยง (centrifugal separator), ด้วยการทำให้ของแข็งจับตัวลอยสู่วิวนของของเหลว (floatation) เป็นต้น, จะช่วยให้ตัดสินใจเลือกเงื่อนไขและวิธีการที่ใดผลและประหยัดที่สุดในการฟอกสีได้

6.2.4 การปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติบางประการของกรกแอลจีนิคและโซเดียม แอลจีเนท

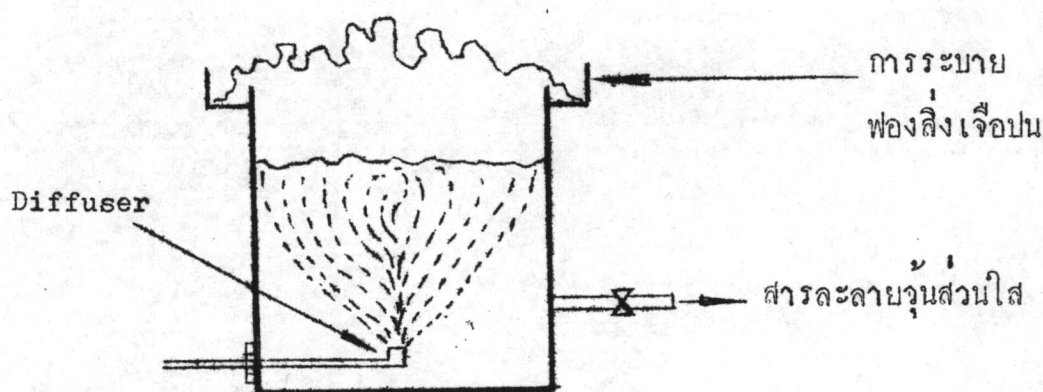
กระทำได้โดยการนำกรกแอลจีนิคซึ่งได้จากการสกัดที่อุณหภูมิขณะย่อยสลายต่าง ๆ กัน ด้วยการใช้เงื่อนไขในการสกัดที่เหมาะสมและผ่านการฟอกสีแล้วมาหาปริมาณ acid value และ impurities ต่าง ๆ เช่น arsenic, iron, lead, sulphated ash เทียบกับกรกแอลจีนิคทางการค้า (โดยกรรมวิธีวิเคราะห์ของ British Pharmaceutical Codex,

¹ เยาวลักษณ์ มณีรัตน์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การสอบถามส่วนตัว

1973) เตรียมโซเดียม แอลจีเนต จากกรดแอลจีนิคที่สกัดได้ หาปริมาณ impurities ต่าง ๆ คั่งกล่าวข้างต้น และปริมาณแคลเซียมที่ปะปนอยู่, วิเคราะห์ความหนืด (viscosity) เทียบกับความเข้มข้นสารละลาย เพื่อเปรียบเทียบกับโซเดียม แอลจีเนต ทางการค้า ผลการทดลองนี้จะทำให้ทราบถึงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายสำหรับทะเลด้วยการกวน ซึ่งสามารถให้กรดแอลจีนิคที่มีคุณภาพดีพอเพียงตามความต้องการได้

6.2.5 การปรับปรุงค่าความใส (% Transmittance) และความบริสุทธิ์ของวุ้น

สามารถทำได้ด้วยการนำวุ้นที่สกัดได้มาทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90-95°C ในภาชนะซึ่งมีลักษณะดังภาพข้างล่างนี้, การใช้ฟองอากาศฉีดเข้าไปในส่วนกลางของภาชนะจะช่วยทำให้สิ่งเจือปน และของแข็งแขวนลอยจับรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนศูนย์กลางของสารละลาย ลากอุณหภูมิค่าลงจนสารละลายวุ้นไม่เคียด (ประมาณ 60-70°C), หยุดการฉีดฟองอากาศ, ระบายสารละลายส่วนใสในช่วงกลางของภาชนะออก สารละลายวุ้นที่ได้จะบริสุทธิ์และใสขึ้น กระทำซ้ำกันเช่นนี้อีกหลายครั้งจนไม่มีฟองของ impurities เกิดขึ้น จะได้อวุ้นที่บริสุทธิ์มากขึ้น gel strength ก็จะมีสูงขึ้นไปด้วย กรรมวิธีเช่นนี้เรียก "floatation"



วุ้นที่ได้จากการผ่าน floatation นี้ สามารถทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นด้วยการ "thawing" ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.2.7.3.2

6.2.6 การปรับปรุงปริมาณและคุณภาพของ Potassium iodide ที่สกัดได้

กระทำโดยการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสกัดไอโอดีน เช่น ระยะเวลา, อุณหภูมิในการต้มเคี่ยวสารละลาย alkali earth salts และไอโอดีน, ปริมาณกรดซัลฟูริก และโปแตสเซียม คลอเรต ที่ใช้ เป็นต้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งในการตกตะกอน potassium iodide คือ หากปริมาณของโปแตสเซียม คลอเรต มีน้อยเกินไปจะต้องนำสารละลายที่เหลือจากการตกตะกอนของ KI มาทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยความร้อน และทำให้ตกผลึก KI ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ด้วยการเติมโปแตสเซียม คลอเรต เพิ่มลงไปซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งจะช่วย % yield ของไอโอดีน ที่ได้สูงขึ้น แต่การใช้ปริมาณที่มากเกินไปความต้องการของโปแตสเซียม คลอเรต จะทำให้บางส่วนของโปแตสเซียม คลอเรต ตกตะกอนปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นหากสามารถพบปริมาณโปแตสเซียม คลอเรต ในปริมาณที่ทำปฏิกิริยาพอดีหรือเกินพอดีเล็กน้อยจะช่วยให้การตกตะกอน KI สามารถกระทำได้ในครั้งเดียว และ KI ที่ได้ก็มีความบริสุทธิ์สูง