บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 ภาวะที่เหมาะสมต่อการตรึงรูปเดกซ์แทรนเนสบนทราย

อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ความเร็วเครื่องเขย่า 200 รอบต่อนาที

เวลาของการเขย่า ทราย-เอพีทีเอส-กลูตารัลดีไฮด์กับสารละลายเดกซ์แทรนเนส 90 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายเอพีทีเอสร้อยละ 5 โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนเนสร้อยละ 5 โดยปริมาตร

พีเอชที่เหมาะสมต่อการตรึงรูป พีเอช 4.5

6.1.2 สมบัติทางด้านจลนพลศาสตร์ของเดกซ์แทรนเนสอิสระและตรึงรูป

แสดงดังตาราง 6.1

จากตารางจะเห็นได้ว่าเดกซ์แทรนเนสตรึงรูป โดยวิธีเชื่อมพันธะโควาเลนท์บนอนุภาคทรายขนาด 50-60 เมช ภายใต้ภาวะเหมาะสมนี้ช่วยปรับปรุงสมบัติด้านจลนพลศาสตร์ของเอนไซม์หลายประการ ได้แก่การเพิ่มเสถียรภาพต่อสารปฏิกิริยาหลายชนิดสารปฏิกิริยาเหล่านี้อาจติดมากับวัตถุดิบที่นำเข้ากระบวนการผลิตน้ำตาล การเพิ่มเสถียรภาพต่อการเก็บโดยเก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นมีค่าครึ่งชีวิตมากกว่า 81 วัน และมีแอคติวิตีคงเหลือถึงร้อยละ 82.6 เมื่อเก็บที่ระยะเวลาดังกล่าว มีค่าครึ่งชีวิตสูงจากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นดังแสดงในตาราง 6.2

ตาราง 6.1 สมบัติทางด้านจลนพลศาสตร์ของเดกซ์แทรนเนสอิสระและตรึงรูปบนทราย

ค่าทางจลนพลศาสตร์	เอนไซม์อิสระ	เอนไซม์ตรึงรูป
อุณหภูมิที่เอนไซม์แสดงแอคติวิตีสูงสุด (°C)	55	55
พีเอชที่เอนไซม์แสดงแอคติวิตีสูงสุด	5.0	7.0
ค่าคงที่ Michaelis (K_m, มิลลิโมลาร์)		
พีเอช 5.0	3.4×10^{-4}	1.0×10^{-3}
พีเอช 7.0	7.11×10^{-4}	3.67×10^{-4}
อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บ (°C)	อุณหภูมิห้อง (28-30)	อุณหภูมิห้องเย็น (8-10)
พีเอชที่เหมาะสมต่อการเก็บ	4.5	3.5
ค่าครึ่งชีวิตที่ ภาวะเหมาะสม (วัน)	>81	>81
แอคติวิตีจำเพาะ (ยูนิต/มิลลิกรัมโปรตีน)	20354.82	6574.07

ตาราง 6.2 เปรียบเทียบสมบัติทางด้านจลนพลศาสตร์ของเดกซ์แทรนเนสตรึงรูปบนแก้วพรุน (26) และบนเบนโทไนท์ (27)

ค่าทางจลนพลศาสตร์	แก้วพรุน	เบนโทไนท์
อุณหภูมิที่เอนไซม์แสดงแอคติวิตีสูงสุด (°C)	50	55
พีเอชที่เอนไซม์แสดงแอคติวิตีสูงสุด	5.2-5.6	5.6
ค่าคงที่ Michaelis (K_m) เปรียบเทียบกับเอนไซม์อิสระ	ลดลง1.5เท่า	เพิ่มขึ้น 1.2เท่า
อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บ (°C)	อุณหภูมิห้องเย็น	อุณหภูมิห้องเย็น
พีเอชที่เหมาะสมต่อการเก็บ	5.6	5.6
ค่าครึ่งชีวิตที่ (วัน)	8, 37°c	15-20,4°c

และเดกซ์แทรนเนสตริงรูปในการทดลองนี้มีเสถียรภาพต่อพีเอชในช่วงพีเอชต่ำดีกว่าเดกซ์แทรนเนสอิสระ นับเป็นข้อได้เปรียบอย่างมากเนื่องจากน้ำอ้อยที่มีปัญหาเดกซ์แทรนมีพีเอชต่ำกว่า 5.5 ซึ่งเป็นพีเอชที่เดกซ์แทรนเนสตริงรูปมีเสถียรภาพสูงกว่าเดกซ์แทรนเนสอิสระในภาวะการใช้งานสำหรับการกำจัดเดกซ์แทรนในน้ำอ้อย

ตัวพยุงทรายเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายราคาถูก ทนต่อการถูกทำลายเชิงกลและทำลายโดยจุลินทรีย์ อีกทั้งวิธีการเตรียมตัวพยุงไม่ยุ่งยากจึงมีข้อได้เปรียบตัวพยุงชนิดอื่นและมีศักยภาพที่จะนำมาตริงรูปเดกซ์แทรนเนส

6.1.3 การย่อยสลายเดกซ์แทรนในน้ำอ้อยรวมด้วยเดกซ์แทรนเนสตริงรูปบนทรายมีระดับการย่อยสลายสูง ส่วนน้ำอ้อยรวมที่ผ่านการสะเทินด้วยด่างมีระดับการย่อยสลายต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากถูกยับยั้งโดย $Ca(OH)_2$ และในกรณีของน้ำเชื่อมพบว่าไม่เกิดการย่อยสลาย เพราะความเข้มข้นของน้ำเชื่อมสูงเกินไป จนยับยั้งปฏิกิริยาของเดกซ์แทรนเนสหรือน้ำตาลซูโครสอาจจับกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ในลักษณะ substrate analouge จึงทำให้เอนไซม์ไม่ย่อยสลายกับเดกซ์แทรนในน้ำเชื่อม

การทดลองครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์ปริมาณเดกซ์แทรนที่เหลือภายหลังการย่อยสลายเพราะยังไม่มีวิธีใดสามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำจึงเลือกวิธีการวัดความหนืดแทน

6.1.4 การย่อยสลายเดกซ์แทรนในน้ำอ้อยด้วยเดกซ์แทรนเนสตริงรูปบนทรายโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด พบว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชั่นที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็น 5.0 และ 7.5 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับซึ่งในการปฏิบัติจริงมักใช้ความเร็วของของไหลสูงกว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชั่นประมาณ 1.5 เท่า ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้ความเร็ว 10 มิลลิลิตรต่อนาที ทุกการทดลองเพื่อให้แต่ละการทดลองมีค่า space velocity เท่ากัน

ระดับการย่อยสลายเดกซ์แทรนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส สูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าหากการนำไปปฏิบัติในโรงงานไม่สะดวกอาจทำที่อุณหภูมิห้องแต่ใช้การวนซ้ำรอบมากกว่าหนึ่งรอบหรือทำเป็นเบดหลายชั้น

6.2 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าการตริงรูปเดกซ์แทรนเนสบนทรายจะเป็นการปรับปรุงสมบัติของเอนไซม์หลายประการก็ตาม แต่พบว่ามีข้อเสียเปรียบบางประการที่ควรจะพิจารณา กล่าวคือเสถียรภาพ

ต่อความร้อนของเดกซ์แทรนเนสตริงรูปต่ำกว่าเดกซ์แทรนเนสอิสระและพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาเลื่อนไปทางด่างคือที่พีเอช 7.0 ซึ่งเป็นพีเอชที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปปฏิบัติในอุตสาหกรรม พีเอชของน้ำอ้อยรวมประมาณ 4.8-6.0

สำหรับสมบัติของเดกซ์แทรนเนสตริงรูปที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้กำจัดเดกซ์แทรนในอุตสาหกรรมคือ มีพีเอชที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเดกซ์แทรนที่พีเอชต่ำประมาณ 4.5-5.5 และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเดกซ์แทรนที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) และเสถียรภาพต่อภาวะการใช้งานสูง สมบัติของตัวพยุงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ต้องเป็นตัวพยุงที่มีความคงทนต่อการทำลายเชิงกล การทำลายโดยจุลินทรีย์และมีความคงตัวต่อภาวะการใช้งานเช่นเดียวกับตัวพยุงทราย ในงานวิจัยนี้พบว่าตัวพยุงทรายมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม และสำหรับลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ที่นำมาใช้กำจัดเดกซ์แทรน พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดมีความเหมาะสมในการกำจัดเดกซ์แทรนในน้ำอ้อยอย่างต่อเนื่อง เพราะไม่ทำให้จุดใดจุดหนึ่งของสายงานการผลิตหยุด แต่การควบคุมอัตราการไหลของน้ำอ้อยขณะส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะต้องแม่นยำ หากอัตราการไหลสูงเกินไป อาจทำให้เกิดการหลุดของทรายไปกับน้ำอ้อย อันจะเป็นปัญหาต่อการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตในที่สุด

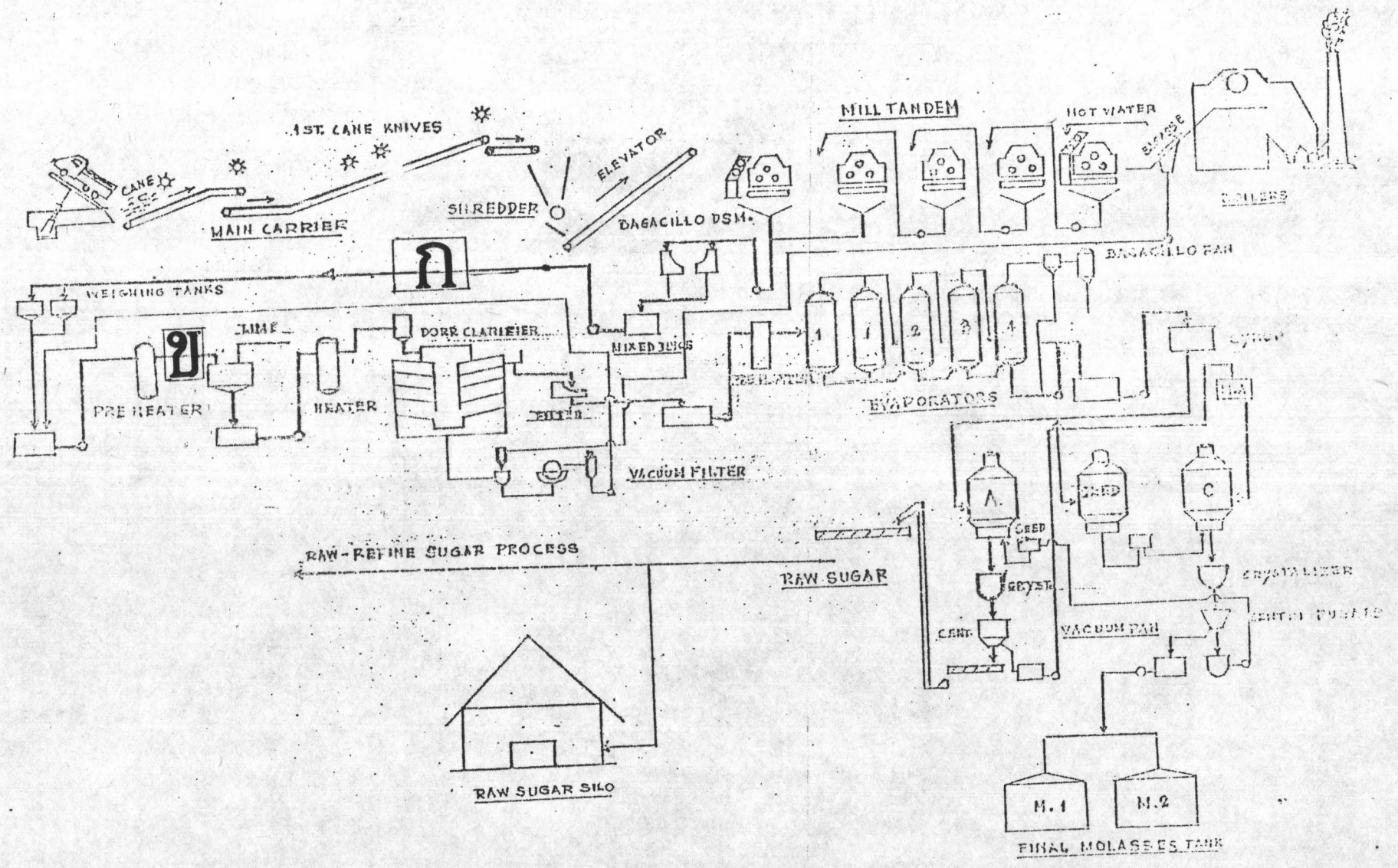
การกำจัดเดกซ์แทรนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบสามารถทำได้ 2 ยูนิต คือยูนิต ก และยูนิต ข ดังแสดงในรูปที่ 6.1

ยูนิต ก การย่อยสลายเดกซ์แทรนที่อุณหภูมิห้องหลังจากการหีบอ้อยและน้ำอ้อยรวมผ่านตะแกรงแยกผงกากอ้อยแล้วมีข้อดีกล่าวคือเป็นการกำจัดเดกซ์แทรนในกระบวนการผลิตได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการอื่น

ยูนิต ข การย่อยสลายเดกซ์แทรนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส หลังจากการหีบอ้อยและน้ำอ้อยรวมผ่านตะแกรงแยกผงกากอ้อยแล้วนำมาให้ความร้อนและกำจัดเดกซ์แทรนในยูนิต ข ก่อนนำไปผสมกับปูนขาวมีข้อดีกว่าการกำจัดเดกซ์แทรนในยูนิต ก เพราะระดับการย่อยสลายสูงกว่า

แต่อย่างไรก็ตามหากระดับการย่อยสลายหลังจากการกำจัดเดกซ์แทรนยังมีระดับไม่เหมาะสม จำเป็นต้องนำไปกำจัดเดกซ์แทรนซ้ำหลายรอบหรือผ่านหลายคอลัมน์และอาจใช้ร่วมกันทั้งยูนิต ก และยูนิต ข จนระดับการย่อยสลายอยู่ในระดับที่ต้องการ

การย่อยสลายเดกซ์แทรนในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายควรทำที่อุณหภูมิห้องหลังจาก



รูปที่ 6.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและยูนิตกำจัดเดกซ์แทรน

การหีบอ้อยและนำน้ำอ้อยรวมผ่านตะแกรงแยกผงกากอ้อยแล้ว มีข้อดีหลายประการคือ

1. นำหน่วยการย่อยสลายต่อเข้ากับระบบเดิมของโรงงานได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องเก็บรวบรวมน้ำอ้อยและนำเข้ากระบวนการผลิตได้ทันที

2. เป็นการย่อยสลายเดกซ์แทรนสายสั้นก่อนที่จะเกิดเป็นเดกซ์แทรนสายยาวจนกระทั่งเกิดเป็นปัญหาต่อกระบวนการผลิต

3. การย่อยสลายเดกซ์แทรนก่อนการพักใส ทำให้ตะกอนละเอียดที่ถูกเดกซ์แทรนกักไว้ (trap) สามารถตกตะกอนได้ดีขึ้นในช่วงของการพักใสและช่วยให้ความสามารถในการกรองตัว (filter ability) ในขั้นตอนการพักใสดีขึ้นด้วย

การประยุกต์ใช้เทคนิคเดกซ์แทรนเนสตริงรูปเพื่อแก้ปัญหาเดกซ์แทรนในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายมีความเป็นไปได้สูง เพราะเดกซ์แทรนเนสที่ผลิตได้มีเสถียรภาพต่อการเก็บสูงสามารถทำการผลิตจำนวนมากเพื่อเก็บไว้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพต่อสารปฏิกิริยาหลายชนิดสูงขึ้นและอาจทดลองตริงรูปเดกซ์แทรนเนสบนตัวพยุงชนิดอื่น เพื่อปรับปรุงข้อด้อยบางประการจากการตริงรูปเดกซ์แทรนเนสบนตัวพยุงทราย

ปัญหาการเกิดเดกซ์แทรนในอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินว่าในแต่ละปีมีผลผลิตสูญเสียเท่าใด แต่จากการศึกษาที่โรงงานพบว่าอ้อยไฟไหม้มีจำนวนมากในช่วงปลายฤดูหีบโดยมีถึงร้อยละ 75 ของอ้อยที่นำเข้าโรงงานทั้งหมดและจากการสังเกตพบว่ามีผลึกรูปเข็มเกิดขึ้นมากในช่วงของปลายฤดูหีบ ทั้งนี้เนื่องจากอากาศร้อนและแรงงานหายาก เกษตรกรเร่งเก็บเกี่ยวผลผลิตส่งเข้าโรงงานเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ทันต่อการบำรุงตอในฤดูกาลเพาะปลูกปีต่อไป การเผาอ้อยก่อนจะช่วยให้การเก็บเกี่ยวสะดวกยิ่งขึ้นและการส่งอ้อยไฟไหม้เข้าโรงงานเกษตรกรไม่ต้องรอเข้าคิว สามารถส่งได้ทันทีถึงแม้ว่าการเผาอ้อยจะทำให้น้ำหนักอ้อยลดลงก็ตาม แต่จะเป็นการประหยัดทางด้านค่าขนส่ง และค่าเสียเวลาในการขนส่ง