

วิจารณ์

6.1 การศึกษาตัวแปรในพรี-ไฮโดรไลซิส

6.1.1 ศึกษาขนาดชิ้นมวลต้นข้าวโพดเมื่อใช้ในพรี-ไฮโดรไลซิส

ในการทดลองได้ใช้ต้นข้าวโพดที่ขึ้นตอนการเตรียมแล้ว สามารถลอดผ่านตะแกรงขนาด 10, 4 และ 3 เมช นำชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่บดแล้วในปริมาณน้ำหนักแห้ง เท่า ๆ กัน พรี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 4.4% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที (25) ด้วยอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 11:1

ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 5-1 ถึง 5-3 พบว่า ชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่มีขนาดเล็กจะให้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลาย (รูปที่ 5-1) ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายน้ำตาล (รูปที่ 5-2) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (รูปที่ 5-3) มาก จากการทดลองใช้ชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่มีขนาดเล็กที่สุด คือ 10 เมช จะได้ค่าต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นสูงที่สุด เนื่องจาก ชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่มีขนาดเล็ก สารละลายสามารถที่จะซึมไปถึงจุดกลางได้เร็ว การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าและพื้นที่รวมก็มากกว่า เมื่อเทียบจากน้ำหนักที่เท่ากัน จึงได้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายมากที่สุด (16) อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายของ ชิ้นมวลต้นข้าวโพดที่ลอดตะแกรงขนาด 3 และ 4 เมช ไม่ต่างจาก 10 เมช มากนัก (ตามตารางที่ 6.1) คือ มีความแตกต่างร้อยละ 2.34 และ 3.12 ตามลำดับ ส่วนปริมาตรทั้งหมดมีความแตกต่างกันร้อยละ 9.61 และ 17.3 ตามลำดับ แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ยังมีขนาดใหญ่ก็ยังมีน้ำไว้มาก จึงกรองออกมาได้ปริมาณน้อยกว่า (16) ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด มีความแตกต่างกันร้อยละ 10.60 และ 24.52 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (กรัม) เป็นค่าที่คำนวณได้จากปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลาย (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) กับปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร) เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายของชิ้นมวลต้นข้าวโพด

ตารางที่ 6-1 แสดงความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของการพรี-ไฮโดรไลซิสชั้นมวลด
ต้นข้าวโพด ซึ่งลอดผ่านตะแกรงขนาด 10, 4 และ 3 เมช

ขนาดชั้นมวลด ต้นข้าวโพดบด (เมช)	ความเข้มข้น ของ น้ำตาลรีดิวส์ (%)	ความแตกต่าง จาก ค่ามากที่สุด (%)	ปริมาณ ทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ความแตกต่าง จาก ค่ามากที่สุด (%)	ปริมาณน้ำตาล รีดิวส์ทั้งหมด (กรัม)	ความแตกต่าง จาก ค่ามากที่สุด (%)
10	1.28	-	52	-	0.66	-
4	1.25	2.34	47	9.61	0.59	10.60
3	1.24	3.12	43	17.30	0.53	24.52

แต่ละขนาดมีความแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดที่ต่างกันของ ชีวมวลต้นข้าวโพดแต่ละขนาดจึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปริมาตรทั้งหมดที่กรองได้ จึงได้เลือกใช้ชีวมวลต้นข้าวโพดผ่านตะแกรงที่มีขนาด 10 เมช เพราะมีขนาดเล็กสามารถนำไปกรองได้ปริมาตรสารละลายน้ำตาลมากที่สุด อันทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดมากที่สุด

6.1.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดพร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชีวมวลต้นข้าวโพด (กรัม)

Sitton และคณะ (25) ได้ทดลองพรี-ไฮโดรไลส์ต้นข้าวโพดโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที แต่ไม่ได้กล่าวถึงอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชีวมวลต้นข้าวโพด ในการทดลองนี้ได้ใช้ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 อันเป็นข้าวโพดพันธุ์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ (เรียกว่า dent corn) ซึ่งแตกต่างจากต้นข้าวโพดพันธุ์หวาน (sweet corn) ที่นิยมปลูกในสหรัฐ (25) ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ในพรี-ไฮโดรไลส์อาจจะต่างจากเดิมไปเนื่องจากส่วนประกอบของต้นข้าวโพดต่างพันธุ์กัน จึงศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายกรดและอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชีวมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ที่เหมาะสมในการไฮโดรไลส์ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที พรี-ไฮโดรไลส์ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้นตั้งแต่ 4% ถึง 5% ที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวข้างต้น ด้วยอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชีวมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ตั้งแต่ 11:1 ถึง 17:1

ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 5-4 ถึง 5-6 ในรูปที่ 5-4 สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% สามารถไฮโดรไลส์ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ได้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นมากที่สุด แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก เป็น 5% ก็ตาม ก็ยังได้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 4.4% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีปริมาณกรดมากเกินไป ไม่เหมาะสมกับสภาวะอุณหภูมิและเวลาที่ใช่ จึงทำให้น้ำตาลที่เกิดขึ้นสลายตัวไปเป็นสารอื่น (12) ส่วนการพรี-ไฮโดรไลส์ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 4.0% ได้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุด อาจเป็นเพราะมีปริมาณกรดไม่เพียงพอจะไฮโดรไลส์ให้เกิดปริมาณน้ำตาลสุทธิในสภาวะอุณหภูมิและเวลาที่ใช่ได้ (12)

ในรูปที่ 5-6 เป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมด (กรัม) อันเป็นผลที่คำนวณได้จากความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ในรูปที่ 5-4 กับปริมาตรของสารละลายทั้งหมดในรูปที่ 5-5 ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 5-4 คือ การพรี-ไฮโดรไลส์ด้วย

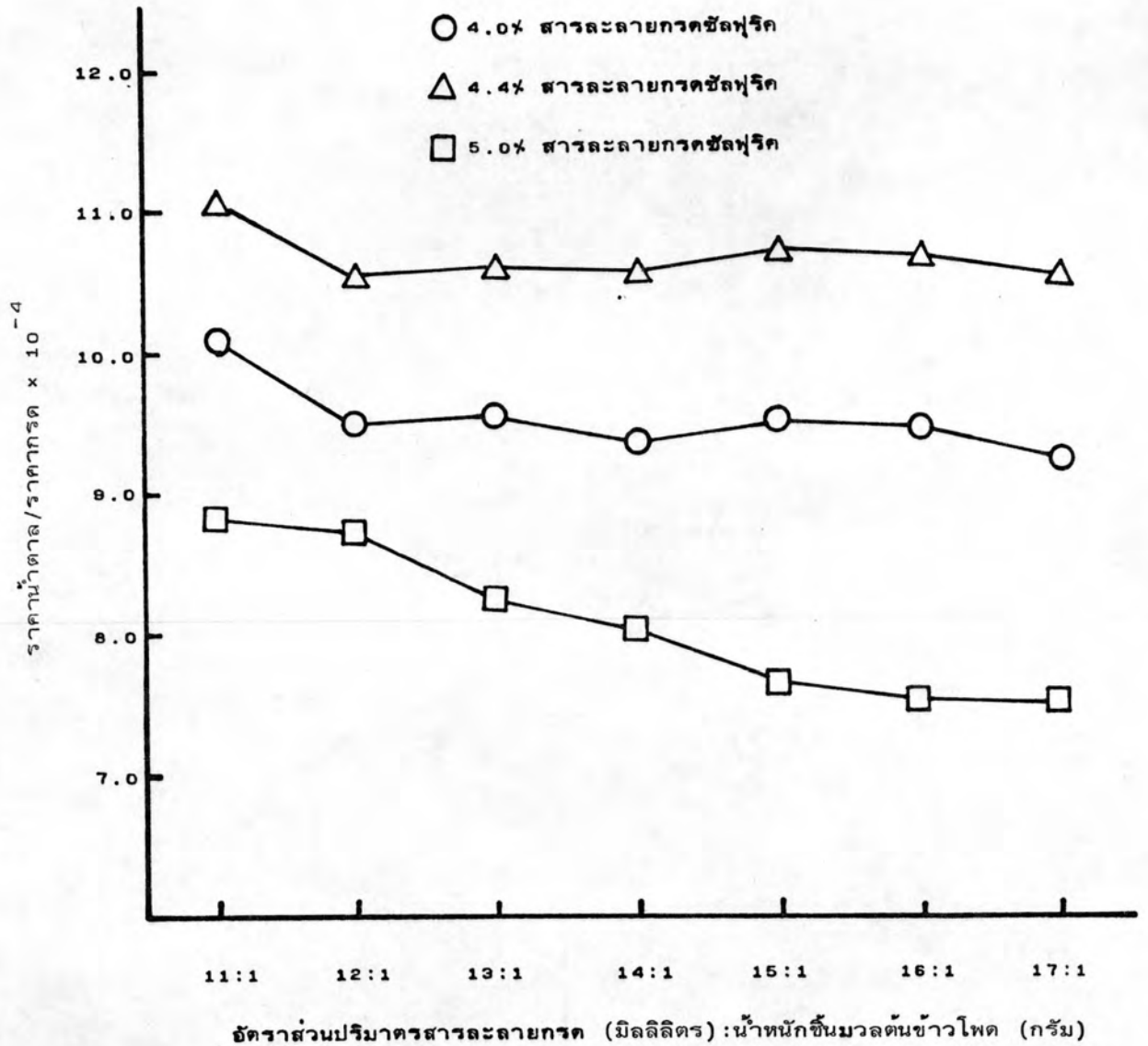
สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% จะได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่า การไฮโดรไลสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 5% และ 4% ตามลำดับ

เมื่อนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจากรูปที่ 5-6 ไปคำนวณค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดที่ใช้ ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 6-1 และตารางที่ ง-1 ถึง ง-3 ในภาคผนวก ง. ค่าที่คำนวณได้สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้ นั่น กล่าวคือ การไฮโดรไลสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% จะได้ค่านี้สูงกว่าสารละลายกรด 5.0% และ 4.0% ในทุกอัตราส่วนตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด เมื่อเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้คิดเป็นราคามากกว่า เห็นได้ว่าการทำพรี-ไฮโดรไลสต้นข้าวโพดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที ใช้สารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% จะได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้มากที่สุด ดังนั้น ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดในขั้นตอนการพรี-ไฮโดรไลสที่ใช้ไม่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของต้นข้าวโพดที่ต่างพันธุ์กัน

ในรูปที่ 5-4, 5-6 และ 6-1 แสดงการพรี-ไฮโดรไลสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% ให้ผลดีที่สุดในทุกอัตราส่วนของปริมาณของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายกรดไม่มีผลต่อเนื่องกับอัตราส่วนดังกล่าว ในการพิจารณาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในรูปที่ 5-4 จะเห็นว่าเมื่อลดปริมาณของสารละลายกรดให้น้อยลงโดยให้น้ำหนักต้นข้าวโพดคงที่ ก็จะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไปคำนวณค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 6-1 จะเห็นว่าอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 11:1 จะมีค่านี้สูงสุดในทุกความเข้มข้นสารละลายกรด เนื่องจากได้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเมื่อเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้คิดเป็นราคามากกว่า แสดงว่าในการพรี-ไฮโดรไลสต้นข้าวโพดที่สภาวะนี้ ต้องการใช้ปริมาณกรดตามอัตราส่วนไม่มาก อย่างไรก็ตาม ในการทดลองหัวข้อ 6.1.2 นี้ ยังไม่สามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนไหนเหมาะสมที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนที่ให้ค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดที่ใช้มากที่สุดแต่ เป็นอัตราส่วนที่ต่ำที่สุดของอัตราส่วนทั้งหมดในการทดลองนี้ ดังนั้นจึงต้องทดลองในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 11:1 ต่อไป

6.1.3 ศึกษาอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 4.4%

เนื่องจากการทดลองในหัวข้อ 6.1.2 ยังไม่สามารถหาอัตราส่วนปริมาณของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ที่เหมาะสมได้ พบว่าเมื่อปริมาตรตามอัตราส่วนนี้



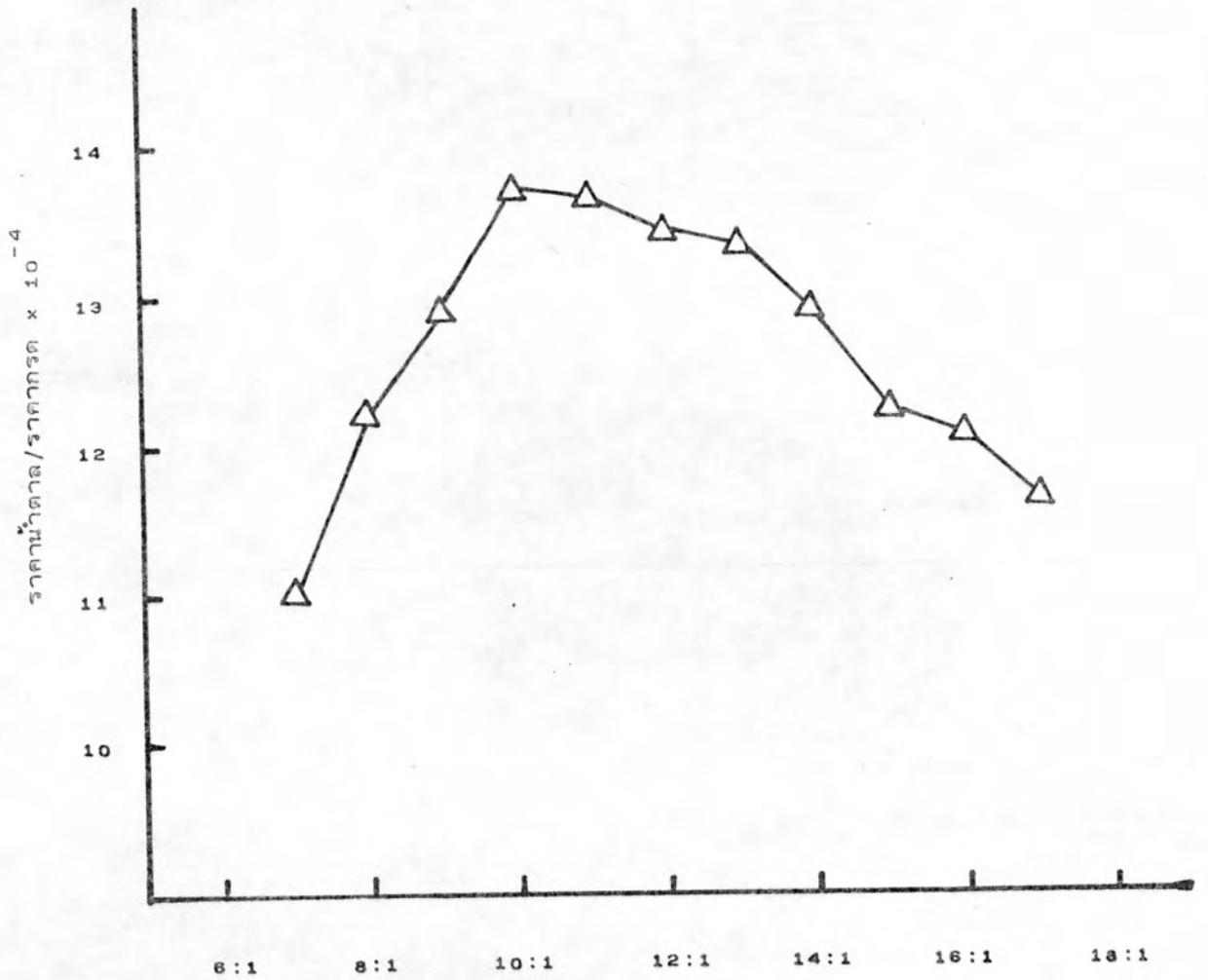
รูปที่ ๘-1 ค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดต่ออัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวล
 เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ในการพร-ไฮโดรไลส์ที่ 100
 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที

น้อยลง ราคาน้ำตาล/ราคากรดก็มากขึ้น ดังนั้น จึงทดลองแปรค่าอัตราส่วนดังกล่าวต่อจากหัวข้อการทดลองก่อน

ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 5-7 ถึง 5-9 ในรูปที่ 5-7 อัตราส่วนที่มีปริมาตรสารละลายกรดน้อยลง จะมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายมากขึ้น แม้ว่าในรูปที่ 5-9 อัตราส่วนที่มีปริมาตรสารละลายกรดสูงจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดมากขึ้นเรื่อย ๆ ก็ตาม แต่เมื่อนำไปคำนวณ ราคาน้ำตาล/ราคากรดในรูปที่ 6-2 และตารางที่ 6-4 ในภาคผนวก ง จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) ตั้งแต่ 12:1 ขึ้นไป จะมีราคาน้ำตาล/ราคากรดลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากอัตราส่วนที่มีปริมาตรสารละลายกรดมากขึ้นก็ยิ่งใช้กรดปริมาณมากขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นไม่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ เพราะฉะนั้นค่าราคาขายน้ำตาลต่อราคากรดที่ใช้จึงต่ำลงจากรูปที่ 6-2 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพด 10:1 จะให้ราคาน้ำตาล/ราคากรดมากที่สุด หากใช้อัตราส่วนที่มีปริมาตรสารละลายกรดต่ำกว่านี้แล้วราคาน้ำตาล/ราคากรดก็ลดลงตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่าการใช้อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักขึ้นมวลต้นข้าวโพดต่ำกว่า 10:1 ปฏิกริยาฟรี-ไฮโดรไลสส์มวลต้นข้าวโพดซึ่งเป็นของแข็งได้ไม่ทั่วถึงและเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ทั่วถึง (16) และยังมีผลทำให้ปริมาตรที่กรองได้ออกมาน้อย เนื่องจากมีการสูญเสียจากการกรองมาก ดังนั้นปริมาณน้ำตาลที่ได้ทั้งหมดจึงน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้ในอัตราส่วนนั้นโดยคำนวณจากราคาขายน้ำตาลต่อราคากรดที่ใช้

6.1.4 การศึกษาการทำฟรี-ไฮโดรไลสส์ข้าวด้วยสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด

แม้ว่าการปรับค่าความเป็น pH ด้วย คัลเซียมไฮดรอกไซด์จะช่วยลดปริมาณอนุพลซัลเฟตในสารละลายน้ำตาลได้ แต่เมื่อนำสารละลายน้ำตาลไปทำให้เข้มข้นเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลในสารละลายก่อนนำไปใช้หมัก สารละลายจะมีความเข้มข้นอนุพลซัลเฟตสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อนำไปเลี้ยงเชื้อยีสต์จะเจริญเติบโตได้ช้า (19) จากการวิเคราะห์สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการฟรี-ไฮโดรไลสส์ครั้งแรก พบว่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายลดลงจากสารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 4.4% ไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 5-10 น่าจะสามารถนำกลับมาใช้ฟรี-ไฮโดรไลสส์ต้นข้าวโพดได้อีก ก็จะทำได้ปริมาณน้ำตาลที่ละลายในสารละลายเพิ่มขึ้นก่อนนำ



อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักมวลต้นข้าวโพด (กรัม)

รูปที่ 6-2 แสดงราคาน้ำตาล/ราคากรดต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร)

: น้ำหนักต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น

4.4%

ไปทำให้เข้มข้น ดังนั้นจะช่วยลดเวลาในการทำสารละลายให้เข้มข้นขึ้น นอกจากนี้เมื่อเทียบปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณอนุภาค เฟดที่มีอยู่ในสารละลายสัดส่วนนี้จะลดลงจากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งแรก ดังนั้นจึงศึกษาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้ในการพรี-ไฮโดรไลซิสต้นข้าวโพดบดด้วยสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการพรี-ไฮโดรไลซิสในครั้งก่อนซ้ำแต่ละครั้ง เพื่อทราบจำนวนครั้งของการพรี-ไฮโดรไลซิสที่เหมาะสม อันจะเป็นขั้นตอนในการเตรียมสารละลายน้ำตาลที่จะนำไปใช้หมักต่อไป

การทดลองได้ทำพรี-ไฮโดรไลซิสต้นข้าวโพดบดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4%

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักชิ้นมวลต้นข้าวโพด (กรัม) 10:1 จากนั้นนำสารละลายที่ได้จาก พรี-ไฮโดรไลซิสครั้งแรกไปใช้ในครั้งที่สอง โดยวิธีการและสภาวะเดียวกันกับครั้งแรก ส่วนพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่สามก็เช่นเดียวกับครั้งที่สอง

ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 5-10 ถึง 5-12 ในรูปที่ 5-10 แสดงปริมาณความเข้มข้นของกรดในสารละลายตั้งแต่เริ่มทำพรี-ไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 4.4% และสารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสแต่ละครั้ง จะเห็นว่าปริมาณความเข้มข้นกรดในสารละลายจะลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งที่ทำพรี-ไฮโดรไลซิสซ้ำที่เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้ความสามารถในการไฮโดรไลซิสต้นข้าวโพดลดลงตามด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6-2 สารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นกรดลดลงจากสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% คิดเป็นร้อยละ 1.37 ซึ่งสารละลายกรดซัลฟูริก 4.4% ทำปฏิกิริยาพรี-ไฮโดรไลซิสได้สารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 1 มีความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย 1.5% เมื่อนำสารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 1 ไปพรี-ไฮโดรไลซิสจะได้สารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 2 ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 90.6 ของครั้งที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นกรดในสารละลายพรี-ไฮโดรไลซิสลดลงจากสารละลายกรดซัลฟูริกเริ่มต้น ความสามารถในการไฮโดรไลซิสก็ลดลงด้วย ในรูปที่ 5-11 และตารางที่ 6-2 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด จะเห็นว่าการทำพรี-ไฮโดรไลซิสซ้ำ 2 ครั้งจะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 14.8 ของครั้งที่ 1

ส่วนการทำพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 3 จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดลดลงคิดเป็นร้อยละ 31.5 ของครั้งที่ 2 แม้ว่าจะมีปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายมากกว่าคิดเป็นร้อยละ 13.6 ของครั้งที่ 2 ก็ตาม เป็นเพราะปริมาตรของสารละลายที่ได้จากการทำพรี-ไฮโดรไลซิสแต่ละครั้งลดลงเรื่อย ๆ เป็นร้อยละ 39.7 ของครั้งก่อน ดังแสดง

ตารางที่ 6-2 แสดงความแตกต่างระหว่างผลการทดลองของการพรี-ไฮโดรไลซิสข้าวด้วย
สารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด

สารละลาย	ความเข้มข้น	ความแตกต่าง	ความเข้มข้น	ความแตกต่าง	ปริมาณน้ำตาล	ความแตกต่าง
	กรด	จาก ค่ามากที่สุด	ของ น้ำตาลรีดิวซ์	จากค่าก่อน	รีดิวซ์ทั้งหมด	จากค่าก่อน
	(%)	(%)	(%)	(%)	(กรัม)	(%)
4.4% H ₂ SO ₄	4.36	-	-	-	-	-
สารละลาย น้ำตาล พรี- ไฮโดรไลซิส ครั้งที่ 1	4.30	1.37	1.50	-	7.95	-
สารละลาย น้ำตาล พรี- ไฮโดรไลซิส ครั้งที่ 2	4.03	7.56	2.86	-90.60	9.13	-14.84
สารละลาย น้ำตาล พรี- ไฮโดรไลซิส ครั้งที่ 3	3.82	12.38	3.25	-13.60	6.25	31.5



ในรูปที่ 5-12 และตารางที่ 5-2 จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทั้งหมดที่ได้ในการทำพรี-ไฮโดรไลซิสครั้งที่ 3 ลดลงจากครั้งที่ 2

6.2 การศึกษาตัวแปรในไฮโดรไลซิส

6.2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้นพร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

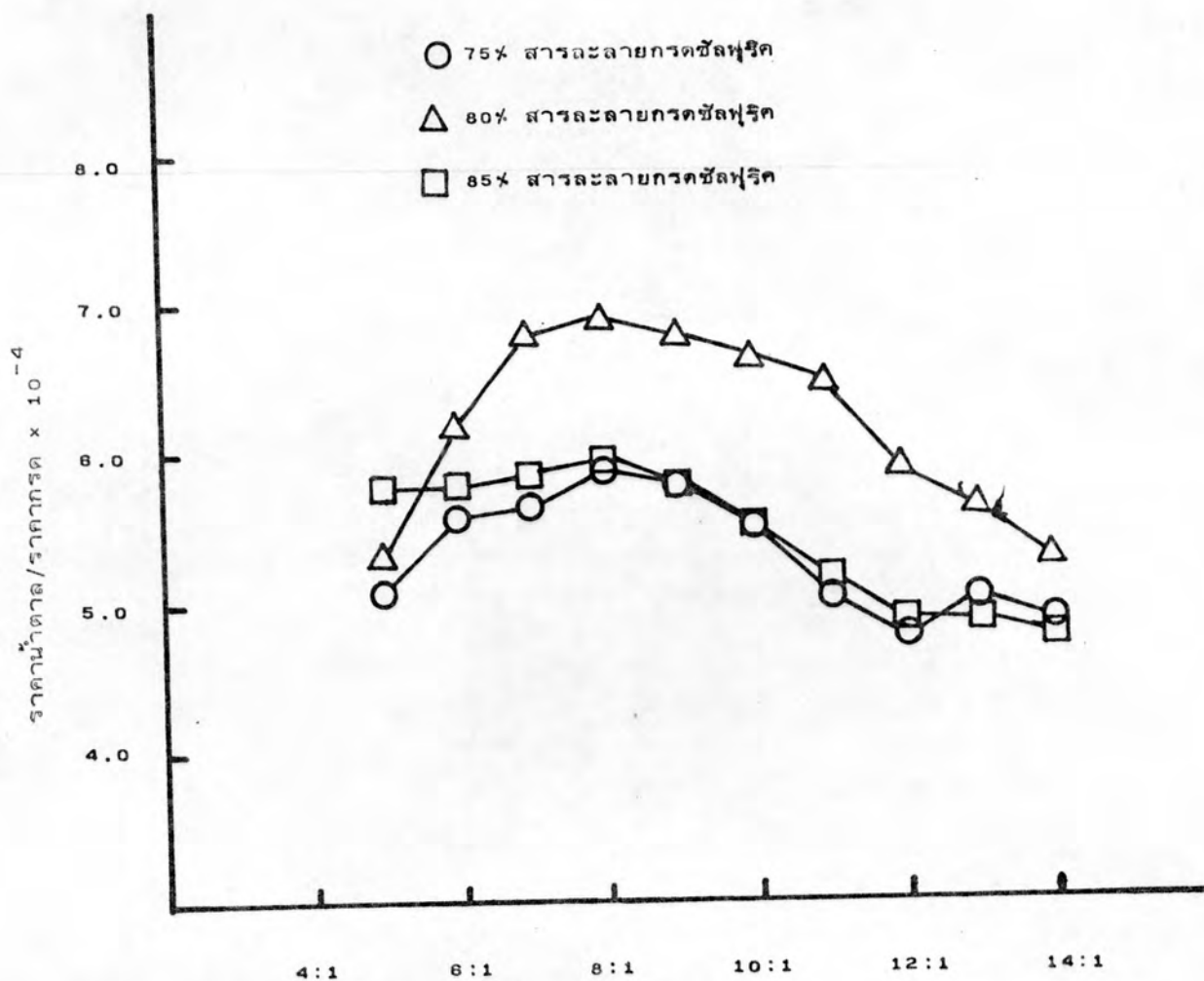
ในขั้นตอนพรี-ไฮโดรไลซิส ใช้เครื่องมือเป็นอ่างน้ำมัน จึงทดลองไฮโดรไลส

กากต้นข้าวโพดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยทดลองหาอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเจือจางให้เป็นสารละลายกรด 8% แล้วไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-13 ถึง 5-15 ในรูปที่ 5-13 และ 5-15

จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้น 80% จะให้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าเมื่อใช้กรดมีความเข้มข้น 85% และ 75% เนื่องจากการแช่กากข้าวโพดด้วยสารละลายที่มีความเข้มข้น 75% มีปริมาณกรดน้อยกว่าในสารละลาย 80% การทำลายโครงสร้างของลิกนินอันเป็นสารที่อยู่ในระหว่างผนังเซลล์และกีดกันไม่ให้สารละลายกรด เข้าทำปฏิกิริยากับ เซลลูโลสได้ จึงน้อยกว่าการแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 80% ส่วนการแช่ในสารละลาย 85% ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า แม้ว่าจะสามารถขจัดลิกนินได้ดีกว่าก็จริง แต่เนื่องจากมีปริมาณกรดอยู่มาก ดังนั้นจึงย่อยสลาย เซลลูโลสและทำให้น้ำตาลที่ได้สลายตัวคือไปเป็นสารอื่นอันเป็นสารประกอบของคาร์บอน ดังสังเกตได้จากลักษณะกากของต้นข้าวโพดที่แช่ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้นจะมีสีน้ำตาล และสีจะเข้มขึ้นเมื่อใช้สารละลายกรด เข้มข้นขึ้น ในรูปที่ 6-3 แสดงค่าผลผลิตทางเศรษฐกิจของอัตราส่วนที่ความเข้มข้นกรดต่าง ๆ พบว่าการใช้สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 มีค่าทางเศรษฐกิจสูงกว่าความเข้มข้นกรดอื่น ๆ และอัตราส่วนอื่น ทั้งนี้เนื่องจากได้ปริมาณน้ำตาลมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-15 เมื่อเทียบราคาน้ำตาลที่ได้กับราคากรดที่ใช้จึงได้ค่ามากที่สุด

6.2.2 การศึกษาเวลาที่ใช้แช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น ในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)

รูปที่ 6-3 แสดงราคาน้ำตาล/ราคากรดต่ออัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 85% , 80% และ 75% เวลาที่แช่กากต้นข้าวโพด 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิส 15 นาที

การทดลองเป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 80% โดยใช้อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-16 ถึง 5-18 ในรูปที่ 5-16 และ 5-18 จะเห็นว่า เมื่อแช่กากต้นข้าวโพดในกรดซัลฟูริก เข้มข้น 80% เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด เนื่องจากการแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 80% เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ยังไม่นานพอที่สารละลายกรด เข้มข้น จะซึมเข้าไปทำลายสิ่งกีดกั้นการไฮโดรไลส เซลลูโลส คือ ลิกนินได้ทั่วถึงดีพอ ส่วนการแช่เป็นเวลา 4 ชั่วโมงนั้นนานเกินไป นอกจากสารละลายกรด เข้มข้น จะทำลายลิกนินแล้วยังทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย เซลลูโลส ด้วยสารละลายกรด เข้มข้น ซึ่งน้ำตาลที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวต่อไปทันที ได้สารประกอบพวกคาร์บอนจากการทดลองสังเกตว่า กากต้นข้าวโพดที่แช่นาน 4 ชั่วโมงจะมีสีเข้มเกือบดำ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาของสารละลายกรด เข้มข้น เป็นเวลานาน

6.2.3 การศึกษาเวลาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

การทดลองนี้เป็นการหาเวลาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 8% เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 80% แช่กากต้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง แล้วเจือจางด้วยน้ำให้มีอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)

ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-19 ถึง 5-21 พบว่าเมื่อใช้เวลาไฮโดรไลซิสนาน 20 นาที จะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลายและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด มากกว่าเวลาอื่น และเมื่อใช้เวลาไฮโดรไลซิสนานกว่า 20 นาที ปริมาณน้ำตาลจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5-19 และ 5-21 แสดงว่าเมื่อใช้เวลา 20 นาที จะได้ปริมาณน้ำตาลสุทธิจากการหักล้างของปฏิกิริยาการย่อยสลาย เซลลูโลส กับปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำตาลมากกว่าการใช้เวลาอื่น เมื่อใช้เวลาไฮโดรไลซิสน้อยกว่า 20 นาที ยังเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย เซลลูโลส ไปเป็นน้ำตาลได้ไม่มากเท่า แต่ถ้าใช้เวลาไฮโดรไลซิสนานกว่า 20 นาที อัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสลดลง แต่ปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำตาลยังคงดำเนินอยู่ ปริมาณน้ำตาลสุทธิที่ได้รับจึงน้อยกว่าการใช้เวลา 20 นาที

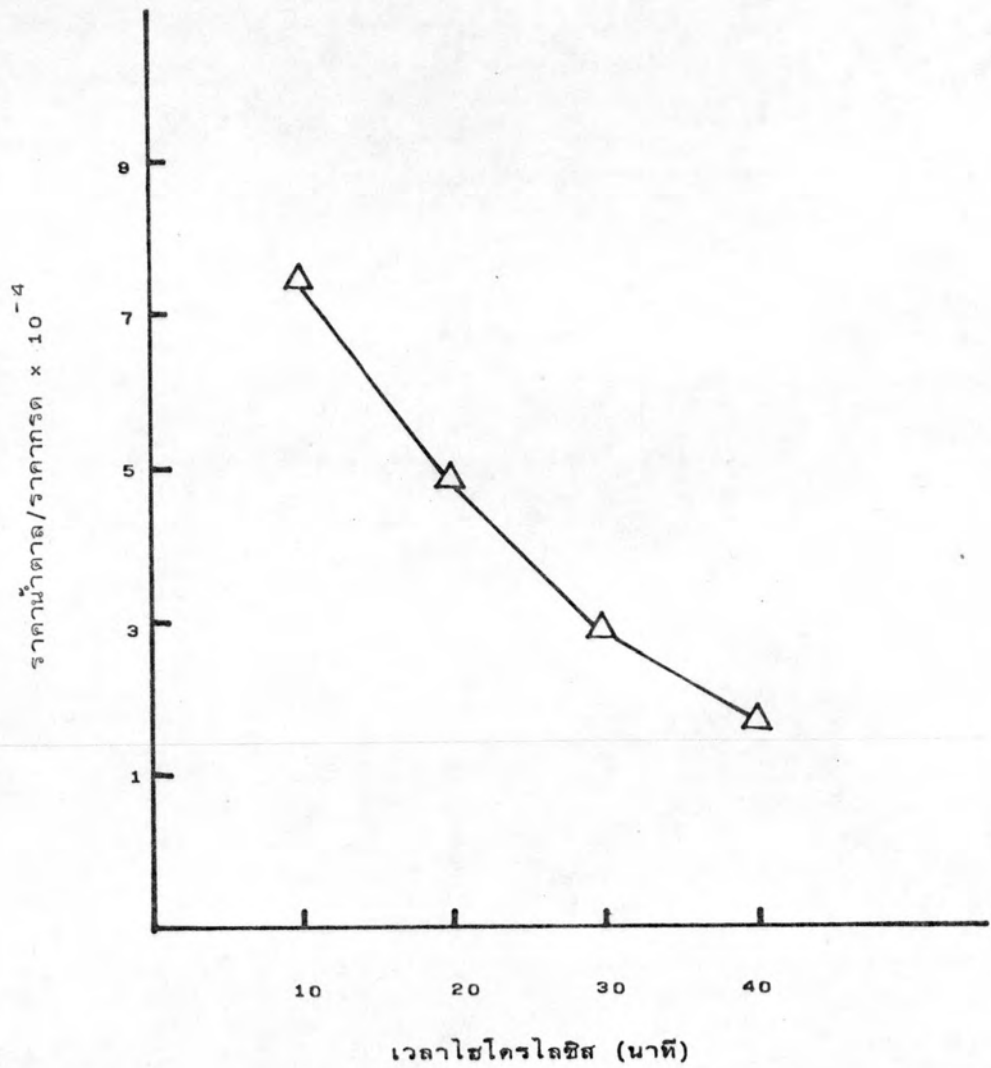
เมื่อนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไปคิดค่าราคาน้ำตาล/ราคากรด ดังแสดงในรูปที่ 6-4 พบว่ายิ่งใช้เวลานานเท่าไร ราคาน้ำตาล/ราคากรดยิ่งลดลง เนื่องจากราคาไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ ดังนั้น จึงควรเลือกใช้เวลาไฮโดรไลซิสสั้น ๆ จากเส้นกราฟจะเห็นว่า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงผลผลิตมากที่สุดเมื่อ 20 นาที

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับการทดลองของ Sitton และคณะ พบว่าการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 10 นาที จะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย 3.6% ซึ่งมากกว่าการทดลองไฮโดรไลซิสกากต้นข้าวโพดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 20 นาที ด้วยอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 8 : 1 ซึ่งได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย 1.4% ทั้งนี้เป็นเพราะการไฮโดรไลซิสด้วยอุณหภูมิต่ำ เวลานานกว่า ทำให้เกิดการย่อยสลายน้ำตาลมากกว่าการไฮโดรไลซิสเซลลูโลส ปริมาณน้ำตาลสุทธิที่ได้รับจึงน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิสูง เวลาน้อย

6.2.4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น พร้อมทั้งอัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) ในการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

การทดลองที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและต้องใช้เวลานาน จึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส อันเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในเครื่องเพิ่มความดันไอน้ำ (autoclave) โดยทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ที่อัตราส่วนของปริมาณของสารละลายกรด 8% : น้ำหนักต้นข้าวโพดค่าต่าง ๆ โดยแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเจือจางให้เป็นสารละลายกรด 8% แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-22 ถึง 5-24 จะเห็นว่า เมื่อแช่กากต้นข้าวโพดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% จะได้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 85% และ 75% ตามลำดับในทุกอัตราส่วนที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 5-22 และ 5-24 เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 85% จะทำลายลิกนินได้ดีก็ตามแต่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสอย่างรวดเร็ว จนได้น้ำตาลที่สลายตัวไปแล้ว เมื่อนำไปให้ความร้อน จะวิเคราะห์ได้ปริมาณน้ำตาลสุทธิน้อยกว่าการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% ส่วนการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 75% นั้น มีปริมาณกรคน้อยกว่าสารละลาย 80% จึงทำลายลิกนินและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ไม่ดีเท่า



รูปที่ 6-4 แสดงรําคานํ้าตาล/รําคากรด เมื่อทำไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้น 80% แซ่กากคั้นข้าวโพด 3 ชั่วโมง อัตราส่วนสารละลาย 8% (มิลลิลิตร):นํ้าหนักกากคั้นข้าวโพด (กรัม) 8:1 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Dunning และคณะ (24) พบว่า การทดลองนี้ได้ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า คือ 80% ซึ่งการทดลองของ Dunning และคณะ ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 85% เนื่องจากกากต้นข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองนี้มีความชื้นน้อยกว่า จึงใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า การใช้กรดที่มีความเข้มข้นมากเกินไปจะทำให้ต้นข้าวโพดถูกดูดน้ำออกอย่างรวดเร็วกลายเป็นสารคาร์บอนมีสีดำ และต้องการใช้พลังงานและ เวลาในการผสมกรดที่มีความเข้มข้นสูงกับกากต้นข้าวโพดให้เข้ากันได้ทั่วถึงมากกว่าการใช้สารละลายที่มีกรดเข้มข้นต่ำ

ในการศึกษาอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) พิจารณาราคาน้ำตาล/ราคากรด ดังแสดงในรูปที่ 6-5 พบว่าสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 ให้ค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดมากที่สุด เนื่องจากให้ปริมาณน้ำตาลสุทธิเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดที่ใช้คิด เป็นราคาแพงกว่าอัตราส่วนอื่น

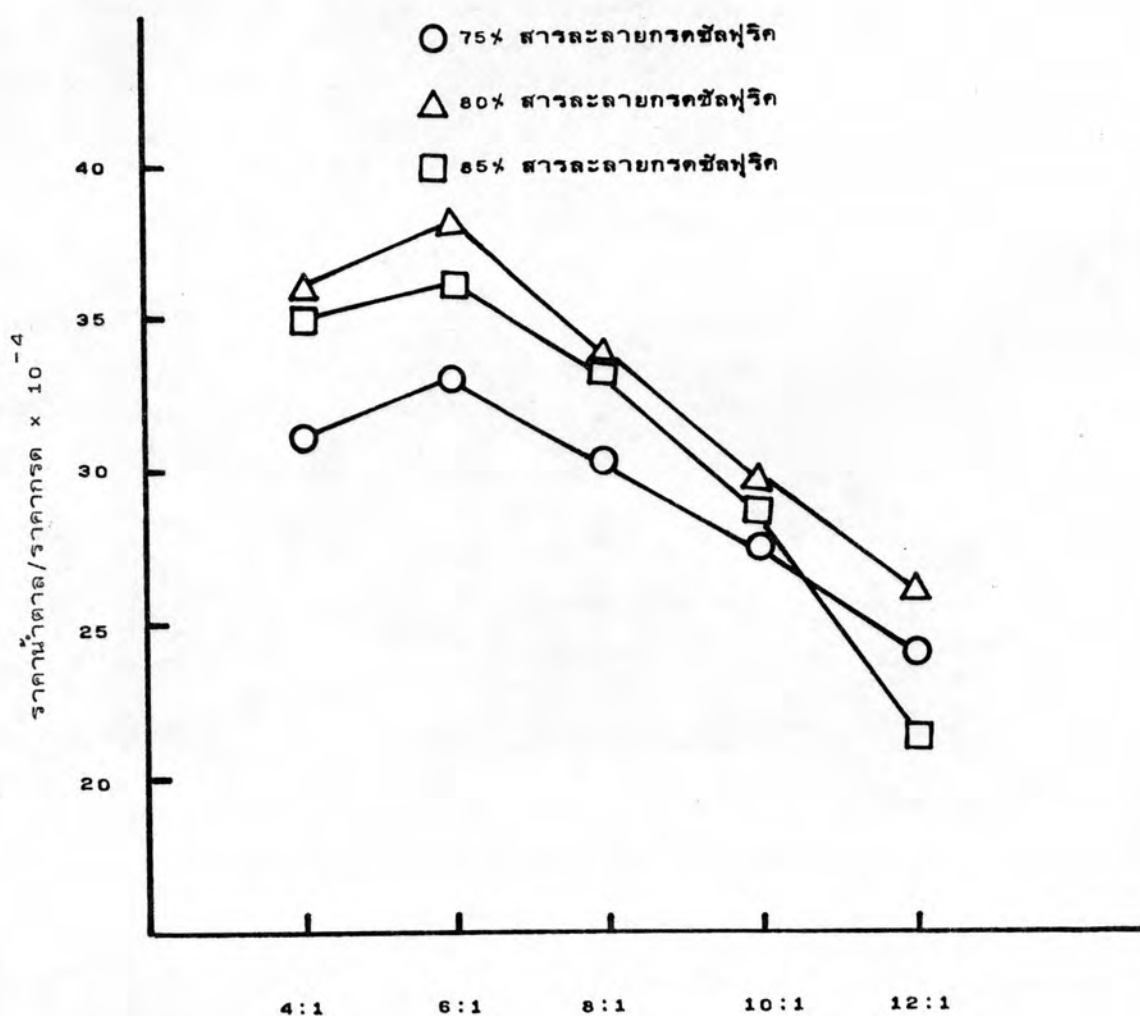
6.2.5 การศึกษาเวลาที่ใช้แช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นในการไฮโดรไลสที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

การทดลองเป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% โดยใช้อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6:1 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-25 ถึง 5-27 ในรูปที่ 5-25 และ 5-27 จะเห็นว่าเมื่อแช่กากต้นข้าวโพดในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 80% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลาย และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าเวลาอื่นในสภาวะเดียวกัน จากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่า หากเพิ่มเวลาแช่ยาวนานออกไปกว่า 2 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลายจะลดลง เนื่องจากการแช่กากต้นข้าวโพดไว้ในสารละลายกรดเข้มข้นนานเกินไป นอกจากกรดเข้มข้นจะทำให้ลายลิกนินแล้วยังเกิดปฏิกิริยาสลายตัวของน้ำตาลจากเซลลูโลสไปเป็นสารอื่นอีกด้วย ส่วนการแช่ในเวลาที่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง สารละลายกรดยังซึมเข้าไปในกากไม้ทั่วถึงจึงขจัดลิกนินได้ไม่เต็มที่เมื่อเจือจางด้วยน้ำและนำไปให้ความร้อนจึงเกิดไฮโดรไลซิสได้ไม่ดีเท่าการใช้เวลาแช่ 2 ชั่วโมง..

6.2.6 การศึกษาเวลาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

การทดลองนี้เป็นการหาเวลาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วย



อัตราส่วนของปริมาณของสารละลาย (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)

รูปที่ 6-5 แสดงอัตราส่วนของปริมาณของสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) :

น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 75%, 80% และ 85% เวลาที่ใช้แช่ข้าวโพด 1 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ไฮโดรไลซิส 5 นาทีที่อุณหภูมิ

121 องศาเซลเซียส

สารละลายกรดซัลฟูริก 8% เมื่อใช้สารละลายเข้มข้น 80% แช่กากข้าวโพด 2 ชั่วโมง แล้ว
 เจือจางด้วยน้ำให้มีอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด
 (กรัม) 6:1

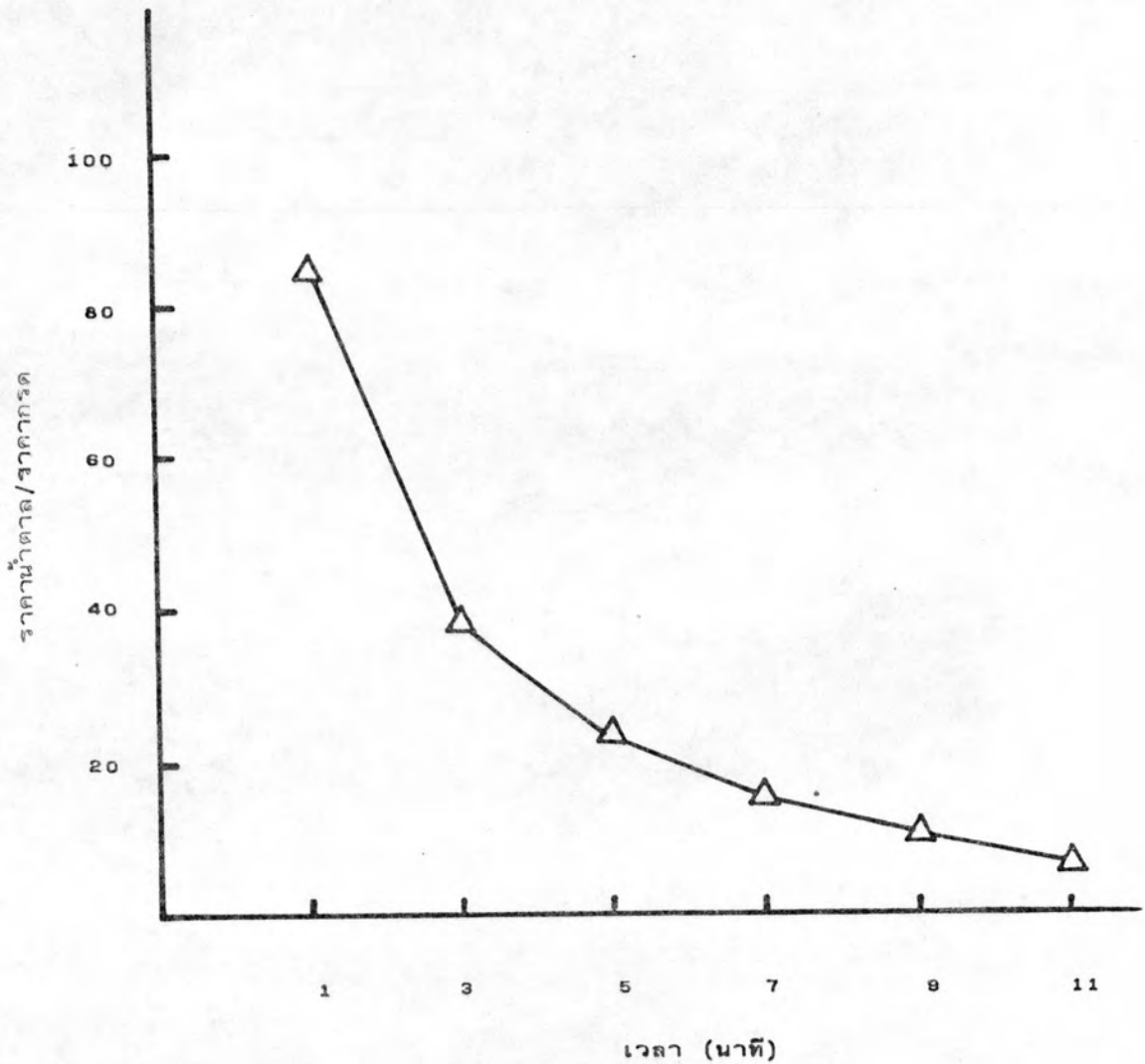
ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-28 ถึง 5-30 จะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของ
 น้ำตาลในสารละลายและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ดังแสดงในรูป 5-28 และ 5-30 จะเพิ่มขึ้น
 เรื่อย ๆ จากการไฮโดรไลสในเวลา 1 นาที จนถึง 7 นาที เวลาหลังจาก 7 นาทีนี้ค่าทั้งสองของ
 น้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ เช่นกัน แสดงว่า ในการไฮโดรไลสกากต้นข้าวโพดด้วยสารละลายกรด
 8% ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 7 นาที จะได้ปริมาณน้ำตาลสุทธิที่เกิดจากการหักล้าง
 ระหว่างปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลสกับปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำตาลมากกว่าการใช้เวลา
 ไฮโดรไลซิสอื่น ในการใช้เวลาน้อยกว่า 7 นาที ยังเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลสไปเป็น
 น้ำตาลในปริมาณสุทธิไม่มากเท่า หากใช้เวลาไฮโดรไลซิสมานกว่า 7 นาที อัตราการย่อยสลาย
 ของเซลลูโลสลดลง แต่ปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำตาลยังคงดำเนินอยู่ ปริมาณน้ำตาลสุทธิที่
 ได้รับจึงน้อยกว่าการใช้เวลา 7 นาที

เมื่อนำปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไปคิดค่าราคาน้ำตาล/ราคากรดซึ่งได้จากการนำราคา
 น้ำตาลทั้งหมดที่ได้ เทียบกับราคาไฟฟ้าที่ใช้ในเวลาไฮโดรไลซิส ดังแสดงในรูปที่ 6-6 พบว่า
 ยิ่งใช้เวลาในการไฮโดรไลสนานมากขึ้นเท่าใด ราคาน้ำตาล/ราคากรดก็ลดลงเรื่อย ๆ

เมื่อเทียบกับการทดลองของ Dunning และคณะ (24) ซึ่งใช้ช่วงอุณหภูมิ 120-
 130 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 6-10 นาที จะได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาล 10.5% ส่วนการ
 ทดลองนี้เมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาตรสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม)
 6:1 ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 7 นาที ได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาล 2.09% แม้ว่า
 จะใช้สภาวะไฮโดรไลซิสคล้ายกัน แต่การทดลองนี้ให้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลน้อยกว่า เนื่องจาก
 ใช้วัตถุดิบคนละชนิดกัน โดย Dunning ได้ใช้ไม้เนื้ออ่อนเป็นวัตถุดิบ จึงมีปริมาณเซลลูโลสเริ่มต้น
 ไม่เท่ากัน เมื่อเทียบการทดลองนี้กับการทดลองของ Sitton และคณะ (25) ซึ่งใช้อุณหภูมิ 100
 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ได้ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาล 3.6% ซึ่งมากกว่าผลการทดลองนี้
 ทั้งนี้เพราะการทดลองของ Sitton ได้ใช้ต้นข้าวโพดพันธุ์หวานเป็นวัตถุดิบ

6.3 การทดลองผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายจากต้นข้าวโพด

6.3.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. cerevisiae* ในสารละลายน้ำตาล
 จากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 6-6 แสดงราคาน้ำตาล/ราคากรดเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก 80% อัตราส่วนของปริมาณสารละลายกรด 8% (มิลลิลิตร) : น้ำหนักกากต้นข้าวโพด (กรัม) 6 : 1 เวลาที่แช่กากต้นข้าวโพด 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลาไฮโดรไลซิสต่าง ๆ กัน

เพื่อจะศึกษาหาช่วงเวลาที่ยีสต์ S. cerevisiae สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพของน้ำหมักและ เจริญเติบโต เพิ่มจำนวนเซลล์ได้มากที่สุด (logarithmic phase of growth) เมื่อน้ำหมักเป็นสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีค่าความเข้มข้นคิดเป็นปริมาณของแข็งรวมทั้งละลายได้ทั้งหมด 4, 8 และ 12 องศาบริกซ์

ปรากฏผลการทดลองในขวดแก้วซึ่ง เขย่าดังแสดงในรูปที่ 5-31 ถึง 5-33 ในรูปที่ 5-31 และ 5-32 เป็นการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเซลล์ยีสต์ในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยวัดสภาพการดูดกลืนแสงของน้ำหมักและนับจำนวนเซลล์ยีสต์จากกล้องจุลทรรศน์โดยตรงตามลำดับ พบว่าการเจริญเติบโตของยีสต์ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากเวลาเริ่มต้นจนถึง 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์จะลดลง มีจำนวนเซลล์อยู่สูงสุดและค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในระยะ 24 ชั่วโมง เป็นระยะพักตัวของเซลล์ โดยจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม มีการสร้างเอ็นไซม์ที่จำเป็นสำหรับนำไปใช้ย่อยสลายสารอาหาร ดังเห็นได้จากรูปที่ 5-34 ว่ายีสต์มีอัตราการใช้น้ำตาลสูงในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ดังนั้น จึงมีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์สูงด้วยเรียกช่วงนี้ว่า logarithmic phase of growth ส่วนช่วงเวลาลง 24 ชั่วโมงเป็นช่วงที่มีจำนวนเซลล์สูงที่สุดและค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในช่วง 24 ชั่วโมงแรก มีการใช้สารอาหารและใช้น้ำตาลไปในปริมาณ 13-16% ทำให้มีปริมาณสารอาหารและน้ำตาลลดลง ประกอบกับปริมาณสารยับยั้งที่เป็นพิษเพิ่มขึ้น และปริมาณซิลเฟตที่มีอยู่แล้วในน้ำหมัก อาจทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ภายในเซลล์หยุดชะงักไป ทำให้อัตราการเจริญใกล้เคียงกับอัตราการตายรวมกับการแตกสลายของเซลล์ ดังนั้น อัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์จึงลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยีสต์ S. cerevisiae ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 4, 8 และ 12 องศาบริกซ์ ในสารละลาย 4 และ 8 องศาบริกซ์ ยีสต์จะมีการเจริญเติบโตดังกล่าวมาแล้วข้างต้น โดยจำนวนเซลล์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์มีมากกว่าจำนวนเซลล์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ในทุกช่วงเวลา ทั้ง ๆ ที่เดิมเชื้อเริ่มต้นลงไปจำนวนที่เท่า ๆ กัน เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ มีปริมาณซิลเฟตที่ค้างอยู่จากขั้นตอนเตรียมสารละลายมากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 5-1 ทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ของยีสต์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์น้อยกว่า แม้ว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์จะมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น

4 องศาบริกซ์ก็ตาม แต่ยีสต์ต้องการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 5-33 การคำนวณในภาคผนวก ง โดยเฉพาะในช่วง 24 ชั่วโมงแรกที่ยีสต์มีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์สูงจะมีการใช้น้ำตาลในปริมาณ 16% และ 13% ของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 24 ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ตามลำดับ ส่วนในสารละลายที่มีความเข้มข้น 12 องศาบริกซ์นั้น ยีสต์มีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์ต่ำเมื่อเทียบกับอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ ดังพิจารณาจากเส้นกราฟในรูปที่ 5-31 และ 5-32 และในรูปที่ 5-33 ยีสต์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 12 องศาบริกซ์สามารถนำน้ำตาลในสารละลายมาใช้ได้ในปริมาณเพียง 9% ของปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น ซึ่งน้อยกว่าการใช้น้ำตาลของยีสต์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ ทั้ง ๆ ที่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ มีปริมาณน้ำตาลอยู่มากกว่าทั้งนี้ เป็นเพราะสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ มีปริมาณความเข้มข้นของซิลเฟตอยู่มากกว่า ซึ่งทำให้ยีสต์มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณเซลล์ช้า

ผลการทดลองกล่าวได้ว่า S. cerevisiae จะเจริญเติบโตได้ดี และให้จำนวนเซลล์มากในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นคิดเป็นปริมาณของแห้งรวมที่ละลายได้ 4, 8 และ 12 องศาบริกซ์ตามลำดับ เนื่องจากยีสต์ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลปริมาณมากในการเจริญเติบโต และในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้นมากขึ้นก็มีปริมาณซิลเฟตซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์มากขึ้นด้วย

6.3.2 การศึกษาการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพด โดย S. cerevisiae

เมื่อได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของ S. cerevisiae ในสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีค่าความเข้มข้น 4, 8 และ 12 องศาบริกซ์ พบว่ายีสต์จะมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้สูงที่สุดในช่วง 12-24 ชั่วโมงของการเขย่า ที่ 240 รอบ/นาที และในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 12 บริกซ์ ยีสต์จะมีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์ต่ำ และนำน้ำตาลไปใช้ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ ซึ่งในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ยีสต์ต้องสามารถนำน้ำตาลในสารละลายมาใช้ในการผลิตได้ ดังนั้นแม้ว่าสารละลายน้ำตาลจากต้นข้าวโพดที่มีความเข้มข้น 12 องศาบริกซ์ จะมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ก็ตาม แต่ก็ไม่เหมาะที่จะนำมาศึกษาการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ เพราะมีซิลเฟตอยู่มากทำให้ยีสต์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

ในการทดลองนี้ได้ใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ โดยการเติมเชื้อหมักเริ่มต้นให้มีจำนวนเซลล์เริ่มต้นในน้ำหมักเท่า ๆ กัน ทำการเขย่า 240 รอบ/นาที

เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ยีสต์เพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น ที่เวลา 12 ชั่วโมงนี้ยีสต์จะมีการใช้น้ำตาลจากปริมาณเริ่มต้นไป 17.5% และ 15% ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5-36 การคำนวณในภาคผนวก ง และมีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์จากเดิมมาก ดังเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 5-34 ซึ่งเป็นค่าสภาพการดูดกลืนแสงของเซลล์ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ โดยมีการเพิ่มปริมาณเซลล์จากค่าสภาพการดูดกลืนแสงเริ่มต้น 0.1 ไปเป็น 0.25 และ 0.2 ที่ 580 นาโนเมตร ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากนี้หยุดเขย่า และทำให้เกิดสภาวะที่ไม่มีอากาศ เพื่อให้เกิดกระบวนการหมัก ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5-34 ถึง 5-37 จะเห็นได้ว่า ยีสต์จะมีการเจริญเติบโตมีจำนวนเซลล์มากในสารละลาย 4 องศาบริกซ์ได้มากกว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของซัลเฟตในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ดังแสดงในรูปที่ 5-34 และ 5-35 และตารางที่ 6-3 เส้นกราฟแสดงจำนวนเซลล์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ จะอยู่ต่ำกว่าเมื่อทำให้เกิดสภาวะการหมักซึ่งเริ่มตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ยีสต์จะมีอัตราการใช้น้ำตาลสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 และ 8 องศาบริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 5-36 น้ำตาลบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งในรูปที่ 5-37 อัตราการเพิ่มปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในน้ำหมักก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน แม้ว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ ยีสต์จะมีอัตราการใช้น้ำตาลในปริมาณต่ำกว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้น 4 องศาบริกซ์ก็ตาม แต่ในสารละลาย 8 องศาบริกซ์มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นมากกว่า ดังแสดงในตาราง 6-3 ดังนั้น ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 8 องศาบริกซ์ ยีสต์จึงสามารถผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากกว่าโดยชั่วโมงที่ 48 ยีสต์สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 2.28% โดยปริมาตร แม้ว่าในชั่วโมงที่ 60 ยีสต์จะสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณมากกว่า คือ 2.6% แต่ก็เพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 0.32% อย่างไรก็ตามพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของเอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 5-38 จะเห็นว่าในชั่วโมงที่ 24 จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาลซึ่งเป็นสารเริ่มต้นสูง หลังจาก 24 ชั่วโมงแล้วอัตรานี้จะลดลง เนื่องจากในช่วงเวลาเริ่มต้นจนถึง 24 ชั่วโมงในสารละลายยังมีน้ำตาลอยู่มาก ยีสต์จึงใช้น้ำตาลไปในการเจริญเติบโตและผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว น้ำตาลในสารละลายถูกใช้ไปในช่วงเวลาแรก จึงมีปริมาณน้อยลง แต่ยีสต์ก็ยังคงมีอัตราการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว โดยที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทิลแอลกอฮอล์จากน้ำตาลลดลง และอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์เริ่มจะคงที่ (รูปที่ 5-34) แสดงว่า ยีสต์ใช้น้ำตาล

ส่วนใหญ่ในการดำรงชีวิตให้อยู่ได้ในสภาพน้ำหยกที่มีปริมาณซัลเฟตสูงและน้ำตาลลดลงเรื่อย ๆ
มากกว่าจะใช้ในการผลิตอัลกอฮอล์