

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

น้ำตาลมะพร้าว (น้ำตาลปีบหรือน้ำตาลก้อน) ถือเป็นผลิตภัณฑ์พื้นบ้านที่ผลิตโดยอาศัยภูมิปัญญาชาวบ้านมาเป็นเวลาช้านาน สามารถนำมาประกอบอาหารไทยได้ทั้งหวานและเปรี้ยว เป็นที่โปรดปรานของทั้งคนไทยและคนต่างชาติ อาหารที่ทำจากน้ำตาลมะพร้าว เช่น แกงกะทิ หรือ ขนมหวานต่างๆ จะมีรสชาติหอม หวาน และมัน แต่ในสภาวะการณปัจจุบัน เกษตรกรในหลายๆ พื้นที่ซึ่งประกอบอาชีพทำตาล หรือปลูกมะพร้าว และเกี่ยวน้ำตาลจากตาลหรือมะพร้าว กำลังประสบปัญหาวิกฤต เช่น การขาดแคลนเชื้อเพลิง น้ำตาลไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ทำให้ผลผลิตต่ำและมีราคาถูก เกิดปัญหาคนขายจนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกษตรกรบางพื้นที่เลิกประกอบอาชีพนี้ และเกิดการขาดแคลนแรงงานขึ้นต้นตาลตามมา นอกจากนี้ น้ำตาลที่ไม่ได้คุณภาพมาตรฐานที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดนั้น มักมีสารเจือปนต่างๆ อยู่เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้รสชาติ กลิ่น และเนื้อ (Texture) ของอาหารเปลี่ยนแปลงไป ผู้บริโภคขาดความมั่นใจในการซื้อ ส่งผลให้ธุรกิจในการทำน้ำตาลมะพร้าวหรือการส่งน้ำตาลมะพร้าวไปจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศประสบปัญหาและเกิดธุรกิจทำน้ำตาลเทียมหรือที่เรียกกันว่าน้ำตาลหลอมขึ้นมาเป็นจำนวนมากเพื่อทดแทนน้ำตาลมะพร้าวของแท้ที่นับวันจะเริ่มหายากขึ้น

อนึ่ง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวเท่าที่พบ ยังมีเป็นจำนวนน้อยมาก งานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้น้ำตาลที่มีคุณภาพ ได้มาตรฐาน และเป็นการส่งเสริมให้มีการลงทุนเพื่อผลิตน้ำตาลมะพร้าวในเชิงอุตสาหกรรมขนาดย่อมจนถึงขนาดใหญ่ต่อไป

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยที่ผ่านมามีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงกระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวโดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ เวลา สี และตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลปีบ

ศิริพร สิริสุทธีรัตน์ [1] ได้ศึกษาปรับปรุงการเคี่ยวน้ำตาล โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Vertical-Short-Tube Evaporator โดยทดลองเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวสดที่อุณหภูมิ 55 - 85 °C ผลการทดลองพบว่าการเคี่ยวที่อุณหภูมิ 85 °C ให้ผลดีที่สุด คุณภาพที่ได้จากการเคี่ยวแบบใหม่คือ น้ำตาลมีสีขาวนวลมากโดยไม่ต้องใส่ผงฟอกสีมี Invert Sugar 1.70 %, Moisture Content 11.43 % และค่าสี 202 ICUMSA Unit และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของชาวบ้านพบว่า Invert Sugar 5.73 %, Moisture Content 11.56 % และค่าสี 228 ICUMSA Unit ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ผสมผงฟอกสีแล้ว ซึ่งทำให้ได้ผลสรุปว่าการเคี่ยวด้วย Vertical-Short-Tube Evaporator โดยใช้ไอน้ำมีคุณสมบัติดีกว่าโดยไม่ต้องเติมผงฟอกสี

รักษพงษ์ สักดิ์วรารักษ์ และคณะ [2] ได้ศึกษาจลนศาสตร์เคมีของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลไม้แช่อิ่มขณะทำการอบแห้ง โดยได้ทดลองในผลไม้จำพวกมะละกอและสับปะรด ซึ่งผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลไม้ที่ทดลองมีแนวโน้มลดลงกลายเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น และมีอันดับปฏิกิริยาเป็นอันดับหนึ่ง โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาของมะละกอและสับปะรดแช่อิ่มเท่ากับ 57.1 kJ/mol และ 48.7 kJ/mol และมีค่าแฟกเตอร์ความถี่ของมะละกอและสับปะรดแช่อิ่มเท่ากับ $1.92 \times 10^5 \text{ min}^{-1}$ และ $8.06 \times 10^3 \text{ min}^{-1}$ ตามลำดับ

Apriyatono และคณะ [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีน้ำตาลมะพร้าวโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (A420) และวิเคราะห์หาปริมาณของส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวในช่วงอุณหภูมิ 105 – 121 °C เป็นเวลา 300 นาที จากการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาของการเปลี่ยนสีน้ำตาลเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์และค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) มีค่าเท่ากับ $5.15 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ และจากการวิเคราะห์น้ำตาลมะพร้าวสดพบว่าประกอบด้วย กลูโคส ฟรักโทส และซูโครส เท่ากับ 3.42 %, 1.56 % และ 7.22 % ตามลำดับ และจากความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส จะทำให้หาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ได้เท่ากับ 160.77 J/mol และพบว่าปฏิกิริยามีลล์ลาดเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในน้ำตาลมะพร้าว

มาริสา รัตนธนฤกษ์ [4] ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสูญเสียคุณภาพของน้ำสับปะรด โดยทำการศึกษา Colorimetric Hunter Parameter (L, a, b และ ΔE), Hydroxymethylfural (HMF) และการเกิด Brown Pigment โดยทำการหาการสูญเสียคุณภาพของน้ำสับปะรดที่อุณหภูมิ

ตั้งแต่ 55 – 95 °C พบว่าการเปลี่ยนแปลงของ a-value และ b-value จะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ส่วน Brown Pigment และ Hydroxymethylfural (HMF) จะอธิบายด้วยปฏิกิริยาอันดับศูนย์ และพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำสับปะรด โดยค่า Rate Constant สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius Type Relationship)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาวิธีเบื้องต้นในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลมะพร้าว
3. เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณภาพตามที่ต้องการ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์พร้อมใบกวนโดยจำลองให้มีสภาวะใกล้เคียงกับการผลิตจริง
2. ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ คือ การควบคุมอุณหภูมิในการความร้อน, ความเร็วรอบในการกวน น้ำตาลมะพร้าว และอุณหภูมิที่ให้ความร้อน ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาล เช่น สี และปริมาณองค์ประกอบในน้ำตาลมะพร้าว เป็นต้น
3. เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำตาลที่ได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น กับน้ำตาลมะพร้าวที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้ประกอบการ
4. ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการระเหยน้ำเพื่อเคี้ยวน้ำตาล เพื่อเป็นแนวทางในการขยายขนาดต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำตาลมะพร้าวให้มีคุณสมบัติ ตามที่ต้องการและได้มาตรฐาน
2. สามารถขยายขนาดเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ที่ได้มาตรฐาน
3. เป็นประโยชน์ต่อประชากรกลุ่มเป้าหมายและบริการความรู้แก่ประชาชน
4. สามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการบริโภคน้ำตาลมะพร้าว

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความรู้เกี่ยวกับมะพร้าว [5]

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. วงศ์ PALMAE เป็นพืชตระกูลปาล์ม มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังมีการนำส่วนต่าง ๆ ของมะพร้าวไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือการส่งออกต่อไปได้ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมมะพร้าวออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

- ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภคเช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมัน มะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้งและอุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว
- ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภคเช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผาถ่านจากกะลามะพร้าวและอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เป็นต้น

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [5]

- มะพร้าวเป็นไม้ยืนต้นที่มีลำต้นสูง สูงประมาณ 20 - 30 เมตร ใบออกเป็นใบรวม มีใบย่อยเป็นแผ่นแคบยาว เรียงสลับกันเป็นรูปขนนก ปลายใบแหลม กว้างประมาณ 1 - 2.5 นิ้ว
- ดอก ออกเป็นช่อตามบริเวณกาบที่หุ้ม ดอกย่อยขนาดเล็ก ดอกหนึ่งมีกลีบดอกประมาณ 6 กลีบ
- ผล มีลักษณะรูปกลมหรือรี ยาวประมาณ 8.14 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางยาวประมาณ 8 - 9.5 นิ้วเปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียวเมื่อแก่มีสีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม เปลือกชั้นในจะแข็งเป็นกะลา เปลือกชั้นต่อไปเป็นเนื้อผลมีสีขาวนุ่ม และภายในมีน้ำใส รสจัดหรือหวาน

2.1.2 พื้นที่ปลูก [5]

มะพร้าวเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย แต่จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเป็นกลาง ดินร่วนปนทราย ดินไม่เปรี้ยวหรือเค็มจัด อุณหภูมิ 20 - 34 องศาเซลเซียส และควรมีปริมาณน้ำฝนตกกระจายสม่ำเสมอแทบทุกเดือน โดยจะเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 5 ปีขึ้นไป จนถึงอายุ 80 ปี และโดยส่วนมากผลแก่จะเก็บได้เมื่ออายุ 11 - 12 เดือน มะพร้าวหนึ่งต้นจะออกจันทันประมาณ 12 จันทัน/ปี ทลยละประมาณ 7 - 12 ผล ภาคต่าง ๆ ที่เหมาะสำหรับการปลูกมะพร้าว มีดังนี้

- ภาคใต้ ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ ตรัง
- ภาคกลาง ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม นครปฐม เพชรบุรี ราชบุรี
- ภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี จันทบุรี ระยอง ตราด ฉะเชิงเทรา

2.1.3 การคัดเลือกพันธุ์มะพร้าว [6]

มะพร้าวต้นหนึ่ง ๆ ในปีหนึ่งจะมีวงเฉลี่ยประมาณ 10 วงต่อปี มะพร้าวที่เหมาะสมที่ใช้ทำน้ำตาลควรมีวงอยู่ระหว่าง 12-14 วงต่อปี การที่มะพร้าวมีวงมากหรือน้อยแค่นั้นขึ้นอยู่กับการพันธุ์ของมะพร้าวและสิ่งแวดล้อม ในการทำน้ำตาลมะพร้าวควรเลือกพันธุ์จากต้นที่มีวงดกและให้น้ำตาลมาก ๆ มากปลูก ข้อดีของมะพร้าวที่ให้งวงดกประการหนึ่งก็คือ การทำน้ำตาลมะพร้าวในปีหนึ่ง ๆ จะสามารถทำได้ถึง 8-12 เดือน หากเป็นมะพร้าวที่มีวงไม่ดกแล้ว ปีหนึ่ง ๆ ก็จะทำน้ำตาลได้เพียง 6-8 เดือนเท่านั้น เมื่อทำน้ำตาลน้อยเดือน ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคนรายได้ของผู้ผลิต โดยพันธุ์มะพร้าวที่นิยมใช้ในการทำน้ำตาลมะพร้าวมีดังนี้

2.1.3.1 พันธุ์มะพร้าวหมูสี

พันธุ์มะพร้าวหมูสี เป็นมะพร้าวที่มีลักษณะลูกเล็ก ลักษณะของต้นก็จัดว่ามีขนาดเล็ก เหมาะสำหรับการทำน้ำตาลมะพร้าว มะพร้าวพันธุ์หมูสีนั้นมีมากมายหลายพันธุ์ เช่น หมูสีหม้อ หมูสีไฟ หมูสีเหลือง และหมูสีกลาย ซึ่งมะพร้าวหมูสีนี้เป็นมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการทำน้ำตาลมะพร้าวมากที่สุด เนื่องจากมีข้อดีคือ

- ลำต้นใหญ่กว่ามะพร้าวหมูสีชนิดอื่น ๆ น้ำตาลที่ได้จึงมากกว่า
- ขนาดของจั่น หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า “งวง” มีขนาดใหญ่กว่ามะพร้าวหมูสีชนิดอื่น ๆ เมื่อจั่นมะพร้าวใหญ่หรือยาว ระยะในการปาดจั่นทำน้ำตาลจึงทำได้นานกว่า นอกจากนี้ในการทำน้ำตาลมะพร้าวนี้ ชาวสวนนิยมทำจากมะพร้าวหมูสีกลายมากกว่า มะพร้าวใหญ่ ที่เป็นเช่นนั้นก็เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการคือ
 - มะพร้าวหมูสีกลายให้สีน้ำตาลดีกว่ามะพร้าวใหญ่
 - ปริมาณในเนื้อที่เท่า ๆ กัน มะพร้าวหมูสีกลายปลูกได้จำนวนต้นมากกว่ามะพร้าวใหญ่
 - มะพร้าวหมูสีกลายมีกาเจริญเติบโตของลำต้นช้ากว่ามะพร้าวใหญ่ ทำให้สามารถทำน้ำตาลได้นานหลายปีเมื่อเทียบกับมะพร้าวใหญ่ ซึ่งสามารถทำน้ำตาลได้เพียง 7-10 ปีก็ต้องเลิกเนื่องจากลำต้นสูงเกินไป ทำให้เสียแรงงานในการขึ้นแต่ละครั้งมาก และวันหนึ่ง ๆ จะขึ้นได้เพียงไม่กี่ต้น

2.1.3.2 พันธุ์มะพร้าวใหญ่

พันธุ์มะพร้าวใหญ่หรือที่ชาวบ้านเรียกกันว่ามะพร้าวแคง มักนำไปใช้ในการประกอบอาหาร ในชีวิตประจำวัน ปกติแล้วผู้ปลูกหวังที่จะเก็บผลแห้งขาย เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีผลใหญ่สามารถขายได้ราคาดี ไม่เหมาะที่จะใช้ในการทำน้ำตาลมะพร้าว แต่ที่ผู้ทำน้ำตาลมะพร้าวใช้มะพร้าวใหญ่เพื่อการทำน้ำตาลมะพร้าวในแต่ละวันเพราะผู้ทำน้ำตาลมะพร้าวส่วนใหญ่จะมีสวนขนาดเล็ก ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลมะพร้าวที่ได้น้อยจนเกินไป อีกประการหนึ่งที่มีผู้เอามะพร้าวใหญ่มาทำน้ำตาลมะพร้าว ก็เนื่องจากภาวะราคามะพร้าวแห้งตกต่ำ และราคาน้ำตาลมะพร้าวมีราคาดี ผู้ทำน้ำตาล

มะพร้าวต้องการที่จะเพิ่มปริมาณน้ำตาลมะพร้าวให้มาก ๆ จึงได้เอามะพร้าวใหญ่มาใช้ในการทำน้ำตาลมะพร้าวด้วย นอกจากนี้มะพร้าวใหญ่บางต้นที่ลูกไม่ตกและต้นก็ไม่สูงนัก ผู้ทำน้ำตาลมะพร้าวก็นำมะพร้าวมาทำน้ำตาลด้วยเช่นกัน

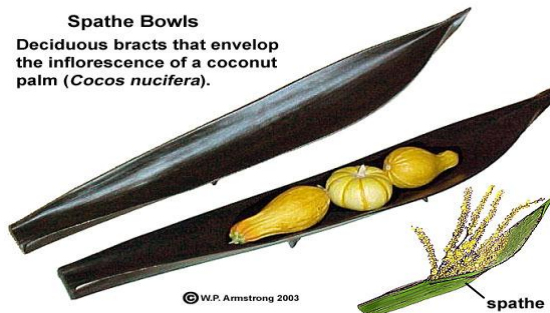
2.1.3.3 การออกของมะพร้าว

จำนวนต้นมะพร้าวที่ใช้ทำน้ำตาลมะพร้าว จะมีมากหรือน้อยแตกต่างกันไปตามฤดูกาลออกของมะพร้าวที่ใช้ทำน้ำตาลมะพร้าวใน 100 ต้น เมื่อไม่ใช่ฤดูออกของแล้ว จะใช้ทำน้ำตาลได้ไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนทั้งหมด แม้แต่ต้นที่ทำน้ำตาลได้นั้นก็มีวงน้อยคือ อาจมี 1 วง ต่อต้น หรือ 2 วง ต่อต้น หากถึงฤดูออกของจริง ๆ แล้ว ต้นหนึ่ง ๆ จะมีวงเฉลี่ยแล้ว 2 วง ต้นที่ทำน้ำตาลได้ 3 วงก็มีแต่ก็ไม่มากนัก จำนวนจั่นหรือวงมะพร้าวนี้ หลังจากที่มีมะพร้าวได้หยุดให้วงแล้ว เมื่อถึงหน้าออกของ วงแรกก็เริ่มออก เมื่อวงแรกเริ่มออกมาได้ระยะหนึ่ง วงที่ 2 ก็จะเริ่มออกมา แทนกันเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ บ้างก็ให้วงเร็ว สามารถทำน้ำตาลได้ถึง 3 วง พร้อม ๆ กัน เมื่อถึงปลายฤดูออกของ จำนวนวงก็จะลดน้อยลง เหลือ 2 วง และ 1 วง จนกระทั่งหมดวงในที่สุด การหมดวงของมะพร้าวนี้จะไม่พร้อมกันทุกต้น มีหมดยกก่อนบ้างหลังบ้าง เช่นเดียวกับการออกของ คือที่ออกก่อนก็มี หลังก็มี ฉะนั้นมะพร้าวในจำนวน 100 ต้นจะทำน้ำตาลจริง ๆ แล้วไม่ครบ 100 ต้น

2.2 ส่วนประกอบสำคัญของการทำน้ำตาลมะพร้าว [7]

2.2.1 จั่นมะพร้าว (Coconut Inflorescence)

จั่นมะพร้าวคือช่อดอกของมะพร้าวที่จะเกิดเป็นทะลายมะพร้าวดังรูปที่ 2.1 (a, b) มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในจั่นเดียวกันแต่อยู่ห่างกัน ก้านช่อจั่นจะยาวประมาณ 120 เซนติเมตร จั่นจะมีอายุพอทำน้ำตาลได้ดีเมื่อเกสรตัวผู้ (Anthers) มีอายุจนแก่และจะมีน้ำหวานเกิดมาก มะพร้าวที่เหมาะสมทำน้ำตาลควรออกจั่นประมาณ 12 - 14 จั่นต่อปี การมีจั่นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะพร้าวและการปลูกในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังนั้นถ้าจะปลูกมะพร้าวไว้ทำน้ำตาลควรเลือกพันธุ์ที่มีจั่นดกและให้น้ำตาลมาก มะพร้าวที่ให้จั่นดกในปีหนึ่ง ๆ จะทำน้ำตาลได้เป็นเวลา 8 - 12 เดือน แต่ถ้ามะพร้าวที่มีจั่นไม่ดกจะทำน้ำตาลได้เพียง 6 - 8 เดือน ซึ่งมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทำน้ำตาลนี้ ชาวสวนนิยมใช้พันธุ์กลาง พันธุ์หมูสี พันธุ์หมูสีกลาย เป็นส่วนมาก ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำตาลมาก ส่วนมะพร้าวพันธุ์ใหญ่นั้นไม่ค่อยนิยมนำมาทำน้ำตาลกัน เนื่องจากมีลำต้นที่สูงและให้ปริมาณน้ำตาลน้อย ส่วนฤดูกาลนั้นก็มีส่วนต่อการออกจั่นด้วย จั่นจะออกมากในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม เนื่องจากระยะนี้มะพร้าวได้น้ำฝน เมื่อถึงปลายฤดูฝนจำนวนจั่นก็จะลดน้อยลงเหลือ 2 จั่นและ 1 จั่นตามลำดับแล้วหมดไปในที่สุด



(a)

(b)

รูปที่ 2.1 (a) ช่อดอกหรือจั่นของมะพร้าว และ (b) ส่วนประกอบภายในช่อดอก [8]

การออกจั่นหรือช่อดอกของมะพร้าวครั้งแรกเกษตรกรบางรายจะยังไม่ทำน้ำตาลแต่จะเริ่มทำน้ำตาลในขั้นต่อไป จั่นที่จะใช้ทำน้ำตาลนี้จะต้องเลือกที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป เลือกจั่นที่โตเต็มที่ (ยาวประมาณ 45 - 70 เซนติเมตร) แต่กาบหุ้มจั่นยังไม่คลี่บานออก การลงมือทำน้ำตาลของชาวสวนเรียกว่า การลงตาล ถ้าเป็นมะพร้าวต้นสูงก็จะใช้พะองพาดต้นสำหรับขึ้นลง

ก่อนการลงมือปาดจั่นครั้งแรก (จั่นจะยาวประมาณ 30 เซนติเมตร หรืออายุประมาณ 1 เดือน) ชาวสวนจะต้องโน้มจั่นให้ต่ำลงใช้เวลาประมาณ 3 - 5 วัน จั่นจะเอนต่ำราว 60 - 80 องศา การโน้มจั่นลงนั้นเพื่อให้ได้น้ำตาลสดปริมาณมาก จากนั้นจึงทำการลอกกาบหุ้มจั่นออก โดยใช้เชือกมัดเพื่อไม่ให้ก้านจั่นมะพร้าวบาน แล้ววันต่อไปจึงเริ่มปาดและรองรับน้ำตาลจากจั่น ซึ่งวิธีการปาดจะต้องใช้มีดที่คมกริบ สะอาด ทำการปาดจั่นออกให้เป็นแผ่นบางขณะปาดต้องใช้น้ำหนักมือที่เบาตกลงบนจั่นเพื่อป้องกันไม่ให้จั่นช้ำง่าย (การลงน้ำหนักมือที่หนักจะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลน้อย)



รูปที่ 2.2 การปาดจั่นมะพร้าว และกระบอกที่ใช้รองน้ำตาลมะพร้าวสด [9]

กระบอกกรองน้ำตาลในสมัยก่อนทำจากไม้ไผ่ ใช้ไม้ไผ่สีสุกปล้องค่อนข้างใหญ่ เป็นไม้แก่อายุอย่างน้อยสองปี เลือกลำส่วนที่อยู่ตอนกลางของลำต้น จากนั้นตัดข้างหนึ่งทำเป็นปากกระบอก เจาะส่วนที่เป็นกระบอกให้พอดีสำหรับร้อยเชือกผูกกระบอก เพื่อนำกระบอกไปกรองน้ำตาล แต่ในปัจจุบันนิยมใช้กระบอกอลูมิเนียมดังรูปที่ 2.2 มีเชือกผูกปลายกระบอกเอาไว้สำหรับแขวนบนต้นมะพร้าวเพื่อรองรับน้ำตาลที่ไหลมาจากจั่น กระบอกกรองน้ำตาลก่อนจะนำขึ้นไปใช้กรองน้ำตาลจะต้องล้างให้สะอาดผ่านการต้มฆ่าเชื้อโรค ทิ้งไว้ให้แห้ง และใส่เปลือกไม้ที่มีความฝาด เช่น พะยอม ตะเคียน ประมาณ 2.4 กรัม เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลสดบูดก่อนที่จะนำมาเคี่ยว และถ้าวันใดอากาศร้อนจัดจะต้องเพิ่มเปลือกไม้พะยอมให้มากกว่าปกติ ส่วนน้ำตาลสดที่กรองได้ไม่ควรไว้นานเกิน 18 ชั่วโมง การเก็บน้ำตาลสดจากต้นจะเก็บวันละ 2 ครั้ง เวลาเช้าประมาณ 5.30 - 9.00 นาฬิกา และเวลาเย็นประมาณ 15.00 - 18.00 นาฬิกา จึงนำเอากระบอกกรองน้ำตาลลงในน้ำตาลสดอาจมีแมลงตกลงไปในกระบอกกรองน้ำตาล เช่น แมลงวัน ผีเสื้อ ตัวต่อ ตัวแตน และยังมีดอกมะพร้าวหรือจั่นอยู่ด้วย จึงต้องมีการกรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อเอาสิ่งแปลกปลอมที่ตกค้างอยู่ออกก่อนนำไปเคี่ยว

2.2.2 ส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสด [1]

การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสดจากประเทศต่าง ๆ

Sweet Toddy หมายถึง น้ำตาลมะพร้าวที่สดจริงและยัง ไม่มีการบูดเกิดขึ้น

Toddy หมายถึง น้ำตาลที่มีการบูดเกิดขึ้น

ส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวในแต่ละประเทศจะไม่เหมือนกันทั้งนี้เนื่องจากพันธุ์ที่ใช้ในการปลูกและลักษณะทางภูมิประเทศ ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสดและคุณค่าทางอาหาร สามารถแสดงดังตารางที่ 2.1 - 2.4

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสดจากการวิเคราะห์ของประเทศฟิลิปปินส์ [10]

Composition	Fresh Juice	Partly Fermented Juice
Total solids	17.5 g / 100c.c.	3.72 g / 100c.c.
Acidity as acetic	trace	0.68 g / 100c.c.
Alcohol	nil	6.00 g /100c.c.
Ash	0.40 g / 100c.c.	0.41 g /100c.c.
Sucrose	16.5 g / 100c.c.	0.29 g /100c.c.
Invert sugar	trace	1.95 g /100 c.c.

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสดจากการวิเคราะห์ของประเทศไทย [11]

Composition	Value	Mean
pH	4.70-7.20	5.75
Ascorbic acid	12.13-21.06 mg/100ml	16.67 mg/100ml
Phosphorus	12.82-17.02 mg/100ml	15.06 mg/100ml
Total sugar	12.82-17.02 mg/100ml	15.06 mg/100ml

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสดจากการวิเคราะห์ของประเทศไทย [10]

Composition	Sweet Toddy (g /100ml)	Fermented Toddy (g/100ml)	Toddy (g/100ml)
Total solids	18.70	4.50	4.40
Acidity (as acetic)	trace	0.60	1.60
Alcohol (v/v)	nil	7.50	6.50
Ash	0.40	0.40	0.40
Sucrose	16.50	-	-

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางอาหารของน้ำตาลมะพร้าวสด (Nutritive Value of Coconut Sap) [11]

Composition	Value	Composition	Value
Water	87.50	Phosphorus	20.00 mg /100 g
Calories	48.00	Iron	0.18 mg /100 g
Proteins	0.22 g.	Thiamine	0.016 mg /100 g
Fats	0.40 g.	Riboflavin	0.006 mg /100 g
Carbohydrates	11.40 g.	Niacin	0.48 mg /100 g
Calcium	0.4 mg /100 g	Ascorbic acid	20.6 mg /100 g

2.3 กรรมวิธีการทำน้ำตาลมะพร้าวตามวิธีชาวบ้าน [7]

ในการทำน้ำตาลมะพร้าวตามวิธีชาวบ้านนั้น ก่อนเกี่ยวน้ำตาลต้องล้างกระทะให้สะอาด แล้วเอาปูนแดงละลายน้ำพอข้น ๆ ทาภายในกระทะให้ทั่ว ตัดไฟออกกระทะให้ปูนที่ทาแห้งดี นำน้ำตาลมะพร้าวจากกระบอกรองน้ำตาลมาเทใส่ลงบนผ้าขาวบางที่ทำเหมือนกระซอนวางอยู่บนกระทะเพื่อกรองเอาเศษผงและสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่ออก เทน้ำตาลใส่ลงในกระทะจนเต็ม กระทะใบหนึ่งจนน้ำตาลมะพร้าวได้ประมาณ 1.5 ปืบ จากนั้นทำการก่อไฟเกี่ยวน้ำตาลในกระทะให้เดือดโดยเร็ว เมื่อน้ำตาลเดือดมาก ๆ จะเกิดฟองล้นออกจากกระทะ ผู้ที่ทำการเกี่ยวน้ำตาลจะมีวิธีที่หลากหลายในการป้องกันไม่ให้ฟองล้นออกนอกกระทะ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความถนัดและความสะดวกที่เลือกใช้ เช่น

- ใช้กบครอบปากกระทะ กบนี้จะสานด้วยไม้ไผ่สูงประมาณ 50 เซนติเมตร ความกว้างเล็กกว่าปากกระทะเล็กน้อยดังรูปที่ 2.3
- ใช้น้ำมันบัวหรือน้ำมันพืช เพียง 1 - 2 หยด
- ใช้ใบมะพร้าวแห้งประมาณ 2 - 3 ใบ วางพาดไว้บนปากกระทะ



รูปที่ 2.3 การเดือดของน้ำตาลในกระทะ และกบที่ใช้ในการครอบน้ำตาลเมื่อน้ำตาลมีฟองมาก

วิธีการป้องกันฟองน้ำตาลล้นออกจากกระทะในแต่ละวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้นจะทำให้ฟองน้ำตาลยุบตัวลงทันที นอกจากนี้น้ำตาลที่เกี่ยวได้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามขั้นตอนในการเกี่ยว ดังนี้

- **น้ำตาลสด** เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวมาต้มจนเดือด (คล้ายน้ำหวาน) ยกออกจากเตา นำมากรองให้สะอาดอีกทีเทลงใส่ขวด แช่เย็นเก็บไว้ดื่มเป็นน้ำตาลสดหรือเอาไว้จำหน่ายก็ได้
- **น้ำผึ้ง** ถ้าประสงค์จะทำน้ำผึ้งหรือน้ำเชื่อมไว้รับประทาน ก็ต้องเกี่ยวน้ำตาลให้หวานต่อไปอีกสักระยะเวลาหนึ่ง จนน้ำหวานในกระทะงวดลง ในขณะที่เกี่ยวอยู่นั้นต้องคอยตักฟองที่เกิดขึ้นอยู่ตามขอบกระทะออกจนหมดฟอง เกี่ยวต่อไปจนปริมาณน้ำตาลลดลงประมาณ 1 ใน 6 ซึ่งจะมีลักษณะขึ้นเป็นน้ำเชื่อมหรือน้ำผึ้งสีเหลืองอ่อน มีรสหอมหวาน เก็บใส่ภาชนะที่สะอาด ปิดฝาให้สนิท แช่เย็นเก็บไว้ใช้ได้นาน

- **น้ำตาลหม้อหรือปีบ** จะต้องเคี่ยวน้ำผึ้งต่อไปอีกแต่จะต้องราไฟให้อ่อนลง และต้องใช้พายกวนกัน กระทะตลอดเวลาเพื่อไม่ให้น้ำตาลไหม้ เคี่ยวต่อไปจนน้ำตาลงวดเหลือประมาณ 1 ใน 7 แล้วจึงยก กระทะลง ใช้ชดลวดเหล็กซึ่งมีรูปร่างเหมือนชดลวดตีไข่ที่ใช้ในห้องครัว แต่ขนาดใหญ่กว่า ตีและ หมุนน้ำตาลไปรอบ ๆ กระทะ เพื่อให้น้ำตาลอู่ฟองอากาศและเปลี่ยนลักษณะจากใสให้เป็นขุ่น ขาวและแข็งตัว จากนั้นเทใส่หม้อดินหรือปีบ น้ำตาลสด 7 ปีบ ได้น้ำตาลมะพร้าวประมาณ 1 ปีบ น้ำตาลหม้อนี้จะมีรสหอมหวานน่ารับประทาน
- **น้ำตาลปีก** จะต้องเคี่ยวน้ำตาลหม้อให้งวดลงไปเหลือประมาณ 1 ใน 8 เมื่อเห็นได้ที่ดีแล้วให้ตัก น้ำตาลร้อนในใส่ลงในถ้วยกระเบื้องที่มีผ้าขาวบางรองอยู่ใต้น้ำตาลลงไปประมาณเช่น 1 ปีกจะให้ น้ำตาลหนัก 0.5 หรือ 1 กิโลกรัม พอน้ำตาลในถ้วยเย็นลงก็เอาออกจากถ้วย เก็บไว้เป็นงบ ๆ

การเคี่ยวน้ำตาลปีบให้มีคุณภาพดีนั้นขึ้นอยู่กับความชำนาญและการสังเกตถ้าอ่อนไฟจะทำให้น้ำตาล ไม่แข็ง ถ้าแก่ไฟจะทำให้น้ำตาลไหม้มีสีแดง ซึ่งน้ำตาลที่เคี่ยวจนจะได้ที่ดีจะมีอุณหภูมิประมาณ 115 - 120 °C

2.4 อุดกการทำน้ำตาลมะพร้าว [1]

- **อุดหนาว** เป็นอุดที่ได้น้ำตาลปีบเนื้อดีมีปริมาณน้ำตาลมาก เนื้อน้ำตาลแห้งแข็ง น้ำตาลที่ทำได้ใน อุดหนาวจัดได้ว่าเป็นน้ำตาลปีบที่ดี
- **อุดร้อน** อุดนี้น้ำตาลสดที่รองได้มักจะมีรสเปรี้ยวและเสียง่าย ซึ่งจะส่งผลทำให้เนื้อน้ำตาลปีบที่ เคี่ยวได้เป็นเนื้อน้ำตาลที่ไม่ค่อยดี
- **อุดฝน** น้ำตาลสดที่รองได้ในอุดฝนจะมีปริมาณน้ำฝนปนอยู่ด้วยค่อนข้างมาก เนื้อน้ำตาลปีบที่เคี่ยว ได้เป็นเนื้อปานกลางและมีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำตาลในอุดร้อน

2.5 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) [12]

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารมีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณภาพของ อาหารเป็นอย่างมาก สามารถแบ่งปฏิกริยาได้เป็น 2 รูปแบบคือ ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วย เอนไซม์ (Enzymatic Browning Reaction) และปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกริยาทางเคมีที่ซับซ้อน เพราะไม่ได้เป็นปฏิกริยาปฐมภูมิ (Primary Reaction) แต่เป็นปฏิกริยาทุติยภูมิ (Secondary Reaction) หลาย ๆ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นร่วมกันและให้ สารสีที่แปรผันได้

2.5.1 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่อาศัยเอนไซม์ (Enzymatic Browning Reaction)

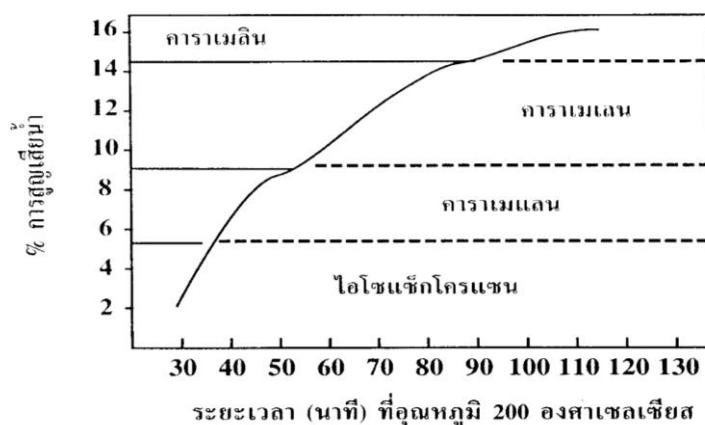
เป็นผลจากการที่เซลล์ภายในพืชเกิดการเสียหาย (Cell Disruption) ระหว่างกระบวนการผลิตหรือเก็บรักษาทำให้เอนไซม์ Polyphenol Oxidase (PPO) ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในเซลล์ของพืช ไปกระตุ้นให้สารประกอบ Monophenolic ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศกลายเป็น Quinone และเกิดการควบแน่นกลายเป็นเม็ดสีน้ำตาล (Brown Pigments) ที่เรียกว่า Melanin

2.5.2 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction)

น้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล และมีกลิ่นเฉพาะ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย

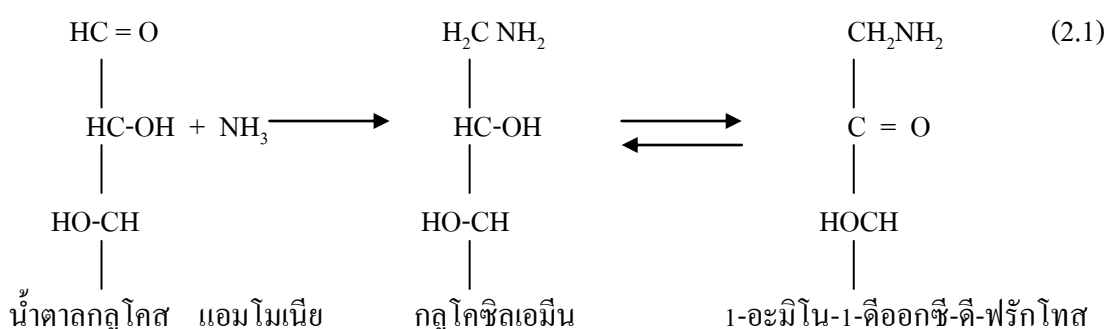
ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ยังจำแนกย่อยได้เป็น 2 แบบคือ

- **การเกิดคาราเมลไลเซชัน (Caramelization)** เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออกและเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ปฏิกิริยานี้มีสารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้นเช่น การเผาน้ำตาลซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลซูโครส ประมาณ 5.5 % โดยไม่เกิดการสลายตัว ได้เป็นสารไอโซแซ็กโครแซน (Isosacchrosan) ซึ่งมีสูตรเป็น $C_{12}H_{20}O_{10}$ เมื่อสารนี้ได้รับความร้อนนานขึ้นจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 9% ก็คือสูญเสียน้ำออกไปอีก 2 โมเลกุลและน้ำตาลซูโครส 2 โมเลกุล รวมตัวกันเป็น คาราเมลแลน (Caramelan) เมื่อได้รับความร้อนนานขึ้นอีกจะสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 13.6 % และเกิดการรวมตัวกันของน้ำตาลซูโครส 3 โมเลกุล มีน้ำสูญเสียออกไป 8 โมเลกุล ได้เป็นสารใหม่เรียกว่าคาราเมลเลน (Caramelen) มีสูตร $C_{36}H_{50}O_{25}$ หากยังคงให้ความร้อนต่อไปอีกจะเกิดเป็นฮิวมิน(Humin) ซึ่งเป็นสารสีดำที่ไม่ละลายน้ำเรียกว่าคาราเมลลิน (Caramelin) ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาการคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลซูโครส [12]

- **Maillard Reaction** เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันถูกเร่งได้โดยแอมโมเนียหรือ เอมีน ทำให้ น้ำตาลรวมกับแอมโมเนียหรือเอมีนเป็นไกลโคซิลเอมีน ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในอาหารจึงเป็น Maillard Reaction สารให้รสชาติที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบคาร์บอนิลกับเอมีน ก่อนข้างจะแปรผันขึ้นอยู่กับ ชนิดของเอมีนที่จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิล สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (Caramel) แต่สารสีที่เกิดจาก ปฏิกิริยาของสารประกอบ คาร์บอนิลกับเอมีนและยังมีไนโตรเจนด้วยเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (Mole per Mole Reaction) เมื่อน้ำตาล กลูโคสรวมกับแอมโมเนียแล้วจะเกิดการเรียงตัวใหม่ ดังสมการ (2.1)



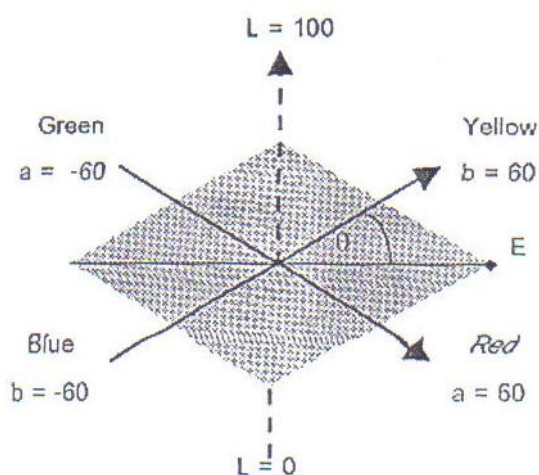
น้ำหรือ a_w ก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเช่นในสภาวะน้ำแห้ง น้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนไกลซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50°C เมื่อน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาสีน้ำตาลก็จะเกิดขึ้นทันที ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นรูป Reactive Aldehyde แต่ที่อุณหภูมิสูงการเกิด Dehydration ของ น้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเพราะมีน้ำเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมี ปริมาณน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลคือ ประมาณ 30 %

นอกจากนี้ยังพบว่าออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ แต่จะช่วย ออกซิไดส์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้แก่ ไอออน ทองแดง เหล็ก และ สังกะสี

2.5.3 การวัดค่าสีที่เปลี่ยนไป [12]

การวัดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะใช้การวัดค่าสีโดยใช้หลักการทางกายภาพ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า colorimeter ซึ่งใช้วิธีวัดค่าปริมาณและชนิดของคลื่นแสงที่ทะลุผ่าน (transmitted) หรือสะท้อน (reflected) ออกจากชิ้นตัวอย่าง ด้วยการบังคับความถี่ของคลื่นแสงด้วยปริซึมหรือ และอ่านค่านำมาคำนวณในระบบสีต่างๆ เพื่อวัดค่าสีออกมา ส่วนระบบที่ใช้ในการแสดงสีจะใช้ระบบที่เรียกว่า Hunter color system ซึ่งนิยมใช้ในการแสดงค่าสีของอาหาร

ระบบ Hunter color system ประกอบด้วยแกน 3 แกน คือ a, b และ L ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงทิศทางระบบ Hunter color [12]

โดยที่ ค่า a, b จะแสดงในรูปตัวเลข +60 ถึง -60 ค่า a ที่เป็นบวกแสดงสีแดง ค่า a ที่เป็นลบแสดงสีเขียว ค่า b ที่เป็นบวกแสดงสีเหลือง และค่า b ที่เป็นลบจะแสดงสีน้ำเงิน ส่วนค่า L จะแสดงค่าความสว่างในรูปเปอร์เซ็นต์ 0-100%

ค่าความแตกต่างของสีของตัวอย่างกับสีเริ่มต้น หรือค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (2.2)$$

$$(\Delta L) = L_f - L_0$$

$$(\Delta a) = a_f - a_0$$

$$(\Delta b) = b_f - b_0$$

เมื่อ L_f คือค่าความสว่างของสี ณ จุดใดๆ

L_0	คือค่าความสว่างของสี ณ จุดเริ่มต้น
a_f	คือค่าความเป็นสีเขียวถึงสีแดง ณ จุดใดๆ
a_0	คือค่าความเป็นสี เขียวถึงสีแดง ณ จุดเริ่มต้น
b_f	คือค่าความเป็นสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ณ จุดใดๆ
b_0	คือค่าความสว่างเป็นสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ณ จุดเริ่มต้น

2.6 จลน์พลศาสตร์ [13]

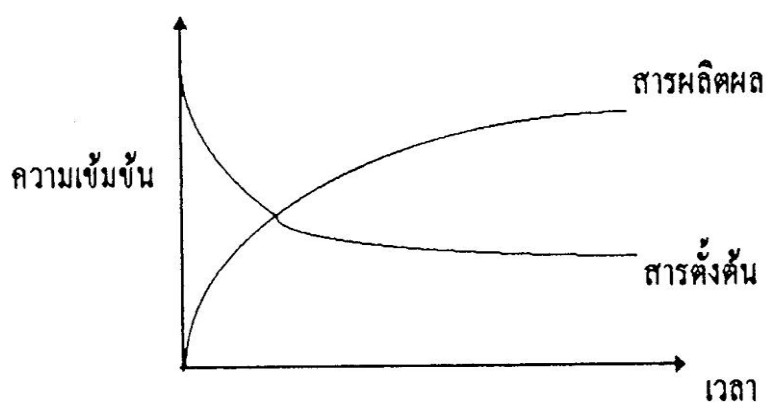
ปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาถึงจลน์พลศาสตร์ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ประกอบไปด้วย อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา อันดับของปฏิกิริยา ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยา และค่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยา

2.6.1 อัตราเร็วของปฏิกิริยา (Rate of Reaction)

อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารและในระหว่างการเก็บรักษาจะสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของตัวทำปฏิกิริยาเมื่อเวลาผ่านไป เช่นจากสมการของการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น (A, B) กลายเป็นสารผลิตภัณฑ์



ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไป สาร A และสาร B จะถูกใช้ไป ดังนั้นค่าความเข้มข้นของสาร A และสาร B จึงลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์มาเขียนกราฟกับเวลาจะได้กราฟดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์กับเวลา [13]

อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยา สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเรียกว่า สมการอัตราเร็ว (Rate Equation) หรือเรียกว่ากฎอัตราเร็วของปฏิกิริยา ซึ่งสมการนี้ได้จากการทดลอง สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปคือ



$$\text{อัตราเร็ว (Rate)} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt} \quad (2.5)$$

กฎอัตราเร็วเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{อัตราเร็ว (Rate)} = k[A]^n[B]^m \quad (2.6)$$

โดยที่

k	=	ค่าคงที่ของอัตราเร็ว ณ อุณหภูมิหนึ่ง
a, b, c	=	จำนวนโมลของสาร A, สาร B และสาร C ตามลำดับ
$[A], [B], [C]$	=	ค่าความเข้มข้นของสาร A, สาร B และสาร C ตามลำดับ
t	=	เวลา
n, m	=	อันดับ (Order) ของปฏิกิริยาอิงกับสาร A และสาร B ตามลำดับ
(n, m)	=	อันดับรวมของปฏิกิริยา

ค่า n, m จะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มหรือเศษส่วน หรือเท่ากับสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้น ซึ่งค่า n, m จะหาได้จากการทดลองเท่านั้น

2.6.2 อันดับของปฏิกิริยา (Order of Reaction)

จากกฎอัตราเร็วของปฏิกิริยา ถ้าให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยา เมื่อเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์จะได้ดังนี้

$$-\frac{d[C]}{dt} = k[C]^n \quad (2.7)$$

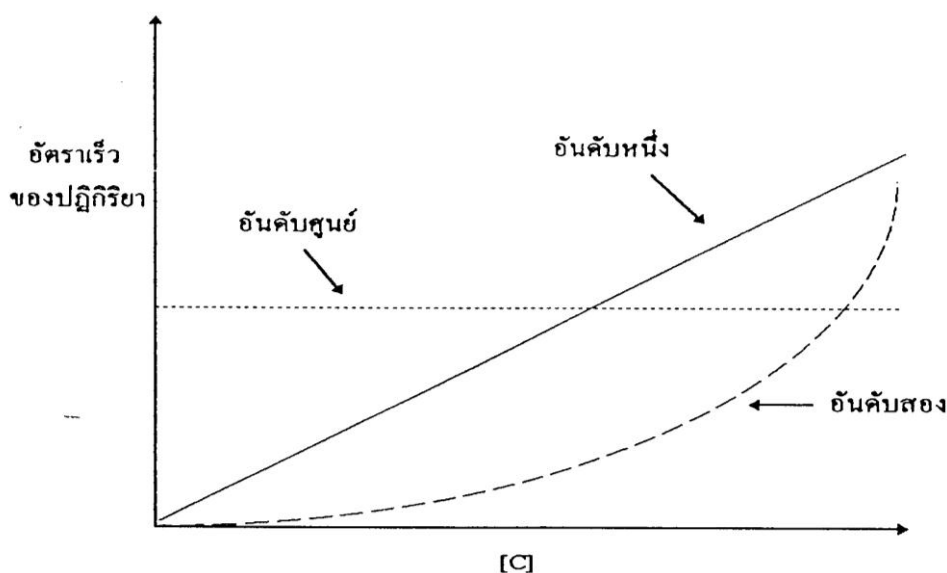
สมการนี้เรียกว่าสมการอัตราเร็ว (Rate Equation) โดยสมมุติให้ C เป็นตัวทำปฏิกิริยา n เป็นอันดับของปฏิกิริยา

ถ้า $n = 0$ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรตาม $[C]^0$ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero Order) อิงกับตัวทำปฏิกิริยา หรืออาจกล่าวได้ว่า อัตราเร็วของปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร

ถ้า $n = 1$ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรตาม $[C]^1$ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First Order) อิงกับตัวทำปฏิกิริยา

ถ้า $n = 2$ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรตาม $[C]^2$ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง (Second Order) อิงกับตัวทำปฏิกิริยา

เมื่อนำค่า $[C]$ กับค่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยามาเขียนเป็นความสัมพันธ์ จะได้กราฟดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ค่าความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองตามลำดับ [13]

- ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero Order Reaction)

ในปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น จากสมการทั่วไป



$$-\frac{dC}{dt} = k_0 C^0 \quad (2.9)$$

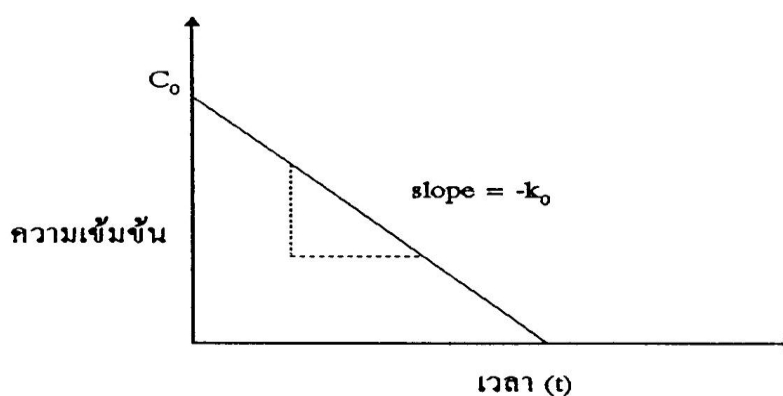
ทำการอินทิเกรตได้

$$C - C_0 = -k_0 t \quad (2.10)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} C &= \text{ปริมาณความเข้มข้นที่เวลา } t \\ C_0 &= \text{ปริมาณความเข้มข้นที่เวลาเริ่มต้น} \\ t &= \text{เวลา} \\ k_0 &= \text{ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์} \end{aligned}$$

เมื่อพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับเวลาต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง มีค่าความชันคือ $-k_0$ ดังกราฟรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ [13]

- ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First Order Reaction)

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเป็นปฏิกิริยาซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารส่วนมากจะเป็นปฏิกิริยาชนิดนี้ ดังสมการ

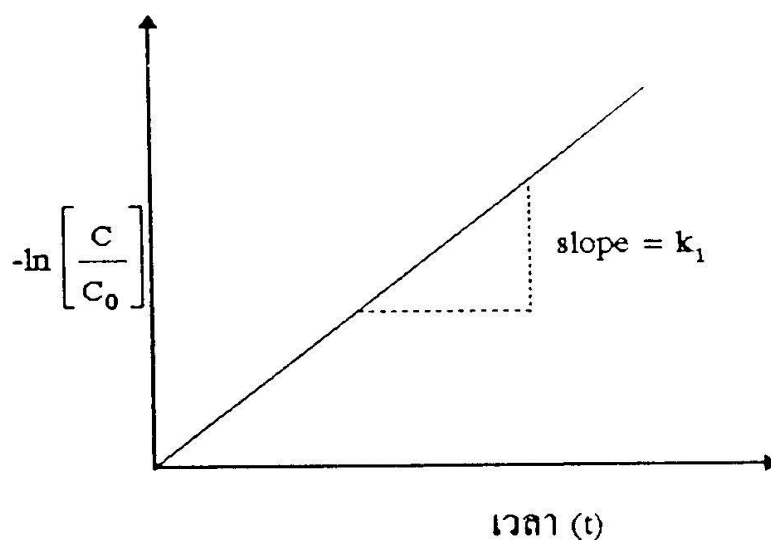
$$-\frac{dC}{dt} = k_1 C \quad (2.11)$$

ทำการอินทิเกรตได้

$$-\ln \left[\frac{C}{C_0} \right] = k_1 t \quad (2.12)$$

โดยที่ k_1 = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

จากสมการที่ (2.14) เมื่อนำค่า $-\ln\left[\frac{C}{C_0}\right]$ และเวลา(t) มาพลอตกราฟจะได้ความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรง โดยค่าความชันของกราฟคือค่า k_1 ดังกราฟรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง [13]

- ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second Order Reaction)

ปฏิกิริยาอันดับสองเป็นปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของความเข้มข้นที่เท่ากันสองค่า ความเข้มข้นที่เท่ากันนี้อาจเป็นความเข้มข้นของสารชนิดเดียวกันหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่างชนิดกันสองชนิดก็ได้ดังสมการที่ (2.13)

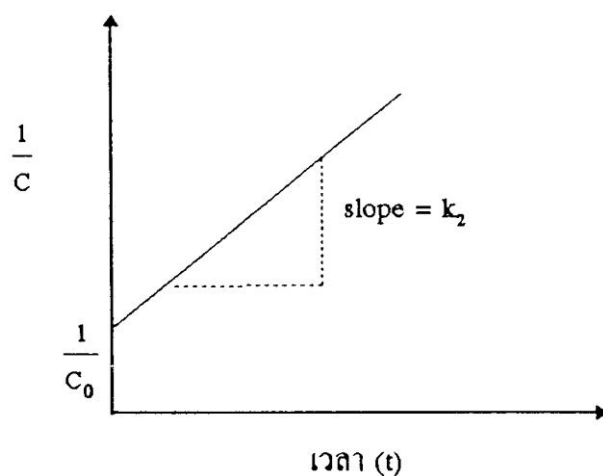
$$-\frac{dC}{dt} = k_2 C^2 \quad (2.13)$$

ทำการอินทิเกรตได้

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + k_2 t \quad (2.14)$$

โดยที่ k_2 = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับสอง

เมื่อนำค่า $\frac{1}{C}$ และเวลา (t) มาทำการพลอตกราฟ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชัน k_2 และมีจุดตัดแกนตั้งที่ $\frac{1}{C_0}$ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของปฏิกิริยาอันดับสอง [13]

2.6.3 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วกับอุณหภูมิ

นอกจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับอันดับของปฏิกิริยาและชนิดของปฏิกิริยาแล้ว ยังพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เปลี่ยนไปด้วย โดยค่าคงที่ของอัตราเร็วจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius Equation) ดังนี้

$$k = A \exp(-E_a / RT) \quad (2.15)$$

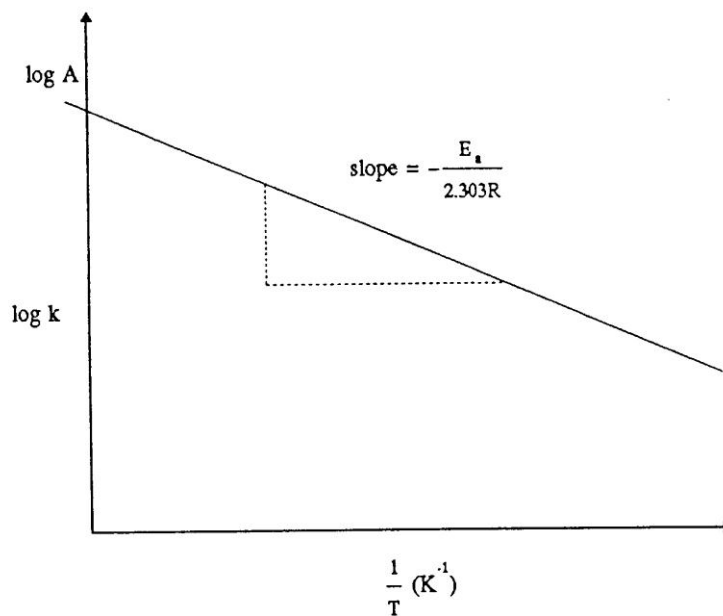
โดยที่

k	=	ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยา
A	=	แฟกเตอร์ความถี่ของการชนกันของโมเลกุล
E_a	=	พลังงานกระตุ้น (Activation Energy) (J/mol)
R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส (J/ mol K)
T	=	อุณหภูมิ (K)

เมื่อเขียนสมการ (2.15) ในรูปของลอการิทึม จะได้

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303RT} \quad (2.16)$$

เมื่อนำสมการ (2.16) มาพลอตกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $\frac{1}{T}$ จะได้ความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงที่เรียกว่า Arrhenius Plot โดยมีค่าความชันเท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$ และมีจุดตัดแกนตั้งที่ $\log A$ ดังกราฟรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยากับอุณหภูมิ [13]

บทที่ 3

การดำเนินวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่อง Spectro colorimeter รุ่น Juki JP7100/Japan
- เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
- Hot Plate ขนาด 1500 W
- หม้อเคี้ยวน้ำตาลสดขนาด 2 ลิตร
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- นาฬิกาจับเวลา
- แท่งแก้วคนสาร
- เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 0 - 200 องศาเซลเซียส
- เตาหน้าคำ (Hot Plate) ขนาด 1500 w
- Motor ขนาด 400 รอบต่อนาที
- ปิเปต (Pipette) 5,10 และ 15 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100, 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- กระบอกตวง (Cylinders)ขนาด 50 มิลลิลิตร

วัตถุดิบและสารเคมี

- 3.2.1 น้ำตาลสดจากสวนมะพร้าว อ. แม่กลอง จ. สมุทรสาคร
- 3.2.2 Glycerine
- 3.2.3 Acetonitrile
- 3.2.4 น้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน
- 3.2.5 น้ำตาลฟรุคโทสมาตรฐาน
- 3.2.6 น้ำตาลซูโครสมาตรฐาน

3.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าว จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของการควบคุมอัตราการให้ความร้อน และความเร็วรอบ ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ นั่นคือ สี และปริมาณองค์ประกอบในน้ำตาลมะพร้าว รวมทั้ง จลนศาสตร์การเปลี่ยนสีของน้ำตาลมะพร้าวขณะเกี่ยวที่เวลาต่าง ๆ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเกี่ยวน้ำตาล ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำตาลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ทั้งนี้ก่อนเริ่มการทดลอง จะต้องมีการเตรียมน้ำตาลมะพร้าวสดก่อนการเกี่ยว ซึ่งมีวิธีเตรียมดังนี้

- นำน้ำตาลมะพร้าวสดในกระบอกรองน้ำตาลที่เก็บได้จากต้นมะพร้าว มากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อ กำจัดเปลือกพยอม ผุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ
- ต้มน้ำตาลมะพร้าวสดให้เดือดประมาณ 5 นาที เพื่อป้องกันการบูดที่เกิดขึ้นในน้ำตาลระหว่างการขนส่ง จากนั้นรอน้ำตาลที่ต้มเย็นตัวลง เทใส่ภาชนะขนาด 1.5 ลิตร แช่ลงในกล่องโฟมที่มี น้ำแข็งระหว่างการขนส่ง
- เมื่อถึงสถานที่ทดลอง นำน้ำตาลมะพร้าวบางส่วนที่ยังไม่ทำการทดลองเข้าสู่เย็นทันทีที่อุณหภูมิ ประมาณ 3 - 4 °C (เมื่อต้องการทำการทดลองนำมาตั้งทิ้งไว้ให้ละลายประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง) ส่วน น้ำตาลมะพร้าวสดที่จะทำการทดลอง นำมากรองเอาสิ่งสกปรกออกด้วยผ้าขาวบางอีกครั้ง ก่อนเริ่ม การทดลอง

3.3.1 การศึกษาผลของการควบคุมอุณหภูมิที่ให้ความร้อนและความเร็วรอบที่ใช้ในกระบวนการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าว

1. นำน้ำตาลมะพร้าวสดที่ได้จากสวน ปริมาตร 2500 ml ใส่ในหม้อเหล็กกล้าไร้สนิม
2. นำน้ำตาลสดไปให้ความร้อนบน Hot Plate กำลังไฟ 1500 watt แล้วควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 100 ± 5 °C
3. จับเวลาและบันทึกอุณหภูมิทุก 2 นาที ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อน และในขณะเดียวกันก็เก็บ ตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวใส่หลอดทดลองปริมาตร 20 ml ทุก ๆ 10 นาที จนน้ำตาลที่ได้มี ลักษณะเหนียวหนืดคล้ายคาราเมลสีน้ำตาลใส
4. นำน้ำตาลมะพร้าวออกจาก Hot Plate แล้วนำมาทวนต่อด้วยเครื่องทวนด้วยความเร็วคงที่ ที่ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 350 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว คือปล่อยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่กำลังความร้อนสูงสุดของเครื่อง
7. นำตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวที่เก็บได้ ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวหนืด ทั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวัดค่าสีทันทีด้วยเครื่อง Spectro colorimeter รุ่น Juki JP7100/Japan วัดค่าสี L, a และ b ในระบบ Hunter color system โดยใช้เลนส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และทำการปรับเทียบเครื่องวัดโดยใช้แผ่นปรับเทียบ C/2 (L = 97.76, a = -0.06, b = -0.31) โดยทำการวัดค่า 3 ครั้ง ต่อหนึ่งตัวอย่าง
8. นำค่า Hunter parameter ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมและหาอันดับการเกิดปฏิกิริยา

3.3.2 การหาส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าว

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโทส และน้ำตาลซูโครส ที่ความเข้มข้น 500, 1000 และ 1500 ppm โดยใช้ น้ำกลั่นและอะซิโตน ไทรล์ในอัตราส่วน 3 : 2 เป็นตัวทำละลาย
2. นิดสารละลายมาตรฐานน้ำตาลที่เตรียมไว้เข้าเครื่อง HPLC โดยฉีดครั้งละ 10 ไมโครลิตร แต่ความเข้มข้นจะฉีด 3 ครั้ง โดยติดตั้งเครื่องและปรับสภาวะดังนี้คือ
 - ใช้เครื่องตรวจวัด Water Model 410 Refractive Index
 - ใช้ Column Carbohydrate 4.6 *250 mm
 - Mobile phase คือ Acetonitrile : Water 75 : 25 (v/v)
3. เตรียมสารละลายตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าว โดยวิเคราะห์หาส่วนประกอบที่มีสภาวะการเคี้ยวต่างกัน คือ
 - ที่สภาวะเริ่มต้น เจือจางน้ำตาลมะพร้าวด้วยอัตราส่วน 1 : 50
 - ที่กระบวนการเคี้ยวโดยควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว เจือจางด้วยอัตราส่วน 1 : 200
 - ที่กระบวนการเคี้ยวโดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ เจือจางด้วยอัตราส่วน 1 : 400
 ซึ่งในการเจือจางน้ำตาลมะพร้าวทุก ๆ สภาวะ จะใช้ Acetonitrile : น้ำกลั่น อัตราส่วน 3 : 2 เป็นตัวทำละลาย
4. นิดสารละลายมาตรฐานน้ำตาลที่เตรียมได้ในข้อ 3 ฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยติดตั้งเครื่องและปรับสภาวะในการฉีด เหมือนข้อ 2

3.3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลปี๊บ

1. ตวงน้ำตาลสดมา 0.5 ลิตร ใส่ในหม้อเคียว วางบน Hot Plate ปรับความแรงเป็นเบอร์ 3 ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเริ่มต้นโดยใส่เทอร์โมมิเตอร์ไว้ในหม้อเคียวน้ำตาลตลอดเวลา ดังรูปที่ 3.1 เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องและบันทึกค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว

2. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนน้ำตาลใกล้เดือด ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองให้เป็น 95°C โดยการปรับความแรงของเตาให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ
3. เก็บตัวอย่างน้ำตาลมา 50 มิลลิลิตร นำมาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความหนืด น้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ต และองค์ประกอบอย่างต่อเนื่องโดยเริ่มเก็บตั้งแต่ทำการทดลอง
4. เมื่อน้ำตาลเริ่มหนืดและวัดค่าองค์ประกอบได้ 87 ยกหม้อเคียวลงจากเตา ซึ่งน้ำตาลที่ยกลงจากเตาจะมีลักษณะเหนียวหนืด และสีเข้มดังรูปที่ 3.2 นำมากวนให้เป็นน้ำตาลปี๊บ โดยใช้เครื่องตีแป้งนำมาปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เป็น 400 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวน 2 วินาที จนได้น้ำตาลปี๊บ เทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้
5. นำน้ำตาลปี๊บที่ได้มาวิเคราะห์หาค่า pH ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ต ความหนืด น้ำตาลซูโครส และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1 ถึง 5 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เป็น 100 และ 105°C (โดยสำหรับการทดลองที่ 105°C จะต้องทำการทดลองโดยมีฝาปิดภาชนะ)
7. นำน้ำตาลปี๊บตัวอย่างในท้องตลาดมาเป็นตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ กับน้ำตาลปี๊บที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 3.2 ขณะเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวจนได้ 87 °Brix

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การหาค่าสีมาตรฐานของน้ำตาล

จากการสำรวจแบบสอบถาม โดยสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง 100 คน และใช้น้ำตาลมะพร้าวจาก 5 แหล่ง คือ แหล่งที่ 1 อ.แม่กลอง จ.สมุทรสาคร, แหล่งที่ 2 อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร, แหล่งที่ 3 ตลาดบางปะกอก, แหล่งที่ 4 ราษฎร์บูรณะ และแหล่งที่ 5 ตลาดทุ่งครุ พบว่าความต้องการของผู้บริโภคจะแตกต่างกันไปตามความชอบและการใช้งาน บางคนก็ชอบสีเหลืองเข้มออกไปทางสีแดง เพราะเมื่อนำไปทำขนม เช่น ปลายี่งอ ไข่เต่า แล้วจะได้สีสวยน่ารับประทาน บางคนก็ชอบสีเหลืองนวลสวยไม่เข้มมากเกินไป แต่ส่วนใหญ่แล้วผู้บริโภคจะพิจารณาจากสีของน้ำตาลมะพร้าวก่อนเป็นอย่างแรก เนื่องจากสีของน้ำตาลมะพร้าวเป็นสิ่งที่สะดุดตาเป็นครั้งแรกในการซื้อ และเมื่อทำการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างครบ 100 คนแล้ว พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบสีของน้ำตาลมะพร้าวจากแหล่งที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือ แหล่งที่ 5 แหล่งที่ 1 แหล่งที่ 3 และแหล่งที่ 4 ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ 32, 27, 18, 14 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ชอบแหล่งที่ 2 มากที่สุด เพราะน้ำตาลมีสีเหลืองนวลสวยดูน่ารับประทานที่สุด เราจึงนำสีของน้ำตาลจากแหล่งที่ 2 เป็นสีมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับน้ำตาลมะพร้าวที่ได้จากการทดลองนี้ ซึ่งเมื่อนำน้ำตาลจากแหล่งที่ 2 ไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง colorimeter จะได้ค่า Hunter parameter ต่างๆ คือ L, a และ b เป็น 45.52, 5.18 และ 19.28 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าต่างๆที่ได้มาหาการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งค่า ΔL , Δa และ Δb คือ ผลต่างระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าที่วัดได้จากตัวอย่างของน้ำตาลมะพร้าว จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม เป็น 58.02 (ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังภาคผนวก)

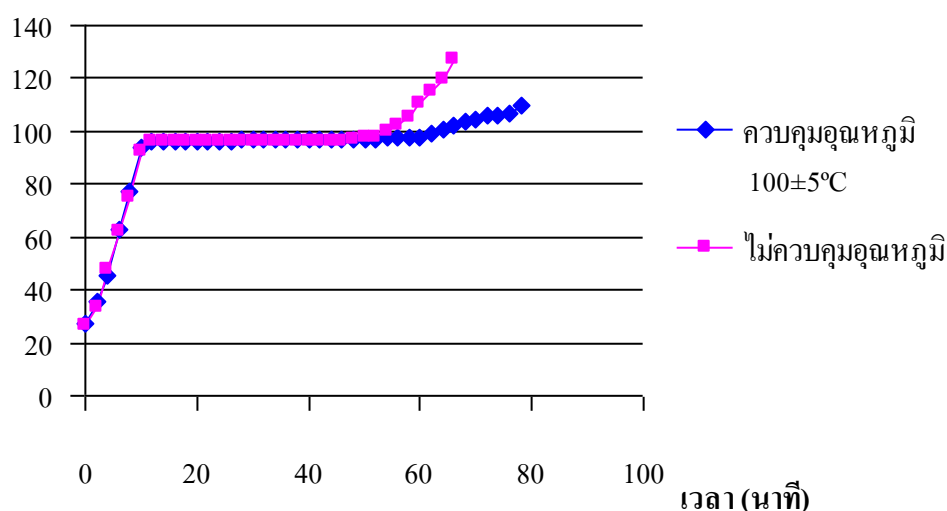
4.2 ผลของการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการเคี้ยว และความเร็วรอบในการกวนน้ำตาลมะพร้าว ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ของน้ำตาลมะพร้าว

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกระบวนการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวเพื่อให้ได้สีที่ถูกต้องของผู้บริโภค โดยเปรียบเทียบกับค่าสีมาตรฐานที่หาได้จากหัวข้อ 4.1 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี คือ เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวขณะให้ความร้อนแก่น้ำตาลมะพร้าว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิขณะให้ความร้อน และความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนหลังหยุดให้ความร้อนแก่น้ำตาลมะพร้าว

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าสิรวม (ΔE) ของน้ำตาลมะพร้าวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการเคี้ยว

ในหัวข้อนี้จะศึกษาถึงค่าการเปลี่ยนแปลงสิรวม (ΔE) ของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้จากการเคี้ยวที่เวลาต่างกัน ดังหัวข้อ 3.3.1 โดยจะเปรียบเทียบการให้ความร้อนแบบควบคุมอุณหภูมิที่ $100 \pm 5^\circ\text{C}$ และการให้ความร้อนแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวทั้งสองแบบจะแสดงดังรูปที่ 4.1

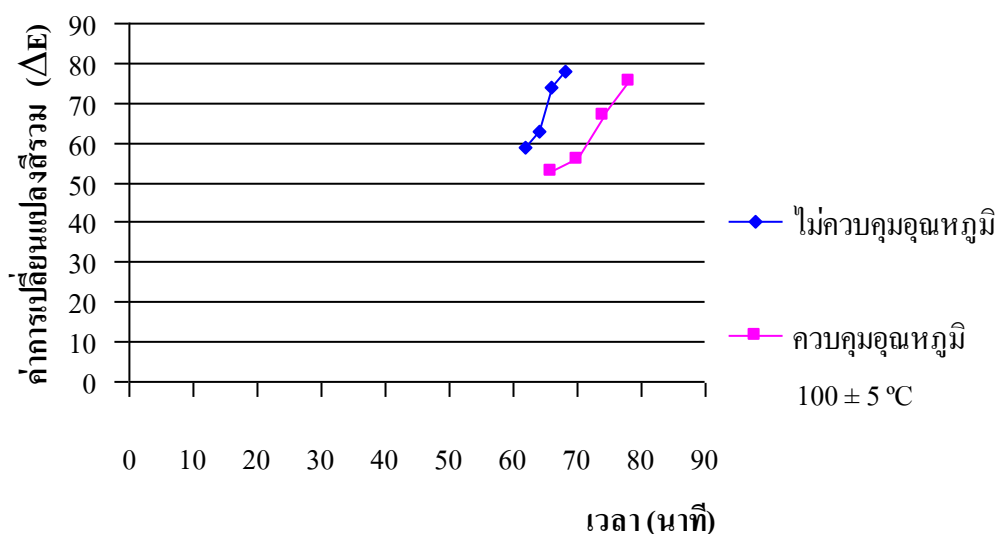
อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกวนน้ำตาลมะพร้าว เมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะให้ความร้อน

จากกราฟที่ 4.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเคี้ยวน้ำตาลโดยควบคุมอุณหภูมิและไม่ควบคุมอุณหภูมิ พบว่ากราฟในช่วงต้น (0-53 นาที) อุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวของทั้งสองสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากความร้อนในช่วงนี้ยังไม่สูงพอที่จะถึงจุดเดือดของน้ำตาลมะพร้าว แต่เมื่อเวลาหลังจาก 53 นาที พบว่าการเคี้ยวแบบควบคุมอุณหภูมิจะต้องปรับลดการให้ความร้อนลงเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ในขณะที่การเคี้ยวแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ จะควบคุมอัตราการให้ความร้อนคงที่และปล่อยอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากกราฟจะพบว่ากราฟที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิมียุณหภูมิในช่วงหลังสูงกว่ากราฟที่ควบคุมอุณหภูมิ เพราะเกิดจากน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของน้ำตาลมะพร้าวได้ระเหยออกไปเหลือส่วนที่เป็นน้ำตาลมะพร้าวอย่างเดียว ทำให้จุดเดือมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาที่ให้ความร้อนมากขึ้น ซึ่งการที่เคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวแบบที่ไม่

ควบคุมอุณหภูมิ จะมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงกว่า ทำให้มีอัตราการระเหยน้ำที่สูงกว่าการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวแบบควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม ΔE เมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะให้ความร้อน

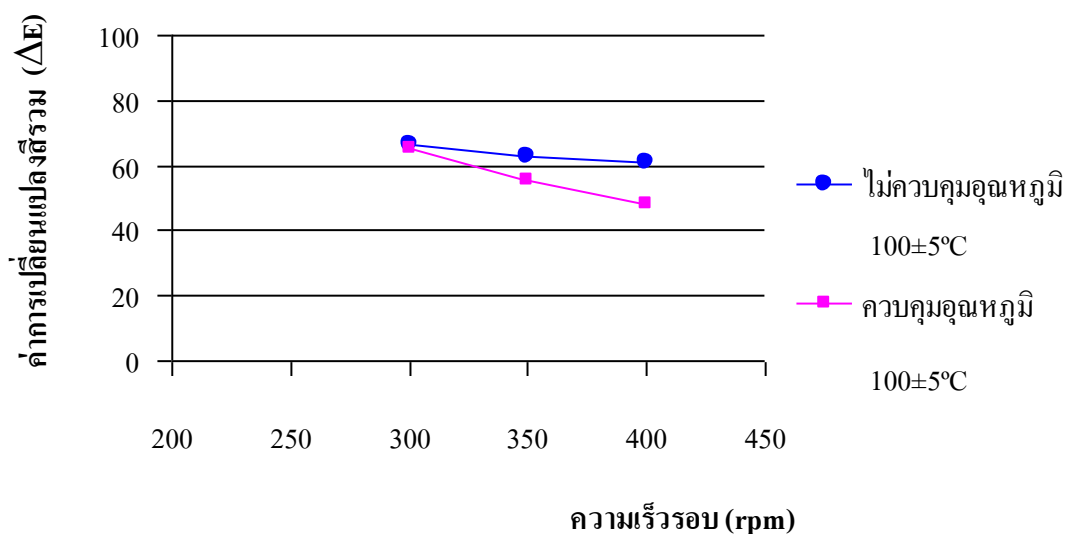
เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) กับเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวเพื่อให้ได้น้ำตาลมะพร้าว ดังรูปที่ 4.2 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว กับเมื่อควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) จะเพิ่มขึ้นตามเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความสว่าง (L) ลดลง, ค่าความเป็นสีแดง (a) เพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีเหลือง (b) ลดลง จึงส่งผลให้สีของน้ำตาลมะพร้าวเข้มขึ้น เมื่อใช้เวลาในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวแบบควบคุมอุณหภูมิ จะใช้เวลามากกว่าการเคี้ยวน้ำตาลแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งสาเหตุที่ใช้เวลาในการเคี้ยวต่างกันคือ ความร้อนที่ได้รับในการเคี้ยวแบบควบคุมอุณหภูมิกว่า $100 \pm 5^\circ\text{C}$ จะน้อยกว่า ทำให้ต้องใช้เวลาในการเคี้ยวมากกว่าแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ และเมื่อเปรียบเทียบการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยควบคุมอุณหภูมิและไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิพบว่า สีของน้ำตาลมะพร้าวที่เคี้ยวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ จะมีสีเข้มกว่าการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา Caramelization ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารสีน้ำตาลดำที่เรียกว่า caramel ขึ้นมา จึงทำให้สีของน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกันไปตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเคี้ยว

นอกจากนี้จากกราฟที่ 4.2 จะพบว่าเวลาที่ใช้สำหรับการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ให้ค่า ΔE ใกล้เคียงกับค่า ΔE ตามมาตรฐานผู้บริโภคมมากที่สุด คือ ที่เวลาในการเคี้ยวเท่ากับ 62 นาที และอุณหภูมิสุดท้าย คือ 120°C ซึ่งได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) เท่ากับ 58.65 แต่ในการทดลองพบว่าน้ำตาลมะพร้าวที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเหลว ยังไม่เหนียวจนเป็นน้ำตาลมะพร้าว เราจึงเลือกเวลาที่ 64 นาที ซึ่งให้ค่า ΔE ใกล้เคียงกับค่า ΔE ตามมาตรฐานผู้บริโภค เป็นอันดับสอง คือ มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) เท่ากับ 63.14 เป็นเวลาที่ดียิ่งขึ้นในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะให้น้ำตาลมะพร้าวที่มีคุณภาพดีทั้งลักษณะสีและเนื้อของน้ำตาลมะพร้าว

สำหรับการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยควบคุมอุณหภูมิ ที่ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ พบว่าเวลาในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) ใกล้เคียงกับค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) ตามมาตรฐานของผู้บริโภคมมากที่สุด คือ ที่เวลา 70 นาที ซึ่งได้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) เท่ากับ 55.64 ซึ่งจะให้น้ำตาลมะพร้าวที่มีคุณภาพดีทั้งลักษณะสีและเนื้อของน้ำตาลมะพร้าว

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ของน้ำตาลมะพร้าวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน

เมื่อได้เวลาที่เหมาะสมในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวจากหัวข้อ 4.2.1 แล้ว ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมอีกตัวหนึ่งก็คือการกวนน้ำตาลมะพร้าวหลังจากหยุดให้ความร้อน ซึ่งการกวนน้ำตาลมะพร้าวนี้นี้จะเป็นการไล่ไอน้ำในน้ำตาลมะพร้าวออก ทำให้เนื้อของน้ำตาลมะพร้าวจับกันเป็นก้อนมีลักษณะเป็นน้ำตาลปึก โดยสิ่งที่จะส่งผลกระทบต่อสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้คือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน เพราะจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการกระจายความร้อนของน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งในการทดลองจะเลือกเวลาที่ดียิ่งขึ้นสำหรับการกวนเพื่อให้ได้สีที่ถูกต้องของผู้บริโภค จากนั้นนำเวลานั้นๆ มาเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน 3 ค่า คือ 300, 350 และ 400 rpm ซึ่งแต่ละความเร็วรอบจะทำการกวน 3 ครั้ง โดยใช้ความร้อนในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวจนได้เป็นของเหลวหนืดที่เวลาและสภาวะเดียวกัน แล้วนำค่าเฉลี่ยของค่า L, a และ b มาหาค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) ซึ่งสามารถแสดงผลดังรูปที่ 4.3



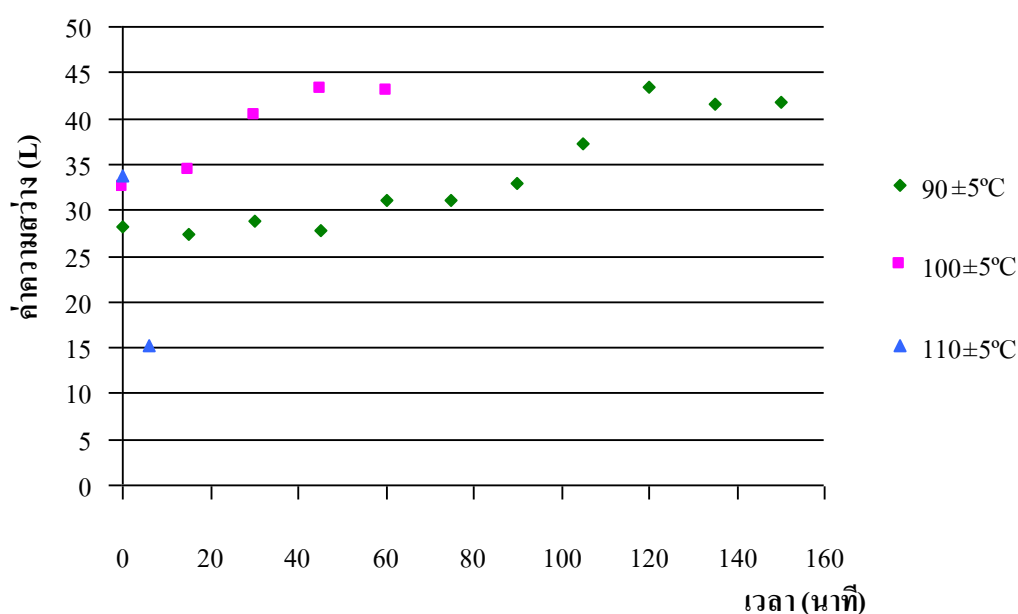
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบหลังหยุดให้ความร้อนและค่าการเปลี่ยนแปลงสรีรวม ΔE เมื่อมีการควบคุมและไม่ควบคุมอุณหภูมิขณะให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสรีรวม (ΔE) และความเร็วรอบในการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยการควบคุมอุณหภูมิที่ $100 \pm 5^\circ\text{C}$ และไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว จากกราฟทั้งสองเส้นจะเห็นว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือเมื่อความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสรีรวมลดลงหรือสีของน้ำตาลจะมีลักษณะจางลง ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อความเร็วที่ใช้ในการกวนน้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น แต่ถ้ามพิจารณาถึงความชันของกราฟทั้งสอง จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ควบคุมอุณหภูมิในการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสรีรวม (ΔE) ต่อบริเวณรอบ หรือความชันของกราฟมากกว่าเส้นที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ นั่นหมายความว่าความเร็วรอบจะส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสรีรวมของการเคี่ยวน้ำตาลโดยควบคุมอุณหภูมิมากกว่าการเคี่ยวน้ำตาลที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าการเคี่ยวน้ำตาลที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูป 4.1 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาในการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวที่ 66 นาที อุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวที่เคี้ยวโดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ มีค่า $100 - 103^\circ\text{C}$ ในขณะที่การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิมียุคสูงถึง 127°C ซึ่งความร้อนที่มากกว่านี้จะส่งผลให้น้ำตาลมะพร้าวมีสีเข้มกว่า ซึ่งหากเพิ่มความเร็วรอบในการกวนก็จะทำให้สีของน้ำตาลมะพร้าวจางลง แต่อัตราของการจางลงของสีหรือการเปลี่ยนแปลงของสรีรวม (ΔE) จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว โดยการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำตาลมะพร้าวและความร้อนสะสมที่สูงกว่านั่นเอง และจากกราฟจะพบว่าความเร็วรอบที่ส่งผลให้ค่าที่ดีที่สุดสำหรับการ

เกี่ยวน้ำตาลที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ คือ 400 รอบ/นาทิจ โดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีรวม (ΔE) เท่ากับ 61.07 ในขณะที่ความเร็วรอบที่ส่งผลให้ค่าสีดีที่สุดสำหรับการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยการควบคุมอุณหภูมิที่ $100 \pm 5^\circ\text{C}$ คือ 350 รอบ/นาทิจ ซึ่งให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีรวม (ΔE) เท่ากับ 55.64 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว สีของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้จากการกวนโดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ $100 \pm 5^\circ\text{C}$ จะมีค่าสีอ่อนกว่าการเกี่ยวน้ำตาลโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ และมีสีใกล้เคียงกับค่าสีมาตรฐานผู้บริโภคมากกว่า

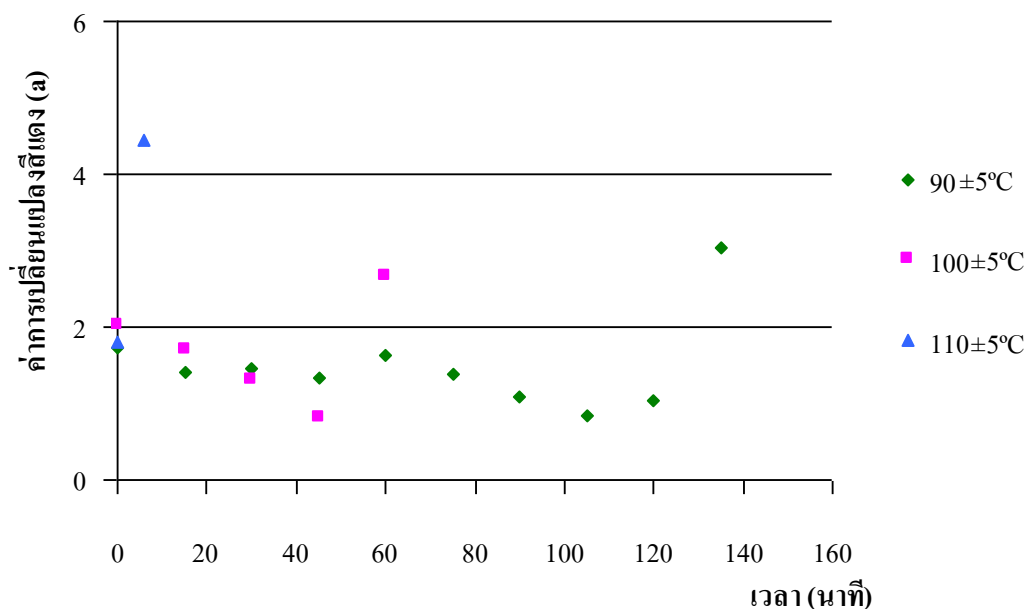
4.2.3 การศึกษาจลนศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าว

ในการศึกษาจลนศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าว ในช่วงที่เป็นของเหลว ตั้งแต่เริ่มเกี่ยวจนกระทั่งได้ของเหลวหนืด โดยทำการทดลองเกี่ยวน้ำตาลดังหัวข้อ 3.3.1 **โดยไม่มีการกวนภายหลังหยุดให้ความร้อน** และทำการเปลี่ยนอุณหภูมิควบคุม เป็น 90, 100 และ 110°C และทำการวัดค่าสีของน้ำตาลมะพร้าวได้แก่ค่า L, a, b และ (ΔE) ด้วยเครื่อง colorimeter ซึ่งค่าสี L ของของเหลวจะวัดจากค่าปริมาณและชนิดของคลื่นแสงที่ส่องผ่าน (transmitted) ในน้ำตาลมะพร้าว โดยผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.4 – 4.7



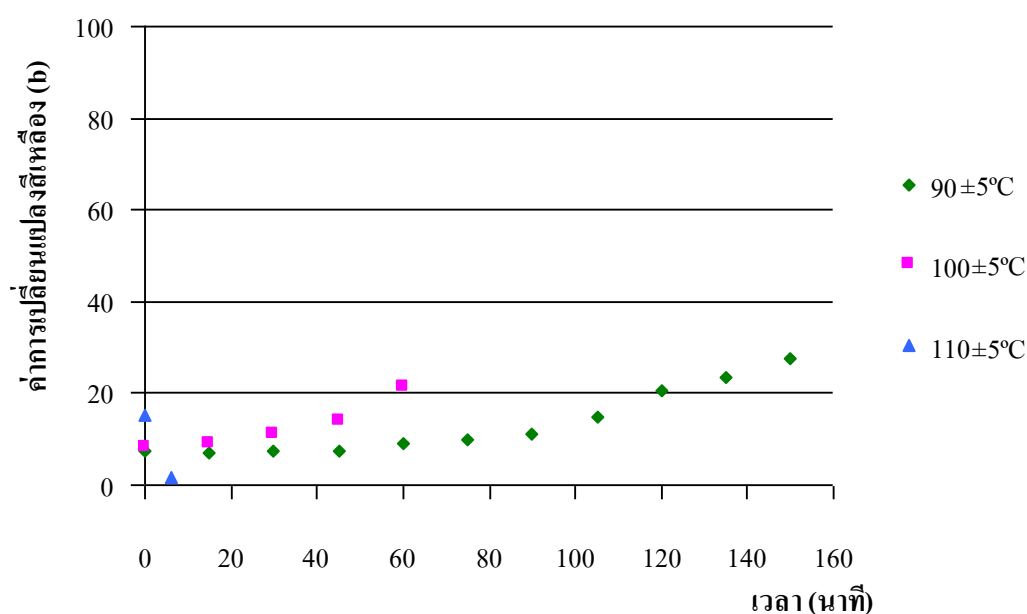
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของค่า L ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทำการเกี่ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

จากกราฟที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสีของค่า L ของอุณหภูมิ $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$ กับ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้นเนื่องจากค่า L จะเป็นค่าความสว่าง โดยน้ำตาลมะพร้าวก่อนที่จะนำมาให้ความร้อนจะมีสีขาวขุ่นอยู่ก่อน เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$, $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ คงที่ ค่า L ก็จะมีค่ามากขึ้น คือมีความสว่างมากขึ้นและจะสังเกตเห็นได้จากทั้งสองกราฟว่าจุดสุดท้ายของค่าสี L จะเริ่มลดลงเนื่องจากสีของน้ำตาลมะพร้าวเริ่มเข้มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิที่ $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จะใช้เวลานานกว่าเพราะเป็นอุณหภูมิที่ยังไม่ถึงจุดเดือดของน้ำทำให้อัตราการระเหยของน้ำช้า สีจึงเข้มช้ากว่าที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จะใช้เวลาน้อยในการเปลี่ยนแปลงสีค่า L เพราะอุณหภูมิที่ใช้ควบคุมเป็นอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำทำให้อัตราการระเหยของน้ำมีมาก น้ำตาลมะพร้าวที่เป็นของเหลวจึงเริ่มกลายเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมะพร้าวที่เป็นของหนืด ทำให้ค่าสี L มีค่ามากขึ้นคือสว่างมากขึ้น เพราะความหนาแน่นของโมเลกุลในน้ำตาลมะพร้าวเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสี L ของของหนืดที่วัดจากค่าปริมาณและชนิดของคลื่นแสงที่สะท้อน (reflected) ออกจากน้ำตาลมะพร้าวด้วยเครื่อง colorimeter มีค่ามากขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ค่าสี L จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเวลาที่ให้จนถึงอุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นจุดที่น้ำระเหยออกไปหมดทำให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นน้ำตาลมะพร้าวอย่างเดียวซึ่งมีลักษณะหนืดมากขึ้น สีของน้ำตาลมะพร้าวก็จะเป็นสีที่เข้มมากขึ้น ค่าความสว่าง L ก็ลดลง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของค่า a ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทำการเคี่ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

จากรูปที่ 4.5 จะแสดงให้เห็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีแดง a ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 90 และ 100°C ค่าสีแดงจะมีค่าลดลงเพราะในช่วงเวลานั้นความเข้มข้นของสีแดงของน้ำตาลมะพร้าวยังมีไม่มาก หรือการเป็นน้ำตาลยังไม่เริ่มเกิดขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับกราฟที่ 4.3 คือสีของน้ำตาลมะพร้าวที่มองเห็นมีลักษณะอ่อนลงโดยยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มาก ส่วนที่อุณหภูมิ 110°C น้ำตาลมะพร้าวที่นำมาทดสอบที่อุณหภูมินี้เริ่มเป็นน้ำตาลปึกมีความหนืดมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการวัดค่าสีส่วนที่เป็นของเหลวก็มีค่าน้อยลง สีก็เริ่มเป็นสีแดงมากขึ้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังกราฟโดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสีแดง a จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นและเกิดเป็น Caramelization ซึ่งเป็นปฏิกิริยา browning อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อ polyhydroxycarbonyl compound (sugar or acid) ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารสีน้ำตาลดำ เรียกว่า caramel ซึ่งสารผสมของผลิตภัณฑ์สลายตัวที่ได้จากการให้ความร้อนกับน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดหลอมเหลว (Melting point) ของน้ำตาลนั้นๆ โดยจะเกิดการ dehydration ของโมเลกุลน้ำตาลกลายเป็นสารประกอบพวก Hydroxy methylfurfural (HMF) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญในการเกิดสีน้ำตาล

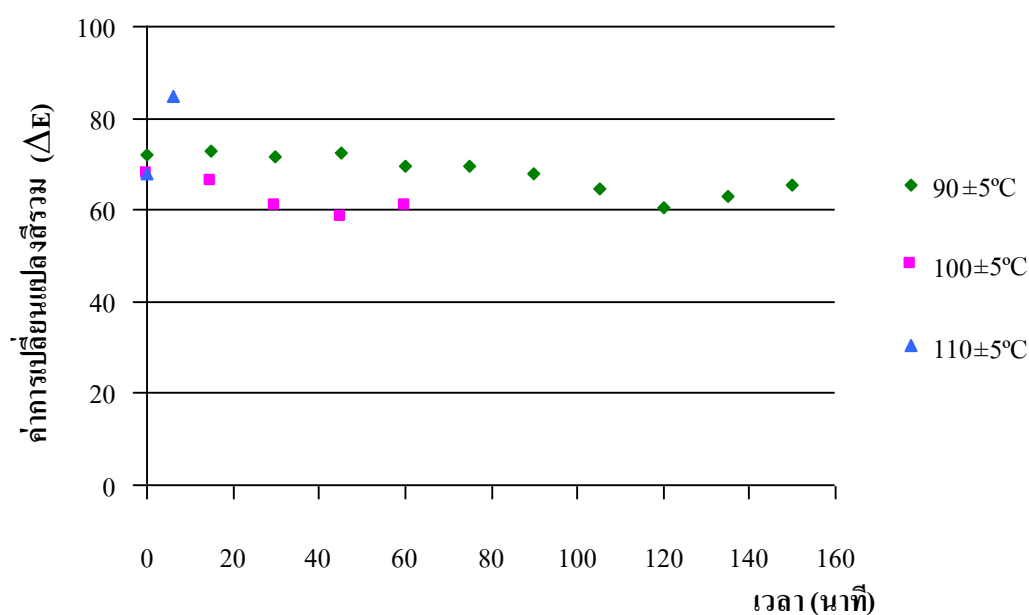


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเปลี่ยนแปลงสีของค่า b ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทำการเคี่ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

จากรูปที่ 4.6 เป็นการแสดงกราฟของการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองค่าสี b โดยที่อุณหภูมิที่ 90, 100 และ 110 °C จะให้ค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวในตอนก่อนให้ความร้อนน้ำตาลมะพร้าวจะมีสีออกเป็นสีเหลืองอยู่แล้วส่วนที่อุณหภูมิ 110 °C ค่าสีเหลืองจะมีค่าสูงเนื่องจากความ

ร้อนที่ให้อุ่นให้สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ และน้ำตาลมะพร้าวจะมีความหนืดมากขึ้นและมีลักษณะไหม้จึงทำให้ค่าสีเหลืองสูงกว่าที่อุณหภูมิ $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$

กราฟที่ 4.7 เป็นการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) จากทุกค่า L, a, b ดังสมการ (2.2) ซึ่งจากกราฟ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าว ที่อุณหภูมิในการเคี่ยว $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$, $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จะมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือ มีค่าลดลงหรือมีสีโดยรวมอ่อนลง เนื่องมาจากที่อุณหภูมิ $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$, $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ โมเลกุลของสารประกอบต่างๆในน้ำตาลมะพร้าวอาจเริ่มสลายตัว จึงทำให้คลื่นแสงที่ส่องผ่าน (Transmitted) จากเครื่อง Colorimeter ส่องผ่านได้มากกว่า ส่วนที่อุณหภูมิ 110°C ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมจะมีเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่อุณหภูมินี้ น้ำตาลมะพร้าวเริ่มไหม้และมีความหนืดมากขึ้น สีของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้จึงเข้มขึ้น เมื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมก็จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในน้ำตาลมะพร้าวเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เกิดจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งเรียกว่า “Non-enzymatic browning” โดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็น Non-Enzymatic Browning Reaction (NEB) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพสี (off-color) สูญเสียกลิ่นรส (off-flavor) และเกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะพื้นผิว (textural changes) ในอาหาร อีกทั้งยังเป็นสาเหตุของการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไปบางส่วนอีกด้วย

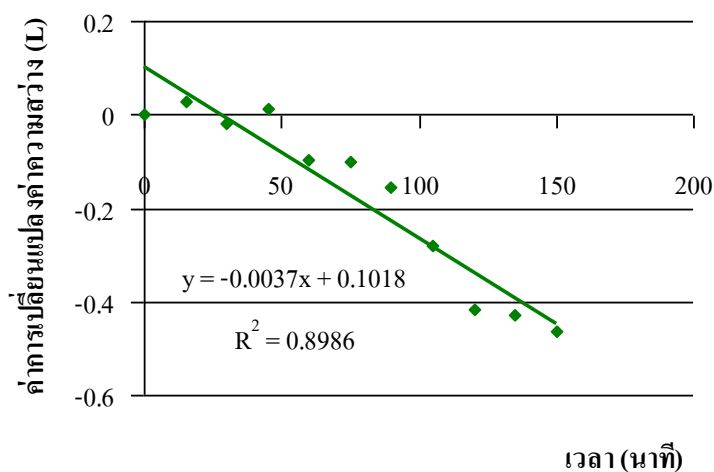


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม ΔE ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อทำการเคี่ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

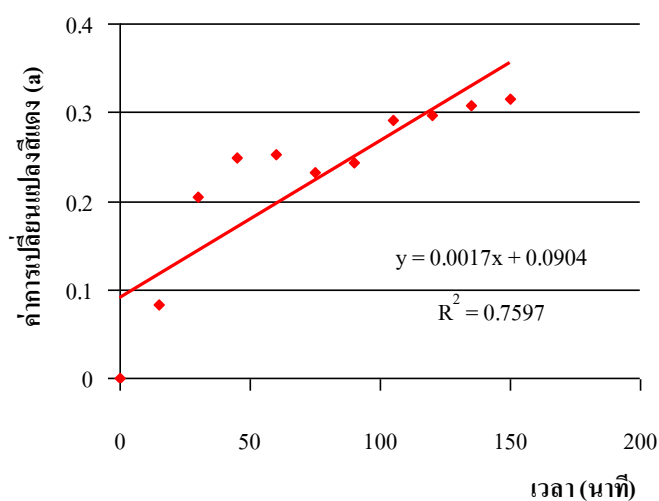
กราฟที่ 4.8-4.11 เป็นการหาค่าอันดับของปฏิกิริยาของค่า L, a, b และ ΔE จากการวิเคราะห์สมการอัตราของการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าวดังสมการ

$$\frac{dC}{dt} = kC^n$$

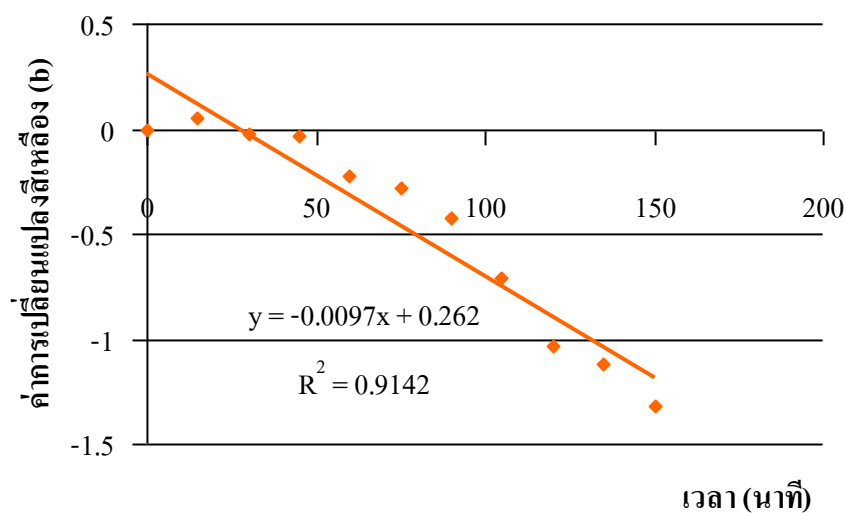
โดยให้ค่า n เป็นอันดับของปฏิกิริยา ค่า C เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของแต่ละค่า ที่อุณหภูมิ $90 \pm 5^\circ\text{C}$ จะได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี L , a , b เป็นไปตามการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1 ส่วนค่า ΔE เป็นปฏิกิริยาอันดับ 0 จากอันดับของปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีที่หาได้ จะสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าวที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตได้



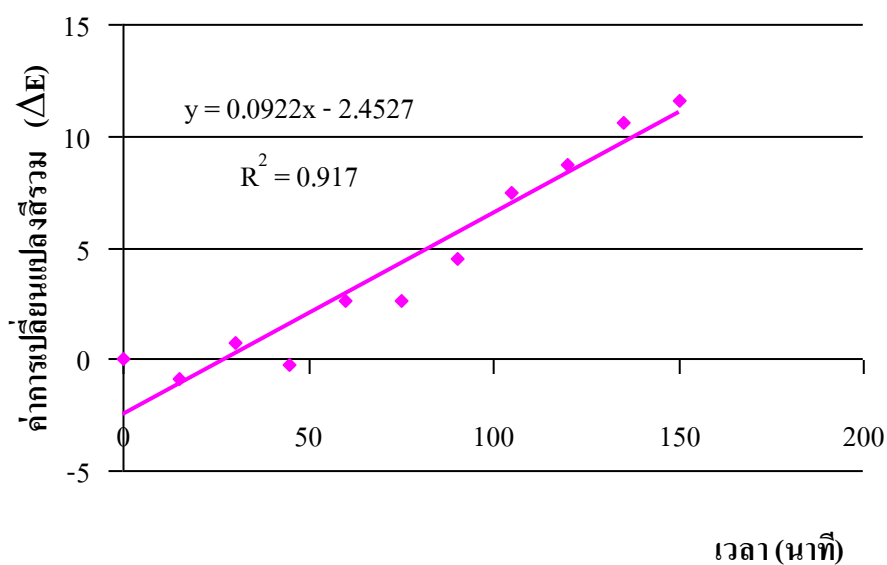
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับหนึ่งของค่าสี L เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $90 \pm 5^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับหนึ่งของค่าสี a เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $90 \pm 5^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

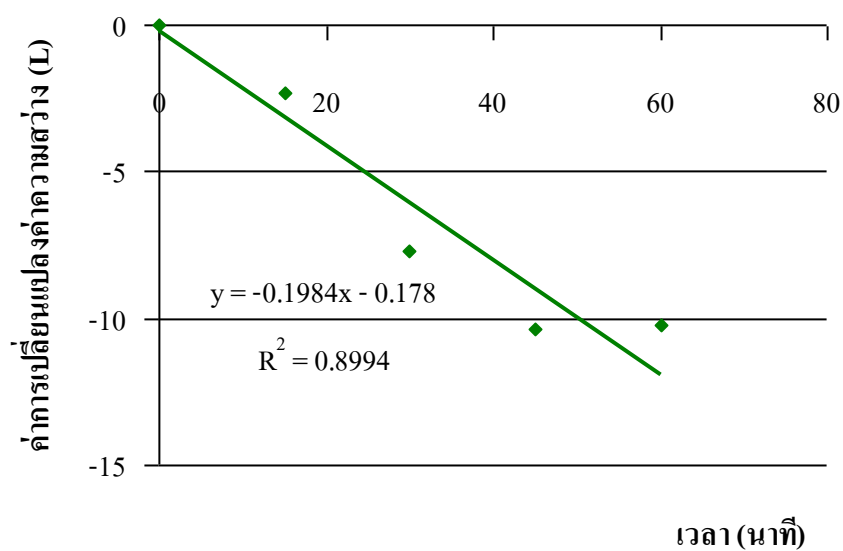


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับหนึ่งของค่า b เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

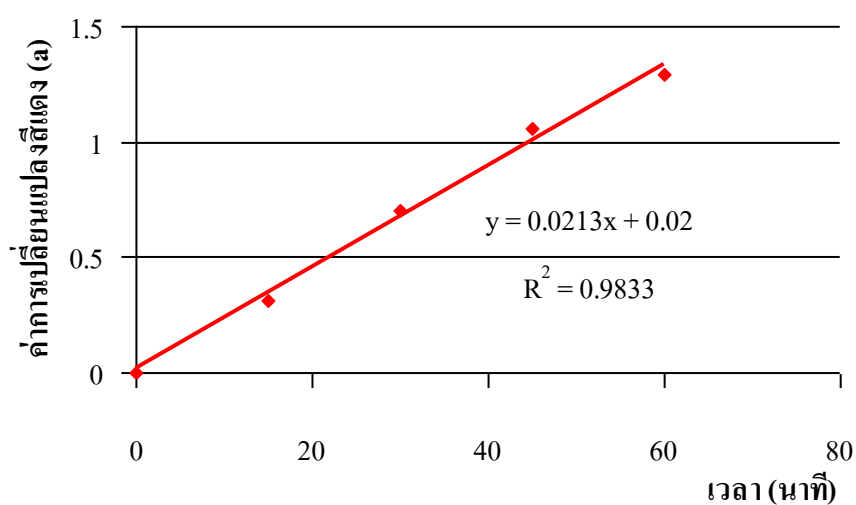


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่า ΔE เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $90 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

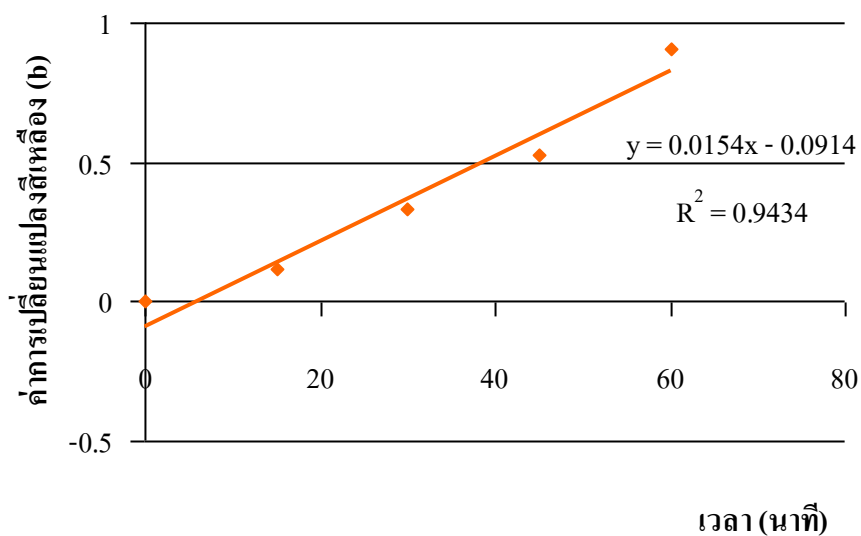
กราฟที่ 4.12-4.15 เป็นการหาค่าอันดับของปฏิกิริยาของค่า L , a , b และ ΔE ที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จะได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า L และ a เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า b และ ΔE เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง



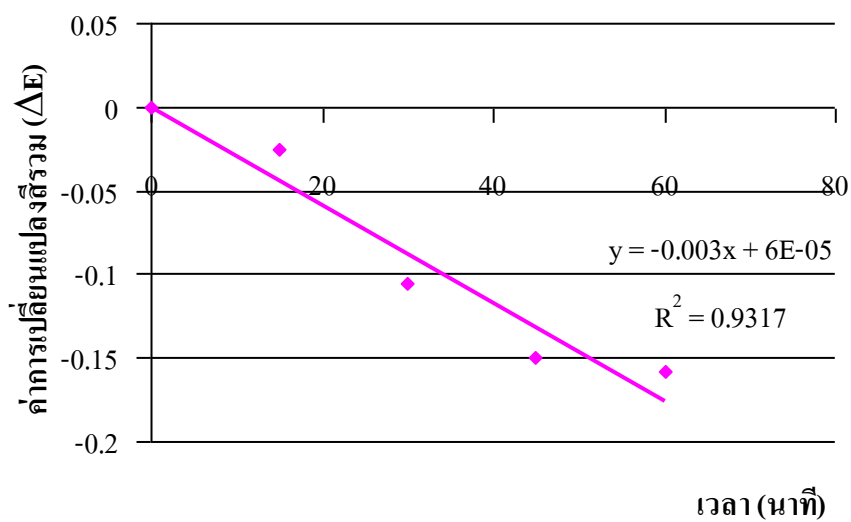
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่าสี L เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $100 \pm 5^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่าสี a เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $100 \pm 5^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

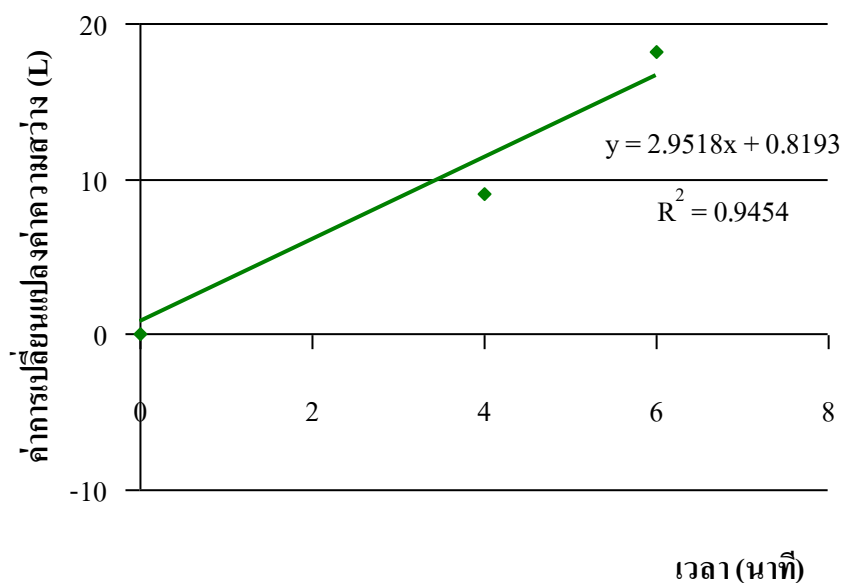


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่า b ที่อุณหภูมิในการเคี้ยว $100 \pm 5^\circ\text{C}$

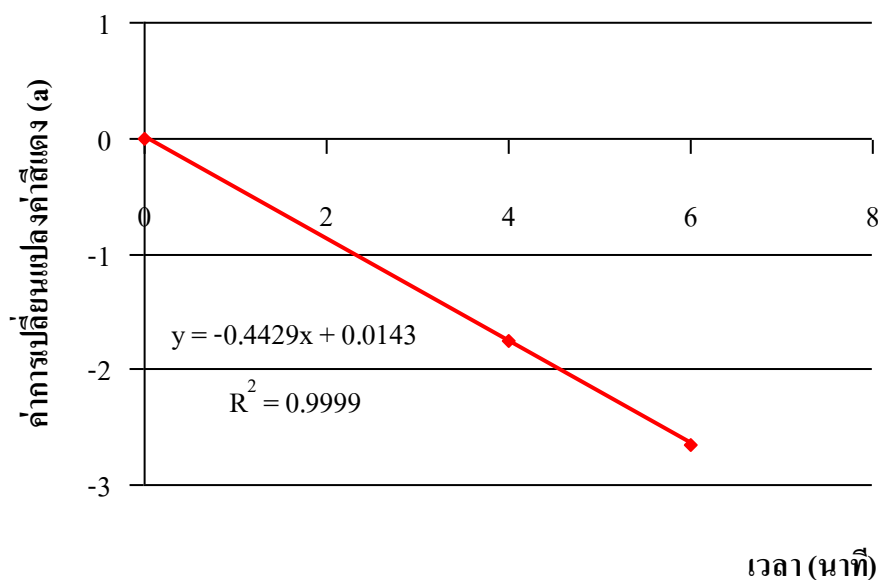


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่า ΔE ที่อุณหภูมิในการเคี้ยว $100 \pm 5^\circ\text{C}$

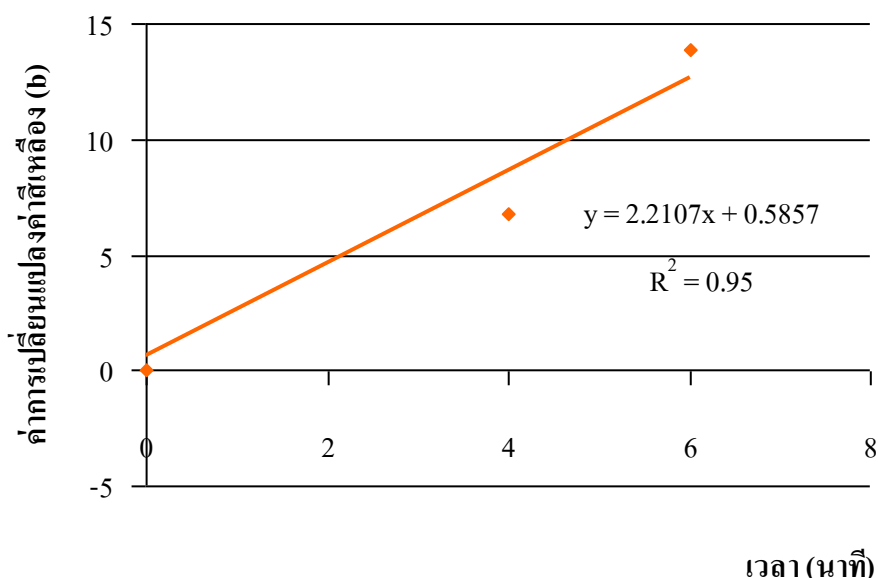
กราฟที่ 4.16-4.18 เป็นการหาค่าอันดับของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a, b และ ΔE ที่อุณหภูมิ 110°C พบว่าปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a, b และ ΔE เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่าสี L เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด



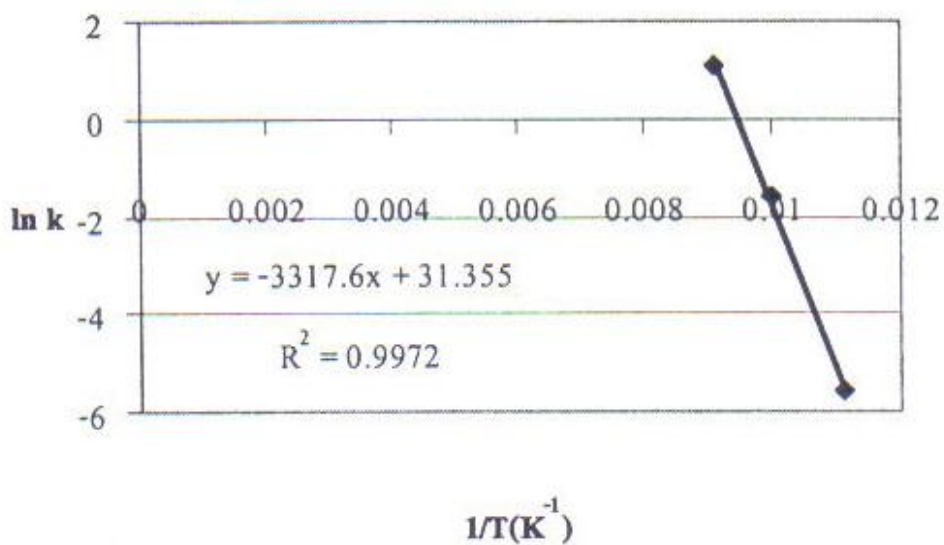
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่าสี a เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด



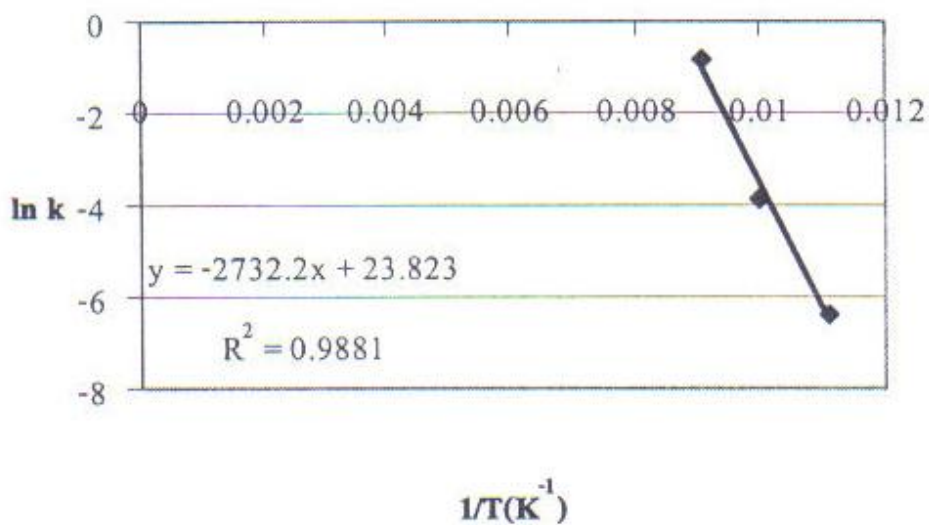
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอันดับปฏิกิริยาที่อันดับศูนย์ของค่าสปีชีส์ b เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว $110 \pm 5^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด

ทั้งนี้ปฏิกิริยาอันดับต้นๆ สามารถใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างง่ายได้ เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล (Browning Reaction) ซึ่งจะไม่พิจารณากลไกทางเคมีของปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อได้ค่าอันดับของปฏิกิริยาแล้วก็สามารถทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงสปีชีส์ที่จะเกิดในเวลาที่ต้องการ โดยค่าสปีชีส์จะมีผลขึ้นกับเวลาโดยเราจะวิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่น (R^2) โดยดูว่าค่ากราฟไหนดระหว่างปฏิกิริยาอันดับศูนย์กับอันดับหนึ่ง ค่า R^2 กราฟใดมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดจึงใช้กราฟอันดับนั้นมาเป็นแบบอธิบายสมการอันดับปฏิกิริยาได้ [8]

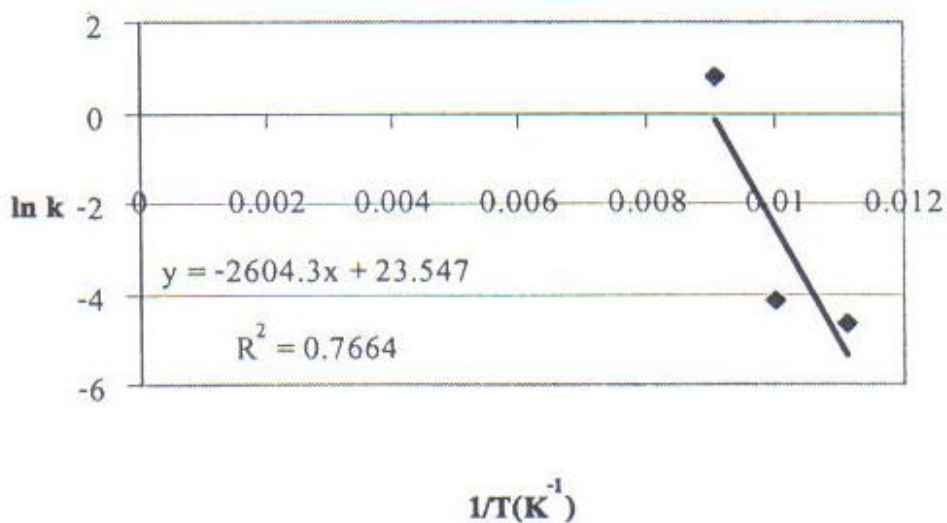
นอกจากนี้ จากกราฟรูปที่ 4.19 - 4.21 ซึ่งเป็นการหาค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) และค่า frequency factor (k_0) ของแต่ละค่าสปีชีส์ โดยทำการหาค่า k ที่อุณหภูมิ 90, 100, 110 $^\circ\text{C}$ และ plot ค่า $\ln k$ กับ $1/T$ จะได้ค่า k_0 และ E_a ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมินั้นมีอิทธิพลต่อค่า k ดังนั้นจึงมีผลโดยตรงต่อสมการอัตรา โดยจากการคำนวณจะได้ค่า E_a ของค่าสปีชีส์ L = 27,582.53 (kJ/mol), ของค่าสปีชีส์ a = 22,715.51 (kJ/mol), ของค่าสปีชีส์ b = 21,625 (kJ/mol) และของค่าสปีชีส์รวม (ΔE) = 3,577.59 (kJ/mol) ซึ่งค่าพลังงานที่ได้เป็นค่าพลังงานที่สูง แสดงว่า น้ำตาลมะพร้าวที่ใช้เคี้ยวต้องการพลังงานที่สูงในการเปลี่ยนแปลงสปีชีส์ของน้ำตาลมะพร้าว ส่วนค่า k_0 หาได้จากจุดตัดของกราฟตามความสัมพันธ์ของสมการ Arrhenius ซึ่งจากกราฟที่ 4.20 - 4.22 ได้ค่า k_0 ของค่าสปีชีส์ L, a, b และ ΔE เท่ากับ $4.14\text{E} + 13$, $2.22\text{E} + 10$, $1.68\text{E} + 10$ และ 3.27 ตามลำดับ



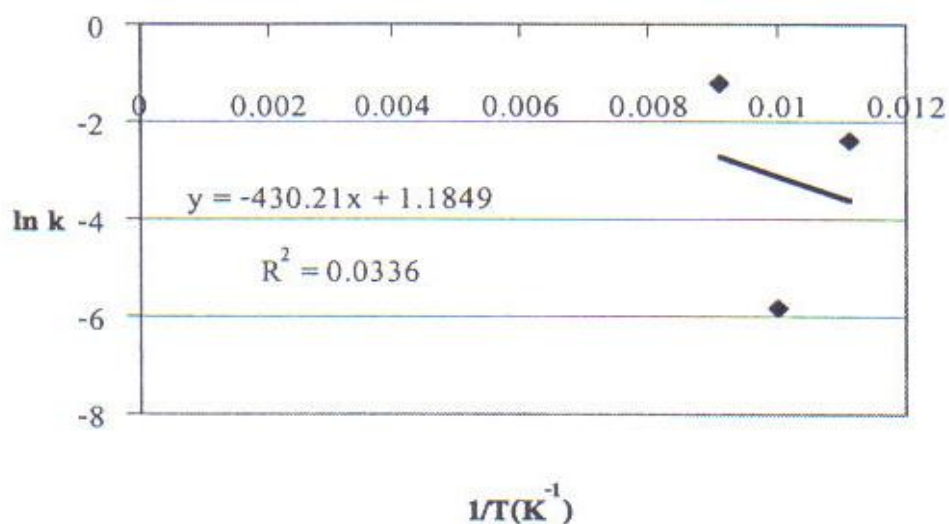
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยา เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว 90, 100, 110 $\pm$ 5 $^{\circ}$ C จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด ของค่าสี L



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยา เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิในการเคี้ยว 90, 100, 110 $\pm$ 5 $^{\circ}$ C จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด ของค่าสี a



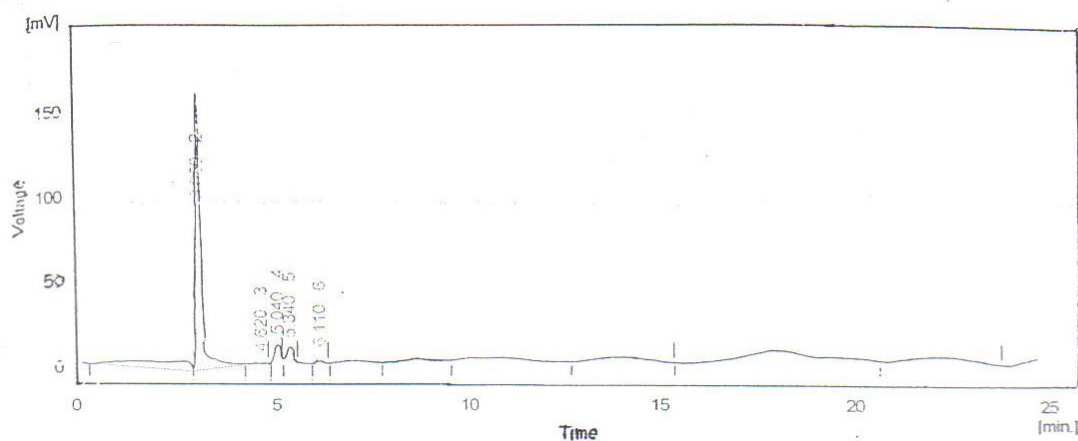
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยา เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุม อุณหภูมิในการเคี้ยว 90, 100, 110± 5°C จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด ของค่าสี b



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยา เมื่อทำการเคี้ยวโดยการควบคุม อุณหภูมิในการเคี้ยว 90, 100, 110± 5°C จนกระทั่งเป็นของเหลวหนืด ของค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE)

4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.23 ซึ่งแสดงตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารละลายน้ำตาลมะพร้าวซึ่งเป็นน้ำตาลมะพร้าวสด โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่อะซิโตนไนโตรล์ต่อน้ำเป็น 75 : 25 และจะสังเกตเห็นได้ว่าพีคต่างๆ มีลักษณะแยกออกจากกันอย่างชัดเจนที่เวลาต่างๆ กัน ซึ่งแสดงถึงส่วนประกอบที่มีอยู่ในน้ำตาลมะพร้าวซึ่งจะประกอบไปด้วยน้ำตาลฟรุกโทส, กลูโคส และน้ำตาลซูโครส และจะพบว่าพีคของเฟสเคลื่อนที่ที่จะออกมาก่อนที่เวลา 3.05 นาที ตามมาด้วยพีคของน้ำตาลฟรุกโทส ออกมาที่เวลา 5.05 นาที และพีคของน้ำตาลกลูโคส และซูโครส ออกมาที่เวลา 5.35 และ 6.14 นาทีตามลำดับ ส่วนพีคอื่นๆ ที่ปรากฏไม่เกี่ยวข้องกับสารที่ต้องการจะหา ซึ่งอาจเป็นความผิดพลาดระหว่างการทดลอง เช่นการเตรียมสารละลายไม่บริสุทธิ์หรือหลอดทดลองไม่สะอาด



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงตัวอย่างโครมาโตแกรมของน้ำตาลมะพร้าวสด

เมื่อนำน้ำตาลมะพร้าวสด มาเจือจางด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วน 1: 50 เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดคือ ฟรุกโทส กลูโคส และซูโครส พบว่าจะได้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโทส, กลูโคส และซูโครส เป็น 0.059, 0.074 และ 0.029 mg/ml ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่ามีปริมาณความเข้มข้นของฟรุกโทสมากที่สุด รองลงมาคือกลูโคส และซูโครส ตามลำดับ แสดงว่าความหวานของน้ำตาลมะพร้าวส่วนใหญ่จะมาจากน้ำตาลฟรุกโทสและน้ำตาลกลูโคส (invert sugar)

ในทำนองเดียวกันการหาปริมาณความเข้มข้น ของน้ำตาลทั้งสามชนิดในน้ำตาลมะพร้าว ที่ทำการเคี้ยว โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 100 ± 5 °C และการเคี้ยวโดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ จะพบว่าการเคี้ยวน้ำตาลทั้งแบบควบคุมอุณหภูมิและไม่ควบคุมอุณหภูมิ จะมีปริมาณความเข้มข้นของฟรุกโทสมากที่สุด รองลงมาคือกลูโคส และซูโครส ซึ่งแบบควบคุมอุณหภูมิจึงมีความเข้มข้นเป็น 0.242, 0.222

และ 0.183 mg/ml ตามลำดับ และแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิเป็น 0.468, 0.501 และ 0.218 mg/ml ตามลำดับ

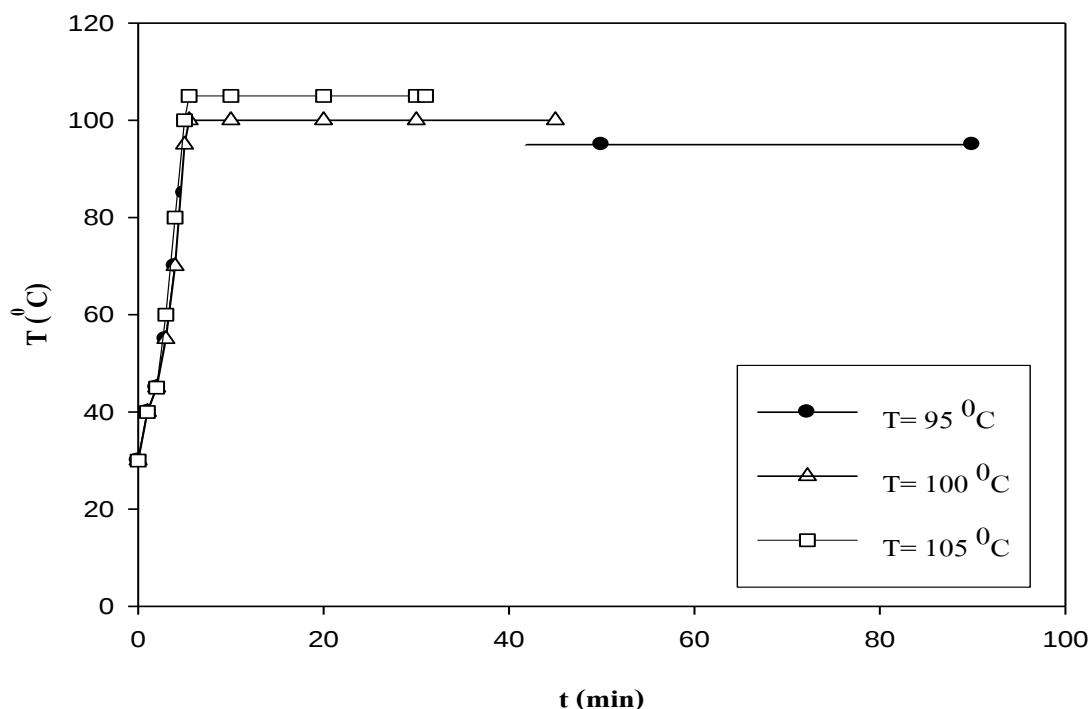
เมื่อนำปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งสามชนิดที่สภาวะต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน พบว่าที่การเคี้ยวแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ มีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งสามชนิดมากกว่าตอนเริ่มต้น และการเคี้ยวแบบควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากการเคี้ยวแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ปริมาณน้ำในน้ำตาลมะพร้าวเหลืออยู่น้อยกว่าการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวแบบควบคุมอุณหภูมิ จึงมีความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบของน้ำตาลมะพร้าวสูงกว่า

4.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการเคี้ยวน้ำตาลปี๊บ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 ที่พบว่าการเคี้ยวโดยการควบคุมอุณหภูมิ และการใช้ความเร็วรอบในการกวนที่สูง จะให้สีและลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ ใกล้เคียงกับน้ำตาลตัวอย่างมาตรฐาน การศึกษาในส่วนนี้ จึงได้เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวสด โดยทำการทดลองดังหัวข้อ 3.3.3 ด้วย Hot plate ขนาด 1500 วัตต์ โดยทำการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95, 100 และ 105°C และทำการเก็บตัวอย่างน้ำตาลมาวิเคราะห์หาปริมาณองศาบริกส์อย่างต่อเนื่อง จนได้องศาบริกส์เท่ากับ 87 จึงหยุดการทดลองเคี้ยว และทำการกวนมะพร้าวหลังหยุดให้ความร้อนที่ความเร็วรอบ 400 rpm ซึ่งสามารถแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อเวลาในการเคี้ยว, pH, ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท (Invert sugar) และการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลปี๊บ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเวลาในการเคี้ยวน้ำตาลปี๊บ

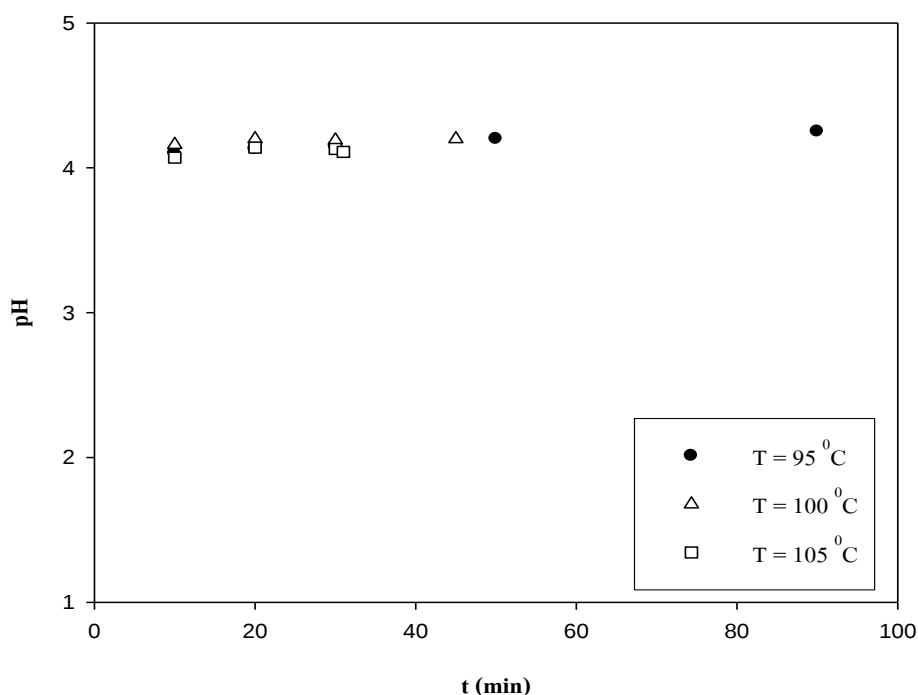
การเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกัน โดยจากรูปที่ 4.24 จะพบว่าการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวที่อุณหภูมิ 95°C จะต้องใช้เวลานานถึง 90 นาที ในการเคี้ยวให้เป็นน้ำตาลปี๊บ แต่เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 100 และ 105°C จะใช้เวลาในการเคี้ยวเพียง 45 และ 31 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมการเคี้ยวที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงส่งผลให้การระเหยของน้ำออกจากน้ำตาลค่อนข้างน้อย และต้องใช้เวลาในการเคี้ยวนานกว่าการเคี้ยวที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 4.24 อุณหภูมิที่ใช้เกี่ยวน้ำตาลมะพร้าว (T) กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง (t) จนได้
องศาบริกส์เท่ากับ 87

4.4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกี่ยวน้ำตาลที่มีต่อค่าพีเอชในน้ำตาลปีบ

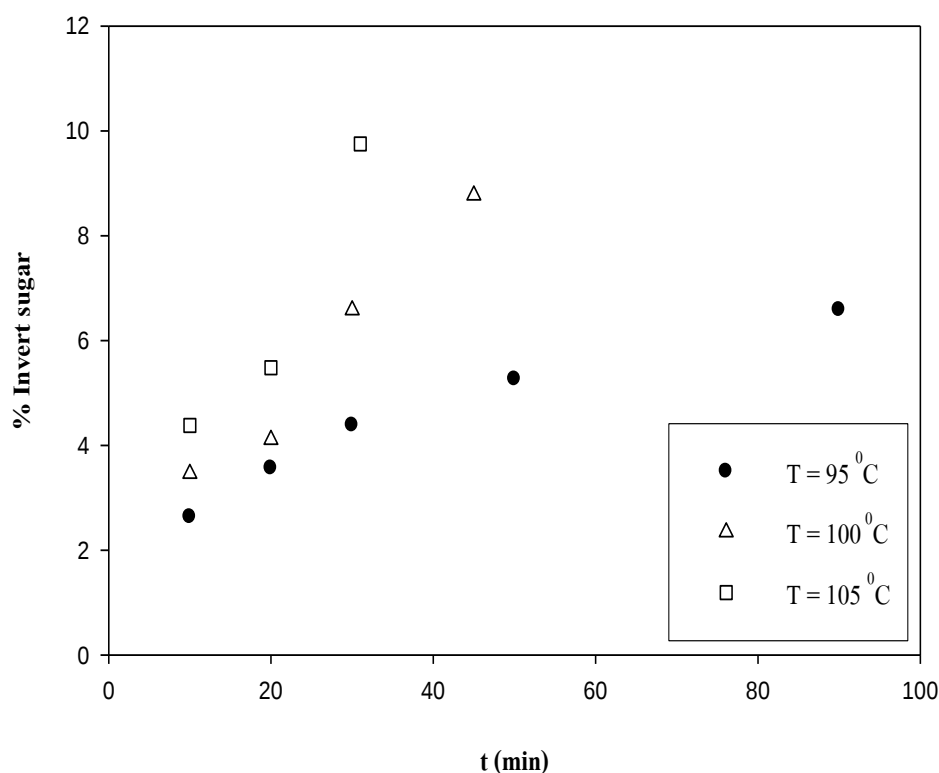
จากการทดลองเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวสดที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 4.08 โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็น 95, 100 และ 105 °C และทำการเก็บตัวอย่างน้ำตาลมาจำนวน 50 มิลลิลิตรเพื่อนำมาหาปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ต, องศาบริกส์, พีเอช โดยเกี่ยวจนได้องศาบริกส์เท่ากับ 87 (การทดลองนี้กำหนดให้มีการเกี่ยวน้ำตาลจนมีองศาบริกส์เท่ากับ 87 เท่ากันหมดทุกอุณหภูมิ) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งพบว่าค่าพีเอชของน้ำตาลมะพร้าวจะมีค่าคงที่ในช่วงพีเอชเท่ากับ 4.07 - 4.25 ตลอดช่วงเวลาและอุณหภูมิที่ทำการทดลองดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวนี้นี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำตาล แสดงว่าค่าปริมาณกรดในน้ำตาลมะพร้าวจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง



รูปที่ 4.25 ค่าพีเอชของน้ำตาลมะพร้าวจากการเคี้ยวที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน จนได้องศาบริกส์เท่ากับ 87

4.4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเคี้ยวน้ำตาลที่มีต่อการเกิดน้ำตาลอินเวอร์ท

เนื่องจากน้ำตาลซูโครสสามารถเกิดการแตกตัวหรือสลายตัวไปเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทได้ โดยการแตกตัวจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 อย่าง คือ เวลา อุณหภูมิ และพีเอช แต่สำหรับการทดลองนี้ค่าพีเอชอาจจะมีผลน้อยมาก เพราะในการทดลองเคี้ยวน้ำตาลได้ใช้น้ำตาลมะพร้าวที่มาจากแหล่งและฤดูเก็บเกี่ยวเดียวกันทุกการทดลอง ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำตาลที่ได้ระหว่างการเคี้ยวก็ค่อนข้างคงที่ (หัวข้อ 4.4.2) ดังนั้นเราจึงพิจารณาในส่วนของอุณหภูมิและเวลาที่จะมีผลกระทบต่อการสลายตัวของน้ำตาลซูโครส เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการเคี้ยว นั้นค่อนข้างสูง และการสลายตัวของซูโครส สามารถเริ่มต้นได้ตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป [15] ซึ่งจากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเคี้ยวน้ำตาล จะทำให้มีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทมากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ นั่นคือ การเคี้ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิ 95, 100 และ 105 °C จะทำให้มีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทเท่ากับ 6.58, 8.77 และ 9.75 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ใ้จะเห็นได้ว่าการเคี้ยวน้ำตาลโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °C ซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 90 นาที นั้นจะมีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทที่เกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อทำการเคี้ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิ 100 และ 105 °C ซึ่งเวลาที่ใช้เคี้ยวน้ำตาลคือ 45 และ 30 นาที ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้เวลาที่ใช้ในการเคี้ยวน้ำตาลสดจะมีผลต่อการสลายตัวของน้ำตาลซูโครส แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในขณะที่เคี้ยวน้ำตาลน่าจะมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสมากกว่าเวลา ซึ่งนอกจากอุณหภูมิ และเวลาแล้ว ปริมาณน้ำตาลซูโครสในสารละลายเริ่มต้นก็มีผลต่อการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสด้วย แต่เราไม่ได้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้

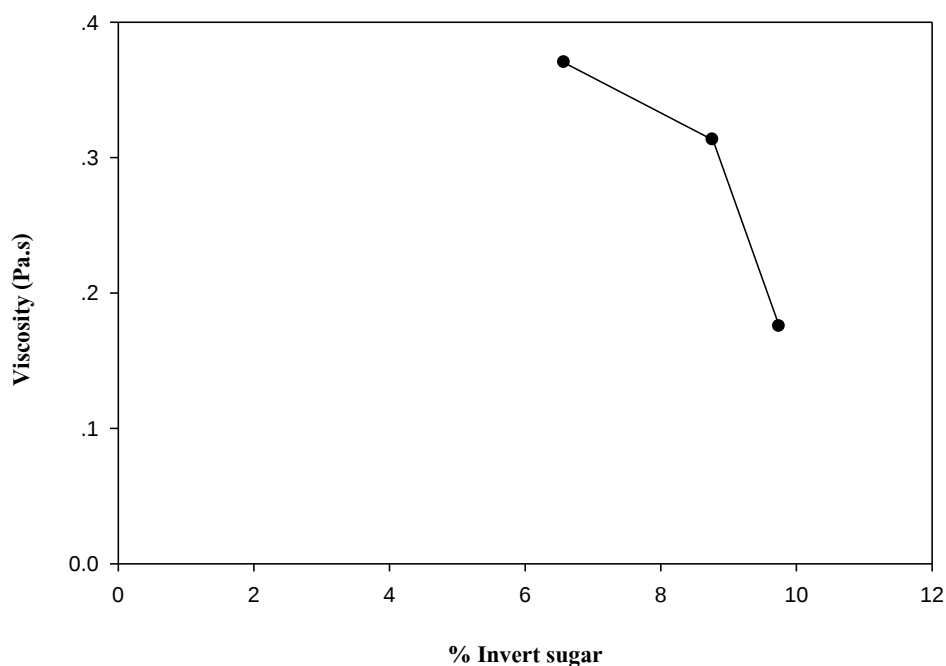


รูปที่ 4.26 เปอร์เซนต์น้ำตาลอินเวอร์ทในน้ำตาลมะพร้าวกับเวลาที่ใช้ในการเคี่ยว ณ อุณหภูมิต่าง ๆ จนได้ออสโมติกเท่ากับ 87

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับน้ำตาลอินเวอร์ทที่ได้จากการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 95, 100 และ 105 °C และให้ออสโมติกเท่ากับ 87 เท่ากันหมดทุกการทดลอง ดังแสดงรูปที่ 4.27 พบว่ามีความสัมพันธ์กันดังนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 95, 100 และ 105 °C จะมีค่าความหนืดของน้ำตาลมะพร้าวหลังเคี่ยวเป็น 0.37, 0.313 และ 0.223 Pa.s และน้ำตาลอินเวอร์ทที่เกิดขึ้นเป็น 6.58, 8.77 และ 9.75% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทที่เกิดขึ้นในขณะเคี่ยวมีค่าน้อย จะทำให้น้ำตาลมีความหนืดสูง ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของน้ำตาลนั้นเกาะรวมตัวกันได้ดี เมื่อนำมาตีขึ้นรูปเป็นน้ำตาลปีบจะได้เนื้อน้ำตาลที่แห้ง แข็ง และสวย ไม่เหลวตัวง่าย

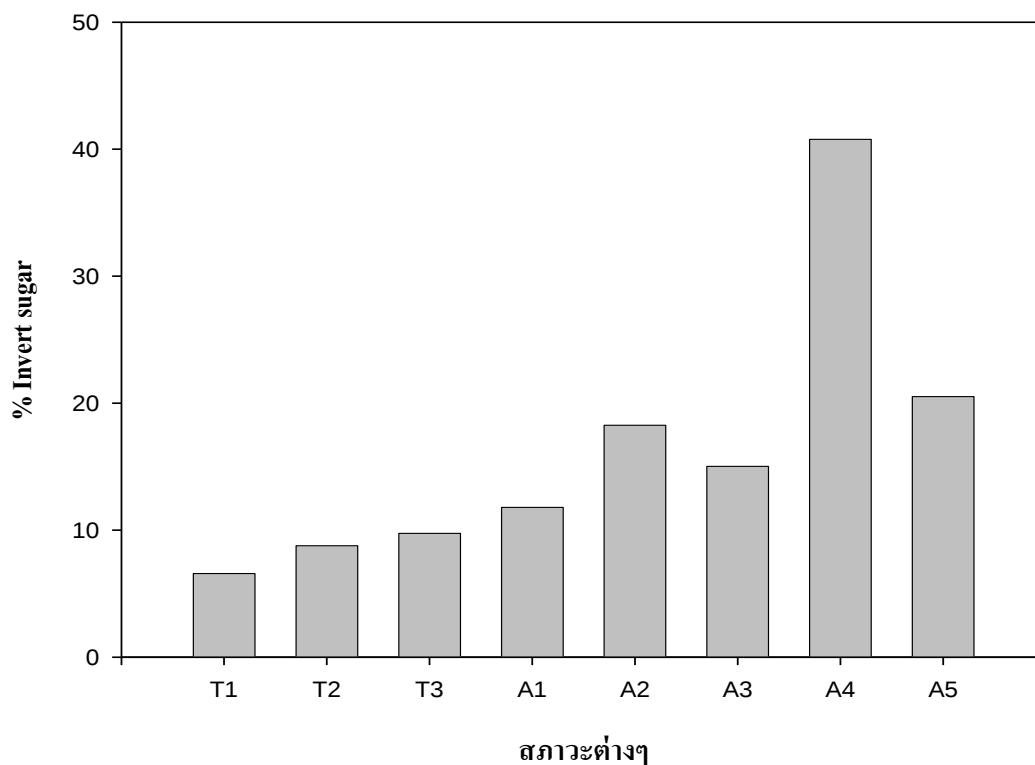
ทั้งนี้อธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับน้ำตาลอินเวอร์ทที่เกิดขึ้นนั้นมาจากการเกิดปฏิกิริยา Inversion ดังนี้คือ ในน้ำตาลมะพร้าวสดเมื่อได้รับความร้อนสูงขณะเคี่ยวจะทำให้โมเลกุลของน้ำตาลซูโครสเกิดการสลายตัวขึ้น และในน้ำตาลมะพร้าวมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก จึงทำให้โมเลกุลของน้ำตาลซูโครสรวมตัวกับน้ำ และเกิดน้ำตาลอินเวอร์ทขึ้นบางส่วน (น้ำตาลอินเวอร์ทจะมีทั้งน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส) ซึ่งจะทำให้น้ำในน้ำตาลมะพร้าวมีปริมาณลดลง

นอกเหนือไปจากส่วนที่ระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำตาลปีบหลังเคี้ยวมีความหนืดลดลง นอกจากนี้ผลของการเกิดน้ำตาลอินเวอร์ทซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และมีขนาดโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่และมีขนาดใหญ่กว่า ก็ทำให้ความหนืดลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.27 เปอร์เซนต์น้ำตาลอินเวอร์ทกับความหนืดในน้ำตาลปีบหลังเคี้ยว จนได้อังศาบริกส์เท่ากับ 87

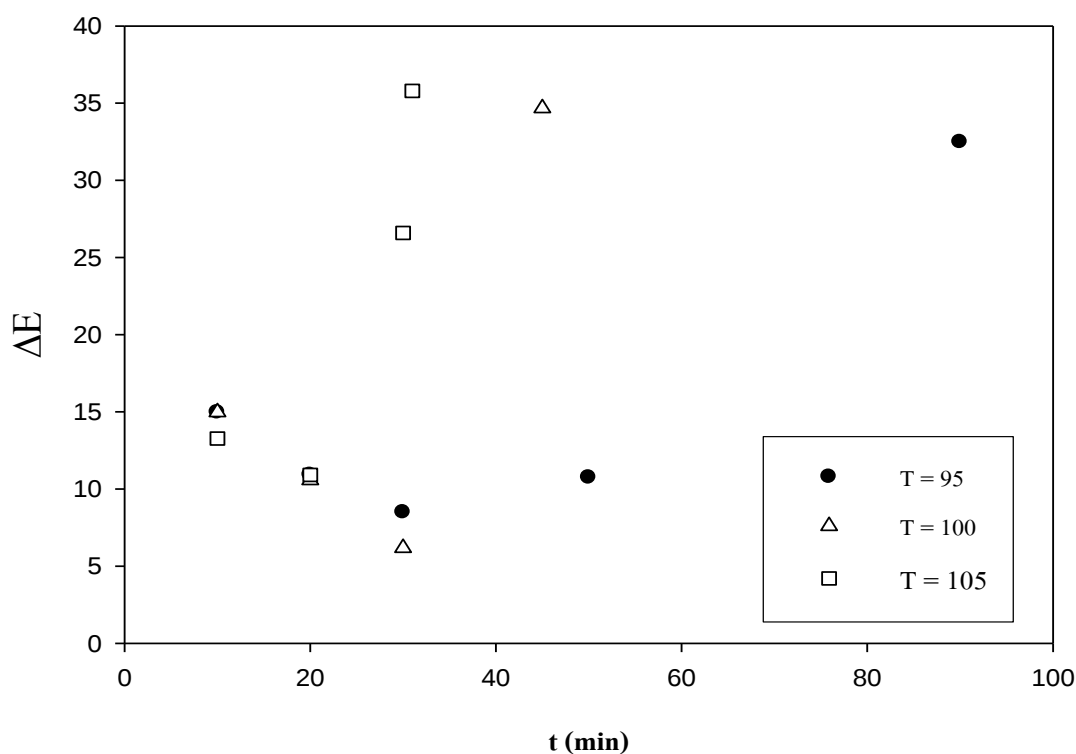
นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำตาลปีบที่ได้จากการทดลองเคี้ยวโดยควบคุมอุณหภูมิที่ค่าต่าง ๆ กับน้ำตาลปีบที่ขายในท้องตลาด พบว่า ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทในน้ำตาลปีบที่ได้จากการเคี้ยวโดยควบคุมอุณหภูมิ จะมีค่าน้อยกว่าในน้ำตาลปีบที่ขายตามท้องตลาดดังรูปที่ 4.28 เนื่องมาจากการควบคุมอุณหภูมิในขณะเคี้ยว ($T_1 = 95$, $T_2 = 100$ และ $T_3 = 105^{\circ}\text{C}$) จะทำให้การเกิดปฏิกิริยา Inversion ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้การปล่อยให้อุณหภูมิที่เคี้ยวน้ำตาลสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามกรรมวิธีของชาวบ้านทั่ว ๆ ไป (A1-A5) จะทำให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถไปเร่งการเกิดปฏิกิริยา Inversion ทำให้น้ำตาลซูโครสสลายตัวไปเป็นน้ำตาลอินเวอร์ท (น้ำตาลกลูโคสกับน้ำตาลฟรุคโทส) ได้เร็วขึ้น ซึ่งน้ำตาลอินเวอร์ทที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดและลักษณะของเนื่อน้ำตาลปีบด้วยดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 เปอร์เซนต์น้ำตาลอินเวอร์ทในน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยว ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (T1: 90, T2: 100 และ T3: 105 °C) จนได้องศาบริกส์เท่ากับ 87 เปรียบเทียบกับน้ำตาลปี๊บตัวอย่าง (A1 - A5)

4.4.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเคี่ยวน้ำตาลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ของน้ำตาลปี๊บ

ในการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลที่ยกลงจากเตาใหม่ ๆ จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสและเหนียวหนืด มีสีเหลืองอ่อน ๆ คล้ายน้ำผึ้ง เมื่อนำน้ำตาลมาทวนหรือกระทั่งตามแบบของชาวบ้านเพื่อเป็นการไล่ไอน้ำในน้ำตาลให้ระเหยออก จะทำให้น้ำตาลมีอุณหภูมิต่ำลงและเปลี่ยนน้ำตาลที่มีลักษณะของเหลวใสให้เป็นขาวขุ่น และแข็งตัวเป็นน้ำตาลปี๊บได้เร็วขึ้น จากการทดลองดังหัวข้อ 3.3.3 และผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.29 จะพบว่าเมื่อทำการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยควบคุมที่อุณหภูมิ 95, 100 และ 105 °C จะได้ค่า ΔE เท่ากับ 32.47, 34.68 และ 35.80 ตามลำดับ ซึ่งค่า ΔE ที่ได้นั้นมีค่าลดลงเมื่อทำการเคี่ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการเคี่ยวนานขึ้น ทั้งนี้เป็นที่สังเกตว่า การทดลองในหัวข้อ 3.3.3 ที่ใช้สภาวะอุณหภูมิเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 3.3.1 แต่ให้ผลค่า ΔE ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะเป็นเพราะน้ำตาลมะพร้าวสดเริ่มต้นที่นำมาทดลองเป็นคนละชุด คนละฤดู รวมทั้งปริมาณที่ใช้ในการเคี่ยวที่ต่างกัน ทำให้ส่งผลต่อค่า ΔE ที่แตกต่างกันด้วย

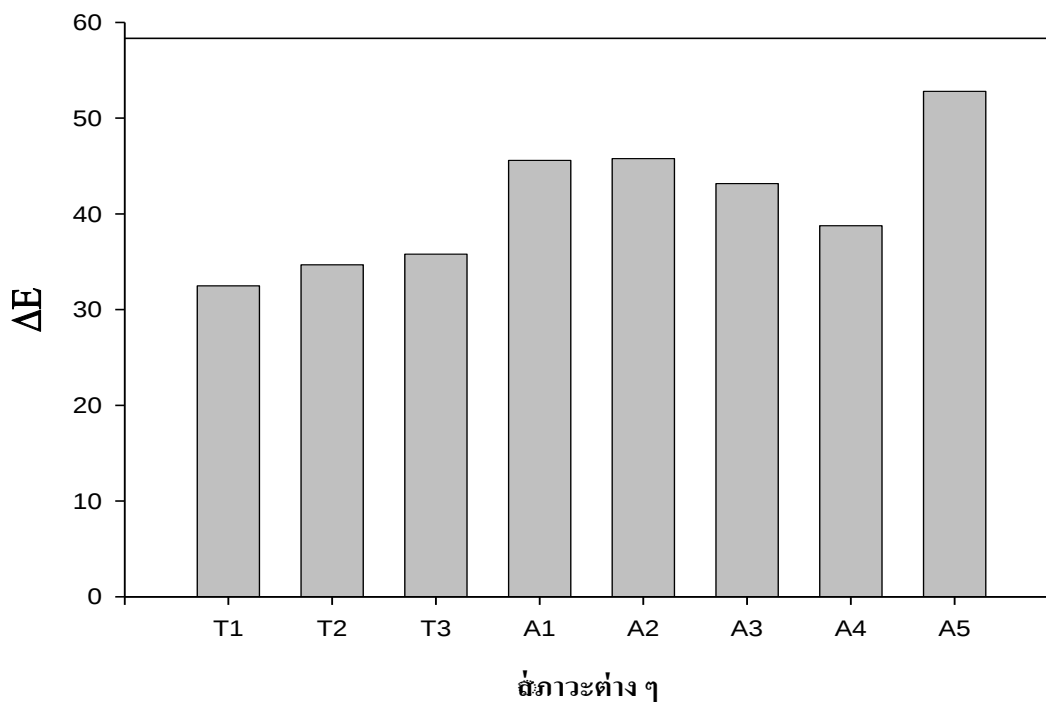


รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่า Hunter Parameter (ΔE) ของน้ำตาลจากการเคี่ยวที่อุณหภูมิต่าง ๆ จนได้ออสคาริกส์เท่ากับ 87 แล้วกวนด้วยความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที

ทั้งนี้การเคี่ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) ของน้ำตาลและมีการรวมตัวกัน (Condensation) ระหว่างน้ำตาลกับสารสีที่เกิดขึ้นพัฒนาจนเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม โดยส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวจะมีน้ำตาลซูโครสอยู่ เมื่อนำไปให้ความร้อนน้ำจะระเหยออกไปจนเหลือแต่โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสกับน้ำตาลฟรุกโทสทำปฏิกิริยากับเอมีนที่ได้มาจากโปรตีนและวิตามินบีหนึ่ง (ไทอะมิน) ในน้ำตาลมะพร้าวจึงทำให้เกิด Maillard Reaction ขึ้นซึ่งจะส่งผลให้น้ำตาลปืบที่เคี่ยวได้นั้นมีสีน้ำตาลเข้ม

กล่าวโดยสรุป การวัดการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) จะเป็นตัวหนึ่งในตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำตาลปืบที่ดี โดยในการเคี่ยวน้ำตาลนั้น อุณหภูมิมีส่วนสำคัญทำให้น้ำตาลปืบที่ได้มีสีที่อ่อนจนถึงสีเข้ม และจะส่งผลถึงรสชาติของน้ำตาลปืบอีกด้วย ถ้าน้ำตาลปืบที่เคี่ยวได้มีสีเหลืองอ่อนคล้ายน้ำผึ้งจะเกิดจากการเคี่ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิไม่สูงมาก ทำให้น้ำตาลปืบมีรสชาติหวานหอมน่ารับประทาน แต่ถ้าน้ำตาลปืบที่เคี่ยวได้มีสีเหลืองเข้มมากจนเป็นสีแดงส้มนั้น เกิดจาก Maillard Reaction น้ำตาลปืบที่ได้จะมีรสชาติขม จากรูปที่ 4.30 พบว่าเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ที่เกิดขึ้นในน้ำตาลปืบที่ควบคุมอุณหภูมิ (T1 - T3) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำตาลปืบที่ขายในท้องตลาด (A1 - A5) ที่ไม่ได้ควบคุม

อุณหภูมิ การใช้อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวกลางในการเร่งปฏิกิริยา Maillard ทำให้เกิดสารสีเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นในการเคี้ยวน้ำตาลจากควบคุมอุณหภูมิ (T1 - T3) จะให้สีเหลืองอ่อนได้โดยไม่ต้องใช้สารฟอกสี



รูปที่ 4.30 Hunter parameter (ΔE) ที่ได้จากการเคี้ยวน้ำตาลปีบ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (T1: 90, T2: 100 และ T3: 105°C) เปรียบเทียบกับน้ำตาลปีบตัวอย่าง (A1 - A5)

หมายเหตุ: น้ำตาลปีบตัวอย่าง A1 -A5 เป็นคนละตัวอย่างกับที่อ้างอิงในหัวข้อ 4.1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ค่าสีมาตรฐานของน้ำตาลมะพร้าว

น้ำตาลจากแหล่งที่ 2 คือ อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร มีค่าสีที่ผู้บริโภคมักเป็นอันดับหนึ่ง จึงใช้เป็นสีมาตรฐานผู้บริโภคในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งมีค่า Hunter parameter คือ ค่า L, a, b และ ΔE เท่ากับ 45.52, 5.18, 19.28 และ 58.02 ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้บริโภค อาจมีความพึงพอใจในสีที่แตกต่างกันตามการใช้งาน

5.1.2 การศึกษาผลของการควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบในการกวน ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว

- การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวแบบควบคุมอุณหภูมิ จะใช้เวลามากกว่าการเคี่ยวน้ำตาลแบบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ แต่สีของน้ำตาลมะพร้าวที่เคี่ยวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ จะมีสีเข้มกว่าการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวโดยควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา Caramelization ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารสีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า caramel ขึ้นมา จึงทำให้สีของน้ำตาลมะพร้าวแตกต่างกันไปตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเคี่ยว

- การกวนด้วยความเร็วรอบที่สูงขึ้น จะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้มีค่าลดลง

- จากการหาส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าวพบว่าน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ในการเคี่ยวโดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ น้ำตาลมะพร้าวจะประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโทส, กลูโคสและซูโครส เท่ากับ 0.468, 0.501 และ 0.218 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิ ที่ใช้อุณหภูมิในการเคี่ยวต่ำกว่า

- จากการศึกษาทางจลนศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสี ในกระบวนการเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าว พบว่า การเคี่ยวน้ำตาลมะพร้าวที่อุณหภูมิ 90 - 110°C จะให้การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a, b และ ΔE เป็นปฏิกิริยาอันดับ 0 หรือ อันดับ 1 โดยขึ้นกับอุณหภูมิและค่าสีนั้น ๆ และค่าพลังงานกระตุ้นของการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) มีค่า = 3,577.59 kJ/mol

5.1.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าว

จากการควบคุมอุณหภูมิในการทดลองที่ 95, 100 และ 105 °C พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการเคี้ยว น้ำตาลมะพร้าวควรเลือกที่อุณหภูมิ 95 °C เนื่องจากน้ำตาลปี๊บที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่าการเคี้ยวที่ อุณหภูมิที่ 100 และ 105 °C ดังต่อไปนี้

- การเคี้ยวที่อุณหภูมิที่ 95 °C จะใช้เวลานานถึง 90 นาที ในการเคี้ยวให้เป็นน้ำตาลปี๊บ แต่คุณภาพของน้ำตาลที่ได้ จะมีคุณภาพที่ดีกว่าการเคี้ยวน้ำตาลที่ใช้เวลาน้อยกว่าแต่ใช้อุณหภูมิสูง
- น้ำตาลที่เคี้ยวโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °C จะมีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ตที่เกิดขึ้นเพียง 6.58% เมื่อเทียบกับ 8.77% และ 9.75 % ในการเคี้ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิ 100 และ 105 °C ตามลำดับ ซึ่งถ้า เปรอร์เซ็นต์ของน้ำตาลอินเวอร์ตที่เกิดขึ้นในขณะที่เคี้ยวมีน้อย จะส่งผลให้น้ำตาลปี๊บที่ได้มีคุณภาพดี มี เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งและ เก็บไว้ได้นานกว่า
- สีของน้ำตาลปี๊บที่เคี้ยวที่ 95 °C จะได้ค่า ΔE เท่ากับ 32.47 เป็นค่าที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การเคี้ยวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใส่สารฟอกขาวในน้ำตาลมะพร้าว ทั้งนี้สีและ ลักษณะของน้ำตาลปี๊บที่ผู้บริโภคพึงใจ อาจแตกต่างกัน โดยขึ้นกับการนำไปใช้งานและความชอบ ส่วนบุคคลเป็นหลัก

5.1 ข้อเสนอแนะ

1. การทำงานวิจัยเกี่ยวกับน้ำตาลมะพร้าวต้องมีการเก็บรักษาน้ำตาลมะพร้าวอย่างดีในตู้แช่แข็ง ในระยะเวลาที่เหมาะสม และต้องควบคุมอุณหภูมิให้แข็งเยนอยู่ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้ส่วนประกอบใน น้ำตาลมะพร้าวเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อค่าของน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ และหากเก็บน้ำตาลมะพร้าวสด นานเกินไปจะทำให้คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส และกลิ่นไม่ดีเท่าที่ควร
2. การศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวนั้น อาจมี ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในวันนั้น ๆ เพราะในการทดลองได้ทำการ ทดลองในระบบเปิด ซึ่งเป็นการทดลองที่เหมือนกับการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าวของเกษตรกร

เอกสารอ้างอิง

1. ศิริพร สิริสุทธีรัตน์, 2519, การศึกษากระบวนการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1-50.
2. รักษ์พงษ์ ศักดิ์ธำรักษ์, วรวิมล จักรพันธ์ ณ อุรุยา และ สุทธิชัย วรรัตนกุล, 2541, การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลในผลไม้แช่อิ่มขณะอบแห้ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 1-10.
3. Amton Apriyantono, Astrid Aristyani, Nurhayati, Yeni Lini, Slamet Budiyo, Scekarto, **“Rate of Browning Reaction during Preparations of Coconut and Palm Sugar ”**, Vol. 24, pp. 275-278.
4. Marisa, R., Naphaporn, C. And Walaiporn, S., 2004, “Effect of Thermal Processing on the Quality Loss of Pineapple Juice”, **Journal of Food Engineering** , Vol. 66, No. 2 , pp. 259-278.
5. สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, การปลูกมะพร้าว [Online], Available : <http://www.doae.go.th/library/html/detail/coconut> [2005,September 11].
6. เวนิการ์ เบญจพงษ์, ประภา คงปัญญา., 2539, “น้ำตาลมะพร้าว”, วารสารหมอชาวบ้าน, ปีที่ 25, ฉบับที่ 29, หน้า 49-51.
7. นิमित วรพันธ์, 2502, “การปรับปรุงคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด”, วารสารวิทยาศาสตร์, หน้า 38-43.
8. Botany 115 Terminology, **Inflorescence Terminology Part 1** [Online], Available : <http://waynesword.palomar.edu/terminf1.htm> [2005,September 11].
9. สำนักงานเกษตรอำเภอ จังหวัดสมุทรสงคราม, การเก็บน้ำตาลมะพร้าว [Online], Available : <http://samutsongkham.doae.go.th/bangkhonthi/product.htm>[2005,September 11].
10. Child, R., 1936, “Production of Sugar from Sweet Coconut Toddy”, **Ceylon Trade Journal**, Vol. 1, No. 12 , pp. 410-415.
11. ประเทือง วงศ์สง่า, 2503, การวิเคราะห์น้ำตาลมะพร้าวสด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 10-15.
12. วิไล รังสาทอง, 2546, “การทำแห้ง”, เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 3, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 465-480.

13. สมชาย โอสุวรรณ, 2532, **ฉันทน์พลศาสตร์วิศวกรรมเคมี**, โรงพิมพ์ใจทอง, หน้า 50-65.

ภาคผนวก ก
แบบสอบถามและผลการสำรวจความคิดเห็น

ก. 1 ตัวอย่างแบบสอบถาม

1. คุณใช้น้ำตาลมะพร้าวทำอะไรบ้าง

- ☐ ทำขนม ☐ ทำอาหาร
☐ อื่น ๆ _____

2. ทำไมจึงเลือกใช้น้ำตาลมะพร้าว

- ☐ มีกลิ่นหอม ☐ มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย
☐ ใช้ตามสูตรอาหาร ☐ หาซื้อง่าย

กรุณาใส่คะแนนตามความคิดเห็น โดย

- 5 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด
4 คะแนน คือ ชอบที่สุด
3 คะแนน คือ ชอบมาก
2 คะแนน คือ ชอบ
1 คะแนน คือ ไม่ชอบ

หัวข้อ	เบอร์ 1	เบอร์ 2	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
คุณชอบใช้น้ำตาลมะพร้าวแบบไหน					
คุณชอบลักษณะเนื้อน้ำตาลมะพร้าวแบบใด					
คุณชอบกลิ่นน้ำตาลมะพร้าวแบบใด					
คุณชอบรสน้ำตาลมะพร้าวแบบใด					

ก. 2 ผลการสำรวจแบบสอบถาม

โดยสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง 100 คน

คำถาม	จำนวนคน
1. คุณใช้น้ำตาลมะพร้าวทำอะไรบ้าง	
- ทำขนม	58
- ทำอาหาร	42
2. ทำไมจึงเลือกใช้น้ำตาลมะพร้าว	
- มีกลิ่นหอม	35
- ใช้ตามสูตรอาหาร	28
- มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย	22
- หาซื้อง่าย	15

หัวข้อ	เบอร์ 1	เบอร์ 2	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
คุณชอบสีน้ำตาลมะพร้าวแบบไหน	18	32	14	9	27
คุณชอบลักษณะเนื้อน้ำตาลมะพร้าวแบบใด	17	34	13	11	25
คุณชอบกลิ่นน้ำตาลมะพร้าวแบบใด	26	23	11	10	30
คุณชอบรสน้ำตาลมะพร้าวแบบใด	33	26	11	18	22

ก.3 สีของน้ำตาลมะพร้าวจากแหล่งต่าง ๆ



รูปที่ ก. 1 น้ำตาลมะพร้าวจากสวนคุณเล็ก อ. แม่กลอง จ. สมุทรสาคร



รูปที่ ก. 2 น้ำตาลมะพร้าวจาก อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร



รูปที่ ก. 3 น้ำตาลมะพร้าวจากตลาดบางประกอก



รูปที่ ก. 4 น้ำตาลมะพร้าวจากตลาดราษฎร์บูรณะ



รูปที่ ก. 5 น้ำตาลมะพร้าวจากตลาดทุ่งครุ



รูปที่ ก. 6 สีของน้ำตาลมะพร้าวขณะเคี่ยวช่วงที่เป็นของเหลว โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 15 นาที

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ตาราง ข. 1 ค่า Hunter parameter ของน้ำตาลมะพร้าวจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งน้ำตาลมะพร้าว	ครั้งที่	L	a	b	ΔE
สวนน้ำตาลมะพร้าว คุณเล็ก อ.แม่กลอง จ.สมุทรสาคร	1	57.03	2.14	16.18	45.97
	2	57.03	2.14	16.19	
	3	57.04	2.15	16.18	
	avg	57.03	2.14	16.18	
อ.บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร	1	45.55	5.19	19.27	58.02
	2	45.52	5.17	19.25	
	3	45.49	5.20	19.23	
	avg	45.52	5.18	19.28	
ตลาดราษฎร์บูรณะ	1	60.74	1.14	15.47	42.29
	2	60.74	1.15	15.47	
	3	60.57	1.14	15.49	
	avg	60.65	1.14	15.48	
ตลาดทุ่งครุ	1	50.28	3.50	19.47	53.59
	2	50.19	3.49	19.46	
	3	50.10	3.49	19.42	
	avg	50.19	3.49	19.45	

ตาราง ข.2 ค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล Standard กับค่าพื้นที่โดยการใช้เครื่อง HPLC

ชนิดของ Standard	ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Area
Glucose	500	1	62.231
		2	65.451
		3	64.020
		avg	63.900
	1000	1	123.210
		2	119.320
		3	121.650
		avg	121.393
	1500	1	186.330
		2	188.327
		3	193.241
		avg	189.299
Fructose	500	1	65.116
		2	63.947
		3	62.351
		avg	63.804
	1000	1	121.284
		2	119.889
		3	125.220
		avg	122.131
	1500	1	181.414
		2	183.726
		3	189.360
		avg	189.360

ตาราง ข.2 (ต่อ)

ชนิดของ Standard	ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Area
Sucrose	500	1	64.721
		2	59.489
		3	63.215
		avg	62.478
	1000	1	133.272
		2	123.260
		3	125.997
		avg	127.509
	1500	1	211.905
		2	183.256
		3	196.321
		avg	197.160

ตาราง ข.3 ค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลต่างๆในน้ำตาลมะพร้าวสดตอนเริ่มต้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นและ acetonitrile 1 : 50

ชนิดของน้ำตาล	ครั้งที่	Area	ความเข้มข้น (ppm)
Glucose	1	154.82	1174.067
	2	139.872	
	3	145.231	
	avg	146.641	
Fructose	1	196.886	1486.797
	2	182.320	
	3	179.236	
	avg	186.147	
Sucrose	1	77.202	582.694
	2	71.664	
	3	78.210	
	avg	75.692	

ตาราง ข. 4 ค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลต่างๆในน้ำตาลมะพร้าวที่เกี่ยวโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 $\pm$ 5°C (เจือจางด้วยน้ำกลั่นและ acetonitrile 1 : 200)

ชนิดของน้ำตาล	ครั้งที่	Area	ความเข้มข้น (ppm)
Glucose	1	135.389	1111.865
	2	141.571	
	3	139.658	
	avg	138.872	
Fructose	1	153.749	1202.915
	2	146.865	
	3	151.202	
	avg	150.605	
Sucrose	1	118.203	912.694
	2	117.922	
	3	119.554	
	avg	118.559	

ตาราง ข. 5 ค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลต่างๆในน้ำตาลมะพร้าวที่เกี่ยวโดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ (เจือจางด้วยน้ำกลั่นและ acetonitrile 1 : 400)

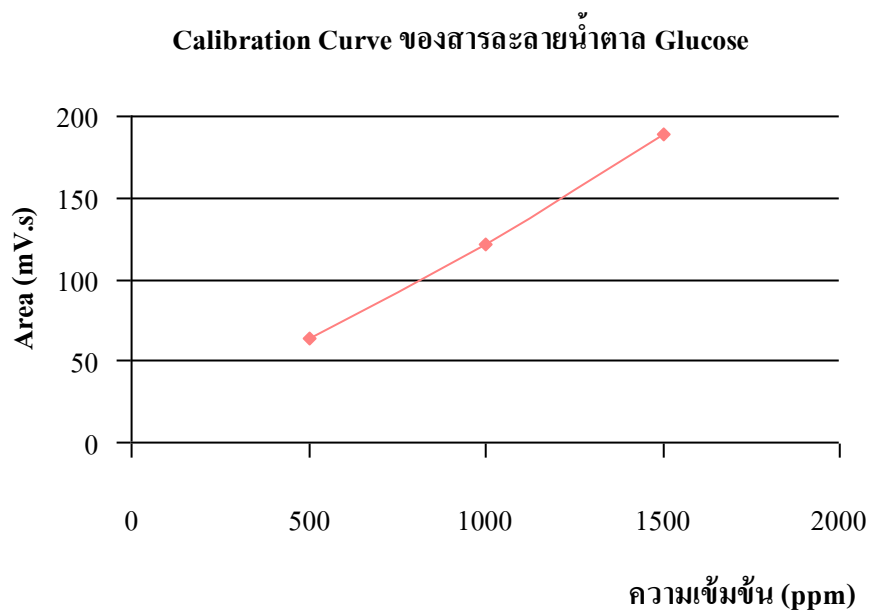
ชนิดของน้ำตาล	ครั้งที่	Area	ความเข้มข้น (ppm)
Glucose	1	140.977	1156.172
	2	147.375	
	3	144.867	
	avg	144.406	
Fructose	1	153.452	1252.652
	2	159.723	
	3	157.323	
	avg	156.832	
Sucrose	1	72.317	546.220
	2	68.516	
	3	72.029	
	avg	70.954	

ตาราง ข. 6 สรุปค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในการเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะต่างๆ

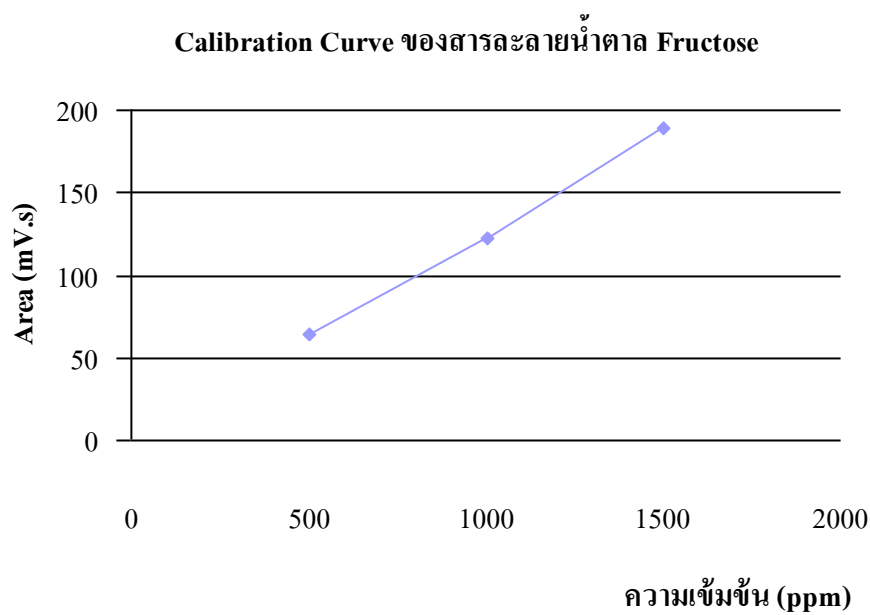
สภาวะในการเกี่ยวน้ำตาล	ชนิดของน้ำตาล	ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้น (mg/ml)
เริ่มต้น	Glucose	58703.35	0.059
	Fructose	74339.85	0.074
	Sucrose	29134.70	0.029
ควบคุมอุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$	Glucose	222373.00	0.222
	Fructose	242373.80	0.242
	Sucrose	182538.80	0.183
ไม่ควบคุมอุณหภูมิ	Glucose	462468.80	0.468
	Fructose	501060.80	0.501
	Sucrose	218488.00	0.218

ตาราง ข.7 ค่า R^2 ในการหาอันดับของการเปลี่ยนแปลงสีในการเกี่ยวน้ำตาลที่อุณหภูมิต่างๆ ดังการทดลองหัวข้อ 3.3.1

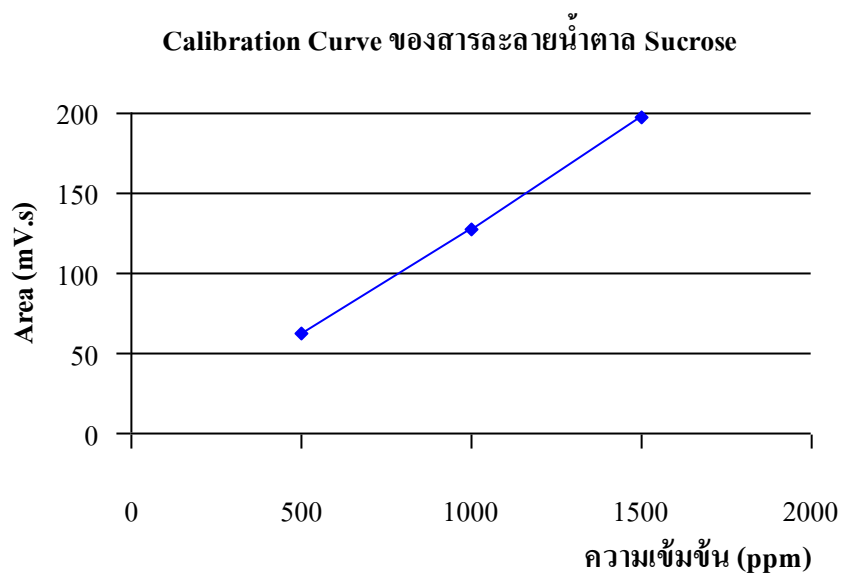
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	R^2							
	อันดับปฏิกิริยาศูนย์				อันดับปฏิกิริยาหนึ่ง			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
90 ± 5	0.8786	0.7299	0.8402	0.9170	0.8986	0.7597	0.9142	0.9113
100 ± 5	0.8994	0.9833	0.8723	0.9278	0.8958	0.0048	0.9434	0.9317
110 ± 5	0.9454	0.9992	0.9500	0.9470	0.4880	0.8122	0.7825	1.0000



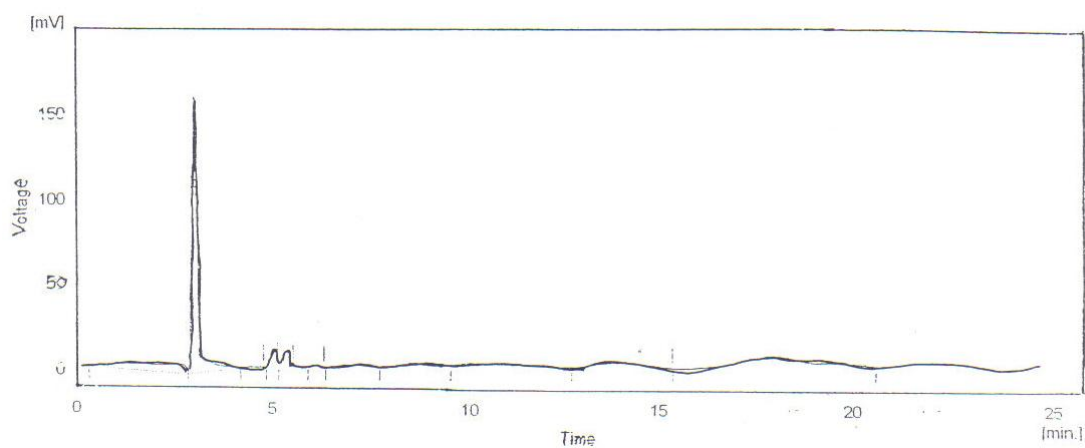
รูปที่ ข. 1 กราฟแสดงมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลกลูโคส



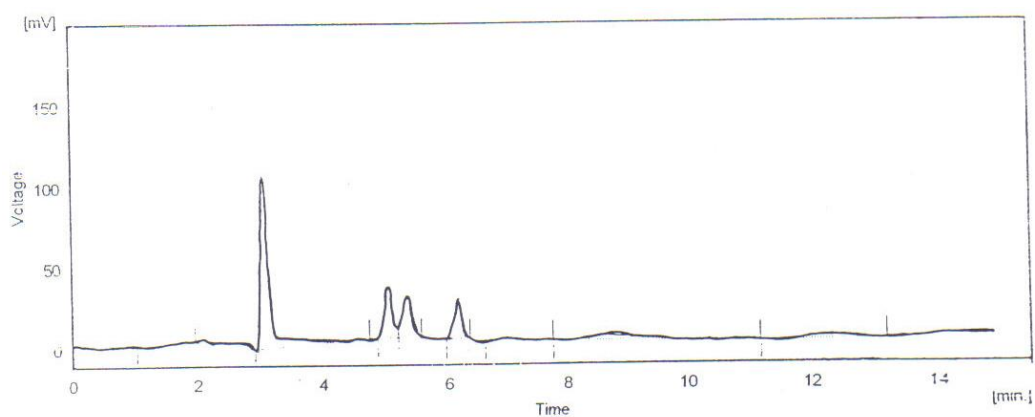
รูปที่ ข. 2 กราฟแสดงมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลฟรุคโทส



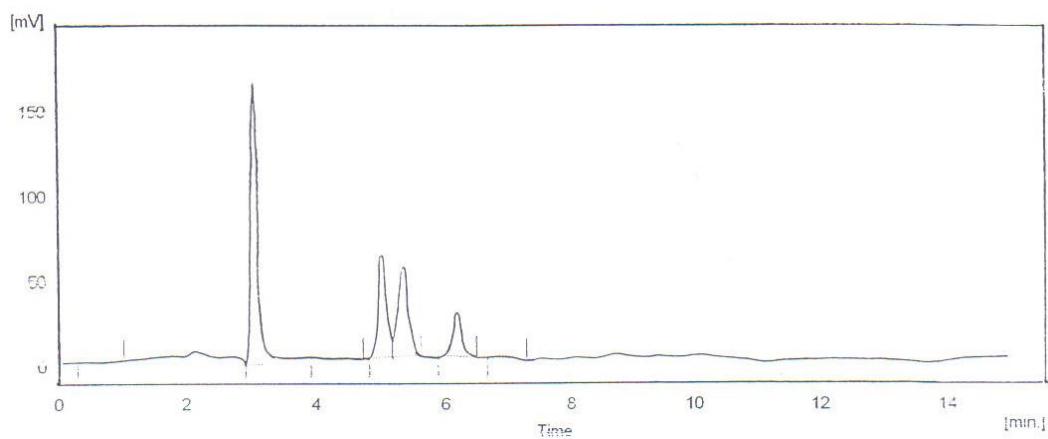
รูปที่ ข. 3 กราฟแสดงมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลซูโครส



รูปที่ ข. 4 โครมาโตแกรมของน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะเริ่มต้น เจือจาง 1 : 50



รูปที่ ข. 5 โครมาโตแกรมของน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะเคี้ยวแบบควบคุมอุณหภูมิ เจือจาง 1 : 200



รูปที่ ข. 6 โครมาโตแกรมของน้ำตาลมะพร้าวที่สภาวะเคี้ยว
แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ เจือจาง 1:1400

ตารางที่ ข.8 คุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำตาลปี๊บตัวอย่างที่ได้จากท้องตลาด

ตัวอย่าง	แหล่งที่มา ของน้ำตาลปี๊บ	อายุการเก็บ (เดือน)	Invert Sugar (%)	°Brix	Viscosity (Pa.s)	Texture (Kg)	สี (ΔE)
A1	1.บ้านพี่เล็ก	0	11.80	83	3.0680E-01	13.80	45.97
		2				2.16	49.41
A2	2.บ้านคุณลุง	0	18.26	81	2.2742E-01	15.20	45.77
		2				3.75	50.74
A3	3.จ.สมุทรสาคร	0	15.02	85	4.2407E-01	19.20	43.16
		2				8.87	47.97
A4	4.จ.สมุทรสงคราม	0	40.77	84	3.5288	16.40	38.72
		2				4.94	39.29
A5	5.มิตรผล	0	20.52	83	3.4279E-01	-	52.79
		2				-	56.17

หมายเหตุ :

- ตัวอย่างที่ A1- A5 เป็นน้ำตาลมะพร้าวที่ทำขายในรูปของน้ำตาลปี๊บ (ที่มีขายในท้องตลาด และใช้เป็นน้ำตาลตัวอย่างในการเปรียบเทียบ)
- ตัวอย่างที่ A1- A3 เป็นตัวอย่างน้ำตาลปี๊บโดยทำการเคี่ยวที่ จ.สมุทรสาครได้รับตัวอย่างน้ำตาลปี๊บเมื่อวันที่ 05/08/48 โดยเจ้าของสวนชื่อคุณเล็ก อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นคนช่วยเก็บตัวอย่างมาให้
- ตัวอย่างที่ A1 เป็นน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยวโดยไม่มีการใส่สารฟอกสี เบะแซ และน้ำตาลทราย
- ตัวอย่างที่ A2 เป็นน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยวโดยมีการใส่น้ำตาลทราย
- ตัวอย่างที่ A3 เป็นน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยวโดยมีการใส่สารฟอกสี และน้ำตาลทราย
- ตัวอย่างที่ A4 เป็นน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยวโดยมีการใส่สารฟอกสี และเบะแซ
- ตัวอย่างที่ A5 เป็นน้ำตาลปี๊บที่เคี่ยวโดยมีการใส่สารกันบูดและกลิ่นของมะพร้าวน้ำหอม

คุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าวสดที่ใช้ในการทดลองเดี่ยว (การทดลอง 3.3.3)

■ pH	4.12
■ °Brix	15.00
■ Color (ΔE)	70.99 (a = 2.40 , b = 6.40 , L = 29.30)
■ Invert Sugar (%)	1.23
■ Viscosity (Pas)	0.00285
■ Sucrose (%)	83.61

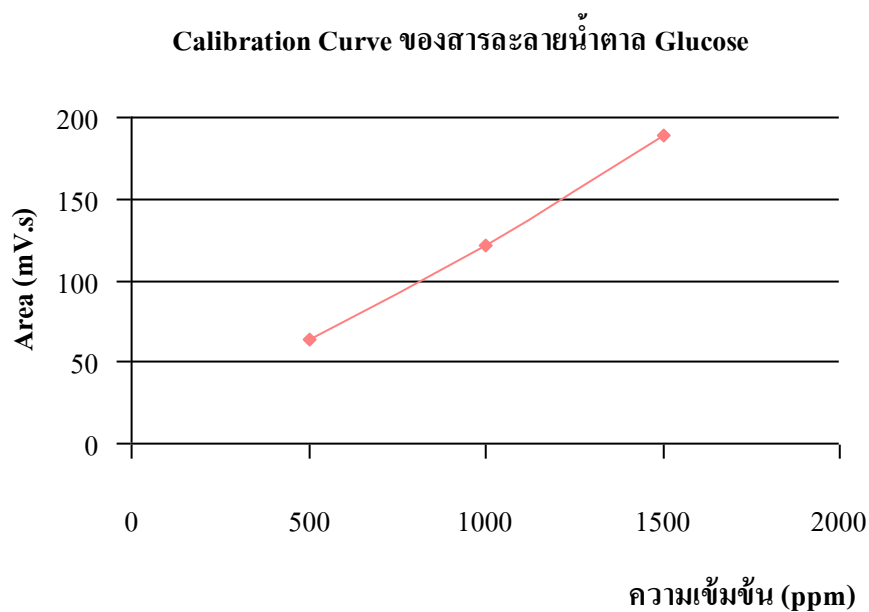
ตารางที่ ข.9 ค่า Hunter Parameter และ Texture ของน้ำตาลปีบหลังเคี้ยวที่สภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้ 2 เดือน

ชื่อ	อายุการเก็บ (เดือน)	L (ความ สว่าง)	a (สีแดง)	b (สีเหลือง)	ΔE	Texture (Kg)
T 1= 95 °C	0	63.80	1.10	15.90	33.70	17.66
	2	59.74	3.39	27.10	41.64	5.27
T 2= 100°C	0	62.40	1.20	16.70	35.29	13.93
	2	58.78	2.00	24.25	42.66	5.20
T3 = 105 °C	0	60.00	1.03	16.90	37.23	3.25
	2	65.31	1.55	24.09	37.12	0.32

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ค. 1 การหาปริมาณส่วนประกอบของน้ำตาลมะพร้าว



จากกราฟเป็นการแสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

จากกราฟ $y = 0.1249x$

x คือค่าความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส

y คือ Area (mV.s) ที่ได้จากเครื่อง HPLC

ดังนั้น

ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส = $(y/0.1249) \times \text{dilution}$

เช่น จากตารางที่ ข.3 การหาความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในน้ำตาลมะพร้าวสดที่สภาวะเริ่มต้น

$$\begin{aligned}
 \text{ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส} &= (146.64/0.1249) \times 50 \\
 &= 58703.35 \text{ ppm} \\
 &= 0.059 \text{ mg/ml}
 \end{aligned}$$

ค. 2 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE)

ข้อมูลจากตาราง ข. 1 แหล่งน้ำตามะพร้าวที่ 2 (อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร)
เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง Colorimeter มีค่าดังนี้

$$L = 45.52$$

$$a = 5.18$$

$$b = 19.28$$

คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE) จากสมการที่ (2.2)

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]} \quad (2.2)$$

$$(\Delta L) = L_f - L_0$$

$$(\Delta a) = a_f - a_0$$

$$(\Delta b) = b_f - b_0$$

เมื่อ L_f = ค่าความสว่างของสี ณ จุดใดๆ

a_f = ค่าแสดงความเป็นสีเขียวถึงสีแดง ณ จุดใดๆ

b_f = ค่าแสดงความเป็นสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ณ จุดใดๆ

- สำหรับของเหลวค่า $L_0 = 100$, $a_0 = 0$, $b_0 = 0$
- สำหรับของแข็งค่า $L_0 = 93.54$, $a_0 = 0.27$, $b_0 = 0.05$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.2) จะได้

$$\begin{aligned} \Delta E &= \sqrt{[(45.52-100)^2 + (5.18-0)^2 + (19.28-0)^2]} \\ &= 58.02 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล

การหา Invert sugar และ Total sugar โดยวิธี Lane and Eynon Volumetric Method[1]

ง.1 สารเคมีที่ใช้

- Fehling's Solution A Copper Sulphate Solution เตรียมโดยละลาย Copper Sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 69.28 ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร
- Fehling's Solution B Alkaline Tartrate Solution เตรียมโดยละลาย Rochell Salt ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 346 กรัม และ NaOH 100 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
- Methylene Blue 1 กรัม เตรียมโดยละลาย Methylene Blue 1 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร
- Neutral Lead Acetate Solution 10 % เตรียมโดยละลาย Neutral Lead Acetate 50 กรัมในน้ำกลั่น แล้วทำให้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร
- Potassium Oxalate Solution 10 % เตรียมโดยละลาย Potassium Oxalate 50 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้ปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร
- Standard Dextrose Solution เตรียมโดยละลาย Pure Anhydrous Dextrose ที่ชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ง.2 การหาค่ามาตรฐาน (ใช้วิธี Incremental Method หรือ Preliminary Method)

Preliminary Determination

- ใช้ ปิเปตดูดสารละลาย Fehling's Solution A และ B มาอย่างละ 5 มิลลิลิตร ใส่รวมกันลงไป ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย Dextrose จากบิวเรตลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- นำไปต้มให้เดือดโดยเร็ว เมื่อเดือดได้ประมาณ 15 วินาที เติมสารละลาย Methylene- Blue ลงไป 2 - 5 หยด ซึ่งควรจะเกิดสีน้ำเงินชัดเจน (ถ้าไม่เกิดสีน้ำเงินแสดงว่าใช้ Dextrose หรือตัวอย่างน้ำตาลมากเกินไป ต้องเททิ้งและทำใหม่โดยลดปริมาณของ Dextrose หรือตัวอย่างน้ำตาลลง) ทำ

การไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินของ Methylene Blue เปลี่ยนเป็นสีแดงอิฐ แสดงว่าถึงจุด End Point ในระหว่างการไทเทรตจะต้องให้สารละลายใน Flask เคঁอดและควรเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา

- บันทึกจำนวนของสารละลาย Dextrose ที่ใช้ในการไทเทรต ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง End point

Accurate determination

- ดำเนินการเช่นเดียวกับ Preliminary Determination แต่เติมสารละลาย Dextrose ลงไปใน Flask จนเกือบจนถึง End Point แล้วนำไปตั้งไฟต้มให้เคঁอดโดยเร็ว ปล่อยให้เคঁอดอย่างสม่ำเสมอ 2 นาที เติมสารละลาย Methylene Blue ลงไป 2 - 5 หยด (หลังจากเติม Methylene Blue ต้องทำให้สารละลายใน Flask เคঁอดตลอดเวลาพร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากันเสมอ) ไทเทรตต่อไปโดยเติมสารละลาย Dextrose ครั้งละ 2 - 3 หยด จนกระทั่งถึง End point ทำการไทเทรตนี้ให้เสร็จภายใน 1 นาที
- บันทึกจำนวนของสารละลาย Dextrose ที่ใช้ในการไทเทรต

การหาค่า Factor (F) ของ Fehling 's Solution

Factor (F) = (Titrate Volume) ((g) of Dextrose in 1 ml)

ง.3 การหา Invert Sugar และ Total Sugar ในน้ำตาลสดและน้ำตาลปีบ

- ชั่งน้ำตาลสดมาให้รู้ค่าที่แน่นอน (ประมาณ 120 กรัม) แล้วเทใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติม 10% Neutral Lead Acetate Solution ลงไป 25 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาณครบ 250 มิลลิลิตร เขย่าและกรอง
- คูด Filtrate ที่กรองแล้วมา 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 10% Potassium Oxalate Solution ลงไป 10 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นให้ครบ 250 มิลลิลิตร เขย่าแล้วกรอง
- แบ่ง Filtrate ออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งประมาณ 150 มิลลิลิตร เก็บไว้ไทเทรตตามวิธีในข้อ ง.2
- ส่วนที่สองสำหรับหา Total Sugar โดยคูด Filtrate มา 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Conc. HCl 5 มิลลิลิตรแล้วนำไปอุ่นบน Water Bath ที่ 70 °C นาน 15 นาที เพื่อให้เกิด Hydrolysis จากนั้นทำให้เย็นลง และ Neutralize ด้วย Concentrate Sodium-Hydroxide Solution เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 250 มิลลิลิตร แล้วนำมาไทเทรตตามวิธีในข้อ ง.2

ง.4 การคำนวณ

ถ้าใช้น้ำตาลสด W กรัม ละลายได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วดูดมา 100 มิลลิลิตร มา Dilute เป็น 250 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ Dilute แล้วมาทำการไตเตรต

$$\% \text{ Invert Sugars} = \frac{F \times 100 \times 250 \times 250}{W \times 100 \times V}$$

$$\% \text{ Total Sugars} = \frac{F \times 100 \times 250 \times 250 \times 250}{W \times 100 \times 20 \times V}$$

$$\% \text{ Sucrose} = (\% \text{ Total Sugars} - \% \text{ Invert Sugars}) \times 0.95$$

เมื่อ	F	เป็น	Factor ของ Fehling's Solution
	W	เป็น	น้ำหนักน้ำตาลสดที่ชั่งมาเป็นกรัม
	V	เป็น	ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)