

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบ ไลปิด โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุลที่มีผลต่อค่าความเสถียรเชิงกลในน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากในปัจจุบันการวิเคราะห์ปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยในน้ำยางยังไม่มีวิธีการวิเคราะห์โดยตรง เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน และบางปัจจัยไม่มีรายงานวิธีการศึกษาหาค่าความแม่นยำและความเที่ยงที่เหมาะสมทำให้สถานประกอบการไม่มีวิธีการในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธี ซึ่งจากการศึกษาได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารชีวโมเลกุล

4.1.1 ผลการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างซีรัมน้ำยาง

เบื้องต้นได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างซีรัมน้ำยางด้วยวิธีการจับตัวทางกายภาพ ได้แก่ การแช่แข็ง การให้ความร้อน และการใช้ถุงไดอะไลซิส พบทั้ง 3 วิธีไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารชีวโมเลกุลในน้ำยาง ทั้งนี้เนื่องจากการแช่แข็งน้ำยางสดและชั้นจับตัวกันเป็นก้อนแข็งแต่ซีรัมแยกออกมาน้อยมาก หลังจากวางไว้ที่อุณหภูมิห้องปรากฏว่าน้ำยางกลับสู่สภาพเดิม การจับตัวด้วยความร้อนสามารถจับตัวได้แต่ปริมาณซีรัมที่ได้ไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ และการใช้ถุงไดอะไลซิสพบว่าสามารถนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารชีวโมเลกุลได้ แต่ค่าที่วิเคราะห์ได้มีน้อยมาก เนื่องจากซีรัมถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ใช้ในการแช่ถุงไดอะไลซิส อีกทั้งราคาของถุงที่ใช้ในการไดอะไลซิสมีราคาแพง

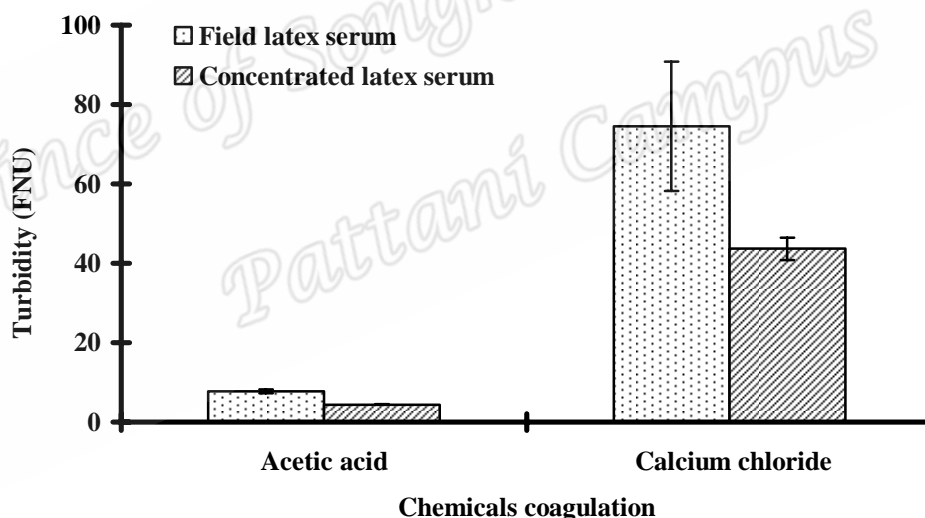
หลังจากการศึกษาเบื้องต้นแล้วพบว่าไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเตรียมซีรัมสำหรับการศึกษานี้ จึงได้ทำการศึกษาการเตรียมซีรัมโดยวิธีการจับตัวด้วยสารเคมี ได้แก่ การจับตัวด้วยสารละลายกรดอ่อน สารละลายเกลือ และแอลกอฮอล์ แต่เนื่องจากการจับตัวด้วยแอลกอฮอล์ต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากและเวลานานกว่าที่เนื้อยางจะจับตัวและซีรัมที่ได้ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากแอลกอฮอล์ระเหยง่าย วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการจับตัวเนื้อยางเฉพาะวิธีการจับตัวด้วยกรดและเกลือ พบผลการศึกษาดังนี้

4.1.1.1 ผลการจับตัวด้วยสารเคมี

จากการเตรียมซีรัมด้วยวิธีการจับตัวด้วยกรดอะซิติก พบในซีรัมที่ได้จากน้ำยางสดมีค่าความขุ่นมากกว่าในน้ำยางข้น โดยมีค่าเท่ากับ 7.73 ± 0.47 และ 4.43 ± 0.07 FNU ตามลำดับ เนื่องจากในตัวอย่างน้ำยางสดมีเนื้อเยื่ออยู่แค่ประมาณ 30% ส่วนที่เหลือเป็นน้ำจึงทำให้ไปเจือจางกรดที่เติมลงไป อีกทั้งสารชีวโมเลกุลที่อยู่ในน้ำยางสดยังไม่ได้ถูกปั่นเหวี่ยงอาจจะส่งผลให้จับตัวกันยากกว่าในน้ำยางข้นซึ่งมีเนื้อเยื่อมากกว่า

จากการเตรียมซีรัมด้วยวิธีการจับตัวด้วยเกลือแคลเซียมคลอไรด์ พบในซีรัมที่ได้จากน้ำยางสดมีค่าความขุ่นมากกว่าน้ำยางข้นเช่นเดียวกับการจับตัวด้วยกรด โดยมีค่าเท่ากับ 74.57 ± 16.30 และ 43.65 ± 2.86 FNU ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจับตัวของทั้งสองวิธี โดย One way ANOVA พบในซีรัมที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดมีความขุ่นน้อยกว่าซีรัมที่ได้จากการจับตัวด้วยเกลือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังรูปที่ 4.1 จึงสรุปได้ว่ากรดมีประสิทธิภาพในการจับตัวเนื้อเยื่อได้ดีกว่าเกลือ



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการจับตัวเนื้อเยื่อ

นอกจากนี้พบว่าตัวอย่างน้ำยางที่เก็บมาใหม่จะจับตัวได้ยากกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกรดไขมันระเหยได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ยางจับตัวได้เร็วขึ้น

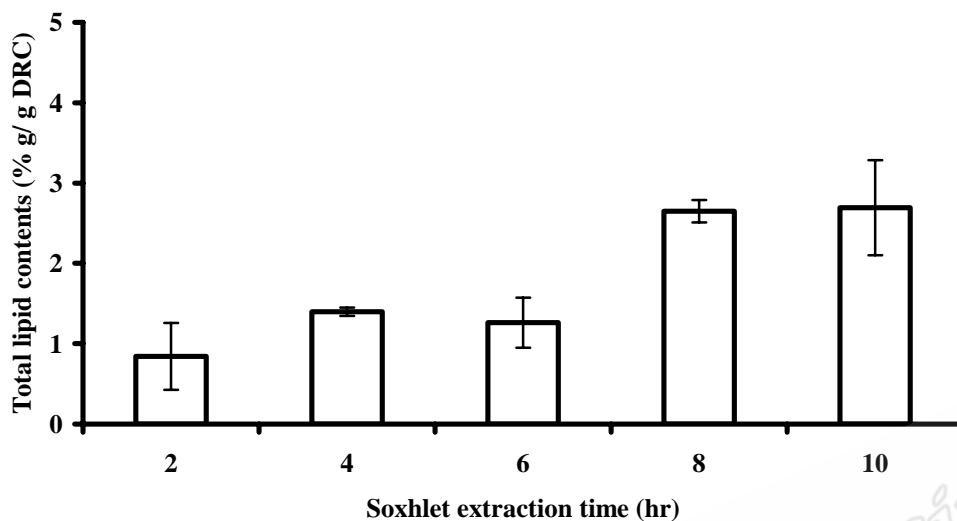
4.1.2 ผลการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์

4.1.2.1 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบไลปิด

4.1.2.1.1 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไลปิดทั้งหมด

ผลการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไลปิดทั้งหมดในตัวอย่างน้ำยางข้น โดยการสกัดด้วยชุดสกัดแบบซอกซ์เลต ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Ferraz และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการสกัด คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง พบที่เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง หลังการสกัดน้ำยางยังมีลักษณะเป็นแบบกึ่งของเหลว คือมีส่วนหนึ่งเป็นวุ้นใส ส่วนหนึ่งเป็นของเหลวอยู่ในรูปของน้ำยาง ซึ่งคาดว่า การสกัดยังไม่สมบูรณ์ ส่วนที่ 8 และ 10 ชั่วโมง น้ำยางมีลักษณะเป็นวุ้นใสทั้งหมด คาดว่าจะเป็นลักษณะที่การสกัดเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จึงเลือกศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีเฉพาะที่เวลา 8 และ 10 ชั่วโมง พบที่ทั้งสองเวลาให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p > 0.01$) โดยไลปิดทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.65 ± 0.14 และ $2.69 \pm 0.59\%$ g/g DRC ตามลำดับ ปริมาณที่พบสอดคล้องกับรายงานอื่น ๆ ที่เคยรายงานในน้ำยางสดประมาณ 2.72% g/g DRC หรือ 1.6% w/v latex (Nair, 2000 และ Resing, 2000) เมื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของวิธีที่เวลาทั้งสองโดยดูจากค่าความแม่นยำโดยค่าร้อยละของการกู้คืน พบอยู่ในระดับเดียวกันในช่วงร้อยละ 84.58 ± 1.75 และ 73.54 ± 1.59 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 ดังนั้นการศึกษานี้เลือกที่ 8 ชั่วโมง เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่า

อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติของเทคนิคซึ่งอาศัยการชั่งที่ต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 หลังการระเหยตัวทำละลายทำให้วิธีนี้มีความแปรปรวนของการวิเคราะห์สูง ทำให้ต้องใช้ทักษะและความชำนาญสูงในการวิเคราะห์ รวมทั้งการใช้เวลา ตัวทำละลาย และราคาวัสดุอุปกรณ์ที่สูง ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลปิดทั้งหมด ของตัวอย่างน้ำยางสดและชั้นที่เก็บไว้ที่เวลาต่าง ๆ หลังการปั่นเหวี่ยง



รูปที่ 4.2 เวลาที่เหมาะสมในการสกัดไลปิดทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการสกัดไลปิดทั้งหมดด้วยวิธีซอกซ์เฮต

เวลาในการสกัด (hr)	ปริมาณไลปิดทั้งหมด (% g/g DRC)	ความแม่นยำ (% Recovery ± SD)
2	0.84 ± 0.42 ^a	*
4	1.40 ± 0.05 ^a	*
6	1.26 ± 0.31 ^a	*
8	2.65 ± 0.14 ^b	84.58 ± 1.75
10	2.69 ± 0.59 ^b	73.54 ± 1.59

^{a, b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (P-value < 0.01)

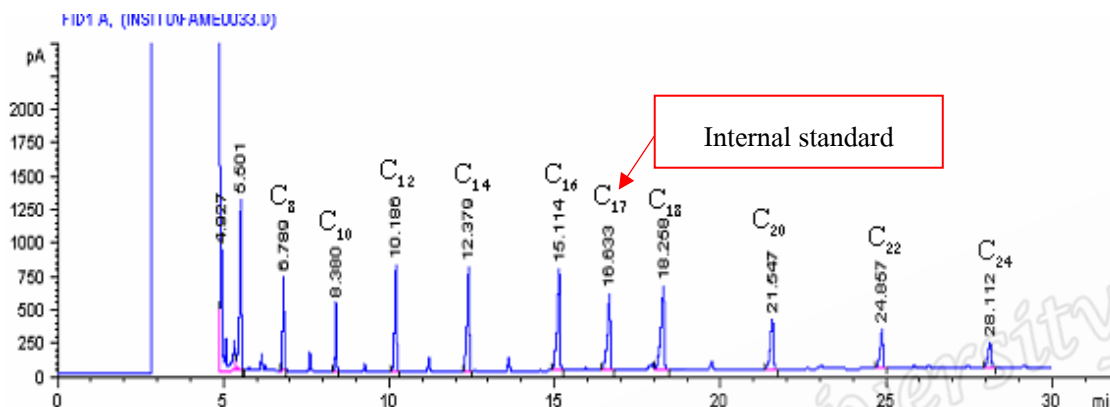
* ไม่ได้ทำการศึกษา

4.1.2.1.2 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

1) ผลการศึกษากากราฟมาตรฐาน

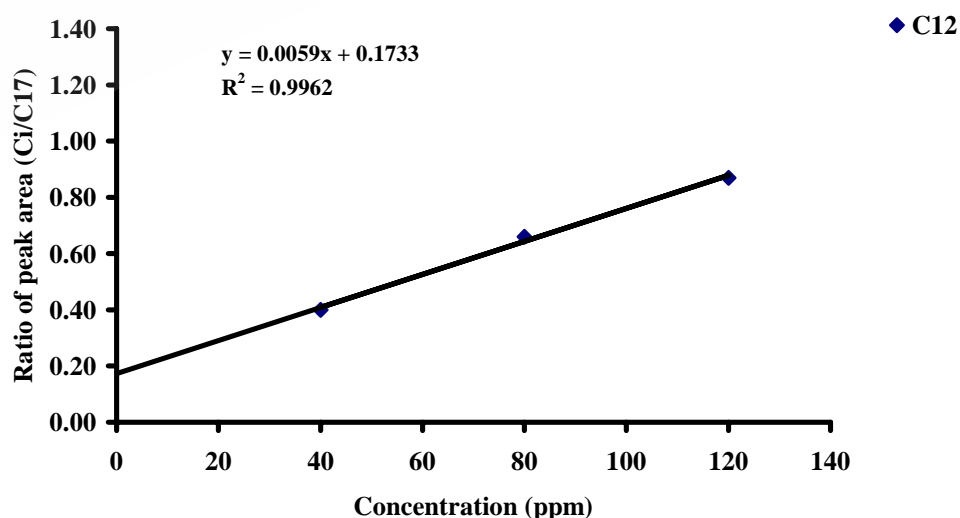
การตรวจสอบวิธีวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่อยู่ในรูปของสบู่ โดยใช้สารละลายกรดไขมันมาตรฐานผสมซึ่งประกอบด้วย Octanoic acid (C₈) Decanoic acid (C₁₀) Lauric acid (C₁₂) Tetradecanoic acid (C₁₄) Palmitic acid (C₁₆) Octadecanoic acid (C₁₈) Eicosanoic acid (C₂₀) Docosanoic acid (C₂₂) lignoceric acid (C₂₄) และใช้ Heptadecanoic acid (C₁₇) เป็นสาร

มาตรฐานภายใน (Internal standard) โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียว (วิลรัตน์ และคณะ, 2549) แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยมีสัญญาณของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยที่สุดไปยังมากที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

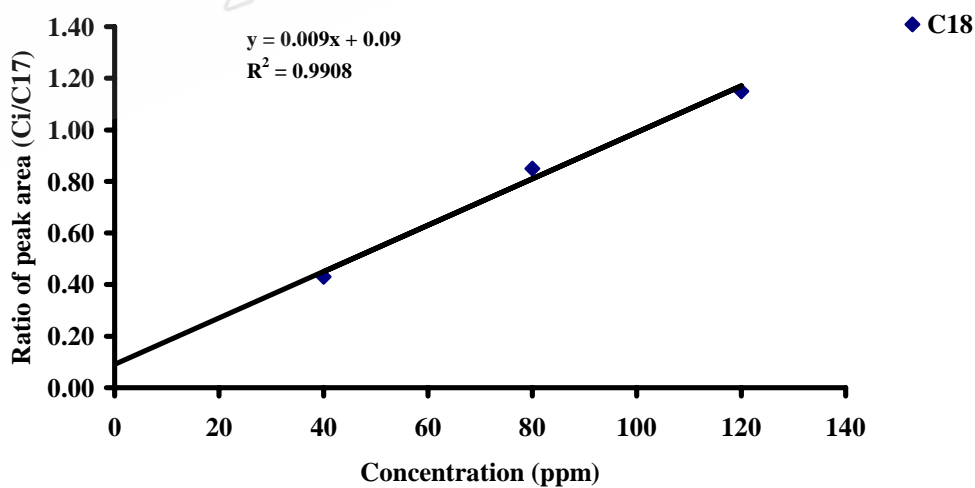
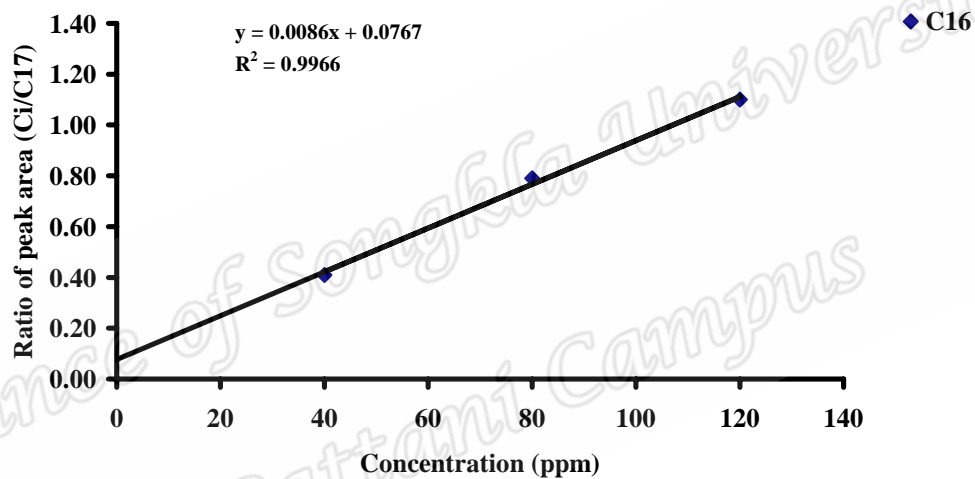
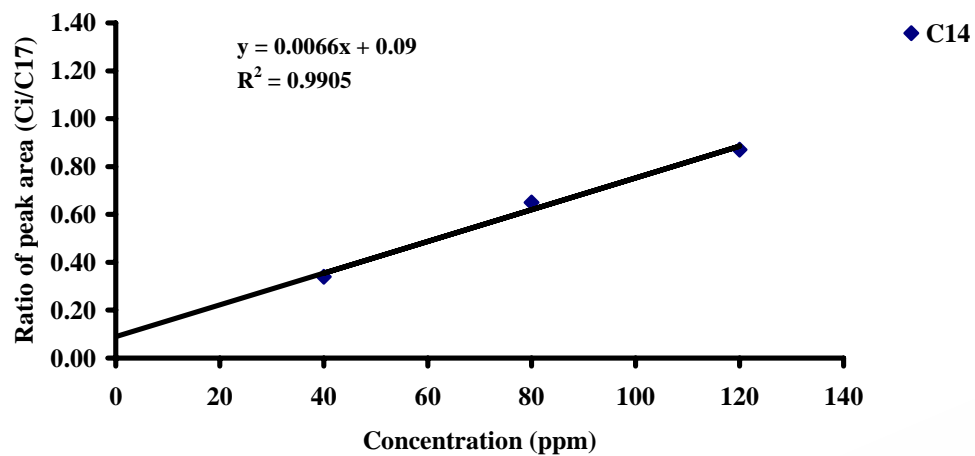


รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของกรดไขมันมาตรฐานวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID

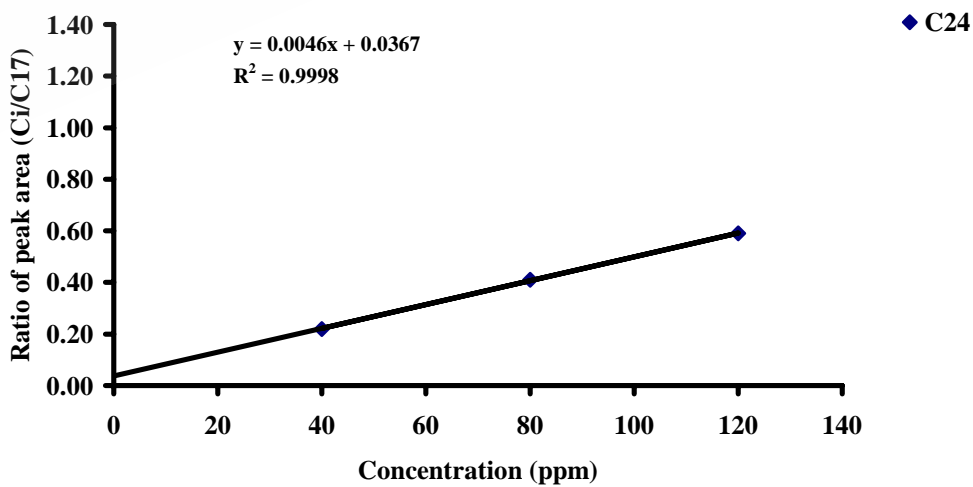
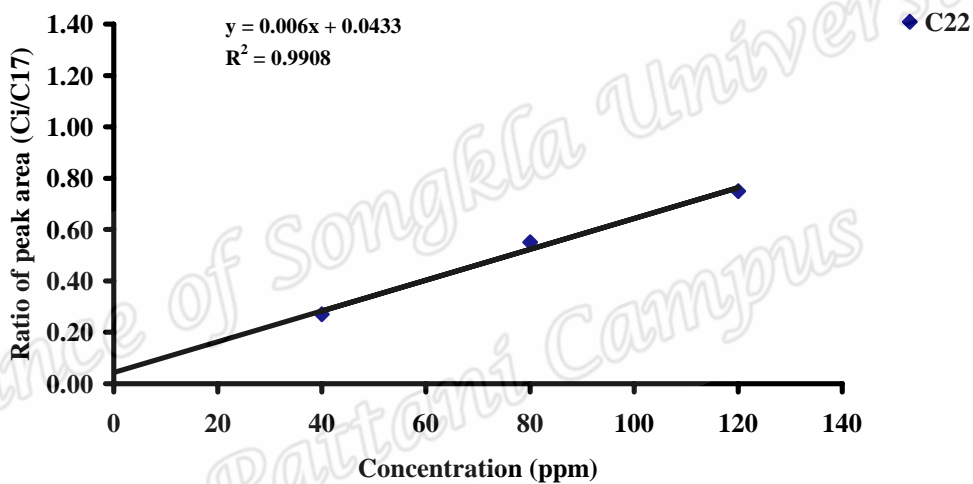
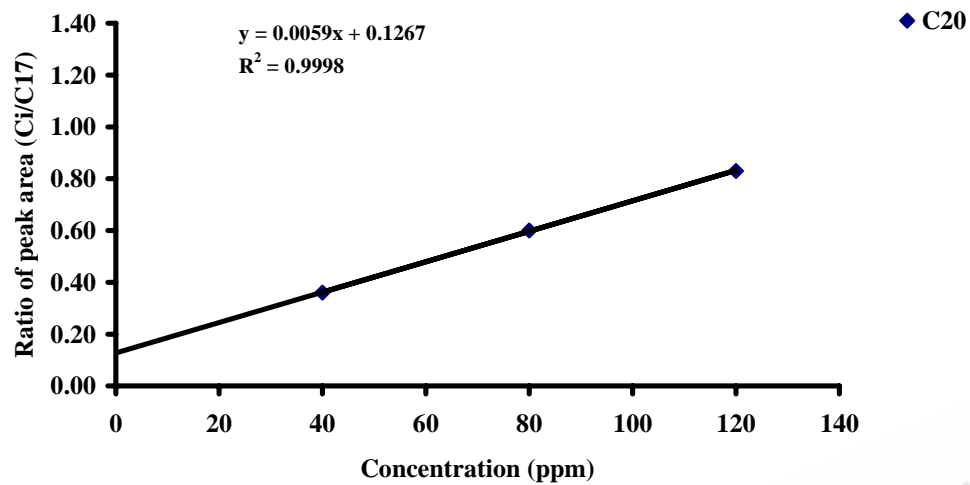
จากการศึกษาหากราฟมาตรฐานของการเตรียมสารละลายเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมาตรฐาน พบสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ได้กับความเข้มข้นของกรดไขมันเป็นเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 ซึ่งสามารถตรวจพบได้ในตัวอย่างน้ำยาง คือ C12, C16 และ C18 โดยมีค่าความเป็นเส้นตรง $y = 0.005x + 0.1733$, $y = 0.0086x + 0.0767$ และ $y = 0.0059x + 0.1267$ และค่า R^2 เท่ากับ 0.9962, 0.9966 และ 0.9908 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน C12



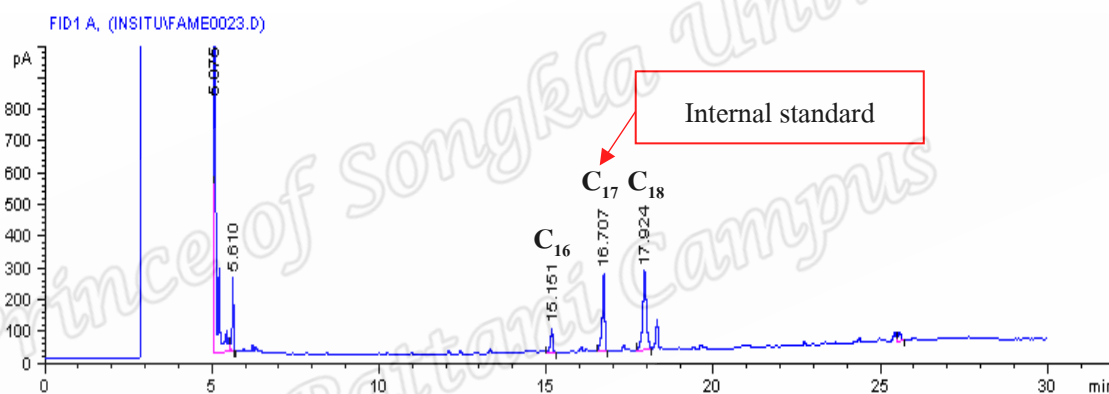
รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน C14, C16 และ C18



รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานของกรดไขมัน C20, C22 และ C24

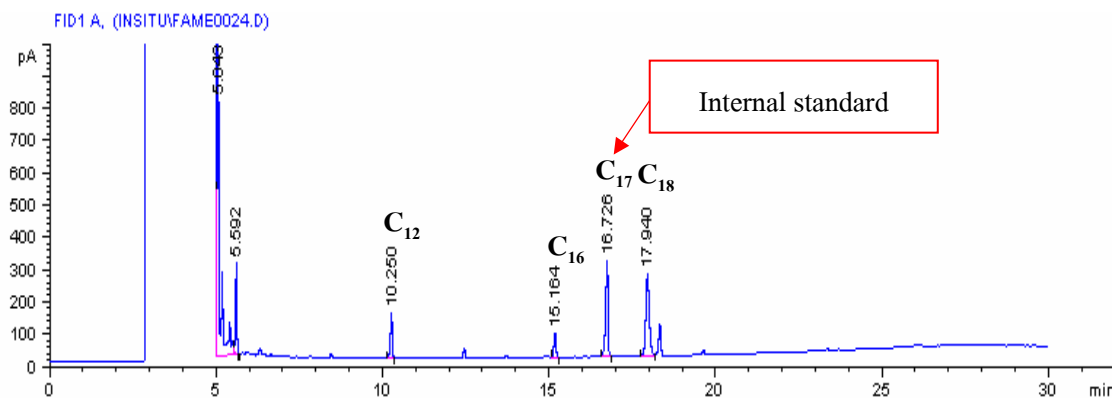
2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

ในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำยางสด พบสามารถตรวจวัดได้ 2 ชนิด ได้แก่ C16 และ C18 ส่วนกรดไขมันชนิดอื่น ๆ ไม่สามารถตรวจวัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณอยู่ต่ำกว่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียวพบกรดไขมันชนิด C16 และ C18 อยู่ที่ระดับ 0.19 และ 0.24 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ โครมาโทแกรมที่วิเคราะห์ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยพบในช่วง 0.35 ± 0.01 และ 0.51 ± 0.01 % g/g DRC ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองหาความน่าเชื่อถือของวิธีพบค่าความแม่นยำโดยดูจากค่าร้อยละของการกู้คืนเท่ากับร้อยละ 38.45 ± 4.28 และ 26.79 ± 6.16 ตามลำดับ การที่ร้อยละของการกู้คืนมีค่าน้อย เนื่องจากประสิทธิภาพของขั้นตอนการเตรียมให้เป็นเอสเทอร์และการสกัดเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้ออกจากอนุภาคยาง



รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมของเอสเทอร์ในน้ำยางสดวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID

สำหรับกรดไขมันในน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง พบ C12, C16 และ C18 ดังรูปที่ 4.8 โดยพบในช่วง 0.14 ± 0.01 , 0.26 ± 0.01 และ 0.21 ± 0.01 % g/g DRC ตามลำดับ และพบค่าร้อยละของการกู้คืนเท่ากับร้อยละ 48.17 ± 0.04 , 50.98 ± 2.77 และ 51.84 ± 5.56 ตามลำดับ และขีดต่ำสุดของการตรวจวัดของกรดไขมันชนิด C12 อยู่ที่ระดับ $0.14 \mu\text{g/mL}$



รูปที่ 4.8 โครมาโทแกรมของเอสเทอร์ในน้ำยางชันวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID

4.1.2.2 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบโปรตีน

ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติจะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมดในรูปของไนโตรเจนโดยวิธีของเจลดาคาล์ การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมดโดยการทำให้ปฏิกิริยาของพันธะเปปไทด์ โดยตัดแปลงวิธีวิเคราะห์โปรตีนในผลิตภัณฑ์ยางพารา คือวิธี MS 1392: 1998 และวิธี ISO 12243: 2003 การวิเคราะห์โปรตีนทั้งหมดโดยการไฮโดรไลซ์โปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนและการวิเคราะห์กรดอะมิโนที่มีอยู่เดิม ณ เวลาใด ๆ ด้วยวิธีที่ตัดแปลงมาจากวิธีนินไฮดริน พบผลการศึกษาดังนี้

4.1.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาคาล์ไนโตรเจน

ได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำยางเพื่อให้มีระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 2.50 และ 5.00 g โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในปริมาณเท่ากันคือ 15 mL พบหากใช้ปริมาณน้ำยางมากกว่า 0.50 g ปริมาณกรดที่ใช้ไม่พอต่อการย่อย และใช้เวลาในการย่อยนานกว่า 3 ชั่วโมง น้ำยางมีลักษณะไหม้เป็นเถ้าสีดำเกาะติดที่หลอดย่อย ไม่สามารถนำไปกลั่นต่อได้ ส่วนน้ำยางในปริมาณ 0.10 และ 0.25 g สามารถย่อยได้สมบูรณ์ได้สารละลายใส แต่ที่ 0.25 g จะใช้เวลานานกว่า 0.10 g ดังนั้นในการศึกษานี้เลือกใช้น้ำยาง 0.10 g ปริมาณกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 mL และย่อยที่อุณหภูมิ 375 C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในขั้นตอนการกลั่นพบว่าหากเติมสารละลาย 40%NaOH ในปริมาณน้อยเกินไปจะไม่สามารถไทเทรตได้ ต้องใช้ต่างในปริมาณที่มากเกินพอ โดยดูจากสีของสารละลาย ถ้าสารละลายเป็นสีเขียวไหม้หรือบางครั้งจะเป็นสีฟ้าอ่อน แสดงว่ามากเกินพอ สามารถกลั่นและไทเทรตได้

ในน้ำยางชันพบปริมาณโปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาคาล์ไนโตรเจน $0.69 \pm 0.08\%$ g N/g DRC หรือคิดเป็นปริมาณโปรตีนโดยคูณด้วยแฟกเตอร์ 6.25 จะได้เป็น $4.31 \pm 0.08\%$ g/g DRC มีค่า

สอดคล้องกับข้อมูลที่เคยรายงานในน้ำยางสด คือ 1-1.5% g/g latex หรือประมาณ 1.70-2.55% g/g DRC (บุญธรรม, 2527 และ Blackley, 1997)

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีโดยการใส่สารละลายมาตรฐาน โปรตีนซีรัมจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบความแม่นยำของวิธีโดยดูจากร้อยละของการกู้คืนเท่ากับร้อยละ 90.76 ± 3.94 และค่าความเที่ยงโดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเท่ากับร้อยละ 4.34 ± 1.68

การรายงานปริมาณ โปรตีนทั้งหมดด้วยวิธีเจลดาลห์โดยทั่วไปจะนำเอาแฟกเตอร์ 6.25 มาคูณร้อยละของอะตอมไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ แตกต่างจากปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์และการทำปฏิกิริยากรดอะมิโน แต่ในการศึกษานี้รายงานในรูปของไนโตรเจน เนื่องจากการใช้แฟกเตอร์ 6.25 ซึ่งน่าจะเป็นการบ่งบอกโปรตีนที่เป็นสารอาหารประเภทโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ซึ่งคาดว่าถ้าจะนำมาเป็นตัวแทนในน้ำยางควรจะเป็นแฟกเตอร์ที่มาจากโปรตีนในน้ำยางหรือจากพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำยาง

4.1.2.2.1 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาของพันธะเปปไทด์

จากการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของทั้งสองวิธี พบผลดังนี้

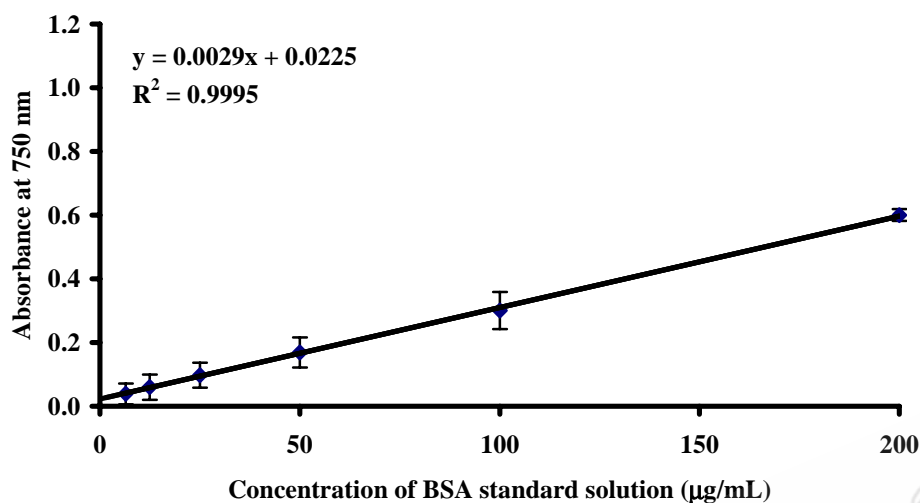
ก. วิธี MS 1392: 1998

จากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยนำวิธี MS 1392: 1998 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยาง เช่น กุ้งมือแพทย์ กุ้งยางอนามัย และเครื่องเล่นกีฬาบางชนิด เป็นต้น มาใช้กับน้ำยางธรรมชาติ พบผลการศึกษาดังนี้

1) ผลการศึกษารูปมาตรฐาน

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานโปรตีน BSA ความเข้มข้น $100 \mu\text{g/mL}$ ไปทำปฏิกิริยาฟอรั่มสีและวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 735-770 นาโนเมตร พบที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 750 นาโนเมตร สารเชิงซ้อนที่เตรียมขึ้นมีค่าการดูดกลืนมากที่สุด max

เมื่อวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานโปรตีน BSA โดยวิธี MS 1392: 1998 แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ได้กราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง อยู่ในช่วงความเข้มข้น $6.25-100 \mu\text{g/mL}$ ค่าสมการเส้นตรงที่ได้ $y = 0.0028x + 0.0637$ และ $R^2 = 0.9987$ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน BSA

2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางด้วยวิธี MS 1392: 1998 พบปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางชั้นพบอยู่ในช่วง 0.27 ± 0.04 %g/g DRC โดยค่าความเที่ยงและความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 93.86 ± 1.03 และ 7.67 ± 3.43 ตามลำดับ และพบขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 15.10 µg/mL

ข. วิธี ISO 12243: 2003

1) การศึกษากราฟมาตรฐาน

จากการศึกษากราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโปรตีนโอวัลบูมิน โดยวิธี ISO 12243: 2003 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบมาตรฐานที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางเช่นเดียวกับวิธี MS 1392: 1998 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 735-770 นาโนเมตร พบที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 25-400 µg/mL ค่าสมการเส้นตรงที่ได้ $y = 0.0006x + 0.0004$ และ $R^2 = 0.9951-0.9987$ ดังรูปที่ 4.10

2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางชั้นด้วยวิธี ISO 12243: 2003 พบมีค่าความแม่นยำโดยร้อยละของการกู้คืนและความเที่ยงโดยค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรปรวนเท่ากับ 87.76 ± 4.93 และ 10.02 ± 4.26 ตามลำดับ และขีดจำกัดของการ

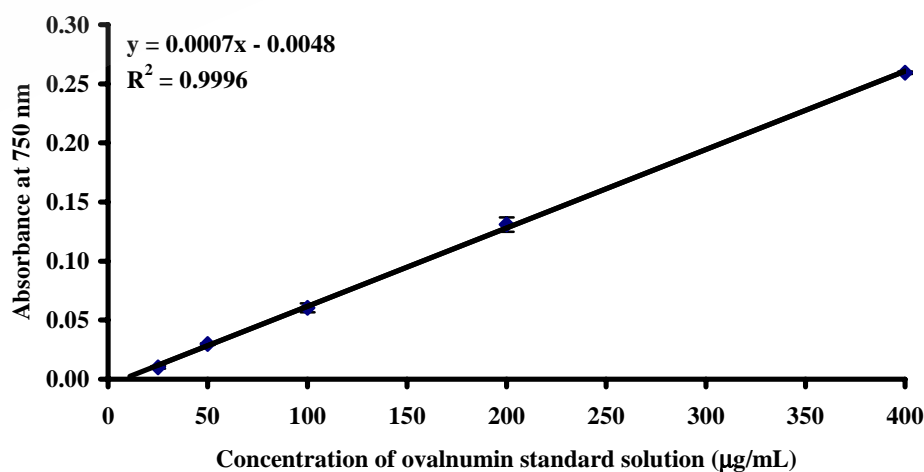
ตรวจวัดเท่ากับ 19.16 $\mu\text{g/ml}$ และปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วง $0.21 \pm 0.03\%$ g/g DRC

เนื่องจากวิธีในการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในน้ำยางชั้นโดยการทำปฏิกิริยาของพันธะเปปไทด์ และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี ได้ศึกษา 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธี MS 1392: 1998 และ ISO 12243: 2003 โดยหาปริมาณโปรตีนในน้ำยางชั้นโดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์พบว่า การวิเคราะห์โดยวิธี MS 1392:1998 มีความน่าเชื่อถือในระดับเดียวกับการวิเคราะห์โดยวิธี ISO 12243: 2003 ดังข้อมูลในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์หาโปรตีนทั้งหมดในน้ำยาง (n=3)

วิธีการ	ค่าความแม่นยำ (% Recovery \pm SD)	ค่าความเที่ยง (% CV \pm SD)	ขีดจำกัดของการตรวจวัด ($\mu\text{g/mL}$)
วิธี MS 1392: 1998	93.86 \pm 1.03	7.67 \pm 3.43	15.10
วิธี ISO 12243: 2003	87.76 \pm 4.93	10.02 \pm 4.26	19.16

อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิธี ISO 12243: 2003 ต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์ (*N*-tris-(hydroxymethyl)-methyl-2-amino-ethanesulfonic acid hemisodium salt, TES) ซึ่งเป็นสารที่มีราคาแพง การศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี MS 1392: 1998 ในการติดตามปริมาณโปรตีนน้ำยางเนื่องจากมีค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำกว่า



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโอวัลบูมิน

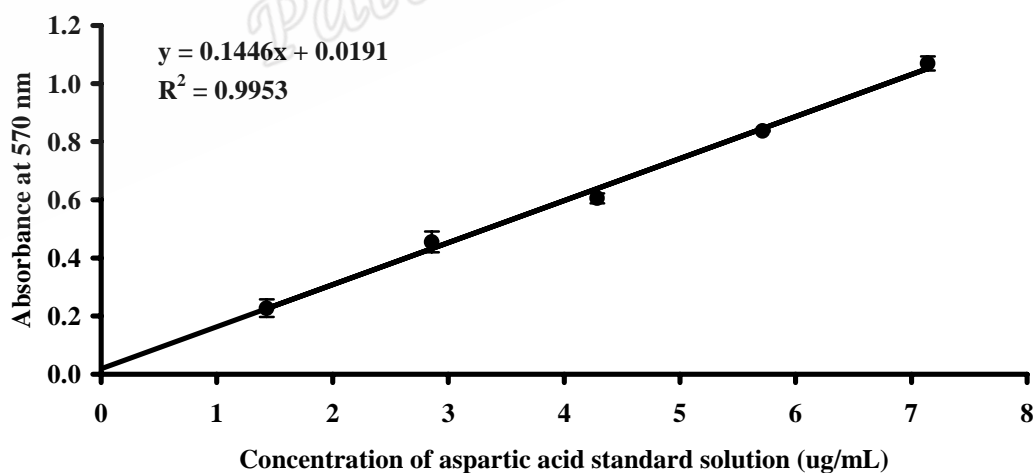
4.1.2.2.2 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโน

ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนโดยปฏิกิริยานินไฮดริน พบผลการศึกษาดังนี้

1) ผลการศึกษากฎมาตรฐาน

ในขั้นแรกทำการศึกษาหาความยาวคลื่นที่สารประกอบเชิงซ้อนของกรดอะมิโนมีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) จากนั้นตรวจสอบช่วงความเข้มข้นของกรดอะมิโนที่ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง จากการทดลองหาความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของกรดอะมิโนหลังทำปฏิกิริยาด้วยนินไฮดริน (Plumer, 1987) โดยใช้สารละลายมาตรฐานกรดแอสปาร์ติกเป็นตัวแทนของกรดอะมิโนในน้ำยาคความเข้มข้น 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ วิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 550-590 นาโนเมตร พบที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตรให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

จากการวิเคราะห์สารละลายกรดแอสปาร์ติกมาตรฐาน พบวิธีนินไฮดรินสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะช่วงความเข้มข้นต่ำกว่าวิธีที่ทำปฏิกิริยาของฟิchnerเปปไทด์ อยู่ในช่วง 1.0-7.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ หากค่าความเข้มข้นมากกว่านี้จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะอยู่นอกช่วงตามกฎของเบียร์ (Beer's law) ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วง 0.2-0.6 ค่าความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงที่ได้ $y = 0.1446x + 0.0191$ และ $R^2 = 0.9953$ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

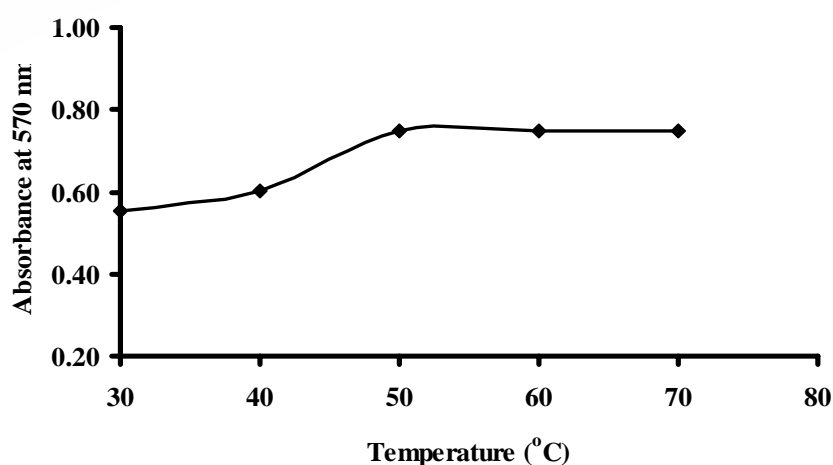


รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสปาร์ติกใน 2% CH_3COOH

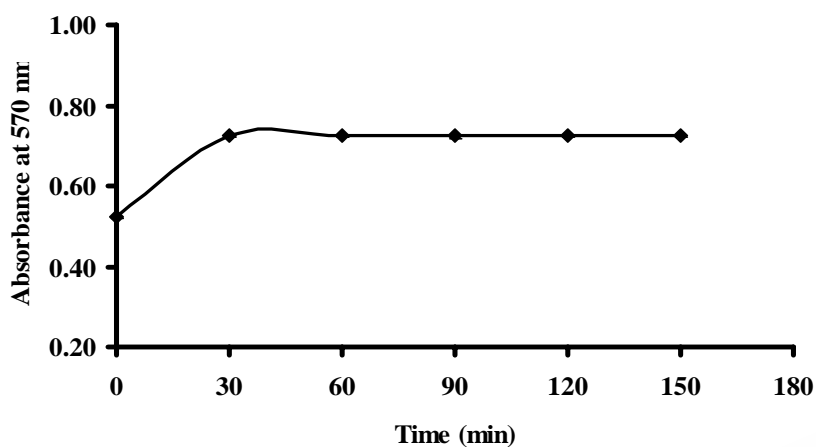
2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดอะมิโนร่วมกับการไฮโดรไลซ์โปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน แล้วฟอร์มสีด้วยสารละลายนินไฮดริน ได้ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ซึ่งการสลายพันธะโพลีเปปไทด์ด้วยกรดอะซิดิกโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสมให้กลายเป็นกรดอะมิโนแล้วหาปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดโดยวิธีนินไฮดรินซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.12 โดยพบที่อุณหภูมิ 50-70°C ค่าการดูดกลืนแสงคงที่แสดงว่าอุณหภูมิในช่วงนี้สามารถสลายพันธะโพลีเปปไทด์ได้สูงสุดจากโปรตีนโมเลกุลใหญ่เหลือเพียงกรดอะมิโน ดังนั้นการศึกษากการไฮโดรไลซ์โพลีเปปไทด์ได้เลือกศึกษาที่อุณหภูมิ 60°C เพื่อใช้ในการหาปริมาณโปรตีนในรูปกรดอะมิโน จากนั้นทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าที่เวลา 30-60 นาทีที่มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วการสลายพันธะโพลีเปปไทด์ยังเกิดไม่สมบูรณ์ ในขณะที่เวลา 60-150 นาที ค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่แสดงว่าโปรตีนโมเลกุลใหญ่ได้ถูกสลายกลายเป็น กรดอะมิโนได้สูงสุด ดังรูปที่ 4.13 จึงใช้เวลาการไฮโดรไลซ์ที่ 60 นาที อุณหภูมิ 70°C ในการหาปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดต่อไป

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในน้ำยางด้วยวิธีนินไฮดริน พบปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงอยู่ในช่วง $3.67 \pm 0.07\%$ g/g DRC เมื่อศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธี พบค่าความแม่นยำและค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เท่ากับ 104.67 ± 0.07 และ 4.03 ± 0.43 ตามลำดับ โดยขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ $1.19 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งต่ำกว่าการทำปฏิกิริยาของพันธะเปปไทด์



รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อการไฮโดรไลซ์โปรตีนด้วยกรดอะซิดิก



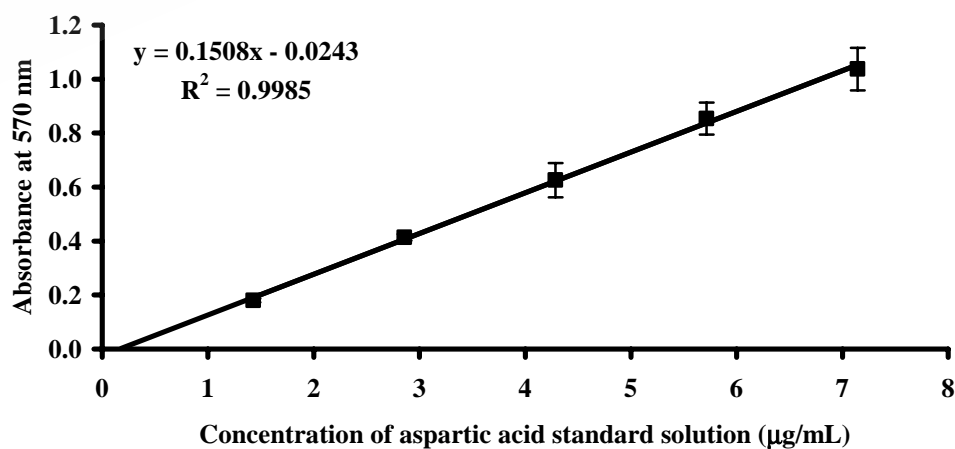
รูปที่ 4.13 ผลการศึกษาระยะเวลาการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดอะซิติก

4.1.2.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน

การศึกษาปริมาณโปรตีนในรูปของกรดอะมิโนอิสระที่มีอยู่ ณ เวลาใด ๆ โดยการเตรียมซีรัมน้ำยางด้วย 2%CaCl₂ แทนการใช้ 2%CH₃COOH เพื่อป้องกันการเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนอันเนื่องมาจากการสลายตัวโปรตีนด้วยกรด เพื่อจะได้ทราบส่วนต่างระหว่างปริมาณโปรตีนที่อยู่ในรูปของโมเลกุลใหญ่และที่มีอยู่แล้วในรูปของกรดอะมิโน ณ เวลาใด ๆ

1) ผลการศึกษากาแฟมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์สารละลายกรดแอสปาร์ติกมาตรฐานในสารละลาย 2%CaCl₂ เพื่อใช้ในการหาปริมาณกรดอะมิโน พบค่าความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงที่ได้ $y = 0.1516x - 0.115$ และ $R^2 = 0.9981$ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสปาร์ติกละลายใน 2%CaCl₂

2) ผลการศึกษาในตัวอย่งน้ำยาง

ในการศึกษาโดยวิธีนี้จะสามารถบอกได้ถึงปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่อยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่และในรูปกรดอะมิโนที่มีอยู่เดิม ณ เวลาใด ๆ เพื่อใช้ติดตามการสลายตัวของโปรตีนในน้ำยางจากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในน้ำยางด้วยวิธีนินไฮดริน พบปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วง $1.60 \pm 0.03\%$ g/g DRC โดยค่าความแม่นยำและค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เท่ากับ 105.32 ± 0.01 และ 4.98 ± 0.10 ตามลำดับ และขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ $2.83 \mu\text{g/mL}$

4.1.2.3 ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

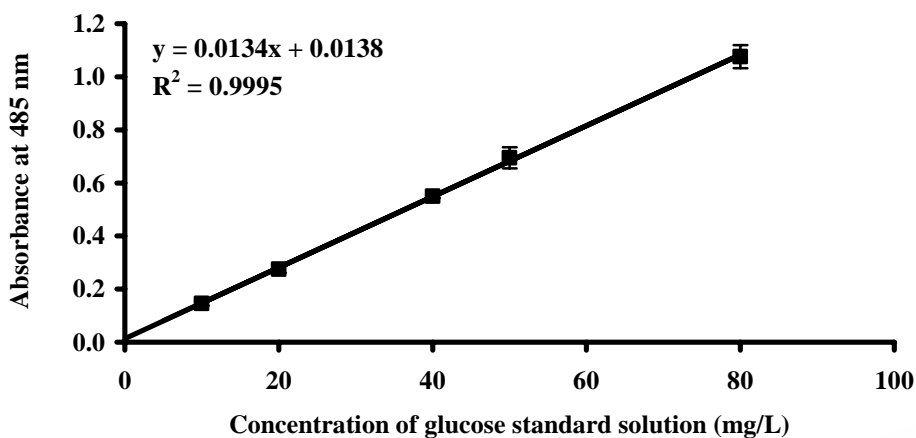
ปริมาณสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางธรรมชาติน่าจะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการเก็บรักษาน้ำยางได้อีกประการหนึ่ง ในการศึกษานี้จะทำการหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยการย่อยให้อยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยการใช้กลูโคสเป็นสารละลายมาตรฐาน วิธีที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ วิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก (Dubois และคณะ, 1956, Gerchakov และ Hatcher, 2008, Cuesta และคณะ 2003 และ Masuko และคณะ, 2005) และวิธี 3,5-กรดไนโตรซาลิไซลิก (Miller, 1959) จึงได้นำวิธีการทั้งสองมาศึกษาเพื่อพัฒนาใช้กับน้ำยางธรรมชาติ

4.1.2.3.1 ผลการศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

ก. ผลการศึกษาวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก

1) ผลการศึกษากฎมาตรฐาน

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส ทำปฏิกิริยาตามวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก แล้วมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 485 นาโนเมตร ที่ให้สัญญาณเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 10-80 mg/L ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dubois และคณะ (1956) และ Cuesta และคณะ (2003) ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0134x + 0.0138$ และค่า R^2 เท่ากับ 0.9998 ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์กลูโคสด้วยวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก

2) ผลการศึกษาในน้ำยาง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดเล็กกว่า $0.45 \mu\text{m}$ ในน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงหลังผ่านการกรองด้วยเยื่อกรอง โดยทำการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยกรดอะซิติกให้อยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเล็ก หรือน้ำตาลรีดิวซ์ จากนั้นจึงวิเคราะห์น้ำตาลโมเลกุลเล็กด้วยวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วงร้อยละ $0.84 \pm 0.01\%$ g/g DRC ซึ่งใกล้เคียงกับที่เคยมีการรายงาน ซึ่งพบปริมาณน้ำตาลในน้ำยางธรรมชาติอยู่ในช่วง 1.00-1.50% w/w (บุญธรรม, 2530; Blackley, 1997 และ Resing, 2000) อย่างไรก็ตามค่าที่เคยมีการรายงานไม่ได้ระบุวิธีและค่าการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีที่จะทำให้โรงงานนำไปใช้ได้ ในการศึกษาพบความน่าเชื่อถือของวิธีสูง โดยค่าความแม่นยำและค่าความเที่ยงเท่ากับร้อยละ 99.36 ± 2.89 และ 2.91 ± 0.54 ตามลำดับ และค่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ $2.65 \mu\text{g/mL}$

4.1.2.3.2 ผลการศึกษาวิธีการ 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก

1) ผลการศึกษากราฟมาตรฐาน

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส ในแต่ละตัวกลางมาทำปฏิกิริยาตามวิธีการ 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-Dinitrosalicylic acid, DNS) พบเกิดตะกอนในสารละลายตัวกลางที่เป็นกรดความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร ทั้งสองได้แก่ กรดอะซิติก และกรดซัลฟิวริก ในขณะที่ตัวกลางที่เป็นน้ำไม่มีตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ลักษณะของสารละลายมาตรฐานกลูโคสในตัวอย่างต่าง ๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNS

จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางธรรมชาติในครั้งนี้เลือกใช้วิธีฟีนอล-กรดซัลฟิวริก เนื่องจากไม่มีปัญหาการเกิดตะกอนในการทำปฏิกิริยาเหมือนในกรณีวิธี DNS ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้เนื่องจากในการเตรียมซีรัมจากน้ำยาง มีขั้นตอนการใช้กรดในการจับตัวน้ำยาง ซึ่งอาจทำให้สาร DNS เสียสภาพได้ จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้สารตัวนี้ในกรณีการหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางธรรมชาติ

2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

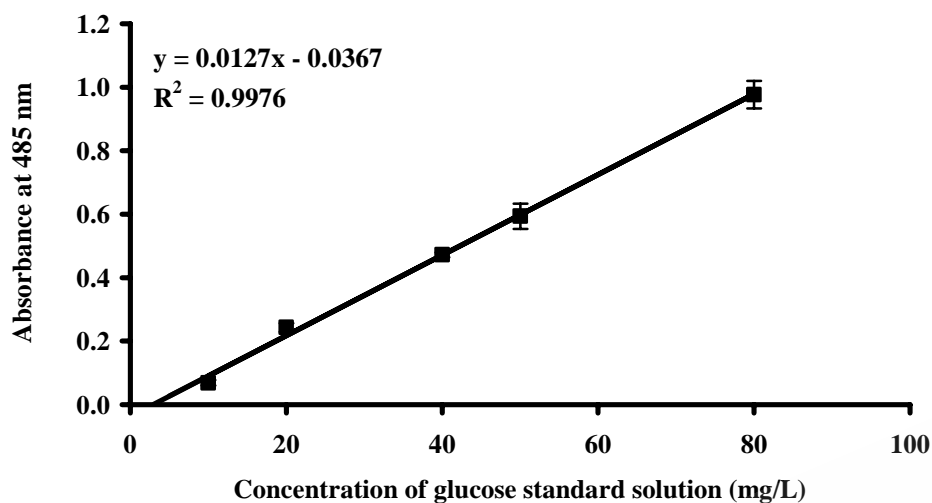
จากผลการศึกษากราฟมาตรฐานพบวิธีนี้ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในน้ำยาง จึงไม่ได้ใช้ทำการศึกษาต่อในตัวอย่างน้ำยาง

ข. ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1) ผลการศึกษากราฟมาตรฐาน

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคสที่ละลายใน 2%CaCl₂ และวิเคราะห์ด้วยวิธีฟีนอล-กรดซัลฟิวริก พบสมการเส้นตรง $y = 0.0127x - 0.0367$ และมีค่า R² เท่ากับ 0.9976 ดังรูปที่

4.17

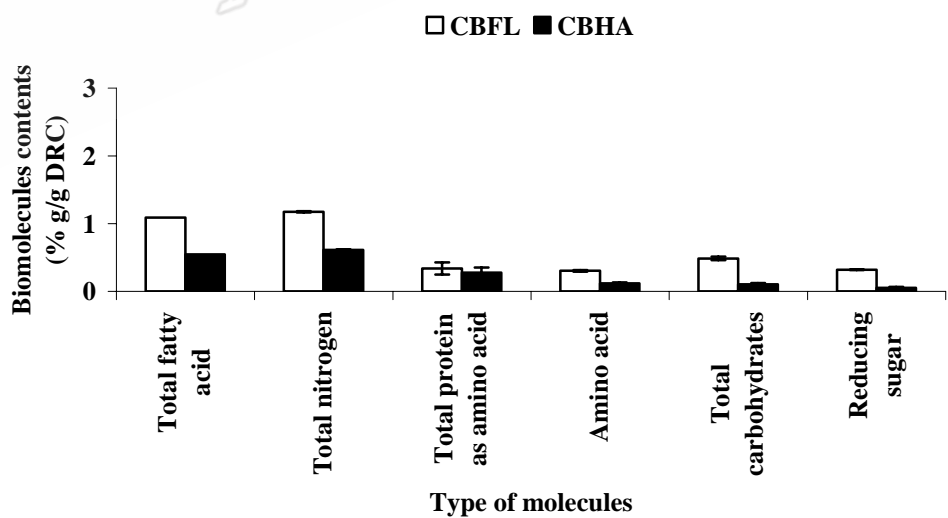
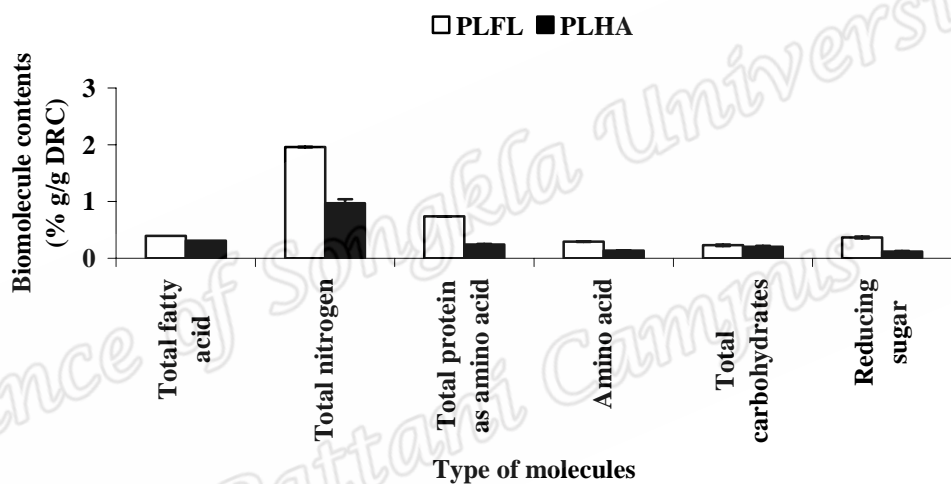
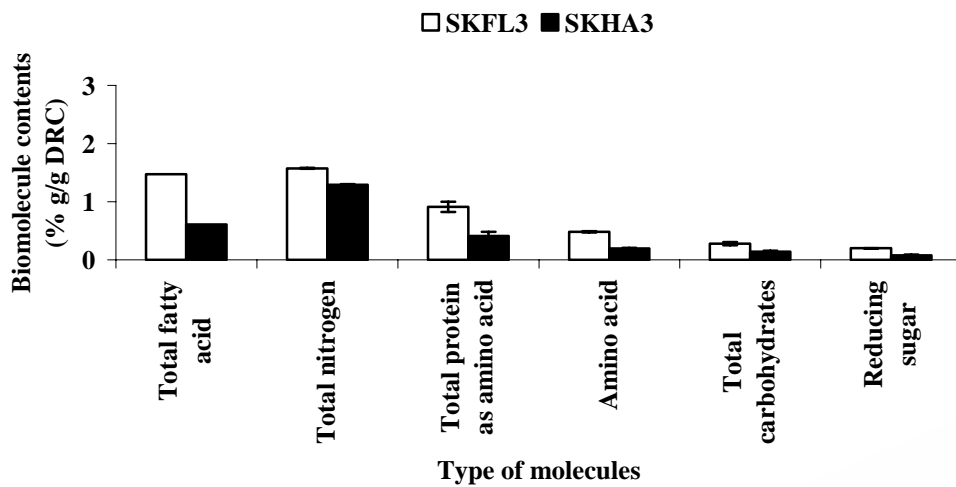


รูปที่ 4.17 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิซ

2) ผลการศึกษาในตัวอย่างน้ำยาง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิซที่มีอยู่แล้ว ณ เวลาใด ๆ ในน้ำยางชั้น โดยการจับตัวเนื้อเยื่อด้วย 2%CaCl₂ แทนการใช้กรดทั้งนี้ เพื่อป้องกันการสลายตัวของสารคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก พบปริมาณน้ำตาลรีดิซในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วง 0.49±0.06% g/g DRC ในการศึกษาพบความน่าเชื่อถือของวิธี ดังนี้ ค่าความแม่นยำโดยร้อยละของการกู้คืนและค่าความเที่ยงโดยค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเท่ากับร้อยละ 102.46±0.44 และ 0.42±0.04 ตามลำดับ และค่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 5.14 µg/mL

จากผลการวิเคราะห์สารชีวโมเลกุลในน้ำยางสดและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงจากสามโรงงานทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าหลังจากมีการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดเพื่อเอาส่วนที่เป็นน้ำออกไปบางส่วน ส่งผลให้ปริมาณของสารชีวโมเลกุลในน้ำยางสดมีระดับสูงกว่าในน้ำยางชั้น โดยปริมาณกรดไขมันที่ตรวจวัดได้ลดลง 21.18-58.73% โปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาคาล์ไนโตรเจนลดลง 17.74-50-53% โปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาดัวยกรดอะมิโนลดลง 17.75-67.28% กรดอะมิโนลดลง 54.29-61.97% คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดลดลง 10.24-78.98% และน้ำตาลรีดิซลดลงมากที่สุดอยู่ในช่วง 60.64-83.21% ดังรูปที่ 4.18 ทั้งนี้หลังการปั่นเหวี่ยงน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ออกไปด้วยเมื่อน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของจุลินทรีย์ออกไปมากทำให้ค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางหลังการปั่นเหวี่ยงคงที่



รูปที่ 4.18 การลดลงของสารชีวโมเลกุลในน้ำยางธรรมชาติหลังการปั่นเหวี่ยง (n=3) ตัวอย่างจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารชีวโมเลกุลที่พบในตัวอย่างน้ำยางสดก่อนนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง

สารชีวโมเลกุล	ประเภท	ปริมาณที่ตรวจพบ (ร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง)		
		สงขลา	พัทลุง	ชลบุรี
ไลปิด	ปริมาณไขมันทั้งหมด	*	*	*
	กรดไขมันรวมที่ตรวจวัดได้	1.47	0.39	1.09
	- C12	ND	ND	ND
	- C14	ND	ND	ND
	- C16	0.60±0.00	0.14±0.01	0.44±0.00
	- C18	0.87±0.00	0.25±0.01	0.65±0.00
	- C20	ND	ND	ND
	- C22	ND	ND	ND
	- C24	ND	ND	ND
โปรตีน**	เจลดาคัลในโตรเจน	1.57±0.01	1.96±0.01	1.17±0.01
	โปรตีนทั้งหมดโดยการทำ	0.91±0.09	0.74±0.00	0.34±0.09
	ปฏิกิริยาของของกรดอะมิโน			
	กรดอะมิโน	0.48±0.01	0.29±0.01	0.31±0.01
คาร์โบไฮเดรต	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	0.28±0.03	0.23±0.01	0.49±0.03
	น้ำตาลรีดิวิซ์	0.20±0.00	0.37±0.01	0.32±0.00

* ไม่ได้ทำการศึกษา

** % g N/g DRC

ND ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารชีวโมเลกุลที่พบในตัวอย่างน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง

สารชีวโมเลกุล	ประเภท	ปริมาณที่ตรวจพบ (ร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง)		
		สงขลา	พัทลุง	ชลบุรี
ไลปิด	ปริมาณไขมันทั้งหมด	2.65±0.14	*	*
	กรดไขมันรวมที่ตรวจวัดได้	1.29	0.31	0.55
	- C12	0.44±0.05	0.17±0.00	0.36±0.00
	- C14	ND	ND	ND
	- C16	0.07±0.01	0.09±0.01	0.12±0.00
	- C18	0.10±0.01	0.06±0.01	0.07±0.00
	- C20	ND	ND	ND
	- C22	ND	ND	ND
	- C24	ND	ND	ND
โปรตีน**	เจลดาคัลไนโตรเจน	1.29±0.01	0.97±0.07	0.61±0.01
	โปรตีนทั้งหมดโดยการทำให้	0.41±0.07	0.24±0.01	0.28±0.07
	ปฏิกิริยาของกรดอะมิโน			
	กรดอะมิโน	0.20±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01
คาร์โบไฮเดรต	คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	0.14±0.02	0.21±0.01	0.10±0.02
	น้ำตาลรีดิวิซ์	0.08±0.01	0.12±0.01	0.05±0.01

* ไม่ได้ทำการศึกษา

** % g N/g DRC

ND ไม่สามารถตรวจวัดได้

4.2 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารชีวโมเลกุลในน้ำยาง

ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพควบคู่กับการติดตามการเปลี่ยนแปลงสารชีวโมเลกุล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับค่าความเสถียรเชิงกลในน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูงจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรี โดยทำการติดตามทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 49 วัน พบผลการศึกษาดังนี้

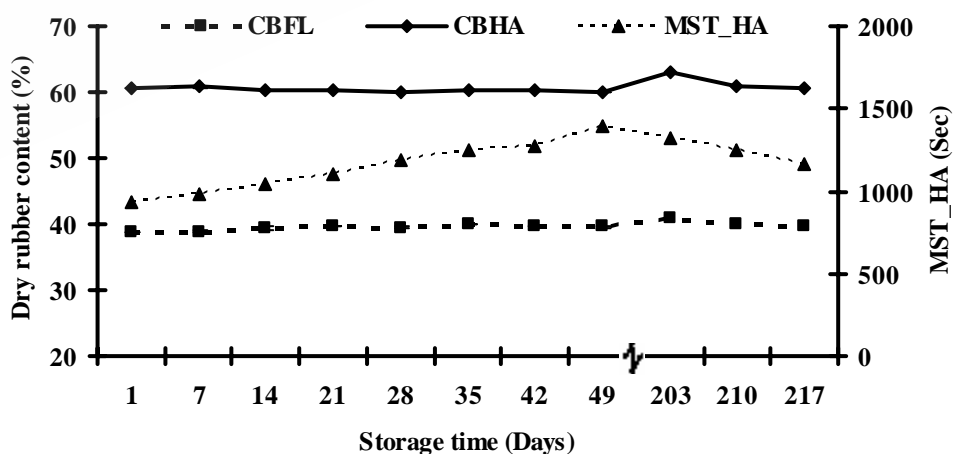
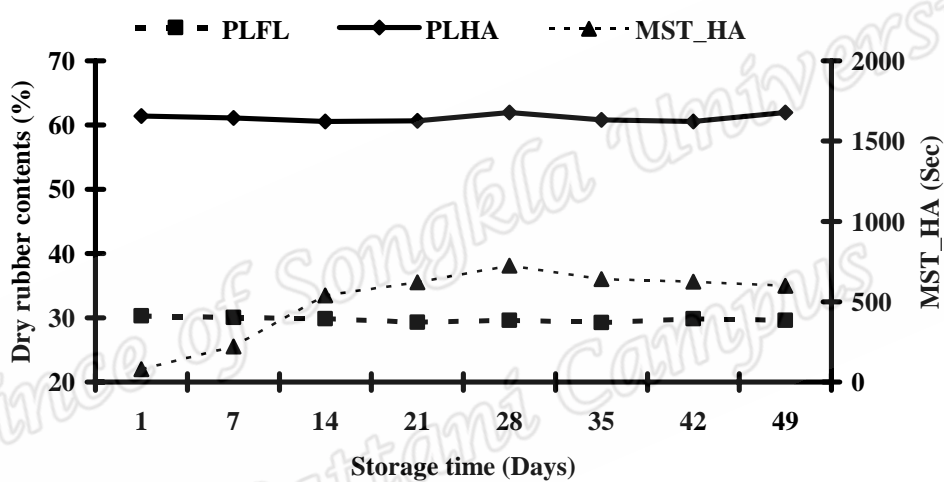
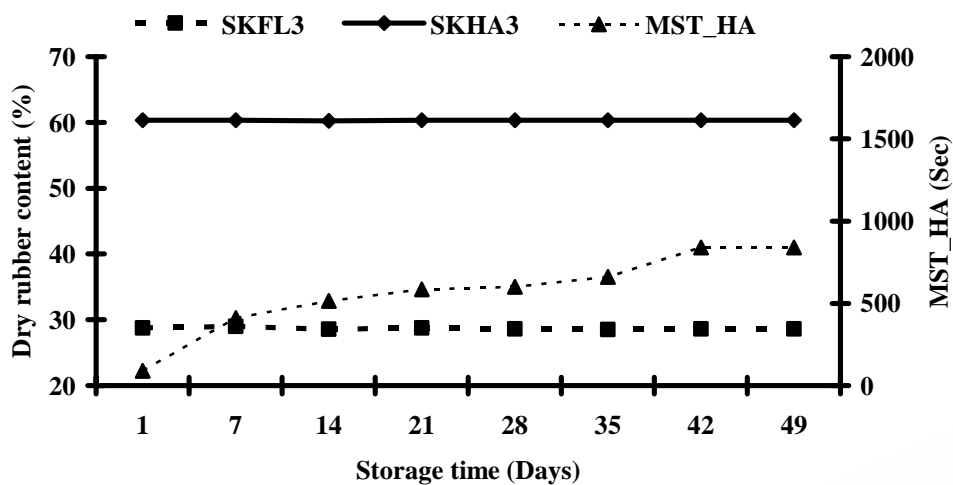
4.2.1 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ

4.2.1.1 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเนื้อยางแห้ง

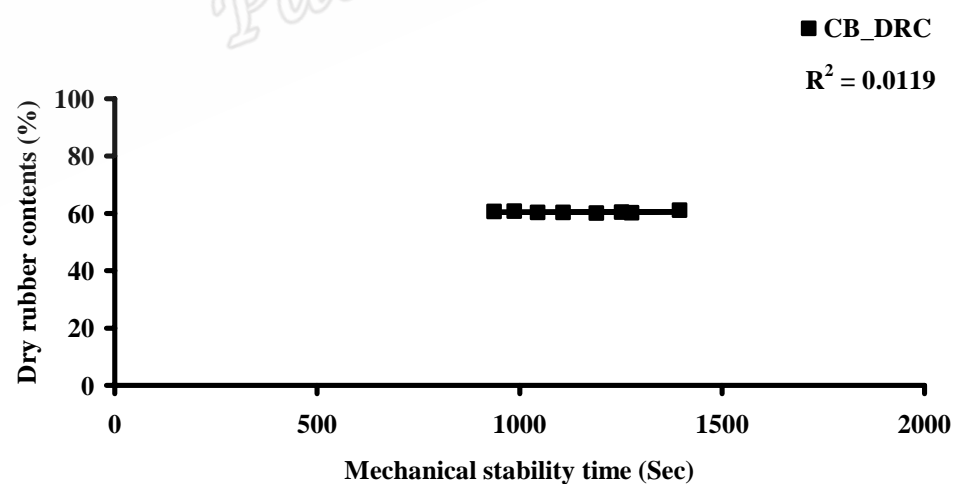
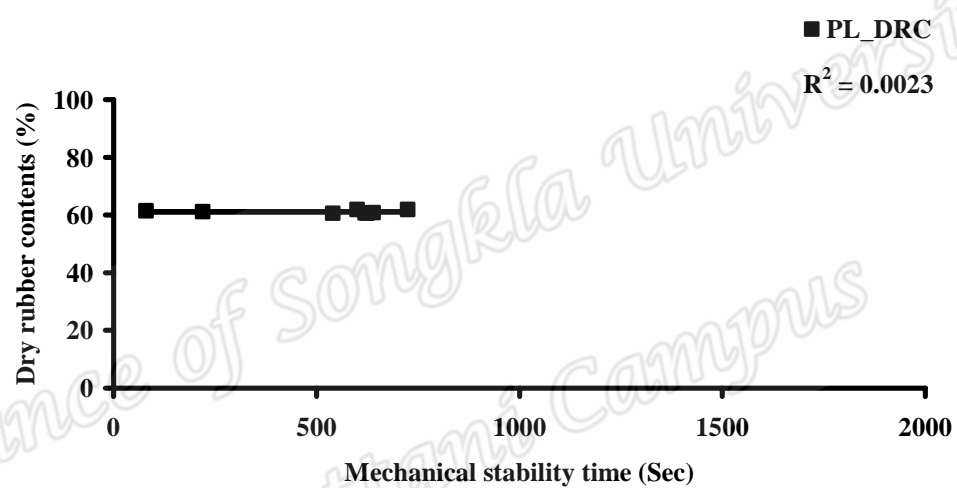
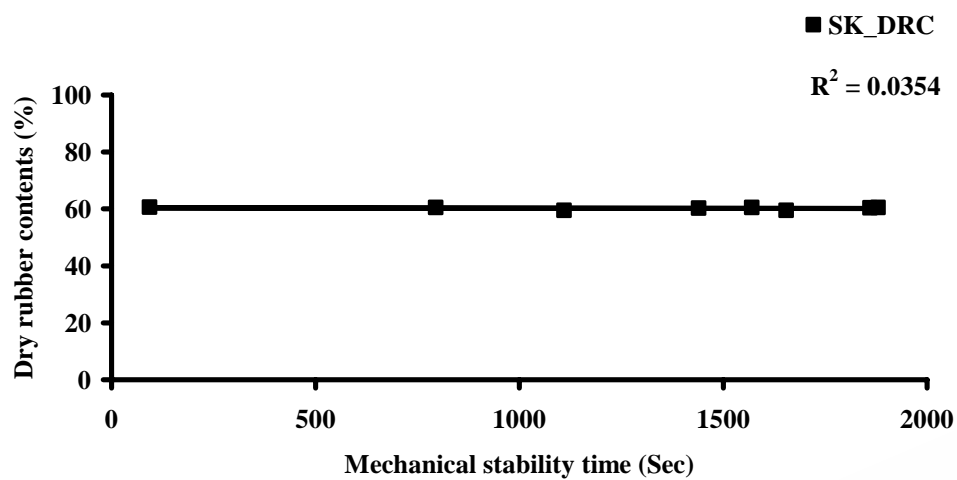
เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณเนื้อยางแห้งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p < 0.01$) ดังรูปที่ 4.19 ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา และพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ในขณะที่จังหวัดชลบุรีมีค่าสูงสุด โดยมีค่าปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ที่ร้อยละ 28.60-28.98, 29.27-30.29 และ 38.82-39.97% g/g น้ำยางตามลำดับ ส่วนในน้ำยางขึ้นจากทั้งสามจังหวัดพบอยู่ในช่วงเดียวกันที่ร้อยละ 59.48-60.60, 60.10-61.94 และ 60.12-61.11% g/g น้ำยาง ตามลำดับ ค่าที่ได้สอดคล้องกับที่เคยมีการรายงานไว้ในน้ำยางสดคือ ร้อยละ 25-45 (Blackley, 1997; Resing, 2000; Nair, 2000 และบุญธรรม, 2530) แม้ว่าปริมาณเนื้อยางแห้งจะมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์กับความเสถียรเชิงกลไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรูปที่ 4.20

4.2.1.2 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมด

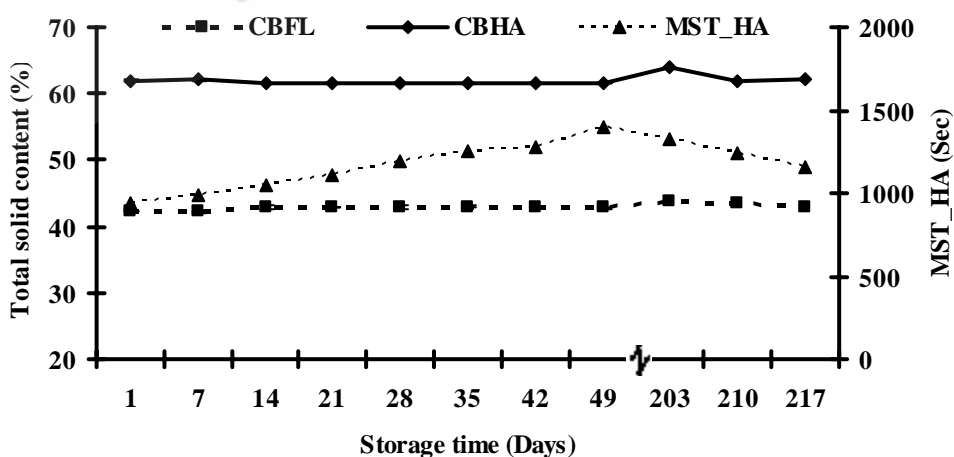
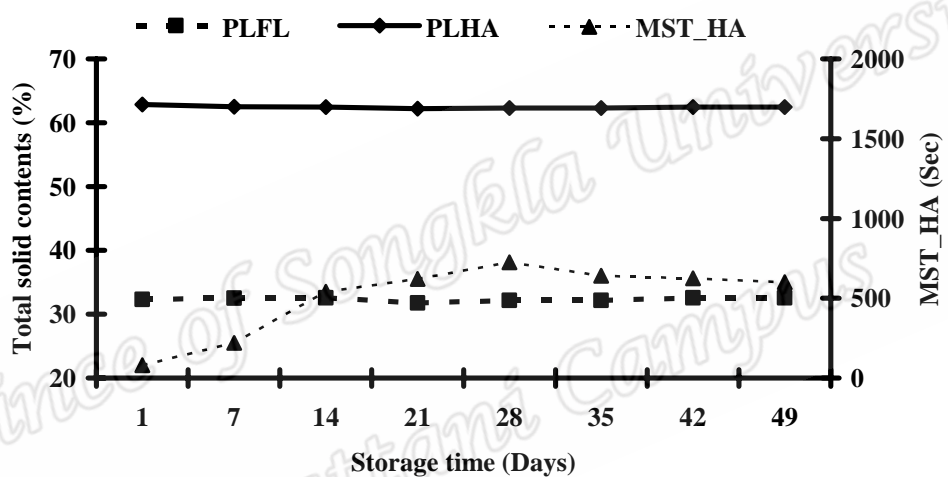
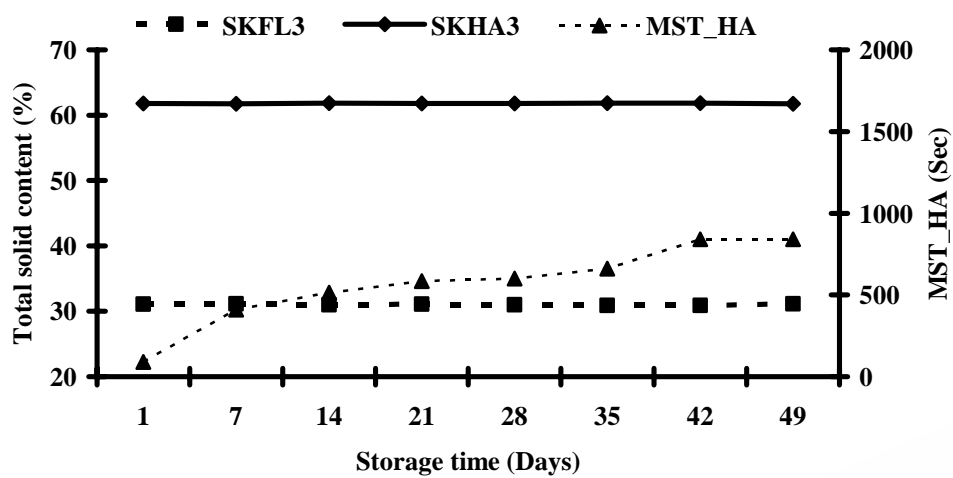
เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังรูปที่ 4.21 ปริมาณของแข็งทั้งหมดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ที่ร้อยละ 30.91-31.11, 31.79-32.54 และ 42.19-43.03% g/g น้ำยาง ตามลำดับ ค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เคยรายงานอยู่ในช่วงร้อยละ 27-48 (Blackley, 1997; Resing, 2000 และบุญธรรม, 2530) ส่วนในน้ำยางขึ้นจากทั้งสามจังหวัดพบอยู่ในช่วงเดียวกันที่ร้อยละ 61.75-61.83, 62.19-62.86 และ 60.37-62.05% g/g น้ำยาง ตามลำดับ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสดมีน้อยกว่าน้ำยางขึ้น เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตน้ำยางขึ้นมีการปั่นเหวี่ยงเอาส่วนที่เป็นน้ำออกไปบางส่วนทำให้ปริมาณเนื้อยางและของแข็งเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับความเสถียรเชิงกลไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรูปที่ 4.22



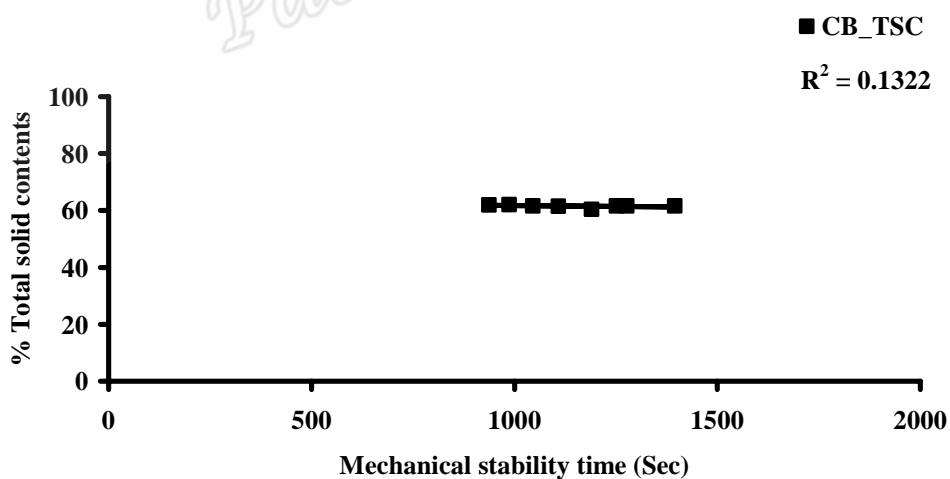
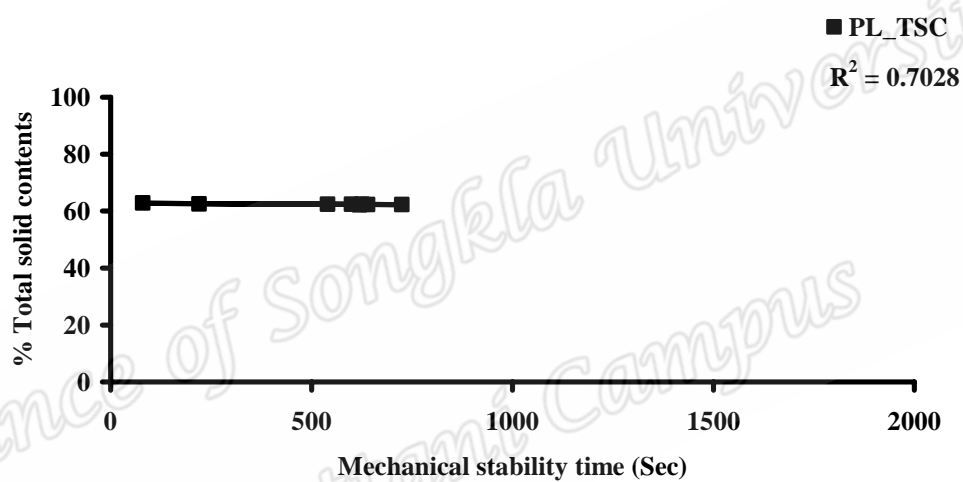
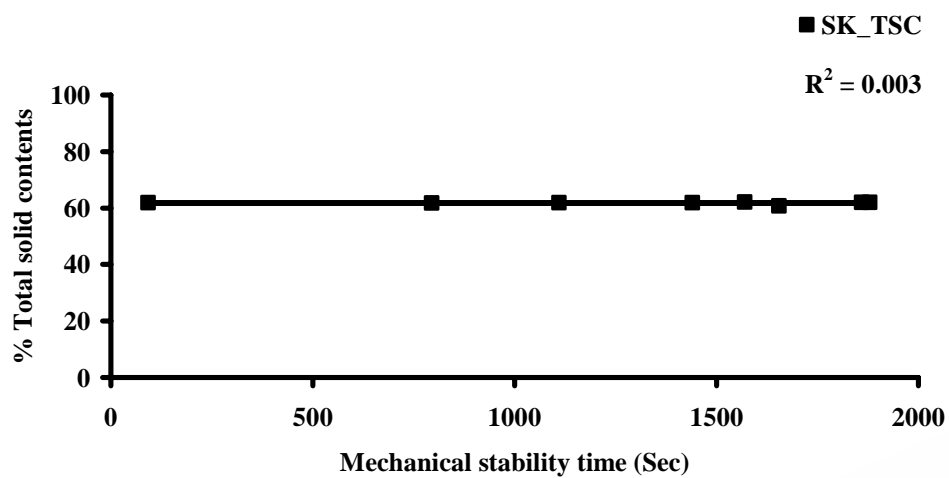
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

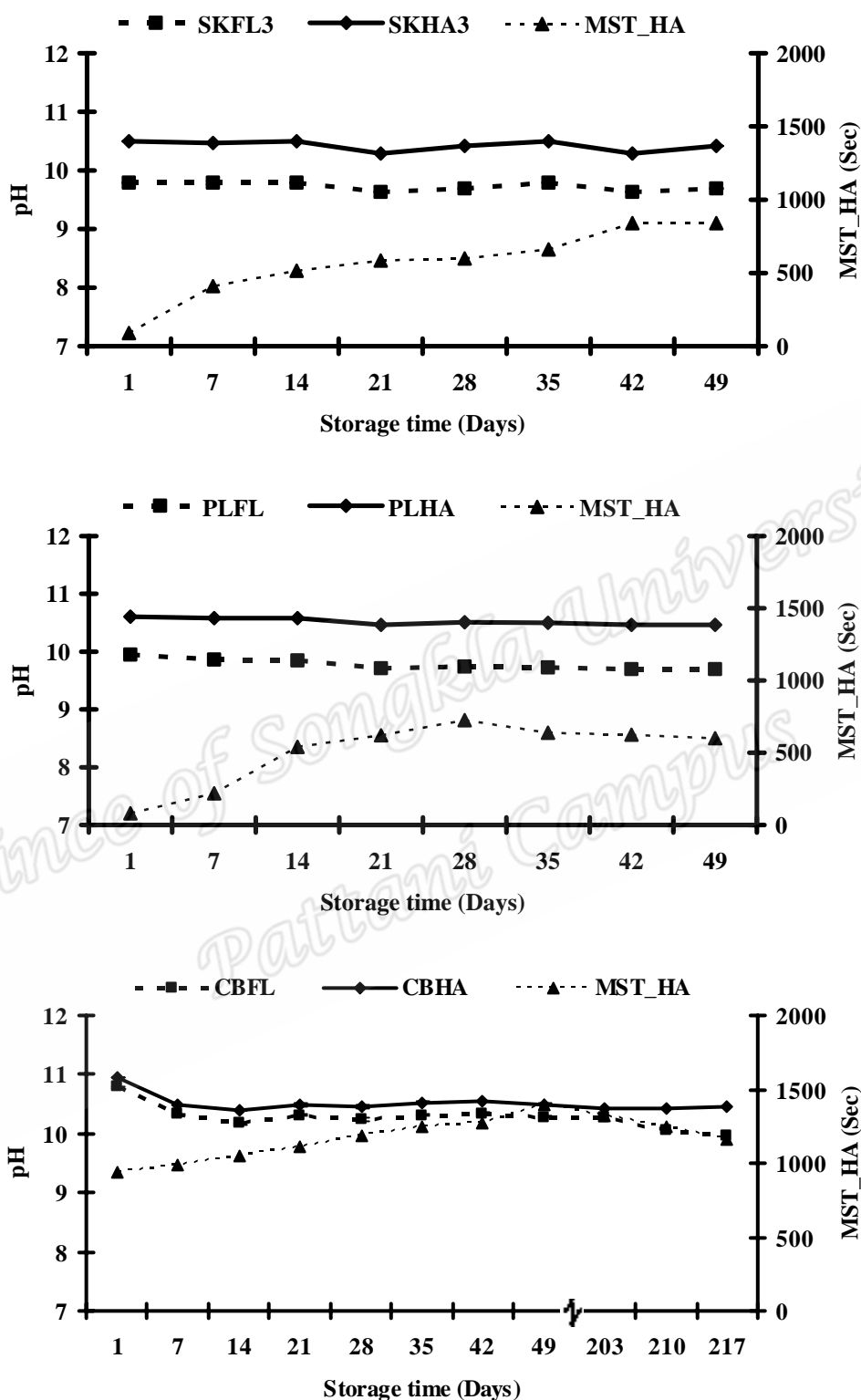


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

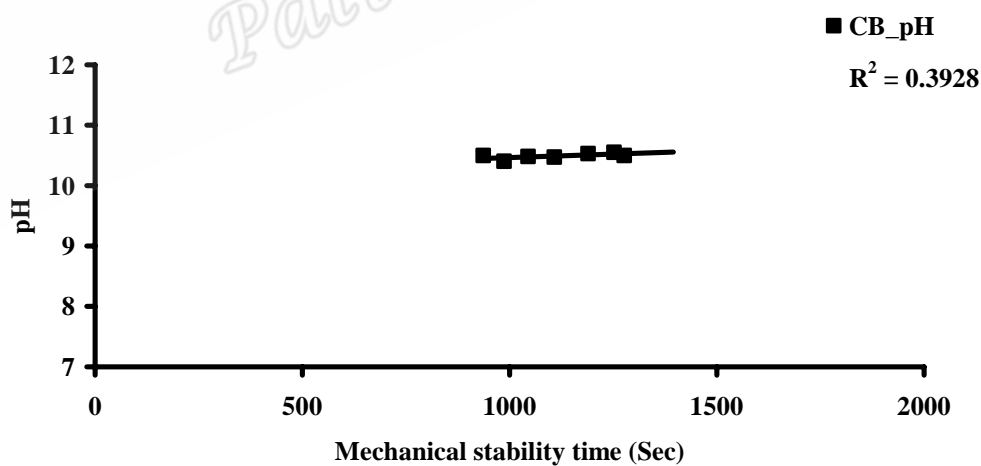
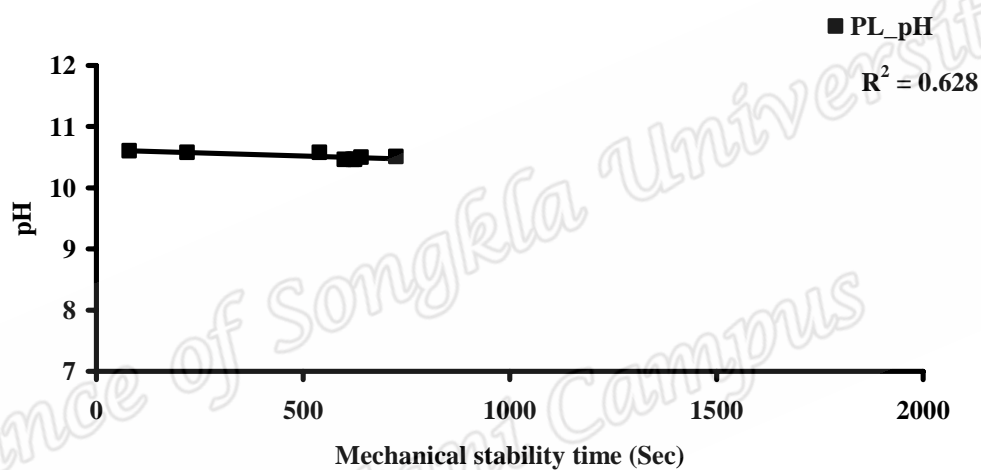
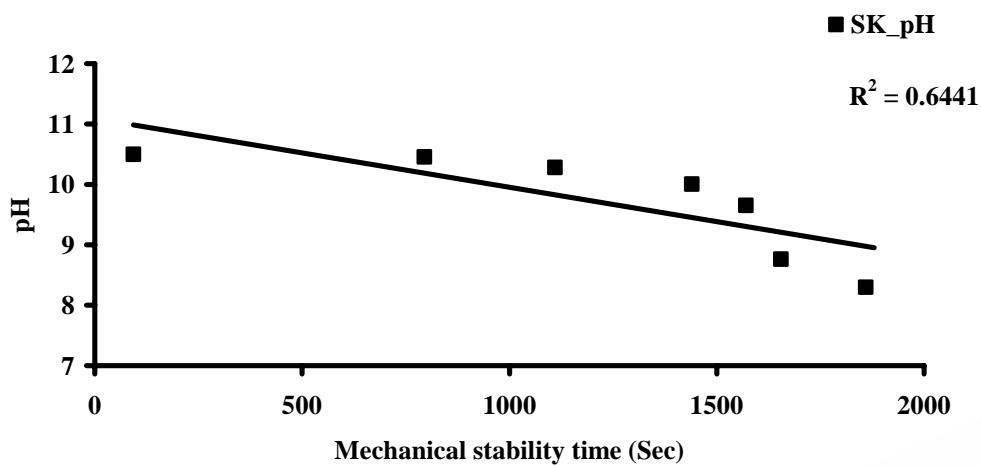
สำหรับปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยางในน้ำยางสด สามารถศึกษาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเนื้อยางแห้ง พบผลจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ในช่วง 2.17-2.55, 2.01-2.93 และ 3.06-3.44% ตามลำดับ (รูปที่ 4.19 และ 4.21) ส่วนในน้ำยางข้นอยู่ในช่วง 1.23-2.35, 0.35-1.89 และ 0.25-1.50% ตามลำดับ โดยทั่วไปค่าที่ได้ในน้ำยางสดไม่ควรเกิน 3% และในน้ำยางข้นไม่เกิน 2% (วารสารณ์, 2525)

4.2.1.3 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังรูปที่ 4.21 ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีมีอยู่ในช่วง 9.63-9.79, 9.70-9.95 และ 10.29-10.78 ตามลำดับ และในน้ำยางข้นอยู่ในช่วง 10.19-10.50, 10.46-10.60 และ 10.50-10.55 ตามลำดับ น้ำยางสดส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าน้ำยางข้น เนื่องจากชาวสวนจะเติมแอมโมเนียในปริมาณน้อย ๆ ประมาณ 0.20% w/v หลังจากกรีดยางได้ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง และหลังการผลิตเป็นน้ำยางข้นจึงทำการเติมแอมโมเนียลงไปปริมาณที่มากขึ้นประมาณ 0.70% w/v เพื่อรักษาสภาพน้ำยางทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยางข้นมากกว่าน้ำยางสด ยกเว้นน้ำยางสดจากจังหวัดชลบุรีที่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับน้ำยางข้นเนื่องจากทางโรงงานมีการเติมแอมโมเนียในระดับเดียวกัน เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าความเป็นกรด-ด่างไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเสถียรเชิงกล



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



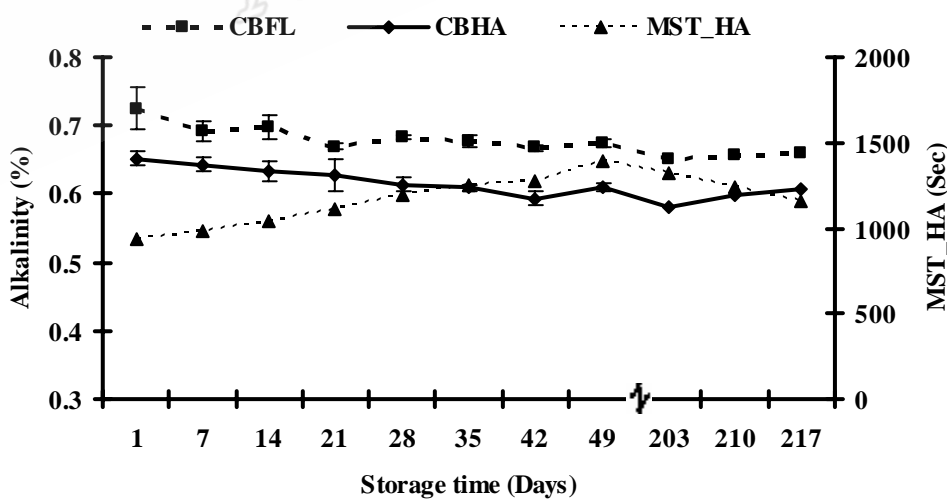
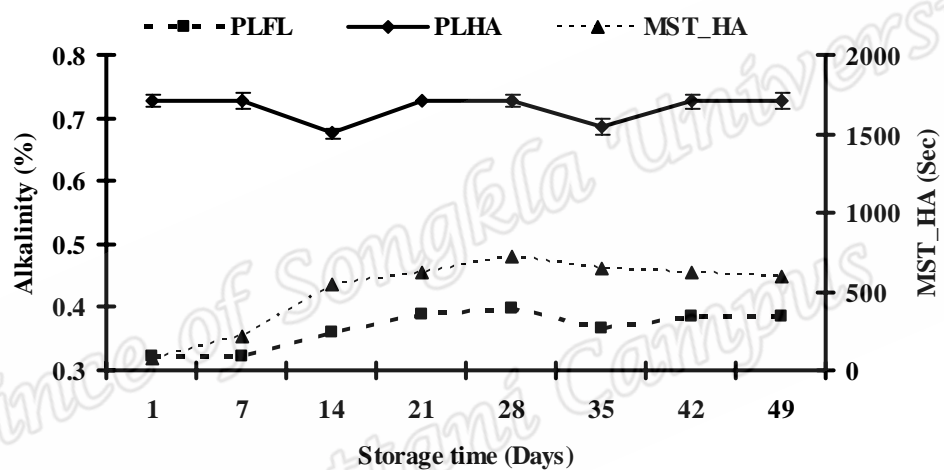
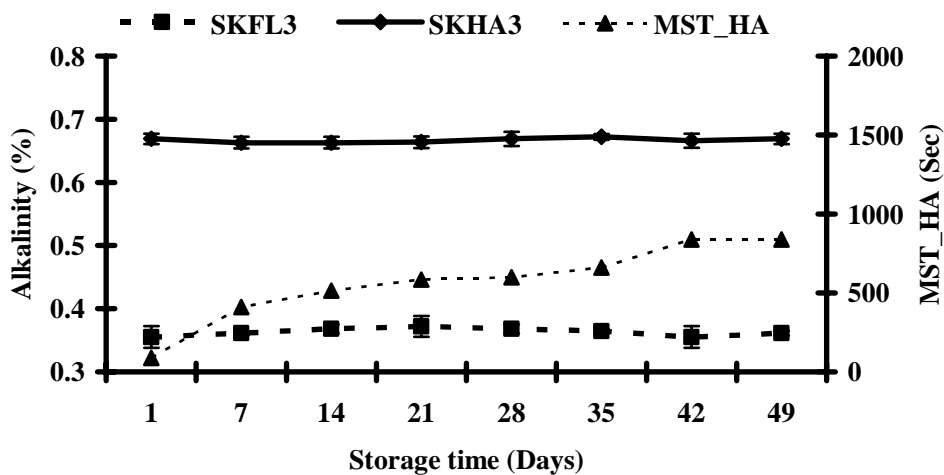
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยางจาก
จังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

4.2.1.4 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่าง

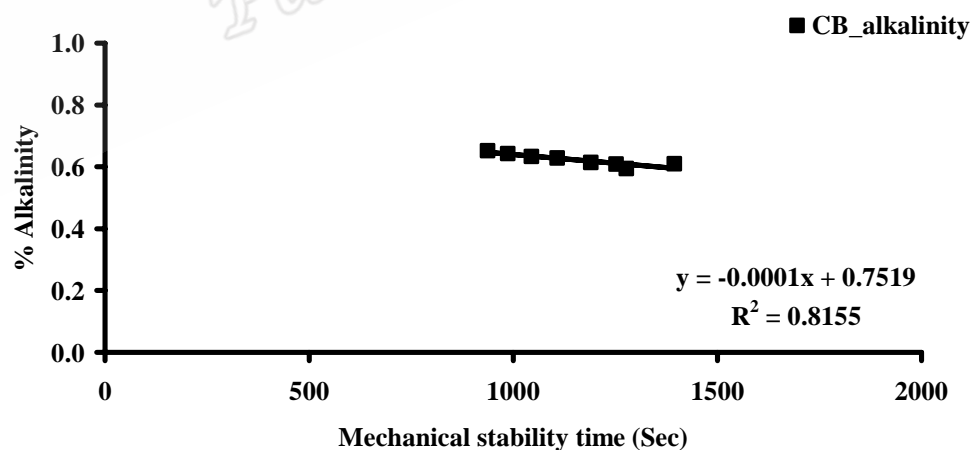
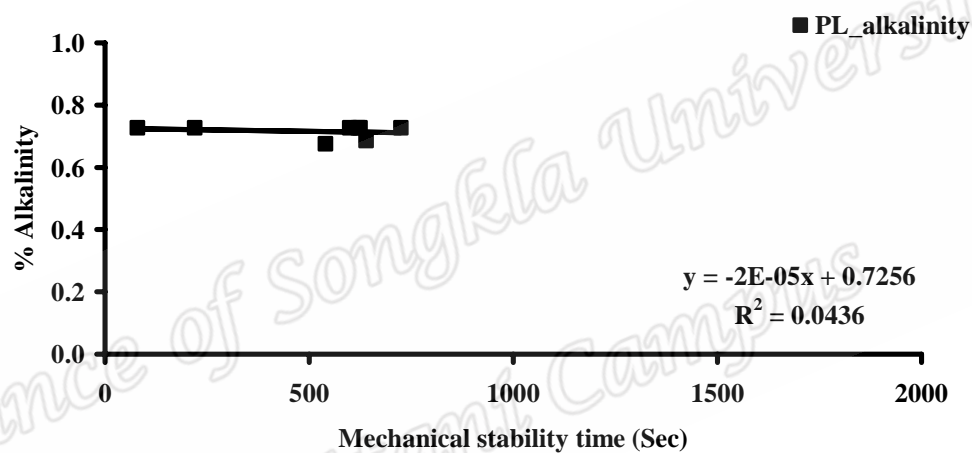
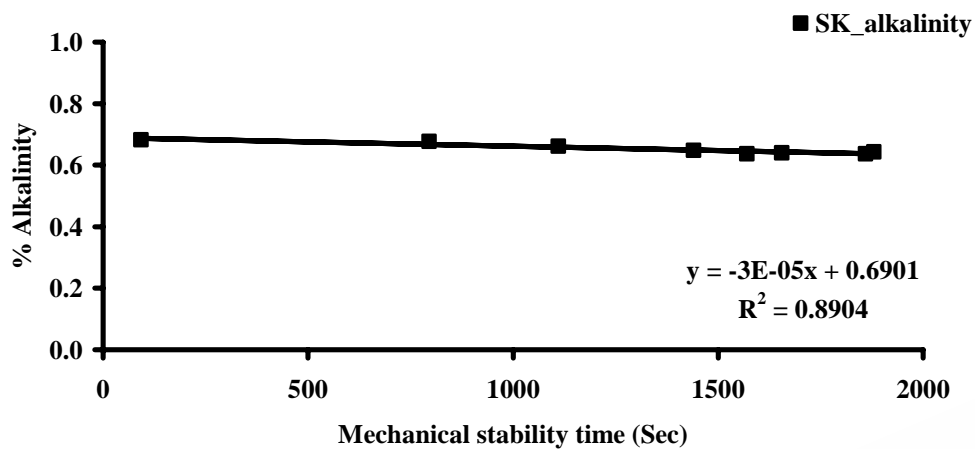
เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่าความเป็นด่างเป็นผลที่มาจากปัจจัยหลักคือ แอมโมเนีย ในการศึกษานี้แบ่งตัวอย่างน้ำยางเก็บในภาชนะขนาดเล็กคือ ขนาด 1 ลิตร เมื่อเขย่าและเปิดขวดทุกอาทิตย์อาจทำให้แอมโมเนียส่วนหนึ่งสูญหายไป ดังรูปที่ 4.25 ค่าความเป็นด่างในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา และพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ขณะที่ในน้ำยางสดจากจังหวัดชลบุรีมีค่าสูงสุดคือ ร้อยละ 0.36-0.37, 0.32-0.39 และ 0.67-0.73% NH_3/g น้ำยาง ตามลำดับ และในน้ำยางขึ้นชนิดแอมโมเนียสูงจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงมีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนในจังหวัดชลบุรีมีค่าต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.66-0.67, 0.68-0.73 และ 0.59-0.65% NH_3/g น้ำยาง ตามลำดับ และค่าความเป็นด่างในน้ำยางสดมีค่าน้อยกว่าน้ำยางขึ้น ยกเว้นน้ำยางสดจากจังหวัดชลบุรีที่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับน้ำยางขึ้น สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และพบว่าค่าความเป็นด่างของน้ำยางจากจังหวัดสงขลาและชลบุรีมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเสถียรเชิงกลคือ เมื่อค่าความเป็นด่างลดลงความเสถียรเชิงกลเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.26

4.2.1.5 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

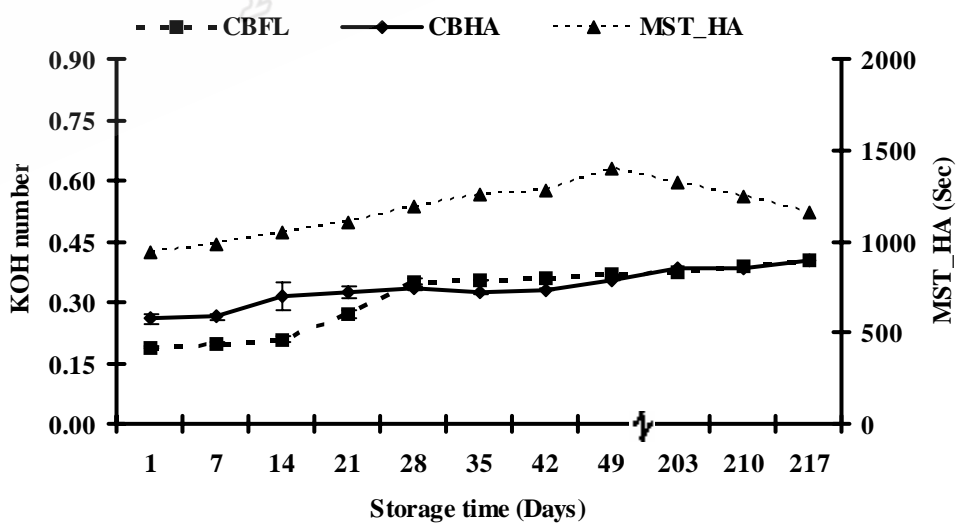
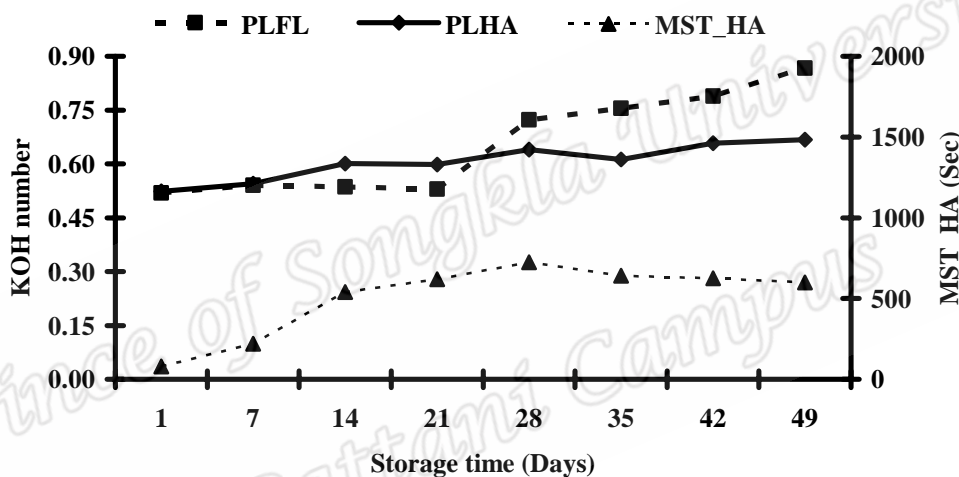
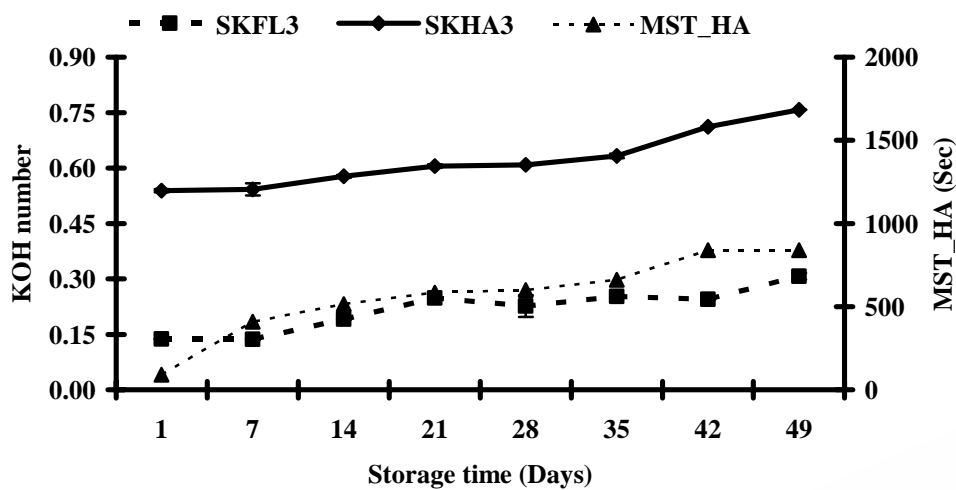
เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในน้ำยางสดและขึ้นในทุกตัวอย่างดังรูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันในน้ำยางโดยจุลินทรีย์และค่าที่มาจากแอมโมเนีย ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนจังหวัดชลบุรีมีปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 0.138-0.307, 0.188-0.367 และ 0.519-0.867% g/g TSC ตามลำดับ และในน้ำยางขึ้นจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนจังหวัดชลบุรีมีปริมาณต่ำสุดคือ ร้อยละ 0.539-0.757, 0.523-0.669 และ 0.259-0.356% g/g TSC ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความเป็นด่าง เนื่องจากค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บ่งบอกถึงปริมาณของกรดไขมันที่มีปลายคาร์บอกซิลเลตจับอยู่กับแอมโมเนียมไอออน ดังนั้นเมื่อมีกรดไขมันดังกล่าวมากก็จะต้องจับกับไฮดรอกไซด์ไอออนจำนวนมากด้วย และพบในน้ำยางสดมีค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่าในน้ำยางขึ้น ทั้งนี้การเติมแอมโมเนียในปริมาณที่มากพอ (ประมาณ 0.7%) จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ส่งผลให้เกิดกรดไขมันระเหยได้น้อยกว่า ทำให้ในน้ำยางขึ้นมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้น้อยกว่าในน้ำยางสด และพบว่าค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเสถียรเชิงกล นั่นคือค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเสถียรเชิงกลเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.28



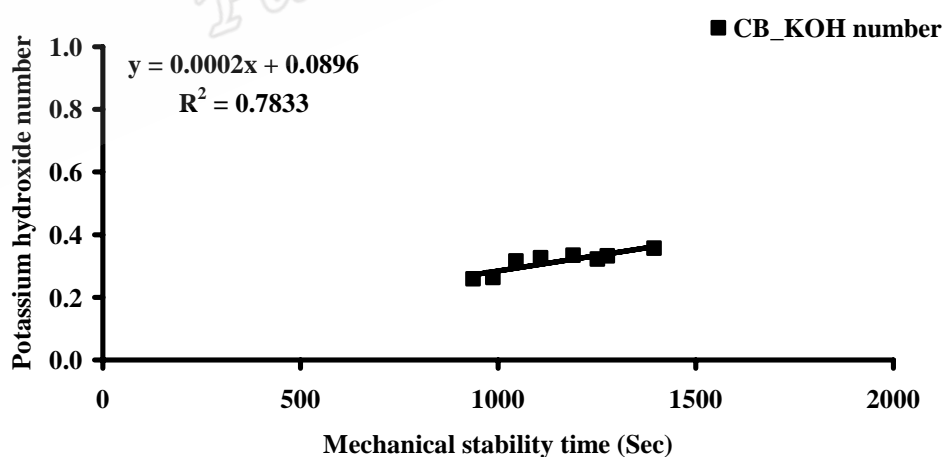
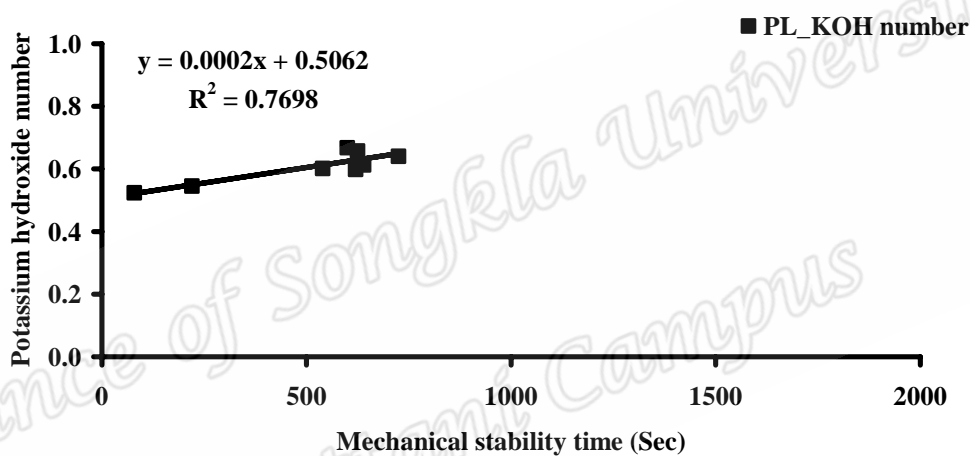
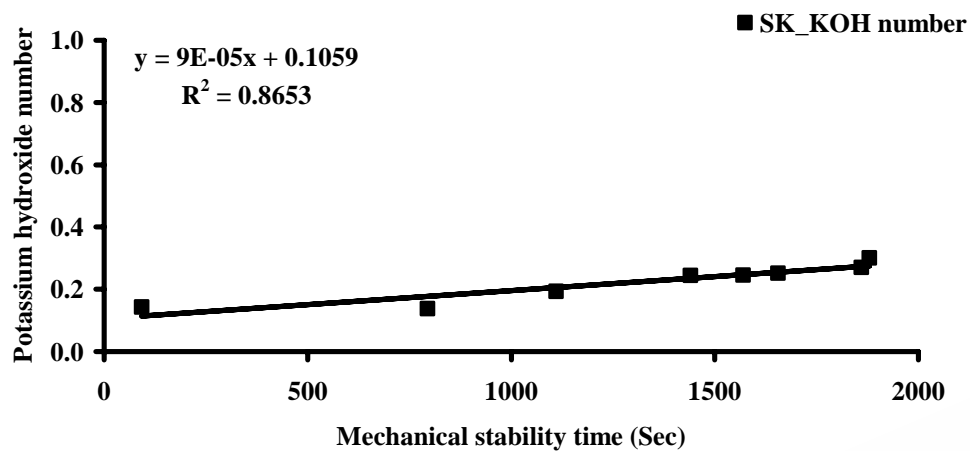
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับค่าความเป็นด่างในน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงของค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางจาก
จังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

4.2.1.6 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันที่ระเหยได้

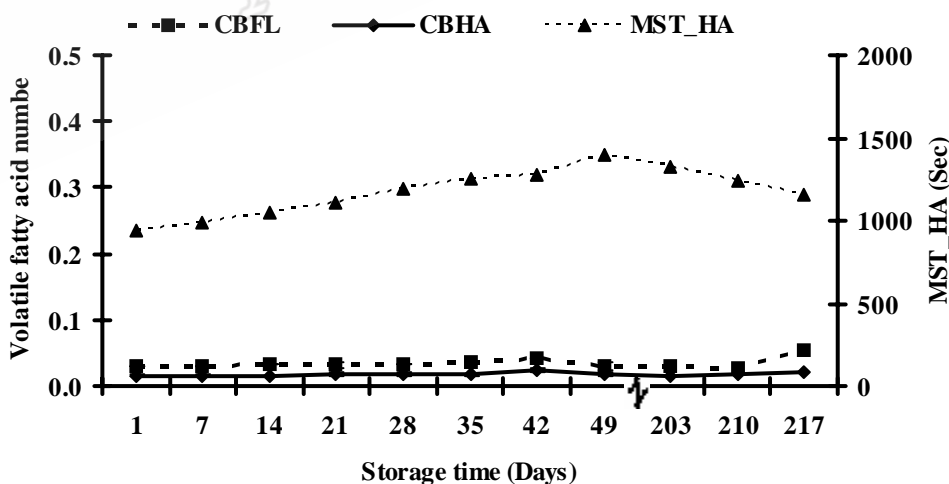
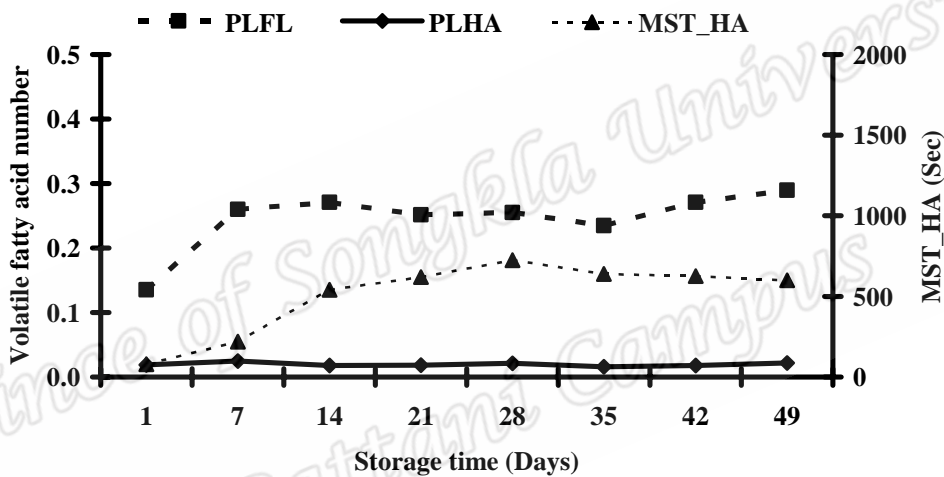
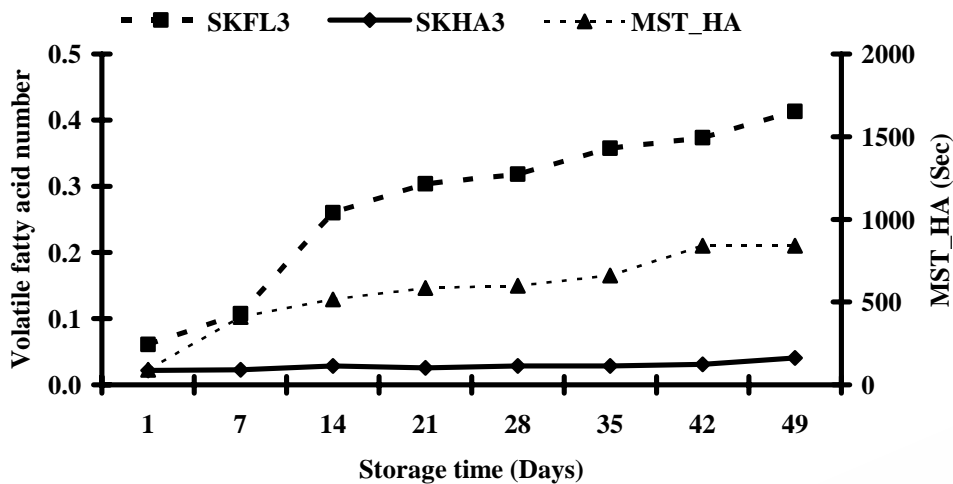
เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณกรดที่ระเหยได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติ พบว่าในน้ำยางชั้นการเพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังรูปที่ 4.29 ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ในน้ำยางสดจากจังหวัดพัทลุงสูงกว่าสงขลาและชลบุรีคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.061-0.413, 0.030-0.044 และ 0.135-0.289% g/g TSC ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สำหรับในน้ำยางชั้นอยู่ในระดับเดียวกันทุกจังหวัดคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.022-0.040, 0.017-0.018 และ 0.019-0.022% g/g TSC ตามลำดับ ทั้งนี้ในน้ำยางสดมีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้มากกว่าน้ำยางชั้น เนื่องจากในน้ำยางสดมีการเติมแอมโมเนียเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 0.2%) จุลินทรีย์จึงยังสามารถเจริญเติบโตได้ และมีการไฮโดรไลซ์สารพวกไลปิด โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดกรดไขมันระเหยได้ขึ้น ส่วนในน้ำยางชั้นมีการเติมแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นที่สูงคือ ประมาณร้อยละ 0.60-0.70% ทำให้สามารถช่วยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเป็นด่าง และค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นั่นคือเมื่อน้ำยางมีค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความเป็นด่างน้อยเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น และระดับของกรดไขมันระเหยได้ที่ตรวจพบในการศึกษานี้ พบโรงงานส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเสถียรเชิงกล ดังรูปที่ 4.30

4.2.1.2 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า

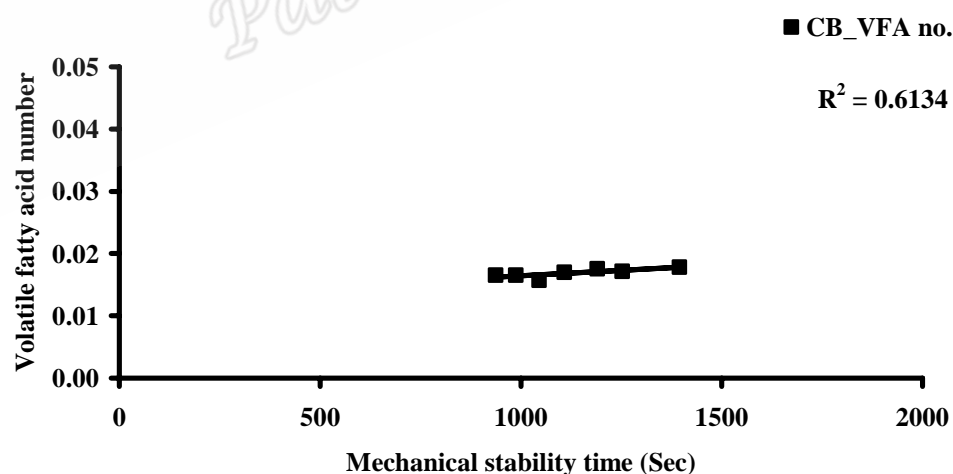
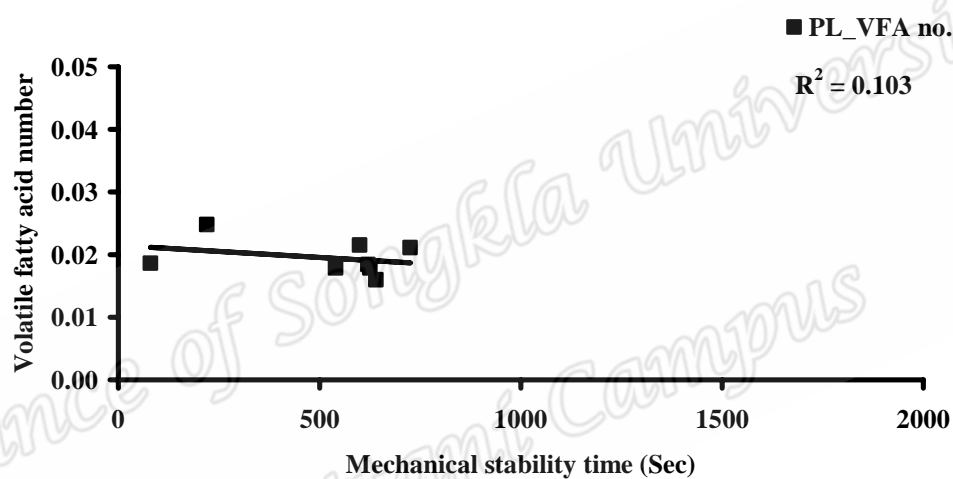
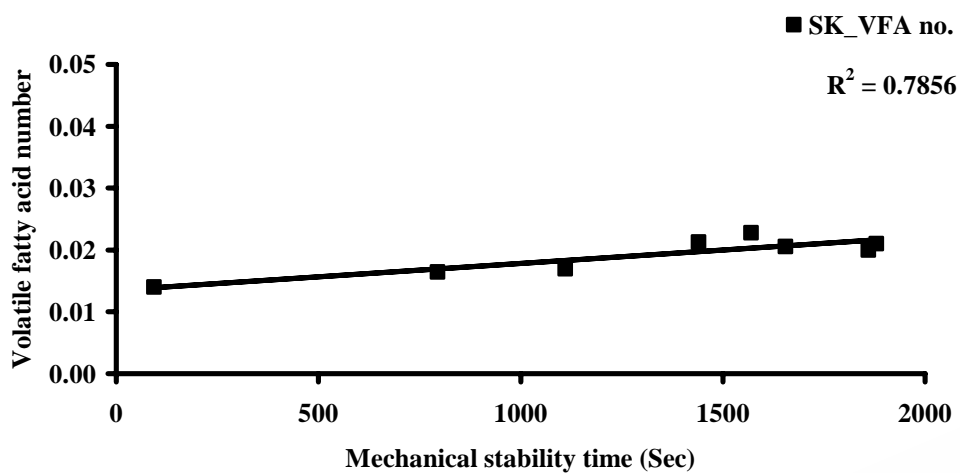
เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งในน้ำยางสดและน้ำยางชั้นในทุกตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.31 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นสารขนาดเล็กที่นำไฟฟ้าได้ โดยค่าการนำไฟฟ้าในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงสูงกว่าจังหวัดชลบุรีคือ พบอยู่ในช่วง 8.15-10.24, 9.65-10.71 และ 5.99-6.38 mS/cm ตามลำดับ และในน้ำยางชั้นค่าการนำไฟฟ้าในจังหวัดสงขลาและพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกันและสูงกว่าในน้ำยางจากจังหวัดชลบุรีคือ อยู่ในช่วง 3.63-4.76, 3.64-4.73 และ 2.94-3.14 mS/cm ตามลำดับ และในน้ำยางสดมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าน้ำยางชั้น เนื่องจากในชั้นตอนผลิตน้ำยางชั้นจะมีการปั่นเหวี่ยง ซึ่งในชั้นตอนนี้นี้อุณหภูมิขนาดเล็กที่สามารถนำไฟฟ้าได้บางส่วนจะถูกปั่นเหวี่ยงออกไปด้วย การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าสอดคล้องกับที่เคยมีรายงานไว้โดย Blackley (1997) อ้างถึงใน Philpott และ Sekar (1953) ซึ่งพบในน้ำยางสดเมื่อทำการเก็บน้ำยางไว้ 8 วันค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 0.56 เป็น 1.16 S/m ในขณะที่ค่าในน้ำยางชั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.60 เป็น 0.76 S/m จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความเสถียรเชิงกล พบมี

ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังรูปที่ 4.32 นั่นคือเมื่อค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นค่าความเสถียรเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังตรวจพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และค่ากรดไขมันระเหยได้ นั่นคือ ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และค่ากรดไขมันระเหยได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากประจุของกรดไขมัน

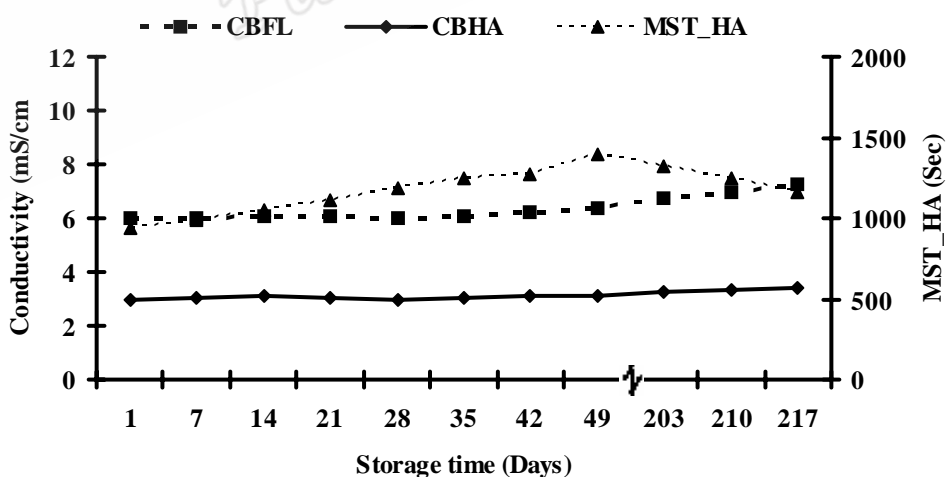
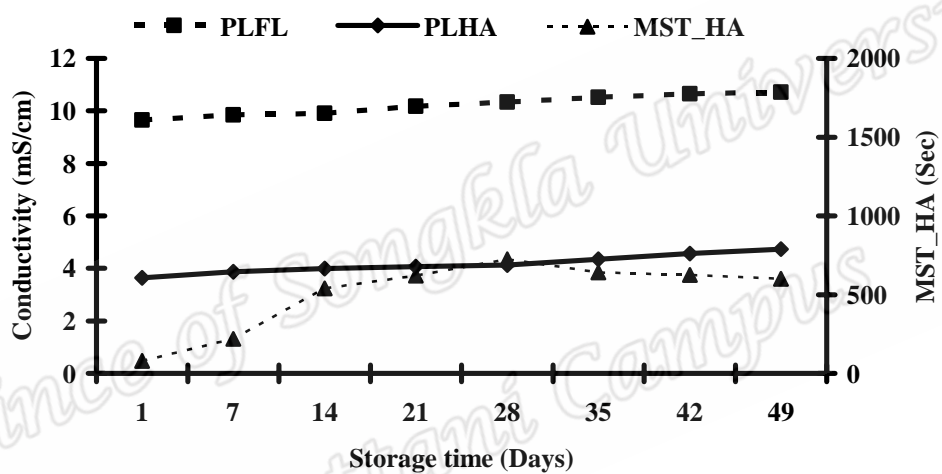
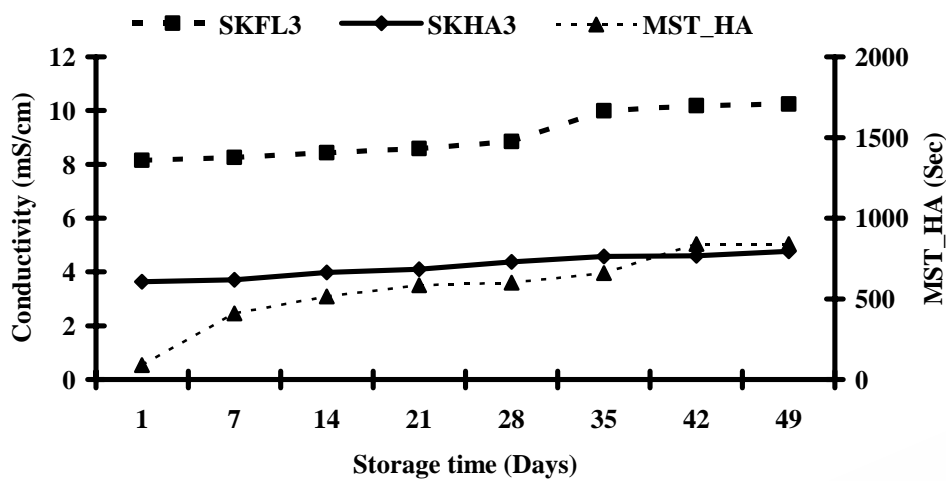
Prince of Songkla University
Pattani Campus



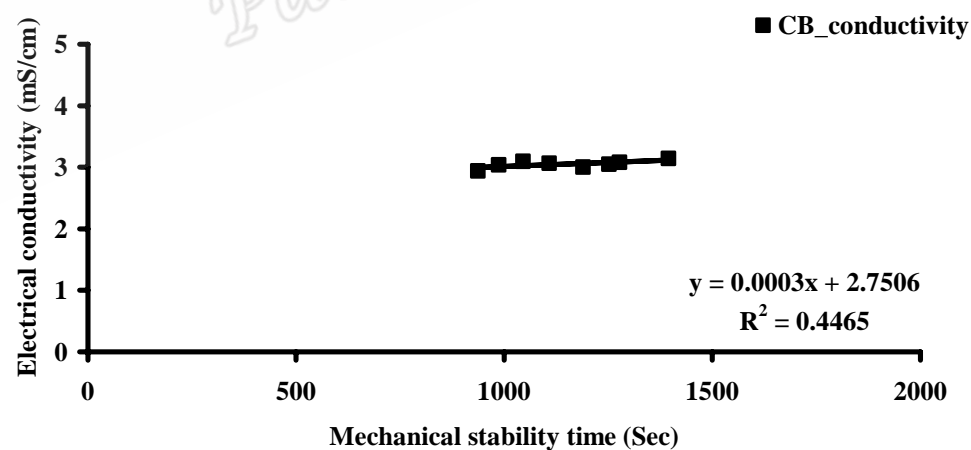
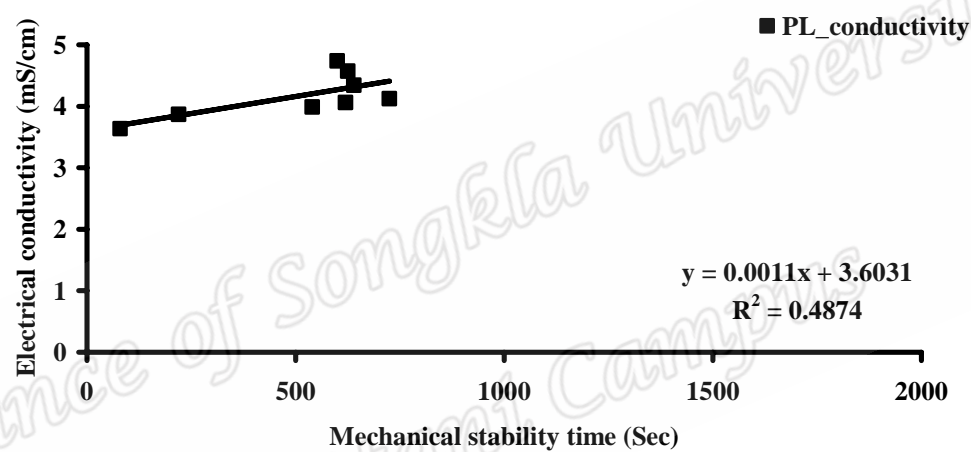
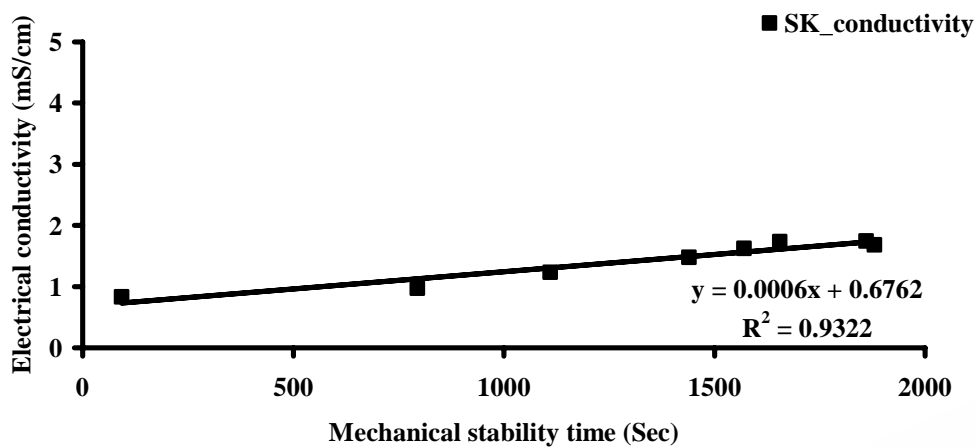
รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับค่ากรดไขมันระเหยได้ในน้ำจาก
จังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรเชิงกลกับค่าการนำไฟฟ้าในน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้งนี้การที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วงต่างมาจากการเติมแอมโมเนียในน้ำยาง โดยค่าความเป็นด่างในน้ำยางสดจากจังหวัดชลบุรีมีค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากผู้ประกอบการแจ้งว่ามีการเติมแอมโมเนียในระดับเดียวกับน้ำยางชั้นคือที่ ประมาณ 0.7% ส่วนในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงมีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน คือมีการเติมแอมโมเนียประมาณ 0.3-0.4%

ส่วนในน้ำยางชั้นค่าความเป็นด่างและค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับเดียวกัน และพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าความเสถียรเชิงกล และค่าความเป็นด่างมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเสถียรเชิงกล

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณของกรดไขมันที่มีปลายคาร์บอกซิลेटจับอยู่กับแอมโมเนียมไอออน พบว่าในระยะ 49 วันแรก ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยได้ โดยในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนจังหวัดชลบุรีมีค่าต่ำสุดสอดคล้องกับค่าความเป็นด่าง นั่นคือน้ำยางที่มี การรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียประมาณ 0.7% สามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ได้ ทำให้ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปริมาณกรดไขมันระเหยได้มีค่าน้อย และพบว่าค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และค่ากรดไขมันระเหยได้มีความสัมพันธ์กับค่าความเสถียรเชิงกล นั่นคือน้ำยางที่มีค่าทั้งสองมากจะมีค่าความเสถียรเชิงกลน้อย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และค่ากรดไขมันระเหยได้ นั่นคือ เมื่อค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และค่ากรดไขมันระเหยได้มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากปริมาณกรดไขมันแล้วยังมีปริมาณ โปรตีน และ โลหะอื่น ๆ ที่มีประจุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ สารเหล่านี้อาจจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าความเสถียรเชิงกล นั่นคือน้ำยางที่มีค่าการนำไฟฟ้ามากจะมีค่าความเสถียรเชิงกลน้อย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่สอดคล้องกับปริมาณเนื้อยางแห้ง เนื่องจากปริมาณเนื้อยางแห้งเป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมด และพบว่าปริมาณทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเสถียรเชิงกล

4.2.2 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารชีวโมเลกุล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารชีวโมเลกุลในน้ำยางสดและชั้นชนิดแอมโมเนียสูงจาก 3 โรงงาน โรงงานละครั้ง โดยเลือกศึกษาตัวอย่างจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552

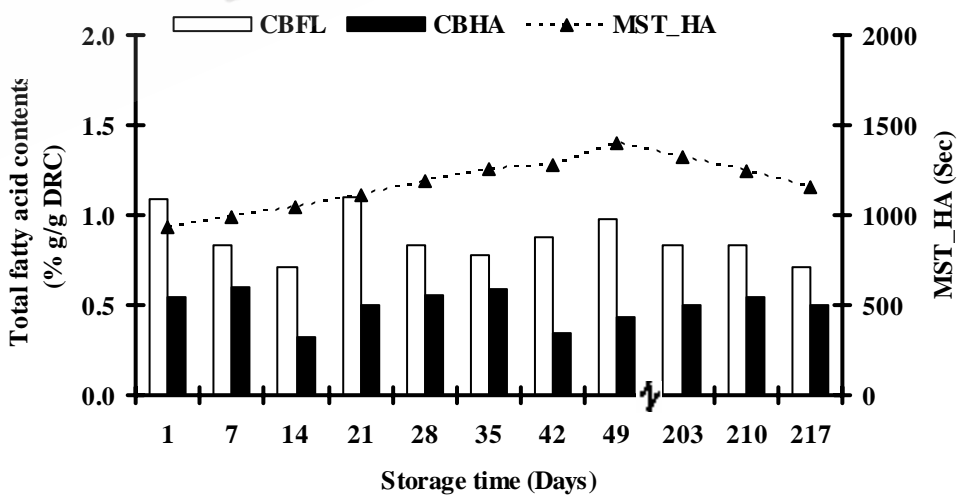
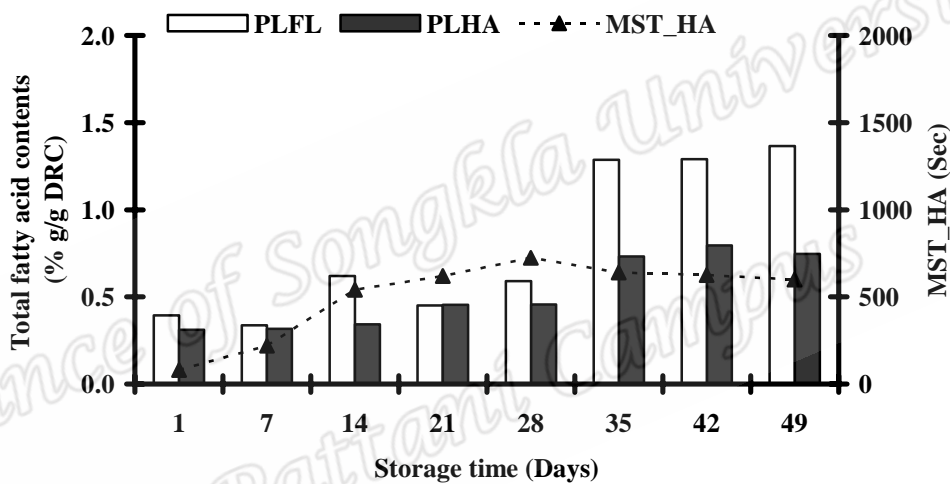
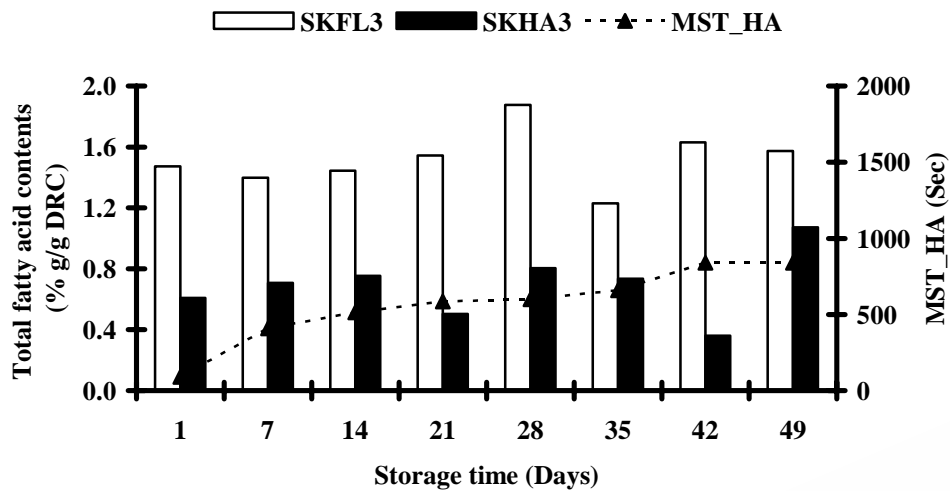
4.2.2.1 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของไลปิด

1) ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงของไลปิดทั้งหมด

เนื่องจากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ไลปิดทั้งหมดโดยวิธีสกัดแบบซอกซ์เลต พบว่าการสกัดด้วยวิธีนี้ต้องใช้ทักษะและความชำนาญสูง อีกทั้งใช้เวลาในการสกัดอย่างน้อยด้วยอย่างละ 8 ชั่วโมง และของเสียที่เกิดจากการสกัดคือ เฮกเซนมีปริมาณสูง ในขั้นตอนการพัฒนาวิธีใช้เวลานานกว่าการพัฒนาวิธีอื่น ๆ เป็นระยะเวลากว่า 3 เดือน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันทั้งหมด

2) การติดตามการเปลี่ยนแปลงของชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

จากการวิเคราะห์กรดไขมันในน้ำยาง โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียวร่วมกับเทคนิค GC-FID พบเพียงปริมาณของกรดไขมันบางส่วนเท่านั้น ยังมีกรดไขมันอีกหลายชนิดที่มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด ทำให้ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณของกรดไขมันจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร แม้ว่าในรูปที่ 4.33 จะดูเหมือนกับว่าปริมาณกรดไขมันจากจังหวัดสงขลาและชลบุรีมีแนวโน้มคงที่ ส่วนจากจังหวัดพัทลุงมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังวันที่ 28 แล้วเข้าสู่ระดับที่คงที่อีกครั้ง โดยปริมาณของกรดไขมันในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลาและพัทลุงอยู่ในช่วงเดียวกัน ขณะที่ในน้ำยางสดจากจังหวัดชลบุรีมีค่าสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 0.32-0.98, 0.34-1.37 และ 0.71-1.10% g/g DRC ตามลำดับ ส่วนในน้ำยางชั้นจังหวัดสงขลามีค่าต่ำสุด ส่วนน้ำยางจากจังหวัดพัทลุงและชลบุรีมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันที่ร้อยละ 0.26-0.65, 0.31-0.79 และ 0.32-0.60% g/g DRC ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันในน้ำยางสดมากกว่าในน้ำยางชั้น ปริมาณกรดไขมันที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เคยรายงานไว้เช่น ปริมาณไลปิดในน้ำยางสด 1.6% w/v น้ำยาง (Nair, 2000 และ Resing, 2000) กรดไขมันในน้ำยางสดและชั้น 28.10 และ 38.50 mmol/kg เนื้อยาง ตามลำดับ (Sansatsadeekul และ saktapipanich, 2005) และพบมากกว่าในรายงานของ Kawahara และคณะ (2000) ซึ่งรายงานในรูปของกรดไขมันทั้งหมดที่ต่อกับส่วนปลายของสายโซ่อย่าง (Total linked fatty acid) โดยสกัดจากน้ำยางโปรตีนต่ำเท่ากับ 4.93 mmol/kg หรือเท่ากับ 0.99 mg/g latex



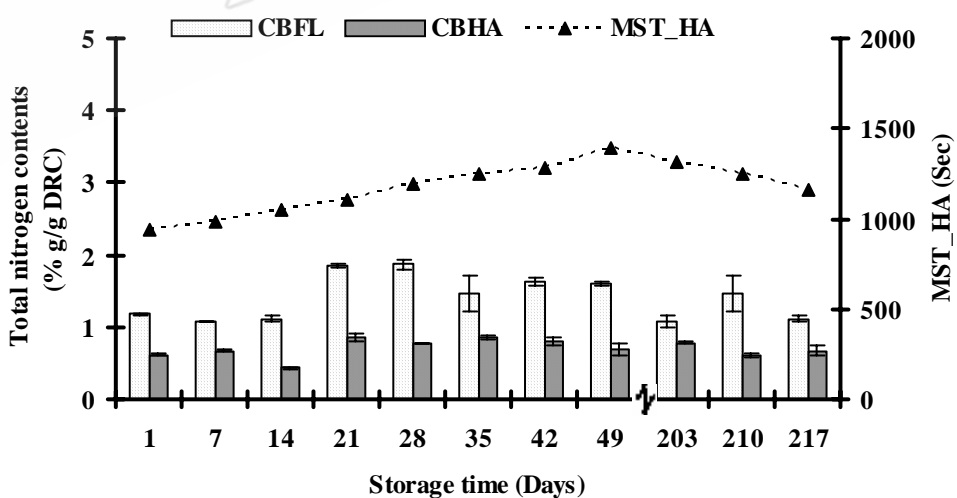
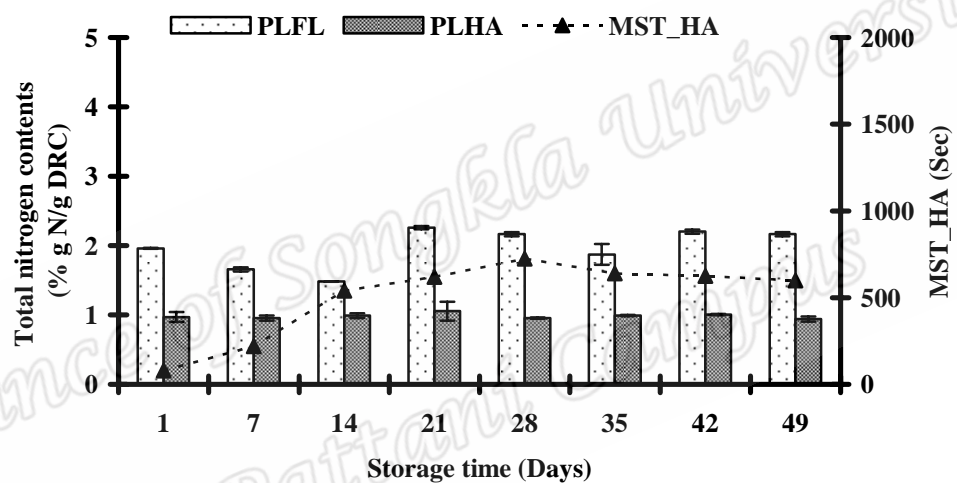
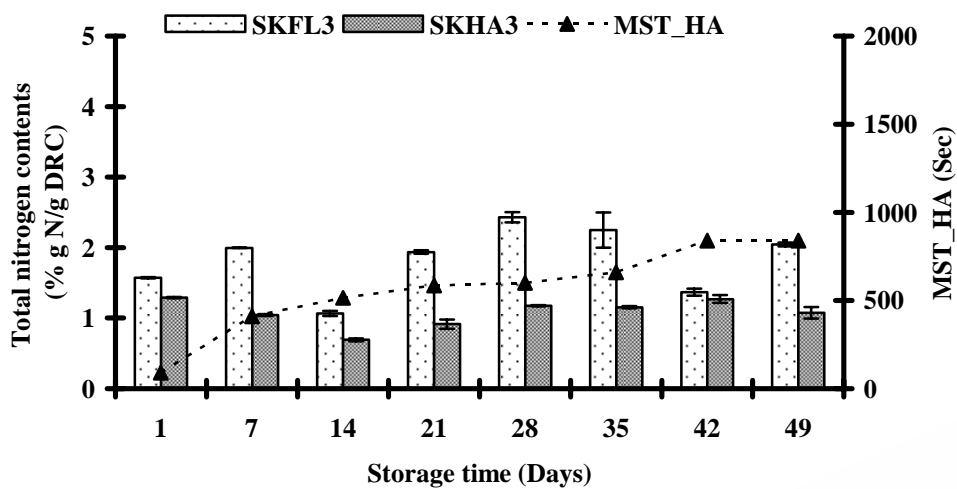
รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันที่ตรวจวัดได้ของตัวอย่างน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

4.2.2.2 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนได้ทำการศึกษาในสี่รูปแบบ ได้แก่ โปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาห์ลในโตรเจน โปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์ โปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดอะมิโน และปริมาณกรดอะมิโนที่มีอยู่ ณ เวลาใด ๆ พบผลการศึกษา ดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาห์ลในโตรเจน

เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มคงที่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในน้ำยางสดและชั้นในทุกตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.34 ทั้งนี้วิธีเจลดาห์ลเป็นวิธีที่ใช้กรดเข้มข้นในการย่อยสารอินทรีย์ทั้งหมด ดังนั้นแม้ว่าโปรตีนจะสลายตัวกลายเป็นสายเปปไทด์สั้น ๆ หรือกรดอะมิโนบางส่วน แต่จำนวนไนโตรเจนก็ยังคงที่ ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในรูปไนโตรเจนในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ในช่วงร้อยละ 1.48-2.26, 1.39-2.46 และ 1.07-1.27% g N/g DRC ตามลำดับ และในน้ำยางชั้นมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.95-1.05, 0.66-1.64 และ 0.43-0.86% g N/g DRC ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนทั้งหมดในรูปไนโตรเจนในน้ำยางสดมีมากกว่าน้ำยางชั้น และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่พบสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่รายงานอยู่ในช่วง 0.28-0.68% g/g latex (Sansatsadeekul และ Sakdapipanich, 2005 และ Sakdapipanich, 2007) และไม่พบระดับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเสถียรเชิงกล



รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนทั้งหมดในรูปเจลด้าห์ลไนโตรเจนของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนโดยการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์

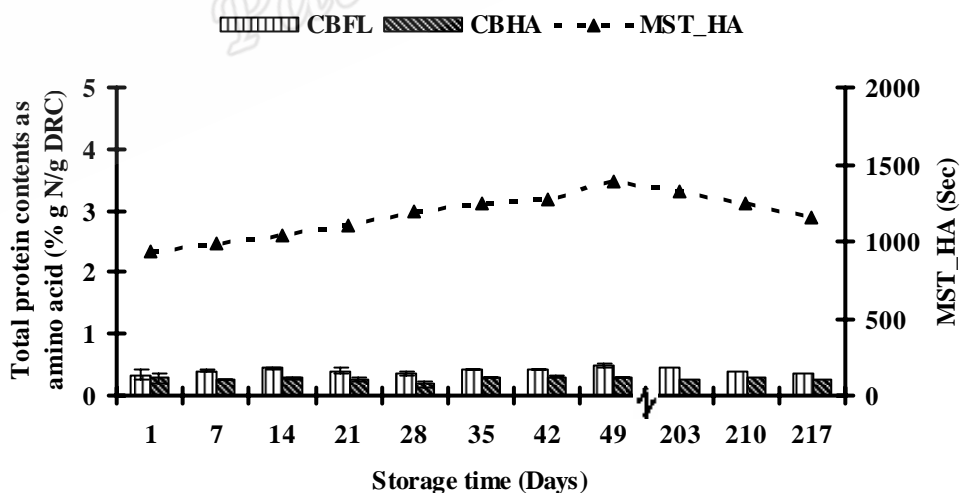
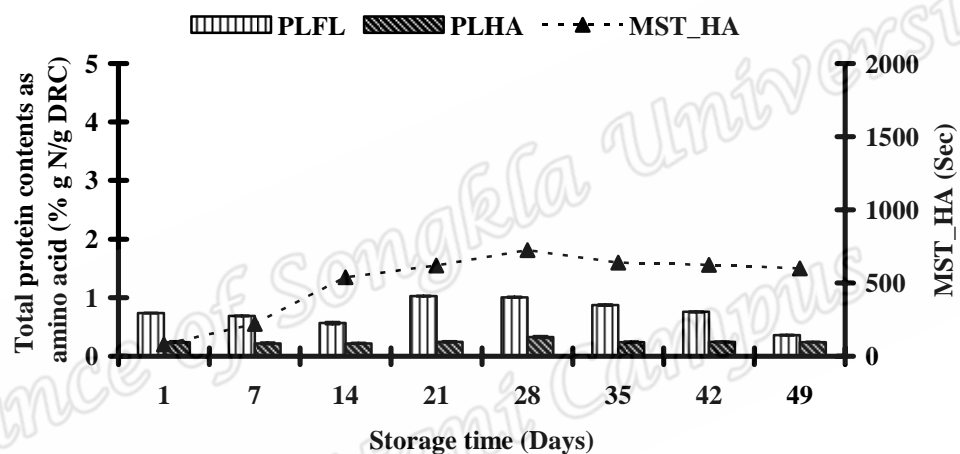
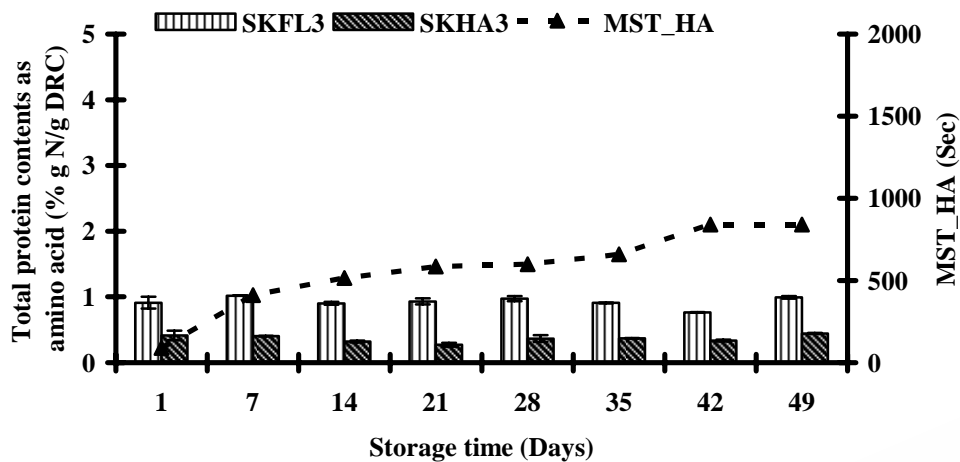
เนื่องจากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์ ต้องทำการย่อยสลายพันธะของพอลิเปปไทด์ด้วยค่าต่าง ในการศึกษานี้พบว่าได้ปริมาณโปรตีนในระดับที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ คาดว่าน่าจะมีผลมาจากการย่อยที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนโดยการทำปฏิกิริยาที่พันธะเปปไทด์

3) ปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโน

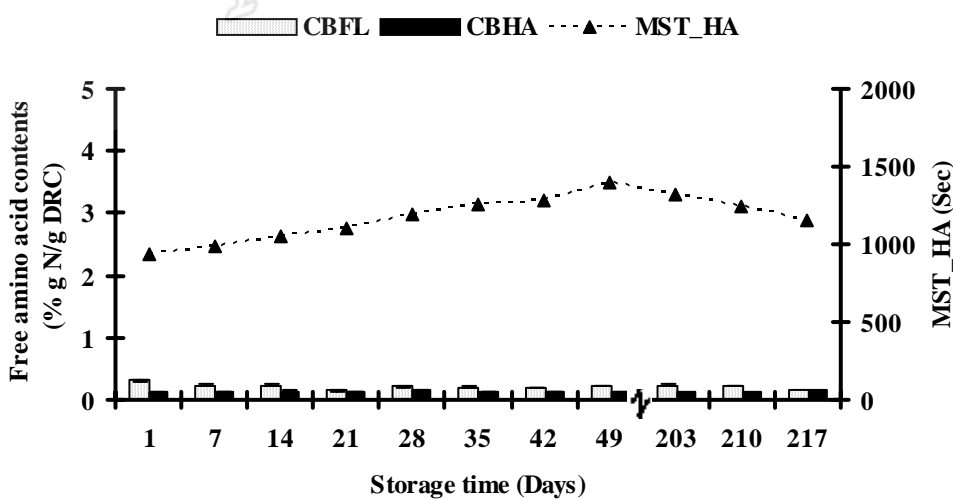
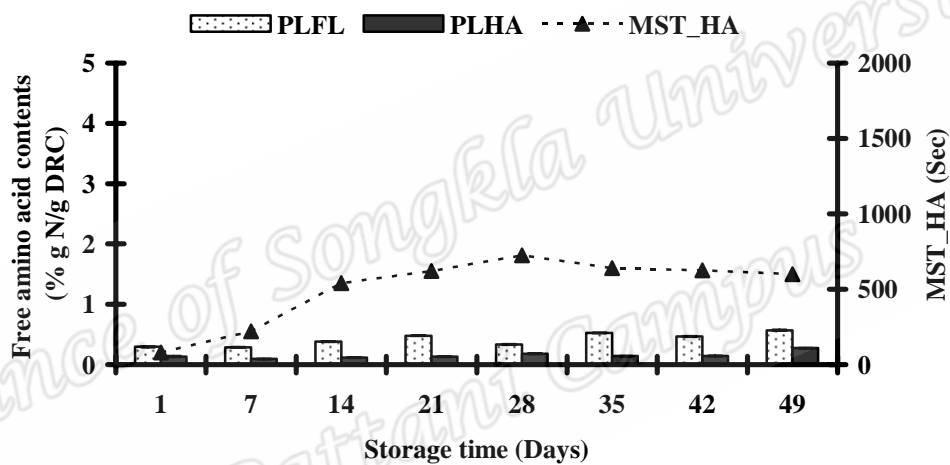
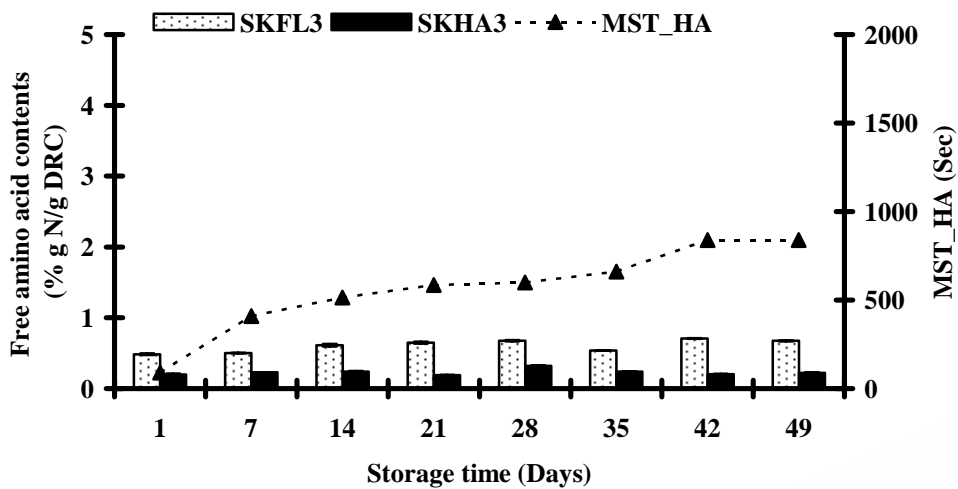
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยย่อยโปรตีนทั้งหมดให้อยู่ในรูปของกรดอะมิโนแล้วทำการวิเคราะห์กรดอะมิโนหลังทำปฏิกิริยาด้วยนินไฮดริน พบเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีมีแนวโน้มคงที่อยู่ที่ร้อยละ 0.76-1.02, 0.36-1.03 และ 0.34-0.49% g N/g DRC ดังรูปที่ 4.35 ส่วนในน้ำยางข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.32-0.44, 0.22-0.33 และ 0.18-0.30% g N/g DRC ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าที่เคยมีรายงานไว้ในน้ำยางสดประมาณ 4.76% gN/g DRC (Whitby and Greenberg, 1941) วิธีวิเคราะห์นี้พบปริมาณโปรตีนในน้ำยางสดมากกว่าน้ำยางข้น โดยการลดลงของโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 42.92-63.34 ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีนี้น้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีเจลดาล์ เนื่องจากการย่อยโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนยังเกิดไม่สมบูรณ์ อีกทั้งไนโตรเจนส่วนหนึ่งที่มาจากการเติม TMTD ซึ่งวิธีนินไฮดรินไม่สามารถวิเคราะห์ได้แต่วิธีเจลดาล์สามารถวิเคราะห์ได้ และเมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนทั้งหมดในรูปเจลดาล์ในโตรเจนกับความเสถียรเชิงกลไม่พบว่ามีสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกันทางสถิติ

4) ปริมาณกรดอะมิโน

เมื่อเวลาในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มขึ้นปริมาณกรดอะมิโนมีแนวโน้มคงที่ทั้งในน้ำยางสดและข้นในทุกตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.36 ปริมาณกรดอะมิโนในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ในช่วงร้อยละ 0.48-0.71, 0.15-0.31 และ 0.28-0.57% g N/g DRC ตามลำดับ ส่วนในน้ำยางข้นอยู่ในช่วง 0.19-0.32, 0.12-0.15 และ 0.09-0.27% g N /g DRC ตามลำดับ โดยปริมาณกรดอะมิโนในน้ำยางสดมากกว่าน้ำยางข้น สอดคล้องกับปริมาณกรดอะมิโนที่เคยมีรายงานไว้ในน้ำยางสดประมาณ 0.17% g/g DRC (Blackley, 1997) และ 0.82% g N/g DRC (Regero และคณะ, 2003) ปริมาณกรดอะมิโนมีน้อยกว่าโปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรดอะมิโน แม้ว่าจะใช้วิธีการวิเคราะห์เดียวกัน เนื่องจากวิธีนี้เป็นการหาปริมาณกรดอะมิโนที่มีอยู่เดิมในน้ำยางเท่านั้น จึงไม่ได้มีการไฮโดรไลซ์โปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน และไม่พบปริมาณกรดอะมิโนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเสถียรเชิง



รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงของ โปรตีนทั้งหมดโดยการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนของน้ำยางจาก จังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)

4.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรต

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยาง ได้ศึกษาใน 2 รูปแบบ ได้แก่ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล พบผลการทดลองดังนี้

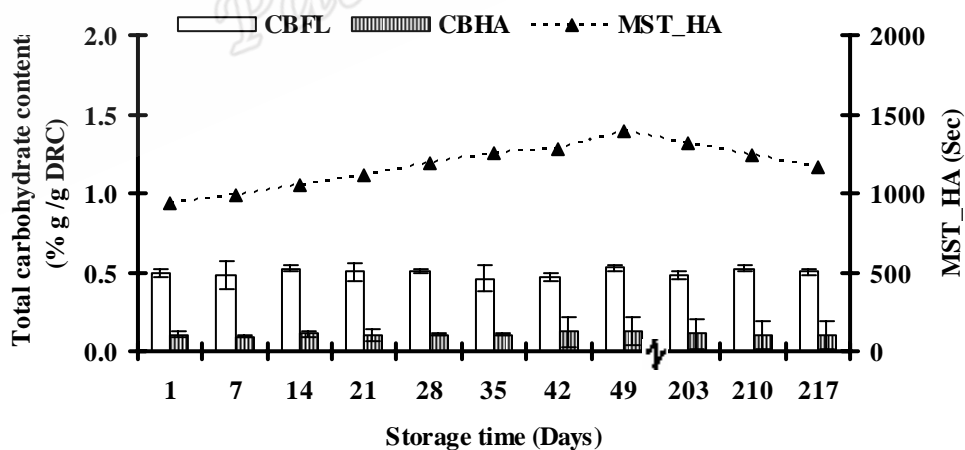
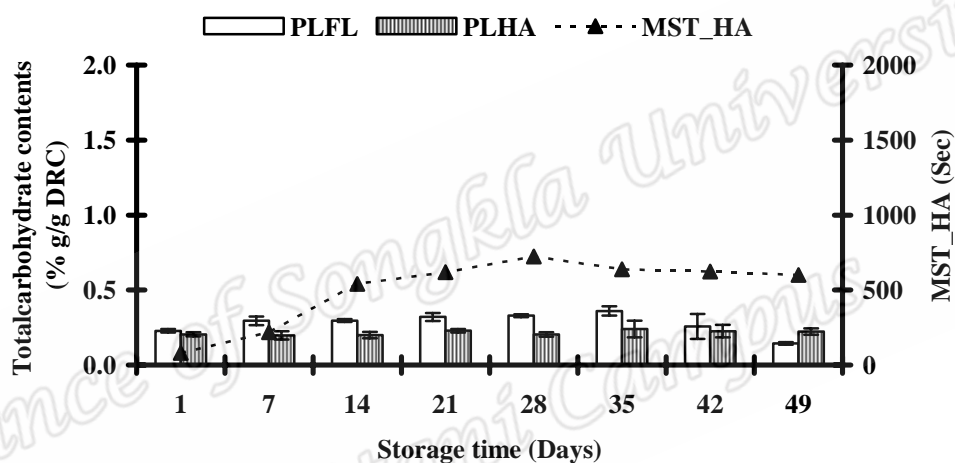
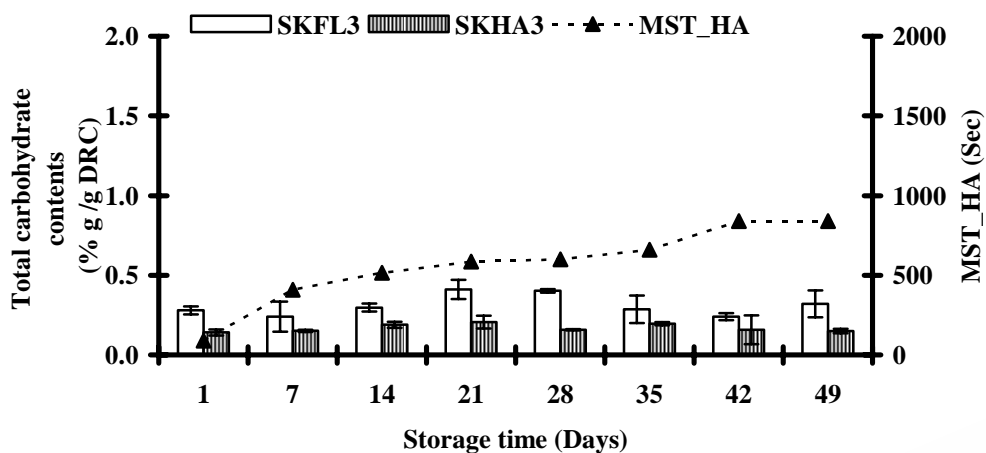
1) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรต

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มคงที่ทั้งในน้ำยางสดและชั้นในทุกลำตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.37 โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางสดจากจังหวัดสงขลา ชลบุรี และพัทลุงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.38-2.67, 3.23-3.70 และ 1.01-2.53 % g/g DRC ตามลำดับ ส่วนในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.87-1.20, 0.64-0.91 และ 1.30-1.70 % g/g DRC ตามลำดับ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางสดมากกว่าน้ำยางชั้น ซึ่งการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 21.89-59.81 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เคยมีรายงานอยู่ในช่วง 1.00-1.50 %g/g latex (บุญธรรม, 1987; Mellstrom, 1994; Blackley, 1997 and Resing, 2005) จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง

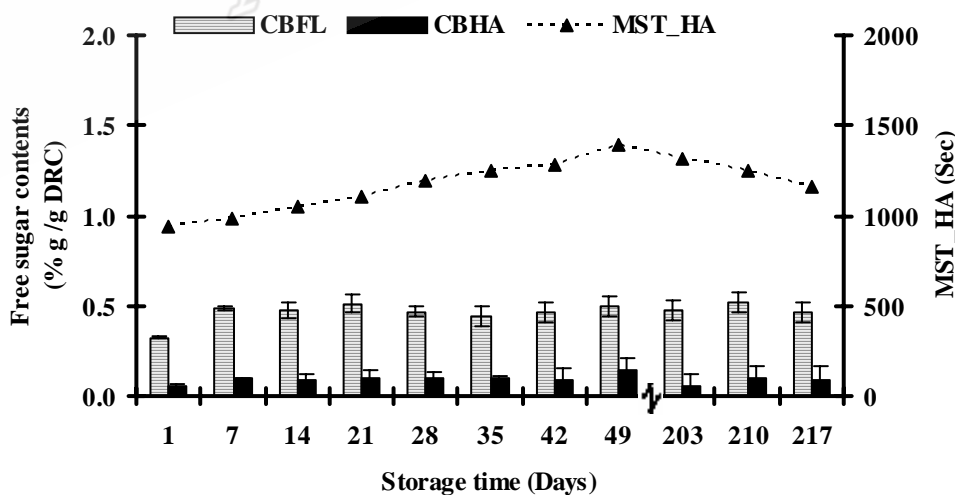
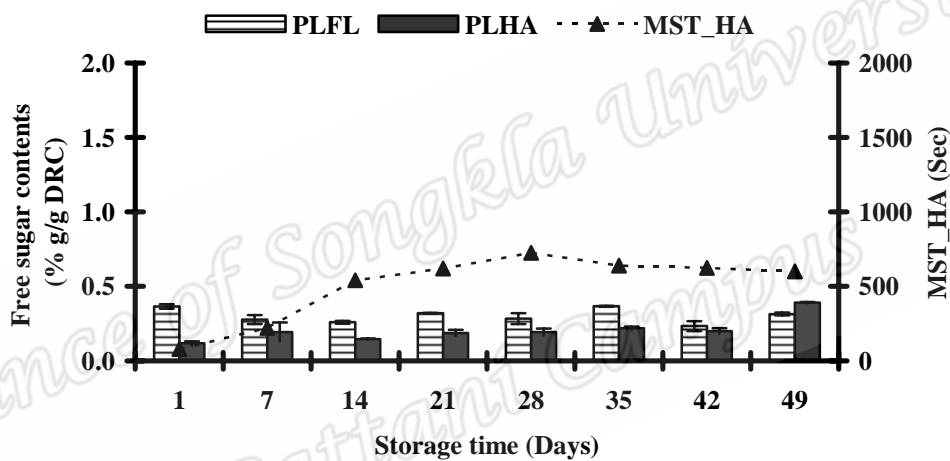
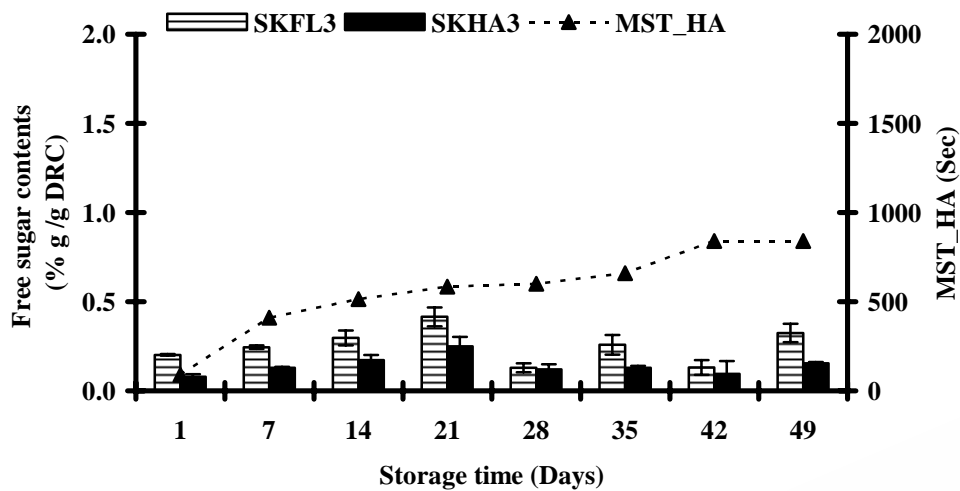
2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาล

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล พบเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำตาลในน้ำยางแนวโน้มคงที่ โดยปริมาณน้ำตาลในน้ำยางจากจังหวัดสงขลา พัทลุง และชลบุรีอยู่ในช่วงร้อยละ 0.30-1.55, 2.25-3.58 และ 1.84-2.61% g/g DRC ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.38 ส่วนในน้ำยางชั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-1.39, 0.38-1.01 และ 0.82-2.74% g/g DRC ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลในน้ำยางสดมากกว่าน้ำยางชั้น ซึ่งการลดลงของน้ำตาลอยู่ในช่วงร้อยละ 20.42-68.63 ปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับค่าที่เคยมีรายงานในน้ำยางสดอยู่ในช่วง 0.20 %g/g latex (Perrella และคณะ, 2002) ส่วน Smith (1954) รายงานในรูปของน้ำตาล Myoinositol เท่ากับ 0.02 % g/g latex และไม่พบว่าปริมาณน้ำตาลมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเสถียรเชิงกล

หลังจากเก็บน้ำยางไว้เป็นระยะเวลา 49 วัน ได้ทำการติดตามต่อในตัวอย่างน้ำยางจากจังหวัดชลบุรีเป็นเวลา 203, 210 และ 217 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสารชีวโมเลกุล พบระดับของสารชีวโมเลกุลทุกกลุ่มยังคงอยู่ในระดับเดียวกันกับน้ำยางที่วิเคราะห์ในช่วงก่อน 49 วัน



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)



รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลของน้ำยางจากจังหวัดสงขลา (บน) พัทลุง (กลาง) และชลบุรี (ล่าง)