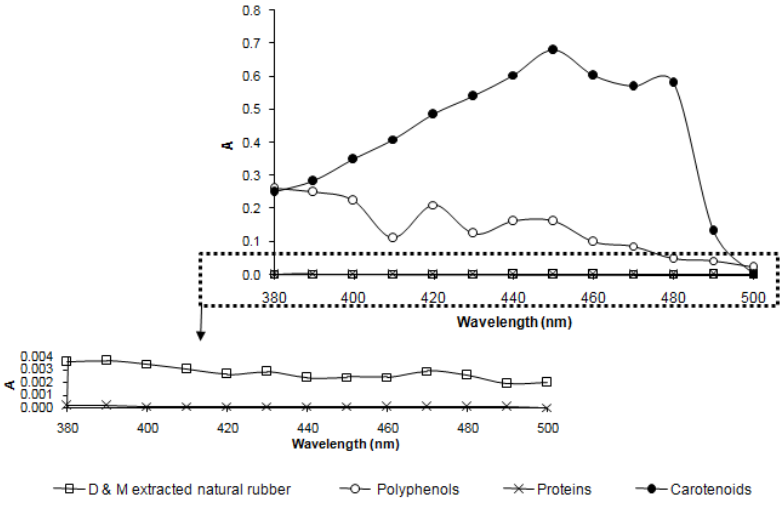
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาความสามารถของสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยางธรรมชาติ

จากงานวิจัยหลายชิ้น (Sakdapipanich *et al.,* 2006; Wititsuwannakul *et al.,* 2002 และ กิตตินันท์, 2534) ได้รายงานให้เห็นว่า สารหลัก ๆ ที่ไม่ใช่เนื้อยางที่ก่อให้เกิดสีในน้ำยาง ได้แก่ สาร พอลิฟีนอล โปรตีน ซึ่งรวมถึงเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และคาโรทีนอยด์ การศึกษา นี้ในขั้นแรก จึงได้การศึกษาความสามารถของการดูดกลืนแสงในช่วงที่ ตาคนเรา มองเห็นเป็นสีเหลือง เนื่องจากโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ยางจะค่อย ๆ มีสีเหลืองเข้มขึ้นจนอาจถึงสีน้ำตาล รูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดกลืนแสงต่อปริมาณของสารที่ไม่ใช่เนื้อยางแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นเท่ากัน (Absorptivity) ซึ่งหากพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารที่ศึกษาในช่วง 400-500 nm พบคาโรทีนอยด์เป็นสารที่มีการดูดกลืนแสง สูงสุด เนื่องจากคาโรทีนอยด์มีโครงสร้างเป็นคอนจูเกตไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว โดยเมื่อพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugated bond) ถึง 11 คู่ สารที่มีการดูดกลืนแสงรองลงมาคือ พอลิฟีนอล และโปรตีน เท่ากับ 33.09 และ 0.01% ของการดูดกลืนแสงของคาโรทีนอยด์ โดยส่วนที่เหลือของยางธรรมชาติที่ผ่านการหลังผ่านการสกัดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนและเมทานอล ยังคงมีการดูดกลืนแสงเป็น 0.50% ของคาโรทีนอยด์



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมและการดูดกลืนแสงของสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยางธรรมชาติ

หมายเหตุ D&M extracted natural rubber = สารละลายยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนและเมทานอล

อย่างไรก็ตามการดูดกลืนแสง ของยางอันเนื่องมาจาก สารแต่ละชนิด ในน้ำยางยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นขององค์ประกอบที่พบในน้ำยางธรรมชาติด้วย ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงความเข้มข้นของสารเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

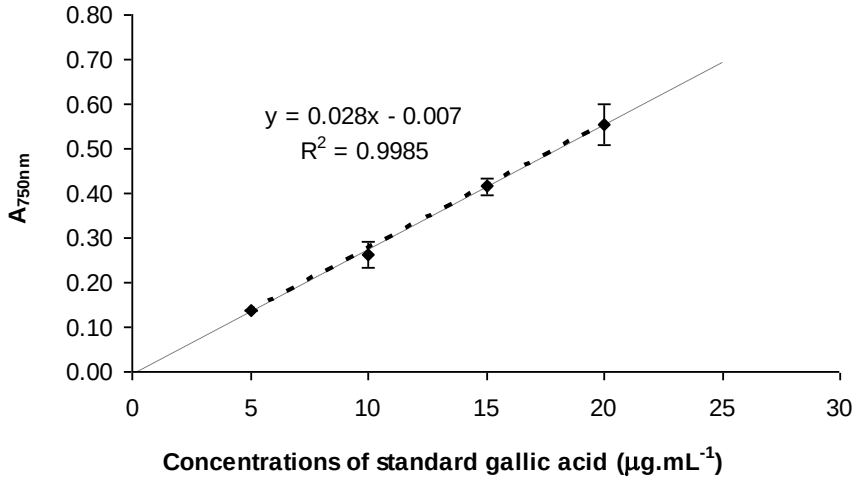
4.2 ความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดสีของน้ำยางธรรมชาติ

4.2.1 ผลการวิเคราะห์พอลิฟีนอล

4.2.1.1. ผลการศึกษากราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์พอลิฟีนอล

กราฟมาตรฐานพอลิฟีนอล ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของกรดแกลลิกในช่วงความเข้มข้น 5-20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.2 และอยู่ในระดับเดียวกับ Turkmen *et al.* (2006) ที่ความเข้มข้นของกรดแกลลิกในช่วง 0.005-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หรือ 5-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สมการ $y = 0.028x - 0.007$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.999 และค่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) เท่ากับ 1.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์พอลิฟีนอลในน้ำยางด้วยวิธีโฟลิน –ไซโอแคลทู มีค่าความแม่นและความเที่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยร้อยละของการกู้คืนอยู่ในช่วง 95 -105% คือ 95.82±3.89% และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่ต่ำคือ 1.1±0.1%

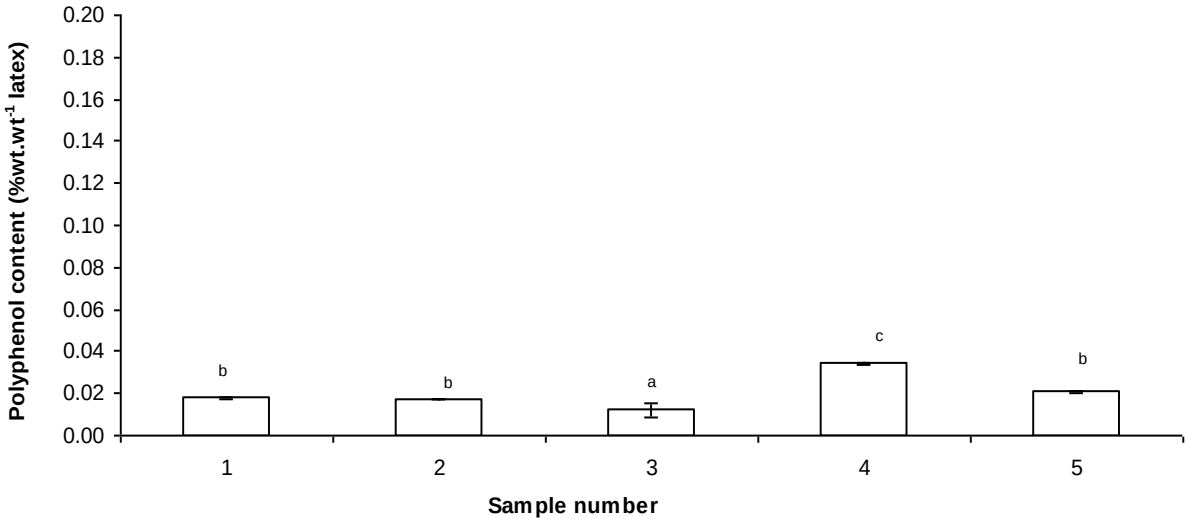


รูปที่ 4.2 กราฟมาตรฐานพอลิฟีนอลของกรดแกลลิก (k =3 และ n=3)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.1.2 ผลการศึกษาปริมาณพอลิฟีนอลในตัวอย่างน้ำยางสด

ผลการทดลองหาปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางสดจำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งมาจากสายพันธุ์เดียวกันคือ RRIM 600 และปลูกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย รูปที่ 4.3 พบปริมาณพอลิฟีนอลของตัวอย่างน้ำยางสดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-0.03 โดยน้ำหนักของน้ำยาง (% wt.wt^{-1} latex) หรือร้อยละ 0.03-0.08 โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง (% wt.wt^{-1} DRC) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.02±0.00% wt.wt^{-1} latex หรือ 0.05±0.00% wt.wt^{-1} DRC โดยมีความแตกต่างในแต่ละตัวอย่างน้ำยางสดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % (Single factor ANOVA) ปริมาณพอลิฟีนอลโดยเนื้อยางแห้งของตัวอย่างน้ำยางสดพบอยู่ในระดับเดียวกันกับที่รายงานโดยกิตตินันท์ (2534) คือ 0.11-0.13% g.g^{-1} DRC



รูปที่ 4.3 ปริมาณพอลิฟีนอลในตัวอย่างน้ำยางสด (% wt.wt^{-1} latex)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

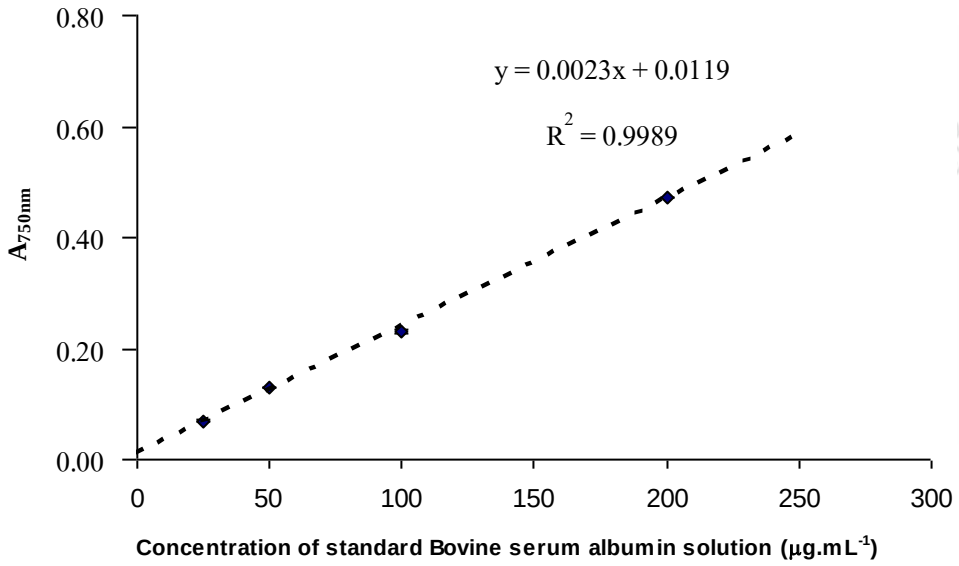
4.2.2 ผลการวิเคราะห์โปรตีน

4.2.2.1 ผลการศึกษากราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์โปรตีน

กราฟมาตรฐานโปรตีน ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของอัลบูมินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Bovine serum albumin, BSA) ในช่วงความเข้มข้น 25-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.4 และอยู่ในระดับเดียวกับ Lindeboom และ Wanasundara (2007) ช่วงความเข้มข้นของอัลบูมินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เท่ากับ 10–100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ความสัมพันธ์เป็น

เส้นตรง สมการ y = 0.0023x + 0.0119 ค่า R^2 เท่ากับ 0.999 และค่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

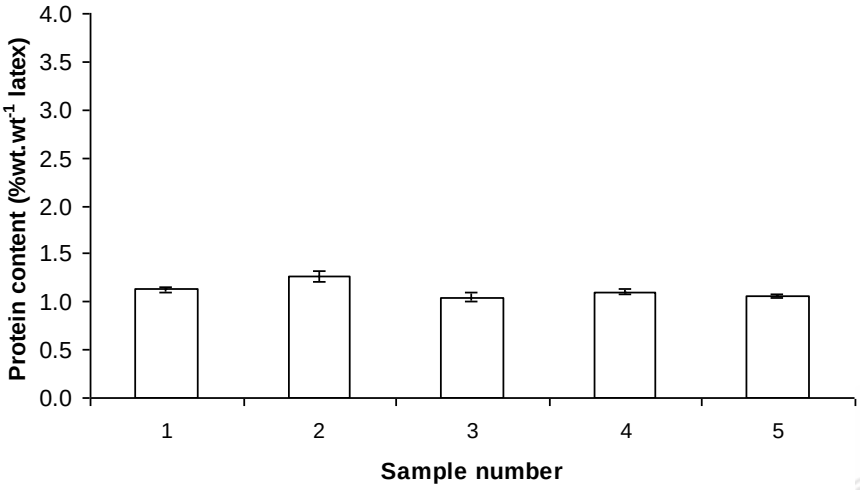
ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์โปรตีนในน้ำยางมีค่าความแม่นและความเที่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยมีค่าร้อยละของการกู้คืน เท่ากับ 102.1±3.8% และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเท่ากับ 5.3±0.4%



รูปที่ 4.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโปรตีนอัลบูมินของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (k =3 และ n=3)

4.2.2.2 ผลการศึกษาปริมาณโปรตีนในตัวอย่างน้ำยางสด

ปริมาณโปรตีนในน้ำยางสด 5 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.5 โดยพบปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 1.00-1.30% wt.wt $^{-1}$ latex หรือ 2.50-3.60% wt.wt $^{-1}$ DRC และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.12±0.03% wt.wt $^{-1}$ latex หรือ 3.01±0.09% wt.wt $^{-1}$ DRC ซึ่งพบโปรตีนโดยน้ำหนักของน้ำยางสดระดับเดียวกับรายงานโดย Blackley (1997) คือ 1.0-1.5 % m.m^{-1} whole of latex และ Perrella และ Gaspari (2002) พบโปรตีนที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของน้ำยางสด



รูปที่ 4.5 ปริมาณโปรตีนในน้ำยางสด (% wt.wt $^{-1}$ latex)

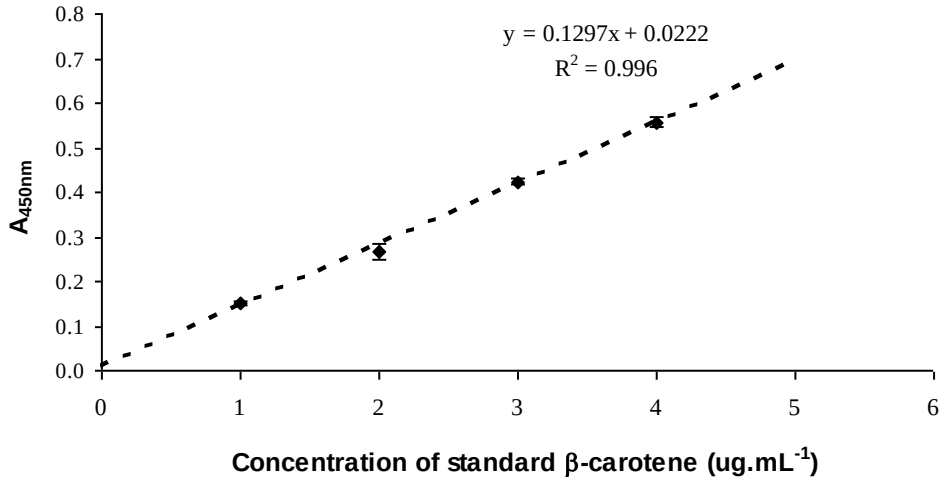
4.2.3 ผลการวิเคราะห์คาโรทีนอยด์

4.2.3.1. ผลการศึกษากราฟมาตรฐานและความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์คาโรทีนอยด์

กราฟมาตรฐานคาโรทีนอยด์ ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของเบต้า-แคโรทีนในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 1-4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.6 และอยู่ในระดับเดียวกับ Sanusi และ Adebiyi (2009) คือช่วงความเข้มข้นของเบต้า-แคโรทีนเท่ากับ 1-7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สมการ $y = 0.1297x + 0.0222$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และค่าขีดต่ำสุดของการตรวจวัดของวิธี (Limit of determination, LOD) เท่ากับ 0.4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์คาโรทีนอยด์ในน้ำยางมีค่าความแม่นและความเที่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือ ค่าร้อยละของการกู้คืนเท่ากับ 103.6±2.8% และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเท่ากับ 5.8±0.2%

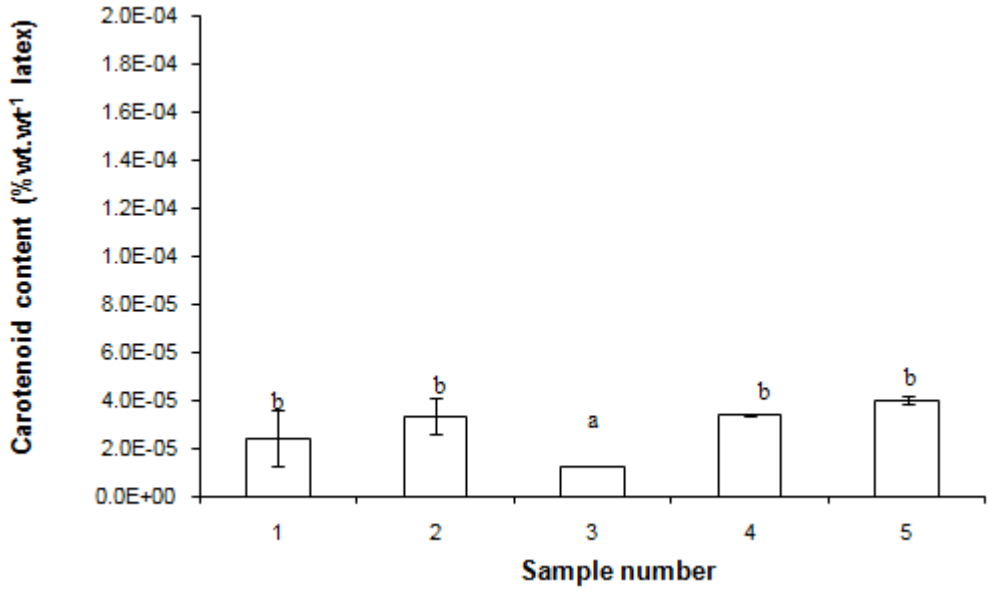
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานของเบต้า-แคโรทีน (k =3 และ n=3)

4.2.3.2 ผลการศึกษาปริมาณคาโรทีนอยด์ในตัวอย่างน้ำยางสด

ปริมาณคาโรทีนอยด์ของตัวอย่างน้ำยางสดจำนวน 5 ตัวอย่าง จากสายพันธุ์ RRIM 600 ตัวอย่างน้ำยางที่ 3 พบมีระดับของคาโรทีนอยด์ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA) จากรูปที่ 4.7 ปริมาณคาโรทีนอยด์ในน้ำยางสดจะอยู่ในช่วง 1×10^{-5}-4×10^{-5}% wt.wt^{-1} latex หรือ 3×10^{-5}-1×10^{-4}% wt.wt^{-1} DRC และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3\times10^{-5}\pm0.00$% wt.wt^{-1} latex หรือ $7.80\times10^{-5}\pm0.00$% wt.wt^{-1} DRC ซึ่งปริมาณคาโรทีนอยด์โดยเนื้อยางแห้งของตัวอย่างน้ำยางสดพบอยู่ในระดับเดียวกับกิตตินันท์ (2534) ที่ปริมาณคาโรทีนอยด์โดยเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดพันธุ์ RRIM 600 เท่ากับ 6×10^{-5}% g.g^{-1} DRC



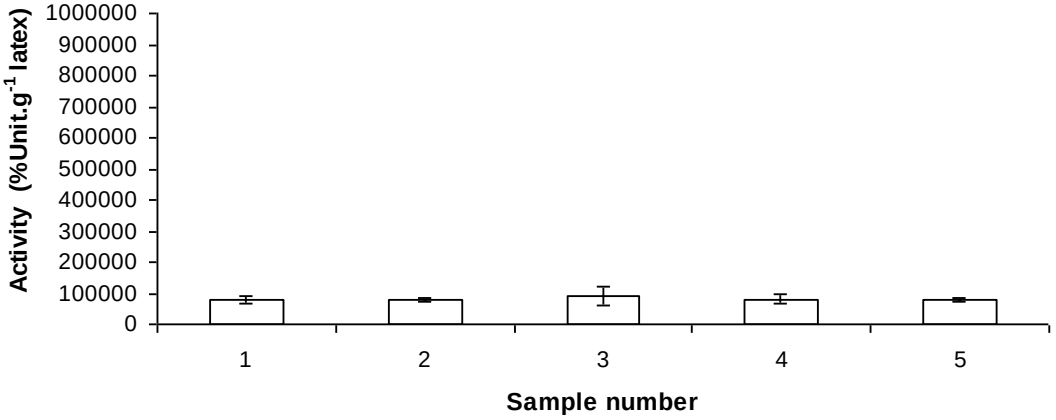
รูปที่ 4.7 ปริมาณคาโรทีนอยด์ในน้ำยางสด (% wt.wt $^{-1}$ latex)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.4 ผลแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

4.2.4.1 ผลแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในน้ำยาง

แอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสน้ำยางสด 5 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA) ดังรูปที่ 4.8 โดยพบแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสอยู่ในช่วง 78,000-92,000% Unit.g^{-1} latex หรือ 183,574-247,140% Unit.g^{-1} DRC และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83,333±7,572% Unit.g^{-1} latex หรือ 219,180±37,274% Unit.g^{-1} DRC ซึ่งพบแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในน้ำยางสดอยู่ในระดับเดียวกับกิตตินันท์ (2534) คือในช่วง 148,800-267,770% Unit.g^{-1} DRC



รูปที่ 4.8 แอคติวิตีของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในน้ำยาง

4.2.4.2 ผลการหาความเข้มข้นของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในน้ำยาง

ปริมาณแอคติวิตี้และค่าจำเพาะแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสน้ำยางสด 5 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.1 เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในน้ำยางรูปที่ 4.5 และพบปริมาณแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสอยู่ในช่วง 1.33-2.25 นาโนคาทาล และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.77±0.36 นาโนคาทาล ส่วนค่าจำเพาะแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิ - ฟีนอลออกซิเดสอยู่ในช่วง 1.50-2.52 นาโ นคาทาลต่อมิลลิกรัมโปรตีน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07±0.42 นาโนคาทาลต่อมิลลิกรัมโปรตีน โดยพบค่าจำเพาะแอคติวิตี้ของเอนไซม์พอลิฟีนอลอยู่ในระดับเดียวกับที่รายงานโดย Wititsuwannakul *et al.* (2002) เท่ากับ 2.63 นาโนคาทาลต่อมิลลิกรัมโปรตีนในบีซีรั่ม

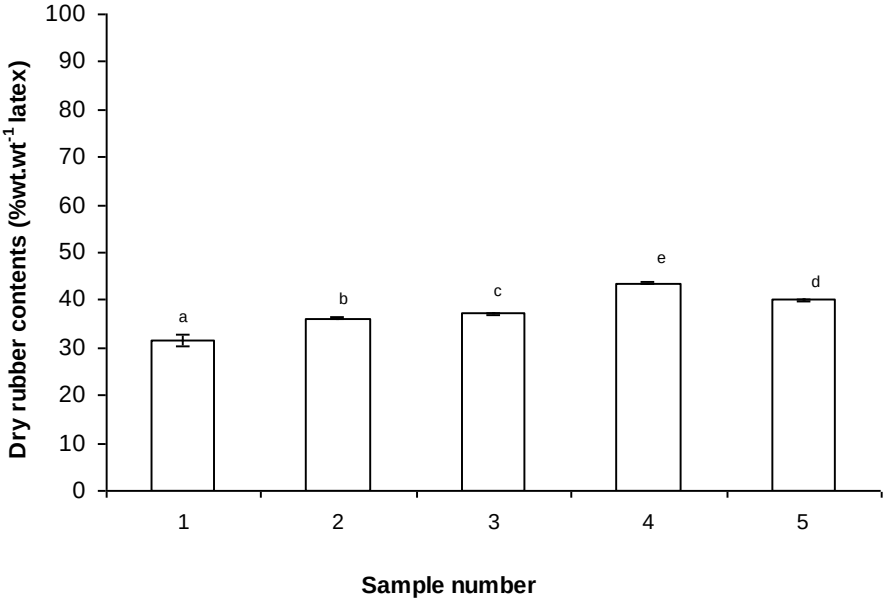
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในน้ำยาง

Sample number	**Total activity (Nanokatal, nkat)**	**Specific activity (nkat.mg $^{-1}$ protein)**
1	1.51	1.50
2	1.86	2.32
3	1.33	1.78
4	1.89	2.23
5	2.25	2.52
Average	1.77± 0.36	2.07 ± 0.42

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.2.5 ผลการศึกษาปริมาณเนื้อยางแห้งในตัวอย่างน้ำยางสด

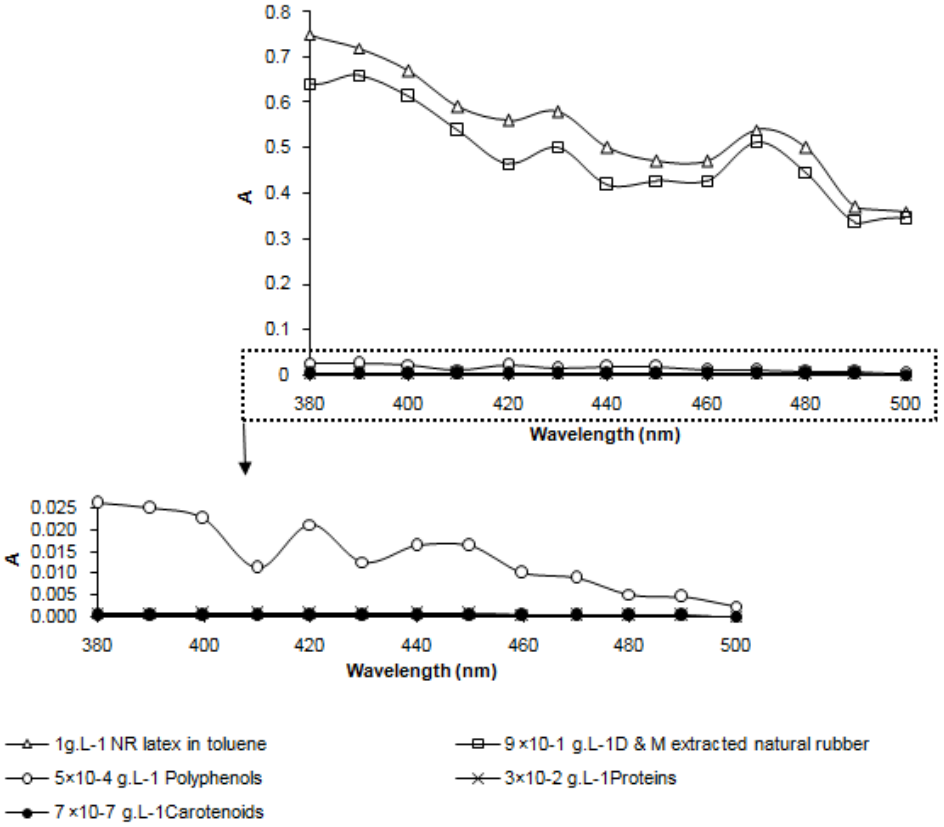
ปริมาณเนื้อยางของน้ำยางสด ที่ใช้ในการศึกษานี้ พบอยู่ในช่วง 37.73±0.35% wt.wt^{-1} latex ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นของแข็งที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำยาง



รูปที่ 4.9 ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด (%wt.wt^{-1} latex)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบที่ทำให้เกิดสีต่อความเข้มสีในยาง

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารองค์ประกอบที่ไม่ใช่เนื้อยาง พบโปรตีนซึ่งมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสรวมอยู่ด้วยจะเป็นสารที่มีความเข้มข้นมากที่สุด ถัดมาคือ พอลิฟีนอล และ คาโรทีนอยด์ เท่ากับ 2.77, 0.05 และ 0.10 ×10 $^{-3}$% wt.wt^{-1} total solids content ตามลำดับ โดยน้ำยางมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 37.73% wt.wt^{-1} latex ผลการศึกษา อิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบที่ศึกษาต่อการเกิดสีในยาง โดยการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง ด้วย เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.10 พบพอลิฟีนอล มีอิทธิพลต่อการเกิดสีสูงสุด รองลงมาคือ โปรตีน และ คาโรทีนอยด์ โดยคิดเป็น 3.36, 0.08 และ 0.01% ของการดูดกลืนแสงทั้งหมด สำหรับการดูดกลืนแสงที่เหลือของยางหลังผ่านการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนและเมทานอลมีอีกถึง 91.61% ซึ่งอาจมาจากสารอื่น ๆ ที่ไม่ได้ถูกสกัดออกไปด้วยไดคลอโรมีเทนหรือเมทานอล ซึ่งในพืชชนิดอื่นมีรายงานถึงสารที่มีอิทธิพลต่อสีของพืช ตัวอย่าง เช่น เหล็ก (Ayers และ Williams, 1932) น้ำตาล (Hidalgo และ Zamora, 2000) และเรซิน (Coffelt *et al*., 2009) เป็นต้น



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารที่ทำให้เกิดสีที่ความเข้มข้นในน้ำยาง

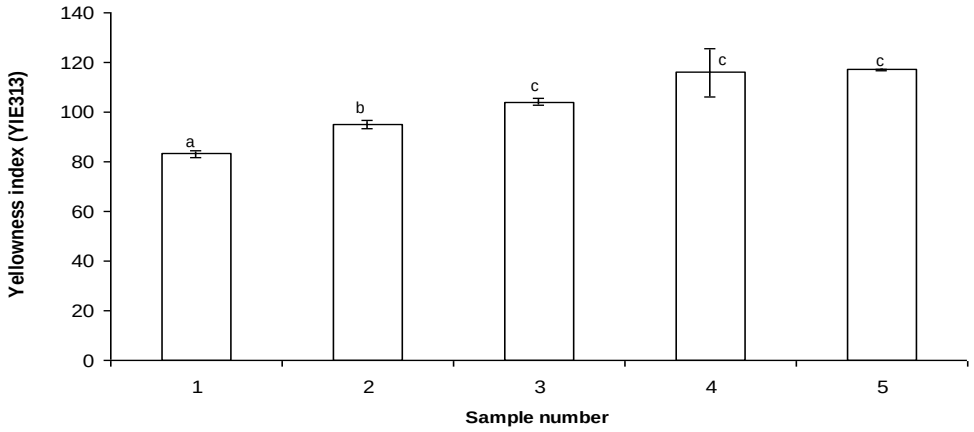
หมายเหตุ D&M extracted natural rubber = ยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดเอาสารที่ไม่ใช่เนื้อยางที่ทำให้เกิดสีด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนและเมทานอล

4.4 ผลการศึกษาปริมาณสีของยาง

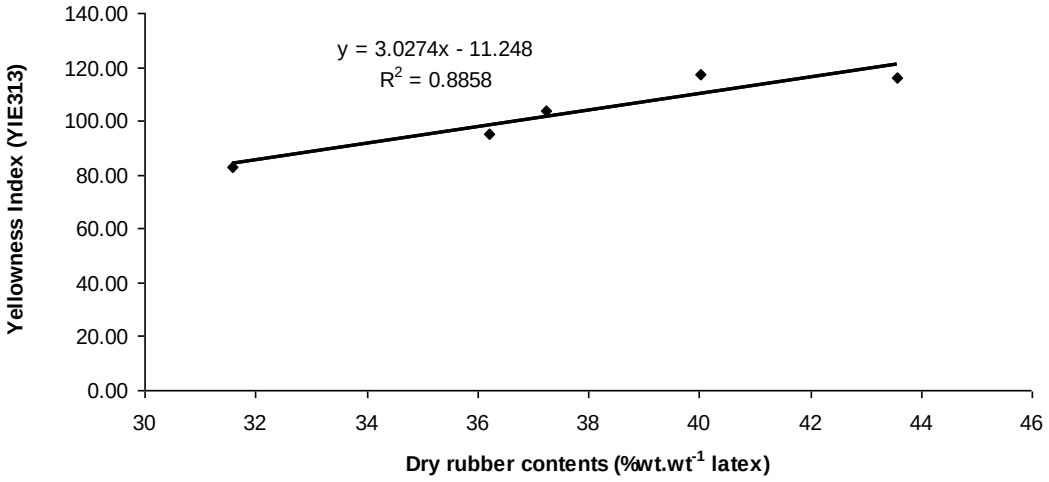
นอกเหนือจากการวัดสีของตัวอย่าง สารละลาย ยางด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แล้วยังสามารถใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) ที่มีการ calibrate เครื่องด้วยแผ่นสีมาตรฐาน เพื่อการตรวจสอบสีได้ด้วย โดยใช้ดัชนีสีเหลือง (Yellowness index, YI E313) ที่ 460 นาโนเมตร สำหรับศึกษาความแตกต่างของสีเหลืองของชิ้นตัวอย่างยางแห้ง

4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางธรรมชาติ

การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงสีเหลืองด้วยการใช้ค่าดัชนีสีเหลือง (Yellowness index, YI E313) มีการใช้หาความเข้มสีของพืช เช่น มันฝรั่ง (Bondaruk *et al*., 2007) โดยค่าดัชนีสีเหลืองจะอธิบายถึงลักษณะการเปลี่ยนสีของชิ้นตัวอย่างจากใสหรือขาวไปจนถึงเหลือง โดยมักใช้วัดการเปลี่ยนสีของวัตถุดิบ ในสภาวะจริง ผลการศึกษาสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำยาง โดยใช้ค่าดัชนีสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำยางจาก 5 ตัวอย่าง พบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีสีเหลือง (Yellowness index) เท่ากับ 103±3 ดังรูปที่ 4.11 เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเหลืองกับเนื้อยางแห้ง พบค่า R^2 ดังรูปที่ 4.12 คือดัชนีสีเหลืองกับเนื้อยางแห้งมีความสัมพันธ์ระดับที่สูง คือมีค่า $R^2 = 0.8858$ อยู่ในช่วง 0.7-0.9 โดยถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษามีความสัมพันธ์ในระดับที่สูง (Hargrave, 2002) นอกจากนี้ การศึกษาสีของแผ่นฟิล์มยางด้วยเทคนิคนี้สามารถใช้ในการตรวจวัดสีของยางได้ ซึ่งวิธีนี้จะเป็นวิธีที่มีความสะดวกง่ายและรวดเร็วกว่าวิธีศึกษาปริมาณสีของยางแท่งด้วยเทคนิคโลวิบอนด์



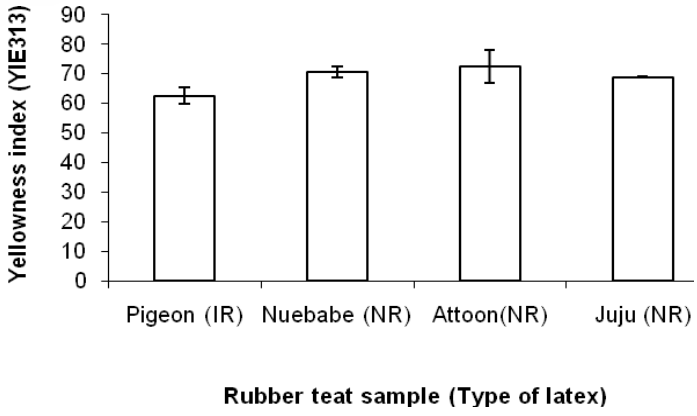
รูปที่ 4.11 ปริมาณสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางสด
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเหลืองและเนื้อยางแห้ง

4.4.2 ผลการศึกษาความเข้มสีของผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง

สีของน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ (Synthetic polyisoprene rubber, IR) นั้นมีความแตกต่างกันโดยยางสังเคราะห์จะมีสีอ่อนกว่ายางธรรมชาติ (Simpson, 2002) เนื่องจากยางสังเคราะห์จะไม่มีสาร เช่น พอลิฟีนอล โปรตีน คาโรทีนอยด์ และสารอื่น ๆ ดังนั้นเพื่อศึกษาความแตกต่างของสีของยางทั้งสองชนิด จึงศึกษาปริมาณสีระหว่างผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ และน้ำยางธรรมชาติในการทดลองนี้ เลือกใช้ผลิตภัณฑ์หัวนมยางสำหรับขวดนม โดยเลือกที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด 4 ยี่ห้อ ได้แก่ Pigeon (ยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์) และ Nuebabe, Attoon, Juju (ยางธรรมชาติ)



รูปที่ 4.13 ปริมาณสีของผลิตภัณฑ์หัวนมยางสำหรับขวดนม
IR คือ ยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ และ NR คือ ยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.13 พบ ผลิตภัณฑ์หัวนมยางจากยางสองชนิดคือยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์และยางธรรมชาติ มีปริมาณสีที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาสีผลิตภัณฑ์หัวนมยางมีปัจจัยอื่นที่ไม่ได้ทำการศึกษา เช่นสารที่ใช้สำหรับการแปรรูป การอบเร่ง เป็นต้น

4.5 ผลการพัฒนาวิธีการลดสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยางธรรมชาติ

จากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อพิจารณาถึงทั้งความสามารถในการทำให้เกิดสีและปริมาณความเข้มข้นของสารที่ไม่ใช่ยางใน น้ำยาง พบพอลิฟีนอลเป็นสารที่มีอิทธิ พลต่อความเข้มสีของน้ำยางมากที่สุด รองลงมาคือโปรตีน และคาโรทีนอยด์ ตามลำดับ ดังนั้นการศึกษาต่อไปนี้จึงต้องการที่จะลดสารพอลิฟีนอล และโปรตีนเป็นหลัก

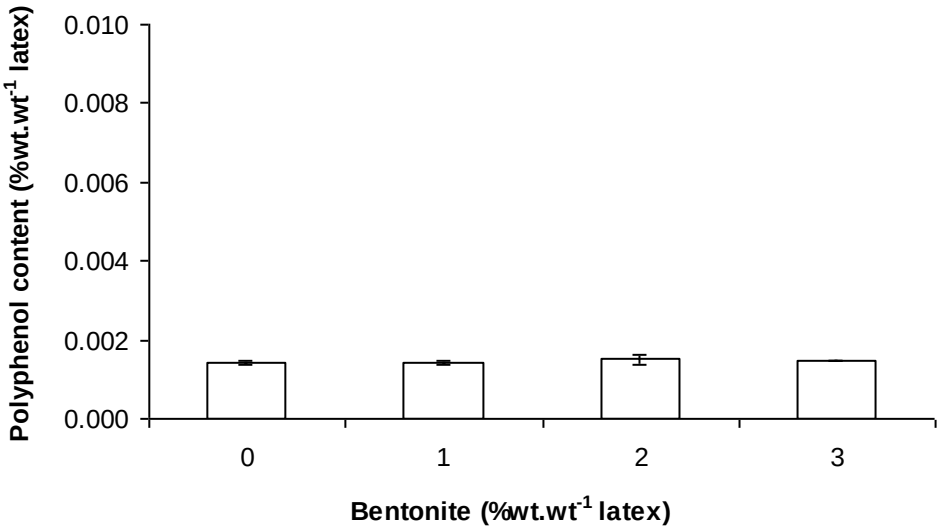
4.5.1 ผลการดูดซับโดยใช้สารเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอยเป็นสารดูดซับ

เบนทอไนต์เป็นสารที่ มีการรายงานว่าสามารถใช้ดูดซับได้ทั้งพอลิฟีนอล (Yildiz *et al.*, 2006) และโปรตีน (Venrell *et al.*, 2007) ดังนั้นในการศึกษาการลดสารที่ทำให้เกิดสีที่ไม่ใช่เนื้อยางจึงเลือกใช้เบนทอไนต์ และเพื่อประสิทธิภาพในการดูดซับจึงมีปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริก และใช้ในลักษณะ สารแขวนลอยเนื่องจาก ผลจากการศึกษาเบื้องต้นถึงการใช้ เบนทอไนต์รูปแบบต่าง ๆ เช่น เม็ดกลมขนาดเล็กขนาดใหญ่ รูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม และรูปแบบสารแขวนลอย พบว่าการใช้รูปแบบสารแขวนลอยนั้นเหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้เบนทอไนต์ในปริมาณที่น้อย และมีพื้นที่ผิวมากประสิทธิภาพในการดูดซับ รวมทั้งสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำยาง ดังนั้นจึงใช้ในรูปแบบสารแขวนลอย แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางหลังเซนตริฟิวจ์ เพราะการเซนตริฟิวจ์เป็นการเอาเบนทอไนต์และตมรวมทั้งสารที่ถูกดูดซับออกจากน้ำยาง

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.5.1.1 ผลปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

ผลของการทดลองพบตัวอย่างน้ำยางที่เติมสารแขวนลอยเบนทอไนต์ มีปริมาณพอลิฟีนอลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำยางที่ไม่เติมเบนทอไนต์ ดังรูปที่ 4.14 แต่พบว่าปริมาณพอลิฟีนอลจะมีปริมาณน้อยลงเมื่อผ่านการเซนตริฟิวจ์แล้วเนื่องจากในธรรมชาติน้ำยางสดจะมีเศษของแข็งต่าง ๆ ปะปนอยู่ซึ่งอาจทำให้เกิดการเกาะติดของสารต่าง ๆ ในระหว่างการปั่นเหวี่ยง และรวมกันอยู่ในส่วนตมหลังผ่านการเซนตริฟิวจ์ ทำให้ปริมาณมาณพอลิฟีนอลที่หลงเหลืออยู่ในน้ำยางหลังเซนตริฟิวจ์เท่ากับ 5 % ของปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมดของน้ำยางสดในรูปที่ 4.3 ทำให้การเติมสารแขวนลอยของเบนทอไนต์ลงเพิ่มในน้ำยางจึงไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้อาจมีอนุภาคของยางบางส่วนเข้าไปแทรกในรูพรุนของเบนทอไนต์และเคลือบปิดผิวไว้ ทำให้ขัดขวางการที่พอลิฟีนอลที่มีในน้ำยางจะแทรกเข้าไปสัมผัสกับเบนทอไนต์ทำให้เปอร์เซนต์การดูดซับพอลิฟีนอลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

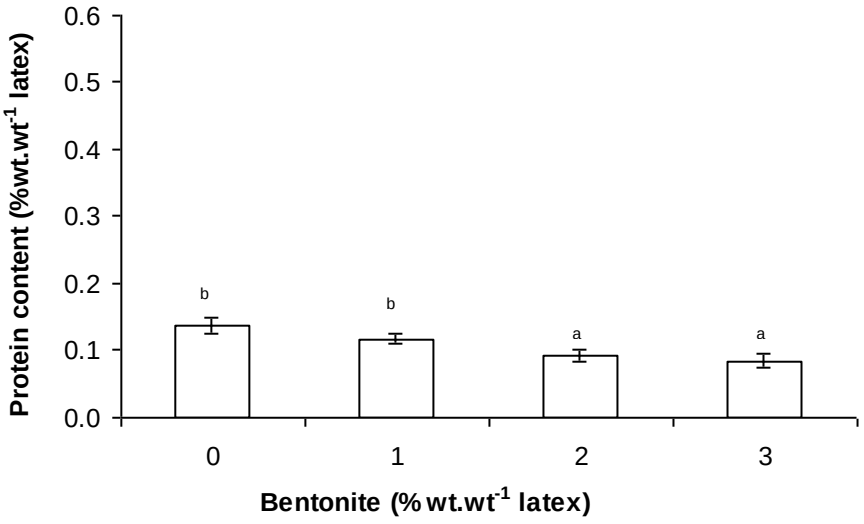


รูปที่ 4.14 ปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์

4.5.1.2 ผลปริมาณโปรตีนในน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

ผลการศึกษาปริมาณของโปรตีนในตัวอย่างน้ำยาง เนื่องจากเบนทอไนต์ได้ถูกใช้ดูดซับโปรตีนในอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดได้แก่ เนยแข็ง (Guy, 1979) และไวน์ (Venrell *et al.*, 2007 และ Sauvage *et al.*, 2010) และเมื่อเติมเบนทอไนต์แขวนลอยลงในน้ำยาง ดังรูปที่ 4.15

พบปริมาณเบนทอไนต์ที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เนื่องจากอนุภาคของโปรตีนมีโอกาสที่จะสัมผัสกับเบนทอไนต์ได้มากจึงถูกดูดซับได้มากขึ้น นอกจากนี้โปรตีนเป็นสารที่มีประจุ จึงสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับผิวของเบนทอไนต์ที่มีประจุลบ ทำให้มีการดูดซับของโปรตีนกับเบนทอไนต์ด้วยผลจากขั้วโมเลกุลได้อีกทางหนึ่งด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเซนตริฟิวจ์ก็ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง (Perrella และ Gaspari, 2002) เนื่องจากโปรตีนบางส่วนถูกรวมอยู่ในตมและถูกแยกออกไป ทำให้โปรตีนของน้ำยางหลังเซนตริฟิวจ์มีปริมาณเท่ากับ 11.16% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดของน้ำยางสด จากรูปที่ 4.5

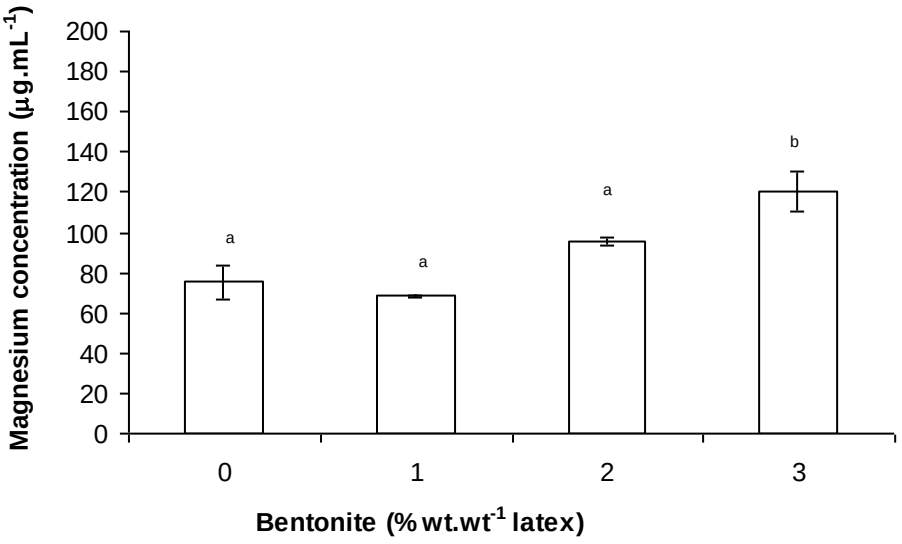


รูปที่ 4.15 ปริมาณโปรตีนในน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.5.1.3 ผลปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

เบนทอไนต์เป็นสารซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยโลหะหลายชนิด (Froehner *et al.*, 2009) รวมทั้งแมกนีเซียมด้วยซึ่งจะมีผลต่อความเสถียรของน้ำยาง แม้ว่าโลหะอิสระส่วนใหญ่จะถูกกำจัดไปในขั้นตอนการปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกแล้วและมีการเอาเบน-ทอไนต์หลังดูดซับออกด้วยการเซนตริฟิวจ์ เพื่อป้องกันผลกระทบของโลหะที่หลงเหลือ จึงต้องวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแมกนีเซียม ดังรูปที่ 4.16 พบการเติมเบนทอไนต์แขวนลอยความเข้มข้น 1-2% wt.wt^{-1} latex พบให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 99% กับน้ำยางที่ไม่เติมเบนทอไนต์ แต่เมื่อเติมเบนทอไนต์ความเข้มข้น 3% $wt.wt^{-1}$ latex มีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เนื่องมาจากเบนทอไนต์มีแมกนีเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.62 โดยน้ำหนัก (Froehner *et al.*, 2009) แม้ว่าส่วนใหญ่จะถูกกำจัดด้วยกรดไนตริกแล้ว แต่การเติมเบนทอไนต์ปริมาณมากอาจทำให้มีเบนทอไนต์หลงเหลือจากการนำออกจากน้ำยางด้วยการเซนตริฟิวจ์ ทำให้มีไอออนของโลหะแมกนีเซียมอิสระบางส่วนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำยางเพิ่มขึ้น

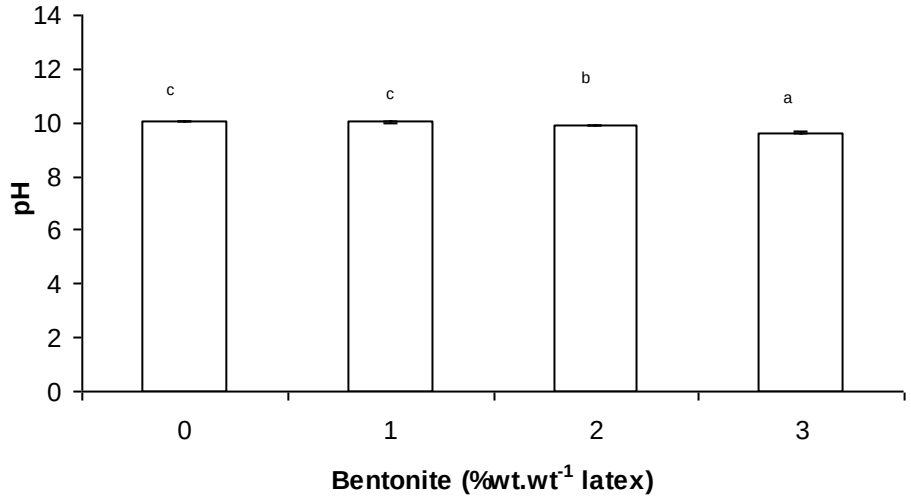


รูปที่ 4.16 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.5.1.4 ผลค่าพีเอชของน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

ผลการทดลองรูปที่ 4.17 พบค่าพีเอชของน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ อยู่ในช่วง 9.64-10.05 ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานน้ำยางสดและข้นที่กำหนดไว้ที่ 9.50-10.50 (กรมวิชาการเกษตร , 2548) การเพิ่มปริมาณเบนทอไนต์ทำให้ค่าพีเอชลดลง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% อาจเนื่องจากกรดไนตริกที่ใช้การปรับสภาพผิวเบนทอไนต์ แม้จะมีการชะล้างด้วยน้ำกลั่นหลายครั้งเพื่อป้องการหลงเหลือของกรด และการเซนตริฟิวจ์เอาเบนทอไนต์ออก

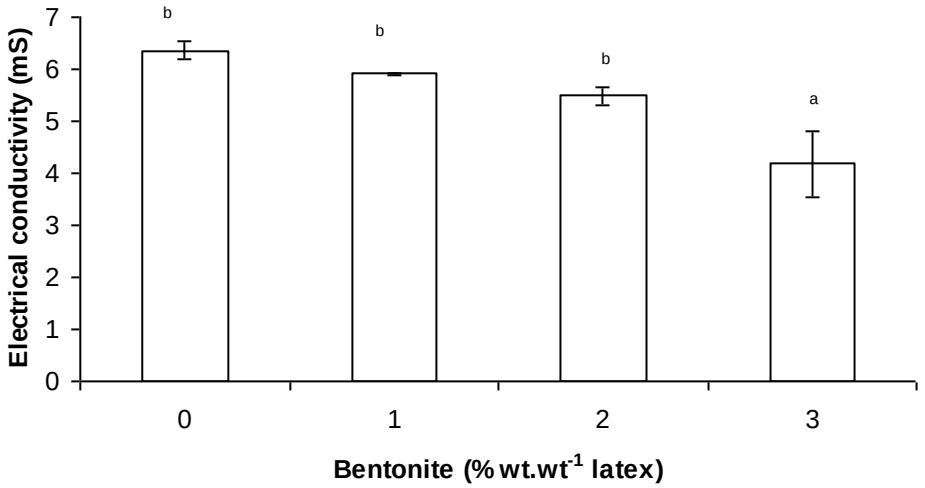
หลังจากดูดซับสารแล้ว แต่เมื่อใช้เบนทอไนไนต์ปรับสภาพผิวด้วยกรดที่ความเข้มข้นมากก็ทำให้มีกรดหลงเหลือเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชของน้ำยางที่เติมเบนทอไนต์ก็ยังมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานน้ำยางสดและข้นกำหนดไว้



รูปที่ 4.17 ค่าพีเอชน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.5.1.5 ผลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

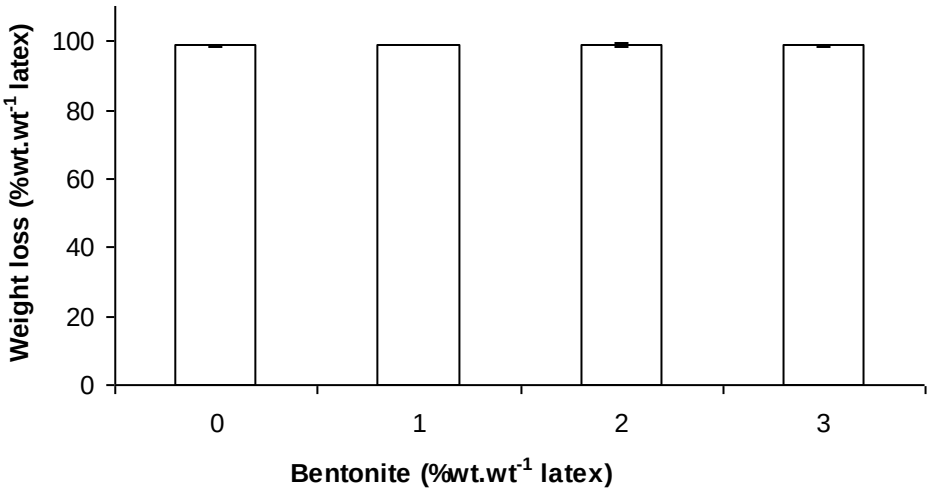
ผลการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยางเมื่อใช้สารแขวนลอยเบนทอไนต์ ดังรูปที่ 4.18 พบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยางสดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเบนทอไนต์ ค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% อาจเป็นดัชนีบ่งชี้ได้ประการหนึ่งว่า ตัวอย่างน้ำยางที่เติมเบน-ทอไนต์ น่าจะมีปริมาณไอออนรวมต่ำกว่าน้ำยางที่ไม่เติมเบนทอไนต์ ซึ่งอาจหมายรวมถึงปริมาณโปรตีนซึ่งเป็นอนุมูลที่นำไฟฟ้าได้ ที่มีปริมาณลดลงเมื่อเติมเบนทอไนต์ ดังรูปที่ 4.15 เพราะค่าการนำไฟฟ้าบ่งบอกถึงปริมาณรวมของไอออนต่างๆ ที่นำไฟฟ้าได้ในน้ำยาง อาจเป็นไอออนของโลหะต่าง ๆ หรือไอออนของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำยาง ตัวอย่างเช่น โปรตีน แอมโมเนียม ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 4.18 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.5.1.6 ผลน้ำหนักที่สูญเสียของน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

การเติมเบนทอไนต์ลงในน้ำยางจะต้องมีการนำเบนทอไนต์ออกจากน้ำยางด้วยการเซนตริฟิวจ์ ดังนั้นเพื่อศึกษาถึงปริมาณเนื้อยางและสารอินทรีย์ที่มีของน้ำยางหลังเซนตริฟิวจ์ โดยพิจารณาจากการทดลองหาน้ำหนักที่สูญเสียไปในการเผา (แสดงถึงปริมาณเนื้อยางและสารอินทรีย์) ของน้ำยาง รูปที่ 4.19 พบน้ำยางเติมเบนทอไนต์และไม่เติมเบนทอไนต์ มีน้ำหนักที่สูญเสียไป ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จากน้ำหนักที่สูญเสียทำให้ทราบถึงปริมาณเถ้าที่เหลืออยู่ด้วย ซึ่งเถ้านี้อาจประกอบด้วยโลหะหรือสารอนินทรีย์ที่หลงเหลือในน้ำยางรวมทั้งเบนทอไนต์ที่หลงเหลือด้วย และพบว่า เถ้าที่เหลือของน้ำยางที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า ปริมาณเบนทอไนต์ที่เติมมีปริมาณน้อยและเมื่อทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกันจึงสามารถแยกยางและตมซึ่งมีเบนทอไนต์อยู่ออกได้ง่าย ทำให้สามารถขจัดเบนทอไนต์ออกไปจากน้ำยางได้เกือบทั้งหมด จึงมีเบนทอไนต์หลงเหลือในปริมาณที่น้อยมาก

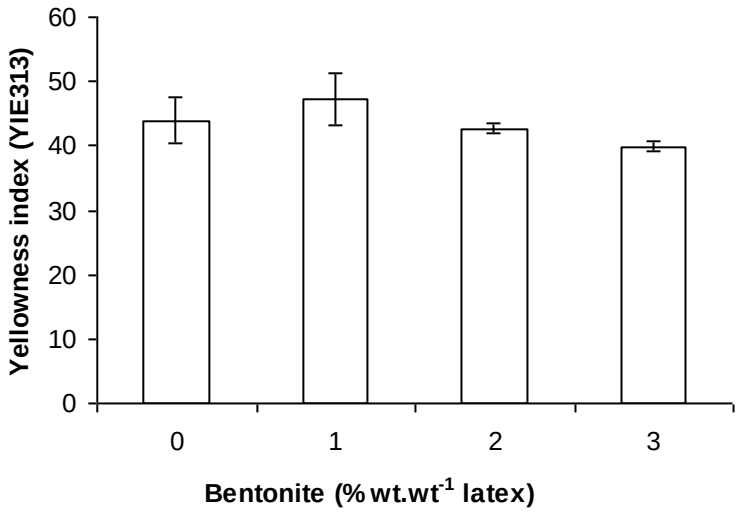


รูปที่ 4.19 น้ำหนักที่สูญเสียของน้ำยางที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์

4.5.1.7 ผลปริมาณสีของฟิล์มน้ำยางหลังดูดซับด้วยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวกรดไนตริกในรูปแบบสารแขวนลอย

ผลการศึกษาปริมาณสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำยาง โดยใช้ดัชนีสีเหลือง (Yellowness index, YI E313) ของแผ่นฟิล์มน้ำยางเมื่อเติมและไม่เติมสารแขวนลอยเบนทอไนต์ ดังรูปที่ 4.20 พบดัชนีสีเหลืองเมื่อเติมเบนทอไนต์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากสารที่ทำให้เกิดสีที่ลดลงเมื่อเติมเบนทอไนต์คือ โปรตีนที่มีค่าการดูดกลืนแสงไม่มากเมื่อเทียบกับพอลิฟีนอลที่การเติมเบนทอไนต์ไม่สามารถลดปริมาณพอลิฟีนอลได้อย่างมีนัยสำคัญ และรวมทั้งอิทธิพลของสารที่ทำให้เกิดสีที่ไม่ใช่เนื้อยางก็มีปริมาณเหลือน้อยหลังการเซนตริฟิวจ์ เพราะมีบางส่วนถูกแยกไปพร้อมกับตม ทำให้อิทธิพลของสารที่ทำให้เกิดสีที่ไม่ใช่เนื้อยางลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารดังกล่าวในน้ำยางสด

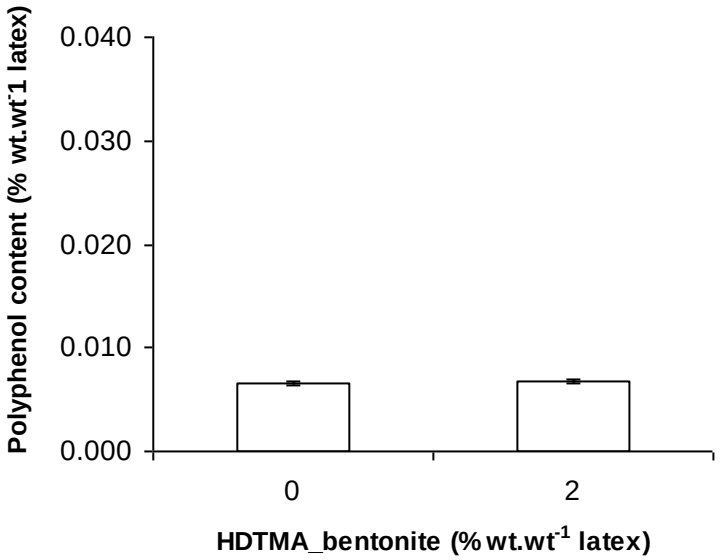
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.20 ปริมาณสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมเบนทอไนต์

4.5.2 ผลการดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยางด้วยเบนทอไนต์ปรับสภาพผิวด้วยเฮกซะ-เดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ในรูปแบบสารแขวนลอยเป็นสารดูดซับ

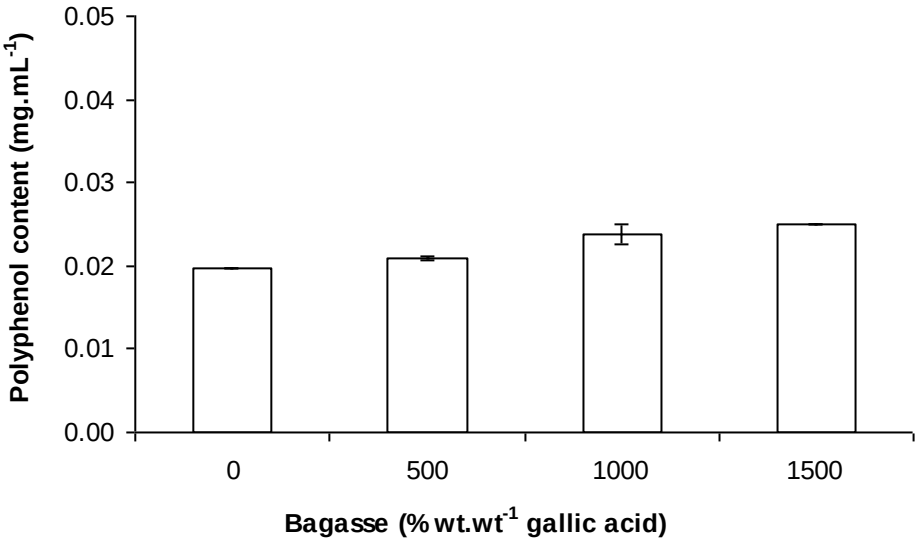
งานวิจัยก่อนหน้าพบว่า การใช้เฮกซะเดกซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Hexadecyl trimethyl ammonium bromide, HDTMA) ในการปรับสภาพผิวเบนทอไนต์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับพอลิฟีนอล (Froehner *et al.*, 2009 และ Rawajfih *et al*., 2006) ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ใช้เบนทอไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย HDTMA จากรูป 4.21 พบว่า การเติมสารแขวนลอยเบนทอไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย HDTMA ในน้ำยาง มีปริมาณพอลิฟีนอลที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าการเติม HDTMA จะเพิ่มการไฮเดรชันของช่องหลืบระหว่างแผ่นผลึก (Inter layer) ด้วยควอเทอนารีอัลคิลแอมโมเนียม (Quaternary alkyl ammonium) (Froehner *et al.,* 2009) ทำให้โมเลกุลของน้ำและพอลิฟีนอลผ่านเข้าไปได้ดีขึ้น แต่น้ำยางเป็นสารคอลลอยด์มีอนุภาคยางกระจายอยู่ภายในซีรั่ม โดยอนุภาคของยางเหล่านี้มีบางส่วนที่อาจเกาะเคลือบปิดผิวสัมผัสของเบนทอไนต์ไว้ ทำให้ยากที่พอลิฟีนอลที่มีในน้ำยางจะแทรกเข้าไปสัมผัสกับเบนทอไนต์บริเวณที่ถูกเคลือบไว้ทำให้ร้อยละการดูดซับพอลิฟีนอลน้อย นอกจากนี้ HDTMA ยังเป็นสารเคมีที่มีราคาสูงอีกด้วย จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่



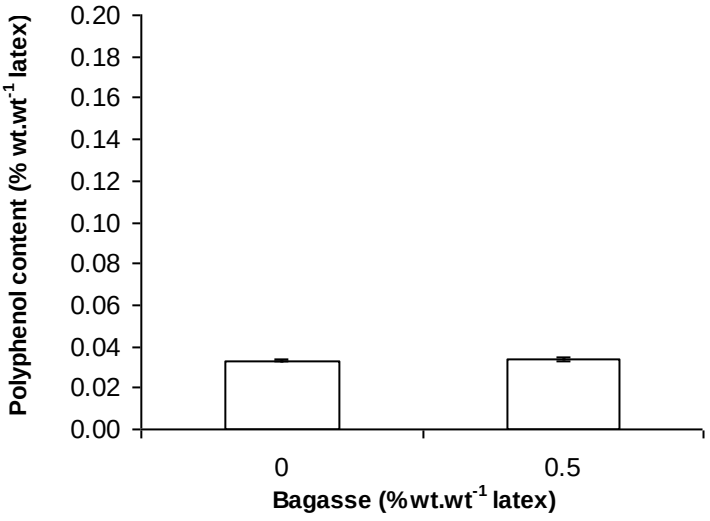
รูปที่ 4.21 ปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางสดที่เติมและไม่เติมสารแขวนลอยเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วย HDTMA

4.5.3 ผลการใช้ชานอ้อยในการเป็นสารดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำยาง

การดูดซับพอลิฟีนอลนอกจากเบนทอไนต์แล้ว ก็มีการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นแนวทางในการดูดซับฟีนอล (Mahvi, 2008) เนื่องจากเส้นใยราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้ทดลองใช้ชานอ้อยเป็นทางเลือกในการเป็นตัวดูดซับพอลิฟีนอล การใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นเส้นใยที่มีสีขาวเป็นทางเลือกในการเป็นตัวดูดซับพอลิฟีนอล เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เมื่อนำมาปรับสภาพผิวด้วยกรดแล้ว จะทำให้ผิวเส้นใยขรุขระ มีพื้นที่ผิวมากขึ้น เหมาะสมในการดูดซับพอลิฟีนอล แต่จากรูปที่ 4.2 2 พบว่า การเติมชานอ้อยไม่สามารถดูดซับพอลิฟีนอลในสารละลายมาตรฐานพอลิฟีนอลได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น การเติมชานอ้อยยังให้ค่าที่ มีความคลาดเคลื่อนในระดับที่สูงกว่าที่ควรจะเป็น (positive error) อาจเนื่องจากไอออนอิสระบางส่วนที่หลงเหลืออยู่ในชานอ้อย และรูปที่ 4.23 เป็นการเติมชานอ้อยลงในน้ำยางสด ซึ่งเป็นสารคอลลอยด์แตกต่างจากสารละลายมาตรฐานพอลิฟีนอล ซึ่งพบว่า ปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นชานอ้อยจึงไม่มีประสิทธิภาพพอในการใช้เป็นสารดูดซับพอลิฟีนอล



รูปที่ 4.22 ปริมาณพอลิฟีนอลของสารละลายมาตรฐานพอลิฟีนอล
เมื่อเติมและไม่เติมชานอ้อย

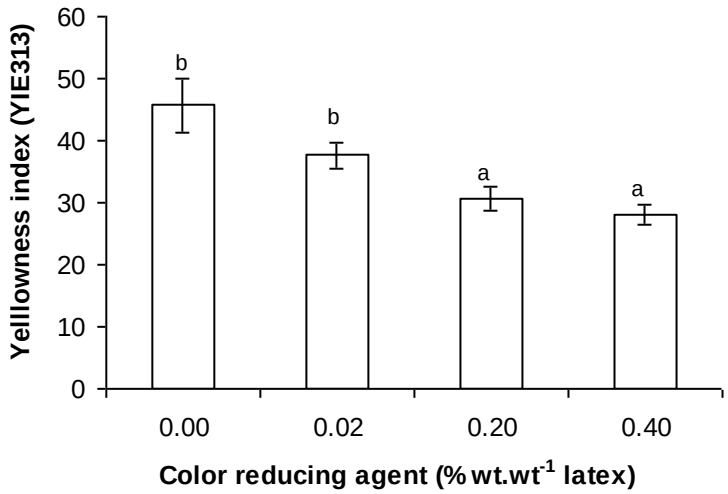


รูปที่ 4.23 ปริมาณพอลิฟีนอลในน้ำยางสดเมื่อเติมและไม่เติมชานอ้อย

4.5.4 ผลของประสิทธิภาพการลดสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางด้วยสารลดสี

4.5.4.1 ผลการลดสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางด้วยสารลดสี

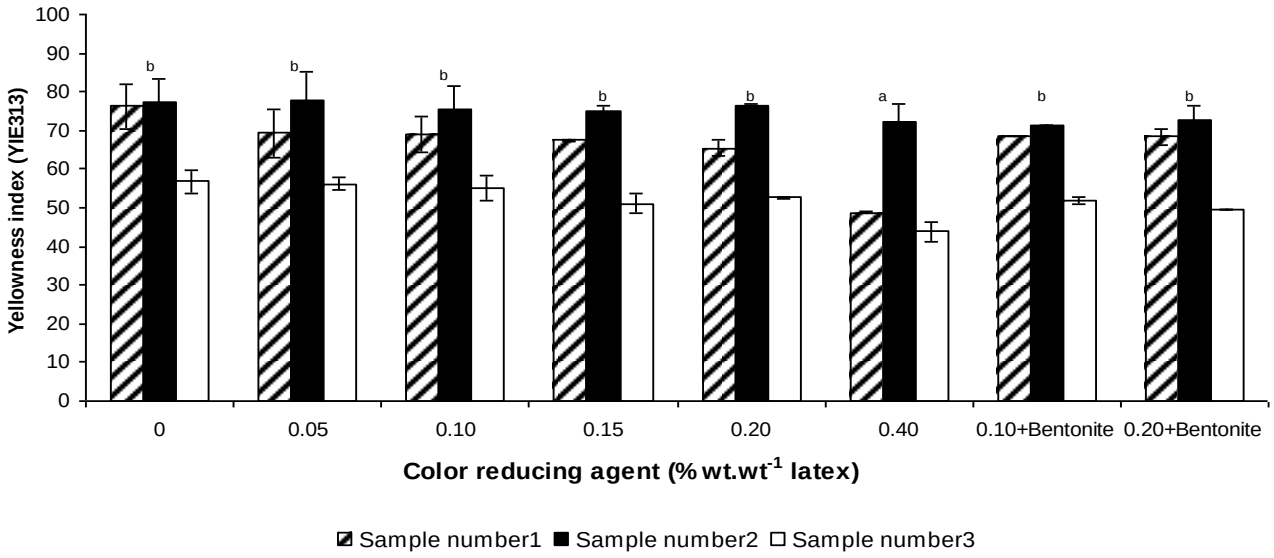
สารลดสี (Color reducing agent, CRA) เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) ลดการเปลี่ยนสีของผักผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล จึงได้นำมาใช้เป็นทางเลือกในการลดสีของแผ่นฟิล์มน้ำยาง นอกจากนี้สารลดสียังเป็นสารต้านบัคเตรีด้วย โดยองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (The American Food and Drug Administration, FDA) อนุญาตให้สามารถใช้สารลดสี (CRA) ในผักและผลไม้สดได้ ในช่วง ร้อยละ 0.05-0.12 ในขณะที่สารโซเดียมไบซัลไฟต์ ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO เช่นเดียวกัน แต่เป็นสารในกลุ่มซัลเฟต ได้ถูกห้ามให้ใช้ในพืชและผักผลไม้สด ดังนั้นสารลดสี จึงเป็นทางเลือกในการใช้ลดสีของแผ่นฟิล์มยาง ดังรูปที่ 4.24 พบการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายสารลดสี (CRA) ทำให้ดัชนีสีเหลืองของน้ำยางลดลง โดยมีการลดลงของดัชนีสีเหลืองของน้ำยางที่เติมสารลดสี ที่ความเข้มข้น 0.02, 0.20 และ 0.40% wt.wt^{-1} latex เท่ากับร้อยละ 18, 33 และ 38 ตามลำดับ นอกจากนี้น้ำยางที่เติมสารลดสีความเข้มข้น 0.20 และ 0.40% wt.wt^{-1} latex ทำให้ดัชนีสีเหลืองของน้ำยางลดลง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% เนื่องจากสารลดสีเป็นตัวออกซิไดส์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาเร่งการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์ PPOได้



รูปที่ 4.24 ปริมาณสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางเมื่อเติมและไม่เติมสารลดสี ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

4.5.4.2 ผลการลดสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางด้วยสารลดสีร่วมกับสารดูดซับ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดสี (Color reducing agent, CRA) ในการลดสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางและใช้ความเข้มข้น CRA ที่น้อยจึงได้ทดลองใช้สารดูดซับคือ เบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริกร่วมด้วย เนื่องจากมีสมบัติในการดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีคือ โปรตีน จึงได้มีการทดลองทั้งการเติมสารละลายสาร CRA เพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้นของ CRA เท่ากับ 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.40% wt.wt^{-1} latex และการเติมเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริก 2% wt.wt^{-1} latex ร่วมกับสารละลาย CRA ความเข้มข้น 0.10 และ 0.20% wt.wt^{-1} latex ในน้ำยาง ดังรูปที่ 4.2 5 พบการเพิ่มความเข้มข้นสารละลาย CRA ทำให้ดัชนีสีเหลืองของน้ำยางลดลง โดยมีดัชนีสีเหลืองของน้ำยางที่เติมสารละลายสาร CRA เพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้นของ CRA เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.40% wt.wt^{-1} latex และการเติมเบนทอไนต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดไนตริก 2% wt.wt^{-1} latex ร่วมกับสารละลาย CRA ความเข้มข้น 0.10 และ 0.20% wt.wt^{-1} latex ดังนี้คือร้อยละ 3, 5, 8, 7, 22, 9 และ 10 ตามลำดับ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น CRA เท่ากับ 0.40% wt.wt^{-1} latex ทำให้การลดสีเหลืองของน้ำยางแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% แต่ที่ความเข้มข้นอื่นรวมทั้งที่มีการเติมเบนทอไนต์ปรับสภาพด้วยกรดไนตริกกลับไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากการนำน้ำยางไปเซนตริฟิวจ์เพื่อเอาเบนทอไนต์ออก ทำให้สารที่ทำให้เกิดสีมีปริมาณน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการลดดัชนีสีเหลืองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และน้อยกว่าเมื่อไม่มีการเซนตริฟิวจ์ดังรูปที่ 4.24 นอกจากนี้การเติมเบนทอไนต์ช่วยเพิ่มการลดสีเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้สารลดสีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเบนทอไนต์จึงไม่มีประสิทธิภาพการลดดัชนีสีเหลือง



รูปที่ 4.25 ปริมาณสีของแผ่นฟิล์มน้ำยางเมื่อเติมและไม่เติมสารลดสีร่วมกับสารดูดซับ ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)

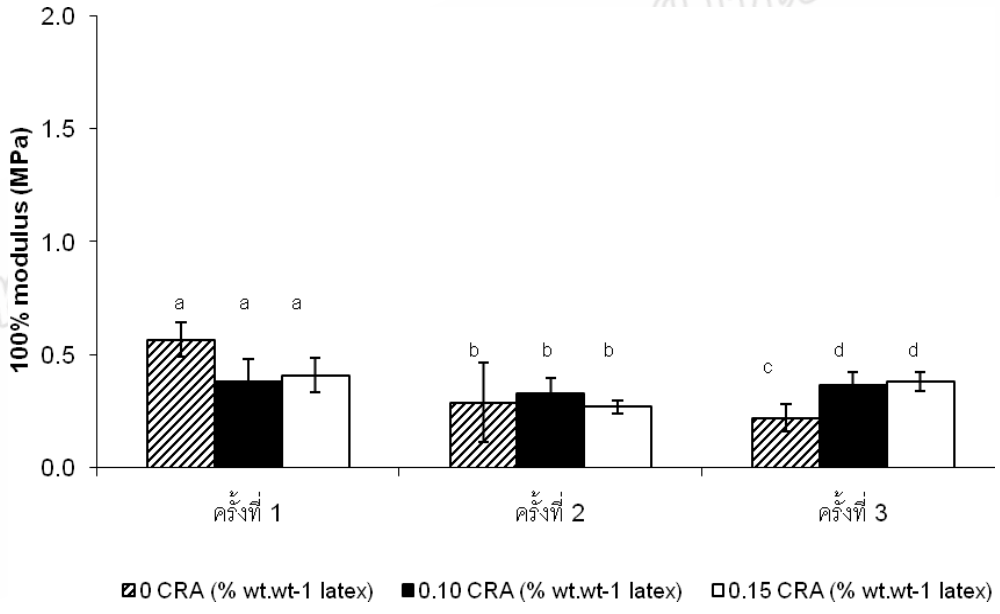
4.6 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม

ผลการศึกษาวิธีการลดสารที่ทำให้เกิดสีที่ไม่ใช่เนื้อยางข้างต้นพบว่า วิธีการเติมสารลดสี (CRA) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้สารดูดซับ โดยความเข้มข้นของสารลดสีที่ 0.10 และ 0.15% wt.wt^{-1} latex มีความเหมาะสมมากกว่าความเข้มข้นอื่น เนื่องจากการใช้สารลดสีที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.20 % wt.wt^{-1} latex ขึ้นไป จะทำให้อนุภาคยางจับตัวเป็นก้อนเล็ก ๆ ได้หลังการเซนตริฟิวจ์เพื่อเตรียมเป็นน้ำยางข้น นอกจากนี้สารลดสีที่ความเข้มข้น 0.10 และ 0.15 % wt.wt^{-1} latex ยังมีประสิทธิภาพในการลดสีของแผ่นฟิล์มถึงร้อยละ 5 และ 8 ตามลำดับ

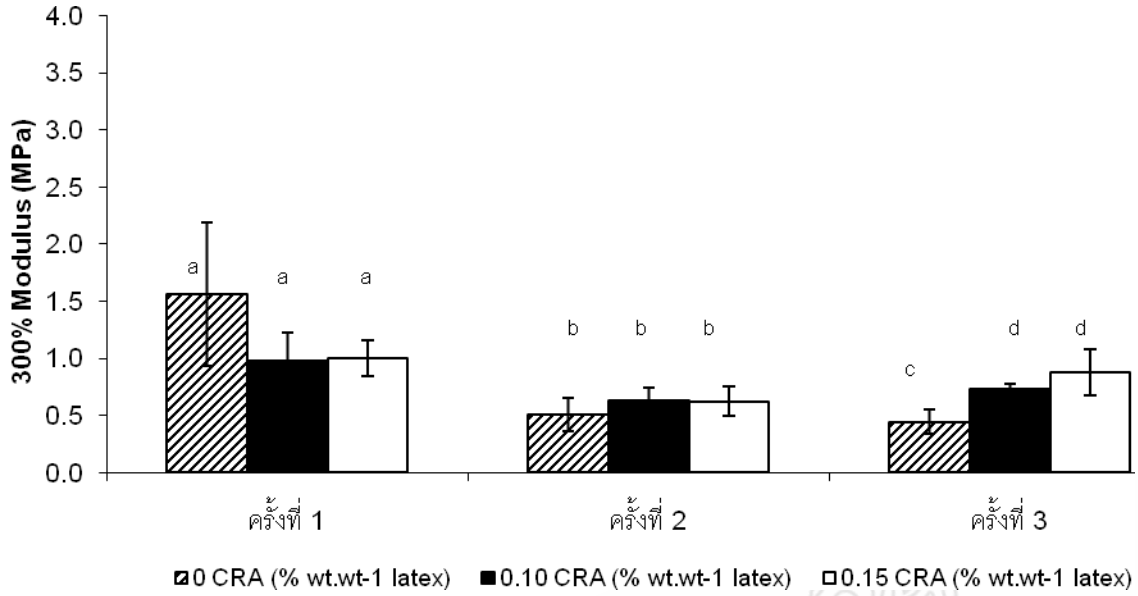
ผลของสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มน้ำยาง คือ ค่ามอดุลัสที่ 100% และ 300% และค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม พบเมื่อมีการเติมสารลดสีลงไปในน้ำยางที่นำไปเตรียมเป็นน้ำยางข้น น้ำยางข้นที่ได้จะมีสมบัติมอดุลัส ที่ 100% และ 300% และค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำยางข้นที่ไม่ผ่านกระบวนการเติมสารลดสี ดังรูปที่ 4.26-4.28 ส่วนสมบัติความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) ของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่มของน้ำยางที่ผ่านการเติมและไม่เติมสารลดสี นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญดังรูปที่ 4.29 เพราะฉะนั้น

การเติมสารลดสีในน้ำยางสดเพื่อนำไปทำเป็นน้ำยางข้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่มแตกต่างไปจากน้ำยางที่ไม่เติมสารลดสี

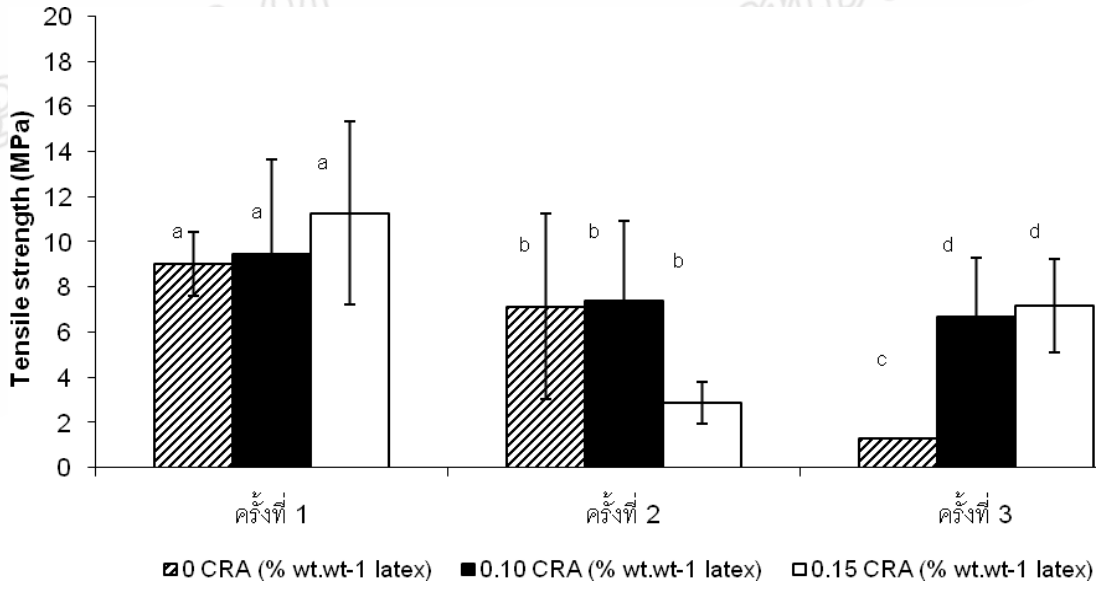
นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มน้ำยางที่ไม่เติมสารลดสีมีสมบัติ มอดุลัสที่ 100% และ 300% อยู่ในช่วง 0.2-0.6 MPa และ 0.4-1.6 MPa ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีสมบัติ มอดุลัสที่ 100% และ 300% ของแผ่นฟิล์มน้ำยางอยู่ในระดับเดียวกับที่รายงานโดย Siti Maznah *et al.* (2008) คือ 0.75 MPa และ 2.7 MPa ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงพบอยู่ในช่วง 1.3-9.0 MPa และสมบัติความสามารถในการยืดจนขาดอยู่ในช่วง 557-625% โดยพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงและสมบัติความสามารถในการยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มน้ำยางที่ไม่เติมสารลดสีพบว่ามีค่าอยู่ในระดับน้อยกว่าที่รายงานโดย Siti Maznah *et al.* (2008) คือ 27 MPa และ 1200% ตามลำดับ อาจเนื่องจากกระบวนในการตัดชิ้นตัวอย่าง ที่ไม่เหมาะสม อันเนื่องมาจากความ ไม่คมของการตัดชิ้นตัวอย่างของแม่พิมพ์ (Die cutting)



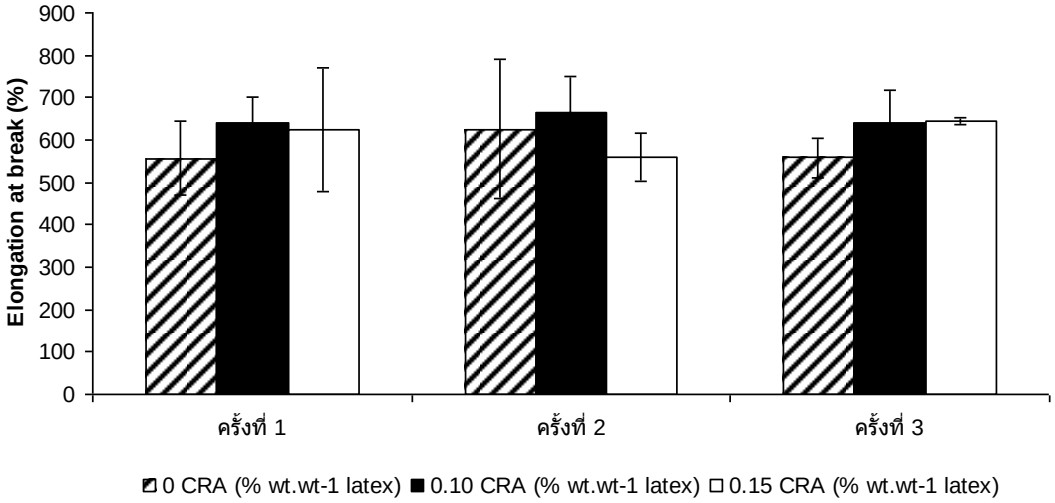
รูปที่ 4.26 อิทธิพลสารลดสีต่อค่า 100% มอดุลัสของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)



รูปที่ 4.27 อิทธิพลสารลดสีต่อค่า 300% มอดุลัสของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่
ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)



รูปที่ 4.28 อิทธิพลสารลดสีต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม
ตัวอักษรที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่
ระดับความเชื่อมั่น 99% (Single factor ANOVA)



รูปที่ 4.29 อิทธิพลสารลดสีต่อค่าความสามารถในการยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นจากการจุ่ม

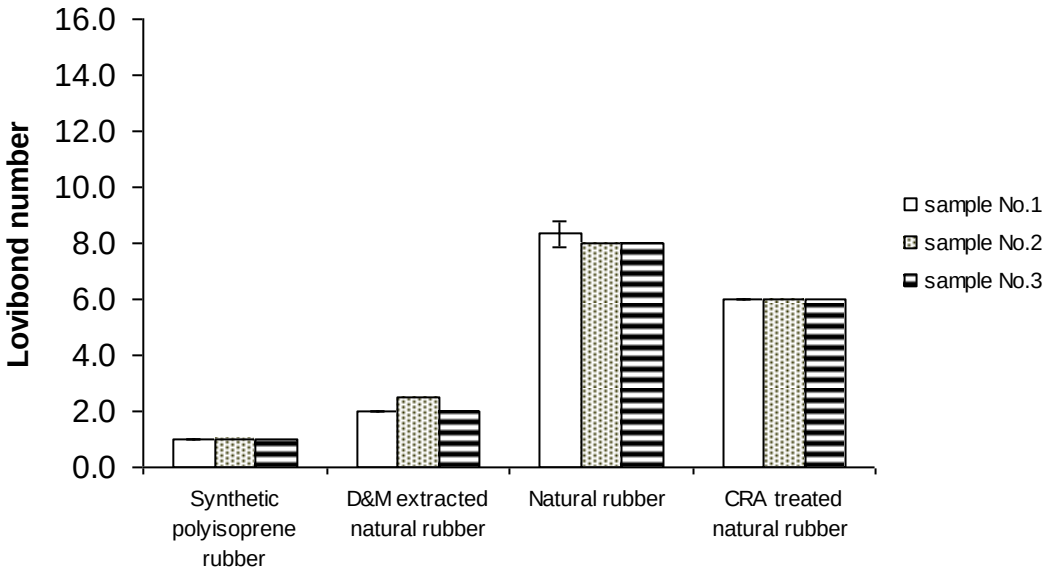
การพัฒนาวิธีการลดสีของน้ำยางธรรมชาติพบว่า การใช้สารลดสี (CRA) ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 5% wt.wt^{-1} latex เติมในน้ำยางสดแล้วนำไปเตรียมเป็นน้ำยางข้นเป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำยางถึง ร้อยละ 8 โดยน้ำยางข้นที่เตรียมได้ไม่เสียสภาพ นอกจากนี้สมบัติเชิงกลทุกสมบัติ คือ 100% และ 300% มอดุลัส และค่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดจนขาด ของแผ่นฟิล์มน้ำยางข้นที่ได้จากการเติมสารลดสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำยางข้นที่ไม่เติมสารลดสี

4.7 ผลการเปรียบเทียบสียางพอลิไอโซพรีนด้วยเครื่องเปรียบเทียบสีมาตรฐานโลวิบอนด์

ในการศึกษาเปรียบเทียบสีของยางนอกจากวิธีการใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ การเปรียบเทียบแถบสีมาตรฐานโลวิบอนด์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการระบุสียางแท่ง ซึ่งมีสภาวะที่สอดคล้องกับกระบวนการแปรรูปยางที่ใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูป จากรูปที่ 4.14 ความเข้มสีของยางแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานโลวิบอนด์ พบสีของยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์จะมีสีอ่อนกว่ายางธรรมชาติแห้งถึง 7 เบอร์โลวิบอนด์ เนื่องจากยางธรรมชาติมีสารที่ทำให้เกิดสีที่ไม่ใช่เนื้อยาง เช่นพอลิฟีนอล โปรตีน เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และสารอื่นๆ เช่นน้ำตาล เรซิน โลหะทำให้ยางธรรมชาติมีสีเข้มกว่ายางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ รวมทั้งอุณหภูมิที่สูงคือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ยังเร่งและก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น ทั้งปฏิกิริยา

เมลลาร์ด และปฏิกิริยาคาราเมไรเซชัน ซึ่งเกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลเกิดการดีไฮเดรชัน (Hidalgo และ Zamora, 2000) แล้วพอลิเมอไรเซชันเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสีของยางตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ พบยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์มีสีของยางไม่เกินระดับสีของโลวิบอนด์ เบอร์ 4 แสดงว่า มีสีเทียบเท่ามาตรฐานของยาง แท่ง ชั้น STR XL (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2548) ซึ่งเป็นยาง แท่งชั้นที่มีสีอ่อนที่สุด ส่วนยางธรรมชาติ แห้งมีความเข้มสีที่เกินสีของโลวิบอนด์ เบอร์ 6 แสดงว่ามีสีเทียบเท่ามาตรฐานของยางแท่ง ชั้นตั้งแต่ STR 5 ซึ่งเป็นยางที่เป็นชั้นที่มีสีเข้มกว่า นอกจากนี้ในการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ทำให้เกิดสีของน้ำยางธรรมชาติด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรีซึ่งเป็นวิธีที่มีความละเอียดมากกว่าเทคนิคการเปรียบเทียบแถบสีโลวิบอนด์พบ ยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดเอาสารที่ไม่ใช่เนื้อยางที่ทำให้เกิดสีด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทน และเมทานอลมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงที่มองเห็นยางเป็นสีเหลือง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลแบบคอนจูเกต แต่เป็นการศึกษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูปยาง ดังนั้นเพื่อศึกษาที่อุณหภูมิสำหรับแปรรูปยางจึงทดสอบด้วยเทคนิคเปรียบเทียบแถบสีมาตรฐานโลวิบอนด์ พบยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายไดคลอโร - มีเทนและเมทานอลมีสีอ่อนกว่ายางธรรมชาติแห้งอยู่ 6 เบอร์โลวิบอนด์ เนื่องจากการสกัดยางธรรมชาติด้วยไดคลอโรมีเทนและเมทานอลจะเป็นการสกัดสารที่ทำให้เกิดสีที่สามารถละลายได้ด้วยตัวทำละลายนี้ออกไปคือ คาโรทีนอยด์ ไขมัน พอลิฟีนอล แต่ยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนและเมทานอลจะมีสีมากกว่ายางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์อยู่ 1 เบอร์โลวิบอนด์ อาจเนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีโซ่ของคอนจูเกตไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ซึ่งความยาวของสายโซ่คอนจูเกตยิ่งมากก็จะทำให้มีการดูดกลืนแสงที่มากตามไปด้วย โดยยางธรรมชาติมักจะมีส ายโซ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงตั้งแต่ 10^4-10^6 แม้ว่าการสกัดด้วยไดคลอโร - มีเทนและเมทานอลจะสามารถสกัดสารที่ไม่ใช่เนื้อยางที่ทำให้เกิดสีส่วนใหญ่ออกจากยางธรรมชาติ แต่ไม่สามารถสกัดสารที่ทำให้เกิดสีทุกตัวโดยเฉพาะโลหะที่มีปริมาณที่น้อยแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ จึงอาจเป็นผลให้ยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มีสีเข้มมากกว่ายางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์อยู่ 1 เบอร์โลวิบอนด์ แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนและเมทานอลก็มีสีอ่อนเทียบเท่ามาตรฐานยางแท่ง ชั้น STR XL เช่นเดียวกับยางพอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิของการใช้สารลดสี CRA ในการลดสีของยางธรรมชาติ พบน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการเติมสารลดสี CRA ความเข้มข้น 1.5% จะมีสีอ่อนกว่าน้ำยางธรรมชาติที่ไม่เติมสารลดสี 2 เบอร์โลวิบอนด์ โดยน้ำยางที่เติมสารลดสีจะมีสีอยู่ในระดับของเบอร์โลวิบอนด์ ในช่วง 4-6 แสดงว่ามีสีเทียบเท่ามาตรฐานของยางแท่ง ชั้น STR 5L (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2548) ซึ่งเป็นระดับชั้นยางที่มีสีอ่อนกว่า STR 5 แต่สูงกว่า STR

XL เนื่องจากการใช้สารลดสี CRA ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่สามารถทำให้เกิดการออกซิไดส์สารที่มีอยู่ในน้ำยางทำให้ยางมีสีจางลง



รูปที่ 4.30 สียางพอลิไอโซพรีนแห้งด้วยเครื่องเปรียบเทียบสีโลวิบอนด์ (k=3, n=3)

หมายเหตุ D&M extracted natural rubber = ยางธรรมชาติที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทนและเมทานอล