



08

การวิจัยและพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ยาง

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง

ที่ปรึกษาฯ ได้คัดเลือกโครงการวิจัยและพัฒนา (อาจเป็นงานที่ช่วยแก้ไข้ปัญหาในการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์) ที่ตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการและสามารถทำได้ภายในกรอบระยะเวลาของโครงการคือไม่เกิน 8 เดือน โดยผลงานของโครงการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างน้อย 1 ผลงาน ได้แก่ โครงการปรับปรุงการผลิตถุงนํ้ายาง ของบริษัท ดี-รับเบอร์ โปรดักส์ จำกัด

8.1 ที่มาของโครงการ

เมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 คณะที่ปรึกษาฯ ได้เข้าเยี่ยมชมบริษัท ดี-รับเบอร์โปรดักส์ จำกัด ผู้ผลิตถุงนํ้ายางจากนํ้ายางพารา ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเหมราช อ.หนองแค จ.สระบุรี เพื่อสำรวจความต้องการด้านการวิจัยของบริษัท

8.1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัทดี-รับเบอร์โปรดักส์ จำกัด ผลิตถุงนํ้ายางจากนํ้ายางพาราเป็นหลัก แต่ก็มีการผลิตถุงนํ้ายางจากยางสังเคราะห์คือยางไนไตรล์ (NBR) ด้วย มีพนักงานทั้งหมดประมาณ 70 คน

บริษัทผลิตถุงนํ้ายางหลายประเภท มีทั้งแบบม้วนขอบและไม่ม้วนขอบ ได้แก่

1. ถุงนํ้ายางทั่วไป ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ การคัดแยกไปรษณีย์ เป็นต้น
2. ถุงนํ้ายางใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็นถุงนํ้าไฟฟ้าและถุงนํ้าต้านไฟฟ้าสถิต
3. ถุงนํ้ายางใช้ในทางการแพทย์ เช่นใช้ในการตรวจต่อมลูกหมาก



รูปที่ 8.1 ถุงนํ้ายาง

เทคโนโลยีการผลิตถุงนํ้ายาง ตลอดจนเครื่องจักรผลิต ออกแบบและสร้างโดยช่างเทคนิคชาวญี่ปุ่น ซึ่งปัจจุบันก็ยังทำหน้าที่ด้านเทคนิคให้บริษัทอยู่

บริษัทมีความต้องการอยากเป็นผู้นำในการผลิตถุงนํ้ายาง ปัจจุบันบริษัทเป็นผู้ผลิตถุงนํ้ายางอันดับ 1 ของประเทศไทย แต่ยังมีขนาดและความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีห่างจากผู้ผลิตชั้นนำของโลกในประเทศมาเลเซีย

8.1.2 ปัญหาในการผลิต

บริษัทประสบปัญหาในการผลิตถุงนี้วยาง ดังนี้

1. ถุงนี้วนำไฟฟ้า/ต้านไฟฟ้าสถิต (Conduct Black)
 - 1.1 ค่า Surface resistivity สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะเมื่อถุงนี้วนผ่านกระบวนการ Chlorination ที่ผิว
 - ค่าปัจจุบันที่ทำได้อยู่ที่ $10^8 - 10^9 \text{ Ohm/cm}^2$
 - ค่าตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ $10^6 - 10^8 \text{ Ohm/cm}^2$
 - 1.2 มีผงดำหลุดออกมาจากผิว โดยเฉพาะเมื่อถูผิวของถุงนี้ว
2. ถุงนี้วใช้งานทั่วไป
 - 2.1 ค่า Surface resistivity อยู่ที่ $1,010-1,012 \text{ Ohm/cm}^2$ ซึ่งปัจจุบันผลิตได้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดอยู่แล้ว แต่ต้องการพัฒนาถุงนี้วชนิดพิเศษที่มีค่า Surface resistivity เท่ากับ 10^9 Ohm/cm^2
 - 2.2 ปริมาณแป้งที่ใส่เพื่อปรับปรุงความลื่นของผิวและลดการติดกันของถุงนี้วสูงเกินไป ต้องการพัฒนา
 - ถุงนี้วที่มีปริมาณแป้งลดลง
 - ถุงนี้วชนิดไร้แป้ง (powder free)

8.1.3 การเยี่ยมชมโรงงานเพื่อศึกษาปัญหาในการผลิต

ที่ปรึกษาฯ ได้เยี่ยมชมโรงงาน 2 ครั้ง คือ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 และวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2559 ทำให้สามารถตั้งสมมติฐานในการแก้ไขปัญหาได้ ดังนี้

1. ค่า Surface resistivity สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ค่า Surface resistivity สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คาดว่าน่าจะเกิดจากขั้นตอนการคลอรีเนต (Chlorination) ผิวถุงนี้วยาง ซึ่งจากการสังเกตการณ์ในโรงงานพบว่าการควบคุมกระบวนการผลิตน่าจะยังไม่ดีพอ เช่น การใช้ปริมาณแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium hypochlorite) และกรดในแต่ละครั้งไม่สม่ำเสมอ (ปริมาณกรดควบคุมโดยการวัด pH ซึ่งไม่น่าจะละเอียดพอ) มีผลทำให้ปริมาณการคลอรีเนตที่ผิวยางมีมากเกินไป ยางคลอรีเนตที่ผิวถุงนี้วยางจึงน่าจะแตกเป็นรอยแยก ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

2. การหลุดออกของผงดำ

การหลุดออกของผงดำน่าจะเกิดจากการคลอรีเนตผิวถุงนี้วยางมากเกินไปเช่นกัน ทำให้ยางที่คลอรีเนตเกิดรอยแตกและหลุดออกมาได้ โดยเฉพาะเมื่อขัดถู (ผงดำที่หลุดออกบางส่วนเป็นยาง บางส่วนอาจเป็นผงเขม่าดำ)

3. ปริมาณแบ่งที่ผิวถุงนํ้ามากเกินไป

จากการสังเกตในสายการผลิตพบว่า อุณหภูมิในช่วงการอบยางในตู้อบน่าจะสูงเกินไป โดยเฉพาะการให้ความร้อนโดยใช้เตาแก๊สที่เป็นเปลวเปิด (ไม่มีแผ่นกั้นระหว่างเปลวแก๊สกับถุงนํ้ายางที่เคลื่อนที่ผ่าน) จากการสอบถามพนักงานคุมเครื่องพบว่า อุณหภูมิบริเวณที่ถุงนํ้ายางเคลื่อนที่ผ่านเตาแก๊สอาจสูงถึง 300°C ฉะนั้นจึงคาดว่าจะเกิดการเสื่อมสภาพของยางที่ผิว ทำให้เกิดการเหนียวของผิว ซึ่งจะมากหรือน้อย นั้นขึ้นกับปริมาณการเกิดในแต่ละครั้งที่ผลิต บริษัทจึงต้องแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการเพิ่มปริมาณแบ่งที่ใช้ปรับผิว หากสามารถลดปริมาณการเสื่อมสภาพของผิวยางที่เกิดจากความร้อนและออกซิเจนได้ น่าจะสามารถปรับลดปริมาณแบ่งที่ใช้ได้

ข้อสังเกตเพิ่มเติม

วิธีวัด Surface resistivity ของโรงงานใช้เครื่องแบบพกพา ผู้วัดไม่ได้ควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อค่าการวัดเช่น แรงกด ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ทำให้น่าสงสัยในความน่าเชื่อถือของค่าที่วัดได้

8.1.4 ข้อเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

1. ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ประกอบด้วย

- 1.1 การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานของสาเหตุของปัญหาที่วางไว้
- 1.2 หาสมภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงการผลิต ในระดับห้องปฏิบัติการ
- 1.3 นำข้อสรุปในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ได้ไปปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงาน

2. วิธีการดำเนินการ

2.1 การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ

- รวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตและสมภาวะที่ใช้ในการผลิตในโรงงานอย่างละเอียด เช่น ความเข้มข้นของสารที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ ลำดับขั้นตอนการผลิต
- ศึกษากระบวนการคลอรีเนตผิวถุงนํ้ายาง
 - เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่ใช้และเวลาในการคลอรีเนตที่เหมาะสม
 - ศึกษาโครงสร้างผิวของถุงมือคลอรีเนตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูลักษณะการติดของผงเคมีดำกับยางและยางกับยาง
- ศึกษาการทำแห้งของถุงนํ้ายางที่อุณหภูมิต่างๆ (เตรียมถุงนํ้ายางโดยการจุ่มในห้องปฏิบัติการเอง) ตามสมภาวะที่ใช้ในโรงงาน และเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาการเกิดการเสื่อมสภาพที่ผิว วัดปริมาณแบ่งที่ต้องใช้ในการทำให้ผิวไม่เหนียวติดสำหรับตัวอย่างถุงนํ้ายางต่างๆ
- ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งและวัลคาไนซ์ถุงนํ้ายางที่เหมาะสม และปริมาณแบ่งที่ต้องใช้ในการปรับผิวที่เหมาะสม

2.2 นำผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ได้ไปหารือกับบริษัท เพื่อวางแผนปรับปรุงการผลิตในโรงงาน

2.3 ดำเนินการปรับปรุงการผลิตถ่วงนํ้าในโรงงาน และประเมินผล พร้อมทั้งปรับปรุงเพิ่มเติมหากจำเป็น

3. การศึกษาเพิ่มเติม

3.1 ศึกษาการเคลือบผิวถ่วงนํ้าด้วยสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ปรับผิวถ่วงนํ้าให้ลื่นและไม่ติด แทนการใช้แปรงหรือการคลอรีน

3.2 ศึกษาความถูกต้องของการวัดค่า Surface resistivity ของโรงงาน (ใช้เครื่องวัดแบบพกพา) โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน

8.2 การวิจัยและพัฒนาถ่วงนํ้า

8.2.1 การรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตและสภาวะที่ใช้ในการผลิตของโรงงาน

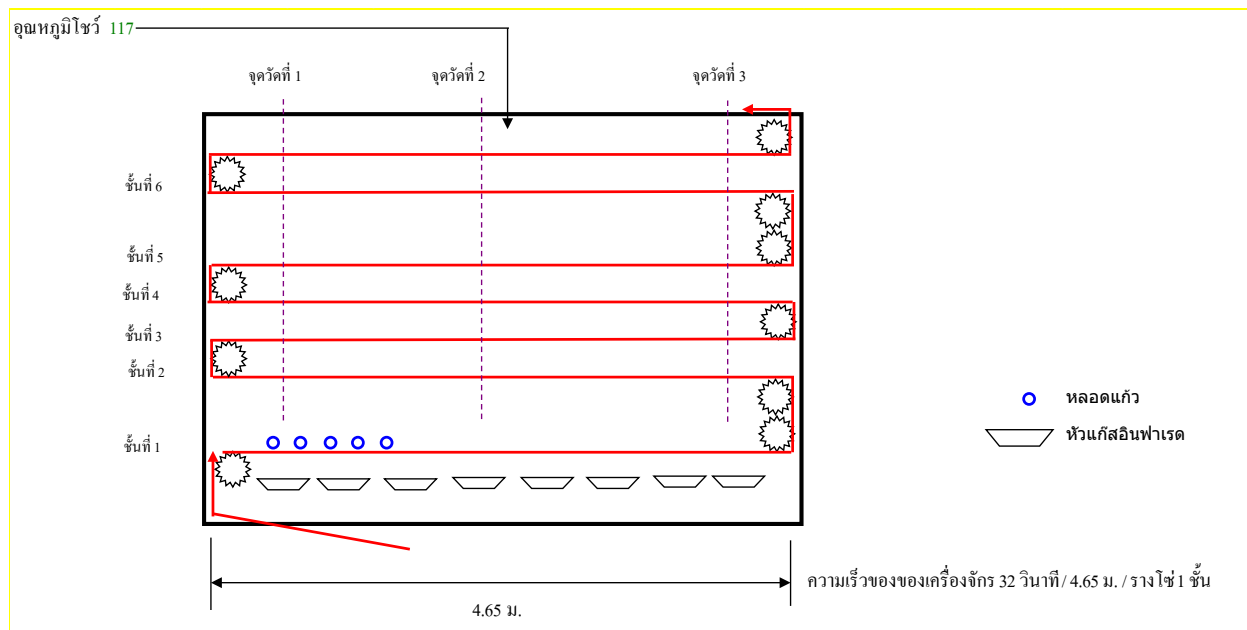
8.2.1.1 ข้อมูลการทำคลอรีน

การเตรียมสารละลายคลอรีน ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ 0.4 - 0.7 กิโลกรัม ต่อนํ้า 150 กิโลกรัม แล้วเติม 5%HCl จนได้ pH 2 (นํ้าหนักกรดที่ใช้ประมาณ 7 กิโลกรัม) ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วคิดเป็นความเข้มข้นคลอรีนประมาณ 0.17 - 0.30% โดยนํ้าหนัก ทั้งนี้ สารละลายคลอรีน 1 แบตช์ ใช้แช่ถ่วงนํ้าได้ 8 กิโลกรัม

การทำปฏิกิริยาคลอรีน เริ่มโดยนำถ่วงนํ้ามาล้างแปรง โดยแช่นํ้า 5 นาที แล้วแช่ในสารละลายคลอรีน 10 นาที จากนั้นล้างด้วย 5%NaOH เป็นเวลา 5 นาที แล้วล้างนํ้าอีก 2 ครั้ง ครึ่งละ 5 นาที จึงนำมาปั่นหมาด (Spin) เป็นเวลา 10 นาที อบแห้งด้วย big dryer ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 50 นาที

8.2.1.2 ข้อมูลการอบถ่วงนํ้า

ถ่วงนํ้ามี 6 ชั้น แต่ละชั้นใช้เวลาอบ 32 วินาที รวมเวลาที่ใช้ในตู้อบประมาณ 3-4 นาที กรณีไม่ครบหั่วเตา ถ่วงนํ้าจะได้รับอุณหภูมิสูงมากในชั้นแรก คือประมาณ 230-270°C หลังจากนั้นในชั้นที่ 2-6 จะได้รับอุณหภูมิประมาณ 120-130°C ส่วนกรณีครบหั่วเตา (ซึ่งมักไม่ได้ใช้งาน) อุณหภูมิในชั้นแรกวัดได้ประมาณ 130-140°C และลดลงเหลือประมาณ 120-130°C ในชั้นที่ 2-6 โดยอุณหภูมิที่วัดได้บริเวณชั้นที่ 6 แสดงค่าที่ 117°C ดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเพลิงไหม้และอุณหภูมิที่วัดได้ในตึก

8.2.1.3 สมบัติของน้ำยางและสารเคมีที่ได้รับจากโรงงาน

สมบัติของน้ำยางและสารช่วยในการจับตัว (Coagulant) ที่ได้รับจากโรงงาน แสดงในตารางที่ 8.1 และ 8.2

ตารางที่ 8.1 สมบัติของสารช่วยในการจับตัว (Coagulant)

ตัวอย่าง	%TSC	pH
Coagulant for CDB	14.44	10.12
Coagulant for PDL	9.61	10.57

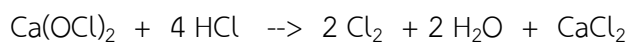
ตารางที่ 8.2 สมบัติของน้ำยาง

ตัวอย่าง	%TSC	pH	CHCl ₃ No.	%Swelling
น้ำยาง Conduct Black	35.09	10.33	3+	88
น้ำยาง Powderless	36.07	10.20	3+	90

8.2.2 การศึกษาการทำคลอรีนชั้นสูงนี้วยาง

8.2.2.1 การเตรียมสารละลายคลอรีน

การเตรียมสารละลายคลอรีนทำได้โดยนำแคลเซียมไฮโปคลอไรต์มาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก ดังสมการเคมี

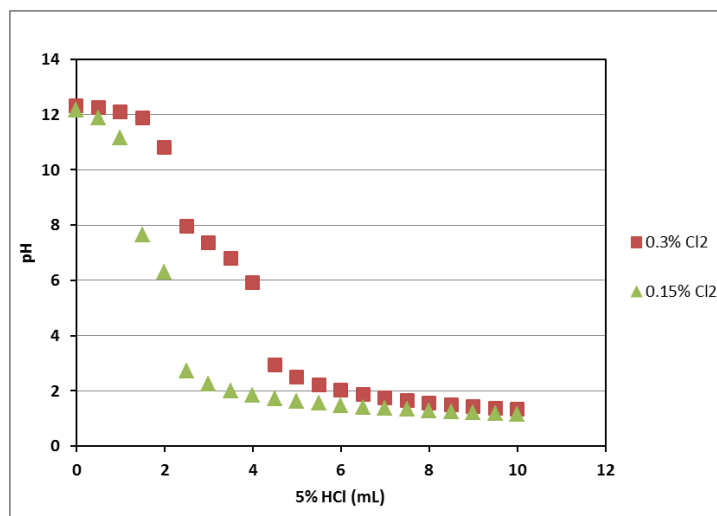


8.2.2.2 การศึกษาผลของปริมาณกรดต่อค่า pH ของสารละลายคลอรีน

เนื่องจากอัตราส่วนของสารเคมีในการทำปฏิกิริยามีความสำคัญต่อการเกิดและควบคุมปฏิกิริยา ในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของปริมาณกรดที่มีต่อค่า pH โดยค่อยๆ ไทเทรต (Titrate) กรด HCl ลงในของผสมของ Ca(OCl)_2 กับน้ำ และสังเกตการเกิดปฏิกิริยา เพื่อหาแนวทางในการเตรียมสารละลายคลอรีนที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 8.3

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรดที่ใช้ขึ้นกับปริมาณ Ca(OCl)_2 หรือความเข้มข้นของ Cl_2 ที่ต้องการเตรียม ดังนั้นหากเตรียมความเข้มข้นของสารละลายคลอรีนที่ต่างกัน ต้องใช้กรดในปริมาณที่ต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามการควบคุมปริมาณกรดด้วยการวัดค่า pH อาจทำให้ได้ปริมาณกรดไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากหลังจาก pH 2 แล้ว ค่า pH จะเปลี่ยนแปลงน้อยแม้ปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณกรดที่ใช้ อาจจะเกินได้และสูงกว่าค่าที่ควรจะเป็น

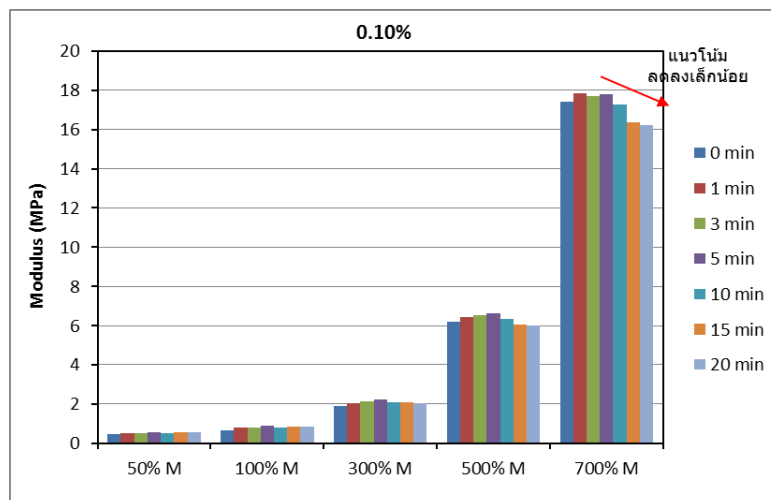
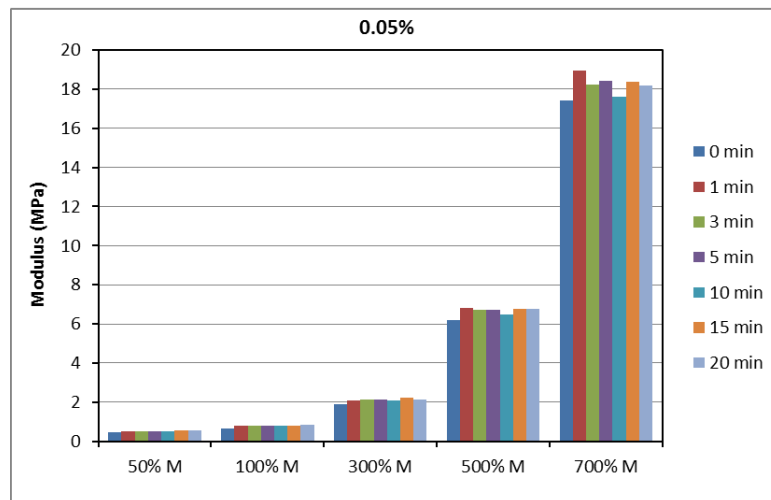
จากกราฟจะพบว่า pH จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงประมาณ pH 10 ถึง pH 3 ซึ่งการเติมกรดเร็วเกินไปอาจส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์และใช้กรดมากเกินไป ซึ่งสังเกตได้จากการที่ Ca(OCl)_2 ละลายได้ไม่หมด แม้ว่าจะเติมกรดจนครบปริมาณที่คำนวณไว้และได้ค่า pH ที่ต่ำกว่า 2 แล้ว แต่หากค่อยๆ เติมกรด HCl เจือจางอย่างช้าๆ จะทำให้ Ca(OCl)_2 ละลายได้หมด และใช้กรดได้ในปริมาณน้อยกว่าที่คำนวณ

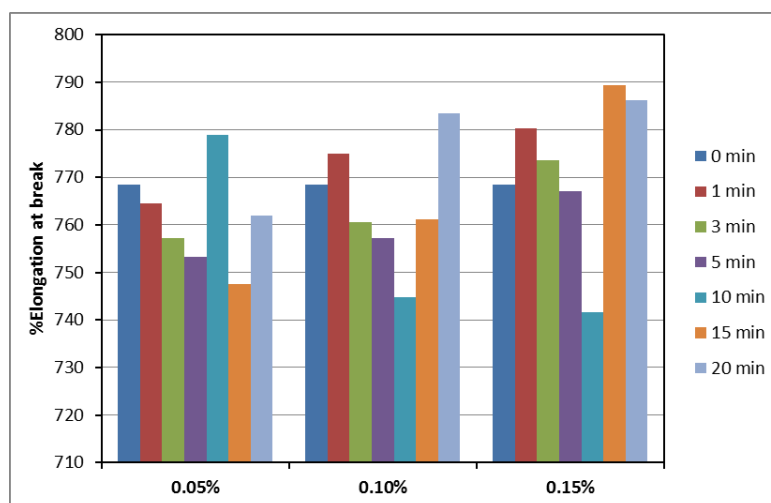
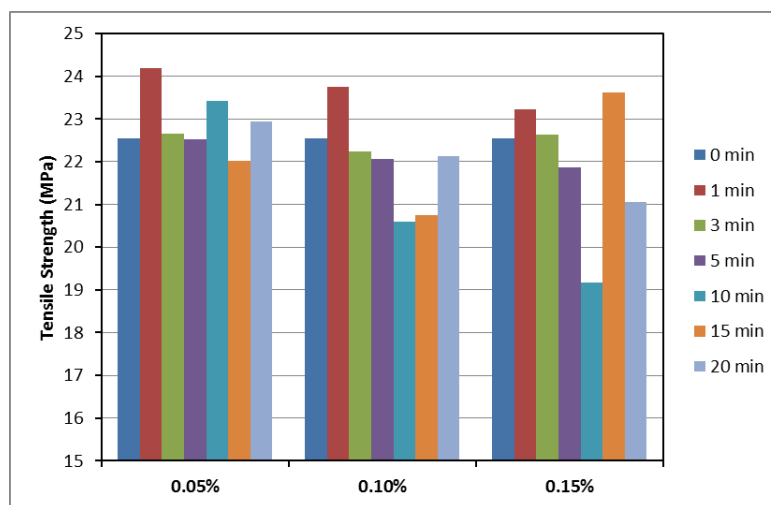
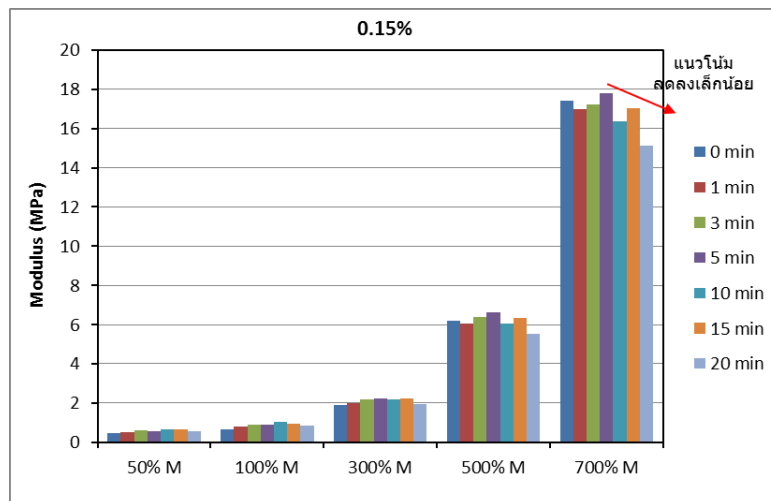


รูปที่ 8.3 Titration curve ของ 5%HCl กับ Ca(OCl)_2

8.2.2.3 การศึกษาการทำปฏิกิริยาคอรีนชัน (ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา)

เตรียมฉนวนด้วยวิธีการจุ่มแม่แบบ แล้วนำมาทำปฏิกิริยาคอรีนชันที่อุณหภูมิห้อง โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายคอรีนที่ 0.05, 0.10, 0.15% และแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1, 3, 5, 10, 15, 20 นาที นำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile properties) ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 8.4





รูปที่ 8.4 สมบัติแรงดึง (Tensile properties) ของถุงนิวที่ผ่านการทำคลอรีนชันในสภาวะต่างๆ

จากผลการทดลอง พบว่า การทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นคลอรีน 0.05% จะไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติ Tensile มากนัก ในขณะที่ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.15% จะพบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ค่า 700%Modulus มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนสำหรับค่า Tensile strength เนื่องจากค่า Tensile strength จะขึ้นอยู่กับค่า %Elongation at break ด้วย หากตัวอย่างยืดได้มาก จะทำให้ค่า Tensile strength สูงขึ้นได้

เมื่อพิจารณาถึงความลื่นของถุงนํ้ายางพบว่า ที่ความเข้มข้น 0.05% ก็สามารถทำให้ถุงนํ้ายางลื่นขึ้นได้ แต่อาจต้องใช้เวลามากกว่า 5 นาที ส่วนที่ความเข้มข้น 0.15% ซึ่งเป็นความเข้มข้นน้อยที่สุดที่โรงงานใช้ จะพบว่า ถ้าแช่ยางไว้นานกว่า 10 นาที จะมีความกระด้างของยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อนำถุงนํ้ายางมาถูกัน ก็ยังไม่พบการหลุดของยางหรือเขม่าดำออกมา

8.2.2.4 ผลการวัดค่า Surface resistivity

จากการทดลองข้างต้นยังไม่สามารถตอบได้ว่าสภาวะการทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้นส่งผลต่อการลดลงของค่า Surface resistivity หรือไม่ เนื่องจากตัวอย่างมีขนาดเล็กเกินไป ไม่สามารถนำไปวัดค่าได้ และสมบัติ Tensile ก็ไม่กระทบหรือเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบใหม่ โดยมีสภาวะที่รุนแรงน้อย ปานกลาง และมาก เพื่อนำไปทดสอบค่า Surface resistivity และลักษณะพื้นผิว

การเตรียมตัวอย่างทำโดยการชั่งนํ้ายางคอมพาวด์ 10 กรัม เทลงบนแม่พิมพ์กระจก ขนาด 15 x 15 เซนติเมตร เกลี่ยนํ้ายางให้กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ทิ้งให้แห้งหมดที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 20 นาที ลอกแผ่นฟิล์มที่ได้ออกจากแม่พิมพ์โดยใช้แปรงช่วยกันติด แล้วตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 7.5 x 7.5 เซนติเมตร นำไปทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้น โดยแปรความเข้มข้นที่ 0.05, 0.15, 0.30% และแปรเวลาที่ 5, 10, 15, 20 นาที และที่ความเข้มข้น 0.30% ได้ทดลองเตรียมสารละลายที่ pH สูงขึ้น คือ 2.5 ลักษณะยางที่ได้และค่า Surface resistivity แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 8.3 และ 8.4

ตารางที่ 8.3 ลักษณะแผ่นยางหลังทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้นในสภาวะต่างๆ

ความเข้มข้น คลอรีน (%w/w)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)			
	5	10	15	20
0.05 / pH 1.5	มีความลื่นเล็กน้อย แผ่นยางเหนียว ติดกันได้	มีความลื่นเล็กน้อย แผ่นยางเหนียว ติดกันได้	มีความลื่นเล็กน้อย แผ่นยางเหนียว ติดกันได้	มีความลื่นเล็กน้อย แผ่นยางเหนียว ติดกันน้อยลง
0.15 / pH 1.5	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน

ความเข้มข้น คลอรีน (%w/w)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาท)			
	5	10	15	20
0.30 / pH 1.5	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน มีความกระด้าง	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน มีความกระด้าง	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน มีความกระด้าง	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน มีความกระด้าง
0.30 / pH 2.5	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน	แผ่นยางลื่น ไม่เหนียวติดกัน

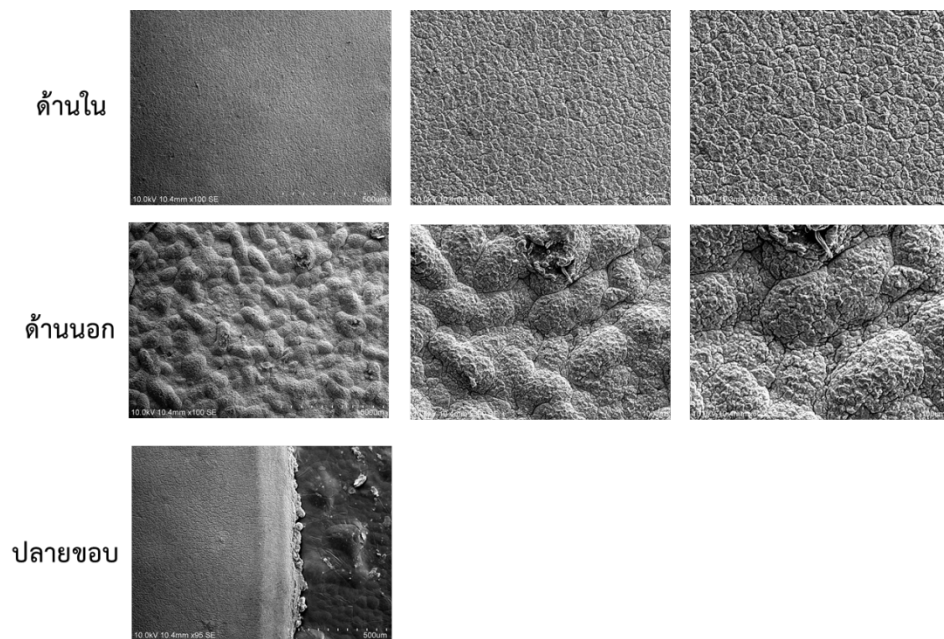
จากตารางที่ 8.3 พบว่า การทำปฏิกิริยาโดยใช้สารละลายคลอรีนเข้มข้น 0.05% ทำให้ยางลื่นขึ้น แต่แผ่นยางยังเหนียวติดกันได้ แม้จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.15% สามารถทำให้ยางลื่นไม่เหนียวติดกันได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.30% พบว่าเกิดปฏิกิริยามากเกินไป ทำให้ยางมีความกระด้าง แต่เมื่อเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.30% เช่นเดียวกันแต่ใช้กรดน้อยลง เพื่อควบคุม pH ของสารละลายไว้ที่ 2.5 พบว่า ยางไม่กระด้าง เมื่อเทียบกับการทำปฏิกิริยาในสารละลายคลอรีนที่มีค่า pH ต่ำกว่า

ตารางที่ 8.4 ค่า Surface resistivity

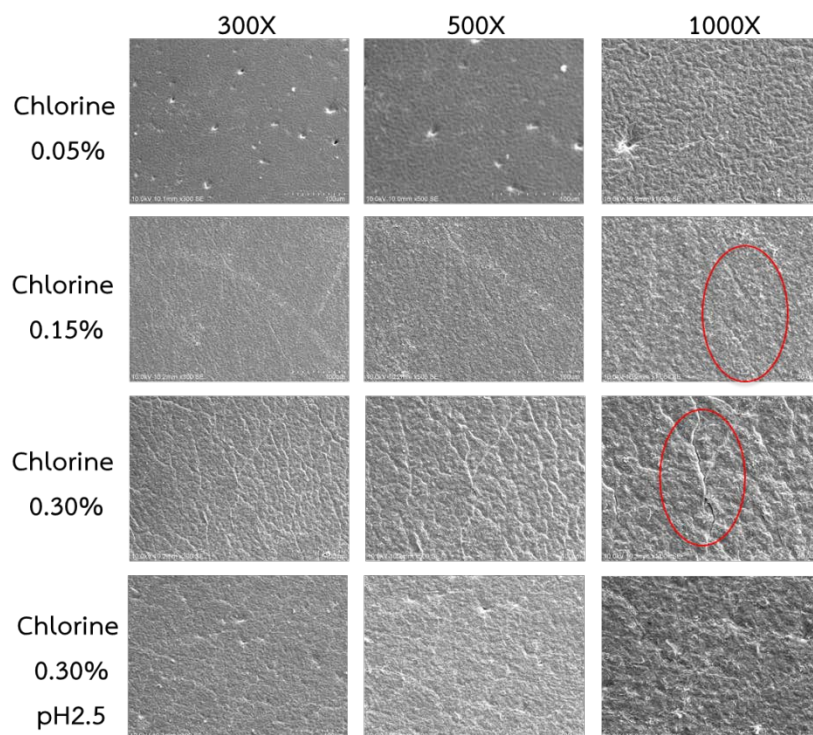
ความเข้มข้นคลอรีน (%w/w)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาท)			
	5	10	15	20
0.05 / pH 1.5	$(1.44 \pm 0.06) \times 10^4$	$(1.22 \pm 0.06) \times 10^4$	$(1.96 \pm 0.08) \times 10^4$	$(1.48 \pm 0.07) \times 10^4$
0.15 / pH 1.5	$(1.73 \pm 0.08) \times 10^4$	$(1.79 \pm 0.08) \times 10^4$	$(3.37 \pm 0.05) \times 10^4$	$(5.48 \pm 0.31) \times 10^4$
0.30 / pH 1.5	$(3.39 \pm 0.38) \times 10^4$	$(7.77 \pm 0.17) \times 10^4$	$(2.69 \pm 0.08) \times 10^5$	$(8.43 \pm 0.39) \times 10^4$
0.30 / pH 2.5	$(1.12 \pm 0.07) \times 10^4$	$(2.84 \pm 0.08) \times 10^4$	$(5.00 \pm 0.14) \times 10^4$	$(5.64 \pm 0.27) \times 10^4$

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า Surface resistivity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และการทำปฏิกิริยาที่ pH 1.5 จะทำให้ได้ค่า Surface resistivity ที่มากกว่า ที่ pH 2.5 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรงกับโรงงานว่า หลังทำปฏิกิริยาคลอรีนขึ้น ค่า Surface resistivity จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าที่วัดได้มีการเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่ากับข้อมูลที่ได้รับจากโรงงาน คือ เพิ่มไม่ถึง 10 เท่า ในขณะที่การวัดครั้งนี้จากโรงงานมีค่า Surface resistivity เพิ่มขึ้น ประมาณ 10-100 เท่า ทั้งนี้อาจเกิดจากขนาดของชิ้นงานและวิธีวัดค่าด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพอจะสรุปได้ว่า สภาพการเกิดปฏิกิริยาที่มากขึ้นหรือรุนแรงขึ้น เช่น ความเข้มข้นมาก เวลานาน ค่า pH ต่ำ จะส่งผลกระทบทำให้ค่า Surface resistivity สูงขึ้นได้

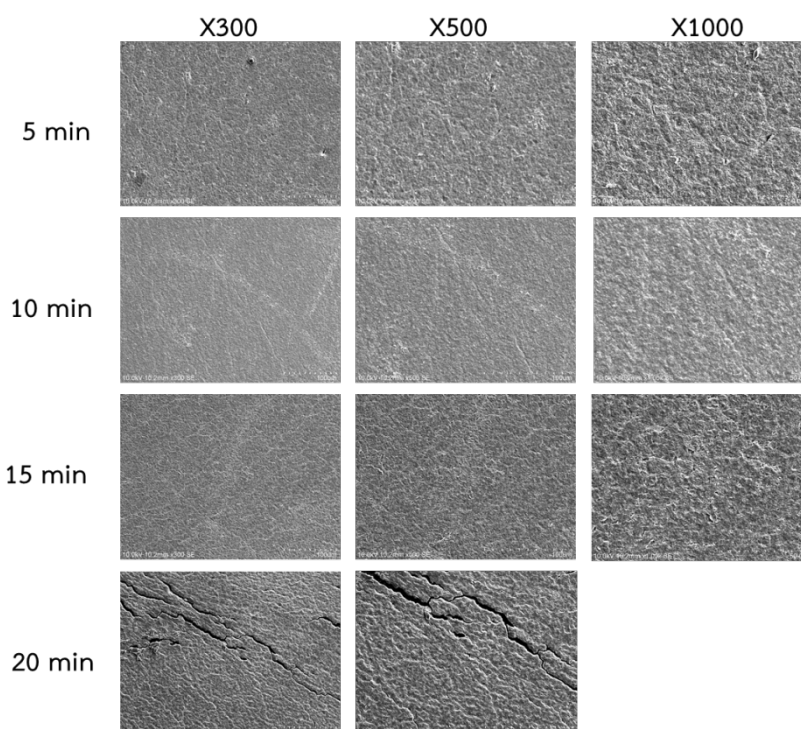
8.2.2.5 การศึกษา Morphology ด้วย SEM



รูปที่ 8.5 SEM ของ Commercial conductive finger cots



รูปที่ 8.6 ผลของความเข้มข้นคลอรีนต่อลักษณะผิวของยางหลังทำปฏิกิริยาคลอรีนชันเป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 8.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อลักษณะผิวของยางที่ทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้น
ที่ความเข้มข้น 0.15%

จากรูป SEM พบว่า ยางนี้ยาง Commercial มีรอยแตกที่ผิวทั้งด้านในและด้านนอก และที่ปลายขอบยางนี้มีขุยยางเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะขอบไม่เรียบ ซึ่งขุยยางมีโอกาสดูดออกจากถุงนี้ได้ง่าย

เมื่อทดลองทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้นพบว่า เมื่อความเข้มข้นของคลอรีนเพิ่มขึ้น จะมีโอกาสเกิดรอยแตกได้มากขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 0.05% ยังไม่พบรอยแตกที่ผิว แต่ที่ความเข้มข้น 0.15% เริ่มพบรอยแตก และพบมากขึ้นที่ความเข้มข้น 0.30% ในทำนองเดียวกัน เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น จะเกิดรอยแตกได้มากขึ้น โดยตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.15% จะเริ่มเห็นรอยแตกที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที และรอยแตกมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น

ในการทำปฏิกิริยาคลอรีนชั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมความเข้มข้นและเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผิวยางที่ลื่นเพียงพอ และยังคงสภาพพื้นผิวที่ดี เพื่อลดการเพิ่มขึ้นของค่า Surface resistivity

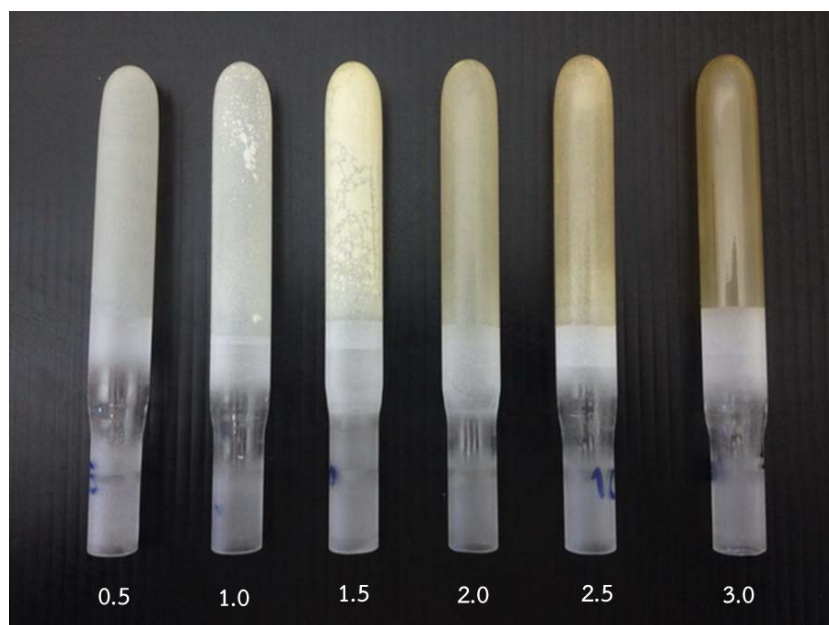
8.2.3 การศึกษาการลดปริมาณแป้งในถั่วเขียว

8.2.3.1 การทำแห้งถั่วเขียว (อุณหภูมิและเวลาในการอบ)

จากข้อมูลของโรงงานพบว่า กรณีไม่ครบหั่วเตา ถั่วเขียวจะสัมผัสกับอุณหภูมิสูงถึง 230-270°C เป็นเวลาอย่างน้อย 30 วินาที ซึ่งอาจทำให้ถั่วเขียวเสื่อมสภาพและเกิดการเหนียวติดได้ การทดลองต่อไปนี้จะศึกษาผลของการอบถั่วเขียวที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการอบ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ อบถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 นาที ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 8.5 และรูปที่ 8.8

ตารางที่ 8.5 สีและลักษณะของถั่วเขียวหลังอบที่อุณหภูมิ 250°C ในเวลาต่างๆ

เวลาในการอบ (นาที)	สีของถั่วเขียว	ลักษณะพื้นผิว
0.5	ขาว	ไม่เหนียว
1.0	ขาว	ไม่เหนียว
1.5	เหลืองอ่อน	เริ่มเหนียว
2.0	น้ำตาลอ่อน	เหนียว
2.5	น้ำตาล	เหนียวเยิ้มเล็กน้อย
3.0	น้ำตาลเข้ม	เหนียวเยิ้ม



รูปที่ 8.8 การเปลี่ยนสีของถั่วเขียวเมื่ออบที่ 250°C เป็นเวลา 0.5-3 นาที

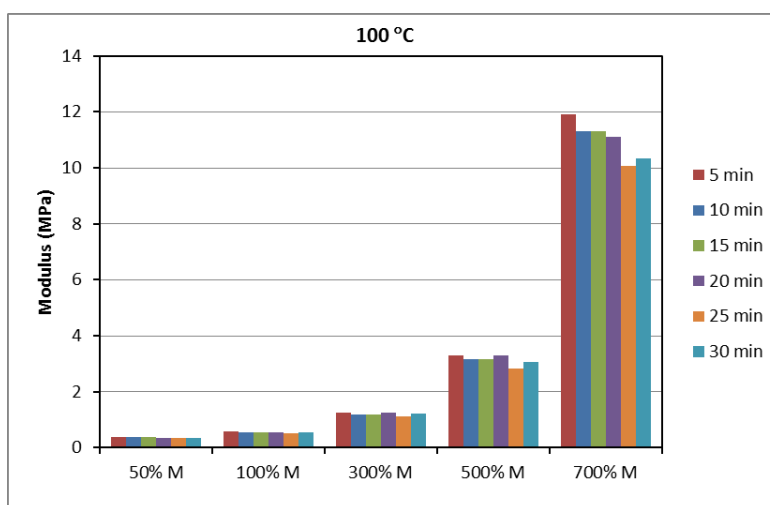
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อถุงนํ้ายางได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 250°C เป็นเวลามากกว่า 1 นาที จะทำให้ถุงนํ้ายางเริ่มเหนียวและเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นการอบยางที่อุณหภูมิสูงเกินไป จะมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพ ทำให้ถุงนํ้ายางมีสมบัติที่ด้อยลง รวมไปถึงพื้นผิวมีโอกาสเหนียวติดกัน ทำให้ต้องใช้แรงในการกันตีดในปริมาณที่มากขึ้น

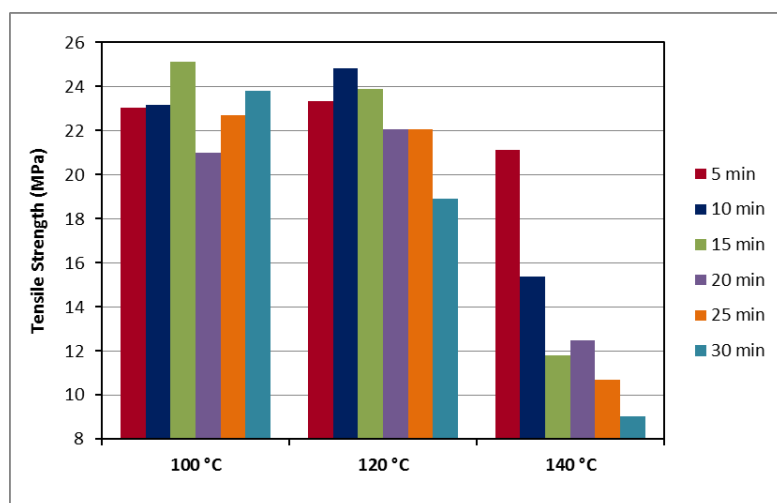
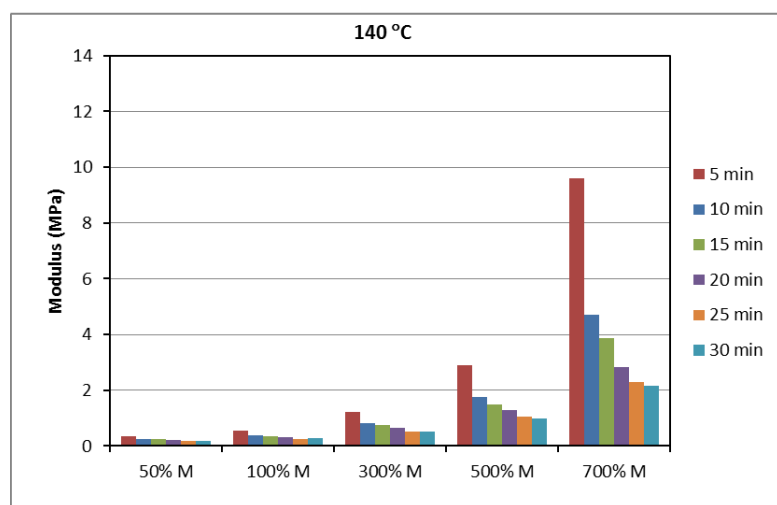
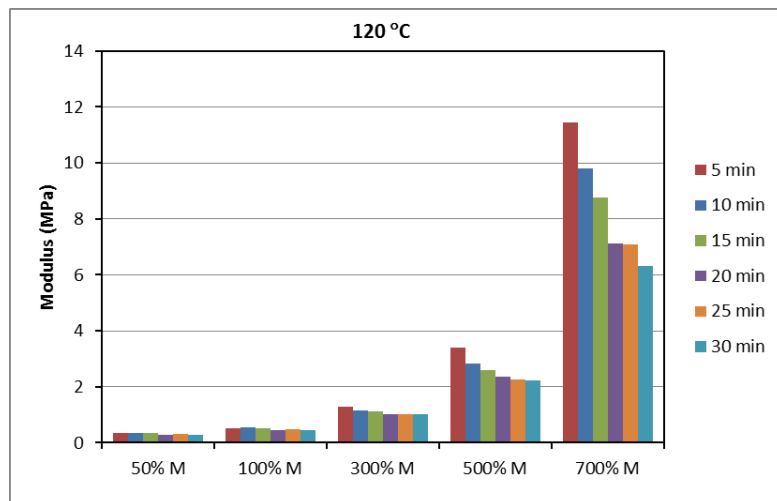
เมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมโดยจำลองสภาวะให้คล้ายกับในสายการผลิต คือ อบถุงนํ้ายางที่อุณหภูมิสูง 250°C เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 3 นาที นำมาวัดสมบัติ Tensile เปรียบเทียบกับการอบถุงนํ้ายางที่อุณหภูมิสูง 250°C เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 3 นาที พบว่า การอบที่อุณหภูมิสูงนานขึ้น แม้สังเกตว่าสีของถุงนํ้ายางไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่สมบัติ Tensile มีค่าลดลง ทั้งในส่วนของ Modulus และ Tensile strength ในขณะที่ %Elongation at break มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นั่นคือ การอบที่อุณหภูมิสูง แม้เป็นระยะเวลาสั้นๆ มีโอกาสทำให้ยางเสื่อมสภาพได้เร็วและง่าย ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 8.6

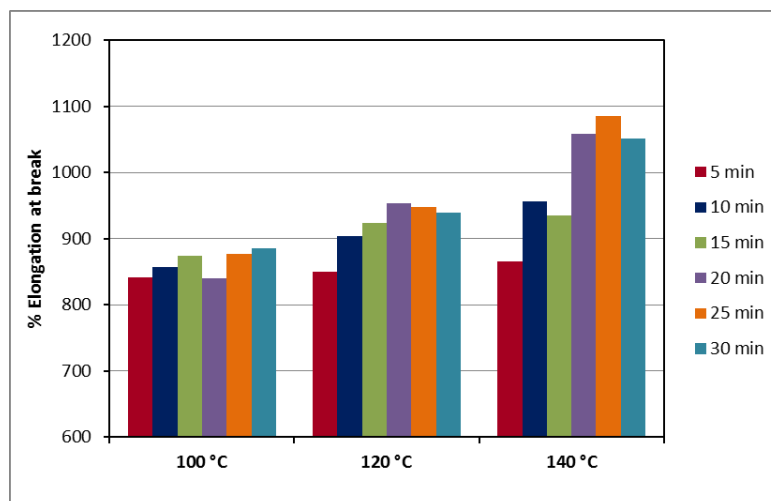
ตารางที่ 8.6 Tensile properties ของถุงนํ้าที่อบที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที

ตัวอย่าง	50% Modulus (MPa)	100% Modulus (MPa)	300% Modulus (MPa)	500% Modulus (MPa)	700% Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	% Elongation At break
250°C, 30 sec	0.33 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.96 ± 0.01	2.55 ± 0.04	9.70 ± 0.20	23.89 ± 0.91	891 ± 11
250°C, 60 sec	0.32 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.86 ± 0.03	1.97 ± 0.04	7.62 ± 0.15	21.61 ± 1.67	912 ± 18

จากนั้น ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการอบถุงนํ้ายางที่อุณหภูมิต่ำลง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดเวลาการอบ ซึ่งเตรียมโดยนำถุงนํ้ายางมาอบที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 100, 120, 140°C แปรเวลาในการอบที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30 นาที ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 8.9







รูปที่ 8.9 Tensile properties ของถุงนํ้ายางที่อบที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140°C เป็นเวลาต่างๆ กัน

จากผลการทดลองพบว่า การอบถุงนํ้ายางที่อุณหภูมิ 100°C ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของถุงนํ้ายางมากนัก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 120°C จะเริ่มพบว่า ค่า Modulus จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการอบเพิ่มขึ้น และพบการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 140°C นั่นคือ แม้จะใช้อุณหภูมิต่ำลง แต่ไม่ควรเกิน 120°C เพราะจะทำให้ถุงนํ้ายางเสื่อมสภาพได้ง่าย และเป็นสาเหตุหนึ่งของการเหนียวติดมากขึ้น

8.2.3.2 การใช้สารเคมีชนิดอื่นลดลงหรือทดแทนน้ำแป้ง (Powder water)

การใช้สารเคมีชนิดอื่นลดลงหรือทดแทนน้ำแป้ง (Powder water) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำ Polymer coating การใช้ Modified starch reducing agent

การทำ Polymer coating

ใช้สารเคมีที่ได้รับมาจากโรงงานผู้ผลิตถุงนํ้ายางมาทำการทดลอง โดยมีสาร 2 ชนิด ได้แก่ 40% Nobel สำหรับใช้ใส่ใน Coagulant และ 20% Polymer สำหรับจุ่มเคลือบ

เตรียม Coagulant โดยผสม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 8% กับ Wetting agent 0.05% แล้วเติม Nobel ลงไป 2% ส่วน Polymer เจือจางให้เหลือความเข้มข้น 1, 2, 3 % เพื่อศึกษาความเข้มข้นของ Polymer ที่เหมาะสมในการจุ่มเคลือบ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 8.7

ตารางที่ 8.7 ลักษณะของถุงนํ้ายางเมื่อทำ Polymer coating ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Polymer	ลักษณะถุงนํ้ายางที่ได้
1%	ถุงนํ้ายางมีความลื่น แต่ไม่สม่ำเสมอ และถอดออกจากแม่แบบได้ยาก
2%	ถุงนํ้ายางมีความลื่น สม่ำเสมอ ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย
3%	ถุงนํ้ายางมีความลื่น สม่ำเสมอ ถอดออกจากแม่แบบได้ง่าย มีความกระด้างเล็กน้อย

การใช้ Modified starch reducing agent (Wizsilk 910b)

Wizsilk 910b เป็น Modified starch reducing agent ซึ่งเป็นสารที่ใช้ผสมกับน้ำแป้ง เพื่อลดปริมาณแป้งในการผลิต เช่น ปกติใช้แป้ง 8% สามารถลดลงแป้งเหลือ 4% และใส่ Wizsilk 910b 1% (ข้อมูลจากบริษัทผู้ขาย) ในการทดลองจึงได้เตรียม Powder 4% ผสมกับ Wizsilk 910b 1% และใช้จุ่มใน ขั้นตอนสุดท้ายก่อนอบแห้งพบว่า ถุงนํ้ายางที่ได้มีความลื่นดี ไม่เหนียวติดกัน แต่เนื่องจากทางโรงงานไม่ได้ใช้ แป้งในส่วนนี้ และไม่ได้ต้องการลดแป้งในส่วนนี้ จึงไม่ได้ทดลองเปรียบเทียบกับปริมาณแป้งอื่นๆ

8.2.3.3 การใช้สารเคมีชนิดอื่นทดแทน CaCO_3 ใน Coagulant

การใช้ WST KM 6204-B, WST 905

เนื่องจากโรงงานต้องการลดแป้งในส่วนของ Coagulant คณะผู้วิจัยจึงได้ติดต่อสอบถาม บริษัทถึงสารเคมีที่ใช้ลดแป้งใน Coagulant และได้รับตัวอย่างสารเคมีมา 2 ตัวอย่าง คือ WST KM 6204-B, WST 905 สามารถนำมาใช้แทน CaCO_3 ใน Coagulant โดยใช้ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 3% ผสมกับสารทดแทนนี้ 3% ผลการทดลองพบว่า ถุงนํ้ายางไม่เหนียวติดกัน แต่ไม่ลื่นมาก ถ้ามีน้ำหนักกดทับ จะติดกันเล็กน้อย แต่ลอกออกได้ง่าย

8.2.4 สรุปผลการทดลอง

1. การควบคุมปฏิกิริยาคลอรีเนชัน ทั้งในเรื่องความเข้มข้นและเวลาในการทำปฏิกิริยามีความสำคัญ เพราะหากควบคุมได้ไม่ดี จะส่งผลกระทบต่อสมบัติของถุงนํ้ายาง เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้าได้
2. การอบยางที่อุณหภูมิสูงจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดการเสื่อมสภาพของยางได้ ทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลง สีเข้มขึ้น และยางมีความเหนียวมากขึ้น
3. การทดลองใช้สารเคมี ทั้งในส่วน Polymer coating และสารทดแทน CaCO_3 ใน Coagulant สามารถทำให้ถุงนํ้ายางลื่นได้ในระดับเดียวกับสารเคมีที่โรงงานใช้

8.3 การทดลองปรับปรุงการผลิตถุงนํ้ายางในโรงงาน

คณะผู้วิจัยได้ประชุมกับผู้จัดการโรงงาน วิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ ของบริษัท ดี-รับเบอร์โปรดักส์ จำกัด เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2559 เพื่อรายงานผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถุงนํ้ายางในระดับห้องปฏิบัติการและนำเสนอแนวทางการปรับปรุงการผลิตถุงนํ้ายางในโรงงาน เพื่อให้บริษัทพิจารณำไปทำการทดลองในสายการผลิตเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของถุงนํ้ายางที่ผลิตร่วมกันต่อไป ซึ่งทางบริษัท ดี-รับเบอร์โปรดักส์ จำกัด ได้นำข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัยไปทดลองปรับเปลี่ยนในสายการผลิตได้ผลดังต่อไปนี้

8.3.1 การแก้ไขปัญหาถุงนํ้ายาง Conduct black มีค่า Surface resistivity เกินค่าที่กำหนด

8.3.1.1 สมมติฐาน

ปริมาณกรด (5% HCl) ที่เติมในกระบวนการคลอรีนชัน มีผลต่อค่า Surface resistivity หรือไม่

8.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมนํ้ายางคอมพาวด์

ทำการเตรียมนํ้ายางคอมพาวด์ที่มีค่า Chloroform No.2 โดยเติมดิสเพิสชันคาร์บอนแบล็กที่มีขนาด 10-20 ไมครอนลงในนํ้ายางจำนวน 27 กิโลกรัม

2. กระบวนการ Dipping process

เดินเครื่องจักรด้วย Parameter ปกติ

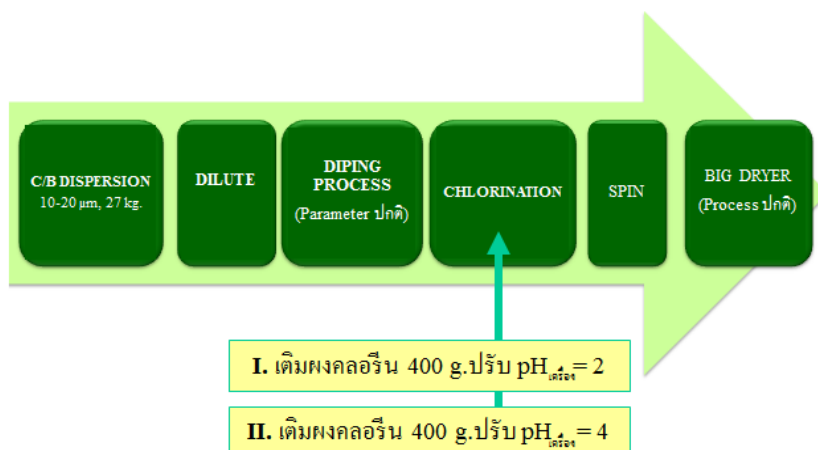
3. กระบวนการ Chlorination

ทดลองล้างคลอรีนโดย Process ปกติที่มีการปรับ (pH = 2), (pH = 4) ด้วยเครื่อง

4. กระบวนการ Big dryer

สำหรับกระบวนการอบที่ Big dryer จะอบด้วย Process ปกติ

โดยขั้นตอนการเตรียมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 ขั้นตอนการทดลองในแต่ละ Condition เพื่อแก้ไขค่า Surface resistivity ที่เกินค่าที่กำหนด

8.3.1.3 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 8.8 และตารางที่ 8.9 พบว่า ปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) และ พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ในกระบวนการคลอรีเนชันมีการกำหนดเติมผงคลอรีน 400 กรัม แล้วปรับค่า pH = 2 ด้วยเครื่อง ผลของค่า Surface resistivity อยู่ในช่วง $10^6 - 10^9 \Omega/\text{sq.}$ ส่วนในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) มีการกำหนดเติมผงคลอรีน 400 กรัม แล้วปรับค่า pH = 4 ด้วยเครื่อง เพื่อลดความรุนแรงของกรด โดยให้ผลของค่า Surface resistivity อยู่ในช่วง $10^6 - 10^9 \Omega/\text{sq.}$ เช่นกัน (ตารางที่ 8.10)

ตารางที่ 8.8 ค่า Surface resistivity ในปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ที่มีการปรับค่า pH = 2 ด้วยเครื่อง

Batch (2015)	Surface Resistivity ($\Omega/\text{sq.}$)				
	10^6	10^7	10^8	10^9	Total
150506-5AS-11	0	3	7	0	10
150511-5AS-12	0	2	7	1	10
150917-5BS-08	0	8	2	0	10
150930-5AS-05	0	5	4	1	10
151007-4BS-06	2	6	2	0	10
151007-4BS-10	0	7	3	0	10
151123-1BS-02	0	5	3	2	10
151212-4BS-02	2	8	0	0	10
151126-1BS-01	0	8	2	0	10
151215-4AS-04	1	7	1	1	10
151215-4BS-04	0	10	0	0	10
151214-4BS-10	0	7	0	3	10
Total	5	76	31	8	120
(%)	4.2	63.3	25.8	6.7	100

ตารางที่ 8.9 ค่า Surface resistivity ในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ที่มีการปรับค่า pH = 2 ด้วยเครื่อง

Batch (2016)	Surface Resistivity ($\Omega/\text{sq.}$)				
	10^6	10^7	10^8	10^9	Total
160217-2AS-07	4	6	0	0	10
160226-4AS-03	0	9	1	0	10
160608-2BM-02	0	4	5	1	10
160618-2BM-02	0	4	4	2	10
160402-4BM-03	1	4	3	2	10
160402-4BM-08	2	4	2	2	10
Total	7	31	15	7	60
(%)	11.7	51.7	25.0	11.7	100

ตารางที่ 8.10 ค่า Surface resistivity ในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ที่มีการปรับค่า pH = 4 ด้วยเครื่อง

Batch (2016)	Surface Resistivity ($\Omega/\text{sq.}$)				
	10^6	10^7	10^8	10^9	Total
160625-2AS-04	4	5	1	0	10
160625-2AS-05	3	3	4	0	10
160625-2AS-03	2	5	2	1	10
160626-2AS-08	1	6	3	0	10
160626-2AS-09	1	5	3	1	10
Total	11	24	13	2	50
(%)	22	48	26	4	100

8.3.1.4 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 8.8 ถึง 8.10 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมกรดในกระบวนการคลอรีนชัน นั้นมีผลต่อค่า Surface resistivity ทั้งนี้สภาวะกรดที่รุนแรงอาจทำลายผิวของยางให้เป็นรอยแตกเหมือนกับที่ทาง คณะผู้วิจัยได้เคยนำเสนอไว้

8.3.2 การแก้ไขปัญหาผิวงานเปิด (ขุย), ผงคาร์บอนหลุด

8.3.2.1 สมมติฐาน

1. การใช้ปริมาณกรดมาก/กรดน้อย มีผลทำให้ผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดน้อยลงหรือไม่
2. การใช้อุณหภูมิสูง/อุณหภูมิต่ำ ในช่วงการอบยาง มีผลทำให้ผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดน้อยลงหรือไม่
3. การใช้ดิสเพิสชันคาร์บอนแบล็กที่ขนาดอนุภาคเล็กกลง มีผลทำให้ผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดน้อยลงหรือไม่

8.3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

ทำการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์ที่มีค่า Chloroform No.2 โดยเติมดิสเพิสชัน คาร์บอนแบล็กที่มีขนาด 10-20 ไมครอน และ 5 ไมครอน ลงในน้ำยางจำนวน 27 กิโลกรัม

2. กระบวนการ Dipping process

ได้ออกแบบ Condition การเดินเครื่องจักรอยู่ 3 Condition คือ (1) เดิน เครื่องจักรด้วย Parameter ปกติ (2) เดินเครื่องจักรด้วยการถอด Cover ตู้ออกทั้งหมด (ไฟแรง/อุณหภูมิสูง $\sim 122^{\circ}\text{C}$) และ (3) เดินเครื่องจักรด้วยการใส่ Cover ตู้ออกแล้วหรีฟลดลง (ไฟอ่อน/อุณหภูมิต่ำ $\sim 100^{\circ}\text{C}$)

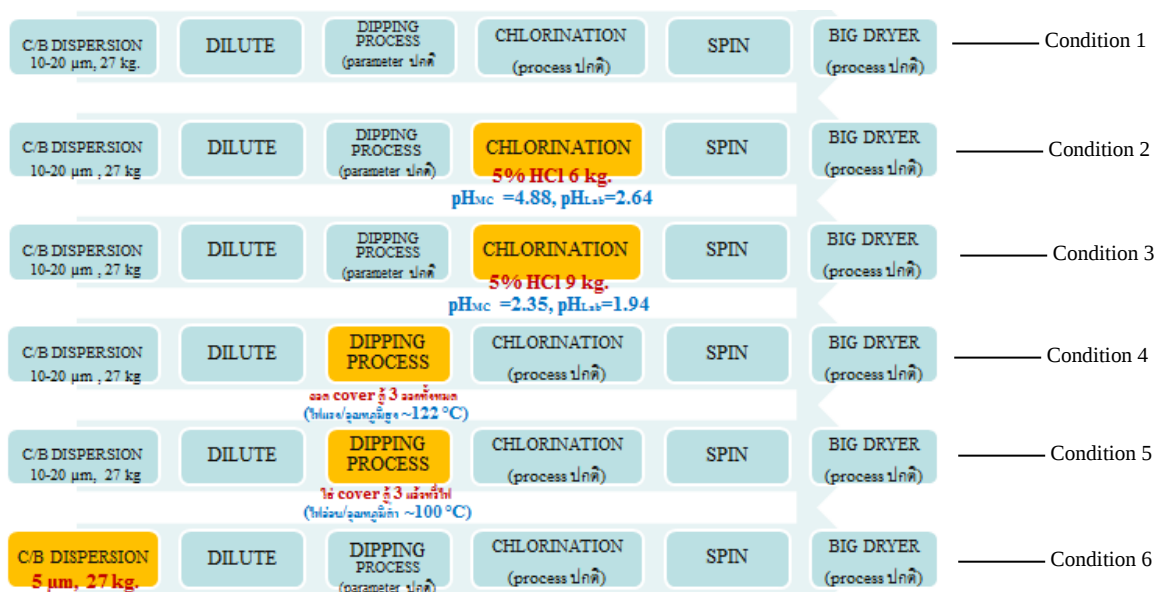
3. กระบวนการ Chlorination

ทดลองล้างคลอรีนโดย (1) Process ปกติ ($\text{pH} = 2$) เติมด้วยเครื่อง (2) แบบเติม กรด (5% HCl) ลงไป 6 กิโลกรัม และ (3) แบบเติมกรด (5% HCl) ลงไป 9 กิโลกรัม โดยแบบที่เติมกรดจะมีการเตรียมสารละลายก่อนแล้วค่อยนำถุงน้ำยางใส่ในภายหลัง

4. กระบวนการ Big dryer

สำหรับกระบวนการอบที่ Big dryer จะอบด้วย Process ปกติ

โดย Condition ต่างๆ ที่ทดลอง แสดงดังรูปที่ 8.11 และแต่ละขั้นตอนจะมีการ ตรวจสอบค่าต่างๆ ให้ตรงตามที่กำหนดไว้ เช่น ค่า TSC, pH และ Chloroform No.



รูปที่ 8.11 ขั้นตอนการทดลองในแต่ละ Condition เพื่อแก้ไขปัญหาผิวงานเปิด (ขุย), ผงคาร์บอนหลุด

8.3.2.3 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 8.11 พบว่าทุก Condition มีผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดออกทั้งหมด โดยค่าความชื้นอยู่ในค่าที่กำหนด ค่า Surface resistivity (S.R.) อยู่ในช่วง $10^6 - 10^8 \Omega/\text{sq}$. ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า Condition ที่เติมกรด 9 กิโลกรัมมีความรุนแรงกว่าที่เติมกรด 6 กิโลกรัม ส่งผลให้ค่า S.R. มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดู Condition 2 และ Condition 3) และค่าสมบัติทางกลต่ำลงอยู่เล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในค่าที่กำหนด

ตารางที่ 8.11 ผลการทดสอบต่างๆ ของแต่ละ Condition

Parameter/Condition	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	Condition 5	Condition 6
Surface of finger cot	มีผงดำหลุด	มีผงดำหลุด	มีผงดำหลุด	มีผงดำหลุด	มีผงดำหลุด	มีผงดำหลุด
Moisture content (%)	0.2142	0.6035	0.8073	0.3783	0.3673	0.3643
Surface resistivity(Ω/sq)	$10^6 = 0$ $10^7 = 9$ $10^8 = 1$ $10^9 = 0$	$10^6 = 3$ $10^7 = 7$ $10^8 = 0$ $10^9 = 0$	$10^6 = 0$ $10^7 = 4$ $10^8 = 6$ $10^9 = 0$	$10^6 = 0$ $10^7 = 2$ $10^8 = 8$ $10^9 = 0$	$10^6 = 0$ $10^7 = 1$ $10^8 = 9$ $10^9 = 0$	$10^6 = 2$ $10^7 = 8$ $10^8 = 0$ $10^9 = 0$
Tensile strength (MPa)	38.711	38.158	34.487	40.556	40.440	27.578
Elongation at break (%)	760.899	735.101	710.188	748.841	786.044	758.264

8.3.2.4 สรุปผลการทดลอง

1. การเติมกรด (5% HCl) ปริมาณมากหรือน้อย ส่งผลทำให้ผงดำหลุดไม่แตกต่างกัน
2. ในกระบวนการ Dipping process การใช้ไฟแรงหรือไฟอ่อน ให้ผลต่อการหลุดของผงดำเหมือนกัน
3. ในขั้นตอนเตรียมดิสเพสชันให้มีขนาดเล็กลง ไม่ส่งผลทำให้ผงดำหลุดน้อยลง

8.3.3 การแก้ไขปัญหาผิวงานเปิด (ขุย), ผงคาร์บอนหลุด (ต่อ)

8.3.3.1 สมมติฐาน

1. การลดปริมาณ Powder ในสูตร Coagulant มีผลทำให้ผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดน้อยลงหรือไม่
2. การลดปริมาณ Powder และเติม Glycerin เพื่อเคลือบไม่ให้ผิวงานเปิดในสูตร Coagulant มีผลทำให้ผงคาร์บอน (ผงดำ) หลุดน้อยลงหรือไม่

8.3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมน้ำยางคอมพาวด์

ทำการเตรียมน้ำยางคอมพาวด์ที่มีค่า Chloroform No.2 โดยเติมดิสเพสชันคาร์บอนแบล็กที่มีขนาด 10-20 ไมครอน ลงในน้ำยางจำนวน 27 กิโลกรัม

2. การเตรียมสารช่วยน้ำยางจับตัว (Coagulant)

ทำการเตรียมสูตร Coagulant ใหม่ 2 สูตร คือ สูตรลดปริมาณ Powder ใน Coagulant ลง 50% และสูตรลดปริมาณ Powder ลดลงเหลือ 75% และเติม Glycerin ลงใน Coagulant โดยทั้ง 2 สูตรจะทดลองเปรียบเทียบกับสูตรปกติ

3. กระบวนการ Dipping process

เดินเครื่องจักรด้วย Parameter ปกติ

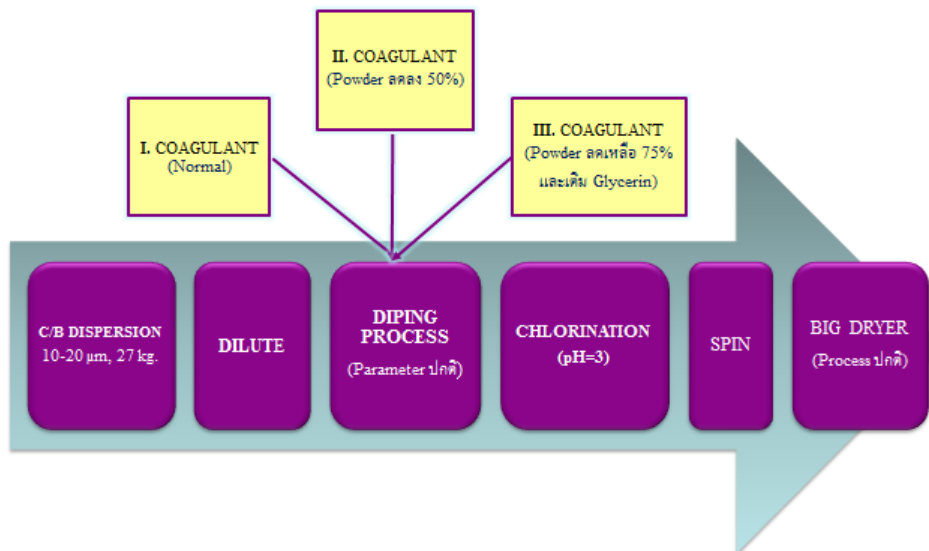
4. กระบวนการ Chlorination

ทดลองล้างคลอรีนโดย Process ปกติ (pH = 3)

5. กระบวนการ Big dryer

สำหรับกระบวนการอบที่ Big dryer จะอบด้วย Process ปกติ

โดยขั้นตอนการเตรียมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8.12



รูปที่ 8.12 ขั้นตอนการทดลองในแต่ละ Condition เพื่อแก้ไขปัญหาฝิงานเปิด (ขุย), ผงคาร์บอนหลุด (ต่อ)

8.3.3.3 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 8.12 พบว่า สูตร Coagulant ที่ลดปริมาณ Powder ลง 50% ลักษณะฝิงานจะเหนียวติดกัน (Sticky) ส่วนสูตร Coagulant ปกติและสูตรที่ลดปริมาณ Powder ลงเหลือ 75% และเติม Glycerin ลักษณะฝิงานไม่เหนียวติดกัน และการทดสอบการถุขี้พบว่า ทั้ง 3 สูตรมีการหลุดของผงคาร์บอน (ผงดำ) ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 8.13



Coagulant (Normal)



Coagulant
(Powder ลดลง 50%)



Coagulant
(Powder ลดเหลือ 75% เติม Glycerin)

รูปที่ 8.13 ผลการทดสอบการถุขี้ของทั้ง 3 สูตร

ตารางที่ 8.12 ผลการทดสอบต่างๆ ในสูตร Coagulant ที่แตกต่างกัน

Parameter / Condition	I. Coagulant (Normal)	II. Coagulant (Powder ลดลง 50%)	III. Coagulant (Powder ลดเหลือ 75% และเติม Glycerin)
- Surface of finger cot	ไม่เหนียวตามตัว/ มีผงดำหลุด	เหนียวตามตัว (Sticky)/ มีผงดำหลุด	ไม่เหนียวตามตัว/ มีผงดำหลุด
- Moisture content (%)	0.3293	0.1970	0.3717
- Moisture content (Ω /sq)	$10^6 = 2$	$10^6 = 2$	$10^6 = 1$
	$10^7 = 8$	$10^7 = 8$	$10^7 = 8$
	$10^8 = 0$	$10^8 = 0$	$10^8 = 1$
	$10^9 = 0$	$10^9 = 0$	$10^9 = 0$
- Tensile strength (MPa)	27.231	33.503	43.366
- Elongation at break (%)	780.663	754.412	759.073

8.3.3.4 สรุปผลการทดลอง

จากสมมุติฐาน สามารถสรุปได้ว่าสูตร Coagulant ทั้ง 3 สูตร ไม่มีผลทำให้ผงดำหลุดน้อยลง

8.3.4 สรุปผลการทดลองแก้ปัญหาในโรงงาน

1. ปัญหาเรื่องค่า Surface resistivity ของถุงนํ้ายางที่ผลิตมีค่าสูงกว่าที่กำหนด สามารถแก้ไขได้ โดยการปรับสภาวะในการทำ Chlorination ของผิวถุงนํ้ายาง ตามที่คณะผู้วิจัยให้คำแนะนำ
2. ปัญหาเรื่องการหลุดออกของผงเขม่าดำจากถุงนํ้ายางยังพบอยู่แม้จะได้ทดลองปรับสภาวะในการทำ Chlorination แล้ว หรือลดขนาดของผงเขม่าดำแล้ว
3. คณะผู้วิจัยเสนอการแก้ไขปัญหาผงเขม่าดำหลุดออกมาจากถุงนํ้ายางต่อโดยการศึกษานาโนอนุภาคหรือกลุ่มอนุภาคของผงเขม่าดำที่กระจายตัวอยู่ในถุงนํ้ายาง และการติดของผงเขม่าดำกับยาง หากการติดไม่ดีหรือกลุ่มอนุภาคของผงเขม่าดำมีขนาดใหญ่เกินไปเนื่องจากการกระจายตัวในน้ำยางที่ไม่ดีก็จะเป็นสาเหตุของการหลุดของผงเขม่าดำได้ ขณะนี้กำลังดำเนินการต่อกับ บริษัท ดี-รับเบอร์โปรดักส์ จำกัด อยู่