



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมเม็ดยางพาราขนาดนาโน
ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต
เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์

โดย ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์และคณะ

เมษายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมเม็ดยางพาราขนาดนาโน
ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต
เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. ดร. มณิสรา พิริยวิรุฒม์ | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. นส. เกษรา นราศรี | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. นส. คัชลิณี อัสพรภาสกร | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. นส. วรรณัญ ทองแท่นแก้ว | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมเม็ดยางพาราขนาดนาโนด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์
 (ภาษาอังกฤษ) Preparation of Natural Rubber Fine-powder from Electrospinning for Polymer Toughness Modifier

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล ดร. มณิสรา ปิรียวิรุตม์
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 02-470-9217 / 02-872-9080 E-mail Manisara.pee@kmutt.ac.th

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวเกษรา นราศรี
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 087-5159224 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวศลิษา อัสพรภาสกร
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 084-6555933 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาววรัญญา ทองแท่นแก้ว
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 084-6320201 E-mail -

ปัญหาที่ท้าทายและความสำคัญ (โดยย่อประมาณ 5 บรรทัด)

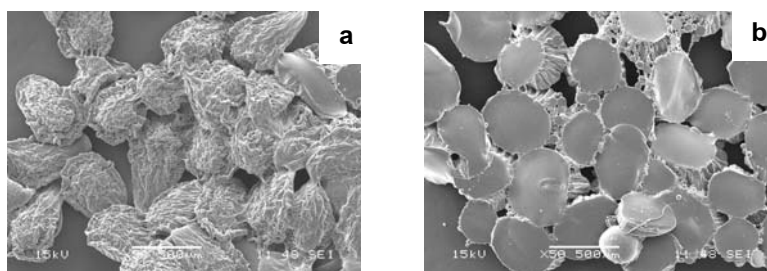
การเตรียมผงของยางพาราขนาดนาโนนั้นทำได้โดยการขึ้นรูปผ่านกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทราบกันดีแล้วว่าสามารถขึ้นรูปเส้นใยขนาดนาโนได้ จากกระบวนการขึ้นรูปดังกล่าวพบว่ายางจะจับตัวกันอยู่ในรูปทรงกลมก่อนและถ้าเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นรูปทรงกลมของยางจะยืดออกเป็นเส้นใย ซึ่งทำให้สามารถปรับสภาวะในการขึ้นรูปเพื่อสามารถขึ้นรูปยางพาราให้อยู่ในรูปของผงขนาดนาโนได้ โครงการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการเตรียมผงยางพาราขนาดนาโนเพื่อเอาไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มความเหนียวของพอลิเมอร์ได้

วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาวิทยานิพนธ์)

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผงยางพาราขนาดนาโนเมตรด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต
2. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสารละลายและเครื่องมือที่มีผลต่อลักษณะของผงยางพาราที่ขึ้นรูปได้

ผลการดำเนินงาน

น้ำยางชั้นที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ สามารถเตรียมได้จากนำน้ำยางชั้นชนิด High ammonia 60 % ทำการเจือจางหรืออบไล่เพื่อให้ได้น้ำยางชั้น 50, 70, 80 และ 90 % ตามลำดับ จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นเม็ดยางพาราขนาดเล็กโดยใช้กระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ศักย์ไฟฟ้า 20, 23 และ 25 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ 8, 10 และ 12 เซนติเมตร พบว่าน้ำยางชั้นทุกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นให้ผลการปั่นเป็นเม็ดขนาดเล็กที่จับตัวกันเป็นแพ ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เมื่อนำเม็ดยางไปทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะพื้นผิวของเม็ดยางด้านที่สัมผัสกับอากาศจะมีลักษณะขรุขระ ส่วนด้านที่สัมผัสกับกรดอะซิติกจะมีผิวเรียบ เนื่องจากน้ำยางมีความหนาแน่นน้อยกว่ากรดอะซิติก อนุภาคของยางจึงลอยอยู่บนผิวหน้าของของเหลว จึงมีทั้งด้านที่สัมผัสและไม่สัมผัสกับกรดอะซิติก โดยด้านบนของเม็ดยางเป็นด้านที่ไม่สัมผัสกับกรด พื้นผิวจะมีลักษณะขรุขระเนื่องมาจากเมื่อเม็ดยางสัมผัสกับอากาศ ทำให้มีเวลาในการพักตัว (Relaxation) อีกทั้งเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำยางเองจึงเกิดลักษณะที่เป็นผิวโค้งและขรุขระ ส่วนด้านล่างของเม็ดจะเป็นด้านที่สัมผัสกับกรดอะซิติก พื้นผิวทุกตำแหน่งจะสัมผัสกับกรดเท่ากันและไม่เจอกับอากาศ ผิวที่ได้จึงเรียบ



รูปที่ 1. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ใช้ น้ำยางพาราความเข้มข้น 90% ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง 8 cm a) ด้านที่ไม่สัมผัสกรด และ b) ด้านที่สัมผัสกรด

เม็ดยางพาราที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดยางที่ได้ อยู่ในระดับไมโครเมตร แต่จะมีรูปร่างและลักษณะของเม็ดที่แตกต่างกันไปเป็นผลมาจากสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตดังนี้

เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราสูงขึ้น ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น ขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความหนืดสูง น้ำยางข้นสามารถต้านทานการตึงยึดที่เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุบนหยดได้มาก จึงสามารถฟอร์มตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักที่มากพอ หยดของน้ำยางพาราจึงจะตกลงบนอุปกรณ์รองรับ และได้เป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

สำหรับศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดที่ได้จะเล็กลง ทั้งนี้การป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่ยางข้นจะทำให้เกิดประจุบริเวณผิวของน้ำยางข้น เมื่อเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น แรงผลักระหว่างประจุจะมีค่ามากขึ้น ทำให้หยดของน้ำยางพาราที่บริเวณปลายช่องเปิดเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะทรงกรวย เมื่อแรงผลักระหว่างประจุที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถเอาชนะแรงตึงผิวของน้ำยางข้นได้ ก็จะทำให้เกิดการฟุ้งออกและแตกเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กลง

การปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดที่ได้ ทั้งนี้การปรับระยะดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเม็ดจากจุดตกบนอุปกรณ์รองรับ (Flight time) จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับให้มากขึ้น เม็ดยางจะมีระยะการเคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์รองรับที่นานขึ้นและความแรงของสนามไฟฟ้าก็ลดลงด้วย ซึ่งจะแปลตรงตัวว่าแรงในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางจากผลดังกล่าวเม็ดยางจะมีระยะเวลาในการพักตัวที่นานขึ้นทำให้มีเวลาในการจัดเรียงอนุภาคมากขึ้น ลักษณะความกลมของเม็ดยางจึงมีมากขึ้นด้วย

แต่เพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำเม็ดยางพาราที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตไปประยุกต์ใช้งานให้มีสมบัติที่ดีขึ้น จึงเพิ่มสารเคมีลงในน้ำยางข้นที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าน้ำยางพาราผสมสารเคมีให้ผลการปั่นเช่นเดียวกับน้ำยางข้น อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของน้ำยางทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกับพบว่าการที่ไม่สามารถขึ้นรูปน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่ความเข้มข้น 50 % ให้เป็นเม็ดได้ เนื่องจากการเตรียมน้ำยางพาราผสมสารเคมี จะมีการเติมน้ำ DI เข้าไปในส่วนผสมด้วย ดังนั้นความหนืดของน้ำยางพาราผสมสารเคมี (14 cP) จึงน้อยกว่าความหนืดของน้ำยางข้น (22 cP) แม้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อความหนืดของน้ำยางพาราผสมสารเคมีน้อยกว่าจึงขึ้นรูปได้ยากกว่าและมีลักษณะไม่เป็นเม็ด

สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีจะมีผลต่อขนาดของเม็ดที่ได้ โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นมีค่ามากขึ้น ความหนืดจะมีค่าสูงขึ้น และขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 465.2–535.8 ไมโครเมตร และ 412.2–535.2 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่ความเข้มข้น 50 % จะไม่สามารถขึ้นรูปออกมาเป็นเม็ด จึงไม่สามารถวัดขนาดของเม็ดได้ แตกต่างจากน้ำยางข้นซึ่งสามารถขึ้นรูปออกมาเป็นเม็ดได้ที่สภาวะความเข้มข้น 50 % ทั้งนี้ความเข้มข้นของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานคือ 60 % และ 70 % ตามลำดับ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปจะมีผลต่อขนาดของเม็ด โดยเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น เม็ดที่ได้จะมีขนาดเล็กลง ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุดคือ 25 กิโลโวลต์ อีกทั้งพบวาระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมและลักษณะการติดกันของเม็ด โดยระยะที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เม็ดมีความกลมมากขึ้นและการติดกันน้อยลง ซึ่งระยะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุดคือ 12 เซนติเมตร

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตดังกล่าวข้างต้น พบว่าเม็ดยางที่ได้มีลักษณะเชื่อมติดกันเป็นแพและไม่แยกออกเป็นเม็ดเดี่ยว จึงยังไม่สามารถนำเม็ดยางดังกล่าวไปใช้เป็นสารเพิ่ม

ความเหนียวในพอลิเมอร์ได้ ทั้งนี้ทางผู้ทำการทดลองคิดว่า หากมีการออกแบบการทดลองใหม่ เช่น การออกแบบอุปกรณ์รองรับที่บรรจุกรดอะซิติกให้กรดสามารถไหลหรือเคลื่อนที่ได้ หรือการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปในการดอะซิติก สิ่งเหล่านี้น่าจะช่วยให้เม็ดยางติดกันน้อยลงหรือไม่ติดกันเลย ซึ่งหากแยกเม็ดยางเป็นเม็ดเดี่ยวได้แล้ว ก็จะสามารถนำเม็ดยางดังกล่าวไปใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์ได้

ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

-

รหัสโครงการ: RDG5150044
 ชื่อโครงการ: การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมผงยางพาราขนาดนาโนด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์
 ชื่อนักวิจัย: ดร. มณิสรา ปิรียวิรุตม์
 นส. เกษรา นราศรี
 นส. ศัลยินี อัสสรภาสกร
 นส. วรัญญ ทอแท่นแก้ว
 สังกัด: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 โทรศัพท์: 02-470-9217
 E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ: 9 เดือน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตโดยใช้น้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 50%-90% w/v ศักย์ไฟฟ้า 20, 23 และ 25 กิโลโวลต์ กำหนดระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับเป็น 8, 10 และ 12 เซนติเมตร จากนั้นทำการศึกษาถึงสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยางพารา ศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าจะได้ผลการปั่นที่เป็นเม็ดระดับไมโครเมตร แต่เม็ดที่ได้จะมีลักษณะเหนียวติดกันคือไม่แยกออกเป็นเม็ดเดี่ยว ทั้งนี้ความเข้มข้นของน้ำยางพาราจะมีผลต่อขนาดของเม็ดที่ได้คือ การใช้น้ำยางพาราที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ความหนืดของน้ำยางจะสูงขึ้น และเม็ดยางที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับผลของศักย์ไฟฟ้านั้นพบว่า การเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้เม็ดยางที่ได้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ด คือที่ระยะห่างเพิ่มขึ้น เม็ดที่ได้จะมีความกลมมากขึ้น

คำสำคัญ: การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต/ น้ำยางข้น/ น้ำยางพาราผสมสารเคมี

Project code: RDG5150044

Project title: Preparation of Natural Rubber Nanopowder from Electrospinning for Polymer Toughness Modifier

Investigators: Dr. Manisara Phiriyawirut
Miss Kesara Narasri
Miss Kachalineee Apsornpasagorn
Miss Waranyu Thongtankaew
Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Telephone number: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

Project duration: 9 months

Abstract

In this project has studied about preparation of natural rubber fine-powder by electrospinning method using 50-90 w/v% natural rubber latex and latex with chemical, 20, 23 and 25 kilovolt of supply voltages and distance between capillary and collection screen are 8, 10 and 12 centimeter. The effects of concentration of latex, supply voltages and distance between capillary and collection screen were investigated. After electrospun and analyzed by scanning electron microscope (SEM), it was found that latex can be formed in droplets with difference shape and size. We can see that the droplets are not isolated and some droplets are agglomerated like sheet. The droplets are white and have size in micrometer. When we analyzed about the effects of parameters that used in electrospinning process, it was found that increasing concentration of latex, large size of fine-powder were formed. The size of powder was reduced to a minimum value with increasing the voltage. An increasing distance between capillary and collection screen was no significantly affect to the size of powder but it was found to improve the sphericity of the powder.

Keyword: Electrospinning / Natural rubber latex/ Natural rubber latex with chemical

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

การเพิ่มความเหนียวของพอลิเมอร์นั้นทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุด คือการผสมพอลิเมอร์กับวัสดุปรับปรุงการกระแทก (Impact modifier) โดยส่วนใหญ่แล้ว Impact modifier ก็มักจะเป็นพวกยาง ซึ่งก็มักจะทำให้พอลิเมอร์มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นแต่ก็พบว่ามักจะไปลดสมบัติด้านอื่นๆ ของพอลิเมอร์ลง โดยเฉพาะค่า Modulus และสมบัติการต้านทานการซึมผ่าน (Barrier properties) [1] นอกจากนี้อีกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือกรณีของพอลิสไตรีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ค่อนข้างเปราะ ถ้าต้องการความเหนียวที่มากขึ้นก็มักจะเติมยางลงไปผสม [1] เช่น พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (High impact polystyrene, HIPS) ก็ได้จากการผสมสไตรีนกับยางบิวตาไดอีน หรือกรณีของพลาสติกเอบีเอส (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) ก็จะเป็นการเอายางบิวตาไดอีนลงไปผสมกับโคพอลิเมอร์ของสไตรีนกับอะคริโลไนไตรล์ ซึ่งจะทำให้ได้วัสดุที่มีความเหนียวมากขึ้น

การผสมโมเลกุลของยางเข้าไปในพอลิเมอร์นั้นเป็นวิธีที่ง่ายจึงค่อนข้างน่าสนใจ แต่เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันระหว่างยางและพอลิเมอร์ทำให้เกิดการแยกเฟสกัน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเหนียวของพอลิเมอร์ด้วยยางมีค่าต่ำลง สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ การทำให้ขนาดของเฟสยางที่กระจายอยู่ในพอลิเมอร์มีขนาดเล็กเท่าที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการมีขนาดเล็กจะเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างเฟสทั้งสอง และถ้าหากสภาวะของพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่แตกต่างกัน ขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมในการปรับปรุงความเหนียวก็จะแตกต่างกันไปด้วย [2] โดยเมื่อเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ ขนาดของอนุภาคยางก็จะแตกต่างกัน (ขึ้นกับความหนาแน่นในการพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ (Entanglement density)) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีของพอลิสไตรีนนั้น อนุภาคของยางที่สามารถปรับปรุงความเหนียวก็ควรมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าในกรณีของสไตรีน อะคริโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ (Styrene acrylonitrile copolymer, SAN) และพอลิเมทิลเมตาคริเลต (Polymethyl methacrylate, PMMA) ตามลำดับ อีกตัวอย่างของการนำเอายางมาปรับปรุงความเหนียวของพลาสติกเอบีเอส (Acrylonitrile butadiene styrene, ABS) [3] ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของอนุภาคของยางบิวตาไดอีนมีขนาดเล็กประมาณ 0.5-10 μm โดยยางบิวตาไดอีนที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็กดังกล่าวนี้สามารถเตรียมได้จากการบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยขนาดอนุภาคยางที่แตกต่างกันก็จะเตรียมได้จากวิธีการสังเคราะห์ที่ต่างกัน โดยในการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย (Suspension polymerization) จะให้ยางที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าการเตรียมจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

นอกจากนี้การเตรียมผองของยางพาราขนาดนาโนยังทำได้โดยการขึ้นรูปผ่านกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทราบกันดีแล้วว่าสามารถขึ้นรูปเส้นใยขนาดนาโนได้ จากกระบวนการขึ้นรูปดังกล่าวพบว่ายางจะจับตัวกันอยู่ในรูปทรงกลมก่อนและถ้าเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น รูปทรงกลมของยางจะยืดออกเป็นเส้นใย ซึ่งทำให้สามารถปรับสภาวะในการขึ้นรูปเพื่อสามารถขึ้นรูปยางพาราให้อยู่ในรูปของผองขนาดนาโนได้

การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) เป็นวิธีในการผลิตเส้นใยที่แตกต่างจากวิธีผลิตเส้นใยอื่น คือกระบวนการนี้จะใช้แรงทางไฟฟ้าแทนแรงทางกล โดยพอลิเมอร์เหลวซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสารละลายหรือสารหลอมเหลวที่อยู่ในรูขนาดเล็ก จะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้าโดยสนามไฟฟ้าความแรงสูง เนื่องจากประจุที่เกิดขึ้นมีขั้วเหมือนกันจึงมีแรงผลักระหว่างประจุเกิดขึ้น เมื่อมีมากพอถึงขั้นหนึ่งก็จะไปเอาชนะแรงดึงดูดของพอลิเมอร์เหลวได้ เส้นพอลิเมอร์เหลวก็จะถูกฉีดออกมาและจะเปลี่ยนเป็นเส้นใย โดยการระเหยออกของตัวทำละลายหรือโดยการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม เส้นใยขนาดเล็กจะมากองรวมกันอย่างไม่เป็นระเบียบบนแผ่นรอง (Collector) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแบบเส้นใยไม่ถักทอ (Non-woven) ซึ่งเส้นใยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร ลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตเช่น ขนาด รูปทรงและความหนาแน่นของเส้นใย รวมทั้งการเกิดเม็ดบนเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ [4-6] เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย เช่น ความหนืด การนำไฟฟ้าและแรงตึงผิว ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของพอลิเมอร์

ลิเมอร์และตัวทำละลาย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมในระหว่างการปั่นเส้นใย และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ ระยะระหว่าง Tip กับ Collector และเวลาในการปั่นเส้นใย

ปัญหาสำคัญในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตคือ ความสามารถในการเกิดเป็นเส้นใย พอลิเมอร์ไม่ทุกชนิดที่สามารถกลายเป็นเส้นใยได้เมื่อผ่านกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เช่น โพรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองยังไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้ด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยลักษณะโพรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองจะมีลักษณะกลมเป็นผงขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรเมื่อผ่านการขึ้นรูปด้วยไฟฟ้าสถิต [7] นอกจากนี้ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะสามารถปั่นขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้แต่ก็ต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น ความเข้มข้นหรือค่าความต่างศักย์ในการปั่นเส้นใย ไม่เช่นนั้นก็จะได้หยดหรือผงขนาดเล็กเช่นกัน

ด้วยเหตุนี้ ทำให้มีความน่าสนใจในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของเม็ดขนาดเล็ก โดยทางกลุ่มเลือกใช้น้ำยางพาราขึ้นในการขึ้นรูป เนื่องจากยางพาราจัดว่าเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติที่หลากหลายและง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ยางมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากและมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีความยืดหยุ่น ความเหนียว และมีความต้านทานต่อการขูดถูสูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ดี ทั้งนี้เม็ดยางที่ได้จะนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดียิ่งขึ้น อาทิเช่นสมบัติทางกล การต้านทานแรงกระแทก เป็นต้น โดยที่เม็ดยางขนาดเล็กดังกล่าวจะมีข้อดีคือ มีพื้นที่ผิวมาก มีน้ำหนักเบา และน่าจะกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ที่จะนำไปผสม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผงยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต จากน้ำยางพาราขึ้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ทั้งที่ผสมและไม่ผสมกับสารเคมี
2. เพื่อศึกษาผลของตัวแปร อันได้แก่ ความเข้มข้น ความหนืด ของน้ำยางพาราขึ้นและน้ำยางที่ผสมสารเคมี ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ
3. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างทางจุลภาคของผงยางพาราที่ได้ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

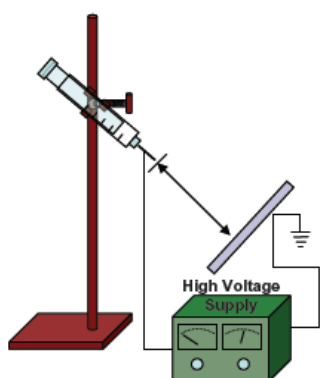
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) เป็นวิธีในการผลิตเส้นใยที่แตกต่างจากวิธีผลิตเส้นใยอื่นคือกระบวนการนี้จะใช้แรงทางไฟฟ้าแทนแรงทางกล โดยพอลิเมอร์เหลวซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสารละลาย หรือสารหลอมเหลวที่อยู่ในรูขนาดเล็ก จะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้าโดยสนามไฟฟ้าความแรงสูง เนื่องจากประจุที่เกิดขึ้นมีขั้วเหมือนกันจึงมีแรงผลักระหว่างประจุเกิดขึ้น เมื่อมีมากพอถึงขั้นหนึ่งก็จะไปเอาชนะแรงตึงผิวของพอลิเมอร์เหลวได้ เส้นพอลิเมอร์เหลวก็就会被ฉีดออกมาและจะเปลี่ยนเป็นเส้นใย โดยการระเหยออกของตัวทำละลาย หรือโดยการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม เส้นใยขนาดเล็กจะมากองรวมกันอย่างไม่เป็นระเบียบบนแผ่นรอง (Collector) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแบบเส้นใยไม่ถักทอ (Non-woven) โดยในกระบวนการขึ้นรูปจะมีการต่อหัวประจุไฟฟ้าหัวหนึ่งเข้ากับสารละลายพอลิเมอร์ และอีกหัวประจุไฟฟ้าจะต่อเข้ากับแผ่นรอง โดยที่แผ่นรองนี้ต้องสามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งส่วนมากแผ่นรองจะต่อกับสายดิน เมื่อเริ่มให้ประจุไฟฟ้ากับสารละลาย ประจุจะเคลื่อนไปบริเวณพื้นผิวของสารละลาย เมื่อแรงของสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หยดของเหลวที่ปลายสุดของคาปิลลารีจะเปลี่ยนรูปร่างจากครึ่งวงกลมเป็นทรงกรวย (Taylor cone) [8]

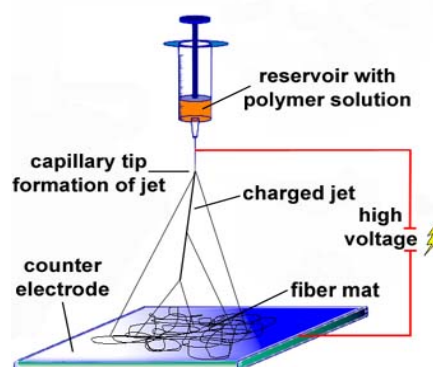
เมื่อเพิ่มความแรงของสนามไฟฟ้ามากขึ้นจะส่งผลให้แรงทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิวและทำให้ของเหลวพุ่งออกจากปลาย Taylor cone สารละลายพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมาจะเกิดความไม่เสถียรและเกิดการยืด

ตัวทำล้าของเหลว (Jet) ยาวขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง ขณะเดียวกันที่ตัวทำละลายระเหยออกไปเหลือไว้แต่เส้นใยพอลิเมอร์ ซึ่งเส้นใยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร

การขึ้นรูปเส้นใยสามารถทำได้โดยใช้ Power Supply เป็นตัวกำเนิดศักย์ไฟฟ้า สามารถให้ศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0-50 kV โดยที่ขั้วลบจะต่อเข้ากับแผ่นรองที่เป็นแผ่นอลูมิเนียม (Aluminium foil) ซึ่งนำไฟฟ้าได้เพื่อให้ครบวงจรในการเกิดศักย์ไฟฟ้า ส่วนขั้วบวกจะต่อเข้ากับปลายของคาปิลลารีซึ่งบรรจุสารละลายพอลิเมอร์อยู่ เนื่องจากประจุที่เกิดขึ้นมีขั้วเหมือนกันจึงมีแรงผลักระหว่างประจุ เมื่อมีค่ามากจนถึงค่าหนึ่งที่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดของสารละลายพอลิเมอร์ที่อยู่ในคาปิลลารีได้ เส้นพอลิเมอร์ก็จะถูกฉีกออกมาและเมื่อตัวทำละลายระเหยออกหรือมีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อม เส้นพอลิเมอร์ก็จะเปลี่ยนเป็นเส้นใย [9-13] โดยรูปที่ 1 แสดงชุดการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ส่วนรูปที่ 2 แสดงกลไกการผลิตเส้นใยด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 1 ชุดการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 2 กลไกการผลิตเส้นใยด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

ชุดการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่แสดงในรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนกำเนิดไฟฟ้า (High voltage supply) ซึ่งเป็นตัวทำให้มีสนามไฟฟ้าสถิตในระบบ ส่วนที่ 2 คือส่วนที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งจะต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และส่วนที่ 3 คือตัวรองรับ (Counter electrode) ซึ่งจะต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเช่นกัน เมื่อเปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสถิตขึ้น แล้วสามารถปั่นเส้นใยพอลิเมอร์ด้วยกระแสไฟฟ้าสถิตได้

ลักษณะของเส้นใยที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตเช่น ขนาด รูปทรงและความหนาแน่นของเส้นใย รวมทั้งการเกิดเม็ดบนเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้ [4-6]

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย เช่น ความหนืด การนำไฟฟ้าและแรงตึงผิว ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของพอลิเมอร์และตัวทำละลาย

- **น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างของพอลิเมอร์:** ทำให้ตัวทำละลายที่นำมาใช้นั้นย่อมแตกต่างกันไปด้วยทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

- **สมบัติของสารละลาย เช่น ความหนืด การนำไฟฟ้า แรงตึงผิว:** ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์แต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นเส้นใยที่ได้จากการขึ้นรูปจะมีขนาดใหญ่ และยังพบอีกว่าการทำให้สารละลายมีความหนาแน่นประจุ (Charge density) สูงขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กลง

2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมในระหว่างการปั่นเส้นใย

3. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ ระยะระหว่าง Tip กับ Collector และเวลาในการปั่นเส้นใย

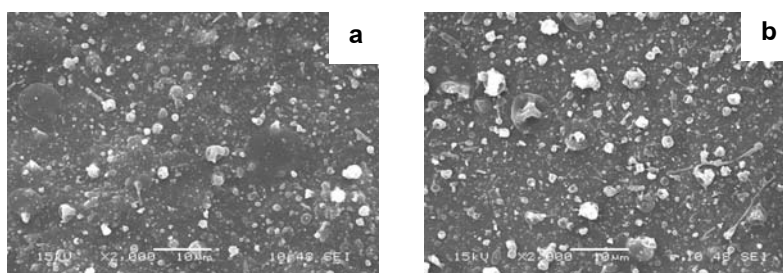
- **ความต่างศักย์ไฟฟ้า:** จะพบว่าเมื่อให้ความต่างศักย์ที่สูงขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กลง

- ระยะห่างระหว่างคาบิลลารีกับแผ่นรองรับ: จะพบว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างคาบิลลารีกับแผ่นรองรับมากขึ้น จะทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กลง

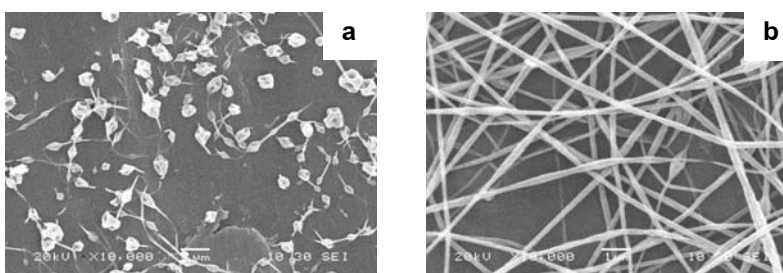
ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ ระยะห่างระหว่างคาบิลลารีและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์นั้น ล้วนมีผลต่อขนาดของเส้นใยนาโนไฟเบอร์ที่ได้ จะพบว่าขนาดของเส้นใยจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายและอัตราการไหล นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของเส้นใยจะเล็กลงเมื่อเพิ่มความต่างศักย์และระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับตัวรองรับ

เส้นใยที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตจะมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นด้านการกรองหรือด้านการแพทย์ โดยเฉพาะทางการแพทย์นั้น สามารถนำไปใช้เป็นโครงร่างรองรับเนื้อเยื่อ (Tissue template) วัสดุปิดแผล (Wound dressing) หรือใช้เป็นวัสดุปลดปล่อยยา (Drug releasing agent) ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการปั่นเส้นใยด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตนั้น ส่วนมากจะเน้นไปทางวัสดุสังเคราะห์ เช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) พอลิเอทิลีนออกไซด์ (Polyethylene oxide) แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำยางพารายังมีไม่มากนัก

ปัญหาสำคัญในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตคือ ความสามารถในการเกิดเป็นเส้นใย พอลิเมอร์ไม่ทุกชนิดที่สามารถกลายเป็นเส้นใยได้เมื่อผ่านกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เช่น โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองยังไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้ด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าลักษณะโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองจะมีลักษณะกลมเป็นผงขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรเมื่อผ่านการขึ้นรูปด้วยไฟฟ้าสถิต [7] นอกจากนี้ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะสามารถปั่นขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้แต่ก็ต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น ความเข้มข้นหรือค่าความต่างศักย์ในการปั่นเส้นใย ไม่เช่นนั้นก็จะได้หยดหรือผงขนาดเล็กเช่นกัน ดังรูปที่ 4 [7]



รูปที่ 3. ลักษณะของโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยปั่นด้วยเครื่องปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตแบบ Positive ความต่างศักย์ 25 kV ที่ระยะห่าง 10 เซนติเมตรเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลืองละลายใน 95% กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ a) 4% w/w และ b) 6% w/w ที่กำลังขยาย 2,000x



รูปที่ 4. ลักษณะของเส้นใยเซอรินที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ความต่างศักย์ 10 kV ที่ระยะ 13 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 5 นาที ที่ความเข้มข้นต่างกัน (a) 20 wt% (b) 25 wt% ที่กำลังขยาย 10,000x

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปแบบปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตทำให้มองเห็นศักยภาพของกระบวนการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปผงยางขนาดนาโนได้โดยการปรับเปลี่ยนสภาวะในการขึ้นรูปไม่ว่าจะเป็นความเข้มข้นของน้ำยางพารา ความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือระยะห่างระหว่างคาปิลลารีกับแผ่นรองรับ งานวิจัยนี้ค่อนข้างแตกต่างอย่างมากกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปด้วยไฟฟ้าสถิตที่ผ่านมา เนื่องจากที่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นกับการพยายามขึ้นรูปออกมาเป็นเส้นใยขนาดนาโนจากพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ หรือไม่ก็เป็นการนำเอาเส้นใยขนาดนาโนที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตไปใช้งานด้านต่างๆ แต่ในงานวิจัยนี้อาศัยเทคนิคดังกล่าวในการขึ้นรูปน้ำยางพาราออกมาเป็นผงขนาดนาโน ซึ่งคาดว่าจะเกิดได้ง่ายกว่า เนื่องจากก่อนที่พอลิเมอร์จะกลายเป็นเส้นใยพุ่ง ออกมาและตกลงบนตัวรองรับ พอลิเมอร์จะอยู่ในรูปของทรงกลมและตกลงบนตัวรองรับเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดได้ที่มีความเข้มข้นของพอลิเมอร์หรือความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่มีค่าต่ำกว่า การเกิดเส้นใย โครงการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการเตรียมผงยางพาราขนาดนาโนเพื่อเอาไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มความเหนียวของพอลิเมอร์ได้

ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Z. H. Liu และคณะ 1998 [14] ศึกษาการเปลี่ยนพฤติกรรมจากเปราะเป็นเหนียวของพอลิไวนิลคลอไรด์เมื่อผสมกับยางไนไตรล์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าถ้าหากยางไนไตรล์มีการกระจายตัวได้ดีในพอลิไวนิลคลอไรด์ การแตกหักเนื่องจากแรงกระแทกก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และผลการทดลองนี้สามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคของยางไนไตรล์ทำหน้าที่เป็นเพิ่มความเหนียวให้กับพอลิไวนิลคลอไรด์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคของยางไม่มีผลต่อกลไกการเพิ่มความเหนียวของพอลิเมอร์

D. Li และ H. Xia 2007 [15] ศึกษาการเตรียมผงยางสไตรีนบิวตาไดอีนขนาดนาโนจากน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน ด้วยการทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแหหรือพันธะข้ามโดยการกระตุ้นด้วยรังสีแกมมา โดยใช้วิธีการพ่นแห้ง และผลจากการเติมหมู่เมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ 2-เอทิลเฮกซิลอะคริเลต (2-EHA) และไตรเมทิลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA) โดยนำ NPSBR มาใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในยางพอลิสไตรีนชนิดต้านทานแรงกระแทก (High – impact polystyrene, HIPS) และยางพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) พบว่าค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นของพันธะข้ามจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการดูดกลืนรังสีมีมากขึ้น และหมู่เมอนอเมอร์ชนิด TMPTA จะทำให้ยางมีค่าความหนืดมากกว่าหมู่เมอนอเมอร์ชนิด 2-EHA และจากการทดสอบทางกลพบว่า NPSBR สามารถเพิ่มสมบัติทางกลได้ทั้งในยางพอลิสไตรีนชนิดต้านทานแรงกระแทก และยางพอลิสไตรีน

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) เป็นกระบวนการที่ใช้เตรียมเส้นใยขนาดเล็ก เส้นใยที่เตรียมได้โดยทั่วไปจะมีขนาดอยู่ในช่วง 100 นาโนเมตรจนถึงหลายไมโครเมตร โดยในกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตจะใช้แรงทางไฟฟ้าทำให้เกิดการยืดตัวของสารละลายพอลิเมอร์ เส้นใยที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทอและมีความพรุนสูง สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตในการปั่นน้ำยางข้นและน้ำยางผสมสารเคมีให้เป็นเม็ดขนาดเล็กระดับไมโครเมตร ซึ่งน้ำยางพาราจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีความยืดหยุ่น ความเหนียว และความต้านทานต่อการขัดถูสูง เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

H. Fong และคณะ 1999 [5] ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเกิดเม็ดบนเส้นใยของพอลิเอทิลีนออกไซด์ (Polyethylene oxide, PEO) ที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยการละลาย PEO ในตัวทำละลายต่างๆกัน ได้แก่ น้ำกลั่น โซเดียมคลอไรด์กับน้ำกลั่น และ น้ำกลั่นกับเอทานอล โดยจากการทดลองจะพบว่าปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดเม็ดขึ้นบนเส้นใยไฟเบอร์ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่นของประจุ (Net charge density) และความตึงผิว โดยเมื่อเพิ่มความหนืด หรือค่าความหนาแน่นของประจุ และลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดเม็ดน้อยลง นอกจากนี้การเพิ่มความหนาแน่นของประจุจะทำให้ขนาดของเส้นใยลดลง

J. M. Deitzel และ คณะ 2001 [6] ได้ทำการศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยโดยกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

ซึ่งได้มีการควบคุมตัวแปรต่างๆในการทดลองดังนี้ ความต่างศักย์ ความเข้มข้น อัตราการป้อน ความหนืด และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับตัวรองรับ ซึ่งกระบวนการนี้จะมี การเพิ่มระบบสเปร์ย์ ในระบบซึ่งจะช่วยเพิ่มการยึดของเส้นใยในระหว่างการฉีดเส้นใยลงบนตัวรองรับ

R.V.N. Krishnappa และคณะ 2003 [17] ศึกษาผลระหว่างค่า Electrostatic forces กับ แรงตึงผิว พบว่า จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ผิวของสารละลายพอลิเมอร์ที่เป็นหยดเล็กๆ โดยแรงตึงผิวจะควบคุมการจำกัดพื้นที่ผิว โดยการสร้างเป็นรูปทรงกลม ส่วน Electrostatic tension จะควบคุมให้ความหนาแน่นเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (เปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิว การประทุนี้จะเกิดขึ้นระหว่างการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ตัวทำละลายพอลิเมอร์เริ่มระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เกิดการเพิ่มความหนืดของพอลิเมอร์หยดเล็กๆเป็นอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของความหนืดจะเป็นการรักษาระดับความเร็วในการเปลี่ยนรูปร่างของหยดสารละลายพอลิเมอร์ ดังนั้น แรงตึงผิว Electrostatics และความหนืด ล้วนแต่เป็นตัวกำหนดรูปร่างและโครงสร้างของวัสดุ

K.H. Lee และคณะ 2003 [18] ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างของเม็ด บนเส้นใยพอลิสไตรีนที่ปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับตัวรองรับ (TCD) และชนิดของตัวทำละลาย ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างของเม็ดบนเส้นใย คือที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 15 wt% จะทำให้เกิดเม็ดบนเส้นใยและทำให้เกิดเส้นใยที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากค่าความหนืดที่ต่ำ แต่ที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์สูงกว่า 15 wt% จะไม่พบเม็ดเกิดขึ้นบนเส้นใยเลย ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 kV จะทำให้เกิดเม็ดน้อยที่สุด และค่าของ TCD จะส่งผลต่อขนาดของเม็ดบนเส้นใย โดยถ้าระยะของ TCD ยิ่งห่างกันก็ยิ่งทำให้เม็ดบนเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะแรงดันที่ฉีดสารละลายพอลิเมอร์มีกำลังลดลง ส่วนสารละลายไดเมทิลฟอรัมมาไนด์ช่วยให้เส้นใยปราศจากเม็ดบนเส้นใยที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะ Half hollow sphere (HHS) ได้

Z.M. Huang และคณะ 2004 [20] ศึกษาการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของเจลาติน (Gelatin) โดยเจลาตินนี้สามารถละลายได้ดีในน้ำแต่ไม่สามารถปั่นเป็นเส้นใยโดยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตได้ แต่จะเข้ากันได้กับตัวทำละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกันซึ่งก็คือ 2,2,2-ไตรฟลูออโรเอทานอล (2,2,2-Trifluoroethanol, TFE) ในสภาวะของสารละลาย Gelatin/TFE ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 5% หรือมากกว่า 12.5% จะปั่นเป็นเส้นใยนาโนไฟเบอร์ได้ยาก ในการทดสอบลักษณะทางกลแสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทั้งสอง และเม็ดบนผิวของเส้นใยมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกลของเส้นใยที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เส้นใยร่างแหที่ละเอียดจะมีค่า Tensile modulus ที่สูงกว่า และ Tensile strength มากสุด อย่างไรก็ตามถ้ามีเม็ดอยู่บนผิวของเส้นใยแล้วก็จะทำให้สมบัติเปลี่ยนไป โดยร่างแหที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุด แต่มีเม็ดอยู่บนผิวของเส้นใยก็ยังคงมีความสมบูรณ์ของสมรรถนะทางกลน้อยกว่า เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดแต่ปราศจากเม็ดบนเส้นใย

มณิศา พิริยวิรุฒม์และคณะ 2550 [7] ศึกษาการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของโปรตีนสกัดเข้มข้นจากถั่วเหลือง (SPI) โดยสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอะซิติก 80%-95% w/w และสารละลายกรดฟอริก 80%-90% w/w แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใยด้วยวิธีปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตและวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการทดลองพบว่าสิ่งที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตมีลักษณะเป็นเม็ดหรือหยดของสารละลายพอลิเมอร์เท่านั้น ไม่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใย โดยเม็ดที่ได้มีลักษณะต่างกัน กล่าวคือ เม็ดที่ได้จากแหล่งจ่ายที่ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบจะมีขนาดที่เล็กกว่าและกลมกว่าเม็ดที่ได้จากแหล่งจ่ายที่ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก และเม็ดที่ได้จากการละลาย SPI ในสารละลายกรดฟอริกจะมีขนาดเล็กและกลมกว่าเม็ดที่ได้จากสารละลายกรดอะซิติก ดังนั้นหากต้องการขึ้นรูปเส้นใยจาก SPI ต้องใช้พอลิเมอร์ชนิดอื่นมาผสม โดยในการทดลองนี้เลือกใช้โปรตีนข้าวโพด (Zein) มาผสมกับ SPI โดยใช้ Zein ที่ 25% w/w ละลายใน 80% เอทานอลผสมกับ SPI ที่ 5% w/w ใน 90% กรดอะซิติกและใน 90% กรดฟอริกที่สัดส่วนต่างๆ พบว่าสัดส่วนที่ให้เส้นใยเป็นผลดีที่สุดคือที่

Zein/SPI:95/5 จากการปรับระยะห่างของตัวรองรับและความต่างศักย์ที่ใช้พบว่าเมื่อระยะห่างมากขึ้นเส้นใยผสมที่ได้ก็ยังมีขนาดเล็กกลง และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์จะได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กกลงด้วย

H. Mamid และคณะ 2008 [21] ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายเข็ม อัตราการไหลของสารละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย ที่มีต่อขนาดของเม็ดที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายเข็มและอัตราการไหลของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตให้มากขึ้น ขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น ในด้านผลของศักย์ไฟฟ้าพบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดที่ได้จะเล็กลง สำหรับผลของความเข้มข้นนั้นพบว่าสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่มีความเข้มข้นสูงจะให้หยดของอัลจิเนตที่มีขนาดใหญ่และมีความเสถียร ผลของเวลาในการพักตัว (Relaxation time) จะมีผลต่อความกลมของเม็ดที่เกิด โดยถ้าเวลาในการพักตัวนานจะทำให้ได้เม็ดที่มีความกลมมากขึ้น

วิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์

- ตู้อบ (Conventional Oven) รุ่น Schnittstelle RS 232
- เครื่องดูดความชื้นอัตโนมัติ (Auto desicator) รุ่น Auto C-3
- เครื่องวัดความหนืด (Rotation viscometer) รุ่น VSCL 110457
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JEOL JSM638 OLV
- เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply) รุ่น ES 30P-5W
- เข็มฉีดยาขนาด 1.2 x 25 มิลลิเมตร
- ขวดแก้วขนาดเล็กบรรจุเม็ดยาง

2. สารเคมีในการผสมยาง

- น้ำยางข้นชนิด High Ammonia (HA) 60 % และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองผลิตโดยบริษัท ลักกี้ โฟร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- น้ำ DI (Deionited water) จากบริษัท แลปสแกน เอเชีย (ประเทศไทย) จำกัด
- กรดอะซิติกเข้มข้น จากบริษัท แลปสแกน เอเชีย (ประเทศไทย) จำกัด

3. ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี

ทำการเตรียมน้ำยางข้นชนิด HA ที่ความเข้มข้น 50, 60, 70, 80, และ 90% ทั้งในกรณีผสมสารเคมีและไม่ผสมสารเคมี ทำได้ดังนี้

1. เตรียมน้ำยางข้นชนิด HA ที่ความเข้มข้น 50% โดยนำน้ำยางข้น HA ความเข้มข้น 60% มาเติมน้ำ DI เพื่อเป็นการเจือจางปริมาณความเข้มข้นของน้ำยางให้น้อยลง โดยเติมน้ำ DI ที่ปริมาณ 4 กรัม
2. เตรียมน้ำยางข้นชนิด HA ที่ความเข้มข้น 70, 80, และ 90% ตามลำดับ โดยนำน้ำยางข้น HA ความเข้มข้น 60% มาทำการอบไล่ไอน้ำที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 50, 70 และ 90 นาที ตามลำดับ เพื่อเป็นการระเหยนํ้าออกจากน้ำยางข้น ทำให้น้ำยางข้นที่ได้มีปริมาณเนื้อยางมากขึ้น
3. เมื่อได้น้ำยางข้นชนิด HA ที่ความเข้มข้น 50, 60, 70, 80, และ 90% แล้ว ในกรณีที่ต้องการทำน้ำยางผสมสารเคมี ให้นำน้ำยางข้นที่ได้มาผสมกับสารเคมีต่าง ๆ ตามสูตร ดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นสูตรที่อ้างอิง

มาจากกระบวนการผลิตเส้นด้ายหรือสายยางยืด โดยในการเตรียมน้ำยางผสมสารเคมีต่าง ๆ เพื่อทำสายยางยืดจะกระทำทำนองเดียวกับการเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี เพื่อทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ [23]

5. กวนจนน้ำยางและสารเคมีรวมเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 สูตรการเตรียมน้ำยางผสมในน้ำยาง [23]

สารประกอบ	ปริมาณสารที่ใช้ (phr)
น้ำยางข้นชนิด HA 60 %	100
สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 %	0.5
สารละลายโปแตสเซียมลอเรต 20 %	0.4
ดิสเพิซันท์กำมะถัน 50 %	1.5
ดิสเพิซันท์ Zinc dibutyl dithiocarbamate (ZDBC) 50 %	0.3
ดิสเพิซันท์ Zinc -2-mercaptobenzothiazole (ZMBT) 50 %	1.5
ดิสเพิซันท์โลวีนิล 50 %	1.0
ดิสเพิซันท์ซิงค์ออกไซด์ 50 %	2.0
น้ำ DI	(ตามความเข้มข้น)

4. การวัดค่าความหนืดของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี

เมื่อเตรียมน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีตามที่ต้องการแล้ว นำน้ำยางมาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Rotational viscometer) เป็นเครื่องวัดความหนืดแบบ Dynamic viscosity โดยการจุ่มแกนหมุนลงในน้ำยางข้นและน้ำยางผสมสารเคมีที่เตรียมไว้ ทำการวัดค่าความหนืดจากแรงบิดของน้ำยางตัวอย่างที่สัมผัสกับแกนหมุนที่หมุนอยู่อย่างต่อเนื่องและคงที่ โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

5. การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตลงบนอุปกรณ์รองรับภาตสแตนเลสบรรจุกรดอะซิติกเข้มข้น

นำน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่ได้เตรียมไว้แล้ว มาทำการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยการใส่ลงในหลอดฉีดยาที่ต่อกับเข็มฉีดยา ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง โดยน้ำยางจะไหลออกจากปลายเข็มฉีดยาลงสู่ภาตสแตนเลสที่บรรจุกรดอะซิติกเข้มข้น ซึ่งจะช่วยให้ น้ำยางที่พุ่งออกมาจากเข็มฉีดยาจับตัวเป็นเม็ดขนาดเล็ก โดยจะควบคุมปริมาณความต่างศักย์ตั้งแต่ 20 กิโลโวลต์ ถึง 25 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยากับอุปกรณ์รองรับ ปรับค่าตั้งแต่ 8 เซนติเมตร ถึง 12 เซนติเมตร การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตสามารถเตรียมเครื่องปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตลงบนอุปกรณ์รองรับภาตสแตนเลสบรรจุกรดอะซิติกเข้มข้น

6. การตรวจสอบหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเม็ดยางขนาดเล็กที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้นด้วยไฟฟ้าสถิต

6.1 การวัดค่าความหนืดของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี

ทำการวัดค่าความหนืดของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่ความเข้มข้น 50, 60, 70, 80 และ 90 % ตามลำดับ ด้วยเครื่องวัดความหนืดโดยทำการเซตค่าขนาดของแกนหมุนในการทดสอบ (Shaft) และค่าความเร็วรอบ จากนั้นใส่สารตัวอย่างลงในแท่งทรงกระบอกสำหรับใส่สารตัวอย่างปริมาณน้อย แล้วรอให้เครื่องหมุนและประมวลผลออกมาทางหน้าจอ จากนั้นจึงทำการบันทึกผลที่ได้

6.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดยาง

การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเม็ดยางขนาดเล็กที่ได้จากน้ำยางข้น และน้ำยางพาราผสมสารเคมีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) มีวิธีการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ดังนี้

6.2.1 นำเม็ดยางที่ได้จากการปั้นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ตกลงยังอุปกรณ์รองรับภาตสแตนเลสบรรจุกรดอะซิติกเข้มข้น มาทำการผ่านน้ำสะอาดเพื่อล้างกรดออก จากนั้นเก็บเม็ดยางที่ได้ในขวดบรรจุน้ำสะอาด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดยางเกาะตัวกันเป็นก้อน

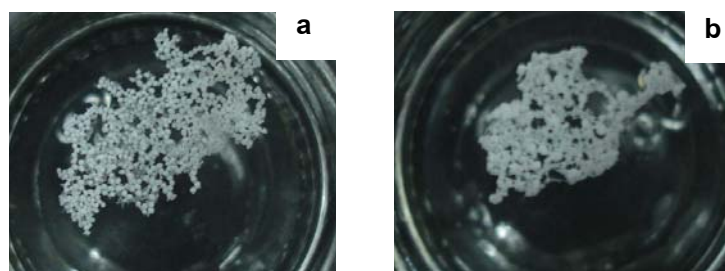
6.2.2 นำเม็ดยางที่ได้ติดลงบนสตัปเพื่อนำไปทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แต่เนื่องจากเม็ดยางที่ได้ไม่มีสมบัติการนำไฟฟ้า จึงต้องทำการเคลือบบนเม็ดยางด้วยสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้าก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ผล

ผลการวิจัย

1. ลักษณะโดยทั่วไปของเม็ดยาง

1.1 สีของเม็ดยาง

หลังกระบวนการปั้นด้วยไฟฟ้าสถิต นำเม็ดยางที่ได้ไปทำการผ่านน้ำสะอาดเพื่อล้างกรดออก จากนั้นเก็บเม็ดยางในขวดบรรจุน้ำสะอาด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดยางเกาะตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของเม็ดยางที่ได้ ซึ่งให้ผลดังรูปที่ 6

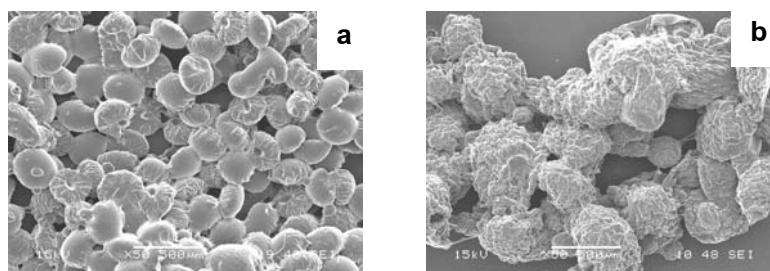


รูปที่ 6 สีของเม็ดยางที่ได้จากการปั้นด้วยไฟฟ้าสถิต a) น้ำยางข้น และ b) น้ำยางพาราผสมสารเคมี

จากรูปที่ 6 พบว่าเม็ดยางที่ได้จากการปั้นน้ำยางข้นจะมีสีขาวขุ่นเนื่องจากสีของน้ำยางเอง ส่วนเม็ดยางที่ได้จากการปั้นน้ำยางพาราผสมสารเคมีจะมีสีขาวอมเหลือง เนื่องจากสารเคมีที่ผสมลงไปซึ่งสารบางชนิดมีสีขาวขุ่นถึงเหลือง จึงเป็นสาเหตุให้เม็ดยางที่ได้มีสีขาวอมเหลืองตามไปด้วย

1.2. ลักษณะเม็ด

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของเม็ดยางที่ได้จากกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าเม็ดยางมีลักษณะกลมถึงรี แต่ละเม็ดติดกันเป็นแพและไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แสดงดังรูปที่ 7

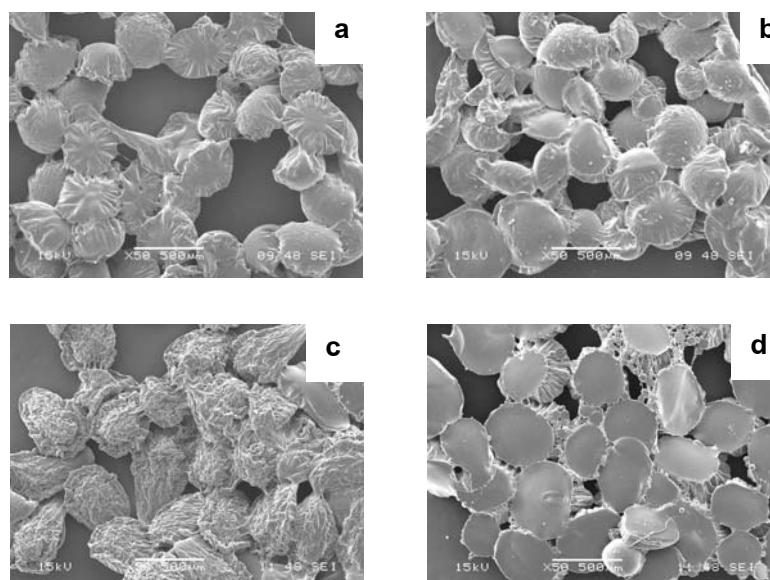


รูปที่ 7. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี ความเข้มข้น 70% ศักย์ไฟฟ้า 25 kV ระยะห่าง 8 cm a) น้ำยางข้น b) น้ำยางพาราผสมสารเคมี

จากรูปที่ 7 การที่เม็ดยางมีลักษณะเชื่อมติดกันเป็นแพ เนื่องจากเม็ดยางแต่ละเม็ดจะมีประจุลบของคาร์บอกซิเลต ซึ่งเมื่อตกลงบนกรตอะซิติก กรตจะสลายตัวให้อิออนของไฮโดรเจนไปทำลายชั้นห่อหุ้มของเม็ดยางซึ่งมีอนุภาคลิเธียของคาร์บอกซิเลตอยู่รอบๆ ทำให้เม็ดยางไม่มีความเสถียร [23] จึงเกิดการจับตัวกันและเหนียวติดกันเป็นแพ

1.3 ลักษณะพื้นผิวของเม็ดยาง

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเม็ดยางพบว่าลักษณะพื้นผิวของเม็ดยางด้านที่สัมผัสกับอากาศจะมีลักษณะขรุขระ ส่วนด้านที่สัมผัสกับกรตอะซิติกจะมีผิวเรียบ แสดงดังรูปที่ 8



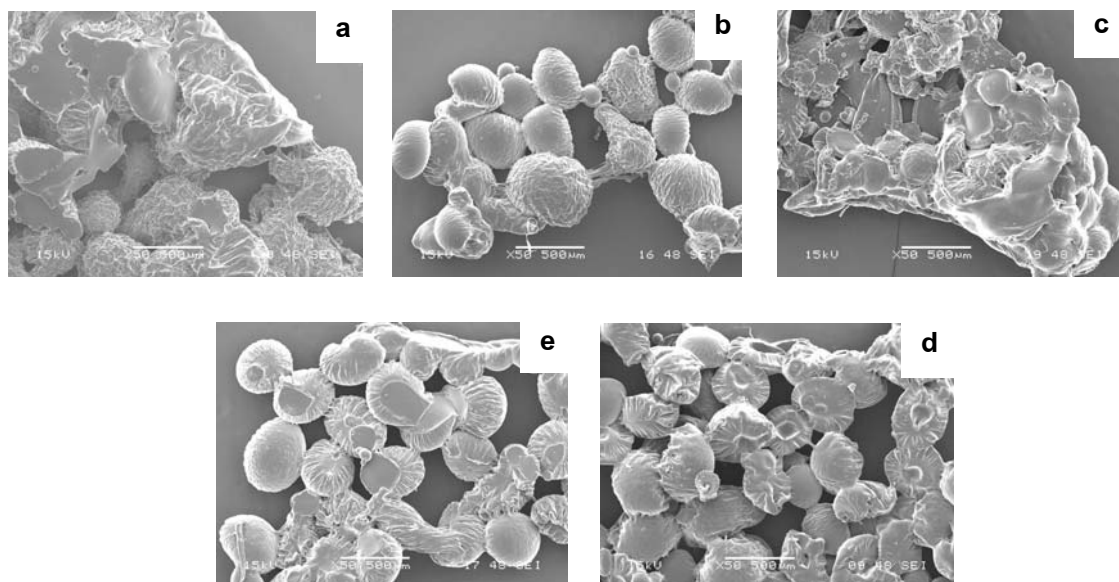
รูปที่ 8. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ใช้น้ำยางพาราความเข้มข้น 90% ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง 8 cm a) และ b) น้ำยางข้น c) และ d) น้ำยางพาราผสมสารเคมี a) และ c) ด้านที่ไม่สัมผัสกรต b) และ d) ด้านที่สัมผัสกรต

จากรูปที่ 8 การที่ผิวของเม็ดยางมีทั้งเรียบและขรุขระ เนื่องจากน้ำยางมีความหนาแน่นน้อยกว่ากรดอะซิติค อนุภาคของยางจึงลอยอยู่บนผิวหน้าของของเหลว จึงมีทั้งด้านที่สัมผัสและไม่สัมผัสกับกรดอะซิติค โดยด้านบนของเม็ดยางเป็นด้านที่ไม่สัมผัสกับกรด พื้นผิวจะมีลักษณะขรุขระเนื่องมาจากเมื่อเม็ดยางสัมผัสกับอากาศทำให้มีเวลาในการพักตัว (Relaxation) อีกทั้งเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำยางเองจึงเกิดลักษณะที่เป็นผิวโค้งและขรุขระ ส่วนด้านล่างของเม็ดจะเป็นด้านที่สัมผัสกับกรดอะซิติค พื้นผิวทุกตำแหน่งจะสัมผัสกับกรดเท่ากันและไม่เจอกับอากาศ ผิวที่ได้จึงเรียบ

2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กจากน้ำยางข้น ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

2.1 ผลความเข้มข้นของน้ำยางข้น

การวิเคราะห์ผลความเข้มข้นของน้ำยางข้นที่มีต่อขนาดของเม็ดยาง จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราสูงขึ้น ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ขนาดของเม็ดที่ได้ใหญ่ขึ้น โดยผลการบันทึกแสดงดังรูปที่ 9 และตารางที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 9 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางข้นที่ปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ศักย์ไฟฟ้า 20 kV ระยะห่าง 10 cm ความเข้มข้น a) 50 % b) 60 % c) 70 % d) 80 % และ e) 90 %

ตารางที่ 3 ผลของความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่มีต่อขนาดของเม็ดที่ได้จากวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

ความเข้มข้นของน้ำยางพารา (%)	ความหนืดของน้ำยางพารา (cP)	ขนาดเม็ด (μm)
50	22	466.6 $\pm$ 77.5
60	120	496.2 $\pm$ 12.38
70	132.2	503.4 $\pm$ 53.63
80	136.4	512.6 $\pm$ 21.7
90	142.5	531.2 $\pm$ 42.41

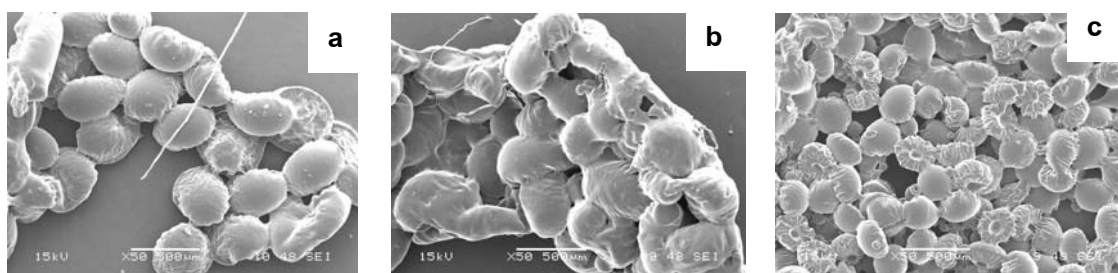
*ทำการปั่นที่ ศักย์ไฟฟ้า 20 kV ระยะห่าง 10 cm

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราสูงขึ้น ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น ขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสภาวะของศักย์ไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยางถึงอุปกรณ์รองรับก็

จะให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความหนืดสูง น้ำยางข้นสามารถต้านทานการดึงยืดที่เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุบนหยดได้มาก [24] จึงสามารถฟอร์มตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักที่มากพอ หยดของน้ำยางพาราจึงจะตกลงบนอุปกรณ์รองรับและได้เป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.2 ผลของศักย์ไฟฟ้า

การป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่ น้ำยางข้นจะทำให้เกิดประจุบริเวณผิวของน้ำยาง เมื่อเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น แรงผลักระหว่างประจุจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของน้ำยางพารา ทำให้น้ำยางพาราถูกพ่นออกมาจากปลายเข็มฉีดได้ ทั้งนี้การป่นด้วยไฟฟ้าสถิตโดยการเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น เม็ดที่ได้จะมีขนาดเล็กลง ซึ่งผลการป่นในบางสภาวะแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางข้น 70 % จากการป่นด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ระยะห่าง 12 cm ศักย์ไฟฟ้า a) 20 kV b) 23 kV และ c) 25 kV

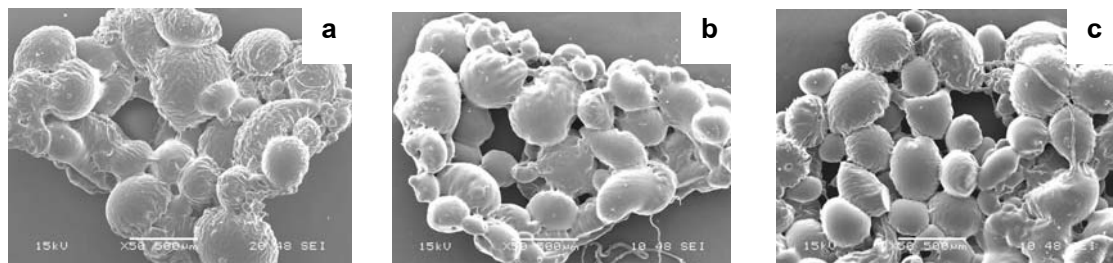
จากรูปที่ 10 คือเม็ดยางพาราที่ป่นจากน้ำยางข้น 70% ระยะในการป่น 12 cm โดยการปรับเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าจาก 20 23 และ 25 kV พบว่าเม็ดที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็น 504.4 ± 55.6 498.8 ± 45.5 และ 471.6 ± 14.3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดที่ได้จะเล็กลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสภาวะความเข้มข้นของน้ำยางพาราและระยะห่างก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้การป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่ น้ำยางข้นจะทำให้เกิดประจุบริเวณผิวของน้ำยางข้น เมื่อเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น แรงผลักระหว่างประจุจะมีค่ามากขึ้น ทำให้หยดของน้ำยางพาราที่บริเวณปลายช่องเปิดเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะทรงกรวย เมื่อแรงผลักระหว่างประจุที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถเอาชนะแรงดึงดูดของน้ำยางข้นได้ ก็จะมีการพ่นออกและแตกเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กลง [24]

2.3 ผลของระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเม็ด

ในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการป่นด้วยไฟฟ้าสถิต เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะทำให้ได้เม็ดที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป และพบว่าการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดที่ได้ ผลการป่นในบางสภาวะแสดงดังรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 คือเม็ดยางพาราที่ป่นจากน้ำยางข้น 80% ศักย์ไฟฟ้า 23 kV โดยการปรับเปลี่ยนระยะในการป่นจาก 8 10 และ 12 cm พบว่าเม็ดที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็น 507.2 ± 38.0 492.8 ± 60.2 และ 506.2 ± 50.2 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดที่ได้ [21] ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบที่สภาวะความเข้มข้นและศักย์ไฟฟ้าอื่นๆ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้การปรับระยะดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางจนตกบนอุปกรณ์รองรับ (Flight time) จากการ

ทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับให้มากขึ้น เม็ดยางจะมีระยะการเคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์รองรับที่นานขึ้นและความแรงของสนามไฟฟ้าก็ลดลงด้วย ซึ่งจะแปลตรงตัวแรงในการเคลื่อนที่ของเม็ดยาง จากผลดังกล่าวเม็ดยางจะมีระยะเวลาในการพักตัวที่นานขึ้นทำให้มีเวลาในการจัดเรียงอนุภาคมากขึ้น ลักษณะความกลมของเม็ดยางจึงมีมากขึ้นด้วย

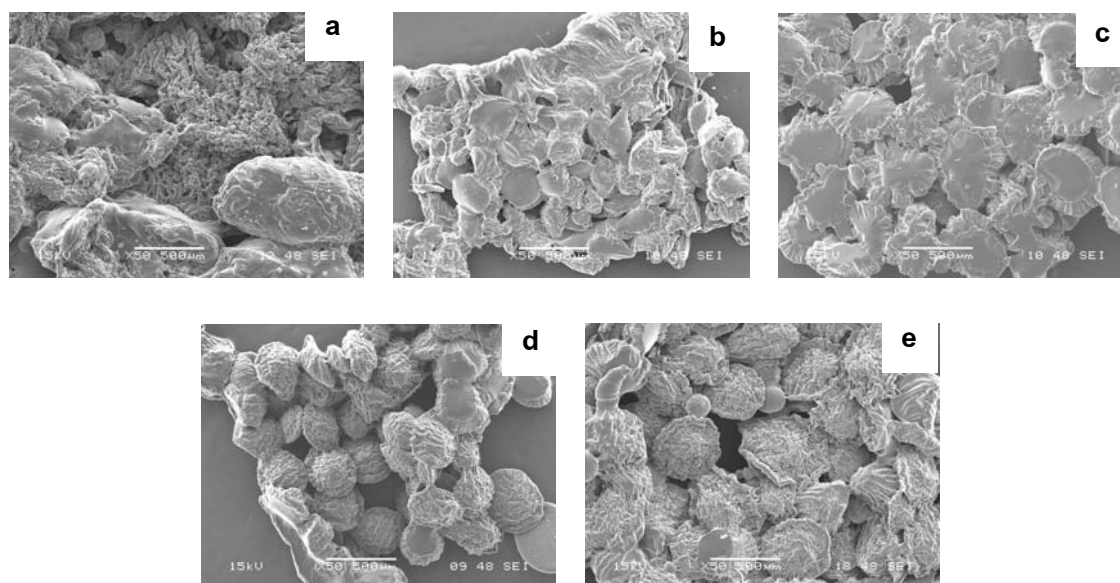


รูปที่ 11 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางชั้น 80 % จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง a) 8 cm b) 10 cm และ c) 12 cm

3. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กจากน้ำยางพาราผสมสารเคมีด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

3.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่มีต่อขนาดของเม็ดยาง

การวิเคราะห์ผลความเข้มข้นของน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่มีต่อขนาดของเม็ดยางให้ผลดังรูปที่ 12 และตารางที่ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 12 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่ปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง 8 cm ที่ความเข้มข้น a) 50% b) 60% c) 70% d) 80% และ e) 90%

ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นของน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่มีต่อขนาดของเม็ดที่ได้จากวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

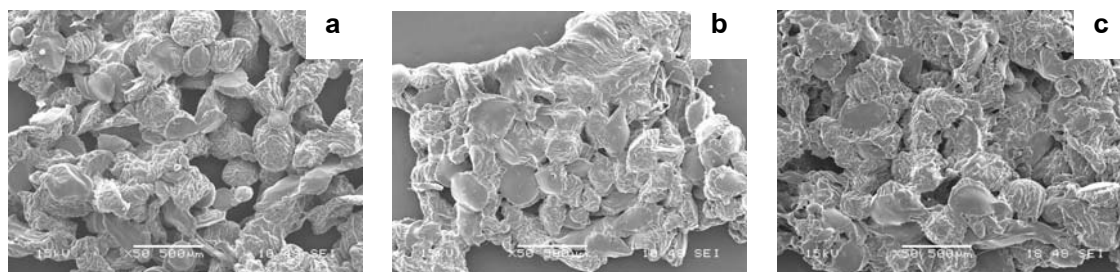
ความเข้มข้นของน้ำยางพารา (%)	ความหนืด (cP)	ขนาดเม็ด (μm)
50*	14	-
60*	45	443 ± 72.30
70*	48.5	451.6 ± 25.86
80*	114.4	467.2 ± 28.09
90*	119	476 ± 16.64

*ทำการปั่นที่ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง 8 cm

จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่อความหนืดของน้ำยางพาราผสมสารเคมีเพิ่มขึ้น ขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับผลของน้ำยางพาราที่ไม่ผสมสารเคมี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ทุกสภาวะของศักย์ไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ความหนืดสูง การพันกันของสายโซโมเลกุลจะมาก น้ำยางสามารถต้านทานการดึงยืดที่เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุบนหยดได้มาก จึงสามารถฟอร์มตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักที่มากพอ หยดของน้ำยางพาราจึงจะตกลงบนอุปกรณ์รองรับและได้เป็นเม็ดขนาดใหญ่

3.2 ผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อขนาดของเม็ดยาง

การป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่ น้ำยางพาราผสมสารเคมีจะทำให้เกิดประจุบริเวณผิวของน้ำยางพารา เมื่อเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น แรงผลักระหว่างประจุจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของน้ำยางพารา ทำให้น้ำยางพาราถูกพ่นออกมาจากปลายเข็มฉีดยาได้ ทั้งนี้การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตโดยการเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น เม็ดที่ได้จะมีขนาดเล็กลง ซึ่งผลการปั่นแสดงดังรูปที่ 13

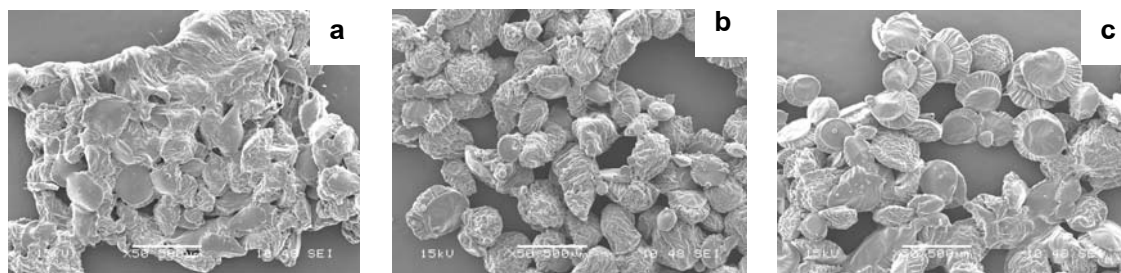


รูปที่ 13. รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 60 % จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ระยะห่าง 8 cm ศักย์ไฟฟ้า a) 20 kV b) 23 kV และ c) 25 kV

จากรูปที่ 13 คือเม็ดยางพาราที่ปั่นจากน้ำยางข้นผสมสารเคมีเข้มข้น 60% ระยะในการปั่น 8 cm โดยการปรับเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าจาก 20 23 และ 25 kV พบว่าเม็ดที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็น 449 ± 39.6 443 ± 72.3 และ 408.6 ± 38.6 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดที่ได้จะเล็กลงเช่นเดียวกับผลของน้ำยางพาราที่ไม่ผสมสารเคมี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ทุกสภาวะความเข้มข้นของน้ำยางพาราผสมสารเคมีและระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ประจุที่ผิวมีค่าสูงขึ้นและเกิดการผลักระหว่างประจุได้มากขึ้น น้ำยางจะมีลักษณะเป็น Taylor's cone ขนาดเล็กลง เม็ดที่ถูกพ่นออกมาจากปลายเข็มฉีดยาจึงมีขนาดเล็กลง [24]

3.3 ผลของระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับต่อขนาดของเม็ด

ในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะทำให้ได้เม็ดที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป และพบว่า การปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ด แต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดที่ได้ และลักษณะการติดกันของเม็ด โดยพบว่าเมื่อระยะห่างมากขึ้น เม็ดที่ได้จะกลมขึ้นและติดกันน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบผลของระยะที่มีต่อขนาดของเม็ดพบว่าให้ผลการปั่นดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 60 % จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ศักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง a) 8 cm b) 10 cm และ c) 12 cm

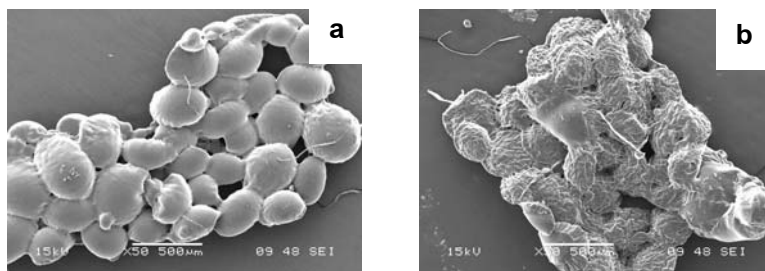
จากรูปที่ 14 คือเม็ดยางพาราที่ปั่นจากน้ำยางข้นผสมสารเคมีเข้มข้น 60% ศักย์ไฟฟ้า 23 kV โดยการปรับเปลี่ยนระยะในการปั่นจาก 8 10 และ 12 cm พบว่าเม็ดที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็น 443 ± 72.3 462.2 ± 29.6 และ 459.2 ± 33.8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ด แต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดที่ได้ และลักษณะการติดกันของเม็ด [21] ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบที่สภาวะความเข้มข้นและศักย์ไฟฟ้าอื่น ๆ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งนี้การปรับระยะดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางจนตกถึงอุปกรณ์รองรับ (Flight time) การเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับให้มากขึ้น ความแรงของสนามไฟฟ้าจะลดลง อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางมีน้อยลง ดังนั้นเม็ดยางจึงมีระยะเวลาในการพักรอที่นานขึ้นก่อนจะตกถึงอุปกรณ์รองรับ ทำให้มีเวลาในการจัดเรียงอนุภาคมากขึ้น ลักษณะความกลมของเม็ดยางจึงมีมากขึ้น นอกจากนี้ระยะที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เม็ดยางที่ตกลงมาก่อนมีเวลาในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งอื่น เม็ดยางที่ตกลงมาทีหลังจึงไม่ตกซ้อนทับกันหรือเกิดการซ้อนทับกันได้น้อยลง การติดกันของเม็ดยางจึงมีน้อยลง

4. ลักษณะพิเศษที่พบในกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

จากการทดลองพบว่าการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่บางสภาวะให้ผลการปั่นที่น่าสนใจและแตกต่างจากที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น เช่นกรณีการเกิดเส้นใยปะปนกับเม็ดยาง การเกิดเม็ดขนาดเล็ก หรือเกิดโพรงบนเม็ด เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 15 ถึง 17

4.1 การเกิดเส้นใยปะปนกับเม็ดยาง

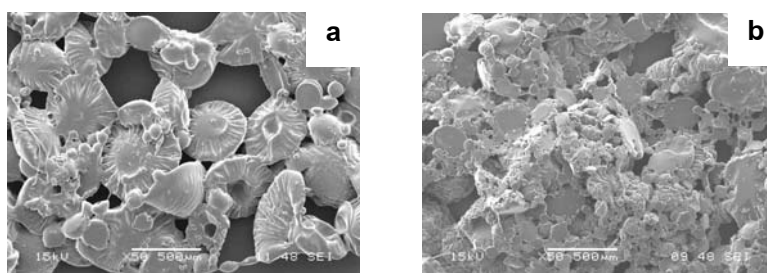
จากรูปที่ 15 พบว่าการเกิดเส้นใยปะปนกับเม็ดยางจะเกิดเฉพาะในสภาวะที่ความเข้มข้นสูง สาเหตุของการเกิดเส้นใยดังกล่าวเป็นผลมาจากที่ความเข้มข้นสูง น้ำยางพาราจะมีความหนืดสูง สายโซ่โมเลกุลจึงพันกัน得多 น้ำยางพาราจึงถูกดึงยืดได้มากขึ้นและไม่ขาดออกจากกันทำให้เกิดเป็นเส้นใย



รูปที่ 15 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 80 % ระยะ 12 cm a) น้ำยางข้น ศักย์ไฟฟ้า 25 kV และ b) น้ำยางพาราผสมสารเคมี ศักย์ไฟฟ้า 20 kV

4.2 การเกิดเม็ดขนาดเล็กปะปนกับเม็ดใหญ่

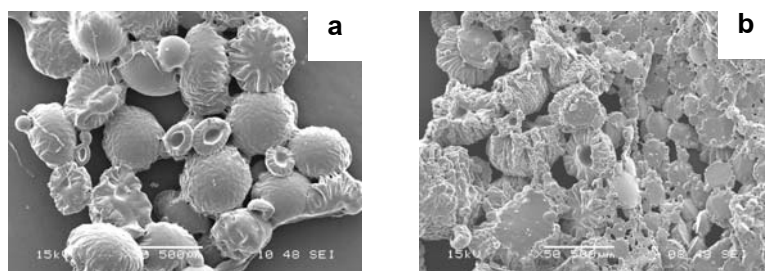
จากรูปที่ 16 พบว่าการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของน้ำยางข้นที่ศักย์ไฟฟ้า 25 kV จะมีเม็ดกลมขนาดเล็กแทรกอยู่อย่างหนาแน่นระหว่างเม็ดขนาดทั่วไป อาจเกิดเนื่องจากในระหว่างการขึ้นรูปเกิดลักษณะ Secondary jet ของน้ำยาง ทำให้เกิดเป็นเม็ดขนาดเล็กแทรกอยู่ระหว่างเม็ดขนาดใหญ่ที่เกิดจาก Primary jet



รูปที่ 16 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ ศักย์ไฟฟ้า 25 kV ระยะห่าง 10 cm a) น้ำยางข้น 90% และ b) น้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 70%

4.3 การเกิดโพรงบนเม็ด

จากรูปที่ 17 เกิดโพรงรูปครึ่งทรงกลมขึ้นบนเม็ด เนื่องจากเม็ดยางมีความหนาแน่นน้อยกว่ากรดอะซิติก เมื่อตกลงบนกรดจึงลอยอยู่ด้านบน และบริเวณที่สัมผัสกับกรดจะเกิดการแข็งตัว ซึ่งในที่นี้คือบริเวณด้านล่างและบริเวณขอบของเม็ด เมื่อบริเวณดังกล่าวแข็งตัวในขณะที่ด้านบนเม็ดไม่ได้แข็งตัวตามไปด้วย ผิวด้านบนจึงเกิดการยุบตัวลงไปเป็นโพรงขนาดเล็กบริเวณกึ่งกลางเม็ด



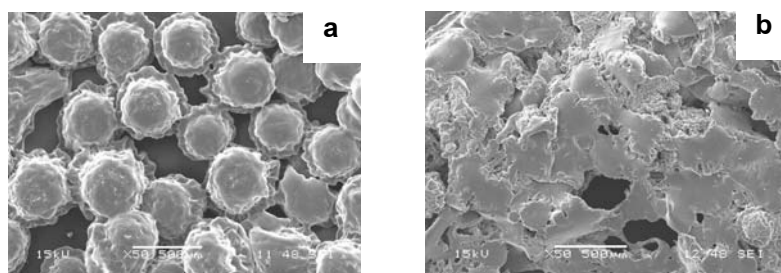
รูปที่ 17 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางข้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ศักย์ไฟฟ้า 25 kV ระยะห่าง 12 cm a) น้ำยางข้น 90% และ b) น้ำยางพาราผสมสารเคมีความเข้มข้น 70%

5. ผลการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตของน้ำยางชั้นเปรียบเทียบกับน้ำยางพาราผสมสารเคมี

5.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำยาง

จากการทดลองพบว่าน้ำยางชั้นที่ไม่ผสมสารเคมี สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ที่มีความเข้มข้น 50 % แตกต่างจากน้ำยางพาราผสมสารเคมี ซึ่งจะขึ้นรูปเป็นเม็ดได้ที่มีความเข้มข้น 60 % ขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 18

จากรูปที่ 18 พบว่าการที่ไม่สามารถขึ้นรูปน้ำยางพาราผสมสารเคมีที่มีความเข้มข้น 50 % ให้เป็นเม็ดได้ เนื่องจากในการเตรียมน้ำยางพาราผสมสารเคมี จะมีการเติมน้ำ DI เข้าไปในส่วนผสมด้วย ดังนั้นความหนืดของน้ำยางพาราผสมสารเคมี (14 cP) จึงน้อยกว่าความหนืดของน้ำยางชั้น (22 cP) แม้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อความหนืดของน้ำยางพาราผสมสารเคมีน้อยกว่าจึงขึ้นรูปได้ยากกว่าและมีลักษณะไม่เป็นเม็ด



รูปที่ 18 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50X ของน้ำยางพาราที่มีความเข้มข้น 50% ตักย์ไฟฟ้า 23 kV ระยะห่าง 12 cm a) น้ำยางชั้น และ b) น้ำยางพาราผสมสารเคมี

5.2 ผลของศักย์ไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้เม็ดที่ได้มีขนาดเล็กลง ซึ่งการใช้ น้ำยางชั้น และน้ำยางพาราผสมสารเคมีในการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตจะให้ผลเช่นเดียวกัน

5.3 ผลของระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับให้มากขึ้นจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ด แต่จะมีผลต่อความกลมของเม็ด ซึ่งการใช้ น้ำยางชั้น และน้ำยางพาราผสมสารเคมีในการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตจะให้ผลเช่นเดียวกัน

6. วิจารณ์ผล

ในการเตรียมเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ได้ศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยางชั้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี ศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ

การทดสอบผลของความเข้มข้นที่มีต่อการขึ้นรูป โดยใช้ น้ำยางชั้น และน้ำยางพาราผสมสารเคมี ที่ความเข้มข้น 50 ถึง 90 w/v% พบว่าหากเพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้น ความหนืดของน้ำยางจะสูงขึ้น และเม็ดยางที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ความหนืดสูง น้ำยางสามารถต้านทานการดึงยืดที่เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุบนหยดได้มากจึงสามารถฟอร์มตัวเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักที่มากพอ หยดของน้ำยางพาราจึงจะตกลงบนอุปกรณ์รองรับและได้เป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ยังพบอีกว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน น้ำยางชั้นจะให้เม็ดยางที่มีขนาดใหญ่กว่าน้ำยางพาราผสมสารเคมี เนื่องจากน้ำยางชั้นมีความหนืดมากกว่าน้ำยางพาราผสม

สารเคมี โดยในการขึ้นรูปนั้น จะสามารถขึ้นรูบน้ำยางชั้นให้เป็นเม็ดได้ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 50% ขึ้นไป ส่วนน้ำยางพาราผสมสารเคมีจะสามารถขึ้นรูปให้เป็นเม็ดได้ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 60% ขึ้นไป

เมื่อพิจารณาผลของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งอยู่ในช่วง 20 ถึง 25 กิโลโวลต์ พบว่าการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มากขึ้น จะทำให้เม็ดยางที่ได้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ประจุที่ผิวมีค่าสูงขึ้นและเกิดการผลักกันของประจุได้มากขึ้น น้ำยางจะมีลักษณะเป็น Taylor's cone ขนาดเล็กลง เม็ดที่ถูกพ่นออกมาจากปลายเข็มฉีดยาจึงมีขนาดเล็กลง

การทดสอบผลของระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ โดยทำการทดลองที่ระยะห่าง 8 ถึง 12 เซนติเมตร พบว่าการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ด แต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมของเม็ดและลักษณะการติดกันของเม็ด โดยพบว่าเมื่อระยะห่างมากขึ้น เม็ดที่ได้จะมีความกลมมากขึ้นและติดกันน้อยลง ทั้งนี้การปรับระยะดังกล่าวจะมีผลโดยตรงต่อความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางจนตกถึงอุปกรณ์รองรับ (Flight time) การเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับให้มากขึ้น ความแรงของสนามไฟฟ้าจะลดลง อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของเม็ดยางมีน้อยลง ดังนั้นเม็ดยางจึงมีระยะเวลาในการพักตัวที่นานขึ้นก่อนจะตกถึงอุปกรณ์รองรับ ทำให้มีเวลาในการจัดเรียงอนุภาคมากขึ้น ลักษณะความกลมของเม็ดยางจึงมีมากขึ้น นอกจากนี้ระยะที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เม็ดยางที่ตกลงมามีเวลาในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งอื่น เม็ดยางที่ตกลงมาที่หลังจึงไม่ตกซ้อนทับกันหรือเกิดการซ้อนทับกันได้น้อยลง การติดกันของเม็ดยางจึงมีน้อยลง

7. สรุปผล

จากการศึกษาการเตรียมเม็ดยางพาราขนาดเล็กจากน้ำยางชั้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมี ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยมีการควบคุมปัจจัยในการผลิตคือ ความเข้มข้นของน้ำยางพารา ศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ พบว่าความเข้มข้นของน้ำยางชั้นและน้ำยางพาราผสมสารเคมีจะมีผลต่อขนาดของเม็ด โดยเมื่อความเข้มข้นมีค่ามากขึ้น ความหนืดจะมีค่าสูงขึ้น และขนาดของเม็ดที่ได้จะใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเดียวกัน น้ำยางชั้นสามารถขึ้นรูปให้เป็นเม็ดได้ดีกว่าน้ำยางพาราผสมสารเคมีและเม็ดที่ได้ก็มีขนาดใหญ่กว่า สำหรับผลของศักย์ไฟฟ้าพบว่า เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการปั่นให้มากขึ้น เม็ดที่ได้จะมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับจะไม่มีผลต่อขนาดของเม็ดแต่จะมีผลต่อลักษณะความกลมและลักษณะการติดกันของเม็ด โดยระยะที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เม็ดมีความกลมมากขึ้นและการติดกันน้อยลง

8. ข้อเสนอแนะ

ในการขึ้นรูปเม็ดยางพาราขนาดเล็กด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตดังกล่าวข้างต้น พบว่าเม็ดยางที่ได้มีลักษณะเชื่อมติดกันเป็นแพและไม่สามารถแยกออกเป็นเม็ดเดี่ยว จึงยังไม่สามารถนำเม็ดยางดังกล่าวไปใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์ได้ ทั้งนี้ทางผู้ทำการทดลองคิดว่า หากมีการออกแบบการทดลองใหม่ เช่น การออกแบบอุปกรณ์รองรับที่บรรจุกรดอะซิติกให้กรดสามารถไหลหรือเคลื่อนที่ได้ หรือการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปในกรดอะซิติก สิ่งเหล่านี้น่าจะช่วยให้เม็ดยางติดกันน้อยลงหรือไม่ติดกันเลย ซึ่งหากสามารถแยกเม็ดยางเป็นเม็ดเดี่ยวได้แล้ว ก็จะสามารถนำเม็ดยางดังกล่าวไปเป็นสารเพิ่มความเหนียวในพอลิเมอร์ได้ตามต้องการ

งานวิจัยนี้อาจจะยังไม่สามารถแข่งขันได้ในแง่เศรษฐศาสตร์ เพราะในกระบวนการขึ้นรูปด้วยการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ยังไม่สามารถขึ้นรูปได้ในปริมาณมากๆ ได้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ยังอาจต้องใช้เวลาในการขึ้นรูปนานถ้าหากต้องการผลิตในปริมาณที่มาก แต่งานวิจัยนี้ก็จะเป็นการเปิดประตูงานวิจัยในการใช้เทคนิคใหม่ๆ ในการเตรียมยางสำหรับการปรับปรุงความเหนียวของพอลิเมอร์ได้

9. เอกสารอ้างอิง

1. C.B. Arends, **Polymer Toughening**, 1996, Marcel Dekker, Inc., New York.
2. S. Wu, "Chain structure, phase morphology, and toughness relationships in polymers and blends", **Polymer Engineering and Science**, 30, 1990, Pages 753-761.
3. J. Morris, J. Brandli, E. Lanza, W. Lingier, "ABS-type polyblend compositions (to Cosden Technology)", **US Patent 4,250,271**, 1981.
4. J. Doshi, D.H. Reneker, "Electrospinning process and applications of electrospun fibers", **Journal of Electrostatic**, 35, 1995, Pages 151-160.
5. H. Fong, I. Chun, D.H. Reneker, "Beaded nanofibers formed during electrospinning", **Polymer**, 40, 1999, Pages 4585-4592.
6. J.M. Deitzel, J. Kleinmeyer, K. Harris, N.C. Beck Tan, "The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles", **Polymer**, 42, 2001, Pages 261-272.
7. มณิสรา พิริยวิรุตม์, นภาศิริ โรจนชีวะ, นริสา เณรศิริ และ พิชญ์ ศุภผล, "การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของโปรตีนสกัดเข้มข้นจากถั่วเหลือง" **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมชีวการแพทย์แห่งชาติครั้งที่ 5**, 2550, โรงแรมทวินทาวเวอร์ กรุงเทพฯ ในวันที่ 8 กรกฎาคม 2550.
8. S. Ramkrishna, K. Fujihara, W.E. Teo, T.-C. Lim, Z. Ma, **An Introduction to Electrospinning and Nanofibers**, 2005, World Science Publishing, Singapore.
9. M.M. Demir, I. Yilgor, E. Yilgor, B. Erman, "Electrospinning of polyurethane fibers", **Polymer**, 43, 2002, Pages 3303-3309.
10. A. Frenot, I.S. Chronakis, "Polymer nanofibers assembled by electrospinning", **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, 8, 2003, Pages 64-75.
11. S.R. Bhattarai, N. Bhattarai, H.K. Yi, P.H. Hwang, D.I. Cha, H.Y. Kim, "Novel biodegradable electrospun membrane: scaffold for tissue engineering", **Biomaterials**, 25, 2004, Pages 2595-2602.
12. J. Doshi, D.H. Reneker, "Electrospinning process and applications of electrospun fibers", **Journal of Electrostatic**, 35, 1995, Pages 151-160.
13. H. Fong, I. Chun, D.H. Reneker, "Beaded nanofibers formed during electrospinning", **Polymer**, 40, 1999, Pages 4585-4592.
14. Z.H. Liu, X.D. Zhang, X.G. Zhu, Z.N. Qi, F.S. Wang, R.K.Y. Li, "Effect of morphology on the brittle ductile transition of polymer blends: 3. The influence of rubber particle spatial distribution on the fracture behaviour of poly(vinyl chloride)/nitrile rubber blends" **Polymer**, 21, 1998, Pages 5027-5033.
15. D. Li, H. Xia, Radiation preparation of nano-powder styrene-butadiene rubber (SBR) and its toughening effect for polystyrene and high-impact polystyrene, **Radiation Physic and Chemistry**, **76**, 2007, pp 1732-1735.
16. N. Hinchiranan, B. Suppaibulsuk, S. Promprayoon, P. Prasassarakich, "Improving properties of modified acrylic sheet via addition of graft natural rubber", **Materials Letters**, 61, 2007, Pages 3951-3955.

17. R.V.N. Krishnappa, K. Desai, C. Sung, "Morphological study of electrospun polycarbonates as function of the solvent and processing voltage", **Journal of Materials Science**, 38, 2003, Pages 2357-2365.
18. K.H. Lee, H.Y. Kim, H.J. Bang, Y.H. Jung, S.G. Lee, "The change of bead morphology formed on electrospun polystyrene fibers", **Polymer**, 44, 2003, Pages 4029-4034.
19. C. Mit-uppatham, M. Nithitanakul, P. Supaphol "Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: Effect of solution condition on morphology and average fiber diameter", **Macromolecular Chemistry and Physics**, 205, 2004, Pages 2327-2338.
20. Z.M. Huang, Y.Z. Zhang, S. Ramakrishna, C.T. Lim, "Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers", **Polymer**, 45, 200, Pages 5361-5368.
21. M. Hamid, S. Mohsen, S. Abdolreza, K. Mohamad, Electro-spray of high viscous liquids for producing mono-sized spherical alginate beads, **Particuology**, 6, 2008, pp 271-275.
22. H. B. Zhang, M. J. Edirisinghe, "Electrospinning Zirconia Fiber From a Suspension" **Journal of the American Ceramic Society**, 89, 2006, Pages 1870-1875.
23. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2549.
24. ชิตชนก มีใจเชื้อ, 2548, การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต: กระบวนการผลิตเส้นใยระดับนาโน, ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หน้า 1-6