

การเตรียมอนุภาคยางธรรมชาติแห้งโดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต

Preparation of Fine Dried Natural Rubber Particles Using Electrospray Technique

พิภพ ธรรมธารีย์* และ อรรถพล ตะระ

Pipop Thamtharai* and Attapol Tare

ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

Department of Materials Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

*Corresponding author, E mail: pthamtharai@hotmail.com

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคยางธรรมชาติแห้งจากน้ำยางข้นชนิดที่ถูกรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียสูงโดยการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคแห้งให้เป็นอนุภาคนาโนขนาดเล็ก (ไม่เกิน 3 ไมครอน) โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติแห้ง ปัจจัยต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยาง ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่สาย และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดถึงแผ่นรองรับ แล้ววิเคราะห์ขนาดของอนุภาคยางที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยางร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับน้ำยาง 5,000 ถึง 25,000 โวลต์ และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดถึงแผ่นรองรับ 10 ถึง 25 เซนติเมตร พบว่าอนุภาคยางแห้งที่เตรียมมีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 153 นาโนเมตร ถึง 7,110 นาโนเมตร โดยมีขนาดเฉลี่ยตั้งแต่ 612 นาโนเมตรจนถึง 1,599 นาโนเมตร สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคยางคือความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติร้อยละ 60 ที่ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน 20,000-25,000 โวลต์และระยะห่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับ 10 เซนติเมตร ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการเตรียมอนุภาคยางแห้งโดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตยางแห้งจากน้ำยางธรรมชาติ

คำสำคัญ: อนุภาค ยางธรรมชาติ การพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต

Abstract

Electrospray was applied to prepare dried rubber particles from high ammonia preserved latex in order to provide suitable condition for preparing dried rubber particles with particle sizes of less than 3 micron and to investigate effects of preparation parameters on rubber particle size. The effective factors were latex concentration, applied voltage, and a distance between the tip of electrode to the collector with a size of dried rubber particle. The latex concentrations were varied from 15 to 60 % DRC while the applied voltages were varied from 5,000 to 25,000 V and distances between the tip of electrode to the collector were set from 10 to 25 cm. Sizes of rubber particles were determined by using the scanning electron microscope (SEM) technique. The results indicated that particle

sizes of dried rubber were ranging from 153 to 7,110 nanometers with average particle sizes ranging from 612 to 1,599 nanometers. The optimum conditions for preparing fine dried rubber particle was at a rubber latex concentration of 60 % DRC with an applied voltage of 20,000-25,000 volt at a distance between the tip of electrode to the collector of 10 cm. This technique showed a promising alternative method to produce dried rubber from latex.

Key words: particle, natural rubber, electrospray

1. บทนำ

ในกระบวนการทำยางแท่งจากน้ำยางธรรมชาติ (Webster & Baulkwill, 1989) เพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมนั้นต้องผ่านขั้นตอนมากมาย (วารสาร จอร์ไซชสกูล, 2549, Blow & Hepburn, 1977) เช่น การทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน การรีดยางให้เป็นแผ่น การอบยางให้แห้ง การตัดยางแท่งให้เป็นชิ้นเล็กๆ การอัดและอบให้เป็นแท่ง ซึ่งกระบวนการนี้ต้องใช้สารเคมี สิ้นเปลืองเวลา และใช้พลังงานเป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางนอกจากยางแท่งซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักแล้วยังต้องมีสารเคมีเข้าเกี่ยวข้องเพื่อช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามความต้องการในการใช้งาน (พงษ์ธร เกษมและชาคริต สิริสิงห, 2550) เช่น สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent) สารเร่งให้ยางคงรูป (accelerator) สารกระตุ้นสารเร่ง (activator) สารตัวเติม (filler) สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aid) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antioxidant) และสารอื่นๆ แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีดังกล่าวส่วนใหญ่มิมีปริมาณเพียง 1 ถึง 10 ส่วนใน 100 ส่วนของน้ำหนักรubber (parts per hundred of rubber; phr) บางชนิดมีปริมาณต่ำมากคือ 0.5 phr ประกอบกับความหนืดของยางทำให้การผสมของยางกับสารเคมีเป็นไปได้ยาก ปัจจุบันการผสมยางกับสารเคมีต้องใช้เครื่องมือที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง (two roll mill) ซึ่งเป็นระบบเปิด และ เครื่องบดผสมแบนบิวรี่ (banbury) ซึ่งเป็นแบบปิด (Dick, 2001, Roberts, 1988) ในการบดผสม (mastication) ยางซึ่งมีความหนืดสูงกับสารเคมีต่างๆ ที่มีปริมาณน้อยให้ผสมกันเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานและต้องใช้พลังงานอย่างมากในการกด (compress) ดึง (stretch) บีบ (squeeze) และเฉือน (shear) เพื่อให้ยางอ่อนตัวและฉีกขาดเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อให้ผสมกับสารเคมีได้อย่างทั่วถึง การผสมยางนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติทางกายภาพลดลงอีกด้วย

ในฐานะที่ผู้วิจัยมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำงานด้านวัสดุศาสตร์ โพลีเมอร์ และยางธรรมชาติ จึงได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคยางแท่งจากน้ำยางให้เหลือขั้นตอนเดียวซึ่งนอกจากจะสามารถลดขั้นตอนการผลิตยางแท่งจากน้ำยางให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียวที่ทำให้สามารถลดการใช้สารเคมี เวลา และพลังงานในการผลิตยางแท่งแล้ว ยังส่งผลให้สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง โดยเปลี่ยนจากการบดผสมสารเคมีด้วยการบดผสมมาเป็นแบบการผสมภายนอกด้วยเครื่องผสมธรรมดาอีกทั้งอาจทำให้สมบัติทางกายภาพของยางดีขึ้นเนื่องจากไม่ต้องผ่านการบดผสมซึ่งทำให้ยางถูกฉีกขาด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยางธรรมชาติแห้งให้เป็นเม็ดขนาดเล็ก โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติแห้งที่เตรียมได้ ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยาง ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับน้ำยาง และระยะระหว่างปลายอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับอนุภาคยาง

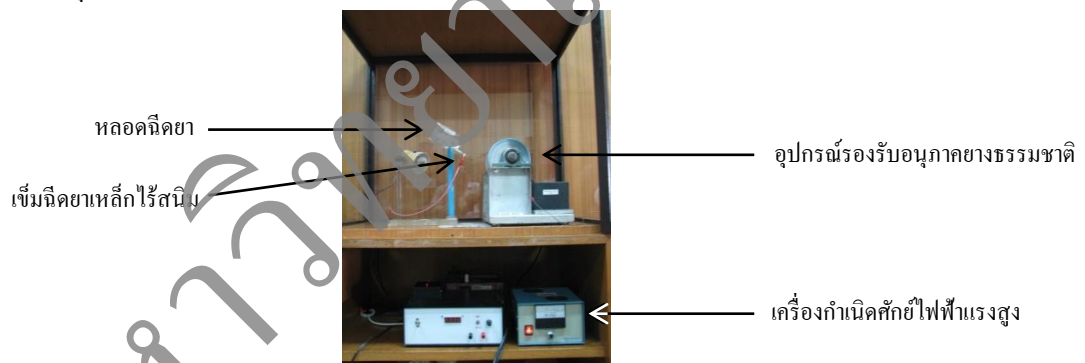
3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สารเคมี: สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคยางคือน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงมีความเข้มข้นของเนื้อยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก น้ำยางข้นมีสีขาว pH 10.5 ความถ่วงจำเพาะ 0.96

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง รุ่น ES 30 P ของบริษัท Gamma High Voltage Research หลอดฉีดยา ขนาด 25 มิลลิลิตร และเข็มฉีดยาเหล็กไร้สนิมเบอร์ 23 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.6 มิลลิเมตร โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมบางๆ หุ้มบนลูกกอล์ฟที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และมีความกว้าง 15 เซนติเมตรเป็นอุปกรณ์รองรับอนุภาคยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 1

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ตู้ดูดความชื้น ตู้อบ และเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของบริษัท JEOL รุ่น JSM-6400



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมอนุภาคยางแห้ง: บรรจุน้ำยางที่มีความเข้มข้นตามที่กำหนดลงในหลอดฉีดยาขนาด 25 มิลลิลิตรที่ติดปลายเข็มฉีดยา ต่อขั้วบวก (แคโทด) ของเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเข้ากับปลายเข็มฉีดยา และต่อขั้วลบ (แอโนด) กับแผ่นอลูมิเนียมที่อุปกรณ์รองรับโดยให้ปลายเข็มอยู่ห่างจากแผ่นรองรับตามต้องการ และปรับปริมาณศักย์ไฟฟ้าตามที่กำหนด

3.3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติ: ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคยางแห้งที่ได้จากการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำยาง ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยาง และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ได้แก่ ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับน้ำยางธรรมชาติ และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (ปลายเข็มฉีดยา) กับแผ่นรองรับ

3.3.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ: เตรียมน้ำยางธรรมชาติที่ความเข้มข้นร้อยละ 15, 30, 45 และ 60 โดยน้ำหนักโดยการเจือจางจากน้ำยางธรรมชาติชั้นที่มีความเข้มข้นของน้ำยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนักด้วยน้ำกลั่น นำน้ำยางที่เตรียมได้บรรจุในหลอดชนิดขา ฟันฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ปริมาณศักย์ไฟฟ้า 25,000 โวลต์ ระหว่างระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (ปลายเข็มฉีดยา) กับแผ่นรองรับ 10 เซนติเมตร เวลาในการฟันฝอย 15 นาที

3.3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณศักย์ไฟฟ้า: บรรจุน้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในหลอดชนิดขา ฟันฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้ปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้กับน้ำยางที่ 5,000, 10,000, 15,000, 20,000 และ 25,000 โวลต์ ระหว่างระยะห่างอิเล็กโทรด (ปลายเข็มฉีดยา) กับแผ่นรองรับ 10 เซนติเมตร เวลาในการฟันฝอย 15 นาที

3.3.2.3 การศึกษาผลของระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับ: บรรจุน้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในหลอดชนิดขา ฟันฝอยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้ปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้กับน้ำยางที่ 25,000 โวลต์ ปรับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (ปลายเข็มฉีดยา) กับแผ่นรองรับที่ 10, 15, 20 และ 25 เซนติเมตร เวลาในการฟันฝอย 15 นาที

3.3.3 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติ: นำแผ่นรองรับที่มีอนุภาคยางธรรมชาติจากการฟันฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแล้วนำภาพถ่ายของอนุภาคยางธรรมชาติที่ได้มาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้โปรแกรม SEMAFORE โปรแกรมนี้จะช่วยในการคำนวณขนาดของอนุภาคโดยการกำหนดขอบเขตของอนุภาคที่ต้องการทราบขนาดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับความยาวมาตรฐานที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (pre-calibrated scale)

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าในบางสภาวะทำให้เกิดอนุภาคยางที่ฉากรองรับ โดยปรากฏเป็นฝ้าสีขาวบนแผ่นรองรับ แสดงในรูปที่ 2 แต่ในบางสภาวะไม่สามารถทำให้เกิดอนุภาคยางที่ฉากรองรับดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 อนุภาคยางที่ปรากฏบนแผ่นรองรับ

ตารางที่ 1 สภาวะที่ทำให้เกิดอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ

ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (โวลต์)															
	10,000				15,000				20,000				25,000			
	ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)			
	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
15	-	-	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	/	-	-	-

ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (โวลต์)															
	10,000				15,000				20,000				25,000			
	ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)			
	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
30	-	-	-	-	/	/	-	-	/	/	/	-	/	/	/	-
45	/	-	-	-	/	/	-	-	/	/	/	-	/	/	/	-
60	/	/	-	-	/	/	-	-	/	/	/	-	/	/	/	/

- หมายเหตุ 1. - = ไม่ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ
2. / = ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ
3. ที่ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน 5,000 โวลต์ ไม่ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับที่ทุกความเข้มข้นของน้ำยาง

4.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำยาง: ที่ศักย์ไฟฟ้าและระยะระหว่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับอนุภาคยางเท่าเดิม เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางต่ำๆ จะไม่เกิดอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ น้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นหยดขนาดใหญ่ แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางมากขึ้น พบว่าเกิดอนุภาคยางแห้งบนแผ่นรองรับมากขึ้น น้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดมีลักษณะเรียวยาวและมีตะกองฝอยของน้ำยางพุ่งเข้าหาแผ่นรองรับและปรากฏฝ้าสีขาวของอนุภาคยางเกิดขึ้นที่แผ่นรองรับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นของน้ำยางต่ำๆ ปริมาณอนุภาคยางมีน้อยและองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำทำให้ประจุไม่มากพอที่จะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุในน้ำยางกับแผ่นรองรับ ทำให้น้ำยางไม่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นรองรับ แต่เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางสูงขึ้นปริมาณอนุภาคยางในน้ำยางมีมากขึ้นทำให้มีการสะสมประจุไฟฟ้ามากขึ้นทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุในน้ำยางกับแผ่นรองรับมากขึ้นจึงปรากฏกรวยของเทย์เลอร์ (Taylor's cone) (Cross, 1987, Michelson, 1990) และมีอนุภาคยางเกาะบนฉากรองรับ

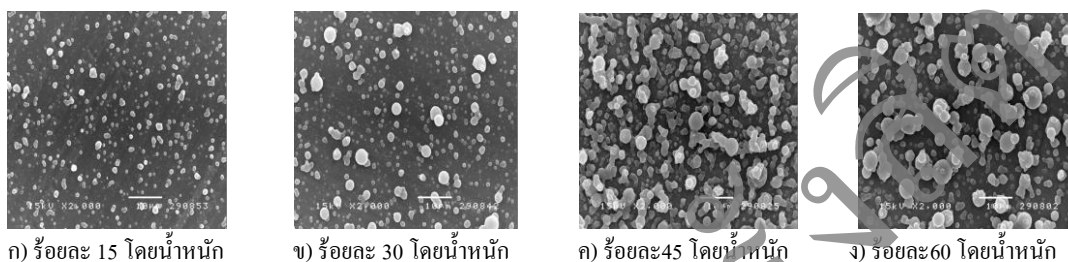
ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคยางที่เตรียมได้พบว่ามีขนาดตั้งแต่ 153 นาโนเมตร จนถึง 7,110 นาโนเมตร โดยมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคยางตั้งแต่ 612 ถึง 1,599 นาโนเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดอนุภาคยางแห้งเฉลี่ย (เป็นนาโนเมตร) ที่สภาวะที่ทำให้เกิดอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ

ความเข้มข้น (%)	ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (โวลต์)															
	10,000				15,000				20,000				25,000			
	ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)				ระยะทาง(เซนติเมตร)			
	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
15	-	-	-	-	-	-	-	-	648	-	-	-	731	-	-	-
30	-	-	-	-	708	612	-	-	754	741	705	-	834	813	731	-
45	705	-	-	-	779	821	-	-	879	851	772	-	1035	1024	837	-
60	1310	1069	-	-	1349	1173	-	-	1545	1261	814	-	1599	1369	1258	912

- หมายเหตุ 1. - = ไม่ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ
2. ที่ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน 5,000 โวลต์ ไม่ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับที่ทุกความเข้มข้นของน้ำยาง

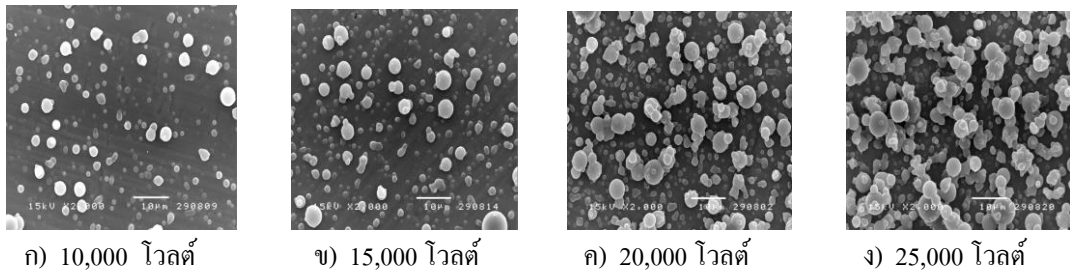
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำยางเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคยางที่ได้มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ปนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจาก ที่ความเข้มข้นของน้ำยางค่าน้ำยางมีน้ำเป็นส่วนใหญ่จะระเหยออกไปเมื่อระเหยขนาดเล็กลงของน้ำยางเดินทางไปถึงแผ่นรองรับอนุภาคน้ำยางที่ได้จึงมีขนาดเล็กกว่าน้ำยางที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำยางจึงน้อยกว่าขนาดของละอองน้ำยางเมื่อเดินทางไปถึงแผ่นรองรับจึงมีขนาดใหญ่กว่า ดังแสดงในรูปที่ 3.



รูปที่ 3 ขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติที่ได้จากการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้ากััดความเข้มข้นของน้ำยางต่างๆ (ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน 25,000 โวลต์ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับ 10 เซนติเมตร กำลังขยาย 2,000 เท่า)

4.2 ผลของปริมาณศักย์ไฟฟ้า: ที่ความเข้มข้นของน้ำยางและระยะระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับคงเดิม เมื่อป้อนปริมาณศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ ให้กับน้ำยาง พบว่าน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นหยดขนาดใหญ่และไม่ปรากฏอนุภาคยางบนแผ่นรองรับ แต่ที่ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนสูงขึ้น น้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดมีลักษณะเรียวยาวพร้อมมีละอองฝอยของน้ำยางพุ่งเข้าหาแผ่นรองรับและปรากฏฝัาสีขาวของอนุภาคยางเกิดขึ้นที่แผ่นรองรับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากที่ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนกับน้ำยางต่ำๆ ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในน้ำยางและประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับ ทำให้น้ำยางไม่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นรองรับ แต่เมื่อปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนกับน้ำยางเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับ จึงปรากฏกรวยของเทย์เลอร์ (Taylor's cone) และมีอนุภาคยางเกาะบนแผ่นรองรับ

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับน้ำยางเพิ่มสูงขึ้นขนาดอนุภาคยางที่ได้มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ปนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากที่ศักย์ไฟฟ้าสูงมากจะทำให้เกิดแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าในน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันละอองน้ำยางก็จะมีประจุไฟฟ้าสะสมเพิ่มมากขึ้นดังนั้นขณะละอองน้ำยางซึ่งมีประจุสะสมอยู่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นรองรับ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในละอองน้ำยางไม่สูงมาก ละอองน้ำยางขนาดเล็กจึงเคลื่อนที่ไปยังแผ่นรองรับได้มากกว่าละอองน้ำยางขนาดใหญ่ แต่เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทำให้แรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในละอองน้ำยางกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับมากขึ้น ละอองยางจึงเคลื่อนที่ไปยังแผ่นรองรับเร็วขึ้นทำให้ละอองน้ำยางขนาดใหญ่เดินทางเข้าหาแผ่นรองรับได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



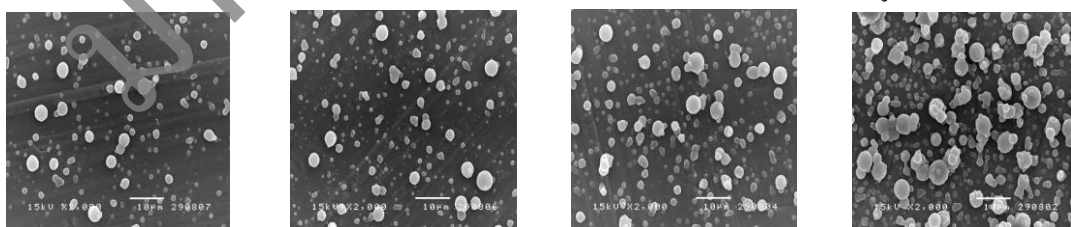
ก) 10,000 โวลต์ ข) 15,000 โวลต์ ค) 20,000 โวลต์ ง) 25,000 โวลต์

รูปที่ 4 ขนาดของอนุภาคของธรรมชาติที่ได้จากการฟลอสด้วยไฟฟ้าสถิตที่ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนต่างๆ

(ความเข้มข้นของน้ำยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับ 10 เซนติเมตร กำลังขยาย 2,000 เท่า)

4.3 ผลของระยะระหว่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับ: ที่ความเข้มข้นของน้ำยางและศักย์ไฟฟ้าคงเดิม เมื่อระยะระหว่างอิเล็กโทรดถึงแผ่นรองรับมีระยะห่างมากขึ้น น้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดยังคงมีลักษณะเป็นหยดขนาดใหญ่และไม่ปรากฏอนุภาคของบนแผ่นรองรับ แต่เมื่อให้ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับลดลง น้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดมีลักษณะเรียวยาวพร้อมมีละอองฝอยของน้ำยางพุ่งเข้าหาแผ่นรองรับและปรากฏฝัสน้ำของอนุภาคของเกิดขึ้นที่แผ่นรองรับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากที่ระยะระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับห่างกันมากแม้มีปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนสูงและความเข้มข้นของน้ำยางสูงแต่อาจยังไม่เพียงพอที่จะทำให้แรงดึงดูดระหว่างประจุในน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับทำให้ไม่มีน้ำยางเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นรองรับ แต่เมื่อระยะระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับลดลงแม้ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนและค่าความเข้มข้นของน้ำยางเท่าเดิมก็เพียงพอที่จะทำให้แรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในน้ำยางมีมากขึ้นและมากพอที่จะทำให้เกิดแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าในน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับ จึงปรากฏกรวยของเทย์เลอร์ (Taylor's cone) และมีอนุภาคของเกาะบนฉากรองรับ

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับลดลง อนุภาคของที่ได้มีอนุภาคขนาดใหญ่ปนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับลดลง (แม้ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเท่าเดิม) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าในน้ำยางที่ปลายอิเล็กโทรดกับประจุไฟฟ้าที่แผ่นรองรับเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เกิดละอองน้ำยางขนาดใหญ่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นรองรับได้มากขึ้น จึงมีละอองอนุภาคของที่มีขนาดใหญ่ที่แผ่นรองรับมากกว่าน้ำยางที่มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.



ก) 25 เซนติเมตร ข) 20 เซนติเมตร ค) 15 เซนติเมตร ง) 10 เซนติเมตร

รูปที่ 5 ขนาดของอนุภาคของธรรมชาติที่ได้จากการฟลอสด้วยไฟฟ้าสถิตที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับแผ่นรองรับต่างๆ

(ความเข้มข้นของน้ำยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน 25,000 โวลต์ กำลังขยาย 2,000 เท่า)

5. การอภิปรายผล

อนุภาคของธรรมชาติแห่งที่เตรียมโดยเทคนิคไฟฟ้าสถิตมีขนาดโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 612 นาโนเมตรถึง 1,599 นาโนเมตรซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับผลการศึกษาก่อนของ Wang และคณะ (Wang *et al.*, 2006) ที่ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคของธรรมชาติที่มีการเติมคาร์บอนนาโนทิวป์ซึ่งเตรียมโดยวิธีทำให้แห้งด้วยวิธีพ่นฝอยน้ำยางที่ผสมสารดังกล่าวและสารเคมีอื่นที่เกี่ยวข้องในน้ำยางแล้วพ่นฝอยใน spray dryer พบว่าอนุภาคที่ได้มีลักษณะกลมมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน (5,000 นาโนเมตร) และผลการศึกษาก่อนของ Zhou และคณะ (Zhou *et al.*, 2007) ที่ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคของ styrene-butadiene ที่มีการเติมผงคาร์บอนและคาร์บอนนาโนทิวป์ซึ่งเตรียมโดยวิธีทำให้แห้งด้วยวิธีพ่นฝอยน้ำยางที่ผสมสารดังกล่าวและสารเคมีอื่นที่เกี่ยวข้องในน้ำยางแล้วพ่นฝอยใน spray dryer พบว่าอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนเช่นเดียวกัน เนื่องจากการพ่นฝอยด้วยวิธีทั่วไปที่ใช้ความดันของเหลวเองหรือการพ่นฝอยโดยใช้อากาศเป็นตัวสร้างความดันโดยผ่านรูเปิดขนาดเล็กทำให้เกิดเป็นละอองฝอยแต่ก็ยังคงมีขนาดใหญ่ สำหรับการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดละอองของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่าโดยให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงทำให้ประจุไฟฟ้าจำนวนมากสะสมในของเหลวมากจนไม่เสถียร เมื่อของเหลวมาถึงปลายเข็มซึ่งของเหลวนั้นสะสมประจุจนถึงจุดที่ไม่สามารถสะสมประจุไว้ได้ ของเหลวก็จะกระจายออกจากกันเกิดเป็นละอองของหยดของของเหลวที่มีขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งยังคงมีประจุจำนวนมากอยู่) จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าอีกขั้วหนึ่งที่มีประจุตรงข้าม ในขณะที่เคลื่อนที่ของเหลวบางส่วนระเหยออกไปทำให้ระยะระหว่างประจุในละอองของเหลวมีขนาดเล็กลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าละอองนี้ยังไม่สามารถไปถึงขั้วไฟฟ้าอีกขั้วหนึ่งเพื่อถ่ายเทประจุละอองของของเหลวเหล่านั้นจะกระจายตัวอย่างรุนแรงอีกครั้งทำให้เกิดละอองที่มีขนาดเล็กลงอีก และที่ปลายของของเหลวรูปกรวยจะเปลี่ยนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากซึ่งยังคงไม่เสถียรเนื่องจากละอองของเหลวมีประจุที่เหมือนกันทำให้ผลักกันและกระจายตัวอย่างรุนแรงอีกครั้งดังแสดงใน (Cross, 1987, Michelson, 1990) นอกจากนี้หากต้องการทำให้ละอองของเหลวที่ได้จากการพ่นฝอยด้วยวิธีทั่วไปให้แห้งยังต้องอาศัยความร้อนเพื่อทำให้ตัวทำละลายระเหยแยกตัวออกไปซึ่งโดยทั่วไปมักใช้ลมร้อนเป่าสวนทาง เช่น การพ่นฝอยใน spray dry ในขณะที่การพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตแทบไม่ต้องใช้อากาศร้อนในการทำให้แห้ง เนื่องจากละอองที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสูงมากทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปในขณะที่ละอองของเหลวเคลื่อนที่สู่แผ่นรองรับ

การเตรียมอนุภาคของแห้งโดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำแห้งจากน้ำยางธรรมชาติ จะทำให้สามารถลดการใช้สารเคมีและขั้นตอนการผลิตได้ สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคขนาดเล็กคือใช้ความเข้มข้นน้ำยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนักเนื่องจากเป็นน้ำยางที่มีขายในท้องตลาดอีกทั้งเป็นการลดปริมาณน้ำยางในการผลิต ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้อิเล็กโทรดที่เหมาะสมคือ 20,000-25,000 โวลต์ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เกิดอนุภาคของแห้งที่กรองรับและระยะระหว่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับ 10 เซนติเมตรทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของแห้งกับฉากรองรับมากพอให้อนุภาคของแห้งเคลื่อนที่มายังฉากรองรับ

6. บทสรุป

ผลการวิจัยนี้แสดงถึงศักยภาพของการเตรียมอนุภาคของแห้งโดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคของแห้งได้โดยการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคของแห้งโดยใช้เทคนิคการพ่น

ผอมด้วยไฟฟ้าสถิต ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำยาง ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับน้ำยาง และระยะห่างระหว่างปลายอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับอนุภาคยาง ผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุภาคยางขนาดเล็กคือใช้ความเข้มข้นน้ำยางร้อยละ 60 โดยน้ำหนักเนื่องจากเป็นน้ำยางที่มีขายในท้องตลาดอีกทั้งเป็นการลดปริมาณน้ำยางในการผลิต ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้อิเล็กโทรดที่เหมาะสมคือ 20,000-25,000 โวลต์ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เกิดอนุภาคยางที่ฉากรองรับและระยะระหว่างอิเล็กโทรดถึงฉากรองรับ 10 เซนติเมตรทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคยางกับฉากรองรับมากพอให้อนุภาคยางเคลื่อนที่มายังฉากรองรับ อนุภาคยางแห้งที่ได้แม้ว่าจะมีขนาดเล็กมากและมีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวแต่ยังคงจับตัวกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยรามคำแหงโดยสำนักวิจัยและพัฒนา และการสนับสนุนด้านเครื่องมือที่เกี่ยวข้องจากภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

8. เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห. (2550). ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ. ศูนย์เทคโนโลยียางและวัสดุแห่งชาติ.
- วารารักษ์ ขจรไชยสกุล. (2549). ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโนดีไซน์.
- Blow, C.M., & Hepburn, C. (1977). *Rubber technology and Manufacture* (2nd ed.). Butterworths.
- Cross, J. (1987). *Electrostatics: Principles, Problems and Applications*. Adam Hilger, Bristol.
- Dick, J.H. (2001). *Rubber Technology Compounding and Testing for Performance*. Hanser Publishers, Munich.
- Michelson, D. (1990). *Electrostatic Atomization*. Adam Hilger, Bristol.
- Roberts, A. D. (1988). *Natural Rubber Science and Technology*. Oxford University Press.
- Wang, J. D., Zhu, Y. F., Zhou, X. W., Sui, G., & Liang, J. (2006). Preparation and mechanical properties of natural rubber powder modified by carbon nanotubes. *Journal of Applied Polymer Science* 100: 4697-4702
- Webster, C.C. Baulkwill, & W., J. (1989). *Rubber*. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.
- Zhou, W., Zhu, Y.F., & Ling, J. (2007). Preparation and properties of powder styrene-butadiene rubber composites filled with carbon black and carbon nanotubes. *Material Research Bulletin* 42: 456-464.