

# การเพิ่มความชอบน้ำของผงไหมเซริซินโดยใช้ลำพลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ

## Increasing Wettability of Sericin Silk Powder using Jet on Atmospheric Pressure Plasma

### Jet Treatment

อาทิษฐ์ ฉิ่งสูงเนิน<sup>1</sup>, พิษณุ พูลเจริญศิลป์<sup>2</sup>, วลัยยา สุทธิขำ<sup>3</sup>

Artit Chingsungnoen<sup>1</sup>, Phitsanu Poolcharuansin<sup>2</sup>, Vallaya Suthikhum<sup>3</sup>

Received: 29 August 2015; Accepted: 4 November 2015

#### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงผิวผงไหมเซริซินโดยใช้พลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ ในขั้นตอนการจุดพลาสมาได้ใช้อัตราการไหลของแก๊ส Ar/O<sub>2</sub> เท่ากับ 1.6 slm/0.02 slm และใช้ความถี่ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเท่ากับ 76.7 กิโลเฮิร์ตซ์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านบวกและลบขณะเกิดพลาสมา เท่ากับ 140 มิลลิแอมแปร์ ที่กำลังไฟฟ้า 5.31 วัตต์ ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้นของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว เท่ากับ 75.7 องศา เมื่อผ่านการปรับปรุงผิวมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้นลดลงอยู่ที่ 60 ถึง 70 องศา เวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวเท่ากับ 29 วินาที ขณะที่เวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีค่าลดลงเหลือเพียง 5 ถึง 7 วินาที ซึ่งหมายถึงการปรับปรุงผิวผงไหมด้วยการอาบลำพลาสมาเจ็ตทำให้ผงไหมเปียกน้ำดีขึ้น ซึ่งหมายถึงผงไหมมีสมบัติดูดความชื้นและเก็บน้ำได้มากขึ้น ผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยลำพลาสมา และถูกทิ้งไว้เป็นเวลานานยังคงมีความชอบน้ำเช่นเดิม นั้นแสดงว่ามีการยึดติดที่ดีของหมู่เรดิคัลจากพลาสมาที่เพิ่มพลังงานเชิงผิวของผงไหม ผลจากภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าลำพลาสมาเจ็ตไม่ได้ไปทำลายโครงสร้างทางกายภาพของผงไหม

**คำสำคัญ:** พลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ ผงไหม การปรับปรุงผิวโดยใช้พลาสมา ความสามารถในการเปียกน้ำ

#### Abstract

In this research, the surface of sericin silk powder was treated using an atmospheric pressure plasma jet (APPJ). The plasma was generated with an argon and oxygen flow rate of 1.6 slm and 0.02 slm respectively. A stable discharge occurs at the RF frequency of 76.7 kHz, the plasma current of 140 mA and the RF power of 5.31 W. The silk powder before treatment had an initial water contact angle of 75.7° and the absorption time of 29 s. After treatment the initial water contact angle decreased to 60°-70° and the absorption time also dramatically decreased to 5-7 s. This result shows that the plasma can increase the hydrophilic property of silk powder. Moreover we found that the absorption time of silk powder has no change after exposure in the ambient air. This indicates that the active radicals from the plasma can be adhered tightly on the silk surface. Result from the SEM image of silk powder before and after treatment shows that the physical structure of silk powder was not destroyed by the plasma beam.

**Keywords:** atmospheric pressure plasma jet (APPJ), silk powder, plasma surface modification, wettability

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, <sup>2</sup>อาจารย์ประจำ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีพลาสมา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Asst. Prof., <sup>2</sup>Lecturer, Technological Plasma Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150 Thailand.

<sup>3</sup> Assoc. Prof., Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150 Thailand.

\* Corresponding author; Artit Chingsungnoen, Technological Plasma Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150 Thailand. artit.ching@gmail.com

## บทนำ

พลาสมาเจ็ต คือ พลาสมาที่เกิดจากแก๊สถูกบีบให้ไหลผ่านหัวไฟฟ้าปลายแหลมซึ่งเป็นบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและความถี่สูง แก๊สจะเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาและถูกผลักออกมาตามแรงดันแก๊สจากแหล่งจ่าย จึงเกิดเป็นลำพลาสมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร พุ่งออกมาเรียกว่า พลาสมาเจ็ต<sup>1-3</sup> ถ้าสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าจากพลาสมาให้อยู่ในระดับมิลลิแอมแปร์ จะสามารถควบคุมอุณหภูมิของพลาสมาให้ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส เราเรียกพลาสมาชนิดนี้ว่า พลาสมาเย็น (cold plasma)<sup>4</sup> ที่สามารถทำงานได้ที่ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure plasma jet, APPJ) เนื่องจากพลาสมาชนิดนี้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง จึงสามารถนำลำของพลาสมาที่พุ่งออกมาไปใช้ในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุ (plasma surface modification) ได้หลายชนิด เนื่องจากการปรับปรุงเฉพาะระดับผิวไม่กระทบต่อสมบัติภายในของวัสดุนั้นๆ จึงสามารถประยุกต์ใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เช่น การเปลี่ยนแปลงผิวของเส้นใยให้ผ้าชอบน้ำ (hydrophilic) หรือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือทำให้เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพลาสมาสามารถย้อมติดสีได้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะโปรตีนบนวัสดุชีวภาพ เป็นต้น ในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา การปรับปรุงผิววัสดุโดยใช้พลาสมา (plasma treatment) กำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูก (low cost) สะอาด (clean technology) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ใช้สารเคมี<sup>6-8</sup>

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อนำเอาวัสดุเหลือใช้จากไหม เช่น เศษเส้นไหม ที่เกิดขึ้นระหว่างการสาวไหม หรือรังไหมที่ตัดแล้วมาพัฒนาเป็นผงไหม (silk powder)<sup>9-12</sup> ซึ่งเป็นโปรตีนธรรมชาติประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 18 ชนิด แล้วนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ใช้ทำเครื่องสำอาง อาหาร และเป็นวัสดุทางการแพทย์ สำหรับประเทศไทยมีเศษไหมเหลือทิ้งปีละประมาณ 300 ตัน สิ่งเหลือทิ้งนี้หากนำมาเพิ่มมูลค่าโดยเปลี่ยนเป็นผงไหมจะมีมูลค่าสูงถึง 1,800 ล้านบาท ผงไหมพันธุ์ไทยที่ผลิตได้มี 2 ชนิด คือ ผงไหมเซริซิน (sericin) เป็นผงไหมสีเหลืองที่สกัดจากกาวไหม มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ขจัดเซลล์ผิว มีสมบัติดูดความชื้นและเก็บน้ำได้ดี จึงเหมาะแก่การผลิตเครื่องสำอาง เช่น แป้งฝุ่น เป็นต้น และผงไหมไฟโบรอิน (fibroin) เป็นผงไหมสีขาวที่สกัดจากเส้นไหม ส่วนใหญ่ใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากไม่ทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนแปลง

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลาสมาปรับปรุงผิวผงไหมเซริซินให้มีความชอบน้ำมากขึ้น<sup>13</sup> ซึ่งจะทำให้ผงไหมมีสมบัติในการดูดความชื้นและเก็บน้ำได้ดีมากขึ้นโดยใช้เทคนิคการอาบลำพลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ เพื่อการประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องสำอางต่อไป

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การปรับปรุงผิวผงไหมทำได้โดยนำผงไหมที่ผ่านการลดขนาดมาโรยบนกระจกสไลด์ที่มีเทปกาวสองหน้าแบบบางติดอยู่และเกลี่ยให้ผงไหมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นทำการติดตั้งระบบพลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ ดังแสดงใน (Figure 1) โดยจะต้องทดสอบการทำงานของหัวกำเนิดลำพลาสมาเจ็ตให้สามารถจุดพลาสมาติดที่ความดันบรรยากาศได้อย่างเสถียร ซึ่งทำได้โดยการปรับอัตราการไหลของแก๊สเข้าซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แก๊สอาร์กอนที่อัตราการไหล 1.6 slm (standard liter per minute) ผสมแก๊สออกซิเจน ที่อัตราการไหล 0.02 slm ซึ่งต่อไปนี้จะเขียนสั้น ๆ ว่าใช้อัตราการไหลของ Ar/O<sub>2</sub> เท่ากับ 1.6/0.02 เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสม จะสังเกตเห็นลำพลาสมาพุ่งออกมาจากปลายหัวฉีด (nozzle) อย่างสม่ำเสมอ จากนั้นปรับระดับกระจกสไลด์ที่มีผงไหมติดอยู่ให้ต่ำกว่าปลายหัวฉีดประมาณ 1 เซนติเมตร จึงทำการปรับปรุงผิวโดยการอาบพลาสมา (plasma exposure) เป็นเวลาต่างๆ กัน ในช่วง 15 ถึง 75 วินาที และทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ กัน คือ 4 ชั่วโมง 1 วัน 2 วัน 3 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ ในขั้นตอนสุดท้ายได้นำผงไหมที่ผ่านการอาบพลาสมาไปวิเคราะห์ความชอบน้ำ โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

## ผลการวิจัย

**กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะจุดพลาสมา**  
เนื่องจากความถี่ในการจุดพลาสมาเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อพฤติกรรมของอิเล็กตรอนและไอออนในพลาสมา โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความถี่ในการจุดพลาสมาในช่วง 50 ถึง 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งความถี่ในช่วงนี้สามารถกระตุ้นให้แก๊สแตกตัวเป็นพลาสมาตามการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามที่ตัวแปรต่างๆกัน เช่น ความดันสัดส่วนของแก๊สผสม และระยะห่างระหว่างหัวไฟฟ้า จะมีความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้พลาสมามีการแตกตัวได้มากที่สุด (Figure 2) แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า V(t) และสัญญาณกระแสไฟฟ้า I(t) ของหัวกำเนิดพลาสมาเจ็ต ขณะดำเนินการที่ระดับความดันหนึ่งบรรยากาศ และ สัดส่วนอัตราไหล Ar/O<sub>2</sub> เท่ากับ 1.6/0.02 จะพบว่ากราฟ V(t) ไม่ได้เป็นรูปไซน์แบบ

สมบรูณ์ คือกราฟมีความไม่สมมาตรระหว่างช่วงเวลาที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของพลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ โดยช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นถึงแรงดันเบรกดาวน์ (breakdown voltage)<sup>14</sup> จะเป็นช่วงที่แก๊สแตกตัวเป็นพลาสมา จาก (Figure 2) สามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดด้านบวกและลบ ( $V_{p-p}$ ) ได้เท่ากับ 881 โวลต์ และคาบเวลา ( $T$ ) เท่ากับ 13.04 ไมโครวินาที ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเท่ากับ 76.7 กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะที่แกนตั้งทางด้านขวามือแสดงลักษณะกราฟ  $I(t)$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีความไม่ต่อเนื่อง

เนื่องจากการดิสรจาร์จที่ไม่สม่ำเสมอของหัวพลาสมาเจ็ต โดยสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านบวกและลบ ( $I_{p-p}$ ) ขณะเกิดพลาสมา ได้เท่ากับ 140 มิลลิแอมแปร์ ขณะที่เกิดการดิสรจาร์จ กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในวงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เช่น สูญเสียไปกับความร้อนที่เกิดกับแกนของหม้อแปลงและตัวต้านทานต่างๆ รวมถึงความร้อนที่เกิดกับหัวพลาสมาเจ็ตเอง (Figure 3) แสดงสัญญาณกำลังไฟฟ้า  $P(t)$  ซึ่งได้จากผลคูณระหว่างสัญญาณ  $V(t)$  และสัญญาณ  $I(t)$  ในหนึ่งคาบเวลา ( $T$ ) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้จุดพลาสมา ตามสมการที่ 1 มีค่าประมาณ 5.31 วัตต์

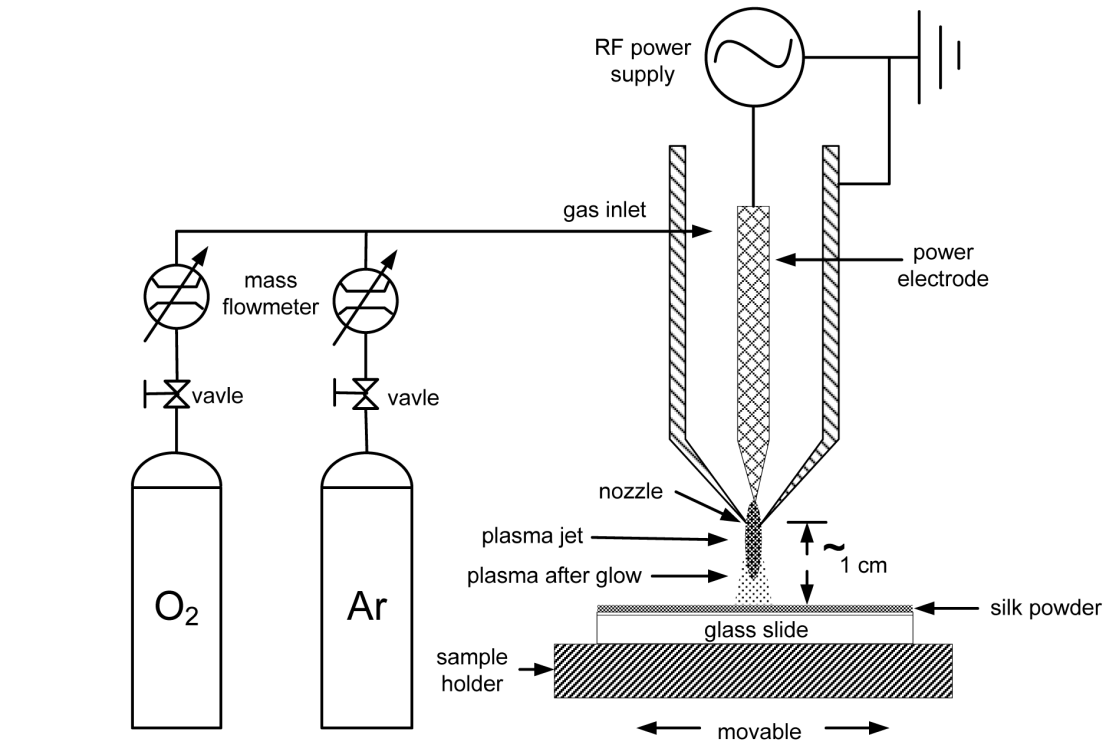


Figure 1 The system for treatment of silk powder using the atmospheric pressure plasma jet

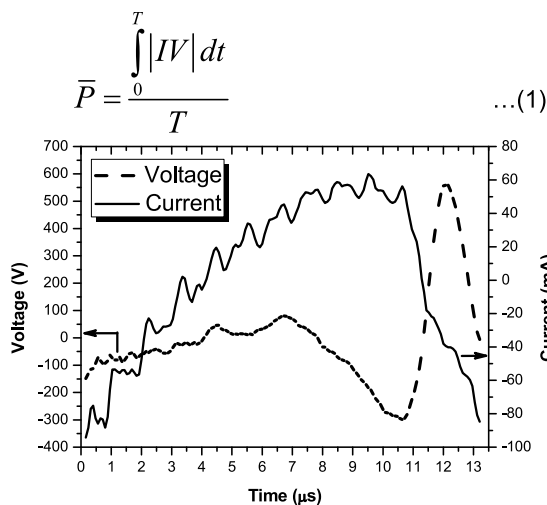


Figure 2 Current-voltage characteristic of the atmospheric pressure plasma jet

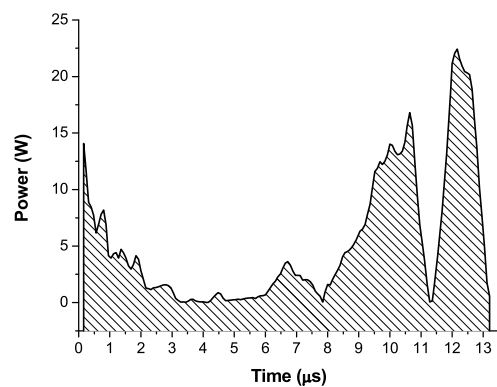


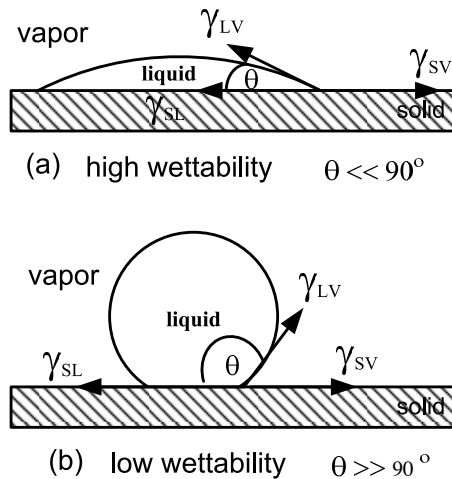
Figure 3 Power consumed by the atmospheric pressure plasma jet

**ผลการวัดความชอบน้ำของผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมา**

ผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยการอบพลาสมาที่เงื่อนไขต่างๆ ได้ถูกนำมาวัดมุมสัมผัส ( $\theta$ ) ของหยดน้ำโดยใช้เครื่อง optical contact angle (OCA, รุ่น FTA1000 Drop Shape Instrument B Frame System) ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเปียกน้ำ (water wettability) ซึ่งตามสมการของยัง (Young's equation)<sup>15,16</sup> ค่ามุมสัมผัสถูกนิยามตามสมการที่ 2 ซึ่งเกิดจากสมดุลของแรงสามแรง คือ แรงตึงผิวของของแข็งกับของเหลว ( $\gamma_{SL}$ ) แรงตึงผิวของของแข็งกับอากาศ ( $\gamma_{SV}$ ) และแรงตึงผิวระหว่างของเหลวกับอากาศ ( $\gamma_{LV}$ )

$$\gamma_{SL} - \gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} \quad \dots(2)$$

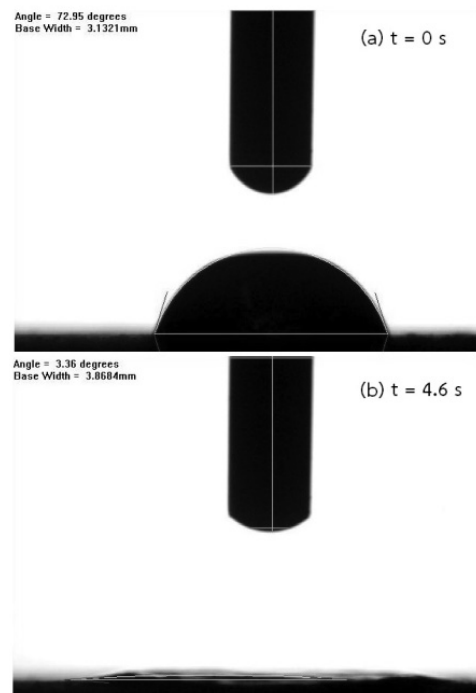
พื้นผิวที่มีความสามารถในการเปียกสูง (high wettability) จะมีค่ามุมสัมผัส  $\theta \ll 90^\circ$  ขณะที่พื้นผิวที่มีความสามารถในการเปียกต่ำ (low wettability) จะมีค่ามุมสัมผัส  $\theta \gg 90^\circ$  ดังแสดงใน Figure 4



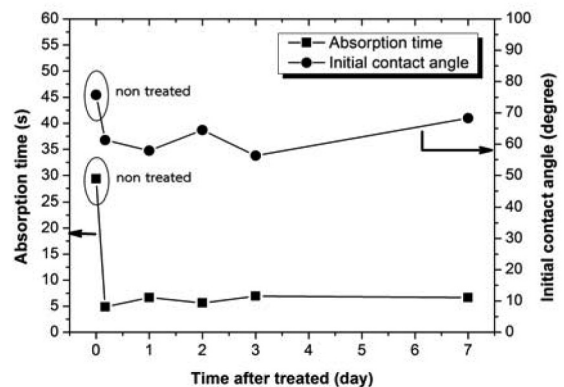
**Figure 4** Schematic diagram represent water droplet shape on surface (a) high wettability and (b) low wettability<sup>17</sup>

ในกรณีของการหยดน้ำลงบนผิวชิ้นงานที่เป็นผง ค่ามุมสัมผัสจะไม่คงที่ เนื่องจากหยดน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดผง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้น (initial contact angle) และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กันระหว่างการซึมผ่าน จนกระทั่งมุมสัมผัสของหยดน้ำคงที่ ซึ่งเป็นช่วงที่หยดน้ำได้ซึมเข้าไปในผงไหมอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงตาม (Figure 5) แสดง

ลักษณะของหยดน้ำบนผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยลาพลาสมาเจ็ตที่อัตราการไหล Ar/O<sub>2</sub> เท่ากับ 1.6/0.02 เป็นเวลา 15 วินาที (Figure 5(a)) แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่เวลาเริ่มต้น t = 0 วินาที (Figure 5(b)) แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเมื่อเวลาผ่านไป t = 4.6 วินาที จะเห็นว่าค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงจากตอนเริ่มต้น คือ 72.95 องศา ลดลงเหลือ 3.36 องศาเมื่อเวลาผ่านไป 4.6 วินาที และหลังจากนี้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจะคงที่ต่อไป ดังนั้นจึงถือว่าที่เงื่อนไขการปรับปรุงผิวผงไหมนี้ทำให้ผงไหมมีเวลาการดูดซับน้ำ (absorption time) เท่ากับ 4.6 วินาที



**Figure 5** shows the water droplet shape on sericin silk powder after treatment using the Ar/O<sub>2</sub> plasma jet with the exposure time of 15 s (a) at an initial contact and (b) after 4.6 s



**Figure 6** Absorption time and initial contact angle of water droplet on sericin silk powder after treated

(Figure 6) แสดงความสัมพันธ์ของค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้นและเวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมาเจ็ตที่อัตราการใช้  $Ar/O_2$  เท่ากับ 1.6/0.02 เป็นเวลา 45 วินาที และถูกทิ้งไว้ให้สัมผัสกับบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ กัน คือ 4 ชั่วโมง 1 วัน 2 วัน 3 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว (non-treated) เมื่อนำมาวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้น ได้เท่ากับ 75.7 องศา ขณะที่ผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้นอยู่ในช่วง 60 ถึง 70 องศา ซึ่งถือว่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมาและถูกทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง เวลาการดูดซับน้ำมีค่าลดลงจาก 29 วินาที (non treated) เหลือประมาณ 5 วินาที และเมื่อผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวถูกทิ้งไว้เวลานานขึ้นถึง 1 2 3 และ 7 วัน เวลาการดูดซับน้ำของผงไหมมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นั่นแสดงว่าผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยพลาสมาและถูกทิ้งไว้เป็นเวลานานยังคงมีความชอบน้ำมากขึ้นเช่นเดิม

(Figure 7) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมาที่เวลา (treatment time) ต่างๆ กัน เวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวซึ่งเท่ากับ 29 วินาที และเวลาการดูดซับน้ำของผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่เวลา 15 วินาที มีค่าลดลงเหลือเพียง 5 วินาที เท่านั้น และเมื่อเพิ่มเวลาการอบพลาสมามากขึ้นถึง 75 วินาที ค่าเวลาการดูดซับน้ำของผงไหมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก คือมีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 5 วินาที ซึ่งแสดงว่าการปรับปรุงผิวผงไหมด้วยการอบพลาสมาเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็สามารถทำให้ผงไหมดูดซับน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากสถานะพลาสมา ประกอบไปด้วยอนุภาคหลายชนิด เช่น ไอออน อิเล็กตรอน อะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และเรดิคัล (radicals) ซึ่งธรรมชาติของเรดิคัลที่เกิดจากการจุดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อนำผิววัสดุเข้าใกล้ลำพลาสมาจึงมีโอกาสที่เรดิคัลกับอะตอมที่พื้นผิวของสารจะเกิดอันตรกิริยากันซึ่งกันและกัน (plasma surface interactions)<sup>18-20</sup> การยึดติดของเรดิคัลที่ผิวของผงไหมจะทำให้พลังงานเชิงผิว (surface energy) ของผงไหมเปลี่ยนไป เช่น การสร้างหมู่เรดิคัลในกลุ่มคาร์บอนิล (-C=O) คาร์บอกซิล (-COOH) ไฮดรอกซิล (-OH) และเอมีน (-N-) จะเพิ่มพลังงานเชิงผิวของผงไหม ซึ่งจะทำให้ผิวของผงไหมมีความชอบน้ำมากขึ้น

(Figure 8 (a)) แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการอบพลาสมา จะพบว่าผงไหมมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดความกว้างของเส้นใย

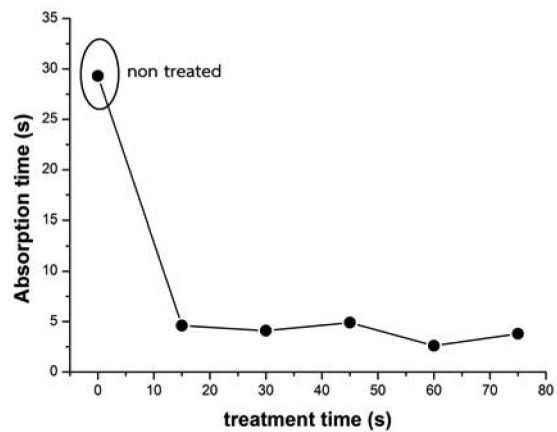


Figure 7 Absorption time of water droplet on sericin silk powder with different treatment time

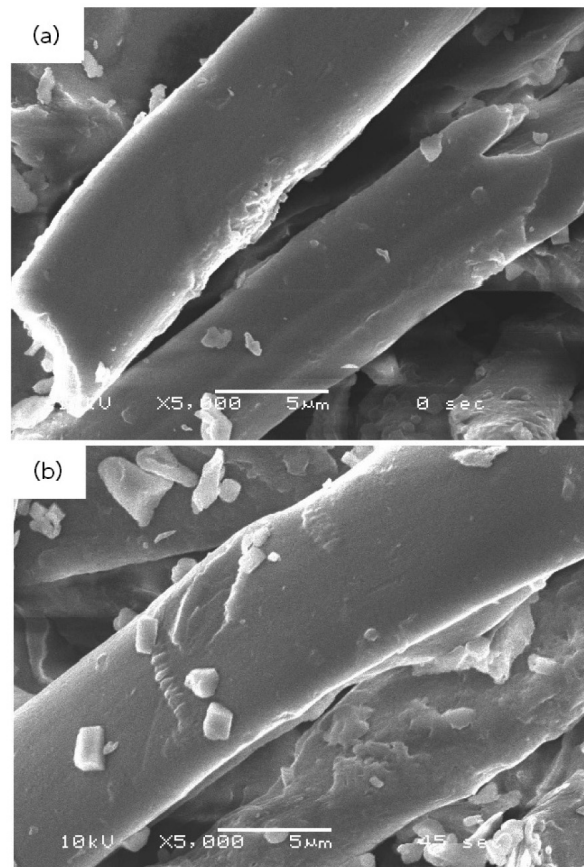


Figure 8 SEM image of sericin silk powder (a) before treatment (b) after treatment using the  $Ar/O_2$  plasma with the exposure time of 45 s

ประมาณ 6 ถึง 8 ไมโครเมตร และมีการฉีกขาดในแนวยาวในขบวนการบดย่อย ขณะที่ (Figure 8 (b)) แสดงภาพถ่าย SEM ของผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมาเจ็ตที่อัตราการใช้ของแก๊ส  $Ar/O_2$  เท่ากับ 1.6/0.02 เป็นเวลา 45 วินาที โดยพบว่าเส้นใยของผงไหมยังคงมีลักษณะเช่นเดิม ซึ่งแสดงว่าลำ

พลาสมาเจ็ตไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างทางกายภาพของผงไหม

### วิจารณ์และสรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงผิวผงไหมโดยใช้พลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศที่อัตราการไหล Ar/O<sub>2</sub> เท่ากับ 1.6/0.02 และใช้ความถี่ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟในการจุดพลาสมาเท่ากับ 76.8 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านบวกและลบ ขณะเกิดพลาสมา เท่ากับ 140 มิลลิแอมแปร์ ที่กำลังไฟฟ้า 5.31 วัตต์ ตัวอย่างของผงไหมที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวมีค่าเวลาการดูดซับน้ำเท่ากับ 29 วินาที ในขณะที่ผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมา จะมีค่าเวลาการดูดซับน้ำลดลงเหลืออยู่ในช่วง 4 ถึง 6 วินาที การอบผงไหมด้วยพลาสมาในช่วงเวลาอย่างน้อย 15 วินาทีทำให้ผงไหมดูดซับน้ำได้เร็วกว่า 6 เท่า ซึ่งจะทำให้ผงไหมมีสมบัติดูดความชื้นและเก็บน้ำได้ดีมากขึ้น นอกจากนี้ผงไหมที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยลำพลาสมา และถูกทิ้งไว้ให้สัมผัสกับบรรยากาศนานถึง 7 วัน ยังคงมีความชอบน้ำเช่นเดิม เนื่องจากการยึดติดที่ดีของหมู่เรซิดิวที่เพิ่มพลังงานเชิงผิวของผงไหม ผลจากภาพถ่าย SEM ของผงไหมที่ผ่านการอบพลาสมาแสดงให้เห็นว่าลำพลาสมาเจ็ตไม่ได้ไปทำลายโครงสร้างทางกายภาพของผงไหม ดังนั้นเทคนิคการปรับปรุงผิวผงไหมโดยการใช้พลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศจึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจที่มีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าของผงไหมเพื่อการผลิตเครื่องสำอางได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการ HERP-NRU ประจำปีงบประมาณ 2558

### เอกสารอ้างอิง

1. Tyata RB, Subedi DP, Shrestha A, Baral D. Development of atmospheric pressure plasma jet in air. Kathmandu university journal of science, engineering and technology 2012;8(12):15-22.
2. Schutze A, Jeong YJ, Babayan ES, Park J, Selwyn SG, Hicks FR. The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources. IEEE Trans Plasma Sci 1998;26(6):1685-94.
3. Nehra V, Kumar A, Dwivedi HK. Atmospheric non-thermal plasma sources. International Journal of Engineering 2008;2(1):1-68.
4. Thiyagarajan M, Sarani A, Gonzales XF. Characterization of an atmospheric pressure plasma jet and its applications for disinfection and cancer treatment. Stud Health Technol Inform 2013;184:443-9.
5. Hoffmann C, Berganza C, Zhang J. Cold atmospheric plasma: methods of production and application in dentistry and oncology. Medical Gas Research 2013;3(21):1-15.
6. Teschke M, Kedzierski J, Finantu-Dinu EG, Korzec D, Engemann J. High speed photographs of a dielectric barrier atmospheric pressure plasma jet. IEEE Trans Plasma Sci 2005;33(2):310-1.
7. Chen G, Chen S, Zhou M, Feng W, Gu W, Yang S. The preliminary discharging characterization of a novel APGD plume and its application in organic contaminant degradation. Plasma Sources Sci Technol 2006;15:603-8.
8. Chu PK, Chen JY, Wang LP, Huang N. Plasma-surface modification of biomaterials. Materials Science and Engineering 2002;R 36:143-206.
9. Mondal M, Trivedy K, Kumar SN. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, Bombyx mori Linn., - a review. Caspian J Env Sci 2007; 5(2): 63-76.
10. ตั้งฤทัย รัตนสุวรรณ. การสังเคราะห์ผงไหมขนาดนาโนเมตรจากรังไหมด้วยเทคนิคสเปย์ไฟโรลีสซิส. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2551.
11. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ถึงเวลา "ผงไหม" ตีตลาดของกิน-ของใช้. Available from: <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9520000048137> Accessed February 10, 2015.
12. Padamwar MN, Pawar AP. Silk sericin and its applications: A review. J SCI IND RES 2004;63:323-9.
13. Chibowski E, Perea-Carpio R. Problems of contact angle and solid surface free energy determination. Advances in Colloid and Interface Science 2002;98: 245-64.
14. Vaithanomsat P, Punyasawon C. Production of water-soluble silk powder from Bombyx mori Linn. (Nang-Noi Srisakate 1). Kasetsart J (Nat Sci) 2006;40:152-8.

15. Yu W, Shouguo W. The research about the time-effect of the wettability on the wool surface treated by the Ar plasma jet in the atmospheric pressure. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2009;267:3137-9.
16. Fang K, Zhang C. Surface physical–morphological and chemical changes leading to performance enhancement of atmospheric pressure plasma treated polyester fabrics for inkjet printing. *Applied Surface Science* 2009;255:7561-7.
17. Yuan Y, Lee RT, Bracco G, Holst B. Contact angle and wetting properties. *Surface Science Techniques*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013.p.1-34.
18. Chaivan P, Pasaja N, Boonyawan D, Suanpoot P, Vilaithong T. Low-temperature plasma treatment for hydrophobicity improvement of silk, *Surf Coatings Technol*, 2005;193:356-60.
19. Noh JH, Baik HK, Noh I, Park J-C, Lee I-S. Surface modification of polytetrafluoroethylene using atmospheric pressure plasma jet for medical application, *Surface & Coatings Technology* 2007;201:5097–101.
20. Thomas M, Mittal KL. *Atmospheric pressure plasma for surface modification: Relevance to adhesion*. Massachusetts, Scrivener Publishing LLC; 2013.