

การลดความสิ้นของกระดาษโดยใช้ดีพีพลาสติกมา



นางสาวอัญชิสรา สุรัตน์ชัยการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reduction of paper smoothness using DBD plasma

Miss Anchisa Suratanachaigarn



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University



อัญชิสา สุรัตน์ชัยการ : การลดความลื่นของกระดาษโดยใช้ดีบีดีพลาสมา (Reduction of paper smoothness using DBD plasma) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, หน้า.

ได้ทำการศึกษาการลดความลื่นของกระดาษโดยใช้ดีบีดีพลาสมา มีตัวแปรหลักในการวิจัย คือ แรงดันไฟฟ้าขนาด 6, 7, 8, 9 และ 10 kV ชนิดของกระดาษ ได้แก่กระดาษปอนด์, กระดาษเคลือบพลาสติก PVC, กระดาษการ์ด และแผ่นใสหรือแผ่นโปร่งใส และเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที และทำการทดสอบความลื่นพื้นผิวของกระดาษด้วยวิธี Slide angle test การพิมพ์ และการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการวิจัยพบว่าการทดสอบด้วย Slide angle test สำหรับกระดาษปอนด์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 8 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด (มีความลื่นน้อยที่สุด) สำหรับกระดาษเคลือบพลาสติก PVC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 kV และเวลา 8 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด สำหรับกระดาษการ์ด ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 4 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด สำหรับแผ่นใสหรือแผ่นโปร่งใส ที่แรงดันไฟฟ้า 6 kV เวลา 10 วินาที และ 7kV เวลา 4 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด ส่วนการทดสอบด้วยวิธีการพิมพ์แบบ Inkjet และ Laser โดยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงระหว่างกระดาษปอนด์ กับกระดาษการ์ด พบว่ามีการกระจายตัวของหมึกมากขึ้นบนกระดาษปอนด์ ด้วยการพิมพ์แบบ Inkjet และการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเห็นการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของกระดาษเคลือบพลาสติก PVC และแผ่นใสได้ชัดเจนกว่ากระดาษปอนด์ กับกระดาษการ์ด เนื่องจากกระดาษเคลือบพลาสติก PVC และแผ่นใสมีส่วนประกอบของพลาสติก ทำให้มีผิวเรียบกว่ากระดาษปอนด์ กับกระดาษการ์ด จึงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5670466221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA

ANCHISA SURATANACHAIGARN: Reduction of paper smoothness using DBD plasma. ADVISOR: ASSOC. PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph.D., pp.

Reduction of paper smoothness using DBD plasma was studied. Main parameters were high voltage (6, 7, 8, 9 and 10 kV), paper type (fine printing paper, PVC-coated paper, card paper and transparency ) and time (2, 4, 6, 8 and 10 seconds). Smoothness of paper was assessed by slide angle test, printing test and scanning electron microscope. Results from the slide angle test revealed the following. For the fine printing paper, the maximum angle (maximum obtained roughness) was obtained at 10 kV and 8 seconds. For the PVC-coated paper, the maximum angle was obtained at 7 kV and 8 seconds. For the card paper, the maximum angle was obtained at 10 kV and 4 seconds. For the transparency, the maximum angle was obtained at 6 kV and 10 seconds and 7 kV and 4 seconds. Inkjet and laser printing test and observation under optical microscope of the fine printing paper and the card paper revealed that the ink smeared out more on the fine printing paper for inkjet printing. Observation under scanning electron microscope found more physical alteration on the surface of the PCV-coated paper and the transparency than the fine printing paper and the card paper. This was because the surface of the PCV-coated paper and the transparency contained plastic, which exhibited smoothness, so changes were observed more clearly.

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบโอกาสในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้คอยดูแล เอาใจใส่ ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และตรวจสอบแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ. สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผศ. สุวิทย์ ปุณณ ชัยยะ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย และ อาจารย์ ดร.พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิช เป็น กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาเข้าร่วมฟังการดำเนินงานวิจัย และช่วยให้คำแนะนำ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยสนับสนุน ผลักดัน และให้ กำลังใจเสมอมา ซึ่งเป็นพลังที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถข้ามผ่านอุปสรรคที่มีมาได้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	10
สารบัญรูปภาพ.....	11
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ.....	14
1.2. วัตถุประสงค์.....	15
1.3. ขอบเขต.....	15
1.4. วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
1.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1. กระดาษ.....	19
2.1.1. ชนิดของกระดาษ.....	19
2.1.2. กระดาษที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมส่วนใหญ่.....	20
2.2. มาตรฐานการทดสอบกระดาษบรรจุภัณฑ์.....	23
2.2.1. คุณสมบัติของกระดาษบรรจุภัณฑ์ [16].....	23
2.2.2. TAPPI standard/ASTM.....	23
2.2.3. Slide angle coefficient of friction test.....	24
2.3. การใช้พลาสติกในการปรับปรุงผิววัสดุ.....	25

2.1.1. พลาสมา.....	25
2.1.2. กระบวนการปรับปรุงด้วยพลาสมา (Plasma treatment process) .....	28
2.4. ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ พลาสมา (Dielectric Barrier Discharge Plasma) .....	29
บทที่ 3 วิธีการวิจัย.....	31
3.1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	31
3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	32
3.3. วิธีดำเนินการวิจัย .....	35
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	39
4.1. ผลการตรวจสอบด้วยวิธี Slide angle test.....	39
4.2. ผลทดสอบการพิมพ์.....	50
4.2.1. การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet.....	50
4.2.2. การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser .....	52
4.3. ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	54
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1. อภิปรายผลการวิจัย .....	60
5.1.1. ผลการทดสอบความลื่นของพื้นผิวกระดาษด้วย Slide angle test.....	60
5.1.2. ผลทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet และ Laser โดยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	61
5.1.3. ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	61
5.2. สรุปผลการวิจัย .....	62
5.3. ข้อเสนอแนะ.....	63
รายการอ้างอิง .....	64



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 73



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 มาตรฐาน Tappi T815 ของวิธีการทดสอบแรงเสียดทาน .....	24
ตารางที่ 2 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 1 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา.....	40
ตารางที่ 3 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 2 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา.....	42
ตารางที่ 4 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 3 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา.....	44
ตารางที่ 5 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 4 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา .....	46



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ.....	21
รูปที่ 2 กระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษปรี๊ฟ (Newsprint) .....	22
รูปที่ 3 กระดาษสำหรับเขียน กระดาษปก และกระดาษสุกัณฑ์ .....	22
รูปที่ 4 Slide angle coefficient of friction test มาตรฐาน Tappi T815 .....	25
รูปที่ 5 การประยุกต์พลาสติกมาเพื่อก่อปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของสารฟลูออรีนกับผ้าไหมให้มี คุณสมบัติในการกันน้ำ ((ก.) ผ้าไหมก่อนการประยุกต์, (ข.) ผ้าไหมหลังการประยุกต์).....	27
รูปที่ 6 การประยุกต์พลาสติกมาเพื่อก่อปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของสารฟลูออรีนกับกระดาษให้มี คุณสมบัติในการกันน้ำ (ก.) กระดาษหลังการประยุกต์, (ข.) กระดาษก่อนการประยุกต์,.....	27
รูปที่ 7 การประยุกต์พลาสติกมา jet เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุทันตกรรม.....	28
รูปที่ 8 รูปแบบดีปิตีพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป (ซ้ายมือเป็นแบบ Planar ส่วนขวามือเป็นแบบ Cylindrical) .....	30
รูปที่ 9 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	31
รูปที่ 10 พาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
รูปที่ 11 แผ่นกระจกใสที่ใช้ในงานวิจัย .....	32
รูปที่ 12 แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในงานวิจัย .....	33
รูปที่ 13 ตู้อบที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
รูปที่ 14 Slide angle tester ที่ใช้ในงานวิจัย .....	34
รูปที่ 15 เครื่อง Printer ที่ใช้ในงานวิจัย .....	34
รูปที่ 16 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ใช้ในงานวิจัย .....	35
รูปที่ 17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
รูปที่ 18 พลาสติกที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	36
รูปที่ 19 แสดงตัวอย่างชิ้นงานระหว่างการทดลอง.....	37
รูปที่ 20 แสดงการจัดระบบตรวจสอบแบบ Slide angle test .....	38

รูปที่ 21 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 1 .....	41
รูปที่ 22 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 2 .....	43
รูปที่ 23 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 3 .....	45
รูปที่ 24 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 4 .....	47
รูปที่ 25 ผลการตรวจสอบด้วย Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น .....	49
รูปที่ 26 ผลการตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของ Slide angle test ที่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .....	49
รูปที่ 27 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 : (ก.) 0 kV, (ข.) 10 kV / 8s .....	50
รูปที่ 28 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 3 : (ก.) 0 kV, (ข.) 10 kV / 4s .....	51
รูปที่ 29 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 : (ก.) 0 kV, (ข.) 10 kV / 8s .....	52
รูปที่ 30 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser บนกระดาษตัวอย่างที่ 3 : (ก.) 0 kV, (ข.) 10 kV / 4s .....	53
รูปที่ 31 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 1 ก่อนใช้ดีบีดีพลาสมา .....	55
รูปที่ 32 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 1 หลังใช้ดีบีดีพลาสมา .....	55
รูปที่ 33 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 2 ก่อนใช้ดีบีดีพลาสมา .....	56
รูปที่ 34 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 2 หลังใช้ดีบีดีพลาสมา .....	56
รูปที่ 35 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 3 ก่อนใช้ดีบีดีพลาสมา .....	57

รูปที่ 36 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 3 หลังใช้ดีปีดีพลาสติกมา.....	57
รูปที่ 37 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 4 ก่อนใช้ดีปีดีพลาสติกมา .....	58
รูปที่ 38 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระดาษต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ กระดาษตัวอย่างที่ 4 หลังใช้ดีปีดีพลาสติกมา.....	58



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันได้มีการวิจัยการปรับปรุงพื้นผิววัสดุด้วยพลาสมาโดยการประยุกต์พลาสมาเพื่อก่อนการแตกตัวหรือก่อนปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของสาร (เช่น ฟลูออรีน, ออกซิเจน) บนผิววัสดุทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป หรือการก่อรอยพรุน, แนวรอยจากการดิสชาร์จ เช่นการประยุกต์พลาสมา กับฟลูออรีนทำผ้าไหมหรือเสื้อผ้าให้กันน้ำ/กันเปื้อน, การประยุกต์พลาสมา กับก้ำชอกอกซิเจนทำให้ผ้าสังเคราะห์ซึบเหงื่อ/ระบายอากาศได้ดี เป็นต้น [1] เนื่องจากพลาสมาที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงพื้นผิววัสดุจะส่งผลต่อพื้นผิวของวัสดุเท่านั้น ทำให้ไม่กระทบต่อคุณภาพเดิมของวัสดุ จึงมีแนวคิดที่จะทดลองกับกระดาษ ซึ่งปัจจุบันกระดาษหาง่าย และมีอยู่หลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน เนื่องจากหลักการผลิตไม่สามารถที่จะทำกระดาษที่ใช้ได้อย่างดีกับทุกงาน หรือถ้าทำได้คงใช้ต้นทุนสูง จึงต้องเลือกคุณสมบัติต่างๆ มากน้อย ต่างกันไปตามการใช้งาน โดยคุณสมบัติของกระดาษทั่วไป ได้แก่ น้ำหนักของกระดาษ, ความหนาของกระดาษ, ความสว่างของกระดาษ, ผิวหน้าของกระดาษ, การกันความชื้น, โทนสี เป็นต้น อีกทั้งกระดาษเป็นวัสดุที่สามารถประยุกต์นำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น การนำกระดาษห่อ A4 มาประยุกต์เป็นถุงกระดาษใส่ของ หรือใช้กระดาษอื่นมาห่อของแทนกระดาษห่อของขวัญเพื่อกันกระแทก และใช้กระดาษเป็นแผ่นกันลื่นได้ เช่นเมื่อต้องการวางกล่องหรือสิ่งของหลายๆชั้น ก็สามารถนำกระดาษวางไว้ระหว่างกล่องหรือสิ่งของนั้นเพื่อกันกล่องหรือสิ่งของนั้นลื่นระหว่างการขนย้ายได้ ดังนั้นถ้าทำให้กระดาษมีความลื่นน้อยลง (เพิ่มแรงเสียดทาน) ก็ช่วยรักษาสิ่งของหรือสินค้าลดจากการตกหรือหล่นกระแทกกับพื้นได้

จากประโยชน์ดังกล่าว ทำให้เห็นความสำคัญที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความลื่นน้อยลง จึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะใช้ดีปิตีพลาสมา (Dielectric Barrier Discharge Plasma) ที่มีคุณสมบัติทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะพื้นผิวเท่านั้น และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของกระดาษ อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย แต่เทคนิคนี้มักทำภายใต้สุญญากาศ ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบและใช้งานที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะทำภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ เนื่องจากสามารถสร้างขึ้นมาได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบที่ไม่สูง และชิ้นงานที่นำมาปรับปรุงมีขนาดที่ไม่จำกัด เพราะทำที่บรรยากาศปกติ ไม่ได้ถูกจำกัดไว้ในแชมเบอร์สุญญากาศ (Vacuum chamber)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความลื่นลดลงโดยใช้ดีปิตีพลาสมาในบรรยากาศปกติอาศัยอากาศเป็นตัวกลาง โดยการทดลองนี้ใช้แรงดันไฟฟ้า เวลา

และชนิดของกระดาศ เป็นตัวอย่างศึกษา สำหรับหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาศเมื่อเทียบกับกระดาศที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยดีปี้พลาสมา

## 1.2. วัตถุประสงค์

เพื่อลดความถี่ของกระดาศโดยใช้ดีปี้พลาสมา (Dielectric Barrier Discharge Plasma)

## 1.3. ขอบเขต

- 1.3.1. ทดสอบกระดาศอย่างน้อย 3 ชนิด
- 1.3.2. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาศให้มีความถี่ลดลงโดยใช้ดีปี้พลาสมา ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความต่างศักย์
- 1.3.3. ทดสอบพื้นผิวโดยวิธีต่างๆ เช่น Slide angle test, การพิมพ์, ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

## 1.4. วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1. ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับดีปี้พลาสมา และคุณสมบัติของกระดาศสำหรับการทดลอง
- 1.4.2. จัดเตรียมอุปกรณ์ เช่น กระดาศหลากหลายชนิด, พาวเวอร์ซัพพลายแบบ High voltage, high frequency, กระจก และแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับใช้ในการทดลอง
- 1.4.3. ทำการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า และเวลาที่ต่างกัน ในแต่ละชนิดของกระดาศ
- 1.4.4. ทำการเก็บข้อมูลจากการตรวจสอบพื้นผิวกระดาศโดยวิธี Slide angle test, การพิมพ์, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
- 1.4.5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจสอบของกระดาศแต่ละชนิด ระหว่างก่อนและหลังใช้ดีปี้พลาสมา ในการปรับปรุงพื้นผิว
- 1.4.6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษที่ทำการศึกษาโดยใช้ดีปดีพลาสมา ทำให้กระดาษมีความลื่นน้อยลง (เพิ่มแรงเสียดทาน) ทำให้รักษาสินค้า ที่อาจเกิดการกระแทกระหว่างขนย้ายได้

### 1.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 1.6.1. K.G. Kostov et al. [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Bacterial sterilization by a dielectric barrier discharge (DBD) in air” โดยทดลองสร้างพลาสมาในงานเพาะเชื้อกับการเพาะเชื้อแบคทีเรีย ในการทดลองแบคทีเรียที่ใช้ คือ Staphylococcus aureus กับ Escherichia coli และใช้เครื่อง ดีปดี ขนาด 60 Hz พลังงาน 1 W และระยะเวลา 0, 2, 10, 15, 20 นาที พบว่า ยิ่งใช้เวลานาน (ในที่นี้คือ 20 นาที ) จะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดียิ่งขึ้น
- 1.6.2. Hyun Uk Lee et al. [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Contribution of power on cell adhesion using atmospheric dielectric barrier discharge (DBD) plasma system” โดยได้ศึกษาผลกระทบของการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ด้วยการดูระดับของเซลล์ที่ติดมา และการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วบนแผ่นฟิล์ม PCL (poly  $\epsilon$ -caprolactone) โดยใช้พลาสมาในบรรยากาศด้วยวิธีดีปดีพลาสมา ซึ่งใช้พลังงาน 0, 250, 280, 350 W พบว่าระดับของเซลล์ที่ติดมาและการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ด้วยวิธี AP-DBD ที่ทำบนฟิล์ม PCL เป็นสิบครั้ง ดีกว่าที่พบบนแผ่นฟิล์ม PCL ที่ไม่ได้รับการผ่านดีปดีพลาสมา (0 W)
- 1.6.3. Caixia Jia et al. [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Surface treatment of aramid fiber by air dielectric barrier discharge plasma at atmospheric pressure” โดยได้ทดลองใช้วิธีดีปดีพลาสมา ในอากาศที่ความดันบรรยากาศปกติบนเส้นใยอะรามิด และทำการตรวจสอบรูปร่างของพื้นผิวด้วยการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM), วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิวด้วยเทคนิค XPS และวัดพื้นผิวจากการวิเคราะห์มุมสัมผัสแบบไดนามิก (DCAA) โดยกำหนดขนาดเส้นผ่าน



ศูนย์กลางอิเล็กโทรด เท่ากับ 4.7 cm ระยะห่างช่องว่าง เท่ากับ 0.3 cm Power density เท่ากับ  $27.6 \text{ W/cm}^3$  และที่เวลา 0, 6, 12 และ 18 วินาที จากการตรวจสอบด้วย SEM พบว่า ความขรุขระจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำที่เวลามากขึ้น ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XPS พบว่า ที่เวลา 12 วินาที มีองค์ประกอบของออกซิเจนมากที่สุด และมีองค์ประกอบของคาร์บอนมากที่สุดที่เวลา 18 วินาที ส่วนการวัดพื้นผิวด้วย DCAA พบว่า มุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลงตามเวลาที่มากขึ้น

- 1.6.4. P. Chaivan et al. [5] ได้ศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติการกันน้ำ (Hydrophobicity enhancement) ของผ้าไหมไทยด้วย  $\text{SF}_6$  พลาสมา โดยใช้คลื่นวิทยุความถี่ 13.56 MHz เป็นตัวกระตุ้นให้เกิด RF plasma ใน Stainless steel vacuum chamber ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.2 cm และยาว 42.5 cm โดยมีแม่เหล็กภายใน Chamber ด้วยเพื่อที่จะ Confine พลาสมา การทดลองได้ใช้ความดันก๊าซที่ 1, 3, 5 และ 7 mTorr และใช้ RF power ที่ 25 - 75 W และใช้ Langmuir probe ร่วมกับเทคนิค Optical emission spectroscopy (OES) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพลาสมาที่ผลิตขึ้น โดยสามารถวัด Electron temperature ได้ที่ 3 - 5 eV และ Ion density ได้ที่  $1 - 3.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  บริเวณตรงกลางของ Chamber และผลจากเทคนิค OES แสดงให้เห็นว่าเกิด Fluoride ion หลายตัวในพลาสมา ได้ทำการ Treat ผ้าไหมไทยขนาด 7.6 cm x 7.6 cm และใช้เวลาตัวอย่างละ 1 หรือ 3 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการกันน้ำได้เป็นอย่างดีมากจากการวัดค่า Adsorption time มีค่าถึงประมาณ 180 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลา มากที่สุดที่ใช้ในการทดลอง เทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการ Treat จะมีค่า Adsorption time ที่ไม่เกินประมาณ 5 นาทีเท่านั้น ส่วนค่า Contact angle ก็เพิ่มขึ้นเป็น  $130 - 140^\circ$  เทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการ Treat ซึ่งมีค่า Contact angle ประมาณ  $68 - 75^\circ$  เท่านั้น และได้สรุปว่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุดในการ Treat ผ้าไหมคือระดับกำลัง RF ที่ประมาณ 50 W และความดันที่ 3 - 5 mTorr

- 1.6.5. H.T. Sahin et al. [6] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “RF-plasma vapor deposition of siloxane on paper. Part 1: Physical evolution of paper surface” โดย

ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติ hydrophobicity และ barrier ของกระดาษ ด้วยการ ใช้คลื่นความถี่วิทยุพลาสมา (RF plasma) กับ ก๊าซ octamethylcyclotetrasiloxane (OMCTSO) และตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน (SEM) พบว่า จากการตรวจสอบด้วย SEM แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเม็ด เล็กมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในรูปทรงต่างๆบนพื้นผิวกระดาษ การซ้อนทับของ ชั้นพอลิเมอร์ที่มีการใช้พลาสมามีผลต่อการกระจายตัวของช่องว่างในโครงสร้างและ เพิ่ม barrier กับ hydrophobicity และอากาศ ดูดซึมน้ำลดลง 44% สำหรับ กระดาษที่ใช้พลาสมากับก๊าซ OMCTSO

- 1.6.6. K. Khwaldia et al. [7] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Chitosan–caseinate bilayer coatings for paper packaging materials” ด้วยการเคลือบกระดาษด้วย caseinate และ caseinate / ไคโตซาน สองชั้น และตรวจสอบการวิเคราะห์ด้วย FTIR spectroscopy และเสถียรภาพทางความร้อน โดยใช้ความเข้มข้น caseinate 7%, 10% และ 12% โดยน้ำหนัก พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ caseinate ทำให้ลดการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของผลกระดาษที่ได้จากการเคลือบ และการใช้ไคโตซานเคลือบชั้นที่สองบนฟิล์ม caseinate แบบเปียกหรือแห้งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ ความต้านทานแรงดึง (TS) ของกระดาษเคลือบ และเมื่อเพิ่มชั้นไคโตซาน ทำให้การ ลดการซึมผ่านไอน้ำในกระดาษได้มากขึ้น
- 1.6.7. อาหลี ตำหมั่น และคณะ [8] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “ผลการควบคุมกำลังของพลาสมา โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และการปรับเปลี่ยนความหนาแน่นของ พัลส์ที่ความดันบรรยากาศ” ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้การควบคุมโดยการ เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า สามารถควบคุมกำลังของพลาสมาได้ตั้งแต่ 1 ถึง 33 วัตต์ โดยพิจารณาที่แอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้าเดียวกันคือ 15 กิโลโวลต์ แต่พลาสมาจะ เกิดไม่สม่ำเสมอที่กำลังของพลาสมาต่ำ เมื่อใช้การควบคุมด้วยความถี่จะได้กำลังของ พลาสมาตั้งแต่ 20-42 วัตต์ และสามารถสร้างพลาสมาที่สม่ำเสมอได้แต่เปลี่ยนแปลง ช่วงกำลังของพลาสมาได้แคบ เมื่อใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนความหนาแน่นของพัลส์ สามารถสร้างพลาสมาที่มีความสม่ำเสมอตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลงกำลังของ พลาสมาตั้งแต่ 1 ถึง 33 วัตต์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. กระดาษ

##### 2.1.1. ชนิดของกระดาษ

ในงานพิมพ์นิยมใช้กระดาษหลากหลายประเภท ได้แก่ [9]

##### 2.1.1.1. กระดาษอาร์ต

กระดาษชนิดนี้เหมาะสำหรับงานพิมพ์สี เช่น ปกวารสาร โปสเตอร์ หรือเอกสารที่มีสีสันสดใส เนื่องจากเป็นกระดาษที่ผิวเรียบและเนื้อแน่น อย่างไรก็ตามคุณภาพของกระดาษมักขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผู้ผลิต และมีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่

- กระดาษอาร์ตด้าน เนื้อกระดาษมีความเรียบ แต่เนื้อไม่มันเงา งานที่พิมพ์ด้วยกระดาษชนิดนี้ มักมีสีซีดจางลงเล็กน้อย ความหนาของกระดาษมีดังนี้ คือ 85, 100, 105, 120, 130 และ 160 แกรม
- กระดาษอาร์ตมัน เนื้อกระดาษมีความมันเงา และผิวเรียบ สามารถพิมพ์งานได้ใกล้เคียงกับสีจริง ผู้ผลิตมักผลิตที่ความหนา 85, 100, 105, 120, 130 และ 160 แกรม
- กระดาษอาร์ตการ์ด 2 หน้า เป็นกระดาษที่เหมาะสมกับงานพิมพ์สีที่ต้องการความหนา ซึ่งกระดาษอาร์ตชนิดนี้มักมีความหนาตั้งแต่ 190, 210, 230, 260 และ 310 แกรม
- กระดาษอาร์ตการ์ด 1 หน้า แม้จะเป็นกระดาษที่มีความหนาน้อยกว่ากระดาษอาร์ตการ์ด 2 หน้าแต่ก็มีความแข็งแรงหรือมีความแกร่งมากกว่า มักมีความหนาตั้งแต่ 190 แกรมขึ้นไป เหมาะสำหรับพิมพ์งานที่ต้องการพิมพ์แค่หน้าเดียว เช่น กระดาษบรรจุภัณฑ์ต่าง เป็นต้น

##### 2.1.1.2. กระดาษปอนด์

เป็นกระดาษเนื้อเรียบสีขาว ซึ่งมีความมันเงาน้อยกว่าไม่มันเงากระดาษอาร์ต สามารถใช้ปากกาและดินสอเขียนได้ง่ายกว่า นิยมใช้พิมพ์งานสีเดียว เหมาะสำหรับพิมพ์เอกสาร หรือเนื้อหาในหนังสือ ฯลฯ ความหนากระดาษที่นิยมใช้พิมพ์หนังสืออยู่ที่ 55, 60, 70, 80, 100 และ 120 แกรม

##### 2.1.1.3. กระดาษปรีฟ

กระดาษปรีฟ เป็นกระดาษที่มีเนื้อหยาบขาวหม่น หรือ สีนํ้าตาล ราคาถูก เหมาะสำหรับพิมพ์งานจำนวนมากๆ เช่น บิล และเอกสารต่างๆ แต่เป็นกระดาษที่ไม่มีความแข็งแรงมาก ฉีกขาดง่าย

#### 2.1.1.4. กระดาษแข็ง

กระดาษแข็งบาง มักมีความหนาประมาณ 55, 70 และ 80 แกรมนิยมใช้ในการพิมพ์ บิลต่างๆ หรือใบปลิว มักจะมีสี เช่น สีเหลือง สีชมพู สีเขียว และ สีฟ้า

#### 2.1.1.5. กระดาษแอร์เมล์

มักใช้ในการพิมพ์บิลต่างๆ เนื้อกระดาษบางประมาณ 38 แกรม

### 2.1.2. กระดาษที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมส่วนใหญ่

ประเภทของกระดาษ สามารถแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้ ดังนี้

#### 2.1.2.1. กระดาษเพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์ (Packaging) และวัสดุก่อสร้าง

กระดาษ สามารถออกแบบได้หลายแบบ และสามารถตัด พับ หรืองอได้ง่าย ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงให้เหมาะสมกับสินค้าที่บรรจุและทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บ อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ และเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูก ประกอบกับวิวัฒนาการใหม่ๆ ในการพัฒนาคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์กระดาษให้มีความคงทนแข็งแรงมากขึ้น ทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษสามารถป้องกันความเสียหายของสินค้าที่อาจเกิดขึ้นจากการขนส่งได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งลักษณะของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษที่มีอยู่ทั่ว ๆ ไป มี 8 รูปแบบ ดังรูปที่ 1. [10]

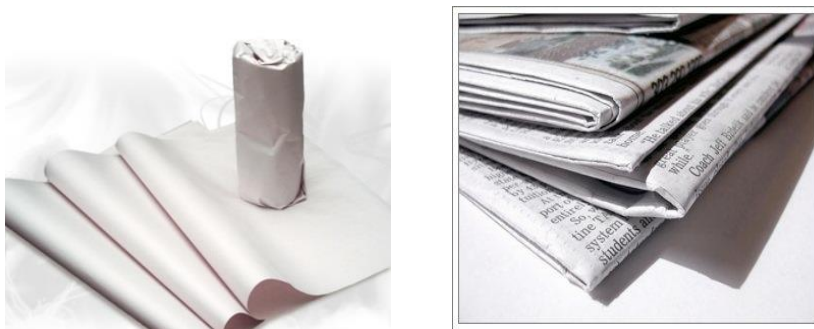


รูปที่ 1 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ

- (ก.) ซองกระดาษ (Paper Envelope), (ข.) ถุงกระดาษ (Paper Bag),  
 (ค.) ถุงกระดาษหลายชั้น (Multiwall Paper Sack), (ง.) เยื่อกระดาษขึ้นรูป (Moulded Pulp Container),  
 (จ.) กระป๋องกระดาษ (Paper/Composite Can), (ฉ.) ถังกระดาษ (Fibre Drum),  
 (ช.) กล่องกระดาษแข็ง (Paperboard Box), (ซ.) กล่องกระดาษลูกฟูก (Corrugated Fibreboard Box)

#### 2.1.2.2. กระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษปรี๊พ (Newsprint)

เป็นกระดาษที่มีส่วนผสมของเยื่อที่มีเส้นใยสั้น หรือนำเยื่อกระดาษที่ใช้แล้วมาผสม จึงเป็นกระดาษที่มีราคาไม่แพงแต่มีความแข็งแรงน้อย และมีน้ำหนักประมาณ 45 – 52 กรัม/ตารางเมตร จึงเหมาะสำหรับงานพิมพ์หนังสือพิมพ์ หรือเอกสารที่ไม่ต้องการคุณภาพมาก [11]



รูปที่ 2 กระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษปฐูพ (Newsprint) [12]

### 2.1.2.3. กระดาษสำหรับเขียน กระดาษปก และกระดาษสุขภัณฑ์

กระดาษสำหรับเขียน และกระดาษปก เช่น กระดาษขนาด A4 ทั่วไป, กระดาษสี, กระดาษปก รายงาน เป็นต้น เป็นการใช้เยื่อที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว ซึ่งจะถูกแปรสภาพเป็นน้ำเยื่อ ด้วยการเติม สารเคมีและน้ำก่อนจะตีให้แตกเป็นเส้นใย

ส่วนกระดาษสุขภัณฑ์ เช่น กระดาษชำระ, กระดาษเช็ดมือ, กระดาษเช็ดปาก, กระดาษรองนั่ง สุขภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการผลิตกระดาษสุขภัณฑ์ จะเหมือนกับการผลิตกระดาษทั่วไป โดยการ ผลิตกระดาษสุขภัณฑ์ส่วนใหญ่จะใช้เยื่อกระดาษรีไซเคิล โดยมีการผสมเยื่อบริสุทธิ์บ้างเพื่อเพิ่ม คุณภาพของกระดาษให้ดีขึ้น



รูปที่ 3 กระดาษสำหรับเขียน[13] กระดาษปก[14] และกระดาษสุขภัณฑ์[15]

## 2.2. มาตรฐานการทดสอบกระดาษบรรจุภัณฑ์

### 2.2.1. คุณสมบัติของกระดาษบรรจุภัณฑ์ [16]

คุณสมบัติของกระดาษบรรจุภัณฑ์จะไม่เหมือนกันในแต่ละประเภท เช่น บางประเภทมีความเหนียวมาก บางประเภทมีความหนาแน่นมาก บางประเภทมีความแข็งแรงมาก เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของสินค้าเป็นอย่างไรและมีน้ำหนักเท่าไรที่จะนำมาบรรจุลงในกระดาษบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการใช้กระดาษบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับลักษณะสินค้า ทำให้สินค้าอยู่ในสภาพที่ดีได้โดยไม่แตกหัก หรือเสียหาย หรือเสื่อมสภาพก่อนเวลาสมควร ซึ่งความเสียหายที่เกิดกับผลิตภัณฑ์มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- 2.2.1.1. ความเสียหายทางกายภาพ เป็นความเสียหายที่เกิดจากการชำรุดแตกหรือการยุบตัวที่เกิดขึ้นได้จากการขนส่งเคลื่อนย้าย การเก็บรักษา และการจำหน่ายสินค้านั้น
- 2.2.1.2. ความเสียหายทางเคมี เป็นความเสียหายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านปฏิกิริยาเคมีโดยเฉพาะสินค้าที่เป็นอาหารใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม จะทำให้อาหารบูดเน่าเสียหายเกิดเชื้อรา เกิดกลิ่นเหม็น เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ความกรอบ ตลอดจนรสชาติของอาหารด้วย

### 2.2.2. TAPPI standard/ASTM

TAPPI หรือ The Technical Association of Pulp and Paper Industry

คือ มาตรฐานอย่างหนึ่งของมาตรฐานระดับสมาคมหรือมาตรฐานของกลุ่มอาชีพเดียวกัน ซึ่งเป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นจากการรวมตัวกันขององค์กรที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน โดยกลุ่มองค์กรเหล่านี้จะจัดตั้งขึ้นในแต่ละประเทศและจะมีการถ่ายทอดแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการซึ่งกันและกัน เพื่อยกระดับมาตรฐานในการประกอบวิชาชีพ [17]

ASTM, American Society for Testing and Materials

คือ มาตรฐานอย่างหนึ่งของมาตรฐานระดับชาติหรือมาตรฐานระดับประเทศ ซึ่งจัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกาเป็นมาตรฐานที่ได้จากการประชุมเพื่อหาข้อตกลงร่วมกันของผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่ายภายในประเทศ [17] และทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุนทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐหรือเอกชน และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและการทำงานของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน [18]

### 2.2.3. Slide angle coefficient of friction test

ตารางที่ 1 มาตรฐาน Tappi T815 ของวิธีการทดสอบแรงเสียดทาน [19]

Angle range	0°---85°
Accuracy	0.01°
Angular speed	0.1°/s---10.0°/s
Slider weight	1300g
Load	0-5N
Environment requirement	Temperature: 23±2°C
	Humidity: 20%RH~70%RH

#### 2.2.3.1. เครื่องมือหรือระบบ [20]

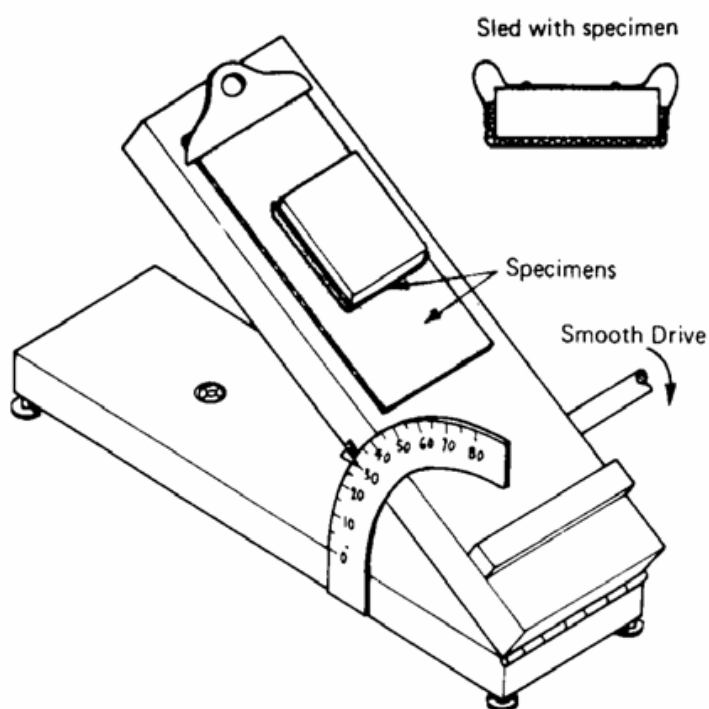
- นาฬิกาจับเวลา หรือตัวจับเวลาแบบไฟฟ้าที่อ่านค่าเวลาได้ในระดับวินาที
- Sled มีลักษณะเป็นบล็อกหรือเหลี่ยม มีขนาด 90 x 100 mm หนัก 1300 กรัม
- ระนาบทดสอบ พื้นผิวทำจากวัสดุเหมาะสม มีความกว้างเหลือจากขอบอย่างน้อย 12.5 mm โดยกว้างกว่า Sled และมีความยาวพอให้ Sled เคลื่อนที่ได้จากขอบอย่างน้อย 25 mm ให้ตัวจับและยึดตัวอย่างอยู่ด้านบน ส่วนตัวกัน Sled อยู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4
- เพิ่มมุมมองการเอียงของระนาบทดสอบอยู่ที่อัตรา  $1.5^\circ \pm 0.5^\circ /s$  จากระนาบแนวนอนจนถึง  $45^\circ$  การเพิ่มนี้ควรเพิ่มโดยปราศจากการสั่น
- ระบุมุมองศาการเอียงที่ละ  $0.5^\circ$

#### 2.2.3.2. กระบวนการทดสอบ

- ระดับของระนาบต้องอยู่ในระนาบแนวนอน โดยเครื่องวัดความเอียงจะระบุที่ค่า  $0^\circ$
- ทำความสะอาดพื้นผิวระนาบทดสอบให้มีผิวเรียบและไม่ขรุขระ
- วางชิ้นงานที่ใหญ่ที่สุดลงบนระนาบทดสอบโดยหงายด้านที่ต้องการทดสอบขึ้น อาจทำที่ยึดชิ้นงานเพิ่มเติม จากนั้นวางแนบชิ้นงานที่ยึดกับ Sled โดยหันหน้าด้านที่ต้องการทดสอบลงบนชิ้นงานที่ใหญ่



- บันทึกผลการทดสอบจากระยะของชิ้นงานในมุมต่างๆที่ใช้ทดสอบ
- เพิ่มมุมของระนาบทดสอบด้วยอัตราเท่ากับ  $1.5^{\circ} \pm 0.5^{\circ}/s$  โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละมุมจะใช้เวลา 10 วินาที และหยุดการเพิ่มมุมของระนาบทดสอบเมื่อ Sled เริ่มเคลื่อนที่จนหยุด
- ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง



รูปที่ 4 Slide angle coefficient of friction test มาตรฐาน Tappi T815 [20]

## 2.3. การใช้พลาสมาในการปรับปรุงผิววัสดุ

### 2.1.1. พลาสมา

คือ ก๊าซที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน ทำให้เกิดการแตกตัว (ionization) เป็นไอออน และอิเล็กตรอนอิสระอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งพลังงานที่ใช้ต้องเป็นพลังงานที่สูงได้แก่ พลังงานจากไฟฟ้า พลังงานจากความร้อน พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน

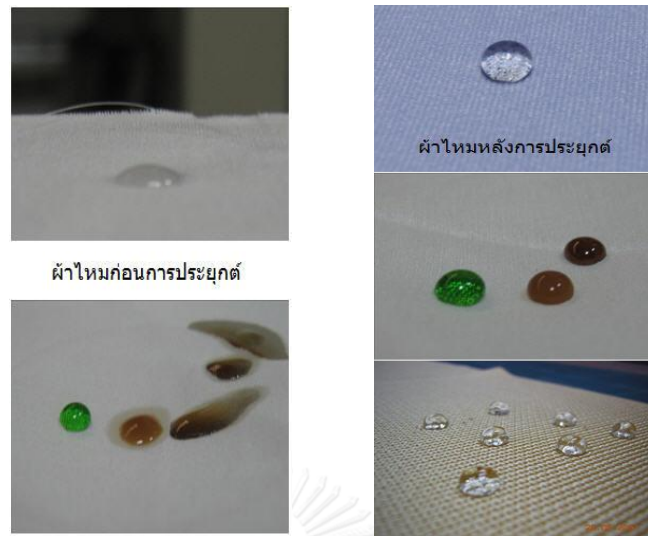
และอิเล็กตรอนอิสระให้ได้ เมื่อหยุดให้พลังงานจนเกิดการรวมตัว (Recombination) พลาสมาจะกลับไปอยู่ในสถานะก๊าซอีกครั้ง และพลาสมายังเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร โดยนักฟิสิกส์ ชาวอังกฤษ ชื่อว่า Sir William Crookers ได้ศึกษา และเป็นผู้นิยามสถานะนี้ขึ้น อีกทั้งพลาสมามีลักษณะที่แตกต่างจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน [21]

ในปัจจุบันสามารถสังเกตเห็นพลาสมา ได้ 2 แบบ คือจากธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ ฟาผ่า และจากมนุษย์สร้างขึ้น สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้พลาสมาสามารถแบ่งตามอุณหภูมิได้ 2 ประเภทดังนี้ ประเภทที่หนึ่งคือ Thermal plasma จะมีอุณหภูมิของโมเลกุลภายในก๊าซสูงได้ถึง 10,000 K หรือมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงเรียกพลาสมาแบบนี้ว่า พลาสมาร้อน (Hot plasma) ส่วนประเภทที่สองคือ Non-thermal plasma จะมีอุณหภูมิของโมเลกุลก๊าซสูงเช่นกัน แต่มีอุณหภูมิของก๊าซรอบๆโมเลกุลต่ำกว่ามากๆ หรืออาจเท่ากับอุณหภูมิห้อง ด้วยเหตุนี้จึงเรียกพลาสมาแบบนี้ว่าพลาสมาเย็น (Cold plasma) [22]

ความแตกต่างระหว่างพลาสมาและก๊าซ จะแตกต่างกันที่ พลาสมา มีการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า และอาจสร้างได้โดยการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิสูง อนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ก๊าซไม่มีการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

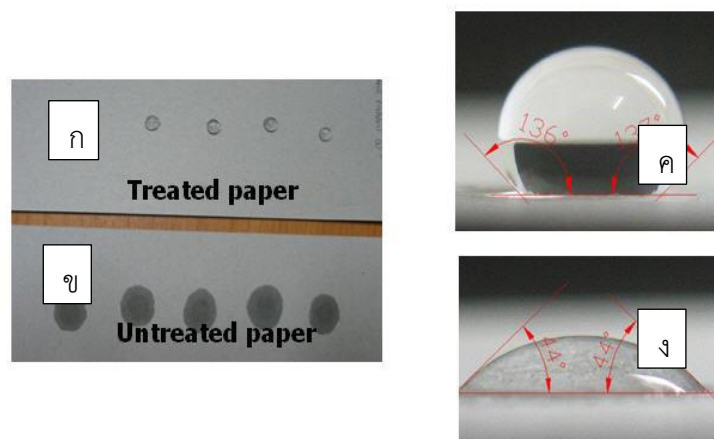
การใช้เทคนิคพลาสมา ในกระบวนการต่างๆเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้น้ำและสารเคมีน้อยมาก หรือแทบจะไม่ใช้เลย อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ไม่กระทบต่อคุณภาพเดิมของวัสดุนั้น เพราะจะส่งผลต่อพื้นผิววัสดุเท่านั้น จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

- อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม [1]



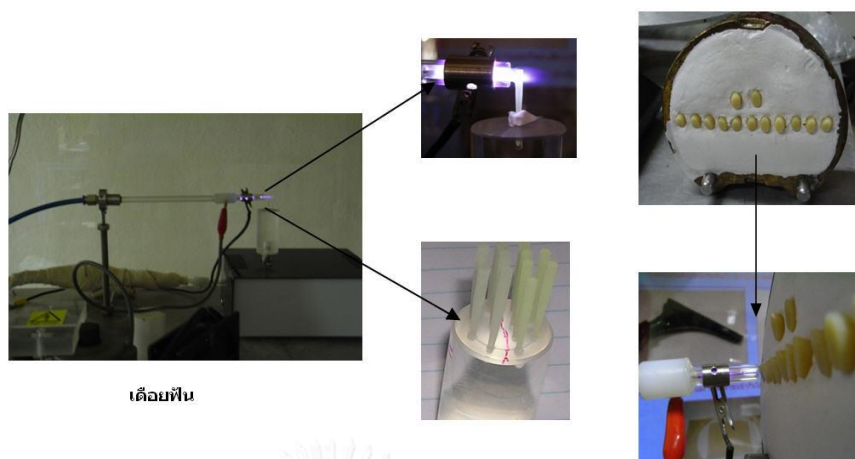
รูปที่ 5 การประยุกต์พลาสมาเพื่อก่อปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของสารฟลูออรีนกับผ้าไหมให้มีคุณสมบัติในการกันน้ำ ((ก.) ผ้าไหมก่อนการประยุกต์, (ข.) ผ้าไหมหลังการประยุกต์)

- อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ [1]



รูปที่ 6 การประยุกต์พลาสมาเพื่อก่อปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของสารฟลูออรีนกับกระดาษให้มีคุณสมบัติในการกันน้ำ (ก.) กระดาษหลังการประยุกต์, (ข.) กระดาษก่อนการประยุกต์, (ค.) มุมสัมผัสของน้ำหลังการประยุกต์ และ (ง.) มุมสัมผัสของน้ำก่อนการประยุกต์

- อุตสาหกรรมวัสดุทางการแพทย์ [1]



รูปที่ 7 การประยุกต์พลาสมา jet เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดของวัสดุทันตกรรม

#### 2.1.2. กระบวนการปรับปรุงด้วยพลาสมา (Plasma treatment process)

กระบวนการปรับปรุงด้วยพลาสมาที่ใช้กับวัสดุต่างๆ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ ดังนี้

2.1.2.1. กระบวนการแรกคือ Plasma polymerization เป็นการเคลือบฟิล์มพอลิเมอร์บางๆ บนพื้นผิวโดยใช้พลาสมา กระบวนการนี้มีข้อดีเมื่อเทียบกับกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยทั่วไป เช่น สามารถเคลือบฟิล์มบางมากๆ ในระดับ  $500 \text{ \AA} - 1 \mu\text{m}$  ได้ โดยพอลิเมอร์สามารถเกาะบนพื้นผิวได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นแก้ว พอลิเมอร์ หรือโลหะ รวมถึงการ Polymerization สามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้สารละลาย ทำให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก และได้มีการใช้ประโยชน์จากฟิล์มเคลือบเหล่านี้มากมาย เช่น เพื่อเพิ่มความทนต่อการสึกหรอและความทนต่อสารเคมีของพื้นผิว เป็นต้น [23]

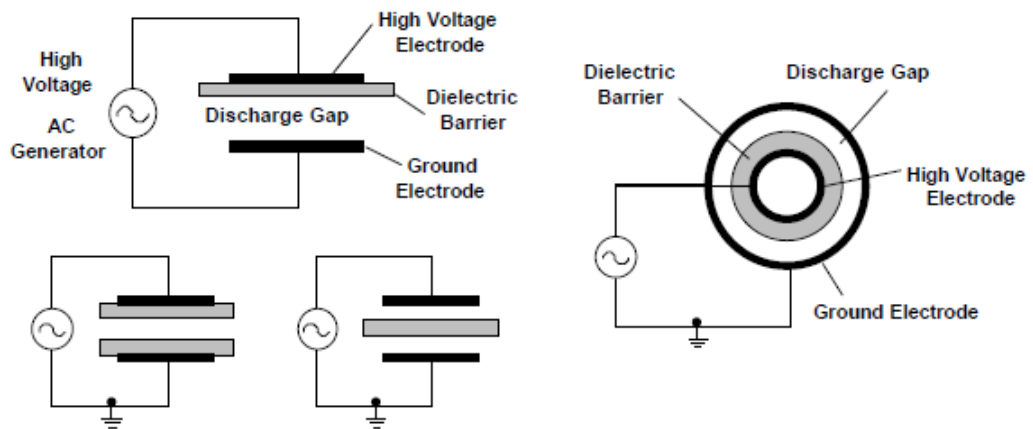
2.1.2.2. กระบวนการที่สองคือ Plasma grafting เป็นการต่อมอนอเมอร์ (Monomer) ลงบนพื้นผิวโดยใช้พลาสมาทำให้เกิดการแอกติเวท (Activate) ของพื้นผิวก่อน สามารถต่อมอนอเมอร์หลากหลายชนิดบนพื้นผิว และหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ของมอนอเมอร์สามารถทำให้เกิดคุณลักษณะที่ต้องการบนพื้นผิวได้ เช่น การกันน้ำ (Hydrophobicity) การหน่วง

การติดไฟ (Flame retardancy) และการทนต่อแบคทีเรีย (Antibacteria) โดยที่ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นๆ [24]

2.1.2.3. กระบวนการที่สามคือ Surface modification เป็นการปรับปรุงพื้นผิว โดยใช้พลาสมา เช่นการกัดพื้นผิว (Etching) เป็นต้น ซึ่งพลาสมาที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิววัสดุจะทำอันตรกิริยา (Interaction) เฉพาะอะตอมที่มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ที่อยู่บริเวณผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น โดยพลาสมาที่ใช้จะไม่ส่งผลกระทบต่อวัสดุทั้งชิ้นงาน และไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติโดยรวมของชิ้นงานนั้นๆ อีกทั้งไม่มีการใช้สารเคมีที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมด้วย และพลาสมาที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถสร้างขึ้นจากการให้พลังงานแก่ก๊าซด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้หลอดความร้อน การใช้ความต่างศักย์สูง การใช้คลื่นความถี่วิทยุ และการใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น

#### 2.4. ไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดีสชาร์จ พลาสมา (Dielectric Barrier Discharge Plasma)

ไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดีสชาร์จ พลาสมา (ดีบีดีพลาสมา) เป็นอีกวิธีหนึ่งของกระบวนการปรับปรุงด้วยพลาสมา ซึ่งมีหลักการคือ เป็นการให้ความต่างศักย์ระหว่างสองขั้วไฟฟ้า (High voltage electrode กับ Ground electrode) โดยขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะถูกคั่นด้วยวัตถุไดอิเล็กทริก [25] (วัตถุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น กระจก เซรามิก พอลิเมอร์ คิวทซ์ เป็นต้น) เพื่อให้การเกิดการอาร์คพลาสมา มีความสม่ำเสมอ และช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามักจะมีระยะห่างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8 นอกจากนี้ ดีบีดีพลาสมายังสามารถใช้ร่วมกับก๊าซต่างๆได้เช่น ก๊าซออกซิเจน หรือก๊าซฟลูออรีน เป็นต้น ซึ่งจะทำภายใต้สุญญากาศโดยจะใส่ก๊าซตรงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้า แต่ในงานวิจัยนี้จะทำที่บรรยากาศปกติ



รูปที่ 8 รูปแบบดีปิตีพลาสมาที่ใช้กันทั่วไป (ซ้ายมือเป็นแบบ Planar ส่วนขวามือเป็นแบบ Cylindrical) [26]

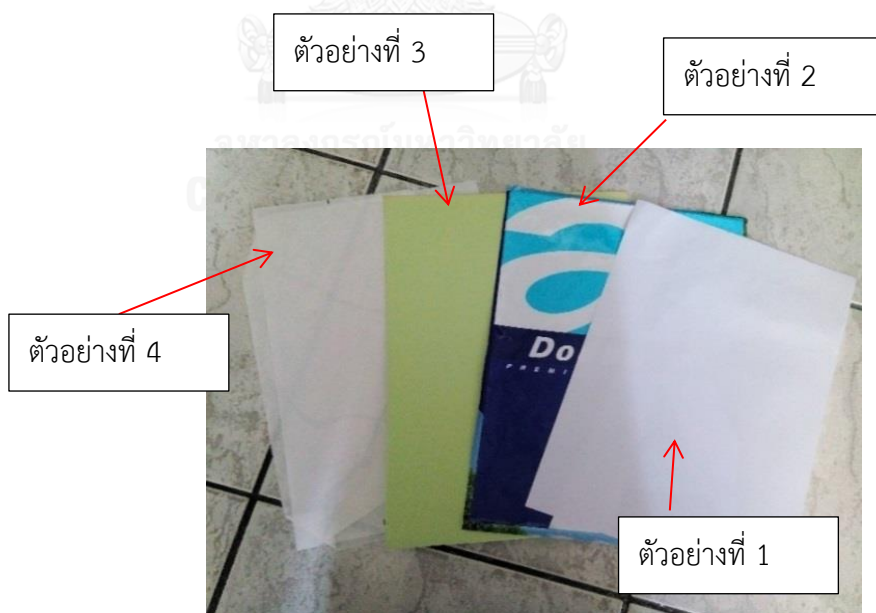


### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

#### 3.1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบความลื่นบนพื้นผิวของวัสดุประเภทกระดาษที่มีส่วนประกอบของเส้นใย กระดาษเคลือบพลาสติก PVC และแผ่นใส ซึ่งมีตัวอย่างในการทดสอบดังนี้

- 3.1.1. ตัวอย่างที่ 1 คือ กระดาษปอนด์ เป็นกระดาษที่มีสีขาว มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 60 ถึง 100 กรัม/ตารางเมตร
- 3.1.2. ตัวอย่างที่ 2 คือ กระดาษเคลือบพลาสติก PVC
- 3.1.3. ตัวอย่างที่ 3 คือ กระดาษการ์ด เป็นกระดาษที่มีความหนา และแข็งแรง มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 110 ถึง 400 กรัม/ตารางเมตร
- 3.1.4. ตัวอย่างที่ 4 คือ แผ่นใสหรือแผ่นโปรงใส



รูปที่ 9 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

### 3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

- 3.2.1. พาวเวอร์ซัพพลายแบบ High voltage high frequency รุ่น NG.B410ET1  
แรงดันไฟฟ้าขาออกมากที่สุด 10 kV



รูปที่ 10 พาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.2.2. แผ่นกระจกใส ขนาด 14.5x20 cm หนา 2 mm



รูปที่ 11 แผ่นกระจกใสที่ใช้ในงานวิจัย



3.2.3. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 6x10 cm หนา 2 mm และขนาด 15x20 cm หนา 2 mm



รูปที่ 12 แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.4. ตู้อบ ยี่ห้อ Lenton รุ่น WF30



รูปที่ 13 ตู้อบที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบพื้นผิวในการวิจัยมีดังนี้

3.2.5. Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น ความกว้าง 12.4 cm ความยาว 24 cm



รูปที่ 14 Slide angle tester ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.6. Printer แบบ inkjet ยี่ห้อ Canon รุ่น MP237 และ Laser ยี่ห้อ Ricoh รุ่น SP3500SF



รูปที่ 15 เครื่อง Printer ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.7. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX51 ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 16 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM5600lv (SEM[27])



รูปที่ 17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1. ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับดีปิตีพลาสมา และคุณสมบัติของกระดาษสำหรับการทดลอง

3.3.2. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ได้แก่

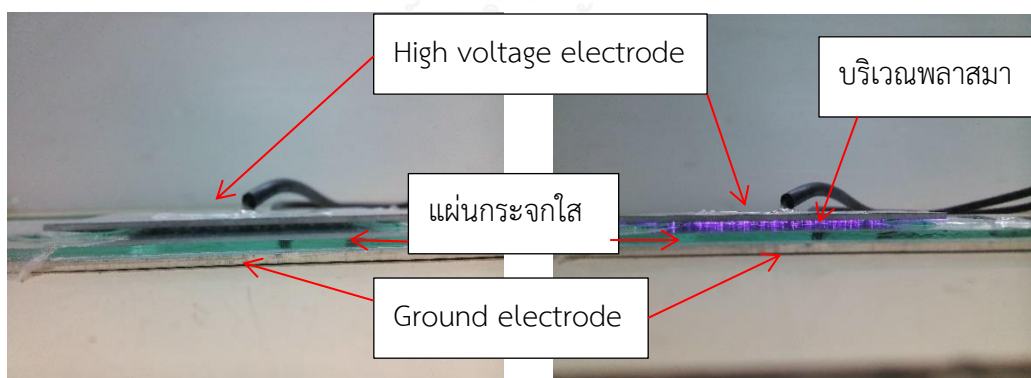
3.3.2.1. กระดาษหลากหลายชนิด จะเลือกใช้กระดาษสำหรับเขียนซึ่งใช้หลักในการแบ่งชนิดกระดาษจากส่วนประกอบหรือองค์ประกอบของกระดาษ เนื่องจากกระดาษแต่ละชนิดมีขั้นตอนการผลิตไม่เหมือนกัน และกระดาษสำหรับเขียนเป็นกระดาษที่ทำ

ง่ายมีตามร้านเครื่องเขียนทั่วไป และงานวิจัยนี้จะทดลองกระดาษขนาด 5.9 cm x 7 cm

3.3.2.2. พาวเวอร์ซัพพลายแบบ High voltage high frequency เป็นการใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อให้เกิดการอาร์คพลาสมา ซึ่งเป็นการแตกตัวของก๊าซทั่วไปที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศปกติ (ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ) และงานวิจัยนี้ใช้พาวเวอร์ซัพพลายแบบ High voltage high frequency รุ่น NG.B410ET1 แรงดันไฟฟ้าขาออกมากที่สุด 10 kV และกระแสไฟฟ้า 30 mA

3.3.2.3. วัสดุไม่นำไฟฟ้า จะเลือกใช้แผ่นกระจกใส เป็นการเลือกใช้กระจกที่ไม่มีสารเคมีเคลือบอีกด้านหรือกระจกเงามาทดลอง เนื่องจากถ้าใช้กระจกที่มีสารเคมีเคลือบอาจเกิดปฏิกิริยาระหว่างการทดลองได้ และงานวิจัยนี้ใช้ขนาดกระจก 14.5 cm x 20 cm หนา 2 mm

3.3.2.4. วัสดุนำไฟฟ้า จะเลือกใช้แผ่นอะลูมิเนียม เนื่องจากมีราคาไม่แพง น้ำหนักเบา และสามารถนำไฟฟ้าได้ และงานวิจัยนี้สำหรับ High voltage electrode ใช้ขนาด 6 cm x 10 cm หนา 2 mm ส่วนสำหรับ Ground electrode ใช้ขนาด 15 x 20 cm หนา 2 mm



ก.

ข.

รูปที่ 18 พลาสมาที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย  
(ก.) ปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้า, (ข.) เปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3.3.3. ติดตั้งอุปกรณ์และเริ่มการทดลองโดยนำกระดาษแต่ละชนิดเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นปรับแรงดันไฟฟ้าที่พาวเวอร์ซัพพลายให้มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6, 7, 8, 9 และ 10 kV ตามลำดับ และนำกระดาษแต่ละชนิดสอดเข้าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับกระจก เริ่มจับเวลาที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที ซึ่งในงานวิจัยนี้ทดลองตีปีตีพลาสติกเข้ากับชนิดกระดาษเงื่อนไขละ 2 ชุด โดยชุดแรกใช้เป็นตัวอย่างชิ้นงานกระดาษ ส่วนชุดที่สองนำกระดาษทดลองติดกับวัสดุที่วางบนกระดาษเพื่อทดสอบการตรวจพื้นผิวด้วยวิธี Slide angle test

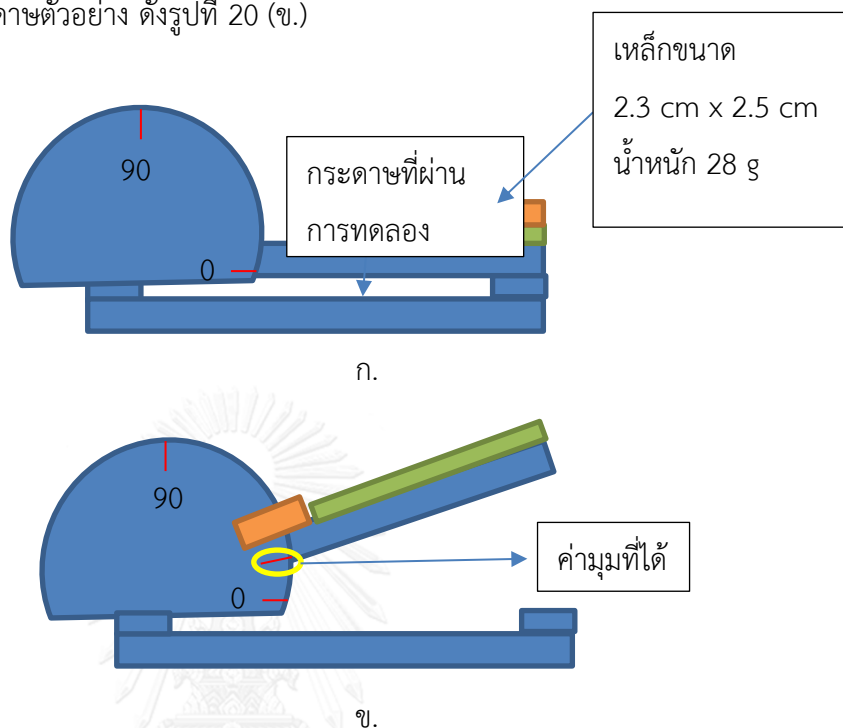


รูปที่ 19 แสดงตัวอย่างชิ้นงานระหว่างการทดลอง

3.3.4. นำกระดาษที่ผ่านการทดลองแล้วมาตรวจสอบพื้นผิวกระดาษด้วยวิธีต่างๆ โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธี Slide angle test, การพิมพ์ และการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.4.1. Slide angle test ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้ฐานที่มีลักษณะเป็นแผ่นและมีผิวเรียบ และใช้เหล็กขนาด 2.3 cm x 2.5 cm หนา 8 mm น้ำหนัก 28 g โดยเทียบเคียงกับมาตรฐาน TAPPI T 548 และนำกระดาษที่ผ่านการทดลองอีกชุดติดกับเหล็กโดยหันด้านที่ผ่านการทดลองออก จากนั้นวางกระดาษตัวอย่างและกระดาษที่ยึดกับผิวก้อนเหล็ก บนเครื่องมือและเริ่มการตรวจสอบดังรูปที่ 20 (ก.) การอ่านค่ามุมทำ

ได้โดยยกฐานขึ้นให้เกิดมุมทีละ  $1.5^\circ$  และหยุดสังเกตเหล็กว่ามีการเคลื่อนไหวหรือไม่ จากนั้นยกฐานขึ้นต่ออีก  $1.5^\circ$  และหยุดสังเกตเหล็กเช่นเดิม ทดลองซ้ำจนเหล็กเคลื่อนผ่านกระดาษตัวอย่าง ดังรูปที่ 20 (ข.)



รูปที่ 20 แสดงการจัดระบบตรวจสอบแบบ Slide angle test

(ก.) เริ่มการตรวจสอบ, (ข.) เสร็จสิ้นการตรวจสอบ

3.3.4.2. การพิมพ์ จะพิมพ์ด้วยหมึก Inkjet และ Laser และตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงยี่ห้อ Olympus รุ่น BX51 ที่กำลังขยาย 100 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของหมึกบนกระดาษ

3.3.4.3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการตรวจสอบพื้นผิวโดยใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยายซึ่งให้ประสิทธิภาพของกำลังขยายได้ดีกว่าการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ในการตรวจสอบพื้นผิวของกระดาษหลังใช้ดีพีดีพลาสติก

3.3.5. นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบผล ระหว่างก่อนและหลังใช้ดีพีดีพลาสติก

3.3.6. สรุปผลการทดลอง

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวเพื่อลดความลื่นของกระดาษด้วยดีปตีฟลาสมา โดยพิจารณาจากตัวแปรที่ศึกษา คือแรงดันไฟฟ้า เวลา และชนิดของกระดาษ เพื่อดูคุณสมบัติผิวกระดาษจากการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการปรับปรุงพื้นผิว ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบพื้นผิวของกระดาษด้วยวิธี Slide angle test, การพิมพ์ด้วย Printer แบบ Inkjet และ Laser และการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ซึ่งผลที่ได้จากการตรวจสอบพื้นผิวของกระดาษมีดังนี้

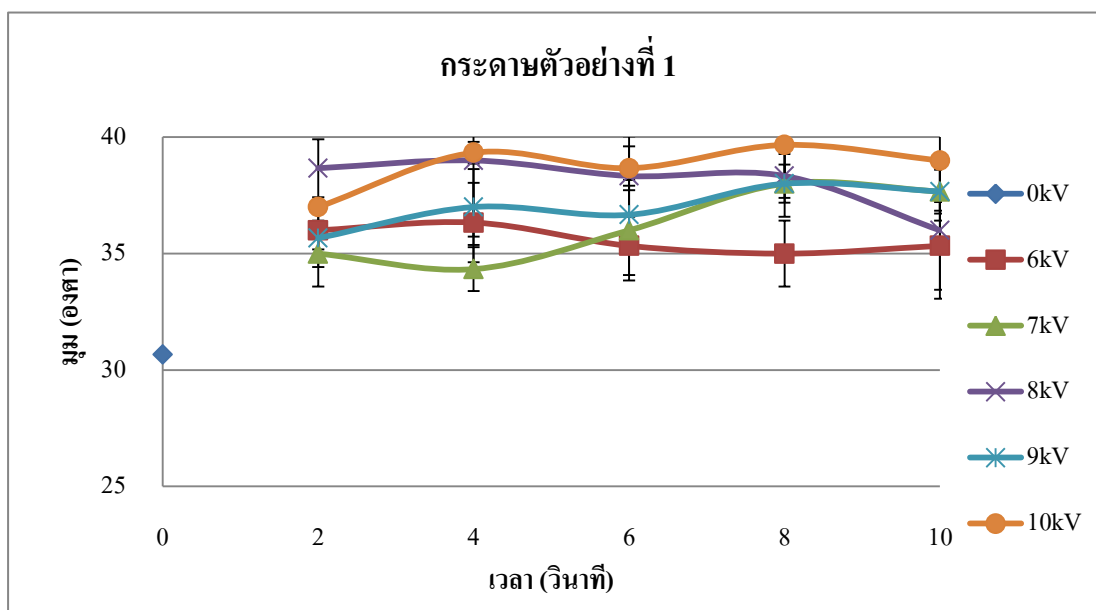
#### 4.1. ผลการตรวจสอบด้วยวิธี Slide angle test

การตรวจสอบเป็นการทดสอบพื้นผิวโดยการนำวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นและมีพื้นผิวเรียบวางเป็นฐาน นำกระดาษที่ต้องการทดสอบวางบนวัสดุนั้นโดยยึดกระดาษไม่ให้เคลื่อนที่ และนำวัสดุที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมและขนาดเล็กกว่ากระดาษตัวอย่างมาวางบนกระดาษที่อยู่บนฐาน จากนั้นเปิดสวิตช์เพื่อให้แผ่นวัสดุที่เป็นฐานนั้นยกกระดาษขึ้น และรอจนกว่าวัสดุที่วางบนกระดาษเคลื่อนที่ผ่านจุดกระดาษ จึงอ่านค่ามุม ดังรูป 20 โดยวิธีนี้เป็นวิธีแรกในการตรวจสอบเพื่อหาเงื่อนไขของการลดความลื่นของกระดาษที่เหมาะสม ก่อนไปตรวจสอบพื้นผิวด้วยวิธีอื่น ซึ่งผลการตรวจสอบด้วยวิธี Slide angle test ของแต่ละกระดาษ จะแสดงในตารางที่ 2 ถึง 5 และเพื่อความง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 21 ถึง 24

ตารางที่ 2 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 1 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา

แรงดันไฟฟ้า (kV) / เวลา (s)	ครั้งที่ (องศา)			ค่าเฉลี่ย (องศา)	SD
	1	2	3		
0kV	31	30	31	30.7	0.5
6kV/2s	35	36	37	36.0	0.8
6kV/4s	38	37	34	36.3	1.7
6kV/6s	37	34	35	35.3	1.2
6kV/8s	34	34	37	35.0	1.4
6kV/10s	34	38	34	35.3	1.9
7kV/2s	36	36	33	35.0	1.4
7kV/4s	35	35	33	34.3	0.9
7kV/6s	37	38	33	36.0	2.2
7kV/8s	39	38	37	38.0	0.8
7kV/10s	39	37	37	37.7	0.9
8kV/2s	40	37	39	38.7	1.2
8kV/4s	43	35	39	39.0	3.3
8kV/6s	39	40	36	38.3	1.7
8kV/8s	37	39	39	38.3	0.9
8kV/10s	39	37	32	36.0	2.9
9kV/2s	36	37	34	35.7	1.2
9kV/4s	35	39	37	37.0	1.6
9kV/6s	37	35	38	36.7	1.2
9kV/8s	39	36	39	38.0	1.4
9kV/10s	36	38	39	37.7	1.2
10kV/2s	37	37	37	37.0	0.0
10kV/4s	39	40	39	39.3	0.5
10kV/6s	38	38	40	38.7	0.9
10kV/8s	41	41	37	39.7	1.9
10kV/10s	42	38	37	39.0	2.2



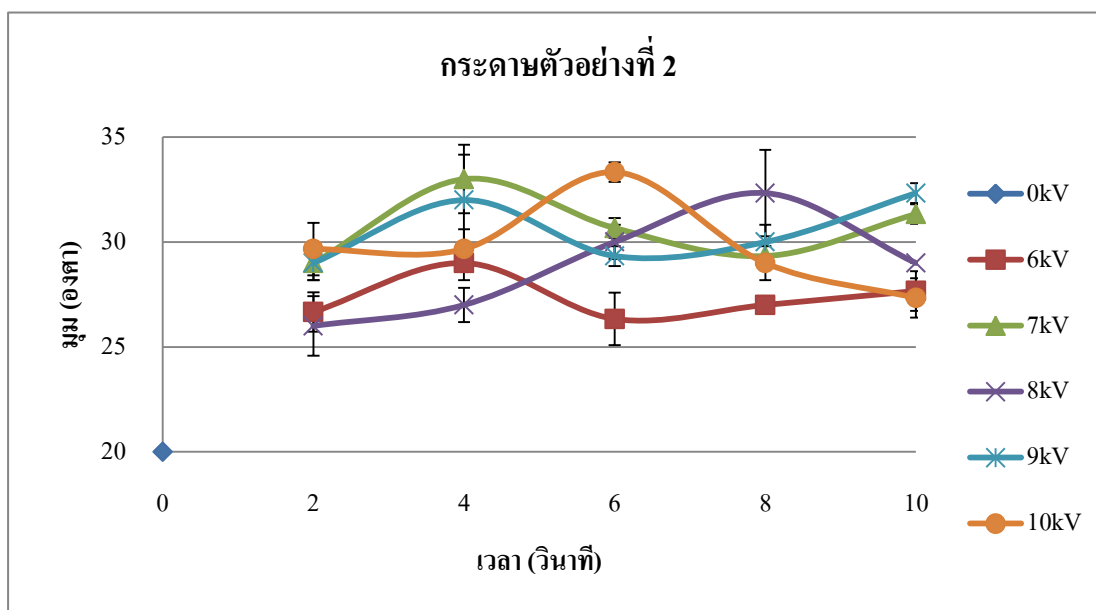


รูปที่ 21 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาดตัวอย่างที่ 1

จากกราฟในรูปที่ 21 พบว่าก่อนใช้ดีปิตีพลาสมา (0 kV) จะมีมุมเท่ากับ  $30.7^{\circ}$  และหลังใช้ดีปิตีพลาสมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $36.3^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 7 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $38^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 8 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $39^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 9 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $38^{\circ}$ ) และที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $39.7^{\circ}$ )

ตารางที่ 3 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 2 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา

แรงดันไฟฟ้า (kV) / เวลา (s)	ครั้งที่ (องศา)			ค่าเฉลี่ย (องศา)	SD
	1	2	3		
0kV	19	21	20	20.0	0.8
6kV/2s	28	26	26	26.7	0.9
6kV/4s	29	28	30	29.0	0.8
6kV/6s	26	25	28	26.3	1.2
6kV/8s	27	27	27	27.0	0.0
6kV/10s	29	27	27	27.7	0.9
7kV/2s	28	30	29	29.0	0.8
7kV/4s	35	33	31	33.0	1.6
7kV/6s	31	31	30	30.7	0.5
7kV/8s	29	29	30	29.3	0.5
7kV/10s	31	32	31	31.3	0.5
8kV/2s	25	25	28	26.0	1.4
8kV/4s	28	26	27	27.0	0.8
8kV/6s	30	29	31	30.0	0.8
8kV/8s	30	35	32	32.3	2.1
8kV/10s	29	29	29	29.0	0.0
9kV/2s	30	28	29	29.0	0.8
9kV/4s	29	33	34	32.0	2.2
9kV/6s	30	29	29	29.3	0.5
9kV/8s	29	30	31	30.0	0.8
9kV/10s	32	33	32	32.3	0.5
10kV/2s	31	28	30	29.7	1.2
10kV/4s	31	29	29	29.7	0.9
10kV/6s	34	33	33	33.3	0.5
10kV/8s	28	29	30	29.0	0.8
10kV/10s	26	28	28	27.3	0.9

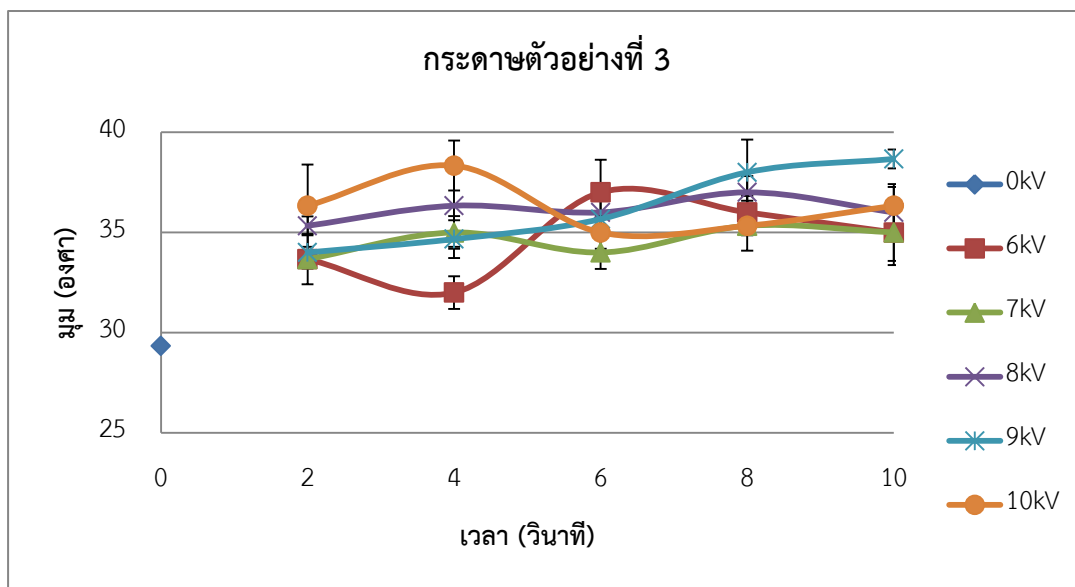


รูปที่ 22 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 2

จากกราฟในรูปที่ 22 พบว่าก่อนใช้ดีบุกดีพลาสติก (0 kV) จะมีมุมเท่ากับ  $20^{\circ}$  และหลังใช้ดีบุกดีพลาสติกที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $29^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 7 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $33^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 8 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $32.3^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 9 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 10 วินาที (เท่ากับ  $32.3^{\circ}$ ) และที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 6 วินาที (เท่ากับ  $33.3^{\circ}$ )

ตารางที่ 4 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 3 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา

แรงดันไฟฟ้า (kV) / เวลา (s)	ครั้งที่ (องศา)			ค่าเฉลี่ย (องศา)	SD
	1	2	3		
0kV	31	28	29	29.3	1.2
6kV/2s	34	34	33	33.7	0.5
6kV/4s	33	31	32	32.0	0.8
6kV/6s	35	39	37	37.0	1.6
6kV/8s	36	35	37	36.0	0.8
6kV/10s	37	34	34	35.0	1.4
7kV/2s	35	34	32	33.7	1.2
7kV/4s	36	34	35	35.0	0.8
7kV/6s	33	35	34	34.0	0.8
7kV/8s	35	36	35	35.3	0.5
7kV/10s	37	33	35	35.0	1.6
8kV/2s	36	35	35	35.3	0.5
8kV/4s	39	34	36	36.3	2.1
8kV/6s	36	36	36	36.0	0.0
8kV/8s	36	38	37	37.0	0.8
8kV/10s	38	35	35	36.0	1.4
9kV/2s	34	34	34	34.0	0.0
9kV/4s	36	34	34	34.7	0.9
9kV/6s	37	35	35	35.7	0.9
9kV/8s	40	38	36	38.0	1.6
9kV/10s	38	39	39	38.7	0.5
10kV/2s	34	39	36	36.3	2.1
10kV/4s	40	37	38	38.3	1.2
10kV/6s	36	35	34	35.0	0.8
10kV/8s	37	35	34	35.3	1.2
10kV/10s	37	37	35	36.3	0.9

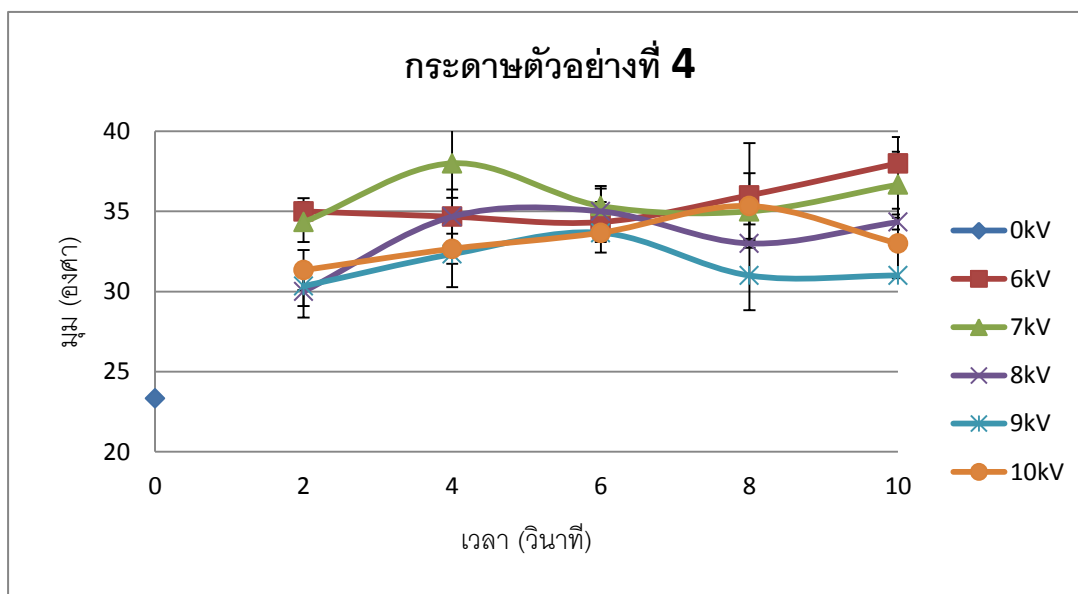


รูปที่ 23 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 3

จากกราฟในรูปที่ 23 พบว่าก่อนใช้ดีปิตีพลาสติก (0 kV) จะมีมุมเท่ากับ  $29.3^{\circ}$  และหลังใช้ดีปิตีพลาสติกที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 6 วินาที (เท่ากับ  $37^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 7 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $35.3^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 8 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $37^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 9 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 10 วินาที (เท่ากับ  $38.7^{\circ}$ ) และที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $38.3^{\circ}$ )

ตารางที่ 5 ค่า Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 4 ในแต่ละแรงดันไฟฟ้า กับเวลา

แรงดันไฟฟ้า (kV) / เวลา (s)	ครั้งที่ (องศา)			ค่าเฉลี่ย (องศา)	SD
	1	2	3		
0kV	24	23	23	23.3	0.5
6kV/2s	36	35	34	35.0	0.8
6kV/4s	33	34	37	34.7	1.7
6kV/6s	34	33	36	34.3	1.2
6kV/8s	36	40	32	36.0	3.3
6kV/10s	38	40	36	38.0	1.6
7kV/2s	34	36	33	34.3	1.2
7kV/4s	39	40	35	38.0	2.2
7kV/6s	37	35	34	35.3	1.2
7kV/8s	36	34	35	35.0	0.8
7kV/10s	37	39	34	36.7	2.1
8kV/2s	28	30	32	30.0	1.6
8kV/4s	35	34	35	34.7	0.5
8kV/6s	36	33	36	35.0	1.4
8kV/8s	33	33	33	33.0	0.0
8kV/10s	34	34	35	34.3	0.5
9kV/2s	32	30	29	30.3	1.2
9kV/4s	35	30	32	32.3	2.1
9kV/6s	34	35	32	33.7	1.2
9kV/8s	34	30	29	31.0	2.2
9kV/10s	31	31	31	31.0	0.0
10kV/2s	33	30	31	31.3	1.2
10kV/4s	34	32	32	32.7	0.9
10kV/6s	34	34	33	33.7	0.5
10kV/8s	38	35	33	35.3	2.1
10kV/10s	35	34	30	33.0	2.2



รูปที่ 24 กราฟแสดงผลการทดลอง Slide angle test ของกระดาษตัวอย่างที่ 4

จากกราฟในรูปที่ 24 พบว่าก่อนใช้ดีปดีพลาสติก (0 kV) จะมีมุมเท่ากับ  $23.3^{\circ}$  และหลังใช้ดีปดีพลาสติกที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 10 วินาที (เท่ากับ  $38^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 7 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 4 วินาที (เท่ากับ  $38^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 8 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 6 วินาที (เท่ากับ  $35^{\circ}$ ) ต่อมาที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 9 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 6 วินาที (เท่ากับ  $33.7^{\circ}$ ) และที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV จะได้มุมมากที่สุดที่เวลา 8 วินาที (เท่ากับ  $35.3^{\circ}$ )

เมื่อนำผลที่ตรวจสอบด้วย Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับผลที่ตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของ Slide angle test ที่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 25 และ 26 พบว่า

แรงดันไฟฟ้า 6 kV ที่เวลา 2 วินาที ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$\frac{36 - 19.3}{19.3} \times 100 = 86 \%$$

แรงดันไฟฟ้า 6 kV ที่เวลา 4 วินาที ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$\frac{36.3 - 17.3}{17.3} \times 100 = 109.8 \%$$

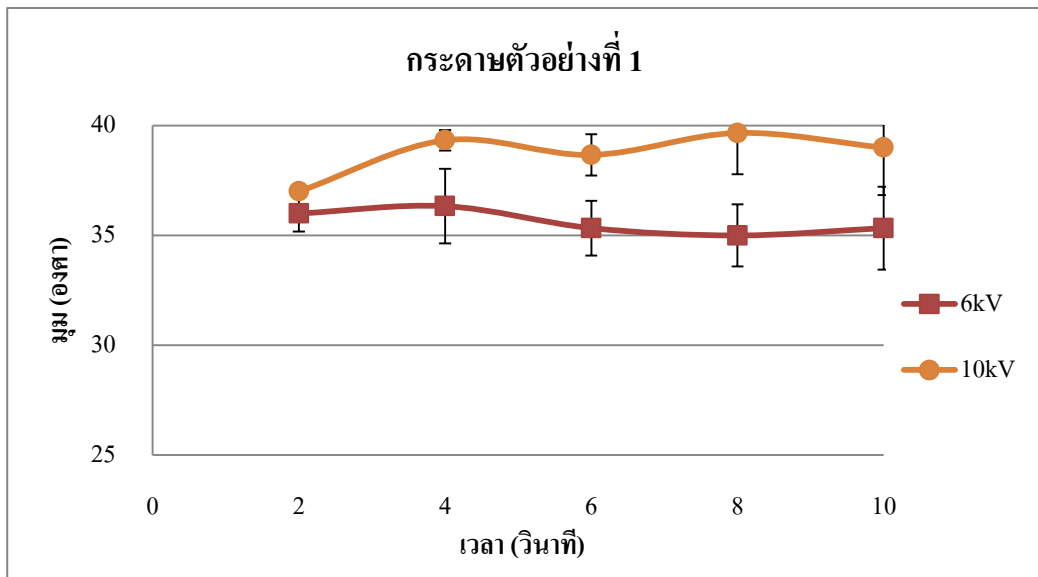
แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่เวลา 2 วินาที ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$\frac{35 - 22.3}{22.3} \times 100 = 56.9 \%$$

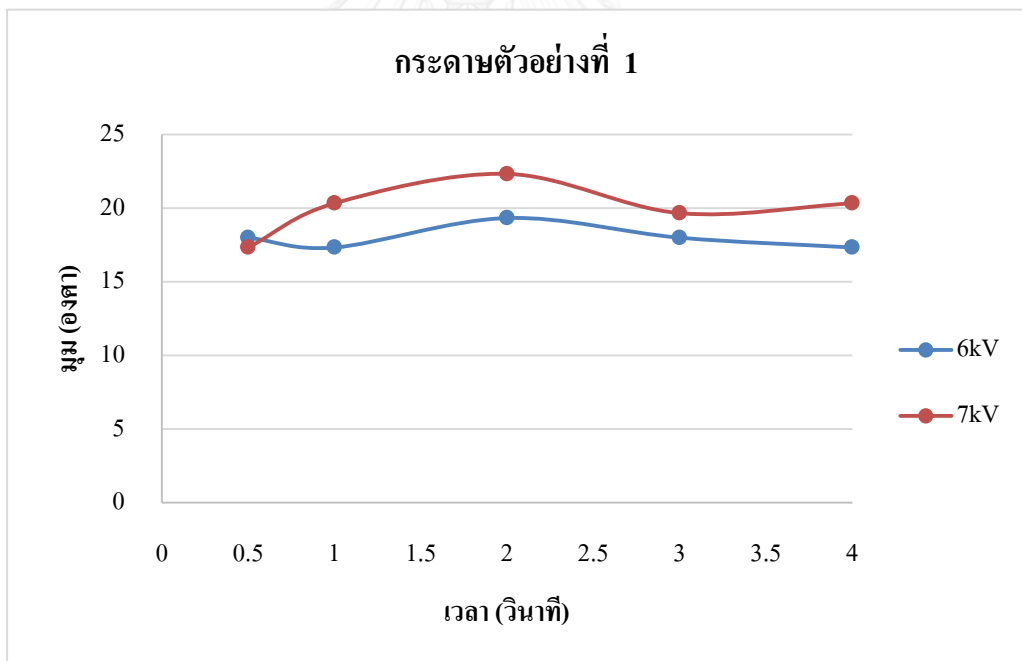
แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่เวลา 4 วินาที ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

$$\frac{34.3 - 20.3}{20.3} \times 100 = 68.96 \%$$





รูปที่ 25 ผลการตรวจสอบด้วย Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น



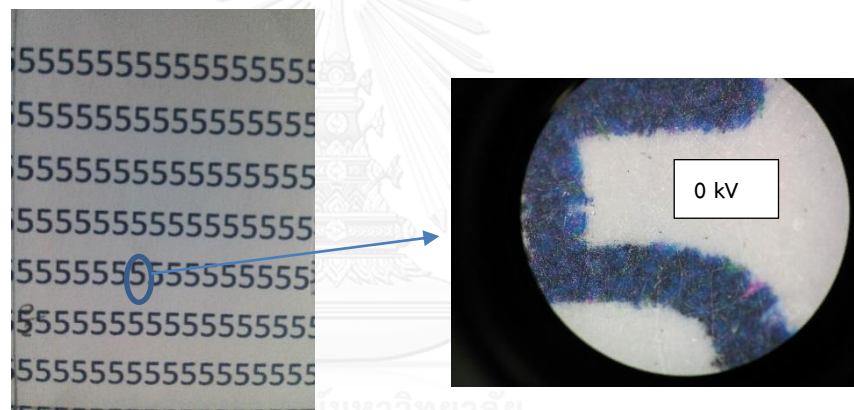
รูปที่ 26 ผลการตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของ Slide angle test ที่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## 4.2. ผลทดสอบการพิมพ์

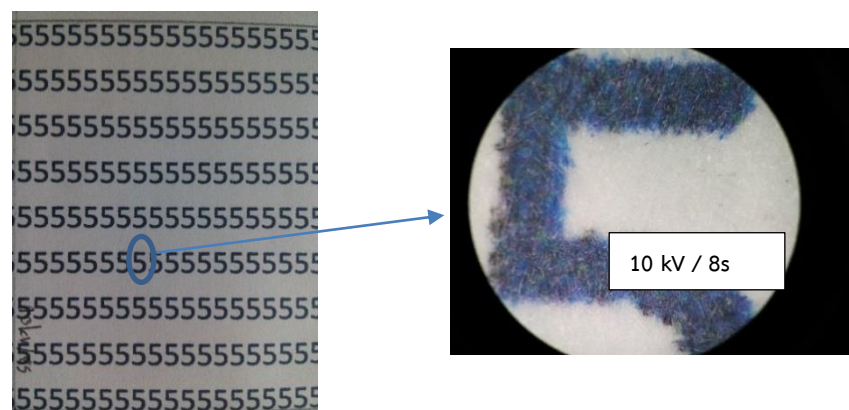
การทดสอบการเกาะติดของหมึกพิมพ์ด้วยการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ทั้งแบบ Inkjet และ Laser ก่อน หลังจากนั้นนำมาตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงยี่ห้อ Olympus รุ่น BX51 ที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยเลือกตัวอย่างที่เงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV ที่เวลา 8 วินาทีสำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 1 และที่เวลา 4 วินาที สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 3 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วย Inkjet และ Laser เพื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและการเกาะติดหลังการพิมพ์ของกระดาษแต่ละชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงดังรูปที่ 27 ถึง 30

### 4.2.1. การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet

เป็นการพิมพ์ด้วยหมึกสีน้ำเงินเทา บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3



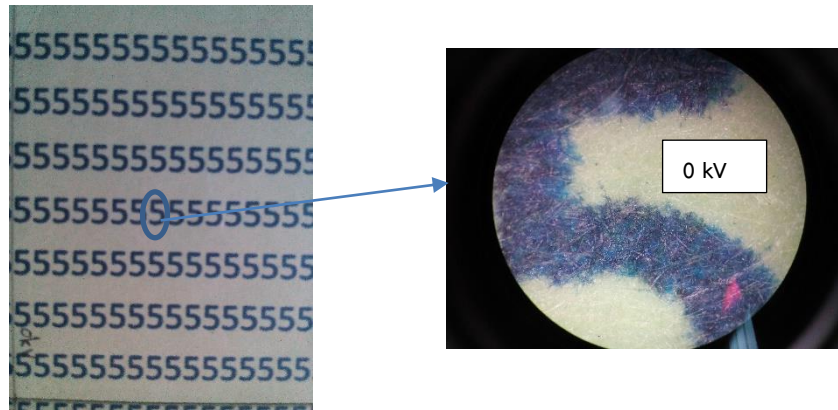
ก.



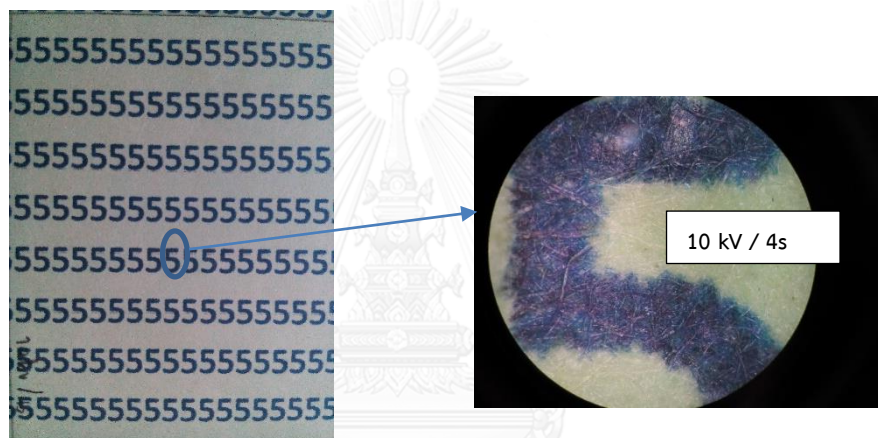
ข.

รูปที่ 27 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 : (ก.) 0 kV, (ข.)

10 kV / 8s



ก.



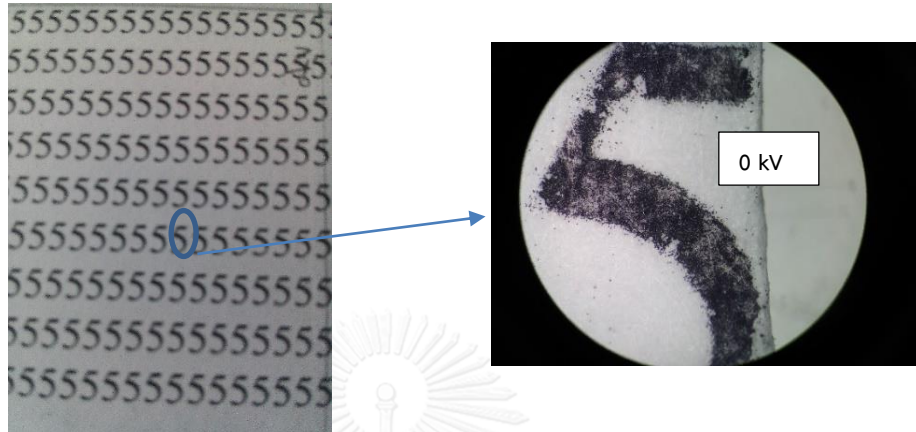
ข.

รูปที่ 28 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 3 : (ก.) 0 kV, (ข.) 10 kV / 4s

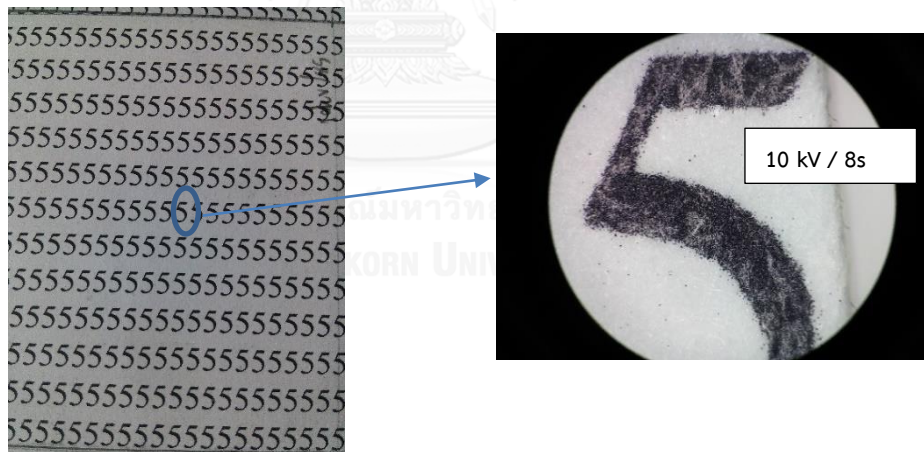
จากรูปที่ 27 และ 28 พบว่าถ้าดูโดยรวมก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังใช้ดีพีทีพลาสมา และหลังจากนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วจะเห็นได้ว่า การทดสอบการพิมพ์ด้วย Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 ก่อนทดลองไม่มีการกระจายตัวของหมึก แต่หลังทดลองมีการกระจายตัวของหมึกบนกระดาษ ส่วนกระดาษตัวอย่างที่ 3 ก่อนและหลังทดลองไม่มีการกระจายตัวของหมึกบนกระดาษ

#### 4.2.2. การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser

เป็นการพิมพ์ด้วยหมึกสีดำ บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3



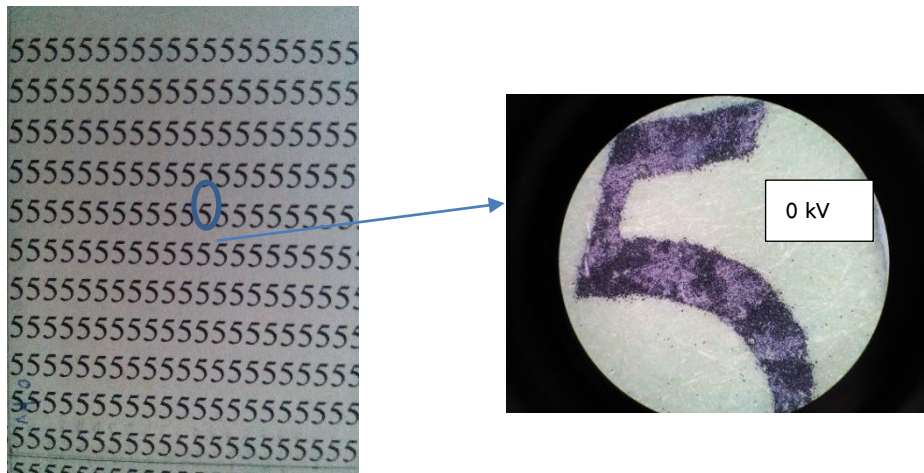
ก.



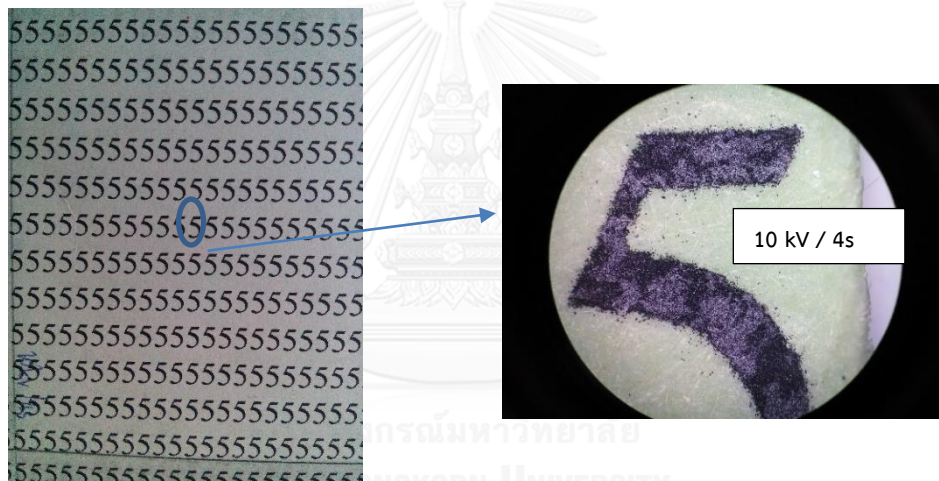
ข.

รูปที่ 29 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 : (ก.) 0 kV, (ข.)

10 kV / 8s



ก.



ข.

รูปที่ 30 ผลการทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser บนกระดาษตัวอย่างที่ 3 : (ก.) 0 kV, (ข.)

10 kV / 4s

จากรูปที่ 29 และ 30 พบว่าถ้าดูโดยรวมก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังใช้ดีปิตีพลาสมาเช่นเดียวกับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet และหลังจากนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วจะเห็นได้ว่า การทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Laser ทั้งบนกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของหมึกทั้งก่อนและหลังการทดลอง

หมายเหตุ ในหัวข้อผลการพิมพ์นี้ ไม่ได้ทดลองกับกระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 เนื่องจากในการใช้งานจริงการพิมพ์บนกระดาษเหล่านี้ จะพิมพ์ได้แต่เครื่องพิมพ์ Laser เพราะกระดาษเหล่านี้ มีส่วนประกอบของแผ่นพลาสติก PVC หรือแผ่นอะซีเตท ทำให้คุณภาพในการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet ไม่ดี เนื่องจากน้ำหมึกจากเครื่องพิมพ์ Inkjet ไม่สามารถซึมบนตัวกระดาษเหล่านี้ได้ แต่หมึกจากเครื่องพิมพ์ Laser สามารถยึดเกาะบนกระดาษเหล่านี้ได้

#### 4.3. ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวของกระดาษในรูปลักษณะ 3 มิติ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้ดีกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยเลือกกระดาษตัวอย่างดังนี้

กระดาษตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่เวลา 8 วินาที

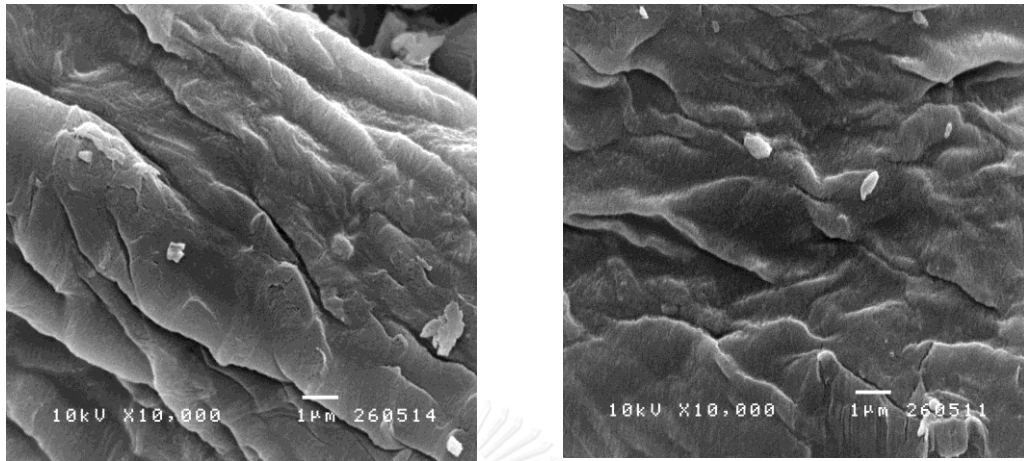
กระดาษตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 7 kV ที่เวลา 8 วินาที

กระดาษตัวอย่างที่ 3 ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV ที่เวลา 4 วินาที

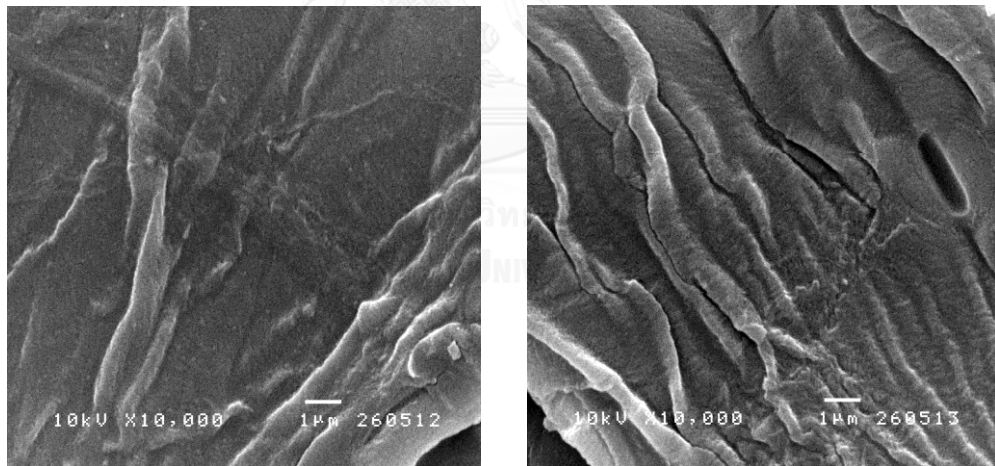
กระดาษตัวอย่างที่ 4 ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 6 และ 7 kV ที่เวลา 10 และ 4 วินาที ตามลำดับ

นำมาตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระดาษแต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 31 ถึง 38

#### 4.3.1. กระจกตัวอย่างที่ 1

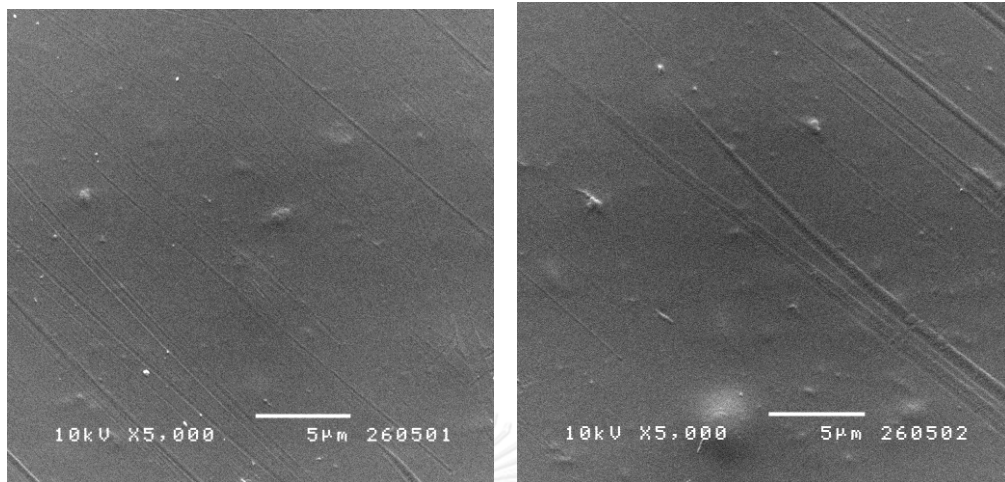


รูปที่ 31 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ  
กระจกตัวอย่างที่ 1 ก่อนใช้ดีปซีพลาสมา

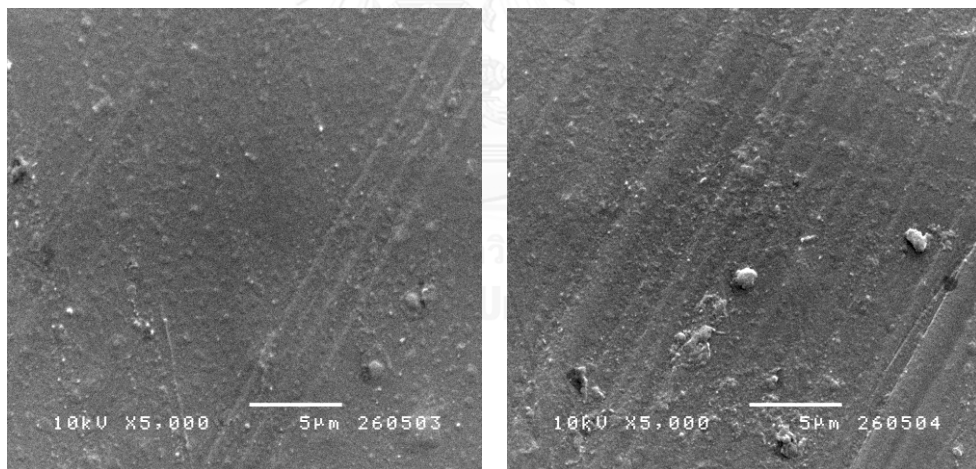


รูปที่ 32 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ  
กระจกตัวอย่างที่ 1 หลังใช้ดีปซีพลาสมา

#### 4.3.2. กระจกตัวอย่างที่ 2



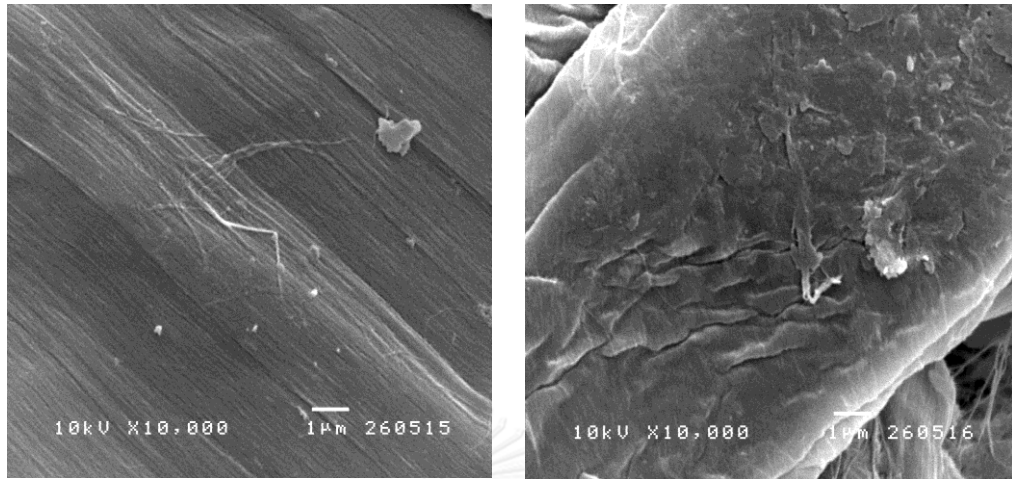
รูปที่ 33 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของกระจกตัวอย่างที่ 2 ก่อนใช้ดีบีดีพลาสมา



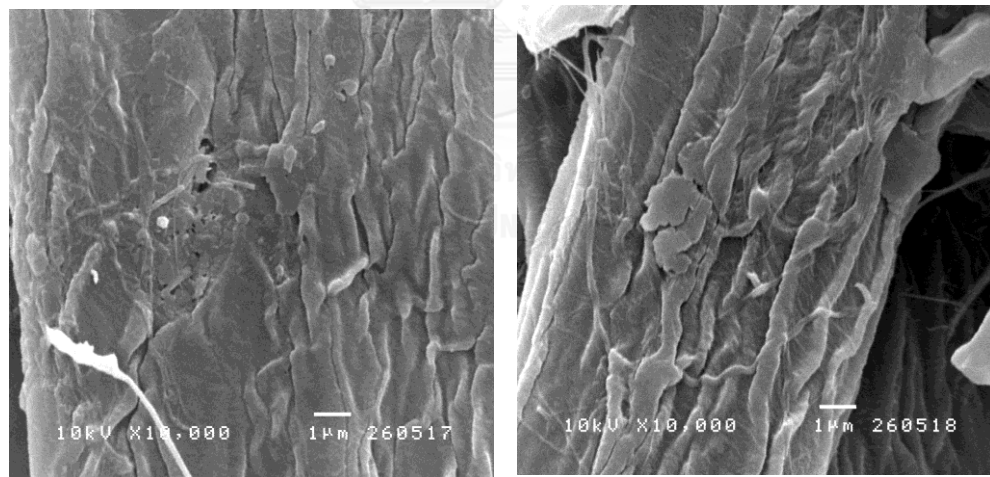
รูปที่ 34 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของกระจกตัวอย่างที่ 2 หลังใช้ดีบีดีพลาสมา



### 4.3.3. กระจกตัวอย่างที่ 3

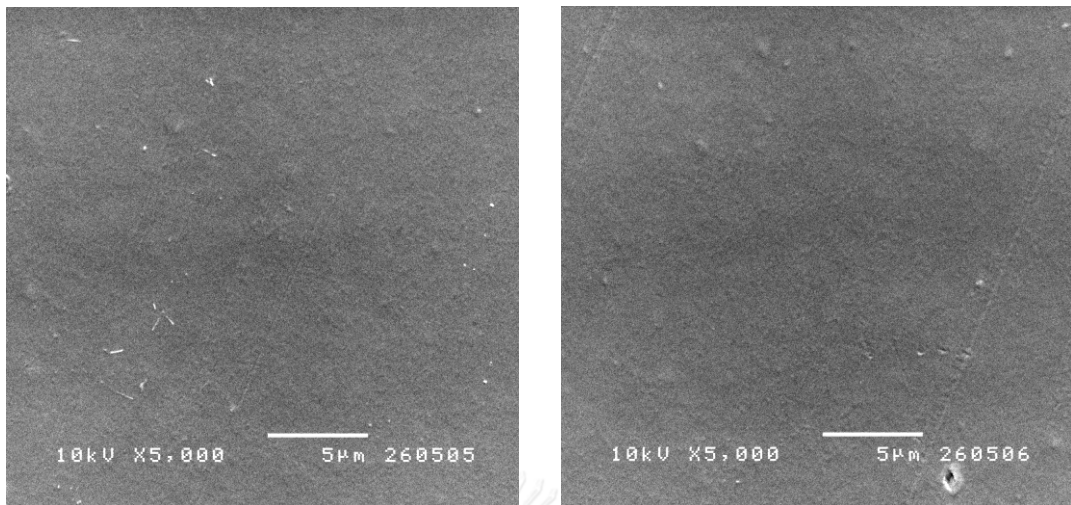


รูปที่ 35 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ  
กระจกตัวอย่างที่ 3 ก่อนใช้ดีปีทพลาสติก

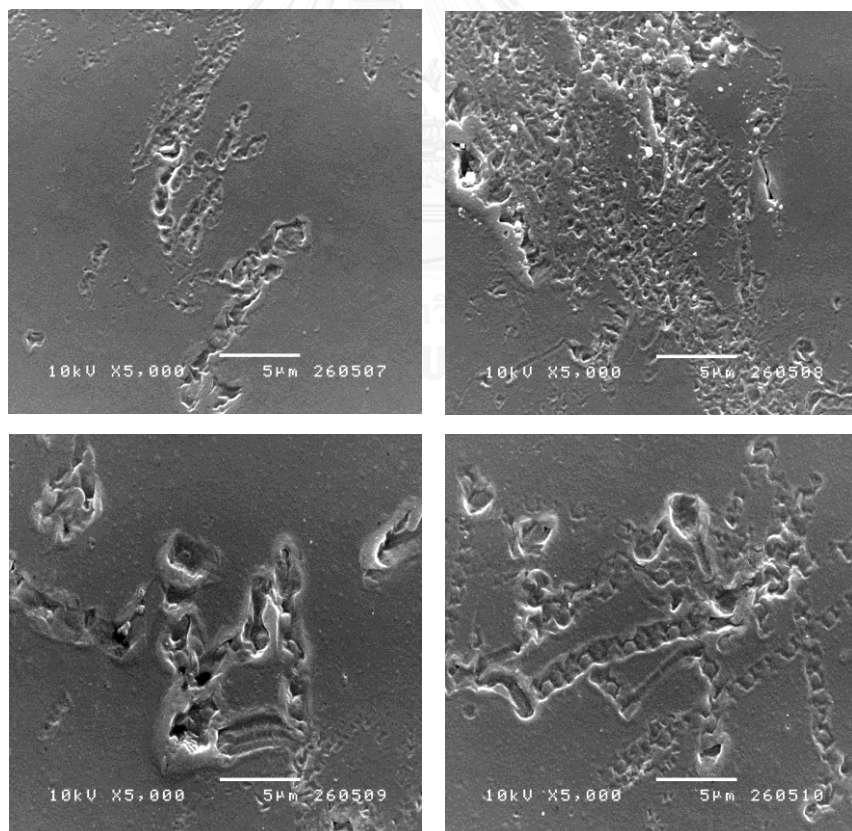


รูปที่ 36 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ  
กระจกตัวอย่างที่ 3 หลังใช้ดีปีทพลาสติก

#### 4.3.4. กระจกตัวอย่างที่ 4



รูปที่ 37 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของกระจกตัวอย่างที่ 4 ก่อนใช้ดีปซีพลาสมา



รูปที่ 38 เปรียบเทียบภาพถ่ายพื้นผิวกระจกต่างพื้นที่กันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของกระจกตัวอย่างที่ 4 หลังใช้ดีปซีพลาสมา

จากรูปที่ 31 ถึง 38 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของตัวอย่างกระดาษแต่ละชนิด จากการใช้ดีปี้พลาสติกที่แรงดันไฟฟ้า และเวลาที่ต่างกัน พบว่าพื้นผิวของกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน เท่ากับกระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 กล่าวคือบนพื้นผิวของกระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 เห็นการเปลี่ยนแปลงของรอยที่เกิดจากการดิสซาร์จหลังจากใช้ดีปี้พลาสติกชัดเจน

หมายเหตุ การใช้พลาสติกทำให้พื้นผิวเกิดรอยขรุขระสม่ำเสมอ แต่ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของกระดาษตัวอย่างที่ 4 หลังใช้ดีปี้พลาสติก จะเห็นว่าเกิดรอยขรุขระชัดเจน เนื่องจากการอาร์คพลาสติกวิ่งเข้าสู่พื้นผิวตรงนี้มากที่สุด



## บทที่ 5

### อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. อภิปรายผลการวิจัย

##### 5.1.1. ผลการทดสอบความลื่นของพื้นผิวกระดาษด้วย Slide angle test

จากผลการวิจัย พบว่าความต้านแรงเสียดทานก่อนการใช้ดีปิตีพลาสมา กับหลังใช้ดีปิตีพลาสมาของกระดาษทุกชนิดที่นำมาทดลองจะเห็นความแตกต่างของมุมทดสอบ กล่าวคือได้มุมเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มใช้ดีปิตีพลาสมา และถ้าเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าค่าน้อยที่สุดคือ 6 kV กับแรงดันไฟฟ้าค่ามากที่สุดคือ 10 kV จะเห็นว่ากระดาษตัวอย่างที่ 1 ได้มุมมากขึ้น เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่มาก เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่มากจะมีพลังงานให้กับก๊าซมากและก่อให้เกิดพลาสมาที่ทดลองกับกระดาษมากขึ้นด้วยเพราะพลังงานทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นไอออน และอิเล็กตรอนอิสระกลายเป็นพลาสมา ดังนั้นการใช้แรงดันไฟฟ้าที่มากทำให้เกิดการกัดพื้นผิวกระดาษให้มีความขรุขระมากขึ้น จึงทำให้ผลของ Slide angle test ที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV มีค่ามากกว่าที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 3 ที่มีส่วนประกอบหรือองค์ประกอบของเส้นใยส่วนใหญ่จะมีผลคล้ายกับกระดาษตัวอย่างที่ 1 คือได้มุมมากขึ้น เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่มาก สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 2 จะมีผลคล้ายกับกระดาษตัวอย่างที่ 1 คือได้มุมมากขึ้น เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่มาก แต่ที่ช่วงเวลา 10 วินาทีที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 10 kV มีมุมที่เท่ากันหรือน้อยกว่าที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 kV เนื่องจากพลาสมาที่ทดลองกับกระดาษไม่ได้เกิดดิสชาร์จผ่านกระดาษโดยตรงแต่ผ่านฉนวนพลาสติกหรือสิ่งห่อหุ้มกระดาษนั้น และเมื่อทดลองที่เวลาและแรงดันไฟฟ้ามาก อาจส่งผลให้พลาสติกส่วนที่ถูกดิสชาร์จพลาสมาเกิดการหลอม ซึ่งพลาสติกที่โดนหลอมอาจเกิดการแข็งทำให้มีความลื่นมากเนื่องจากมีความเรียบ ทำให้ได้มุนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่แรงดันไฟฟ้าน้อย นอกจากนี้พลาสติกบริเวณที่เกิดการหลอมจะหายไปทำให้มีพื้นผิวสัมผัสลดลงดังนั้นแรงเสียดทานจึงลดลงด้วย สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 4 ที่มีส่วนประกอบของแผ่นอะซีเตทซึ่งมีลักษณะคล้ายพลาสติก จะได้ผลตรงข้ามกับกระดาษตัวอย่างที่ 1 คือได้มุมมาก เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่น้อย เนื่องจากการใช้เวลาที่มากร่วมกับแรงดันไฟฟ้าที่มาก อาจส่งผลให้พลาสติกส่วนที่ถูกดิสชาร์จด้วยพลาสมาเกิดการหลอม ซึ่งพลาสติกที่โดนหลอมเกิดการแข็งทำให้มีความลื่นมากเนื่องจากมีความเรียบ อีกทั้งพลาสติกบริเวณที่เกิดการหลอมจะหายไปทำให้มีพื้นผิวสัมผัสลดลงดังนั้นทำให้มีความลื่นมากขึ้น มุมทดสอบจึงน้อยลง

ผลที่ตรวจสอบด้วย Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น ได้ความคลาดเคลื่อนที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของ Slide angle test ที่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เนื่องจากมีความเสียดทานในแต่ละแนวแกนของกระดาษแตกต่างกันและ

ผลที่ตรวจสอบด้วย Slide angle tester ที่พัฒนาขึ้น ได้ทดสอบกระดาษต่างแนวแกนกับผลที่ตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐานของ Slide angle test ที่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำให้ได้ความคลาดเคลื่อนที่ต่างกัน

#### 5.1.2. ผลทดสอบการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet และ Laser โดยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

การพิมพ์ด้วยหมึก Inkjet พบว่าถ้าดูโดยรวมก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังใช้ดีปีดีพลาสติก แต่หลังจากนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแล้วจะเห็นได้ว่าการทดสอบการพิมพ์ด้วยหมึก Inkjet บนกระดาษตัวอย่างที่ 1 ก่อนใช้ดีปีดีพลาสติกไม่มีการกระจายตัวของหมึก แต่หลังใช้ดีปีดีพลาสติกมีการกระจายตัวของหมึกบนกระดาษทำให้ตัวอักษรไม่คมชัด ส่วนกระดาษตัวอย่างที่ 3 ก่อนและหลังใช้ดีปีดีพลาสติกไม่มีการกระจายตัวของหมึกบนกระดาษซึ่งเกิดจากกระดาษตัวอย่างที่ 3 เป็นกระดาษที่มีความหนาและความแข็งแรงกว่ากระดาษตัวอย่างที่ 1 โดยความหนาและความแข็งแรงส่วนหนึ่งเกิดจากการอัดกระดาษในขั้นตอนการผลิต หรือกระดาษตัวอย่างที่ 3 บางชนิดมีผิวเคลือบมันเรียบ ทำให้หลังใช้ดีปีดีพลาสติกมีผลกับกระดาษตัวอย่างที่ 3 น้อยกว่ากระดาษตัวอย่างที่ 1 ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่าของกระดาษตัวอย่างที่ 3 จึงไม่เปลี่ยนแปลง

การพิมพ์ด้วยผงหมึก Laser พบว่าถ้าดูโดยรวมก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังใช้ดีปีดีพลาสติกเช่นเดียวกับการพิมพ์ด้วย Inkjet และหลังจากนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแล้วจะเห็นได้ว่าการทดสอบการพิมพ์ด้วย Laser ทั้งบนกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของหมึก เนื่องจากการพิมพ์แบบ Laser เป็นการพิมพ์ด้วยผงหมึก ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการซึมบนกระดาษทำให้ไม่เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของหมึก

#### 5.1.3. ผลการตรวจวิเคราะห์พื้นผิวกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของกระดาษแต่ละชนิด ที่ผ่านกระบวนการดีปีดีพลาสติกซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า และเวลา ดังนี้กระดาษตัวอย่างที่ 1 ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 8 วินาที สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 2 ใช้แรงดันไฟฟ้า 7 kV และเวลา 8 วินาที สำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 3 ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 4 วินาที และสำหรับกระดาษตัวอย่างที่ 4 ใช้แรงดันไฟฟ้า 6 และ 7 kV และเวลา 10 และ 4 วินาที พบว่า พื้นผิว

ของกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน เท่ากับกระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 กล่าวคือบนพื้นผิวของกระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 เห็นรอยการเปลี่ยนแปลงหลังจากใช้ดีปีดีพลาสติกมากกว่า เนื่องจากกระดาษตัวอย่างที่ 1 และกระดาษตัวอย่างที่ 3 เกิดจากเส้นใยของพืช ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้น้อย แต่กระดาษตัวอย่างที่ 2 และกระดาษตัวอย่างที่ 4 มีส่วนประกอบหรือองค์ประกอบที่คล้ายพลาสติกกรรมอยู่ด้วย ทำให้พื้นผิวมีความเรียบ จึงเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่า

## 5.2. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษให้มีความลื่นลดลงโดยใช้ดีปีดีพลาสติกในบรรยากาศปกติอากาศเป็นตัวกลาง และใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6, 7, 8, 9 และ 10 kV เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที กับชนิดของกระดาษต่างๆ ได้แก่กระดาษปอนด์, กระดาษเคลือบพลาสติก PVC, กระดาษการ์ด, แผ่นใสหรือแผ่นโปร่งใส เป็นตัวอย่างศึกษา เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยดีปีดีพลาสติก จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

- 5.2.1. การลดความลื่นของพื้นผิวกระดาษที่แตกต่างกันโดยกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยดีปีดีพลาสติก และทดสอบด้วยวิธี Slide angle test พบว่า ผลการปรับปรุงพื้นผิวกระดาษขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษ โดยกระดาษปอนด์ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 8 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด (มีความลื่นน้อยที่สุด) สำหรับกระดาษเคลือบพลาสติก PVC ที่แรงดันไฟฟ้า 7 kV และเวลา 8 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด สำหรับกระดาษการ์ดที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และเวลา 4 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด และสำหรับแผ่นใสหรือแผ่นโปร่งใส ที่แรงดันไฟฟ้า 6 และ 7 kV และเวลา 10 และ 4 วินาที ได้ค่ามุมมากที่สุด
- 5.2.2. การทดสอบการเกาะติดของหมึกพิมพ์หลังการปรับปรุงพื้นผิวกระดาษโดยวิธีการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Inkjet และ Laser ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงระหว่างกระดาษปอนด์ กับกระดาษการ์ด พบว่ามีการกระจายตัวของหมึกมากขึ้นบนกระดาษปอนด์ ด้วยการพิมพ์ด้วยหมึก Inkjet

- 5.2.3. การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวจากการผลการดิสซาร์จของพลาสติกของพลาสติกเคลือบพลาสติก PVC และแผ่นใสได้ชัดเจนกว่ากระดาษปอนด์ กับกระดาษการ์ด เนื่องจากกระดาษเคลือบพลาสติก PVC และแผ่นใส มีส่วนประกอบของพลาสติก ทำให้มีผิวเรียกว่ากระดาษปอนด์กับกระดาษการ์ดจึงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่า

ดังนั้นงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการทดลองกับกระดาษที่นำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ หรือกระดาษสำหรับกันชื้น เนื่องจากวิธีนี้ไม่เหมาะกับงานพิมพ์ เพราะวิธีนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบนพื้นผิวเท่านั้น ทำให้การเกาะติดของหมึกพิมพ์ไม่ดีหรือไม่คมชัดเนื่องจากพื้นผิวเกิดความขรุขระ จึงไม่เหมาะสำหรับงานพิมพ์ ในขณะที่เดียวกันความขรุขระทำให้เกิดแรงเสียดทานบนพื้นผิวมากขึ้น ความลื่นบนพื้นผิวจึงลดลง

### 5.3. ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1. ควรศึกษาความเสถียรของพลาสติกบนพื้นที่ขนาดใหญ่และข้อจำกัด
- 5.3.2. ควรทำการศึกษาในบรรยากาศอื่นๆ ว่ามีบรรยากาศแบบใดที่สามารถลดความลื่นของกระดาษได้นอกจากบรรยากาศปกติ
- 5.3.3. ควรทำการศึกษาขั้นตอนการทดลองในกรณีการเคลื่อนกระดาษผ่านดีปิตีพลาสติก แทนที่ให้กระดาษอยู่กับที่

## รายการอ้างอิง

1. สมฤทัย ต้นมา, et al. หน่วยวิจัยด้านฟิลิกส์พลาสมาของวัสดุใหม่ [อินเทอร์เน็ต]. 2014 6 พฤศจิกายน 2557]; Available from: <http://thep-center.org/>.
2. Kostov K.G. , et al., *Bacterial sterilization by a dielectric barrier discharge (DBD) in air*. Surface & Coatings Technology, 2010: p. 2954-2959.
3. Hyun Uk Lee, et al., *Contribution of power on cell adhesion using atmospheric dielectric barrier discharge (DBD) plasma system*. Current Applied Physics 9, 2009: p. 219-223.
4. Caixia Jia, et al., *Surface treatment of aramid fiber by air dielectric barrier discharge plasma at atmospheric pressure*. Applied Surface Science 257, 2011: p. 4165–4170.
5. P. Chaivan, et al., *Low-temperature plasma treatment for hydrophobicity improvement of silk*. Surface & Coatings Technology, 2005: p. 356– 360.
6. Sahin, H.T., *RF-plasma vapor deposition of siloxane on paper. Part 1: Physical evolution of paper surface*. Applied Surface Science 257, 2012. **265**: p. 558-563.
7. Khaoula Khwaldiaa, et al., *Chitosan–caseinate bilayer coatings for paper packaging materials*. Carbohydrate Polymers, 2013. **99**: p. 508-516.
8. อาหลี ตำหมัน, ประจักษ์ แซ่อึ้ง, and ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล, ผลการควบคุมกำลังของพลาสมาโดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และการปรับเปลี่ยนความหนาแน่นของพัลส์ที่ความดันบรรยากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2555. **17**(2): p. 167-173.
9. พิมพ์สวย. กระดาษที่ใช้ในโรงพิมพ์. 2005 18 กรกฎาคม 2558]; Available from: <http://www.pimsuay.com/tech/paper.htm>.
10. mew 6. บรรจุภัณฑ์กระดาษ [อินเทอร์เน็ต]. 2557 25 ตุลาคม 2557]; Available from: <http://www.mew6.com>.
11. บริษัท ที แอนด์ ที เปเปอร์ กรุ๊ป จำกัด. กระดาษปฐูฟ (Newsprint) [อินเทอร์เน็ต]. 2557 6 พฤศจิกายน 2557]; Available from: <http://www.tandtpapergroup.com>.



12. รังพิมพ์ดอกทศอม. กระดาษ [อินเทอร์เน็ต]. 2557 6 พฤศจิกายน 2557]; Available from: <http://www.rongpim.com>.
13. Toomtarn. กระดาษสำหรับเขียน [อินเทอร์เน็ต]. 2014 25 ตุลาคม 2557]; Available from: <http://toomtarn1994.blogspot.com/>.
14. Doublepaper. กระดาษปก [อินเทอร์เน็ต]. 2014 25 ตุลาคม 2557]; Available from: <http://www.doublepaper.com/th/product-cutsizes>.
15. วิกิพีเดีย. กระดาษชำระ [อินเทอร์เน็ต]. 2014 25 ตุลาคม 2557]; Available from: <http://th.wikipedia.org>.
16. สถาบัน กศน.ภาคกลาง. การเลือกใช้วัสดุที่ทำบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะกับสินค้า. 2558 18 กรกฎาคม 2558]; Available from: <http://www.crnfe.ac.th/packaging/unit2.htm>.
17. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. กระดาษ. 2558 18 กรกฎาคม 2558]; Available from: <http://agrodatabase.psu.ac.th/food/newsdata/file/13860203079576.pdf>.
18. วิกิพีเดีย. เอเอสทีเอ็ม. 2558 18 กรกฎาคม 2558]; Available from: <https://th.wikipedia.org/>.
19. Alibaba.com. *TAPPI T815 inclined plane method coefficient of static friction tester* 2015 Jul 18,2015]; Available from: [http://www.alibaba.com/product-detail/TAPPI-T815-inclined-plane-method-coefficient\\_60282318635.html](http://www.alibaba.com/product-detail/TAPPI-T815-inclined-plane-method-coefficient_60282318635.html)
20. The Standard Specific Interest Group for this Test Method. *Coefficient of static friction (slide angle) of packaging and packaging materials (including shipping sack papers, corrugated and solid fiberboard) (inclined plane method)*. 2006 Jul 19,2015]; Available from: <http://www.tappi.org/content/sarg/t815.pdf>.
21. Sirawit kitplapaiboon. พลาสมา. 2556 18 กรกฎาคม 2558]; Available from: [http://physicsparticles.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_4.html](http://physicsparticles.blogspot.com/2013/04/blog-post_4.html).
22. Sak Sittichompoo. *Plasma technology in diesel emission control*. Jul 18,2015]; Available from: <http://projectbysak.blogspot.com/2015/02/plasma-technology-in-diesel-emission.html>.
23. Siriviryanun, A., et al., *Improvement in the Flame Retardancy of Cotton Fabric by Admicellar Polymerization of 2-Acryloyloxyethyl Diethyl Phosphate Using an Anionic Surfactant*. Journal of Applied Polymer Science, 2008. **109**: p. 3859-3866.

24. Chen ML, et al., *Determination of impurities in flame retardant monomer 2-carboxyl ethyl(phenyl) phosphinic acid by ion chromatography*. Journal of Chromatography A, 2007. **1155**: p. 47-49.
25. Dangtip, S., ผลของพลาสติกที่ความดันบรรยากาศกับสมบัติที่ผิวของฟิล์มบาง ITO. 2552, มหาวิทยาลัยมหิดล.
26. Kogelschatz, U., *FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS OF DIELECTRIC-BARRIER DISCHARGES*. 2000: Switzerland.
27. Geochemical Instrumentation and Analysis. *Scanning Electron Microscopy (SEM) [Internet]*. 2015 [2015 Apr 26]; Available from: <http://serc.carleton.edu>.
28. Double A Global องค์ประกอบของกระดาษ. 2011 [26 เมษายน 2558]; Available from: [https://www.doublepaper.com/th/assets/media/paperknowledge/paper\\_element1.pdf](https://www.doublepaper.com/th/assets/media/paperknowledge/paper_element1.pdf).
29. ชัชวาล ศรีสละ. แผ่นโปร่งใสหรือแผ่นใส 2558 [26 เมษายน 2558]; Available from: <http://pioneer.netser.chula.ac.th/~schutcha/TEXTon/06.pdf>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## องค์ประกอบของกระดาษ [28]

โดยทั่วไปกระดาษจะมีเส้นใยเป็นส่วนผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ โดยประมาณ เนื่องจากเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต และเส้นใยหรือเยื่อที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อไผ่และเยื่อไม้

เยื่อไผ่ได้จากไม้เนื้ออ่อน (softwood) ได้แก่สน (Pine) และ สปรูซ (Spruce) ซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณที่สูง อากาศเย็น โด่ซ่า ใบมีลักษณะแคบเรียวยาว (needle) เส้นใยมีลักษณะหยاب มีความแข็งแรงสูง มีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมครอน (1 ไมครอนเท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร)

เยื่อไม้ได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ได้แก่ยูคาลิปตัส (Eucalyptus), กระจับปี่ (Acacia), เบิร์ช (Birch) และ แอสเพน (Aspen) ซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โด่เร็ว ใบมีลักษณะ กว้าง (Leaf) เส้นใยมีลักษณะละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน

องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

### **1. ส่วนที่เป็นเส้นใย**

1.1 เยื่อไม้เคลือบ (Leaf Bleached Kraft Pulp: LBKP) เป็นเยื่อที่ผลิตจากไม้เนื้อแข็ง เขตร้อน ข้อดีของเยื่อไม้เคลือบคือช่วยให้เนื้อกระดาษแน่นสม่ำเสมอ เรียบ และมีความทึบแสงดี เนื่องจากเยื่อไม้เคลือบมีขนาดเล็กสามารถแทรกตัวตามช่องว่างของเยื่อไผ่ได้ แต่มีข้อเสียคือทำให้กระดาษขาดง่าย เนื่องจากเยื่อไม้เคลือบไม่สร้างความแข็งแรงให้กับกระดาษ

1.2 เยื่อไผ่เคลือบ (Needle Bleached Kraft Pulp: NBKP) เป็นเยื่อที่ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน เช่นจำพวกสน ข้อดีของเยื่อไผ่เคลือบคือช่วยให้กระดาษมีความแข็งแรงดีขึ้น ทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด ทำให้การเดินเครื่องดีขึ้น เนื่องจากเยื่อไผ่เคลือบมีความสามารถในการยึดเกาะกันสูง แต่มีข้อเสียคือถ้าใส่เป็นส่วนผสมในเนื้อกระดาษมากเกินไป ทำให้เกิดการก่อรูปแบบของกระดาษไม่ดีและเกิด Flocculation กล่าวคือเกิดการกระจุกของเส้นใยหรือเยื่อที่จับตัวเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งจะเกิดเมื่อการกระจายตัวของเส้นใยหรือเยื่อไม่ดี เมื่อมองทะลุแผ่นกระดาษผ่านแสง จะเห็นเหมือนก้อนเมฆเป็นหย่อม ๆ ในเนื้อกระดาษเป็นจำนวนมากและเป็นสาเหตุทำให้ผิวกระดาษไม่เรียบอีกด้วย

**2. ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย** ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน มีดังนี้

2.1 ตัวเติม (filler) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นผงแร่สีขาว ใสลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์และปรับปรุงคุณสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษให้มีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังใสลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วย เนื่องจากตัวเติมส่วนใหญ่มักมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใย ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมลงในกระดาษจะต้องมีขนาดเล็กและละเอียด ซึ่งตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน โดยผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มเนื้อที่ผิวภายในกระดาษด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใย ทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสง (light scattering) ของกระดาษ ทำให้กระดาษมีค่าความขาวและความสว่างเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมากเมื่อใสลงไปทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษได้แก่ ดินขาว (kaolin clay) ไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO<sub>2</sub>) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO<sub>3</sub>) แต่มีข้อเสียของการเติมผงแร่คือมีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย ผงแร่แต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่าง ขนาด และดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน

2.2 สารต้านการซึมน้ำ (sizing-agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใสลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง เมื่อเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ ทำให้กระดาษเมื่อโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันที การเติมสารต้านการซึมน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับ มีชื่อเรียกกระดาษที่เติมสารต้านการซึมน้ำแต่ละระดับดังนี้

2.2.1 กระดาษที่ไม่ใส่สารต้านการซึมน้ำ (water-leaf) เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ (blotting paper)

2.2.2 กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำเล็กน้อย มีระดับการซึมน้ำปานกลาง (slack-sized) เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน

2.2.3 กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมาก มีระดับด้านการซึมน้ำสูง (hardsized) กระดาษทำถ้วย กระดาษทำกล่องนม

สารต้านการซึมน้ำที่ใช้ในการผลิตกระดาษ ได้แก่ สารส้มและชันสน (alum/rosin size), ไขผึ้ง (wax), ยางมะตอย (asphalt) และอัลคิลคีทีนไดเมอร์ (alkyl ketene dimmer, AKD)

2.3 สารเพิ่มความเหนียว สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงดันหรือทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก เนื่องจากถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่างการผลิตได้ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ในการผลิตกระดาษ ได้แก่ แป้งธรรมชาติ (native starch) แป้งปรุงแต่ง (modified starch) และพอลิอะคริลเอไมด์

(polyacrylamide) ซึ่งแบ่งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดีและมีใช้มานานแล้ว แต่ในปัจจุบันนิยมใช้แบ่งประจุบวกและพอลิอะคริลเอไมด์มากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวก จึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยที่มีประจุลบทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

2.4 สารฟอกขาว (optical brightening agent: OBA) หรือสารเพิ่มความขาวและความสว่าง ซึ่งสารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความขาว และความสว่างของกระดาษ โดยเป็นสารสีย้อมประเภทเรืองแสง (fluorescent dye) เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาว และความสว่าง (brightness) เพิ่มมากขึ้น

2.5 สารสีย้อม (dyes) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโทนสีของกระดาษให้คงที่และชดเชยกับสีของลิกนินซึ่งมีสีเหลือง โดยปกติถ้ากระดาษสัมผัสกับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ ลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกระดาษจะส่งสีของตัวเองออกมาทำให้กระดาษมีสีเหลือง ทำให้สารสีย้อมมีไว้ใช้แต่งสีกระดาษขาวให้ได้ระดับสีที่ต้องการ หรือเพื่อให้ดูขาวขึ้นซึ่งเรียกว่าสีแต่ง (tinting dye)

2.6 สารควบคุมจุลชีวะ (microbiological control agent หรือ biocide) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลชีวะจำพวกเชื้อราหรือแบคทีเรียในระบบ โดยจะป้องกันการเกิดเมือกจุลินทรีย์ (filler) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษสกปรก และทำให้กระดาษขาดในระหว่างการผลิตได้ง่าย

2.7 สารเพิ่มการตกค้าง (retention aid) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อช่วยให้เยื่อและตัวเติมจับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษให้มากที่สุดในช่วงการระบายน้ำบนตะแกรงลวดเดินแผ่น ซึ่งสารเคมีประเภทนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาวช่วยยึดเหนี่ยวทั้งเยื่อและอนุภาคเล็ก ๆ ของตัวเติมเข้าด้วยกัน

### **แผ่นโปร่งใส หรือแผ่นใส [29]**

เป็นวัสดุที่แสงสามารถผ่านได้ เช่น फिल्मใส แผ่นไมลา, แผ่นอะซีเตท, แผ่นโพลีเอสเตอร์, กระดาษใส, พลาสติกใส แต่นิยมใช้แผ่นใสที่ทำจากแผ่นอะซีเตท เพราะมีราคาถูก และหาได้ง่าย

#### **การใช้แผ่นใสด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้**

1. การใช้แผ่นใสด้วยวิธีเขียนลงบนแผ่นใส, แผ่นอะซีเตทโดยตรง

วิธีการนี้เป็นวิธีการง่ายๆ ที่สามารถใช้ได้เองโดยวางแผ่นใสบนกระดาษขาวที่มีเส้นบรรทัด เพื่อเป็นแนวบรรทัดสำหรับเขียนตัวหนังสือ หรือเขียนรูปภาพประกอบได้โดยใช้ปากกาปลายสักหลาด และเลือกสีตามความต้องการ เมื่อเขียนผิดใช้กระดาษซับน้ำเช็ดออก แต่ถ้าเป็นปากกาชนิด Permanent ให้ใช้น้ำยาลบ

2. การใช้แผ่นใสด้วยเครื่องถ่าย

วิธีการนี้เป็นวิธีที่สะดวก และแผ่นใสที่ได้จะเหมือนต้นฉบับทุกอย่าง สามารถใช้จำนวนน้อยหรือจำนวนมากได้ตามความต้องการ ซึ่งมีวิธีโดยใช้เครื่องถ่ายอยู่ 2 วิธี คือ

2.1 การใช้แผ่นใสด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร เป็นวิธีการถ่ายเอกสารลงบนแผ่นใสโดยตรง เครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้ถ่ายนี้ต้องเป็นชนิดที่ใช้ระบบผงหมึก และแผ่นใสต้องเป็นชนิดทนความร้อนสำหรับถ่ายเอกสารโดยเฉพาะ

2.2 การใช้แผ่นใสด้วยระบบถ่ายภาพ Photo Processing เครื่องถ่ายสำเนาแผ่นใสใช้ถ่ายแผ่นใสโดยเฉพาะชนิดแผ่นใสอินฟราเรด

3. การใช้แผ่นใสด้วยระบบถ่ายภาพ Photo Processing

วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียด, จำลองภาพจากต้นฉบับให้ได้รายละเอียดมากที่สุด หรือเหมือนต้นฉบับประเภทรูปภาพนั้นให้มากที่สุด

4. การใช้แผ่นใสด้วยการพิมพ์ซิลค์สกรีน

วิธีการนี้เหมาะสำหรับการใช้ที่ต้องการแผ่นใสจำนวนมาก ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับการพิมพ์ซิลค์สกรีนลงบนกระดาษ ผ้า เพียงแต่จะพิมพ์บนกระดาษแผ่นอะซีเตทแทน และใช้หมึกพิมพ์โปร่งใส (Transparency Ink) จะได้แผ่นใสมีสีตามต้องการ

5. การใช้แผ่นใสชนิดภาพเคลื่อนไหวได้ (Polarized Transparency)

โดยปกติแผ่นใสจะฉายภาพนิ่งบนจอ แต่อาจจะแสดงความเคลื่อนไหวของภาพที่ปรากฏบนจอ นั้นได้ด้วยวิธีการที่ต้องอาศัย Over Head Projector ที่ติด Motor-Driven Polarized Spinner ส่วนแผ่นใสต้องติดฟิล์ม Polarize คือ Polarizing Material ติดเฉพาะบริเวณที่ต้องการให้เกิดความเคลื่อนไหว เมื่อวางแผ่นใสที่ติดแผ่น Polarizing Material แล้วบนเครื่องฉายแล้ว แสงจะผ่านเครื่องฉายไปกระทบกับ Spinner การหมุนของ Spinner จะหมุนอยู่นิ่งเมื่อแผ่นใสและได้เลนส์ฉาย เมื่อเปิด

สวิตช์หมุน Spinner Spinner จะตัดแสง การหมุนนี้จะทำให้คลื่นของแสงที่จะปรากฏบนจอนี้มี  
ลักษณะเคลื่อนไหวไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ดูเหมือนเป็นภาพเคลื่อนไหว





## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัญชิสรา สุรัตน์ชัยการ เกิดเมื่อวันที่ 7 เดือนกันยายน พ.ศ. 2532 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2555 ประสบการณ์การทำงานเป็นนักศึกษาฝึกงาน กองวิศวกรรมเคมีและระบบขจัดมลพิษ (ฝ่ายวิศวกรรมเครื่องกล) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบันและสถานที่ทำงานคือนิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

